

2015-16 基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs
FY2015-16 Annual Report



RIKEN's
Programs for
Junior Scientists

国立研究開発法人

理化学研究所

平成 27 年度

基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs

FY2015 Annual Report

国立研究開発法人理化学研究所

はじめに

本年報は、理化学研究所に在籍する基礎科学特別研究員及び国際特別研究員の平成 27 年度における研究報告です。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。平成 19 年度に創設された基礎科学特別研究員制度の外国人版である国際特別研究員と、平成 28 年度より統合し、より世界に開かれた、優秀な若手研究者を支援する制度として新たなスタートを切りました。

<制度の内容>

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

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

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

平成 20 年 10 月からは育児休業取得者に対する在籍期間延長など規程の見直しもおこない、本制度においてより良い研究環境を提供できるよう、ワークライフバランスにも配慮しています。これまでに、1564 名の基礎科学特別研究員、150 名の国際特別研究員を受け入れており、現在の在籍者数は基礎科学特別研究員 113 名、国際特別研究員 32 名となっています。

平成 28 年 7 月

国立研究開発法人理化学研究所

Foreword

This Annual Report is a compilation of the research reports submitted by the Special Postdoctoral Researchers (SPDRs) and Foreign Postdoctoral Researchers (FPRs) working at RIKEN in fiscal 2015. The outline of the programs is as follows.

The programs

Creativity is required for the rapid advance of science and technology that will benefit Japanese society and contribute to the international community. To fill this need, RIKEN, in collaboration with the former Science and Technology Agency (currently a part of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology), launched the Special Postdoctoral Researcher (SPDR) Program in fiscal 1989. In fiscal 1997, the program was expanded to accommodate a larger number of candidates, and the program management was transferred to RIKEN. From fiscal 2016 the SPDR program has been merged with the Foreign Postdoctoral Researcher (FPR) program, launched in fiscal 2007 to provide young foreign researchers with similar opportunities, to form a new SPDR program to support excellent young researchers from Japan and overseas.

Program Features

The SPDR program offers young researchers with creative and innovative ideas an environment in which they can pursue independent research and prepare themselves to play a major role in advancing basic science. Fields covered include physics, chemistry, biology, medicine, engineering, and any other fields related to research now being conducted at RIKEN.

SPDRs must have a PhD in the natural sciences at the time of application, and must be able to independently pursue research themes decided on the basis of what they want to pursue and how that fits in with the research being conducted at RIKEN.

Candidates are recruited every year through open application, and selection is made by a committee comprising outside experts as well as RIKEN scientists. Selection is based on submitted documents and interviews. The SPDR contract is for one fiscal year, renewable up to a maximum of three years on the basis of annual evaluation.

Host laboratories must provide the SPDRs with an environment conducive to independent research, sufficient research space, and support for the use of required research facilities and equipment, as well as guidance from the laboratory head.

Since October 2008, revisions have been introduced in the program regulations to ensure a better work-life balance, such as allowing program extension when an SPDR has to take time off for childcare.

Since the program started, there have been a total of 1564 SPDRs and 150 FPRs, and there are currently 113 SPDRs and 32 FPRs at RIKEN.

July 2016

RIKEN

總 目 次 / C o n t e n t s

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

目次 / Contents	9
---------------------	---

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

目次 / Contents	135
---------------------	-----

〔凡例〕

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

[Note]

In the list of Publications (original papers) at the end of each report, those marked with an asterisk (*) indicate peer review journals.

基礎科学特別研究員年報

Special Postdoctoral Researcher Reports

平成 24 ～ 27 年度採用者

FY2012 ～ 2015 Appointments

目 次

◆ 平成 24 年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXIV-018	X線偏光観測による超新星残骸の宇宙線衝撃波加速メカニズムの実験的検証	早藤 麻美.....	17
XXIV-046	ゼブラフィッシュ外側手綱核相同領域による適応的な目標指向行動の制御機構	天羽 龍之介.....	18
XXIV-047	細胞機能を調節する有機化合物の探索とケミカルバイオロジー研究	河村 達郎.....	19
XXIV-048	バイセクト糖鎖の欠損によるアルツハイマー抑制効果の機構解明	木塚 康彦.....	20
XXIV-049	昆虫のワーキングメモリを担う神経回路の理解と制御	塩崎 博史.....	21
XXIV-051	テラヘルツ分光による分子固体の相転移前駆現象解明	鈴木 晴.....	22
XXIV-052	iPS細胞を用いたカルボニルストレス性統合失調症の研究	豊島 学.....	23
XXIV-053	GABA作動性シナプス制御機構の解明	丹羽 史尋.....	24

◆ 平成 25 年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXV-001	Development of KID Arrays for Terahertz Imaging	Rathnayaka Mudiyansele Thushara Damayanthi.....	27
XXV-002	ステロールへの糖修飾によるパーキンソン病発症の制御メカニズムの解明	秋山 央子.....	28
XXV-003	アストロサイトのカルシウムシグナルによる神経伝達の制御	有菌 美沙.....	29
XXV-004	AMDに基づく不安定核・ハイパー核構造の解明と核反応断面積評価	井坂 政裕.....	30
XXV-005	X線マイクロカロリメータによる太陽系科学の革新	石川 久美.....	32
XXV-007	細胞環境を考慮した細胞内シグナル伝達系の定量的モデリング	海津 一成.....	32
XXV-008	汎関数くりこみ群を用いた有限温度中のメソンスペクトルの研究	上門 和彦.....	33
XXV-009	フェムト秒誘導ラマン分光法を用いた光受容タンパク質の超高速構造ダイナミクス	倉持 光.....	34
XXV-010	大強度RIビームで使用する超高速応答性を有するダイヤモンド検出器の開発	佐藤 優樹.....	36
XXV-011	時間依存密度汎関数法に基づく原子核の小振幅および大振幅ダイナミクスの研究	佐藤 弘一.....	37
XXV-012	DC回転下における2次元ヘリウムの新奇な超流動の研究	佐藤 大輔.....	38
XXV-013	スピン軌道相互作用が強い強相関電子系における電子状態と量子伝導特性の数値的研究	佐藤 年裕.....	39
XXV-015	コヒーレントX線回折顕微鏡法による、単細胞真核生物シゾン細胞分裂過程のナノメートル分解能空間階層イメージング	高山 裕貴.....	40
XXV-016	超高角度分解能を誇る新型X線干渉望遠鏡の開発	武井 大.....	41

XXV-017	ハイブリッド型ペプチドアダプターによる腫瘍組織選択的な医薬導入法の開発	多田 誠一.....	42
XXV-019	超弦理論における開弦と閉弦の関係の解明	鳥居 真吾.....	43
XXV-020	弦理論で探る重力の熱力学的側面	野海 俊文.....	44
XXV-021	アンモニア毒性メカニズムの解明とアンモニア耐性植物の作製	蜂谷 卓士.....	45
XXV-022	超伝導/強磁性接合におけるスピン依存伝導現象の理論的研究	挽野 真一.....	46
XXV-023	植物の非宿主抵抗性を発動する分子機構の解明	玄 康洙.....	46
XXV-024	ナノ材料を用いた高エネルギー重粒子線検出器の開発と応用	前山 拓哉.....	47
XXV-025	植物ホルモンのオーキシン生合成部位の特定と可視化	増口 潔.....	48
XXV-026	金属ナノ構造体を用いた高選択性を有する光化学反応場の構築	横田 幸恵.....	49
XXV-027	水物質の相変化に伴うエネルギー生成・消滅を加味した、次世代気象モデルの構築	宮本 佳明.....	50
XXV-028	超高温クォーク物質における非平衡ダイナミクスの一貫的研究	門内 晶彦.....	51
XXV-029	1分子FRET測定によるGタンパク質共役型受容体の二量体配置転換のダイナミクス解析	柳川 正隆.....	53
XXV-030	NMR装置の新時代を拓く高温超伝導磁石の磁氣的・熱的安定化手法の構築	柳澤 吉紀.....	54
XXV-031	幹細胞ニッチによる幹細胞の分裂方向の細胞非自律的な制御に関わるGPCRシグナルの機能とメカニズムの解明	吉浦 茂樹.....	56

◆ 平成26年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXVI-001	Self-assembled DNA and RNA Nanostructures for Drug delivery and Gene Silencing	Baiju Govindan Nair ...	59
XXVI-002	遺伝学・化学遺伝学によるがん・多能性幹細胞の代謝制御機構解析	小林 大貴.....	59
XXVI-003	強相関電子系における非自明なトポロジーが誘起する新奇物性の探索	吉田 恒也.....	60
XXVI-006	高エネルギー天体における非熱的放射	寺木 悠人.....	61
XXVI-007	多色光フェムト秒時間分解分光法の開発による多原子分子の超高速反応機構の究明	日下 良二.....	62
XXVI-009	有限温度変分クラスター近似による新奇絶縁体の数値的研究	関 和弘.....	63
XXVI-010	高真空中の非平衡プラズマへの液相試料導入法によるイオンビームの大強度化と難イオン化各種への展開	卜部 達也.....	64
XXVI-011	TES型マイクロカロリメータを用いたK中間子原子X線の超精密分光	橋本 直.....	65
XXVI-012	ASTRO-H衛星で探る超巨大ブラックホールのスピンとジェットの間関	野田 博文.....	66
XXVI-013	超精密X線分光による高密度天体の状態方程式の研究と、科学ミッションへの展開を目指した超小型衛星向け標準プラットフォームの研究開発	湯浅 孝行.....	68
XXVI-014	超ウラン元素の精密直接質量測定	伊藤 由太.....	69

XXVI-015	ゲージ/重力対応を用いた強相関系の非平衡現象の解析	小川 軌明.....	70
XXVI-017	陽子標的を用いた2中性子ハロー核の構造と反応機構の探索	菊地 右馬.....	71
XXVI-018	学習におけるノルアドレナリン神経の関与	植松 朗.....	72
XXVI-019	運動神経回路の形成に必要な筋内分岐メカニズムの解明	永田 健一.....	73
XXVI-020	様々な意識の消失状態に共通して適用可能な意識メーターの開発	大泉 匡史.....	73
XXVI-021	最先端ゲノム編集技術を用いたスフィンゴシン1リン酸 (S1P) の生理機能の解明	久野 悠.....	74
XXVI-022	スピン・擬スピン系における低エネルギー物理現象解析とスピン・擬スピントロニクスの開拓	濱 祐介.....	75
XXVI-023	ソリトン理論を用いた一般化ジョセフソン流と準結晶相におけるトポロジカル現象の研究	高橋 大介.....	76
XXVI-025	高速な電場応答性を有する強誘電性カラムナー液晶の開発	宮島 大吾.....	77
XXVI-027	根毛細胞をモデル系とした分化・脱分化の分子実体の解明	池内 桃子.....	78
XXVI-028	ゲノミクスおよびトランスクリプトミクスによる宿主病原菌相互作用機構の解明	浅井 秀太.....	79
XXVI-029	寄生植物の進化発生学	市橋 泰範.....	80
XXVI-030	原形質連絡を介する細胞間情報伝達の制御メカニズムの解明	北川 宗典.....	81
XXVI-031	種子に蓄積したmRNAの安定性に着目した種子寿命と活力を制御する分子機構の解明	佐野 直人.....	82
XXVI-032	15-リポキシゲナーゼによる好酸球性気道炎症の制御機構の解明	宮田 純.....	83
XXVI-033	制御性T細胞を誘導するヒト由来腸内常在細菌の作用機構に関する研究	田之上 大.....	84
XXVI-034	The Role of lncRNAs in Polycomb Repressive Complex Recruitment	Juan Guillermo Betancur Medina.....	85
XXVI-035	中赤外およびテラヘルツ領域における偏光渦発生	時実 悠.....	86
XXVI-036	高感度・可搬型コヒーレントテラヘルツ検出装置の開発	縄田 耕二.....	87
XXVI-037	シエスタ様行動をつかさどる神経基盤と分子メカニズムの解明	丹羽 康貴.....	89
XXVI-038	自己組織化する仕組みの再構成	松田 充弘.....	89
XXVI-039	細胞内1分子計測法によるERK依存性シグナル伝達の直接計測	毛利 一成.....	90

◆ 平成27年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXVII-001	宇宙望遠鏡群を用いた多波長遠隔観測が切り拓く惑星高エネルギー物理の新展開	木村 智樹.....	93
XXVII-002	曲がった時空上の超対称ゲージ理論の完全な分類と物理的意味の探求及び厳計算の開発	田中 章詞.....	94
XXVII-003	全天X線モニタ・高分散X線分光・多波長同時観測によるブラックホール連星の相対論的ジェット噴出機構の解明	志達 めぐみ.....	95
XXVII-004	全粒子天文学で探る中性子星の性質と重元素の起源	久徳 浩太郎.....	97

XXVII-005	Lattice QCD study to understand the origin of the universe's matter dominance	大木 洋.....	98
XXVII-006	大規模非理想輻射磁気流体シミュレーションで解き明かす原始惑星系円盤の形成、長期力学的進化と固体成分、化学組成進化の研究	塚本 裕介.....	99
XXVII-007	稀少RIリングにおける内部標的を利用した二重魔法数核 ⁷⁸ Niの核半径の導出	阿部 康志.....	100
XXVII-008	第1原理に基づく数値計算を用いて取り組む発雷機構の解明	佐藤 陽祐.....	101
XXVII-009	パイ中間子原子を用いたクォーク凝縮の密度依存性の実験的観測	西 隆博.....	102
XXVII-010	三次元相対論的電磁流体シミュレーションで迫るガンマ線バーストの正体	松本 仁.....	103
XXVII-011	大規模量子モンテカルロ法の開発と量子磁性体における新規量子現象の研究	正木 晶子.....	104
XXVII-012	トポロジカル絶縁体・超伝導体をもたらす新奇量子現象の理論的研究	中河西 翔.....	105
XXVII-013	情報理論から探る量子系・メゾスコピック系の熱機関効率とその実験的検証	田島 裕康.....	106
XXVII-014	反転対称性の破れの誘起する新規電気磁気物性の開拓および物質開発	車地 崇.....	107
XXVII-015	シリコン多重量子ドットを用いた電子スピンによる量子計算の研究	米田 淳.....	108
XXVII-016	半導体/超伝導体複合構造におけるマヨラナ粒子の研究	鎌田 大.....	109
XXVII-017	Transformation of Dinitrogen to Ammonia and Organonitrogen Compounds by Using Multimetallic Transition Metal Hydride Complexes	Shaowei Hu.....	110
XXVII-018	新しい界面選択的超高速分光の開発と水の界面ダイナミクスの研究	井上 賢一.....	111
XXVII-019	新規リガンド結合部位同定法の開発と、そのNPC1の新規ステロール結合部位同定への応用	大金 賢司.....	112
XXVII-020	室温核スピン偏極法を用いたフルオロウラシルの高感度液体NMR	立石 健一郎.....	113
XXVII-021	新反応：オルトベンザインの重合反応による新材料・新機能	巳上 幸一郎.....	114
XXVII-022	睡眠覚醒のメカニズム解明に向けた非侵襲的光技術の開発とその応用	幸長 弘子.....	114
XXVII-023	ラットにおける他者の場所認知の神経基盤の解明	檀上 輝子.....	115
XXVII-024	脳内で自発的に生まれる進行波の発生原理と生理的意義の理解	神田 元紀.....	116
XXVII-025	マイクロRNAによる2型自然免疫応答の制御機構の解明	本村 泰隆.....	117
XXVII-026	老化した哺乳類卵母細胞における染色体の分配異常機構の解明とその抑制	榊原 揚悟.....	117
XXVII-027	高次嗅覚中枢としての視床下部の機能的役割—嗅覚入力から内分泌系・自律神経系出力への神経回路の解明—	梶山 十和子.....	118
XXVII-028	自閉症スペクトラムモデルマウスのシステム神経生理学	田尾 賢太郎.....	119
XXVII-029	炎症収束期に出現する好酸球サブセットと脂質メディエーターの機能解析	磯部 洋輔.....	120
XXVII-030	遺伝子発現の分散を操作する技術の開発と、分散が細胞分化に与える影響の解析	関根 亮二.....	120
XXVII-031	生物生産のための分岐・芳香性アシルCoA経路の代謝工学	田代 洋平.....	121

XXVII-032	農業害虫タバコナジラミの複合共生系を成立させる分子機構の解明とその阻害による新規病虫害制御法の基盤構築	藤原 亜希子	122
XXVII-033	カスタムRNA結合タンパク質を利用した個体内シグナル動態の実時間イメージング法の開発	高井 啓	123
XXVII-034	解析が困難な高難度タンパク質結晶からのシングルショット回折像を用いた結晶構造解析	山下 恵太郎	124
XXVII-035	生物発光を活用した近赤外発光による超高感度 <i>in vivo</i> 深部イメージング技術の開発	岩野 智	125
XXVII-036	高集積化CE-MSデバイスによる革新的ショットガンプロテオミクス分析	川井 隆之	126
XXVII-037	理想的な細胞内環境を有する微生物を用いたテラーメイド型芳香族化合物合成システムの開発	野田 修平	127
XXVII-038	高強度単色テラヘルツ波パルスの時間分解計測の実現とその非線形分光への応用	瀧田 佑馬	128
XXVII-039	単一分子の局所赤外分光を目指したプラズモン増強IR-STMの開発	數間 惠弥子	129
XXVII-040	物質と重力の織り成す時空の量子像	横倉 祐貴	130

基礎科学特別研究員
平成 24 年度採用者

**X線偏光観測による超新星残骸の宇宙線衝撃波加速
メカニズムの実験的検証**

**Experimental Study on the Mechanism for Shock Acceleration of
Cosmic-rays in Supernova Remnants by X-ray polarimetry**

研究者氏名: 早藤 麻美 Hayato, Asami
受入研究室: 仁科加速器センター
玉川高エネルギー宇宙物理研究室
(所属長 玉川 徹)

本研究は、超新星残骸やブラックホール、中性子星などから放射されるX線の偏光を観測することにより、宇宙における磁場や重力場の極限状態を世界で初めて実験的に検証することを最終目標としている。本年度は、NASAと我々が共同で進めてきた小型衛星プロジェクトPRAXySの提案がNASA/Goddard Space Flight Centerの小型科学衛星プログラムの第一選定を突破し、ミッション機器の試作と性能確認試験を行う衛星開発段階（Phase A）に進むことができた。来年度、さらなる選定が行われた後、2020年の打ち上げを目指すこととなる。我々が、本研究期間内に行ってきたのは

- [1] NASA/GSFCにおいてPRAXySの前身でもあるGEMS衛星計画用に試作したX線偏光計の偏光測定性能を、米国Brookhaven National Laboratory/National Synchrotron Light Source、BL14Aの直線偏光X線を用いて行った。同時に、独自に製作したコンプトン散乱を原理としたX線偏光計を用いて、試験に使用した偏光X線の偏光度を正確に測定した。(Iwakiri et al. 2015, Kubota et al. 2015)
- [2] GEMS用の偏光計のデザインは衛星用に固定されており、性能向上を目指して設計を最適化するための検証実験には不向きなため、新たに理研で、PRAXySに搭載する偏光計の最適化試験のためのプロトタイプ偏光計を製作した。(Hayato et al. 2015)
- [3] 理研で製作したプロトタイプ偏光計の初期性能評価試験を、Spring-8 BL32B2の直線偏光X線を利用し行った。また、[1]と同様に偏光X線の偏光度も測定した。(Hayato et al. 2015, Kubota et al. 2015)
- [4] 偏光計内部で用いる、ガス電子増幅フォイル（Gas Electron Multiplier）について、増

幅率の位置依存性を細かく測定し、増幅率がばらつく原因を突き止め、増幅率の均一性を向上させるGEMの開発方法を提案してきた。

NASA/GSFCの偏光計、理研で新たに立ち上げた偏光計、ともに偏光測定のパフォーマンスを表す指数であるモジュレーションファクターは現時点で同等のパフォーマンスを持つことが確認された。今後、NASA/GSFCの偏光計は衛星に搭載するための試験を、理研の偏光計は最適化の試験を並行して行っていく予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- A. Hayato, T. Tamagawa, T. Kitaguchi, E. Teruaki, W. B. Iwakiri, Y. Takeuchi, M. Kubota, and K. Nishida : “Fabrication of a TPC X-ray Polarimeter and Preliminary Testing with the Synchrotron Radiation Light Source at Spring-8”, RIKEN Accelerator Progress Report, Vol.48, 176, 2015
- M. Kubota, T. Kitaguchi, A. Hayato, W. Iwakiri, T. Enoto, K. Nishida, Y. Takeuchi, A. Yoshikawa, and T. Tamagawa : “Measurement of the electron drift velocity in DME gas”, RIKEN Accelerator Progress Report, Vol.48, 180, 2015
- T. Enoto, T. Tamagawa, T. Kitaguchi, A. T. Hayato, T. Yuasa, W. B. Iwakiri, H. Noda, A. Yoshikawa, Y. Takeuchi, M. Kubota, and K. Nishida : “Spectral and Temporal Approach to Physics of Neutron Stars”, RIKEN Accelerator Progress Report, Vol.48, 172, 2015
- W.B. Iwakiri, K. Black, T. Kitaguchi, J. Hill, K. Jahoda, T. Enoto, T. Tamagawa, Y. Takeuchi, M. Kubota, H. Marlowe, R. Cole, K. Nishida, and A. Hayato : “Performance test of TPC Polarimeter for cosmic X-ray sources at BNL NSLS-I”, Vol.48, 178, 2015

Y. Takeuchi, T. Tamagawa, T. Kitaguchi, S. Yamada, W. Iwakiri, F. Asami, A. Yoshikawa, K. Kaneko, T. Enoto, A. Hayato, T. Kohmura, and the GEMS/XACT team : “Property of LCP-GEM in Pure Dimethyl Ether at Low Pressures”, RIKEN Accelerator Progress Report, Vol.48, 179, 2015

M. Kubota, T. Kitaguchi, A. Hayato, W. Iwakiri, T. Enoto, K. Nishida, Y. Takeuchi, A. Yoshikawa, and T. Tamagawa : “Measurement of X-ray beam polarization of BL32B2 at SPring-8 using a Compton polarimeter”, RIKEN Accelerator Progress Report, Vol.48, 177, 2015

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takao Kitaguchi, Toru Tamagawa, Asami Hayato, Teruaki Enoto, Wataru Iwakiri, Yoko Takeuchi, Megu Kubota, Kazuki Nishida : “Development of the GEM-TPC X-ray polarimeter with the Scalable Readout System”, MPGD 2015 & RD51 Collaboration Meeting, Trieste Italy, October (2015)

M. Kubota, Y. Takeuchi, K. Black, T. Enoto, A. Haya-

to, J. E. Hill, W. Iwakiri, K. Jahoda, T. Kitaguchi, K. Nishida, T. Tamagawa : “Measurement of the GEM gain uniformity for the PRAXyS space satellite mission”, MPGD 2015 & RD51 Collaboration Meeting, Trieste Italy, October (2015)

T. Tamagawa, Kasuki Nishida, Wataru Iwakiri, Takao Kitaguchi, Yoko Takeuchi, Teruaki Enoto, Asami Hayato : “X-ray generator: an application of micro pattern gas detector”, MPGD 2015 & RD51 Collaboration Meeting, Trieste Italy, October (2015)

(国内学会等)

西田和樹, 玉川徹, 岩切渉, 鈴木良一, 加藤英俊, 志岐成友, 武内陽子, 北口貴雄, 早藤麻美, 榎戸輝陽, 窪田恵 : “電気パルスで変調駆動できる可搬型X線発生装置の開発”, 日本物理学会 2015年秋季年会, 大阪市立大, 9月 (2015)

早藤麻美, 北口貴雄, 岩切渉, 玉川徹, 窪田恵, 西田和樹, 武内陽子, 榎戸輝陽, 武井大, 高山裕貴 : “SPring-8におけるマイクロパターンガス偏光計の性能評価”, 日本天文学会2015年秋季年会, 兵庫県 甲南大学, 9月 (2015)

XXIV-046 ゼブラフィッシュ外側手綱核相同領域による適応的な 目標指向行動の制御機構

The Mechanism for Regulation of Adaptive Goal Directed Behavior by the Lateral Habenula Homolog in Zebrafish

研究者氏名: 天羽 龍之介 Amo, Ryunosuke

受入研究室: 脳科学総合研究センター

発生遺伝子制御研究チーム

(所属長 岡本 仁)

恐怖に面した時、過去の経験に基づいて、その状況に適した行動を選択する能力は動物の生存において基本的且つ最も重要な機能の一つである。このような生物の根幹となる行動制御を担う神経回路とその作動機構を明らかにする事を目指し、遺伝学的操作性に優れた脊椎動物モデル、ゼブラフィッシュを用いて研究を推進した。電気生理学による解析から、腹側手綱核-正中縫線核経路は、セロトニンを介して負の報酬(罰)の期待値(期待価値)を送り出すことで、適応的な回避行動の学習に必須の役割を担う事がわかってきた。この結果は、能動的回避行動

課題における各学習段階での腹側手綱核の神経活動の変化が、強化学習理論によって推測される期待価値の変化と一致する事からも支持される。また、強化学習理論から期待価値は過去の期待値を利用して更新されると予想される。予測に一致して腹側手綱核からの神経伝達を阻害した場合には腹側手綱核での期待値表現の更新が阻害されることも観察できた。これらに加えて、観察された腹側手綱核の活動のうち、負の期待価値を表現していると考えられていたトニックな腹側手綱核の活動を人工的に再現した際には逃避行動が誘導されるが、もう一方の一過性の

活動を再現した場合はこのような反応は誘導できないことがわかった。これらの結果は危険を予測させる環境情報に対する腹側手綱核のトニックな神経活

動こそが、強化学習理論における期待価値を表現していることを示している。

XXIV-047

細胞機能を調節する有機化合物の探索と ケミカルバイオロジー研究

Chemical Biology Study on Chemical Compounds that Modulate Cellular Functions

研究者氏名: 河村達郎 Kawamura, Tatsuro
受入研究室: 環境資源科学研究センター
ケミカルバイオロジー研究グループ
(所属長 長田裕之)

本研究は、細胞の機能を調節する有機化合物を取得し、その作用機序と効果を解明することにより、生命現象の理解や創薬につながる新たな知見を得ることを目的としている。本年度は、「新規MTH1阻害剤の開発・評価」に注力した。

がん細胞は細胞内の活性酸素種 (ROS) のレベルが高いため、遊離のdNTPが酸化を受けやすい。酸化ヌクレオチドがDNAに取り込まれるとDNA損傷による細胞死が誘導されるが、多くのがん細胞では8-oxo-dGTPや2-OH-dATPなどの酸化ヌクレオチドの加水分解酵素であるMTH1が高レベルに発現しており、細胞死を回避している。一方、ROSレベルの低い正常細胞はMTH1への依存度が低いため、MTH1はがん治療の新たな標的分子として着目されている。そこで本研究で、新たなMTH1阻害剤の取得を試みた。昨年度までに、化合物アレイを用いることにより理研天然化合物バンク (NPDepo) の29,809化合物の中からMTH1阻害剤1種類 (化合物1) を見出し、さらにこの化合物の類縁体131種類の中からより強力なMTH1阻害剤2化合物 (化合物8, 12) を見出した。本年度は化合物8, 12の*in vitro*、細胞レベルでの効果の更なる検証を行った。まずはkinetics解析を行い、化合物8, 12が基質の8-oxo-dGTPとほぼ拮抗的にMTH1の

酵素活性を阻害すること、さらにKi値がそれぞれ0.13 μM , 0.10 μM であることを明らかにした。次に選択性の評価を行い、両化合物が100 μM の濃度においても、他のヌクレオチドを基質とする加水分解酵素ITPAやDCTPP1の機能にほとんど影響を与えないことを見出した。さらに、化合物8, 12ががん細胞に対して、8-oxo-2'-deoxyguanosineのDNAへの蓄積、DNA損傷マーカーである53BP1の上昇、細胞死を誘導することを明らかにした。これらの結果は化合物8, 12が細胞レベルでもMTH1の機能を阻害する可能性を示唆しており、我々が見出した新たなMTH1阻害剤ががん研究のツールとなることが期待される。

●誌上发表 Publications

(総説)

河村達郎, 近藤恭光, 長田裕之: “疾患診断のための化合物アレイの活用”, 遺伝子医学MOOK29号

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

河村達郎, 川谷誠, 長田裕之: “化合物アレイを用いた新規MTH1阻害剤の探索”, 第19回日本がん分子標的治療学会学術集会, 松山, 2015年6月

XXIV-048 **バイセクト糖鎖の欠損によるアルツハイマー抑制効果の機構解明**
Mechanistic Investigation of Improvement of Alzheimer's Disease by
Deficiency of Bisected Glycan

研究者氏名: 木塚 康彦 Kizuka, Yasuhiko
受入研究室: グローバル研究クラスター
疾患糖鎖研究チーム
(所属長 谷口直之)

アルツハイマー病は最も主要な認知症であり、高齢化の進む現代社会においてその治療方法の確立が強く望まれている。しかしながらアルツハイマー病については、その原因と考えられるアミロイドβペプチドがなぜ・どのように脳内に蓄積し、疾患を引き起こすのかという基礎的な理解が不足しており、予防や根治を標的にした治療方法開発の妨げとなっている。本研究課題では、糖鎖という視点からアルツハイマー病を捉え直し、本疾患の発症メカニズムの理解と新規治療法の提案を目的としている。アルツハイマー病は脳内で起こる持続的な細胞ストレスがその病因と考えられることから、特にバイセクト糖鎖と呼ばれる、脳に豊富に発現し、細胞の(酸化)ストレス応答に関連する糖鎖に着目し、本糖鎖とアルツハイマー病との関連を調べている。

前年度までの研究によって、バイセクト糖鎖を欠損するマウスとアルツハイマー病のモデルマウスを交配させると、バイセクト糖鎖の欠損はアルツハイマー病の原因となるアミロイドβの脳内蓄積を著しく減少させることが明らかになった。またその原因として、アミロイドβ産生に関わる一つの糖タンパク質(BACE1)の酵素活性がバイセクト糖鎖欠損マウスでは減弱していること、さらにその活性の減弱は、BACE1の細胞内局在の変化によることが判明している。このことから、バイセクト糖鎖の発現を抑えることはBACE1の機能制御を通じてアルツハイマー病を治療する新しい戦略であると考えられる。

