

平成18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18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18年度(平成18年4月より平成19年3月まで)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、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、その独創性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、自らの研究計画に基づき、その研究を主体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、審査に合格した研究課題・研究内容を勘案の上、理研の研究室等の中から研究を遂行するに最も相応しいホスト研究室と、適切な助言を与えることができるアドバイザーを選定しています。現在までに、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、175名となっています。

平成19年8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15年度下期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XV - 065	色素修飾 dendrimer を用いた光誘起電荷分離の長寿命化と光電変換素子の創成	小西 利史	3
XV - 066	超弦理論・行列模型に基づく時空の力学の研究	松浦 壮	3
XV - 068	赤外 - テラヘルツ領域で負の屈折率を示す 3 次元メタリックメタマテリアルの作製	武安 伸幸	4
XV - 069	走査トンネル顕微鏡による単一分子の電気伝導メカニズムの解明	片野 諭	5
XV - 070	In-Cell NMR を用いた生体内における蛋白質間相互作用の解析法の開発	吉益 雅俊	6
XV - 071	ポリグルタミン病への有機化学的アプローチ	萩原 伸也	7
XV - 072	メンブレントラフィックから見た植物プログラム細胞死の液胞崩壊機構	井藤 純	8
XV - 073	レーザーテラヘルツ顕微分光システムの開発とバイオチップへの応用	山下 将嗣	8
XV - 074	窒素サイクルに関わる膜内在性一酸化窒素還元酵素の構造生物学的研究	日野 智也	9
XV - 075	非対称分裂における分裂軸制御因子の同定および解析	大石 久美子	10
XV - 076	体細胞核移植技術の基礎研究と ntES 細胞を用いた新規発生工学技術の開発	大田 浩	11

平成16年度上期採用者

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVI - 001	銀河団ダークマター分布の解明	太田 直美	15
XVI - 002	ブラックホールの最先端を拓く	三谷(久保田)あや	16
XVI - 003	宇宙線の加速源研究のための軟ガンマ線検出器の開発	小浜 光洋	17
XVI - 004	広帯域硬 X 線による宇宙線源探査と撮像分光観測による加速機構の解明	馬場 彩	17
XVI - 005	専用計算機による遺伝子情報処理の高速化	杉江 崇繁	18
XVI - 006	粒子法による詳細な銀河進化モデル	中里 直人	19
XVI - 007	反水素原子の超微細構造周波数の測定	柴田 政宏	20
XVI - 010	中性子過剰核の崩壊の Q 値と励起順位の研究	炭竈 聡之	21
XVI - 011	sd 殻領域陽子過剰核における陽子ハロー探索とその構造解明	田中 鐘信	22
XVI - 013	陽子非弾性散乱を用いた中性子過剰核のガンマ線核分光	道正 新一郎	22
XVI - 014	重い不安定核のソフトな振動励起モードの研究	山上 雅之	23
XVI - 015	鏡像核比較法による $T_z = -2$ 陽子過剰核の線核分光	山田 一成	25

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVI - 016	K 中間子原子核の実験的研究	岡田 信二	26
XVI - 017	弦理論と非可換幾何学	浅川 嗣彦	27
XVI - 018	超弦理論におけるブレインと行列模型の手法を用いた超対称量子場の理論の解析	太田 和俊	28
XVI - 019	行列模型を用いた弦理論の非摂動効果、非摂動的定義の探求および時空構造の解明	黒木 経秀	28
XVI - 020	分数量子ホール系、及び朝永・ラッティンジャー液体におけるナノスケールの量子輸送現象	井村 健一郎	29
XVI - 021	幾何学的フラストレーションをもつ強相関電子系における新奇な現象の研究	是常 隆	30
XVI - 023	2 光子光電子分光法による高温超伝導体の非占有電子状態に関する研究	園田 康幸	31
XVI - 025	非線形光学ポリマーフォトニック結晶導波路中における非線形現象の解明とデバイス応用	井上 振一郎	32
XVI - 026	微生物の光水素発生能の改良を目指したヒドロゲナーゼ・光合成活性中心複合体の設計と新規スクリーニング法の開発	伊原 正喜	33
XVI - 027	分子シャペロン存在下におけるアミロイド 凝集挙動の研究	迫野 昌文	34
XVI - 029	電気化学的特性を利用した集積型超分子ナノネットワークの構築と素子化	堀江 正樹	35
XVI - 030	高圧力を手段として用いた分子性導体の物性研究	石井 康之	36
XVI - 031	硬 X 線、軟 X 線を用いた超伝導体等強相関物質の電子状態の研究	木須 孝幸	37
XVI - 033	希土類材料の分子設計に関する基礎研究	羅 一	38
XVI - 034	新規血管新生阻害剤 azaspirene の標的分子の同定とそれに基づくドラッグデザイン	浅見 行弘	39
XVI - 035	骨粗鬆症治療薬の開発を目的としたリベロマイシン A に関する研究	川谷 誠	39
XVI - 036	生体内におけるコレステロール代謝の新たな調節機構の解明	柴田 識人	40
XVI - 037	DNA 複製前後の細胞核タンパク質の構造と機能変動のプロテオミクスによる解析	武内 桂吾	41
XVI - 038	mRNA クオリティコントロールに関する化学生物学的研究	甲斐田 大輔	42
XVI - 039	蛋白質アセチル化を生細胞内で可視化するための蛍光プローブ分子の開発	佐々木 和樹	43
XVI - 041	植物の形態形成におけるエンドサイトーシスの役割 Rab5 GEF 変異体の形態学的解析を中心に	内田 和歌奈	44
XVI - 042	核内構造を介した転写制御機構の解析	島田 信量	44
XVI - 043	シロアリ腸内共生難培養性微生物のゲノムと機能解析	本郷 裕一	45
XVI - 044	気体充填型反跳分離装置を用いた超重元素の探索	加治 大哉	46
XVI - 045	RIBF 計画の U (ウラン) ビーム生成に向けた大強度多価金属イオン源の研究開発	日暮 祥英	47

符号	研究課題	研究者氏名	頁
XVI - 046	有限温度におけるハドロンスペクトラム QCD 和則と格子 QCD の視点から	土井 琢身	48
XVI - 047	カラーガラス凝縮形式によるスモールエックスの物理	八田 佳孝	49
XVI - 048	PHENIX のためのシリコンバーテックス検出器の開発とそれを用いた陽子スピン構造の解明	浅井 淳吉	50
XVI - 052	サブミリ波帯・超伝導検出器の大規模イメージングアレイ化と天文観測への応用	有吉 誠一郎	51
XVI - 053	シングルフォトンスペクトロスコープを用いた生体情報イメージング技術の研究	大野 雅史	52
XVI - 054	コンピューター・シミュレーションを用いたヒト運動動作の研究	長野 明紀	53
XVI - 055	尿管で高発現するタンパク質を用いた腎臓特異的な発現制御機構の解明	宮崎 雅雄	54
XVI - 057	患者の病態生理モデルに基づく生理機能のロバスト適応制御システム	陸 高華	55
XVI - 059	細胞膜ラフトに局在する新規糖脂質ホスファチジルグルコシドの神経機能の解明	堀端 康博	56
XVI - 060	母性行動の分子神経メカニズム	黒田 公美	57
XVI - 061	学習機構および積分発火ダイナミクスを持つリカレントニューラルネットワークにおける時空間情報処理の解明	増田 直紀	58
XVI - 062	Rab27A を介する細胞内小胞輸送機構の解明：ヒト Griscelli 症候群の病態解明を目指して	黒田 垂歩	59
XVI - 063	脂肪酸水酸化酵素チトクロム P450 の反応中間体結晶構造を基盤とした触媒反応機構解析	金 美沙	60
XVI - 064	X線光子相関分光法による動的構造研究	石川 大介	61
XVI - 065	SPring-8 における光電子分光、赤外分光による強相関電子系の電子状態の研究	松波 雅治	61
XVI - 066	高等植物の硫黄同化分子エンジニアリングを目指した比較ゲノム研究	吉本 尚子	62
XVI - 067	哺乳類ポリコムによる runx 遺伝子群の転写制御機構の解析	藤村 雄一	63
XVI - 069	神経外胚葉から原始神経細胞形成の分子機構の解析	斐 永己	64
XVI - 070	細胞移動や器官形態形成における糖鎖修飾の影響とその必要性の解析	伊原 伸治	65
XVI - 071	ショウジョウバエ胚神経系の形態形成において区画化を産み出す機構	滝沢 一永	65
XVI - 072	頭部形成に関する遺伝子ネットワークの解明	西岡 則幸	66

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	67
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	68

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	69
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	70
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	閻闡 孝介	71
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	71
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	72
XVI - 082	多核種同時 線イメージング装置の開発	本村 信治	73
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	74
XVI - 084	蛋白質ホモ二量体化可視化技術の開発	下藪 哲	75
XVI - 085	雌性生殖幹細胞株の樹立とその解析	本多 新	76
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	77
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	78
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	79

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	83
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	84
XVII - 003	KEK-12GeV 陽子加速器を用いたペンタクォークの高分解能測定	成木 恵	84
XVII - 004	NMR 法における液体ストッパーの開発	亀田 大輔	85
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	87
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	88
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	89
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	89
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	90
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	91
XVII - 012	ナノ構造における非平衡多体効果	内海 裕洋	92
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	93
XVII - 014	^3He における 2次元超流動の探索	斎藤 政通	95

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	96
XVII - 016	量子ドットを用いた単一電子スピンのコヒーレント制御	森山 悟士	97
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	98
XVII - 018	微細DNAパターンの複写・縮小技術の開発	鈴木 健二	99
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	100
XVII - 020	有機強相関物質における電場と光による物性制御	清水 康弘	101
XVII - 021	ATP 結合性蛋白質の新規網羅的解析法の開発	清水 護	102
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	103
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	104
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	104
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	大木本 圭	105
XVII - 026	地衣類・共生菌の脂質分泌促進タンパク質の解析と共生藻の菌類エクソサイトーシス誘因物質の解析	荒川(小林)聡子	106
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	106
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	107
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	108
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	108
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	109
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	110
XVII - 033	小脳神経回路網におけるルガロ細胞の役割	廣野 守俊	111
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	112
XVII - 035	神経変性疾患モデル動物における脳機能障害の <i>In Vivo</i> 解析	中島 龍一	112
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	113
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	114
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	115
XVII - 040	スプライソソームの構造生物学	林田 稔	116
XVII - 041	高分子量蛋白質と核酸のダイナミックな相互作用を解析するNMR法の確立	大野 綾子	117
XVII - 042	コヒーレントX線回折顕微鏡の高空間分解能化と金属材料の3次元内部組織観察	高橋 幸生	118
XVII - 043	腸内連鎖球菌ナトリウム輸送性V型ATPaseのX線結晶構造解析	村田 武士	119
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	119

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	120
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	121

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	122
XVII - 048	近藤効果の直接観察	坪井 紀子	122
XVII - 049	高強度フェムト秒レーザーで配向させた分子の励起ダイナミクスの観測	加来 昌典	123
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	124
XVII - 052	ナノ粒子の粒径と個数濃度の標準	今中 雅士	125
XVII - 053	フッ素化フラレンを用いた機能性分子の合成と物性	伊藤 清太郎	126
XVII - 054	イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析	松浦 公美	127
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	128
XVII - 057	オートファジーを制御する低分子量G蛋白質Rabの同定とその機能解析	伊藤 敬	129
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	129
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	130
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	131

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	135
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	136
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	137
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	138
XVIII - 005	軌道自由度を持つ強相関電子系物質の理論的研究	望月 維人	139
XVIII - 006	ナノポラス構造を利用した遷移金属酸化物の機能開拓	岡本 佳比古	140
XVIII - 007	相競合状態を利用した新機能材料・巨大応答材料の開発	高山 知弘	141
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	142
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	142
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	144
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	145

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	145
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	146
XVIII - 014	真空紫外ポンプ-プローブ画像観測法による気相分子の光解離ダイナミクスに関する研究	小城 吉寛	147
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	148
XVIII - 016	単離核を用いた複製反応再構成系の確立	柳 憲一郎	148
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	149
XVIII - 018	高等植物のトランスゴルジ網(TGN)のダイナミクスの解析	植村 知博	150
XVIII - 019	ヌクレオチド除去修復因子のダイナミクスと損傷応答制御機構	西 良太郎	151
XVIII - 020	膵癌診断を目的とした世界最小径の中空針状ラマンプローブの開発および基礎実験	片桐 崇史	152
XVIII - 021	糖鎖の超高速分析技術の開発	中嶋 和紀	153
XVIII - 022	スフィンゴ糖脂質合成過程でのグルコシルセラミドのフリップ・フロップ機構に関する解析	岩本 邦彦	153
XVIII - 023	ホスファチジルイノシトールによる細胞膜直下のアクチン骨格制御機構の研究	村瀬 琴乃	154
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	155
XVIII - 025	外場応答型コロイドフォトリック結晶の作製	金井 俊光	156
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	157
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	159
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	159
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	161
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	162
XVIII - 031	新魔法数 $N=34$ の探索	竹下 英里	163
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	163
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	164
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	165
XVIII - 035	量子重力の実験的検証とその周辺理論	尾田 欣也	166
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	166
XVIII - 037	超対称性を持ったゲージ場の理論に関連する強弱双対性の起源の理解	横井 直人	167
XVIII - 038	QCD 相転移の臨界点近傍におけるクォークの準粒子描像と観測量	北沢 正清	168

符号	研究課題	研究者氏名	頁
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	169
XVIII - 040	EFHC1機能解析と若年性ミオクロノーてんかんの病因解明	鈴木 俊光	170
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	171
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	172
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	173
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：齧歯類デゲーを用いて	時本 楠緒子	174
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	175
XVIII - 046	フラストレートした三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体における擬イジング性と軌道秩序	寺田 典樹	176
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	177
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	178
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 り糸	179
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	180
XVIII - 051	細胞内垂鉛シグナル経路の解明	鈴木 智之	181
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	181
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	182
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	183
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	184
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	185

平成 15 年度採用者

XV - 065 色素修飾 dendrimer を用いた光誘起電荷分離の長寿命化と
光電変換素子の創成

Construction of an Efficient Light-to-Current Conversion System
by Applying Persistent Charge-Separated States in Sensitizer-Functionalized Dendrimer

研究者氏名：小西 利史 Konishi, Toshifumi
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)

本研究では、光エネルギー変換(色素増感太陽電池)・光物質変換(人工光合成)の確立を最終的な目的として、反応速度論に立脚した光機能性超分子の創成について検討している。光機能性デバイスの作成においては、光合成系を模倣したベクトルの電子移動による効率的光電荷貯蔵を達成するだけでなく、同時に、光反応の収量に直接寄与する励起光の吸収量・電荷分離の発生効率・逆電子移動の抑制効率の最適化にまで着目した分子設計が必要となる。超分子化学の手法には、これらの重要な課題全てを同時にクリアできる可能性があると考えられる。機能性分子(色素・電子受容性分子・電子供与性分子など)を適切に配置することで、単一分子系にはない光機能を発現させるという発想は、光エネルギー利用技術の基盤となる高効率な光誘起電子移動系の構築に関する新たな指針になると期待している。

本年度は、分光学的に十分に精製された単層カーボンナノチューブ(SWNTs)の均一溶液、およびSWNTs/光機能性分子のコンポジットが示す光反応性について、蛍光寿命測定、レーザーフラッシュフォトリスス等の高速分光を用いて、反応速度論的

に研究をおこなった。その結果：

- (1) SWNTsの均一溶液への定常光照射によって測定された発光、および光増感電子移動の解析
 - (2) SWNTs/光機能性ポリマーのコンポジット系における超高速光過程の解析
- などに成功した。これらの研究成果により、SWNTsと光機能性分子で構成される超分子デバイス試作への足がかりを得ることができたと考えている。超分子相互作用を利用した光反応系では、分子集合体は動的に構築・再構築を繰り返すことが多い。そのため、SWNTs表面を利用した反応においても、機能性分子が動的に会合・脱会合することを念頭に置いた光反応を設計する必要があり、これが今後の検討課題となる。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小西利史、池田篤志、菊池純一、和田達夫：“超分子相互作用を利用した光誘起電子移動の制御”、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 第3回、和光市、4月(2006年)

XV - 066 超弦理論・行列模型に基づく時空の力学の研究

Analysis of Space-time Dynamics via Superstring Theory and Matrix Model

研究者氏名：松浦 壮 Matsuura, So
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)

超弦理論は、重力理論も含めた自然界の相互作用を統一的に記述する、いわゆる統一理論の最有力候補である。特に近年、弦理論を非摂動的に定義していると考えられている「行列理論」を用いたアプローチによって、超弦理論が時空自体のダイナミクスを記述している可能性が示唆されている。一方、超弦

理論は、超対称性を持つゲージ理論の非摂動的な性質を調べる際にも非常に重要な役割を果たす。特に最近、超対称性を持つゲージ理論の性質の一部が行列模型や2次元ヤン・ミルズ理論といった低い次元の理論の解析を通じて理解出来る事が明らかになってきており、ゲージ理論の性質を解明する上でも、

超弦理論や行列模型の果たす役割は益々大きくなっている。

本期間我々は、4次元超対称ゲージ理論のインスタントンに対して、超弦理論の立場から研究を行った。4次元ゲージ理論のインスタントンに対しては、ADHM構成法と呼ばれる構成方法が古くから知られている。一方、4次元ゲージ理論のインスタントンを超弦理論の立場から見ると、Dブレーンの束縛状態として理解する事が出来る。我々は、不安定Dブレーン系を利用した、DブレーンのBPS束縛状態の構成方法を応用して、ADHM構成法が不

安定Dブレーン上のタキオン場の配置として理解出来る事を示した。更に我々は、同じ手法を高次元のゲージ理論に対して応用し、8次元ゲージ理論におけるインスタントンのモジュライ空間の構造についても一定の理解を得る事が出来た。

誌上発表 Publications

(その他)

Asakawa T, Ohta K. and Matsuura S: "Construction of Instantons via Tachyon Condensation", arXiv, hep-th/0604104

XV - 068

赤外 - テラヘルツ領域で負の屈折率を示す 3次元メタリックメタマテリアルの作製

Fabrication of Three-dimensional Metallic Metamaterial
for Negative Refraction from Infrared to Tera-Hertz Region

研究者氏名：武安 伸幸 Takeyasu, Nobuyuki
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)

本研究は、光学領域で負の屈折率を示す3次元金属メタマテリアルの作製を目的としている。昨年度は、2光子吸収微細造形法により作製したポリマーテンプレートに金属をコーティングする手法を検討し、本手法により数 μm 以下の3次元金属構造体を広い領域に作製できることを示した。本年度は3次元金属微細構造体を3次元に配列させる手法について検討した。この場合、3次元金属構造は例えばポリマーのような絶縁体により保持され金属体同士が非接触な状態でなければならない。そこでポリマーが付き易い樹脂と付き難い樹脂の2種類の光硬化性樹脂を用いて3次元ポリマー構造体を作製し、これに無電解めっきを施す方法を試みた。本手法を用いると金属が析出した部分は導電性を示し、析出しなかった部分は絶縁体のままであるため、任意形状の3次元金属/ポリマー複合体を作製することができる。一般にポリマーには金属は析出しにくいいため、金属を付けない部分には従来の光硬化性樹脂を用いた。一方で金属を析出したい部分には、5重量%メタクリルアミドを含んだ光硬化性樹脂を調整して用いた。アミノ基は不対電子を持つために銅や銀など遷移金属と配位結合することができる。これを利用し、選択的にメタクリルアミドを含む箇所に金

属を還元・析出させることに成功した。ポリマー膜上に析出した金属は金属光沢を示し、その抵抗値を測定することにより導電性を確認した。さらに2種類の樹脂を使って2光子吸収微細造形により3次元微細構造を作製し、選択めっきを試みた。これをSEMで観察することにより、選択的にアクリルアミドを含んだ樹脂の方へ金属が析出している様子が確認された。この結果から本手法は3次元金属/ポリマー微細構造作製に有効で、3次元金属メタマテリアルの作製に応用できる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Takeyasu N., Formanek F., Chiyoda K., Tanaka T., Ishikawa A. and Kawata S.: "Site-selective metal deposition on 3D micro/nanostructures fabricated by two-photon polymerization", Proc. SPIE Vol. 6324, 63240W (2006)

Kawata S., Tanaka T., Takeyasu N. and Nakanishi S.: "Photopolymerization and Metalization for Fabricating Devices and Metamaterials", Proc. MRS, Vol. 921E (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際学会)

Takeyasu N., Formanek F., Chiyoda K., Tanaka T.,
Ishikawa A. and Kawata S. :“Site-selective metal depo-
sition on 3D micro/nanostructures fabricated by two-
photon polymerization”, SPIE Optics & Photonics

2006, San Diego, Aug. (2006)

Takeyasu N., Formanek F., Chiyoda K., Tanaka T.,
Ishikawa A. and Kawata S. :“Fabrication of 3D nano/
microstructures by two-photon polymerization and
metallization”, The 232nd ACS National Meeting, San
Francisco Sep. (2006)

XV - 069 走査トンネル顕微鏡による単一分子の電気伝導メカニズムの解明

Electronic Conduction of Single Molecule on Metal Surface using Scanning Tunneling Microscope

研究者氏名：片野 諭 Katano, Satoshi

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)

近年、機能性を持たせた有機分子をナノスケールで制御し、アトムレベルの電子デバイスとして創製する試みが盛んに行われている。これらのデバイスは、従来のSiデバイスとは異なる原子スケールの物性がより顕著に現れ、単一有機分子自身さらには電極との界面がデバイス機能発現の重要な場として働くと考えられる。本研究は、分子ひとつひとつを識別可能な走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて単一分子の電子状態および電気伝導を観測し、分子内および界面における電子の振る舞いをアトムレベルで明らかにすることを目的としている。ターゲットとする有機分子を選ぶことにより、電気伝導を担う要素を分離し単一分子内の電子の流れを捕らえ制御することが可能になると期待する。本年度の研究において以下の事項を明らかにすることができた。

(1) 剛直三脚分子の構造制御および電子状態の解明

Au(111)表面に吸着させた剛直三脚分子の吸着構造および局所電子状態をSTMを用いて明らかにした。トリチオールアダマンタンを骨格とした三脚分子は分子内の3つのS原子を介して金属基板に吸着し、直立構造を実現することが可能である。頭部をBr基で修飾した三脚分子は特徴的な自己組織化単分子膜を形成することが分かった。この構造は、隣り合うS原子の分子間相互作用により安定化され、さらに隣接分子のメチレン基の幾何位置により光学活性構造を誘起することが分かった。また、頭部をフェロセン誘導体で置換した三脚分子は、Br置換体と同一構造の自己組織化単分子膜を形成した。これは、アダマンタン位における分子間相互作用により吸着構造が規定され、その構造が頭部の修飾基によらないため

であると考えられる。

さらに、走査トンネル分光(STS)法によりBr置換体およびフェロセン置換体の電子状態を明らかにした。Br置換体はフェルミエネルギー近傍にピークを有さないのに対して、フェロセン置換体のスペクトルには分子のHOMOおよびLUMOに帰属される明瞭な共鳴ピークが検出された。トリチオールアダマンタンを骨格とした三脚分子は、吸着構造を保持したまま単一分子の電子状態を任意に制御できる可能性を有することが本結果から示唆される。

(2) 官能基修飾にともなう吸着芳香族分子の電子状態変化

Cu(110)表面に吸着させたハロゲン安息香酸($\text{XC}_6\text{H}_5\text{COOH}$; X=F, Cl, Br)誘導体の局所電子状態をSTMおよびSTSを用いて明らかにした。フェニル基のメタ位にハロゲン基(F, Cl, Br)を有するm-ハロゲン安息香酸のSTSスペクトルには、LUMOおよびLUMO+1の共鳴ピークが現れた。STSの2次元マッピングにより、LUMOおよびLUMO+1はそれぞれ分子内のフェニル基、ハロゲン基に局在していることが明らかとなった。また、LUMO+1のピーク位置は、置換ハロゲンの原子番号が大きくなるに従いフェルミエネルギー近傍にシフトした。このピークシフトは、ハロゲン基からフェニル基への電子供与効果によると考えられる。一方、フェニル基のパラ位にハロゲン基を有するp-ハロゲン安息香酸のSTSスペクトルには、メタ位の場合と同様にLUMOおよびLUMO+1の共鳴ピークが現れた。しかしながら、LUMOのピーク位置が置換ハロゲンの原子番号が大きくなるに従いフェルミエネルギー近傍にシフトし

た。つまり、パラ位ではハロゲン基の電子供与効果でなく電子吸引効果が顕著に現れると考えられる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Katano S., Kim Y., Hori M., Trenary M. and Kawai M.: “Chemical Switching of a Single Molecule-Metal Contact”, 投稿中.

Katano S., Herceg E., Trenary M., Kim Y. and Kawai M.: “Single Molecule Observations of the Adsorption Sites of Methyl Isocyanide on Pt (111) by Low temperature Scanning Tunneling Microscopy”, 投稿中.

Katano S., Kim Y., Matsubara H., Kitagawa T. and Kawai M.: “Hierarchical Chiral Framework Based on Rigid Adamantane Tripod on Au (111)”, 投稿中.

Katano S., Kagata Y., Kim Y. and Kawai M.: “Local Structure and Anisotropic Assembly of Formate Adsorbed on Ni(110): Low Temperature Scanning Tunneling Microscope Study”, In press.

Hori M., Katano S., Kim Y. and Kawai M.: “Local Structure of the Aminobenzoate Isomers on Cu (110)”, Journal of Vacuum Society of Japan, 49 141-144 (2006) 141.

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hori M., Katano S., Kim Y., and Kawai M.: “The substituent effect on the local electronic structure of halobenzoate adsorbed on Cu (110)”, 46th IUVESTA Workshop & 5th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics, Abashiri, Japan, May, (2006).

XV - 070 In-Cell NMR を用いた生体内における蛋白質間相互作用の解析法の開発

Methodological Development of In-Cell NMR as a Novel Tool for Observing Protein-Protein Interaction in Living Cells

研究者氏名：吉益 雅俊 Yoshimasu, Masatoshi

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)

近年の生化学的、構造生物学的な解析手法の進歩により、蛋白質の分子単体としての構造や機能について多くの知見が得られてきた。今後、この蛋白質の構造機能相関を通して生命現象の素過程を解明していくためには、動的な生体内にある状態での蛋白質の機能や分子動態を、直接的に高分解能で観測する新しい技術開発が必須となる。既にMRIなどの医療機器でも実証されているとおり、核磁気共鳴技術を用いることで生体内部の情報を非侵襲的にリアルタイムに観測することができる。そこで本研究では、生体内に存在する蛋白質のNMRシグナルを直接観測するIn-Cell NMR法を用いて、生体内における蛋白質の動態、経時的な構造変化、基質や他の蛋白質との相互作用などを解析可能な新規測定法の開発を行った。これまでに、生細胞として大腸菌を用いて細胞質内におけるカルモジュリン蛋白質(CaM)の動態や構造および蛋白質間相互作用などを観測し、さらに原核生物と真核生物の細胞内環境の差を考慮して、外来蛋白質の発現系が確立されたメタノール資化性酵母*Pichia Pastoris*を用いて真核生物細胞を対象

としたIn-Cell NMR法の開発を行ってきた。その結果、CaMをモデル系として、溶液中と生体内における蛋白質主鎖のNMRシグナルの相違、局所的な立体構造の変化、生体内特異的に生ずる蛋白質間相互作用などを観測し、カルシウムイオン濃度の変化に応じて生体機能を調節するCaMの機能発現機構に新しい知見を提供した。

今年度は、In-Cell NMR法を用いた新薬のスクリーニングや薬剤に対する応答反応の解析など、将来的な医薬分野での実用化を目指し、世界にさきがけて線虫を用いたIn-Life NMR法の開発を行った。特に医薬分野では、培養細胞のような単細胞系ではなく分化により各細胞が機能に特化した多細胞生物、つまりは個体内部における標的物質の動態を解析する必要がある。そこで、個体レベルでの遺伝子機能や作用機構を解析するための代表的なモデル生物である線虫に着目し、より高分解能な異種核多次元NMR測定を行うための個体に対する安定同位体標識法を開発した。そして、世界初となる線虫の異種核多次元NMRスペクトルの観測および生体内の窒素代謝の経

時変化や蛋白質のNMRシグナルの観測に成功し、*in vivo* NMR研究の新しい扉を開いた。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Honda M., Inoue J., Yoshimasu M., Ito Y., Shibata T and Mikawa T.: "Identification of the RecR toprim domain as the binding site for both RecF and RecO.", *J. Biol. Chem.*, 18549-18559 (2006)*

XV - 071

ポリグルタミン病への有機化学的アプローチ

An Approach to the Neurodegenerative Disease Based on the Synthetic Chemistry

研究者氏名：萩原 伸也 Hagihara, Shinya
ホスト研究室：伊藤細胞制御化学研究室
(アドバイザー 伊藤 幸成)

タンパク質は、正常な高次構造を形成して初めてその機能を発揮することができる。そのため、細胞はタンパク質を正常なフォールディング状態へ維持する様々なシステムを備え、常にタンパク質の品質を管理している。合成されたタンパク質の多くは、小胞体へ移行し糖鎖修飾などの翻訳後修飾をうけながら正常なフォールディングへと導かれ、様々な場所へと運ばれていく。同時に、小胞体では構造上の不具合があるタンパク質の選別が行われ、これらの不良タンパク質は細胞質へと逆輸送されユビキチン-プロテアソーム系により分解される(小胞体関連分解)。このようなタンパク質品質管理機構は、生命活動の根本過程として基礎生物学的に興味深いだけでなく、関連した疾患も多く知られており医学的見地からも注目されている。本研究は、分子を自在に創ることのできる有機合成化学を基盤に、タンパク質品質管理機構の解明を目指している。

近年、糖タンパク質からアスパラギン(N)結合型糖鎖を切除するペプチド-N-グリカナーゼ(PNGase)が小胞体関連分解に関与していることが明らかになってきた。しかし、細胞内での局在や他のタンパク質との相互作用など、PNGaseの機能に関して未解明な点もまだ多く存在している。これらを解明する上で効果的な手段として、PNGaseを蛍光色素などで標識することにより細胞内の挙動を可視化することがあげられる。本年度は、PNGaseの機能解明を目指し、PNGaseを特異的に蛍光標識できる化合物の開発を行った。

PNGaseは、N型糖鎖を認識し、アスパラギン側鎖のアミド結合を加水分解する。その際、PNGaseの活

性中心に存在するシステインのチオール基が求核攻撃を行っている。このような反応機構に基づき、N型糖鎖の還元末端にチオールとの反応性が高いハロアセトアミド基を導入した化合物が、PNGaseのシステイン残基を選択的に修飾する阻害剤になることが明らかにされている。また、PNGaseが活性を示す糖タンパク質糖鎖の最小構造はキトピオース構造であることがわかっている。私は、これらの知見に基づき、キトピオース構造の還元末端にチオール基との反応性が高いクロロアセトアミド基を、非還元末端に蛍光色素を有する化合物を合成した。この化合物をPNGaseと反応させたところ、PNGaseを高効率・高選択的に蛍光修飾できることが明らかになった。

誌上発表 Publications
(原著論文)

戸谷希一郎、萩原伸也、伊藤幸成：“有機合成化学による糖タンパク質糖鎖の機能解明”、有機合成化学協会誌、64, 492-501 (2006)*

Hagihara S., Toatani K., Ito Y.: "Exploration of Oligosaccharide-Protein Interactions in Glycoprotein Quality Control by Synthetic Approaches", *The Chemical Record*, submitted *

口頭発表 Oral Presentations
(国内会議等)

萩原伸也：“タンパク質の品質管理と糖鎖” 齋藤シンポジウム ゲノム化学の最先端 医学・分子生物学への応用と展開、福島、9月(2006)

XV - 072 メンブレントラフィックから見た植物プログラム細胞死の液胞崩壊機構

A Mechanism of Vacuolar Rupture during Programmed Cell Death in Plants
from the Viewpoint of Membrane Traffic

研究者氏名：井藤 純 Ito, Jun

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野明彦)

維管束は維管束構成細胞への分化が連続して起こることにより形成され、この分化過程においては小胞輸送機構が重要な役割を担っている。たとえば、維管束構成細胞のうち、道管・仮道管を構成する道管要素の分化過程では、極性の形成や液胞の崩壊を引き金としたプログラム細胞死が起こる。なかでも、プログラム細胞死は液胞内に積極的に酸性加水分解酵素を輸送し、液胞の性質をよりライソソーム様に変化させた後に崩壊させるというユニークな方法により実行される。このようなことから、維管束の連続性の確立には厳密に制御された小胞輸送システムが深く関与していることは確かだと思われるが、その分子機構の詳細は未だ不明なままである。本研究では、維管束形成過程における Rab GTPase を中心とした小胞輸送機構の役割とその制御機構を解明することで、維管束の連続性及び極性決定に関わる分子機構の詳細の解明を目指す。

これまでに、シロイヌナズナ培養細胞からの *in vitro* 分化誘導系を利用して、この道管要素分化過程において小胞輸送制御因子 Rab GTPase が特異的な機能を担っている可能性があることを明らかにしている。さらに、道管要素分化のマスター遺伝子 *VND7* (NAC転写因子ファミリー)の過剰発現体を用いたジーンチップのデータを検索したところ、Rab7や Rab11等複数の Rab GTPase や SNAREの発現が上昇しており、このうちの幾つかは *in vitro* 分化誘導系を

用いたジーンチップにおいても発現上昇が認められ、道管要素分化過程の二次壁形成や細胞死が起こる時期で機能している可能性が高い。また、一連のジーンチップ解析と発現解析の結果から、動物において極性輸送を制御する因子として知られる Rab GTPase、Rab11の一部の遺伝子の発現が、道管要素分化の様々な段階で特異的に上昇することを見出した。この結果は、分化過程でみられる極性決定にある特定の Rab11 が関与していることを示唆している。

液胞膜の動態制御に関与すると思われる Rab7と VAM3(SNARE)のノックアウトラインの解析から、*rab7* 三重変異体や *vam3* と *rab7* の多重変異体で根や胚軸の維管束や葉脈の形成の遅れや分化能の低下が認められ、Rab7が道管形成において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)

井藤純、植村知博、宇田川真樹子、久保稔、出村拓、本瀬宏康、福田裕穂、上田貴志、中野明彦：“維管束形成におけるシロイヌナズナ Rab GTPase 遺伝子群の網羅的解析”、日本植物学会第 70 回大会、熊本
齊藤知恵、植村知博、井藤純、安部弘、上田貴志、中野明彦：“液胞膜上に生じるサブ領域様構造 bulb に関する研究”、日本植物学会第 70 回大会、熊本
9月(2006)

XV - 073 レーザーテラヘルツ顕微分光システムの開発とバイオチップへの応用

Development of Laser-Terahertz Microscopic Spectroscopy System and Its Application to Bio-Chip

研究者氏名：山下 将嗣 Yamashita, Masatsugu

ホスト研究室：フロンティア研究システム

川瀬独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 川瀬晃道)

本研究ではフェムト秒レーザーにより半導体基板を励起し、放射された THz 波を用いてレーザー

ポットサイズ程度の空間分解能で試料の分光計測を行うレーザー THz 顕微分光システムの開発を目的

としている。レーザーTHz顕微分光システムをバイオチップの診断ツールとして利用することにより、蛍光ラベルを必要としないラベルフリー診断法への応用を目指す。本研究では、実用化が期待されているバイオチップのラベルフリー診断法としてTHz光技術を応用するために、二つの新しいアイデアを導入している。第一に、THz光源とバイオチップ基板材料を同一にすることで試料と光源間の距離を非常に短くし、励起レーザーのスポットサイズ程度の空間分解能を達成する手法の導入である。本手法は、高感度かつ高空間分解能で高分子の結合状態の検出を可能とするものであり、さまざまな生体分子、農薬、有害物質検出システムへの応用も期待できる。

本年度は、レーザーTHzエミッション顕微鏡を用いてLSIの故障診断法としての応用可能性を検討し、さらに空間分解能の向上を目指しレンズの設計を行った。レーザーTHzエミッション顕微鏡によるLSI故障診断では、フェムト秒レーザーでLSIを走査し、放射されたTHz波の振幅強度を画像化することでLSI内部の電界異常を検出することが可能である。

(1) 無バイアス電圧状態で、TEGチップ測定による基本性能評価

レーザーTHzエミッション顕微鏡により、無バイアス化でのTEGを観察し、pn接合内部の電界分布画像の取得に成功した。pn接合に接続した金属配線の形状に依存したテラヘルツ波放射特性を観測した。

(2) システムの空間分解能向上

LSIの微細化に対応するためレンズ設計を進め、1.6 μm以下の空間分解能を達成した。

誌上発表 Publications

(総説)

山下将嗣、中島佐知子、大谷知行、川瀬晃道：“テラヘルツ波のイメージング応用”、電子情報通信学会誌, vol. 89, no. 6, pp. 481-487 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kawase K., Yamashita M., Otani, C., Ogawa Y., “THz-wave parametric sources and imaging applications,” MRS Symposium on Materials Research for THz Applications, K2.1, San Francisco, USA (Apr. 20-21, 2006)

Ouchi T., Kasai S., Kurosaka R., Itsuji T., Yoneyama H., Yamashita M., Kawase K., Ito H.: “Terahertz Integrated Transmission Line Sensors Using a Bonded Epitaxial GaAs Layer on Silicon Substrates”, IRMMW-THz 2006, Shanghai, China, Sep. (2006)

Yoneyama H., Yamashita M., Kasai S., Kawase K., Ito H., Ouchi T.: “Application of a Membrane Device for Biosensing with Terahertz Time Domain Spectroscopy”, IRMMW-THz 2006, Shanghai, China, Sep. (2006)

(国内会議)

山下将嗣、二川清、斗内政吉、大谷知行、川瀬晃道：“レーザーテラヘルツ放射顕微鏡による集積回路観察”、第18回半導体ワークショップ、浜松、6月(2006)

中島佐知子、保科宏道、山下将嗣、大谷知行、三好憲雄：“テラヘルツ分光イメージへのケモメトリクスの適用による肝癌組織の識別”、2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会、草津、8月(2006)

XV - 074 窒素サイクルに関わる膜内在性一酸化窒素還元酵素の構造生物学的研究

Structural Study of Membrane-Bound Nitric Oxide Reductase

研究者氏名：日野 智也 Hino, Tomoya

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)

生命および地球環境にとって重要な窒素サイクルは、微生物等の生命活動である、窒素固定、硝化お

よび脱窒によって維持されている。これまでに、これらの過程に関わる酵素群は活発に研究され、その

酵素反応メカニズムに関する知見が蓄積されてきた。しかしながら、そのほとんどは水溶性蛋白質であり、精製や三次元結晶化が困難な膜内在性の蛋白質に関する研究は大幅に遅れている。そこで本研究では、脱窒に関わる膜蛋白質である一酸化窒素還元酵素(NOR)の酵素反応機構を、構造生物学的な見地から解明することを目的とする。

脱窒菌由来のNORは、2つのサブユニット、NorB及びNorCにより構成される。NorCは膜結合型のチトクロムcであり、活性中心への電子伝達の役割を担う。NorBは12回膜貫通型の蛋白質であり、2つのb型ヘムと1分子の非ヘム鉄を有する。このうち、1分子のb型ヘムとその近傍に存在する非ヘム鉄が2核活性中心を形成している。興味深いことに、これらの特徴は好気呼吸の末端酸化酵素であるチトクロムc酸化酵素と類似している。さらに、アミノ酸配列に高い相同性が存在するため、NORはチトクロムc酸化酵素の進化的起源に当たる蛋白質であると考えられている。これら2種の呼吸酵素の構造を比較・検討することによって、嫌気呼吸から好気呼吸への分子進化に関する知見が得られるものと期待される。

昨年度において、NORの結晶形成の再現性向上にはNORに結合している脂質分子数が重要であることを明らかにした。本年度は、結晶性の向上を目的とし、NORに結合している脂質数を厳密に揃える手法の開発を行った。膜蛋白質の結晶形成において脂質

の存在(種類、結合脂質数)が重要であることは知られているがそれをコントロールして膜蛋白質を調製する方法は知られていない。様々な分離方法を試みた結果、陽イオン交換カラムを用いることによって、リン脂質1分子の結合数の違いによって分離できることが分かった。このようにして得た結合リン脂質数が少なく均一なNORを結晶化したところ、これまで見られていた凝集もほとんどなく再現性良く結晶を形成した。分解能の向上は認められなかったものの、このようにして得た試料を用いて、界面活性剤の種類や濃度を検索することにより、より質の良い結晶が得られると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Hino T., Kumita H., Fukumori Y. and Shiro Y.: "Crystallization of Membrane-bound Nitric Oxide Reductase from *Pseudomonas aeruginosa*", Post Hayaishi Symposium. Chemical Biology of Redox Metalloenzymes, Hyogo, Japan, April (2006)

Hino T., Kumita H., Fukumori Y. and Shiro Y.: "Crystallographic study of bacterial Nitric Oxide Reductase from *Pseudomonas aeruginosa*", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June (2006)

XV - 075 非対称分裂における分裂軸制御因子の同定および解析

Identification and Characterization of Factors That Regulates Spindle Orientation
in Asymmetric Cell Division

研究者氏名：大石 久美子 Oishi, Kumiko
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 育)

染色体の適切な分配は遺伝情報を娘細胞へ正しく継承するために重要なプロセスである。染色体分配の異常により異数体(aneuploidy)が形成されることがわかっており、これは癌化や遺伝病の発症機序の一つと考えられている。細胞分裂において染色体が均等分配されるためには、両極性の紡錘体が形成され、染色体の両側の動原体がそれぞれ片方の紡錘体

極から伸びた動原体微小管と結合し(amphitelic attachment)それぞれの紡錘体極側へ引っ張られなければならない。微小管と動原体の正しい結合には、微小管動態を制御する微小管結合蛋白質が関わっていることが報告されているが動原体における微小管動態制御については不明な点が多い。申請者はこれまでに線虫初期胚発生段階において紡錘体形成異常

を示す変異体の解析から新規微小管結合蛋白質RMD-1を同定しており、RMD-1が紡錘体形成時、微小管伸長に必要であることを見出している。また、この変異体における染色体動態を解析したところ、分裂時に分裂軸に沿って引き伸ばされた染色体が観察されること、さらに動原体微小管と染色体の結合を調べたところ、merotelic attachmentが起こっていることを見出した。このことから、RMD-1は微小管と染色体との正常結合に必要な分子と考えられる。

本年度は微小管動態制御と染色体分離制御機構の関連を解析した。

(1) 線虫においては微小管結合蛋白質 XMAP215/ZYG-9が微小管伸長の主要な制御因子であることがわかっている。そこで、ZYG-9とRMD-1の関係をRNAiにより解析したところ、*zyg-9*変異体と*zyg-9*、*rmd-1*の二重変異体の表現型がほぼ同じであったことから、RMD-1はZYG-9が制御する微小管伸長機構で働いていると考えられた。

(2) 正常な染色体分離には動原体微小管の動態制御が必要であると考えられている。*rmd-1*変異体における染色体分離異常は動原体微小管の動態異常によるものであることが考えられた。RMD-1はZYG-9が制御する微小管伸長で機能していることから、*zyg-9*温度感受性変異体を用いて prometaphase、metaphase 後期のどの時期にZYG-9の活性が染色体分離に必要なかを検討したところ、prometaphaseにおいてつまり、微小管と動原体の結合が起こる時期において必要であることがわかった。このことは、微小管の伸長制御が微小管と動原体との正しい結合に必要であることを示している。しかし、*zyg-9*変異体における染色体異常は*rmd-1*変異体ほどでは強くはなかったことから(微小管に対する効果は*zyg-9*の方が*rmd-1*よりも強い)、RMD-1は微小管動態制御以外に、微小管と動原体の正しい結合の制御機構で働いていることが示唆された。

XV - 076 体細胞核移植技術の基礎研究とntES細胞を用いた新規発生工学技術の開発

Research for Somatic Cell Nuclear Transplantation Technique and
Developing a Novel Reproductive Technique Using ntES Cell Technology

研究者氏名：大田 浩 Ohta, Hiroshi
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター
ゲノム・リプログラミング研究チーム
(アドバイザー 若山 照彦)

近年の体細胞核移植によるクローン技術の開発により、完全に分化した細胞核にも個体への発生能が存在することが明らかとなった。今日までに数種類の哺乳動物においてクローン動物作成の報告がなされており、それらの成果は、医学的、生物学的観点などから非常に注目を集めている。しかし、それらの成功率はいずれも数%と非常に低い確率となっており、また、たとえ成体まで成長したとしても、寿命が短いなどの問題が指摘されている。現在その原因の一つとして、不完全な初期化による必要遺伝子の発現調節の異常などが示されているが、なぜそのような現象が起こってしまうのか、どうすれば正常に近づけることができるかは明らかとなっていない。本研究の目的は、様々な種類および条件下においた体細胞核を用いた未受精卵への核移植を行なうことにより、クローン動物の作成効率の改善および

その基礎的な理解を深め、更に、核移植技術を最大限に応用し、新規の発生工学技術を開発することである。今年度は新規の発生工学技術を開発すると共に、生殖細胞のインプリンティング機構に関する研究を行なった。

近年のマウスにおける研究により、雌性核のみから個体が作出可能であることが示されている(単為発生個体)。本研究では、下記の方法により、雄性核のみから個体への発生が可能かどうか検討した。

まず、未受精卵の核を除去後、2個の半数体精子細胞をインジェクションし、胚発生を誘導した。得られた胚よりES細胞を樹立し(androgonetic ES cell; aES cell)、XXの核型を有するものを選別した。次に、aES細胞を正常な初期胚へ注入し、キメラマウスを作成した。しかしながら、このキメラマウスは生後まもなく死亡してしまうため、卵巣をメスのヌードマ

ウスに移植することによりaES細胞由来の卵子形成誘導を試みた。このレシピエントマウスを交配したところaES細胞由来の子孫を得ることに成功した。以上の結果により、aES細胞由来の卵子は精子と受精することにより正常個体へと発生することが明らかとなった。またこの結果は、生殖細胞におけるインプリンティング形成機構は以前の記憶に非依存的に形成されることを証明している。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ohta H., Hikichi T., Sakaide Y., Wakayama S., and Wakayama T. "Parental imprinting without previous epigenetic memory during germ cell development", (Submitted)

平成 16 年度採用者

研究者氏名：太田 直美 Ota, Naomi

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)

この研究の目的は、宇宙最大の天体である銀河団に注目し、そのX線観測データの詳細な解析から、銀河団中のダークマター分布を解明することにある。銀河団は宇宙とほぼ同比率で大量にダークマターを含み、その巨大な重力ポテンシャルに束縛された高温ガスからのX線放射をトレーサーとして用いれば、そこに潜んでいるダークマター分布を測定できる。これより、未だ正体不明のダークマターに対して新たな観測的制限をつけることを目指している。

本年度は主に「すざく」衛星を用いて、銀河団高温ガスの力学状態について研究を進めた。標準的な宇宙構造形成のシナリオによると、銀河団はより小規模の銀河団同士の衝突合体を繰り返しながら現在の姿に成長してきたと考えられている。衝突に伴ってガスが高速のバルク運動を持つとすると、その視線速度はX線スペクトルに現れる鉄輝線のドップラーシフトから直接測定が可能である。しかし従来の検出器では感度や校正精度が不足しており、ガスの運動状態が観測的に検証された例はごく少数しかない。このことは銀河団ダークマター質量推定における大きな不定性になっており、Ota et al. (2004)などで指摘した重力レンズ効果とX線観測の間の質量推定の不一致問題の原因になっている可能性がある。そこで、「すざく」に搭載されたXIS検出器の高い感度を活かして、近傍のケンタウルス銀河団のX線スペクトル解析を行い、銀河団中心の240 kpc領域における50 kpcスケールでのガスの速度を調べた。XIS検出器のエネルギースケールの詳細な検討に基づいて、鉄輝線のエネルギーを高い精度で決定した。その結果ガスの視線速度について過去のChandra衛星の報告よりも2倍良い700 km/sの精度で制限をつけることに成功した。さらに銀河団質量推定における静水圧平衡の仮定の妥当性についても定量的な検討を行った。得られたガス運動速度の上限値を用いて非熱的圧力の影響について評価したところ、静水圧平衡に基づく銀河団質量はfactor 3の範囲で妥当であることを確認した。現在はここで確立した方法を適用したペルセウス銀河団の解析や、X線光度が最大で

かつ激しい衝突合体の兆候を持つことが知られる遠方銀河団RXJ1347の硬X線測定などを進めている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ota N., Boyce K. R., Brown G. V., Cottam J., Fujimoto R., Furusho T., Ishisaki Y., Kelley R. L., Kilbourne C. A., McCammon D., Mitsuda K., Morita U., Porter F. S., Takei Y., and Yamamoto M., “Performance verification of the Suzaku X-ray Spectrometer in the flight configuration”, *Nucl. Inst. and Meth. A*, v.559, p.614-616 (2006)*

Ota N., Kitayama T., Masai K., and Mitsuda K.: “ L_x -T relation and related properties of galaxy clusters”, *Astrophys. J.*, v.640, p.673-690 (2006)*

Ota N., Inada N., Oguri M., Mitsuda K., Richards G. T., Suto Y., Brandt W. N., Castander F. J., Fujimoto R., Hall P. B., Keeton C. R., Nichol R. C., Schneider D. P., Eisenstein D. E., Frieman J. A., and Turner E. L.: “Chandra observations of SDSS J1004+4112: constraints on the lensing cluster and anomalous X-Ray flux ratios of the quadruply imaged quasar”, *Astrophys. J.*, v.647, p.215-221 (2006)*

Morita U., Ishisaki Y., Yamasaki N. Y., Ota N., Kawano N., Fukazawa Y., and Ohashi T.: “Chandra and XMM-Newton observations of a group of galaxies, HCG62”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, v.58, p.719-742 (2006)*

Ota N., Fukazawa, Y., Fabian A. C., Kanemaru T., Kawaharada, M., Kawano N., Kelley R. L., Kitaguchi T., Makishima K., Matsushita K., Murase K., Nakazawa K., Ohashi T., Sanders J. S., Tamura T., and Urata U.: “Suzaku observations of the Centaurus cluster: absence of bulk motions in the intracluster medium”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, in print*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ota N. and the Suzaku team: “New results with the XIS

instrument onboard Suzaku”, MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference on Heating vs. Cooling in Galaxies and Clusters of Galaxies, Garching, Germany, Aug. (2006)

Ota N.: “Absence of bulk motions of the intracluster medium in the Centaurus cluster”, The Extreme Universe in the Suzaku Era, Kyoto, Japan, Dec. (2006)

(国内学会等)

太田直美、深沢泰司、川埜直美、牧島一夫、川原田円、北口貴雄、佐藤光浩、松下恭子、金丸武弘、浦田裕次、村瀬弘一、中澤知洋、田村隆幸、大橋隆哉、Fabian A. C.、Sanders J. S.、他「すざく」チーム：“すざく衛星による Centaurus 銀河団中のガスバルク運動測定”、日本天文学会秋季年会、北九州、9月(2006)

XVI - 002

ブラックホールの最先端を拓く

Observational Studies of Black Hole Objects

研究者氏名：三谷(久保田)あや Mitani (Kubota), Aya
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)

現在、宇宙に知られるブラックホールには、大質量星の重力崩壊の結果生じる恒星質量ブラックホール(ブラックホール連星; BHB)、活動銀河の中心にあると考えられる超巨大ブラックホール(AGN)、さらに両者の中間の質量をもつものとして期待される、超光度X線天体(ULX)が存在する。本研究は、ブラックホール天体の物質降着によるエネルギー解放の機構を恒星質量ブラックホールから超巨大質量ブラックホールまで観測的に理解することを目的とする。本年度は主に以下のように研究を進めた。

- (1) 共同研究者であるイギリス、ダーラム大学の Chris Done 博士とともに、降着円盤コロナと円盤のエネルギー解放率を矛盾なく解く理論モデルを構築し、論文にまとめた。
- (2) 「すざく」衛星によって観測した 4U1630-472 という BHB のデータ解析を行い、スペクトルに見られる共鳴吸収線構造から BH 降着流に伴う巨大な質量放出を発見し、論文にまとめた。また、光電離プラズマコードを用いた吸収線スペクトルモデルの構築を進めている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Done C., Kubota A.: “Disc-corona energetics in the very high state of Galactic black holes”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 371 1216-1230 (2006)

Tsunoda N., Kubota A., Namiki M., Sugiho M., Kawabata K., and Makishima K.: “Detailed spectral study of an ultra-luminous compact X-ray source M81 X-9 in

the disk dominated state”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 58 1081-1088 (2006)

Kubota A., Dotani T., Cottam J., Kotani T., Done C., Ueda Y., Fabian A. C., Yasuda, T., Takahashi H., Fukazawa Y., Yamaoka K., Makishima K., Yamada S., Kohmura T.: “Suzaku discovery of iron absorption lines in outburst spectra of the X-ray transient 4U 1630-472”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 58 SP1 in print

他 5 編 in print

口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Kubota A., Dotani T., Cottam J., Done C., Kotani T., Angellini L., Fabian A.C., Fukazawa Y., Kohmura T., Makishima K., Takahashi H., Ueda Y., Yamada S., Yamaoka K., Yasuda T., and the Suzaku team: “Suzaku observation of the black hole transient 4U 1630-472”, 第 28 回国際天文学会総会、8月(2006)

Kubota A., Dotani T., Cottam J., Done C., Kotani T., Angellini L., Fabian A.C., Fukazawa Y., Kohmura T., Makishima K., Takahashi H., Ueda Y., Yamada S., Yamaoka K., Yasuda T., and the Suzaku team: “Suzaku Discovery of Absorption Lines from the Black Hole Transient 4U1630-472”, The extreme universe in the Suzaku era, Kyoto, Japan, 12月(2006)

(国内学会等)

久保田あや、Cottam J.、堂谷忠靖、Done C.、小谷太郎、上田佳宏、Fabian A. C.、保田知則、高橋弘充、

深沢泰司、山岡和貴、山田真也、牧島一夫、Angelini L.、他「すざく」チーム：“「すざく」による4U 1630-

472 の共鳴吸収線の発見と長期時間発展”、日本天文学会 2006 年秋季年会、北九州市、9 月(2006)

XVI - 003 宇宙線の加速源研究のための軟ガンマ線検出器の開発

Development of the Soft-Gamma Ray Detector for Study for the Cosmic Acceleration Mechanism

研究者氏名：小浜 光洋 Kohama, Mitsuhiro
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)

宇宙線の系内加速の起源を観測的に研究する手段として加速源からのシンクロトロン放射に効率よく観測するにはより硬 X 線から軟ガンマ線領域での検出器が必要である。この領域は X 線に比べ透過力が強く、物理素過程も複雑であることから、高性能を追求するとそれに比例してデータの読み出し数が莫大になり、処理も複雑なものとなる。地上加速器実験で確立された手法を衛星搭載に向けて取り込もうとするのが、本研究の目的である。

本年度は昨年度に引き続き研究室が関わっている衛星開発ミッションに加わり、そのデータ処理系の開発を担当することで、基本的な処理が衛星ミッションで実用化されることを進めてきた。

(1) 宇宙ステーション搭載予定の全天 X 線監視装置(MAXI)の開発に関わり、その機上処理、地上処理のシステムを完成させた。一次噛み合わせ試験を行い、基本的な機能は設計通りであることが確認できた。現在、打ち上げに向けて各種の適合試験を行っている。

(2) X 線偏向計開発に加わり、試作モデルの検出器の気球実験を 2006 年 6 月に行った。まだ解析途中であるが、硬 X 線領域で初めてかに星雲からの偏光の示唆を得ることができた。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kohama M., Negoro H., Kuramata N., Tomida H., Katayama H., Mihara T., Ueno S., Matsuoka M., Kawai N., Yoshida A., Miyata E. and Tsunemi H.: “Data processing and Communication of MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) on the International Space Station”, ICEIC 2006, Xian

(国内学会)

小浜光洋、三原建弘、郡司修一、岸本祐二、石垣保博、菅野誠、村山裕章、門叶冬樹、櫻井敬久、林田清、森本真史、穴吹直久、常深博、斎藤芳隆、山上隆正：“気球搭載用硬 X 線偏光度検出器 PHENEX のシステムと運用”、日本天文学会

XVI - 004 広帯域硬 X 線による宇宙線源探査と撮像分光観測による加速機構の解明

An Study of the Cosmic-Ray Acceleration with Wide-Band X-Ray Spectroscopy

研究者氏名：馬場 彩 Bamba, Aya
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)

宇宙線とは、宇宙を飛び交う超高エネルギー粒子で、その最高エネルギーは 10^{20} eV にも達する。しかし、発見以来 100 年近く経った現在も、その加速機構・加速源は明らかになっておらず、宇宙物理学最大の謎のひとつである。高エネルギーに加速された電子は星間磁場中でシンクロトロン放射を起こし、その帯域は硬 X 線になる。したがって、硬 X 線帯域

でシンクロトロン放射源を探せば、我々は宇宙線加速源を見つけることが出来る。申請者は X 線による天体観測を駆使して超新星残骸での宇宙線加速問題で初めて定量的議論を可能にするなど、宇宙線電子加速問題の最先端を担っている。

我々が用いる武器は、昨年打ち上げに成功した日本で 5 番目の X 線天文衛星「すざく」である。「すざく」で

は現在二種類の検出器が順調に稼働中である。申請者はそのひとつである撮像分光型検出器(XIS)の主力メンバーで、ソフトウェア開発などで精力的に参加してきた。また、二種類の検出器のメンバーが同一研究室にいる本研究室の特徴を活かし、クロスキャル・ヘルプデスクチームを理研内に立ち上げた。本グループの目的は、「すざく」の情報を一箇所に集約し、「すざく」チーム内外の研究者がデータを使いやすく、正確な成果が出るようにすることであり、すでに活動を始めている。いまや申請者は「すざく」の中心メンバーの一人であり、2006年末に刊行予定の査読雑誌PASJからの特集号では、30編中主著1編共著6編を執筆している。

近年、TeVガンマ線望遠鏡HESSは銀河面を系統的に探査し、多くの未同定天体を発見した。これらは、他の波長では暗いことから、陽子加速源候補として話題になっている。申請者を中心としたグループはこれらの天体の重要性にいち早く着目し、これらガンマ線未同定天体を複数「すざく」で精力的に観測し、これらが100年間探し求められてきた「宇宙線加速源」である可能性が極めて高いことを突き止めた。この内容についてもすでに多くの原著論文・口頭発表を行なっている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Bamba, A., Yamaguchi, H., Koyama, K., Hiraga, J.S., Holt, S., Hughes, J.P., Katagiri, H., Kataoka, J., Katsuda, S., Kitamoto, S., Kokubun, M., Matsumoto, H., Miyata, E., Mori, K., Nakajima, H., Ozaki, M., Petre, R., Sekiguchi, A., Takahashi, T., Tanaka, T., Terada, Y., Tomida, H., Tsuboi, Y., Tsujimoto, M., Tsunemi, H., Uchiyama, Y., Ueno, M., and Watanabe S., "Oxygen line mapping of SN 1006 with Suzaku", submitted to ASR*

Bamba, A., Koyama, K., Hiraga, J.S., Hughes, J.P., Kohmura, T., Kokubun, M., Maeda, Y., Matsumoto, H.,

Senda, A., Takahashi, T., Tsuboi, Y., Yamauchi, S., and Yuasa, T., "Discovery of a possible X-ray counterpart to HESSJ1804-216" PASJ, in print (2006)*

Bamba A., Ueno M., Nakajima H., Mori K., and Koyama K., "A detailed observation of a LMC supernova remnant DEM L241 with XMM-Newton", *Astrophysics and Astronomy*, 450, 585-591 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Bamba, A., "Millenium study of SN 1006 with Suzaku", *The Extreme Universe in the Suzaku Era*, Kyoto, Japan, Dec.(2006)

Bamba, A., "Oxygen line mappings of SN1006 with Suzaku", COSPAR2006, Beijing, China, July (2006)

Bamba, A., "X-ray Diagnostics of acceleration efficiency of cosmic rays on the SNR shock fronts", *High Energy Astrophysics in the Next Decade*, Tokyo, Japan, Jun (2006)

Bamba, A., "Observational Evidences of Particle Acceleration at SNRs", *Origin, Propagation and Interaction of Energetic Particles*, Deajeon, Korea, May (2006)

(国内学会等)

馬場彰: "硬X線で探る超新星残骸での宇宙線加速", 日本物理学会秋期年会、奈良、9月(2006)

馬場彰: "「すざく」によるHESS未同定天体HESS J1804-216の観測", 日本物理学会秋期年会、奈良、9月(2006)

馬場彰: "硬X線で探る銀河系内宇宙線加速源の探査", 100TeVガンマ線とKnee近辺宇宙線研究会、東京、8月(2006)

馬場彰: "硬X線を用いた超新星残骸磁場構造の研究", 銀河中心部研究会、東京、7月(2006)

XVI - 005

専用計算機による遺伝子情報処理の高速化

Development of a Special-purpose Computer for Exploring Similar Biological Sequences

研究者氏名: 杉江崇繁 Sugie, Takashige

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)

生物配列解析における相同性検索の高速化を目的としている。特にSmith-Waterman法による相同性検

索を専用計算機によって高速化を行う。Smith-Waterman法は検索感度が高いが、計算量が非常に多

いことで知られている。本研究はペアワイズアライメントにおける類似度を高速に求める専用計算機 (PCIデバイス)を開発することである。1CPUコアに対して15,000程度の配列長を用いた場合、400倍程度の高速化が可能であり、1年を必要とする計算を1日で実行することが可能であるため、非常に有効であると考えられる。

本年度はこれまでに開発したグローバルマッチングとセミグローバルマッチングにおけるプロセッサエレメントを改良して20%程度の高速化を実現した。また、消費メモリを半減させる新アーキテクチャを考案した。これはメモリ依存度の高いSmith-Waterman法には非常に有効であり、プロセッサエレメントの並列度を高めることや、ハード化が困難なローカルマッチングの専用計算機の開発に着手できる見通しが立てられた。本年度中にローカルマッチングによるプロセッサエレメントの開発を見込むことができる。

本年度に改良したプロセッサエレメントを用いた専用計算機を4機搭載したPCを4台用意し、それらをMPIにより制御してPCクラスタシステムを構築した。このPCクラスタシステムではFedoraCore1をインストールしたPentium4 3.4GHzマシンに対して10,000倍程度の高速化を行うことができた。

誌上発表 Publications
(原著論文)

杉江崇繁、戎崎俊一、青見文博、増田信之、伊藤智義、高田直樹、下馬場朋禄：“ピーク性能で計算速度比

10,000倍を達成する同源性検索専用PCクラスタシステム”、情報科学技術レターズ、5 151-152 (2006)*

伊藤智義、阿部幸男、田中喬、増田信之、杉江崇繁：“GPUを用いた計算機合成ホログラム・リアルタイム再生システム”、情報科学技術レターズ、5 245-246 (2006)*

Takashige Sugie, Toshikazu Ebisuzaki, Tomoyoshi Ito, Nobuyuki Masuda and Tomoyoshi Shimobaba: “A special-purpose computer for exploring similar biological sequences: Bioler-3 with a dynamic reconfigurable system”, Computer Physics Communications, (Submitted)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

杉江崇繁、戎崎俊一、青見文博、増田信之、伊藤智義、高田直樹、下馬場朋禄：“ピーク性能で計算速度比10,000倍を達成する同源性検索専用PCクラスタシステム”、第5回情報科学技術フォーラム (FIT2006)、福岡大学、9月(2006)

伊藤智義、阿部幸男、田中喬、増田信之、杉江崇繁：“GPUを用いた計算機合成ホログラム・リアルタイム再生システム”、第5回情報科学技術フォーラム (FIT2006)、福岡大学、9月(2006)

市橋保之、伊藤智義、白木厚司、増田信之、杉江崇繁：“10万点の動画ホログラフィを可能にする専用クラスタシステム”、第5回情報科学技術フォーラム (FIT2006)、福岡大学、9月(2006)

XVI - 006

粒子法による詳細な銀河進化モデル Detailed SPH Simulations of Galaxy Evolution

研究者氏名： 中里 直人 Nakasato, Naohito

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)

天文学を解釈するための理論天文学の研究においては、他の物理研究分野とは異なり、研究対象の系を直接実験・観察ができないため、数値シミュレーションによる天体現象のモデル化あるいは新現象の説明は、欠かすことのできない研究手法である。昨今の天文観測装置の飛躍的な進化によって、ここ数年の間に様々な天体現象に関する大量かつ精細な観

測データが得られるようになっている。それらの大量かつ精細なデータを解釈、説明するためには、そのためのツールである数値シミュレーションもより大規模かつ精密になる必要がある。本研究では、Smoothed Particle Dynamics (SPH)法という、銀河進化のシミュレーションでは広く活用されている手法で、これまでより10倍以上精密なシミュレーション

により、詳細な銀河進化モデルを構築することをめ
ざす。

これまでの研究成果により、FPGA (Field Pro-
grammable Gate Array) を利用した計算ボード上に
重力相互作用とSPH相互作用の演算回路を実装
し、それにより計算速度が5倍から10倍程度高速
化できた。本年度はこの成果と銀河シミュレー
ションコードとの統合と並列化をおこなった。結果
として、銀河シミュレーションでは約17万粒子(質
量解像度 50,000太陽質量)による矮小銀河シミュ
レーションが可能になり、超新星爆発が銀河の初
期進化過程に及ぼす影響について詳細に調べるこ
とが可能になった。また、様々な銀河(矮小銀河、
円盤銀河や楕円銀河)の系統的なシミュレーショ
ンをおこなうために、暗黒物質(DM)のみによる大
規模宇宙論的シミュレーションをおこなった。こ
れは、効率よく銀河シミュレーションに適したDM
ハローを選び出すために、銀河進化に大きな影響
を及ぼすDMハローによる質量降着の進化をあら
かじめ調べることが必要だからである。また、SPH
シミュレーションの応用として、銀河進化だけで
なく、恒星同士の衝突合体、大質量星の回転コアの収
縮、白色矮星連星の共進化などのシミュレーション
をおこなった。

XVI - 007

反水素原子の超微細構造周波数の測定

Measurement of Hyperfine Frequency of Antihydrogen

本研究の目的は、反水素原子の基底状態における
超微細構造周波数を精密に測定し、反陽子の磁気
モーメントのCPT対称性を高精度で検証すること
である。超微細構造周波数を精密に測定するため
には、十分な強度の超低速反水素ビームが必要とな
るが、これまでに実現された反水素原子生成方法
ではその実現は困難である。本研究ではカスプ
トラップという新しい方法を実現することにより
この困難を克服する。

カスプトラップでは、4重極磁場と多重リング電
極を用いて荷電プラズマを閉じ込める。反水素
原子は、このカスプトラップ内で、反陽子と陽電
子を結

誌上発表 Publications

(原著論文)

中里直人、濱田剛: "FPGAによる天体物理学計算の
高速化"、情報処理学会論文誌コンピューティ
ングシステム(ACS)、Vol. 47, 162-171 (2006)*

Nakasato, N., and Hamada, T.: "Astrophysical simulations
with reconfigurable hardware accelerator", Systems
Modeling and Simulation (in Proceeding of Theory and
Applications, Asia Simulation Conference 2006), 347-
351 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakasato, N., and Hamada, T.: "SPH simulations with re-
configurable hardware accelerator", 1st International
SPHERIC SPH Workshop, 2006 May

Nakasato, N., and Hamada, T.: "Astrophysical simulations
with reconfigurable hardware accelerator", Theory and
Applications, Asia Simulation Conference 2006, To-
kyo (Japan), 2006 Oct.

