

平成19年度

基礎特研年報

基礎科学特別研究員の研究報告



独立行政法人

理化学研究所

RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research)

基礎特研年報

基礎科学特別研究員の研究報告

平成19年度

独立行政法人

理化学研究所

RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research)

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19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、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してもらう制度です。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年が経過し、既に1000名以上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154名となっています。

平成20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16年度下期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVI - 074	不安定核ビームを用いた陽子弾性散乱による不安定核の核子密度分布の抽出	竹田 浩之	3
XVI - 075	エキゾチック電子液体の創成 混合原子価化合物における幾何学的フラストレーション	新高 誠司	3
XVI - 077	角度分解光電子分光法の理論的研究 多原子分子への展開	鈴木 喜一	4
XVI - 078	希土類金属を含む新規前周期 - 後周期遷移金属ポリヒドリド錯体の合成および反応性の研究	島 隆則	5
XVI - 079	新規細胞死抑制剤を鍵としたミトコンドリア膜上での細胞死制御機構の解明研究	閼 孝介	7
XVI - 080	分裂酵母の化学プロテオミクスによる海産抗真菌化合物の標的分子の解明	西村 慎一	7
XVI - 081	ゴルジ体からの小胞形成を引き起こす分子装置の同定と小胞形成過程の可視化	川崎 真理子	7
XVI - 082	多核種同時 線イメージング装置の開発	本村 信治	8
XVI - 083	躁うつ病および統合失調症における epigenetic な変異の網羅的探索	岩本 和也	9
XVI - 084	タンパク質ホモ二量体可視化技術の開発	下 蘭 哲	10
XVI - 085	雌性生殖幹細胞株の樹立とその解析	本多 新	10
XVI - 086	二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジンキナーゼの構造生物学的研究	山田 斉爾	11
XVI - 087	偏光制御・低熱負荷・高次光抑制を目的としたアンジュレータの開発研究	白澤 克年	12
XVI - 088	植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出メカニズムとその生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明	兼目 裕充	13

平成17年度上期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVII - 001	硬X線精密分光観測を用いた銀河中心高エネルギー現象の統一的研究	千田 篤史	17
XVII - 002	銀河内輻射輸送を考慮した銀河の形成・化学力学進化モデルの構築	伊吹山 秋彦	18
XVII - 004	NMR法における液体ストッパーの開発	亀田 大輔	18
XVII - 006	ハイブリッド検出装置による中性子過剰核の線核分光	武内 聡	20
XVII - 007	ユビキタス検出器の開発とRIビームファクトリー実験への実装	馬場 秀忠	21
XVII - 008	軽い中性子・陽子過剰核反応における分解過程の寄与の系統的な理論解析	松本 琢磨	21

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVII - 009	K 中間子の原子核に於ける深束縛状態の実験的研究	鈴木 隆敏	22
XVII - 010	反 K 中間子と軽い原子核との深い束縛状態に関する理論的研究	根村 英克	23
XVII - 011	超空間への非可換幾何の一般化とそれを用いた一般の背景場中の超弦理論の研究	澁佐 雄一郎	24
XVII - 012	ナノ構造における非平衡多体効果	内海 裕洋	25
XVII - 013	不規則電子系における金属 絶縁体転移点の異常局在状態に関する理論的研究	小布施 秀明	26
XVII - 014	³ He における 2 次元超流動の探索	斎藤 政通	27
XVII - 015	高速精密回転希釈冷凍機を用いた超流動He量子渦と表面素励起の研究	高橋 大輔	28
XVII - 017	界面特性変化を認識するナノコロイドセンサーの開発 コロイド化学の観点から考えた遺伝子診断システムの開発	佐藤 保信	29
XVII - 018	微細 DNA パターンの複写・縮小技術の開発	鈴木 健二	30
XVII - 019	分子デバイスへの応用を念頭においた次世代分子性導体の開発	芦沢 実	30
XVII - 021	ATP 結合性蛋白質の新規網羅的解析法の開発	清水 護	31
XVII - 022	ナノサイズ化における不活性物質の活性発現：局所電子状態測定による発現機構の解明	湊 丈俊	32
XVII - 023	天然有機化合物と生体関連物質の相互作用に関する研究	齊藤 安貴子	32
XVII - 024	翻訳終結と共役した mRNA 分解制御の分子機構の解析	船越 祐司	33
XVII - 025	大腸ガンにおける LAP2 α (lamina-associated polypeptide 2 α) の過剰発現およびガン化との関連性	大木本 圭	34
XVII - 027	ショウジョウバエ SUMO E3ligase の生物学的機能の解明	成 蒼鉉	35
XVII - 028	有限温度密度 QCD における相転移現象の解明	福嶋 健二	35
XVII - 029	偏極陽子・陽子衝突実験における W 粒子をプローブとした陽子のスピン構造の研究	神原 信幸	36
XVII - 030	転写抑制因子 Tup11, Tup12 によるクロマチン構造制御機構の解析	廣田 耕志	36
XVII - 031	人為的な染色体二重鎖切断を用いた減数分裂期組換え機構に関する研究	福田 智行	37
XVII - 032	超伝導検出器を用いた中性子 崩壊陽子のエネルギースペクトル測定	三島 賢二	38
XVII - 033	小脳神経回路網におけるルガ口細胞の役割	廣野 守俊	39
XVII - 034	RNA 異常を伴う神経変性疾患における発症メカニズムの解析	紀 嘉浩	40
XVII - 036	カルシウムシグナルによる神経成長円錐の運動制御機構の解明	戸島 拓郎	41
XVII - 038	Rab27A-Slp 複合体によるインスリン分泌制御機構の可視化解析	坪井 貴司	42
XVII - 039	マウス由来グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼの機能解析	大嶋 紀安	43
XVII - 040	スプライソソームの構造生物学	林田 稔	44
XVII - 044	核局在の細胞骨格系タンパク質による細胞分化・分裂の制御機構	五十嵐 久子	44
XVII - 045	三量体 G 蛋白質による紡錘体の制御機構の解析	泉 裕士	45
XVII - 046	神経突起伸長開始点の制御に於ける Wnt シグナル依存的な細胞極性の役割及びそこに必要とされる分子機構の解明	柴田 幸政	46

平成17年度下期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVII - 047	超高精度のフェルミ結合定数測定	友野 大	47
XVII - 048	近藤効果の直接観察	坪井 紀子	47
XVII - 050	高次高調波を用いた固体中のオージェ過程の時間分解測定	清水 俊彦	48
XVII - 052	ナノ粒子の粒径と個数濃度の標準	今中 雅士	49
XVII - 053	フッ素化フラーレンを用いた機能性分子の合成と物性	伊藤 清太郎	50
XVII - 054	イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析	時田(松浦)公美	50
XVII - 055	電界による単分子の光応答制御 単分子フォトニクスの実現	田中 健一郎	51
XVII - 058	緑藻ボルボックス目における多細胞化に伴う形態形成機構の進化	植木 紀子	52
XVII - 059	タンパク質メチル化酵素の機能とその修飾の役割の解明	定家 真人	53
XVII - 060	マウス始原生殖細胞決定機構の解析及びES細胞からの分化誘導技術の開発	大日向 康秀	53

平成18年度上期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVIII - 001	全天X監視による巨大ブラックホール形成機構の解明	磯部 直樹	57
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	58
XVIII - 003	宇宙線による地球大気電離と気候変動メカニズムの解明	佐藤 光輝	58
XVIII - 004	FPGAを用いたリコンフィギャラブルスーパーコンピュータの開発	濱田 剛	59
XVIII - 008	電荷・スピンドープを用いた幾何学的フラストレート磁性体における 相競合機構	東中 隆二	60
XVIII - 009	分子配向技術を用いた短波長域の強光子場の物理の探求	金井 恒人	61
XVIII - 010	フェムト秒レーザーによる三次元ナノ加工に関する研究	花田 修賢	62
XVIII - 011	プラズモニックナノデバイスの作製と高速度ナノイメージングへの応用	小野 篤史	64
XVIII - 012	新しい分子進化法の開発とタンパク質解析技術・機能制御技術への 応用	小川 敦司	65
XVIII - 013	新しい非線形分光法を用いた界面超高速反応の解明	関口 健太郎	65
XVIII - 014	画像観測法による気相分子の化学反応ダイナミクスに関する研究	小城 吉寛	66
XVIII - 015	有機金属錯体触媒を用いる有機合成化学的二氧化碳素固定化反応の 開発	大石 健	67
XVIII - 016	単離核を用いた複製反応再構成系の確立	柳 憲一郎	68
XVIII - 017	遺伝子発現に至るストレスシグナルのリバースプロテオミクス解析	前田 和宏	69
XVIII - 021	糖鎖の超高速分析技術の開発	中嶋 和紀	69
XVIII - 022	細胞内脂質動態の分子機構の解析	岩本 邦彦	70
XVIII - 023	細胞膜上における脂質ドメインの機能の研究	村瀬 琴乃	71
XVIII - 024	自己組織化パターン構造を有する高分子フィルムをテンプレートとして 利用した金属着色法の開発	石井 大佑	72

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVIII - 025	外場応答型コロイドフォトニック結晶の作製	金井 俊光	73
XVIII - 026	ナノスケール界面加工による有機微結晶トランジスタの電子回路応用	三成 剛生	74
XVIII - 027	中性子過剰魔法核 ^{78}Ni 近傍における核内中性子分布及び陽子分布 変形の個別決定	菅野 祥子	76
XVIII - 028	原子核における 粒子凝縮と、それに基づいたガスのクラスター構造 状態の研究	船木 靖郎	77
XVIII - 029	超流動ヘリウム中での不安定核原子のレーザー・マイクロ波二重 共鳴法による核構造研究	古川 武	79
XVIII - 030	陽子過剰核 ^{31}Cl 核の核モーメントの測定による核構造の研究	長友 傑	80
XVIII - 031	新魔法数 $N = 34$ の探索	竹下 英里	81
XVIII - 032	反跳粒子測定による不安定核弾性散乱を用いた核子密度分布の研究	寺嶋 知	81
XVIII - 033	超重元素合成のための重イオン核反応機構に対する理論的研究	市川 隆敏	83
XVIII - 034	RHIC-PHENIX 実験における Jet のスピン非対称度測定を用いた核子 構造の研究と標準模型の検証	深尾 祥紀	84
XVIII - 035	量子重力の実験的検証とその周辺理論	尾田 欣也	86
XVIII - 036	超対称性を持った模型の格子上での定式化	金森 逸作	86
XVIII - 039	媒質中のカイラル対称性の回復におけるベクトル中間子の役割	日高 義将	87
XVIII - 040	EFHC1機能解析と若年性ミオクロニーてんかんの病因解明	鈴木 俊光	88
XVIII - 041	G蛋白質機能を制御する神経回路網制御受容体の同定及び機能解析	西谷 直之	89
XVIII - 042	EEG/MEGを用いた皮質間相互作用の非侵襲計測とその解析	篠崎 隆志	90
XVIII - 043	GABA性(抑制性)介在神経細胞間の相互作用がワーキングメモリーに 及ぼす影響についての研究	森田 賢治	91
XVIII - 044	高次認知機能による脳神経系の再構築と言語の獲得：齧歯類デグー を用いて	時本 楠緒子	92
XVIII - 045	社会性哺乳類における音声コミュニケーションと個体間交渉	沓掛 展之	93
XVIII - 047	Co三角格子をもつ強相関熱電材料の電子状態の研究	石田 行章	94
XVIII - 048	翻訳後修飾に対応する非天然型アミノ酸の蛋白質への部位特異的 導入による細胞内情報伝達の制御	小林 隆嗣	95
XVIII - 049	性染色体のDNA脱メチル化による性転換を利用した雌雄異株植物の 性決定機構の解明	西山 りゑ	96
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	97
XVIII - 051	細胞内亜鉛シグナル経路の解明	鈴木 智之	98
XVIII - 052	マウス囊胚発生における形態形成運動と細胞接着のダイナミズムに 関する研究	平野 真理子	98
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	99
XVIII - 054	個体発生能を司る始原生殖細胞の核内基盤の解明	関 由行	100
XVIII - 055	接着斑を構成・制御する細胞骨格系タンパク質、タリン(talin)の機能解析	辻岡 政経	101

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	102

平成19年度上期採用者

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	105
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	106
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	107
XIX - 004	次世代X線観測衛星をめざす、半導体微細加工技術を用いた新しいX線光学系の開発	江副 祐一郎	108
XIX - 005	多次元輻射磁気流体計算とX線観測によるブラックホール降着流の研究	大須賀 健	109
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	110
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	111
XIX - 008	宇宙嵐の発生メカニズムの解明	片岡 龍峰	112
XIX - 009	ベリリウム不安定同位体に対する $22\text{Si}^{1/2}$ - $22\text{P}^{1/2}$ 遷移周波数の精密測定による荷電半径測定	高峰 愛子	114
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	115
XIX - 011	副格子の自由度を含む量子多体系の物性解明	大串 研也	116
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	117
XIX - 013	超伝導電子対のナノスケール分光解像	幸坂 祐生	117
XIX - 014	放電場によるマイクロドロップ・インジェクション現象を利用した超微細三次元造形技術の確立とそれによるマイクロマシン、バイオ・メカニカルファブリケーションへの応用展開	梅津 信二郎	118
XIX - 015	A United Design of Carbon-Nanotubes and Silicon Nanotechnology for Quantum-Dot Based Nanodevices	黄 少云	119
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	120
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	121
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	121
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	122
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	122
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	123

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	124
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	125
XIX - 024	V字型三核錯体の合成および不活性化化合物の新規分子変換反応の開発	中島 裕美子	125
XIX - 025	導電性カンチレバーを用いた分子レベルの水、イオン、ソフトマテリアル研究	横田 泰之	126
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	127
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	128
XIX - 028	放線菌の潜在的二次代謝産物、代謝中間体、および生合成酵素の解析	鈴木 宏和	129
XIX - 029	切断可能な光親和性リンカーを用いたバイオプローブの標的分子探索	盛崎 大貴	129
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	130
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	131
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	131
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	132
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	133
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	稲留 弘乃	133
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	134
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	135
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	136
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	137
XIX - 040	高励起中性子過剰核におけるHeクラスター構造の発現機構と反応ダイナミクスの一貫的研究	伊藤 誠	137
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	139
XIX - 042	K中間子原子核探索による、超高密度物質内におけるハドロン性の性質の研究	佐久間 史典	140
XIX - 043	超弦の場の理論の構成とその応用	岸本 功	141
XIX - 044	行列モデルによる超弦理論の非摂動的定式化とそのダイナミクス研究	花田 政範	142
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	143
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	144
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	145
XIX - 048	IP ₃ 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	榎本 匡宏	146
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	147

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	147
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	148
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	149
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	150
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	151
XIX - 055	Lipocalin 2 の血球数恒常性維持機構における機能解析	三原田 賢一	152
XIX - 056	ゲノム再プログラム化機構を利用した生殖細胞およびES細胞の作出	三木 洋美	152
XIX - 057	位相幾何学的手法によるX線動的回折理論	澤田 桂	153
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	154
XIX - 059	天然物由来生理活性ポリペプチド asteropine 類に関する応用研究	高田 健太郎	155
XIX - 060	メタボローム解析を活用した葉の形態進化に関する研究 なぜ ネギ類植物の葉身部は空洞なのか？	梅原 三貴久	156
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	156
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	157
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	158
XIX - 064	ゲノム情報を基盤としたアレルギーメカニズムの解明	田中 伸弥	159
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	160
XIX - 066	BMP結合タンパク質 Cv2 の <i>in vivo</i> におけるBMPシグナル制御機構 の解明	池谷 真	161
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	162
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	162
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	163
XIX - 070	肝再生システムの理解に向けた基盤研究 肝再生時における成熟 肝細胞の増殖再活性化機構の解明と肝前駆細胞の遺伝学的細胞系譜 追跡	鈴木 淳史	164

平成 16 年度採用者

XVI - 074

不安定核ビームを用いた陽子弾性散乱による 不安定核の核子密度分布の抽出

Extraction of Nucleon Density Distributions of Unstable Nuclei
via Proton Elastic Scattering Using Radioactive Ion Beam

研究者氏名： 竹田 浩之 Takeda, Hiroyuki
ホスト研究室： 仁科加速器研究センター
櫻井RI物理研究室
(アドバイザー 櫻井 博儀)

不安定核の研究において、原子核中の陽子および中性子分布を実験的に抽出することは基本的かつ重要な課題である。昨年末にファーストビームの取り出しに成功したRIBFにおいて供給される不安定核(RI)ビームは核子あたり数百MeVのエネルギーである。これを静止した陽子標的に照射して起こる反応は、数百MeVの陽子ビームを固定標的に照射する散乱実験と、重心系で見れば同じ反応である。後者については安定核を用いた豊富な実験データおよび有効相互作用の蓄積があり、これらを用いて錫やカルシウム、鉛アイソトープ中の中性子分布を抽出することにも成功してきた。本研究の目的は、逆運動学の手法により不安定核の陽子弾性散乱を測定し、安定核と同じ方法で解析することにより、その密度分布の情報を得ることである。

昨年度までに検出器系の開発・整備を進め、放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置(HIMAC)において核子あたり300MeVの ^{20}O および ^{9}C ビームを用い、陽子弾性散乱の角度分布の測定に初めて成功した。得られた角度分布をもとに密度分布情報の抽出を進めている。本年度も引き続きHIMACで ^{20}O ビームでの測定を9月に予定している。昨年度の測定で

用いた厚さ1mmの固体水素標的は、輻射による熱流入などのため中心に小さな穴が生じてしまったが、本年度は固体水素の真空遮断膜にアルミナイズドマイラを用いて熱輻射の流入を抑えるなどの改良により、穴のない固体水素の作成に成功した。

目的の不安定核を選んで陽子弾性散乱を測定するには、生成したRIビームの粒子識別を粒子ごとに行なわなくてはならない。RIBFでは、この目的のために二段階の飛行分離型RIビーム分離生成装置BigRIPSが建設され、昨年12月の最初のビーム出しの成功に引き続いて、 ^{86}Kr および ^{238}U ビームを用いたBigRIPSのコミッションング実験が昨年度末から始まった。BigRIPSの第一ステージでRIビームを生成・分離し、第二ステージで粒子の飛行時間や運動量、測定器でのエネルギー損失などを粒子ごとに測定し、その粒子の原子番号や質量数を同定する。粒子識別の能力を上げるには、個々の検出器自体に十分な分解能を持たせるだけでなく、粒子ごとの軌道の違いによる飛行時間のずれの補正まで行なう必要がある。本年度は一連のコミッションング実験に参加して、世界で初めての ^{125}Pd の生成確認の成功に貢献することができた。

XVI - 075

エキゾチック電子液体の創成 混合原子価化合物における幾何学的フラストレーション

Creation of Exotic Electron Liquid States Geometrical Frustration on Mixed-Valence Compounds

研究者氏名： 新高 誠司 Niitaka, Seiji
ホスト研究室： 高木磁性研究室
(アドバイザー 高木 英典)

本研究は電子間の強いクーロン反発力を内包する強相関電子系化合物において電子のもつ内部自由度、電荷・軌道・スピンの幾何学的フラストレーションを引き起こす舞台を作り出し新奇電子液体を

創成すること、またその新奇物性の機構解明を目的としている。幾何学的フラストレーションというと磁性分野におけるスピンフラストレーションの研究が代表的であるが、その場合フラストレーションに

よって系の基底状態は巨視的な縮退をもち大きな残留エントロピーの帰結として、量子スピン液体などの特異な磁性が発現する。これを電荷の自由度において実現させると、ヘビーフェルミオン・磁性強誘電体などの新奇物性の発現が期待される。

本年度は LiV_2O_4 の圧力下電気抵抗測定を行い、温度_圧力相図の作成および LiV_2O_4 の重い電子挙動の起源について考察を行った。 LiV_2O_4 は特性温度20Kをもつ3d電子に基づく重い電子系である。通常重い電子挙動は希土類を含む金属間化合物において観測され近藤効果によって理解されるが、本系にはその近藤機構をそのまま単純に適用することができず、起源は未だ明らかにされていない。通例重い電子状態は圧力を印加するとより安定化されるが、 LiV_2O_4 では圧力下において金属絶縁体転移が現れることを明らかにした。作成された温度_圧力相図より LiV_2O_4 の重い電子状態は圧力下で生じる電荷秩序の融解によって出現していることが明らかになった。また重い電子の起源は電荷を含めた電子の内部自由度によるエントロピーを取り込んだ準粒子によると考えられ、そこでは幾何学的フラストレーションが重要な役割を果たしていることが示唆された。これは前年度まで取り組んできた強磁場磁化・磁気抵抗測定の結果

と合致する。これまでの LiV_2O_4 の研究から、 LiV_2O_4 はその重い電子状態においては典型的な重い電子系と似た挙動を示すが、温度上昇および圧力印加により重い電子状態から外れるとまったく異なる様相を示し、本系の本質は重い電子状態から離れないと現れてこないことが明らかになった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Pinsard-Gaudart L., Dragoë N., Itie J. P., Congeduti A., Roy P., Lagarde P., and Flank A. M., Niitaka S., and Takagi H.: "Pressure-induced structural phase transition in LiV_2O_4 ", *Physical Review B* **76**, 045119 (2007)*
Jönsson P. E., Takenaka K., Niitaka S., Sasagawa T., Sugai S., and Takagi H.: "Electron correlation Driven Heavy-Fermion Formation in LiV_2O_4 ", *Physical Review Letters* **99**, 167402 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

新高誠司、竹下直、寺倉千恵子、高木英典: "重い電子系酸化物 LiV_2O_4 の圧力誘起金属絶縁体転移", 日本物理学会2007年秋季大会、北海道、9月(2007)

XVI - 077 角度分解光電子分光法の理論的研究 多原子分子への展開

Theoretical Development of Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy for Polyatomic Molecules

研究者氏名: 鈴木 喜一 Suzuki, Yoshi-ichi

ホスト研究室: 鈴木化学反応研究室

(アドバイザー 鈴木 俊法)

多原子分子の光電子角度分布の解釈と信頼できる理論計算法の確立を目的とした。時間分解光電子画像法を使うと、光電子角度分布をイオン化光の偏光および分子の向きに関する関数として測定できる。分子は気相中では自由に回転でき、分子の向きは量子力学的な分布関数を熱平均した分布関数で定義される。さらに、光イオン化での観測量はその分布に関して平均化されたものである。そこで、時間分解光電子画像法から得られる、それらの平均化された物理量にどれだけの情報が含まれているかを理解することが重要である。

本年度は、多原子分子に対する光電子角度分布と分子軌道の軌道対称性などとの関係を明らかにし

た。また、イオン化動力学パラメーターの完全決定における分子配向の重要性を明らかにした。

(1) 多原子分子の回転運動には剛体近似、含まれる電子はBorn-Oppenheimer近似を仮定した。その時、超短パルスのイオン化を仮定すると、光電子角度分布を光の偏光の密度行列、分子の配向パラメーターで二重に級数展開される。その展開係数(光電子異方性因子)は光イオン化の遷移双極子モーメントの二次形式で与えられる。そこで、二次形式の固有値解析から、完全決定における分子配向の重要性を調べた。また、分子の対称性および軌道対称性ごとに完全決定に向けた、具体的な実験方法を調べた。

(2) 過去に、光電子スペクトルを実験的に解釈する際、配向していない分子からの光電子角度分布と軌道対称性の関係が議論されてきた。一般には、光電子スペクトルの解釈には理論計算を参考にすが、計算精度の限界があり、絶対的なものではない。ここでは、配向した分子に対する光電子異方性因子と軌道対称性には厳密な関係が存在することを明らかにした。また、核酸塩基分子(アデニン)について、分子が平面であると仮定しCMSX法で光電子異方性因子を実際に計算した。平面に関して、対称と反対称の軌道で、実験で容易に区別ができる違いがあることを調べた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Suzuki Y., Suzuki T.: "Determination of ionization dynamical parameters by time-resolved photoelectron imaging", *Molecular Physics*, **105**, 1675-1693 (2007)*

Suzuki Y., Suzuki T.: "Photoelectron Angular Distribution in Valence Shell Ionization of Heteroaromatic Molecules Studied by Continuum Multiple Scattering $X\alpha$ Method", *Journal of Chemical Physics A*, **112**, 402-411 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Suzuki Y., Suzuki T.: "Symmetry of molecular orbital detected by time-resolved photoelectron imaging", International Symposium on Molecular Science of Ultrafast Electronic Dynamics in Sendai, Sendai, May, (2007)

(国内会議等)

鈴木喜一、鈴木俊法: "時間分解光電子画像法による光電子散乱波の決定法についての理論的研究", 第22回化学反応討論会、岡崎、6月(2007)

XVI - 078 希土類金属を含む新規前周期・後周期遷移金属ポリヒドリド錯体の合成および反応性の研究

Synthesis and Reactivity of Early-Late Heteromultimetallic Polyhydrido Complexes Containing Rare Earth Metals

研究者氏名: 島 隆則 Shima, Takanori

ホスト研究室: 侯有機金属化学研究室

(アドバイザー 侯 召民)

希土類金属とdブロック遷移金属を含む混合型多核ヒドリド錯体は単核錯体とは異なる特異な反応性が期待されるのみならず、例えばLaNi₅などの水素吸蔵合金のモデル化合物として水素の吸脱着プロセスの解明に寄与できるものと考えられる。しかしながらこれまでにそのモデルとなりうるd-f混合型多核ヒドリド錯体の合成例はほとんどなかった。近年我々はCp' (Cp' = C₅Me₄SiMe₃) 配位子を有する希土類ポリヒドリド錯体 [Cp'Y(μ-H)₂]₄(THF) (1) の合成・反応に関する研究を行ってきた。今回このヒドリド錯体とd-ブロック遷移金属ポリヒドリド錯体を組み合わせることで可逆的な水素付加反応が可能なd-f混合型多核ヒドリド錯体の合成に成功した。

錯体1とCp*Mo(PMe₃)H₅ (Cp* = C₅Me₅) の反応により混合型ポリヒドリド錯体 (Cp'Y)₄(μ-H)₇[Cp*MoPMe₃(μ-H)₄] (2) を得た。錯体2は光照射下、ホスフィンの

脱離を伴って錯体(Cp'Y)₄(μ-H)₆[Cp*Mo(μ-H)₅] (3) を与えた。錯体3を高温・減圧下におくと、水素が脱離し、錯体(Cp'Y)₄(μ-H)₅[Cp*Mo(μ-H)₄] (4) が得られた。

また錯体4の結晶に室温で水素を付加すると、結晶状態を保持したまま錯体3に変化することをX線構造解析で明らかにした。差電子密度図の経時変化をとると、反応の進行とともにY3-Y4間およびY2-Y3-Mo面に架橋する水素配位子の電子密度が増大していった。錯体3中には錯体4にはない2つのヒドリド配位子があり、観察された電子密度はこれらに相当する。

誌上発表 Publications

(総説)

Hou, Z., Nishiura, M. and Shima, T.: "Synthesis and reactions of polynuclear polyhydrido rare earth metal complexes composed of "(C₅Me₄SiMe₃)LnH₂" units: A new

frontier of rare earth metal hydride chemistry”, Eur. J. Inorg. Chem. 2535–2545 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

島 隆則、侯 召民：“希土類金属を含む混合型多核

ポリヒドリド錯体の合成、構造、および反応性”、第100回触媒討論会、北海道、9月(2007)

島 隆則、羅 一、侯 召民：“希土類金属とd-ブロック遷移金属を含む混合型多核ヒドリド錯体の合成、構造および可逆的な水素吸蔵特性”、日本化学会第1回関東支部大会、東京、9月(2007) (発表予定)

XVI - 079

新規細胞死抑制剤を鍵としたミトコンドリア膜上での細胞死制御機構の解明研究

Studies on the Cell Death Mechanism around the Mitochondrial Membrane Using Novel Cell Death Inhibitors

研究者氏名： 閻 閻 孝介 Dodo, Kosuke

ホスト研究室： 袖岡有機合成化学研究室

(アドバイザー 袖岡 幹子)

近年爆発的に進展した細胞死研究の中で、ミトコンドリアを介した細胞死は神経変性疾患(アルツハイマー病、パーキンソン病)や虚血性疾患(脳硬塞、心筋梗塞)をはじめとして様々な疾患との関与がわかっているものの、いまだ決定的な解明がなされておらず、今後解明すべき重要な課題の一つである。しかしながら、ミトコンドリアは外膜と内膜の2つの膜からなる特異な構造を持ち、現在の生物学において解明が難しいとされる生体膜上での現象が複雑にからみ合うため、従来の生物学的手法では解析が極めて困難である。

このような背景のもと当研究室では、ミトコンドリアが関与するとされるネクローシス様の細胞死を抑制するユニークな低分子化合物IM (Indolylmaleimide) 誘導体の開発に成功している。ミトコンドリア膜上では、様々な蛋白質が複合体を形成することで細胞死を制御していると考えられているが、その詳細は未だ明らかとなっていない。そこで本研究では、この新規細胞死抑制剤をツールとすることでこの蛋白複合体の全容を分子レベルで明らかにし、ミトコンドリア膜上での細胞死抑制機構の解明を目的とする。

昨年度はIM誘導体の作用点を決めることに焦点を絞って研究を行い、IM誘導体がミトコンドリアに作用して、その機能破綻を止めていることを明らかにした。そこで本年度は、IM誘導体が直接結合して作用する分子、すなわちターゲット分子の同定を目指

して研究を展開することにした。既に昨年度において、IM誘導体を固定化したアフィニティーゲルでいくつかの結合蛋白質を得ることに成功している。そこで、今年度はこの結合蛋白質からターゲット分子の同定を目指し、

- (1)アフィニティーゲルに固定化するIM誘導体の構造をもとに結合蛋白質・活性の比較
- (2)ミトコンドリア機能に対するIM誘導体の影響検討を行った。

その結果、ミトコンドリアの膜蛋白質をIM誘導体のターゲット分子候補として同定することに成功した。また、IM誘導体がミトコンドリアの膜透過性に影響を及ぼしていることも明らかとなった。以上の結果から、IM誘導体はミトコンドリア膜上に存在するチャネル複合体に作用することで、細胞死を抑制していると推定される。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

閻 閻 孝介、清水忠、森靖典、加藤美穂、高橋昌弘、袖岡 幹子：“新規細胞死抑制剤の開発と作用機序解明研究”、第2回日本ケミカルバイオロジー研究会年会、京都、5月(2007)

閻 閻 孝介：“新規細胞死抑制剤の開発と作用機序の解明”、理研シンポジウム 第2回有機合成化学のフロンティア、東京、7月(2007)

XVI - 080 分裂酵母の化学プロテオミクスによる海産抗真菌化合物の標的分子の解明

Studies on Mechanisms of Action of Marine Antifungals

Based on Chemical Proteomics of *Schizosaccharomyces pombe*

研究者氏名：西村 慎一 Nishimura, Shinichi

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

微生物や植物、海産無脊椎動物が含有する二次代謝産物はしばしば特異な生物活性を示し、時として生命現象の理解を爆発的に進め、薬剤開発のリードとして注目されているものも少なくない。しかし、多くの二次代謝産物の存在が報告されているにもかかわらず有効利用されているものはごくわずかである。いくつかその原因が考えられるが、特に、化合物の機能が解明されていないことは決定的な要因である。本研究は、二次代謝産物の作用機序を解明することを目的としている。

分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* はタンパク質をコードする遺伝子をわずか5,000足らずしか持たず、その細胞内現象は高等真核生物に高い類似性が見られるため、とくに創薬を出口とした網羅的な研究には有利なモデル生物である。そこで、受け入れ研究室で作製された、個々の遺伝子を強制発現できる形質転換体コレクションを用いて化合物の作用機序を予測するシステムを立ち上げ、作用機序既知の化合物を用いて検証してきた。すなわち、個々の遺

伝子の強制発現が薬剤感受性に与える影響をゲノムワイドにプロファイリングし、その傾向を解析することが化合物の標的分子の同定あるいは作用機序の予測に役立つことを示してきた。本年度は、作用機序未知の海産の抗真菌物質 theonellamide F (TNM-F) に本システムを適用して研究を進めた。

TNM-Fのプロファイルには30余りの感受性を変動させる遺伝子が同定され、細胞形態の維持と膜輸送に関連するものがいくつか含まれていた。また、遺伝子産物の細胞内局在情報を用いた機能的解析により、細胞膜あるいは細胞内の膜構造に標的分子が存在することが示唆された。これらの情報をもとに、別途調製したTNMの誘導体を用いて検討したところ、細胞膜を構成するステロールとTNMが相互作用することが明らかとなった。以上、分裂酵母の化学プロテオミクスが化合物の作用機序解析に有用であることを示すことに成功し、現在は、プロファイルをもとにTNM-Fの作用機序の詳細の解析を進めている。

XVI - 081 ゴルジ体からの小胞形成を引き起こす分子装置の同定と

小胞形成過程の可視化

Visualization of TGN Dynamics in *Saccharomyces Cerevisiae*

研究者氏名：川崎 真理子 Sekiya-Kawasaki, Mariko

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

緻密に分化した真核生物の膜系(オルガネラ)の中でも、後期ゴルジ体はほぼ全てのタンパク質の行き先を決定する極めて重要な役割を担う。後期ゴルジ体において、各積み荷タンパク質は初期、後期エンドソーム、リソソーム、出芽部位などの目的地へと高度に選別され、各オルガネラの機能発現、細胞極性の確立を可能にしている。ゴルジ体からの小胞形成にはクラスリン複合体、Arf-GTPase、Rab-GTPaseなどが必須な役割を果たすことがこれまでに

知られている。しかしながら、選択的小胞輸送の起こる瞬間を可視化した例はなく、*in vivo*における各因子の協調、および積み荷タンパク質の選別にもなうゴルジ体膜動態の変化については謎のままである。また、小胞形成を制御する各分子装置についても不明である。本研究においてはまず、後期ゴルジ体、TGNの分子装置に着目したライブイメージングを行い、TGNの生成機構を明らかにするとともに、視覚的知見に基づいたTGN膜動態制御因子を単離す

ることを目的としている。

本年度は前年度までに確立したYpt31p/Ypt32p (Rab11ホモログ)とSec7p-mRFP (Arf-GEF)のイメージングの系に加え、一連のTGNタンパク質、積み荷、アクチン細胞骨格系タンパク質について機能を保持したGFP、mRFPタンパク質、紫外光により蛍光強度が著しく変化するDronpa融合タンパク質の作成を完了した。これらを用い、TGNコンパートメントの生成過程が、(1)後期ゴルジ体上でのYpt31p/Ypt32pコンパートメントの生成、(2)後期ゴルジ体コンパートメントの消失、(3)Ypt31p/Ypt32pコンパートメントのアクチンに依存した芽の部分への移動、の3つの順序立った過程により成り立つことを明らかにした。

更に、Ypt32pの標的タンパク質として知られているSec4p (Rab-GTPase)、Rcy1pとYpt32pの細胞内局

在について詳しい検討を行った。その結果、Ypt32pは細胞周期を通じてSec4pと細胞の成長部位において共局在する一方で、Rcy1pとは細胞内ドットにおいて共局在することを明らかにした。このことから、Ypt32pは細胞の成長部位と細胞内ドットという少なくとも二つの異なる場で機能することが示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

川崎真理子、中野明彦：“出芽酵母TGNの高速、高感度レーザー顕微鏡を用いたライブイメージング”、第5回理研・分子研合同シンポジウムエクストリームフォトンクス研究パイオイメージング、和光、4月(2007)

XVI - 082

多核種同時 線イメージング装置の開発

Development of Multi-Nuclide Gamma-Ray Emission Imaging System

研究者氏名：本村 信治 Motomura, Shinji

ホスト研究室：分子イメージング研究プログラム

分子プローブ動態応用研究チーム

(アドバイザー 渡辺 恭良)

特性の異なる複数の分子プローブの挙動を同時に追跡することにより、生体における分子レベルの機能変化を多角的に観察することが出来ようになれば、より高度で正確な診断等が可能になると考えられる。これを実現するため、半導体検出器を利用したコンプトンカメラ方式の複数分子同時イメージング装置の開発を行ってきた。半導体検出器は優れたエネルギー分解能を有するので、それぞれのプローブごとに異なる放射性核種を標識すれば、放出される線のエネルギーによってそれらを識別することが可能である。また、コンプトンカメラには機械的なコリメータが不要であるので、感度を向上させることができ、静止撮像でも複数の方向へ射影したデータが得られるという特徴もある。

現在の試作機は両面直交ストリップ電極式の平板型ゲルマニウム半導体検出器を2台平行に並べたコンプトンカメラである。それぞれの検出器の有感領域の寸法は、前段が $39 \times 39 \times 10 \text{ mm}^3$ 、後段が $39 \times 39 \times 20 \text{ mm}^3$ で、検出器中心間の距離は60 mm 取ら

れている。陽極および陰極は互いに直交する方向のストリップ状に分割されており、それらの組み合わせによって、検出器内での線の相互作用のXY方向の位置が検出されるようになっている。また、検出器の深さ方向の位置についても、検出器信号処理の工夫によって約1 mmの精度を実現している。

本年度はこの試作機を用いて、SPECT核種を含む3種類の放射性核種の生体マウスにおける同時イメージング実験を行った。副腎集積性を持つヨウ化メチルノルコレステロール(^{131}I)、骨親和性を持つ $^{85}\text{SrCl}_2$ 、肝・腫瘍に集積性を持つ $^{65}\text{ZnCl}_2$ を正常マウスに投与した。その後、麻酔下で撮像台上に拘束し、生きたままの状態でも12時間の静止撮像を行った。その結果、それぞれの核種の集積性の違いが明確に識別された画像を取得することに成功した。3次元画像再構成による断面画像生成にも成功し、コンプトンカメラによる複数分子同時イメージングの可能性を実証した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Motomura S., Enomoto S., Haba H., Igarashi K., Gono Y., and Yano Y.: "Gamma-ray Compton imaging of multitracer in biological samples using strip germanium telescope," IEEE Transactions on Nuclear science, 54 710-717(2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

本村信治、金山洋介、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一：“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装置の開発：マウスにおける複数核種同時線イメージング”、日本分子イメージング学会第2回総会・学術集会、福井、6月(2007)

XVI - 083 躁うつ病および統合失調症における epigenetic な変異の網羅的探索

Exploration of the Epigenetic Variations in Bipolar Disorder and Schizophrenia

研究者氏名：岩本 和也 Iwamoto, Kazuya

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

精神疾患動態研究チーム

(アドバイザー 加藤 忠史)

躁うつ病・統合失調症は、各々人口の1%とその頻度が高く、生涯の治療を要する重篤な精神疾患である。これまで多くの連鎖解析が行われ多数の連鎖部位が指摘されたがその結果は一致せず、遺伝子レベルでの病因は明らかにされていない。本研究ではゲノム配列以外の変異の有無を患者試料を用い探索し、疾患との関与を明らかにすることを目的としている。使用している試料は、一卵性双生児不一致例(双生児のうち一人が精神疾患を発症しているがもう一人は健常者である例)由来のサンプル(リンパ芽球株)と、米国スタンレー脳バンクより供与された精神疾患患者死後脳由来サンプル(死後脳ゲノムDNA、RNA)である。

本年度に行った研究概要は以下のとおりである。

- (1) ヒト死後脳組織をニューロン画分・グリア画分に分け、それぞれのサンプルについてタイリングアレイを用い、DNAメチル化状態を解析、それぞれの画分におけるメチル化領域の同定を行った(投稿準備中)。
- (2) 血液試料を用いた研究では、躁うつ病一卵性双生児不一致例において双生児間でDNAメチル化状態の差異の認められた候補遺伝子を見出した。また、Reelin 遺伝子など、これまで精神疾患と関連するという報告のあった候補遺伝子に関して、脳サンプルを用い関連研究を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Iwamoto K, Ueda J, Nakano Y, Bundo M, Ukai W, Hashimoto E, Saito T, Kato T.: "Evaluation of the whole genome amplification methods from postmortem brain samples", Journal of Neurosci Methods, 165,104-110 (2007)*

Tochigi M, Iwamoto K, Bundo M, Komori A, Sasaki T, Kato N, Kato T.: "Methylation status of the reelin promoter region in the brain of schizophrenic patients", Biol Psychiatry in press*

Kuratomi G, Iwamoto K, Bundo M, Kusumi I, Kato N, Iwata N, Ozaki N, Kato T.: "Aberrant DNA methylation associated with bipolar disorder identified from discordant monozygotic twins", Mol Psychiatry in press*

(総説)

岩本和也、加藤忠史：“ヒト死後脳を用いた遺伝子発現解析における交絡因子の影響解析と実際的な研究ストラテジーの検討”、精神薬療研究年報、177-184 (2007)

岩本和也：“精神疾患に対するepigenetics的アプローチの可能性”、Psychiatry Today, 19-20 (2007)

岩本和也：“オリゴデンドロサイト関連遺伝子”、KEY WORD 精神第4版 先端医学社、p152-153

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwamoto K, Bundo M, Ueda J, Nakano Y, Ukai W, Hashimoto E, Saito T, Kato T.: "Genome analysis of the

single neurons in human brain using SNP arrays”, Cold Spring Harbor Laboratory/Wellcome Trust Joint Conference, Integrative Approaches to Brain Complexity, Hinxton, UK, September (2007)

(国内学会等)
岩本和也、文東美紀、中野陽子、加藤忠史：“RNA編集状態のハイスループット解析と精神疾患研究への応用”、第127回日本薬学会シンポジウム、富山、3月(2007)

XVI - 084

タンパク質ホモ二量体可視化技術の開発

Visualization of Protein Homo-Dimerization in Living Cells

研究者氏名：下 蘭 哲 Shimozono, Satoshi
ホスト研究室：脳科学総合研究センター
細胞機能探索技術開発チーム
(アドバイザー 宮脇 敦史)

タンパク質のホモ二量体化(多量体化)はタンパク質の機能発現においてしばしば観察される現象である。これまでタンパク質のホモ二量体化を可視化するために、目的タンパク質にcyan fluorescent protein (CFP)とyellow fluorescent protein (YFP)をそれぞれつなぎ、CFPとYFP間のFRETを観察する、という方法や、目的タンパク質に野生型GFPを融合し、その励起スペクトルの変化を観察するという手法が開発されている。しかしながら、前者の方法においては細胞に導入されるCFP融合タンパク質とYFP融合タンパク質の量比の問題やCFPとCFP同士、YFPとYFP同士というFRETを生じないペアも形成される問題があり、検出の感度を著しく低下させる。また後者の方法はメカニズムが明らかではなく、励起スペクトルの変化に規則性がない。そのため未だその手法を用いた研究は発表されていない。本研究でCFPとYFPが近接しながらFRETを生じない融合タンパク質をもちいてタンパク質のホモ二量体を可視化することを試

みた。これまで、多くのCFP-YFP融合タンパク質を作成した。その結果、ほぼFRETを生じない融合タンパク質を見出した。この融合タンパク質の細胞内でのパフォーマンスを調べるため、アポトーシスに関わり、ミトコンドリア上で多量体を形成することが知られているBaxにこのFRETペアを融合し、細胞にトランスフェクトした。アポトーシス時のFRET変化を観察すると、有意なシグナルが認められた。しかしながらこのシグナル変化は小さくまだ実用に耐えるほどではない。平成19年度にも引き続きFRETペアの改良を試みたが劇的な改善は見られなかった。これまではオワンクラゲ由来のCFP, YFPを用いていたが、他の生物種由来の蛍光タンパク質を用いることにより、インディケータの改良が可能ではないかと考えている。

課題とは別に、核膜の透過性の変化についても実験・解析を行い、結果を投稿すべくまとめている。

XVI - 085

雌性生殖幹細胞株の樹立とその解析

Derivation and Analysis of Ovarian Germline Stem Cell

研究者氏名：本多 新 Honda, Arata
ホスト研究室：バイオリソースセンター
遺伝工学基盤技術室
(アドバイザー 小倉 淳郎)

生物種にとって“生殖”は子孫を次世代に繋ぎ、種を維持させるための最も重要で欠くことの出来ない営みの一つである。しかしながら、生殖を担う精子と卵子がどのようにして形作られるかに関しては不

明な点が多く残されている。精子を作り出す精巣では精子幹細胞をはじめ、いくつかの幹細胞が分離・培養されているが、卵子を作り出す卵巣からは、幹細胞や未分化細胞が分離・培養されていないため

に、卵子の発生に関する研究が難しいと考えられてきた。

私は当初、卵子の幹細胞の分離と培養を目指して研究を行っていたが、実際に分離・培養した細胞は卵子幹細胞ではなく卵胞きょう膜幹細胞であることを突き止めた。卵巣由来幹細胞の分離・培養の成功は世界にも例が無く、今回の報告が初めてである。きょう膜幹細胞は新生仔卵巣から非常に簡便な方法で分離することが可能で、体外で分化させて卵巣ホルモン産生能力を獲得させることもできた。さらに卵巣に移植すると、卵子を成長させる卵胞構造を形成することも確認できた。この幹細胞があれば、きょう膜細胞の成り立ちや卵胞に包まれた卵子の発育を詳細に調べることができる。卵巣由来の幹細胞の分離・培養に成功したことから、将来的には、実験動物を使わなくても卵子を作ったり、女性の卵巣疾患の治療などに役立てたりすることも可能になるかもしれない。実際に、この培地中に Stem Cell Fac-

tor を添加することにより多数の未成熟卵子を *in vitro* で調製・発育させることに成功している。その数は一産仔から約 800 個程度であり、大きさも 50 μm ~ 70 μm にまで発育させることができた。この卵子には成長依存的なインプリント遺伝子のメチル化も起こっており、一部の卵子には減数分裂再開させることも可能であった。その発育には本研究により単離・培養されたきょう膜幹細胞が大きな役割を担っていることも明らかになった。本研究成果は、生殖研究分野発展に多大な貢献を果たすものである。

誌上発表 Publications

Honda A., Hirose M., Hara K., Matoba S., Inoue K., Miki H., Hiura H., Kanatsu-Shinohara M., Kanai Y., Kono T., Shinohara T., and Ogura A.: "Isolation, Characterization, and *In Vitro* and *In Vivo* Differentiation of Putative Thecal Stem Cells", Proc Natl Acad Sci USA, 104, 12389-12394 (2007) *

XVI - 086 二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジンキナーゼの構造生物学的研究

Structural Biology of the Histidine Kinase of the Two-Component Signal Transduction System

研究者氏名： 山田 齊爾 Yamada, Seiji

ホスト研究室： 放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(アドバイザー 城 宜嗣)

二成分情報伝達系は、ヒスチジンキナーゼ(HK)とレスポンスレギュレーター(RR)という二つのタンパク質間のリン酸の受け渡しによって、光・酸素・栄養といった環境の変化に対する応答反応を起こすシステムである。好熱菌 *Thermotoga maritima* 由来のHK(ThkA)とRR(TrrA)を用い、X線結晶構造解析により、そのリン酸リレーのメカニズム、環境変化に対する応答メカニズムを解明する事を目的としている。ThkAのセンサードメイン、二量化ドメイン、触媒ドメインおよびTrrAの結晶構造を1.6~1.7 分解能で決定した。これらをThkA・TrrA複合体の結晶から得られた電子密度マップ(3.4 分解能)に当てはめ、疑似高分解能モデルを構築した。センサードメイン、触媒ドメイン、TrrAの単体と複合体間における大きな構造変化は見られなかった。これに対し、複合体における二量化ドメインは、これまで報告されていた二本のヘリックスが真直ぐ並行に伸長

している構造とは異なり、片方のヘリックスが大きく湾曲していた。ThkAのセンサードメインと触媒ドメイン間にドメイン間シートが見られ、このシートの形成が二量化ドメインの大きな構造変化を引き起こしている事が明らかになった。また、このシート形成・解離が環境変化に対応したリン酸リレー反応のスイッチであることが示唆された。

また、触媒ドメインは、ヌクレオチド非結合型(3種類)、ADP結合型の結晶構造も1.6~1.9 分解能で決定した。ヌクレオチド結合部位にある長いループ部位が各構造間で大きく異なっていた。非結合型ではヘリックスの形成、ドメイン表面から突き出たループといった多様な構造が見られ、この部位は非常にフレキシブルであり、周辺環境(ドメイン間の接触)によってその構造が変化する事が明らかになった。一方、ADP結合型では、このループ中の残基がADPと多数の水素結合をしており、結果としてヌクレ

オチド結合部位全体を覆い、ヌクレオチドと他ドメインとの接触を妨げる事が示唆された。これら各構造で見られたループ部位の構造変化から、リン酸リレー反応において提唱されている「HK分子内の触媒ドメインの大きな動き」との関連について考察した。

誌上発表 Publications

(総説)

山田斉爾、城宜嗣：“気体センサーとして働く金属タンパク質”、バイオインダストリー、24 41-49 (2007)

Yamada S., and Shiro Y.: “Structural basis of the signal transduction in the two-component system”, Utsumi R. (Ed.), Bacterial signal transduction: network and drug

target, Landes Bioscience, Texas (2008) 印刷中

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamada S., Kobayashi M., Sugimoto H., Nakamura H., and Shiro Y.: “Crystal structure of histidine kinase and the response regulator complex: insight into regulatory mechanism of oxygen sensor FixL”, 13th International Conference on Biological Inorganic Chemistry, Vienna, Austria, July (2007)

(国内学会等)

小林美紀、山田斉爾、杉本宏、中村寛夫、城宜嗣：“ヒスチジキナーゼThkA触媒ドメイン - ヌクレオチド結合型の結晶構造解析”、第7回日本蛋白質科学会年会、仙台、5月(2007)

XVI - 087 偏光制御・低熱負荷・高次光抑制を目的としたアンジュレータの開発研究

Development of Polarization Controllable, Low On-axis Power and Small Higher Harmonics Undulator

研究者氏名：白澤克年 Shirasawa, Katsutoshi

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

北村X線超放射研究室

(アドバイザー 北村 英男)

これまで筆者は軟X線領域で直線偏光、左右円偏光などの光を制御するアンジュレータの開発、実用化を行ってきた。主なものを挙げると、SPring-8のBL25SUに設置されているツインヘリカルアンジュレータと、BL17SUに設置されている軟X線偏光制御アンジュレータである。前者は2台のヘリカルアンジュレータを直線部にタンデムに設置し、それぞれ反対向きの円偏光を発生するように設定したアンジュレータからの光をキッカーマグネットで電子ビームの軌道を切り替えることによりビームラインに供給する光の左右円偏光をスイッチングするものである。現在10 Hzまでの左右円偏光スイッチングが可能となっている。後者は、電磁石と永久磁石を組み合わせるにより、ヘリカルアンジュレータ、8の字アンジュレータ、非対称8の字アンジュレータを1台のアンジュレータで実現する。モードを変えることによって発生する光の偏光を制御することが可能である。現状は磁場の多極成分のヘリカルモードのみが実用化されており、左右の円偏光と直線偏光を供給することが可能となっている。このような

偏光制御を目的としたアンジュレータを開発している背景には、現在、硬X線領域(6-15 keV)ではダイヤモンド移相子を用いた高速(KHz)の円偏光スイッチングが実用化されているが、軟X線領域では偏光制御に使用できる実用的な移相子はまだ存在せず、光源自体の偏光を変える必要があるためである。一方、ツインヘリカルアンジュレータは発生する左右円偏光の光源点が異なる、軟X線偏光制御アンジュレータは磁場の多極成分のため高速の円偏光スイッチングを実現する非対称8の字アンジュレータとしての運転が困難であるなどの問題もある。それらの問題を解決するため、新たな偏光制御アンジュレータとしてマイクロ波を使用したものを考案しており、詳細を検討中である。実現が可能となれば、高速の円偏光スイッチングが可能で、左右円偏光の光源点が同じとなりユーザー実験に適した光源となる。また、この新しいアンジュレータの開発にはマイクロ波の知識が必要であるため、SPring-8サイト内で進められているX線自由電子レーザー計画の試験加速器建設において、実際に主加速器の開発・建設に携わ

ることによりマイクロ波技術を学んだ。また 2007 年夏にはSPring-8のBL23SUに 2 台目となるツインヘリカルアンジュレータの設置が行われており、BL25SUで確立したバンブ軌道調整法を用いて早期のビームライン立ち上げを行う予定である。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Shirasawa K., Inagaki T., Miura S., Matsumoto H., Baba

H, Kitamura H., and Shintake T.: "High Gradient Tests of C-band Accelerating System for Japanese XFEL Project", PAC 2007., Albuquerque, USA, Jun. (2007)
(国内学会等)

白澤克年、前川和久、福井達、北村全伸、大竹雄次、稲垣隆宏、新竹積、北村英男：“XFEL/SPring-8におけるクライストロン制御システム”、第4回加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会、和光市、8月(2007)

XVI - 088

植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出メカニズムと その生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明

Elucidation of the Mechanism for the Emission of Volatile Plant Diterpenoids and Their Role
in Plant-Plant Communication

研究者氏名：兼目 裕充 Kenmoku, Hiromichi
ホスト研究室：植物科学研究センター
促進制御研究チーム
(アドバイザー 山口 信次郎)

ジベレリンの生合成中間体 *ent*-カウレンは、色素体に局在する *ent*-CDP合成酵素(CPS)と *ent*-カウレン合成酵素(KS)によって生合成される。これまでに *ent*-カウレンが植物体から気相へ放出され、また、シロイヌナズナのCPSまたはKS機能欠損株は気相 *ent*-カウレンを取り込むことにより、矮性から回復することを見出している。本研究はこの発見を端緒として、植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出および受容メカニズムとその生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明を目的とする。*ent*-カウレン気相放出および受容に関わる因子を特定するため以下のような研究を行った。

(1) *ent*-カウレンを含めた低分子化合物の気相放出に関わる因子を特定する試みとして、機能喪失または過剰発現型のシロイヌナズナ変異株を対象に、SPME/GC-MS法を用いて、気相成分を多検体分析する方法を確立し、前年度までに約1万の変異株ライブラリーから全イオンクロマトグラムにおいて差異の認められる変異株の検索を行った。再現性が確認できた一つの変異株は、花から気相放出されるセスキテルペン炭化水素を芽生えの段階においても常に気相放出していることが分かった。T-DNAの挿入位置は、あるセスキテルペン合成酵素遺伝子の5'上流域であった。また、この気

相放出は半優性の形質として観察され、半定量的RT-PCRによって変異株の芽生えにおいても当該遺伝子が高発現していることを確認できた。従って、このT-DNAの挿入による当該遺伝子の高発現がセスキテルペン炭化水素の気相放出の原因であると考え、気相放出を確認する目的で当該酵素遺伝子の過剰発現株を作出している。当該変異株の取得によって、炭化水素の気相放出には体内蓄積に繋がる生合成酵素遺伝子の高発現や炭化水素代謝酵素遺伝子の欠損・不全が重要であることが改めて確認できた。また、他の変異株を取得する目的で、主成分解析プログラムを用いたより高感度なスクリーニング(各マスクロマトグラムにおける差異を検出)も継続している。

(2) *ent*-カウレンが気相放出されるには、色素体から細胞質(または小胞体の後に細胞質)、細胞膜、細胞壁外という経路を経ることになる。植物における表皮ワックス成分や一部のジテルペノイドは色素体から同様の経路で分泌される。シロイヌナズナには約30種の独立遺伝子がそれぞれ変異した表皮ワックス分泌変異株が知られていることから、これらを中心とした変異株と *ent*-カウレンの酸化に関わるP450酸化酵素の阻害剤を用いて、遺伝子変異が *ent*-カウレン気相放出に及ぼす影響に

についての検証を行った。野生株と比較して *ent*-カウレン気相放出量が有意に変動している変異株を数株得ることができた。現在、これらの変異株で *ent*-カウレン気相放出量が増減するメカニズムの詳細を検証している。

- (3) 気相 *ent*-カウレン受容に関わる因子の特定を目的として、シロイヌナズナCPS欠損株を変異原処理して得た M₂ 世代および M₃ 世代の変異植物体について気相 *ent*-カウレンや活性ジベレリンによる矮性回復の有無を指標としたスクリーニングを行い、十数の候補変異株を得た。当年度はこれらの候補変異株について、原因遺伝子が *ent*-カウレンから活性ジベレリンに至る生合成・代謝系に関係

するものか否か確認する目的で、いくつかのジベレリン生合成中間体を与えたときの表現型の回復を確認している。

矮性を示すシロイヌナズナCPS欠損変異株に気相から安定同位体標識 *ent*-カウレンを与えて、ジベレリン類への取り込みを確認した。CPS欠損変異株は矮性からの回復を示すと共に、そのGC-MS分析により、活性ジベレリンを含む数種のジベレリン類への代謝が確認できた。現在、放射性同位体標識 *ent*-カウレンを用いて、*ent*-カウレンから活性ジベレリンに至る生合成主経路や分岐経路における生合成中間体類の量的・質的推移を検証している。

平成 17 年度採用者

硬 X 線精密分光観測を用いた
銀河中心高エネルギー現象の統一的研究

Unified Observational Study of High Energy Activities of the Galactic Center
with High-resolution X-ray Spectroscopy

研究者氏名： 千田 篤史 Senda, Atsushi

ホスト研究室： 牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

天の川銀河の中心/銀河面/バルジにわたる広い領域に、性質のよく似た広がった X 線放射が存在していることは 1980 年代から観測的に知られていたが、その放射機構・生成起源はここ 20 年来の謎である。本研究はこの謎に迫ることを目的として、2005 年 8 月に科学観測を開始した国産 X 線天文衛星「すざく」を活用して、上記領域の中で表面輝度が最も高い銀河中心領域の観測的研究を進めている。昨年度は「すざく」衛星搭載 XIS 検出器を用いて 10 keV 以下の放射に特徴的な鉄・ニッケルの高階電離イオン輝線成分が、電離平衡に達した電子温度 7000 万 K におよぶ超高温プラズマからの熱的放射で説明可能であることを我々の研究グループは明らかにした。引き続き今年度は「すざく」衛星搭載 HXD-PIN 検出器を用いた銀河中心領域の観測結果から、10 keV 以上の硬 X 線領域に長く延びる連続成分スペクトルの詳細を調査した。その結果、X 線点源からの放射の寄与を除去しても残る空間的に広がった非熱的成分が少なくとも 40 keV に至るまで確実に存在すること、また、非熱的成分の表面輝度分布が XIS で検出された熱的成分の輝度分布と空間的に相関を持つことが明らかになりつつある。また、XIS によって銀河中心近傍に存在する電波シェルを中心部分に局在する広がった熱的 X 線放射を新たに検出し、これが“Mixed-Morphology 型”と分類される新たな超新星残骸であることを明らかにし、G359.79-0.26 と命名した。

本研究ではさらに、上記銀河中心で得られた観測結果を進展させて、(1) 数千万 K の高温プラズマは、銀河面/銀河バルジさらには渦巻銀河一般に存在する普遍的存在か？(2) 高温プラズマ(熱的)成分と広がっ

た非熱的成分は、その背景に共通の物理的起源を持つのか、またその生成源は何か？といった疑問にこたえるべく(1)に関しては近傍渦巻銀河からの広がった硬 X 線放射の探査、また(2)に関しては、銀河中心・銀河面領域からの新たな X 線超新星残骸の探査、および非熱的電波/X 線フィラメントの多波長スペクトル解析を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Mori, H., Tsuru, G. T., Hyodo, Y., Senda, A., and Koyama, K.: “Suzaku Observation of G359.79-0.26, a New Supernova Remnant Candidate in the Galactic Center”, Publications of Astronomical Society of Japan, in print*
Yuasa, T., Tamura, K., Nakazawa, K., Kokubun, M., Makishima, K., Bamba, A., Maeda, Y., Takahashi, T., Ebisawa, K., Senda, A., Hyodo, Y., Tsuru, G. T., Koyama, K., Yamauchi, S. and Takahashi, H.: “Suzaku Detection of Extended/Diffuse Hard X-ray Emission from the Galactic Center”, Publications of Astronomical Society of Japan, in print*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

千田篤史、磯部直樹、河原田円、玉川徹、小波さおり、牧島一夫、高橋弘充、水野恒史、宮脇良平、吉田鉄生、Richard Mushotzky : “「すざく」による近傍銀河 NGC2403 に付随する広がった X 線放射の探査”、日本天文学会 2008 年春季年会、東京都、3 月 (2008)

XVII - 002 銀河内輻射輸送を考慮した銀河の形成・化学力学進化モデルの構築

Chemodynamical Evolution of Galaxies with Radiative Transfer

研究者氏名：伊吹山 秋彦 Ibukiyama, Akihiko

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

- (1) 重力レンズ計算をGPGPUを用いて高速化した。GPGPUはグラフィックボードを科学計算に用いる手法であり、CPUにくらべ20倍近い理論性能を持っているため注目されている。従来の方ではツリー法という近似を用いており、重力源の密度によっては誤差が無視できない可能性が議論されており速度も不十分であった。本研究では直接計算により精度良く、なおかつ2倍以上高速に増光パターンを計算できるようになった。これにより、世界で初めて、現実的な規模でクエーサーとわれわれの間にある重力源の運動を考慮したクエーサーの光度曲線を議論することが可能となった。従来は重力源は静止していると仮定をおくことが一般的だったが重力源の運動を考慮すると光度曲線のピークがこれまで考えられていたよりも増加する傾向にある。そのため、初期的な結果ではあるが、観測からダークマターの性質により強い制限がつけられる可能性が示唆される。
- (2) 銀河系に対する衛星矮小銀河潮汐力の影響と、それによる星形成史の変化を調べた。近年の研究から地球の長期気候変動には宇宙線の寄与が大きいことが示唆されている。これは宇宙線が対流圏下部で待機を電離してエアロゾルが生成され、雲量が増加することで地球の反射率(アルベド)が増加して地球の熱収支が変化するというメカニズムによる。短期的には入射宇宙線量は太陽活動に

よる影響が大きい、長期的なスケールでは太陽近傍のそもそもの宇宙線密度がより強く影響するはずである。銀河に宇宙線は超新星爆発によって加速されるため、その量は星形成と関連していると考えられ、実際に地球で全球凍結と呼ばれる極端な寒冷化が生じた時期(7億年および26億年過去)は銀河系の星形成のピークと一致している。本研究では近傍矮小銀河の起動を計算することにより、7億年前、26億年前の星形成のピークが大マゼラン雲、いて座矮小銀河と銀河系の近接遭遇の影響で説明できることを明らかにした。銀河系に対する衛星矮小銀河の近接遭遇が地球の気候変動に影響していることが示唆される。

誌上発表 Publications

(研究会収録)

伊吹山秋彦、戎崎俊一：“天の川銀河の星形成史と地球気候変動”、「地文台によるサイエンス」ユニヴァーサル・アカデミー・プレス(2009年2月出版予定)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

伊吹山秋彦、戎崎俊一：“天の川銀河の星形成史と地球気候変動”、第2回「地文台サイエンス」シンポジウム、12月、甲南大学

XVII - 004

NMR法における液体ストッパーの開発

Development of the Stopper in Liquid Phase for the β -NMR method

研究者氏名：亀田 大輔 Kameda, Daisuke

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

実験装置開発グループ

(アドバイザー 櫻井 博儀)

原子核の磁気双極子・電気四重極モーメントは、核を構成する陽子と中性子の微視的・集団的な状態を鋭敏に反映するため、核構造の解明に重要な

役割を果たしている。本研究では様々な不安定核の磁気双極子・電気四重極モーメントを網羅的に測定するための実験手法・装置の開発を進めている。

崩壊する原子核の核モーメントを測定する場合、線の放出角度分布の変化から核磁気共鳴を観測する手法(NMR法)が有効である。本研究では、その系統的な測定に向けて液体ストッパーの研究を行った。昨年度から本年度にかけて、溶液中の核スピン緩和時間を研究するためのNMR装置を作成した。

本年度は、主に、原子核の比較的長い寿命をもつ励起状態(アイソマー)に着目し、その電磁気モーメントを測定するための線検出装置の構築と、それを用いた ^{32}Al アイソマーの磁気モーメント測定を行った。実験では、NaI検出器2台及び同軸型高純度Ge検出器4台を最大磁場1.5テスラの電磁石の周りに配置し、時間微分摂動角分布法により中性子過剰核 ^{32}Al の第二励起状態($T_{1/2}=200\text{ ns}$)の磁気モーメントを測定した。 ^{32}Al ビームの生成では、核子当たり95 MeVの ^{40}Ar ビームをBe標的に照射し、理研入射核破砕片分離装置(RIPS)を用いて他の反応生成物から ^{32}Al を分離した。また、RIPS内で ^{32}Al の高い運動量成分を選択的に取り出すことで23%核スピン整列した ^{32}Al アイソマーを得た。現在、その実験データの解析を進めている。本実験で採用した核スピン整列RIビーム生成法、及び核モーメント測定法は、広範な核種に適用が可能であるため、RIBFにおける系統的な原子核研究に活かすことができる。

また、国内外の重イオン加速器を用いた実験(主に核モーメント測定)にも多数参加する機会を得た。そこで得た協力関係を今後の研究に活かしていきたい。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Nagae D., Yoshimi A., Nagatomo T., Sugimoto T., Uchida M., Takemura M., Shimada K., Takase K., Inoue T., Kijima G., Arai T., Suda S., Murata J., Kawamura H., Kobayashi Y., Watanabe H., Ishihara M.: "Production of spin-polarized radioactive ion beams *via* projectile fragmentation reaction", Proceedings of the XIIth International Workshop on Polarized Sources, Targets & Polarimetry, AIP Conf. Proc. in print.

