

平成21年度

基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs
FY2009 Annual Report

平成21年度

基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs

FY2009 Annual Report

独立行政法人理化学研究所

総 目 次 / C o n t e n t s

基礎科学特別研究員年報 / Special Postdoctoral Researcher Reports

はじめに / Foreword	7
目次 / Contents	9

国際特別研究員年報 / Foreign Postdoctoral Researcher Reports

はじめに / Foreword	185
目次 / Contents	187

基礎科学特別研究員年報

Special Postdoctoral Researcher Reports

平成18～21年度採用者

FY2006~2009 Appointments

はじめに

本年報は、独立行政法人理化学研究所に在籍する基礎科学特別研究員の平成21年度における研究報告です。基礎科学特別研究員制度の概要については、以下のとおりです。

〈設立の経緯〉

今後の科学技術を飛躍的に発展させ、わが国が豊かな社会を築き国際社会に貢献していくためには、創造性豊かな科学技術の発展が不可欠となっています。このような状況を踏まえ平成元年度の新たな施策として、科学技術庁（現 文部科学省）と理化学研究所が連携して独創的・基礎的研究を強力に推進する基礎科学特別研究員制度を創設しました。その後の定員の拡充等制度の充実に伴い、本制度の運用は平成7年度より理研に全面移管されています。

〈制度の内容〉

本制度は、理化学研究所が、創造性、独創性に富む優れた若手研究者に自主的に研究できる場を与え、その力を十分に発現させることにより基礎科学発展の担い手として活躍を期待する制度です。対象とする研究分野は、物理学、化学、生物科学、医科学、工学の学際的分野を含む科学技術分野で、理研で実施可能な研究です。

対象者は自然科学の博士号取得者（見込みを含む）又はこれと同等の研究能力を有すると認められる者で、自らが理研において実施を希望する研究課題と理研の研究領域を勘案して設定した研究課題を自主的に遂行する意志のある者です。毎年、公募により募集を行い、所内研究者と外部有識者で構成される委員会で審査（書類審査、面接審査）・選考を行っています。契約期間は1年ですが、毎年度所定の評価を経て最長3年間を限度として契約を更新することができます。

基礎科学特別研究員の受け入れにあたっては、研究課題を自主的に遂行できるよう受入研究室を定めて、必要な研究スペースの確保、研究施設及び設備の利用について便宜を図り、基礎科学特別研究員は所属長から助言を受けることができます。

平成20年10月からは育児休業の制度も見直し、研究・出産・育児のワークライフバランスにも配慮しています。制度創設から20年以上が経過し、およそ1,200名の基礎科学特別研究員を受け入れており、現在の在籍者数は117名となっています。

平成22年12月

独立行政法人理化学研究所

〔凡例〕

各研究報告の末尾に掲げた誌上発表(Publications)の原著論文等のうち、*印を付したものは査読制度がある論文誌であることを示します。

目 次

◆ 平成18年度採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVIII-002	高エネルギー宇宙現象を捉える次世代シリコンピクセル検出器の研究開発	平賀 純子	19
XVIII-050	植物におけるmRNA前駆体スプライシング活性制御機構とその生理的意義の解明	武富 (大谷) 美沙都	20
XVIII-053	線虫 <i>C. elegans</i> の生殖顆粒構成因子のプロファイリングと機能解析	花澤 桃世	21
XVIII-056	未知の葉緑体シグナルによる後期胚発生・発芽制御機構のChemical geneticsによる解析	土屋 雄一郎	22

◆ 平成19年度採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-001	不動点近似に基づく高性能適応信号処理方式—無線通信システムへの応用	湯川 正裕	25
XIX-002	量子化学の新しい基礎理論の開発:密度行列の直接決定法	中田 真秀	27
XIX-003	銀河団重力レンズクエーサーを用いた宇宙の暗黒物質モデルの検証	稲田 直久	28
XIX-006	最遠方原始銀河の観測で探る宇宙の再電離と初期天体形成・進化の歴史	太田 一陽	29
XIX-007	「すざく」衛星を用いた銀河団における粒子加速の研究	川原田 円	31
XIX-008	宇宙嵐の発生メカニズムの解明	片岡 龍峰	32
XIX-009	ベリリウム不安定同位体に対する $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{1/2}$ 遷移周波数の精密測定による荷電半径測定	高峰 愛子	33
XIX-010	二次元量子反強磁性体におけるスピン液体とトポロジカル・オーダー	古川 俊輔	34
XIX-012	走査トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) を用いた (強相関係の) 不純物効果の研究	小野 雅紀	35
XIX-013	超伝導電子対のナノスケール分光画像	幸坂 祐生	36
XIX-015	A United Design of Carbon-Nanotubes and Silicon Nanotechnology for Quantum-Dot Based Nanodevices	黄 少云	37
XIX-016	カーボンナノチューブナノ構造を用いた新規デバイスの開発	田畑 博史	38
XIX-017	カーボンナノチューブを電子線で“描く”技術の開発と集積素子作製プロセスへの応用	飛田 聡	39
XIX-018	細胞内酵素活性測定用マイクロシステムの開発と癌細胞診断への適用検討	韓 愛善	40

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-019	分子間電子トンネル効果に基づくDNA鎖の塩基配列決定法	大城 敬人.....	41
XIX-020	光子とアロステリック結合する新規機能性RNAの構築と細胞内 活性制御法の開発	小笠原 慎治.....	42
XIX-021	マイクロ電極と機能性高分子を利用した高機能マイクロバイオ分 析デバイスの開発	佐々木 直樹.....	42
XIX-022	試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセットの開発	劉 明哲.....	43
XIX-023	極限的非線形分光法による電極界面水分子構造の決定	二本柳 聡史.....	44
XIX-026	非リボソーム型ペプチド合成酵素の分子認識機構の解明	奥村 英夫.....	46
XIX-027	糸状菌有用二次代謝産物生合成機構の解析と制御系の改変による 生合成の効率化	加藤 直樹.....	46
XIX-030	小胞体内腔における抗原トリミング複合体の活性発現機構の解明	後藤 芳邦.....	47
XIX-031	コヒーシオンによる姉妹染色分体接着の分子メカニズム	新富 圭史.....	48
XIX-032	アセチルCoAなどの代謝がヒストンの修飾を介してゲノムレベルで 遺伝子の発現に及ぼす影響に関する分子生物学的研究	高橋 秀和.....	49
XIX-033	ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による転写抑制機構の解明と新 規疾患治療薬への応用	古米 亮平.....	50
XIX-034	分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによるタンパク質アセチ ル化の包括的機能解析	松村 拓洋.....	51
XIX-035	ゴルジ体における膜脂質の非対称分布形成機構の解明	稻留 弘乃.....	52
XIX-036	革新的高輝度性能を実現するNEA光陰極電子源の開発研究	西谷 智博.....	53
XIX-037	網膜幹細胞ニッチにおける細胞間相互作用の形態学および分子 遺伝学的解析	久保 郁.....	54
XIX-038	植物受精機構を基盤とした真核生物接合メカニズムの研究	森 稔幸.....	55
XIX-039	一核子移行反応を用いた中性子過剰核の研究	近藤 洋介.....	56
XIX-041	陽子過剰核の反応断面積測定と陽子ハロー構造	武智 麻耶.....	56
XIX-043	超弦の場の理論の構成とその応用	岸本 功.....	57
XIX-045	RHIC-PHENIX偏極陽子陽子衝突実験における陽子内グルーオン 偏極構造関数の研究	外川 学.....	59
XIX-046	神経変性疾患におけるcross-seedingによるアミロイド形成制御機構	古川 良明.....	60
XIX-047	神経細胞維持・変性における細胞極性制御メカニズムaPKC-PAR シグナリングの機能解析	山中 智行.....	61
XIX-048	IP ₃ 受容体の分子内相互作用のチャンネル開口における機能の解明	榎本 匡宏.....	62
XIX-049	量子ドット1分子イメージングによるシナプス可塑性の分子機構の解明	坂内 博子.....	63
XIX-050	海馬神経細胞における空間的なカルシウムシグナル制御機構の解明	深津 和美.....	64
XIX-051	イノシトール三リン酸 (IP ₃) イメージングでの、カルシウム (Ca ²⁺) 振動機序の解明	松浦 徹.....	64

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-052	神経栄養因子の分泌に関わるタンパク質CAPS2の解析	定方 哲史	65
XIX-053	再び子供のように学ぶ：鳴禽類の成鳥における歌学習再可塑性の脳機構	福田 諭	66
XIX-054	幼虫が成虫へと変身する過程—変態を光で解き明かす	杉村 薫	67
XIX-057	位相幾何学的手法によるX線動的回折理論	澤田 桂	68
XIX-058	質量分析法による超巨大蛋白質複合体のダイナミクス解析法開発	山本 竜也	69
XIX-060	ストリゴラクトンによる植物の枝分かれ制御機構に関する研究	梅原 三貴久	70
XIX-061	RGA / GAI 相互作用因子GAF1によるジベレリン信号伝達機構の解析	深澤 壽太郎	71
XIX-062	オートファジー能欠損植物における新規細胞死促進因子の探索とその解析	吉本 光希	72
XIX-063	逆遺伝学手法を用いたアブシジン酸の新奇シグナル因子の同定と機能解析	岡本 昌憲	73
XIX-065	代謝プロファイリングに基づく宿主-腸内フローラ間相互作用の評価系の構築	福田 真嗣	74
XIX-067	ゼブラフィッシュを用いた、小脳発生のメカニズムに関する研究	田辺 光志	76
XIX-068	哺乳類の受精における細胞周期制御機構の解析	庄司 志咲子	77
XIX-069	単一細胞マイクロアレイによる、マウス生殖細胞形成を規定する機能遺伝子ネットワークの同定とその再構成	栗本 一基	77

◆ 平成20年度採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-001	K中間子ヘリウム3原子X線の精密測定	飯尾 雅実	81
XX-002	重イオン衝突直後の早期熱平衡化とクォーク・グルーオン・プラズマ形成に関する研究	古城 徹	82
XX-003	余剰次元模型における電弱対称性の破れに関する研究	阪村 豊	82
XX-004	RIBF-SLOWRI計画のための大強度RIビーム用ガスキャッチャーシステムの開発	園田 哲	83
XX-005	X線スペクトルの時間変動で探るブラックホール時空構造と一般相対論的降着円盤	高橋 労太	84
XX-006	雷活動からのX線や核 γ 線観測による電場での粒子加速の検証	土屋 晴文	86
XX-007	マグネターを手掛かりにした強磁場中性子星の高エネルギー現象の解明	中川 友進	87
XX-008	SPring-8 逆コンプトン γ 線ビームを用いたペンタクォークの研究	新山 雅之	88
XX-010	キューサー吸収線を用いた活動銀河核の研究	三澤 透	89
XX-011	X線撮像分光観測による超新星残骸の元素組成とその空間分布の測定	山口 弘悦	90
XX-012	原子核密度汎関数法に基づいた不安定原子核における集団運動の微視的記述	吉田 賢市	91

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-013	ミュオンスピン緩和法による量子臨界点近傍における磁性研究	大石 一城.....	93
XX-014	多バンドフェルミ流体が内包するゲージ理論的構造の解明	進藤 龍一.....	95
XX-015	パイロクロア磁性体における量子効果の理論的研究	田中 洋一.....	96
XX-016	大自由度集団現象の理論的解明：情報处理的な視点に立った新しいアプローチ	寺前 順之介.....	98
XX-018	芳香族化合物のC-H結合の直接的官能基化をめざした新規触媒系の開発	小山田 重蔵.....	99
XX-019	軸性不斉を完全制御した光電子機能性オリゴナフタレン類の創製	高石 和人.....	100
XX-020	ホスファターゼ阻害剤をプローブとしたホスファターゼ網羅的解析法の開発	久米田（土屋） 綾子 ..	101
XX-022	赤外分光及び蛍光顕微鏡による肺サーファクタントの構造と機能についての研究	盛田 伸一.....	102
XX-023	哺乳類卵母細胞に特有な核小体成分の同定と解析	大串 素雅子.....	103
XX-024	メタボロミクスを用いた植物におけるグルタチオン抱合体の網羅的解析及びグルタチオン分解酵素の単離解析	大津（大鎌） 直子.....	104
XX-026	光架橋技術を用いた分泌タンパク質の濃度勾配モデルの構築	櫻木 誠.....	104
XX-027	共生微生物が賦与する昆虫の寄主植物適応機構の解明	土田 努.....	105
XX-028	昆虫による植物形態操作や植物細胞制御の機構解明：植物ホルモン量の定量、および、植物遺伝子発現動態解析からのアプローチ	徳田 誠.....	107
XX-029	線虫の初期胚細胞分裂における微小管制御機構の解析	戸谷 美夏.....	108
XX-030	グローバルな日周運動を制御する作動原理の解明	中道 範人.....	109
XX-031	植物の低温ストレス応答に関与する新規RNAマスキング機構探索と機能解明	中南 健太郎.....	110
XX-032	ニワトリ初期胚において中胚葉細胞の遊走を制御する分子シグナリングの解明	仲矢 由紀子.....	111
XX-033	概日時計と器官サイズの制御機構に関する研究	新沼 協.....	112
XX-034	MEMSに基づく定量的な摂動・測定による生命システムの解析	山田 陸裕.....	112
XX-035	死細胞貪食に伴う免疫寛容誘導メカニズムの解明	浅野 謙一.....	113
XX-036	破骨細胞分化誘導時のカルシウム動態制御機構の解明	黒田 有希子.....	114
XX-038	メモリーB細胞の分化、維持機構の解明	米谷 耕平.....	115
XX-039	減数分裂期におけるクロマチン因子の常染色体／性染色体領域間移動の分子メカニズムの解明	堀澤（高田） 幸.....	115
XX-040	高精度な集団スパイク時系列を用いた皮質局所回路の解析	竹川 高志.....	116
XX-041	哺乳類の脳発達におけるREM睡眠の生理的意義の遺伝学的解析	林 悠.....	117
XX-042	鳥類の歌学習におけるカドヘリン分子群の役割	松永 英治.....	118
XX-044	視覚ノイズに反映される皮質内ダイナミクスに関する研究	脇坂 崇平.....	119

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-045	誘導パラメトリック発光顕微分光法の研究	磯部 圭佑	119
XX-046	アミロイドβ毒性多量体の生成メカニズムの解明へ向けた新規1 分子測定法の開発	寺田 尚史	121
XX-047	磁性体材料への超短パルスレーザー照射に関する研究	中嶋 聖介	122
XX-048	単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出とこれを実現する ナノ加工プロセスの確立	根岸 良太	123
XX-049	遷移金属酸化物中に導入されたナノ不均一構造の機能開拓 - 抵抗メモリ素子への応用	藤原 宏平	124
XX-050	半導体量子細線を用いた全電圧制御によるスピン演算素子の開発	森本 崇宏	125
XX-051	クーロン分解法を用いた陽子過剰核の磁氣的遷移強度の決定	榎野 泰宏	126
XX-052	電子相関と交差物性の理論的研究	桂 法称	127
XX-053	マンガン酸化物における巨大電気・磁気熱量効果	酒井 英明	128
XX-054	分子性導体における光誘起現象の研究	田久保 直子	129
XX-055	微生物資源からの新奇バイオブローブ探索	二村 友史	130
XX-056	ショウジョウバエ成虫肢の関節をモデルとした、細胞外マトリック スの形態形成の分子機構の解析	田尻 怜子	131
XX-057	神経幹細胞が自己増殖から神経産生モードへ遷移する機構の解明	今野 大治郎	132
XX-058	二光子励起蛍光顕微鏡を用いたリンパ節転移癌と免疫システムの 相互作用の解析	北野 正寛	132
XX-059	紫外近接場顕微鏡の開発	田口 敦清	133
XX-060	化学分解を利用したNMR法による高反応性リグニン結合型構造 の解明	秋山 拓也	135

◆ 平成21年度採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XXI-001	複雑な時系列処理を支える局所神経回路におけるネットワークダ イナミクスの解明	西川 淳	139
XXI-002	IP ₃ 受容体をモデルとしたリガンド結合型チャネルの開閉制御機構	山崎 美佳	140
XXI-003	哺乳類の脳の左右差の生理的・形態的解析	篠原 良章	140
XXI-004	MIRファミリーによる免疫受容体認識の分子機構の解明	梶川 瑞穂	141
XXI-005	マイクロデバイスを用いた選択的単一細胞遺伝子発現計測システ ムの開発とその免疫研究における応用	白崎 善隆	142
XXI-006	器官構築における細胞の位置情報の形成と維持に關与するエビ ジェネティクス機構の解明	薬師寺(上夏井) 那由他	143
XXI-007	M細胞分化制御因子の探索とM細胞分化機構の解明	金谷 高史	143
XXI-008	金属錯体を用いた新規分子性物質の開発および構造、物性の研究	崔 亨波	144

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XXI-009	導電性共有結合ネットワークをもつ新規超伝導体の探索	桂 ゆかり	145
XXI-010	導電性ダイヤモンドの表面および分子吸着のナノレベル解析	清水 智子	146
XXI-011	自己組織化機構を利用した金ナノロッドのデザイン	武仲 能子	147
XXI-012	配列させた分子を用いた光イオン化における時間分解光電子分光測定	水野 智也	148
XXI-013	窒化物半導体を用いた発光素子の研究	藤川 紗千恵	149
XXI-014	ナノ細線中のアンドレーエフ束縛状態の観測とコヒーレント操作	西尾 隆宏	152
XXI-015	ナノポアによる1分子糖鎖センサーの開発	武政 誠	153
XXI-016	マイクロファブリケーションを利用したバイオインターフェース制御技術の確立とそれによる生体・医療材料への応用	水谷 正義	153
XXI-017	脳型システムの制御・同期現象を利用した大容量情報処理技術の構築及び開発	安東 弘泰	156
XXI-018	光環境ストレス応答機構における葉緑体チラコイド膜構造のダイナミクス	岩井 優和	157
XXI-019	コンデンシンによる染色体機能制御	山下 大輔	158
XXI-020	光合成集光システムにおける環境応答機構の探索と機能解明	近藤 (小山内) 久益子 ..	159
XXI-021	ケミカルジェネティクスによる植物細胞の管状要素分化に伴う二次細胞壁パターン形成機構の解析	米田 新	159
XXI-022	細胞増殖と細胞成長の協調的制御を担う分子機構の解析	石田 喬志	160
XXI-023	植物細胞の分化全能性獲得の分子メカニズム	岩瀬 哲	162
XXI-024	動植物共通に必要な免疫レセプター制御機構の解明	門田 康弘	163
XXI-025	植物概日リズム制御機構のプロテオーム解析	藤原 すみれ	164
XXI-026	量子ビームエネルギー依存型プラントミューテーター誘発機構の研究	風間 裕介	165
XXI-027	次世代スーパーコンピュータ用超並列多体問題計算コード	似鳥 啓吾	167
XXI-028	磁気リコネクションにともなう磁気拡散機構に関する理論的研究	藤本 桂三	168
XXI-029	超高頻度原子核反応からの電子対測定によるハドロン質量起源の解明	青木 和也	169
XXI-030	SCRIT (自己閉じ込め型不安定核標的) による不安定核電子散乱実験	宮下 裕次	170
XXI-031	Mg同位体の励起状態の磁気モーメント測定による核構造研究	市川 雄一	171
XXI-032	モジュライ行列法を用いたソリトン解析とその応用の研究	衛藤 稔	172
XXI-033	不安定中重核におけるクラスターの相関と低エネルギー核反応	谷口 億宇	173
XXI-034	原子核の大振幅変形共存ダイナミクスの微視的研究	日野原 伸生	174
XXI-035	パリティ反転核反応プローブを用いた ⁴⁰ Caにおけるパイ中間子凝縮前兆現象の研究	笹野 匡紀	175

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XXI-036	荷電交換反応を用いた中性子過剰核のスピン軌道ポテンシャルの研究	坂口 聡志	176
XXI-037	高空間分解能半導体コンプトンカメラの「複数核種同時」3D分子イメージングへの応用	武田 伸一郎	177
XXI-038	フラストレート磁性体を中心とする量子多体系における新奇物性の探索及び基礎理論の構築	佐藤 正寛	178
XXI-039	冷却フェルミ原子気体における渦糸格子の研究	渡辺 元太郎	180
XXI-040	プロテアソームによる蛋白質分解におけるUnstructured領域の役割	伊野部 智由	182

基礎科学特別研究員
平成 18 年度採用者

高エネルギー宇宙現象を捉える 次世代シリコンピクセル検出器の研究開発

Development of Silicon Pixel Detector for Exploring High Energy Universe

研究者氏名：平賀 純子 Hiraga, S. Junko

受入研究室：基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

一光子検出型X線CCDは、X線天文分野で標準的検出器として活躍している。現在、次世代衛星搭載を目指し、これまででない10keV以上のX線にも高い感度を持つシリコン有感層の厚いCCDが開発されている。本研究では、電荷雲形状を実測することにより光電子の異方性を検出し、CCDを偏光検出器として活用することを目指す。

我々は、独自に開発した微細コリメータ(BP-1ガラス製マルチコリメータ；特願2005-048426)と、コリメータとCCDのアライメントを精密に決定する手法(特願2005-156855)を用いて、昨年度、牧島宇宙線研究室において、17.5keVの無偏光X線光子による電荷雲形状を世界で初めて実測し、10keV以上の高エネルギーX線に対して我々の実験手法の有効性を実証した。

本年度は、高エネルギー加速器研究機構における偏光ビームを用いた電荷雲形状実測実験を実施した。これまで、クロスコリレーション法を用いたアライメント決定に、数日の計算時間を要していたが、GPGPU(General Purpose computing GPU)を用いた並列計算プログラムを開発し、従来の手法よりも30倍以上に計算速度を向上させた。これにより、限られたビームタイム時間内にアライメントを決定し、実験データの解析を迅速に行えるシステムを構築し、実施した。結果、予想に反してアライメントパラメータが一意に決まらず、現在、原因を調査しつつデータ解析中である。また、前年度の結果を国際会議で口頭発表した。

私が開発している手法は、成功すれば、データ取得、解析手法を工夫し、専用の応答関数を用いるこ

とで、素子の設計を変更すること無く、既存のCCD素子に偏光検出能力をもたすことができる。従って、最先端のX線CCDが搭載される次期X線天文衛星Astro-Hの実現に貢献することは非常に重要であると考えている。私は、搭載CCD検出器開発チームのメンバーとして、ソフトウェア開発などで貢献し、CCD素子の特性を熟知した立場から積極的に参加している。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hiroya Yamaguchi, Midori Ozawa, Katsuji Koyama, Kuni Masai, Junko S. Hiraga, Masanobu Ozaki and Daisuke Yonetoku: "Discovery of Strong Radiative Recombination Continua from the Supernova remnant IC 443 with Suzaku", *ApJ* 705L 6-9 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Junko S. Hiraga, Shogo Nakamura, Kenji Miyamoto, Hayato Katakura, Hidenori Kawano, Yui Torigoe, Keiko Fujii and Hiroko Tawara: "The Direct Measurement of the Signal Charge Behavior beyond 10keV in CCDs with Subpixel Resolution", *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Florida(US)* Nov. 2009

(国内会議等)

平賀純子, 森浩二, 内山泰伸, 田中孝明: "超新星残骸 Vela Jr. からの熱的 X 線放射成分の探査", 日本天文学会 2009 年秋期年会, 山口, 9 月 (2009)

XVIII - 050 植物における mRNA 前駆体スプライシング活性制御機構とその生理的意義の解明

Studies on Physiological Significance of the Control of Pre-mRNA Splicing Activity in Plant

研究者氏名：武富(大谷) 美沙都 Ohtani, Misato

受入研究室：植物科学研究センター

形態制御研究チーム

(所属長 出村 拓)

mRNA前駆体スプライシングは、真核生物の遺伝子発現にとって不可欠の要素である。そのためスプライシングは静的、構成的なもののみならず、その動的な側面に目が向けられることは稀であった。これまでに私は植物細胞の持つ分化全能性に興味を持ち、シロイヌナズナ突然変異体を用いた分子遺伝学的解析を行ってきたが、その結果として脱分化、分裂組織新形成の過程ではスプライシング関連因子の機能不全が過程進行の制限要因となることを明らかにした。このことは、スプライシング活性の積極的な制御が生体内で重要な役割を果たしていることを示している。以上を受けて、本研究では、分化全能性の分子機構の解明を足掛かりとし、スプライシング活性の動的制御機構とその生理的意義の解明を目指して解析を行っている。

主な材料としているのは脱分化、分裂組織形成に温度感受性を示すシロイヌナズナ突然変異体、*srd2* および *rid1* である。これまでにSRD2はsnRNA (small nuclear RNA: 核内に存在する小さなRNAで、スプライソソームの構成成分)の転写活性化因子であり、*RID1*遺伝子はRNAヘリカーゼをコードしていることを明らかにしている。最終年度にあたる今年、主に両変異のスプライシングに対する影響を調べた。*rid1*変異体芽生え由来の液体培養細胞を確立し、これを用いたイントロン導入レポーター遺伝子の一過的導入を行った結果、*rid1*変異はスプライスサイトがコンセンサス配列を保っている場合には、そのスプライスアウト効率にあまり影響しないことが分

かった。また、*srd2*変異体の胚軸脱分化過程において、いくつかのスプライシング関連因子の遺伝子についてオルタナティブスプライシングパターンの異常を明らかにした。これらの結果は、両変異は全ての遺伝子のスプライシングに影響するのではなく、ある程度選択的に影響し、限られた遺伝子のスプライシングに異常をもたらす可能性を示唆している。

さらに、両変異体が強い温度感受性を示す胚軸脱分化過程を対象としてタイリングアレイ解析を行った。この結果から、1)脱分化の正常な進行に必要であり、両変異がその発現を攪乱する遺伝子(野生型では発現上昇するが両変異体ではその変動が抑えられる遺伝子)、および、2)変異によりスプライシングパターンが異常になる遺伝子(変異体ではイントロン領域の発現が有意に上昇する遺伝子)を、変異の下流因子候補としてそれぞれ257遺伝子、121遺伝子ずつ検出した。基礎科学特別研究員としての任期は今年で終了したが、今後はこれらの解析を進めることによって、スプライシング能力制御がどのようにして脱分化進行を制御しているのかを明らかにしていきたいと考えている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

大谷美沙都 出村拓 杉山宗隆："脱分化と分裂組織形成に関わるシロイヌナズナRID1遺伝子の解析", 日本植物学会第73回大会, 山形, 9月(2009)

線虫 *C. elegans* の生殖顆粒構成因子の
プロファイリングと機能解析

Structural and Functional Analysis of P Granule Components in *C. elegans*

研究者氏名：花澤 桃世 Hanazawa, Momoyo
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター
発生ゲノミクス研究チーム
(所属長 杉本 亜砂子)

多くの生物の生殖系列細胞に共通して、生殖顆粒とよばれる細胞内小器官が観察される。生殖顆粒は生殖細胞分化への運命決定に重要な役割を果たすと考えられているが、その重要性とは裏腹に生物間で構成因子の分子相同性が低く、生殖顆粒全体の機能は不明である。申請者のホスト研究室が所有する、線虫 *Caenorhabditis elegans* の胚抽出液を免疫して得られた抗原未知のモノクローナル抗体群 (KT 抗体)、および申請者が構築した培養細胞での線虫由来タンパク質発現系を用いて、生殖顆粒の構成因子、形成過程および制御機構の解明にせまることを研究目的とした。

今年度は、哺乳類培養細胞系を利用して得られた知見を応用し、線虫の生殖顆粒形成の解析を行った。

(1) 哺乳類培養細胞において細胞内局在を確認した線虫生殖顆粒構成因子群のうち、唯一顆粒形成能を示した PGL タンパク質 (PGL-1、PGL-3) と、細胞質に拡散した GLH-1 タンパク質を、線虫の体細胞において強制発現させたところ、培養細胞同様 PGL タンパク質のみ顆粒形成能が確認された。

(2) 培養細胞においては構成因子の多くが PGL タンパク質依存的に顆粒状構造体へ局在を示したため、線虫初期胚における、構成因子 (MEX-3、POS-1、GLH-1) の PGL タンパク質依存性を調べた。 *pgl* 遺伝子群の機能阻害の結果、MEX-3 および POS-1 については大部分が、GLH-1 は完全に、細胞質に拡散し、これら因子群の生殖顆粒へのリクルートに PGL タンパ

ク質が重要であることが示された。

(3) 培養細胞において PGL タンパク質間で顆粒形成能に差が見られた。線虫の初期胚体細胞において片方の PGL タンパク質の強制発現・もう一方の内在性 PGL タンパク質の機能阻害を同時に行ったところ、PGL-1 の顆粒形成には内在性 PGL-3 が必要であるのに対し、PGL-3 は PGL-1 非依存的に顆粒を形成し、培養細胞同様に PGL-3 の強い顆粒形成能が示された。

これらの結果から線虫の生殖顆粒形成過程において、PGL タンパク質が形成する顆粒状構造体が足場となり、他の構成因子群がリクルートされることで生殖顆粒が形成されるというメカニズムが明らかになった。今後は、培養細胞系の簡便性を活かすことで、困難だった生殖顆粒の標的 RNA の同定や、制御機能解析が進むと期待される。

●誌上発表 Publications

(総説)

花澤桃世, 米谷匡史, 杉本亜砂子: "線虫における生殖顆粒の形成と分配", 蛋白質 核酸 酵素 2009 増刊号, 印刷中.

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hanazawa M., Yonetani M., Sugimoto A.: "Self-aggregation of PGL proteins plays a crucial role in P granule assembly", 17th International *C. elegans* Meeting, California, USA, June (2009)

**未知の葉緑体シグナルによる
後期胚発生・発芽制御機構の Chemical genetics による解析
Chemical Genetic Analysis on Novel Plastid Signal which Regulates Late Embryogenesis
and Seed Germination**

研究者氏名：土屋 雄一郎 Tsuchiya, Yuichiro

受入研究室：植物科学研究センター

生長制御研究チーム

(所属長 神谷 勇治)

これまでの本研究にて、新奇植物ホルモンであるストリゴラクトンとよく似た構造を持つ人工化合物であるEL化合物の解析を行ってきた。EL化合物はプラスチドレトログレードシグナル経路を活性化する一方で、これとは独立にストリゴラクトンとよく似た生理活性を示すことが明らかとなった。人工ストリゴラクトンであるシロイヌナズナGR24要求性突然変異株のスクリーニングから光シグナルに欠損を生じた突然変異株hy2が分離され、詳細な解析の結果、胚軸の伸張、ゲノムワイドの遺伝子発現等、この突然変異形質の多くがGR24によってレスキューできることが明らかとなった。寄生植物を用いたバイオアッセイによりhy2突然変異株ではストリゴラクトンの生合成量が低下していることが解り、光シグナルがストリゴラクトンの生合成量を正に調節することで、下流のシグナル伝達が活性化される事が示唆された。さらに、光シグナル伝達を下流で制御する転写因子であるHY5を経由してストリゴラクトンが作用することが明らかとなり、hy5突然変異株がストリゴラクトン非感受性突然変異株であること、またGR24を与えることでHY5タンパク質の蓄積が誘導

されることが明らかとなった。これらのことから、ストリゴラクトンは光シグナル伝達を仲介するケミカルシグナルであると考えられる。ストリゴラクトンは寄生植物の種子発芽を刺激する宿主由来のシグナルであることから、寄生植物の進化の過程で光シグナルが欠損することでストリゴラクトン生合成量が低下することでストリゴラクトンを他の植物に依存する結果となったと考えられる。世界規模で多くの農業被害を引き起こす寄生植物の生理応答メカニズムをシロイヌナズナを使って解析することが可能であることが明らかとなり、光シグナル伝達を利用して寄生植物の生理をコントロールすることで有効に防除する方法を開発する新たな礎となると考えられる。

●口頭発表 Oral Presentations

土屋 雄一郎, Vidaurre Danielle, 神谷 勇治, Cutler Sean, 南原 英司, McCourt Peter : "ストリゴラクトンは光受容からHY5転写因子の分解を伝達するケミカルシグナルである" 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 3月 (2009)

基礎科学特別研究員
平成 19 年度採用者

Efficient Adaptive Signal Processing Techniques Based on Fixed Point Approximation with Its
Applications to Wireless Communication Systems

研究者氏名：湯川 正裕 Yukawa, Masahiro

受入研究室：脳科学総合研究センター

脳数理研究チーム

(所属長 甘利 俊一)

情報通信システムの急速な高度化に伴い、新世代の適応信号処理方式には①時間変動する未知系に対する高速かつ高精度な追従・推定能力、②雑音に対するロバスト性、③低計算コスト性、といった諸性質を同時に兼ね備えることが強く要請されている。本研究は、これらの複合的な課題を本質に解決することを目標としている。本年度の主な成果を以下に記す。

1. 並列劣勾配射影の低ランク実現法(巧く設計された低次元部分空間における実現法)を提案し、低計算コストで「高い推定精度・未知系の急変動に対する追従速度の飛躍的な向上」と「ガウス性雑音・インパルス雑音に対するロバスト性」が同時に達成されることを実証した。既存の低ランク方式の欠点を数理的に明らかにし、その解決法を与えるとともに、不動点理論に基づく厳密な解析を与えた。

2. 前年度に提案した「クリロフ比例法」で用いる重みパラメータの最適設計問題に対して、計算コストの低い手法を提案し、(計算コストの高い)最適重みに近接する性能が得られることを実証した。提案法は、計算コストを抑えるための線型制約を含む複数の制約条件下で、所定の推定誤差を達成するために必要な反復計算回数を最小化することにより導かれる。

3. 1994年にConvex Feasibility 問題のために提唱された「Split Feasibility」の概念を適応学習に拡張し、異なる複数の領域で得られる情報を同時に考慮することができる「多領域適応信号処理方式」を構築し、その有効性を実証するとともに、不動点理論に基づく収束解析を与えた。

4. 時間変化する計量に基づく一般的枠組み「時変計量適応劣勾配射影法」を構築し、多種の適応アルゴリズムに対する統一的な解析を与えることに成功した。本枠組みにより、更に高性能な適応アルゴリズムの発展が期待される。

5. 電力消費を抑えたMIMO通信システムの構築を

目的として、ある所望の通信路容量を保証する最小アンテナ部分集合選択問題を提唱した。この問題を厳密に解くためには組み合わせ論的な計算量が必要であるため、緩和問題として「凸制約付きエル1ノルム最小化」を提案し、この「非線型制約付き非可微分関数最小化問題」をMoreau エンベロープと呼ばれる可微分緩和に基づいて解く反復近似解法を導いた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yukawa M, Utschick W, "A fast stochastic gradient algorithm: Maximal use of sparsification benefits under computational constraints" IEICE Transactions on Fundamentals Vol.E93-A 2 pp467-475 (2010)

Yukawa M, Slavakis K, Yamada I, "Multi-domain adaptive learning based on feasibility splitting and adaptive projected subgradient method" IEICE Transactions on Fundamentals Vol.E93-A 2 pp456-466 (2010)

Yukawa M, Yamada I, "A Unified View of Adaptive Variable-Metric Projection Algorithms" EURASIP Journal on Advances in Signal Processing Vol.2009 pp1-13 (2009)

Yukawa M, Rodrigo d, Yamada I, "Robust reduced rank adaptive algorithm based on parallel subgradient projection and Krylov subspace" IEEE Transactions on Signal Processing Vol.57 12 pp4660-4674 (2009)

Yukawa M, Wolfgang U, "Proportionate adaptive algorithm for nonsparse systems based on Krylov subspace and constrained optimization" IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Taipei Taiwan 2009 4 IEEE U.S.A. New Jersey pp3121-3124 (2009)

Murakami Y, Yamagishi M, Yukawa M, Yamada I, "A sparse adaptive filtering using time-varying soft-thresholding techniques" Proceedings of IEEE International

- Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3 IEEE USA Bryan, TX pp3734-3737 (2010)
- Yukawa M, Slavakis K, Yamada I, "Multi-domain adaptive filtering by feasibility splitting" Proceedings of IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3 IEEE USA Bryan, TX pp3814-3817 (2010)
- Yukawa M, Yamada I, "A deterministic analysis of variable-metric adaptive filtering algorithms under small metric-fluctuations" Proceedings of IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3 IEEE USA Bryan, TX pp3730-3733 (2010)
- Yukawa M, Yamada I, "Minimal antenna-subset selection under capacity constraint for power-efficient MIMO systems: A relaxed ell_1 minimization approach" Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Dallas USA 2010 3 IEEE USA Bryan, TX pp3058-3061 (2010)
- Yukawa M, Konstantinos S, Yamada I, "Signal processing in dual domain by adaptive projected subgradient method" IEEE International Conference on Digital Signal Processing Santorini Greece 2009 7 IEEE U.S.A. New Jersey pp1-6 (2009)
- Yukawa M, Yamada I, "An Efficient Parallel Variable-metric Projection Algorithm Based on Set-theoretic and Krylov-proportionate Adaptive Filtering Techniques" Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference Sapporo Japan 2009 10 APSIPA Hong Kong Kowloon pp418-421 (2009)
- Yukawa M, "A natural rank-selection criterion for Krylov-subspace-based filtering techniques" Technical Report of IEICE Kushiuro Japan 2009 11 IEICE Japan Tokyo pp117-120 (2009)
- Yukawa M, Konstantinos S, Yamada I, "Multi-domain adaptive learning" Proc. IEICE Society Conference Niigata Japan 2009 9 IEICE Japan Tokyo pp77-77 (2009)
- Murakami Y, Yamagishi M, Yukawa M, Yamada I, "A sparse adaptive filtering using iterative soft-thresholding techniques" IEICE Signal Processing Symposium Kagoshima Japan 2009 11 IEICE Japan Tokyo pp22-27 (2009)
- Yukawa M, Yamada I, "An analysis for a certain family of adaptive filtering algorithms based on variable-metric adaptive projected subgradient method" IEICE Signal Processing Symposium Kagoshima Japan 2009 11 IEICE Japan Tokyo pp314-319 (2009)
- Yukawa M, Yamada I, "A new problem formulation of MIMO antenna selection: Iterative minimization of the Moreau envelope of l_1 -norm under nonlinear constraints" IEICE Signal Processing Symposium Kagoshima Japan 2009 11 IEICE Japan Tokyo pp373-377 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Murakami Y, Yamagishi M, Yukawa M, Yamada I, "A sparse adaptive filtering using time-varying soft-thresholding techniques" International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3
- Yukawa M, Slavakis K, Yamada I, "Multi-domain adaptive filtering by feasibility splitting" International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3
- Yukawa M, Yamada I, "A deterministic analysis of variable-metric adaptive filtering algorithms under small metric-fluctuations" International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3
- Yukawa M, Yamada I, "Minimal antenna-subset selection under capacity constraint for power-efficient MIMO systems: A relaxed ell_1 minimization approach" International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Dallas USA 2010 3
- Yukawa M, Wolfgang U, "Proportionate adaptive algorithm for nonsparse systems based on Krylov subspace and constrained optimization" IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing Taipei Taiwan 2009 4
- Yukawa M, Konstantinos S, Yamada I, "Signal processing in dual domain by adaptive projected subgradient method" IEEE International Conference on Digital Signal Processing Santorini Greece 2009 7
- Yukawa M, Yamada I, "An Efficient Parallel Variable-metric Projection Algorithm Based on Set-theoretic and Krylov-proportionate Adaptive Filtering Techniques" Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference Sapporo Japan 2009 10 APSIPA Hong Kong Kowloon pp418-421 (2009)

ciation Annual Summit and Conference Sapporo Japan 2009 10

Yamada I, Yukawa M, "Minimizing the Moreau envelope of nonsmooth convex function over the fixed point set of certain quasi-nonexpansive mappings" Interdisciplinary Workshop on Fixed-Point Algorithms for Inverse Problems in Science and Engineering Banff Canada 2009 11

(国内会議)

湯川 正裕, "A natural rank-selection criterion for Krylov-subspace-based filtering techniques" 電子情報通信学会信号処理研究会 釧路 日本 2009 7

湯川 正裕, Konstantinos Slavakis, 山田 功, "Multi-domain adaptive learning" 電子情報通信学会ソサイエティ大会 新潟 日本 2009 9

村上 幸弘, 山岸 昌夫, 湯川 正裕, 山田 功, "A sparse

adaptive filtering using iterative soft-thresholding techniques" 電子情報通信学会信号処理シンポジウム 日本 2009 11

湯川 正裕, 山田 功, "An analysis for a certain family of adaptive filtering algorithms based on variable-metric adaptive projected subgradient method" 電子情報通信学会信号処理シンポジウム 日本 2009 11

湯川 正裕, 山田 功, "A new problem formulation of MIMO antenna selection: Iterative minimization of the Moreau envelope of l1-norm under nonlinear constraints" 電子情報通信学会信号処理シンポジウム 日本 2009 11

湯川 正裕, "On use of multi-metric projection in adaptive filtering" 電子情報通信学会研究会 宮古島 日本 2010 3

XIX - 002 量子化学の新しい基礎理論の開発:密度行列の直接決定法 Development of a New Theory of Quantum Chemistry: Direct Determination of Second-Order Reduced Density Matrices

研究者氏名: 中田 真秀 Nakata, Maho

受入研究室: 情報基盤センター

技術開発ユニット

(所属長 姫野 龍太郎)

量子化学において、重要な物理量は二次の密度行列(2-RDM)から計算される。変数も系の大きさに依存せずいつでも四つのため、Schrödinger方程式を解いて波動関数を求める、という複雑な過程を経ず、2-RDMを直接決定することで、より簡単な量子化学の方法を構築したい。基底状態については変分法で計算すれば良く、その場合は N -representability条件という特殊な条件を満たさねばならない。いくつかの研究が1970年代にはあったが、その後この方向ではあまり進展が無かった。2001年我々は半正定計画法という手法を用いる系統的な計算方法を開発し、多くの系に適用しよい結果を得た。これを踏まえ、簡単な量子化学の方法の実用化を研究している。

本年度は、より大きな系への応用するための準備として、size-extensivityという性質が満たされているかを確認した。これは二つの同じ分子が無遠に離れて存在するとき、系の全エネルギーは、ひとつの分子の二倍になっているか、という性質である。

しかし満たされていなかった。また、前年度に引き続き、多倍長精度演算ライブラリである MPACK (MBLAS/MLAPACK)を作成しており、0.6.0バージョンをリリースした(2009/11/24)。半正定値計画法ソルバーのSDPA-GMP, DD, QDのバグ修正バージョンを2009/10/15にリリースした。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Nakata Maho, Yasuda Koji, "Size-extensivity of the variational reduced density matrix method" Physical Review A Vol.80 4 pp042109 (2009)
2. Waki Hayato, Nakata Maho, Muramatsu Masakazu, "Strange Behaviors of Interior-point Methods for Solving Semidefinite Programming Problems in Polynomial Optimization" Computational Optimization and Application, accepted.

(国際会議)

1. Nakata Maho, "Recent progresses in the variational reduced-density-matrix method" 50th Sanibel Symposium Florida USA 2010 2-3
2. Makoto Yamashita, Fujisawa Katsuki, Fukuda Mitsuhiro, Futakata Yoshiaki, Kobayashi Kazuhiro, Kojima Masakazu, Nakata Kazuhide, Nakata Maho, "Parallel Software for SemiDefinite Programming with Sparse Schur Complement Matrix" International Symposium on Mathematical Programming Chicago USA 2009 8
3. Nakata Maho, "Multiple Precision Arithmetic Versions of SDP Solvers; SDPA-GMP, SDPA-QD and SDPA-DD" International Symposium on Mathematical Programming Chicago USA 2009 8
4. Nakata Maho, "The Reduced Density Matrix Method: Current status and open problems" Canadian Chemistry Conference and Exhibition Hamilton Canada 2009 8
5. Nakata Maho, "Recent progresses in the variational reduced-density-matrix method", the 50th Sanibel Symposium, Florida, 2010 2

(国内会議等)

1. 中田 真秀, "MPACK 0.5.2:多倍長精度版 BLAS の LAPACK の開発" 線形計算研究会 東京大学本郷

キャンパス 工学部 6 号館三階セミナー室 B 日本 2009 12-11

2. 中田 真秀, "MPACK 0.5.0:多倍長精度版 BLAS の LAPACK の開発" 日本応用数学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会 国立情報学研究所 20 階セミナー室 1 (2006) 日本 2009 11
3. 中田 真秀, "第一部:量子化学からでてくる半正定値計画と多倍長計算 二部:オープンソースコミュニティでのソフトウェア開発とコミュニティマネジメントについて OpenOffice.org/FreeBSD.org への参加を通して" 日本オペレーションズ・リサーチ学会 研究部会 計算と最適化の新展開中央大学 後楽園キャンパス 6 号館 4 階 6402 号室 日本 2009 7
4. 藤澤 克樹, 後藤 和茂, 中田 真秀, 高宮安仁, 山下 真, "半正定値計画問題に対するソフトウェア開発で用いられる新技術について" 京都大学数理解析研究所研究集会 21世紀の数値計画: アルゴリズムとモデリング 京大会館 210 号室 日本 2009 7
5. 脇 隼人, 中田 真秀, 村松 正和, "ある半正定値計画問題に対する内点法の奇妙な振る舞いについて" 第 38 回数値解析シンポジウム 熱川ハイッ 日本 2009 6

XIX - 003 銀河団重力レンズクエーサーを用いた宇宙の暗黒物質モデルの検証 Probing Dark Matter through Cluster-Scale Gravitationally Lensed Quasars

研究者氏名: 稲田 直久 Inada, Naohisa

受入研究室: 基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

可視光広域サーベイ観測計画「スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS)」のデータを用いた重力レンズクエーサーの探索を行った。この「重力レンズ(重力レンズ現象)」とはアインシュタインの一般相対性理論から帰着されるもので、背景からの天体の光がちょうどその手前にある天体の重力によって歪められ、見かけ上複数の像をもって観測されるという天体現象である。この重力レンズ現象、特に、重力レンズされたクエーサーが発生する頻度(すなわち、クエーサーの母集団のうち幾つが重力レンズ現象を受けているかという割合)は、宇宙の全質量の大半を占めると考えられている未知のエネルギーであ

る「暗黒エネルギー」の存在量に強く依存するため、昨年度において作成した重力レンズクエーサーの統計的なカタログを用い、暗黒エネルギーの存在量およびその性質(状態方程式の係数)への制限付けを行った。その結果、「重力レンズクエーサーの頻度」という観点からは、暗黒エネルギーが宇宙の全質量の79%を占め、またその性質はアインシュタインが導入した「宇宙項」に矛盾しないことが示された。さらに、重力レンズ現象によって作られたクエーサーの見かけ上の像が持つ天球上の角度がクエーサーまでの距離に依存しないことを示し、それにより宇宙の曲率が0、すなわち宇宙が平坦であるということを支

持する結果が得られている。これらの結果は他の観測、例えば宇宙マイクロ波背景放射の観測を用いたものなどと良く一致している。

また、この重力レンズクエーサーの統計的なカタログの規模をより大きくするために(すなわち統計的な不定性をより小さくするために)昨年度同様ハワイ大学2.2 m 望遠鏡などを用いた観測を継続し、J1054+2733、J1131+1915、J1304+2001、J1349+1227、J1455+1447、J1620+1203という6つの重力レンズクエーサーを新たに発見している。これらの新しい発見を2010年春に予定されている観測の結果と合わせることで、昨年度において作成した統計カタログのおよそ1.5倍の規模を持つものが完成する予定である。さらに本年度においては、上記の研究に加え、重力レンズ現象を受けた“銀河”の発見、および、重力レンズされたクエーサー像の光路差を利用した重力レンズクエーサーの新たな発見方法の開発にも携わっている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Inada N, Oguri M, Shin M, Kayo I, Strauss M, Morokuma T, Schneider D, Becker R, Bahcall N, York D, "Five New High-Redshift Quasar Lenses from the Sloan Digital Sky Survey" The Astronomical Journal Vol.137 5 pp4118-4126 (2009)

Lacki B, Kochanek C, Stanek K, Inada N, Oguri M, "Difference Imaging of Lensed Quasar Candidates in the Sloan Digital Sky Survey Supernova Survey Region" The Astrophysical Journal Vol.698 1 pp428-438 (2009)

Lin H, Buckley-Geer E, Allam S, Tucker D, Diehl T, Kubik D, Kubo J, Annis J, Frieman J, Oguri M, Inada N, "Discovery of a Very Bright, Strongly Lensed $z = 2$

Galaxy in the SDSS DR5" The Astrophysical Journal Vol.699 2 pp1241-1251 (2009)

(その他)

稲田 直久, "可視光広域サーベイデータを用いた重力レンズクエーサーの探索" 天文月報 Vol.102 12 pp747-758 (2009)

●口頭(ポスター)発表 Oral (Poster) Presentations

(国際会議)

Inada N, "The Sloan Digital Sky Survey Quasar Lens Search" Joint Subaru/Gemini Science Conference Kyoto Japan 2009 5

Inada N, Kawaharada M, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Makishima K, Takahashi R, "Probing Evolution of Hot Gas and Galaxy Distributions in Galaxy Clusters" The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H Otaru Japan 2009 6-7

Inada N, Kawaharada M, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Makishima K, Takahashi R, "Probing Evolution of Hot Gas and Galaxy Distributions in Galaxy Clusters" Chandra's First Decade of Discovery Boston USA 2009 9

(国内学会等)

稲田 直久, 大栗 真宗, 加用 一者, 諸隈 智貴, "広視野撮像・分光サーベイデータを用いた重力レンズ探索" 日本天文学会 2009 年秋季年会 山口大学 日本 2009 9

稲田 直久, "UH88/UKIRTを用いた重力レンズ探索: 進展状況の報告" 2009 年光赤外ユーザーズミーティング 国立天文台 日本 2009 8

稲田 直久, "重力レンズクエーサーと吸収線" 第3回クエーサー吸収線研究会 長崎県雲仙市 日本 2009 12

XIX - 006

最遠方原始銀河の観測で探る 宇宙の再電離と初期天体形成・進化の歴史

Observational Study of Reionization and Galaxy Evolution at High Redshift Universe

研究者氏名: 太田 一陽 Ota, Kazuaki

受入研究室: 基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

宇宙は137億年前に誕生した時、電離状態だった

が、その後冷えて中性水素原子が形成され中性化し

た。暫く天体(光)が存在しない「暗黒時代」が続いたが、最初の天体ができた時、その光で宇宙の中性水素を「再び」電離し始めた。この再電離時期を調べれば、暗黒時代以降の宇宙や天体の進化を詳細に理解できる。宇宙マイクロ波背景放射の観測から、再電離は赤方偏移が $z=9.6-12.4$ (宇宙年齢45億年)頃に起こり、クエーサーや γ 線バーストの観測から $z\sim 6$ (9億年)頃には宇宙の中性水素残量が0~数%であるのが確認され、この時期に完了した可能性が有望視されている。しかし、その間の時代(5-9億年)は観測が難しく、再電離の状況がよく分かっていない。そこで本研究では、 $z=7$ (7.5億年)時代の銀河を観測し、その時代の宇宙の再電離と銀河の進化の状況について調べた。本年度は以下の3つの研究を進めた。

(1) $z=7$ 銀河は波長 $1\mu\text{m}$ 付近でライマン α 輝線という強い光を出す。最近、ハワイ島マウナケア山にある、日本の口径8.2mすばる望遠鏡の主焦点カメラの検出器が波長 $1\mu\text{m}$ 付近に対し感度の良い完全空乏型CCDに交換された。そこで、 $1\mu\text{m}$ 付近の光だけを透す特別なフィルターを取り付け、明るい星がない天域を長時間撮像した。その結果、6個の $z=7$ 銀河候補を検出し、 $z<7$ 時代に比べ同種の銀河の個数密度が少ない事が分かった。これは、宇宙に残存する中性水素がライマン α 輝線の光子を吸収する為、観測できる銀河個数が減った事を示唆する。この個数減少量から見積もると、 $z=7$ 宇宙の中性水素残量は約40-56%であり、 $z\sim 6$ 宇宙に比べ有意に残量が多かった。これは、 $z=7$ では再電離が完了していない事になり、「再電離は $z=9.6-12.4$ 頃に起こり $z\sim 6$ 頃に完了した」というこれまでの観測結果を支持する。

(2)これら6個の $z=7$ 銀河候補が本物かを確認する為、2009年11月、口径10m米国Keck望遠鏡で分光観測した。天候不良で4割しかデータが取れなかったが、現在その解析を進めている。

(3)現在発見されているの中では最も昔の $z=6.96$ (9億年宇宙)の銀河をすばる望遠鏡の可視光、米国Kitt Peak天文台4m望遠鏡と英国4mUKIRT望遠鏡の近赤外線、NASAのSpitzer宇宙望遠鏡の中間赤外線カメラで観測したデータを使い、この銀河の質量を調べた。その結果、太陽の約10億倍の質量であり、再電離完了の $z\sim 6$ (9億年宇宙)の銀河に比べ約5~10倍小さい事が分かった。この銀河の星形成率と1.5億年の期間から計算すると、この銀河は $z\sim 6$ で見られる銀河へと進化できる事が分かった。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ota K, Iye M, Kashikawa N, Ouchi M, Shimasaku K, Totani T, Kobayashi M, Morokuma T, Nagashima M, Furusawa H, Hattori T, Kodaka N, Harayama A, "Deep survey of $z=7$ Ly-alpha emitters with the new red-sensitive CCDs on Subaru/Suprime-Cam" REIONIZATION@RINGBERG: The Cosmic Evolution of Helium and Hydrogen Ringberg Castle Germany 2009 3-3

Ota K, Iye M, Kashikawa N, Ouchi M, Shimasaku K, Totani T, Kobayashi M, Morokuma T, Nagashima M, Furusawa H, Hattori T, "Deep survey of $z=7$ Ly-alpha emitters in the Subaru/XMM-Newton deep field: implications for reionization" Joint Subaru/Gemini Science Conference Kyoto Japan 2009 5-5

Ota K, Iye M, Kashikawa N, Ouchi M, Shimasaku K, Totani T, Kobayashi M, Morokuma T, Nagashima M, Furusawa H, Hattori T, "New deeper surveys of $z=7$ Ly-alpha emitters in the Subaru Deep Fields: implications for galaxy evolution and reionization" The Lyman Alpha Universe Paris France 2009 7-7

(国内学会等)

太田 一陽, 家 正則, 柏川 伸成, 大内 正己, 嶋作 一大, 戸谷 友則, 小林 正和, 長嶋 雅弘, 諸隈 智貴, 古澤 久徳, 服部 堯, "すばる望遠鏡主焦点カメラ赤感 CCDを用いた $z=7$ ライマン α 輝線銀河の探査" 日本天文学会 2009 年秋季年会 山口大学 日本 2009 9-9

太田 一陽, "Deep surveys of $z=7$ Ly α emitting galaxies with Subaru Telescope: implications for galaxy evolution and reionization" IPMU ACP (Astronomy · Cosmology · Particle Physics) Seminar 東京大学・数物連携宇宙研究機構 日本 2009 8-8

太田 一陽, "TAO 近赤外線による遠方銀河の探査" University of Tokyo Atacama Observatory (TAO) 近赤外線装置ワークショップ 東京大学天文学教育研究センター 日本 2009 9-9

太田 一陽, "高赤方偏移ライマン α 輝線銀河で探る銀河進化と宇宙再電離" LIRA (Laboratory of Infra-red Astrophysics) Colloquium 宇宙航空研究開発機構(JAXA)・宇宙科学研究本部(ISAS)・赤外線天体物理学 日本 2009 9-9

XIX - 007 「すざく」衛星を用いた銀河団における粒子加速の研究
Study of Particle Acceleration in Galaxy Clusters with Suzaku

研究者氏名：川原田 円 Kawaharada, Madoka
受入研究室：基幹研究所
牧島宇宙放射線研究室
(所属長 牧島 一夫)

本研究は、銀河団に付随する数千万度の高温プラズマ中における粒子加速について、加速された粒子が宇宙背景放射を逆コンプトン散乱したときに放射する硬X線からの信号を、「すざく」衛星で検出を試みるものである。今年度は、近傍で力学的緩和過程が進んだ代表的な銀河団の1つである、Abell 2199について研究を行い、その成果は学術雑誌に掲載が決定している (Kawaharada et al. 2010, PASJ in press)。この銀河団は、銀河団衝突などの激しいエネルギー流入の痕跡が無いにも拘らず、過去の衛星の観測から、X線スペクトルの低エネルギー側と高エネルギー側に、熱的な信号からの超過成分が示唆されていた。しかし、この天体を「すざく」で観測した結果、これらの超過成分は有意には検出されず、従来よりも2.1倍厳しい上限値をつけることができた。この上限は、銀河団中において、粒子加速に使用されるエネルギー入射レートにすると、 8.4×10^{44} erg/s 以下であり、銀河団衝突時に期待される、粒子加速のためのエネルギー入射レートよりも1桁小さい。銀河団衝突によるエネルギー注入は、 10^9 年程度続くので、A2199は銀河団衝突が起きてから、 10^9 年以上経った系であると考えられる。

上記の粒子加速に関する成果以外にも、銀河団外縁部の研究について、大きな進展があった。「すざく」衛星のAbell 1689銀河団のデータから、銀河団のビリアル半径 (2.9 Mpc) のX線信号を 4σ の有意度で検出することに成功し、高温ガスの温度が中心の ~ 10 keV から、ビリアル半径付近では ~ 2 keVまで、徐々に低下していくことがわかった。しかも、ビリアル半径付近の温度には方向依存性があり、北東方向では ~ 5 keV と、ほかの方向にくらべて、2倍ほど温度が高い。Sloan Digital Sky Surveyのデータから、銀河の個数密度マップを作製すると、この

銀河団から北東方向に延びるフィラメント構造が存在し、ほかの方向にはないことがわかった。さらに、重力レンズデータから得られる重力分布に対して、ガスが静水圧平衡で存在していると仮定すると、北東方向のガスの温度やエントロピーはこの仮定と無矛盾だが、ほかの方向では熱的なガス圧だけでは重力を支えるのに足りない。このことから、北東のフィラメント方向以外では、ガスの静水圧平衡が破れており、ガスのバルクな運動や乱流の圧力が寄与している可能性が高い。このように宇宙の大規模構造に起因する高温ガスの非等方性が見つかったのは世界初で、この成果は学術雑誌に投稿中である (Kawaharada et al. 2010, ApJ submitted)。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Kawaharada M, Makishima K, Kitaguchi T, Okuyama S, Nakazawa K, Fukazawa Y, "Suzaku constraints on the soft and hard excess emissions from Abell 2199" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol. pp1-28 (2010)
2. Bautz M, Miller E, Sanders J, Mushotzky R, Porter S, Hayashida K, Henry P, Hughes J, Kawaharada M, Makishima K, Sato M, Tamura T, "Suzaku observations of Abell 1795: cluster emission to r200" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol.61 5 pp1117-1133 (2009)
3. Takahashi I, Kawaharada M, Makishima K, Matsushita K, Fukazawa Y, Ikebe Y, Kitaguchi T, Kokubun M, Nakazawa K, Okuyama S, Tamura T, "X-ray diagnostics of thermal conditions of the hot plasmas in the Centaurus cluster" Astrophysical Journal Vol.701 1 pp377-395 (2009)

4. Nakazawa K, Sarazin C, Kawaharada M, Kitaguchi T, Okuyama S, Makishima K, Kawano N, Fukazawa Y, Inoue S, Takizawa M, Wik D, Finoguenov A, Clarke T, "Hard X-ray properties of the merging cluster Abell 3667 as observed with Suzaku" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol.61 2 pp339-355 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Kawaharada M, Okabe N, Nakazawa K, Takizawa M, Umetsu K, "Suzaku detection of the ICM emission out to the virial radius in Abell 1689" The Energetic Cos-

mos: from Suzaku to Astro-H Otaru Japan 2009 6

2. Kawaharada M, Makishima K, Nakazawa K, Kitaguchi T, Okuyama S, Matsushita K, Fukazawa Y, Inada N, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Takahashi R, "A galaxy merger scenario for NGC 1550 and other clusters" X-ray Astronomy 2009 Bologna Italy 2009 9 (国内学会等)

川原田 円, 岡部 信広, 中澤 知洋, 滝沢 元和, 梅津 敬一, "「すぎく」による Abell 1689 銀河団外縁部の高温ガスの研究" 日本天文学会2009年秋季年会 山口 日本 2009 9

XIX - 008

宇宙嵐の発生メカニズムの解明

Study of the Generation Mechanism of Space Storms

研究者氏名: 片岡 龍峰 Kataoka, Ryuho

受入研究室: 基幹研究所

戎崎計算宇宙物理研究室

(所属長 戎崎 俊一)

放射線帯における気象衛星の通信途絶や、激しいオーロラ活動に伴う誘導電流による地上電力供給ラインの断絶など、現代生活に大きな被害をもたらす宇宙嵐は、太陽風の磁場擾乱に対する磁気圏応答の一つの結果である。その磁場擾乱自体の発生メカニズムは諸説提唱されているが、未だに定量的な予測に成功した例はない。太陽風の加速・伝播中の磁場擾乱の非線形発展を数値実験によって再現することで、宇宙嵐を引き起こす原因を解明することが本研究の目的である。

本年度は、3次元太陽風シミュレーションに新たなコロナ質量放出モジュールを組み込むことで、ひとつの宇宙嵐を定量的に再現することに成功し、論文として発表した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kataoka, R., T. Ebisuzaki, K. Kusano, D. Shiota, S. Inoue, T. Yamamoto, and M. Tokumaru, Three-dimensional magnetohydrodynamic (MHD) modeling of the solar wind structures associated with 13 December 2006

coronal mass ejection, submitted to J. Geophys. Res., doi:10.1029/2009JA014167, in print, (2009)*

Kataoka, R., Y. Miyoshi, and A. Morioka, Hilbert-Huang Transform of geomagnetic pulsations at auroral expansion onset, J. Geophys. Res., doi: 10.1029/2009JA014214, in print, (2009)*

Kataoka, R., K. Hosokawa, N. Nishitani, and Y. Miyoshi, SuperDARN Hokkaido radar observation of westward flow enhancement in subauroral latitudes, Ann. Geophys., 27, 1695-1699 (2009)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

片岡龍峰, 三好由純, 森岡昭, Hilbert-Huang Transform of geomagnetic pulsations at auroral expansion onset, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉, 2009年5月16日-5月21日. (2009)

片岡龍峰, 三好由純, 最強の放射線帯嵐を駆動する太陽風構造, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉, 2009年5月16日-5月21日. (2009)

ベリリウム不安定同位体に対する
 $2^2S_{1/2}-2^2P_{1/2}$ 遷移周波数の精密測定による荷電半径測定
 Nuclear Charge Radii Determination for Unstable Beryllium Isotopes
 by Precision Laser Spectroscopy for $2^2S_{1/2}-2^2P_{1/2}$ Transition

研究者氏名：高峰 愛子 Takamine, Aiko
 受入研究室：仁科加速器研究センター
 低速RIビーム生成装置開発チーム
 (所属長 和田 道治)

中性子ハロー核 ^{11}Be の荷電分布と磁化分布の大きさをレーザー分光という電磁的なプローブで独立に測定することを目的とし、Be同位体の荷電半径と超微細構造定数を決定した。

Beのような軽い核の荷電半径を十分な精度で決定するには約 10^6MHz の遷移周波数を9桁以上の精度で測定することが必要である。また、超微細構造分離を精度よく測定するために、ドップラー幅を小さくするべく冷却されたBeイオンが必要である。理化学研究所の不安定核分離装置RIPSで得られる高速の不安定Be同位体を高周波イオンガイドで効率良く捕集し、超高真空中にあるイオントラップ中に捕獲して、 $2^2S_{1/2}-2^2P_{3/2}$ 転移に共鳴する強いレーザー光でレーザー冷却することで15桁ものエネルギー減衰を達成した。ただし、冷却光によるスペクトルは冷却する過程で冷却と加熱が非線形的に起こるため非対称型になると同時に、冷却光が強いためパワー広がりやシフトも起こってしまうので、周波数の高精度決定に適さない。そこで、冷却されたBe同位体イオンに対し、強いレーザー光と弱いレーザー光を十分短い時間間隔で交互に照射し、弱いレーザー光の周波数を掃引して、パワー広がりやシフトを避けたローレンツ型のスペクトルを得ることができた。更に線幅を狭くするだけでなく絶対周波数を正確に決定するために、周波数コムを用いてレーザー光の周波数を校正した。これにより $2^2S_{1/2}-2^2P_{3/2}$ 遷移の絶対周波数を9~10桁の精度で決定することができた。また、弱いレーザー光の代わりにマイクロ波を強いレーザー光と交互に照射することで超微細構造分離を直接測定し、超微細構造定数を精密に決定することにも成功した。

本年は $^{7,10,11}\text{Be}^+$ に対し $2^2S_{1/2}-2^2P_{3/2}$ 遷移を観測することに成功し、その周波数を9~10桁の精度で決定し、これまでの結果と併せて $^{7,10,11}\text{Be}$ の荷電半径を決定し

た。また、 $^{11}\text{Be}^+$ の超微細構造分離の全ての準位間の遷移を測定し、特に磁場依存性の小さい(F,mF)=(0,0)→(1,0)遷移の測定結果から超微細構造定数を9桁の精度で決定した。これは昨年測定した $^7\text{Be}^+$ よりも20倍も良い精度で決定できたことになる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takamine A, Wada M, Okada K, Nakamura T, Sonoda T, Lioubimov V, Iimura H, Yamazaki Y, Kanai Y, Kojima T, Yoshida A, Kubo T, Katayama I, Ohtani S, Wollnik H, Hans A, "Isotope shift measurements of $^{11}\text{Be}^+$ " The European Physical Journal A Vol. pp1-5 (2009)

Wada M, Takamine A, Sonoda T, Schury P, Okada K, SLOWRI Collaboration, "Precision laser spectroscopy of Be isotopes and prospects for SLOWRI facility at RIKEN" Hyperfine Interactions (2010) DOI:10.1007/s10751-010-0162-y

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takamine A, "Precision Isotope shifts (E0, M1) Measurements of Be Isotopes" Arctic FIDIPRO-EFES Workshops Saariselka Finland 2009 4

Takamine A, Wada M, Sonoda T, Nakamura T, Yamazaki Y, Kanai Y, Kojima T, Kubo T, Okada K, Schury P, Iimura H, Katayama I, Ohtani S, Hans A, "Precision laser and microwave spectroscopy of radioactive Be isotopes provided from a projectile fragment separator RIPS" 3rd Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (HAW09) Waikoloa, Hawaii USA 2009 10

研究者氏名：古川 俊輔 Furukawa, Shunsuke

受入研究室：基幹研究所

古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

幾何学的フラストレーションのある量子磁性体においては、通常の磁気秩序が抑制され、カイラル秩序、ネマティック秩序など、多様な秩序が発現する。また、スピン液体と呼ばれる、局所的秩序変数では特徴づけられないような相の存在も提案されている。このような系を理論的に記述するには、通常のスピン波描像を超えた、非摂動的な取り扱いが必要となる。量子スピンモデルを、多体系の非摂動的な手法を用いて解析し、現実の磁性体の理解や新現象の提案に結びつけることを、研究の目的としている。本年度は以下の二つの研究に取り組んだ。

(1) 最近接、次近接相互作用 J_1 、 J_2 の競合する、フラストレート・スピン鎖は、フラストレーションを含む最も基本的な系の一つである。近年、特に J_1 が強磁性的、 J_2 が反強磁性的な場合に対応した銅酸化物系 LiCuVO_4 、 LiCu_2O_2 などにおいて、スピンのベクトル・カイラル秩序に起因する強誘電性(マルチフェロイクス)が観測され、理論的・実験的にも興味を持たれている。そこで我々は、カイラル秩序を誘起する摂動として容易面異方性を含む、スピン $1/2$ J_1 - J_2 鎖モデルを考え、その基底状態相図を数値的・解析的に決定した。その結果、カイラル秩序相が、異方性の弱い場合を含む、広いパラメーター領域に広がっていることを見出した。このような、一次元系におけるカイラル秩序の安定性が、上記銅酸化物における強誘電性の観測と関係していると考えられる。また、 J_2 の弱い領域において、ネール秩序相、ダイマー秩序相が、異方性の大きさに応じて交互に現れるという特異な現象を見出し、有効理論の立場からその解釈を与えた。

(2) 情報理論の概念を応用し、量子多体系の基底状態を特徴づけるための新しい方法論の開発に取り組んだ。まず、一次元系に対して、スピン配置エントロピーという、量子揺らぎを定量化する、新しい量

を導入した。この量は、二次元系のRokhsar-Kivelson状態のエンタングルメント指標と等価である。我々は、この量の、系のサイズに対するスケールリングを調べ、系の詳細に依らない、普遍的定数項の存在を見出した。一次元臨界系に広く現れる、朝永・Luttinger流体においては、この定数項は、ボゾン半径(もしくはLuttingerパラメーター)によって決められる。また、自発的に対称性の破れる系においては、定数項は、基底状態の縮退度と関係している。この量は、量子一次元系で、相転移現象を解析する上での、新しい道具となると考えられる

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Furukawa S, Pasquier V, Shiraishi J, "Mutual information and boson radius in a $c=1$ critical system in one dimension" *Physical Review Letters* Vol.102 pp170602-1-170602-4 (2009)

Furukawa S, Sato M, Saiga Y, Onoda S, "Gapless chirality excitations in one-dimensional spin-1/2 frustrated magnets" *Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo'08) Proceedings of the 9th International Symposium Hatoyama Japan 2008* 8 World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore Singapore pp150-153 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furukawa S, Pasquier V, Shiraishi J, "Characterization of Tomonaga-Luttinger liquid via ground-state entanglement" *Workshop on Matrix Product State Formulation and Density Matrix Group Simulations Kobe Japan 2009* 8

研究者氏名：小野 雅紀 Ono, Masanori

受入研究室：基幹研究所

高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

物質は極微量の異なる元素が付加されることによってその性質を変化させる。例えば、微量の不純物添加によって半導体の電気的特性を制御し、我々の身近にある電化製品等に広く応用されている。強相関電子系物質の場合にも電気的特性の変化(超電導や絶縁)や磁性の変化など、不純物を起因とするフェルミ単位近傍における電子状態の多様な変化が見られるが、その発現機構は複雑であり様々な側面からの研究が不可欠である。本研究では走査トンネル顕微鏡／分光(STM/STS)とそれに付随する技術を駆使して固体の意図的な欠陥や不純物効果を研究対象とする。特に表面上の原子および単一分子中に局在した電子スピンを検出・観察して、その不純物効果をナノサイエンスの立場から理解することを目的とする。

磁気モーメントは外部静磁場によりトルクを生じて歳差運動する。最小単位の磁気モーメントは電子スピンであり、その歳差運動による信号(ESR信号)をサブナノメートルの空間分解能で観察することができる高周波測定対応型のESR-STMは立ち上がっているため、実際に単一スピンの測定を試みた。基板として半金属である高配向性熱分解黒鉛(HOPG)および不活性で安定な表面として水素終端シリコン表面を用意した。また、局在した単一の電子スピンを観察するためにフリーラジカルなどの不対電子を持つ分子や1個の磁性原子の観察を行った。

室温で安定なフリーラジカルとしては、スピン角運動量 $S=1/2$ で、軌道・核スピンの無い単純な系であるため標準試料として用いられる α , γ -Bisdiphenylene- β -phenylallyl (BDPA)や核スピンをもち超微細構観察の可能性を探るべく2,2,6,6-Tetramethyl-1-piperidinyloxy (TEMPO)をHOPG上に吸着させ観察を行った。その結果、BDPA・TEMPO共に揮発性が高く、凝集力も強いので、低温・超高真空装置での測定には不向きであることがわかった。その為、現状では原子スケールでクリーンな表面を作りやすい系である、超高真空・低温での金属原子蒸着を用いて鉄・コバルト・ニッケルなどの磁性原子の観察を進めている。また、金属内包フラーレンやフタロシアニン等の熱に強い分子だけでなく、様々な特性を持つ有機分子への応用の為に、新しい蒸着方法について考慮中である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

1. 国内会議 小野 雅紀, 花栗 哲郎, 高木 英典, 山田 太郎, "高周波測定対応STMの開発と表面電子スピンの検出について" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
2. 国内会議 小野 雅紀, 花栗 哲郎, 山田 太郎, 高木 英典, "高周波測定対応STMと表面電子スピン検出" 日本物理学会第65回年次大会 岡山 日本 2010 3

研究者氏名：幸坂 祐生 Kohsaka, Yuhki

受入研究室：基幹研究所

高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

超伝導現象は金属中の自由電子が対を形成することで引き起こされる。そのため、超伝導の発現機構についての研究では、電子が互いの間に働くクーロン相互作用にうちかって電子対を形成する機構を明らかにすることが極めて重要である。しかし、発見後20年以上経過した銅酸化物高温超伝導に関しては、対形成機構についての統一見解が得られていないばかりでなく、Mott絶縁体からの金属化の過程、及び、電子対形成の背後にある電子状態が未だ明らかになっていない。鍵となるのは、従来型超伝導には見られない特徴的な電子状態～擬ギャップ～を説明することである。擬ギャップの起源に関しては、時間的・空間的にゆらいだ電子対状態や超伝導とは別の新たな秩序など、これまでにとくさんの理論的・実験的提案がなされてきた。本研究では、このような特異な電子状態の可能性に着目し、走査トンネル顕微鏡法/分光法(STM/STS)を用いたナノスケール電子分光測定により、マクロな測定では得られない性質を明らかにすることで、銅酸化物高温超伝導の起源に迫ることを目指した。

本年度は、これまでに行った銅酸化物高温超伝導体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ についての低温(≤ 4.2 K)STM/STS測定を基にして、銅酸化物高温超伝導体における特異な電子状態についての知見をまとめた。非超伝導状態から超伝導状態へと至る電子状態の発達過程は以下の通りである。まず、キャリア濃度の増加に伴い、大きな電子-正孔非対称性を示す絶縁体的スペクトルを示す領域の中にV字型の擬ギャップを示す領域が出現・増加することを見出した。また、絶縁体的領域ではMott絶縁相の並進・回転対称性が保たれている一方、擬ギャップ領域では、擬ギャップエネルギーでの波動関数が結晶格子の4回対称性を原子スケールで破っており、2回対称性を示すことを明らかにした。さらに、擬ギャップの大きさも原子スケ-

ルで空間変化しており、その分布もまた2回対称性を示すことを発見した。これは、古典的な電荷密度波が(波動関数に空間変調はあるが)均一なギャップを示すのとは対照的である。これらの結果は、擬ギャップの起源がキャリアドープによって生じる対称性の破れを伴った、新奇な原子スケールの短距離秩序であることを示している。この発見は擬ギャップの起源を明らかにする上で重要であるばかりでなく、Mott絶縁体の金属化過程という積年の課題について、目で見える形で一例を示したものとして理論・実験の両方に大きなインパクトを与えるものであると考えている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kohsaka Y, Hanaguri T, Azuma M, Takano M, Davis J, Takagi H, "Visualizing Formation of Symmetry Breaking Excitations in a Lightly-doped Cuprate Superconductor" ICC-IMR Workshop Physics on Transition Metal Based Superconductors Sendai Japan 2009 6

Kohsaka Y, "Local Order in the Cuprate Superconductors Probed by Spectroscopic Imaging Scanning Tunneling Microscopy" CM-DTC Symposium St. Andrews UK 2009 11

Kohsaka Y, Hanaguri T, Azuma M, Takano M, Davis J, Takagi H, "Emergence of local broken symmetries with hole-doping in $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ " RIKEN workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako Japan 2009 12

Kohsaka Y, Hanaguri T, Azuma M, Takano M, Davis J, Takagi H, "Visualizing Formation of Symmetry Breaking Excitations in Lightly-doped $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ " 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX) Tokyo Japan 2009 9

研究者氏名：黄少云 Huang, Shaoyun

受入研究室：基幹研究所

石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

Chemically bottom-up produced silicon nanowires (SiNWs) with a diameter of a few tens of nanometers could be attractive building blocks for extremely small quantum-dot based nanodevices. The proposed original design aims to employ SiNW quantum dot (QD) single-electron transistors (SET) to probe single-spin dynamics in a QD at a higher temperature (all current qubits working at milli-Kelvin) and to realize a full Si double-SiNW-dot structured spin-qubit. In the beginning two years, single-electron tunneling through a single SiNW dot has been realized and characterized by development and optimization of processes. By scaling-down the diameter of SiNW, I significantly increased the charging energy by two orders of magnitude when the diameter is from 70 to 15 nm. The working temperature has been raised from 400 mK to 12 K. Quantum effects are turn out to arise when the diameter is reduced less than 30 nm.

In this year, I built a double-dot construction based on a single Si nanowire. Many key processes were developed and optimized, including high-k gate insulation film, high-temperature annealing and sub-100-nm EB-lithography. The SiNW between the source and drain shows single dot nature without central gate working. On the other hand, the "pinch-off" (separating a SiNW into double isolated single-dots) was demonstrated by applying the central gate. The electrostatics potential of each dot can be tuned by the capacitively coupled side gates. The developed tunable double-dot system allows me to manipulate electron spins in each dot and to control electron-electron coupling in the future work. Moreover, the electron quasi-one-dimensional transport characteristics of the SiNW were also concerned. I observed constructive interference between time-

reversed backscattered electron waves leading to a conductivity decrease known as weak localization. Right after the breaking the weak-localization by a magnetic field, we also observed the occurrence of universal conductance fluctuations caused by interference of electrons on different trajectories. The phase coherence length has been accurately estimated as 55 nm, which is an indispensable parameter to understand decoherence mechanisms and develop a quantum-bit. In the past year, the achievements generated many presentations and attracted worldwide interests. Two new papers are under preparation.