(国内学会等)

中里直人: "銀河形成シミュレーションにおける解像
度依存性"、日本天文学会2006年秋季年会、北九
州、2005年10月

研究者氏名: 柴田 政宏 Shibata, Masahiro

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)

合させることにより生成する。反陽子はCERNの
反陽子減速器で生成されたものを、高周波4重極減
速器により減速したのち、多重電極トラップ内で冷
却してからカスプトラップに入射する。

生成した反水素原子はトラップを構成する4重極
磁場によりスピン状態が選択されるので、偏極反水
素原子ビームを生成することが出来る。この反水素
原子ビームに対して、まず、共振空洞内でマイクロ
波を印加する。その後、6重極磁石を用いて、原子
のスピン状態を分析する。磁場により選択された原
子は、対消滅を観測することにより検出される。信
号強度のマイクロ波周波数依存性を測定することに

より、超微細構造周波数が決定される。

本年度は、昨年度に開発したコールドボアの性能を向上させるための改良を行なった。熱伝導板と冷凍機及びコールドボアの接続部の接触面積と接触圧を増やすと同時に30K輻射シールドを増設することにより、ボアの最低到達温度が4.0Kとなった。また、このコールドボア用の多重リング電極を製作し、ボアへのインストールを行なった。現在、電子と陽子を用いたテスト実験を進めている。

それと平行して、本実験で反陽子及び陽電子をカスプトラップに入射するためのビームラインの開発

を行っている。これらの粒子の数は限られているが、磁場ダクトを用いることにより高効率で輸送が行なえると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

柴田政宏、榎本嘉範、永田祐吾、黒田直史、斎藤晴彦、鳥居寛之、金井保之、毛利明博、山崎泰規：“反水素原子生成トラップのための4 Kコールドボアの開発”、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島、3月(2007)

XVI - 010

中性子過剰核の崩壊のQ値と励起順位の研究

Study of Q value in the Decay and Excited States of Neutron Rich Nuclei

研究者氏名：炭竈 聡之 Sumikama, Toshiyuki

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)

鉄からウランに至る元素の半分は、超新星爆発の際に中性子を素早く捕獲する過程(rプロセス)を経て合成されるとされている。実験・理論双方の研究が盛んに進められているが、rプロセスによる元素合成の謎は未だ解明されていない。rプロセスでは中性子捕獲と崩壊を繰り返し、中性子分離エネルギーが数MeV程度の中性子過剰な原子核に沿って進む。中性子分離エネルギーは中性子を1つ剥ぎ取るために必要なエネルギーであるため、その道筋を知るには地球上には存在しない中性子過剰核に対する非常に安定となる魔法数や変形による安定度を知ることが重要である。この道筋上の原子核は非常に不安定であるため、ほとんどが実験的に合成されていない状況である。理化学研究所の新RIBF施設で供給される大強度ウランビームにより、実験室で生成する事が可能となる。本研究では、理論的に再現が困難な質量数110程度の領域に注目した。この領域の原子核は理論的予測より観測量の方が上回っているが、中性子過剰領域での殻構造の消失現象の為であろうと予測されている。この問題を実験的に解明するために、 ^{110}Zr 周辺の線の半減期、遅延線のエネルギー測定を行い原子核構造の変化を系統的に調べる。

生成される中性子過剰核 ^{110}Zr 等の高速RIビーム

を、物質中を通過させることで減速し、捕集体の中に埋め込み崩壊に伴う線を観測する。捕集体として埋込み位置を検知可能な両面ストリップ型シリコン検出器を用いた装置を平成19年度の実験を目指し開発している。複数のくさび形減速体を用いて単一エネルギーでかつ収束したRIビームを得ることで、1mm厚のシリコン検出器中に停止させられる事がわかった。効率的に実験をするために、同じセットアップで16種類の不安定核を止め測定可能な条件を見いだした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sumikama T., Nagatomo T., Ogura M., Iwakoshi T., Nakashima Y., Fujiwara H., Matsuta K., Minamisono T., Fukuda M., and Mihara M.: “Electric quadrupole moment of the proton halo nucleus ^8B ”, Phys. Rev. C 74, 024327/1-5 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sumikama T., Matsuta K., Nagatomo T., Ogura M., Iwakoshi T., Nakashima Y., Fujiwara H., Fukuda M., Mihara M., Minamisono K., Yamaguchi T. and Minami-

XVI - 011 **sd殻領域陽子過剰核における陽子ハロー探索とその構造解明**

Search for Proton-Halo Nucleus and Study of the Structure in sd Shell Region

研究者氏名： 田中 鐘信 Tanaka, Kanenobu
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)

軽い領域の中性子過剰核においては、安定核における魔法数8,20の破れや新しい魔法数16の生成等、新たな現象が報告されている。特にsd殻領域において魔法数16生成の一因と考えられる過程として、最外殻の核子が非常に浅く束縛されている場合は $1d_{5/2}$ 軌道の上にある $2s_{1/2}$ 軌道が下がり、その結果sd殻においてs軌道の配位が増加する現象がある。この場合遠心力障壁による核子の閉じこめが弱くなるため原子核ハローとして観測される。一方の陽子過剰核においては、クーロン障壁により核子の束縛が相対的に強くなるため、中性子過剰核で見られた現象は起こりにくいと思われる。両者を比較することにより不安定核構造に対するクーロン力の影響を調べることができる。sd殻領域では、陽子過剰核のみならず中性子過剰核においても未探索の領域があり、核構造が十分に解明されていない。陽子・中性子過剰核共にsd殻領域で未探索の核種について研究を行い、系統的に理解することが重要である。

この観点から、昨年中性子ドリップライン核 ^{22}C について反応断面積測定を行った。 ^{22}C は中性子数が16であり、不安定核の新魔法数を満たす。よって最外殻 $2s_{1/2}$ 軌道より上の $1d_{3/2}$ 準位からの配位が少なく

なり、他の中性子過剰核よりも更に大きなハローを持つ可能性がある。反応断面積は核半径や核子密度分布に関係する物理量であり、ハロー構造を持てば反応断面積が増加する。

解析のpreliminaryな結果として、 ^{22}C は近傍の ^{20}C 、 ^{19}C に対して大きな反応断面積が得られた。今後、得られた反応断面積から原子核構造についても議論する予定である。

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会等)

田中鐘信、山口貴之、鈴木健、小沢顕、相場健、青井考、泉川卓司、稲福清彦、岩佐直仁、大坪隆、黒川明子、小林圭、小室麻里、近藤洋介、篠田遼子、篠原摩有子、鈴木宏、武内聡、竹下英里、武智麻耶、梅野泰宏、中島真平、中林彩、馬場秀忠、橋爪祐平、福田光順、松山貴史、道正新一郎、安野琢磨、山田一成、吉竹利織、久保敏幸、中村隆司、櫻井博儀、本林透：“中性子過剰核 $^{19,20,22}\text{C}$ の反応断面積測定”、日本物理学会2006年秋季大会、奈良女子大学、9月(2006年)

XVI - 013 **陽子非弾性散乱を用いた中性子過剰核のガンマ線核分光**

In-beam γ -ray Spectroscopy of Neutron-rich Nuclei from Proton Inelastic Scattering Reaction

研究者氏名： 道正 新一郎 Michimasa, Shin'ichiro
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)

安定線から離れた原子核において魔法数 $N = 8$ 、 20 の消滅や $N = 16$ の生成が実験的に示され、そ

の周辺の中性子過剰核の性質が盛んに調べられている。とくに、偶々核の第一励起状態($2+$)のエネルギー

ギーはその原子核の変形度と非常に強く結びついており、核構造の基本的な性質を示す指標となっている。本研究の目的は、中性子過剰核の第一励起エネルギーを系統的に調べることにより、その領域での核構造を明らかにすることである。

本年度、超中性子過剰核 ^{36}Mg , ^{42}Si の第一励起エネルギーを決定する実験を行なった。 ^{42}Si は、閉殻である陽子数14と魔法数である中性子数28をもっているにもかかわらず、理論的な予想として魔法数 $N=28$ の消滅が示唆されている。一方、 ^{36}Mg は、魔法数20が破れていることが実験的に示されている ^{32}Mg にさらに中性子を4つもった原子核であり、Mg同位体においてisland of inversionとよばれるsd殻とpf殻との混合した領域がどこまで中性子過剰側へ広がっているのかを知る上で重要である。本研究がこれらの原子核に関する励起状態の初めての情報を提供する。

実験は、理化学研究所加速器施設不安定核ビームラインRIPSにおいて行った。約50MeV/uの ^{36}Mg と ^{42}Si を生成し、それらを約100mg/cm²の液体水素標的に照射し、標的での陽子非弾性散乱によって生成した励起状態からの脱励起ガンマ線と残留核との同時測定を行なった。脱励起ガンマ線は標的の周囲に設置した160個のNaI(Tl)検出器で測定し、残留核をシリコン検出器とNaI(Tl)カロリメーターからなるE-Eテレスコープで検出した。本研究の特徴は、液体水素標的を用いることにより、強度が0.1個/秒程度の

ビームに対してインビーム核分光が可能となった点である。

今後は、 ^{36}Mg , ^{42}Si のデータ解析をすすめ、結果を測定されているその周辺の原子核と比較し、中性子過剰度に対する原子核の特異性を考察してゆく。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Michimasa S., Shimoura S., Iwasaki H., Tamaki M., Ota S., Aoi N., Baba H., Iwasa N., Kanno S., Kubono S., Kurita K., Kurokawa M., Minemura T., Motobayashi T., Notani M., Ong H.J., Saito A., Sakurai H., Takeuchi S., Takeshita E., Yanagisawa Y. and Yoshida A.: "Proton single-particle states in the neutron-rich ^{23}F nucleus", Phys. Lett. B 638, 146 (2006).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Michimasa S., Shimoura S., Iwasaki H., Tamaki M., Ota S., Aoi N., Baba H., Iwasa N., Kanno S., Kubono S., Kurita K., Kurokawa M., Minemura T., Motobayashi T., Notani M., Ong H.J., Saito A., Sakurai H., Takeuchi S., Takeshita E., Yanagisawa Y. and Yoshida A.: "Proton shell structure in neutron-rich ^{23}F ", 9th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2006), Rio de Janeiro, Brazil, Aug. 2006.

XVI - 014

重い不安定核のソフトな振動励起モードの研究

Low-lying Collective Excitations in Medium-mass and Heavy Neutron Rich Nuclei

研究者氏名： 山上 雅之 Yamagami, Masayuki

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)

不安定核では弱束縛核子の存在やその連続状態とのカップリングが重要な役割を果たし、安定核には現れない様々な現象を生み出す。2中性子ハロ核 ^{11}Li におけるソフトE1励起やダイニュートロン相関はその典型例である。理研RIビームファクトリーに代表される次世代不安定核ビーム施設で新たに研究ターゲットとなる重い不安定核では多くの弱束縛核子が存在し、それらの多体相関がダイニュートロン凝縮による新しい超流動性を生み、回転や振動と

いった集団励起モードの性質も安定核とは異なると考えられる。

本年度は変形した中性子過剰Mg同位体($^{34-40}\text{Mg}$)とその周辺領域の不安定核を対象に以下の研究を行った。

(1) 中性子過剰核の低密度領域では強い中性子間引力と連続状態とのカップリングにより、ダイニュートロン凝縮が出現する。座標空間表示 Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) 計算による変形核も含めた分

析を行い、従来の球形核に対する研究とあわせ、ダイニュートロン凝縮が中性子ドリップ線近傍で普遍的な現象であることを初めて示した。

- (2) 原子核のような少数粒子系では対相関の強い揺らぎが特徴的な集団励起モードを生む。本研究ではダイニュートロン凝縮した中性子スキン層のソフト振動モードを調べた。対相関の4重極揺らぎが密度の4重極振動(ソフト $K=0^+$ モード)を誘起し、安定核のベータ振動に比べ非常に強い集団性が現れる微視的機構を、座標空間表示HFBに基づく準粒子RPA計算により明らかにした。
- (3) 超流動性の質的变化の回転運動への影響を調べる目的で、Inglis-Belyaev公式に基づく慣性能率の微視的計算を行った。慣性能率はBCS相からダイニュートロン凝縮相への転移に敏感であり、超流動性の変化を実験的に探索する上で重要な指標となることを示した。
- (4) 変形核における中性子スキンのサイズを決定する新たな手法を提案した。中性子スキンは振動や回転などの集団運動に質的な変化をもたらすとともに、非対称核物質の状態方程式を決定する上で重要な要素である。本研究により変形核における変形パラメータと中性子スキンのサイズを同時に高精度かつ容易に抽出するための処方箋が確立した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Yoshida K., Yamagami M., and Matsuyanagi K.: "Pairing and continuum effects on low-frequency quadrupole vibrations in deformed Mg isotopes close to the neutron drip line", Nucl. Phys. A 779, pp.99-115 (2006)*
- Hagino K., Lwin N.W., and Yamagami M.: "Deformation parameter for diffuse density", Phys. Rev. C73, 017310 (4 pages) (2006)*
- Inakura T., Imagawa H., Hashimoto Y., Mizutori S., Yamagami M., and Matsuyanagi K.: "Mixed representation RPA calculation for octupole excitations on superdeformed states in the ^{40}Ca and neutron-rich sulfur re-

gions", Nucl. Phys. A768, pp.61-79 (2006)*

Yamagami M.: "Pairing-induced spatially extended coherence of low-lying vibrational excitations unique in neutron drip line nuclei", Phys. Scr. T 125, pp.228-229 (2006)*

Yoshida K., Yamagami M., and Matsuyanagi K.: "Dynamic pairing effects on low-frequency modes of excitation in deformed Mg isotopes close to the neutron drip line", Phys. Scr. T 125, pp.45-48 (2006)*

口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Yamagami M.: "Pairing effect for collective excitations in weakly-bound nuclei", 2nd German-Japanese Workshop on Nuclear Structure and Astrophysics, RIKEN, Saitama, Japan, Oct. (2006)

Yamagami M.: "Pairing and continuum effects for low-frequency vibrational excitations", International Conference on Nuclei at the limits "Nuclear Structure '06", Pollard Technology Conference Center, Oak Ridge, USA, Jul. (2006)

(国内学会等)

- 山上雅之、清水良文: "不安定核における低エネルギー回転運動", 日本物理学会、奈良、9月(2006)
- 山上雅之: "Continuum effect for collective excitations in deformed weakly-bound nuclei", ミニワークショップ「原子核平均場模型の現代的展開」、会津、10月(2006)
- 山上雅之: "重い不安定核における新しい超流動性と集団運動", RIBF ミニワークショップ「RIBFに於ける分光実験II」、和光、10月(2006)
- 山上雅之: "重い不安定核における集団運動", KEK研究会「現代の原子核物理 多様化し進化する原子核の描像」、つくば、8月(2006)
- 山上雅之: "不安定核における自発的対称性の破れの発現機構", RIBF ミニワークショップ「Island of Inversionに関する実験・理論の現状と今後の展望 7<Z<20領域中性子過剰核の低励起状態に関する検討会」、和光、5月(2006)

研究者氏名：山田一成 Yamada, Kazunari

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)

核子多体系である原子核の多様性を反映する現象のひとつに、核内での陽子と中性子の異なる振る舞いがある。一般に陽子数(中性子数)が魔法数の場合、低励起状態への励起に中性子(陽子)が主に寄与するが、殻の中間領域に位置する原子核では低励起状態への励起には陽子、中性子双方が一体となって寄与すると考えられている。ところが近年、陽子数が魔法数 - 2、中性子数が魔法数 + 2 の¹⁶Cで、第一励起状態への励起に陽子はほとんど寄与しないことが明らかにされ、注目を集めている。このような現象は二重閉殻近傍核で他にも現れる可能性があり、多様な未知の核種について陽子と中性子のダイナミクスを区別して調べることは、そのメカニズムや核構造の詳細を解明していくうえで大変意義深い。

本年度発足された仁科加速器研究センターでは、生成可能な不安定核ビームの種類を飛躍的に増加させる RIビームファクトリー計画として、新たなサイクロトロン3台と不安定核ビーム分離生成装置の建設がまさに完成しようとしている。RIビームファクトリーの完成により、陽子と中性子の違いが大きいと期待される、アイソスピン T の大きな鏡像核対について多くのデータを得ることが可能となるばかりでなく、新たな原子核モデルの構築や、元素の起源の解明といった根源的な研究も世界に発展すると期待される。よって、システムの心臓部となる世界初の超伝導リングサイクロトロン SRC のコミッショニングは、この RIビームファクトリーの始動を意味する最重要事項である。

そこで本年度は、SRC のコミッショニングを最優先とし、以下のような作業・製作等を行い、2006年12月28日の16時に SRC からファーストビームを

取り出すことに成功した。本年度中にさらなる改良を加え、²³⁸Uビームの加速に挑戦する。

(1) ヘリウム冷凍系

超伝導コイルの冷却に必要なヘリウム冷凍機の運転、検査、冷却水浄化、圧縮機吐出ガス温度測定、大気圧計設置、酸素濃度計設置、S B M 緊急放出弁設置、ネットワーク整備等を行い、5000リットルの液体ヘリウムでコイルを超伝導状態にした。

(2) SRC 本体系

セクター電磁石の磁場測定を行い、磁場分布データを取得した。また本体電源整備、入射取り出しビームライン電磁石の稼働、極性チェック、電流リード電圧測定、コイル電圧測定、電流値測定、磁気チャンネル・静電チャンネルの稼働、中心部ビーム診断箱設置、入射ファラデーカップ製作、ラジアルプローブの稼働、位相プローブの稼働、パッフルスリット製作・設置、各種ビーム診断機器配線、中継盤製作、各種磁気シールド製作・設置等を行った。

(3) コミッショニング

ビーム調整を行い、10 価の²⁷Alイオンビームを核子あたり 345 MeV(光速の 70%)まで加速し、ファーストビームとして取り出すことに成功した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

山田一成：“陽子過剰核の 線分光でみる $N = Z$ 核近傍の核構造の発展”、日本物理学会 2006 年秋季大会シンポジウム「線分光が切り開く新しい高スピン・アイソスピン領域」奈良女子大学、9月(2006)

研究者氏名：岡田 信二 Okada, Shinji
 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)

K 中間子原子において、K 中間子-原子核間の強い相互作用に関する影響は、最終軌道のシフトと幅に現れる。K 中間子ヘリウム原子の場合、その最終軌道 $2p$ のシフトは、波動関数の重なりが小さい為、従来の理論の枠組みでは非常に小さい ($\sim -0.2\text{eV}$)。一方、過去 3 回行われた実験においては、いずれも極めて大きなシフト $\sim -40\text{eV}$ が観測されており、これは 30 年以上に渡って「K 中間子ヘリウム原子パズル」として知られている。近年、K 中間子原子核の存在を予言する赤石により、詳細な coupled-channel 計算が行われた。これによると、K 中間子-ヘリウム間が強く引力的であった場合、 $\sim -10\text{eV}$ に達するような実験的に観測可能なほど大きなエネルギーシフトを生む事が分かった。

そこで、上記の問題に決着をつけるべく、高エネルギー加速器研究機構(KEK)における「K 中間子原子核検査実験(E471/E549)」のセットアップに、高分解能 X 線検出器 SDD (Silicon drift detector) を液体ヘリウム標的斜め下流方向に増設し、数千事象以上の K 中間子ヘリウム原子 $3d \rightarrow 2d$ X 線を観測することにより、そのエネルギーシフトを $\sim 2\text{eV}$ の精度で決定する実験を行った(E570)。SDD は、過去の実験で用いられた Si(Li) 検出器と比較して圧倒的に薄い為、ソフトコンプトンによるバックグラウンドを抑えられるのと同時に高い分解能を持つ。加速器を用いた X 線スペクトロスコピーに SDD を用いたのは本実験が初である。また、E471/E549 のセットアップを用い、入射 K 中間子ビーム及び二次崩壊荷電粒子をトラッキングすることで反応点再構成を行い、標的内静止事象を選択した。結果、得られたスペクトルにおける S/N 比は ~ 4 (過去の実験と比べ約 5 倍)、分解能は $\sim 185\text{eV}$ (約 1.5 倍改善) を実現した。エネルギー較正には、入射ビームによって電離されたチタン及びニッケルからの特性 X 線を用いた。これらの特性 X 線は、目的の $3d \rightarrow 2p$ X 線と同時に高統計で測定され、そのエネルギーは $3d \rightarrow 2p$ X 線 ($\sim 6.5\text{keV}$) を内挿するエネルギー (Ti: $\sim 4.5\text{keV}$ 、Ni: $\sim 7.5\text{keV}$) となつて

おり、かつてない高精度なエネルギー較正を実現した。

解析の結果、過去の実験が示唆する $\sim -40\text{eV}$ という大きなシフトを棄却する結果 (-40eV と比べて [絶対値で] 小さなシフト) が得られている。今年の夏には、エネルギースケールに関する系統誤差のスタンダードとして、本実験のエネルギー較正として用いた特性 X 線に関するテスト実験を PSI 研究所において行なった。現在、今年度中の印刷公表を目指し、系統誤差に関する詳細な詰めを行っている。

誌上発表 Publications

(その他)

Okada S., Beer G., Bhang H., Cargnelli M., Chiba J., Choi S., Curceanu C., Fukuda Y., Hanaki T., Hayano R.S., Iio M., Ishikawa T., Ishimoto S., Ishiwatari T., Itahashi K., Iwasaki M., Juhasz B., Kienle P., Marton J., Matsuda Y., Ohnishi H., Ota H., Sato M., Schmid P., Suzuki S., Suzuki T., Tatsuno H., Tomono D., Widmann E., Yamazaki T., Yim H., and Zmeskal J.: "Precise measurement of kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", Proceedings of Conference on Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP 2006), AIP Conference Proceedings Vol. 870, 493-495 (2006)

Okada S., Beer G., Bhang H., Cargnelli M., Chiba J., Choi S., Curceanu C., Fukuda Y., Hanaki T., Hayano R.S., Iio M., Ishikawa T., Ishimoto S., Ishiwatari T., Itahashi K., Iwasaki M., Juhasz B., Kienle P., Marton J., Matsuda Y., Ohnishi H., Ota H., Sato M., Schmid P., Suzuki S., Suzuki T., Tatsuno H., Tomono D., Widmann E., Yamazaki T., Yim H., and Zmeskal J.: "Precision spectroscopy of Kaonic Helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", Proceedings of 18th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB18), to be published in Nucl.Phys. A (2006)

口頭発表 Oral Publications

(国際会議)

Okada S. for KEK-PS E570 Collaboration: "Precise measurement of kaonic helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", Conference on Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP 2006), Westin Rio Mar Beach Resort and Country Club in Reo Grande, Puerto Rico, May (2006)
Okada S. for KEK-PS E570 Collaboration: "Precision spectroscopy of Kaonic Helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays", 18th International IUPAP Conference on Few-Body Pro-

blems in Physics (FB18), Santos, Sao Paulo, Brazil, August (2006)
(国内学会等)
岡田信二 for J-PARC E17 Collaboration : " Precision Spectroscopy of Kaonic Helium- $3d \rightarrow 2p$ X-rays (J-PARC E17) ", 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2006、熱海 南明ホテル、12月 (2006)

XVI - 017

弦理論と非可換幾何学

String Theory and Noncommutative Geometry

研究者氏名：浅川 嗣彦 Asakawa, Tsuguhiko
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)

今研究はDブレーンの幾何学的構造の理解と、それに基づいた弦理論の新しい定式化を目指すものである。今年度はまず、異なる次元のDブレーン達の結合状態を非BPS Dブレーンの立場から研究した。4次元ヤンミルズ理論におけるインスタントン解には、ADHM構成と呼ばれる解の構成法が知られている。これは4次元のゲージ場の配位を長方形の固有方程式から決定するという非常に非自明な方法で、解の自由度を表すモジュライ空間の構造も決定している。一方、弦理論においては、D3ブレーンとDインスタントンの結合状態のうち、Dインスタントンに付随する開弦の自由度の低エネルギー極限が、ADHM構成に現れる長方形に他ならないことも明らかになっていた。但し、ADHM構成全体や、なぜこの構成が正しいモジュライ空間を決めるのかを弦理論で説明することには成功していなかった。これに対し我々は不安定Dブレーン系を用いることで解答を与えた。即ち、D3・反D3ブレーン系のタキオン凝縮により、D3ブレーンとDインスタントンの結合状態と、D3ブレーンにインスタントンゲージ場が乗った系、という2つの系を実現し、それらがD3・反D3ブレーン系のゲージ変換で移りあうことを示した。このゲージ変換を特定する作業が行列の固有方程式を解くという作業に他ならず、モジュライ空間の一致もゲージ同値性として説明される。そして両者の低エネルギー極限では非自明なADHM構成を再現する。この議論

は、より一般のゲージ理論のソリトンとDブレーン複合系との対応として一般化ができ、ゲージ理論に対する理解を深めると期待される。

次に、非可換空間上の場の理論と弦理論についての研究を行った。前者は、量子重力効果が顕著となる近距離での現象論的モデルとして注目されている。近年の研究により、これまで破れているとされていたポアンカレ対称性が、実は量子群(ホップ代数)的な意味で変形されたローレンツ対称性として非可換空間上で実現していることが指摘され、その結果、非可換重力理論を構築する足がかりが得られた。一方、この場の理論は、背景にB場が存在するときのDブレーン上の有効理論としても知られている。我々は弦理論の立場から、世界面のカレント代数の境界頂点演算子への作用が、Dブレーン有効理論における対称性のホップ代数構造を導くことを示した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Kobayashi S., Asakawa T., Matsuura S.: "Excited D-branes and Supergravity Solutions", Int.J.Mod.Phys., A211 503-1528 (2006)*

(その他)

Asakawa T., Matsuura S., and Ohta K.: "Construction of Instantons via Tachyon Condensation", unpublished

XVI - 018

超弦理論におけるブレインと行列模型の手法を用いた 超対称量子場の理論の解析

Analysis of Supersymmetric Gauge Theory using D-branes
in Superstring Theory and Matrix Model Methods

研究者氏名： 太田 和俊 Ohta, Kazutoshi
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)

(1) BPS ドメインウォールとヴォーテックスの 数え上げ

8つの超電荷をもつ超対称ゲージ理論のヒッグス相におけるドメインウォール解に対して、そのモジュライ空間の「体積」を組み合わせ論的な手法を用いて計算した。ドメインウォールの配位空間が3次元のヤング図形と同一視できることを示し、その3次元ヤング図形の個数を計算することでそのモジュライ空間の体積を見積もった。さらに、前年度の研究で行ったヴォーテックスとドメインウォールの双対性の関係を用いると、ヴォーテックスの配位空間をドメインウォールの配位空間として数え上げることができ、アーベル的ゲージ場の時に微分幾何的な手法を用いて知られていたヴォーテックスのモジュライ空間の体積と完全に一致することを示した。このように、微分幾何的な手法によらず組み合わせ論的な方法でBPSソリトンのモジュライ空間の体積を求める手法を開発したことは、より一般的なソリトンの数え上げの問題に対しても拡張できると期待される。

(2) 位相的場の理論の格子を用いた定式化

超対称ゲージ理論を格子を用いて定式化しようとする試みが今まで多くなされてきたが、主に作用に関して議論がなされており、物理量の期待値などの議論はあまりなされていなかった。そこで、我々は物理量、特に位相的場の理論においてコホモロジーとして定義される物理量に関してその格子上での性質について議論した。さらに、理論が持つ位相的な性質を用いると分配関数やある種の物理量がNekrasovらが開発した手法を用いて厳密に計算できることを示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsuura S. and Ohta K.: "Localization on the D-brane, two dimensional gauge theory and matrix models", hep-th/0504176, Phys. Rev. D73 085008 (2006)*

Eto M., Fujimori T., Isozumi Y., Nitta M., Ohashi K., Ohta K. and Sakai N.: "Non-Abelian vortices on cylinder -- duality between vortices and walls", hep-th/0601181, Phys. Rev. D73 046006 (2006)*

XVI - 019 行列模型を用いた弦理論の非摂動効果、非摂動的定義の探求 および時空構造の解明

Search for Nonperturbative Effect and Nonperturbative Definition of String Theory
and Investigation of the Space-Time Structure Using Matrix Model

研究者氏名： 黒木 経秀 Kuroki, Tsunehide
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)

本年度はまず前年度に引き続き $c=1/2$ 非臨界弦理論を記述するtwo-matrix modelにおける非摂動効果とそのT-dualityについて詳しい解析を行った。

もとの $c=1/2$ 非臨界弦理論のT-dualにあたるtwo-ma-

trix modelを構成すると、それはランダム面上のloop gas modelと呼ばれる模型そのものになることに着目し、この模型の相関関数を用いて、dual $c=1/2$ 非臨界弦理論における非摂動効果を求めた。その結果、非

摂動効果のleading termは元の $c=1/2$ 弦理論のものと完全に一致することを確認、その係数もloop gas modelのcylinder amplitudeを用いて与えた。これの直接評価をすることにより、非摂動効果はその係数まで込めてT-dualityに対して普遍的であるかどうか明らかになり、弦理論の非摂動的定式化に対してT-dualityはどのような意味を持つかが明らかになる。

また、臨界弦理論の非摂動的定式化の候補であるIIB行列模型は10次元のゲージ理論のlarge-N reduced modelであり、この模型はlarge-N極限でもとのU(N)ゲージ対称性や超対称性が破れ、低エネルギーで標準模型のゲージ群をもつゲージ理論になると予想されている。このようにlarge-N極限でnon-Abelianのゲージ対称性が動力学的に生成される例はダイナミクスの問題であり、ほとんど知られていない。そこで、このような機構を起こす簡単な行列模型を研究した。この模型は3次元のゲージ理論のlarge-N reduced modelであり、Chern-Simons項と質量項を持っているのが大きな特徴で、これらの項が中間的な値を取るとき、non-Abelianのゲージ対称性が動力学的に生成されることがone-loopの近似で予想されていた。しかしながらIIB行列模型の観点から今興味があるのは非摂動的真空としてこのようなゲージ対称性が生成されるかどうかである。そこでで

前開発した改良された摂動展開の方法を用いてまったく異なる解析をした結果、実際にあるパラメータ領域でnon-Abelianのゲージ対称性が非摂動的に生成されている証拠を得た。

この結果はまた、摂動的真空に基づく摂動級数を用いても、改良された摂動論によって非摂動的真空の情報が得られる非自明なよい例になっている。

現在はlarge-N極限の下で超対称性が破れる模型も構築中である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Aoyama T., Kuroki T., and Shibusawa Y.; “Dynamical generation of non-Abelian gauge group via the improved perturbation theory”, arXiv:hep-th/0608031

口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

黒木経秀: “Dynamical generation of non-Abelian gauge group via the improved perturbation theory”, 基研研究会, 京都, 9月 (2006)

黒木経秀: “T-duality of ZZ-brane”, 理研シンポジウム “行列模型と弦理論”, 和光, 9月 (2006)

XVI - 020 分数量子ホール系、及び朝永・ラッティンジャー液体における ナノスケールの量子輸送現象

Quantum Transport at a Nanometer Scale

Fractional Quantum Hall Effect and Tomonaga-Luttinger Liquid

研究者氏名: 井村 健一郎 Imura, Ken-Ichiro

ホスト研究室: 古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

単一分子伝導ナノエレクトロニクスの研究は、量子ドットの物理を超えて更なる展開を見せている。そのひとつの方向性に分子の持つ固有のスピンに着目した単一分子伝導スピントロニクスがある。分子を介した電子のトンネル現象がインコヒーレントに起こる領域では、マスター方程式を用いて完全計数統計を定式化できるが、今回はこれを電流と電荷の同時確率分布に一般化し、角運動量の合成則を援用して、解析的な結果を得た。

単一分子伝導、あるいは、半導体量子ドットを介した輸送現象の中で、伝導電子のスピン自由度が最

も顕在化する現象は、やはり近藤効果であろう。量子ドットにおける近藤効果では、もちろん、クーロン・ブロケイドによりドット上に現れた不対スピンの近藤の不純物スピンの役割をするのだが、その時、いわば、量子ドットという構造全体が、実効的に近藤効果のハミルトニアンで記述される。一方、単一分子伝導スピントロニクスの系においては、このドットという「実効的なスピン」に加えて、分子固有のスピン s がドット上に存在し、伝導電子のスピン \cdot と交換相互作用を通して相互作用している。

さて、このような系におけるインコヒーレントな伝

導をマスター方程式を用いて記述する時、当然、ドット上の状態を対角化するのに全角運動量 $j=s+\sigma$ が良い量子数になる。一方、伝導電子のトンネルにおいては、逆に σ の方が良い量子数なので、マスター方程式の中の遷移確率には Clebsch-Gordan 係数が 2 次で現れる。

マスター方程式による定式化の枠組みで完全計数統計を計算することは、計数場が入った、いわば、「変更された」マスター方程式の定常状態を見つけることである。あるいは、遷移確率行列の固有値問題を「計数場がゼロになる極限で定常状態に戻る」という条件付で解くこととも言える。上で導入した単一分子伝導スピントロニクス系においては、この過程で通常の量子力学的文脈では登場することのない Clebsch-Gordan 係数の 4 次の関係式が重要な役割を果たし、任意のスピン s に対する完全計数統計が、実は先の固有値問題を完全に解くことなしに解析的に得られてしまう。

我々は、こうして得られた解析的表式をもとにして、電流 電荷同時分布を数値的に評価し、分子の持つ固有のスピンが量子ドットを介した伝導の完全計数統計に及ぼす影響を明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- K.-I. Imura, Y. Utsumi, T. Martin: “Full counting statistics for transport through a molecular quantum dot magnet”, cond-mat/0612052, submitted to Phys. Rev. B.
- R. Shindou, K.-I. Imura and M. Ogata: “Characterization of 2D fermionic insulating states”, Phys. Rev. B 74, 245107 (2006).

(プロシーディングス)

- K.-I. Imura and R. Shindou: “Topological currents in ferromagnets and related systems — from the viewpoint of wave-packet dynamics”, Phys. Stat. Sol. B 243, p.p. 174-178 (2006).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- K.-I. Imura (invited), Y. Utsumi, T. Martin: “Full counting statistics for molecular quantum dot magnet”, in VIth Rencontres du Vietnam, “Nanophysics: from fundamentals to applications”, Hanoi, Vietnam, 6-12 August, 2006.
- R. Shindou, K.-I. Imura, M. Ogata: “Characterization of 2D fermionic insulating states”, 31st conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, Primosten, Croatia, 23-26 April, 2006.

XVI - 021 幾何学的フラストレーションをもつ強相関電子系における新奇な現象の研究

Novel Phenomena in Strongly Correlated Electron Systems with Geometrical Frustration

研究者氏名： 是常 隆 Koretsune, Takashi
ホスト研究室： 古崎物性理論研究室
(アドバイザー 古崎 昭)

電子相関の強い絶縁体は、一般に低温で反強磁性秩序や電荷秩序などの対称性の破れを伴うことが多い。近年、この対称性の破れを抑制し新奇な状態を探索するため、幾何学的フラストレーションを持つ系が注目されている。実際、有機導体やグラファイト上に吸着された³Heなどにおいて、対称性の破れの伴わない絶縁体相が見つかっており、そこでは非常に興味深い現象が観測されている。そこで、我々はまず、対称性の破れを伴わない金属絶縁体転移の性質を調べるため、有機導体の系を念頭におき、二次元異方的三角格子系におけるハバード模型の性質を数値的に調べた。このような、相関が強かつ強い

フラストレーションを持つ系に対しては、近似的な手法はその正当性の評価が難しい。そこで、我々は厳密な計算手法である厳密対角化法を用いて解析を行った。厳密対角化法は小さな系しか計算できないという問題があるが、様々な境界条件のもとでの計算を利用することにより、欠点である有限サイズ効果を大幅に緩和することに成功した。この手法を用いることにより、ドルーデの重みや電荷ギャップから金属絶縁体転移の、磁気相関から反強磁性転移の相境界を決定した。特に、金属絶縁体転移近傍では従来の平均場的な描像では記述できない新奇な状態の可能性があることが分かった。

また、一方でグラファイト上に吸着された³Heにおける4/7相と呼ばれる絶縁体相についての研究も行った。この系では強いフラストレーションのため、比熱が低温で温度に比例し、帯磁率も交換相互作用Jに比べて非常に低い温度まで成長するというスピン液体的な特異な性質を示す。この系を理解するため、我々は下地のHeの効果を考慮し、系が三角格子とカゴメ格子の中間のモデルで記述されると考えた。その結果、非カゴメ格子のサイト上のスピンの有効的に交換相互作用が非常に小さい三角格子とみなすことができ、実験結果を説明しうることがわかった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Koretsune T., and Ogata M.: "Effective mass divergence in the infinite-U Hubbard model", Physica B 378-380 323-324 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Koretsune T., Motome Y., Furusaki A.: "Mott transition

in the two-dimensional Hubbard model with geometrical frustration studied by exact diagonalization method and transcorrelated method", The International Symposium on Anomalous Quantum Materials (ISAQM2006), Okinawa, Japan, Jun.(2006)

Koretsune T., Ogata M.: "Magnetic properties of doped Kagome antiferromagnet", International Conference on Magnetism ICM2006, Kyoto, Japan, Aug.(2006)

(国内会議)

是常隆、求幸年、古崎昭 : "Metal-Insulator transition in the two-dimensional Hubbard model on an anisotropic triangular lattice", 文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」A01&A05 研究項目合同ワークショップ、那須、7月(2006)

是常隆、宇田川将文、小形正男 : "From the triangular lattice to the kagome lattice: Double peak structures and low energy excitations", 文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」A01&A05 研究項目合同ワークショップ、那須、7月(2006)

XVI - 023 2光子光電子分光法による高温超伝導体の非占有電子状態に関する研究

Studies on Unoccupied Electronic States of the High-temperature Superconductors
with Two-photon Photoemission Spectroscopy

研究者氏名：園田 康幸 Sonoda, Yasuyuki

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)

高温超伝導体の超伝導性や磁性などの物性を理解するには、その非占有状態を知る必要がある。本研究では、2光子光電子分光法の高エネルギー分解能性($\Delta E < 30$ meV)を活かした分光測定を行い、非占有状態と物性発現機構の関連性を明らかにすることを目的とした。2光子光電子分光法の研究は、これまで金属上の鏡像準位などの単純系に限られていたが、高温超伝導体のような複雑系の分光にも有効であることが本研究によりわかってきた。本年度では、主テーマと平行して行ってきた有機分子/金属基板界面、及びその金属基板表面の2光子光電子分光実験の結果をまとめた。

有機分子デバイスのキャリア伝導性を理解するには、それに影響を与える吸着誘起の界面電子状態と

その基板表面の電子状態を知る必要がある。そこで2光子光電子分光法と光電子分光法を用いて、有機分子/金属基板のプロトタイプであるベンゼン/Cu(110)界面とCu(110)表面の電子状態を調べた。

(1)ベンゼン分子軌道とCuバンドの相互作用による吸着誘起の占有、非占有状態の対を観測することができた。吸着誘起占有状態はフェルミ準位から-2.2 eVに存在し、角度分解光電子分光測定から、表面平行方向に分散の無いことがわかった。また光電子分光測定($h\nu = 21.22$ eV)と2光子光電子分光測定($2h\nu = 9.54$ eV)の両方で同じエネルギーに観測されたことから、表面垂直方向にも分散の無いことがわかった。すなわちこれらの実験結果が

ら、フェルミ準位から-2.2 eVの電子状態は1個のベンゼン分子と基板の界面に局所化していることがわかった。また2光子光電子分光測定から吸着誘起の非占有状態がフェルミ準位から+0.5 eVに存在することがわかった。このように、吸着誘起電子状態のエネルギーの特定が実証できたことは、これらの実験手法がデバイス特性を評価する上で重要な役割を担う可能性を示唆している。

(2) Cu(110)表面の測定では、フェルミ準位から+1 eV付近に逆光電子分光法で観測されてい

る構造とは由来が異なる非占有状態が観測された。逆光電子分光法では、フェルミ準位から+1 eVの構造はバルクバンド間の遷移に由来する構造であると帰属されている。一方、2光子光電子分光測定で観測されたフェルミ準位から+1 eVの構造は、酸素を供給すると完全に消失することから表面敏感であることがわかり、表面由来の非占有状態であることがわかった。デバイスを設計する上では、フェルミ準位近傍に表面敏感な非占有状態が存在することを留意する必要がある。

XVI - 025 非線形光学ポリマーフォトリック結晶導波路中における 非線形現象の解明とデバイス応用

Elucidation of Nonlinear Phenomena in a Nonlinear Optical Polymer Photonic Crystal Waveguide
and their Applications

研究者氏名：井上 振一郎 Inoue, Shin-ichiro
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)

光子(フォトン)に対するナノ周期構造である『フォトリック結晶』を利用すれば、極めて遅い光の群速度(スローライト)や物質の人工的な光分散制御などが実現できる。本研究は、フォトリック結晶機能と非線形光学結晶機能とを融合させる新しい光デバイス構造を提案することにより、物質と光との相互作用を高度制御し、物質内での非線形光学応答を制御・増大することによって、従来素子性能の限界を凌駕する新しい光非線形機能素子の創出することを目的とした。

これまで非線形光学材料を用いたフォトリック結晶の研究は、大きな期待が持たれながらも、これら材料の微細領域での難加工性のためにまったく進んでいなかった。本研究はこれまで、非線形材料層とフォトリック結晶スラブ層を分離する独自の素子構造(縦型ヘテロ・非線形フォトリック結晶)を提案し、さらに非線形光学結晶を光波長スケール(数100nm)まで薄膜化する独自技術を確認することで、最も代表的な高非線形性光学材料であるLiNbO₃単結晶や非線形光学ポリマーを用いて2次元フォトリック結晶を創製することに世界で初めて成功した。

さらに作製した2次元非線形フォトリック結晶をもちいて、レーザー光と物質の間の相互作用を大きく

増幅させることにより、反射配置での第二高調波発生を高効率化(300倍以上)することに初めて成功した。これは従来型デバイスを遥かに凌駕する新たな高効率波長変換技術を導くものであり、波長変換デバイスを今後、大幅に高効率化、高パワー化、コンパクト化できる可能性がある。

本年度は一層の研究深化を目指し、

(1) 非線形LiNbO₃フォトリック結晶導波路への面内光導波による深紫外(325nm)波長領域での長距離位相整合の実現を目指し研究を進めた。現時点においてLiNbO₃縦型ヘテロ・非線形フォトリック結晶の高精度化、及びリッジ導波路化に成功している。また青色(450nm)~深紫外(325nm)領域において、長距離位相整合による高輝度のレーザー出射発生に成功している。本成果は、これまで誰も実現できていなかった高効率・コンパクトな深紫外コヒーレント光源の開発への道を拓くものでありその産業的インパクト、学術的波及性は極めて大きい。

(2) 次に、2次元⁽²⁾エンジニアリングによる紫外光領域のLiNbO₃2次元非線形⁽²⁾フォトリック結晶の創製を目指し研究を行った。2次の非線形感受率⁽²⁾を2次元的に空間変調する非線形⁽²⁾フォ

トニック結晶の概念は、1998年Bergerにより理論的に提案されたが、非線形光学結晶に対する微小サイズ領域の⁽²⁾制御は極めて難しく、紫外光領域の非線形⁽²⁾フォトニック結晶はこれまで実現された例はなかった。このような研究状況において、本研究は、独自の2次元ナノ⁽²⁾制御技術を開発し、これまで誰も開発できなかった紫外から可視領域にわたる2次元LiNbO₃非線形⁽²⁾フォトニック結晶の開発に初めて成功したもので、その学術的・産業的意義は非常に大きい。本成果は、マルチ波長、マルチビーム波長変換などの新たな機能性を有する紫外-可視領域における実用レベルの小型高機能コヒーレント光源実現へ向け多大な貢献、甚大な市場規模が期待できる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Inoue S., and Aoyagi Y. : “Ultraviolet second-harmonic generation and sum-frequency mixing in a two-dimensional nonlinear optical polymer photonic crystal”, Jpn. J. Appl. Phys. (Special Issue), 45, 6103-6107 (2006)*
Okinaka M., Inoue S., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y. :

“Nonlinear optical polymer patterned by nanoimprint lithography as a photonic crystal waveguide structure”, J. Vac. Sci. Technol. B 24, 271-273 (2006)*

(著書)

井上振一郎, 青柳克信: 『光学設計』, 光学結晶編、情報機構、11月(2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

井上振一郎、青柳克信: “分光角度分解プリズム結合法による2次元フォトニック結晶内導波モードの広帯域直接観測”, 第53回応用物理学関係連合講演会、東京、3月(2006)

井上振一郎、青柳克信: “⁽¹⁾、⁽²⁾周期構造を融合させた非線形2次元フォトニック結晶による波長変換デバイス”, 第67回応用物理学学会学術講演会、滋賀、9月(2006)

井上振一郎、渡辺恒介、青柳克信: “2次元⁽²⁾エンジニアリングによる紫外光領域LiNbO₃2次元非線形⁽²⁾フォトニック結晶”, 第54回応用物理学関係連合講演会、相模原、3月(2007)、発表予定

XVI - 026

微生物の光水素発生能の改良を目指した

ヒドロゲナーゼ-光合成活性中心複合体の設計と新規スクリーニング法の開発

Design of Artificial Hydrogenase-Photosystem I Complex and Screening for Stabilized Hydrogenase for Photo-driven Hydrogen Production by Cyanobacteria or Microalgae

研究者氏名: 伊原 正喜 Ihara, Masaki

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)

(1) 藍藻や藻類を利用した太陽光による生物学的水素生産は、環境負荷が少なくコスト的にも優れた次世代エネルギー生産システムである。しかしその実用化には、光変換効率などの問題を克服することが不可欠である。そこで本研究では、光合成によって吸収された光エネルギーを直接水素エネルギーへと変換するために、光化学系I(PSI)に水素生産を触媒するヒドロゲナーゼ酵素を直接結合させた人工的な光水素発生系を提唱している。今回は、ヒドロゲナーゼと特異的な相互作用を持つチトクロムc3をPSIの電子伝達サイトに化学的に結合させることで、ヒドロゲナーゼ-

チトクロムc3-PSIからなる連結体を調製し、細胞外実験において、参照実験と比べて約7倍の水素発生速度が観測された。次のステップとして、光水素系の安定化が重要である。特にヒドロゲナーゼの酸素感受性によって水素発生は著しく抑制される。しかし、酸素に対する安定化に関する知見はほとんど得られていない。そこで、酸素分子の蛋白質内部へ侵入をブロックするために、ヒドロゲナーゼに対し特異性を有する抗体や化学修飾によって蛋白質表面の揺らぎを抑え、酸素耐性を高めるといった新しいストラテジーを検討した。実際に、ポリクローナル抗体や分子内架橋

によって、活性状態にあるヒドロゲナーゼが酸素によって不活化する速度が有意に低下し、酸素耐性化に成功している。今回の耐性化効果はまだわずかであるが、ヒドロゲナーゼ表面を幾重にも抗体でコーティングしていくことで、さらなる酸素耐性化が期待できる。現在、酸素耐性化効果の高いモノクローナル抗体のスクリーニングを行っている。

- (2) 環境汚染物質の新しい免疫分析法の開発を行っている。PCBなどの環境汚染物質を簡便かつ高感度に検出することは、自然環境の保全や監視の観点から切望されている。しかし、PCBのような小分子を土壌中のように多量の夾雑物を含むサンプルから検出することは、現在でも非常に困難である。そこで、抗PCB抗体と、PCB-抗PCB抗体複合体を認識するDNAアプタマーによって、PCBが結合した抗PCB抗体を検出するという新しい分析方法を提案している。現在、PCB-抗PCB抗体複合体を認識するDNAアプタマーを得られたが、その親和性や特異性は低くさらにSELLEXを行う予定である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Ihara M., Nakamoto H., Kamach T., Okura I., and Maeda M.: "Photoinduced Hydrogen Production by Direct Electron Transfer from Photosystem I Cross-linked with Cytochrome c3 to [NiFe]-Hydrogenase", Photochemical and Photobiology, 2006, in print*
- Ihara M., Nishihara H., Yoon K-S., Friedrich B., Nakamoto H., Kojima K., Honma D., Kamach T., and Okura I.: "Design of Artificial Hydrogenase-Photosystem I

Complex for Photo-driven Hydrogen Production by Cyanobacteria or Microalgae", Photochemical and Photobiology, 2006, 82, 676-682.*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ihara M., Nakamoto H., Kamach T., Okura I., and Maeda M.: "The Hydrogen Production Photochemically Driven by the Direct Electron Transfer from Photosystem I Cross-linked with Cytochrome c3 to [NiFe]-Hydrogenase", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress c/o Congress Corporation, Kyoto university, Japan, 2006, Jun.

Ihara M., Nakamoto H., Kamach T., Okura I., and Maeda M.: "The Hydrogen Production Photochemically Driven by the Direct Electron Transfer from Photosystem I Cross-linked with Cytochrome c3 to [NiFe]-Hydrogenase", Gordon Research Conference, Green Chemistry, Magdalen College, UK, 2006, Aug.

(国内学会等)

- 伊原正喜、仲本準、蒲池利章、大倉一郎、前田瑞夫：
"シトクロム c3 をクロスリンクした光合成反応中心からヒドロゲナーゼへの直接的電子移動による光水素生産"、日本ケミカルバイオロジー研究会第1回年会、学術総合センター、東京、2006年4月
- 伊原正喜、仲本準、大倉一郎、蒲池利章、前田瑞夫：
"シトクロム c3 をクロスリンクした光合成反応中心からヒドロゲナーゼへの直接的電子移動による光水素生産"、生物工学会2006年大会、大阪大学、大阪、2006年8月

XVI - 027 分子シャペロン存在下におけるアミロイド 凝集挙動の研究

Effect of Amyloid Beta Aggregation with Molecular Chaperone

研究者氏名： 迫野 昌文 Sakono, Masafumi

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)

アルツハイマー病の原因物質とされるアミロイド (Ab) は、自己組織的に繊維状凝集体を形成する。A 凝集体は細胞毒性を有することから、Ab凝集体の形成阻害に関する研究がこれまでに多くなされてい

る。特に、変性タンパク質と特異的に相互作用する性質を有する分子シャペロンは、A β 凝集抑制化合物として注目されている。

そこで、我々は、分子シャペロンの一つである超

好熱性古細菌由来prefoldin(PFD)を用いてAβの凝集抑制能について調べた。PFDは繊維伸長の中間体であるAβオリゴマーを特異的に認識しその構造を保持した結果、PFD存在下において繊維化が阻害され、可溶性オリゴマーを多く産出した。

PFD存在下で得られた可溶性オリゴマーのPC12細胞に対する細胞毒性を検討した。可溶性オリゴマーにより誘引された死細胞のDNAを、TUNEL染色法を用いて評価したところ、DNAが断片化していることが明らかとなった。さらに、caspase-3抗体によるウエスタンブロッティングを用いて測定したところ、細胞死を引き起こした細胞の抽出液中には多量の活性化caspase-3が検出されることがわかった。以上のことより、PFD存在下で得られた可溶性AβオリゴマーはPC12細胞のアポトーシスを引き起こし、細胞

死に至らしめることがわかった。

結果、PFDはAβの繊維化を抑制するが、高毒性の可溶性オリゴマーを生成することが明らかとなった。

口頭発表 Oral presentation

(国内学会等)

迫野昌文、座古保、上田宏、養王田正文、前田瑞夫：

“分子シャペロンによるアミロイド 繊維化抑制と可溶性オリゴマーの生成”、第55回高分子討論会、富山、9月(2006)

迫野昌文、座古保、上田宏、養王田正文、前田瑞夫：

“分子シャペロン prefoldin 存在下におけるアミロイド 凝集体の評価”、第58回日本生物工学会大会、大阪、9月(2006)

XVI - 029 電気化学的特性を利用した集積型超分子ナノネットワークの構築と素子化

The Construction of the Molecular Device

by Using the Switching of the Functionalized Supramolecules

研究者氏名：堀江正樹 Horie, Masaki

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)

これまでに、多くの超分子機械が設計・合成されており、これらは、外部刺激で個々の分子の結合形態を柔軟に変化できることから、分子素子への応用が期待されている。素子を作成する上で成形性・制御性の良い材料として、固体状態においても構造制御可能な分子機械が望まれる。結晶中における分子機械は、最大の規則配列をとっているため、分子の動作を強調物性値として得られることと、素子作成の簡素化の利点がある。前年度までに、私は、フェロセンを軸分子に有する擬口タキサンが、単結晶状態で相転移を起こす特異な事例を見出している。そこで、本年度は、擬口タキサン単結晶の固相-固相転移にともなう構造解析と熱光学物性の評価を行った。擬口タキサンのX線結晶構造解析を行った結果、128の転移点において、軸分子の芳香環が+37度回転することがわかった。すなわち、結晶中では、分子の並進モーションの固定と、軸分子の回転モーションの制御ができることがわかった。この超分子構造転移は、様々な結晶の光学特性の変化をもたらした。擬口タキサン単結晶をクロスニコル

偏光下で観測すると、軸分子の回転と同一方向に光学軸が+8度回転した。これにより、透過光強度は、40-60%の間で可逆的に変化した。また、相転移にともない、高速(68ミリ秒)かつ可逆的な干渉色の変化がおこった。この干渉色の変化は、結晶の異方性である複屈折変化(0.060-0.044)がもたらしたもので、擬口タキサンの軸分子が回転したことによる分子配向の変化(整列-不均化)が引き起こした結果であることがわかった。以上、本研究では、光学異方性と光学軸の配置を可逆的にスイッチできる擬口タキサン光学結晶の開発に成功した。結晶中での超分子機械の作動と、それを使った光学制御として、初めての報告である。今後、この原理を使った様々な超分子光学部品が、開発されていくことを期待している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Horie M., Yamaguchi I., Yamamoto T.: "Synthesis of new poly(arylamines) (aryl = oligo-*p*-phenyl or pyridyl) by

organometallic polycondensation and chemical properties of the polymers”, *Macromolecules*, 39, 7493-7501 (2006)*

- Horie M., Sakano T., Osakada K.: “Preparation and electrochemical properties of SAM of alkanethiols functionalized with 2-aza[3]ferrocenophane on gold electrode”, *J. Organomet. Chem.*, 691, 5947-5957 (2006)*
- Horie M., Yamaguchi I., Yamamoto T.: “Comparison of optical properties and doping behavior of $-(p-C_6H_4)_mNH]_n-$ ($m = 1-4$) type polymers”, *Chem. Lett.*, 35, 1110-1111 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Horie M., Suzuki Y., Hashizume D., Sassa T., Osakada K., Wada T.: “Solid-to-solid phase transition of ferrocene-containing pseudorotaxane by thermal control”, 37th International Conference of Coordination Chemistry (37th ICC), Cape town, South Africa, August (2006)
- Horie M., Sassa T., Hashizume D., Suzuki Y., Osakada K., Wada T.: “The molecular interaction changes of

pseudorotaxane and its polarized optical properties with temperature control”, *Organometallics and their Applications symposium (OATA2006)*, Cape town, South Africa, August (2006)

(国内会議等)

- 堀江 正樹、須崎 裕司、佐々 高史、橋爪 大輔、小坂田 耕太郎、和田 達夫: “超分子の熱相転移にともなう偏光特性の変化”, 第3回 理研・分子研合同シンポジウム エクストリームフォトニクス研究、和光、4月(2006)
- 堀江 正樹、坂野 達章、小坂田 耕太郎: “アザフェロセノファンSAM膜の電気化学的挙動”, 第30回有機電子移動化学討論会、横浜、6月(2006)
- 堀江 正樹、佐々 高史、橋爪 大輔、須崎 裕司、小坂田 耕太郎、和田 達夫: “擬口タキサン超分子構造転移と偏光特性変化”, 第55回 高分子討論会、富山、9月(2006)
- 堀江 正樹、佐々 高史、橋爪 大輔、須崎 裕司、小坂田 耕太郎、和田 達夫: “擬口タキサン光学結晶”, 第8回 リング・チューブ超分子研究会シンポジウム、東京、11月(2006)

XVI - 030

高圧力を手段として用いた分子性導体の物性研究

Physical Properties of Molecular Conductors under High Pressure

研究者氏名: 石井 康之 Ishii, Yasuyuki
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)

四面体型閉殻イオンを対カチオンとする一連の分子性導体、(cation)[Pd(dmit)₂]₂塩の多くは、常圧では[Pd(dmit)₂]₂ダイマーあたり一つの対電子をもつモット絶縁体である。スピン1/2をもつダイマーは二次元面内で三角格子状ネットワークを形成しており、100 K以上では磁化率の温度依存性はフラストレートした三角格子スピン系の振る舞いとよく一致する。また、これらの物質は圧力を印加することにより金属-絶縁体転移や圧力誘起超伝導など多彩な物性を発現する。これらの多彩な物性の発現機構を研究する上で、圧力下での磁化測定は非常に有効な手段となるはずであるが、一般的に分子性導体の磁化は非常に小さく、分子性導体の圧力下磁化測定はほとんど行われていないのが現状であった。本研究では、

SQUID磁化測定システムで圧力下磁化測定を行うことが出来るペンシル型ピストンシリンダー圧力容器を改良し、十分な精度で分子性導体の圧力下磁化測定が出来るようになった。本年度は、いくつかの(cation)[Pd(dmit)₂]₂塩にこの技術を適用し研究した。

cation=EtMe₃Pの[Pd(dmit)₂]₂の塩(P2₁/m相)は、最も正三角格子に近い相互作用ネットワークを持つ物質の一つであるが、常圧25 K以下の低温では格子の並進対称性の破れを伴ってスピンギャップの開いた非磁性基底状態へと二次相転移する。この物質に圧力をかけると0.3 GPa程度で臨界温度約5 Kの超伝導が発現することが電気抵抗測定で見出されていた。本研究では、この物質に対して圧力下磁化測定を行い、スピンギャップ相と圧力誘起超伝導相の関係を研究した。常圧で観測

されていたスピンギャップ転移温度は、圧力印加により低温側へシフトし、スピンギャップ転移の消失する臨界圧力付近で低温でバルク超伝導を示唆する反磁性信号を確認した。この結果は、[Pd(dmit)₂]塩の中で始めてバルク超伝導の証拠を示しただけでなく、この圧力誘起超伝導相が、常圧の低温で観測されていた非磁性相と隣接していることが確認され、これまでにない新しいタイプの超伝導である可能性を示した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ishii Y., Tamura M., and Kato R.: "Magnetic Study of Pressure-Induced Superconductivity in the [Pd(dmit)₂] Salt with Spin-Gapped Ground State", Journal of the Physical Society of Japan, 76, 033704/1-033704/4 (2007)

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Ishii Y., Tajima A., Tamura M., Kato R., Hedo M., and Uwatoko Y.: "High Pressure Study of the Two Dimensional Molecular Conductors, Pd(dmit)₂ Salt.", ICM satellite workshop in Fukuoka Novel Pressure-induced Phenomena in Condensed Matter Systems, Fukuoka, Japan, Aug. (2006)

(国内学会等)

石井康之、田村雅史、深谷敦子、加藤礼三: "EtMe₃P [Pd(dmit)₂]₂ の圧力下の超伝導特性", 日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、9 月 (2006)

石井康之、田村雅史、加藤礼三: "分子性導体(cation) [Pd(dmit)₂]₂ の高圧下磁気物性", 第 47 回高圧討論会、熊本市産業文化会館、11 月 (2006)

XVI - 031 硬 X 線、軟 X 線を用いた超伝導体等強相関物質の電子状態の研究

Study of the Electronic Structures of Strongly Correlated Materials Using Soft and Hard X-ray

研究者氏名: 木須孝幸 Kiss, Takayuki

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)

固体で発現する諸物性はフェルミ準位(E_F)近傍の電子構造と非常に深い関わりを持つ。光電子分光法は物質中の電子状態を直接できる実験手法である。本研究では近年盛んに議論がなされている分子性結晶における電子状態と超伝導対称性(p波、d波、f波)について、明らかにし、これらの物質に関するバンド計算の妥当性と超伝導発現機構の解明に関する重要な知見を得る事を目的としている。

本年度は昨年度二次元分子性導体で初めて角度分解光電子分光に成功した、非常に金属的である(BEDT-TTF)₃Br(pBIB)の電子状態の研究をレーザー励起角度分解光電子分光に加え、励起エネルギーの異なるHe放電管を用いた角度分解光電子分光を行った。この研究によって、バンド計算との比較を E_F 極近傍のみではなくパレンスバンド全体にわたって行うことにより、バンド計算の妥当性などについてより詳細な情報を得ることが出来る。

実験の結果、He放電管における角度分解光電子スペクトルの取得に成功し、レーザー励起光電子分光では知ることのできなかつた、結合エネルギー2eV以上の範囲のバンド分散を得ることに成功した。併せ

ての物質・材料研究機構、計算材料科学研究センター、第一原理物性グループの宮崎剛博士に依頼していたバンド計算が終了し、これまでに得た結果との比較を行った。レーザー励起光電子分光による実験結果は第一原理計算・tight binding model計算と測定範囲において比較的良い一致を示し、このエネルギー範囲においてはtight binding model計算が非常に良く実験結果を再現することが明らかになり、tight binding model計算の物性研究における有用性が確認された。一方、He放電管を用いた実験結果では E_F 近傍はレーザー光電子と非常によく一致しその実験結果の妥当性が明らかにされ、更に1st π のみでなく2nd π 以下の電子状態も明らかになった。角度積分光電子分光を行ったエネルギー範囲内において、第一原理計算との比較を行ったところ、1st π については結合エネルギーがややunder estimateであるが、バンド分散の形状、傾向については非常によく一致し、2nd π 以下においてはエネルギーも非常に良い一致を示した。このことは第一原理計算が物質の電子状態を知るに当たって非常に重要であることを示しており、第一原理計算と角度分解光電子分光を併せて行

うことにより、分子性導体の電子状態の解明のみならず、新規物質の開発を電子状態の面からも支援できるようにする可能性を示している。また、フェルミ面の観測にも初めて成功しており、これも各計算結果と良い一致を示している。

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会)

木須孝幸、加藤礼三、下志万貴博、石坂香子、辛埴、宮川和也、鹿野田一司、富樫格、Zhang C. Q.、Chen C. T.、渡部俊太郎：“ k -(BEDT-TTF) $_2$ Cu(SCN) $_2$ のレーザー励起光電子分光”、日本物理学会、愛媛大学、3月(2006)

木須孝幸：“有機伝導体の光電子分光： E_F 近傍の電子状態”、日本物理学会、招待講演、千葉大学、9月(2006)

XVI - 033

希土類材料の分子設計に関する基礎研究

Computational Study on the Molecular Design of Rare Earth Materials

研究者氏名：羅 — Luo, Yi
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)

触媒作用機構にどのように寄与しているのかを明らかにすることは、新型触媒反応を正しく理解及び発展させて行くために不可欠である。理論化学・化学計算の研究手法はそのような目的には極めて有力である。希土類錯体は希土類材料の一つであり、新規錯体の開発や触媒反応において大きな注目を集めている。本研究の目的は量子化学計算と実験的発見を組み合わせることによって希土類錯体の電子構造や触媒反応機構を解明し、より効率的な新しい有機ランタノイド錯体の分子設計の指針を提供するものである。

平成18年度四月から十月までには、平成17年度の研究結果に基づき、引き続き多核希土類ポリヒドリドクラスターや単核希土類金属アルキル錯体の触媒重合反応についての継続研究を行った。具体的には以下のことを中心に研究を進めた。

(1) 多核希土類ポリヒドリドクラスターの金属・水素結合へのエチレンや一酸化炭素の挿入反応機構の解明を行った。一配位水素原子(μ_1 -H)を持つ単核金属水素化物の金属・水素結合への挿入反応に関する理論研究は多いが、多配位水素原子(μ_2 -H、 μ_3 -Hなど)を持つ多核金属水素化物に関する理論研究は今まで報告されていない。本研究では、ONIOM理論計算による μ_2 -Hは μ_3 -Hより転移挿入反応のエネルギー障壁が低いことが分かった。また、架橋している μ_2 -H原子の挿入反応が五中心遷移状態を経由するという、従来の四中心遷移状態機構と異なっている水素転移挿入反

応機構を初めて判明した。

(2) テトラメチル(トリメチルシリル)シクロペンタジエニル基を有する希土類ビス(アルキル)錯体 $[(C_5Me_4SiMe_3)M(CH_2SiMe_3)_2(thf), M = Sc \text{ and } Y]$ 触媒を用いて、高位置かつ高立体選択的なスチレンのシンジオタクチック重合やスチレン・エチレン共重合反応に関する続けて理論的に検討した。この反応において重合反応の活性種を理論的に提案した。活性種と溶媒分子や助触媒との相互作用を調べた。この結果によって、スチレン・エチレン交互共重合の可能性があるということを理論的に予測した。また、イットリウム触媒の場合、シクロペンタジエニル基上に置換基を適当に大きくすると触媒の活性が上がることを提唱した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Yi Luo, Zhaomin Hou: “Modeling η^5 - $C_5Me_4SiMe_3$ with η^3 - C_3H_5 for DFT Study of a Tetranuclear Yttrium Polyhydrido Complex $[(\eta^5-C_5Me_4SiMe_3)YH_2]_4$ ”, *International Journal of Quantum Chemistry*, (in press, DOI: 10.1002/qua.21169)

Yi Luo, Zhaomin Hou: “A Five-Center Rather than a Four-Center Transition State for Alkene Insertion into a Metal-Alkyl Bond of a Cationic Binuclear Yttrium Complex”, (in press, om060702i)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yi Luo, Zhaomin Hou: "Computational Study on the Electronic Structure and Catalytic Reaction of Bi- and Polynuclear Rare Earth Metal Complexes", *The 4th world-*

wide Chinese Theoretical and Computational Chemistry Conference (WCTCC), Kunming, China, August 6-10, 2006.