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Nagae D., Takemura M., Shimada K., Yoshimi A., Nagatomo T., Sugimoto T., Uchida M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Mu-

rata J., Kawamura H., Watanabe H., Kobayashi Y., Ishihara M.: "Electric quadrupole moments of neutron-rich nuclei ^{32}Al and ^{31}Al ", Proceedings of the XIV International Conference on Hyperfine Interactions & XVIII International Symposium on Nuclear Quadrupole Interactions, Hyperfine Interactions, in print*

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Takemura M., Nagae D., Shimada K., Yoshimi A., Kobayashi Y., Haseyama T., Uchida M., Takase K., Arai T., Inoue T., Suda S., Murata J., Kawamura H., Watanabe H., Ishihara M.: "Nuclear moment measurements of neutron-rich aluminum isotopes using spin-polarized RI beams", Proceedings of the 17th International Spin Physics Symposium, AIP Conf. Proc. Vol. 915, 845-848, (2007)

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Takemura M., Yoshimi A., Haseyama T., Uchida M., Shimada K., Nagae D., Kijima G., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H., Kobayashi Y., Watanabe H., Ishihara M.: "Measurement of the electric quadrupole moment of ^{32}Al ", Phys. Lett. B 647, 93-97 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Nagae D., Yoshimi A., Nagatomo T., Sugimoto T., Uchida M., Takemura M., Shimada K., Takase K., Inoue T., Kijima G., Arai T., Suda S., Murata J., Kawamura H., Kobayashi Y., Watanabe H., Ishihara M.: "Production of spin-polarized radioactive ion beams *via* projectile fragmentation reaction", Proceedings of the XIIth International Workshop on Polarized Sources, Targets & Polarimetry (PSTP2007), Brookhaven, USA, (2007)

(国内学会等)

亀田大輔: "原子ビーム法による低速不安定核ビーム生成に向けた開発研究", RCNP研究会「RCNP入射サイクロトロン更新で展開される新しい研究」, 大阪、2月(2007)

亀田大輔、上野秀樹、旭耕一郎、吉見彰洋、内田誠、長江大輔、竹村真、島田健司、木島剛、新井崇雅、高瀬研以智、須田紳一、井上壮志、渡辺寛、長谷山智仁、小林義男、石原正泰: "中性子過剰核 ^{32}Al の核モーメント測定", 日本物理学会、首都大学東京、3月(2007)

研究者氏名： 武内 聡 Takeuchi, Satoshi
ホスト研究室： 仁科加速器研究センター
本林重イオン核物理研究室
(アドバイザー 本林 透)

中性子数 $N=20$ である中性子過剰核 ^{32}Mg の準位構造研究を目的とした、「 ^{32}Mg を不安定核二次ビームとした陽子非弾性散乱実験」の解析を前年度に引き続き行った。この実験では、陽子非弾性散乱によって励起された ^{32}Mg からの脱励起線を、NaI(Tl)検出器160個を使った線検出装置(DALI2)によって測定し、線エネルギースペクトル、線角度分布、そして散乱粒子の角度分布から励起状態のスピン・パリティの決定を目指した。

解析の結果、 ^{32}Mg のレベルスキームを構築し、励起エネルギーの決定を行った。また、実験で得られた散乱粒子の角度分布とDWBA計算との比較から、 ^{32}Mg のいくつかの励起状態に対する移行角運動量(ΔL)について情報が得られた。ひとつは、スピン・パリティが既知(2^+)の885keV状態であり、 $\Delta L=2$ の分布を確認できた。もうひとつは、スピン・パリティが決まっていない励起状態($3^-/4^+$)で、実験値では $\Delta L=4$ の可能性があったことがわかった。さらに、励起エネルギーが5000keV程度に観測された励起状態についても散乱粒子の角度分布が得られ、DWBA計算との比較を行っている。これらの状態は、第二 2^+ 状態や 3^- 状態の可能性があり、 ^{32}Mg の集団性についての情報を与えるものと考えられる。

線核分光実験で使用されたNaI(Tl)検出器群は、検出効率が高いため、低強度ビームの実験や、レベルスキーム構築に重要な解析にとって有効な検出器群である。しかし、エネルギー分解能はGe検出器には及ばないため、準位密度の高い状態のエネルギー決定のためには労力が必要であった。そこで、

NaI(Tl)検出器とGe検出器を組み合わせた検出器群という選択を考えていたが、近年、検出効率・エネルギー分解能に優れたLaBr₃検出器が開発されており、次世代の線検出器として興味もたれている。今後は、LaBr₃検出器の使用も視野に入れた線検出器の開発が重要である。

誌上発表 Publications

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto Y., Ieki K., Imai N., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T.K., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugou R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M.K., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., and Yamada K.: "Differential cross sections of the proton inelastic scattering on ^{32}Mg ", RIKEN Accel. Prog. Rep. 40, 5 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議、ポスター)

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto Y., Ieki K., Imai N., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T.K., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugou R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M.K., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., and Yamada K.: "Collectivity in ^{32}Mg : a study of low-lying states", International Nuclear Physics Conference (INPC2007), Tokyo, Japan, June (2007)

XVII - 007 ユビキタス検出器の開発とRIビームファクトリー実験への実装

Development and Implementation to RIBF Experiments of Ubiquitous Detector

研究者氏名：馬場 秀忠 Baba, Hidetada
ホスト研究室：仁科加速器研究センター
本林重イオン核物理研究室
(アドバイザー 本林 透)

ネットワーク分散イベントビルド型データ収集システムを開発し、RIビームファクトリー標準システムとして稼動を始めた。このシステムはこれまで用いられてきたCAMACやVMEのモジュール製品を扱えるだけでなく、ユビキタス検出器をRIビームファクトリー実験へ実装するための基盤システムである。特徴は各CAMAC、VMEクレート毎にデータを並列に読みだし、ネットワークを通じてデータを集約しイベントを構築することにある。これにより従来型のシステムより大幅に性能が向上した。

また、ユビキタス検出器の基幹部であるデジタル信号処理ユニット、アナログ波形をデジタル波形に変換するFADCユニットが完成した。今後はSi、Ge、CsI、NaI、BGOといった様々な種類の検出器と組み合わせ、順次RIビームファクトリー実験へ実装していく。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T., Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T., Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S., Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K., Yamada K., Yanagisawa Y.: "Isoscalar compressional strengths in ^{14}O ", Nucl. Phys. A788 (2007) 188 *

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T., Matsuyama Y. U., Ryuto H., Aoi N., Gomi T., Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S., Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K., Yamada K., Yanagisawa Y.: "Isoscalar excitation in ^{14}O ", Direct Reaction with Exotic Beams, Wako, Japan, May. (2007)

XVII - 008 軽い中性子・陽子過剰核反応における分解過程の寄与の系統的な理論解析

Theoretical Analysis of Breakup Mechanism of Light Neutron/proton Rich Nuclei

研究者氏名：松本 琢磨 Matsumoto, Takuma
ホスト研究室：仁科加速器研究センター
本林重イオン核物理研究室
(アドバイザー 本林 透)

不安定核研究において注目されている、軽い中性子・陽子過剰な不安定核の構造の多くは3体系を成している。不安定核の寿命は非常に短く、標的に用いることはできないため、その不安定核を入射ビームとして標的核との反応を見ることで、その性質を調べる。従って、その3体系を成す不安定核の反応は標的核を含めて4体系を成しているため、その4体系の反応を正確に記述する必要がある。また不安

定核の反応においては、それが分解する過程が重要になる。我々はこのような4体の分解過程を記述する4体離散化チャネル結合法を開発してきた。これまでに、典型的な3体系を成す不安定核である ^6He の分解反応の解析を進め、核力による分解過程のみならずクーロン力による分解過程も正確に記述できることを示した。

本年度は、分解反応の実験から得られる、放出粒

子の運動量分布の計算方法の開発を進めてきた。4 体反応系においては、入射核の終状態が 3 体系の連続状態になり、それを求めるには非常に複雑な計算を行う必要がある。現在、その計算方法の開発を九州大学原子核理論グループと共同で行い、成功を収めつつある。この計算方法が確立すれば、3 体系不安定核の 1 つの特徴である 2 核子相関について、実験との比較により理解が深まるものと期待される。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsumoto T., Egami T., Ogata K., Iseri Y., Kamimura

M., and Yahiro M.: “The method of CDCC for four-body breakup reactions”, 2007 Summer meeting “Direct Reaction with Exotic Beams”, Wako, June (2007)

(国内会議)

松本琢磨、江上智晃、緒方一介、井芹康統、上村正康、八尋正信: “離散化チャネル結合法による ^6He 、 ^6Li 分解反応”, 日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学、9 月 (2007)

松本琢磨: “Analysis of nuclear and Coulomb breakup reactions”, 理研ミニワークショップ「2 核子相関と不安定原子核」、理研、12 月 (2007)

XVII - 009

K 中間子の原子核に於ける深束縛状態の実験的研究

Experimental Study of Deeply Bound Kaonic Nuclear States

研究者氏名: 鈴木 隆敏 Suzuki, Takatoshi

ホスト研究室: 仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

平成 19 年度に於いては、平成 17 年度に KEK-PS E549/570 実験において取得された、 $^4\text{He}(\text{stopped } K^-, N/d)$ スペクトルの解析を平成 18 年度に引き続き行った。考察の結果、やや幅の広いバリオン数 2 あるいは 3 の状態の探索においては本来の実験目的である核子の(半)インクルーシブ測定を超えてエクスクルーシブ測定により近い形で反応の終状態を同定した上での核子/重陽子-ハイパロン対の相関の様々なアイソスピンチャンネル上での系統的研究が非常に有力かつ実行可能であることを見いだした。このような観点から、 ^4He における静止 K^- 反応起源の 2 核子 (1 核子-1 重陽子)- 中間子同時計測事象を用いたハイパロン同定とそれによる NNN/NNN 及び dN/dN 終状態の動力的性質の系統的研究を行い、K 中間子の 2- 及び 3- 核子吸収過程の存在とその動力的性質を明らかにし、またその K 中間子原子核との実験的弁別可能性を立証した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Suzuki T. *et al.*: “Ld correlations from the $^4\text{He}(\text{stopped } K^-, d)$ reaction”, Phys. Rev. C, 76 068202 (2007) *

Suzuki T. *et al.*: “LN correlations from the stopped K^- re-

action on ^4He ”, arXiv:nucl-ex/0711.4943, Submitted to Phys. Rev. Lett. (査読中)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Suzuki T.: “An experimental search for strange multi-baryonic systems in $^4\text{He}(\text{stopped } K^-, N)$ reaction”, International Nuclear Physics Conference (INPC2007), Tokyo, Japan, June. (2007)

Suzuki T.: “An experimental search for strange multi-baryonic systems in $^4\text{He}(\text{stopped } K^-, YN)$ reaction” 11th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2007), Juelich, Germany, Sep. (2007)

Suzuki T.: “YN correlations from stopped K^- reaction on ^4He ”, Chiral Symmetry in Hadron and Nuclear Physics (Chiral07), Osaka, Japan, Nov. (2007)

(国内学会等)

鈴木隆敏: “ $^4\text{He}(\text{stopped } K^-, N)$ 反応によるストレンジマルチバリオン状態の探索”, RIBF ミニワークショップ「MB07」、和光、6 月 (2007)

鈴木隆敏: “ ^4He 上の静止 K^- 反応に於けるハイパロン-核子相関によるストレンジマルチバリオン状態の

探索”、日本物理学会第62回年次大会、北海道大学、9月(2007)

Suzuki T.: “Search for Strange Di/Tri-baryon States in ^4He (stopped K^- , d) Reaction”、韓国物理学会「Korea Japan Joint Nuclear Workshop」濟州島、大韓民国、

10月(2007)

鈴木隆敏：“ Λ -核子相関によるストレンジマルチバリオン状態の探索”、特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」研究会、秋保温泉、11月(2007)

XVII - 010 反K中間子と軽い原子核との深い束縛状態に関する理論的研究

Theoretical Study on Deeply Bound States of Anti-Kaon and Light Nuclei

研究者氏名：根村 英克 Nemura, Hidekatsu

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

反K中間子と軽い原子核との深い束縛状態については、その存在を示唆する実験結果が報告されているが、まだ確立されておらず、理論的にも、活発な議論が続いている。理論的な研究の側から、この状況を打開するためには、次の二点が鍵となると考えられる。

(1) 強い相互作用の基礎理論(量子色力学)に基づいて、反K中間子と核子との相互作用を明らかにすること

(2) 少数系の計算において、 Λ および Σ などの、下に開いたチャンネルとの結合の効果を正しく取り扱うこと

上記二点をふまえ、今年度は、以下の研究を行った。

ストレンジネスを含んだハドロン間相互作用をQCDに基づいて研究するための新しい方法の開発をすすめた。具体的には、格子QCD計算を行い、ストレンジネス $S=-2$ を持った系である N 系のアイソスピン $I=1$ 、スピン一重項および三重項状態の有効中心力ポテンシャルを計算した。スピン一重項、三重項の散乱長をLüscherの方法を用いて求めた。その結果、 N 相互作用は弱い引力であり、かつスピン一重項と三重項との間には、強いスピン依存性が認められる結果となった。

K中間子原子核のような、崩壊するチャンネルを考慮した少数系の精密計算の手法を開発した。具体的な問題として、グザイハイパー核の共鳴状態を、計算した。複素スケール法と確率論的変分法を組み合わせることで、基底関数をガウス型の波動関数で展開し、共鳴状態の境界条件を考慮した変分

計算を行った。軽いラムダハイパー核(ナガライベントを含む)の実験データを再現するポテンシャルのセットを用いて、5体のハイパー核の共鳴状態を計算した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nemura H., Ishii N., Aoki S. and Hatsuda T.: “Hyperon-Nucleon potentials from lattice QCD”, Proceedings of the XXV International Symposium on Lattice Field Theory, PoS (LATTICE2007), pp. 156-1 - 156-7*

Nemura H. and Nakamoto C.: “Stochastic variational method applied to pentaquarks”, Proceedings of the Yukawa International Seminar (YKIS) 2006, Prog. Theor. Phys. Suppl. 168 (2007), pp. 115-118*

Nemura H.: “Fully coupling dynamics of doubly strange hypernuclei”, Proceedings of the Third Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics, (World Scientific, Singapore 2007), pp. 323-326*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nemura H.: “ $\Lambda\Lambda$ - $N\Xi$ - $\Lambda\Sigma$ - $\Sigma\Sigma$ coupled-channel calculations of doubly strange hypernuclei”, The International Nuclear Physics Conference (INPC2007), Tokyo, Japan, June (2007)

Nemura H., Ishii N., Aoki S. and Hatsuda T.: “Hyperon-nucleon potentials from lattice QCD”, The XXV International Symposium on Lattice Field Theory, Regensburg, Germany, July-August (2007)

Nemura H., Ishii N., Aoki S. and Hatsuda T.: "Lattice QCD simulation of hyperon-nucleon potential", CHIRAL07, Osaka, Japan, November (2007)

(国内学会等)

根村英克: "ストレンジネス少数系の精密計算による研究", 理研RIBFミニワークショップ『不安定核・ストレンジハドロン原子核の合同理論研究会』理研, 7月(2007)

根村英克、石井理修、青木慎也、初田哲男: "格子QCD

によるハイペロン-核子ポテンシャル"日本物理学会第62回年次大会、北海道大学、9月(2007)

根村英克: "軽いハイパー核の研究", KEK研究会『原子核・ハドロン物理:横断研究会』, つくば, 11月(2007)

根村英克、石井理修、青木慎也、初田哲男: "格子QCDによるハイペロンポテンシャルの研究", 特定領域研究『ストレンジネスで探るクォーク多体系』研究会2007、仙台、11月(2007)

XVII - 011

超空間への非可換幾何の一般化と それを用いた一般の背景場中の超弦理論の研究

A Generalization of Noncommutative Geometry in Superspace and
a Research of Superstring in General Backgrounds

研究者氏名: 澁佐 雄一郎 Shibusa, Yuuichirou
ホスト研究室: 仁科加速器研究センター
川合理論物理学研究室
(アドバイザー 川合 光)

重力も含んだ量子論として今のところ唯一の理論である超弦理論は、実際のインフレーションなどの現象論に適用するには計算方法が複雑すぎます。よって、現実的には弦理論から来る補正の入った有効場の理論が必要になってきます。すなわち高エネルギー領域において超弦理論が従来の場の理論に替わる理論であるならば、その低エネルギー有効理論である場の理論においても弦の効果により変更を受けるはずで

す。どのような種類の物質が存在するのかなどはモデルによって様々かわりますが、超弦理論を元にする限り普遍的に存在する補正が『一般化された不確定性関係』です。これは最小長さを持つように正準交換関係が変更されております。

私は、この理論において従来使われている前提を使うと、超対称性の代数が高エネルギー領域で変形されることを示し、また、超対称性が変形されないような新しい形式を作りあげました。また、その理論において、高温での自由エネルギーの振舞いが、

通常の温度の時空次元巾の振舞いではなく、ある高温領域で次元に依らずに温度の2乗以下で振舞うという、超弦理論に特徴的な性質を持つことを示しました。

誌上发表 Publications

(原著論文)

Shibusa Y.: "Supersymmetric field Theory based on generalized uncertainty principle", International Journal of Modern Physics A22 5279-5286 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

澁佐雄一郎: "一般化された不確定性関係の場の理論における超対称性", 日本物理学会年次大会、札幌、9月(2007)

澁佐雄一郎: "一般化された不確定性関係に基づいた場の量子論", 理研シンポジウム"量子場の理論と対称性", 理研、12月(2007)

研究者氏名： 内海 裕洋 Utsumi, Yasuhiro
 ホスト研究室： 古崎物性理論研究室
 (アドバイザー 古崎 昭)

電子の性質は電子の間の相互作用により劇的に変化することがある。その傾向はナノメートルサイズの微細構造では特に顕著になる。近年、半導体量子ドット、金属単電子トランジスタ、カーボンナノチューブ、単一原子や分子トランジスタにおいて、新しい近藤効果や朝永ラティンジャー流体といった多体状態が観測されている。これらナノ構造では相互作用の大きさの調節、非平衡状態の制御といったことが可能で、多体効果の性質をより詳細に調べることができる。さらに最近、実時間で測定技術の進歩にともない、電子の統計的・動的な性質が明らかにされてきている。この研究は完全計数統計と呼ばれ、現在、メゾスコピック系におけるチャレンジングな問題の一つである。本研究計画では完全計数統計の概念を用いて多体効果の非平衡状態を理解することを目的としてきた。

本年度は先年度に構築した、量子ドットにおける電流と電荷の同時確率分布の理論をスピントロニクスデバイスに適用した。また同時確率分布の理論が、量子ポイントコンタクト電位差計を用いた実験で実証された。その実験を踏まえ、電荷の確率分布の理論を発展させて量子ドットの電荷の実時間ダイナミクスの理論を構築した。その結果、クーロン相関により非フェルミ流体状態と呼ばれる状態が実現し、電荷の緩和および揺らぎは古典回路とは質的に異なる特異な振る舞いをする事が明らかとなった。

誌上発表 Publications
 (原著論文)

Utsumi Y., Martinek J., Imamura H., Bruno P., Maekawa S.: "Indirect exchange interaction between two local spins embedded in an Aharonov-Bohm Ring", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 310, 1142-1144 (2007)*

Martinek J., Borda L., Utsumi Y., König J., von Delft J., Ralph D., Schön G. And Maekawa S.: "Kondo effect in single-molecule spintronic devices", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 310, e343-e345 (2007)*
 Imura K. Y., Utsumi Y., Martin T.: "Full counting statistics for transport through a molecular quantum dot magnet: Incoherent tunneling regime", *Phys. Rev. B* 75, 205341 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議, 一般発表)

Utsumi Y. Golubev D. Schön G.: "Full Counting Statistics of Electron Number in Quantum Dots", *International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions (NNCI2007)*, NTT Basic Research Laboratories, Atsugi, Japan, Feb. (2007)

Utsumi Y. Golubev D. Schön G.: "Full counting statistics for a single-electron transistor: nonequilibrium effects at intermediate conductance", *APS March Meeting (MAR07)*, Colorado, USA, Mar. (2007)

Utsumi Y. Golubev D. Schön G.: "Full Counting Statistics of Electron Number in Quantum Dots", *15th International Conference on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS-15)*, Tokyo, Japan, Jul. (2007)

Utsumi Y.: "Full counting statistics for charge in an interacting quantum dot", *International workshop and seminar on New Frontiers in Quantum Impurity Physics: From Nano-Structures to Molecular Devices*, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany, Aug. (2007)

(国内学会等)

内海裕洋, D. Bagrets : " 相互作用する量子ドットの ACコンダクタンス ", *日本物理学会第62回年次大会*, 北海道, 9月 (2007)

不規則電子系における金属 - 絶縁体転移点の
異常局在状態に関する理論的研究

Anomalously Localized States at the Critical Point of the Metal-Insulator Transition
in Disordered Systems

研究者氏名： 小布施 秀明 Obuse, Hideaki
ホスト研究室： 古崎物性理論研究室
(アドバイザー 古崎 昭)

量子干渉効果が支配的となる極低温下において、系の乱れは量子状態や伝導特性に本質的な役割を果たす。特に不規則電子系では、不純物散乱が電子状態を空間的に局在させることがある。このように、系の乱れが増加することにより電子状態が金属(非同在状態)から絶縁(局在状態)へ転移する現象をアンダーソン転移という。アンダーソン転移のような臨界現象には、一般にユニバーサリティと呼ばれる極めて基本的かつ重要な性質がある。近年アンダーソン転移の臨界点において異常局在状態と呼ばれる新しい量子状態が存在することが明らかとなり、アンダーソン転移の臨界点についての詳細な研究が望まれている。

本年度は、近年スピントロニクスへの応用の観点からも注目されている量子スピン・ホール効果を記述する理論モデルを提案し、その系におけるアンダーソン転移についての研究を行った。整数量子ホール効果と同様に量子スピン・ホール相はトポロジカル絶縁相であるため、アンダーソン転移の新たなユニバーサリティ・クラスに属する可能性が指摘されていたが、本研究により従来と同じユニバーサリティ・クラスであることが分かった。一方、系に境界がある場合、境界近傍の電子状態は従来とは異なる臨界特性を示すことが明らかとなった。

また、前年度に引き続きアンダーソン転移の臨界波動関数に対する共形不変性の数値的実証を行った。共形不変性を用いた共形場理論は臨界的性質を調べる上で非常に強力な解析的手法となるため、この不変性の有無を明らかにすることは重要である。前年度はスピン・軌道相互作用を有する2次元の不規則電子系に対して共形不変性が存在することを数値的に明らかにした。本年度は、共形不変性の存在が不規則電子系において一般的な性質であることを明らかにするために、量子ホール系と量子スピン・ホール系に対して共形不変性の実証を行った。その結果、どちらの系においても共形不変性が存在する

ことが明らかとなった。また、異常局在状態の寄与が支配的になる特殊な条件があることを明らかにした。さらに以前の研究では系の表面とコーナー領域の共形変換を用いて数値的実証を行ったが、本年度は対数関数を用い2次元系と準1次元系間の共形変換を用いた関係式の実証を行った。その結果、スピン・軌道相互作用を有する系、量子ホール系、量子スピン・ホール系において、その関係式が成立することが明らかとなった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Obuse H., Subramaniam A., Furusaki A., Gruzberg I., and Ludwig A. W. W.: "Multifractality and conformal invariance at 2D metal-insulator transition in the spin-orbit symmetry class", Phys. Rev. Lett., 98 156802-1 – 156802-4 (2007)*

Obuse H., Furusaki A., Ryu S., and Mudry C.: "Two-dimensional spin-filtered chiral network model for the Z_2 quantum spin-Hall effect", Phys. Rev. B, 76 075301-1 – 075301-12 (2007)*

Ryu S., Mudry C., Obuse H., and Furusaki A.: " Z_2 Topological Term, the Global Anomaly, and the Two-Dimensional Symplectic Symmetry Class of Anderson Localization", Phys. Rev. Lett., 99 116601-1 – 116601-4 (2007)*

Obuse H., Subramaniam A., Furusaki A., Gruzberg I., and Ludwig A. W. W.: "Corner Multifractality for Reflex angles and Conformal Invariance at 2D Anderson Metal-Insulator Transition with Spin-Orbit Scattering", Physica E, in press*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Obuse H., Subramaniam A., Furusaki A., Gruzberg I., and Ludwig A. W. W.: "Conformal Invariance in Two-Di-

mensional Electron Systems with Quenched Disorder”, International Conference on Statistical Physics 23, Genova, Italy, July (2007)

Obuse H., Subramaniam A., Furusaki A., Gruzberg I., and Ludwig A. W. W.: “Evidence for Conformal Invariance at the Anderson Transition in the Two-Dimensional System with Spin-Orbit Interactions”, International Conference on Electronic Properties of Two-dimensional Systems, Genova, Italy, July (2007)

Obuse H.: “Conformal Invariance at the Anderson Transition in the Two-Dimensional Systems with Spin-Orbit Interactions”, Yukawa International Seminar 2007 (YKIS2007), Kyoto, Japan, (2007)

Obuse H., Furusaki A., Ryu S., and Mudry C.: “Network Model for Z_2 Quantum Spin-Hall Effects with Disorder”, American Physical Society March Meeting, New Orleans, USA (2008)

(国内学会等)

小布施秀明、古崎昭：“2次元不規則電子系におけるマルチフラクタル性と共形不変性”、日本物理学会 第62回年次大会 北海道、9月(2007)

小布施秀明、古崎昭、笠真生、Christopher Mudry：“量子スピン・ホール系の局在 - 非局在転移におけるマルチフラクタル性”、日本物理学会 第63回年次大会、大阪、3月(2008)

XVII - 014

^3He における 2次元超流動の探索

Investigation of Two Dimensional Superfluid ^3He

研究者氏名：斎藤 政通 Saitoh, Masamichi

ホスト研究室：河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

超流動 ^3He 薄膜は、異方的超伝導体とも密接に関連した物性を有し、異方的クーパ対の普遍的性質を明らかにする上で重要な研究対象である。約 $1\mu\text{m}$ 以下の薄膜になると、 p 波クーパ対への系のサイズ効果が顕著となるため、通常のパルク系では見られない異方的秩序変数の本質的側面が顕在化される。特に、境界近傍でのアンドレーエフ束縛状態形成のために、ドメイン構造を持った空間的に非一様な超流動状態(ストライプ相)が安定な領域が存在すると考えられている。本研究では、微細加工により作成したくし型電極を用い、流動特性の膜厚依存性から、2次元的な秩序変数で記述される超流動相や、それと密接に関連したストライプ相を検出することを目的としている。くし型電極とは、2つの微細な櫛状の電極により形成された平面展開型コンデンサーである。微細構造であるため、電極に発生する電場は基板表面のごく近傍に集約され、誘電体である ^3He の高感度な静電的制御・測定が可能となる。この手法により、 ^3He 膜厚、即ち系のサイズを自由に制御した実験が可能であり、系サイズが異方的クーパ対形成に及ぼす影響の直接観測が可能な実験手法である。

これまでに、 $0.3 \sim 4\mu\text{m}$ の膜厚範囲で超流動臨界

流の測定を行った。その結果、 $1\mu\text{m}$ 付近を境に臨界流の膜厚依存性に違いがあることが分かった。これは相境界の予想される膜厚とほぼ一致し、膜厚変化による相転移を捉えた可能性が考えられる。この結果をさらに検証するため、磁場中での実験を進めている。パルク系では磁場の印加による相転移が知られており、磁場中での膜厚依存性から薄膜での相転移の検証が可能と考えられる。そのため、磁場中での比熱の小さい銀を用いて実験装置を作成した。現在までに、くし型電極や振動ワイヤー温度計等の容器内に設置する各検出素子の作成も完了し、所定の性能を確認した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Saitoh M., Kono K.: “Thickness dependence of critical current of superfluid ^3He film”, Journal of Low Temperature Physics, 183 483-487 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Saitoh M., Kono K.: “Dynamic property of dissipative flow of superfluid ^3He film”, International Symposium

on Quantum Fluids and Solids, Kazan, Russia, Aug. (2007)

Saitoh M., Kono K.: "Critical current measurement of superfluid ^3He film in magnetic field", International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials, Gifu, Japan, Oct. (2007)

(国内学会等)

斎藤政通、河野公俊：“磁場中超流動 ^3He 薄膜の臨界流測定”、文部科学省特定領域研究「スーパーリーン物質で実現する新しい量子相の物理」A03&A04研究項目合同ワークショップ、伊都郡高野町、7月(2007)

XVII - 015 高速精密回転希釈冷凍機を用いた超流動He量子渦と表面素励起の研究

Study of Quantized Vortex and Surface Elementary Excitation
Using High Speed and High Stability Rotating Dilution Refrigerator

研究者氏名：高橋大輔 Takahashi, Daisuke

ホスト研究室：河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野公俊)

絶対零度まで液体として存在するヘリウム(He)は、液化温度より充分低温において超流動転移という量子位相が秩序化する相転移を起こす。これにより、回転下において超流動Heの循環は量子化され、各々の渦が全て同一の循環を持つ安定な位相欠陥である量子渦として存在する。量子渦は液体自由表面において終端する際にエクボを形成するが、その終端点近傍の状態の詳細は実験の困難さより明らかにされていない。一方、量子渦が形成するエクボは液体表面上に形成される2次元電子系に対し散乱体となり、その移動度に影響を及ぼすことが予想される。加えて、渦芯周りの流れは自由表面に励起された表面波の分散関係に影響を与える可能性がある。よって、回転下(<5 rad/sec)において2次元電子系の移動度測定および、表面波(重力波)の測定を行なった。実験で制御した回転数における量子渦密度の上限 $\sim 10^8/\text{m}^2$ である。

回転超流動He上2次元電子系の移動度測定の結果について述べる。実験に用いた2次元電子密度は $\sim 10^{12}/\text{m}^2$ である。超流動 ^4He 上での実験において、回転速度の増加に伴い移動度が減少する様子が観測された。一方、同様の回転速度依存性は常流動 ^3He 上でも確認された。このことは観測された回転速度依存性が量子渦に起因するものではないことを示唆する。移動度に量子渦の影響が反映されなかった原因は、 ^4He の渦一つ一つが自由表面において形成するエクボの大きさが小さい(深さ $\sim 70\text{\AA}$ 、半径 $\sim 4\text{mm}$)こと、および渦密度が2次元電子密度に対し非常に小

さいことに起因すると考えられる。

次に表面波の実験について述べる。本研究では波長が毛細管長より長い重力波について、共鳴周波数の回転速度依存性を調べた。測定は $\sim 7\text{mK}$ で行なった。この温度では超流動中の粘性成分は完全に無視できる。共鳴周波数は回転角速度の自乗に比例し増加することが明らかになった。この変化は回転流体における慣性波の理論により説明される。一方、定量的には比例係数が古典理論に対しおよそ半分であり、量子渦による何らかの影響を反映しているものと考察される。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi D., Kono K.: "Study of the Rotating Superfluid ^4He using Surface Wave and Surface Electrons", International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Kazan, Russia, Aug. (2007)

Takahashi D., Kono K.: "Free Surface of Rotating Superfluid Helium", International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials, Gifu, Japan, Nov. (2007)

(国内学会等)

高橋大輔、河野公俊：“Free Surface Property of Superfluid He under Rotation”、特定領域研究「新量子相の物理」A03&A04合同ワークショップ、高野山、和歌山、7月(2007)

界面特性変化を認識するナノコロイドセンサーの開発 コロイド化学の観点から考えた遺伝子診断システムの開発

Development of a Nano-Colloid Sensor Capable of Recognizing the Change in Surface Properties
A Gene Diagnosis System from the Point of Colloidal Chemistry

研究者氏名：佐藤 保信 Sato, Yasunobu
ホスト研究室：前田バイオ工学研究室
(アドバイザー 前田 瑞夫)

DNAプローブが固定化されている金ナノ粒子を、プローブと同鎖長の相補的なDNAターゲットと反応させ、高濃度のNaCl溶液を加えると「非架橋型」凝集する。昨年度は、「非架橋型」相互作用が金ナノ粒子と金平板に固定化された二本鎖DNAの間でも起こることを、表面プラズモン共鳴イメージング法を用いて明らかにした。本年度は、金平板上の二本鎖DNA末端の塩基配列の違いによる粒子の吸着特性を調べることにした。また、一塩基多型(SNP)タイピングへの応用も試みた。

はじめに、様々な末端塩基対を持つ二本鎖DNAを固定化した金平板を準備した。その表面に二本鎖DNAの末端塩基対が相補的(TA)であるDNA担持金ナノ粒子を作用させた結果、平板への吸着のしやすさは以下の通りであった(GC > TA GA > GG > GT ≈ TG > TT ≈ TC)。(平板上の二本鎖DNAの末端塩基対3' 5'を記述)。最も、強い相互作用を示したのは平板上の末端塩基対が相補的であるGC、TAの時であった。塩濃度を上げるとミスマッチ末端でも粒子の吸着が観察でき、末端にプリン塩基を含む時、比較的強い相互作用を示すことが分かった。プリン塩基(G、A)の方が、ピリミジン塩基(T、C)に比べ、塩基のスタッキング力が強いことが知られていることから、「非架橋型」相互作用にはDNA末端のスタッキングが関係していることが示唆された。

次に、SNPタイピングへの応用を目的に、一塩基プライマー伸長反応を行った後のモデル伸長産物の検出を試みた。モデルとしては、目的とするSNPの存在する一塩基手前までの短いプライマー(15塩基)と、プライマーに一塩基付加した伸長産物(16塩基)をそれぞれ準備し、平板上のプローブ(16塩基)と二本鎖形成させた。プローブと同鎖長であり完全に相補的である伸長産物が二本鎖を組んだ平板にのみ粒子は吸着した。一塩基プライマー伸長反応では、未伸長のプライマーと伸長産物が混合された状態で得られることが想定される。混合物が得られた場合の

検討を行ったところ、40%以上のプライマーが伸長されれば、平板に粒子は吸着することが分かった。本研究結果からナノ粒子を用いて平板上にあるわずかに一塩基の違いから生まれる界面特性変化を認識することが可能であることが分かった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Y., Hosokawa K., and Maeda M.: "Detection of non-cross-linking interaction between DNA-modified gold nanoparticles and a DNA-modified flat gold surface using surface plasmon resonance imaging on a microchip", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62, 71-76 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議・ポスター)

Sato Y., Hosokawa K., and Maeda M.: "Non-cross-linking interaction between DNA-modified gold nanoparticles and a DNA-modified gold flat substrate", 1st Asian Biomaterials Congress (1st AMBC), Tsukuba, Japan, Dec. (2007)*

(国内会議・口頭)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫：“金平板と金ナノ粒子に固定化された二本鎖DNA間の相互作用の解析と応用”、第56回高分子討論会、名古屋、9月(2007)

(国内会議・ポスター)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫：“金平板と金ナノ粒子に固定化された異種の二本鎖DNA間に働く相互作用の解析と応用”、第15回化学とマイクロ・ナノシステム研究会、仙台、5月(2007)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫：“金ナノ粒子と金平板上の二本鎖DNA間に働く相互作用の解析”、第1回化学センサ・バイオセンサー合同ワークショップ、横浜、7月(2007)

研究者氏名：鈴木 健二 Suzuki, Kenji

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 前田 瑞夫)

近年、個々のナノマテリアル(生体分子、ナノ粒子、ナノチューブなど)が示すデバイス機能に注目が集まっている。しかし、多種類のナノマテリアルを、固体表面上の任意の位置に配列するための技術は確立されていない。この問題を解決するための一つのアプローチとして、DNA相補鎖間でのハイブリダイゼーション(二本鎖形成)を利用して、DNA修飾ナノマテリアルを、固体表面上のDNAパターン上に配列する技術が注目されている。しかし、(1)多種類のDNAからなる、(2)ナノメートルレベルのDNAパターンを、(3)大量生産する技術はまだない。本研究では、この問題を解決するために、「多種類のDNAから成る微細パターンの複写・縮小技術」を開発する。

先年度までに、高分子フィルムの伸縮を利用したDNAパターンの縮小技術を実現した。また、縮小プロセスをさらに改良することで、数ミクロン程度のパ

ターンをサブミクロンレベル(0.5 μm程度)まで縮小することが可能となった。それらの知見を元に本技術に関する特許出願と、国際会議での発表を行った。

本年度は、DNAを鋳型として用いる微粒子表面へのDNA修飾技術も開発した。その結果、一つのナノ粒子上に、2つの異なるDNAを1本づつ固定することに成功した。また、脂質膜コートした微粒子を用いて生体膜分子の分離を行う技術も開発し誌上発表した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kenji Suzuki, Kazuo Hosokawa and Mizuo Maeda: "Electrophoresis of membrane associated molecules in packed beds of bilayer coated particles", *J. Am. Chem. Soc.*, in print.

XVII - 019 分子デバイスへの応用を念頭においた次世代分子性導体の開発

Development of New Molecular Conductors Applicable for Molecular Devices

研究者氏名：芦沢 実 Ashizawa, Minoru

ホスト研究室：加藤分子物性研究室

(アドバイザー 加藤 礼三)

分子性導体を構築する有機半導体を基礎として、分子デバイスへ応用可能な新規の有機半導体及び分子性導体を開発し、電界効果トランジスタ(FET)への応用を試みる。有機分子を用いたトランジスタのキャリア移動度は、従来のアモルファスシリコンに匹敵するレベルまで改良されている。しかしながら溶液プロセスからの良質な配向膜の実現やトランジスタ特性と、用いる有機半導体の性質とを直接関係づける研究はいまだ未開拓である。

トランジスタの活性層に用いる有機半導体は分子の集合体であり、分子の電子状態とこれらが集めた薄膜や結晶構造中での分子配列や電子状態がトランジスタ特性に大きく影響する。

本年度は、有機分子の特徴である分子配向を利

用した自己組織化に着目して以下のテーマに取り組んだ。

(1) 液晶性に起因した自己組織化膜を溶液プロセスから実現することを目的として、有機溶媒に可溶で且つ液晶性を示す新規のオリゴチオフェン誘導体を合成した。ドロップキャスト法でこれらの分子を用いたボトムコンタクトタイプのトランジスタを作成し、特性を評価した。キャリア移動度は蒸着などのドライプロセスで作成したオリゴチオフェン誘導体に匹敵する値($\sim 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$)を実現した。また液晶相と薄膜における分子の配向状態を関係づけた。

(2) ピチオフェンの持つ geometry に着目して、シリル置換基の大きさを系統的に変化させることで自

己組織化膜中の分子の配列を制御する新規の有機半導体を合成した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ashizawa M., Yamamoto H M., Nakao A., and Kato R.: "Synthesis and Solution-processed Field Effect Transistors of Liquid Crystalline Oligothiophenes", Chemistry Letters, **36**, 708 (2007)

Ashizawa M., Yamada K., Fukaya A., Kato R, Hara K, and Takeya Jun.: "Effect of Molecular Packing on Field

Effect Performance of Single Crystals of Thienyl-substituted Pyrenes", to be submitted.

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議・ポスター発表)

Ashizawa M., Kato R., Takanishi Y., and Takezoe H.: "Solution-Processed Field Effect Transistors (FETs) made of Liquid Crystalline Oligothiophenes", IS-COM07 Conference 2007, peniscola, Spain, September (2007).

XVII - 021

A T P 結合性蛋白質の新規網羅的解析法の開発

Development of a New Methodology for the Global Analysis of ATP Binding Proteins

研究者氏名：清水 護 Shimizu, Mamoru

ホスト研究室：袖岡有機合成化学研究室

(アドバイザー 袖岡 幹子)

哺乳類では細胞内蛋白質の10%以上がリン酸化を受け、特定の蛋白質のリン酸化を行なうためのキナーゼ分子群は高等動物で数百種類に上ると考えられている。リン酸化によって活性調節を受ける蛋白質にはキナーゼやホスファターゼを始め、代謝経路に重要な多くの酵素、細胞骨格などの構造蛋白質、転写因子など様々あるが、まだその機能が不明な蛋白質や未知の蛋白質も多く含まれると考えられる。そしてこのリン酸化にはATPが重要な役割を果たしているのは周知の事実である。しかし、多くの蛋白質間でATP結合部位の構造には相同性が高く、その解析は困難である。そこで系統的に、且つ網羅的に蛋白質群からATP結合性の蛋白質を解析する新規手法の開発を目指す。

本年度は多用途に利用できるアミノリンカーを有し、三リン酸部位に加水分解を受けない修飾を施したATPミミックの合成を行なった。またアミノリンカーの有無の影響を調べるため、リンカーを有しないATPミミックも合成し、得られた化合物に対して、各種キナーゼに対する阻害活性について調べた。

また、加水分解されない三リン酸等価体を合成するにあたり、亜リン酸のCF₂化反応について種々検討を行っていたところ、P-CF₂結合をカルベノイド経由で合成する新たな合成法を見出すことに成功した。

さらに、本研究において核酸塩基部位への保護基

の導入を種々検討していた際に、既存の試薬と比較して、極めて優れた試薬の開発に成功した。基本骨格に3-nitro-1,2,4-triazole(NT)を有する試薬(NT試薬)は、高い結晶性を有し、潮解性を示さず、化学的に安定で長期間保存でき、迅速且つ定量的にcarbamateを合成することができる。合成の際には、系内に析出してくるNTをろ別するだけで目的とするcarbamateを得ることが可能で、カラムクロマトグラフィーによる精製を必要としないため、簡便で環境にやさしい合成法となっている。さらに、ろ別したNTはそのまま回収・再利用することが可能であるため、資源の再利用の面からも優れた試薬となっている。また、これまで化合物の不安定さから試薬会社から購入不可能であった2-(trimethylsilyl)ethoxycarbonyl(Teoc)基の導入試薬もNT試薬とすることで安定な結晶にすることが可能である。現在、Teoc-NTを含めいくつかのNT試薬が東京化成工業株式会社より市販の準備が進められている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimizu M., Sodeoka M.: "Convenient Method for the Preparation of Carbamates, Carbonates, and Thiocarbonates", Org. Lett., **9** (25), 5231-5234 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

清水護、袖岡幹子：“カルバメート型保護基を中性条

件下導入可能な新規合成試薬の開発”、日本化学
会第 88 春季年会、東京、3 月 (2008)

XVII - 022

ナノサイズ化における不活性物質の活性発現：
局所電子状態測定による発現機構の解明

Activation of Chemically Inactive Materials by Nano-sizing:

Elucidation of the Mechanism by Local Electronic Structure Measurements

研究者氏名：湊 丈俊 Minato, Taketoshi

ホスト研究室：川合表面化学研究室

(アドバイザー 川合 真紀)

金は化学的に不活性な物質であるが、2-3 nmの金 (Au) ナノクラスターを金属酸化物 (二酸化チタンTiO₂ など) 表面上に担持すると、突如として一酸化炭素の酸化反応 (CO + 1/2 O₂ → CO₂) などに触媒活性を示すようになる。この触媒活性機構を明らかにするために様々な研究がなされているが、未だその機構は不明なままである。本研究では、Au ナノクラスターと金属酸化物との電子的相互作用に注目し、最も高活性な Au/TiO₂ 系の電子状態と触媒活性との関連を調べ、不活性なAuが活性化される機構を明らかにすることを目的とした。

本年度は、Auクラスターが活性となる要因を探るために、様々な条件で処理した担体に Au クラスターを担持し、触媒活性の変化を観測した。その結果、低温で短時間処理した TiO₂ に担持してもそれ程高い活性は観測されないが、高温で長時間処理することで還元された TiO₂ に Au を担持した時に、非常に高い活性が得られるということが得られた。さらに、光電子分光法や走査トンネル顕微鏡を用いて、Au クラスターの電子状態や吸着状態について調べたところ、高活性な Au クラスターは、還元された TiO₂ サ

イトに吸着し、その電子的な相互作用によって負に帯電していることが分かった。負に帯電した Au に O₂ が吸着すると、吸着した O₂ の分子内結合が弱まり、CO との反応性を高めることが既報の研究から分かっており、我々が今回得た結果は、Au の触媒活性発現機構を明らかにする重要な手がかりとなると考えている。

口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Minato T., Zhao J., Sainoo Y., Kim Y., Kato H.S., Susaki T., Shiraki S., Aika K.-i., Yang J., Petek H., and Kawai M.: “Electronic structure of titanium dioxide surfaces and its interactions with gold nano clusters”, 17th International Vacuum Congress, Stockholm, Sweden, Jul. (2007)

(国内会議等)

R.S. Dasanayake-Aluthge、湊 丈俊、Md. Z. Hossain、加藤浩之、川合真紀：“水素終端 Si(001) 表面上の単分子列形成過程における置換基の影響”、分子科学討論会 2007 仙台、仙台、9 月 (2007)

XVII - 023

天然有機化合物と生体関連物質の相互作用に関する研究

Study of the Interaction between Natural Products and Biomolecules

研究者氏名：齊藤 安貴子 Saito, Akiko

ホスト研究室：長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田 裕之)

様々な微生物や植物等が生産する天然有機化合物は、複雑な構造を有する物が多く、また、多様な生

物活性を示すことから、薬剤のリードとして非常に有用な化合物群である。この豊富な資源である天然

有機化合物を用いた、網羅的かつ迅速に生体関連物質との相互作用を探索する手法の開発が望まれている。しかし、天然有機化合物は、前述のように、複雑な構造を有するものが多いため、修飾やアナログ合成が困難なものも多く、網羅的な研究が困難であった。これを解決する一つ的手段として、当研究室では、官能基非依存型「化合物アレイ」を開発し、スクリーニングに用いている。本研究は、化合物アレイを用いたスクリーニング研究、および、応用方法の開発を目的に研究を行っている。

今年度は、主に、光親和型リンカーを金表面に導入した基板を用いたSPRイメージング法の最適化を行った。様々なリンカーを合成して基板に導入し、低分子化合物を固定化した後、蛋白質との相互作用を検出した。その結果、合成した中の数種のリンカーにおいて、MAP kinase であるp38などの蛋白質と低分子化合物(天然有機化合物を含む)の相互作用を検出する事が出来た。また、p38と複合体を形成するp62(SQSTM1)との相互作用部位を同定する目的で、p62由来のペプチドを固定化した基板を用いて検討を行ったところ、p38はp62の178-190番目に対応するペプチドに強く結合する事が確認できた。さら

に、改良したリンカーを用いて、アルツハイマー病関連蛋白質であるtauと結合する天然低分子化合物のスクリーニングも行っている。

誌上発表 Publications

(単行本)

齊藤安貴子、叶直樹、長田裕之：“化合物アレイを用いた低分子_蛋白質相互作用の検出”、羊土社「蛋白質相互作用解析ハンドブック」3章2、225-229 (2007)

(その他)

掛谷秀昭、齊藤安貴子、長田裕之：“微生物代謝産物由来の小分子ライブラリーの利用技術 スクリーニングとケミカルバイオロジー研究”、Bio Industry (7月号) 48-54 (2007)

口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

齊藤安貴子、河合香代子、高山浩、叶直樹、近藤恭光、須藤龍彦、長田裕之：“SPRイメージング法を用いたp38 MAP kinaseとp62の結合部位の同定”、日本農芸化学会大会、名古屋、3月(2008)

XVII - 024 翻訳終結と共役した mRNA 分解制御の分子機構の解析

Molecular Mechanisms of the Translation Termination-Coupled mRNA Decay

研究者氏名：船越 祐司 Funakoshi, Yuji

ホスト研究室：辻本細胞生化学研究室

(アドバイザー 辻本 雅文)

真核生物のmRNA分解は、通常3'末端poly(A)鎖の短縮化を開始段階として進行し、この段階が律速となっている。先に我々は、翻訳終結因子であるeRF3がmRNAのpoly(A)鎖を覆っているPABP (poly(A)-binding protein) と相互作用することで、翻訳終結と共役してpoly(A)鎖の分解を制御していることを示してきた。この機構は、転写されたmRNAから過不足なく蛋白質を合成する上で非常に合理的であり、遺伝子発現の調節において重要な位置を占めていると考えられる。本研究は、翻訳終結からmRNA分解へと至る一連の反応の詳細な分子機構の解明を目的としている。我々は前年度までに、出芽酵母を用いた遺伝学的な解析から、eRF3が2種の主要なpoly(A)鎖分解酵素 (deadenylase) Pan2-Pan3複合体、Ccr4-Caf1複

合体の両方に作用してpoly(A)鎖分解を制御することを明らかにしてきた。本年度は、これらの因子の関係を哺乳動物細胞を用いて解析し、新たなpoly(A)鎖分解調節機構を明らかにした。本年度の成果を以下に示す。

(1) eRF3、Pan2およびCaf1の変異体のpoly(A)鎖分解への影響を検討し、哺乳動物細胞においてもeRF3は2種のdeadenylaseの両方に作用していることを明らかにした。

(2) eRF3、2種のdeadenylaseとPABPとの相互作用を検討したところ、eRF3とdeadenylaseは互いに競合的にPABPに結合することを見出した。さらに、この結合は翻訳阻害剤シクロヘキシミドの処理により、eRF3-PABPの結合量は増加しPan2-

Pan3-PABPの結合量は減少した。すなわち、eRF3とdeadenylaseは翻訳終結に伴いPABP上で入れ替わることが示唆される。

(3) *in vitro*においてPan2-Pan3、Ccr4-Caf1のpoly(A)鎖分解活性を解析したところ、両者は共にPABPとの相互作用に依存してpoly(A)鎖分解活性を示すことを明らかにした。さらに、細胞内においても両deadenylase、およびeRF3はPABPとの相互作用を介してpoly(A)鎖分解を制御していることを明らかにした。

以上より、eRF3は翻訳終結に伴いPABPから解

離することでdeadenylaseをPABP上にリクルートし、poly(A)鎖分解を促進していることが推定される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Funakoshi Y., Doi Y., Hosoda N., Uchida N., Osawa M., Shimada I., Tsujimoto M., Suzuki T., Katada T., and Hoshino S.: "Mechanism of mRNA deadenylation: evidence for a molecular interplay between translation termination factor eRF3 and mRNA deadenylases", *Genes & Dev.* 21 3135-3148 (2007)*

XVII - 025 大腸ガンにおけるLAP2 (lamina-associated polypeptide 2)の過剰発現およびガン化との関連性

Correlation between Protein Level of LAP2 (lamina-associated polypeptide 2) and Cancer Proliferation

研究者氏名：大木本 圭 Ohkimoto, Kei

ホスト研究室：今本細胞核機能研究室

(アドバイザー 今本 尚子)

ガン細胞や組織において核は、正常なものよりも大型化し、大小不同が強く、形状も不整である。また、細胞の大きさに変化がなくとも核/細胞質比が高くなっている。ガン化におけるこの核の形態変化は知られているが、その細胞内における意味は明らかでない部分が多い。そこで理化学研究所において私は、ガン組織における核内タンパク質の変化について分子生物学的手法により検討している。まず、大腸ガンの組織およびその周辺の正常組織を用い、いくつかの核内タンパク質や核膜のアンカータンパク質の発現量を比較した。その結果、特にLAP2 α について明確なタンパク質量の増幅を見出された。さらに、大腸ガン細胞と正常細胞の間においてもLAP2 α のタンパク質量の変化を見出した。

LAP2(lamina-associated polypeptide 2)は、核内構造構築に関わるタンパク質であり、いくつかの種類が存在し、LAP2 α はそのうちの一つである。このLAP2 α は、核内構造体クロマチンや細胞分裂・増殖に

関わるRbタンパク質との相互作用が知られている。したがってLAP2 α の発現量の増幅が、ガン化における核内構造の変化と関連する、または、ガン細胞の増殖のために必要である可能性が考えられる。そこで、LAP2 α のガン細胞における役割を明らかにするために、代表的なガン細胞であるHeLa細胞やいくつかの大腸ガン細胞のLAP2 α の発現量をRNAiにより抑制したところ、増殖への影響が観察された。この結果から、LAP2 α はガン特異的に発現量が増加し、これらの細胞の増殖において重要な役割を担っていることが考えられる。さらに、LAP2 α の発現を抑制した細胞では核の形態変化を観察している。また、LAP2 α のKnock downにより多核化する細胞の増加についても観察された。

これらのLAP2 α のKnock downによる核の形態変化および多核化について、より詳細な検討を行なっている。

XVII - 027 ショウジョウバエ SUMO E3ligase の生物学的機能の解明

Exploring the Biological Role of SUMO E3 Ligase in *Drosophila Melanogaster*

研究者氏名：成 蒼鉉 Seong, Ki-Hyeon

ホスト研究室：石井分子遺伝学研究室

(アドバイザー 石井 俊輔)

ショウジョウバエの遺伝子CG9924は、全身性強皮症患者において産生される自己抗体のスクリーニングにより同定された、Spopと非常に高い相同性を示す(以降、CG9924をdSpopと呼ぶ)。dSpopは、本研究室において、Ciをベイトにした酵母 two-hybridスクリーニングにより同定された。SpopはMACROH2A, BMI1などのubiquitin E3酵素として働くことが報告されている。dSpopをベイトとしてさらに酵母 two-hybridスクリーニングを行ったところ、さらに、dSpopが遺伝子量補正に関わる、Msl-1、ホメオティック遺伝子の転写抑制維持に必要なpolycomb group(PcG)の一つ、PhoとPholが同定された。このようにdSpopは、生物学的に重要なさまざまな局面で役割を果たしているものと考えられる。私は、本研究により、dSpopのCi、Msl-1、Pho、Pholとの関わりを明確にしたいと考えている。

これまでの研究により、Ciのプロテアソーム依存的分解に関与しているだけでなく、Ciの核移行制御にも関わっており、Hhシグナル経路の重要な調節因子であることが明らかとなった。dSpopは核膜孔内側に局在し、Hhシグナルが高いショウジョウバエ翅原基前部後部区画境界領域において、Importin alpha 3によるCiの核移行を阻害することを明らかにした。また、dSpop突然変異体、RNAiによる解析などから、dSpopが遺伝子量補正システムにおいても重要な役割をしていることが見いだされた。DspopはMSL-1のubiquitin E3酵素として働いており、培養細胞においてdSpopをノックダウンさせると、遺伝子量補正の制御が出来なくなる事が明らかになった。また、突然変異体クローン解析により、dSpopの関与は遺伝子量補正の確立期にあたる胚発生初期に働くことが見いだされた。

XVII - 028 有限温度密度QCDにおける相転移現象の解明

Understanding Various Phenomena in Hot and Dense QCD

研究者氏名：福島 健二 Fukushima, Kenji

ホスト研究室：理研BNL研究センター

理論研究グループ

(アドバイザー Larry McLerran)

高エネルギー極限及び高密度極限におけるQCDの理論的研究を行った。

Color Glass Condensateによる理論的定式方法を用いて、相対論的高エネルギー原子核衝突反応の初期状態へのアプローチを試みた。簡単な関数形を仮定することで、効率的に再計算し、衝突初期エネルギー密度を評価することができた。その際に衝突横方向からの赤外的な寄与をどのようにして処理すべきか明らかにした。また、同じ理論的枠組みの中で、系を熱平衡化へ近づけるためのダイナミクスを調べた。その結果として、アンサンブル平均の中に、系を不安定化するような配位が常に含まれており、長時間後には不安定な寄与が支配的な時間発展

を与えることを見出した。

一方、高密度極限ではカラー超伝導・超流動物質を解析し、カラーの数が2の場合のモンテカルロシミュレーションの可能性を議論した。即ち、アイソスピン化学ポテンシャルとバリオン化学ポテンシャルが両者とも有限の場合、従来の理解では不可能だとされてきたシミュレーションが、実際には可能であることを示し、理論模型によって予言を与えた。結果は、シミュレーションによってカラー超伝導・超流動相に、結晶構造が出ることを強く示唆しており、今後の発展が望まれる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Fukushima K. and Hidaka Y.: “Light projectile scattering off the color glass condensate”, JHEP 06 040 (2007)*

Fukushima K.: “Initial fields and instability in the clas-

sical model of the heavy-ion collision”, arXiv: 0704.3625 (2007)

Fukushima K. and Iida K.: “Larkin-Ovchinnikov-Fulde-Ferrell state in two-color quark matter”, arXiv: 0705.0792 (2007)

XVII - 029 偏極陽子 - 陽子衝突実験における W 粒子をプローブとした陽子のスピン構造の研究

Study for Spin Structure of Proton by W boson in Polarized Proton-Proton Collisions

研究者氏名： 神原 信幸 Kamihara, Nobuyuki

ホスト研究室： 仁科加速器研究センター

延與放射線研究室

(アドバイザー 延與 秀人)

W粒子をプローブとしたクォーク・反クォークのフレーバーごとの偏極度測定には、偏極陽子-陽子衝突実験の中でレプトン粒子の検出に特化しており、アクセプタンスが一番大きいPHENIX実験のミュオン検出器が最適である。

W粒子から崩壊した μ 粒子を精度よく測定する為には μ 粒子検出器の相対位置を精度よく決める必要がある。この為に磁場無しの実験データを用いて検出器の相対位置を決めているが、日々の温度や変化や、磁場のon/offによって検出器が初めに決めていた

位置より約100 μ m程度動いてしまう。よってこれら検出器の時間的な動きをとらえる事が重要となる。これらの時間的な動きを検出するために、光学的位置補正装置を設置した。今までの運用中のフィードバックで装置のDAQシステムに問題が見つかった。そこでより検出器の安定稼働する事を目的としてDAQシステムのアップグレードを行った。新しいシステムを用い装置の長期間の運用を行い、安定性の確認を行った。

XVII - 030 転写抑制因子 Tup11, Tup12 によるクロマチン構造制御機構の解析

Analysis of Transcriptional Regulation by Co-Repressor Tup11-Tup12

研究者氏名： 廣田 耕志 Hirota, Koji

ホスト研究室： 柴田上席研究員研究室

(アドバイザー 柴田 武彦)

染色体DNAはヒストンタンパク質に巻付き、さらに様々なタンパク質と相互作用し、クロマチン構造をとって細胞核内に存在している。クロマチン構造をとる事により、長大なDNAをコンパクトに核内に格納する事が可能になる一方、転写や、複製、組換え、複製などのDNAに関連した諸反応に対して障壁となる事が知られている。このようなDNA関連反応を行う際には、クロマチン構造が適切に制御され、必要な領域ではDNAへのアクセスが可能となるように開いた構造へと変化することが重要となる。我々はこれまで転写抑制因子Tup11-Tup12がクロマチン構

造制御に関わっており、ストレスに対して非特異的なクロマチン弛緩を防ぐ働きを担っていることを見いだしている。

今年度の成果として、我々はRNA合成酵素RNAポリメラーゼII(RNAPII)の通過によってクロマチン構造変化が誘導されることを見いだしている。我々は、グルコース飢餓によって誘導される $fbp1$ 遺伝子の発現を解析したところ、誘導初期において本来の転写産物の約2倍の長さの転写産物の存在を捉えた。このノンコーディング領域をカバーしている長い転写産物の転写開始点は、本来の開始点の約1.5kbp上流に

あった。さらに、このような転写物は徐々に短いものに変化し、最終的に本来の転写産物へと推移した。このような転写物の推移が起きる時、RNAPIIは徐々に結合部位を上流から下流へと推移させ、最終的に本来の転写開始点へと結合部位を移した。この時、クロマチン構造は、転写物およびRNAPIIの結合部位の推移と同じタイミングで、上流から徐々に開いた構造へと変化していた。RNAPIIの動きを止めたところ、これに呼応してクロマチンの変化もRNAPIIの動きの止まる部位以降で見られなくなり、RNAPIIの通過がクロマチン構造弛緩に必須な役割をしていることが示された。さらに、*fbp1*の転写活性化に必須のAtf1およびRst2の転写因子とクロマチン構造の非特異的变化を防ぐTup11-12の因子との関わりを調べたところ、Tup11-12はRNAPIIが非誘導時に下流へとシフトしないように守っており、Atf1やRst2は転写誘導時にTup11-12のこのような働きを阻害して、RNAPIIが下流へとシフトできるよう制御していることが明らかとなった。このような制御により、RNAPIIが適切にクロマチン構造を制御していることを見いだした。これまで、多くの生物種でノンコーディングRNAの存在が明らかとなっているが、多くのものの働きは未知であった。本研究の成果で、このようなRNA分子はRNAPIIのよるクロマチン制御の痕跡である可能性を示せた。特に、発生過程に見られるノンコーディングRNAの存在は、発生過程における緻密な遺伝子発現制御のためのクロマチン制御にRNAPIIが関わっている可能性を示唆している。

今後、発生時等のノンコーディングRNAの見られる領域のクロマチンとの相関を調べることで、このような可能性に迫れるものと考えている。

誌上発表 Publications

(国際雑誌)

Hirota K., Steiner W., Shibata T., Ohta K.: "Multiple modes of chromatin configuration at natural meiotic recombination hotspots in fission yeast", *Eukaryotic Cell* 6:2072-2080 (2007)*

Sasanuma H., Hirota K., Fukuda T., Kakusho N., Kugou K., Kawasaki Y., Shibata T., Masai H., Ohta K.: "Cdc7-dependent phosphorylation of Mer2 facilitates initiation of yeast meiotic recombination", *Genes & Development* (in press)*

Hirota K., Mizuno K., Shibata T., Ohta K.: "Distinct chromatin modulators regulate the formation of accessible and repressive chromatin at the fission yeast recombination hotspot *ade6-M26*", *Molecular Biology of the Cell* (in press)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kouji Hirota, Takehiko shibata, Kunihiro Ohta: "Counteracting regulation of chromatin alteration in fission yeast recombination hotspot *ade6-M26*", FASEB summer research conferences 'Genetic recombination and Genome Rearrangements', Snowmass Village, Colorado (2007)

(国内学会)

廣田耕志、Charles S. Hoffman、柴田武彦、太田邦史: "分裂酵母 *fbp1* 遺伝子上流ノンコーディング領域を転写するRNA polymeraseによるクロマチンリモデリング制御機構の解析"、酵母遺伝学フォーラム、大阪大学コンベンションセンター (2007)

XVII - 031 人為的な染色体二重鎖切断を用いた減数分裂期組換え機構に関する研究

Analysis of the Molecular Mechanism of Meiotic Recombination

Using Designed DNA Double-strand Breaks

研究者氏名: 福田智行 Fukuda, Tomoyuki

ホスト研究室: 柴田上席研究員研究室

(アドバイザー 柴田 武彦)

真核生物の減数分裂期において、染色体DNAは複数の箇所ではSpo11を中心としたタンパク質複合体によって切断され、相同染色体を鋳型とした組換えによって修復される。「減数分裂期組換え」と呼ばれる

この現象は遺伝的多様性の原動力となるだけでなく、減数分裂期に特徴的な染色体構造の形成、染色体の分配、配偶子の形成に重要な役割を果たしている。Spo11による染色体切断はホットスポットと呼ば

れる特異的な箇所を高頻度に生じ、各染色体にはホットスポットが特徴的に分布している。本研究では、人為的に任意の箇所へ減数分裂期特異的に染色体切断を導入するというアプローチにより、減数分裂期組換えの位置や個数を決定する機構を解明することを目的とする。

昨年度までに確立した手法を用いて、特定のホットスポットの近傍に人為的な染色体切断を引き起こし、その効果を解析した。人為的な切断は近傍のホットスポットでのSpo11による切断を抑制し、この抑制の効果は導入した切断の活性が高いほどより強く、広範囲(30kb以上)にわたって作用することが明らかになった。また、この効果は切断の生じた染色体上だけでなく、切断が生じていない相同染色体上のホットスポットにも作用していた。一方、ホットスポットの必要条件を満たした箇所が近傍に複数存在している場合には、切断の活性化をめぐって互いに競合が起きることと、この競合効果は同一染色体にのみ作用し、相同染色体へはほとんど作用しないことが明らかになった。以上の結果から、減数分裂期組換えが特定の領域でごく少数だけ起きるように切断の前後で複数の制御が存在することが示唆された。さらに、Spo11はホットな領域では多量体化して切断を活性化するのに対し、コールドな領域ではたとえ染色体に結合しても単量体のままで存在していた。したがって、染色体領域に依存したSpo11の活性化機構あるいは抑制機構が存在していることも示唆された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sasanuma H., Hirota K., Fukuda T., Kakusho N., Kugou

K., Kawasaki Y., Shibata T., Masai H., Ohta K.: "Cdc7-dependent phosphorylation of Mer2 facilitates initiation of yeast meiotic recombination", Genes Dev. in print *

Fukuda T., Kugou K., Sasanuma H., Shibata T., and Ohta K.: "Targeted induction of meiotic double-strand breaks reveals chromosomal domain-dependent regulation of Spo11 and interactions among potential sites of meiotic recombination", Nucleic Acids Res. in print *

Fukuda T., Ohya Y., and Ohta K.: "Conditional genomic rearrangement by designed meiotic recombination using VDE (PI-SceI) in yeast", Mol. Genet. Genomics, 278 467-478 (2007) *

(単行本)

福田智行、太田邦史：“酵母のすべて” 分担執筆「組換え、修復、突然変異」, シュプリンガー・ジャパン (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukuda T., Shibata T., Ohta K.: "Multiple mechanisms govern the distribution of meiotic recombination through the control of Spo11p-mediated double-strand break formation", 8th European Meiosis Meeting, Kamakura, Japan, Sep.(2007)

(国内学会等)

福田智行、久郷和人、笹沼博之、柴田武彦、太田邦史：“部位特異的な染色体切断導入を利用した減数分裂機組換えの分布制御に関する解析”、文部科学省特定領域研究「染色体サイクルの制御ネットワーク」第一回公開領域会議、東京、1月(2008)

XVII - 032 超伝導検出器を用いた中性子 崩壊陽子のエネルギースペクトル測定

A Measurement of Proton Energy Spectrum from Neutron Decay with Superconducting Detector

研究者氏名：三島賢二 Mishima, Kenji

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

延與放射線研究室

(アドバイザー 延與 秀人)

自由中性子の崩壊の詳細な測定は、原子核崩壊と比較して核構造に依存しないため、より精密な標準模型の検証を可能にする。そのため、現在世界の

さまざまな中性子実験施設でこの中性子崩壊の測定がなされているが、崩壊陽子に関しては、その運動エネルギーが最大で750eVと非常に小さいため、そ

のエネルギー分光は非常に困難であった。本研究では陽子検出に数十eVの分解能を持つ超伝導検出器を用いることにより、より高精度の中性子崩壊の測定を目論んでいる。

本年度は昨年度に引き続き超伝導トンネル接合素子(STJ)の作成、開発を推し進めた。統計を稼ぐため、実験には大面積のSTJが必要である。そこで、STJとしては世界最大級である500 μ m角素子の作成を行った。問題のあった作成歩留まりに関して、STJ作成時にエッチ部分を参加する陽極酸化法により500mm角3 \times 3アレイのうち8個が正常に動作するものを作成できた。

また、本年度はJ-PARC中性子実験施設に建設される基礎物理ビームラインの設計に関して、ビーム光学および遮蔽設計において中心的な役割を果たした。科学研究費学術創成研究費「中性子光学による基礎物理学」の獲得により、J-PARCに中性子基礎物理学用のビームラインを建設することが決定した。本研究では日本原子力研究機構JRR3において、テスト実験を行ってきたが、ビームラインの構造によるバックグラウンドや実験スペースの点で問

題があり、その根本的な解決は難しかった。新たにJPARCに建設するビームラインにおいてはこの点を意識し、可能な限り上流で中性子を整形することにより低バックグラウンドを実現できる設計にした。また、本ビームラインでは偏極ミラーを用いているため97%(計算値)という高い偏極度が得られ、JRR3では不可能であった偏極実験が可能になる。平成20年冬のビームライン稼働を目指し、建設を進めている。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Kenji Mishima, Takashi Ino, Kenji Sakai, Takenao Shinohara, Katsuya Hirota, Kazuaki Ikeda, Hiromi Sato, Yoshie Otake, Hitoshi Ohmori, Suguru Muto, Norio Higashi, Takahiro Morishima, Masaaki Kitaguchi, Masahiro Hino, Haruhiko Funahashi, Tatsushi Shima, Jun-ichi Suzuki, Koji Niita, Kaoru Taketani, Yoshichika Seki and Hirohiko M. Shimizu: "The Optics of the J-PARC BL05 and Measurement of Neutron Decay", NP08, Mar. 06, 2008, Mito Plaza Hotel, Mito, Japan

XVII - 033

小脳神経回路網におけるルガロ細胞の役割

Roles of Lugaro Cells in the Cerebellar Neuronal Network

研究者氏名： 廣野 守俊 Hirono, Moritoshi
ホスト研究室： 脳科学総合研究センター
小幡研究ユニット
(アドバイザー 小幡 邦彦)

モノアミンはシナプス伝達、特に抑制性GABAシナプス伝達を修飾し、高次脳機能を巧みに制御すると考えられる。縫線核のセロトニン作動性ニューロンや青斑核のノルアドレナリン(NA)作動性ニューロンの神経線維は小脳皮質に投射しており、小脳運動学習に大きく寄与すると考えられる。また、小脳皮質のセロトニンセンサーとしてルガロ細胞が知られている。そして、GABAニューロンがGFP蛍光で認識できるGAD67/GFPマウスを用いたこれまでの研究結果より、典型的なルガロ細胞を始め、様々な抑制性介在ニューロンの電気生理学的特性が明らかとなってきた。