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Huang S, Fukata N, Yamaguchi T, Ishibashi K, "Diameter dependences of single-electron transport in a silicon nanowire" 2009 IEEE Symposia on Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW) Kyoto Japan 2009 6-6

Huang S, Fukata N, Ishibashi K, "Fabrication and characterization of a Si nanowire based nanodevice" SJTU-RIKEN China-Japan Bilateral Young Scientists Symposium on Nano Materials and Technology Shanghai China 2009 10-10

Kutsuna F, Huang S, Fukata N, Ishibashi K, "Observation of electron quantum-interferences in a chemically synthesized Si nanowire" MNC 2009 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference Sapporo Japan 2009 11-11

(国内会議等)

石橋 幸治, 飛田 聡, 黄 少云, 清水 麻希, 山口 智弘, "分子スケールヘテロ構造へ向けたカーボンナノチューブの可能性" 応用物理学会シリコンナノテクノロジー研究委員会「Siナノテクノロジーとスピントロニクス」東京 日本 2009 3

XIX - 016 カーボンナノチューブナノ構造を用いた新規デバイスの開発 Development of New Devices using Carbon Nanotube Nanostructure

研究者氏名：田畑 博史 Tabata, Hiroshi
受入研究室：基幹研究所
石橋極微デバイス工学研究室
(所属長 石橋 幸治)

カーボンナノチューブ(CNT)は極めて微細な構造や優れた電気的特性などにより、次世代ナノエレクトロニクスデバイスを構成する材料の有力候補として注目されており、この材料をチャネルとした電界効果型トランジスタ(FET)や単電子トランジスタ(SET)などの基本素子の研究が精力的に研究されている。しかし、現段階ではCNTの位置・方向を完全に制御することは不可能であるため、CNTを含む素子及び回路の設計がこのCNTの位置に制限されてしまうことが問題となっており、事実上、一本のCNT上で作製される単一デバイスの研究にとどまっている。

本研究は特定の水晶基板表面の原子配列にそって自己組織化的に配向成長して得られるアレイ状に配向したCNTとその配向状態を保ったまま別基板に移す転写技術を組み合わせ、CNTの位置と方向を制御し、複数のCNT素子を組み合わせることでより高度の機能を実現することを目的としている。

本年度は、まず、前年度に成功した配向CNTの成長とCNT転写技術の改善に取り組んだ。CNTの基板配向成長において基板表面の状態はCNTの配向性の程度に大きく影響する。これまで、我々の成長する配向CNTは配向性の程度や密度が基板の位置でばらつき、再現性が乏しいという問題があった。今回、触媒を配置する際のフォトリソグラフィ工程の表面処理を見直し、基板表面の汚染を抑制することにより大幅な配向性の改善と基板全体にほぼ均一な密度でCNTを再現性良く成長させることに成功した。また、CNTの転写の条件の最適化にも取り組み、ルーチンワーク的に行える信頼性の高い転写プロセスを確立することができた。以上の改善により、並列に配列したCNTに各々電極を取り付けて、アレイ状に並列したCNT-SETを作製することに成功した。さらに基板上に作製した凹凸構造の上にCNTを配置させたり、CNT同士が交わったクロスバー構造を作製したりするなど、本手法を使うことにより、CNTを使って自由度の高いデバイス設計が可能になること

を示した。

次に、複数のデバイスを個別に制御することを目的として、原子層堆積法で堆積させたAl₂O₃膜を絶縁膜にしトップゲート電極を持つCNT-SET構造を作製した。現時点までに、室温下でトップゲート電極からの電圧印加で、半導体CNTデバイスにおいてFET動作することを確認し、またAl₂O₃膜の堆積により、特性がp型からn型に変化することを観測している。近日中に低温下でSET特性の評価を行う予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tabata H, Shimizu M, Ishibashi K, "Fabrication of single electron transistors using transfer-printed aligned single walled carbon nanotubes arrays" Applied Physics Letters Vol.95 pp113107-1-113107-3 (2009)

Tabata H, Doi T, Wakabayashi T, Hayashi S, "Interaction of carbon linear chains with silver island film studied by surface-enhanced Raman scattering" Journal of nanoelectronics and optoelectronics Vol.4 2 pp220-223 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishibashi K Hida A Tabata H Kawano Y Yamaguchi T "Carbon nanotube quantum dots and nanostructures" Frontiers in Nanoscale Science and Technology Workshop 2009 (FNST 2009) Boston USA 2009 5

Ishibashi K Hida A Tabata H Kawano Y Yamaguchi T "Carbon nanotubes as building blocks of nanoelectronic devices" 3rd International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging (ISPDI 2009) Beijing China 2009 6

Tabata H Shimizu M Ishibashi K "Fabrication of single electron transistor using transfer-printed single walled carbon nanotubes arrays" International Symposium on

Carbon Nanotube Nanoelectronics Matushima, Miyagi Japan 2009 6

Tabata H Shimizu M Ishibashi K "Single electron transistors fabricated by transfer-printed single walled carbon nanotubes" Micro and Nano Engineering 2009

(MNE09) Ghent Belgium 2009 9-10

(国内会議等)

田畑 博史, 石橋 幸治: "SiO₂/Si基板上に転写した配向CNTを用いた単電子トランジスタの作製" 第56回応用物理学関係連合講演会 つくば 日本 2009 3-4

XIX - 017 カーボンナノチューブを電子線で“描く”技術の開発と集積素子作製プロセスへの応用

Novel Growth Technique of Carbon Nanotubes and Its Applications

研究者氏名：飛田 聡 Hida, Akira

受入研究室：基幹研究所

石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

薄いカーバイド層を形成したシリコン基板の表面に電子線を照射していると、自発的にカーボンナノチューブ様の構造体が成長する。この現象を応用し、基板上の所望の位置に、さながら電子線で“描く”ようにしてカーボンナノチューブを成長させることができれば、「集積化」というカーボンナノチューブ電子素子の実現に不可欠かつ現状では未解決の技術課題に対してブレイクスルーとなり得るような、革新的プロセス技術を生み出せる可能性がある。本研究では、電子線を照射することでどのようなカーボンナノチューブがどのように成長するのか、そのメカニズムを調べてカーボンナノチューブの“描き方”を確立し、位置合わせ精度の高い電子線露光装置等で実際にカーボンナノチューブのパターニングを行うことを通して、集積素子の作製に技術的な道筋をつけることを目的としている。

昨年度までの研究を通して見出された「電子線照射に伴って成長するカーボンナノチューブの配向性はSi基板表面の原子構造と密接に関わっている」という事実を踏まえ、最終年度となった今年度は、本技術でカーボンナノチューブの集積化が可能であることを示すデモンストレーションとして、基板の原子構造を“定規”に見立てて配列を描く試みを行い、まだ大きさが不揃いではあるものの、特定の方向に並んだカーボンナノチューブが成長することを確認した。このような配列は、単独で集積素子への応用が見込まれるばかりでなく、より高次の集積構造を作製するためのテンプレートになり得る可能性もあり、その点に着目して検討を進めた結果、第一歩と

して、市販のカーボンナノチューブを、成長させた配列と化学的に結合させて並べることに成功した。今後条件を最適化することで、別途作製プロセスを確立しているリング型や分岐型のカーボンナノチューブ超構造体を配列・集積させることも可能になるのではないかと期待している。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Misawa T., Gandhi P., Hida A., Tamagawa T., and Yamaguchi T.: "Identifications of new near-infrared DIBs in the Orion nebula", *Astrophysical Journal* Vol.700 p.p.1988-1993 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishibashi K., Hida A., Tabata H., Kawano Y., and Yamaguchi T.: "Carbon nanotube quantum dots and nanostructures", *Frontiers in Nanoscale Science and Technology*, Boston, USA, May (2009)

Hida A., Suzuki T., and Ishibashi K.: "Microscopic Structures and Electronic States of Single Wall Carbon Nanotube Rings", *International Symposium on Carbon Nanotube Nanoelectronics*, Miyagi, Japan, June (2009)

Ishibashi K., Hida A., Tabata H., Shimizu M., Kawano Y., and Yamaguchi T.: "Carbon nanotubes for building blocks of quantum nanodevices", *International Symposium on Carbon Nanotube Nanoelectronics*, Miyagi, Japan, June (2009)

Ishibashi K., Hida A, Tabata H., Kawano Y., and Yamaguchi T.: "Carbon nanotubes for building blocks of nano-electronic devices", International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009, Beijing, China, June (2009)

Ishibashi K., Hida A, and Tabata H.: "Fabrication of carbon nanotube quantum dots and nanostructures", The 1st International Symposium on Surface and Interface Fabrication Technologies, Saitama, Japan, July (2009)

Hida A., Suzuki T., and Ishibashi K.: "Scanning tunneling microscopy and spectroscopy on single wall carbon nanotube rings", 35th International Conference on Micro and Nano Engineering, Ghent, Belgium, September-October (2009)

Ishibashi K., Hida A, Tabata H., Kawano Y., and Yamagu-

chi T.: "Carbon nanotube quantum dots and molecular scale nanostructures", International Workshop on Nanoscience and Nanotechnology, Frascati, Italy, October (2009)

Suzuki T., Toyokawa S., Hida A., and Ishibashi K.: "Peculiar electronic states induced by ring closure of single wall carbon nanotubes", 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Hokkaido, Japan, November (2009)

(国内学会等)

石橋幸治, 飛田聡, 田畑博史, 清水麻希, 河野行雄: "CNTを中心としたナノデバイス", 応用物理学会 薄膜・表面分科会 第38回薄膜・表面基礎講座, 東京, 11月 (2009)

XIX - 018

細胞内酵素活性測定用マイクロシステムの開発と 癌細胞診断への適用検討

Development of Micro System for Signal Measurement in Cell and Application Examination to Cancer Cell Diagnosis

研究者氏名: 韓愛善 Han, Aishan

受入研究室: 基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

細胞内シグナル伝達経路は数多くのタンパク質が関与する化学反応カスケードにより構成されている。これらのタンパクの機能制御に異常が生じると、このシステムに狂いが生じて疾患の原因となる。このシグナル伝達系において、最も重要であるのがプロテインキナーゼ類によるタンパク質リン酸化反応である。本研究ではプロテインキナーゼ活性をマイクロチップで測定する。マイクロチップは必要サンプルの低減、反応時間の短縮、測定の自動化、及び低コストなどの利点から、生物化学、分子生物学、バイオテクノロジーのみならず次世代医療になくてはならない基盤技術となっている。

前年度においてはマイクロチップにおけるリン酸化基特異的なアフィニティー電気泳動(μ PAE)の開発成功し、マイクロチップ上でチロシンリン酸化酵素 Srcの活性測定およびその抑制剤のIC₅₀の測定に適用した。

本年度においては、もう一つ重要なキナーゼであ

るセリン/スレオニンキナーゼであるプロテインキナーゼA(PKA)及びカゼインキナーゼ2(CK2)の酵素活性の測定に成功した。さらに、チロシン脱リン酸化酵素LAR及び細胞死シグナルにおいて最も重要な働きをするカスパーゼ3(Caspase3)の酵素活性の測定にも成功した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Aishan H., Kazuo H., Mizuo M.: "Phosphate-affinity electrophoresis on a microchip for determination of protein kinase activity", *Electrophoresis*, 30, 3507-3513,
2. Akira I., Aishan H., Kimiko M., Kazuo H., Mizuo M.: "SNP genotyping of unpurified PCR products by sandwich-type affinity electrophoresis on a microchip with programmed autonomous solution filling", *Lab on a Chip*, 9, 3297-3202, 2009

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会など)

韓愛善, 細川和生, 前田瑞夫:"マイクロチップアフィ

ニティー電気泳動によるキナーゼ活性測定", 日本化学第 89 春季年会, 千葉, 3 月 (2009)

XIX - 019 分子間電子トンネル効果に基づく DNA 鎖の塩基配列決定法

A Method of DNA Sequencing based on Intermolecular Electron Tunneling

研究者氏名: 大城 敬人 Ohshiro, Takahito

受入研究室: 基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

走査型トンネル顕微鏡 (STM) による DNA 鎖の観察は、原子分解能に優れているが、原子の化学種や官能基の識別能に乏しいため、核酸塩基の配列決定には至っていない。私は、核酸塩基を化学修飾した分子探針を開発し、探針上の核酸塩基と試料相補的核酸塩基との間に生じる相補的な核酸塩基対間の電子波動関数の重なりを介した分子間電子トンネル効果により、相補的な核酸塩基分子のみを可視化検出することに成功している。本研究では、核酸塩基探針を用いて、実試料の一本鎖 DNA の配列決定をすることを目的としている。

界面上の DNA 二重鎖の現象を単分子レベルで調べるため、チオール誘導体として金板に固定した DNA 二重鎖の STM イメージングを行った。従来、DNA 二重鎖の単分子可視化は DNA 二重鎖が凝集体となっていたため不可能だったが、DNA 二重鎖の作成条件を検討することにより、単分子レベルで可視化することに初めて成功した。さらに、DNA 二重鎖中に、一塩基ミスマッチ、二塩基ミスマッチがある場合、DNA 二重鎖を介した電子移動がミスマッチの数、位置依存的に抑制されることが分かった。この観察系を用いることで DNA 四重鎖 (i-motif や G-quartet) 等の DNA アプタマーの可視化にも同様に成功した。

DNA 鎖の核酸塩基部位を可視化するためには、DNA の高分解能の可視化観察系を確立する必要がある。そのため本年度において、DNA 鎖の単分子観察系として、DNA とカーボンナノチューブ (CNT) の複合体を用いた観察系確立を目指した。従来 DNA 鎖の固定が十分でなく単分子観察が困難であったため、DNA 鎖を固く巻きつけたカーボンナノチューブとの複合体を用いることでこれを解決することを試みた。両端にチオール基をもつ DNA 鎖を単層カーボンナノチューブ (SWNT) と混合し、水溶液中で超音波処理することで複合体を形成させた。作成したチオール DNA/SWNT 複合体を金基板上に展開し、水溶液中での STM 測定を行い、水溶液条件下での単分子観察系確立にはじめて成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

1. 国内会議 大城 敬人 前田 瑞夫 "電気化学 STM を用いた DNA 二重鎖の単分子観察" 東京コンファレンス 2009 千葉 日本 2009 9
2. 国内会議 大城 敬人 前田 瑞夫 "STM による基板固定化した DNA 二重鎖の単分子観察" 日本分析化学会第 58 年会 札幌市 日本 2009 9

XIX - 020 **光子とアロステリック結合する新規機能性 RNA の構築と
細胞内活性制御法の開発**

Development of Photoresponsive Functional Nucleic Acid for *in vivo* Activity Regulation

研究者氏名：小笠原 慎治 Ogasawara, Shinzi

受入研究室：基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

核酸は遺伝情報を伝達する媒体としてだけでなく、リボザイム・アプタマーのように様々な機能を備えている。これら機能性核酸の活性を光制御しようという試みがなされ、現在までにケージド核酸、アゾベンゼンを用いたいくつかの方法が報告されている。しかし、ケージド法には制御の不可逆性、解離後の細胞毒性といった問題点が、アゾベンゼン法には、嵩高による活性状態の構造の崩壊といった問題が残っている。本研究ではこれらの問題を一挙に解決できる新規光応答性核酸塩基「フォトクロミック塩基」の開発を行い、機能性核酸を光制御する第三の方法の確立を目指している。(フォトクロミック塩基：必要最小限のモディフィケーションで核酸塩基そのものに*cis-trans*光異性化能を付加した人工塩基)

これまでにアデニン・グアニン・シトシン・チミンを骨格に持つ数種類のフォトクロミック塩基の開発に成功し、20-bpの二本鎖形成やG-quadruplexを形成するトロンピンアプタマーの活性を非常に明瞭かつ可逆的に光制御することに成功した。しかし、現

在までに開発したフォトクロミック塩基は、生体分子に損傷を与えてしまう紫外領域の波長が必要であった。そこで、本年度は可視光領域の波長に応答する新規フォトクロミック塩基の開発に着手した。その結果、420 nmと550 nmの光に応答するフォトクロミック塩基の開発に成功した。また、フォトクロミック塩基を導入したアンチセンスDNAを合成し、RNAの分解反応を光制御することも試みたが、明瞭な制御には至らなかった。フォトクロミック塩基がRNase Hと核酸の相互作用を阻害していると考えられる。今後、フォトクロミック塩基の導入数、導入位置などの最適化が必要である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ogasawara S., Maeda M.: "Reversible Photoswitching of a G-quadruplex", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48, 6671-6674 (2009)*

XIX - 021 **マイクロ電極と機能性高分子を利用した
高機能マイクロバイオ分析デバイスの開発**

**Development of Highly-functional Microfluidic Device for Bioanalysis
using Microelectrode and Functional Polymer**

研究者氏名：佐々木 直樹 Sasaki, Naoki

受入研究室：基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

微細加工技術により基板上に作製したマイクロ流路を用いるバイオ分析は、試料・試薬量の低減、操作の簡便化、並列化による高スループット分析など様々な利点を有する。本研究では、マイクロ電極と機能性高分子を用いてバイオ分析に必要な種々の機能を流路内で実現し、微量の試料から目的物質を

短時間で高感度に分析可能な高機能マイクロバイオ分析デバイスの開発を目指している。

昨年度までの研究において、マイクロ流路内の電極に交流電圧を印加することで非イオン性界面活性剤溶液が二相分離し、液中に蛍光脂質が共存する場合にはこれが電極近傍に濃縮されることを見出し

た。さらにこの相分離・濃縮機構を検討し、電圧印加に伴うジュール熱によって相分離が誘起され、蛍光脂質がミセルを多く含む相に分配されたのち、この相が交流電場下で誘電泳動力を受け、電極近傍に選択的に捕集されることを見出した。本年度は誘電泳動力以外に交流電場が本現象に及ぼす影響について検討するとともに、電気泳動分離の試料前濃縮法としての利用を検討した。

マイクロ流路に試料溶液を充填したのち、電極に交流電圧を印加し、電極近傍の様子を蛍光観察した。電圧印加に伴い直ちに蛍光脂質を取り込んだ液滴が生じ、これが流路深さ方向に環状の軌跡を描きながら電極近傍に捕集される様子が観察された。この動きは誘電泳動力のみでは説明できない。一方、研究者の過去の研究において、マイクロ流路内に配した電極に交流電圧を印加することで、交流動電流と呼ばれる溶液流れが生じることを見出している。従って本実験系でもこの流れが発生し、蛍光脂質を含む液滴の捕集過程に影響を与えていると推測される。今後、交流動電流の速度と三次元プロファイルを実験及び数値解析することにより、現象の詳細な理解、またこの流れを積極的に利用した高速・高効率濃縮などが実現できると考えられる。また、本手法の試料前濃縮法としての利用に関しては、濃縮後の試料に直流電場を印加して電気泳動し、予め高分子溶液を充填した別のマイクロ流路に試料を導入できることを確認した。今後、高分子溶液を分離媒体

として利用することにより、脂質や膜タンパク質など、生体膜分子の高感度分離分析への応用が期待できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sasaki N, Hosokawa K, Maeda M, "Alternating current cloud point extraction on a microchip for preconcentration of membrane-associated biomolecules" Lab on a Chip Vol.9 pp1168-1170 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Analysis of fluid motion in alternating current cloud point extraction Sasaki Naoki Hosokawa Kazuo Maeda Mizuo 13th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2009) Jeju Korea 2009 11

(国内学会等)

交流動電相分離とその濃縮操作への応用 (3) : 流体挙動の解析 佐々木 直樹 細川 和生 前田 瑞夫 第19回化学とマイクロ・ナノシステム研究会 東広島 日本 2009 5

交流動電現象を利用するオンチップ曇点抽出 佐々木 直樹 細川 和生 前田 瑞夫 東京コンファレンス2009 千葉 日本 2009 9

XIX - 022 試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセットの開発

Development of Photoresponsive Molecular Tweezers by In Vitro Selection

研究者氏名：劉明哲 Liu, Mingzhe

受入研究室：基幹研究所

伊藤ナノ医工学研究室

(所属長 伊藤 嘉浩)

外部刺激、特に光による分子認識ならびに分子機能の動的制御が注目されている。これまでに報告された動的分子認識の光制御の例は、ほとんどがラショナルデザイン法によるもので、認識するゲスト分子に依存してそれぞれ異なる方法でホスト分子を設計しなければならないことが多い。また、タンパク質のような構造が複雑な生体分子をターゲットにしたホスト分子の設計は困難である。「試験管内分子

進化法」を動的分子認識の光制御に導入すれば、10の10乗以上の種類の分子ライブラリーからターゲット分子に光応答性のあるホスト分子を選抜することになるので、同じ方法論で、理論上任意のゲスト分子に対して動的制御可能なホスト分子(アプタマー)を獲得することが期待できる。そこで本研究では、試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセット(光応答性アプタマー)の開発を目指した。

昨年度までは、生理活性分子であるヘミンをターゲット分子にして、試験管内分子進化法による天然のDNA及びRNAアプタマー、そして非天然(光応答性)核酸アプタマーの開発を行った。本年度は、試験管内分子進化法(リボソームディスプレイ法)によるストレプトアビジンに対する光応答性ペプチド分子ピンセットの開発に取り組んだ。アゾベンゼン修飾非天然アミノ酸を担持したtRNAを無細胞翻訳系に導入することで、ランダム配列の核酸ライブラリーからアゾベンゼン修飾ペプチドライブラリーをリボソーム上に提示させた。ストレプトアビジンが固定化されたビーズによるアフィニティ選択を行った後、紫外光照射による光溶出をすることで光応答性ペプチドアプタマーを回収した。5ラウンドの選択サイクルを回した後、サブクローニング・配列解析を行った。得られた配列情報を基に、FLAGラベル化されたアゾベンゼン修飾ペプチドを固相合成し、ストレプトアビジンビーズとインキュベートしてから抗体染色し、蛍光顕微鏡で評価した。その結果、ストレプトアビジンに対して親和性並びに光応答性を示す1種類のペプチドアプタマーを得ることができた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Loh X, Gong J, Sakuragi M, Kitajima T, Liu M, Li J, Ito

Y: "Surface Coating with a Thermoresponsive copolymer for the Culture and Non-Enzymatic recovery of Mouse Embryonic Stem Cells" *Macromolecular Bioscience* Vol.9 11 pp1069-1079 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Liu M, Kagahara T, Jinmei H, Abe H, Ito Y: "Development of Aptamer and Aptazyme by In Vitro Selection" The 2nd A*STAR-RIKEN Joint Symposium Singapore 2009 5

Liu M, Kagahara T, Abe H, Ito Y: "In Vitro Selection of Hemin-Binding DNA Aptamer with Peroxidase Activity" The 1st FAPS Polymer Congress Nagoya Japan 2009 10

(国内学会等)

星野 洋一郎, 劉 明哲, 阿部 洋, 伊藤 嘉浩, 久保 いづみ: "ヘミン結合 DNA アプタマーのペルオキシダーゼ活性に関する電気化学分析" 日本分析化学会第 58 年会 札幌 日本 2009 9

劉 明哲, 阿部 洋, 伊藤 嘉浩: "進化分子工学によるヘミン結合性天然・非天然核酸アプタマーの開発" 理研シンポジウム 階層横断生命科学-異分野融合的研究の新展開に向けて- 和光 日本 2009 8

XIX - 023 極限的非線形分光法による電極界面水分子構造の決定

Determination of Structure of Interfacial Water Molecules at Electrode / Electrolyte Solution Interfaces by Novel Nonlinear Spectroscopy

研究者氏名: 二本柳 聡史 Nihonyanagi, Satoshi

受入研究室: 基幹研究所

田原分子分光研究室

(所属長 田原 太平)

帯電した界面の分子構造を理解することは科学の広い範囲において本質的に重要な課題である。帯電した界面の近傍に形成される電気二重層は電気化学反応やたんぱく質などのマクロイオンの構造を考える上で重要であるが、電気二重層内の水の構造については不明な点が多い。界面選択的な振動分光法である赤外可視振動和周波発生(VSFG)分光法は表面分子種の同定および分子の配向角を決定する目的で広く用いられている。しかしながら、従来のVSFG分光

法では2次の非線形感受率の二乗($|\chi^{(2)}|^2$)を計測するため、 $\chi^{(2)}$ が本来持っている符号の情報を得ることはできない。また、水のOH伸縮領域のように複数の共鳴項および非共鳴項が重なり合う場合は正確なピーク分離が困難であり、 $|\chi^{(2)}|^2$ とバルクの吸収スペクトル($\chi^{(1)}$ の虚部)を直接比較することが難しくなる。これらの問題を解決するために、我々は独自の光学配置に基づくヘテロダイン検出VSFG(HD-VSFG)分光法を開発した。この分光法を用いるとわずか数分の測

定時間で $\chi^{(2)}$ の実部と虚部のスペクトルが良好な信号雑音比で得られる。昨年度までに、イオン性界面活性剤水溶液と空気の界面における水分子の絶対配向が、界面活性剤の電荷の正負によって反転することを実験的に証明することに成功した。本年度はHD-VSFG分光法の特長を活かした3つの視点から研究を進めた。

(1) $\chi^{(2)}$ の符号情報を活用して、より複雑な界面における水の配向を決定した。アニオン性界面活性剤の存在下で多価カチオンを添加すると水の配向が上向きから下向きに変化した。これは、カチオンの吸着によって正味の界面電荷が逆転したためと考えられる。また、このような配向変化、すなわち電荷逆転はカチオンの種類と界面活性剤のヘッドグループに強く依存することを見出した。更に界面活性剤をより複雑なリン脂質膜に代えて研究を進めている。

(2) $\chi^{(2)}$ の虚部がバルクの吸収スペクトルと直接比較可能であることを利用して界面電気二重層内の水の水素結合状態を研究した。従来はH₂OのVSFGスペクトル解析に基づいて、帯電した界面の水において“ice-like”構造と“liquid-like”構造が共存するという説が主流であった。しかし、今回の結果はこれとは異なり、高密度に帯電した界面においては、界面の水の水素結合構造はバルクの液体状態に非常に近いことが強く示唆された。

(3) $\chi^{(2)}$ を直接計測するとシグナルが分子数に比例するので時間分解測定を解析をする上で特に適している。この特長を活かすべく赤外ポンプ—HD-VSFGプローブの時間分解測定の可能性を検討している。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Nihonyanagi S, Yamaguchi S, Tahara T, "Direct evidence for orientational flip-flop of water molecules at charged interfaces: A heterodyne-detected vibrational sum frequency generation study" *The Journal of Chemical Physics* Vol.130 pp204704-1-5 (2009)

(総説)

山口 祥一, 二本柳 聡史, 田原 太平, "新しい界面選択的な偶数次非線形振動分光" *オプトロニクス* Vol.28 332 pp115-121 (2009)

山口 祥一, 二本柳 聡史, 田原 太平, "新しい界面選択的な偶数次非線形分光" Vol.55 2 pp83-96 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nihonyanagi S, "Absolute orientation of water molecules at charged interfaces determined by heterodyne-detected VSFSG spectroscopy" Seminar at AMOLF FOM, Amsterdam, Netherlands 2009 9

Nihonyanagi S, Yamaguchi S, Tahara T, "Absolute orientation of water molecules at charged interfaces determined by heterodyne-detected VSFSG spectroscopy" *Optics of Surfaces and Interfaces VIII* Naples Italy 2009 9

(国内会議)

二本柳 聡史, 山口 祥一, 田原 太平, "ヘテロダイナミクス振動和周波発生(HD-VSFG)分光法による界面水分子の絶対配向の決定" 高次系分子科学ミニ公開シンポジウム "表面・界面を観る非線形分光の新しい展開" 和光 日本 2009 3

二本柳 聡史, 山口 祥一, 田原 太平, "Structure and absolute orientation of water molecules at charged aqueous interfaces studied by heterodyne-detected vibrational sum frequency generation spectroscopy" 文科省科研費特定領域研究「高次系分子科学」第3回公開シンポジウム 東京 日本 2009 6

二本柳 聡史, 山口 祥一, 田原 太平, "ヘテロダイナミクス検出振動和周波発生を用いた界面電荷逆転の研究" 第62回コロイドおよび界面化学討論会 岡山 日本 2009 9

二本柳 聡史, 山口 祥一, 田原 太平, "ヘテロダイナミクス検出VSFG分光法を用いた電気二重層構造の研究" 第3回分子科学討論会 2009 名古屋 名古屋 日本 2009 9

研究者氏名：奥村 英夫 Okumura, Hideo

受入研究室：基幹研究所

長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

本研究では、放線菌 *Streptomyces* sp. RK95-74 が Cytotrienin 類を生合成する時に使う非リボソーム型ペプチド合成酵素 (NRPS) において、基質アミノ酸の認識・アデニレーション・転移を担う蛋白質の一つである CytC1 の酵素反応機構を解明し、さらに新規基質特異性を創出することを目的とする。本研究により放線菌の代謝産物を出発点とした新たなバイオプローブ (生理活性物質) の開発・創薬につながる事が期待される。

昨年度には CytC1 と基質の複合体結晶構造情報から得られた CytC1 の基質認識機構の作業仮説の構築とコンピュータを利用した CytC1 の基質取り込み反応のシミュレーション計算を行った。そこで本年度は、まず基質ポケット内の基質認識に重要と推測されるアミノ酸側鎖変異モデルを使った基質親和性シミュレーションを行った。種々の基質アミノ酸に対し、ポケット内側鎖を変異させた構造モデルとの粗いドッキングシミュレーションを行い、いくつかの変異パターンと基質アミノ酸の組み合わせについて高い親和性を示唆する結果が得られた。これらについてはさらに InsightII/Discover を利用して詳細なドッキングシミュレーションを行った。得られた結果に対し、実際に遺伝子変異を施し発現させた変異 CytC1

を用いた、種々のアミノ酸基質取り込み実験の結果を比較すると、必ずしもシミュレーションで高い親和性を示した組み合わせが実際に高い親和性を示すというわけではなく、むしろ予想とは異なるアミノ酸基質に対して高い親和性を示すパターンが得られた。現在得られたデータを基に更なるポケットの最適化ならびに複合体結晶構造解析を行い、得られた新たな基質特異性が実際にどのような構造を基にして得られたかを検証している。

●誌上发表 Publications

(単行本)

奥村 英夫, 石田 啓介, 長田 裕之, " コンピューターモデリングによる最適化" がん分子標的治療研究実践マニュアル 金芳堂 日本 京都 pp262-269 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Okumura H, Miyazaki I, Simizu S, Osada H, "Structure-affinity relationship of bleomycins and shble protein." Riken Symposium on Molecular Ensemble 2009 Wako Japan 2009 12

研究者氏名：加藤 直樹 Kato, Naoki

受入研究室：基幹研究所

長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

近年の微生物ゲノム解析の進展により、多数の二次代謝関連遺伝子の存在が明らかにされた。ゲノム情報を基盤とした二次代謝産物生合成遺伝子の解析

は、微生物が(潜在的に)生産する多様な天然物を収集するための有効な手法である。本研究では、ゲノム情報が公開されている病原性糸状菌 *Aspergillus*

*fumigatus*の生産する二次代謝産物の中から、ジケトピペラジン化合物であるフミトレモルジン類の生合成系を標的に解析を行っている。本化合物群はマイコトキシンとしてだけでなく、様々な生物活性を有することが報告されている。本研究はその生合成機構を解明し、それに基づいた生合成の効率化、新規類縁体の創製を目的としている。

昨年度までに、遺伝子破壊と異宿主発現系を利用した機能解析により、主要なフミトレモルジン類の生合成経路を解明することが出来た。本年度は、確立した生合成経路を利用して、微量類縁体や新規誘導体の取得を試みた。経路の分岐に関わる2種のシトクロムP450に着目し、遺伝子破壊と過剰発現とを組み合わせた経路改変株を作製した。得られた形質転換株の代謝産物を分析した結果、スピロトリプロスタチンBをはじめとするいくつかの微量類縁体の生産を確認することが出来、フミトレモルジン生合成経路のさらなる多様化の手がかりを得た。

フミトレモルジン生合成遺伝子クラスターの周辺には多くの二次代謝関連遺伝子が集積している。その中にはシューロチン類の生合成遺伝子クラスターも含まれている。機能未知の遺伝子を除くと、この領域には転写因子が一つしか存在していない。本制御遺伝子は、C6型のzinc-fingerモチーフを有しており、糸状菌遺伝子クラスターによく見られる経路特異的な転写活性化因子をコードしている遺伝子である。しかしながら、フミトレモルジン、シューロチンのどちらのクラスターからも少し離れた位置に存在しており、領域内のどの遺伝子発現を制御しているのかは不明である。そこで、本遺伝子の破壊株を

作製し、その代謝産物を分析したところ、フミトレモルジン類の生産性には何ら変化は認められなかった。一方で、シューロチン類の生産が消失したことから、本遺伝子がシューロチン生合成を制御していることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(総説)

斎藤臣雄, 野川俊彦, 加藤直樹, 近藤恭光, 長田裕之:
"天然化合物ライブラリーの構築と利用", 蛋白質核酸酵素, 154, 1551-1556 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

加藤直樹, 徳岡昌文, 篠原靖智, 川谷誠, 浦本昌和, 小山泰二, 長田裕之:"麹菌 *Aspergillus oryzae* における cyclopiazonic acid 生合成と安全性", 第51回天然有機化合物討論会, 名古屋, 10月 (2009)

加藤直樹, 高木海, 掛谷秀昭, 長田裕之:"*Aspergillus fumigatus* における pseurotin 生合成遺伝子クラスターの解析", 第9回糸状菌分子生物学コンファレンス, 東京, 11月 (2009)

篠原靖智, 加藤直樹, 徳岡昌文, 小山泰二, 長田裕之:
"麹菌における cyclopiazonic acid 生合成遺伝子クラスターの解析", 第9回糸状菌分子生物学コンファレンス, 東京, 11月 (2009)

加藤直樹, 鈴木宏和, 高木海, 高橋俊二, 長田裕之:
"分子内peroxide架橋形成を触媒する Verruculogen 合成酵素 FtmF の機能解析", 日本農芸化学会2010年度大会, 東京, 3月 (2010)

XIX - 030 小胞体内腔における抗原トリミング複合体の活性発現機構の解明

Study on the Enzymatic Action of Antigen-trimming Complex in the Endoplasmic Reticulum

研究者氏名: 後藤 芳邦 Goto, Yoshikuni

受入研究室: 基幹研究所

辻本細胞生化学研究室

(所属長 辻本 雅文)

細胞傷害性T細胞が自己・非自己細胞の選別を行う際、選別される側の細胞が自身の細胞表面に選別シグナルとなる自己・非自己由来のペプチド(MHCクラスI提示抗原ペプチド)を提示する。MHCクラスI提示抗原ペプチドは、内在性タンパク質の分解産物が

小胞体内腔でさらにN末端の消化(抗原トリミング)を受けることで生成される。近年、この抗原トリミングを担う実体としてM1ファミリーに属する2種の小胞体内腔局在型のアミノペプチダーゼ(A-LAPおよびL-RAP)が同定され、両酵素が免疫応答において

極めて重要な役割を果たしていることが明らかにされた。今回は、マクロファージの免疫応答時におけるA-LAPの役割とA-LAPの酵素反応機構について検討した。

(1) マウス腹腔内マクロファージをIFN γ ・LPSで刺激したところ、本来小胞体内腔に局在するはずのA-LAPが培養上清へと分泌された。そこで、マウスマクロファージ細胞株RAW264.7細胞を組換え型A-LAPで処理したところ、IFN γ ・LPS刺激した場合と同様にRAW264.7の貪食能は上昇した。一方、アミノペプチダーゼ阻害剤アマスタチンの処理はIFN γ ・LPS刺激もしくはA-LAP処理に伴うマクロファージの活性化を顕著に抑制した。また、IFN γ ・LPS処理に伴う他のアミノペプチダーゼの分泌や発現増強に関しては認められなかった。以上のことからマクロファージの貪食能の活性化にはA-LAPの細胞外への分泌が重要であることを明らかにした。さらに、A-LAP分泌のメカニズムを検討したところ、細胞質のCa²⁺濃度の上昇、それに続くカルモジュリンの活性化に伴い分泌が誘発されると考えられた。すなわち、カルモジュリンの活性化が、A-LAPの小胞体貯留機構を破綻させることを明らかにした。

(2) 基質認識モチーフを形成するアミノ酸残基の触媒反応における役割の解明

A-LAPの類縁酵素は通常、基質認識モチーフ(GAMEN)を有しているが、類縁酵素のひとつLaeverinは最初のGlyがHisへと変異した配列を有している。そこでLaeverinの最初のHisをA-LAPと同じGlyへと置換した点変異体を作製し、本部位の触媒

反応における役割について明らかにした。その結果、本部位が基質ペプチドのN末端アミノ酸の認識に重要な役割を果たしており、Glyの場合はA-LAPのようにLeuおよびMet遊離活性が極めて高くなり、Hisの場合はLeu、Met遊離活性はGlyに劣るものの芳香族性アミノ酸、および塩基性アミノ酸遊離活性が高くなった。すなわち、GAMEN配列の最初のアミノ酸残基が基質特異性を決定していることを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Tsujimoto M, Goto Y, Maruyama M, Hattori A, "Biochemical and enzymatic properties of the M1 family of aminopeptidases involved in the regulation of blood pressure" Heart Failure Reviews Vol.13 3 pp285-291 (2008)
2. Goto Y, Tanji H, Hattori A, Tsujimoto M, "Glutamine-181 is crucial in the enzymatic activity and substrate specificity of human endoplasmic-reticulum aminopeptidase-1" Biochemical Journal Vol.416 1 pp109-116 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

1. 後藤 芳邦, 丹治 弘江, 服部 明, 辻本 雅文, "脂肪細胞由来ロイシンアミノペプチダーゼのGln-181残基は基質特異性に重要である" 第13回病態と治療におけるプロテアーゼとインヒビター学会 吹田 日本 2008 8

XIX - 031

コヒーシンの姉妹染色分体接着の分子メカニズム

Molecular Basis of Sister Chromatid Cohesion

研究者氏名：新富 圭史 Shintomi, Keishi

受入研究室：基幹研究所

平野染色体ダイナミクス研究室

(所属長 平野 達也)

コヒーシンの姉妹染色分体の接着に中心的な役割を果たすタンパク質複合体である。多くの動物細胞では、分裂前期から中期にかけて大部分のコヒーシンの染色体腕部から解離することで接着が解除され、2本の染色分体が識別可能になる。この過程は、姉妹染色分体の「分割」と呼ばれる。後期に入ると、

主にセントロメア領域に残ったコヒーシンのRad21サブユニットが切断されることで染色分体が完全に分離される。前期の分割は、後期の分離を速やかに完了させるために重要であると考えられており、コヒーシン結合タンパク質(Wapl, Pds5)や分裂期キナーゼ(Plk1, aurora B)の関与が示唆されている。本

年度は、細胞周期に応じた染色体動態を試験管内で再現できるカエル卵抽出液を用いて、姉妹染色分体分割の制御因子の作用メカニズムや機能的連関を詳細に解析した。

まず、卵抽出液からWaplやPds5を除去した際に見られる分割異常が、それぞれヒトWaplやPds5のリコンビナントタンパク質の添加によって回復できることを確かめた。ヒトWaplの様々な断片や変異体を作製し、それらの物理的相互作用や回復能を調べたところ、WaplのN末端に存在する特徴的なアミノ酸モチーフ (FGF motif) が、Pds5やコヒーシンの相互作用および分割の促進に重要であることが明らかになった。一方、これまでセントロメアでコヒーシンの解離を防ぐと考えられてきたSgo1を除去すると、コヒーシンの染色体腕部からの解離が過剰になり、染色分体間の距離が通常よりも広がった。面白いことに、Plk1を除いた際に見られる分割の阻害はSgo1を同時に除去することにより緩和されたが、Waplの分割過程への必要性はSgo1の共除去によっても回避されなかった。また、Sgo1の染色体腕部からセントロメアへの局在変化は、aurora Bによって相

互依的に制御されることも示された。これらの結果から、WaplやPds5が直接コヒーシン複合体のコンフォメーション変化を誘導することにより、その染色体からの解離を促進するのに対し、Plk1とaurora Bは染色体腕部におけるSgo1の機能を弱めることによって、分割の促進に貢献していると考えられる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shintomi K, Hirano T, "Releasing cohesin from chromosome arms during early mitosis: opposing actions of Wapl-Pds5 and Sgo1" *Genes and Development* Vol.23 18 pp2224-2236 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

新富 圭史, 平野 達也, "Releasing cohesin from chromosome arms during early mitosis: opposing actions of Wapl-Pds5 and Sgo1" 第32回 日本分子生物学会年会 横浜 日本 2009 12

XIX - 032 アセチル CoA などの代謝がヒストンの修飾を介して ゲノムレベルで遺伝子の発現に及ぼす影響に関する分子生物学的研究 A Molecular Biological Study on How Acetyl-CoA and Other Metabolic Processes Affect Genome-wide Gene Expression through Histone Modifications

研究者氏名：高橋 秀和 Takahashi, Hidekazu
受入研究室：基幹研究所
吉田化学遺伝学研究室
(所属長 吉田 稔)

ヒストンの修飾は遺伝子発現やエピジェネティクスに重要である。ヒストンのアセチル化には必ずアセチルCoAが供与基として用いられる。本研究では、細胞内アセチルCoAなどのエネルギー代謝が、ヒストン修飾のレベルを変化させて、遺伝子発現やエピジェネティクスに影響を与えるかを調べている。本年度は、ラット初代肝細胞などの哺乳類細胞を様々な炭素源で培養して、ヒストンのアセチル化が変化するかを調べた。その結果、酢酸や高濃度のグルコースなどアセチルCoA濃度が高くなると予想される条件下でヒストンのアセチル化が増大した。さらに、小分子に対する細胞膜透過処理を行なっ

て、アセチルCoAなどの濃度変化によって転写やヒストン修飾がどう変化するかを調べる系の構築を試みて、その最適化を行なっている最中である。

また、エネルギー代謝とエピジェネティクスを結ぶ新たな経路としてミトコンドリアに着目した研究も行なっている。アセチルCoAの代謝に重要なオルガネラであるミトコンドリアでは多くのタンパク質がアセチル化される。ミトコンドリアのタンパク質のアセチル化は代謝と遺伝情報をリンクさせる重要な役割を果たす可能性があるが、ミトコンドリアのアセチル化酵素は全く同定されていない。我々は昨年度までに分裂酵母のSuperoxide dismutase (SOD)

がアセチル化されていることを見いだして、アセチル化の機構を解析するためのモデル基質として用いている。本年度はミトコンドリアに局在するタンパク質を欠損する約400の分裂酵母株のうち、SODのアセチル化が減少している株をスクリーニングした。その結果、ミトコンドリア内膜に局在するアミノ酸トランスポーター遺伝子およびアミノ酸代謝酵素の遺伝子を同定した。これらの遺伝子がSODのアセチル化にどのような機構で必須なのか現時点では不明である。後者のアミノ酸代謝酵素はアセチル化反応に直接関与している可能性もあるものの、*in vitro*での予備実験ではSODのアセチル化を触媒しなかった。ミトコンドリアへのアセチルCoAまたはその前

駆体の輸送に関連している可能性がある。またアミノ酸代謝がTor経路などを通じてグローバルなタンパク質アセチル化に影響する未知の機構が存在するのかもしれない。実際に後者のアミノ酸代謝酵素の欠損株では核ゲノムのクロマチンサイレンシングが解除されていた。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

高橋 秀和, 鈴木 健裕, 白井 温子, 松山 晃久, 堂前 直, 吉田 稔, "分裂酵母のミトコンドリアSODの翻訳後修飾の解析" 酵母遺伝学フォーラム第42回研究報告会 つくば市 日本 2009 7

XIX - 033

ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による 転写抑制機構の解明と新規疾患治療薬への応用

Clarification of the Mechanism of Transcriptional Repression by Histone Deacetylase Inhibitors and Application for the Novel Therapeutic Agents

研究者氏名：古米 亮平 Furumai, Ryohei

受入研究室：基幹研究所

吉田化学遺伝学研究室

(所属長 吉田 稔)

一般に、ヒストンが高度にアセチル化された領域は転写活性化領域と相関し、転写を正に制御するコアクチベーターの多くがヒストンアセチル化活性を持つことが知られている。ヒストン脱アセチル化酵素 (histone deacetylase, HDAC) の阻害剤は、ヒストンの高アセチル化を誘導することによって様々な遺伝子の発現を活性化するが、その中にがん抑制遺伝子が含まれることから、HDACは抗がん剤の標的として研究されてきた。一方で、HDAC阻害剤は炎症性因子の発現を抑制し、抗炎症作用を持つことが近年報告されており、この分子機構は不明である。本研究の目的は、HDAC阻害剤による遺伝子発現抑制機構の解明である。これは、糖尿病やリウマチ関節炎などの炎症性疾患の発病分子機構を明らかにすることにも繋がり、病理学的にも意義のある基礎研究である。

これまでの研究で、HeLa細胞において、炎症刺激によって惹起される炎症性遺伝子の発現誘導が、HDAC阻害剤であるトリコスタチンA (TSA)存在下で抑制されることを確認した。炎症性遺伝子の責任

転写因子であるNF-kappaBは刺激依存的にすみやかに核内へ移行するが、TSAはこのステップには影響を与えておらず、TSAによる転写抑制はクロマチンレベルで起こっていると考えられた。本年度は、クロマチン免疫沈降法 (ChIP) によって、炎症刺激によって誘導されるインターロイキン8 (IL-8) 遺伝子領域における、転写制御因子のリクルートやヒストン修飾状態の変化を調べた。転写因子NF-kappaB、および転写反応を行うRNAポリメラーゼII (Pol II) は刺激依存的にリクルートされるが、TSA存在下ではこれらのリクルートが阻害されていることが分かった。この結果は、これらの因子の標的遺伝子領域への効率的な集積にHDAC活性が必要であることを示唆する。実際に、転写活性化時にヒストンアセチル化酵素であるp300とともに、HDAC3がリクルートされていることを見出した。つまり、効率的な転写活性化にはヒストンアセチル化を正と負に触媒する両方の酵素が必要であると考えられる。しかしながら、転写活性化の際に遺伝子領域において顕著なヒストンアセチル化が引き起こされることも確認して

おり、HDACの転写活性化時の役割については不明である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

International Conference etc. Furumai R, Yoshida M, "HDAC activity is required for proper induction of inflammatory genes" FASEB Summer Research Conferences: Histone Deacetylases and Reversible Acetylation in Signaling and Disease Lucca Italy 2009 8
International Conference etc. Yoshida M, Furumai R, "Chemistry and biology of spliceostatin A: An antitumor agent that inhibits pre-mRNA splicing" Fall 2009

ACS National Meeting Washington USA 2009 8
International Conference etc. Nishino N, Furumai R, Maeda S, Kobashi N, Ito A, Yoshida M, "Bridging between HDAC inhibitors and therapeutic applications" Fall 2009 ACS National Meeting Washington USA 2009 8
(国内学会等)
古米 亮平, 吉田 稔, "ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による炎症性遺伝子の転写抑制機構" 日本ケミカルバイオロジー学会第4回年会 神戸 日本 2009 5
古米 亮平, 吉田 稔, "炎症性遺伝子の発現誘導にHDAC活性が必要である" 第82回日本生化学会大会 神戸 日本 2009 10

XIX - 034

分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによる タンパク質アセチル化の包括的機能解析 Comprehensive Analysis of Protein Acetylations Using a Fission Yeast Temperature Sensitive Mutants Library

研究者氏名：松村 拓洋 Matsumura, Takuhiro
受入研究室：基幹研究所
吉田化学遺伝学研究室
(所属長 吉田 稔)

タンパク質のアセチル化は、リン酸化やメチル化と並び、重要な翻訳後修飾の一つである。ヒストンのアセチル化については、これまでに多くの研究が行われ、遺伝子の転写を活性化する役割がよく知られている。しかし、近年になって、ヒストン以外の多くのタンパク質もアセチル化されることや、それらをアセチル化、脱アセチル化する酵素が報告され、アセチル化の重要性がさらに認識されるようになってきた。しかし、細胞内でアセチル化が果たす役割については、まだ不明なことが多い。

そこで、本研究では、分裂酵母変異株と薬剤との相互作用を検証することによって、アセチル化の新たな役割を解明するアプローチを試みた。ヒストン脱アセチル化酵素(HDAC)の阻害剤であるTrichostatin A (TSA)が1015株の温度感受性変異株の生育に与える影響を調べたところ、TSAによって温度感受性が抑制されて、高温下でも生育可能になるものが45株、生育が強く阻害されるものが46株あった。さらに、温度感受性が抑制される45株の原因遺伝子の同定を試みた結果、遺伝子の機能は、小胞輸送(18株、10遺

伝子)、姉妹染色分体の分離(12株、5遺伝子)、アクチン細胞骨格(3株、2遺伝子)など、少数のグループに収束した。これらの細胞の機能にアセチル化が関与するという報告は限られているので、タンパク質のアセチル化に未知の機能があることが示唆された。

本年度は、さらに、小胞輸送とアクチン細胞骨格関連の変異株について解析を進めた。Rab escort proteinをコードする*rep1*とcoatomer (COPI)のサブユニットをコードする*ret3*の変異株でDNAマイクロアレイ解析を行ったところ、これらの変異株で、サブテロメア領域の遺伝子の転写が抑制されていることがわかった。また、小胞輸送とアクチン細胞骨格の変異株では、アルギニンなどの特定のアミノ酸の細胞内濃度が低下することがわかった。これらのことから、ヘテロクロマチンのような染色体の構造や、アミノ酸濃度に関わるシグナル伝達系が小胞輸送とアクチン細胞骨格関連の変異株の生育阻害に関わることが示唆された。

今後は、さらに解析をすすめて、アセチル化が関

わる細胞内プロセスの解明をめざす計画である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsumura T, Nakaseko Y, Nakamura T, Matsuyama A,
Yanagida M, Yoshida M, "IDENTIFICATION OF

GENETIC LOCI OF TEMPERATURE-SENSITIVE
MUTATIONS THAT ARE RESCUED BY A
DEACETYLASE INHIBITOR" The 5th International
Fission Yeast Meeting (Pombe 2009) Tokyo Japan
2009 10

XIX - 035 ゴルジ体における膜脂質の非対称分布形成機構の解明

Analysis of the Transition of Lipid Composition During the Golgi Cisternae Maturation

研究者氏名：稲留 弘乃 Inadome, Hironori

受入研究室：基幹研究所

小林脂質生物学研究室

(所属長 小林 俊秀)

真核細胞は脂質二重膜とタンパク質から構成される細胞内小器官によって細胞内を区切ることで複雑な細胞内イベントを効率よく行っている。特に小胞体、ゴルジ体、エンドソーム、リソソームからなる小胞輸送経路はそれぞれがお互いに盛んに物質交換を行うにも関わらず、それらの構成分子であるタンパク質や脂質の組成は均一になることはなく、固有の組成を維持している。タンパク質の局在に関係するメカニズムの解明が進む一方で、脂質分布の偏在化に関わるメカニズムは全くといっていいほど未解明であるのが現状である。そこで本研究では分泌経路上のオルガネラに焦点を絞り、オルガネラごとの詳細な脂質組成の解析を通じて、脂質の分布状態の解明とその機能の解明を目指して研究を行った。

はじめに出芽酵母を材料としてゴルジ体のサブコンパートメントである初期ゴルジと後期ゴルジを免疫沈降法により単離し、それぞれの脂質組成を質量分析計により解析した。申請者はこれまでに免疫沈降法によりゴルジ体サブコンパートメントを単離し、そのプロテオーム解析から極めて高精度にゴルジ体を精製できることを示してきた。脂質に関する解析は今回が初めての試みであったが、脂肪滴由来と思われる脂質が免疫沈降に用いた担体へ非特異的に多量に吸着してしまい、解析が極めて困難であった。担体の素材や溶出条件の検討を重ねたが、効果的な改善は見られなかった。そこで、免疫沈降法以外でのオルガネラの精製を行うこととした。

ゴルジ体と同様にエンドソームも初期エンドソーム、後期エンドソームといったサブコンパートメン

トから構成される小胞輸送経路のオルガネラである。また、後期エンドソームはオルガネラの内部にもマルチベシキュラーボディーと呼ばれる膜構造が存在しているが、それらの構成分子に関する詳細は明らかになっていない。申請者の所属研究室ではハムスター由来の培養細胞BHK (baby hamster kidney)細胞から、シヨ糖密度勾配遠心法により後期エンドソームを精製する技術を有している。本研究では精製した後期エンドソームを穏やかに破碎した後、さらにシヨ糖密度勾配遠心を行うことで後期エンドソームの内膜と外膜を分離し、その脂質組成を解析した。後期エンドソームの内膜にはビスモノホスファチジン酸(BMP)という特殊な脂質が存在するが、シヨ糖密度勾配遠心分画によりこの脂質の分布が低密度画分と高密度画分の二つに分離した。また、それ以外のリン脂質は中間の画分に回収された。これら3つのフラクションに含まれるApoBが、高密度画分からはエンドソームのプロテアーゼが、中間の画分からは細胞質に多量に存在するタンパク質が同定されたことから、低密度画分はエンドサイトーシスされたLDL由来の膜系、高密度画分はマルチベシキュラーボディー由来の膜系、中間の画分はエンドソーム外膜であると考えられた。血清中のLDLにはBMPが存在しないことから、BMPはエンドサイトーシスされる間にLDLに転移すると予測された。このBMPのLDLへの転移はエンドソームのプロトンATPaseの阻害剤であるバフィロマイシンA処理により阻害されたことから、BMPのLDLへの転移はエンドソームのpHに依存することが明らかに

なった。BMPはLDLに多く含まれるコレステロールエステルをコレステロールへと変換する酵素の活性制御に必須であり、BMPのLDLへの転移は細胞内のコレステロール量の制御に重要な役割を担っていることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Murate M, Hayakawa T, Ishii K, Inadome H, Greimel P, Watanabe M, Nagatsuka Y, Ito K, Ito Y, Takahashi H, Hirabayashi Y, Kobayashi T: "Phosphatidylglucoside forms specific lipid domains on the outer leaflet of the plasma membrane.", *Biochemistry*. 2010 Jun

15;49(23):4732-9

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Inadome H., Kobayashi T.: "Late endosome specific lipid shuttles between bilayer and lipoprotein monolayer in the organelle" InseRM-RIKEN Lipidomics Unit (IRLU) 1st Meeting Lyon France 2009 6

(国内学会等)

稲留 弘乃: "後期エンドソーム特異的脂質 BMP のオルガネラ内分布", 第2回リピッド合同コンファレンス, 彦根, 日本 2009 9

XIX - 036 革新的高輝度性能を実現する NEA 光陰極電子源の開発研究

Extremely High Brightness Electron Source Using a Semiconductor Photocathode

研究者氏名: 西谷 智博 Nishitani, Tomohiro

受入研究室: 仁科加速器研究センター

延興放射線研究室

(所属長 延興 秀人)

光陰極電子源は、宇宙誕生の謎に迫る次世代線形加速器「国際リニアコライダー」における実用偏極電子源だけでなく、ライナック・ベースの次世代放射光源加速器の超高輝度電子源としても期待されている。一方、半導体デバイスの微細化や機能材料高度化には、既存のナノテクノロジーを超える原子レベルでの詳細な構造解析や元素分析、構造内の電磁界分布評価が可能な次世代電子顕微鏡が不可欠であり、その実現には、電子源の高性能化が鍵となっている。私は、輝度とスピン偏極性能に強力な利点を持つ半導体光陰極が、その電子源候補になると考えた。本研究では、高輝度性能化への独自のアイデアとして提案している超格子光陰極の結晶構造最適化を追求し、放出電子の極小エネルギー幅と大電流引出しによる超高輝度性能の実証を目的としている。現在までに独自開発したバルク状AlGaAsフォトカソードの性能評価実験で、従来技術に比べ2倍の高量子効率化と10倍以上の長寿命化を達成している。

本年度は、この高量子効率-長寿命フォトカソード半導体の結晶構造を利用した超格子光陰極の作成を行い、光陰極を用いた30keV電子銃を開発し、ピコ秒の短パルス電子ビーム生成に成功した。

(1)有効質量近似のクローニヒ・ペニーモデルによるバンド理論計算を用いて、これまで追求してきた高輝度化のみならずスピン偏極した電子生成が可能であることを見出し、半導体結晶の設計を行い、名古屋大学工学研究科およびベンチャービジネスラボラトリーと共同で超格子光陰極半導体を開発した。

(2)開発した超格子光陰極を装填する30keV光陰極電子銃開発では、バルク状光陰極半導体を用いて、電子励起用ピコ秒パルスレーザーのパルス時間構造に応答したピコ秒の短パルスの電子ビーム生成に成功した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nishitani T, Meguro T, Motoki K, Suzuki Y, Tabuchi M, Takeda Y, "High-Brightness Spin-Polarized Electron Source Using Semiconductor Photocathodes" *Japanese Journal of Applied Physics* Vol.48 pp06FF02-1-06FF02-3 (2009)

Nishitani T, Tabuchi M, Takeda Y, Suzuki Y, Motoki k, Meguro T, "Superlattice Photocathode with High Brightness and Long NEA-Surface Lifetime" *Ameri-*

can institute of physics Vol.1149 pp1047-1051 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nishitani T, Tabuchi M, Motoki K, Suzuki Y, Meguro T, Takeda Y, *Development of Pulse Electron Gun with High Brightness Electron Source Using Superlattice Photocathode* The International Workshop on "Fundamentals of Quantum Mechanics and Its Applications" Okinawa Japan 2009 5

(国内学会等)

西谷 智博, 田淵 雅夫, 竹田 美和, 鈴木 裕史, 元木 和也, 目黒 多加志, *AlGaAs-GaAs 超格子フォトカソード電子源の開発* 第56回応用物理学関係連合講演会 つくば 日本 2009 3-4

西谷 智博, 田淵 雅夫, 鈴木 祐史, 元木 和也, 竹田 美和, *負電子親和力表面を持つ半導体を用いた30keVフォトカソード電子銃の開発* 日本顕微鏡学会第65回学術講演会 仙台 日本 2009 5

XIX - 037

網膜幹細胞ニッチにおける細胞間相互作用の 形態学および分子遺伝学的解析

Anatomical and Molecular Genetic Analysis

on Inter-Cellular Interactions in the Retinal Stem Cell Niche

研究者氏名：久保 郁 Kubo, Fumi

受入研究室：基幹研究所

中川独立主幹研究ユニット

(所属長 中川 真一)

成体のさまざまな組織には幹細胞が存在し、それらは当該組織の恒常性の維持に深く関与している。近年、幹細胞はその周囲の特殊な微小環境(ニッチ)によってその性質が制御されていることが明らかにされつつあるが、脊椎動物の幹細胞システムにおけるニッチ-幹細胞間の相互作用については未解明な点が多く残されている。網膜幹細胞は、網膜組織内の辺縁部領域に限局して存在することが知られており、この領域は網膜幹細胞ニッチであると仮定できる。この網膜幹細胞ニッチには、毛様体細胞、網膜色素上皮細胞、網膜前駆細胞などのさまざまな異なる細胞種が存在していることから、これらの非幹細胞と網膜幹細胞との間になんらかの相互作用があり、それが幹細胞の性質を調節している可能性がある。本研究では、幹細胞ニッチにおける幹細胞とその周囲の細胞との相互作用がもつ役割を、解剖学的観察および分子遺伝学的解析を行うことによって解明することを目的とする。

本年度はまずWntシグナルの活性化状態をモニターすることのできるレポーターを用いて、網膜形成後期において網膜幹細胞を特異的に標識する系を立ち上げた。TCF結合配列を複数持つプロモーター(TOP)を用いてテトラサイクリン応答型転写因子

Tet-onを発現させるプラスミド、およびテトラサイクリン応答配列の制御下で膜結合型GFPを発現するプラスミドを作製し、これらをトランスポゾン系を用いてニワトリ胚網膜に導入しゲノムに組み込ませた。テトラサイクリンによる発現誘導を行うと、網膜辺縁部の少数の細胞においてGFPの発現が観察された。また、この標識を行うのと同時にWnt2bの過剰発現を行うとGFPを発現する細胞の数が増えたことから、この方法でWnt応答細胞を標識することができるが確認できた。このようにして標識されたWnt応答性細胞は、神経上皮の頂端部に太い突起をもち、逆に基底部側には分岐した突起をもつ、という特徴的な形態を有していた。現在これらWnt応答性の幹細胞が電顕的に特徴のある微細構造を持っているかどうか解析するために、上述の方法で網膜幹細胞を標識したサンプルを用いてGFPに対する免疫電顕を行っている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kubo F, Nakagawa S, "Hairy1 acts as a node downstream of Wnt signaling to maintain retinal stem cell-like progenitor cells in the chick ciliary marginal zone" *Devel-*

opment Vol.136 11 pp1823-1833 (2009)

(総説)

久保 郁, "幹細胞における Wnt シグナルの意義を知る" Vol.16 3 pp85-87 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会)

Kubo F, "Hairy1 acts as a node downstream of Wnt sig-

naling to maintain retinal stem cells-like progenitor cells in the chick ciliary marginal zone" OIST International Workshop The Retina: Neural Stem Cells and Photoreceptor Degeneration Okinawa Japan 2009 11

(国内会議等)

久保 郁, "網膜幹細胞の未分化性を維持するシグナル伝達経路" 第2回 Retina Research Meeting 東京 日本 2009 12

XIX - 038 植物受精機構を基盤とした真核生物接合メカニズムの研究

The Study on the Eukaryotic Gamete Interaction Mechanism Based on Plant Fertilization Systems

研究者氏名: 森 稔幸 Mori, Toshiyuki

受入研究室: 基幹研究所

宮城島独立主幹研究ユニット

(所属長 宮城島 進也)

これまでの研究成果として見いだされた高等植物受精因子GCS1は花粉内の雄性配偶子表面で特異的に発現する新規の膜貫通型タンパク質であることが示されており、高等植物の配偶子融合がタンパク質分子によって決定づけられていることが明らかとなった。平成21年度はGCS1分子の機能的構造を見出すべく、様々な改変GCS1をGFPの融合タンパク質として作製し、GCS1変異株を導入した。その結果GCS1の機能中心は、膜間通領域よりN末側にあることが示唆された。また、さらなる受精因子を同定するために、雌雄の配偶子特異的マーカー遺伝子を利用したシロイヌナズナ新規受精異常株の探索を試みた。その結果GCS1変異株に見られる未受精精細胞を高頻度に見せる株(#47株)の検出に成功した。#47株の表現型は雄側支配であり、同株を花粉のドナーとした場合においてのみ未受精精細胞が検出されることが分かった。また、種子に発達できない胚珠に加えて発達異常を見せる種子がしばしば検出された。花粉内の精細胞は対をなしており、一方は雌性配偶体(胚のうち)中の卵細胞と融合して胚となり、他方は中央細胞と融合し胚乳(イネでいう白米部分)へと発達する。#47における上記の受精阻害はGCS1変異株のそれと比べると傾向が弱く、2つの精細胞のうち片方のみが受精を逃げる現象も見られ、上記の発達異常種子に繋がったものと考えられる。以上の結果から#47遺伝子は配偶子融合を何らかの形で補助する因子である

ことが示唆された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirooka S, Misumi O, Yoshida M, Mori T, Yagisawa F, Yoshida Y, Fujiwara T, Kuroiwa H, Kuroiwa T, "Expression of the Cyanidioschyzon merolae stromal ascorbate peroxidase in Arabidopsis thaliana enhances thermotolerance." Plant Cell Reports in press

(総説)

Hirai M, Mori T, "Fertilization is a novel attacking site for the transmission blocking of malaria parasites." Acta Tropica in press

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

森 稔幸, "重複受精最終ステージを謎解く~植物受精決定因子の発見とその後~" 日本植物学会第73回大会 山形 日本 2009 9

森 稔幸, "植物と動物に共通な配偶子融合機構にせまる鍵分子"GCS1"" 第82回日本生化学会大会 兵庫 日本 2009 10

森 稔幸, "植物受精の解析から配偶子融合の共通機構を探る" 第32回日本分子生物学会年会 神奈川 日本 2009 12

一核子移行反応を用いた中性子過剰核の研究
Study of Neutron-Rich Nuclei via One-Nucleon Transfer Reactions

研究者氏名：近藤 洋介 Kondo, Yosuke
 受入研究室：仁科加速器研究センター
 本林重イオン核物理研究室
 (所属長 本林 透)

一核子移行反応は角度分布や断面積からスピン・パリティや分光学的因子を推定することができるので、原子核構造を調べる上で有用である。逆運動学条件下における一核子分離反応は、破砕片の運動量分布および断面積の測定から同様の情報を引き出すことができる有用な反応である。昨年度ではこの反応を ^{19}C 、 ^{18}C に適用し、陽子標的を用いた場合の一中性子分離反応による分光法を確立した。そこで本年度ではこの手法を ^{14}Be に適用し、非束縛核 ^{13}Be の核分光を行った。

^{13}Be は非常に中性子過剰なため、もはや束縛することができない非束縛核であり、中性子ドリップラインの外側に位置する原子核である。この ^{13}Be の準位構造を調べることにより、中性子ドリップライン外側の超中性子過剰領域での殻構造の変化を知ることができる。また、 ^{13}Be の情報はボロミアン系と呼ばれる3体束縛系 ^{14}Be の構造を理解するうえでも重要である。これまで ^{13}Be の非束縛準位を観測するために数多

くの実験が行われているが、実験結果が一致しないために ^{13}Be の準位およびそのスピン・パリティはまったく未知であった。

^{14}Be の一中性子分離反応の場合には、反応で生成される ^{13}Be は非束縛であるので、 ^{12}Be と中性子に崩壊する。この崩壊粒子である ^{12}Be と中性子の運動量ベクトルを同時測定して不変質量スペクトルを求めることにより、 ^{13}Be の非束縛準位を同定することができる。

実験データの解析の結果、 ^{13}Be の非束縛準位に対応するピークを中性子崩壊の閾値の上0.5MeVに観測した。このピークのイベントに関して運動量分布を解析したところ、このピークはp波共鳴状態であることが分かった。このp波共鳴状態が比較的エネルギーの低い状態として観測されたことはN=8のシェルギャップが無くなることを表しており、中性子ドリップラインの外側での殻構造の変化を示す重要な結果となった。

陽子過剰核の反応断面積測定と陽子ハロー構造
Study of Reaction Cross Sections and
Nucleon Density Distributions of Proton-Drip Line Nucleus

研究者氏名：武智 麻耶 Takechi, Maya
 受入研究室：仁科加速器研究センター
 櫻井 RI 物理研究室
 (所属長 櫻井 博儀)

本研究では、不安定核の反応断面積を測定し、主に Glauber 計算を用いることでドリップライン核の核半径および核子密度分布を導出、不安定原子核の特性・構造の研究を行う。本年度は RIBF 加速器施設より提供される ^{48}Ca ビームを用いて、Ne, および Na 同位体を入射核破砕反応により生成し、RI ビーム分離生成装置 Big-RIPS を用いて、核子あたり 250 MeV 程度のエネルギー領域において反応断面積の測定実験を行った。実験は BIG RIPS 二次ビームセパ

レーターを用いて行い、中性子過剰領域から安定線にかけて($^{20-28}\text{Ne}$)の反応断面積の系統性を調べた。本研究の主な目的は不安定核の研究にあるが、その異常性を知るためには、標準的な安定核のデータとも比較する事が重要なため、このような測定を行った。またそれとともに、 ^{31}Ne の統計精度をあげ、 ^{31}Ne が中性子ハロー構造を持つこと、および中性子過剰領域における殻構造の重大な変化を明確に示すデータを得た。

本年度末には、放射線医学総合研究所の重イオンシンクロトロン加速器 HIMAC より供給される ^{20}Ne を用い、安定線から陽子過剰領域 ($^{17-20}\text{Ne}$) にかけての二次ビームを生成し、核子当り 数十～数百 MeV の中間エネルギー領域における反応断面積測定実験を行う。この実験により、表題の目的である、陽子ハロー構造の研究を達成するだけでなく、中性子過剰領域から、陽子過剰領域にかけての核構造の変化を系統的に議論できる有意義なデータを完成させることになる。さらに、このデータは、近年海外で測定されている荷電半径のデータ、および安定核の反応断面積系統性と比較する事で、核物質としての陽子・中性子が陽子／中性子比の変化に応じてどのように振る舞いを変えるかを示す貴重な情報ともなり、宇宙の構成物質である核物質への理解をより深める事にも貢献できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- M. Takechi, M. Fukuda, M. Mihara, K. Tanaka, T. Chinda, T. Matsumasa, M. Nishimoto, R. Matsumiya, Y. Nakashima, H. Matsubara, K. Matsuta, T. Minamisono, T. Ohtsubo, T. Izumikawa, S. Momota, T. Suzuki, T. Yamaguchi, R. Koyama, W. Shinozaki, M. Takahashi, A. Takizawa, T. Matsuyama, S. Nakajima, K. Kobayashi, M. Hosoi, T. Suda, M. Sasaki, S. Sato, M. Kanazawa, and A. Kitagawa: "Reaction cross sections at intermediate energies and Fermi-motion effect" *Physical Review C* Vol.79 061601(R) (2009)
- M. Takechi, T. Ohtsubo, T. Kuboki, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Yamaguchi, A. Ozawa, T. Moriguchi, T. Sumikama, H. Geissel, N. Aoi, N. Fukuda, I. Hachiuma, N. Inabe, Y. Ishibashi, Y. Itoh, D. Kameda, K. Kusaka, M. Lantz, M. Mihara, Y. Miyashita, S. Mo-

mota, K. Namihira, H. Ohishi, Y. Ohkuma, T. Ohnishi, M. Ohtake, K. Ogawa, Y. Shimbara, T. Suda, S. Suzuki, H. Takeda, K. Tanaka, R. Watanabe, M. Winkler, Y. Yanagisawa, Y. Yasuda, K. Yoshinaga, A. Yoshida, K. Yoshida, and T. Kubo: "Measurements of nuclear radii for neutron-rich Ne isotopes $^{28-32}\text{Ne}$ " *Nuclear Physics A* (2010) (アクセプト済、未出版)

- K. Tanaka, T. Yamaguchi, T. Suzuki, T. Ohtsubo, M. Fukuda, D. Nishimura, M. Takechi, K. Ogata, A. Ozawa, T. Izumikawa, T. Aiba, N. Aoi, H. Baba, Y. Hashizume, K. Inafuku, N. Iwasa, K. Kobayashi, M. Komuro, Y. Kondo, T. Kubo, M. Kurokawa, T. Matsuyama, S. Michimasa, T. Motobayashi, T. Nakabayashi, S. Nakajima, T. Nakamura, H. Sakurai, R. Shinoda, M. Shinohara, H. Suzuki, E. Takeshita, S. Takeuchi, Y. Toganoo, K. Yamada, T. Yasuno, M. Yoshitake: "Observation of a Large Reaction Cross-Section in the Drip-Line Nucleus ^{22}C " *Physical Review Letter* (2010) (アクセプト済、未出版)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議における招待講演)

- M. Takechi: "Study of exotic nuclear structures via total reaction cross sections" *Nuclear physics with the New-Generation Rare Isotope Beams (Third Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and The Physical Society of Japan)* Waikoloa, Hawaii, USA. 13th October, 2009. Invited Oral Presentation (International Conference)
- M. Takechi: "Measurements of nuclear radii for neutron-rich Ne isotopes $^{28-32}\text{Ne}$ " *The 10th International Conference on Nucleus-Nucleus collisions (nn2009)* Beijing, China. 16th - 21st August, 2009.

XIX — 043

超弦の場の理論の構成とその応用

Construction of Superstring Field Theory and Its Application

研究者氏名：岸本 功 Kishimoto, Isao
 受入研究室：仁科加速器研究センター
 川合理論物理学研究室
 (所属長 川合 光)

開弦の場の理論の解析解として単位弦場に基づく

解(高橋-谷本解、TT解)が知られている。これは実

パラメータ a (ただし a は $-1/2$ 以上)を含むものである。このTT解のまわりの理論の摂動論については、 $a = -1/2$ の場合にのみBRSTコホモロジーが世界面上のゴースト数1のセクターでは自明になっていることが我々によって示されている。[岸本-高橋(2002)]今年度の研究ではさらにTT解のまわりの理論を非摂動論的に調べた。つまり、TT解のまわりの理論の運動方程式をSiegelゲージ条件のもとで、レベルトランケーションを用いて数値的に解いて、ゲージ不変量(ポテンシャルの高さおよびon-shell閉弦状態との内積(gauge invariant overlap))を評価した。得られた結果は、以前の研究と整合するものである。

数値解としては、2種類のを構成した。一つは $a=0$ (これは元々の理論つまり加藤-小川のBRST演算子で与えられる理論)での運動方程式の解から出発して逐次近似で構成していくものであり、ポテンシャルの高さは負の値を持ち、安定解を表している。レベルを上げるとポテンシャルの高さは $a = -1/2$ 以外では $-$ (Dブレーン張力)に等しく、 $a = -1/2$ では消えることが示唆される。これは $a = -1/2$ 以外ではDブレーンが消滅する非自明解が存在すると解釈される。もう一つの解はまず $a = -1/2$ における運動方程式の非自明解を逐次近似で構成し、それをもとに別の a の解を構成していくものであり、ポテンシャルの高さは正の値を持ち、不安定解を表している。レベルを上げるとポテンシャルの高さは $a = -1/2$ でのみ $+$ (Dブレーン張力)に等しく、それ以外では消えることが示唆される。これは $a = -1/2$ でのみDブレーンを表す非自明解(摂動論的真空に対応)が存在すると解釈できる。gauge invariant overlapも同様な振る舞いを示した。以上の結果は、元々のTT解が、 $a = -1/2$ 以外では純ゲージ解であり、 $a = -1/2$ ではDブレーンが消滅した非摂動論的真空を表す解である、という従来の解釈を定量的に支持するものである。なお、この研究により、Siegelゲージの数値解のトランケーションレベルを(24,72)まで上げることに成功し、世界記録を更

新した。

近年では弦の場の理論の非摂動論的真空としてSchnabl解を用いた研究が多くなってきたが、上記の結果はそれ以前に提唱されたTT解も同様にDブレーンの消滅を表すことが改めて示唆され、今後の弦の場の理論の全貌を明らかにしていく上で有用な結果である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kishimoto I, Takahashi T, "Numerical evaluation of gauge invariants for a -gauge solutions in open string field theory" Progress of Theoretical Physics Vol.121 4 pp695-710 (2009)

Kishimoto I, Takahashi T, "Vacuum structure around identity-based solutions" Progress of Theoretical Physics Vol.122 2 pp385-399 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kishimoto I, Takahashi T, "Numerical evaluation of gauge invariants for a -gauge solutions in open string field theory" Second International Conference on String Field Theory and Related Aspects Moscow Russia 2009 4

Kishimoto I, Takahashi T, "On identity based solutions in open string field theory" APCTP Focus Program on Current Trends in String Field Theory Pohang Korea 2009 12

(国内学会等)

岸本 功, 高橋 智彦, "Vacuum structure around identity based solutions" 基研研究会「場の理論と弦理論」京都 日本 2009 7

岸本 功, 高橋 智彦, "単位弦場に基づく解のまわりの開弦の場の理論の真空構造" 日本物理学会2009年秋季大会 神戸 日本 2009 9

RHIC-PHENIX 偏極陽子陽子衝突実験における 陽子内グルーオン偏極構造関数の研究

Study of the Polarized Gluon Structure Function of the Proton in Polarized Proton-proton Collisions at RHIC-PHENIX

研究者氏名：外川学 Togawa, Manabu
受入研究室：理研BNL研究センター
実験研究グループ
(所属長 秋葉 康之)

米国ブルックヘブン国立研究所にある、Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)で行っている、世界初の偏極陽子衝突による、スピンをプローブとした核子内部構造の研究において、以下の研究を進めた。

(1)「偏極陽子衝突における超前方生成中性子の横偏極非対称度の研究」

今年度行われたRHIC実験においては、初の重心系エネルギー500 GeVでの偏極陽子衝突実験が行われた。この高エネルギー衝突においても、超前方(散乱角、 $-2.8 \sim 2.8$ mrad.)に生成される中性子に大きな横偏極非対称度が観測された。これまで観測された、重心系エネルギー62、200 GeVでのデータとを比較し、このエネルギー領域では、重心系エネルギーが高くなるにつれ、非対称度も大きくなるという結果を得た。

(2)「偏極陽子衝突における陽子ビームの偏極方向測定」

陽子ビームの偏極方向測定には(1)で述べた中性子の非対称度を測定することによって行う。前年度までは、PHENIXのデータ収録装置で得られたデータを、オフラインで解析していたが、今年度において、装置のデータ転送限界などの制約を改善すべく、スケーラを用いたデータ収集システムの構築を行った。重心系エネルギー500 GeVにおいては、僅か5分間のデータ収集で、ビームバンチ毎の偏極方向が測定できるなど、非常に強力な偏極度計として活躍した。データはPHENIXオンラインモニターで解析され、その結果を加速器側のデータベースにも送っており、その一連の構築を行った。

(3)「シリコンストリップ検出器の動作試験」

PHENIX実験における検出器アップグレードの一つに、シリコン崩壊点検出器の開発が挙げられる。当検出器は、内二層をピクセル検出器、外二層をストリップ検出器で構成され、主にストリップ検出器の開発に関わってきた。前年度において行われた性

能評価により、当検出器が実験要求を満たすことを確認し、現在大量生産を行うべく最終調整中である。その中でも主に、大量生産時における個々の検出器の動作チェック工程確立を行った。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. PHENIX collaboration : Measurement of Bottom versus Charm as a Function of Transverse Momentum with Electron-Hadron Correlations in p+p Collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV. Phys. Rev. Lett.103, 082002, 2009.
2. PHENIX collaboration : Photon-Hadron Jet Correlations in p+p and Au+Au Collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV. Phys. Rev. C80, 024908, 2009.
3. PHENIX collaboration : Photoproduction of J/psi and of high mass e+e- in ultra-peripheral Au+Au collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV. Phys. Lett., B679, 321-329, 2009.
4. PHENIX collaboration : Inclusive cross section and double helicity asymmetry for π^0 production in p+p collisions at $\sqrt{s} = 62.4$ GeV. Phys.Rev. D79, 012003, 2009.
5. PHENIX collaboration : The Polarized gluon contribution to the proton spin from the double helicity asymmetry in inclusive π^0 production in polarized p + p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV. Phys. Rev. Lett. 103, 012003, 2009.

●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会)

1. M.Togawa for the PHENIX collaboration : "Leading neutrons in polarized pp collision at RHIC-PHENIX", XVII International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, DIS2009.
2. M.Togawa : "Local polarimetry at RHIC experiments", XIIIthInternational Workshop on Polarized Sources, Targets & Polarimetry, PST 2009.

**神経変性疾患における
cross-seeding によるアミロイド形成制御機構**

Roles of Cross-seeded Protein Fibrillization in Neurodegenerative Diseases

研究者氏名：古川 良明 Furukawa, Yoshiaki

受入研究室：脳科学総合研究センター

構造神経病理研究チーム

(所属長 貫名 信行)

Cu,Zn-superoxide dismutase (SOD1)は生体内酸化ストレスの軽減に関わるタンパク質だが、アミノ酸変異が生じると神経難病の一つである筋萎縮性側索硬化症(ALS)の原因となる。現在までに同定されたSOD1のアミノ酸変異は100種類以上にのぼり、それらは共通して、不溶性のSOD1凝集体の形成を促進する。さらに、SOD1凝集体が神経細胞内に蓄積することでさまざまな細胞機能が低下し、ALSが発症するのではないかと考えられている。これまでの研究において、アミノ酸変異によるSOD1の構造安定性の低下が凝集の引き金になることが示唆されてきた。しかし、凝集に伴うSOD1の構造変化、あるいは凝集体の分子構造については明らかとなっていない。変異SOD1の凝集抑制を通じて、ALSの治療法を確立するためには、SOD1凝集に関する構造的な知見が必要不可欠である。

タンパク質は、ある特定のアミノ酸配列(コア領域)を相互作用部位として分子間で会合を行い凝集する。一般に、コア領域は凝集体構造の内部に埋もれ、プロテアーゼによる分解を受けにくいことが知られている。そこで、SOD1凝集体におけるプロテアーゼ耐性の領域を質量分析法により同定し、SOD1が凝集する際に重要となるコア領域を決定した。その結果、SOD1のアミノ酸配列において3つの領域が凝集体のコア形成に関与しており、それらは変異体によって異なっていることが分かった。つまり、SOD1凝集体の分子構造は変異の種類に依存しており、SOD1凝集体の形態や生化学的性質の相違を生む要因であることが示唆された。

本研究により、変異の種類に依存して、異なる領域が凝集体のコア形成を行うことが明らかとなった。近年、凝集体の構造と疾患表現型の相関が議論されており、SOD1の凝集体に関しても、その分子構造の違いによって神経細胞への毒性が異なっている可能性が十分に考えられる。実際、ALS患者において、罹病期間や発症部位といった病態は変異の種類

に依存していることを考慮すると、SOD1凝集体の分子構造は疾患表現型の制御因子の一つになりうるのではないかと考えている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Furukawa Y, Kaneko K, Matsumoto G, Kurosawa M, Nukina N, "Cross-seeding fibrillation of Q/N-rich proteins offers new pathomechanism of polyglutamine diseases" *The Journal of Neuroscience* Vol.29 16 pp5153-5162 (2009)

(総説)

古川 良明, "翻訳後修飾が制御するSOD1タンパク質の活性化と凝集のメカニズム" *生物物理* Vol.49 2 pp90-91 (2009)

(その他)

Furukawa Y, Kaneko K, Nukina N, "SOD1 fibrillation mechanism relevant to familial form of ALS: Molecular dissection of mutation-dependent pathogenicity" *Journal of Biological Inorganic Chemistry* Vol.14 Suppl.1 p.S22 (2009)

Furukawa Y, Kaneko K, Nukina N, "SOD1 fibrillation mechanism relevant to familial form of ALS" *Amyotrophic Lateral Sclerosis* Vol.10 Suppl.1 p98 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furukawa Y, "SOD1 fibrillation mechanism relevant to familial form of ALS-molecular dissection of mutation-dependent pathogenicity" 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) Nagoya Japan 2009 7

(国内学会等)

古川 良明, "翻訳後修飾が制御するSOD1蛋白質の線維化と筋萎縮性側索硬化症" 第36回生体分子科学討論会 札幌 日本 2009 6

古川 良明, "翻訳後修飾が制御する蛋白質凝集の分子メカニズム" 第82回日本生化学会大会 神戸 日本 2009 10
古川 良明, 金子 貢巳, 黒沢 大, 松本 弦, 貫名 信行, "

ポリグルタミン病の新たな分子病理メカニズム - タンパク質線維の構造伝播による発症制御の可能性" 第47回日本生物物理学会年会 徳島 日本 2009 10-11

XIX - 047

神経細胞維持・変性における 細胞極性制御メカニズム aPKC-PAR シグナリングの機能解析 Functional Analysis of aPKC-PAR Protein Complex in Neuronal Cell Maintenance and Degeneration

研究者氏名：山中 智行 Yamanaka, Tomoyuki
受入研究室：脳科学総合研究センター
構造神経病理研究チーム
(所属長 貫名 信行)

Atypical PKC (aPKC) 及び PAR タンパク質から構成される aPKC-PAR シグナリング複合体は、細胞極性、すなわち細胞内因子の非対称的配置に必須の役割を担っている。近年、この複合体が、幹細胞からの神経細胞の分化、神経細胞移動、軸索の決定・形成、樹状突起のスパイン形成等、神経の発生・形態形成過程の様々な局面で機能していることが明らかとなってきた。しかしながら、この aPKC-PAR シグナリングが、形成された神経細胞・組織の維持に必要なものであるのか、その破綻は神経細胞障害・変性に関与するのか等については未だ解析されていない。

本年度は、aPKC コンディショナルノックアウトマウスについて、Camk2a-cre や Synapsin1-cre トランスジェニックマウスと交配し、得られた神経細胞特異的 aPKC ノックアウトマウスの解析を行った。このマウスはメンデル則に従い生まれ、外見上の異常は観察されなかったことから、神経 aPKC ノックアウトは、マウスの発生や発育には影響しないことが考えられた。また、同マウス脳では、aPKC の発現減少は確認されたが、組織学的解析からは、脳形態には大きな変化は観察されていない。よって、aPKC は分化・成熟後の神経細胞では、その生存や形態維持に大きな役割を果たしていない可能性が考えられた。今後は、様々な組織マーカーを用いて詳細に解析を行うと共に、同マウスの経時観察を行っていく予定である。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

Masuda-Hirata M, Suzuki A, Amano Y, Yamashita K, Ide M, Yamanaka T, Sakai M, Imamura M, Ohno S, "Intracellular polarity protein PAR-1 regulates extracellular laminin assembly by regulating the dystroglycan complex" *Genes to Cells* Vol. 14 7 pp 835-850 (2009)
Horikoshi Y, Suzuki A, Yamanaka T, Sasaki K, Mizuno K, Sawada H, Yonemura S, Ohno S, "Interaction between PAR-3 and the aPKC-PAR-6 complex is indispensable for apical domain development of epithelial cells" *Journal of Cell Science* Vol.122 10 pp1595-1606 (2009)
Iwata A, Nagashima Y, Matsumoto L, Suzuki T, Yamanaka T, Date H, Deoka K, Nukina N, Tsuji S, "Intranuclear degradation of polyglutamine aggregates by the ubiquitin-proteasome system" *The Journal of Biological Chemistry* Vol.284 15 pp9796-9803 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tomoyuki Yamanaka, Asako Tosaki, Haruko Miyazaki, Masaru Kurosawa, Mizuki Yamada, Nobuyuki Nukina, "Screening of transcriptional factors affected by mutant Huntingtin" *Neuroscience meeting Chicago USA* 2009 11

(国内学会等)

山中 智行, 宮崎 晴子, 小山 文隆, 黒沢 大, 山田 みず樹, 戸崎 麻子, 貫名 信行, "ハンチントン病病態進行に関与する転写因子の検索" 第61回日本細胞生物学会大会 名古屋 日本 2009 6

山中 智行, "神経変性疾患モデル細胞を用いた凝集体測定法の確立とその応用" 第61回日本細胞生物学会大会ランチョンセミナー 名古屋 日本 2009 6
山中 智行, 戸崎 麻子, 宮崎 晴子, 黒沢 大, 山田 みず

樹, 貫名 信行, "疾患モデルマウスを用いたハンチントン病の病態進行に関与する転写因子の検索" 日本人類遺伝学会第54回大会 東京 日本 2009 9

XIX - 048 IP₃受容体の分子内相互作用のチャネル開口における機能の解明 Study of the Function of the Intramolecular Interactions of IP₃ Receptor

研究者氏名：榎本 匡宏 Enomoto, Masahiro
受入研究室：脳科学総合研究センター
発生神経生物研究チーム
(所属長 御子柴 克彦)

細胞内Ca²⁺濃度の厳密な制御は細胞機能の維持に必須であり、その破綻は多くの神経変性疾患の引き金となることが示唆されている。IP₃(イノシトール三リン酸)受容体は、細胞内Ca²⁺貯蔵庫である小胞体からのCa²⁺放出を担う分子であり、細胞内Ca²⁺濃度の制御機構を理解するためにはIP₃受容体そのものの分子レベルでの研究が不可欠である。IP₃受容体は、アミド末端側から順にIP₃結合領域、制御領域、チャネル領域の3つの領域からなる約400kDaの巨大タンパク質である。したがって、「局所的なIP₃結合領域へのIP₃結合がどのようにチャネル領域に伝わってチャネルが開くのか？」という点がチャネル開口機構を解明するにあたっての鍵となる。この点に関してはこれまでに国内外の研究結果から、アミド末端側のIP₃結合領域とカルボキシル末端側のチャネル孔近傍の領域が近距離にあり、両者の相互作用がチャネル開口に重要であると予想されてきた。

私は、平成19、20年度の研究により、IP₃受容体を細胞質領域(IP₃結合領域+制御領域)とチャネル領域の2つに断片化して精製し、再構成した実験系を用いて、「これらの2つの領域間の相互作用がチャネルを

閉じた状態に保つ機能を担っていること」をまず明らかにした。さらに、この再構成したIP₃受容体は、活性を制御する2つのリガンドであるIP₃及びCa²⁺濃度に依存して断片化していないIP₃受容体と同様のチャネル活性変化を示すことを明らかにした。これらの結果から、「IP₃とCa²⁺の結合による2つの領域間の相互作用の変化がチャネルを開口させる」という仮説を立て、それを検証するために高感度に2つの領域間の結合定数を測定できる実験系を確立した。本年度は、この実験系を用いて様々なIP₃、Ca²⁺濃度条件下における細胞質領域とチャネル領域間の結合定数を詳細に解析し、前年度までに解析したチャネル活性との相関を調べた。その結果、「IP₃受容体の2つの領域間の結合定数とチャネル活性の間には指数関数近似できる相関がある」ことを証明した。以上の成果は、IP₃受容体のチャネル開口が細胞質領域とチャネル領域の間の分子内相互作用により制御されていることを世界で初めて示したものであり、IP₃受容体のみならずイオンチャネルの構造生物学的研究に大きなインパクトを与えるものである。

量子ドット1分子イメージングによる
シナプス可塑性の分子機構の解明

Studies on the Molecular Mechanism for Synaptic Plasticity
by Quantum Dot- Based Single Molecule Imaging

研究者氏名：坂内 博子 Bannai, Hiroko
受入研究室：脳科学総合研究センター
発生神経生物研究チーム
(所属長 御子柴 克彦)

神経伝達物質受容体は、細胞膜上を側方拡散することによりダイナミックにシナプス内外を出入りしている。受容体の側方拡散はシナプス伝達効率を決定する重要ファクターの1つであり、記憶学習の細胞レベル基礎過程である「シナプス可塑性」の分子基盤であると予想されているが、この仮説は実際に証明されてはいなかった。我々は、抑制性神経伝達をつかさどるGABA_A受容体に注目して、GABA作動性シナプス伝達効率を制御する分子機構の解明に取り組んできた。量子ドット1分子イメージング法を用いて細胞膜上のGABA_A受容体の動きを1分子レベルで追跡したところ、興奮性神経活動の増加に伴って受容体の側方拡散が増加し、シナプス後膜における受容体の安定性が著しく減少していた。このときシナプス内のGABA_A受容体数は減少するのに対し、細胞膜上のGABA_A受容体の総数は変化していなかった。この結果は、神経の興奮が高まると細胞膜上側方拡散が亢進しGABA_A受容体がシナプス内に留まることができなくなったことにより、シナプス後膜の受容体数が減少することを示唆している。さらに、細胞内カルシウム濃度の上昇によるカルシニューリンの活性化が、受容体の側方拡散を増加させることも証明した。これまで、シナプス伝達効率を決める鍵となっているシナプス内の受容体数は、細胞膜上の受容体総数に比例して増減すると考えられてきた。今回の発見は、シナプス伝達効率決定機構に対し、「側方拡散制御による受容体数の増減」という新しい分子機構を提唱するものである。上記の研究結果はNeuron誌に表紙を飾り掲載された。

また、ノックアウトマウスと特異的な阻害剤を用いた実験から、細胞内小胞体カルシウムチャネルIP₃受容体からのカルシウム放出がシナプスのGABA_A受容体を安定化させていることを証明した。さらに本研究の過程で、従来抑制性シナプス足場タンパク質と考えられていたタンパク質が実はGABA_A受容体の

足場タンパク質ではないこと、そのタンパク質の安定性は逆にGABA_A受容体の動きやすさにより制御されていることを示唆する結果を得た。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Bannai H, Levi S, Schweizer C, Inoue T, Launey T, Sibarita J, Mikoshiba K, Triller A, Racine V, "Activity-dependent tuning of inhibitory neurotransmission based on GABA_AR diffusion dynamics" Neuron Vol.62 5 pp670-682 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Bannai H, Levi S, Schweizer C, Inoue T, Launey T, Racine V, Sibarita J, Mikoshiba K, "Calcium-dependent tuning of inhibitory neurotransmission based on GABA_AR diffusion dynamics" Gordon Research Conference on Calcium Signalling Lucca (Barga) Italy 2009 6

Nakamura H, Bannai H, Inoue T, Michikawa T, Sano M, Mikoshiba K, "Non-concerted calcium releases from multiple sites generate individual calcium puffs in intact cells" Gordon Research Conference on Calcium Signalling Lucca (Barga) Italy 2009 6

(国内学会等)

坂内 博子, "La dynamique des recepteurs determine la transmission synaptique" 第26回日仏科学者の集い 東京 日仏会館 日本 2009 10

坂内 博子, "1分子イメージングによるシナプス可塑性の研究" 第47回日本生物物理学会年会 徳島 日本 2009 10-11

有蘭 美沙, 中村 健, 中村 京子, 坂内 博子, 御子柴 克彦, "アストロサイトにおけるカルシウムシグナルの空間的制御機構の解明" 第47回日本生物物理学会年会 徳島 日本 2009 10-11

XIX - 050 海馬神経細胞における空間的なカルシウムシグナル制御機構の解明 Regulatory Mechanism of Spatial Calcium Signaling in Hippocampal Neurons

研究者氏名：深津 和美 Fukatsu, Kazumi
受入研究室：脳科学総合研究センター
発生神経生物研究チーム
(所属長 御子柴 克彦)

神経細胞では、IP₃受容体タイプ1(IP₃R1)からのカルシウム放出が様々な神経活動に重要な役割を持っている。また神経細胞では、IP₃R1からのカルシウム放出が局所的に起こることが報告されているが、カルシウム貯蔵庫である小胞体は神経細胞全体に一樣に張り巡らされており、局所的なカルシウム放出の制御機構は明らかにされていない。私は先行研究において、海馬神経細胞ではIP₃R1の側方拡散が厳密に制御されており、その制御にはアクチン骨格が関与していることを明らかにした。私はこの拡散制御機構を通してIP₃R1の分子密度が局所的に変化することにより、IP₃R1からの局所的なカルシウム放出が制御されているのではないかと予想し、その解明を試みている。

昨年度は、小脳スライス培養系を用いて、小脳プルキンエ細胞におけるIP₃R1の拡散が海馬神経細胞と同様にアクチン骨格によって制御されていることを明らかにした。さらに、海馬神経細胞ではIP₃R1とアクチン骨格をつなぐリンカータンパク質として4.1Nが働いていたが、プルキンエ細胞では4.1NはIP₃R1の拡散に関与していないことを明らかにし

た。本年度は引き続き小脳プルキンエ細胞を用いて、カルシウム上昇を引き起こす刺激をした際にIP₃R1の拡散がどのように変化するのか観察を行った。プルキンエ細胞では樹状突起だけでなく、スパイン(棘突起)においてもIP₃R1が非常に多く発現しており、スパイン内で局所的なカルシウム放出が起こることが知られている。そこで、本研究では樹状突起に加えてスパインにおけるIP₃R1の拡散にも着目し、薬剤刺激前後の拡散の変化を観察した。刺激する薬剤として、プルキンエ細胞に一過性のカルシウム上昇をもたらすグルタミン酸を用いた。小脳プルキンエ細胞では、スパインにおいてグルタミン酸刺激によりIP₃R1の拡散が遅くなることが分かった。この変化はプルキンエ細胞の樹状突起内のIP₃R1では見られなかった。また、グルタミン酸刺激により、スパイン内のアクチン骨格が増加することも明らかにした。これより、小脳プルキンエ細胞のスパインでは、グルタミン酸刺激によりアクチン骨格が増加しIP₃R1の拡散が遅くなることが示唆された。本研究により、IP₃R1の拡散は神経活動依存的に変化することが明らかになった。

XIX - 051 イノシトール三リン酸 (IP₃) イメージングでの、 カルシウム (Ca²⁺) 振動機序の解明 Mechanisms of Ca²⁺ Oscillations in Mammalian Cells

研究者氏名：松浦 徹 Matsu-ura, Toru
受入研究室：脳科学総合研究センター
発生神経生物研究チーム
(所属長 御子柴 克彦)

ホルモンや成長因子などの刺激は細胞内の周期的なカルシウム濃度上昇(Ca²⁺振動)を引き起こす。細胞はCa²⁺振動の周期を変化させることでCa²⁺依存性酵素の活性を調節し、細胞機能を制御する。細胞外からの刺激は細胞膜表面の受容体(G蛋白質共役型受容体・GPCR)に作用し、その下流で働くホスホリパー

ゼC(PLC)の活性化を引き起こす。PLCは細胞膜成分からイノシトール三リン酸(IP₃)を産生し、IP₃の作用により小胞体膜に局在するCa²⁺チャネル・IP₃受容体からCa²⁺が放出される。

細胞にみられる振動現象には少なくとも一つの負のフィードバックループがシグナルネットワークに

存在することが必要となる。IP₃受容体は、高いCa²⁺濃度で抑制される。放出されたCa²⁺はIP₃受容体を抑制し、Ca²⁺放出量が減る。これが繰り返されることでCa²⁺振動が起こると考えられている。このシステムではCa²⁺振動の周期はIP₃濃度に依存することが予想されている。

Ca²⁺振動の周期は、細胞への刺激の強度と種類によって変化する。そこで私はヒスタミン受容体と代謝型グルタミン酸受容体5型(mGluR5)、mGluR5のPKCリン酸化サイトのミュータントの3つのGPCRを用いて、それぞれを刺激したときのCa²⁺振動周期とIP₃濃度の関係を比較し、刺激の強度と種類によるCa²⁺振動周期の違いが、IP₃濃度の違いによって説明できるのか確認した。実験にはCa²⁺センサー・Indo-5FとIP₃センサー・IRIS-1とを用いて、シングルセルレベルでHeLa細胞内のCa²⁺とIP₃のダブルメージングをおこなった。その結果、Ca²⁺振動の周期とIP₃濃度の間には正の相関関係が見られたが、その相関関係はそれぞれのGPCRごとに異なっていた。これはCa²⁺振動周期はIP₃濃度によって一義的に決まるわけではないことを示唆する。

これらの3つの受容体にはどのような違いがあるのだろうか。細胞内のCa²⁺濃度を人工的に調節し、それぞれの受容体のIP₃産生量がCa²⁺濃度上昇によりど

のような影響を受けるのかを調べた。すると3つの受容体ともにCa²⁺濃度上昇によりIP₃産生量が一時的に減少することが明らかになった。しかもそのIP₃産生減少量は受容体によって異なっていた。このそれぞれのGPCRによるCa²⁺による抑制のされ方の違いが、振動周期の違いに反映されていることが予測される。

以上の結果から、Ca²⁺振動に寄与する負のフィードバックループはIP₃受容体の抑制だけではなく、Ca²⁺によるGPCRの抑制も重要な役割を持っていることが示唆された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Zhang S, Hisatsune C, Matsu-Ura T, Mikoshiba K. "G-protein-coupled receptor kinase-interacting proteins inhibit apoptosis by inositol 1,4,5-triphosphate receptor-mediated Ca²⁺ signal regulation.", *Journal of Biological Chemistry*, vol.284 42 pp29158-29169 (2009)

Akiyama H, Matsu-ura T, Mikoshiba K, Kamiguchi H. "Control of neuronal growth cone navigation by asymmetric inositol 1,4,5-trisphosphate signals.", *Science Signaling*, vol.2 79 pp1-9 (2009)

XIX - 052

神経栄養因子の分泌に関わるタンパク質 CAPS2 の解析

CAPS2, a Protein Involved in Neurotrophin Release

研究者氏名：定方 哲史 Sadakata, Tetsushi

受入研究室：脳科学総合研究センター

分子神経形成研究チーム

(所属長 古市 貞一)

CAPS1(CADPS1)は有芯小胞特異的に細胞質側から会合することが知られている殆ど唯一の分子であり、その放出をCa²⁺依存的に制御している可能性が示唆されているが、詳細については不明である。私はCAPS1のparalogであるCAPS2(CADPS2)を新規遺伝子としてクローニングし、(1) CAPS2が神経ネットワーク形成に最も重要な分子の一つであるBDNFの分泌に関与すること (2) 脳内や、様々な内分泌器官におけるCAPSファミリータンパク質の詳細な発現解析 (3) 各種splicing variantの働きの解明 (4) CAPS2 KOマウスがBDNFの分泌低下により様々な形態学

的・生理学的異常を示すこと (5) CAPS2 KOマウスが自閉症様形質を示すこと (6) 自閉症患者特異的にexon 3がスキップしたCAPS2の発現が見られることを明らかにした。

さらにexon 3がスキップしたCAPS2タンパク質は軸索終末部に輸送されることが明らかになり、特定の自閉症患者においてはBDNFが健常者と異なったパターンで分泌され、神経ネットワークの形成に異常をきたす可能性が示唆された。

ARFファミリータンパク質はゴルジ体や形質膜近傍における小胞のトラフィッキングに重要な働きを

しているsmall Gタンパク質である。クラスI (ARF1,2,3), クラスII (ARF4,5), クラスIII (ARF6)の三つに分類されるが、クラスIIの働きは殆ど解明されていない。私はCAPS1がクラスII ARFのGDP結合型に特異的に結合し、ゴルジ体から有芯小胞が生成する過程において働いていることを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Akira, Sekine Yukiko, Saruta Chihiro, Nishibe Hirozumi, Morita Noriyuki, Sato Yumi, Sadakata Tetsushi, Shinoda Yo, Kojima Toshio, Furuichi Tei-ichi, Sato Akira, Sekine Yukiko, Saruta Chihiro, Nishibe Hirozumi, Morita Noriyuki, Sato Yumi, Sadakata Tetsushi, Shinoda Yo, Kojima Toshio, Furuichi Tei-ichi, Neural Networks Vol.21 8 pp1056-1069 (2008)