今年度の研究では、その酵素活性の減少がどのように引き起こされるのか、そのメカニズムの解明を行った。その結果、BACE1の初期エンドソーム局在にはバイセクト糖鎖が必要であり、バイセクト糖鎖が欠損するとリソソームへ移行し分解されやすくなっていることがわかった。またこのプロセスには酸化ストレスが関与していることも分かった。またBACE1に結合する新規糖結合性タンパク質として

Clec4gを同定した。さらに現在、創薬プログラムの支援のもと、バイセクト糖鎖をターゲットにした新規治療薬の候補となる化合物を行っている。一般に糖鎖の合成阻害剤は大規模スクリーニングによって開発された例がないが、本課題により新たなアッセイシステムを構築し、現在大規模スクリーニングを実施している。これにより糖鎖を基軸とした新たな治療薬候補のシーズの開発が期待できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kizuka Y., Kitazume S., Sato K. and Taniguchi N.:
“Clec4g (LSECtin) interacts with BACE1 and suppresses Aβ generation”FEBS Letters, 589, 1418-1422 (2015)*

(総説)

木塚康彦: “糖鎖合成遺伝子GnT-IXの脳特異的な発現メカニズムの解析”, 生化学, 87, 381-384 (2015)

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Kizuka Y., Kitazume S., Saido T., Nakano M., Ohnuki T., Shirouzu M., Yoshida M., Zegzouti H., Endo T., Taniguchi N.: “Bisecting GlcNAc modification is a novel therapeutic target for Alzheimer's disease”, RIKEN-Max Planck Joint Research Center for Systems Chemical Biology, The 4th symposium, Kobe, Japan, May (2015)

(国内会議)

木塚康彦, 北爪しのぶ, 谷口直之: “Bisecting GlcNAcは酸化ストレスによるBACE1の発現誘導を制御する”, 第2回FCCAシンポジウムFCCA グライコサイエンス若手フォーラム2015, 東京, 7月 (2015)

(国際会議)

Kizuka Y., Kitazume S. Sato K., Ohnuki T., Kukimono-Niino M., Shirouzu M., Yoshida M., Engel L., Zegzouti H. and Taniguchi N.: “High-throughput screening of GnT-III inhibitors using UDP-Glo system to develop a novel drug candidate for Alzheimer’s disease”, SFG & JSCR 2014 Joint Annual Meeting, Honolulu, The United States, Nov.(2014)

Kizuka Y., Kitazume S. and Taniguchi N.: “Epigenetic regulation of glycosyltransferase”, SFG & JSCR 2014 Joint Annual Meeting, Honolulu, The United States, Nov.(2014)

Kizuka Y.: “Bisecting GlcNAc and Alzheimer’s disease”, RIKEN Symposium, Wako, Japan, Oct.(2014)

Kizuka Y., Kitazume S., Fujinawa R., Saito T., Iwata N., Saido T.C., Nakano M., Yamaguchi Y., Hashimoto Y., Staufenbiel M., Hatsuta H., Murayama S., Manya H., Endo T. and Taniguchi N.: “Loss of Bisected glycan ameliorates Alzheimer’s disease pathology in mouse brain”, RIKEN-Max Planck Joint Research Center for Systems Chemical Biology, The 3rd symposium, Munich, Germany, May(2014)

XXIV-049

昆虫のワーキングメモリを担う神経回路の理解と制御
Understanding and Controlling the Neural Circuits Underlying
Working Memory in an Insect

研究者氏名: 塩崎 博史 Shiozaki, Hiroshi
受入研究室: 脳科学総合研究センター
知覚神経回路機構研究チーム
(所属長 風間 北斗)

昆虫を含む多くの動物は、外界の情報を一時的に脳内に保存し利用することで、適切な行動を選択する。この記憶能力はワーキングメモリと呼ばれ、単純な行動選択から言語、推論といった複雑な精神活動まで、幅広い認知機能の基礎であると考えられている。哺乳類を対象とした実験により、ワーキングメモリに関連する脳領域が特定されている。しかし、哺乳類の脳は複雑であるため、ワーキングメモリの神経機構を詳細に調べることは容易ではない。本研究では、より単純な脳を持つショウジョウバエを用いることで、ワーキングメモリを担う神経回路の動作原理を解明する。

昨年度までに、物体位置の記憶を検討するための行動課題を開発した。今年度は、物体位置の短期記憶がハエの脳内でどのように表現されているかを解明するために、短期記憶課題遂行中のハエから神経活動を記録した。先行研究により、中心複合体という脳領域が、視覚情報に基づく行動に関わっていることが示唆されている。そこで、中心複合体へ入力を送る領域のひとつであるバルブに着目し、バルブのニューロンが課題中にどのような情報を伝えるかを検討した。その結果、一部のバルブニューロン群が、視覚刺激の位置およびその記憶の情報を表現し

ていることを見出した。また、別のバルブニューロン群は、ハエの飛行方向についての情報を表現していた。さらに、バルブ内での活動計測部位と伝えている情報との関係を検討したところ、これらふたつのニューロン群がバルブ内で異なる領域に分布していることがわかった。そこで、特定の領域に投射するニューロン群の形態を可視化する技術を用いて、異なる情報を伝えるバルブニューロン群が構成する神経回路を検討したところ、ふたつのニューロン群は、入力部位においても出力部位においても、近接するが互いにほぼ交わらない領域に神経突起を伸ばしていた。以上の結果は、物体位置とその記憶の情報と、自己運動に関する情報が、平行する神経経路を通して伝達され、行動の生成に関わる回路において統合されることを示唆する。

本研究では、申請者がサルを用いた実験で培った技術を、ショウジョウバエ実験に応用することで、ハエの脳内における物体位置のワーキングメモリの神経表現およびその解剖学的基盤を明らかにした。さらに研究を進めることで、ワーキングメモリの生成機構および行動への変換過程の理解が進展することが期待できる。

●ポスター発表 Presentations

(国内学会等)

Shiozaki HM., Kazama H: "Parallel circuits carry distinct signals during memory-guided flight orientation", NEUROBIOLOGY OF DROSOPHILA, Cold

Spring Harbor, NY, Sep. (2015)

塩崎博史: "ショウジョウバエは空間短期記憶を用いて飛行方向を選択する", 第38回日本神経科学大会, 神戸, 7月 (2015)

XXIV-051

テラヘルツ分光による分子固体の相転移前駆現象解明

Elucidation of Pre-translational Phenomena on Molecular Solids by THz Spectroscopy

研究者氏名: 鈴木晴 Suzuki, Hal

受入研究室: テラヘルツ光研究グループ

テラヘルツイメージング研究チーム

(所属長 大谷知行)

本年度は、テラヘルツ (THz) 分光測定および熱容量測定を用いて、リチウムイオン内包フラーレン [Li⁺@C₆₀] の基礎物性研究を重点的に行った。Li⁺@C₆₀ は、イオン化した Li 原子が C₆₀ フラーレン分子に内包された新規化合物で、最近になってミリグラムオーダーの合成が可能になってきた。同化合物は、取り込まれた Li 原子がイオンのまま保持されるという特異的な分子構造から、様々な産業応用の可能性が期待されてきたが、本研究では、その基礎物性に注目した。特に注目したのが、① Li⁺ イオンが C₆₀ 分子と化学結合をもたない、② Li⁺ イオンが C₆₀ 分子内部を比較的自由に運動できる、③ Li⁺ イオンが C₆₀ 外部のカウンターイオンとクーロン相互作用する、という3つの特徴であり、Li⁺@C₆₀ 化合物の結晶状態における物性を「分子振動 (THz 分光)」および「熱力学 (熱容量)」の2側面から調べた。測定は、カウンターのイオンに PF₆⁻ を用いた [Li⁺@C₆₀](PF₆⁻) について行った。

THz 分光測定では、Li イオンが C₆₀ 分子内部で振動するモードを 1.24 THz に見出した。Li イオンの位置が C₆₀ 分子内部で非局在しているため、室温で観測されるピークは非常にブロードであることを見出したほか、温度を降下させると共鳴振動数が著しく低周波数側にシフトすることを見出した。これは、温度低下に伴って Li イオンの振動モードに C₆₀ 分子の並進運動がカップルするためと解釈された。また、30 K 以下では、8 THz 付近に新たなピークが出現することを見出し、X線回折実験から示唆されていた Li イオン位置の秩序化を支持する結果を得た。熱

容量測定 (0.35 - 390 K) では、24 K に小さな相転移ピークを見出し、Li イオンの秩序化が協同的進行することを明らかにした。また、370 K 付近で観測される C₆₀ 分子の配向秩序化に伴う相転移の熱力学量を決定した。

上記の研究と並行して、高強度 THz 波照射による液晶配向制御の研究や、THz 分光測定による多核金属錯体のクラスター振動の研究、ナイロンの構造相転移およびガラス転移の研究なども行った。ナイロンの研究成果の一部は、論文にまとめて出版した (Euro. Polym. J. 2015)。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

H. Suzuki, S. Ishii, C. Otani, H. Hoshina: "Low-frequency Vibrations of Polyamide-6 as a Function of Temperature and Thermal History Investigated by Terahertz Absorption Spectroscopy", Euro. Polym. J. 67, 284-291 (2015).

(総説)

保科宏道, 鈴木晴, 山本茂樹, 矢嶋摂子: "テラヘルツ振動分光から見えるソフトマテリアルの構造と水素結合", 応用物理 84, 6 (2015) .

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

H. Hoshina, H. Suzuki, C. Otani, S. Yamamoto, S. Yajima, Y. Ozaki: "Monitoring Hydrogen Bonds in Soft Materials by Terahertz Spectroscopy", 3rd In-

ternational Symposium on Microwave/THz Science and Application (MTSA), Okinawa (Japan), July, 2015.

H. Hoshina, H. Suzuki, C. Otani, S. Yamamoto, H. Sato, Y. Ozaki: "Polymer Morphology Studied by Terahertz Spectroscopy", The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2015), Hamamatsu (Japan), Sep. 2015.

(国内会議等)

鈴木晴, 大谷知行, 吉成信人, 今野巧: "テラヘルツ分光法を用いた D_2 -ペニシラミナト Cu_{14} 核クラ

スター構造変化の解析", 第9回分子科学討論会(東京), 9月, 2015年

石田美咲, 鈴木晴, 山田雄介, 山下将嗣, 大谷知行, 笠間泰彦, 河地和彦, 権垣相: "テラヘルツ分光法によるリチウムイオン内包フラーレン $[Li^+@C_{60}](PF_6)^-$ の物性研究", 第9回分子科学討論会(東京), 9月, 2015年

保科宏道, 鈴木晴, 大谷知行, 山本茂樹, 西村文太, 佐藤春実, 尾崎幸洋: "テラヘルツ分光による新しい高分子研究の可能性", 第64回高分子討論会(仙台), 9月, 2015年

XXIV-052 iPS細胞を用いたカルボニルストレス性統合失調症の研究 Study of Carbonyl Stress Related Schizophrenia Using Induced Pluripotent Stem Cells

研究者氏名: 豊島学 Toyoshima, Manabu
受入研究室: 脳科学総合研究センター
分子精神科学研究チーム
(所属長 吉川 武男)

およそ2割の統合失調症患者において、AGEs (Advanced Glycation End Products: 終末糖化産物) が蓄積したカルボニルストレス状態にあることや、糖尿病の母体から生まれた子供(神経発達期にカルボニルストレスを受けた状態)では、統合失調症の発症が7倍に増加することが報告されている。一方、統合失調症については発達期の脳の微細な障害が統合失調症脆弱性形成に関与するという「神経発達障害仮説」が知られている。上記の背景から「カルボニルストレスによる神経発達障害」が統合失調症の発症要因のひとつと考え、この仮説を証明するため、複数のカルボニルストレス性統合失調症由来iPS細胞を樹立し、神経幹細胞や各神経細胞への分化・発達について解析を行うことで、統合失調症における神経発達障害とカルボニルストレスとの関係を探ることとした。本研究により神経細胞の発達異常にカルボニルストレスが関与することが明らかとなれば、カルボニルストレスに注目した、統合失調症の

早期診断マーカーの開発や、統合失調症の予防法・治療法の確立にも有用な情報を提供できることが期待できる。

本年度は、カルボニルストレス性統合失調症患者由来iPS細胞と神経幹細胞において、カルボニルストレスの上流に位置し、直接関与する酸化ストレスに注目して解析を進めた。健常者及びカルボニルストレス性統合失調症患者由来iPS細胞と、iPS細胞から作製した神経幹細胞を用いて、細胞の酸化ストレス状態の指標となるカルボニル化タンパク質をWestern blotting (Oxyblot) により測定した。その結果、患者由来のiPS細胞、神経幹細胞においてカルボニル化タンパク質の増加が見られた。AGE化タンパク質の場合と異なり、特定のタンパク質のカルボニル化は増加しておらず、タンパク質全体のカルボニル化が亢進していた。この結果から、カルボニルストレス性統合失調症患者由来の細胞では、酸化ストレスが亢進していることが示唆された。

GABA作動性シナプス制御機構の解明 Regulatory Mechanism of GABAergic Synapses

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

神経細胞はシナプスにおいて情報伝達を行う。GABA作動性のシナプス伝達は神経回路の適切な興奮/抑制のバランスを保つことで脳の機能を制御している。シナプス内に局在する神経伝達物質受容体の数はシナプス伝達の大きさに直接影響する要因である。記憶の中樞である海馬では、神経細胞の興奮に応じたCa²⁺流入により、シナプス内GABA_A受容体(GABA_AR)の迅速な散逸がおこる。この散逸はGABA_ARの細胞膜上の2次元方向での動き(側方拡散)の増大によって引き起こされていることが量子ドット1分子イメージングにより近年明らかになった。しかしながら、恒常的にGABA_ARをシナプスに維持し、散逸後シナプスに回復させる安定化機構は未だに不明である。本研究では量子ドット1分子イメージングによるGABA_AR動態解析を、従来の細胞生物学的手法と組み合わせることにより、GABA_ARの側方拡散の制御機構という観点からGABA作動性シナプス制御機構に迫った。

本研究において我々はIP₃受容体欠損マウス及びIP₃/Ca²⁺経路の阻害剤の投与を用い、代謝型グルタミン酸受容体に端を発するシグナル経路はIP₃受容体依存性のCa²⁺放出、さらにはCa²⁺依存性のPKCを活性化させ、最終的にシナプスへのGABA_ARの集積、GABA作動性のシナプス伝達を維持していることを発見した。このGABA_ARの安定化経路は、同じくグルタミン酸によって作動されるNMDA受

容体を介したCa²⁺流入とカルシニューリンによる脱リン酸化を発端とするGABA_ARのシナプスからの散逸に拮抗する。さらに、GABA_AR変異体を用いて検討を行うことで、このIP₃/Ca²⁺によるGABA_ARの動態制御は既知のGABA_ARの脱リン酸化部位とは異なる新規の経路を介して行われていることを明らかにした。これらの発見はグルタミン酸が異なる受容体の活性化とカルシウムの時空間的制御によって異なる経路を活性化し、拮抗する二通りの経路を活性化させるという興味深い結果を示している。さらに、今回発見した経路はてんかんなどでみられる病的な神経細胞の過剰興奮を引き起こす経路に拮抗する経路であることから、脳の興奮/抑制のバランスの崩れで引き起こされる神経疾患の治療に重要な示唆を与えると考えている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Bannai H., Niwa F., Sherwood M. W., Shrivastava A. N., Arizono M., Miyamoto A., Sugiura K., Levi S., Triller A.: "Differential calcium-dependent control of synaptic GABA_A receptor clustering by ionotropic and metabotropic glutamate receptor", *Cell Reports*, Volume 13, Issue 12, p2768-2780, 29 December 2015

基礎科学特別研究員
平成 25 年度採用者

Name : Rathnayaka Mudiyansele Thushara Damayanthi

Host Laboratory : Center for Advanced Photonics,

Terahertz Sensing and Imaging Research Team

Laboratory Head : Chiko Otani

1. Introduction

Recent advances of terahertz (THz) technology is making breakthroughs in the various areas including physics, chemistry, homeland security, biology, medicine and material science. We are interested on homeland security applications of THz technology and infrastructure diagnosis. Many commonly used solid-state explosives such as RDX, HMX, PETN and DNT have spectral fingerprints in the range of 0.5-3 THz. THz waves can penetrate through many common dielectric materials such as paper, textile, plastic, leather, wood and ceramic. In addition to that, THz waves have low photon energies (million times weaker than the energy of X-ray photons) and will not cause harmful effects to biological tissues. Therefore, THz technology is a safe method for both the operators and the targets. Due to these advantages THz technology is a competitive method for infrastructure diagnosis and inspecting hidden explosives.

For these applications we propose a direct absorbed lumped element kinetic inductance detector (LEKID) array as a possible detector array. Due to the combination of the absorber and the detector in a single element, the LEKID is an extremely simple detector to fabricate large arrays with a high filling factor, requiring only one deposition and etch step to produce an array of up to 1000 pixels multiplexed onto a single feed-line.

2. Design and experiments of LEKID arrays for THz Imaging and spectroscopy:

LEKIDs consists of a discrete inductor and capacitor to form a resonator. LEKIDs are promise as a direct absorption of THz waves, as they have very high and nearly constant current density over the whole length of the inductive meander, as shown in Fig. 1, requiring no antennas or quasiparticle trapping. The resonating frequency of the LEKID can be adjusted by changing

the length of the capacitance fingers, to arrange a large array coupled to a single feed-line.

Our target is to design an array of 10^6 LEKIDs for THz imaging and spectroscopy. Our measurement setup allows operating resonance frequencies of LEKIDs between 2- 8 GHz. To space 10^6 array in this range, required loaded quality factor of LEKIDs is $\geq 8 \times 10^5$.

As an initial step, to optimize the detector characteristics, we designed a 14-pixel LEKID array to absorb 1.5 THz

radiation. Most pixels in a fabricated array with Al superconductor reported loaded Q , Q_L in 10^4 th order with the best 1.3×10^5 . Q_L is limited by the coupling Q (Q_c). We tried to increase Q_c by increasing coupling distance. However, we got worse Q_c for increasing coupling distance, which were opposed to expectation. Possible reason should be the dielectric loss effect of Si in the coupling area. To check this we fabricated an array on a low loss sapphire substrate and got the results that Q_c getting increased with increasing coupling distance.

Design of 1024-pixels LEKID array :

Based on previous results we have designed a 1024 pixels LEKID array, which is shown in Fig. 2. The array is designed to operate between 3 - 8 GHz with a 5 MHz

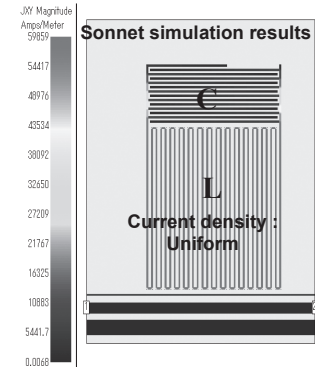


Fig.1 Sonnet simulated current density of a LEKID.

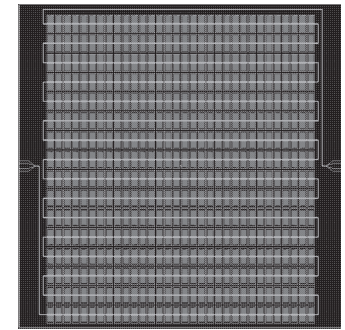


Fig.2 Layout of the 1024-pixels LEKID array.

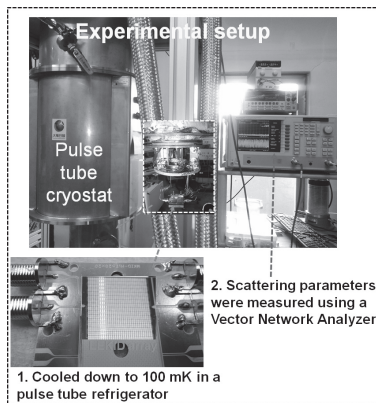
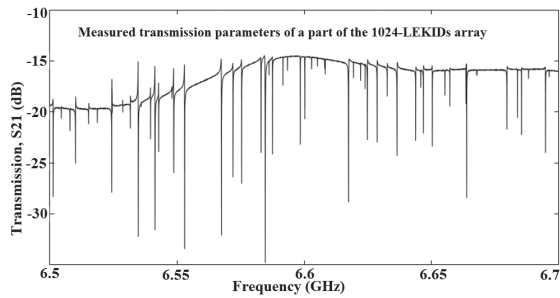


Fig.3 Experimental setup (Right) and the measured scattering parameters of a part of the array (left).

space between neighboring peaks. Coupling ground width and coupling distance is $20 \mu\text{m}$ to get a balance between the Q and the peak height. We fabricated 1024 pixel LEKID array using Al superconductor of 100 nm thick on sapphire substrate. We cooled Al-LEKID array on a dilution cryostat and measured using a vector network analyzer. Experimental setup and measured peaks of a part of the array is shown in Fig. 3.

Peaks of around 1000 pixels were successfully confirmed with very high loaded quality factors of $1-6 \times 10^5$. Currently we are fabricating a lens array for the LEKID

array and then will perform THz radiation measurements in the near future.

Designed 1024 LEKIDs array can be easily extended for an array of up to 10^6 . This could be a very good candidate not only for our targeted THz imaging and spectroscopy applications but also for the upcoming GROUND-BIRD telescope too.

●Publications in FY2015

Original Papers (Refereed journals)

1. S. Hatakeyama, T. Irimatsugawa, M. Ohno, H. Takahashi, R. M. Thushara Damayanthi, C. Otani and T. Maekawa, "Development of hard X-ray and gamma-ray detector with transition edge sensor for nuclear material analysis", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 25, No.3, pp. 2101603, 2015.
2. K. Karatsu, S. Mima, S. Oguri, J. Choi, R. M. Thushara Damayanthi et al., "Development of microwave kinetic inductance detector for cosmological observations", *IEICE Trans. Electron.*, Vol. E98-C, No. 3, pp. 207-218, 2015
3. S. Oguri, J. Choi, T. Damayanthi, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, K. Karatsu, S. Mima, M. Minowa, T. Nagasaki, C. Otani, Y. Sekimoto, O. Tajima, N. Tomita, M. Yoshida, E. Won, for the GroundBIRD group, "GroundBIRD-observing cosmic microwave polarization at large angular scale with kinetic inductance detectors and high-speed rotating telescope", *J Low Temp Phys.*, December 2015.

XXV-002

ステロールへの糖修飾によるパーキンソン病発症の 制御メカニズムの解明

Analysis of Regulatory Mechanism of Parkinson's Disease Pathogenesis Mediated by Glycosylation of Sterol

研究者氏名: 秋山 央子 Akiyama, Hisako
受入研究室: 脳科学総合研究センター
神経膜機能研究チーム
(所属長 平林 義雄)

パーキンソン病 (PD) は中脳黒質のドーパミン産生神経細胞の変性によって、運動障害を来す進行性の神経変性疾患である。我が国の患者数は15万

人以上であり、病因解明・治療法開発は急務である。最近、酸性グルコシルセラミド分解酵素 (GBA1) の遺伝子のヘテロ接合型変異が、孤発性PDの最も

強力な遺伝的リスクであることが示された。日本人においてはそのオッズ比は26倍であり、PD患者の9.4%に *GBA1* 変異が認められている。これまでに、*GBA1* の機能低下により *GBA1* の基質であるグルコシルセラミドが細胞内に蓄積することがPD発症の原因となるという仮説が提唱されている。しかし、この仮説を直接証明する結果は報告されておらず、*GBA1* 変異がPDを引き起こすメカニズムは未だ不明である。

申請者は最近、*GBA1* はグルコシルセラミドの分解以外に、コレステロールへグルコースを転移し得ることを見出し、*GBA1* が糖脂質、 β -コレステリルグルコシド (β -ChlGlc) を合成することを明らかにした。 β -ChlGlcはコレステロールにグルコースが β -グルコシド結合した糖脂質である。 β -ChlGlcは2000年に動物細胞が熱ストレスを受けると速やかに合成される脂質成分として発見されたが、その後大きな研究の進展がなく、その生合成経路や組織分布、機能はほとんどわかっていない。申請者によるこの意外な発見は、*GBA1* が関与するPDについて、これまで考えられていなかった β -ChlGlc合成という新たな視点から疾患発症の分子基盤を明らかにする可能性を示唆する。本研究では、*GBA1* の新機能である β -ChlGlc合成に着目し、PD発症の制御メカニズムの解明を目指す。

β -ChlGlcはヒト線維芽細胞に存在することが以前に報告されているが、完全に構造決定がなされた例がないため、本年度は脳に存在する β -ChlGlcの精製および構造決定を行った。 β -ChlGlc精製の出発材料にはニワトリ胎児胚脳を用い、順相クロマトグラフィー、および2段階の逆相クロマトグラフィーを駆使して精製を行った。 β -ChlGlcのステロ-

ル部分の構造決定、特に環構造内の二重結合の位置を決定することは、エレクトロスプレーイオン化法を用いた質量分析、および一次元NMR分析では困難を極めた。そこで今回は、二次元NMR、およびスパイラル型の工学系を搭載したマトリクス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析計を用いてステロール部分の構造決定を行い、精製した脂質が β -ChlGlcであることを確認した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Marques A. R.[§], Mirzaian M.[§], Akiyama H.[§], Wisse P., Ferraz M. J., Gaspar P., Ghauharali-van der Vlugt K., Meijer R., Giraldo P., Alfonso P., Ir?n P., Dahl M., Karlsson S., Pavlova E. V., Cox T. M., Scheij S., Verhoek M., Ottenhoff R., van Roomen C. P., Pannu N. S., van Eijk M., Dekker N., Boot R. G., Overkleeft H. S., Blommaert E., Hirabayashi Y. and Aerts J. M.: "Glucosylated cholesterol in mammalian cells and tissues: formation and degradation by multiple cellular β -glucosidases", *J. Lipid Res.*, 57 451-463(2016)*.

[§] These authors contributed equally to this work.

(総説)

平林義雄, 秋山央子, 中嶋和紀: "糖脂質の新機能—多様な脂質のグルコース修飾機構と意義", *生化学*, 第86巻第6号; 735-743 (2014)

(単行本)

秋山央子, 香山綾子, 平林義雄: "モデル動物利用マニュアル 疾患モデルの作製と利用—脂質代謝異常と関連疾患", エル・アイ・シー, 下巻, 第6章 細胞内脂質シグナル関連因子, 第7節 糖脂質代謝酵素; 361-385 (2015)

XXV-003 アストロサイトのカルシウムシグナルによる神経伝達の制御 The Regulation of Synaptic Plasticity by Astrocytic Ca^{2+} signals

研究者氏名: 有菌美沙 Arizono, Misa
受入研究室: 脳科学総合研究センター
発生神経生物研究チーム
(所属長 御子柴克彦)

アストロサイトの神経伝達における新しい役割が次々と示される一方で、記憶/学習の実験モデルとされている海馬の長期増強へのアストロサイトの寄

与については、相反する報告がありいまだ結論がでていない。アストロサイトの Ca^{2+} シグナルを薬理的に抑えると長期増強が消失する一方で、アストロ

サイトのCa²⁺シグナルの発生源とされるIP₃受容体タイプ2をノックアウトしても長期増強は正常である。

本プロジェクトにおいては、まずIP₃受容体のサブタイプ特異的ノックアウトマウスのアストロサイトの詳細なCa²⁺シグナルをタンパク質性Ca²⁺センサーで可視化した。この実験によりアストロサイトにおいてIP₃受容体タイプ2に加えIP₃受容体タイプ1、3がCa²⁺を放出するということが明らかになった。興味深いことにIP₃受容体タイプ2が細胞全体においてグローバルなCa²⁺シグナルを引き起こすのに対して、IP₃受容体タイプ1、3はアストロサイトの突起において局所的なCa²⁺シグナルを引き起こした。またIP₃受容体タイプ1が免疫組織によりアストロサイトの突起に分布していることをみつけた。さらには電気生理学的アプローチにより、アストロサイトにおいてのみ薬理的にIP₃受容体の全てのサブタイプ(1、2、3)を阻害すると海馬の長期増強が消失するということが分かった。そこでどのIP₃受容体のサブタイプが海馬の長期増強を担うかを調べたところ、IP₃受容体タイプ1を機能阻害抗体で

阻害した場合にのみ海馬の長期増強が消失するということが明らかになった。

以上の結果により突起において局所的にCa²⁺シグナルを生じるアストロサイトのIP₃受容体1が海馬の長期増強の制御をすることを示した。この研究にはこれまで論争的であったアストロサイトの海馬の長期増強への寄与を決定付け、その分子基盤を同定したという意義がある。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Bannai H., Niwa F., Sherwood MW., Shrivastava AN., Arizono M., Miyamoto A., Sugiura K., Lévi S., Triller A., Mikoshiba K.: “Bidirectional Control of Synaptic GABA_AR Clustering by Glutamate and Calcium” Cell Rep. 13(12) 2768-2780 (2015) *

●ポスター発表 Poster Presentations

GliSyn

International Bordeaux Neurocampus Brain Conference (10月)

XXV-004 AMDに基づく不安定核・ハイパー核構造の解明と核反応断面積評価 Structure Study of Hypernuclei and Unstable Nuclei and Evaluation of Reaction Cross Section with AMD

研究者氏名: 井坂 政裕 Isaka, Masahiro

受入研究室: 仁科加速器研究センター

肥山ストレンジネス核物理研究室

(所属長 肥山 詠美子)

本研究の目的は、微視的な核構造モデルである反対称化分子動力学(AMD)を用いて、ハイパー核の基底・低励起状態の性質を明らかにすることである。特に、質量数10-40程度の領域では、元の核が様々な構造を持つため、ハイペロンが加わることで様々な構造変化が起こると期待できる。本研究では、このようなハイペロンによる核構造の変化を明らかにし、核の構造変化を通して元の核が持つ様々な構造を明らかにする。

本年度は、2 α クラスター芯を持つBeハイパー同位体(¹⁰ Λ Be及び¹¹ Λ Be)を対象とし、 Λ 粒子が加わることでもたらされる構造変化の研究を行った。芯核のBe同位体では、2 α クラスター構造の発達度

合いが異なる状態が基底・低励起状態に共存している。そこで、これらに着目し、 Λ 粒子により励起スペクトルと2 α クラスター構造がどのように変化するかを明らかにした。その結果、以下を明らかにした。

- 1) Λ 粒子により、発達した2 α クラスター構造を持つ励起状態の励起エネルギーが高くなること
- 2) Λ 粒子により2 α クラスター構造が収縮し、その収縮度合いは発達したクラスター状態の方が大きいこと

上記1)は、(変形の軸の比がおおよそ2:1の)超変形状態における励起スペクトルの変化と同様のものである。すなわち、変形(または2 α クラスター構造の発達度合い)が大きな状態では、 Λ 粒子の

束縛エネルギーが球形の（または変形の小さな）状態よりも小さいため、変形・クラスター状態の励起エネルギーが高くなることがわかった。このことは、 Λ 粒子は球形の（または変形やクラスターが未発達な）状態のほうがより深く束縛することを意味している。

一方2)は、これまでの超変形状態の場合とは大きく異なる。超変形状態の場合では、 Λ 粒子による変形の変化はほとんど見られなかった。しかし、Beでは、 Λ 粒子により発達した 2α クラスター構造が大きく変化した。これは、平均場的な超変形状態と分子的なクラスター状態との構造の違いによるものと考えられる。Beの場合では、 Λ 粒子によって 2α クラスター構造が収縮するものの、基底状態と励起状態にはクラスターの発達度合いの違いが残るため、1)の励起スペクトルの変化をもたらすことを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hiyama E., Isaka M., Kamimura M., Myo T. and Motoba T.: "Resonant states of the neutron-rich Λ hypernucleus ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ ", *Physical Review C*, Vol. 91, 054316 (2015)*

Isaka M. and Kimura M.: "Impurity effects of the Λ particle on the 2α cluster states of ${}^9\text{Be}$ and ${}^{10}\text{Be}$ ", *Physical Review C*, Vol. 92, 044326 (2015)*

Isaka M., Kimura M., Hiyama E., and Sagawa H.: "Superdeformation of Ar hypernuclei", *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 103D02 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Isaka M.: "Structure of p - sd shell Λ hypernuclei with AMD", International workshop on strangeness nuclear physics - Future prospect and challenging -, Wako, Saitama, Japan, Aug. (2015)

Isaka M.: "Impurity effects in Λ hypernuclei", The 12th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2015), Sendai, Japan, Sep.