XVI - 034 新規血管新生阻害剤 azaspirene の標的分子の同定とそれに基づくドラッグデザイン

Studies on Molecular Target for, a Novel Antiangiogenic Inhibitor, azaspirene and Molecular Target-Based Drug Design

研究者氏名: 浅見 行弘 Asami, Yukihiro
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)

固形腫瘍において起こる病的血管新生は、原発腫瘍への栄養供給源となるばかりでなく、遠隔転移の経路にもなることから、がん治療における新たなターゲットとして注目されている。国内外の多くの研究者が血管新生阻害剤の探索を行っているが新規化合物の発見は少ない。

本研究室において新規血管新生阻害剤 azaspirene が見出されているので、この阻害剤の作用機序を解明することは、血管新生阻害剤の新たな標的分子の発見に繋がることと期待される。また、同定されたタンパク質と azaspirene の詳細な結合様式を解明することにより、標的分子をターゲットとした新たな薬剤の創製に貢献できると考えられる。

本年度は、これまでに azaspirene が血管内皮細胞増

殖因子(VEGF)によって誘導される Raf-1 のリン酸化阻害活性機構を詳細に解析した。まず HEK293T 細胞を用いた Raf-1 過剰発現細胞での薬剤評価。そして、血管内皮細胞における Raf-1 の MAPK カスケードの上流因子である受容体 KDR/Flk-1 (VEGFR2) の過剰発現細胞を用いた薬剤の評価。これら、2つの血管内皮細胞を模倣した HEK293T 細胞系の構築をおこない、薬剤の評価を検討した。VEGF によって誘導される KDR/Flk-1 を過剰発現した HEK293T 細胞の MAPK カスケードを活性化させることにより azaspirene を 1 時間処理後、5 分間の VEGF (50 ng/ml) で刺激し、活性化される細胞内情報伝達系に与える影響を生化学的手法を用いて解析した。その結果、血管内皮細胞で得られた薬剤の阻害活性機構と同様な機構が示唆された。

XVI - 035 骨粗鬆症治療薬の開発を目的としたリベロマイシン A に関する研究

Study of Reveromycin A Aimed at Developing the Therapeutic Drug for Osteoporosis

研究者氏名: 川谷 誠 Kawatani, Makoto
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)

骨を分解(吸収)する働きをもつ破骨細胞は、骨粗鬆症や癌の骨転移など多くの疾患でその活性化亢進がみられ、それら疾患の発症や進行に深く関わっている。そのため、破骨細胞の骨吸収機能を阻害するような化合物はそれら疾患に対し有用な治療薬になると考えられる。昨年度までに、放線菌二次代謝産物リベロマイシン A が、破骨細胞に選択的にアポトーシスを誘導することを見出し、その分子機序を

明らかにしてきた。さらに、疾患モデル動物を使った検討から、リベロマイシン A が骨粗鬆症や癌の骨転移病態を改善する効果があることを明らかにした。本年度は、治療薬としての臨床開発を目的に、主にリベロマイシン A の体内動態(吸収・分布・代謝・排泄)について正常ラットを用いて検討した。
(1) 吸収: リベロマイシン A の静脈投与、腹腔内投与、皮下投与における血中半減期はそれぞれ

0.88h、0.93h、1.35hであった。また、経口投与ではほとんど吸収されなかった。

- (2) 分布: ^3H 標識したリベロマイシン A を皮下投与したラットの全身オートラジオグラフィーの検討から、リベロマイシン A の蓄積した臓器、組織は特にみられなかった。
- (3) 代謝: ^3H リベロマイシン A を皮下投与したラットの胆汁サンプルの解析から、リベロマイシン A は体内で代謝を受けないことがわかった。
- (4) 排泄: リベロマイシン A は、大部分が胆汁中排泄を介して糞中に排泄されていた。

以上の結果から、リベロマイシン A の体内動態における問題点として血中半減期が短いことがあげられた。そのため現在は、ポリ乳酸等の生分解性ポリマーあるいは浸透圧ポンプを用いてリベロマイシン A の持続皮下投与による薬効について検討している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kanoh N., Asami A., Kawatani M., Honda K., Kumashiro S., Takayama H., Simizu S., Amemiya T., Kondoh Y., Hatakeyama S., Tsuganezawa K., Utata R., Tanaka A., Yokoyama S., Tashiro H., and Osada H.: "Photo-cross-linked small-molecule microarrays as chemical genomic

tools for dissecting protein-ligand interactions", Chem. Asian J., in print*

(総説)

長田裕之、川谷誠: "破骨細胞をねらい撃ち 新しい骨粗鬆症治療薬の開発", Bionics、オーム社、7月66-68 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kawatani M., Kanoh N., and Osada H.: "Selective action of reveromycin A, a novel anti-resorptive agent, on osteoclasts", 18th EORTC-NCI-AACR Symposium, Prague, Czech Republic, Nov. (2006)

(国内学会等)

川谷誠: "破骨細胞を標的とした骨転移抑制剤の開発", 第5回国際バイオ EXPO、東京、5月 (2006)

川谷誠、叶直樹、室井誠、井本正哉、長田裕之: "メチルゲルフェリンの破骨細胞分化阻害と標的分子の同定", 第10回がん分子標的治療研究会総会、東京、6月 (2006)

川谷誠: "リベロマイシン A の骨吸収阻害剤としての創薬研究", 第17回新薬創製談話会、横須賀、9月 (2006)

川谷誠、室井誠、井本正哉、長田裕之: "メチルゲルフェリンの破骨細胞分化阻害機構の解析", 第65回日本癌学会学術総会、横浜、9月 (2006)

XVI - 036 生体内におけるコレステロール代謝の新たな調節機構の解明

Analysis of a Novel Cholesterol Metabolism Regulation *in Vivo*

研究者氏名: 柴田 識人 Shibata, Norihito

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)

コレステロールは細胞膜の構成成分やステロイドホルモン前駆体として生命維持に必須の脂質である反面、その過剰摂取は動脈硬化症等を引き起こす。従ってコレステロールの恒常性は生体にとって非常に重要な問題である。これまでに私はコレステロール生合成過程の中で、スクアレンエポキシダ - ゼが触媒するスクアレンからスクアレン-2,3-オキサイドへの変換反応を促進する、新規可溶性蛋白質 SPF (Supernatant Protein Factor) のクローニング及びそのノックアウトマウスの作製に成功し、SPFが生理的に

は、飢餓時においてコレステロールの恒常性を維持するよう働くことを明らかにした。これはこれまで全く想定されてこなかったエネルギー代謝とコレステロール代謝とのクロストークを意味するものであり、個体レベルの栄養代謝という面からも意義深い。本研究ではこれまでの研究成果を踏まえ、SPFを標的とした高コレステロール治療薬の可能性を検討すること、及びSPFを中心としたコレステロール代謝の新たな生理的意義を提唱することを目的とする。本年度の成果は具体的には以下の通りである。

(1) 前年度までの研究成果より、動脈硬化症発症モデルマウスである ApoE ノックアウトマウスと SPF ノックアウトマウスを掛け合わせ、血中脂質レベル及び動脈硬化病変形成への影響を調べたところ、SPF が欠損することで、高コレステロール血症、及び動脈硬化病変形成の顕著な抑制が見られていた。今期ではさらにそのメカニズムを解析した。その結果、SPF 欠損マウスでは、肝臓中でのコレステロール生合成及びその代謝が抑制されていることが分かった。SPF を欠損させても外見上は顕著な表現型が見られないことも考え合わせると、SPF を治療標的とした高コレステロール治療薬が、副作用も少なく有望なものになると期待される。

(2) 前年度までの研究成果より、SPF ノックアウトマウスより採取した腹腔マクロファージをリボポリサッカライドで刺激すると、誘導型 NO 合成酵素の発現が持続すること、さらにはリボポリサッカライド誘発性の敗血症に対して、SPF ノックアウトマウスは高感受性であることが分かっていた。NO は異物排除機構において重要因子の一つであるが、その過剰な産生・蓄積は、炎症状態の遅延や様々な疾患を引き起こすと考えられる。以上の成果は、SPF を介したコレステロール代謝が、過剰な炎症状態の抑制機構に関わっていることを示すと共に、マクロファージにおける自然免疫応答が SPF を介したコレステロール代謝によって制御されていることを示唆するものである。本年度はこの現象の分子機構の解明を目指した。その結果、本現象が確かにコレステロール代謝物に起因していることが分かった。従ってマクロファージにおける自然免疫応答が SPF を介したコレステロール代謝によって制御されていることが明らかになった。また SPF ノックアウトマウスより採取

した腹腔マクロファージにおいても、リボポリサッカライド刺激に対する応答シグナル自体は正常に働いていることが分かった。以上の結果から、コレステロール代謝物による自然免疫応答の制御機構は、これまでに考えられてきた自然免疫応答調節機構とは全く異なる、新しい分子機構である可能性が示唆された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shibata N., Jishage K., Arita M., Watanabe M., Kawase Y., Nishikawa K., Natori Y., Inoue H., Shimano H., Yamada N., Tsujimoto M., and Arai H.: "Regulation of hepatic cholesterol synthesis by a novel protein (SPF) that accelerates cholesterol biosynthesis", *FASEB Journal*, **20** E2231-E2239 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shibata N., Jishage K., Tsujimoto M., and Arai H.: "Regulation of hepatic cholesterol synthesis by a novel cholesterol biosynthesis accelerating protein, SPF", The 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology., Kyoto, Japan, June. (2006)

(国内学会等)

柴田識人、新井洋由: "新規コレステロール生合成促進因子 SPF の生理機能", 第 48 回日本脂質生化学会、東京、6 月 (2006)

柴田識人、寺社下浩一、辻本雅文、新井洋由: "新規コレステロール生合成促進因子 SPF (Supernatant Protein Factor) の生理機能の解析と抗動脈硬化症治療薬標的としての検討", 第 38 回日本動脈硬化学会総会、東京、7 月 (2006)

XVI - 037 DNA複製前後の細胞核タンパク質の構造と機能変動のプロテオミクスによる解析

Analyses of Nuclear Protein Dynamics Dependent on DNA Replication by Proteomic Approach

研究者氏名: 武内 桂吾 Bunai, Keigo

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)

アフリカツメガエル卵抽出液を用いた細胞核再構成実験の結果から、細胞核内では、DNA複製前後で

多くのタンパク質の量的、質的変動が起きていることが示唆された。本研究では、DNA複製前後で変動

すると予想されるタンパク質のうち、細胞分裂での正確な染色体分離に必要である姉妹染色体接着(sister chromatid cohesion)に関わる因子に焦点を当てた。姉妹染色体のコヒーションは、分裂期における正確な染色体分配の前過程として重要である。これまでに同定されてきた多数の関与因子の中で、具体的な作用機序が不明なもの一つが出芽酵母Eco1/Ctf7及びそのオルソログである(以下ではEco1と総称する)。Eco1は酵母を用いた遺伝学的解析により、DNA複製に共役して姉妹染色体接着を樹立する過程で機能すると考えられている。またEco1はアセチル基転移酵素活性を持つことが示されたが、その基質は未知である。本研究では、アフリカツメガエル卵抽出液無細胞系を用いて、アフリカツメガエルオルソログ(XEco1と呼ぶ)を解析することでEco1の機能を明らかにすることを目標とした。まずXEco1の全長を含むESTクローンを入手して配列を解析した。XEco1は約75KDaの蛋白質であると予測され、C末端側のおよそ半分の領域のみに他種生物のEco1オルソログと相同性の高い配列がみられた。次に同領域(予想されるア

セチル基転移酵素領域を含む)の組換え蛋白質をバキュロウイルス蛋白質発現系を用いて調製し、XEco1が、他種生物のEco1オルソログと同様に、自己アセチル化活性を持つことを確認した。またXEco1を特異的に認識する抗体(a-XEco1C)を作成し、XEco1がA6細胞(カエル腎由来培養細胞)において細胞周期依存的にS期からG2期において間期核に蓄積することを示した。さらに、a-XEco1Cを用いた免疫沈降を行ったところ、ウェスタンブロッティングによりXEco1の全長タンパク質が検出された。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Keigo Bunai, Ohkimoto Kei, Takagi Masatoshi, Imamoto Naoko: "Initial characterization of a *Xenopus* orthologue of Eco1/Ctf7 acetyltransferase", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, June (2006)

XVI - 038 mRNAクオリティコントロールに関する化学生物学的研究 Chemical Biological Research on the mRNA Quality Control System

研究者氏名： 甲斐田 大輔 Kaida, Daisuke

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)

pre-mRNAのスプライシングは、真核細胞にとって最も基本的かつ重要な機能の一つであり、イントロンを含む未成熟なmRNAが核外輸送され翻訳されると、異常なタンパク質が産生され、正常なタンパク質の機能を阻害するなど細胞にとって非常に危険であり、個体レベルでは疾患の原因ともなり得る。したがって、正常なタンパク質が発現するために何重ものチェック機構が働いている。低分子化合物FR901464(以下FR)や、そのメチルアセタール体であるスプライソスタチンA(SSA)で動物細胞を処理するとイントロンが翻訳された異常タンパク質が産生されるため、FRやSSAはこれらのチェック機構のうちいずれかを阻害している可能性が考えられる。そこで、SSAの標的タンパク質の同定、解析を通しmRNAクオリティコントロールシステムの全体像を明らかにすることを目的とした。

ビオチン化SSA、streptavidin beadsを用いて単離したSSA結合タンパク質をLC-MS/MSで同定したところ、スプライソソームの構成因子であるSAP155、SAP145、SAP130が結合タンパク質として同定された。これらは全てSF3b複合体の中に含まれており、その機能はスプライシングに必要であることが知られている。競合実験からビオチン化SSAとこれらの因子との結合は特異的であることがわかり、また、これらの結合は非共有結合であった。siRNAを用いこれらの因子をノックダウンすると、SSA処理と同様にpre-mRNAからの翻訳がおこり、また、スプライシング因子、またはpoly(A) RNAの局在変化なども観察された。また、SSAは*in vitro*におけるスプライシング反応を阻害することが明らかになった。前年度までの研究から、SSAは*in vivo*でスプライシングを阻害することがわかっており、以上の結果から、SSAまた

はFRはSF3b複合体に結合することによりその機能を阻害し、スプライシング異常、さらには、pre-mRNAからの翻訳を引き起こすのではないかと考えられる。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Daisuke Kaida, Etsu Tashiro, Hajime Motoyoshi, Ken Ishigami, Hidenori Watanabe, Takeshi Kitahara, Hidenori Nakajima, Masaya Imoto, Minoru Yoshida: "An antitumor microbial metabolite, Spliceostatin A caused

pre-mRNA accumulation and translation", The 3rd Japan-Korea Joint Symposium of Chemical Biology, Seoul, Korea, Nov. (2006)

Daisuke Kaida, Etsu Tashiro, Ken Ishigami, Hidenori Watanabe, Hidenori Nakajima, Masaya Imoto, Minoru Yoshida: "FR901464, an antitumor microbial metabolite that causes accumulation and translation of pre-mRNA, binds to the SF3B splicing complex", The 43rd Annual Meeting, the American Society for Cell Biology, San Diego, USA, Dec (2006)

XVI - 039 蛋白質アセチル化を生細胞内で可視化するための蛍光プローブ分子の開発

Development of Fluorescent Indicators for Protein Acetylation in Living Cells

研究者氏名：佐々木 和樹 Sasaki, Kazuki

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)

蛋白質アセチル化は、ヒストンアセチル化酵素によって正に、ヒストン脱アセチル化酵素(HDAC)によって負に、ダイナミックに制御されている。真核生物の染色体DNAは、クロマチンと呼ばれるDNAとヒストンからなる高次構造をとっている。そのクロマチン構造の変化が遺伝子発現のオン・オフを決める役割を果たしていると考えられており、ヒストンのアセチル化はクロマチン構造変化を制御する主要な翻訳後修飾である。そこで、細胞内におけるヒストンのアセチル化及び脱アセチル化を、生きたままの細胞で観察することができ、かつ時間・空間分解能をもった解析を可能にする蛍光プローブの開発を行った。この蛍光プローブは、蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)を起こす二つの蛍光蛋白質の間に、アセチル化される基質ドメインとアセチル化リジン結合ドメインがリンカー配列によって連結している。この蛍光プローブ内の基質ドメインがアセチル化されると、アセチル化リジン結合ドメインとアセチル化された基質ドメインとの結合により、蛍光プローブの構造が変化する。この構造変化により起こる二つの蛍光蛋白質間のFRETの変化を蛍光強度比変化として検出する。昨年度までに、作製した蛍光プローブが生細胞内で内在性のヒストンH4

と同様の挙動をし、蛍光プローブのアセチル化をFRET変化に伴う蛍光強度比変化として検出可能であることを示した。本年度、作製した蛍光プローブを用いて各種HDAC阻害剤による生細胞内でのヒストンH4アセチル化誘導の違いを調べた。また、この蛍光プローブを用いて、有糸分裂過程におけるヒストンH4のアセチル化状態を観察した。染色体が凝集するとともにヒストンH4の脱アセチル化が起こり、分裂後期の初めにアセチル化は最も低くなり、分裂後期の後半から再びアセチル化が起こり、分裂終期の後半には分裂前のアセチル化状態まで回復することがわかった。この蛍光プローブを導入することによって、組織・個体内のヒストンアセチル化も生きたまま検出することが可能になるだろう。

誌上発表 Publications

(総説)

佐々木和樹、吉田稔：“ヒストン修飾酵素”、蛋白質核酸 酵素、51 2069-2075(2006)

工業所有権出願

佐々木和樹、吉田稔：“アセチル化及び脱アセチル化の蛍光可視化検出方法”

XVI - 041

植物の形態形成におけるエンドサイトーシスの役割

Rab5 GEF 変異体の形態学的解析を中心に

Morphological Analysis of *Arabidopsis* Rab5 GEF Mutants

研究者氏名： 内田 和歌奈 Uchida, Wakana

ホスト研究室： 中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

細胞は細胞外の物質を取り込むためにエンドサイトーシスをおこなう。エンドサイトーシス経路の一部を担う Rab5 GTPase は、グアニンヌクレオチド交換因子(GEF)により活性化の制御を受ける。Rab5 GTPase は、動物や酵母では、細胞膜と初期エンドソーム間の輸送や、初期エンドソーム同士の融合を制御していることがわかっているが、植物の形態形成における役割は明らかでない。モデル植物シロイヌナズナでは、Rab5 GTPase と高い相同性を持つ Ara6、Ara7、Rha1 が同定されており、AtVps9a がこれら 3 つの Rab5 GTPase の活性化を担う Rab5 GEF であることが機能的に証明された。本研究は、AtVPS9a 遺伝子に T-DNA の挿入が挿入された 2 種類の変異体 *atvps9a-1* および *atvps9a-2* の表現型を解析して、Rab5 GTPase を介したエンドサイトーシスが植物の形態形成に果たす役割を明らかにする目的で行った。

(1) *atvps9a-1* 変異体は、Rab5 GTPase との相互作用

に必要な VPS9 ドメインに T-DNA が挿入されており、魚雷型胚期に発生が停止し胚致死となる重篤な表現型を示す。透過型電子顕微鏡で解析したところ、個体差はみられるが、胚発生のごく初期段階である球状胚の時期から細胞膜の微細構造に異常、ラジアルパターンの異常、不完全な細胞板の形成、細胞内での細胞壁成分の蓄積などが見られた。胚発生の中期段階である、後期ハート型胚から魚雷型胚の時期には、ゴルジ小胞の蓄積やエンドソーム由来の可能性がある異常な膜系の蓄積、束化したアクチンを付随した由来不明の嚢状構造が観察された。

(2) 一方、*atvps9a-2* 変異体は、VPS9 ドメインよりも C 末端に T-DNA が挿入されており、胚発生は進行して種子ができるが、根の伸長が著しく阻害される。*atvps9a-1* 変異体と同様に、根のラジアルパターン、細胞板形成、細胞壁成分の蓄積と細胞接着に関して、異常が見られた。

XVI - 042

核内構造を介した転写制御機構の解析

Transcription Machinery Through the Nuclear Architecture

研究者氏名： 島田 信量 Shimada, Nobukazu

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)

これまで転写は細胞核内のランダムな場所で起こると考えられていたが、最近の研究によって、転写は核内の特異的領域においてクロマチン構造を介して制御されることが示唆されつつある。その一例として、核内に局在する PML ボディなどの核内構造体に転写制御因子が集まり、この領域に標的 DNA がリクルートされ、転写が制御されることが示唆されている。本年度は昨年度に引き続いて、PML の生理機能の解析を行った。

PML ボディの主要構成因子である PML と FLA G-HA タグとの融合タンパク質を安定に発現する H

e L a S 3 細胞株を作製した。核及び細胞質抽出液からタグを用いて PML 複合体を精製し、その構成因子を同定したところ、ホスホグリセリン酸キナーゼ (P G K)、ピルビン酸キナーゼ (P K) などの解糖系で機能する複数のタンパク質が得られた。

C O - I P 法および G S T プルダウン法により、PML が P G K および P K と結合することが確認された。さらに免疫染色実験により、低酸素状態下で PML が細胞質に移行することが示された。そこで、核移行シグナルを欠損させた細胞質局在型 PML (c P M L) を安定に発現する M C F - 7 ヒト乳癌細胞株 (c P

ML/MCF-7)を作製したところ、この細胞株では空ベクターを組み込んだMCF-7株(eMCF-7)に比べて解糖系の活性が亢進していることが示唆された。さらに、cPML/MCF-7株はeMCF-7株に比べて、ヌードマウスにおける腫瘍形成能が亢進していることが分かった。以上の知見から、PMLは低酸素状態下で核から細胞質に移行し、解糖系酵素に

結合してその活性を促進し、癌細胞の腫瘍形成能を亢進することが示唆された。

既に他グループにより、PGKが癌細胞から分泌されてプラスミン還元酵素として機能し、腫瘍血管新生を抑制することが報告されていることから、現在はcPMLによってPGKの細胞外分泌が抑制される可能性について調べている。

XVI - 043

シロアリ腸内共生難培養性微生物のゲノムと機能解析

Analysis of Genomes and Functions of Unculturable Symbiotic Bacteria in Termite Guts

研究者氏名：本郷 裕一 Hongoh, Yuichi

ホスト研究室：工藤環境分子生物学研究室

(アドバイザー 工藤 俊章)

シロアリ腸内には大量かつ多様な細菌が存在し、餌である枯死植物の分解発酵や空中窒素固定など、宿主シロアリに必要な不可欠な役割を担っている。しかし、それらの細菌の99%は現時点で培養不能であり、その系統分類・群集構造すらまったく未知であった。報告者(本郷)らは培養を介さない方法によって群集構造解明を試み、その結果22細菌門に属する1500種にものぼる未知のシロアリ特異的細菌系統を発見してきた。これら未培養細菌の個々の機能はまったく不明である。近年、培養不能細菌のメタゲノム解析法が普及し、昆虫共生細菌を含むいくつかの培養不能細菌種のゲノム全長と、推定される機能が報告されてきた。しかしシロアリ腸内は多くの自然環境同様に細菌種が極めて多様であり(腸あたり推定700-1200種)、単一あるいは単純な構成の細菌群の大量回収は不可能で、こうしたアプローチはとれない。そこで我々は、ある種のDNAポリメラーゼを用いて少ない細胞数から全ゲノムを増幅し、特定のシロアリ共生細菌種の、全ゲノム配列解析による機能解明を目指してきた。

我々が標的としたのは、分類学的新規性が極めて高い“Termite Group 1 (TG1)”門細菌である。我々が発見したこの新門細菌群は未培養だが、ある種のシロアリ腸内原生生物の細胞内絶対共生細菌であることを突き止めている。ゲノムの多様性を極力排除するため、我々は原生生物1細胞のみから、細胞内共生細菌をマイクロマニピュレーションによって数十~数百細胞分取し、全ゲノム増幅を行った。得られ

たサンプルを理研GSCの豊田敦研究員らと協力してショットガン及びパイロシーケンス法によって配列解析し、全ゲノム配列のほぼ完全な再構築に成功した。現在アノテーション(遺伝子同定)中であるが、TG1細菌のエネルギー、炭素、窒素代謝など基本的な代謝経路を解明しつつある。培養株の存在しない細菌門の全ゲノム配列解析はほとんど例がなく、微量細胞を出発点とする実験系を初めて確立したという点でも大きな意義があったと考えている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hongoh Y., Deevong P., Hattori S., Inoue T., Noda S., Noparatnaraporn N., Kudo T., Ohkuma M.: “Phylogenetic Diversity, Localization, and Cell Morphologies of Members of the Candidate Phylum TG3 and a Subphylum in the Phylum *Fibrobacteres*, Recently Discovered Bacterial Groups Dominant in Termite Guts”, *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 6780-6788 (2006)*

Deevong P., Hongoh Y., Inoue T., Trakulnaleamsai S., Kudo T., Noparatnaraporn N., Ohkuma M.: “Effect of temporal preservation on molecular study of complex microbial community in the gut of the termite *Microcerotermes* sp.”, *Microbes Environ.* 21: 78-95 (2006)*

Inoue T., Takematsu Y., Yamada A., Hongoh Y., Johjima T., Moriya S., Sornnuwat Y., Vongkaluang C., Ohkuma M., Kudo T.: “Diversity and abundance of termites along an altitudinal gradients in Khao Kitchagoot Na-

tional Park, Thailand”, J. Trop. Ecol. 22: 609-612 (2006)*

Noda S., Kitade O., Inoue T., Kawai M., Kanuka M., Hiroshima K., Hongoh Y., Constantino R., Uys V., Zhong J., Ohkuma M.: “Coevolutionary history of a triplex symbiotic system of termites, their gut protists, and bacterial endosymbionts of the protists”, Mol. Ecol. in print (2007)*

Ohkuma M., Sato T., Noda S., Ui S., Kudo T., Hongoh Y.: “The candidate phylum ‘Termite Group 1’ of bacteria: phylogenetic diversity, distribution, and endosymbiotic members of various gut flagellated protists”, FEMS Microbiol. Ecol. in print (2007)*

Yamada A., Inoue T., Noda S., Hongoh Y., Ohkuma M.: “Evolutionary trend of phylogenetic diversity of nitrogen fixation genes in the gut community of wood-feed-

ing termites”, Mol. Ecol. in print (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

本郷裕一、豊田敦、Vinneth K. Sharma、Tulika P. Srivastava、工藤俊章、服部正平、大熊盛也：“シロアリに共生する難培養性腸内細菌の全ゲノム配列の決定と解析”、第1回日本ゲノム微生物学会年会、かずさ、3月(2007)

(国際会議)

Hongoh Y., Kudo T., Ohkuma M.: “Culture-independent characterization of the novel candidate phylum TG3 in the domain *Bacteria*”, 11th International Society for Microbial Ecology (ISME-11), Vienna, Austria, Aug. (2006)

XVI - 044

気体充填型反跳分離装置を用いた超重元素の探索

Super-Heavy Element Search Using a Gas-filled Recoil Separator

研究者氏名：加治 大哉 Kaji, Daiya

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)

新元素発見を目的とした超重核探索に関する研究は、「元素は何種類存在するのか?」、「超重元素はどのような化学的性質をもっているのか?」、また「超重核の安定性はどのように決まっているのか?」など...、化学と物理についての基本的な問いに答える一つの試みとして、科学の進歩とともに嘗々と続けられている。人類はこれまでに100を超える元素を発見し、現在では111番元素までの存在がIUPAC-IUPAP合同命名委員会によって認められている。原子番号112番以上の元素については、ドイツ・ロシア・米国・日本の研究グループが中心となって熾烈な先陣争いを行っている。本研究では、未だその存在が認められていない113番元素の確認を目的として低エネルギー重イオン融合反応 $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},n)^{278}113$ による超重核の探索を行った。さらに、昨年度より開始した超重元素の化学研究へ向けた超重核生成手法の確立に関する研究にも引き続き取り組んだ。

(1) 113番元素の探索

2004年7月および2005年4月に観測した113番元素

の同位体 $^{278}113$ のconfirmationを目的として、今年度も継続して追試実験を行った。2006年3月までに積算量として 6.15×10^{19} 個の ^{70}Zn イオンを ^{209}Bi 標的に照射したが、 $^{278}113$ に起因する第三番目の事象を観測することは出来なかった。

(2) 超重元素の化学研究へ向けた超重核生成手法の確立

超重元素の化学研究を行うためには、研究対象とする超重核を効率よく観測できる事が必要不可欠である。本年度は、102番元素ノーベリウム(No)の化学研究へ向けて、 No 同位体の生成手法の確立と気体充填型反跳分離装置の最適化を目的として実験を行った。 No 同位体の生成手法として、 $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne},5n)^{255}\text{No}$ 反応に着目した。反跳速度 $v/v_0=1.19$ で運動する ^{255}No イオンに対して、気体充填型反跳分離装置の最適な磁場条件 $B = 1.907[\text{Tm}]$ において5.7%の収集効率を得た。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kaji D., Morimoto K., Morita K., Hasebe H., Yoshida A., Haba H., Yoneda A., Goto S., and Kudo H.: "Target for the heaviest element production at RIKEN", Nucl. Instr. and Meth. A, (2007) 受理済*

(単行本)

加治大哉, 他 84 名: "放射化学用語辞典 2006 年版", 松枝印刷株式会社 (2006)

(その他)

Morita K., Morimoto K., Kaji D., Akiyama T., Suda T., Haba H., Yoshida A., Ideguchi E., Goto S., Tokanai F., Koura H., Ozawa A., Ohnishi T., Yamaguchi T., Kudo H., Sueki K., Yoneda A., and Sato N.: "Observation of second decay chain from $^{278}113$ ", RIKEN Accel. Prog. Rep., 39, 76 (2006)*

Haba H., Kaji D., Takabe T., and Kikunaga H.: "Preparation of Th target for heavy element studies with GARIS", RIKEN Accel. Prog. Rep., 39, 109 (2006)*

Kaji D., Haba H., Morimoto K., Akiyama A., Morita K., Sato N., Takabe T., and Shinohara A.: "Search for superheavy-element nuclides for chemical studies using $^{232}\text{Th}+^{40}\text{Ar}$ reaction", RIKEN Accel. Prog. Rep., 39, 110 (2006)*

Takabe T., Kitamoto Y., Saika D., Matsuo K., Tashiro Y., Yoshimura T., Haba H., Kaji D., and Shinohara A.: "Development of gas-jet transport system for super-heavy element chemistry using the RIKEN K70 AVF Cyclotron", RIKEN Accel. Prog. Rep., 39, 113-114 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kaji D., Morimoto K., Morita K., Hasebe H., Yoshida A., Haba H., Yoneda A., Goto S., and Kudo H.: "Target for the heaviest element production at RIKEN", The 23rd World Conference of the INTDS, Japan, Oct. (2006).

Kaji D., Haba H., Kikunaga H., Morimoto K., Yoneda A., Akiyama T., Ooe K.,

Nanri T., Sato N., Shinohara A., Suzuki D., Takabe T., Yamazaki I., Yokoyama A., and Morita K.: "Optimization of a gas-filled recoil separator GARIS for the chemistry of superheavy elements", The 6th International Symposium on Advanced Science Research, Japan, Oct. (2006)

XVI - 045

RIBF 計画の U(ウラン) ビーム生成に向けた
大強度多価金属イオン源の研究開発

Research and Development of ECR Ion Source for Production of Intense U Beam

研究者氏名: 日暮 祥英 Higurashi, Yoshihide
ホスト研究室: 仁科加速器研究センター
加速器技術開発グループ
(アドバイザー 後藤 彰)

現在、理化学研究所で進行中の RIBF (RI Beam Factory) 計画では、大強度 RI ビーム生成の為に大強度 U(ウラン) ビーム (エネルギー 350 MeV/u、ビーム強度 $1\text{p}\mu\text{A}$ 以上) の生成を目標としている。350 MeV/u の U ビームを標的に当てると核分裂を起こし、効率の良い RI ビームを生成することが予言されている。中重核 (質量 ~ 100) RI の生成効率は同じビーム強度で Projectile-like fragmentation の数 10 倍以上であり、大強度 RI ビーム生成を主目的としたプロジェクトにとって U ビーム生成加速は将来、必須手段となる。これを達成するためにはイオン源から、35 価で $15\text{p}\mu\text{A}$ 以上

上のビームを発生させることが要求されている。ウランは法的に取り扱いが簡単でない為にウランによる汚染箇所は最小限にする必要がある。過去十年にわたり、ECR イオン源を用いて U イオンを生成する為の幾つかの手法が開発されてきたが、高効率かつ長期安定な方法が確立されていない。この問題を打破するために U に依る汚染を最小限に食い止め、高効率かつ長期安定にビームを供給する新しい U ビーム生成法の確立を行うことが目的である。本年は前年に引き続き RIKEN 18GHz ECR Ion Source で UF₆ を用い U¹⁴⁺ ビームを $2\text{p}\mu\text{A}$ 程度加速器に供給し、fRC に

てUビームを加速することに初めて成功した。また、スパッタ法と呼ばれる方法(プラズマ中に設置された金属ウランに電圧を印可し、プラズマ中のイオンを金属ウランにスパッタリングを起こさせることによってプラズマ中にウランを供給する方法)で、Uビームを生成する方法を試し、 U^{35+} ビームを $0.1\mu A$ 程度生成することに成功した。さらに、ECRイオン源から発生する多価イオンビームの大強度化の研究開発とイオン源からのビームの質を向上させ加速器への入射効率を上げるための実験を行った。そして、大強度Uビームを生成する為の超伝導ECRイオン源の設計も開始している。RIBFのコミッションングにおいては、Alビームを供給しSRCからのファーストビーム($345MeV/u$)を得ることに成功した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Higurashi Y., Nakagawa T., Kidera M., Aihara T., Kobayashi K., kase M., Goto A. and Yano Y.: "Effect of plasma electrode position and shape on the beam intensity of the highly charged ions from RIKEN 18 GHz electron-cyclotron-resonance ion source", Review of Scientific Instruments, 77, 03A329 (2006)*
Nakagawa T., Higurashi Y., Kidera M., Aihara T., kase M., Goto A. and Yano Y.: "Effect of magnetic-field configuration on the beam intensity from electron cyclotron resonance ion source and RIKEN superconducting electron cyclotron resonance ion source", Review of Scientific Instruments, 77, 03A304 (2006)*
Nakagawa T., Higurashi Y., Kidera M., Haba H., Aihara T., kase M., Goto A. and Yano Y.: "Production of ^{70}Zn beam from RIKEN 18 GHz ECR ion source", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B in print*

XVI - 046 有限温度におけるハドロンスペクトラム QCD 和則と格子QCDの視点から

Hadron Spectrum at Finite Temperature from the Viewpoints of QCD Sum Rule and Lattice QCD

研究者氏名: 土井 琢身 Doi, Takumi
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)

(1) ハドロンにおけるアイソスピンの破れの研究
本研究では、ハドロンスペクトラムにおけるアイソスピンSU(2)の破れについて、 $N_f=2$ 格子QCDを用いた精細な仕事を行った。アイソスピンの破れとしては、QEDによる電磁相互作用の効果と、QCDにおけるクォーク質量のアイソスピンの破れの効果の二つがあるが、特に前者について研究した。まず、メソンスペクトラムについて、QEDの効果を取り入れた精密計算を行うことで、 u, d, s クォークの質量を精密に決定した。これは、標準理論における基本的なパラメータを決定するという意味だけでなく、strong CP問題を理解する上でも重要な結果である。すなわち、現段階の格子QCD+QED計算においては、 $m(u)=0$ という解決法は支持されないという結論が得られた。より精密な決定のため、 $N_f=2+1$ 格子QCDを用いた計算を今後予定している。さらに、バリオンスペクトラムにおいてもQEDの効果を検証した。バリオンにおいてはいかにS/Nを良くするかとい

う方法論の確立が問題であったが、本年度の研究によりQEDのゲージ場の取り方を工夫することでこの問題を解決することができることを示した。この成果を基に、バリオン8重項におけるアイソスピンの破れを精密測定する予定である。

(2) 有限温度におけるチャーモニウムの性質についての研究

有限温度におけるQCDは、非閉じ込め相・カイラル対称相への相転移など、様々な興味深い現象が起こると予想されている。しかし、それらの相においてどのような自由度が有効なのかは、まだあまりよく解っていない。特に、従来は非閉じ込め相はクォーク・グルーオンの自由ガス状態という描像が考えられていたが、近年、非閉じ込め相においても、非自明なチャーモニウム状態が存在する可能性が指摘されてきた。この問題を格子QCDで取り扱うには、一体の(準)メソンとしてのチャーモニウム状態と、チャームクォークの散乱状態を区別すること

が重要であるが、我々は、昨年・一昨年でのペンタクォークの研究において確立した、境界条件を用いて区別する手法が有効であることを指摘した。その上で、実際の格子QCD計算を有限温度で行い、effective mass plotやMEMを用いた詳細な解析により、J/Psi状態とeta_c状態が、温度 $T_c \leq T \leq 2T_c$ の非閉じ込め相においても有効な自由度として生き残ることを示した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Iida H., Doi T., Ishii N., Suganuma H., Tsumura K.: "Charmonium properties in deconfinement phase in anisotropic lattice QCD", Phys.Rev.D74 074502 (2006)*
Doi T., Blum T., Hayakawa M., Izubuchi T., and Yamada N.: "The isospin breaking effect on baryons with Nf=2 domain wall fermions", PoS (LAT2006) 174 (2006)*
Doi T., Takahashi T.T., and Suganuma H.: "Meson-Meson and Meson-Baryon Interactions in Lattice QCD", AIP Conf. Proc.842 246 (2006)*
Ishii N., Doi T., Iida H., Oka M., Okiharu F., Suganuma H., and Tsumura K.: "Anisotropic lattice QCD studies of Penta-quarks and Tetra-quarks", AIP Conf. Proc.842

492 (2006),*

Takahashi T.T., Doi T., and Suganuma H.: "Nuclear force in lattice QCD", AIP Conf. Proc.842 249 (2006)*
Okiharu F., Suganuma H., Takahashi T.T., and Doi T.: "Multi-quarks and two-baryon interaction in lattice QCD", AIP Conf. Proc.842 231 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Doi T.: "Lattice results on charmonium properties in the deconfinement phase", Invited talk at the Annual Meeting of the Division of Nuclear Physics of the American Physical Society (DNP06), Nashville, USA, Oct. (2006)
Doi T.: "Theoretical Status of Pentaquarks", Invited poster presentation at Yukawa International Seminar (YKIS) 2006 "New Frontiers in QCD", Kyoto, Japan, Dec. (2006)
Doi T., Blum T., Hayakawa M., Izubuchi T., and Yamada N.: "The isospin breaking effect on baryons with Nf=2 domain wall fermions", Talk at the XXIV International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2006), Tucson, USA, Jul. (2006)

XVI - 047

カラーグラス凝縮形式によるスモールエックスの物理

Small-x Physics Based on the Color Glass Condensate Formalism

研究者氏名： 八田 佳孝 Hatta, Yoshitaka

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)

強い相互作用をするハドロンは高エネルギーに加速されるとカラーグラス凝縮と呼ばれる弱く結合したグルオン多体系のように振舞う。カラーグラスは大きなゲージ場の期待値で特徴づけられるグルオン数の飽和した状態であり、QCDの摂動論から予言される指数的なグルオン数の増加を抑え、高エネルギー衝突におけるユニタリティーの回復に重要な役割を担う。数年前までは衝突する2粒子のどちらか一方にグルオン数の飽和の効果を入れた方程式のみ知られており深非弾性散乱などに応用され一定の現象論的成功を収めたが、最近になって方程式の不満足な点が指摘され、両方の粒子にグルオン飽和の寄

与を入れることによるのみそれが改善されることが分かってきた。この効果はボメロンループと呼ばれ、最近盛んに議論されている。本研究ではこの問題に半古典的なアプローチで臨んだ。まず、アイコナル近似のS行列をスピン経路積分によって表し、光円錐ゲージの場合も含めた一般的なゲージで外部カラー電荷をQCDの経路積分に組み込んだ。この方法ではカラー電荷の非可換性を保つことができ、陽子、陽子衝突と陽子、原子核衝突におけるグルオン生成の計算にただちに応用できる。また、中間ラビディティモードを積分するとレッジ化されたグルオンの有効作用が導かれる。これはS行列の非線形

発展方程式の核になることが示され、グルオン飽和の効果が片方に入っている場合にこの核の双対性を議論した。ポメロンループを含む核はまだ部分的にしか計算できていないが、ラージ N_c の極限では近似的に発展方程式を統計物理学で知られた方程式に関連付けることができ、それによるとポメロンループの効果はハドロン中のグルオン数の揺らぎを表してることがわかった。我々はこの方程式の漸近的な解を用いて深非弾性散乱、回折散乱の断面積を計算した。得られた理論的予言はHERAのエネルギー領域ではまだ見えてないようであるがさらにエネルギーの高いLHCの実験では見えてくる可能性がある。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hatta Y., Iancu E., Marquet C., Soyez G., and Triantafyl-

lopoulos D.: "Diffusive scaling and the high energy limit of deep inelastic scattering in QCD at large N_c ", Nucl. Phys. A773, 95-155 (2006)*

Hatta Y.: "CGC formalism with two sources", Nucl. Phys. A (submitted)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hatta Y.: "Color dipoles from Bremsstrahlung in high energy QCD", International workshop on Deep Inelastic Scattering, Tsukuba, Japan, April (2006)

Hatta Y.: "Wess-Zumino term in high energy QCD", Low-x meeting, Lisbon, Portugal, June (2006)

Hatta Y.: "Diffusive scaling and the high energy limit of diffraction", International workshop on diffraction in high energy physics, Milos, Greece, September (2006)

XVI - 048 PHENIXのためのシリコンバーテックス検出器の開発と それを用いた陽子スピン構造の解明

Evaluation of Silicon Vertex Detector (VTX) for PHENIX and Study of Proton Spin Structure with VTX

研究者氏名: 浅井 淳吉 Asai, Junkichi

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)

陽子のスピンは偏極レプトンによる深非弾性散乱実験によりクォークによる割合が約30%であることがわかり、残りはグルーオンや角運動量に依存すると考えられている。グルーオンの偏極構造関数から陽子のスピン構造の解明を目的として、米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)にある偏極陽子衝突型加速器(RHIC)とPHENIX検出器を用いて研究を行っている。PHENIX検出器では素過程でグルーオンを含んだ反応を主に検出する。重クォーク生成で大部分をグルーオン反応が含んでいるおり、D中間子やB中間子の崩壊を観測するのは非常に重要である。しかし、現在のPHENIX検出器ではこれらの崩壊を直接検出するのは困難である。そこで、シリコンバーテックス検出器(VTX)を2009年にインストールする予定である。これにより、反応衝突点起源の粒子とD,B中間子崩壊起源の粒子を区別できる。VTXは内側2層のシリコンピクセル検出器と外側2層のシリコンストリップ検

出器からなる。

本年度は、BNLと理研が新たに開発した片面2次元読み出しのシリコンストリップセルセンサーの放射線耐性の研究を行った。RHICからは約 2×10^{32} [$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]のルミノシティが予想されており、ストリップ検出器はビーム衝突点から $r=10, 14\text{cm}$ の位置に設置されるため、放射線損傷の影響を考える必要がある。センサーからの信号を読み出すSVX4チップはビームをRHIC中で加速し衝突していない間にリセットさせるため、信号を1chあたり15nA以下にする必要がある。放射線損傷による主な問題は漏れ電流の増加であり、京都大(12MeV陽子)、立教大(14MeV中性子)、筑波大(16MeV陽子)の加速器を使用しセンサーに $10^{11} \sim 10^{13}$ [$\text{N}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$] の放射線量を照射しテストを行った。その結果、他のシリコン検出器実験(CERN-RD48)で証明されているように放射線量と単位体積あたりの漏れ電流に比例関係があることがわかった。また、実際

に2006年のPHENIX実験にセンサーを設置し放射線量の測定を行った結果、10年間の運転で約 $3 \times 10^{12} [N_{eq}/cm^2]$ 異常の放射線量が照射されることがわかった。また、漏れ電流は運転温度に依存することがわかっており、信号を15nA以下に抑えるために、VTXを0以下の環境で運転する方針を出した。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Asai J.: "Radiation damage study of Si stripixel sensor for PHENIX upgrade", The Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities, Hawaii, USA, Oct. (2006)

XVI - 052 サブミリ波帯・超伝導検出器の大規模イメージングアレイ化と天文観測への応用

Development of Superconducting Detector Arrays and
Application to Astronomical Observations in Submillimeter Wavelengths

研究者氏名：有吉 誠一郎 Ariyoshi, Seiichiro
ホスト研究室：フロンティア研究システム
テラヘルツイメージング研究チーム
(アドバイザー 大谷 知行)

電波と光波の境界領域に位置するサブミリ波(テラヘルツ波)帯は、天文分野における銀河形成進化の観測的研究や、産業分野における各種非破壊検査や癌診断、生体内構造解析などを行う上で重要な周波数バンドとして期待される。しかし、このバンドで高感度かつ大規模イメージングを行うために必要な多素子検出技術は未開拓である。そこで、超伝導トンネル接合素子(STJ)を用いた超高感度テラヘルツ光検出器とイメージングアレイ化に向けた研究開発を行った。1画素の膜構造は、ニオブ超伝導体の平面アンテナと超伝導マイクロストリップラインをSTJ素子で橋渡ししており、光子誘起トンネル現象という量子現象を検出原理としている。

本年度は、36画素の0.65THz帯イメージングアレイを開発し、複数素子の電気特性と光学特性を評価した。具体的にはまず、画素不良を極力減らすことを目的として、合計50画素に及ぶSTJ検出器の電流電圧特性を測定した結果、STJ検出器の作製歩留まりは90%(=45/50画素)、STJ素子単体では99%(~595/600個)という高い作製歩留まりを達成した。次に、光学特性の均一性を評価するために、フーリエ変換分光器を用いて、STJ検出器5画素を一次元に並べたアレイ(リニアアレイ)の周波数感度特性を測定した。その結果、有感周波数帯は5画素全て0.65THzで検出し、その個体差は1%の周波数範囲内で同じであることを確認した。上記と同時並行して、多系統信号を同時に読み出す回路系を構築・最適化するこ

とで、STJ検出器アレイを用いた初のテラヘルツイメージングに成功した。

天文応用では、理研と国立天文台との共同のもと、平成18年3月、STJ検出器アレイを南米チリの天体望遠鏡に搭載し天文観測に向けた第1歩を踏み出した。一方、産業応用に向けて、従来の冷媒(液体ヘリウム)を用いた0.3K冷却系ではなく、機械式4K冷凍機ベースの簡便な0.3K冷凍機システムを開発・構築した。この冷凍機システムでは、コンパクトかつ軽量でありながら、0.1 μ m_RMS(@0.3K-stage)という地盤振動レベル以下にまで除振対策を施し、さらに長時間運用(101時間@0.3K)かつ全自動オペレーション可能という従来にない優れたパフォーマンスを実現しており、これまで超伝導検出器の普及という点で障害であった「極低温」への困難さが急速になくなりつつある。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K., and Shimizu H. M.: "Terahertz Imaging with a Direct Detector based on Superconducting Tunnel Junctions", Appl. Phys. Lett., 88, 203503_1-3 (2006) *

Ariyoshi, S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K., and Shimizu H. M.: "Superconducting Detector Array for Terahertz Imaging Appli-

cations”, Jpn. J. Appl. Phys., 45, no.37, L1004-L1006 (2006) *

Otani C., Nakano R., Taino T., Shibuya T., Ariyoshi S., Yoshimura S., Myoren H., Sato H., Shimizu H. M., Takada S., and Kawase K.: “Direct and Indirect Detection of Terahertz Waves using a Nb-based Superconducting Tunnel Junction”, Institute of Physics Conference Series, 43, 1303-1306 (2006) *

Taino T., Nakano R., Yoshimura S., Myoren H., Takada S., Otani C., Ariyoshi S., Shibuya T., Kawase K., Sato H., and Shimizu H. M.: “A broadband terahertz detector using a superconducting tunnel junction”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 559, 751-753 (2006) *

(その他)

Ariyoshi S.: “Superconducting Detector Collects Terahertz Radiation”, Photonics Spectra, July issue, 23-24 (2006), News report introduced by an editor (Richard Gaughan)

有吉誠一郎、大谷知行、ドブロユ アドリアン、松尾宏、佐藤広海、田井野徹、川瀬晃道、清水裕彦：“超伝導検出器アレイを用いたテラヘルツイメージング”、信学技報、106, no.403, 59-63 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Taino T.,

Sato H., Shimizu H. M.: “STJ-based direct detector array for terahertz imaging applications”, 7th Workshop on Submillimeter-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, Osaka, Japan, Jan. (2007).

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K., Shimizu H. M.: “Terahertz Imaging with an STJ-based Linear Array Detector”, Applied Superconductivity Conference (ASC2006), Seattle, Washington, USA, Aug. (2006).

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K., Shimizu H. M., “THz Imaging with a Linear Array Detector based on Superconducting Tunnel Junctions”, Joint 31th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW-THz2006), Shanghai, China, Sep. (2006).

(国内学会等)

有吉誠一郎、大谷知行、ドブロユ アドリアン、松尾宏、佐藤広海、田井野徹、川瀬晃道、清水裕彦：“超伝導検出器アレイを用いたテラヘルツイメージング”、電子情報通信学会 電子デバイス研究会、東京、12月(2006)

有吉誠一郎、大谷知行、ドブロユ アドリアン、松尾宏、田井野徹、佐藤広海、清水裕彦：“スペース天文応用を目指したサブミリ波帯STJ検出器アレイの開発”、宇宙科学シンポジウム、神奈川、12月(2006)

XVI - 053

シングルフォトンスペクトロスコピーを用いた 生体情報イメージング技術の研究

Imaging Method for Biological Systems Using Single Photon Spectroscopy

研究者氏名：大野 雅史 Ohno, Masashi

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)

X線を生体試料観察のプロープとして適用する利点は、光学顕微鏡より高い空間分解能で、かつ電子顕微鏡では不得意である比較的厚い試料をしかも生理的状态で観察できるところにある。さらに軟X線領域は生体を構成する水素、酸素、炭素、窒素等主要軽元素の吸収端が存在するためにエネルギー吸収端計測から元素・分子分布解析も可能となることか

ら軟X線顕微鏡は他の顕微鏡にはない大きな可能性を秘めている。ただし、半導体検出器、CCD等、既存検出器では軟X線の高効率かつ高エネルギー分解能測定は不可能である。そこで本研究では全く新しい検出原理を有する超伝導転移端マイクロカロリメータを用いた軟X線イメージングスペクトロスコピーの実現を目標とする。超伝導体の急峻な転移領

域を利用した TES(Transition Edge Sensor)マイクロカロリメータは優れたエネルギー分解能と高計数率特性を有し、低エネルギー放射線に対する不感層が存在せず、しかも量子効率がほぼ 100%なので軟X線シングルフォトン検出が可能である。

本研究では、超伝導薄膜の熱伝導特性向上と動作温度低減を図るべく独自の金チタン金3重層を用いた素子を試作し、380mK付近にて極めて急峻な超伝導転移を示す温度センサを実現、同時に低抵抗素子に対応した信号読み出し回路を構築し、現在、6keVに対して半導体検出器のエネルギー分解能理論値以上の性能を達成しつつある。また検出受光素子の有感面を多数のピクセルに分割し、それらを電氣的に並列接続して1つのSQUID増幅器を用いた単純かつ合理的な回路にて全ピクセルの信号読み出しを行う手法も実証した。今年度は私の異動により4月分のみの研究報告となるが、まず、素子作製及び検出実験の再現性を評価し、安定し

た分光特性を確認した。さらにTESへの印加バイアスを変化させて詳細な信号検出特性評価を行ったところ、現在の素子では超伝導転移領域中の常伝導状態に極近いバイアス条件にて最も良好な特性が得られることが判明した。エネルギー分解能向上を目指す上でTES薄膜内の温度均一性は極めて重要になるが、高い電流感度が得られる超伝導状態に近いバイアス点でもTES薄膜内温度分布を抑制する手法、例えばTES薄膜中の常伝導金属膜厚を増加させる等の改良、最適化を進めればより優れた分光特性が得られることを本実験結果は示唆していると考えられる。

誌上発表 Publications

(その他)

大野雅史、佐藤広海、池田時浩、清水裕彦:“ 理研における超伝導転移端マイクロカロリメータ (TES)の開発 ”、KEK Proceedings、印刷中

XVI - 054 コンピューター・シミュレーションを用いたヒト運動動作の研究

Investigation of the Biomechanics of Human Motion Using Computer Simulation

研究者氏名：長野明紀 Nagano, Akinori

ホスト研究室：生体力学シミュレーション

特別研究ユニット

(アドバイザー 姫野 龍太郎)

本研究のそもそもの目的はコンピューター・シミュレーションの技術を用いてヒトの運動の機序を解明することであった。平成16年度及び17年度にはこの趣旨の元研究活動を推進して多くの成果を挙げ、複数の論文が国際誌に掲載された。その過程で実験的な手法を用いたデータ取得にも力を入れる事が必要であると強く感じたため、本年度は実験的な研究に集中した。具体的にはヒトの姿勢制御機構に関する研究を推進し、現在までに二編の論文が国際誌に掲載された。これらの研究に際し、実験は東京大学大学院生命環境科学系身体運動科学教室の深代千之助教授と共同で、主として東大・駒場の深代研究室で行った。

これらの研究ではヒト被験者が床反力計(フォース・プレート)の上で安静立位姿勢を保持する際に、その床反力の大きさ及び力の作用点の揺らぎを計測することで静的・準静的姿勢保持能力を評価する。

Human Movement Science に掲載された研究においては、被験者の足関節(下腿三頭筋の筋腱複合体)に三分間の静的なストレッチを施して、それが安静立位保持中の身体重心の動揺に及ぼす影響を評価した。その結果ストレッチを行う事がバランス能力を低下させる事が判明する一方で、このストレッチの影響が視覚によって補償される事を発見した。一方でMotor Control に掲載された研究においては、手指を用いて大腿部外側を軽く触る事が姿勢制御能力の改善を導くことが発見された。この際手指と大腿部外側との間にはごく小さな力しか発生しなかったため、この姿勢制御能力の改善は手指からの感覚入力に起因すると思われる。これは近年注目を浴びている sensory integration(異なった感覚器からの情報を脳が効果的に処理することで全体としての知覚能力が高まる事)の現象を示す物である。今後はこれらの実験的研究を通して得られたノウハウを活かしつ

つ、実験的な手法をシミュレーションの手法と組み合わせ、観測された実験結果に対する理論的な説明を進展させて行きたい。

尚、これら一連の業績が評価されて2007年1月よりイギリス・アバディーン大学にて講師の職に就く事となった。これも約三年の間基礎科学特別研究員として自由に研究をさせて頂けたお陰だと思っている。お世話になった皆様への感謝の意をここに表したい。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nagano A., Yoshioka S., Hay D.C. and Fukashiro S.: "Light finger touch on the upper legs reduces postural sway during quasi-static standing", *Motor Control* 10 348-358 (2006)*

Nagano A., Yoshioka S., Hay D.C., Himeno R. and Fukashiro S.: "Influence of vision and static stretch of the calf muscles on postural sway during quiet standing", *Human Movement Science*, 25 422-434 (2006)*

Fukashiro S., Hay D.C. and Nagano A.: "Biomechanical behavior of muscle-tendon complex during dynamic

human movements", *Journal of Applied Biomechanics*, 22 131-147 (2006)*

Takeshita D., Shibayama A., Muraoka T., Muramatsu T., Nagano A., Fukunaga T. and Fukashiro S.: "Resonance in the human medial gastrocnemius muscle during cyclic ankle bending exercise", *Journal of Applied Physiology*, 101 111-118 (2006)*

吉岡伸輔、長野明紀、姫野龍太郎、深代千之: "コンピュータシミュレーションを用いたヒト祖先の歩行研究の紹介"、*バイオメカニクス研究*、印刷中*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nagano A., Komura T., Yoshioka S. and Fukashiro S.: "Relations between the architecture and the function of the musculoskeletal system studied through computer simulation", *Vth World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany, August (2006)

(国内学会等)

吉岡伸輔、長野明紀、深代千之: "椅子立ち上がり動作に必要な最小下肢筋力の推定"、第19回日本バイオメカニクス学会、埼玉、9月(2006)

XVI - 055 尿細管で高発現するタンパク質を用いた腎臓特異的な発現制御機構の解明

Analysis of the Molecular Mechanism of Renal Tubule-specific Transcription of Cauxin

研究者氏名: 宮崎 雅雄 Miyazaki, Masao

ホスト研究室: フロンティア研究システム

スフィンゴ脂質発現制御研究チーム

(アドバイザー 鈴木 明身)

ヒトをはじめ哺乳動物は、腎臓の糸球体で血液をろ過し老廃物を尿に排出している。この過程で血液中のタンパク質もいったん糸球体でろ過されるが腎臓の尿細管で再吸収されるため尿にタンパク質はほとんど排泄されない。よってタンパク尿は、腎臓の異常を示す兆候として考えられていた。しかし他の哺乳類とは違い健康なネコの尿には、生理的に大量のタンパク質が含まれている。私はこれに着目して研究を始めネコの尿にエステラーゼの一種でCauxinと命名された分子量70 kの糖タンパク質が約1mg/mlの高濃度で含まれていることを2003年に発見した(Biochem. J. 370, 101-110. 2003)。Cauxinは腎臓の近位直尿細管上皮細胞で組織特異的に合成され、尿中

に分泌されている。本研究では、Cauxinの生理機能とこれをモデル分子にした尿細管特異的なタンパク質の発現制御機構について解析を行った。

(1) Cauxinの生理機能: Cauxinの生理機能を調べるときにfelinine(2-Amino-7-hydroxy-5,5-dimethyl-4-thiaheptanoic acid)という化合物に着目した。Felinineはアミノ酸の一種で、cauxinと同様に一部のネコ科動物の尿にだけ種特異的に存在していた。そこでfelinineの前駆体物質3-methylbutanoyl-cysteinylglycine(3-MBCG)に対してcauxinの酵素活性を調べた。この結果cauxinはネコの尿中で3-MBCGのペプチド結合を分解しfelinineを作り出す触媒としての機能を有することが明らかになっ

た。またネコの尿の匂い成分の分析から felinine は、尿中で更に分解され種特有な匂い物質 3-mercapto-3-methyl-1-butanol(3-MMB)が生じることが明らかになった。3-MMBは、ネコの同種認識や生殖活動に利用される嗅覚コミュニケーションの媒体であると示唆されている。本研究でネコの尿中タンパク質が種特有な臭いの生産に関わっていることが解明され、健康なネコのタンパク尿の個体生理的な矛盾が説明された。

- (2) Cauxinの発現機構：腎臓の組織培養とレポーターアッセイの組み合わせで Cauxin 遺伝子の5'上流約5kbpに基本プロモーター活性を有する事を発見した。しかしこの領域にはまだ尿細管特異的な発現機構を制御する配列は欠けていることが明らかになり更なる検討を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Miyazaki, M., Yamashita, T., Suzuki, Y., Soeta, S., Taira, H., and Suzuki, A.: "Cauxin, a novel member of carboxylesterases, produces felinine, a domestic cat-specific sulfur-containing amino acid, as a source of species-specific urinary odor", *Chem. Biol.*, 13 1071-1079 (2006)*
- Miyazaki, M., Yamashita, T., Hosokawa, M., Taira, H., and Suzuki, A.: "Species-, sex-, and age-dependent urinary excretion of cauxin, a mammalian carboxylesterase", *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 145 270-277 (2006)*
- Miyazaki, M., Soeta, S., Yamagishi, N., Taira, H., Suzuki, A., and Yamashita, T.: "Tubulointerstitial nephritis causes the decrease of the excretion level of cauxin that is a major urinary protein of normal cats", *Res. Vet. Sci.* 82 76-79 (2007)
- Miyazaki, M., Yamashita, T., Taira, H., and Suzuki, A.: "The biological function of cauxin, a major urinary protein of the domestic cat (*Felis catus*)" *Chemical Signals in Vertebrates 11* (Editors J.L. Hurst, R.J. Beynon, S.C. Roberts & T. Wyatt). Published by Springer, New York. in press*
- Suzuki, Y.†, Miyazaki, M.†, Ito, E., Suzuki, M., Yamashita, T., Taira, H., and Suzuki, A.: "Structural characterization of N-glycans of cauxin by MALDI-TOF mass spectrometry and nano LC-ESI mass spectrometry" *Biosci. Biotechnol. Biochem.* in press*
- (†: These authors contributed equally to this work.)
- 宮崎雅雄: "ネコ特有な尿臭の生産機構に関する尿中タンパク質 Cauxin の発見", *Aroma Research.* 8 56-61 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Miyazaki, M., Yamashita, T., Suzuki, Y., Taira, H., and Suzuki, A.: "Cauxin, a novel member of the mammalian carboxylesterase, is involved in the production of species-specific urinary odor in the domestic cat", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress. Kyoto, Japan. June (2006)
- Miyazaki, M., Yamashita, T., Suzuki, Y., Soeta, S., Taira, H., and Suzuki, A.: "A major urinary protein of the domestic cat regulates the production of felinine, a precursor of species-specific odor", *Chemical Signals in Vertebrates XI*. Chester, U.K., July (2006)

XVI - 057 患者の病態生理モデルに基づく生理機能のロバスト適応制御システム

Robust Adaptive Control System of Patient's Vital Functions Based on a Pathophysiological Model

研究者氏名：陸 高華 Lu, Gaohua
ホスト研究室：フロンティア研究システム
生物制御システム研究チーム
(アドバイザー 木村 英紀)

病態生理機能に対する臨床治療の効果について、患者生理モデルを用いた理論解析は治療行為の評価、患者の予後予測、治療方針の設定、ひいては診

断法や治療法そのものの発展に重要であり、その臨床的、理論的意義が極めて大きいと考えられる。本研究は患者の呼吸系、循環系、代謝系、酸塩基系、

神経系の生理機能の相互作用を生物制御の視点から総合的にモデリングし、基本生理状態と臨床処置との定量関係を中心にした患者の病態生理機能モデルを構築すると同時に、臨床への応用のためのロバスト性を備えた生理機能の適応制御システムを確立する。脳低温療法に特化した複数の病的生理機能の集中管理法の発見は、脳低温療法の臨床に有益だけではなく、集中治療室における他の重症患者の全身管理およびそのための医療チーム編成にも有意義であり、理論的にも「システム医療」の実現につながると期待される。

これまでは、脳低温療法の頭蓋内圧降下効果、患者の頭蓋内圧と脳温の集中管理、ならびに脳低温療法のための呼吸管理に焦点を絞って研究を行ってきた。具体的には、まず、生体の解剖学の構造と生理学の機能を基に、生体を集中コンパートメント構造で近似し、温熱系、呼吸系、循環系と薬理系からなる患者の基本生理機能を統合的にモデリングした。特に、物質とエネルギーの保存則と温度、圧力、物質濃度のアナログを考慮し、一つの微分方程式により各系のダイナミクスを統一的に表現できた。次に、脳低温療法の臨床実際を考慮し、低温冷却による頭蓋内圧効果を構築した統合モデルを用いて始めて定量化した。また、体表冷却と利尿剤投与による脳温と頭蓋内圧の集中管理をシミュレートし、臨床処置と生理状態との間の定量関係を表す伝達関数行列を同定でき、脳温と頭蓋内圧の非干渉制御システムを設計した。統合モデルを脳低温療法の臨床の患者の代わりとして、モデルの脳温と頭蓋内圧の非干渉制御の有効性を検討した。最後に、脳低温療法の呼吸管理について、水冷ブランケットの温度調節に連動する人工呼吸器の設定アルゴリズムを提案し、

その有効性を検討した。

本研究で構築した生理機能統合モデルは「システム医療」の理論基礎として有用であり、ロバスト性を備えた複数生理機能集中管理の理論検討と臨床応用にも役に立つと考えられる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Lu Gaohua, and H. Kimura: "Mathematical model of respiratory and biothermal dynamics in brain hypothermia treatment", IEEE Trans. Biomed. Eng. (Under review)*

Lu Gaohua, T. Maekawa, and H. Kimura: "An integrated model of thermodynamic- hemodynamic-pharmacokinetic system and its application on decoupling control of intracranial temperature and pressure in brain hypothermia treatment", J. Theor. Biol., 242: 16-31, 2006.*

Lu Gaohua, and H. Kimura: "A mathematical model of intracranial pressure dynamics for brain hypothermia treatment", J. Theor. Biol., 238: 882-900, 2006.*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Lu Gaohua, and H. Kimura: "Decoupling control of intracranial temperature and pressure for brain hypothermia treatment", 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2006), 524-529, 2006 (Taipei).*

(国内学会等)

陸高華、木村英紀: "脳低温療法における呼吸管理と温度管理のモデリング", 第6回計測自動制御学会制御部門大会、名古屋、5月(2006)

XVI - 059 細胞膜ラフトに局在する新規糖脂質ホスファチジルグルコシドの神経機能の解明

Study on Neuronal Function of Phosphatidylglucoside, a Novel Member of Membrane-Raft Glycolipids

研究者氏名: 堀端 康博 Horibata, Yasuhiro

ホスト研究室: 脳科学総合研究センター

平林研究ユニット

(アドバイザー 平林 義雄)

ホスファチジルグルコシド(PtdGlc)は、ホスファチジン酸にグルコースが結合したユニークな糖脂

質である。昨年、ラット胎児脳由来のPtdGlcを単離し、その構造決定した。興味深いことに、脳神経系

の PtdGlc は飽和脂肪酸からなる単一分子種として存在しており、PtdGlc が脂質ラフトに集積していることを強く示唆している。これまで、PtdGlc はグリア細胞に特異的に発現し、またその分解産物である LysoPtdGlc には神経軸索の成長円錐に対して退縮活性を示す等の知見を見いだしていた。本年度は、グリア細胞における LysoPtdGlc の産生機構について解析した。蛍光標識した PtdGlc をグリア細胞に取り込ませ、代謝産物を調べたところ、培地中に Lyso-PtdGlc が検出された。阻害剤や活性化因子などを用いて調べた結果、PtdGlc の分解には sPLA2 が関与していることが明らかになった。本研究は、PtdGlc が神経回路形成機構を制御するグリア細胞由来の新たな機能性脂質分子であることを提唱する。

ホスファチジルエタノールアミン (PtdEtn) は哺乳動物において主要なリン脂質の一つである。哺乳動物では、PtdEtn は、(1)ホスファチジルセリンの脱炭酸経路と(2)CDP-エタノールアミン経路により合成されている。現在、(2)を触媒する酵素としてコリン/エタノールアミンホストランスフェラーゼ (CEPT) が唯一同定されていたが、今回、PtdGlc 合成酵素を探索する過程で、エタノールアミンホストランスフェラーゼ (EPT) を新しく見いだした。興味深いことに、CEPT が CDP-コリンと CDP-エタノール

ルアミンの両方を基質にしてホスファチジルコリンと PtdEtn を合成するのに対し、EPT は CDP-エタノールアミンのみを基質にして PtdEtn を特異的に合成した。EPT は種々の組織で発現が見られたが、脳、胎盤、肝臓、膵臓で強く、特に脳では海馬と小脳に特異的に発現していた。現在、この酵素の生物学的機能について解析している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nagatsuka Y., Horibata Y., Yamazaki Y., Kinoshita M., Shinoda Y., Hashikawa T., Koshino H., Nakamura T., and Hirabayashi Y.: "Phosphatidylglucoside Exists as a Single Molecular Species with Saturated Fatty Acyl Chains in Developing Astroglial Membranes", *Biochemistry*, 45, 8742-8750 (2006)*

Horibata Y. and Hirabayashi Y.: "Identification and characterization of human ethanolaminephosphotransferase I", *Journal of Lipid Research* (2007 in print)*

Horibata, Y., Nagatsuka, Y., Greimel, P., Ito, Y., and Hirabayashi, Y.: "Sensitivity of phosphatidylglucoside against phospholipases", *Analytical Biochemistry* (2007 in print) *

XVI - 060

母性行動の分子神経メカニズム

Molecular and Neural Mechanism of Maternal Behavior

研究者氏名：黒田 公美 Kuroda, Kumi

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)

ひきこもり、境界型人格障害や摂食障害など、古典的な精神疾患の枠におさまらない青少年の問題が重大な社会問題となっているが、その最大の要因は養育環境、中でも親との関係にあると考えられている。親による虐待やネグレクトなどの不適切養育の理解のためには、まず養育行動をつかさどる神経メカニズムを明らかにしなければならない。そこで我々は、哺乳や子の安全を守るといった基本的な養育行動が哺乳類において進化的に保存されていることに着目し、マウスモデル系を用い、養育行動の神経メカニズムの解析を行っている。平成 16-17 年度

の研究では、脳内の養育行動中枢(内側視索前野、MPOA)を単離し、DNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析を行った。それにより、養育行動に伴ってMPOAのニューロン内で、細胞内シグナル伝達系の一つであるMAPカインース・cFos/FosB-SPRY1・Rad経路が活性化されていることが示唆された。H18年度はこの結果をもとに、免疫組織化学法によりMAPカインースのリン酸化による活性化を確認し、またMAPカインース活性化の特異的阻害剤SL327によって、未経験なマウスが養育行動を学習できなくなることを明らかにした。一方、SL327はす

に養育を十分習得した母マウスの行動には影響を与えなかった。これらのことから、MAPカインース・cFos/FosB-SPRY1・Rad経路は、養育行動の習得に重要な働きをすると考えられた。

さらに、転写因子FosBの遺伝子破壊(KO)マウスでは、養育行動が障害されることが知られているが、我々はこのFosBKOマウスでは、MPOAにおけるSPRY1およびRadの発現量が低下していることを見出した。SPRY1とRadはそれぞれ、MAPカインースおよびカルシウムシグナリングに対しフィードバック抑制を行う機能を持つことが知られている。さらにRadは神経突起の伸長などの形態変化を誘導する機能も持つ。これらの結果より、仔マウスからの知覚刺激により親マウスの脳のMPOAニューロンにおいてMAPカインースのリン酸化が起こり、cFos/FosB転写システムが活性化されて、SPRY1とRadを誘導し、これらの分子によってニューロンの活性制御と形態変化が起こることが、養育行動の獲得に重要であると考えられた(投稿中)。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kuroda KO, Meaney MJ, Uetani N, Kato T: "The ERK-FosB signaling in dorsal MPOA neurons are essential for the initiation of parental behavior in mice", in revision.*

(総説)

黒田公美: "養育と乳幼児の発達", 学術の動向 Vol.11, No.11, 54-55 (2006)

Cameron NM, Champagne FA, Parent C, Fish EW, Ozaki-Kuroda K, Meaney MJ: "The programming of individual differences in defensive responses and reproductive strategies in the rat through variations in maternal care", Neurosci Biobehav Rev 29:843-865 (2005).

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

黒田公美: "養育行動を司る神経回路の解析", 第2回行動神経内分泌研究会、東京、11月(2006)

XVI - 061

学習機構および積分発火ダイナミクスを持つ リカレントニューラルネットワークにおける時空間情報処理の解明 Spatiotemporal Information Processing of Recurrent Neural Networks with Spiking Dynamics and Synaptic Learning

研究者氏名: 増田直紀 Masuda, Naoki

ホスト研究室: 脳科学総合研究センター

脳数理研究チーム

(アドバイザー 甘利俊一)

平成18年9月30日で早期退職の運びとなったため、過去2年度と比べると半分程度の研究進行状況である。よって短く報告する。下記の2つのテーマについて集中的に研究を行っている。

小脳の二段階運動学習についてのモデル研究を行った。具体的には、運動学習制御研究チーム(永雄聡一チームリーダー)が行った運動学習の転移の実験に関するモデルをたてた。その結果、小脳核の学習が、プルキンエ細胞の活動に依存して進むような場合に限って、頑健な学習の転移が起こることがわかった。また、長期的な記憶が蓄えられる場所としては、従来は、モデル研究も実験研究を土台とした議論も苔状線維と小脳核を結ぶシナプスであると考えてきた。しかし、プルキンエ細胞と小脳核を結ぶ

シナプスに長期記憶が保存される、というシナリオも可能であることが、モデル研究から示唆された。一連の研究成果はすでに論文誌に投稿されている(投稿中なので、下記のリストには含まれていない)。

ネットワーク上のダイナミクス一般についても、ニューラル・ダイナミクスへの応用を見据えながら基礎研究を続けている。ニューラル・ネットワークを離れて世にあるネットワーク一般を見渡すと、構造の研究は一段落つき、構造ありきとしての機能の研究がより注目を集めている。脳のネットワークの視点からの研究も例外ではない。このような視点から、ネットワーク上の素子の競争ダイナミクス(ニューラル・ネットワークにも側抑制を始めとして様々な競争メカニズムが存在する)、興奮素子と抑制

素子がネットワーク上で相互作用する系などについて理論研究を行っている。その成果のいくつかは、すでに英文誌に投稿されている(投稿中なので、下記のリストには含まれていない)。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ohtsuka K., Konno N., Masuda N., and Aihara K.: "Phase diagrams and correlation inequalities of a three-state stochastic epidemic model on the square lattice", International Journal of Bifurcation and Chaos, in print (2006)*

Masuda N., Jakimoski G., Aihara K. and Kocarev L.: "Chaotic block ciphers: from theory to practical algorithms", IEEE Transactions on Circuits and Systems Part I, 53(6), 1341-1352 (2006)*

Masuda N. and Konno N.: "VIP-club phenomenon: emergence of elites and masterminds in social networks",

Social Networks, 28, 297-309 (2006)*

(総説)

増田直紀: "複雑ネットワークの基礎", 数理科学(特集・ネットワーク科学の数理), サイエンス社, 518, 36-41, August (2006).

増田直紀, 今野紀雄: "ネットワーク科学の新地平", 数理科学(特集・ネットワーク科学の数理), サイエンス社, 518, 5-11, August (2006).

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Masuda N. and Amari S.: "Modeling memory transfer in cerebellar vestibulo-ocular-reflex learning", CNS2006. Edinburgh, UK, July 16-20 (2006).

Masuda N. and Konno N.: "Rock-scissors-paper game on complex networks", NetSci: International Workshop and Conference on Network Science. Bloomington, Indiana, May 22-25 (2006).