(総説)

定方 哲史, 古市 貞一, 定方 哲史, 古市 貞一, 分子精神医学 Vol.8 2 pp150-151 (2008)

定方 哲史, 篠田 陽, 古市 貞一, 定方 哲史, 篠田 陽, 古市 貞一, 実験医学 Vol.26 12 pp2015-2023 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Analysis of autism-related gene CAPS2/CADPS2

Sadakata Tetsushi 8th Biennial Meeting of The Asia-Pacific Society for Neurochemistry (APSN) Shanghai China 2008 6

Electrophysiological and behavioral analysis of CAPS2 in mouse hippocampus Shinoda Yo Sadakata Tetsushi Furuya Asako Semba Ritsuko Furuichi Tei-ichi 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008) Washington DC USA 2008 11

(国内学会等)

CAPS2に依存したBDNF分泌の欠損は自閉症感受性と関連する 古市 貞一 定方 哲史 篠田 陽 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008) 東京 日本 2008 7

分泌小胞会合タンパク質CAPS2の海馬LTPへの寄与 篠田 陽 定方 哲史 古屋 亜佐子 鷺田 美和 仙波りつ子 古市 貞一 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008) 東京 日本 2008 7

定方 哲史 篠田 陽 古市 貞一 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008) 東京 日本 2008 7

定方 哲史 篠田 陽 古市 貞一 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008) 神戸 日本 2008 12

XIX - 053

再び子供のように学ぶ： 鳴禽類の成鳥における歌学習再可塑性の脳機構 Brain Mechanism of Plasticizing of Song Learning System in Adult Songbird: Learning again Like the Child

研究者氏名：福田 諭 Fukuda, Satoshi

受入研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(所属長 岡ノ谷 一夫)

ヒトが言語や絶対音感を習得するためには、臨界期という限られた期間までに学習しなければならない。臨界期を過ぎてしまった場合、再び学習することは不可能であると考えられている。歌をうたう鳥にも臨界期が存在し、幼鳥時に自種の歌を学習し、成鳥時に新しい歌を学ぶことは無い。しかし生物言語研究チームでは特定の条件下において成鳥でも歌を再学習することを確認した。本研究は、すでに歌

臨界期を過ぎた成鳥が、ある条件下で歌を再学習する際に、歌神経回路にどのような変化が起き再学習を可能にするのか、その機構の解明を目的とする。臨界期を過ぎた脳が大きな可塑性を蘇らせることは、再び子供のように学ぶことが出来る可能性という、大きな希望を脳科学から提案するものである。

具体的に観察された事例は、生後半年で歌の完成を見る強い臨界期の縛りのかかったジュウシマツと

いう鳴禽類で、成鳥でも発声器である鳴管(ヒトでの声帯にあたる)の神経を傷つけると、新しい歌をうたっていた。本研究は、この臨界期が再現された可能性のあるジュウシマツの脳神経機構を、最終的には細胞レベルから表現型まで、生理学的、分子生物学的に解析することを目的としている。本年度は、一昨年度に確立した、鳴管傷害手技、歌の変化の観察、昨年度に確立した脳機能の可視化技術をさらに改良し、また、記憶に関するタンパク質を、活性型、不活性型を検出させた。

脳内で歌機能の中枢とされる、HVC 部位の脳機能

の可視化技術として、2光子顕微鏡による *in vivo* イメージング技術を確立したが、これをさらに改良した。録音された自身の歌に対する脳細胞の活動を記録している。その結果、興奮性の反応を示す細胞と、抑制性の反応を示す細胞の両方が発見された。また、急性スライスでのカルシウムイメージング結果から、神経細胞とグリア細胞の両方の活動型が観察された。そこで、記憶に関係する長期増強という現象に関与するタンパク質、カルモジュリンキナーゼ(CaMK)を、その不活性型、活性型を分けて染色した。

XIX - 054 幼虫が成虫へと変身する過程—変態を光で解き明かす Dissecting Insect Metamorphosis by Imaging Technology

研究者氏名：杉村 薫 Sugimura, Kaoru

受入研究室：脳科学総合研究センター

細胞機能探索技術開発チーム

(所属長 宮脇 敦史)

1. 上皮組織のパターン形成における力学過程

完全変態昆虫は、蛹の殻の中で成虫の構造を組み立てる。これは、幼虫期に独立に発生した、翅(はね)や脚(あし)などの器官の原基(成虫原基)を融合する作業である。このような劇的な体の作りかえを理解するには、従来の遺伝子レベルの研究だけでなく、遺伝子発現にともなう細胞の弾性力学的な性質の変化を個体の形状変化を促進する機械的な力に結びつける過程の解明が必須である。そこで私は、変態現象を理解するための基礎過程として、応力場のパターンと細胞がシート状に並んだ構造をとる上皮組織の形態形成の関係に注目した。具体的なモデル系は、ショウジョウバエの翅成虫原基と蛹期の翅および背板を採用した。

本年度は、上皮組織における応力場のパターンを、ミオシン軽鎖分子の分布の可視化、フェムト秒レーザー切断に対する応答の計測及び理論的な推定手法を用いて解析し、得られたパターンと上皮組織成長のダイナミクスとを連関させることを試みた(東京大学大学院総合文化研究科石原秀至博士との共同研究)。その結果、細胞の長軸方向と分裂方向は正に相関しており、細胞分裂方向の角度分布は組織内で高い張力が働いている方向(細胞が伸びている方向)に偏ることを明らかにした。また、細胞が、組織の

応力場のパターンを感知し、細胞分裂方向を動的に変化しうることも示した。さらに、組織成長の数値計算から、実験で観察された細胞分裂方向の決定ルールが、組織の等方的な成長の頑強性を高めることが示唆された。尚、六角格子に近づく細胞の配置換え過程についても同様に、応力場のパターンとの関係の解析を進めている。

2. 細胞競合のライブイメージング

細胞競合は増殖速度が遅い細胞群がより増殖速度が速い細胞に囲まれると、組織から駆逐される現象であり、組織の大きさの恒常性を保つように作用すると推測されている。また近年、細胞競合は腫瘍前駆細胞の除去や癌の成長においても重要な役割を果たしていることが示唆されている。本年度は、細胞競合を経時的に追跡し、極性を喪失した上皮細胞が周辺の正常細胞により貪食されることで組織から除去されることを明らかにした(神戸大医学研究科井垣研との共同研究。論文投稿準備中)。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kohei Shimono, Azusa Fujimoto, Taiichi Tsuyama, Misato Yamamoto-Kochi, Motohiko Sato, Yukako Hattori, Kaoru Sugimura, Tadao Usui, Ken-ichi Kimura,

Tadashi Uemura. "Multidendritic sensory neurons in the adult Drosophila abdomen: origins, dendritic morphology, and segment- and age-dependent programmed cell death". *Neural Development*, 4: 37 (2009)

Kohei Shimono*, Kaoru Sugimura*#, Mineko Kengaku, Tadashi Uemura and Atsushi Mochizuki#. "Computational modeling of dendritic tiling by diffusible extracellular suppressor". *Genes to Cells*, in press

*: equal contribution, #: corresponding author

(総説)

石原秀至, 杉村薫. "理論生物学研究の眺め方". *蛋白質核酸酵素*, 54: 1993-1999 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会など)

杉村薫.: "上皮組織成長の力学過程", 日本発生生物学会秋季シンポジウム, 東レ研修センター, 11月 (2009)

杉村薫* 石原秀至.: "理論生物学の眺め方", 定量生物学の会第2回年会, 大阪大学, 1月 (2010)

石原秀至 杉村薫*.: "上皮組織の応力場のパターンと成長のダイナミクス", 定量生物学の会第2回年会, 大阪大学, 1月 (2010)

XIX - 057

位相幾何学的手法による X 線動的回折理論

Topological Aspects of X-ray Dynamical Diffraction Theory

研究者氏名: 澤田 桂 Sawada, Kei

受入研究室: 放射光科学総合研究センター

石川 X 線干渉光学研究室

(所属長 石川 哲也)

X 線回折の動力的回折理論において、位相空間のベリー曲率をもたらす物理現象を予言・解析することを目的とした。ベリー曲率とは、ブラッグ条件の近傍で X 線のプロホ関数が大きく変化することに起因するものであり、X 線回折において寄与をもたらす。昨年度までの研究で、X 線波束を幾何光学として取り扱うことで、波束の軌道がベリー曲率によって曲げられることを理論的に明らかにして、実験でも確認できた。本年度はさらに理論を発展させて、波動光学の領域でのベリー曲率の影響を調べた。特に、電子線での AB 効果の概念を X 線光学へ応用することに着目した。

AB 効果とは、電子線が磁束を囲むときに、電子が磁場に接しなくても位相差が生じる現象である。しかし、X 線は電荷をもたず外部磁場と直接は相互作用できないので、通常の AB 効果は X 線では起きない。そこで、ベリー曲率を使って磁場の概念を位相空間へと拡張することで、位相空間での磁場によって X 線の AB 効果が得られることを示した。具体的には、結晶歪みを導入してブラッグ条件近傍での X 線

のベリー曲率を誘起すると、このベリー曲率は位相空間で定義された磁場として働く。そこで、ブラッグ条件から外れて、かつブラッグ角を挟むような 2 つの X 線ビームを歪み結晶に通して干渉させると、位相空間ではちょうど磁場を囲んでいることになり、2 つのビーム間にはまさに AB 効果と同様の位相差が生じる。X 線回折は、ブラッグ条件を用いて結晶の情報を得るのが通常の手法であるが、本研究によって、ブラッグ条件から大きく外れている場合であっても、ベリー曲率を用いることで結晶歪みの様子を調べられることが明らかとなった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kohmura Y, Sawada K, Taguchi M, Ishikawa T, Ohigashi T, Suzuki Y, "Formation of x-ray vortex dipoles using a single diffraction pattern and direct phase measurement using interferometry" *Applied Physics Letters* Vol.94 10 pp101112-1-101112-3 (2009)

XIX - 058 質量分析法による超巨大蛋白質複合体のダイナミクス解析法開発

Mass Spectrometry for Protein Dynamics in Super-macro Complexes

研究者氏名：山本 竜也 Yamamoto Tatsuya

受入研究室：放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(所属長 城 宜嗣)

巨大蛋白質複合体はX線結晶構造解析や電子顕微鏡によって立体構造が解かれ、その作用機構が研究されているが、最も重要な溶液中でのダイナミクスはその大きさゆえに検出・解析が困難であり有効な研究手段が非常に少ない。そこで本研究では多成分のダイナミクスを同時解析できる質量分析法と水素/重水素(H/D)交換に着目し、ダイナミクスの解析法開発を行ってきた。原理は、蛋白質を重水環境下に置いたときにダイナミックに動いている部位や分子表面の解離性プロトンが素早く重水素に置き換わる現象を利用し、その時の質量変化を質量分析計を用いて検出することで、ダイナミクスを定量的に解析する方法である。近年我々はこの方法をリボソーム(分子量：約2.3MDa)に応用し、52の構成蛋白質ダイナミクスを一斉検出する基礎を確立したが、ピペッティングによる溶液ミキシングの限界から秒オーダー以上でしか実験が行えなかったため、柔軟性や安定性に関連した比較的リジッドな構造部分のデータは取れるが、直接機能に関連したダイナミクスの情報が少なかった。

そこで機能時間帯に近いミリ秒～サブミリ秒オーダーのダイナミクスを検出するために、シリコンゴム系の素材であるポリジメチルジオキサンを用いて数十～数百マイクロメートルの溝を設計し、ナノリットル単位の反応路でH/D交換反応を行うことで、時間分解能の向上を目的としたマイクロリアクターの開発を行っている。H/D交換の具体的な実験操作は、サンプル溶液と重水を1:10で混合することで反応をスタートし、酸(pH3程度)と温度で反応のクエンチを行う。そのため反応スタート時にサンプルと重水の溶液量の差が大きい点と、反応のスタートとストップで2回混合を行う点で大きな課題がある。最初のY字型混合と乱流を利用した設計で20ミリ秒でのクエンチに成功し、リボソームの転移過程における各蛋白質のダイナミクス変化を解明することができた。しかしさらなる向上を行うためには混合が均一化するまでのタイムラグを減らす必要があること

が分かったため、2点の改良を行った。サンプル溶液を重水で挟み込むように溶液を混合する設計と、乱流だけでなく拡散を利用した設計である。これらの改良の結果、溶液が接してから混合が均一化するまでの時間をこれまでの1/10程度まで抑えることに成功し、次の設計では大幅な時間分解能の向上が期待される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamamoto T, Shimizu Y, Ueda T, Shiro Y, "Mg²⁺ dependence of 70S ribosomal protein flexibility revealed by hydrogen/deuterium exchange and mass spectrometry" *The Journal of Biological Chemistry* in press (2010)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamamoto T, Shimizu Y, Ueda T, Shiro Y, "70S Ribosomal-protein dynamics in translocation revealed by H/D exchange and mass spectrometry" 57th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics Philadelphia USA 2009 5-6

(国内学会等)

山本 竜也, 清水 義宏, 上田 卓也, 城 宜嗣, "H/D交換と質量分析法を用いた転移過程における70Sリボソーム蛋白質のダイナミクス研究" 第57回質量分析総合討論会 大阪市 日本 2009 5

山本 竜也, 清水 義宏, 上田 卓也, 城 宜嗣, "H/D交換と質量分析法を用いた転移過程における70Sリボソーム蛋白質のダイナミクス研究" 第11回RNAミーティング 新潟 日本 2009 7

堀谷 正樹, 杉本 宏, 米谷 依梨紗, 山本 竜也, 城 宜嗣, "ヒト由来インドールアミン2,3-ジオキシゲナーゼにおけるヘム近傍アミノ酸残基の役割と基質阻害機構" 第47回日本生物物理学会年会 徳島 日本 2009 10-11

山本 竜也, "70S ribosomal-protein dynamics in translocation revealed by H/D

exchange and mass spectrometry" シンポジウム「分子アンサンブル2009」和光 日本 2009 12

XIX - 060 ストリゴラクトンによる植物の枝分かれ制御機構に関する研究

Regulation of Shoot Branching by Strigolactones in Plants

研究者氏名：梅原 三貴久 Umehara, Mikihisa

受入研究室：植物科学研究センター

促進制御研究チーム

(所属長 山口 信次郎)

植物の枝分かれのパターンは、植物の形態を決定付ける大きな要因であり、最終的には花や種子の数に影響することから、農業上重要な形質である。昨年度、我々の研究チームでは、枝分かれが過剰な突然変異体を用いて、ストリゴラクトンと呼ばれる一群のテルペノイド化合物が植物の枝分かれを抑制することを発見した。ストリゴラクトンは、ストライガやオロバンキなどの根寄生雑草の発芽刺激物質として、アーバスキュラー菌根菌の菌糸分岐促進物質として知られていたが、我々の研究によって初めて宿主植物における機能が明らかとなった。本年度はストリゴラクトンの生合成および認識機構に関する研究を進めるべく、以下の研究を行った。

(1) 栄養飢餓条件下におけるストリゴラクトン生産と枝分かれの相関

イネ野生型のストリゴラクトンは、リン酸欠乏下ではその生産量が増加する。それに対して、リン酸欠乏下における野生型植物の腋芽の伸長は抑制される。一方、ストリゴラクトンが欠損した枝分かれ過剰突然変異体では、リン酸欠乏下でもストリゴラクトンが合成できないため、枝分かれも抑制されない。したがって、ストリゴラクトンは貧栄養環境で生産され、枝分かれをなるべく抑制することで、植物体内の無機栄養を効率的に利用する役割を担っていると考えられる。

(2) 枝分かれ抑制作用におけるストリゴラクトンの構造要求性

さまざまなストリゴラクトン類縁化合物を合成し、枝分かれ過剰突然変異体に投与し、活性の強さを比較した。ストリゴラクトンは、三環性ラクトン(ABC環)とフラノン(D環)がエノールエーテル結合した基本骨格を有する。これまでの結果から、D環の立体配置とエノールエーテルの結合が枝分かれ抑制

活性に重要である。また、ストリゴラクトンに共通なCD環部分のみの化合物GR5は、四環型のストリゴラクトンより強い枝分かれ抑制活性を示した。

(3) ストリゴラクトン生合成の起源

ストリゴラクトンは、イソプレン単位合成経路であるメバロン酸経路あるいはメチルエリスリトールリン酸(MEP)経路から合成されると予想した。そこで、それぞれの経路に選択的な¹³C標識基質をミヤコグサの培養根に処理し、ストリゴラクトンへの¹³Cの取り込みを質量分析計で調べた。その結果、ストリゴラクトンは主にMEP経路由来のイソプレンユニットから生合成されることが明らかとなった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Arite T., Umehara M., Ishikawa S., Hanada A., Maekawa M., Yamaguchi S., Kyojuka J.: "*d14*, a Strigolactone Insensitive Mutant of Rice, Shows an Accelerated Outgrowth of Tillers", *Plant Cell Physiol.*, 50, 1416-1424 (2009)*

(総説)

梅原三貴久, 山口信次郎: "植物の枝分かれ抑制ホルモンの発見", *化学と生物* 47, 678-683 (2009)

梅原三貴久, 山口信次郎: "植物の枝分かれ抑制ホルモン「ストリゴラクトン」植物調節剤としての可能性と今後の展開", *植調* (2009) 印刷中

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Umehara M., Hanada A., Takeda-Kamiya N., Magome H., Kamiya Y., Yamaguchi S.: "Strigolactones play a role in regulating shoot branching in response to phosphorus deficiency", *Terpnet2009*, Tokyo, May (2009)

(国内学会等)

梅原三貴久, 秋山康紀, 花田篤志, 神谷勇治, 山口信次郎: "ストリゴラクトンの枝分かれ抑制作用における構造活性相関", 日本植物細胞分子生物学会 第27回大会, 藤沢, 7月 (2009)

梅原三貴久, 秋山康紀, 花田篤志, 神谷勇治, 山口信次郎: "ストリゴラクトン類縁化合物の枝分かれ抑

制活性の評価", 植物化学調節学会第44回大会, 仙台, 10月 (2009)

梅原三貴久, 花田篤志, 菱山正二郎, 神谷勇治, 笠原博幸, 山口信次郎: "ストリゴラクトンの生合成はメチルエリスリトールリン酸経路に由来する", 日本植物生理学会 第51回大会, 熊本, 3月 (2010)

XIX - 061

RG / GAI 相互作用因子 GAF1 による ジベレリン信号伝達機構の解析

GAF1, GAI Associated Factor 1, Regulates the GA Signaling Pathway

研究者氏名: 深澤 壽太郎 Fukazawa, Jutarou

受入研究室: 植物科学研究センター

促進制御研究チーム

(所属長 山口 信次郎)

ジベレリン (GA) は、種子発芽、伸長成長、開花時期を制御するホルモンとして知られている。GA信号伝達経路は、植物特有のGRAS family タンパク質が抑制因子として機能しておりGAの添加にともない、速やかに分解され下流の信号が伝達される。近年、GAレセプターの発見により、GA投与からDELLAタンパク質の分解までの詳細が明らかになりつつある。一方、その下流の制御因子は明らかとなっていない。

独自に開発したTup1-twobhybrid 法により単離したDELLAタンパク質と相互作用する転写因子GAF1の機能解析を行っている。GAF1は、シロイヌナズナのDELLAタンパク質RG / GAI ばかりでなく、転写抑制因子と考えられるWD repeat protein (WDR) とも相互作用することを見出した。GAF1過剰発現体は、開花時期の促進、胚軸の伸長、葉の展開の表現型を示した。またGA合成阻害剤存在下でも、開花時期の遅延を回復した。本研究では、GAF1 及びその相互作用因子の解析を通じて、GA信号伝達機構を明らかにする。

今年度は、*gaf* 多重変異体を作製し解析を行った。変異体は、半矮性、著しい開花遅延等の表現型を示した。*gaf* 多重変異体のこれらの表現型は、GA投与により回復しないことも明らかとなった。以上の結果は、GAF1が、GA信号伝達因子であることを示唆している。

また、植物細胞を用いたトランジェントの実験系

より、GAF1は、単独では、弱い転写活性化因子として機能するがGAIとともに発現させると、強い転写活性化能を有し、対照的にWDRは転写抑制因子として機能することが明らかになった。故に、GAは、DELLAタンパク質の分解を促進し、GAF1相互作用因子を変化させることによりGAF1複合体の転写活性化能を調節し、GAF1標的遺伝子の遺伝子発現を制御しうることが明らかとなった。

本年度は、このモデルをもとに標的遺伝子の探索を行った。GA生合成遺伝子、GA情報伝達遺伝子の発現調節で知られる、GAフィードバック制御は、GAF1の作用モデルに適合する。実際に、GAF1標的遺伝子として、複数のGA生合成、情報伝達遺伝子を同定した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukazawa J, Ishida S, Ito T, Nakata M, Takahashi Y:

"RSG, bZIP transcriptional factor, controls feedback regulation of gibberellin biosynthesis.", 9th International Meeting: Biosynthesis and Function of Isoprenoids in Plants, Microorganisms and Parasites (TERPNET 2009) Tokyo Japan 2009 5

Fukazawa J, Murakoshi S, Teramura H, Nasuno K, Nishida N, Yoshida M, Kamiya Y, Yamaguchi S, Takahashi Y:

"GAF1, GAI Associated Factor 1, is a novel transcriptional factor regulates GA signaling in Arabidop-

sis", A nuclear system to DECODE winter workshop
2010 yuzawa Japan 2010 1
(国内学会等)
深澤 壽太郎, 村越 悟, 寺村 浩, 那須野 慶, 西田 尚敬,

吉田 充輝, 神谷 勇治, 高橋 陽介, 山口 信次郎: "
新奇ジベレリン信号伝達因子GAF1の標的遺伝子
の探索", 植物化学調節学会第44回大会 仙台 日本
2009 10

XIX - 062

オートファジー能欠損植物における 新規細胞死促進因子の探索とその解析

Investigation of a Novel Cell-death Activator in Autophagy-defective Mutants

研究者氏名: 吉本 光希 Yoshimoto, Kohki
受入研究室: 植物科学研究センター
植物免疫研究チーム
(所属長 白須 賢)

オートファジーは、細胞質成分を細胞内分解コンパートメントである液胞に輸送して分解する、真核細胞に広く普遍的な細胞内分解システムである。これまでに、シロイヌナズナにおいてオートファジーに必須なATG (autophagy-related) 遺伝子群の果たす役割を解析してきた。その結果、(1)シロイヌナズナにも出芽酵母や哺乳動物細胞と同様なオートファジーのシステムが存在すること、(2)植物はオートファジー能を欠損すると、老化が早まり、病原菌感染時に防衛反応として引き起こす細胞死を過剰に発生することなどが明らかとなった。これらを考え合わせると、オートファジー能欠損植物では細胞死が促進していると推測された。本研究は、この細胞死を促進する因子の単離を目的として行った。

今年度までに、オートファジー能欠損シロイヌナズナ (*atg* mutants) における細胞死促進の原因が、過剰なサリチル酸(SA)シグナリングであること、またそのシグナルによってオートファジーが誘導されることを発見した。*atg* mutantsの早老化による細胞死あるいは病原菌感染時に引き起こされる過剰な細胞死はSAシグナリングを阻害することで抑制された。一方、老化に関与しているといわれている、植物ホルモンのジャスモン酸やエチレン関連のシグナリングを阻害しても、細胞死促進は抑制されなかった。さらに興味深いことに、オートファジーはSAシグナルによって直接誘導されること、その誘導はSAシグナル伝達タンパク質NPR1に依存していることが明らかとなった。これらの結果から、オートファジーは、植物においてSAシグナリングの絶妙なバランスを取るための、ネガティブフィー

ドバックループとして機能していると推測される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yoshimoto K, Jikumaru Y, Kamiya Y, Kusano M, Consonni. C, Panstruga. R, Ohsumi. Y, Shirasu K, "Autophagy negatively regulates cell death by controlling NPR1-dependent salicylic acid signaling during senescence and innate immune response in *Arabidopsis*." *Plant Cell* Vol.21 pp2914-2927 (2009)

(総説)

Yoshimoto K, Takano Y, Sakai Y, "Autophagy in plants and phytopathogens" *FEBS Let.* in press

Yoshimoto K, "Physiological roles of autophagy in plants: Does plant autophagy have a pro-death function?" *Plant Signaling & Behavior* in press

van Doorn W, Yoshimoto K, "Role of chloroplasts and other plastids in ageing and death of plants and animals: a tale of Vishnu and Shiva." *Ageing Research Reviews* in press

(その他)

Yoshimoto K, "Plant autophagy puts the brakes on cell death by controlling salicylic acid signaling." *Autophagy* Vol.6 pp192-193 (2010)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimoto K, Ishida H, Ohsumi Y, Shirasu K, "The role of plant autophagy in nutrient starvation and aging" The 5th International Symposium on Au-

tophagy Otsu Japan 2009 9
(国内会議等)
吉本 光希, 軸丸 裕介, 神谷 勇治, 草野 都, 大隅 良典,

白須 賢, "植物オートファジーはサリチル酸シグ
ナリングを抑制し細胞死に歯止めをかける" 第51
回日本植物生理学会年会 熊本 日本 2010 3

XIX - 063

逆遺伝学手法を用いたアブシジン酸の 新奇シグナル因子の同定と機能解析

Functional Analysis and Identification of Novel Abscisic Acid Signaling Factor by Reverse Genetic Approach

研究者氏名: 岡本 昌憲 Okamoto, Masanori
受入研究室: 植物科学研究センター
植物ゲノム発現研究チーム
(所属長 関 原明)

種子の発芽や乾燥などのストレスに関与する植物ホルモンのアブシジン酸(ABA)の生理作用は、内生ABA量が受容体を介してシグナルへと変換され、様々な遺伝子発現を制御することで引き起こされる。これまで、ABAのシグナル伝達に関する研究は、世界的に転写因子や酵素を中心に解析が行われてきた。一方、近年、動物などの分野を中心に、蛋白質をコードしない因子(mRNA like non-coding RNA; ncRNAやshort ORF; sORF)による遺伝子発現制御や発生制御が注目されつつある。このことは、植物ホルモンのシグナル伝達に対する理解においても、ncRNAやsORFを視野に入れた研究が不可欠であることを示唆している。本研究では、これらの存在を明らかにし、機能を明らかにするために、シロイヌナズナの全ゲノムからなるタイリングアレイ解析を行った。

シロイヌナズナ種子におけるタイリングアレイ解析の結果、The Arabidopsis Information Resource (Tair)に報告されていない新奇遺伝子を約5000同定した。新奇遺伝子の約90%が蛋白質をコードしていない、ncRNAであることが明になった。これらの機能解析を進める為に、ABAによって応答する新奇遺伝子や他の植物種でも保存されている新奇遺伝子に焦点を絞り、T-DNA変異体の表現型の観察を行った。その結果、幾つかの変異体では、種子のABAの感受性が変化していた。今後、このncRNAの分子機能を明らかにしたいと考えている。

また、バイオインフォマティクス手法によって推定された7000ものsORF(90~300bp)の実際の転写をタイリングアレイによって明らかにした。その結

果、ABAによって応答する小ペプチドホルモンをコードし得るsORFを約60同定した。これらsORFの過剰発現体の中には、植物の生長が阻害されているものが観察された。今後、このペプチド遺伝子から生産される生体内での成熟型ペプチドホルモンの同定を行いたい。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ikegami K, Okamoto M, Seo M, Koshihara T, "Activation of abscisic acid biosynthesis in the leaves of *Arabidopsis thaliana* in response to water deficit" *Journal of Plant Research* Vol. pp (2009)

Okamoto M, Tanaka Y, Abrams S, Kamiya Y, Seki M, Nambara E, "High humidity induces abscisic acid 8'-hydroxylase in stomata and vasculature to regulate local and systemic abscisic acid responses in *Arabidopsis*" *Plant Physiology* Vol.149 pp825-834 (2009)

Okamoto M, Matsui A, Tatematsu K, Morosawa T, Ishida J, Tanaka M, Endo T, Mochizuki Y, Toyoda T, Kamiya Y, Shinozaki K, Nambara E, Seki M, "Genome-wide analysis of endogenous abscisic acid-mediated transcription in dry and imbibed seeds of *Arabidopsis* using tiling arrays" *The Plant Journal* Vol. pp279 (2010)
(総説)

Okamoto M, Hanada A, Kamiya Y, Yamaguchi S, Nambara E, "Measurement of Abscisic Acid and Gibberellins by Gas Chromatography/Mass Spectrometry" *Plant Hormones: Methods and Protocols*, Second Edition

Vol.495 pp53-60 (2009)

Nambara E, Okamoto M, Tatematsu K, Yano R, Seo M, Kamiya Y, "Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination" Seed Science Research Vol. pp279 (2010)

(単行本)

久城 哲夫, 岡本 昌憲, "アブシジン酸不活性化による休眠解除" 発芽生物学 日本 文一総合出版 日本

東京 pp279-286 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

岡本 昌憲, 神谷 勇治, 関 原明, 南原 英司, "高湿度にตอบสนองしてABA 8'-水酸化酵素が維管束と気孔細胞で活性化され, 気孔開放に関与する" 第50回日本植物生理学会年会 名古屋 日本 2009 3

XIX - 065

代謝プロファイリングに基づく 宿主-腸内フローラ間相互作用の評価系の構築

Construction of Novel Method to Assess the Host-bacterial Cross-talk Based on Metabolic Profiling

研究者氏名: 福田 真嗣 Fukuda, Shinji

受入研究室: 免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫系構築研究チーム
(所属長 大野 博司)

近年、多種多様な効果を持つプロバイオティクスが社会に導入されてきているが、それらプロバイオティクスがどのような機構で宿主と、あるいは微生物同士が相互作用 (crosstalk) し、宿主に有益な効果をもたらすのかについての詳細は明らかでない。炎症性腸疾患モデル動物や大腸発癌モデル動物を無菌化することで病態の発現がみられなくなるという知見からも、単に宿主の遺伝子異常ばかりでなく、宿主-腸内フローラ間crosstalkが病態発現に重要な要因となることが考えられる。しかしながら腸内には数百種類にも及びかつ未同定菌を多数含む複雑な腸内フローラが存在するため、それら全体と宿主とのcrosstalkを体系的に解析・理解するのは現時点では事実上不可能である。

そこで我々は、無菌マウスに限られた菌のみを定着させたモデル実験系を用いて宿主-腸内フローラ間crosstalkを解析してきた。これまでの研究成果から、無菌マウスに腸管出血性大腸菌O157を投与すると7日以内に全例が死に至るが、典型的なプロバイオティクスである*Bifidobacterium longum*を前投与しておく、その後のO157投与による感染死は予防されることを見出した。一方、成人の腸管内に常在するビフィズス菌である*Bifidobacterium adolescentis*を前投与しても感染死が予防できないことも明らかにした。O157による感染死を予防できるビフィズス

菌2株と予防できないビフィズス菌2株を用いて、代謝物や発現遺伝子群の網羅的解析、すなわち複合オミックス解析により詳細な比較を行った。その結果、感染死を予防できるビフィズス菌を定着させたマウスでは、予防できないものよりもマウス糞便中の糖質の含量が有意に少なく、短鎖脂肪酸の一つである酢酸が有意に多いことを見出した。ヒト大腸上皮株化細胞であるCaco-2細胞を用いてO157感染に対する酢酸の効果を調べたところ、酢酸を培地に加えるとO157が産生する病原因子の発現量に違いはないにもかかわらず、Caco-2細胞の細胞死が有意に抑制された。トランスクリプトーム解析結果から、酢酸によるマウス腸管上皮層での炎症応答が促進していることが明らかになった。ビフィズス菌の比較ゲノム解析結果から、感染死を予防できるビフィズス菌は主にフルクトースを取り込むABC型の糖質のトランスポーターをコードする遺伝子を有し、マウス腸管内で発現していることを明らかにした。以上の結果から、プロバイオティクスの効果の一因として、腸管内での高い糖代謝能が必要であることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Shima, H., Takatsu, H., Fukuda, S., Ohmae, M., Hase,

- K., Kubagawa, H., Wang, J.Y., and Ohno, H. "Identification of TOSO/FAIM3 as an Fc receptor for IgM" *Int. Immunol.* 22: 149-156 (2010).
2. 福田真嗣, 大野博司 "腸管出血性大腸菌 O157 感染症に対するプロバイオティクスの防御効果" *腸内細菌学会誌* 23 : 271-278 (2009) 総説
 3. Hase, K., Kawano, K., Nochi, T., Pontes, G. S., Fukuda, S., Ebisawa, M., Kadokura, K., Tobe, T., Fujimura, Y., Kawano, S., Nakato, G., Kimura, S., Murakami, T., Iimura, M., Hamura, K., Fukuoka, S. I., Lowe, A. W., Waguri, S., Itoh, K., Kiyono, H., Ohno, H. "Uptake via Glycoprotein 2 of FimH+ bacteria by M cells initiates mucosal immune response" *Nature* 462: 226-230 (2009).
 4. Nakato, G., Fukuda, S., Hase, K., Goitsuka, R., Cooper, DM, and Ohno, H. "New approach for M-cell-specific molecules screening by comprehensive transcriptome analysis" *DNA Res.* 16: 227-235 (2009).
 5. Fukuda, S., Nakanishi, Y., Chikayama, E., Ohno, H., Hino, T., Kikuchi, J.: "Evaluation and characterization of bacterial metabolic dynamics with a novel profiling technique, real-time metabolotyping" *PLoS ONE* 4: e4893 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Fukuda, S., Nakanishi, Y., Toh, H., Yoshimura, K., Oshima, K., Tobe, T., Morita, H., Itoh, K., Kikuchi, J., Hattori, M., and Ohno, H. "Multiple Omics Identified Microbial Metabolites to Protect Host from Enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 Lethal Infection" *The 8th International Workshop on Advanced Genomics*, Tokyo, June, 2009.
2. Fukuda, S., Nakanishi, Y., Toh, H., Yoshimura, K., Oshima, K., Tobe, T., Morita, H., Itoh, K., Kikuchi, J., Hattori, M., and Ohno, H. "Multiple Omics Identified Mi-

crobial Metabolites to Protect Host from Enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 Lethal Infection" *14th International Congress of Mucosal Immunology*, Boston, July, 2009.

3. Fukuda, S., Date, Y., Kato, T., Nakanishi, Y., Chikayama, E., Tsuboi, Y., Tsuneda, S., Moriya, S., Kikuchi, J., and Ohno, H. : "Gut environment assessment system based on multiple omics approach" *National Institute of Health Human Microbiome Project Research Network Meeting*, Houston, January, 2010.

(国内会議等)

1. 福田真嗣, 伊達康博, 加藤完, 中西裕美子, 近山英輔, 坪井裕理, 常田聡, 守屋繁春, 菊地淳, 大野博司 "複合オミックス解析による腸内環境評価系の構築", 第13回腸内細菌学会, 東京 (2009/6/11-12)
2. Fukuda, S., Hase, K., Itoh, K., Morita, H., Ohno, H. "Multiple Omics Identified Microbial Metabolites to Protect Host from Enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 Lethal Infection" 第39回日本免疫学会総会・学術集会, 大阪 (2009/12/2-4)
3. 福田真嗣, 伊達康博, 加藤完, 中西裕美子, 近山英輔, 坪井裕理, 常田聡, 守屋繁春, 菊地淳, 大野博司 "複合オミックス解析による腸内環境評価系の構築", 第32回日本分子生物学会年会, 横浜 (2009/12/9-12)
4. 福田真嗣, 大野博司 (招待講演) "腸管出血性大腸菌 O157:H7 投与マウスモデルを用いた宿主-腸内フローラ間相互作用の解析", 第12回日本臨床腸内微生物学会総会, 岐阜 (2009/09/05)
5. 福田真嗣, 大野博司 (招待講演) "複合オミックス解析による腸内環境評価系の構築", 第19回日本数理生物学会年会, 東京 (2009/09/9-11)
6. 福田真嗣, 大野博司 (招待講演) "腸管出血性大腸菌 O157:H7 感染マウスモデルに対するプロバイオティクスの防御効果の解析" 第83回日本細菌学会総会, 横浜 (2010/03/27-29)

XIX - 067 ゼブラフィッシュを用いた、小脳発生のメカニズムに関する研究

Mechanisms Controlling Development of Zebrafish Cerebellum

研究者氏名：田辺 光志 Tanabe, Koji
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター
体軸形成研究チーム
(所属長 日比 正彦)

小脳のプルキンエ細胞は細胞体から1本の樹状突起(一次樹状突起)のみを伸ばす、高度に極性化した形態をとる。小型魚類ゼブラフィッシュを用いて、プルキンエ細胞の、極性を持った樹状突起形成を制御するメカニズムに関して研究を行った。前年度までに、ゼブラフィッシュ小脳においてプルキンエ細胞の形態を単一細胞の解像度で経時的に観察し、プルキンエ細胞は多数の突起を持つ状態から、1本の一次樹状突起のみを残して他の突起を退縮させることで、成熟した極性を持った形態を発達させることを見出した。また、ゴルジ体が一次樹状突起の根元に非常に限局して局在することを観察した。ゴルジ体は形態的な極性を持たない、若いプルキンエ細胞においても既に狭い領域に局在するため、ゴルジ体が局在することで、局所的な樹状突起の形成が誘導されることが示唆された。

本年度はゴルジ体の局在が局所的な樹状突起の形成を制御しているということをより直接的に示すために、プルキンエ細胞においてゴルジ体の分布を乱すことを試みた。ゴルジ体の構成タンパク質の一つを過剰発現するとゴルジ体が断片化し、細胞全体に分布する例が得られた。このようなプルキンエ細胞では、断片化したゴルジ体から複数の短い突起が形成された。また、薬剤によってゴルジ体を介した分泌経路を阻害すると樹状突起の伸長が著しく抑制された。以上の結果から、ゴルジ体を介した分泌経路は樹状突起の伸長を正に制御し、局所的な樹状突起の形成のためにはゴルジ体を狭い領域に局在させることが必要である、ということが強く示唆された。

局所的な樹状突起の形成を制御する分子的なメカニズムを明らかにするために、細胞極性の制御因子に変異を持つ、いくつかの変異体においてプルキンエ細胞の形態を観察した。その結果、atypical PKC (aPKC) 遺伝子の変異体では、プルキンエ細胞が複数

の一次樹状突起を保持し続けることを観察した。また、この変異体ではゴルジ体の局在が乱れ、一様に細胞全体に分布していた。aPKCの機能の細胞自律性を調べるために、ドミナントネガティブ分子を少数のプルキンエ細胞でのみ発現させたところ、ゴルジ体の分布が拡がると共に、複数の一次樹状突起が形成された。以上の結果から、aPKCは細胞自律的にゴルジ体の局在を制御し、局所的な樹状突起の形成を誘導していることが示された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Bae YK, Kani S, Shimizu T, Tanabe K, Nojima H, Kimura Y, Higashijima S, Hibi M "Anatomy of zebrafish cerebellum and screen for mutations affecting its development." *Developmental Biology* Vol.330 pp406-426 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanabe K, "Atypical PKC regulates polarized dendrite formation of cerebellar Purkinje cells by localizing Golgi apparatus." 6th European Zebrafish Genetics and Development Meeting Rome Italy 2009 7

(国内学会等)

田辺 光志, "Mechanisms controlling polarized dendritic formation of Purkinje cells in the zebrafish cerebellum" 日本発生生物学会 第42回大会 新潟県新潟市 日本 2009 5

田辺 光志, "Atypical PKC regulates polarized dendrite formation of cerebellar Purkinje cells by localizing Golgi apparatus." 第15回小型魚類研究会 愛知県名古屋市 日本 2009 9

研究者氏名：庄司 志咲子 Shoji, Shisako

受入研究室：生命分子システム基盤研究領域

システム研究チーム

(所属長 横山 茂之)

受精前の哺乳類卵は精子が到着するまでは分裂が開始されないように第二減数分裂中期で細胞周期を停止しており、この仕組みは細胞分裂停止因子(cytostatic factor, CSF)と呼ばれている。以前に我々はマウス卵のCSFがEmi2というタンパク質分子であることを報告している。Emi2(アフリカツメガエルにおけるオルソログはErp1と呼ばれる)は、初期に脊椎動物のCSFとして報告されていたEmi1と同一性があり、これら二つのタンパク質はEmi/Erpファミリーとして知られるようになってきた。近年の我々や他の研究グループによる研究結果から、“CSFは細胞周期発振因子サイクリンをターゲットとする複合体型ユビキチンリガーゼAPC/サイクロソーム(APC/C)の阻害因子である”と現在は考えられており、CSFの制御経路も解明されてきている。しかし、このAPC/Cのユビキチン化反応阻害にCSFがどのように作用するのかは未だ不明である。本研究では、このCSFの分子機構の解明を目指し、APC/Cのユビキチンリガーゼ活性の制御機構とEmi/Erpファミリーの

C末端側で保存されているCSF機能に重要とされる領域との関係に注目して解析を進めてきた。哺乳類のAPC/Cは少なくとも12個のサブユニットタンパク質から構成され、分裂中期ではCdc20という補因子が結合した複合体APC/C^{Cdc20}が活性化型として働く。本年度は、初年度以来検討を重ねてきたEmiタンパク質の機能解析に使用できるAPC/C^{Cdc20}のサブユニットのセットによる*in vitro*ユビキチンライゲーション反応システムが完成したので、これを用いた実験を行った。これまでの結果から、本システムのコンポーネント中にCSFが作用する分子が存在することが示唆されており、現在は、マウスEmiタンパク質のCSF機能ドメインの解析を進めている。これと同時に高品質の精製タンパク質を調製できる条件が決定できたので、構造解析に向けて結晶化スクリーニング等を実行中である。また、哺乳類細胞を用いてこれら機能ドメインの発現実験を行いその表現系の確認も行う予定である。

XIX - 069 単一細胞マイクロアレイによる、マウス生殖細胞形成を規定する機能遺伝子ネットワークの同定とその再構成

Single Cell Microarray Analysis and Reconstitution of the Genetic Network for Mouse Germline Specification

研究者氏名：栗本 一基 Kurimoto, Kazuki

受入研究室：発生再生科学総合研究センター

哺乳類生殖細胞研究チーム

(所属長 斎藤 通紀)

生殖細胞は遺伝情報を次世代に継承する唯一の細胞であり、哺乳類においては原腸陥入の開始にともない原始外胚葉から分化する。発生初期には、始原生殖細胞(primordial germ cell: PGC)は数個から数十個というごく少数の細胞であるため、通常の分子生物学的アプローチは困難である。近年、私は単一細胞cDNAを、各遺伝子の相対的発現レベルを正しく

保ったまま効率よく増幅し、マイクロアレイに適用する手法を開発した。これにより、包括的かつ定量的な遺伝子発現解析が単一細胞レベルで可能になった。この手法を用い、PGC前駆体(Blimp1陽性細胞)および初期PGCについて詳細な単一細胞解析をおこなった。代表的な細胞のマイクロアレイ解析、また全Blimp1陽性細胞の定量PCR解析により、この過程

における遺伝子発現動態を同定した。その結果、PGC前駆体は周囲の体細胞と同じく中胚葉誘導の影響下であり、一部の中胚葉マーカーの発現上昇や分化多能性因子の抑制を一旦示した後、それらの発現プロファイルが反転するというダイナミックな過程を経ることが明らかになった。Blimp1欠損胚についても単一細胞マイクロアレイ解析を行い、Blimp1が体細胞的な遺伝子発現の抑制のほぼ全てに必要であることが判明した。さらに、PGCの発生初期より特異的に発現し、PGCの分化に必須の遺伝子Prdm14を同定した。興味深いことに、Prdm14はPGCが潜在的な分化多能性を保つためには必要であったが、中胚葉誘導の抑制や、ゲノム後成的修飾の再構成には不要であることが判明した。これらの解析により、PGC

形成過程におけるBlimp1およびPrdm14の支配的な役割が明らかになりつつある。次なる課題として、これらの因子、特にBlimp1の直接の作用点は何であるかという問題が提起される。この問題を解決するためには、 $10^3 \sim 10^4$ 個オーダー程度の少数の細胞において転写調節因子の結合部位をゲノムワイドで明らかにする必要であるが、現時点ではそれは非常に困難である。この問題を解決するために、本研究で開発したcDNA増幅法の技術的發展として、免疫沈降した微量なゲノムDNAへの適用が考えられる。本年度はその実現可能性を検証するためDNA増幅条件検討を行い、また、免疫沈降に用いるタグ付きBlimp1のノックインをおこなった。

基礎科学特別研究員
平成 20 年度採用者

K 中間子ヘリウム 3 原子 X 線の精密測定 Precise Measurement of Kaonic Helium-3 X-rays

研究者氏名：飯尾 雅実 Iio, Masami
受入研究室：仁科加速器研究センター
岩崎先端中間子研究室
(所属長 岩崎 雅彦)

K中間子原子の最終軌道のエネルギー準位は、電磁相互作用のみで計算された値からずれることが知られている。そのずれ(シフト)は、K中間子-核子間の強い相互作用により生じるもので、K中間子の脱励起によるX線を精密測定することで、その強い相互作用の知見を得ることができる。本研究では、高分解能シリコンドリフトX線検出を用いてK中間子ヘリウム3原子X線を測定することで、その最終準位(2p)のシフトを数eVの精度で決定する。本研究はJ-PARCのハドロン実験施設内のK1.8BRビームラインにおいて行われるが、現在K1.8BRではビームラインのチューニングが行われており、生成された2次粒子の弁別に成功し、K中間子ビームを使った実験が可能なところまで来ている。後はビーム強度がもう少し上がれば、本実験を行うことができる。

2009年度も、KEKにおいて、液体ヘリウム3標的とシリコンドリフト検出器の開発を引き続き行った。本装置は1.3 Kまで冷却・保持される液体ヘリウム3標的容器周辺にシリコンドリフトX線検出器(SDD, 150 K)とPre-AMP(250 K)を8セット配置し両立させる。熱負荷問題に関して、SDDとPre-AMPを熱的に遮蔽することにより解決できることは確認している。そこで、実際に実験を行うためのセットアップに組み換え、それぞれの装置の最適化を行った。その結果、ヘリウム3標的の本体に配置したSDDのエネルギー分解能150 eVを達成し、標的・X線検出装置のほとんどは完成した。2010年度に装置一式をJ-

PARCへ移設し最終調整をした後に、本実験を開始する。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sato M, Ishimoto S, Hayashi T, Iio M, Iwasaki M, Suzuki S, "Development of a super-fluid 4He target system for an experimental search for nuclear K- states" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A Vol.606 pp233-237 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iio M, Bhang H, Cargnelli M, Choi S, Curceanu C, Doce O, Enomoto S, Fujioka H, Fujiwara Y, Guaraldo C, Hashimoto T, Hayano R, Hiraiwa T, Ishimoto S, Ishiwatari T, Itahashi K, Iwasaki M, Kou H, Kienle P, Marton J, Matsuda Y, Noumi H, Onishi H, Okada S, Ota H, Sakuma F, Sato M, Sekimoto M, Shi H, Sirghi D, Sirghi F, Suzuki T, Tanida K, Tatsuno H, Tokuda M, Tomono D, Toyoda A, Tsukada K, Vidal A, Widmann E, Wunschek B, Yamazaki T, Zmeskal J, "Precision spectroscopy of kaonic helium-3 atoms x-rays at J-PARC" 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics Bonn Germany 2009 8-9

XX - 002

重イオン衝突直後の早期熱平衡化と クォーク・グルーオン・プラズマ形成に関する研究

The Early Thermalization After the Heavy Ion Collision and the Formation of the Quark Gluon Plasma

研究者氏名：古城 徹 Kojo, Toru
受入研究室：仁科加速器研究センター
理論研究グループ
(所属長 Larry McLerran)

平成21年度は、以下の二つの研究を中心に行なった。1) QCD和則に基づくペンタクォークの解析：日本のグループとともにこれまで行なってきた、QCD和則に基づくペンタクォークの解析。東工大のP. Gubler氏を中心に、従来のQCD和則の総括と呼べる解析を行なった。2) 閉じ込め力が残る密度領域におけるカイラル対称性の研究：筆者が中心となり、Brookhaven National Laboratory の共同研究者らとともに、QCDの有限密度系 - クォークのFermi seaが発達する程度に高密度であり、それでいて閉じ込め効果が相構造を考察するうえで重要な役割を果たす中間密度領域 - を考察した。特に閉じ込め力、Fermi seaの存在がどのようなカイラル対称性の破れとその回復を導くかに注目した。このような対称性の破れのパターンを抑えることは、低エネルギーのダイナミクスの理解と不可分に結び付いており、星の内部におけるダイナミクス、ターリングプロセスへの影響を考えるうえで現象論的に本質的な重要性を持つ。本研究を通じて以下のことが明らかになった：1) 閉じ込め力と十分大きなFermi seaを持つ系においては、空間3次元から1次元のダイナミクスへの射影が良い近似で成り立つ。2) 従来の意味でのカイラル対称性は密度効果で回復するものの、密度波型のカイラルペアリング効果が閉じ込め力を反映し

て高密度においても強く残る。3) 結果として、中間密度領域では、カイラル対称性は巨視的なスケールでは回復するものの微視的なスケールでは破れる。これはカイラル対称性が破れている低密度領域と、回復が起こると予想されている超高密度領域を自然につなぐメカニズムを提供する。現在、物性系の研究者と共同研究が新たに始まり、本研究の理論的枠組みの拡張を行なっている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Gubler Philipp, Jido Daisuke, Kojo Toru, Nishikawa Tet-suo, Oka Makoto, "Possible quantum numbers of the pentaquark Θ^+ (1540) in QCD sum rules." Physical Review D Vol.80 114030 pp1-22 (2009)

Gubler Philipp, Jido Daisuke, Kojo Toru, Nishikawa Tet-suo, Oka Makoto, "Spin-3/2 Pentaquark in QCD Sum Rules" Physical Review D Vol.79 114011 pp1-9 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kojo Toru, Hidaka Yoshimasa, McLerran Larry, Pisarski Robert, "Quarkyonic Chiral Spirals" HADRON2009 Florida state, USA United States 2009 11-11

XX - 003

余剰次元模型における電弱対称性の破れに関する研究 Research on Electroweak Symmetry Breaking in Extra-Dimensional Models

研究者氏名：阪村 豊 Sakamura, Yutaka
受入研究室：仁科加速器研究センター
川合理論物理学研究室
(所属長 川合 光)

素粒子の標準理論を越える物理の候補の1つである余剰次元模型の枠組みで電弱対称性の破れを引き起こす機構について研究を行った。電弱対称性の破

れの機構については未だ解明されておらず、理論的観点からいくつかの模型が提唱されている。これらの模型は欧州原子核研究機構において本格始動しよ

うとしているLHC実験によって検証が期待されている。そこで私は検証に必要な各模型に特徴的な測定量を見出し、標準理論を越える物理の特定に貢献することを旨とした。

本年度は特にゲージヒッグス統合模型においてW、Zゲージボソンの散乱振幅を計算し、摂動計算が信頼できるエネルギー領域を見積ることによって模型の適用限界について議論した。

具体的には縦波偏極したW及びZゲージボソンの散乱振幅を摂動の最低次で求め、ユニタリティー条件を満たすエネルギー上限を見積った。これにより摂動計算の信頼できるエネルギー領域が明確になった。散乱振幅の計算では中間状態を飛ばすゲージボソンの無限個のKaluzza-Klein励起状態の寄与をすべて足し合わせる代わりに5次元伝播関数を用いた。この方法では無限個の励起状態の寄与の和が相互作用点の余剰次元方向の座標に関する積分に置き換わる為、Kaluzza-Klein質量を超えた高エネルギーの散乱過程の計算を精度良く求めることが出来る。また、一般にRandall-Sundrum時空のように曲がった時空上のKaluzza-Klein励起状態の質量固有値を求めるにはベッセル関数のような複雑な関数を含んだ方程式を解かなくてはならず面倒であるが、5次元伝播関数を用いたこの方法ではそれらを顕に求める必要はなく、効率良く計算結果を得ることが出来るという利点もある。

得られた計算結果により、曲がった時空上のゲージヒッグス統合模型はKaluzza-Klein質量スケール付近で既に摂動計算の信頼性が失われ得るということが分かった。対照的に平坦な時空上の模型ではKaluzza-Klein質量スケールの約100倍程度のエネルギーまで

摂動計算が信頼できるが、最終的にはユニタリティー条件を破ることも確認できた。これは余剰次元模型が繰り込み不可能な理論であることに起因しており予想された結果であるが、具体的にどの程度のエネルギーでユニタリティー条件を破るかは直接計算しなければ分からず、本研究によって初めて明らかになった。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Haba N., Sakamura Y., and Yamashita T. : "Weak boson scattering in Gauge-Higgs Unification", JHEP 0907 020 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Abe H., Sakamura Y. : "Flavor structure with multi moduli in 5D SUGRA", SUSY 09, Boston, U.S.A., June (2009)

Haba N., Sakamura Y., and Yamashita T. : "Weak boson scattering in gauge-Higgs unification", PASCOS 09, Hamburg, Germany, July (2009)

(国内学会等)

波場 直之, 阪村 豊, 山下 敏史 : "Tree-level unitarity in Gauge-Higgs Unification", Summer Institute 2009 on "Particle Physics Phenomenology", 富士吉田市, 8月 (2009)

波場 直之, 阪村 豊, 山下 敏史 : "Unitarity bound of Gauge-Higgs Unification", 日本物理学会2009年秋季大会, 甲南大学, 9月 (2009)

XX - 004

RIBF-SLOWRI 計画のための

大強度 RI ビーム用ガスキャッチャーシステムの開発

The Development of New Gas Catcher System for a High Intensity RI-beam at RIBF-SLOWRI Facility

研究者氏名: 園田 哲 Sonoda, Tetsu

受入研究室: 仁科加速器研究センター

低速RIビーム生成装置開発チーム

(所属長 和田 道治)

本研究の目的は、理化学研究所の新しい加速器施設であるRIビームファクトリーの入射核破砕片分離器BigRIPS内で捨てられたRIを再生してパラサイト的

に低速RIビームを提供できる新しい機構Parasitic slow RI production with ion guide Laser Ion Source (PALIS)を構築することである。これは、小型アル

ゴンガスセルをBigRIPS内スリット近傍に設置し、熱化・中性化したRIをレーザーによって共鳴イオン化し、ガス流によって輸送・引き出すものである。本機構によって生成された低速RIビームは、他の実験が進行している間も毎日只で得られるのでRIBF施設の機能性を画期的に増加させ得る。

本年度前半は、ベルギールーバン大学の協力により本装置有効性の調査および同手法によって展開される新しい分光手法の実演を同大学の加速器実験施設で行った。後半は、本機構に不可欠な共鳴イオン化用のレーザーを入手し、その立ち上げを行った。具体的には、

(1) ビーム停止領域、イオン化領域を分離するという新しいコンセプトを持つシャドーガスセルを使い、これまで欠点とされていた大強度ビームにおける効率損失の改善を実現した。

(2) ガスセル内でレーザー共鳴イオン化する際に分光も同時に行う手法を提案・調査し ^{57}Cu の基底状態の核磁気モーメント測定を実現した。

(3) 共鳴イオン化に必要な高繰り返し、高強度パルスレーザーを入手した。これらは5年前まで理研および原研にて使用されていたもので今後使用予定がないため本研究グループへ無償譲渡された。現在、同レーザーの立ち上げを行っている(進行中)。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sonoda T, Wada M, Schury P, Okada K, Katayama I, Hans A, Takamine A, Wollnik H, Iimura H, Yoshida A, Kubo T, Matsuo Y, Yamazaki Y, Kudryavtsev Y, Huyse M,

Duppen P, Furukawa T, Ohtani S, Shinozuka T, Wakui T, "Restoration of RI-beam from a projectile fragment separator by Laser Ionization gas Catcher" American institute of physics Vol.1104 132 pp132-137 (2009).

Takamine A, Wada M, Okada K, Nakamura T, Sonoda T, Lioubimov V, Iimura H, Yamazaki Y, Kanai Y, Kojima T, Yoshida A, Kubo T, Katayama I, Ohtani S, Wollnik H, Hans A, "Isotope shift measurements of $^{11,9,7}\text{Be}^{+}$ " The European Physical Journal A Vol. pp1-5 (2009).

Cocolios T, Andrei A, Beyhan B, Bree N, Buscher J, Elseviers J, Gentens J, Huyse M, Kudryavtsev Y, Pauwels D, Sonoda T, Bergh P, Duppen P, "Magnetic Dipole Moment of $^{57,59}\text{Cu}$ Measured by In-Gas-Cell Laser Spectroscopy" Physical Review Letters Vol.103 102501 pp102501-1-102501-4 (2009).

Kudryavtsev Y, Cocolios T, Gentens J, Huyse M, Ivanov O, Pauwels D, Sonoda T, Bergh P, Duppen P, "Dual chamber laser ion source at LISOL" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B Vol.267 17 pp2908-2917 (2009).

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sonoda Tetsu: "Parasitic production of slow RI-beam from a projectile fragment separator by ion guide Laser Ion Source (PALIS)", Third Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan, October 13-17, 2009, Hilton Waikoloa Village on Hawaii's Big Island, USA.

XX - 005

X線スペクトルの時間変動で探る ブラックホール時空構造と一般相対論的降着円盤 Exploring Black Hole Spacetime and General Relativistic Accretion Disk through X-ray Spectrum Time Variability

研究者氏名：高橋 労太 Takahashi, Rohta
受入研究室：基幹研究所
牧島宇宙放射線研究室
(所属長 牧島 一夫)

本研究の主目的は、望遠鏡で得られる最新の観測データの中にブラックホール周囲の曲がった時空の情報がいかに含まれるのかを理論的に解明すること

である。そのために、今年度は主に動的時空も含む一般時空での一般相対論的動的輻射磁気流体のシミュレーション・コードの開発を行い、混合系アプ

ローチでの一般時空での輻射流体の基礎方程式の定式化、一般相対論的粒子(光子・ニュートリノ・陽子・電子・陽電子など)のボルツマン方程式の数値計算用の差分式の定式化及び特殊相対論的コード及び定常時空での流体シミュレーション・コードの開発を終えた。これらの数値計算コードは、今後計算する予定であるブラックホール時空中のコロナを伴った降着円盤及びジェットの輻射磁気流体数値計算コード及びこれらの計算を基に行う時間変動するX線偏光スペクトル計算のおおもとになるコードである。それと並行して、Kerr時空でのスピニングが1を超えた天体の周囲の降着円盤からのX線スペクトルを計算し、ブラックホール天体のX線スペクトルと極めて類似するスペクトルを持ち、現在までに得られている観測データの制度ではブラックホールと区別することは困難であることを見出した。逆に言うと、将来の観測装置で高精度のエネルギー・スペクトルが得られればこれらの天体をブラックホールと区別することができるので、ブラックホールの実存性を更に突き詰めることにつながる。また、ブラックホール周囲での光子捕獲率を記述する解析式を発見し、最大回転ブラックホールの場合には、ホライズンから半径にして数%外側の部分からも30%程度も光子が抜け出ることを見出した。これらの基本的な知見は、従来の光子測地線を数値的または解析的にトレースする計算方法ではブラックホール超近傍で数値計算精度をかなり必要とするために計算が大変困難であり、今回の解析式を用いることではじめて得られた知見である。以上の研究に並行して、Kerr時空上の一般相対論的円盤モデルを用いて我々の銀河中心Sgr A*での観測データを解釈し、ブラックホール及びその周囲の降着円盤の物理量に制限を与えた。また、Kerr時空中でスピニングが1を超える天体の周囲での降着流シミュレーションも行い、これらの天体の周囲ではブラックホールと比較して、定常降着流が形成されにくいことがわかった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Otani J., Takahashi R., Eriguchi Y., 2009年, Monthly Notices of Royal Astronomical Society 誌, 369巻, 2152頁-2166頁, 題目: Equilibrium

states of magnetized toroid-central compact object systems

2. Huang L., Takahashi R., Shen Z.-Q., 2009年, Astrophysical Journal 誌, 706巻, 960頁-969頁, 題目: Testing the accretion flow with plasma wave heating mechanism for Sagittarius A* by the 1.3mm VLBI measurements
3. Bambi C., Freese K., Haarda T., Takahashi R., Yoshida N., 2009, Physical Review D 誌, 80巻, 104023, 題目: Accretion process onto super-spinning objects
4. Takahashi R., 2009年, Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations, Proceedings of the RIKEN Symposium, 158頁, 題目: Eclipsing light curves for accretion flows around a rotating black hole and atmospheric effects of the companion star
5. Takahashi R., 2009年, Approaching Micro-Arcsecond Resolution with VSOP-2, Astrophysics and Technologies ASP Conference Series, 402巻, 321頁-325頁, 題目: Black Hole Shadows and VSOP-2
6. Takahashi R., Takahashi M., 2009年, Astronomy & Astrophysics 誌, submitted, 題目: Anisotropic radiation field and trapped photons around Kerr black hole
7. Takahashi R., Harada T., 2009年, Classical and Quantum Gravity 誌, submitted, 題目: Observational testability of Kerr bound in X-ray spectrum of black-hole candidates

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

1. 高橋 勇太, 日本天文学会, 2009年春季年会, A10a, 題目: 銀河中心Sgr A*時間変動のイメージング観測シミュレーション
2. 高橋 勇太, 日本天文学会, 2009年秋季年会, J66a, 題目: General Relativistic Dissipative Bondi Flow based on EIT
3. 高橋 勇太, 第22回理論懇シンポジウム「2010年代の理論天文学」, 題目: 近傍銀河中心の電波干渉計観測と一般相対論的效果

XX - 006 雷活動からの X 線や核 γ 線観測による電場での粒子加速の検証
Study of Particle Acceleration in Electric Fields by Measuring X Rays and Nuclear Gamma Rays from Thunder Activity

研究者氏名：土屋 晴文 Tsuchiya, Harufumi
受入研究室：基幹研究所
牧島宇宙放射線研究室
(所属長 牧島 一夫)

近年、地球内の雷や雷雲から、これまでの常識では考えられなかった X 線やガンマ線が見つかった。こうした高エネルギーの光子は、雷や雷雲がもつ強い電場により電子が相対論的なエネルギーに加速されることに由来する。したがって、雷や雷雲から発生する X 線やガンマ線の測定は、電場による粒子の加速メカニズムを知るための強力なツールとなる。実は、宇宙にある天体でも電場による粒子加速は起こっていると考えられているが、遠方であるがゆえに電場を推定することが難しく、これまで観測的にあまり議論されてこなかった。本研究は、雷や雷雲中という身近な自然現象の中での電場による電子の加速を調べることで、宇宙での電場加速をも論じるという新しい考えを持っている。

2006年12月から日本海側の柏崎刈羽原子力発電所、そして2008年夏からは、乗鞍宇宙線観測所において雷活動からの X 線やガンマ線の観測を行っている。これまでのところ、雷放電に同期して一秒より短い継続時間をもつガンマ線を 5 例、雷放電にはまったく同期せず数十秒から数分にわたるガンマ線を 6 例捉えることができた。とくに後者のすべてのガンマ線のエネルギーは、10 MeV に達する、あるいはそれを超えるものもあった。このことは、雷放電ではなく雷雲のもつ電場により、電子が 10 MeV を超えて加速されているというまったく新しい知見をもたらした。

これまでの長い継続時間をもつガンマ線の観測から得られたエネルギースペクトラムを統計的に足し合わせることで、雷雲のもつ準定常的な電場により電子がいったいどこまで加速されるのかを明らかにできるかもしれないことがわかった。実際、そのようにして足し合わされたスペクトラムは 7-8 MeV で折れ曲がり、15-20 MeV まではっきりと伸びている。実は、こうした特徴は、衛星による雷放電からのガンマ線の観測からも示されていた。両者がこうした共通性をもつ必然性は、今のところ見当たらない。こ

のことから、雷放電の最中の瞬間的な電子の加速と、雷雲電場で連続的な電子の加速で、その加速限界が同じなのかというなぞが浮かび上がった。

2009年9月-10月、乗鞍宇宙線観測所において観測をおこなった。また2009年10月下旬から柏崎刈羽原発でも観測を開始した。これまでのところ、特筆すべきイベントは得られていないが、2010年2月末ごろまでの観測期間にはさらなるイベントが検出されると予想される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Observation of an energetic radiation burst from mountain-top thunderclouds: H. Tsuchiya, T. Enoto, T. Torii, K. Nakazawa, T. Yuasa, S. Torii, T. Fukuyama, T. Yamaguchi, H. Kato, M. Okano, M. Takita, and K. Makishima, Phys. Rev. Lett. 102, 255003 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Observations of energetic radiation bursts from thunder activities: H. Tsuchiya, T. Enoto, T. Torii, S. Yamada, T. Yuasa, K. Nakazawa, M. Kokubun, H. Kato, M. Okano, and K. Makishima, European Geophysical Union, General Assembly 2009, Vienna, Austria, Apr (2009)

(国内学会等)

雷や雷雲からの X 線・ γ 線を利用した電場による粒子加速の検証: 土屋晴文, 榎戸輝揚, 鳥居建男, 岡野真治, 加藤博, 平成 21 年度 ICRR 共同利用研究成果発表会, 柏, 12 月 (2009)

雷や雷雲からの γ 線と宇宙線との関わり: 土屋晴文, 理研シンポジウム「雷活動に関わる高エネルギー物理現象の新しい展開」, 東京, 10 月 (2009)

2008年度における冬季雷活動からの高エネルギー放射線の観測: 土屋晴文, 榎戸輝揚, 山田真也, 湯浅

孝行, 川原田円, 北口貴雄, 國分紀秀, 加藤博, 岡野眞治, 牧島一夫, 日本物理学会 2009年秋季大会, 神戸, 9月(2009)

雷や雷雲に付随する高エネルギー放射線バーストの測定: 土屋晴文, 榎戸輝揚, 鳥居建男, 中澤知洋, 山田真也, 湯浅孝行, 鳥井俊輔, 福山太郎, 山口貴弘, 國分紀秀, 加藤博, 岡野眞治, 牧島一夫, 第46回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京, 7月(2009)

高山における雷雲からの高エネルギー放射線の観測: 土屋晴文, 榎戸輝揚, 鳥居建男, 中澤知洋, 湯浅孝行, 福山太郎, 鳥井俊輔, 山口貴弘, 加藤博, 岡野

眞治, 牧島一夫

High-altitude observations of high-energy gamma rays and electrons from thunder activity: H. Tsuchiya, T. Enoto, T. Torii, K. Nakazawa, T. Yuasa, S. Torii, T. Fukuyama, T. Yamaguchi, H. Kato, M. Okano, M. Takita, and K. Makishima, Japan Geoscience Union Meeting 2009, Makuhari, May (2009)

日本物理学会第64回年次大会, 東京, 3月(2009)

雷や雷雲からのX線やガンマ線の観測: 土屋晴文, 電気学会東海支部研究フォーラム「電力システムに対する雷・自然災害と環境問題に関する研究」, 名古屋, 3月(2009)

XX - 007

マグネターを手掛かりにした 強磁場中性子星の高エネルギー現象の解明

Study on High Energy Phenomena around Strongly Magnetized Neutron Star Using Magnetars

研究者氏名: 中川友進 Nakagawa, Yujin

受入研究室: 基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島一夫)

観測的・理論的な研究により、我々の宇宙には $B \sim 10^{15}$ Gもの超強磁場を持つ中性子星である「マグネター」が提案されている。ところが提案から約30年を経過しても直接的な証拠が無い。本研究は日本のX線天文衛星「すざく」を用いたX線・ガンマ線の観測的研究により、陽子のサイクロトロン共鳴散乱による吸収線を発見し、マグネターの存在を直接的に証明することを目的としている。これは世界初の大発見になるだけでなく、 $B > 4.4 \times 10^{13}$ Gでのみ可能な物理学の研究が初めて現実となる「宇宙の超強磁場実験場」を切り拓くことになる。本年度は以下の研究を行った。

新しく発見されたマグネター候補天体であるSGR 0501+4516は、発見後しばらく活発なバースト活動を示していた。そこで私は即座に「すざく」衛星を用いた緊急観測を提案し採択された。観測は2008年8月26日に行われ、観測中に32個のバーストを検出した。そのうち31個の暗いバーストのスペクトルを足し合わせたところ、吸収線は見られなかったが、これまで定常放射にのみ見出されていた硬X線放射をバーストから初めて検出した。バーストと定常放射のスペクトルは、ソフト成分の二温度黒体放射だけでな

く、ハード成分では冪関数で再現される硬X線放射という共通点を持つことを明らかにした。さらにHETE-2衛星が捉えた55個のバーストの再解析を行い、ソフト成分とハード成分の光度を見積り、両者は3-5桁に渡って相関を示すことを明らかにした。これはバーストと定常放射が基本的に同じ機構で生成されることを示しており、定常放射は多数の極小バーストで構成されるという我々の仮説を支持する。この研究成果は投稿論文を準備中である。

前述の観測は事前提案を伴わない緊急観測であった。昨年度に事前提案を行った静穏状態の系統的な観測が採択され、今年度は実際に観測が行われた。この観測のデータ解析は進行中である。また今年度はマグネター候補天体が活発なバースト活動を示した際に行う観測の事前提案を行い、現在審査中である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ohno M, Ioka K, Yamaoka K, Tashiro M, Fukazawa Y, Nakagawa Y E, "Time-evolution of peak energy and luminosity relation within pulses of GRB 061007: prob-

ing fireball dynamics" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol.61 2 pp201-211 (2009)

Sugita S, Yamaoka K, Ohno M, Tashiro M, Nakagawa Y E, Urata Y, Pal'shin V, Golenetskii S, Sakamoto T, Cummings J, Krimm H, Stamatikos M, Parsons A, Barthelmy S, Neil G, "Suzaku-WAM, Konus-Wind and Swift-BAT observations of the prompt emission of the high redshift GRB 050904" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol.61 3 pp521-527 (2009)

Matsuoka M, Kawasaki K, Ueno S, Tomida H, Kohama M, Suzuki M, Adachi Y, Ishikawa M, Mihara T, Sugizaki M, Isobe N, Nakagawa Y, Tsunemi H, Miyata E, Kawai N, Kataoka J, Morii M, Yoshida A, Negoro H, Nakajima M, Ueda Y, Chujo H, Yamaoka K, Yamazaki O, Nakahira S, You T, Ishiwata R, Misyohi S, Eguchi S, Hiroi K, Katayama H, Ebisawa K, "The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-Ray Images" Publications of the Astronomical Society of Japan Vol.61 5 pp999-1010 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Suzaku Observations of Short Bursts from SGR 0501+4516
Nakagawa Yujin E Enoto Teruaki Makishima Kazuo
Yoshida Atsumasa Yamaoka Kazutaka Sakamoto Takanori Rea Nanda Hurley Kevin Suzaku SGR 0501+4516 Team HETE-2 Team The Shocking Universe Venice Italy 2009 9

(国内学会等)

「すざく」衛星による超強磁場中性子星 SGR 0501+4516の小バーストの観測: 中川 友進, 榎戸 輝揚, 牧島 一夫, 吉田 篤正, 山岡 和貴, 坂本 貴紀, Rea Nanda Hurley Kevin 他SGR 0501+4516観測チーム, 日本物理学会 2009年秋季大会, 兵庫, 日本 2009 9

*Suzaku*による準周期的プロンプト放射を示したGRB090709AのX線残光観測: 中川 友進, 玉川 徹, 山岡 和貴, 杉田 聡司, 吉田 篤正, 佐藤 理江, 大野 雅功, 中澤 知洋, 田代 信, 菅佐原 たか子, 岩切 渉, 恩田 香織, 浦田 裕次, 米徳 大輔, 村上 敏夫, 河合 誠之, 薄井 竜一, 中嶋 英也, 遠藤 瑛紀, 山内 誠, 園田 絵里, 大森 法輔, 河野 健太, 林 秀憲, 大休寺 新, 野田 和宏, 西岡 祐介, 鈴木 素子, 田崎 文得, 江口 智士, 久保田 香織, 石野 佑紀子, 廣井 和雄, 上田 佳宏, 「すざく」衛星GRB観測チーム, 科研費特定領域研究「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」第三回領域シンポジウム 岐阜, 日本 2009 9

全天X線監視装置MAXIによるマグネターの初期観測: 中川 友進, 三原 建弘, 杉崎 睦, 小浜 光洋, 山本 堂之, 鈴木 素子, 松岡 勝, 河合 誠之, 森井 幹雄, 杉森 航介, 吉田 篤正, 山岡 和貴, 中平 聡志, 根来 均, 中島 基樹, 磯部 直樹, 他MAXIチーム, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山, 日本 2010 3

「すざく」衛星によるSGR 0501+4516のバーストに付随する硬X線放射の検出: 中川 友進, 牧島 一夫, 榎戸 輝揚, 山岡和貴 吉田 篤正, 坂本 貴紀, Hurley Kevin Rea Nanda 他SGR 0501+4516観測チーム, 日本天文学会2010年春季年会, 広島, 日本 2010 3

XX - 008 SPring-8 逆コンプトン γ 線ビームを用いたペンタクォークの研究 Study of the Pentaquark Baryon with Inverse Compton γ Ray at SPring-8

研究者氏名: 新山 雅之 Niiyama, Masayuki

受入研究室: 仁科加速器研究センター

延興放射線研究室

(所属長 延興 秀人)

SPring-8 逆コンプトン γ 線ビームラインにおいて、ヘリウム標的からの Θ^+ ペンタクォークバリオン生成の研究のためのデータ取得を行った。 $\gamma_n \rightarrow K^+\Theta^+$ 反応で Θ^+ バリオンを生成し、その K_s^0 中間子・陽子対の不変質量分布から Θ^+ バリオンを探索する。K中間

子と K_s^0 中間子とを検出することで ϕ 中間子生成のバックグラウンドを抑え Θ^+ 探索を行うことができる。また、 Θ^+ の存在が確立すればその相互作用を理解することが重要である。ヘリウム原子核中に Θ^+ を生成し、原子核中の核子との相互作用を調べていくこと

ができる。約3カ月間のビームタイムを終え、1000イベントの Θ^+ 生成を見込んでいる。現在、検出器の較正などのデータ整理を行っている。

また、重水素標的を用いた Θ^+ 探査のデータ整理も行っており運動量測定の較正を続けている。これは、2009年2月に発表した Θ^+ 発見の論文に対し統計量を3倍に増やしたデータでの探査であり、 Θ^+ の存否に重要な研究である。

SPring-8での新ビームライン計画(LEPS2)のためのプリアンプ・シェイプアンプの開発を行った。LEPS2で使用予定の荷電粒子検出器(TPC)では200 μm 以下の高位置分解能が必要であり、読み出し回路のSN比の向上が必須である。3種類のオペアンプチップを用いて試作を行い低ノイズ低消費電力のプリアンプ・シェイプアンプカードの開発を行った。また、LEPS2で使用する実験装置の米国ブルックヘブン研究所からの移設作業を行った。今年度は回路

系の移設準備を行い、2月中に日本への移送を行う予定である。

SPring-8での Θ^+ バリオン探査と並行して、KEK Bファクトリー(Belle)でのハドロン物理の解析を始めた。Belle実験ではテトラクォーク候補が次々と見つかり、4つ以上のクォークから成る多クォーク系ハドロンの研究に最適なデータである。また、様々なハドロン間の相互作用の研究にも適しており、ハドロン物理を研究する上で世界でも貴重な実験データである。他の研究者にはないユニークな結果を公表できるようデータ解析を続けている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

International Conference etc. Photoproduction of Lambda(1405) at SPring-8/LEPS Niiyama Masayuki Hadron and Nuclear Physics Osaka Japan 2009 11

XX - 010

クェーサー吸収線を用いた活動銀河核の研究 Active Galactic Nuclei Probed by QSO Absorption Lines

遠方宇宙に存在する活動する銀河核(クェーサー)は、その手前に存在する暗い天体をスペクトル上で吸収線として検出するための背景光源として利用できる。このようにして検出される吸収線はクェーサー吸収線と呼ばれ、対応する吸収物質としては、銀河、銀河間物質から、クェーサーそのものに付随するガスに至るまで実に幅広い。研究対象を選ばないという利点を活かし、今年度私は以下の3つの研究プロジェクトを推進した。

(1) Magellanic Bridge (MB)は、大マゼラン雲(LMC)と小マゼラン雲(SMC)を結ぶ連結構造であり、その形成にはLMCとSMCの相互作用が深く関わっていると考えられている。私はハッブル宇宙望遠鏡の分光データをもとにMBの化学組成調査を行い、重元素量が小マゼラン雲のそれと同程度であることを突き止めた。ただし重元素量には空間的なばらつきも見られるため、もともとMB内に存在していたガスによる希釈の程度を反映している可能性もあ

研究者氏名：三澤 透 Misawa, Toru

受入研究室：基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

る。遠方宇宙に存在する巨大中性水素ガス(通称DLA)は、銀河の星形成から期待される重元素量よりも少ないことが未解決の問題となっているが、MBは近傍に存在するDLAの対応物である可能性があり、将来的にはDLA研究にも応用できるかもしれない。

(2) 石橋極微デバイス工学研究室との共同研究として昨年着手した「宇宙におけるフラーレン検出プロジェクト」を継続して行った。ハワイ島にある「すばる望遠鏡」を用いて、オリオン星雲にある複数の星を分光的に観測したところ、フラーレンに起源をもつ可能性のある星間吸収線を新たに3本検出することに成功した。この結果は、賛否両論であった星間空間におけるフラーレン存在の可能性を強くサポートするものとなった。岡山天体物理観測所における追加観測も予定されており、今後はより定量的な議論に発展させたい。

(3) クェーサー中心領域に形成される降着円盤から、主に輻射圧で加速されている「放出ガス」の幾何

学的構造の解明を進めている。すばる望遠鏡によって、特定のキューサーを4年以上に渡って継続的に観測した結果、すでに私は放出ガスの構造モデルを2つにまで絞り込んでいた。今回さらに偏光分光観測を行うことにより、一方のモデル(散乱モデル)が棄却されたため、遮蔽モデルと呼ばれるモデルのみが許容されることが明らかになった。これは、背景光源と吸収物質の間に時間変動する遮蔽物質が存在するというものであり、将来的にはX線分光観測によってモデルの検証を行いたい。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Misawa T, Charlton J, Kobulnicky H, Wakker B, Bland-Hawthorn J, "The Magellanic Bridge as a DLA system: physical properties of cold gas toward PKS0312-770" *Astrophysical Journal* Vol.695 2 pp1382-1398 (2009)

Misawa T, Gandhi P, Hida A, Tamagawa T, Yamaguchi T, "Identification of New Near-Infrared Diffuse Interstellar Bands in the Orion Nebula" *Astrophysical Journal* Vol.700 2 pp1988-1993 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Misawa T, Eracleous M, Charlton J, Rodriguez P, "Variability Study of Intrinsic NAL and Mini-BAL Systems"

Joint Subaru/Gemini Science Conference Kyoto Japan 2009 5

(国内学会等)

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI POSHAK, 玉川 徹, 山口 智弘, "星間空間における炭素クラスターの探索" 日本天文学会 2009 年春季年会 大阪府堺市 日本 2009 3

三澤 透, 川端 弘治, 柏川 伸成, Eracleous Michael, Charlton Jane, "偏光分光観測によるキューサーアウトフローガス構造解明の試み" 日本天文学会 2009 年秋季年会 山口県山口市 日本 2009 9

三澤 透, GANDHI POSHAK, 飛田 聡, 玉川 徹, 山口 智弘, "星間空間における炭素クラスター(フラーレン)の探査" 第27回 Grain Formation Workshop, 平成21年度銀河のダスト研究会 大阪府大阪市 日本 2009 10

三澤 透, "TMTでもっと拓かれるキューサー吸収線研究の新時代" 2009年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「30m地上超大型望遠鏡TMTによる天文学の新展開」東京都三鷹市 日本 2009 10

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI POSHAK, 玉川 徹, 山口 智弘, "オリオン星雲におけるフラーレン探査" 第2回アストロバイオロジーワークショップ 神奈川県葉山町 日本 2009 11

三澤 透, "次世代巨大望遠鏡で拓かれるキューサー吸収線研究の新時代" 第3回キューサー吸収線研究会 長崎県雲仙市 日本 2009 12

XX - 011 X線撮像分光観測による超新星残骸の元素組成とその空間分布の測定

Measurement of the Elemental Composition and Distribution in Supernova Remnants by X-ray Imaging Spectroscopy

研究者氏名: 山口 弘悦 Yamaguchi, Hiroya

受入研究室: 基幹研究所

牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

X線衛星「すざく」が観測した、超新星残骸Vela SNRのデータを解析し、超新星爆発時に放出された「重元素の塊」を発見した。元素組成の詳しい測定により、爆発前の星内部の比較的浅い層において炭素の燃焼によって生成された酸素・ネオン・マグネシウムが多量に含まれていることが明らかになった。この結果は大質量星の爆発メカニズムを知る上で重

要な手掛かりとなる。

約4000年前に爆発した超新星の残骸IC443(クラゲ星雲)の観測からは、ケイ素や硫黄の完全電離イオンがプラズマ中の自由電子を捕獲する際に放出される「放射性再結合連続X線」を初めて検出した。IC443のプラズマ温度は約700万度であることが知られるが、この温度ではケイ素や硫黄を完全電離できない。詳しい計

算の結果、これらのイオンは超新星爆発が起こった直後に星周物質との相互作用によって超高温に加熱されたプラズマ中で生成されたことが判明した。IC443はその後急速な断熱膨張によって冷却し、プラズマ温度が現在の700万度まで下がったと考えられる。このような熱的進化過程をたどる超新星残骸が発見されたのは世界で初めてである。本研究内容は理研から成果発表されたほか、宇宙科学研究本部やNASA(米国)のWEBページ等でも紹介されている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamaguchi Hiroya, Katsuda Satoru, "Suzaku Spectroscopy of Vela Shrapnel B" *Astrophysical Journal* Vol.696 pp1548-1553 (2009)

Yamaguchi Hiroya, Ozawa Midori, Koyama Katsuji, Masai Kuniaki, Hiraga Junko, Ozaki Masanobu, Yonetoku Daisuke, "Discovery of Strong Radiative Recombination Continua from the Supernova Remnant IC443 with Suzaku" *Astrophysical Journal* Vol.705 1 ppL6-L9 (2009)

(総説)

山口 弘悦, "「すざく」が見た若い Ia 型超新星残骸" *天文月報* Vol.103 1 pp43-52 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamaguchi Hiroya, *SNRs from ASCA to Suzaku*, Frascati Workshop 2009, Vulcano, Italy, 2009 5

Yamaguchi Hiroya, *Discovery of strong radiative recombination continua from IC443*, The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H, Otaru, Japan, 2009 7

(国内学会等)

山口 弘悦, *X線衛星による超新星残骸観測の最前線*, 天文若手の会 夏の学校 草津 日本, 2009 7

山口 弘悦, *ASTRO-H搭載X線カロリメータSXSの冷却用ヘリウム排気系の検討および開発状況*, 日本物理学会 甲南大学 日本 2009 9

山口 弘悦, 「すざく」による超新星残骸 IC443 からの放射性再結合連続X線の発見, 日本天文学会 2009年秋季年会 山口大学 日本 2009 9

山口 弘悦, 東京大学 IPMU ACP seminar 東京大学 IPMU 日本 2009 8

XX - 012

原子核密度汎関数法に基づいた

不安定原子核における集団運動の微視的記述

Microscopic Description of Collective Modes in Unstable Nuclei

Based on Nuclear Density Functional Theory

研究者氏名: 吉田 賢市 Yoshida, Kenichi

受入研究室: 仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

昨年度開発した「Skyrme型密度汎関数を用いた変形準粒子RPA法」を次の2つに適用した。これらの研究は、理研RIBFに代表される新世代のRIビーム実験施設の本格的な稼働によって研究可能となる、質量数の比較的大きな中性子過剰核における集団現象を理解するための第一段階との位置付けである。

1. 変形したMg同位体における低励起振動モード

中性子数が魔法数20を超えるMg同位体は変形する可能性のあることが実験的・理論的に分かっている。更に、理論的には次の魔法数28を持つドリップ線近傍にあるMgも変形すると予想されてい

る。そこで、これらMg同位体における負パリティ振動モードの性質を調べた。中性子スキンの発達した原子核では、芯とスキンとの間の相対運動(双極子型振動)が低励起領域に現れる可能性が議論されており、その可能性を微視的な理論計算によって追究した。中性子の放出閾エネルギーのすぐ上に、複数の中性子particle-hole励起が関与した集団的なモードが得られた。また、これら励起モードは八重極型励起の成分も多く持っていることが分かった。球対称性を破った変形核では角運動量はもはや良い量子数ではなくなるため、異なった励起モードが結合する可

能性がある。本研究によって、中性子過剰Mg同位体には対称性の破れに起因する新しい負パリティ振動励起モードが現れることを世界に先駆けて見出した。

2. 中性子過剰Al同位体における四重極モーメント
中性子過剰領域での魔法数20の破れの理解に向けて、実験的にも理論的にも数多くの研究がなされている。その一つに、理研RIBF及びフランスGANILにおける、中性子数20領域のAl同位体の四重極モーメント測定がある。基底状態の四重極モーメントは、変形の直接的な情報を与えてくれる。しかし、密度汎関数法の枠組みでの奇数個の核子をもった原子核(奇核)の記述は極めて限られている。そこで、RPAフォノンと核子の結合によって奇核の性質を記述する手法を開発した。本研究により、静的な変形解が得られるほどではないが、魔法数20のギャップが狭くなったことにより出現した対相関が、実験結果を説明するのに重要な役割を果たしていることが分かった。すなわち、対相関によって動的な変形(振動)の集団性が強くなり、その振動モードと陽子が結合して、適度な大きさの四重極モーメントをもつことを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ogasawara H, Yoshida K, Yamagami M, Mizutori S, Matuyanagi K, "Rotational Frequency Dependence of Octupole Vibrations on Superdeformed States in ^{40}Ca " Progress of Theoretical Physics Vol.121 2 pp357-374 (2009)

Yoshida K, "Core polarization for the electric quadrupole moment of neutron rich aluminum isotopes" Physical Review C Vol.79 5 pp054303-1-054303-6 (2009)

Yoshida K, "Pygmy dipole mode in deformed neutron-rich Mg isotopes close to the drip line" Physical Review C Vol.80 4 pp044324-1-044324-8 (2009)

(その他)

Yoshida K, "Low-lying excitation modes in deformed neutron-rich nuclei" International Journal of Modern Physics E Vol.17 Supplement 1 pp272-285 (2008)

Yoshida K, "Monopole Modes of Excitation in Deformed

Neutron-rich Mg Isotopes" AIP Conference Proceeding 1165 Dubrovnik Croatia 2009 5 American Institute of Physics USA New York pp162-164 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshida K, "Skyrme QRPA calculations for collective modes of excitation in deformed neutron-rich nuclei" 3rd LACM-EFES-JUSTIPEN Workshop Oak Ridge USA 2009 2

Yoshida K, "Low-lying monopole and quadrupole modes in deformed neutron-rich nuclei" LIA-EFES Workshop "Low-energy collective excitations in exotic nuclei" Caen France 2009 3

Yoshida K, "Monopole modes of excitation in deformed neutron-rich Mg isotopes" International Conference on Nuclear Structure and Dynamics (NSD09) Dubrovnik Croatia 2009 5

Yoshida K, "Collective modes of excitation in deformed neutron-rich nuclei" Workshop on Importance of continuum coupling for nuclei close to the drip-lines Saclay France 2009 5

Yoshida K, "Giant monopole resonance and soft monopole mode in neutron-rich Mg isotopes" 3rd International Conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX3) Mackinac Island USA 2009 6

(国内学会等)

吉田 賢市, "Low-frequency vibrational modes in neutron-rich Mg isotopes close to the drip line" 日本物理学会第64回年次大会 東京 日本 2009 3

小笠原 弘道, 吉田 賢市, 水鳥 正二郎, 山上 雅之, 松柳 研一, "超変形 ^{40}Ca の高スピン状態に於ける負パリティ励起モードに対するRPA計算" 日本物理学会第64回年次大会 東京 日本 2009 3

吉田 賢市, "Collectivity in nuclei at around and beyond the island of inversion" 東京工業大学理学部物理学科セミナー 東京 日本 2009 7

吉田 賢市, "Pygmy mode in deformed neutron-rich Mg isotopes close to the drip line" 原子核のE1,M1励起モードの探究と今後の戦略 大阪 日本 2009 8

XX-013 ミュオンスピン緩和法による量子臨界点近傍における磁性研究
Muon Spin Relaxation Study of Magnetism Around a Quantum Critical Point

研究者氏名：大石 一城 Ohishi, Kazuki
受入研究室：仁科加速器研究センター
岩崎先端中間子研究室
(所属長 岩崎 雅彦)

2008年2月のLaFeAs(O,F) (La1111系)における超伝導の発見を契機に、BaFe₂As₂ (Ba122系)の発見など、鉄ヒ素系超伝導体における超伝導の研究が爆発的に進展している。この新規超伝導体の大きな特徴は、(1)従来超伝導を阻害すると考えられていた鉄の電子自体が超伝導を担うこと、(2)キャリア置換されていない母物質は低温で反強磁性磁気秩序を示すこと、更には(3)母物質に電子を置換してもホールを置換しても超伝導が発現することがあげられる。この鉄ヒ素系超伝導体の物性は、高い次元性や電子相図などいくつかの点で銅酸化物高温超伝導体に類似しており、超伝導発現機構との関連から注目を集めている。