例えば、プルキンエ細胞層にはルガロ細胞様なニューロンとして、グロビュラー細胞が存在する。分子層のバスケット細胞と隣接した部位に細胞体が局在し、形

状も似ていることから、現時点では電気生理学的特性を比較することが必要である。この細胞にホールセル電位固定法を適用すると、約40Hzという高頻度の自発性抑制性シナプス後電流(sIPSC)が記録された。このsIPSCは、セロトニンやNAによって減弱することが分かった。さらに、典型的ルガロ細胞と同様にセロトニンやNAにより自発発火が増加することが分かった。

昨年度までの研究結果より、ルガロ細胞の自発発火はNAで増大し、またプルキンエ細胞の軸索側枝が典型的ルガロ細胞に入力することが明らかとなった。では、典型的ルガロ細胞は、小脳神経回路網に如何に寄与するであろうか？セロトニン作動性ニューロンやNA作動性ニューロンの神経終末は、プルキンエ細胞層周辺部に密に存在する。したがって、縫線核や青斑核の活動上昇に

よって放出されたモノアミンは、まず始めにプルキンエ細胞層周辺に局在するルガ口細胞を興奮させると考えられる。そして、ルガ口細胞 ゴルジ細胞 平行線維 プルキンエ細胞 ルガ口細胞といったフィードバック抑制を介することで、プルキンエ細胞の発火頻度を一過性に増大させた後、急速に元のレベルに回復させる作用があると考えられる。つまり、モノアミン濃度の時間的局所の変化を、プルキンエ細胞の発火頻度の微調整に反映させる効果があると推測される。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

廣野守俊、松永渉、小幡邦彦：“ α_2 -アドレナリン受容体を介する小脳 GABA 作動性シナプス伝達抑制の生後発達”、第 30 回日本神経科学大会、横浜、9 月 (2007)

廣野守俊、小幡邦彦：“小脳抑制性シナプス伝達に対するエタノールの二重促進作用”、第 45 回日本生体物理学会年会、横浜、12 月 (2007)

XVII - 034 RNA 異常を伴う神経変性疾患における発症メカニズムの解析

Molecular Analysis of Neurodegenerative Diseases with Abnormal RNA Metabolisms

研究者氏名：紀 嘉浩 Kino, Yoshihiro

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

構造神経病理研究チーム

(アドバイザー 貴名 信行)

ハンチントン病は、ハンチンチン遺伝子の CAG リピート配列伸長を原因とする常染色体優性の遺伝性疾患である。この伸長はハンチンチンタンパク質 N 末端付近に存在するポリグルタミンの伸長をもたらす。伸長ポリグルタミンを含む変異型タンパク質は凝集性を示し、異常な結合特性によって多数の細胞機能や分子経路に影響を与えられとされる。近年、ハンチントン病やその他のポリグルタミン伸長疾患では、転写を中心とした核機能の異常が注目されている。元来、ポリグルタミンを持つタンパク質の多くは転写に関連した因子であり、それらの分子間相互作用ネットワークが伸長ポリグルタミン含有タンパク質によって攪乱されとされている。また、ポリグルタミン病原タンパク質の核局在の程度が症状を左右することは、マウスの遺伝学的実験によって示されている。

本研究ではまず、変異型ハンチンチンの N 末端領域と共凝集するタンパク質の探索を試みた。数十種のタンパク質が同定されたが、このうち半数あまりが RNA 代謝と関連するとみられるタンパク質であった。そこで、ハンチントン病における RNA 代謝・RNA プロセッシングの異常の有無に注目した。培養細胞系において、核局在する変異型ハンチンチン断片の発現が、遺伝子特異的に選択的スプライシングの変化を引き起こすことを見出した。この効果は伸長ポリグルタミンの発現によるものであり、伸

長 CAG リピート RNA によるものではなかった。また、スプライシング変化は、変異型タンパク質の核局在およびリピート長に依存的であった。次に、ハンチントン病モデルマウスにおける発症早期の RNA 発現状況を、エクソアレイ (Affymetrix 社) によって網羅的に解析した。その結果、既知の遺伝子発現量変化に加えて、新規の発現量変化および RNA プロセッシングの変化を検出した。従って、変異型ハンチンチンの発現は、マウス個体において発症早期の段階から mRNA の質と量の双方の変化を引き起こすことが明らかとなった。

以上の結果から、変異型ハンチンチンによって影響を受ける核機能として、RNA プロセッシングが示唆された。選択的スプライシングや選択的ポリ A 付加が神経機能の調節に関わる例が知られているが、これらの異常がハンチントン病モデルマウスにおける症状を説明する可能性がある。また、従来から知られていた転写異常を、より広範な RNA 代謝異常の一部として位置づける見方が可能になると考えられる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nezu Y., Kino Y., Sasagawa N., Nishino I., and Ishiura S.: “Expression of MBNL and CELF mRNA transcripts in muscles with myotonic dystrophy”, *Neuromuscul.*

Disord., 17(4), 306-312 (2007)*

Oma Y., Kino Y., Toriumi K., Sasagawa N., and Ishiura S.: "Interactions between homopolymeric amino acids (HPAAs)", *Protein Sci.*, 16(10), 2195-2204 (2007)*
Mori D., Sasagawa N., Kino Y., and Ishiura S.: "Quantitative analysis of CUG-BP1 binding to RNA repeats", *J. Biochem.*, in print*

(総説)

紀嘉浩、貫名信行：“神経筋疾患とRNA代謝異常”

実験医学 25(13) (増刊)、101-108 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kino Y., Oma Y., Onishi H., Sasagawa N., Nukina N., and Ishiura S.: "Structural determinants for the molecular properties of MBNL proteins", 6th International Myotonic Dystrophy Consortium Meeting, Milan, Italy, Sep. (2007)

XVII - 036 カルシウムシグナルによる神経成長円錐の運動制御機構の解明

Mechanisms of Neuronal Growth Cone Guidance Induced by Ca²⁺ Signals

研究者氏名：戸島拓郎 Tojima, Takuro

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

神経成長機構研究チーム

(アドバイザー 上口裕之)

複雑かつ精巧な神経回路を形成するために、発生中の神経軸索先端部に現れる成長円錐は、外界に呈示される様々な軸索ガイダンス因子を感受して自身の運動性を変化させ、軸索を正確な標的へと牽引する役割を担っている。軸索ガイダンス因子は、成長円錐を引き寄せる“誘引因子”と、遠ざける“反発因子”に大別され、成長円錐はこれら2種類の標識を感知することで自らの進行方向を変化させることができる。本課題では、生きた成長円錐内における細胞骨格・膜小胞等の機能分子動態を最新のイメージング技術を用いて解析し、成長円錐旋回の駆動メカニズムを解明することを目的としている。平成18年度までの研究によって、“誘引性”旋回運動が、成長円錐内における非対称性膜輸送とエキソサイトーシスによって駆動されていることが解明されていた。しかし一方で、“反発性”旋回運動には膜輸送およびエキソサイトーシスは全く関与していないことも証明され、成長円錐の誘引と反発は同じ機構の極性を逆転させることではなく、全く別の分子機序により調節されていることが示唆されていた。

そこで平成19年度は、“反発性”旋回運動を駆動する分子メカニズムについて詳細に解析を進めた。はじめに、反発性旋回運動に関与する細胞内セカンドメッセンジャーとして、一酸化窒素-cGMP経路を同定した。すなわち、軸索ガイダンス因子受容シグナルに対して、一酸化窒素-cGMP経路が活性化さ

れた状態の成長円錐は反発を呈し、不活化された成長円錐では誘引を呈することを明らかにした。その上で、反発性旋回運動を司る駆動メカニズムを解析した。誘引性旋回にはガイダンス因子を受容した側での形質膜成分追加(エキソサイトーシス)が必要であったことから、反発性旋回では逆に片側での形質膜成分を取り除く機構(エンドサイトーシス)が働いている可能性が考えられた。そこで、誘引性・反発性旋回運動に対する各種エンドサイトーシス阻害剤の効果を検証したところ、反発性旋回運動は消失したが誘引性旋回運動には効果がなかった。また、これらエンドサイトーシス阻害剤を成長円錐の片側に局所投与したところ、成長円錐は誘引性旋回を呈した。以上の結果から、成長円錐の反発性旋回におけるエンドサイトーシスの重要性が明らかになった。

誌上発表 Publications

(総説)

秋山博紀、戸島拓郎、大芦典子、上口裕之：“カルシウムシグナルによる軸索ガイダンスの制御機構”、*蛋白質核酸酵素*, 53, 153-163 (2008)

(単行本)

戸島拓郎、上口裕之：“神経軸索の伸長とガイダンスを制御する分子機序”、*脳科学シリーズ/脳の発生と発達*、東京大学出版会、pp.141-185 (2008)

(その他)

戸島拓郎：“神経突起が伸びる方向を変える仕組みを
発見”、RIKEN BSI NEWS、38, 4 (2008)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

戸島拓郎、糸総るり香、上口裕之：“一酸化窒素による
神経軸索ガイダンスの制御機構”、第27回神経
組織培養研究会、東京、10月(2007)

XVII - 038 Rab27A-Slp 複合体によるインスリン分泌制御機構の可視化解析

Live Cell Imaging Analysis of the Molecular Mechanism of Exocytosis by Rab27A/Slp Complex

研究者氏名：坪井貴司 Tsuboi, Takashi

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

細胞機能探索技術開発チーム

(アドバイザー 宮脇 敦史)

シナプトタグミンはカルボキシル末端側にC2ドメインをタンデムに持ち、アミノ末端側に膜貫通領域を1ヶ所持つ顆粒上の膜タンパク質である。これまでの研究から、シナプトタグミンは、ホルモン顆粒の細胞膜とのドッキング、細胞膜との融合、そしてホルモン顆粒のリサイクリングに必須の多機能分子であることが分かっている。ホルモン分泌細胞PC12細胞においては、4種類のシナプトタグミンアイソフォームが発現し(I、IV、VII、IX) 中でもシナプトタグミンVII(SytVII)がホルモン分泌を促進することが明らかになっている。しかしながら、ホルモン分泌促進の詳細な分子メカニズムについては不明な点がある。

本年度は、緑色蛍光蛋白質(GFP)でラベルしたSytVII(GFP-SytVII)を恒常的に発現するホルモン分泌細胞PC12細胞の作製を試みた。また、GFP-SytVII恒常発現PC12細胞のホルモン顆粒をニューロペプチドY_赤色蛍光蛋白質(NPY-RFP)でラベルすることにより、ホルモン分泌におけるSytVIIの役割を明らかにすることを試みた。蛍光免疫染色の結果、GFP-SytVII及びNPY-RFPは、それぞれホルモン分泌顆粒膜上及び顆粒内に局在することが分かった。次に、GFP-SytVII恒常発現PC12細胞に分泌刺激を与えると、多数のNPY-RFP放出反応が観察された。放出反応には、NPY-RFPが完全に細胞外に放出される完全放出型と、一部分のNPY-RFPのみ放出される部分的放出型の2種類が存在し、放出反応の約7割が完全放出型であることが全反射蛍光顕微鏡の可視化解析から明らかになった。そこで、RNA干渉法(silencing RNA)を用いて、GFP-SytVII及び内在性シナプトタグミンアイソフォームを特異的に単独ノックダウン

した。その結果、GFP-SytVIIに対するsiRNAは、完全開口放出数を減少させ、部分的開口放出数を増加させたが、他の内在性シナプトタグミンアイソフォームに対するsiRNAは、開口放出反応への影響も与えなかった。以上の結果から、SytVIIは開口放出時の膜融合孔形成を安定化することにより、開口放出反応を促進すると示唆された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsuboi T., Kanno E., and Fukuda M.: “The polybasic sequence in the C2B domain of rabphilin is required for the vesicle docking step in PC12 cells”, *Journal of Neurochemistry* 100 770-779 (2007)*

Tsuboi T., Fukuda M.: “Synaptotagmin VII modulates the kinetics of dense-core vesicle exocytosis in PC12 cells”, *Genes to Cells* 12 511-519 (2007)*

(総説)

坪井貴司、福田光則：“Live cell imagingによる細胞活動の可視化解析”、日本比較内分泌学会ニューズ 124 45-53 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

坪井貴司：“ホルモン分泌顆粒ドッキング機構の分子メカニズムの解析”、第87回日本生理学会大会、大阪、3月(2007)

坪井貴司：“Recruitment, docking, and fusion of hormone vesicles distinctively revealed by total internal reflection fluorescence microscopy in live neuroendocrine cells”、第2回理化学研究所フロンティア研究シス

テム研究成果発表会、埼玉、5月(2007)

坪井貴司：“Live cell imagingによるホルモン分泌顆粒輸送分子機構の解析”、東京大学大学院医学系研究科疾患生命工学センター若手研究者セミ

ナー、東京、6月(2007)

坪井貴司：“Live cell imagingによるホルモン分泌顆粒ドッキング機構の解析”、第3回先進医療学セミナー、東京、6月(2007)

XVII - 039 マウス由来グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼの機能解析

Functional Analysis of Murine Glycerophosphodiester Phosphodiesterases

研究者氏名：大嶋 紀安 Ohshima, Noriyasu

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(アドバイザー 城 宜嗣)

真核生物は細胞膜リン脂質の構成成分として、ホスファチジルコリン、ホスファチジルエタノールアミン、ホスファチジリンシトール、ホスファチジルセリンなどを有している。それらのリン脂質からホスホリパーゼによって脂肪酸が切り離されると、それぞれグリセロホスホコリン(GPC)、グリセロホスホエタノールアミン(GPE)、グリセロホスホイノシトール(GPI)、グリセロホスホセリン(GPS)などのグリセロホスホジエステルが生じる。グリセロホスホジエステルをグリセロール3_リン酸とコリンなどのアルコールとに加水分解する反応を行うのが、グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼ(GDE)である。この酵素はほ乳類に於いてその酵素活性が組織中に存在することは知られていたが、その実体は長く不明であった。しかし近年になってヒトにおいてGPIを基質とするGDE1が報告された。本研究では各種グリセロホスホジエステルに対するGDEを見だし、各酵素が生体内でどのような役割を果たしているのかを細胞膜リン脂質の代謝と関連させて明らかにすることを目的とする。

本年度は、マウスGDE1およびGDEであると予想される3種のタンパク質(GDE4, 5, 8)を昆虫細胞で大量発現させ、精製タンパク質を用いた酵素反応解析を行った。

(1) 精製GDE1の酵素活性を詳細に検討した。その結果、GDE1は以前から報告のあるGPIよりもむしろGPSに対する活性が高く、GPS特異的な酵素であることが分かった。

(2) GDE1に対する抗体を用いて組織分布および免

疫組織化学を検討した。ウェスタンブロットによる解析ではGDE1は精囊、脳、肺などに高い発現を示した。免疫組織化学を行ったところ、精囊腺上皮細胞に発現が認められた。精囊腺の分泌機能などでのGDE1の役割を明らかにすることは今後の課題である。

(3) GDE4, 5, 8について精製タンパク質を得ることが出来た。そのうちGDE5の酵素反応解析の結果、GDE5はグリセロホスホコリンに対して特異的であることが分かった。

本研究において、ほ乳類においてグリセロホスホセリン、およびグリセロホスホコリンに対するGDEをそれぞれ初めて見出した。GDEの機能解析によりその上流のホスホリパーゼの働きについても、有用な知見が得られると考えられた。

誌上発表 Publications

Ohshima N, Yamashita S, Takahashi N, Kuroishi C, Shiro Y, Takio K.: “Escherichia coli cytosolic glycerophosphodiester phosphodiesterase (UgpQ) requires Mg²⁺, Co²⁺ or Mn²⁺ for its enzyme activity”, J Bacteriol. (2008) in print*

口頭発表 Oral Presentations

大嶋紀安、高橋直子、瀧尾擴士、城宜嗣：“マウス由来グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼ1(GDE1)の酵素学的解析”、第80回日本生化学会大会、横浜、12月(2007)

研究者氏名： 林田 稔 Hayashida, Minoru

ホスト研究室： 放射光科学総合研究センター

三木生物超分子結晶学研究室

(アドバイザー 三木 邦夫)

スプライソソームは核内でpre-mRNAからイントロンを正確に切り出し、エキソンを連結してタンパク質を直接コードする成熟したmRNAを生じるスプライシング反応を担う。スプライソソームは5種類のRNAと多数のタンパク質からなり、リボソームと同様に核酸-タンパク質超分子複合体である。スプライシング反応はこれらのRNA-タンパク質複合体(snRNP)といくつかのnon-snRNPタンパク質の会合と解離によって進む。このように、スプライソソームは構造構築の複雑さと動的性質が大きいため、その構造生物学的研究は非常に困難なものとなっている。近年、リボソームに続く核酸-タンパク質超分子複合体のターゲットとして、スプライソソームの極低温電子顕微鏡による単粒子解析が活発に行われているが、いずれも低分解能構造のためスプライシング機構に関する原子レベルでの情報は得られていない。またスプライソソームを構成するタンパク質に関しても完全に同定されているわけではない。本研究では、スプライシング反応において中心的な役割を果たしていると考えられているU2 snRNPを中心として、X線結晶構造解析の手法を用いた構造生物学的研究による原子レベルでのスプライシング機構の解明を目的とする。

一方、スプライシングの過程で生じる投げ縄構造のイントロンを加水分解するRNA debranching酵素

(DBR)は、イントロンRNAの代謝に必須の因子であり、出芽酵母における*dbp*遺伝子の欠損は、投げ縄状イントロンの蓄積を生じ、その発育に影響を及ぼすことが知られている。DBRは枝分かかれたRNAの2' 5'リン酸ジエステル結合に対してのみ切断活性を示す非常に珍しい酵素であることから、そのユニークな反応機構の解明を目指した構造生物学的研究が20年以上に渡って行われているにも関わらず、いまだ結晶構造は得られていない。DBRの基質特異性および反応機構を知ることは酵素学のみならず、イントロンRNAの代謝サイクルを理解するうえでも非常に重要であることから、DBRも研究対象に含めて構造生物学的研究を展開してきた。

これまでに、スプライソソームを主な研究対象としてスプライシング反応に関わるタンパク質の構造-機能相関の解明を目指して、これらタンパク質の大腸菌や無細胞発現系を用いた発現系の構築、精製および結晶化を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hayashida M., Kim S.H., Takeda K., Hisano T., and Miki K.: "Crystal structure of *N*-Acylamino Acid Racemase from *Thermus thermophilus* HB8", *PROTEINS: Structure, Function, and Bioinformatics**, in print

XVII - 044 核局在の細胞骨格系タンパク質による細胞分化・分裂の制御機構

The Functional Analysis of the Nuclear Localizing Cytoskeletal Protein
in the Development and Cell Division

研究者氏名： 五十嵐 久子 Igarashi, Hisako

ホスト研究室： 植物科学研究センター

形態制御研究チーム

(アドバイザー 出村 拓)

私は、動植物を通じ機能未知のアクチン-微小管結合タンパク質MAP190に注目して解析を行ってき

た。タバコBY2細胞において、核と分裂期の細胞骨格に局在していたことから分裂期の細胞骨格の構築

や核の構築に関わっていると考えられた(Igarashi et al.2000)。しかし、BY-2細胞においてMAP190の機能を欠損させても分裂期細胞骨格構造に異常は見られず、核の構造異常やDNA量の増加がみられた。組織における機能解析をシロイヌナズナで行ったところ、胚発生と主根の発達が阻害されひげ根化することが分かった。しかし興味深いことに、BY-2細胞やシロイヌナズナのMAP190欠損体において、微小管などの細胞骨格の構造を観察したところ大きな変化は見られなかった。したがってMAP190は分裂や分化の過程において、細胞骨格の構造維持とは異なる役割を果たしているものと考えられた。また、シロイヌナズナMAP190欠損体においてオーキシンの極性輸送への関与が報告されているPINタンパク質の局在が大きく乱れていることを見いだした。シロイヌナズナにおいてMAP190は核と細胞質にドット状に分布していることから、核内外を移動することによりオーキシン極性輸送に必須のシグナル伝達を制御している可能性が考えられた。(参考文献：Igarashi et

al (2000) Isolation of a novel 190 kDa protein from tobacco BY-2 cells: Possible involvement in the interaction between actin filaments and microtubules. Plant Cell Physiology 41: 920-931)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

五十嵐久子, Jen Topping, Mechael Deeks, Timothy Hawkins, Andrei Smertenko, 園部誠司, 新免輝男 Keith Lindsey, Patrick J. Hussey : “ 核局在型の微小管関連タンパク質 MAP190 の機能解析 ”、第 71 回植物学会大会、野田、9 月(2007)

Hisako Igarashi, Jen Topping, Michel Deeks, Timothy Hawkins, Andrei Smertenko, Seiji Snonobe, Teruo Shimmen and Patrick J. Hussey : “ 植物の発生における核局在型微小管関連タンパク質 (MAP190) の機能解析 ”、第 49 回植物生理学会大会、札幌、3 月 (2008)

XVII - 045

三量体 G 蛋白質による紡錘体の制御機構の解析

Regulation of Mitotic Spindle Orientation by Heterotrimeric G Proteins

研究者氏名：泉 裕士 Izumi, Yasushi

ホスト研究室：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

(アドバイザー 松崎 文雄)

細胞極性等を利用して異なる姉妹細胞を生み出す非対称分裂は、細胞の多様性を生み出す為に必須かつ普遍的な過程である。非対称分裂の典型例であるショウジョウバエ神経幹細胞では、細胞運命決定因子が分裂期に非対称に局在し、分裂軸方位がこれに一致する事が、神経幹細胞自身と神経母細胞という異なる姉妹細胞を生み出すのに必要である。私はこの分裂軸方位の制御には、三量体 G 蛋白質 Gai とその G D P 解離抑制因子 P i n s による紡錘体への作用が重要である事、さらに P i n s と直接結合する M u d 蛋白質が紡錘体との間を介在する事を明らかにしてきた。

M u d と相同な因子は哺乳類や線虫にも存在し、M u d の P i n s 結合部位はそれぞれで高度に保存された領域に存在する事も判明した事より、これらの因子群による紡錘体の制御は進化的に保存された

機構であると考えられた。

本年度は、M u d の分子機能解明を目的にドメイン解析を行い、次の事が明らかになった。

(1) M u d は N L M モチーフと呼ばれる進化的に保存された部位を含む C 末領域で、P i n s の N 末領域と直接結合する。そしてこの領域は神経幹細胞のアピカル側に局在するのに十分である事から、M u d と P i n s の結合と局在制御の相関関係が確認できた。

(2) M u d の C 末端に存在する細胞膜貫通様領域は核膜への局在ドメインである事が分かった。しかし内在性 M u d は神経幹細胞など核膜に局在しない場合と、卵細胞の様に局在する場合があります、それぞれの細胞での特異的機能を反映している事が考えられた。核膜局在の機能的な意義については今後の課題である。

(3) MudのN末領域は、ダイニン複合体と細胞内で部分的に共局在し、さらに共免疫沈降も確認した。神経幹細胞におけるダイニン複合体の機能を解析する為に、ドミナントネガティブ型のGluedを発現させた。その結果、一部の神経幹細胞が分裂方向の異常や中心体の増加など、Mudの変異体でも見られる表現型を示す事を確認した。この事から、ダイニン複合体はMudと相互作用し、何らかの形でその機能に関与している可能性

が示唆された。

口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

泉裕士、太田奈緒、松崎文雄：“ショウジョウバエ神経幹細胞の非対称細胞分裂における、分裂軸方位の制御機構”、CREST研究領域「生物の発生・分化・再生」第6回公開シンポジウム、東京、11月(2007)

XVII - 046 神経突起伸長開始点の制御に於ける Wnt シグナル依存的な細胞極性の役割及びそこに必要とされる分子機構の解明

Analyses of the Role of Wnt Signal-dependent Cell Polarity and Molecular Mechanisms to Control the Site of Neurite Protrusion

研究者氏名：柴田 幸政 Shibata, Yukimasa

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター

細胞運命研究チーム

(アドバイザー 澤 齊)

神経発生における細胞極性の役割の一つに、細胞のどの部分から神経突起が伸長するかの調節があると考えられる。しかし、この時、どのような分子が必要とされるかはあまり分かっていない。Wnt シグナル伝達に異常を持つ変異体と類似の異常を示す *C.elegans* 変異体 *os73* は PDE と呼ばれる神経細胞の細胞体から神経突起が伸び出す位置にばらつきが見られることから、神経突起伸長開始点の制御に異常があると考えられた。本研究は *psa-17* 変異体の解析を中心とし、神経突起伸長開始点の制御に必要な分子機構を明らかにしていく事を目的として行った。

pas-17 のクローニングの結果、SWI/SNF クロマチンリモデリング複合体の構成因子、polybromo の相同遺伝子であることがわかり、その細胞内局在は染色体及び中心体の周辺にであった。他の SWI/SNF クロマチンリモデリング複合体の構成因子 PSA-1, PSA-4 は中心体の周辺での局在がみられず、PSA-17 が SWI/SNF クロマチンリモデリング複合体の構成因子として以外の役割も持っている可能性が考えられたが、神経突起が伸び出す位置のばらつきという表現型が、*psa-1* 変異体でもみられ、PSA-17 は SWI/SNF クロマチンリモデリング複合体の構成因子として転写を介して PDE 細胞の神経突起の付け根の位置を制御

していると考えられた。また、同様に PDE 細胞の細胞体から神経突起が伸び出す位置にばらつきが見られる *bet-1* 変異体、のクローニングの結果、原因遺伝子がヒストン結合蛋白質をコードしていた事から、このような異常は転写異常によって一般的に引き起こされると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shibata Y., Takeshita H., Sasakawa N., Sawa H.: “A putative histone-binding protein, BET-1, maintains distinct gene expression patterns between closely related cells in *C. elegans*”, 16th International *C.elegans* Meeting, Los Angeles, USA, June (2007)

(国内学会等)

柴田幸政、竹下久子、笹川典子、澤齊：“*C.elegans* ヒストン結合蛋白質 BET-1 は近縁の細胞の遺伝子発現の違いの維持に必要である”、第40回日本発生生物学会、福岡、5月(2007)

柴田幸政、竹下久子、笹川典子、澤齊：“*C.elegans* ヒストン結合蛋白質 BET-1 は近縁の細胞間の遺伝子発現の違いを安定に保つのに関与する”、第30回日本分子生物学会、横浜、12月(2007)

研究者氏名：友野 大 Tomono, Dai
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 岩崎先端中間子研究室
 (アドバイザー 岩崎 雅彦)

電磁相互作用、弱い相互作用を規定する電弱標準理論においては、実験によってその大きさを決定すべきパラメータが最低3つ必要であり、それらの定数の1つとして、フェルミ結合定数が選択される。これを実験的に高精度で決めるためには、ミュオン崩壊の高精度測定が適している。ミュオン崩壊を使う利点は崩壊モードが少ないので扱いやすく加速器で大量に生成可能であり、理論的にもミュオン寿命とフェルミ結合定数間の関係式には非常に不定性が小さいことである。そこで、ミュオン崩壊寿命の高精度測定実験を、大強度ビームが得られる理研RALミュオン施設で計画した。過去の実験の考察から、測定精度向上のためには、検出器については応答の速い安定した検出性能が肝要であり、検出器開発を重点的に進めた。

本年度は検出器技術の応用として進めている同じミュオン崩壊電子線のための検出器として μ SRスペクトロメーター用のファイバー読み出しシンチレーションカウンターの製作を行った。さらに実際のスペクトロメーターのマグネットに組み込み、実際のミュオンを使ったテスト、および読み出し回路作成を行う予定である。完成後は種々のミュオン崩壊実験に利用可能な汎用的スペクトロメーターとして利用する予定である。これらの開発過程を国際会議 μ SR08において発表した。

一方で、ミュオンビームの強度を部分的に向上さ

せ、実験に利用するための研究も進めている。まずは一番手軽な方法として、原子物理で用いられているガラスキャピラリー使いビームを収束させる方法があり、これをミュオンに応用する実験を一昨年度行った。引き続き、この実験結果の詳細、特にキャピラリーの材質依存性、ミュオンのビーム形状、エネルギー分布、スピン偏極分布を調べるために、パルス状ではなくDCビーム用いた測定を、カナダTRIUMF研究所にて6月から行っている。現在、実験途中であり、今後結果をまとめる予定である。

誌上発表 Publications

Tomono D., Hirayama Y., Iio M., Ishida K., Iwasaki M., Ohnishi H., Outa H., Matsuzaki M., Matsuda Y., Yamazaki H., Kasagi J., Klein R., and Nakamura S.N: "Development of new μ -e decay counter in new multi-channel μ SR spectrometer for intense pulsed muon beam", Nucl. Instrum, and Meth, submitted*

口頭発表 Oral Presentations

友野大、平山雄三、石田勝彦、岩崎雅彦、川股隆行、松崎禎市郎、渡邊功雄：“Construction of new multi-channel μ SR spectrometer at RIKEN-RAL”, International conference on muon spin rotation, relaxation and resonance(μ SR08), Tsukuba, July (2008)

研究者氏名：坪井 紀子 Tsuboi, Noriko
 ホスト研究室：高木磁性研究室
 (アドバイザー 高木 英典)

昨年度に引き続き有機導体のSTM観察を目指した。有機導体は、無機物質に比べ温度の変化に敏感であり、急激な温度変化を行うと、ひび割れて結晶

にダメージを与えてしまう。ホスト研究室で開発されたSTM装置は極低温での観察を得意としており、観察対象の試料を極低温まで下げる必要がある。寒

剤として用いている液体窒素の流量や試料の搬送速度等の調節を行ったが、十分な温度コントロールができず、現在までのところSTM観察には至っていない。本年度は、有機導体に加えて、強相関物質のSTM観察を試みた。強相関物質とは、電子間相互作用が無視できないほど強くなった物質で、従来のバンド理論では説明できない振る舞いを示す。強相関物質には、銅酸化物高温超伝導体や巨大磁気抵抗を示すMn酸化物など、面白い物性を示す物質が多く存在し、半導体に代わる電気デバイスとしての応用も期待されている。本研究では、試料として、STM観察に必要な電気伝導性、劈開性があり、また物理的な面白さを有する $Sr_3Ru_2O_7$ を選んだ。

$Sr_3Ru_2O_7$ は、強磁性に非常に近い常磁性金属であり、 $Hc \parallel 8T$ で磁化が突然大きくなる性質を持つ(メタ転移)。しかし、このメタ転移は数パーセントのTi、Mn等の不純物の存在により消失してしまう。また、Mnドープ試料ではドープ量が約2.5%を超えると常磁性金属から反強磁性絶縁体へと系の性質が変化する。これまで行われたSTM、STS観察により、清純

な $Sr_3Ru_2O_7$ にはフェルミエネルギー近傍にメタ転移に関わる電子状態が存在することがわかっている。本研究ではMnまたは、Tiをドープした試料の局所的な電子状態の観察を試みた。Mn、Tiはそれぞれ、 $Sr_3Ru_2O_7$ のRuサイトに置換することが知られており、劈開面であるSrO面の1層下のRuに置換した物と2層下のRuと置換した物の2種類の不純物が観測できた。不純物の周りのSTSを測定して、不純物の電子状態が周辺の電子状態へ及ぼす影響を調べた。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

坪井紀子、佐藤誠一、岩谷克也、吉田良行、池田伸一、花栗哲郎、高木英典：“STM/STSによる $Sr_3(Ru_{1-x}Mn_x)_2O_7$ 観察”、物性研短期研究会、千葉、10月(2007)

坪井紀子、幸坂祐生、小野雅紀、花栗哲郎、高木英典：“相関電子のナノスケール分光イメージング”、ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ成果報告会、横浜、1月(2008)

XVII - 050 高次高調波を用いた固体中のオージェ過程の時間分解測定

Time Resolved Measurement of Auger Process in Solid State by High Harmonics

研究者氏名：清水俊彦 Shimizu, Toshihiko

ホスト研究室：緑川レーザー物理工学研究室

(アドバイザー 緑川克美)

物質を電磁波などで励起する際、エネルギーが十分に大きいとき価電子帯より深い内殻の電子が励起することも可能である。このとき内殻正孔が生成されるが、この正孔は様々の過程で緩和することが知られている。内殻正孔は外殻の電子と再結合することにより消滅するが、その際電子がエネルギーを放出する。このときそのエネルギーを別の外殻電子に与え放出させるという「オージェ過程」が起こる。本研究ではこの時間分解測定を行うのが目的である。

前年度は、複数の次数のレーザー光の高調波を重ね合わせたときに発生するアト秒の時間幅を持つパルス列の発生と解析について取り組み、自己相関測定による分子をターゲットとした、イオン種毎にアト秒パルス列の解析を行った。測定ターゲットとしては一原子分子である希ガスから始め、複雑な多原子分子をターゲットとした研究を行った。その結果

同一分子を起源とするイオンでもその種類によって、異なる自己相関波形が現れ、関与する高調波にも違いあることが確認された。これはそれぞれのイオンが別の経路で発生していることを同時に観測できたということであり、どのような波長の高調波がその解離種の生成に寄与しているかを考察できるようになった。

この研究過程の中で、我々の開発した分光器を用いると電場の振動が極めて明瞭に観測できることを発見した。アト秒パルス列の完全な計測には各高調波間の位相差までも決定することが求められる。電場干渉の測定は時間分解測定の光源として用いることとなるアト秒パルスの研究において重要な存在であるといえるため、本年度は高次高調波の電場干渉実験を行うこととした。従来の方法は電場同士(ここでは基本波と高調波)の干渉を測定することによって

位相差を決定しているが、高調波の電場そのものの振動を見ているわけではない。高次高調波の電場干渉の直接計測を行った例は少なく、複数次数まで同時に観測した例は未だ無かったが、本研究において、それを達成することができた。さらに得られた干渉信号を各次数の強度も考慮して足し合わせると、その高調波により生成されるであろうアト秒パルス列のフーリエ限界における信号が得ることも可能である。これはアト秒パルス列の電場干渉計測を行ったものに相当している。今回の結果から我々の分光系は極めて高い分解能を持つことが示され、今後の時間分解測定が期待される。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Shimizu T., Okino T., Furusawa K., Hasegawa H., Nabekawa Y., Yamanouchi K., and Midorikawa K.: "Observation of Interferometric autocorrelation trace of an attosecond pulse train", The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) 2007, Baltimore, USA, May, (2007) JThB2

(国内会議)

清水俊彦、沖野友哉、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒パルス列の電場干渉測定”、レーザー学会第28回年次大会、名古屋、1月(2008)

清水俊彦、沖野友哉、長谷川宗良、古澤健太郎、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒領域の電場干渉測定”、第68回応用物理学学術講演会、札幌、9月(2007)

XVII - 052

ナノ粒子の粒径と個数濃度の標準

Size and Number Concentration Standard of Airborne Nanoparticles

研究者氏名：今中 雅士 Imanaka, Masashi
ホスト研究室：前田バイオ工学研究室
(アドバイザー 前田 瑞夫)

微小型電気移動度測定装置(Differential Mobility Analyzer; DMA)は、気相中のナノ粒子の粒径をオンラインで測定することが出来る装置で、特に粒径100nm以下のナノ粒子を測定できる唯一の実用装置である。本年度は、DMAを使った気相中ナノ粒子に関する研究として以下に述べる実験を行った。

(1) 数nm領域における、電気移動度と粒径の関係

粒径10nm以下のナノ粒子について、電気移動度とナノ粒子の粒径の関係式を調べた。ヘリウム、アルゴン、窒素、空気のそれぞれの気相中において、PAMAM dendrimerの電気移動度測定を行った。この結果をもとに、ナノ粒子の粒径と電気移動度の関係について検討を行った。

(2) 陽子ビーム照射およびコロナ放電による水液滴の生成

イオンによるナノ粒子の生成は、大気科学において非常に重要な現象であるが、そのメカニズムについては未知な部分が多い。本研究では、筑波大学の研究グループと共同で、陽子ビームを使った水液滴生成の実験を行った。実験は、筑波大学応用加速器部門で行った。

加速された20MeVの陽子ビームを水分を含む窒素に照射させ、ナノ粒子を生成させた。それらをDMAでサイズ測定し、ビーム量や水分量とナノ粒子生成量の関係を調べた。陽子ビーム照射によって、粒径1nmの水クラスターイオンと、粒径10nm付近の水液滴が観測された。

また、大気中での水クラスターイオンと水液滴の生成では、二酸化硫黄などの微量の気体が関与しているといわれている。したがって本研究では、数ppmレベルの二酸化硫黄が存在する気体に陽子ビームを照射させ、その影響を調べた。

誌上発表 Publications

(総説)

今中雅士、武内一夫：“数ナノメートル領域での粒径標準物質”、エアロゾル研究、22 275-281 (2007)*
折井孝彰、今中雅士、武内一夫、藪元淳輔：“静電気力を用いたナノ粒子の測定・分析技術”、粉体工学会誌、40 748-758 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Imanaka M., Tomita S., Kanda S., Fujieda M., Kudo H.:
“Water droplet formation in humidified nitrogen under
irradiation of 20 MeV proton beam and corona dis-
charge”, AAAR 26th Annual Conference, Reno, USA,
Sep. (2007)

(国内会議等)

今中雅士、富田成夫、神田俊、藤枝光輝、工藤博、笹
公和：“20MeV陽子線照射およびコロナ放電によ
る水液滴の生成”、第24回エアロゾル科学・技術
研究討論会、和光、8月(2007)

今中雅士、座古保、折井孝彰、武内一夫、前田瑞夫：
“DMAによる気相中生体ナノ粒子の粒径測定”、
ナノ学会第6回大会、つくば、5月(2007)

XVII - 053 フッ素化フラーレンを用いた機能性分子の合成と物性

Synthesis and Characterization of Functional Molecular Including Fluorinated Fullerene

研究者氏名：伊藤 清太郎 Ito, Seitaro

ホスト研究室：和田超分子科学研究室

(アドバイザー 和田 達夫)

Acceptor分子として優れるフラーレン(C_{60})および
フッ素化フラーレン($C_{60}F_{36}$)と電荷移動型分子(CT)を
形成させるため、donor分子として環状カルバゾール
オリゴマー(cyclic oligomer)の合成を行った。Cyclic
oligomerはカルバゾール分子4つが3重結合を介し
て環状構造を形成しており、個々のカルバゾール分
子には溶解度向上のためテトラデシル基が付加して
いる。フラーレン(C_{60} , $C_{60}F_{36}$)と環状カルバゾール分
子は、混合した場合その構造から交互に積層した構
造をとることが予想される。よって光吸収によって
発生・分離したキャリアが阻害されることなく電極
から取り出せるようになり、高効率の構造化太陽電
池の材料として利用できることが期待される。

昨年度までにcyclic oligomerの合成と精製に成功
し、今年度はフラーレンとの積層によるCT形成を試
みた。Cyclic oligomerとフラーレンの混合比を変えな
がらスピンコート・キャストによる膜作成を行った

結果、cyclic oligomer単独では積層するが、フラーレ
ンとは超分子構造を作らずCTとならないことがわ
かった。これは環構造のサイズがフラーレンを取り
込むのに十分でないことと、CT形成よりも単独で積
層するほうが安定であるためと考えられる(第56回高
分子討論会にて報告)。今後はこれまでに得られた情
報を元に、環状分子の太陽電池材料としての新しい
利用法を見出ししていくことを計画している。具体的
には、cyclic oligomer単独での積層を利用した2つの
計画を考えている。

- (1) 従来から知られているポリビニルカルバゾール・フラーレンのCT膜にcyclic oligomerを加えることにより、キャリア輸送性能の向上を目指す。
- (2) cyclic oligomerのテトラデシル基とフラーレンを接続することにより、新しいタイプのCTの積層化を試みる。

XVII - 054 イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析

Dynamics of the Golgi Apparatus Imaged by an Improved Confocal System

研究者氏名：時田(松浦)公美 Matsuura-Tokita, Kumi

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

ゴルジ体は細胞内のメンブレントラフィックにお
いて中心的な役割を果たすオルガネラである。本研
究では以前にライブイメージングの技術を用いて出
芽酵母*Saccharomyces cerevisiae*のゴルジ体の各槽はダ

イナミックな構造であり、cargoタンパク質の輸送に
伴ってシスからトランスへと成熟していくことを示
した。本年度は小胞体からゴルジ体へのcargoの輸送
を担うCOPII小胞が形成される過程に焦点をおいて研

究を行った。

(1) COPII 小胞形成過程の可視化

出芽酵母 *S. cerevisiae* は動物や高等植物細胞とは異なり明確な ER exit site をもたないと言われている。ライブイメージングによる解析から、COPII 小胞のコートタンパク質である Sec24p、Sec13/31p や、層板状のゴルジ体をもつ *Pichia pastoris* で ER exit site を構成する Sec16p は細胞質中に多数の dot 状に互いに共局在することが分かった。この dot 状の構造は ER の表面に局在し、ゴルジ体のシス槽と隣接していることが 2D、3D 観察から明らかになった。

(2) タンパク質輸送の阻害による影響

COPII 小胞形成に関わる Sec24p、Sec13/31p、Sec16p が局在する dot の性質を検証するため、タンパク質輸送の変異株や低分子量 GTPase Sar1p の dominant negative コンストラクトなどによる局在変化を調べた。その結果、これらの dot は COPII 小

胞ではなく、ER 上の構造であることが分かった。

(3) 小胞体の構造と dot の局在

細胞周辺部にある網目状の小胞体の構造を維持できなくなる変異株 $\Delta rtn1/rtn2/yop1$ において、Sec24p、Sec13/31p、Sec16p の dot は野生株とは異なり偏った局在を示した。さらにこの変異株ではゴルジ体のシス、トランス槽の局在にも異常が見られた。

以上の結果から、これらの dot は *S. cerevisiae* において ER exit site に相当する機能をもつ構造であり、ゴルジ体の形態形成にも重要な役割を果たしていると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

Matsuura-Tokita, K. and Nakano, A.: "Formation and dynamics of the Golgi cisternae in *S. cerevisiae*", 第 59 回日本細胞生物学会、福岡、5 月 (2007)

XVII - 055 電界による単分子の光応答制御 単分子フォトンクスの実現

Electrical Control of Optical Properties of Single Molecules

Realization of Single Molecule Photonics

研究者氏名： 田中 健一郎 Tanaka, Kenichiro

ホスト研究室： フロンティア研究システム

研究技術開発・支援チーム

(アドバイザー 青柳 克信)

単分子に電界を印加し、それに伴う単分子の光応答(吸収、反射、光電流など)の変化を高感度に検出することで、バルクとしては現れない単分子固有の物理現象を見出し、その物理的起源の解明を行うことを目的とした研究を進めてきた。従来単分子の物性解明のために行われていた電気測定だけでなく、光学的な測定手段を組み合わせることにより、単分子の電子状態に関する情報が得られるばかりでなく、単分子の電界効果を用いたフォトンクス分野の開拓につながると期待している。

単分子の光応答を測定するためには、単分子からの微弱な信号を観測にかかる程度にまで増幅する実験手段が必要である。今年度は、いわゆる光アンテナ構造を作製して、アンテナ近傍の光電場を著しく増大させ、それにより単分子の光応答を観測することを目的として研究を進めた。ここで、光アンテナ構造とは、

一般的にラジオ・テレビ周波数領域で用いられているメートルサイズのアンテナ構造を光の波長域のナノメートルサイズで実現するものである。これにより、アンテナ近傍において光電場の著しい増大(共鳴条件で1000倍以上)が起こるため、光アンテナ近傍の分子からの微弱な光信号を選択的に観測することが可能になると期待される。まず、本研究チームが有する電子線リソグラフィなどのナノ構造作製技術を駆使してガラス基板上に金で作製した一辺およそ100 nmの三角形をギャップ20 nm以下で向かい合わせた光アンテナ構造を作製した。この光アンテナ近傍の無機・有機層状ペロブスカイト型結晶($C_6H_{13}NH_3)_2PbI_4$)をスピコートし、そこからの発光スペクトルを測定した。光アンテナのギャップが20nm以下の領域において発光強度の増大が観測された。ギャップ長10nmの試料に対して電場変調分光を行ったところ、1s励起子のシュタルク

シフトと励起子寿命の減少に伴うスペクトルのブロード化に起因する信号が観測された。今後この実験手法を用いることにより、今後、光アンテナを用いた局所電場変調スペクトル測定の実現につながるものと考えている。

誌上発表 Publications

Tanaka K., Tsukagoshi K., Aoyagi Y.: "Nanoscale electric field effect in bowtie-antenna-enhanced excitons' photoluminescence of a natural quantum-well crystal ($C_6H_{13}NH_3)_2PbI_4$ ", Applied Physics Letters (投稿中)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanaka K., Aoyagi Y.: "Electric field modulation optical spectroscopy using field enhancement near optical antennas", Trends in Nanotechnology (TNT2007), Sep. 2007

(国内学会)

田中健一郎、青柳克信: "光アンテナを用いたナノスケール局所電場変調分光", 日本物理学会第62回年次大会、2007年9月

XVII - 058 緑藻ボルボックス目における多細胞化に伴う形態形成機構の進化

Mechanism of Morphogenesis in Volvocine Algae and How It Has Co-evolved with Multicellularity

研究者氏名: 植木 紀子 Ueki, Noriko

ホスト研究室: フロンティア研究システム

西井独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 西井 一郎)

多細胞性緑藻ボルボックスの胚発生では、分裂期を経てできた球面状の細胞シートが、その一端にできる開口部から順に外側へ戻り、胚が完全に裏返る形態形成運動(インバージョン)が起こる。ボルボックスではトランスポゾン*Jordan*による遺伝子タギング法が確立しており、これによりインバージョン関連遺伝子*invA*を含む3種の遺伝子が同定されている。

私は前年度までにボルボックスのインバージョン変異体を単離し、そのうち1株で、*invA*遺伝子に*Jordan*とは異なるトランスポゾン(その転移率の高さから*Idaten*と命名)が挿入されていることを見出した。そして*Idaten*を用いた解析から新規遺伝子*invB*と*invC*を同定し、*Idaten*もまたボルボックスの遺伝子同定に有用であることを実証した。

今年度は第一に、*InvB*変異体のインバージョン異常と*invB*遺伝子との関連を調べた。*invB*遺伝子が既知のGDP-マンノース輸送体と高い相同性を示したので、まず、酵母*in vitro* transport assay法により*InvB*タンパク質がGDP-マンノース輸送体を持つことを確認した。次に、ボルボックス胚のマンノースの局在を調べるため蛍光標識Con Aで胚を染色したところ、胚を球形に包む細胞壁に特異的に蛍光が見られ、*InvB*ではその蛍光量が減少していた。また、*InvB*で

はこの細胞壁の成長が遅く、インバージョン期の直径は野生型の約6割であった。この細胞壁を微小手術で取り除くと*InvB*胚は正常なインバージョンをした。以上から、胚を包む細胞壁の成長には*InvB*を介して糖鎖付加される物質が関与し、そのため*InvB*では細胞壁が十分に成長せずインバージョン運動を妨げていると考えられた。

第二に、新規トランスポゾン*Idaten*の構造を調べた。これまでに単離した*InvB* 2株と*InvC* 5株は全て、*Idaten* (8.6 kb)かそのホモログ*Idaten-2* (7.5 kb)の挿入による変異体であった。これらの全配列を決定したところ、いずれも両端にCCCTA配列から始まる36 bpの末端逆方向反復配列を持ち、転移の際に3 bpの標的部重複を引き起こすことがわかった。*Idaten*の再転移による復帰突然変異体が容易に生じることが併せ、*Idaten*はClass I (DNA型)のCACTAファミリーに属するトランスポゾンであると結論した。

口頭発表 Oral presentations

(国内会議等)

植木紀子、西井一郎: "ボルボックス胚のインバージョンには糖ヌクレオチド輸送体*InvB*に依存した細胞壁の成長が必須である", 第6回クラミドモナス研究会、高知、11月(2007)

XVII - 059 タンパク質メチル化酵素の機能とその修飾の役割の解明

Functional Analyses of Protein Methyltransferases and the Protein Methylation

研究者氏名： 定家 真人 Sadaie, Mahito

ホスト研究室： 発生・再生科学総合研究センター

クロマチン動態研究チーム

(アドバイザー 中山潤一)

タンパク質リシンメチル化酵素は、細胞増殖・分化・がん化や、個体発生などの生命現象と密接に関係しており、ヒストンや転写因子などの核タンパク質のメチル化を介して遺伝子発現の調節や高次クロマチン構造の変換を行うことで、これらの生命現象に関わることが明らかにされてきている。多くの生物種で、タンパク質リシンメチル化酵素に保存されたドメイン(SETドメイン)を持つタンパク質遺伝子が数多く見いだされ、機能解析が精力的に行われている。しかし、これまでに基質が同定され、その役割が解明されたものは一部のメチル化酵素のみであり、今後の研究により、新たなメチル化酵素-基質の組み合わせと、そのメチル化制御に関わる生命現象の発見が期待される。本研究では主に分裂酵母SETドメインタンパク質の新たな機能を探索することにより、タンパク質リシンメチル化酵素とその修飾の役割を解明することを目的としている。

塩基配列の解読が完了している分裂酵母ゲノムDNAからは少なくとも13種類のSETタンパク質遺伝子が見いだされる。その中でも核に局在する3つのSETタンパク質(Set 3、Set 1 1、Set 1 3)に注目し、生化学的・遺伝学的手法を用いてメチル化酵素活性の有無の検討と、その生理機能の解析を行っている。前年行った研究により、Set 1 1はタンパク質メチル化活性をもち、その基質タンパク質はRpl 1 2

であることが明らかになったが、本年度の研究では、質量分析による分裂酵母(野生株および*rpl 1 2*遺伝子欠損株)Rpl 1 2の詳細な解析、そしてRpl 1 2のリシン残基の変異体を用いたSet 1 1メチル化酵素活性測定により、Set 1 1の主要なメチル化部位がRpl 1 2の3番目のリシンであることを明らかにした。*set 1 1*遺伝子の欠損により、細胞内Rpl 1 2のリボソームへの取り込みと、翻訳阻害剤シクロヘキシミドへの感受性は影響を受けなかったが、Set 1 1-GFPが核小体に局在したことから、Set 1 1は核小体でRpl 1 2をメチル化し、その機能や安定性を調節している可能性がある。さらに、Set 1 1高発現株に生育の遅延が認められたことから、細胞内のSet 1 1発現レベルの調節が細胞の増殖に重要であることが示された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sadaie, M., Shinmyozu, K., and Nakayama, J.: "A conserved SET-domain methyltransferase, Set11, modifies ribosomal protein Rpl12 in fission yeast", *J. Biol. Chem.* *In press**

(総説)

定家真人、中山潤一: "ヒストンのメチル化修飾と高次クロマチン構造の形成機構", *蛋白質核酸酵素* 52, 739-746 (2007)

XVII - 060 マウス始原生殖細胞決定機構の解析及びES細胞からの分化誘導技術の開発

Molecular Mechanism of Germ Cell Specification in Mice:

Directed Differentiation of Germ Cells from ES Cells

研究者氏名： 大日向 康秀 Ohinata, Yasuhide

ホスト研究室： 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

(アドバイザー 斎藤 通紀)

多細胞生物の構成細胞で唯一、次世代形成能を有する生殖細胞の形成機序の正確な理解の為に、包

含されるゲノム全能性の維持機構、エピゲノムリプログラミング機構を包含する高次に入り組んだ諸現象の

解明を必要とする。生体内における始原生殖細胞形成の微小環境の必要十分条件を定義し、培養下で再構成する技術の確立は、これら現象への生化学的方法論での挑戦の基盤となる。

我々は解明したマウス生殖細胞系運命決定の微小環境の条件を無血清、無フィーダー細胞の条件下試験管内において再構成する方法論で、胚体外胚葉を高効率に始原生殖細胞に分化させることに成功した。

現在は得られた細胞の生殖細胞形成不全マウスへの移植により、分化誘導の機能的な証明を試みると共に、ES細胞を用いた場合についての条件を探索中である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohinata Y., Ohta H., Shigeta M., Yamanaka K., Wakayama T. and Saitou M.: “A signaling principle for the specification of the germ cell lineage in mice”, *Cell*, in

revision (2008)*

Yamaji M., Seki Y., Kurimoto K., Yabuta Y., Shigeta M., Yamanaka K., Ohinata Y. and Saitou M.: “Critical function of Prdm 14 for the establishment of the germ cell lineage in mice”, *Nat Genet*, 40 1016-22 (2008)*

Ohinata Y., Sano M., Shigeta M., Yamanaka K. and Saitou M.: “A comprehensive, non-invasive visualization of primordial germ cell development in mice by the Blimp1-mVenus and stella-ECFP double transgenic reporter”, *Reproduction*, in press (2008)*

Kurimoto K., Yabuta Y., Ohinata Y., Shigeta M., Yamanaka K. and Saitou M.: “Complex genome-wide transcription dynamics orchestrated by Blimp1 for the specification of the germ cell lineage in mice”, *Genes Dev.*, 22 1617-35 (2008)*

大日向康秀、栗本一基、藪田幸宏、関由行、斎藤通紀：“単一細胞遺伝子解析から明らかとなった生殖細胞形成・分化の分子機構”、*蛋白質核酸酵素* 52 2039-45 (2007)

平成 18 年度採用者

研究者氏名：磯部 直樹 Isobe, Naoki

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

我々の銀河を含むほぼすべての銀河の中心には、太陽質量の 10^6 から 10^9 倍の質量を持つ巨大なブラックホールが存在すると考えられている。しかし、その形成機構は現代宇宙物理学の大きな謎である。最近、近傍の銀河に太陽質量の $10^2 - 10^4$ 倍の質量を持つ中質量ブラックホールが発見された。この発見をもとに、ブラックホール同士が合体を繰り返すことで巨大ブラックホールが形成されたという理論的シナリオが提案され、注目を集めている。しかし、この合体説の観測的な証拠はまだない。そこで本研究は、2008年度に国際宇宙ステーションに搭載される全天 X 線監視装置(MAXI)をもちいて、合体直前で連星状態になった巨大ブラックホールからの周期的 X 線シグナルを世界で始めて本格的に探査することで、合体説の観測的証拠をつかむことを目的とする。

私は本研究を遂行するため、MAXIの主検出器の一つであり牧島宇宙放射線研究室が開発の中心を担っているガススリットカメラ(GSC)の開発に全面的に参加してきた。搭載まで約1年と迫った本年度は、GSCのフライト品のインテグレーション、搭載へ向けた様々な動作試験、較正実験などを行った。また、較正実験の結果をもとに、GSCの応答関数の構築を進めており、打ち上げまでに完成する見込みとなった。

MAXIによる巨大連星ブラックホールの探査に向けて、日本の X 線観測衛星「すざく」を用いた予備的な研究も遂行した。まず、現在知られている巨大連星ブラックホールの数少ない候補天体である活動銀河 OJ 287 の観測を、「すざく」を中心に、電波、赤外線、可視光、ガンマ線などと共同して行った。その結果、巨大連星ブラックホール仮説から予想されている OJ 287 の増光現象を、X 線を含むほぼすべての帯域で検出することに成功した。また、この観測を通じて、MAXIによる連星ブラックホール探査に向けた、他波長の観測者との連携体制を確立できた。次に、中質量ブラックホールの候補天体と考えられる、超光度 X 線源(ULX)の研究も行った。ULXは X 線光度が $10^{39} \text{ ergs s}^{-1}$ を超える非常に明るい X 線天体

であり、近傍の銀河にしばしば発見される。私は、近傍銀河 NGC 2403 に存在する ULX, NGC 2403 Source 3 の「すざく」によって得られた X 線スペクトルの解析を行った。また、他の X 線観測衛星によるデータと比較することで、この ULX がスペクトル状態の遷移を起こすことを発見した。また、その遷移が銀河系内に存在する恒星質量ブラックホールのスペクトル遷移と非常によく似ていることを示した。このほか、「すざく」衛星の定常的な運用に貢献するとともに、理研が運営している「すざく」ヘルプデスクの中心メンバーとして、一般の「すざく」ユーザーからの質問への対処を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Isobe N., Kubota A., Makishima K., Gandhi P., Griffiths R. E., Dewangan G. C., Itoh T., and Mizuno T.: “Discovery of a bright transient ultraluminous X-ray source, Suzaku J1305-4931 in NGC 4945”, Publ. Astron. Soc. Japan, 60, in print (2008)*

Itoh T., Done C., Makishima K., Madejski G., Awaki H., Isobe N., Gandhi P., Dewangan G. C., Griffiths R. E., Anabuki N., Okajima T., Reeves J., Takahashi T., Ueda Y., Eguchi S., Yaqoob T.: “Suzaku wide-band X-ray spectroscopy of the Seyfert 2 AGN in NGC 4945”, Publ. Astron. Soc. Japan, 60, in print (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Isobe N.: “Spectral transition of an ultra-luminous X-ray Source, NGC 2403 Source 3”, Eight Years of Science with Chandra, Huntsville, AL, USA, Oct. (2007)

(国内学会等)

磯部直樹: “NGC 2403 銀河中の超光度 X 線源(ULX)のすざくによる観測”, 日本物理学会, 北海道, 9月(2007)

磯部直樹: “NGC 2403 銀河中の超光度 X 線源のスペクトル状態の遷移”, 日本天文学会, 岐阜, 9月(2007)

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

Development of Silicon Pixel Detector for Exploring High Energy Universe

研究者氏名：平賀 純子 Hiraga, S. Junko

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 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、これまでにない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が開発中されている。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。

電荷雲形状を実測するためには、X線入射位置をCCD一画素よりも高い精度で決定する実験技術が必須で、我々は独自に発案した微細コリメータ(BP-1ガラス製マルチコリメータ)を開発している。これは、X線吸収率の高いBP-1ガラスに重粒子を照射し、飛跡をエッチングによって押し広げて貫通孔を生成するため、高エネルギーX線に対しても有効で、非常にアスペクト比の高い微細孔を実現できる。また、微細孔は数万個/cm²の密度でランダムに分布するという特徴を持ち、数万個分の微細孔に対応したX線イベントを一回の撮像で取得できるため、実験効率は格段に高い。

本年度は、昨年度に引き続き、牧島宇宙線研究室にて構築したCCD実験システムを活用し、BP-1ガラス製マルチコリメータを用いた実験を行なった。X線発生装置陰極ターゲットの輝線を用いて、偏光していないX線光子による電荷雲形状の実測を目的とする。これまでにない高エネルギーX線Mo-K(17.5

keV)が生成する電荷雲形状を世界で初めて実測した。その初期解析の結果、電荷雲の広がり標準偏差で約6 μ mとなった。これは、空乏層内の熱拡散を考えた場合に比べ大きく、電場の弱い中性領域の影響を受けたものと考えられるが、詳しい解析を現在行なっている。また、CCD温度制御系の自動化、X線ビーム平行度の評価の高精度化などのシステム整備も行なった。

BP-1ガラス製マルチコリメータの安定供給と、より小さい孔径のコリメータ実現のため、製作手法の改良を試みている。本年度は、孔が開いたガラスに金属(鉛)を1.1 μ m蒸着し、X線に対する実効孔径が20%小さくなることを確かめた。この他、エッチング方法の改良を試みている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kenji Miyamoto*, Shogo Nakamura, Yuichi Ozaki, Shingo Kurata, Takuya Kamei, Masato Kikuchi, Yoshihiro Uchida and Shintaro Kamada, Koji Abe, Junko S. Hiraga, Yukio Uchihori and Hisashi Kitamura, Takeshi Takashima, Hiroko Tawara: "Measurements of charge cloud produced by an X-ray photon inside X-ray CCD with BP-1 multi-collimator", KEK proceedings 2007-12, 107-112(2007)*

XVIII - 003 宇宙線による地球大気電離と気候変動メカニズムの解明

Studies on Global Atmospheric Ionization and Climate Variability Caused by Cosmic Rays

研究者氏名：佐藤 光輝 Sato, Mitsuteru

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

本研究の目的は、宇宙線の地球大気電離効果による気候変動のメカニズムを解明することである。従来、宇宙線と気候変動との相関性に関しては数十年単位での変動に注目が集まっていた。その一例として、マウンダー極小期における宇宙線降下量の増大

に伴い、地球大気のエアロゾル量と雲量の増加が地球のアルベド上昇をもたらし、気候を寒冷化させたという研究結果が示されている。しかし近年、雷活動、雲量、宇宙線降下量にはそれぞれ周期30日弱の変動が存在し、雷活動が雲量と宇宙線降下量に対し逆

相関の関係にあることが明らかになっており、数十年単位の変動と同様のメカニズムが働いていると示唆される。そこでこの30日弱の周期的変動に着目し、地上・衛星による観測データが整った期間を解析することで、太陽活動によって変調を受ける宇宙線降下量と地球気候変動との連鎖メカニズムの解明に迫れると期待される。

本年度は、特に気候変動の側面に焦点を当て、全球的な気候変動の指標として優れている雷放電起源の電磁波データを解析することによって、雷放電の周期変動に関する詳細な解析を行った。

- (1) 地上の多点雷電波観測網で得られたデータを解析し、雷放電から放射されるELF帯電磁波のパワースペクトル強度の周期性を求めた。その結果、太陽極大期には約26日周期の変動が卓越するのに対し、太陽極小期にむけてその周期が徐々に長くなり、最終的には約34日周期になることが判明した。電離層における電離度の指標となるF10.7指数の周期解析も行ったが、F10.7は太陽極大・極小にかかわらず周期28日でほぼ一定であった。このことから、スペクトル強度変動は電離層効果ではなく、雷自身の変動であると推定される。このような周期変動が宇宙線降下量にもみられるか、データを解析中である。
- (2) 雲量の指標となる、OLR(Outgoing Longwave Radiation)データと、雷活動の周期変動との比較解析も行った。その結果、両者とも、太陽極大期では周期約26日付近にピークが出現するが、太陽極小期では周期約34日と約15日の両方にピークが出現することが判明した。この結果、雲量と雷活動のそれぞれの変動は密接にリンクしていることが示唆された。

XVIII - 004 FPGAを用いたリコンフィギュラブルスーパーコンピュータの開発

FPGA-based Reconfigurable Supercomputer

本研究ではFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた汎用計算装置を開発しています。FPGAとは内部論理を製造後に変更可能なプログラマブルデバイ

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Sato M., Takahashi Y., Yoshida A., Okazaki Y., Adachi T., and Fukunishi H.: "Temporal and regional variation of lightning occurrence and their relation to climate variability", 13th International Conference of Atmospheric Electricity, Abstract OS6-6, p677, (2007)
- Mitev V., Sato M., Ebisuzaki T., Takizawa Y., Kawasaki Y., Matthey R., and JEM-EUSO Collaboration: "Atmospheric monitoring system of JEM-EUSO Mission", 30th International Cosmic Ray Conferences, Abstract 0846, (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Sato M., Takahashi Y., Yoshida A., Okazaki Y., Adachi T., and Fukunishi H.: "Temporal and regional variation of lightning occurrence and their relation to climate variability", 13th International Conference of Atmospheric Electricity, Beijing, China, August (2007)
- Takahashi Y., Sato M., Adachi T., Chikada S., Yoshida A., Kondo S., Fukunishi H., Hsu R-R., Su H-T., Chen A., Mende S., Frey H., and Lee L-C.: "Occurrence condition of TLEs", International Union of Geodesy and Geophysics Meeting, Perugia, Italy, July (2007)

(国内学会等)

- Sato M., Takahashi Y., Yoshida A., and Fukunishi H.: "28-day variation of global lightning activities and its relationship to climate change and solar activities", 日本地球惑星科学連合2008年大会、幕張、5月 (2007)

研究者氏名：濱田 剛 Hamada, Tsuyoshi
ホスト研究室：ゲノム科学総合研究センター
システム情報生物学研究グループ
(アドバイザー 榊 佳之)

スの一種です。近年大規模なFPGA(Field Programmable Gate Array)が比較的 low cost で利用できるようになったので、FPGAデバイスをを用いて用途に特化し

た高速演算装置や高速信号処理装置を専用装置を比較的安価に開発できるようになりました。本年度はFPGAを用いた粒子シミュレーション専用演算装置を改良し、各種インターフェース、メモリチップ等を搭載したより汎用的なFPGAハードウェアを開発しました。この開発したFPGAハードウェアを用いて、天体シミュレーション用のアプリケーションを実装しました。またFPGAの他にGPUも用いて天体シミュレーションを高速化することに成功しました。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsuyoshi Hamada, Toshiaki Iitaka: "The Chamomile Scheme: An Optimized Algorithm for N-body simulations on Programmable Graphics Processing Units", submitted to NewAstronomy, Astroph/0703100v1 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tsuyoshi Hamada: "PROGRAPE-4: the latest version of PROGRAPE hardware", 4th GRACE Workshop, Germany, Nov. (2006)

(国内学会等)

濱田剛、中里直人、伊吹山秋彦、奥山祐市: "FPGAを用いた多体シミュレーション用計算機PROGRAPEの概要", 日本応用数学会2006年度年会プログラム、筑波大学、9月(2006)

伊吹山秋彦、濱田剛、中里直人、奥山祐市: "PROGRAPE-4 ボードとPGRによる2次元Kolmogorov-Smirnovテスト", 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会、熊本大学、9月(2006)

佐藤 杏奈、奥山祐市、黒田 研一、濱田剛、中里直人、伊吹山秋彦: "1次元SPH計算回路の演算精度評価", 情報処理学会東北支部研究会、会津大学、1月(2007)

Tsuyoshi Hamada: "Internals of the CUNBODY-1 library: particle/force decomposition and reduction", AstroGPU 2007 — Workshop on General Purpose Computation on Graphics Processing Units in Astronomy and Astrophysics, Nov. (2007)

御正和哉、松本健太、奥山祐市、北道淳司、黒田研一、濱田剛: "FPGA Computing System 上への資源共有機能の実装", 第31回パルテノン研究会、12月(2007)

XVIII - 008 電荷・スピンドープを用いた幾何学的フラストレート磁性体における相競合機構

Phase Competition Mechanism of Electron- or Spin-Doped Geometrical Frustrated Magnets

研究者氏名: 東中隆二 Higashinaka, Ryuji

ホスト研究室: 高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

各磁性サイトにランダムな磁場が存在し、その総和がゼロとなる、ランダム磁場モデルが通常の磁性体とは異なる新奇な磁性を示すことが理論的に予想され注目を集めているが、そのモデルを実現する候補物質である希釈双極子イジング磁性体は今まで $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ の一つだけしか知られておらず、またこの物質は大きな超微細相互作用により低エネルギー励起が重要になる領域でモデルからずれるため、より理想的な物質による研究が待ち望まれていた。

本研究では新たな希釈双極子イジング磁性体である $\text{R}_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$ ($\text{R}=\text{Dy}, \text{Ho}$)の単結晶育成を行い、低温磁化、比熱測定および、横磁場中低温磁化率測定に