(2015)

Isaka M., Fukukawa K., Kimura M., Hiyama E., Sagawa H., Yamamoto Y.: "Impurity effects in deformed/ clustering hypernuclei with antisymmetric molecular dynamics", Quarks to Universe in Computational Science (QUCS 2015), Nara, Japan, Nov. (2015)

Isaka M., Yamamoto Y., Rijken Th.A.: "Effects of Λ NN three-body force in B_{Λ} values of hypernuclei", The 31st Reimei Workshop on Hadron Physics in Extreme Conditions at J-PARC, Tokai, Ibaraki, Japan, Jan. (2016)

(国内学会等)

井坂政裕: "Structure of Λ hypernuclei modified and probed by Λ particle with antisymmetrized molecular dynamics", RCNP理論セミナー, 大阪大学, 大阪府茨木市, 4月 (2015)

井坂政裕: "Structure of sd shell Λ hypernuclei with antisymmetrized molecular dynamics", KEK理論センター JPARC分室・JAEA先端基礎研究センター共催研究会「ストレンジネス核物理の発展方向」, KEK東海キャンパス, 茨城県東海村, 8月 (2015)

井坂政裕: "AMDによるハイパー核構造研究と B_{Λ} の質量依存性", ストレンジネスを含む原子核とバリオン間相互作用の将来を考える研究会, 岐阜大, 岐阜市, 9月 (2015)

井坂政裕, 肥山詠美子, 元場俊雄: "反対称化分子動力学に基づくハイパー核生成反応の分析", 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪市立大, 大阪市, 9月 (2015)

井坂政裕: "ハイパー核の不純物効果とハイペロン・プローブで探る原子核構造研究", 千葉工業大学「核物理×物性セミナー」, 千葉工大, 千葉県習志野市, 10月 (2015)

井坂政裕: "Hypernuclear structure with antisymmetrized molecular dynamics", KEK理論センター研究会「原子核・ハドロン物理の課題と将来」, KEKつくばキャンパス, 茨城県つくば市, 11月 (2015)

XXV-005

X線マイクロカロリメータによる太陽系科学の革新
Study of Planetary Science with X-ray Microcalorimeter

研究者氏名:石川久美 Ishikawa, Kumi
受入研究室:仁科加速器研究センター
玉川高エネルギー宇宙物理研究室
(所属長 玉川 徹)

太陽系内からのX線放射は主に太陽活動と惑星周辺との相互作用によるもので、これらの比較的新しい観測手法を用いることにより惑星を取り巻く大気や磁気圏環境の理解を進めることが目的である。私は惑星X線放射の発見フェーズから、磁気圏プラズマの運動、大気組成や分布などに迫るX線惑星科学への発展を目指す。そのためには地球周回衛星による輪郭情報と探査衛星による詳細情報の両方が有効であることに着目し、各観測に向けたアプローチを行っている。本年度は、昨年度に引き続きX線天文衛星ASTRO-H搭載の精密分光器であるX線マイクロカロリメータSXSの開発に携わりつつ、地球磁気圏の観測衛星搭載を目指した望遠鏡開発を行った。

(1) 開発していたSXS用の超流動ヘリウム排気プラグのフライトモデルが完成し、デュワーに組み込んだ後の最終性能の確認まで終えた。残す試験は種子島の射場へ輸送後、排気系に異常がないかのチェックだけとなった。そこで、射場でのチェック作業の手順や判断基準の明確化を行った。また、打ち上げ後に確認すべきパラメーターおよび判断基準をまとめ、軌道上での動作確認および性能評価に備えた。
(2) 地球からのX線を観測する探査衛星や超小型衛星への搭載を目指した超軽量望遠鏡の開発を行った。私がSXS用の排気プラグを製作した際に用い

た半導体微細加工技術を応用し、4インチのシリコンに幅約20ミクロンの無数の微細穴をあけ、側壁を反射面として使用するものである。昨年のX線照射試験をもとに、鏡の形状や垂直性精度を向上させるべくエッチング条件の見直しを行った。その結果、形状や配置精度を数倍向上させることができた。また、より多くのX線を集められるよう、産総研の協力して12インチの望遠鏡開発に取り組み、X線照射実験を行った。その結果、世界で初めて12インチ望遠鏡でX線の反射光を捉えることができた。一方、反射率の低さから反射面の形状に対する課題も明確となった。

●口頭発表

(国内学会)

石川久美：“マイクロマシン技術を用いた次世代X線観測装置の開発”，宇宙ナノエレクトロニクスワークショップ，ISAS/JAXA，3月（2015）

石川久美：“ASTRO-H衛星搭載 精密軟X線分光装置SXS用ヘリウム排気系の開発状況”，天文学会秋季年会，甲南大学，9月（2015）

(国際会議)

石川久美：“Overview of ASTRO-H SXS”，JUNO meeting，東大，7月（2015）

XXV-007

細胞環境を考慮した細胞内シグナル伝達系の定量的モデリング
Quantitative Modeling and Simulation of Signal Transduction Pathways under Cellular Environments.

研究者氏名:海津一成 Kaizu, Kazunari
受入研究室:生命システム研究センター
生化学シミュレーション研究チーム
(所属長 高橋 恒一)

シグナル伝達系は細胞が外界を検知し、応答するための基本的なシステムである。受容体で外界の情報を受け取ってから遺伝子発現の制御に至るまで

様々な分子が生化学反応を介して情報を伝達・変化させるが、これらの反応は細胞という試験管内とは異なる特殊な環境下で行われる。本研究は定量的な

モデリングと1分子粒度でのシミュレーションによって細胞環境がシグナル伝達系の応答に及ぼす影響を明らかにしようというものである。細胞内は数フェムトからピコリットルという微小体積が膜や小器官によって高度に区画化され、巨大分子がひしめき合う分子混雑下にある。こうした細胞環境が細胞応答に与えている影響を実験的に直接計測することは難しく、それを明らかにするためには1分子1分子の動きからシグナル伝達全体を再現するシミュレーション技術と組み合わせた研究が不可欠である。高度な1分子粒度シミュレーションを実現する手法とソフトウェアの開発を行い、実験による定量データをもとにモデルを構築・計算することで、特殊な環境下で分子を介して情報を伝え、処理する細胞特有の原理を解明できると期待する。

本年度は1分子粒度シミュレーションを可能にする細胞シミュレーション環境E-Cell System version 4の開発を行った。特に異なる細胞表現を有する複数のシミュレーション技法を整合性を保って同時に計算することのできるマルチアルゴリズムフレーム

ワークを実現した。これによって1分子計測や蛍光共鳴エネルギー移動、従来のウェスタンブロッティングなど異なる解像度による定量・定性的な計測データをそれに適したアルゴリズムによって再現することで複数の実験結果を自然に取り入れてシグナル伝達系全体を再構成することが可能になった。また1分子レベルから1細胞全体のシグナル伝達系を再現するために不可欠な1分子粒度シミュレーション技法の超並列化による高速化なども行った。E-Cellシステムは定量的モデリングに不可欠だが非常に高度な計算技術を容易に利用可能な自由（フリー）ソフトウェアとして全世界に公開されている。

●口頭（ポスター）発表 Presentations
(国際会議)

Kaizu K.: “A composite approach of a single-particle-level simulation with multiple algorithms and spatial representations.” 16th International Conference on Systems Biology (poster), Singapore, Nov. (2016)

XXV-008 汎関数くりこみ群を用いた有限温度中のメソンスpekトルの研究
Meson Spectrum at Finite Temperature with the Function Renormalization Group

研究者氏名: 上門 和彦 Kamikado, Kazuhiko
受入研究室: 仁科加速器研究センター
初田量子ハドロン物理学研究室
(所属長 初田 哲男)

本研究の目的は場の量子論の定式化の一つである汎関数くりこみ群の手法を用いて強い相互作用をする物質の高温や高密度での性質を明らかにすることである。くりこみ群の手法は平均値からのゆらぎの効果を効果的に取り込むことに向いた手法である。本研究では主に強い相互作用をする物質のカイラル対称性の破れに伴って出現する軽い中間子のゆらぎを取り込むことに主眼をおいている。

2015年度は非一様カイラル凝縮相でのゆらぎの性質とそのゆらぎが熱力学的な量に与える効果について研究を行った。非一様カイラル凝縮相とはカイラル対称性の破れの秩序変数であるカイラル凝縮が空間的に非一様で空間依存性を持つ状態である。様々な有効モデルの解析により非一様なカイラル凝縮

は空間的に一様なカイラル凝縮よりエネルギーが低くなり、安定な状態として存在し得ることは知られていた。しかしながらゆらぎの性質については理解が及んでいなかった。

本研究ではQCD臨界点近傍での有効モデルを導出しそのモデルを用いて非一様カイラル凝縮相を研究した。まず導出した有効モデルで実際に非一様カイラル凝縮状態が一様なカイラル凝縮状態よりもエネルギーが低くなることを確かめた。次に非一様カイラル凝縮が実現した場合の有効自由度である、フォノンとパイオンのモデルを導出した。このモデルを解くことでフォノンとパイオンが非一様カイラル凝縮相の熱力学的な性質に与える影響について調べた。

研究の結果以下のことを明らかにした。まずフォ

ノンとパイオンは非一様カイラル凝縮の性質を反映して空間的に非等方な分散を持つ。特にフォノンは一様凝縮が空間依存する方向には2次の分散を示し、空間依存しない方向には4次の分散を示す。これらは並進対称性と回転対称性の自発的な破れの帰結である。またフォノンの強い非等方性のために非一様カイラル凝縮はフォノンの温度ゆらぎに対して体積が無限大の極限では不安定であることがわかった。これはフォノンが4次の分散を持つことの帰結である。中性子星などの現実的な系では体積が有限であり十分低温では非一様カイラル凝縮相は揺らぎによって壊されないことがあり得る。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Y. Hidaka, K. Kamikado, T. Kanazawa and T. Noumi: “Phonons, Pions and Quasi-Long-Range Order in Spatially Modulated Chiral Condensates”, Phys.

Rev. D 92, 034003(2015).

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

K. Kamikado, “Phase diagram of the $U(2) \times U(2)$ scalar model in three dimension”, Lattice 2015, 神戸, 2015年7月

K. Kamikado, “Phonons, Pions and Quasi-Long-Range Order in Spatially Modulated Chiral Condensates”, Quark Matter 2015, 神戸, 2015年9月

(国内学会など)

上門和彦, “First and second order phase transitions in the $U(2) \times U(2)$ chiral model”, 原子核3者夏の学校レビュートーク, 蒲郡, 2015年8月

上門和彦, 日高義将, 金澤拓也, 野海俊文, “Phonons, Pions and Quasi-Long-Range Order in Spatially Modulated Chiral Condensates”, 熱場の量子論, 京都大学, 2015年9月

XXV-009

フェムト秒誘導ラマン分光法を用いた光受容タンパク質の超高速構造ダイナミクス

Ultrafast Structural Dynamics of Photoreceptor Proteins Studied by Femtosecond Stimulated Raman Spectroscopy

研究者氏名: 倉持光 Kuramochi, Hikaru

受入研究室: 田原分子分光研究室

(所属長 田原 太平)

光応答性タンパク質は生体イメージングにおけるプローブ、オプトジェネティクスにおける細胞活動の制御手段として用いられるなど、化学・医学・生物学を含む多くの領域で欠かすことのできないツールとなっている。こうした応用研究が盛んに行われる一方で、これら光応答性タンパク質の反応素過程も分子論的観点から非常に興味深い。光応答性タンパク質の反応はいずれも内包された発色団の光吸収によって引き起こされる発色団自身の、タンパク質全体から見れば非常に小さな構造変化をトリガーとして開始するが、こうした反応初期過程は溶液中における発色団単体のそれとはしばしば大きく異なり、周辺タンパク質環境が反応を促進するための何らかの役割を果たしていることが示唆される。こうした知見はより高度な機能性人工タンパク質の創製にも欠かすことができなないと考えられ、その理解に

は反応過渡状態での分子構造の変化を高い時間分解能で時々刻々と追跡することが必須である。そこで本研究では独自のフェムト秒誘導ラマン分光法を用いて光受容タンパク質の超高速構造ダイナミクスを明らかにすることを目的としている。

本年度は昨年度構築した可視6フェムト秒パルスを用いた時間分解インパルスラマン分光装置を用いて緑色蛍光タンパク質GFP、溶液中におけるGFP発色団単体、イエロープロテイン変異体など様々な系に対して超高速構造ダイナミクスの観測を行った。GFPは生体イメージングのツールとして欠かすことのできない蛍光タンパク質であり、発色団分子の励起状態プロトン移動反応を通じて蛍光を発する。最近このプロトン移動反応に関して発色団の低波数振動がプロトン移動反応を促進すると提唱され注目を集めていた。我々は極短励起光を用いて

励起状態にコヒーレントな低波数振動を明確に誘起した後、フェムト秒の遅延時間領域における分子の構造変化を追跡した。その結果プロトン脱離状態の生成過程には低波数振動の影響はほぼ見られず、このことから特定の低波数振動モードがプロトン移動反応を促進しているわけではないと結論した。また溶液中における GFP 発色団単体の超高速構造ダイナミクスとの比較も行い、タンパク質環境が速い励起状態失活過程を抑制する効果があることを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kuramochi H., Takeuchi S., Yonezawa K., Kamikubo H., Kataoka M., Tahara T.: “Probing Ultrafast Structural Dynamics of Photoactive Yellow Protein with Femtosecond Time-Domain Raman Spectroscopy”, In: Yamanouchi K., Cundiff S., de Vivie-Riedle R., Kuwata-Gonokami M., DiMauro L. (eds.) *Ultrafast Phenomena XIX*, vol. 162. Springer Proceedings in Physics, pp. 528-531. Springer International Publishing (2015)*

Kuramochi H., Takeuchi S., Tahara T.: “Femtosecond Time-Resolved Impulsive Stimulated Raman Spectroscopy Using Sub-7-fs Pulses: Apparatus and Applications”, *Rev. Sci. Instrum.* 87, 043107 (2016)

Kuramochi H., Takeuchi S., Yonezawa K., Kamikubo H., Kataoka M., and Tahara T.: “Probing Ultrafast Photoreceptive Responses inside Photoactive Yellow Protein with Time-Domain Raman”, submitted.

Fujisawa T., Kuramochi H., Hosoi H., Takeuchi S., Tahara T.: “Role of Coherent Low-Frequency Motion in Excited-State Proton Transfer of Green Fluorescent Protein Studied by Time-Resolved Impulsive Stimulated Raman Spectroscopy”, *J. Am. Chem.*

Soc. 138, 3942-3945 (2016)

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Kuramochi H., Takeuchi S., Yonezawa K., Kamikubo H., Kataoka M. and Tahara T.: “Primary structural dynamics of photoactive yellow protein probed by ultrafast time-domain Raman”, TRVS 2015 (17th International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy), Madison, WI, USA, June (2015)

Kuramochi H., Takeuchi S., and Tahara T.: “Development and application of time-resolved impulsive stimulated Raman spectrometer using sub-7-fs pulses”, KAKENHI International Symposium on “Studying the Function of Soft Molecular Systems”, Tokyo, Japan, July (2015)

(国内学会等)

倉持光, 竹内佐年, 米澤健人, 上久保裕生, 片岡幹雄, 田原太平: “極限的時間領域ラマン分光法で観る光受容タンパク質の反応初期過程”, 第4回「分子システム研究」春季研究会, 伊東, 5月 (2015)

倉持光, 竹内佐年, 田原太平: “極限的時間領域ラマン分光で観る光反応ダイナミクス”, 第5回光科学異分野横断萌芽研究会, 蒲郡, 8月 (2015)

倉持光, 竹内佐年, 田原太平: “可視6フェムト秒パルスを用いた界面選択的時間領域4次ラマン分光”, 第9回分子科学討論会, 東京, 9月 (2015)

倉持光, 藤澤知績, 竹内佐年, 田原太平: “超高速時間領域ラマン分光法で探る光応答性タンパク質の反応ダイナミクス”, 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」, 和光, 11月 (2015)

倉持光, 竹内佐年, 田原太平: “可視6フェムト秒パルスを用いた界面選択的時間領域4次ラマン分光”, 新学術領域研究「柔らかな分子系」第四回全体合宿会議, 北九州, 12月 (2015)

大強度RIビームで使用する超高速応答性を有する
ダイヤモンド検出器の開発

Development of Diamond Detectors for Fast Timing Application of
High-Intensity RI Beam

研究者氏名: 佐藤 優樹 Sato, Yuki
受入研究室: 仁科加速器研究センター
計測技術チーム
(所属長 佐藤 広海)

ダイヤモンド検出器は優れた放射線耐久性が期待され、また、高い高速時間応答性能を持つことから、高強度の重イオンビームラインにおけるタイミング測定用の検出器として有望視されてきた。加えて、近年のCVD単結晶育成技術の向上により高品質な単結晶ダイヤモンドの育成が進み、エネルギー弁別のためのΔE検出器としての可能性も考えられるようになった。このような利点に着目し、本研究では重イオンビーム検出に用いる単結晶ダイヤモンド検出器の開発を進めた。

本年度はまず、前年度に実施した、ダイヤモンド検出器のイオンビーム入射に対する耐久性評価試験の結果を考察した。耐久性テストでは、既存の荷電粒子検出器であるシリコン表面障壁型検出器との性能比較を行った。イオンビームの入射量（検出器へのエネルギー付与量の積算値）が増加するに従い、各検出器から出力される信号の大きさが減少していく傾向が見られ、かつ、原子番号の大きなAuイオンビーム照射に対しては耐久性に大きな違いが見られなかった。

結晶内に欠陥を生成するために必要なエネルギー、及びAuイオン入射で生成される電荷密度の観点からでは、ダイヤモンド検出器がシリコン検出器に比べて優位な耐久性を示さない理由を説明できなかった。今回の実験では入射したAuイオンのエネルギーが低く、ダイヤモンド結晶内における飛程が

1 μm未満と非常に短いことから、ダイヤモンド結晶と電極金属の界面において、電荷キャリアの捕獲準位の存在が疑われる。

一方で、現在使用しているダイヤモンド結晶のサイズは4×4 mm²程度と小さく、実際にビームラインへ配置することは難しい。そこで、このような小さい結晶を複数個並べることによる検出器大面積化手法の確立を目指した。4×4 mm²結晶から製作した検出器を4つ並べたモザイク型検出器を開発し、各々の検出器に2 GHz Broadband Amplifierを接続して出力信号を観測した結果、全ての検出器で1 ns以下の高速な信号立ち上がり時間（10-90%）を観測することができ、ビームライン中を飛行する重イオンのタイミング測定用検出器としての可能性を示すことが出来た。

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Sato Y., Murakami H., Shimaoka T., Tsubota M., Kaneko J. H., "Single-crystal CVD Diamond Detector for Low-Energy Charged Particles with Energies Ranging from 100 keV to 2 MeV", The fourth international conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA2015), Lisbon Congress Center, Lisbon, Portugal, Apr. (2015)

時間依存密度汎関数法に基づく原子核の小振幅および
大振幅ダイナミクスの研究

Study of Small- and Large-amplitude Dynamics in Atomic Nuclei based
on the Time-dependent Density Functional theory

研究者氏名: 佐藤 弘一 Sato, Koichi
受入研究室: 仁科加速器研究センター
中務原子核理論研究室
(所属長 中務 孝)

密度汎関数法は核図表のあらゆる領域の原子核に適用可能な理論であり、原子核の研究に広く使われてきている。従来の密度汎関数計算では、アイソスピン対称性を尊重した密度汎関数が用いられてこなかった。そこで我々はアイソスピン対称性を考慮し、アイソスピン空間での回転対称性を持つ密度汎関数に基づく平均場計算のコードを開発し研究を行ってきた。昨年度までに、質量数 $A=10-66$ 領域で $T=1$ および $T=1/2$ アイソバリックアナログ状態 (IAS) について系統的な計算を行ったところ、得られた結果はいずれのパラメータセットを用いた場合にも、実験値との系統的なずれを示しており、これによりクーロン力以外のアイソスピンを破る相互作用を密度汎関数に取り込むことが必要であることが結論された。そこで本年度はアイソスピン対称性を破る相互作用を付け加えた更なる密度汎関数の拡張を行い、質量数 $A=10-66$ 領域の $T=1$ 三重項に対して系統的計算を行った。それによりアイソスピン対称性を破る項をわずかに導入することによって実験値をより良く再現することが確かめられた。

また、大振幅集団ダイナミクスにおいては、断熱的自己無撞着集団座標 (ASCC) 法という微視的理論に基づいて研究を行っているが、先行研究でASCC法の基本方程式はある種の連続変換に対する対称性を持っていることが発見され、それが一種のゲージ変換であることが予想された。本年度はこの対称性についてDirac-Bergmannの特異系の理論に基づいて解析を行った。そして、先行研究の対称性が集団ハミルトニアン中の粒子数についての拘束から生じるゲージ対称性であること、基本方程式はより一般的なゲージ変換に対する対称性を持つこと、断熱展開によってゲージ対称性が部分的に破れることなどを示し、超流動原子核の大振幅集団運動におけるゲージ対称性についてゲージ理論に基づく理解を与えた。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- K. Sato: “Gauge symmetry in the large-amplitude collective motion of superfluid nuclei”, *Prog. Theor. Exp. Phys.*, (2015) 123D01*
- K. Sato, J. Dobaczewski, T. Nakatsukasa, W. Satula: “Mean-Field Calculation Based on Proton-Neutron Mixed Energy Density Functionals”, *Proceedings of the Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014)*, Tokyo, Jun. 1-6, 2014, *JPS Conf. Proc.* 6, 020051 (2015)*
- K. Matsuyanagi, M. Matsuo, T. Nakatsukasa, K. Yoshida, N. Hinohara, and K. Sato: “Microscopic derivation of the quadrupole collective Hamiltonian for shape coexistence/mixing dynamics”, *Focus Issue of J. Phys. G on “Shape Coexistence in Atomic Nuclei”* ed. J. Wood and K. Heyde, *J. Phys. G : Nucl. Part. Phys* 43, 024006 (2016)*
- K. Matsuyanagi, M. Matsuo, T. Nakatsukasa, K. Yoshida, N. Hinohara, and K. Sato: “Microscopic derivation of the Bohr-Mottelson collective Hamiltonian and its application to quadrupole shape dynamics”, *Special Edition of Physica Scripta, “Focus Issue on Nuclear Structure: Celebrating the 75 Nobel Prize*, submitted*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

- Sato K., “Proton-neutron mixed density functional calculation with isospin breaking interaction”, *2nd International Workshop & 12th RIBF Discussion on Neutron-Proton Correlations. The University of Hong Kong*, Jul. 6-9, (2015)

(国内学会等)

佐藤弘一: “超流動原子核の大振幅集団運動にお

るゲージ対称性”, 日本物理学会第71回年次大会, 東北学院大学, 3月(2016)
佐藤 弘一, Dobaczewski J., 中務 孝, Satula W.: “Isospin breaking termを入れた陽子-中性子混合密度汎関数計算II”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪市立大学, 9月(2015)
Koichi Sato, “Gauge symmetry in the large-amplitude collective motion of superfluid nuclei”,

Workshop on many-body correlations in microscopic nuclear model, 尖閣荘(新潟県佐渡市), 8月(2015)
佐藤 弘一, Dobaczewski J., 中務 孝, Satula W.: “陽子-中性子混合を入れた密度汎関数計算” 京都大学原子核理論研究室セミナー, 京都大学, 7月(2015)

XXV-012 DC回転下における2次元ヘリウムの新奇な超流動の研究 Study of Novel Superfluids in 2D Helium System under DC Rotation

研究者氏名: 佐藤 大輔 Sato, Daisuke
受入研究室: 創発物性科学研究センター
量子凝縮相研究チーム
(所属長 河野 公俊)

液体ヘリウム上に形成された2次元電子固体(ウィグナー結晶)と液体ヘリウム表面波とのプラズモン-リップロン結合(CPR)モードに関する研究を行った。本年度はこれまでにを行ったCPRモードの測定結果を基に、ウィグナー結晶のスライディング現象が生じる際のCPRモードの変化に焦点を当て、その振る舞いの変化を表面波と電子結晶のカップリングの変化によって解釈できることが分かった。

CPRモードには、ウィグナー結晶を形成する電子とその電子直下の液面のくぼみ(ディンプル)が同位相で振動するような音響モードと、逆位相で振動する光学モードに分けることができる。このうち、光学モードについては磁場中において結晶の縦波を主とする高周波モードと横波を主とする低周波モードに分裂する。本研究では磁場中で2つに分裂した光学モードと、最低次の音響モードの3つのモードについて調べた。本研究の結果、2本の光学モードはスライディングが起こると同時に低周波数側にジャンプすることが分かった。このジャンプはディンプルとウィグナー結晶との相互作用による寄与と定量的に一致しており、スライディングが起こることによってディンプルが消滅し、両者間の相互作用がなくなったことを示している。また、ジャンプ後の周波数は磁場中のプラズマ振動周波数とほぼ一致している一方、その共鳴ピークの形はやや複雑な構造

をしており、少なくとも今回の条件下では電子は単純な一様流体状態とはなっていないと考えられる。一方、音響モードについては、スライディング閾電場と比較して1/20程度の非常に低い電場で消失することが分かった。これは、音響モードにおいてはディンプル自体が電子と同位相で振動する必要があり、電場の増加とともに電子の速度がディンプルの動きうる最大速度であるリップロンの位相速度に達したためであると考えられる。

●口頭発表 (国際会議)

Sato D., Ikegami H., Kono K.: “Coupling of the Wigner Solid with Liquid ^3He Surface”, International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Niagara Falls, USA, Aug. (2015).

Ikegami H., Sato D., Kim K., Choi H. and Kono K.: “Mobility of Electrons on ^3He - ^4He Mixture”, International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Niagara Falls, USA, Aug. (2015).