我々は本系の超伝導及び磁性に関する知見を得るため、最適ドープ域から過剰ドープ域に対応した良質な多結晶試料LaFeAs(O,F) ($T_c = 27$ K, 23 K, 19 K)において、常伝導領域から超伝導領域における磁気揺らぎの観測を理研-RALミュオン施設にて行った。また、超伝導ギャップ構造に関する知見を得るため、良質な単結晶試料(Ba,K)Fe₂As₂及びBa(Fe,Co)₂As₂、更にはLaFeAs(O,H) ($T_c = 35$ K)を用いて磁場侵入長 λ の温度依存性及び磁場依存性の測定をTRIUMFにて行った。

その結果、LaFeAs(O,F) ($T_c = 27$ K, 23 K, 19 K)では、すべての試料において、常伝導領域から超伝導領域にわたるすべての温度領域において、 μ SR時間スペクトルに変化が観測されなかった。この結果は、最適ドープ域から過剰ドープ域における組成では磁気ゆらぎは温度に依存しないことを意味しており、スピン相関の発達による緩和率の増大が100 K以下で観測されている銅酸化物高温超伝導体La_{2-x}Sr_xCuO₄とは明らかに異なることを示した。Ba122系における超伝導ギャップ構造に関しては、現在、詳細な解析を行っている。preliminaryな結果として、Ba_{0.75}K_{0.25}Fe₂As₂のミュオンスピン緩和率 σ ($\sigma \propto 1/\lambda^2$)の温度依存性から、超伝導ギャップはマルチギャップ構造を有することが示唆された。この結果は、角度分解光電子

分光等で得られている結果とも一致している。超伝導ギャップの大きさなど定量的な議論は、解析結果をもとに今後行っていく。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohishi K, Heffner R, Spehling J, MacDougall G, Ito T, Higemoto W, Amato A, Andreica D, Nieuwenhuys G, Klauss H, Luke G, Thompson J, Bianchi A, Fisk Z, "Magnetism and superconductivity in heavy fermion superconductor CeCo (In_{0.97}Cd_{0.03})₅" *Physica B* Vol.404 pp754-756 (2009)

Satoh K, sato K, Yoshida T, Taniguchi H, Goko T, Ito T, Ohishi K, Higemoto W, " μ SR study of organic antiferromagnet β -(BEDT-TTF)₂ICl₂ under high pressure" *Physica B* Vol.404 pp600-602 (2009)

Satoh K, Fujita H, Katayama K, Taniguchi H, Goko T, Ito T, Ohishi K, Higemoto W, " μ SR study of an layered organic superconductor κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈" *Physica B* Vol.404 pp597-599 (2009)

Suzuki T, Watanabe I, Yamada F, Ishii Y, Ohishi K, Risdiana, Goto T, Tanaka H, "Evidence for continuous change of spin states between impurity-induced order and pressure-induced order in TlCu_{0.985}Mg_{0.015}Cl₃ probed via muon spin rotation" *Physical Review B* Vol.80 pp064407-1-064407-5 (2009)

Ohishi K, Heffner R, Ito T, Higemoto W, Morris G, Hur H, Bauer E, Sarrao J, Thompson J, MacLaughlin D, Shu L, "Development of the heavy-fermion state in Ce₂IrIn₈ and the effects of Ce dilution in (Ce_{1-x}La_x)₂IrIn₈" *Physical Review B* Vol.80 pp125104-1-125104-7 (2009)

Ito T, Higemoto W, Ohishi K, Nishida N, Heffner R, Yuji A, Amato A, Onimaru T, Suzuki H, "Quantization of Hyperfine Field at Implanted μ^+ in PrPb₃: Interplay between Localized f electrons and Interstitial Charged Particle" *Physical Review Letters* Vol.102 pp096403-

1-096403-4 (2009)

Yuji A, Tsunashima Y, Higemoto W, Yonezawa Y, Satoh K, Koda A, Ito T, Ohishi K, Heffner R, Kikuchi D, Sato H, "Weak ferromagnetic ordering in the anomalous field-insensitive heavy-fermion state in $\text{SmOs}_4\text{Sb}_{12}$ " *Physica B* Vol.404 pp757-760 (2009)

Ito T, Higemoto W, Ohishi K, Heffner R, Nishida N, Satoh K, Sugawara H, Yuji A, Kikuchi D, Sato H, "Possible low-energy excitations of multipoles in $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ probed by muon spin relaxation" *Physica B* Vol.404 pp761-764 (2009)

Ito T, Higemoto W, Ohishi K, Heffner R, Nishida N, Satoh K, Sugawara H, Yuji A, Kikuchi D, Sato H, "Possible low-energy excitations of multipoles in $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ probed by muon spin relaxation" *Physica B* Vol.404 pp761-764 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Suzuki T, Watanabe I, Yamada F, Ishii Y, Ohishi K, Risdiana, Goto T, Tanaka H, "Pressure effect on magnetic ground states in $\text{Tl}(\text{Cu}_{1-\chi}\text{Mg}_\chi)\text{Cl}_3$ probed by muon-spin-rotation" International Conference on Magnetism (ICM 2009) Karlsruhe Germany 2009 7-7

Ohishi K, Ito T, Higemoto W, Uehara A, Kozawa K, Yamazaki T, Kimishima Y, Uehara M, "Quasiparticle Excitations in Newly Discovered Antiperovskite Superconductor ZnNNi_3 " 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX) Tokyo Japan 2009 9

Ohishi K, Suzuki T, Heffner R, Ito T, Higemoto W, Bauer E, Thompson J, "Magnetism and muon Knight shift measurements in heavy fermion compound $\text{Ce}_2\text{Rh}(\text{In},\text{Sn})_8$ " Advanced Science Research Symposium 2009 (ASR2009) -Positron, Muon and other ex-

otic particle beams for materials and atomic/molecular sciences- Tokai Japan 2009 11

(国内学会等)

大石 一城, 山田 幾也, 幸田 章宏, 門野 良典, Saha Shanta, 髙本 亘, 小嶋 健児, 東 正樹, 高野 幹夫, "頂点塩素を有する銅酸化物超伝導体 $\text{Ca}_{2-\chi}\text{Na}_\chi\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ における磁場誘起磁性 Π " 日本物理学会第64回年次大会 東京 日本 2009 3

鈴木 栄男, 石井 康之, 大石 一城, Risdiana, 渡邊 功雄, 後藤 貴行, 山田 文子, 山田 基樹, 田中 秀数, "量子スピン系 $\text{Tl}(\text{Cu}_{1-\chi}\text{Mg}_\chi)\text{Cl}_3$ ($\chi = 0.015$)における圧力下ミュオン実験" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9-9

大石 一城, Heffner Robert, 髙本 亘, 伊藤 孝, Bauer Eric, Graf M., Zhu J., Morales L., Sarrao J., Morris Gerald, Fluss M., MacLaughlin Douglas, Shu Lei, "Muon spin rotation measurements of the superfluid density in fresh and aged superconducting PuCoGa_5 " 東海村 日本 2009 4

大石 一城, 伊藤 孝, 髙本 亘, 上原 啓, 小沢 克也, 山崎 敬大, 君嶋 義英, 上原 政智, " μ SR から眺めたアンチペロブスカイト型 伝導体 ZnNNi_3 の準粒子励起" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

廣井 政彦, 久松 徹, 伊藤 昌和, 鈴木 栄男, 大石 一城, 石井 康之, 渡邊 功雄, "ホイスラー化合物 $\text{Ru}_{1.9}\text{Fe}_{0.1}\text{CrSi}$ の μ SR" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本大学黒髪キャンパス 日本 2009 9-9

大石 一城, 石井 康之, 渡邊 功雄, 齊藤 拓, 深澤 英人, 小堀 洋, 木方 邦宏, 李 哲虎, 宮沢 喜一, 伊豫 彰, 嶋谷 幸佑, 山田 和芳, 永崎 洋, " μ SR から眺めた鉄ヒ素系超伝導体の常伝導状態及び超伝導状態の研究" JST-TRIP 新規材料による高温超伝導基盤技術 第3回領域会議 東京大学小柴ホール 日本 2008 12

研究者氏名：進藤 龍一 Shindou, Ryuichi

受入研究室：基幹研究所 古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

(A) 3次元トポロジカル量子臨界点でのBerry位相による後方散乱の消滅と一般の非磁性不純物の効果
3次元量子スピンホール絶縁体と通常型の(表面伝導チャンネルを持たない)時間反転対称なバンド絶縁体の間に介在する量子臨界点は、任意の非磁性不純物に対して極めて安定な非局在状態であることが予想される(「バルクエッジ対応」)。実際、この3次元トポロジカル量子臨界点では、『化学ポテンシャル型の不純物(もっとも“標準”的な非磁性不純物)散乱によって引き起こされる任意の後方散乱が、その時間反転対称な「対」過程によって完全に相殺される』ことが論じられる(「ベリー位相による後方散乱の消失」の3次元系への一般化)。ところが、この消滅則は、任意の非磁性不純物に対しては必ずしも成立しないことも分かる。そこで、この「ベリー位相による後方散乱の消滅則」と、バルクエッジ対応に基づく議論からの「予想」の間の‘ミスマッチ’を補完するべく、3次元トポロジカル量子臨界点に於ける一般の非磁性不純物による乱れの効果を系統的に調べた。具体的には、一般の非磁性不純物がある場合での、セルフコンシステントボルン近似によって得られる(臨界点周りの)相図と弱局在伝導度補正の振る舞いを論じ、化学ポテンシャル型の不純物散乱のみの場合でのそれらと、どのような差異及び類似点が観察されるかを纏めた。

(B) 混合価電子共鳴状態のフラストレート磁性体での探索

強磁性的な交換相互作用や(スピン空間で)異方的な交換相互作用を含むフラストレートした量子ハイゼンベルグ模型で、どのような新奇な量子磁性状態が実現するかをSU(2)スレーブボゾン平均場描像の立場から調べた。すなわち、反強磁性的なボンドとは異なり、これらのボンド上では、スピノンのtriplet-pairingが導入される。その結果、tripletの価電子ボンド(valence bond)とsingletの価電子ボンドが混合して共鳴したようなスピン「液体」状態(‘混合価電子共鳴状態’:mixed RVB state)が実現されると予想される。この予想に基づいて、以下の二つの格子模型

で平均場計算を行った。(i) 正方格子上の J_1 - J_2 模型(最近接 J_1 は強磁性的、次近接 J_2 は反強磁性的)では、中間結合領域($J_1:J_2=1:0.4$)に、ゲージ揺らぎに対して(少なくとも局所的には)安定な平均場解として、二種類のスピノンのmixed pairing 状態が見出された。ひとつはHigg機構によって安定化されたBalian-Werthamer (BW)状態、もう一つはChern-Simon機構によってゲージ揺らぎが制御されたchiral p-wave (ABM)状態である。特に前者の状態は、36サイトまでの厳密対角化で同じパラメータ領域で見出されているボンド型スピンネマチック状態と同じ磁気空間群に属していた多極子状態である。(ii) 蜂の巣格子 J_1 - J_2 模型(最近接 J_1 は反強磁性的、次近接 J_2 は異方的交換相互作用、 Na_2IrO_3 の有効磁気模型と考えられている)では、幅広い中間結合領域で、有意なmixed pairing 状態(ゲージ揺らぎに対して安定な状態)は見いだされなかった。ただし、 J_2 大の極限では、模型が二つの分離した2次元三角格子上の反強磁性量子ハイゼンベルグ模型と等価であることが分かり、この極限では12磁気副格子を持つcoplanar状態が実現することが確定された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shindou R. and Momoi T. : "SU(2) slave-boson formulation of spin nematic states in S=1/2 frustrated ferromagnets", Physical Review B 80, 064410 (2009)

Shindou R. , Nakai R and Murakami S. : "disordered topological quantum critical points in three dimensional systems" submitted to New Journal Physics

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shindou R. and Momoi T.: "SU(2) mean-field theory of bond-type spin nematic orders" (poster) Topological order: from Quantum Hall Systems to Magnetic Materials, Dresden Germany, July (2008)

Shindou R. and Murakami S. : "Non-magnetic disorder

effects in Z_2 quantum spin Hall systems" (poster) 18-th Electronic Properties of 2 Dimensional Systems (EP2DS-18), Kobe Japan, July (2009)

Shindou R. and Momoi T.: "projective construction of spin nematic states in $S=1/2$ frustrated ferromagnets" Portland, Oregon USA, March (2010)

(国内会議)

進藤龍一, 村上修一: "乱れた Z_2 量子スピンホール系

での量子臨界点における保存量の役割について"

日本物理学会秋季大会, 熊本, 9月 (2009)

進藤龍一, 古崎昭: " Na_2IrO_3 の量子磁性状態について"

日本物理学会秋季大会, 熊本, 9月 (2009)

進藤龍一, 古崎昭, 永長直人: "時間反転対称な topological 超伝導体界面における磁性不純物の物性"

日本物理学会第65回年次大会, 岡山, 3月 (2010)

XX - 015

パイロクロア磁性体における量子効果の理論的研究

Theoretical Study of Quantum Effect in Pyrochlore Magnets

研究者氏名: 田中 洋一 Tanaka, Yoichi

受入研究室: 基幹研究所

古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

パイロクロア格子は四面体が頂点共有した三次元構造であり、幾何学的フラストレーションを有する格子群の代表例である。特に、 $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ などのスピンアイス系では、スピン間に働く磁気双極子相互作用により '2-in, 2-out' のアイスルールを形成する。一方、Pr系パイロクロア型磁性体 $\text{Pr}_2\text{TM}_2\text{O}_7$ (TM: 遷移金属元素) では、 Pr^{3+} イオンのf電子の磁気モーメントは小さい。そのため、磁気双極子相互作用が弱く、スピンアイス状態が生じるかどうか、低温での状態は実験的にも理論的にも十分に理解されていない。

本研究では、Pr系パイロクロア型磁性体 $\text{Pr}_2\text{TM}_2\text{O}_7$ において、f電子のLS結合と結晶場を考慮した擬スピン1/2の有効モデルを微視的に導出した。このモデルは、強磁性的なIsing項に加え、擬スピンの交換項および非保存項のために、主として '2-in, 2-out' 状態が量子力学的線形結合した状態が安定になる。さらに、この有効モデルは3つの異なる並進ベクトルおよび空間反転対称性で分類される6重縮退した基底状態をもち、各基底状態には強的に揃った磁気的な四重極モーメントが生じることが分かった。また、比熱や磁化曲線などの熱力学特性、および中性子散乱強度を計算し、最近行われた $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ や $\text{Pr}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ における実験結果と良く一致することを示した。

また昨年度に引き続き、量子ドットに超伝導体を接合した系についても研究を進めた。本年度は、東大・樽茶研との共同研究により、量子ドット内に形成されるアンドレーエフ束縛状態を輸送特性から観

測できることを理論・実験の両面から明らかにした。量子ドットに常伝導体を超伝導体より非常に弱く接合することで、アンドレーエフ束縛状態がコンダクタンスのピークとして観測される。このことは数値繰り込み群による解析結果とも良い一致を示した。さらに、この共同研究とは別に、直列型ダブルドット系におけるアンドレーエフ反射についても理論的解析を行い、輸送特性における近藤効果の影響やドット間トンネリングの依存性を明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tanaka Y, Kawakami N, Oguri A, "Andreev reflection and the Kondo effect in side-coupled double quantum dots" Journal of Physics: Conference Series Vol.150 pp022086-1-022086-4 (2009)

Yamada Y, Tanaka Y, Kawakami N, "Nonequilibrium transport through a quantum dot coupled to normal and superconducting leads" Journal of Physics: Conference Series Vol.150 pp022101-1-022101-4 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Onoda S, Furukawa S, Tanaka Y, Sato M, "Chirality in quantum spin liquid and ice" Joint European Japanese Conference: Frustration in Condensed Matter Lyon France 2009 5

- Yamada Y, Tanaka Y, Kawakami N, "Andreev tunneling through a quantum dot at finite bias" 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18) and the 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-14) Kobe Japan 2009 7
- Deacon R, Tanaka Y, Oiwa A, Sakano R, Shibata K, Hirakawa K, Tarucha S, "Andreev localized states and Kondo effect in InAs quantum dots contacted with superconducting and normal electrodes" 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18) and the 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-14) Kobe Japan 2009 7
- Oguri A, Nisikawa Y, Tanaka Y, "Ground-state properties of a single Anderson impurity coupled to superconductors" 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18) and the 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-14) Kobe Japan 2009 7
- Oguri A, Tanaka Y, "Josephson current through a Kondo Y-junction" New directions of superconducting nanostructures 2009 (NDSN 2009) Nagoya Japan 2009 9
- Yamada Y, Tanaka Y, Kawakami N, "Nonequilibrium Andreev transport through an interacting quantum dot" 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX) Tokyo Japan 2009 9
- Tanaka Y, Kawakami N, Oguri A, "Long-range Kondo singlet state in side-coupled double quantum dots" AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako Japan 2009 12
- Onoda S. and Tanaka Y., "Quantum melting of spin ice" AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako Japan 2009 12
- Tanaka Y., Kawakami N., and Oguri A., "Correlated electron transport through double quantum dots coupled to normal and superconducting leads", 2010 APS March Meeting, Portland, Oregon, USA 2010 3
- Onoda S. and Tanaka Y., "Quantum melting of spin ice", 2010 APS March Meeting, Portland, Oregon, USA 2010 3
- Yamada Y, Tanaka Y, Kawakami N, "Non-local transport through a quantum dot coupled to two normal and one superconducting leads", 2010 APS March Meeting, Portland, Oregon, USA 2010 3
- (国内学会等)
- 田中 洋一, 小野田 繁樹, "Pr系パイロクロア型磁性体におけるカイラル・四極子相関" 文科省科学研究補助金特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」第4回トピカルミーティング「フラストレーションとカイラリティ」神戸 日本 2009 7
- 田中 洋一, 小野田 繁樹, "Pr系パイロクロア型磁性体の有効理論" 日本物理学会 2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
- 山田 康博, 田中 洋一, 川上 則雄, "量子ドット系における交差アンドレーエフ反射と電子相関効果" 日本物理学会 2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
- 小栗 章, 西川 裕規, 田中 洋一, "透過係数のゼロ点, および Andreev-Kondo 系における Fermi 流体状態" 日本物理学会 2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
- 田中洋一, 古崎昭, "量子スピンホール系のエッジ状態における近藤効果", 日本物理学会 2010年春季大会 岡山 日本 2010 3
- 山田康博, 田中洋一, 川上則雄, "量子ドット系における交差アンドレーエフ反射と電子相関効果 II ", 日本物理学会 岡山 日本 2010 3

大自由度集団現象の理論的解明： 情報处理的な視点に立った新しいアプローチ

An Information Theoretical Approach to Collective Dynamics of Nonlinear Systems

研究者氏名：寺前 順之介 Teramae, Jun-nosuke

受入研究室：脳科学総合研究センター

脳回路機能理論研究チーム

(所属長 深井 朋樹)

自励的な振動現象は、物理学、化学、生物、工学、神経科学といった幅広い分野に普遍的に現れる非線形現象であり、その振る舞いはリミットサイクル振動子として理論的に定式化できる。この定式化は多様な自励振動に統一的な基盤を与え、内在する普遍性を解明する事を可能にして来た。リミットサイクル振動子が示す多様な性質の内、特に注目をされるのが、リミットサイクル振動子のノイズに対する応答である。例えば、複数のリミットサイクル振動子に共通のノイズを与えると、振動子間に全く相互作用が無くても、振動子間での位相同期を達成できる事が知られている(共通ノイズ誘起同期現象、Noise-induced synchronization)。この現象が特に重要なのは、振動子による情報表現を考える際、情報表現の信頼性(情報の再現性)が共通入力に対する位相同期と対応するからである。近年、神経系を始め、生物情報処理が非線形振動を積極的に利用しているとの示唆が数多くなされており、ノイズ同期はその理論基盤の1つを与えていると言える。しかし脳や生体内で振動子が独立に働く事は無い。振動子は相互作用する素子集団として機能する。そこで振動子集団での情報処理理論の基盤を確立するため、ノイズ同期を孤立振動子から振動子集団へと拡張する必要がある。本研究では確率微分方程式の理論と非線形振動子の縮約理論を用いてこの課題にアプローチし、集団の結合強度の変化と共に、位相同期、情報表現の信頼性がどう変化するかを記述する理論を構築した。非線形振動子の性質を理論的に定式化するには、振動のタイミングを記述する解析手法である位相縮約法を用いる必要がある。しかし、これまでノイズを受ける非線形振動子に対する位相縮約法には異なる二つの手法が提案されており、両者の関係や役割は未解明に残されていた。本研究では振動子の安定性の特徴量と、振動子に加わるノイズの相関時間との関係を正確に取り入れる事で、二つの位相記述の関係を解明する事に成功した。この

成果はPhysical Review Letters誌に掲載された。揺らぎや不規則性など確率的な要因は脳や生物の情報処理を特徴付ける極めて重要な役割を果たしている可能性が高い。今後は、これら確率的要素の動的な側面に留まらず情報処理の機能的側面に関する理論研究を行う方針である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Teramae J, Nakao H, Ermentrout G, "Stochastic phase reduction for a general class of noisy limit cycle oscillators" Physical Review Letters Vol.102 19 pp194102-1-194102-4 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Teramae J, Fukai T, "Reliability of response spike timings in pulse-coupled networks of neurons" 18th Annual Computational Neuroscience Meeting (CNS2009) Berlin Germany 2009 7

Teramae J, Fukai T, "Trade-off between cell-to-cell synchronization and trial-to-trial reliability in recurrent networks of spiking neurons" 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (Neuroscience 2009) Chicago USA 2009 10

(国内学会等)

寺前 順之介, 深井 朋樹, "神経細胞リカレントネットワークにおける細胞間同期発火と試行間応答再現性との相反関係：非線形システム間のノイズ同期によるアプローチ" ニューロコンピューティング研究会 生駒 日本 2009 7

寺前 順之介, "Noise-induced phase synchronization of networks of oscillators reveals temporal precision of spiking neurons" Fluctuation and noise in living organisms: from random dynamical systems point of view 和光市 日本 2009 7

寺前 順之介, 中尾 裕也, Ermentrout G., " ガウスノイズを受ける非線形振動子の位相縮約" 日本物理学会 2009 年秋季大会 熊本 日本 2009 9

寺前 順之介, 深井 朋樹, " 皮質ニューロン回路網における細胞間同期発火と試行間再現性の相反関係" 第 32 回日本神経科学大会 名古屋 日本 2009 9

XX - 018 芳香族化合物の C-H 結合の直接的官能基化をめざした新規触媒系の開発

Development of New Catalyst System for Direct Functionalization of Aromatic C-H Bond

研究者氏名: 小山田 重蔵 Oyamada, Juzo

受入研究室: 基幹研究所

侯有機金属化学研究室

(所属長 侯 召民)

有機化合物の炭素-水素結合に直接、新たな官能基を導入することができれば、これまで反応性が乏しく、有機合成の原料として利用できなかった有機化合物を有用な物質に変換する効果的な手段となる。触媒的に炭素-水素結合を直接、官能基化する方法は、Ru、Rh、Pdなどの遷移金属錯体を用いて炭素-水素結合を活性化することで達成されており、様々な化合物の合成に利用されている。しかし、このような反応に利用される遷移金属は限られており、その反応形式も求電子置換反応や配位を利用した酸化的付加などに限られている。そこで、本研究では、炭素-水素結合の直接的官能基化の一般性を向上させるために、異なる反応形式で炭素-水素結合を切断することが知られている希土類錯体に着目して、これまでの反応と異なる反応性を示す芳香族化合物の炭素-水素結合の官能基化のための新しい触媒系の開発をめざす。希土類錯体による触媒的な炭素-水素結合の官能基化に関する研究例は少なく、その反応性にも興味を持たれる。

本年度は、芳香族化合物の炭素-水素結合のフェニルシランとのカップリング反応について検討した。 $(C_5Me_4SiMe_2N^tBu)Y(CH_2SiMe_3)(THF)$ などのイットリウムアルキル錯体は、アニソールの炭素-水素結合を切断し、アリール錯体を与えることが知られ

ている。また、フェニルシランは希土類のアルキル錯体からヒドリド錯体を合成する際に用いられ、希土類のアルキル錯体との反応により、ヒドリド錯体とともにアルキル基が置換したアルキルフェニルシランを与えることも知られている。アリール錯体も同様にフェニルシランと反応すると予想されるため、生成したヒドリド錯体が炭素-水素結合を切断できれば、触媒的な反応を構築することができる。そこで、同様の支持配位子を持つ種々の希土類アルキル錯体を触媒前駆体として用いて、アニソールとフェニルシランの反応を検討した。その結果、スカンジウムベンジル錯体 $(C_5Me_4SiMe_2N^tBu)Sc(CH_2C_6H_4NMe_2)$ がこの反応に高い触媒活性を示すことを見いだした。反応条件を検討した結果、この錯体を 4%用い、120°Cで 6 時間反応を行うと、オルトシリルアニソールを選択的かつ収率良く与えることがわかった。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小山田 重蔵, 侯 召民: "Sc 触媒によるアニソール類のオルト C-H 結合のシリル化", 日本化学会第 90 春季年会, 大阪, 日本, 3 月 (2010)

XX-019 軸性不斉を完全制御した光電子機能性オリゴナフタレン類の創製

Synthesis of Optical Functional Oligonaphthalenes Contorlled All Axial Chiralities

研究者氏名：高石 和人 Takaishi, Kazuto

受入研究室：基幹研究所

超分子科学研究室

(所属長 緑川 克美)

光スイッチング機能を有する化合物創製を目指し、軸性不斉を有し2,2'-位でアゾベンゼン骨格を導入した3,3'-二置換-1,1'-ビナフチル類を合成した。アゾベンゼン部位は特定の波長の光を照射することによって任意にシス体またはトランス体へと存在比を偏らせることが可能であった(異性化率はいずれも70-80%程度)。そのシス-トランス異性化前後で円偏光二色性および比旋光度 ($[\alpha]_D$) 変化を溶液として確認した結果、その値および変化量は3,3'-位の置換基の種類に大きく依存することが分かった。3,3'-位の置換基がベンジルオキシ基である化合物では円偏光二色性の正負が逆転する領域 (400-550 nm) が認められ、 $[\alpha]_D$ は正負の逆転を含む約1000° の変化を示した。さらに3,3'-位の置換基がジフェニルメチルオキシ基の化合物でも円偏光二色性は正負が逆転する領域が認められ、 $[\alpha]_D$ は正負の逆転を含む約500° の変化を示した。一方で置換基が水酸基である化合物ではいずれも正負逆転が見られず、メトキシ基の化合物ではいずれも正負逆転の挙動が見られるものの小さい変化であった。比旋光度変化量はベンジルオキシ基を有する化合物の方がジフェニルメチルオキシ基を有する化合物より大きい、ジフェニルメチルオキシ基を有する化合物では値は約+250° と約-250° の変化であり、絶対値が同じで符合のみを変換できる特異な特徴を有する化合物である。旋光性はその化合物が吸収しない光においても発現する光学挙動であるため非破壊読み取りが可能であり新しい記録材料としての展開が見込まれる。生体成分を中心に環境中には旋光性を示す光化学活性化化合物が無数に存在しているが、それらの比旋光度は大きくても±100° 以下のものがほとんどである。一方で今回見出した化合物群は正負での検出が可能でありかつ値も十分大きいことから、不純物等によるノイズに強いスイッチング分子となりうる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takaishi K, Kawamoto M, Tsubaki K, Wada T, "Photo-switching of Dextro/Levo Rotation with Axially Chiral Binaphthyls Linked to an Azobenzene" *The Journal of Organic Chemistry* Vol.74 pp5723-5726 (2009)

Takaishi K, Sue D, Kuwahara S, Harada N, Kawabata T, Tsubaki K, "Synthesis and properties of S,R-alternating octinaphthalenes" *Tetrahedron* Vol.65 pp6135-6140 (2009)

Sue D, Takaishi K, Harada T, Kuroda R, Kawabata T, Tsubaki K, "Synthesis of Chiral Dotriacontanaphthalenes: How Many Naphthalene Units Are We Able To Elaborately Connect?" *The Journal of Organic Chemistry* Vol.74 pp3940-3943 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

国内会議 高石 和人, 川本 益揮, 和田 達夫, "アゾベンゼン連結ビナフチルによる右旋性/左旋性-光スイッチング" 分子情報生命科学シンポジウム2009 福岡市産学連携交流センター 日本 2009 5

国内会議 高石 和人, 川本 益揮, 和田 達夫, "軸性不斉ビナフチル誘導体を用いた右旋性/左旋性-光スイッチング" 理研シンポジウム「エクストリームフォトニクスシンポジウム：光で繋ぐ理研の基礎科学」理化学研究所 日本 2009 5

国内会議 高石 和人, 川本 益揮, 椿 一典, 和田 達夫, "アゾベンゼン連結ビナフチルによる旋光度の可逆的正負逆転" 第5回ホストゲスト化学シンポジウム 宇都宮大学 日本 2009 5

国内会議 高石 和人, 椿 一典, 川本 益揮, "アゾベンゼン連結ビナフチルによる右旋性/左旋性-光スイッチング" 第20回基礎有機化学討論会 群馬大学 日本 2009 9

(国際会議)

International Conference etc. Takaishi K, Kawamoto M, Tsubaki K, Wada T, "Photoswitching of Dextro-/Levo-Rotation with Axially Chiral Binaphthyls" 13th Inter-

XX - 020

ホスファターゼ阻害剤をプローブとした
ホスファターゼ網羅的解析法の開発Development of a New Methodology for the Comprehensive Analysis of Protein
Phosphatases using Low-molecular Inhibitors

研究者氏名：久米田(土屋) 綾子

Kumeda (Tsuchiya), Ayako

受入研究室：基幹研究所

袖岡有機合成化学研究室

(所属長 袖岡 幹子)

タンパク質の脱リン酸化反応を触媒するプロテインホスファターゼは、タンパク質のリン酸化レベルを功名に調節し、様々な外部刺激に対応した細胞応答を制御している。しかし、分子レベルでのホスファターゼ活性制御機構や個々のホスファターゼの役割についての解明は未だ十分なされていない。本研究では、ホスファターゼの活性に依存してその活性中心と特異的に共有結合するホスファターゼ阻害剤をプローブとして、様々な生理的条件下におけるホスファターゼ活性をモニタリングするための新しい手法の開発を目的とした。

これまでに、ホスファターゼ網羅的解析法に使用するプローブとしてCdc25Aホスファターゼに対する不可逆的阻害剤RE20を開発した。さらに、クリックケミストリーの手法により細胞内で標的タンパク質に共有結合したRE20誘導体に対して特異的にビオチン分子を連結させ標的タンパク質を検出することに成功した。しかし、アビジンビーズからのビオチン化タンパク質の溶出効率の悪さが原因で、標的タンパク質の同定には至らなかった。本年度は、化学選択的に切断可能なジアゾベンゼン構造をビオチン分子とアジド基の間に挿入したリンカーを用い、ホスファターゼ網羅的解析法の改良を試みた。この方法は、非常に温和な条件下で迅速に切断反応が起こる

こと、非特異的にアビジンビーズに結合したタンパク質は溶出されないこと、標的タンパク質の化合物結合部位を同定できることが利点である。はじめに、*in vitro*の実験系を用いてリンカー切断条件の最適化を行った。すなわち、アルキン部を導入したRE20誘導体(RE64)とリコンビナントCdc25Aとで共有結合を形成させた後、クリックケミストリーの手法により切断可能なビオチンリンカーを連結した。その後、アビジンビーズによる精製・濃縮を行い、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ を用いて種々条件下においてリンカーを切断しCdc25Aの溶出条件を決定した。次に、細胞内ホスファターゼの網羅的検出を行った。RE64をHL-60細胞に添加し標的タンパク質と共有結合を形成した後、細胞を破碎し、上記で確立した条件に従い標的タンパク質を精製した。これらのタンパク質を二次元電気泳動で分離し、検出することに成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

土屋 綾子, 小山 佑介, 大沼 可奈, 平井 剛, 袖岡 幹子: "酵素選択的ホスファターゼ阻害剤の開発と活性評価", 日本薬学会第130年会, 岡山, 日本, 3月 (2010)

**赤外分光及び蛍光顕微鏡による
肺サーファクタントの構造と機能についての研究
Spectroscopy of Lung Surfactants**

研究者氏名：盛田 伸一 Morita, Shin-ichi

受入研究室：基幹研究所

加藤分子物性研究室

(所属長 加藤 礼三)

ヒトの肺胞上のII型細胞から、肺サーファクタントと呼ばれる分子集合系が分泌する。その主成分はリン脂質で、他にSP-B、SP-Cと略記されるタンパク質等を微量含む。肺サーファクタントは、肺胞上の薄い水の層(約140nm)の表面に、分子のレベルの厚み(約5nm)で浮遊し、界面活性剤として、水の表面張力を大幅に低下させる機能を持つ。この機能は、生命を維持するために非常に重要である。実際、人工の肺サーファクタントが投与できるようになるまで、肺サーファクタントを分泌しない未熟児は、肺が膨らまず、死に至ることが多かった。医薬としての肺サーファクタントの開発以来、肺サーファクタント集合系の役割が、分子のレベルで解明されてきた。しかし、依然として、その分子集合系が、呼吸運動とともにどのように構造変化し相互作用するのか不透明な部分も多く、解決の望まれる問題が多数存在する。本研究の目的は、肺胞のミミック系の呼吸運動を先端的赤外分光システムで計測し、その機構について分子のレベルで明らかにすることにある。本研究では、気水界面に人工的に肺サーファクタント系を構築し、仕切り板を移動することで、肺胞の呼吸運動を再現する。その運動を主に先端的赤外分光システムで計測し、その機構について分子のレベルで調べる。着任2年目として、赤外分光システムを構築し、基礎特性について調べ、動作確認を行い、適宜改良した。位相角表示二次元相関分光のアルゴリズムを本実験系に適用できるよう検討し改良した。スペクトル前処理の重要性が確認され、独自のソフトウェアを開発した。主成分分析等のアルゴリズムの動作確認を行い、シミュレーションの研究を行った。脂肪酸を用いて、簡単なモデル実験系

を構築した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

高根沢, 盛田, 丸山, 村上, 川島, 遠藤, 飯島, 朝倉,

下瀬川, 佐藤: "Two-Dimensional Correlation Raman Analysis of Diseased Esophagus of a Rat", Journal of Molecular Structure, in submission

盛田, 高根沢, 前田, 伊達, 渡辺, 村上, 川島, 山下, 和田, 佐藤: "Baseline Determinations of Raman Spectra of a Biological Tissue", Journal of Molecular Structure, in submission

新澤, 阿波, 奥村, 盛田, 大塚, 尾崎, 佐藤: "Raman imaging analysis of pharmaceutical tablets by two-dimensional (2D) correlation spectroscopy", Vibrational Spectroscopy, 51 (1), 125-131 (2009)

光岡, 盛田, 鈴木, 松浦, 勝本, 佐藤: "Optical Characterization of a Hollow Fiber Raman Probe toward Non-Invasive Measurements of Living Tissues", Applied Physics Express, 2, 027001 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

高根沢, 盛田, 丸山, 村上, 川島, 遠藤, 飯島, 朝倉, 下瀬川, 佐藤: "ラット食道病変のラマンプロファイル解析", 第70回応用物理学会学術講演会, 富山大学, 9月 (2009)

高根沢, 盛田, 伊達, 稲益, 渡辺, 村上, 川島, 佐藤: "ヒト皮膚の振動分光による分析", 第70回応用物理学会学術講演会, 富山大学, 9月 (2009)

Identification and Characterization of Oocyte Specific Nucleolus Materials.

研究者氏名：大串 素雅子 Ogushi, Sugako
 受入研究室：発生・再生科学総合研究センター
 哺乳類生殖細胞研究チーム
 (所属長 斎藤 通紀)

我々は、哺乳類受精卵を構築し、初期胚発生を進行するために卵母細胞の核小体が必須であることを平成20(2008)年に報告した。しかしこの核小体の初期胚発生進行の詳細な作用点や、この構造を構成している成分は明らかにされていない。本研究は卵母細胞の核小体成分を同定し、卵母細胞特異的な核小体の機能を明らかにすることを目的としている。全能性を持つ受精卵構築に関わる核小体成分・機能の解明は全能性機序の解明につながると考えている。

平成20年度に卵母細胞の核小体は抗体が侵入できない殻をもつ高次構造をとっていること、さらにいくつかの核小体マーカータンパク質やリボソームタンパク質などの配列にEGFP-tagを融合させ卵母細胞で強制発現させるとEGFPのシグナルが核小体と核質で確認されることを明らかにした。卵母細胞の核小体に局在することが確認されたタンパク質のうちヌクレオプラスミン2(Npm2)は卵母細胞特異的に発現する。そこで本年度はNpm2と相互作用を示すタンパク質をYeast Two Hybrid法を用いて明らかにすることで卵母細胞特異的な核小体の機能を明らかにしようと考えた。

マウス卵巣のcDNAライブラリーを用いてNpm2タンパク質と相互作用するタンパク質をスクリーニングした。するとUbiquitin like 1 activating enzyme E1B (SAE1/Uba2), Ubiquitin-like domain-containing protein 1 (Ubxn1), Exosome component 9 (Exosc9), Homeodomain-interacting protein kinase 1 (Hipk1),

TRAF and TNF receptor associated protein (Ttrap), Glucocorticoid modulatory element binding protein 1 (Gmeb1), CCHC domain containing 7 (Zcchc7)がNpm2と相互作用することが明らかになった。

今後、Yeast Two HybridでNpm2と相互作用することが明らかになってきた因子がマウス初期胚発生を進行するために重要な核小体因子かどうかをさらに検討していく。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kyogoku, H., Ogushi, S., and Miyano, T. Nucleoli from Growing Oocytes Support the Development of Enucleolated Full-grown Oocytes in the Pig. *Mol. Reprod. Dev.* 77, 167-173, 2010

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ogushi S, "The nucleolus in the mouse oocyte is required for the early step of pronucleus formation" 18th Lake Shirakaba Conference University of Tokai Denmark 2009 6

Ogushi S, "The oocyte nucleolus roles during early embryonic development in mouse." 2009 Japan-Taiwan Joint Symposium on Cell Signaling and Gene Regulation Kobe Convention Center Japan 2009 11

**メタボロミクスを用いた植物における
グルタチオン抱合体の網羅的解析及びグルタチオン分解酵素の単離解析
Metabolomic Analysis of Glutathione Conjugates and
Identification of Glutathione Degradation Enzyme in Plants**

研究者氏名：大津(大鎌) 直子 Ohkama-Ohtsu, Naoko
受入研究室：植物科学研究センター
代謝機能研究チーム
(所属長 斎藤 和季)

グルタチオン(γ -Glu-Cys-Gly)は植物において高濃度で組織中に存在するため、システインを初めとした有機体硫黄、窒素、炭素の貯蔵形態として機能していると考えられている。本研究はグルタチオンが分解され他の物質へ代謝されて行く経路を同定し、その生理的意義を解明することを目的とする。

またグルタチオンは、除草剤を抱合して液胞に隔離することが知られているが、植物の内在性物質については何がグルタチオンに抱合されるか分かっていない。本研究は、グルタチオン抱合体を液胞で分解できないシロイヌナズナ *ggt4* 変異株と野性型株の代謝産物を、メタボロミクスを用いて比較することにより、内在性グルタチオン抱合体を探索することを目指す。

本年度行ったことは以下の通りである。

(1) メタボロミクス解析により *ggt4* 変異株で増加していた代謝産物を探索し、二つのアレリックな変異株において、ジャスモン酸前駆体である 12-Oxo-phytodienoic acid とグルタチオンの抱合体が再現よく増加していることを観察した。また、合成した標品を用いて、同定されたピークが 12-Oxo-phytodienoic acid とグルタチオンの抱合体であることの確認も

行った。これにより、植物ホルモンのジャスモン酸前駆体がグルタチオン抱合体として液胞に隔離されることが分かった。12-Oxo-phytodienoic acid とグルタチオンを結合する GST6 の変異株では、ジャスモン酸や 12-Oxo-phytodienoic acid の量は変化していなかったことから、液胞に隔離するが、細胞内の 12-Oxo-phytodienoic acid 量を変化させるほどではないようであった。

(2) 細胞質中のグルタチオンは γ -glutamyl cyclotransferase によって分解される。この酵素を植物から単離することを目指した。ブロッコリーの花茎中で活性が高いことを観察し、これを材料とすることにした。活性は 40~80% の硫酸沈殿および pH4.2 による選択的沈殿により濃縮されることを観察した。

●口頭発表 Oral Presentations

国内会議 大津 直子, 関本 結子, 及川 彰, 篠田 祥子, 井上 恵理, 平井 優美, 白須 賢, Oliver David, 斎藤 和季, "植物におけるグルタチオン代謝及び内在性グルタチオン抱合体の研究" 日本土壤肥料学会 2009 年京都大会 京都 日本 2009 9-

**光架橋技術を用いた分泌タンパク質の濃度勾配モデルの構築
Reconstitution of Secreted Protein Gradient by using Photo-immobilization Method**

研究者氏名：櫻木 誠 Sakuragi, Makoto
受入研究室：基幹研究所
伊藤ナノ医工学研究室
(所属長 伊藤 嘉浩)

iPS細胞、胚性幹細胞(ES細胞)や各種の体性幹細胞は、多分化能を持つことから、再生医療の細胞のリソースとして着目され、有用細胞への分化の誘導や制御の研究が報告されている。これまでに、さま

ざまな細胞を分化誘導する方法が開発・報告されている。それらは、分化方向を決定する各種増殖因子を逐次的に添加し、経験則や発生中の個体を模倣することによって目的の細胞の比率を高める培養方法

である。

しかし、これまでは得られた細胞は配置に生体組織のような規則性はなく、不規則な細胞塊として形成されるだけであった。そこで本研究では、分化決定を行う増殖因子を固定化し局所的に細胞に作用するような組織工学材料の開発とそれを利用した培養方法の確立を行っている。細胞に生体と相似の配置を持たせ、複数の細胞種による組織を形成するような発現現象の再現モデルを目指す。増殖因子の中では共有結合によって基材表面に固定化した状態でも細胞に作用し、シグナルを伝えるものが多数報告されている。そこで本研究では、光架橋による固定化技術を利用し、基材と細胞の接触面においてモルフォゲンとして機能する増殖因子を局所的固定化することで、発生を模倣した分化制御可能な基材を開発している。局所的に作用する増殖因子は擬似的な発生の軸を形成し、濃度や配置に応じた細胞分化が期待される。

本年度はES細胞から分化誘導を行った細胞を対象に研究を行った。神経分化への運命決定期に剥離再は種して、開発した基材に上で培養した。固定化BMP-4を作用させた細胞において、BMP-4の有無に対応して神経分化の増減が見られた。しかし、再は種した細胞は多層に積層し、固定面への接触は一部の細胞のみに限られた。また、基材の上の付着したままの細胞の染色を必要としたため、細胞塊の厚みが染色と観察の障害となった。固定化増殖因子が作用した細胞を特定する必要があり、細胞を剥離した後の染色では位置情報が損なわれるからである。分化状態の調べるための分化マーカー染色と細胞接着制御のさらなる最適化を行った。

まず、細胞播種直後の細胞接着の多層化を減少させ、一層に近い分布で接着・増殖する条件の最適化を行った。培地とコーティング剤の検討により、多層化の減少が達成された。現在、改変された播種・培養条件での染色の最適化と分化状態の決定を行っている。

また、本年は並行して新規キメラ増殖因子タンパク質の作出も行った。天然型の増殖因子と比し基質への結合性を高めたものである。大腸菌による発現と精製の条件を確立し、現在は結合性と活性の解析を行っている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sakuragi M, Tsuzuki S, Obuse S, Wada A, Matoba K, Kubo I, Ito Y, "A photoimmobilizable sulfobetaine-based polymer for a nonbiofouling surface" *Materials Science and Engineering C* Vol.30 pp316-322 (2010)

Kitajima T, Sakuragi M, Hasuda H, Ozu T, Ito Y, "A chimeric epidermal growth factor with fibrin affinity promotes repair of injured keratinocyte sheets" *Acta Biomaterialia* Vol.5 pp2623-2632 (2009)

Loh X, Gong J, Sakuragi M, Kitajima T, Liu M, Li J, Ito Y, "Surface Coating with a Thermoresponsive copolymer for the Culture and Non-Enzymatic recovery of Mouse Embryonic Stem Cells" *Macromolecular Bioscience* Vol.9 11 pp1069-1079 (2009)

(単行本)

櫻木 誠, 伊藤 嘉浩, "増殖因子固定化" ますます重要になる細胞周辺環境の最新科学技術 メディカルドゥ 日本 大阪 pp278-282 (2009)

XX - 027

共生微生物が賦与する昆虫の寄主植物適応機構の解明

Elucidation of the Mechanisms for Host Plant Adaptation of the Insect

Governed by Facultative Endosymbiont

研究者氏名: 土田 努 Tsuchida, Tsutomu

受入研究室: 基幹研究所

松本分子昆虫学研究室

(所属長 松本 正吾)

本研究課題では、エンドウヒゲナガアブラムシの寄主植物適応が内部共生細菌*Regiella*の感染によって変化するという現象を対象として、分子生物学や生

態学、組織学、栄養生理学といった様々な手法を駆使し、本現象に関与する物質の実体やその機構を明らかにすることを目的としている。

本現象には、アブラムシが唯一の餌として利用する植物師管液の化学物質の関与が期待される。本年度は、横浜植物センター先端NMRメタボミクスユニットの菊地淳ユニットリーダーとの連携を行い、本現象に関与する植物由来化学物質の網羅的解析を行うべく実験方法の開発を行った。具体的には、¹³CO₂を用いて植物を構成する化学物質を安定同位体で標識し、標識植物を食餌したアブラムシ体内にどのような物質が取り込まれ、そしてどのように物質が変化していくのかを2次元NMRを用いた網羅的解析によって明らかにすることを試みている。

本研究で扱う現象は、植物と昆虫、昆虫体内の共生細菌間の高度な相互作用であり、それにどのような化学物質が介在することを一つの柱とするものである。本年度は、自然界における寄主植物-アブラムシ共生細菌間の関係において介在する化学物質についても、共同研究により網羅的解析を進めてきた。本解析により、特定の寄主植物に適応するアブラムシ系統に優占的に存在する共生細菌や、寄主植物特異的な化学物質組成、さらには化学物質組成の利用効率とアブラムシが保持する共生細菌形質との関係性が明らかになった。

さらに今年度は、植物適応が共生細菌のどのような体内動態によって生じるのかを定量PCRによって解析した。その結果、*Regiella*に感染すると、カラスノエンドウを餌にしたとき必須の共生細菌*Buchnera*の存在量が著しく減少するのに対し、シロツメクサを餌にした場合はほとんど減少しないという結果が観察された。すなわちカラスノエンドウでは*Regiella*による正の効果と*Buchnera*減少による負の効果で適応度への影響が相殺されてしまうのに対し、シロツメクサでは悪影響が生じないため、結果としてシロツメクサ特異的な適応度効果が観察されるのではないかと考えられた。

本研究成果や関連した研究成果については、下記の学会や研究集会で発表を行い、高い評価を得ることができた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Koga Ryuichi, Tsuchida Tsutomu, Fukatsu Takema, "Quenching autofluorescence of insect tissues for In situ detection of endosymbionts" *Applied Entomology and Zoology* Vol.44, 2, pp281-291 (2009)

(総説)

土田 努, 古賀 隆一, "アブラムシの環境適応に共生細菌が果たす多彩な役割" *昆虫と自然* Vol.44 11 pp13-16 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

昆虫の体色を変える共生細菌: 土田 努, 古賀 隆一, Simon Jean-Christophe, 深津 武馬, 第11回日本進化学会大会, 北海道大学 高等教育機能開発総合センター, 日本 2009 9

陸圏エコミクス研究の始動: 植物—昆虫—共生細菌間相互作用に介在する化学物質と昆虫遺伝形質の共相関解析, 佐々木 宏和, 土田 努, 坪井 裕理, 近山 英輔, 菊地 淳, 第4回メタボロームシンポジウム, 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校, 日本 2009 1

「昆虫の秘密 vs 光合成の実力」だから科学は面白い, 土田 努, サイエンスカフェ ~みらい倶楽部~ Vol. 3 日本未来科学館, 日本 2010 1-11

Landsphere Ecomics: Correlation analysis between hemicals and insect genetic traits involved in plant-insect-symbiont interactions. 土田 努, 佐々木 宏和, 坪井 裕理, 近山 英輔, 菊地 淳, 松本 正吾, 基幹研—横浜研連携フォーラム, 理研横浜植物センター, 日本, 2010 2

植物—昆虫—共生細菌間相互作用に介在する化学物質と昆虫遺伝形質の共相関解析, 佐々木 宏和, 土田 努, 坪井 裕理, 近山 英輔, 松本 正吾, 菊地 淳, 日本農芸化学会 2010年度大会, 東京大学安田講堂, 日本 2010 3

昆虫による植物形態操作や植物細胞制御の機構解明：
植物ホルモノームの定量、および、植物遺伝子発現動態解析からのアプローチ
Investigation of Mechanisms Underlying Gall Induction and Plant Cell Regulation by Insects

研究者氏名：徳田 誠 Tokuda, Makoto

受入研究室：植物科学研究センター

生長制御研究チーム

(所属長 神谷 勇治)

様々な昆虫が植物の形態形成や代謝を操作してゴールを形成する。ゴールは植物細胞から構成されているものの、その形状は形成昆虫の種により特異的であり、昆虫の延長された表現型と見なされる。根粒菌やアグロバクテリウムなど、微生物によるゴール形成機構は明らかになってきているのに対し、極めて洗練された形状の昆虫ゴールについては、多数の研究者が注目しているが、未だ明らかにされていない。近年の植物ゲノム生物学やホルモノーム解析技術の進展を踏まえ、昆虫刺激に対する植物側の反応動態(植物ホルモン活性や遺伝子発現)の解析により、ゴール形成昆虫による植物形態操作や植物細胞制御のメカニズムを明らかにする。イネ科全般にゴールを形成し、アジア・オセアニア地域で深刻な害虫となっているフタテンチビヨコバイやエゴノキの葉にゴールを形成するエゴノキハイボタマバエなど、様々な昆虫を研究対象とする。前者は、イネ幼苗を用いた累代飼育系がすでに確立し、基礎生態も明らかにしている。本種や近縁な非ゴール形成ヨコバイのイネ幼苗加害時、および、唾液腺抽出成分をイネ培養細胞に加えた際の、植物ホルモノームの定量と遺伝子発現動態の解析により、ゴールの誘導機構を明らかにする。また、後者は落葉上で、ゴール部分の植物細胞を延命・肥大成長・分裂増殖させるといった驚異的な能力を有していることを最近発見した。これは、植物一植食者の系で世界初の知見であり、本種による植物細胞制御のメカニズムは大変興味深い。これまでの研究から、本種による落葉上でのゴール成長には、ゴール組織の光合成産物よりも落葉内の残存成分が利用されていること、落葉上のゴールは、大気中から大量の水分を取り込んで成長することが判明した。本研究では、エ

ゴノキからの植物ホルモン精製法を確立した後、落葉上でのゴール成長時期における植物ホルモノームの定量、および、遺伝子発現動態の解析を行い、タマバエによる植物細胞制御機構を明らかにする。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Matsukura K., Matsumura M., Takeuchi H., Endo N., and Tokuda, M.: "Distribution, host plants, and seasonal occurrence of the maize orange leafhopper, *Cicadulina bipunctata*, in Japan", *Appl. Entomol. Zool.*, 44 207-214 (2008)*

Matsukura K., Matsumura M., and Tokuda M.: "Host manipulation by the orange leafhopper *Cicadulina bipunctata*: gall induction on distant leaves by dose-dependent stimulation", *Naturwissenschaften*, in print.*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tokuda M., Matsukura K., Jikumaru Y., Matsumura M., and Kamiya Y.: "Quantitative analysis of plant hormones related to gall induction by *Cicadulina bipunctata* (Homoptera: Cicadellidae) on maize", V International Symposium on the Biology of Gall inducing Arthropods, Serra do Cipo, Brazil, August (2009)

(国内学会等)

徳田誠, 松倉啓一郎, 軸丸裕介, 松村正哉, 神谷勇治: "フタテンチビヨコバイによる寄主の吸汁は、次世代の適応度を増加させる - 昆虫による寄主変化のメカニズムと適応的意義 -", 第11回日本進化学会大会, 札幌, 9月(2009)

Control of Microtubules in Mitotic Spindle Formation in *C. elegans* Embryos

研究者氏名：戸谷 美夏 Toya, Mika

受入研究室：発生・再生科学総合研究センター

発生ゲノミクス研究チーム

(所属長 杉本 亜砂子)

微小管は、細胞内で細胞周期にしたがって整然と再編成され、分裂期には、染色体の分配装置となる紡錘体が迅速に形成される。線虫*C. elegans*初期胚の細胞分裂では、中心体に局在する γ -チューブリン(TBG-1)とオーロラキナーゼA(AIR-1)それぞれの因子が制御する微小管が特定の時期に形成され、異なる役割を果たすことが示されている。本研究ではこの現象に注目し、TBG-1とAIR-1が関わる微小管制御の分子機構を明らかにし、微小管が細胞内で時間的・空間的に制御されるしくみの理解を深めることを目指している。昨年度の研究から、AIR-1が、TBG-1とは独立に、中心体に依存しない微小管形成に関わることを示唆する結果を得た。本年度は、AIR-1による微小管制御に着目してAIR-1の活性が生体内で微小管形成に与える役割について検討を行い、AIR-1依存的に形成される微小管、および、TBG-1依存的に形成される微小管それぞれの形成機序と役割の差異について考察した。活性型AIR-1を検出するための抗リン酸化AIR-1抗体、および、不活性型AIR-1を発現する変異型AIR-1遺伝子を導入した線虫株を作製し、RNAiを組み合わせた実験を行うことにより以下の結果を得た。

(1) AIR-1は中心体と中心体近傍の微小管上に局在することが知られているが、作製した抗リン酸化型AIR-1抗体を用いた染色から、活性型AIR-1は中心体のみにも局在し、微小管上には局在しないことが示唆された。

(2) 不活性型AIR-1を発現する線虫株では中心体の

分離が起こらないことから、中心体の分離にはAIR-1の活性が必要であることが示唆された。

(3) 不活性型AIR-1を発現する線虫株では、TBG-1とは独立に、中心体に依存しない微小管が形成された。この時、不活性型AIR-1は微小管上に局在した。

これらの結果から、AIR-1は、リン酸化活性をもつ活性型として中心体で機能することに加えて、リン酸化活性をもたない不活性型AIR-1として微小管上に局在し、TBG-1とは独立に、中心体に依存しない微小管形成に関与する可能性が示唆された。

●誌上発表 Publications

(単行本)

Sato M, Toya M, Toda T, "Visualization of Fluorescence-Tagged Proteins in Fission Yeast: The Analysis of Mitotic Spindle Dynamics Using GFP-Tubulin Under the Native Promoter" *Methods in Molecular Biology* Vol.545 pp185-203(2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

戸谷美夏, 杉本亜砂子: "紡錘体形成に関わる2つの微小管制御経路", 第61回日本細胞生物学会大会 名古屋 2009 6

戸谷美夏, 杉本亜砂子: "Coordination of two distinct pathways to form mitotic spindle microtubules in *C. elegans* embryos" 第32回日本分子生物学会年会 横浜 2009 12

Analysis for Plant Circadian Clock

研究者氏名：中道 範人 Nakamichi, Norihito

受入研究室：植物科学研究センター

生産制御研究チーム

(所属長 榊原 均)

シロイヌナズナの生物時計は、MYB様転写因子をコードする *CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1* (*CCA1*) 遺伝子、*LATE ELONGATED HYPOCOTYL* (*LHY*) 遺伝子と *PSEUDO-RESPONSE REGULATOR* 遺伝子群 (*PRR9, PRR7, PRR5, PRR3, PRR1/TOC1*) らの相互の遺伝子発現制御によって成り立つことが示唆されている。植物における生物時計は、日内あるいは季節の変化に应答した高次生命現象の制御に必要である。だが生物時計の幅広い生命現象の制御様式は、一部を除いて、分子レベルではよく理解されていない。

本年度、私は、生化学的機能が未知であった *PRR9, PRR7, PRR5* タンパク質の解析を行い、これらは *CCA1* と *LHY* 遺伝子への転写抑制因子として機能する事を見いだした。グルココルチコイドで機能誘導される *PRR5-GR* は直接的に *CCA1* と *LHY* の発現を抑制した。次にシロイヌナズナの一過的遺伝子発現系によって、*PRR9, PRR7, PRR5* の *CCA1* と *LHY* のプロモーター活性に対する抑制効果が発見された。さらにその抑制機能を担う新規なモチーフが *PRR9, PRR7, PRR5* に存在することも分かった。このモチーフは様々な植物に存在しているため、*PRR9, PRR7, PRR5* の転写抑制能は植物に普遍的な機能であると考えられる。またクロマチン免疫沈降法によって、*PRR9, PRR7, PRR5* タンパク質が植物体内で *CCA1* と *LHY* のプロモーター上に存在していることが分かった。これら *PRR* が *CCA1* と *LHY* プロモーターに存在している時間帯と、*CCA1* と *LHY* の転写抑制が見られる時間帯は一致(午前から夜半)していた。これら一連の解析により、*PRR* は *CCA1* と *LHY* の転写抑制を担う主要な因子であることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakamichi N, Fukushima A, Kusano M, Sakakibara H, Saito K, Takeshi M, "Linkage between circadian clock and tricarboxylic acid cycle in Arabidopsis" *Plant Signaling & Behavior* Vol.4 7 pp660-662 (2009)

Fukushima A, Kusano M, Nakamichi N, Kobayashi M, Hayashi N, Sakakibara H, Mizuno T, Saito K. "Impact of clock-associated Arabidopsis pseudo-response regulators in metabolic coordination" *Proc Natl Acad Sci U S A* Vol.106 17 pp7251-7256 (2009)

Nakamichi N, Kusano M, Fukushima A, Kita M, Ito S, Yamashino T, Saito K, Sakakibara H, Mizuno T, "Transcript profiling of an Arabidopsis pseudo response regulator arrhythmic triple mutant reveals a role for the circadian clock in cold stress response" *Plant Cell Physiology* Vol.50 3 pp447-462 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakamichi N, Kiba T, Sakakibara H, "Pseudo-response regulator 9,7 and 5 are repressors of *CCA1* and *LHY* transcription in arabidopsis circadian clock" *Plant Biology 2009: Joint Annual Meetings of the American Society of Plant Biologists and the Phycological Society of America Honolulu USA 2009 7*

(国内学会等)

中道 範人, 草野 都, 福島 敦史, 伊藤 照悟, 山篠 貴史, 北 雅規, 斉藤 和季, 榊原 均, 水野 猛, "シロイヌナズナ時計変異体のアレキ解析" 第50回日本植物生理学会 名古屋 日本 2009 3

中道 範人, 木羽 隆敏, 水野 猛, 榊原 均, "Pseudo-response regulator 9, 7 and 5 are transcriptional repressors of *CCA1* and *LHY* in Arabidopsis circadian clock" 第32回日本分子生物学会年会 横浜 日本 2009 12

植物の低温ストレス応答に関与する
新規 RNA マスキング機構探索と機能解明

Identification and Characterization of Novel RNA Masking System in Plant Cold Stress Response

研究者氏名：中南 健太郎 Nakaminami, Kentaro

受入研究室：植物科学研究センター

植物ゲノム発現研究チーム

(所属長 関 原明)

越冬性植物は低温馴化過程において、高度な耐凍性を獲得することで越冬が可能となる。越冬後は脱馴化と呼ばれる過程で、耐凍性を解除し生長を再開する。低温馴化、脱馴化メカニズムの解明は植物のストレス応答、及び生長・発達を理解する上で重要である。しかし、詳細な分子メカニズムについては不明な部分が多い。本研究では植物の低温ストレス応答メカニズムを明らかにするために、低温ストレス応答とRNA制御の関係に着目し研究を行った。

第一に、翻訳調節機構であるRNAマスキング機構の探索と機能解明を目指した。RNAマスキングとは翻訳抑制によりmRNAを保持し、刺激により翻訳を開始する制御システムである。トランスクリプトーム解析とプロテオーム解析の比較解析を行い、mRNAの発現パターンがタンパク質のそれと一致しないものをRNAマスキング機構のターゲットとして探索した。その結果、脱馴化過程で特異的に増加するタンパク質の中から幾つかのターゲット候補を見いだした。その中には1次代謝や細胞周期に関与するものが含まれていた。これは、植物が脱馴化時に生長・発達に必要なエネルギーの供給を即座に再開するシステムを有し、それが翻訳レベルで制御されていることを示唆している。現在、これらターゲット遺伝子の翻訳プロファイルをポリソーム画分を利用した発現解析により確認中である。

次に低温ストレス応答とその他のRNA制御の関係を明らかにするために、転写制御、及びRNA代謝に関する変異体を用いて、凍結試験により耐凍性を示

すものを探した。その結果、リボヌクレアーゼ欠損変異体が高い耐凍性を示すことを見いだした。これは植物の低温ストレス応答にRNA分解が重要であることを示唆している。

これらの結果は、植物のストレス応答には転写・翻訳段階におけるRNA制御が重要であることを示している。今後は、RNAマスキング機構本体の同定と機能解析、及びリボヌクレアーゼのターゲット同定とストレス応答におけるRNA分解の役割について解析する予定である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

International Conference etc. Nakaminami K, Minami A, Nakagami H, Ohi N, Tanaka M, Morosawa T, Ishida J, Shirasu K, Uemura M, Seki M, "Identification of novel RNA masking system during deacclimation of *Arabidopsis* plants" Plant Biology 2009 Honolulu USA 2009 7

(国内会議)

関 原明, 松井 章浩, 栗原 志夫, 金 鍾明, 岡本 昌憲, 石田 順子, 諸澤 妙子, 藤 泰子, 中南 健太郎, 川嶋 真貴子, 田中 真帆, 南原 英司, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 川口 修治, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄, "タイリングアレイを用いた植物の環境応答に関する全ゲノムトランスクリプトーム解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本 2009 3

**ニワトリ初期胚において
中胚葉細胞の遊走を制御する分子シグナリングの解明
Molecular Signaling Controlling Mesoderm Cell Migration in Chicken Embryo**

研究者氏名：仲矢 由紀子 Nakaya, Yukiko
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター
初期発生研究チーム
(所属長 Guojun Sheng)

細胞がある方向に向かって遊走する時、細胞内には前後の極性が形成される。平成21年度に構築したライブイメージング法を用いて、ニワトリ初期胚の中胚葉細胞の遊走過程における前後の細胞極性の形成機構について検討した。その際、細胞の遊走挙動や極性の指標として、細胞の核とゴルジ器官の動きに着目した。

核のトラッキング：中胚葉細胞が遊走する方向や移動距離を定量的に理解するために、核のトラッキングを行った。方法としては、核を標識するために、ニワトリ原腸胚の原条近傍の細胞へ、核ヒストン(H2B)-mCherry 発現ベクターをエレクトロポレーション法により導入した。その後、胚を数時間発生させると、遺伝子を発現した細胞は、原腸陥入を経て中胚葉細胞へと分化し、移動を開始する。この移動の行程に関して、30秒間隔で30-60分のタイムラプス観察を行った。画像化されたデータから標識された核の動きを定量化するために、画像処理後、蛍光輝度情報を基にMATLABを使って重心を同定し、フレーム毎の移動距離、速さ、移動方向(角度)を算出した。これら画像取得後の解析については、東京大学で定量生物学を専門とする研究者との共同研究を開始し、現在、多量の細胞を一度に追跡可能な、再現性の高い定量解析が行えるプログラムの構築に取り組んでいる。これらの解析法は、細胞遊走を制御する分子を同定するための有用なツールとなることが期待される。

核とゴルジ器官の観察：Wound healing assay等の培養細胞を用いた解析により、方向性のある細胞遊走では、ゴルジ体が核の前側に位置するという特徴的な前後極性を持つことが多数報告されている。そこで、核の場合と同様に、昨年度構築したH2B-mcherry-2A peptide- Golgi-YFP発現ベクターをニワ

トリ胚へ導入し、同一細胞内のゴルジ体および核をラベルした。その結果、培養細胞とは逆に、中胚葉細胞の遊走時には、ゴルジ体が常に核の後方に位置していた。さらに細胞内輸送阻害剤brefeldinA処理により、核とゴルジ体の位置関係を崩壊させ極性を喪失させた場合、細胞の移動距離がコントロール(DMSO処理)と比較して短くなり、動きがランダムになる傾向が認められた。これらのことから、ゴルジ体が核の後方側、という位置関係は中胚葉細胞の遊走に重要であることがうかがえる。また、核とゴルジの相対的位置関係が、中胚葉細胞の遊走方向の規定に関わるかどうか、非常に興味深い問題が提示された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakazawa F, Alev C, Shin M, Nakaya Y, Jakt LM, Sheng G, "PBRL, a putative peripheral benzodiazepine receptor, in primitive erythropoiesis" *Gene Expression Patterns* Vol.9 2 pp114-121 (2008)

(総説)

Nakaya Y., Sheng G. "An amicable separation: chick's way of doing EMT", *Cell Adhesion & Migration* Vol.3 2 pp160-163 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

RhoA and Microtubule Dynamics Control Cell-Basement Membrane Interaction in EMT during Gastrulation
Nakaya Yukiko, Sukowati W. Erike, Sheng Guojun, ASCB/JSCB/RIKEN CDB Meeting kyoto Japan 2009

Control of Organ Size by Circadian Clock

研究者氏名：新沼 協 Niinuma, Kanae

受入研究室：植物科学研究センター

細胞機能研究ユニット

(所属長 杉本 慶子)

植物は、自らの生息する環境に適応するために自身の器官サイズを変えろという、ほかの生物にはない能力を持つ。光合成を行う植物にとって特に重要な光への応答や、昼夜などの周期的変化を予測するための概日時計は、それぞれの機構に関して古くから研究が行われている。さらに、多くの関連因子欠損変異体が器官サイズ異常を示す事が報告されている。一方、器官サイズは細胞の数と各細胞の大きさによって決まる。さらに、高等植物の細胞の大きさは、核内倍加による細胞質の増加とその後の膨圧変化等による細胞体積の増加により制御されるというモデルが示されている。

本研究は、光および概日時計を含む外的環境の変化が、細胞レベルでの複雑な経路を介してどのように植物の器官サイズを制御するかを明らかにすることを目的とし、研究を行っている。

所属研究室の先行研究により、シロイヌナズナのトライヘリックス型の転写因子である *GT-2-LIKE1* (*GTL1*) 遺伝子が、トライコームの細胞成長を抑制することが明らかになっている。*GTL1*の機能を低下

せた植物体ではトライコームが2倍以上大きくなるとともに、核相の劇的な増加が観察された。

本年度は、*GTL1*およびその相同性因子の機能欠損変異体を用い、トライコーム以外の器官サイズの解析を行った。公開されているDNAアレイデータベースを調べたところ、この*GTL1*の発現は明暗の変化に応答するとともに、概日リズムを示すことが示唆された。

本変異体の様々な光条件や光周期条件下における器官サイズのおよび核相の解析を行った。さらに、細胞生物学的な観点からの解析および器官サイズ関連遺伝子の発現解析を行っている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

新沼協, Christian Breuer, 河村綾子, 杉本慶子: "新規転写因子AtGTL1およびその相同性因子欠損変異体を示す器官サイズ異常の解析", 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 3月 (2010)

XX - 034 MEMSに基づく定量的な摂動・測定による生命システムの解析

Analysis of Biological Systems by Quantitative Perturbations and Measurements with MEMS Technology

研究者氏名：山田 陸裕 Yamada, Rikuhiro

受入研究室：発生再生科学総合研究センター

システムバイオロジー研究プロジェクト

(所属長 上田 泰己)

生命システムは複雑に変化する環境刺激に適切に対応するための仕組みを備えている。その仕組みを解き明かすために、培養細胞及び組織片に対して定量的かつ動的な摂動を与え応答を測定する技術の開発を行う。そのための柔軟な基盤技術を得るためにMEMS技術や微細流路技術に着目し、生物学的応用を目指した灌流培養系の開発を進めている。

昨年度までにフォトリソグラフィ技術を用いて中央部に直径1mm、深さ50μmの円形のチャンバーを持ったPDMS(Polydimethylsiloxane)製の試験用流路を作成し、哺乳類培養細胞を1週間程度培養することに成功した。本年度は微細流路内での安定した細胞培養条件を詰めることに苦労はしたものの、流路全体を適切な温度と湿度に保つ方法、培地交換の

頻度、流路内に注入する細胞密度調整法、気泡侵入を防ぐ工夫などの知見を蓄積し、ホタルルシフェラーゼ遺伝子をレポータ遺伝子として組み込んだ培養細胞系列を微細流路内で培養することにも成功した。今後は、リアルタイムでレポータ遺伝子の発現を観察するためのシステム構築を行い、併せて時間的に定量的に制御された刺激を細胞へ与える実験系を構築する。このような要素技術の開発を進めながら細胞が環境刺激に対して応答する様子を観察することで、細胞が環境刺激の中から互いに相関するものを取り出す能力を持つか検証することを目指す。

また、哺乳類体内時計の中核として知られる脳神経核である視交叉上核の一細胞発光測定技術と、ETHZ(スイス連邦工科大学) A. Hierlemann研究室の高密度多電極アレイを用いた共同研究により、神経細胞内での時計遺伝子の活動をリアルタイムで捉えながらその電気的な活動を同時に計測するための測定系を構築している。この計画では高密度多電極ア

レイ上で視交叉上核組織スライスの長期培養を初期目標としており、今年度はマウス新生児からの視交叉上核組織切片を採取し従来型の多電極アレイ上で培養しながら活動電位の概日周期を測定することに成功した。さらに、視交叉上核神経細胞の分散培養においては高密度多電極アレイを用いた活動電位測定にも成功した。今後はさらに培養条件検討を行い、また微細流路技術を活用しながら脳組織スライスの高密度多電極アレイ上での培養を実現する予定である。さらには電氣的・化学的に定量的な摂動を行うことを視野に入れている。

●誌上发表 Publications

(総説)

山田 陸裕, 上田 泰己, "大規模データの解析における問題点 DNA マイクロアレイによる遺伝子発現量の測定を例として" 蛋白質 核酸 酵素 Vol.54 10 pp1307-1317 (2009)

XX - 035

死細胞貪食に伴う免疫寛容誘導メカニズムの解明

Mechanism of Tolerance Induction toward Dead Cell-associated Antigen

研究者氏名: 浅野 謙一 Asano, Kenichi

受入研究室: 免疫アレルギー科学総合研究センター
自然免疫研究チーム
(所属長 田中 正人)

死細胞を貪食した食細胞は、死細胞付随抗原に対して免疫寛容を誘導、あるいは免疫を活性化する。この正反対な貪食後の免疫応答は、細胞死の誘導方法や死細胞の貪食方法によって決定づけられると考えられている。たとえば、組織のnatural turn overの結果としてアポトーシスを起こした自己死細胞は、通常自己に対する免疫寛容を誘導すると考えられている。

一方、腫瘍細胞にガンマ線照射して細胞死を誘導し、これをマウスに皮下投与すると腫瘍細胞に対する免疫が活性化され腫瘍を拒絶できるようになる。この現象は実験的な「腫瘍ワクチン」として利用されているが、その作用機序はよく分かっていない。本研究では、より効果的な腫瘍免疫誘導方法を開発するためにまず、皮下投与された腫瘍死細胞を貪食、抗原提示する食細胞を同定した。

リンパ節洞 (lymph node sinus) は輸入および輸出

リンパ管を結ぶリンパ液の通り道である。リンパ節洞には洞マクロファージ (sinus macrophage) と呼ばれるCD169陽性食細胞の一群が存在し、リンパ流中の抗原分子を選択的に取り込んでいると考えられているがその役割は明らかにされていない。我々の研究室ではすでに、CD169陽性細胞のみを選択的に消失できる遺伝子改変マウス (CD169-DTRマウス) を作成している。このマウスに腫瘍死細胞を免疫し、洞マクロファージ消失時の細胞付随抗原提示能がどのように変化するか調べた。

その結果、

(1) 皮下投与された腫瘍死細胞はリンパ流に乗って所属リンパ節に運ばれ、リンパ節洞マクロファージに取り込まれること。

(2) リンパ節洞マクロファージが、腫瘍死細胞付随抗原をCD8陽性T細胞にクロスプレゼンテーションすること。

(3)リンパ節洞マクロファージ非存在下では腫瘍死細胞を免疫してもCD8T細胞が活性化されず、腫瘍に対する免疫が得られないこと。したがって腫瘍を拒絶できないこと。

を示した。

これらの知見は、腫瘍死細胞に対する免疫反応活性化にリンパ節洞マクロファージが深くかかわっていることを証明するものである。

XX - 036 破骨細胞分化誘導時のカルシウム動態制御機構の解明

The Clarification of the Regulatory Mechanism of Calcium Dynamics During Osteoclastogenesis

研究者氏名：黒田 有希子 Kuroda, Yukiko

受入研究室：脳科学総合センター

発生神経生物研究チーム

(所属長 御子柴 克彦)

近年、骨形成機構の分子レベルでの解析が盛んに行なわれており、その結果、骨吸収活性を持つ破骨細胞の分化や活性化に細胞内カルシウム動態が深く関わっていることが明らかとなってきた。そこで本研究では、細胞内のカルシウム貯蔵庫である小胞体に局在するカルシウムチャンネル、イノシトール3リン酸受容体(IP₃R)の結合タンパク質によるIP₃Rの活性制御機構に重点をおき、破骨細胞分化時のカルシウム動態制御メカニズムを解明することを目的とした。

本年度も昨年度に引き続き、IP₃R結合タンパク質の一つであるIRBITの機能に着目して研究を行ってきた。培養細胞株HeLa細胞を用いた実験系ではIRBITが細胞内カルシウム動態に影響を及ぼすことが既に報告されているが、生体内におけるIRBITの役割は未だ不明である。そこで、当研究室ではIRBITノックアウトマウスを作製し、様々な解析を行なっている。本年度はマウス個体解析を行なうまでには至らなかったものの、IRBITノックアウトマウス由来の細胞を用いた解析により、IRBITをノックアウトすると破骨細胞分化が亢進する傾向にあることが分かった(未発表データ)。この結果から、破骨細胞においてもIRBITが細胞内カルシウム動態に影響を及ぼす因子であることが強く示唆され、今後IRBITノックアウトマウスの解析を続けていくことにした。また、昨年度から行なっている破骨細胞分化時、および未分化時のIRBIT結合タンパク質のスクリーニングでは、今の所、野生型とIRBITノックアウトマウス由来の細胞間で発現に差があるものは見いだせていない。また、昨年度から注目して来

たE3リガーゼに関しても、IRBITをノックアウトしたことによるE3リガーゼの局在、発現等に変化はなかった。これらの結果より、まずはIRBITの機能を明らかにすることに集中し、IRBITがどの時点で重要な働きをもち、カルシウム動態に影響を及ぼしているのかを明確にしてから、IRBIT結合タンパク質の解析を行なうことにした。

●誌上発表 Publications

Kiefer H, Mizutani A, Iemura S, Natsume T, Ando H, Kuroda Y, Mikoshiba K, "Inositol 1, 4, 5-triphosphate receptor-binding protein released with Inositol 1, 4, 5-triphosphate (IRBIT), associates with components of the mRNA 3' processing machinery in a phosphorylation-dependent manner and inhibits polyadenylation" The Journal of Biological Chemistry Vol.284 16 pp10694-10705 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

IRBITの中樞神経系における分布について: 水谷 顕洋, 御子柴 克彦, 安東 英明, 黒田 有希子, 河合 克宏, 第32回日本神経学会, 名古屋, 日本 2009 9

生体内における破骨細胞分化はカルシウムオシレーション依存的・および非依存的メカニズムによって制御されている: 黒田 有希子, 久恒 智博, 中村 健, 松尾 光一, 御子柴 克彦, 第10回運動器科学研究会, 東京, 日本 2009 9

Clarification of the Mechanism in Memory B Cell Development and Its Maintenance

研究者氏名：米谷 耕平 Kometani, Kohei

受入研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター

分化制御研究グループ

(所属長 黒崎 知博)

免疫系は、生体が病原体や異物から個体を守るために獲得した機構である。この中で「免疫記憶」と呼ばれる現象は、生体が一度感作された抗原に再び暴露された際に、2度目以降は1回目とは違い、より迅速に、より強力に応答し、効率良く異物を排除することのできる現象である。免疫記憶は様々な細胞により維持されていると考えられているが、その中でも、記憶B細胞は長期間にわたる抗体の産生を担う細胞であると考えられている。記憶B細胞は一次免疫応答において反応の主役となるナイーブB細胞とは異なった独特の性質を持つと考えられているものの、その誘導機構、長期維持機構をはじめとした基礎的知識については未だに不明な点が多い。そこで私は記憶B細胞の特徴を実験的に明確に示し、その分子基盤を明らかにする事を目的として本研究を計画した。

始めに、記憶B細胞の特徴として古くから考えられている迅速反応性、強固な応答性の*in vivo*での検証を試みた。できる限り等しい条件の記憶B細胞とナイーブB細胞を単離するために、同一の抗原特異性を持つB細胞受容体(BCR : B cell receptor)ノックインマウスを用いた。単離したそれぞれのB細胞の能力を検定するために、これらB細胞をCD4 T細胞と混合

し、他のリンパ球が存在しないRag1 KOマウスに養子移植した。その後、抗原を投与し、抗体産生細胞(AFC : Antibody-forming cell)への分化に着目し解析を行った。すると、記憶B細胞はナイーブB細胞と比較してAFCへ分化するまでの時間が短く、また分化する細胞の割合が高いことが分かった。これらの結果から、記憶B細胞が二次免疫応答において迅速に反応する事が*in vivo*において示され、また、強力な応答能は記憶B細胞がナイーブB細胞よりもAFCに分化する傾向が高いためであることがその原因の一つとして示唆された。

続いて、記憶B細胞がAFCに分化しやすいという現象の分子機構を解明するために、AFC分化に必要な遺伝子の発現を定量的PCRを用いて解析した。その結果、記憶B細胞は抗原に暴露される前の段階において、AFCに分化する際には発現が低下する必要がある分子群の発現が既に低下していることが分かった。このことは、記憶B細胞がナイーブB細胞よりも分化段階がAFCにより近づいた言わば、“Ready to go”の状態の細胞である事を示唆している。

引き続き、どのような因子が上記のような記憶B細胞の分化段階を規定しているのかを明らかにしていきたい。

減数分裂期におけるクロマチン因子の
常染色体／性染色体領域間移動の分子メカニズムの解明

Functional Analysis of Mechanism of Chromatin Factor Transfer Between Autosomes and Sex Chromosomes During Meiotic Prophase

研究者氏名：堀澤(高田) 幸 Horisawa-Takada, Yuki

受入研究室：免疫アレルギー科学総合研究センター

免疫器官形成研究グループ

(所属長 古関 明彦)

減数分裂における染色体の相対的遺伝子組換えは、遺伝情報の多様性を生み出すために非常に重要である。その際、常染色体はお互いの相同性を認識

して対を形成するが(対合)、相同性の少ない性染色体は非常に短い相同領域で対合する。性染色体の不对合部分はヘテロクロマチン化し、XY体という特殊

な核内構造を形成する。XY体は性染色体の対合状態を安定に維持し、また、転写抑制に寄与すると考えられている。我々はこれまでに、XY体の形成維持にポリコーム群(PcG)複合体と呼ばれる巨大なタンパク質複合体が関与することを明らかにしてきた。XY体の形成不全は不妊になることが知られており、本研究では、XY体形成に関わる分子のさらなる同定とその制御機構の解明を目指している。

ヘテロクロマチンタンパク質HP1 γ は、ヒストンH3の9番目のリジンのメチル化を認識してクロマチンに結合し、高次のクロマチン構造変換に関わる分子である。我々は、HP1 γ 遺伝子欠損マウスの雄の表現型の解析から、常染色体対合完了に伴いHP1 γ はリン酸化ヒストンH2AX(γ H2AX)と複合体を形成して常染色体から解離し、性染色体領域に移動することでXY体形成のトリガーになると考えた。しか

し、HP1 γ 欠損マウスは雌雄ともに不妊であり、雌でも常染色体の対合阻害が起こっていることが明らかとなった。更なる表現型の解析から、対合の際、染色体の相同性認識を正確に行うためにはセントロメリックヘテロクロマチンが重要な役割を果たしており、そのクロマチン構築(ヒストンH3のメチル化)にHP1 γ が必要で、欠損マウスではそれがうまくいかずに対合障害が起こることが示唆された。また、減数分裂期後期に起こる染色体分離の過程でも異常が観察され、HP1 γ という分子は雌雄問わず減数分裂期における複数の重要なプロセスに関与していることが明らかとなってきた。今後は、HP1 γ 遺伝子欠損マウスの表現型を詳細に解析するとともに、XY体形成に関わる新たな分子を同定し、常染色体/性染色体間での分子のクロストークの解明を行っていききたい。

XX - 040 高精度な集団スパイク時系列を用いた皮質局所回路の解析 Spatiotemporal Analysis of Firing Patterns in Cortical Local Circuit using Multi-Unit Recordings with Accurate Spike Sorting

研究者氏名：竹川 高志 Takekawa, Takashi
受入研究室：脳科学総合研究センター
脳回路機能理論研究チーム
(所属長 深井 朋樹)

脳の情報処理様式を理解するためには、神経細胞集団の出力が何をどのように符号化しているかを明らかにすることが重要である。そのためには、生理学実験により多くの神経細胞の活動を同時に記録する技術を開発することと、得られた神経細胞の集団活動電位時系列からどのような情報処理が行なわれているかを読み解く精度の高い解析手法が必要となる。

複数細胞の活動電位時系列を同時に測定する手法としては、多点電極による細胞外記録が広く用いられている。細胞外記録によるデータには多数の神経細胞の活動電位が様々な雑音とともに含まれており、特定の神経細胞の時系列を正しく推定すること容易ではないが、ほぼ自動化された手続きで誤り率の低い活動電位時系列を得ることを可能とする新しいアルゴリズムを開発し、その実装を公開した。

集団活動電位時系列の解析としては、これまで発火率の変化や特定の発火パターンが繰り返し現れる

現象や同期発火現象など個々の現象に注目されそれぞれ研究が進められてきたが、今後さらに研究を推し進めるために、集団発火時系列の性質一般を大域的に解析する普遍的な手法が必要となる。そこで、特定の時刻の発火パターンを適切な高次元空間内の状態にマッピングし、その空間内で状態の時間変化を解析する手法を開発した。このような発火パターン同士の類似性を定義することにより、カーネルトリックと呼ばれる手法により解析はこれまでも行われてきたが、新たに提案する手法では発火時刻を厳密に扱い、個々の神経細胞の発火率を適切に補正することにより高精度な解析を可能としている。

この提案手法を用いて、神経細胞集団の発火時系列がどのような情報をどのように符号化しているかを抽出する。特に近年報告されている大脳皮質の浅層と深層で大きく発火率が異なるという実験結果から、大脳皮質の各層はそれぞれ異なった様式の情報処理を行っているという仮説を立て、課題遂行中

ラットの運動野から複数の層から得られた活動記録を詳細に解析することにより、仮説の検証を行っている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takekawa T, Fukai T, "A novel view of the variational Bayesian clustering" *Neurocomputing* Vol.72 13-15 pp3366-3369 (2009)

Isomura Y, Harukuni R, Takekawa T, Aizawa H, Fukai T, "Microcircuitry coordination of cortical motor information in self-initiation of voluntary movements" *Nature Neuroscience* Vol.12 12 pp1586-1593 (2009)

Takekawa T, Isomura Y, Fukai T, "Accurate spike-sort-

ing for multiunit recordings" *European Journal of Neuroscience* (in press)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Isomura Y, Harukuni R, Takekawa T, Aizawa H, Fukai T, "Different functional diversity of excitatory and inhibitory neurons across cortical layers in voluntary movement" 36th International Congress of Physiological Sciences Kyoto Japan 2009 7-8

(国内学会等)

竹川高志, 磯村宜和, 深井朋樹, "神経細胞集団のスパイク時系列からの情報抽出" 日本物理学会第65回年次大会 岡山 日本 2010 3

XX - 041 哺乳類の脳発達における REM 睡眠の生理的意義の遺伝学的解析

Genetic Analysis of the Function of REM Sleep in Mammalian Brain Development

研究者氏名: 林 悠 Hayashi, Yu

受入研究室: 脳科学総合研究センター

行動遺伝学技術開発チーム

(所属長 糸原 重美)

夢を見ることで良く知られるREM(急速眼球運動)睡眠は、高等脊椎動物に固有の現象であり、脳の何らかの高次機能に関わると考えられる。REM睡眠中の脳では、他の睡眠段階あるいは覚醒時と比べても神経活動が活発であることから、REM睡眠の生理的意義は単なる休息とは考えにくい。本研究ではREM睡眠の生理的意義を調べるに当たり、REM睡眠が生誕前後に最も頻繁に見られるという知見に着目し、脳発達に関わる可能性を検証する。胎児や新生児には従来の睡眠阻害方法である覚醒強制や手術を適用することは困難であることから、本研究ではマウスを用いた遺伝学的手法によるREM睡眠の阻害を試みる。具体的には、マウス脳においてREM睡眠の制御を担う神経核を同定し、人為的に神経活動を抑制する遺伝子を発現させ、これにより一定期間REM睡眠を低下させ、脳発達への影響を評価することを目指す。

上記の目的を達成するために、次の3種類のトランスジェニックマウスの作製を行うこととした: ①REM睡眠中枢神経核に選択的にDNA組み換え酵素Creを発現するもの、②DNA組み換え酵素Creの存在

下でREM睡眠中枢神経核に選択的に薬剤感受性転写因子tTAを発現するもの、③tTA存在下で神経活動抑制遺伝子を発現するもの。最終的には3種類すべての組み換え遺伝子を有する三重トランスジェニックマウスを作製することにより、薬剤制御下でREM睡眠を調節できるものと期待される。本年度は、個々のマウス系統の作製を行ったので、今後これらの系統の交配および表現型解析を進める。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hayashi Y, Hirotsu T, Iwata R, Kage-Nakadai E, Kunitomo H, Ishihara T, Iino Y, Kubo T, "A trophic role for Wnt-Ror kinase signaling during developmental pruning in *Caenorhabditis elegans*" *Nature Neuroscience* Vol.12 8 pp981-987 (2009)

(総説)

林 悠, "ニューロン同士をつなぐ神経突起の除去か維持かの決定における Wnt-Ror 経路の役割" *実験医学* Vol.28 1 pp78-81 (2010)

Role of Cadherins in Avian Vocal Learning

研究者氏名：松永 英治 Matsunaga, Eiji

受入研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(所属長 岡ノ谷 一夫)

鳥類の中でも鳴禽類に属する鳥は、幼鳥期に親鳥を真似て発声を学習することから、優れたヒトの言語学習モデルとされる。本研究は、シナプス近傍に局在し、特異的な神経回路の形成や、シナプス構造の維持や機能発現に関わることが予想されるカドヘリン分子を中心に、鳥の歌学習期の神経可塑性を支える分子基盤を探ることを目的としている。

これまでに、歌鳥のジュウシマツの脳内では、親の歌を聴いて覚え自ら真似て練習し歌を習得する過程で、RA核において発現するカドヘリンのサブタイプが*cadherin-7*から*cadherin-6B*へと変化すること、さらに、レンチウイルスベクターを用いた強制発現実験より、この神経核での*cadherin*の発現変化が、正常な歌学習に必要なことなどを明らかにしてきた。2年目の今年度は、1年目の結果の検証を行う意味でも実験個体数を増やすとともに、*cadherin-6B*の強制発現実験や、RNAiによる発現抑制など様々な実験を試みた。また、細胞レベルでの解析を行うため、初代分散培養系を用いた研究や、シナプスマーカーを用いた免疫染色による*cadherin*分子の細胞内局在の確認実験なども新たに試みた。ヒナの時期に親鳥と離して飼育すると、鑄型となる親の歌情報がないため、ヒナ鳥は成鳥後もヒナの時期と同様、規則性のない歌をうたうようになる。そこで、*cadherin*の発現が生得的なものか、それとも歌の発達段階を反映して変わりうるものなのかどうかを探るため、親鳥と一緒に育てた鳥と、親鳥から隔離して育てた鳥との間で、*cadherin*の発現変化を比較した。神経可塑性に関わるとされる因子の中には、正常飼育と隔離飼育で発現量に差が出るものがみられたが、*cadherin*については、正常飼育の場合と同様、*cadherin-7*の発現低下と、*cadherin-6*の発現上昇

がみられ、*cadherin*の発現制御は、飼育環境や、歌の発達段階にはよらず、生得的なものであると考えられた。

これらのことから、*cadherin*は、歌の発達段階を反映して発現量を変えるのではなく、発達に伴って発現量を変化させることにより、生得的に歌の学習段階を制御していると考えられた。これらの研究内容について、国内外の学会で成果の発表を行うとともに、現在、論文を作成しているところである。

●誌上发表 Publications

(総説)

1. "Evolution and diversity in avian vocal system: An Evo-Devo model from the morphological and behavioral perspectives" Matsunaga E, Okanoya K, Development, Growth and Differentiation Vol.51 3 pp355-367 (2009)
2. "鳥のさえずり行動と四つの質問:動物行動学における進化論" 加藤 陽子, 山内 肇, 松永 英治, 岡ノ谷 一夫, 現代思想 Vol.37 5 pp154-163 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