XVI - 062

Rab27A を介する細胞内小胞輸送機構の解明：
ヒト Griscelli 症候群の病態解明を目指して

Analysis of Intracellular Vesicle Transport Mediated by Rab27A,
the Gene Product Responsible for Human Griscelli Syndrome

研究者氏名：黒田 垂歩 Kuroda, Taruho
ホスト研究室：フロンティア研究システム
福田独立主幹研究ユニット
(アドバイザー 福田 光則)

メラニン色素はメラノソームと呼ばれる特殊なオルガネラの中で合成され、細胞内を運ばれる。RAB27A遺伝子変異を原因とするヒト遺伝性疾患、Griscelli症候群においては、表皮メラノサイトにおけるメラノソーム分布に異常がある事が知られていた。従ってRab27Aはメラノソーム輸送を制御すると考えられてきたが、その機構は全く分かっていなかった。当研究室では8つのSlp(synaptotagmin-like protein、スリッ)およびSlac(スラック)ファミリータンパク質を同定し、これらがRab27A結合タンパク質である事を明らかにした。またメラノサイトで機能する2つのRab27Aエフェクター、Slp2-aとSlac2-aの機能解析を通して、Rab27Aを介するメラノソーム輸送機構を解明してきた。始めにRab27A・Slac2-a・ミオシンVa複合体はメラノソームをアクチ

ン線維へとつなぎ止める。続いてRab27A・Slp2-a・ホスファチジルセリン複合体はメラノソームを細胞膜につなぎ止めるのである。これらの成果はGriscelli症候群の色素異常に関する病態を解明すると共に、メラノソーム輸送機構の理解に大きく貢献した(理研プレスリリース平成16年11月15日)。

メラニン色素のみならず、メラノサイトは細胞の形態という観点からも非常に興味深い細胞である。刺激に応じて樹状突起を伸ばすことで、メラノサイトは皮膚の色素化を促進する。またがん化したメラノサイト、メラノーマの高い転移・浸潤活性は、その形態と密接な関係にある。このような重要性があるにも関わらず、メラノサイトの形態制御機構はあまり明らかになっていない。我々はSlp2-aがメラノサイトの形態形成に関わる事を見出した。Slp2-aを

RNA干渉法でノックダウンすると、通常は細長い形態のメラノサイトが丸みを帯びた形に変化した(*Nat. Cell Biol.* **6**: 1195-203, 2004)。すなわちメラノサイトの双極性の形態にSlp2-aが必要だったのである。本年度はメラノサイトにおける基本的な極性制御機構の解析を行い、神経細胞の軸索形成機構との類似性について調べた。またメラノサイトの極性維持におけるSlp2-aの役割を多角的方向から解析し、途中経過を学会等で報告した。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

黒田垂歩、福田光則：“ Rab27A-interacting protein Slp2-a regulates the polarized morphology of melanocytes ”、20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress ”、京都、6月(2006)

黒田垂歩：“ メラノサイトにおけるRab27Aエフェクターの役割 色素輸送と細胞形態 ”、株式会社カン研究所セミナー、神戸、11月(2006) (依頼講演)

XVI - 063 脂肪酸水酸化酵素チトクロムP450の反応中間体結晶構造を基盤とした触媒反応機構解析

Analysis of Catalytic Mechanism of Fatty-acid Hydroxylase Cytochrome P450
Based on Intermediate Crystal Structures

研究者氏名：金 美沙 Kim, Misa
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)

酵素は穏やかな条件で働き、基質にも生成物にも特異的でありながら、化学反応速度を何倍も増大させる最高の触媒である。そしてこれらの酵素反応はそれぞれ酵素によって個別なもので、その仕組みが理解されている酵素は非常に少ない。本研究ではCytocromeP450(以下P450と略) 特にペルオキシゲナーゼ活性をもつ枯草菌由来のP450(以下P450BSと略)を対照として、反応中間体の構造解析から遷移状態の酵素あるいは反応中間体の構造情報もとに分子レベルで反応機構を理解し、新しいタイプの酵素反応機構を明らかにすることを目的としている。

P450は微生物や動植物に広く存在し、アミノ酸、脂質、ステロイド、糖、核酸、ビタミン、ホルモンなどの生体必須物質の生合成と代謝や、薬物、毒物などの外来性物質の代謝(解毒反応)に関与している。また活性中心にヘムを持つ1原子酸素添加酵素で、分子状の酸素を基質に取り込み、反応を触媒する酵素である。典型的なP450の触媒反応は、基質が入った後、一電子を受け取ってヘム鉄が還元され、これに分子状酸素が結合し(酸素化型: $\text{Fe}^{2+}\text{-O}_2$ 型)

2個目の電子を受け取るとこの複合体中で分子状酸素が活性化されて基質に添加される。これに対してP450BSでは、2電子還元とこれにともなうプロトン移動は過酸化水素によって一気にやっている。このように過酸化水素を用いて独自のタンパク質のみで酵素反応を進めるチトクロムP450は極めて稀である。この酵素反応がどのように行われているのか、つまり全体的な構造は他のP450と似ているにもかかわらず、反応メカニズムの違いはどこにあるのか、どのように過酸化水素から酸素1原子を導入し、基質を効率よく部位特異的または立体特異的に水酸化するのか、最も知りたいところである。本酵素における酵素反応中間体の結晶構造を明らかにする事によって、この反応機構を解明する。

本年度は、低温、高圧下で結晶に酸素を導入する事によって、反応中間体(酸素化型)の結晶作製に成功し、この酸素化型の結晶構造を2.2 分解能で決定した。また、1.5 の波長のX線を結晶に照射して、反応を進行させた中間体を顕微分光測定によって確認し、構造を決定した。

XVI - 064

X線光子相関分光法による動的構造研究

A Study of Dynamic Structure Investigated by X-ray Photon Correlation Spectroscopy

研究者氏名：石川 大介 Ishikawa, Daisuke

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)

本研究は、コヒーレントX線を利用した動的構造研究手法であるX線光子相関分光法を用いて、不規則系の動的構造研究手法の開発とその応用研究を目的としている。第三世代高輝度放射光光源の活用により、X線領域におけるコヒーレント光を利用した物性研究が近年開始されている。X線光子相関分光法は空間的・時間的に乱れた系のゆらぎを研究する上で極めて強力な実験手法となりつつある。しかし、コヒーレント強度、検出器の制約等により適用されている時間領域は必ずしも速いものではない。そこで、本研究では検出システムの基礎的開発を踏まえながら、本測定法のより広範な時間領域、様々な物性系への適用を念頭におきながら研究を進めている。

動的構造研究の応用として、超臨界流体システムにおける動的臨界現象を適用させた。SPring-8の高フラックスビームライン(BL40XU)において、実際

に超臨界流体を達成させるための高温高压試料セルを用いてX線強度相関分光の測定をおこなった。結果として、S/Nが極めて低く、バックグラウンドを適切に取り除くことが不可能であった。したがって、十分な統計精度をもつスペクトルの取得に至らなかった。

一方、X線光子相関分光法による動的臨界現象の研究用に製作した超臨界流体セルを用いて、超臨界流体水のX線ラマン散乱実験をおこなうことができた。実験装置は、SPring-8の電子励起を対象としたX線非弾性ビームライン(台湾ビームライン、BL12XU)を使用した。測定した超臨界流体水のX線ラマンスペクトルからは、これまでに観測されていないほど明瞭なO k -edgeからのpre-edgeとmain-edge比が確認された。超臨界流体水の水素結合状態についてより定量的な議論が可能となると考えられ、現在、解析を進めている。

XVI - 065

SPring-8における光電子分光、赤外分光による強相関電子系の電子状態の研究

Electronic State in Strongly Correlated Electron Systems Studied
by Photoemission and Infrared Spectroscopy at SPring-8

研究者氏名：松波 雅治 Matsunami, Masaharu

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

辛放射光物性研究室

(アドバイザー 辛 埴)

強く相互作用する多電子系(強相関電子系)が示す多彩な物性の解明には、フェルミ準位近傍の電子状態を知ることが重要である。光による電子励起によって物質の電子状態を直接観測できる光電子分光と赤外分光は、強相関電子系の研究において非常に強力な手段である。本研究ではこれらの二つの手法を用いて強相関電子系の電子状態を明らかにすることを目的としている。

本年度の研究では、試料として近藤半導体SmB₆を

取り上げた。SmB₆は典型的な価数揺動系としてよく知られた物質であるが、低温で磁気モーメントの消失とともにフェルミ準位上に出現するエネルギーギャップの形成メカニズムについては長年の未解決な問題となっている。本研究では硬X線放射光、軟X線放射光、および真空紫外線レーザー光という3種類の励起光を用いた光電子分光測定によって、以下のようにSmB₆の電子状態を詳細に調べた。バルク敏感な硬X線励起のSm 3d内殻光電子スペクトルから、

Smの正確な価数を決定し、ギャップ形成に伴う微小な価数変化を捉えることに成功した。また軟X線励起によるSm 3d-4f共鳴光電子分光の結果から、価電子帯におけるSm 4f状態が原子内多重項計算によって再現されることを明らかにした。さらに、真空紫外線レーザー励起による超高分解能価電子帯光電子分光によって、フェルミ準位上に微小なギャップが形成される様子を直接観測することに成功した。またギャップの形成とともに、微細な構造の発達を観測され、これが強結合超伝導体のスペクトルに現れる構造と類似していることがわかった。以上の結果は、近藤半導体ギャップの形成には伝導電子と磁気モードとの強いカップリングが主要な役割を担っていることを強く示している。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsunami M., Horiba K., Taguchi M., Yamamoto K., Chainani A., Takata Y., Senba Y., Ohashi H., Sugawara

H., Sato H., Harima H., and Shin S. : "Photoemission spectroscopy of Ce-filled skutterudites", Physica B, 378-380, 177 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsunami M., Horiba K., Taguchi M., Yamamoto K., Chainani A., Takata Y., Senba Y., Ohashi H., Sugawara H., Sato H., Harima H., and Shin S.: "COMPARATIVE ELECTRONIC STRUCTURE OF Ce-FILLED SKUTTERUDITES", The 17th International Conference on Magnetism (ICM 2006), Kyoto, Japan, August (2006)

(国内学会等)

松波雅治、木須孝幸、A. Chainani、江口律子、堀場弘司、田口宗孝、山本和矢、高田恭孝、富樫格、C.Q. Zhang、C.T. Chen、渡部俊太郎、仙波泰徳、大橋治彦、國井暁、辛埴 : "SmB₆のレーザー及び軟X線光電子分光", 日本物理学会2006年度秋季大会、千葉大学、9月(2006)

XVI - 066 高等植物の硫黄同化分子エンジニアリングを目指した比較ゲノム研究

Engineering of Plant Sulfur Assimilatory Pathways through Comparative Genome Analysis

研究者氏名：吉本 尚子 Yoshimoto, Naoko

ホスト研究室：植物科学研究センター

基礎代謝研究チーム

(アドバイザー 高橋 秀樹)

硫黄はアミノ酸やビタミン、酸化ストレスや重金属ストレスの回避に関わる有機硫黄化合物に含まれる多量必須元素であり、植物の生育は硫黄の利用効率により大きく変化する。本研究では、植物の硫黄同化能の人為的制御による有用硫黄同化産物の量的・質的な生産性向上への応用を最終目的として、モデル植物を中心に硫黄同化能に影響する有用遺伝子の探索および同化系の制御機構の解析を行っている。

シロイヌナズナでは2種の高親和型硫酸イオントランスポーターSULTR1;1とSULTR1;2が外界からの硫酸イオン吸収を担う。SULTR1;1とSULTR1;2の発現は、硫黄欠乏に反応して転写制御を受けることが既に知られている。今回、恒常的な転写を誘導するプロモーターの制御下でSULTR1;1またはSULTR1;2のcDNAを発現させた形質転換シロイヌナズナを作成し、これらのトランスポーターの転写後制御につ

いて解析した。形質転換植物ではSULTR1;1およびSULTR1;2タンパクは硫黄欠乏の根で特異的に蓄積することから、SULTR1;1およびSULTR1;2の硫黄欠乏応答及び発現局在性は、転写制御だけでなく転写後の制御も受けるといった。

一方、昨年度より継続している硫酸イオントランスポーターと硫黄代謝酵素の相互作用の解析は、植物とほぼ同じ硫黄同化系を有する酵母を主に用いて行った。本研究では酵母の2つの高親和型硫酸イオントランスポーターSUL1、SUL2と、硫黄同化系の第一段階を仲介するATP sulfurylaseであるMET3について、遺伝子破壊株および恒常的発現させた形質転換酵母を作成し、SUL1、SUL2の硫酸イオン輸送機能に対するMET3の影響を解析した。MET3の共発現によりSUL1およびSUL2の硫酸イオン輸送活性は約50%上昇した。また、MET3は膜貫通ドメインを持

たないにも関わらず、SUL1 や SUL2 の存在する膜画分に局在した。これらの結果から、MET3 は SUL1 および SUL2 と結合して SUL1 および SUL2 が細胞内に輸送した硫酸イオンを迅速に消費し、細胞膜を挟んだ硫酸イオン濃度勾配を局所的に上昇させることで輸送効率を上げる、すなわち MET3 と SUL1 および SUL2 の複合体が transport metabolon として機能すると予想している。現在、SUL1 および SUL2 と MET3 間の物理的相互作用の確認を進めている。また、シロイヌナズナ SULTR1;1、SULTR1;2 と細胞質局在型 ATP sulfurylase である ATPS2 についても、共発現し

た場合の硫酸イオン輸送機能に対する影響とタンパク相互作用の有無を調べている。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

吉本尚子、井上恵理、渡部(高橋)晶子、斉藤和季、高橋秀樹：“シロイヌナズナの高親和型硫酸イオントランスポーター SULTR1;1、SULTR1;2 の転写後制御”、日本植物生理学会 2007 年度年会、松山、3 月 (2007)

XVI - 067 哺乳類ポリコームによる runx 遺伝子群の転写制御機構の解析

Transcriptional Regulation of Runx Genes by Mammalian Polycomb

研究者氏名：藤村 雄一 Fujimura, Yu-ichi

ホスト研究室：免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫器官形成研究グループ
(アドバイザー 古関 明彦)

哺乳類ポリコーム遺伝子産物群は染色体上に巨大タンパク複合体を形成し、転写活性を制御する。近年、遺伝学的、生化学的アプローチによりポリコームの機能の実態が明らかとなりつつある。しかしながら、その標的遺伝子についての具体的知見は非常に限られたものである。我々は Chromatin Immunoprecipitation (ChIP) 法の応用により、転写因子 Runx 遺伝子群がポリコームの結合サイトであることを発見した。

哺乳類では Runx は 3 つの遺伝子からなるファミリーであり、それぞれが極めて重要な働きをしている。

ポリコームの結合と転写活性の相関を明らかにするべく、Runx 遺伝子群の発現が空間的・時間的に厳密に制御されている発生期の軟骨細胞をモデル系として、様々な発生段階での Runx 遺伝子座へのポリコームの結合を解析した。転写抑制状態と活性化状態では、ポリコームの一つ、Ring1b の結合パターンが大きく変化していた。抑制状態では Ring1b は遺伝子座全体を覆うように分布している (broad form) のに対し、活性化状態ではプロモーター領域にのみ結合が認められた (pin-point form)。

次に、我々はこの結合様式の変化が転写活性に与える影響を明らかにするべく、コンディショナルノック

アウト系を用いて軟骨細胞から Ring1b 欠損させた。その結果、Ring1b は broad form においては転写を抑制し、逆に pin-point form においては賦活化することが明らかになった。

さらに、*in vivo* において Ring1b を欠損させたマウス胚では、軟骨のカルシウム化に遅延が認められた。Runx2 は骨化のマスター遺伝子であり、Ring1b 欠損胚の軟骨細胞では Runx2 の発現量が減少することから、Runx2 の発現異常がこの表現系の原因であると考えられた。

以上より、ポリコームは Runx 遺伝子群の転写上流因子であり、この転写制御機構は生理的な Runx の機能発現に必須な因子であると結論された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Fujimura Y., Isono K., Vidal M., Endoh M., Kajita H., Mizutani-Koseki Y., Takihara Y., van Lohuizen M., Otte A., Jenuwein T., Deschamps J., and Koseki H.: “Distinct roles of Polycomb group gene products in transcriptionally repressed and active domains of Hoxb8”, *Development*. 133(12):2371-281. 2006

研究者氏名： 裴 永己 Bae, Young-Ki

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)

両生類および魚類を用いた研究から、脊椎動物の神経細胞の発生は、発生初期に形成される背側オーガナイザーからのシグナルによって神経外胚葉が誘導され、非中軸中内胚葉からの後方化シグナルによって前後軸を有する神経板が誘導される。形成された神経板の中では、左右それぞれ、三つの縦長の前神経領域 (proneuronal domain) が形成され、さらに前神経領域中の限られた細胞が選択され原始(運動・介在・感覚)神経細胞へと分化することが分かっている。私は、ゼブラフィッシュの後方中枢神経において、前神経領域・原始神経細胞に発現する新規ホメオボックス遺伝子 *pnx* を同定し、*pnx* が後方原始神経の発生に重要な役割を果たすことを明らかにしてきた。更に *pnx* やプロニューラル遺伝子が発現する前神経領域は、これらの遺伝子の発現しない非前神経領域 (inter-proneuronal domain) によって分断されていること、さらに非前神経領域の形成には Notch シグナル非依存性の *hairy/enhancer of split* 関連遺伝子 *her3*、*her9* が必須の因子であることを見出した。

本年度は、原始神経発生・分化において非前神経領域の役割および前神経領域中での神経細胞分化に関して、主に解析を行った。

- (1) 非前神経領域の細胞運命を明らかにする目的で、*her3* と *her9* のプロモーター・エンハンサーに *venus* 遺伝子を結合させたレポーター遺伝子 (*her3/her9-venus*) を導入したトランスジェニックゼブラフィッシュを作製中である。
- (2) 神経幹細胞及びグリア細胞の発生を詳しく調べる目的で、radial glia に特異的に発現する遺伝子 *blbp* (brain lipid-binding protein) を単離した。さらに Blbp 特異的な monoclonal 抗体を製作し Her3/Her9

機能阻害胚での Blbp の発現動態を解析した結果、発生後期胚のグリア細胞は神経細胞と同様に減少していることを見出した。このことから *her3* と *her9* は胚発生後期に分化する神経細胞・グリア細胞が非前神経領域の維持に必要であると考えられた。

- (3) *pnx* の下流で機能し神経細胞への分化に関与する遺伝子 Mkp1 (MAP kinase phosphatase1) の機能を解析した。Mkp1 の機能阻害実験から、後脳 rhombomere5 及び 6 において脳室下帯における神経分化の異常を示すことから、後脳神経板でのパターンニングや、神経分化を制御していると考えられた。さらに後脳 rhombomere6 に特異的に位置する顔面運動神経軸索走行の異常を示しており、今後 Mkp1 と Eph/ephrin シグナルとの関係を明らかにしたい。
- (4) 後方神経形成に異常を示す変異体のスクリーニングを行い、現在 3 系統の変異体を単離した。表現型が Notch シグナル下流で機能する *hairy/enhancer of split* 関連遺伝子 *hes5* の機能阻害胚に類似する 260-87-8 変異体、及び後脳の脳室形成と後方神経形成に異常を示す 274-31-4 変異体について、現在 positional cloning 法を用いた原因遺伝子の同定を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimizu T., Bae Y.-K., and Hibi M.: "Cdx-Hox code controls competence for responding to Fgfs and retinoic acid in zebrafish neural tissue", *Development*, 133 4709-4719 (2006)*

XVI - 070 細胞移動や器官形態形成における糖鎖修飾の影響とその必要性の解析

Analysis of Sugar Chain Functions in the Cell Migration and Organ Morphogenesis

研究者氏名：伊原 伸治 Ihara, Shinji
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター
細胞移動研究チーム
(アドバイザー 西脇 清二)

理研・CDBの細胞移動研究チームでは*C. elegans*のDTC移動調節の分子機構を研究している。線虫*C. elegans*のU字型の生殖巣は原基先端の遠端細胞(DTC)が幼虫期にU字型の移動を行うことにより形成される。DTCが正確に移動するには生殖巣基底膜と体壁基底膜との適切な相互作用が必要である。近年、DTCの移動を制御するADAM (A Disintegrin And Metalloprotease)ファミリーに属する二つのメタロプロテアーゼが発見され、たんぱく質分解系が細胞の移動方向を決めるのに重要な役割を果たしていることが明らかになった。このような分子の一つMIG-17はADAMファミリーに属しており、その機能欠損はDTCの移動方向制御に重大な影響をもたらす。これまでの研究成果として、我々はプロドメインの糖鎖が局在決定に必須であることを明らかにした。分泌型ADAMはディスインテグリンドメインを介して局在すると考えられてきたが、MIG-17のディスインテグリンドメインを欠損させても、その局在にそれほど大きな影響を与えない。MIG-17の糖鎖修飾が局在決定に関与するという機構はユニークなものであり、我々はこの機構を分泌型プロテアーゼの新しい局在機構と考えている。

今年度はMIG-17がどのように活性化するのか？それを明らかにするために、活性化した状態のみを特異的に認識する抗体を作成した。活性化に伴い、プロドメインが切断されるが、その切断サイトをアミ

ノ酸シークエンサーで決定して、その部分が切断されると認識することのできるモノクローナル抗体を作成した。この抗体を使うことにより、MIG-17の活性化がどこでおきるのか？明らかにすることができると期待している。現在免疫染色法によって、活性化の起きる場所を検討中である。さらに組換えバキュロウイルスをもちいた発現系の培養上清からMIG-17を4.2 mgほど精製した。現在は大量発現させたMIG-17を用いて*in vitro*実験系で、どのようなECM蛋白質を基質とするのか検討した。

誌上発表 Publications

(総説)

Ihara S., Miyoshi E., and Taniguchi N.: "GnT-V and Cancer A novel pathway of cancer metastasis through GnT-V and matriptase MS103", Comprehensive Glycoscience, Four-Volume Set: From Chemistry to Systems Biology, Elsevier Science Publishing Company, (in print)

口頭発表 Oral Presentations

(国際学会等)

Ihara S., Nishiwaki K.: "Molecular dissection of MIG-17, an ADAMTS family protease that controls cell migration in *C. elegans*", East Asia *C. elegans* Meeting, Seoul, Korea Nov. (2006)

XVI - 071 ショウジョウバエ胚神経系の形態形成において区画化を産み出す機構

Mechanisms of Generating Compartment Structure during Nervous System Development in Drosophila Embryo

研究者氏名：滝沢 一永 Takizawa, Kazunaga
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター
神経回路発生研究チーム
(アドバイザー 浜 千尋)

生体の器官形成においては、その器官を形成する細胞群が、分泌性の誘導因子などにより、位置情報

を獲得し、個々の細胞に応じて増殖や形態形成を行うことが知られているが、個々の細胞がどのように

して位置情報を知り、それに基づいた遺伝子発現、形態形成を行うか不明な点が多い。

解析手段の一つとして、主に細胞内の小胞輸送に着目した。なぜなら、多くの細胞内で生産されたタンパク質は小胞輸送によって運ばれることからすると、位置情報の「認識」がそのような分子の輸送にも関与すると考えられるからである。出芽酵母で知られている Exocyst 複合体は、小胞輸送に関与する分子群で、出芽時に出芽する先端部に局在することがわかっている。それらのうちの一つ sec6 相同遺伝子のタンパク質はショウジョウバエ表皮系の細胞においてカドヘリン分子の膜輸送に必要であることが知られている。そこで、発生学の解析に適したショウジョウバエの系で Exocyst 複合体の相同遺伝子の形態形成における役割を解析することとした。

これまでで、sec10 のショウジョウバエ相同遺伝子 dsec10 の機能欠失体において、翅を含む付属肢の一部に異常が生じることを見出した。機能欠失体の翅では、遠近軸方向の長さには顕著な異常は見出されなかったが、前後方向に広がらず、症状が激しい個体では、棒状の形態になる。この症状は、同時に dsec10 の強制発現を行うことで抑圧されることか

ら、dsec10 の機能欠失によるものであることが確かめられた。In situ ハイブリダイゼーション法によりこの遺伝子の発現を調べたところ、3 令幼虫においては、神経系や成虫原基でほぼすべての細胞で強く発現が見られた。前後軸の細胞増殖因子として機能すると考えられている dpp 遺伝子の発現を調べたところ、dpp 遺伝子の発現に異常が生じていることを見出した。続いて、dpp の発現を制御する Hh シグナリングの因子について解析したところ、Ptc の発現及び局在には異常が認められなかったが、Smo の膜局在が異常になっていることがわかった。また、抗体を作製して、組織染色を行い、この遺伝子のタンパク質レベルの発現を調べたところ、このタンパク質は主に細胞の表層に局在している結果を得た。このことは、dsec10 が Smo の膜局在を制御することによって dpp の発現調節に関わっていることを示している。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

滝沢一永、浜千尋：“ショウジョウバエ sec10 は Hh レセプター Smo の膜局在を制御し dpp の発現に必要である”、発生物学会、広島、5月(2006)

XVI - 072

頭部形成に関する遺伝子ネットワークの解明

Elucidation of a Gene Network about the Head Development

研究者氏名：西岡 則幸 Nishioka, Noriyuki

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター

胚誘導研究チーム

(アドバイザー 佐々木 洋)

私は、頭部誘導後の頭部の維持・形態形成に異常がある変異マウス系統 (*headshrinker: hsk*) を解析してきた。*hsk* では脊索前板が形成されず、原因遺伝子 *Single-stranded DNA binding protein 1 (Ssdp1)* は *Ssdp1-Ldb1-Lim1* 複合体の活性化により脊索前板形成に作用していることを明らかにした。

次に、脊索前板が形成されない *Ssdp1* ホモ変異胚を材料としたマイクロアレイ法によって、脊索前板や頭部形態の形成に関与していると考えられる遺伝子の網羅的検索を行なった。脊索前板や頭部で発現している *Gsc*、*Foxa2*、*Otx2* といった既知の遺伝子が多数検出された中で、頭部の誘導・形態形成に重要な組織である前方臓側内胚葉 (AVE)・前方胚体内胚葉

(ADE)・脊索前板で強い発現を示すクローン#89 が得られた。これら 3 つの頭部オーガナイザー全てで発現がみられる遺伝子は今まで知られておらず、クローン#89 は頭部オーガナイザー形成に重要な役割を担っている新規遺伝子であることが予想された。そこで、その役割を明らかにする為にノックアウトマウスの作成を行なっている。

今後、クローン#89 に注目して解析を進めることで、頭部形態形成という共通の役割を担いながら異なる由来を持った別々の組織とされてきた 3 つの頭部オーガナイザーについて、総括的に理解出来るのではないかと期待している。

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。RIBFで供給される予定の不安定核ビームは数百MeV/Aであり、静止した陽子標的との散乱は、重心系で見れば数百MeVの陽子ビームを用いた散乱実験と同じ反応である。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、この成果を投稿中である。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。

昨年度までは検出器系の開発・整備を主に進めてきたが、本年度は、放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置(HIMAC)を用いて物理測定を行なった。HIMACでは、一次ビームの強度の制限上、安定線からあまり離れた不安定核ビームは供給できないが、RIBFで予定される不安定核ビームと同じエネルギーの不安定核ビームが利用できるため、本番と同じ条件で検出器系の統合的なテストが可能である。不安定核である ^{20}O および ^{9}C ビームを用いて、陽子弾性散乱の角度分布の測定に初めて成功した。

この測定の実行のため、新たに1mm厚の固体水素標的の開発を行なった。 ^{20}O には1.67MeVに第一励起状態が存在し、これまでに作成に成功している3mm厚の固体水素標的では多重散乱により基底状態との分離が不十分になるためである。HIMACビームタイムが限られているため、安全上、真空遮断膜のついた固体水素に焦点をしばった。遮断膜には9 μm の

アラミドを使用した。固体水素作成時にこの薄膜が膨らまないような押さえ機構を追加した。押さえ機構および輻射による熱流入により、中心に小さな穴が生じてしまったが、1mm厚の固体水素の作成に初めて成功した。

さらに、今年度2月末には東北大学サイクロトロンからの80MeVの陽子ビームを用いて、NaI(Tl)検出器のエネルギー分解能とその位置依存性などを追加測定の手配中である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Takeda T., Sakaguchi H., Taki T., Yosoi M., Itoh M., Kawabata T., Ishikawa T., Uchida M., Tsukahara N., Noro T., Yoshimura M., Fujimura H., Yoshida H.P., Obayashi E., Tamii A., Akimune H.: "Neutron density distribution in ^{120}Sn extracted via proton elastic scattering at intermediate energies", *Physical Review C* (submitted)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

竹田浩之: "RIBFにおける陽子-不安定核弾性散乱", 小規模ワークショップ「不安定核の弾性散乱 核構造と核間有効相互作用の解明を目指して」、理研、6月(2006)

竹田浩之: "Proton-Nucleus elastic scattering", 小規模ワークショップ「反応断面積で探る核構造」、理研、11月(2006)

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。本年度は電荷フラストレーションに着眼し LiV_2O_4 固溶系の相競合による新奇物性探索と LiV_2O_4 の圧力誘起絶縁体相の電荷・軌道・スピン複合組織化について研究を行った。

(1) LiV_2O_4 固溶系の相競合による新奇物性探索

LiV_2O_4 は 3d 電子に基づく重い電子系で、特性温度 $T^* = 20\text{K}$ で電荷・スピンエントロピーの解放に伴い重い電子の形成が始まると考えられる系である。母体である LiV_2O_4 に Zn や Ti などを固溶させると、上述のエントロピーの解放による重い電子状態の変わりにスピングラス相が出現する。強相関電子系の相競合における特異物性発現に着目し、重い電子状態とスピングラス相の相競合状態について詳細に調べた。相境界に近づくにつれ、重い電子状態およびスピングラス相の形成が低温に抑えられる振る舞いが観測された。これは強相関電子系の相競合において見られる典型的な振る舞いである。相境界組成においては 1.8K まで重い電子状態、スピングラス相ともに出現せずさらに低温において新奇物性の発現が期待される。

(2) LiV_2O_4 の圧力誘起絶縁体相の電荷・軌道・スピン複合組織化の解明

LiV_2O_4 に圧力を印加すると、8.5GPa, 150K において金属絶縁体転移を示す。V の形式価数が 3.5+ であ

ることより、絶縁体相では電荷・軌道・スピンの絡む複雑秩序化が期待される。絶縁体相の結晶構造を明らかにするため室温・圧力下の EXAFS 測定を行った。11GPa 付近で圧力誘起構造相転移によると思われるスペクトルの変化の観測に成功した。これは室温において絶縁化を観測した初めての研究で、詳細な解析から絶縁体相では V がクラスターを形成していることが明らかになった。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Niitaka S., Nishikawa K., Kimura S., Narumi Y., Kindo K., Hagiwara M., and Takagi H.: "High-field magnetization study of the heavy fermion oxide LiV_2O_4 ", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, in print*

Dragoe N., Pinsard-Gaudart L., Itie J. P., Congeduti A., Roy P., Niitaka S., Takagi H., Lagarde P., and Flank A. M.: "EXAFS study of LiV_2O_4 under high pressure", *High Pressure Research*, 26 427 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Niitaka S., Nishikawa K., Kimura S., Narumi Y., Kindo K., Hagiwara M., and Takagi H.: "High-field magnetization study of the heavy fermion oxide LiV_2O_4 ", *International Conference on Magnetism*, Kyoto, Japan, Aug. (2006)

Niitaka S., Nishikawa K., Kimura S., Narumi Y., Kindo K., Hagiwara M., and Takagi H.: "High-field magnetization study of heavy fermion oxide LiV_2O_4 ", *Kyoto Conference on Solid State Chemistry*, Kyoto, Japan, Nov. (2006)

(国内会議等)

新高誠司、高木英典：“ドーブされた重い電子系酸化物 LiV_2O_4 の比熱”、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉、9 月 (2006)

新高誠司、Dragoe N., Pinsard-Gaudart L., Itie J. P.,
Congeduti A., Roy P., Lagarde P., Flank A. M., 高木

英典：“ LiV_2O_4 の圧力下 EXAFS 測定”、日本物理
学会第 62 回年次大会、鹿児島、3 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、レーザー光の偏光の向きに対して、気相の分子の向きを変えながら光電子の角度分布を測定することが可能である。分子の向きは古典的な一方向を向いたものでなく、量子力学的に計算されるある分布を持っており、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、一体どれだけの情報が時間分解光電子画像法から得られる物理量の中に含まれているかを理解することが重要である。また、光電子角度分布は光電子の波動関数を反映したものだ、分布から波動関数を得るには非線型方程式を解く必要があり、解の存在や一意性が問題となる。

本年度は、光電子角度分布の量子力学的な公式を導くとともに、問題になる非線型方程式の解法を調べた。

- (1) 長短パルスを使うと、分子の回転コヒーレンス状態を生成できる。多原子分子を剛体で近似し、剛体の回転波導関数を用いて、回転コヒーレンス状態を記述する。その波動関数を基に、光電子角度分布の公式が得られる。得られた光電子角度分布の、分子回転状態および、イオン化光の偏光状態、イオン化の遷移双極子モーメントに対する依存性を調べた。
- (2) 光電子角度分布は球面調和関数で展開され、その係数は光電子異方性パラメーターと呼ばれる。光電子異方性パラメーターはイオン化の遷移双極子モーメントについての二次形式で与えられる。その二次形式を固有値の観点から調べ、複数の光電子異方性パラメーターが得られた場合の、同時対角化可能性の条件を調べた。また、実際の典型的な条件で測定可能な光電子異方性パラメーターのみで、すべてのイオン化双極子モーメントが決定できるかどうか検討した。

(3) ホスト研究室で得られた、一酸化窒素分子の光電子角度分布を上記の理論に基づいて解析を行った。特に、多チャンネル量子欠損理論と組み合わせることで、イオン化の双極子モーメントがどれだけ曖昧さ無く決定できるかを調べた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Suzuki Y., Suzuki T.: "Determination of ionization dynamical parameters by time-resolved photoelectron imaging (I) Theory", *Molecular Physics*, submitted*
- 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*, submitted*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Suzuki Y., Suzuki T.: "On the determination of asymptotic form of photoelectron wave functions using time-resolved photoelectron imaging", 12th International Congress of Quantum Chemistry, Kyoto, May, (2006)

(国内会議等)

- 鈴木喜一、坪内 雅明、加藤 吉康、鈴木俊法：“フェムト秒時間分解光電子画像観測による光イオン化ダイナミクスの研究”、理研シンポジウム「理研・分子研合同シンポジウム：第3回エクストリームフォトンクス研究、和光、4月(2006)
- 鈴木喜一、加藤 吉康、坪内 雅明、鈴木俊法：“時間分解光電子角度分布の解析手法の開発”、第22回化学反応討論会、岡崎、6月(2006)
- 鈴木喜一、堀尾 琢哉、加藤 吉康、小城 吉寛、高口 博志、鈴木俊法：“光電子画像観測法による光イオ

ン化ダイナミクスの研究”、分子構造総合討論会、静岡、9月(2006)
鈴木喜一、堀尾 琢哉、加藤 吉康、鈴木俊法：“フェ

ムト秒時間分解光電子画像観測法による光イオン化ダイナミクスの研究”、第4回エクストリーム・フォトンクス研究会、蒲郡、11月(2006)

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)

一酸化炭素と水素を反応させて、液化炭化水素や酸素を含むその誘導体から成る混合物を生成する反応(フィッシャー・トロプシュ反応)は、80年以上前から知られている。この反応は、石炭や天然ガスから石油代替物を合成する際に用いられており、工業的に重要である。しかし、その触媒系はかなり複雑で、反応生成物はさまざまな物質の混合物であるうえ、反応メカニズムもほとんど明らかにされていないのが現状である。

このような背景のもと我々は4核希土類金属ポリヒドリド錯体 $[\text{Cp}'\text{Ln}(\mu\text{-H})_2]_4(\text{THF})$ ($\text{Cp}' = \text{C}_5\text{Me}_4\text{SiMe}_3$, $\text{Ln} = \text{Y, Lu}$) とCOとの反応を検討し、短時間で混合物をほとんど生じずに選択的にエチレンとキュバン型テトラオキソ錯体 $[\text{Cp}'\text{Ln}(\mu_3\text{-O})]_4$ が得られることを昨年度報告した。今年度は、様々な希土類金属4核ポリヒドリド錯体 $[\text{Cp}'\text{Ln}(\mu\text{-H})_2]_4(\text{THF})$ ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Sc}$ etc.) (1) とCOとの反応を検討し、金属イオン半径による反応性の相違について調査した。またオキソ配位子以外のヘテロ原子(S, Se, etc.)を有するキュバン型クラスターの合成も検討した。

(1) 錯体1は -30°C ~ 室温でCOと反応して、オキソメチレン錯体 $(\text{Cp}'\text{Ln})_4(\mu\text{-OCH}_2)(\mu\text{-H})_6(\text{THF})$ (2) を与えた。YやLuなどのオキソメチレン錯体2と過剰量のCOとの反応ではキュバン型オキソ錯体 $[\text{Cp}'\text{Ln}(\mu_3\text{-O})]_4$ が生成するのに対し、他と比べて金属イオン半径が極端に小さいSc (0.885 Å) の錯体2と過剰量のCOとの反応では、ヘキサオキソ-ブテン錯体 $(\text{Cp}'\text{Sc})_4(\mu_3\text{-O})_2(\mu\text{-OCH}=\text{C}(\text{O})\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{O})\text{-O})$ (3) およびエチレンが得られた。

(2) またYのポリヒドリド錯体 $[\text{Cp}'\text{Y}(\mu\text{-H})_2]_4(\text{THF})$ と1当量の $\text{O}=\text{PPh}_3$ との反応ではホスフィンオキシド錯体 $[\text{Cp}'\text{Y}(\mu\text{-H})_2]_4(\text{O}=\text{PPh}_3)$ (4) が得られるの

みであるが、 $\text{E}=\text{PPh}_3$ ($\text{E} = \text{S, Se}$) との反応では脱水素を伴いモノカルコゲニド/ヘキサヒドリド錯体 $(\text{Cp}'\text{Y})_4(\mu\text{-E})(\mu\text{-H})_6(\text{THF})_2$ (5) が得られた。さらにこれらの錯体5と過剰量の $\text{E}=\text{PPh}_3$ ($\text{E} = \text{S, Se}$) との反応では選択的にキュバン型クラスター $[\text{Cp}'\text{Ln}(\mu_3\text{-E})]_4$ (6) が得られた。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Shima, T. and Hou, Z.: “Hydrogenation of Carbon Monoxide by Tetranuclear Rare Earth Metal Polyhydrido Complexes. Selective Formation of Ethylene and Isolation of Well Defined Polyoxo Rare Earth Metal Clusters”, *J. Am. Chem. Soc.* 128, 8124–8125 (2006).*

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Shima T., and Hou, Z.: “Hydrogenation of Carbon Monoxide by Tetranuclear Rare Earth Metal Polyhydrido Complexes”, Workshop on Organometallic Chemistry, Kyoto, Japan, Dec. (2006)

(国内学会等)

Shima T., and Hou, Z.: “Hydrogenation of Carbon Monoxide by Tetranuclear Rare Earth Metal Polyhydrido Complexes. Selective Formation of Ethylene and Isolation of Well Defined Polyoxo Rare Earth Metal Clusters”, 53rd Symposium on Organometallic Chemistry, Japan, Sept. (2006)

島隆則、侯召民：“4核希土類ポリヒドリド錯体による一酸化炭素の還元反応”、日本化学会第87春季年会、大阪、3月(2007)(発表予定)

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： 閼 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(脳梗塞、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(Indolyl-maleimide)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。

昨年度は既に得られている構造活性相関をもとに、IM誘導体を各種プローブ化することを試みた。その結果、蛍光団を有するIM誘導体およびIM誘導体

を固定化したアフィニティーゲルの作成に成功し、蛍光誘導体がミトコンドリアに局在することを明らかにした。そこで、今年度はこれらの知見をもとに

- (1) 細胞死のシグナル伝達におけるIM誘導体の作用点の同定
- (2) アフィニティーゲルを用いた結合蛋白質の精製を行った。その結果、IM誘導体がミトコンドリアの機能破綻を止めることで細胞死を抑制していることを明らかにすると同時に、アフィニティーゲルによりミトコンドリアに存在する結合蛋白質を複数得ることに成功している。今年度は真のターゲット分子の同定にまでは至っていないが、これらの実験で得られた知見をもとに、アフィニティーゲルで精製した結合蛋白質から真のターゲット分子の同定および機能解析を目指す予定である。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Dodo K., Shimizu T., Mori Y., Onuma F., Katoh M., Takahashi M., Sodeoka M.: "Development of novel cell death inhibitors for necrotic cell death induced by hydrogen peroxide", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June (2006)

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、海産無脊椎動物が産生(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、薬剤として利用されているものも少なくはない。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、化合物がこういった役割を担っているか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する。

本研究では、低分子化合物の作用機序を組織的に解明するために分裂酵母のゲノム情報を活用している。分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* の遺伝子数はわずか5,000足らずで、その細胞内現象は高等真核生物に高い類似性がみられるため、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。受け入れ研究室では個々の遺伝子を強制発現できる形質転換体を作製済みであり、それ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、可能性を検討した。

特定の遺伝子の過剰発現によって薬剤に対する感受性が変化することはしばしば観察される。このような薬剤と遺伝子との相互作用を分裂酵母のすべての遺伝子について観察することで、化合物の細胞内での挙動を反映するプロファイルが得られる。標的

分子既知の化合物 10種についてプロファイルを作製したところ、それぞれの化合物について相互作用を示す数十の遺伝子が同定された。期待通り、それらには標的遺伝子と標的経路に含まれるものが多数含まれていた。また、得られたプロファイルを遺伝子産物の細胞内局在情報で解析することによって、化合物の標的部位が統計的に推定できることが明らかとなった。現在、本手法を作用機序未知の化合物に適用し、推測される標的経路と標的部位情報をもとに、標的分子の同定を試みている。

誌上発表 Publications

(総説)

西村慎一、松山晃久、吉田稔：“酵母を基盤としたケミカルゲノミクス”、BIONICS、23、39-45(2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

西村慎一、松永茂樹、伏谷伸宏、吉田稔：“抗腫瘍活性物質 13-deoxytedanolide の作用機序”、第10回がん分子標的治療研究会総会、東京、6月(2006年)

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

In vivo Visualization of Selective Vesicular Transport From the *Trans*-Golgi Apparatus

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)

緻密に分化した細胞内膜系(オルガネラ)の中でも、ゴルジ体は全てのタンパク質の行き先を決定するきわめて重要な役割を担う。TGNにおいて各積み荷タンパク質は初期、後期エンドソーム、液胞、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。しかしながら、*in vivo*におけるTGNの形成機構、および選択的輸送を引き起こす分子装置の動態については未知である。本研究は出芽酵母を用い、TGNの*in vivo*における動態を明らかにし、新たな制御因子を同定することを目的としている。

本年度はまず、前年度に確立したYpt31p/Ypt32p、Sec7pで可視化されるTGNダイナミクスについてより詳細な解析を行った。その結果、ゴルジ体トランス

槽からTGNへの移り変わりにおいてはまず、Sec7p槽にYpt31p/Ypt32pが混じり合い、次にYpt31pシグナルが上昇したのち、Ypt31pは1-2 $\mu\text{m}/\text{sec}$ の高速で芽の部分へと移動するという連続した動態を示すことが明らかになった。また、細胞周期を通じたYpt31pの観察により、Ypt31pは芽の成長部位のみならず、細胞質分裂の際の隔壁形成部位にも移動することが明らかになった。この挙動は細胞膜と輸送小胞との融合をExocyst複合体を通して調節するRab-GTPase、Sec4pの挙動と非常に良く一致していた。今後はYpt31p/Ypt32p、Sec4pという二つのRab-GTPaseが協調して機能する機構について更に調べてゆきたい。

このSec7pとYp31p/Ypt32pとで可視化されるTGNダイナミクスに注目し、この過程の制御因子を同定す

る試みを行った。その結果、正常なTGNの制御には Ypt31p/Ypt32p、Sec7p、Arf1p、アクチンが必要であることが明らかになった。また、ypt31、ypt32、arf1 変異株ではSec7pでラベルされるゴルジ体の肥大が見られたことから、これらの変異株ではSec7pコンパートメントからYpt31p/Ypt32pコンパートメントへと遷移する過程に何らかの異常があることが示唆された。

一方、TGNや個々の積み荷を標識して動態解析するための系の開発を行った。具体的には紫外光によってシグナル強度が上昇するDronpaや赤から緑に変化するDendra融合ゴルジ体マーカーの開発を行った。今後はこれらのマーカーを発現するストレインを用い、個々のゴルジ体槽に的を絞ったレーザー照射を行うことにより、個々のゴルジ体の寿命、運命を様々な変異株や細胞周期の各ステージで解析したい。また積み荷についても、TGNからPVX 前液胞区画へと輸送されるVps10p-Dronpa融合蛋白質を作成し、個別のゴルジ体槽から出て行くVps10pを可視化する系を作成し、現在解析中である。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sekiya-Kawasaki M., Nakano A.: "Live imaging of TGN dynamics in budding yeast *Saccharomyces cerevisiae*," 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June (2006)

Sekiya-Kawasaki M., Nakano A.: "Live imaging of TGN dynamics in budding yeast *Saccharomyces cerevisiae*," Japan-Switzerland 2nd Joint Seminar, "Synthesis and trafficking of glycolipids and glycolipid-anchored proteins," Tsukuba, Japan, January (2007)

(国内学会等)

川崎真理子、中野明彦: "酵母TGNダイナミクスの解析 ニポウディスク式共焦点顕微鏡と高感度・高速カメラシステムを用いた3Dイメージング、" エクストリームフォトンクス研究 エクストリーム波長の発生と応用、理研・分子研合同シンポジウム、和光、4月(2006)

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: 仁科加速器研究センター

加速器応用研究グループ

(アドバイザー 旭 耕一郎)

コンプトンカメラ方式を採用した多核種同時 線イメージング装置 (γ -ray emission imaging, GREI) の開発を行っている。マルチトレーサー法などによって多種の放射性核種を含むトレーサーが同時に投与されると、従来の 線撮像装置ではそれぞれの核種の挙動を同時非破壊的に計測することは困難であった。この研究では両面直交ストリップ電極式の平板型ゲルマニウム検出器を用いたコンプトンカメラ方式を採用しており、約200 keV から 2 MeVの間の 線を放出する複数の 線源の3次元画像を同時に撮像することが可能になる。この装置が実用化されれば、マルチトレーサー法はもちろん、悪性腫瘍等の検出が可能な分子イメージング機器へと発展することが期待される。しかしながら、現在SPECT診断製剤に用いられている核種は200 keV以下の 線を放出するものが多く、現在の試作機でこれらの核

種を画像化することは困難である。そこで、撮像装置の工夫と最適化を行い、それによってSPECT核種からMeV領域の 線を放出する核種まで高効率で撮像可能な装置が実現できることが明らかになった。また、既に複数の核種の3次元分布を同時に画像化することに成功していたが、その画像再構成法では3次元点拡散関数の位置不変性が仮定されていたため、特に画像の周辺部に歪みが見られた。そこで、既に実装済みの反復計算による画像再構成法に3次元点拡散関数の位置依存性を組み込み、画質の改善が可能であることが分かった。さらに、 ^{65}Zn の溶液を内径1mmのガラス管に封入した線状 線源を作製し、この線状 線源を撮像することによって装置の性能評価を行った。その結果、6mmの間隔に並べられたこの線状 線源を明瞭に分離して画像化することに成功し、この装置によって期待通りの高

い 線撮像性能を発揮させることが可能であることが示された。

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, in print*

(その他)

榎本秀一、本村信治：“多核種同時 線イメージング装置 G R E I の開発”、Isotope News 624 2-5 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

本村信治、榎本秀一：“多核種同時 線イメージング装置 G R E I ”、第 16 回金属の関与する生体関連反応シンポジウム、東京、6 月 (2006)

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)

二大精神疾患である躁うつ病・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) 前年度の研究において、患者脳試料で高 DNA メチル化を認めた転写因子 SOX10 に関して、遺伝子領域全長をカバーするよう SNP を選択し、多数例の健常および患者 DNA において関連研究を行った。調べた全ての SNP において、DNA 多型と疾患との関連は否定されたことから、SOX10 は統合失調症における genetic な候補遺伝子ではないと結論した。現在、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の DNA メチル化状態を解析している。この過程において、特殊な試料であるヒト死後脳を用い

た遺伝子発現解析やタイリングアレイを用いた DNA メチル化解析などの開発を試みている。

(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ており、前年度に引き続き、多数例での検討と病理学的意義の検討を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Iwamoto K, Bundo M, Yamada K, Takao H, Iwayama-Shigeno Y, Yoshikawa T, Kato T.: "A family-based and case-control association study of SOX10 in schizophrenia", Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet 141 477-481 (2006) *

Iwamoto K, Bundo M, Ueda J, Kato T.: "Expression of ribosome subunit genes increased coordinately with postmortem interval in human brain", Molecular Psychiatry, 11 1067-1069 (2006) *

Nakatani N, Ohnishi T, Iwamoto K, Watanabe A, Iwayama Y, Yamashita S, Ishitsuka Y, Moriyama K, Nakajima M, Tatebayashi Y, Akiyama H, Higuchi T, Kato T, Yoshikawa T.: "Expression analysis of actin-related genes as an underlying mechanism for mood disorders", BBRC, 352 780-786 (2007) *

(総 説)

Iwamoto K, Kato T.: "Molecular profiling in schizophrenia and related mental disorders", *Neuroscientist*, 12 349-361 (2006)

岩本和也、加藤忠史：“気分障害患者死後脳を用いた DNA マイクロアレイ研究”、*分子精神医学*, 17 257-263 (2006)

加藤忠史、岩本和也：“エピジェネティクス”、*分子精神医学*、6 72-74 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwamoto K, Bundo M, Hayashi J, Nakano Y, Ishiwata M, Kakiuchi C, Kusumi I, Tsujita T, Okazaki Y, Kato T.: "Exploration for the epigenetic variation in samples derived from psychiatric patients", 14th World Congress of Psychiatric Genetics, Cagliari, Italy, Oct. (2006)

Kato T, Iwamoto K.: "Analysis of Gene Expression in post-mortem brains with mental disorders" 1st Brainbank symposium, Fukushima, Japan, Oct. (2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "Exploration of the epigenetic differences in brains of patients with schizophrenia", XXV Collegium Internationale Neuropsychopharmacologicum congress, Chicago, USA, July (2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "DNA methylation analysis of postmortem brains of patients with schizophrenia", XXV Collegium Internationale Neuropsychopharmacologicum congress, Chicago, USA, July (2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "Estimating the possible

effects of postmortem interval on gene expressions in human brain", BrainNet Europe International Conference on Human Brain Tissue Research Venice, Italy, June (2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "Differential effects of sample pH and postmortem interval on gene expressions in human brain", 20th International congress of biochemistry and molecular biology, Kyoto, Japan, June (2006)

(国内学会等)

岩本和也、加藤忠史：“精神疾患患者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の研究ストラテジーの確立”、第39回精神薬療分野研究報告会(先進医薬研究振興財団), 大阪, 12月(2006)

岩本和也、文東美紀、上田順子、中野陽子、加藤忠史：“プロモータータイリングアレイを用いた精神疾患患者死後脳における DNA メチル化状態の解析”、Affymetrix Japan GeneChip フォーラム, 品川, 11月(2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "Gene expression and DNA methylation analyses in human brain derived from psychiatric patients", 第28回日本生物学的精神医学会、第36回日本神経精神薬理学会、第49回日本神経化学会大会合同シンポジウム, 名古屋, 9月(2006)

Iwamoto K, Bundo M, Kato T.: "Application of genome-wide DNA methylation analysis in neuroscience and psychiatry", 第29回日本神経科学会シンポジウム、京都、7月(2006)

XVI - 084

蛋白質ホモ二量体化可視化技術の開発

Development of Visualization Tool for Homodimers

研究者氏名： 下 園 哲 Shimoazono, 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)

蛋白質のホモ二量体化は細胞内情報伝達において様々な場面で登場し、情報を伝達する上で重要なメカニズムであると思われる。これまでホモ二量体の時空間パターンを可視化する優れた手法はない。これまで発表されたホモ二量体を可視化する手法とし

て、PRIM(proximity imaging)がある。しかしながらそのメカニズムは明らかではなく、1998年の発表以来、PRIMを用いた論文は発表されていない。今回、GFP(green fluorescent protein)間のFRET (Fluorescence Resonance Energy Transfer)を用いて蛋白質ホモ二量体

を可視化する手法を開発することを目的とした研究を行った。目的タンパク質にCFP(Cyan Fluorescent Protein)とYFP(Yellow Fluorescent Protein)を融合させる方法ではCFPとCFP、YFPとYFPというFRETを生じないペアも生じてしまい、感度が悪くなることが予想される。今回の研究においてはCFPとYFPを融合しながら、FRETを起こさない融合蛋白質を用いることによりホモ二量体の可視化技術を開発する。

今年度は、

- (1) 作製した CFP-YFP 融合タンパク質の中で最も目的にかなっているものを、ホモ多量体を形成することが報告されているタンパク質に融合し、シグナルが得られることを確認した。

- (2) 副産物として得られた FRET 効率の非常に高い CFP-YFP 融合タンパク質の解析を行い、論文にまとめた。

- (3) 異種タンパク質間の FRET を用いた相互作用検出の高感度化、汎用化に関する研究を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimozono S., Hosoi H., Mizuno H., Fukano T., Tahara T., and Miyawaki A. : "Concatenation of cyan and yellow fluorescent proteins for efficient resonance energy transfer." *Biochemistry* 45(20), 6267-6271(2006)*

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：パ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)

哺乳動物の生殖細胞は胎児期に始原生殖細胞から生じるが、雌性生殖幹細胞(卵子幹細胞)はいまだに見いだされておらず、その単離培養も成功していない。卵子研究において最大の欠点は量的な問題であり、限られた数の卵子の解析は困難な場合が多い。哺乳動物の卵は胎児期に始原生殖細胞から発生し、マウス新生仔卵巣では数千個の未発育卵子(卵母細胞)が蓄積されており、性成熟と共に卵胞を形成して発育・成熟するが、生涯で産生される卵子の数は規定されている。ほとんどの卵子は細胞死してしまい、実際に排卵される卵子はごくわずかである。本研究では雌性生殖幹細胞を単離して培養し株化することにより、卵子発生のメカニズムを解析するだけでなく、性成熟と共に卵胞を形成して発育・成熟するシステムを体外で再現することにより、卵発育・細胞死および減数分裂の機序解析を可能にする実験系の確立を目的にしている。

本研究ではこれまでに、新生仔卵巣を解離して培養する際に Stem Cell Factor 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、その発育には本研究により単離・培養された莢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。ただし、このように調製・発育させた卵子は培養期間中に幹細胞から分化して生じたものではなく、新生児期にすでに卵母細胞としての運命決定がなされたものが、莢膜幹細胞のサポートを受けて、細胞死することなく効率的に発育している事実も判明した。当初の目的である、雌性生殖幹細胞の樹立には至っていないものの、本年度は卵子の調製・発育条件の改良と莢膜幹細胞の詳細解析に取り組み成果をあげた。特に、新生児一匹から約 800個もの卵子を *in vitro* で生じさせ、細胞死を抑えつつ卵胞を形成させることなくインプリント遺伝子のメチル化が起こる程度にまで発育させる技術は、生殖研究分野発展に多大な貢献を果たしうる。今後は顆粒膜細胞の寄与などにも着目しながら、これまで得られた知見の最終的な確認とその誌上発表を優先課題として取り組む。

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 斉爾 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。昨年度は、好熱菌 *Thermotoga maritima* 由来のHK(ThkA)・RR(TrrA)複合体の低分解能構造(4.2 Å)を得た。本年度は、ThkAのセンサードメイン、二量体ドメイン、触媒ドメイン、およびTrrAの高分解能結晶構造を決定し、3.7 Åの複合体電子密度に当てはめる事によって、疑似高分解能モデルを作製した。それにより、センサー(Gシート)-触媒(1シート)間相互作用がHKのリガンド依存性のキナーゼ活性制御、センサー(Fヘリックス)-TrrA(4ヘリックス)間相互作用がTrrAによるThkAキナーゼ活性のフィードバック制御に、それぞれ重要であることが明らかになった。

また、ヒスチジンキナーゼの研究では、ATP依存性の自己リン酸化活性の測定を行なう必要がある。今までは ^{32}P ATPを使ったオートラジオグラフィ法しかなかった。一方、広島大の木下らは、リン酸モノエステルジアニオンと特異的に結合する「フォスタグ」を開発し、市販のリン酸化タンパク質(リン酸化ムセリン、スレオニン、チロシンを含む)の分離に成功していた。そこで、私は、フォスタグを共重合させたポリアクリルアミドゲルによる電気泳動、クマジーブリリアントブルー染色、一般的なパソコンとスキャナー、ウェブ上で無料配布されている画像処理ソフトImageJを使った、リン酸化ヒスチジンキナーゼの分離・検出・定量技術を開発した。また、この結果は、フォスタグがリン酸化ヒスチジンにも適応可能であることも示している。ラジオアイソトープや特種な機器を用いない本法は今後広く普及されるものと期待される。

誌上発表 Publications
(原著論文)

- Yamada S., Akiyama S., Sugimoto H., Kumita H., Ito K., Fujisawa T., Nakamura H., and Shiro Y.: "The signaling pathway in histidine kinase and the response regulator complex revealed by X-ray crystallography and solution scattering", *J. Mol. Biol.*, 362 123-139 (2006)*
Yamada S., Nakamura H., Kinoshita E., Kinoshita-Kikuta E., Koike T., and Shiro Y.: "Separation of a phosphorylated histidine protein using a phosphate affinity gel electrophoresis", *Anal. Biochem.*, 360 160-162 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Yamada S., Sugimoro H., Kobayashi M., Akiyama S., Nakamura H., and Shiro Y., "Crystal structure of histidine kinase and the response regulator complex", 5th East Asian Biophysics Symposium & 44th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa, Japan, Nov. (2006)
Akiyama S., Yamada S., Sugimoto H., Ito K., Fujisawa T., Nakamura H., and Shiro Y., "Signal transduction pathway in histidine kinase and response regulator complex revealed by joint usage of crystallography and small-angle X-ray scattering", 13th International Conference on Small-angle Scattering, Kyoto, Japan, July (2006)
Yamada S., Akiyama S., Sugimoto H., Kumita H., Ito K., Fujisawa T., Nakamura H., and Shiro Y., "Signaling pathway and regulatory mechanism of sensor histidine kinase in two-component system", 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June (2006)
Yamada S., Nakamura H., and Shiro H., "Inter-domain and inter-molecular signaling pathway in two component system: histidine kinase and response regulator", Satellite Meeting of 20th International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOB-

MB Congress–Biochemistry and Molecular Biology of Sensor Enzymes and Proteins–, Sendai, Japan, June (2006)

Yamada S., Sugimoto H., Nakamura H., and Shiro Y., “Inter-domain and Inter-molecular interaction of PAS sensor domain in sensory histidine kinase: insight into regulatory mechanism of kinase activity of Rhizobial oxygen sensor FixL”, Post Hayaishi Symposium –Chemical Biology of Redox Metalloenzymes–, Sayo, Japan, April (2006)

(国内学会等)

小林美紀、山田斉爾、杉本宏、中村寛夫、城宜嗣：“ヒスチジンキナーゼThkA触媒ドメインの結晶構造解析”、日本分子生物学会2006フォーラム、名古屋、12月(2006)

山田斉爾、秋山修志、杉本宏、城宜嗣：“X線結晶回折とX線小角散乱の併用によるセンサーヒスチジンキナーゼ/レスポンスレギュレーター複合体の構造機能解析”、理研シンポジウム - 第二回生体分子の分離・解析法の進展 -、和光、10月(2006)

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(6~15keV)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為である。

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・建設に携わるによりマイクロ波技術を学んだ。

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 Power Test of C-band Accelerating System for Japanese XFEL Project”, APAC 2007., Indore, India, Jan. (2007)

(国内学会等)

白澤克年、稲垣隆弘、尾上和之、大竹雄次、松本浩、

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。これまでにジテルペノイドの 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) 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。

- (2) 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 M_2 世代および M_3 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。現在、これらの候補変異株について詳細な解析を行っている。
- (3) 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、機能喪失型または過剰発現型のシロイヌナズナ変異株の気相分析にSPME/GCMS法を用いるハイスループットスクリーニングを行った。当年度は約一万の独立した変異株から数種の陽性株を得ることができた。現在、これらの陽性株における原因遺伝子について解析を行っている。

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)

天の川銀河の中心は、我々に最も近い巨大ブラックホールが存在する領域であると同時に複数の高エネルギー天体/現象の集中する領域である。具体的には (1) 銀河中心ディフューズ X 線 (GCDX : Galactic Center Diffuse X-ray) (2) X 線反射星雲 (XRN : X-ray Reflection Nebula) および (3) 宇宙線加速源 の存在がこれまでの X 線/ガンマ線観測から示唆されている。一方で、これらの発生源・放射機構および相互関係性は未だよく分かっていない。熱的/非熱的現象の双方をカバーできる唯一の帯域である硬 X 線の観測から、個々の高エネルギー現象のメカニズムを明らかにすると同時に、これらの相互関係を明らかにすることで、背景にある銀河中心高エネルギー現象の起源に到達することが本研究の目的である。各テーマについて、本年度は X 線天文衛星「すざく」を用いて以下の研究を進めてきた。

- (1) XIS 検出器により得られた GCDX のスペクトルを解析し、鉄およびニッケルイオン輝線の幅・中心エネルギー・輝線強度比を過去最高の精度で測定した。また、詳細な輝線診断から、GCDX が電離平衡に達している温度 5--7 keV の高温プラズマと考えて矛盾がないことを初めて導き出した。さらに高階電離鉄イオン輝線の空間分布が、GCDX と点源とは異なることを定量的に示した。これは銀河中心領域からの熱的放射を主に担うのは、微弱な天体の寄せ集めではなく、真に広がった放射であることを示唆する。
- (2) 巨大分子雲 G 0.13-0.13 の XIS スペクトルの解析から、中性鉄輝線および吸収端、および低エネルギー側での強い吸収を検出した。観測された吸収端の深さおよび輝線強度比は、宇宙線照射によ

る衝突電離モデルでは極端な鉄アバNdansが必要となることから、外部からの X 線照射源による光電離モデル (XRN モデル) を支持した。

- (3) 「すざく」による銀河中心/リッジのマッピング観測を行い、XIS および HXD-PIN の解析から、10keV 付近以上の帯域で、熱的放射を卓越する非熱的放射が存在することを明らかにしつつある。点源寄与の評価および熱的放射と非熱的放射の相関の有無を明らかにしてゆくことが今後の課題である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Senda A., Koyama K., Ebisawa K., Kataoka J., and Sofue Y.: "Detection of nonthermal X-ray structures near the Galactic Center with Chandra", Proc. of IAU Symposium No. 230, 24-27 (2006)

Koyama K., Hyodo Y., Inui T., Nakajima H., Matsumoto H., Tsuru T. G., Takahashi T., Maeda Y., Yamazaki N. Y., Murakami H., Yamauchi S., Tsuboi Y., Senda A., Kataoka J., Takahashi H., Holt S. S., and Brown G. V.: "Iron and Nickel Line Diagnostics for the Galactic Center Diffuse Emission", Publ. Astron. Soc. Japan, 59 245-255 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Senda A., Koyama K., Murakami H., and Suzaku GC-team: "Suzaku observation of the Radio Arc region", 36th COSPAR Scientific Assembly, Beijing, China, Jul. (2006)

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

Formation and Chemodynamical Evolution of Galaxies with Radiative Transfer in the Galaxies

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)

銀河内での輻射輸送を考慮した銀河の化学力学進化モデルを構築し、その結果銀河の進化を観測と直接に比較することが可能になった。モデルは赤方偏移2付近のさまざまな銀河種族を説明できる一方で、サブミリ銀河は再現できない。これは比較的孤立した銀河をモデル化したためだと考えると説明できる。

また星の色等級図を比較するための手法を開発した。色等級図の比較にはロバスト性とノンパラメトリック性から2次元KSテストが有効である可能性がこれまで示唆されていたがこれまでは計算機性能の限界から多数の2次元KSテストを実行するのは困難であった。FPGAボードPROGRAPE-4を用いて2次元KSテストを通常の計算機より80倍高速化することに成功した。多数のモデルを実行してその中でもっとも観測に近いものを選び出すことが可能となる。テストケースとしてCarina矮小銀河の色等級図を議論した。

誌上発表 Publications

(国際会議収録)

Ibukiyama, A. and Arimoto, N.: "A new chemodynamical galaxy formation model with radiative transfer", in "Chemodynamics: from first stars to local galaxies", Eds. Emsellem, Wozniak, Massacrier, Gonzalez,

Devriendt, Champavert, EAS Publications Series
(国内学会収録)

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", 信学技報、RECONF
2006-28、電子情報通信学会

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Ibukiyama, A. and Arimoto, N.: "A new chemodynamical galaxy formation model with radiative transfer", CRAL Conference Series 1 - Chemodynamics 2006, Lyon, France, July (2006)

(国内学会など)

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", リコンフィギュラ
ブル研究会、熊本大学、9月(2006)

伊吹山秋彦、濱田剛、中里直人："FPGAを用いた再
構成可能な計算機による天体物理 - 2次元
Kolmogorov-Smirnov テストと矮小銀河の色等級
図", 日本天文学会秋季年会、九州国際大学、9月
(2006)

XVII - 003 KEK-12GeV 陽子加速器を用いたペンタクォークの高分解能測定

High Resolution Spectroscopy of Pentaquark Θ^+ at KEK-PS

研究者氏名：成木 恵 Naruki, Megumi

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)

2003年に日本のSPring-8で世界で始めて5つのクォークから成る Θ^+ が発見され、ただちに多くの追試によって確認されたが、その後主として高エネルギー実験から否定的な結果も数多く報告され、状況は混沌としている。従って、高統計が期待される中間エネルギー領域でのハドロン反応を用いて Θ^+ の存在を確認すること

が急務となっている。KEK-PS E559実験では $K^+p \rightarrow \Theta^+ + \pi^0$ 反応における Θ^+ の探索を行った。超伝導スペクトロメータ(SKS)を用いることによって2.4MeV(FWHM)という高分解能が実現されることが大きな特徴である。実験は、2005年5月末から7月にかけての1ヶ月間と、同年12月の2週間にわたってKEKのK6ビーム

ラインで行われた。特にK6でK中間子ビームを用いたのはこの実験が始めてであったが、毎スピルあたり14k個のK⁺中間子ビーム強度で、 π^+/K^+ 比が15の純度のビームを得ることができた。照射したK⁺中間子の数は 6.4×10^9 であった。標的は液体水素を用いた。解析はまだ最終結論に達していないが、現在のところ質量欠損分布の期待される質量領域にピークは見つかっていない。プレリミナリーな値であるが、生成が等方に分布すると仮定すると全段面積の上限値は90%の信頼度で10 μ b程度と考えられる。この結果から、K^{*}を交換する過程によって π^+ が生成される可能性が非常に低いことが示唆される。

上の結果を受け、J-PARCにおける $\pi^+p \rightarrow K^+ \pi^+$ 反応を用いた π^+ 探索実験を提案した。これはE19実験としてDay-I実験に採択されている。この反応では、K^{*}を交換する過程がないとしても中性子あるいはN^{*}を経由して π^+ が生成される過程が寄与し、その断面積は π^+ の幅に比例する。従って π^+ が存在すれば高統計で同定可能であり、存在しないとしても幅に対して強い制限をかけることができる。

また、KEK-PS E325実験の解析を行い、原子核密度下での中間子の質量変化について最終的な結果をまとめ、Physical Review Lettersに発表した。世界的に見て、レプトン対によって原子核密度下でのベクター中間子の質量変化を測定した初めての結果である。

誌上発表 Publications (原著論文)

R. Muto, J. Chiba, H. En'yo, Y. Fukao, H. Funahashi, H. Hamagaki, M. Ieiri, M. Ishino, H. Kanda, M. Kitaguchi, S. Mihara, K. Miwa, T. Miyashita, T. Murakami, T. Nakura, M. Naruki, K. Ozawa, F. Sakuma, O. Sasa-

ki, M. Sekimoto, T. Tabaru, K. H. Tanaka, M. Togawa, S. Yamada, S. Yokkaichi, and Y. Yoshimura: "Evidence for In-Medium Modification of the ϕ Meson at Normal Nuclear Density", Physical Review Letters, 98, 042501 (2007)*

T. Tabaru, H. En'yo, R. Muto, M. Naruki, and S. Yokkaichi, J. Chiba, M. Ieiri, O. Sasaki, M. Sekimoto, and K. H. Tanaka, H. Funahashi, Y. Fukao, M. Kitaguchi, M. Ishino, H. Kanda, S. Mihara, T. Miyashita, K. Miwa, T. Murakami, T. Nakura, F. Sakuma, M. Togawa, S. Yamada, and Y. Yoshimura, H. Hamagaki and K. Ozawa: "Nuclear mass number dependence of inclusive production of ω and ϕ mesons in 12 GeV p+A collisions", Physical Review C, 74, 025201 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Naruki M.: "Medium modification on vector mesons in 12GeV p + A reactions", Quark Matter 2006, The 19th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions, Shanghai, China, Nov. (2006)

Naruki M.: "Medium modifications on vector mesons in 12GeV p+A reactions", CIPANP2006, Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics, Rio Grande, Puerto Rico, May-Jun (2006)

(国内学会等)

成木恵 : " J-PARC E19 High-resolution search for π^+ pentaquark in $\pi^+p \rightarrow K^+ X$ reaction ", 特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」, 熱海, 12月 (2006)

成木恵 : " Pentaquark π^+ search in hadronic reaction ", workshop on LEP/SPRING-8 new beamline, 大阪, 1月 (2007)

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
 旭応用原子核物理研究室
 (アドバイザー 旭 耕一郎)

RIビームファクトリーの稼動によって生成可能な(不安定)核種が飛躍的に増大し、それに伴い、個々

の不安定核の性質をより効率的に調べる必要性が増している。本研究では、様々な不安定核の磁気モー

メント及び電気四重極モーメントを網羅的に測定するため、 γ -NMR法に基づく実験装置の開発を行っている。この方法では、まず、高速の重イオンビームとして生成される不安定核を適当な試料にインプラントする必要があり、その際、試料中に埋め込まれた不安定核の縦スピン緩和時間 T_1 がその平均寿命よりも十分長くなるように試料を選ぶ必要がある。しかし、従来のように固体の試料に不安定核を導入する場合、不安定核種ごとに格子中の停止位置及び電子状態が異なるので、不安定核の T_1 を定量的に予測することが原理的に難しい。本研究では、液体試料に不安定核を導入し、その流動性によって電子状態の均質化を行い、さらに、化学的に不安定核の価電子状態を制御することで長い T_1 を得ることを目指している。

本年度は、様々な液体試料について T_1 を調べるため通常のNMR法による実験装置を設計・製作した。また、不安定核の準安定な励起状態(アイソマー)の電磁気モーメント測定にも視野を広げ、Time Differential Perturbed Angular Distribution (TDPAD)法に基づく実験装置の開発を並行して行った。この装置を用いると、不安定核を物質中に埋め込んだときの横スピン緩和時間 T_2 を効率的に調べることが可能となる。液体中では、 T_1 と T_2 が近い値になることが報告されているので、TDPAD用装置とオフライン用のNMR装置との併用により、効率良く開発を行うことが可能となる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

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, (2007) in print.*

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., and Ishihara M.: "Nuclear moments of neutron-rich ^{32}Al ", Journal of Physics, Conference Series 49, 138-139 (2006).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kameda D., Asahi K., Ueno H., Yoshimi A., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Yagi E., Kubo T., Ishihara M., Uchida M., Shimada K., Nagae D., Kijima G., Takemura M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H.: "Nuclear moment measurements using spin-polarized RI beams via projectile fragmentation — Recent results and the prospect in RIBF", International Workshop on "Nuclear Physics with RIBF", Wako, Japan, Mar. (2006).