(国内学会)

佐藤大輔, 池上弘樹, 河野公俊: “液体 ^3He 表面に形成されたウィグナー結晶のプラズモン-リップロン結合モードの測定”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪府吹田市, 9月(2015)

Electronic and Transport Properties of Strongly Correlated Electronic
System with Strong Spin-Orbit Coupling

研究者氏名: 佐藤 年裕 Sato, Toshihiro

受入研究室: 柚木計算物性物理研究室

(所属長 柚木 清司)

5d 遷移金属Ir酸化物では、スピン軌道相互作用の効果が3d 遷移金属酸化物と比べると非常に大きく、その値は電子相関と同程度になる。それ故に、電子相関とスピン軌道相互作用の2つの効果が競合し合う舞台であり、様々な興味深い電子状態の実現が期待され、注目を浴びている。例えば、電子密度5の $(t_{2g})^5$ 電子配置を持つ Sr_2IrO_4 の絶縁体の実現が挙げられる[B. J. Kim et al., PRL (2008)]。この絶縁体は、スピン軌道相互作用により t_{2g} 軌道が4電子詰まった4重縮退した有効全角運動量 $j=3/2$ バンドと1電子詰まった2重縮退した $j=1/2$ バンドへの分裂を起こし、この $j=1/2$ バンドのギャップが開いた反強磁性絶縁体状態が実現している。また、電子密度4の $(t_{2g})^4$ 電子配置を持つ NaIrO_3 の非磁性な絶縁体の振る舞いも実験的に報告されている[M. Bremholm et al., J. Solid State Chem. (2011)]。

本年度は、 $(t_{2g})^4$ 電子配置を持つスピン軌道相互作用を含む3軌道ハバード模型を取り上げ、多軌道動的平均場理論[G. Kotliar et al., PRL (2001)]を用いて強結合展開に基づく連続時間量子モンテカルロ法[P. Werner et al., PRL (2006)]により数値的に解くことで、有限温度下での電子状態の解析を進めた。この場合におけるスピン軌道相互作用と電子相関の基底状態について考えてみると、スピン軌道相互作用と電子相関の両方が十分小さければ金属状態が実現することが期待できる。スピン軌道相互作用が十分大きい領域では、 $j=1/2$ バンドと $j=3/2$ バンドが十分に分裂され、 $j=3/2$ バンドに4電子占有したバンド絶縁体を実現すると予測できる。また、局在模型を用いた先行研究によれば、電子相関>スピン軌道相互作用>バンド幅の領域においてVan Vleck-type絶縁体を実現することが提案されている[G. Khaliullin, PRL (2013)]。しかし、遍歴性を伴った場合やスピン軌道相互作用と電子相関両方の効果が電子状態に寄与するような領域ではどのような電子状態が実現するのかは非自明な問題であり、その問

題に焦点を当てて研究を行った。その結果、小さな軌道内クーロン相互作用を持つ領域では、スピン軌道相互作用の増加により金属とバンド絶縁体の間に非磁性の $j=1/2$ バンドと $j=3/2$ バンド間の電子・ホール対による励起子絶縁体が発見された。さらに、より強い軌道内クーロン相互作用を持つ領域では、Van Vleck-type絶縁体に加えて、磁性を伴った励起子絶縁体もスピン軌道相互の変化に伴って実現することを発見した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sato T., Shirakawa T., and Yunoki S. : “Spin-orbit-induced exotic insulators in a three-orbital Hubbard model with $(t_{2g})^5$ electrons”, Phys. Rev. B 91, 125122 (2015)*

Sato T. and Tsunetsugu H. : “Dynamical Characteristics of the Mott Transition: Examination of Doublon Dynamics in a Triangular-lattice Hubbard Model”, Physics Procedia 75, 376-382 (2015) *

Sato T., Shirakawa T., and Yunoki S. : “Spin-Orbital Entangled Excitonic insulator in $(t_{2g})^4$ Correlated Electron System”, preprint (2016)*

Sato T., Shirakawa T., and Yunoki S. : “Sign problem in CTQMC calculations on multi-orbital Hubbard models with spin-orbit coupling”, manuscript in preparation*

Sato T. and Tsunetsugu H. : “CDMFT of AF transition in square-lattice Hubbard: electronic and transport properties”, manuscript in preparation*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Sato T. and Tsunetsugu H. : “Dynamical Characteristics of the Mott Transition: Examination of Doublon Dynamics in a Triangular-lattice Hubbard Model”,

Fukuda A., Hashimoto S., Nakasako M., Ichikawa Y., Kurumizaka H., Shimizu M., Inui Y., Matsunaga S., Kato T., Namba K., Yamaguchi K., Kuwata K., Kameda H., Fukui N., Kawata Y., Kameshima T., Takayama Y., Yonekura K. and Yamamoto M.: “Cryogenic coherent x-ray diffraction imaging for biological non-crystalline particles using the KOTO-BUKI-1 diffraction apparatus at SACLA”, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 48, 184003 (2015)*

Takayama Y., Inui Y., Sekiguchi Y., Kobayashi A., Oroguchi T., Yamamoto M., Matsunaga S. and Nakasako M.: “Coherent X-ray diffraction imaging of chloroplasts from *Cyanidioschyzon merolae* by using X-ray free electron laser”, *Plant Cell Physiology*, 56, 1272-1286 (2015)*

高山裕貴, 眞木さおり, 荳口友隆, 中迫雅由, 米倉

功治: “金コロイド粒子を利用した非結晶生体試料の高分解能・高精度コヒーレントX線回折イメージング”, *Isotope News*, 739, 9-14 (2015) *

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

高山裕貴, 乾弥生, 関口優希, 松永幸大, 中迫雅由, 米倉功治: “コヒーレントX線回折イメージング法に向けたフーリエ変換ホログラフィー法による初期位相決定法の開発”, 第53回日本生物物理学会年会, 金沢, 9月(2015)

高山裕貴, 乾弥生, 関口優希, 小林周, 荳口友隆, 山本雅貴, 米倉功治, 松永幸大, 中迫雅由: “X線自由電子レーザーを利用した低温コヒーレントX線回折イメージング法による葉緑体内部構造の可視化”, 「分子システム研究」第4回春季研究会, 伊東, 5月(2015)

XXV-016

超高角度分解能を誇る新型X線干渉望遠鏡の開発

Development of an X-ray Interferometric Telescope

研究者氏名: 武井大 Takei, Dai

受入研究室: 放射光科学総合研究センター

放射光イメージング利用システム開発ユニット

(所属長 香村 芳樹)

本研究は、2010年に理化学研究所で発見された「単結晶によるX線のベリ一位相効果（通称：横滑り現象）」をさらに調査・応用する事で、次世代のX線干渉望遠鏡案を模索するものである。干渉計を使用すると光の波長を物差しとして観測対象の空間輝度情報を詳細に得ることが出来る。この技術を天体望遠鏡に応用すれば、口径に対する撮像能力を限界まで引き出すことが原理的には可能である。干渉望遠鏡は電波天文学の分野では既に確立しており、近年には大きな発展を遂げてきた。しかしX線の場合は波長が短く、その取り回しが極めて難しいため、未だに現実的な干渉望遠鏡が実現されていない。既存の光学系を使用して天体からX線の干渉縞を取得するには、鏡と検出器の距離を100kmのオーダーで離す必要がある。宇宙空間で人工衛星を使用してこれを実行するのは、現在の技術では不可能である。そこで我々は、新たに発見された単結晶による横滑り現象に着目した。これは、歪んだ単結晶にブラッ

グ角近辺でX線を照射することで、mmのオーダーの横移動を誘発させるものである。単結晶を導波管に見立ててX線を効率よく横滑りさせることができれば、新たな光路で鏡と検出器の距離を一気に縮め、10m程度の光学系で干渉縞が取れる可能性がある。もしこれを実現させれば、ひとつの人工衛星に搭載可能な世界初のX線干渉望遠鏡ができる。

本年度は、上記の目的に際してこれまで3年ほど大型放射光施設SPring-8の理化学研究所物理科学ビームライン(BL29XUL)を使用して進めてきた二つの研究を論文としてまとめた。(1)ひとつは、同光学系および素子の検証実験に必要な高輝度かつ平行なX線を作り出すため、BL29XULで刷新した全反射鏡システムの性能評価を行った。放物面の全反射によりX線ビームを平行化し、結果的に反射率が70%以上かつ角度発散がマイクロ秒角(導入前に比べて約1/20)以下という極めて高効率かつ平行度の高い光を得る事に成功した。これらは

放射光の開発という点からも極めて重要なため、結果を論文として発表した。(2) もうひとつは、単結晶によるX線のベリ一位相効果(横滑り現象)を利用して、実際にX線を制御する事に成功した。シリコン単結晶の歪みを動的かつ精密に制御しながら最適な導波管を作り出し、最大で約3%の入射X線に対して、光軸を別の場所に導いてから出射させる事ができた。出射したX線の発散角度を調べ、入射した光の状態とほぼ等しい事を突き止めた。これにより、我々の手法はX線の波面を乱すことなく光の光軸を移動できる事を証明し、さらに理論的に予測されていた現象が実際に起きている証拠を実験から初めて与えた。これらの結果を論文として投稿した。また、ダイヤモンド単結晶を使用した高効率化実験や歪み制御手法の改良等を行い、これら効果が将来的に望遠鏡の光学素子として使用できる可能性、さらにはX線の高速スイッチなど放射光利用における発展的応用も検討し、研究会にて発表した。

●誌上発表 Publications

XXV-017 ハイブリッド型ペプチドアプタマーの創成による腫瘍組織選択的な医薬導入法の開発

Development of Tumor-targeting Drug Delivery System Based on Hybrid Peptide Aptamers

本研究では、悪性腫瘍(癌)に対し選択的に薬剤を導入できるドラッグデリバリーシステム(DDS)の開発を目的としている。悪性腫瘍に対するDDS開発で標的とされる代表的な分子の一つに、腫瘍細胞表面に発現している葉酸レセプターがある。葉酸レセプターは腫瘍細胞において特に発現量が高いことが1990年代から知られており、リガンドである葉酸分子を用いたDDSの開発が日本を含む世界各国で現在まで続けられている。しかし、葉酸を用いたDDSは数百件もの数が報告されているにも拘わらず、臨床での成果はほとんど挙げられていない。その要因の一つに、葉酸レセプターのサブタイプが存在が挙げられる。腫瘍細胞で高発現している葉酸レセプターは4種のサブタイプのうち α 型のみであ

(原著論文)

- Takei D., Kohmura Y., Ishikawa T. and Sawada K.: "Unidirectional X-ray Output from a Crystal Waveguide affected by Berry's Phase", submitted (2016)*
Takei D., Kohmura Y., Senba Y., Ohashi H., Tamasaku K. and Ishikawa T.: "X-ray Collimation by the Parabolic-Cylinder Mirror in SPring-8/BL29XUL", Journal of Synchrotron Radiation, 23, 1, 158-162 (2016)*
Matsumura H., Tsuru T. G., Tanaka T., Takeda A., Arai Y., Mori K., Nishioka Y., Takenaka R., Kohmura T., Nakashima S., Hatsui T., Kohmura Y., Takei D. and Kameshima T.: "Improving Charge-Collection Efficiency of SOI Pixel Sensors for X-ray Astronomy", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 794, 255-259 (2015)*

●口頭(ポスター)発表 Presentations

(国内学会)

- 武井大: "X線導波管による干渉望遠鏡の検討", X線望遠鏡研究会, 名古屋大学, 11月(2015)

研究者氏名: 多田 誠一 Tada, Seiichi
受入研究室: 伊藤ナノ医工学研究室
(所属長 伊藤 嘉浩)

るため、腫瘍選択的な輸送のためには葉酸分子を改変し、葉酸レセプター α にのみ結合するようにさせる必要がある。しかし、このような特異性を付与することはこれまで困難であった。そこで本研究では、進化分子工学の手法によって特定の標的分子に対し高い親和性・選択性を示すペプチド(ペプチドアプタマー)を開発し、DDSに応用することを考えた。まず進化分子工学の手法によって、葉酸レセプター α に特異的な親和性を示す葉酸結合ハイブリッド型ペプチドアプタマーを作製する。そして、核酸やタンパク質などの生理活性高分子を効果的に導入できることが知られている炭酸アパタイト粒子とペプチドアプタマーを複合化することにより、腫瘍組織選択的な物質導入を高い効率で実現するデリバリーシ

システムを構築する。炭酸アパタイト粒子は、細胞内への物質導入効率は高いものの、細胞種選択的な導入ができないという難点があったため、分子認識能の高いペプチドアプタマーと組み合わせることで、臨床での実用性の高い腫瘍組織選択的なデリバリーシステムを構築できることが期待される。

本年度は、本課題により適したペプチドアプタマー選別法として、マイクロビーズディスプレイ法の検討を主に行った。本手法は、当初予定していた選別法であるリボソームディスプレイ法よりもペプチド-核酸複合体の洗浄が容易であり、ペプチド中に取り込まれなかった葉酸結合tRNAがペプチド選別中に与える悪影響を回避することが可能になる。検討の結果、翻訳されたペプチドあるいはタンパク質がビーズ上に提示されることが確認されたため、本手法のペプチド選別への有効性が確認された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Zang Q. †, Tada S. †, Uzawa T., Kiga D., Yamamura M. and Ito Y. : “Two site genetic incorporation of varying length polyethylene glycol into the backbone of one peptide”, *Chem. Commun.*, 51, 14385-14388 (2015)* †: Equally contributed.

Tada S., Zang Q., Wang W., Kawamoto M., Liu M., Iwashita M., Uzawa T., Kiga D., Yamamura M. and Ito Y. : “In vitro selection of a photoresponsive pep-

ptide aptamer to glutathione-immobilized microbeads”, *J. Biosci. Bioeng.*, 119, 137-139 (2015)*

(単行本)

Tada S., Uzawa T. and Ito Y. “Creation of functional peptides by evolutionary engineering with bioorthogonal incorporation of artificial components”, in “Green Polymer Chemistry III: Biobased Materials and Biocatalysis”, ed. by Cheng H. N., Gross R. A. and Smith P. B., ACS Symposium Series, Am. Chem. Soc., pp.169-180 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

多田誠一, Marziyeh Karimi, 皆川倫子, 廣瀬卓司, 伊藤嘉浩, 鶴澤尊規: “リボソームディスプレイ法による Ru(bpy)₃²⁺モチーフ形成ペプチドの選別”, 第10回無細胞生命科学研究会, 横浜, 10月 (2015)

多田誠一, Zhou Xiaoyue, Zhu Liping, Mao Hongli, 伊藤嘉浩: “非コードアミノ酸含有ペプチドによる固定化型増殖因子の創製”, 第64回高分子討論会, 仙台, 9月 (2015)

多田誠一, Xiaoyue Zhou, Liping Zhu, 伊藤嘉浩: “3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA) 含有ペプチドによる増殖因子の固定化”, 第44回医用高分子シンポジウム, 東京, 7月 (2015)

XXV-019

超弦理論における開弦と閉弦の関係の解明

Investigation of the Relation between the Open and the Closed String in Superstring Theory

研究者氏名: 鳥居 真吾 Torii, Shingo
受入研究室: 仁科加速器研究センター
初田量子ハドロン物理学研究室
(所属長 初田 哲男)

現在、摂動論的な弦理論の定式化において、開弦と閉弦は互いに独立に導入されている。一方、非摂動論的に弦理論を定式化するためのアプローチの1つである弦の場の理論においては、これまで主に、開弦の自由度のみから構成された開弦の場の理論が研究されてきた。開弦の場の理論には、一見すると閉弦の自由度は含まれていないが、摂動論からの知

見を踏まえると、その量子的効果には、閉弦の自由度が含まれねばならない。本研究の目的は、「開弦の場の理論は、閉弦を記述するための新たな要素を理論に加えることなしに、無矛盾に量子化することが可能か」を調べることである。

本年度は、超対称性を持つ開弦の場の理論において、2種の相異なる定式化法の間関係を詳らかに

し、同理論を実際に量子化する上での技術的進展を得た。この2種の定式化法のうち、一方は容易に量子化ができるものの理論的不備があることが知られており、もう一方は定式化法に不備はないものの、量子化することが非常に難しい。そこで、両定式化法の関係を解明し、後者の定式化法で量子化を完遂するために必要な知見を得ることに成功した。

XXV-020

弦理論で探る重力の熱力学的側面

Thermodynamical Aspects of Gravity from String Theory

研究者氏名:野海 俊文 Noumi, Toshifumi

受入研究室:仁科加速器研究センター

初田量子ハドロン物理学研究室

(所属長 初田 哲男)

本研究の目的は、宇宙初期などのマイクロなスケールにおける重力の性質や役割を理論的に明らかにすることである。特に、重力の熱力学的側面を念頭に、マイクロなスケールにおける重力を記述する基本的な自由度についての理解を目指す。2015年度は、宇宙初期の現象論的模型であるインフレーション宇宙論を中心に研究を主に行っている。インフレーションは宇宙初期を記述するパラダイムとして近年の宇宙背景放射の観測等から強くサポートされているが、その模型の詳細を決定することはマイクロなスケールでの重力理論を理解する上で極めて有用であると考えられる。今年度ははじめに、プランク衛星による宇宙背景放射など現在の観測データとの整合性の高いスタロビンスキー模型に関する論文を発表した。スタロビンスキー模型はアインシュタインヒルベルト項と曲率の2次の項からなるが、後者が有効理論的に不自然に大きいことが観測から示唆されている。我々は、余剰次元の存在が不自然さを和らげることを議論し、この視点に基づく有効理論の現象論的性質を議論した。また、昨年度に発表した時空の対称性の破れに対する有効場理論の方法に基づき、ローレンツ対称性が自発的に破れるようなインフレーション模型、空間の非等方性を持つようなインフレーション模型の解析を現在それぞれ行っている。原始密度揺らぎの非ガウス性や非等方性が受ける影響を対称性の破れのスケール等に基づいて議論している。前者については現在論文を執筆中で、後者についても今年度中には論文として発表したいと

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Imori Y. and Torii S.: “Relation between the Reducibility Structures and between the Master Actions in the Witten Formulation and the Berkovits Formulation of Open Superstring Field Theory,” JHEP 10 127 (2015) *

考えている。以上、初期宇宙に関する現象論的研究と並行して、本年度の所属研究室のメインテーマであるハドロン物理学に関連して(1) 相対論的流体力学のマイクロ場の理論からの導出、(2) 量子色力学における非一様なカイラル凝縮相の安定性、についての共同研究を研究室メンバーと行い、いずれも論文として発表した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hayata T., Hidaka Y., Hongo M. and Noumi T.: “Relativistic hydrodynamics from quantum field theory on the basis of the generalized Gibbs ensemble method,” arXiv:1503.04535, p.1-28. (2015)

Hidaka Y., Kamikado K., Kanazawa T. and Noumi T.: “Phonons, pions and quasi-long-range order in spatially modulated chiral condensates,” arXiv:1503.04535, p.1-28. Physical Review D, Vol. 92, No.034003, p.1-17 (2015)

Asaka T., Iso S., Kawai H., Kohri., Noumi T. and Tera-da T.: “Reinterpretation of the Starobinsky model,” arXiv:1507.04344, p.1-9. (2015)

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Noumi T.: “Effective field theory for spacetime symmetry breaking,” Gordon Research Conference String Theory and Cosmology, Hong Kong, China,

XXV-021 アンモニア毒性メカニズムの解明とアンモニア耐性植物の作製
Elucidation of Causes for Ammonium Toxicity and Production of
Ammonium-tolerant Plants

研究者氏名: 蜂谷 卓士 Hachiya, Takushi
受入研究室: 環境資源科学研究センター
生産機能研究グループ
(所属長 榊原 均)

高等植物は硝酸とアンモニアを窒素源に利用する。硝酸からアンモニアへの還元には多くのエネルギーを必要とするため、アンモニアはエネルギー効率の高い窒素源である。しかし、アンモニア栽培植物は硝酸栽培のものに比べて一般に成長が抑制される。これはアンモニア毒性と呼ばれる現象で、原因は未解明である。将来の高CO₂環境において植物による硝酸の利用が抑制されること、また、作物中に蓄積する硝酸が人体に有害であることから、近年、アンモニア態窒素が注目を集めている。アンモニア毒性の原因解明およびアンモニア耐性植物の作製は極めて重要なトピックである。本研究では、アンモニア耐性変異株のスクリーニング、得られた変異株の解析によってアンモニア毒性メカニズムの解明および耐性株の作製を目指す。

T-DNA挿入ライン、シロイヌナズナFOXライン、small ORF過剰発現ライン（合計 約6万株）を用いたスクリーニングによって、2つのアンモニア毒性関連遺伝子（硝酸トランスポーター *CHL1/NRT1.1/NPF6.3*、グルタミン合成酵素 *GLN2*）の機能欠損によってアンモニア耐性が付与されることが分かった。(1) *chl1* 変異株では酸ストレス耐性遺伝子の発現が低いこと、(2) 高pH条件で栽培した野生株では *chl1* 変異株の表現型をミミックできること、(3)

酸ストレス耐性遺伝子を誘導する転写因子 (*STOP1*) の変異株 *stop1* と *chl1* 変異株の二重変異株はアンモニア耐性が失われること、(4) *chl1* 変異株の植物体からのH⁺放出速度が高いこと、(5) *CHL1* と共発現するH⁺-ATPase 2 (*AHA2*) の変異株 *aha2* と *chl1* 変異株の二重変異株ではアンモニア耐性能が低下すること、が分かった。グルタミン合成酵素によるアンモニア同化はH⁺の産生をともなうことから、*chl1* 変異株では細胞内からのH⁺の放出が増加することによって、*gln2* 変異株では細胞内のH⁺の産生が低下することによって、それぞれアンモニアに耐性を示した可能性が高い。以上のことから、アンモニア毒性の原因の一つは細胞内の酸ストレスであると考えられる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Uesono Y., Toh-e A., Toh-e A., Kikuchi Y., Araki T., Hachiya T., Watanabe CK., Noguchi K., and Terashima I.: "Local anesthetic and antipsychotic phenothiazines interact nonspecifically with membranes and inhibit hexose transporters in yeast", *Genetics*, DOI: 10.1534/genetics.115.183806 (2016)*

XXV-022

超伝導/強磁性接合におけるスピン依存伝導現象の理論的研究

Theoretical Study of Spin-dependent Transport in Superconductor/ferromagnet Junctions

研究者氏名: 挽野 真一 Hikino, Shin-ichi

受入研究室: 柚木計算物性物理研究室

(所属長 柚木 清司)

電子のスピン角運動量をデバイスに利用するスピントロニクスが注目を集めている。スピントロニクスの目的は、デバイス素子の発熱が従来のデバイスと比べて少なく、そして低消費電力で動作するデバイス素子の開発をすることである。例えば、強磁性体の磁化の向きを制御して情報を記憶する不揮発性メモリの開発は、一つの応用例である。しかしながら、磁化の向きを制御するためには、スピン偏極した電流を素子に流す必要があり、また素子の微細化に伴ってジュール熱の発生が問題となる場合がある。そのために、小さい電流密度で磁化の向きを制御する方法や新規物質の探索など幅広く研究がなされている。

本研究では、超伝導/強磁性/常伝導/強磁性/超伝導 (S/F1/N/F2/S) 接合において、N中に誘起される磁化の性質を調べる。S/F1/N/F2/S接合において、N中に誘起される磁化の起源は、奇周波数スピン三重項クーパー対 (STC) であることが分かった。ここで、奇周波数とは異常 Green 関数が Fermion 松原周波数に関して奇関数となることを意味する。また、STCによって誘起される磁化は、2つの成分から構成されることも分かった。

(1) S間の位相差に依存しない磁化 (M1)、そしてもう一つは、S間の位相差に依存する磁化 (M2) である。M1とM2に関してNの厚さ (d) 依存性を調べた結果、M1はM2と比べるとdの増加に対してゆっくり減衰することが分かった。

(2) S/F1/N/F2/S接合に直流および交流電圧を印加した場合において誘起されるM2のダイナミクスも調べた。その結果、M2は交流の性質を示すが、直流電圧が交流電圧の振動数の整数倍に比例定数をかけた電圧のところ、M2は交流から直流へ変換されることが分かった。

(1) および (2) の結果は、Sの位相差によって磁化を制御できることを示しており、低ジュール熱のスピントロニクスデバイスへの応用が期待される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hikino S. and Yunoki S. :“Magnetization induced by odd-frequency spin-triplet Cooper pairs in a Josephson junction with metallic trilayers”, Phys. Rev. B 92, 024512 (2015).

XXV-023

植物の非宿主抵抗性を発動する分子機構の解明

Elucidation of Molecular Mechanisms of Nonhost Resistance in Plant

研究者氏名: 玄 康洙 Hyon, Gang-Su

受入研究室: 環境資源科学研究センター

植物プロテオミクス研究ユニット

(所属長 中神 弘史)

植物は、パターン認識受容体 (pattern recognition receptor: PRR) を用いて、微生物に保存性の高い分子群である微生物関連分子パターン (Microbe-associated molecular patterns: MAMP) を認識し、病原体と成り得る微生物の侵入に対して抵抗性を発動する。同定されたPRRの多くがキナーゼである

ことから、PRR下流のシグナル伝達においてタンパク質のリン酸化が重要な役割を果たしていることが示唆されている。

興味深いことに、アブラナ科植物のPRRをナス科植物に導入すると、植物病原菌に対する抵抗性が向上することが報告された (Lacombe et al 2010

Nat. Biotechnol. 28:365)。また、トランスクリプトーム解析により、異なるMAMP認識後、共通の遺伝子群が発現誘導されることが示された (Boudsocq et al. 2010 Nature 464:418)。これらの知見は、植物は異なるレパートリーのPRRを有するものの、PRRによるMAMP認識後から抵抗性関連遺伝子群の発現に至るプロセスが高度に保存されていることを示唆している。この高度に保存されたプロセスの解明は、植物の抵抗性機構の理解に欠かせないが、殆ど進んでいない。

その理由として、順遺伝学的手法やトランスクリプトーム解析を主とした従来の解析手法では、MAMP認識直後に挙動が変化する因子の同定が難しいことが挙げられている。そのため我々の所属研究グループでは、細胞内タンパク質の挙動解析システムの構築に取り組み、世界に先駆けて高感度かつ網羅性の高いリン酸化タンパク質の挙動解析を可能とした (Nakagami et al. 2010 Plant Physiol. 153: 1161)。今回、この解析システムを利用したところ、シロイヌナズナにおいて様々なMAMP処理に伴い速やかにリン酸化されるプロテインキナーゼ

MRPK1 (MAMP-responsive Raf-like protein kinase 1) を見出すことに成功した。これまでに単離した *mrpk1* ノックアウト変異体 (*mrpk1-1*) においてトマト斑葉細菌病菌 (*Pto* DC3000) に対する抵抗性が低下することを確認している。

そこで、今年度は、1) *mrpk1-1* を pMRPK1::MRPK1 で相補した植物体を作成した。2) その結果、*Pto* DC3000 に対する抵抗性が回復することを確認した。

●口頭発表 (国内学会等)

- 1) 玄康洙, 松井英譲, 野村有子, 中神弘史, MAMP応答性プロテインキナーゼMRPK1のリン酸化部位変異体の解析 平成28年度日本植物病理学会大会 (岡山コンベンションセンター, 2016年3月)
- 2) 清水崇史, 松井英譲, 玄康洙, 中神弘史, 瀬尾光範. JA-Ile輸送体候補遺伝子の探索と機能解析 植物化学調節学会 (東京大学2015年10月) 同講演要旨集講演番号S08

XXV-024 ナノ材料を用いた高エネルギー重粒子線検出器の開発と応用 Development and Application of New Detector with Nanomaterial for High-energy Heavy-ion Beam.

研究者氏名: 前山 拓哉 Maeyama, Takuya
受入研究室: 仁科加速器研究センター
加速器基盤研究部 運転技術チーム
(所属長 福西 暢尚)

重粒子線はX線・γ線に比べてより高い生物学的効果を有し、優れた線量集中性をもつため、固形がんに対する先進的な治療法として、とりわけ放射線抵抗性を持ったがんに対する高い治療効果が認められて来た。正常組織への不要な被ばくを低減しターゲットのがん患部のみに線量を集中させることを目的とした三次元スキャン照射法などの研究動向に対して、三次元線量分布を正確かつ簡便に測定出来る線量計の開発が重要になってきている。また、重粒子線の線質に対して大きく変化する生物効果を予測する上ではマイクロな領域からの放射線影響の理解とモデル化が重要である。

本研究では生体と同様に水を主成分としたマクロ

からマイクロまでの高エネルギー重粒子線検出器の開発を進めている。この検出器はゼラチン・アガロース等のゲルにナノサイズの粘土と線量に応じて反応する放射線感受性化合物を添加した無機有機複合のゲル状の検出器である。水溶液線量計として反応メカニズムが理解された放射線感受性化合物を用い、添加するナノサイズの粘土が持つ吸着能により放射線分解生成物の拡散抑制し、その生成物の分布を評価する。これまで、LET (放射線がその飛跡に沿って物質に与える単位長さ当たりのエネルギー) に依存しない特長を持つ三次元線量計としては唯一の三次元化学線量計の開発とそのメカニズムの解明のための研究を進めて来た。本年度の研究成果を以下に

示す。

①これまでに未解明であったクレイが添加された化学液線量計の放射線誘起の反応機構を化学量論的に明らかにした。具体的には放射線誘起の酸化反応のみが知られている Fe^{2+} は酸化反応のみならず、還元反応が進むことを実験的に明らかにし、この水溶液線量計とは異った反応機構への変化がLET非依存の特性を与えるという化学両論的に説明可能であることを見出した。

②さらに、①の鉄の酸化反応系に新たにラジカル捕捉剤を加えることで、LET依存性を任意に制御可能であることを実験的に示すことに成功した。これによって原理的には生物効果と同じ放射線影響をもつ線量計の開発が可能になり、今後は生物効果のミクロな領域からのモデル化に有効な線量計の開発が期待される。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- T. Furuta, T. Maeyama, N. Fukunishi, K. L. Ishikawa, K. Fukasaku, S. Takagi, S. Noda, R. Himeno, S. Hayashi.: Assessment of Monte Carlo simulation accuracy in biological samples using a 3D polymer gel dosimeter. *Physics in Medicine and Biology*, 60, 6531-46 (2015).
- T. Maeyama, N. Fukunishi, K. L. Ishikawa, K. Fukasaku, S. Fukuda. : Radiological properties of nanocomposite Fricke gel dosimeters for heavy ion beams. *Journal of Radiation Research*, (accepted)

●口頭発表 Presentations

(国際学会等)

- T. Maeyama, N. Fukunishi, K. L. Ishikawa, K. Fukasaku, S. Fukuda.: Radiological properties of the nanocomposite Fricke gel dosimeter for heavy ion beams. 15th International Congress of Radiation Research, (ICRR2015 Organizing Committee), 2015, 3, Kyoto, Japan

(国内学会等)

- T. Maeyama, "Application and development of 3D chemical dosimetry using gel matrix for heavy ion beam", The 213th RIKEN RIBF Nuclear Physics Seminar, (RIKEN Nishina Center for Accelerator Based Science Nuclear Physics Seminar Organizing Committee), Saitama, 12月. (2015). (invited)
- 前山拓哉, 石田康博, 工藤佳宏, 深作和明, 石川顕一, 福西暢尚, "AQUAJoint ポリマーゲル線量計", 第4回3Dゲル線量計研究会, (林慎一郎 (広島国際大学 診療放射線学科)・小林毅範・古徳純一 (帝京大学 診療放射線学科)), 東京, 11月. (2015).
- 前山拓哉, 福西暢尚, 石川顕一, 深作和明, 福田茂一, 「有機ゲル化剤を含まないナノコンポジットフリッケゲル線量計」, 先端放射線化学シンポジウム, (日本放射線化学会), 静岡, 10月. (2015).
- 前山拓哉, 福西暢尚, 石川顕一, 深作和明, 福田茂一, 「LET依存性のないゲル線量計の開発」, 平成26年度 HIMAC 共同利用研究 成果発表会, (放射線医学総合研究所), 千葉, 4月. (2015).
- 前山拓哉, 福西暢尚, 石川顕一, 深作和明, 福田茂一, 「化学線量計による重粒子線線量分布測定」, 先端放射線化学シンポジウム, (日本放射線化学会), 東京, 3月. (2015).