3. "鳥類の発声学習を支える分子基盤" 松永 英治, 岡ノ谷 一夫, 第170回日仏生物学会例会 / 東京 日本 2009 6
4. "鳥類の歌学習を支える分子基盤" 松永 英治, 岡ノ谷 一夫, 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会 (CompBiol 2009) 豊中 日本 2009 10
5. "鳥類の発声学習システムをモデルとした神経回路の進化と多様性獲得の分子基盤": 松永 英治, 2009 年日本発生物学会 秋季シンポジウム 2009 11

研究者氏名：脇坂 崇平 Wakisaka, Sohei

受入研究室：脳科学総合研究センター

創発知能ダイナミクス研究チーム

(所属長 山口 陽子)

我々が発見した錯視現象(Diagonal Mesh Pattern: DMP)は、視覚系において自発活動と外部刺激由来活動が並列的に共存し、それぞれアイデンティティを保ちつつ相互作用を行うことにより生じていると考えられる。このような現象は他に知られておらず、また想定もされてこなかった。21年度は、前年度に引き続きDMPの解析を行い、またより高次の自発活動(思考コンテンツの自発的変移)に関する実験計画を進めた。

(1)DMPの基本的な特性を調べる視覚実験、考察を進めた。付随して、いくつか知られていない視覚現象を特定した(来年度発表予定)。

(2)DMPと同等のメカニズムによると思われる錯視現象Virtual Line(仮)を発見した。予備的な心理物理実験とともに、その新奇性、妥当性を含めた議論・考察を進めた。

1,2について、ポスター発表等を含めいくつかの学会、ワークショップにて発表した。

(4)社会神経科学と呼ばれる分野にて、循環論法的統計解析が少なからずなされている、という指摘が最近なされた(Vul, et al. in Psychological Science, 2008)。これに関連し、推論形式一般、及びヒトの内観(自らの推論に不可避的に潜在すると考えられる循

環論法)についての考察、発表を行った。こういったテーマは、現在においては哲学上のみのものではなく脳科学そのもので扱うものとなりつつある。特に、数年来脳科学上で実験、理論研究両面で取り扱われているpostdictionと呼ばれる概念は、ヒトの知覚認知及び思考が循環論法的であることを示している。自発的な思考コンテンツの変容は、postdictive(すなわち循環論法的な)脳内プロセスをもっとも如実に反映しているという作業仮説に基づき、他研究チーム研究者らとともに仮想現実空間を用いてそのような変容を実現する認知実験の構築を行った。本実験については21年度中に最初の発表を行う予定である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

New interocular transfer and illusory conjunction during binocular rivalry Wakisaka S, Neuroscience 2009, Okazaki Japan 2009 9

(国内学会等)

脇坂崇平, 科学基礎論学会総会 東京 日本 2009 6

脇坂崇平, 科学基礎論学会研究例会 東京, 2009 10

研究者氏名：磯部 圭佑 Isobe, Keisuke

受入研究室：基幹研究所

緑川レーザー物理工学研究室

(所属長 緑川 克美)

光学顕微鏡は生体機能観測における非常に有用なツールとなっている。細胞内分子を識別するためには、分子の分光情報を利用する必要がある。昨年度の研究において、超広帯域パルスを用いることにより、非線形光学効果(誘導パラメトリック発光、反ス

トークスラマン散乱、2光子蛍光など)における分子の分光情報を一括取得できることを実証した。また、2光子蛍光や反ストークスラマン散乱を用いた非線形顕微鏡において、分光情報に基づき超広帯域光パルスのスペクトル位相を制御することにより、特

定種類の分子のみを選択的に可視化する手法を実現した。本年度は昨年度開発した選択的可視化可能な顕微鏡の実用性を確認した。また、分子の分光情報を用いた超解像イメージング手法の研究に取り組んだ。

(1) 昨年度開発した選択的可視化可能な顕微鏡を用いて、2種類の蛍光分子により標識した生物試料(HeLa細胞)を観察した。位相変調器を用いてスペクトル位相を変化させることにより、瞬時に観察したい分子を切り替えることと同時観察が可能であることを確認し、マルチカラーイメージングを行った。また、マルチカラーイメージングの応用として、ヒスタミンによる刺激前後のカルシウムイオン濃度の変化を計測し、生体機能観察が可能であることも実証した。

(2) 2波長励起の新しい超解像イメージング技術の研究を行った。2波長の光励起により分子が状態Aと状態Bの状態間を繰り返し光遷移可能な蛍光たんぱく分子(Dronpa)を用いた。繰り返し光遷移を行った後に蛍光を発する過程は逐次的多光子過程とみなすことができるため、非線形性が得られ、超解像イメージングが可能となる。本手法を実現するためには、何回繰り返し光遷移を行った後の蛍光であるか知る必要があるため、一方の励起光に時間的な強度変調を行い、繰り返し遷移の回数を判別した。1回繰り返し光遷移を行った逐次的多光子励起を用いることにより、従来の共焦点顕微鏡より、面内方向では2倍、光軸方向では3倍の空間分解能の向上を確認した。多数回の光遷移を行った逐次的多光子励起を用いることにより、さらなる向上が期待できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Isobe K, Suda A, Tanaka M, Hashimoto H, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Single-pulse coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy employing an octave spanning pulse" *Optics Express* Vol.17 14 pp11259-11266 (2009)
2. Isobe K, Suda A, Tanaka M, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Multifarious control of two-photon excitation of multiple fluorophores achieved by phase modulation of ultra-broadband laser pulses" *Optics Express* Vol.17 16 pp13727-13746 (2009)

3. Isobe K, Suda A, Hashimoto H, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Multifarious two-photon fluorescence microscopy employing ultra-broadband femtosecond laser pulses" *AIP Conference Proceedings*, vol. 1150, *Frontiers in Physics: 3rd International Meeting Kuala Lumpur Malaysia 2009* 1 Springer Germany Berlin pp43-49 (2009)
4. Isobe K, Suda A, Tanaka M, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Selective excitation in nonlinear microscopy by using an ultra-broadband pulse" *Ultrafast Phenomena XVI Stresa Italy 2008* 6 Springer Germany Berlin pp1006-1008 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Isobe K, Suda A, Hashimoto H, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Multifarious control of two-photon fluorescence intensities in multi-labeled cell using a single ultrabroadband light source" *Conference on Lasers and Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference (CLEO/IQEC 2009)* Baltimore USA 2009 6
2. Hashimoto H, Isobe K, Suda A, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Measurement of two-photon excitation spectrum of various fluorophores with Fourier transform nonlinear spectroscopy" *Conference on Lasers and Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference (CLEO/IQEC 2009)* Baltimore USA 2009 6
3. Isobe K, Suda A, Hashimoto H, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Bioimaging by Fourier-transform coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy" *CLEO/Europe-EQEC 2009 Munich Germany* 2009 6
4. Hashimoto H, Isobe K, Suda A, Kannari F, Kawano H, Mizuno H, Miyawaki A, Midorikawa K, "Measurement of absolute two-photon excitation spectrum of various fluorophores with Fourier transform nonlinear spectroscopy" *CLEO/Europe-EQEC 2009 Munich Germany* 2009 6

(国内会議)

1. 磯部 圭佑, 須田 亮, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "フーリエ変換

- 型コヒーレントラマン散乱顕微鏡" 理研シンポジウム「エクストリームフォトニクスシンポジウム：光で繋ぐ理研の基礎科学」和光 日本 2009 5
2. 橋本 博, 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "フーリエ変換非線形分光法を用いた蛍光蛋白質の2光子励起スペクトル測定" 理研シンポジウム「エクストリームフォトニクスシンポジウム：光で繋ぐ理研の基礎科学」和光 日本 2009 5
 3. 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "光スイッチング機能を用いた擬似多光子蛍光顕微鏡" 第70回応用物理学会学術講演会 富山 日本 2009 9
 4. 橋本 博, 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "フーリエ変換非線形分光法を用いた蛍光蛋白質の2光子励起スペクトル測定(3)" 第70回応用物理学会学術講演会 富山 日本 2009 9
 5. 磯部 圭佑, 須田 亮, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "逐次的多光子励起を用いた超解像蛍光顕微鏡" 第10回エクストリームフォトニクス研究会 蒲郡 日本 2009 11

XX - 046

アミロイドβ毒性多量体の生成メカニズムの 解明へ向けた新規1分子測定法の開発

Development of New Single Molecule Methods to Analyze the Mechanism of Toxic Amyloid Beta Oligomer Formation

研究者氏名：寺田 尚史 Terada, Naofumi

受入研究室：基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

アミロイドβ (Aβ) は4kDaのペプチドでアルツハイマー病の原因物質と考えられている。これまで重合したAβ繊維が病気の原因と考えられていたが、近年可溶性Aβ多量体のほうが高毒性であることが判明した。この多量体の形成過程の詳細は明らかになっていない。明らかになると、アルツハイマー病の発症メカニズムの解明や創薬などに貢献する。形成過程を調べるには、各会合数の多量体が生成する過程を時間と共に調べる必要がある。しかし、溶液中には様々な会合数の多量体が共存しており、溶液全体の値から各多量体の濃度変化を捉えることは困難である。このため、1分子レベルの測定法を用いる必要がある。本研究ではフォトンカウンティングヒストグラム法(PCH)をベースとした新規1分子測定法の開発を行っている。PCHは共焦点光学系を用いたナノテクノロジーで、数百nmオーダーの領域を拡散する分子の蛍光のヒストグラムを解析し、会合数と濃度を求めることが出来る。しかし、現状では解析に非常に時間がかかるため、時間変化測定部分は新規開発する必要がある。本年度は生理的濃度条件下での蛍光Aβ多量体の作成及びPCHの実験系の整備を行った。

(1)生理的濃度条件下で蛍光Aβ多量体を作成した。1分子解析法を用いることで生理的濃度条件下でのAβ多量体形成が観察可能であると考えられる。実際に生理的濃度条件下で蛍光Aβ多量体を作成し、全反射蛍光顕微鏡で観察したところ観察が可能であることが分かった。今後PCHを用いて生成過程の研究を行う。

(2)PCHの実験系の整備を行った。解析を高速化するため、解析ソフトの高速化を検討した。新しく作成した部分に関しては従来より数十倍高速化することが分かった。また、これまで手動で行っていた光学系の調整を一部自動化した。これにより実験を行う前の準備過程が大幅に短縮された。

これらによりAβの多量体化過程の研究への道が開けつつあると考えられる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Zako, T., S. Banba, M. Sahlan, M. Sakono, N. Terada, M. Yohda, M. Maeda. "Hyperthermophilic archaeal pre-foldin shows refolding activity at low temperature." BBRC. (2009) Nov 15. [Epub ahead of print]

Zako, T., H. Nagata, N. Terada, A. Utsumi, M. Sakono, M. Yohda, H. Ueda, K. Soga, and M. Maeda. "Peptide-labeled Upconversion Nanophosphors for Tumor Cell-targeted Imaging" BBRC. (2009) 381, 54-58

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

寺田尚史, 座古保, 迫野昌文, 前田瑞夫: "新規一分子解析法を用いたアミロイドβ多量体の解析", 第47回 日本生物物理学会年会, 徳島, 11月(2009)

寺田尚史, 座古保, 迫野昌文, 前田瑞夫: "フォトンカウンティングヒストグラム法 (PCH) と全反射蛍光顕微鏡 (TIRFM) を用いたアミロイドβ多量体の解析", 第9回 日本蛋白質科学会, 熊本, 5月(2009)

XX - 047

磁性体材料への超短パルスレーザー照射に関する研究 Study on Ultrashort Pulse Laser Irradiation of Magnetic Materials

研究者氏名: 中嶋 聖介 Nakashima, Seisuke

受入研究室: 基幹研究所

緑川レーザー物理工学研究室

(所属長 緑川 克美)

エレクトロニクス分野における超短パルスレーザープロセスの応用として、基板上または材料内部に様々な機能性物質を形成させる試みや、それらの機能性材料を微細且つ複雑に加工可能な技術の開発が注目されている。

(1) 遷移金属イオンAuおよび磁性イオンFe、さらに還元剤としてのAlを含むSiO₂-Na₂O-CaO系ホスト透明ガラスを作製し、内部へのフェムト秒レーザー照射、引き続き低温(450℃)における熱処理を行った。レーザーを内部に集光照射すると、照射部のみが灰色に着色し、その後の熱処理においては着色部分が黄色へと変化した。一方、500℃以上の熱処理を加えた場合、試料全体が赤色に着色する。超伝導量子干渉計(SQUID)を用いて室温における磁気特性の変化を調べたところ、レーザー照射前、照射後、熱処理後で比較した場合、熱処理後の磁化がもっとも大きくなった。レーザー照射により位置選択的にAuおよびFeが原子状態に還元され、熱処理によりそれらが凝集し微結晶を形成したと予想される。FeとAuは強電場を有するレーザー照射条件下では、平衡状態ではみられない合金を形成する可能性がある。これについて、現時点で同定していないため、今後X線回折測定による結晶構造の調査、透過電子顕微鏡による直接観察を早急に行う必要がある。

(2) 超短パルスレーザープロセス技術を用いた半導体材料の微細加工に関する研究に取り組んだ。現在、青色または紫外領域における発光デバイスに应用されている窒化ガリウムに対して、低コストかつ

高効率な新しいプロセス技術の開発が望まれている。本研究では、そうした従来の手法とは異なる加工技術として、化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーション法を提案している。本手法では、フェムト秒レーザーの局所的な加熱現象が引き起こすアブレーション反応を酸溶液中において行うことで、周辺部分における改質領域、および反応時に生成するアブレーションデブリの効率的な除去により、高品質な加工が達成される。現在、シングルパルスによる最小加工痕径は200nm以下に達している。本手法を用いて、微小な加工痕を半導体発光デバイス表面に周期的に配置した光取り出し効率を向上させる機能をもつフォトニック結晶の試作も行った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Fabrication of micro- and nano-craters on the surface of GaN substrates by using wet-chemicals assisted femtosecond laser ablation", Journal of Laser Micro/Nanoengineering, 4, 75 (2009).

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Fabrication of microchannels in single-crystal GaN by wet-chemical-assisted femtosecond-laser ablation", Applied Surface Science, 255, 9770 (2009).

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Micro and Nanofabrication of GaN by Wet-Chemical-Assisted Femtosecond Laser Ablation", Proceedings of NMH-

MT2009, 18367 (2009).

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Improvement of resolution in nano-fabrication of GaN by wet-chemical-assisted femtosecond laser ablation", *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 5, 21 (2010).

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Periodical micro/nano-structuring on GaN substrates by wet-chemical-assisted femtosecond laser ablation for blue LED", *Applied Physics A*, submitted.

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Periodical micro/nano-structuring by wet-chemical-assisted femtosecond laser ablation for blue/uv LED", *The 5th International Congress on Laser Advanced Materials Processing*, Kobe, Japan, Jun. (2009)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Periodical micro/nano-structuring on GaN substrates by wet-chemical-assisted femtosecond laser ablation for blue/uv LED", *10th International Conference on Laser Ablation*, Singapore, Nov. (2009)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Micro and

Nanofabrication of GaN by Wet-Chemical-Assisted Femtosecond Laser Ablation", *2nd ASME Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference (MNHMT2009)*, Shanghai, China, Dec. (2009) (Invited)

(国内学会等)

中嶋聖介, 杉岡幸次, 緑川克美: "ウェットケミカル支援フェムト秒レーザーアブレーションによるマイクロ/ナノ周期構造形成", 第9回エクストリームフォトニクスシンポジウム, 和光, 5月 (2009)

中嶋聖介, 杉岡幸次, 緑川克美: "化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーションによるGaN基板へのナノ周期構造形成", 2009年秋季 第70回応用物理学会学術講演会, 富山, 9月 (2009)

中嶋聖介, 杉岡幸次, 緑川克美: "化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーションによるGaN基板表面へのナノ周期構造形成", 第10回エクストリームフォトニクス研究会, 蒲郡, 11月 (2009)

伊藤卓真, 中嶋聖介, 杉岡幸次, 緑川克美: "化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーションを用いて作製したマイクロ/ナノ周期構造", 2009年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 3月 (2009) 発表予定

XX - 048

単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出と これを実現するナノ加工プロセスの確立

Development of the Nanofabrication Method for Creating a Single Electron and Molecular Spintronic Devices

研究者氏名: 根岸 良太 Negishi, Ryota

受入研究室: 基幹研究所

石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

近年、従来の電子デバイスの動作原理とはまったく異なる電子の量子力学的性質である電子スピンや準粒子を利用した新概念に基づくナノデバイスの開発が求められている。同時に、このようなナノデバイスの創生を実現し、発展させるためには、従来のトップダウン型微細加工精度を凌駕するナノ加工技術の開拓が必要不可欠となっている。そこで本研究では、トップダウン型微細加工法と分子の自己組織化によるボトムアップ型微細加工法である分子定規法を融合させたハイブリッド型微細加工技術を開

発・発展させることにより、様々な機能性材料に対して数nmの加工精度を有するナノ加工技術の確立と、この技術によってのみ実現される単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出を目的としている。

我々がこれまでの研究で開発してきたハイブリッド型微細加工技術は、分子定規法で用いる自己組織化単分子膜の生成が必須であり、加工可能な材料は自己組織化単分子膜の生成が可能な金や白金に限られてきた。そこで本研究では、このハイブリッド型

微細加工プロセスの改良により、超伝導材料や強磁性体材料など様々な機能性材料に対して加工可能なナノ加工技術の確立を行い、この技術によって作製されたナノスケールオーダーの溝構造を持つナノギャップ電極の有効性を検証した。具体的な成果は下記のとおりである。

(1) 超伝導体(AI・Nb)や磁性体(Co)材料からなるナノギャップ電極の作製に成功した。本手法では、自己組織化単分子膜が生成可能なように、加工対象となる貴金属に多層膜構造(例えば、Au/Nb)を採用した。そして、選択的エッチングプロセスによるAu層の除去を行うことにより、ニオブなど自己組織化単分子膜が生成しない機能性材料に対しても微細加工が可能になった。この手法は、自己組織化単分子膜をレジストとして用いているため、原理的には一分子層単位(～2 nm)でギャップ幅を制御することができる。実際、作製されたギャップ幅はレジストとして用いた単分子膜(多層分子膜)のサイズと良好一致を示しており、これは従来のトップダウン型微細加工精度を凌駕する加工精度である。

(2) リガンドで被覆された金微粒子を、超伝導ナノギャップ電極間に配置させることにより、単一電子素子を作製し、電極間に流れる電流-電圧特性から明瞭なクーロンブロック現象を観察した。さらに、いくつかのリガンド(アルカンチジチオール・ベンゼンジチオール・キシレンジアミン)を採用した結果、キシレンジアミンをリガンドとして用いた単電子素子が最も低い接合抵抗を示した。この結果は、作製された超伝導ナノギャップ電極が、そのギャップ間に微粒子や単一分子を架橋させ、リガンド構造を最適化することにより、新奇な機能を有するナノデバイスの構築に大変有効であることを示

唆している。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Negishi Ryota Nishino Takayuki Yamaguchi Tomohiro Ishibashi Koji "Fabrication of superconducting nanogap electrodes using a combination of self-assembled monolayer and conventional lithographic techniques" Micro and Nano Engineering 2008 (MNE08) athens greece 2008 9
2. Negishi Ryota Nishino Takayuki Ishibashi Koji Tanaka Hirofumi and Ogawa Takuji "Fabrication of superconducting and ferromagnetic nanogap electrodes using a combination of the conventional lithographic and molecular ruler techniques" Micro and Nano Engineering 2009 (MNE09) Belgium Ghent 2009 9

(国内会議)

1. 根岸 良太, 西野 貴幸, 山口 智弘, 石橋 幸治: "分子定規法と電子線描画法の併用による超伝導ナノギャップ電極の作製", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本 2008 9
2. 根岸 良太, 西野 貴幸, 山口 智弘, 石橋 幸治: "分子リソグラフィ法と電子線描画法を併用したハイブリッド型微細加工法による超伝導ナノギャップ電極の作製", 未踏科学技術協会「飯綱・サイエンスサマー道場2008: 進化・発展するナノエレクトロニクス、その本命は?」, 長野県飯綱町, 日本 2008 8
3. 西野 貴幸, 石橋 幸治, 根岸 良太: "分子定規法と電子線描画法の併用による超伝導Nbナノギャップの作製", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本 2009 3-4

XX - 049 遷移金属酸化物中に導入されたナノ不均一構造の機能開拓 - 抵抗メモリ素子への応用

Development of New Functionality of Nano-scale Phase Heterogeneity in Transition Metal Oxides - Application to Resistive Memory Device

研究者氏名: 藤原 宏平 Fujiwara, Kohei

受入研究室: 基幹研究所

高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

次世代不揮発性メモリ素子への応用の観点から、

遷移金属酸化物絶縁体における抵抗スイッチング現

象が注目されている。しかし、その詳細なメカニズムは未解明である。本報告者はこれまでに、電界印加によって酸化物中に還元的に生成される導電性ブリッジ構造が抵抗変化の舞台であることを明らかにし、その内部での局所酸化還元を抵抗変化の起源として提案してきた。本研究の目的は、抵抗変化のメカニズムを構築すると共に、局所酸化還元に基づいた新規デバイスの開発を行うことにある。本年度の成果概要を以下に示す。

(1) 導電性フィラメントの直接観察

本現象の動作モデルとして、酸化物内部での金属パスの形成と消失に基づくフィラメントモデルが提案されている。しかし、フィラメント構造の直接検出報告はなく物理的イメージに欠けていた。本研究において、CuO素子中に形成されたブリッジ構造を透過型電子顕微鏡により断面観察し、金属Cuを含むフィラメント構造を検出することに成功した。半径50 nm程度のフィラメント領域において増強された電流密度やジュール熱によって引き起こされる局所酸化が高抵抗化の微視的メカニズムとして提案される。本成果はフィラメントモデルを強く支持するものであり、機構解明への大きな手掛かりとなる。

(2) ナノワイヤ型デバイスの開発

上記理解に基づくと、当該デバイス動作の本質は酸化還元可能な金属フィラメントと言える。モデル

素子として、電子線リソグラフィーを用いて遷移金属ナノワイヤ(Ni, Cu, Ti)を作製し、その電流電圧特性を各種雰囲気下(真空、大気、固体酸化物による被覆下など)で評価した。酸素存在下では抵抗スイッチング(高抵抗化)が安定に起こり、それに伴い陽極との界面近傍領域でナノワイヤが酸化されることを明らかにした。電気特性のワイヤサイズ依存性から、酸化の駆動源として電流密度が示唆された。即ち、素子微細化に伴い低消費電力化が期待される。本素子は構造が極めてシンプルであるため、新規メモリ素子として高いポテンシャルを有する。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Fujiwara K, Yajima T, Nakamura Y, Rozenberg M, Takagi H, "Electrode-Geometry Control of the Formation of a Conductive Bridge in Oxide Resistance Switching Devices" Applied Physics Express Vol.2 pp081401-1-081401-3 (2009)

Yasuhara R, Fujiwara K, Horiba K, Kumigashira H, Kot-sugi M, Oshima M, Takagi H, "Inhomogeneous Chemical States in Resistance-Switching Devices with a Planar-type Pt/CuO/Pt Structure" Applied Physics Letters Vol.95 pp012110-1-012110-3 (2009)

XX - 050 半導体量子細線を用いた全電圧制御によるスピン演算素子の開発

The Development of Electrical Controlled Spin-logic Devices by the Semiconductor Quantum Wires

研究者氏名：森本 崇宏 Morimoto, Takahiro

受入研究室：基幹研究所

石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

本研究課題は、近年見出された半導体1次元構造における、自発的なスピン偏極状態を用いることで、現在一般に困難であると考えられているスピン注入の問題を回避しつつ、スピン電流を用いた演算を、全電圧制御下において行うことを目指したものである。これら電子のスピン状態を用いた演算素子は、現在広く用いられている電荷状態を用いた半導体CMOS素子との将来的な融合・代替素子の候補の一つとして期待されているが、伝導体と電極界面の制御の困難性から、開発が大きく遅れているのが現

状であり、スピン偏極状態を直接伝導体内部へ作製する本研究課題の手法により解決されるものと期待している。

本研究課題を実現する上で基礎となる、1次元の伝導体で自然に形成されるスピン偏極状態は、1996年に発見された「0.7アノマリ」という現象と深く関わっていることが指摘されているが、それと共に近年では、スピン偏極状態と相反する「近藤効果」も同様にこの「0.7アノマリ」と深く関係していることがわかってきている。効率的にスピン偏極状態を実現す

るためにはこの現象の原理の解明が必須となっている。

この自然に形成されるスピン偏極状態について、我々が従来から用いてきた並列接続量子細線と印加バイアスによる電氣的なスペクトロスコピーを組み合わせることで、自発的なスピン偏極状態を持つ g 因子の大きさを推定することに成功している。母体のガリウム砒素の値よりも遥かに大きな値の g 因子が得られたことは、磁場を印加しない状態での自発的なスピン偏極状態の発現を示唆する結果となっている。また昨年度から引き続き、細線を結合させた際の影響についても研究を進め、お互いの細線内に形成されるスピン偏極状態が相互作用を行うことで、そのスピン偏極状態自体が阻害される事を示した。特に、細線間を極端に近づけた場合には、その温度依存性から、通常の 5 分の 1 程度の低温においてもスピン偏極状態が消失しており、高温・微細化を目指す際の重要な知見が得られたと考えている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Yoon Y, Kang M, Ivanushkin P, Mourokh L, Morimoto T, Aoki N, Reno J, Ochiai Y, Bird J, "Non-local bias spectroscopy of the self-consistent bound state in quantum point contacts near pinch-off" applied physics letters Vol.94 pp213103-213105 (2009)
2. Yoon Y, Kang M, Morimoto T, Mourokh L, Aoki N, Reno J, Bird J, Ochiai Y, "Detector backaction on the self-consistent bound state in quantum point contacts" Physical Review B Vol.79 12 pp121304-121307 (2009)
3. Ujiie Y, Motooka S, Morimoto T, Aoki N, Ferry D, Bird J, Ochiai Y, "Regular conductance fluctuations indicative of quasi-ballistic transport in bilayer graphene" Journal of Physics-Condensed Matter Vol.21 pp382202-382205 (2009)

XX - 051 クーロン分解法を用いた陽子過剰核の磁氣的遷移強度の決定

Determination of Magnetic Transition Strength for Proton-rich Nuclei Via Coulomb Dissociation

研究者氏名：梅野 泰宏 Togano, Yasuhiro

受入研究室：仁科加速器研究センター

本林重イオン核物理研究室

(所属長 本林 透)

本年度は引き続き陽子過剰核 ^{31}Cl の磁氣的遷移強度測定実験のデータ解析とSAMURAIスペクトロメータを用いた陽子過剰核のクーロン分解実験検討とその実験に必要なストリップ電極付きシリコン半導体検出器からの信号読み出し回路の開発を行った。まず ^{31}Cl クーロン分解実験のデータ解析では、それぞれの検出器から得られたエネルギー情報と位置情報から ^{31}Cl の分解片である ^{30}S と陽子の運動量ベクトルを用いてそれぞれの粒子の運動量ベクトルを得た。さらにそれらを用いて ^{31}Cl の不変質量を再構成した。また ^{30}S の第1励起状態起源の γ 線が ^{31}Cl 分解のイベントと同時測定された。これは ^{31}Cl が高励起状態に励起されたことを示しており、今回の主な目的である低励起状態(~ 1 MeV)の研究では不必要なデータであるため ^{30}S 起源のガンマ線と同期しているイベントに関してはガンマ線の検出効率を考慮したうえで除外した。これらの解析を行った結果、不変質量スペクト

ルから ^{31}Cl の第1、第2励起状態に相当するピークが測定された。今後は測定された第1励起状態へ励起されたときの ^{31}Cl の散乱角度分布から磁氣的遷移強度の決定を目指して解析を進めていく。

次にSAMURAIスペクトロメータを用いたクーロン分解実験の検討とその実験に必要な検出器用回路の開発では、原子番号50のSnと陽子の同時測定を目指した測定回路の開発を行った。この開発においては、ダイナミックレンジ5000の達成、多チャンネルに対応して回路の小型化、チャンネル密集度が高いことに付随する信号干渉の低減、の3つが課題となる。私はこの課題の中で3つ目の信号干渉の低減に取り組むと同時に検出器テスト用の基板の設計を行った。信号干渉の低減のため信号伝達用プリント基板上の信号線間にグランド線を配置、回路の小型化を考慮してプリント基板後の信号伝達には携帯電話用の超小型同軸ケーブルを使用することとした。

これらの工夫を施した基板は現在コネクタや素材の選定と設計を継続中である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

S.Takeuchi, N.Aoi, T.Motobayashi, S.Ota, E.Takeshita, H.Suzuki, H.Baba, T.Fukui, Y.Hashimoto, K.Ieki, N.Imai, H.Iwasaki, S.Kanno, Y.Kondo, T.Kubo, K.Kurita, T.Minemura, T.Nakabayashi, T.Nakamura, T.Okumura, T.K.Onishi, H.Sakurai, S.Shimoura, R.Sugou, D.Suzuki, M.K.Suzuki, M.Takashina,

M.Tamaki, K.Tanaka, Y.Togano, K.Yamada: "Low-lying states in ^{32}Mg studied by proton inelastic scattering", Phys.Rev. C 79, 054319 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yasuhiro Togano, and RNC R403N collaboration, "Investigation of the $^{30}\text{S}(p,\gamma)^{31}\text{Cl}$ reaction via Coulomb dissociation", Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan, Hawaii, USA, Oct. (2009)

XX — 052

電子相関と交差物性の理論的研究

Theoretical Studies on Electron Correlation and Cross-correlated Materials

研究者氏名：桂 法称 Katsura, Hosho

受入研究室：基幹研究所

交差相関理論研究チーム

(所属長 永長 直人)

磁性体(局在スピン系)における熱的Hall効果とスカラー・スピカイラリティの間の関係を調べた。具体的には前年度の研究により、外部磁場ないし有効的な磁場とスカラーカイラリティの結合をスピン波近似で扱った場合、マグノンのhoppingに非自明な位相が現れうることが明らかになった。今年度は、具体的にカゴメ格子上の強磁性体を考えた場合に、実際にマグノンによるトポロジカルな熱Hall効果が実現し、低温・弱磁場の場合に熱Hall係数は温度 T 、外部磁場 H に比例することを明らかにした。またフラストレーションの強い磁性体において実現していると考えられている磁気秩序の無いスピン液体状態に関しても、熱Hall効果が実現するか否かを検討した。その結果、スピノンの非閉じ込め状態を仮定した場合には、スカラーカイラリティを介してスピノンにローレンツ力が働くことにより熱Hall効果が引き起こされることを明らかにした。また、二次元三角格子物質 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ において実験的に得られている縦方向の熱伝導度の大きさから、この熱Hall伝導度の大きさを見積もった。その結果、スピン液体状態を破壊しない比較的弱い磁場においても、この熱Hall効果が観測可能であることを明らかにした。

また低次元系における磁性と強誘電性の交差相関

に関する研究として、1次元のモット絶縁体における光学応答に関する研究を行った。具体的には、擬一次元強誘電体であるTTF-BAを念頭にその有効模型であるionic Hubbard modelから、更にhalf-filledでの低エネルギー有効模型であるsine-Gordon modelを導出し、その厳密解の結果から自発分極の大きさや光学伝導度の振動子強度の大きさを見積もった。

その他に、今年度は量子Hall系や量子スピンHall系のようなトポロジカルな絶縁体における相互作用の効果について調べた。具体的にはフラックスのある場合のHubbard模型について厳密な解析を行った。その結果、フラックスが特別な条件を満たす場合には、i) ゼロでないChern数を持つフラットなバンド、ii) Chern数がゼロのフラットなバンド、が実現し、それらがhalf-filledの場合には基底状態において強磁性が実現することを示した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Shitade A, Katsura H, Kunes J, Qi X, Zhang S, Nagaosa N, "Quantum Spin Hall Effect in a Transition Metal Oxide Na_2IrO_3 " Physical Review Letters Vol. 102 pp256403-1-256403-4 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Katsura H, "Graph theory, topology, and supersymmetry in flat-band Hubbard models" Topological Order:from Quantum Hall Systems to Magnetic Materials Dresden Germany 2009 6-7

(国内学会等)

1. 桂 法称, 永長 直人, Lee Patrick, "スカラー・カイラリティと量子磁性体における熱Hall効果" 第4回トピカルミーティング「フラストレーションとカイラリティ」神戸 日本 2009 7-7
2. 桂 法称, "Zamolodchikov-Faddeev algebra: from matrix-product Bethe ansatz to organic spin-

Peierls system" 神戸 日本 2009 8

3. 田中 宗, 桂 法称, Ryb Itai, Korepin Vladimir, "二次元VBS状態におけるエンタングルメントエントロピー" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
4. 丸山 勲, 桂 法称, 田中 彰則, 田崎 晴明, "フラットバンド模型のトポロジカルな分類" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9
5. 田中 彰則, 桂 法称, 丸山 勲, 田崎 晴明, "Ferromagnetism in the Hubbard model with topological/non-topological flat bands" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

XX - 053

マンガン酸化物における巨大電気・磁気熱量効果 Giant Electro and Magnetocaloric Effects in Manganites

研究者氏名：酒井 英明 Sakai, Hideaki

受入研究室：基幹研究所

交差相関物質研究チーム

(所属長 田口 康二郎)

磁気熱量効果(磁性体に磁場印加した際のエントロピー変化や断熱温度変化)は、近年、磁気冷凍技術へ応用の観点から注目され、精力的に物質探索が行われている。特に、強磁性相へ一次転移する系では潜熱による巨大な磁気熱量効果が発現することが知られている。このため、従来の研究対象は単純な磁歪効果により一次転移を示す合金系であった。一方、本研究ではマンガン酸化物に代表されるような、強い電子間相互作用により一次転移が生じうる強相関物質を対象とする。特に電子相関がどのように磁気熱量効果に影響を与え、その巨大化に利用できるか、という点を解明することを目指す。

本年度は、まず前年度に見出した $R_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$ ($R=La-Gd$)の異常磁気熱量効果の起源の解明を目指した。本系ではバンド幅が減少し T_C が低くなるにつれて、競合する電荷軌道整列の相関が発達するため一次転移性が強まる。これに伴い、エントロピー変化 $[\Delta S(H, T)=S(H, T)-S(H=0, T)]$ の温度依存性は、二次転移特有のなだらかなピークから、一次転移特有の長方形型ピークへと変化する。注目すべきはそのピーク幅で、同程度の T_C を持つ合金系の場合よりも3倍程度も広い。 $(R=Gd_{0.5}Sm_{0.5})$ では6Tで50K。ラー

ベス合金 $ErCo_2$ では15 K。)そこで理論計算との詳細な比較を行った。まずは、従来の合金系の磁気熱量効果をよく再現できる磁歪型ハイゼンベルグ模型の平均場近似解でのフィッティングを試みた。しかし、長方形型のピーク形状は再現できるが、いかなるパラメータでも巨大温度幅を再現することはできなかった。次に、平均場近似では無視している“揺らぎ”の効果を取り入れた繰り込み群解析によりフィッティングを行ったところ、ピーク値、温度幅ともに再現することに成功した。これは、相競合により発達した揺らぎが磁気熱量効果の温度幅の巨大化を引き起こしていることを意味する。さらに、 $Sm_{1-x}Sr_xMnO_3$ ($x=0.35, 0.4, 0.45$: 正孔濃度)において、キャリア濃度を変化させた場合の磁気熱量効果の変化も調べた。これらも同様に電荷軌道整列相関と揺らぎの発達の観点から理解することができることが分かった。

以上のように、電子相関が磁気熱量効果に対し非常に大きな影響を与えることが明らかとなった。特にその巨大温度幅は磁気冷却応用の観点からも有望であり、今後はこれらの知見をもとに、さらに強相関系の磁気熱量効果を開拓していく予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sakai H, Taguchi Y, Tokura Y, "Impact of Bicritical Fluctuation on Magnetocaloric Phenomena in Perovskite Manganites" Journal of Physical Society of Japan Vol.78 pp113708-1-113708-4 (2009)

Tokunaga Y, Furukawa N, Sakai H, Taguchi Y, Arima T, Tokura Y, "Composite domain walls in a multiferroic perovskite ferrite" Nature Materials Vol. 8 pp558-562 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sakai H, Ishiwata S, Okuyama D, Nakao H, Nakao A, Taguchi Y, Tokura Y, "Critical competition between an antiferromagnetic metal and an orbital-ordered insulator in electron-doped perovskite SrMnO₃" RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako, Saitama Japan 2009 12

Taguchi Y, Sakai H, Okuyama D, Nakamura M, Wakaba-

yashi Y, Itoh H, Kumai R, Yamada H, Arima T, Kawasaki M, Tokura Y, "Tuning charge-orbital-ordering instability in perovskite manganites" RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako, Saitama Japan 2009 12

Sakai H, Taguchi Y, Tokura Y, "Competing-fluctuation-induced anomalous magnetocaloric effects in perovskite manganites" APS March Meeting 2010 Portland, Oregon USA 2010 3

(国内学会等)

酒井 英明, 石渡 晋太郎, 奥山 大輔, 中尾 裕則, 中尾 朗子, 田口 康二郎, 十倉 好紀, "電子ドーピングした立方晶 SrMnO₃ 単結晶における反強磁性金属-軌道秩序絶縁体転移" 日本物理学会第65回年次大会 岡山 日本 2010 3

石渡 晋太郎, 奥山 大輔, 酒井 英明, 徳永 祐介, 杉本 邦久, 田口 康二郎, 有馬 孝尚, 十倉 好紀, "ペロブスカイト型 YMnO₃ 単結晶における磁気強誘電性" 日本物理学会第65回年次大会 岡山 日本 2010 3

XX - 054

分子性導体における光誘起現象の研究 Photo-induced Effect in Molecular Conductors

研究者氏名: 田久保 直子 Takubo, Naoko

受入研究室: 基幹研究所

加藤分子物性研究室

(所属長 加藤 礼三)

本研究は、分子性導体における興味深い光誘起現象の探索と、その発現条件やメカニズムの解明を目的とする。光誘起相転移や光キャリア注入などといった光誘起現象は、光による物性制御という観点から、基礎物性の理解や応用的側面において大変興味深い。ただし、その発現メカニズムなど詳細は明らかではない。また、光誘起現象を示す物質の報告も限られている。本研究では、多様な物性を示す分子性導体を対象とし、その物性を光照射により制御することを試みる。特に、光誘起相転移や光キャリア注入等の方法を用いて分子性導体の多様な物性を制御し、巨大な転移や未知なる状態の発現を目指す。また、置換基等の違いにより連続的な物性制御が可能であること、外場に敏感であるという分子性導体の特徴を活かし、転移を系統的に調べることで

光誘起現象のメカニズムを解明する。

本年度は、BEDT-TTF塩における光誘起絶縁体-金属転移の研究を行った。BEDT-TTF塩は、置換基や分子配列の違いにより、超伝導や圧力下におけるゼロギャップ状態など多種多様な物性を示す。本研究では、特に電荷秩序状態に着目し、光励起による電荷秩序の融解という観点から光誘起相転移現象の研究を行った。具体的な結果は以下の通りである。

(1) (BEDT-TTF)₃(ClO₄)₂と(BEDT-TTF)₅Te₂I₆において、光誘起絶縁体-金属転移の発現に成功した。低温(4 K)の電荷秩序状態においてパルスレーザーを照射したところ、2つの成分を持つ巨大異常光電流が観測された。第一成分はパルス幅(~5 ns)で立ち上がり、高温の金属状態に匹敵する伝導度を持つ。これは、5 ns 以下で電荷秩序が融解し、光誘起絶縁体-金

属転移が起こったことを示すものである。また、遅れて立ち上がる第二成分は、ある程度以上の測定電場を印加している限りは光照射後も永続的に保たれるという特徴を持つ。さらに、これらの転移における光と電場の役割などメカニズムの考察も行った。

(2) θ -(BEDT-TTF)₂RbZn(CNS)₄において、光誘起絶縁体-金属転移を確認した。この物質は、低温で冷却速度の違いにより異なる電荷秩序状態を示す。遅い冷却速度(0.1 K/min)での電荷秩序状態においては光電流は観測されず、光誘起絶縁体-金属転移は起こらなかった。しかし速い冷却速度(10 K/min)での電荷秩序状態においては巨大異常光電流が観測され、光誘起絶縁体-金属転移が確認された。さらに、光誘起相転移と電荷秩序状態との関係などメカニズムの考察も行った。

(3) 薄片化した α -(BEDT-TTF)₂I₃試料において光

誘起絶縁体-金属転移を確認した。バルク試料との比較を行った。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Takubo N, Tajima N, Kato R, "Photoinduced Insulator to Metal Transition in (BEDT-TTF)₃(ClO₄)₂ and Related Materials" 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2009) Niseko Japan 2009 9

(国内学会等)

2. 田久保 直子, 田嶋 尚也, 加藤 礼三, "BEDT-TTF 塩における光誘起絶縁体-金属転移" 日本物理学会 2009 年秋季大会 熊本 日本 2009 9

XX - 055

微生物資源からの新奇バイオプローブ探索

Bioprobe Discovery through Chemical-Genetic Screens from Microbial Origin

研究者氏名: 二村 友史 Futamura, Yushi

受入研究室: 基幹研究所

長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

化学の力を利用して生命現象を理解する「ケミカルバイオロジー」は、従来の分子生物学では困難な生命機能解析を可能にするだけでなく、がんをはじめ多くの難治疾患に対するゲノム創薬研究にも大きく貢献し得ることからもポストゲノムの重要な研究領域としてその発展が期待されている。ケミカルバイオロジーの成功にはその性質上、興味深い生理活性を有する小分子化合物(バイオプローブ)の開発が不可欠である。本研究では細胞形態変化を指標としたハイコンテントスクリーニングを実施し、微生物代謝産物や天然化合物ライブラリー-NPDepoから新奇バイオプローブを発見することを目的とした。

細胞は与えられた化合物の作用機作に応じて様々な形態を示すことから、その形態変化を注意深く観察するだけで細胞内イベントに対する多大な情報が得られる。私は様々な化合物が誘導する細胞形態変化を系統的に分類したデータベース「モルフォーム(morpholome; morphology-omeの造語)」を構築すれば、分子レベルでのタンパク質機能を顕微鏡下で観

察される形態変化として捉えることができるようになり、モルフォームを基盤としたハイコンテントスクリーニングからは新しい生理活性物質の発見が期待できると考えた。これまでに3種類のがん細胞に対し、約60種類の標的既知薬剤が誘導する形態変化データを時間・濃度依存的に収集し、その形態変化パターンによる分類を行った。その結果、高分子合成阻害剤、細胞骨格系作用薬、HSPやHDAC阻害剤等はある種の細胞に対して特異的な形態変化を誘導し容易に判別できた。またユニークな形態変化を誘導する化合物を天然化合物ライブラリー-NPDepoより探索し、カルボリン系化合物が分裂期キネシンの阻害剤と類似の形態変化を誘導することを見出した。本化合物は紡錘体形成の異常を誘導したが、阻害剤に特徴的な単極紡錘体は形成しなかったため、別の作用機作で染色体分配異常を引き起こすことが示唆された。

●ポスター発表 Poster Presentation

XX - 056

ショウジョウバエ成虫肢の関節をモデルとした、
細胞外マトリックスの形態形成の分子機構の解析

Study on Molecular Mechanisms for Extracellular Matrix Morphogenesis
in the Model *Drosophila* Leg Joints

研究者氏名：田尻 怜子 Tajiri, Reiko

受入研究室：発生・再生科学総合研究センター

形態形成シグナル研究グループ

(所属長 林 茂生)

昆虫の外骨格を構成するECM(クチクラ)の形態が発生過程において精密に制御される機構の解明を目指している。ショウジョウバエ成虫肢の付節領域の関節では、球形クチクラを受け皿形クチクラが組みこむ球-皿構造が見られる。その形成過程について昨年度までに、以下のような順序を明らかにした：

1)筒状の細胞組織が関節領域で皿状にくぼむ、2)そのくぼみの中にまず球形のクチクラが形成される、3)球形クチクラの肥大が完了した後で受け皿形のクチクラが細胞表面に沿って形成される。以上より、互いに適合する二片のクチクラの相補的な形状の実現には、細胞のくぼみを鋳型とした球形クチクラと皿形クチクラの順を追った形成が重要であると考えた。透過型電子顕微鏡を用いた観察により、関節領域におけるクチクラ合成の活性がこの仮説に適合する形で遷移することを確認した。

本年度はまず、関節領域の数十細胞の中で球形クチクラと皿形クチクラの各々を分泌する細胞の特定を目標とした。既存のGAL4エンハンサートラップシステムの探索により、この領域内の限られた細胞群で発現する系統をいくつか得た。各系統が発現する細胞群の位置を昨年度の電顕観察の結果と照合したところ、うち一つ(以下系統1)が発現する細胞群は球形クチクラの合成場所と重なり、別の一つ(以下系統2)は皿形クチクラの合成場所と重なると見られた。

各系統の制御下でキチン合成酵素遺伝子に対する二本鎖RNAを発現させてクチクラの合成を阻害したところ、予想通り系統1では主に球形クチクラに、系統2では皿形クチクラに形状の異常が見られた。以上より、球形/皿形クチクラの形成には異なる細胞群が寄与すること、および各々がGAL4系統1、2で標識されることが明らかとなった。

さらに、各細胞群の動態を詳細に観察し、これらの細胞群がクチクラを合成しながら自身の形状を変えていくことを見出した。系統1で標識される細胞群は、球形クチクラを作りながら自身の頂端面を移動させ、球形クチクラを完成させると同時に自身の頂端面をその場から立ち退かせる。続いて、この空いたスペースに、系統2で標識される細胞群の頂端面が進出して皿形クチクラの形成を遂行する。即ち、各細胞群の形状変化(頂端面の移動)によって、上述の順序だったクチクラ形成過程が実現される様子が分かった。

以上のように本年度は、関節のクチクラの形態を制御する機構を細胞レベルで解明した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

田尻 怜子, 林 茂生, 日本ショウジョウバエ研究会第9回研究集会 掛川 日本 2009 7

XX - 057 神経幹細胞が自己増殖から神経産生モードへ遷移する機構の解明

Molecular Mechanisms of Characteristic Changes in Neural Stem Cells

研究者氏名：今野 大治郎 Konno, Daijiro
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター
非対称細胞分裂研究グループ
(所属長 松崎 文雄)

同種の二つの細胞が生み出される対称分裂から、異なる二つの娘細胞を生じる非対称細胞分裂への性質変化は、細胞分裂を繰り返しながら多様な細胞が生み出される個体発生にとって重要かつ最も基本的なプロセスである。哺乳類の脳形成においても、神経幹細胞は典型的な対称分裂を行う細胞へとその性質を変化させる。この性質変化を制御するメカニズムは、脳の形態形成において重要な役割を担っているだけでなく、脳の進化プロセスにおいても非常に重要な意味を持つ。しかしながらその分子実体は未だほとんど明らかになっていない。そこで本研究では、この性質変化前後の神経幹細胞において異なった発現パターンを示す転写因子群の機能解析を足掛かりとして、神経幹細胞が如何にして異なる二つの細胞を生み出すのかという非対称細胞分裂の実体を明らかにすることを目的とする。さらにそれら分子メカニズムの比較形態学的解析により、高等哺乳類

における大脳皮質の肥大化が如何にして起こったのかという謎を、幹細胞遷移機構の観点から見つめ直し、脳の進化メカニズムという究極の問いの解明に挑戦する。

本年度は、胎生期のマウス大脳において時期・領域特異的な発現パターンを示す遺伝子群を単離し、それらの強制発現および機能阻害が脳発生に及ぼす影響を解析した。その結果、神経幹細胞の時期特異的性質決定に大きく寄与すると思われる表現型を示す遺伝子群を発見した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Structural basis for self-renewal of neural progenitors in cortical neurogenesis. Shioi G., Konno D., Shitamukai A. and Matsuzaki F. *Cereb Cortex*. 2009 Jul;19 Suppl 1:i55-61. Epub 2009 Apr 10.

XX - 058

二光子励起蛍光顕微鏡を用いた リンパ節転移癌と免疫システムの相互作用の解析

Multiphoton Analysis of the Lymph Node Metastasis and its Interaction with the Immune System

研究者氏名：北野 正寛 Kitano, Masahiro
受入研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫細胞動態研究ユニット
(所属長 岡田 峰陽)

腫瘍関連抗原特異的な細胞障害性T細胞(CTL)を活性化し、癌を攻撃するエフェクター細胞へと分化させることは、癌に対する免疫応答を確立する上で必須である。リンパ節は上記一連の過程が行われる器官であり、近年の二光子励起生体内イメージング技術の進歩によってリンパ節におけるCTL活性化のメカニズムが明らかとなりつつあるが、その一方で本来自己反応性である腫瘍関連抗原特異的CTLの活性化メカニズムはほとんどわかっていない。そればかりでなく、転移性の癌の場合は、高い確立で近隣

のリンパ節に癌細胞の転移が見られる。現在、このリンパ節転移が癌の更なる遠隔転移に寄与するか否かの議論が活発に行われているなか、リンパ節転移癌細胞が免疫応答に及ぼす影響を調べた報告はほとんどない。そこで本研究では、マウスの二光子励起生体内ライブイメージングによって、癌特異的CTLが免疫応答を確立する過程における一連の細胞間相互作用動態を特徴づける。それに加え、リンパ節転移癌が癌免疫応答に及ぼす影響を、リンパ節転移癌細胞—CTL間の相互作用の観察とともに精査し、癌

免疫応答を誘導する上で克服すべき問題点を細胞間相互作用動態の観点から見いだす。

本年度は、マウス悪性黒色腫B16F10細胞にて過剰発現する腫瘍関連抗原gp100のMHCクラスI拘束性T細胞受容体トランスジェニックマウスPmel-1を入手し、その個体から精製した癌抗原特異的CTLが生体内にて活性化される様子を二光子励起蛍光顕微鏡により観察した。蛍光色素によりラベルしたPmel-1由来CTLを野生型マウスに移植し、癌抗原ペプチドワクチンにより移植マウスを免疫し様々な時間の後にリンパ節の二光子励起ライブイメージングを行ったところ、免疫12時間後の時点においてリンパ節T細胞領域でPmel-1由来CTLが特異的に動きを止める現象が観察された。これは癌抗原特異的CTLが抗原提示細胞と免疫シナプスを形成し活性化シグナルを受けることによると考えられ、免疫36時間後にはCTLの著しい増殖が観察された。さらに、これらの増殖し

たCTLの挙動を追跡するためにPmel-1 Tgマウスと β -actin-EGFPマウスを交配させPmel-1/EGFPマウスを作製した。B16F10/EGFP細胞の転移リンパ節の観察は昨年度に立ち上げており、今年度はB16F10/EGFP細胞の転移したリンパ節においてペプチドワクチンによるPmel-1 CTLの活性化を行い、活性化CTLとリンパ節転移癌細胞との相互作用を観察した。その結果、一部の活性化CTLが転移癌細胞と相互作用している様子が観察されたが、その相互作用による癌細胞の細胞死誘導は観察されなかった。また一方で大部分の活性化CTLは転移癌細胞と相互作用せず、リンパ節内を高い運動能を持って動き回っていた。この結果より、腫瘍関連抗原特異的なCTLはワクチン投与によって免疫シナプスを形成しその後著しく増殖するものの、癌細胞に対し免疫寛容に陥っている可能性が考えられる。

XX - 059

紫外近接場顕微鏡の開発 Development of UV Near-Field Microscopy

研究者氏名：田口 敦清 Taguchi, Atsushi

受入研究室：基幹研究所

河田ナノフォトンクス研究室

(所属長 河田 聡)

金属のプラズマ周波数を超える紫外域においては、金や銀といった貴金属は単なる誘電体として振る舞い、プラズモン共鳴を示さない。そのため、近接場光学顕微鏡の開発は、可視から近赤外の波長帯域に限定されてきた。しかし、紫外・深紫外領域は、蛋白質や核酸といった生体分子のバイオイメージング技術や、半導体デバイス評価技術、光加工・光修飾において今後ますます重要となる。そこで紫外域で動作する近接場光学顕微鏡を開発し、バイオサイエンス・デバイス工学・ナノ材料科学への貢献をはかる。

本年度は、従来用いられてきた金や銀に代わる紫外プラズモニクス材料の探索を行った。金や銀のプラズモン共鳴周波数(局在モード)が波長350nmや500nmといった可視域に存在するのに対して、アルミニウムやロジウムのプラズマ周波数は深紫外域にあり、誘電率の虚部も比較的小さいことから、紫外プラズモン共鳴を示す材料として有望である。

(1)厚さ20nmのアルミフィルムを真空蒸着により作製した。次に、アルミフィルム上にクリスタルバイオレット分子を散布し、波長266nmの深紫外光励起ラマン散乱スペクトルを測定した。測定されたスペクトル強度を、アルミフィルムのない場合と比較することにより、アルミフィルムが増強ラマン散乱効果をもたらすことを確認した。

(2)次に、アルミフィルムをアルミプローブに置き換え、同様の実験により先端増強ラマン散乱効果を実証した。サンプルとして、クリスタルバイオレット分子およびDNAの構成塩基であるアデニン分子を用いた。これらはいずれも266nmの励起光に対して共鳴ラマン散乱効果を示す。

(3)異なる分子種の共鳴ラマン効果を選択的に励起するためのマルチライン深紫外レーザーの導入を行った。このレーザーは波長264, 257, 251, 248, 244, 238, 229nmのCW光を発生させることができ、生体分子の電子共鳴波長にあわせて発振波長を選択するこ

とができる。また、深紫外ナノイメージングに向けたSPMシステムの開発も進めており、1)電解研磨とFIB先鋭化を組み合わせることで先端径数nmのアルミプローブを作製する技術の確立、2)プローブ走査時にアルミチップ(柔らかい)の摩耗を低減するための非接触AFM制御の実装を行った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Taguchi A, Hayazawa N, Saito Y, Ishitobi H, Tarun A, Kawata S, "Controlling the plasmon resonance wavelength in metal-coated probe using refractive index modification", *Optics Express* Vol.17 8 pp.6509-6518 (2009)
2. Hayazawa N, Furusawa K, Taguchi A, Kawata S, Abe H, "Tip-enhanced two-photon excited fluorescence microscopy with a silicon tip", *Applied Physics Letters* Vol.94 pp.193112 (2009)
4. Taguchi A, Hayazawa N, Furusawa K, Ishitobi H, Kawata S, "Deep-UV tip-enhanced Raman scattering", *Journal of Raman Spectroscopy* Vol.40 pp.1324-1330 (2009)
6. Hayazawa N, Tarun A, Taguchi A, Kawata S, "Development of Tip-Enhanced Near-Field Optical Spectroscopy and Microscopy", *Japanese Journal of Applied Physics* Vol.48 pp.08JA02 (2009)
11. Hayazawa N, Furusawa K, Taguchi A, Kawata S, "One-photon and two-photon excited fluorescence microscopies based on polarization-control: Applications to tip-enhanced microscopy", *Journal of Applied Physics* Vol.106 pp.113103 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

3. Hayazawa N, Furusawa K, Taguchi A, Kawata S, "Tip

enhanced nonlinear spectroscopy and microscopy using a silicon tip", 8th European Conference on Non Linear Spectroscopy and 28th European Cars Workshop Frascati Italy 2009 5

5. Kawata S, Taguchi A, "Plasmonics in UV for nano-imaging and analysis", *SPIE Optics and Photonics* 2009, San Diego, USA 2009 8
10. Hayazawa N, Furusawa K, Taguchi A, Kawata S, "One-photon and two-photon excited fluorescence microscopy based on polarization-control: applications to tip-enhanced microscopy", *The 7th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics* Jeju Korea 2009 11

(国内学会等)

7. 田口 敦清, "分子ナノイメージングのための深紫外先端増強ラマン散乱" 理研シンポジウム「SPMを用いたナノ分光及びセンシング技術」和光 日本 2009 11
8. 田口 敦清, "近接場光学顕微鏡のためのプラズモニクナノプローブの設計研究" 理研シンポジウム「SPMを用いたナノ分光及びセンシング技術」和光 日本 2009 11
9. 田口 敦清, 早澤 紀彦, 齊藤 結花, 石飛 秀和, TARUN ALVARADO, 河田 聡, "Method of optimizing plasmon resonance wavelength in metal coated TERS probe using refractive index modification" 平成21年度 日本分光学会年次講演会 東京 日本 2009 11
12. 田口 敦清, 早澤 紀彦, 古澤 健太郎, 石飛 秀和, 河田 聡, "金属プローブを用いた深紫外共鳴ラマン散乱の増強" 理化学研究所 基幹研究所 先端光科学研究領域「エクストリームフォトンクス研究、テラヘルツ光研究」第I期 研究成果報告会ーシンポジウムー 仙台 日本 2009 12

化学分解を利用した NMR 法による 高反応性リグニン結合型構造の解明

Structural Study on Lignin by NMR and Chemical Degradation Methods

研究者氏名：秋山 拓也 Akiyama, Takuya

受入研究室：植物科学研究センター

先端NMRメタボミクスユニット

(所属長 菊地 淳)

植物細胞壁をセルロースやヘミセルロースなどの多糖類と共に構成しているリグニンの化学構造には未解明な部分が少なくない。その中にはバイオマスとして利用する際に反応の起点となるような高い反応性を持つ部分構造が存在すると予想されている。この高分子の化学構造は芳香核骨格を有する構造型が大部分を占める一方、その生合成過程において一旦芳香核性を失った中間体が、芳香核の復権を経ることなしに安定化したエノン、ジエノン構造型などの反応性に富む構造群が存在すると古くから想定されてきた。この存在は実験的にも間接的に示され、リグニン中の隠れた構造(masked structures)として認識されてきた。しかしながら同構造の詳細が不明であるため、その反応性や反応機構を調べる、といった一般的な議論ができないのが現状である。本研究課題ではリグニンに含まれる同構造群の詳細を明らかにすると共に、反応実験による化学構造変化をNMR解析によって追跡することを目的としている。

本年度は、上記ジエノン構造の一つ、スピロジエノン型構造と仮帰属されている2D-NMR(HSQC)スペクトル上のシグナルを含むリグニン試料の探索を行った。その結果、シリングル核を多く含む樹種(Avicenia sp.)に、いくつかの強い同シグナルを観測された。また、同シグナル間の相関がHSQC-TOCSY

実験において得られたことから、これらのシグナルは、一つまたは二つの化学構造型に由来することが確認できた。以上により、スピロジエノン型構造を含むと考えられる有力なリグニン試料の選定が終了したため、次に、これらのシグナルを帰属することを目的に、比較的単純なスピロジエノン型のモデル化合物の合成を試みた。その結果、収率は低く同定までには至らないものの、生成物中に目的のスピロジエノン型と想定される化合物が確認されたことから、本合成に用いたカップリング反応の有用性が示された。この結果から、同合成法のさらなる精査により収率を向上させ、合成の出発物質を適切に選定すれば、実際に想定されるスピロジエノン型構造に、より近いモデル化合物を合成することが可能となり、リグニン高分子中の同構造を帰属できる可能性が示唆された。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Akiyama T. and Ralph J.: "Exploring branch-points in lignin; NMR chemical shift characteristics of nonphenolic vs phenolic dibenzodioxocin model compounds" International Symposium on Wood, Fibre and Pulping Chemistry, Oslo, Norway, June, 2009

基礎科学特別研究員
平成 21 年度採用者

研究者氏名：西川 淳 Nishikawa, Jun

受入研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(所属長 岡ノ谷 一夫)

ジュウシマツという小鳥が持つ複雑な時系列規則に従うさえずりは、ヒト言語の良い動物モデルとして盛んに研究されている。ジュウシマツはさえずり学習に特化した神経核群を持っているが、先行研究により複数の神経核間の相互作用などが明らかにされる一方、単一の神経核内における多数のニューロン間相互作用については、重要であるにも関わらずほとんど明らかにされていない。これは、数百 μm ほどの神経核(局所神経回路)から複数のニューロン活動を同時に記録することが技術的に困難だったからである。本研究では、微小領域に記録点を集めることができる高密度シリコン電極を用いて、時系列処理を主に担っていると考えられている神経核HVCにおいて多数のニューロン活動を同時記録することで、複雑な時系列処理を支える局所神経回路メカニズムの解明を試みる。

本年度は、ジュウシマツHVCから多数のニューロン活動を安定的に同時記録するための測定系を構築した。その結果、ジュウシマツにウレタン麻酔を施し、32-ch高密度シリコン電極をHVCに刺入して多点同時記録を行うことで、10~30個ほどのニューロン活動を同時記録できることを示した。さらに、この技術を用いて計測された多点スパイクデータに対してスパイクタイミングの相互相関解析を行うことで局所回路内の機能的ネットワークを可視化したところ、聴覚刺激の種類に応じて異なるネットワークへ

と遷移することが分かってきた。

通常の相互相関解析では、特定の2つのニューロン間のタイミング関係に注目して解析を行うため、多体相互作用に起因する高次相関を抽出することは原理的に不可能である。そこで、高次相関を包含する複数のポアソン過程からなる隠れマルコフモデルを構築し、新しく開発した確定的アニーリング変分ベイズ法を用いて、実際にジュウシマツHVCから記録された多点記録データからモデル推定を行ったところ、聴覚刺激の中から刺激依存的な状態遷移過程を抽出することに成功した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Katahira K., Nishikawa J., Okanoya K., and Okada M.:

"Extracting state transition dynamics from multiple spike trains using hidden Markov models with correlated Poisson distribution", *Neural Computation*, (in print)*

(総説)

西川淳, 高橋美樹, 加藤真樹, 岡ノ谷一夫: "言語起源研究のためのモデル動物: ジュウシマツ", *生体の科学*, 2月号 (2010) (印刷中)

西川淳: "機能的ネットワークの可視化によって探る時系列処理を司る局所神経回路メカニズム", *生物物理*, 3月号 (2010) (印刷中) *

XXI-002 IP₃受容体をモデルとしたリガンド結合型チャネルの開口制御機構

Gating Mechanism of the IP₃ Receptor

研究者氏名：山崎 美佳 Yamazaki, Haruka

受入研究室：脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(所属長 御子柴 克彦)

本研究はイノシトール1,4,5-三リン酸(IP₃)受容体の構造機能相関解析によってリガンド結合型チャネルが開く分子機構の解明を目的としている。細胞内セカンドメッセンジャーIP₃の結合により開口するCa²⁺放出チャネル、IP₃受容体(2749アミノ酸残基)は、アミノ末端側にIP₃結合領域(226-578残基)、カルボキシ末端側にチャネル孔を形成する膜貫通領域(2276-2589残基)を持つ。これまでの解析から、アミノ末端領域(1-225残基)は受容体のIP₃結合親和性を10倍以上低下させるIP₃結合サプレッサーとして働くのみならず、この領域を欠失させることでIP₃結合によるCa²⁺放出活性が完全に消失することから、IP₃結合をチャネル開口に導くために必須な領域であると考えられている。しかし、同じアミノ末端側225アミノ酸によって担われるIP₃結合親和性の調節とIP₃結合による開口誘導機構の関係についてはよく分かっていなかった。そこで本研究では、IP₃結合抑制機能がチャネル開口に必須であるかを調べるため、アミノ末端領域のX線結晶構造解析の結果を元に同定したIP₃結合抑制に必須な残基(L30, L32, V33, D34, K127)について置換変異体を作成し、内在性IP₃受容体を欠失させたニワトリB細胞株由来の培養細胞DT40に発現さ

せ、各変異受容体のIP₃誘導Ca²⁺放出活性を測定した。その結果、調べた全ての変異受容体は野生型IP₃受容体に比べ20~90倍高いIP₃結合親和性を示したものの、野生型受容体と同等のCa²⁺放出活性を示した。以上の結果から、IP₃結合親和性の調節とIP₃結合によるチャネル開口は共にIP₃受容体のアミノ末端側225アミノ酸残基によって担われているものの、それぞれ独立した機構であることが明らかとなった。

●誌上发表 Publications

(単行本)

Yamazaki H, Mikoshiba K, "Structure of IP₃ Receptor"
Handbook of Neurochemistry and Molecular Neurobiology Springer USA New York pp441-461 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

山崎 美佳, 道川 貴章, 御子柴 克彦, "イノシトール三リン酸受容体カルシウム放出チャネルの開口機構の解析" 第82回日本生化学会大会 神戸 日本 2009 10

XXI-003

哺乳類の脳の左右差の生理的・形態的解析

Investigation of Left-right Asymmetry of the Mammalian Brain

研究者氏名：篠原 良章 Shinohara, Yoshiaki

受入研究室：脳科学総合研究センター

平瀬研究ユニット

(所属長 平瀬 肇)

fMRIのように、イメージングの手法で脳機能に左右差があることを示している実験は数多くあるが、分子レベルから脳機能の左右差に迫る研究は数少ない。当該研究員はこれまで、マウスの海馬で、1、グルタミン酸受容体の分布に脳の左右で差があること、2、シナプスの大きさも左右で差があることを

示してきた。そして、グルタミン酸受容体の分布量とシナプスの大きさには強い相関があり、シナプスの大きさと受容体の数との関係から、グルタミン酸受容体は3つに分類できることを示した(Shinohara et al., Proceeding National Academy of Science., 2008)。この実験結果を発展させる一環として、21年

度はグルタミン酸受容体の一種であるmGluR5とシナプスの大きさについての解析を行い、mGluR5のシナプスでの分子数はシナプスの大きさに影響を受けないことを発表した(Shinohara and Hirase, Front Neuroanat 2009)。さらに同年、マウスに空間学習課題を課し、マウスでも海馬機能にはヒトと同様に左右差があることを示唆する論文を投稿した(Shinohara et al., Hippocampus in press)。このように、当研究者はマウスの海馬にはさまざまな点から左右差があることを示してきたが、シナプス形態・受容体分子数の左右差から脳機能(空間認知能力)の左右差を理解するまでは遠い距離がある。当研究では、このギャップを埋めたいと考えている。

そこで現在、マウスやラットの両側の海馬に多点電極記録が可能なシリコンプローブを挿入して、*in vivo*の状態での脳波の測定を行っている。動物の意識・行動状態によってさまざまに異なる脳波活動が見られるが、マウスやラットで左右脳の脳波の違いを詳細に記述した報告はほとんどない。そこで、左右で脳波活動に差が出るのは動物がどのような状態

にある場合であるかを解析中である。

●誌上発表 Publications

(総説)

Shinohara Y, Hirase H, "Size and receptor density of glutamatergic synapses: a viewpoint from left-right asymmetry of CA3-CA1 connections" *Frontiers in Neuroanatomy* Vol.3 pp10-1-10-6 (2009)

篠原 良章, 重本 隆一, "マウス海馬錐体細胞シナプスの左右差" *科学* Vol.79 9 pp953-958 (2009)

篠原 良章, "シナプスレベルから見た海馬の左右非対称性" *生化学* Vol.81 9 pp806-811 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shinohara Y, Hirase H, Shigemoto R, "Left-right asymmetry of the hippocampal synapses with differential subunit allocation of glutamate receptors" XXXIII International Congress of Physiological Sciences Kyoto Japan 2009 7

XXI-004 MIR ファミリーによる免疫受容体認識の分子機構の解明 Molecular Basis for Immunoreceptors Recognition of MIR Family

研究者氏名: 梶川 瑞穂 Kajikawa, Mizuho
受入研究室: 免疫・アレルギー科学総合研究センター
感染免疫応答研究チーム
(所属長 石戸 聡)

カポジ肉腫関連ヘルペスウイルス(KSHV)は、宿主の免疫力の著しい低下時に腫瘍を引き起こすことで知られている。KSHVにコードされる初期遺伝子産物MIR (Modulator of Immune Recognition)は膜型E3ユビキチンリガーゼであり、宿主の免疫受容体をユビキチン化しリソソーム分解経路へと誘導する、宿主免疫回避分子として機能する。通常のウイルス感染細胞では免疫受容体の発現が亢進し、感染に対処する免疫系細胞の活性化を促すが、KSHVのMIRによる免疫受容体のユビキチン化によるリソソーム分解は細胞表面上での免疫受容体を減少させるため、免疫系細胞の活性化が阻害される。すなわちMIRによる免疫受容体のユビキチン化を制御することはKSHV感染による腫瘍の予防や治療への応用が期待できるが、その基盤となるMIRによる免疫受

容体認識の分子機構は不明である。先行研究による細胞生物学的・生化学的解析から、MIRは膜貫通領域を有する膜タンパク質であり、免疫受容体の認識は膜貫通領域によることが明らかになっている。しかしながら、MIRの膜貫通ヘリックスを構成するアミノ酸の一次配列からは、既知の膜貫通領域結合に見られる特徴(相補的な荷電アミノ酸やGXXXGモチーフなど)は見出すことができず、おそらく未知の結合様式であると考えられる。

本研究はMIRによる免疫受容体認識の分子基盤を明らかにすることを目的とする。アミノ酸一次配列上の特徴が見出せないことから、分子基盤の解明には結合状態の直接的な可視化が最適であると考え、MIRと免疫受容体の複合体状態でのX線結晶構造解析を中心としたタンパク質科学的解析を推進する。

両分子の膜貫通領域での結合の有様を原子レベルで観察することで、MIRによる免疫受容体の認識の分子基盤を明らかにし、それを基にした効果的な結合阻害剤の設計によるKSHV感染制御へと応用して

いきたい。初年度は解析に用いる組換えMIRタンパク質の生産と精製の最適化を行った。今後は結晶構造解析により結合様式を明らかにしていく。

XXI-005

マイクロデバイスを用いた選択的単一細胞遺伝子 発現計測システムの開発とその免疫研究における応用 Development of Microfluidic Platforms for Single-cell Based Gene Expression Analysis of the Immune System

研究者氏名：白崎 善隆 Shirasaki, Yoshitaka
受入研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫ゲノミクス研究グループ
(所属長 小原 収)

免疫系の有する高いロバスト性がシステムのどのようを実現されているかを解明することは、単に基礎生物学としてだけでなく、数多くの免疫系の破綻に由来する疾患の克服のためにも重要な意味をもつ。しかし、その解明には、免疫系を構築する細胞の集団に対して単一細胞レベルでのたんぱく質やmRNA発現の定量を行い、細胞の集団としての振る舞いを詳細に検討する必要がある。

上記の背景を受け、本研究では高感度蛍光顕微鏡技術、微細加工技術、マイクロ流体制御技術などの最先端技術を駆使し、単一細胞レベルでのサイトカイン分泌量およびmRNA発現量の定量を多数の細胞に対して可能とする解析技術の確立を目指した。

本年度は、生きた免疫細胞から分泌されるサイトカインを高感度に定量解析する手法として、単一細胞毎にシリコン樹脂製のマイクロウェル中に閉じ込めた状態で底面のカバーガラス上でサンドイッチ抗体染色を行い、全反射照明によってリアルタイムに細胞からのサイトカイン分泌量を測定する手法の開発を行った。退色しづらく高いS/Nを示す蛍光量子

ドットをPoly ethylene glycolを介して標識することで抗体の活性を阻害することなく1分子レベルから測定することが可能であった。今後マイクロウェルの材質を検討し、細胞生育条件において長時間の測定を可能とすることを目指す。また、マイクロウェルから単一細胞毎の輸送を実現するため、電気浸透流を利用したピコリットルピペットを用いた単一細胞ハンドリング手法を確立した。一方、単一細胞毎のmRNA発現量の定量においては、既存の定量PCRに基づく測定方法を確立するとともに、定量PCR法では測定不可能な数千細胞からのmRNA発現量測定技術の開発を進めた。本年度は単一細胞を液滴に閉じ込め、さらにその状態でゲル化させることで単一細胞毎に均一な大きさのゲルドロップレットの中に封入するマイクロデバイスの開発を行った。現在、ゲルの担体上にmRNAを捕捉固定化し、蛍光プローブをハイブリダイゼーションさせることで多数の細胞からのmRNA発現量を一挙に測定するシステムの構築を行っている。

XXI-006

器官構築における細胞の位置情報の形成と維持に関与する エピジェネティクス機構の解明

Analysis of Epigenetic Mechanisms Involved in the Formation and Maintenance of Positional Information during Organogenesis

研究者氏名：薬師寺(上夏井) 那由他

Yakushiji-Kaminatsui Nayuta

受入研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫器官形成研究グループ
(所属長 古関 明彦)

器官再生医療の実現に向けての最大の課題は、「位置情報を持たない幹細胞やiPS細胞に、いかにして適切な位置情報を与え、器官を三次元構築させるか」である。しかしながら、器官構築における“細胞の位置情報”がどのようにして形成され、そして維持されているのか、その根本的なメカニズムは依然として明らかにされていない。エピジェネティクス機構による遺伝子の発現制御の状態は細胞分裂を経て娘細胞へと受け継がれること、そしてこれらの機構は体軸に沿った位置情報の形成、更には幹細胞の未分化性維持の両方に重要であることから、器官構築における細胞の位置情報の形成と維持にエピジェネティクス機構が関与している可能性が十分に考えられる。肢は基部-先端部、背腹、前後の三つの軸に沿ってパターン形成が行われる器官であり、分子ネットワークの状態も明らかになっていることから、本研究では肢をモデル器官として、その発生過程に着目し、エピジェネティクス機構が肢細胞の位置情報の形成と維持に果たす役割を解明することを目指す。

エピジェネティクス因子の一つであるポリコーム

のRing1Bをノックアウトすると胎生致死となり、他のポリコームのノックアウトマウスのphenotypeよりも深刻であることから、本研究ではRing1Bに着目し、これを肢特異的にノックアウトするようなマウス(*Prx1-Cre; Ring1B^{fl/fl}*)を始めに作製した。肢芽は胎生9.5日で出現を始め、胎生10.0日頃から12.0日頃までがパターン形成に重要な時期であると考えられており、Ring1Bはこれらの時期に肢芽全体で発現しているのが観察されている。*Prx1-Cre; Ring1B^{fl/fl}*マウスでは、肢芽が出現する時期(胎生9.5日)から少なくとも胎生16.5日まで肢特異的にRing1Bがノックアウトされている。このノックアウトマウスの形態を胎生14.5日および出生後4日で観察したところ、後肢よりも前肢において著しい短縮が認められた。骨格観察の結果から、この短縮は橈骨(radius)/尺骨(ulna)で起きており、また手根骨の一部も欠損していることが明らかとなった。これらの結果から、ポリコーム因子のRing1Bは肢発生過程における基部-先端部軸のパターン形成に必須であり、その位置情報の形成に関与していることが示唆された。

XXI-007

M細胞分化制御因子の探索とM細胞分化機構の解明

The Study of Intestinal M Cell Differentiation

研究者氏名：金谷 高史 Kanaya, Takashi

受入研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫系構築研究チーム
(所属長 大野 博司)

はじめにM細胞の分化を制御する転写因子の探索を行うため、M細胞の分化過程の追跡を可能とする実験系の構築に取り組んだ。近年末梢リンパ節や破骨細胞の分化に関与するサイトカインであるRANKLがM細胞の分化に関与することが報告された。この

報告によるとRANKLをマウスへ投与すると、通常M細胞の存在しない小腸の絨毛上皮にM細胞が形成される。そこで申請者は、RANKL投与後の小腸上皮細胞の遺伝子発現変動を解析することにより、M細胞分化の過程を追跡することが可能になると考えた。

BALB/cマウスにRANKLを腹腔内投与後、経時的に小腸上皮細胞を採取した。Real-time PCR法により、採取した小腸上皮細胞におけるM細胞マーカー遺伝子の発現動態を解析した。その結果、M細胞マーカー遺伝子であるMarcksl1はRANKL投与後1日、Anxa5およびCCL9は投与2日後、そしてGP2は投与3日後に大きな発現上昇が観察された。この結果より、Marcksl1をM細胞の分化ステージ1、Anxa5およびCCL9を分化ステージ2、そしてGP2を成熟マーカーとすることにより、M細胞分化過程とM細胞マーカー遺伝子に関する新たな基準を創出することに成功した。同時にマーカー遺伝子の発現変動を指標とすることにより、M細胞の分化過程を追跡することが可能であることが明らかとなった。

次に上記の通り採取した小腸上皮細胞を材料と

し、M細胞分化を制御する転写因子を探索するためのマイクロアレイ解析を行った。M細胞の分化過程の早期に発現し、M細胞の分化を制御すると予測される転写因子の探索を行うため、M細胞マーカー遺伝子の中でも分化過程の早期に発現するMarcksl1の発現動態を指標とした。その結果、M細胞分化制御転写因子の候補として、2個の転写因子を選抜した。Real-time PCR法および*in situ* hybridization法により、選抜した転写因子がM細胞において高発現することを明らかにした。現在、選抜した転写因子の欠損マウスを入手することができたので、転写因子のM細胞分化に及ぼす影響の解析に着手し、欠損マウスにおいてGP2陽性の成熟M細胞が欠損することを明らかにした。

XXI-008 金属錯体を用いた新規分子性物質の開発および構造、物性の研究 Development and Physical Properties Study of Molecular Conductors Based on Metal-dithiolene Complexes

研究者氏名：崔亨波 Cui Hengbo
受入研究室：基幹研究所
加藤分子物性研究室
(所属長 加藤 礼三)

金属錯体Pd(dmit)₂のアニオンラジカル塩は準三角格子を持つ物質で、Et_xMe_{4-x}Z⁺ (x= 0 - 2, Z=N, P, As, Sb)など高高さの異なるカチオンによる物性制御が可能である。最近では、スピン液体状態やValence bond solid状態などの新しい物性が数多く発見されてきた。これらの物性の解明には低温での構造解析が非常に重要になっている。申請者はこの一年、Pd(dmit)₂系で、(1) α型結晶構造を持つMe₄N錯体の低温の構造解析を行った。この物質の電気抵抗は150K、20K 及び10K付近で異様な挙動を示しており、各温度での構造解明が必要となっている。それ以外にβ¹-Me₃EtSbとMe₃(i-Pro)P錯体における低温結晶構造解析も進めた。(2) 一方、ダイヤモンドアンビルを用いた超高压下での分子性伝導体の電気的性質の測定においては、β¹-Me₄P[Pd(dmit)₂]₂錯体を20.2万気圧まで測定することに成功した。この系の多くは常圧でモット絶縁体であるが、比較的低い圧力をかけることにより、単量体のHOMOに由来する伝導バンドのバンド幅が広がることによって、金属性、

さらには超伝導を示す。その中で、Me₄P塩だけは、キュービックアンビルを用いた8万気圧までの高压測定でも完全な金属化を実現できなかった。しかし、HOMOバンドとLUMOバンドとが交差するPd(dmit)₂塩では、このような場合でも、さらに高い圧力を印加すると2つのバンドのバンド幅が広がり、両者が重なることによって新しい金属状態が実現すると考えられる。そこで、小さい先端面積を持つダイヤモンドアンビルを用いて抵抗測定を行ったところ、Me₄P塩が9.9万気圧で完全な金属状態になることを見出した。また、今までダイヤモンドアンビルを用いて発生させた圧力は一軸性が強いと考えられていたが、今回は、測定法の改良により、8万気圧まではキュービックアンビルの場合とほぼ同様の結果が得られ、静水圧性の高い測定であることも証明された。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

1. B. Zhou, A. Kobayashi, Y. Okano, H. B. Cui, D. Graf, J. S. Brooks, T. Nakashima, S. Aoyagi, E. Nishibori, M. Sakata and H. Kobayashi: "Structural Anomalies Associated with Antiferromagnetic Transition of Single-Component Molecular Metal [Au(tmdt)₂]", *Inorg. Chem.* 48, 10151-10157 (2009)
2. H.B. Cui, D. Graf, J. S. Brooks, H. Kobayashi: "Pressure-Dependent Metallic and Superconducting Phases in a Germanium Artificial Metal", *Phys. Rev. Lett.* 102, 237001-4 (2009).
3. H. B. Cui, J. S. Brooks, A. Kobayashi, and H. Kobayashi: "Metallization of the Single Component Molecular Semiconductor [Ni(ptdt)₂] under Very High Pressure", *J. Am. Chem. Soc.* 131, 6358-6359 (2009).
4. H. B. Cui, J. Brooks, D. Graf, Y. Okano, H. L. Sun, and H. Kobayashi: "Electrical Properties of New Organic Conductor (BEST)₂InBr₄ [BEST = Bis(ethylenediseleno)tetrathiafulvalene] up to 10.8 GPa and Antiferromagnetic Transition of (BEST)₂FeBr₄", *Inorg. Chem.* 48, 4268-4270 (2009).