Kameda D., Asahi K., Ueno H., Yoshimi A., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Yagi E., Kubo T., Ishihara M., Uchida M., Shimada K., Nagae D., Kijima G., Takemura M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H.: "Nuclear moments of neutron-rich ^{32}Al ", The International Symposium on the Structure of Exotic Nuclei and Nuclear Forces, SEN-UF06, (Tokyo University), Tokyo, Japan, Mar. (2006).

Kameda D., Asahi K., Ueno H., Yoshimi A., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Yagi E., Kubo T., Ishihara M., Uchida M., Shimada K., Nagae D., Kijima G., Takemura M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H.: "Nuclear moments of neutron-rich ^{32}Al — Shell structure around the "Island of Inversion"", The XI International Conference on Nucleus Nucleus Collisions (NN2006), Rio de Janeiro, Brazil, Aug. (2006).

Kameda D., Asahi K., Ueno H., Yoshimi A., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Yagi E., Kubo T., Ishihara M., Uchida M., Shimada K., Nagae D., Kijima G., Takemura M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H.: "Nuclear moment measurements of neutron-rich Al isotopes using spin-polarized RI beams — Determination of the boundary of the "Island of Inversion"", The 17th International Spin Physics Symposium, SPIN2006, (Kyoto University), Kyoto, Japan, Oct. (2006).

(国内学会等)

亀田大輔: "Nuclear moment measurements for neutron-rich Al isotopes", CNS workshop on Past, Present and Future of shell model (with a course of shell model code), Tokyo, Japan, Jan. (2006).

亀田大輔: "Electromagnetic moments of neutron-rich nuclei around the intruder regions", 理研RIBF ミニ

ワークショップ「Island of Inversion に関する実験・理論の現状と今後の展望 7<Z<20 領域中性子過剰核の低励起状態に関する検討会」、和光、5月(2006)

亀田大輔：“中性子過剰 Al 同位体の核モーメントと周辺の殻構造”、理研シンポジウム「電磁モーメント、低エネルギー核分光から探る不安定核の構造 その現状と将来的課題」、和光、5月(2006)

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
-ray Spectroscopy of Neutron-Rich Nuclei with Hybrid Detection System

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 、 ^{34}Si の準位構造研究を目的とした、「 ^{32}Mg 、 ^{34}Si 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 、 ^{34}Si 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の決定を目指した。

18年度は、実験で得られたスペクトルを解析・評価するために使用するモンテカルロシミュレーションの改善を行った。主に、NaI(Tl)検出器の線に対する応答のシミュレーションへの導入、また物質やその配置に依存する部分についての精度を向上した。線のエネルギーとNaI(Tl)中での発光量の関係は、低エネルギーでは非線形性をもつことが知られている。これまでは比例関係にあるとして計算していたが、この効果をシミュレーションに導入し、複数の励起状態から脱励起する線の観測スペクトルをより詳細に再現することを行った。実験とシミュレーションで得られた検出効率、エネルギースペクトルがこれまでの結果よりもよく再現することができ、検出効率は、最大13%の差が5%未満になった。これらのシミュレーションの高精度化によって、複数の線で構成されるエネルギースペクトルに未知の線を発見することが期待できる。また線角度分布の解析では、線の多重極度を反映する角度分布をシミュレーションの結果を用いて導出する方法についてまとめた。

さらに、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 の二つの励起状態に

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。この状態については解析中で、今後線の角度分布から得られる多重極度と組み合わせることで、スピン・パリティの決定を行う。

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.: “Proton inelastic scattering on ^{32}Mg ”, Journal of Physics, 153-154(2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

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.: “Proton inelastic scattering of ^{32}Mg ”, International Symposium on Structure of Exotic Nuclei and Nuclear Forces (SENUF06), Univ. of Tokyo, Japan, Mar. (2006)

Takeuchi S.: "Spin-parity determination by measuring γ rays", International Workshop on "Nuclear Physics with RIBF", (RIBF2006), RIKEN, Japan, Mar. (2006)
(国内学会等)

武内聡: " ^{32}Mg と ^{34}Si の線核分光 ", RIBF ミニワークショップ 「Island of Inversion に関する実験・理論の現状と今後の展望」, 理化学研究所, 5月 (2006)

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)

本年度はまずユビキタス検出器のうちでアナログ波形をデジタル波形に変換するFADCユニットの設計及び製作を行った。FADCユニットにリモートで利得調整可能なアンプや時間情報取得のためのランブ回路を備えることでSi、Ge、CsI、NaI、BGOといった様々な種類の検出器に対応できるようになっている。

またRIビームファクトリー実験へ実装するにあたり、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新しく開発した。このシステムはユビキタス検出器だけでなくこれまで用いられてきたCAMACやVMEのモジュール製品を扱うことができる。よって旧来のモジュール製品からユビキタス検出器へ順次移行していくことが可能である。またRIビームファクトリー標準データ収集システムとして採用される予定であり、2007年度より本格的に運用が開始される。

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. A, in print *

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.: "Highly excited states of ^{14}O with the (α,α') reaction", 2nd German-Japanese Workshop on Nuclear Structure and Astrophysics, RIKEN-CNS-DFG-GSI, Wako, Japan, Oct. (2006)

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 ", 2nd International Conference on Collective Motion in Nuclei Under Extreme Conditions, TU Darmstadt-GSI, Sankt Goar, Germany, Jun. (2006)

(国内会議等)

Baba H.: "DAQ system for RI-beam experiment at RARF and RIBF", Annual RI Beam Factory (RIBF) Users Meeting 2006, 和光, 8月(2006)

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)

軽い不安定核の分解反応はその断面積に核の構造の情報が反映される為、不安定核の構造を知る上で非常に重要な反応機構の1つである。その為この反応を精密に記述する反応理論が必要となる。その1つの理論として九大グループが開発、発展させてきた離散化チャネル結合法(CDCC法)があり、様々な不安定核分解反応の解析に広く用いられ成功を収めている。さらに我々は従来のCDCC法を発展させ、2中性子ハロー核のようなcore核+ $n+n$ の3体系で記述される核を入射核とした反応の解析を行なう4体CDCC法を提案した。これまでこの4体CDCC法を用いて典型的な2中性子ハロー核である ${}^6\text{He}$ の核力分解のみならずクーロン力による分解も考慮した解析を行ない、非常に良く実験を再現した。

本年度は実験で観測される4体分解反応における5重微断面積の計算方法の開発を進めてきた。実験的には入射核が3体に分解する場合、残留核(標的核)まで含めると4つの粒子が放出され、それぞれ粒子の運動量、角度分布等が測定される。そのような観測量には核構造の情報が含まれている為、それらを理論的に計算し実験との比較を行なうことでその情報を引き出すことができる。現在は、5重微断面積計算に必要な入射核3体の連続状態の計算を

九州大学との共同研究として行なっている。この計算方法が確立すればより深い不安定核の構造の理解につながると期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsumoto, T., Egami, T., Ogata, Iseri, Y., Kamimura, M., Yahiro, M.: "Coulomb breakup effects on elastic cross section of ${}^6\text{He}+{}^{209}\text{Bi}$ scattering near Coulomb barrier energies", accepted (Physical Review C 73, 051602 (2006))

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

松本琢磨:" ${}^6\text{He}$ 核力クーロン力分解反応解析", KEK 原子核研究会「現代の原子核物理 多様化し進化する原子核の描像」(8月2006年)

松本琢磨:" ${}^6\text{He}$ 核力・クーロン分解反応の解析", 日本物理学会2006年秋季大会(9月2006年)

松本琢磨:"不安定核分解反応によるdi-neutron相関の研究", RCNP研究会「核子体系におけるクラスター現象」(2月2007年)

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18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、 ${}^4\text{He}(\text{stopped } K^-, p)$ 及び ${}^4\text{He}(\text{stopped } K^-, n)$ スペクトルのデータ解析を継続して行った。その結果、前身であるE471実験と比

較して陽子スペクトルに対しては2.5倍程度の分解能の改善とスペクトルの規格化、中性子スペクトルに対しては1.3倍程度の分解能の改善と10倍程度の統計量を達成した。

Inclusive な陽子スペクトルの検討の結果、KEK-PS E471実験により同反応で発見された幅の狭い $S^0(3115)$ 状態の存在は E549 実験においては 0.1% 程度の反応当りの生成率上限をもって否定された。中性子スペクトルに関しては、 $S^0(3115)$ のアナログ状態の存在という前提が崩れたため、エネルギースペクトルの構造に関する仮定が変化したものの、全体的には E471 実験結果を再現しており、この分布中に幅の広い K 中間子の束縛状態が存在するか否かについてはさらなる詳細な解析とモンテカルロシミュレーションを用いた考察を要する。

一方、フラスカッティ研究所(伊)においては

FINUDA 実験グループにより、深い束縛状態 K^-pp の形成とその p 崩壊シグナルが静止 K^- 反応における p 不変質量分布から報告されており、また E549/570 実験においても幅のやや広い束縛状態を議論する際にバックグラウンド過程である K 中間子の非メソンの吸収過程の考察が不可欠であるため、互いに back-to-back の相関を持つ核子-ハイパロン対の不変質量解析が非常に重要であると考えられる。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-中間子同時計測事象を用いたハイパロン同定と N/\bar{N} 不変質量分布の系統的研究を行った。

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)

(1405) は、ストレンジネス $S=-1$ を持った粒子でありながら、同じ $(1/2)$ のスピンとマイナスのパリティを持った核子の励起状態 $N(1535)$ よりも軽い質量を持っている。従って、(1405) は、なんらかの特別な機構によって異常に質量の軽くなった、エキゾチックな粒子であると考えられる。本研究では、ストレンジネス $S=-1$ を持ったバリオンの励起状態である、(1405) が反 K 中間子と核子との束縛状態であるという仮説を、クォーク模型の立場から調べた。クォーク-クォーク間およびクォーク-反クォーク間に働く相互作用として、現象論的閉じ込めポテンシャルおよびカラー磁気相互作用を仮定すると、フレーバ $SU(3)$ 対称性のもとで、(1405) がいわゆるペンタクォーク状態であるときのカラー磁気相互作用が、全体として同じ量子数を持ったメソン + バリオン状態におけるカラー磁気相互作用よりも強い引力を与えることが知られている。フレーバ対称性の破れを正しく考慮し、(1405) がペンタクォーク状態にある場合のエネルギーを、半相対論的な運動エネルギー項と、上に示したようなポテンシャルを含むハミルトニアンのもとで、クォークの 5 体問題を精密に解くことによって評価した。その結果、(1405) が 3 つのクォークでできていると仮定した場合に得られる

質量よりも、ペンタクォーク状態にあると仮定した場合の質量が軽くなることがわかった。この結果は、閉じ込めポテンシャルとして現象論的なものを用いたことからくる、カラーファンデアワールス力によるものではないことを確認している。この結果は、(1405) の構造の主要成分が、ペンタクォーク的なものであることを示唆している。実験で報告されているストレンジダイバリオン (K^-pp) 状態が何であるかを調べるのが今後の重要な課題である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Nemura H. and Nakamoto C.: "Study of pentaquark and $\Lambda(1405)$ ", Proceedings of the XVII Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), AIP Conf. Proc. No. 842 (AIP, New York 2006), pp. 477-479. *

Nakamoto C. and Nemura H.: " $\Lambda(1405)$ in a hybrid quark model", Proceedings of the XVII Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), AIP Conf. Proc. No. 842 (AIP, New York 2006), pp. 458-460. *

Nemura H. And Nakamoto C.: "Few-Body Problems with Strangeness", Proceedings of the International Symposium on Structure of Exotic Nuclei and Nuclear For-

es, edited by M. Honma et al, Journal of Physics: Conference Series Vol. 49 (Institute of Physics and IOP Publishing, 2006, pp. 176-177. *

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nemura H.: "Light $\Lambda\Lambda$ Hypernuclei", The IX International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Mainz, Germany, October (2006)

Nemura H.: "Stochastic Variational Method Applied to Pentaquarks", The Yukawa International Seminar (YKIS) 2006, Kyoto, Japan, November (2006)

(国内学会等)

根村英克: "ハイパー核の楽しい少数多体計算", 特定領域研究『サマースクールハイパー核実践講座 あなたも計算できる』, つくば, 7月(2006)

根村英克: "ハイパー核の少数多体系の構造研究", KEK 研究会『現代の原子核物理 多様化し進化する原子核の描像』, つくば, 8月(2006)

根村英克, 仲本朝基: "(1405)のペンタクォーク状態に対する精密5体計算", 日本物理学会2006年秋季大会, 奈良, 9月(2006)

根村英克, 仲本朝基: "クォーク模型によるエキゾチックハドロン系の少数多体問題について", 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2006, 熱海, 12月(2006)

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)

現在成功している、電磁相互作用、強い力、弱い力の3つの相互作用を記述する『標準模型』に、重力を含んだ究極理論として期待されている超弦理論は、その摂動的研究の段階から非摂動的性質を研究する段階へと移り変わって来た。その中でも超弦理論の非摂動的定式化といわれる『行列模型』をこの研究では精査した。

重力理論を含んだ理論は、その性質上、通常は背景場として手で与える時空を、その理論の動的な結果産み出されるものとして始めから内包している必要がある。一般の背景場全てを含むということは、言い換えれば、理論自体は背景場に依らない定式化が必要であり、この4次元宇宙もその理論の安定な解として実現されるべきものである。特に必要なのは非摂動的な解であり、今年度は非摂動的な解を研究する上で有効と考えられる『改良摂動法』の手法の整備と、それを使って実際に10次元の理論である『行列模型』から4次元的な解が産まれる可能性について調べ発表した。

また、それとは別に、超弦理論が真に高エネルギー

ギー領域に於いて、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ある。その中でもしばしば議論されている、『一般化された不確定性関係』を基にした新しい場の理論を定式化した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsuo T. and Shibusa Y.: "Quantization of fields based on generalized uncertainty principle", Mod.Phys.Lett. A21 1285-1296 (2006) *

Aoyama T., Kawai H. and Shibusa Y.: "Stability of 4-dimensional space-time from IIB matrix model via improved mean field approximation", Prog.Theor.Phys. 115 1179-1187 (2006) *

Aoyama T. and Shibusa Y.: "Improved perturbation method and its application to the IIB matrix model", Nucl.Phys. B754 48-90 (2006) *

Aoyama T., Kuroki T. and Shibusa Y.: "Dynamical gen-

eration of non-Abelian gauge group via the improved perturbation theory”, Phys.Rev. D74 106004 (2006) *

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

澁佐雄一郎：“改良テラー展開法における相転移”、日本物理学会、松山、3月(2006)

XVII - 012

ナノ構造における非平衡多体効果

Nonequilibrium Many-body Effect in Nanostructures

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)

‘近藤効果’は最も基本的な多体効果であり、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などで実現されている。これらナノ構造では相互作用の大きさや非平衡状態の制御が可能であり、多体効果の特性が明確に現れる。また近年は測定技術の進歩にともない、電流の確率分布関数そのものを調べることが可能になっている。この研究は完全計数統計と呼ばれる。現在、メソスコピック強相関係での完全計数統計の研究はチャレンジングな問題の一つである。本研究は完全計数統計という新概念を用いて非平衡多体効果を、特に近藤効果に着目して深く理解することを目的とする。

本年度も昨年度に続いて、単電子トランジスタを例に取り計数統計理論を研究した。単電子トランジスタは数学的には異方的多チャンネル近藤ハミルトニアンで記述されるため、非平衡近藤問題の典型とされる。先年は経路積分形式の非平衡場の理論、Schwinger-Keldysh法を用いて計数統計理論を構築した。本年度はこれをさらに進め、同時確率分布による完全計数統計理論を提案した。この理論は昨年に日本とスイスのグループで行われた量子ポイントコンタクト電位差計を用いた計数統計の実験を踏まえている。これにより、量子ドットに滞在する電子数と電流の同時確率分布の測定からクーロン相関に関する新たな情報が得られることが明らかとなった。

誌上発表 Publications

(解説)

内海裕洋：“量子ドットにおける完全計数統計”、固体物理、41, 33-41 (2006)*

Bagrets A., Utsumi Y., Golubev D., Schön G.: “Electron

Transport, Interactions, Full Counting Statistics, Solid-state Quantum Information Systems”, Fortschritte der Physik 54, No. 8-10, 917-938 (2006) (Wiley-VCH).*

(原著論文)

Utsumi Y., Golubev D., Schön G.: “Full Counting Statistics for a Single-Electron Transistor, Non-equilibrium Effects at Intermediate Conductance”, Phys. Rev. Lett. 96, 086803 (2006).*

Utsumi Y.: “Full Counting Statistics for Number of Electrons in a Quantum Dot”, Phys. Rev. B 75, 035333 (2007).*

(総説)

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Nonequilibrium Kondo Effect in a Quantum dot Coupled to Ferromagnetic Leads”, Proceedings of The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo’05) (World Scientific) 113-116.

Utsumi Y.: “Full counting-statistics in a single-electron transistor in the presence of strong quantum fluctuations”, Proceedings of The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo’05) (World Scientific) 117-120.

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議，招待講演)

Utsumi Y.: “Full counting statistics for a single-electron transistor, non-equilibrium effects at intermediate conductance”, Focus Program on Quantum Effects in Nano-systems II, APTCP, Korea, Nov (2006).

(国際会議，一般発表)

- Utsumi Y.: "Full counting statistics for a single electron transistor: non-equilibrium effects at intermediate conductance", International Seminar and Workshop on Quantum Coherence, Noise and Decoherence in Nanostructures, Max-Planck Institute Dresden, Germany, May (2006).
- Utsumi Y.: "Full counting statistics for a single-electron transistor, non-equilibrium effects at intermediate conductance", 6th Rencontres du Vietnam Nanophysics: from Fundamentals to Applications (Vietnam 2006), Hanoi, Vietnam, Aug (2006).
- Utsumi Y., Martinek J., Imamura H., Bruno P., Maekawa S.: "Indirect exchange interaction between two quantum dots in an Aharonov-Bohm ring", International Conference on Magnetism (ICM 2006), Kyoto, Japan, Aug (2006).
- Martinek J., Utsumi Y., Barnas J., Borda L. von Delft J., Koenig J., Palph D. C., Schoen G., Maekawa S.: "Kondo effect in single-molecule spintronic devices", International Conference on Magnetism (ICM 2006), Kyoto, Japan, Aug (2006).
- Utsumi Y., Martinek J., Imamura H., Bruno P.: "Indirect exchange interaction between two quantum dots", 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-4), Sendai, Japan, Aug (2006).
- Martinek J., Utsumi Y., Borda L., Barnas J., Koenig J., von Delft J., Bulla R., Imamura H., Ralph D. C., Maekawa S., Schoen G.: "Electric field - gate-controlled spin-splitting in quantum dots attached to ferromagnetic leads", 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-4), Sendai, Japan, Aug (2006).
- Utsumi Y., Martinek J., Schoen G., Imamura H., Maekawa S.: "Nonequilibrium Kondo effect in a quantum dot coupled to ferromagnetic leads" 19th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2006), Sendai, Japan, Aug. (2006).
- Utsumi Y.: "Full counting statistics for charge inside a quantum dot", Nanometer-scale quantum physics (nanoPHYS'07), Tokyo, Japan, Jan (2007).
- Immure K., Utsumi Y., Martin T.: "Full counting statistics for transport through a molecular quantum dot magnet", Nanometer-scale quantum physics (nanoPHYS'07), Tokyo, Japan, Jan (2007).
- (国内学会等)
- 内海裕洋: "メゾスコピック系のノイズと計数統計", MiLqセミナー、東広島、4月(2006)
- 内海裕洋: "量子ドット内電子の計数統計理論 量子揺らぎの効果", 日本物理学会2005年秋季大会、千葉、9月(2006)
- 井村健一郎、内海裕洋、T. Martin: "単一分子伝導スピントロニクスにおける完全計数統計", 日本物理学会年秋季大会、千葉、9月(2006)
- 内海裕洋: "Effect of the spin degrees of freedom on the full counting statistics for number of electrons in a quantum dot", 第11回 半導体スピン工学の基礎と応用、柏、12月(2006)
- 井村健一郎、内海裕洋、T. Martin: "Full counting statistics for transport through a molecular quantum dot magnet", 第11回 半導体スピン工学の基礎と応用、柏、12月(2006)

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

Anomalous 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、系の乱れが強くなるのに伴い、電子系が金属相(非局在状態)から絶縁相(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。この性質を反映
し、アンダーソン転移点において、波動関数はス
ケール不変なマルチフラクタル構造を形成すると考
えられる。しかしながら、近年アンダーソン転移の
臨界点において、マルチフラクタル構造を持たない
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った。そのため、異常局在状態
についての詳細な研究が望まれている。

本年度は、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。スケール不
変性が系全体における一様なスケール変換を行って
も系の統計的性質が不変に保たれる性質であるの
に対し、共形不変性とは系の位置により異なる局所
的な並進、回転、スケール変換などに対する不変性
である。共形不変性を用いた共形場の理論は臨界的
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。そこで、系の境界付近における波動関数のマ
ルチフラクタル性、すなわちsurface multifractality、
に対する境界形状依存性を調べた。その結果、ある
角度の楔状の境界におけるsurface multifractalityと直
線状の境界におけるsurface multifractalityとが共形不
変性より得られる関係式を満たしていることを示し
た。従って、アンダーソン転移の臨界点に共形不変
性が存在する。さらに、異常局在状態の寄与が支配
的になる特殊な条件下では、共形不変性が消失す
ることも明らかにした。

また、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
るあ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。この系は、
量子スピン・ホール効果の起源となるトポロジカル
な因子の寄与により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、われわれの
モデルでは従来と同じユニバーサリティ・クラスで
あることを明らかにした。

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 in-
variance at 2D metal-insulator transition in the spin-

orbit symmetry class", Physical Review Letters, in
print*

Obuse H., Furusaki A., Ryu S., and Mudry C.: "Two-di-
mensional spin-filtered chiral network model for the
Z₂ quantum spin-Hall effect", submitted*

Obuse H. and Yakubo K.: "Topological aspects of wave
function statistics at the Anderson transition", Topolo-
gy in Ordered Phases, Proceedings of the 1st Interna-
tional Symposium on TOP 2005, pp. 265-270 (2006)*

Obuse H. and Yakubo K.: "Non-multifractal states at the
Anderson transition point", AIP Conference Proceed-
ings 850, 1456-1457 (2006)*

Yakubo K. and Obuse H.: "Critical level statistics for
anomalously localized states at the Anderson transition
point and their multifractality", AIP Conference Pro-
ceedings 850, 1454-1455 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Obuse H.: "Surface and corner multifractality in two-di-
mensional symplectic class", ISSP International Work-
shop and Symposium on Computational Approaches
to Quantum Critical Phenomena, Kashiwa, Japan, Au-
gust (2006)

Obuse H., Subramaniam A., Furusaki A., Gruzberg I., and
Ludwig A. W. W.: "Multifractality and conformal in-
variance at 2D metal-insulator transition in the spin-
orbit symmetry class", Denver, Colorado, March (2007)

(国内学会等)

小布施秀明、古崎昭: "スピン-軌道相互作用を有す
る2次元不規則電子系におけるSurface Multi-
fractality", ナノサイエンス実証研究第4回公開シ
ンポジウム、岡崎、4月(2006)

小布施秀明、古崎昭: "2次元不規則電子系における
Surface Multifractality", 日本物理学会2006年秋季
大会、野田、9月(2006)

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2007年春季大会、鹿児島、3月(2007)

小布施 秀明、古崎昭、笠真生、Christopher Mudry :
"スピン 軌道相互作用を有する2次元不規則電子
系に対するネットワーク模型の数値的研究", 日
本物理学会2007年春季大会、鹿児島、3月(2007)

研究者氏名： 齋藤 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 は膜厚 $1\ \mu\text{m}$ 以下の薄膜になると、p 波クーパー対への系のサイズ効果が顕著となるため、通常のバルク系では見られない、異方的秩序変数の新たな本質的側面が顕在化される。その 1 つとして、異方的秩序変数の面内成分のみによる 2 次元超流動相が予想されている。また、境界近傍ではアンドレーエフ束縛状態を形成するために、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)が安定な領域も存在すると考えられている。超流動 ^3He 薄膜の物性は、電子が主役となる異方的超伝導体とも密接に関連し、異方的クーパー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。

しかしながら、これらを実験的に確認するためには温度 $1\ \text{mK}$ 以下の極限的環境下で、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の膜厚である微量サンプルを扱う必要があり、技術的に困難であった。本研究では、微細加工により作成したくし型電極の導入によりこれら困難を克服し、流動特性の膜厚依存性から、2 次元超流動相および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 $1\ \mu\text{m}$ 以下の薄膜を扱うことができる。さらに、印加電圧により電極への ^3He 吸着量を調整できるため、 ^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ー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。バ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。現在、膜厚変化による相転移観測を検証するため、磁場中での測定を準備中である。

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, in print*
- Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nomura R., and Okuda Y.: "Spectroscopic study of the surface density of states of superfluid ^3He by transverse acoustic impedance measurements", Phys. Rev. B, 74 220505-1-4 (2006)*
- Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nishida R., Nomura R., and Okuda Y.: "Observation of A-B phase transition of superfluid ^3He by transverse acoustic response", AIP conference Proceedings, AIP Proceedings, 850 89-90 (2006)*
- Wada Y., Aoki Y., Saitoh M., Nishida R., Nomura R., and Okuda Y.: "Pressure Dependence of Transverse Acoustic Impedance of Superfluid ^3He -B", AIP Proceedings, 850 91-92 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

- Saitoh M., Kono K.: "Thickness Dependence of Critical Current of Superfluid ^3He Film", International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Kyoto, Japan, Aug. (2006)
- Nomura R., Wada Y., Nishida R., Saitoh M., Aoki Y., Murakawa S., and Okuda Y.: "Transverse Acoustic Impedance of Superfluid ^3He and Surface Andreev Bound States", International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Kyoto, Japan, Aug. (2006)

(国内学会等)

- 齋藤政通、河野公俊: "Investigation of Phase Transition in Submicron Superfluid ^3He ", 文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」平成18年度研究成果報告会、淡路市、12月(2006)
- 和田雄一郎、村川智、齋藤政通、青木悠樹、田村雄太、野村竜司、奥田雄一: "Spectroscopic Study of the

Surface Density of States of Superfluid ^3He by Transverse Acoustic Impedance Measurements”, 文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」平成18年度研究成果報告会、淡路市、12月(2006)

齋藤政通、河野公俊：“膜厚制御による超流動 ^3He サブミクロン薄膜の相転移観測 II”，日本物理学会第60回年次大会、千葉市、9月(2006)

齋藤政通、河野公俊：“連続的膜厚制御によるサブミクロン超流動ヘリウム3薄膜の量子相転移”，文部科学省特定領域研究「スーパーク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、京都市、5月(2006)

齋藤政通、河野公俊：“膜厚制御による超流動 ^3He サブミクロン薄膜の相転移観測”，日本物理学会第61回年次大会、松山、3月(2006)

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、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。超流動 He は回転下において循環が量子化することにより渦度が量子化されることが知られている。しかし、量子渦と液体 He 表面・界面に発生する素励起との相互作用については研究難度の高さよりこれまで全く研究されていない。また、特に ^3He の渦構造に関してはクーバー対の軌道角運動量も重要な役割を果たすことで多様な渦構造の存在が考えられているものの、その直接的な観測はなされていない。本研究は回転超流動 He の表面状態を液体表面に形成することができる2次元電子系をプローブに用い観測することでこれらを解明することを目的としている。

プローブとして用いる表面2次元電子系は、ヘリウム自由表面の清浄さを反映した理想的な非縮退2次元電子系である。静止下における実験によりその輸送現象はヘリウム自由表面の素励起の影響を強く受けることが知られている。量子渦の密度および格子間隔は回転速度により制御することが可能である。よって、量子渦は2次元電子系の輸送現象に対し人工的に配された規則的な散乱およびピン止め等の不純物効果を与えるものと期待される。また、実験には本研究の初年度において整備が完了した高精度回転希釈冷凍機を用いた。この冷凍機は回転下であっても振動レベルが通常実験室に設置されている除振架台上の冷凍機と変化なく、3.14 rad/secの回転下で

最低温度5 mKを達成することが出来る。

本年度は量子渦構造がほぼ解明されている ^4He の量子渦-自由表面間の相互作用に関する研究を重点的に行った。実験は密度が $\sim 10^{12}/\text{m}^2$ 程度の表面2次元電子系を用いてSommer-Tanner法により行われた。これにより、まず、2次元電子系は回転によって生じる自由表面のマクロな変形に対して非常に敏感であることが明らかになった。一方、量子渦による2次元電子系の輸送現象へのミクロな影響は非常に小さいことが明らかになった。これは ^4He の渦一つ一つが自由表面において形成するくぼみの大きさが小さい(深さ ~ 70 、半径 $\sim 4\mu\text{m}$)こと、および渦密度($<10^9/\text{m}^2$)と電子系の密度の不整合によるものと考えられる。次年度はこれらの結果を踏まえ、電子密度および他のパラメーターを制御し、的確な観測条件を求めた上で研究をさらに遂行していく。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Takahashi D., Kono K.: “New Rotating Dilution Refrigerator for a Study of the Free Surface of Superfluid He ”, AIP Conference Proceeding, 850, 1567 (2006) *

Yoshida J., Abe S., Takahashi D., Matsumoto K., and Suzuki H.: “Magnetic Properties of CeRu_2Si_2 at Small Magnetic Fields and Ultralow Temperatures”, AIP Conference Proceeding, 850, 1171 (2006) *

Abe S., Takahashi D., Yoshida J., Matsumoto K., Suzuki

H., and Kitai T.: "Hyperfine Nuclear Magnetism of PrPb3 in the Antiferro-Quadrupolar Ordered State", AIP Conference Proceeding, 850, 1293 (2006) *

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi D., Kono K.: "Transport Property of Surface State Electrons on Rotating Superfluid ⁴He", International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Ky-

oto, Japan, Aug. (2006)

(国内学会等)

高橋大輔、河野公俊: "高精度回転希釈冷凍機を用いた回転超流動He-4上における二次元電子系の移動度測定 - II -", 日本物理学会、松山、3月 (2006)

高橋大輔、河野公俊: "高精度回転希釈冷凍機を用いた回転超流動He-4上における二次元電子系の移動度測定 - III -", 日本物理学会、千葉、9月 (2006)

XVII - 016 量子ドットを用いた単一電子スピンのコヒーレント制御
Coherent Control of Single-electron Spin States in Quantum Dots

研究者氏名: 森山 悟士 Moriyama, Satoshi

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)

(原著論文)

Moriyama S., Fuse T., and Ishibashi K. (invited conference paper): "Shell structures and electron-spin configurations in single-walled carbon nanotube quantum dots", Phys. Stat. Sol. (b), in print*.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., and Ishibashi K. (invited conference paper): "One-dimensional shell structures and excitation spectrum in single-wall carbon nanotube quantum dots", Jpn. J. Appl. Phys., 45, No. 4B, 3633-3637 (2006)*

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Yamaguchi T., and Ishibashi K.: "Pulse-excited current measurements in carbon nanotube quantum dots", J. Phys. Conf. Ser., 38, 9-12 (2006)*

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T. (invited conference paper): "Carbon nanotubes as building blocks of quantum dots", Physica E, 35, 338-343 (2006)*

Ishibashi K., Moriyama S., Tsuya D., Fuse T., Suzuki M. (invited conference paper): "Quantum-dot nanodevices with carbon nanotubes", J. Vac. Sci. Tech., A24 (4), 1349-1355 (2006)*

Shimizu M., Moriyama S., Suzuki M., Fuse T., Homma Y., Ishibashi K.: "Statistical characterization of dispersed single-wall carbon nanotube quantum dots", J. Phys. Conf. Ser., 38, 17-20 (2006)*

量子ドット(人工原子)素子の開発は、量子物理学の探究だけでなく、従来のデバイスの概念にはない電子系の相互作用を利用した新機能デバイス実現の観点から、その基本素子として非常に重要である。

前年度での研究において、カーボンナノチューブ(CNT)を材料として作製した量子ドットが、人工原子としての優れた特徴を持つこと、すなわち自然の原子と同様にCNT量子ドットがそれ特有の電子殻構造を持ち、そして外部からの操作(印加電圧、磁場)によって単一電子スピン状態を形成できることを示した。これらの結果は、CNT量子ドット素子において電子スピンを用いた1量子ビットの初期化状態の形成に対応し、CNT素子による量子情報処理デバイス実現の可能性を示すものである。本年度は、CNT量子ドットの電子輸送現象を測定するために、ノイズ特性を改善した希釈冷凍機(測定温度 35 mK)を用い、引き続きCNT量子ドットの電子スピン状態を調べた。そして非対称なトンネルバリアによって挟まれた量子ドットの単一電子輸送現象が量子ドット中の電子スピン状態の遷移に対応することを実証した。また、非常に閉じ込めの強いCNT量子ドットにおいて、磁場を印加することによってスピン一重項とスピン三重項が縮退した電子状態を形成したとき、共同トンネリングによって電流が流れることを実験的に示した。

誌上発表 Publications

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T., and Ishibashi. K (invited): "Shell structures, and spin configurations in carbon nanotube quantum dots", ECNM06, XXXth International Conference of Theoretical Physics, Electron Correlations in Nano- and Macrosystems, Ustro_, Poland, 9-14, September, 2006.

Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T., and Ishibashi K. (invited): "Investigation of total-spin state in carbon nanotube quantum dots", Vietnam 2006, Nanophysics, from fundamentals to applications, Hanoi, Vietnam, 6-12, August, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Kawano Y. and Yamaguchi T. (invited): "Quantum-dot nanodevices with carbon nanotubes", Handai Nanoscience and Technology International Symposium 2006, Osaka, Japan, 20-22, November, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Kawano Y., Yamaguchi T. (invited): "Quantum-dot nanodevices with carbon nanotubes", Japan-Germany Joint Workshop 2006, "Nano-electronics", Tokyo, October 30 - November 1, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Kawano Y. and Yamaguchi T. (invited): "Artificial atom in carbon nanotube quantum dots and its THz response", WTEC (World Technology Evaluation Center) Workshop on Carbon Nanotube Manufacturing, Tokyo, Japan, 25, September, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T. (invited): "Artificial Atom in Carbon Nanotubes and their Quantum Response to THz Wave", Symposium on "Nanowires", 2006 Korean Vacuum Society Meeting, Pohang, Korea, 17-18, August, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T. (invited): "Artificial atoms in carbon nanotube quantum dots and its THz response", Vietnam 2006, Nanophysics, from fundamentals to applications, Hanoi, Vietnam, 6-12, August, 2006.

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Yamaguchi T. (invited), "Artificial atom in single-wall carbon nanotubes", ICN+T 2006 International Conference on Nanoscience and Technology (NANO 9 & STM'06), commemorating the invention and development of SPM (25 years of STM and 20 years of AFM), Basel, Switzerland, July 30 - August 4, 2006.

(国内学会等)

石橋幸治、森山悟士、布施智子、鈴木正樹、河野行雄、山口智弘 (招待講演): "カーボンナノチューブを用いた量子ナノデバイス", 2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会シンポジウム「カーボンナノチューブの最新動向」, 滋賀, 8/29-9/1, 2006.

内田剛生、巻幡光俊、森山悟士、鈴木正樹、山口智弘、青柳克信、石橋幸治: "SiO₂/GaAs基板上におけるCNT-SETの評価", 2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会, 滋賀, 8/29-9/1, 2006.

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

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)

一塩基多型(SNPs)を迅速に検出する方法の開発は、個人に合わせた医療の提供につながると考えられており重要である。わずかに一塩基の違いを明瞭に識別する方法に「非架橋型」反応がある。「非架橋型」反応とは、1種類のDNA担持金ナノ粒子を相

補的なDNAと反応させ、塩を加えると凝集する現象である。粒子をDNAで架橋させる必要がないため、「非架橋型」と呼んでいる。「非架橋型」の凝集反応は、粒子上の二本鎖DNAの末端塩基対がミスマッチである時には起こらないことから、簡単にS

NPsを検出することができる。本研究では「非架橋型」反応を平面基板上的二本鎖DNAの末端認識に応用した。二本鎖DNAを担持した金ナノ粒子を用い、基板上にある二本鎖DNAの末端塩基対の形成を見分けることができれば、SNPs診断チップができると考えた。

はじめに、異なる表面に固定化された二本鎖DNA間の相互作用を、DNAを固定化した金基板とDNA担持金ナノ粒子を用いて調べた。相互作用解析には表面プラズモン共鳴装置を使用し、ナノ粒子の基板への吸着を測定した。その結果、基板上的二本鎖DNAの末端塩基対が相補的であり、なおかつ金ナノ粒子上の二本鎖DNAの末端塩基対も相補的である時にのみ、ナノ粒子が基板に吸着することが分かった。この吸着は基板上的DNAの相補的な末端塩基対の形成の有無を認識するものであり、粒子と基板上的二本鎖DNAの塩基対配列が異なっても吸着が見られた。基板とナノ粒子の間の「非架橋型」反応は、塩濃度、金ナノ粒子径、DNA鎖長に依存することも分かった。15塩基の二本鎖DNAの間の相互作用において基板上的末端塩基対の形成の有無を調べる際の最適粒子径は直径40nmであり、最適塩(NaCl)濃度は500mMであった。

次に、基板上にある二種類の異なるDNAを同時に検出することのできるアレイチップを作製し、二本鎖DNAを担持した金ナノ粒子がラベル化剤として役割を果たすかを調べた。その結果、基板上に相補的な末端塩基対が提示されている箇所のみ、ナノ粒子が吸着することを確認した。基板とナノ粒子の間の「非架橋型」反応を明らかにすることによって、本手法によるSNPs診断の可能性を示すことができた。

XVII - 018

微細DNAパターンの複写・縮小技術の開発

Copy and Size-reduction of DNA Micropatterns

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Y., Sato K., Hosokawa K., and Maeda M.: "Surface Plasmon resonance imaging on a microchip for detection of DNA-modified gold nanoparticles deposited onto the surface in a non-cross-linking configuration", *Analytical Biochemistry*, 355, 125-131(2006)*

(総説)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫: "金ナノ粒子を用いるDNAバイオセンシング", プラズモンナノ材料の設計と応用技術、シーエムシー出版、251-260 (2006)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫: "金ナノ粒子を用いた遺伝子診断法", ナノテクノロジーとバイオセンサ、臨床検査、医学書院、50、12、1397-1408(2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫: "DNA修飾金コロイドを用いた金基板上的二本鎖DNA末端の認識", 第55回高分子年次大会、名古屋、5月(2006)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫: "DNA修飾金コロイドを用いた二本鎖DNA末端の認識", 第16回バイオ・高分子シンポジウム、東京、8月(2006)

佐藤保信、細川和生、前田瑞夫: "固定化された異種の二本鎖DNA間に働く相互作用解析", 第55回高分子討論会、富山、9月(2006)

(国際会議・ポスター)

Sato Y., Hosokawa K., and Maeda M.: "Surface plasmon resonance imaging clarifies non-cross-linking interaction between DNA duplex on a substrate and duplex on gold nanoparticles", *MicroTAS 2006*, Tokyo, JAPAN, Nov. (2006)*

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。

先年度は、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。我々が実現した縮小プロセスは以下の3つの基本ステップからなる。(1)機械的に引き伸ばされた高分子フィルム上に、DNAパターンを作成する、(2)高分子フィルムの収縮を利用してDNAパターンを縮小する、(3)縮小されたパターンを別の引き伸ばされた高分子フィルム上に転写して縮小を繰り返す。(4)最後に充分縮小されたパターンを目的とする支持体に転写・固定する。先年度までに200 μm程度のパターンの1/20倍縮小が実現されている。

本年度は、この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。この際、高分子フィルムの表面処理や大気中の湿度など諸条件を最適化することで、転写効率が大幅に改善されることが明らかとなった。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。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kenji Suzuki, Kazuo Hosokawa and Mizuo Maeda: "Exponential size reduction of chemical patterns using repetitive microcontact printing", Proceedings of μTAS 2006 Conference, 1, 19-21 (2006).

口頭発表 Oral Presentations

(上記誌上発表の国際会議)

Kenji Suzuki, Kazuo Hosokawa and Mizuo Maeda: "Exponential size reduction of chemical patterns using repetitive size reduction", Micro Total Analysis Systems 2006, Tokyo, Japan, November (2006).

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。しかしながらマクロな意味でのトランジスタ特性と、用いる有機半導体のミクロな性質との相関に関する研究は、いまだ未開拓の段階にある。

トランジスタの活性層に用いる有機半導体とは分子の集合体であり、分子の電子状態とこれらが集合し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、有機分子ならではの分子配向という概念に着目して以下のテーマに取り組んだ。

(1)液晶性に基づく分子配向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(10^{-2} cm²/Vs)を実現した。(2)ピレンを基本骨格としてチオフェン環で修飾したピレン誘導体を合成し、単結晶FETを作成して結晶構造とFET特性を直接関係づけることに成功した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ashizawa M., Yamamoto H M., Nakao A., and Kato R.: "The first antimony linked dimeric tetrathiafulvalene

and tetraselenafulvalenes”, *Tetrahedron Letters*, 47
8937-8941 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

芦沢実、深谷敦子、加藤礼三：“アルキル置換基を導入したピレン誘導体の合成と構造”分子構造討論会2006静岡、グランシップ(静岡)、9月(2006)
芦沢実、深谷敦子、加藤礼三：“ヨードエチニル基で置換したテトラチアフルバレン誘導体の合成と構造”日本化学会第87春季年会、関西大学千里山

キャンパス、3月(2007)

芦沢実、加藤礼三、高西陽一、竹添秀男：“ポリエニ鎖で修飾したオリゴチオフェン及び液晶性オリゴチオフェンの合成とFET特性”日本化学会第87春季年会、関西大学千里山キャンパス、3月(2007)

(国際会議・ポスター)

Ashizawa M., Fukaya A., Kato R., Shigeto K., Tukagoshi K., Yamada K., Takeya J.,: “Synthesis and structures of pyrene derivatives functionalized with thienyl units”, ICSM Conference 2006, Dublin, Ireland, July (2006)

XVII - 020

有機強相関物質における電場と光による物性制御

Phase Control of Strongly Correlated Organic System by Electric Field and Light

研究者氏名：清水康弘 Shimizu, Yasuhiro
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)

金属絶縁体(MI)転移近傍の電子相制御は、固体中で起こる多体量子効果を理解する上で重要である。本研究の目的は、その格好のモデル物質である分子性導体を用いて、電場や光によってMI転移を起こし、電子相関の理解を深めることである。着目した物質は、近年開発されたモット絶縁体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ である。三角格子上に局在したスピン $S = 1/2$ の間に強い反強磁性的な相互作用が存在するが、低温まで磁気秩序を示さず、代わりにvalence bond solid (VBS) 状態が基底状態となる貴重な系である。圧力下で超伝導を示すことがこれまでに分かっていたが、MI転移や金属状態の性質は未解明であった。

本研究では、まず詳細な静水圧下の電気抵抗、磁気抵抗測定を行い、基本的なバンド幅制御型のモット転移の特性を明らかにすることを旨とした。静水圧は、BeCu製のピストンシリンダー型クランプ式圧力セルを用いて印加した。磁気抵抗測定は、低温物理研究室との共同研究により行った。その結果、モット転移近傍において、明確なりエントラントMI転移を観測した。磁場誘起MI転移が起こることを見出し、VBS絶縁相と超伝導相がちょうど隣接することを突き止めた。さらに、高圧下の金属状態は、通常のフェルミ液体とは異なる抵抗の温度依存性を示すことを明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimizu Y., Akimoto H., Tsujii H., Tajima A., Kato R.: “Reentrant Mott transition from a Fermi liquid to a spin-gapped insulator in an organic spin-1/2 triangular-lattice antiferromagnet”, *Journal of Physics: Condensed Matter*, in print*

Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, G. Saito: “Inhomogeneous magnetization in the triangular lattice Mott insulator under magnetic field”, *Physical Review B* 73, R140407-1 - R140407-4 (2006)*

Shimizu Y., Miyagawa K., Kanoda K., Maesato M., Saito G.: “Inhomogeneous spin state in a spin liquid on a triangular lattice under a magnetic field”, *AIP Conference Proceedings* 850, 611-612 (2006)*

Shimizu Y., Kasahara H., Kurosaki K., Miyagawa K., Kanoda K., Maesato M., Saito G.: “Superconductivity emerging from spin-liquid Mott insulator in triangular lattice system”, *AIP Conference Proceedings* 850, 1087-1088 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shimizu Y.: “Magnetism and Mott transition in molecular conductors with triangular lattice”, Priority

Aria Workshop on Physics of New quantum phases in Superclean Materials, Nasu, Tochigi, Japan, July (2006)

Shimizu Y., Akimoto H., Tsujii H., Tajima A., Kato R.: "Reentrant Mott transition from a Fermi liquid to a spin-gapped insulator in an organic spin-1/2 triangular-lattice antiferromagnet", International Conference on Highly Frustrated Magnetism, Osaka, Japan, Aug. (2006)

(国内学会)

清水康弘、秋元彦太、辻井宏之、田嶋陽子、加藤礼三:
"スピンギャップ三角格子系 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ におけるモット転移", 日本物理学会秋季大会、千葉、9月(2006)

清水康弘、秋元彦太、辻井宏之、田嶋陽子、加藤礼三:
"スピンギャップ三角格子物質 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の金属状態", 日本物理学会春季大会、鹿児島、3月(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ATPの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。目的化合物が強塩基性及び酸性条件下、化学的に不安定であると考えられるので、中性条件下除去可能な保護基の組み合わせで合成する必要がある。そこで穏やかな条件下、水素添加反応で除去可能な保護基を組み合わせ、アデニンより20工程で合成を行なった。しかし、最後の脱保護反応の際、リン酸基による隣接基関与に起因すると考えられる脱水反応が起こり、目的物は微量しか得られなかった。

そこで合成ルートを変更し、イノシンより誘導

することを検討した。新たに合成経路を考案するにあたり、クリックケミストリーへの展開も視野に入れ、アミノリンカー部位をアジド基に変更し、種々条件検討を行なった結果、完全に保護基を導入した目的物をイノシンより17工程で合成した。

脱保護反応について検討した結果、アデニンより誘導した化合物の場合に起きた副反応は観測されず、目的物を得ることに成功した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimizu M., Saigo K., Wada T.: "Solid-phase synthesis of oligodeoxyribonucleoside boranophosphates by the boranophosphotriester method", *J. Org. Chem.*, 71 (11), 4262-4269 (2006)

Oka N., Shimizu M., Saigo K., Wada T.: "1,3-dimethyl-2-(3-nitro-1,2,4-triazol-1-yl)-2-pyrrolidin-1-yl-1,3,2-diazaphospholidinium hexafluorophosphate (MNTP): a powerful condensing reagent for phosphate and phosphonate esters", *Tetrahedron*, 62 (15), 3667-3673 (2006)

Wada T., Maizuru Y., Shimizu M., Wada T.: "Stereoselective synthesis of dinucleoside boranophosphates by an oxazaphospholidine method", *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 16 (12), 3111-3114 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

清水護、袖岡幹子：“加水分解を受けにくい修飾を

施したATPミミックの効率的合成法の開発”、日本化学会第87春季年会、大阪、3月(2007)

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(Au)は化学的に不活性な金属であり、不変の象徴と見なされてきた。しかし、2-3 nmのAuクラスターを二酸化チタン(TiO_2)などの金属酸化物に担持すると、一酸化炭素の低温酸化反応などに対し高い触媒活性を示すという驚くべき現象が見出されている。この触媒活性の発現機構を明らかにするために様々な研究が行われてきたが、実験試料の不均一性などによって決定的な観測結果が得られないことから、統一的に解釈できる機構は明らかになっていない。本研究では、均一な構造を持つ単結晶試料を用いてAu/ TiO_2 モデル触媒を調製し、原子レベルでの情報が得られる表面科学的手法(走査トンネル顕微鏡(STM)、光電子分光(PES)など)と組み合わせ、電子状態と触媒活性の関係を調べることで触媒活性の発現機構を明らかにすることを目的としている。

本年度までの結果から、以下の2つの結果が得られている。まず、Au触媒において最も高活性となる担体である TiO_2 表面の電子状態を原子レベルで明らかにすることから始めた。特に TiO_2 の物性を制御すると考えられる、酸素欠損によって生じる電子状態についてSTMで直接観察した。その結果、これまで酸素欠損によって生じる電子は、酸素欠損サイトに局在すると信じられてきたが、実は酸素欠損周辺の5配位Tiに広く分布していることを世界で初めて観察することに成功している。この電子状態は、密度汎関数(DFT)計算による理論的解析によっても確認され、これらの結果から TiO_2 の電子状態について我々は新たなモデルを提案している。次に、Auクラスターと TiO_2 表面の電子的な相互作用についてSTMとPESで調べた。その結果、Auクラスターが TiO_2 の表面欠陥(ステップ、酸素欠損など)に吸着し、 TiO_2 表面欠陥に由来する電子を受け取ることで、負に帯

電していることを観測した。これは、これまで不確定であった TiO_2 上のAuクラスターの電荷状態を初めて実験的に観測したものである。

以上のような結果を元に、来年度は、このAuクラスターの負の電荷が触媒活性に与える効果を調べるために、触媒活性試験を行いたいと考えている。現在、触媒活性試験、電子状態測定(PES、STM)、表面構造および粒子径観察(STM)を同一システムで行うための実験装置を構築しているが、大部分は既に完成しており、来年度は触媒活性と電子状態の関係を明らかにしたいと考えている。

誌上発表 Publications

(総説)

湊丈俊、加藤浩之、川合真紀：“Au/ TiO_2 触媒の活性発現機構における論争点 モデル触媒を用いた研究の展開”、表面科学、27、319-325 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Minato T., Zhao J., Sainoo Y., Kim Y., Kato H.S., Susaki T., Shiraki S., Aika K., Yang J., Petek H., and Kawai M.: “Electronic Structure and Catalytic Activity of Gold Nano-clusters on Titanium Dioxide Surfaces”, 5th International Workshop on Oxide Surfaces (IWOX 5), California, U.S.A., January (2007)

Kajita S., Minato T., Kato H.S., Kawai M., and Nakayama T.: “A density functional calculation study of the dissociation path of a water molecule and stability of a hydrogen atom after dissociation on $\text{TiO}_2(110)$ ”, The 24th European Conference on Surface Science (ECOSS 24), Paris, France, September (2006)

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ものが多く、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、化合物を予め修飾する必要のない光親和型マイクロアレイを開発し、スクリーニングに用いている。本研究は、光親和型マイクロアレイを用いたスクリーニングの応用として、基板上での官能基変換が可能かを検証している。これは、保護された化合物を基板へ導入した時の基板上での脱保護、また、基板上で官能基修飾する事による構造-活性関連研究を想定している。

昨年度はモデル化合物での検証を行ったが、本年度は実際にマイクロソース社 2000 化合物をアレイ化したスライドガラスを用いて検討を行った。マイク

ロアレイスライドを化学的に処理(酸・アルカリ処理、酸化・還元処理)した。2000 化合物の中には、昨年度モデルで用いた estradiol 系の化合物が多数含まれており、estradiol 抗体(estradiol の17位の水酸基を中心に認識する)で処理することで、実際に基板上での反応が可能で、反応後蛋白質との結合が可能か確認できると考えた。その結果、アルカリ処理によりエステルが加水分解されて estradiol 抗体と結合できるようになったスポット、酸化の後(水酸基がケトンへ)結合できなくなったスポット、還元の後(ケトンが水酸基へ)結合できるようになったスポット等、再現良く検出することができた。現在は、実際のスクリーニングへの応用として、リガンドが不明の蛋白質を用いた検討を行っている。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

齊藤安貴子、浅見綾、本田香織、叶直樹、長田裕之：“光親和型低分子マイクロアレイ基板上での官能基変換及び脱保護”、日本農芸化学会大会、東京、3月(2007)

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。

一方、上記のような正常な mRNA の分解の他に、生体には、異常な mRNA を積極的に除去する mRNA

の監視機構が存在する。翻訳領域中にナンセンス変異等による終止コドンが挿入した mRNA を急速に分解する NMD (Nonsense-mediated mRNA decay) と、終止コドンの存在しない mRNA を急速に分解する Non-stop decay である。

通常の mRNA 分解、mRNA 監視機構ともに翻訳と密接に関連しており、その分解の鍵となっているのは終止コドンである。そこで、私は mRNA 分解制御機構を理解するうえで、翻訳終結反応との関係を詳

細に記述することが重要と考え、(1) 翻訳終結から poly(A) 鎖分解へと至る分子機構の解明、(2) 2つの mRNA 監視機構における eRF3 の関与について、出芽酵母を用いて解析を行った。本年度の成果を以下に示す。

(1) 出芽酵母では、poly(A) 鎖の分解は2種の脱アデニル化酵素、PAN 複合体と Ccr4-Pop2 複合体が担っている。これらの酵素と eRF3 との関連について遺伝学的な解析を行い、eRF3 が機能的に異なる2種の酵素の両方に作用して poly(A) 鎖分解を制御していることを見出した。さらに、両酵素と eRF3、PABP との物理的な相互作用について、免疫沈降により検討したところ、PAN および Pop2 はそれぞれ PABP、eRF3 と複合体を形成することが

明らかとなった。

(2) 遺伝学的な解析から、eRF3 の変異株では NMD に異常をきたしていること、一方で Non-stop decay には影響は認められないことを見出した。すなわち、eRF3 は翻訳終結に起因する mRNA 分解に寄与することが明らかとなった。

(3) NMD ではナンセンス変異の認識後、キャップ構造が切断されることで mRNA が急速に分解される。そこで、eRF3 とキャップを切断するデキャッピング酵素との相互作用を検討したところ、両者との間に相互作用が認められた。このことから、eRF3 がデキャッピング酵素との結合を介して NMD を制御していることが期待される。

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、正常なものに比べ大型化し、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のない場合であっても核/細胞質比が高くなっている。ガン化におけるこのような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については明らかでない部分が多い。そこで、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を用い検討している。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 について明確なタンパク質量の増幅が見出された。さらに、大腸ガン細胞および正常細胞の間においても LAP2 のタンパク質量の増幅が見出された。

LAP2(lamina-associated polypeptide 2) は、核内構造構築に関わると考えられているタンパク質である。LAP2 にはいくつかの種類が存在し、LAP2 はその

うちの一つである。この LAP2 は、核内構造体クロマチンや細胞分裂・増殖に関わる Rb タンパク質との結合が知られている。したがって LAP2 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可能性や、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 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などに対し RNAi により LAP2 の発現量を抑えたところ、セルサイクルおよび増殖への影響が観察された。以上の結果から、LAP2 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。

そこで今後、LAP2 とセルサイクルの関連性を調べるために、LAP2 の RNAi による Rb タンパク質やサイクリン等のタンパク質の変化について検討していく。

XVII - 026

地衣類・共生菌の脂質分泌促進タンパク質の解析と
共生藻の菌類エクソサイトーシス誘因物質の解析

To Analyze the Chemical Nature of Secretagogues in Lichen Symbionts;
Fungal Secretory Proteins and Fluid Substances in an Algal Conditioned Medium

研究者氏名： 荒川(小林)聡子

Arakawa-Kobayashi, Satoko

ホスト研究室： 中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

菌類の細胞膜を急速凍結レプリカ法で電子顕微鏡観察すると、そのP面上に存在する膜内粒子の分布には偏りがあり、特定の微少領域 (20-200nm) に集中して存在している。理研に在籍する以前に得た知見より、これらの領域のうち、furrow-like invaginationとよばれる構造においては、蛋白顆粒のエクソサイトーシスの場となっていることを明らかにした。そこで、本年度の研究では、この膜領域の形成と形態維持に機能する分子装置の探索を目的として、出芽酵母の細胞膜にパッチ状に分布する蛋白質を候補として選択し、それぞれの変異株を構築して急速凍結レプリカ法で観察した。そこで、膜領域のひとつである HAPS (hexagonally arranged particles) 構造がほとんど認められなくなる細胞膜タンパク質 Sur7p の欠損株 (*sur7Δ*) を見出した。

HAPS は Moor と Mühlethaler (Fine structure in frozen-etched yeast cells, JBC 17, 609-628, 1963) によって報告され細胞壁の合成部位ではないかと推測されたが、その機能は現在に至るまで不明である。野生株では、HAPS は細胞膜 P面上で膜内粒子が規則的に並ぶ六角形の構造として主に母細胞に局在し、小さな娘細胞にはほとんど存在が認められなかった。一方、*sur7Δ* 変異株では、細胞膜の単位面積あたりに観察される HAPS の数が母細胞において有意に減少し ($P < 0.001$; median test)、またその膜内粒子の大きさも野生株では約 16.5nm であるのに対し *sur7Δ* 株においては約 14.8nm と小さくなっていた。現在、Sur7p が HAPS の構

成因子であるかを検討する目的でレプリカ上における Sur7p-HA の局在について解析中である。

誌上発表 **Publications**

(原著論文)

Panichkin V. B., Arakawa-Kobayashi S., Kanaseki T., Suzuki I., Los D. I., Shestakov S. V., and Murata N: "Serine/threonine protein kinase SpkA in *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 is a regulator of expression of three putative *pilA* operons, formation of thick pili, and cell motility", *Journal of Bacteriology*, 188, 21, 7696-7699 (2006)

口頭発表 **Oral Presentations**

(国際会議)

Arakawa-Kobayashi S., Hirata R., and Nakano A.: "Freeze-replica analysis of *sur7Δ* mutant of *Saccharomyces cerevisiae*", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, June (2006)

(国内学会等)

小林聡子、平田龍吾、中野明彦: "急速凍結レプリカ法による出芽酵母 *sur7Δ* 変異株細胞膜の微細構造学的研究", 文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 メンブレントラフィック ~ 分子機構から高次機能への展開 ~ 第四回全体班会議 香川県小豆島、11月 (2006)

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 耆鉉 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)

Ubiquitin様タンパク修飾因子SUMOの果す役割の

研究は、翻訳後修飾機構の新たな側面の理解へと繋

ることが期待されているが、現段階はまだ、SUMO化修飾システムの本質を見いだすまでには到達していない。SUMO化システムの本質を突くための切り口として、基質特異性を決めるSUMO化E3群の研究は、非常に重要であるが、現在SUMO化E3の同定は、ほとんど進んでいないのが現状である。

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、Ci以外にdSpopと結合するタンパク質候補として、Ubc9, Uba2などのSUMO化酵素遺伝子が同定された。実際にdSpopはショウジョウバエS2細胞において、CiのSUMO化を促進する。このことから、dSpopがショウジョウバエにおいてSUMO化E3として働いていることが示唆さ

れた。

dSpopをベイトとした酵母 two-hybridスクリーニングによって、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、dSpopがこれらのタンパクに対してもSUMO化E3として働いている可能性がある。このようにdSpopは、生物学的に重要な役割を果たしている可能性があり、SUMO化の理解への、多くの重要な知見が得られるものと考えている。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、さらに、SUMO化修飾の意義に迫りたいと考えている。

これまでの研究により、dSpopは核膜孔に局在し、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。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。

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： 福嶋 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、高エネルギー原子核波動関数の記述を試みた。ある理想的極限において理論形式が正しくクォーク双極子モデルの描像へと帰着することを確かめた。また、古典近似に対する量子補正を考え、高エネルギー重イオン衝突反応直後のコヒーレントな状態から不安定性により熱平衡化される初期条件としての量子的揺らぎを同定した。本研究は高エネルギー重イオン衝突反応直後の物質の状態を理解するうえで不可欠なものであり、不安定解析の数値計算に必要とされる初期条件を与えている。

高密度極限ではカラー磁気不安定性を解析し、その不安定性が単に磁氣的なものに限定されることな

く、位相と共に振幅にも依存するLOFF相状態や、相分離・混合状態への不安定性とも密接な相関を持つことを示した。特に空間的揺らぎによるエネルギー損失分とクローンエネルギーとのバランスによって多様な相構造が発現する物理的機構を明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Fukushima K.: "Deriving the Jalilian-Marian-Iancu-McLerran-Weigert-Leonidov-Kovner equation with classical and quantum source terms", Nuclear Physics, A775 69-88 (2006)*

Iida I. and Fukushima K.: "Instability of a gapless color superconductor with respect to inhomogeneous fluctu-

ations”, Physical Review, D74 074020 (2006)*
Fukushima K.: “Characterizing the Larkin-Ovchinnikov-Fulde-Ferrell phase induced by the chromomagnetic instability”, Physical Review, D73 094016 (2006)*
Fukushima K.: “A description of the target wave-function encoded in the source terms”, hep-ph/0607073 (2006)
Fukushima K.: “Model study of the sign problem in the mean-field approximation”, Physical Review D (in press)*

Fukushima K., Gelis F., and McLerran L.: “Initial singularity of the little bang”, Nuclear Physics A (in press)*

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Fukushima K.: “Initial singularity of the little bang”, High energy QCD: from RHIC to LHC, ECT*, Trento, Italy, January (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 Bosons in pp collisions

研究者氏名： 神原 信幸 Kamihara, Nobuyuki
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)

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の為に、PHENIX実験のミュオン軌跡検出器(MuTr)を用いたW粒子トリガー用エレクトロニクス回路の開発が必要である。又、W粒子の測定には、W粒子より崩壊した高運動量のミュオン粒子を精度よく測定する必要がある。

W粒子トリガーで効率良くデータを取れたとしても、温度や磁場の変化により、MuTr チェンバー同士の間隔が時間ごとに動いてしまうので、MuTr チェンバー自身の位置分解能が良くても、高運動量を持つミュオン粒子の運動量を精度良く測定する

事が出来ない。この為に MuTr チェンバーの相対位置の時間変化を測定、補正する必要がある。

MuTr チェンバーには相対位置の時間変化の測定を目的とした光学的位置補正装置が設置されている。この装置を用い、MuTr チェンバーの位置の測定を行った。

前年度の運用では、データ収集プログラムにソフトウェア上の制約があり、何点が測定データの取りこぼしが有ったという問題があった。今年度はこの問題点の修正をした。これにより、データ収集の信頼性が向上した。

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： 太田遺伝システム制御研究室
(アドバイザー 太田 邦史)

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このようなTupの機能に対して補佐的または阻害的にそれぞれ働く Scr1 および Rst2 の2つの Zn-finger タンパク質が *fbp1* プロモーター中において入れ替わる現象をとらえている。

fbp1 遺伝子は通常グルコース飢餓に応答し発現誘導されるが、Tup11,12 欠損株では非特異的なストレス全般に応答する。*fbp1* プロモーター中の遺伝子発現に必須のエLEMENTに Scr1 は結合しているが、グルコース飢餓ストレス特異にRst2と入れ替わるのである。このような因子の入れ替わりは、核-細胞質の局在変化によってなされていることを見いだしている。これまで Tup11,12 は単純な転写抑制因子として捉えられてきたが、今回の発見により核-細胞質をシャトルする因子 Scr1-Rst2 との連携によって特異的クロマチン構造変化を守る鍵となっていることが示唆された。Tup11,12 により抑制されているクロマチン弛緩がグルコース飢餓に応答してどのような機構によって開かれるのかが問題となる。我々はグルコース飢餓ストレス後の初期に少量の長い *fbp1* 転写物がでている現象を捉えており、これは上流領域からの転写物であることを見いだしている。このような転写物は徐々に短い下流からの産物にシフトし、これに呼応して上流領域から下流領域までにクロマチン弛緩が広がっていく様子が観察された。このことからRNAポリメラーゼがパイオニアとなってクロマチン弛緩を上流領域から順に引き起こしている可能性を示唆している。

今後、ポリメラーゼによるクロマチン弛緩と Tup

による抑制がどのようにクロマチン状態を制御しているのか調べたい。

誌上発表 Publications

(国際雑誌)

K. Ogino, K. Hirota, S. Matsumoto, T. Takeda, K. Ohta, K. Arai, and H. Masai: "Hsk1 kinase is required for induction of meiotic dsDNA breaks without involving checkpoint kinases in fission yeast", *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:8131-8136. (2006)*

K.Hirota, C. Hoffman K. Ohta: "Reciprocal nuclear shuttling of two antagonizing Zn-finger proteins that modulates the Tup-family co-repressors function to repress chromatin remodeling", *Eukaryotic Cell* 5:1980-1989. (2006)*

(国内雑誌)

荻野桂子、廣田耕志、太田邦史、正井久雄: "体細胞DNA複製に重要な役割を果たす分裂酵母 Cdc7 類似キナーゼ、Hsk1 タンパク質は減数分裂期組換えの開始に必要とされる"、細胞工学 2006 9 号
廣田耕志、太田邦史: "減数分裂期の組換え開始制御"、実験医学(羊土社) 2007 3/5 発行予定

口頭発表 Oral Presentations

(国内雑誌)

Kouji Hirota, Takehiko Shibata, Kunihiro Ohta: "減数分裂期組換えホットスポット *ade6-M26* に見られるクロマチン再編成の制御機構の解析"、組換えワークショップ、淡路島夢舞台国際会議場 (2006)

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: 太田遺伝システム制御研究室
(アドバイザー 太田 邦史)

真核生物の減数分裂期において、染色体DNAは複数の箇所 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集中して存在する領域(ホットドメイン)と切断がほとんど見られない領域(コールドドメイン)と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。

出芽酵母において、Gal4タンパク質のDNA結合ドメインを融合したSpo11を利用し、染色体の様々な領域にGal4の結合配列を導入することでSpo11を強制的にリクルートして人為的な染色体切断の誘導を試みた。この系ではホットドメインでは高頻度に切断を引き起こすことができたが、コールドドメインではほとんど切断が生じなかった。一方、配列特異的エンドヌクレアーゼであるVDEの認識配列を同じ箇所へ導入することにより減数分裂期に人為的切断の導入を試みたところ、いずれの領域においても高頻度に切断を誘導することができた。したがって、コールドドメインでは染色体高次構造などが障壁となってSpo11が接近できないために切断が生じないわけではなく、ホットドメインに結合したSpo11のみを活性化させる何らかの制御や機構が存在していることが示唆された。また、特定のホットスポットの近傍にVDEの認識配列を挿入して人為的に切断を引き起こすと、ホットスポットにおける切断が抑制されることが明らかになった。更に、この抑制効果は十数kbにわたって作用することと、同じ染色体上だけでなく相同染色体にもトランスに作用することも

明らかにした。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複数の制御が存在することが示唆された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sasanuma H., Murakami H., Fukuda T., Shibata T., Nicolas A., and Ohta K.: "Meiotic association between Spo11 regulated by Rec102, Rec104 and Rec114", *Nucleic Acids Res.* in print *

Fukuda T., Ohta K., and Ohya Y.: "Investigation of the mechanism of meiotic DNA cleavage by *VMA1*-derived endonuclease uncovers a meiotic alteration in chromatin structure around the target site", *Eukaryot. Cell*, 5 981-990 (2006) *

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

福田智行、太田邦史: "人為的な染色体切断を用いた減数分裂期組換えの分布制御に関する解析", 2006年度組換え・ゲノム再編ワークショップ、兵庫、11月(2006)

福田智行、太田邦史: "減数分裂期組換えの位置を決定する機構の探索", 日本分子生物学会2006フォーラム、愛知、12月(2006)

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 β 崩壊の詳細な測定は、原子核 β 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 β 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 β 崩壊の測定を目論んでいる。