より、その新奇な磁気基底状態の検証を行った。試料育成に関しては、 Dy, Ho の両物質に対して、磁性イオン濃度をより細かく振り、またより希薄な濃度の単結晶も含めた試料育成($x=0.025-1$)に成功した。それらの物質の低温物性測定から、横磁場を印加することにより基底状態の強磁性状態が、常磁性に量子相転移することを観測した。量子相転移自体は $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ においても観測されていたが、超交換相互作用が小さい Dy の系において、低エネルギー励起が重要になる領域においても、より顕著に観測され、本物質がより理想的なモデルであることを明らかにした。また、 $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ と同様に、磁性イオン

濃度が減少するに従って、強磁性転移温度が低温に移行し、基底状態が強磁性からスピングラスに変化することを観測したが、スピングラス相の下にさらに低温に磁気相が存在することを発見した。まだその詳細は明らかになっていないが、 $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ において観測される新奇なガラス相であるアンチガラス状態との関連性を研究していく予定である。

また、上記に加え、量子揺らぎによって基底状態において、スピナイス状態が実現していることが理論的に予言されているパイロクロア酸化物

$\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の低温磁化測定を行い、量子スピナイス状態の実現の有無および、その基底状態の詳細についての研究を行った。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

東中隆二、高木英典：“希釈双極子イジング磁性体 $R_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$ の低温磁性”、特定領域研究 第一回トピカルミーティング、京都、1月(2008)

XVIII - 009 分子配向技術を用いた短波長域の強光子場の物理の探求

Quest for Physics of Intense Photon Fields in the Extreme Ultraviolet and Soft X-Ray Regions by Using Molecular Alignment Techniques

研究者氏名：金井 恒人 Kanai, Tsuneto

ホスト研究室：緑川レーザー物理工学研究室

(アドバイザー 緑川 克美)

本研究では、分子配向技術と軟X線領域の強光子場発生技術を融合することにより、軟X線領域の強光子場中で期待される新現象を系統的に解明することを目的とする。緑川レーザー物理工学研究室では最近、軟X線領域における世界最高強度の光子場発生技術を開発し、軟X線領域における原子や分子の2重イオン化過程や分子のクーロン爆発を初めとする新現象を発見した。ところが試料としてランダムな向きを向いている通常の気相分子を用いたため、角度平均された物理量しか測定されていない。一般に分子中の物理現象は分子軸の向きに依存するため、配向した分子を試料として用いればより厳密な議論が展開出来ると期待される。具体的には、非共鳴のレーザー光を用い試料分子を配向制御した上で高次高調波パルスを集光照射し、配向分子からのフラグメントイオンスペクトル・放出電子スペクトルの角度依存性を観測する。本研究により、強光子場中の分子の解離反応経路、解離に至る原子核や電子のアト秒スケールの超高速ダイナミクスが初めて詳細に明らかになる。

本年度は、研究の遂行に必要な基礎的技術、即ち分子配向技術及び強光子場発生技術を発展させた。まず、高次高調波の非線形媒質に混合気体を世界で初めて導入し、系統的に研究した。

(1) 混合気体中における高次高調波発生

高次高調波発生のための非線形媒質に混合気体を用いることを世界で初めて提案し、その基礎的な研究を行った。特に、高次高調波の干渉効果や飛躍的増大効果と呼ばれる新しい物理現象を観測した。

(2) 分子配向技術等を用いた高次高調波発生の制御

媒質分子を配向操作することにより、高次高調波発生を制御出来ることを明らかにした。本研究により、軟X線領域の強光子場の新しい制御法、さらに安定して配向度が高い媒質分子を得る条件が明らかになった。

(3) 原子分子のアト秒ダイナミクスの観測

(1)(2)で得られた知見を元に、原子分子中の電子や原子核の超高速運動をアト秒の精度で観測することに成功した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “Destructive interference during high harmonic generation in mixed gases”, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 153904 (2007)*

Takahashi E. J., Kanai T., Ishikawa K. L., Nabekawa Y.,

and Midorikawa K.: “Dramatic enhancement of high-order harmonic generation”, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 053904 (2007)*

Takahashi E. J., Kanai T., and Midorikawa K.: “High-order harmonic generation by using mixed gases target ~ Measurement and control of ultrafast attosecond dynamics ~ (in Japanese)”, *The Review of Laser Engineering* **36**, 5-11 (2008)*

Kanai T., Minemoto S., and Sakai H.: “Ellipticity dependence of high harmonic generation from aligned molecules”, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 053002 (2007)*

Kanai T., Minemoto S., and Sakai H.: “Basis for ultrafast imaging of molecular orbitals with high-order harmonic generation”, *Ultrafast Phenomena XV*, Springer-Verlag, P. Corkum *et al.* (Eds.), 27-29 (2007)*

Kanai T., Minemoto S., and Sakai H.: “Ellipticity dependence of high-order harmonics generated in aligned molecules”, *Ultrafast Optics V*, Springer, S. Watanabe and K. Midorikawa (Eds.), 367-370 (2007)*

Nomura Y., Kanai T., Minemoto S., and Sakai H.: “Efficient generation of high-order sum and difference frequencies in the xuv region by combining a weak, longer-wavelength field”, *Phys. Rev. A* **75**, 041801(R) (2007)*

Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “Observing attosecond dynamics of nuclear wavepackets in molecules by using high harmonic generation in mixed gases”, *New J. Phys.*, accepted*

Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “Observing molecular structures by using high har-

monic generation in mixed gases”, *Phys. Rev. Lett.*, submitted*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

(Invited) Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “High-order harmonic generation in mixed gases —measurement and control of attosecond dynamics”, *International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS) 6*, Tirrenian Sea, Italy, September 2007

(Invited) Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “High-order harmonic generation in mixed gases: attosecond dynamics of electrons and nuclei in atoms and molecules”, *The Third Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS-3)*, Cameron Highlands, Malaysia, 2-6 July 2007

Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: “Destructive interference during high harmonic generation in mixed gases”, *The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim) 2007*, Seoul, Korea, August 26-31, 2007

(国内会議等)

金井恒人、高橋栄治、鍋川康夫、緑川克美：“混合気体中の高次高調波発生における原子・分子の内部運動の役割”、2007年秋季第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、9月(2007)

金井恒人、高橋栄治、鍋川康夫、緑川克美：“媒質と相互作用における対称性を利用した高次高調波発生の制御”、2008年春季第55回応用物理学会学術講演会、日本大学、3月(2008)

XVIII - 010 フェムト秒レーザーによる三次元ナノ加工に関する研究

3-Dimensional Nanofabrication of Transparent Materials

by Femtosecond Laser Direct Writing Technique

研究者氏名：花田 修賢 Hanada, Yasutaka
ホスト研究室：緑川レーザー物理工学研究室
(アドバイザー 緑川 克美)

近年、光学顕微鏡観察による微生物の挙動観察に関する研究が盛んに行われている。現在、観察の際に使用する顕微鏡システムには高倍率対物レンズと高速カメラが取り付けられており、高速高分解能撮

影を実現する。しかし、高倍率対物レンズを使用することにより視野が狭くなり、かつ焦点深度も浅くなるため、活発かつ自由に活動する微生物を観察することはきわめて困難となる。また高速撮影におい

てはビデオメモリが有限であるというハードウェア的な制限から、撮影時間が限られてしまう。顕微鏡下では、通常、微生物観察用標本ホルダーにスライドガラスやシャーレが用いられが、微生物が標本内を自由に無秩序に動き回ることから、一つの微生物を観察する事は非常に困難である。また、溶媒となる水の蒸発も激しい事から、微生物の挙動観察を長時間行う事は困難となる。これらの理由により、観察場において限られた数の標本を限られた時間内に限られた空間に「自由度を損なわない程度に」封入することが強く望まれている。

このような問題を解決するべく、今年度は、これまでに我々が開発を行ってきたフェムト秒レーザーによるガラス内部への微細加工技術を用いて、微生物の挙動観察用バイオチップ(ナノ水族館と命名)を作製する。

具体的には基板として市販の感光性ガラス(Foturan ガラス)を用い、波長800 nm(感光性ガラスに対しては透明)のフェムト秒レーザー(パルス幅150 fs)の3次元直描照射を行う。レーザー照射後、熱処理およびフッ酸エッチングによりレーザー光照射領域を選択的に除去し、ガラス内部に3次元中空構造を形成する。また必要に応じて、別途開発した技術を用いて中空構造内に金属薄膜を被覆する。すなわち無電解メッキ溶液中で所望の領域にフェムト秒レーザー光を集光照射し、直描技術により金属の配線を行う。また多様な構造の作製に対応するために3次元CAD/CAMシステムを組み込んだフェムト秒レーザー3次元ラピッドプロトタイプングワークステーションの開発を行う。開発した装置による加工条件の最適化を行った後、微小生物の挙動観察用バイオチップを作製し、実際の観察を行うとともに、ナノ水族館を実現するためのフェムト秒レーザー3次元ラピッドプロトタイプング技術の確立を計る。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hanada Y., Sugioka K., Hiroyuki K., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Nano-aquarium for dynamic observation of living cells fabricated by femtosecond laser direct writing of photostructurable glass”, *Biomed. Microdevices*. (accepted)*

Hanada Y., Sugioka K., and Katsumi M.: “Selective metallization of photostructurable glass by femtosecond

laser direct writing for biochip application”, *Appl. Phys. A*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Bio-microchips fabricated in transparent materials by femtosecond laser”, *The 8th International symposium on Laser Precision Microfabrication*, Vienna, Austria, April. (2008)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., Midorikawa K.: “Microchips fabricated by femtosecond laser micromachining in glass for observation of aquatic microorganism”, *SPIE Photonics WEST*, San Jose, USA, Jan. (2008)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Nano-aquarium for dynamic observation of aquatic microorganisms fabricated by femtosecond laser direct writing of photostructurable glass”, *SPIE Photonics WEST*, San Jose, USA, Jan. (2008)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Nano-aquarium for dynamic analysis of microorganisms fabricated by 3-D femtosecond laser direct writing”, *The 9th International Conference on Laser Ablation*, Tenefife, Spain, September. (2007)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Nano-aquarium fabrication by femtosecond laser direct writing for microscopic observation of aquatic microorganisms”, *The 6th Asia Pacific Laser Symposium*, Nagoya, Japan, Jan. (2008)

Hanada Y., Sugioka K., and Midorikawa K.: “Optical waveguide fabrication in UV transparent polymer by femtosecond laser direct writing”, *The 6th Asia Pacific Laser Symposium*, Nagoya, Japan, Jan. (2008)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., and Midorikawa K.: “Nano-aquarium for dynamic observation of aquatic microorganisms fabricated by femtosecond laser direct writing”, *SPIE/COS Photonics Asia*, Beijing, China, Nov. (2007)

(国内会議)

花田修賢、杉岡幸次、河野弘幸、石川依久子、宮脇敦史、緑川克美：フェムト秒レーザーによる水棲生

物動態観察用ナノ水族館の作製、第68回応用物理学会学術講演会、北海道、9月(2008)
花田修賢、杉岡幸次、緑川克美：フェムト秒レーザ

による紫外透過性ポリマー内部への光導波路作製、第68回応用物理学会学術講演会、北海道、9月(2007)

XVIII - 011 プラズモニックナノデバイスの作製と高速度ナノイメージングへの応用

Fabrication of Plasmonic Nanodevice and Its Application to High-speed Nano-imaging

研究者氏名：小野 篤史 Ono, Atsushi
ホスト研究室：河田ナノフォトニクス研究室
(アドバイザー 河田 聡)

プラズモニックナノデバイスの一つとして提案した金属ナノレンズは、金属ナノロッドをアレイ状に配列させた構造であり、この金属ナノ構造が光のイメージングを行うレンズの作用をする。金属ナノレンズは、回折限界を超えた空間分解能をもって試料の2次元分布を得ることのできる新しいイメージングデバイスである。イメージングには、金属ナノロッド表面に誘起される共鳴プラズモンを利用する。金属ナノレンズの片側のロッド端に試料(物体面)を近接させ、光を照射すると、試料からの蛍光や散乱光によって金属ナノロッド固有の共鳴プラズモンが誘起され、反対側のロッド端にナノサイズの微小な構造を忠実に再現した像(画像面)が形成される。

本年度は、金属ナノレンズの光学特性を理論解析とともに3次元有限差分時間領域法を用いて計算により実証した。レンズ作用の特徴の一つである拡大画像伝送について調べた。拡大倍率は、物体面側のアレイピッチと、像面側のアレイピッチとの比率によって決まる。高効率かつ長距離の画像伝送を実現するため、ロッドを多層化した。多層構造により個々の金属ナノロッドのプラズモン共鳴とロッド間のギャップ効果との相乗効果により高効率イメージングが可能となる。計算では、高さ50nm直径、20nmの銀ナノロッドを層間隔10nmで配列させた。1層、3

層、5層と層数が奇数時のとき、共鳴周波数はシフトすることなく帯域が広がることが分かった。

本年度は別途、プラズモニックナノデバイスとして近年盛んに研究が行われている近接場光学顕微鏡用プローブに関する研究に取り組んだ。プローブには市販のSi製カンチレバープローブを用いることが一般であるが、Si系半導体試料を観測する際には、試料からの信号とプローブからの雑音が重複する問題があった。この問題を解決するため、Si製カンチレバープローブを熱酸化する手法を新たに提案した。プローブを1100℃の水蒸気下で10分間熱酸化すると、プローブの先端形状を維持したまま250nmの酸化層が得られることが分かった。本研究では、熱酸化法により近接場光学顕微鏡で得られる空間分解能を損ねることなくプローブからの雑音を消すことに成功した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ono A., Masui K., Saito Y., Sakata T., Taguchi A., Motohashi M., Ichimura T., Ishitobi H., Tarun A., Hayazawa N., Verma P., Inouye Y., and Kawata S.: "Active control of the oxidization of a silicon cantilever for the characterization of silicon-based semiconductors," Chem. Lett. **37**, 1, 122-123 (2008)*

XVIII - 012 新しい分子進化法の開発とタンパク質解析技術・機能制御技術への応用

Development of New *in-vitro/in-vivo* Selection Methods and
Their Application to Engineering Development for Analyses and Function Controls of Proteins

研究者氏名：小川 敦司 Ogawa, Atsushi
ホスト研究室：前田バイオ工学研究室
(アドバイザー 前田 瑞夫)

外部刺激によってターゲットタンパク質の発現を制御できれば、タンパク質ネットワーク内および細胞ネットワーク内におけるターゲットタンパク質の機能を詳細に解析できると思われる。本研究では、外部刺激によるタンパク質発現制御システムとして「リボスイッチシステム」に着目し、人工的・合理的にリボスイッチを構築することを目的とした。当初は、研究題目にあるように、分子進化法を開発・駆使することによりリボスイッチシステムの構築を実現する予定であったが、分子進化法を用いることなく合理的に人工リボスイッチを構築する手法を昨年度に開発したため(特願2007-58760) 本年度はその手法で構築した人工リボスイッチの大腸菌細胞内における挙動を調査した。その結果、細胞内における人工リボスイッチの性能は、昨年度行った*in vitro*でのものに比して劣っていたが、培養温度の最適化やcascading systemを導入することにより、細胞内においても、高いIS/N比でタンパク質発現を制御することに成功した。

また、リボスイッチは、コファクター分子によってタンパク質発現を制御できるという性質上、制御タンパク質にレポータータンパク質を用いることにより、コファクターの分子センサーとしても用いることができる。我々が開発したリボスイッチ構築法を用いれば、センシングしたい分子がコファクターとなったりリボスイッチを合理的かつ簡便に構築できるため、細胞内外における分子センサーとしての応用も期待できる。

他にも、当研究室の研究テーマの一つである「一塩基

変異体の検出方法」に関して、ターゲットDNAが高次構造をとる際の問題を解決する方法を提案し、その有用性を確認した(特願2007-168169)。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ogawa A., Maeda M.: "Aptazyme-based riboswitches as label-free and detector-free sensors for cofactors", *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 17 3156-3160 (2007)*

Ogawa A., Maeda M.: "An artificial aptazyme-based riboswitch and its cascading system in *E. coli*", *ChemBioChem*, 9 206-209 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Ogawa A., Maeda M.: "Aptazyme-based riboswitches", 234th ACS National Meeting, Boston, USA, August (2007)

Ogawa A., Maeda M.: "Development of a new-type riboswitch using an aptazyme and an anti-RBS sequence", 5th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, Tokyo, Japan, November (2007)

(国内学会等)

小川敦司、前田瑞夫: "新規リボスイッチシステムの開発とその応用", 新世代の生物有機化学研究会 2007 (第3回) 6月(2007)

XVIII - 013

新しい非線形分光法を用いた界面超高速反応の解明

Ultrafast Molecular Processes at Liquid Interfaces Investigated
with New Nonlinear Spectroscopic Methods

研究者氏名：関口 健太郎 Sekiguchi, Kentaro
ホスト研究室：田原分子分光研究室
(アドバイザー 田原 太平)

自然界には不均一な反応場で起こる化学反応が至

るところに存在するが、特に水溶液界面における分

子のダイナミクスには未知の部分が多く残されている。本研究では非線形レーザー分光法を駆使して界面選択性を持つ時間分解分光法を開発し、界面に特有の過渡的な現象を発見し解明する事を目的としてきた。

本年度はこれまでに開発したフェムト秒マルチブレックス和周波分光法 (TR-ESFG分光法) を用いて、水溶液界面の分子の超高速ダイナミクスの研究を行った。空気/水界面のローダミン800 (R800) に関して、TR-ESFG分光法が可能にした世界で初めての過渡電子スペクトル測定の詳細、および界面において始めて発見されたピコ秒で起こる新しいダイナミクスについて論文に報告した。

上記 TR-ESFG 分光法の拡張として検出に偏光子を加え、和周波発生に関わる3つのパルス (ω_1 , ω_2 , $\omega_1+\omega_2$) の偏光の組み合わせを変えることで TR-ESFG スペクトルの偏光依存性の観測を実現した。また、偏光依存の TR-ESFG シグナルの解析において、分子が界面で回転拡散を示す場合の信号強度変化のモデルを考案し、回転拡散の有無を調べる一般的な判定式を導出した。結果として空気/水界面における R800, クマリン314 (C314) マラカイトグリーンについて得られた信号はS/Nの範囲で明確な偏光依存性を示して居なかったために、現在の TR-ESFG 分光法の測定感度では回転拡散を検出することには成功していない。しかし TR-ESFG 分光法のスペクトル計測は関与してくる過渡種の同定を可能にするため、適当な

観測波長を1点選んでその点で感度の高い(しかし過渡種の同定には向いていない)時間分解第二高調波発生 (TR-SHG) 法を援用し、さらに上述の判定式を併用すれば回転拡散運動の帰属を正しく行うことが出来る。TR-ESFG 法のこの方向での応用は今後一般的になり、TR-SHG 法を用いて報告されてきた従来の実験結果に有る解釈の曖昧さを取り除くものと考えられる。

対象とする反応場も空気/水の界面(気液界面)から液体と液体の界面(液液界面)へと拡張した。可視・紫外光のみを用いるために液体に埋もれた界面での分光測定が可能であるというTR-ESFG 分光法の大きな利点を活かし、ジメチルアニリン/水、ヘキサン/水の界面においてC314のスペクトル測定を試み成功した。気液界面の測定にはない独特の問題点について、スペクトル波形の補正法など新たに考案して解析した。スペクトル解析法の確立と、気液・液液の両界面における溶媒和のモデルの提案が今後の課題である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Sekiguchi K., Yamaguchi S., and Tahara T.: "Femtosecond Time-Resolved Electronic Sum-Frequency Generation Spectroscopy: A New Method to Investigate Ultrafast Dynamics at Liquid Interfaces", J. Chem. Phys., 128, 114715 (2008)*

XVIII - 014 画像観測法による気相分子の化学反応ダイナミクスに関する研究

Study on the Chemical Reaction Dynamics of Gas Phase Molecules with Imaging Technique

研究者氏名: 小城 吉寛 Ogi, Yoshihiro
ホスト研究室: 鈴木化学反応研究室
(アドバイザー 鈴木 俊法)

化学反応を追跡しようとする実験において、反応生成物や放出電子といった散乱粒子の速度・角度分布を同時に観測できる画像観測法は強力なツールとなっている。本研究は画像観測法を利用し、気相分子の光解離、光イオン化、およびA+B C+D反応等における励起エネルギー・衝突エネルギー依存性、生成物の量子状態分布、速度・角度分布を完全に測定し、化学反応ダイナミクスの詳細理解を目指すも

のである。今年度は主として次の2つの研究を遂行した。

(1) NO分子の $A^2\Sigma^+$ Rydberg状態から閾値近傍(0 ~ 1.5 eV)への光イオン化過程における、積分面積のエネルギー依存性 (E)を測定した。実験はポンプ光($A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi(0,0)$ 遷移, 226 nm) および $A^2\Sigma^+$ からのイオン化光(ω_2 (230-330 nm))を、He希釈NO分子線に照射し、生成したNO⁺イオンの信

号強度を測定することで行った。広い ω_2 波長範囲に渡って同条件で測定するためには、(1) ω_1 と ω_2 の光パルス強度を正確に測定し、(2) ω_2 のビームパターン、および(3) ω_1 、 ω_2 と分子線の空間的重なりを一定に保つ必要がある。特に(2)については、ビームプロファイラーで観測しながらフラウンホーファー回折を利用した空間的成形を行った。結果、(E)は、閾値で立ち上がったのちエネルギーの増加に伴い単調減少するという、原子様の光イオン化の特徴を示した。イオンの振動・回転状態、および中性励起状態に由来する共鳴構造は特に現れず、1.5 eV以下のエネルギー領域ではイオン化ダイナミクスの変化がゆるやかであることを見いだした。

(2) 光電子画像の精度を、撮像に利用する CCD カメラの画素数以上の分解能で得るための画像処理アルゴリズムの開発を行った。チャンネル径 25 μm の MCP 検出器に真空ゲージからの弱い光を当て、MCP 背面から飛び出した電子流を蛍光スクリーンで可視化し、CCD カメラ(2メガピクセル)で観測した。各輝点の代表点を CCD ピクセルの幅の数分の1まで超解像処理を行うために、各輝点の代表点を求める複数のアルゴリズムを試行し、比較・検討した。結果、いくつかのアルゴリズムにより MCP ポア構造の観測に成功し、撮像範囲

(80 mm)とチャンネル径(25 μm)から見積もると、光電子画像を観測した際に得られる電子速度分解能($\Delta v/v$)として0.06%以下を達成した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小城吉寛、高口博志、鈴木俊法：“NO分子の $A^2\Sigma^+$ 状態からイオン化しきい値近傍への光イオン化過程”、第23回化学反応討論会、神戸、6月(2007)

小城吉寛、高口博志、莫宇翔、鈴木俊法：“ N_2O 光解離における $\text{O}(^1\text{D})$ 散乱角度分布の解析と電子軌道整列の考察”、第23回化学反応討論会、神戸、6月(2007)

小城吉寛、高口博志、鈴木俊法：“NO $A^2\Sigma^+$ 状態から閾値近傍への光イオン化における積分断面積の測定”、原子衝突研究協会第32回研究会、東京、8月(2007)

小城吉寛、高口博志、莫宇翔、鈴木俊法：“高分解能画像観測法による N_2O 光解離過程の研究 $\text{O}(^1\text{D})$ の散乱角度分布と電子軌道整列”、第一回分子科学討論会、仙台、9月(2007)

堀尾琢哉、小城吉寛、高口博志、鈴木喜一、鈴木俊法：“NO $A^2\Sigma^+$ 状態からの光イオン化ダイナミクス”、第一回分子科学討論会、仙台、9月(2007)

XVIII - 015 有機金属錯体触媒を用いる有機合成化学的 CO_2 固定化反応の開発

Development of CO_2 Fixation Reaction Catalyzed by Organometallic Complexes

研究者氏名：大石 健 Ohishi, Takeshi

ホスト研究室：侯有機金属化学研究室

(アドバイザー 侯 召民)

有機合成化学において CO_2 は有用なC1炭素源として古くから注目されてきた。しかしながら、その反応性は低く有機化合物と直接反応させることは困難である。そこで微量の有機金属錯体触媒を用いて有機分子を活性化させ、 CO_2 と炭素炭素結合形成を行うことで分子中に取り込む、 CO_2 分子の新たな固定化法開発を目標として研究を行ってきた。

本年度は有機金属錯体として銅・カルベン配位子錯体を用いた有機ボロン酸エステルの触媒的カルボキシル化反応を見出すことができた。このカルボキ

シル化反応では、t-BuOK塩基存在下、CuClにN,N-(2,6-diisopropylphenyl)imidazolinylidene [IPr]が配位した[IPrCuCl]を触媒として用いることで有機ボロン酸エステルと CO_2 が反応し、対応するカルボン酸が得られる。有機ボロン酸エステルは中性有機化合物であり、自身は CO_2 と反応せず[IPrCuCl]錯体によって活性化されたと推察している。現在のところアリールボロン酸エステルのみならず、アルケニルボロン酸エステルも反応基質として採用可能であることを明らかとしている。

今後は本反応の有用性と官能基の適用範囲を明ら

かにし、さらには反応機構の解明を行う予定である。

誌上発表 Publications

Ohishi T.: "New Developments of Benzyne Chemistry",
J. Synth. Org. Chem. Jpn., 66, 74-75 (2008)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

大石健、侯召民：“銅触媒を用いる有機ホウ素化合物
のカルボキシル化反応”、日本化学会第88春季年
会、池袋、3月(2008)

XVIII - 016

単離核を用いた複製反応再構成系の確立

Reconstitution of DNA Replication on Isolated Nuclei from Mammalian Cells

研究者氏名：柳憲一郎 Yanagi, Ken-ichiro

ホスト研究室：今本細胞核機能研究室

(アドバイザー 今本尚子)

真核生物においては、染色体複製開始に先立ちクロマチン上に複製前複合体形成が必須である。複製前複合体はORC、Cdc6、Cdt1、MCMが段階的にクロマチンへ結合することで形成される。複製前複合体形成メカニズムは出芽酵母において研究が進んでおり、ORCがATP依存的に複製開始配列を認識して結合し、他の因子がロードされる。しかしながら、特定の複製開始配列が不明な哺乳類細胞においては、クロマチン上のどこに、どのようにして複製前複合体が形成されるのか詳細は不明である。

我々はこれまでに、マウスCdt1を中心とした解析から、Cdt1とMcm6及びOrc2間の相互作用を見出すとともに、これらの相互作用がgemininによって阻害される事を示してきた。そこで、本研究では哺乳類細胞における複製前複合体形成機構を明らかにするために、マウス複製前複合体の*in vitro*再構成を試みた。まず、大腸菌で発現、精製したマウスOrc1DN/2DN/3-5複合体を用い、ゲルシフト法によりDNA結合能について解析した。その結果、Orc1DN/2DN/3-5はATP依存的に二本鎖DNAに結合した。一方、一本鎖DNAにはATP非依存的に結合する事が示された。さらに、複数のDNA基質を用い配列特異性に付いて検討したが、出芽酵母のように顕著な配列特異的DNA結合活性は見出せなかった。次に、DNA上での

複合体形成を確認するために、Orc1DN/2DN/3-5に続き、精製したCdc6、Cdt1を段階的に加えると、より移動度の遅い位置へバンドがシフトした。ORC、Cdc6、Cdt1がDNA上で機能的な複合体を形成している可能性が示唆された。

現在、再構成した複製前複合体のツメガエル*in vitro*複製系による活性化を試みているが、効率的な複製反応を開始させるには至っていない。バックグラウンドの抑制や非活性の高いタンパク質を供給する事が必要と考えられる。

誌上発表 Publications

Mizushima Y., Takeuchi T., Takakusagi Y., Yonezawa Y., Mizuno T., Yanagi K., Imamoto N., Sugawara F., Sakaguchi K., Yoshida H., and Fujita M.: "Coenzyme Q(10) as a potent compound that inhibits Cdt1-geminin interaction", *Biochim. Biophys. Acta*, 1780 203-213(2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

柳憲一郎、水野武、花岡文雄、今本尚子：“哺乳類における複製前複合体形成機序の解析”、第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会合同大会、横浜、12月(2007)

XVIII - 017 遺伝子発現に至るストレスシグナルのリバースプロテオミクス解析

Reverse Proteomics Approaches of Stress Signal Transduction for Gene Expression

研究者氏名： 前田 和宏 Maeta, Kazuhiro

ホスト研究室： 吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

細胞は環境変化を細胞外からのストレスとして認識し、シグナル伝達経路を活性化させ適応に必要な遺伝子の発現を惹起することが知られている。本研究では、リバースプロテオミクスの手法を用いて分裂酵母の全タンパク質を包括的に解析することにより、ストレスシグナルの伝達に關与する新しい因子を明らかにすることを目的とする。

本年度は、吉田化学遺伝学研究室で作製された分裂酵母の全遺伝子(約5,000個のopen reading frame)の一つ一つの過剰発現が可能なコレクションから細胞抽出液を調製し、メンブレンにスポットすることでリバースアレイを作製した。作製したリバースアレイに対し、ヒストンH3の9番目のリジン残基のアセチル化とヒストンH4の5番目のリジン残基のアセチル化に特異的な抗体で検討を行なった結果、ヒストンH3の9番目のリジン残基(H3K9)のアセチル化レベルがヒストン脱アセチル化酵素Sir2の過剰発現により減少し、ヒストンシャペロンCia1の過剰発現によって増加することが観察された。分裂酵母でSir2はH3K9の脱アセチル化酵素であることがすでに報告されていることから、この方法の有効性が示唆されたが、実際これらの増減はWestern blottingで確認された。以上の結果はリバースアレイによる上流因子の

探索の有効性を示している。また、本研究を遂行するうえで抗体の特異性が重要であることから、分裂酵母で利用可能な抗体の検討を行ったところ、ヒストンの翻訳後修飾においてはH3 K9のアセチル化、H4K5のアセチル化以外にもH3K4のメチル化、K14、K18、K23、K27、K56のアセチル化、H4K20のメチル化、K8、K12、K16のアセチル化をそれぞれ認識する抗体を得ることができた。

現在、ヒストンの各アミノ酸残基における翻訳後修飾を認識する抗体、MAPキナーゼの活性化を認識する抗体を用いて検討を行っている。また、ストレスや様々な薬剤で処理した細胞から調製した細胞抽出液を用いてリバースアレイを作製し、検討を進めている。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議・ポスター)

Maeta K., Matsuyama A., Shirai A., Hashimoto A., Kawamura Y., and Yoshida M.: "Reverse array analysis for understanding signaling pathways", Fourth International Fission Yeast Meeting, Copenhagen, Denmark, Jun. (2007)

XVIII - 021

糖鎖の超高速分析技術の開発

Development of High Speed Analysis System of Carbohydrates

研究者氏名： 中嶋 和紀 Nakajima, Kazuki

ホスト研究室： フロンティア研究システム-

疾患糖鎖研究チーム

(アドバイザー 谷口 直之)

細胞や組織表面上に存在する複合糖鎖は、極微量で且つ多様な構造を有することから、その構造解析及び定量解析に際し、高分離能で高感度な分析法が必要である。最近の急速な質量分析装置(MS)の発展は、生体機能分子の簡便且つ高感度な解析を可能にした。その一方で、各糖鎖の定量解析では、2-アミ

ノピリジン(PA)などの蛍光物質による蛍光標識化、過剰試薬の除去、及び各糖鎖の単離精製などの煩雑な問題が含まれる。キャピラリー電気泳動(CE)は、MSとの接続が可能で、高速かつ高分解能分離ができる分離分析法である。またCEは、HPLC等に比べて試料の吸着が少ない故、レーザー励起蛍光検出

器(LIF)の直結により極微量糖鎖の高感度分析が可能になると考えられる。そこで本研究では、CE-LIF及びCE-MSによるPA化糖鎖の高速かつ高感度な構造解析法と定量解析法の開発を目的とした。

本年度は、PA化糖鎖の高感度CE分析において問題になりうる試料導入法を検討した。特に、CEは高分離能に適した内径が細いキャピラリーを使用するために、一回の注入可能量が数nl程度に制限される故、装置にセットした試料を全量導入できないという欠点を有している。この問題を解決するために、アセトニトリル：水混合液で調製した濃縮ゾーンと糖鎖の試料溶液を用いて電氣的導入する手法を確立した。またシアル酸を有する酸性糖鎖のPA誘導体は、更に、電場の極性を反転させて加圧しながら、試料導入する方法を確立した。結果、従来法に比べて約150倍量以上の試料を導入できるようになり、中性糖鎖で25 amol、酸性糖鎖で100 amolのPA化糖鎖が

サンプルチューブ内に存在すれば、本CE-LIFシステムにより、良好に分離した状態で検出できることがわかった。従って、本法はアトモレベルにおける極微量糖鎖の定量分析を可能にするものと考えられる。また現在、応用質量分析研究チームにおいて、高感度CE-MSシステムの構築に本法が利用され、アトモレベルにおける極微量糖鎖の高感度構造解析法が開発されている。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

中嶋和紀、伊藤恵美、萩生田絵美、掛樋一晃、伊藤信、御石浩三、鈴木明身、鈴木實：“電氣的試料導入キャピラリー電気泳動法による糖脂質由来PA化糖鎖の高感度分析”、第27回日本糖質学会年会、福岡、8月(2007)

XVIII - 022

細胞内脂質動態の分子機構の解析

Analysis of Molecular Mechanisms of Intracellular Lipid Dynamics

研究者氏名：岩本 邦彦 Iwamoto, Kunihiko

ホスト研究室：小林脂質生物学研究室

(アドバイザー 小林 俊秀)

生体膜を構成する様々な脂質分子は、細胞内オルガネラ間、脂質二重層の層間、さらには同一膜面上での微小領域間において分布が異なることが知られている。このような不均一な脂質分布形成は、能動的な脂質動態が大きく寄与し、脂質分子の機能や脂質代謝に非常に重要であるが、その分子機構については実験手法上の困難さ故に不明な点が多い。

ホスファチジルエタノールアミンは細胞の生育に不可欠な脂質分子であり、細胞分裂や細胞極性の確立に重要であることが示唆されている。本研究では、特にこのホスファチジルエタノールアミンに着目し、その細胞内動態の機構を明らかとすることを目的としている。昨年度は、細胞内でのホスファチジルエタノールアミン動態機構を解析するためのツールとして、放線菌由来の抗生物質duramycinが利用できることを見出した。

本年度は、duramycinがエタノールアミン脂質に特異的に結合すること、その結合は膜の曲率や流動性に依存すること、さらにduramycinの膜への結合が引き起

こす膜構造変化の性状等、duramycinの特性の詳細について、昨年度からの解析を継続し誌上発表を行った。これらの特性から、duramycin誘導体の細胞膜・細胞内膜系ホスファチジルエタノールアミンの可視化への応用や、duramycin感受性を細胞膜ホスファチジルエタノールアミン量の指標とする利用等が期待される。

動物細胞におけるホスファチジルエタノールアミンの二つの主要合成経路のうち、細胞に必要不可欠な経路では、ホスファチジルエタノールアミンはミトコンドリア内で合成され、小胞体、細胞膜へと移行する。ミトコンドリアから小胞体へは、両者の接触領域(コンタクトサイト)を介して輸送されていることが知られているが、その機構は不明である。本年度は、duramycin感受性を細胞膜ホスファチジルエタノールアミン量の指標として、コンタクトサイトにおけるホスファチジルエタノールアミン輸送に関与する因子の探索を開始した。コンタクトサイトでは、様々な物質のやりとりが行われている領域でもあり、本研究からホスファチジルエタノールアミン

以外の物質の輸送機構解明への発展も期待される。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Iwamoto K., Hayakawa T., Murate M., Makino A., Ito K., Fujisawa T., and Kobayashi T.: "Curvature-dependent recognition of ethanolamine phospholipids by duramycin and cinnamycin", *Biophys. J.*, 93 1608-1619 (2007)*

XVIII - 023

細胞膜上における脂質ドメインの機能の研究

Investigation of Lipid Domain Functions in Cell Membranes

細胞膜上には、膜のドメイン構造があり、多くのシグナル伝達の鍵を握るはたらきをしているらしいことがわかってきた。特に最近では、「ラフト」という脂質ドメインが注目されている。本研究では、コレステロールリッチな膜ドメインに特異的に結合する θ 毒素を用いて、ラフト以外の脂質ドメイン“ θ 毒素結合ドメイン”が細胞膜に存在していることを示した。さらに、その機能についても調べた。

細胞膜に近い脂質組成、つまり、グリセロリン脂質とスフィンゴ脂質とコレステロールを混合した人工膜で、ラフトドメイン(スフィンゴ脂質とコレステロールに富んだ領域)が形成されることを原子間力顕微鏡で可視化した。ラフトドメインの形成におけるコレステロールの濃度の影響を調べたところ、約30 mol%濃度までのコレステロールによってラフトの形成が促進され、それ以上のコレステロールを加えるとラフトドメインが消失した。また、 θ 毒素はラフトドメインが消失するような高コレステロール濃度の人工膜に結合することがわかった。さらに、コレステロール特異的に結合する抗生物質フィリピンのキャラクタリゼーションを行い、フィリピンが θ 毒素結合膜とラフトを認識することを明らかにした。これらのプローブを用いて、培養細胞の細胞膜上で、ラフトと θ 毒素結合膜の分布を調べた。フィリピンが細胞膜全体に様に分布しているのに対して、 θ 毒素の分布は不均一で、特にアクチン線維と共局在することがわかった。以上の結果は、人工膜では均

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwamoto K., Hayakawa T., Murate M., Makino A., Ito K., Fujisawa T., and Kobayashi T.: "Curvature-dependent recognition of ethanolamine phospholipids by duramycin and cinnamycin", 48th International Conference on the Bioscience of Lipids, Turku, Finland, Sep. (2007)

研究者氏名：村瀬 琴乃 Murase, Kotono

ホスト研究室：小林脂質生物学研究室

(アドバイザー 小林 俊秀)

一に存在し、ドメインを形成することができない θ 毒素結合膜が、細胞膜上では不均一に存在し、ドメインを形成していること、さらに、細胞膜上で θ 毒素結合ドメインとラフトの分布が違うことを示している。また、ラフトに影響を与えず θ 毒素結合ドメインのみ消失させる処理を行うと、アクチンの形態が大きく変化し、それに伴ってEGF受容体とSrcのリン酸化が増加した。以上の結果は、ラフトではなく θ 毒素結合ドメインが、EGF受容体・Src依存的なアクチンの再構築に関与していることを示唆している。

誌上発表 Publications

(総説)

村瀬琴乃、楠見明弘：“細胞膜分子の1分子牽引”、非侵襲・可視化技術ハンドブック 817-821 (2007)

口頭発表 Oral presentations

(国際会議)

Murase-Tamada K., Hayakawa T., Murate M., Ito K., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: "Cholesterol gradient in biological membranes", Biophysical Society Meeting, Long Beach, California, USA, Feb. (2008)

(国内学会)

村瀬琴乃、早川智広、村手源英、嶋田有紀子、伊藤和輝、岩下淑子、小林俊秀：“脂質ラフトの多様性とその機能”、第5回メンブレンストレスバイオテ

クノロジー、大阪大学豊中キャンパス 基礎工学部
国際棟、9月(2007)

村瀬琴乃、早川智広、村手源英、嶋田有紀子、伊藤
和輝、岩下淑子、小林俊秀：“細胞膜上の脂質ドメ
インの機能解析”第6回エクストリーム・フォト
ニクス研究会、蒲郡 ホテル竹島、11月(2007)

Murase K., Hayakawa T., Murate M., Ito K., Shimada Y.,
Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: “Chaos, rather
than rafts”, BMB2007 (第30回日本分子生物学会
年会・第80回日本生化学会大会 合同大会)、横浜
パシフィコ横浜、12月(2007)

XVIII - 024

自己組織化パターン構造を有する高分子フィルムを テンプレートとして利用した金属着色法の開発

Development of Metal Coloration

by Using of Polymer Films Possessing Self-Assembled Pattern Structures

研究者氏名：石井大佑 Ishii, Daisuke

ホスト研究室：知的財産戦略センター

次世代ナノパターンニング研究チーム

(アドバイザー 小野寺 純一)

自己組織化によって得られる規則構造は、その周期構造を光の波長サイズに制御することで、光を閉じ込めたり、曲げたり、波長選択性をもたせたりすることが理論的にも実験的にも明らかになっている。そのサイズにおいては、機械的加工によって規則構造を作製できるが、簡便さや生産性の関係上、問題点が多い。近年、自己組織的に形成される有機物規則構造体を利用した例が報告されている。また、自然界には、真珠や孔雀に代表されるように、多くの規則構造に由来する構造色が観察される。この構造色の根源は、光の回折・屈折・干渉・散乱であり、現代の先端技術でも作製困難な微細構造によるものである。このような微細構造は、有機物の自己組織化を利用することで徐々に再現できつつある。

そこで本研究では、自己組織化により得られる有機物規則構造体をテンプレートとして利用し、その規則構造を反映した金属構造体を作製し、構造由来の光学特性および物質由来の光学特性を併せもつ新規光デバイスの開発を試みる。新規貴金属構造体について、選択的な電磁波吸収・反射・導波を利用した光学材料、バイオセンサーなどの生体材料への応用を探索する。

本年度は、自己組織化によって得られる有機物規則構造体であるハニカム状高分子フィルムから得られる貴金属構造体の新規機能性について検討を行った。

(1)疎水性高分子で構成されたハニカムフィルムを

鋳型とし、親水性の金属を無電解めっきにより析出させ、規則構造を有する金属_高分子複合構造体を作製した。疎水性高分子構造体中に親水性の金属ドメインを形成することで、規則構造由来の撥水性と表面エネルギーの低い金属由来の吸着性という、相反する性質を併せもつた新規機能性膜を作製できた。この液滴吸着性は、鋳型として利用した自己組織化ハニカムフィルムの周期構造を変化させることにより、容易に調節可能であった。

(2)得られた吸着性を有する撥水性膜は、表面に金属部位を有するため、電極としての機能をもつことがわかった。この性質を利用し、液滴の吸着性を電氣的に制御することが可能である。これらの特性を利用し、微小液滴を利用したデバイスとしての応用が期待できる。

今後、このような規則的な周期構造を有する金属もしくは金属複合物の特殊な機能発現を試み、新規材料としての利用を目指していきたい。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishii D., Yabu H., and Shimomura M.: “Selective metal deposition in hydrophobic porous cavities of self-organized honeycomb-patterned polymer films by all-wet electroless plating”, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 313-314C 590-594(2008)*

(その他)

日経新聞 2007年10月1日：“空気中の水分 水滴に ”、
Newton 2008年2月号「ナノテク・フロンティア 水
滴を“つかむ”膜ができた」

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Ishii D., Yabu H., and Shimomura M.: “Superhydrophobic metal-organic surfaces having smart interface to water”, Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sep.(2007)

Ishii D., Yabu H., and Shimomura M.: “Water repellency and adhesion properties of metal-polymer composite surfaces made from self-organized honeycomb-patterned polymer films”, 46th Microsymposium on Nanostructured Polymers and Polymer Nanocomposites, Prague, Czech Republic, Jul.(2007)

Ishii D., Yabu H., and Shimomura M.: “Water adhesive super-hydrophobic metal-polymer composite surfaces made from self-organized honeycomb-patterned poly-

mer films by all-wet electroless plating”, 12th International Conference on Organized Molecular Films (LB-12), Krakow, Poland, Jul.(2007).

(国内会議等)

石井大佑、藪浩、下村政嗣：“無電解めっきを利用した高吸着性超撥水基板の作製と吸着性の電場制御”、2007年電気化学会北陸支部秋季大会 表面技術協会関東支部第74回講演会 合同大会、長岡グランドホテル、10月(2007)

石井大佑、藪浩、下村政嗣：“無電解めっきを利用した金属_高分子複合超撥水界面”、Surtech2007、幕張メッセ、9月(2007)

石井大佑、藪浩、下村政嗣：“自己組織化ハニカム状高分子フィルムを鋳型とした高吸着性超撥水表面”、第56回高分子討論会、名古屋工業大学、9月(2007)

石井大佑、藪浩、下村政嗣：“ハニカムフィルムから得られる撥水性かつ接着性を有する金属・高分子複合表面”、第56回高分子年次大会、京都国際会議場、5月(2007)

XVIII - 025

外場応答型コロイドフォトリック結晶の作製

Fabrication of External-Field-Sensitive Colloidal Photonic Crystals

研究者氏名：金井俊光 Kanai, Toshimitsu

ホスト研究室：フロンティア研究システム

散逸階層構造研究チーム

(アドバイザー 下村政嗣)

コロイド微粒子を2次元、3次元に周期配列させたコロイド結晶は、その周期オーダーがサブミクロン程度なので、可視光領域でブラッグ反射を起こし、可視光で働く光学材料としての応用が期待されている。我々はこれまで荷電安定系のコロイド結晶を用いて、荷電安定系に特有の流動による配向処理と高分子ゲルによる粒子配列の固定化を適切な条件下で行うことで、大面積で均質なコロイド結晶ゲルを作製することに成功している。さらに得られたコロイド結晶ゲルは、応力、溶媒置換、温度変化などで格子面間隔が変化し、ブラッグ反射波長や回折色に変化する、外場応答性を有することを示してきた。

今回、外部環境変化に対してあまり変化しないモノマーと、体積相転移を起こすモノマーとを混合したゲルを作製し、外部環境変化に対するブラッグ反

射波長変化の制御性について、検討を行った。具体的には、温度変化に対してゲル体積があまり変化しないメチロールアクリルアミドゲルと、34 付近で体積相転移を起こすNIPAゲルとを混合したゲルからなるコロイド結晶ゲルを作製し、混合比に対するブラッグ反射波長の温度依存性について検討した。その結果、NIPAゲル量が50%程度までの試料は、温度変化に対して線形的にブラッグ反射波長が変化し、NIPAゲル量が増えるほどその傾きが増加するように変化することがわかった。一方、NIPAゲル量が60%以上では、非線形的な変化をし、NIPAゲル量が増えるほど、急峻な変化になることがわかった。

このように、外部環境変化に対してあまり変化しないモノマーと、体積相転移を起こすモノマーとを組み合わせ、その組成を変えることで、外部環境変

化に対するブラッグ反射波長変化を大きく変えることができた。特に、線形的に変化するコロイド結晶ゲルは光学センサーとして、また非線形的に変化するコロイド結晶ゲルは光学スイッチとしての利用が期待でき、今後の応用化研究へと発展することが期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kanai T., Sawada T., Toyotama A., Yamanaka J., and Kitamura K.: "Tuning the Effective Width of the Optical Stop Band in Colloidal Photonic Crystals", *Langmuir*, 23, 3503-3505 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kanai T., Sawada T., Shimomura M., and Kitamura

K.: "Fabrication of Colloidal Crystal Films with high Spectral Quality", The Third Asian Particle Technology Symposium (APT 2007), Beijing, China, Sep. (2007)

(国内学会等)

金井俊光、澤田勉、下村政嗣、北村健二: "シリカコロイド結晶ゲルの透過スペクトルの入射角度依存性", 日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム、名古屋工業大学、9月(2007)

金井俊光、澤田勉、下村政嗣、北村健二: "荷電コロイド系におけるコロイド結晶化臨界濃度の微量試料量での測定", 粉体工学会第43回夏期シンポジウム、関西セミナーハウス、8月(2007)

金井俊光: "コロイドフォトリック結晶の均一作製と光学特性チューニング", 第53回高分子研究発表会(神戸)ヤングサイエンティスト講演、兵庫県中央労働センター、7月(2007)

XVIII - 026 ナノスケール界面加工による有機微結晶トランジスタの電子回路応用

Circuits of Organic Single-Crystal Transistors by Nano-Scale Interface Modification

研究者氏名: 三成 剛生 Minari, Takeo

ホスト研究室: フロンティア研究システム

ナノサイエンス研究技術開発・支援チーム

(アドバイザー 青柳 克信)

有機電界効果トランジスタ(FET)の動作特性はアモルファスシリコンを凌ぐまでに発達し、フレキシブルディスプレイを始めとして多くの応用展開が検討されるようになってきた。その一方で、動作機構が未解明である点、真空蒸着といったシリコンテクノロジー類似の手法が未だに多く用いられる点といった、解決すべき問題も依然として多く残っている。本年度は主に以下の2点に関して研究を行った。

(1) 単結晶素子による有機FET動作機構の解明

結晶粒界の影響を受けない有機単結晶素子は、有機FETの本質的な動作機構を解明するための最適なツールである。本質的な伝導特性を引き出すことによって、ルブレ単結晶FETから $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を大きく超える移動度や、サブミクロンチャネル素子の1V安定動作を実現した。さらに、異なる中心金属を持つポルフィリン単結晶素子を作製し、分子間距離の違いによる軌道の重なりと、

伝導特性の間の相関を初めて解明した。

(2) 溶液から自己形成する有機トランジスタ

プラスチックエレクトロニクスのさらなる発展のためには、有機分子が本来有している優れた特徴を最大限に活かした、新しい素子作製プロセスが必要である。本年度は、溶液から基板上に拡散させた有機分子が、所定の位置で自己整合により結晶化するプロセスを開発した。基板表面に異なる表面エネルギーを持った自己組織化単分子膜をパターンニングすることにより、濡れ性の高い領域にのみ有機結晶が選択的に形成される。この半導体塗布技術を用いて、有機多結晶FETをマトリックス状に配置したアレイを形成した。さらに、有機単結晶を電極間の所定の位置に配置する選択成長にも成功し、溶液からの単結晶FET作製プロセスを確立した。単結晶FETの優れた特性により、応用開発における一層の進展が期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S. D., Aoyagi Y., Seto M., Nemoto T., Isoda S., and Tsukagoshi K.: "Selective organization of solution-processed organic field-effect transistors", *Applied Physics Letters*, VOL.92 17 pp173301-1-173301-3 (2008)*

Wang S. D., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Contact-correlated bias stress instability in organic thin film transistors", *Applied Physics Letters*, 92, 063305 (2008)*

Miyata Y., Terayama M., Minari T., Nishinaga T., Nemoto T., Isoda S., and Komatsu K.: "Synthesis of oligo(thienylfuran)s with thiophene rings at both ends and their structural, electronic, and field-effect properties", *Chemistry of Asian Journal*, 2, 1492 (2007)*

Wang S. D., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Contact metal dependent current injection in pentacene thin film transistors", *Applied Physics Letters*, 91, 203508 (2007)*

Minari T., Seto M., Nemoto T., Isoda S., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Molecular-packing-enhanced charge transport in organic field-effect transistors based on semiconducting porphyrin crystals", *Applied Physics Letters*, 91, 123501 (2007)*

Tsukagoshi K., Fujimori F., Minari T., Miyadera T., Hamano T., and Aoyagi Y.: "Suppression of short channel effect in organic thin film transistors", *Applied Physics Letters*, 91, 113508 (2007)*

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Hamano T., Aoyagi Y., Yasuda R., Nomoto K., Nemoto T., and Isoda S.: "Scaling effect on the operation stability of short-channel organic single-crystal transistors", *Applied Physics Letters*, 91, 063506 (2007)*

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Aoyagi Y., and Ito H.: "Charge injection process in organic field-effect transistors", *Applied Physics Letters*, 91, 053508 (2007)*

Miyata Y., Minari T., Nemoto T., Isoda S., and Komatsu K.: "Synthesis of fluorinated anti-fluorene-dione and the structural, electronic, and field-effect properties", *Organic & Biomolecular Chemistry*, 5, 2592 (2007)*

Miyadera T., Minari T., Tsukagoshi K., Ito H., and Aoyagi

Y.: "Frequency response analysis of pentacene thin-film transistors with low contact impedance by interface molecular doping", *Applied Physics Letters*, 91, 013512 (2007)*

Fujimori F., Shigeto K., Hamano T., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Current transport in short channel top-contact pentacene field-effect transistors investigated with the selective molecular doping technique", *Applied Physics Letters*, 90, 193507 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Minari T., Tsukagoshi K., Miyadera T., Ito H., and Aoyagi Y.: "Meyer-Neldel rule in charge injection of organic field-effect transistors", The 212th Electrochemical society meeting (212th ECS Meeting), Washington DC, USA, Oct. (2007)

Seto M., Minari T., Nemoto T., Tsukagoshi K., Isoda S., and Aoyagi Y.: "Molecular-packing-enhanced charge transport in porphyrin single-crystal transistors", Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sept. (2007)

Kiyomura T., Minari T., Tsukagoshi K., Isoda S., and Aoyagi Y.: "Direct growth of crystalline organic thin films for field effect transistors", Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sept. (2007)

Wang S. D., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Aoyagi Y.: "Fermi level tuning at contact for improving current injection in organic thin film transistors", Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sept. (2007)

Tsukagoshi K., Fujimori F., Minari T., Miyadera T., Hamano T., and Aoyagi Y.: "Suppression of short-channel effect in pentacene thin film transistors", Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sept. (2007)

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Seto M., Nemoto T., Isoda S., and Aoyagi Y.: "Inherent charge transport in organic single-crystal transistors", Korea-Japan Joint Forum 2007 (KJF2007), Seoul, Korea, Sept. (2007)

Yasuda R., Hirai N., Yagi I., Nomoto K., Kasahara J., Minari T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Highly Reliable Bottom-Contact Pentacene TFTs with a

- Poly(p-chloroxylylene) Layer Selectively Grown on a Gate-Insulator”, 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2007), Tsukuba, Japan, Sept. (2007)
- Minari T., Tsukagoshi K., Miyadera T., Ito H., and Aoyagi Y.: “Charge injection process in organic field-effect transistors”, European Conference on Molecular Electronics 2007, Metz, France, Sept. (2007)
- Miyadera T., Tsukagoshi K., Minari T., Ito H., and Aoyagi Y.: “Frequency response analysis of pentacene thin film transistors”, 17th International Vacuum Congress, 13th International Conference on Surface Science (IVC-17/ICSS-13), Stockholm, Sweden, July (2007)
- Miyadera T., Minari T., Ito H., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: “Efficient charge injection of top contact pentacene thin film transistors analyzed by means of frequency response”, 3rd Annual Organic Microelectronics Workshop, Seattle, USA, July (2007)
- Miyadera T., Minari T., Kanamori Y., Ito H., Tsukagoshi K., Ikeda S., Saiki K., and Aoyagi Y.: “Frequency Response and Transient Phenomena of Pentacene Thin Film Transistors”, 49th Electronic Materials Conference (EMC 2007), Indiana, USA, June (2007)
- Tsukagoshi K., Fujimori F., Minari T., Miyadera T., Hamano T., and Aoyagi Y.: “Suppression of short-channel effect in top-contact pentacene thin film transistor”, 49th Electronic Materials Conference (EMC 2007), Indiana, USA, June (2007)
- Seto M., Nemoto T., Isoda S., Minari T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: “Porphyrin single-crystal field-effect transistors”, ChinaNANO 2007, Beijing, China, June (2007)
- Minari T., Miyadera T., Hamano T., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: “100-nm-channel organic single-crystal transistors”, ChinaNANO 2007, Beijing, China, June (2007) (国内学会等)
- 三成剛生、加納正隆、宮寺哲彦、王穂東、青柳克信、塚越一仁：“溶液から自己形成する有機トランジスタ”、2008年春季第55回応用物理学学会学術講演会、千葉、3月(2008)
- 宮寺哲彦、三成剛生、王穂東、青柳克信、塚越一仁：“ペンタセン薄膜トランジスタのパルス応答とトラップの評価”、2008年春季第55回応用物理学学会学術講演会、千葉、3月(2008)
- 町田真一、中山泰生、野口裕、三成剛生、塚越一仁、石井久夫：“光電子収量分光法による金ノルブレ単結晶界面のホール注入障壁測定”、2008年春季第55回応用物理学学会学術講演会、千葉、3月(2008)
- 宮寺哲彦、三成剛生、塚越一仁、伊藤裕美、青柳克信：“複素インピーダンス解析によるペンタセンTFT電流注入機構の解明”、2007年秋季第68回応用物理学学会学術講演会、北海道、9月(2007)
- 加納正隆、三成剛生、塚越一仁、青柳克信：“液晶性有機半導体を用いたトランジスタの電荷輸送機構”、2007年秋季第68回応用物理学学会学術講演会、北海道、9月(2007)
- 王穂東、三成剛生、宮寺哲彦、塚越一仁、青柳克信：“Current Injection Analysis in Pentacene Thin Film Transistors with Copper Electrodes”、2007年秋季第68回応用物理学学会学術講演会、北海道、9月(2007)
- 竹内秀一、宮木充史、澤畠哲哉、青木康子、宮寺哲彦、三成剛生、塚越一仁：“極低加速電圧BSE像を用いた有機複合材料観察の試み”、電子顕微鏡学会第63回学術講演会、新潟、5月(2007)

XVIII - 027 中性子過剰魔法核 ^{78}Ni 近傍における核内中性子分布
及び陽子分布変形の個別決定

Individual Deformation of Neutron and Proton in The Vicinity of Neutron-rich Magic Nucleus ^{78}Ni

研究者氏名：菅野 祥子 Kanno, Shoko
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 本林重イオン核物理研究室
 (アドバイザー 本林 透)

この研究では ^{78}Ni 近傍の不安定核について、核内の

中性子と陽子分布の変形度からそれぞれの四重極集

団性を個別に決定することを目的としている。

一般に核内の中性子と陽子は、互いの強い引力によって空間的に同じ分布を取る傾向がある。しかし、陽子数に対する中性子数が非常にアンバランスで両者のフェルミ面に大きなずれがある場合、陽子と中性子が互いをつなぎとめきれなくなり、陽子と中性子の空間分布が分離する可能性が考えられる。具体例を挙げると、 ^{78}Zn および ^{78}Ge では共に ^{78}Ni の閉殻に対して陽子が粒子状態となり、対照的に中性子は空孔状態となる。また、 $^{74,76,78}\text{Ni}$ は陽子が閉殻で球形を好む陽子と中性子の空孔状態が共存し、 ^{78}Zn および ^{82}Ge では球形を好む中性子の閉殻と陽子の粒子状態が共存することになる。このような条件下では陽子と中性子が異なる空間分布を取ることが期待され、これが陽子と中性子の個別な四重極集団性に現れることが期待される。

この研究で対象としているのは、非常に中性子過剰で二重閉殻構造が予想されている ^{78}Ni 近傍の偶偶核、 $^{74,76,78}\text{Ni}$ 、 $^{78,80}\text{Zn}$ と $^{78,82}\text{Ge}$ である。これらの不安定核に陽子コア核 + 2 粒子陽子または2粒子中性子という描像を仮定する。それぞれの分布を個別に決定するために、陽子または中性子に敏感な反応機構を用いる。陽子分布変形は鉛標的を用いるクーロン励起実験から決定し、中性子分布変形は液体水素標的を用

いる陽子非弾性散乱実験の結果から、陽子の寄与を差し引くことで決定する。

本年度は、昨年度の成果である ^{74}Ni の陽子非弾性散乱で得られた結果_これまでは強く励起に関与しないと捉えられていた $Z=28$ の陽子芯(コア)が、中性子数が40を超えた領域では中性子にひきずられて直ちに偏極を起こしているという描像_から更に議論を重ね、Ni 同位体における一般的な性質として $Z=28$ の陽子芯が偏極を起こしやすいものであるという描像を得た。この結果を国際会議において口頭で発表した。今後、当該する原子核の新しい実験データ取得にむけ、検出器の予備測定(性能試験)、測定装置の最適化に努める。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

S.Kanno, N.Aoi, D.Bazin, M.D.Bowen, C.M.Campbell, J.M.Cook, D.-C.Dinca, A.Gade, T.Glasmacher, H.Iwasaki, T.Kubo, K.Kurita, T.Motobayashi, W.F.Mueller, T.Nakamura, H.Sakurai, H.Suzuki, S.Takeuchi, J.R.Terry, K.Yoneda, H.Zwahlen: "Weakening of $Z=28$ shell closure in ^{74}Ni ", Direct Reactions with Exotic Beams (DREB07), Saitama, Japan, June (2007)

XVIII - 028

原子核における 粒子凝縮と、 それに基づいたガスのクラスター構造状態の研究

Alpha Particle Condensation and Gas-Like Cluster States in Nuclei

研究者氏名： 船木 靖郎 Funaki, Yasuro

ホスト研究室： 仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(アドバイザー 中務 孝)

軽い核の励起状態に顕著に現れるクラスター構造状態について、粒子が最低エネルギー軌道にボーズ凝縮した状態が現れる可能性について調べている。この可能性は近年になって指摘され、著者等の研究により、実際 ^{12}C の3 分解数居エネルギー近傍に観測されている第二 0^+ 状態 (Hoyle状態) は、3つの

粒子がゆるく結合してガスの構造を形成し最低エネルギー軌道のS波に凝縮した状態であることが明らかになっている。この有限核における 粒子凝縮現象は原子系での理想ボーズ気体におけるボーズ凝縮

に類似のものと考えられるが、凝縮するボーズ粒子数が有限個である点、粒子が内部エネルギーを持つため、最低エネルギー軌道に凝縮した状態が原子核の励起状態として現れる点、等原子系に無い著しい特徴を持つ。

本研究ではこの励起状態に特徴的に現れ得る、低密度でガスの構造を持ったクラスター状態、とりわけその最低エネルギー状態であるボーズ凝縮状態の存在する可能性を、種々のクラスター模型を用いて調べ、以下の研究を行った。

(1) ^{16}O において4凝縮状態の存在する可能性を調べた。これには半微視的4クラスター模型を用い4つの粒子間に何ら制限を課さない広い模型空間で4問題を解き解析を行った。基底状態、 $^{12}\text{C}+$ クラスター構造を持った励起状態の他、4敷居エネルギー近傍に大きな核半径を持った状態を得た。S軌道に大きな占有率を持っていること、またHoyle状態の成分を非常に多く含むことから、この状態が4凝縮状態であるとの結論を得た。

(2) 凝縮タイプの微視的4クラスター模型波動関数を用いた再解析を行った。4凝縮状態が、従来予言されていたものよりもっと理想的に実現されている可能性を示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Wakasa T., Ihara E., Fujita K., Funaki Y., Hatanaka K., Horiuchi H., Itoh M., Kamiya J., Röpke G., Sakaguchi H., Sakamoto N., Sakemi Y., Schuck P., Shimizu Y., Takashina M., Terashima S., Tohsaki A., Uchida M., Yoshida H.P., and Yosoi M.: "Evidence for an alpha cluster condensed state in ^{16}O (alpha,alpha') at 400 MeV", *Phys. Lett. B* 653, 173 (2007)*

T. Yamada, H. Horiuchi, K. Ikeda, Y. Funaki, A. Tohsaki: "Monopole Excitation to Cluster States", submitted to *Phys. Rev. C*, arXiv:nucl-th/0703045

Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, A. Tohsaki, T. Yamada: "Density-induced suppression of the α -particle condensate in nuclear matter and the structure of α cluster states in nuclei", submitted to *Phys. Rev. C*, arXiv:0801.3131

(総説)

Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, A. Tohsaki, T. Yamada, *Nucl. Phys. News*, 17(04), 11 (2007)

(プロシーディング)

Schuck P, Funaki Y, Horiuchi H, Röpke G, Tohsaki A and Yamada T: "Quartetting in fermionic matter and α -particle condensation in nuclear systems", *Proceedings of the International Workshop on Nuclear Physics 28th Course – Radioactive Beams, Nuclear Dynamics*

and Astrophysics, Ettore Majorana Center for Scientific Culture, Erice, Sicily, Italy, 16-24 September 2006, ed. A. Faessler *et al.*, *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 59 (1), 285-304 (2007)

Schuck P, Funaki Y, Horiuchi H, Röpke G, Tohsaki A, and Yamada T: "Alpha particle condensation in nuclear systems", *Proceedings of the 2nd International Conference on Collective Motion in Nuclei Under Extreme Conditions (COMEX2)*, Sankt Goar, Germany, 20 - 23, June 2006, ed. P. von Neumann-Cosel *et al.*, *Nucl. Phys. A*. 788, 293 -300 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Funaki Y.: "Indication of 4α -particle Bose condensate in ^{16}O ", *International Nuclear Physics Conference (INPC07)*, Tokyo, Japan, June (2007)

Funaki Y.: " α -cluster states and 4α -particle condensation in ^{16}O ", *The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei (ISPUN07)*, Hoi An, Vietnam, July (2007)

Funaki Y.: " α -cluster states and 4α -particle Bose condensate in ^{16}O ", *International conference on Nuclear Cluster Structures, (Clusters '07)*, Stratford upon Avon, UK, September (2007)

Funaki Y.: " α -cluster states and 4α -particle Bose condensate in ^{16}O ", *INT Workshop on Correlations in Nuclei: From Di-Neutrons to Clusters*, Seattle, USA, November (2007)

(国内学会等)

船木靖郎: " ^{16}O における4凝縮状態", 「核子多体系におけるクラスター現象」, RCNP, 2月 (2007)

船木靖郎: "4-alpha-particle condensate in ^{16}O ", 理論実験合同シンポジウム、日本物理学会2007年春季大会、首都大学東京、3月、(2007)

船木靖郎: " ^{16}O の励起状態に現れるクラスター構造", 日本物理学会2007年年次大会、北海道大学、9月、(2006)

船木靖郎: " ^{16}O における4凝縮状態", 原子核・ハドロン物理: 横断研究会、KEK、11月 (2007).