XXI-009 導電性共有結合ネットワークをもつ新規超伝導体の探索 Search for Superconductivity in Conductive Covalent Networks

研究者氏名：桂 ゆかり Katsura, Yukari
 受入研究室：基幹研究所
 高木磁性研究室
 (所属長 高木 英典)

低温で電気抵抗がゼロとなり、さまざまな量子現象を示す超伝導材料は、次世代コンピュータ、医療機器、強力電磁石、核融合炉など多様な応用が期待されており、高特性新規超伝導体の発見によるブレークスルーが強く望まれている。共有結合性物質では、狭い空間領域に電子が局在していることから、共有結合にキャリアを導入できれば、超伝導発現の鍵となる強い電子-フォノン相互作用が期待できる。そこで本研究では、この導電性共有結合ネットワークに着目し、新規超伝導体の探索を行った。

本研究では、電子状態計算より、六ホウ化カリウムKB₆のホウ素の共有結合ネットワーク内に高濃度のホールキャリアの存在を予測した。そこでチタン製密閉容器の利用により高品質KB₆多結晶の合成を成功させ、常磁性的な磁化率と、50 K付近における電気抵抗率の極大を観測した。超伝導は示さなかったものの、電気抵抗率がこのような挙動を示す物質では、しばしばキャリア濃度の調節により超伝導が発現することから、KB₆のさらなる高品質化もしくはキャリアドーピングによって超伝導化が期待できる。

続いて、近年発見された鉄砒化物超伝導体に関連して、FeとCoを含む導電性共有結合ネットワークを探索した。電子状態計算より、Fe, CoはSi, Geと共有結合を形成することがわかったため、これらの共有

結合を含む物質において、新規超伝導体の探索を行った。(Ca, Sr, Ba, Y, La)-(Fe,Co)-(Si,Ge)のThCr₂Si₂型構造, CeFeSi型構造化合物について電子状態計算を行った中から、超伝導の発現が期待できる物質を予測して合成と物性評価を試みた。その結果、いくつかの新規物質の発見に成功した。特にCa₃Co₄Ge₄は、Coの磁性が消失した興味深い金属であり、電子状態計算より、Co-Ge共有結合バンドが導電性を持つ理想的な導電性共有結合ネットワークであることがわかった。このほか東京大学との共同研究として、透過型電子顕微鏡を用いて新規鉄砒化物超伝導体、新規リン化物超伝導体の構造解析を行い、その構造の特徴を明らかにした。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Katsura Yukari, Yamamoto Ayako, Ogino Hiraku, Horii Shigeru, Shinoyama Jun-ichi, Kishio Kohji, Takagi Hidenori, "On the possibility of MgB₂-like superconductivity in potassium hexaboride" *Physica C* (2010) In press.
2. Ogino Hiraku, Katsura Yukari, Horii Shigeru, Kishio Kohji, Shimoyama Jun-ichi, "New iron-based arsenide oxides (Fe₂As₂)(Sr₄M₂O₆)(M = Sc, Cr)" *Superconductor Science and Technology* Vol.22 pp085001 (2009)

3. Ogino Hiraku, Sato Shinya, Matsumura Yutaka, Kawaguchi Naoto, Ushiyama Koichi, Katsura Yukari, Horii Shigeru, Kishio Kohji, Shimoyama Jun-ichi, "Structural features of layered iron pnictide oxides (Fe₂As₂)(Sr₄M₂O₆)" Physica C pp085001 (2010)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

4. Katsura Yukari, Yamamoto Ayako, Ogino Hiraku, Horii Shigeru, Shimoyama Jun-ichi, Kishio Kohji, Takagi Hidenori, "On the possibility of MgB₂-like superconductivity in potassium hexaboride" 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX) Japan Tokyo 2009 9

5. Ogino Hiraku, Sato Shinya, Matsumura Yutaka, Kawaguchi Naoto, Ushiyama Koichi, Katsura Yukari, Horii Shigeru, Kishio Kohji, "Discovery of New Layered Iron Pnictide Oxides (Fe₂Pn₂)(Sr₄M₂O₆)" 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX) Tokyo Japan 2009 9

6. Katsura Yukari, Takagi Hidenori, "Electronic structures of 122- and 111-type silicides and germanides in comparison to iron pnictide superconductors" APS March Meeting 2010 Portland USA 2010 3

(国内学会等)

7. 桂 ゆかり, 高木 英典, "FeSi層, FeGe層を含む新規鉄系超伝導体の設計と探索" 日本物理学会 岡山 日本 2010 3

XXI-010 導電性ダイヤモンドの表面および分子吸着のナノレベル解析

Nano-scale Investigation of Conducting Diamond Surfaces and Molecular Adsorption

研究者氏名：清水 智子 Shimizu, Tomoko

受入研究室：基幹研究所

川合表面化学研究室

(所属長 川合 真紀)

絶縁体であるダイヤモンドにホウ素をドーブすると、不純物準位の形成によって半導体や金属へ性質が変化する。高濃度ホウ素がドーブされた金属的ダイヤモンドは、電気化学的手法による生体物質や環境汚染物質の簡便なセンサーとして応用が期待されている。しかし、ダイヤモンドの成長条件と電極表面の微視的構造や電子状態の関係は十分理解されていない。その点を調査するため、絶縁体ダイヤモンド基板にホウ素ドーブ層をホモエピタキシャル成長させた場合と、シリコン基板上に多結晶を成長させた場合に対し、詳細な検討を行った。まず、ホモエピタキシャル成長させた場合について、成長時間を変化させ、原子間力顕微鏡 (AFM) により表面構造を解析することで、薄膜成長過程がVolmer-Weber過程 (島の形成→成長→薄膜の形成) であることを明らかにした。電気化学測定との比較から、島が基板を埋め尽くす程度成長させれば、センサーとして十分な性能が得られることも判明した。一方、多結晶ダイヤモンドに対しては、より高濃度にホウ素をドーブすることが可能であるが、バックグラウンド電流値が増え、電位窓が小さくなることからセンサーとし

ての機能は低下するという弱点があった。その原因が、結晶中にsp²炭素を含む欠陥が生じるためであることがラマン分光で判明した。走査トンネル顕微鏡 (STM) 測定と局所トンネル分光からは、場所により様々に異なる構造と電子状態をもつ不均一な表面であることが観測された。しかし、厳しい陽極酸化に対し耐久性の高い材料であることも分かり、センサーとしてではなく、電気分解を用いた污水处理などへの応用可能性が示唆された。以上は、慶應義塾大学栄長研究室との共同研究である。

次に、バルク中へのドーブではなく、ダイヤモンド表面に分子を吸着させ表面に伝導層を生み出す、いわゆる表面ドーピング現象の解明を目指す研究に着手した。この現象を生み出す分子として知られているフッ化フラーレン分子に対し、まずはその分子自体の性質の知見を得るため、既知の基板であるAu (111) にフッ化フラーレンを吸着させ、構造や電子状態の解析を行った。

並行して、磁鉄鉱(111)表面のSTM観測も行った。理論計算との比較から最安定表面の構造を決定し、その表面において金属-絶縁体転移を観測した。さ

らに清浄表面に存在する吸着物質の同定に成功した。

●誌上発表 Publications

(単行本)

1. 川合 眞紀, 宗像 利明, 清水 智子, "エンジニアのための物理化学 (翻訳) " Molecular Physical Chemistry for Engineers by John T. Yates, Jr. and J. Karl Johnson 日本 00 東京化学同人 日本東京 pp (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Shimizu T, Kim Y, Kawai M, "Termination and identification of surface species on the magnetite (111) surface studied by scanning tunneling microscopy" AVS

56th International Symposium and Exhibition San Jose USA 2009 11

2. Watanabe T, Shimizu T, Kim Y, Tateyama Y, Einaga Y, "Enlargement of the electric double-layer capacitance of heavily boron-doped diamond electrodes" 20th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides Athens Greece 2009 9

(国内学会等)

1. 大谷 徹也, 清水 智子, 金 有洙, 川合 眞紀, "Au (111)上のフッ化フラーレン $C_{60}F_{36}$ のSTM観察" 第29回表面科学学術講演会 東京 日本 2009 10
2. 大谷 徹也, 清水 智子, 金 有洙, 川合 眞紀, "Au (111)上のフッ化フラーレン $C_{60}F_{36}$ のSTM観察" 表面・界面スペクトロスコーピー2009 札幌 日本 2009 12

XXI-011

自己組織化機構を利用した金ナノロッドのデザイン

Design of Gold Nanorods through Self-organization

研究者氏名: 武仲 能子 Takenaka, Yoshiko

受入研究室: 基幹研究所

揺律機能研究チーム

(所属長 原 正彦)

金ナノロッドは一次元状の金の単結晶であり、陽イオン性界面活性剤水溶液中での金イオンの還元反応により自発的に成長することが知られている。金ナノロッドは工学的・基礎科学的に興味深い物質であり、これまでに代表的な3つの合成法と生成メカニズムについて研究がなされてきた。しかしこれらの研究は、金ナノロッドが液体状態の界面活性剤水溶液中で成長する場合に適応されており、界面活性剤分子が水溶液中でミセル以外の自己集合構造をとる場合については研究されてこなかった。

そこで近年我々は、金ナノロッドの成長溶液である界面活性剤水溶液内部における界面活性剤分子の自己集合構造に着目し、界面活性剤水溶液のゲル化と金ナノロッドの成長との相関について研究してきた。その結果我々は界面活性剤水溶液がゲル化する場合には、ゲル化しない場合に比べて高アスペクト比の金ナノロッドが高収率で成長することを明らかにした。

そこで今年度我々は、ゲル化する界面活性剤水溶

液中で生成する金ナノロッドの成長過程の観察を主に行った。これまでに我々は金ナノロッドの成長過程の任意の時間に、成長反応を止めて観察する方法を実験的に開発しているため、この方法を用いて成長過程の観察を行い、ゲル化しない界面活性剤中で生成する金ナノロッドの成長過程の様子と比較した。走査型電子顕微鏡により成長開始後それぞれの時間における金ナノロッドの形状を観察し長さの分布を測定した。その結果、成長の初期過程における金ナノロッドの長さの標準偏差に大きな違いが見られることがわかった。つまり、ゲル化していない界面活性剤水溶液中で成長した場合には、長さの標準偏差に大きな違いがないのに対し、ゲル化している界面活性剤水溶液中で成長した場合には、成長の初期過程の標準偏差が有意に大きくなることが確認された。このことから、成長初期段階における界面活性剤水溶液中での、界面活性剤分子の自己集合構造形成過程が、金ナノロッドの最終形状に強い影響を与えていることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nagahara H, Ma Y, Takenaka Y, Kageyama R, Yoshikawa K, "Spatiotemporal pattern in somitogenesis: A non-Turing scenario with wave propagation" Physical Review E Vol.80 pp021906-1-021906-7 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takenaka Y, Hara M, Kitahata H, "Growth of gold nanorods in surfactant solution" HYU-RIKEN Joint Research Workshop Seoul Korea 2009 8

Takenaka Y, Hara M, Kitahata H, "Crystallization of gold nanorods in gelled surfactant system" 2010 HYU-RIK-

EN Collaboration Workshop Jeju Korea 2010 1

(国内学会等)

武仲 能子, 北畑 裕之, 原 正彦, "界面活性剤水溶液中での金の異方的結晶成長における内部構造変化の影響" 日本物理学会 2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

武仲 能子, 北畑 裕之, 原 正彦, "金ナノロッド形成に用いる界面活性剤溶液の構造変化の影響" 第62回コロイドおよび界面化学討論会 岡山 日本 2009 9

武仲 能子, 原 正彦, 北畑 裕之, "界面活性剤水溶液中での金粒子の結晶成長" 日本物理学会 岡山大学 日本 2010 3

XXI-012

配列させた分子を用いた光イオン化における 時間分解光電子分光測定

Photoionization Dynamics of Aligned Molecules Studied by Time-resolved Photoelectron Imaging

研究者氏名: 水野 智也 Mizuno, Tomoya

受入研究室: 基幹研究所

鈴木化学反応研究室

(所属長 鈴木 俊法)

化学反応を十分に理解しようと思うと高速で起こる電子状態変化を追跡する事が非常に有用である。なぜなら一部を除き殆どの化学反応がBorn-Oppenheimer近似のもとで電子状態の変化に伴い核の運動が誘起される事で進行するからである。ここで電子状態の実時間追跡を時間分解光電子分光を用いて行おうと思うと光イオン化過程の深い理解が必要となる。また光イオン化自体最も単純な光化学反応の一つであり、この理解は非常に重要である。これらの視点から分子の光イオン化過程の研究を行っている。

本年度は時間分解能と位置分解能を有するdelay line detectorの立ち上げを行った。従来の位置分解能のみを有する検出器を用いた光電子イメージングでは光電子放出角度分布がレーザーの偏光方向に対して円筒対称性を有することを仮定することによって三次元光電子放出角度分布を得ている。その場合、ポンププローブ法に光電子イメージングを適用するとポンプ光とプローブ光の偏光方向が平行でなければならないなどの制約が存在する。そこでdelay

line detectorを用いて三次元光電子イメージング装置の開発を行う事とし、その一段目として検出器の立ち上げを進めた。その結果、検出器の位置分解能0.2 mm、時間分解能1 nsecを達成し十分に三次元光電子イメージングに適応できる状況になっている。来年度より実際に三次元光電子イメージングを行う予定である。

それと平行して播磨研究所にあるSCSS試験加速器を用いたUVフェムト秒レーザーとEUV-FELの同期実験にも参加した。この研究はUVポンプ光励起、EUVプローブの時間分解光電子分光測定を目指して準備を進めている。EUVをプローブに用いることにより今までできなかった電子状態が基底状態に戻るような反応過程についても追跡が可能となる。本年度でテストは終了し、時間分解光電子分光のスペクトルを得ることに成功している。以上二つの実験準備、予備実験等を行い、研究を遂行する環境を十分に整えた。

研究者氏名：藤川 紗千恵 Fujikawa, Sachie

受入研究室：基幹研究所

テラヘルツ量子素子研究チーム

(所属長 平山 秀樹)

波長250-280nmの深紫外発光素子の応用には、殺菌・医療・照明、公害物質除去等、様々な分野に貢献できるため実現が大変期待されている。本研究で用いる窒化物半導体は、広い波長範囲、砒素・鉛等を用いなく環境に優しい、ハード系材料である等の特長を持ち紫外発光材料に大変有用であると考えられている。しかし、紫外波長域の現状としては、可視・近紫外域と比べ350nm以下の紫外域での発光効率は極めて低いのが現状である。その問題点としては、AlGaInのp型化が困難、電子オーバーフロー抑制が困難、低転位AlN層の成長が困難である点等があげられる。

今年度の本研究としては、高品質InAlGaInの実現を目的にInAlGaInの成長速度に注目し研究を行った。成長速度を変動させるには、①アンモニア流量、②Ⅲ・V族流量、③成長温度、が挙げられ各々において、PLスペクトル発光強度比較・SIMS分析を用いての検討を行った。まず、減圧MOCVD法を用いて、In_{0.03}Al_{0.5}Ga_{0.5}Nバルクの成長を①アンモニア流量を増加させることによる低成長速度化を行った。その結果、成長速度を0.314μm/hから0.075μm/hと約1/4に減少させることでPLスペクトル発光強度3.4倍増加を観測した。また、SIMS分析において成長速度の低下により炭素濃度が低減することも観測した。次にV/Ⅲ比を同一にするため②Ⅲ・V族流量の同率変化により成長速度を変化させた。この結果においても、成長速度を0.075μm/hから0.027μm/hと低下することでPLスペクトル発光強度を約5倍増加することを確認した。さらに③成長温度を低くすることにより成長速度を低下させた。この結果においても、成長速度0.075μm/hから0.034μm/hへと低下することでPLスペクトル発光強度を約100倍が増加することを観測した。また、InAlGaIn量子井戸層における成長速度比較を行った。この結果においても、低成長速度時においてPLスペクトル発光強度の約1000倍の飛躍的増加を観測した。いずれの場合においてもInAlGaInの成長

速度低減による高品質化の実現に成功した。これらの結果から高品質InAlGaInの作製には低速成長が必要不可欠であることがわかった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "Extremely high efficiency 280 nm-band emission from quaternary InAlGaIn QWs realized by controlling Si-doped layers" *Physica Status Solidi C* Vol.6 ppS784-S787 (2009)
2. Fujikawa S, Takano T, Kondo Y, Hirayama H, "Realization of 340 nm-band high-power InAlGaIn-based ultraviolet light-emitting diodes by the suppression of electron overflow" *Physica Status Solidi C* Vol.5 pp2260-2262 (2008)
3. Fujikawa S, Takano T, Kondo Y, Hirayama H, "Realization of 340 nm-band high-power UV-LED using p-type InAlGaIn" *Journal of Light and Visual Environment* Vol. pp83-87 (2008)
4. Fujikawa S, Takano T, Kondo Y, Hirayama H, "Realization of 340-nm-band high-output-power (7mW) InAlGaIn quantum well ultraviolet light-emitting diode with p-type InAlGaIn" *Japanese Journal of Applied Physics* Vol.47 4 pp2941-2944 (2008)
5. Fujikawa S, Takano T, Kondo Y, Hirayama H, "340 nm-band high-power InAlGaIn quantum well ultraviolet light-emitting diode using p-type InAlGaIn layers" *Physica Status Solidi C* Vol. pp2280-2282 (2008)
6. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "High-efficiency 280 nm-band InAlGaIn quantum well deep-UV LEDs with Si-doped barrier layers" 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27) Syuzenji Japan 2008 7
7. Hirayama H, Fujikawa S, Noguchi N, Norimatsu J, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "222-282nm AlGaIn and InAlGaIn-based deep-UV LEDs fabricated on high-

- quality AlN on sapphire" *Physica Status Solidi A* Vol.206 6 pp1176-1182 (2009)
8. Hirayama H, Fujikawa S, Norimatsu J, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "Fabrication of a low threading dislocation density ELO-AlN template for application to deep-UV LEDs" *Physica Status Solidi C* Vol.6 S2 ppS356-S359 (2009)
 9. Hirayama H, Norimatsu J, Noguchi N, Fujikawa S, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "Milliwatt power 270nm-band AlGaIn deep-UV LEDs fabricated on ELO-AlN templates" *Physica Status Solidi C* Vol.6 S2 ppS474-S477 (2009)
 10. Hirayama H, Fujikawa S, "Quaternary InAlGaIn quantum-dot ultraviolet light-emitting diode emitting at 335 nm fabricated by an anti-surfactant method" *Physica Status Solidi* Vol. 5 pp2312 (2008)
 11. Takano T, Fujikawa S, Kondo Y, Hirayama H, "Remarkable improvement of output power for InAlGaIn based ultraviolet LED by improving the crystal quality of AlN/AlGaIn templates" *Physica Status Solidi C* Vol.5 pp2102-2104 (2008)
 12. Takano T, Fujikawa S, Tsubaki K, Hirayama H, "Realization of 270 nm band AlGaIn based UV-LED on large area AlN template with high crystalline quality" *Physica Status Solidi C* Vol.6 ppS462-S465 (2009)
- (その他)
1. 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 高野 隆好, 椿 健治, "280nm帯InAlGaIn高出力紫外LED" *信学技報* Vol.108 323 pp83-88 (2008)
 2. 乗松 潤, 平山 秀樹, 野口 憲路, 藤川 紗千恵, 高野 隆好, 椿 健治, "ELO-AlN テンプレート上に作製した270nm帯 AlGaIn 紫外LED" *信学技報* Vol.108 323 pp77-82 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "Achievement of High-quality Quaternary InAlGaIn Quantum Wells for Deep-UV LEDs by using Quite Low Growth Rate Epitaxy" 8th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-8) Jeju Korea 2009 10
2. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "Extremely high efficiency 280 nm-band emission from quaternary InAlGaIn quantum wells realized by controlling Si-doped layers" International Workshop on Nitride Semiconductors 2008(IWN2008) Montreux Switzerland 2008 10
3. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "High-efficiency 280 nm-band InAlGaIn quantum well deep-UV LEDs with Si-doped barrier layers" 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27) Syuzenji Japan 2008 7
4. Fujikawa S, Hirayama H, Takano T, Tsubaki K, "Extremely high efficiency PL emission from 280 nm-band InAlGaIn QWs realized by Si-doped layer control" Second International Symposium on Growth of III-Nitrides (ISGN-2) Syuzenji Japan 2008 7
5. Fujikawa S, Takano T, Tsubaki K, Hirayama H, "280 nm-band quaternary InAlGaIn quantum well deep-UV LEDs with p-InAlGaIn layers" International Symposium on Semiconductor Light emitting devices Phoenix USA 2008 4-5
6. Takano T, Hirayama H, Fujikawa S, Tsubaki K, "Growth of AlN with Low Threading Dislocation Density on Sapphire Fabricated by controlling AlN Nuclei using 2inch x 3 MOCVD System" 8th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-8) Jeju Korea 2009 10
7. Norimatsu J, Hirayama H, Fujikawa S, Kamata N, "Low Threading Dislocation Density ELO-AlN for Deep-UV LEDs Fabricated using Large Period (>20 μ m) AlN Stripes" 8th International Conference on Nitride Semiconductors(ICNS-8) Jeju Korea 2008 10
8. Hirayama H, Noguchi N, Fujikawa S, Norimatsu J, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "222-282nm AlGaIn and InAlGaIn based deep-UV LEDs fabricated on high-quality AlN template" SPIE Photonics West 2009 San Jose USA 2009 1
9. Hirayama H, Fujikawa S, Norimatsu J, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "Fabrication of low threading dislocation density ELO-AlN template for the application to deep-UV LEDs" International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2008) Montreux Switzerland 2008 10
10. Norimatsu J, Hirayama H, Noguchi N, Fujikawa S, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "Milliwatt power 270 nm-band AlGaIn deep-UV LEDs fabricated on ELO-AlN template" International Workshop on Nitride Semi-

- conductors (IWN2008) Montreux Switzerland 2008 10
11. Takano T, Hirayama H, Fujikawa S, Tsubaki K, "Realization of 270 nm-band AlGaIn based UV-LEDs on large area AlN template with high crystalline quality" International Workshop on Nitride Semiconductors 2008(IWN2008) Montreux Switzerland 2008 6
 12. Hirayama H, Fujikawa S, Noguchi N, Yatabe T, Takano T, Tsubaki K, Kamata N, "(Invited) 222-282 nm AlGaIn and InAlGaIn-based deep-UV-LEDs fabricated on high-quality AlN on sapphire" International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2008) Montreux Switzerland 2008 10
- (国内学会等)
1. 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 高野 隆好, 椿 健治, "280nm 帯紫外 LED における InAlGaIn の極低速成長の重要性" 第70回応用物理学会学術講演会 富山市 日本 2009 9
 2. 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 高野 隆好, 椿 健治, "低速成長による高Al組成InAlGaIn4元混晶の高品質結晶成長・評価と280nm帯深紫外高出力LEDの実現" 日本結晶成長学会ナノエピ分科会 第1回窒化物半導体結晶成長講演会「窒化物半導体結晶成長の未来を展望する」府中市 日本 2009 5
 3. 藤川 紗千恵, 乗松 潤, 平山 秀樹, 野口 憲路, 鎌田 憲彦, "大周期ストライプを用いた深紫外LED用ELO-AlNテンプレートの貫通転位の低減" 日本結晶成長学会ナノエピ分科会 第1回窒化物半導体結晶成長講演会「窒化物半導体結晶成長の未来を展望する」府中市 日本 2009 5
 4. 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 高野 隆好, 椿 健治, "モジュレーションドープInAlGaIn量子井戸発光層を用いた高出力280nm帯紫外LEDの実現" 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究 公開シンポジウム「窒化物光半導体フロンティア—材料潜在能力の極限発見—」東京 日本 2009 8
 5. 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 高野 隆好, 椿 健治, "SiモジュレーションドープInAlGaIn発光層を用いた280nm帯紫外LEDの10mW出力動作" 第69回応用物理学会学術講演会 春日井 日本 2008 9
 6. 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 高野 隆好, 近藤 行廣, "InAlGaIn4元混晶紫外LEDの高出力化の検討" 第53回応用物理学関係連合学術講演会 東京 日本 2006 3
 7. 高野 隆好, 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 椿 健治, "2" × 3 MOCVD を用いた核形成層制御によるサファイア基板上AlNの高品質化" 第70回応用物理学会学術講演会 富山市 日本 2009 9
 8. 塚田 悠介, 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 乗松 潤, 鎌田 憲彦, "Siドーピングによる250nm帯InドープAlGaIn量子井戸LED高効率化の検討" 第70回応用物理学会学術講演会 富山市 日本 2009 9
 9. 塚田 悠介, 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 野口 憲路, 鎌田 憲彦, "250nm帯InAlGaIn量子井戸紫外LEDのサブミリワット出力動作" 第56回応用物理学関係連合講演会 つくば 日本 2009 3-4
 10. 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 塚田 悠介, 乗松 潤, 高野 隆好, 野口 憲路, 椿 健治, 鎌田 憲彦, "In混入AlGaInの発行およびp型特性と高効率深紫外LEDへの応用" 第70回応用物理学会学術講演会 富山市 日本 2009 9
 11. 塚田 悠介, 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 野口 憲路, 鎌田 憲彦, "高Al組成InAlGaIn4元混晶の結晶成長と250nm帯深紫外高出力LEDの実現" 日本結晶成長学会ナノエピ分科会 第1回窒化物半導体結晶成長講演会「窒化物半導体結晶成長の未来を展望する」府中市 日本 2009 5
 12. 高野 隆好, 藤川 紗千恵, 平山 秀樹, 杉山 正和, "InAlGaIn四元混晶半導体を用いた深紫外発光量子ドットの作製" 第56回応用物理学関係連合学術講演会 つくば市 日本 2009 3
 13. 乗松 潤, 平山 秀樹, 野口 憲路, 藤川 紗千恵, 高野 隆好, 椿 健治, 鎌田 憲彦, "ELO-AlNテンプレート上に作製した270nm帯紫外LED" 電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会 名古屋 日本 2008 11
 14. 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 高野 隆好, 椿 健治, "280nm帯InAlGaIn高出力紫外LED" 電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会「窒化物半導体光・電子デバイス・材料及び関連技術」名古屋 日本 2008 11
 15. 平山 秀樹, 藤川 紗千恵, 乗松 潤, 高野 隆好, 椿 健治, 鎌田 憲彦, "紫外LED用低貫通転位密度ELO-AlNテンプレートの作製" 第69回応用物理学会学術講演会 春日井 日本 2008 9
 16. 乗松 潤, 平山 秀樹, 野口 憲路, 藤川 紗千恵, 高野 隆好, 椿 健治, 鎌田 憲彦, "ELO-AlNテンプレート上に作製した270nm帯AlGaIn-LEDのCWミリワット出力動作" 第69回応用物理学会学術講演

演会 春日井 日本 2008 9

17. 乗松 潤, 平山 秀樹, 高野 隆好, 藤川 紗千恵, 野口 憲路, 椿 健治, 鎌田 憲彦, "270nm-band AlGaIn

deep-UV-LEDs fabricated on ELO-AlN buffer" 第27回電子材料シンポジウム(EMS-27) 伊豆 日本 2008 7

XXI-014 ナノ細線中のアンドレーエフ束縛状態の観測とコヒーレント操作 Detection and Coherent Manipulation of Andreev Bound States in Nanowires

研究者氏名: 西尾 隆宏 Nishio, Takahiro

受入研究室: 基幹研究所

石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

量子コンピューティングに向けて超伝導体を用いた量子コヒーレント操作の研究が盛んに行われている。私は超伝導-常伝導-超伝導(SNS)接合に形成されるアンドレーエフ束縛状態のミクロな量子重ね合わせ状態に着目し、独自のアイデアとしてその常伝導部分をナノ細線で置き換えた超伝導量子デバイスの作製を目指している。これはナノ細線では一次元チャンネルのみ許されることから、長時間のコヒーレンス保持が期待できるためである。本研究では高い移動度を有するInAsナノ細線を用いて長さや径がよく制御された一次元SNS接合系超伝導量子デバイスを作製し、トンネル分光測定とマイクロ波を用いたSQUID測定の二つの手法によりナノ細線内のアンドレーエフ束縛状態の観測を目指す。そして、この束縛状態でのミクロな量子重ね合わせ状態を用いて量子コヒーレント操作を実験的に検証することを目的としている。

本年度はナノ細線-超伝導量子デバイスの作製法の確立を目指した。第一段階としてInAsナノ細線にTi/Al超伝導電極で接触をとった電界効果型のデバイスを作製した。デバイスの評価は希釈冷凍機を用いることで超低温(~22 mK)から室温に至るまでの温度範囲で電気伝導測定により評価した。その結果、移動度 $10^3\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度のn型の特性を確認し、特に極低温下ではクーロンブロッケード効果によるクーロン振動、クーロンダイヤモンドを観測した。さらにクーロンピークの磁場依存性の測定からg因子を見積り、単位によって最大で50程度の非常に大きい値を

示すことが分かった。

実験で観測したクーロンブロッケードはナノ細線と超伝導電極との接触界面に存在する酸化膜に起因するものと考えられる。そこで、現在はイオンスパッタリングによるドライエッチングを用いて、この酸化膜による接触抵抗の低減と超伝導電流の観測を目指している。一方で、クーロンブロッケードの起こらない比較的高い温度領域では散乱体による量子干渉効果が観測されている。そこで電極間隔距離の微細化により、散乱体による散乱効果の低減を試みている。この他、高周波ノイズのフィルタリングを目的とした希釈冷凍機の改造、さらに超伝導体としてNbを用いたデバイスの高温度動作化などの改善にも取り組んでいる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

M. Ono, T. Nishio, T. An, T. Eguchi, Y. Hasegawa, "Observation of the screened potential and the Friedel oscillation by low-temperature scanning tunneling microscopy/spectroscopy", Appl. Surf. Sci. 256, 469-474 (2009).

J. Nakamura, M. Matsudaira, J. Haruyama, H. Sugiura, M. Tachibana, J. Reppert, A. Rao, T. Nishio, Y. Hasegawa, H. Sano, and Y. Iye, "Pressure-induced superconductivity in boron-doped Bucky papers", Appl. Phys. Lett. 95, 142503(2009).

Development of Single Molecule Polysaccharide Sequencer Using a Nanopore

研究者氏名：武政 誠 Takemasa, Makoto

受入研究室：基幹研究所

前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

薄膜に数nmの直径の穴を開けたナノポアは、分子のサイズと同程度である特徴を活かして、超高感度、高速に1分子検出が可能な、新世代の解析ツールとして注目が集まっている。例えば、ナノポアのある膜を電解質水溶液に浸して、膜の両側に電圧を印加すると、ナノポアを通過したイオンの移動による定電流が観測される。粒子がナノポアを通過する際には、ポアの実効断面積が減少するために、電流は減少する。この測定を精密に行うことで、DNAの微細な断面積の変化を超高速に読み取ることを目指した、次々世代用の1分子DNAシーケンサーを目指した開発が行われている。現在では、ナノスケール版のコールターカウンターとしてDNA以外の様々な高分子鎖を対象とした用途開発が始まっている。

本研究では、DNA用に開発されてきたナノポア関連技術を、糖鎖に応用して1分子糖鎖シーケンサーを開発する計画である。本年度は、ナノポアを利用したコールターカウンター式1分子計測系のセットアップを行い、報告例のあるDNAで測定系の検証を行い、新たに複数種類の多糖類を用いて、パルス状のポア遮断電流を観測することに成功した。

ナノポアの作成は、シリコン基板上に製膜された厚み20~50nmのSiN薄膜(またはSiO₂薄膜)に対し

て、高密度の電子線を照射することで行った。電界放射型の透過型電子顕微鏡を用いて、集光した電子線を数分から10分程度照射することで、2~100nm程度の穴を安定して開ける手法を確立した。電子線密度を下げて、広範囲に照射することで、穴を縮小させることも可能なことを確認した。

作成した溶液セルをファラデーケージに入れ、ナノポアを含む薄膜を電解質溶液中に固定した。その状態で、薄膜の両端に加えた電圧が、ナノポアを經由して流れるイオン電流に比例することを、作製したピコアンペアメータで確認した。DNAや糖鎖を薄膜の片側のセルに添加した状態で、パルス状の電流変化が観測され、DNAでの文献との比較等から、DNAが1分子ずつナノポアを通過する現象を電流で検出していると考えられた。パルスの長さは、分子の通過時間に依存し、パルスの振幅は分子の断面積で支配されることが考えられる。振幅はほぼ一定値で観測されたが、稀に整数倍の値も観測され、複数本のDNAが同時に通過した際に見られる現象と考えられた。同様の現象を、アニオン性の糖鎖についても観測することに成功した。より精密な測定を行うことにより、1分子糖鎖シーケンサーを始めとする応用への道が開けると期待される。

XXI- 016 マイクロファブリケーションを利用したバイオインターフェース制御技術の確立とそれによる生体・医療材料への応用

Development and Application of Bio-interface Control Technology by Using Micro-fabrication in a Field of Biomedical Materials

研究者氏名：水谷 正義 Mizutani, Masayoshi

受入研究室：基幹研究所

大森素形材工学研究室

(所属長 大森 整)

金属系生体材料の場合、構成元素の表面濃縮が環境に応じて容易に起こるため、ナノレベルでの表面組成は内部の組成とは著しく異なり、最表面の組成

が生体反応に対して重要な役割を果たす。筆者は大森素形材工学研究室で開発された、超精密鏡面研削技術である電解インプロセスドレッシング(ELID)法

において、その加工プロセス中の電気化学反応に起因した表面改質効果を明らかとしており、表面のナノレベルの鏡面加工と同時に、加工面の高耐食性化や高硬度化、低摩擦係数化などの表面改質を実現する、いわゆる「表面改質加工システム」の創出を行ってきた。本年度は、それを生物学的に応用することにより、複雑形状に対応したナノ精度機械加工プロセスで生体組織や細胞との適合性を制御し、生体機能を模倣した表面を創製する技術を確立し、基礎的な知見を取得した。まずは、加工時に相乗するケミカル成分や作用が表面改質層の化学組成および構造に及ぼす影響について明らかにした。具体的には、メカニカルな加工により熱力学的、化学的な観点から非常に活性な状態にある被加工物表面に対して、電気化学反応を複合させることにより、加工に使用する砥石や研削液の成分との反応を促し、表面に形成される改質層の化学組成の制御を行った。とくに、生体組織や細胞と材料との接着には最表面の化学組成(官能基)が重要なファクターであることが知られており、その相互反応メカニズムの解明とともに、それらを制御するための新規プロセスの構築を行った。

また、上記プロセスにおける電気化学反応を制御することにより、加工面の酸化反応を制御し、形成される酸化皮膜の結晶構造制御を行った。このような現象を利用することにより、材料表面の微細形状を創製することが可能となり、幾何学的な視点から材料と生体組織・細胞との相互反応を制御可能であることも明らかとした。

以上のようにして得られた表面機能について、生体環境を模擬した擬似生体環境下における実験室レベルでの評価試験を行い、そこで得られた結果を改質プロセスにフィードバックし、統合化を図った。これを次年度以降に取り組みバイオインターフェース制御手法と組み合わせることにより、材料の表面微細構造と表面組成とを複合的に制御し、材料と生体分子・細胞との反応を制御する新たな手法の構築を目指す。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Mizutani M, Naruse T, Kameyama Y, Koma Y, Ohmori H, Sasaki C, "Fabrication of Cutting Tools for Ultra-precision machining of Tantalum and Their Cutting

Characteristics" Journal of Vacuum Science and Technology B Vol.27 3 pp1367-1369 (2009)

2. 成瀬 哲也, 上原 嘉宏, 片平 和俊, 水谷 正義, 大森 整, 小泉 仁, "マイクロ切削に及ぼす機上工具作製の効果と表面改質によるマイクロツールの強靱化" 砥粒加工学会誌 Vol.53 2 pp41-46 (2009)
3. Ohmori H, Katahira K, Komotori J, Akahane Y, Mizutani M, Naruse T, "Surface generation of superior hydrophilicity for surgical steels by specific grinding parameters" CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol.58 pp503-506 (2009)
4. 亀山 雄高, 成瀬 哲也, 水谷 正義, 狛 豊, 佐々木 慶子, 大森 整, 澤田 浩之, 松木 則夫, "技能継承の支援を目的とした切削加工技能の抽出・体系化ツールの開発" 日本機械学会論文集 (C編) Vol.75 757 pp2456-2458 (2009)
5. 亀山 雄高, 水谷 正義, 成瀬 哲也, 狛 豊, 佐々木 慶子, 大森 整, 澤田 浩之, 松木 則夫, "技能継承ツール「加工テンプレート」の開発とそれをを用いた特殊形状品の切削加工技能の可視化" 砥粒加工学会誌 Vol.53 12 ppunknown-unknown (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

6. Mizutani M, "A study on surface modification for metallic biomaterials by a new surface-modifying fabrication system" A star-RIKEN Joint Symposium 2009 Singapore Singapore 2009 5
7. Ohmori H, Maekawa K, Hachisu Y, Katahira K, Takizawa Y, Takahashi Y, Mizutani M, Kameyama Y, Sasaki M, Kato T, Kasuga H, Sasaki C, "Ultraprecision Micro-machining of Extreme Optics for Superprecision Observatory" MIRAI Short Seminar of Future of Micro-Precision Machining and Discussion on the 3rd MIRAI Joint Symposium on Micro-fabrication Davis USA 2009 6
8. Naruse T, Ohmori H, Uehara Y, Watanabe Y, Katahira K, Mizutani M, Andou K, Sasaki C, "Advanced consistent on-machine detecting, sensing, imaging, monitoring, control, feedback on tooling and machining for milli to micro-scaled phenomenon analysis" 8th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTH 2007) Sendai Japan 2007 9

9. Mizutani M, Hisamori N, Mizuno T, Atsuta S, Ohmori H, "Investigation of Micro Surface Integrity on Co-Cr Alloy Applying an Advanced Micro-mechanical Fabrication (EG-X) System" The 3rd MIRAI Forum (on Micro-Fabrication and Green Technology) Incheon Korea 2009 10
10. Ohmori H, Uehara Y, Naruse T, Maekawa k, Hachisu Y, Katahira K, Mizutani M, Kasuga H, Kameyama Y, Sasaki M, Kato T, Wada S, Lin W, Umezu S, Komotori J, Ito N, Takizawa Y, Young R, Takahashi Y, Koizumi J, Andou T, Inada A, Min S, "Current Status of R and D Activities on Microfabrication in RIKEN Group for Critical Component Development" 3rd MIRAI Forum (on Micro-Fabrication and Green Technology) Incheon Korea 2009 10
11. Mizutani M, Komotori J, Kikuchi S, Katahira K, Ohmori H, "Investigation on Thermal Oxidation Behavior of Ni-Ti Shape Memory Alloy finished by a New Electrical Grinding Technique (EG-X)" The 2nd International Conference on Ultraprecision and ELID Grinding Aachen Germany 2009 11
12. Ohmori H, Kasuga H, Lin W, Hachisu Y, Katahira K, Mizutani M, Uehara Y, Naruse T, Kameyama Y, Sasaki C, Ito N, Mimura H, Yamauchi K, Yoshida K, Hirai S, Mishima T, Doi T, Takahashi Y, Matsuzawa T, "Development of ELID-Grinding Applications Producing Various Critical Components : High Quality and Efficient Grinding of Next Generation Semiconductor, Micro-grinding, Optical Grinding, and Dies and Molds Finishing" 2nd International Conference on Ultra-Precision and ELID Grinding Aachen Germany 2009 11
13. Mizutani M, Hisamori N, Mizuno T, Ohmori H, "Evaluation of corrosion wear characteristics of Co-Cr alloys with a New Electrical Grinding Technique (EG-X)" The 5th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21 century Osaka Japan 2009 12
14. Mizutani M, Hisamori N, Atsuta S, Mizuno T, Ohmori H, "Investigation on the corrosion behavior of Co-Cr alloys worn by the different scratching rate" The M and M International Symposium for Young Researcher California U.S.A 2010 3
(国内会議)
15. 水谷 正義, 水野 隆文, 久森 紀之, 大森 整, 片平 和俊, "生体用Co-Cr合金の摩耗環境下における腐食特性およびそれに及ぼす表面改質加工の影響" 第58期日本材料学会学術講演会 愛媛 日本 2009 5
16. 水谷 正義, 赤羽 陽平, 小茂鳥 潤, 片平 和俊, 大森 整, "金型材料の濡れ性制御を目的とした表面改質加工面の創製" プラスチック成形加工学会 第20回年次大会 東京 日本 2009 6
17. 水谷 正義, 菊池 将一, 廣田 遥, 小茂鳥 潤, 大森 整, 片平 和俊, "表面改質加工 (EG-X) 法によるNi-Ti形状記憶合金の高品位表面仕上げとその改質効果の検討" M and M2009材料力学カンファレンス 北海道 日本 2009 7
18. 水谷 正義, 水野 隆文, 久森 紀之, 大森 整, "摩耗環境下におけるCo-Cr合金の耐食性の評価とその改善" 砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2009) 埼玉 日本 2009 9
19. 亀山 雄高, 余 洲, 水谷 正義, 佐々木 道子, 片平 和俊, 大森 整, "微粒子ピーニング/ELID研削複合改質を施したSUS316L鋼の表面性状" 2009年度砥粒加工学会学術講演会(ABTEC2009) 行田 日本 2009 9
20. 亀山 雄高, 菊池 将一, 廣田 遥, 松村 有希子, 水谷 正義, 小茂鳥 潤, "微粒子ピーニング・大気酸化複合処理を施したNi-Ti形状記憶合金に形成される改質層とその生体適合性" 2009年度砥粒加工学会学術講演会(ABTEC2009) 行田 日本 2009 9
21. 亀山 雄高, 水谷 正義, 成瀬 哲也, 粕 豊, 佐々木 慶子, 大森 整, 澤田 浩之, 松木 則夫, "技能継承支援ツール「加工テンプレート」の開発とそれを用いた特殊形状品の切削加工技能の可視化" 2009年度砥粒加工学会学術講演会(ABTEC2009) 行田 日本 2009 9
22. 水谷 正義, 小茂鳥 潤, 菊池 将一, 片平 和俊, 大森 整, "ELID研削を施したNi-Ti形状記憶合金の高温酸化挙動" 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会 兵庫 日本 2009 9
23. 水谷 正義, 松村 有希子, 小茂鳥 潤, "Ni-Ti形状記憶合金表面からの金属イオン溶出挙動と生体細胞への影響" 日本機械学会 2009年度年次大会 岩手 日本 2009 9
24. 水谷 正義, 水野 隆文, 久森 紀之, 大森 整, "ポリエチレンによる摩耗がCo-Cr合金の腐食挙動に及ぼす影響" 日本機械学会 2009年度年次大会 岩手 日本 2009 9

脳型システムの制御・同期現象を利用した 大容量情報処理技術の構築及び開発

A Study on Large-Volume Information Processing Technology by Applying Control Mechanism and Synchronization Phenomena in the Brain System

研究者氏名：安東 弘泰 Ando, Hiroyasu

受入研究室：脳科学総合研究センター

脳数理研究チーム

(所属長 甘利 俊一)

昨今のインターネットや携帯電話の普及に伴い、情報技術は飛躍的に進歩しており、これをうけて、社会的需要が高い新たな問題が生じている。たとえば、大規模コミュニケーションに伴う通信容量・速度の増加に対する大容量情報処理問題、配送計画・VLSI設計における組み合わせ最適化問題などである。しかし、こういった問題は、現行のコンピュータの計算方式(ノイマン型)では、その処理が原理的に困難になってきている。そこで、このような問題に対応する原理的に新しい大容量情報処理技術の構築を、脳の大規模非線形システムとしての観点から、その制御・同期現象などを応用した形でめざす。

本研究では以下の項目に関して、その理論の構築と可能な実装を試みている。

i) 脳型システムのアナログ計算能力を応用した大容量メモリの探索・開発とその実装：これまでに提案した適応的カオス制御法を応用して、動的で超安定な大容量アナログメモリを構築する。このメモリでは、カオスシステムの分岐構造における無数の周期窓をメモリ状態とみなす。さらに、実装を見据え、ノイズの影響も考慮したロバストなアナログメモリを構築する。ここでは特に、カオスニューロン写像をその非線形素子として利用する。

ii) カオスゆらぎを利用した計算アーキテクチャの構築とその実装：脳はその構造の複雑性などから、全体としては非同期的に活動する。そこで、既存の非同期式ゆらぎ計算モデルにカオス同期を適用した新たなゆらぎ計算モデルを構築する。さらに電子回路に基づく素子モデルでの実装可能性を考察する。

iii) 脳型システムにおける同期現象を応用した並列処理技術の探索・開発：神経膜応答のモデルにおいて観測される多重モードカオスに関して、カオス位相同期理論の発展と、その応用としてモード毎のカ

オス位相同期を同時並列に実行し、その並列処理方式への応用を実現する。

iv) 適応的カオス制御を利用したコーディング技術の構築：先に述べた適応的カオス制御を大規模神経回路網などへ適用した形で、様々な情報コーディング技術の理論を体系化する。ここでは、複数の神経素子間における同期パターンとその遷移を利用した、安定かつ一括書き換え可能な動的メモリシステムや、制御によって得られる超安定周期解による情報圧縮とその制御過程の複雑さを用いた暗号化技術の提案などを行う。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ando H, Peper F, Aihara K, "Chaotic synchronization and de-synchronization for a token-based computational architecture" Proceedings of 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications Sapporo Japan 2009 10 The institute of electronics, information and communication engineers Japan Tokyo pp647-650 (2009)

(総説)

堀尾 喜彦, 安東 弘泰, 合原 一幸, "複雑計算システムの基盤技術" Fundamentals Review Vol.3 2 pp34-44 (2009)

(単行本)

安東 弘泰, 堀尾 喜彦, 合原 一幸, "カオスニューロダイナミクスの適応的制御" 第52回自動制御連合講演会 講演論文集 大阪 日本 2009 11 システム制御情報学会 日本 大阪 ppD3-4-1-D3-4-4 (2009)

安東 弘泰, 合原 一幸, "適応的時間遅れフィードバック制御とその応用" 理論応用力学講演会 講演論文集, Vol. 58 (2009) 東京 日本 2009 6 社団法人土木学会 日本 東京 pp113-114 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ando H, Nakano A, Horio Y, Aihara K, "Adaptive feedback control of chaotic neurodynamics in analog circuits" 2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems Taipei Taiwan 2009 5

Ando H, Suetani H, Aihara K, "Phase condensation in bursting chaos with weak periodic forcing" Dynamics Days Europe 2009 Gottingen Germany 2009 8-9

Ando H, Suetani H, Aihara K, "Chaotic phase synchronization in neural bursting systems driven by weak periodic force" Conference on Dynamics in Systems Biology Aberdeen UK 2009 9

Ando H, Peper F, Aihara K, "Chaotic synchronization and de-synchronization for a token-based computational ar-

chitecture" 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications Sapporo Japan 2009 10

(国内会議)

安東 弘泰, 合原 一幸, "適応的時間遅れフィードバック制御とその応用" 第58回理論応用力学講演会 東京 日本 2009 6

安東 弘泰, 堀尾 喜彦, 合原 一幸, "カオスニューロダイナミクスの適応的制御" 第52回自動制御連合講演会 大阪 日本 2009 11

安東 弘泰, 末谷 大道, 合原 一幸, "神経系モデルのカオス的バースト発火における位相同期現象について" 日本物理学会 2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

XXI-018 光環境ストレス応答機構における葉緑体チラコイド膜構造のダイナミクス Visualization of Thylakoid Membrane Dynamics during Photoacclimation

研究者氏名: 岩井 優和 Iwai, Masakazu

受入研究室: 基幹研究所

リアルタイム生体イメージング研究チーム
(所属長 中野 明彦)

様々な光環境ストレスに対応するため、葉緑体チラコイド膜に存在する光化学系タンパク質(PSIとPSII)、集光アンテナタンパク質(LHCII)とそれらを補助する複数のタンパク質が常に光合成活性を制御している。我々はこれまでに、単細胞緑藻クラミドモナスを用いてタンパク質複合体を精製することによって、PSIとLHCIIおよびPSIIとLHCIIの相互作用を生化学的に明らかにしてきた。その結果、光環境ストレスに応答する際、LHCIIがPSIIとPSIの間を行き来することで、各光化学系タンパク質での光合成活性を調節していることが示唆された。それら光化学系タンパク質とLHCIIとのタンパク質間相互作用が生きた植物細胞の葉緑体内でも起きていることを証明するために、ライブイメージングによる解析に着手した。

まず最初に、光化学系タンパク質とLHCIIに含まれるクロロフィルの自家蛍光を利用した蛍光寿命ライブイメージングの条件検討と解析を行った。その結果、PSIIからLHCIIが脱離する様子を生きたクラミドモナスの葉緑体内で観察することに成功し、米

国科学アカデミー紀要に掲載された。生化学的解析とクロロフィル蛍光寿命ライブイメージング解析によって、チラコイド膜に存在するタンパク質は、光環境ストレスに適応するため、積極的に膜の中を移動していることが示唆された。またその際、チラコイド膜自体もダイナミックに状態を変化していることが考えられるので、それらを直接可視化することを目的にチラコイド膜タンパク質のイメージング技術の開発と解析を進めている。

本年度は、コケ植物ヒメツリガネゴケの原糸体細胞を用いた葉緑体イメージング技術の開発に取り組んだ。ヒメツリガネゴケは、相同組換えによって内在性の核遺伝子を改変できる唯一の植物種で、ノックインやノックアウトが可能であることが知られている。また、アンピシリンを含む培地で育成させることで、葉緑体分化が阻害され、巨大葉緑体を形成するので、チラコイド膜タンパク質のイメージングには最適であると考えられる。これまでに、ヒメツリガネゴケを用いた実験環境の整備を行い、現在目的のタンパク質に蛍光タンパク質を標識した形質転

換体の作成を行っている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Tokutsu, R., Iwai, M., Minagawa, J. (2009) CP29, a monomeric light-harvesting complex II protein, is essential for state transitions in *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Biol. Chem.* 284: 7777-7782.

Iwai, M., Yokono, M., Inada, N., Minagawa, J. (2009) Live-cell imaging of photosystem II antenna dissociation during state transitions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *in press*.

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

岩井優和, 光化学系タンパク質複合体のクロロフィル蛍光寿命ライブイメージング, NAIST植物科学教育推進事業シンポジウム「視る生物学4 - 進化するイメージング -」, 奈良, 2009年11月

岩井優和, 得津隆太郎, 皆川純, サイクリック電子伝達を制御する光化学系タンパク質超複合体 (I) - 生化学的解析 -, 第51回日本植物生理学会年会, 熊本, 2010年3月

XXI- 019

コンデンシンによる染色体機能制御

Regulation of Chromosomal Functions by Condensins

研究者氏名: 山下 大輔 Yamashita, Daisuke

受入研究室: 基幹研究所

平野染色体ダイナミクス研究室

(所属長 平野 達也)

染色体凝縮は、複製された染色体を正確に娘細胞に分配するために必要不可欠な準備過程である。この過程に中心的な役割を果たすのが、コンデンシンと呼ばれるタンパク質複合体である。高等真核細胞には2つのコンデンシン(コンデンシンIとII)が存在し、これらは分裂中期から後期にかけて共に染色体上にあり、染色体構築に協調して働く。その一方で、核膜崩壊以前に起こる初期の染色体凝縮にはコンデンシンIIが重要な役割を担うことが示されている。私はコンデンシンIIの機能がどのように調節されているのかを明らかにするために、その制御因子としての機能が予想されているMCPH1に焦点を当てて解析を進めている。MCPH1は小頭症(microcephaly)の原因遺伝子の1つであり、この遺伝子に変異を持つ患者由来の細胞では、分裂期に先立って時期尚早な染色体凝縮が観察されることが知られている。この現象はコンデンシンIIの制御異常に起因することが明らかにされ、MCPH1はコンデンシンIIの抑制因子として働いている可能性が示されていたが、その機構については分かっていなかった。

まず私は、ヒト培養細胞抽出液を用いた免疫沈降実験により、コンデンシンIIとMCPH1が機能的にだけでなく、物理的にも相互作用していることを見出した。そこで、MCPH1の領域欠失変異体を用いた実験を行ったところ、このタンパク質は中央領域を介してコンデンシンIIと相互作用していることがわかった。さらにこの領域内のアミノ酸を置換させた変異体を用いることで、相互作用に必須のアミノ酸を同定した。次に、無細胞翻訳系で発現させた組み換えタンパク質を用いた解析から、MCPH1はコンデンシンIIを構成するG2サブユニットと相互作用していることが明らかとなった。最後に、ヒトMCPH1をカエル卵抽出液に導入すると、抽出液中にあるコンデンシンIIの染色体結合能に影響を与えることがわかった。しかし興味深いことに、この活性を担っているのはコンデンシンIIと直接相互作用する中央領域とは異なる領域であった。現在、この制御領域に焦点を当て、MCPH1によるコンデンシンIIの染色体結合の制御機構を詳細に解析している。

XXI- 020 光合成集光システムにおける環境応答機構の探索と機能解明
Comprehensive Analysis of Environmental Responses in Photosynthetic Light-harvesting System

研究者氏名：近藤(小山内) 久益子
Kondo-Osanai, Kumiko
受入研究室：植物科学研究センター
機能開発研究グループ
(所属長 篠崎 一雄)

温暖化や食糧問題などの切迫した地球環境問題を解決するためには植物生産性の向上が解決策の一つである。本研究では太陽光エネルギー変換の前段階である光合成集光装置に着目し、光合成機能および環境耐性の向上により植物生産性の向上に貢献することを目指している。

全ての光合成生物は効率的に光エネルギーを光合成に利用するために集光装置を進化させてきた。集光装置は環境の変化に応じ短期的・長期的に様々な調節を受けることで光エネルギーの捕集だけでなく余剰なエネルギーを熱として消去する役割を果たしており、植物の環境応答において重要な役割を担っていると考えられている。陸上植物では短期的には熱として消去する機構や長期的には集光タンパク質の変動などが重要であることが分かっているが、未解明な点も多く特に長期的応答に関してはその分子機構が殆ど明らかとなっていない。そこで本研究ではタグラインを用いたスクリーニングと網羅的な解析手法とを用いて植物の環境応答機構を集光装置の点から明らかにすることを目的とした。

今年度は篠崎グループディレクターらによって収集されたシロイヌナズナの核コード葉緑体タンパク質にトランスポゾンまたはT-DNAが挿入されたタグラインである約1000ラインのホモラインコレクションを用いて二次元クロロフィル蛍光解析を行った。二次元クロロフィル蛍光では光合成機能の微妙な変化を簡便に解析することができ網羅的かつ迅速に光合成機能が異常な変異体を同定可能である。これまでに一次スクリーニングとして中光(70 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)あるいは強光(230 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下で生育させた芽生え植物体の解析を行った。各種光合成パラメータの中からNPQと ϕII に着目し、いずれかの条件で少なくとも一つのパラメータにおいて有意水準68.3%で検定したところ、約90の機能未知遺伝子ノックアウトラインを含む合計620ラインが抽出された。さらにその中から遺伝子情報を考慮し約400ラインを抽出し二次スクリーニング候補とした。現在中光で9-10日生育後に24時間強光処理を行った植物体の測定を行っている。

XXI- 021 ケミカルジェネティクスによる植物細胞の管状要素分化に伴う
二次細胞壁パターン形成機構の解析
Analysis of Secondary Cell Wall Pattern Formation Mechanism
during Tracheary Element Differentiation in Plant Cells by Chemical Genetics

研究者氏名：米田 新 Yoneda, Arata
受入研究室：植物科学研究センター
形態制御研究チーム
(所属長 出村 拓)

ケミカルジェネティクスは、遺伝学的突然変異を誘発する代わりに、化合物ライブラリを添加して目的の表現形質を示す化合物を選抜し、生命現象の解明を目指す、新しい手法である。従来の遺伝学的手法では管状要素の二次細胞壁パターン形成に関する

突然変異体はあまり報告されていないが、これは二次細胞壁パターン形成が植物にとって重要な現象だからこそ、機能重複により一遺伝子変異では表現型を示さないか、突然変異体が致死になるかが原因だと考えられる。このような重要な現象を担う因子の

探索において、優性に効きかつ濃度や添加時期をコントロール出来るケミカルジェネティクスは有効だと言える。

一方、形態制御研究チームは、転写因子VDN6ないしVND7をDEX添加により機能誘導することで、タバコBY-2やシロイヌナズナT-87, Alexなどの培養細胞を高頻度かつ同調的に管状要素分化を引き起こすことが出来る誘導系を確立してきた。

この管状要素分化誘導系とケミカルジェネティクスを組み合わせることで、高速かつ効率的な研究が行えると期待される。そこで本研究では、まず化合物ライブラリから二次細胞壁のパターン形成に異常を引き起こす新規阻害剤の探索を行う。その後、生化学的なアフィニティ精製および遺伝学的な化合物耐性変異体の探索により、その新規阻害剤の標的因子を明らかにする。この手法により、従来解明できなかった管状要素分化における二次細胞壁パターン形成の機構を明らかに出来ると期待される。

本年度は、主に実験系の確立を行った。まず、培養条件の検討を行い、およそ50%の形質転換BY-2細胞を管状要素へと分化させることが出来るようになった。次に、既知の阻害剤を添加することで、表現型の変化が観察出来ることを観察した。さらに現在、熱分解性GC-MSを用い、二次細胞壁構成成分の分析を行っている。今後は、顕微鏡観察による二次細胞壁パターンの変化の観察と、熱分解性GC-MSを用いた細胞壁構成成分の分析を通して、二次細胞壁形成に影響を及ぼす新規阻害剤のスクリーニングを行っていく予定である。

XXI-022 細胞増殖と細胞成長の協調的制御を担う分子機構の解析 Analysis of Molecular Mechanisms regulating Cell Proliferation and Cell Expansion

多細胞生物の器官形成において、幹細胞の分裂による細胞増殖と分化した細胞の成長は厳密な制御のもとに行われる過程である。幹細胞ではDNAの複製と細胞分裂が交互に起きる細胞分裂周期(mitotic cell cycle)が繰り返され細胞が増殖するが、その分子機構は未知の部分が多い。また、分化した一部の細

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Yoneda Arata, Higaki Takumi, Ito Takuya, Kutsuna Natsumaro, Saito Tamio, Hasezawa Seiichiro, Osada Hiroyuki, Matsui Minami, Demura Taku: "Characterization and target identification of cobtorin, a novel inhibitor against cortical microtubule-cellulose microfibril parallel alignment by chemical genetics", Sweden - Japan joint colloquium "Green Chemistry" Stockholm Sweden 2009 5
2. Yoneda Arata: "Characterization and target identification of cobtorin, a novel inhibitor against cortical microtubule-cellulose microfibril parallel alignment by chemical genetics", Plant Cell Wall Workshop Akersberga Sweden 2009 5

(国内学会等)

3. 米田 新, 桧垣 匠, 朽名 夏磨, 伊藤 卓也, 斎藤 臣雄, 馳澤 盛一郎, 長田 裕之, 出村 拓, 松井 南: "表層微小管-セルロース微繊維相互作用に対する新規阻害剤コプトリンの標的因子の探索", 日本ケミカルバイオロジー学会第4回年会 神戸 日本 2009 5
4. 米田 新, 出村 拓: 植物細胞壁研究者ネットワーク 歳王 日本 2009 11
5. 米田 新, 伊藤 卓也, 桧垣 匠, 朽名 夏磨, 斎藤 臣雄, 石水 毅, 馳澤 盛一郎, 長田 裕之, 松井 南, 出村 拓: "表層微小管-セルロース微繊維平行性を乱す新規阻害剤コプトリンの標的因子の解析", 第51回日本植物生理学会年会 熊本 日本 2010 3

研究者氏名: 石田 喬志 Ishida, Takashi

受入研究室: 植物科学研究センター

細胞機能研究ユニット

(所属長 杉本 慶子)

胞ではDNA複製後に細胞分裂を起こさず核内のDNA量を増大させ細胞の成長を導く核内倍加周期(endoreduplication cycle)が起こるが、この特殊な細胞周期を制御する分子機構もまた未知である。多細胞生物の発生過程において細胞分裂、核内倍加が時間的、空間的に正しく進行することは器官の形成や

生長に非常に重要である。本研究では植物の細胞増殖を担う器官であるメリステムをモデルシステムとして用い、多細胞システムにおいて細胞分裂周期を促進し、核内倍加周期を抑制する分子機構の解明を目指している。

植物ホルモンの一種であるオーキシンは細胞分裂を促進する作用を持つことが知られていたが、我々の研究により、TIR1/AFB-AUX/IAA-ARFによるシグナル伝達経路が核内倍加周期を抑制していることが明らかとなった。すなわち、これまでは明らかにされていなかったオーキシンの新たな生理作用を発見したものである。オーキシンはシグナル伝達を通じて細胞分裂周期の進行を担う複数の遺伝子の発現を支持しており、これらの因子群の変異によりシグナル伝達能力が低下すると核内倍加の異常進行が起こることを実験的に示した。これにより、オーキシンは本来的には核内倍加を抑制する機能を持っている可能性が示唆された。

また、細胞分裂周期から核内倍加周期への移行を抑制する新規因子としてSUMO E3 ligaseであるHPY2を同定した。*hpy2*変異体では細胞分裂活性が低下してメリステムが縮小し異所的に肥大した細胞が出現するなどの異常が生じる。HPY2は*in vivo*、*in vitro*でSUMO E3 ligaseとしての活性を持つことが確認され、細胞分裂周期の維持にはSUMO化を通じた翻訳後修飾機構がかかわっていることがはじめて明らかとなった。また、HPY2は主にメリステムで発現しており、根端メリステムでの発現はPLT1及びPLT2遺伝子の制御下にあった。このことより、HPY2が根端における分裂器官を維持し、新たな細胞を供給する機構の一翼を担っていることが明らかとなった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishida T, Fujiwara S, Miura K, Stacey N, Yoshimura M, Schneider K, Adachi S, Minamisawa K, Umeda M, Sugimoto K, "SUMO E3 Ligase HIGH PLOIDY2 Regulates Endocycle Onset and Meristem Maintenance in *Arabidopsis*" *The Plant Cell* Vol.21 pp2284-2297 (2009)

Kuroha T, Tokunaga H, Kojima M, Ueda N, Ishida T, Nagawa S, Fukuda H, Sugimoto K, Sakakibara H, "Functional Analyses of *LONELY GUY* Cytokinin-Activat-

ing Enzymes Reveal the Importance of the Direct Activation Pathway in *Arabidopsis*" *The Plant Cell* Vol.21 pp3152-3169 (2009)

Ishida T, Adachi S, Yoshimura M, Shimizu K, Umeda M, Sugimoto K, "Auxin modulates the transition from the mitotic cycle to the endocycle in *Arabidopsis*" *Development* Vol.137 pp63-71 (2010)

(総説)

石田 喬志, 杉本 慶子, "核内倍加-自発的に倍加してしまう染色体の制御" *生物の科学 遺伝* Vol.63 No. 3 pp24-29 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishida T, "DEVELOPMENTAL CONTROL OF CELL SIZE AND PLOIDY IN ARABIDOPSIS" 9th IPMB Congress 2009 St. Louis USA 2009 10

Ishida T, "How do plants coordinate the balance between cell proliferation and cell expansion?" UCSD seminar San Diego USA 2009 10

(国内学会等)

石田 喬志, "細胞増殖と核内倍加を制御する分子機構の解析" 細胞周期合同セミナー(2009年度) 東京 日本 2009 6

石田 喬志, 藤原 すみれ, Schneider Katja, Stacey Nicola, 杉本 慶子, "細胞増殖と核内倍加を制御する分子機構の解析" 日本植物学会第73回大会 山形市 日本 2009 9

石田 喬志, "SUMO E3 Ligase HIGH PLOIDY2 Regulates Endocycle Onset and Meristem Maintenance in *Arabidopsis*" 特定領域研究「植物メリステム」若手ワークショップ2009 千歳市 日本 2009 10

石田 喬志, 藤原 すみれ, Stacey Nicola, 吉村 美香, Schneider Katja, 杉本 慶子, "SUMO E3 Ligase HIGH PLOIDY2 / AtMMS21 Regulates Endocycle Onset and Stem Cell Maintenance in *Arabidopsis*" 第32回日本分子生物学会年会 横浜 日本 2009 12

石田 喬志, 安達 澄子, 吉村 美香, 清水 皓平, 梅田 正明, 杉本 慶子, "オーキシン依存的な細胞分裂周期と核内倍加周期の切り替えによる細胞分化制御" 第51回日本植物生理学年会 熊本市 日本 2010 3

石田 喬志, 藤原 すみれ, 三浦 謙治, Stacey Nicola, 吉村 美香, Schneider Katja, 安達 澄子, 南澤 一徳,

梅田 正明, 杉本 慶子, "HPY2は核内倍加周期への移行とメリステム維持の制御に関わる新規SUMO E3 ligaseである" 第51回日本植物生理学会 熊本市 日本 2010 3

清水 皓平, 石田 喬志, 杉本 慶子, 奥島 葉子, 梅田 正明, "オーキシンに応答したCDKB2の発現制御機

構の解析" 第51回日本植物生理学会 熊本市 日本 2010 3

石田 喬志, 杉本 慶子, "SUMO E3 Ligase HIGH PLOIDY2 Regulates Endocycle Onset and Meristem Maintenance in *Arabidopsis*" 第51回日本植物生理学会 熊本市 日本 2010 3

XXI- 023

植物細胞の分化全能性獲得の分子メカニズム

Molecular Mechanism of Totipotency in Plant Cells

研究者氏名: 岩瀬 哲 Iwase, Akira

受入研究室: 植物科学研究センター

細胞機能研究ユニット

(所属長 杉本 慶子)

細胞は一度分化した後も遺伝子発現を通して脱分化し、より未分化な状態へと変化しうる。植物細胞の脱分化とそれに伴う分化全能性の再獲得能は古くから知られ利用されてきたが、この分子機構に関しては未解明の点が多い。私はシロイヌナズナを用い、傷害によって発現が誘導され、植物細胞の脱分化(カルス形成)に関与する転写因子を見出している。本研究の目的は、この転写因子の上流及び下流因子の探索及びその機能解析を通して、植物細胞の脱分化と分化全能性の再獲得機構の一端を分子レベルで具体的に明らかにしていくことである。

上流因子を探索するためにYeast One Hybrid (Y1H)システムを用いた解析を進めている。この転写因子遺伝子のpromoter: reporter コンストラクトを作製し、植物培養細胞を用いた一過的発現解析を行ったところ、開始コドンの上流2000bpから1750bpの間にcis element(s)が存在する事が明らかとなった。この250bpの領域を3つタンデムに繋いだ配列は、転写活性を単独の配列よりも約6倍高めた。このタンデム配列を用いて、この配列に直接結合する転写因子を探索している。さらにこの250bpの領域には、cis elementが2カ所存在することが考えられ、現在それぞれ25bpまで領域を絞り込んでいる。Y1Hと併せてcis配列の決定を進めていく予定である。

下流因子探索には2つのアプローチを用いている。一つは、転写因子誘導系-マイクロアレイを用いた手法であり、他方はChIP-seq法である。前者においては、デキサメタゾン(DEX)の培地への添加によって脱分化が促進されるラインを作製し安定して

形質が現れるラインを選抜した。このラインを用いて、DEX処理条件下においてシクロヘキシミド処理区と未処理区を準備し、両者の転写産物を抽出した。近日中にマイクロアレイで網羅的な遺伝子発現解析をする予定である。ChIP-seq法には、この転写因子とGFPやMyc等のタグを融合したタンパク質を発現する植物体を作製し、植物体からカルスを誘導した。培養したカルスから効率的に融合タンパク質を抽出する予定である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Iwase A., Akihiro Hiden A., Watanabe K., Mitsuda N. and Ohme-Takagi M.: "A chimeric NST repressor has the potential to improve glucose productivity from plant cell walls", *Journal of Biotechnology*, 142, 279-284 (2009)

(総説)

Iwase A., Matsui K. and Ohme-Takagi M.: "Manipulation of plant metabolic pathways by transcription factors", *Plant Biotechnology*, 26, 29-38 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwase A., Mitsuda N., Sugimoto K. and Ohme-Takagi M.: "A wound responsive transcription factor WIND1 promotes cell dedifferentiation in *Arabidopsis*." Keystone Symposia, Receptors and Signaling in Plant Development and Biotic Interactions. Tahoe City, California,

USA, March (2010)
(国内学会等)

岩瀬 哲: "カルス形成に関与する転写因子の機能解析", 2009年度細胞周期合同セミナー, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 6月 (2009)

岩瀬 哲: "Functional analyses of an *Arabidopsis* transcription factor involved in callus formation.", 特定領域研究「植物メリステム」若手ワークショップ, 支笏湖ユースホステル, 10月 (2009)

XXI-024

動植物共通に必須な免疫レセプター制御機構の解明

Analysis of Regulatory Mechanisms of Immune Receptors Required for Plant and Animal Defense

研究者氏名: 門田 康弘 Kadota, Yasuhiro

受入研究室: 植物科学研究センター

植物免疫研究チーム

(所属長 白須 賢)

植物は病原菌の認識に働く免疫レセプターをどのように暴走することなく不活性化状態で保持し、病原菌を認識した時のみ活性化させているのだろうか? RAR1、SGT1及びHSP90を含むシャペロン複合体は免疫レセプターの安定化に重要な役割を担う。この複合体が機能を失うと様々な免疫レセプターが不安定化し、植物は病気に弱くなる。興味深いことに、動物の自然免疫でも同様の免疫レセプターとシャペロン複合体が重要な役割を担うことが報告された。そこで本研究では、動植物共通の免疫レセプター制御機構を分子レベルでの解明を目指す。本年度は英国Institute of Cancer Researchと共同でRAR1-SGT1-HSP90複合体のX線結晶解析を行ったところ、RAR1、SGT1及びHSP90を含む複合体の立体構造解明に成功した(投稿論文準備中)。立体構造情報をもとに生化学、分子生物学的解析を行ったところ、(1)RAR1はSGT1及びHSP90と直接結合することにより複合体形成を促進すること、(2)SGT1はRAR1と結合することにより、R蛋白質との結合親和性を増大することが分かった。また、部位特異的変異導入により、RAR1とSGT1の結合を阻害すると上記の変化が起こらないだけでなく、病原体に対する抵抗性も低下した。このことから、RAR1とSGT1の結合が複合体形成、及び抵抗性反応の誘導に必須であることが明らかとなった。さらに、HSP90との結合部位に存在するRAR1のHis残基はHSP90のnucleotid binding siteに近接し、HSP90によるATP分解活性を増大させることが分かった。

共免疫沈降法により、RAR1及びSGT1と複合体を

形成する新規因子を探索したところ、RAR1及びSGT1はFKBP52のホモログであるROF1 (ROTAMASE FKBP 1)と複合体を形成しうることが分かった。動物のFKBP52はHSP90と結合して動物のホルモン受容体の成熟化に関与することが報告されている。そこで、現在はROF1とRAR1-SGT1-HSP90複合体形成との関係、及びROF1が病害抵抗性や免疫レセプターに及ぼす影響を生化学的及び分子生物学的手法を用いて調べている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kadota Y, Zhang M, Guerois R, Prodromou C, Pearl L, Shirasu K, "Structural and functional analysis of the SGT1-RAR1-HSP90 complex required for plant immunity." IS-MPMI 2009 XIV International Congress Quebec Canada 2009 7

Shirasu K, Kadota Y, Zhang M, Guerois R, Prodromou C, Pearl L, "Structural and Functional Analysis of the Chaperone Complex Required for NLR-type Immune Receptors." 3rd Asia-Pacific International Peptide Symposium 2009 Jeju Island Korea 2009 11

(国内学会)

門田 康弘, Zhang M., 竹林 有理佳, Prodromou C., Guerois R., Pearl H., 白須 賢, "動植物共通の免疫レセプターの安定化に必須なRAR1-SGT1-HSP90複合体の立体構造及び機能解析" 第51回 日本植物生理学会年会 熊本 日本 2010 3

植物概日リズム制御機構のプロテオーム解析 Proteome Analysis on the Circadian Rhythm Regulation in Arabidopsis

研究者氏名：藤原 すみれ Fujiwara, Sumire

受入研究室：植物科学研究センター

植物免疫研究チーム

(所属長 白須 賢)

自律的に約24時間周期の概日リズムを生み出す概日時計は、高等植物が環境や季節の変化に適応しながら生存して行くうえで欠かせない機構である。突然変異などにより概日リズムに異常が生じると、花成、代謝、形態形成、ストレス耐性などに大きな支障を来すことから、その振動の制御機構の重要性が示唆されている。

植物の概日リズムは転写翻訳のフィードバック制御機構により生み出されるが、それに加えてタンパク質間相互作用やタンパク質の修飾を介したリズムミミックな分解や安定化機構も正確なリズムを生み出すうえで中心的な役割を担うことが示唆され始めている。そこで、本研究では、タンパク質を分解に導く上で機能するとされるユビキチン化や、それと類似した修飾でありユビキチン化と拮抗してタンパク質の安定化にも関わるとされるSUMO (Small Ubiquitin-like modifier) 化を中心としたタンパク質修飾に着目し、その修飾機構のさらなる解明と時計制御との関係の解明を目指している。

ユビキチンリガーゼによりユビキチン化修飾を受けたタンパク質は、プロテアソームタンパク質分解経路により速やかに分解される。タンパク質レベルでの解析が報告されている時計関連タンパク質のほとんどがプロテアソーム経路阻害剤で分解阻害を受ける。また、報告されているほとんどのケースにおいて昼と夜で時計関連タンパク質の分解速度が大きく異なることから、タンパク質の分解や安定化のリズミックな制御が時計制御に深く関わると考えられる。

これまでに、植物体内でSUMO化修飾を受けたタンパク質のSUMO化状態の検出や、*in vitro* SUMO化アッセイの実験系を立ち上げた。また、時計関連タンパク質のうち5つがSUMO化コンセンサス配列を持つことを発見した。これらに加えて、所属研究室で単離された機能未知のユビキチンリガーゼタンパク質の生化学的解析を進めている。

さらに、病原菌に対する植物の耐病性と概日時計の関係の検証も行っている。病原菌感染が夜に起こると昼と比較して耐病性反応が弱く、これは感染時の光照射の有無に強く関連するという報告はなされているが、時計との関係はほとんど報告されていない。各種時計関連変異体を用いて解析を行った結果、耐病性反応が昼夜依存性を示さないものや耐病性反応自体が極めて弱くなる系統を発見した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ishida T, Fujiwara S, Miura K, Stacey N, Yoshimura M, Schneider K, Adachi S, Minamisawa K, Umeda M, Sugimoto K "SUMO E3 ligase HIGHPLOIDY / AtMMS21 Regulates Endocycle Onset and Stem Cell Maintenance in Arabidopsis." *The Plant Cell* Vol. 21 2284-2297

(総説)

藤原 すみれ, "植物概日時計の光同調機構" 光周性の分子生物学 日本 00 深田 良治 日本 東京 pp27-37 (2009)

XXI-026 量子ビームエネルギー依存型プラントミューテーター誘発機構の研究

Study of Quantum Beam Energy Dependent Plant Mutator Mechanism

研究者氏名：風間 裕介 Kazama, Yusuke

受入研究室：仁科加速器研究センター

生物照射チーム

(所属長 阿部 知子)

重イオンビームは、ガンマ線やエックス線照射よりも低線量で高率に突然変異を誘発でき、線エネルギー付与(LET)が高いという特性をもつ。ガンマ線やエックス線のLETが0.2から数keV/μmであるのに対し、重イオンビームでは数十から数千keV/μmまで変動させることができる。我々は、シロイヌナズナの乾燥種子において変異効果が最大値を示すLET(LETmax)が存在することを発見した。すなわち、M₂世代のアルビノ変異体の出現率は22.5 keV/μmでは1.2%であるが、30 keV/μmでは3.2%まで上昇し、61.5 keV/μm以上では減少した。このようなLETmaxはイネの吸水種子照射にも存在することから、LETmaxは植物に共通の現象だと考えられる。変異は、照射で誘発されるDNA二重鎖切断を植物が修復した結果として生じるため、変異率がピークを示す原因はビームの物理的な作用だけでは説明できない。私は、植物のDNA修復メカニズムがLETにตอบสนองし、変異率に影響を与えるのではないかと考えている。

乾燥種子に重イオンビームを照射して生じたDNA損傷は、種子が吸水し細胞が活動を開始した後に修復される。LETmaxで特別な修復が起っているならば、この時期に特異的な遺伝子発現が起る可能性がある。そこで、まず吸水後、DNA修復が起るタイミングを調べた。マーカー遺伝子を選択するため、代表的な修復遺伝子として相同組換え修復に関与する*AtRAD51*、非相同末端結合に関与する*AtKU70*、*AtKU80*、*AtLigIV*の発現をエックス線と重イオンビームを照射した植物体で定量し、*AtRAD51*が優位に上昇するマーカー遺伝子であることを確認した。次に22.5 keV/μmと30 keV/μmで照射した種子に対して、吸水後1時間ごとに16時間まで*AtRAD51*の発現量を測定した。その結果2時間でDNA修復が開始されること、*AtRAD51*はその後4時間で発現量が最大となることを明らかにした。非照射、22.5 keV/μm、30 keV/μm、61.5 keV/μmを照射した種子についてそれぞれ吸水後2時間でRNAを精製し、発現ア

レイに供試し、LETmaxで特異的な発現パターンを示す遺伝子の候補を見出した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Kazama Y, Fujiwara M, Koizumi A, Nishihara K, Kifune E, Abe T, Kawano S, "A *SUPERMAN*-like gene is exclusively expressed in female flowers of the dioecious plant *Silene latifolia*" *Plant and Cell Physiology* 50 1127-1141 (2009)
2. Fujiwara M, Dongliang L, Kazama Y, Abe T, Uno T, Yamagata H, Kanamaru K, Itoh R, "Further evaluation of the localization and functionality of hemagglutinin epitope- and fluorescent protein-tagged *AtMinD1* in *Arabidopsis thaliana*" *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 73 1693-1697 (2009)
3. Koizumi A, Yamanaka K, Nishihara K, Kazama Y, Abe T, Kawano S, "Two separate pathways including *SICLV1*, *SISTM* and *SICUC* that control carpel development in a bisexual mutant of *Silene latifolia*" *Plant and Cell Physiology in press*
4. Ishii K, Amanai Y, Kazama Y, Ikeda M, Kamada H, Kawano S, "Analysis of BAC clones containing homologous sequences on the end of the Xq arm and on chromosome 7 in the dioecious plant *Silene latifolia*" *Genome in press*

(総説)

1. 風間 裕介, 河野 重行, "ヒロハノマンテマの性染色体構造と性発現" *Plant. Morphol.* 21 71-77 (2009)
2. 風間 裕介, 河野 重行, "雌雄異株性一性染色体ならびに雄蕊(♂)と雌蕊(♀)の選択的発達制御" *生物の科学 遺伝* 63 42-47 (2009)
3. 阿部 知子, 林 依子, 風間 裕介, 竹久 妃奈子, 龍頭 啓充, 福西 暢尚, "重イオンビーム育種技術の開発と実用化" 日本学術振興会第132委員会「荷電粒子ビームの工業への応用」第138回研究会資料 27-34 (2009)

4. 阿部 知子, 林 依子, 風間 裕介, 平野智也, "重イオンビームの生物効果と育種利用", 平成21年度常緑果樹研究会要旨集, in press

(単行本)

1. 風間 裕介, 河野 重行, 阿部 知子, "巨大Y染色体との格闘—世界初の植物性決定遺伝子を求めて—" 第2回 智のシンポジウム—文明・文化と科学技術—論文集 東京 日本 2009 11 「智のシンポジウム」組織委員会 日本 東京 33-36 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Kazama Y, Liu Y, Hirano T, Ohbu S, Hayashi Y, Matsuyama T, Abe T, "The powerful technology for inducing deletion mutations in *Arabidopsis thaliana*" Plant Biology 2009: Joint Annual Meetings of the American Society of Plant Biologists and the Phycological Society of America Honolulu USA 2009 7

2. Kazama Y, Takehisa H, Fujiwara M, Ohbu S, Hayashi Y, Abe T, "A DFR-deficient white flower mutant induced by heavy-ion beam irradiation in *Nicotiana tabacum*" International Workshop on Anthocyanins 2009 (IWA 2009) Nagoya Japan 2009 9

3. Abe T, Hayashi Y, Kazama Y, Nishihara K, Hirano T, Nakagawa M, Ohbu S, Kanaya T, Miyazaki K, Suzuki K, "New flower cultivar produced by heavy-ion beam irradiation in RIBF" International Workshop on Anthocyanins 2009 (IWA 2009) Nagoya Japan 2009 9

(国内学会等)

1. 石井 公太郎, 鳥居 千尋, 風間 裕介, 阿部 知子, 河野 重行, "雌雄異株植物ヒロハノマンテマの重イオンビームによるY染色体部分欠損変異体" 第6回イオンビーム育種研究会大会 和光 日本 2009 5

2. 風間 裕介, 石井 公太郎, 鳥居 千尋, 青沼 航, 河野 重行, 阿部 知子, "重イオンビーム照射による雌雄異株植物ヒロハノマンテマY染色体欠失ライブラリーの構築" 日本育種学会第116回講演会 札幌 日本 2009 9

3. 平野 智也, 風間 裕介, Liu Yang, 大部 澄江, 林 祐子, 林 依子, 松山 知樹, 阿部 知子, "重イオンビー

ムの異核種同LET照射におけるDNA変異の比較" 日本育種学会第116回講演会 北海道 日本 2009 9

4. 林 依子, 風間 裕介, 竹久 妃奈子, 大部 澄江, 東海 林 英夫, 佐藤 雅志, 阿部 知子, "重イオンビーム照射によって誘発したイネ突然変異体の解析" 日本育種学会第116回講演会 札幌 日本 2009 9

5. 西原 潔, 風間 裕介, 平野 智也, 大部 澄江, 松山 知樹, 河野 重行, 阿部 知子, "鉄イオンビーム照射により誘導されたシロイヌナズナDNA突然変異" 日本遺伝学会 第81回大会 松本 日本 2009 9

6. 馬 立秋, 田中 秀逸, 井上 弘一, 風間 裕介, 市田 裕之, 阿部 知子, 畠山 晋, "イオンビーム照射によるDNA損傷の修復様式の解析" 日本遺伝学会 第81回大会 松本 日本 2009 9

7. 石井 公太郎, 天内 康人, 風間 裕介, 河野 重行, "染色体末端特異的サテライトのFISHで明らかにされたヒロハノマンテマ異型性染色体の起源" 日本植物形態学会第21回総会・大会 山形 日本 2009 9

8. 石井 公太郎, 藤田 尚子, 鳥居 千尋, 青沼 航, 風間 裕介, 阿部 知子, 河野 重行, "雌雄異株植物ヒロハノマンテマの重イオンビーム照射によるY染色体欠失変異体の網羅的解析" 日本植物学会第73回大会 山形 日本 2009 9

9. 風間 裕介, 河野 重行, 阿部 知子, "巨大Y染色体との格闘—世界初の植物性決定遺伝子を求めて—" 第2回 智のシンポジウム—文明・文化と科学技術— 東京 日本 2009 11

10. 藤原 誠, Li Dongliang, 風間 裕介, 阿部 知子, 宇野 知秀, 山形 裕士, 金丸 研吾, 伊藤 竜一, "HAエピトープ及び蛍光タンパク質を付加したシロイヌナズナ AtMinD1 タンパク質の局在性と機能性に関する評価" 日本農芸化学会 2010 年度大会 東京 日本 2010 3

11. 風間 裕介, 平野 智也, 西原 潔, LIU YANG, 大部 澄江, 林 祐子, 林 依子, 松山 知樹, 阿部 知子, "シロイヌナズナを用いたDNA突然変異へのLET効果の解析(1)" 日本育種学会第117回講演会 京都 日本 2010 3

XXI- 027 次世代スーパーコンピュータ用超並列多体問題計算コード

A Massively Parallel Calculation Code for Many-body Problem for the Next Generation Supercomputer

研究者氏名：似鳥 啓吾 Nitadori, Keigo

受入研究室：基幹研究所

高速分子シミュレーション研究チーム

(所属長 泰地 真弘人)

GPU (graphics processing unit) を用いた、重力多体問題の高速化に関する研究を行った。GPU は元来、コンピューターゲームの 3 次元画像の描画を高速に行うための装置であったが、近年汎用性を高め、数値計算の加速装置としても注目されるようになった (GPGPU, general purpose GPU と呼ばれる)。GPU は早くから多体問題の加速への応用も試みられてきており、この一例は NVIDIA 社から配布されている CUDA のデモプログラムでも視覚的に体感することができる。我々が行ったのは、単なるデモプログラムからより実用レベルの多体問題計算への GPU の応用である。まず始めに、従来のデモでは $O(N^2)$ の高価で単純な計算のみを行っていたのに対し、我々はより洗練された $O(N \log N)$ や $O(N)$ の近似解法についても GPU を用いた高速化に成功した。さらには、GPU を搭載した PC を多数ネットワークで接続した「GPU クラスタ」上で効率的に動作する並列重力多体問題計算コードを開発し、実際に大規模計算を実行したことがあげられる。GPU クラスタそのものは、部品を買い集めて組み上げれば構築できる類いのものであることは自明である。逆にそのような GPU クラスタで実用に耐え得る計算が実行可能かどうかというのは自明な問題ではなく、特にノード間接続に安価で低性能な Gigabit Ethernet を用いたものが並列化効率を得るのは大きな困難が予想された。我々は実際にそのような GPU クラスタのために、GPU の利用効率向上、CPU ボトルネックの改善、通信量の削減と通信の安定化といったあらゆるチューニングを施した重力多体問題計算コードを開発し、(ネットワークの通信時間に若干課題は残るものの) この種の計算機システムがこの種の問題に対しては極めて高い価格性能費を実現できることを実証した。この成果に対して、09 年 11 月米国ポートランド

で開催された国際会議「SC09」では「ACM ゴードンベル賞」を受賞している。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsuyoshi H, Nitadori K, Benkrid K, Ohno Y, Morimoto G, Masada T, Yuichiro S, Oguri K, Taiji M, "A novel multiple-walk parallel algorithm for the Barnes-Hut treecode on GPUs --- towards cost effective, high performance N-body simulation" Computer Science - Research and Development Vol.24 1-2 pp21-31 (2009)

Hamada T, Narumi T, Yokota R, Yasuoka K, Nitadori K, Taiji M: "42 TFlops hierarchical N-body simulations on GPUs with applications in both astrophysics and turbulence", SC '09: Proceedings of the Conference on High Performance Computing Networking, Storage and Analysis Portland, Oregon US 2009 11 ACM US Portland, Oregon pp1-12 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nitadori K, "The use of GPU for practical astrophysical N-body simulations" Harvard-Riken Joint Symposium: Application of GPU Computation to Brain Science, Quantum Science, Astronomy, Fluid Dynamics and other sciences (HaRiken 09) Wako Japan 2009 8

Nitadori K, "Progress report on binary evolution" MODEST-9c Using Virtual Worlds for Interactive Simulations of Star Cluster Evolution Tokyo Japan 2009 9

Nitadori K, "Treecode inside" Accelerator-based Computing and Manycore --- Manycore and Accelerator-based Computing for Physics and Astronomy Applications Berkeley, CA USA 2009 11-12

XXI-028 磁気リコネクションにともなう磁気拡散機構に関する理論的研究 Theoretical Study of the Dissipation Mechanism in Magnetic Reconnection

研究者氏名：藤本 桂三 Fujimoto, Keizo

受入研究室：基幹研究所

戎崎計算宇宙物理研究室

(所属長 戎崎 俊一)

磁気リコネクションは、プラズマ中で磁力線がつながりかわることによって、磁気エネルギーをプラズマの運動エネルギーに開放する現象であり、地球磁気圏プラズマから、太陽プラズマ、高エネルギー天体プラズマにいたるまで、あらゆる磁化プラズマ中に共通の現象である。磁気リコネクションそのものは、プラズマ中のごく一部の領域で起きる局所的な現象であるにもかかわらず、しばしばグローバルな磁場構造を変えてしまうため、その物理素過程の解明は大規模なエネルギー輸送・プラズマ加速過程を考える上で非常に重要である。しかしながら、高速磁気リコネクションを維持するための磁気拡散機構(電気抵抗生成機構)は未だに解明されておらず、磁気リコネクション過程が内在する大規模現象をモデル化する上で大きな障壁となっている。本研究では、適合細分化格子(Adaptive Mesh Refinement)を用いることによってマクロ構造とミクロ構造を同時に扱うことができるプラズマシミュレーションコードを開発し、ミクロな領域で起きる磁気拡散機構を解明するとともに、それがマクロ構造へ与える影響を調べることを目的としている。

まず、これまで開発してきたコードは共有メモリシステムにおけるノード内並列計算のみに対応していたが、大規模シミュレーションを実施するためにはMPI(Message Passing Interface)による超並列化が必要不可欠である。そこで、本年度は、効率的な超並列計算が実現できるように、これまでのコードにおける計算アルゴリズムを大幅に改良した。具体的には、大域的な演算を必要とするポアソン方程式

は超並列計算の効率を著しく低下させるため、ポアソン方程式を含まない基礎方程式系を構築し差分化をおこなった。その結果、大域的な演算を一切含まないシミュレーションコードを実現することができた。今後は、本コードをいくつかの基礎的な問題に対してテスト計算をおこなうとともに、超並列化を実施して大規模計算が可能なプラズマシミュレーションコードを開発する。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Fujimoto K.: Fast magnetic reconnection in a kinked current sheet, *Physics of Plasmas*, 16, 042103 (2009).

Fujimoto K, Sydora R.: Fast magnetic reconnection associated with kink modes, *Journal of Plasma Fusion Research Series*, 8, 212-216 (2009).

Fujimoto K., Sydora R.: Particle description of the electron diffusion region in collisionless magnetic reconnection, *Physics of Plasmas*, 16, 112309 (2009).

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

藤本桂三：キンクした電流層における高速磁気リコネクション, 地球惑星科学連合2009年大会, 千葉, 5月(2009).