本年度は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。結果、作成歩留まり、再現性にまだ問題があるものの、チャンピオンデータとしては5.9keVのX線に対し114eVという分解能を持つ素子が作成できた。

素子作成と平行して、STJを用いた中性子崩壊測定システムの開発を行った。本実験には長時間の測定が必要であるため、パルスチューブ冷凍機を導入し、無冷媒での測定を可能にした。新システムを用

い日本原子力研究機構 JRR3 中性子ビームラインで行ったテスト実験では、旧システムに比べ1/10のバックグラウンドを実現した。今後装置に改良を加え、平成 19年度本測定を行う予定である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Kenji Mishima, Satoru Yamada, Hiromi Sato, Katsuya Hirota, Takenao Shinohara, Takahiro Morishima, Jun-ichi Suzuki, Takayuki Oku, and Hirohiko M. Shimizu: "Development of measurement system of neutron β decay", Physica B 385-386 1219-1221 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations
(国内会議)

三島賢二、佐藤広海、山田悟、広田克也、森嶋隆裕、鈴木淳市、奥隆之、篠原武尚、清水裕彦: "超伝導トンネル接合素子を用いた中性子崩壊からの低エネルギー陽子検出器の開発", 日本物理学会春季大会、八王子、3月(2007)
三島賢二、佐藤広海、山田悟、森嶋隆裕、広田克哉、鈴木淳市、奥隆之、清水裕彦: "超伝導検出器(STJ)を用いた中性子ベータ崩壊の測定", 日本物理学会秋季大会、奈良、9月(2006)

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)

モノアミン神経伝達物質はシナプス伝達の修飾物質として、その生理的役割が注目されている。セロトニン作動性ニューロンやノルアドレナリン(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。そして、小脳のセロトニンセンサーとしてルガロ細胞が知られる。しかし、ルガロ細胞の数はプルキンエ細胞に比べて15分の1と少なく、様々なタイプが存在することから、その電気生理学的性質はほとんど分かっていない。本研究では、ルガロ細胞をより容易に同定するため、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。

典型的なルガロ細胞の細胞体は、主にプルキンエ細胞の細胞体と接し紡錘形を示す。しかし、GFP蛍光よりその形態を断定し、ゴルジ細胞と厳密に区別することは不可能であった。そこで、蛍光色素をパッチ電極より注入し、形態観察と同時に電気生理学的特性を調べた。典型的なルガロ細胞からは約20Hzといった高頻度の自発性抑制性シナプス後電流(sIPSC)が、また、ルガロ細胞様なニューロンからは約40HzのsIPSCが記録された。一方、ゴルジ細胞のsIPSCは約2Hzと低頻度であることから、ルガロ細胞は大変強い抑制性入力を受けることが分かる。ルガロ細胞様なニューロ

ンとしては、カンデラブルム細胞やグロビュラー細胞が挙げられ、今後形態を詳細に解析する必要がある。

では、ルガロ細胞は如何なるニューロンから抑制性入力を受けるのか? これまでの免疫組織染色法を用いた結果から、プルキンエ細胞の軸索側枝がルガロ細胞の細胞体にシナプスを形成することが示唆された。そこで、これを電気生理学的に証明するため、ルガロ細胞とプルキンエ細胞に同時記録法を適用したところ、プルキンエ細胞の発火と同期してルガロ細胞からsIPSCが生じた。ゆえにプルキンエ細胞ルガロ細胞のシナプス結合が存在することが明らかとなった。

また、ルガロ細胞はセロトニンだけでなくNAにより自発発火を生じ、主に1アドレナリン受容体が寄与することが分かった。さらには、セロトニンによって自発発火が増大する細胞はルガロ細胞だけでなく、ゴルジ細胞も同様な性質を持つことが分かった。従って、ルガロ細胞とゴルジ細胞はともにセロトニンやNAを感知して興奮することが明らかとなった。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Hirono M., Matsunaga W., and Obata K.: "a-Adrenoceptive dual modulation of presynaptic GABAergic neu-

rons in the mouse cerebellum”, 36th Annual Meeting,
Soc. Neurosci., Atlanta, USA, Oct. (2006)
(国内学会)

廣野守俊、松永渉、小幡邦彦：“ α -アドレナリン受容
体による小脳抑制性介在ニューロンへの二重修飾
作用”, 第29回日本神経科学大会、京都、7月(2006)

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)

優性遺伝の神経変性疾患であるハンチントン病や脊髄小脳失調症の幾つかのタイプは、原因遺伝子に存在する反復配列の異常伸長によって発症することが知られている。これらの反復配列はタンパク質をコードする翻訳領域に存在するものと、非翻訳領域やイントロンに存在するものがある。いずれの場合でも、変異アリルからは伸長した反復配列を含むRNAが転写されるが、この変異RNA配列が細胞に悪影響をもたらす可能性が考えられている。一方、翻訳領域に存在する反復配列は、伸長したポリグルタミンなどの領域を含む凝集性のタンパク質の発現につながる。興味深いことに、これらのタンパク質が形成する細胞内封入体には転写因子、RNA結合タンパク質、翻訳制御因子などが共同存在することが報告されており、各種のRNA代謝への影響が予想される。

本研究では伸長した反復配列に由来するRNAまたはタンパク質に結合する因子、あるいはその下流で影響を受ける因子を同定し、その生理的あるいは病態上の意義を検討することを目的とした。

前年度では、ハンチントン病および脊髄小脳失調症3型の原因遺伝子の発現系を用いて、これらの遺

伝子産物が新たなタイプのRNA代謝異常を引き起こす可能性を見出した。

本年度は、ハンチントン病モデルマウスの脳各部位におけるRNA発現状況をマイクロアレイによって解析した。その結果、これまで未知であった遺伝子発現変化を検出した。これらの変化は、変異型ハンチンチンの発現による転写制御または転写後のRNA代謝の変化を反映していると考えられる。このメカニズムを知る手掛かりとして、変異型ハンチンチン結合タンパク質に注目した。現在、核タンパク質の中から、新規のハンチンチン結合タンパク質の候補を20種あまり同定し、さらに既知の結合タンパク質を合わせて、RNA代謝異常への関与を検討している。

ハンチントン病を含む幾つかのポリグルタミン病では、変異型タンパク質の核内における蓄積が確認されており、核機能の異常が神経毒性をもたらす要因として有力視されている。しかし、その具体的なメカニズムは不明である。本研究で明らかになりつつあるRNA代謝異常は異常タンパク質の核における毒性を説明できる可能性があり、その点で興味深い知見であると考えている。

XVII - 035 神経変性疾患モデル動物における脳機能障害の *In Vivo* 解析

In Vivo Analysis of Brain Dysfunction in Neurodegenerative Disorder Model Animals

研究者氏名： 中島 龍一 Nakajima, Ryuichi
ホスト研究室： 脳科学総合研究センター
神経蛋白制御研究チーム
(アドバイザー 西道 隆臣)

神経変性疾患の分子機構は、遺伝子改変モデル動物を研究対象とすることで急速に解明が進んでいる

が、認知・記憶障害をはじめとする脳機能障害の発症メカニズムには依然として不明な点が多い。本研

究の目的は、神経変性疾患モデル動物について生理・生化学的手法を用いて解析することで、脳機能障害が起こる機序の一端を明らかにする事である。

アルツハイマー病などの神経変性疾患の初期段階では、神経細胞死が起こる以前に記憶力低下などの機能不全が生じることが示唆されている。このことから、神経変性疾患の初期段階においてアポトーシスなどの細胞死経路と、記憶の神経生理機構との間のクロストークに注目して研究することは、重要な意味を持つと考えられる。またここから、新たな治療ターゲットが発見される可能性もある。

カルパインは、細胞内のカルシウム濃度が上昇することによって分解活性を発現する内在性のカルシウム依存性プロテアーゼであり、主にアポトーシス経路を介して神経変性疾患の病理機構に関わっている。また、生理条件においては、カルパインは細胞骨格を分解し、シナプスの形態を変化させることで、シナプス可塑性を調節するとも考えられている。このようにカルパインは、神経病理機構と記憶の生理メカニズムの両方に関わる興味深いプロテアーゼである。またカルパインは、脳以外にも広範囲に分布しているため、この他にも様々な生理機能を担っていることが予想された。

本年度の研究ではカルパイン-カルパスタチン系の生理機能を調べるため、カルパインの内在性阻害因子であるカルパスタチンをノックアウトしたマウスにつ

いて、網羅的行動テストバッテリーを実施した。その結果、当初期待したカルパイン-カルパスタチン系の記憶学習機能への関与を支持する有意な結果は得られなかったが、不安様行動の増加と聴覚性驚愕反射の減少が有意に起こっていることを発見した。

現在までのところ、本研究以外にカルパイン-カルパスタチン系と情動系の関わりを示した先行研究は確認されていない。扁桃体を中心とした情動回路におけるカルパイン機能の特異性は、今後のテーマとなりうる大きな関心事である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Huang S.M., Mouri A, Kokubo H, Nakajima R, Suemoto T, Higuchi M, Staufienbiel M, Noda Y, Yamaguchi H, Nabeshima T, Saido T.C., Iwata N.: "Nepriylisin-sensitive synapse-associated A β oligomers impair neuronal plasticity and cognitive function", *J. Biol. Chem.* 26, 17941-51 (2006)

Nakajima R., Huang S.M., Takao K., Takano J., Iwata N., Saido T.C.: "Comprehensive behavioral phenotyping of calpastatin knockout mice", (in submission)

Huang S.M., Nakajima R., Takano J., Higuchi M., Iwata N., Miyakawa T., Saido T.C.: "Enhancement of hippocampal long-term potentiation by calpain activation", (in submission)

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、外界環境因子に応じて自身の内在的な運動性を変化させ軸索を正確な標的へと牽引する。成長円錐の運動性は、細胞骨格系(アクチン線維・微小管)の動態や神経接着分子・膜小胞のトラフィッキングにより制御されている。多くの場合、環境因子受容に応じた成長円錐の巡回運動(誘引・反発)は、成長円錐内局所での細胞内カルシウム濃度上昇によって誘発される。本

課題では、生きた成長円錐内での細胞骨格・神経接着分子・膜小胞の動態を最新のイメージング技術を用いて可視化し、カルシウムシグナルに応じたこれら機能分子の動態を解析することで、軸索ガイダンスを司る成長円錐の運動制御機構を解明することを目的としている。成長円錐の移動速度を規定する素要因は、(1)アクチン後方移動の速度、(2)アクチン線維-接着分子間クラッチの結合効率、(3)エンドサイトーシスされた接着分子/膜小胞のリサイクル

ル速度・効率、の3点に要約される。すなわち成長円錐の巡回運動は、カルシウムシグナルが上記3要因のいずれかに変化を誘発し、その結果として成長円錐の領域特異的に移動速度の非対称が生じた結果として説明できる。

平成18年度は、要因(2)および(3)を解析した。光ピンセット法により接着分子コートを施したビーズを成長円錐表面で捕捉・操作した結果、カルシウムシグナルに伴うアクチン線維_接着分子間の結合効率の変化は検出されなかった。続いて蛍光色素 FM1-43により膜小胞を可視化したところ、誘引性巡回を引き起こすカルシウムシグナルによって成長円錐片側への膜小胞輸送が促進された。さらには、pH感受性GFPを用いて小胞の開口放出を可視化したところ、誘引性カルシウムシグナルが起きた側で開口放出が促進された。開口放出阻害剤テタヌトキシンにより、成長円錐の誘引性巡回運動は阻害された

が、反発性巡回には効果がなかった。これらの結果から、誘引性軸索ガイダンスは成長円錐局所における膜輸送と開口放出によって制御されていることが明らかになった。一方、反発性軸索ガイダンスに膜輸送および開口放出は関与しておらず、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た。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Tojima T., Akiyama H., Itofusa R., Li Y., Katayama H., Miyawaki A. and Kamiguchi H.: "Attractive axon guidance involves asymmetric membrane transport and exocytosis in the growth cone", *Nature Neuroscience*, 10 58-66 (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：フロンティア研究システム

福田独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 福田 光則)

小胞輸送を司る低分子量 GTP 結合蛋白質 Rabファミリーは、哺乳動物においては60種類以上の異なるアイソフォームが存在する。近年、ホルモン顆粒の細胞膜とのドッキング、プライミング、細胞膜との融合の制御に、Rab3A あるいは Rab27A が関与することが示唆された。しかしながら、Rab3A と Rab27A 以外の機能未同定 Rab によってホルモン顆粒のドッキングが制御されている可能性があるのかに関する知見は、これまで全く明らかにされていなかった。

本年度は、内分泌細胞 PC12 細胞を用い、ホルモン顆粒に局在する Rab のスクリーニング解析を行った。緑色蛍光蛋白質標識した60種類の Rab を PC12 細胞に強制発現させた結果、ホルモン顆粒には、Rab3A、27A、33A、37の4種の Rab が局在し、そのうち Rab3A、27A、33A が PC12 細胞に内在性発現していることが明らかとなった。そこで、RNA干渉法 (siRNA) を用いて内在性の Rab3A、27A、33A を特異的に単独ノックダウンした。その結果、Rab3A 及

び Rab27A に対する siRNA は、細胞膜上にドッキングしているホルモン顆粒数および開口放出反応数を有意に減少させ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。

一方、Rab33A に対する siRNA は、何の影響も与えなかった。すなわち、Rab3A 及び Rab27A は、ホルモン顆粒のドッキング機構を制御していることが明らかになった。そこでホルモン顆粒と細胞膜とのドッキングは、Rab3A と Rab27A によって共同制御されるのか、あるいは、個別制御されるのかを解明するために、内在性 Rab3A と Rab27A の局在を検討した。その結果、Rab3A と Rab27A は同一ホルモン顆粒上に存在した。次に、Rab3A と Rab27A の同時ノックダウンを行った。その結果、Rab3A (または Rab27A) 単独ノックダウンよりも有意に細胞膜上にドッキングしているホルモン顆粒数および開口放出反応数が減少することが明らかになった。

以上の結果から、Rab3A と Rab27A が共同してホ

ルモン顆粒を細胞膜上にドッキングさせる機構を初めて解明した。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Tsuboi T., Ravier M.A., Parton L.E., and Rutter G.A.:
“Sustained exposure to high glucose concentrations
modifies glucose signaling and the mechanics of secre-
tory vesicle fusion in primary rat pancreatic β -cells”,
Diabetes 55 1057-1065 (2006)*

Tsuboi T., Fukuda M.: “The Slp4-a linker domain con-
trols exocytosis through interaction with Munc18-1-
syntaxin-1a complex” Molecular Biology of the Cell
17 2101-2112 (2006)*

Tsuboi T., Fukuda M.: “Rab3A and Rab27A cooperative-
ly regulate the docking step of dense-core vesicle exo-
cytosis in PC12 cells”, Journal of Cell Science 119
2196-2203 (2006)*

(総説)

Rutter G.A., Varadi A., Tsuboi T., Parton L.E., and Ravi-
er M.A.: “Insulin secretion in health and disease: ge-

nomics, proteomics and single vesicle dynamics”, Bio-
chemical Society Transactions 34 247-250 (2006)

Rutter G.A., Tsuboi T., and Ravier M.A.: “Ca²⁺ micro-
domains and the control of insulin secretion”, Cell Cal-
cium 40 539-551 (2006)

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Tsuboi T., Fukuda M.: “Role of Slp family proteins in reg-
ulated exocytosis in neuroendocrine cells”, 20th IUB-
MB International Congress of Biochemistry and Mo-
lecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto,
Japan, June (2006)

(国内学会等)

坪井貴司、福田光則：“Rab3A と Rab27A によるホル
モン分泌顆粒ドッキング制御機構の可視化解析”、
第29回日本神経科学学会大会、京都、7月(2006)
坪井貴司、福田光則：“ホルモン顆粒輸送分子機構の
生細胞イメージング解析”、日本下垂体研究会第
21回学術集会、静岡、8月(2006)

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 宣嗣)

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、ホスファチジルイノシトール、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、グリセロホスホエタノール
アミン、グリセロホスホイノシトール、グリセロホス
ホセリンなどのグリセロホスホジエステルを生じる。
それらの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リン脂質における極性基と
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新たにグリセロホスホ
イノシトール特異的なGDEがクローニングされ、
GDE1と名付けられた。本研究では新たにほ乳類にお
ける、各種グリセロホスホジエステルに対するホスホ
ジエステラーゼを見だし、細胞膜リン脂質の分解
や再構成の過程などにおいて本酵素が生体内でどの
ような役割を果たしているのかを明らかにすることを
目的とする。

本年度は、6種類のマウス由来GDEをほ乳類細胞
で発現させ、またGDE1を昆虫細胞で大量発現させ、
精製タンパク質を用いた解析を行った。

(1) ほ乳類細胞で発現させた6種類のGDEを精製
し、N末端アミノ酸配列を分析した。その結果か
らN末端の切断の有無や細胞膜に対する配向を検

討した。

- (2) マウス GDE1 は N 末端に細胞膜貫通部位を含むと考えられる膜タンパク質である。GDE1 の全長をバキュロウィルスを用い昆虫細胞に大量発現させ、精製することに成功した。3L 培養あたり約 10mg の精製タンパク質が得られた。
- (3) 精製 GDE1 の酵素活性を解析したところ、以前から報告のあるグリセロホスホイノシトール以外

に、グリセロホスホセリンに対する活性を新たに見いだした。しかしながら、グリセロホスホコリンに対する活性は全く見られなかった。これらのことから GDE1 は酸性リン脂質由来グリセロホスホジエステルに特異的な GDE であると考えられた。

- (4) 精製 GDE1 の X 線結晶構造解析を目的として、結晶化条件の探索を行い、いくつかの条件で結晶が得られた。

XVII - 040

スプライソソームの構造生物学

Structural Biology on the Spliceosome

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。そのため、スプライソソームの構造生物学的研究は、その構造構築の複雑さおよび動的性質が大きいため非常に困難なものとなっている。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 の構成タンパク質を中心として、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。これまでに U2 snRNP を構成するタンパク質の大腸菌や無細胞発現系を用いて発現系の構築を行ってきた。現在、可溶性に得られたスプライソソーム構成タンパク質を精製し結晶化を行っている。

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の 2'-5' リン酸ジエステル結合を加水分解する RNA debranching 酵素 (DBR) は、活性に Mn^{2+} を必要とする metallophosphoesterase superfamily に属す。この family は 3' 5' あるいは 5' 3' exonuclease 活性を示すのに対し、DBR は枝分かれした 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。出芽酵母における *dbr* 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。投げ縄状のイントロンから線状のイントロンへの変換は、イントロンを分解する律速段階であり、線状化されたイントロンは exosome や RNase III などの exonuclease によって急速に分解される。これらのことから DBR はイントロン RNA の代謝に必須であると考えられている。

今年度は DBR の基質特異性および反応機構を構造生物学的に明らかにすることを目的とし、出芽酵母由来 DBR の大腸菌による大量発現系の構築を行った。現在、種々のクロマトグラフィーによる精製および結晶化を行っている。

XVII - 041 高分子量蛋白質と核酸のダイナミックな相互作用を解析する
NMR法の確立

Application of the NMR Technique for the Characterization
of Dynamic Protein-nucleic Acid Interactions

研究者氏名：大野綾子 Ohno, Ayako
ホスト研究室：ゲノム損傷応答研究ユニット
(アドバイザー 菅澤 薫)

本研究では、核内での蛋白質-蛋白質相互作用及び蛋白質-核酸相互作用に着目し、生化学的及び構造生物学的解析を通じて、それらの分子認識及び機能制御を明らかにすることを旨とする。本年度は、試料調製や生化学的解析に力点を置いて研究を進めた。研究対象としては、核内蛋白質の中でも極めて重要なDNA修復機構に関わる蛋白質因子(XPC)を用いた。XPC蛋白質は紫外線によって生じるDNA上の損傷を取り除くヌクレオチド除去修復(NER)に関与する。このNER機構における異常に起因する遺伝病として色素性乾皮症(XP)が知られており、XPC蛋白質はXP-C群の原因遺伝産物である。XPC蛋白質は酵母RAD23のヒトホモログであるhHR23B及び中心体蛋白質Centrin-2と複合体を形成し、NER機構の最初のステップである損傷DNAの認識に関わる。この蛋白質は分子量125 kDaからなり、一次配列予測からN末端側とC末端側にある構造ドメイン(以後、N末端ドメイン及びC末端ドメインと称す)と、中央の構造ドメインを持たない領域から構成される。特に、C末端ドメインは損傷DNAやXPC複合体の構成因子であるhHR23BやCentrin-2との相互作用領域を含むため、C末端ドメイン単独の発現・精製を試みたが、欠失変異体の性質の悪さから困難であった。また、昆虫細胞の共発現系を利用したXPCの欠失変異体同士の共免疫沈降実験から、XPC蛋白質のN末端ドメインとC末端ドメインの間に分子内の相互作用があることがわかった。そこで、N末端ドメインとC末端ドメインの相互作用を保持したXPC欠失変異体を作製することにより、発現・精製が改善されると期待し、現在、発現系の検討を行っている。さらに、最近になって、XPC複合体はXPのE群の欠損因子(UV-DDB)とユビキチン化を介して協調的に働くことにより、様々な損傷DNAを認識していることが明らかにされ、後述するようなモデルが提唱された。(a) 損傷DNAに

高い結合活性を示すUV-DDBが損傷DNAに結合する。(b) 蛋白質-蛋白質間相互作用を介して、XPC複合体が損傷DNA近傍にリクルートされる。(c) UV照射により活性化されたUV-DDBに結合しているユビキチンリガーゼにより、XPCとUV-DDBがユビキチン化される。(d) ユビキチン化によって両者のDNA損傷に対する結合の強さが入れ替わり、損傷DNAがUV-DDBからXPC複合体に受け渡される。しかし、なぜ、ユビキチン化によりXPCの損傷DNAに対する結合活性が上がるのかに関しては明らかになっていない。そこで、ユビキチン化の意義を調べるために、ユビキチン化サイトの同定を行った。同定には質量分析を用いたが、蛋白質の性質の悪さから解析が困難であった。そこで、XPCのN末端ドメインと中央領域の境界及び中央領域とC末端ドメインとの境界にプロテアーゼ切断サイトを入れたコンストラクトを用いて、全長でユビキチン化を行った後にプロテアーゼで切断することにより、どの領域にユビキチン化がおこるのかを解析した。その結果、主に中央領域でユビキチン化がおこることがわかった。これより、中央領域にあるリジン残基にアルギニン残基に置換した変異体を作成し、現在、この変異体を用いて、ユビキチン化の意義を調べるためのさらなる解析を行っている。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohno A., Jee J.G., Fujiwara K., Tenno T., Tenno N., Tochio H., Kobayashi H., Hiroaki H. and Shirakawa M.: "Ubiquitin recognition by the UBA (ubiquitin-associated) domain of budding yeast DSK2p", The Fourth NIBB-EMBL Symposium Biology of Protein Conjugation: Structure and Function, Okazaki, December (2006)

コヒーレントX線回折顕微鏡の高空間分解能化と 金属材料の3次元内部組織観察

Development of High-resolution Coherent X-ray Diffraction Microscopy and
Three-dimensional Observation of Internal Structures of Metallic Materials

研究者氏名：高橋 幸生 Takahashi, Yukio
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)

コヒーレントX線回折顕微鏡(CXDM)が新しいX線顕微法として注目を集めている。CXDMは現在開発中の手法であり、現状ではミクロンオーダーの試料の外形および内部構造を数十nm程度の空間分解能で観察できる。将来的には次世代光源X線自由電子レーザーを用いて物質中のダイナミックな変化や、結晶化が困難なタンパク質の単分子構造解析を行なう手法として有望である。原理的にCXDMは入射X線の波長程度の空間分解能をもった再構成像が得られるが、入射X線強度やX線検出器の性能に問題があり、それを実現できていない。この問題を解決する一つの方法が、数学的な手法を使って測定できない領域を測定データより推定し、空間分解能の改善を行なう超解像法を用いることである。本年度は、超解像法を使った再構成アルゴリズムの開発、第世代放射光施設Spring-8におけるCXDM測定装置開発およびその装置を用いたアルミニウム合金の三次元メゾ組織観察を行なった。

アルゴリズム開発のために、専用の計算機を導入し、モデル構造を使ってシミュレーションを行ない、種々の方法を試した。以下、超解像に成功した二つのアイデアについて述べる。一つは通常、再構成像の導出の導出に用いられるHybrid-Input-Output (HIO)アルゴリズムに実空間拘束を追加する方法で、再構成像の強度が不連続となるような実空間拘束を強度の大きい方からかけていく、もう一つはHIOアルゴリズムによって導出された分解能の悪い再構成像を初期解として最大エントロピー法を適用する方法である。どちらの方法も高波数領域の回折データが推定され、再構成像の分解能が向上した。

CXDM測定装置の開発は、入射X線エネルギー5 keVに対して最適となるように、ピンホールスリット、ガードスリット、ビームストップの材質、形状、配置を検討し、極力これらからの寄生散乱がX

線検出器に入らないように工夫した。また、光学系のアライメント、三次元測定のための測定プログラムを開発し、測定の自動化がなされた。アルミニウム合金試料は京都大学の松原英一郎教授のグループより提供して頂き、粉碎したアルミニウム合金から選り出した1ミクロン程度の粒子一つの三次元回折パターンの測定を行なった。三次元再構成の結果、アルミニウム合金粒子の外形および内部析出物を反映した再構成像が得られ、CXDMが金属材料の新しい組織解析法として有望であることが示された。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Takahashi Y., Nishino Y., Ishikawa T., and Matsubara E.:
“A novel method for three-dimensional observation of mesoscopic precipitates in alloys: coherent x-ray diffraction microscopy”, Applied Physics Letters, (submitted)

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Takahashi Y., Nishino Y., Ishikawa T., and Matsubara E.:
“Image of internal structures in a cast alloy particle by coherent x-ray diffraction microscopy”, 13th International Conference of Small-angle Scattering, Kyoto, Japan, July (2006)

(国内学会)

高橋幸生、西野吉則、石川哲也、松原英一郎：“コヒーレントX線回折顕微鏡によるSn-Zn共晶合金の内部組織観察”、日本金属学会、新潟大学、9月(2006)
高橋幸生、西野吉則、石川哲也、松原英一郎：“コヒーレントX線回折顕微鏡による金属材料の三次元メゾ組織観察”、日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、広島大学、1月(2007)

XVII - 043 腸内連鎖球菌ナトリウム輸送性V型ATPaseのX線結晶構造解析

X-ray Crystallographic Analysis of Na⁺-translocating V-type ATPase from *Enterococcus hirae*

研究者氏名：村田 武士 Murata, Takeshi

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)

V型ATPaseは、エネルギー通貨であるATPの化学的エネルギーを物理的回転エネルギーに変換し、さらにプロトンの電気化学的濃度勾配のエネルギーに変換する超分子ナノマシンである。V型ATPaseは真核細胞の一重内膜系のオルガネラや原形質膜などに存在し、内部の酸性化を担っている。この酸性pHコントロールは、多種のきわめて重要な反応に参与していることが多数報告され、その研究が世界的に盛んになっている。

筆者らは腸内連鎖球菌V型Na⁺-ATPaseの膜タンパク質部分であるNtpKリングを精製・結晶化し、原子分解能(2.1 Å)でのX線結晶構造を得ることに成功している。そこで上記の技術を利用して、ヒト由来V型ATPaseのcリング部分のX線結晶構造解析を目指した。まず、大腸菌無細胞系を用いて、各種界面活性剤存在下でヒト由来のcサブユニットを発現させた。多くの界面活性剤中ではcリングが発現しても沈殿してしましたが、Brij58中で可溶性画分として大量発現に成功した。ヒスタグ精製後、メタノール/クロロフォルム抽出を行い、cサブユニットの完全精製に成功した。

今後は、リングを形成する条件を探索し、X線結晶構造解析を行う。

誌上発表 Publications

(総説)

村田武士、山登一郎、柿沼喜己：“V型Na⁺-ATPaseの膜内在性ローターリングの構造：結晶構造から見えてきた回転モーターのイオン透過機構”、生物物理(2006)、印刷中

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議・ポスター)

Takeshi Murata, Ichiro Yamato, Yoshimi Kakinuma, Mikako Shirouzu, John E. Walker and Shigeyuki Yokoyama: “Structure of Li⁺ bound rotor ring of the V-type Na⁺-ATPase from *Enterococcus hirae*”, Gordon Research Conference in Molecular and Cellular Bioenergetics, New Hampshire, USA, June (2006)

(国内学会等)

村田武士：“V型ATPaseの構造と機能”、第6回蛋白質学会シンポジウム「タンパク質複合体の形態形成と機能制御」、京都、4月(2006)

村田武士：“マルチタスクな回転分子モーターV型ATPaseの構造と機能”、名古屋大学大学院理学研究科生命理学専攻主催のセミナー、名古屋、4月(2006)

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)

これまでに私は細胞の核に局在する新規の細胞骨格結合タンパク質(MAP190)を同定した(Igarashi *et al* 2000)。その後のタバコ培養細胞やシロイヌナズナ組織を用いた研究から、MAP190が分裂制御や根の分

化時の遺伝子発現制御に関わっている可能性を見いだした。このような結果は核におけるMAP190と細胞骨格の相互作用が、分裂や分化時の遺伝子発現制御に参与している可能性を示唆するものであり、詳

細な分子機構の解明が不可欠である。そこで本研究では、核におけるMAP190や細胞骨格の複合体が果たす役割を分子レベルで解明することを目的とし実験を進めている。近年、核でのアクチンやチューブリンなどの細胞骨格の存在や機能が注目されているが、その分子機構はほとんど分かっていない。本研究でMAP190の機能が分子レベルで明らかになれば、分裂や分化の新たな調節機構が明らかになるばかりでなく、細胞骨格の新たな機能の解明が期待できる。

これまでに、MAP190関連タンパク質の分子機構の解明のためにMAP190に結合するタンパク質の同定に成功している。結合因子の同定にはYeast 2 Hybrid法を用いた。その結果MAP190がスプライシング関連因子やユビクチン化関連因子などを含む複数のタンパク質と結合することが示唆された。現在MAP190結合因子の局在解析と植物体や細胞を用いた機能解析を行っている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sasabe M., Soyano T., Takahashi Y., Sonobe S., Igarashi H., Itoh T. J., Hidaka M., and Machida Y.: "Phosphorylation of NtMAP65-1 by a MAP kinase down-regulates its activity of microtubule bundling and stimulates progression of cytokinesis of tobacco cells", *Genes Development*, 20 1004-1014 (2006)*

Tahara H., Yokota E., Igarashi H., Orii H., Yao M., Sonobe S., Hashimoto T., Hussey P. J., and Shimmen T.: "Clathrin is involved in the organization of the mitotic spindle and phragmoplast as well as in endocytosis in tobacco cell cultures", *Protoplasma*, in print*

Hamada H., Igarashi H., Yao M., Hashimoto T., Shimmen T., Sonobe S.: "Purification and Characterization of Plant Dynamin from Tobacco BY-2 Cells", *Plant Cell Physiol.* 47 1175-1181(2006)*

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であり、進化的に保存された過程である。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で神経母細胞に選択的に分配される。この分裂軸方位の制御には、三量体G蛋白質 Gai とその GDP 解離抑制因子 Pins による紡錘体への作用が重要である。その分子機構の理解を目的に Pins/Gai と紡錘体を介在する因子の検出を試みた所、Mud 蛋白質を同定した。神経幹細胞において Mud は Pins/Gai 依存的なアピカル側細胞膜表層への局在を示した。変異体の神経幹細胞は、運命決定因子に対する分裂軸方位の異常を示す事より、Pins/Gai は Mud との直接結合を介して紡錘体に作用し、分裂軸方位を規定している事が強く示唆された。

本年度は、Mud と Pins との相互作用の重要性を中

心に研究を進め、次の事が分かった。

(1) *In vitro*での実験により、Mud はそのC末領域で Pins のN末領域と直接結合する。

(2) Mud の Pins 結合領域のみで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、Mud と Pins の結合と局在制御の相関関係が確認できた。

さらに、mud 変異体における紡錘体方位の異常の結果、次の事が起こる事も分かった。

(1) 細胞運命決定因子である Prospero が分裂後の姉妹細胞の両方に等分配される。

(2) 特定の神経細胞の一部の運命に異常が起こる。

また mud 変異体は、胚上皮細胞においても分裂軸方位の異常を示す事より、Pins/Gai そして Mud による分裂軸方位の制御システムは細胞種に普遍的である事も示唆された。Mud と相同な因子は哺乳類や線虫にも存在し、Mud の Pins 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システムであると考えられた。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Izumi Y., Ohta N., Hisata K., Raabe T., and Matsuzaki F.:
“Drosophila pins-binding protein Mud regulates spindle-polarity coupling and centrosome organization”,

Nature Cell Biology, 8 586-593 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations
(国内学会)

泉裕士、Raabe T.、松崎文雄：“非対称細胞分裂における、分裂軸方位の制御機構”、日本分子生物学会 2006フォーラム、名古屋、12月(2006)

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 育)

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同様の異常を示す *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る。本研究は *psa-17(os73)* 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とされる分子機構及びそこでの Wnt シグナルの役割を明らかにしていく事を目的として行っている。

平成 17 年には、*pas-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知られる、polybromo の相同遺伝子であること、また、その細胞内局在は染色体及び中心体の周辺に局在が見られ、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は見られ

ないことから、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。もし、*psa-17* 変異体で見られる、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* 変異体で見られなければ、PSA-17 は神経突起伸長開始点の制御に於いて SWI/SNF クロマチンリモデリング複合体の構成因子としてではなく、何らかの新規の役割を担っていると考えられる。しかしながら、*psa-1* 変異体でも類似の表現型が見られたことから、おそらく、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のであろう。

また、*psa-17* 変異体の表現型を詳細に解析したところ当初、Wnt シグナル伝達経路の異常によって引き起こされると考えていた、生殖巣の異常が Wnt シグナル伝達経路とは異なる異常によって引き起こされている可能性が示唆された。

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つ必要である。通常、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。実験的にはフェルミ結合定数は弱い相互作用で崩壊する粒子の観測により決定可能であるが、中でもミュオン崩壊の観測が高精度決定に適している。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変換は非常に不定性が小さい。そこで、ミュオン崩壊寿命の高精度測定からフェルミ結合定数を高精度で決定する実験を計画した。実験は理研の所有する理研RALミュオン施設における世界最高強度のパルス状ミュオンが利用可能であり、この大強度ミュオンビームにより、統計精度の大幅向上が可能となる。問題は検出器の系統誤差に対する検討が必要であり、特に過去実験の考察から、検出器については応答の速い安定した検出性能が求められる。現段階では高性能検出器は新たな実験の鍵であり、まずは実験で利用可能な検出器開発を重点的に進める予定である。

本年度は昨年度に引き続き応答の早いチェレンコフ光を用いた指向性のある検出器の試作し、電子線

を用いたテスト実験を昨年度に引き続いてPACに再提案し東北大学核理学研究施設において行った。あわせて、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テストも平行して行った。さらに両者のカウンターについて、理研RALのPACにおいてミュオンを用いたテスト実験が採択されたので、11月から理研RALミュオン施設においてテストを行った。現在はこの両者のデータ解析がすすんでおり、このデータをもとに本実験へ向けた考察も行う予定である。さらに、解析が終了次第、検出器に関しては論文にまとめる予定である。

誌上発表 Publications

D. Tomono for R77 RIKEN-RAL collaboration: "Precision measurement of the positive muon lifetime at the RIKEN-RAL muon facility", AIP conference proceedings 842, 906-908 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

友野大、他：“チェレンコフ光を用いたミュオン崩壊電子検出のための検出器開発”、日本物理学会、2007年3月

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)

走査トンネル顕微鏡 (STM) は、その発明以来、無機物質を中心に多くの金属、半導体の表面観察に役立ってきた。本年度は、STMの観察領域を広げより多くの電子状態を明らかにして行くことを目標に、有機導体の観察を目指した。

有機導体には、層状構造を形成する低次元の物質が多いため、表面の電子状態を観察するSTMには適した試料である。しかし、取り扱い上の問題から、これまで無機物質の観察に役立ってきた光電子分光や先にあげたSTMを用いた観察はまだ主流になって

いない。主な問題としては、光に対する耐久性や基板金属との反応性、また温度変化によるもろさなどがある。しかし、測定上の困難さだけであきらめるには、超伝導や電荷秩序など無機物質に劣らぬ多彩な電子状態を持つ有機導体はもったいない舞台である。現に、最近では、取り扱いの困難さを乗り越えて TTF-TCNQ の光電子分光や STM 観察などの結果が出され始めている。本研究では、それらの結果に続いて有機導体の STM 観察をもっと身近に出来るよう研究を始めた。

本年度は超高真空下での有機導体の STM 測定を目標にした。最初に、合成してもらった試料の表面を、何も処理せずに観察することを試みたが、試料に近づけた針が安定せず測定は出来なかった。次に、きれいな表面を出すため、試料の劈開を試みた。試料を基板に金ペーストや銀ペーストで固定し

た後、試料上面に板を貼り、板ごと引きはがすようにする。しかし、試料ごと基板から外れてしまったり、段差を持って割れてしまったりと、問題が生じた。その後、ペーストの塗り方などの工夫である程度安定して、測定が行えそうな劈開表面が得られるようになった。本研究で用いる STM 装置は極低温で最も安定した測定が可能な装置であるため、今後の課題として、試料の温度調整の問題を克服し、次年度には観察へ結びつける予定である。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

坪井紀子、新高誠司、花栗哲郎、高木英典：“STMで観察したCeTe₃電化密度波”、日本物理学会、秋季大会、千葉、9月(2006)

XVII - 049 高強度フェムト秒レーザーで配向させた分子の励起ダイナミクスの観測

Excitation Dynamics of Intense Femtosecond Laser Aligned Molecules

研究者氏名：加来 昌典 Kaku, Masanori

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)

原子や分子内の電子運動のような超高速現象を観測するためには、アト秒オーダーの分解能が必要となってくる。しかしながら従来の波長域が赤外から可視のレーザーでは、1回の電場の振動に数フェムト秒ほどかかってしまう。一方、高次高調波はアト秒パルスを含む極端紫外から軟X線領域の光パルスを発生できることから、極短パルス光源として注目されている。この高次高調波発生に用いる基本波のパルス幅を十分短くして高調波発生をパルスのピーク近傍の半サイクルに制限すると、時間領域では単一アト秒パルス、周波数領域では広帯域な連続スペクトルとして観測される。本研究では、サブ10 fsの基本波とその第二高調波を時間的空間的に合成した2カラーパルスを用いて高次高調波発生を基本波パルスのピーク近傍に制限することで、極端紫外域で連続スペクトルを有する高次高調波発生を行った。

本年度は、2カラーパルスで得られるスペクトルを基本波レーザーの1ショット毎に観測した。その結果2カラーパルスを用いる事によって、波長30 nm付近を中心とした極端紫外域にスペクトル幅8 nm(半値全

幅)の広帯域な高次高調波を観測することができた。一方、サブ10 fsの基本波のみを使用した場合は、奇数次のみの離散的なスペクトルとなった。この結果は2カラーパルスを用いることによって、カットオフ近傍の高次高調波がパルスのピーク付近でのみで発生していることを示唆している。しかしながら、2カラーパルスで得られるスペクトル形状は基本波レーザーのショット毎に変動し、連続スペクトルと共に離散的なスペクトル構造が観測されることがわかった。このスペクトル変動の主な原因は、基本波パルスのキャリアエンベロープ位相(CEP)パルス幅、およびパルスエネルギーの変動によるものであると考えられる。そこで基本波パルスとして用いているチタンサファイアレーザーシステムの発振器のCEP安定化システムを構築した。またパルス幅、パルスエネルギーの変動を抑えるためにレーザーの光軸を安定化する装置の開発を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Oishi Y., Kaku M., Suda A., Kannari F., Midorikawa K.:

“Generation of extreme ultraviolet continuum radiation driven by a sub-10-fs two-color field”, Optics Express Vol. 14, 7230-7237 (2006).*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kaku M., Oishi Y., Suda A., Kannari F., Midorikawa K.: “Continuum harmonic radiation in the extreme ultraviolet region using synthesized sub-10-fs two-color field”, 15th International Conference on Ultrafast Phenomena, California, USA, July (2006).

Kaku M., Oishi Y., Suda A., Kannari F., Midorikawa K.: “Continuum high-order harmonic radiation in extreme ultraviolet region by sub-10-fs two-color field”, Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, California, USA, May (2006).

(国内学会等)

加来昌典、須田亮、ポーマンサムエル、山口滋、緑川克美：“2カラーパルスで得られる極端紫外広帯域スペクトルの特性”、レーザー学会学術講演会第27回年次大会、宮崎、1月(2007)

加来昌典、須田亮、ポーマンサムエル、山口滋、緑川克美：“2カラーパルスで得られる広帯域高調波のスペクトル観測”、第4回エクストリームフォトニクス研究会、蒲郡、11月(2006)

加来昌典、須田亮、大石裕、神成文彦、緑川克美：“2カラーパルスで得られる広帯域高次高調波の単一ショット観測”、第67回応用物理学学会学術講演会、草津、8月(2006)

加来昌典、大石裕、須田亮、神成文彦、緑川克美：“サブ10fs、2カラーパルスによる広帯域高次高調波発生”、第3回エクストリームフォトニクス研究会、和光、4月(2006)

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。

前年度は十分な時間分解能を持つ光源を得るために、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んだ。しかし、測定ターゲットとしては一原子分子である希ガスをを用いていた。最終的にはもっと複雑な系となることが想定されるため、本年度はこの研究をさらに推し進め、より複雑な多原子分子をターゲットとした研究を行った。

多原子分子を使用することのメリットとしては、一原子分子での実験に比べより多様な過程が観測できる

ことにある。さらに、イオン化断面積も大きいため信号量も強くなり、パルスのキャラクタリゼーションをする上でも有利である。これにより得られた本年度の成果としては以下のものが挙げられる。

(1) 信号量増加により、アト秒パルス列のより精密な測定が行えた。これにより、イオン化に関与する高調波の電場振動の直接的な観測に成功した。さらに足し合わされた高調波の電場の位相関係が揃っていることも確認された。

(2) 分子をターゲットとすることにより、イオン種毎にアト秒パルス列の解析を行った。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。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Shimizu T., Okino T., Furusawa K., Hasegawa H., Nabekawa Y., Yamanouchi K., and Midorikawa K.: "Observation and analysis of interferometric autocorrelation trace of an attosecond pulse train", submitted in Phys. Rev. A

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.: "Measurement of attosecond beats and envelopes by frequency resolved autocorrelation", Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2006), Long

Beach, USA, May (2006)

(国内会議)

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：“アト秒パルス列のフリンジ分解自己相関測定”、第67回応用物理学学術講演会、滋賀、1月(2006)

清水俊彦、沖野友哉、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒パルス列の自己相関計測法によるフリンジ分解測定”、レーザー学会第27回年次大会、宮崎、1月(2007)

清水俊彦、馬日、沖野友哉、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒パルス列を用いた時間領域XUV非線形吸収分光”、第54回応用物理学関係連合講演会、相模原、3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

ナノメートル領域における粒子のサイズ計測技術は、現在非常に重要になっている。近年半導体の集積度が高まったことで、数nm領域のナノ粒子も粒子汚染を引き起こすことが問題となっており、この領域でのナノ粒子の粒径分布測定が必要とされる。また、ナノ粒子の基礎物性の解明や機能性ナノ粒子の開発においても、精密なサイズ測定を行うことが必要になる。DMA(Differential Mobility Analyzer: 微分型電気移動度分析器)は、ナノ粒子の電気移動度の違いを利用した粒径測定装置で、気相中の100nm以下のナノ粒子をオンラインで測定できる唯一の実用装置である。しかしながら、粒子の粒径分布測定において、DMA等の測定器の器差は大きな問題で、これらが計測器としてトレーサビリティを有することは、非常に重要と考えられている。粒径分布測定においては、横軸に対応する粒径と、縦軸に対応する個数濃度(単位体積あたりの粒子個数)について、それぞれの標準が必要となっている。そこで、本研究では、粒径が1~10nmの単分散ナノ粒子を気相中に分散させる装置を開発し、これを粒径標準として利用できるようにする。また、単位時間当たり一定量

研究者氏名：今中 雅士 Imanaka, Masashi

ホスト研究室：武内ナノ物質工学研究室

(アドバイザー 武内 一夫)

のナノ粒子を気相中に分散させ、個数濃度の標準として利用できるようにする。

本年度は、主に以下の2テーマの研究を行った。

(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。Ar、Ne、He気相中において、PAMAM dendrimer、テトラドデシルアンモニウムイオン、またフラーレンC₆₀の電気移動度の測定を行った。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) 気相中における生体ナノ粒子の研究

本年度より、DMAを用いた発展的な研究として、生体ナノ粒子の研究も同時に行っている。具体的には以下の視点に絞った実験を行った。

a) 球状タンパク質が、ナノ粒子の粒径標準として使用できるか。

b) タンパク質が、気相中でどのような高次構造をとるのか。

c) タンパク質が気相中に分散され、再び溶液中に導入されたとき、その酵素活性は保持されるのか。

まず、牛血清由来Albumin(B S A)をタンパク質試料として、a) b)の実験を行った。B S Aの電気移動度をD M Aで測定したところ、非常に優れた単分散性を示したことから、これがa)の粒径の標準として使用できることがわかった。c)の実験についてはGreen-fluorescent protein(G F P)などのタンパク質を気相に分散させて、酵素活性の評価を現在行っているところである。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Imanaka M., Okada Y., Ehara K. and Takeuchi K.: "Size measurements of gasborne poly (amidoamine) (PAM-AM) dendrimers using a differential mobility analyzer (DMA)", J. Aerosol Sci. 37 1643-1648 (2006)*

Imanaka M., Yoshizawa Y., Nakata M., Okada Y. and Takeuchi K.: "Differential mobility analysis of a C60 negative ion in He, Ne and Ar", Jpn. J. Appl. Phys. 45 7243-7245 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Imanaka M., Okada Y. and Takeuchi K.: "Measurements of poly (amidoamine) (PAMAM) dendrimers by differential mobility analysis", 7th International Aerosol Conference, St. Paul, USA, Sep. (2006)

Imanaka M., Okada Y. and Takeuchi K.: "Size measurements of gasborne fullerene C₆₀ and poly (amidoamine) (PAMAM) dendrimers using a differential mobility analyzer (DMA)", 10th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Kyoto, Japan, Aug. (2006)

Imanaka M., Takeuchi K., Tomita S., Kanda S., Sasa K. and Kudo H.: "Nanoparticle formation in H₂O/air mixtures under irradiation of 20 MeV protons", 13th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters, Goteborg, Sweden, Jul. (2006)

(国内会議等)

今中雅士、武内一夫、岡田芳樹: "DMAによるポリアミドアミン(PAMAM)デンドリマーの粒径測定"、第23回エアロゾル科学・技術研究討論会、福岡、8月(2006)

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ッ素化フラーレン(C₆₀F₃₆)と電荷移動型分子(C T)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)の合成を試みた。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接続している。フラーレン(C₆₀, C₆₀F₃₆)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合成の前段階である3量体の合成までは成功していたが、合成した3量体

の精製の段階で行き詰まっていた。

今年度の研究ではカラムクロマトグラフィーと高速液体クロマトグラフィー(H P L C)を駆使することで3量体の精製を達成し、続いて目的物質であるcyclic oligomerの合成に成功した(T O F - M S によって確認)。しかし、生成物には目的物質のほかにもPt金属触媒・原料である単量体と3量体・8個のカルバゾールが環を形成する大型の環状分子など多数の副生成物が混在していたため、cyclic oligomerとこれら副生成物の分離・精製は非常に困難であったが、H P L C による繰り返し分離を行ったこと・目的物質と副生成物の有機溶媒への溶解度の差を利用した分離に成功したことにより、ほぼ純粋なcyclic oligomerの精製に成功した。これは¹H - N M R において目的物質の鋭いピークが得られたことから確か

められた。

現在精製の完了したcyclic oligomerについて、(1) 結晶性の有無(X線構造解析のため)、(2) 紫外可視吸光度測定による単量体と3量体、cyclic oligomerの電子

構造の比較、(3) 固体(膜)状態における構造の検討(スタッキング構造の有無)、(4) C₆₀と混合した場合のC-T形成の有無(溶液状態・膜状態ともに)についての実験を進めている。

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：松浦 公美 Matsuura, 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)

ゴルジ体は細胞内メンブレントラフィックにおいて重要な役割を果たすオルガネラであるが、多くの研究にも関わらず、ゴルジ体を通る物質の輸送メカニズムについてはまだ明らかになっていない部分が多い。近年、電子顕微鏡技術の発達に伴い、輸送の際のゴルジ体の形態の3次元的な解析が行われるようになった。しかし、本来ダイナミックな現象であるメンブレントラフィックを研究するには、生きた細胞を直接観察することが必要不可欠である。本研究では新しく開発された高感度・高速の共焦点システムを用い、電子顕微鏡や生化学的手法では達成できない、生きた現象の可視化を目指している。

本研究では出芽酵母ゴルジ体のシス・トランスの区画に特異的なタンパク質に異なる蛍光タンパク質を融合させて3D観察を行っている。これまでにゴルジ槽の蛍光がシスからトランスへと変わること、ゴルジ体から小胞体への逆方向の輸送に関わるCOPI小胞の変異株では色の変化の速度が野生株に比べて遅くなることを示した。これらの結果から、ゴルジ槽はシスからトランスへと性質を変える(成熟すること、ゴルジ槽の成熟にはCOPI小胞が重要な役割を果たすが、変異株においても槽成熟は完全には止まらないことから、他のメカニズムも関与していることが示唆される。

本年度は小胞体上で新たに作られてゴルジ体を通り運ばれていく積み荷タンパク質(cargo)を可視化することを試みた。細胞外に分泌される可溶性のHsp150p、invertase、細胞膜に局在する鉄のトランスポーターFet3pなどのタンパク質にGFPを融合したコンストラクトを作製し、発現や観察の条件などを検討した。また、共焦点システムに光刺激装置を新規に導入した。今後この装置を用いてKaede、KikGR、

Dronpaなどの蛍光タンパク質でラベルしたゴルジ体を光刺激し、その挙動を追うことで生きた細胞内でのゴルジ体のダイナミクスについて新たな知見を得たい。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsuura-Tokita, K., Takeuchi, M., Ichihara A., Mikuriya, K. and Nakano, A.: "Live imaging of yeast Golgi cis-ternal maturation", *Nature*, 441(7096): 1007-1010 (2006)*

(総説)

時田公美、中野明彦: "ライブイメージングから明らかになったゴルジ槽の成熟", *実験医学* 24 (14): 2137-2139 (2006)

時田公美、中野明彦: "ライブイメージングによるゴルジ体槽成熟の証明", *細胞工学* 25 (11): 1264-1267 (2006)

口頭発表 Oral presentations

(国際会議)

Matsuura-Tokita, K., Takeuchi, M., Ichihara A., Mikuriya, K. and Nakano, A.: "Imaging protein traffic through the Golgi apparatus", The 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology, Kyoto, Jun. (2006)

Matsuura-Tokita, K., Takeuchi, M., Ichihara A., Mikuriya, K. and Nakano, A.: "Live imaging of the Golgi apparatus in *S. cerevisiae*", The British Society for Cell Biology / The Royal Microscopical Society Joint Meeting, Egham, UK, Sep. (2006)

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

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、パ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ている。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ニクス分野の開拓につながると期待している。

しかし、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。今年度は、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(C₆H₁₃NH₃)₂PbI₄の発光および電場変調発光分光、p-mercaptoaniline(pMA)の単分子膜からのラマン散乱スペクトルを局所的に測定することができた。現在のところ、単分子特有の現象で

あるプリンキングや共鳴エネルギーの揺らぎ等の現象は未だ観測できていないが、光アンテナの著しい光増強作用に起因する、pMA単分子膜からのラマン散乱スペクトルが観測され、さらに著しい偏光選択則が観測されていることから、光アンテナ近傍における電場増強効果が存在することは明らかであり、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

(原著論文)

Tanaka K., Tsukagoshi K., Aoyagi Y., Kuroda S., Takita K.: "Two-dimensional near-field optical spectroscopy in magnetic fields up to 4 T", *Optical Review* **13** (2006) 276-278.

(総説)

田中健一郎、塚越一仁、青柳克信：“磁場印加下で2次元スキャン可能な近接場光学顕微鏡の開発”、*JASCO REPORT* **48** (2006) 11-15

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanaka K., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Magnetic/Electric field modulation optical spectroscopy with nanometer-scale resolution", *Nanotechinsight*, March 2007

(国内学会)

田中健一郎、青柳克信：“光アンテナを用いた局所電場変調分光法”、日本応用物理学会第54回年次大会、2007年3月

XVII - 057 オートファジーを制御する低分子量G蛋白質Rabの同定とその機能解析

Identification and Characterization of Novel Rab Small GTPases Regulating Autophagy

研究者氏名：伊藤 敬 Itoh, Takashi
ホスト研究室：フロンティア研究システム
福田独立主幹研究ユニット
(アドバイザー 福田光則)

オートファジー(自食作用)は細胞質中の蛋白質やオルガネラを分解しアミノ酸等の基本的物質を細胞に供給するリサイクル機構であり、栄養飢餓における応答反応として真核細胞に広く保存されている。近年、高等真核細胞では、飢餓応答のみならず、細胞内ホメオスタシスの様々な局面で重要な役割を果たすことが明らかになってきている。例えば、細胞に侵入したバクテリアの駆除や、アルツハイマー病の原因とされている細胞質中の封入体の分解などにもオートファジーが利用されている。

オートファジーでは、隔離膜と呼ばれる膜構造が、細胞質に含まれる蛋白質、オルガネラ、バクテリアなどを取り囲みオートファゴソームと呼ばれる構造を作る。このオートファゴソームは分解酵素が蓄積するリソソームと融合することで取り囲んだ物質を分解する。この過程はダイナミックな膜動態を伴い、膜輸送系のなかでも非常に特徴的な現象であるが、分子レベルでの解析が行われるようになったのは、10年ほど前からであり、その詳しいメカニズムは未知のままである。特に、オートファジー研究において最も基本的かつ重要な疑問の一つは「細胞質中に突如現れる隔離膜がどのオルガネラに由来するのか？」である。酵母遺伝学を用いて多数のオートファジー遺伝子(ATG)が単離され、その制御機構が徐々に解明されている。しかしながら、ATG遺伝子

群には既知の膜輸送に関わる因子は含まれておらず、上記の疑問はまったく明らかにされていない。

私は、真核生物に普遍的に存在する膜輸送制御因子である低分子量G蛋白質Rabのひとつ(Rab-ATGと呼ぶ)の、オートファゴソーム形成における機能解析を行っている。本年度は、

- (1) オートファゴソーム形成におけるRab-ATGの機能に、実際に膜輸送が伴われているかの検証、
- (2) Rab-ATG欠損マウスの作製を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Mahoney T. R., Liu Q., Itoh T., Luo S., Hadwiger G., Vincent R., Wang Z. W., Fukuda M., and Nonet M. L.: "Regulation of synaptic transmission by RAB-3 and RAB-27 in *Caenorhabditis elegans*", *Mol. Biol. Cell*, 17 2617-2625. (2006)*

Itoh T., Satoh M., Kanno E., and Fukuda M.: "Screening for target Rabs of TBC (Tre-2/Bub2/Cdc16) domain-containing proteins based on their Rab-binding activity", *Genes Cells*, 11 1023-1037. (2006)*

Itoh T. and Fukuda M.: "Identification of EPI64 as a GTPase-activating protein specific for Rab27A", *J. Biol. Chem.*, 281 31823-31831. (2006)*

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)

ボルボックスは約二千個の体細胞が球面上に並び、16個の生殖細胞を内部に取り込んだ形をしている。生殖細胞は11回の細胞分裂を経て成体と同じ細胞

数の胚になるが、成体と比べて表裏が逆転している。その後、胚の一方の極に穴が開き、そこから順に細胞シートが外側へ反り返るinversionと呼ばれる

形態形成運動を行う。これにより胚の表裏が逆転し、成体の形が完成する。私はこれらの過程を多細胞生物の形態形成のモデルとし、その分子機構を明らかにするため、トランスポゾンによる inversion 異常突然変異株を19株単離していた。今年度はこれらの変異体の変異遺伝子の同定と解析を行った。

まず、解析の過程で、上記の19株のうちの1株において、既知の inversion 関連遺伝子 *invA* に約 12 kb の配列が挿入されていることがわかった。この配列は新規の DNA 型トランスポゾンであると推定され、*Idaten* と命名した。そこでこの *Idaten* をプローブにして10株についてRFLP解析を行ったところ、そのうち2株で変異体特異的に *Idaten* が挿入された DNA 断片が検出され、遺伝子 *invB*、*invC* を同定することができた。*InvB* は胚の細胞シートの変形が局所的に生じるものの全体の裏返りができない変異株であり、*invB* 遺伝子は糖ヌクレオチド輸送体的一种である GDP-mannose transporter をコードしていた。また *InvC* は、inversion が全く行われず完全に表裏逆のまま成長する変異株であり、*invC* 遺伝子は糖転移酵素

(glycosyltransferase) 様タンパク質をコードしていた。

GDP-mannose transporter と glycosyltransferase はいずれもゴルジ体における糖鎖合成に関与することが知られている。また、糖鎖に関して、ボルボックス胚の細胞表面の糖タンパク質をレクチンを用いて阻害すると細胞分裂や inversion に異常が生じるという報告がある。これらのことから、*invB* と *invC* は細胞表面の糖タンパク質の糖鎖を介して形態形成に働いているのではないかと考え、解析を進めている。さらに、近縁の単細胞生物であるクラミドモナスのゲノム中にも *invB*、*invC* のホモログが存在しており、単細胞生物から多細胞生物への形態形成機構の進化を考える上で非常に興味深いと言える。

口頭発表 Oral presentations

(国内会議)

植木紀子、西井一郎：“トランスポゾンによる突然変異体を用いたボルボックスの形態形成機構の研究”、日本藻類学会第31回大会、神戸、3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。我々は、その中でも核に局在する3つの SET タンパク質(Set 3、Set 11、Set 13) 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た。始めに、精製したリコンビナント酵素がタンパク質メチル化活性を持つかどうか調べたところ、分裂酵母から酸抽出したタンパク質の中に、Set 11 または Set 13 によりそれぞれ特異的にメチル化されるタンパク質があることがわかった。酸抽出タンパク質を2次元ゲル電気泳動により展開し、Set 11 によりメチル化されるタンパク質を質量分析により調

べた結果、Rpl 12であることが明らかになり、さらにリコンビナント Set 11 がリコンビナント Rpl 12 をメチル化することもわかった。また、3つのSETタンパク質の生理機能を調べるために各遺伝子破壊株の表現型解析を行ったところ、特に Set 3 と Set 13 の

遺伝子破壊株がシクロヘキシミドに対し高感受性を示すことがわかった。現在も基質タンパク質の精製と遺伝子破壊株の表現型解析を進めており、これらの結果を総合的に理解しタンパク質リシンメチル化酵素とその修飾の役割を明らかにしたい。

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 道紀)

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過程は、細胞の潜在的全能性の再獲得・維持機構、後生ゲノム情報の再編集機構等諸現象を包含しており、その機序の理解は発生生物学的意義を越えて、再生医療への応用、生物資源の確保に有用である。

マウスにおいて生殖細胞と体細胞の分離は胚齢6.25日に胚体外胚葉の近位後方領域の細胞が細胞外シグナルにตอบสนองして数個の細胞がBlimp1陽性となることで開始される。この局所的に形成される生殖細胞決定の微小環境を分子機構レベルで定義し、ES細胞培養系において解明した決定因子の添加により微小環境を再構成する方法論で、生殖細胞決定の必要十分条件を証明し、さらには生殖細胞を分化誘導する技術を開発することを目的としている。

本年度は、昨年度に確立したBlimp1-mVenus、Prdm14-mVenus、stella-venus、stella-ECFPトランスジェニックマウス系統等、及びES細胞を用いた評価系により、胎生6.0日胚の胚体外胚葉からの生殖細胞の誘導を試み、大部分の胚体外胚葉をBlimp1、Prdm14、アルカリ性フォスファターゼ活性強陽性の始原生殖細胞様の細胞に方向付けて分化させることに成功した。

来年度は本技術によって誘導した始原生殖細胞様の細胞がマーカー遺伝子の発現だけでなく、機能的にも十分な生殖細胞であるかを、マウス生体内への移植によって検討する。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kurimoto K, Yabuta Y, Ohinata Y, Ono Y, Uno KD, Yamada RG, Ueda HR, Saitou M.: "An improved single-cell cDNA amplification method for efficient high-density oligonucleotide microarray analysis", *Nucleic Acids Research*, 34(5):e42 (2006)

Yabuta Y, Kurimoto K, Ohinata Y, Seki Y, Saitou M.: "Gene expression dynamics during germline specification in mice identified by quantitative single-cell gene expression profiling", *Biology of Reproduction*, 75:705-16 (2006)

Horsley V, O'Carroll D, Tooze R, Ohinata Y, Saitou M, Obokhanych T, Nussenzweig M, Tarakhovskiy A, Fuchs E.: "Blimp1 defines a progenitor population that governs cellular input to the sebaceous gland", *Cell*, 126:597-609 (2006)

(総説)

Ohinata Y, Seki Y, and Saitou M.: "Germline recruitment in mice: A genetic program for epigenetic reprogramming", *Ernst Schering Research Foundation Workshop* 60:143-174 (2006)

栗本一基、藪田幸宏、大日向康秀、斎藤通紀: "単一細胞マイクロアレイ解析を可能とするPCRを用いたcDNA増幅法", *実験医学* Vol.24, No.14, 2165-72(2006)

栗本一基、大日向康秀、斎藤通紀: "哺乳類における生殖細胞の運命決定", *細胞工学* Vol.25, No.8, 918-23 (2006)

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全ての銀河の中心には、巨大なブラックホールが存在すると考えられているが、その形成機構は宇宙物理学の大きな謎である。最近、近傍銀河に中質量ブラックホールが次々と発見されたことにより、ブラックホール同士の合体によって巨大ブラックホールが出来上がったという理論的シナリオが注目を集めているが、観測的な証拠はほとんどない。そこで本研究は、2008年に国際宇宙ステーションに搭載が予定されている全天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中質量や巨大ブラックホールを世界で始めて本格的に探査することにより、巨大ブラックホールの形成機構を解明することを目的とする。

私は、MAXIの主検出器のひとつであり、牧島宇宙放射線研究室が開発を進め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いる。本年度は特に以下の作業を遂行した。まず、昨年度に完了したGSCの12台のフライトモデル比例計数管の地上較正実験のデータを詳細に解析し、GSCの応答関数の構築を行った。この応答関数をGSCチーム内に回覧し、十分な精度を持つかどうかの検証作業を進めている。次に、GSCのフライトモデルのアナログ回路の較正実験とそのデータ解析を中心になって行い、アナログ回路の性能が十分であることを確認した。現在、アナログ回路の特性をGSCの応答関数に取り込む作業を進めている。さらに、GSC全体を組み上げた状態での地上試験にも参加している。これらの開発作業に加えて、予想されるMAXIの性能やMAXIによる巨大ブラックホール連星探査の展望に関する公演を数件行った。

この他にも、現在稼働中のX線観測衛星「すざく」の運用や軌道上較正に参加するとともに、ヘルプデスクのメンバーとして一般ユーザーからの質問に対処している。また、「すざく」衛星を用いたブラックホールの観測も行っている。特に「すざく」衛星による近傍銀河NGC 4945の観測では、国際的なデータ解析チームのリーダーを務めている。この観測では、

NGC 4945銀河の中に、非常に明るいX線天体が新たに出現したのを発見することが出来た。この天体のX線スペクトルを詳細に解析したところ、この天体は太陽の20から40倍の質量をもつ中質量のブラックホールが非常に早く回転していると解釈できることを明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

K.Mitsuda, M.Bautz, H.Inoue, R.L.Kelley, K.Koyama, H.Kunieda, K.Makishima, Y.Ogawara, R.Petre, T.Takahashi, H.Tsunemi, N.E.White, N.Anabuki, L.Angelini, K.Arnaud, H.Awaki, A.Bamba, K.Boyce, G.V.Brown, K.-W.Chan, J.Cottam, T.Dotani, J.Doty, K.Ebisawa, Y.Ezoe, A.C.Fabian, E.Figueroa, R.Fujimoto, Y.Fukazawa, T.Furusho, A.Furuzawa, K.Gendreau, R.E.Griffiths, Y.Haba, K.Hamaguchi, I.Harrus, G.Hasinger, I.Hatsukade, K.Hayashida, P.J.Henry, J.S.Hiraga, S.S.Holt, A.Hornschemeier, J.P.Hughes, U.Hwang, M.Ishida, Y.Ishisaki, N.Isobe, M.Itoh, N.Iyomoto, S.M.Kahn, T.Kamae, H.Katagiri, J.Kataoka, H.Katayama, N.Kawai, C.Kilbourne, K.Kinugasa, S.Kissel, S.Kitamoto, M.Kohama, T.Kohmura, M.Kokubun, T.Kotani, J.Kotoku, A.Kubota, G.M.Madejski, Y.Maeda, F.Makino, A.Markowitz, C.Matsumoto, H.Matsumoto, M.Matsuoka, K.Matsushita, D.McCammon, T.Mihara, K.Misaki, E.Miyata, T.Mizuno, K.Mori, H.Mori, M.Morii, H.Moseley, K.Mukai, H.Murakami, T.Murakami, R.Mushotzky, F.Nagase, M.Namiki, H.Negoro, K.Nakazawa, J.A.Nousek, T.Okajima, Y.Ogasaka, T.Ohashi, T.Oshima, N.Ota, M.Ozaki, H.Ozawa, A.N.Parmar, W.D.Pence, F.S.Porter, J.N.Reeves, G.R.Ricker, I.Sakurai, W.T.Sanders, A.Senda, P.Serlemitsos, R.Shibata, Y.Soong, R.Smith, M.Suzuki, A.E.Szymkowiak, H.Takahashi, T.Tamagawa, K.Tamura, T.Tamura, Y.Tanaka,

M.Tashiro, Y.Tawara, Y.Terada, Y.Terashima, H.Tomida, K.Torii, Y.Tsuboi, M.Tsujimoto, T.G.Tsuru, M.J.L.Turner, Y.Ueda, S.Ueno, M.Ueno, S.Uno, Y.Urata, S.Watanabe, N.Yamamoto, K.Yamaoka, N.Y.Yamasaki, K.Yamashita, M.Yamauchi, S.Yamauchi, T.Yaqoob, D.Yonetoku and A.Yoshida, "The X-Ray Observatory Suzaku", Publications of the Astronomical Society of Japan, 59 S1-S7 (2007)

Mizuno T., Miyawaki R., Ebisawa K., Kubota A., Miyamoto M., Winter L., Ueda Y., Isobe N., Dewangan G., Done C., Griffiths R.E., Haba Y., Kokubun M., Kotoku J., Makishima K., Matsushita K., Mushotzky R.F., Namiki M., Petre R., Takahashi H., Tamagawa T. and Terashima Y., "Suzaku Observation of Two Ultraluminous X-Ray Sources in NGC 1313", Publications of the Astronomical Society of Japan, 59 S257-S267 (2007)

Kataoka J., Reeves J.N., Iwasawa K., Markowitz A.G., Mushotzky R., Arimoto M., Takahashi T., Tsuboku Y., Ushio M., Watanabe S., Gallo L.X., Madejski G.M., Terashima Y., Isobe N., Tashiro M. and Kohomura T.: "Probing the Disk-jet Connection of the Radio Galaxy 3C120 Observed with Suzaku", Publications of the Astronomical Society of Japan, (2007) in print

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

N.Isobe, R.Griffiths, T.Itoh, N.Anabuki, H.Awaki, G.Dewangan, G.Madejski, K.Makishima, T.Okajima, J.Reeves, T.Takahashi, Y.Ueda, T.Yaqoob: "Suzaku observation of nearby Seyfert 2 galaxy NGC 4945 (solicited)", E1.2/H0.2-2 Multi-scale and Multi-wavelength Studies of Black Holes, 36th COSPAR Scientific Assembly, Beijing, China, July (2006)

N.Isobe and Suzaku SWG team of NGC 4945: "Suzaku observation of nearby Seyfert 2 galaxy NGC 4945", The 1st Korea-Japan Young Astronomers Meeting (KJYAM 2006), Gyeongju, Korea, Aug. (2006)

(国内学会等)

磯部直樹、久保田あや、牧島一夫、伊藤健、宮脇良平、水野恒史、粟木久光、Griffiths R.E.、Dewangan G. C.、他「すざく」NGC 4945 観測チーム:「すざく」がNGC 4945 銀河中に見つけたブラックホール候補天体、日本天文学会周期年会、九州国際大学、9月(2006)

磯部直樹、伊藤健、牧島一夫、粟木久光、Griffiths R.E.、他「すざく」チーム:「すざく」衛星による2型セイファート銀河の観測、日本物理学会秋季大会、奈良女子大学、9月(2006)

磯部直樹:「高感度全天X線監視によるバイナリーブラックホールの探査」、すざく時代のブラックホール天文学、京都大学、2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。

本年度はまず、実験システムの構築を行った。CCD駆動用真空チェンバーを設計、導入し、チラーとペルチェ素子を組み合わせた冷却装置を構築して

- 65 での駆動を可能にした。Leachエレクトロニクス社(米国)製駆動回路とHPK社製X線直接検出用CCD素子を用いた駆動試験の結果、5.9keVで半値幅175eVを達成している。また、X線発生装置に約3m長のビームラインを構築した。

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、BP-1ガラス製マルチコリメータの第一試作品とCCD実験システムを組み合わせた初めての実験を行った。実験では、CCD受光面の直前にコリメータを配置しているため、CCDにはコリメータ上の各微細孔を通過したX線のみが検出される。我々は、予め光学顕微鏡で測定した微細孔の高精度な位置情報と、本実験で取得したCCD画像データから、コリメータとCCD素子とのアライメントパラメータを抽出する手法を開発した。アライメントパラメータを用いて、各微細孔がCCD画素内のどこに対応するかが判り、検出した全てのX線イベントに対してX線の画素内入射位置を決定できる。Cu-K α (8.0keV)X線を用いた実験の結果、電荷雲の大きさは、電荷転送に対して水平な方向、垂直な方向それぞれ4.8 μ m、8.5 μ mとなり、ランダムなマルチコリメータを用いた電荷雲形状測定に初めて成功した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Kirmel N., Hiraga S. J., Hartmann R., Meidinger N., and Struder L.: "The Direct measurement of signal charge behavior in pnCCDs with subpixel resolution", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 568 128-133(2006)*

Hiraga S. J., Nakamura S., Uchida Y., Kikuchi M., Kurata S., Ozaki Y., Kamada S., Takashima T., Uchihori Y., Kitamura H., Tawara H.: "A novel multi-collimator using BP-1 glass and an application for X-ray CCDs", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, in print*

他4編 in print

口頭発表 Oral Presentation

(国内学会)

平賀純子、中村正吾、尾崎雄一、阿部幸二、高島健、内堀幸夫、北村尚、俵裕子、玉川徹: "BP-1ガラス製微細マルチコリメータの発明とX線CCDへの応用", 日本応用物理学会 2006年秋 第67回応用物理学会学術講演会、滋賀県、8月(2006)

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、雷放電の位置推定と頻度変化の解明に迫った。

(1)地上の多点雷電波観測網で得られたデータを解析し、雷発生点と頻度および放電エネルギーを高精度に推定した。波動の到来方向と到達時間差から雷発生点を推定することによって、推定誤差約500 kmという高精度の位置推定アルゴリズムを新

しく開発することに成功した。また、雷の放電エネルギー（電荷モーメント）を求めた結果、雷のエネルギー分布の形は季節によらずほぼ一定であるが頻度が大きく変動することを突き止めた。

(2) 1日毎の雷発生頻度の地域・季節的依存性を調べ、周期性を調べた。アフリカ域では年間を通して雷発生数が高く安定しているが、アジア域では主に春から秋に集中して発生していた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato M., Takahashi Y., Yamamoto K. and Fukunishi H.: “Global lightning and charge moment distributions derived from 1-100 Hz magnetic field waveform data obtained by the ELF network stations”, EOS Trans. AGU, 87(36), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract SA21A-05 (2006)

(総説)

佐藤光輝：“太陽活動 - 雷活動のリンクの可能性と超高層雷放電が地球大気へ与える化学的インパクト”、京都大学基礎物理学研究所研究会、印刷中

佐藤光輝：宇宙線・雲・雷のリンクの可能性と超高層雷放電が地球大気に与える化学的インパクト”第25回メソ気象研究会 報告書、天気、53(5) (2006).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sato M., Takahashi Y., Yamamoto K. and Fukunishi H.: “Global lightning and charge moment distributions derived from 1-100 Hz magnetic field waveform data obtained by the ELF network stations”, Western Pacific Geophysical Meeting, Beijing, China, July (2006)

(国内学会等)

佐藤光輝、高橋幸弘、足立透、吉田暁洋、福西浩：“多点ELF波動観測から推定される全球雷放電と電荷モーメントの地域季節依存性”、第120回地球電磁気・地球惑星圏学会、相模原、11月(2006).