XXV-025

植物ホルモンのオーキシン生合成部位の特定と可視化

Visualization of Auxin Biosynthesis in Plants

研究者氏名: 増口 潔 Mashiguchi, Kiyoshi
受入研究室: 環境資源科学研究センター
生産機能研究グループ
(所属長 榊原 均)

本研究では、TAAとYUCCAという僅か2種類の酵素タンパク質により担われるオーキシン主要生合成経路の新しい制御機構を明らかにすることを目的

とする。本年度の研究実施期間は2ヶ月と短かったため、平成27年度研究計画書に基づき、以下の準備実験を実施した。

(1) 根の先端部分で共発現が認められた TAA1-GFP と YUCCA3-EYFP を発現する植物体を掛け合わせた。今後、共焦点顕微鏡を用いて TAA1 及び YUCCA3 を同時に可視化し、それらの細胞内での共局在性の有無や、発現時期・組織の共通性など詳細に観察したい。

(2) 平成26年度に作出した YUCCA 結合タンパク質（以降 YBP と記述）の一過的な過剰発現株や発現抑制株のうち、表現型が強いラインを選抜した。今後、これらのラインにおける YBP 遺伝子の発現

レベルを確認後、詳細な表現型観察やオーキシン内生量の分析を行い、YBP を介した YUCCA のタンパク質レベルでの制御がオーキシン生成にどの程度寄与するか検討したい。

(3) YBP 遺伝子の欠損変異体と YBP 遺伝子ホモログの欠損変異体を掛け合わせ、これらの多重欠損変異体の作出を開始した。また、多重欠損変異体を迅速に作出するため、CRISPR-Cas9 システムを用いた欠損変異体の作出を開始した。

XXV-026 金属ナノ構造体を用いた高選択性を有する光化学反応場の構築 Development of Highly-selective Photochemical Reaction Fields with Noble Metal Nanostructures

研究者氏名: 横田 幸恵 Yokota, Yukie
受入研究室: 田中メタマテリアル研究室
(所属長 田中 拓男)

金属ナノ構造は入射光と相互作用して局在表面プラズモン共鳴を示し、金属ナノ構造近傍での高い光電場増強や光取り込み効果が大きくなることが知られている。本研究では、微細加工技術を用いて構造形状と構造間距離を自在に制御した金属ナノ構造体を作製し、プラズモン共鳴を利用した局所空間で選択的かつ高効率な光化学反応場の構築を目指す。

これまでに、湾曲金ナノロッドと直線金ナノロッドを近接させたハイブリッド金ナノ構造を作製し、光学特性を評価した。昨年度は近赤外フェムト秒レーザーを光源とした光電子顕微鏡を用いてハイブリッド金ナノ構造の内に励起される表面プラズモン共鳴を直接観察し、プラズモンカップリングによる直線金ナノロッドのダークモードの可視化を行った。フェムト秒レーザーの励起波長により光電子顕微鏡像のホットスポット部分及びフォトエミッション強度の異なる光電子顕微鏡像が観察された。

本年度は、マイクロ流路内に波長600-800nmにプラズモン共鳴ピークを有するハイブリッド金ナノ構造を広範囲に配置させたチップの作製に成功した。マイクロチップに波長600-800nmに吸収ピークをもつ種々の分子の水溶液を流し、顕微鏡下でハロゲンランプによる光照射を行った。マイクロチップ内のハイブリッド金ナノ構造を配置した位置でそれぞれの分子の吸収スペクトルを測定し、吸収強度

の経時変化を詳細に調べた。

また、構造配置に起因する新たなプラズモンカップリング共鳴を利用した光電場増強場を構築するために2次元上での湾曲金ナノロッドダイマー構造の配置を変えて作製し、それぞれの透過スペクトルを計測した。ダイマー構造は構造配置により異なる透過スペクトルが得られた。特に数ナノメートルで近接した場合に、偏光依存性のスペクトル測定から構造配置に起因するプラズモンカップリング効果によるプラズモン共鳴ピークが見られた。

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Yokota, Y., Tanaka T., “Plasmonic Coupling of Gold Curvilinear Nanorods with nanogap”, SPIE Optics + Photonics, San Diego, America, Aug. (2015)

Yokota, Y., Sun, Q., Ueno, K., Matuo, Y., Misawa, H., and Tanaka, T., “Visualization of Dark Plasmon Mode on Gold Curvilinear Nanorods and Straight Nanorods by Photoemission Electron Microscopy”, The 5th Korea-Japan Metamaterials Forum, Seoul, Korea, June (2015)

Yokota, Y., Tanaka T., “Plasmonic Coupling between Gold Curvilinear Nanorods and Straight Nanorods with controlling gap distance”, The 4th Advanced

Lasers and Photon Sources (ALPS'15), Yokohama, Japan, Apr. (2015)
(国内会議等)
横田幸恵, 田中拓男, “金ナノロッドと湾曲金ナノ

ロッドによる可視-近赤外領域でのプラズモン誘起透明化現象”, 国際光年記念シンポジウム, 港区, 4月 (2015)

XXV-027 水物質の相変化に伴うエネルギー生成・消滅を加味した、次世代気象モデルの構築

Development of Next-Generation Meteorological Model including Energy Generation and Dissipation by Phase Change of Water Substance

研究者氏名: 宮本 佳明 Miyamoto, Yoshiaki
受入研究室: 計算科学研究機構
複合系気候科学研究チーム
(所属長 富田 浩文)

気象モデルとは、空気（水蒸気とそれ以外）の運動と雲や太陽放射の影響を解く各方程式を離散化した式群を指す。気象モデルの開発は半世紀以上前から始まり、近年では全球を1 km未満の離散化（格子）間隔で解く計算も可能となった（Miyamoto et al. 2013）。現在は、高解像度計算に適した解法（LES: Large Eddy Simulation）を適用するべく多くの研究が行われている。しかし、このLESは乾燥空気場では精度が良い一方、相変化が生じると精度が悪化する（例：中村と野田 2009）。大気では水の相変化が根本的に重要な役割を担っており、この影響が大きく出てしまう。そこで本研究では、水の相変化の影響を取り入れた時の定式化を行うことを目的とする。

現在の気象モデルでは、格子に含まれる水滴の大きさや数などを解く。つまり相変化の影響は格子よりも大きな空間スケールにのみ与えられる。しかし実際には、相変化による熱の出入りによって水滴付近の運動に影響すると考えられる。現在の格子幅と水滴の粒径を考慮すれば、次世代モデルではこの過程を取扱うことが望ましい。そこで本研究では、相変化の影響を既存のLESに加えた“湿潤LESモデル”の定式化を最終目的とする。具体的には、(A) 水滴の存在を陽に解く“空気+水滴”直接計算モデルを構築し、高精度の数値実験を行う。(B) 理論的考察から定式化を行い、(C) 湿潤LESモデルを構築する。この目的に従い、三年間で以下の成果を挙げることができた。

(1) “空気+水滴” DNSモデルの大部分を構築し、

検証実験を行った。観測結果と比較したところ現実的な結果が得られた。さらに実際の場合を想定した実験もパラメータを変えつつ行った。

(2) 実現象として、水の相変化の影響が大きい湿潤対流・層積雲・台風に着目して、その現象が相変化を通して駆動する機構を調べた（Miyamoto et al. 2013, Miyamoto & Takemi 2013, Miyamoto et al. 2014, Miyamoto et al. 2015a, Miyamoto & Takemi 2015）。

(3) 離散化した系での線形安定性解析を行うことで、理論的に解像度依存性の議論を行うことができると提唱した（Miyamoto et al. 2015b）。

●誌上发表 Publications

(原著論文、7本（うち主著2本）、以下に6本を記載）
Leinonen, J., M. D. Lebsock, S. Tanelli, K. Suzuki, H.

Yashiro, and Y. Miyamoto, 2015: Performance assessment of a triple-frequency spaceborne cloud-precipitation radar concept using a global cloud-resolving model. *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 3493-3517, doi:10.5194/amt-8-3493-2015.

Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, 2015: Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: Which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Progress in Earth and Planetary Science*, , accepted.

Nishizawa, S., H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2015: Influence of grid aspect ratio on

- planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations. *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 8, 6021--6094, doi:10.5194/gmdd-8-6021-2015.
- Miyamoto, Y. and T. Takemi, 2015: A triggering mechanism of rapid intensification of tropical cyclones. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72, 2666--2681.
- Sato, Y., Y. Miyamoto, S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Kajikawa, R. Yoshida, T. Yamaura, and H. Tomita, 2015: Horizontal Distance of Each Cumulus and Cloud Broadening Distance Determine Cloud Cover. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 11, 75--79, doi:10.2151/sola.2015-019.
- Miyamoto, Y., J. Ito, S. Nishizawa, and H. Tomita, 2015: A linear thermal stability analysis of discretized fluid equations. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 29, 155--169, doi:10.1007/s00162-015-0345-x.

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Miyamoto, Y., 2015: Convection on the globe in the sub-kilometer global simulation. Department seminar of Atmospheric Sciences in National Taiwan University, 06 Oct, 2015, Taipei, Taiwan. (Invited)

Miyamoto, Y., T. Yamaura, R. Yoshida, H. Yashiro, H. Tomita, and Y. Kajikawa, 2015: Predictability of deep moist atmospheric convection in a sub-kilometer global simulation. *AOGS 12th Annual Meeting*, 02 Aug - 07 Aug, 2015, Singapore, Singapore.

(国内学会等)

宮本 佳明, 伊藤 純至, 西澤 誠也, 富田 浩文, 2015: 離散系における線形安定性解析. 日本流体力学会年会2015, 大岡山, 2015年9月28日.

宮本 佳明, 梶川 善幸, 吉田 龍二, 八代 尚, 山浦 剛, 富田 浩文, 2015: 地球大気における湿潤対流の発生の予測可能性. 日本気象学会2014年度春季大会, つくば, 2015年5月22日.

XXV-028 超高温クォーク物質における非平衡ダイナミクスの統一的研究 Unifying Study of Non-Equilibrium Dynamics in Hot Quark Matter

研究者氏名: 門内 晶彦 Monnai, Akihiko

受入研究室: 仁科加速器研究センター

理研BNL研究センター 理論研究グループ
(所属長 Dmitri Kharzeev)

BNL Relativistic Heavy Ion Collider and LHC Large Hadron Collider have been profuse in the opportunities to explore the quark-gluon plasma (QGP), a deconfined phase of quantum chromodynamics (QCD). The analyses on the momentum anisotropies of the observed hadron spectra indicate that the system should be strongly coupled and fluid-like. To understand the early equilibration in less than 1 fm/c and the subsequent dissipative hydrodynamic evolution, which are required for quantitative interpretation of the data, I performed the following researches.

(1) Photons are unique observables since they do not interact with a medium at QCD energies and thus maintain information of the evolution history in heavy-ion collisions. The fact that the hydrodynamic description,

which has been quite successful for low momentum hadronic observables, underestimated photon anisotropy is recognized as "photon puzzle". I pointed out that the phase space distributions of quarks and gluons used in the QGP thermal photon emission should be modified from the Fermi-Dirac and Bose-Einstein ones in the QGP medium. I developed a quasi-particle model that can reproduce thermodynamic variables computed by lattice QCD. Numerical estimations with a hydrodynamic model show that the reduction in the effective number of degrees of freedom at high temperatures for the QGP could suppress the emission of early-time photons with small anisotropy and this enhances the overall thermal photon anisotropy.

(2) There has been a significant improvement in the

analytical technics to solve viscous hydrodynamic equations, which now allows us to study the azimuthal momentum anisotropy, characterized by elliptic flow, of the medium created in the heavy-ion collisions. We introduced multiple charges - baryon number, strangeness and isospin - to the system and derived the analytic expressions of the elliptic flow. This gives a good description of the RHIC data for the beam energy dependence of the elliptic flow difference of protons, Lambda's, Xi's, kaons, pions and Omega's. Also we studied the pions and the charge asymmetry to calculate the "slope parameter", which was believed to be a signal of chiral magnetic wave, and showed that the slope parameter observed at RHIC can be reproduced within the framework of standard hydrodynamics when multiple conserved currents are considered.

(3) We developed a (3+1)-dimensional hydrodynamic model at finite chemical potential with realistic initial conditions fluctuating both in the transverse and the longitudinal directions, which were constructed on the basis of Monte-Carlo Glauber and Lexus models, to explore the forward rapidity regions in the heavy-ion collisions. Analyses on the Legendre decomposition of two-particle pseudo-rapidity correlations indicate that the hydrodynamic evolution smears short range correlations efficiently. We next estimated the rapidity dependence of the rapidity dependence of the elliptic flow to find that (i) the temperature-dependent shear viscosity is necessary to describe the experimental data and (ii) its minimum around the crossover would be smaller than the so-called minimum boundary conjectured by the Anti-de Sitter/conformal field theory correspondence.

●Publications

Papers

Monnai A.: "Effective distributions of quasi-particles for thermal photons", *Phys. Rev. C* 92, 014905 (2015)*

Hatta Y., Monnai A and Xiao B.-W.: "Flow harmonics v_n at finite density", *Phys. Rev. D* 92, 114010 (2015)*

Hatta Y., Monnai A and Xiao B.-W.: "Elliptic flow difference of charged pions in heavy-ion collisions", *Nucl. Phys. A* 947, 155 (2016)*

Monnai A and Schenke B.: "Pseudorapidity correlations in heavy ion collisions from viscous fluid dynamics", *Phys. Lett. B* 752, 317 (2016)*

Denicol G, Monnai A and Schenke B.: "Moving forward to constrain the shear viscosity of QCD matter", *Phys. Rev. Lett.* 116, 212301 (2016)*

●Oral Presentations

International conferences

Monnai A.: "Baryon diffusion in heavy-ion collisions", Theory and Modeling for the Beam Energy Scan: from Exploration to Discovery, Brookhaven National Laboratory, NY, USA, February 2015

Monnai A.: "Hydrodynamic description of QCD matter at finite densities", Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP) 2015, Vail, CO, USA, May 2015

Monnai A.: "Photon elliptic flow: possible mechanisms of enhancement", 2015 RHIC & AGS Annual Users' Meeting, Brookhaven National Laboratory, NY, USA, June 2015

Monnai A.: "Chemically non-equilibrated QGP and thermal photon elliptic flow", Hard Probes 2015, McGill University, Montreal, Canada, June 2015

Monnai A.: "In-medium quasiparticle distributions and QGP photons", Molecule-type workshop "Selected topics in the physics of the Quark-Gluon Plasma and Ultrarelativistic Heavy Ion Collisions", Yukawa Institute, Kyoto, Japan, September 2015

研究者氏名: 柳川 正隆 Yanagawa, Masataka
受入研究室: 佐甲細胞情報研究室
(所属長 佐甲 靖志)

Gタンパク質共役型受容体 (GPCR) はすでに約40%の市販薬の標的分子であるが、市販薬が標的としている受容体はGPCR全体の6%程度に過ぎない。特に100種程度はリガンド未知のオーファン受容体であり、そのリガンドの探索は薬理学・創薬上の重要な課題である。しかしながら、オーファン受容体は下流のシグナル伝達系も未知の場合が多く、特定のシグナル伝達分子の増減を指標とした従来のスクリーニング手法で活性を評価することが難しい。本研究は、代謝型グルタミン酸受容体 (mGluR) をモデルとしてGPCRの1分子動態と機能の関係を解明し、1分子動態を指標としたGPCRの活性推定手法を確立することとする。

昨年度までは、*in vitro*の1分子FRET計測により構造動態を、*in cell*の1分子計測により拡散・会合動態をそれぞれ解析してきた。本年度は、両解析の進捗状況を踏まえて、成果を一般化・応用しやすい*in cell*の1分子計測に注力することにした。

様々なリガンド条件下で、mGluRの生細胞膜上における拡散・多量体サイズの変化を定量した。また、生化学的手法を用いて同条件下でリガンド結合能・Gタンパク質活性化能を定量した。これらを比較した結果、mGluR分子の拡散係数が受容体の活性と強く相関して変化することを突き止めた。したがって、mGluRの拡散係数を定量することで活性を推定することができると思われる。

mGluRの拡散動態が細胞膜上で変化する要因を調べるために、隠れマルコフモデルに基づく拡散状態のクラスター解析を行った。その結果、mGluRは細胞膜上で異なる4つの拡散状態をとり、活性化に伴い、速く拡散する二量体が減り、遅く拡散する高次多量体が増えることが分かった。また、百日咳毒素を用いたGタンパク質阻害実験からは、速く拡散する二量体がGタンパク質とプレカップリングした成分を多く含むことが分かった。さらに、クラスリン分子との共局在解析からは、遅く拡散する多量体がクラスリン被覆ピットに取り込まれた成

分を多く含むことが判明した。以上の解析から、mGluRの拡散動態の変化は、活性化に伴うmGluR・Gタンパク質複合体の解消と、その後に生じるクラスリン被覆ピットへの取り込みに起因することが明らかになった。これらの細胞膜上で生じるイベントは、多くのGPCRに共通するものであるため、拡散動態を指標としてGPCR一般の活性を推定できる可能性がある。今後は、本研究の成果の一般性を検証するため、様々なGPCRにおいて1分子動態の比較解析を行いたい。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Yanagawa M., Kojima K., Yamashita T., Imamoto Y., Matsuyama T., Nakanishi K., Yamano Y., Wada A., Sako Y., Shichida Y.: "Origin of the low thermal isomerization rate of rhodopsin chromophore", *Sci. Rep.*, 5, 11081 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

柳川正隆, 廣島通夫, 山下高廣, 七田芳則, 佐甲靖志: "1分子イメージングでみる代謝型グルタミン酸受容体の高次多量体化とエンドサイトーシス", 理研シンポジウム, 和光, 4月(2015)ポスター発表

柳川正隆, 廣島通夫, 山下高廣, 七田芳則, 佐甲靖志: "1分子イメージングでみる代謝型グルタミン酸受容体の高次多量体形成と内在化", 第12回GPCR研究会, 東京, 5月(2015)口頭発表

柳川正隆, 廣島通夫, 山下高廣, 七田芳則, 佐甲靖志: "全反射蛍光顕微鏡による代謝型グルタミン酸受容体の1分子動態解析", 生理研研究会, 岡崎, 9月(2015)口頭発表

Masataka Yanagawa: "Single-molecule imaging of GPCR oligomerization followed by internalization", 日本生物物理学会第53回年会, 金沢, 9月

(2015) シンポジウムオーガナイザー・招待講演
Masataka Yanagawa, Michio Hiroshima, Takahiro
Yamashita, Yoshinori Shichida, Yasushi Sako:
“Single-molecule imaging of GPCR oligomeriza-
tion followed by internalization”, 日本生物物理学
会第53回年会, 金沢, 9月 (2015) ポスター発
表

柳川正隆, 廣島通夫, 山下高廣, 七田芳則, 佐甲靖
志: “生細胞膜上の1分子拡散動態に基づくGPCR
の活性推定”, 研究会「理論と実験」2015, 広島,
10月 (2015) ポスター発表

柳川正隆: “1分子動態を指標にしたGPCRの活性
推定”, 4D計測全体会議, 神戸, 1月 (2016)
口頭発表

XXV-030

NMR装置の新時代を拓く

高温超伝導磁石の磁氣的・熱的安定化手法の構築

Towards an New Era of NMR Spectrometers; Magnetic Stabilization and Thermal Stabilization of High Temperature Superconducting Magnets

研究者氏名: 柳澤吉紀 Yanagisawa, Yoshinori
受入研究室: ライフサイエンス技術基盤研究センター
NMR施設
(所属長 前田 秀明)

1 GHz (23.5テスラ)を超える磁場のNMR装置は、構造生物学や材料科学におけるフロンティアを開拓する分析ツールとして、開発が強く望まれている。構造生物においては、膜タンパクをはじめとした創薬ターゲットの解析に、この種のNMRに大きな期待が寄せられている。しかしながら、従来NMR磁石に用いられてきた金属系低温超伝導線材 (low-temperature superconductors: LTS) を用いた磁石では、線材の臨界磁場の限界によって、1 GHz原理的な上限である。また、高磁場中では、LTS線材は高い電流密度で運転することができないため、磁石のサイズが巨大になってしまい、これ以上の大型化は実用上現実的でない。Bi-2223, Bi-2212, REBCOといった銅酸化物高温超伝導線材 (high-temperature superconductors: HTS) は、1 GHzを上回る磁場中でも高い電流密度が得られる。そのため、外層にLTSのコイルを、内層にHTSのコイルを組み合わせることで、上述の障壁を突破し、1 GHzを上回る超高磁場のNMR磁石を実現するポテンシャルを持つ。しかしながら、H25年度実施した400 MHz LTS/HTS NMR第1号機の開発・評価を通し、HTSコイル特有の大きな磁場不均一性と、遮蔽電流現象 (超伝導体に流れる渦電流) により磁場の空間的な精度が低下し、高分解能NMR測定に必要な均一磁場が得られないことが明らかとなった。この磁場不均一性を消すために、数個の小さな鉄シートを、試

料付近の空間に配置することで、磁束の流れをコントロールし、NMR測定に必要とされる10億分の1レベルの精度の均一磁場を発生させえる超精密磁場発生技術を確立した。これらの結果を活用し、世界最高磁場1.02 GHz NMRの実機の運転・評価を行った。実機においてもHTSコイルに起因した大きな磁場不均一性が現れ、そのままではNMR測定ができない状態であった。そこで、上述の超精密磁場発生技術を用い、膜タンパク質試料のNMR測定に成功した。今回得られた成果は、NMRの磁場としては、わずか0.2 GHzの上昇であるが、今後1 GHzを大幅に上回るNMRを実現するための大きなブレークスルーである。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- [1] Iguchi S., Yanagisawa Y., Takahashi M., Takao T., Hashi K., Ohki S., Nishijima G., Matsumoto S., Noguchi T., Tanaka R., Suematsu H., Saito K., and Shimizu T.: “Shimming for the 1020 MHz LTS/Bi-2223 NMR Magnet”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity in print *
- [2] Kajita K., Iguchi S., Xu Y., Nawa M., Hamada M., Takao T., Nakagome H., Matsumoto S., Nishijima G., Suematsu H., Takahashi M., and Yanagisawa Y.: “Degradation of a REBCO Coil Due to Cleavage and

Peeling Originating from an Electromagnetic Force”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity in print *

- [3] Yanagisawa K., Iguchi S., Xu Y., Li J., Saito A., Nakagome H., Takao T., Matsumoto S., Hamada M., and Yanagisawa Y.: “A Long Charging Delay for a No-Insulation REBCO Layer-Wound Coil and its Influence on Operation with Outer LTS coils”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity in print *
- [4] Piao R., Iguchi S., Hamada M., Matsumoto S., Suematsu H., Saito A., Li J., Nakagome H., Takao T., Takahashi M., Maeda H., and Yanagisawa Y.: “High resolution NMR measurements using a 400 MHz NMR with an (RE)Ba₂Cu₃O_{7-x} high-temperature superconducting inner coil: Towards a compact super-high-field NMR”, Journal of Magnetic Resonance, in print *
- [5] Yanagisawa Y., Xu Y., Iguchi S., Hamada M., Matsumoto S., Nishijima G., Nakagome H., Takao T., Suematsu H., Oshima Y., Jin X., Takahashi M., and Maeda H.: “Combination of high hoop stress tolerance and a small screening current-induced field for an advanced Bi-2223 conductor coil at 4.2 K in an external field”, Superconductor Science and Technology, 28, 125005 (10pp) (2015) *
- [6] Hashi K., Ohki S., Matsumoto S., Nishijima G., Goto A., Deguchi K., Yamada K., Noguchi T., Sakai S., Takahashi M., Yanagisawa Y., Iguchi S., Yamazaki T., Maeda H., Tanaka R., Nemoto T., Suematsu H., Miki T., Saito K., and Shimizu T.: “Achievement of 1020 MHz NMR”, Journal of Magnetic Resonance, 256, 30-33 (2015) *
- [7] Yanagisawa Y., Xu Y., Jin X., Nakagome H., and Maeda H.: “Reduction of Screening Current-Induced Magnetic Field of REBCO Coils by the Use of Multi-Filamentary Tapes”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, 25, 6603705 (2015) *

他4件

(総説)

- [1] H. Maeda, T. Yamazaki, Y. Nishiyama, M. Hamada, K. Hashi, T. Shimizu, H. Suematsu, Y. Yanagisawa, *eMagRes* in press*

(その他)

- [1] 「コンパクト超高磁場NMRの実現へーレアア

ース系高温超伝導ワイヤを使用したNMR装置を開発ー」, 理化学研究所プレスリリース, 2016年1月8日

http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160108_2/

- [2] 柳澤吉紀, 「高温超伝導を使用した超高磁場NMR開発」, 工業材料【特集】超電導は21世紀のキーテクノロジー (ENGINEERING MATERIALS), 平成28年1月1日, 第64巻, 第1号, pp.48-52, 日刊工業新聞社

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

- [1] Yanagisawa Y., Piao R., Iguchi S., Kajita K., Xu Y., Yanagisawa K., Nawa M., Suetomi Y., Takao T., Nakagome H., Hamada M., Matsumoto S., Nishijima G., Suematsu H., Jin X., Takahashi M., and Maeda H.: “Technical Challenges for a Compact Super-High Field LTS/HTS NMR Magnet”, 28th International Symposium on Superconductivity (ISS) 2015, Tokyo, Japan, November 16-18 (2015)
- [2] Yanagisawa Y. and Maeda H.: “The actual quenches of HTS coils”, 3rd Workshop on Accelerator Magnets in HTS (WAMHTS-3), Lyon, France, Sep. 10-11 (2015)
- [3] Yanagisawa Y., Iguchi S., Piao R., Xu Y., Yanagisawa K., Takao T., Nakagome H., Hamada M., Matsumoto S., Nishijima G., Hashi K., Goto A., Ohki S., Noguchi T., Shimizu T., Suematsu H., Jin X., Takahashi M., and Maeda H.: “Progress of the HTS magnet technology for a compact super-high field NMR magnet operating beyond 1 GHz”, International Conference on Magnet Technology 24 (MT24), 3OrCD_06, Seoul, Korea, Oct. 18-23 (2015)

(国内学会等)

- [1] 柳澤吉紀, 前田秀明: “コンパクト超高磁場NMR磁石の実現に必要な高温超伝導線材”, 一般社団法人 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 第86回ワークショップ / 公益社団法人 応用物理学会 超伝導分科会 第51回研究会, 高温超伝導オールスターズ2015, 東京, 7月 (2015)
- [2] 柳澤吉紀, 前田秀明: “HTSコイル技術の新しい展開; 第3世代HTSコイル技術 / 電磁力による劣化”, 2015年度秋季低温工学・超電導学会, 1B-a01, 姫路, 2015年12月2-4日

XXV-031 幹細胞ニッチによる幹細胞の分裂方向の細胞非自律的な制御に関わる
GPCRシグナルの機能とメカニズムの解明

Investigation about the Function of GPCR Signal in the
Non-cell-autonomous Regulation of the Stem Cell Division

研究者氏名: 吉浦 茂樹 Yoshiura, Shigeki
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
非対称細胞分裂研究チーム
(所属長 松崎 文雄)

我々はこれまで、Gタンパク質共役型受容体 (GPCR) とGタンパク質結合タンパク質による、新しいタイプの幹細胞制御機構を明らかにしてきた。この研究から、GPCRの一つであるTre1が、幹細胞ニッチからのシグナルに応答して下流の三量体Gタンパク質を活性化し、これによってGタンパク質結合タンパク質であるPinsの細胞内での局在を制御することで、ショウジョウバエ神経幹細胞の、Par複合体依存的な細胞極性の方向と分裂の方向とを制御していることが明らかとなった。Par複合体は、様々な細胞種、動物種において細胞極性を制御していることから、このGPCR-Pinsシグナル系が多様な幹細胞システムにおいて、独自の役割を果たしていることが示唆される。

本研究は、この幹細胞ニッチによる幹細胞分裂の制御の中で、GPCRシグナルによる新しいタイプの制御システムの詳細を明らかにすることを目的としている。

本研究では、幹細胞ニッチ由来のシグナル分子の同定と、その分子が幹細胞の分裂方向を制御するメカニズムの解析を行い、その結果、幹細胞の分裂方向を制御する新たなGPCRシグナル伝達経路が明らかとなった。

細胞外から幹細胞の分裂方向を制御する幹細胞ニッチ由来のシグナル分子のスクリーニングを行った結果、Wnt2、Wnt5、Wnt6、WntDという、4つのWntファミリー分子が相補的に機能することによって、幹細胞の分裂方向を制御していることが明らかとなった。

また、Wnt2/5/6/Dによる幹細胞分裂方向の制御

メカニズムについて解析を行ったところ、これらのWntは、GPCRであるFrizzledレセプターを介して下流の β -cateninの神経幹細胞内での局在を規定すること、さらに、この β -cateninは、Par複合体の構成分子であるBazooka/Par3と、その結合タンパク質であるInscuteableとの結合を介して、Par複合体の神経幹細胞内での局在を規定していることが明らかとなり、このメカニズムによって、神経幹細胞の分裂の方向を制御していることが明らかとなった。

さらに、本研究で明らかとなったWnt/Frizzled/ β -cateninシグナルは、Tre1/Pinsシグナルと相補的に機能している事が明らかとなり、またこれら2つのシグナル経路による神経幹細胞の分裂方向制御が、神経組織の方向性を持った成長に重要な役割を果たしていることも明らかとなった。

本研究によって、幹細胞の分裂方向を制御する2つのGPCRシグナルが明らかとなり、これら2つのシグナル伝達経路が相補的に機能することによって、神経幹細胞の分裂方向と神経組織の形態形成の堅牢性を保障している事が明らかとなった。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

Yoshiura S, Matsuzaki F. "Wnt proteins serve as directional cues for the Par-complex polarity and the *Drosophila* nervous tissue growth." 第38回日本分子生物学会年会/第88回日本生化学会大会合同大会, 神戸国際会議場, 12月 (2015).

基礎科学特別研究員
平成 26 年度採用者

XXVI-001 Self-assembled DNA and RNA Nanostructures for Drug delivery and Gene Silencing

Name: Baiju Govindan Nair

Host Laboratory: Nanomedical Engineering Laboratory

Laboratory Head: Yoshihiro Ito

Nanobiotechnology has enabled to design of nucleic acids into promising 2-dimensional & 3-dimensional nanostructures with a precise functions at molecular level. In 1998, the first concept of RNA nanotechnology came up, which was based on the RNA nanoparticles derived from self-assembling reengineered RNA fragments of the packaging RNA(pRNA) in the DNA packing motor of the bacteriophage phi29. RNA itself is a regulator for most of the biological events and a growing interest has been shown to engineer these natural molecules into various devices by synthetic biology. These tremendous research progresses in the area of RNA nanotechnology has opened up a new platform for siRNA based molecular therapies using artificial siRNA.

Artificial or synthetic siRNA is composed of 19-21 nucleotide in length with two nucleotide overhangs at 3' end, and is also capable of generating the routine siRNA species after cleavage by dicer. There has been a highest interest on artificial siRNA to knock down genes in mammalian cells. In spite of this success in biomedical field, their instability in body fluids or serum has been major concern for in vivo studies. A synthetic siRNA nanostructure can prolong the gene si-

lencing in mammalian cells without any major enzymatic degradation for a period of time; this process is greatly required and would be challenging. Principally, building an RNA nanostructure for prolonged RNAi is a selective process of choosing right target, feasible siRNA target sequences and modification of the structures. Here, we attempt to generate branched nanostructures composed of 3-4 siRNA species against multiple gene targets.