藤本桂三, Sydora R.: Particle description of the dissipation processes in collisionless magnetic reconnection, 第126回地球電磁気・地球惑星圏学会, 9月(2009)

XXI-029 超高頻度原子核反応からの電子対測定によるハドロン質量起源の解明
Study on the Origin of Hadron Mass through Measurements of Electron Pairs
from Ultra-high-frequency Nuclear Interactions

研究者氏名：青木 和也 Aoki, Kazuya
受入研究室：仁科加速器研究センター
延興放射線研究室
(所属長 延興 秀人)

環境(密度)による ϕ 中間子の質量変化を測定することによって、ハドロン質量起源を解明する。具体的にはJ-PARCの1次陽子ビームを原子核ターゲットに照射し、 ϕ 中間子を生成する。 ϕ 中間子質量、電子陽電子対崩壊を用いて測定する。遅い ϕ 中間子、すなわち原子核ターゲット中(有限密度中)で崩壊した可能性の高い ϕ 中間子をとらえるための大立体角スペクトロメータを建設する。(J-PARC E16実験)。

私はE16実験の要となる新型チェレンコフ検出器、ハドロンプラインド検出器(HBD)の開発に取り組んできた。HBDは、 CF_4 ガスを「チェレンコフ放射体」兼「電子増幅ガス」として用い、CsI蒸着GEMを「光電面」兼「電子増幅装置」として用いる。GEMは2~3段とし、多段電子増幅を行う。 CF_4 ガスのガスゲインが低く、高い印可電圧を要求する。その為に安定動作が難しく、放電によって容易に動作不能(電氣的にショートする)に陥る。そこで、通常GEMは50 μ m厚だが、国内企業で開発された2倍厚の100 μ mGEMを用いる事にした。倍厚GEMは、単位長さあたりの印可電圧が低くても高いゲインが得られる為に、動作電圧を低く抑えることができる。放電耐性が非常に高く、放電してもショートする確率が低い事がわかった。このように倍厚GEMによって、安定動作させることに成功した。

CsIは潮解性がある為に取り扱いに注意を要する。真空デシケータによる運搬は、CsI面を劣化させることが判明した。そこで窒素充填による二重包装で運搬することとし、これによって劣化を抑えることができた。

本年度開発した光電面(CsI蒸着GEM)を、前年度に制作したチェンバープロトタイプに装着し、東北大学電子光理学研究センターにおける電子ビームを照射して、テストを行った。テスト用として遮光板を用意し、チェレンコフ光をとらえられたかどうか

を判別できるようにした。このテストで、電子ビームの出すチェレンコフ光をとらえる事に成功した。HBD動作の成功は国内初である。

●誌上发表 Publications

Adare A, Aoki K, PHENIX C, "Gluon-spin contribution to the proton spin from the double-helicity asymmetry in inclusive π^0 production in polarized $p+p$ collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV" *Physical Review Letters* Vol.103pp012003-1-012003-6 (2009)

Adare A, Aoki K, PHENIX C, "Measurement of bottom versus charm as a function of transverse momentum with electron-hadron correlations in $p+p$ collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV" *Physical Review Letters* Vol.103pp082002-1-082002-7 (2009)

Afanasiev S, Aoki K, PHENIX C, "Charged kaon interferometric probes of space-time evolution in $Au+Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV" *Physical Review Letters* Vol.103 pp142301-1-142301-6 (2009)

Afanasiev S, Aoki K, PHENIX C, "Systematic studies of elliptic flow measurements in $Au+Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV" *Physical Review C* Vol.80 pp024909-1-024909-25 (2009)

Adare A, Aoki K, PHENIX C, "Photon-hadron jet correlations in $p+p$ and $Au+Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV" *Physical Review C* Vol.80 pp024908-1-024908-14 (2009)

Afanasiev S, Aoki K, PHENIX C, "High-pT π^0 production with respect to the reaction plane in $Au+Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV" *Physical Review C* Vol.80 pp054907-1-054907-29 (2009)

Afanasiev S, Aoki K, PHENIX C, "Photoproduction of J/ψ and of high mass e^+e^- in ultra-peripheral $Au + Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV" *Physics Letters B* Vol.679 4 pp321-329 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

Aoki Kazuya, Yokkaichi Satoshi: *A development of a Hadron Blind Detector for J-PARC E16 experi-*

ment, Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS Hilton Waikoloa Village, Hawaii USA 2009 10

XXI-030 SCRIT (自己閉じ込め型不安定核標的) による不安定核電子散乱実験
Electron Scattering Experiment for Unstable Nuclei using the SCRIT

研究者氏名: 宮下 裕次 Miyashita, Yuji
受入研究室: 仁科加速器研究センター
RI・電子散乱装置開発チーム
(所属長 若杉 昌徳)

電子散乱実験は原子核の荷電分布や大きさ、形状の情報を与え原子核構造を精密に議論する事が出来る。この実験を不安定核に適用することは、不安定核の核構造を明らかにするために大変重要である。特に中性子ハローや中性子スキンのような安定核にない異常な構造が明らかになる。しかしながら、電子散乱に必要な原子核数は 10^{20} 個以上と膨大な量が必要であり、今まで加速器などにより生成される不安定核では生成量が少なく、不安定核の電子散乱実験は全く行われていない。そこで、理研・実験装置開発室ではSCRIT(自己閉じ込め型不安定核標的)法と呼ばれる新しい実験手法を開発した。

不安定核の電子散乱実験を実現するためには、電子ビームの周回軌道上に不安定核を大量に捕獲し、これを電子散乱実験の標的にする必要がある。これは、電子ビームに起因する空間電荷効果の影響を利用したイオントラッピング技術を利用したSCRIT法を用いる事で実現される。この技術は既に京都大学化学研究所の電子蓄積リング(KSR)と表面電離型イオン源からの安定同位体 ^{133}Cs +イオンとを用いた実験にて実現可能性が実証された。このSCRIT法を2009年度から理化学研究所に建設が進められている電子蓄積リング(SR2)に適用すると、京都大学化学研究所の電子蓄積リングと比べ蓄積電流が75 mAから300 mA以上に増加する事でより強い閉じ込めの力を生むためにイオントラップの効率がさらに上昇する。このSCRIT法と新しく理研に導入される電子蓄積リ

ングを用いる事で電子散乱標的のために必要な不安定核数は大幅に軽減され 10^{20} 個から 10^7 個となり、安定核の電子散乱実験の標的と比べて生成量の少ない不安定核での電子散乱実験が初めて実現可能となる。しかし実際に不安定核の電子散乱実験をするには、不安定核をエミッタンスの良い高品質なパルスビームにし正確に周回軌道電子ビーム上に輸送する技術のさらなる開発が必要となる。また、不安定核を生成するための同位体分離装置の開発が必要である。それには、電子ビームドライブの制動放射X線によるPhoto-Fissionを用いた同位体質量分離装置の開発を計画する。数kWの電子ビームを用いた制動放射X線による核分裂反応の同位体質量分離装置は世界的にも初めての試みであり、収量も 10^{12} fission以上と見積もられ、不安定核の電子散乱実験を行うのに十分である。これらの開発を進め、SCRIT法を用いて不安定核を標的とした電子散乱実験による核電荷分布の測定を行い、中性子過剰不安定核の核構造の議論を行う。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

宮下 裕次, 宇宙核物理連絡協議会 第2回研究戦略ワークショップ「日本の核データ～天と地の核エネルギー」, 埼玉, 日本 2009. 7

宮下 裕次, KUR専門研究会「短寿命核および放射線を用いた物性研究 (II)」, 大阪, 日本 2009. 12

XXI-031 Mg 同位体の励起状態の磁気モーメント測定による核構造研究

Study of Nuclear Structure for Mg Isotopes Via Measurement of Magnetic Moment in Excited States

研究者氏名：市川 雄一 Ichikawa, Yuichi

受入研究室：仁科加速器研究センター

実験装置開発室

偏極RIビーム生成装置開発チーム

(所属長 上野 秀樹)

本研究では、短寿命の不安定偶々核の第一 2^+ 励起状態(2_1^+ 状態)に対してTransient-Field法(TF法)を適用し、核磁気モーメントの測定を行う。その測定結果から中性子過剰核における特殊な核構造の発現機構を明らかにすることを目的とする。

この10年余り、中性子過剰核 ^{32}Mg 周辺の「Island of inversion」と呼ばれる領域において従来の描像とは異なる特殊な核構造が注目され積極的に研究がなされてきた。現在は特に微視的視点からその異常性の発現機構を明らかにすることが待たれている。核磁気モーメントは原子核の磁石的性質を現す固有の基礎物理量であり、核内核子の軌道配位を先鋭に反映するため核構造の異常性を核子配位から微視的に議論するのに適している。ここで偶々核に注目すると、基底状態のスピンパリティは 0^+ であるため、核磁気モーメント測定の対象は 2_1^+ 状態となる。しかし、偶々核の 2_1^+ 状態はその多くがわずか数psの短寿命の間に崩壊してしまうため、核磁気モーメントの測定が極めて困難であった。

その短寿命の励起状態に対して核磁気モーメント測定を可能にするのがTF法である。TF法とは、不安定核ビームが磁性体薄膜を通過する際、薄膜中の偏極電子と重イオンの核スピンの間で生じる数kTに及ぶ強磁場を利用する方法である。TF法では、クーロン励起によって生じたスピン整列核を強磁場中で歳差運動させ、その回転角度をガンマ線の異方性の変化から決定(摂動角分布法、PAD法)し、核磁気モーメントを導出する。

本研究の開発要素としては、ガンマ線角度分布測定装置の開発と、その装置に対してTF法を適用することの二段階が必要である。本年度はその第一段階として、ガンマ線角度分布測定装置の設計開発を行った。本装置は、全角度に設置可能なGe検出器の回転機構と、あらゆるGe検出器の配置に対応するためのマグネットの回転機構からなる。本実験装置は

まず来年度に予定されている寿命が数100nsと比較的寿命の長いアイソマー状態の核磁気モーメント測定実験に使用される。本装置は汎用性の高い設計となっているため、今後のあらゆるPAD実験に適用可能であり、さらに海外との共同実験にも使用される予定である。本装置はTF実験にも共通のセットアップであり、今後、本研究で目的とする短寿命の励起状態の磁気モーメント測定に向け、TF法の適用という第二段階の開発を行っていく予定である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Beta decay of the proton-rich nucleus ^{24}Si and its mirror asymmetry" *Physical Review C* Vol.80 pp044302-1-044302-12 (2009)

Ichikawa Y, Kubo T, Aoi N, Naik V, Chakrabarti A, Fukuda N, Iwasaki H, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Onishi T, Suzuki D, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Beta-decay study of $T_z=-2$ proton-rich nucleus ^{24}Si " *The European Physical Journal A* Vol.42 pp375-378 (2009)

(その他)

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Investigation into behavior of weakly-bound proton via $B(\text{GT})$ measurement for the β decay of ^{24}Si " *AIP Conference Proceedings* Vol.1165 pp98-101 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Investigation into behavior of weakly-bound proton via $B(GT)$ measurement for the β decay of ^{24}Si " International Conference on Nuclear Structure and Dynamics (NSD09) Dubrovnik Croatia 2009 5

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Beta decay of ^{24}Si and mirror asymmetry of Gamow-Teller transition strength"

3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS Waikoloa USA 2009 10

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Gamow-Teller transition of proton-rich nucleus ^{24}Si " 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium Tsukuba Japan 2009 11

Ichikawa Y, Onishi T, Suzuki D, Iwasaki H, Naik V, Kubo T, Chakrabarti A, Aoi N, Brown A, Fukuda N, Kubono S, Motobayashi T, Nakabayashi T, Nakao T, Okumura T, Ong H, Suzuki H, Suzuki M, Teranishi T, Yamada K, Yamaguchi H, Sakurai H, "Mirror asymmetry for $B(GT)$ of ^{24}Si induced by Thomas-Ehrman shift" Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII (TOURS 2009) Kobe Japan 2009 11

XXI-032 モジュライ行列法を用いたソリトン解析とその応用の研究 Moduli Matrix Analysis of Topological Solitons and Its Applications

研究者氏名：衛藤 稔 Eto, Minoru
受入研究室：仁科加速器研究センター
川合理論物理学研究室
(所属長 川合 光)

トポロジカル(位相)ソリトンは対称性が自発的に破れるときに生成される位相的に安定な孤立したエネルギーの塊である。今期に私が行った研究はボルテックスに関するものであり、大きく2つに分類出来る。第一は超対称性ゲージ理論における新種のボルテックスの発見である。近年超対称ゲージ理論において様々な新種のトポロジカルソリトンが発見され、私はソリトンを既述するモジュライ行列法を開発し研究を続けてきた。その自然な延長線上の研究として、今回はより一般的な超対称性ゲージ理論においてモジュライ行列法を用いて新種のボルテックスを研究した。新ボルテックスは珍奇な性質を持つ。最小の位相電荷1を持つボルテックスは複数個のエネルギーピークを内部に持ち、そのピークは全体のエネルギーを変えずに大きさや位置を変えることが出来るが、無限に遠くに離れることが出来ない。また2つのピークが3つのピークに移り変わるというようなことが起こる。このような珍奇なソリトンは

これまで発見されていなかったが、一般のゲージ理論を考えるとむしろ一般的で、真空(基底状態)多様体に離散群の特異点の存在もしくは歪な変形があればいつでも現れうる。第二は、高密度QCDにおけるボルテックスの研究である。高密度QCDは弱結合領域にあるので通常の摂動計算が使える。そこではクォークペアが凝縮しカラー超伝導状態になる。同時にカイラル対称性や $U(1)_B$ が自発的に破れボルテックスが生成される。今回の研究カラー超伝導相の最もエネルギーが小さく安定な準超流動ボルテックスを詳しく調べた。準超流動ボルテックスは通常の3分の1の位相電荷をもち、内部にカラー磁束が走っている。通常の超伝導ボルテックスとは大きく性質が違い、その相互作用の様子も超伝導のI/II型のように単純に区別することが出来ないことが分かった。またボルテックス自身が真空のカラー・フレーバー対称性を更に破るため、新たな南部・ゴールドストーン(NG)粒子が発現する。超流動の特徴のせいで

このNG粒子が規格化可能かどうかはすぐに分からない。そこで私はボルテックス上の有効理論を構築し、このNG粒子が規格化可能な質量ゼロの物理的粒子であることを確定した。カラー超伝導は中性子星コアで発現されることが予想され、特にパルサーのグリッチ現象を説明する有望な候補になる可能性があり現在研究を続けているところである。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Eto M, Fujimori T, Gudnason S, Konishi K, Nagashima

T, Nitta M, Ohashi K, Vinci W, "Fractional Vortices and Lumps" Physical review Vol.D 80 pp045018 (2009)
Eto M, Nitta M, "Color Magnetic Flux Tubes in Dense QCD" Physical review Vol.D 80 pp125007 (2009)
Eto M, Nitta M, "Color Magnetic Flux Tubes in Dense QCD" Physical review Vol.D 80 pp125007 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

衛藤 稔: "高密度 QCD におけるカラー超伝導ボルテックス", 場の理論と弦理論 京都 日本 2009 7

XXI-033 不安定中重核におけるクラスターの相関と低エネルギー核反応

Cluster Correlations in Unstable Medium- and Heavy-mass Nuclei and Low Energy Nuclear Reactions

研究者氏名: 谷口 億宇 Taniguchi, Yasutaka

受入研究室: 仁科加速器科学研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

^{28}Si , ^{40}Ar の低励起状態に現れる多彩な変形構造について研究した。 ^{28}Si についてはクラスター相関を、 ^{40}Ar については非軸対称性を重点的に調べた。

原子核は励起により多彩に構造が変化する系である。低励起状態だけでさえ、様々な構造が共存する。それらの構造を理解する代表的な自由度として、変形やクラスタ相対運動があるが、それらを統一的に扱った理論的研究は十分に進んでいない。

報告者の研究の特徴は、様々な変形構造波動関数や、様々なクラスタ間距離のクラスタ構造波動関数の重ね合わせにより、変形共存、振動、クラスタ相対運動などを統一的に扱うことである。今年度は(1) ^{28}Si の変形共存とクラスタ相関、(2) ^{40}Ar の非軸対称超変形状態について研究した。

(1) ^{28}Si の超変形状態とクラスタ構造

^{28}Si は低励起状態に扁平扁長共存や β 振動状態についての研究がなされてきた。その一方でクラスタ構造については、 α クラスタ構造についての実験的研究があるにも関わらず、理論的研究は進んでいなかった。

報告者は様々な扁平変形、扁長変形、クラスタ構造波動関数の重ね合わせにより、低励起状態の構造を明かにした。実験的に発見された α - ^{24}Mg 状態を再現し、さらに低励起状態に α - ^{24}Mg クラスタ構成成分

を含む超変形状態が存在することを示した。

(2) ^{40}Ar の非軸対称超変形状態

原子核の様々な構造変化を統一的に扱うには微視的模型が有効であるが、計算時間等の理由で多くは軸対称性を仮定したものである。しかし、実際には非軸対称変形状態も存在し、核構造の詳細な理解のためには非軸対称度の自由度も扱うことが必要である。

最近 ^{40}Ar の超変形状態が発見されたが、その理論的研究はなされていなかった。報告者は軸対称性を仮定しない波動関数の重ね合わせにより、この超変形回転帯を再現した。さらに、この回転帯は非軸対称変形をしており、随伴する $K^\pi = 2^+$ 回転帯も存在することを示した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Taniguchi Y, En'yo Y, Kimura M, "Cluster structures and superdeformation in ^{28}Si " Physical Review C Vol.80 4 pp044316-1-044316-9 (2009)

(その他)

Taniguchi Y, En'yo Y, Kimura M, " α clustering and superdeformation of ^{28}Si " 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics Bonn Ger-

many 2009 8-9 EPJ Web of Conferences France Les Ulis Cedex pp044316-1 (2010)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Taniguchi Y, En'yo Y, Kimura M, " α clustering and superdeformation of ^{28}Si " 19th International IUPAP Con-

ference on Few-Body Problems in Physics Bonn Germany 2009 8-9

Taniguchi Y, Kimura M, En'yo Y, Ikeda K, Horiuchi H, Ideguchi E, "Triaxial superdeformation in ^{40}Ar " JUSTI-PEN-EFES workshop on unstable nuclei Wako Japan 2009 12

XXI-034

原子核の大振幅変形共存ダイナミクスの微視的研究

Microscopic Study of Nuclear Large-amplitude Shape Coexistence Dynamics

研究者氏名：日野原 伸生 Hinohara, Nobuo

受入研究室：仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

一つの同位体に複数の局所安定な変形状態が共存する変形共存原子核では、異なる平均場をトンネル相関によって混ぜる大振幅集団運動が低励起状態において重要となる。このような集団モードは従来から低励起状態の集団運動を記述するのに標準的に用いられている乱雑位相近似(RPA)では記述できず、大振幅集団運動の微視的理論を用いる必要がある。

特に大振幅集団ダイナミクスの記述において重要なことは、異なる平均場を混ぜる集団的自由度、そしてそのスケールリングを与える慣性質量を理論的に導出することである。本研究では大振幅集団運動の微視的理論である断熱的自己無撞着集団座標(ASCC)法によって変形共存の集団的自由度の議論を行っている。本年は変形共存の大振幅ダイナミクスに関して以下の研究を行った。

(1) オブレート・プロレート変形共存においては二つの変形状態を混ぜる自由度として、非軸対称変形の自由度が重要であることをASCC法によってこれまでに示してきたが、非軸対称変形の大振幅集団ダイナミクスを記述するモデルによって、非軸対称平衡変形、 γ 不安定核からオブレート・プロレート変形共存までの関連を統一的に議論した。特に、 0_2^+ 状態の励起エネルギーが、非軸対称変形のポテンシャルの形を強く反映することを示した。また、オブレート・プロレート間の非対称性と電磁遷移との関連や、回転運動による集団波動関数の局在化のメカニズムについて分析を行った。

(2) 四重極振動の5つの自由度である軸対称、非軸

対称変形と3次元回転のすべてを取り扱うことが出来るBohr-Mottelson型の集団Hamiltonianの慣性質量を与えるASCC法に基づいた局所準粒子RPA理論を定式化した。この定式化によって、平均場の時間変化を反映したtime-odd項を取り入れた四重極大振幅振動運動の慣性質量の実用的な計算が初めて可能となった。現在までに $^{68-72}\text{Se}$ におけるオブレート・プロレート変形共存に加え、 $^{74-78}\text{Se}$ 領域における非調和振動運動の分析を行っており、平均場のtime-odd項を含まない取り扱いのInglis-Belyaev近似に比べてより定量的な低励起状態における大振幅集団運動の記述が可能となった。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hinohara N, Nakatsukasa T, Matsuo M, Matsuyanagi K, "Microscopic description of oblate-prolate shape mixing in proton-rich Se isotopes" Physical Review C Vol.80 1 pp014305-1-014305-11 (2009)

En'yo Y, Hinohara N, Suhara T, Schuck P, "Dineutron correlations in quasi-two-dimensional systems in a simplified model, and possible relation to neutron-rich nuclei" Physical Review C Vol.79 5 pp054305-1-054305-14 (2009)

(その他)

Hinohara N, Nakatsukasa T, Matsuo M, Matsuyanagi K, "Collective path and inertial mass of large-amplitude collective dynamics: Application to shape coexistence"

Proceedings of 4th International Workshop on Nuclear Fission and Fission-product Spectroscopy Cadarache France 2009 5 AIP Conference Proceedings USA New York pp49-56 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hinohara Nobuo, Nakatsukasa Takashi, Matsuo Masayuki, Matsuyanagi Kenichi, "Collective path and inertial mass of large-amplitude collective dynamics: application to shape coexistence" 4th International Workshop on Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy (FIS- SION 2009) Saint-Paul-lez-Durance France 2009 5

Hinohara Nobuo, "Oblate-prolate shape mixing in proton-rich Se isotopes as large-amplitude collective motion" Workshop on Importance of continuum coupling for nuclei close to the drip-lines Saclay France 2009 5

Hinohara Nobuo, Sato Koichi, Nakatsukasa Takashi, Matsuo Masayuki, Matsuyanagi Kenichi, "Microscopic derivation of five-dimensional collective Hamiltonian of large-amplitude quadrupole motion: application to shape coexistence in proton-rich Se isotopes" 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium Tsukuba

Japan 2009 11

Hinohara Nobuo, Sato Koichi, Nakatsukasa Takashi, Matsuo Masayuki, Matsuyanagi Kenichi, "Large-amplitude quadrupole collective dynamics in Se and Kr isotopes" Hadron and Nuclear Physics (HNP09) Suita Japan 2009 11

Hinohara Nobuo, Sato Koichi, Nakatsukasa Takashi, Matsuo Masayuki, Matsuyanagi Kenichi, "Large-amplitude quadrupole collective dynamics of shape coexistence phenomena in proton-rich Se and Kr isotopes" Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII (TOURS 2009) Kobe Japan 2009 11

Hinohara Nobuo, "Five-dimensional collective Hamiltonian with Thouless-Valatin inertial functions" JUSTI-PEN-EFES workshop on unstable nuclei Wako Japan 2009 12

(国内学会等)

日野原 伸生, "原子核の低励起状態における大振幅集団ダイナミクス" KEK 理論センター研究会「原子核・ハドロン物理」つくば 日本 2009 8

日野原 伸生, "原子核低励起状態における大振幅集団運動" 筑波大学原子核理論セミナー つくば 日本 2009 9

XXI-035

パリティ反転核反応プローブを用いた ^{40}Ca におけるパイ中間子凝縮前兆現象の研究

Study of Precursor Phenomena of Pion Condensation in ^{40}Ca Viaparity-inversion Nuclear Reactions

研究者氏名: 笹野 匡紀 Sasano, Masaki

受入研究室: 仁科加速器研究センター

本林重イオン核物理研究室

(所属長 本林 透)

本研究は、核子あたり300MeVの入射エネルギーをもつ ^{18}O ビームをプローブとして用いて、標的核 ^{40}Ca のアイソスピン1の0状態へのスピンドイポール型遷移強度の測定を行うことが目的である。この0状態はパイ中間子と同じスピン・アイソスピンをもつため、この強度や角度分布を測定することにより、中性子星の内部で存在が予言されているパイ中間子凝縮現象の前兆現象を、通常の原子核で確認することができる。しかしながら、今までのところ、0状態への強度分布を広いエネルギー範囲で導出した例はなく、限られた数の標的核における特定の0状態のみに

対してのみ実験データが存在している。本研究では、プローブである ^{18}O の励起エネルギー6.8MeVの0からのガンマ線をタグすることにより、20MeV程度までの広い励起エネルギー領域の強度分布を、重心系における散乱角度0度において測定することができる。標的核を ^{40}Ca とすることにより、散乱角度4度付近に現れるガモフ・テラー励起からのバックグラウンドを抑制することができるため、0度においてアイソスピン1の0状態への強度分布を高精度で導出することができる。実験上は、高いビーム強度と標的からガンマ線検出器へのバックグラウンドを最小化

することが重要になる。このため、ビーム強度の見積もりと、標的周辺におけるシールドの検討を行った。また、本研究では、残留核の粒子識別および運動量分析に、Spectroscopy with High-resolution Analyzer and RadioActive Quantum beams (SHARAQ) スペクトロメーターを用いる必要がある。このため、2009年5月および10月末に行われたSHARAQのコミッションニングにおいて、ビームライン検出器の調整、オンライン解析などを分担し、ビームトランスポートが設計通り行われていることを確認することに貢献し、SHARAQスペクトロメーターが本研究に使用可能であることを確認した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

K. Yako, M. Sasano, K. Miki, H. Sakai, M. Dozono, D. Frekers, M. B. Greenfield, K. Hatanaka, E. Ihara, M. Kato, T. Kawabata, H. Kuboki, Y. Maeda, H. Matsubara, K. Muto, S. Noji, H. Okamura, T. H. Okabe, S. Sakaguchi, Y. Sakemi, Y. Sasamoto, K. Sekiguchi, Y. Shimizu, K. Suda, Y. Tameshige, A. Tamii, T. Uesaka, T. Wakasa, H. Zheng: "Gamow-Teller Strength Distribution in ^{48}Sc by the $^{48}\text{Ca}(p,n)$ and $^{48}\text{Ti}(n,p)$ reactions and Two-Neutrino Double-beta Decay Nuclear Matrix Elements", Physical Review

Letters, Vol. 103, 012503 (2009).

K. Sekiguchi, H. Sakai, H. Witala, W. Glockle, J. Golak, K. Itoh, H. Kamada, T. Kawabata, H. Kuboki, Y. Maeda, A. Nogga, H. Okamura, S. Sakaguchi, N. Sakamoto, Y. Sasamoto, M. Sasano, R. Skibinski, K. Suda, Y. Takahashi, T. Uesaka, T. Wakasa, K. Yako: "Three-nucleon force effects in the $^1\text{H}(d,pp)n$ reaction at 135 MeV/nucleon", Physical Review C, Vol. 71, 054008 (2009).

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Masaki Sasano, Hideyuki Sakai, Kentaro Yako, Kenjiro Miki, Shumpei Noji, Tomotsugu Wakasa, Masanori Dozono, Kunihiro Fujita, Mark Greenfield, Kichiji Hatanaka, Takahiro Kawabata, Hironori Kuboki, Yukie Maeda, Hiroyuki Okamura, Yasuhiro Sakemi, Kimiko Sekiguchi, Yohei Shimizu, Yuji Tameshige, Atsushi Tamii, Tomohiro Uesaka, Yoshiko Sasamoto, Keisuke Itoh, Kazuo Muto: 3rd Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, "Gamow-Teller transition strengths in the intermediate nucleus of the ^{116}Cd double-beta decay by the $^{116}\text{Cd}(p,n)$ and $^{116}\text{Sn}(n,p)$ reactions at 300 MeV"

XXI-036 荷電交換反応を用いた中性子過剰核のスピン軌道ポテンシャルの研究

Study of Spin-orbit Potential in Neutron-rich Nuclei Via Charge Exchange Reaction

研究者氏名：坂口 聡志 Sakaguchi, Satoshi

受入研究室：仁科加速器研究センター

櫻井RI物理研究室

(所属長 櫻井 博儀)

陽子数と中性子数のアンバランスな不安定核の生成技術の進歩に伴い、いくつかの中性子過剰核が異常に大きな物質半径を持つことが見出された。中性子過剰核の表面には、厚い中性子の層(中性子スキン・ハロー)が存在すると推察されている。この中性子スキンの厚さは、中性子過剰な核物質の性質を表わす最も重要な量の一つと示唆されており、大きな注目を集めている。中性子スキン厚は中性子星の構造にも強く関係しており、天文学からの興味も高まっている。安定核の中性子スキン厚は、電子散乱

及び陽子弾性散乱を用いた陽子分布・中性子分布の測定から決定されてきた。一方、不安定核の中性子スキンの厚さは未だ測定されていない。その原因は、不安定核に対する電子散乱の測定が困難なためである。

そこで本研究では (p,n) 荷電交換反応による荷電類似状態 (IAS状態) への遷移 (以下では (p,n) IAS反応) に着目した。アイソスピン対称性の下、IAS状態は標的核の基底状態と同じ波動関数を持つ。従って、アイソスピンの向きの変化を除けばこの反応は通常

の陽子弾性散乱と等価である。(p,n) IAS反応には光学ポテンシャルのアイソベクトル成分が寄与を果たすため、測定量からその成分を決定することができる。特に、スピン軌道ポテンシャルのアイソベクトル成分は符号すら未知である。さらに、光学ポテンシャルのアイソベクトル成分は、標的核の密度分布のアイソベクトル成分(=陽子分布と中性子分布の差)と強く関係しているため、(p,n) IAS反応は中性子スキン厚に敏感であると期待される。

研究の第一段階として、まずは密度分布や中性子スキン厚の知られた安定核を対象とし、手法の開発・検証を行う必要がある。本年度は、アイソベクトル密度分布に対する(p,n) IAS反応の感度を探るための実験の立案を行った。実験は阪大核物理研究センターの150 MeV偏極陽子ビームを用いて行う。^{116,124}Sn (p,n) IAS反応の微分散乱断面積・偏極分解能を、角度領域0-25度の範囲で測定する。IAS状態の識別のため、高分解能中性子検出器NPOL3を用いる。^{116,124}Snの陽子・中性子分布は既知なので、アイソベクトル密度分布が(p,n) IAS反応に与える影響を明らかにすることができる。また、上記の実験計画に加え、(p,n) IAS反応を精度よく記述する理論解析方法の開発を国内外の研究者と共同して進めている。具体的には、相対論的インパルス近似による陽子弾性散乱の高精度な記述を、Lane模型を用いてアイソスピン空間に一般化する。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sakaguchi S, Uesaka T, Wakui T, Kawabata T, Aoi N,

Hashimoto Y, Ichikawa Y, Itoh K, Itoh M, Iwasaki H, Kawahara T, Kondo Y, Kuboki H, Maeda Y, Miki K, Nakamura T, Nakao T, Nakayama Y, Noji S, Okamura H, Sakai H, Sasamoto Y, Sasano M, Sato Y, Sekiguchi K, Shinohara M, Suda K, Suzuki D, Takahashi Y, Tamii A, Yako K, Yamaguchi M, "Spin-orbit potentials in neutron-rich helium isotopes" XIIIth Workshop on high energy spin physics Dubna Russia 2009 9

Sakaguchi S, Uesaka T, Wakui T, Kawabata T, Aoi N, Hashimoto Y, Ichikawa Y, Itoh K, Itoh M, Iwasaki H, Kawahara T, Kondo Y, Kuboki H, Maeda Y, Miki K, Nakamura T, Nakao T, Nakayama Y, Noji S, Okamura H, Sakai H, Sasamoto Y, Sasano M, Sato Y, Sekiguchi K, Shinohara M, Suda K, Suzuki D, Takahashi Y, Tamii A, Yako K, Yamaguchi M, "Elastic scattering of polarized protons from neutron-rich helium isotopes at 71 MeV/A" 3rd Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (HAW09) Hawaii USA 2009 10

Sakaguchi S, Uesaka T, Wakui T, Kawabata T, Aoi N, Hashimoto Y, Ichikawa Y, Itoh K, Itoh M, Iwasaki H, Kawahara T, Kondo Y, Kuboki H, Maeda Y, Miki K, Nakamura T, Nakao T, Nakayama Y, Noji S, Okamura H, Sakai H, Sasamoto Y, Sasano M, Sato Y, Sekiguchi K, Shinohara M, Suda K, Suzuki D, Takahashi Y, Tamii A, Yako K, Yamaguchi M, "Elastic scattering of polarized protons from neutron-rich helium isotopes at 71 MeV/A" 5th International Workshop on Direct Reactions with Exotic Beams Tallahassee USA 2009 12

XXI-037

高空間分解能半導体コンプトンカメラの 「複数核種同時」3D分子イメージングへの応用

Application of Semiconductor Compton Camera to *in-vivo* Simultaneous 3D Imaging of Multi RI-labeled Molecular Probes

研究者氏名：武田 伸一郎 Takeda, Shin'ichiro
受入研究室：分子イメージング科学研究センター
メタロミクスイメージング研究ユニット
(所属長 榎本 秀一)

本研究は、申請者がISAS/JAXAにおいて、次世代高感度宇宙ガンマ線観測装置として開発を進めてきた、半導体コンプトンカメラを基礎として、分子

イメージング研究における革新的なイメージング装置の創出を図るものである。高性能半導体素子や低ノイズアナログASIC等、独自の検出器テクノロジー

を駆使して、数10keVから数MeVにわたる帯域で、mmオーダーの空間分解能での3次元撮像を可能とする、新しい検出器システムを実現する。

平成21年度は、宇宙用検出器設計のために開発してきたモンテカルロコードを発展させ、近距離に配置した対象の3D撮像性能を検証するための、検出器シミュレーションをすすめた。2014年打ち上げ予定ASTRO-H衛星搭載予定のSGD検出器を、分子イメージング装置用に最適化した、マルチヘッドの検出器システムを提案した。数100 keV - MeVの帯域において、100 kBq - MBqのポイントソースに対し30分以内の撮像時間で、数mmの3D空間分解能が実現できることがわかった。ただし、現実の生体内で悪性腫瘍組織がもつ薬剤の取り込み量は、周辺の正常組織に比べて、たかだか数倍程度であると予想される。そのような条件下での腫瘍検出能力を評価するため、小動物を模擬した円柱内部をWater-equivalentな物質で満たしたジオメトリーに対してもシミュレーションをおこなった。周辺組織に比べて2倍程度高い取り込みを持つ、数mmサイズの腫瘍ならば、30分程度の測定で検出できることがわかり、実用レベルの装置実現に向けて見通しを得た。

シミュレーションに基づいて提案したマルチヘッドシステムによる「コンプトンカメラによる3D断面撮像」を実証するために、Geコンプトンカメラを用いた実験をおこなった。この検出器は、分子イメー

ジング研究センターメタロミクスイメージング研究ユニットが開発を進めてきたものである。市販の断面撮像用PETファントムを、Geコンプトンカメラに対して高精度で回転させ、擬似的にマルチヘッドシステムのデータを取得、3D断面撮像の実証に成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takeda S, Ishikawa S, Odaka H, Watanabe S, Takahashi T, Tajima H, Kawachi N, Nakano T, Enomoto S. "Simulation study of 3-D gamma-ray imager with Si/CdTe semiconductor Compton camera" IEEE Sensors Application Symposium 2010 Limerick Ireland 2010 2

(国内学会等)

武田 伸一郎, "宇宙用検出器技術の異分野への発展を目指して" 岡山大&理研ジョイントセミナー 岡山大インキュベータ 2階セミナー室 (岡山) 日本 2009 9

武田 伸一郎, 本村 信治, 榎本 秀一, 福地 知則, 金山 洋介, 齋藤 大地, 廣村 信, "半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング法の開拓" 分子イメージング研究シンポジウム 2010 「未来を拓く創薬・疾患診断研究」日経ビル3F 日経ホール 日本 2010 1

XXI-038 フラストレート磁性体を中心とする量子多体系における新奇物性の探索及び基礎理論の構築

Theory of Novel Orders and Properties in Quantum Frustrated Magnets

研究者氏名：佐藤 正寛 Sato, Masahiro

受入研究室：基幹研究所

古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

近年、量子磁性体分野では、磁気多極子秩序やスピカイラル秩序または無秩序なスピン液体状態などのように、局所スピンモーメントでは定義できない秩序をもつ状態及びその励起構造に対する興味が高まっており、実際これらの新しい秩序が実現している可能性が高い磁性体が構築・研究されている。一方、冷却原子系においても、様々なパラメータが制御可能であることから、新しい量子状態の実現可

能性が精力的に議論されている。本研究員は、これらの新しい状態がどのような状況で発現し得るか、それらの特徴づける物理量は何か、特にこれらを検出する為の有効な実験手段は何か、という問題を解明することを研究目標としている。

本年度は、特に以下の3つのテーマについて研究成果を挙げている。

(1) パイエルス不安定性をもつ1次元モット絶縁体

の光学応答におけるスピノン励起の理論：マルチフェロイクスの研究をきっかけとしてモット絶縁体における光学応答が大きな注目を集めている中、我々はTTF-BAなどのスピンパイエルズ転移を示す擬1次元有機系モット絶縁体の光学応答に焦点を当てた。モット絶縁相にける電気分極演算子と有効理論がスピン演算子を用いて正確に表現できること、及び、それらの低エネルギーでの性質が共形場理論と厳密解の方法を用いて精密に評価できること、の2つを利用して光学伝導度を定量的に計算した。その結果、パイエルズ転移温度以上/以下でスピノン対のギャップレス連続励起が現れる/ギャップを持つシングルレット励起の鋭いピークが現れることを明らかにした。(2)2成分ボーズ/フェルミガス系における強磁性転移の理論：最も簡単な内部自由度を持つ多体系として我々は2成分1次元ボーズ/フェルミガスを理論解析した。2成分ガス系で異成分間斥力を十分大きくすれば、自発的に2成分密度に差が生じることが期待される。2成分をスピン1/2とみなせばこれは強磁性相への転移である。これは2成分ガス系の基本現象の1つと考えられるが、既存の弱結合・強結合理論ではこの転移の性質を記述できないことが知られている。そこでiTEB法や数値対角化法などの強力な数値計算法とボソン化などの解析方法を融合させ、強磁性転移と強磁性相の性質を考察した。その結果、相転移の普遍クラスが異成分間ホッピングの有無によってIsingタイプから1次転移に変化すること、強磁性相が1成分朝永Luttinger液体相で記述されること、などを明らかにした。(3)擬1次元マルチフェロイクスLiCu2O2の電磁波応答の理論：代表的なマルチフェロイクスとしてマンガニ酸化物が精力的に研究されているが、これらの化合物はスピノンモーメントが大きく多様な磁気異方性が存在する複雑な系と考えられる為、精密な理論は未発達である。そこで我々は最も単純なマルチフェロイクスとしてスピン1/2をもつLiCu2O2を取り上げ、その静的動的性質を解析した。まず信頼できる実験結果をヒントとし簡単に現実的な磁性体モデルとそのスパイラル磁気秩序状態を提案し、さらにその状態で評価したNMRスペクトルが実験結果とよく一致することを示した。さらにこの状態に基づきスピン波理論を展開し、光学応答で観測されている低振動数のピーク構造が電磁波で励起されたマグノンによってほぼ定量的に記述できることを明らかにした。

(1)-(3)の成果の多くは、最近の実験研究と密接に関連しており、これらの理論予言が近い将来に実験で検証されることを期待できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Katsura H, Sato M, Furuta T, Nagaosa N, "Theory of the Optical Conductivity of Spin Liquid States in One-Dimensional Mott Insulators" *Physical Review Letters* Vol.103 17 pp177402-1-177402-4 (2009)

Furukawa S, Sato M, Saiga Y, Onoda S, "Gapless chirality excitations in one-dimensional spin-1/2 frustrated magnets" *Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo'08) Proceedings of the 9th International Symposium Hatoyama Japan 2008 8 World Scientific Singapore Singapore* pp150-153 (2009)

Sato M, Tokuno A, "Z2 symmetry breaking in multi-band bosonic atoms confined by a two-dimensional harmonic potential" *Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo'08) Proceedings of the 9th International Symposium Hatoyama Japan 2008 8 World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore Singapore* pp45-48 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Onoda S, Furukawa S, Tanaka Y, Sato M, "Chirality in quantum spin liquid and ice" *Joint European Japanese Conference: Frustration in Condensed Matter Lyon France 2009 5*

Sato M, "Characterization of field-induced multipolar liquids in frustrated spin chains from dynamical correlations" *Topological Order: From Quantum Hall Systems to Magnetic Materials Dresden Germany 2009 6-7*

Furukawa S, Sato M, Onoda S, "Theory of helimagnetic order and electromagnetic excitations in quasi-one-dimensional multiferroic cuprates" *International Conference on Magnetism (ICM 2009) Karlsruhe Germany 2009 7*

Sato M, Furukawa S, Onoda S, "Chiral order and novel electromagnetic excitations in quasi-one-dimensional spin-1/2 multiferroics" *RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako Japan*

2009 12

Sato M, Takayoshi S, Furukawa S, "Quantum phase transition to ferromagnetic liquid in spinful Bose and Fermi gases" RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials" Wako Japan 2009 12

(国内会議)

佐藤 正寛, 古川 俊輔, 小野田 繁樹, "擬1次元マルチフェロイクスの磁気構造と電磁気励起の理論" 文科省科学研究補助金特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」第4回トピカルミーティング「フラストレーションとカイラリティ」神戸 日本 2009 7

高吉 慎太郎, 佐藤 正寛, 古川 俊輔, "1次元2成分冷却原子ガスにおける Z_2 対称性の破れと低エネルギー励起構造" 日本物理学会 2009 年秋季大会 熊本 日本 2009 9

坂井 徹, 奥西 功一, 岡本 清美, 糸井 千岳, 佐藤 正寛, "三本鎖スピントラップの3分の1磁化プラトー" 日本物理学会 2009 年秋季大会 熊本 日本 2009 9

佐藤 正寛, 古川 俊輔, 小野田 繁樹, "擬1次元らせん磁性体におけるスピン波理論: LiCu_2O_2 への応

用" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

轟木 義一, 佐藤 正寛, "積層三角格子反強磁性体における温度-磁場誘起coplanar秩序の空間異方性に対する安定性" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9

佐藤 正寛, 桂 法称, 古田 昂, 永長 直人, "1次元モット絶縁体の光学応答におけるスピノン励起" 物性科学領域横断研究会 「凝縮系科学の最前線」東京 日本 2009 11-12

佐藤 正寛, 高吉 慎太郎, 古川 俊輔, "2成分ボーズ・フェルミガスにおける強磁性液体と量子相転移" 物性科学領域横断研究会 「凝縮系科学の最前線」東京 日本 2009 11-12

佐藤 正寛, 桂 法称, 古田 昂, 永長 直人, "1次元モット絶縁体の光学応答におけるエレクトロスピノン" 特定領域「フラストレーションが創る新しい物性」第5回トピカルミーティング「誘電体にひそむランダムネスとフラストレーション」大阪 日本 2009 12

XXI- 039

冷却フェルミ原子気体における渦糸格子の研究

Study of Vortex Lattices in Cold Fermi Gases

研究者氏名: 渡辺 元太郎 Watanabe, Gentaro

受入研究室: 仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

1995年における冷却原子気体の Bose-Einstein 凝縮(BEC)の実現は、極めて高い制御性を持つ系において巨視的な量子現象が実現されたということであり、超流動、ひいては量子力学の更なる理解への出発点となるものである。中でも、回転する超流動体の渦度の量子化及び量子渦糸の形成は、超流動性の本質的な現象であり、液体ヘリウムを用いた研究以来連続と続けられてきたが、冷却Bose気体における渦糸の実現によって、量子渦糸の研究は新たな展開を迎えたと言える。更に近年はBose気体のみならず、二成分Fermi気体におけるBCS-BECクロスオーバー全領域においても渦糸格子が実現され、そこの超流動性も実験的に確認された。BCS-BECクロスオーバーとは、二成分Fermi原子気体の粒子間相互

作用を強くしていくことによって生ずる、Fermi原子気体のBCS状態から、二個のFermi原子が束縛されて出来たbosonのBEC状態へのクロスオーバーのことである。特に興味深いことに、ユニタリー領域と呼ばれるクロスオーバーの中間領域は、原子間相互作用を特徴付ける散乱長が極めて大きな値をとるようなFermi原子が強く相関しあった超流動状態であり、強相関Fermi粒子の超流動を理解する上でも有用な系であるといえる。

従って、回転する冷却Fermi原子気体、特にユニタリー領域における渦糸格子の研究は、超流動の研究においても極めて重要な意義を持つ。しかしながら、冷却Fermi原子気体における渦糸格子の研究は、BECのそれに比べると極めて未発達であり、現

状では一様媒質中における孤立した渦糸の構造の研究や、渦糸の構造を完全に粗視化した巨視的な流体力学的モデルによる研究等があるに過ぎない。そのような現状を鑑み、本研究では、回転する冷却Fermi原子気体、特にユニタリー領域における渦糸格子について、その渦糸構造をも含めてcloud全体を記述する理論を構築し、この系の理解に資することを目指す。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Watanabe G, Sonoda H, Maruyama T, Katsuhiko S, Yasuoka K, Ebisuzaki T, "Formation of nuclear "pasta" in supernovae" *Physical Review Letters* Vol.103 12 pp121101-1-121101-4 (2009)
2. Watanabe G, Dalfovo F, Piazza F, Pitaevskii L, Stringari S, "Critical velocity of superfluid flow through single-barrier and periodic potentials" *Physical Review A* Vol.80 5 pp053602-1-053602-9 (2009)
3. Watanabe G, "Efficient creation of maximally entangled states by modulation of tunneling rates" *Physical Review A* Vol.81 2 pp021604-1-021604-4 (2010)
4. Watanabe G, "Efficient scheme for creating maximally entangled state in a double-well potential" *International Conference on Quantum Information Processing and Communication (QIPC 2009)* Rome Italy 2009 9
5. Watanabe G, "Study of matter in ultradense and ultradilute environments: towards bridging astrophysics and cold atom physics" *Symposium on Fields of Special Interests in Theoretical Physics Pohang Korea* 2009 11
6. Watanabe G, "Formation of nuclear "pasta" in supernovae" *RIKEN-TRIUMF Nuclear Theory Meeting Vancouver Canada* 2009 12
7. Watanabe G, "Formation of nuclear pasta in supernovae" *Mini Symposium on Nuclear Astrophysics in "New Frontiers in QCD 2010"* Kyoto Japan 2010 1
8. Watanabe G, Orso G, Dalfovo F, Pitaevskii L, Stringari S, "Properties of superfluid unitary Fermi gases in an optical lattice" *Conference on Research Frontiers in Ultra-Cold Atoms Trieste Italy* 2009 5

(国内学会等)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

1. Watanabe G, "Efficient scheme for creating NOON state in a double-well potential" *Cold Atoms and Molecules: Collisions, Field-effects, and Applications Kyoto Japan* 2009 6
2. Watanabe G, "Efficient scheme for creating NOON state in a double-well potential" *Telluride Workshop on Quantum Chemistry and Quantum Computational Physics in the Theory of Ultra-cold Gasses Telluride USA* 2009 8
3. Watanabe G, "Nuclear "pasta": its formation and consequences" *Conference on Neutron stars: The crust and beyond Stockholm Sweden* 2009 9
1. 渡辺 元太郎, "Efficient scheme for creating NOON state in a double-well potential: assisted higher-order co-tunneling" 筑波大学原子核理論研究室セミナー 筑波 日本 2009 9
2. 渡辺 元太郎, "分子動力学法でせまる原子核の Pasta 相: 超新星コアにおける Pasta 相の形成" 早稲田大学 山田・前田研合同セミナー 東京 日本 2009 11
3. 渡辺 元太郎, "超新星爆発における Pasta 相の形成" 日本学術振興会科学研究費基盤研究S2010「超新星の爆発機構とガンマ線バースト源エンジンの統一的解明」東京 日本 2010 1
4. 渡辺 元太郎, "時間変調トンネル確率による NOON 状態の効率的な生成" 日本物理学会第65回年次大会 岡山 日本 2010 3
5. 渡辺 元太郎, "Efficient scheme for creating NOON state in a double-well potential" 東京 日本 2009 7

XXI-040 プロテアソームによる蛋白質分解における Unstructured 領域の役割

The Role of Unstructured Region in the Proteasomal Degradation

研究者氏名：伊野部 智由 Inobe, Tomonao

受入研究室：脳科学総合研究センター

構造神経病理研究チーム

(所属長 貫名 信行)

ユビキチン-プロテアソームシステム(UPS)は真核細胞で最も重要な蛋白質分解装置の一つであり、単に不要な蛋白質を分解するだけでなく、数百に上る細胞内の蛋白質の濃度を調整し、細胞周期・転写・シグナル伝達などの制御に関わる。そのためその機能破綻は重篤な病気につながる。現在、神経変性疾患を引き起こす凝集性蛋白質などのミスフォールド蛋白質が、プロテアソームの分解活性を大きく低下させると言われている。しかしながらミスフォールド蛋白質によるプロテアソーム阻害は無いという報告もあり、さらなる研究が望まれている。おそらくこれら相反する報告は、すべてのミスフォールド蛋白質がプロテアソームを阻害するわけでは無いことを意味している。そこで申請者は「どのようなミスフォールド蛋白質が、如何にしてプロテアソームを阻害するのか？」を解き明かす必要があると思に至った。

本年度はミスフォールド蛋白質によるプロテアソームの阻害を見積もるために、*in vitro*でのモデル系の構築を行った。この系では精製したプロテアソームとモデル基質蛋白質、および精製したミスフォールド蛋白質を用いるもので、ユビキチン化などの翻訳後修飾などの影響を廃し、ミスフォールド蛋白質によるプロテアソームの阻害だけに注目することが出来る。プロテアソームはマウス培養細胞お

よび酵母から精製して用いた。またミスフォールド蛋白質として神経変性疾患の原因遺伝子産物を精製して用いた。

まずポリグルタミン病のモデルとしてポリグルタミンが異常伸長したハンチンチンエクソンI(htt)と酵母由来のプロテアソームの関係を調べる予備的な実験を行った。この実験よりハンチントン病の病理学的所見となるhttの凝集体形成において、プロテアソームは保護的に働き、凝集体を抑える働きがあることがわかった。このことからプロテアソームがhttの凝集に対し分子シャペロンのように働くことが示唆される。しかしながらモデル蛋白質のプロテアソームによる分解に対しては、httはほとんど阻害効果を示さず、単量体状態のhttも凝集のhttもプロテアソームの分解活性に影響を及ぼすことは無かった。今後さらにhttの凝集中間体やポリユビキチン化したhttの影響なども調べる予定である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

伊野部 智由, Fishbain Susan, Prakash Sumit, Matouschek Andreas, "プロテアソームによる蛋白質分解における最適なユビキチンシグナルと分解開始部位の距離" 第47回日本生物物理学会年会 徳島 日本 2009 10-11

Foreign Postdoctoral Researcher Reports

国際特別研究員年報

FY2008~2009 Appointments

平成20~21年度採用者

Foreword

This Annual Report is a compilation of the research reports submitted by the Foreign Postdoctoral Researchers (FPRs) working at RIKEN in fiscal 2009.

The FPR Program

The Foreign Postdoctoral Researcher (FPR) program was launched in fiscal 2008 for foreign young scientists who have demonstrated creative and innovative ideas and who can be expected to contribute to the advancement of RIKEN's research, and to lay the foundations for a truly global RIKEN that actively encourages foreign participation in its activities. By inviting researchers from other countries, RIKEN hopes to achieve a stimulating research environment that transcends national boundaries, and to thereby become a global leader of scientific endeavor.

Foreign Postdoctoral Researchers are expected to make full use of RIKEN's research environment and to apply their creative and innovative ideas, under the direction of RIKEN's laboratory heads, to the research currently being conducted at RIKEN.

Program Features

The Foreign Postdoctoral Researcher program offers aspiring young foreign researchers the opportunity to pursue innovative research at RIKEN under the direction of a RIKEN laboratory head. Fields covered include physics, chemistry, biology, medicine, engineering, and any other fields related to research now being conducted at RIKEN.

FPRs must have a PhD in the natural sciences or expect to be awarded a PhD at the time of application, and must be able to pursue innovative research at RIKEN under the direction of a RIKEN laboratory head.?

Candidates are recruited every year through open application, and selection is made by a committee comprising outside experts as well as RIKEN scientists. Selection is based on submitted documents. The primary criteria are originality, potential, and benefits to the research of the host laboratory. The FPR's contract is for one fiscal year, renewable up to a maximum of three years on the basis of annual evaluation.

Host laboratories must provide the FPR with an environment conducive to independent research, sufficient research space, and support for the use of required research facilities and equipment, as well as guidance from the laboratory head.

Participants in the FPR program are eligible for RIKEN employee welfare programs, such as childcare leave, that are directed at helping all employees achieve a good work-life balance in research, childbirth, and childcare.

Two years have passed since the FPR program was launched and there are now 48 FPRs at RIKEN.

December 2010
RIKEN

[Note]

In the list of publications (original papers) at the end of each report, those marked with an asterisk (*) indicate peer review journals.

Contents

(Foreign Postdoctoral Researcher)

FY 2008 Foreign Postdoctoral Researchers

Studies of the Asymmetry Dependence of Nuclear Correlations Carlo BARBIERI	191
Identification and Functional Analysis of Organ Size Gain-of-Function Mutants using the Arabidopsis FOX-Hunting System Christian BREUER	192
Cellular and Molecular Characterisation of Synaptogenesis in the Zebrafish Nervous System Douglas CAMPBELL	193
Uncovering the Physics of Accreting Black Holes in New X-ray Surveys Poshak GANDHI	195
Photosensitive Intelligent Hybrid Materials Swapan Kumer GHOSH	197
Study on the Roles of RNA Binding Proteins on mRNA Metabolism Lin HUANG	198
Synthesis of Oligosaccharyl Donors for Creation of Glycoproteins with Biosynthetic Machinery Yong Joo LEE	199
Mechanism of Reprogramming by Germ Line Histones-Germ line Histones Complex Purification and the Analysis of Histone Variants Binding Factors Xia LI	200
Investigation of Charge Density Wave Crystals with Scattering and Photo Emission Spectroscopy (PES) with Soft X-Rays Mattia MULAZZI	200
Electrons on Helium as Quantum Bits David REES	202
μ SR Study of Cu-Spin Fluctuations in Electron-Doped High- T_c Superconducting Cuprates Risdiana	203
Unravelling Plant Immunity Signalling Pathways with Small Molecules Ivana SASKA	205
Analysis of Transcriptional Regulators Governing Establishment of Cell-to-Cell Reprogramming Network Jae Woo SHIN	206
Structures of Exotic <i>sd</i> - and <i>fp</i> -shell Nuclei David STEPPENBECK	207
Gauge/Geometry Correspondence in String Theory Ta-Sheng TAI	208
Nano-Raman Spectroscopy for Stress Characterization in Advanced Electronic Devices Alvarado TARUN	209
Modeling Visually Evoked Neuronal Activity by Non-Linear Combinations of Multi-Resolution Filter Responses Michael VIDAL-NAQUET	210
Role of Eukaryotic Aminopeptidase Enzymes in Response to Environmental Stress Rungaroon WADITEE	211

FY 2009 Foreign Postdoctoral Researchers

Aspects of Strongly Correlated and Mesoscopic Physics in Cold Atom Systems Shimul AKHANJEE	215
Investigation of Charm and Beauty Physics Via Single Electrons at the PHENIX Experiment at RHIC Stephen BAUMGART	216
Dynamical-Geometrical Aspects of Quantum Randomness in Semiclassical Regime and Its Potential Applications to Communications Systems Agung BUDIYONO	217
Mouse Mitochondrial Inheritance and Dynamics Liqin CAO	218
Synthesis and Reactivity of Scorpionate-Supported Lanthanide Dihydride Complexes Jianhua CHENG	219
Integrated Multi-Omic Investigation of Phytoplankton Community Dynamics: Novel Metabolic Function and Community Structure in an Artificial Ecosystem Richard Craig EVERROAD	219
Development of Optical Isolation Metamaterials Xu FANG	221
Development of Computational Methods for Large Scale Gene Regulatory Networks: Construction and Structural Analysis Andre FUJITA	221
A Novel Method for Diagnosis of Retinitis Pigmentosa Patients Using Their Own iPS Cells Zi-Bing JIN	223
Nuclear and Electron Spin Manipulation Using Nanomechanical Systems Neill LAMBERT	224
Attosecond Control of Broadband Supercontinuum Generation with Two-Color Field Pengfei LAN	225
The β decay of ^{34}Mg Zhihuan LI	226
Uncovering the First Line of Defence Against Plant Pathogens Rebecca LYONS	227
Molecular Mechanisms Underlying Paratympanic Organ Development and Evolution Paul O'NEILL	228
Computer Simulations of the Structure-Function Relationship in Biological Ion Channels Andrei PISLIAKOV	229
Dissection Of The Molecular Complicity Linking Polycomb Group And Dna Methylation Mediated Gene Repression Pathways In Es Cells Jafar SHARIF	
Spike Time Dependent Plasticity And Ca^{2+} Stores In Pyramidal Cells Of The Neocortex Mark William SHERWOOD	
Molecular Aspects of Amyloid Disease and Studies of Interactions between Amyloids and Chaperones Karin SÖRGJERD	230
Excited-State Dynamics of Nucleic Bases Studied by Ultrafast Two-Dimensionalphotoelectron Imaging Peng ZUO	231
Cooperative-Intelligent Control of a Human-Interactive Robot Zakarya ZYADA	232

FY 2008 Foreign Postdoctoral Researchers

Studies of the Asymmetry Dependence of Nuclear Correlations

Name: Carlo BARBIERI

Host Laboratory: Theoretical Nuclear Physics Laboratory,
Nishina Center for Accelerator-Based Science
(Laboratory Head: Takashi NAKATSUKASA)

We pursue a global understanding of single-particle behavior in strongly correlated systems. Atomic nuclei are a unique case in Nature because their components (the nucleons) are characterized by both spin and isospin (proton and neutron) degrees of freedom. They can be pictured as strongly correlated 4-fermion systems, the only type of this kind available experimentally. Single-particle states around shell closures (the so called quasiparticles) are the effective degrees of freedom governing the dynamics of nuclei. Their evolution with changing proton-neutron ratio is the key to predict the properties of exotic isotopes and, ultimately, to understand several stellar processes in which they are involved.

This research is divided into two main parallel efforts: (i) the development of *ab-initio* many-body techniques suitable for accurate studies of single-particle properties and (ii) the actual studies of asymmetric isotopes.

Calculations are based on many-body Green's functions theory. The Faddeev random phase approximation (FRPA) method is employed to study the interplay between single-nucleons and collective modes. This approach is tailored for medium/large systems (where giant resonances and collectivity are relevant). However, a recent study has given very accurate results for the ground state energy of ${}^4\text{He}$. This proves the potentiality of this method for *ab-initio* studies. Calculations have already been pursued for medium size nuclei in the pf shell, such as ${}^{56}\text{Ni}$. The next technological developments are parallelization of the numerical codes and extension to three-nucleon interactions. These extensions were started in FY2009 and are being actively pursued. They will allow to reach masses around $A=100$ and to include an accurate description of nuclear saturation in our results.

A study of the *effects of nuclear correlations on spectroscopic factors* has been concluded recently for ${}^{56}\text{Ni}$. This shows the importance of collective modes and large model spaces in describing the magnitude of transfer reaction that involve single-particle states. These effects can have equally

relevant implications on single-particle energies and effective interactions in the nuclear shell-model. The FRPA method is well suited for investigating the dependence of correlation effects on the proton-neutron asymmetry.

The FRPA method, developed for nuclear structure studies, has also been applied to ground state and ionization energies of simple atoms and molecules. First ionization energies agree with the experiment at the level of ~ 10 mH or less. These calculations may also serve as a basis for developing the quasiparticle extension to the standard density functional theory (DFT) for electronic systems.

● Publications

(Original Papers)

- Barbieri C, Dickhoff W, "Spectroscopic Factors in ${}^{16}\text{O}$ and Nucleon Asymmetry". International Journal of Modern Physics A Vol.24 11 pp2060-2068 (2009).
- Barbieri C, Van Neck D, "Ab-initio Green's Functions Calculations of Atoms". AIP Conference Proceedings Vol.1120 pp104-108 (2009).
- Barbieri C, Hiorth-Jensen M, "Quasiparticle and quasi-hole states of nuclei around ${}^{56}\text{Ni}$ ". Physical Review C Vol.79, 064313 (2009)
- Barbieri C, "Role of Long-Range Correlations on the Quenching of Spectroscopic Factors". Physical Review Letters Vol.103, 202502 (2009).
- Barbieri C, Charity R, Sobotka L, Dickhoff W, "Toward a Global Dispersive Optical Model for the Driplines". Proceedings of the "10th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions". Beijing China 2009 8. Elsevier Netherland Nuclear Physics A (2010)
- Barbieri C, "Toward an Ab-initio Description of Quasiparticle Properties". Proceedings of the 12th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms", Varenna, June 15-19, 2009. Varenna, Italy 2009 6. CERN Proceedings series Switzerland CERN (2010)
- Middleton D, Annard J, Barbieri C, Giusti C, Grabmayr P, Hehl T, MacGregor I, Martin I, MacGeorge J, Mos-

chini F, Pacati F, Schwamb M, Watts D, "Knockout of proton-neutron pairs from ^{16}O with electromagnetic probes". The European Physics Journal A Vol. (2009)

● Oral Presentations

(International Meetings)

Barbieri C, 12th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms Varenna, Villa Monastero Italy 2009 6

Barbieri C, ECT Workshop on "Confrontation and Convergence in Nuclear Theory", ECT, Trento, Italy, July 27-31, 2009 Trento, ECT* Italy 2009 7

Barbieri C, The 10th International Conference on Nucleus-Nucleus collisions (nn2009) Beijing China 2009 8

Barbieri C, The Third Joint JPS/DNP Meeting (Hawaii 2009) Kona, Hawaii USA 2009 10

(Domestic Meetings)

Barbieri C, 日本物理学会第64回年次大会東京 日本

2009 3

Barbieri C, *Workshop on "Development of nuclear structure models from the viewpoint of nuclear force"*. Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto, Japan. May 20-22, 2009 (talk given).

Barbieri C, *The 4th LACM-EFES-JUSTIPEN Workshop*. RIKEN, Japan. December 7-9, 2009 (talk given).

Barbieri C, INTERNATIONAL SYMPOSIUM "*Frontiers of Researches in Exotic Nuclear Structures*", Niigata2010. March 3-4, 2010. Tokamachi, Niigata, Japan.

(Seminars)

Barbieri C, "Stati di quasiparticella in nuclei ed atomi". Seminar at the university of Pavia Pavia Italy 2009 7

Barbieri C, "Toward an Ab-initio Description of Single-Particle Properties". 千葉大学自然科学研究科原子核理論セミナー日本 2009 7

Identification and Functional Analysis of Organ Size Gain-of-Function Mutants using the Arabidopsis FOX-Hunting System

Name: Christian BREUER

Host Laboratory: Cell Function Research Unit,

Plant Science Center

(Laboratory Head: Keiko SUGIMOTO)

Using the Arabidopsis FOX-hunting system¹, I have identified a dominant gain-of-function FOX line (F26519) that shows a stable and inheritable giant trichome phenotype. The enormous cell growth phenotype is accompanied by an increase in trichome DNA content². Plant trichomes are highly-specialized, epidermal cells that are involved in protecting plants against insect herbivores and UV light, the control of transpiration and tolerance to freezing^{3,4}. Moreover, trichomes are of special commercial interest, since they have a unique secondary metabolism, allowing the production and secretion of various natural compounds and even currently used drugs, such as aspirine, morphine, taxol and artemisinin. Leaf trichomes are also an excellent model system to study general developmental processes in cell differentiation, including cell shape and growth control at the single cell level⁵.

Leaf trichomes in Arabidopsis develop through several

distinct cellular processes, such as patterning, differentiation and growth. Although recent studies have identified several key transcription factors as regulating early patterning and differentiation steps, it is still largely unknown how these regulatory proteins mediate subsequent trichome development, which is accompanied by rapid cell growth and branching. The identified FOX line F26519 over-expresses a heavily truncated mRNA version of locus At1g33240, which is likely to lead to a dominant negative function compared to the full-length protein. In consistent, loss-of-function mutants exhibit very similar ploidy-dependent increase in trichome cell size without altering overall trichome patterning or branching. The corresponding gene encodes a GT-2-LIKE1 (GTL1) protein, a member of the trihelix transcription factor family. GTL1 is present within the nucleus during the post-branching stages of trichome development and its loss-of-function leads to an increase in

the nuclear DNA content only in trichomes that have completed branching. Genetic analyses using various trichome mutants suggest that GTL1 function is involved in novel growth mechanisms, which are independent of previously reported processes. Furthermore, the *gtl1* mutation modifies the expression of several cell cycle genes and partially rescues the ploidy defects in the cyclin-dependent kinase (CDK) inhibitor mutant *siamese*². Moreover, recent investigations regarding the function of closely related trihelix transcription factor genes show that these genes also play a distinct role for growth of other organs.

Taken together, this study provides the genetic evidence for the requirement of transcriptional regulation in the repression of ploidy-dependent plant cell and organ growth as well as for an involvement of GT-2-like trihelix proteins in this regulation.

1. Ichikawa et al., *Plant Journal* 2006
2. Breuer et al, *Plant Cell* 2009
3. Johnson, *Bot. Rev.* 1975
4. Mauricio and Rauscher, *Evolution* 1997
5. Huelskamp, *Nature* 2004.

● Publications

(Original Papers)

Christian Breuer, Ayako Kawamura, Takanari Ichikawa, Rumi Tominaga-Wada, Takuji Wada, Youichi Kondou, Shu Muto, Minami Matsui, Keiko Sugimoto. (2009) The trihelix transcription factor GTL1 regulates ploidy-dependent cell growth in the *Arabidopsis* trichome, *Plant Cell*, 21 (8): 2307-22.

● Oral/Poster Presentations

(International conferences/Seminars)

Christian Breuer, Ayako Kawamura, Takanari Ichikawa, Rumi Tominaga-Wada, Takuji Wada, Youichi Kondou, Shu Muto, Minami Matsui, Keiko Sugimoto. The trihelix transcription factor GTL1 regulates ploidy-dependent cell growth in the *Arabidopsis* trichome, 30th June 2009, RWTH Aachen

Christian Breuer, Ayako Kawamura, Takanari Ichikawa, Rumi Tominaga-Wada, Takuji Wada, Youichi Kondou, Shu Muto, Minami Matsui, Keiko Sugimoto. The trihelix transcription factor GTL1 regulates ploidy-dependent cell growth in the *Arabidopsis* trichome, 30th June - 4th July 2009, 20th International Conference on Arabidopsis Research, Edinburgh, UK

(Domestic conferences/Seminars)

Christian Breuer, Ayako Kawamura, Takanari Ichikawa, Rumi Tominaga-Wada, Takuji Wada, Youichi Kondou, Shu Muto, Minami Matsui, Keiko Sugimoto. The trihelix transcription factor GTL1 regulates ploidy-dependent cell growth in the *Arabidopsis* trichome, 9th February 2010, Advanced Science Institute (ASI) Forum, RIKEN Yokohama Institute, Yokohama

Christian Breuer, Ayako Kawamura, Takanari Ichikawa, Rumi Tominaga-Wada, Takuji Wada, Youichi Kondou, Shu Muto, Minami Matsui, Keiko Sugimoto. The trihelix transcription factor GTL1 regulates ploidy-dependent cell growth in the *Arabidopsis* trichome, 18th - 21st March 2010, JSPP Meeting, Kumamoto

Cellular and Molecular Characterisation of Synaptogenesis in the Zebrafish Nervous System

Name: Douglas CAMPBELL

Host Laboratory: Laboratory for Developmental Gene Regulation, Brain Science Institute

(Laboratory Head: Hitoshi OKAMOTO)

Results obtained during FY2008 identified a role for the apoptotic protease caspase 3 in regulating retinal ganglion cell arborisation and synapse formation via the stabilisation of branch tips and presumptive presynaptic

puncta: Reduced caspase 3 function lead to an increase in stability of branch tips and presynaptic puncta. These initial experiments were performed using peptide-based inhibitors of caspase function. Unfortunately, these inhibi-

tors may suffer from possible lack of specificity (the literature is inconsistent) with regards to the inhibition of specific caspases or to additional proteases. To confirm that caspase 3 is indeed important in regulating branch tip and presumptive presynaptic puncta stability caspase 3 protein levels were reduced or "knocked-down" using morpholino anti-sense oligonucleotides. Compared to control arbors (where embryos had been injected with a control morpholino), arbors from those embryos injected with a morpholino targeted against *caspase 3* were more stable in terms of branch tips and presumptive presynaptic puncta. These experiments confirmed a role for caspase 3 in regulating arbor stability. Furthermore, they demonstrate that chronic inhibition of caspase 3 (compared to the acute inhibition when the peptides were used) reduces dynamics but that this level of knock-down does not affect overall arbor size, suggesting that arbor dynamics are more sensitive to reduced caspase 3 levels.

Retinal ganglion cell and tectal arbors are highly dynamic. Regulators of the cytoskeleton underlying these morphological dynamics would also be expected to have their activities dynamically regulated. As RGC arbors mature their dynamics slow down and *ast/robo2* mutant and *slit1a* morphant arbors mature faster than wild-type arbors consistent with a role for Slit-Robo signalling in preventing the premature maturation of RGC arbors (Campbell et al., 2007). This phenotype is very similar to the effect of knock-down of caspase 3 on arbor dynamics. Perhaps Slit-Robo signalling interacts with caspase activation to regulate arbor dynamics. To test this hypothesis genetically, caspase 3 was knocked-down in heterozygous *ast* embryos. The arbors of *ast* heterozygous embryos are indistinguishable from the arbors of wild-type embryos. Preliminary results suggest that when caspase 3 is knocked-down in *ast* heterozygotes, the arbors are larger and contain increased numbers of branch tips and presumptive puncta which may indicate a genetic interaction between *slit1a* and *caspase 3* in the regulation of arbor size. These experiments are currently being repeated to confirm these observations. Experiments are currently in progress examining the effect of knocking down Slit1a protein levels to then go on and test for a genetic interaction between *slit1a* and *caspase 3*.

Since arbor growth may be regulated by a balance of

positive and negative regulators it will be necessary to identify additional ligand-receptor systems mediating arborisation and synaptogenesis. Candidates include BDNF-TrkB, implicated as positive regulators of arborisation and synapse formation. Based on the hypothesis that BDNF-TrkB signalling may be a positive regulator of arborisation and synapse formation and may be involved in the increased arbor size in the absence of Slit-Robo signalling. A dominant negative form of TrkB and green fluorescent protein were expressed in zebrafish RGCs. In contrast to increasing RGC branch dynamics as in *Xenopus* RGCs. The dynamics of zebrafish RGCs were reduced in a similar manner to loss of Caspase 3, Slit1a and Robo2 function. It will be interesting to investigate potential interactions between the three to regulate RGC arbor growth and maturation.

● Publications

(Review Article)

Hutson L, Campbell D, Chien C, "Analyzing Axon Guidance in the Zebrafish Retinotectal system." Essential Zebrafish Methods Vol. pp (2009)

(Other)

Drinjakovic J, Campbell D S, Strohlich L, and Holt C E, "E3 Ubiquitin ligase Nedd4 promotes axon branching by down-regulating PTEN." Neuron submitted

● Oral Presentations

(International Conferences)

Campbell D, Okamoto H, "The apoptotic protease caspase 3 regulates retinal ganglion cell axonal arborisation and synaptic dynamics" Okinawa Institute of Science and Technology International Workshop "The Retina: Neural Stem Cells and Photoreceptor Degeneration" Onna Village, Okinawa Pref. Japan 2009 11

Campbell D, Okamoto H, "The apoptotic protease caspase 3 regulates axonal arborisation and synaptic dynamics" 2009 Cold Spring Harbor Meeting on Synapses: From Molecules to Circuits & Behavior Cold Spring Harbor USA 2009 4

Campbell D, Okamoto H, "The apoptotic protease caspase 3 regulates axonal arborisation and synaptic Dynamics" Wiring the Brain: From Genetic to Neuronal Networks Adare Ireland 2009 4

Uncovering the Physics of Accreting Black Holes in New X-ray Surveys

Name: Poshak GANDHI

Host Laboratory: Cosmic Radiation Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Kazuo MAKISHIMA)

During the period of 2009-2010, I have continued to build upon exciting discoveries made the previous year in my research.

1) In 2008, I issued a European/RIKEN/NASA press release about the discovery of very fast fluctuations of visible light from black holes; see <http://cosmic.riken.jp/pg/flickering/>. This year, I have analyzed the data in great detail, and a paper is now very close to submission; see http://cosmic.riken.jp/pg/gx339_ox_v3.pdf. Analysis of such depth has been carried out for only one other black hole so far; hence our work is sure to provide very important constraints on black hole energetics in general.

In addition, I have reported in a separate paper that the optical light variations from black holes in our Galaxy show similar patterns to those seen at much higher energies: see the first publication listed below. The implication is that visible light observations can now give new insight on the inner regions around some black holes, something that has been traditionally restricted to X-ray observations only.

Finally, several new observing proposals have been accepted, with the goal of expanding this research with optical and X-ray telescopes world-wide (including Chile, Spain and the USA).

2) How do very large black holes at the centres of all galaxies grow? In order to investigate this question, we have observed a large sample of nearby galaxy nuclei using finely-resolved mid-infrared observations carried out at Japan's 8-m Subaru and Europe's Very large Telescope. In my second first-author publication listed below, I report a surprisingly-strong correlation between the black hole infrared and X-ray emission properties. The correlation has much less scatter than expected based on popular models of these objects. This is probably telling us that as matter 'accretes' (falls in) to the black holes, it does so in the form of very clumpy groups of 'clouds', rather than as a smooth infalling fluid. The penetrating power of infrared observations also now provides a new avenue for studying the intrinsic emission properties of many black holes

which are known to be hidden behind vast quantities of gas and dust in the cosmos.

3) I continue to strengthen my network of collaborations, especially with our group members. This year, we have used the superb high energy X-ray capabilities of Japan's Suzaku satellite in order to investigate in detail many questions: e.g. can we really tell how rapidly black holes spin? (cf. publication by Yamada et al. below); how did star-formation occur in spiral galaxies like the Milky Way (cf. Konami et al.); and, the nature of the interaction between some black holes and their surrounding galaxy clusters (cf. Isobe et al.).

An entirely new direction of my work is the investigation of the distribution of large organic molecules in space. This work was initiated by my colleague T. Misawa (we reported detections of new inter-stellar organic features via optical spectroscopy of several Galactic stars; see Misawa et al. below). Now, I am expanding this project, targeting a search for organic molecules in the vicinities of newly-forming extra-solar planetary systems. A large allocation of observing time on the Very Large Telescope has been granted to us on this project for mid-2010.

4) This year, I have been able to report the results of my work at several international and domestic conferences (listed below), as well as group seminars in several american and british universities (not listed). There has been wide interest in my work (especially, but not only, on the press release results), and I have been able to form new collaborations with scientists and South Africa, Europe, USA and more. All this was possible thanks to the research resources provided by RIKEN and MEXT, and I am very grateful for these.

● Publications

(Original Papers)

Gandhi P, "The Flux-Dependent rms Variability of X-Ray Binaries in the Optical" *The Astrophysical Journal* Vol.697 2 ppL167-L172 (2009)

Gandhi P, Horst H, Smette A, Hoenig S, Comastri A, Gilli R, Vignali C, Duschl W, "Resolving the mid-infrared cores of local Seyferts" *Astronomy & Astrophysics* Vol.502 2 pp457-472 (2009)

(Review Articles)

Horst H, Gandhi P, Smette A, Duschl W, "VISIR Observations of Local Seyfert Nuclei and the Mid-infrared - Hard X-ray Correlation" *The ESO Messenger* 0 0 European Southern Observatory Germany Munich pp37-39 (2009)

(Books/Proceedings)

Gandhi P, "Resolved mid-infrared imaging of Seyferts: an isotropic probe of AGN luminosity" AKARI, a light to illuminate the misty Universe Tokyo Japan 2009 2 Astronomical Society of the Pacific USA California pp0-0 (2010)

Gandhi P, Makishima K, Durant M, Fabian A, Dhillon V, Marsh T, Miller J, Shahbaz T, Spruit H, "Rapid timing studies of black hole binaries in Optical and X-rays: correlated and non-linear variability" *The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H (JAXA)* Otaru, Hokkaido Japan 2009 6-7 RIKEN/JAXA Japan RIKEN/JAXA pp0-0 (2010)

Gandhi P, Dhillon V, Durant M, Fabian A, Makishima K, Marsh T, Miller J, Shahbaz T, Spruit H, "Rapid timing studies of black hole binaries in Optical and X-rays: correlated and non-linear variability" *X-ray Astronomy 2009 Bologna Italy 2009 9* American Institute of Physics USA New York pp0-0 (2010)

Gandhi P, Horst H, Smette A, Hoenig S, Comastri A, Gilli R, Vignali C, Duschl W, "Resolved mid-infrared imaging of AGN: an isotropic measure of intrinsic power" *X-ray Astronomy 2009 Bologna Italy 2009 9* American Institute of Physics USA New York pp0-0 (2010)

Kawaharada M, Makishima K, Nakazawa K, Kitaguchi T, Okuyama S, Matsushita K, Fukazawa Y, Inada N, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Takahashi R, "A galaxy merger scenario for NGC 1550 and other clusters" *X-ray Astronomy 2009 Bologna Italy 2009 9*

(Others)

Misawa T, Gandhi P, Hida A, Tamagawa T, Yamaguchi T, "Identification of New Near-Infrared Diffuse Interstellar Bands in the Orion Nebula" *Astrophysical Journal* Vol.700 2 pp1988-1993 (2009)

Konami S, Sato K, Matsushita K, Yamada S, Isobe N, Senda A, Hayato A, Gandhi P, Tamagawa T, Makishima K, "Suzaku Observation of the Metallicity in the Interstellar Medium of NGC 4258" *Publications of the Astronomical Society of Japan* Vol.61 5 pp941-948 (2009)

Isobe N, Tashiro M, Gandhi P, Hayato A, Nagai H, Hada K, Seta H, Matsuta K, "Suzaku Observation of the Giant Radio Galaxy 3C 326" *Astrophysical Journal* Vol.706 1 pp454-463 (2009)

Yamada S, Makishima K, Uehara Y, Nakazawa K, Takahashi H, Dotani T, Ueda Y, Ebisawa K, Kubota A, Gandhi P, "Is the Black Hole in GX 339-4 Really Spinning Rapidly?" *The Astrophysical Journal* Vol.707 2 ppL109-L113 (2009)

Vasudevan R, Fabian A, Gandhi P, Winter L, Mushotzky R, "The power output of local obscured and unobscured AGN: crossing the absorption barrier with Swift/BAT and IRAS" *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* Vol. pp0-0 (2010)

● Oral Presentations

(International Conferences)

Gandhi P, "An Optical Rms-flux Relation And Non-linear Variability In X-ray Binaries" *American Astronomical Society* 214 Pasadena USA 2009 6

Gandhi P, Dhillon V, Durant M, Fabian A, Makishima K, Marsh T, Miller J, Shahbaz T, Spruit H, "Rapid timing studies of black hole binaries in Optical and X-rays: correlated and non-linear variability" *X-ray Astronomy 2009 Bologna Italy 2009 9*

Gandhi P, "Resolving AGN tori in the mid-infrared: a new unbiased probe of intrinsic accretion power" *New results in X-ray astronomy 2009 Cambridge UK 2009 9*

(Domestic Conferences)

GANDHI POSHAK, "Resolving the mid-infrared cores of local Seyfert galaxies" *SPICA Science Workshop 2009 東京大学 日本 2009 6*

GANDHI POSHAK, 牧島 一夫, Durant Martin, Fabian Andy, Dhillon Vik, Marsh Tom, Miller Jon, Shahbaz Tariq, Spruit Henk, "Rapid timing studies of black hole binaries in Optical and X-rays: correlated and non-linear variability" *The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H 小樽 日本 2009 6-7* (International conferences)

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI POSHAK, 玉川 徹, 山口 智弘, "星間空間における炭素クラスターの探索" 日本天文学会 2009 年春季年会 大阪府堺市 日本 2009 3-3

三澤 透, GANDHI POSHAK, 飛田 聡, 玉川 徹, 山口 智弘, "星間空間における炭素クラスター (フラレーン) の探査" 第 27 回 Grain Formation Workshop, 平成 21 年度銀河のダスト研究会 大阪府大阪市 日本 2009 10-10

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI POSHAK, 玉川 徹, 山口 智弘, "オリオン星雲におけるフラレーン探査" 第 2 回 アストロバイオロジーワークショップ 神奈川

県葉山町 日本 2009 11-11

(Poster Presentations)

Inada N, Kawaharada M, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Makishima K, Takahashi R, "Probing Evolution of Hot Gas and Galaxy Distributions in Galaxy Clusters" The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H Otaru Japan 2009 6-7

Inada N, Kawaharada M, Konami S, Gandhi P, Misawa T, Ota K, Makishima K, Takahashi R, "Probing Evolution of Hot Gas and Galaxy Distributions in Galaxy Clusters" Chandra's First Decade of Discovery Boston USA 2009 9

Photosensitive Intelligent Hybrid Materials

Name: Swapan Kumer GHOSH

Host Laboratory: Supramolecular Science Laboratory,

Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Katsumi MIDORIKAWA)

Development of Hybrid Organic-Inorganic Memory Transistor Device

Silver nanoparticles (NPs) coated with different organic ligands were synthesized at the University of St Andrews. Organic ligands can effectively act as insulators and rigid spacers or they may be electro-active depending upon their chemical structure and the components from which they are derived. Ligands we have used in this work include: non-conjugated dodecane chain, carbazole, thiophene and pyrimidine derivatives. The functional anchors at the foci of the organic ligands include thiols, amino and cyano groups. Chemical properties of the nanoparticles (NPs) are currently characterized at the University of St Andrews.

We have studied the effects of conjugated organic ligands on the charge transport and optical properties of NP-based hybrid materials to understand and maximize the efficiency of all key physical processes involved in the operation of memory transistors and bistable organic memories. The absorption spectra measured in the solution demonstrate the exciting possibility to tune the plasmon resonance of the NPs by the selection of the conjugated ligands and the anchors, which can have strong implications in the future development of novel photovoltaic devices. Bistable memories with the NPs blended into

polymeric semiconducting layers (polythiophene (P3HT) and polyvinylcarbazole (PVK)) were fabricated and fully characterized. Their electrical characteristics show the major role played by the ligands on the charge trapping properties of hybrid materials. In particular, we found that charge trapping is extremely efficient when using insulating ligands such as dodecane derivatives. On the other hand, this charge trapping effect is significantly reduced when using carbazole based-ligands in PVK or thiophene-based ligands in P3HT. These results demonstrate the possibility to design and engineer the NPs to adjust the charge transport properties of hybrid materials and to optimize the performance of electrical bistable organic memories. We have also fabricated and characterized the electrical performances of organic field effect transistors based on a blend of the NPs and a solution-processible ambipolar quinoidal oligothiophene. The transfer characteristics of these devices provide new information on the charge transport properties of hybrid materials. We found that the use of non-conjugated organic ligands surrounding the NPs cause a substantial decrease of both hole and electron charge carrier mobilities. On the other hand, the use of hole-transporting organic ligands leads to a reduction of the electron mobility and an increase of the hole mobility.

In conclusion, this study strongly contributes to a better understanding of the fundamental processes underlying the semiconducting properties of hybrid NPs materials and will serve as an interesting base for the development of a new versatile optoelectronic technology based on NP-materials.

● Publications

(Original Papers)

"Effect of Hydration on the Very Slow Droplet-Lamellar Transition Diolelylsulfosuccinate/Decane/Water System: A small angle X-ray Scattering Study" *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 82, p.664-674 (2009)

RNA 結合蛋白質の mRNA 代謝における役割に関する研究 Study on the Roles of RNA Binding Proteins on mRNA Metabolism

Name: Lin HUANG

Host Laboratory: Cellular Biochemistry Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Masafumi TSUJIMOTO)

ABSTRACT

EWS gene was first identified from Ewing's sarcoma chromosomal breakpoint t (11; 22) (q24; q12) region as a translocation-generated fusion gene product. The study on Ewing's sarcoma mostly focused on the fusion proteins, and the native *EWS*'s function has not yet been elucidated. Last year, I found *EWS* has strong translational repression effects. Completing the research of this year, the mRNAs bound to *EWS* have been determined by RIP-CHIP (RNA Immunoprecipitation microarray), and two of the mRNA targets of *EWS* have been confirmed to be translationally repressed by *EWS* in both overexpression and knock-down of *EWS* experiments.

INTRODUCTION

Ewing's sarcoma is an aggressive and highly metastatic malignancy and *EWS* (Ewing's sarcoma) is characterized as a gene responsible for causing Ewing's sarcoma family tumors (ESFT). The chromosomal translocations that fuse the N-terminal domain (NTD) of *EWS* to a DNA binding domain of various transcription factor genes such as *FLI-1*, *ATF-1* and *WT1* result in tumorigenesis.

EWS is a member of the TET family proteins, and the NTDs of these proteins contain degenerate repeats of the SYGQ motif and mediate potent transcriptional activation when fused to heterologous DNA-binding domains of different transcription factors. The C-terminal domain (CTD) of *EWS* contains an RNA recognition motif (RRM), 3 arginine-glycine-glycine repeats (RGG) and a Ran-binding pro-

tein 2-like (RanBP2-like) zinc finger motif. The NTD of *EWS* associates with the basal transcription factor TFIID and with certain subunits of the RNA polymerase II complex. *EWS* also interacts with gene-specific transcription factors, such as Brn-3a. In addition, CREB-binding (CBP) and p300 transcriptional activator proteins and ZFM1 transcriptional repressor have been shown to bind *EWS*. However, the role of *EWS* in basal RNA transcription has yet to be demonstrated. A role of *EWS* in splicing was suggested from its interactions with the splicing factor U1C, *TASR-1/TASR-2* translocation liposarcoma protein-associated serine-arginine protein and Y-box protein-1. However, *EWS* did not show any effects on splicing in *in vitro* splicing assays. On the other hand, both the *EWS*-knock-out mice and siRNA silencing of *EWS* in the human cell line studies resulted in mitotic defects accompanied by apoptotic cell death.

RESULTS

To clarify the function of somatic *EWS*, I first investigated the mRNAs bound to *EWS* by RIP-CHIP (RNA Immunoprecipitation microarray), and approximately 1,000 mRNAs were found to bind *EWS*. In the continual experiments of Real Time PCR, the interaction was confirmed between the more interesting and higher ranking 22 mRNAs and *EWS*. I overexpressed *EWS* or *EWS/Fli-1* fusion protein in HeLa cells and examined the protein expression levels of 8 bound mRNAs. The protein expression levels of 2 mRNAs, *AKT1S1* and *CFL-1*, were downregulated with overexpression of *EWS* but not with overexpression of

EWS/Fli-1. Furthermore, the knock down of EWS by siRNAs experiments exhibited significant upregulation of the protein expression levels of both AKT1S1 and CFL-1. To confirm the translational repression effects of EWS on AKT1S1 and CFL-1, I constructed plasmids concluding

luciferase reporter followed with the 3'-UTR of *AKT1S1* or *CFL-1*, and introduced these plasmids together with EWS expressing plasmid or with siRNAs of EWS to perform luciferase assays. The results showed that EWS represses the translation of AKT1S1 and CFL-1.

生合成系による糖タンパク質創成への応用に向けたオリゴ糖供与体の合成 Synthesis of Oligosaccharyl Donors for Creation of Glycoproteins with Biosynthetic Machinery

Name: Yong Joo LEE

Host Laboratory: Synthetic Cellular Chemistry Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Yukishige ITO)

A majority of eukaryotic proteins are glycosylated. Diversity of eukaryotic protein glycans is extremely high and their functions are numerous. They are usually categorized into sub-groups such as Asn-linked (*N*-linked), Ser/Thr-linked (*O*-linked or mucin-type) and other minor groups. *N*-Linked glycans are particularly rich sources of biological functions. For instance, their roles in protein stabilization, transport and folding, cell-cell recognition, differentiation, malignant transformation, signal transduction, immune-responses and microbial infection have been well-documented. For many years, it had been perceived that protein glycosylation is limited to eukaryotes. However, recent study has revealed that certain prokaryotes such as Gram-negative bacterium *Campylobacter jejuni* has *N*- as well as *O*-glycosylated proteins. Of particular interest, this protein *N*-glycosylation system is strikingly similar to that of eukaryotes.

C. jejuni possesses a general *N*-linked glycosylation system which is responsible for the post-translational modification of a range of proteins. *C. jejuni* OST transfers oligosaccharide from the Und-PP carrier to the acceptor proteins and it has some glycan substrate flexibilities. Synthesis of peptide acceptor, which consists of DFNVT as the sequence, hydrophilic linker, and BODIPY as a fluorescent label, was performed. *In vitro* glycosylation between synthetic Und-PP-linked glycan substrates and peptide acceptor with OST is now in progress.

Pseudaminic acid (Pse) is an acidic nonulopyranoside like sialic acid, found in the pathogenic bacteria such as *C. jejuni* and *Helicobacter pylori* as flagellin proteins.

Structure is also similar to sialic acid, however, it contains 7,9-dideoxy-7-acetamide functionalized glycerol unit and different stereochemistry. In order to conduct more systematic studies to clarify protein *O*-glycosylation, larger quantities of highly purified Pse is required. Starting from *N*-acetyl-D-glucosamine, deoxygenation and deoxyamination with stereo-inversion afforded 6-deoxy-AltdiNAc, which is the key intermediate for Pse biosynthesis. Elongation of 6-deoxy-AltdiNAc via In-mediated allylation followed by ozonolysis gave the desired Pse and its 4-epi-isomer.

● Publications

(Original Papers)

Lee Y, Ishiwata A, Ito Y, "Synthesis of undecaprenyl pyrophosphate-linked glycans as donor substrates for bacterial protein N-glycosylation" *Tetrahedron* Vol.65 32 pp6310-6319 (2009)

● Oral Presentations

(International conferences)

Lee Y, Kubota A, Ishiwata A, Ito Y, "Synthesis of Key Components for Protein N- and O-Glycosylations in *Campylobacter jejuni*" The Eleventh International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry Kyoto Japan 2009 11

Domestic conferences: 李 龍柱, 石渡 明弘, 伊藤 幸成, "Syntheses of Substrates for Bacterial Protein N-Glycosylation Pathway" 第29回日本糖質学会年会 高山 日本 2009 9

Mechanism of Reprogramming by Germ Line Histones-Germ line Histones Complex Purification and the Analysis of Histone Variants Binding Factors

Name: Xia LI

Host Laboratory: Molecular Genetics Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Shunsuke ISHII)

Modifications of histones play an important role for regulation of gene expression during development. Recently, the histone variants expressed in oocyte and testis was also found to present in the early embryo. We found that these histone variants have the capacity to reprogram somatic cells. In this study, we are attempting to investigate the mechanism of reprogramming by these histone variants. The approach we used is the complex purification to identify the histone variants binding factors. Analyses carried out are as followed:

Binding analysis between histone variants and HDAC2 (histone deacetylase 2): Our previous histone variants complex purification study has identified that HDAC2 could be the candidate molecule binding histone variants. To confirm this possibility, the following binding analyses are carried out.

1. GST-pull down assay to confirm the association between histone variants H2Aa/H2Ba and HDAC2 *in vitro*
2. Co-IP assay to confirm the association between H2Aa/H2Ba and HDAC2 *in vivo*

Identification and function analysis of novel germline histone variants interaction molecules in HeLa cells:

1. H2Aa and H2Ba complex purifications and Mass Spectrum analysis
2. Co-IP assay between histone variants and candidate proteins
3. GST pull-down assay between histone variants and candidate proteins

Identification and function analysis of novel germline histone variants interaction molecules in mouse testis and/or ES cells through Co-IP purification and mass spectrum analysis.

1. Determination of the expression level of histone variants H2Aa and H2Ba in mouse embryo testis during development and ES cells.
2. Co-IP pull down using mouse H2Aa and H2Ba antibodies.
3. Mass spectrum analysis to identify the pull down proteins.
4. Functional analysis of the candidate binding factors.

Investigation of Charge Density Wave Crystals with Scattering and Photo Emission Spectroscopy (PES) with Soft X-Rays

Name: Mattia MULAZZI

Host Laboratory: Excitation Order Research Team,
SPring-8 Center
(Laboratory Head: Shin SHIK)

The research carried out in the past year as a member of the Excitation Order Research Team was focused on the investigation of the electronic structure of transition metal dichalcogenides and the correlation effects and magnetism of thin films of transition metals grown on noble metal substrates.

For the above-mentioned purposes the techniques available at the BL17SU of SPring8 were used, namely angle-

resolved photoemission spectroscopy (ARPES) and soft X-ray diffraction (SXR). The ARPES experiments were carried out on both the photoemission endstations available, the PES and SAS machines, while the SXR experiments were done on the soft X-ray scattering endstation of the beamline.

- Four series of experiments were done:
- (a) two experiments of ARPES on VS₂;

- (b) one experiment of SXRD on NbSe₂;
- (c) two experiments of ARPES on Au(111);
- (d) one experiment of ARPES on Fe grown on Au(111);
- (e) one experiment for the preparation of the surface of Pd(001).

(a) The first experiment on VS₂ gave very satisfactory results: it had been possible to measure the electronic structure and Fermi surface of the samples and to infer the properties of the CDW in this material, that are determined by the electron states near the Fermi level. From the results of the experiments it was possible to get important information about the whole class of transition metal dichalcogenides, in particular about the absence of Fermi surface nesting and the importance of electron-phonon coupling for originating the CDW phase. The second experiment, whose purpose was to measure the temperature dependence of the electronic states near the Fermi level could not be completed successfully because of the lack of good sample surface after the in vacuum cleaving.

(b) The experiment on NbSe₂ was focused to the investigation of the charge of the material and on the temperature dependence of the superstructure diffraction spots around the transition temperature. However, for reasons related to the experimental setup, namely a precession of the sample rotation axis, it was not possible to carry out the planned experiment. By a surface science technique called LEED (Low Energy Electron Diffraction) it was verified that the problem was not the sample quality, but rather the experimental setup.

(c) Both the experiments on the bulk Au(111) gave good results that are going to be published in refereed journals. For the first time we could measure the surface state of Au(111) using soft X-rays together with the rest of the band structure. By using different synchrotron light polarizations we were able to give information about the behavior of the photoemission matrix elements in the soft X-ray regime and to conclude, by comparison with *ab initio* calculations, that they can be interpreted using the theoretical methods already available and used for VUV regime experiments.

(d) The experiment concerning the growth of Iron on Au(111) directly followed the ones described in (c). The purpose of the experiment was to collect an evidence of

the presence of an orbital Kondo effect that was theoretically predicted for a bulk alloy of Fe diluted in Au. By means of growing Fe on Au we could be able to estimate the surface coverage and, by comparison with literature data, to understand the shape and the thickness of the Fe islands grown on the Au. The experiments were carried out using circularly polarized photons of opposite helicities and preparing samples of two thicknesses. By comparison to the theoretical results and from the circular dichroism we experimentally found we were able to conclude that the the system under study possesses an orbital magnetic moment and that it might be responsible for the predicted Kondo effect.

(e) The last series of experiments would have been devoted to the study of Mn grown on bulk Pd(001). During the synchrotron shutdown period I started a serried of measurements with the purpose to establish a preparation technique for the Pd(001) surface. This step is mandatory before it is possible to grow any quantity of Mn. The surface preparation lead to an ordered Pd(001), but always evidenced a small quantity of carbon left on the surface. By using the experimental setup available it was not possible to remove such a contaminant and thus the grown of Mn layers was never attempted.

The above-described activity allowed for the preparation of three papers, one of which is being submitted to a journal and the remaining two are near completion. I participated to three conferences (two international and one domestic) whose details are described below.

● Publications

(Original Papers)

Mulazzi M, Miyawaki J, Chainani A, Takata Y, Taguchi M, Oura M, Senba Y, Ohashi H, Shin S, "Fermi surface of Co(0001) and initial-state linewidths determined by soft x-ray angle-resolved photoemission spectroscopy" *Physical Review B* Vol.80 pp241106-1-241106-4 (2009);

Electronic structure of the charge-density-wave transition metal dichalcogenide VS₂

● Oral Presentations

(International Conferences)

Miyawaki J, Chainani A, Takata Y, Mulazzi M, Oura M,

Senba Y, Ohashi H, Shin S, "Anisotropic in-plane and out-of-plane fermi surfaces of spin-density-wave in ultrathin Fe/Cu(001) films" 11th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure (ICCESS11) Nara Japan 2009 10;

Mulazzi M, Chainani A, Takata Y, Miyawaki J, Shin S, "Evidence for orbital Kondo effect from the Fe/Au(111) system inferred from soft X ray photoemission" European conference on surface science 26 Parma Italy 2009 9;

Mulazzi M, Miyawaki J, Chainani A, Takata Y, Taguchi M, Oura M, Senba Y, Ohashi H, Shin S, "Soft X-ray ARPES from Co(0001): ground state self-energies without final state broadening" CORPES09 Zurich Switzerland 2009 7;

(Domestic Conferences)

4) MULAZZI MATTIA, 宮脇 淳, CHAINANI ASHISH, 高田 恭孝, 田口 宗孝, 辛 埴, 日本物理学会 2009 年秋季大会 熊本 日本 2009 9.

Electrons on Helium as Quantum Bits

Name: David REES

Host Laboratory: Low Temperature Physics Laboratory,
Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Kimitoshi KONO)

Surface-state electrons on liquid Helium form an ideal non-degenerate two-dimensional electron system. As the Coulomb interaction between electrons is essentially unscreened, the system has been used to study many phenomena associated with strongly-interacting electron systems such as the transition to the Wigner solid at low temperatures. Recently, it has been proposed that under appropriate conditions electrons on Helium may also be used to study quasi-one dimensional phenomena such as melting in one dimension and reentrant melting due to structural phase transitions. Recent advances in microfabrication technology have allowed the study of surface-state electrons in confined geometries using devices such as microchannel arrays, single-electron traps, field-effect transistors and charge-coupled devices. However, the realisation of a truly one-dimensional electron system has not yet been achieved. As a first step towards this goal we have measured the transport properties of electrons in a small microchannel in which the confinement potential along the central axis of the channel may be controlled on the scale of the interelectron separation (typically ~ 1 micron).