船木靖郎: "有限核の凝縮", RCNPワークショップ「核子と中間子の多体問題の統一的描像に向けて」, RCNP、12月 (2007)

超流動ヘリウム中での不安定核原子の
レーザー・マイクロ波二重共鳴法による核構造研究

Laser-Microwave Double Resonance Spectroscopic Study of Hyperfine Structures
in RI Atoms Immersed in Superfluid Helium for the Investigation of Nuclear Structures

研究者氏名： 古川 武 Takeshi Furukawa
ホスト研究室： 仁科加速器研究センター
本林重イオン核物理研究室
(アドバイザー 本林 透)

原子の持つ電子系と中心に存在する原子核との電磁相互作用によって生じる原子準位の超微細構造は、原子核のスピンや電磁気モーメント、大きさ、変形度など様々な構造・性質を調べる極めて有用なプローブである。私は、既存の測定法では成し得ない広範な短寿命不安定核を対象とした核構造研究を可能とするため、近年注目を集めている超流動ヘリウム環境下に打ち込まれたRI原子に対して超微細構造測定を行うべく、測定法の研究開発を進めている。

これまでに私は、超流動ヘリウム中に植え込まれた原子のスピン偏極が極めて長時間保持されることを、 ^{133}Cs 原子を用いて実証した。さらに、レーザー・rf二重共鳴法およびマイクロ波二重共鳴法を用いて $^{85,87}\text{Rb}$ および ^{133}Cs 原子の超微細構造準位間共鳴のスペクトルを精密に測定し、我々の測定方法を用いて原子核のスピン、モーメントを詳細に決定可能であることを実証した。加えて、真空中に比べ超流動ヘリウム中では周りのヘリウム原子から受ける圧力に起因して原子の超微細構造相互作用および超微細構造異常(Bohr-Weisskopf効果)がわずかに変化する事実を突き止めた。超微細構造異常の物質中における変化は世界初の知見であり、きわめて興味深い結果といえる。

本年は、これまでに我々が測定した超流動ヘリウム中における各種スペクトルの結果から、実際に不安定核実験に用いる実験セットアップの設計を行い、我々の測定法を短寿命不安定核に用いた際に予想される実験結果を見積もった。計算の結果、我々の測定法ではこれまでの測定法に比べておよそ1,000倍以上のきわめて高い測定効率を有しており、既存の測定法では測定が不可能なほど生成量が少ない短寿命不安定核(生成量：毎秒10個以下)についても核スピンやモーメントの測定が可能であることを突き止めた。さらに、計算によって得られた測定効率の高さを実証するために、実際に不安定核ビームを用

いた実験のデザインを行い、来年度に実験を行うための地盤を固めた。

誌上発表 Publications

Furukawa T., Matsuo Y., Hatakeyama A., Ito T., Ota Y., Fujikake K., Kobayashi T., and Shimoda T.: "Hyperfine structure of Rb and Cs atoms in superfluid helium", RIKEN Accel. Prog. Rep. Vol.40, 212 (2007)

Furukawa T., Matsuo Y., Hatakeyama A., Ito T., Fujikake K., Kobayashi T., and Shimoda T.: "Hyperfine structure of $^{85,87}\text{Rb}$ and ^{133}Cs atoms in superfluid helium", Proceedings of International Nuclear Physics Conference 2007(INPC07), in press

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furukawa T., Matsuo Y., Hatakeyama A., Ito T., Ota Y., Fujikake K., Kobayashi T., and Shimoda T.: "Hyperfine structure of $^{85,87}\text{Rb}$ and ^{133}Cs atoms in superfluid helium", International Nuclear Physics Conference 2007(INPC07), Tokyo, Japan, Jun.(2007)

Furukawa T., Matsuo Y., Hatakeyama A., Ito T., Fujikake K., Sasaki A., Kobayashi T., and Shimoda T.: "Laser spectroscopic study of atomic hyperfine structure in superfluid helium for the investigation of nuclear structure", Nuclear Structure 2007(NS07), Kyoto, Japan, Jun.(2007)

(国内学会等)

古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、藤掛浩太郎、佐々木彩子、小林徹、下田正：“超流動ヘリウム中でのRI原子のレーザー分光実験における光収量計算”、日本物理学会第62回年次大会、札幌、9月(2007)

古川武、畠山温、藤掛浩太郎、佐々木彩子、小林徹、下田正、松尾由賀利：“超流動ヘリウム中に植え込

まれた原子のレーザー分光”、第28回原子衝突若
手の会秋の学校、軽井沢、11月(2007)
古川武、畠山温、藤掛浩太郎、佐々木彩子、小林徹、

下田正、松尾由賀利：“OROCHIオンライン実験計
画とその物理”、第4回「停止・低速不安定核を用
いた核分光研究」研究会、仙台、12月(2007)

XVIII - 030 陽子過剰核 ^{31}Cl 核の核モーメントの測定による核構造の研究
Nuclear Structure Study through the Measurement of the Nuclear Moment
of Extremely Proton Rich Nucleus ^{31}Cl

研究者氏名：長友 傑 Nagatomo, Takashi
ホスト研究室：仁科加速器研究センター
実験装置開発グループ
(アドバイザー 櫻井 博儀)

陽子過剰核の核モーメントを β -NMR法で測定し、安
定核の構造と異なる新奇な構造を持つ原子核の探索、
構造の解明を目的としている。近年の重イオン加速器
の発展に伴い、安定核から離れたドリフライン近傍
の原子核の研究が盛んに研究されており、中性子過剰
核において中性子ハロー核や魔法数の消失等の安定核
には見られなかった原子核構造が発見された。陽子過
剰核においても、同様の新奇な構造をもつのかとい
うことを解明することは、原子核構造の進化という系統
的な理解に置いて重要である。 ^{31}Cl 核の陽子の分離エ
ネルギーは約290keVと小さいので陽子スキン構造の
ような新奇な構造をしている可能性がある。 ^{31}Cl 核の
磁気双極子モーメントと電気四重極モーメントの測定
を通して、原子核を構成する核子のスピン状態と変形
について解明する。

^{31}Cl の核モーメントの測定の準備として、核スピン
偏極した ^{31}Cl 核の生成量を評価し、 β -NMR法に必要な
高出力高周波磁場発生装置を行った。核子あたり
100MeVの重イオン衝突によって、核スピンの偏極し
た陽子過剰核を生成する場合は、一次ビームである
原子核が標的核の核子を奪い取るピックアップ反応が
有効である。最近の研究された ^{25}Al 核や ^{28}P 核を生成
するピックアップ反応では予想以上に生成量が多く、
数%の核スピン偏極も得られる事が分かった。これら
から類推すると、従来の入射核破砕反応によって ^{36}Ar
核から ^{31}Cl を生成する場合と比較して、 ^{32}S ビームか
らピックアップ反応で生成した場合、およそ10倍の生
成量が見積もられる。高周波磁場発生装置について更
なる高出力を実現するために、フェライトコアを用い
た電力伝送システムを導入した。このことによって、
高周波磁場増幅器とサンプルに高周波磁場を与えるた

めのコイルを含むLC共鳴回路とのインピーダンスの不
整合が解消され、従来の四倍の電力の高周波磁場を
発生させる事に成功した。

また、系統的な核モーメントの測定の一環として、
質量数23と33のアルミ同位体の電気四重極相互作用
の測定の準備を行った。 ^{23}Al 同位体は ^{31}Cl 同位体と
同じくパレンス陽子の緩く束縛された原子核であり、
 ^{31}Cl 核と同様の興味が持たれる。 ^{23}Al 核は中性子数
が20の中性子過剰核であるが、魔法数の消失の観点か
ら興味深い原子核である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Nagatomo T., Matsuta K., Minamisono K., Sumikama T.,
Mihara M., Ozawa A., Tagishi Y., Ogura M., Matsumi-
ya R., Fukuda M., Yamaguchi M., Yasuno T., Ohta H.,
Hashizume Y., Fujiwara H., Chiba A., and Minamisono
T.: “ β -Ray Angular Distribution from Purely Nuclear
Spin Aligned ^{20}F ”, *Hyperfine Interactions in print**

口頭発表 Oral Presentation
(国際会議)

Nagatomo T., Matsuta K., Minamisono K., Levy C.D.P.,
Sumikama T., Mihara M., Ozawa A., Tagishi Y., Ogura
M., Matsumiya M., Fukuda M., Yamaguchi M., Behr
J.A., Jackson K.P., Yasuno T., Ohta H., Hashizume Y.,
Fujiwara H., Chiba A., and Minamisono T.: “Search for
the G parity Violating Term in Weak Nucleon Currents
in Mass 20 System”, *The 12th International Workshop
on Polarized Sources, Targets & Polarimetry*,
Brookhaven, U.S.A., Sept. 10-14 (2007)

研究者氏名：竹下 英里 Takeshita, Eri
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 櫻井RI物理研究室
 (アドバイザー 櫻井 博儀)

新しい魔法数 $N=34$ の探索を目的とした ^{54}Ca とその近傍核についての実験的研究を行う。中性子数34は中性子過剰核で魔法数になると予想されており、 ^{54}Ca は $N=34 \cdot Z=20$ の二重閉殻構造になり得る原子核である。そこで、 ^{54}Ca と近傍の中性子過剰な偶偶核について、第一 2^+ 励起状態の励起エネルギーおよび換算遷移確率を系統的に測定し比較することで閉殻構造における集団運動性の推移を明らかにし、重い中性子過剰核領域で新しい魔法数が存在するかどうかを証明する事を目的とする。

第一 2^+ 励起状態を観測する手段として、 ^{54}Ca を不安定核二次ビームとしクーロン力によって対象となる原子核を励起させる g 線核分光を用いる。具体的な実験としてまず、RIBFにおいて ^{54}Ca を ^{86}Kr からの入射核破砕反応により生成する。既存施設では生成が困難な ^{54}Ca ビームはRIBFによってその生成量が飛躍的に増加する。生成した二次ビームを鉛標的に照射し、標的中で励起した原子核からの脱励起 g 線を標的周辺に設置したNa(Tl)検出器群(DALI2)によって測定する。その際、非弾性散乱のチャンネルを同定するために、標的で散乱した後の粒子の飛行時間・エネルギー損失・全エネルギーの3つの測定から粒子識別を行う飛行時間分析器を用いる。本装置の特徴は、磁気剛性に対するアクセプタンスが非常に大き

いという点である。そのため、RIBFで生成されるような数十種類の核種が混在した二次ビームに対して、すべての原子核を同時に分析することが可能であり、対象原子核ごとに設定を変更しななければならない分析器に比べて効率良く実験を行うことができる。本研究においては ^{54}Ca と周辺核での系統的な測定が必要なため、このように高効率な実験が大変有効である。

本年度は、昨年に引き続き既存施設での飛行時間分析器を用いて行った実験データの再解析を行い、RIBFに於ける実験の改良点等々を検討した。また、同データの観測結果から、 ^{54}Ca の近傍核である ^{62}Cr において閉殻構造とは全く逆の構造を持つ「変形領域」を新たに発見した。これは、同中性子過剰領域における核構造の変異を示しており、その機構を詳しく知る為にも ^{54}Ca が閉殻構造をとるか否かを調査する事が早急に必要である。

口頭発表 Oral Presentations
 (国際会議)

Takeshita E.: "Large Collectivity in $^{60,62}\text{Cr}$ studied by proton inelastic scattering", Direct Reaction with Exotic Beams, DREB07, RIKEN, Japan, May (2007)

XVIII - 032 反跳粒子測定による不安定核弾性散乱を用いた核子密度分布の研究

Study of the Nucleon Density Distributions by Measurement
 of Recoil Particles of Elastic Scattering of Unstable Nuclei

研究者氏名：寺嶋 知 Terashima, Satoru
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 櫻井RI物理研究室
 (アドバイザー 櫻井 博儀)

原子核の核子密度分布を研究するためには陽子弾性散乱が有効な手段の一つと考えられている。この手法を不安定核に適用するために陽子標的からの反

跳陽子検出による弾性散乱実験の開発を行っている。今年度は昨年度に引き続き ^{20}O の解析を行い、反跳陽子の解析から励起スペクトルを取得した。エネ

ルギー分解能は FWHM で最高 1MeV を達成し、すでに低エネルギーの 2 核子移行反応で報告されている準位に対して Background Free で測定することに成功した。このことは核子あたり数百 MeV の実験において不変質量法に頼らない不安定核分光が確立したことを意味する。

この結果を受けて放射線医学総合研究所(NIRS-HIMAC)において検出器の最適化、測定時間の増加をもとに昨年度の10倍近くとなる²⁰Oの高統計の実験をおこなった。実験に先立って引き続き薄く(1mm⁻¹)、大面積(30mm)大きい固体水素標的の開発を引き続きおこなっている。前年度までの標的は冷却能力に対する大きな熱流入のために実験期間中に厚さが変化している現象が見られたが、0.1mm厚のアルミを標的上流に取り付け。標的中心付近の冷却効率を向上させることにより一週間以上の実験の間安定して動作することを確認した。統計量としては追加としたアルミからのバックグラウンドが増加したので、バックグラウンド測定のために統計量にして約5倍にとどまったが、このデータを解析することにより不安定核の核子密度分布の研究がすすむことが期待される。

また稼働を始めたRIBFにおいて実験を計画している。RIBFの設計値はHIMACでの実験にくらべ一次ビームのビーム量が2桁以上大きくまたDutyも大きいことによりドリップラインに近い核まで研究対象になりうる。現在来年度以降の実験に向けて検出器などの整備を進めており、その一環としてCsI[pure]のテストをHIMAC行った。前年度すでに高計測数環境下(10⁴Hz)において安定動作が確かめられたが、今年度はより強い高計測数(10⁵Hz)に対する動作とエネルギー分解能向上を達成するために光電子増倍管や結晶をラッピングする反射材の選定などの最適化を行い、上記実験において安定動作が確認された。このことは高計測数、高エネルギーのエネルギー測定においては蛍光時定数を小さい結晶を使う必要があることが本質的に重要である示唆してい

る。一方で到達エネルギー分解能は少ない発光量のために悪く、今後発光量が大きくまた時定数が比較的小さいGSOなどの結晶でテストすることを計画している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Terashima S., Sakaguchi H., Takeda H., Ishikawa T., Itoh M., Kawabata T., Murakami T., Uchida M., Yasuda Y., Yosoi M., Zenihiro J., Yoshida H., Noro T., Ishida T., Asaji S., and Yonemura T.: "Proton elastic scattering from tin isotopes at 295 MeV and systematic change of neutron density distributions", Physical Review C, in print (2008)*.

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Terashima S., Sakaguchi H., Zenihiro J., Murakami T., Matsuda Y., Kobayashi T., Ozeki K., Takeda H., Otsu H., Yoneda K., Ichihara T., Suda T., and Sato Y.: "Proton elastic scattering at the 300MeV/u and investigation of nucleon density distributions", Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2007), RIKEN, Japan, Jun. (2007)

(国内学会等)

Terashima S.: "Proton elastic scattering experiment of unstable nuclei at the several hundred MeV/u region", RIBF mini Workshop on Elastic Scattering of Unstable Nuclei, RIKEN, Feb. (2007)

Terashima S.: "Proton elastic and inelastic scattering experiment at RIBF", MUST2-RIBF Collaboration Workshop, RIKEN, Nov. (2007)

Terashima S.: "Experimental and model uncertainties", RIBF mini Workshop 「G-matrix 法で核内密度分布を探るには」、RIKEN, Dec. (2007)

XVIII - 033 超重元素合成のための重イオン核反応機構に対する理論的研究

Theoretical Research on Heavy-ion Reaction Mechanism for Synthesis of the Superheavy Elements

研究者氏名：市川 隆敏 Ichikawa, Takatoshi

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

森田超重元素研究室

(アドバイザー 森田 浩介)

超重元素 $^{298}114$ は二重魔法核で安定となる可能性が理論的に指摘されている。また実験的にも崩壊の精密測定による核分光の研究が精力的に行われており、核図表中の超重核領域の周りに存在すると考えられている、“安定の島”近傍の核構造の知見も得られつつある。近年、この超重元素合成を目指した実験が精力的に行われているが、蒸発残留断面積が非常に低いために合成は困難である。従って合成に最適な標的核と入射核の組み合わせ、入射エネルギー、生成された複合核の崩壊様式をあらかじめ予測するモデルが必要である。しかし重イオン核反応機構に対する理解が不十分であるために、これらを予測するモデルは未だ存在しない。

超重核領域での核反応を記述するモデルを発展させるため、昨年度に引き続き入射チャンネルでの捕獲断面積を見積もるモデルの研究を行った。これらの研究成果は Phys. Rev. C75, 057603 (2007) と Phys. Rev. C75, 064612 (2007) にまとめられている。近年、融合断面積の精密測定が行われた中重核反応 $^{64}\text{Ni}+^{64}\text{Ni}$ おいて、ある閾値以下の超低入射エネルギー側で、標準的なチャンネル結合法では説明できない融合断面積の急激な落ち込みが観測されている。そこで超重核領域での類推から、このような超低入射エネルギー反応では中重核領域でも、二核が接触してから複合核に至るまでに断熱的な一体ポテンシャルエネルギーの障壁が現れる可能性を議論した。ここで断熱的な一体場として、二核が接触後にくびれを形成しながら複合核に至る形状を仮定している。そしてこの超低入射エネルギー反応での融合断面積の計算で、二核が接触するまでの二体過程と、接触してから複合核に至るまでの一体過程を完全に分離した二段階模

型を提案した。さらに実験で得られた閾値エネルギーは二核が接触した点でのポテンシャルエネルギーと強く相関している事を示した。二段階模型を用いた計算の結果、 $^{64}\text{Ni}+^{64}\text{Ni}$ の融合断面積の急激な落ち込みを非常によく再現した。観測された断面積の急激な落ち込みは、接触後に存在するさらなる一体ポテンシャルの障壁を導入することで、より自然に説明することが可能である。この研究で得られた知見を超重核領域の二体反応へ適応することで、模型の精密化に寄与することが期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ichikawa T., Hagino K., and Iwamoto A.: “Existence of a one-body barrier revealed in deep subbarrier fusion”, Phys. Rev. C75, 057603 (2007)*

Ichikawa T., Hagino K., and Iwamoto A.: “Systematics of threshold incident energy for deep sub-barrier fusion hindrance”, Phys. Rev. C75, 064612 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ichikawa T., Hagino K., and Iwamoto A.: “Existence of a one-body barrier revealed in deep subbarrier fusion”, International Nuclear Physics Conference, Tokyo, Japan, Jun. (2007)

(国内学会等)

市川隆敏、萩野浩一、岩本昭：“ ” 中重核のサブバリア融合反応における融合阻害の入射エネルギー閾値について、日本物理学会2007年秋の分科会、北海道大学、9月(2007)

XVIII - 034 RHIC-PHENIX 実験における Jet のスピン非対称度測定を用いた
核子構造の研究と標準模型の検証

Study of the Structure of Nucleon and Examination of the Standard Model with Measurement
of Spin-Dependent Asymmetry in Jet Production at RHIC-PHENIX Experiment

研究者氏名： 深尾 祥紀 Fukao, Yoshinori
ホスト研究室： 仁科加速器研究センター
延與放射線研究室
(アドバイザー 延與 秀人)

未だ完全には理解されていない核子内部のスピン構造の解明を目的とした研究を行っている。また、それと同時に、同様の手法を用いた素粒子の標準模型の検証も視野に入れている。アメリカ・ブルックヘブン国立研究所のRHIC加速器におけるPHENIX実験に参加しており、世界でもユニークなスピン偏極した陽子同士の衝突を用いて研究を行っている。

これまで、核子内部のスピン構造については、価クォークについてしか、よく分かっておらず、海クォーク、グルーオンの核子スピンへの寄与については大きな不定性があった。近年のRHICでの実験結果により、グルーオンのスピンの寄与は予想外に小さいことが明らかになった。一方、海クォークについては未だ顕著な実験結果はなく、間接的な測定により、全体としてわずかに負に偏極しているということが分かっているのみである。私は、この状況を改善し、海クォークについての詳しい情報を得ることを目的として研究している。海クォークにアプローチする方法としては、W粒子のスピン非対称度の測定がある。W粒子は弱い相互作用によって生成されるため、反応に参加するクォーク・反クォークのフレーバーが選択的であり、また、それらのスピン状態も決まっている。そのため、W粒子は海クォークの偏極度について調べるのに適したプローブである。

実験としては、W粒子の崩壊によって生成される μ 粒子を飛跡検出器(Cathode Strip Chamber)を用いて測定する。しかし、W粒子はその生成量が非常に少ないため、現在のデータ収集システムでは、W粒子のシグナルは他のバックグラウンドとなるイベントによって覆い隠されてしまう。そのため、W粒子のイベントのみを効率的に選び出してデータ収集を行えるように改良する必要がある。私はそのためのシステムの構築を行っている。具体的には、飛跡検出器による情報をオンラインで読み出し、粗くでは

あるが軌跡を再構成することによって、必要なイベントのみをトリガーするという電子回路を開発している。現在、回路の仕様がほぼ決まり、プロトタイプを製作して実地試験を行った。その結果をもとにシステムを完成させ、2008年の夏にはインストールをする予定である。

誌上発表 Publications

PHENIX Collaboration: " Centrality dependence of charged hadron production in deuteron+gold and nucleon+gold collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. C77, 014905 (2008)

PHENIX Collaboration: " Centrality Dependence of π^0 and K^0_S Production at Large Transverse Momentum in $s_{NN} = 200$ GeV d+Au Collisions ", Phys. Rev. Lett. 98, 172302 (2007)

PHENIX Collaboration: " Detailed study of high-pT neutral pion suppression and azimuthal anisotropy in Au+Au collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. C76, 034904 (2007)

PHENIX Collaboration: " Measurement of single muons at forward rapidity in p+p collisions at $s = 200$ GeV and implications for charm production ", Phys. Rev. D76, 092002 (2007)

PHENIX Collaboration: " Measurement of density correlations in pseudorapidity via charged particle multiplicity fluctuations in Au+Au collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. C76, 034903 (2007)

PHENIX Collaboration: " Scaling Properties of Azimuthal Anisotropy in Au+Au and Cu+Cu Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. Lett. 98, 162301 (2007)

PHENIX Collaboration: " Inclusive cross section and double helicity asymmetry for π^0 production in p+p collisions at $s = 200$ GeV : Implications for the polarized gluon distribution in the proton ", Phys. Rev. D76,

- 051106(R) (2007)
- PHENIX Collaboration: " Production of mesons at large transverse momenta in p+p and d+Au collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ," Phys. Rev. C75, 051902(R) (2007)
- PHENIX Collaboration: " Energy Loss and Flow of Heavy Quarks in Au+Au Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. Lett. 98, 172301 (2007)
- PHENIX Collaboration: " System Size and Energy Dependence of Jet-Induced Hadron Pair Correlation Shapes in Cu+Cu and Au+Au Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV and 62.4 GeV ", Phys. Rev. Lett. 98, 232302 (2007)
- PHENIX Collaboration: " J/ Production versus Centrality, Transverse Momentum, and Rapidity in Au+Au Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. Lett. 98, 232301 (2007)
- PHENIX Collaboration: " J/ Production versus Transverse Momentum and Rapidity in p+p Collisions at $s = 200$ GeV ", Phys. Rev. Lett. 98, 232002 (2007)
- PHENIX Collaboration: " Correlated Production of p and anti-p in Au+Au Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Lett. B649, 359 (2007)
- PHENIX Collaboration: " Elliptic Flow for Mesons and (Anti) deuterons in Au+Au Collisions at $s_{NN} = 200$ GeV ", Phys. Rev. Lett. 99, 052301 (2007)
- PHENIX Collaboration: " Transverse momentum and centrality dependence of dihadron correlations in Au+Au collisions at $s_{NN} = 200$ GeV : Jet quenching and the response of partonic matter ", Phys. Rev. C77, 011901 (R) (2008)
- PHENIX Collaboration: " Cold nuclear matter effects on J/ production as constrained by deuteron-gold measurements at $s_{NN} = 200$ GeV ," Phys. Rev. C77, 024912 (2008)

研究者氏名：尾田 欣也 Oda, Kin-ya
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 川合理論物理学研究室
 (アドバイザー 川合 光)

弦理論において、ある種の配位の下でブラックホールそのものを表すと様々な証拠により信じられているDブレーンが、流束が存在するようなコンパクト化の下で、別の流束に変換される事を示した。

また、軌道体上にコンパクト化された5次元ゲージ理論を考え、これが3世代の物質の起源を与えるモデルを構築した。

以上2つは論文として発表した。

ブラックホールと超対称量子色力学の対応における、ブラックホール描像側の物理についての研究を行い、事象の地平面の位置の同定等の成果を得た。

これについては途中経過を国際会議にて口頭発表した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Loaiza-Brito, O. and Oda, K.: "Effects of brane-flux transition on black holes in string theory", hep-th/0703033.

Kawamura, Y., Kinami, T., and Oda, K.: "Orbifold family unification", hep-ph/0703195, accepted for publication in Physical Review D.

(筆者注) 素粒子論においては先頭著者云々は意味がなくアルファベット順が慣例である。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Oda, K.: "Black hole thermodynamics for quark-gluon hydrodynamics", Tenth European Meeting—From the Planck Scale to the Electroweak Scale, Warsaw, Poland, June 9 - 13, 2007

研究者氏名：金森 逸作 Kanamori, Issaku
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 川合理論物理学研究室
 (アドバイザー 川合 光)

超対称性はボソンとフェルミオンを入れ換える対称性で高エネルギーでは実現していると信じられているが、我々の手が届くエネルギースケールでは破れてしまっている。この破れのメカニズムを理解するには、超対称性の非摂動的な定式化が有効である。また超対称性ゲージ場の理論と超弦理論との双対性が提唱されて以来、ますます超対称性を持ったゲージ場の理論の非摂動的な記述の重要度は増している。本研究は、場の理論の非摂動的な記述を与える格子による定式化を用い、超対称性ゲージ理論の記述を目的とする。

本年度は、前半は格子化によって超対称性があら

わに破れた模型を用いて数値シミュレーションを行った。ターゲットは2次元の $N=(2,2)$ と呼ばれる模型で、超対称性の破れを回復させるにはパラメータを調整する必要がある。実際、パラメータを調整すれば超対称性の回復と無矛盾な結果を得られた。しかし、格子化に伴う破れに起因して複雑な演算子の繰り込み操作が必要になり、回復を結論するには至らなかった。

後半は、超対称性の自発的破れを数値的に測定する一般論を構成した。ターゲットは超対称性の一部を厳密に保つ格子模型で、そのような模型であれば格子化の詳細によらず適用できる。鍵となったアイ

デアは超対称代数に基づいて秩序変数であるハミルトニアンを構成したことである。測定の際には系を有限温度にして一度超対称性を手で破り、ゼロ温度極限での振舞いを調べた。今回提唱した方法を用いて、1) ポテンシャルの形によって超対称性の自発的破れの有無が知られている超対称量子力学において、実際に破れの有無を測定できることを確認し、2) 2次元 $N=(2,2)$ の超対称 Yang-Mills 模型について、誤差が大きいものの破れていないことを示唆する結果を得た。後者は理論的に破れの存在が議論されていたが、我々の結果はそれに一石を投じるものである。またこの成果は、ここ数年で発展した格子定式化を用いて物理的結果を得た初めての結果である。現在、誤差が少ないアルゴリズムでのシミュレーションを準備中である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Hidenori Fukaya, Issaku Kanamori, Hiroshi Suzuki, Tomohisa Takimi: “Numerical results of two-dimensional $N=(2,2)$ super Yang-Mills theory”, PoS(LATTICE 2007)264
Alessandro D’Adda, Issaku Kanamori, Noboru Kawamoto, Kazuhiro Nagata: “Exact Extended Supersymmetry on a lattice: twisted $N=4$ super Yang-Mills in three di-

mensions”, Nucl. Phys. B798 (2008), 168*

Issaku Kanamori, Hiroshi Suzuki, Fumihiko Sugino: “Euclidean lattice simulation for the dynamical supersymmetry breaking”, Phys. Rev. D77 (2008), 091502*

Issaku Kanamori, Hiroshi Suzuki, Fumihiko Sugino: “Observing dynamical supersymmetry breaking with euclidean lattice simulations”, Prog. Theo. Phys. 119 (2008), 797*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hidenori Fukaya, Issaku Kanamori, Hiroshi Suzuki, Tomohisa Takimi: “Numerical results of two-dimensional $N=(2,2)$ super Yang-Mills theory”, 25th International Symposium on Lattice Field Theory, Regensburg, Jul. (2007)

(国内学会等)

深谷英則、金森逸作、鈴木博、瀧見知久: “ Numerical results of two-dimensional $N=(2,2)$ super Yang-Mills theory ”、日本物理学会第62回年次大会(北海道大学札幌キャンパス)、札幌、9月(2007)

金森逸作: “ 超対称性の自発的破れの格子シミュレーションによる測定 ”、理研シンポジウム、和光、12月(2007)

XVIII - 039 媒質中のカイラル対称性の回復におけるベクトル中間子の役割

Role of Vector Mesons in the Chiral Restoration at Finite Temperature and Density

研究者氏名: 日高 義将 Hidaka, Yoshimasa

ホスト研究室: 理研BNL研究センター

理論研究グループ

(アドバイザー McLerran, Larry)

超高温高密度の極限状態でのハドロン物理の性質を明らかにすることは宇宙初期の状態や、中性子星の内部の情報を知る上で重要である。超高温状態を実現する実験がブルックヘブン国立研究所の重イオン衝突実験(RHIC)で現在進行中である。RHICの実験の elliptic flow は強相関を示唆し、これはずれ粘性とエントロピーの比が小さい流体力学のシミュレーションでよく再現される。これは通常の弱結合のプラズマの描像では説明できず、“strong” Quark Gluon Plasma (sQGP)と呼ばれている。

我々は、ハドロンの閉じ込め非閉じ込め転移をハドロンのイオン化と見なして考察する。通常のイオン化の場合、束縛されている電子がイオン化の指標となるが、QCDの場合、Polyakov loopと呼ばれる量をイオン化の指標として用いる事ができる。この量は、格子ゲージ理論を用いて定量的に計算する事ができ、格子ゲージ理論は規格化された Polyakov loop が T_c から $3T_c$ の間で大きく変化し、それ以上ではほぼ一定になっている事を示している。我々は T_c から $3T_c$ の部分的にイオン化されている領域を semi-

QGP と呼ぶ。

我々はこの領域におけるずれ粘性の変化を摂動論を用いて考察し、ずれ粘性が相転移に近づくにしたがって規格化された Polyakov loop によって抑制される事を示した。この抑制は温度の上昇とともに粘性とエントロピーが増加する事を示唆する。これは、RHIC から LHC のエネルギー領域へ移行する上で重要であると考えられる。

また、別の研究では QCD の温度、化学ポテンシャル($T-\mu$)平面での相図について、カラー及びフレーバーの数 (N_c, N_f) が大きい極限を考察した。 N_c が大きく N_f が小さい場合は、自由度がメソン、グルーボールでカラーの閉じ込めがおこっている相、クォーク、グルーオンが自由度となる相、閉じ込め相であるがクォークが比較的自由に動き回る相 (quarkyonic相) が予期されている。この相の境界は N_c が大きい極限で $T-\mu$ 平面で四角形になると事が予想されている。我々は、 N_f が大きくなるとバリオンの自由度が指数関数的に増えことを示し、 N_c が N_f と同程度に大きくなるとある温度でバリオン数をオーダーパラメータとした新しいパターンの相転移が起きる事が予期され、これは相転移の境界を四角形か

ら三角形へ変化させる事が予期される事を示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Fukushima, K., Hidaka, Y., Light projectile scattering on the Color Glass Condensate”, JHEP 0706:040 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hidaka, Y., “Real time effective theory in a hot gauge theory with a $Z(N)$ interface”, EXPLORING QCD: DECONFINEMENT, EXTREME ENVIRONMENTS AND HOLOGRAPHY, 20 August to 24 August 2007

Hidaka, Y., “Real time dynamics in $Z(N)$ interface at high temperature”, QCD in extreme conditions, Laboratori Nazionali di Frascati dell’ INFN, Roma, Italy, 6 - 8 August 2007

Hidaka, Y., “Model study of the sign problem in the mean-field approximation”, Lattice 2007, the XXV International Symposium on Lattice Field Theory, University of Regensburg, Germany, July 30 - August 4 2007

XVIII - 040 EFHC 1 機能解析と若年性ミオクロニーてんかんの病因解明

Characterization of EFHC1 and Understand the Pathology of Juvenile Myoclonic Epilepsy (JME)

研究者氏名：鈴木俊光 Suzuki, Toshimitsu

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

神経遺伝研究チーム

(アドバイザー 山川和弘)

若年性ミオクロニーてんかん (JME) は、思春期 (8 ~ 20 歳) に発症し、ミオクロニー発作、強直間代発作などを特徴とする最も頻度の高い特発性全般てんかんの一つである。

EFHC1 は、第 6 番染色体短腕 6p12 から同定された、若年性ミオクロニーてんかんの新規原因遺伝子のひとつである。この遺伝子のコードする蛋白 myoclonin1 の機能はほとんど解明されておらず、疾患成立機序を解明するために、本研究では、Efhc1 遺伝子改変マウスを作成し、EFHC1 の異常が脳の内部でどのような細胞機能の異常、神経回路形成の異常、脳の構造異常に結びつくのか、また動物の行動異常に結びつくのかを検討し、新たなてんかん発症

機序の解明を目的としている。

本年度は、マウス Efhc1 遺伝子がコードするタンパク myoclonin1 のマウス脳内における局在を明らかにするため、新しく作成した anti-myoclonin1 マウスモノクローナル抗体を使用し、免疫組織化学染色を行い検討した。その結果、myoclonin1 は、胎生期の限られた期間は脈絡叢において、また、出生後は脳室周囲を覆っている上皮細胞の繊毛で発現していることがわかった。上皮細胞の繊毛で myoclonin1 が観察されたことより、遺伝子改変マウスで繊毛の運動性、形態に変化がないか検討するために、脳脊髄液の流れる方向性の観察および走査型電子顕微鏡による繊毛の観察を行った。また、昨年度までに化学的

刺激(痙攣発作誘発剤)により痙攣発作を動物に誘発させると野生型に比べ、ホモおよびヘテロ接合体の動物で痙攣発作閾値が有意に下がっていることを見だしている。この遺伝子改変マウスが自然誘発的な痙攣発作を起こすかどうか、また、ヒトのてんかんで脳波異常が観察されることより、本モデルマウスにおいても同様の脳波異常が観察されるか、現在検討中である。脳大脳皮質のアストログリア細胞内でのカルシウム応答の測定・観察を、野生型とホモおよびヘテロ接合体の動物を用い検討中である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Suzuki T., Inoue I., Yamagata T., Morita N., Furuichi T., Yamakawa K.: "Sequential expression of *Efhc1/myoclonin1* in choroid plexus and ependymal cell cilia",

Biochem. Biophys. Res. Commun., 367 (1): 226-233 (2008) *

Medina M.T., Suzuki T., Alonso M.E., Duron R.M., Martinez-Juarez I.E., Bailey J.N., Bai D., Inoue Y., Yoshimura I., Kaneko S., Montoya M.C., Ochoa A., Jara Prado A., Tanaka M., Machado-Salas J., Fujimoto S., Ito M., Hamano S., Sugita K., Ueda Y., Osawa M., Oguni H., Rubio-Donnadieu F., Yamakawa K., Delgado-Escueta A.V.: "Novel Mutations in *Myoclonin1/EFHC1* in Sporadic and Familial Juvenile Myoclonic Epilepsy", Neurology, in press*

(総説)

鈴木俊光、山川和弘: "若年性ミオクロニーてんかんの分子遺伝学", Clinical Neuroscience, 26 (1): 25-28 (2008)

XVIII - 041 G蛋白質機能を制御する神経回路網制御受容体の同定及び機能解析

Development of a Screening Strategy for GTPase-regulating Guidance Receptors

研究者氏名: 西谷直之 Nishiya, Naoyuki
ホスト研究室: 脳科学総合研究センター
発生遺伝子制御研究チーム
(アドバイザー 岡本 仁)

神経軸索は誘因性と反発性ガイド分子の作用によって特定の標的に導かれる。近年、これらガイド分子の作用機構に関する研究が世界中で精力的に行われている。現在のところ、個々のガイド分子受容体に固有の下流シグナル分子が発見されているが、複数の受容体の統一的な作用機構の解明には至っていない。本研究では、下流シグナルを共にする反発性ガイド分子受容体が複数得られると予想され、新規及び既知ガイド分子受容体の統一的な作用機構解明に迫ることが可能と考えられる。

最近、私は、二つの異なるファミリーに属する反発性ガイド分子受容体がG蛋白質ARFの機能を阻害することにより、反発作用を引き起こすことを見出した。ARFは細胞内小胞輸送と細胞骨格を制御するため、ARFの機能抑制は強力な反発作用を引き起こすと考えられる。したがって、ARF機能の局所的抑制が複数の反発性ガイド分子受容体に共通の作用機構となり得る。

本研究では、「ARF機能の局所的抑制が複数の反発性ガイド分子受容体に共通の作用機構である」という

仮説を客観的に検証することを第一の目的とする。具体的には、ARF機能抑制因子(ARF-GAP)と相互作用する形質膜蛋白質を生化学的精製・同定し、既知の反発性ガイド分子受容体が含まれるかで判定する。次に、得られた機能未知の候補受容体の神経回路網形成への寄与をゼブラフィッシュ胚の遺伝子ノックダウンによって解析する。すなわち、新規のガイド分子受容体の同定を第二の目的とする。

平成18年度中に、上記の生化学的スクリーニング法を確立し、ARF-GAP結合性膜タンパク質を複数同定した。これら候補因子は、異なるファミリーに属する複数の反発性ガイド分子受容体を含んでいたため、上記仮説の妥当性が示唆された。また、これまで反発性ガイド分子受容体として分類されてこなかった受容体も候補受容体として得られた。

本年度は、主に以下の2点を行った。

(1) 候補受容体として得られた既知の反発性ガイド分子受容体 Eph 受容体と ARF-GAP の機能的相互作用についてゼブラフィッシュ胚神経系の発生を

指標に解析した。

- (2) 既知のガイド分子受容体以外の候補受容体は細胞接着に関連する受容体であった。これらとARF-GAPとの機能的相互作用についてゼブラフィッシュ胚の側線感覚器官の発生を指標に解析した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内発表等)

Naoyuki Nishiyama, Hironori Wada, Hitoshi Okamoto: "Attenuation of ARF family GTPases as a potential general mechanism for chemorepulsion; a possible link between repulsion and cell adhesion", 第40回日本発生物学会・第59回日本細胞生物学会合同大会、福岡、5月(2007)

XVIII - 042 EEG/MEGを用いた皮質間相互作用の非侵襲計測とその解析

Noninvasive Measurements and Analysis of Intercortical Interaction Using EEG/MEG

研究者氏名: 篠崎隆志 Shinozaki, Takashi

ホスト研究室: 脳科学総合研究センター

脳信号処理研究チーム

(アドバイザー Cichocki, Andrzej)

近年の脳科学の進歩は、生理学的な手法によって単一細胞からコラムサイズ程度までのマイクロなレベルの挙動を、心理物理的手法を用いた非侵襲計測によってマクロなレベルの挙動を、徐々に明らかにしつつある。しかしながらこれらマイクロとマクロを繋げる中間のレベルの研究は十分になされておらず、脳の情報処理システムの解明に際しての大きな障害となっている。本研究はマイクロとマクロの中間のレベルの神経活動の解明を目的とし、皮質間同期活動としてのアルファ波に着目する。そして計算論的手法によるトップダウン的なアプローチと、EEG/MEGを中心とした非侵襲計測によるボトムアップ的なアプローチを組み合わせることによって、これらの背景にある神経回路モデルの解明を目指す。

本年度はトップダウン的なアプローチとして、前年度に引き続きsynfire chainと呼ばれる現象についての理論的研究を行った。前年度の結果から、抑制入力が同期発火の促進に効果を持つことが示された。本年度はその詳細なメカニズムをダイナミクスの観点から明らかにすると共に、スライスパッチクランプ測定を行うことによって、その生理的妥当性を検討した。

一方でボトムアップ的なアプローチとしては、Steady State Visual Evoked Potential (SSVEP)のEEG測定を行った。SSVEPとは、高速で点滅する映像を定常的に提示した場合に、主に大脳皮質の視覚野で測定される同期的な脳反応である。SSVEPはブレインコンピュータインターフェース(BMI)と呼ばれる

頭で念じるだけでコンピュータなどの機械を操作できるシステムなどで利用されており、当研究室においても実用的なBMIシステムを構築してきた。本研究では、SSVEPの定常的な反応ではなく、点滅刺激があるタイミングで提示された場合の、過渡的な応答特性に着目し、時間周波数解析を行った。その結果、SSVEPは点滅刺激提示後の初期に強いピークを持つことが示された。これらの結果は、皮質上の同期活動メカニズムの解明に有用であると共に、より効率の良いBMIシステム構築への応用が見込まれる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

篠崎隆志、武田常広: "視野闘争の知覚交代による長潜時の脳磁反応の増加", 電気学会論文誌C, 127:5, 679-685, (2007)*

Shinozaki T., Câteau H., Urakubo H., and Okada M.: "Controlling synfire chain by inhibitory synaptic input", J. Phys. Soc. Jpn., 76:044806 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Shinozaki T., Câteau H., and Okada M.: "Synfire chain on the network non-linear integrate-and-fire models studied with the Fokker Planck equation", 37th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2007), San Diego, USA, Nov. (2007)

(国内会議)

篠崎隆志、加藤英之、岡田真人：“Fokker-Planck方程式を用いた非線形積分発火ニューロンにおける

synfire chainの解析”、日本物理学会第62回年次大会、北海道、9月(2007)

XVIII - 043

GABA性(抑制性)介在神経細胞間の相互作用がワーキングメモリーに及ぼす影響についての研究

Effects of Interactions between GABAergic Interneurons on Sustained Neuronal Activity Associated with Working Memory

研究者氏名：森田賢治 Morita, Kenji

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

甘利研究ユニット

(アドバイザー 甘利俊一)

短期記憶(ワーキングメモリー)の神経基盤と考えられる大脳皮質の持続的神経活動の細胞・神経回路レベルのメカニズムを、特に抑制性介在神経細胞、および錐体細胞の樹状突起に焦点を当て、理論モデリングとスライス電気生理学を用いて研究を行っている。今年度は主として以下に挙げるような成果が得られた。

- (1) 錐体細胞の樹状突起において局所的なスパイクの発生に基く非線型な入力加算が行われるという最近の知見を踏まえ、フィードバック入力にそうした非線型性が作用することが、持続的活動の特性にどのように影響するか研究を行ってきた。理論的に扱いやすいシンプルな数理モデルを用いて、樹状突起の非線型性が短期記憶の安定性及び正確さに寄与しうることを示した(Morita et al., *Neural Comput*)のに引き続き、今年度はそのモデルを、生理学・解剖学的知見に基いて、空間的位置に関するワーキングメモリーの具体的な神経回路モデルに拡張した。そして、樹状突起への抑制性フィードバック入力に非線型性が作用することが、正確な位置記憶形成に重要であることを示し、またドーパミン等の神経修飾物質によってこの経路の活性が変わることが、心理状態ないし疾患に伴う記憶特性の変化に関わる可能性などを示唆した(Morita, *J Neurosci*)。
- (2) 最近報告された、持続的活動中の錐体細胞および抑制性FS細胞の詳細な発火タイミングの実データを元に、錐体細胞への興奮性・抑制性フィードバック入力を理論的に推定・再構成し、得られた波形を実際の大脳皮質スライス中の錐体

細胞に conductance injection (dynamic clamp) 法を用いて入力して、出力を測定した。入力と出力が整合する条件を探索した結果、持続的活動時の錐体細胞は、抑制性FS細胞から時間遅れの少なく振動成分の大きい入力を受け取る一方、他の錐体細胞からの興奮性フィードバックは、振動成分を失わせるような数msに及ぶ時間遅れないしノイズを伴っていることが示唆された。さらに、実際の神経細胞の形態などを詳細に反映したシミュレータNEURONを用いたシミュレーションを行い、樹状突起上を伝播する際の遅れによってその一部が説明できること、それ以外の要因として、再帰的興奮結合の軸索伝播上の遅れ、および、報告されている軸索末端付近で起こる自発発火などが考えられることを示唆した(Morita et al., *J Neurosci*)。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Morita K., Kalra R., Aihara K., and Robinson H.P.C.: “Recurrent synaptic input and the timing of gamma-frequency-modulated firing of pyramidal cells during neocortical “UP” states”, *The Journal of Neuroscience*, 28 (8): 1871-1881 (2008)*

Morita K., Okada M., and Aihara K.: “Selectivity and stability via dendritic nonlinearity”, *Neural Computation*, 19(7) 1798-1853 (2007)*

(単行本・分担執筆)

Morita K.: “Computing dendrite as a part of an entire neuronal network.”, *Progress in Neurocomputing Research* 115-140 Nova Science Publishers, (2008)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

森田賢治、岡田真人、合原一幸：“単一神経細胞の樹状突起の有する潜在的計算能力は、高次機能にど

のように関わり得るか：短期記憶のネットワークモデルを例とした理論的検討”，日本神経科学大会、横浜、9月(2007)

XVIII - 044 高次認知機能による脳神経系の再構築と言語の獲得：
齧歯類デグーを用いて

Restructuring of Neural Organization with High Order Cognitive Function
of a Social Rodent, the Degu: Neurobehavioral Elucidation of Language Acquisition

研究者氏名：時本 楠緒子 Tokimoto, Naoko

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

象徴概念発達研究チーム

(アドバイザー 入来 篤史)

ヒト言語への前適応となる重要な下位機能として自発的な発声制御、シンボル操作、外部物体の階層的操作などがあげられる。本研究では、社会性齧歯類デグー(*Octodon degu*)が、ヒトに特異的な音声言語コミュニケーションのモデル動物として適していることを示すため、階層的操作と発声制御について神経行動学的に検討することを目的とする。

ほとんどの動物は自発的に発声を制御することができないが(状況依存的発声)、デグーは発声制御訓練により、自発的な発声を行うことが確認されている。そこでデグーの発声制御に関わる神経回路を解明するため、以下の実験を行った。

まず発声行動の解析を行った結果、20種類の状況依存的音声が確認された。発声的大部分は単音から成るが、オスの求愛歌とメスの maternal call は複数の音要素から成り、個体により音の並べ方が異なることがわかった。このような個体差は、自発的な発声制御の可能性を示している。さらに、道具使用訓練中に観察された自発的な発声を解析した結果、日常的なデグーの発声レパートリーにはなかった音声であることが確認された。個体間で音響特性に違いがみられること、デグーが単体で発声することは稀であることから、これは自発的な発声であると考えられる。次に、麻酔下のデグー脳を電気刺激するこ

とにより、自発的な発声制御経路の同定を試みた。結果、発声中枢である中脳水道灰白質(PAG)の刺激では彼らが日常的に使用する音要素の大部分を誘発することができた。また自発的な発声ができない種と異なり、複数の音声が誘発される部位が多くあることを確認した。PAGを制御する大脳辺縁系の帯状回ではネガティブな単音発声を誘発できたが、運動野での発声誘発はできなかった。いずれの領域でも、求愛歌のように複数の音要素の組み合わせから成る音声は誘発されなかった。

以上の結果から、デグーの発声的大部分は状況依存的発声であるが、求愛歌など一部の音声は、それとは異なる制御を受けているなど、部分的に自発的な発声制御能力を持つことが示唆された。これまでの結果から、運動野の刺激による発声制御は困難であると考えられるため、今後は発声制御に関わる神経回路の同定のため、電気刺激以外の方法を確立することを目指す。

誌上発表 Publications

Okanoya K., Hihara S., Tokimoto N., Tobar Y. and Iriki K.: “Complex vocal behavior and cortical-medullar projection”, Lecture Note in Computer Science, 3609, 362-367. (2007)

研究者氏名：沓掛 展之 Kutsukake, Nobuyuki

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(アドバイザー 岡ノ谷 一夫)

近年の比較認知科学的研究において、動物の高度な認知能力や知性は、個体間の複雑な社会的やり取りやコミュニケーションと関連して進化してきたと考えられている。このため、社会生活の維持に用いられる個体間社会交渉や音声コミュニケーションを研究することは、社会性動物の認知や知性を研究する上で不可欠である。これらの背景をふまえ、本年度は社会性哺乳類を対象に、以下の三つの研究をおこなった。

- (1) 前年度に行った飼育チンパンジー二群を対象とした音声再生実験の結果を分析した。音声刺激に対する個体の反応を行動学的手法によって分析した結果、同種音声刺激、コントロール刺激、無音刺激に対する警戒行動頻度に差が見られた。ひとつの群れでは、同種音声刺激に対する反応はオス間順位と関係していなかった。しかし、同種音声刺激に対する反応と、コントロール刺激に対して反応間で正の相関がみられた。この結果は、刺激に対する反応に一貫した個体差が存在することを示している。もうひとつの群れでは、高順位オスがもっとも高頻度で同種音声刺激に反応した。また、両群において、刺激再生の前後で社会行動と内分泌動態の変化がみられた。これらの結果は、不安状況下における社会行動の個体差を反映しているものと考えられる。
- (2) 群れで生活する動物において、複数の個体が協調してひとつの選択肢を選ぶことがある。このよ

うな意思決定は、集団的意思決定と呼ばれる。本研究では、真社会性齧歯目ハダカデバネズミを対象に、集団的意思決定に関する行動実験を行った。とくに複数個体間で集団的意思決定にいたる決定プロセス、誰が最終意思決定を行っているかを研究した。その結果、社会的に優位な女王個体が集団的意思決定において果たす役割が少ないことが分かった。

- (3) 協同繁殖種ミーアキャットの社会行動を分析した。ミーアキャットの優位オスは劣位オスに対して攻撃行動を行うが、群れ内のヘルパー数に応じて攻撃を調整していることが分かった。また、多くの社会性哺乳類において確認されている仲直り行動(攻撃直後の攻撃個体と被攻撃個体間の親和行動)が存在しないことを示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kutsukake, N. and Clutton-Brock, T. H.: "The number of subordinates moderates intra-sexual competition among males in cooperatively breeding meerkats", *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*,

Kutsukake, N. & Clutton-Brock, T. H.: "Do meerkats engage in conflict management following aggression? Reconciliation, submission, and avoidance", *Animal Behaviour*

Co 三角格子をもつ強相関熱電材料の電子状態の研究
Electronic Structure Study of Correlated Thermoelectric Co Oxides
Having a Triangular Lattice

研究者氏名：石田 行章 Ishida, Yukiaki
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター
励起秩序研究チーム
(アドバイザー 辛 埴)

地球環境問題やペルティエ効果を用いた実用的な冷凍機を作製する要請から高効率の熱電材料の開発が活発に行われている。これには材料の熱起電力と電気伝導性を同時に高める必要があるが、両特性は競合するため最近 50 年間の熱電性能指数は $ZT \sim 1$ で停滞していた。最近 Co 三角格子をもつ一群の Co 酸化物において大きな熱起電力と高い電気伝導特性が実現していることがわかり、引き続いてホールないし電子をドーピングした t_{2g} 電子系において高い熱電特性が報告された。これら新しいタイプの t_{2g} 電子系の熱電材料を電子構造の観点から調べた。

本年は、まず電子ドーピングした t_{2g} 系である SrTiO_3 : Nb 薄膜の電子状態を、Ti $2p$ および O $1s$ 内殻吸収端での軟X線共鳴光電子分光法を行い、これまで起源不明だったバンドギャップ中の状態の起源を調べた。引き続いて熱電 Co 酸化物に類似の $\text{Sr}_{1-x}\text{Rh}_2\text{O}_4$ について O $1s$ 内殻吸収端での軟X線共鳴光電子分光法を行い、始状態に陽イオン欠損をスクリーンするように酸素ホールが存在することを実験的に示した。 $\text{Na}_{1-x}\text{CoO}_2$ においても類似の結果を得たので、始状態の酸素ホールの存在は熱電 Co/Rh 酸化物に普遍的と考えられる。始状態の酸素ホールはランダムに存在するので、熱電効果などの輸送特性に関わる低エネルギー励起はランダムポテンシャルの影響を受けており、Anderson 局在することが考えられ、これが熱電効果増大の起源になっていることを提唱した。

この他に、熱電 Co 酸化物の電子励起の更なる知見を得るために時間分解光電子分光法の開発に携わ

り、グラファイトの時間分解光電子スペクトルの測定に成功した。

誌上発表 Publications

Ishida Y., Eguchi R., Matsunami M., Horiba K., Taguchi M., Chainani A., Senba Y., Ohashi H., Ohta H., and Shin S., "Coherent and Incoherent Excitations of Electron-doped SrTiO_3 ", *Phys. Rev. Lett.* **100**, 202110 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishida Y., Baba T., Eguchi R., Matsunami M., Taguchi M., Chainani A., Senba Y., Ohashi H., Okamoto Y., Takagi H., and Shin S.: "Localization of holes at oxygen sites in a thermoelectric rhodate revealed by photoemission spectroscopy", APS March Meeting, Louisiana, USA, March, 2008.

(国内学会)

石田行章、江口律子、松波雅治、堀場弘司、田口宗孝、Ashish Chainani、仙波泰徳、大橋治彦、岡本佳比古、高木英典、辛埴：“強相関熱電材料 $\text{Sr}_{1-x}\text{Rh}_2\text{O}_4$ の軟X線光電子分光”、日本物理学会、札幌、9月(2007)

石田行章、富樫格、山本和矢、田中正志、谷内敏之、下山田篤史、石坂香子、木須孝幸、中嶋誠、末元徹、辛埴：“グラファイトの時間分解光電子分光”、日本応用物理学会、大阪、3月(2008)

翻訳後修飾に対応する非天然型アミノ酸の蛋白質への 部位特異的導入による細胞内情報伝達の制御

Regulation of Cell Signaling by Site-Specific Incorporation of Nonnatural Amino Acids
into Proteins as a Substitute for Posttranslational Modifications

研究者氏名：小林 隆嗣 Kobayashi, Takatsugu
ホスト研究室：ゲノム科学総合研究センター
タンパク質構造・機能研究グループ
(アドバイザー 横山 茂之)

翻訳後修飾を遺伝子の塩基配列の段階で規定することは、細胞内情報伝達の解析や制御に非常に有効である。そこで、アミノアシル tRNA 合成酵素 (aaRS) と tRNA の対を細胞に導入することで遺伝暗号を拡張する試みが着目されている。本研究では、数種類の aaRS・tRNA 対を標的とし、各立体構造に基づいた残基置換により、翻訳後修飾に対応する非天然型アミノ酸に特異的な変異体を作製し、さらには、それらを用いて細胞内情報伝達に関わる翻訳後修飾を翻訳時に導入することで、生理現象の解析・制御を行うことを目的としている。

本年度は、第一にリジン誘導体を認識するピロリジル tRNA 合成酵素 (PylRS) 変異体の探索と、その過程で発見された ヒドロキシ酸 (HA) に対する活性の解析を行った。第二にリン酸化セリンやリジン誘導体を認識するロイシル tRNA 合成酵素 (LeuRS) 変異体のハイスクリーニング系の作製と変異体探索を行った。

PylRS の変異体ライブラリを大腸菌へ導入し、各種リジン誘導体に対する認識活性に対して選択したが、有意に特異的活性のある変異体は得られなかった。しかし、探索の過程で、ピロリジンとは構造が大きく異なるフェニルアラニンを特異的に認識する変異体を得られた。これは PylRS が、aaRS の進化の過程で各種アミノ酸に対して特異性を獲得する以前の共通祖先に近いことを示唆した。そこで、PylRS が基質アミノ酸の HA アナログに対する活性をもつかどうかを調べた。その結果、PylRS は HA を認識して対応する tRNA へ結合する活性があることが明らかとなった。その性質を用いて、*in vivo* で翻訳時に部位特異的なエステル結合が特定のタンパ

ク質へと導入することに成功した。このことは、遺伝暗号を構成する分子が アミノ酸だけに限らなかった可能性があることを示唆する。また、エステル結合のタンパク質への部位特異的な導入法として、タンパク質の主鎖構造を改変するツールとして役立つことが期待される。

LeuRS 変異体より、酵母ツーハイブリッド法を基にした部位特異的リン酸化導入のハイスクリーニング法を確立した。その方法により、陽性のクローンが得られた。現在は活性の確認を行っている。また、メチル化リジンを認識する LeuRS 変異体を探索したところ、初期選択によって重要な残基置換が見出された。現在、それらの残基をランダムに置換したライブラリより、各種メチル化リジンを特異的に認識する変異体を探索している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Yanagisawa T., Ishii R., Fukunaga R., Kobayashi T., Sakamoto K., and Yokoyama S.: "Crystallographic studies on multiple conformational states of active-site loops in pyrrolysyl-tRNA synthetase", *J. Mol. Biol.* (submitted)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小林隆嗣、柳沢達男、坂本健作、横山茂之：“「原始的な」アミノアシル tRNA 合成酵素を用いた生体内における非天然型主鎖・側鎖構造のタンパク質への部位特異的導入”、BMB2007、横浜、12月(2007)

性染色体のDNA脱メチル化による性転換を利用した
雌雄異株植物の性決定機構の解明

Genetic Analyses of Sex Determination in the Dioecious Plant, *Silene latifolia*
Using Sex Conversion by DNA Demethylation of Sex Chromosomes

研究者氏名： 西山 りゑ Nishiyama, Rie
ホスト研究室： 植物科学研究センター
機能開発研究チーム
(アドバイザー 篠崎 一雄)

- (1) X, Y性染色体で性決定する雌雄異株植物ヒロハノマンテマ(*Silene latifolia*)とその近縁種 *Silene* 属は、性染色体を持たない両性の植物から性染色体を持つ雌雄異株植物へと進化した。これらの雌雄異株植物の性染色体上に存在する性決定遺伝子を単離することを目的とし、ヒロハノマンテマのX, Y性染色体上にコードされる *SIAP3Y*, *SIAP3X* 遺伝子(シロイヌナズナ花形態形成遺伝子 *APETALA3* ホモログ)を単離した。*SIAP3Y* は雄蕊と花弁で、*SIAP3X* は花弁のみで発現していたことから、*SIAP3Y* 遺伝子は雄蕊を形成するのに必要な遺伝子と考えられた。Fluorescent *in situ* hybridization (FISH)により、*SIAP3Y*, *SIAP3X* 遺伝子の性染色体上での位置をマッピングした。さらに2つの遺伝子のイントロンを含むゲノム配列を明らかにし、X, Y性染色体間の配列の違いと性染色体上の位置から、ヒロハノマンテマの性染色体がどのように進化したのか考察した(論文投稿中)。
- (2) シロイヌナズナは乾燥や高塩ストレスにさらされると、植物ホルモンを介した細胞内シグナル伝達が起こり、転写因子やプロテインキナーゼなどの制御タンパク質と、適合溶質やシャペロンなどの機能タンパク質を合成してストレスから身を守る。RD26を含めたNAC転写因子は、植物ホルモンABA依存性のストレス応答経路で働く制御タンパク質でストレス時には重要な役割を果たすが、それ以外のときには植物の成長を阻害するた

め速やかに分解される必要がある。植物にはタンパク質をユビキチン化して26S proteasomeで分解するシステムがあり、E3ユビキチン化酵素は分解されるターゲットタンパク質を特異的に認識する。RD26を含めたNAC転写因子を特異的に分解するユビキチン化酵素を探すため、シロイヌナズナの約1300個のユビキチン化酵素遺伝子のうち、RD26に結合するものを探索し4つの候補を得た。現在、それらのユビキチン化酵素がストレス応答で果たす役割について、ユビキチン化酵素とNAC転写因子の相互作用についての*in vitro*解析と、ユビキチン化酵素遺伝子のトランスジェニック植物をもちいた*in vivo*解析を行っている。

誌上発表 Publications

Ehrlich M., Sanchez C., Shao C., Nishiyama R., Kehrl J., Kuick R., Kubota T., and Hanash S.: "ICF, An Immunodeficiency Syndrome: DNA Methyltransferase 3B Involvement, Chromosome Anomalies, and Gene Dysregulation", *Autoimmunity Reviews* (In print)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

西山りゑ、藤田美紀、関原明、金鐘明、大野陽子、篠崎一雄：“ABA依存性ストレス応答経路で働くNAC転写因子の翻訳後調節”、日本植物生理学会、札幌、2008年3月

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

ホスト研究室： 植物科学研究センター

形態制御研究チーム

(アドバイザー 出村 拓)

本研究では、これまでその動的な側面に目が向けられることは稀であった mRNA 前駆体スプライシングについて、植物における動的制御機構とその生理的意義の解明を目標に解析を行っている。主な材料は脱分化、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。

まず、スプライシング活性制御の分裂組織形成における役割を明らかにするため、両変異体でみられる奇形側根形成に関して詳細な解析を行った。側根形成において機能している様々な遺伝子の発現様式を解析した結果、いずれも *srd2* 変異によって原基形成初期から攪乱されていることがわかった。SRD2::GUS は原基形成開始時点から発現していたが、原基が完成し分裂組織が構築・確立する時期には側根基部から発現レベルが上昇し始め、その後高発現域は根端に向かって移動し、最終的には根端全域に広がっていった。また snRNA 量変動を調べたところ、初期の段階では原基の全細胞の核に多量の snRNA が検出されたが、側根原基の形成終了前後に蓄積量が一旦大きく低下し、その後再び上昇するという興味深いパターンが見出された。さらに *srd2* 変異はこの snRNA 量の再上昇を抑制し、結果として正常な分裂組織を欠いた瘤状側根が観察された。以上の結果は、側根の形態形成においては原基段階から SRD2 の機能が必要であり、特に分裂組織の構築・確立には SRD2 に依存した snRNA の再蓄積が重要であることを示唆している。*rid1* 変異体も同様の表現型を示すことから、snRNA と RID1 の共通分子機能であるスプライシング活性の制御こそが分裂組織形成において重要な素過程であると推測される。

本年度はさらに胚軸脱分化過程を対象としたタイリングアレイを行い、*srd2* および *rid1* 変異が及ぼす遺伝子発現、特にスプライシングパターンへの影響の網羅的検出を試みた。現在までに、予備的ではあるものの、タイリングアレイ解析によってスプライシングパターン異常が検出可能であることを確かめている。今後はアレイ解析から得られた遺伝子発現様式情報を、作製中のスプライシング活性の *in vivo* 可視化レポーター系と組み合わせることによって、植物発生におけるスプライシング活性の動態とその制御下にある遺伝子を明らかにしていく予定である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohtani M., Demura T., and Sugiyama M.: "Differential requirement for the function of SRD2, an snRNA transcription activator, in various stages of plant development", *Plant Mol. Biol.*, 66 303-314 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohtani M., Demura T., and Sugiyama M.: "Differential requirement for the function of SRD2, an snRNA transcription activator, in various stages of plant development", 18th International Conference on Arabidopsis Research, Beijing, China, June (2007)

(国内会議等)

大谷美沙都、出村拓、杉山宗隆：“シロイヌナズナの発生・成長における snRNA 転写活性化の重要性”、日本植物学会第 71 回大会、野田、9 月 (2007)
大谷美沙都、出村拓、杉山宗隆：“脱分化と分裂組織新形成に関わるシロイヌナズナ RID1 遺伝子の解析”、第 30 回日本分子生物学会年会、横浜、12 月 (2007)

研究者氏名：鈴木 智之 Tomoyuki, Suzuki
 ホスト研究室：免疫アレルギー科学総合研究センター
 サイトカイン制御研究グループ
 (アドバイザー 平野 俊夫)

亜鉛は生体において必須微量元素として機能しており、亜鉛要求性タンパク質に配位しその活性中心や構造維持に働くことが知られている。近年、生体内の亜鉛要求性タンパク質に対して亜鉛がシグナル分子として機能する可能性が示唆されてきた。本年度、筆者のホスト研究室では、アレルギー反応、自然免疫、自己免疫疾患などで役割を果たしているマスト細胞において、抗原刺激依存的に細胞内の亜鉛濃度が上昇することを示され、亜鉛が細胞内シグナル分子として働くことを明らかにした。しかしながら、亜鉛シグナルの標的分子や生理的意義、また、亜鉛がどのような機序によって運ばれるのかについては明らかにされていない。本研究は、亜鉛をセカンドメッセンジャーとする新たな細胞内情報伝達経路を同定することを目標にする。本年度は、「亜鉛をセカンドメッセンジャーとする細胞内情報伝達経路に介在する因子同定」のため、下記の実験を行った。

(1) 亜鉛トランスポーターから亜鉛要求性タンパク質に亜鉛を運ぶタンパク質(亜鉛シャペロン)の同定と亜鉛シャペロンの細胞内情報伝達経路への関与の検討。小胞体、ゴルジ体に局在する亜鉛トランスポーター ZnT7 の機能解析を行い、ZnT7 の機能に必須なドメインを決定した。現在、これら必須なドメインを用いた *in vitro* pull down assay を

行い、亜鉛シャペロン候補タンパク質の決定に着手している。また、野生型 ZnT7 発現株と、重要なドメインを欠損させた変異 ZnT7 発現株を作製し、免疫沈降法により亜鉛シャペロン候補タンパク質を決定した。遺伝子欠損株の作製が容易なニトリ B 細胞 DT40 を用いていくつかの候補タンパク質を欠損させた株を樹立し、亜鉛要求性タンパク質の活性を測定したが、現在のところ亜鉛シャペロンの同定にはいたっていない。

(2) 刺激依存的に亜鉛が結合するタンパク質の解析と細胞内情報伝達経路への関与の検討。リン酸化依存的に亜鉛が結合するペプチド配列を発見した。さらに、その配列をもち、かつ刺激依存的にリン酸化される候補タンパク質をデータベースにより絞り込んだ。これらの候補タンパク質の機能に亜鉛が結合することが必要であるかどうかの検討している。

誌上発表 Publications

(総説)

Hirano T., Murakami M., Fukada T., Nishida K., Yamasaki S., Yamashita S. and Suzuki T.: "Roles of zinc and zinc signaling in immunity: zinc as an intracellular signaling molecule", *Advances in immunology*, in print*

研究者氏名：平野 真理子 Hirano, Mariko
 ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター
 ボディプラン研究グループ
 (アドバイザー 相澤 慎一)

Band4.1ファミリーのタンパク質は細胞膜タンパク質と細胞骨格をつなぐことにより、細胞の形態形成、維持に関与することが報告されている。これまでの

研究によりBand4.1スーパーファミリーのひとつであるErythrocyte protein band4.1-like5 (EPB41L5)は同ファミリーに属し、マウス嚢胚期において胚全体で発現

を示す。EPB41L5ノックアウトマウスでは細胞移動や上皮間充織転換に異常をきたし、EPB41L5が細胞移動、上皮間充織転換といった細胞の形態形成に関与することがわかった。

次に培養細胞を用いた解析により、EPB41L5の分子メカニズムについて検討した。マウス乳腺上皮NMuMG細胞はTGF β で処理することにより、上皮間充織転換を起こすことが知られている。NMuMG細胞においてEPB41L5は上皮細胞の状態では発現が低い、TGF β で処理することにより発現が上昇することがわかった。またNMuMG細胞において、siRNAを用いEPB41L5を機能阻害すると、TGF β で処理しても細胞の形態が変化せず、かつ細胞膜においてE-cadherinの膜での局在が維持され、上皮間充織転換が阻害されることがわかった。この時E-cadherinのmRNAの量はコントロールsiRNAで処理した細胞と同様に減少しており、EPB41L5は蛋白レベルにおいてE-cadherinを制御していることが示唆された。

E-cadherinの蛋白レベルの制御では、Hakai, Arf6, p120cateninが関与する事が知られている。EPB41L5がどの分子と関与するか検討したところ、p120cateninとのみ結合した。p120cateninがE-cadherinと結合する部位においてEPB41L5は結合する。上皮細胞の状態のNMuMG細胞にEPB41L5を過剰発現させたところ、E-cadherinのエンドサイトーシスが起った。この結果より、EPB41L5によりp120cateninとE-cadherinの結合が阻害され、E-cadherinが細胞内

に取り込まれることがわかった。

また、EPB41L5は細胞 - 基質間接着に関与するintegrin複合体にも結合した。EPB41L5を強く発現するNIH3T3細胞においてsiRNAを用いてEPB41L5の発現を阻害するとintegrinやpaxillinの細胞内局在に異常を来たし、接着班の形成が阻害された。一方、ヒト乳癌細胞株T47D細胞はEPB41L5の発現が低い。T47D細胞にEPB41L5を過剰発現させたところ、細胞がラフリングし、異所的に接着班が形成された。

これらの結果より、EPB41L5はp120cateninと結合する事により、E-cadherinのエンドサイトーシスを制御し、また integrin 複合体に結合する事により接着班の形成に関与し、上皮間充織転換に関与している事が示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Hirano M., Sabe H., and Aizawa S.: " Erythrocyte protein band4.1-like5(Ebl5) plays an essential role in the EMT progression and cell migration ", 第40回日本発生物学会・第59回日本細胞生物学会合同大会、福岡、5月(2007)

平野真理子、佐邊寿孝、相澤慎一: " 形態形成におけるEPB41L5の機能解析 ", 第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会合同大会、横浜、12月(2007)

XVIII - 053 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

ホスト研究室: 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

(アドバイザー 杉本 亜砂子)