To augment the concentration of siRNA in the cytoplasm and gene silencing activity, we have used a substrate mediated gene delivery strategy without any transfection reagents. This process involves the mussel inspired surface treatment of high dense nanowires for direct incorporation of siRNA into cells. We anticipate that these progresses would be extended to some novel delivery of therapeutic biomolecules for cell reprogramming.

●Oral Presentations

International conferences

Baiju G Nair & Yoshihiro Ito, Mussel Inspired Nanointerface for an Efficient Biomolecular Delivery into Cells. GAMS, Dubai, 2015, December 7-9

XXVI-002 遺伝学・化学遺伝学によるがん・多能性幹細胞の代謝制御機構解析

Studies on Metabolic Regulation in Cancer Cells and Pluripotent Stem Cells by Genetic / Chemical Genetic Approach

研究者氏名: 小林大貴 Kobayashi, Hiroki

受入研究室: 吉田化学遺伝学研究室

(所属長 吉田 稔)

がんや多能性幹細胞は好気解糖、いわゆるワールブルグ効果の代謝特性をもつことで活発な増殖を可能にしていると考えられているが、その代謝制御機構はほんの一部しか明らかになっておらず、その代謝特性とがんのもつ造腫瘍性や多能性幹細胞の分化

多能性との関わりはほとんどわかっていない。本研究課題ではがん・多能性幹細胞の代謝特性（ワールブルグ効果）に着目し、その制御機構を遺伝学・化学遺伝学の手法で解析することで代謝がどのように増殖能や幹細胞性に寄与するかを調べる。

- (1) 前年度にワールブルグ効果制御因子を探索する目的でプール型shRNAライブラリを用い、2-デオキシグルコース (2DG) の耐性・感受性規定因子のスクリーニングを行った。本年度はその結果得られた耐性・感受性規定因子候補の検証作業を進めた。感受性規定因子候補として見出したCOPB1およびARCN1 (ともに小胞輸送制御因子) をノックダウンした細胞では2DGの感受性が増強したことからそれらが感受性規定因子であることが明らかとなった。さらなる解析の結果、COPB1およびARCN1は脂質分解を正に制御しており、それらをノックダウンすると脂質分解→ β 酸化によるエネルギー供給が滞るため2DGの毒性が増強されることがわかった。この結果は解糖系阻害剤と脂質分解阻害の組み合わせが新しいがん治療戦略になりうることを示唆している。一方、耐性因子に関しては当該スクリーニング実験で見出すことができなかった。
- (2) 前年度に取得したワールブルグ効果制御化合物の作用機序解析を進めた。化合物処理細胞のトランスクリプトーム解析からは特徴的な変化が見出せなかったものの、メタボローム解析では期待通り解糖系代謝産物の低下が観察された。さら化合物の結合タンパク質同定のために構造活性相関研究を展開した結果、化合物が有するカルボン酸が代謝制御活性に必須であることが明らかになった。今後はこ

れらの結果をもとに生化学的手法で化合物の作用機序解析をすすめていき、代謝制御機構および代謝特性と増殖能や幹細胞性との関わりを調べていく。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kobayashi H., Nishimura H., Matsumoto K. and Yoshida M.: "Identification of the determinants of 2-deoxyglucose sensitivity in cancer cells by shRNA library screening", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 467, 121-127 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

小林大貴, 吉田稔: "プール型shRNAライブラリを使ったがん細胞に対する2-デオキシグルコースの感受性規定因子の同定", 第19回日本がん分子標的治療学会学術集会, 松山, 6月 (2015)

小林大貴, 吉田稔: "Identification of the determinants of 2-deoxyglucose sensitivity in cancer cells by shRNA library screening", 第74回日本癌学会学術総会, 名古屋, 10月 (2015)

(国際会議等)

Kobayashi H.: "Identification of a compound that regulates Warburg effect", The 8th Korea-Japan Chemical Biology Symposium, Okinawa, January (2016)

XXVI-003 強相関電子系における非自明なトポロジーが誘起する新奇物性の探索

Research for Novel Phenomena Induced by Topological Properties in Strongly Correlated Electron Systems

研究者氏名: 吉田恒也 Yoshida, Tsuneya

受入研究室: 古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

(概要)

近年、強相関系である d -、 f -電子系においてトポロジカルに非自明な構造を持つ相の発現が提案されている。そこでは電子相関効果とトポロジカルに非自明な構造が融合し新奇物性が期待されその探索が求められる。この背景の下、本年度は特に以下の二つのサブテーマに取り組んだ。

(I) 強相関トポロジカル結晶絶縁相の分類

ここ数年の研究で、強相関効果がトポロジカル絶縁体にもたらす効果として自由電子系の分類学の破綻が明らかとなった。その一方で自由電子系のトポロジカル絶縁体の概念が空間対称性も考慮に入れて拡張され、SnTeでは鏡映対称性によるトポロジカ

ル結晶絶縁体の発現が報告されている。そこで本研究では鏡映対称性によるトポロジカル結晶絶縁体の分類学の破綻を解析し、電子相関効果の下では4つのトポロジカルに異なる相があることを明らかとした。また、スピン系の鏡映対称性によるトポロジカル相も解析し2次元のAKLT状態の端状態は鏡映対称性に守られていることを明らかにした。

(II) 強相関トポロジカル相における温度効果

4f-電子系ではスピン軌道相互作用と電子相関効果が近いエネルギースケールとなっている。そのため、近藤絶縁体として知られていたSmB₆は強相関トポロジカル物質の候補として最近注目を浴びている。理論的にはトポロジカル不変量は絶対零度でのみ定義されており有限温度での振舞いは明らかとなっていないが、実験は有限温度で行われるため強相関トポロジカル相の温度効果の解明が求められる。そこで本研究では遍歴電子がトポロジカルに非自明な構造を持つ近藤格子系の有限温度効果を解析した。解析の結果、絶対零度では近藤効果によりトポロジカルに非自明な構造は壊されている場合でも有限温度領域では近藤効果は抑えられエッジ状態が発現する事が明らかとなった。また、1次元トポロジカル絶縁体では強相関効果によりエッジ状態の性質が変化する事を見出した。

●誌上发表 Publications (原著論文)

Yoshida T. and Furusaki A.: “Correlation effects on topological crystalline insulators”, Physical Review B 92 085114 (2015)*

Yoshida T., Morimoto T. and Furusaki A.: “Bosonic symmetry-protected topological phases with reflection symmetry”, Phys. Rev. B 92 245122 (2015)*

Yoshida T., Peters R. and Kawakami N.: “Restoration of topological properties at finite temperatures in a heavy-fermion system”, Phys. Rev. B in print*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Yoshida T.: “Analysis of Topological Mott Insulators in One Dimension - approach from entanglement spectrum -”, 2015 Workshop on “Topological Magnets”, Wako, May (2015)

Yoshida T.: “Classification of symmetry protected topological phases by the Chern-Simons approach”, 20th International Conference on Magnetism, Barcelona, July (2015)

(国内学会等)

吉田恒也, 古崎昭: “トポロジカル結晶絶縁体における相関効果”, 日本物理学会 2015年秋季大会, 関西大学, 9月 (2015)

吉田恒也: “強相関トポロジカル相の研究”, 第五回「強相関電子系理論の最前線」研究会, 勝浦観光ホテル, 12月 (2015)

XXVI-006

高エネルギー天体における非熱的放射

Non-thermal Emission from High Energy Astrophysical Objects

研究者氏名: 寺木 悠人 Teraki, Yuto

受入研究室: 計算科学研究機構

粒子系シミュレータ研究チーム

(所属長 牧野 淳一郎)

近年、かに星雲から100MeV以上のエネルギー領域でのフレアがFermiやAGILEというガンマ線観測衛星で観測された。このフレアは、粒子加速とシンクロトロン冷却が釣り合った場合の振動数である”臨界振動数”を超えており、標準的なパルサー星雲の描像では理解できない。また、衝撃波粒子加速機構にさえも変更を迫る可能性を秘めており、相対論

的プラズマのエネルギー変換機構を理解するという一般的な問題に対しても重要な鍵となりうる現象である。この現象を説明しようと多数のモデルが提出されたが、観測を統合的に説明するには至っていない。私は先行研究とは異なったアプローチでフレアの理解を試みた。先行研究では特定の物理モデルを作成し、フレアの再現を目的としていたが、これら

とは逆にフレアを起こすための必要条件を洗い出すことを目的とした。一連のフレアは高い放射エネルギー以外にもいくつかの注目すべき性質がある。例えば上に述べた特徴のほかで最も重要なものは、数時間程度という短い(観測)変動時間に対して、放射ピークの10%という非常に大きいガンマ線領域の νF_ν フラックスである。この観測事実から放射領域に対するいくつかの制限条件が導き出される。

非相対論的な放射領域でフレアを再現するには非常に大きな非等方性をもったパルサー風が要求される。具体的には、パルサー磁気圏から放射領域に単位立体角あたりに放出されるルミノシティは(スピンドアウンルミノシティ)/ 4π を単位として、100,000が要求される。これはパルサー風の流体シミュレーションでみられる非等方性(約10程度)に対し極端に大きい。なんらかの非常に特異な現象で小さい領域にエネルギーが集中することも考えられるが、非相対論的放射領域はrejectされると考えるのが自然だろう。一方、相対論的な放射領域を考えると、相対論的ビーミング効果の影響から放射領域の位置とローレンツ因子の組み合わせが制限を受け、ローレンツ因子がO(10)、位置は0.01pc程度となる。これと同時にパルサー物理の重要なパラメータであるパルサー風の磁気エネルギー/運動エネルギー比も制限を受け、O(10)となる。上記はフレアを起こすための最低限の必要条件であるが、これだけでも多くのモデルはrejectされ、またパルサー星雲のモデリングに重要な示唆を与える。これに

加えて粒子加速機構についての制限条件や、promisingなモデルの雛形などを議論した論文を現在執筆中である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Teraki Y., Ito H. & Nagataki S.: "Particle acceleration in superluminal strong waves", *The Astrophysical Journal*, 805, 138 (2015)*

(その他)

Teraki Y., Ito H. & Nagataki S.: "Riding the pulsar wind", *Riken research*, August 21, (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Teraki Y. Ito, H. & Nagataki, S.: "Particle acceleration in superluminal strong waves", GRB workshop 2015, Wako, Japan, Sep. (2015)

(国内学会等)

寺木悠人: "かに星雲のガンマ線フレアの物理的制約", 第28回理論懇シンポジウム, 大阪, 12月(2015)

寺木悠人: "アルフベン乱流中の粒子加速の再考", 高エネルギー宇宙物理学研究会2015, 静岡, 11月(2015)

寺木悠人: "かに星雲のガンマ線フレアの物理的制約", 日本天文学会2015年秋季年会, 兵庫, 9月(2015)

XXVI-007 多色光フェムト秒時間分解分光法の開発による多原子分子の超高速反応機構の究明

Study on Ultrafast Photoreactions of Polyatomic Molecules by Development of Multi-Pulse Femtosecond Time-Resolved Spectroscopy

研究者氏名: 日下良二 Kusaka, Ryoji

受入研究室: 田原分子分光研究室

(所属長 田原 太平)

海面や水滴表面のような気水界面で起こる不均一化学反応は地球環境に多大な影響を与えているにも関わらず、実験的な困難さから、多くの反応機構は解明されていない。分子の構造情報を直接的に反映する振動スペクトルを測定することによって界面の化学反応を追跡することができれば、それは気水界

面で起こる化学反応の反応機構を解明する1つの方法になる。本研究では、紫外励起ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法という方法を用いて、界面選択的な振動スペクトルの時間分解測定によって光化学反応を追跡し、気水界面で起こる光化学反応の反応機構解明を目指した。これらの測定はフェムト秒

レーザーを使って行い、150 fs程度の時間分解能で測定した。

環境汚染物質の一つであり、界面活性であるフェノールを反応体として選び、紫外励起によってプロトンと電子を放出する光化学反応を気水界面で誘起した。プロトンと電子が放出されると周りの水分子がそれらを溶媒和しようと再配向するので、化学反応に伴う水分子の構造変化をOH伸縮振動領域における振動スペクトルの時間分解測定によって追跡した。

(1) まず、気水界面で起こる反応を議論する際に基本となる、フェノールが気水界面に存在する場合の定常状態の分子構造を決定した。気水界面でフェノールのOH基が強く水素結合していること、フェノールの存在によって水分子の水素結合も強くなっていることを見出した。

(2) 紫外励起後の過渡振動スペクトルを観測することに成功した。その結果、水中に比べフェノールはプロトンと電子を1000倍以上の早さで放出していることを見出した。さらに、それらのプロトンと電子は再結合反応によって反応体であるフェノールに戻っていることを見出した。

●口頭発表 Presentations

(国内学会)

日下良二, 二本柳聡史, 田原太平: “紫外励起時間分解ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法による空気/フェノール水溶液界面における光化学反応の実時間測定”, 第9回分子科学討論会, 東京, 9

月(2015)

●ポスター発表 Presentations

(国内学会)

日下良二, 二本柳聡史, 田原太平: “時間分解ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法による気液界面における紫外励起光化学反応の実時間測定”, 第4回「分子システム研究」春季研究会, 伊東市, 5月(2015)

日下良二, 二本柳聡史, 田原太平: “紫外励起時間分解ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法による気液界面における光化学反応の実時間測定”, 理研シンポジウム 第3回「光量子工学研究」, 和光市, 11月(2015)

日下良二, 二本柳聡史, 田原太平: “空気/フェノール水溶液界面のOH伸縮振動領域における $\text{Im}\chi^{(2)}$ スペクトル”, 新学術領域「理論と実験の協奏による柔らかな分子系の機能の科学」第4回全体合宿会議, 北九州, 11月(2015)

(国外学会)

日下良二, 二本柳聡史, 田原太平: “REAL-TIME OBSERVATION OF A PHOTOCHEMICAL REACTION AT A LIQUID INTERFACE BY UV-EXCITED TRHD-VSFG”, 13th DAE-BRNS Biennial Trombay Symposium on Radiation & Photochemistry incorporating 6th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India, 1月(2016)

XXVI-009 有限温度変分クラスター近似による新奇絶縁体の数値的研究

Computational Study on the Electronic Properties of Novel Insulating States by Finite-Temperature Variational Cluster Approximation

研究者氏名: 関和弘 Seki, Kazuhiro
受入研究室: 柚木計算物性物理研究室
(所属長 柚木 清司)

グラフェンに吸着した原子等の不純物が導く磁性・物性は、理論・実験双方から精力的に研究がなされている。特に最近、少数の不純物が吸着した場合に関しては、一電子近似の枠を超えて多体効果を数値的厳密に取り扱い、磁性を含めたあらゆる物理量を計算する方法論が開発される等、近年非常に注

目される分野となっている。また、グラフェン上で不純物を周期的に吸着させた場合の研究も進められている。例えばグラフェンに水素原子を特定の周期で吸着した系では、強磁性状態が実現する可能性が密度汎関数理論に基づく電子状態計算により指摘されてきており、ごく最近実験的にそのような系を実

現する試みも報告されている。一方で、グラフェン上で周期的に存在する不純物がもたらす物性に関して、電子相関効果と温度効果を取り入れた研究はまだ十分に進められていない。本年度は、有限温度変分クラスター近似を用いて、周期的に存在する不純物により副格子対称性が破れたグラフェンにおける電子相関効果と温度効果を研究した。第二量子化したモデルハミルトニアンとして六角格子の周期的アンダーソンモデルを定義し、その基底状態と有限温度物性を研究した。このモデルの基底状態はフェリ強磁性状態であることがわかった。温度を上げると熱揺らぎによって強磁性秩序が破壊され常磁性状態となるが、その常磁性状態において質量ゼロのディラック準粒子が現れることを見いだした。副格子対称性の破れたハニカム格子での質量ゼロのディラック準粒子の出現は一電子近似に基づく理論では予期されない結果である。さらに副格子対称性の破れと電子相関効果という観点から遷移金属基盤上に設置されたグラフェンの電子状態の研究を行うため、第一原理バンド計算から導出される飛び移り積分を用いて有限温度変分クラスター近似が計算できるよう

にコードを改良した。ただし第一原理バンド計算と有限温度変分クラスター近似計算の組み合わせで現れる電子間相互作用の二重勘定問題の扱いには改善の余地があるため今後も改良を進める。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- H. Watanabe, K. Seki, and S. Yunoki, “Charge-density wave induced by combined electron-electron and electron-phonon interactions in $1T$ -TiSe₂: A variational Monte Carlo study”, *Phys. Rev. B* 91, 205135 (2015)*
- H. Watanabe, K. Seki, and S. Yunoki, “A Variational Monte Carlo Study of Exciton Condensation”, *J. Phys.: Conf. Ser.* 592, 012097 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

- 関 和弘, “副格子対称性の破れたグラフェンにおける電子相関効果の理論的研究”, 分子システム研究 第4回春季研究会, 伊東, 5月 (2015)

XXVI-010 高真空中の非平衡プラズマへの液相試料導入法によるイオンビームの大強度化と難イオン化各種への展開

Production of Intense Ion Beam for Hard-to-ionize Isotopes by Liquid Sample Injection Method into High Vacuum Plasma

研究者氏名: 卜部 達也 Urabe, Tatsuya

受入研究室: 仁科加速器研究センター

加速器基盤研究部イオン源開発チーム
(所属長 中川 孝秀)

本研究の目的は、加速器のイオン源である電子サイクロトロン共鳴 (ECR: Electron Cyclotron Resonance) イオン源において、金属イオン生成法の選択肢を増やすべく溶液試料の導入方法を確立することである。それにより、理化学研究所が有する加速器施設において、セレンやチタン、カルシウムなど、新規もしくはこれまで難イオン化とされて敬遠されて来た元素 (核種) のイオンビームの生成と大強度化を目指す。高真空下の ECR イオン源への溶液導入方法として、申請者がこれまでの研究にて使用してきたエレクトロスプレー技術を応用する。高電圧を印加しながら溶液を噴霧することによって

脱溶媒を促進し、ガス化した溶質分子だけを ECR イオン源へ導く。カスタマイズしたエレクトロスプレープローブを作製し、大気中もしくは低真空中で噴霧した試料を気相中へ移動させる。脱溶媒部、気相試料導入部 (差動排気部) の実験パラメータを検討し、最適な導入条件を決定する。導入された金属含分子を ECR プラズマによって単原子状態まで解離させ多価イオンビームを作り出す。生成したイオンは、汎用の質量分析装置によって検出をおこなう。最終的に、多様な核種の測定データを集積し、加速器用イオン源への適用条件を核種ごとにまとめる

本年度は、昨年度に作製した液体試料導入装置の

性能評価および改良をおこなった。スプレー部、加熱部（脱溶媒部）、差動排気部、イオン光学系より構成される導入装置から導かれたイオンを、ファラデーカップおよび四重極型質量分析装置で観測し、イオンビームの感度および安定度を考察した。その結果、主に差動排気部で感度の低下につながるイオンのロスが発生していることがわかった。そこでスキマーコーン系および導入パイプ径を変化させ、パラメータ最適化を行った。また、導入パイプを加熱し脱溶媒をおこなう際に、温度の不均一性により安定度が低下することもわかった。そのため、ヒータをパイプに接触させる間接加熱方式からパイプに電流を流して直接加熱させる方式（抵抗加熱）方式に変更した。これらの改良により感度、安定度ともに100倍程度の向上が見られた。

現在は、さらなる性能向上のために高周波イオンレンズを作製し評価をおこなっている。同時に組み込み機器による制御部を作成しており、一連の分析システムを完成させて最終的な研究成果を論文にとりまとめる予定である。

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Urabe T., Kidera M.: “miniECRIS-MS: a portable mass spectrometer using plasma-based ion source”, The 10th HEMS Workshop, Baltimore, USA, Sep.(2015)

(国内学会等)

ト部達也, 木寺正憲: “高真空プラズマイオン源を用いた液体試料分析装置の開発”, 日本質量分析学会第63回質量分析討論会, つくば, 6月 (2015)

XXVI-011 TES型マイクロカロリメータを用いたK中間子原子X線の超精密分光

High-precision Spectroscopy of Kaonic-atom X-rays with Transition-edge-sensor Microcalorimeters

研究者氏名: 橋本直 Hashimoto, Tadashi

受入研究室: 仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(所属長 岩崎 雅彦)

本研究は反K中間子と原子核間の強い相互作用を定量的に決定すべく、K中間子ヘリウム原子X線の精密分光を目指すものである。K中間子ビーム源はJ-PARCを使用し、X線検出器としては従来の半導体検出器に比べ約50倍の2～5 eV FWHM@6 keVという高分解能を誇る超伝導遷移端（TES）型マイクロカロリメータを採用する。TES検出器は主に宇宙物理、物性物理用に開発された非常に高精度な検出器であるが、ハドロンビームという荷電粒子が多数飛び交う検出器にとって厳しい条件での応用は本研究が初めてである。TESの地上応用で最先端をゆく米国標準技術研究所（NIST）の協力を得て研究を進めている。

本年度は、前年度の π 中間子ビームを用いたテスト実験の成功に基づいてJ-PARCへK中間子ヘリウム原子実験の提案を行うなど、実験準備を進めた。まず実験を行うJ-PARC K1.8BRで実測したビームプロファイルを用いたシミュレーションスタディを行い、予測されるK-ビーム由来の荷電粒子のTES

直撃頻度からJ-PARCでの実験において、TESを高分解能、かつ十分にバックグラウンドを抑制した測定ができることを示した。これによりJ-PARC実験審査会から実験が承認されている。

J-PARCにおける実験はまずK中間子ビームを標的に止める調整を行うことから始める予定である。そのためビーム調整手順の検討をシミュレーションに基づいて行い、レンジカウンター、反応点再構成のような飛跡検出器、シリコンX線検出器等を用いることとした。これらの検出器およびデータ取得システムの準備は現在進行中である。このビームタイムは6月に予想されるが、同時にTESをビームラインに設置しK-ビーム中での動作試験も行う予定である。本年度は極低温冷凍機を購入し、新規TESシステムの組み立てを開始した。また物理データ取得において、標的にはK中間子原子核探索実験で実績のある液体ヘリウムシステムを用いるが、標的容器は本実験に最適化し新規に開発する。PETの円筒とベリリウム窓を持つキャップの構造を採用して試作

し、圧力試験、冷却試験等を進めている。

また、本課題の主目的であるX線実験に加えて、物理目的が密接に関連するK中間子原子核探索実験(J-PARC E15)にも積極的に貢献した。2013年のデータを用いた論文を出版するとともに、約8倍の統計となる新たなデータを取得し解析をすすめている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hashimoto T., et al. (J-PARCE15 collaboration), “Search for the deeply bound K-pp state from the semi-inclusive forward-neutron spectrum in the in-flight K- reaction on helium-3” Prog. Theor. Exp. Phys. (2015) 061D01.

●口頭発表 Presentations

(国際会議・研究会)

Hashimoto T. et al. (J-PARCE15 collaboration), “Kaonic nuclei search via the in-flight (K-, n) reaction on heli-

um-3”, ELPH workshop C013, Meson Production and Meson-Baryon Interaction (MPMBI), Tohoku University in Sendai, Japan, September (2015)

Hashimoto T. et al. (HEATES and J-PARCE62 collaborations), “Kaonic-atom x-ray spectroscopy with superconducting microcalorimeters”, HYP2015: 12th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physic, Sendai, Japan, September (2015).

(国内学会・研究会)

橋本直, 他 (J-PARC E62 collaboration), “超伝導遷移端マイクロカロリメータを用いたK中間子原子X線精密分光実験(2)”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪市立大学, 9月(2015).

橋本直, 他 (J-PARC E15/E62 collaboration), “J-PARC K1.8BRにおけるK-ビームを用いたKbarN相互作用の研究”, 原子核媒質中のハドロン研究 III, KEK 東海キャンパス (J-PARC), 10月(2015).

XXVI-012 ASTRO-H衛星で探る超巨大ブラックホールのスピンとジェットの相関

Study of Correlation between Spin and Jet Activity of Super Massive Black Hole with ASTRO-H

研究者氏名: 野田 博文 Noda, Hirofumi

受入研究室: 仁科加速器研究センター

玉川高エネルギー宇宙物理研究室

(所属長 玉川 徹)

宇宙に無数に存在する銀河の中心には、太陽の $\sim 10^5$ - 10^9 倍もの質量を持つ超巨大ブラックホール(BH)が1つずつ存在することが知られる。その周辺に物質が大量に存在すると、物質がBHに降着しながら可視光やX線など様々な波長の光を生成し、活動銀河核(AGN)と呼ばれる天体となる。AGNに付随する現象として、BHの回転軸方向に、細くしぼられながら、高速で吹き飛ばされたプラズマ流である「ジェット」が多波長で観測されている。このジェット生成にはBHの角運動量(スピン)が深く関連することが理論的に予想されているものの、観測的な証拠は見つかっておらず、ジェットの起源は天体物理学における最大の謎の一つとなっている。

本研究では、間近に迫った2016年2月12日に打ち上げを控える次期X線衛星ASTRO-Hと地上の望

遠鏡を組み合わせ、多波長でAGNをモニタ観測する。ASTRO-Hの0.3-600 keVの広帯域観測を中心として多波長の連続成分の強度からジェットの活動度を求めると同時に、精密軟X線分光装置を駆使して、X線帯域に現れる鉄のK α 輝線の相対論効果による広がりからBHスピンを決定する。これにより、観測的にジェットの活動度とBHスピンの相関を調べることができる。本年度は、打ち上げが間近に迫ったASTRO-Hに搭載する、精密軟X線分光装置の衛星搭載品の試験に加えて、有限要素熱シミュレーションを駆使して、打ち上げに伴う検出器内部の温度変化を調べ、打ち上げ時における検出器運用計画の作成に貢献した。また、AGNのX線-可視光の同時観測データの解析から、ジェット生成に深く関わると考えられるBH降着流のジオメトリを制限

することに成功した。

- (1) 精密軟X線分光装置の衛星搭載品を、ASTRO-H衛星に搭載した状態の最終試験に参加し、検出器の性能が問題なく発揮されることを確認した。また、検出器内部の熱伝導、輻射熱輸送、発熱・冷却機構を模擬した熱数学モデルを構築し、有限要素熱解析を用いて、打ち上げ時に検出器温度が許容範囲に保たれる条件を詳細に調べた。その結果に基づいて打ち上げ時の運用計画を作成し、来たる2016年2月12日にASTRO-H衛星の打ち上げ本番に臨む準備が整った。
- (2) 「すざく」宇宙X線衛星と日本の可視光望遠鏡(北から、ピリカ、木曾シュミット、MITSuME、なゆた、かなた)によるX線-可視光の同時観測データ解析から、セイファート銀河NGC 3516のBH周辺には、X線放射領域が ~ 2 光日の半径で広がっている可能性を突き止めた(野田他2016 in preparation)。

●誌上発表 Publications

(国際誌)

H. Noda “X-ray Studies of the Central Engine in Active Galactic Nuclei with Suzaku”, X-ray Studies of the Central Engine in Active Galactic Nuclei with Suzaku, Springer Theses. ISBN 978-981-287-720-8. Springer Science+Business Media Singapore, 2016

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Noda H., “Accretion and Winds in AGNs” Prospects, challenges and evolution of AGN modeling in the

ASTRO-H Era, Rikkyo University, Tokyo, 2015 October

Noda, H., “Development of Instruments onboard ASTRO-H for Future X-ray Studies of Tori”, Torus 2015 - The Unification Scheme After 30 Years-, Southampton, UK, 2015 September

Noda H., Kubota A., Yamada S., Kobayashi S., “State Transition of AGNs” Max’s Four Questions in X-ray Astronomy To Be Addressed With ASTRO-H, The University of Tokyo, Tokyo, 2015 July

Noda H., Enoto T., “The Cook Book for Spectral Analyses with ASTRO-H/SXS” Spectroscopy of Cosmic Plasma in the Era of ASTRO-H, Aoyama Gakuin University, Kanagawa, 2015 May

(国内学会等)

野田博文, 林佑, 山崎典子, 満田和久, “有限要素熱解析によるCu/Bi多層膜吸収体を用いた超電導遷移端型マイクロカロリメータのパルス波形の検証” 天文学会2015年秋年会, 甲南大学, 兵庫, 2015年9月

野田博文, “多波長時間変動から迫る巨大ブラックホール降着流の放射と幾何” 超巨大ブラックホール降着円盤スペクトルの解釈を巡って, 宇宙科学研究所, 神奈川, 2015年8月

野田博文, 峰崎岳夫, 牧島一夫, 中澤知洋, 諸隈智貴, 小久保充, 土居守, 山田真也, 河口賢至, 伊藤亮介, 川端弘治, 深沢泰司, 中尾光, 渡辺誠, 森鼻久美子, 伊藤洋一, 斉藤嘉彦 “X線と可視光で調べる巨大ブラックホール周辺の降着流の幾何” 降着円盤大研究会 2015, 京都大学, 2015年6月

XXVI-013 超精密X線分光による高密度天体の状態方程式の研究と、
科学ミッションへの展開を目指した超小型衛星向け標準プラットフォームの研究開発
High-energy-resolution Studies of the Equation of State of Dense Stars and
R&D of Micro Satellite Platform for Space Science Missions.