We made transport measurements of electrons bound to the surface of superfluid ^4He in a microchannel of width 10 microns. A set of electrodes 2 microns beneath the Helium surface, fabricated in a split-gate configuration using electron beam lithography, are used to control the cur-

rent along the microchannel as in a point contact device. As the splitgate bias V_{SG} is swept negative the current decreases to zero. The value of V_{SG} at which the current is suppressed is dependent on the AC driving voltage applied to the electron system. We explain our results using a simple model in which a potential barrier created by the split-gate electrodes must be overcome in order to allow current to flow in the microchannel. We also demonstrate that the formation of the Wigner solid (WS) at temperatures below 500 mK leads to a nonlinear response at high electron velocities due to the decoupling of the WS from the underlying dimple lattice. The control of electron transport in such confined geometries may offer new possibilities for mesoscopic experiments with electrons on the surface of liquid Helium.

● Publications

(Original Papers)

Rees DG and Kono K, "Transport of electrons on Helium across a tunable potential barrier in a point contact-like geometry" *J. Low Temp. Phys.* Vol 158 (1) 301-306 (2010)

Simkins LR, Rees DG, Glasson PH, Antonov V, Collin E, Frayne PG, Meeson PJ and Lea MJ, "Thermal excitation of large charge offsets in a single-Cooper-pair transistor" *J. Appl. Phys.* Vol 106 (124502-1-11) (2009)

● Oral Presentations

(International Conferences)

Rees DG, "Transport of electrons on liquid Helium across a tunable potential barrier in a point contact-like geometry", International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, August 2009

Rees DG, "Transport properties of a quasi-one-dimensional electron system on the surface of liquid Helium", 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Kobe, Japan, July 2009

Rees DG, "Nanoelectronics with electrons on the surface

of liquid Helium", International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology, Maui, Hawaii, USA, December 2009

Rees DG, "Nanoelectronics with electrons on the surface of liquid Helium", International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology, Maui, Hawaii, USA, December 2009

(Domestic Conferences)

Rees DG, "Transport measurements of electrons on Helium in a point-contact device", JPS Annual Meeting, Kumamoto University, September 2009

μ SR Study of Cu-Spin Fluctuations in Electron-Doped High- T_c Superconducting Cuprates

Name: Risdiana

Host Laboratory: Advanced Meson Science Laboratory,
Nishina Center for Accelerator-Based Science
(Laboratory Head: Masahiko IWASAKI)

1. Background and Objective

In order to describe the mechanism of the high- T_c superconducting cuprates, a stripe model of spins and charges is suggested to be a probable one. It is well known that the stripe correlations tend to be pinned and statically stabilized by nonmagnetic Zn impurities and the Cu-spin fluctuations around Zn exhibit slowing down due to the pinning of the dynamical stripes by Zn, leading to the formation of a static stripe order and the destruction of superconductivity around Zn. This is called a stripe-pinning model. The existences of stripe correlations of spins and charges have been established in hole-doped systems^{1,2}. On the other hand, the stripe correlations have not yet been clearly observed in electron-doped systems even though the high- T_c superconductivity actually appears. Thus, the dynamic property of the electronic state of electron-doped systems is now recognized to be important to understand the role of stripes to the superconductivity. However, because of difficulties of sample preparations, the study of electron-doped systems has not been progressed so much and clear answer has not been achieved yet. So far, muon-spin-relaxation (μ SR) measurements have been performed for electron-doped high- T_c superconductor $\text{Pr}_{1-x}\text{LaCe}_x\text{CuO}_4$

with partially Zn-substituted, in order to investigate whether or not the stripe-pinning model holds well in electron-doped ones. However because of the existences of large Pr^{3+} moments on the samples, no clear conclusion on the dynamical stripe correlations and superconductivity has been obtained in this studies³.

In the present study, the main purpose is to elucidate whether the dynamical stripe is a key phenomena for the high- T_c superconductivity or not. For this purpose, I aim at elucidating the dynamical properties of Cu-spin fluctuations in electron-doped systems of $\text{Ln}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ [$\text{Ln} = \text{La}, (\text{La}, \text{Y}), (\text{La}, \text{Eu}), \text{Eu}$] by muon-spin relaxation (μ SR) method. The advantage point of this samples rather than other types of electron-doped system is that the absence of large magnetic moments such as Pr^{3+} moments in $\text{Pr}_{1-x}\text{LaCe}_x\text{CuO}_4$. Thus, the behavior of Cu-spins and the effects of impurities to them can be observed directly. In the first year of FPR, the high quality samples of $\text{Ln}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Y}$) cannot be obtained because of the lack of suitable synthesize conditions. In this second year, some parameters are optimized to prepare high quality samples of electron-doped systems of $\text{Ln}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ [$\text{Ln} = \text{La}, (\text{La}, \text{Y}), (\text{La}, \text{Eu}), \text{Eu}$].

2. Results and Discussion

First, samples of $\text{La}_{2-x}\text{Y}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ and $\text{La}_{2-x}\text{Eu}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ with $x = 0$ and 0.2 and $y = 0$ were synthesized at various temperatures as low as $200 - 400^\circ\text{C}$ for $24 - 300$ h in wet Ar gas flow by direct precipitation from the molten $\text{CsOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ eutectic mixture. For all samples, XRD patterns are dominated by T-type structure which is usually observed in the hole-doped system, with some impurity peaks of CuO and $\text{La}(\text{OH})_2$ indicating that the synthesis is not going well. The samples from first synthesized are re-synthesized at various temperatures in dry Ar gas flow by similar molten of $\text{CsOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$. The first observation of T' type structure is obtained for $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_4$ with two step synthesized as follows: the first step is synthesized at temperature of 340°C for 110 h in wet Ar gas flow and following by the second step of synthesized at temperature of 410°C for 20 h in dry Ar gas flow. The small amounts of impurity peaks of $\text{La}(\text{OH})_2$ are still observed indicating that the synthesis parameters are still needed to improve.

Second, samples of $\text{Eu}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ with $y = 0, 0.01, 0.02$ and 0.05 were prepared by the ordinary solid-state reaction method as follows. All raw materials powders were mixed in a stoichiometric ratio and pre-fired in air at 900°C for 20 h. The pre-fired materials were reground and pressed into pellets of 10 mm in diameter, and sintered in air at 1100°C for 16 h with repeated regrinding. As-grown samples of $\text{Eu}_{1.85}\text{Ce}_{0.15}\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_{4+\alpha-\delta}$ were post-annealed in flowing Ar gas at various temperatures in a range of $885 - 940^\circ\text{C}$ for 8 h - 12 h in order to remove the excess oxygen at the so-called apical site. The value of δ was estimated from the weight change before and after annealing. All of the samples were checked by the powder x-ray diffraction measurements to be the single phase of T' type structure. The sample with $y = 0$ and $\delta = 0.095$ shows superconductivity with onset T_c around 13 K. These high quality samples are planned to carry out for μSR measurements at the RIKEN-RAL Muon Facility at the Rutherford-Appleton Laboratory in the UK in the next third year of my FPR.

References

¹T. Adachi *et al.*, Phys. Rev. B 70 (2004) 060504(R), ²Risdiana *et al.*, Phys. Rev. B 77 (2008) 054516, ³Risdiana *et al.*, submitted to Phys. Rev. B.

● Publications

(Original Papers)

Suzuki T, Watanabe I, Yamada F, Ishii Y, Ohishi K, Risdiana, Goto T, Tanaka H, "Evidence for continuous change of spin states between impurity-induced order and pressure-induced order in $\text{TlCu}_{0.985}\text{Mg}_{0.015}\text{Cl}_3$ probed via muon spin rotation" Physical Review B Vol.80 pp 064407-1064407-5 (2009)

Tanabe Y, Adachi T, Risdiana, Kawamata T, Suzuki T, Watanabe I, Koike Y, "Ni-substitution effects on Cu-spin correlation in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_4$ relating to hole trapping and stripe pinning" Physica B Vol.404 pp 717-719 (2009)

Nugroho A, Risdiana, Mufti N, Palstra T, Watanabe I, Tjia M "Changes of spin dynamics in multiferroic $\text{Tb}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ " Physica B Vol. 404 pp 785-788 (2009)

Risdiana, Fitrilawati, Hidayat R, Siregar R, Tjia M, Watanabe I, " μSR study of electron radical dynamics in regio-regular polythiophene" accepted to be published in Journal of Physics: Conference Series

Risdiana, Adachi T, Oki N, Koike Y, Suzuki T, Watanabe I, "Muon-spin-relaxation study of the Cu-spin dynamics in electron-doped high-Tc superconductor $\text{Pr}_{0.86}\text{LaCe}_{0.14}\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$ " submitted to Physical Review B

Risdiana, Fitrilawati, Siregar R, Hidayat R, Nugroho A, Tjia M, Watanabe I, "Intra and Inter chain polaron diffusion in regio-random polythiophene studied by muon spin relaxation" submitted to Physica B

Risdiana, Fitrilawati, Siregar R, Hidayat R, Nugroho A, Tjia M, Ishii Y, Watanabe I, "Field and temperature dependence charge transport characteristic in regio-regular poly(3-octylthiophene-2, 5-diyl) studied by muon spin relaxation" submitted to Journal of Physics: Conference Series

(Other)

Risdiana, Fitrilawati, Hidayat R, Watanabe I, " μSR study of structure dependent electron radical dynamics in polythiophene and its derivative" RIKEN-RAL Muon Facility Report Vol. 8 (2008) pp 53-53 (2009)

● Oral Presentation

(International Conferences)

Risdiana, "Muon spin relaxation study of structure dependent electron motion in conducting polymers of poly-

- thiophene" Workshop on Functional Magnetic Materials, Invited Talk, Surabaya Indonesia 2009 4-4
- Risdiana, Fitrilawati, Hidayat R, Siregar R, Tjia M, Watanabe I, "μSR study of electron radical dynamics in regio-regular polythiophene" International Conference on Magnetism Karlsruhe Germany 2009 7-7
- Risdiana, Fitrilawati, Siregar R, Hidayat R, Nugroho A, Tjia M, Watanabe I, "Dimensional crossover in regio-random polythiophene studied by muon spin relaxation", The 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets Hokkaido Japan 2009 9-9
- Risdiana, Fitrilawati, Siregar R, Hidayat R, Nugroho A, Tjia M, Ishii Y, Watanabe I, "Spin dynamics in regio-regular poly(3-octylthiophene-2, 5-diyl) studied by muon spin relaxation", Advanced Science Research Symposium 2009 (ASR 2009) Tokai Japan 11-11
- Risdiana, "The development of advanced research in material science in Indonesia", Joint ISIS/RIKEN Muon Facility Development Symposium Oxford UK 2009 5-5
- Suzuki T, Watanabe I, Yamada F, Ishii Y, Ohishi K, Risdiana, Goto T, Tanaka H, "Pressure effect on magnetic ground states in $Tl(Cu_{1-x}Mg_x)Cl_3$ probed via muon-spin-rotation" International Conference on Magnetism (ICM 2009) Karlsruhe Germany 2009 7-7 (Domestic Conferences)
- Risdiana, "μSR study of structure dependent electron radical dynamics in polythiophene and its derivative", 5th Pogram Advisory Committee Meeting for Materials and Life Science at RIKEN Nishina Center, September Wako Japan 2009 9-9
- Risdiana, Fitrilawati, Siregar R, Hidayat R, Nugroho A, Tjia M, Ishii Y, Watanabe I, "Muon spin relaxation study of spin dynamics in poly(3-alkylthiophene)", Molecular Ensemble 2009 Wako, Japan 2009 12-12
- 鈴木 栄男, 石井 康之, 大石 一城, Risdiana, 渡邊 功雄, 後藤 貴行, 山田 文子, 山田 基樹, 田中 秀数, "量子スピン系 $Tl(Cu_{1-x}Mg_x)Cl_3$ ($\chi = 0.015$)における圧力下ミュオン実験" 日本物理学会2009年秋季大会 熊本 日本 2009 9-9

Unravelling Plant Immunity Signalling Pathways with Small Molecules

Name: Ivana SASKA

Host Laboratory: Plant Immunity Research Team,
Plant Science Center

(Laboratory Head: Ken SHIRASU)

The natural environment is teeming with bacteria, fungi and viruses which have the potential to cause disease in plants. To protect themselves, plants have evolved complex defence systems for recognising and inhibiting pathogen attack. It is only when these systems fail or are sabotaged by pathogens, that plants become susceptible to disease and their ability to grow and reproduce is compromised. The aim of my research is to characterise the signalling networks that regulate plant immunity to disease. The approach I am taking is to use small molecules which disrupt resistance responses, by interacting with different components of plant defence signalling pathways, as probes to identify the molecular events necessary for generating resistance.

Plant defences are induced by the recognition of pathogen attack both at the cell surface and inside plant cells.

Protein receptors at the plant cell surface recognize highly conserved molecules common to whole classes of microbes and trigger broad spectrum defences, such as localised thickening of the cell wall. However, many pathogens are able to circumvent these 'basal' defences by delivering effector molecules directly into plant cells, where they interfere with defence signalling and promote pathogen proliferation. Consequently, plants are also equipped with intracellular receptors, called resistance (R) proteins, which recognise specific effector molecules and instigate strong resistance responses that prevent pathogen invasion. Although many R-proteins and their corresponding effectors have been identified, the signalling events that link activation of R-protein receptors to defence outcomes remain largely unknown.

A characteristic feature of many resistance responses is

the rapid death of plant cells at the site of pathogen infection, known as the hypersensitive response, which functions to curb the spread of the pathogen. We used this feature to screen for small organic compounds that inhibit cell death of *Arabidopsis thaliana* suspension cells when challenged with the bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv *tomato* DC3000 expressing the effector protein *avrRpm1* (*Pst avrRpm1*). In the absence of small molecules, plant cell death was observed within 26 hours of applying the pathogen, indicating that an R-protein in *Arabidopsis* recognises *avrRpm1* and activates resistance responses. Of the 10,000 compounds screened in this assay, 21 molecules (designated I1-I21) were identified that reproducibly inhibited cell death associated with disease resistance by more than 25%.

Zone-of-inhibition testing clarified that I1-I21 are not antibiotic and therefore most likely target components of plant defence signalling pathways. Preliminary *in planta* tests identified one compound (I1) which reduced the size

of hypersensitive cell death lesions caused by *Pst avrRpm1*, when co-infiltrated into *A. thaliana* leaves with the pathogen. Addition of I1 to the growth media of plants (together with a conserved portion of bacterial flagella) also decreased the intensity of an early spike in reactive oxygen species that is characteristic of basal defence responses. We are now investigating the effect of I1 and the remaining compounds on other defence responses using biochemical and genetic approaches. Future studies will focus on identifying the plant targets of the inhibitors and characterising their role in resistance signalling.

● Oral Presentations

(International conference)

Saska I, Noutoshi Y, Shirasu K, "A chemical genetics approach to identifying novel components in plant immunity signalling" IS-MPMI 2009 XIV International Congress Quebec Canada 2009 7

Analysis of Transcriptional Regulators Governing Establishment of Cell-to-Cell Reprogramming Network

Name: Jae Woo SHIN

Host Laboratory: LSA Technology Development Unit,
Omics Science Center

(Laboratory Head: Yoshihide HAYASHIZAKI)

The inference of transcriptional networks that regulate cell reprogramming process presents valuable challenge in systems biology. Cell reprogramming describes a switch in one cell-fate to that of another unrelated cell-type and understanding the mechanism of this transformation sheds light onto the nature of cell differentiation and cell-replacement therapy. However, transcriptional regulatory modules responsible for implementing *ad hoc* reprogramming are largely unknown. To this challenge, I report on the creation and analysis of a database of global gene expression profiles of over 20 different human primary cell types from different cell-lineages including induced-pluripotent stem (iPS) cells. Further using genome-wide predictions of transcription factor binding sites in proximal promoters, we identified key motifs and transcriptional modules that activate gene expressions of selected target cells such

as hepatocytes. We also showed that cells derived from the same lineage cluster together, but most interestingly, ectopic expression of transcriptional modules in human fibroblasts deviated towards the associated target cells based on unsupervised clustering methods. These findings demonstrate apt extraction of key transcriptional modules and plasticity to trans-differentiate with defined factors. Using further bioinformatic analysis, we uncovered a protein-protein network that is shared by the lineage-related cell types (ectoderm-, mesoderm- and endoderm-derived) and also between fibroblasts to various target cells. Using such integrative approach, we are able to reverse-engineer transcriptional regulatory network governing cell-to-cell reprogramming process.

One transcription factor in particular demonstrated a strong reprogramming effect from fibroblasts to hepato-

cytes. Ectopic expression of RORC, RAR-related orphan receptor C, in human dermal fibroblasts induced 32% of hepatocyte genes in which a large portion of these genes were involved in steroid and fatty acid metabolism - key functions of liver. Several key functional assays to validate cell trans-differentiation and extraction of additional modulators to increase the efficiency are on-going.

Global and integrative approaches to understand the mechanism of cell reprogramming offer a new strategy for identifying key transcriptional modules to generate therapeutically relevant target cells. Our current results also support the idea that cell reprogramming is under tight

control by specific molecular networks and controlling these networks *ad hoc* is key to improve cell-replacement therapy.

● Oral Presentations

(International Conferences)

Shin J. Analysis of transcriptional regulators governing establishment of cell-to-cell reprogramming network. Cold Spring Harbor Conference - Systems Biology: Global Regulation of Gene Expression. Cold Spring Harbor, New York, USA

Structures of Exotic *sd*- and *fp*-shell Nuclei

Name: David STEPPENBECK

Host Laboratory: Radioactive Isotope Physics Laboratory,
Nishina Center for Accelerator-Based Science
(Laboratory Head: Hiroyoshi SAKURAI)

In recent years, great efforts have been afforded on both the experimental and theoretical fronts towards uncovering and understanding the structures and systematics of very exotic nuclear systems, *i.e.*, nuclei with a large imbalance of protons and neutrons. Any empirical information we may extract about these nuclei is important since the results provide an insight to the changes that take place in the energies of nucleon single-particle orbitals and the interactions that exist between nucleons in the atomic nucleus. These changes are known to cause modifications to the well-established shell closures, or 'magic numbers' that exist in stable nuclear systems.

The structures of such exotic nuclei can be investigated with radioactive beams. At the RIBF facility, the structures of neutron-rich nuclei in the so-called *fp*- and *sd*-shell mass regions on the chart of nuclides will be studied by exploiting the use of high-intensity secondary ion beams, produced through the in-beam fragmentation of stable isotopes. Such measurements will be performed using the recently-commissioned BigRIPS separator and ZeroDegree spectrometer at the RIBF facility, which use magnetic fields and particle-tracking detectors to separate and identify the nuclei that are present in secondary "cocktail" beams. More specifically, in a future experiment, the

structures of the even-even neutron-rich isotopes $^{60-70}\text{Fe}$ will be investigated by measuring the electromagnetic radiation emitted following the Coulomb excitation of the radioactive projectiles in a high-Z target, such as lead or gold. Furthermore, the energies of excited states in the nucleus ^{70}Fe will be investigated by removing protons from heavier nuclear systems using a process known as a 'nucleon-knockout reaction'. The electromagnetic radiation, called γ radiation, will be measured using the high-efficiency DALI2 γ -ray detector array, which consists of 180 NaI(Tl) scintillator detectors and is now primarily based in the BigRIPS facility.

Many other methods also exist for investigating nuclear structure: one example involves populating 'high-spin states' in unstable nuclei using fusion-evaporation reactions, where two light nuclei are fused together to form a heavier compound system. An experiment will be performed in the near future at Argonne National Laboratory to investigate the high-spin structures of neutron-rich *fp*-shell systems, focusing on the isotope ^{59}Cr . The results of the experiment intend to clarify suggestions that the physical shape of the nucleus may change from a cigar-like 'prolate' distribution to a saucer-like 'oblate' shape along the Cr isotopic chain, which may result as an effect of an ex-

cess of neutrons.

● Publications

(Original Papers)

"High-spin structures in the neutron-rich isotopes $^{57-60}\text{Mn}$ ":

D. Steppenbeck, A.N. Deacon, S.J. Freeman, R.V.F. Janssens, S. Zhu, M.P. Carpenter, P. Chowdhury, M. Honma, T. Lauritsen, C.J. Lister, D. Seweryniak, J.F. Smith, S.L. Tabor and B.J. Varley, Phys. Rev. C81, 014305 (2010)

"High-lying, non-yrast shell structure in ^{52}Ti ": S. Zhu, R.V.F. Janssens, B. Fornal, S.J. Freeman, M. Honma, R. Broda, M.P. Carpenter, A.N. Deacon, E. Jackson,

B.P. Kay, T. Lauritsen, C.J. Lister, P.F. Mantica, T. Otsuka, D. Seweryniak, J.F. Smith, D. Steppenbeck and X. Wang., Phys. Rev. C 80, 024318 (2009).

● Oral Presentations

(International Conferences)

"In-beam γ -ray spectroscopy at the RIBF facility: Present status and future developments": D. Steppenbeck, N. Aoi, D. Bazin, P. Doornenbal, P. Fallon, E. Ideguchi, J. Lee, K. Li, M. Matsushita, H. Scheit, S. Takeuchi, H. Wang and K. Yoneda, Nuclear Structure 2010, University of California at Berkeley (Aug. 2010)

Gauge/Geometry Correspondence in String Theory

Name: Ta-Sheng TAI

Host Laboratory: Theoretical Physics Laboratory,
Nishina Center for Accelerator-Based Science
(Laboratory Head: Hikaru KAWAI)

Gauge/geometry correspondence is the most ambitious and promised approach towards the completion of a unified scheme for all known interactions in the nature. In other words, gravity which serves as the role of geometry is eventually interpreted as a kind of phenomenon of gauge theory, known as the most fundamental theory governing the microscopic behavior of subatomic scale. My research is directly related to explore further this correspondence in various aspects. More precisely, it is the so-called string theory.

As a matter of fact, this field of research in theoretical physics is itself the most involved one and utilizes a huge amount of mathematical technique. As a result, this is a whole new and highly stimulating field with numerous interactions with mathematics. During this year, I have worked in three different respects concerning the aforementioned correspondence. My research tries to just keep abreast with the so-called main stream in the world. There are some exciting progresses last year, say, 3D AdS/CFT

correspondence and 2D/4D correspondence, to name a few. They just are expected to provide final answers to our ignorance so far about two non-perturbative objects in M-theory, say, M2- and M5-branes.

● Publications

(Original Papers)

"Eschenburg space as gravity dual of flavored N=4 Chern-Simons-matter theory": Mitsutoshi Fujita and Ta-Sheng Tai, JHEP 0909:062,2009

"Kerr/CFT correspondence and five-dimensional BMPV black holes": Hiroshi Isono, Ta-Sheng Tai and Wen-Yu Wen, Int.J.Mod.Phys.A24:5659-5668,2009

● Oral Presentations

(Domestic Conference)

橋本幸士, 戴大盛, 寺嶋靖治: Toward a proof of Montonen-Olive duality via multiple M2-branes, 日本物理学会 (春) 東京・立教大学 2009年3月

Nano-Raman Spectroscopy for Stress Characterization in Advanced Electronic Devices

Name: Alvarado TARUN

Host Laboratory: Nanophotonics Laboratory,

Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Satoshi KAWATA)

The temperature sensitive processes and thermal properties of nanoscopic materials such as single-walled carbon nanotubes (CNT), silicon nanowires and other molecular wires can be investigated and manipulated with the development of controlled and precisely positioned nanoscopic sources of heat. The temperature of a nanoscopic solid is manifested in the energy of its lattice vibrations and can be visualized clearly with tip-enhanced Raman spectroscopy (TERS). In this work, we introduce a new approach, plasmonic heating assisted TERS to thermally perturb and characterize a small volume in the sample that is positioned underneath the tip. We utilize the heat generated by the enhanced electromagnetic field at the tip apex that is transferred to the sample via conduction. The nanoscale heat generated at the apex was used to investigate the thermal dependence of Raman frequency of the G band from an isolated bundle of single walled carbon nanotube. The temperature coefficient of the frequency of the G band is found to be $-0.02 \text{ cm}^{-1}/\text{K}$. We will also present an alternative method that requires no electrical, chemical, mechanical, electron and ion beam functionalization of CNTs. This technique can be used for thermal characterization of various materials in the nanoscale.

● Publications

(Original Papers)

Tarun A, Hayazawa N, and Kawata, S. "Site-selective cutting of carbon nanotubes by laser heated silicon tip," Jpn. J. Appl. Phys. In press.

(Review Articles)

Tarun A, Hayazawa N, and Kawata, S, "Tip-enhanced Raman Spectroscopy for Nanoscale Strain Characterization," Anal. Bioanal. Chem. 394, 1775-1785 (2009).

(Others)

Taguchi A, Hayazawa N, Saito Y, Ishitobi H, Tarun A, Kawata S, "Controlling the plasmon resonance wavelength in metal-coated probe using refractive index modification" Optics Express Vol.17 8 pp6509-6518 (2009)

Hayazawa N, Tarun A, Taguchi A, Kawata S, "Development of Tip-Enhanced Near-Field Optical Spectroscopy and Microscopy" Japanese Journal of Applied Physics Vol.48 pp08JA02-1-08JA02-7 (2009)

Moutanabbir O, Reiche M, Hahnel A, Erfurth W, Gosele U, Motohashi M, Tarun A, Hayazawa N, Kawata S, "Nanoscale patterning induced strain redistribution in ultrathin strained Si layers on oxide", Nanotechnology, In press.

● Oral Presentations

(International Conferences)

Tarun A, Yano T, Hayazawa N, Kawata S, "Heating assisted tip-enhanced Raman spectroscopy of Carbon Nanotubes" 27th Samahang Pisika ng Pilipinas Physics Congress Tagaytay City Philippines 2009 10

Domestic conferences (only first author)

Tarun A. "Site-selective and temperature-controlled nano-Raman spectroscopy of carbon nanotubes" 理研シンポジウム「SPMを用いたナノ分光及びセンシング技術」和光 日本 2009 11

Tarun A. "Thermally assisted manipulation and nano-Raman spectroscopy of Carbon Nanotubes" 第10回 エクストリーム・フォトニクス研究会 蒲郡 日本 2009 11

Tarun A. "Thermally assisted tip-enhanced Raman spectroscopy" 理化学研究所 基幹研究所 先端光科学研究領域「エクストリームフォトニクス研究、テラヘルツ光研究」第I期 研究成果報告ーシンポジウムー 仙台 日本 2009 12

Modeling Visually Evoked Neuronal Activity by Non-Linear Combinations of Multi-Resolution Filter Responses

Name: Michael VIDAL-NAQUET

Host Laboratory: Gruen Research Unit,
Brain Science Institute

(Laboratory Head: Gruen SONJA)

During the year 2009, as I wrote in my proposal, my research focused on two parallel tracks: 1) the continuation of the analysis of stimuli/neural response relationship using the novel technique that I developed and 2) working on a novel model for solving the correspondence problem in stereo vision.

In the first project, we analyzed neural data recorded from a free-viewing animal using our novel computational approach. We successfully extracted statistically significant information about the neuronal receptive field structure of the recorded cells. I also developed a theoretical analysis that enables one to estimate the statistical significance of the extracted receptive fields with our approach. The originality of this work stems from the fact that the neuronal data is obtained from freely behaving animal, in contrast to standard approaches where the animal is subject to well controlled stimuli and is anesthetized. The neural data was provided by Dr. Pedro Maldonado, who is a long time collaborator of my advisor, Dr. Sonja Gruen. This work was presented at both the Japanese and American main neuroscience meetings in 2009.

In the second project, in collaboration with Dr. Sergei Gepshtein of the Salk Institute, I developed and tested a novel algorithm for solving the correspondence problem in stereo-vision. In contrast to state of the art models of stereo-matching in the visual system, that are based on the simplified assumption of using the correlation operator, we introduced an approach based on recent models of template matching in cortical networks dedicated to object rec-

ognition. We added a new adaptive stage in the matching algorithm that, in contrast to current stereo matching models, enables the system to extract 3-D information from an observed scene in a large number of different conditions of the scene structure. The adaptive stage emulates the natural adaptability of the nervous system and its capacity to deal with unseen situations. Preliminary results suggest also that our model can predict performance of human observers in a particular stereoscopic signal discrimination task that the standard model, the so-called disparity energy model, cannot account for. This work was presented orally at the Beijing International Symposium on Computational Neuroscience, 2009.

● Oral/Poster Presentations

(International conferences)

Michel Vidal-Naquet, Sergei Gepshtein, Adaptive template matching for stereoscopic vision, Beijing International Symposium on Computational Neuroscience, Beijing 2009.

Vidal-Naquet, Grun, Extracting visual receptive fields in the condition of low stimulus number, Annual Meeting of the American Society for Neuroscience, Chicago, IL, 2009.

Vidal-Naquet, Maldonado, Grun, Receptive field extraction in free viewing condition, The 32nd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan, 2009.

Role of Eukaryotic Aminopeptidase Enzymes in Response to Environmental Stress

Name: Rungaroon WADITEE

Host Laboratory: Cellular Biochemistry Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Masafumi TSUJIMOTO)

Peptidases are known to play key roles in multiple biological processes in all living organisms. They have fundamental roles in intracellular protein turnover which involves selective and bulk removal of proteins in many processes. They are also responsible for post-translational modification which is particularly important for translocation of protein to sub-cellular targeting. Thus, peptidases are involved in almost all aspects throughout the life cycle of the cell.

The recent availability of numerous complete genome sequences revealed that the peptidases represent a large group of proteins. They are classified into six distinct groups based on the mechanism of catalysis. Of these, aminopeptidases, which are exo-peptidases that liberate amino acid from the *N*-terminal end of proteins/peptides, have attracted great interest because of their essential roles in cell behavior, survival and death. In plants, aminopeptidases are believed to be involved in a wide range of physiological processes, including stress response and osmoregulation. Thus far, the most extensive studies of aminopeptidases are from tomato. By contrast, information of aminopeptidases from other plant species are very few, thus implications of the plant aminopeptidases are still largely unknown. In a model plant *Arabidopsis thaliana*, the classification used in the MEROPS database revealed over 800 sequences annotated as putative peptidases. Of these, at least 28 genes encode proteins belonging to aminopeptidases. In recent years, functional analyses of some *Arabidopsis* aminopeptidases revealed crucial roles to complete the life cycle in the plant, *i.e.* importance for meiotic recombination, regulation of auxin transport.

In the present study, thirty mutant lines of the *Arabidopsis* aminopeptidases were screened to isolate a mutant altered in growth/development. It was found that At4g30920 (LAP2), one of the 28 aminopeptidases, exhibited a reduction in vegetative growth. Functional and expression analyses of LAP2 revealed this protein regulates plant growth, leaf longevity and stress response by controlling intracellu-

lar protein turnover. Loss-of-function alleles of *LAP2* reduced in vegetative growth, accelerated leaf senescence and rendered plants more sensitive to various stresses. Recombinant LAP2 showed aminopeptidase activity toward L-leucine-4-methylcoumaryl-7-amides, and its activity was strongly enhanced by Mn^{2+} . LAP2 is highly expressed in the quiescent center cells in the root meristem, cotyledons and leaf veins. Integration of global gene expression and metabolite analyses suggested that LAP2 controlled intracellular protein turnover. The mutant maintained free leucine by up-regulating key genes for leucine biosynthesis, however, this influenced the flux of glutamate strikingly. As a result, γ -aminobutyric acid, a metabolite which is derived from glutamate, was diminished in the mutant. Decrements in these nitrogen-rich compounds were associated with morphological alterations and stress sensitivity of the mutant. Considering these findings, the present results provide molecular and biochemical evidence that LAP2 regulates a variety of cellular metabolisms including the contribution to the stress response. These results would contribute to further understanding of the aminopeptidases, and have several implications in higher plants.

● Publications

(Original Papers)

Waditee-Sirisattha R, Shibato J, Rakwal R, Sirisattha S, Hattori A, Nakano T, Takabe T, and Tsujimoto M. The *Arabidopsis* Aminopeptidase LAP2 regulates plant growth, leaf longevity and stress response. *J. Biol. Chem.* (provisionally revised).

● Oral Presentations

(International Conference)

Waditee R, Nakano T, Takabe T, Tsujimoto M, "Function and expression analyses of *Arabidopsis* aminopeptidase during plant development" American Society of Plant Biologists and Phycological Society of America Honolulu USA 2009, July 18-22.

FY 2009 Foreign Postdoctoral Researchers

Aspects of Strongly Correlated and Mesoscopic Physics in Cold Atom Systems

Name: Shimul AKHANJEE

Host Laboratory: Condensed Matter Theory Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Akira FURUSAKI)

1) *Bose Fermi Mixtures and Correlated Phenomena in Cold Atomic Gases*

a) I have successfully analyzed the excitation spectrum of a three-dimensional(3D) Bose-Fermi mixture with tunable resonant interaction parameters and high hyperfine spin multiplets. We focused on an attractive 3-particle vertex describing fermionic and bosonic atoms which can scatter to create fermionic molecules. We argued that the low lying excitations (broadened energy levels) of the mean-field theory are described by a local Fermi liquid picture with a Lorentzian density of states which is justified by a $1/N$ expansion, expected to be exact in the limit of infinite degeneracy (or very high fermionic spin). We conjecture that our one level analysis applies to the case containing dispersive bands. Additionally, we demonstrated how the bosonic chemical potential exhibits a novel crossover effect which modifies condensation and superfluid-insulator transitions. This work was submitted for publication in Physical Review B.

b) We are developing a theory of the dielectric response of Bose-Fermi mixtures and have observed novel mass and density dependent nesting phenomena leading to instabilities not observed in the interacting electron gas. Certain self-energy contributions have been calculated a physical interpretation of the polarization diagram is in progress.

c) In collaboration with Dr. Furusaki, we have utilized the renormalization group method within a bosonization scheme to study one-dimensional (1D) 3-component mixtures of bosonic and fermionic atoms that can combine to form molecular fermions. We obtained a novel phase diagram that predicts density wave ordering, pairing instabilities and, commensurate-incommensurate phase transitions as a function of the density mismatch between particle species. These instabilities are contrasted with earlier investigations on systems containing density-density type interactions. We attempted to extend these results to the more general phenomena of many-body chemical reactions in lower dimensions. This work is in reaching

completion and a draft of the article will be completed before March 2010.

2) *Spin Glasses*

In collaboration with my former advisor Professor Joseph Rudnick, University of California, Los Angeles (UCLA) Dept. of Physics and Dean of Physical Sciences at UCLA, we have successfully developed an exact solution of a Gaussian spin-glass model with infinite ranged interactions and a global spherical constraint at zero magnetic field. The replicated spin-glass Hamiltonian was mapped onto a Coulomb gas of logarithmically interacting particles confined by a peculiar single particle potential. The precise free energy is obtained by analyzing the Painleve tau function in the $n \rightarrow 0$, limit, accounting for neglected fluctuations beyond the semi-circle density utilized in the large N analysis of Kosterlitz, Thouless and Jones. This is the first known exact solution of a spin-glass model beyond mean-field theory and possibly holds the key towards solving the Ising spin glass in finite dimensions. A Physical Review Letters draft has been completed and is expected to be submitted very soon.

3) *Quantum Interference and Localization in Reaction - Diffusion systems*

I have developed an approach towards the transport of disordered/ interacting systems. I can model the repulsive interaction as a non-linear modification of ordinary diffusive transport and the quantum interference of time reversed paths is modified accordingly, showing suppression of weak-localization and possible delocalization as a function of the non-linearity coefficient. Calculations are in progress.

● Publications

Negative effective-mass transition and anomalous transport in power-law hopping bands Akhanjee Shimul
Physical Review B Vol.79 pp205101-1-205101-6
(2009)

● **Oral Presentations**

International Conference etc. *Exact Solution of the Spherical Spin Glass Model Beyond Mean Field Theory*

Akhanjee Shimul American Physical Society, March Meeting 2010 Portland, Oregon United States 2010 3-3

Investigation of Charm and Beauty Physics Via Single Electrons at the PHENIX Experiment at RHIC

Name: Stephen BAUMGART

Host Laboratory: Radiation Laboratory,

Nishina Center for Accelerator-Based Science

(Laboratory Head: Hideto EN'YO)

Between the dates of Oct. 1, 2009 and Jan. 4, 2010, my work has centered on simulating the Silicon Vertex Tracker (VTX) for the PHENIX experiment at the Relativistic Heavy-Ion Collider (RHIC) and creating analysis methods to use this detector to achieve the goal of identifying electrons from the decays of charm and beauty mesons created in heavy-ion or proton-proton collisions at the PHENIX experiment.

The primary purpose of the PHENIX-VTX detector is to identify the decay daughters of particles with decay lengths of several hundred microns. From an analysis standpoint, what is needed is, firstly, an improvement of track reconstruction to the best level possible given the limitations of the detector and, secondly, an ability to use the reconstructed tracks to obtain physics results. In order to accomplish these objectives, I used a Monte-Carlo simulator, Pythia, to generate samples of various heavy flavor particles and their decay daughters over various momentum ranges in the acceptance range of the VTX detector. Since several species of both charm mesons and bottom mesons, the code was designed to allow particle ratios to be set to reflect either elementary collisions or a Quark-Gluon Plasma (with enhanced numbers of strange particles). Hits in the PHENIX detectors were then simu-

lated. Tracks were fit to these hits using a Kalman filter, which is a procedure for fitting tracks in noisy tracking detectors in high-energy physics. Real hits from data will be fit to tracks using the same procedure.

I worked on quality assurance and improvements to the Kalman filter by comparing tracks' geometric position after this step with the original trajectory based on simulation. I worked on improving the tracking capabilities of the Kalman filter. Since the original tracking procedure did not account for the fact that resolution deteriorates as a particle traverses each of the four layers of the VTX detector, I added this effect based on the displacement of hits from predicted trajectories. By using both original simulated trajectories and final tracking results, I worked out a process to achieve the physics objective of charm and bottom separation using the tracks' geometric locations. In addition, I studied the effect of feed-down decays from bottom to charm mesons and their effect on track geometry. The feed-down effect can now be added to the physics analysis. I will report on all of this work at the annual JPS meeting in Okayama from March 20th to 23rd.

Finally, I took a shift in the PHENIX control room for one week overseeing the high voltage controls and checking the gas system.

Dynamical-Geometrical Aspects of Quantum Randomness in Semiclassical Regime and Its Potential Applications to Communications Systems

Name: Agung BUDIYONO

Host Laboratory: Laboratory for Mathematical Neuroscience,
Brain Science Institute
(Laboratory Head: Shun-Ichi AMARI)

Since its final formulation in terms of Schrodinger wave mechanics, quantum mechanics has claimed to have never failed any conceivable experimental test. Despite of this fact, quantum mechanics cannot give an unambiguous answer to a very simple yet fundamental question: "*what is the wave function of a single free particle?*" To describe a single free particle, one cannot simply use the stationary plane wave because it extends to the whole space, so that while it is formally un-normalizable, it is also physically in contrast to our observation that a particle is spatially very well localized. In his correspondence to Einstein, Born suggested to use coherent wave packet, motivated by the fact that a coherent state is localized both in momentum and position space. Yet, coherent wave packet suffers from the lack of being not stationary to be evolved by Schrodinger equation. This is again in contrast to our intuition about a particle which should have a stable profile if left unperturbed.

In the first fiscal year of the research project, I focused to investigate the above problem by asking an executable version of the above question: what is the most probable wave function of a single free particle. By the most probable we impose the wave function to maximize the Shannon information entropy over quantum probability density given a finite quantum mechanical energy. To discuss this question, I investigated the dynamics of Madelung fluid in two-dimensional space. The Madelung fluid dynamics mathematically reduces into the familiar Schrodinger equation for irrotational case. In this sense, the former can be regarded as a direct generalization of the latter. We then showed that it has a class of spatially

localized stationary solutions which is rotationally symmetric and spinning about its center. It turns out that the quantum probability density is self-trapped by its own self-generated quantum potential. It remains unclear however to physically interpret the spinning phenomena. We also showed that there is a subset of solutions obtained by making a specific asymptotic limit, in which the wave function is not spinning but is still stationary and localized in space. We showed that it is mathematically equal to the quantum mechanical ground state of a particle trapped inside a cylindrical external classical potential.

Furthermore I showed that the above class of solutions can be given a uniform velocity field so that it moves with undistorted shape like a free particle. In particular, for the non-spinning case, we obtained an explicit solution. It is not the quantum mechanical eigenstate of a free particle but the quantum mechanical average energy and momentum of the system can be shown to be equal to the total energy and momentum of the Madelung fluid. Hence, it is tempting to interpret the solution as describing the most likely wave function of a single free particle with finite momentum and energy.

● Publications

- Budiyono A. and Umeno K.: "Madelung fluid model for the most likely wave function of a single free particle in two-dimensional space with a given average energy", Phys. Rev. A, 79, 042104-1 - 042104-8 (2009)
- Budiyono A.: "Most probable wave function of a single free-moving particle", Phys. Rev. A, 80, 042110-1 - 042110-4 (2009)

Mouse Mitochondrial Inheritance and Dynamics

Name: Liqin CAO

Host Laboratory: Technology and Development Team for
Mammalian Cellular Dynamics,
BioResource Center

(Laboratory Head: Kuniya ABE)

Mitochondria are cytoplasmic organelles possessing their own genomes and play important roles in various cell processes. Mutations in mitochondrial DNA (mtDNA) are causative factors for many serious genetic diseases, including myopathy and neurological disorders. Females carrying a mixture of mutant and wild-type mtDNA variants transmit a variable amount of mutant mtDNA to each offspring. The proportion of mutated mtDNA inherited from the mother determines the onset and severity of diseases. Therefore it is very important to understand mtDNA transmission in order to assess the recurrence risks for mtDNA diseases in following generations and for developing therapeutic strategies preventing the transmission of mitochondrial diseases from mother to offspring. We have previously suggested that the mtDNA genome is transmitted through a bottleneck without the reduction in germline mtDNA content. Recently some other research groups have reported contradictory results on mtDNA copy number in early primordial germ cells (PGCs) and proposed different mtDNA inheritance models. However, there appears to be some potential pitfalls in the methodology for identifying early PGCs in these studies. To resolve these controversies, I used transgenic mice expressing fluorescent proteins specifically in PGCs and immunostaining method to unambiguously identify PGCs and examined the mtDNA copy number in PGCs. We provide clear evidence to confirm that no remarkable reduction in mtDNA content occurs in PGCs and reinforce that the bottleneck is generated without reduction of mtDNA content in germ cells. Our results have been published in PLoS Genetics.

Increasing data have shown that alterations of mitochondria, such as mitochondrial number and distribution in cells, associate with various diseases. However at present most data came from *in vitro* evidence. Previous reports have shown that *in vitro* experiments, including cell culture, can result in observations that are fundamentally different from these of *in vivo* experiments. It is therefore essential to study mitochondria *in vivo* in live animals in order to understand their physiology and involvement in disease progress and the tumor response to therapy etc.. I have developed methods and skills to do *in vivo* imaging in live animals with subcellular resolution in this fiscal year, and the technique will enable to observe mitochondrial dynamics *in vivo* in live animals of models for human diseases. This technique will also enable to examine various biological phenomena in live animals and will be used as a novel phenotyping tool to characterize a number of mouse strains collected at BioResource Center.

● Publications

(Original Papers)

Cao, L, "New evidence confirms that the mitochondrial bottleneck is generated without reduction of mitochondrial DNA content in early primordial germ cells of mice". PLoS Genetics Vol.5 1000756 pp (2009)

● Oral Presentations

(Domestic conferences)

Cao L, "Evaluations of functional processes in live animals by *in vivo* imaging" 第56回日本実験動物学会総会 さいたま 日本 2009 5

Synthesis and Reactivity of Scorpionate-Supported Lanthanide Dihydride Complexes

Name: Jianhua CHENG

Host Laboratory: Organometallic Chemistry Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Hou Zhaomin)

There is currently intense interest in the synthesis and reactivity of mono-ligated rare earth dihydride complexes, “ LnH_2 ”, as they adopt structures that feature fascinating and varied cluster frameworks and mediate reaction chemistry that can be exquisitely different from their long-known bis-ligated rare earth monohydride relatives, L_2LnH .

Most recently, our group reported a series of tetranuclear octahydrides, $[(C_5Me_4SiMe_3)LnH_2]_4(THF)_{0-2}$, which showed a unique reactivity towards various substrates, such as nitriles, carbon monoxide. To date, the exploration of rare earth dihydrides supported by non-Cp ancillary ligand is still in the infancy stage. In our effort to explore novel bulkier ligands, which may reduce nuclearity and hence increase the reactivity, scorpionate (Tp) and diarylamido phosphine ligand (Me-PNP^{Pr}) were investigated.

Protonolysis of $Ln(CH_2SiMe_3)_3(THF)_2$ ($Ln = Sc, Y, Lu$) with Me-PNP^{Pr}-H in hexane solution to give $(Me-PNP^{Pr})Ln(CH_2SiMe_3)_2$. Hydrogenolysis of these dialkyl complexes $(Me-PNP^{Pr})Ln(CH_2SiMe_3)_2$ proceeded well and after simple workup gave the corresponding dihydrides, $[(Me-PNP^{Pr})LnH_2]_3$ in very good yield. The compounds were characterized by the usual spectroscopic and elemental analysis, and the structures in the solid state were determined by single X-ray diffraction.

Generally, cationic complexes differ in structure and reactivity from their neutral analogues. In 2006, we reported the first and exclusive cationic polyhydrido rare earth complexes, $[(C_5Me_4SiMe_3)_4Ln_4H_7][B(C_6F_5)_4](THF)_{0-2}$. Reaction of the trinuclear hexahydrides, $[(Me-PNP^{Pr})LnH_2]_3$ ($Ln = Sc, Y, Lu$), with one equivalent of $[NEt_3H][BPh_4]$ in benzene gave the cationic pentahydrides, $[(Me-PNP^{Pr})_3Ln_3H_5][BPh_4]$ in good yield. We attempted a straightforward synthesis of $[(Me-PNP^{Pr})_3Ln_3H_5][BPh_4]$ by hydrogenolysis of the mixture of $(Me-PNP^{Pr})Ln(CH_2SiMe_3)_2$ with $[NEt_3H][BPh_4]$ in THF. Much to our surprise, unprecedented binuclear trihydrides cationic rare earth complexes, $[(Me-PNP^{Pr})_2Ln_2H_3(THF)_2][BPh_4]$ were obtained.

In summary, the use of Me-PNP^{Pr} ligand led to the straightforward and high-yield synthesis of rare examples of trinuclear monoligand rare earth dihydrides, $[(Me-PNP^{Pr})LnH_2]_3$. By treating neutral rare earth hydrides with one equivalent of a borate compound, such as $[NEt_3H][BPh_4]$, we have isolated and structurally characterized the corresponding cationic polyhydrido complexes, $[(Me-PNP^{Pr})_3Ln_3H_5][BPh_4]$. While hydrogenolysis the mixture of $(Me-PNP^{Pr})Ln(CH_2SiMe_3)_2$ with $[NEt_3H][BPh_4]$ in THF afforded unexpected binuclear trihydride complexes, $[(Me-PNP^{Pr})_2Ln_2H_3(THF)_2][BPh_4]$.

Integrated Multi-Omic Investigation of Phytoplankton Community Dynamics: Novel Metabolic Function and Community Structure in an Artificial Ecosystem

Name: Richard Craig EVERROAD

Host Laboratory: Biosphere Oriented Biology Research Unit,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Shigeharu MORIYA)

Marine microbial ecosystems offer a great abundance

of genetic and metabolic diversity, but this diversity, along

with the dynamics and functions of these systems, are difficult to explore experimentally in the field. We are working to develop an experimental laboratory system for the multi-omic exploration of marine plankton communities. The long term goal of our research is to apply such an experimental approach towards biomass production and ecosystem remediation using marine microbial resources. Our current main activities and results are below:

1) Development of suitable mesocosm systems

Currently we are optimizing good general starting conditions and exploring the effects of these conditions on both total biomass and genetic and functional diversity. In a series of small experiments, we have designed a suite of simple but effective semi-continuous microcosms (1-10 liters) testing various methods for mixing, aeration, lighting and sampling, as well as testing nutrient types and levels and artificial seawater recipes. These experiments have revealed three potential approaches to mesocosm stability: dynamic (perturb the system to allow species oscillations), emergent (allow the system to stochastically collapse to a minimal set of co-existing species) and functional (constant biological functions and reactions independent of genetic diversity). We have formulated a suitable artificial seawater recipe and a broad-scale nutrient medium for good general growth of marine plankton. We recently completed a one-month experiment designed to assay the reproducibility of emergent stability in identical mesocosms and to ascertain the effects of different starting conditions on growth trajectory from a microscopic, genetic, and metabolomic perspective. We are currently analyzing our results from this experiment.

2) Application and correlation of molecular and metabolomic methods

We have selected and refined methods to assay two omics levels to date. To monitor genetic diversity in our systems, we are utilizing two probe sets (one for Eubacterial 16S rRNA genes, one for Eukaryotic 18S rRNA genes) for denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE), which allows us to create fingerprints of com-

munity structure through time and between treatments and to identify the major (>1%) members of the community. We have also adapted a two-phase (organic and water-soluble) extraction system for NMR-metabolomics and developed a filtration protocol to collect and extract metabolites from the entire microbial community. In parallel, we are exploring methods to identify free metabolites from the filtrate. We have also implemented correlation analysis to integrate across levels and statistically show relationships between changes in community structure and metabolic profile.

3) Isolation of phytoplankton species for future experimental work

We have isolated over 90 strains of phytoplankton from eutrophic Tokyo Bay and oligotrophic Iriomote (Okinawa prefecture). These strains include representatives from several eukaryotic phyla (Heterokontophyta, Dinoflagellata, Cryptophyta), prokaryotic Cyanobacteria, and several to date unidentified taxa. These isolates promise to be a valuable resource for future metabolite screening, and artificial ecosystem construction.

● Oral Presentations

(Domestic Conferences)

- 1 EVERROAD RICHARD, 大滝 宏代, 松浦 克実, 春田 伸, "Diversification of bacterial community composition along a temperature gradient at a thermal spring" 第25回日本微生物生態学会 広島 日本 2009 11
- 2 大滝 宏代, EVERROAD RICHARD, 花田 智, 春田 伸, 松浦 克実, "光合成細菌を含む温泉微生物マットにおける好熱性発酵細菌 *Fervidobacterium* sp. からの水素発生" 第25回日本微生物生態学会 広島 日本 2009 11
- 3 EVERROAD RICHARD, 葭田 征司, 坪井 裕理, 菊地 淳, 守屋 繁春, "水圏エコミクス研究の始動: 微細藻類のエコシステムの包括的理解を目指して" 第4回メタボロームシンポジウム 横浜 日本 2009 11

金属ナノ構造を用いた光アイソレータの開発 Development of Optical Isolation Metamaterials

Name: Xu FANG

Host Laboratory: Metamaterials Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Takuo TANAKA)

Optical isolator refers to the device that transparent in one direction and opaque in the opposite direction. It's similar with electronic diode, which conducts electrons only in one direction. However, while integrated circuits have been extensively used for several decades, compact optical isolator is still beyond our reach. All commercial optical isolators have to incorporate magnet bars, which make the devices large in size. Recent progress in the field of metamaterials (artificial materials which have extraordinary optical properties) brings us new hope on solving this problem. My research activities in financial year 2009 were concentrated on developing optical isolation metamaterials.

Theoretical analysis was done in the first stage of research. Time reversal symmetry has to be broken to realize optical isolation. I searched for possible mechanisms to break this symmetry without applied static magnetic field. Inharmonic electron movement driven by light field in confined nanostructures was calculated. Electromagnetic wave simulation was also conducted to investigate field distribution. Based on these results, I proposed a method of achieving optical isolation with second harmonic generation and frequency selection of metal nanostructures. Metal nanostructures are capable to confine light field in the vi-

cinity of its surface, which makes the local field strength several orders of magnitude higher than incident light. For this reason, nonlinear optical effect is possible in metamaterials even for ambient illumination.

To test our ideas experimentally, an optical measurement system is under construction. High power femtosecond laser is used as light source at present to ensure a detectable signal. After the mechanism of nonlinear effect in our metal nanostructures is fully understood, the best design can be figured out and it's promising that laser can be replaced by lamplight. Laser can introduce melting down for metal nanostructures. For our structures which utilizing near-field enhancement effect, this problem could be even more serious. A correctly designed structure should be very efficient for wavelength conversion, and its heat loss factor should be low. So I'm also searching for the critical parameters for a proper structure through the calculation of near-field electromagnetic wave distribution.

To summarize, I have been developing a compact optical isolator. The whole device is a thin metal film with size smaller than its working wavelength. This project will be an important step toward the realization of integrated optical circuits.

Development of Computational Methods for Large Scale Gene Regulatory Networks: Construction and Structural Analysis

Name: Andre FUJITA

Host Laboratory: Data Analysis Fusion Team,
Computational Science Research Program
(Laboratory Head: Satoru MIYANO)

Usually, regulatory network models assume linear relationships between gene expressions and only a few reports study nonlinearity. In the fiscal year of 2009, the FPR has identified nonlinear and non-monotonic relationships between gene expressions using the Hoeffding's D

measure and surprisingly verified that the majority of relationships are nonlinear. Moreover, he also evaluated the performance of Hoeffding's D measure, comparing it to commonly used Pearson and Spearman correlations, and concluded that Hoeffding's D measure is more robust to

outliers and it can identify a wider range of dependencies than Pearson and Spearman correlations (Fujita et al., 2009, *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*).

The problem of determining directionality at the edges of regulatory networks (which gene affects which other gene) is a challenging task when time series data is not available (if time series data is available, directionality at the edges of the regulatory network can be determined by using the concept of Granger causality, for instance). Since several relationships between gene expressions are nonlinear (result presented in the previous paragraph), this information (nonlinearity) can be used to identify *contagion* in regulatory networks. The intuitive concept of contagion was imported from finances and it can be interpreted as an increase in correlation depending on the expression level of one of the genes. The FPR developed a computational identification method and a statistical test based on bootstrap in order to identify contagion between pair of genes when time series data is not available (Fujita et al., 2009, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*).

In order to improve the accuracy in the identification of gene expression regulatory networks, the applicant has studied the quantification of measurement errors in biological experiments, in particular, DNA microarrays. The estimation process of measurement error was firstly proposed in orthodontics by Dahlberg (1940). However, Dahlberg's method is known to have several limitations. For example, it does not estimate correctly the measurement error when the data is biased (presence of systematic error) or it is heteroscedastic (each probe in the microarray has a different variance). Therefore, the direct application of Dahlberg's formula to DNA microarrays is not possible since microarrays usually present systematic error and they are heteroscedastic. In order to overcome the aforementioned limitations, a method combining Dahlberg's formula and nonlinear regression (Support Vector Regression) was proposed and applied to actual biological microarrays. With the development of this method, it was possible to verify, in a statistical manner, which microarray or probe has poor or high quality, being useful to control the quality of the experiment (Fujita *et al.*, 2009, *Genome Informatics*).

After estimating the measurement error in DNA

microarrays, the impact of these errors in the identification process of regulatory networks was evaluated. Interestingly, the results showed that measurement errors highly bias both, the coefficients and p-values obtained by standard methods based on ordinary least squares estimator. Therefore, two generalized estimators which incorporate measurement error were developed, one for independent data (corrected ordinary least squares) and another for time series data (corrected vector autoregressive model). Asymptotic distributions and theoretical properties were also derived and proposed in (Fujita *et al.*, 2009, *BMC Bioinformatics*).

● Publications

(Original Papers)

1. Fujita A, Sato J, Demasi M, Yamaguchi R, Shimamura T, Ferreira C, Sogayar M, Miyano S.: "Inferring contagion in regulatory networks", *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* Vol. pp (2010)
2. Fujita A, Patriota A, Sato J, Miyano S.: "The impact of measurement error in the identification of regulatory networks", *BMC Bioinformatics* Vol.10 412 pp (2009)
3. Fujita A, Sato J, Fernando d, Galvao M, Sogayar M, Miyano S.: "Quality control and reproducibility in DNA microarray experiments", *Genome Informatics* Vol.23 pp21-31 (2009)
4. Fujita A, Sato J, Demasi M, Sogayar M, Ferreira C, Miyano S.: "Comparing Pearson, Spearman and Hoefding's D measure for gene expression association analysis", *Journal of Bioinformatics and Computational Biology* Vol.7 4 pp663-684 (2009)

(Co-Author Papers)

1. Shimamura T, Imoto S, Yamaguchi R, Fujita A, Nagasaki M, Miyano S.: "Recursive regularization for inferring gene networks from time-course gene expression profiles", *BMC Systems Biology* Vol.3 41 pp663 (2009)
2. Sato J, Martin M, Fujita A, Mourao-Miranda J, Brammer M, Amaro Jr E.: "An fMRI normative database for connectivity networks using one-class support vector machines", *Human Brain Mapping* Vol.30 pp1068-1076 (2009)
3. Sato J, Fujita A, Thomaz C, Martin M, Mourao-Miran-

da J, Brammer M, Amaro Jr E.: "Evaluating SVM and MLDA in the extraction of discriminant regions for mental state prediction", *NeuroImage* Vol.46 pp105-114 (2009)

● Oral Presentations

(International Conferences)

1. Fujita Andre.: "International Conference etc. *Quality control and reproducibility in DNA microarray experiments*" The 20th International Conference on Genome Informatics Yokohama Japan 2009

A Novel Method for Diagnosis of Retinitis Pigmentosa Patients Using Their Own iPS Cells

Name: Zi-Bing JIN

Host Laboratory: Laboratory for Retinal Regeneration,
Center for Developmental Biology
(Laboratory Head: Masayo TAKAHASHI)

Retinitis pigmentosa (RP) is a group of retinal degenerative diseases caused by rod photoreceptor degeneration and characterized by night blindness and visual field defect. Actually, RP encompasses a number of genetic subtypes as more than 45 causative genes and a large number of mutations have been identified so far. However, the pathogenesis of the disease are still poorly understood, which thereafter results in unavailability of treatments for RP. The first discovered RP-causing gene, RHO, is the most prevalent cause of RP. It is proposed that RHO mutation results in an accumulation of mutant protein in endoplasmic reticulum (ER) which leads to rod photoreceptor cell death. Experiments using animal cells have proven such hypothesis, however, so far its involvement in human retinal cells remains unknown. RP9, also named as PAP-1, is a ubiquitously expressing gene but its mutation leads to retina-specific degeneration. The underlying mechanism of photoreceptor apoptosis is unclear. No any animal models of this gene have been reported to mimic the disease to date. Taken together, *in vitro* disease modeling using induced pluripotent stem (iPS) technology is of particular value for mechanism study and drug screening for retinitis pigmentosa.

In this study, we generated iPS cell lines from RP patients with identified mutations in RHO and RP9. Each line of the iPS cells demonstrated differentiation ability into three-germ derivatives. By using *in vitro* differentiation methods, we confirmed these cells can differentiate into retinal pigment epithelium (RPE) progenitors (Pax6+/

Mitf+) and pigmented RPE-like cells, retinal progenitor cell (Pax6+/Rx+) and subsequently the photoreceptor precursor cells (Crx+). Gene expression profiling results also supported a growth direction toward retinal cells. Further differentiation is underway now and Rhodopsin+ rod photoreceptor cells and red/green opsin+ or blue opsin+ cone photoreceptor cells were appeared through a stepwise induction. In brief, we have generated patient-, disease-, and mutation-specific photoreceptor cells, including the rod cells which were lost in the RP patients, which will be useful for future study of disease mechanism or pharmaceutical discovery.

● Publications

(Original Papers)

1. Jin Z, Mandai M, Homma K, Ishigami C, Hirami Y, Nao-i N, Takahashi M, "Allelic Copy Number Variation in *FSCN2* Detected Using Allele-Specific Genotyping and Multiplex Real-Time PCRs" *Investigative Ophthalmology and Visual Science* Vol.49 9 pp3799-3805 (2008)
2. Jin Z, Mandai M, Yokota T, Higuchi K, Ohmori K, Ohtsuki F, Takakura S, Itabashi T, Wada Y, Akimoto M, Ooto S, Suzuki T, Hirami Y, Ikeda H, Kawagoe N, Oishi A, Ichiyama S, Takahashi M, Yoshimura N, Kosugi S, "Identifying pathogenic genetic background of simplex or multiplex retinitis pigmentosa patients: a large scale mutation screening study" *Journal of Medical Genetics* Vol.45 pp465-472 (2008)

3. Jin Z, Hirogawa G, Gui L, Osakada F, Takahashi M, Hiura Y Takahashi M, Yasuhara O, Iwai N "Targeted deletion of miR-182, an abundant retinal microRNA" *Molecular Vision* Vol.15 52-53 pp523-533 (2009)

(Review Articles)

1. Jin Z, Okamoto S, Mandai M, Takahashi M, "Induced Pluripotent Stem Cells for Retinal Degenerative Diseases: A New Perspective on the Challenges" *Journal of Genetics* in press (2010)

● Oral Presentations

(Domestic Conferences)

1. Jin Z, Okamoto S, Takahashi M, "*in vitro* Retinal Differentiation of iPS Cells Derived from Patients with Retinitis Pigmentosa" Okinawa Institute of Science and Technology International Workshop "Retina: Neural Stem Cells and Photoreceptor Degeneration" Okinawa Japan 2009 11

Nuclear and Electron Spin Manipulation Using Nanomechanical Systems

Name: Neill LAMBERT

Host Laboratory: Digital Materials Team,

Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Franco NORI)

The transition from the "weird" quantum to the "normal" classical world is still not fully understood, and remains fundamental to a proper understanding of both nature and new quantum technologies. Recent progress in experimental systems which verge on the macroscopic "classical" regime, but still exhibit quantum behaviour, are helping to expand our understanding of what lies in this gray area between 'theoretical worlds'. Both superconducting qubits and nano-electromechanical systems are examples of systems which can exhibit "macroscopic wave functions" (see, e.g., Blencowe, Tüefel et al 2009 etc).

During the first year of my FPR position I have worked on a variety of projects related to this fascinating area. Primarily I have focused on investigating an open system realisation of the Dicke model [2], which describes an ensemble of spins interacting with an oscillator. This interesting system contains both critical behaviour and quantum chaos. I focused on investigating how these features could be probed in a 'solid-state' realisation; e.g. a microwave transmission line, or a nano-mechanical system.

Furthermore, in a different context, I have worked on the problem of using electron transport to probe other interesting quantum phenomenon. In particular, I have used models of transport in p-i-n junctions to investigate features of plasmonic band gaps in nanowires [1], and polariton BECs [4]. Finally, towards the end of the year my research has taken inspiration from these results; we

have begun to investigate the general problem of distinguishing classical and quantum dynamics in nanoscale transport systems. This has been a fruitful new area, and several manuscripts are being prepared for publication.

● Publications

(Original Papers)

- 2 Lambert N, Chen Y, Johansson R, Nori F, "Quantum chaos and critical behavior on a chip" *Physical Review B* Vol.80 pp165308-1-165308-7 (2009)
- 3 Lambert N, Nori F, "Detecting quantum-coherent nanomechanical oscillations using the current-noise spectrum of a double quantum dot" 2010 APS March Meeting Portland USA 2010 3

(Others)

- 1 Chen Y, Chen G, Liao Y, Lambert N, Nori F, "Detecting non-Markovian plasmonic band gaps in quantum dots using electron transport" *Physical Review B* Vol.79 pp245312-1-245312-8 (2009)
- 4 Chen Y, Lambert N, Nori F, "Detecting Bose-Einstein condensation of exciton-polaritons via electron transport" *Physical Review B* Vol.80 p235335-1-235335-5 (2009)

● Oral Presentations

(International Conferences)

"Quantum Chaos on a chip" Berlin Technical University

Seminar.
"Distinguishing quantum and classical currents" Berlin
Technical University Seminar.

(Domestic Conferences)
"Single electron transport coupled to an oscillator", Seminar at NEC, Tsukuba.

Attosecond Control of Broadband Supercontinuum Generation with Two-Color Field

Name: Pengfei LAN

Host Laboratory: Laser Technology Laboratory,
Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Katsumi MIDORIKAWA)

The attosecond pulse has made a breakthrough of ultrafast optics for detecting the ultrafast dynamics of electrons inside atoms and molecules. However, the intensity of isolated attosecond pulse (IAP), which corresponds to supercontinuum high harmonics in the frequency domain, is still very low, because the pump pulse energy is typically limited due to the few-cycle pulse duration and carrier-envelope phase (CEP) stabilization. To overcome this issue, we proposed and demonstrated a new method for supercontinuum high harmonics generation by mixing a multicycle Ti: sapphire laser field and an infrared laser field, so as to produce an intense IAP using a conventional femtosecond laser system.

By investigating the two-color field and the corresponding electron dynamics, we found that the two-color multicycle field produces a comparable intensity distribution with a few-cycle laser pulse, which was traditionally used for IAP generation. Therefore, it is expected to produce IAP using the multicycle two-color field, similar to the few-cycle one color case. However, the IAP depends sensitively on the CEP in the few-cycle field, which is one factor that prevents from generating the intense IAP with. In our new method, we simulated and optimized the relative intensity and wavelength of the infrared field and so on. After optimization, our simulation shows that supercontinuum high harmonics and IAP can be generated in the cutoff without CEP stabilization, even though the harmonic intensity changes with the CEP.

We also performed the experiments to demonstrate our idea and supercontinuum high harmonics were produced by mixing a 30-fs Ti: sapphire laser field and a 40-fs infrared (1300 nm) laser field. To demonstrate the CEP dependence, we simultaneously measured the high harmonic

spectrum and the CEP with f-2f interferometer. Finally the CEP dependence of harmonic yield in the cutoff was compared with the simulation, which is in reasonable agreement. Therefore, our experiments and simulation clearly shows the generation of supercontinuum high harmonics using a multi-cycle two-color field without CEP stabilization. This method mitigates the requirement for IAP generation and also takes a great advantage for creating the intense IAP.

● Publications

(Original Papers)

1. Eiji J. Takahashi, Pengfei Lan, Oliver D Muecke, Yasuo Nabekawa, Katsumi Midorikawa "Infrared Two-Color Multicycle Laser Field Synthesis for Generating an Intense Attosecond Pulse", *Phys. Rev. Lett.*, 104, 233901 (2010).

● Oral Presentations

(International Conferences)

1. Eiji J. Takahashi, Pengfei Lan, Katsumi Midorikawa, "Generation of continuum harmonic spectrum using multi-cycle two-color infrared laser fields". Second international conference on attosecond physics, Kansas, USA, Jul. 28, 2009.

(Domestic Conferences)

1. Pengfei Lan, Eiji J. Takahashi, Katsumi Midorikawa, "Quantum trajectory analysis for supercontinuum harmonics generation in multi-cycle two-color infrared laser fields: simulation of experimental data". JSAP 70th Autumn National Conference, Toyama, Spt. 8, 2009.
2. Eiji J. Takahashi, Pengfei Lan, Katsumi Midorikawa "Supercontinuum high harmonics generation with mut-

li-cycle two-color IR pulse", JSAP 70th Autumn National Conference, Toyama, Spt. 8, 2009.

3. Pengfei Lan, Eiji J. Takahashi, Oliver D Muecke, Yasuo Nabekawa, Katsumi Midorikawa "Isolated Attosec-

ond pulse generation with multi-cycle IR pulse", Extreme Photonics Research THz Research symposium, Sendai, Dec. 15, 2009.

The β decay of ^{34}Mg

Name: Zhihuan LI

Host Laboratory: Radioactive Isotope Physics Laboratory,
Nishina Center for Accelerator-Based Science
(Laboratory Head: Hiroyoshi SAKURAI)

From April 2009, I was involved in several beta decay experiments to study the nuclei far from beta stability. During this time, I actively participated in the detector test, experimental setup and the experiment. To study the nuclear structure of the nuclei around $N \sim 28$, I submitted an experimental proposal to the 6th PAC meeting. The details of my experimental endeavors and participations are listed below:

1. The beta decay study of the neutron rich isotopes around ^{110}Zr .

A decay spectroscopy study of the neutron-rich neutron rich isotopes around ^{110}Zr has been performed using fragmentation of a ^{238}U beam with an intensity of 0.5 pnA at BigRIPS in the middle of December 2009. The nuclei of interest were implanted into eight segmented double-sided silicon strip detectors (DSSSD) measuring time and location of the implantation. Implantation and decay events are time stamped and correlated via their locations. Four Ge-detectors and two LaBr_3 detectors located very close geometry to Si detectors were employed to measure both beta delayed γ rays, as well as, prompt γ rays emitted following isomeric decay. The low lying excited states, half-lives which related to the nucleosynthesis at r-process, the mass, and the B (GT) distribution will be obtained for the first time in this region.

2. In-Beam test of a novel beta-counting system CAITEN

A super-segmented beta-counting system CAITEN was designed for half-life measurement with relatively high implantation rate of cocktail beam. It has complementary role with respect to the DSSSD detectors in term of the statistics. To investigate the performance of CAITEN, The first in-beam test of CAITEN was carried out at BigRIPS

in the late December 2009. The neutron rich ^{32}Mg nuclei were produced by the fragmentation of the $E/A = 350$ MeV ^{48}Ca primary beam on a thick ^9Be target, and were implanted into CAITEN. Two large volume LaBr_3 detectors in very closed geometry were used for measurement of beta delayed γ rays as well as prompt γ rays emitted from following isomeric decay. In addition two liquid scintillation neutron detectors (NE213) were installed for beta delayed neutrons using pulse shape discrimination technique. The overall efficiency and reconstruction of the half-lives for various isotopes will be obtained by the event associations of the implanted nuclei with the decay events. The analysis of the experimental results is now ongoing.

3. Experimental proposal for the study of neutron rich nuclei around $N=28$

For the nuclei far from the valley of beta stability, the orders of their single-particle orbits which are near the Fermi surface may shift due to the effective nucleon-nucleon interaction. This change is expected to cause considerable modification in the shell structure and lead to the appearance and disappearance of magic numbers and the formation of new regions of deformation. The nuclear structure in the region of nuclei around $N=28$ depends strongly on the filling of both proton and neutron orbitals when protons filling the $(1d_{5/2}2s_{1/2}d_{3/2})$ shell and neutrons occupying the $1f_{7/2}$ subshell. The observed dramatic decrease of the energy in ^{42}Si provide experimental evidence for the disappearance of the neutron $N=28$ shell closure. At present, the experimental studies of the low lying excited states in this region are very little, while the theoretical calculations given some valuable predictions. To examine the changing shell structure and the influence of

collectivity in this region, I submitted an experimental proposal (NP0912-RIBF35) to the 6th PAC meeting for Nuclear-Physics Experiments at RI Beam Factory as a spokesperson. This proposal aims to perform systematic beta-decay studies of neutron-rich Al, Si and P isotopes near N=28. The β -delayed γ rays and neutrons are mea-

sured using the Ge detectors and neutron wall, respectively. In addition, the lifetime of the excited states are measured by two fast LaBr3 counters using time-delayed $\beta\gamma\gamma(t)$ measurement. The deduced level schemes and the lifetimes of the excited states in these nuclei will help us to understand shell evolution around N=28.

Uncovering the First Line of Defence Against Plant Pathogens

Name: Rebecca LYONS

Host Laboratory: Plant Immunity Research Group,
Plant Science Center
(Laboratory Head: Ken SHIRASU)

PAMP -triggered immunity

Most plant species are resistant to most microbes due to PAMP-triggered immunity (PTI), a broad spectrum defense response which operates to prevent the entry of potential pathogens into the plant cell. PTI is activated upon recognition of conserved microbial components such as flagellin or chitin, called pathogen-associated molecular patterns (PAMPs), by receptor kinases on the plant cell membrane. The resultant signaling pathways culminate in the production of reactive oxygen species (ROS), transcription of defence-related genes, stomatal closure and callose deposition on the cell walls (Schwessinger & Zipfel 2008). Although there has been recent progress in our understanding of PTI, important signalling and receptor proteins remain undiscovered. To identify key regulators of PTI in Arabidopsis, we are screening two collections of potential candidates: full length overexpressor (FOX) mutants (Ichikawa et al. 2006) and small open reading frames which may encode unannotated proteins.

FOX mutants

A library of $\sim 10,000$ FOX Arabidopsis mutants were screened for ROS production after treatment with the PAMP flagellin22 (flg22). 350 FOX mutants showed enhanced ROS burst compared to the wildtype Col-0 (So-Young Li, unpublished data). Of these, FOX mutants corresponding to 12 uncharacterised proteins were chosen as PTI candidates and further analysed. ROS was induced by the PAMP elf18 in addition to flg22 in the mutants tested. At least four of the candidate proteins are likely to be posi-

tive regulators of PTI based on the results of bacterial spray pathotests, in which the growth of *Pseudomonas syringae* was significantly suppressed compared to that in the wildtype Col-0. Knockout mutants of the four candidate proteins will now be analysed for a PTI phenotypes

Small open reading frames

Since the completion of genome sequencing projects, small open reading frames (sORFs) in the so-called intergenic regions have been shown to be transcribed in various organisms. These potentially novel protein encoding transcripts are short (90-300 nt) and may have escaped annotation as coding sequences due to the conservative nature of the gene prediction models used. In *A. thaliana*, at least 3000 ORFs are predicted to be novel protein coding genes (Hanada *et al.* 2007). To test whether sORFs in the Arabidopsis genome might regulate plant immunity, we used a custom microarray to compare the expression of ~ 6000 unannotated sORFs in Arabidopsis Col-0 with the flagellin-insensitive mutant *fls2* after treatment with the PAMP flg22. Of the 3279 sORF transcripts detected in the microarray, 37 were differentially upregulated in Col (Col > 5 fold induction; *fls2* < 2 fold induction) by 60 mins post flg22 treatment. The flg22-triggered differential induction of 16 candidate sORFs, chosen based on their expression profile and homology with plant proteins, was verified by qRT-PCR using biological replicates. Overexpressor lines are being produced to analyze the role of the candidate sORFs in PTI and plant defence.

References

- Hanada, K., X. Zhang, J. O. Borevitz, W. H. Li & S. H. Shiu (2007) A large number of novel coding small open reading frames in the intergenic regions of the *Arabidopsis thaliana* genome are transcribed and/or under purifying selection. *Genome Research*, 17, 632.
- Ichikawa, T., M. Nakazawa, M. Kawashima, H. Iizumi, H. Kuroda, Y. Kondou, Y. Tsuchida, K. Suzuki, A. Ishikawa, M. Seki, M. Fujita, R. Motohashi, N. Nagata, T. Takagi, K. Shinozaki & M. Matsui (2006) The FOX hunting system: an alternative gain-of-function gene hunting technique. *Plant Journal*, 48, 974.

Schwessinger, B. & C. Zipfel (2008) News from the front-line: recent insights into PAMP-triggered immunity in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 389.

●Poster Presentation

(International Conference)

Lyons R, Hanada K, Higuchi M, Matsui M and Shirasu K "Identification of small open reading frames which regulate plant immunity", Receptors and Signaling in Plant Development and Biotic Interactions, March 14 - 19, 2010 Granlibakken Resort, California, USA

Molecular Mechanisms Underlying Paratympanic Organ Development and Evolution

Name: Paul O'NEILL

Host Laboratory: Laboratory for Sensory Development,
Center for Developmental Biology
(Laboratory Head: Raj LADHER)

The paratympanic organ (PTO) is a small sensory pouch formed within the lateral outpocketings of the first pharyngeal pouch. The PTO is present in bird species and most fish, however it has been lost at various points during evolution, notably in the mammalian lineage. Mechanosensory hair cells situated in the medial wall of the PTO are depolarised in response to movement of the tympanic membrane, thus the likely function of the PTO is that of pressure detection. The anlagen of the PTO, the geniculate placode shows differences in sensory potential across species; modulation of fate choice decisions within the placode (sensory versus neuronal) is likely to account for this divergence. Understanding the mechanisms of mechanosensory potential segregation using the PTO as a model system provides a unique opportunity to understand the molecular principals of evolutionary change.

I have previously analysed the genes expressed in geniculate placode using Affymetrix gene microarrays, my aim is to establish which factors confer potential to form mechanosensory hair cells and to assess the relevance of these factors during PTO evolution. The expression profiles of geniculate ectoderm were compared with ectoderm from other mechanosensory (otic placode), non-sensory

(nodose placode), and non-placodal (trunk) ectoderm. This allowed a pool of genes likely to be relevant to sensory development to be identified. In-situ hybridization has been performed to confirm the positional and spatial profiles of candidate genes, these include many factors not previously studied in the field of mechanosensory development.

I am generating molecular tools to evaluate the functional role of novel genes during the development of the PTO. These are being electroporated into chicken embryos and effects on sense organ formation assessed by examination of PTO morphology, and by changes in expression of known PTO marker genes, such as ISLET1, PROX1, SOX2 and ATOH1. Markers of mature hair cells will also be checked, including MYO7A and HCA. Both over-expression and gene knockdown (RNAi) approaches are being utilized. Following this initial functional investigation, the relevance of candidate factors to PTO evolution will be characterized by expression and functional analysis in other species such as shark, zebrafish, and mouse. It is anticipated that novel factors identified during this project will have broad significance in sensory biology and may also be of importance in the development of the inner ear and lateral-line system.

● Oral Presentations

(International Conferences)

ONEILL P, LADHER R, BAKER C, "A Role for BMP Signaling in Paratympanic Organ Development" 16th International Society of Developmental Biologists Congress 2009 (ISDB2009) Edinburgh UK 2009 9

(Domestic Conferences)

ONEILL PAUL, LADHER RAJ, BAKER CLARE,

"Development of the Chick Paratympanic Organ"

日本発生生物学会第42回大会 新潟 日本 2009 5

ONEILL PAUL, LADHER RAJ, BAKER CLARE, "

Development of the Chick Paratympanic Organ

" The 18th CDB Meeting. Common Themes and

New Concepts in Sensory Formation 神戸 日本

2009 4

Computer Simulations of the Structure-Function Relationship in Biological Ion Channels

Name: Andrei PISLIAKOV

Host Laboratory: Theoretical Biochemistry Laboratory,

Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Yuji SUGITA)

My current project, which I started after joining the Theoretical Biochemistry Lab in April 2009, is aimed to provide a detailed structural-functional correlation for nitric oxide reductase (NOR), a key enzyme in the evolution of respiration. Understanding on a molecular level the functioning of this system and, in particular, the detailed mechanism of proton transfer will help to solve the long-standing puzzle of the proton pumping in cytochrome c oxidase (CcO), a terminal enzyme in the oxidative respiratory chain.

Under anaerobic conditions some bacteria can use nitrate instead of oxygen in a process called denitrification. During denitrification, the reduction of nitric oxide (NO) to nitrous oxide (N₂O) is catalyzed by a membrane-bound enzyme NOR. Bacterial NOR is probably the most significant NO-reducing enzyme. NOR belongs to the superfamily of O₂-reducing heme-copper oxidases and is generally considered to be the evolutionary ancestor of cytochrome oxidases. After the structure of CcO has been solved more than a decade ago, this system was the focus of numerous studies. In contrast, there were no known structures of NOR, but luckily its first crystal structure has been recently solved in the lab of Prof. Yoshitsugu Shiro at the RIKEN SPRING-8 Center. This offers a unique opportunity for understanding of nitrate respiration, denitrification, and molecular evolution of respiratory enzymes. This project is aimed to obtain a quantitative structural-

functional correlation for NOR, based on the recently available structural and biochemical information. This problem has not been addressed computationally by any other research group.

In order to achieve our goals, we have to address several important issues. The state-of-the-art computer simulations of the NOR enzyme using combinations of several molecular modeling techniques are being performed. Below, I briefly outline the first steps and some preliminary results.

1) Large-scale classical MD simulations

First, we performed the initial setup, i.e. prepared a system for all-atom simulations: we inserted the NOR protein (coordinates provided by Prof. Y. Shiro) into membrane and then added a solvation box. The resulting total system (protein + membrane + water) size is ~100,000 atoms. In order to establish the structural elements which are likely to be important for PT in NOR, we are currently performing large-scale (up to microsecond) all-atom classical MD simulations of the total system. [Software: CHARMM and NAMD.] This enables us to identify possible PT pathways, i.e., hydrogen-bonded networks of ionizable and polar residues and chains of water molecules leading from the bulk phase to the active site. We will also address the dynamical issues such as protein stability, mobility of water molecules inside the channel, and dynamics of hydrogen bonds.

2) Exploring PT in NOR

We are also performing explicit PT simulations for the potential pathways identified by MD calculations. For this part, we are employing the empirical valence bond (EVB) method, a well-established tool for simulations of chemical reactions, in particular proton transfer, in enzymes. [Software: MOLARIS.] EVB simulations will allow us to estimate the activation barriers for individual PT steps and then the overall free energy profile for the PT process in NOR.

The first preliminary results suggest that: (i) there is a PT channel filled with water molecules and polar residues, which connects the active site and the cytoplasmic surface, with the entrance point near the conserved lysine residue; (ii) PT along this channel is practically barrierless; (iii) the PT steps near the binuclear center are rate determining.

● Publications

(Original Papers)

Pisliakov AV, Cao J, Kamerlin S, Warshel A, "Enzyme millisecond conformational dynamics do not catalyze the chemical step" *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol.106 41 pp17359-17364 (2009)

● Oral Presentations

(International Conferences)

Pisliakov A, "Proton and ion transport in membrane proteins: How important is solvation?" *Solvation of bioactive compounds: bridging theory, computation and experiment* Leipzig Germany 2010 01

(Domestic Conferences)

Pisliakov A, "Simulations of proton transfer in membrane proteins" *Seminar at the Biometal Science Laboratory RIKEN SPRING-8 Center* 2009 06

Molecular Aspects of Amyloid Disease and Studies of Interactions between Amyloids and Chaperones

Name: Karin SÖRGJERD

Host Laboratory: Bioengineering Laboratory,
Advanced Science Institute

(Laboratory Head: Mizuo MAEDA)

My research topic is within the field of protein misfolding diseases, which is an important field, since a wide range of diseases (including Alzheimer's, Parkinson's, diabetes type II and polyneuropathy) have been associated with protein misfolding and formation of amyloids (the products of misfolded proteins) inside or outside the cells. The problem with these kinds of diseases also seems to be increasing worldwide. My research specifically focuses on Alzheimer's disease and I have studied, on a molecular level, how the Alzheimer's disease associated protein (A-beta) interacts with another protein, called prefoldin. Previous studies have included *in vitro* laboratory experiments, and we have showed that prefoldin has an effect of the progression of A-beta amyloid formation. For the upcoming year, I wish to continue to elucidate the

role of prefoldin in Alzheimer's disease. Besides working *in vitro*, there have been discussions regarding cooperation with another laboratory, and we wish to apply our current results on mice models, to get a more biological relevant perspective of our research. For the future, I also wish to apply the findings regarding prefoldin on another protein called alpha-synuclein, which is associated with Parkinson's disease. Since there are common mechanisms for how proteins start to misfold, independently of the proteins involved, it is likely that if prefoldin has an effect on Alzheimer's, it can also have an effect on Parkinson's disease. I believe that it is important to get a general understanding for protein misfolding diseases, in order to develop therapies for those.

Excited-State Dynamics of Nucleic Bases Studied by Ultrafast Two-Dimensional photoelectron Imaging

Name: Peng ZUO

Host Laboratory: Chemical Dynamics Laboratory,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Toshinori SUZUKI)

Photoelectron spectroscopies (PES) have proved to be powerful implements in studies of excited-state dynamics and been successfully employed to capture the information on excited-state relaxation via internal conversion, intersystem crossing, and intra-molecular vibration in polyatomic molecules. However, one cannot apply PES to liquid-system studies directly since the detection of photo-emitted electrons and their kinetic energies, in a nonultrahigh-vacuum environment, is not straightforward. In Suzuki's laboratory, we are developing a multi-stage differential pumping system integrated with a hemispherical electron energy analyzer that enables us to record PES of aqueous solution in short accumulation time with a large collecting angle. Based on this technique we expand our PES research into complex molecules such as nucleic bases.

In the past one-year, we have been combining liquid-phase PES with ultrafast laser method to study the excited-state dynamics of aqueous systems. We selected aniline as a test molecule because of its low ionization energy, simple excited-state dynamics, long-lived excited state, and relatively high solubility. Our PES result enables the real time monitoring of the excited-state relaxation processes of aqueous aniline. The 243 nm excitation of aniline populates a strongly allowed $1\pi\pi^*$ state (S_2). The 326 nm probe pulse, which is beyond the absorption band of aniline, ejects electrons and monitors the depopulation relaxation of S_2 state. The temporal evolution of PES indicates an ultrafast relaxation from S_2 (with a ~ 100 fs decay time) to a long-lived S_1 state, which is stable within several hundreds ps. The relaxation process of excited aniline displayed in this work is consistent with the results in the

literature indicating that our liquid-phase time-resolved PES is feasible. At present, we are optimizing this new technique and will study the nucleic bases excited-state dynamics in the forthcoming year. We believe that we can gain an insight into excited-state dynamics that cannot be revealed by other techniques such as ultrafast fluorescence and transient absorption.

Another parallel work is the construction of a new laser system. In this work we are building an ultrashort DUV/VUV system consisting of noncolinear OPA (NOPA) and filamentation, which enables us to generate sub-20-fs pulses of ~ 235 and ~ 170 nm carrier wavelength ($2\omega_{SH} - \omega_{NIR} \rightarrow \omega_{DUV}$, $\omega_{DUV} + \omega_{SH} - \omega_{NIR} \rightarrow \omega_{VUV}$). A ~ 2.6 μ J, 80 fs FF-pumped two-stage NOPA has been build. A few fraction of the pump pulse is focused into a sapphire plate to generate a white-light continuum. The Near-IR part of this white-light is amplified by a BBO-based two-stage NOPA. In the second NOPA, a prism-telescope set-up was employed to tilt the pump pulse-front. Under this condition we have obtained a ~ 200 μ J NIR pulse with a ~ 150 nm bandwidth corresponding to a sub-20-fs transform-limit duration. In the forthcoming year we will complete this DUV/VUV laser system and apply it to time-resolved photoelectron imaging study.

● Oral Presentations

(Domestic Conferences)

Tang Ying, Zuo Peng, Kiyoshi Nishizawa, Keiji Ohshimo, Toshinori Suzuki, "Development of femtosecond time-resolved photoelectron spectroscopy of aqueous solutions using liquid beams" 25th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Saitama, June (2009).

Cooperative-Intelligent Control of a Human-Interactive Robot

Name: Zakarya ZYADA

Host Laboratory: Robot Control Research Team,
Advanced Science Institute
(Laboratory Head: Yoshikazu HAYAKAWA)

Nursing robotics has received a considerable attention by different research groups seeking their promising human-friendly assist and cooperation. RIKEN-TRI collaboration center introduced RI-MAN and RIBA for holding and transferring a human. RI-MAN and RIBA are designed to grasp, hold and transfer a human applying its whole two-arms. Whole-arm manipulation is an approach to manipulation that employs all the available manipulation surfaces of the robot to act upon and sense the environment. Whole arm grasps are formed by wrapping the arms (or fingers) around the objects. Cooperative control is expected to achieve the efficient and optimal usage of the applied actuators of the whole arms and body of a robot for manipulating a human body. Manipulating a human, (the target is a patient), lies in the taxonomy of dynamic manipulation in which task dynamics is significant for analysis and planning. Kinematic, static and quasi-static manipulation analyses are important steps for dynamic manipulation. As an initial step towards analysis of holding and manipulating a human body object, the conducted research work dealt with kinematic (position, velocity and acceleration) analysis of free-ended two-rigid-links object manipulated by two arms. Rolling as well as sliding at the points of contact of the two-links object constrained by the holding two-arms is analyzed. Position, velocity and acceleration analysis of the manipulated object joint; position, velocity and acceleration constraints as well as expressions for sliding displacement, sliding velocity and sliding acceleration are developed. Simulation results for links sliding displacement, velocity and acceleration, the object joint position, velocity and accel-

eration as well as object configurations for different input rolling accelerations are performed. The performed analysis proves that: 1- through manipulating two-rigid-links object by two-arms, rolling about one arm or both arms at the points of contact is associated with sliding at both points of contact. There is no rolling without sliding and there is no sliding without rolling. 2- It is possible to define the object links sliding displacements, velocities and accelerations from the contact rolling displacements, velocities and accelerations estimation or measurement. 3- It is possible to define the configuration of the object from contact points and hence contact angle measurements, applying tactile sensors. Realizing that dynamic manipulation applying whole arms is associated with both rolling and sliding at the points of contact, the ongoing research work aims a better design for the whole arms for a safe manipulation condition.

● Publications

(Original Papers)

Zyada Z, "Position and velocity analysis of free-ended two-link object for whole arm manipulation" *Mansoura Engineering Journal Vol.34 3 ppM22-M31 (2009)*

● Oral Presentations

(International Conferences)

Zyada Z, Hayakawa Y, Hosoe S, "Kinematic Analysis of a Two-Link Object for Whole Arm Manipulation" *The ISpra'10 (SIGNAL PROCESSING, ROBOTICS and AUTOMATION) New Hall, Univ. of Cambridge, Cambridge UK 2010 2*

平成21年度 基礎科学・国際特別研究員年報

平成22年12月10日 印刷

平成22年12月15日 発行

編集兼 独立行政法人理化学研究所
発行者 外務部 研究人材育成課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号