多くの生物において生殖細胞の運命決定に必要な不可欠なのが、生殖質および生殖顆粒である。この重要性とは裏腹に、線虫の生殖顆粒構成因子は標的未知のRNA結合タンパク質群という漠然とした特徴しか持たず、生殖顆粒全体としての制御メカニズムは不明である。申請者のホスト研究室では、線虫 *Caenorhabditis elegans* の胚抽出液を免疫して得られた抗原未知の新規モノクローナル抗体群(KT抗体)につ

いておおまかな組織特異的染色パターンの解析が既に行われていた。このうち、10種類の生殖顆粒認識抗体について、抗原、および抗原と結合する因子群の同定により生殖顆粒の構成因子を網羅的に同定することを第一の研究目的とし、同定された構成因子群の機能破壊および顆粒上の詳細な局在解析を行うことで、各因子の機能および生殖顆粒全体としての制御メカニズムの解明にせまることを第二の研究目

的とした。

本年度は生殖顆粒認識抗体の抗原をスクリーニングするための、生殖顆粒再構成系の構築と、再構成された顆粒上での既知の生殖顆粒構成因子の局在解析を行った。

- (1) ウェスタン解析に使用できない多くのKT抗体の抗原を同定するためには、免疫染色を指標としたスクリーニング系が必要であった。哺乳類培養細胞に線虫のcDNAライブラリを導入し、これに対してKT抗体を用いた免疫染色を行うことにより、抗原同定を行う系を確立した。昨年度抗原同定に成功したKT3は、その抗原であるPGL-3を発現させたチャイニーズハムスター卵巣細胞を特異的に認識した。
- (2) さらに、既知の生殖顆粒構成因子を特定の組み合わせで発現させることにより、培養細胞内で顆粒状構造体の形成が観察され、生殖顆粒の再構成系として、その形成過程および構造の解析に利用できると考えられた。形成された顆粒状構造体が線虫の生殖顆粒より数倍大きいこと各因子の局在を解像度良く比較するという利点を活かし、既

知の生殖顆粒構成因子を免疫染色により検出したところ、顆粒が層状構造をとることが明らかとなった。この構造から、顆粒状構造体がmRNAを顆粒の内部に閉じこめ細胞質から隔離することによってmRNAの不活性化状態を維持している可能性が示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Hanazawa M. "Morphological and Molecular Characterization of Germ Granules in *C. elegans*", Luncheon Forum、神戸、6月(2007)

花澤桃世, 米谷匡史, 杉本亜砂子: "培養細胞系を用いた再構成で明らかになった線虫生殖顆粒の階層的形成メカニズム", RNA研究若手の会2007、神戸、9月(2007)

Hanazawa M, Yonetani M., and Sugimoto A. "Hierarchical assembly mechanism of *C. elegans* germ granules revealed by reconstitution in cultured mammalian cell", BMB2007、横浜、12月(2007)

XVIII - 054 個体発生能を司る始原生殖細胞の核内基盤の解明

The Elucidation of the Nuclear Basis for the Establishment of Cellular Totipotency in PGCs

研究者氏名: 関 由行 Seki, Yoshiyuki
ホスト研究室: 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
(アドバイザー 斎藤 通紀)

マウス始原生殖細胞(PGC)が移動過程において、安定的な遺伝子発現の抑制に関わるゲノム修飾であるDNA, H3K9me2を広範囲に脱メチル化し、より可塑的な遺伝子発現の抑制に関わるゲノム修飾であるH3K27me3を付与することをこれまでに明らかとしてきた。そこで、本研究ではPGCによるゲノム修飾再編成を制御する分子基盤を解明することを目的とした。PGCは形成過程において、PRドメインを持つ *Blimp1*, *Prdm14*を発現し、その後DNAのメチル化酵素である *Dnmt3b*やヒストンのメチル化酵素である *GLP*の発現を特異的に抑制する。そこで、PGC特異的に発現する *Prdm14*の機能解析を行うために *Prdm14*の遺伝子欠損マウスを作製した。*Prdm14*遺伝子欠損マウスは正常に発生したが、雌雄とも不妊であっ

た。*Prdm14*遺伝子欠損マウスにおけるPGCの挙動を解析したところ、PGCの初期分化の異常が観察された。また興味深いことに、*Prdm14*遺伝子欠損PGCは効率よくゲノム修飾の再編成を遂行できないことが分かった。したがって、*Prdm14*がゲノム修飾の再編成を制御する分子基盤の上流に位置する可能性が示唆された。また *Prdm14*が転写抑制因子として機能し、*Prdm14*遺伝子欠損PGCにおいて *Dnmt3b*, *GLP*の発現上昇が観察されたことから、*Prdm14*が *Dnmt3b*や *GLP*の発現を直接抑制する可能性を検証した。*Prdm14*をES細胞に強制発現させ、*Dnmt3b*, *GLP*の発現変動を解析したところ、*Dnmt3b*の発現抑制が誘導された。また、*Dnmt3b*の発現制御領域を用いてルシフェラーゼアッセイを行った結果、*Prdm14*は *Dnmt3b*

の転写を容量依存的かつ配列依存的に抑制することを明らかにした。また、*Prdm14*とほぼ同時期に発現が誘導される*Blimp1*が*Dnmt3b*の発現を抑制できるか否か同様の手法を用いて解析したところ、*Blimp1*も*Dnmt3b*の発現を抑制できることが明らかとなった。したがって、PGCは*Blimp1*、*Prdm14*の2つの分子を使って効率よく*Dnmt3b*の発現を抑制している可能性が推測できる。

誌上発表 Publication (原著論文)

Seki, Y., Yamaji, M., Yabuta, Y., Sano, M., Shigeta, M., Matsui, Y., Saga, Y., Tachibana, M., Shinkai, Y. and Saitou, M. Cellular dynamics associated with the genome-wide epigenetic reprogramming in migrating primordial germ cells in mice. **Development**, 134, 2627-2638, (2007)

(総説)

1. Seki, Y and Saitou, M. Epigenetic reprogramming in primordial germ cell development. Genetical and epigenetical control of mammalian germ cell development and their function. *Research Signpost*,(2008)

XVIII - 055 接着斑を構成・制御する細胞骨格系タンパク質、タリン(talin)の機能解析

Analysis of Cytoskeletal Protein, Talin Constructing and Regulating Focal Adhesion

研究者氏名：辻岡 政経 Tsujioka, Masatsune

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター

電子顕微鏡解析室

(アドバイザー 米村 重信)

細胞骨格系タンパク質タリンは、細胞と基質の接着点で接着分子とアクチン細胞骨格を繋げており、運動のための駆動力を基質に伝える役割があると考えられている。タリンは、ヒト、マウスをはじめ、様々な生物で二種類の相同体が見つかるが、二つのタリンの機能の差異はまだほとんど知られていない。私は前年度に、細胞運動研究のモデル生物である細胞性粘菌(*Dictyostelium discoideum*)の走化性運動において、二つのタリン(タリンAとタリンB)の対照的な局在の違いを観察した。タリンAΔGFPは細胞後端、GFPΔタリンBは細胞前端に局在し、タリンA同様に細胞後端に局在するミオシン重鎖の欠損株では、タリンA-GFPは細胞膜全体に拡散する事も見出した。ミオシン重鎖がタリンAの後部への局在に関与している可能性を示唆するものである。

本年度は細胞後端でのタリンAの役割と、各タリンがどのようにして特異的な局在を示すかについてのいくつかの見解が得られた。タリンA欠損株は走化性運動において、細胞後部に糸状の長い尾部を引きずる事が頻りに観察された。これはミオシン重鎖欠損株によく見られる表現型である。アクトミオシンは細胞後端で収縮する事により細胞後部の退縮を助けている。ミオシン重鎖欠損株では後部の退縮がうまくいかないため、上記のような表現型が観察され

る。これらの結果からタリンAは細胞後部でアクトミオシンと接着分子を繋いでおり、アクトミオシンの収縮に伴って接着分子を引っ張り、基質から乖離させているという新規のタリンの機能を予想している。タリンA欠損細胞ではアクトミオシンが収縮しても接着分子が引っ張られず基質に接着したままのため、後部を引きずるのではないかと考えている。

次に各タリンの局在に必要な領域を特定する事を試みた。タリンはそのC末領域にI/LWEQMジュールと呼ばれるアクチン結合ドメインを共通に持つ。タリンAのI/LWEQMジュールのみにGFPを繋いでその局在を観察したところ、全長同様細胞後部に局在した。タリンBのC末領域はI/LWEQMジュールのさらにC末側にVHPと呼ばれるアクチン結合ドメインが存在する。これは他のどのタリンにも見られない特徴である。この二つのアクチン結合ドメインを持つタリンBのC末領域をGFPに繋ぐと、これも全長同様に細胞前端に局在した。ところがVHPを除いたI/LWEQMジュールだけでは細胞後部に局在したので、VHPドメインが前端への局在に重要である事が示唆された。以上からC末領域だけでそれぞれのタリンの特異的な局在を示す事がわかった。この結果から、それぞれのタリンは細胞前後の特異的なアクチン構造に結合

して局在するのではないかと予想している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Tsujioka M., Yoshida K., and Yonemura S.: "Distinct cellular localizations of the two talin homologues in *Dictyostelium*", 第40回日本発生生物学会・第59回日本細胞生物学会合同大会、福岡、5月(2007)
Tsujioka M.: "Distinct sub-cellular localizations of the two

talin homologues in *Dictyostelium*", CDB Retreat, Awaji Yumebutai, Oct.(2007)

辻岡政経、米村重信：“細胞性粘菌における二つのタリン(talin)の機能の比較”、第10回細胞性粘菌研究会、弘前、11月(2007)

辻岡政経、米村重信：“細胞性粘菌 *Dictyostelium discoideum* の細胞運動における二つの talin の役割”、生体運動研究合同班会議、仙台、1月(2008)

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

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
ホスト研究室：植物科学研究センター
適応制御研究チーム
(アドバイザー 南原 英司)

これまでの遺伝学的あるいは生化学的な解析から種子発芽に関する知見は蓄積しつつあるものの、これら手法によってははかり得ない疑問も数多く残されている。近年発展してきたケミカルジェネティクスにより、発芽と初期成長に影響を及ぼす人工化合物が同定され、本研究ではその中でもE化合物と名付けた子葉特異的に白化作用をもつ一群の化合物についての解析を行った。E化合物耐性の突然変異株を解析し、その結果この化合物がプラスチドレトログレードシグナルに関わることが明らかとなった。Mg-protolXが関与する経路が活性化され、同じくプラスチド遺伝子発現依存経路も活性化されることがわかり、子葉特異的な白化作用はこの二つの経路の相互作用で説明することができる。

また、E化合物と似た構造を持つストリゴラクトンがシロイヌナズナにも作用しうることがわかり、この化合物は新奇ホルモン用化合物であると考えら

れる。ストリゴラクトン依存突然変異株を分離し、その解析から、この生合成が赤色光レセプターの下流で制御を受けていることが明らかとなった。さらにその生理活性と光シグナルの遺伝学的関連性を解析し、ストリゴラクトンは光シグナルの制御因子であるCOP1およびHY5遺伝子を経由して作用することが明らかとなった。長年未知であったストリゴラクトンのシグナル伝達を理解する上で、光シグナル伝達は絶好のスタートポイントだと言える。

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：“プラスチドレトログレードシグナル経路を活性化する新奇低分子有機化合物は種子発芽の遺伝的プログラムを経由して作用する”、第49回日本植物生理学会年会、札幌、3月(2008)

平成 19 年度採用者

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

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
ホスト研究室：知的財産戦略センター
次世代移動体通信研究チーム
(アドバイザー 梅野 健)

適応信号処理は、情報通信システムを支える基盤技術である。本研究では「適応信号処理アルゴリズムの高速化と低計算コスト化」と「その無線通信システムへの応用」という課題に取り組んでいる。無線通信への応用では、CDMA (Code Division Multiple Access) システムにおけるマルチユーザ干渉抑圧問題を考える。この問題では、一つの基地局(受信局)に対して複数の移動局(送信局)が同時にアクセスする、携帯電話システム等で極自然な状況を想定する。この時、ある移動局からの信号を基地局で復元したいとすると、その他の移動局からの信号は干渉(マルチユーザ干渉と呼ばれる)となり、通信品質劣化の要因となる。マルチユーザ干渉に対する従来の対策は、干渉を雑音などと同一視して整合フィルタと呼ばれる一種の線形フィルタを通し、誤り訂正符号を用いてある一定の通信品質を確保するというものである。ところが、誤り訂正符号の性能を向上させるためには送信情報に冗長性を付加する必要があるため、次世代の移動体通信システム(第四世代移動通信システムと呼ばれる)で規定される周波数利用効率(単位帯域・単位時間あたりに送ることができる最大情報量)を達成するためには、システムを根本から見直す必要がある。

本研究では、第三代移動通信システムで用いられている「擬似ランダム符号列」に基づくCDMAシステムと異なり、ある固定された拡散符号(各ユーザに割り当てられる系列)に基づくシステムを考えることで、マルチユーザ干渉(雑音と異なる)特性を考慮する。具体的には、適応アルゴリズムを用いて、マルチユーザ干渉の特性を利用した最適線形フィルタ(ウィナーフィルタと呼ばれる)を逐次的に算出し、これによってマルチユーザ干渉と雑音を効果的に抑圧する。この際、周波数利用効率を向上させるために、高速な適応アルゴリズムが鍵となる。以下に本年度の主要成果をまとめる。

- (1) 2次計量を用いた高速適応アルゴリズム「適応2次計量射影法」を提案した。
- (2) 「適応2次計量射影法」を「CDMA無線通信システムの干渉抑圧問題」に適用することにより、高速な干渉抑圧が実現されることを明らかにした。
- (3) 適応フィルタとLSFフィルタ(固定線形フィルタ)を融合させることにより、適応に要する時間を大幅に削減できることを明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Yukawa M.: "Krylov-proportionate adaptive filtering techniques not limited to sparse systems", IEEE Trans. Signal Processing (submitted)*

Yukawa M., Umeno K., and Hori G.: "LSF-aided adaptive linear receiver for adaptation-time saving in asynchronous CDMA systems", IEICE Trans. Fundamentals (submitted)*

Yukawa M., de Lamare R.C., and Yamada I.: "Efficient adaptive filtering by variable reduced-rank adaptive projected subgradient method", IEEE Trans. Signal Processing (submitted)*

Yukawa M., de Lamare R.C., and Sampaio-Neto R.: "Efficient acoustic echo cancellation with reduced-rank adaptive filtering based on selective decimation and adaptive interpolation", IEEE Trans. Audio, Speech and Language Processing, vol.16, no.4, pp.696-710, May, 2008

Yukawa M., Slavakis K., and Yamada I.: "Adaptive Parallel Quadratic-Metric Projection Algorithms", IEEE Trans. Audio, Speech and Language Processing, vol.15, no.5, pp.1665-1680, July 2007*

(その他)

梅野健、堀玄、湯川正裕(他数名): "第四世代移動

通信システム(仮題)」、共立出版(脱稿済)「第9章:適応信号処理と移動通信」を担当(2008年5月頃出版予定)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yukawa M.: “Krylov-proportionate NLMS algorithm based on multistage Wiener filter representation”, IEEE ICASSP, pp.3801-3804, 2008

Yukawa M., de Lamare R.C., and Yamada I.: “Set-Theoretic Reduced-Rank Adaptive Filtering by Adaptive Projected Subgradient Method”, Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, November 2007*

Yukawa M., Hori G., Umeno K., and Yamada I.: “Fast adaptive DS/CDMA interference suppression method based on quadratic-metric projection”, IEEE NDES conference, pp.129--132, Tokushima: Japan, July 2007*

Yukawa M., de Lamare R.C., and Raimundo Sampaio-Neto: “Acoustic echo cancellation with reduced-rank adaptive interpolated filter based on parallel-branch diversity decimation”, IEEE DSP conference, pp.39--42, Cardiff: UK, July 2007*

Yukawa M. and Yamada I.: “Adaptive parallel variable-metric projection algorithm —An application to acoustic echo cancellation”, IEEE ICASSP, pp.1353--1356, Hawaii: USA, Apr. 2007*

(国内学会等)

Yukawa M.: “An extension of proportionate NLMS algorithm based on multistage Wiener filter representation”, in Proc. IEICE SIP Symposium, pp. 526--531, Sendai, November 2007

Yukawa M., Umeno K., and Hori G.: “Adaptive MMSE receiver aided by Lebesgue spectrum filter in asynchronous CDMA systems”, in Proc. IEICE SIP Symposium, pp. 506--511, Sendai, November 2007.

Yukawa M., Hori G., Umeno K., and Yamada I.: “A Bridge Between Reduced-Rank Adaptive Filtering and Quadratic-Metric Projection Techniques”, Technical Report of IEICE, NLP2007-41, vol.107, no.184, pp.29--34, August 2007

(招待講演)

山田功、湯川正裕: “不動点理論と凸最適化の融合が拓く新しい信号処理”、第30回情報理論とその応用シンポジウム(SITA2007)、賢島、11月(2007)

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

ホスト研究室: 情報基盤センター

技術開発ユニット

(アドバイザー 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(1)正確に解く手法の研究、任意精度ライブラリを用いた半正定値計画法ソルバーの開発とこれまで非常に精度悪くしか解けなかった擬縮退した系への応用(2)新しく導かれた N -representabilityのさまざまな系への応用を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

中田和秀、藤澤克樹、福田光浩、山下真、中田真秀、小林和博: “最適化ソフトウェア SDPA”、応用数理、第18巻、第1号(2008)(印刷中)

Nakata M, Braams B, Fujisawa K., Fukuda M., Percus J, Yamashita M., and Zhao Z.: “Variational calculation of second-order reduced density matrices by strong N -representability conditions and an accurate semidefinite programming solver”, Journal of Chemical Physics, submitted

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakata M., Braams B., Fukuda M., Percus J., Yamashita M., and Zhao Z.: “Simple Hamiltonians exhibit drastic failures by variational calculation of 2-RDMs”, The 3rd Asian Pacific Conference on Theoretical & Computational Chemistry, Beijing (China), Sep (2007)

Fukuda M, Nakata M, Braams B., Fujisawa K., Percus J, Yamashita M., and Zhao Z.: “Determination of Electronic Structures of Atoms and Molecules Using Optimization Software”, The 7th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA7), Kobe International Conference Center (Japan), Dec (2007)

Fukuda M., Nakata M, Braams B., Fujisawa K., Percus J, Yamashita M., and Zhao Z.: “Accurate electronic structure calculations using semidefinite programming software”, INFORMS Optimization conference, Atlanta (USA), March (2008)

(国内学会等)

Nakata M., Braams B., Fukuda M, Percus J., Yamashita M., and Zhao Z.: “密度行列の直接決定法：簡単なハミルトニアンなのに全く関連エネルギーが出ない例”、第一回分子科学討論会、東北大学、Sep. (2007)

中田真秀：“二次の密度行列の変分法に関する研究：最近の進展より”、若手研究会「理論分子科学のフロンティアを探る」、岡崎コンファレンスセンター、Jan (2008)

福田光浩、中田真秀、Braams B.、藤澤克樹、Percus J.、山下真、Zhao Z.: “半正定値計画による分子の電子構造計算”、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008年春季研究発表会、京都コンピューター学院 京都駅前校（京都情報大学院大学）、March (2008)

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

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島一夫)

近年の天文学観測の多くは、我々が普段目にしている「陽子や中性子から成る通常の物質」は宇宙の全質量のうちわずか数パーセントを占めるだけで、残りの約75%は宇宙に均一に満たされている未知のエネルギーである「暗黒エネルギー」、約20%は電磁波を一切放射していないために直接的に検出されていない物質である「暗黒物質」と呼ばれるもので占められていることを示唆している。これら2つを解明することは現在の天文学・物理学の最重要課題の1つであり、その問題の重要性により様々な角度から検証を行うことが必須とされている。

そこで本研究では、アインシュタインの一般相対性理論から帰着される「重力レンズ現象」という天体現象を用い、宇宙を支配するこの2つの暗黒面の解明に向けたさらなる一步を踏み出すことを目的とし

て研究を行った。可視光全天サーベイ観測「スローン・デジタル・スカイ・サーベイ」のデータから重力レンズ現象を受けたクエーサーの候補を選び出し、それらを米国ハワイ州マウナケア山頂にあるハワイ大学2.2m望遠鏡などを用いて観測することで、銀河によって重力レンズされたクエーサー7個を新たに発見した。

これらの新たな発見を基に、暗黒エネルギーの量および性質を検証することができる「重力レンズクエーサーの統計的カタログ」を過去最大の規模で完成させ、さらにそれを用いることで、暗黒エネルギーが宇宙全体の約75%を占めること、およびその性質が「宇宙項」とよばれるものと良く一致することを確認している。なお、この結果は論文誌上発表に加え、記者発表も行い、複数の新聞および雑誌にて取り

上げられた。

一方、暗黒物質の良い検証道具である銀河団による重力レンズクエーサーに関しては、探索および候補天体の観測を行ったが、その存在確率の低さゆえに本年度においては新しい発見には至っていない。しかし、探索の基になっているスローン・デジタル・スカイ・サーベイの進展や探索方法の改良に伴い、今後その新たな発見に成功することが十分に期待できる。

以上に加え、銀河によって重力レンズされたクエーサーを発見するための幾つかの新しい方法の開発や、過去発見した重力レンズ天体を再度追加観測することによる暗黒物質の検証など、重力レンズ現象の観測を中心に研究を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kayo, I., Inada, N., Oguri, M., Hall, P. B., Kochanek, C. S., Richards, G. T., Schneider, D. P., York, D. G., and Pan, K.: "A new quadruply lensed quasar: SDSS J125107.57+293540.5", The Astronomical Journal, 134 1515-1521(2007)*

Ofek, E. O., Oguri, M., Jackson, N., Inada, N., and Kayo, I.: "SDSS J131339.98+515128.3: a new gravitationally lensed quasar selected based on near-infrared excess", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 382 412-418(2007)*

Inada, N., Oguri, M., Becker, R. H., Shin, M.-S., Richards, G. T., Hennawi, J. F., White, R. L., Pindor, B., Strauss, M. A., Kochanek, C. S., Johnston, D. E., Gregg, M. D., Kayo, I., Eisenstein, D., Hall, P. B., Castander, F. J., Clocchiatti, A., Anderson, S. F., Schneider, D. P., York, D. G., Lupton, R., Chiu, K., Kawano, Y., Scranton, R., Frieman, J. A., Keeton, C. R., Morokuma, T.,

Rix, H.-W., Turner, E. L., Burles, S., Brunner, R. J., Sheldon, E. S., Bahcall, N. A., and Masataka, F.: "The sloan digital sky survey quasar lens search. II. statistical lens sample from the third data release", The Astronomical Journal, 135 496-511(2008)*

Oguri, M., Inada, N., Strauss, M. A., Kochanek, C. S., Richards, G. T., Schneider, D. P., Becker, R. H., Fukugita, M., Gregg, M. D., Hall, P. B., Hennawi, J. F., Johnston, D. E., Kayo, I., Keeton, C. R., Pindor, B., Shin, M.-S., Turner, E. L., White, R. L., York, D. G., Anderson, S. F., Bahcall, N. A., Brunner, R. J., Burles, S., Castander, F. J., Chiu, K., Clocchiatti, A., Eisenstein, D., Frieman, J. A., Kawano, Y., Lupton, R., Morokuma, T., Rix, H.-W., Scranton, R., and Sheldon, E. S.: "The sloan digital sky survey quasar lens search. III. constraints on dark energy from the third data release quasar lens catalog", The Astronomical Journal, 135 512-519(2008)*

Oguri, M., Inada, N., Clocchiatti, A., Kayo, I., Shin, M.-S., Hennawi, J. F., Strauss, M. A., Morokuma, T., Schneider, D. P., and York, D. G.: "Discovery of four gravitationally lensed quasars from the sloan digital sky survey", The Astronomical Journal", 135 520-526(2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

稲田直久、大栗 真宗、加用 一者、諸隈 智貴、他 SDSScollaboration : " SDSS 重力レンズクエーサー探索: DR3 統計サンプル ", 日本天文学会秋季年会、岐阜大学、9月(2007)

稲田直久 : " UH88/UKIRT を用いた SDSS 重力レンズ探索の観測結果 ", 第 18 回光赤外ユーザーズミーティング、国立天文台、9月(2007)

XIX - 004

次世代X線観測衛星をめざす、 半導体微細加工技術を用いた新しいX線光学系の開発

Development of MEMS X-ray Optics for Future X-ray Astronomical Satellites

研究者氏名 : 江副 祐一郎 Ezo, Yuichiro

ホスト研究室 : 牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

宇宙のバリオンの大部分(ほぼ 90%)は高温状態に

ありX線を通じて観測が可能だと考えられている。

しかし、半分以上は未だ観測されていない。未観測のバリオンは10万度から100万度の希薄なプラズマとして存在すると考えられている。本研究の目的は、半導体微細加工技術を応用した新しい軽量X線光学系を開発し、分光器と組み合わせてバリオン観測に用いることである。

本年度はシリコン基板の異方性エッチングを用いて作ったマイクロ反射鏡を用いた光学系を開発を行った。初の一回反射型光学系を開発の進展をNIM-A論文に発表した。またX線照射試験の結果を査読付きのマイクロマシンの国際学会で発表し、論文にまとめた(Late News選出)。

同時に、超高エネルギー分解能の検出器である、超伝導遷移端温度計を用いたTES型マイクロカロリメータの開発を進め、低温検出器の国際会議である

LTD 11において共著者として発表を行った。

以上の検出器系開発と平行して、JAXAや京都大の研究者とともに「すざく」衛星を用いた高エネルギー天体データ解析も行い、共著者として論文にまとめた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ezoe Y., Koshiishi M., Mita M., Mitsuda K., Hoshino A., Ishisaki Y., Takano T., and Maeda R.: "Silicon Micro-pore X-ray Optics", NIM-A, 579 817-820 (2007)*

Ezoe Y., Koshiishi M., Mita M., Maeda Y., Mitsuda K., Osawa T., Suzauki M., Hoshino A., Ishisaki Y., Takano T., and Maeda Y.: "A Michromachined X-ray Collector For Space Astronomy", 1 1321-1325 (2007)*

XIX - 005 多次元輻射磁気流体計算とX線観測によるブラックホール降着流の研究

Research on Black Hole Accretion Flows

by Multi-dimensional Radiation Magneto-hydrodynamic Simulations and X-ray Observations

研究者氏名：大須賀 健 Ohsuga, Ken

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

ブラックホールに吸い込まれるガスの流れ(ブラックホール降着流)では、膨大な重力エネルギーが輻射やジェットとして解放されると考えられている。よって、このブラックホール降着流は、高エネルギー天体のエネルギー源と考えられている。ブラックホール降着流では、輻射や磁場がエナジティクスにおいてもダイナミクスにおいても重要となるため、輻射磁気流体計算が必須である。本研究の目的は、数値計算、および観測データとの比較から、ブラックホール周囲での物理を解明することである。

(1) 輻射輸送を取り入れた2次元流体シミュレーションを行い、ブラックホール降着流について調べた。その結果、超臨界降着と呼ばれるガス降着率の極めて大きな流れが定常的に存在できることを明らかにした(定常超臨界降着流の実現可能性は、1960年代からの議論されてきた問題である)。降着流を真上から観測すると、見かけの光度はエディントン光度の10倍に達する事がわかった(エディントン光度とは、輻射圧が重力に打ち勝つ光度)。このことは、謎に包まれている超光度X線源

に、超臨界降着流が実在している可能性を示唆するものである。今後、輻射スペクトル計算と観測データの比較から、より詳細な結果が得られると期待される。また、本研究は、光速の10%から30%の速度を持つ輻射圧加速型ジェットを再現することにも成功した。

(2) 中性子星周囲の降着流についても調べ、ブラックホールと同様に定常超臨界降着が可能であることを示した。また、中性子星周囲の降着流と、ブラックホール降着流の違いも明らかにした。その一つは、中性子星への降着流の方がより強いジェットを作り出すことであり、もう一つは中性子星の周囲に球殻状の高密度領域が形成されることである。これらの結果は、実際の観測データ(中性子星連星、マイクロクェーサー)と合致するものである。

(3) 宇宙初期で形成されると予想される中質量ブラックホールへの降着流の構造と安定性についても調べた。宇宙初期のガスはmetallicityが小さいため、低温領域でのopacityが近傍宇宙のガスと大

幅に異なる。これが原因となり、宇宙初期の降着流は、近傍宇宙の降着流より激しいバースト現象を起こすことがわかった。バースト時の光度や継続時間、予想される中質量ブラックホールの数密度の議論から、このバースト現象は大口径近赤外望遠鏡で実際に観測されると期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohsuga, K.: "Two-dimensional Radiation-hydrodynamic Model for Supercritical Disk Accretion Flows onto Neutron Stars", Publ. Astron. Soc. Japan, 59, 1033-1041(2007)*

Ohsuga, K., Mineshige, S.: "Why is Supercritical Disk Accretion Feasible?", Astrophysical Journal, 670, 1283-1290 (2007)*

Ohsuga, K., Susa, H., Uchiyama, Y.: "Instability of Population III Black Hole Accretion Disks", Publ. Astron. Soc. Japan, 59, 1235-1241(2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohsuga, K.: "Simulations of supercritical (slim) disks", YITP WORKSHOP ON Quasi-Periodic Oscillations and Time Variabilities of Accretion Flows, Kyoto, Japan, Nov. (2007)

Ohsuga, K.: "Radiation Hydrodynamic Simulations of Super-Eddington Accretion Disks around Black Holes", Galaxy and Black Hole Evolution: Towards a Unified View, Arizona, USA, Nov. (2007)

Ohsuga, K.: "Radiation Hydrodynamic Simulations of Super-Eddington Accretion Disks around Black Holes", Radiative Transfer workshop, Durham, UK, Sep. (2007)

Ohsuga, K.: "Radiation hydrodynamic simulations of super-Eddington disc accretion flows around black holes", X-ray Surveys: Evolution of Accretion, Star-Formation and the Large Scale Structure, Rodos island, Greece, Jul. (2007)

(国内学会等)

大須賀健: "輻射輸送・輻射流体計算によるブラックホールの形成・進化論の進展", 日本天文学会、岐阜、9月(2007)

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

ホスト研究室: 牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

宇宙がビッグバンで137億年前に誕生した後、宇宙空間の物質は電離状態にあったが、やがて冷えて中性水素原子を形成し、宇宙を中性化した。その後、宇宙で初めて星や銀河が誕生した時、その光でこれらの中性水素を再び電離した。この「再電離」が起こった時期は近年、様々な独立した観測手法で解明されてきている。米国WMAP衛星の宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測から、再電離時期は赤方偏移 $z = 11 \pm 1.4$ (宇宙年齢3-5億年) 頃だったという結果が出ている一方、クエーサーや線バーストの光が中性水素に吸収される量から、再電離完了は $z = 6$ (宇宙誕生約10億年後) 頃だったとも考えられている。正確な時期は完全には分っていない。そこで本研究では、ライマン輝線銀河(Lyman Alpha Emitter = LAE)という別の天体を観測して再電離の時期を調べている。

LAEは初期宇宙に存在する原始銀河である。そのライマン輝線光子は再電離期に存在したまだ電離されていない中性水素によって吸収・散乱される為、中性水素が残っていれば観測されるLAEの個数密度やライマン光度密度が減少すると考えられる。この性質を利用すれば、再電離が終わった時期やその直前の時代の宇宙の中性度を調べられる。

LAEの個数・ライマン光度密度は、 $3 < z < 5.7$ で殆んど変化しないことが観測で分かっている。我々は、日本がハワイ島に所有する「すばる望遠鏡」で発見された、赤方偏移 $z = 5.7, 6.6, 7$ のLAEサンプルから個数・光度密度を求め、それらが赤方偏移と共に減少するのを確認した。これは、宇宙空間の中性水素の増加とLAE自身が進化した結果のどちらか、或は両方を反映している可能性がある。しかし、中

性水素に影響されないLAE紫外線光で検出個数密度を調べた結果、 $z = 5.7-7$ で殆ど変化が確認されず、LAE自身の進化の可能性は低い。これを中性水素の増加に起因すると仮定し、そのライマン 光度の減少量から宇宙の中性度を求めた結果、 $z = 6.6$ で約 24-36%、 $z = 7$ で約 32-64%となった。クエーサーや 線バーストの観測から求まっている上限値、 1-4% ($z=6.2$)、 17% ($z = 6.3$) と併せると、宇宙の再電離は $z=6$ に完了し、それ以前に遡るにつれまだ電離されていない中性水素が急増するという描像が得られた。この成果は論文に発表し、国際会議でも口頭 + ポスター発表をしてベストポスター賞を頂いた。また、2008年7月に中国で開催される国際会議でこの成果を招待講演することも決定している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ota K., Iye M., Kashikawa N., Shimasaku K., Kobayashi M.A.R., Totani T., Nagashima M., Morokuma T., Furusawa H., Hattori T., Matsuda Y., Hashimoto T., Ouchi M.: "Reionization and galaxy evolution probed by

$z=7$ Ly α emitters", *Astrophysical Journal*, 677, 12-26 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ota K.: "The reionization and galaxy evolution probed by $z=7$ Ly-alpha emitters", *A Century of Cosmology Past, Present and Future*, Venice, Italy, August (2007)

(国内学会等)

太田一陽、家正則、柏川伸成、小林正和、戸谷友則、長嶋雅弘、諸隈智貴、古澤久徳、服部亮、松田有一、橋本哲也、大内正己: "ライマン 輝線銀河の光度関数で探る銀河進化と宇宙再電離", 日本天文学会秋季年会、岐阜、9月 (2007)

太田一陽: "TMTによる銀河進化と宇宙再電離の探査", *Thirty Meter Telescope (TMT)装置検討会*、東京、9月 (2007)

太田一陽: "赤方偏移 $z \sim 6-7$ 超遠方ライマン 銀河の観測で探る銀河の進化と宇宙再電離", *天文・天体物理若手の会夏の学校*、京都、7月 (2007)

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

ホスト研究室: 牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島一夫)

本研究は、その存在が示唆されながら、これまで明確に検出することができなかった銀河団からの非熱的放射を、硬X線帯域で世界最高の感度を誇る「すざく」衛星で捉えることで、銀河団における粒子加速の観測的研究を行うことを目的とする。私は「すざく」に搭載されている硬X線検出器の開発に直接携わってきたので、検出器の性能を最大限に引き出してデータ解析を行った。今年度は、過去の衛星によって非熱的放射の兆候が報告されている2つの銀河団に注目した。1つは私が主研究者として観測を行った、代表的なリラックスした銀河団であるAbell 2199、もう1つは、私が共同研究者として観測を行った代表的な衝突銀河団Abell 3667である。

Abell 2199については、銀河団の中心領域とその周辺、計5ポイントの観測を行った。データ

解析の結果、いずれの観測領域においても10 keV以上のエネルギー帯域で有意な非熱的放射は検出されず、中心領域では過去の衛星の結果よりも2.3倍厳しい上限値が付いた。他方、Abell 3667の解析からは、銀河団の中心付近における10 keV以上のスペクトルから、銀河団の熱的放射を有意に上回る信号が検出された。詳細な解析の結果、この放射は13 keVを越える非常に高温の熱的成分であることが判明した。べき関数型の非熱的成分は検出されなかったが、この銀河団には周辺部に大きく広がった電波放射があり、非熱的な電子成分が存在することはわかっている。硬X線から決まった非熱的放射の上限値と電波強度から、電波放射領域の磁場が2.2 μ G以上と、銀河団の周辺部であるにも拘わらず非常に強いことがわかった。

以上のことから、リラックスした銀河団Abell 2199には、過去に報告されていたような強い非熱的放射はないことが明らかになった。衝突銀河団Abell 3667の中心部付近にある超高温成分は、衝突に伴うプラズマ加熱を見ているのだろう。また、衝突時の粒子加速に伴う非熱的放射は、少なくとも現在は逆コンプトン散乱で硬X線領域で観測されるほど強くはないものの、銀河団周辺部には衝突の過程で磁場が強められた領域があって、そこではシンクロトロン放射で電波が見えていると考えられる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakazawa K., Kawano N., Fukazawa Y., Egawa C., Kitaguchi T., Kawaharada M., Makishima K., Ota N., Tokoi K., Sato K., Ishisaki Y., Ohashi T., and Yamasaki N.: "Suzaku survey for non-thermal hard X-ray emission from clusters of galaxies", Progress of Theoretical Physics Supplement, 169 45-48 (2007)*

Ota N., Fukazawa Y., Fabian A. C., Kanemaru T., Kawaharada M., Kawano N., Kelly R. L., Kitaguchi T., Makishima K., Matsushita K., Murase K., Nakazawa K., Ohashi T., Sanders J. S., Tamura T., and Urata Y.: "Absence of bulk motions of the intracluster medium in the Centaurus cluster", Progress of Theoretical Physics Supplement, 169 25-28 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

川原田円、北口貴雄、牧島一夫、中澤知洋、田村隆幸、川埜直美、深沢泰司、滝沢元和、井上進: "「すざく」XIS検出器による衝突銀河団Abell 3667の観測"、天文学会春季年会、東海大学、3月(2007)
川原田円、北口貴雄、中澤知洋、深沢泰司、牧島一夫: "「すざく」衛星によるAbell 2199銀河団の観測"、天文学会秋季年会、岐阜大学、9月(2007)

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

ホスト研究室: 戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 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、太陽風の3次元磁気流体シミュレーションコードを独自に開発した。TVDスキームMUSCL法2次精度で、高速かつロバストなHLLD法を用い、有限な磁場発散の問題を解消し、MPIで並列化した。また、第23太陽活動周期が終了したことを受け、過去約10年間における大宇宙嵐の発生要因に関するデータ解析研究を行った。その結果、大きな速度差で生じた希薄な太陽風構造が磁気圏を大き

く膨張させたことが要因となって放射線帯の電子フラックスが異常増加する仕組みを発見した。太陽風シミュレーションの基礎実験とともに、この異常増加イベントを対象にした再現実験を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kataoka, R., and Y. Miyoshi: "Magnetosphere inflation during the recovery phase of geomagnetic storms as an excellent magnetic confinement of killer electrons", Geophys. Res. Lett., 35, L06S09, doi:10.1029/2007GL031842 (2008)*

Kataoka, R., and A. Pulkkinen: "Geomagnetically induced currents during intense storms driven by coronal mass ejections and corotating interacting regions", J. Geophys. Res., 113 A03S12, doi:10.1029/2007JA012487 (2008)*

Kataoka, R., N. Nishitani, Y. Ebihara, K. Hosokawa, T. Ogawa, T. Kikuchi, and Y. Miyoshi: "Dynamic varia-

tions of a convection flow reversal in the subauroral post-midnight sector as seen by the SuperDARN Hokkaido HF radar”, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L21105, doi:10.1029/2007GL031552 (2007)*

Miyoshi, Y., and R. Kataoka (2008b): “Probabilistic space weather forecast of the relativistic electron flux enhancement at geosynchronous orbit”, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 70, 475-481.

Miyoshi, Y., and R. Kataoka: “Flux enhancement of the outer radiation belt electrons associated with stream interaction regions”, *J. Geophys. Res.*, 113, A03S09, doi:10.1029/2007JA012506 (2008)*

Fujiwara, H., R. Kataoka, M. Suzuki, S. Maeda, S. Nozawa, K. Hosokawa, H. Fukunishi, N. Sato, and M. Lester: “Electromagnetic energy deposition rate in the polar upper thermosphere derived from the EISCAT Svalbard radar and CUTLASS Finland radar observations”, *Ann. Geophys.*, 25, 2393-2403 (2007)*

Miyoshi, Y., A. Morioka, R. Kataoka, Y. Kasahara, and T. Mukai: “Evolution of the outer radiation belt during the November 1993 storms driven by corotating interaction regions”, *J. Geophys. Res.*, 112, A05210, doi:10.1029/2006JA012148 (2007)*

(総 説)

片岡龍峰、三好由純、戎崎俊一：“宇宙天気予報と太陽風シミュレーション”、地文台によるサイエンス 極限エネルギー宇宙物理から地球科学まで、梶野文義、佐藤文隆、村木綏、戎崎俊一著、155-160、2008.

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kataoka, R., N. Nishitani, Y. Ebihara, K. Hosokawa, T. Ogawa, T. Kikuchi, and Y. Miyoshi: “SuperDARN Hokkaido radar observation of subauroral ionospheric convection during storms”, AGU Fall Meeting 2007,

San Francisco, Dec 10-14 (2007)

Kataoka, R., M. Kojima, M. Tokumaru, and Y. Miyoshi, “MHD simulation of CME propagation for space weather forecast”, IPS Workshop 2007, Toyokawa, Oct. 30, (2007)

Kataoka, R., N. Nishitani, T. Kikuchi, T. Ogawa, K. Hosokawa, and Hokkaido HF radar group: “Initial results from the SuperDARN Hokkaido radar observation: Nightside ionospheric convection in mid-latitudes during magnetic storms”, IUGG 2007, Perugia, Italy, July 2- 13, (2007)

Kataoka, R., and Y. Miyoshi: “Space weather forecast of radiation belt electrons during magnetic storms driven by CMEs and CIRs”, IUGG 2007, Perugia, Italy, July 2- 13, (2007)

Kataoka, R., N. Nishitani, T. Kikuchi, T. Ogawa, K. Hosokawa: “Initial Results from Hokkaido-Rikubetsu Radar: Ionospheric echoes and magnetic storms”, SuperDARN Workshop 2007, Hokkaido, Japan, June 4-8 (2007)

(国内学会等)

片岡龍峰：“太陽風シミュレーションと宇宙天気予報”、第2回「地文台によるサイエンス」シンポジウム、神戸、12月(2007)

片岡龍峰、戎崎俊一、小島正宣、徳丸宗利：“Three dimensional MHD simulation of the solar wind and CME structures”、第122回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会、名古屋、9月(2007)

Kataoka, R., Y. Ebihara, K. Hosokawa, N. Nishitani, T. Ogawa, and T. Kikuchi: “First observation of the temporal/spatial variation of the sub-auroral flow reversal from the SuperDARN Hokkaido HF radar”、第31回極域宙空圏シンポジウム、東京、7月(2007)

片岡龍峰、三好由純：“太陽風構造と磁気嵐・放射線帯高エネルギー粒子の関係性”、日本地球惑星科学連合2007年大会、千葉、5月(2007)

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

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
ホスト研究室： 山崎原子物理研究室
(アドバイザー 山崎 泰規)

近年、 ^6He 、 ^8He 、 ^{11}Li といった中性子ハロー核の荷電半径が精密レーザー分光によって測定された。荷電半径はハロー中性子の存在がコア核にどのような影響を与えているか知る重要なパラメータのひとつであり、これらの相互作用つまり核力の理解を深める礎となる。本研究は中性子ハロー核である ^{11}Be を含めたBe同位体の荷電半径を決定する事を目的としている。

原子準位は、最も単純には、原子核を無限に重い質量を持った点電荷として計算される。しかし実際の原子核は有限の質量と荷電分布を持つためそれが原子準位に影響を与える。Beなどの軽い原子核は荷電分布による原子準位のシフトが小さく、荷電半径を決定するために十分な精度で測定するには非常に高精度な測定が必要である。

Beに対しこれを実現するために次に述べるようなレーザー・レーザー二重共鳴法を用いる。 $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{3/2}$ 遷移間に共鳴する強いレーザー光でBeイオンをレーザー冷却すると、同時にこれらの準位にイオンの分布が偏り、強い誘導放出光が観測される。そのレーザーの照射を止めた直後に $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{1/2}$ に共鳴する弱いプローブ光を照射すると、一部のイオンの分布が $2^2S_{1/2}$ 準位に移動するため、次に冷却レーザー光を照射した時、誘導放出光強度が減る。この交互照射を十分短い時間間隔で繰り返しながらプローブ光の周波数を掃印すると、 $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{1/2}$ 遷移に共鳴する周波数でディップが観測される。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が、上記のような二重共鳴法の場合はプローブ光が弱いため、そういった広がりやシフトがなく自然幅に近いローレンツ型のスペクトルを得ることができ、 $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{1/2}$ 遷移周波数を高精度に測定することができる。荷電半径を1%の精度で決定するために、この 10^9MHz 程度の遷移周波数を 0.4MHz の精度で測定する。更に、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する。

本年は分光用セットアップをほぼ全て揃え、安定核イオンである $^9\text{Be}^+$ に対しオフライン実験を進めている。まずは冷却されたBeイオンに対しレーザー冷却と同じ遷移をプローブ光で観測する事に成功している。今後は $^9\text{Be}^+$ の $2^2S_{1/2}$ - $2^2P_{1/2}$ 遷移周波数を測定し、質量による原子準位シフトの高精度な理論計算と合わせて荷電半径を決定することで、電子散乱やミュオン原子のX線分光による荷電半径の値と比較する。また、不安定同位体 $^7\text{Be}^+$ 、 $^{10}\text{Be}^+$ 、 $^{11}\text{Be}^+$ についてもオンライン実験で同様の測定を行い、荷電半径を決定する。

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会等)

高峰愛子：“Be同位体の荷電半径測定に向けて”、第4回「停止・不安定核ビームを用いた核分光研究」研究会、仙台、12月(2007)

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

Spin Liquids and Topological Order in Two-Dimensional Quantum Antiferromagnets

研究者氏名：古川 俊輔 Furukawa, Shunsuke

ホスト研究室：古崎物性理論研究室

(アドバイザー 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。フラストレーションのあ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、擬一次元マルチフェロイック鎖におけるカイラル秩序の安定性の問題に取り組んだ。具体的な物質としては、 LiCuVO_4 、 LiCu_2O_2 などの銅酸化物を念頭においている。これらの物質においては、磁性と誘電性の結合が見られ、低温において観測されている強誘電性は、スピン鎖内の相互作用間の競合に起因した螺旋磁気秩序ないしカイラル秩序によって生じていると考えられている。しかし、量子揺らぎの強い、スピン $1/2$ の低次元系におけるカイラル秩序の存在は自明ではない。カイラル秩序形成と量子揺らぎの競合を理解するためのミニマルなモデルとして、スピン $1/2$ フラストレート鎖を厳密対角化および有効的場の理論により解析した。ハイゼンベルグ鎖の場合には、古典的な螺旋秩序は量子揺らぎによってかき消され、valence bond solid が現れることが知られている。我々は、上記物質に存在すると考えられる、 $\times \times z$ 型異方性およびフォノン起原のジャロシンスキ・守谷相互作用をモデルに取り入れ、これらの容易面異方性によってカイラル秩序が誘起されることを示した。ただし、現実的なパラメータ領域においては、量子揺らぎによって、カイラル秩序変数は古典値に比べ、小さな値に抑制されている。その結果、螺旋相関がコリニア相関に比べ

抑制された、量子系特有のカイラル秩序相が現れることを示した。これは、 LiCu_2O_2 における偏極中性子散乱実験の結果と定性的に合致している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Furukawa S., Misguich G.: "Topological entanglement entropy in the quantum dimer model on the triangular lattice", *Phys. Rev. B* 75, 214407 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furukawa S., Misguich G.: "Entanglement entropy in quantum dimer models", *Physics and Mathematics of Interacting Quantum Systems in Low Dimensions*, Kashiwa, Japan, May(2007)

Furukawa S., Misguich G.: "Entanglement entropy in quantum dimer models", 23rd International Conference on Statistical Physics, Genova, Italy, Jul.(2007)

Furukawa S.: "Systematic derivation of order parameters through reduced density matrices", *Yukawa International Seminar 2007*, Kyoto, Japan, Nov.(2007)

Furukawa S., Sato M., and Onoda S.: "Multiferroics versus Quantum Fluctuations in Spin-1/2 Frustrated Chains", *American Physical Society*, New Orleans, US, Mar.(2008)

(国内学会等)

古川俊輔、池田大、堺和光：“スピン $1/2$ ハイゼンベルグ鎖における磁気ゼーベック効果”、日本物理学会第62回年次大会、札幌、9月(2007)

古川俊輔、佐藤正寛、小野田繁樹：“スピン $1/2$ マルチフェロイクス鎖におけるカイラル秩序の安定性の数値解析”、日本物理学会第63回年次大会、東大阪、3月(2008)

研究者氏名：大串 研也 Ohgushi, Kenya

ホスト研究室：高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

副格子の自由度を含む結晶構造上で発現する新奇な電子物性を解明することを目的とした。こうした内部自由度を持つ系では特異なバンド構造が存在し、一体の段階である種の量子臨界点に達していると見做せる。この状態を出発点として多体効果(電子相関効果)を加えた場合、電荷・スピン・格子の非自明な量子秩序化が起こる。トポロジカル超伝導、自発的に反転対称性の破れた金属が、例として挙げられる。こうした具体的な量子相に対する精密な物性研究から、副格子の自由度を持つ量子多体系に対する一般的な基礎学理が得られることが期待される。

本年度は、副格子の自由度を持つ強相関電子系酸化物の単結晶試料を育成し、その基礎物性を評価した。

- (1) パイロクロア構造をとる $\text{Pb}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ 単結晶を育成し、室温で反転対称性が破れていることを明らかにした。
- (2) ポストペロブスカイト構造をとる CaIrO_3 単結晶を育成した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohgushi K., Gotou H., Yagi T., Kiuchi Y., Sakai F., and Ueda Y.: "Ca_{1-x}Na_xIrO₃ as a novel quasi-two-dimensional Mott transition system", *Physica C*, 460 534-535 (2007)*

Ohgushi K., Matsushita Y., Miyajima N., Katsuya Y., Tanaka M., Izumi F., Gotou H., Ueda Y., and Yagi T.: "CaPtO₃ as a Novel Post-Perovskite Oxide", *Phys. Chem. Minerals* 35, 189 (2008)

Ohgushi K., Okimoto Y., Ogasawara T., Miyasaka S., and Tokura Y.: "Magnetic, Optical, and Magneto-optical Properties of Spinel-type ACr_2X_4 (A = Mn, Fe, Co, Cu,

Zn, Cd; X = O, S, Se)", *J. Phys. Soc. Jpn.* 77, 034713 (2008)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohgushi K., Gotou H., Yagi T., Tayama T., Sakakibara T., Ichihara M., Yamaura J., Hiroi Z., Kiuchi Y., and Ueda Y.: "High-Pressure Synthesis of Strongly Correlated Electron Materials: Post-perovskite Iridate $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{IrO}_3$ and Pyrochlore Rhenate $\text{A}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ ", The 8th Korea-Japan-Taiwan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems, Incheon, Korea, Nov. (2007)

(国内学会等)

大串研也、田山孝、山浦淳一、後藤弘匡、市原正樹、木内陽子、榊原俊郎、廣井善二、八木健彦、上田寛：“パイロクロア型酸化物 $\text{A}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ (A = Ca, Cd, Pb)における極性金属状態”、日本物理学会第62回年次大会、札幌、9月(2007)

大串研也、松下能孝、田中雅彦、泉富士夫、宮島延吉、勝矢良雄、後藤弘匡、上田寛、八木健彦：“ポストペロブスカイト型 CaPtO_3 の合成と物性”、第48回高圧討論会、倉吉、11月(2007)

大串研也、後藤弘匡、八木健彦、木内陽子、上田寛：“ポストペロブスカイト型 $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{IrO}_3$ における金属絶縁体転移”、第48回高圧討論会、倉吉、11月(2007)

大串研也：“ポストペロブスカイト酸化物 ABO_3 (B = Ir, Pt)の電子物性”、第27回化合物新磁性材料研究会、和光、12月(2007)

大串研也：“強相関5d遷移金属酸化物の高圧合成：Pyrochlore型 $\text{A}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ と Post-perovskite型 $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{IrO}_3$ ”、特定領域「異常量子物質の創生」2007年度成果報告会、名古屋、1月(2008)

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

Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy (STM/STS) Study of Strongly Correlated Impurity

研究者氏名： 小野 雅紀 Ono, Masanori

ホスト研究室： 高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

半導体は極微量の不純物によって n 型、p 型のよう
に物性が変化することが広く知られている。強相
関物質の場合には電気的特性の変化(超伝導や絶縁)
や磁性の変化(常磁性や反強磁性)など、不純物を起
源とするフェルミ準位近傍での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) およびそれに付
随する技術を駆使して固体表面上での不純物効果を
研究対象とし、表面上の原子および単一分子の電子
スピンを検出・観察することで、その不純物効果を
局所的な視点から理解することを目的とする。

本年度は外部磁場による電子の歳差運動をサブナ
ノメートルの空間分解能で観察することができる STM
の開発を行った。開発内容は下記の通りである。

- (1) STM は安定性を考慮し低温(液体ヘリウム温度)
観察に対応し、再現性を確保するために超伝導磁
石をデジタル制御安定した外部磁場を印可でき
るようにした。STM 観察時に外部からの音響雑音お
よび床の機械振動の影響が無視できなかつたた
め、外部からの音の流入が少なく、且つ共振周波
数のより低い土台がある環境へ装置を移設した。

(2) 原子および単一分子の観察には、清浄な表面と
それを保つ環境が必要であるが、さらに超高真空
下での原子や分子を蒸着する装置も必要不可欠で
あるので作成した。通電加熱により蒸着する装置
は、様々な蒸着物に対応できる構成になっている。
また、STM 観察に必要な探針・試料は超高真
空を破ることなく大気中から搬送できるように導
入室を取り付けた。

(3) 本研究の局所スピン観察手法すなわち電子スピ
ン回転(ESR)STM は外部磁場を印可すること
によって引き起こされる原子・分子の持つ電子スピ
ンの歳差運動をトンネル電流中の変調信号として
見出すものであるが、その信号は 100MHz ~ 1GHz
の帯域で -100dB 以下の微弱な高周波であるため、
インピーダンス接合を考慮した高効率の増幅器を
新たに付加し開発を進めている。

現状は NbSe₂ 表面に於いて電荷密度波や原子分
解能を持つ STM 観察に成功しており、現在水素終
端シリコン表面を作成しその表面上の鉄原子のス
ピンを検出すべく研究を行っている。また、単一
分子のスピン観察を考慮し磁性原子を持つフタロ
シアニンなどの分子も検討中である。

超伝導電子対のナノスケール分光解像

Nano-Scale Spectroscopic Imaging of Superconducting Electron Pairs

研究者氏名： 幸坂 祐生 Kohsaka, Yuhki

ホスト研究室： 高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

超伝導状態の大きな特徴の一つはコヒーレントな
電子対の存在である。しかし、その発現機構がいま
だに明らかになっていない銅酸化物での高温超伝導
においては、有限の振幅を持ち、時間的・空間的に
ゆらいだ位相を持つ電子対状態の可能性が理論的・
実験的に示唆されている。これは、従来型超伝導と
は異なる特異な性質として極めて重要である。本研

究では、走査トンネル顕微鏡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、こうした電子対の振幅・位相に関する局所的な
性質を明らかにすることを試みている。このような測
定では、非常に微小な信号を高精度に検出するこ
とを求められるため、装置を含めたシステム全体の安
定化及び最適化を図る必要がある。

本年度は精密測定に必要不可欠である要素技術の確立及び測定環境の準備を重点的に行った。具体的には、(1) 清浄試料表面を作製・保持するための超高真空装置の設計・作製、及び、(2) 極めて高い安定度を得るための試料表面及び探針先端形状の準備方法の探究、である。

(1)については、必要機能及び使用形態を吟味した設計をすることで、大型化する傾向にある装置をできるだけ小さく保つことを実現した。これは装置全体の安定度を高める上で重要である。(2)については、高温超伝導体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ の単結晶試料を超高真空低温環境下でへき開して得た試料表面と、電界イオン顕微鏡を用いて先端形状を原子レベルで制御した探針を用いて、実際に測定を行うことで評価した。これにより高い再現性を得ることができるような技術及び条件が得られつつある。しかしながら、本研究が意図するような超精密測定を安定して可能にするためにはまだ改善の余地が残されているため、技術向上の努力及び条件探索を行っている。

一方、この測定を通して、これまでに報告があるチェッカーボード状あるいはドミノ状に配列した特徴的な空間配置をとる電子状態が超伝導性の低下と共にどのように変化するかということが明らかになりつつある。今後はこの測定も合わせて行くことで、超伝導電子対についての多面的な理解が可能になるものと期待している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

幸坂祐生、Wahl P.、Taylor C.、Schmidt A.、藤田和博、永崎洋、内田慎一、Davis J. C.: “超アンダードープ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2(\text{Ca},\text{Dy})\text{Cu}_2\text{O}_y$ の低温STM/STS測定”、日本物理学会第62回年次大会、北海道大学、9月(2007)

幸坂祐生: “高温超伝導体における短距離秩序の可視化”、物性研短期研究会、東京大学物性研究所、10月(2007)

XIX - 014 放電場によるマイクロドロップ・インジェクション現象を利用した超微細三次元造形技術の確立とそれによるマイクロマシン、バイオ・メカニカルファブ리케이션への応用展開

Development of Micro 3D-Fabrication Methods Utilizing Micro Drop Injection Phenomena in Corona Discharge Field and these Applications for Micro-Machine and Bio-Mechanical Fabrication

研究者氏名: 梅津 信二郎 Umezū, Shinjiro

ホスト研究室: 大森素形材工学研究室

(アドバイザー 大森 整)

生化学分析用の微小液滴ハンドリング機構や細胞のマニピュレータなどの超微細化・高機能化に対する要求が高まるにつれて、これらの加工法に対するニーズは増大の一途を辿っている。これまではリソグラフィーによって作製されてきたが、マスクや薬品が不要で多品種少量生産に向くことからインクジェットを利用した加工法が近年熱心に研究されており、ピエゾ方式のインクジェットにより、多層の電子回路や人工骨などの三次元構造物が作製されている。本研究の目的は、ピエゾ方式よりも微小な液滴を吐出可能な放電場のマイクロドロップ・インジェクション現象を利用し、超微細三次元造形技術を確立し、さらに放電の特性を生かしたマイクロマシンを開発することである。本年度は、超微細三次元造形技術の確立を目指した。なお、放電場のマイクロ

ドロップ・インジェクションとは、液体針電極と平板電極間に高電圧を印加すると、液体針電極の先端から液滴が周期的に吐出される現象のことである。

以下に本年度行った研究の概要を示す。多層の電子回路描画・三次元造形物の直接描画に関する研究を行った。高粘度な銀ナノペーストインクとガラスペーストインクを溶液として用いた。マイクロドロップ・インジェクション現象によって液滴を吐出させ、基板の狙った位置に着弾させる。さらに、着弾箇所にも局所的に熱を加えて焼結させる。これらのプロセスを繰り返すことで、三次元造形物を描画した。ライン幅数10 μm 程度で多層の電子回路やアスペクト比が10以上のライン・ボックス・ピラミッドなどの三次元造形物を直接描画した。

吐出液体として酸やアルカリを用いて狙った箇所

にマイクロドロップ・インジェクション現象を利用してスポットニングすることで機械的な力を加えることなく、化学反応を利用した除去加工が可能であると考えた。そこで、液体としてエッチング液を用いて、直径数100 μm 以下の金属細線の局所部位の加工・金属薄膜に直径数十マイクロメートル程度の大きさの穴あけ加工を行った。レーザ加工によっても、同様な加工が可能であるが、単純な装置で、印加電圧の制御のみで形状をコントロールできるという利点を本加工手法は有している。ただ、反応物が加工物の表面に残ってしまうので、来年度この点の改善を行いたいと考えている。

誌上発表 Publications
(原著論文)

梅津信二郎、鳥飼建宏、川本広行：“針対平板電極系放電場におけるイオン風を利用したマイクロ送風機構”、機論 C, 73, 727 789-795 (2007)*

Kawamoto, H. and Umezumi, S.: “Development of electrostatic paper separation and feed mechanism”, J. Electrostatics, 65 438-444 (2007).*

川本広行、増成幸数、梅津信二郎：“針対平板電極系コロナ放電場を利用したオゾン送風機構”、機論

B, 73, 734 2116-2121 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会)

梅津信二郎、堀川孝史、田邊健太郎、川本広行：“静電インクジェット現象を用いたマスクレス回路描画技術の開発”、第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム、153-156 (2007)

井ノ上博貴、小林利充、梅津信二郎、川本広行：“低電圧で駆動するマイクロ駆動機構”、第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム、157-159 (2007)

矢代健二、平本麻衣子、梅津信二郎、川本広行：“静電力を利用した粒子のマニピュレータ”、第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム、159-162 (2007)

杉山友彦、川本広行、梅津信二郎、榎本高志、手島雅智：“摩擦帯電型電子ペーパー製造工程における粒子注入技術の開発”、第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム、162-167 (2007)

内山雅貴、大河原重元、梅津信二郎、川本広行：“進行波電界を利用した粒子の粒度分別”、第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム、167-170 (2007)

XIX - 015 A United Design of Carbon-Nanotubes and Silicon Nanotechnology for Quantum-Dot Based Nanodevices

To extend scaling-down roadmap beyond Si, carbon-nanotubes (CNT), used in quantum computing and single electron devices as quantum-dots (QD), have triggered tremendous investigations all over the world in the recent decade. However, instead of extensive research on inputs and manipulations of the device, how to read quantum states out of the CNT-QDs is still an open question and does not receive enough attention yet. Moreover, the related device processes are still not yet established well. The objective of this work is therefore to develop and optimize processes for the realization of the read-out from CNT-QD based nanodevices.

As an experimental validation, a united design of CNT

研究者氏名：黄 少云 Huang, Shaoyun
ホスト研究室：石橋極微デバイス工学研究室
(アドバイザー 石橋 幸治)

and well established Si QD nanotransistor technology is employed in this work because of their technological potential and good quantum coherence properties. The used Si QD below 10 nm is capable of room temperature Coulomb blockade, hence allows us to make the read-out from CNT-QD at a higher temperature (>liquid nitrogen). The being established read-out interface is also an indispensable step toward the quantum information processing technology, which manipulates quantum states by coherent time evolution for powerful computations.

The key precondition to this project is to realize physical implementations of Si QD based single-electron-tunneling devices which are essential to probe single-elec-

tron quantum-dynamics out from CNT-QDs. A single-crystal silicon nanowires (SiNW) is concentrated because they are sufficiently long (1~100 μm) to allow electrical connections to lithographically defined metallic electrodes, hence can be bottom-up economically to large numbers of devices and potentially integrated in current well-established semiconductor technologies. The development and optimization of process conditions for the realization of SiNW-based quantum dot at finite temperatures have been completed in this stage. An n-type single-crystal SiNW based dot was fabricated and characterized in a field-effect-transistor. With a diameter of 70 nm, the SiNW dot was defined by source and drain contacts at 450 nm separation, exhibiting well pronounced Coulomb blockade oscillations by acting as a charge island at low temperature.

The Coulomb oscillations allow more than 1000 electrons to be successively counted in the experiments. The charging energy, estimated from charge stability diagrams, turns out to be 64 μeV . Temperature dependences of Coulomb oscillation revealed that the dot worked in the classical coulomb blockade region.