佐藤光輝、高橋幸弘、山本桂、福西浩：“1-100Hz帯ELF波動観測ネットワークデータから推定される全球雷発生頻度分布”、地球惑星科学関連学会合同大会、千葉、5月(2006)

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

FPGA-based Reconfigurable Supercomputer

研究者氏名：濱田 剛 Hamada, Tsuyoshi

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)

本研究ではFPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた汎用計算装置を開発している。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ス的一种である。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った。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た。また、数値計算以外の応用用途としては、超高エネルギー宇宙線が作るエア・シャワーを衛星軌道

上から観測する宇宙科学ミッションJEM-EUSO計画のための実験装置として応用を検討した。またFPGAハードウェアの開発に必要なソフトウェアのプログラム登録を今年度中に行う予定である。

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", 日本応用数理学会 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)

XVIII - 005

軌道自由度を持つ強相関電子系物質の理論的研究

Theoretical Study on the Strongly-Correlated Electron Systems with Orbital Degrees of Freedom

研究者氏名: 望月 維人 Mochizuki, Masahito

ホスト研究室: 古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

強相関電子系超伝導体における軌道自由度の役割は、いまだに良く理解されておらず、「超伝導体の軌道物理」は物性物理学における未開拓の分野の一つである。本研究では、近年発見されたCo酸化物超伝導体 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における Co3d 軌道の重要性を指摘し、多軌道性に由来する物性現象や性質を研究した。特に、この超伝導体に関する多くの矛盾する実験結果は、従来の軌道自由度を無視した単純な理論では説明がつかず大きな謎となっていたが、軌道自由度を考慮することでこれらが統一的理解できることを示した。本研究における多軌道理論の成功は、この物質が多軌道型超伝導体の貴重な例になっていることを示唆するとともに、さらなる理解や解明に向けた実験努力を後押しすると期待される。具体的な内容を箇条書きにする。

(1) 多軌道模型を構築し、c-軸方向の格子歪みに伴う電子構造や磁性、超伝導性の変化を調べた。その結果、実験的に指摘されている磁気揺らぎや超伝導転移温度の格子歪みに対する敏感性と豊かな相図を「軌道-格子結合」を考えることにより統一的理解できることを示した。

(2) この系の超伝導はスピン揺らぎが媒介していることが期待されるため、その磁氣的性質がNMRやNQR、 μSR 、中性子散乱などの実験により精力的に調べられてきた。しかし、その実験結果は互いに矛盾していた。これらの実験結果が、Fermi面や状態密度の違いに由来する、磁気揺らぎの格子歪みに対する依存性を考えるときれいに整理、理解

できることを示した。

(3) 今までに超伝導状態や超伝導機構を決定するために多くの熱力学量測定が行われているが、その実験結果も混沌としていた。本研究では、格子歪みの程度に依存して2種類の超伝導相が実現している可能性を指摘し、一見ばらばらだった上部臨界磁場や比熱、超流動密度の実験データがこの2種類の超伝導相を考えると再現、理解できることを示した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Mochizuki M. and Ogata M.: "Deformation of electronic structures due to CoO_6 distortion and phase diagrams of $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ", J.Phys. Soc. Jpn., 75 113703 (2006)*

Mochizuki M. and Ogata M.: "CoO₂-layer-thickness dependence of magnetic properties and possible two different superconducting states in $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ", J. Phys. Soc. Jpn., in press*

Mochizuki M., Yuan H. Q. and Ogata M.: "Specific heat and superfluid density for possible two different superconducting states in $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ", J. Phys. Soc. Jpn., in press*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Mochizuki M. and Ogata M.: "Band Structure Spin-Charge

Fluctuations and Superconductivity in the Sodium Cobalt Oxide”, The International Symposium on Anomalous Quantum Materials 2006 and The 5-th Asia-Pacific Workshop, Ginowan, Japan, Jun. 2006

Mochizuki M., Ogata M.: “Effects of CoO_6 distortion on spin-charge fluctuations and superconductivity in the Sodium Cobalt Oxide”, 8th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M2S-HTSC-VIII), Dresden, Germany, Jul. 2006

Mochizuki M., Ogata M.: “Effects of CoO_6 distortion on spin-charge fluctuations and superconductivity in the Sodium Cobalt Oxide”, First international workshop on the physical properties of lamellar cobaltates, Orsay, France, Jul. 2006

Mochizuki M., Ogata M.: “Theoretical study on the phase diagram of the bilayer sodium cobalt oxides”, 17th International Conference on Magnetism (ICM2006), Kyoto, Japan, Aug. 2006

(国内学会等)

望月維人、小形正男：“Co 酸化物超伝導体の電子構造： CoO_2 面の厚みとの関係”、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉、9月(2006)

望月維人、小形正男：“Co 酸化物超伝導体の相図：二つの超伝導相と磁気秩序相”、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉、9月(2006)

望月維人、小形正男：“Co 酸化物超伝導体の比熱、磁場侵入長、その他の物理量”、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉、9月(2006)

XVIII - 006 ナノポーラス構造を利用した遷移金属酸化物の機能開拓 Development for Novel Correlated Phenomenon and Functions in Nanoporous Transition Metal Oxides

研究者氏名：岡本 佳比古 Okamoto, Yoshihiko
ホスト研究室：高木磁性研究室
(アドバイザー 高木 英典)

遷移金属酸化物は、Cu 酸化物高温超伝導体に代表されるように、強い電子相関(強相関)の効果が最も劇的な形で現れる物質群の一つである。その強相関効果は、遷移金属・酸素(T-O)ネットワークの構造と、そこに存在する d 電子の数によって支配される。そのため、強相関電子物性・機能の開拓には、この二つの要素を独立に制御することが最重要だが、現状では独立制御可能な物質群は一部に限定されている。

本課題では、T-Oネットワークが大きな孔をもつナノポーラス構造を形成し、その中にアルカリ金属(A)イオンが存在する三元酸化物 $\text{A}_x\text{T}_y\text{O}_z$ を対象として、ソフト化学の手法により d 電子数を制御することにより、これを克服する。この系では、AイオンはT-O ネットに対して緩やかに結合しているため、液相反応などにより、T-O ネットの形状に影響を与えずAイオンを容易に出し入れできる。これを利用して d 電子数を制御する。

本年度は、そのような舞台となる新奇なナノポーラス遷移金属酸化物の開発を行い、(1) $S = 1/2$ ハイパーカゴメ磁性体 $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ における特異なスピン液体

の基底状態、(2) 新スピネル LiRh_2O_4 における多段の金属絶縁体転移を発見した。

(1) $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$

本報告者は、これまでに $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ 単相試料の合成に初めて成功し、 $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ が、 d 電子系初のハイパーカゴメ磁性体であること、強い幾何学的フラストレーションによりスピン $S = 1/2$ が秩序化せずスピン液体の基底状態をとることを見出ししてきた。本年度、X線・中性子回折により詳細な結晶構造解析を行った。それにより、 $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ がスピン間の幾何学的フラストレーションを保ったまま、 t_{9g} 軌道の縮退を解いていることを明らかにした。これは、 $S = 1/2$ 遷移金属酸化物のうち $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ のみがスピン液体の基底状態をとる機構を説明し、量子スピン液体実現のための物質設計の一つの指針となる。

(2) LiRh_2O_4

本報告者は、新しいスピネル酸化物 LiRh_2O_4 の合成に成功し、230 K・180 K の二段の相転移を発見した。180 K の相転移は金属から非磁性絶縁体への電荷秩序相転移であり、スピン・電荷・格子が結合

した強相関効果による。一方、230 Kの相転移は一種のバンドJahn-Teller転移であり、軌道自由度の消失に伴い、大きなエントロピー放出と熱起電力の減少が観測された。これは、近年非常に注目されているCo・Rh酸化物の巨大熱起電力が軌道自由度に由来していることの直接証拠になると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Okamoto Y., Nohara M., and Takagi H.: "Spin liquid state in $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ ", Highly Frustrated Magnetism 2006, Osaka University, Suita, Aug.(2006)

XVIII - 007 相競合状態を利用した新機能材料・巨大応答材料の開発 Development of Novel Functional Materials via Phase Competition

研究者氏名： 高山 知弘 Takayama, Tomohiro
ホスト研究室： 高木磁性研究室
(アドバイザー 高木 英典)

遷移金属化合物をはじめとした強相関系と呼ばれる物質群において観察される、複数の相が拮抗した状態において、その相変化を利用した新機能材料の開発を目指している。本年度は特に格子欠陥を利用した相変化、および遷移金属の軌道自由度を利用した冷凍材料の開発に努めた。以下にその概略を示す。

(1) 相変化磁気メモリ効果の開発

DVDなどで利用されている光相変化材料の磁性材料版とも言えるものを鉄欠損型硫化鉄 Fe_{1-x}S において見出した。これは物質内部に存在する空孔の規則 - 不規則配列相変化を利用したものである。すなわち、試料を徐冷した場合は空孔が規則配列をすることにより自発磁化を持つフェリ磁性を示し、一方試料を急冷した場合には空孔配列に乱れが生じ、自発磁化を持たない超常磁性的振舞いを示す。この成果は新規磁気メモリ材料としての工学的応用への期待を持たせるだけでなく、格子欠陥を利用した相制御手法の提案として意義のあるものと思われる。

(2) 軌道冷凍材料の探索

近年、ガス冷却の代替としてクリーンな磁気冷凍材料の開発が精力的に行われている。磁気冷凍材料は磁気熱量効果 磁場の印加・除去によるエントロピー変化および温度変化 に基づいている。この磁気冷凍のアナロジーとして、軌道秩序

転移に伴う軌道エントロピーの変化を利用した“軌道冷凍材料”の実現を目指した。本年度はその初期段階として、軌道秩序転移に伴うエントロピー変化の定量的見積もりを試みた。対象としては、約480 Kに軌道秩序転移を示す NaNiO_2 を選び、そのエントロピー変化および不純物置換による転移の制御を試みた。その結果、軌道秩序転移に伴うエントロピー変化は磁気転移と異なり、揺らぎのほとんど無い、固体・気体転移のようなものであり期待されるエントロピーの90%以上が放出されることがわかった。このことは、転移に際し大きなエントロピー変化が得られることを示しており、軌道エントロピーの利用が冷凍応用に有用な手法であると考えられる。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Takayama, T., Takagi H.: "Phase-change magnetic memory effect in cation-deficient iron sulfide Fe_{1-x}S ", 2006 IEEE International Magnetism Conference, San Diego, USA, May (2006)

Takayama, T., Takenaka, K., and Takagi H.: "Dimensionality change of electric conduction in FeS", International Conference on Magnetism, Kyoto, Japan, Aug. (2006)

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)

通常、磁性イオンを非磁性イオンで一部希釈した磁性体は希釈量が増えるに従って磁気秩序が抑制され、RKKY相互作用、超交換相互作用によりスピングラス転移が発現すると考えられている。しかし、その予想に反し、双極子 Ising 磁性体の希釈系 $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ において x の減少に従って、アンチグラスと呼ばれる新奇な基底状態の発現が見いだされ、注目を集めている。また、この無希釈系は Ising 軸に垂直な磁場下で、横磁場 Ising モデルでほぼ説明可能な量子相転移が発現することが報告されているが、希釈系では、希釈により誘起されるランダム磁場によって無希釈系とは異なる臨界現象の発現が理論的に予想されており、新たなクラスの磁性体ではないかと注目を集めている。本年度は、新しい希釈双極子イジング磁性体の候補物質である希土類水酸化物 $R_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$ ($R = \text{Dy}, \text{Ho}$) の単結晶育成を行い、その基礎物性測定を通して、上記の新奇物理現象の検証を試みた。これら物質は、同じ結晶構造で、クラマースイオンである Dy と非クラマースイオンである Ho を磁性イオンとして持つため、新奇な物理現象の検証に加えて、以前の物質では不可能であった、超微細相互作用の大小等を含めた磁性イオン依存性につ

いての詳細な研究が可能である。

また、上記に加え、幾何学的フラストレート磁性体の新奇物質探索も平行して行った。遷移金属が磁性を担う d 電子系幾何学的フラストレート磁性体については、二次元、三次元系ともに様々な物質開発が行われ、軌道、スピン、電荷が織りなす多様な物性の起源が明らかにされつつあるが、f 電子系については、三次元系のパイロクロア酸化物の研究に限定され、二次元性の強い物質は、 GdPd_2Al_3 , CePtAl , UNi_4B など数種類しか報告されていない。また、f 電子の軌道に対応する四極子自由度のフラストレーションに注目した研究はほとんどされておらず、それに関連した新奇物性の発見が期待される。本年度は、f 電子系二次元幾何学的フラストレート磁性体の新たな候補物質で希土類元素変換による系統的な研究が可能な RbRSe_2 に注目し、単結晶育成を試みた。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

東中隆二、高木英典：“イジング強磁性体 $R_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$ ($R = \text{Dy}, \text{Ho}$) における低温磁性”、日本物理学会第62回年次大会、鹿児島、3月(2007)

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。軟X線領域の強光子場(高次高調波)を発生させるためには、高出力のフェムト秒レーザー光を純粋な原子気体に照射するのが標準的であるが、私達は新しい非線形媒質として、配向制御した分子気体や混合気体を導入した。

(1) 配向分子中における高次高調波発生の楕円率依存性

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。本研究では特に基本波として楕円偏光したレーザー光を採用し、楕円偏光の主軸と分子軸の幾何学的関係が高次高調波の発生に本質的であることを見出した。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。

(2) 混合気体中における高次高調波発生

私達は新しい非線形媒質として混合気体を用いることを世界で初めて提案し、混合気体中における高次高調波の干渉効果や飛躍的増大効果を初めとする新しい物理現象、それらを用いた高調波の新しい計測・制御法、さらには電子のアト秒領域の超高速運動を観測することに成功した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

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, D. Miller *et al.* (Eds.), in print*

Kanai T., Takahashi E. J., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: "Destructive interference during high harmonic generation in mixed gases", *Phys. Rev. Lett.*, submitted*

Takahashi E. J., Kanai T., Ishikawa K. L., Nabekawa Y., and Midorikawa K.: "Dramatic enhancement of high-order harmonic generation", *Phys. Rev. Lett.*, submitted*

口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Kanai T., Minemoto S., and Sakai H.: "Basis for ultrafast imaging of molecular orbitals with high-order harmonic generation", *The 15th International Conference on Ultrafast Phenomena*, Pacific Grove, California, USA, July 2006*

(国内会議等)

金井恒人、高橋栄治、鍋川康夫、緑川克美: "混合気体中における高次高調波発生", 2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会、青山学院大学、3月(2007)*

金井恒人、高橋栄治、鍋川康夫、緑川克美: "軟X線領域の高次高調波発生における原子双極子位相の役割", 電子情報通信学会 第6回超高速光エレクトロニクス研究会、淡路市、11月(2006)*

金井恒人、高橋栄治、鍋川康夫、緑川克美: "電子軌道間の量子干渉を用いた軟X線領域における高次高調波強度の制御", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会、立命館大学、8月(2006)

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双極子位相の役割", レーザー学会学術講演会第27回年次大会、宮崎市、1月(2007)

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)

フェムト秒レーザーを透明材料内部に集光照射すると多光子吸収により局所的な屈折率変化を誘起することができる。現在、この特長を利用し、高密度光メモリ、高集積化フォトニクスデバイス、フォトニクス結晶、マイクロ総合分析システム(μ -TAS)などの新しい3次元高機能デバイスを作成するための研究が国内外で精力的に行われている。さらに、フェムト秒レーザー光の空間強度分布はガウシアンビームであり、パルスエネルギーを調整し、大きい開口数の対物レンズを使用することで、ガラスなどの透明材料内部に集光した場合、ビームの中心部分でのみ多光子吸収を誘起することができ、100nm程度の加工解像度を得ることができる。しかし、レーザー光の集光径に対してレーザ長は3~4倍あるため、レーザー光進行方向における解像度は最高でも300nm程度である。そのためフェムト秒レーザーによって改質・加工された領域の断面形状はレーザー光の進行方向に延びた楕円形状になってしまう。このような形状は例えば、フォトニクスデバイスにおけるガラス内部の光導波路において、伝送光のモードを劣化させると共に損失も大きくなるという問題を生じ、望ましくない。

このような問題を解決するべく、今年度は3次元に等方的な加工解像度を得ることを目的としたフェムト秒レーザーによる透明材料微細加工システムの開発を行った。本システムは1台のフェムト秒レーザーから照射されたレーザー光をビームスプリッタにより2つに分波し、2つのレーザー光を対物レンズで集光し、それぞれの光軸が直交する角度で、試料となる透明材料内部に照射する。その際に、2つのレーザー光の集光点を空間的、時間的に一致させることで、完全に真球状の空間強度分布が得られ、3次元的に等しい空間解像度の加工が行うことが可能となる。そこで実際に開発を行った加工システムを用い、ガラス内部への光導波路作製を試みた結果、導波路断面形状は真円となった。そこで次年度は作製した光導波路の伝送損失評価、更にガラス内部への3次元微細加工を行い、バイオチップなどへの応用を試みる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hanada Y., Sugioka K., Mera M., Takai H., Miyamoto I., and K. Midorikawa: "Color Marking of Transparent Materials by Laser-Induced Plasma-Assisted Ablation (LIPAA)", J. Physics D. (in print)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hanada Y., Sugioka K., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., Morita Z., Takai H., and Midorikawa K.: "Micro-channel fabricated by femtosecond laser micromachining in glass for observation of living cells", The 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Kyoto, Japan, May. (2006)

Hanada Y., Sugioka K., Midorikawa K.: "Selective metallization of photosensitive glass using near-IR femtosecond laser", SPIE Photonics WEST, San Jose, USA, Jan. (2007)

Hanada Y., Sugioka K., Midorikawa K.: "3-D microfabrication of transparent material with isotropic spatial resolution by crossed-beam irradiation using femtosecond laser", The 5th International Conference on Photo-Excited Processes and Applications, Virginia, USA, Sep. (2006)

Sugioka K., Hanada Y., Midorikawa K.: "Laser-induced plasma-assisted ablation (LIPAA): fundamentals and industrial applications", New Mexico, USA, May. (2006)

(国内会議)

花田修賢、杉岡幸次、緑川克美: "フェムト秒レーザーによる微生物観察用マイクロチャネルの作製", 第67回レーザー加工学会講演会、東京、12月(2006)

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: "レーザー加工によるバイオ分析用マイクロチップデバイスの作製およびその応用", 電気学会バイオメディカル・レーザ応用技術調査専

門委員会、東京、12月(2006)

花田修賢、杉岡幸次、小幡幸太郎、緑川克美：“極短波長・極短パルスレーザーによるマイクロチップデバイスの作製およびその応用”、第53回応用物理学関係連合講演会シンポジウム、京都、8月(2006)

花田修賢、杉岡幸次、緑川克美：“フェムト秒レーザークロスビーム照射による石英ガラス内部への光導波路作製”、第53回応用物理学関係連合講演会、京都、8月(2006)

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)

近接場光学技術にプラズモン増強効果を利用したプラズモニック光ナノイメージングは、光の波動性による空間分解能の制限、回折限界を打ち破り、高い信号雑音比でナノイメージングを実現する手法として、近年盛んに研究が行われている。本研究では、光ナノイメージングを目的とし、提案した金属ナノレンズを実際に作製、測定することで計算結果を実証する。

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。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。レンズの片側に試料(物体面)を近接させると、もう片側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。これは、金属ナノロッド固有の局所的表面プラズモンを利用している。計算により、空間分解能は、回折限界に制限されるのではなく、レンズを構成する金属ナノロッドのアレイピッチによって決まることが分かった。レンズとして作用する波長域は、局所的表面プラズモンの共

鳴波長に相当し、ロッドの高さ、ロッド周囲の屈折率に対して比例関係にあることを明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ono A., Kato J., and Kawata S.: “Sub-wavelength imaging through metallic nanorod array”, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 919E, 0919-J05-06 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ono A., Kato J., and Kawata S.: “Sub-wavelength imaging through metallic nanorod array”, 2006 MRS Spring Meeting, San Francisco, USA, Apr. (2006) (Invited)

Ono A., Kato J., and Kawata S.: “Plasmonic nanorod array for optical nanoimaging”, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2006-Tokyo, Tokyo, Japan, Aug. (2006)

Ono A., Kato J., and Kawata S.: “Subwavelength optical imaging by plasmonic nanorod array”, SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, Aug. (2006)

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)

本年度は、タンパク質解析技術・機能制御技術の

基盤技術として、外部刺激による遺伝子制御システ

ムを開発することを目的とした。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。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遺伝子制御システムの構築を実現する予定であったが、このアプローチは困難を極めた。このため、予定を変更し、ラショナルデザインおよびtry & errorによって遺伝子制御システムを構築する方法に路線変更した。この手法が功を奏し、いくつかデザインしたシステムのうち、非常に効率よく働いたシステムをさらに最適化することによって、非常に有能な遺伝子制御システムを開発することに成功した。具体的には、特定の分子との結合によって自己切断活性を誘起するRNA「アプタザイム」およびリボソーム結合サイトと相補的な配列「anti-RBS」を遺伝子上流に挿入することによって、特定の分子による制御が可能なタンパク質発現制御システム(いわゆるリボスイッチ)を人工的に構築した。このシステムでは、特定の分子(有

機小分子など)を細胞に付加する(一種の外部刺激)だけで、細胞内のタンパク質の発現をコントロールできる。また、本システムを構築するにあたり最適化した「anti-RBS」配列は、他の「アプタザイム」に対しても用いることが可能であり、制御遺伝子にレポーター遺伝子を用いることによって、様々な分子を検出するための分子センサーとしても用いることができる。(特許出願中)

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*, submitted*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小川敦司、前田瑞夫: "アプタザイムを利用した新規リボスイッチの開発", 日本化学会第87春季年会、3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)

界面にある分子の超高速ダイナミクスを明らかにするために、フェムト秒レーザーシステムを用いた新しい非線形分光法を開発した。

偶数次の非線形感受率に基づいた分光法は界面選択性があることが知られており、 $\chi^{(2)}$ に由来する信号を観測する第二高調波(SHG)発生法や和周波(SFG)発生法が広く用いられている。分子分光研究室では近赤外のパルスと白色光のパルスを用いて和周波を発生させ、その信号のスペクトルをCCDカメラで観測するマルチプレクス検出が行われてきた。これは界面にある分子の電子スペクトル($\chi^{(2)}$ スペクトル)を従来になく高感度で測定する手法として世界の注目を集めている(マルチプレクス和周波分光法)。

本研究では分子を電子励起するもう1つ別のパルスを導入し、和周波を取る2つのパルスとの時間差

を変化させながらスペクトル測定を行うことで、電子励起後の過渡電子スペクトル($\Delta\chi^{(2)}$ スペクトル)測定を試みた。空気/水界面にある色素ローダミン800(R800)の系で実際に過渡スペクトルを得ることに成功した(フェムト秒マルチプレクス和周波分光法)。これは界面にある分子過渡種の電子スペクトルを捉えた世界初の事例である。時間分解能は約400 fsであった。スペクトルの時間変化は3成分の指数関数を用いて表すことが出来、時定数はそれぞれ0.3 ps, 6.0 ps, 820 psであった。バルク水溶液中の過渡吸収測定によれば、R800は基底状態でダイマーを形成しており、ダイマーの励起状態での寿命が3.0 ps, 解離によって生成したモノマーの寿命が730 psであった。界面では対応するダイマーの解離が非常に速いという事、およびバルクでは見られない減衰成分が

見られていることが分かった。

また同分光法を固体表面にも適用した。TiO₂(110)表面を大気中でバンドギャップ励起した後和周波を測定すると、界面における光生成キャリアのダイナミクスに起因した5 ps程度で起こる時間変化が見られた。この時間変化は励起光強度を増すと速くなることが分かり、固体表面でのホールの移動の様子を表していると考えられる。

フェムト秒マルチプレクス和周波分光法は赤外パルスを使わないため、水に埋もれた界面における分

子のダイナミクスを観測することが可能である。このような界面についての実験も現在進行中である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Sekiguchi K., Yamaguchi S., and Tahara T.: "Formation and dissociation of Rhodamine 800 dimers in water: Steady-state and ultrafast spectroscopic study", J. Phys. Chem. A 110, 2601- (2006)*

XVIII - 014 真空紫外ポンプ-プローブ画像観測法による気相分子の光解離ダイナミクスに関する研究

Study on the Photodissociation Dynamics of Gas Phase Molecules with Vacuum-Ultraviolet Pump-Probe Imaging

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)

小さな分子、特に星間物質として同定もされているCHを含む小分子は概して10~15 eVに第一イオン化ポテンシャル(IP)を有し、光の波長に換算すると120~80 nmのVUV域に相当する。IP近傍では蛍光、解離(前期解離)、イオン化、自動イオン化、解離イオン化等が複雑に競合するが、これらのエネルギー失活過程はVUV光に直接さらされる星間雲や惑星上層大気中での化学反応・ラジカル生成において重要な役割を担っており、実験・理論両面からの分光学的・化学反応動力学的研究が実に活発である。このような化学反応を追跡しようとする実験において、散乱粒子の速度・角度分布と内部量子状態とを同時観測できる画像観測法は強力なツールとなっているが、これまで画像観測実験にVUVレーザーが導入された例は少なく、特にポンプ光として用いられている物は数例しかない。本研究では、連続波長可変パルスVUV光による光解離生成物および光電子の散乱分布画像観測から、励起エネルギー依存性、解離生成物の振動回転状態分布、速度・角度分布を完全に測定し、解離およびイオン化ダイナミクスの詳細理解を目指す。

本年度は真空紫外光導入に先立ち、(1)単色のパルス紫外光を用いた画像観測、および(2)2色の紫外光を用いたポンプ-プローブ法による光イオン化実

験を行った。(1)はN₂O分子を深紫外光吸収により解離させ、解離生成物を同じ光でイオン化した際の画像観測である。重心演算処理による高分解能解析を行うために、画像は積算したものでなくパルス事の生のもの全てを取り込むストリーミング形式で記録するが、この際に必要とされる装置、インターフェイス、ソフトウェアの評価を行った。(2)NO分子のRydberg状態A²Σ⁺からの光イオン化に伴って散乱される光電子の画像観測を開始した。平行して、光イオン化断面積を広いエネルギー範囲(IPから11,000 cm⁻¹)について測定した。IP以上のエネルギーにおける分子の挙動を理解する上で光イオン化断面積は不可欠な因子の一つである。現在その測定精度を高めるためのシステムを構築中である。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Ross S., Yoshinari T., Ogi Y., and Tsukiyama K.: "Decay dynamics of the long-range $\bar{H}^1\Sigma_g^+$ state of D₂ and H₂: Experiment and theory", J. Chem. Phys. 125, 133205 (24 pages) (2006)*

Ogi Y., Ando J., Nemoto M., Fujii M., Tono K., and Tsukiyama K.: "Far infrared stimulated emission from the 8s and 8f Rydberg states of NO", Chem. Phys. Lett.

(2007) in press.*

Otabe Y., Yamaguchi M., Ogi Y., and Tsukiyama K.: "Laser induced amplified spontaneous emission from the $B^2\Pi$, $L^2\Pi$, and $I^2\Sigma^+$ valence states of NO", Spectrochim. Acta Part A (2007) in press.*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

川俣大志、高口博志、小城吉寛、西出龍弘、鈴木俊法：“高分解能反跳速度測定による N_2O 光解離過

程の研究”、原子衝突研究協会第31回研究会、岡崎、8月(2006)

鈴木喜一、堀尾琢哉、加藤吉康、小城吉寛、高口博志、鈴木俊法：“光電子画像観測法による光イオン化ダイナミクスの研究”、分子構造総合討論会、静岡、9月(2006)

小城吉寛：“気相におけるレーザー誘起自然放射増幅過程に関する研究”、平成18年度先端レーザー分光部会シンポジウム「先端的レーザー分光の若手シンポジウム(第2回)」、横浜、12月(2006)

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二酸化炭素は有用な C_1 炭素源として古くから注目されてきた。しかしながら、その利用の多くは当量以上の有機金属反応試剤を必要とする変換反応であり、多量の廃棄物が副生するため環境化学的観点からも好ましいとは言い難い。そこで微量の有機金属錯体触媒を用いて二酸化炭素分子を活性化し、有機化合物と炭素炭素結合形成を行うことで分子中に取り込む、二酸化炭素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に用いる配位子の合成を行った。配位子としては1,8-Biphenylenediolを採用した。この理由としては、配位子の有する2つの水酸基を利用し、複核有機金属錯体とすることが可能である。また配位子は剛直な sp^2 炭素で構成されており、二酸化炭素分子のカルボニル酸素がもつ2つの孤立電子対に対してふらつくことなく、ある程度定まった位置にルイス酸性金属を配置することがで

きる。これにより、二酸化炭素分子に対して複核金属錯体が同時に配位し、単核の場合に比べより強い活性化能が期待される。また、2つの水酸基が有する酸性度は有機金属試薬と容易に反応させることが可能なため、様々な金属中心を有する錯体調製が可能と考えられる。

今後は、配位子上の水酸基を利用した錯体形成、ならびに二酸化炭素分子との反応性について検討する予定である。

誌上発表 Publications

(単行本)

Hou Z., and Ohishi T.: "C-C Bond Formation through Reaction of CO_2 with Acetylenes and Dienes", Comprehensive Organometallic Chemistry III, 10 537-555(2007)

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)

出芽酵母やツメガエル卵抽出液等をモデルとした

解析から、真核生物の複製開始から伸長反応に至る

機構の大筋が明らかとなってきた。まず、複製開始点上にOrc1-6、Cdc6、Cdt1、Mcm2-7からなる複製前複合体が形成され、その後、複製装置がクロマチン上にロードされるというものである。しかしながら、複製前複合体形成の詳細な分子構築は明らかとなっていない。さらに、複雑な核構造をもつ高等真核生物においては未だに複製開始点は定かではなく、複製前複合体がゲノム中のどこに、どのように形成されるか不明である。そこで、本研究においては高等真核生物の複製機構を解明するために、核構造と連携した新しい複製系の開発を試みる。そのために、精製タンパク質による個々の因子の性状解析と、哺乳類細胞単離核を用いた複製前複合体の再構成を行う。

これまでに、我々はマウス及び線虫Cdt1を中心とした解析から、gemininがCdt1とMcm6の結合を抑制するという多細胞生物に保存された分子メカニズムを明らかにしてきた。そこでCdt1の複製前複合体形成における役割をさらに解析するため、以前より酵母 two-hybrid 法により見出していたCdt1とOrc2間の相互作用に着目した。大腸菌で発現、精製したGST-Cdt1とN末端236アミノ酸を欠失したOrc2(Orc2ΔN)およびOrc1-5複合体を用いた共沈降実験から、Cdt1とOrc2の相互作用が確認された。さらに、

欠失変異体による解析からCdt1、Orc2それぞれの中央領域が相互作用に必要であることが示された。このCdt1の中央領域はgeminin結合領域と一致していた。一方で、Cdt1とOrc2の相互作用はgeminin存在下で阻害された。以上の結果からCdt1がOrc2及びMcm6との相互作用を介して、ORC-Cdc6ヘリカーゼローダーとMCMとの橋渡し役を担っていることが示唆された。現在、Mcm2-7についても組換えタンパク質の精製を完了しており、ゲルシフト法によるDNA上での複製前複合体形成を解析している。今後は、単離核による複製系の条件検討も順次進めていく予定である。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yanagi K., Mizuno T., Miyake Y., Imamoto N., Hanaoka F.: "The role of Cdt1 in pre-replicative complex formation", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Jun.(2006)

(国内会議)

柳憲一郎, 水野武, 三宅康之, 花岡文雄, 今本尚子: "複製前複合体形成におけるCdt1の役割", 第18回DNA複製・分配ワークショップ、熱海、10月(2006)

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。

細胞内のタンパク質を網羅的に解析し、遺伝子塩基配列情報と照合するフォワードプロテオミクスに対し、リバースプロテオミクスでは、あらかじめゲノム遺伝子やcDNAを取得した上でタンパク質の網羅的解析を行う。プロテオームチップなどに代表され

るリバースプロテオミクスの利点は、全タンパク質を対象に、タンパク質や他の生体分子との相互作用解析や酵素反応解析および薬剤スクリーニングなどをプロテオームワイドに行うことができる点である。本研究では、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)のうちの過剰発現が可能なライブラリーを用いてリバースアレイを作製し解析を行う。リバースアレイは細胞の抽出液をそのままメンブレンなどにスポットして作製されるアレイであり、一見、単純なアレイであるが、例えば特定のタンパク質に対する抗体を用いることによりそのタンパク質

の発現量の変化を迅速に調べることができる。

リバースアレイを用いた網羅的なシグナル伝達経路の解析は新規な試みであることから、本年度はリバースアレイ作製における方法を検討した。検討の結果、分裂酵母からの細胞抽出液の調製は、グアニジン塩酸塩を用いることで迅速に行なうことが可能となった。さらに、細胞抽出液をメンブレンにスポットすることで作製したリバースアレイは、MAP

キナーゼ系の活性化やヒストンの翻訳後修飾等を検出することが可能であった。これらの検討から、リバースアレイはシグナル伝達経路を明らかにするうえで有効な手段であることが認められた。現在、分裂酵母における約5,000個の遺伝子のそれぞれの過剰発現株から細胞抽出液を調製し、スライドガラスにスポットすることで作製したマイクロアレイを用いて検討を行なっている。

XVIII - 018 高等植物のトランスゴルジ網(TGN)のダイナミクスの解析

Analysis of *trans*-Golgi Network (TGN) Dynamics In Plants

研究者氏名： 植村 知博 Uemura, Tomohiro

ホスト研究室： 中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

高等植物の「ポストゴルジ・ネットワーク」は、トランスゴルジ網(TGN)・エンドソーム・液胞・細胞膜などのゴルジ体以降のオルガネラ間がメンブレントラフィックによって結ばれた、高度に発達したタンパク質輸送網であり、形態形成や病原菌抵抗性などの高次生命現象において重要な役割を果たしている。TGNは、小胞体からゴルジ体へと輸送されたタンパク質が、液胞・細胞膜等の最終目的地別に選別・輸送される際の分岐点となる重要なオルガネラである。しかし、高等植物においてはTGNの定義すら未だ曖昧であり、動物・酵母においてTGNに局在するSNARE分子のオーソログ、AtTlg2a/Syp41が局在するオルガネラを便宜的にTGNと呼んでいるものの、その構造・機能は全く明らかにされていない。本研究では、高等植物のTGNの構造・機能・動態を解明し、高次生命現象においてTGNがどのような役割を果たしているかについて明らかにすることを目的とする。

本年度はライブイメージングによるTGNダイナミクスの解析を行った。具体的には、AtTlg2a/Syp41をTGNマーカーとして、GFP-AtTlg2a/Syp41融合タンパク質を発現する形質転換体を作出し、共焦点レーザー顕微鏡下で観察を行った。その結果、TGNはドット状のオルガネラであることが明らかとなった。これらAtTlg2a/Syp41が局在するドット状のTGNは、細胞内輸送の阻害剤であるBrefeldin A (BFA)処理に対してトランスゴルジ・エンドソーム同様に凝集体を形成したのに対して、PI3キナーゼの阻害剤で

エンドソームを肥大させるWortmannin(Wm)の処理では、TGNに変化は観察されなかった。また、これらのドット状の構造は、エンドサイトーシスのトレーサーであるFM4-64によって染色された。以上の結果から、高等植物のTGNはBFAに対しては感受性を、Wmに対しては非感受性を持ったオルガネラであり、生合成経路だけではなくエンドサイトーシス経路でも機能していることが示唆された。

次に、ゴルジ体のシスマーカーとしてAtSed5/Syp31を、トランスマーカーとしてST(sialyl transferase)をAtTlg2a/Syp41と共発現させたところ、TGNはゴルジ体のトランス側に存在するものの、一部はゴルジ体とは独立して存在した。ライブイメージング観察の結果、ゴルジ体とTGNとは近接したままの状態でも細胞内を激しく動いていることが明らかとなった。この結果から、AtTlg2a/Syp41が局在するTGNは、一部はゴルジ体とは独立して存在しているものの、主にゴルジ体のトランス側に存在するオルガネラで、それらはゴルジ体と一つのユニットを形成して細胞内を激しく動いて機能していることが示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tomohiro Uemura, Takashi Ueda, Masa H. Sato and Akihiko Nakano: "Analysis of *trans*-Golgi Network (TGN) Dynamics in Plants", The 53rd NIBB Conference Dynamic Organelles in Plant, Okazaki, Japan, Jun. (2006)
Tomohiro Uemura, Takashi Ueda, Masa H. Sato, and Ak-

ihiko Nakano: "Analysis of trans-Golgi Network (TGN) Dynamics in Plants", 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular biology and 11th FAOMAM Congress, Kyoto, Japan, Jun. (2006)

Tomohiro Uemura, Takashi Ueda, Masa H. Sato. and Ak-ihiko Nakano: "Analysis of trans-Golgi Network (TGN) Dynamics in Plants", The Annual Meeting of the American Society of Plant Biologist: Plant Biology 2006, Boston, USA, Aug. (2006)

Tomohiro Uemura, Takashi Ueda., Masa H. Sato and Ak-ihiko Nakano: "Analysis of trans-Golgi Network (TGN) Dynamics in Plants", Plant Winter Conference 2007, Pohang, Korea, Jan. (2007)

(国内学会等)

植村知博、庄田恵子、上田貴志、佐藤雅彦、中野明彦: "高等植物のトランスゴルジネットワーク (TGN) のダイナミクスの解析", 日本植物生理学会 2007 年度回年会、松山、3 月 (2007)

XVIII - 019 ヌクレオチド除去修復因子のダイナミクスと損傷応答制御機構

Dynamics of Nucleotide Excision Repair Factors and Regulatory Mechanism of Damage Response

研究者氏名: 西良太郎 Nishi, Ryoraro
ホスト研究室: ゲノム損傷応答研究ユニット
(アドバイザー 菅澤 薫)

生物は遺伝情報をコードするDNAを多様な損傷原から保護し、安定に保持するために様々なDNA修復機構を獲得してきた。それらの中でもヌクレオチド除去修復機構(nucleotide excision repair; NER)は広範な基質特異性を有するDNA修復機構の一つである。NERの異常は高頻度での皮膚癌の発症を特徴とする常染色体性劣性遺伝疾患である色素性乾皮症などの原因となることが明らかにされており、その重要性を容易に理解することができる。現在までにNERに必須とされる因子の同定は完了しており、それぞれの蛋白質の生化学的な解析が精力的に行われてきた。その一方で、これらのNER因子が細胞内においてどのような空間的、時間的な制御を受けているかについては未だ知見が少ない。さらに、DNA損傷に伴う細胞周期の停止やアポトーシスなどの損傷応答機構とDNA修復機構がどのように関連しているかは不明である。本研究では、NERの制御機構及び、NERと他の損傷応答機構とのクロストークを理解する上でNERの初期過程に機能する因子が重要であると考え、従来の生化学的な手法とは異なり生細胞を用いた各因子の動態解析の観点からこれらの問題にアプローチしている。

本年度はNERにおいて損傷認識因子として機能するXPC(xeroderma pigmentosum group C protein)に蛍光蛋白質の一種であるGFP(green fluorescence protein)を融合したものを安定に発現する細胞株を作製し、紫外線による損傷条件下における動態変化を共焦点顕微鏡を用いて解析した。XPCのmobilityは紫外線照射により低下することが見出され、XPCは非損傷DNAに比較して損傷DNA上により長時間留まることが示唆された。また、XPCのmobilityは紫外線線量依存的な低下を示したが、ある一定の紫外線量を照射した場合にそのmobilityの低下に飽和状態が認められた。また、驚くべきことにXPCのmobilityの低下が飽和した以上の紫外線を照射した場合には、XPCのmobilityが再び低下し始める現象を見出した。これらのことから、細胞内におけるXPCにはおそらくDNA損傷量に応じて、少なくとも2種類の分子種が存在することを明らかにした。

誌上発表 Publications

(総説)

西良太郎、菅澤薫: "紫外線によるDNA損傷の修復機構", 蛋白質 核酸 酵素, 51: 2126-2133 (2006)

XVIII - 020 膵癌診断を目的とした世界最小径の中空針状ラマンプローブの
開発および基礎実験

Development of an Ultra-thin Hollow-Needle Raman-Probe for Pancreatic Cancer Diagnosis

研究者氏名：片桐 崇史 Katagiri, Takashi
ホスト研究室：光バイオプシー開発研究ユニット
(アドバイザー 佐藤 英俊)

低侵襲的に生体組織に刺入可能なラマン分光用針状プローブを実現し、膵癌の光診断技術の基礎を構築することを目的とした。ラマン分光は、光照射による非侵襲的な癌診断技術として期待されているが、組織内での散乱が検出強度を著しく低下させるため、実際に診断可能な領域は組織の極表面に限られる。本研究では、低侵襲性を失うことなく深部組織の測定を行うための極細径の針状プローブの実現を目指している。多様な癌の中でも他の臓器に囲まれている膵臓の癌は診断が困難とされている。開発する針状プローブを超音波内視鏡と組み合わせて用いることにより、信頼性の高い低侵襲的な膵癌診断への応用が期待される。

本年度は、針状プローブの基礎となる中空光ファイバラマンプローブの高性能化と針状プローブの試作を行った。中空光ファイバは不要な背景光を発生しないことから、ラマン分光用細径光ファイバプローブとして有力な伝送媒体である。しかし、開口数が極めて小さいことからスルーットに問題があった。そこで、中空コアの先端を微小ボールレンズにより封止することにより、開口数を拡大し、高効率化を実現した。研究の過程において、中空光ファイバの持つ強いモードフィルタリング特性が、空間分解能を効果的に高めることが明らかとなった。このことを応用することにより、組織表面下の非侵襲的な測定可能なプローブの開発に成功した。針状プローブは外径 150 μm 、長さ 30 mm のステンレスパイプの内面を化学研磨したのち、無電解めっき法により銀薄膜を内装することにより製作された。針状プローブは、中空光ファイバの先端にボールレ

ンズを介して高効率に結合された。無機材質を試料とした実験から、微弱なラマン散乱光の検出が可能であることが確認された。今後は、針状プローブの高効率化および先端封止法の検討が必要である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Katagiri T., Hattori Y., Suzuki T., Matsuura Y., Sato H.: "Hollow fiber-optic Raman probes for small experimental animals", Proc. SPIE Vol. 6433, 64330O (2007)*
Katagiri T., Hattori Y., Komachi Y., Matsuura Y., Tashiro H., and Sato H.: "Hollow fiber optic probe for in vivo Raman measurement", Proc. SPIE, 6380 63800X (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Katagiri T., Hattori Y., Suzuki T., Matsuura Y., Sato H.: "Hollow fiber-optic Raman probes for small experimental animals", SPIE BiOS 2007 Biomedical Optics Symposium and Exhibition, USA, Jan. (2007)
Katagiri T., Hattori Y., Komachi Y., Matsuura Y., Tashiro H., and Sato H.: "Hollow fiber optic probe for in vivo Raman measurement", SPIE Optics East, Oct. (2006)

(国内学会等)

- 片桐崇史、服部祐介、鈴木利明、小町祐一、松浦祐司、佐藤英俊：“中空光ファイバを用いた光バイオプシープローブ”、第 67 回応用物理学学会学術講演会、8 月 (2006)

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-
 スフィンゴ脂質発現制御研究チーム
 (アドバイザー 鈴木 明身)

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となっている。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か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、蛍光標識化や試薬の除去、各糖鎖の単離精製などの煩雑な問題が依然として残っている。キャピラリー電気泳動法(CE)は現在最も高感度かつ高分離能が期待できる手法の一つであり、レーザー励起蛍光検出法(LIF)と直結することにより、極微量の糖鎖の検出が可能となる。またCEは、MSとの接続が可能で、キャピラリー内反応における蛍光標識化などの工程をオンライン化できるという利点もある。以上のような理由から、本研究ではCE-LIF更にCE-MSを利用した高速かつ高感度な定量解析法の開発を目的として行っている。

本年度は、まずCEの唯一の弱点である試料導入法の問題を検討した。特に、CEは高感度な検出能を有するものの、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、一回の注入可能試料量が数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することができないという欠点を有している。この問題を解決する為に、今回は有機溶媒で溶解した蛍光標識糖鎖を、電気的に導入することにより、5 µl に溶解された試料溶液中に含まれる糖鎖の50%以上をキャピラリー内に注入できることを明らかにした。その結果、25 amolという極微量の糖鎖を電気的に導入し検出するCE-LIFシステムの作成に成功した。今後は、高感度なCE-MSシステムの構築、更に、これらのシステムに蛍光標識化や精製などの前処理工程を含む高速糖鎖分析法への展開を予定している。

研究者氏名：岩本邦彦 Iwamoto, Kunihiro
 ホスト研究室：フロンティア研究システム
 スフィンゴ脂質機能研究チーム
 (アドバイザー 小林 俊秀)

生体膜を構成する脂質分子は、それぞれの種類によって、細胞内オルガネラ間・脂質二重層の層間・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は能動的な脂質動態によって形成され、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。本研究では、グルコシルセラミドおよびホスファチジルエタノールアミンに着目し、その動態機構を明らかとするため、新規の実験アプローチを行った。

スフィンゴ糖脂質は細胞膜上でドメインを形成し、シグナル伝達の調整因子としての機能などを有する。数百種存在するスフィンゴ糖脂質のほとんどは、ゴルジ体の細胞質側でセラミドから合成されたグルコシルセラミドが、ゴルジ体膜を横切って移動(フリップ・フロップ)し、内腔側でラクトシルセラミドとなった後に、種々の糖鎖が付加されて合成される。酵母*Saccharomyces cerevisiae*はグルコシルセラミドを持たない生物であるが、遺伝学的実験手法が容易な酵母を用いてグルコシルセラミドのフリップ・フ

ロップに關与する因子をスクリーニングするために、酵母にヒトのグルコシルセラミド合成酵素の cDNA を導入した株を作製した。

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明するためのツールの模索とその作用特性についての詳細な検討を行った。その結果、放線菌由来の抗生物質 duramycin がエタノールアミン脂質に特異的に結合し、細胞内におけるホスファチジルエタノールアミン動態解析に利用できることを見出した。さらに、duramycin がホスファチジルエタノールアミンに結合することによって引き起こす膜構造変化の詳細や、duramycin のホスファチジルエタノールアミン認識性が曲率や流動性といった膜の状態に依存するという興味深い特性を明らかにした。

誌上発表 Publications

(総説)

小林俊秀、岩本邦彦、加藤詩子、梅田真郷：“脂質を

見る：脂質結合プローブを用いた脂質の分布と動態の解析”、実験医学 24 (7): 929-935 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwamoto K., Hayakawa T., Murate M., Makino A., Ito K., and Kobayashi T.: “Curvature-dependent recognition of ethanolamine phospholipids by duramycin and cinnamycin”, RIKEN International Symposium on Chemical Biology 2007, Hakone, Japan, Jan. 2007

Iwamoto K., Hayakawa T., Murate M., Makino A., Ito K., and Kobayashi T.: “Curvature-dependent recognition of phosphatidylethanolamine by duramycin”, FEBS Special Meeting/European Lipidomics Initiative, Noordwijkerhout, The Netherlands, Oct. 2006

(国内学会等)

岩本邦彦、早川智広、村手源英、牧野麻美、伊藤和輝、小林俊秀：“ホスファチジルエタノールアミン結合性ペプチドduramycin、cinnamycin (Ro09-0198) の膜への作用特性”、日本脂質生化学会、東京、6月(2006)

XVIII - 023

ホスファチジルイノシトールによる細胞膜直下のアクチン骨格制御機構の研究

Control Mechanism for Cortical Actin Cytoskeleton by Phosphatidylinositol

研究者氏名：村瀬 琴乃 Murase, Kotono
ホスト研究室：フロンティア研究システム
スフィンゴ脂質機能研究チーム
(アドバイザー 小林 俊秀)

本研究の目的は、PIP₃が、細胞膜直下のアクチン骨格の制御機構を解明することである。ホスファチジルイノシトールは、PHドメイン構造を持つタンパク質と相互作用することによってアクチン細胞骨格制御に関わることが知られている。特に、ホスファチジルイノシトールのひとつであるホスファチジルイノシトール-3,4,5-三リン酸(PIP₃)は、細胞膜直下のアクチン骨格重合のイニシエーターとしての機能が注目されはじめている。

従来の生化学的手法、細胞生物学的手法を用いた多数分子の観察では、全ての分子が同様に振る舞うという仮定に基づいたものであるが、実際はそうではなく、同じように信号を入れても、それぞれの分

子で、異なった応答をしている場合がある。また、多数分子では、数十秒から、数分間もシグナルが局在しているように見えるが、その時間は、多数分子の結果を比較すると非常に短く、ミリ秒から秒である場合がある。そこで本研究では、1分子操作法(光ピンセット)と蛍光共鳴エネルギー移動法(FRET)を組み合わせて生細胞上での分子の挙動を直接的に調べることによって、PIP₃による細胞膜直下のアクチン骨格の制御機構を解明することにした。

本年度は、新規蛍光プローブ(PIP₃-fllip)を用い、PIP₃の産生を生細胞内で可視化、検出するための条件検討を行った。

(1) PIP₃-fllipのcDNAを培養細胞に導入、発現させ

た。導入は、蛍光顕微鏡によって確認した。次に PDGF を細胞外から添加し、これによって励起される FRET 応答を確認した。また、PDGF 添加前の (生理的刺激のない状態での) FRET 応答を蛍光顕微鏡下で観察し、 PIP_3 がどれだけ存在しているか評価した。

(2) PDGF 添加によって、 PIP_3 が産生され、それにとまって、細胞内のアクチンが再編成を起こし、細胞が形を変えたり、動いたりする細胞の様子を観察した。

(3) 光ピンセットに用いる PDGF レセプターを認識する金微粒子を作製するための条件検討を行った。

誌上発表 Publications

(総説)

村瀬琴乃、小林俊秀：“ラフトの構造と機能”、*The Lipid*, 17, 304-308. (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Murase K., Shogomori H., Murate M., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: “Different cholesterol probes reveal the cholesterol gradient in cell membranes”, 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology, Kyoto Japan, Jun. (2006)

Murase K., Shogomori H., Murate M., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: “Different cholesterol probes reveal the cholesterol gradient in cell membranes”, 47th International Conference of the Bioscience of Lipids, Pecs, Hungary, Sep. (2006)

Murase K., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: “Chaos rather than rafts”, 4th Symposium on Engineering Science of Liposomes. Zurich, Switzerland, Sep. (2006)

Murase K., Hayakawa T., Murate M., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., and Kobayashi T.: “Chaos, rather than rafts”, *Glycobiology and Sphingobiology* 2007, Tokushima, Japan, Feb. (2007) 予定

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：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)

無秩序状態からの自己組織化により得られる規則的な構造は、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、障壁は少なくない。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。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。この構造色の源は、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、自己組織化によって得られる有機物規則構造体を鋳型として、規則構造を有する貴金属材料を作製し、その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、有機物規則構造体である自己組織化八二カム状高分子フィルムを鋳型とした貴金属構造体作製法の開発を試みた。

(1) 疎水性高分子で構成された八ニカムフィルムを鋳型とし、無電解めっきを含む全湿式金属化法により、規則構造を有する金属構造体を作製した。一般的に疎水性構造体に対する水系での処理は困難であるが、エタノールや有機溶媒との混合溶液を利用することで、精度良く疎水性鋳型の規則構造を、金属構造体へと転写することができた。

(2) 疎水性高分子で構成された八ニカムフィルムを鋳型とし、その化学官能基の違いを認識した選択的金属化法により、規則構造を有する金属構造体を作製した。上記(1)と同様に、疎水性構造体の水系での処理は困難であるが、その構造体のもつ化学官能基に、金属析出の触媒を配位結合させることで、水系においても規則的的金属構造体を作製することができた。

次年度は、このように自己組織的に形成される有機物規則構造体を鋳型として作製された規則的的金属構造体の機能発現に尽力したいと考えている。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishii D., Yamada T., Iyoda T., Yoshida H., and Nakagawa M.: "Thermally Reversible Structural Transformation Involving a C-H...O Hydrogen Bond in a Supramolecular Crystal", Chem. Lett. 35 1394-1395 (2006)*

Ishii D., Yamada T., Nakagawa M., Iyoda T., and Yoshida H.: "Thermally induced structural transformation in a hydrogen-bonded supramolecular single-crystal of 6-[2-methoxy-4-(4-pyridylazo)phenoxy]hexanoic acid by DSC-FTIR studies", J. Therm. Anal. Cal., 86 681-685 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

石井大佑、彌田智一、中川勝：“水素結合性分子集合体のねじれ構造発現に関する考察”、第55回高分子年次大会、名古屋国際会議場、5月(2006)

石井大佑：“PMコース修了生報告『研究者の立場』”、東工大材料系COE最終報告シンポジウム(依頼講演)、虎ノ門パストラル、1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)

粒径がサブミクロン程度のコロイド微粒子を周期的に配列させた構造体はコロイド結晶と呼ばれており、近年フォトリック結晶への応用研究が進められている。コロイド結晶では粒子間を高分子ゲルで埋めることで粒子配列の固定化が行われているが、これによりゲルの特徴も併せ持つようになる。すなわち、ゲルは応力、温度、pHなどの外部刺激により体積が変化するため、コロイド結晶ゲルでは外部刺激で格子定数が変化する、チューナブルフォトリック結晶となる。我々は、荷電安定系のコロイド結晶を平板状のキャピラリーセル内で流動させることで、一瞬にして単結晶性に優れた結晶状態に配向処理できることを見出している。さらに予め水溶性のゲル化剤をコロイド結晶に溶解しておき、流動による配向処理後、光重合による高分子のゲル化を行うこと

で、単結晶的な粒子配列構造を維持したままゲル膜状に固定化することに成功している。

本研究では、得られたコロイドフォトリック結晶ゲルの外場応答性を検討した。まず応力によるチューニングを試みた。試料をセルから取り出し、スライドガラスで挟み、均一に一軸圧縮を行った。これにより、優れた分光特性を維持したまま、ブラッグ反射波長を100nm程度まで短波長側にシフトすることができた。圧力を取り除くと、ブラッグ反射波長は元の位置に戻り、可逆的にチューニングを行うことができた。また傾斜圧縮を行うと、場所によりブラッグ反射波長が連続的に変化する傾斜コロイド結晶を得ることができた。次に、温度による制御を行うため、温度応答性のあるNIPAゲルを用いて、コロイド結晶ゲルを作製した。これまでのアク

リルアミドゲルと同様に、NIPAゲルでも流動による単結晶的な粒子配列構造を維持したままゲル膜状に固定化することができた。NIPAゲルは34以上でゲル体積が急激に収縮する。NIPAゲルで固定化したコロイド結晶ゲルでは、34以上で急激にブラッグ反射波長が短波長側にシフトした。以上のように、コロイドフォトニック結晶のブラッグ反射波長を応力、温度によりチューニングすることができた。

誌上発表 Publications

(原著論文)

金井俊光、澤田勉、下村政嗣、北村健二：“流動による大面積コロイドフォトニック結晶の作製とその光学特性”、高分子論文集、64 1 8 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

金井俊光、澤田勉、下村政嗣、北村健二：“大面積・チューナブルコロイドフォトニック結晶”、日本化学会第87春季年会ATPプログラム依頼講演、関

西大学、3月(2007)

金井俊光：“光学特性の優れたコロイドフォトニック結晶ゲル膜の作製”、日本化学会第87春季年会第21回若い世代の特別講演会、関西大学、3月(2007)

金井俊光：“微粒子配列結晶(コロイド結晶)の大面積作製と光機能”、日本セラミックス協会2007年年会サテライトプログラム招待講演、武蔵工業大学、3月(2006)

金井俊光：“三次元配列構造膜のせん断配向法”、第36回日本結晶成長学会結晶成長国内会議招待講演、大阪大学、11月(2006)

金井俊光、澤田勉、下村政嗣：“大面積コロイドフォトニック結晶ゲルの作製とその光学特性チューニング”、日本セラミックス協会第19回秋季シンポジウム、山梨大学、9月(2006)

金井俊光：“流動による高品質コロイドフォトニック結晶膜の作製”、第59回コロイドおよび界面化学討論会イブニングセッション招待講演、北海道大学、9月(2006)

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 Control

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)

有機単結晶は数 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の移動度を有し、次世代の電子材料として期待できる。シリコンおよびプラスチック基板上の任意の位置に有機単結晶を自己組織化的に形成する手法を開発し、有機単結晶電子素子による回路形成を目的としている。この有機結晶のパターニングと平行して、本年度は主に以下の2点に関して研究を行った。

(1) 有機単結晶トランジスタの短チャネル化とバイアスストレス効果

有機電界効果トランジスタ(FET)の実用化には、素子の短チャネル化とバイアスストレス特性が重要である。有機FETを短チャネル化した場合、横方向の電界強度が著しく増加することから、ゲートによるドレイン電流の制御性が低下し、on/off比とサブスレッショルド特性が劣化する。短

チャネル素子の動作原理を解明するために、チャネル長500nmおよび100nmのルブレノ単結晶FETを作製した。短チャネル効果を抑制するために、4nm厚のシリコン酸化膜をゲート絶縁層としたところ、明瞭なoff特性(on/off比 10^5)を示す低電圧駆動のFET素子を得た。この素子のバイアスストレス特性を測定した。その結果、大気下の測定にもかかわらずゲート電圧-1V、1000秒でしきい値シフト-0.081Vという結果が得られ、安定動作を実現した。

(2) 有機FETキャリア注入機構の解明と制御

有機FETのキャリア注入機構は、素子のコンタクト抵抗を決定する重要なプロセスである。現状として、コンタクト抵抗(R_c)は電極金属のフェルミレベルと有機半導体層のHOMOレベルとのエネ

ルギー差で説明されている。それに対し、コンタクト抵抗成分から求めた微分コンダクタンス $G_c = d(1/R_c)/dV_G$ が Meyer-Neldel (MN) 則に従うことを見出した。MN則はdisorderな系での伝導現象において観測される法則であり、バンド端からエクスポンENTIALな広がりを持った状態密度分布によるものである。以上の結果は、有機FETのコンタクト抵抗は単純な電極/有機半導体間のエネルギーアライメントのみでは説明できず、電極からチャンネルまでの有機薄膜内部抵抗をその起源としており、その熱活性化型のキャリア輸送過程が G_c に反映されたことを意味する。さらに、Band伝導を示す高移動度のルブレン単結晶FETで同様の解析を行い、トラップフリーのキャリア注入を観測した。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Ito H., and Aoyagi Y.: "Quasi-Fermi level tuning for visualizing the charge injection process in organic field-effect transistors", Physical Review Letters, submitted *

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Minari T., Tsukagoshi K., Nemoto T., Isoda S., and Aoyagi Y.: "Contact Resistance Extraction in Single-Crystal Organic Field-Effect Transistor", 6th International Conference on Electroluminescence of Molecular Materials and Related Phenomena (ICEL-6), Hong Kong, Aug. (2006)

Minari T., Tsukagoshi K., Hamano T., Miyadera T., and Aoyagi Y.: "Long-term stability in the operation of single-crystal rubrene transistor", KINKEN Workshop on Organic Field Effect Transistor, Sendai, Japan, Oct. (2006)

Minari T., Tsukagoshi K., Hamano T., Miyadera T., and Aoyagi Y.: "Gate-bias instability in single-crystal rubrene transistor", 2nd International Plastic Electronics Conference and Showcase, Frankfurt, Germany,

Oct. (2006)

Minari T.: "Bias-stress and short-channel effect in organic single-crystal transistor", US-Japan Young Scientists Symposium on Nanotechnology and Nanomanufacturing, Tokyo, Japan, Oct. (2006)

Minari T., Tsukagoshi K., Shibata D., Miyadera T., and Aoyagi Y.: "Local doping at the contact interface in organic thin-film transistors using charge transfer molecules", Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology (AsiaNANO 2006), Busan, Korea, Nov. (2006)

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Hamano T., and Aoyagi Y.: "Organic single-crystal transistors with sub-micron-length channel", Trends in Nanoscience 2007, Kloster Irsee, Germany, Feb. (2007)

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Ito H., and Aoyagi Y.: "Viewing density of states of the contact in organic thin-film transistors", 2007 March Meeting of the American Physical Society, Denver, USA, Mar. (2007)

Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Hamano T., and Aoyagi Y.: "Nano-scale interface control for stable operation of organic single-crystal transistors", Nano Tech Insight 2007, Luxor, Egypt, Mar. (2007)

(国内学会等)

三成剛生、宮寺哲彦、柴田大輔、藤森文浩、塚越一仁、青柳克信：“TLM測定による有機トランジスタ端子界面の特性評価”、第67回応用物理学会学術講演会、滋賀、9月(2006)

三成剛生、宮寺哲彦、塚越一仁、伊藤裕美、青柳克信：“Charge injection mechanism in organic field-effect transistors”、学術創成研究有機デバイス関連界面の解明と制御」公開シンポジウム、名古屋、10月(2006)

三成剛生、宮寺哲彦、濱野哲子、塚越一仁、青柳克信：“ルブレン単結晶FETの短チャンネル化とバイアスストレス効果”、第54回応用物理学関係連合講演会、神奈川、3月(2007)

三成剛生、宮寺哲彦、塚越一仁、伊藤裕美、青柳克信：“有機FETキャリア注入機構の解明”、第54回応用物理学関係連合講演会、神奈川、3月(2007)

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、これらの実験を行う上での準備を行った。具体的には、過去のデータである ^{74}Ni の陽子非弾性散乱実験について、精度を向上させた再解析を行った。その結果、これまでは強く励起に関与しないと捉えられていた陽子コアが、中性子数が40を超えた領域では中性子にひきずられて偏極を起しているという描像を新たに得ることに成功した。このほかの活動としては、来年度以降実施する実験で使用する検出器(線検出器およびシリコン半導体検出器)および液体水素標的装置を想定している実験条件に最適化するための準備を行った。資料となる不安定核をビームという形で使用するため、イン・ビーム線核分光という実験手法を選択する。線核分光実験を高い精度でかつ効率良く実現するために、既存の検出器の特性をシミュレーションに取り入れ、検出効率および分解能を最適化する配置を考案した。この配置を実現する架台の製作、および検出器の性能試験は引き続き遂行中である。

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
 本林重イオン核物理研究室
 (アドバイザー 本林 透)

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分解敷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数えられる程度である点、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、従来知られている $^{12}\text{C}+$ クラスター構造を持った状態の他、4敷居エネルギー近傍に比較的大きな核半径を持った状態が得られ、この状態がHoyle状態の成分を非常に多く含んでいることを明らかにした。
- (2) 最近4敷居エネルギー近傍に観測された 0^+ 状態について、理論計算との対応を議論した。凝縮タイプの微視的4クラスター模型波動関数が表現する4凝縮状態が、非弾性散乱断面積の角度分布、崩壊巾の実験データをよく再現していることを示した。更にこの断面積角度分布の絶対値は4凝縮状態の半径に非常に敏感に依存し、非常に大きな核半径をもつことによるのみ実験値が再現されることを示した。
- (3) ^{11}B には殻模型では再現できない励起状態が存在し、特徴的に大きな $B(E0)$ 値を持つことが実験で示されている。半微視的クラスター模型を用いて、 2^+ tクラスターのガスの構造との関連を調べている。またクラスター状態と殻模型的状態との $B(E0)$ 値が小さくは成り得ないことを理論的に明らかにした。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Funaki Y., Tohsaki A., Horiuchi H., Schuck P., and Röpke G.: "Inelastic form factors to alpha particle condensate states in ^{12}C and ^{16}O : what can we learn?",

Eur.Phys. J. A 28, 259 (2006)*

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 (α,α') at 400 MeV", submitted to Phys. Lett. B*

(その他)

Funaki Y., Schuck P., Horiuchi H., Röpke G., Tohsaki A., and Yamada T.: "Alpha particle condensation in nuclear systems", Proceedings of International Conference on Reaction Mechanisms and Nuclear Structure at the Coulomb Barrier (FUSION06), AIP Conf. Proc. 853, 140 (2006)

Funaki Y., Tohsaki A., Horiuchi H., Schuck P., and Röpke G.: "Alpha condensed state in ^{16}O ", Proceedings of the RCNP Osaka Spring Workshop on Cluster Condensation and Nucleon Correlation in Nuclei, Mod. Phys. Lett. A 21 (31-33), 2331 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Funaki Y.: "Alpha condensed state in ^{16}O ", RCNP Osaka Spring Workshop on Cluster Condensation and Nucleon Correlation in Nuclei, Osaka, Japan, April (2006)

Funaki Y.: "Alpha cluster states in ^{12}C and ^{16}O ", International Conference on Nuclear Structure '06 (NS06), Oak Ridge, Tennessee, USA, July (2006)

Funaki Y.: "Alpha condensed state in ^{16}O ", International Workshop on Alpha Particle Condensation in Nuclear Systems, Munich, Germany, August (2006)

Funaki Y.: "Alpha condensed states in ^{12}C and ^{16}O ", 2nd German-Japanese Workshop on Nuclear Structure and Astrophysics, Wako, Japan, October (2006)

(国内学会等)

船木靖郎: "Alpha cluster states in ^{16}O ", 陽子中性子弱結合と、凝縮に関する小規模ワークショップ、理研、7月 (2006)

船木靖郎: "Alpha condensed state in ^{16}O ", 日本物理学会2006年秋季大会、奈良女子大学、9月 (2006)

船木靖郎: "有限核における粒子凝縮状態", 基研研究会「原子核クラスター物理の現状と展望」、京都大学基礎物理学研究所、12月 (2006)

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)