研究者氏名: 湯浅孝行 Yuasa, Takayuki
受入研究室: 仁科加速器センター
玉川高エネルギー宇宙物理研究室
(所属長 玉川 徹)

高密度天体の超精密X線分光観測を実現するため、宇宙航空研究開発機構が主導するX線天文台ASTRO-H衛星の開発・試験に主体的に参加した。とくに、筑波宇宙センターと種子島宇宙センターで実施された2015年5月～12月の打ち上げ前最終試験に参加し、広帯域X線スペクトルの観測実現に欠かせないレーザー変位計の試験を主導した。地上データ処理のグループにも参加し、ソフトウェア開発を担当した。成果物は打ち上げ後のデータ処理に実用される。なおASTRO-H衛星は2016年2月12日打ち上げ予定であり、打ち上げ後は機器の初期立ち上げに参加して、科学観測データの取得を急ぐ。

自身の観測提案にもとづき2015年3月に「すぎく」X線観測衛星を用いて観測した「ペルセウス座GK」という白色矮星連星においては、2年に1度ほど発生する突発増光（矮新星爆発）がはじまる瞬間のデータを取得することに成功した。増光前後のX線スペクトルを比較して、白色矮星への質量供給量（質量降着率）が急激に10倍増加したときの白色矮星と降着円盤の距離や白色矮星表面のX線発生領域の温度の変化を求めた。本天体は $10^5 \sim 7G$ 程度の磁場をもつ白色矮星であり、今回の結果は磁気圧がガス圧よりも優勢な天体における重力エネルギーの解放とX線放射を理解する上で貴重なデータである。本結果をまとめた論文は英国王立天文学会誌(MNRAS)に投稿予定である。また、白色矮星の研究に関連して2015年8月19-21日に米国ボストンのハーバード大学Center for Astrophysicsで開催された国際会議「The Universe in High-resolution X-ray Spectra」のSOC参加を依頼され、現地参加して役を務めた。

宇宙空間、とくに高密度天体周辺での粒子加速現象と高エネルギーガンマ線放射の研究に関連して、地球上で「天然の粒子加速器」として知られている日本海側の冬季雷雲のガンマ線放射の観測に向け

て、ガンマ線検出器システムの小型化を実施した。検出器からの信号をデジタル化し記録する信号処理ボードを新規に設計し、低コスト化と小型化を実現し、40cm×40cm×30cm程度の箱に収まる自律型の装置を完成させた。共同研究者らとともに、2015年11月より石川県の金沢大学の構内に検出器を設置し今冬の観測を進めた。本プロジェクトの研究資金獲得や成果共有の方法について一般に発信するため、2015年11月14日のサイエンスアゴラにおいて口頭発表した。

宇宙科学の研究と並行して、宇宙機開発・試験技術の研究開発の一環として、宇宙航空研究開発機構の「宇宙機設計標準」のWorking Group副リーダーとして、人工衛星設計時のガイドラインとなる「設計標準」の制定作業を引き続き行なった。宇宙機内の高速データ通信インターフェースであるSpaceWireについて、1Gbpsを超える高速データ通信技術へ発展させるための研究開発について、宇宙科学技術連合会(2015年10月)において口頭発表した。

超小型衛星を用いた宇宙科学ミッションを進めるため、所属研究室のメンバーと共同で「中性子星パルサーのX線偏光観測用Cubesat」プロジェクトを2015年4月から立ち上げた。所属研究室で培われてきたX線偏光計技術と、近年発展が著しい超小型衛星(Cubesat)のテクノロジーを融合させ、サイエンステーマを「中性子星の超強磁場と、その磁場がつくる粒子加速領域のジオメトリの起源の解明」に絞り込み、5kg以下という超軽量の人工衛星で1つの天体を重点的に観測する計画である。2015年11月には光科学財団より研究費(250万円/2年)を獲得し、計画の中核であるX線偏光計の小型化と衛星システム全体の概念設計を進めた。

●口頭発表 Presentation
(国内学会等)

湯浅孝行, 榎戸輝揚, 土屋晴文, 米徳大輔, 澤野達哉, 中澤知洋, 牧島一夫, 榎本大悟, 古田禄大, 山田真也: “雷雲起源ガンマ線放射の石川県での2014年度冬季観測結果と検出器小型化に向けた開発状況”, 日本物理学会秋期年会, 大阪市立大学, 2015年9月25-28日

湯浅孝行, 曾田康広, 大竹優, 山地光久, 川口実, 檜原弘樹, 藤城巖, 程島文夫: “SpaceWire高速化研究のステータス報告”, 宇宙科学技術連合会, 2015年10月7~9日
湯浅孝行: “雷雲ガンマ線プロジェクト×市民科学”, 日本科学未来館, 2015年11月13-15日

XXVI-014

超ウラン元素の精密直接質量測定

High-precision Direct Mass Measurement of Trans-Uranium Nuclei

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

昨年度の開発成果を元に、超ウラン元素の精密質量測定に先立ち、核融合反応によって作られた様々な放射性同位体 (RI) に対し多重反射型飛行時間式質量測定器 MRTOF によって精密質量測定を行った。

実験は計12日行い、理研 RIBF の線形加速器で 200 MeV 程度に加速した ^{40}Ar を生成標的 (Ho, Tm, Ta) に照射し、Fr, Rn, At, Ac, Th, Pa といった様々な RI を生成、気体充填型反跳分離装置 GARIS-II で分離したのち He ガスセルによって低エネルギービームへと変換し MRTOF へと輸送した。中でも比較的収量が多く、質量導出に必要な既測定核種を含む Fr 及び At 同位体の測定を主に行った。

測定核種は $^{206,205}\text{Fr}$, $^{205,201}\text{At}$ 、またそれらの崩壊娘核 Rn, At, Po, Bi 同位体も同様に測定することができた。崩壊娘核は核種ごとに MRTOF の設定を変更することなく同時に測定され、一度に複数核種を効率的に測定できる MRTOF の特性を生かした測定方法を実証することができた。測定結果より ^{201}Po , ^{201}At は先行研究の測定値よりも大きな食い違いが見られた。また ^{206}Fr のスペクトルからは、 ^{206}Fr の核異性体が混合していることが示唆された。本実験結果は、Bi よりも重い領域での MRTOF を用いて行われた初めての測定であり、将来の超重元素精密質量測定実験へつながる重要な第一歩である。

本実験を進める上で、周辺装置の開発も精力的に行いさらなる性能向上に努めた。なかでもイオンを効率良く輸送・トラップする上で欠かせない冷却トラップの開発を行った。ガス冷却中においてイオン

はエネルギーを失うため、効率良く輸送するためには電場によりイオンの運動を制御することが必要となる。本開発において、四重極イオントラップの電極に抵抗体である Si を使用し、径方向にイオンをプラップしながら軸方向へ自由自在に電場を形成しイオンの運動を制御することに成功した。得られたトラップ効率は約94%に達し、上記の質量測定実験の成功へと繋がった。

28年度はこれまでより多くの実験期間を予定しており、これまでよりさらに収量の少ない超ウラン元素の広範囲な測定を行う予定である。そのためのガスセルの性能向上や新たな検出器の開発も同時に進めていく予定である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ito Y., Arai F., Katayama I., Reponen M., Schury P., Sonoda T., Wada M., and Wollnik H.: “Current status of the gas cell ion beam cooler-buncher at SLOWRI”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 48 226 (2015)*

Ito Y., Arai F., Katayama I., Schury P., Sonoda T., Wada M. and Wollnik H.: “Ion Preparation Systems for Low-energy Experiments at SLOWRI”, JPS Conf. Proc., 6, 030112 (2015)*

Schury P., Wada M., Ito Y., et al.: “First Online Multi-Reflection Time-of-Flight Mass Measurements of Isobar Chains Produced by Fusion-Evaporation Reactions: Toward Identification of Super-Heavy Elements via Mass Spectroscopy”, Phys. Rev.

C, submitted*

(総説)

伊藤由太：“多重反射型飛行時間測定式質量分析器 MRTOF による短寿命核精密原子質量測定”，原子核研究，59巻2号，P.25

●口頭発表 Presentations

XXVI-015 ゲージ/重力対応を用いた強相関系の非平衡現象の解析

Analysis of Non-equilibrium Phenomena in Strongly Correlated Systems by Gauge/Gravity Correspondence”

研究者氏名:小川 軌明 Ogawa, Noriaki

受入研究室:仁科加速器研究センター

初田量子ハドロン物理学研究室

(所属長 初田 哲男)

前年度から行ってきた、

- (1) 重い中間子スペクトラムの性質に関する研究
- (2) 時間発展する系の量子纏れと、対応する重力時空の因果構造の関係に関する研究

に関して、それぞれ1編の論文が受理・出版された。さらに、閉じ込め・非閉じ込めの相境界の性質を、ゲージ/重力対応と数値計算を組み合わせる研究などを進めている。

またそれらと平行し、物理的手法を用いて生命系の非平衡現象を解明する研究を行っている。所属長の初田哲男主任、望月理論生物学研究室の望月敦史主任・立川正志研究員と共同で、成長する魚類網膜のパターン形成を研究し、複数の可能なパターンから特定のものが選択・実現される機構を解明した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hashimoto K., Ogawa N. and Yamaguchi Y.: ”Holographic Heavy Quark Symmetry”, JHEP 1506 (2015) 040*

Nakaguchi Y., Ogawa N. and Ugajin T.: ”Holographic Entanglement and Causal Shadow in Time-Dependent Janus Black Hole”, JHEP 1507 (2015) 080*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

(国内学会等)

伊藤由太：“多重反射型飛行時間式質量分析器 MRTOF による短寿命核精密原子質量測定”，日本物理学会，大阪，9月(2015)

伊藤由太：“SHE-Mass プロジェクトのための低速 SHE ビーム生成装置の開発”，日本物理学会，大阪，9月(2015)

Ogawa N.: ”Physical Approach to Fish Retinal Cone Mosaic”, RIKEN-NCBS Joint meeting for Theoretical Biology, April (2015)

Ogawa N.: ”Pattern formation in Fish Retina from Physical Model Approach”, YITP long-term workshop “New Frontiers in Non-equilibrium Physics 2015”, Kyoto, July (2015)

Ogawa N., Hatsuda T., Mochizuki A., Tachikawa M., “Theoretical Analysis of Fish Retinal Cone Mosaic Formation”, CJK Colloquium on Mathematical Biology & Annual meeting of Japan Society for Mathematical Biology, Kyoto, August (2015)

Ogawa N.: ”Nambu and Living World: Symmetry Breaking and Pattern Selection in Cellular Mosaic Formation”, Osaka CTSR - Kavli IPMU - RIKEN iTHES International workshop “Nambu and Science Frontier”, Osaka, November (2015)

(国内学会等)

小川軌明：「ゲージ/重力対応によるヘビークォーク対称性」，基研研究会「熱場の量子論」，京都，9月(2015)

小川軌明，初田哲男，望月敦史，立川正志：「スピン系類似モデルを用いた魚類網膜錐体モザイク形成の解析」，日本物理学会年次大会，大阪，9月(2015)

研究者氏名: 菊地 右馬 Kikuchi, Yuma

受入研究室: 仁科加速器研究センター

上坂スピン・アイソスピン研究室

(所属長 上坂 友洋)

2中性子ハロー核内の2中性子相関の様相を観測量から明らかとすることを目的として、 ${}^6\text{He}$ 及び ${}^{11}\text{Li}$ に対する準弾性過程の中性子ノックアウト反応の計算を行った。この反応は終状態相互作用の効果が抑制されることから、始状態における2中性子の空間分布により鋭敏であると考えられ、ハロー核内の2中性子相関の情報を引き出すのに有用であることが期待される。本研究では2核子相関を調べる指標としてノックアウト反応での放出2中性子の角度分布を用い、角度分布が始状態の2中性子の空間分布とどの程度対応しているかを議論した。

本年度は中性子ノックアウト反応における標的核依存性について議論し、標的核の吸収が基底状態の構造についての情報を定量的に議論する際にどの程度問題となるかを明らかとした。特に2中性子間の空間的な相関を議論する際には、吸収の効果による影響が大きく、実際の観測では陽子など透過性の高い標的核を用いることが本質的に重要であることが示された。

また、同様の理論模型を用いて ${}^9\text{Be}$ の構造と反応機構についても調べた。この核は価中性子が1つであるものの、分子軌道的な配位を持つため非常に興味深い。理論計算からは光分解反応において基底状態の π 軌道的な配位が励起機構に関係する可能性が示された。

●誌上発表 Publications

Odsuren, M., Kikuchi, Y., Myo, T., Aikawa, M., and Kat E, K.: “Virtual-state character of ${}^9\text{Be}$ $1/2^+$ state in ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ reaction”, *Phys. Rev. C* **92**, 014322 (2015).

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Kikuchi, Y., Ogata, K., Matsumoto, T., and Minomo, K.: “Dineutron correlation in two-neutron halo nuclei via breakup and knockout reactions”, 2nd International Workshop and 13th RIBF Discussion on Neutron-Proton Correlation, The University of Hong Kong, Jul. (2015).

(国内学会等)

菊地右馬, Odsuren, M., 明孝之, 加藤幾芳: “ ${}^9\text{Be}$ ($1/2^+$) の仮想状態的性質と光分解反応に対する寄与”, RCNP研究会「アイソスカラー型単極子遷移で探る原子核の励起状態とクラスター構造」, 大阪大学核物理研究センター, 7月 (2015)

菊地右馬, Odsuren, M., 明孝之, 合川正幸, 加藤幾芳: “複素レンジガウスを用いた ${}^9\text{Be}$ の構造と光分解反応”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪市立大学, 9月 (2015)

菊地右馬: “分解反応で探るハロー核内の2中性子相関”, KEK理論センター研究会「原子核・ハドロン物理の課題と将来」, 高エネルギー加速器研究機構, 11月 (2015)

The Role of Locus Coeruleus Noradrenergic Neurons in Fear Learning

研究者氏名: 植松 朗 Uematsu, Akira
受入研究室: 脳科学総合研究センター
記憶神経回路研究チーム
(所属長 Johansen Joshua Patrick)

Noradrenaline (NA) neurons in the locus coeruleus (LC) play an important role in mood, attention, cognitive processes, and learning through their projections to a diverse set of brain regions. In the last fiscal year, I found that LC-NA neuron is important for both fear and extinction learning by optogenetic manipulation and in-vivo electrophysiology of entire LC-NA neurons. However, emerging evidences have shown the anatomical heterogeneity in the LC-NA neurons. I thus hypothesized that anatomically distinct LC-NA subpopulation have functional heterogeneity, more precisely, different subsets of LC-NA neurons would be involved in fear or extinction learning. I focused on basolateral amygdala (BLA)-projecting and infralimbic cortex (IL)-projecting LC-NA neurons, because pharmacological studies found that NA signal is crucial for fear or extinction learning in these structures. To see projecting populations in LC, I injected either green or red retrobeads, which are fluorescent retrograde labeling tracers, into BLA and the other retrobead into the IL. I found BLA- and IL-projecting neurons are anatomically distinct in the LC. To prove functional roles of these subpopulations, I used rabies virus, in which glycoprotein is replaced by Arch-GFP protein, and implanted optical fiber over LC. Consistent with retrobead's study, Labeled LC neurons by rabies virus from BLA or IL are specific to NA neurons. One week after surgery I performed fear conditioning or extinction experiments in different groups. Optogenetic inhibition of BLA-projecting neurons during fear conditioning

impaired fear memory formation, while inhibition of IL-projecting neurons didn't have any effect on fear memory formation. As for extinction, optogenetic inhibition of IL-projecting neurons blocked both within-session extinction and extinction memory formation. Interestingly, inactivation of BLA-projecting neurons during extinction enhanced long-term extinction memory. Taken together, BLA and IL-projecting neurons are anatomically and functionally distinct. Recently, Luo's lab mapped axon collaterals of LC-NA neurons throughout the brain using new viral approach and found LC-NA neurons projecting to certain area have diverse projections overlapped with LC-NA neurons projecting to other area. To test whether BLA- or IL-projecting neurons have similar efferent projections, I injected retrograde Cre into either BLA or IL and Cre-dependent synaptophysin-mCherry into the LC. In this preliminary experiment, I found BLA or IL-projecting neurons have distinct projecting areas as well as overlapping projecting areas. I will continue to look into brain-wide axon collaterals of BLA or IL projecting neurons in the next fiscal year.

●Publications

Review articles

Uematsu A, Tan BZ, Johansen JP.: Projection specificity in heterogeneous locus coeruleus cell populations: implications for learning and memory. *Learning and Memory* 2015, 22(9)

XXVI-019

運動神経回路の形成に必要な筋内分岐メカニズムの解明
Searching for the Molecular Mechanism Underlying Intra-muscular
Arborization of Motor Nerves

研究者氏名: 永田 健一 Nagata, Kenichi
受入研究室: 脳科学総合研究センター
神経蛋白制御研究チーム
(所属長 西道 隆臣)

本研究では運動神経がどのようにして神経回路を形成するのか、形成機構の未知なる部分をユニークなノックアウトマウスを材料にして探索する。運動神経は骨格筋を収縮させることで、いわゆる「運動」を可能にする末梢神経である。ヒトには大小様々な約700種類の骨格筋が存在するが、運動神経と骨格筋は最初から隣接しているわけではない。胎生期の運動神経は、特定の骨格筋を目指して神経突起を伸ばし、数ある分岐点で適切な方向を選択する。さらに筋に到達した後も細かい分岐を繰り返し、最終的に神経筋接合部（シナプス）を形成する。以上のような運動神経回路の形成機構のうち、特に運動神経が骨格筋に到達した後にドラマチックに形態を変え、少しずつ分岐を繰り返し、筋全体を支配するための機構は明らかでない。申請者らは過去に運動神経の骨格筋内の分岐に顕著な異常が生じるDamage-Induced Neuronal Endopeptidase (DINE) ノックア

ウトマウスを見出した。本研究では、このDINE ノックアウトマウスを解析することで、運動神経の筋内分岐を誘導する因子の同定を目指す。誘導因子の同定により、運動神経がどのように筋内分岐を成し遂げ、骨格筋との間に適切な数のシナプスを形成するのか、その分子メカニズムの一端が明らかになると期待される。

本年度は、昨年度に引き続きレーザーマイクロダイセクションを用いて胎生期マウス筋の切片上からGFP陽性の運動神経のみを切り出し、含まれるタンパク質を網羅的に検出した。サンプルの切り出し面積やタンパク質の抽出方法を検討することで、1サンプルあたり2000を超えるタンパク質を同定することができた。現在は、DINE ノックアウトマウスの異常を検出するために、 O^{18} ラベルを用いたノックアウトマウス・野生型マウス間の比較定量解析を実行中である。

XXVI-020

様々な意識の消失状態に共通して適用可能な意識メーターの開発
Building a Consciousness Meter Commonly Applicable for Various Types of
Loss of Consciousness

研究者氏名: 大泉 匡史 Oizumi, Masafumi
受入研究室: 脳科学総合研究センター
脳数理研究チーム
(所属長 甘利 俊一)

近年、意識研究において意識の統合情報理論(Integrated Information Theory of Consciousness)が注目を集めている。この理論は情報理論の枠組みから脳内で情報がどれだけ統合されているかを測る量、統合情報量を定義し、統合情報量の大きさが意識レベルに対応するという仮説を提唱している。例えば、睡眠時等において意識レベルが下がっている時には脳内の統合情報量が大きく減少すると予測している。本研究は、統合情報理論の理論的な発展と

実験データを用いた検証を目的とする。最終的には統合情報量を基に、麻酔深度、睡眠深度のモニタリング、植物状態の患者の意識状態の判定などに適用可能な実用的「意識メーター」の開発を目指す。

本年度は以下の二つを行った。

(1) 情報幾何に基づいて、システムの中の要素間の相互作用を階層的に定量化する統一的な方法を提案した。この提案手法に基づいて新たな統合情報量の指標を提案した。論文のプレプリントをarXivにア

アップロードした。

(2) 提案した統合情報量の指標を猿 ECoG のデータに適用し、提案手法の有効性を検討した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Oizumi M., Amari S., Yanagawa T., Fujii N., Tsuchiya N.: “Measuring Integrated Information from the Decoding Perspective.”, PLoS Comput Biol 12(1): e1004654 (2016)*

Boly M., Sasai S., Gosseries O., Oizumi M., Casali A., Massimini M., Tononi G.: “Stimulus Set Meaningfulness and Neurophysiological Differentiation: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study.”,

PLoS ONE, 10(5), e0125337, (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Oizumi M.: “A unified framework for information integration based on information geometry”, 2nd Monash Brain Function Workshop, Melbourne, Australia, Dec. (2015)

Oizumi M.: “The integrated information theory of consciousness - theory and practice”, 6th Brain Research Institute Symposium in Niigata University on Neural mechanisms of brain functions that require awareness, Niigata, Japan, July. (2015)

XXVI-021 最先端ゲノム編集技術を用いたスフィンゴシン1リン酸 (S1P) の生理機能の解明

Analysis of Physiological Roles of Sphingosine 1-Phosphate (S1P) Using Genome-Editing Techniques

研究者氏名: 久野悠 Hisano, Yu
受入研究室: 脳科学総合研究センター
発生遺伝子制御研究チーム
(所属長 岡本仁)

スフィンゴシン1リン酸 (S1P) はリンパ球や癌細胞の遊走、骨代謝など様々な生理作用を制御する生理活性脂質である。細胞内において前駆体であるスフィンゴシンからスフィンゴシンキナーゼ (SPHK) によって合成された後、輸送体によって細胞外に放出され、S1P受容体に認識されることで様々な生理作用を発揮する。S1P受容体やその代謝酵素は発生期にも発現しており何らかの生理的役割を担っていると考えられるものの、個体発生期におけるS1Pシグナル伝達の役割については不明な点が多く残されている。

特定の遺伝子の生理機能を解析する手段として、その遺伝子が破壊されたときの表現型を調べる逆遺伝学的解析手法が有用である。ゼブラフィッシュは発生生物学研究に適したモデル脊椎動物だが、これまでゲノム編集技術が確立されていなかったため、主に順遺伝学的解析が行われてきた。最近、TALENやCRISPR / Cas9システムといった人工ヌクレアーゼを用いることで、マウス以外のモデル生

物やiPS細胞を含む幹細胞において遺伝子編集が可能となっていった。そこで人工ヌクレアーゼを用いたゼブラフィッシュの逆遺伝学的解析により、発生期におけるS1Pシグナリングの生理的役割の解明を目指す。

TALENによりS1P受容体及びS1P合成酵素の遺伝子破壊ゼブラフィッシュを樹立し、その表現型解析を行った。これまでにS1PR2受容体及びS1P輸送体 (SPNS2) の変異ゼブラフィッシュでは心臓形成異常が生じることが明らかとなっていたが、本研究により新たにSPHK2変異ゼブラフィッシュが同様の表現型を示すことを明らかとした。また発生初期胚のS1P量は母親由来のSPHK2によって制御されており、心臓発生過程においては母親由来のSPHK2に加えて接合体由来のSPHK2の両方が重要な役割を担っていた。これらの結果は心臓形成過程を制御するS1Pシグナル伝達経路として、“SPHK2-SPNS2-SPHK2”という一連の伝達機構を明らかとしたものであり、種を超えた普遍的な生理現象であ

るのか今後の解析が待たれる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hisano Y., Sakuma T., Nakade S., Ohga R., Ota S., Okamoto H., Yamamoto T. and Kawahara A.: “Precise in-frame integration of exogenous DNA mediated by CRISPR/Cas9 system in zebrafish.”, *Sci Rep*, 5 8841 (2015)*

Hisano Y., Inoue A., Okudaira M., Kotani H., Ohga R., Aoki J. and Kawahara A.: “Maternal and Zygotic *Sphingosine Kinase 2* are Indispensable for Cardiac

Development in Zebrafish.”, *J Biol Chem*, 290 14841-14851 (2015)*

Hisano Y., Inoue A., Taimatsu K., Ota S., Ohga R., Kotani H., Muraki M., Aoki J. and Kawahara A.: “Comprehensive analysis of sphingosine-1-phosphate receptor mutants during zebrafish embryogenesis.”, *Gens Cells*, 20 647-658 (2015)*

(単行本)

Hisano Y., Nishi T. and Kawahara A.: “Sphingosine 1-Phosphate Signaling via Transporters in Zebrafish and Mice.”, *Springer-Bioactive Lipid Mediators*, 207-220 (2015)

XXVI-022 スピン・擬スピン系における低エネルギー物理現象解析と スピン・擬スピントロニクスの開拓

The Study of Low energy Phenomena in Spin-Pseudospin Systems and the Development of Spin-Pseudospintronics

研究者氏名: 濱 祐介 Hama, Yusuke
受入研究室: 創発物性科学研究センター
強相関理論研究グループ
(所属長 永長 直人)

本研究の対象は量子ホール系である。この系は多数の電子から成り、電子のスピン及び擬スピンによって豊富な低エネルギー物理現象が生じる。一方量子ホール系には核スピンが存在し、これらが南部・ゴールドストーンモードのような低エネルギー集団励起と超微細相互作用を通じて結合した時、興味深い核スピンドイナミクスが生じることが期待される。

本研究の目的は量子ホール系を多数の電子と核スピンから成るハイブリッド量子系とみなし、超微細相互作用を通じた電子-核スピンドイナミクスの研究を行うことである。そのための第一歩として本年度では、U(1) スピン回転対称性の破れに伴う線形分散を持つ南部・ゴールドストーンモードと核スピン集団との相互作用の理論的解析を行った。その結果、この系のハミルトニアンは核スピン集団の様なラーモア歳差運動項、線形分散を持つ南部・ゴールドストーンモードの有効ハミルトニアン、そして一様な結合定数を通じた核スピン集団と南部・ゴールドストーンモードの相互作用項の3項から成るDickeモデルによって表されることがわかった。これより核スピンによる協力現象が生じることが期待さ

れる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Y. Hama, M. H. Fauzi, N. Nemoto, H. Hirayama, and Z. F. Ezawa: “Dicke Model for Quantum Hall Systems”, *New Journal of Physics*, 18 (2016) 023027.

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

1. Y. Hama: “Hybrid Quantum Hall Systems”, *Interdisciplinary Workshop on Quantum Device (IWQD) 2015, Tokyo, Japan, Oct. (2015)*

2. Y. Hama: “Hybrid Quantum Hall Systems”, *International Workshop: Quantum Nanostructures and Electron-Nuclear Spin Interactions, Sendai, Japan, Oct. (2015)*

3. Y. Hama: “Dicke Model for Quantum Hall Systems”, *APS March meeting 2016, Baltimore, USA, Mar. (2016)*

XXVI-023 ソリトン理論を用いた一般化ジョセフソン流と準結晶相における
トポロジカル現象の研究

Study of Generalized Josephson Current and Topological Phenomena in
Quasicrystalline Phase by Soliton Theory

研究者氏名: 高橋 大介 Takahashi, Daisuke
受入研究室: 創発物性科学研究センター
量子物性理論研究チーム
(所属長 古崎 昭)

本年度は、(1) トポロジカル欠陥の周囲に局在する南部ゴールドストーンモードの分散関係の有限サイズ効果、そして (2) 非従来超伝導体・フェルミ超流体におけるソリトンのダイナミクスに関して新奇かつ一般的な研究成果を得た。(1) と (2) の研究の概要は以下の通りである。

(1) 前年度の南部ゴールドストーンモードの分類理論の研究の更なる発展として、渦やドメインウォール等のトポロジカル欠陥の周囲に局在する南部ゴールドストーンモードを考察し、その分散関係の有限サイズ効果について解析的な結果及びその数値的証拠を得た。本成果は、非整数分散関係を持つモードを統一的に理解する方法についての展望も与えている。

(2) 超伝導体中の準粒子や秩序変数の記述には、ボゴリューボフ・ドジャン方程式と自己無撞着条件としてのギャップ方程式が用いられる。ギャップ方程式まで含む厳密解を得るのは通常困難であるが、低次元系においては可積分系の分野で知られる逆散乱理論を使うことにより解の構成が可能である。報告者は、この理論をスピン等の自由度を持つ多成分系へ一般化し、非従来超伝導・超流動系における多彩なソリトンの現象を解明することに成功した。更に、ソリトンに付随するマヨラナ粒子の運動についても論じた。これらの成果は、近年注目を集めるスピントロニクスや量子コンピューティングへの応用が期待できる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takahashi D. A., Kobayashi M., and Nitta M.: “Nambu-Goldstone modes propagating along topological defects: Kelvin and ripple modes from small to large systems”, *Phys. Rev. B* 91 184501 (2015)*

Takahashi D. A.: “Bogoliubov-de Gennes soliton dynamics in unconventional Fermi superfluids”, *Phys. Rev. B* 93 024512 (2016)*

Takahashi D. A.: “Exhaustive derivation of static self-consistent multi-soliton solutions in the matrix Bogoliubov-de Gennes systems”, submitted

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Takahashi D. A.: “Self-consistent Bogoliubov-de Gennes soliton dynamics in unconventional and multicomponent Fermi superfluids”, KEK Theory Workshop 2015 Dec, KEK, Tsukuba, Japan, Dec. (2015)

(国内学会等)

高橋 大介: “Recent topics in Nambu-Goldstone modes – counting quasi-NG modes, perfect tunneling phenomena, and oscillating topological defects”, 基研セミナー, 京都大学基礎物理学研究所, 6月 (2015)

高速な電場応答性を有する強誘電性カラムナー液晶の開発
Development of Ferroelectric Columnar Liquid Crystals Featuring
Rapid Polarization Reversal

研究者氏名: 宮島 大吾 Miyajima, Daigo

受入研究室: 創発物性科学研究センター

創発ソフトマター機能研究グループ

(所属長 相田 卓三)

強誘電性カラムナー液晶とは、直径数ナノメートルの分子が1次元上に集まりカラム構造を形成し、そのカラム軸に沿って自発分極を発現する材料である。強誘電性材料は不揮発性メモリへの応用が期待され、特に強誘電性カラムナー液晶は、液晶という動的な性質ゆえ、スピコートなどの溶液プロセスで素子を作成できるなどのメリットがある。さらに、究極的にはカラム1本1本が記憶素子として働く可能性があり、超高密度メモリの開発も望めるかもしれない。しかしながら、これまで報告されてきた強誘電性カラムナー液晶は1例しか無く、その物性は実用化に要求されるものには程遠かった。本研究では、既存の強誘電性カラムナー液晶の物性向上と、新しい材料の開発を分子デザインの観点から検討した。

本研究では最も実用化への障壁となっている、分極反転スピードの向上に焦点を当て取り組んだ。昨年度までの研究により、オリゴエーテルからなる側鎖を有した分子を添加物として混ぜ込むことで、分極反転スピードが著しく向上することを見出した。本年度はさらに添加物の種類などを体系的に調査することで添加物の役割を明らかにした。偏光顕微鏡観察より、添加物の混合により2次元ヘキサゴナルドメインの縮小が、X線構造解析よりカラム間距離の増大が確認できた。前者はカラム同士のパッキングが、また後者はカラム内における分子のパッキングが緩んだことを示唆している。そのため分子の運動性が向上し、分極反転スピードが向上したと考