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

S-Y Huang, M. Shimizu, N. Fukata, T. Sekiguchi, T. Yamaguchi, and K. Ishibashi :“ Single-electron transport through an n-type silicon nanowire ”、2008年春季第55回応用物理学関係連合講演会、千葉県船橋市、3月(2008)

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
ホスト研究室： 石橋極微デバイス工学研究室
(アドバイザー 石橋 幸治)

カーボンナノチューブ(CNT)は次世代の電子ナノデバイスを実現するキーマテリアルとして注目されている物質であり、このCNTを用いた field effect transistor(FET)や single electron transistor(SET)などの基本素子の研究が盛んにおこなわれている。

一般にCNT-FETやCNT-SETは基板上にランダムにばらまかれた、あるいは位置制御した触媒からランダムな方向に成長したCNTの一本に金属電極をとり付けるという極めてシンプルな構造で実現されている。しかし、このようなランダムな状態にあるCNTを用いる方法では複数のナノチューブ素子を組み合わせるとより高度な機能をもつデバイスを作るとは困難である。CNTを用いたデバイスの集積化や高機能なデバイスを実現するためには、CNTの制御された構造を作製するプロセス技術が必要である。

一方、CNTの成長技術も日々進歩してきており、CVD成長法ではガスフローや基板との相互作用を用いて基板上に水平に方向をそろえてCNT成長させ、

CNTのアレイ構造が作製されている。さらにこの水平配向したナノチューブアレイは別の基板上へ転写したり、別のアレイ上に重ねてクロスパー構造を作ったりすることも可能になっている。このような技術をCNTのデバイスプロセスに取り入れれば、より機能的なデバイスが実現できると期待される。本研究はそれを目指したものである。

本年度は研究の遂行に必要な基礎技術、すなわち、水平配向CNTのCVD成長プロセスとそれをデバイス化するためのリソグラフィ技術の開発に取り組んだ。水晶基板上にフェリチンを分散させた系においてCNTを配向成長させることに成功した。さらにフォトリソグラフィ技術で触媒をパターンニングし、特定の場所への配向成長にも成功した。現在、ナノチューブアレイのチューブ長さやチューブ密度をデバイスプロセスに適合するように触媒密度や成長条件の最適化に取り組んでいる。

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

ホスト研究室： 石橋極微デバイス工学研究室
(アドバイザー 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ー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。

今年度は、照射する電子線のエネルギーや基板温

度がカーボンナノチューブの成長にどう影響するかを系統的に調べ、その依存性から、成長の第一段階にあたる炭素原子の凝集過程の概略が明らかになった。また、成長したカーボンナノチューブの構造および電子状態を同定するための実験手法として、新たにラマンスペクトルの励起プロファイル測定が可能な波長可変顕微ラマン分光装置を設計・製作し、期待通りのパフォーマンスが得られることを確認した。さらに、分子を修飾できるというカーボンナノチューブの特徴を活かし、様々な分子とのハイブリッド化を通してカーボンナノチューブ単体では得ることが難しい素子特性をデザインする試みもスタートさせ、市販のカーボンナノチューブを用いて行った予備実験で、複数のカーボンナノチューブを分子で直線状に繋いだ構造や、一本のカーボンナノチューブの両端を繋いだリング状の構造の作製に成功した。

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

ホスト研究室： 前田バイオ工学研究室
(アドバイザー 前田 瑞夫)

Micro Total Analysis System(μTAS)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。そのなかでも、無動力マイクロデバイスとはポリジメチルシロキサン(PDMS)が多量の空気を溶解する性質を利用して、材質自身に送液のエネルギーを蓄えるため、外部のポンプなどを必要とせず、試料を滴下するだけで分析を行うことができるこれまでにない斬新な手法である。本研究では、マイクロチップを利用してリン

酸化されたブチドを簡便に検出する方法を開発し、新規癌検診法を提供する。本年度は、まず比較的測定しやすいDNAをサンプルとして、遺伝子診断マイクロチップデバイスの構築を行った。マイクロチップデバイスはソフトリソグラフィーにより製作した。マイクロチャンネルはサンプル量のコントロールが容易であるT字型に設計し、各溶液はチップの素材であるPDMSの空気溶解性を利用して自動的に充填した。今後は、これらの成果をたんぱく質へ応用し、リン酸化たんぱく質の検出を試みる。

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

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 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。我々は2006年に核酸塩基を化学修飾した分子探針を開発し、混合核酸塩基分子の自己集合膜およびDNAと類似骨格を持つペプチド核酸塩基鎖を試料として、測定を行った。その結果、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た(*Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **103**, 10-13 (2006))。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。

しかし、これまでのところ、一本鎖DNAを安定で再現性良くSTM測定を行う系は、確立されていない。試料となる一本鎖DNAは、水溶液からSTM基板に展開しても、疎水性の高いSTM基板とは相互作用が弱く、測定中に探針によって基板から引き剥がされる。また、DNA鎖の分子内相互作用により基板上

で凝集してしまう。STM基板上にDNA鎖を伸張して、強い相互作用によって固定し、DNAの安定で再現性の良いSTM測定系の確立が必要である。

本年度、DNA鎖のSTM測定溶媒として、イミダゾリウム系のイオン液体を用いることで、大気中、室温下で安定・再現性の良い分子像を得ることに初めて成功した。このイオン液体は、STM溶媒として用いられてきた有機溶媒(トリクロロベンゼン等)と異なり、不揮発性であるため、試料濃度が測定中に変化せず安定な測定が可能となった。さらにイミダゾリウム系イオン液体中の陽イオンが、DNA鎖に対して選択的に錯形成をすることにより、十分量の試料DNAを溶解し、生成したイオン錯体は疎水的なSTM測定基板に対して強く吸着、その結果安定なSTM測定可能となった。

今後、このイオン液体を用いたDNA測定系を用いて、DNA鎖の配列決定、さらにはDNA/RNA鎖のナノ構造体のその場測定、タンパク質やカーボンナノチューブ等のナノ材料のDNA複合体の物性評価を行っていく予定である。

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

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 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方法が報告されている。光制御の最大の利点は時空間制御が可能であり、細胞内での局所的な活性制御が可能になる。現在のところ活性/不活性の差が明瞭なケージド核酸が多量さ

れ、mRNA, siRNA, リボザイム、アプタマーなど種々の核酸機能が光により制御されているが、一方通行の制御、解離後の細胞毒性といった問題点も残る。これに対し、アゾベンゼンによる制御は可逆的であり、解離基の放出もない。しかし、アゾベンゼンの嵩高さによって活性状態の構造をも歪めてしまいケージド核酸のような明瞭なスイッチングには至っていない。

本研究では、可逆的かつ明瞭なスイッチングを可能にするための新規光制御法の開発を行う。アゾベンゼンの嵩高さという問題点を解決するため、最小限のモディフィケーションで核酸塩基に光異性化能を付加することを考えた。今年度は8-styryl-2'-deoxyguanosine(⁸STG)を合成し、その光異性化特性を調べた。グアノシンはG-quadruplex、Z-DNAなどユニークな核酸構造に関与しており、活性制御において鍵となるヌクレオシドである。さらにG-カルテット、リボン構造の形成といった超分子化学の観点からも興味深い。光異性化反応の結果、⁸STG は370 nmでEからZ、254 nmでZからEへ異性化し、効率的な可逆性を示した。また、繰り返し異性化反応において

副反応は観られず、耐久性にも優れていることが示された。さらに、光学的特性としてE-isomerは強い蛍光を発するのに対し、Z-isomerは微弱な蛍光しか発しないため、分子標識、反応過程の追跡も兼ねて行える多機能なヌクレオシドである。⁸STGは核酸の活性制御のみならず、超分子形成の光制御といった光応答性材料などへの応用も期待できる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ogasawara S., Saito I., Maeda M.: "Synthesis and Reversible Photoisomerization of Photoswitchable Nucleoside, 8-styryl-2'-deoxyguanosine", Tetrahedron Lett., accepted*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小笠原慎治、齋藤烈、前田瑞夫：“光異性化ヌクレオシド、8-styryl-2'-deoxyguanosineの合成と可逆的異性化反応”、日本化学会第88春季年会、東京、3月(2008)

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

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 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。しかし生体分子は一般に拡散係数が小さく、マイクロ空間においても長い混合・反応時間を必要とする。また流路壁面に生体分子を固定化し反応・検出場とする手法がよく用いられるが、固定化に伴う反応効率の低下がしばしば問題となる。

本研究では、マイクロ電極と機能性高分子を用い、マイクロ流路を利用するバイオ分析の高機能化を目指す。マイクロ電極を流路内に集積化し用いることで、電気化学検出のみならず溶液駆動が可能で

あり、混合・反応時間の大幅な短縮が期待できる。また、酵素や抗体などを結合させた機能性高分子を反応場として用いることで、反応活性を損なうことなく高効率な反応が可能となり、応答感度の大幅な向上が期待できる。さらに検出のみならず、バイオ分析に必要な種々の操作をマイクロ電極を用いて全て流路内で実現することで、微量の試料から目的物質を高感度で全自動分析可能な高機能マイクロバイオ分析デバイスが可能となり、生体物質の機能解析や疾病診断システムなど、基礎科学から医療応用まで幅広く貢献するものと期待できる。

本年度は交流電場下、マイクロ電極上で誘起される交流動電流を利用した混合・反応時間の短縮を試

みたが、誘起される流れが小さく期待したような効果は得られなかった。この結果は理論予測と大きく異なることから、理論・実験の両面からさらなる検討が必要と思われる。一方、溶液中に非イオン性界面活性剤が存在する場合には、交流電場下で溶液が二相分離し、新たに生成した相が電極近傍に捕捉される様子が観察された。さらに蛍光ラベル化した脂質及びタンパク質を用い、電極近傍の相には疎水性

分子が選択的に取り込まれることを見出した。本現象には電圧印加に伴う温度変化、および交流電場が流体に及ぼす泳動力などが影響していると考えられ、詳細な検討を今後進める。また本現象は分離分析における濃縮操作としての利用が期待できることから、これを電気泳動分離と統合し、微量生体物質の高速・高感度分析へと応用する予定である。

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
ホスト研究室： 伊藤ナノ医工学研究室
(アドバイザー 伊藤 嘉浩)

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極めて困難である。「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、同じ方法論で、理論上任意のゲスト分子に対して動的な光制御可能なホスト分子(核酸アプタマー)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(光応答性核酸アプタマー)の開発を目指した。まず、重要な生理活性分子であるヘミンをターゲットにし、光に反応してヘミンの捕捉・放出が可能な核酸アプタマーの開発を目指した。

本年度はまず、試験管内分子進化法によるヘミンに対する天然の核酸からなるRNAアプタマーの選択実験を行った。ヘミン担持アガロースを充填したアフィニティーカラムを用い、ヘミンに結合するRNAアプタマーを選択した。4ラウンドから結合の上昇が確認された。4ラウンド目のDNAライブラリーをサブクローニングし、配列を解析した結果、16種類の配列が得られた。この中からヘミン結合性を有するRNAアプタマーを得ることができた。次に、同様な方法でヘミンに対する光応答性RNAアプタマーの選択実験を行った。まず、アゾベンゼン

で化学修飾したATPをATPの代わりに転写反応の基質として用いることで、アゾベンゼンがランダムに導入されたRNAライブラリーを構築した。試験管内分子進化法により、可視光照射条件下(アゾベンゼンがトランス体)で、ヘミンに結合するRNAアプタマーを選択した。7ラウンド目と9ラウンド目のDNAライブラリーから上記と同様な方法で、可視光照射条件下でヘミン結合性を有する複数のRNAアプタマーを得た。これらのRNAアプタマーとヘミンの複合体にUV光を照射し、ヘミン由来のUVスペクトルの変化からRNAアプタマーの光応答性を評価した。その結果、8-6 RNAアプタマーが光応答性を有することが示唆された。現在、得られた光応答性8-6 RNAアプタマーとヘミンの相互作用を詳しく調べている。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Liu M., Jinmei H., Fukuzono K., Abe H., and Ito Y.: "Intermolecular transfer of aminoacylated adenosine towards chemical aminoacylation of tRNA", *Nucleic Acids Symp. Ser.*, 51 365-366 (2007)*

Liu M., Jinmei H., Abe H., and Ito Y.: "Chemical aminoacylation of RNA by an intermolecular adenosine transfer reaction", *Chem. Lett.*, 37 102-103 (2008)*

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議・ポスター)

Liu M., Jinmei, H., Fukuzono, K., Abe H., and Ito Y.:
“Intermolecular transfer of aminoacylated adenosine
towards chemical aminoacylation of tRNA”, 5th Inter-
national Symposium on Nucleic Acids Chemistry, To-
kyo, Japan, Nov. (2007)

(国内会議)

劉明哲、加賀原拓真、阿部洋、伊藤嘉浩：“試験管内
分子進化法によるヘミン結合性RNA アプタマー
の獲得”、日本化学会第88春季年会、東京、3月
(2008)

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
ホスト研究室：田原分子分光研究室
(アドバイザー 田原 太平)

電極表面の水の構造は電気化学のみならず、コロ
イド界面化学、生物物理等の広い分野で基礎、応用
の両面から重要である。しかしながら、実験手法が
未開拓であるため詳細はほとんどわかっていない。
特に、最も詳細な議論が可能となる単結晶電極に適
用し得て、かつ界面の水が選択的に観測できる振
動分光法は現在のところ報告例が無い。本研究で
は、先端的かつ極限的な新しい分光計測法を開発
し、それを駆使して最も重要な課題である電極表面
の水の構造を決定することを目的とした。本年度は
主に電子共鳴和周波発生(ESFG)分光を用いてこれを
電気化学系の測定に適用することを目標として研究
を進めた。この方法は広い波長領域で界面に特異的
な電子共鳴スペクトルを得ることができ、電極界面
における溶質分子の配向のみならず溶媒和に関する
情報等が得られる。

まず、金、白金、銀基盤に種々の色素をスピン

コーティングして空気中でESFG測定を行った。この
結果、金および白金表面においてはほとんどの色素
について明瞭な電子共鳴スペクトルが得られなかつ
たのに対して、銀表面においては多くの色素分子に
ついて明瞭な電子共鳴スペクトルが得られた。ま
た、これらの貴金属について干渉ヘテロダイナミクス
による位相の決定方法についても検討した。

次に銀電極を用いて電気化学条件でESFGを測定す
ることを試みた。まず、0.1M 過塩素酸ナトリウム水溶
液中で銀電極の電位依存のESFG スペクトルを測定し
た。続いて、クマリン110あるいはクマリン314を飽
和量含む0.1M 過塩素酸ナトリウム水溶液を注入すると
電位依存のESFGスペクトルは明瞭な変化を示し、ク
マリン分子の電子共鳴スペクトルが得られたものと
考えられる。現在、この実験について詳細を検討し
ている。

XIX - 024 V字型三核錯体の合成および不活性化化合物の新規分子変換反応の開発

Synthesis and Reactivity of a V-shaped Trinuclear Complex; Exploration
for a New Synthetic Reaction System

研究者氏名：中島 裕美子 Nakajima, Yumiko
ホスト研究室：侯有機金属化学研究室
(アドバイザー 侯 召民)

近年、多核錯体はその高い反応性から、これまで
の単核錯体には不可能とされてきた新規触媒反応達
成の鍵として注目を集めている。本研究では、所属
研究室でこれまで重点的に取り組んできた希土類金

属錯体の化学をさらに多核錯体の化学へと発展させ
るべく、希土類金属-後周期金属混合多核錯体の合
成、およびその反応性の解明に取り組んだ。後周期
金属は希土類金属と性質の全く異なる金属であり、

これら二つの金属を組み合わせることにより、従来の希土類金属錯体に、新たな機能を発現させることが可能となると期待した。

希土類金属と後周期金属、両金属の特徴を多核反応場で最大限に発揮させるには、支持配位子を用いた多核反応場の精密設計が有効と考えられる。そこで本研究では、アルキルホスフィノ置換基を有するシクロペンタジエニル配位子を用いて希土類金属-後周期金属混合錯体の合成に取り組んだ。その結果、目論見どおりシクロペンタジエニル部位が希土類金属を、リン部位が後周期金属である白金を捕らえることにより、希土類金属-白金混合多核錯体を効率よく合成することに成功した。本年度は錯体合成に加え、合成した錯体のNMRスペクトルによる同定と単結晶X線構造解析のほか、以下のことに取り組んだ。

- (1) 溶液状態での錯体内部における配位子の動的挙動など、錯体の基本性質を明らかにした。
- (2) これらの錯体は加熱条件下で分子内に存在するアルキル配位子のC-H結合を切断することを見出した。
- (3) 錯体は、助触媒共存下で天然ゴムの原料であるイソプレンを容易に重合させ、ポリイソプレンを触媒的に生成することを見出した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

中島裕美子、侯召民：“希土類金属および後周期遷移金属を含む混合型二核錯体の合成および反応性に関する研究”、日本化学会 第88回春季年会、東京 3月(2008)

XIX - 025 導電性カンチレバーを用いた分子レベルの水、イオン、ソフトマテリアル研究

Molecular Level Studies of Water, Ion, and Soft Materials
under Electrochemical and Physiologically Relevant Environments

研究者氏名：横田 泰之 Yokota, Yasuyuki

ホスト研究室：川合表面化学研究室

(アドバイザー 川合 眞紀)

これまで、水溶液中で原子・分子分解能を有する電気化学走査トンネル顕微鏡 (EC-STM) や電気化学原子間力顕微鏡 (EC-AFM) を用いたソフトマテリアルに関する研究が多数行われてきた。近年、これらを利用した細胞膜の吸着タンパク質の構造、反応、拡散過程等の解明が、生物・医科学分野から求められている。しかしながら超高真空中とは異なり、観察中に複雑な電気二重層が形成されているため、得られたデータの正確な解釈はほぼ不可能に近いのが現状である。これらのことを念頭に、本研究ではプローブが測定対象に及ぼす影響の理解とそれを積極的に利用した測定手法の開発を目指している。

複雑な電気二重層の様子を調べるため、本年度はまず、プローブとサンプル間に働く力をAFMによって測定することにした。通常は力のセンサーとしてのみ機能するカンチレバーに第二の電極としての役割を持たせるため、正確に電位制御可能なAFM測定装置を構築した。これにより、様々な電位プロファイルの界面を自由に形成することが可能となった。

AFMを使用する利点は、フィードバック制御にカンチレバーが感じる力を使用するため、STMと比較して電位を自由に設定可能なこととなる。様々な表面官能基を持つ界面で系統的な実験を行うため、プローブとサンプルには、金表面上の自己組織化単分子膜 (SAM) を使用した。電気二重層が形成されない不活性溶媒中で力の測定を行い、これを電解質溶液中での結果と比較したところ、前者と異なり後者では長距離で働く静電容量性の力がほぼ完全に抑制されていることが分かった。また、電気化学活性種を有するSAMを用いて電解質溶液中で測定を行ったところ、酸化還元反応に伴うわずかな界面エネルギーの変化も検出可能なことが分かった。

本年度の研究から、プローブが測定対象に及ぼす影響が徐々に明らかになり、また、本手法が水、イオン、ソフトマテリアルからなる様々な系で定量的な相互作用評価ツールとして有用であることが分かってきた。今後は、無数の組み合わせが考えられるイオンとソフトマテリアルの中からモデルとなる

適切な系をピックアップして基礎データを増やすと共に、力の評価だけでなく物理化学的に意味のあるイメージング技術へと発展させていきたい。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

横田泰之, 山田太郎, 川合真紀: “電解質溶液中電位制御下のフォースカーブ測定による吸着種荷電状態変化の検出”, 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 3月(2008)

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

Mechanism of Substrate Recognition in NRPS A domain

研究者氏名: 奥村 英夫 Okumura, Hideo

ホスト研究室: 長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田 裕之)

抗生物質を含む生理活性物質(バイオプローブ)はこれまでに自然界、主に微生物の代謝産物から見だされてきた。しかし多くのバイオプローブは天然有機化合物であり、その複雑な構造のために全合成・誘導体化が容易でなく、創薬にまで至らない例も多い。したがってバイオプローブが多数見だされている放線菌の生合成機構の詳細を明らかにすることは、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の開発・創薬につながると考えられる。本研究では、放線菌 *Streptomyces* sp. RK95-74が Cytotrienin類を生合成する時に使われる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。

本年度はX線結晶構造解析によりCytC1の結晶構造を決定した。CytC1の結晶を作製し、SPring-8 BL44B2 RIKEN BeamlineにてX線回折実験を行ったところ、結晶は空間群I23に属し、1.8Å解能での回折斑を与えた。構造解析の結果、CytC1/ATP複合体構造においてATPの三リン酸がCytC1のフレキシブルなループ領域にトラップされていることが明らかになった。これまでのホスト研究室の研究により、

CytC1が本来のアミノ酸基質と考えられているアミノ酪酸のみならず、幅広くアミノ酸基質を認識し、アデニレーションすることが明らかにされている。そこでアミノ酪酸を含め種々のアミノ基質との複合体結晶構造解析を試みた。CytC1/AMP/アミノ酪酸および他のアミノ酸基質の複合体構造においては、基質結合ポケットにおいて結晶中でATPがAMPに変化し、その位置もATPのものから移動し、トラップされた基質アミノ酸に接近していた。またこれらの構造から、各アミノ酸基質の基質認識においては3つのフェニルアラニン残基が重要な役割を果たしていることが示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

奥村英夫, 植木雅志, 城宜嗣, 長田裕之: “放線菌由来NRPS アデニレーションドメインのX線結晶構造解析”, 第45回日本生物物理学会年会, 横浜, 12月(2007)

奥村 英夫, 川谷 誠, 井本 正哉, 長田 裕之: “メチルゲルフェリンとグリオキサラーゼ-Iの複合体のX線結晶構造解析”, 日本農芸化学会大会, 名古屋, 3月(2008)

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

Analysis of Fungal Secondary Metabolite Biosynthesis and Pathway Engineering for Efficient Biosynthesis of Useful Metabolites

研究者氏名：加藤 直樹 Kato, Naoki

ホスト研究室：長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田 裕之)

多様な二次代謝産物生産能は糸状菌の特色の一つである。20種以上の糸状菌ゲノム解読により、その多様性を担う多数の二次代謝系遺伝子の存在が示唆されている。本研究では、生物活性を有する代謝産物を標的に、ゲノム情報を利用した逆遺伝学的手法による生合成遺伝子クラスターの同定と、制御系も含めた経路改変による生合成の効率化、新規類縁体の創製を目的としている。まずは、*Aspergillus fumigatus*の生産する二次代謝産物の中から、様々な生物活性を有する化合物群であるフミトレモルジン (FTM) 類生合成系を標的に解析を進めた。

本年度は、糸状菌形質転換系の効率化やノックアウトベクターの構築、ならびにFTM類を中心とした系統的な二次代謝産物の取得、分析といった基盤整備を行った。

次いで、*A. fumigatus*ゲノム情報中の候補FTM生合成遺伝子クラスターに含まれる8つの遺伝子のノックアウト株を作製した。初発の反応を担うと予測された非リボソーム型ペプチド合成酵素 (NRPS) 遺伝子の欠失により、FTM生産が消失し、本遺伝子を含むクラスターが*A. fumigatus*においてFTM生産を担っていることが明らかとなった。NRPSによるbrevianamide F生成に次いで、プレニル基の付加によるトリプロスタチンB (TPS-B)、インドール環へのメトキシ基の付加によるTPS-Aへの変換が順に起きる。さらに環化反応、水酸化反応、プレニル基付加反応を経て、FTM-C、dihydroxy-FTM-C、FTM-Bが生産される。野生株 (BM939株) ではこれら複数のFTM類が培地中に検出されるのに対し、ノックアウト株では、それが担う反応よりも下流の代謝産物生

産が欠損し、特定の化合物の蓄積が認められ、この一連の生合成経路の各段階を担う酵素遺伝子を同定した。

また、FTM生産株BM939とゲノム解読株Af293とでフミトレモルジン生産性に違いがあることを見出した。すなわち、Af293株の表現型がBM939より作製した*Afu8g00200*遺伝子 (メチル基転移酵素) 欠失株のそれとよく一致していた。現在、生産性相違の原因となっている変異点の同定を試みている。

誌上発表 Publications

(総説)

加藤直樹、高橋俊二、植木雅志、長田裕之：“微生物由来の天然化合物と生合成研究”、蛋白質核酸酵素 (増刊「ケミカルバイオロジー」) 52 1724-1729 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

加藤直樹、鈴木宏和、高木海、高橋俊二、長田裕之：“*Aspergillus fumigatus*の産生するトリプロスタチン類の生合成遺伝子クラスターの同定”、第7回糸状菌分子生物学コンファレンス、東京、11月 (2007)

加藤直樹、鈴木宏和、高木海、浦本昌和、高橋俊二、長田裕之：“*Aspergillus fumigatus* BM939株とゲノム解読株Af293株とのフミトレモルジン生産性の相違”、日本農芸化学会2008年度大会、名古屋、3月 (2008)

XIX - 028 放線菌の潜在的二次代謝産物、代謝中間体、および生合成酵素の解析

Genome Mining of Streptomyces for Potential Secondary Metabolites,
Metabolic Intermediates, and Related Enzymes

研究者氏名：鈴木宏和 Suzuki, Hirokazu

ホスト研究室：長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田裕之)

本研究は、放線菌に潜在する二次代謝産物とその生合成酵素群の包括的解析を目的とした。放線菌は抗生物質や生理活性物質などの多様な二次代謝産物を生産し、古くから有用物質の供給源として大きく貢献してきた。近年において解読が進んでいる放線菌ゲノム中には、未知の二次代謝産物の生合成遺伝子クラスターが数多く見出されており、よって放線菌には有用な二次代謝産物が潜在していると期待できる。ただし放線菌ゲノム上のほとんどの遺伝子は機能が不明であり、各生合成遺伝子クラスターから生産される二次代謝産物の予想は極めて困難である。そこで本研究では、潜在的二次代謝産物の解析だけでなく、その生合成に関連する酵素群の包括的解析も目的とした。生合成酵素群の解析は、有用酵素の発見のみならず放線菌の生合成遺伝子クラスターのより一層の理解につながる。

本年度は糸状菌(*Aspergillus fumigatus*)を主な実験対象とした。糸状菌は、放線菌と同様に、多様な二次代謝産物を生産することでよく知られた微生物である。本菌は二次代謝産物の1つとしてフミトレモルジン類を生産する。フミトレモルジンはbreast cancer resistance protein(BCRP)阻害活性を有する有用化合物である。BCRPは、抗ガン剤に対する耐性をガン細胞に賦与する膜局在性輸送タンパク質の1種で

ある。

- (1) *A. fumigatus*の二次代謝産物の1つであるフミトレモルジン類の生合成経路を解明した。各生合成段階に関わる酵素を特定し、それらの触媒活性を明らかにした。
- (2) フミトレモルジン生合成遺伝子クラスター中に、二酸素原子架橋(エピジオキシ架橋)を触媒する新規酵素を見出した。
- (3) フミトレモルジン生合成中間体(9種)を同定および単離した。各化合物が有する生理活性について、BCRP阻害活性を含む多角的な解析を行った。
- (4) フミトレモルジン生合成遺伝子を酵母に移植し、フミトレモルジン類生産株を作製した。またフミトレモルジン誘導体の創出に成功した。
- (5) 放線菌ゲノムの探索により、潜在的二次代謝産物の生合成遺伝子クラスターを見出した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

鈴木宏和、加藤直樹、高木海、浦本昌和、高橋俊二、長田裕之：“*Aspergillus fumigatus* BM939株におけるフミトレモルジン生合成経路の解明”、日本農芸化学会、名古屋、3月(2007)

XIX - 029 切断可能な光親和性リンカーを用いたバイオプローブの標的分子探索

Identification of Bioprobe's Target Using Cleavable Photoaffinity Linker

研究者氏名：盛崎大貴 Morisaki, Daiki

ホスト研究室：長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田裕之)

ケミカルバイオロジー研究において生理活性を有する小分子化合物(以下バイオプローブと呼称する)の標的分子を特定することは非常に重要な過程である。その際有効な方法の一つに小分子化合物を固定したビーズを用いて標的分子を細胞抽出物から精製

する方法がある。これまでに長田抗生物質研究室では光親和性リンカーを用いることにより様々な化合物を官能基非特異的にビーズ上に固定化する技術を開発している。しかしこの方法の欠点としてバイオプローブが標的化合物と共有結合する場合標的物質

はビーズ上に固定化されてしまい単離することができなくなってしまう。本研究の目的は途中で切断可能な光親和性リンカーを開発し、これを用いて標的分子と共有結合するバイオプローブの標的を探索する方法を確立することである。

本年度は切断可能なリンカーの開発を行った。以前より切断可能なリンカーとしてリンカー内にジスルフィド結合を有するリンカー(以下SSリンカーと呼称)の開発が行われていた。そこで今回SSリンカーの実用性を証明するため幾つかのバイオプローブの標的分子を探索した。しかしSSリンカーはその

構造上の問題から非特異的な吸着が多く標的タンパク質の単離が困難であった。またこれに加え、SSリンカーは条件によっては細胞抽出液により切断されてしまうという欠点があった。そこでSSリンカーに変わるリンカーとしてリンカー内にケイ素原子を有するリンカー(Siリンカー)を開発することにした。Siリンカーはフッ素イオンにより温和な条件で切断可能であるが動物細胞内にフッ素イオンはほとんど存在しないので細胞抽出液などで切断されることは無いと期待される。現在Siリンカーを開発中である。

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

ホスト研究室： 辻本細胞生化学研究室

(アドバイザー 辻本 雅文)

細胞質において生成した前駆体抗原ペプチドは、小胞体内腔でN末端の消化を受けてMHCクラスI抗原ペプチドへと変換される。近年、本過程の責任酵素として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)が同定された。しかしながら、両酵素が如何なる前駆体抗原ペプチドを好んで成熟抗原を生成するのかといったことに関しては経験的な知見しか得られていない。そこで今回、著者はA-LAPの基質認識機構を明らかにすることを目的に本酵素の活性発現に重要なアミノ酸残基の同定およびその具体的な役割の解明を目指した。

(1) A-LAPのGln 181残基にAsn点変異を導入したところ、本酵素の中性アミノ酸残基に対する特異的な遊離活性は完全に消失した。一方で酸性アミノ酸残基になるよう点変異を導入したところ、両変異体は野生型酵素では認められない塩基性残基特異的な遊離活性を示すようになった。以上のことからA-LAPのGln 181残基はA-LAPの基質特異性を決定する残基であることが明らかになった。

(2) A-LAPの類縁酵素であるAPAについても、A-LAPのGln 181残基に相当するAsp 221残基

の変異体解析を行ったところ、本残基が基質認識に必須であることを明らかにした。

以上よりA-LAPのGln 181残基は基質特異性を決定するアミノ酸残基の一つであることが示された。またAPAでもAsp 221残基が基質認識に重要であることから、他のM1ファミリーでも上記残基に相当するアミノ酸残基が基質認識に関与していると考えられた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Goto Y., Hattori A., and Tujimoto M.: "Asparatic acid 221 is critical in the calcium-induced modulation of the enzymatic activity of human aminopeptidase A", J. Biol. Chem., 282 37074-37081(2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

後藤芳邦、服部明、辻本雅文：“アミノペプチダーゼAのAsp²²¹残基はCa²⁺との相互作用に必須である”、病態と治療におけるプロテアーゼとインヒビター学会、大阪、8月(2007)

研究者氏名：新富 圭史 Shintomi, Keishi

ホスト研究室：平野染色体ダイナミクス研究室

(アドバイザー 平野 達也)

染色体を娘細胞へ均等に分配することは正常な細胞増殖に不可欠である。このために、真核細胞ではDNA複製によって生じた染色体のコピー(姉妹染色分体)を細胞分裂時までつなぎ止めておく(接着する)という戦略がとられている。近年、コヒーシンと呼ばれるタンパク質複合体が姉妹染色分体の接着に中心的な役割を果たすことが明らかにされてきた。しかし、コヒーシンがどのようにして姉妹染色分体接着を実現するのかについては、ほとんど理解されていない。本年度は、組換えタンパク質から再構成したコヒーシン複合体とツメガエル卵の無細胞系を用いて、姉妹染色分体接着におけるコヒーシンの分子動態とその制御機構について検討した。

昆虫細胞を用いてヒトコヒーシンの各サブユニットを共発現させ、SMC二量体(Smc1-Smc3)やnon-SMC二量体(Rad21-SA1)を精製する方法を確立した。さらに、上述のサブ複合体の精製標品から試験管内でホロ複合体を再構成することにも成功した。カエル卵無細胞系を用いて、これらの複合体の動態を解析したところ、SMCおよびnon-SMC二量体だけではクロマチンに結合しないものの、ホロ複合体は内在性コヒーシンと同様のクロマチンへの結合動態

を示した。また、Smc1やSmc3のATP結合ドメインのアミノ酸を置換した数種類の変異型コヒーシンも再構成した。今後は、変異体を用いた解析も進め、ATPの結合や加水分解によるコヒーシンのクロマチン結合への影響を検討する。

酵母やヒト培養細胞を用いた解析から姉妹染色分体接着の制御因子であることが示されているタンパク質Eco1やWaplについては、カエル卵無細胞系を用いて、より詳細な機能の解析を試みた。特異抗体を用いてEco1を除去した卵抽出液では、クロマチン上のコヒーシンの動態に影響は見られなかったのに対し、Waplを除いた卵抽出液では分裂前期に起こるコヒーシンのクロマチンからの部分的な解離が著しく阻害された。さらに、興味深いことにEco1とWaplの両者を除去すると、間期におけるコヒーシンのクロマチン結合量が減少した。これらの結果は、Waplが細胞周期を通じてコヒーシンのクロマチン結合の安定性を制御する中心的な因子であることを示唆している。今後は、Waplとの機能的関連が予想される因子の解析も進め、細胞周期に応じたコヒーシンの機能制御メカニズムを明らかにしたい。

研究者氏名：高橋 秀和 Takahashi, Hidekazu

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

タンパク質の翻訳後修飾には、リン酸化、アセチル化、メチル化やユビキチン化などがある。特にヒストンは多くのアミノ酸残基で修飾を受けることが知られていて、細胞内の多くの重要な機能を担っている。ヒストンを修飾する酵素は数多く同定されつつある。しかし、ヒストンの修飾が細胞内の代謝な

どの状態によってどのように変化するのはあまり分かっていない。アセチル化にはアセチルCoAが供与基として用いられる。従ってアセチルCoAの細胞内レベルの変動によって、ヒストンのアセチル化レベルが変動するのではないかと考えられる。実際に筆者は過去に出芽酵母を用いて、核・細胞質に局在

するアセチルCoA合成酵素の機能を停止させるとヒストンのアセチル化がほぼ消失することを発見した。この結果は細胞内代謝が従来考えられていたよりも遺伝子発現に密接に関連していることを示し、老化や病気の進行などの潜在的なメカニズムとして重要かもしれない。

本研究では、代謝が遺伝子発現に及ぼす影響をさらに探るために、アセチル化に影響を及ぼすような代謝遺伝子を探索している。アセチルCoAは、細胞質でアセチルCoA合成酵素(ACS)によって合成される以外にも、ミトコンドリアでも(pyruvate dehydrogenaseなどによって)合成される。従って、ミトコンドリアでのアセチルCoA濃度やアセチル化レベルを

調べる系を確立することが大切であると考えた。そのマーカーとして用いるために、分裂酵母でアセチル化されるミトコンドリア局在タンパク質の同定を行った。その結果、Superoxide dismutase(SOD)などのタンパク質がアセチル化されていることを確認した。SODは酸化ストレス応答や寿命延長に重要なタンパク質であり、ヒトでもアセチル化されていると最近の文献で示唆されている。筆者は質量分析や変異体のウエスタンブロットによってSODのアセチル化部位を同定した。SODのアセチル化部位を変異させた酵母株のストレス応答などを調べたが、明確な表現型の変化は観察されなかった。

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

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

一般にヒストンの高アセチル化領域は転写活性化、低アセチル化領域は転写不活性化と関連することから、ヒストン脱アセチル化酵素(histone deacetylase, HDAC)の阻害剤が抗腫瘍活性を發揮するのは、p21^{WAF1}などのがん抑制遺伝子の発現を上昇させることが原因であると考えられている。一方、HDAC阻害剤は炎症性遺伝子群の発現を抑制することによって抗炎症作用を發揮することが近年報告されており、この分子機構の詳細は全く不明である。本研究の目的は、従来のモデルとは正反対と考えられる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に特異的に関わるHDACを特定することにも繋がり、病理学的にも意義のある研究であると考えられる。

本年度、一般的ながん細胞であるHeLa細胞において、炎症誘導物質TNF処理による一群の炎症性遺伝子の一時的かつすみやかな発現誘導が、HDAC阻害剤TSAの存在によって発現抑制を受けることをまず確認した。炎症性遺伝子の責任転写因子NF-κBのTNF依存的な活性化および核内移行はTSAによって影響を受けなかったことから、発現抑制はクロマチ

ンレベルで行われていることが示唆された。そこで、発現抑制が最も顕著であった遺伝子の一つ、インターロイキン8(IL-8)について、クロマチン免疫沈降(ChIP)によりプロモーター領域におけるタンパク質のリクルートとヒストン修飾を調べた。その結果、転写を行うRNAポリメラーゼIIのリクルートはTSA存在下で大幅に阻害されており、NF-κBのリクルートもわずかながら阻害されていることが分かった。また、ヒストンH3,H4のアセチル化状態は遺伝子発現誘導と共に一時的に上昇するが、TSA存在下では特にヒストンH4のアセチル化上昇が起こらないことが分かった。HDACの阻害剤によってヒストンのアセチル化が阻害されるの是一見矛盾するようだが、非特異的にグローバルなヒストン高アセチル化を引き起こすことと、刺激依存的かつ局所的・一時的なヒストンアセチル化上昇が損なわれることとは必ずしも矛盾しないと考える。一方、TSAによって発現誘導されることが知られているp21^{WAF1}遺伝子のプロモーター領域におけるヒストンアセチル化レベルはTSAによって上昇していた。IL-8の場合は、TNF刺激によって活性化されたNF-κ

B 依存的にリクルートされるヒストンアセチル化酵素を含む転写活性化複合体が TSA 存在下ではなんか

らの理由で損なわれていると考えられた。

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

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 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、翻訳後修飾の中でも最も重要なものの一つである。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、酵母細胞と薬剤との相互作用から、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) の阻害剤であるトリコスタチン A (TSA) が 1015 株の分裂酵母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 を添加した培地で、45 株が高温下でも生育可能になるという興味深い結果が得られた。さらに、44 株について、変異遺伝子または変異遺伝子の候補を同定した結果、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 (15 株、7 遺伝子) HDAC 複合体 (2 株、1 遺伝子) など、少数のグループに収束した。この結果は、タンパク質アセチル化に未知の機能があることを示唆する。

本年度は、TSA で変異株の温度感受性が抑制される機構を明らかにするために、以下の実験を行った。まず、小胞輸送に関わる変異株について、変異遺伝子が発現するタンパク質の安定性や局在に TSA が与える影響を調べるために、野生株と変異株において、それらのタンパク質に GFP が融合されたタンパク質を染色体上から発現する株を作製した。また、小胞輸送のどのプロセスに異常が見られるのかを調べるために、積荷タンパク質を GFP で標識して顕微鏡で観察する系を構築した。

今後は、さらに解析をすすめて、取得した変異株の機能に関わる HDAC 遺伝子の特定や、アセチル化に関わる細胞内プロセスの解明、アセチル化タンパク質の同定をめざす計画である。

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 Lipid component transition during Golgi cisternal maturation

研究者氏名：稲留 弘乃 Inadome, Hironori

ホスト研究室：小林脂質生物学研究室

(アドバイザー 小林 俊秀)

細胞を構成する膜脂質は細胞内に均一に分布しているわけではなく、オルガネラごとに脂質組成は大きく異なり、同じオルガネラにおいても、脂質二重層の表と裏で脂質組成は異なり、さらに同一の膜面でも場所ごとに脂質組成が異なることが知られてい

る。このように、細胞内において膜脂質は非対称に分布しているが、その形成や維持に関わるメカニズムや、その生理学的な意義はほとんど解明されていないのが現状である。

脂質分子の *de novo* 合成の大半は小胞体膜で行わ

れ、そこから他のオルガネラや形質膜へ輸送される。脂質の細胞内輸送は、小胞輸送を介するもの、細胞質の脂質輸送タンパク質を介するもの、およびオルガネラ間の接触面を介するものが存在すると考えられているが、その詳細は不明な点が多い。そこで、本研究では小胞輸送経路の中心に位置するゴルジ体の脂質の分布状態の解析を通じて、細胞内の脂質分布機構を解明することを目的として研究を行っている。

ゴルジ体は小胞体との輸送小胞の受け渡しを行う early Golgi や最終目的地への仕分けを行う late Golgi といったいくつかの層板から構成されている。高等生物のゴルジ体はこれらの層板どうしが接着しているため層板単位の精製は困難であるが、出芽酵母ではそれぞれの層板が細胞質に分散して存在しているため、層板単位の精製に適している。本研究では出芽

酵母を材料として、early Golgi、late Golgi にそれぞれ特異的に局在する膜タンパク質である Sed5 と Tlg2 の細胞質領域に myc タグを付加した株を作製し、膜構造を維持したまま抗 myc 抗体で免疫吸着することでそれぞれの局在する層板の単離を行った。Sed5、Tlg2 で免疫吸着した画分にはそれぞれ early Golgi と late Golgi のタンパク質が回収され、ゴルジ体の層板が精度よく分離、精製されていた。現在、これらのゴルジ体画分に回収された脂質を解析し、ゴルジ体の層板の成熟に伴う脂質組成の変化を解析している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

稲留弘乃：“出芽酵母ゴルジ体の層板単位での脂質分布状態の解析”、バイオアーキテクトシンポジウム、和光、9月(2007)

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

ホスト研究室：先端技術開発支援センター

ビームアプリケーションチーム

(アドバイザー 目黒 多加志)

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究し、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と光陰極の性能評価に不可欠な30keV電子銃の開発を以下のように進めた。

- (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高輝度性能に最適な超格子構造の設計を行い、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の性能を評価するために10mAまでの大電流引出し可能な30keV光陰極電子銃の開発に着手した。本装置は、現在までに4e-9Paの極高真空条件を実現している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hajima R., Nishitani T., Iijima H., Nagai R., Nishimori N.: “DEVELOPMENT OF A PHOTOCATHODE DC GUN AT JAEA-ERL”, Proceeding of Asian Particle Accelerator Conference, pp.175-177 (2007)*

Nishimori N., Hajima R., Iijima H., Nagaiv, Nishitani T.:
“Development of an electron gun for the ERL light
source in Japan”, Proceeding of 41st Advanced ICFA
Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery
Linacs, in print*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hajima R., Nishitani T., Iijima H., Nagai R., Nishimori
N.: “DEVELOPMENT OF A PHOTOCATHODE DC
GUN AT JAEA-ERL”, Proceeding of Asian Particle
Accelerator Conference, India, Jan. (2007)

Nishimori N., Hajima R., Iijima H., Nagaiv, Nishitani T.:
“Development of an electron gun for the ERL light
source in Japan”, Proceeding of 41st Advanced ICFA

Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery
Linacs, UK, May (2007)

(国内学会等)

西谷智博:“高輝度電子ビーム源フォトカソードの開
発”、「スリービーム技術による表面改質と解析」
理研シンポジウム、7月(2007)

西谷智博:“ナノ計測技術を担う次世代高輝度電子源
GaAs フォトカソードの開発”、平成19年度第10
回九州地区ナノテクノロジー拠点ネットワーク講
演会、佐賀大学、3月(2008)

西谷智博、目黒多加志、田淵雅夫、鈴木裕史、元木
和也、竹田美和:“高輝度・スピン偏極電子源半導
体フォトカソードの開発”、春季第55回応用物理
学関係連合講演会、日本大学(千葉県船橋市)、3
(2008)

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的
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
ホスト研究室: フロンティア研究システム
中川独立主幹研究ユニット
(アドバイザー 中川 真一)

成体組織にはさまざまな幹細胞が存在し、それらは当該組織の恒常性に深く関与している。近年、いくつかの組織幹細胞系において、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。たとえばショウジョウバエの生殖系幹細胞などでは、幹細胞をニッチ内につなぎとめておく役割をもつ支持細胞や、その際に必要とされる細胞接着因子などが同定されており、このような細胞間の機能的な相互作用が幹細胞の維持に重要な役割をもつと考えられている。しかしながら、脊椎動物の幹細胞システムにおける細胞間相互作用についての知見は未だ乏しいままである。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。この網膜幹細胞のニッチには、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、これらの非幹細胞が網膜幹細胞となんらかの相互作用を持つことによりその

性質を制御している可能性がある。本研究では、(1)網膜幹細胞ニッチを構成する各種細胞群が比較的シンプルに配置されている点、(2)またそれぞれの細胞タイプに特異的な遺伝子マーカーが明らかにされている点を生かし、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、網膜幹細胞およびその周囲の細胞における遺伝子発現を調べる過程で、Hes転写調節因子ファミリーに属するc-hairy1が網膜幹細胞で特異的に発現することを見出した。c-hairy1の機能解析から、c-hairy1は網膜幹細胞の維持のために必須であることが分かった。これまでc-hairy1はNotchシグナルによって制御されていることが知られていたが、興味深いことに、網膜幹細胞におけるc-hairy1の発現はNotch非依存的であり、それはこれまでに網膜幹細胞を維持するのに重要な働きをすることが知られていたWntシグナルによって制御されていることを見出した。

誌上発表 Publications

(総 説)

久保郁：“幹細胞の維持および組織再生におけるWntシグナルの役割”、実験医学、2月号(2008)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kubo F., Takeichi M., and Nakagawa S.: “c-hairy1 controls retinal stem cell maintenance downstream of Wnt

signaling, independently of Notch signaling at the ciliary marginal zone”, Wnt meeting 2007, San Diego, USA, June. (2007)

(国内会議等)

Kubo F., Takeichi M., and Nakagawa S.: “c-hairy1 controls retinal stem cell maintenance downstream of Wnt signaling, independently of Notch signaling at the ciliary marginal zone ”、第40回日本発生生物学学会・第59回日本細胞生物学学会合同大会、福岡、5月(2007)

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
ホスト研究室：フロンティア研究システム
宮城島独立主幹研究ユニット
(アドバイザー 宮城島 進也)

性を持つ生物は、動物・植物を問わず受精(接合)によって子孫を遺す。哺乳動物やウニ、藻類の接合は分子レベルで広く解析されており、種特有の接合因子が数多く報告されている。一方、高等植物の受精に働く直接的な因子は全く未知であった。近年私は単子葉植物のテッポウユリ雄性配偶子から新規の膜貫通タンパク質GCS1の発見に成功した。シロイヌナズナを用いた機能解析の結果、GCS1は雄性配偶子で特異的に発現し受精過程の最終段階である雌雄の配偶子間の融合を決定づける分子であることが判明した。同分子は高等植物に加え、藻類、粘菌類、原虫類でも検出されていることから、配偶子の同・異型を問わない真核生物接合の普遍的因子といえる。

本研究はGCS1を基にした植物受精関連因子のさらなる同定・解析を目的としており、多くの真核生物種に通じる接合メカニズムの根源的解明さらには真核生物の接合進化の解明へと展開していく計画である。

前述のように、GCS1は真核生物の接合メカニズムを分子レベルで解明するうえで重要な一つのタンパク質であるが、その分子レベルでの機能は未知となっている。この点を明らかにするため本年度は雄性配偶子内でのGCS1関連分子の探索にあたった。
(1)テッポウユリ雄性配偶子cDNAライブラリーとGCS1ペイトを基にした酵母two hybrid法を用いて、GCS1相互作用プロテアーゼGBPを見いだした。
(2)シロイヌナズナGBP候補についてGCS1との相互作用を検定し、形質転換株を用いた発現解析を行った。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

森稔幸、黒岩晴子、東山哲也、黒岩常祥、宮城島進也：“植物受精の分子機構に関する研究”、日本植物学会第71回大会、野田、9月(2007)

研究者氏名： 近藤 洋介 Kondo, Yosuke
 ホスト研究室： 仁科加速器研究センター
 本林重イオン核物理研究室
 (アドバイザー 本林 透)

一核子移行反応は安定核の研究において非常に有用な反応であった。散乱粒子の角度分布のパターンから移行角運動量を知ることができるのでスピン・パリティの決定に有用であるし、また断面積から分光学的因子を知ることができるからである。一核子分離反応は破断片の運動量分布と断面積を効率よく測定でき、一核子移行反応と同様の情報が得られる。したがってビーム強度の低い不安定核の研究において特に有用な反応である。

本年度では液体水素標的を用いた場合の一中性子分離反応の有効性を調べるため、 ^{18}C , ^{19}C 核の一中性子分離反応について研究を行った。液体水素標的を用いることによって高統計のデータを得ることができるが、これまで一中性子分離反応の標的に陽子を用いた例は無い。実験で得られた運動量分布は連続状態離散化チャネル結合(CDCC)法を用いた理論計算により非常によく再現できることがわかった。

口頭発表 Oral Presentations
 (国際会議)

Kondo Y., Nakamura T., Satou Y., Aoi N., Endo N., Fuku-

da N., Gomi T., Hashimoto Y., Ishihara M., Kawai S., Kitayama M., Kobayashi T., Matsuda Y., Matsui N., Motobayashi T., Nakabayashi T., Okumura T., Ong H.J., Onishi T.K., Otsu H., Sakurai H., Shimoura S., Shinohara M., Sugimoto T., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., and Yanagisawa Y.: "Invariant Mass Spectroscopy of ^{13}Be and ^{14}Be via the Proton-Induced Break-up Reactions", *Frontiers and Perspectives of Nuclear and Hadron Physics (FPNH07)*, Tokyo, Japan, Jun. (2007)

Kondo Y., Nakamura T., Satou Y., Aoi N., Endo N., Fukuda N., Gomi T., Hashimoto Y., Ishihara M., Kawai S., Kitayama M., Kobayashi T., Matsuda Y., Matsui N., Motobayashi T., Nakabayashi T., Okumura T., Ong H.J., Onishi T.K., Otsu H., Sakurai H., Shimoura S., Shinohara M., Sugimoto T., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., and Yanagisawa Y.: "Invariant mass spectroscopy of ^{13}Be and ^{14}Be via the proton-induced break-up reactions of ^{14}Be ", *Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2007)*, Wako, Japan, May (2007)

XIX - 040 高励起中性子過剰核におけるHeクラスター構造の発現機構と反応ダイナミクスの統一的研究

Unified Studies of the He-cluster Formations and the Reaction Dynamics in Light Neutron-rich Nuclei

研究者氏名： 伊藤 誠 Ito, Makoto
 ホスト研究室： 中務原子核理論研究室
 (アドバイザー 中務 孝)

Be同位体の低励起状態では、2つの粒子をコア核として、その周りで過剰中性子が『共有結合構造』を作る描像が成立している。ところが、その高励起領域には $^{6,8}\text{He}$ を構成単位とした『Heクラスター構造』を持つと予想される共鳴状態が多数観測されている。

このような共有結合からHeクラスター状態への構造転移を分析する場合、後者は核反応を通して観測さ

れる散乱状態であるため、散乱境界条件の基で構造転移を取り扱うことが必要不可欠となる。ところが、既存の核構造模型では、共有結合構造と散乱状態にあるHeクラスター構造を首尾一貫して記述することは非常に困難であった。

そこで、Beにおける構造転移と反応現象を包括した研究を遂行すべく、必要な理論模型の定式化、及

び計算手法と計算プログラムの開発を中心に進めてきた。本研究で基盤となっている模型は、『微視的クラスター模型(GCM)』と呼ばれるもので、系を構成する核子間の反対称化を正確に取り扱う微視的な核構造模型である。この計算手法を $^{10}\text{Be} = \alpha + \alpha + \text{N} + \text{N}$ 系へ適用した結果、分子軌道構造からHeクラスター構造への構造転移、低エネルギー ^6He 散乱、 ^{10}Be の核力分解の統一的記述に成功を収めてきた。

これら手法開発により、構造転移と衝突、分解反応の統一的取り扱いが可能になったが、過剰中性子数が二つ以上の重い系では、計算に必要な基底関数の数が膨大になるため、何らかの近似的解法が必要となる。そこで基底関数を z -軸についての軸対称配位に制限して散乱問題を解く『軸対称チャンネル結合』の定式化を進め、 $^{12}\text{Be} = \alpha + \alpha + \text{N}$ 系への適用を行った。その結果、高励起領域では、原子軌道と分子軌道の間違った構造を持つ新しい超変形状態が発現し、さらにその状態がHeクラスター状態と共存することが明らかになった。更に二中性子移行反応である $^8\text{He} + ^6\text{He} \rightarrow ^{10}\text{Be}$ 反応の計算によって、超変形状態を励起する反応断面積の増大を予言した。この二中性子移行反応は、現在フランスのGANIL研究所で実験が計画指されており、海外の実験グループとの共同研究を今後展開する予定でいる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ito M., Itagaki N., Sakurai H., and Ikeda K.: "Coupling between α -condensed states and normal cluster states", Submitted to Physical Review C, January 2008*

Ito. M, Itagaki. N, Sakurai H., and Ikeda K.: "Coexistence of covalent superdeformation and molecular resonances in an open nuclear system", Submitted to Physical Review Letters, August 2007*

Itagaki N., Ito. M, and W. von Oertzen: "Crossover from molecular- to atomic-orbit structure in ^{10}Be ", Submitted to Physical Review C, July 2007*

Yabana K., Nakatsukasa T., and Ito. M.: "Time-dependent description for reaction dynamics in the continuum", Proceeding of the 20th European Conference on Few-Body Problems in Physics (EFB20), 10-14 September, 2007, Pisa (Italy), Few-Body Systems, (2007) in press*

Ito. M, Itagaki N., Sakurai H., and Ikeda K.: "Exotic mo-

lecular states in the highly-excited states of $^{10,12}\text{Be}$ ", Proceeding of the 9th International conference on Clustering Aspects of Nuclear structure and Dynamics (Cluster07), 3-7 September, 2007, Stratford-Upon-Avon, Birmingham (United Kingdom), Journal of Physics : Conference Series (2008) in press.*

Yabana K., Ito. M, and Nakatsukasa T.: "Time-dependent description for reaction dynamics in the continuum", Proceeding of the International Nuclear Physics Conference (INPC2007), 3-8 June, 2007, Tokyo (Japan), Nuclear Physics A (2007) in press*

Nakatsukasa T., Yabana K., and Ito. M.: "Time-dependent approaches for reaction and response unstable nuclei", Proceeding of the Theoretical Nuclear Physics School on Exotic Nuclei : New Challenges, 7-18 May, 2007, Les Houches (France), European Physical Journal (2007) in press*

Ito. M, Itagaki N.: " $\alpha + ^{6,8}\text{He}$ resonant scattering and exotic structures in $^{10,12}\text{Be}$ ", Proceeding of the 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG07)", 4-7 December, 2007, Sapporo, Hokkaido (Japan), AIP Conference Proceeding 853 (2008) in press*

伊藤誠: "全体討論(反応理論模型)"、素粒子論研究(基研研究会『原子核クラスター物理の現状と展望』報告(2006年12月18-23日) 2007*

伊藤誠: "軽い中性子過剰核のクラスター構造と反応の統一的研究の戦略"、素粒子論研究(基研研究会『原子核クラスター物理の現状と展望』報告(2006年12月18-23日) 2007*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ito. M, Itagaki N.: "Covalent, Atomic and Ionic Configurations in $^{10,12}\text{Be}$ ", The INT workshop on Correlations in Nuclei: From Di-Nucleons to Clusters, Insutitute for Nuclear Theory (INT) , Seattle, Washington (United States), 26-29 November, (2007)

Ito. M, Itagaki N., Sakurai H., and Ikeda K.: "Exotic molecular structures in highly-excited states of $^{10,12}\text{Be}$ ", The 9th International conference on Clustering Aspects of Nuclear structure and Dynamics (Cluster'07), Stratford-Upon-Avon, Birmingham (United Kingdom), 3-7 September (2007)

Ito, M, Itagaki N.: "Neutron-rich He-cluster structures in highly-excited states of ^{12}Be ", The International symposium on Nuclear Structure: New Pictures in the Extended Isospin Space (NS07), YITP, Kyoto (Japan), 11-14 June (2007)

Ito, M.: "Exotic molecular states in the $\alpha+{}^6,8\text{He}$ resonant scattering", The 5th International workshop on the Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2007), RIKEN, Saitama (Japan), 30 May-2 June (2007)

Ito, M, Itagaki N.: "Molecular Resonances in $^{10,12}\text{Be}$ ", ECT* Workshop on Many-body Open Quantum Sys-

tems : From Atomic Nuclei to Quantum Dots, ECT*, Trento (Italy), 14-18 May (2007)

Ito, M, Itagaki N.: "Molecular Resonances in $^{10,12}\text{Be}$ ", RCNP Workshop on Cluster condensation and Tensor correlation in nuclei, RCNP, Osaka university (Japan), 22-23 March (2007)

(国内学会等)

伊藤誠、板垣直之、櫻井博義、池田清美：“連続エネルギー領域における ^{12}Be の分子的構造”、日本物理学会分科会、北海道大学、9月(2007)

XIX - 041

陽子過剰核の反応断面積測定と陽子ハロー構造

Measurements of Reaction Cross Section of Proton-rich Nuclei and Study of Proton Halo Structure

研究者氏名：武智麻耶 Takechi, Maya

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

櫻井 RI 物理研究室

(アドバイザー 櫻井博儀)

本研究では、陽子過剰核の反応断面積エネルギー依存性を核子当り数十～数百 MeV の中間エネルギー領域で測定し、Glauber 計算を用いて測定データから陽子過剰核の核子密度分布を精度良く導出し、陽子ハロー構造を詳細に調べることを目的とする。この、中間エネルギー領域で測定された反応断面積に対して Glauber 計算を用いる核子密度分布導出法は、原子核表面付近の核子密度分布に対し非常に感度が高く、ハロー構造の研究に有効な方法の一つであると言える。昨年度までの研究では、元々高エネルギー領域の理論である Glauber 計算をいかにして中間エネルギー領域に拡張するかについて研究を進めてきた。その結果、中間エネルギー領域に Glauber 計算を用いる際に、従来、考えるべき効果とされてきた核力の有効距離の効果の他に、原子核内核子のフェルミ運動の効果を取り入れるのが有効であることが分かった。本年度は、核力の有効距離とフェルミ運動の効果とをとり入れた Glauber 計算について、理論研究者との議論によって、より深い考察を進めるとともに、安定核および不安定核の反応断面積を中間エネルギー領域において新たに測定して、Glauber 計算と比較すべきデータを取ることを行った。これまでのところ ^{12}C の ^{27}Al 、 ^{12}C 、および ^9Be に対する反応断面積、 ^{11}Be の ^9Be に対する反応断面積

について Glauber 計算が中間エネルギー領域でデータを良く再現することが確認されている。本年度は安定核 ^6Li の ^{27}Al 、 ^{12}C 、および ^9Be に対する反応断面積も Glauber 計算で再現可能なことを確認し、さらに比較的研究の進んでいる陽子過剰核 ^8B についても既存のデータよりも詳細な反応断面積のデータの取得に努め、本研究の目的である陽子過剰核の研究に向けて Glauber 計算の検証を行っている。

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", Phys. Rev. C (Rapid Communication) (提出済)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

M. Takechi: "Reaction Cross Sections and Nucleon Density Distributions of Light Nuclei", Direct Reaction with Exotic Beams, RIKEN, Japan May 30 (2007).

(国内学会)

武智麻耶、福田光順、三原基嗣、西村太樹、小紫順治、石川大貴、松宮良平、松多健策、南園忠則、泉川卓司、大坪隆、平野晴誉、渡部亮太、山田亮太、百田

佐多生、山口貴之、中島真平、久保木隆正、吉竹利織、斉藤和哉、三浦宗賢、鈴木健、田中鐘信、須田利美、小沢顕、安田裕介、橋爪祐平、保谷毅、森口哲朗、北川敦志、佐藤真二、金澤光隆：“ E-E カウンターテレスコープを用いた不安定核破砕片運動量分布の測定 ”、日本物理学会第63回年次大会、近畿大学、3月(2008)

XIX - 042 K中間子原子核探索による、超高密度物質内におけるハドロンの性質の研究

Study of Hadron Properties in Dense Nuclear Matter by Searching for Kaonic Nuclei

研究者氏名： 佐久間 史典 Sakuma, Fuminori

ホスト研究室： 仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

近年の精力的な研究によって、通常原子核密度の下ではハドロンの質量が軽くなっていること、つまりカイラル対称性が部分的に回復していることが明らかになった。では、さらに密度の高い物質中においてハドロンの性質はどのようになっているのだろうか。理論計算によると、K中間子原子核の密度は通常原子核密度に比べ3~10倍程度高いことが示され、カイラル対称性の回復度合いも相当大きいと予想される。このような超高密度物質中でのハドロンの性質を調べるのが将来的な目標であるが、まずは、J-PARCにおいてK⁻pp束縛状態を³He原子核と1GeV/c K⁻ビームを反応させることにより生成し(K⁻+³He→(K⁻pp)+n)、その存在を確かな物にする。そのために本研究では、入射粒子から崩壊粒子に至る全ての粒子を測定する完全実験を行い、K中間子原子核を精密に測定する。

本年度は、E15実験の中心的な測定器となるCylindrical Drift Chamber (CDC)、および Cylindrical Hodoscope Counter (CDH)を設計・作製した。CDCはK⁻pp束縛状態から崩壊した全ての荷電粒子の運動量を測定する。CDCに要求される性能は、K⁻pp→Λp→pπ⁺とK⁻pp→Σ⁺p→Λγp→pπ⁺γpの両崩壊モードを分離するための、K⁻pp束縛状態に対して約20MeV程度の質量分解能である。また、K⁻pp束縛状態から崩壊したΛとpはほぼ正反対方向に飛ぶために、大きなアクセプタンスが要求される。これらの条件を満たすよう設計されたCDCは、ビーム軸中心より半径19cm~48cm、ビーム軸方向に82cm、立体

角にして2.6π[sr]を覆う。CDCは15のドリフト・セル・レイヤーを持ち、7つのスーパーレイヤー(AUVAUVA)に分けられる。総ワイヤー数は8136本、うち1816本がセンスワイヤーで、すべてフィールドスルーを用いている。各レイヤーを構成するドリフト・セルは六角形の構造を持ち、ドリフト・レングスは一律に9mm程度である。また、高電圧を全てのフィールドワイヤーに効率よく印加するために、HV-distributor モジュールを作製した。このモジュールは、フィールドスルーに刺さる特注ピン50本程度をプリント基板に打ち込み、各々を結線させてHVを一度に印加する物である。もう1つの重要な検出器であるCDHは、プラスチックシンチレータと2本のPMTから成り、CDCの外側を36モジュールで覆うトリガーカウンター、及び、粒子識別検出器である。今年度はCDHの基本設計を行い、実機と同様な試作機を作製・テストした。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sakuma F.: "Partial decay widths of the phi into e+e- and K+K- pairs in 12 GeV p+A reactions at KEK-PS E325", Chiral07, Chiral Symmetry in Hadron and Nuclear Physics, Osaka University, Nov. (2007)

(国内会議等)

佐久間史典：“ J-PARC における K 中間子原子核探索実験のための円筒形ドリフト・チェンバーの開発 (J-PARC E15実験) ”、日本物理学会第62回年次大会、北海道大学、9月(2007)

研究者氏名：岸本 功 Kishimoto, Isao
 ホスト研究室：仁科加速器研究センター
 川合理論物理学研究室
 (アドバイザー 川合 光)

Wittenの開弦の場の理論において最近構成された新たなnonsingular currentに対するmarginal解は、実はidentity stateと呼ばれる特別な弦場を用いた簡単な解に、運動方程式の「解を解に写す変換」を施すことによって得られることを指摘した。Schnablのタキオン凝縮解もこの変換のある極限で表わされることもわかった。この種のmarginal解はBerkovitsのWZW型の超弦の場の理論の運動方程式のmarginal解にも拡張されていたが、この超弦の場合もidentity stateに基づく単純な解からの「解を解に写す変換」を施すことで得られることを示した。ここで発見した解を解に写す変換を用いれば、単純な解から複雑な解を生成できる。この解を解に写す変換の具体的な表現としてwedge stateを用いた弦場の族を用いた場合、この変換を施した後は世界面が広がったものになる。このようにして生成された種々の解について互いのゲージ同値性も調べた。形式的にpath-orderの形を用いればゲージ変換を表す弦場を求めることができたがidentity stateに基づく解はそれ自身特異であることから、このゲージ変換自身が特異なものになる可能性があり、弦場の特異性の定義などを含めてより厳密に調べることは今後の課題であろう。

Wittenの開弦の場の理論のゲージ不変量として、開弦場とon-shell閉弦状態との内積が提案されている。このゲージ不変量をタキオン凝縮に対するSchnabl解について計算した。このSchnabl解は弦の場の理論の運動方程式の解として実パラメータ α を含む形で構成された解析解である。この解のパラメータ α が1になるところでのみ、このゲージ不変量が非零の値をもつことが、解析的評価および数値的評価でわかった。この結果は、パラメータ α が1になるところでのみ解が非自明である、つまり純gaugeではない、という従来のポテンシャルの高さの計算結

果と整合している。ゲージ不変量の解析的な評価においては、Schnabl解の構成において重要だったsliver frameを用いて計算した。この際、 $\alpha = 1$ の解において「解の正則化」の際に現れるphantom項と呼ばれる一見零になる項のみが有限の寄与を与えることがわかった。一方、数値的評価においては、通常の振動子表現によるレベルトランケーションを行った。この際、 $\alpha = 1$ の解においてphantom項が全く効かないにも関わらず、解析的評価と同じ値を再現した。この計算結果がbosonicな開弦理論の非摂動的真空を表すと思われるSchnabl解($\alpha = 1$)のまわりに物理にどう関係するのか興味深い。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kishimoto I., Michishita Y.: “Comments on solutions for nonsingular currents in open string field theories”, Progress of Theoretical Physics, Vol.118 No.2 pp.347-369 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

岸本功: “Comments on solutions for nonsingular currents in open string field theories”, 基研研究会「弦理論と場の理論 量子と時空の最前線」東大阪、8月(2007)

岸本功: “開弦の場の理論の解析解をめぐる最近の進展”, 日本物理学会第62回年次大会、札幌、9月(2007)

岸本功: “Schnabl 解に対するあるゲージ不変量の計算”, 理研シンポジウム「量子場の理論と対称性」和光、12月(2007)

XIX - 044 行列模型による超弦理論の非摂動的定式化とそのダイナミクスの研究

Toward the Nonperturbative Formulation of Superstring Theory Through Matrix Model and Study of its Dynamics

研究者氏名：花田 政範 Hanada, Masanori

ホスト研究室：仁科加速器研究センター

川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

素粒子物理学の目標は自然界の基本的な相互作用を明らかにすることである。現在までの実験結果は素粒子標準模型によって記述されるが、将来の実験により標準模型を超えた物理が発見されると期待されている。超弦理論はその最有力候補である。'80年代の研究により、超弦理論の摂動的な性質はほぼ理解されたが、完全な非摂動的な定式化は見つかっていない。私の研究テーマである行列模型は超弦理論の非摂動的定式化の有力候補であり、これを調べる事で摂動論では原理的に対処不可能な問題、例えば真空(基底状態)の一意的な決定が可能になり、超弦理論が現実の物理を記述しているかどうか明らかに出来ると期待されている。

以下、今年度の研究結果を具体的に述べる。論文1)では、Narayanan, Neuberger等によって調べられたトラス上のゲージ理論の性質がブラックホールの熱力学と関連しており、ゲージ理論におけるU(1)対称性の段階的な破れがブラックホールの段階的な崩壊に対応していることを指摘し、超対称ゲージ理論の低温領域での相構造を予想した。論文2)では、一次元の超対称ゲージ理論の数値シミュレーションの手法を開発した。この手法は、M理論の非摂動的定式化の候補であるBFSS行列模型に適用可能であり、超弦理論の非摂動的な性質を理解するうえで非常に重要であると考えられる。論文3)では、この手法を一次元有限温度超対称ゲージ理論に適用し、ゲージ・重力対応から予言されていた結果が実際にゲージ理論から導き出されることを示した。論文5)では、4次元のtwisted Eguchi-Kawai modelの相構造を調べた。この模型は、ゲージ群が大きな極限でゲージ理論と等価であると考えられていたが、実はそうではないことを示した。また、この模型は非可換空間上のゲージ理論を定義するためにも用いられるが、4次元の平坦な非可換時空を記

述することは出来ないこともわかった。

誌上発表 Publications

M. Hanada and T. Nishioka: "Cascade of Gregory-Laflamme Transitions and U(1) Breakdown in Super Yang-Mills", JHEP 09(2007)012

M. Hanada, J. Nishimura and S. Takeuchi: "Non-lattice simulation for supersymmetric gauge theories in one dimension", Physical Review Letters 99: 161602, 2007

K. N. Anagnostopoulos, M. Hanada, J. Nishimura and S. Takeuchi: "Monte Carlo studies of supersymmetric matrix quantum mechanics with sixteen supercharges at finite temperature", Physical Review Letters 100: 021601, 2008

J. Nishimura, K. N. Anagnostopoulos, M. Hanada and S. Takeuchi: "Putting M-theory on computer", Lattice 2007 proceedings (西村氏の口頭発表)

T. Azeyanagi, M. Hanada, T. Hirata and T. Ishikawa: "Phase structure of twisted Eguchi-Kawai model", JHEP 0801: 025, 2008

T. Ishikawa, T. Azeyanagi, M. Hanada and T. Hirata: "Phase structure of twisted Eguchi-Kawai model", Lattice 2007 proceedings (石川氏の口頭発表)

口頭発表 Oral Presentations

花田政範、西岡辰磨: "U(1) Breakdown in Super Yang-Mills and Cascade of Gregory-Laflamme Transitions", 基研研究会「弦理論と場の理論 量子と時空の最前線」近畿大学、2007年8月9日

K. Anagnostopoulos, 竹内紳悟、西村淳、花田政範: "M理論の数値シミュレーションとゲージ/重力対応", 日本物理学会、北海道大学、2007年9月21日

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
ホスト研究室： 理研BNL研究センター
実験研究グループ
(アドバイザー 延與 秀人)

米国ブルックヘブン国立研究所にある、Relativistic Heavy Ion Collider(RHIC)では、世界初の偏極陽子衝突により、スピンをプローブとした核子内構造の研究を行っている。現在精力的に行われているのは、陽子内のグルーオン偏極構造関数測定であり、そのために以下の研究を進めた。

(1) 偏極陽子衝突により生成される、前方生成中性子の横偏極非対称度の研究

RHICで行われているスピン物理の研究には、衝突点における陽子ビームの偏極方向をモニターすることが必要不可欠であり、そのためには偏極方向に敏感な測定が必要である。PHENIX実験では、2001-2年での先行実験で発見された、陽子ビームの横偏極(スピンの向きは陽子の運動方向に対して垂直)に敏感な、前方生成中性子の横偏極非対称度(A_N)を測定することにより、偏極方向を測定している。その発生機構の理解は物理的に興味深く、また、その A_N を利用した偏極度計の精度向上にも重要である。

追実験として、PHENIX衝突点で前方中性子の生成断面積を測定し、現在までに得られた結果であるCERN-ISR実験(陽子陽子衝突、重心系エネルギー 31.63 GeV)の生成断面積をよく記述する、レグジュ理論による単パイオン交換モデル計算と一致する。一般に A_N はスピンフリップ反応と、ノンフリップ反応の干渉項として、有限値を持つとされる。単パイオン交換はスピンフリップ反応であるため、他のレグジュオンとの干渉項として、有限な A_N が生まれると定性的に理解できる。現在PHENIXで得られた結果をまとめ、論文として出版する準備を進めている。

(2) 重心系エネルギー 62 GeV 偏極陽子衝突における陽子ビームの偏極方向測定

RHICでは現在まで主に、重心系エネルギー($s \geq 200$ GeV)での偏極陽子衝突を用いて、グルーオ

ン偏極構造関数の測定を行ってきたが、近年 $s = 62$ GeV での実験が試みられた。偏極構造関数は内部パートンの運動量指標である、Bjorken- $x(x_B)$ の関数として決定されるべきであり、低い s での測定により、高い x_B 領域での測定が可能となる。当実験では縦偏極(スピンの向きは陽子の運動方向に対して並行)陽子衝突が必要であり、陽子の縦偏極度合いを、(1)で示した A_N を用いて測定した。縦偏極度合いはそれぞれのビームで、100-3.4%、100-2.5%であり、実験を通して陽子はほぼ縦偏極であったと言える。当データでの、中性パイ中間子を用いたグルーオン偏極構造関数測定の論文が現在準備中である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- “Centrality dependence of pi0 and eta production at large transverse momentum in $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV d+Au collisions”, Phys. Rev. Lett. 98:172302, 2007
- “Single Transverse-Spin Asymmetry in Very Forward and Very Backward Neutral Particle Production for Polarized Proton Collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV”, Phys. Lett. B650: 325-330, 2007
- “Scaling properties of azimuthal anisotropy in Au+Au and Cu+Cu collisions at $s(NN) = 200$ -GeV”, Phys. Rev. Lett. 98:162301, 2007
- “Study of nuclear matter modification of decay widths in $\phi \rightarrow e^+ e^-$ and $\phi \rightarrow K^+ K^-$ channels”, Phys. Rev. Lett. 98: 152302, 2007
- “J/psi production versus transverse momentum and rapidity in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV”, Phys. Rev. Lett. 98: 232002, 2007
- “Correlated Production of p and anti-p in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV”, Phys. Lett. B649: 359-369, 2007

“Energy Loss and Flow of Heavy Quarks in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ ”, Phys. Rev. Lett. 98:172301, 2007

“System Size and Energy Dependence of Jet-Induced Hadron Pair Correlation Shapes in Cu+Cu and Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ and 62.4-GeV ”, Phys. Rev. Lett. 98: 232302, 2007

“J/psi Production vs Centrality, Transverse Momentum, and Rapidity in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ ”, Phys. Rev. Lett. 98: 232301, 2007

“Production of omega mesons at Large Transverse Momenta in p + p and d + Au Collisions at $s^{1/2}(NN) = 200\text{-GeV}$ ”, Phys. Rev. C75: 051902, 2007

“Elliptic flow for phi mesons and (anti)deuterons in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ ”, Phys. Rev. Lett. 99: 052301, 2007

“Inclusive cross-section and double helicity asymmetry for pi0 production in p + p collisions at $s^{1/2} = 200\text{-GeV}$: Implications for the polarized gluon distribution in the proton”, Phys. Rev. D76: 051106, 2007

“Transverse momentum and centrality dependence of di-hadron correlations in Au+Au collisions at $s(NN) = 200\text{-GeV}$: Jet-quenching and the response of partonic matter”, Phys. Rev. C77: 011901, 2008

“Centrality dependence of charged hadron production in deuteron + gold and nucleon + gold collisions at $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ ”, Phys. Rev. C77: 014905, 2008

“Medium modification on vector mesons observed in 12-GeV p + A reactions”, J. Phys. G34: S1059-1064, 2007 (提出済論文)

“Suppression pattern of neutral pions at high transverse momentum in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ and constraints on medium transport coefficients”, Submitted to Phys. Rev. Lett.