原子が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形成される超微細構造は、原子核の電磁気モーメント、大きさ、変形度など、原子核の様々な構造・性質を調べる極めて有用なプローブの一つである。私は超微細構造測定を、近年特に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 原子に対して適用すべく、測定法の研究開発を進めている。これ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ものである。

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・マイクロ波二重共鳴法を用いて ^{133}Cs 原子の超微細構造を精密に測定し、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がわずかに増大することを確認した。

本年度は測定法をさらに改良し、今まで未知であった ^{133}Cs 原子以外の原子、 ^{85}Rb 、 ^{87}Rb についてその超微細構造測定に成功した。さらに得られた超微細構造準位間隔から、以下の新しい事実を突き止めた。

- (1) 超流動ヘリウム中における ^{85}Rb 、 ^{87}Rb 原子の超微細構造相互作用は ^{133}Cs 原子と同様、ともに真空中に比べわずかに増大していたが、増大量はCsの方がRbに比べて大きい。一方Rb原子の同位体を比べるとほぼ同じ変化量であった。この結果は周りのヘリウム原子との相互作用は元素依存性、つまり原子の大きさや価電子の結合の強さなどに大きく関係するためと考えられる。
- (2) 今回測定したRb原子の同位体それぞれの超微細構造から、 ^{87}Rb 核のモーメントを参照として ^{85}Rb 核のモーメントを導出し、真空中とほぼ同じ値が得られた。このことは、超流動ヘリウム中でも超微細構造測定から核モーメントを決定するこ

とが可能であることを立証するものである。観測された核モーメントと真空中での値とのズレは、超微細構造異常とよばれる原子核の大きさに起因する効果による。超流動ヘリウム中における超微細構造異常の値も今回の測定にて初めて決定され、真空中と5%程度の範囲で一致した。5%程度の超微細構造異常効果のズレも周りのヘリウム原子からの影響であると考えられる。物質中での超微細構造異常を測定した例は過去になく、本研究は世界初の結果として注目を集めている。

誌上発表 Publications

(その他)

Furukawa T., Matsuo Y., Hatakeyama A., Ito T., Ota Y., Fujikake K., Kobayashi T., and Shimoda T.: "Hyperfine-structure spectroscopy of stable ^{133}Cs atoms in He II", RIKEN Accel. Prog. Rep. 2005AA 39 104 (2005)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

- 古川武：“レーザー分光による超流動ヘリウム中での原子・原子核スピン物理の研究”、理研RIBFセミナー、和光、4月(2006)
- 古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、太田嘉穂 藤掛浩太郎、小林徹、下田正：“超流動ヘリウム中に植え込まれた原子の超微細構造”、第3回AMO 討論会、駒場、6月(2006)
- 古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、太田嘉穂 藤掛浩太郎、小林徹、下田正：“超流動ヘリウム中のアルカリ金属原子のスピン偏極および磁気共鳴”、日本物理学会2006年秋季大会、奈良、9月(2006)
- 古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、太田嘉穂 藤掛浩太郎、小林徹、下田正：“超流動ヘリウム中に植え込まれた原子の超微細構造”、第27回

原子衝突若手の会、八王子、9月(2006)
古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、太田嘉穂
藤掛浩太郎、福山祥光、小林徹、下田正：“超流動ヘリウム中に植え込まれた原子の超微細構造と核構造研究への応用”、第3回「停止・低速不安定核を用いた核分光研究」研究会、熊取、11月(2006)

古川武、松尾由賀利、畠山温、伊藤龍浩、太田嘉穂
藤掛浩太郎、小林徹、下田正：“Hyperfine structure of alkali atoms in superfluid helium”、理研RIBFミニワークショップ『レーザー光利用の次世代加速器実験 その発展と物理学への貢献』研究会、和光、11月(2006)

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
旭応用原子核物理研究室
(アドバイザー 旭 耕一郎)

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ップライン近傍の原子核の研究が盛んに研究されている。中性子過剰核において、原子核の変形によって引き起こされる魔法数 $N=8, 20$ の消失、 $N=16$ の生成や、バレンス核子の緩い束縛による中性子スキン構造、ハロー構造など、安定核には見られない新奇な構造が発見された。陽子過剰核においても、同様の新奇な構造があると期待されており、反応断面積の測定や核モーメントの測定が行われてきた。特に陽子ドリップライン近傍の核磁気モーメントの系統的な研究では、興味深い現象が明らかになってきた。 ^{9}C 核の磁気モーメントの絶対値は、現在の標準的なモデルで予測される値と比べて異常に小さな値として観測された。バレンス核が安定核の束縛エネルギー 8MeV と比べて非常に緩く束縛されている (125keV) ^{23}Al 核の磁気モーメントは、その予測値と同程度でことが判明した。一方、最近報告された ^{57}Cu 核の磁気モーメントは、安定核のすぐ隣であるのにも関わらず、異常に小さな値であった。このように陽子過剰核は構造において未知な部分が多く、系統的な研究をさらに進める必要がある。本研究では β -NMR / NQR法によってドリップライン近傍の ^{31}Cl 核の核電磁モーメントを測定し、核構造を明らかにすることが目的である。 ^{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、ハロー構造の

ような新奇な構造をしている可能性がある。核磁気双極子モーメントと電気四重極モーメントは、それぞれ、原子核の核スピンと変形に対して敏感な物理量であるため、核構造の研究に適している。

β -NMR / NQR法は 線の非対称分布を指標としているので検出効率が高く、稀少な ^{31}Cl 核のモーメントの測定に対して有効な測定法である。 β -NQR法の測定感度をさらに上げるために、大出力のRF磁場の発生が必要となる。その為のマルチスイッチング方式の共振回路の開発を行っている。これら装置を用いて ^{31}Cl 核の磁気双極子モーメントおよび、電気四重極モーメントの測定を行い、陽子過剰領域の核構造の解明を目指す。

口頭発表 Oral Presentation
(国際会議)

Nagatomo T., Minamisono K., Matsuta K., Levy C.D.P., Sumikama T., Ozawa A., Tagishi Y., Mihara M., Ogura M., Matsumiya R., Fukuda M., Yamaguchi M., Behr J.A., Jackson K.P., Fujiwara H., Ohta H., Yasuno T., Hashizume Y., and Minamisono T.: “Alignment correlation terms in β -ray angular distributions from spin aligned ^{20}F and ^{20}Na ”, The 17th International Spin Physics Symposium, Kyoto, Japan, Oct.(2006)

(国内学会等)

長友傑、南園啓、松多健策、Levy C.D.P.、三原基嗣、炭竈聡之、小沢顕、田岸義宏、小倉昌子、松宮亮平、福田光順、山口充孝、Behr J.A.、Jackson K.P.、

藤原弘樹、安野琢磨、太田寛史、橋爪佑平、千葉明子、南園忠則：“ベータNMR法を用いた質量数20体系の線角度分布の精密測定による第二種核

子流の探索”、平成18年度KUR専門研究会「原子核プローブ生成とそれを用いた物性研究II」、熊取、11月(2006)

XVIII - 031

新魔法数 $N = 34$ の探索

Search for the New Magic Number $N = 34$

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)

中性子数が40以上程度の重い中性子過剰核での新たな閉殻構造について検証するため、中性子数が34である ^{54}Ca とその近傍核についての研究を行う。 $N = 34$ 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 γ 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 からの入射核破碎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 γ 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、既存施設で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、先に予定されているRIBFに於ける実験の問題点・改良すべき点の比較検討を行った。例えばRIBFに於いては、二次ビームのエネルギーが既存施設に比べ約5倍程度(～光速の60%)まで増加するため、最下流に設置する全エネルギー検出器は大きな物質量を必要とする。今後は、十分な分解能が得られ且つ物質量の大きな全エネルギー検出器として、Na(Tl)結晶を用いた新たな検出器を開発する。

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)

核子密度分布は原子核の大きさ、形をあらわすもっ

とも直接的な情報と考えられる。不安定核においてさ

さまざまな方法において原子核の大きさ、形を調べられてきたがわれわれは数百MeV領域の陽子を用いた弾性散乱を用いることによって核子密度分布を得るための開発を行っている。その研究のために大別して三つの目的に分けて行った。

(1) 陽子-原子核散乱の有効相互作用の理解

比較的軽い領域における有効相互作用の理解を目的とし、今年度大阪大学核物理研究センター(RCNP)において $^{16,18}\text{O}$ の陽子弾性散乱実験を行った。ターゲットには酸化物である合成石英ガラス(SiO_2)、また近年PET等で広く使われることにより比較的廉価で手に入りやすくなったWater-180(H_2^{18}O)を氷として用いた。データ収集を今春に終了し現在解析中である。

(2) 不安定核弾性散乱のための開発、測定

まず昨年度末に300MeV/uの中性子過剰核 ^{20}O を用いた放射線医学総合研究所(NIRS-HIMAC)で行った開発実験の解析を行い、陽子標的からの散乱の同定に成功した。しかしこのとき厚い陽子標的を用いたためにエネルギー分解能が悪く、弾性散乱の同定には至らなかった。この結果をうけて

弾性散乱と非弾性散乱を識別できるほどの高分解能測定を目指した測定を今夏HIMACで行った。データは解析中であるが高いエネルギー分解能をもって弾性散乱、および非弾性散乱のいくつかの励起を識別することに成功し、弾性散乱の断面積の角度分布を導出した。これはこのエネルギー領域においては初めての測定となり、不安定核の核子密度分布を研究するうえで重要な情報となることが期待される。また $^{16,18}\text{O}$ の解析と合わせることにより酸素同位体における系統的な研究が期待できる。

(3) RIBFに向けた高計測率検出器の開発

標的と散乱した重イオンの情報を得ることは反応を確定する上で重要である。その目的のひとつとして全エネルギー検出器の開発を行った。応答の速い検出器としてCsI[pure]結晶のテストを行った。ビームは300MeV/uの陽子過剰核 ^{9}C を用い、典型的に毎秒 10^4 個程度の計測率環境下において検出器が動作するのを確認したが、エネルギー分解能がよくないためにさらに重い質量領域に適應させるのが難しいことがわかった。集光効率を上げるなどの更なる開発を計画している。

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。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進展させるため、今年度は特に入射チャンネルでの捕獲断面積を見積もるモデルの精密化を目標に研究を行った。そして比較的実験の不定性が小さい中重核領域の系でモデルの検証を行った。

近年、融合断面積の精密測定が行われた中重核反

応 $^{64}\text{Ni}+^{64}\text{Ni}$ において、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検討した。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モデルを提案した。

この二段階モデルで融合断面積は、チャンネル結合法により計算された二体の捕獲断面積と、WKB近似を

用いた断熱的一体場ポテンシャルの透過確率により計算される。この計算で核力ポテンシャルとして、原子核の飽和性の効果が現象論的に考慮された、Krape-Nix-Sierk (KNS) 型を用いた。また一体の形状はLemniscatoidsパラメトリゼーションにより記述されている。

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。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

市川隆敏、岩本昭、萩野浩一：“超低入射エネルギーでのサブバリア核融合断面積における融合障害と慣性質量の効果”、日本物理学会2006年秋の分科会、奈良女子大学、9月(2006)

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。現在の具体的な研究内容は主に次のようになっている。

(1) パイ0粒子生成におけるスピン非対称度の測定

RHICにおいて生成されるパイ0粒子のほとんどは陽子同士の衝突によって生成される Jet の一部であり、そのスピン非対称度を測定することは陽子内部のグルーオンの偏極度の決定に直接結びつく。現在、我々は2005年に取得したデータの解析をほぼ完了し、論文発表の準備を進めている。このデータにより、これまで大きかったグルーオン偏極度の誤差を大幅に小さくできると期待されている。

(2) PHENIX 実験でのローカルポラリメーターの運転

ローカルポラリメーターはPHENIX実験において陽子衝突点での陽子の偏極方向を測定している。偏極ビームを扱う実験において、ビームの偏極の大きさ、方向を確実にコントロールすること

は最も重要なことのひとつである。ローカルポラリメーターは偏極陽子衝突において超前方に生成される中性子のスピン非対称度を利用しており、この非対称度は物理学的にも興味のもたれている現象である。現在、我々はこの非対称度の測定結果を論文にし、発表する準備を進めている。

(3) W ボソン粒子の測定のためのトリガーの開発

最近、パイ0粒子を用いた研究を始めとする研究により陽子内グルーオン偏極度に対する情報が得られてきた。それにつれて、グルーオン偏極度とともに不確定な部分が大いシークォークの偏極度を決定することの重要性が増してきている。PHENIX実験において、その測定にはWボソン粒子の測定が有力と考えられているが、現在のデータ取得方法では効率のよい測定が行えない。それを解決するためのトリガーシステムの開発を行っている。

口頭発表 Oral Presentations
(国際会議)

Y. Fukao for the PHENIX collaboration：“ Δg measurement at PHENIX”, DIS2006, Tsukuba, Japan, Apr. (2006)

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)

アインシュタインの一般相対性理論の提唱から一世紀近くが経つが、重力の量子論を構成することに成功した者は未だ居ない。有力な候補であるひも理論も、その厳密な定義は平坦な時空上での散乱の摂動論によってしか与えられていない。TeVスケール重力シナリオにおいては、重力の量子効果あるいは非摂動効果が重要になってくるプランクスケールが文字通りTeVスケール付近にあり、2008年夏にも本格稼働が予定されている加速器 LHC によりこれが直接実験的に検証可能となる。特にプランクスケールより上では、高次元ブラックホールの生成があらゆる相互作用を凌駕し、LHC において多ければ数秒に一回の割合でブラックホール生成がおこる事になる。このとき、ブラックホール描像での詳細な予言を行なっておく事により、量子重力的效果はそこからのずれとして観測できる事が期待される。

本年度は、ブラックホールの崩壊で生成されるクォークやグルーオンがジェットではなくクォーク・グルーオン・プラズマを形成する、というアンコルドキとゴールドバーグによる主張が誤りであることを、重イオン散乱におけるクォーク・グルーオン・プラズマ生成のコード VNI のアルゴリズムを改良した詳細なシミュレーションにより示すことに成功した。具体的には、まずブラックホールの崩壊により生成されるパートン状態を構成し、高次元のプランク質量を現在の実験で許される下限値に置いたときでも、10TeV以下の質量のブラックホールの崩壊により生成されるパートン数は25個以下である事を示した。VNI のアルゴリズム

ムについては、散乱過程に有限の時間がかかるという事を取り入れるように改良した。結論としては、パートン・パートン散乱の効果は、荷電ハドロン間の角度相関においても、大きなエネルギーを得る相空間上のセルの数に置いても、実際上無視できる事を得た。

誌上発表 Publications
 (原著論文)

Alig, C., Drees, M., and Oda, K.: "QCD effects in the decays of TeV black holes", JHEP 0612, 049 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations
 (国際会議)

Oda, K.: "Black hole production at collider", Joint Meeting of Pacific Region Physics Communities (APS-DPF2006 + JPS2006 ...), Honolulu, USA, Oct. 29 – Nov. 3, 2006

(国内学会等)

尾田欣也: "ワーブ空間上の場の量子論の2つの正則化について", 理研集中セミナー「ワーブ空間上の大統一・電弱対称性の破れ」, 和光, 1月27日

尾田欣也: "Smoothing out negative tension brane", 弦理論と場の量子論における新たな進展, 京都大学基礎物理学研究所, 9月12日~16日 (2006)

尾田欣也: "Producing Black Holes at Collider", 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 7月31日~8月3日 (2006)

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)

2次元格子上での超対称性を持った場の理論の定

式化は、N=2のような複数の超対称性を持つ場合に

いくつかの方法が提唱されている。それらの模型のうち、ゲージ対称性を持った模型について数値シミュレーションと、模型そのものの発展を目的とした。超対称性は相互作用をになうボソンと物質場であるフェルミオンを統一的に記述する対称性であり、近い将来発見されると期待されている。しかし場の理論に伴う発散の正則化は、超対称性を保つ形では知られていない。時空を格子に切って扱う方法は、場の理論を非摂動的に正則化する唯一知られた方法であり、本研究はこの格子正則化を用いて超対称性を持った理論を記述する試みである。また、格子を用いた記述はゲージ理論や重力で成功を収めているので、長期的にはすべての相互作用と物質場を統一的に理解するのに役立つと期待している。

数値シミュレーションの際には、実際に計算すべき物理量が必要である。まず、 $N=2$ の超対称ゲージ理論 (Yang-Mills 模型) を含む 2 次元のあるクラスの理論において、対称性から要請される質量ゼロのボソン状態の存在を明らかにした。超対称性があればボソン状態と対になるフェルミオンの状態が存在する。この結果から質量ゼロの対になったボソン状態とフェルミオン状態の存在は、格子上の超対称性の実現を確かめる一つの指標になることがわかる。また一般には作用関数の連続極限への近付き方も指標として利用できる。実際にシミュレーションを試みている模型では、ボソンの質量ゼロ状態の計算が困難であり、後者の指標の方が実用的であることが分かった。本年度でシミュレーションに必要なノウハウは蓄積できたので、来年度に結果が出てくると期待する。

模型の発展については、シミュレーションに用いている模型とは別の、超対称性と格子のリンク構造を結びつけるタイプの模型について、リンクの向きづけとエルミート性に関する性質を調べた。その結果、 $N=2$ に保つならばユークリッド時空からミンコフスキー時空への変更が必要になること、またユークリッドに保つならばエルミート供役を新しい自由度として導入する必要が生じ $N=4$ への拡張が必要になること、を明らかにした。

誌上発表 Publications (原著論文)

Hidenori Fukaya, Masashi Hayakawa, Issaku Kanamori, Hiroshi Suzuki and Tomohisa Takimi: "Note on Massless Bosonic States in Two-Dimensional Field Theories", Prog.Theo.Phys., 116, 1117-1129 (2006)

口頭発表 Oral Presentations (国際会議)

Alessandro D'Adda, Issaku Kanamori, Noboru Kawamoto, Kazuhiro Nagata and Jun Saito: "Hermiticity and Majorana condition for tow-dimensional super Yang-Mills on a lattice with Dirac-Kaehler twist", Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities, Hawaii, USA, Oct. (2006)

Issaku Kanamori: "Hermiticity and Majorana condition for two-dimensional super Yang-Mills on a lattice with Dirac-Kaehler twist", Fundamental Problems and Applications of Quantum Field Theory, Dec. (2006)

XVIII - 037 超対称性を持ったゲージ場の理論に関連する強弱双対性の起源の理解

Understanding of the Origin of Strong-Weak Dualities Related to Supersymmetric Gauge Field Theories

研究者氏名： 横井 直人 Yokoi, Naoto
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)

本研究の目的は、超対称性と呼ばれるボソンとフェルミオンを変換する対称性を持つゲージ場の理論における強弱双対性の理解である。この双対性は電磁気学における電場と磁場を入れ替える対称性の拡張であり、強結合領域のゲージ場の理論と弱結合領域の異なったゲージ場の理論との対応であるが、

この理解が進むことにより、量子色力学で起こっているクォークの閉じ込め現象などの摂動展開が有効でない強結合特有の現象に新しい視点が提供されるものと期待される。本年度は、これらの双対性を理解する際に非常に重要になるソリトンと呼ばれるゲージ場の理論における古典解のダイナミクスに関

する研究を中心に行った。

具体的には、まず非可換ヴォーテックスと呼ばれる一次元的なひも状の古典解について、その解空間の構造を詳細に調べ、そこから上記の双対性へのいくつかのヒントを得た。特に、双対な理論において基本的な役割を果たす、磁気単極子の一般化である非可換モノポールと呼ばれる点状のソリトン解の性質や双対なゲージ対称性の下での変換性は長年の間謎に包まれていたが、我々の非可換ヴォーテックスの解空間の解析を用いることにより、ある場合にはそれらの変換性を具体的に議論することが出来た。また、その結果といくつかの例で知られている非可換モノポールの強結合領域での量子論的振舞いとを比較することにより、我々が得た結果の整合性を議論した。実際に、このヴォーテックス解はクォークの閉じ込めを起こしているグルーオンのフラックスの双対な対象とも考える事が出来、そのダイナミクスは閉じ込め現象に対する理解の重要な鍵を握っていると思われる。

また他にも、超対称性を持ったゲージ場の理論と無矛盾な量子重力理論の有望な候補である超弦理論との強弱双対性であるAdS/CFT対応に関しても研究を行い、そこから量子重力理論での難問であるブラックホールの量子論的ダイナミクス、特に一般相対性理論から示唆されるブラックホール固有のエントロピーの統計力学的な解釈やブラックホールの量子論的蒸発に付随する情報損失問題への示唆などについて研究を行った。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Eto M., Konishi K., Marmorini G., Nitta M., Ohashi K., Vinci W., and Yokoi N.: "Non-Abelian vortices of higher winding numbers", *Physical Review D*, 74 065021.1-065021.19 (2006)*

Eto M., Ferretti L., Konishi K., Marmorini G., Nitta M., Ohashi K., Vinci W., and Yokoi N.: "Non-Abelian duality from vortex moduli: a dual model of color-confinement", Submitted to *Nuclear Physics B*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Eto M., Konishi K., Marmorini G., Nitta M., Ohashi K., Vinci W., and Yokoi N.: "Non-abelian duality from vortex moduli", Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities (DPF2006+JPS2006), Honolulu, USA, Oct.-Nov. (2006)

(国内学会等)

小西憲一、Marmorini G.、Vinci W.、横井直人: "Z_N vortices in N=1' SU(N) gauge theories", 2006年度基礎物理学研究所研究会「弦理論と場の量子論における新たな進展」、京都、9月(2006)

衛藤稔、Ferretti L.、小西憲一、Marmorini G.、新田宗土、大橋圭介、Vinci W.、横井直人: "Non-abelian duality from vortex moduli", 2006年度基礎物理学研究所研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」、京都、12月(2006)

XVIII - 038 QCD相転移の臨界点近傍におけるクォークの準粒子描像と観測量

Quasi-particle Picture of Quarks near Critical Temperature of QCD Phase Transition

研究者氏名: 北沢正清 Kitazawa, Masakiyo

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)

超高温もしくは超高密度物質中では、量子色力学(QCD)の基本自由度であるクォークとグルオンが核子への閉じ込めから解放された、クォーク・グルオン・プラズマ(QGP)状態が実現していると考えられている。私は本年度、特にクォークの性質に注目しながらQGP相が持つ物性的性質の研究を行った。本年度はこの問題へのアプローチとして、有効モデル

を用いた研究と、格子QCDによる第一原理計算という、二種類の異なった手法による研究を並行して行ったことが特徴として挙げられる。

前者については、比較的低温度のQGP相の特徴を抽出したモデルとして、湯川模型やNambu-Jona-Lasinio(NJL)模型を採用し、QGP相の内部においてクォークがどのような準粒子スペクトルを持つかを

調べた。このうち湯川模型を用いた解析においては、私達が以前の研究で指摘していた、QGP 相内のクォークスペクトルに出現する低エネルギー・低群速度の集団運動モードの発現機構を理解することを目的とし、このモードがハドロンの励起を介した共鳴散乱によって出現するメカニズムを説明した。また、NJL 模型を独自に拡張したモデルを提案し、このモデルを用いることでクォークの準粒子描像の変化が QCD 相転移や QGP 相におけるハドロンの励起の安定性にどのような効果をもたらすかを調べた。

またその一方で、QGP 相内におけるクォークのスペクトル関数を格子 QCD による第一原理計算により数値的に求める試みも行った。本年度はこの研究の第一段階として、クォークの伝搬に対しグルオン場が及ぼす効果のみを取り込んだ近似である Quench 近似を採用し、クォークの裸の質量を外部パラメータとして変化させながら QGP 相におけるクォークのスペクトル関数を測定した。この研究により、QGP 相

内のクォークがグルオン場との相互作用によって獲得する熱質量の値が第一原理計算によって決定されつつある。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Masakiyo Kitazawa, Dirk H. Rischke and Igor A. Shovkovy: “Stable gapless superconductivity at strong coupling”, Physics Letters, B637, 367-373 (2006)*

Yoshimasa Hidaka and Masakiyo Kitazawa: “Chiral transition and mesonic excitations for quarks with thermal masses”, Physical Review D75, 011901(R) (2007)*

Masakiyo Kitazawa, Teiji Kunihiro and Yukio Nemoto: “Novel Collective Excitations and Quasi-particle Picture of Quarks Coupled with a Massive Boson at Finite Temperature”, Progress of Theoretical Physics Vol.117 103-138 (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の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で現在進行中であり実験データも続々と出てきている。この超高温高密度のハドロンの性質を明らかにするために以下の2つの研究を行った。

熱的質量と呼ばれる媒質特有の質量を持ったクォークのカイラル対称性の回復に伴うソフトモードへの効果を調べた。カイラル相転移温度より上では、対称性によりクォークプロパゲータのスカラー項(通常質量項)は禁止されるが、有限温度中ではソフトなグルーオンの効果によりカイラル対称性を破らない質量をクォークは持つことが出来る。この熱質量はHard Thermal Loop (HLT) 近似と呼ばれる手法で超高温で予言されている。また、クォークのスペクトルにはランダウダンピングと呼ばれるダンピン

グモードも存在することが知られており、クォークがこのような熱質量やランダウダンピングモードを持つ場合にカイラル対称性の回復に伴うソフトモードのスペクトルがどのように変更をうけるかを調べた。単純にはクォークが熱質量を持つことによって閾値が上昇しソフトモードが非常に安定になることが予想される。しかし実際には閾値は上昇するが、ランダウダンピングに起因した効果により閾値より下でもソフトモードのスペクトルは大きな幅を持つことがわかった。我々は、クォークのスペクトルを熱質量だけで特徴付けるだけでは、十分でなくランダウダンピングの効果も大変重要であることを指摘した。

また、有限密度の格子 QCD の符号問題と呼ばれる深刻な問題の本質を明らかにするために QCD のある極限(ケミカルポテンシャルとクォークの質量が無限大の極限)から導出される簡単な模型を用いて平均場近似での解析を行った。このシンプルなモデルの中

でも符号問題は存在し符号問題に対するいくつかの理解を与えた。残念ながら符号問題の解決には至らなかったがQCDの符号問題を解決するためのアイデアを最初にテストするモデルを提供したと言える。さらなる研究により更なる成果が期待される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Hidaka Y., Kitazawa M.: "Chiral transition and mesonic excitations for quarks with thermal masses", Phys. Rev.

D75, 011901 (2007)*

Fukushima K., Hidaka Y.: "Model study of the sign problem in the mean-field approximation", Phys. Rev. D75, 036002 (2007)*

口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

日高義将、北沢正清: "有限温度カイラル相転移に対するクォークの熱質量の効果", 日本物理学会、奈良女子大学、2006年9月20日~23日

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。

18年度は、*Efhc1* 遺伝子改変マウスの作出、作成されたマウスの解析を行った。戻し交配により維持している *Efhc1* 遺伝子改変マウス(N4~N6世代)から *Efhc1* 遺伝子改変をホモ、ヘテロ接合体で持つマウスおよび野生型マウスをとり、ゲノムサザン、ノーザンブロット、RT-PCR、ウエスタンブロットなどの解析を行い、遺伝子改変マウスにおいて、目的通りの改変がなされている事を確認した。野生型、ヘテロおよびホモ接合体で遺伝子改変がなされたマウスの脳における組織学的な変化を検討す

るために、生後0日、1ヶ月および2ヶ月齢のヘマトキシリン・エオシン染色を行った脳切片の作成・観察を行った。その結果、野生型とホモ接合体の動物間で、顕著な脳の形態学的構造異常を発見した。また、マウスの痙攣発作感受性を検討する為に、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た。その結果、野生型とホモおよびヘテロ接合体の動物間で痙攣発作閾値に有意な差が観察された。現在、脳の形態学的構造異常のみられた部位において、どのような細胞の種類・集団が、どのような異常を生じることにより、構造異常に発展したのかを詳細に検討する為に、免疫組織化学染色を行い検討中である。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Suzuki T., Delgado-Escueta A.V., Alonso M.E., Morita R., Okamura N., Sugimoto Y., Bai D., Medina M.T., Bailey J.N., Rasmussen A., Ramos-Peek J., Cordova S., Rubio-Donnadieu F., Ochoa A., Jara-Prado A., Inazawa J., and Yamakawa K.: "Mutation analyses of genes on 6p12-p11 in patients with juvenile myoclonic epilepsy", Neurosci. Lett., 405 (1-2) 126-131 (2006) *

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)

神経系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、複数の異な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generalな作用機構となり得る。

本研究では、神経回路網形成を制御する新たな受容体の同定法構築を目的とする。具体的には、形質膜蛋白質のみを対象にして、ARF機能抑制因子(ARF-GAP)との相互作用を指標にスクリーニングを行う。また、得られた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。本研究は神経回路網制御受容体の大規模同定や迅速な機能解析法のモデル構築としての意義もある。

本年度は、主に以下の3点を行った。

(1) 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。これら候補因子の内いくつかは、既知の反発性ガイド分子受容体であったことから、本スクリーニング法の妥当性を示唆している。

(2) 今回得られた新たな神経回路網制御受容体について、ARF-GAPとの物理的相互作用など生化学的解析を行った。その結果、培養神経細胞やマウス脳の内在性タンパク質間の結合が確認された。

(3) 候補受容体のゼブラフィッシュ胚における発現パターンを *in situ*ハイブリダイゼーションと免疫染色により解析した。複数の候補因子が内耳などの感覚器官に特異的に発現することが見出された。

今後、候補受容体とARF-GAPの遺伝子機能破壊を行い、感覚器官周辺の神経回路や感覚機能への影響を中心に解析を進める。

誌上発表 Publications

(総説)

西谷直之：“4インテグリンによる細胞前後極性形成機構”、生化学 第78巻 4号 334-337頁 (2006)

西谷直之：“Inside-outインテグリン活性化、ミクロからマクロへのダイナミクス”蛋白質核酸酵素 第51巻 6号 606-615頁 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内発表等)

Naoyuki Nishiya, Christopher A. Jones, Dean Y. Li, and Mark H. Ginsberg：“ARF-GTPase activating protein (ARF-GAP) activity mediates Robo4-dependent repulsion”、日本分子生物学会2006フォーラム、名古屋、12月 (2006)

Naoyuki Nishiya and Hitoshi Okamoto：“Development of a screening method for ARF-inhibitory guidance receptors”、BSI Retreat、埼玉県大里郡、10月 (2006)

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のアプローチと、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。

アルファ波とは閉眼時などに後頭の発生する7-13Hz程度の自発脳波の事で、主に大脳皮質の一次視覚野によって生じることが知られている。しかしながらアルファ波の発生機序としては、皮質間伝播による同期活動、あるいは視覚皮質外からのなんらかの同期信号の入力などの様々な仮説が提案されているものの未だに不明のままである。

本年度は、まずトップダウン的なアプローチとして、synfire chainと呼ばれる現象について数値解析的に調べた。synfire chainとは、ニューロンの同期発火の集合がフィードフォワードネットワーク内を連鎖的に伝播する現象で、脳内で情報伝達を担う機構の有力な候補の一つとして注目されている。

Hodgkin-Huxleyニューロンによって構成されたフィードフォワードネットワークにおける数値シミュレーションの結果から、特定の層に対する抑制性の入力、その層を通る同期発火との入力時間差によって、増強と減衰の両方の効果を示した。これに対して興奮性の入力は抑制入力のような両方向性の効果を持たないばかりか、同期発火の持つ時間情報を打ち消してしまい、伝播の制御には適さないことが示された。

これらの結果は、ニューロンの同期発火を発生するためには空間的に一様な抑制入力が効果的であることを示している。従って、アルファ波の発生においても一次視覚野の広い範囲にわたる抑制性の投射が関与している可能性が示唆される。

誌上発表 Publications

(原著論文)

篠崎 隆志、宮脇 陽一、武田 常広：“視野闘争知覚の反応時間とMEG反応”、日本生体磁気学会誌 19、No. 1、pp.198-199 (2006)*

篠崎 隆志、加藤 英之、浦久保 秀俊、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の制御”、信学技報、No. NC2006-45、pp.1-6 (2006)

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、印刷中*

Shinozaki T., Cateau H., Urakubo H., and Okada M.: “Controlling synfire chain by inhibitory synaptic input”, J. phys. Soc. Jpn., in print.

(単行本)

篠崎 隆志、浦久保 秀俊、加藤 英之、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の流れの制御”、日本神経回路学会第16回全国大会講演論文集、pp.62-63 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Shinozaki T., Miyawaki Y., and Takeda T.: “Hierarchical processes of motion perception in binocular rivalry”, 6th Annual Meeting of the Vision Sciences Society (VSS 06), Sarasota, USA, May (2006)

Shinozaki T., Miyawaki Y., and Takeda T.: “Comparison between reaction times and MEG responses of binocular rivalry”, 15th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG 2006), (International biomagnetism and bioelectromagnetics society), Vancouver, Canada,

Aug. (2006).

Shinozaki T., Miyawaki Y., and Takeda T.: "Hierarchical processes of motion perception in binocular rivalry", 36th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2006), Atlanta, USA, Oct. (2006).

Shinozaki T., Cateau H., Urakubo H., and Okada M.: "Controlling synfire chain by inhibitory synaptic input", Computational and Systems Neuroscience 2007 (Cocysyne 2007), Salt Lake City, USA, Mar. (2007).

(国内会議)

篠崎 隆志、宮脇 陽一、武田 常広：“視野競争知覚の反応時間とMEG反応”、第21回日本生体磁気学会、(日本生体磁気学会)、東京、6月(2006)

篠崎 隆志、宮脇 陽一、武田 常広：“Hierarchical processes of motion perception in binocular rivalry”、第

29回日本神経科学大会(Neuroscience 2006)、京都、7月(2006)

篠崎 隆志、浦久保 秀俊、加藤 英之、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の流れの制御”、日本神経回路学会第16回全国大会、名古屋、9月(2006)

篠崎 隆志、加藤 英之、浦久保 秀俊、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の制御”、電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会、生駒、10月(2006)

篠崎 隆志、加藤 英之、浦久保 秀俊、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の制御”、脳と心のメカニズム冬のワークショップ、留寿都、1月(2007)

篠崎 隆志、加藤 英之、浦久保 秀俊、岡田 真人：“抑制入力による synfire chain の制御”、日本物理学会春季大会、鹿児島、3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)

物体の形や位置などについての短期記憶は、大脳皮質の局所神経回路の持続的活動によって保持されると考えられている。私は、こうした持続的神経活動の形成・維持原理について、特に抑制性介在神経細胞に焦点を当て、それらの間の相互作用の役割、さらに異なる種類の抑制性細胞の機能分担・協調を解明することを目標に研究している。方法論として、スライス標本上の上の実際の細胞に対して、それらへの入力や、それらの間の相互作用を模したものを与え(理論モデルに基づいて計算した刺激波形を電極から人工的に与える)、*in vivo*(行動中の動物の脳)で見られるような持続的活動を再現できる条件を探ることで、細胞・回路レベルの形成・維持メカニズムを構成的に理解することを目指している。これを補助するものとして、神経回路の数理モデルの数値実験・理論解析も並行して行っている。初年度である18年度は、主に以下の二方面から研究を行った。

(1)スライス上への持続的活動の再現の足がかりと

して、まず興奮性細胞(錐体細胞)の入出力関係について検討した。ダイナミッククランプ法を用いて、*in vivo*で計測された振動を伴う持続的活動中のシナプス入力を模した入力(発生確率がリズムで変調された興奮性及び抑制性の単一シナプス入力を多数足し合わせた入力)によって錐体細胞を刺激した。そして、その出力(活動電位発生)特性が再び*in vivo*計測結果と合致するようになるためには、その錐体細胞と入力元の興奮性及び抑制性細胞との結合に関してどのような条件が要請されるかを検討した。その結果、錐体細胞へは、抑制性細胞から時間遅れの少ない集中的な入力が入る一方、他の興奮性細胞からは分布幅の広い時間遅れを伴った入力を受けることが要請されることが分かった(*Soc Neurosci Abstr* 2006、論文投稿中)。これは、知られている解剖学的知見とも矛盾しないものであり、局所神経回路の構成について意義のある定量的な結果だと考える。

(2)二種類の抑制性細胞(FS細胞とnon-FS細胞、それぞれ錐体細胞の細胞体近く及び樹状突起遠隔部に投射する傾向がある)を含むような持続的神経活動(ワーキングメモリー)の局所神経回路モデルを提案し、解析を行った(*Neural Comput* in print、続報を投稿準備中)。その結果、FS細胞を介した再帰的抑制が強いとメモリーの形成が容易である反面刺激選択性が低くなり、non-FS細胞を介した経路が強いとその逆となる可能性などが示唆された。

誌上発表 Publications

(原著論文)

Morita K., Okada M., and Aihara K.: "Selectivity and stability via dendritic nonlinearity", *Neural Computation*, in print*

Morita K., Kalra R., Aihara K., and Robinson H.P.C.:

"Reconstructing excitatory and inhibitory synaptic input to neocortical pyramidal cells during gamma oscillations" (submitted)

Nakahara H., Morita K., Wurtz R.H., and Optican L.M.: "Saccade-related spread of activity across superior colliculus may arise from asymmetry of internal connections", *Journal of Neurophysiology*, 96(2) 765-774 (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Morita K., Kalra R., Aihara K., and Robinson H.P.C.: "How is γ -modulated firing of neocortical regular spiking neurons shaped by recurrent inputs?", 10th Tamagawa-Riken Dynamic Brain Forum, Hakuba, Japan, Mar. (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)

多くの動物がコミュニケーションの手段として音声信号を用いるが、言語はヒトに固有の能力である。ヒトのみが言語を持つ要因については、発声学習、シンボル操作、文法操作、文化伝達などが考えられているが、明確な答えは得られていない。本研究の目的は、社会性齧歯類デグー(*Octodon degu*)を用いて高次認知学習時における大脳皮質内の神経系再構築を検証し、言語獲得を可能にする神経メカニズムを解明することであり、デグーの発声学習能力と階層的な操作能力が相互作用しているという仮説を立てて実験を行ってきた。これまでの研究から、デグーが高度に発達した音声コミュニケーションを行うこと、発声制御訓練中、自発的に階層的な操作の一種である入れ子操作を行ったことが分かっている。そこで本年度は、発達過程で可塑性が確認されているデグーの歌に着目して、発声学習を可能にする神経機構の解明することを目的とした。

まず、できるだけノイズが少ない環境で歌の録音を行い、求愛歌をうたうのはオスのみであることを確認した。幼仔期には歌行動の雌雄差が見られないにも関わらず、成熟したメスがうたうのは毛繕い歌のみであった。また電気刺激実験を行い、発声制御系の中心領域である中脳水道灰白質で誘発される音声に雌雄差がないことを確認した。歌が誘発できれば、その部位に神経標識物質を注入して投射経路を同定する予定であったが、中脳の刺激で歌を誘発することはできなかった。今後はさらに上位領域の刺激や2点同時刺激を行い、歌の誘発を試みる。近年、発声学習の定義が「新しい音の学習」から「お手本を模倣することによる新しい音の学習」になりつつあるため、今後デグーは発声学習ではなく発声可塑性を持つと考えることにしたい。これによる仮説の大きな変更はないが、発声学習に必要とされる皮質-延髄直接投射よりも、発声可塑

性に関わる神経系を解明する必要がある。そこで今後は、デグーの階層的操作と発声可塑性について神経行動学的に検討することを目的としていきたい。具体的には、まず音声解析の手法を用いて求愛歌の構造と発達に伴う変化を調べる。同時にこれまでと同様、微小電気刺激実験により歌を制御する神経メカニズムを調べる。可塑性を持たない動物と異なり、中脳水道灰白質よりも上位領域の制御が確認できると予測している。

本年度は、この他にもデグーに道具使用訓練を試み、齧歯類では初めて道具を使う能力を確認した。また訓練の際、デグーが特定の場面で自発的に発声を行うことが確認された。階層的操作と発声行動の関連を示唆する事例として、さらに解析を進めていきたい。

誌上発表 Publications
(原著論文)

Okaichi T., Okaichi H., Akimoto K., Kawashima H., Toyoda-Ono Y., Kiso Y. and Tokimoto N.: "Effects of arachidonic acid on the spatial cognition of aged rats", Japanese Psychological Research, 48, 115-122. (2006)*

(その他)

言語の科学百科事典

時本楠緒子, 岡ノ谷 一夫: "階層的操作", 468-469, 丸善 (2006)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

時本楠緒子、熊澤紀子、鈴木千鶴子、假屋瑛吏子、羽田美保、難波宏美、日原さやか、岡ノ谷 一夫、入来篤史: "齧歯目デグーの道具使用: 熊手操作の獲得", 日本動物心理学会第66回大会、京都大学、10月 (2006)

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

Acoustic Communication and Social Interactions in Social Mammals

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係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、社会性動物の認知や知性を研究する上で重要である。これらの背景から、本年は社会性哺乳類を対象に、以下の三つの研究を行った。

- (1) 生物言語研究チームに飼育されているハダカデバネズミの行動観察と生体サンプルの収集を行った。現在、性判定用の分子生物学プロトコルを作成している。これらの基礎データを用いて、劣位個体の栄養状態が労働行動頻度に与える影響、労働行動における集団意思決定と個体間の意見不一致状態における葛藤解決、その際の個体間音声コミュニケーションに関する研究を行う準備を進めている。
- (2) 飼育チンパンジー二群を対象に、音声のプレイバック実験を行い、刺激音声に対する個体のストレス反応や、社会行動を研究した。同時に、チンパン

ジーの唾液を実験前後で非侵襲的に収集し、液体クロマトグラフィー質量分析法を用いて、コルチゾールとテストステロンレベルの測定を行っている。これらの結果を用いて、行動内分泌学的観点から音声に対するストレス反応を解明することを目的としている。

- (3) 動物における社会行動やコミュニケーションは、種特有の社会複雑性によって規定されるため、社会複雑性を生み出す進化生物学的要因の分析が重要である。しかし、ひとつの分類群を対象に、複雑な社会を生み出す進化生物学的要因を理解する試みは行われてこなかった。本研究では、社会複雑性に関連すると考えられている「繁殖の偏り」(繁殖成功度の同性個体間分散)に注目し、社会性霊長類において繁殖の偏りの種間差を生み出す要因を種間比較法によって分析した。その結果、群れ内のオスの数が繁殖の偏りを決定する要因であることを明らかにした。また、繁殖の偏りが群れ内の血縁構造を決定し、個体の社会行動に影響を与えることを示した。

誌上発表 Publications

(総 説)

Kutsukake, N., Nunn, C. L.: "The causes and consequences of reproductive skew in male primates" In: Reproductive skew in vertebrates: proximate and ultimate factors. (eds) Hager, R., Jones, C. B. Cambridge University Press, Cambridge, in print *

(その他)

Kutsukake, N.: "Lost in translation: field primatology, culture, and interdisciplinary approaches" In: Fieldwork: examining its practice by biological anthropologists and primatologists. (eds) MacClancy, J., Fuentes, A. Cambridge University Press, Cambridge, in print *

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kutsukake, N.: "Lost in translation - characteristics of fieldwork studies by Japanese primatologists", Fieldwork: examining its practice by biological anthropologists and primatologists, Oxford, UK, May. (2006)

(国内学会等)

沓掛展之、長谷川寿一：“内分泌と社会行動：飼育チンパンジー集団での実験的検討”，第33回日本神経内分泌学会サテライトシンポジウム・第1回行動神経内分泌研究会キックオフシンポジウム「社会行動を制御するホルモンのダイナミズム」、横浜、10月(2006)
沓掛展之：“動物における親和的身体接触の機能と重要性”，比較心身症研究会、東京、12月(2006)

XVIII - 046 フラストレートした三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体における擬イジング性と軌道秩序

Quasi-Ising Character and Orbital Ordering

in a Frustrated Triangular Lattice Heisenberg Antiferromagnet

研究者氏名：寺田 典樹 Terada, Noriki
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター
量子磁性材料研究チーム
(アドバイザー 勝又 紘一)

三角格子反強磁性体 CuFeO_2 はスピンフラストレーション系の典型物質であり、これまでその磁気特性に関して多くの研究が成されてきた。その基底状態は三角格子 Heisenberg 反強磁性体から期待される 120° 構造をとらず、三角格子の幾何からは考えにくい 4-sublattice 構造()をもつ。また、磁気相転移温度以下で、軌道縮退のない磁性イオン Fe^{3+} ($S=5/2, L=0$) が自発的に結晶格子と結合し、フラストレートしたスピン系の縮退を解きスピン系を秩序状態に導く自発的格子歪みが生じる。さらに、noncollinear 磁気構造が予想される第 1 磁場誘起相において自発的電気分極が最近報告され、フラストレートしたスピン系と結晶格子、電気分極の自由度が強く関連した系として注目されている。

本年度は、この系の特異な磁気特性を強磁場中 X 線回折実験を用いて解明することを目的とした。以下に成果を述べる。

(1) SPring-8 の BL19LXU において CuFeO_2 単結晶を用いた 14T 定常磁場中 X 線回折実験を行った。ゼ

ロ磁場磁気転移温度以下で観測される超格子反射が、13.5T において消失することを観測した。その結果、ゼロ磁場で実現していた不等辺格子歪みが、より対称性の高い二等辺格子へ構造相転移することを見出した。この結果より、ゼロ磁場で起こる自発的格子歪みは、スピン系のフラストレーションを解消するために生じた磁気弾性結合の帰結であることを明らかにした。

(2) SPring-8 の BL19LXU において CuFeO_2 単結晶の 38T パルス磁場中 X 線回折実験を行った。結晶の格子定数が多段階磁場誘起磁気相転移に対応して、階段状の多段階磁場変化を示すことを見出した。この多段階格子変化量が磁化の大きさでスケールされることがわかった。この現象は、磁気構造相転移の際に一樣磁化を与えるアップスピン(磁場方向のスピン)の数が増えると、最近接直接交換相互作用エネルギーの利得を得るために磁性イオン間距離が変化すると定性的に理解できる。

誌上発表 Publications

(原著論文)

- Terada N., Mitsuda. S., Fujii T., and Petitgrand D.: “Inelastic neutron scattering study of frustrated Heisenberg triangular magnet CuFeO_2 ”, *Journal of Physics Condensed Matter*, in print*
- Terada N., Tanaka, Y., Tabata Y., Katsumata K., Kikkawa A., and Mitsuda S.: “Restoring Higher Symmetric Crystal Structure with Magnetic Field in Triangular Lattice Antiferromagnet CuFeO_2 ”, *Journal of the Physical Society of Japan*, 75 113702 (2006)*
- Terada N., Narumi Y., Katsumata K., Yamamoto T., Staub U., Kindo K., Hagiwara M., Tanaka. Y., Kikkawa A., Toyokawa H., Fukui T., Kanmuri R., Ishikawa T., and Kitamura H.: “Field-induced lattice staircase in a frustrated antiferromagnet CuFeO_2 ”, *Physical Review B*, 74 180404(R) (2006)*

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Terada N., Mitsuda. S., Fujii T., and Petitgrand D.: “Inelastic neutron scattering study of frustrated Heisenberg triangular magnet CuFeO_2 ”, *Highly Frustrated Magnetism 2006*, Osaka, Aug. (2006)
- Terada N., Tanaka, Y., Tabata Y., Katsumata K., Kikkawa A., and Mitsuda S.: “High Field Synchrotron X-ray Diffraction Study of a Frustrated Triangular Magnet CuFeO_2 ”, *International Symposium of Quantum Beam Science 2006*, Tokai, Aug. (2006)

(国内学会等)

- 寺田典樹、田中良和、田畑吉計、勝又紘一、吉川明子、満田節生：“フラストレートした三角格子磁性体 CuFeO_2 の強磁場 X 線回折 ”、日本物理学会秋季大会、千葉、9月(2006)
- 寺田典樹：“フラストレートした三角格子反強磁性体 CuFeO_2 の磁性と結晶構造 ”、キラル磁性研究会、播磨、10月(2006)

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

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
 量子電子材料研究チーム
 (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 40 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。以下の研究は太田裕道助教授のチーム(名大工)との共同研究である。

(1) Li_xCoO_2 薄膜の電気伝導と熱起電力：

固相反応性エピタキシャル成長法を用いて作製した Li_xCoO_2 薄膜の輸送特性を調べた。 Na_xCoO_2

の場合と異なり、 Li_xCoO_2 は電気伝導、熱起電力共に Variable-range-hopping 伝導で説明できた。これから一群の Co 酸化物は Anderson 局在による金属-絶縁体転移近傍に位置すると考えられる。

(2) $\text{SrTiO}_3:\text{Nb}$ 薄膜の軟 X 線共鳴光電子分光：

電子ドーピングした t_{2g} 系である $\text{SrTiO}_3:\text{Nb}$ を超格子構造にすると $ZT \sim 2$ を示し注目されている。我々は共鳴光電子分光法を用いて $\text{SrTiO}_3:\text{Nb}$ 薄膜 EF 近傍の Ti 3d と O 2p の部分状態密度を求め、コヒーレントな励起は Ti 3d 状態が主であるがインコヒーレントな励起は Ti 3d と O 2p 状態からなることを明らかにした。後者の局在的な励起は t_{2g} 系の大きなスピン-軌道エントロピーを伴うため、高温での高いキャリアエントロピーを生じる原因になることを提案した。

(3) 硬 X 線光電子分光法を用いた Ca_xCoO_2 薄膜の化学ポテンシャルの温度変化の直接観測:

硬 X 線光電子分光において ± 5 meV のエネルギー安定性を実現し、内殻スペクトルの温度シフトから k_B (ボルツマン定数) 程度のキャリアエントロピーを捕らえる試みを行っている。 Ca_xCoO_2 においては 300 K において電子励起が縮退 非縮退にクロスオーバーする様子が捉えられつつあり、高温での熱起電力は古典粒子の配置エントロピーの問題に近づくことが示唆される。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

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、太田裕道、辛埴: “ 共鳴光電子分光による Nb 添加 SrTiO_3 薄膜の電子状態の研究 ”、日本物理学会、鹿児島、3月(2007)
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、太田裕道、辛埴: “ SrTiO_3 :Nb 薄膜の軟 X 線共鳴光電子分光 ”、日本応用物理学会、相模原、3月(2007)

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

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、非内在性のアミノアシル 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、新規に動物細胞への利用が可能であることを示したピロリジル tRNA 合成酵素 (PylRS) を含む数種類の 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、それらを用いて実際に真核生物において、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、大腸菌においてリジン誘導体を認識する PylRS 変異体のスクリーニングと、リン酸化セリンを認識するロイシル tRNA 合成酵素 (LeuRS) 変異体の新規な *in vitro* スクリーニングを行った。

PylRS の基質結合部位 5 残基をランダムな残基に置換した変異体ライブラリーを作製し、アセチル化およびモノ・ジ・トリメチル化リジン認識活性についてスクリーニングした。しかし、有意に特異的活性のある変異体は得られなかった。一方、リジンの

側鎖のアミノ基に大きな保護基が付加したアミノ酸である、Z-リジンや 2-クロロ-Z-リジンの両方を認識する変異体を得られた。立体構造モデルより、Z 基の 2 位は基質結合部位の外側に突き出ることが示唆された。このことより、得られた変異体は、Z-リジンの 2 位に対する任意の置換体を認識できることが示唆された。また、スクリーニングの過程で、ピロリジンとは構造が大きく異なるフェニアラニンの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ている。さらに他の内在性アミノ酸を認識するかどうかを明らかにしたい。

LeuRS 変異体のスクリーニングについては、新規な *in vitro* スクリーニング系がうまく働くか否かを、モデル系で検討した。その結果、市販抗体の特異性が低いために、偽陽性が大量に生じる可能性が示された。また、コストの面からも、系の改良や試行を行っていくうえで困難が予想された。そこで、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の検出系を考案した。現在、まだスクリーニング系の構築段階にあるが、その系の原型となるツーハイブリッド法の報告から、リン酸化残基が導入さ

れたか否かをきれいに判別できると期待される。

(総説)

小林隆嗣、横山茂之：“タンパク質へのヨウ素原子の部位特異的な導入”、FIU Letters、第7号6-7(2006)

誌上発表 Publications

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

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：西山り糸 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(論文執筆中)。

(2) シロイヌナズナの乾燥ストレス応答時に、植物ホルモンの一つアブシジン酸を介してシグナルの受容と細胞内へのシグナル伝達が起こり、適合溶質やシャペロンなどの機能タンパク質と転写因子やプロテインキナーゼなどの制御タンパク質が作

られることがわかってきた。しかし、植物がストレスから開放されたときにそれらのストレス応答物質がどのように分解され、通常の状態に戻るのかはわかっていない。そこで、乾燥ストレス応答物質の分解過程を明らかにすることを目的として、乾燥ストレス開放時に発現するタンパク質分解系酵素を解析した。特定のタンパク質が分解される時、そのターゲットタンパク質はユビキチン化される。そのターゲットタンパク質を認識しユビキチン化する酵素、ユビキチン化酵素E3のサブユニットの一つ、*RIF1*(Recovery-Inducible F-box protein 1)遺伝子に着目した。*RIF1* 遺伝子は乾燥ストレスで発現が抑制され、再吸水で発現が上昇した。F-box タンパク質は分解のターゲットタンパク質に結合すると考えられている。*RIF1* のターゲットとなる乾燥ストレス応答物質を明らかにするために、酵母 two-hybrid 系でターゲットタンパク質を探索し、乾燥ストレスの制御タンパク質の一つ、RD26 転写因子に *RIF1* が結合することを明らかにした。今後、*RIF1* による RD26 転写因子の制御を通じて乾燥ストレス応答物質の分解機構について解析を行う。

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)

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

本研究の主な解析対象は脱分化、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。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。本年度はまず、スプライシング活性制御異常が植物の発生・成長に及ぼす影響を明らかにするため、植物体におけるSRD2遺伝子の発現様式および植物発生における*srd2*変異の影響を調べた。その結果、SRD2遺伝子は頂端分裂組織や発達中の本葉、花芽などで強く発現していることが分かった。また、*srd2*変異は発芽後の頂端分裂組織の確立、本葉の葉身発達、配偶体形成などに強く影響するのに対して、生殖相への移行や花芽形成へはほとんど影響しないことが明らかとなった。これらの結果は、snRNA転写活性化によるスプライシング活性制御が、特定の生理過程の進行に重要であることを示唆している。また、*RID1* 遺伝子に関する T-DNA挿入植物体の解析に着手し

た。遺伝型解析を行ったところ、*SRD2* の場合と同様、*RID1*のノックアウト変異体は配偶体致死あるいは胚性致死である可能性が示された。さらに、スプライシング活性の *in vivo* 可視化レポーター系の開発の第一歩として、イントロン配列を挿入した蛍光タンパク質遺伝子を構築し、形質転換植物体の作出を行った。

以上をもとに、来年度以降は *RID1*タンパク質の機能解析、タイリングアレイを用いたスプライシングパターンの変化の検出、*in vivo* でのスプライシング活性の検出等に着手する予定である。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohtani, M., and Sugiyama, M.: "Developmental significance of SRD2-mediated activation of snRNA transcription in Arabidopsis", The 16th Penn State Symposium in Plant Physiology, University Park, PA, USA, May (2006)

Ohtani, M., Demura, T., and Sugiyama, M.: "Developmental significance of SRD2-mediated activation of snRNA transcription in Arabidopsis", RNA Izu, Izu, Japan, Dec. (2006)

(国内会議等)

大谷美沙都 出村拓 杉山宗隆: "側根形成過程における snRNA 量変動とその役割", 日本植物学会第70回大会、熊本、9月(2006)

杉山宗隆 大谷美沙都: "植物の細胞増殖制御における snRNA 転写調節の意味", 日本分子生物学会2006フォーラム、名古屋、12月(2006)

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温度感受性突然変異体 *rid1* の解析", 第48回日本植物生理学会年会、松山、3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構造維持や触媒補因子として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が、その実際は不明である。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 LIV1 によるジンクフィンガー型転写因子 Snail (Epithelial-mesenchymal transition: EMT のマスターレギュレーター) の核移行制御機構をモデルに解明し、さらに EMT 制御を標的とする癌治療への応用へと発展させるために、まず、LIV1 から Snail への亜鉛配位に必須の介在因子同定のためのスクリーニングを行った。LIV1 と Snail をそれぞれ bait とし、ヒト cDNA ライブラリーに対して Yeast-two-hybrid 法を行い、候補因子をいくつか見いだした。免疫沈降法を行

い、それらの候補因子と LIV1 の培養細胞内における結合を検討したが、現在までのところ、それらの相互作用は確認できていない。引き続き、相互作用を確認できる系を検討する予定である。

(2) 亜鉛トランスポーターによる B Cell Receptor (BCR) シグナル経路の伝達機構をモデルに解明し、さらに免疫不全の治療へと発展させるために、遺伝子欠損株の作成が容易なニワトリ B 細胞 DT40 を用いて亜鉛トランスポーターを欠損させた細胞株を樹立した。小胞体、ゴルジ体に局在する亜鉛トランスポーター ZnT6 を欠損させた株において BCR のシグナル経路に異常をきたすことを見いだした。ZnT6 と相互作用し、BCR シグナル経路に関与する因子を同定するために、免疫沈降法をおこない、ZnT6 特異的に結合するタンパク質が少なくとも 3 つ存在することを明らかにした。それら 3 つのタンパク質をペプチドマスフィンガーブリンティング (PMF) 解析により同定した。今後、3 つのタンパク質の欠損株を作製し、BCR のシグナル経路に異常が生じるか検討する予定である。

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)

Erythrocyte protein band4.1-like5 (Ebl5) は Band4.1 スーパーファミリーのひとつであり、これまでこのファミリーの分子は細胞膜分子と細胞骨格分子の一般的なクロスリンカーとして考えられていた。

生体内での Ebl5 の機能解析を行うために Ebl5 ノック

アウトマウスを作製したところ、Ebl5 ノックアウトマウスでは三胚葉形成や初期の前方神経板の前後軸に沿ったパターンニング、中胚葉のパターンニングはほとんど正常であった。しかし胎生 7.5 日胚の組織切片像の解析により、Ebl5 ノックアウトマウスでは細胞

間接着が亢進していることがわかった。また、マーカー解析によりEbl5ノックアウトマウスでは中軸中胚葉の移動と体節形成に異常を来すことがわかった。これらの表現型解析により、形態形成の際Ebl5が細胞接着の動的変化に関与するのではないかと想定された。

そこでTGF β で刺激することにより上皮間充織転換が誘導されるNMuMG細胞株を用い、細胞内におけるEbl5の機能解析を行った。まずNMuMG細胞におけるEbl5の発現解析を行うと、NMuMG細胞が上皮細胞の形質を持つ間は発現が低く、TGF β で刺激し上皮間充織転換を誘導した際にEbl5の発現が誘導されることがわかった。次にNMuMG細胞においてsiRNAを用い、Ebl5の発現を阻害した。するとEbl5が発現阻害された細胞においてTGF β で刺激を行ってもEカドヘリンが細胞膜に局在したままであり、上皮細胞の形態が維持され上皮間充織転換が阻害された。この際、Eカドヘリンの転写レベルでの制御因子であるsnailの発現は上昇し、Eカドヘリンの

mRNAの発現は抑制されており、Eカドヘリンのタンパク量のみが増加していた。よって、蛋白レベルでのEカドヘリンの制御機構であるエンドサイトーシスに注目した。Eカドヘリンのエンドサイトーシスを制御する分子機構として、Eカドヘリンの細胞内領域に結合するp120カテニンを介した系が知られている。Ebl5がこの機構に関与するかどうか検討したところ、Eカドヘリンとの結合領域であるp120カテニンのアルマジロリピートの部位でEbl5がp120カテニンと結合することがわかった。よって、Ebl5はp120カテニンを介したEカドヘリンのエンドサイトーシスの制御に関与する事で、形態形成の際細胞接着の動的変化に寄与する事が示唆された。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

平野真理子:“ Erythrocyte protein band4.1-like5 plays an essential role for the EMT progression ”、Luncheon Forum、神戸、11月(2006)

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の同定は進んでおらず、同定された少数の因子は標的未知のRNA結合タンパク質という漠然とした特徴しか持たない。生殖細胞運命決定の具体的なメカニズムを明らかにするためには、生殖顆粒の構成因子をさらに同定し、他生物と比較することが重要である。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を同定し、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の機能破壊をRNAi法を用

いて効率的に行うことで、各因子の機能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を用いた免疫染色とKT3抗体の抗原同定を行った。線虫の生殖顆粒は非常に凝集しやすい構造体であり、これまでに生化学的にその構成因子を同定する試みは報告されていない。本研究では胚抽出液の作製手法を工夫し、さらに高感度の質量分析を用いることによりこの点を克服した。

(1) 数種の既知生殖顆粒構成因子の変異体に対してKT抗体を用いた免疫染色を行い、染色パターンから抗体群を分類した結果、KT抗体群が少なくとも三つの異なる抗原を認識することが判明した。

(2) 免疫染色により初期胚発生における生殖顆粒の形状変化を観察した。生殖顆粒は受精直後の卵では細胞質に散在した小さな点状の構造体として染

色されるが、分裂が進むにつれ生殖系列細胞の核膜付近に凝集し次第に巨大化し、15細胞期程度で最大となることが観察された。

- (3) 野生株由来および生殖系列細胞を欠損した *gpl-4* 変異株由来の胚抽出液から、KT3 抗体を用いた免疫沈降法を行い、質量分析により各溶出液に含まれるタンパク質を同定し、比較した。既知生殖顆粒構成因子 PGL-3 が KT3 抗原候補タンパク質として再現性よく得られ、*gpl-3* 変異株に対するウェスタン解析、免疫染色法、およびリコンビナント PGL-3 タンパク質に対するウェスタン解析により、PGL-3 が KT3 抗原であることを確認した。

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hanazawa M., Hayakawa C., Takeda K., and Sugimoto A.: "Analysis of a new series of monoclonal antibodies that recognize germ granules in *C. elegans*", 20th IUB-MB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, Jun. (2006)

Hanazawa M., Watanabe C., Takeda K., and Sugimoto A.: "Molecular dissection of P-granule by a new series of monoclonal antibodies", East Asia *C. elegans* Meeting, Seoul, Korea, Nov. (2006)

(国内学会)

Hanazawa M.: "Analysis of a new series of monoclonal antibodies that recognize cell type- and tissue- specific structures in *C. elegans* embryos", CDB シンポジウム、神戸、7月(2006)

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 Nuclear Basis for the Reacquisition of Totipotency in Primordial Germ Cells

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)

もともと1つの細胞である受精卵が、決められたプログラムに従い分裂を繰り返し、様々な細胞へと分化し個体形成を行う。個体の一部の例外を除いたすべての細胞は同一の遺伝情報を保持することを考えると、細胞の多様性は一次配列を超えた高次の制御「エピジェネティクス」により制御されているといっても過言ではない。体細胞はその分化過程で読み込み可能な遺伝情報を制限することで安定的な遺伝子発現パターンを確立し、その結果細胞としての可塑性を失う。一方で、生殖細胞は配偶子形成を行うために遺伝子発現パターンを変化させつつも、核の全能性を再獲得する能力を保持し続ける。

我々は生殖細胞の保持する全能性の再確立機構を明らかにするために、生殖細胞の発生、初期分化におけるゲノムワイドなクロマチン修飾の変化を免疫染色法により解析した。その結果、形成直後の胎生8.0日胚のPGCで抑制性修飾であるDNAのメチル化、H3K9のジメチル化が広範囲に脱メチル化を受けること、またその直後により可塑的な抑制性修飾であるH3K27のトリメチル化が劇的に上昇することを

明らかにした。このようなヒストン修飾の再構成は全能性の再確立機構の一端を担っている可能性が考えられる。そこでこのヒストン修飾の再構成に関わる分子基盤を解明するために、ヒストンのメチル化を制御するSETドメインに着目し、マウ

スのゲノム上に存在するSETドメインを有する約50分子の発現を胎生7.5日胚のPGCと周りの体細胞、それぞれ1細胞から増幅したcDNAを用いて解析した。その結果、PGC特異的に発現が抑制される分子としてGLPを同定することに成功した。GLPはそのノックアウトマウスを用いた解析からG9aとヘテロダイマーを形成し、ユークロマチン領域に存在する大部分のH3K9のジメチル化を制御する分子であることが報告されている。H3K9が脱メチル化を受ける時期のPGCはG2期で細胞周期が停止しており、またH3K9の脱メチル化酵素であるJHDM2Aがその時期のPGCで高発現していることから、複製に依存した受動的な脱メチル化反応ではなく、脱メチル反応とメチル化反応の平衡状態が脱メチル化反応に傾くことにより積極的に脱メチル化が誘導されるのではない

かと考えており、現在さらなる検証中をおこなっている。

誌上発表 Publications

(単行本)

関由行, 斎藤通紀: “生殖細胞とリプログラミング”, 蛋白質核酸酵素 細胞核の世界, 11月増刊号, 2052-2059 (2006年)

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

関由行, 松居靖久, 斎藤通紀: “全能性に関わる始原生殖細胞の核内基盤の解明”, 発生生物学会, 広島国際会議場, 5月(2006年)

関由行, 斎藤通紀: “始原生殖細胞によるゲノム修飾の再構成と全能性の再確立”, 分子生物学会, 名古屋国際会議場, 12月(2006年)

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

細胞形態形成研究チーム

(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の形成・制御に中心的な役割を果たしており、接着点を経由する細胞内外のシグナル伝達にも重要である。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ったが、この二つの機能の差異はまだほとんど知られていない。本研究では、細胞運動研究のモデルであり、タリン二重欠損株が単離されている唯一の生物である細胞性粘菌(*Dictyostelium discoideum*)を用いて、二つのタリンの機能を比較している。

これまでに、タリン二重欠損株ではそれぞれのタリン欠損株で見られた全ての欠陥において、より重篤な表現型が見られる事、タリンB遺伝子をタリンA遺伝子欠損株で過剰発現させると、その欠陥を相当程度回復させる事が明らかにされており、細胞性粘菌において二つのタリンは重複した機能を持つ事がわかる。

本年度は、さらなるタリンの解析のため、GFP標識したタリンA、タリンBの発現コンストラクトをまず作成した。タリンA-GFPの過剰発現により、タリンB欠損株の欠陥を相当程度回復できたため、タリンAとタリンBの機能の重複が更に確認された。

一方、二つのGFP標識タリンの明らかな局在の違いも観察した。一方向に真っすぐ進んでいる細胞では、タリンBは細胞の先端に、タリンAは逆に細胞の尾部に局在した。タリンAとタリンBのキメラタリンの発現コンストラクトを作成し、それらの局在を調べ

ると、タリンBのN末端から3分の1ほどを、タリンAの相当する部分と置換したキメラタリンは、タリンA同様、細胞の尾部に局在した。従って、タリンAのN末端の領域が、尾部への局在に必要である事がわかった。このN末端領域は、タリンが細胞膜や接着分子と結合すると考えられているFERMドメインと呼ばれる領域を含んでいる。また、タリンAの尾部への局在はミオシン重鎖の局在と類似しているため、タリンAとミオシン重鎖の関係を調べた。一方向に進むミオシン重鎖欠損細胞では、タリンAの尾部への局在は見られるものの、野生株での局在に比べて、より膜全体にひろがっていた。すわなち、ミオシンはタリンAの尾部への局在に関与している。一方、タリンA欠損株におけるミオシン重鎖の尾部への局在は野生株と比べて違いはなかった。

来年度はそれぞれの領域でのタリンの機能に着目して解析を進める予定である。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Tsujioka, Masatsune.: “Distinct and overlapping functions of *Dictyostelium* two talins”, CDB Retreat, Awaji Yumebutai, Oct.(2006)

辻岡政経, 長崎晃, 吉田邦人, 上田太郎, 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9回細胞性粘菌研究会, 富山, 2月(2007)

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。

遺伝学的解析の結果、植物ホルモンのアブシジン酸とジベレリンに関わる突然変異株でE化合物に対する応答性に変化が見られ、E化合物がこの二つのホルモンのシグナル伝達に関わっている可能性が示唆された。この化合物に耐性の突然変異株を新たにスクリーニングし、その中から elongated hypocotyl1 (hy1)突然変異株が分離された。hy1 突然変異株はプラスチドレトログレードシグナルに欠損を生じた genome uncoupled2 としても分離されており、E化合物はそのシグナルの生合成に影響を与えられられる。hy1 突然変異株のさらなる解析から、この突然変異株は発芽に欠損を生じていることが明らかとなり、さらにその形質がE化合物によって抑圧される

こと、つまりE化合物自身が発芽刺激作用を持つことがわかった。さらにE化合物と似た構造を持つ天然化合物であるストリゴラクトンが同様にhy1突然変異株の発芽欠損を抑圧できることがわかり、発芽刺激作用をもつ新奇植物ホルモン様物質であることが示唆された。hy1 突然変異株の発芽欠損形質はストリゴラクトン生合成欠損によるものと考え、寄生植物を用いたバイオアッセイ系を確立して調べた結果、この予想を支持する結果を得た。

ケミカルジェネティクスは、遺伝学と組み合わせることで新奇のメカニズムあるいはホルモン様新奇生理活性物質の発見に有効な手段であると言えるだろう。

口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

土屋雄一郎、神谷勇治、Cutler S.R.、南原英司、McCourt P.：“ケミカルジェネティクスを用いたシロイヌナズナ種子発芽のメカニズムの解析”、第48回日本植物生理学会年会、松山、3月(2007)

平成18年度 基礎特研年報

平成19年8月25日 印刷

平成19年8月30日 発行

編集兼
発行者 独立行政法人理化学研究所
基礎基盤・フロンティア研究推進部
研究業務課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号