“Enhancement of the dielectron continuum in $s(NN)^{1/2} = 200\text{-GeV}$ Au+Au collisions”, Submitted to Phys. Rev. Lett.

口頭発表 Oral Presentations

(国際学会)

M. Togawa for the PHENIX collaboration: “Measurement of the cross section and the single transverse spin asymmetry in very forward neutron production from polarized pp collisions at RHIC”, 12th International Conference on Elastic and Diffractive Scattering (Blois Workshop) - Forward Physics and QCD (2007)

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

Roles of Cross-seeded Protein Fibrillization in Neurodegenerative Diseases

研究者氏名： 古川 良明 Furukawa, Yoshiaki

ホスト研究室： 脳科学総合研究センター

構造神経病理研究チーム

(アドバイザー 貴名 信行)

蛋白質は適切な三次元構造を形成することでその機能を発揮するが、変異や外的環境の変化により蛋白質が凝集し、その機能が失われることがある。特に、 β -シート構造に富んだ線維状の蛋白質凝集物は、各種の神経変性疾患の病理として報告されている。しかし、病因蛋白質がどのように線維化し、神経細胞死につながるのか明らかでない。ハンチントン病(HD)はハンチンチン蛋白質(Htt)に存在するポリグルタミン鎖(polyQ)の異常伸長により引き起こされ、神経細胞内での変異蛋白質の凝集物が主な病理学的所見である。本研究では、Htt凝集体に含まれる

蛋白質の一つとしてRNA結合蛋白質TIA-1を同定し、polyQ線維によるTIA-1の線維化促進のメカニズムを提案する。

異常伸長したpolyQを持つ変異Httを発現したトランスジェニックマウスにおいて、大脳のホモジェネートのうちSDS不溶性画分に変異Htt凝集物とともにTIA-1を確認することができた。TIA-1はRNA結合を行うN末端領域とstress granule形成にかかわるC末端領域(TIA-1^c)からなるが、培養細胞を用いて、polyQ凝集体との共局在にはTIA-1^cが必須であることが分かった。そこで、TIA-1^c存在下でpolyQを凝集さ

せると、polyQ線維にTIA-1^cが取り込まれることを免疫電顕により確認した。さらに、TIA-1^cのみでもアミロイド様線維を形成し、TIA-1^cは線維としてpolyQ線維に取り込まれる可能性が考えられた。一般に、線維形成は「核形成」と「伸長」の二段階からなり、ある蛋白質の線維が別の蛋白質の線維化の核として働くことが稀にある(cross-seeding)。そこで、TIA-1^cにpolyQ線維を加えると、TIA-1^cの線維化が促進された。さらに、培養細胞やマウス脳において、polyQが凝集した後にTIA-1が凝集体に取り込まれSDS不溶性になることが観察された。

本研究により、異常伸長したpolyQからなる線維状凝集体が他の蛋白質の線維化を促進していることが示唆される。さらに、polyQ線維を核としたcross-seeding機構により、様々な蛋白質の機能喪失が加速度的に進行すると考えられ、発症すると急速に症状が悪化する神経変性疾患の一面を説明できる可能性がある。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Doi H., Okamura K., Bauer P.O., Furukawa Y., Shimizu H., Kurosawa M., Machida Y., Miyazaki H., Mitsui K., Kuroiwa Y., and Nukina N.: "RNA-binding protein TLS is a major nuclear aggregate-interacting protein in Huntingtin exon 1 with expanded polyglutamine-expressing cells", J Biol Chem, 2008, (283), 6489-6500, in print*

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会等)

古川良明: "筋萎縮性側索硬化症に見られるSOD1蛋白質の凝集化機構", 大阪大学蛋白質研究所セミナー、大阪大学蛋白質研究所、6月(2007)
古川良明、金子貢巳、山中宏二、貫名信行: "家族性ALSに見られるSOD1蛋白質のアミロイド形成と翻訳後修飾過程による制御メカニズム", 第45回日本生物物理学会年会、パシフィコ横浜、12月(2007)

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
ホスト研究室: 脳科学総合研究センター
構造神経病理研究チーム
(アドバイザー 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・組織の維持に必要であるのか、その破綻は神経細胞障害・変性に与りするのか等については未だ解析されていない。本研究の目的は、神経形成・発達に必須の役割を果たすシグナル経路をベースとして、その活性変化と神経細胞維持・変性との関連を解析することにより、神経変性の新たなメカニズムを明らかとすることである。

本年度は、aPKC-PARシグナリングの活性変化の神経形態・機能への影響を観察することを目的として、下記の実験を行った。

- (1) 脳特異的aPKCノックアウトマウスを作製するため、aPKCコンディショナルノックアウトマウス、Camk2a-creトランスジェニックマウスを入手し、これらの維持・交配を行った。
- (2) aPKC-PARシグナリングの活性制御因子と目されるLglについて、その脳特異的高発現トランスジェニックマウスの作製を行った。
- (3) マウス胎児脳より調製した初代培養神経細胞において、aPKCやLglを高発現、発現抑制し、神経形態への影響を観察した。
- (4) ハンチントン病モデルマウスにおけるaPKC-PARシグナリング関連分子の発現等を観察した。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamanaka T., Horikoshi Y., Izumi N., Suzuki A., Mizuno K. and Ohno S.: "Lgl mediates apical domain disassembly by suppressing PAR-3/aPKC/PAR-6 complex to orient apical membrane polarity", International Symposium on Cell Polarity System and Future Medicine,

Yokohama City University 21st Century COE Program, Kanagawa, Dec. (2007)

(国内学会等)

山中智行、宮崎晴子、小山文隆、黒沢大、鷲頭知花、貫名信行：“変異ハンチンチンの新規下流因子の同定”、第59回日本細胞生物学会合同大会、福岡、5月(2007)

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

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(アドバイザー 御子柴 克彦)

シナプス可塑性は細胞内Ca²⁺濃度の上昇によって誘導される。細胞内のCa²⁺濃度上昇は細胞外からのCa²⁺の流入と細胞内Ca²⁺ストアからのCa²⁺放出の2つの機構をもつが、シナプス可塑性に関しては、細胞外からの流入のみが関与していると考えられてきた。しかしながら、近年、アドバイザーの研究チームで小脳長期抑圧(LTD)や海馬長期増強(LTP)にはIP₃(イノシトール三リン酸)受容体を通じた小胞体からのCa²⁺放出が重要であることを明らかにし、世界の注目を浴びた。このことから、私は小脳や海馬におけるシナプス可塑性の機構を解明するには小胞体からのCa²⁺放出を担う分子実体である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と確信し、本研究を行っている。本研究では、これまでのIP₃受容体に関する生物物理学的・生化学的研究を生かし、「IP₃結合によるチャネル開口の分子機構」を解明することを目的としている。

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つの領域がつながり合わせた巨大なタンパク質分子である。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の国内外の研究成果から、IP₃結合領域とチャネル領域が三次元的に近距離にあり両者の分子内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。私はこれに加えて近年、「これらの2つの領域に挟まれた制御領域はチャネル領域と直接相互作用することでチャネルを閉じた状態に保持する」という研究成果を世界に先駆けて得ている(未発表データ)。以上の知見から、IP₃受容体のチャネル開口には3つの領域の相互作用とその変化が重要であることが示唆される。

そこで本年度は、独自に確立した3つの領域を独立で精製しIP₃受容体を*in vitro*で再構成する実験系を用いて、IP₃やCa²⁺濃度に依存したCa²⁺透過性の変化と3つの領域間の結合強度の変化を解析した。3つの領域間の結合強度の変化に関しては、プルダウン法や免疫沈降法とウェスタンブロッティングを合わせた実験系で解析し、検出できた。しかしながら、Ca²⁺透過性の変化と詳細に対応付けるためには、より定量性の高い実験系を用いることが要求されたため、ELISA法を用いた定量実験系の確立を目指し、成功した。

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

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

ホスト研究室： 脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(アドバイザー 御子柴 克彦)

神経伝達物質受容体は、ブラウン運動により脂質二重膜上をダイナミックに動いているにも関わらず、多くがシナプスに局在している。近年、シナプス内では受容体の動きが抑制されていること、受容体の動きは神経活動依存的な調節を受けること、が報告された。現在、「受容体とシナプスタンパク質間の相互作用を介した受容体の動きの調節がシナプス可塑性の誘導に必要である」という仮説が注目されている。

小脳においては、登上線維(CF)と平行線維(PF)を同時に繰り返し刺激すると、PF-プルキンエ細胞シナプスでシナプス可塑性の1つである長期抑圧(LTD)がおこる。このLTDの成立には「細胞内小胞体カルシウムチャネルIP₃受容体」からの「局所的で持続的な」カルシウム放出が必要であるが、カルシウム放出が局所的になる仕組みは解明されていない。申請者らはこれまで、IP₃受容体の動きが、タンパク質との相互作用により抑制されていることを明らかにしてきた。本研究では、「CFとPF刺激によってIP₃受容体の動きが抑制され、受容体が刺激部位に集積する結果、カルシウム放出が局所的になる」という仮説の証明を目指

している。当該研究では、ナノクリスタル半導体「量子ドット」を用いた新しい1分子イメージング法を導入する。数十秒という短い寿命の蛍光一分子を追跡する従来の1分子イメージング法では誘導に数分かかるLTDの前後で受容体の動きを比較することは不可能であるが、ラベルに「長寿命・高シグナル」という優れた蛍光特性を持つ量子ドットを使用することにより解像度の高い1分子イメージングを長時間行うことが可能となった。

本研究課題の第一ステップは、量子ドットによる細胞内IP₃受容体の特異的標識方法の確立である。フランスの共同研究者との研究連絡の過程で、量子ドットを細胞内に導入する手法として最も有効な手段がパッチクランプであることが考えられたので、本年度はThomas Launey氏(脳センター・記憶学習機構研究チーム)よりパッチクランプ法を学習した。さらに、研究計画にあるスライスカルチャーにおいては十分な空間解像度が得られない可能性が浮上したため、1分子イメージングに適した小脳分散初代培養の系を立ち上げた。

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

ホスト研究室： 脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(アドバイザー 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、神経細胞において、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自身は、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

シウム放出がどのように制御されているかは未だに明らかにされていない。私は先行研究において、海馬の分散培養系を用いて、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、本研究において、その解明を試みる。

本年度は、より *vivo*に近い実験系である、組織スライスの培養系を、海馬、小脳で立ち上げた。次に海馬神経細胞、小脳プルキンエ細胞において、IP₃R1がどのような挙動を示すのか明らかにするために、遺伝子銃を用いてGFPを融合したIP₃R1(GFP-IP₃R1)を発現させる実験を行った。IP₃R1の発現効率は、サンプル条件によって大きく異なるため、この実験に最適なサンプル条件を、海馬、小脳それぞれについてマウスの日齢に着目し、比較検討した。その結果、海馬は生後12日目、小脳は生後14日目のマウスのサンプルが、一番安定してGFP-IP₃R1を発現することが分かった。次に、二光子励起顕微鏡を用いて、蛍光退色回復法により、GFP-IP₃R1の動態観察を行った。まず、海馬神経細胞の樹状突起におけるIP₃R1の

拡散定数を求めた。私は以前、海馬の分散培養系を用いて、樹状突起上のIP₃R1の拡散定数を明らかにしている。そこで、今回求めたIP₃R1の拡散定数と比較した所、ほぼ同じ値を示したことから、海馬スライスにおいても、安定した実験系を立ち上げることができたことが分かった。次に、小脳スライスを用いて、プルキンエ細胞の樹上突起におけるIP₃R1の拡散定数を求めた。その結果、小脳プルキンエ細胞においてもIP₃R1は海馬神経細胞とほぼ同じ拡散定数を示すことが分かった。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukatsu K., Bannai H., Inoue T., and Mikoshiba K.: "Regulatory mechanism of IP₃ Receptor type1 lateral diffusion in neurons", 1st European Synapse Meeting, Bordeaux, France, Mar. (2008)

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

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(アドバイザー 御子柴 克彦)

細胞は、連続的に変化する細胞外刺激物質の濃度(アナログ値)を周期的なCa²⁺上昇(Ca²⁺振動:デジタル値)に変換し、周波数に応じた生理現象を出力する。私はCa²⁺の最も重要な上流シグナルの一つであるIP₃の蛍光可視化センサー(IRIS)を開発し、Ca²⁺振動時のIP₃動態を観察した。その結果従来のモデルと異なり、細胞内のIP₃濃度はCa²⁺の濃度の動態とは異なっていることを発見した。このことは振動がIP₃産生ではなくCa²⁺放出の段階で作られることを示唆する。私はこの仮説の検証を行い、Ca²⁺振動の周波数がIP₃のどのような濃度変化に符号化されているのかを明らかにしたい。

本年度は、細胞へのセンサーの発現が及ぼすIP₃-Ca²⁺シグナリングへの攪乱をなるべく防ぐために、(1)IRISの発現量と攪乱との関係を明らかにした。また更なる測定感度の向上を目指し、(2)IRISの改良を行った。

(1) IRISはIP₃と結合するため、過剰に細胞内に存在するとIP₃の代謝を阻害することが予想される。そこで細胞への刺激を止めた後のIP₃濃度の減少速度と、細胞に発現しているIRISの発現量との関係を調べた。細胞はCOS-7細胞を用い、10 μMのATPで2分間刺激を行い、その後のIRISシグナルの減少速度を測定した。またIRISの発現量は蛍光強度によって測定した。すると両者には負の相関関係があることがわかった。さらにIRISの発現量を低くしていくと、ある一定の発現量以下では発現量によらずに減少速度は一定となることがわかった。以上の結果からIP₃測定において、生理的なIP₃代謝を阻害しない実験条件を確立することに成功した。

(2) (1)において確立した条件では、IRISの発現が非常に低い条件で測定を行う必要がある。このような条件では、細胞の持つ自家蛍光に対する発

現したIRISの相対的な蛍光量が小さくなり、結果として観測されるIRISの蛍光変化は見かけ上小さくなってしまふ。そこで測定感度の向上を目指してIRISの改良を行った。このために、細胞機能探索チームによって開発された蛍光蛋白質の円順列変換変異体を用いた。IRISは青色蛍光蛋白質

(ECFP)と黄色蛍光蛋白質(Venus)それぞれに対して5つの変異体を用意した。野生体と合わせて6種類ずつの総ての組み合わせ72種類のIRISの変異体を作成し、一つの組み合わせにおいて、IRISの2倍の蛍光変化を示す変異体を作成することに成功した。

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

ホスト研究室： 脳科学総合研究センター

分子神経形成研究チーム

(アドバイザー 古市 貞一)

我々はマウス小脳の発達期に特異的な発現様式を示す遺伝子としてCAPS2を同定した。CAPS2は、有芯小胞の分泌に関与するCAPS1のホモログであり、我々はCAPS2が小脳においてニューロンの生存・分化やシナプス可塑性などに重要な神経栄養因子であるBDNFの分泌に関与していることを明らかにした。

我々はさらに、マウス脳の多くの領域でCAPS2とBDNFが同様の発現分布パターンを示すこと、非神経組織においても分泌に関与する細胞でCAPS2の発現が見られること(特に肺や膵臓、脳下垂体で高い発現)などを明らかにした。

我々はCAPS2 KOマウスを作製し、小脳における表現型の解析を行った。その結果、小脳顆粒細胞のアポトーシスの増加、プルキンエ細胞の樹状突起の低形成、顆粒細胞の移動の遅滞、平行線維のプレシナプス終末部での小胞数の減少とポストシナプス形態の異常、小脳性協調運動の低下、眼球運動における適応の異常などが明らかになった。BDNFの分泌活性も低下しており、これらの異常な表現型はCAPS2タンパク質の欠損によるBDNFの分泌異常が原因であることが示唆された。

CAPS2遺伝子はヒト7番染色体長腕部にある自閉症感受性領域(AUTS1)に位置している。そこで、我々はCAPS2 KOマウスの行動解析を行った。その結果、社会性行動の異常、母性行動の異常、多動、新奇環境への適応力の低下などが観察された。また、小脳虫部VI-VII葉の低形成、プルキンエ細胞の減少が明らかになった。このことからCAPS2 KOマウスは、自閉症で報告されている様々な形質を示すこと

が明らかになった。そこで、ヒト自閉症患者の血中におけるCAPS2の発現を解析したところ、一部の自閉症患者特異的にCAPS2のexon3がスキップしていることを発見した。exon3をスキップした欠損型CAPS2は、輸送タンパク質であるp150^{Glued}に結合できなくなることや、シナプス部に輸送されなくなることなどが判明した。これらの結果から、我々はCAPS2の欠損はBDNFの局所的分泌パターンを乱し、これによって詳細な神経ネットワークの形成を障害するために、自閉症の発症につながることを示唆した。さらに自閉症患者特異的に、CAPS2のアミノ酸変異を起こす一塩基多型(SNP)も7ヶ所同定した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sadakata T, Washida M, and Furuichi T.: "Alternative splicing variations in mouse CAPS2: differential expression and functional properties of splicing variants", BMC Neurosci., 8 25 (2007)*

Sadakata T, Washida M, Iwayama Y, Shoji S, Sato Y, Ohkura T, Katoh-Semba R, Nakajima M, Sekine Y, Tanaka M, Nakamura K, Iwata Y, Tsuchiya KJ, Mori N, Detera-Wadleigh SD, Ichikawa H, Itohara S, Yoshikawa T, and Furuichi T.: "Autistic-like phenotypes in Cadps2-knockout mice and aberrant CADPS2 splicing in autistic patients", J Clin Invest., 117(4) 931-943 (2007)*

(総説)

定方 哲史：“有芯小胞分泌関連タンパク質CAPS2

研究の展開 自閉症との関連 ”、神経化学 46巻 第4号 836-843 (2007)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

定方哲史、鷺田美和、岩山佳美、大倉勇史、仙波りつ子、田中三佳、森則夫、市川宏伸、糸原重美、吉川武男、古市貞一：“CADPS2/CAPS2 遺伝子と自閉症との関連_ノックアウトマウスの解析と自閉症患者におけるスプライシング異常 ”、第50回日本神経科学大会 第50回日本神経化学学会大会 第17

回日本神経回路学会大会 合同大会、横浜、9月 (2007)

定方哲史：“自閉症の発症に関連する遺伝子 CAPS2 の解析 ”、第50回日本神経科学大会 第50回日本神経化学学会大会 第17回日本神経回路学会大会 合同大会、横浜、9月 (2007)

定方哲史、古市貞一：“Autistic-like phenotypes in Cadps2/CAPS2 knockout mice and aberrant CADPS2 splicing in autistic patients ”、第30回日本分子生物学会年会 第80回日本生化学会大会 合同大会、横浜、12月 (2007)

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

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(アドバイザー 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、鳴管傷害手技の確立と歌の変化の観察、また他の手

法の確立を行った。

- (1) まず、鳴管神経傷害手術後の生存率を上げることを目指した。手技の全ての段階を検討し生存率の大幅な改善を見た。
- (2) 鳴管神経は左右あり、それぞれが左右の鳴管を制御している。片側の鳴管を傷害することは、大脳において片側脳だけの変化が観察されることが期待される。今回はまだ歌の変化しか観察していないが、その結果おおよそ、左の鳴管は1 kHz以上、右の鳴管は1 kHz以下の周波数帯域を制御しているという知見を得た。これは発声機構としてジュウシマツがユニークな特性を持つことを示している。また、左の鳴管を傷害した一部の個体で新しい歌要素を入れて歌を再構築していく過程が観察された。
- (3) スライス生理実験手技の改良を行った。
- (4) 鳴禽類歌学習に関わる脳領域は歌制御系と呼ばれ、哺乳類の大脳で言えば領野のように機能分担をしている歌神経核という構造が協調して働く。このうちHVCという歌神経核は成鳥になっても神経新生現象が続いており、本研究においてもその関与が疑われる。そこで、細胞増殖評価に必要なBrdU染色手技の確立を行った。

研究者氏名：杉村 薫 Sugimura, Kaoru
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター
 細胞機能探索技術開発チーム
 (アドバイザー 宮脇 敦史)

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、組織が成長する際に応力場が果たす役割に注目した。これまでに、大規模な細胞移動が起こらない上皮組織の場合、組織のかたちは細胞分裂の向きにより決定されることが示唆されている。従って、上述の問題は、組織の応力場と細胞分裂の角度分布の関係を解くことと等しい。本研究では、この問題を解析するモデル系として、上皮細胞がシート状に並んだ構造をとるショウジョウバエの翅の形態形成過程を採用した。ショウジョウバエの翅は、細胞の配置やプロポーション(翅の長軸対短軸の長さの比)が異常になる変異体が報告されているなどの点から、生物学における力学特性の問題を扱うのに最も適した系の一つである。

本年度はまず、翅成虫原基と蛹期の翅、それぞれの経時観察方法を開発し、細胞境界を選択的に蛍光タンパク質で標識するショウジョウバエシステムを用いることで、翅上皮の細胞分裂を数時間に渡り追跡した。その結果、近くの細胞の分裂方向は互いに平行もしくは垂直になりやすいという局所的な相関を見いだした。現在、細胞の幾何学的な特性を自動的に抽出する画像解析プログラムを開発中である。ま

た、成虫原基を一軸方向に伸展させたり、フェムト秒子レーザーで組織に微細な切り込みを入れたりすることで、組織の応力場が細胞の分裂方向に影響を与えうるか否かを検討中である。あわせて、東京大学大学院総合文化研究科金子研究室との共同研究で、組織の弾性理論モデルの構築を進めており、実験と理論の両面から変態現象を支える力学場の役割に迫っている。

誌上発表 Publications (原著論文)

Kaoru Sugimura, Kohei Shimono, Tadashi Uemura and Atsushi Mochizuki: "Self-organizing Mechanism for Development of Space-filling Neuronal Dendrites", *PLoS Computational Biology*, 3: e212 (2007)

Yukako Hattori[†], Kaoru Sugimura[†], and Tadashi Uemura: "Selective expression of Knot/Collier, a Transcriptional Regulator of the EBF/Olf-1 Family, Endows the *Drosophila* Sensory System with Neuronal Class-specific Elaborated Dendritic Patterns", *Genes to Cells*, 12: 1011-1022 (2007)

[†]: equal contribution

口頭発表 Oral Presentations (国内学会等)

杉村薫、下野耕平、上村匡、望月敦史: "樹状突起を形づくるロジックとは?"、第40回日本発生物学会第59回日本細胞生物学会合同大会、福岡国際会議場、5月(2007)

研究者氏名：三原田 賢一 Miharada, Ken-ichi

ホスト研究室：バイオリソースセンター

細胞材料開発室

(アドバイザー 中村 幸夫)

Lipocalin 2はリポカリンファミリーに属する小型分泌タンパク質であり、近年急速に研究が進展している。この分子が注目されたきっかけは「アポトーシス誘導」及び「鉄輸送体」としての機能であり、我々も2005年に、マウスLipocalin 2が赤芽球のアポトーシス誘導、或いは分化抑制を引き起こすことで赤血球数の恒常性維持に関与している可能性があることを報告した。多面的な機能を持つ分子であり、鉄輸送の機能が真実であるならばトランスフェリン、ラクトフェリン等に次ぐ新たな鉄輸送体として今後も非常に注目すべき分子であると思われる。

しかし、上記の機能に関しては未だに機序がわかっておらず、前述の鉄輸送との関連も不明のままである。さらに、Lipocalin 2の受容体に関しては別々のグループから2つの分子が候補遺伝子として報告されているが、いずれの分子も機能解析が不十分であり、我々が観察してきた現象がいずれの受容体によるものなのか、または真の受容体が別に存在しているのか、大変興味深いところである。本研究は、Lipocalin 2の持つ機能に関してさらに深く追求するとともに、主に受容体の解析を中心としてその機序を

探るものである。

本年度は、まずマウスLipocalin 2で観察された血液系細胞に対する負の影響が、ヒトでも同様の機能であるかどうかをヒトLipocalin 2を用いた実験により解析してきた。その結果、ヒト赤芽球及び単球・マクロファージ系細胞において、マウス同様細胞増殖及び分化に対して負の影響が観察された。本結果は原著論文として報告した。さらに前述の受容体の解析を進めるために一方の候補遺伝子(BOCT)のノックアウトマウスを作成し、解析を開始した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Miharada K., Hiroyama T., Sudo K., Danjo I., Nagasawa T., and Nakamura Y.: "Lipocalin 2-mediated growth suppression is evident in human erythroid and monocyte/macrophage lineage cells", *J Cell Physiol.*, 215, 526-37 (2008)

(総説)

三原田賢一、中村幸夫: "リポカリン2による赤血球数調節機構", *細胞*, 39 312-316 (2007)

XIX - 056 ゲノム再プログラム化機構を利用した生殖細胞およびES細胞の作出

Production of ES Cells and Germ Cells Induced by Genomic Reprogramming Mechanisms

研究者氏名：三木 洋美 Miki, Hiromi

ホスト研究室：バイオリソースセンター

遺伝工学基盤技術室

(アドバイザー 小倉 淳郎)

核移植クローンの成功により、体細胞ゲノムは受精卵ゲノムの状態(全能状態)に再プログラム化(リプログラミング)できることが示された。ゲノムリプログラミングについては、未だ不明な部分も多いが、これを能力として利用することで新たな生物資源や研究材料の開発につながることを期待される。本研究では、未成熟卵子およびES細胞に存在すると考え

られるリプログラミング能を用いて、生殖細胞およびES細胞を作出することを試みる。

(1) 卵子のリプログラミング能を利用した雄性生殖細胞の雌性化

我々は、卵核胞(GV)期の未成熟卵子にはゲノムインプリンティングを雌型に変換させるとの確証を得ている。そこで、研究1では、発生工学的手法を用い

た網羅的インプリンティング操作の技術開発として、雄性生殖細胞を未成熟卵子細胞質に導入し、そのゲノムの性変換を試みる。さらに、この卵子を用いて二倍体胚を再構築し、その胚の発生延長やそのインプリントの状態を解析することでエピジェネティクス的人為的操作を確認する。

本年度は、以下の各種条件設定を行った。

- 1)GV卵子の除核
- 2)除核GV期卵子への円形精子細胞の注入
- 3)その後の体外受精または顕微授精
- 4)対照区となる通常の雄核発生胚の作成

これらは、概ね確認されたので、現在は、実際にGV期卵子を用いた胚の作成を試みている。来年度は、実際にこの胚を仮腹に移植してその発生能を確認するところまで進めることを目標に、継続して行っていく予定である。

(2)ES細胞のリプログラミング能を利用した体細胞由来ES細胞の樹立

体細胞由来ES細胞は、現在のところ大きく2種類に分けられる。1つ目は核移植クローンによるntES細胞、2つ目が遺伝子操作によって樹立されたiPS細胞

である。このような細胞は、再生医療の有力な手段となると考えられるが、前者では、現在までにマウス以外の動物では完全には成功しておらず、また、ヒトでは卵子を用いるための倫理的問題が生じる。一方、後者には、ヒトに応用する場合、遺伝子操作への懸念が残る。そこで、本研究では、ES細胞そのものに内在するとされているリプログラミング因子を利用して体細胞の多能性獲得を試みる。

研究1と同様に、本研究でも、まず種々の条件設定から取り組んだ。

- 1)ES細胞の細胞周期の同期化
- 2)細胞質の巨大化
- 3)脱核
- 4)ES細胞と体細胞との融合

1)~3)については、安定した条件の設定ができた。(4)については、まだ実用的な効率に至っていないため、来年度は、まずこの条件を詰めてから実際に脱核ES細胞質と体細胞との融合を行っていく予定である。さらに、コロニーが形成されれば、免疫染色やRT-PCRなどでいくつかのES細胞特有のマーカーを確認できるところまで進めたいと考えている。

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
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター
石川X線干渉光学研究室
(アドバイザー 石川 哲也)

X線回折の動力学的回折理論において、X線のベリ-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-曲率とは、ブラッグ条件の近傍でX線のプロッホ関数が位相幾何学的に非自明な性質をもつことに起因するものであり、X線では非常に大きな寄与をもたらすにも関わらず、これまで認識されていなかった。本研究では以下の2点を調べた。

(1)時間反転対称性と空間反転対称性の両方の破れたマルチフェロイクスと呼ばれる物質群のポラリトン状態に着目した。このような電気分極と自発磁化を同時にもち物質系では、それらの外積で表されるトロイダルモーメントが重要な役割を果たす。ポラリトンの共鳴付近では、このトロイダルモーメントがベリ-接続として働いて、電磁波の

運動量に補正を与え、負の屈折現象を示すことを発見した。さらに、このポラリトン状態は、物質の裏側から入射すると全反射するため、光アイソレータとしても機能する。また、トロイダルモーメントの向きを外場によって変えることで、物質の表と裏とを実効的に入れ替えることができる。ここに着目すると、外場によって光の透過・全反射を制御できて、マルチフェロイクスが光に対する弁の働きをするので、物理的には強磁性体で議論されているスピンバルブの光学への類推に対応する現象であることがわかった。

(2)歪んだ結晶中でブラッグ条件近傍でのX線波束のベリ-曲率による現象を調べた。結晶歪みとブラッグ条件はそれぞれ実空間・波数空間の性質を

反映したものであるため、それらが共存する場合にはX線波束は位相空間におけるベリー曲率を感じる。これまでの研究ではベリー曲率によって波束の位置が逆格子ベクトルの方向にシフトすることが知られていた。今回は、位相空間の情報を反映する他の光学現象として、測光学における輝度不変の法則に着目した。その結果、歪んだ結晶中では、輝度不変則にベリー曲率による補正が加わり、結晶歪みの状態に応じてX線の輝度の明暗が変化することがわかった。

誌上発表 Publications

(総説)

澤田桂：“Berry位相による動力的回折理論と新しい光学現象”、放射光学会誌 20巻 367頁

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

澤田桂：“空間反転対称性の破れた磁性体における光学現象”、公開研究会「理論から探る磁性科学の展望」東京大学、8月(2007)

澤田桂、村上修一、永長直人：“メタマテリアルとしてのマルチフェロイクス”、日本物理学会第62回年次大会、北海道大学、9月(2007)

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

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(アドバイザー 城 宜嗣)

蛋白質を中心とする生体分子は、複合体形成や相互作用といった構造のダイナミクスを通じてエネルギー変換やシグナル伝達等の生命現象を担っており、近年はX線結晶構造解析やNMRによって原子分解能でそれらの作用機構が調べられている。しかし溶液中での巨大分子や複合体のダイナミクスはその大きさゆえに検出・解析が困難で、有効な手段が非常に少ない。そこで本研究では超巨大分子複合体(分子量：約2.3MDa)である大腸菌リボソームをモデル複合体として、質量分析法と水素/重水素(H/D)交換を用いることにより巨大複合体ダイナミクスの解析法を開発することを目的としている。

質量分析法によるH/D交換は、蛋白質を重水環境下に置いたときダイナミックに動いている部位の解離性プロトンが素早く重水素に置き換わる現象を質量分析法により検出する方法で、溶液中でのダイナミクスを定量的に解析することができる。近年我々はこの方法を巨大蛋白質複合体に適用することで各蛋白質の違いを一斉検出する基礎を確立し、19年度は70S状態のリボソーム蛋白質をターゲットとして測定における時間分解能・構造分解能の向上や機能研究を行った。

検出するダイナミクスの時間分解能向上を目指

し、チップ上でミリ秒オーダーの反応を行うことができるマイクロリアクターの設計を行った。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、蛋白質や複合体が機能に重要な構造変化を行っているミリ秒の時間オーダーで交換をクエンチできるシステムを開発している。これまでに20ミリ秒まで時間分解能を向上させることに成功し、拡張性や反応精度を上げるために更なる改良を行っている。

リボソームの機能とダイナミクスの関係を調べる研究の一環でMg²⁺濃度依存性を調べた。リボソームは一般に5mM前後のMg²⁺濃度で最も活性が高く10mM程度まで来ると急激に活性が低下することが知られている。H/D交換実験を行った結果5mM以下の濃度では多くの蛋白質が非常に高い交換割合を示しているのに対し、それ以上の濃度になると急激に交換が抑制され始め10mM以上になると一定になった。このことは活性がある濃度領域ではリボソームがダイナミックに動いていることを示しており、不活性領域ではMg²⁺がrRNAに結合することで硬い構造になっていることがわかった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamamoto T., Takao T., Izumi S., and Gekko K.: "Site-Specific H/D Exchange Analysis of a Protein by Mass Spectrometry Coupled with Carboxypeptidase Digestion", *Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan*, 55 333-338(2007)*

(総説)

山本竜也、月向邦彦：“質量分析法を用いた巨大タンパク質複合体のH/D交換の研究”、*Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan*, 55 217-219 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

渡部浩史、山本竜也、楯真一、月向邦彦：“質量分析法によるジヒドロ葉酸還元酵素の高分解能H/D交換解析”、第55回質量分析総合討論会、広島、5月(2007)

山本竜也、瀧尾擴士、城宜嗣：“H/D交換と質量分析法による70Sリボソーム蛋白質ダイナミクスのMg²⁺濃度依存性解析”、日本生物物理学会第45回年会、横浜、12月(2007)

XIX - 059 天然物由来生理活性ポリペプチドasteropine類に関する応用研究

Studies on Action Mechanisms of Bioactive Natural Polypeptide Asteropine A

研究者氏名：高田 健太郎 Takada, Kentaro

ホスト研究室：ゲノム科学総合研究センター

システム情報生物学研究グループ

(アドバイザー 榊 佳之)

海綿動物から酵素シアリダーゼ(別名ノイラミニダーゼ)の阻害物質として発見されたアステロピンは、イモガイ毒であるコノトキシン様の主鎖構造を持つポリペプチドである。シアリダーゼはインフルエンザウィルスが感染細胞から出芽する際に、鍵物質として機能するタンパク質であることが知られていることから、アステロピンの強固な基本骨格を保持したまま、より選択性の高い阻害物質を開発することを目的に研究を進めている。また同時に、アステロピンが筋収縮過程において、類例のない作用を示すことを見出しているため、アステロピンを分子プローブに用いた作用機序の解明を試みている。

初めに、化合物の安定供給を目的とし、アステロピンの大腸菌発現系の確立を試みた。結果、アステロピンのアミノ酸配列を基にDNAを合成し、pET32bを改良したプラスミドに導入することで安価に、かつ、大量にペプチドを調製することが可能となっ

た。得られた組み換えペプチドは、二次元NMR解析により、天然物と同様の三次構造を保持していることが確認された。そこで、酵素反応条件下における酵素との相互作用を解析するべく、NMR測定を試みているが、アステロピンは疎水性が高く、高濃度の溶液中では不溶化してしまうため、ペプチドに更なる改変を加え条件を検討している。また、作用機序研究における生化学実験に必要な各種誘導体を得ることに成功し、それらが活性を保持していることが確認できたので、現在、表現型を誘起するアステロピンの標的タンパク質を探索している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

高田健太郎：“海綿由来のコノトキシン様ペプチドについて”、海洋生物活性談話会、鹿児島、5月(2007)

XIX - 060

メタボローム解析を活用した葉の形態進化に関する研究 なぜネギ類植物の葉身部は空洞なのか？

Studies on Leaf Morphology Using Metabolome Analysis Why are Welsh Onion Leaves Hollow?

研究者氏名：梅原 三貴久 Umehara, Mikihiisa

ホスト研究室：植物科学研究センター

生長制御研究チーム

(アドバイザー 神谷 勇治)

ネギ属植物には重要な香味野菜が多く存在するが、それらの葉の形態に注目すると、ニンニク、ニラ、リーキなど扁平な葉をもつものとネギやタマネギなど葉身内部に空洞を形成するものとに分類できる。ネギの葉を生育段階に応じて観察すると、若い葉では内部は液胞化した細胞で満たされているが、葉の発達に伴い、内部の空洞化が進行する。この現象は誰も知るどころでありながら、なぜネギがこのようなシステムを獲得したのかは未だ明らかにされていない。そこで、本年度は(1)空洞内部の気相にはどのような成分が存在するのか、(2)いつ・どのようにして空洞が形成されるのかを調査した。

- (1)ネギ属植物の組織に傷をつけるとさまざまな揮発性含硫化合物が放出される。そこで、ガスクロマトグラフィー・マススペクトロメトリー(GC-MS)を用いて内部の揮発性成分の分析を試みたが、特徴的な成分を検出することはできなかった。GCを用いて無機ガスの分析を行ったところ、若い葉ほど酸素濃度が低く、二酸化炭素濃度が高く、呼吸活性が高いことが明らかになった。
- (2)非破壊で植物内部組織を観察することができるMRI(Magnetic Resonance Imaging)法を用いて葉の

空洞形成過程を解析した。20 mmのプローブを用いて経時的に観察を行ったところ、第1葉では判然としなかったが、発芽後2週間から4週間の間に第2葉の空洞形成が観察できた。このネギの葉が空洞になる過程で粘性の高い多糖液が一時的に蓄積することが明らかにした。もともと、ネギ属植物は炭水化物が豊富に含まれる植物である。近年、多糖類の腸内細菌に対するポジティブな効果が注目されている。この一時的に蓄積する粘性多糖類溶液はネギの旨みでもあり、体に良い成分であると言われてきたが、その効能の詳細は未だよくわかっていない。そこで、この多糖類溶液を回収し、マウスの腸内細菌叢に与えたところ、乳酸が劇的に増加した。これは乳酸菌が増殖していることを示唆している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

梅原三貴久、菊地淳、山口信次郎、神谷勇治：“MRI法を用いたネギ葉身部における空洞形成過程の非破壊観察”、第49回日本植物生理学会、札幌、3月(2008)

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

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

研究者氏名：深澤 壽太郎 Fukazawa, Jutarou

ホスト研究室：植物科学研究センター

促進制御研究チーム

(アドバイザー 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-twobybrid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RGA/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。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。本年度は、以下のことを明らかにした。

- (1) 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。
- (2) GAF1における、GAIとの相互作用に必要な領域を同定した。この領域を欠失したGAIと相互作用しない変異体タンパク質mtGAF1(GAIbd)、を作製した。
- (3) 酵母を用いたモデル実験よりGAF1は、ほとんど転写活性化能を示さない転写因子であるが、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。また、ゲルシフト解析により、GAF1は、GAIとは対照的にDNA配列特異的な結合能を有することが明らかとなった。

- (4) GAF1の標的遺伝子を探索するため、花成制御遺伝子および、ジベレリン応答遺伝子に焦点をあて、GAF1過剰発現体において発現量が変化している遺伝子をマイクロアレイにより解析した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

深澤壽太郎、石田さらみ、高橋陽介：“bZIP型転写因子RSGによるジベレリン生合成フィードバック制御機構の解析”、植物化学調節学会第42回大会、静岡、10月(2007)

深澤壽太郎、村越悟、寺村浩、那須野慶、西田尚敬、吉田充輝、山口信次郎、神谷勇治、高橋陽介：“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”、第49回植物生理学会年会、札幌、3月(2008)

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

ホスト研究室：植物科学研究センター

植物免疫研究チーム

(アドバイザー 白須 賢)

オートファジーとは、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)オートファジーが老化の抑制に関与していること、(3)オートファジー能欠損植物では、病原菌感染時における過敏感反応細胞死の進行が早いこと、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。

(A) 老化と病原体抵抗性に関わっているとされて

いるサリチル酸に焦点を当て、オートファジー能欠損植物における表現型との関与を検討した。その結果、サリチル酸をカテコールに転換する酵素遺伝子NahGを過剰発現させた植物、あるいはサリチル酸生合成、サリチル酸シグナリング系の変異体との二重変異体ではオートファジー不能植物の老化促進表現型が抑制された。一方で、老化に関与していると言われているその他の植物ホルモン、ジャスモン酸やエチレンの生合成、シグナリング系の変異株では表現型が抑制されなかった。また、NahGにより老化促進表現型が抑制された植物にサリチル酸のアナログBTHを添加するとその抑制は解除された。以上の結果から、オートファジー不能植物ではサリチル酸生合成以降のサリチル酸シグナリング経路が活性化していることが示唆された。

(B)オートファジーは細胞質タンパク質に加え様々なオルガネラ分解に寄与している。そこで、ペルオキシソームあるいはミトコンドリア局在型GFPを発現させたオートファジー不能植物を用いてそれらのオルガネラの挙動を調べたところ、オートファジーが不能であるとペルオキシソームの数が野生型よりも増えているのが観察された。一方でミトコンドリアについてはあまり変化が見られなかった。植物において、オートファジーによるペルオキシソームの特異的分解機構が存在するかもしれない。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Fujioka Y., Noda N. N., Fujii K., Yoshimoto K., Ohsumi Y., and Inagaki F.: "In vitro reconstitution of plant ATG8 and ATG12 conjugation systems essential for plant autophagy", *J. Biol. Chem.*, 283, 1921-1928 (2008)*
Ishida H., Yoshimoto K., Reisen D., Yano Y., Makino A., Ohsumi Y., Hanson M. R., and Mae T.: "Mobilization of stromal proteins of chloroplasts to the vacuole by an ATG gene-dependent autophagic process", *Plant Physiol.*, submitted*

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
ホスト研究室： 植物科学研究センター
植物ゲノム発現研究チーム
(アドバイザー 関 原明)

種子の発芽や乾燥などのストレスに關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

絞りと、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。また、集めた変異体の中には、植物体が小さく、開花が遅延したものが得られた。以上の解析から、ncRNAが植物体で何らかの機能を果たしていることが明らかになった。今後、ncRNAがどのような分子機構によって種子発芽を制御しているか解析を進める予定である。

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sORFを約60同定した。来年度は、sORFを過剰発現させ種子発芽の解析を行うことで機能的sORFを同定する予定である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Toh S., Imamura A., Watanabe A., Nakabayashi K., Okamoto M., Jikumaru Y., Hanada A., Aso Y., Ishiyama K., Tamura N., Iuchi S., Kobayashi M., Yamaguchi S., Kamiya Y., Nambara E. and Kawakami N.: "High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in Arabidopsis

seeds”, *Plant Physiology*, in print*

Melhorn V., Matsumi K., Koiwai H., Ikegami K., Okamoto M., Nambara E., Bittner F. and Koshiha T.: “Transient expression of *AtNCED3* and *AAO3* genes in guard cells causes the stomatal closure in *Vicia faba* L”, *Journal of Plant Research*, 121:125-131. (2008)*

Lin P., Hwang S., Endo A., Okamoto M., Koshiha T. and Cheng W.: “Ectopic Expression of *ABA2/GINI* in Arabidopsis Promotes Seed Dormancy and Stress Tolerance”, *Plant Physiology*, 143:745-758. (2007)*

Saika H., Okamoto M., Miyoshi K., Kushiro T., Shinoda S., Jikumaru Y., Fujimoto M., Arikawa T., Takahashi H., Ando M., Arimura S., Miyao A., Hirochika H., Kamiya Y., Tsutsumi N., Nambara E. and Nakazono M.: “Ethylene promotes submergence-induced expression of *OsABA8ox1*, a gene that encodes ABA 8'-hydroxylase in rice”, *Plant & Cell Physiology*, 48:287-298. (2007)*

(著書)

Seki M., Okamoto M., Matsui A. and Shinozaki K.: “Microarray analysis for studying plant abiotic stress responses”, *Molecular Techniques in Crop Improvement*, 2nd edition (Springer publisher), in print

Okamoto M., Hanada A., Kamiya Y., Yamaguchi S. and Nambara E.: “Measurements of abscisic acid and gibberellins by gas chromatography/mass spectrometry”, *Method in Molecular Biology Book* (The Humana Press Inc.), Chapter 9, in print

久城哲夫、岡本昌憲：“ABA 8'位水酸化酵素による種子の発芽調節”、種子発芽の生態学、生理学、分子生物学 (種生物学会刊行本)、印刷中*

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

岡本昌憲、松井章浩、石田順子、諸澤妙子、遠藤高帆、望月芳樹、小林紀郎、豊田哲郎、南原英司、篠崎一雄、関原明：“タイリングアレイを用いたシロイヌナズナの種子におけるトランスクリプトーム解析”、第49回日本植物生理学会年会、札幌、3月(2008)

岡本昌憲、松井章浩、石田順子、諸澤妙子、遠藤高帆、望月芳樹、豊田哲郎、南原英司、篠崎一雄、関原明：“タイリングアレイを用いたシロイヌナズナの種子におけるトランスクリプトーム解析”、植物化学調節学会第42回大会、静岡、10月(2007)

XIX - 064

ゲノム情報を基盤としたアレルギーメカニズムの解明

Epigenetic Regulation of Helper T Cell Development and Allergy

研究者氏名：田中伸弥 Tanaka, Shinya

ホスト研究室：免疫アレルギー科学総合研究センター
シグナルネットワーク研究チーム
(アドバイザー 久保 允人)

ヘルパーT細胞分化はアレルギー発症と密接に関わっている為、ヘルパーT細胞(Th)分化制御機構を解明することが、アレルギー制御に繋がると考えられている。本実験計画では、エピジェネティックな遺伝子発現制御という観点からアレルギー発症に関わるTh2細胞分化制御を明らかにすることを目的とした。Th2分化を促進する液性因子インターロイキン(IL)-4の発現は、IL-4遺伝子座周辺に存在する複数の領域によって制御されている。我々は、この制御領域の欠損マウスを作製することによって、上記命題の解明を試みた。

本年度は、制御領域の一つであるIL-4サイレン

サー領域の欠損マウスを解析しヘルパーT細胞分化がこのサイレンサーによっていかなる制御を受けているか検討を行った。

(1)サイレンサー欠損マウス由来のCD4 T細胞を抗原刺激後48時間におけるIL-4発現(初期IL-4発現)を検討したところ、欠損マウスでは、初期IL-4発現が亢進していた。

(2)サイレンサー欠損ナイーブCD4 T細胞をTh1, 2細胞へ分化させることによって、分化過程におけるサイレンサーの機能を検討した。いずれの条件下においても、分化はほぼ正常であった。よって、サイレンサー欠損マウスのTh2優位な形質

は、初期IL-4産生亢進によるTh2分化増強によるものであると考えられた。今後、CD4 T細胞におけるIL-4発現抑制の分子メカニズムを解析する予定である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Yagi R., Tanaka S., Motomura Y., and Kubo M.: "The regulation of Il4 gene independently controlled by proximal and distal 3'enhancers in mast cells and basophils", *Mol Cell Biol.* (2007)*

(総説)

田中伸弥、久保允人：“NotchによるヘルパーT細胞分化制御”、細胞工学、秀潤社

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

田中伸弥、久保允人：“IgE産生誘導にIL-4エンハンサーCNS-2は必須である”、KTCC、京都、6月(2007)

田中伸弥、久保允人：“The regulation of IL-17A by Memory-Phenotype(MP) CD4 T cell”、日本免疫学会総会、東京、11月(2007)

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

ホスト研究室：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

(アドバイザー 大野 博司)

ヒトを含め動物の腸内には数百種類以上で100兆個にもおよぶ細菌が生息しており、これら一群を総称して腸内細菌叢(腸内フローラ)と呼ぶ。腸内フローラはヒトの健康維持に有用であると同時に、有害な面があることも明らかになってきている。近年ではヨーグルトなどの乳製品を摂取することで腸内フローラの改善による腸管関連疾患やアレルギーなどの改善・予防効果が明らかになってきており、ビフィズス菌や乳酸菌を直接利用するプロバイオティクスの有用性が健康維持・予防医学の面から認識されている。しかし、それら腸内フローラ全体が、宿主 - 腸内フローラ間相互作用(cross-talk)によりどのような作用機序で宿主の健康維持や疾患の改善に関わっているのか、その科学的根拠は乏しい。特に腸内フローラの解析においては、微生物間、さらには宿主とのcross-talkがヒト個体全体の恒常性を保つ大きな鍵を握っている。しかし、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全体と宿主のcross-talk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。

そこで本研究では、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cross-talkを解析した。これまでに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、O157と共に典型的なプロバイオティクスである*Bifidobacterium longum*(*B. longum*)を投与すると感染死は完全に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*を投与しても感染死が予防できないことも明らかにした。*B. longum*前投与によりO157のマウス腸管内における生菌数、シガ毒素産生量、シガ毒素活性、腸管内pHには*B. longum*前投与の有無によらず違いは認められなかったが、O157単独投与時にみられた血清中のシガ毒素濃度の増加および大腸上皮の軽い炎症は認められなかった。従って、*B. longum*による宿主腸管上皮バリア機能や免疫能の増強が感染死予防に寄与する可能性が示唆された。種々の*Bifidobacterium*を定着させたマウス糞便中の代謝物プロファイリング解析および大腸腸管上皮細胞の遺伝子発現プロファイリング解析から、O157投与による感染死を予防すると思われる*B. longum*の代謝産物を同定した。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukuda S., Nakato G., Miura K., Kawano K., Hase K., Itoh K., and Ohno H.: "Differential gene expression profiles of follicle-associated epithelium covering mu-

rine intestinal Peyer's patches in response to host-bacterial cross-talks", 13th International Congress of Mucosal Immunology, Tokyo, July (2007)

(国内学会等)

福田真嗣、中藤学、中西裕美子、三浦克吉、伊藤喜久治、菊地淳、大野博司：“宿主腸内フローラ間相互作用の解析とその評価系の構築”、第11回腸内細菌学会、東京、6月(2007年)

Fukuda S., Nakanishi Y., Nakato G., Itoh K., Kikuchi J., and Ohno H.: "Elucidation and assessment of the effectiveness of probiotics against lethal infection of en-

terohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 by metabolic profiling", The 20th Naito Conference, Innate Immunity in Medicine and Biology [III], Kanagawa, Oct. (2007)

Fukuda S., Nakato G., Miura K., Date Y., Yokosawa K., Kawano K., Hase K., Tsuneda S., Itoh K., and Ohno H.: "Gene expression profiles of follicle-associated epithelium covering murine intestinal Peyer's patches in response to host-bacterial cross-talk", 第37回日本免疫学会総会・学術集会、東京、11月(2007年)

XIX - 066 BMP結合タンパク質Cv2の *in vivo* におけるBMPシグナル制御機構の解明

Functional Analysis of BMP-binding Protein Cv2 in Organogenesis

研究者氏名：池谷 真 Ikeya, Makoto

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター
細胞分化・器官発生研究グループ
(アドバイザー 笹井 芳樹)

発生過程において、BMPシグナルは中胚葉形成・神経誘導・臓器形成など、さまざまな局面で作用している重要な因子である。またBMPは濃度依存的に様々な種類の細胞種を誘導するモルフォゲンとしての活性を持つことが既に知られている。BMPの濃度勾配を制御する因子はすでにいくつか報告されているが、中でもchordin型のシステインに富んだドメインを持つタンパク質群は、細胞外でBMPリガンドに結合して受容体との結合を阻害し、活性勾配形成に中心的な役割を担っていることがこれまでの研究により明らかにされてきた。

私が興味を持って研究を進めているCrossveinless2 (Cv2)分子は、chordin型のシステインに富んだドメインを持つタンパク質の一つである。その機能は、他の分子と同様に、BMP分子の受容体への結合を阻害する機能があることが*in vitro*で示されている。しかし、*in vivo*の骨形成過程ではBMPシグナルを促進する機能があるということが昨年までの我々の研究から明らかになった。本年度は、以下の解析を通じ(1)骨形成だけでなく腎臓のネフロン形成においてもCv2はBMPシグナルを促進する機能があること、さらに(2)BMP制御因子であるTwisted gastrulation (Tsg)がCv2の機能に必須であること、を示した。(1)Cv2とBmp7の二重変異体の作製と表現型解

析を行い、Cv2は腎臓のネフロン形成過程においてBmp7と協調的に機能するBMP促進因子であることを示した。

(2)Cv2とTwisted Gastrulation (Tsg)の二重変異体の作製と表現型解析を行い、骨形成およびネフロン形成におけるCv2の機能はTsg依存的であること(Tsg変異はCv2変異に対してエピスタティックであること)を示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ikeya M., Nosaka T., Fukushima K., Kawada M., Furuta Y., Kitamura T., and Sasai Y.: "Twisted gastrulation mutation suppresses skeletal defect phenotypes in Crossveinless 2 mutant mice", *Mech. Dev.*125 (2008) 832-842

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

池谷真：“BMP結合タンパク質Cv2は*in vivo*でBMPシグナルの伝達に必須の因子である”、第21回モロシヌス研究会、理研CDB、6月(2007)

Ikeya M.: "Cv2 is required for metanephric mesenchyme condensation in a Bmp7 dependent manner", CDBリトリート、淡路夢舞台、10月(2007)

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

Cell Migration and Neurite Formation in Zebrafish Cerebellum

研究者氏名： 田辺 光志 Tanabe, Koji
ホスト研究室： 発生・再生科学総合研究センター
体軸形成研究チーム
(アドバイザー 日比 正彦)

小脳を構成する神経細胞は発生を遡ると、神経管のより後方側、Upper Rhombic Lip(URL)と呼ばれる領域から移動してくることが知られている。マウスを用いた解析から、URLにおける神経前駆細胞はいくつかの転写因子の発現によって染め分けられ、顆粒細胞等のグルタミン酸陽性神経細胞の前駆細胞はMath1を、プルキンエ細胞等GABA陽性神経細胞の前駆細胞はPtf1aを発現することが知られている。しかしこれらの細胞がどのような移動経路を辿って小脳を形作るのかについては明らかでない。私はライブイメージングにおけるゼブラフィッシュの有用性を活かして、atoh1a(Math1相同遺伝子)発現細胞の移動様式を、atoh1a:GFPトランスジェニックシステムを用いて経時的に観察した。その結果、将来の小脳の区画化に対応するように、発生のごく初期から、細胞移動や軸索伸長の様式が異なる集団が存在することが明らかとなった。そのうち最も前方側に位置する細胞集団は細胞体を腹側に移動させると同時に、軸索を腹側に向かって伸長させた。また、腹側に伸びた軸索は一旦前方に伸びた後、より腹側の視床下部付近へ投射するものと、背側に方向を変え視蓋へ投射するものの2つに分かれた。この細胞集団に注目して、腹側への方向性を持った細胞移動の制御機構、

あるいは視床下部と視蓋への軸索投射を分ける機構の解析を行っている。

以上の神経細胞移動の解析と共に、ゼブラフィッシュにおけるプルキンエ細胞の形態を観察した。aldorase C-like遺伝子のプロモーターがプルキンエ細胞特異的な遺伝子発現を誘導できることを確認した後、そのプロモーターの下流で細胞膜結合型GFPを発現させ、プルキンエ細胞の形態を詳細に観察した。その結果、前後軸や内側・外側軸上の細胞体の位置に応じて、プルキンエ細胞の樹状突起の形態が異なることを見出した。分岐パターンの違いはあるが、全てのプルキンエ細胞は細胞体から1本の樹状突起のみを伸ばし、その樹状突起が複雑に分岐する。このような高度に極性化した形態が、どのような形態的变化を経て形成されるかを、今後タイムラプス観察によって調べる。

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会等)

田辺光志、佐藤千恵、東島眞一、日比正彦：“ゼブラフィッシュ胚予定小脳領域における神経細胞移動の解析”、第13回小型魚類研究会、東京大学、9月(2007)

XIX - 068 哺乳類の受精における細胞周期制御機構の解析

Molecular Mechanisms of the Cell Cycle Control at Fertilization in Mammals

研究者氏名： 庄司 志咲子 Shoji, Shisako
ホスト研究室： ゲノム科学総合研究センター
タンパク質基盤研究グループ
(アドバイザー 横山 茂之)

受精前の哺乳類卵は、通常、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(mII)で細胞周期が停止している。これを制御する分子機構を解明することが本研究の目的である。これまでに我々はマウス卵においてEmi2というタンパク質分

子がこのmII停止の決定因子であることを明らかにした。分裂期中期ではサイクリンをターゲットとするE3ユビキチンリガーゼであるAPC/サイクロソーム(APC/C)がその進行を制御しており、このAPC/Cの機能発現にはCdc20というタンパク質分子が必要であ

る。我々のこれまでの解析により、Emi2をノックダウンするとmII停止が解除されること、Emi2がAPC/Cの活性化因子Cdc20と結合することが示されている。これに基づき、当初は「Emi2がCdc20に結合することで、Cdc20とAPC/Cとの結合を阻害して活性化を阻止する」というモデルを考えていたが、最近の報告で、Emi2は他のAPCサブユニットにも結合することが示唆されてきていることから、「Emi2が偽基質としてAPC/Cと相互作用して機能を阻害する」というモデルも組込んで検討することにした。現在はEmi2によるAPC/C阻害の分子機構に注目しており、上述のような分子モデルを明瞭に検証するために、これまでに報告されている細胞からの粗抽出分を用いた実験方法ではなく、精製度の高いタンパク質を材料にした *in vitro* アッセイを構築中である。

本年度はこのベースとなる APC/C-E3 活性発現最小単位での反応系および APC/C^{Cdc20} のターゲットとなる基質を加えてのコピキチン化反応系までを確立した。また Emi2 のアミノ酸配列上の APC/C^{Cdc20} の機能発現に關与する領域を決定するため、現在までに得られている情報を基に予測される機能ドメインを変異させた Emi2 タンパク質シリーズを作成した。今後はこれらの変異型 Emi2 を加えて、*in vitro* APC/C-E3 アッセイを行う予定である。更に、分子間の相互作用の観点から APC/C の E3 阻害機構を解析するための情報を得たいので、Emi2 と APC/C の E3 機能発現において重要なコンポーネントとなる APC サブユニットの結晶構造解析を計画している。本年度はこの準備として、これらのタンパク質発現系と精製条件を検討した。

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
ホスト研究室： 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
(アドバイザー 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、生命の永続性を保障する分子機構を内包する。哺乳類の生殖細胞は原腸陥入の開始にともない原始外胚葉から分化する。発生初期の始原生殖細胞 (primordial germ cell: PGC) は数個から数十個という少数の細胞からなり、他の細胞種に埋もれて存在しているため、通常の分子生物学的なアプローチは困難である。近年、単一細胞 cDNA のスクリーニングにより、マウス始原生殖細胞の形成過程の最初期に機能する遺伝子 Blimp1 が同定されたが、その発現を誘導する分子機構や、ゲノムの後成的情報の初期化、全能性の再獲得など生殖細胞の特質を達成する機構は未解明である。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。これにより発現量の高い遺伝子のスクリーニングにとどまらない、包括的かつ定量的な解析が可能になった。この手法は初期胚を初めとする発生の各

過程、神経系、体性幹細胞の解析等に広く応用可能である。

本年度は、野生型マウス胚において原腸陥入開始直前(受精後 6.25 日)より約 6 時間ごとに、PGC への運命決定を受けた前駆体 (Blimp1 陽性細胞) および PGC を含む胚の一部から細胞を採取し、新規手法により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にあり、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。また、原始外胚葉や中胚葉には見られない多数の遺伝子の発現上昇・抑制も明らかになった。さらに、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。一方、PGCで発現が上昇する遺伝子の半数については、Blimp1は必要ではなかったが、特異性の高い遺伝子群はBlimp1に対する依存性が強かった。これら単一細胞分解能においてのみ可能な解析により、PGC形成過程の全容を明らかにする基盤が出来つつあると考えている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

M Saitou, Y Yabuta, K Kurimoto: "Symposium: Nuclear

reprogramming and the control of differentiation in mammalian embryos. Single-cell cDNA high-density oligonucleotide microarray analysis: detection of individual cell types and properties in complex biological processes", RBM Online, Volume 16, No 1 January 2008*

(総説)

大日向 康秀、栗本 一基、藪田 幸宏、関 由行、斎藤 通紀: "単一細胞遺伝子発現解析から明らかとなった生殖細胞形成・分化の分子機構", 蛋白質核酸酵素, 52(16): 2039-2045, 2007

XIX - 070 肝再生システムの理解に向けた基盤研究 肝再生時における成熟肝細胞の増殖再活性化機構の解明と肝前駆細胞の遺伝学的細胞系譜追跡

Basic Research for Liver Regeneration Mechanisms Underlying Reactivation of Hepatocyte Proliferation in Liver Regeneration and the Genetic Lineage Tracing for Liver Progenitor Cells

研究者氏名: 鈴木 淳史 Suzuki, Atsushi
ホスト研究室: 発生・再生科学総合研究センター
臓器再生研究ユニット
(アドバイザー 谷口 英樹)

古くから、肝臓は旺盛な再生力を有することが知られている。部分肝切除後の再生過程では、残った成熟肝細胞が数回分裂増殖するだけの代償性肥大により肝再生が完了する。一方、成熟肝細胞の分裂が阻害された状況では、門脈周囲に小型の前駆細胞 (Oval cell) が増殖し、成熟肝細胞に代わって肝臓を再生する。このように、肝臓には二通りの再生様式が存在するが、成熟肝細胞の増殖活性/停止のメカニズムや Oval cell の細胞系譜など、肝再生の基盤科学については解明すべき点が多い。そこで本研究では、肝再生システムの理解を研究の全体構想として据え、肝再生時における成熟肝細胞の分裂再活性化機構の解明とOval cellの細胞系譜追跡を主たる目的として、双方の肝再生様式に関する研究を平行して進めている。

肝細胞の増殖サイクルを考えてみると、「発生期 = 分裂増殖期」・「成熟期 = 分裂停止期」・「再生期 = (再)分裂増殖期」の3つに大別できる。すなわち、肝再生時に分裂停止中の成熟肝細胞が再び分裂増殖期に入るとは、肝発生期の分裂能力(細胞分裂に必要な遺伝子/タンパク質発現)を再獲得した結果と考えられる。そこで、「発生期」・「成熟期」・「再生期」の

3者間で肝細胞の遺伝子/タンパク質発現プロファイルを比較解析することで、肝再生時に再活性/抑制される遺伝子/タンパク質を探索した。その結果、肝細胞における発現パターンが肝臓の「発生期」・「成熟期」・「再生期」で劇的に変化する遺伝子を複数発見した。今後、これらの遺伝子の機能解析を進めるとともに、同様の遺伝子/タンパク質を複数同定し解析したい。

また、成熟肝細胞の増殖が阻害された状況で出現するOval cellを中心にした肝再生様式では、Oval cellの由来や肝再生に与える影響の程度など、本質的な問題が未解決のままである。そこで、誘導型 Cre-loxPシステムを用いた「遺伝学的細胞系譜追跡法」を活用し、肝組織を構成する二種類の実質細胞(肝細胞と胆管上皮細胞)を別々に標識・追跡することでOval cellの「もと」となる細胞を特定する。次に、Oval cellの子孫細胞の動態を追跡観察することで、Oval cellが増殖と分化を経て肝組織を再構築するという一連の流れを時間空間的にとらえる。本年度は、Alb-CreERT2ノックインマウスとGt(ROSA)26Sor-lacZマウスを交配して得た二重遺伝子改変マウスを用意し、適切なタモキシフェンの投与方法を調べ、タモ

キシフェンの投与により成体肝臓中の肝細胞が X-gal 染色にて染色されることを確認した。また、胆管上皮細胞の特異的遺伝子マーカーである CK19 のプロモーター領域を用いて作製した CK19-CreERT2 トランスジェニックマウスは、脆弱な CreERT2 の発現と

特異性の欠損が認められ、本プロモーターでは CK19 の発現制御領域をカバーできないと考えられた。そこで、Alb-CreERT2 マウスと同様に、CK19-CreERT2 マウスに対してもノックインマウスの作製を進めている。

平成 19 年度 基礎特研年報

平成 20 年 12 月 10 日 印 刷

平成 20 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 基礎基盤研究推進部研究人事課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号