えられる。

同様の添加物の効果利用した分極反転スピードの向上は限界があるため、さらに分子デザインの改良を試みた。分極コアに対応する中央のシアノ基の数を減らすことでカラム中央の立体的混み合いを減少させ、分子の運動性を高めることを期待した。その結果、分極反転スピードの向上もさることながら、カラムの軸が印加電場に対し平行に配向することを見出した。添加物だけでなく、分子構造を見直すことで一番最初に見出した強誘電性液晶に比べ、二桁以上応答スピードが向上することに成功した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Seunghyun Sim, Daigo Miyajima*, Tatsuya Niwa, Hideki Taguchi and Takuzo Aida*: "Tailoring Micrometer-Long High-Integrity 1D Array of Superparamagnetic Nanoparticles in a Nanotubular Protein Jacket and Its Lateral Magnetic Assembling Behavior", *J. Am. Chem. Soc.*, 137, 4658-4661 (2015)*

●口頭発表 Publications

(国内学会)

宮島大吾, "高分子化学にならう精密超分子重合法の開発", 高分子討論会, 仙台, 2015年9月16日

宮島大吾, "非平面モノマーが拓く超分子重合の可能性", 日本化学会, 京都, 2016年3月27日

根毛細胞をモデル系とした分化・脱分化の分子実体の解明
What is Cellular Differentiation and De-differentiation? Arabidopsis
Root Hair Cells As a Model System

研究者氏名: 池内 桃子 Ikeuchi, Momoko
 受入研究室: 環境資源科学研究センター
 細胞機能研究チーム
 (所属長 杉本 慶子)

本研究は、植物細胞の分化および脱分化現象の解析を通して、細胞分化の分子実体に迫ることを目指している。私はこれまでに、シロイヌナズナのポリコム抑制複合体2 (PRC2) 機能欠損体において、根毛細胞が脱分化するという新規表現型を見出した。PRC2機能欠損体では、根の水分や養分の吸収に特化した根毛細胞が野生型と同様に形成されるものの、分化状態が維持できず不定形の細胞の塊であるカルスを形成してさらには植物体の出発点である胚に戻ってしまうことを明らかにしてきた。さらに、PRC2が胚形成の制御因子である *LEC2* とカルス化誘導因子である *WIND3* の異所発現を防ぐことによって細胞の分化状態を維持していることを示し、今年度はその成果を *Nature Plants* 誌に発表した。また、細胞リプログラミング誘導因子に対するエピジェネティックな抑制機構に関する最新の知見を併せて議論し、*Curr Opin Plant Biol* 誌に総説を発表した。現在はPRC2を細胞の分化段階特異的に相補する実験を進めており、根毛細胞の形成前、あるいは形成中のそれぞれでのみ活性を持つプロモーターで機能的なPRC2サブユニットを発現させた植物体の作成を進めた。いずれにおいても表現型が相補され根毛の多細胞化が抑えられるという予備的な結果を得ており、確認実験を進めている。また野生型の植物で傷害によって細胞リプログラミングが誘導される現象についても解析を進めており、その過程では *WIND*

遺伝子の下流でホメオボックス型転写因子が重要な機能を果たすことが見えてきている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ikeuchi M, Iwase A, Rymen B, Harashima H, Shibata M, Ohnuma M, Breuer C, Morao AK, de Lucas M, De Veylder L., Goodrich J, Brady SM, Roudier F and Sugimoto K. “PRC2 represses dedifferentiation of mature somatic cells in Arabidopsis”. *Nature Plants*, 10.1038/NPLANTS.2015.89 (2015)*

(総説)

Ikeuchi M, Iwase A and Sugimoto K. “Control of plant cell differentiation by histone modification and DNA methylation”. *Curr. Opin. Plant Biol.* 28: 60-67 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

池内桃子：“植物細胞の分化可塑性およびその抑制機構”，日本植物学会，新潟，9月（2015）

Momoko Ikeuchi, Akira Iwase and Keiko Sugimoto: “Epigenetic control of plant regeneration and stem cell formation”，日本植物生理学会，岩手，3月（2016）

研究者氏名: 浅井秀太 Asai, Shuta
受入研究室: 環境資源科学研究センター
植物免疫研究グループ
(所属長 白須賢)

植物と病原菌は、自身の存続をかけた攻防により共進化してきた。植物病原菌はエフェクターと呼ばれるタンパク質を植物細胞内に注入し抵抗反応を抑制することで、感染を成立させている。一方、抵抗性を示す植物は、抵抗性 (resistance: R) 遺伝子産物を用いてエフェクターを認識し、防御応答を誘導する。つまり、R 遺伝子により認識されるエフェクターは本来強力に植物の抵抗反応を抑制する能力を有していることが考えられる。そこで、植物病原菌の異なる分離株と宿主植物の異なる遺伝子型間の親和性・非親和性の関係に注目した。本研究では、これら宿主病原菌間の比較ゲノミクス、および比較トランスクリプトミクスにより、R 遺伝子に認識されるエフェクターを同定、またそのエフェクターが標的とする宿主側の因子を同定・解析することにより、エフェクターの罹病性誘導機構、ならびに植物の病害抵抗性誘導機構を解明する。本研究では、植物と病原菌の攻防における感染の決定機構が明らかとなるため、本研究が完成されれば、広範囲かつ永続的な新規のメカニズムによる病害防除法の開発が可能となり、危惧されている世界的な食糧問題の解決に貢献するものと期待される。

昨年度までに、シロイヌナズナの R 遺伝子 RPP4 により認識されるべと病菌エフェクター ATR4 を同定し、ATR4 は宿主細胞内で細胞質と核内、特に核小体に局在すること、および核内に局在することが RPP4 による認識に必要であることを明らかにしていた。今年度、RPP4 による認識を回避しているべと病菌分離株 Hind2 由来の ATR4 アレル (ATR4^{Hind2}) に注目し、詳細な解析を行ったところ、ATR4^{Hind2} では ATR4 が持つ機能的な核局在シグナル配列 (NLS) 内に遺伝子変異が見つかり、その変異により宿主細胞内局在を変化させることで、RPP4 による認識を回避していることを明らかにした。今後、ATR4 の病原性因子としての機能を明らかにするために、相互作用因子 (標的タンパク質) を同定し、

解析を行う予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Asai S., Shirasu K. and Jones J.D.G.: "Hyaloperonospora arabidopsidis (downy mildew) infection assay in Arabidopsis" Bio-protocol 5(20) e1627 (2015)*

(総説)

Asai S. and Shirasu K.: "Plant cells under siege: plant immune system versus pathogen effectors" Current Opinion in Plant Biology 28 1-8 (2015)*

浅井秀太, 白須賢: "植物と病原微生物の相互作用と作物保護" 難培養微生物研究の最新技術 III - 微生物の生き様に迫り課題解決へ-, シーエムシー出版刊, 125-134 (2015)

吉岡博文, 安達広明, 石濱伸明, 中野孝明, 白石佑太郎, 宮川典子, 野村裕也, 吉岡美樹, 浅井秀太: "リン酸化反応が制御する ROS パーストの分子機構" 日本植物病理学会報 81 1-8 (2015)

●口頭発表 Oral presentations

(国内学会等)

浅井秀太, Wu J., 津田賢一, 白須賢: "Pto DC3000 avrRpt2 に抵抗性を示す dde2/ein2/pad4/sid2 の復帰突然変異体の同定" 平成 28 年度日本植物病理学会大会, 岡山, 3 月 (2016)

Asai S., Wu J., Tsuda K., and Shirasu K.: "Screening for and characterization of revertant dde2/ein2/pad4/sid2-quadruple mutants showing resistance to Pseudomonas syringae pv. tomato DC3000 AvrRpt2" 第 57 回日本植物生理学会年会, 岩手, 3 月 (2016)

浅井秀太, Furzer O.J., Cevik V., Ishaque N., 白須賢, and Jones J.D.G.: "べと病菌エフェクター ATR4 は宿主細胞内局在変化により抵抗性遺伝子 RPP4 による認識を回避する" 平成 27 年度日本植物病理学会関東部会, 宇都宮, 9 月 (2015)

●ポスター発表 Poster presentations

(国外学会等)

Asai S., Furzer O.J., Cevik V., Ishaque N., Shirasu K., and Jones J.D.G.: Comparative genomics and transcriptomics reveal ATR4, a downy mildew effector that evades recognition by polymorphism of expression and localization” the 4th International Conference on Biotic Plant Interactions. Nanjing, China, 8

月 (2015)

(国内学会等)

浅井秀太, Furzer O.J., Cevik V., Ishaque N., 白須賢, and Jones J.D.G.: “抵抗性遺伝子RPP4により認識されるべと病菌エフェクター ATR4の同定および認識回避機構” 平成27年度植物感染生理談話会, 松山, 8月 (2015)

XXVI-029

寄生植物の進化発生学

Evolutionary Developmental Biology of Parasitic Plants

生物は多様な生物間の相互作用のもとで生活している。その中で、限られた水や栄養などの環境リソースを他の個体から取奪する「寄生」が進化した。一見複雑な形質にもかかわらず、寄生植物は異なる科から何度も独立に出現し、収斂進化が起きている。また寄生植物は世界規模で農作物に被害を与えており、これは人類の食糧・エネルギー問題において早急に解決すべき課題である。しかしながら、寄生を進化させたメカニズムは明らかでなく、寄生植物による被害への対策も今のところ成功していない。そこで本研究では、寄生の分子メカニズムの理解を目的とし、ひいては寄生の収斂進化を可能とした分子メカニズムの理解を目指す。本研究計画では、異なる進化系統の寄生植物種を用いた比較トランスクリプトーム解析を行い、系統を超えた「寄生に必要な不可欠な遺伝子セット」の同定を行う。本研究から得られる知見は、生物進化の理解という基礎科学に貢献するとともに、将来的に農業利用にも貢献できる。その応用例の一つとして、寄生のキー遺伝子を機能停止させる農作物を作成することで、寄生植物による被害の解消につながる事が期待される。

本年度では、以下の成果を得た：

- (1) 前年度に確立したハイスループットなRNA-seqライブラリー作成方法により、サンプルが入手できたカナビキソウを対象にトランスクリプトーム解析を行った。
- (2) 得られたトランスクリプトームのシーケンス

データについて、*De novo* assemblyを行い、

カナビキソウの地下部における網羅的な遺伝子発現を明らかにした。

- (3) 先行して行ったストライガとネナシカズラのトランスクリプトームに対して、カナビキソウのデータを比較することで、寄生のキー遺伝子候補をさらに絞ることができた。
- (4) 候補遺伝子の機能解析として、機能破壊のCRISPR、過剰発現、転写抑制SRDX、プロモーター活性の解析用コンストラクションを行った。
- (5) 機能解析に使用するモデル寄生植物としてコシオガマについて、その吸器（寄生に必須の器官）形成における詳細なトランスクリプトーム解析を行った（データ解析中）。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Townsley B.T., Covington M.F., Ichihashi Y., Zumstein K. and Sinha N.R.: “BrAD-seq: Breath Adapter Directional sequencing: a streamlined, ultra-simple and fast library preparation protocol for strand specific mRNA library construction”, *Frontiers in Plant Science*, 6 366 (2015)*

Chitwood D.H., Kumar R., Ranjan A., Pelletier J.M., Townsley B., Ichihashi Y., Martinez C.C., Zumstein K., Harada J.J., Maloof J.N., and Sinha N.: “Light-

induced indeterminacy alters shade avoiding tomato leaf morphology”, *Plant Physiology*, doi: [http:// dx. doi. org/ 10. 1104/ pp. 15. 01229](http://dx.doi.org/10.1104/pp.15.01229) (2015)*

(総説)

Ichihashi Y.: “Developmental mechanism underpinning leaf shape evolution”, *Plant Morphology*, 26 43-50 (2015)

Ichihashi Y. and Tsukaya H.: “Behavior of Leaf Meristems and Their Modification”, *Frontiers in Plant Science*, doi.org/10.3389/fpls.2015.01060 (2015)*

●口頭 (ポスター) 発表 Presentations

(国際学会等)

Ichihashi Y, Yoshida S, Sinha N, Shirasu K.: “Molecular Basis for the Convergent Evolution of Parasitism in Plants”, The 13th World Congress on Parasitic Plants, Kunming, July (2015) Poster

(国内学会等)

市橋泰範, 吉田聡子, Sinha N. 白須賢: “寄生植物の収斂進化を支える分子基盤”, 第8回Evo-devo

青年の会, 名古屋, 6月 (2015) ポスター

市橋泰範: “植物の進化発生学における比較トランスクリプトーム解析”, 日本線虫学会第23回大会 名古屋, 9月 (2015)

市橋泰範, 吉田聡子, Sinha N. 白須賢: “寄生植物 □収斂進化を可能とした遺伝的メカニズム”, 日本植物形態学会第27回大会, 新潟, 9月 (2015) ポスター

市橋泰範, 福島敦史, Chitwood D.H., Headland L.R., Kao J., Peng J., 白須賢, Sinha N.: “転写制御ダイナミクスの比較解析 - 葉の発生の種間変異を例に”, 日本植物学会第79回大会, 新潟, 9月 (2015)

市橋泰範, Aguilar-Martínez J. A., Farhi M., Chitwood D, H., Kumar R., Millon L. V., Peng J., Maloof J. N. and Sinha N. R.: “共発現ネットワーク解析で明らかにするトマト近縁種の葉の形態進化”, 日本植物学会第79回大会, 新潟, 9月 (2015)

XXVI-030

原形質連絡を介する細胞間情報伝達の制御メカニズムの解明

Elucidation of Regulatory Mechanism for Cell-to-cell Communication through Plasmodesmata

研究者氏名: 北川宗典 Kitagawa, Munenori
受入研究室: 環境資源科学研究センター
生産機能研究グループ
(所属長 榊原 均)

植物細胞は細胞間情報伝達のための経路の一つとして原形質連絡と呼ばれるトンネル状の構造体を細胞壁に持っている。様々な分子の細胞間移動を仲介する原形質連絡は植物の発生や環境応答の中でその透過度が動的に制御されていることが知られており、この制御は細胞間情報伝達の適切な調節を通して植物の正常な発生や応答に重要な役割を果たしていると考えられている。本研究では、モデルコケ植物であるヒメツリガネゴケを用い、この原形質連絡の透過度の制御と植物の環境応答に機能する植物ホルモン・アブシジン酸 (ABA) との関係性を明らかにし、植物の環境応答の中で原形質連絡がどのような仕組みで制御されているのかを明らかにすることを目的としている。

これまでに、原形質連絡の透過度がABA存在下において低下することを明らかにしており、本年度はこの現象を詳しく調査した。その結果を以下に示す。

- (1) 原形質連絡の透過度は処理したABAの濃度依存的に低下した。
- (2) ABA依存的な透過度の低下はABA処理から1時間以内に起こる比較的速い応答であった。
- (3) ABA依存的な透過度の低下はABAを取り除くことで再び回復する可逆的な応答であった。
- (4) ABA合成欠損変異体では野生型に比べて原形質連絡の透過度が大きいことがわかった。
- (5) 電子顕微鏡観察の結果、ABAを処理すると原形質連絡の孔の入り口が構造的に狭まっている。

ることがわかった。

(6) 活性酸素のスキャベンジャーを処理すると、ABA存在下であっても原形質連絡の透過度の低下が起こらないことがわかった。

以上の結果をまとめると、ヒメツリガネゴケでは細胞内のABAレベル依存的に原形質連絡の透過度が動的に制御されており、またABAは原形質連絡の孔を構造的に狭めることでその透過度の低下を引き

起こしていることが推測された。また、ABAは活性酸素シグナルを介して原形質連絡の構造変化を引き起こしている可能性も示唆された。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

北川宗典: “アブシジン酸依存的な原形質連絡制御”, 2015年度北海道植物学会大会, 札幌, 12月 (2015)

XXVI-031

種子に蓄積したmRNAの安定性に着目した種子寿命と活力を制御する分子機構の解明

Regulation of Stored mRNAs in Seeds Involved in Seed Longevity and Vigor

研究者氏名: 佐野直人 Sano, Naoto
受入研究室: 環境資源科学研究センター
適応制御研究ユニット
(所属長 瀬尾光範)

作物の中には種子が発芽能力を有する期間、すなわち種子寿命が極めて短いものも多く、その改善が求められている。一方、種子の発芽時のタンパク質合成では、種子形成時に転写され乾燥種子中に蓄積したstored mRNAが鋳型として利用される。発芽誘導に関わるstored mRNAをより安定的に保持できれば、種子が発芽能力を有する期間、すなわち種子の寿命をより長く改善できる可能性がある。一般にRNAの機能制御には、RNA結合タンパク質が関与することが知られている。そこで、stored mRNAの安定性と種子寿命の関係性を明らかにすることを目的として、種子中のRNA結合タンパク質に着目した。昨年度は、候補としたRNA結合タンパク質の欠損変異体がシロイヌナズナの種子寿命に与える影響を解析した。その結果、単一遺伝子の欠損変異体では、種子寿命の減少が認められなかったため、本年度は、候補RNA結合タンパク質と相同性の高い遺伝子群の多重欠損変異体の作出を行った。また予想に反し、グリシンリッチ型RNA結合タンパク質の1種の欠損変異体の種子寿命は、野生型よりも延長される可能性が示唆された。そこでこのRNA結合タンパク質の制御下にあるRNAの探索も実施している。

作物の種子寿命を制御する上で、もう一つ重要な視点として「プライミング処理」が挙げられる。プライミング処理は、種子を発芽が伴わないように一

時的に吸水させた後、元の種子含水率まで乾燥させる一連の処理であり、発芽の速度や斉一性を向上させるため広く用いられているが、処理後の種子寿命が短くなってしまいう問題がある。しかしながらこの一時的な吸水が種子の寿命を喪失させる分子機構は、ほとんど明らかにされていない。昨年度は、235種類のシロイヌナズナの自然変異系統の中からプライミング後の種子寿命が、標準系統のCol-0よりも著しく長い系統を明らかにした。本年度は、その系統と標準系統のCol-0との間の組換え自殖系統(RIL: Recombinant inbred line)を用いて、QTL解析を実施した。その結果、第1および第3染色体上に、プライミング処理後の種子寿命に関する主要なQTL候補領域を検出した。現在、原因遺伝子の詳細なマッピングを試みている。

●誌上発表 Publications

(総説)

Sano N., Rajjou L., North HM., Debeaujon I., Marion-Poll A. and Seo M.: “Staying Alive: Molecular Aspects of Seed Longevity”, *Plant and Cell Physiology*, in press

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

佐野直人, 瀬尾光範: “シロイヌナズナRILを用い

たプライミング処理後の種子寿命に関するQTL解析”, 第36回種子生理生化学研究会, 長野, 11月(2015)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Sano N. and Seo M.: “Seed Longevity of *Arabidopsis*

Natural Variations after Priming Treatments”, 26th International Conference on Arabidopsis Research, Paris, France, Jul. (2015)

(国内学会等)

佐野直人, 瀬尾光範: “シロイヌナズナのプライミング処理後の種子寿命に関するQTL解析”, 第57回日本植物生理学会年会, 岩手, 3月(2015)

XXVI-032 15-リポキシゲナーゼによる好酸球性気道炎症の制御機構の解明

Role of 15-lipoxygenase in the Regulation of Pulmonary Eosinophilic Inflammation

研究者氏名: 宮田 純 Miyata, Jun

受入研究室: 統合生命医科学研究センター

メタボローム研究チーム

(所属長 有田 誠)

重症喘息ではステロイド抵抗性の難治性の好酸球性炎症が認められる。重症喘息患者由来の好酸球において脂質代謝酵素の15-リポキシゲナーゼの活性(以下、15-LOX)が減弱し、プロテクチンD1に代表される15-LOX由来の抗炎症性脂質メディエーターの産生が低下している。本研究では、(1)好酸球の15-LOX活性が減弱する機序、(2)15-LOX活性の低下が好酸球性気道炎症に与える影響について明らかとすることが目的である。生体内における15-LOXの代謝異常の原因を解明すること、15-LOX代謝物であるプロテクチンD1等の作用点について受容体レベルで特定することにより、病態解明・創薬応用にまで研究成果が発展していくことが期待される。

本年度は、ヒト末梢血由来好酸球・重症喘息患者末梢血由来好酸球・好酸球副鼻腔炎患者鼻茸由来好酸球を単離し、解析を行った。

(1) プロテオミクス解析・トランスクリプトミクス解析において15-LOXを含む多くの脂肪酸代謝に関わる酵素群が同定可能であり、蛋白量とFPKM値の間に相関関係を認めた。リピドミクス解析を駆使することで、15-LOX代謝におけ

るmRNA発現・蛋白量との間にも相関関係があることが確認され、好酸球の脂肪酸代謝研究におけるマルチオミクス解析の有用性が示された。

(2) 重症喘息患者及び好酸球性副鼻腔炎患者由来の好酸球では、15-LOX代謝物の産生減少・システイニルロイコトリエン産生経路の特徴的な変化が観察された。IL-5等の炎症性サイトカインを用いることで一部の脂質代謝異常は健康者末梢血由来好酸球を用いた*in vitro*実験にて再現可能であり、特徴的な酵素発現の制御が代謝の変化に重要であることが示唆された。

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Jun Miyata, Koichi Fukunaga, Koichiro Asano, Makoto Arita.: “Dysregulated lipid metabolism controlled by 15-lipoxygenase and cyclooxygenase in eosinophils from patients with severe asthma”, 14th international conference on Bioactive Lipids in Cancer, Inflammation and Related Diseases, Budapest, Hungary, July.(2015)

研究者氏名: 田之上大 Tanoue, Takeshi
受入研究室: 統合生命医科学研究センター
消化管恒常性研究チーム
(所属長 本田賢也)

我々はこれまでにTreg細胞を強力に誘導するヒト腸管由来クロストリジア17細菌株を同定・単離した。昨年度に行った研究により、そのうち13菌株で十分にTreg細胞を誘導できることを確認した。そこで今年度は下記2点を検討した。

(1) 誘導されたTreg細胞の免疫学的特性

一般に、Treg細胞が免疫応答をmodulateする様式はいくつか知られている。そこで、本研究で同定したクロストリジアで誘導されるTreg細胞のケースについて検討するために、その免疫学的特徴をフローサイトメトリーにより調べた。その結果、誘導されたTreg細胞は免疫抑制性のサイトカインであるInterleukin-10 (IL-10)を強く発現していた。さらには、Treg細胞の起源分類に用いられる分子であるHeliosを低発現していた。このことから、誘導されたTreg細胞は、胸腺で生産されるthymic Treg細胞ではなく、末梢組織(腸管)において誘導されるperipheral Treg細胞であり、IL-10産生を介して免疫抑制に寄与すると考えられる。さらに他の分子の発現を解析したところ、誘導されたIL-10⁺ Helios^{low} Treg細胞はROR γ tという転写因子を発現していた。ROR γ t⁺ Treg細胞は、とくにType2型免疫応答により生じる腸炎モデルを緩和することが報告されている。そのため、本研究で同定したクロストリジアはアレルギー性の過敏性腸症候群などの治療に応用できる可能性が考えられる。

(2) 腸管定着量のダイナミクスとコミュニティ組成
実際にプロバイオティクスとして用いる菌株の組合せをrationallyにデザインするには、腸内定着性におけるkey playerや外因性perturbation(食生活の変化など)に強い菌株を理解することが重要である。そこで、各菌株の定着量について、そのダイナミクスと食事内容の変化による影響

を検討した。各菌株を個別に検出するqPCR primerを作成し、便DNA中における各株のDNA含量を測定することで定着量を検討した。無菌マウスにクロストリジア13菌株(Strain 4, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 16, 21, 26, 27, 28, 29)を投与し、標準食(高食物繊維)で5週間飼育後、エサを低食物繊維食(LFD; Low Fiber Diet)に切り替え2週間飼育し、再び標準食にて2週間飼育した。実験期間中は1日もしくは2日に1度の頻度で採便した。結果、投与後1週間は個体により各株の定着量に差が認められた。しかし、その後5週目までは安定したコミュニティ構成様式を示した。実際、その組成はminor(Strain 6, 14, 21, 26: 便DNA 1ngあたり0.01ng未満)、moderate(Strain 7, 9, 13, 16, 28: 同0.01~0.1ng)、major(Strain 4, 27, 15, 29: 同0.1~0.5ng)に大別されるグループにより構成されていた。さらに興味深いことに、餌をLFDにスイッチすることでその構成は大きく変動した。具体的には、定着量が減少(Strain 4, 15, 28)、不変(Strain 7, 9, 16, 21)または増加(Strain 6, 13, 14, 26, 27, 29)する挙動の3パターンに分かれた。以上の解析から、全体のコミュニティ組成をstableに保つ候補株としてStrain15, 4, 21, 14などがピックアップされた。今後、その実証とTreg誘導能との関係を解析予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

**Atarashi K., **Tanoue T., **Ando M., **Kamada N., Nagano Y., Narushima S., Suda W., Imaoka A., Setoyama H., Nagamori T., Ishikawa E., Shima T., Hara T., Kado S., Jinnohara T., Ohno H., Kondo T., Toyooka K., Watanabe E., Yokoyama S., Tokoro S., Mori H., Noguchi Y., Morita H., Ivanov II., Sugiyama T., Nuñez G., Camp JG., Hattori M., Umesaki Y.

and Honda K. : “Th17 cell induction by adhesion of microbes to intestinal epithelial cells.”, *Cell*, 163 367-380 (2015)*, **These authors contributed equally to this work

Nishio J., Baba M., Atarashi K., Tanoue T., Negishi H., Yanai H., Habu S., Hori S., Honda K. and Taniguchi T. : “Requirement of full TCR repertoire for regulatory T cells to maintain intestinal homeostasis.”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.*, 112 12770-12775

(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

Tanoue T., Atarashi K., Nagano Y., Narushima S., Umesaki Y. and Honda K.: “SFB-mediated Th17 cell induction is influenced by mouse genetic background”, 第44回日本免疫学会学術集会, 札幌, 11月 (2015)

XXVI-034

The Role of lncRNAs in Polycomb Repressive Complex Recruitment

Name: Juan Guillermo Betancur Medina

Host Laboratory: Center for Integrative Medical Sciences

Laboratory for Developmental Genetics

Laboratory Head: Haruhiko Koseki

Polycomb group (PcG) proteins are important regulators of embryonic development via the catalysis of repressive modifications on histones. They form 2 major protein complexes: polycomb repressive complex 1 (PRC1) which monoubiquitinates lysine 119 of histone H2A and polycomb repressive complex 2 (PRC2), which tri-methylates lysine 27 of histone H3. Together these histone modifications act to silence development-associated genes. The activities of PRC1 and PRC2 are regulated in a dynamic manner during the cellular differentiation process by numerous cellular factors including various RNA species that directly interact with PRC1 and PRC2. However, the extent of RNA-mediated regulation of PcG function and its mechanisms still remain poorly understood. I am analyzing the role of RNA in 2 different contexts.

1. RNA binding activity of the AT-hook domain of Cbx2

Chromobox domain-containing proteins (Cbx) are major components of PRC1 that recognize tri-methylated H3K27 deposited by PRC2. In vitro one of the Cbx isoforms, Cbx2, interacts with spliceosome components in an RNA-dependent manner. The RNA binding region of the protein was mapped to a small domain, known as AT-hook, which is not present in other

Cbx proteins. To characterize the nucleic acid binding activity of Cbx2 I performed gel shift assays with recombinant Cbx2 proteins and found that single stranded RNA is bound directly by Cbx2 with higher affinity than any other nucleic acid substrates tested. To understand the role of the RNA binding activity of this protein, I have engineered mouse ES cells expressing wild type or RNA-binding mutant Cbx2. Mutant Cbx2 is correctly incorporated in PRC1 and binds to tri-methylated H3K27 with similar efficiency to the wild type protein. However, in mutant Cbx2 expressing cells certain PcG target genes are de-repressed which suggests a role for the RNA binding activity of Cbx2 in the function of PRC1. Further experiments are underway to uncover whether the effects on the de-repression of gene expression are due to defects in the recruitment or function of PRC1 or to deficient splicing.

2. Exploration of the role of R-loops in the recruitment and function of PcG proteins

R-loops are physiological structures that comprise a displaced single stranded DNA and an RNA-DNA hybrid formed between a nascent RNA and the complementary DNA strand. They are endogenously processed by RNaseH1 and RNaseH2 enzymes, which degrade the RNA moiety of the hybrids. R-loops alter

the double stranded nature of the underlying DNA and they potentially affect the binding of chromatin modifying complexes. In fact, R-loop formation has been shown to correlate with the deposition of diverse epigenetic modifications, including PcG protein catalytic products. To analyze PcG protein recruitment and function as well as maintenance of the pluripotent state in mouse ES cells in the context of increased R-loop formation, RNaseH1 and RNaseH2b knockout mouse are being generated. Simultaneously, the conditions for the detection of R-loop formation in ES cells have been determined and will be used to profile R-loops ge-

nomewide in wild type and RNaseH knockout cells.

●Publications

Original article

Betancur J.G.; Tomari Y.: Cryptic RNA-binding by PRC2 components EZH2 and SUZ12. *RNA Biol*, 2015. 12:9, 959-965 published *

Review article

Betancur J. G.: Pervasive lncRNA binding by epigenetic modifying complexes - The challenges ahead. *Biochim Biophys Acta*, 2016. 1859: 93-101 published *

XXVI-035

中赤外およびテラヘルツ領域における偏光渦発生

Mid-infrared and Terahertz Polarization Vortex Generation

研究者氏名: 時実悠 Tokizane, Yu

受入研究室: 光量子光学領域

テラヘルツ光源チーム

(所属長 南出 泰亜)

本研究の目的は特異点をもつ光渦をテラヘルツ (THz) 周波数領域で自在に発生する事である。これにより THz 周波数領域の非破壊検査において、回折限界を超える解像度の実現可能性が生まれる。1THz以下のサブTHz周波数の電磁波は物質に対する吸収が少ない為、絵画の分析や違法薬物検査などの非破壊検査に応用されている。しかし電磁波の回折限界で決まる測定の分解能は、光波に比べ数百分の一程度に制限される。一方、可視光領域では偏光分布や位相分布に特異点を持つ光渦を応用し、回折限界に縛られない超高解像分解能の光学イメージングが実現している。

サブTHz周波数領域で光渦が周波数可変に発生可能になれば、この周波数帯における電磁波の透過性を活かしたまま広い周波数範囲で高い分解能の非破壊検査の実現が期待される。これは非破壊検査の技術的可能性を格段に広げる。本研究では申請者が持つTHz発生技術と光渦発生技術を融合し、この領域における周波数可変なサブTHz光渦発生を実現する。

今年度は差周波発生を用いて、有機非線形結晶DASTを用いた高出力周波数可変サブTHz波光源の開発を実現した。差周波発生によるサブTHz波発

生には、周波数上で近接した近赤外二波長光を用意する事が必要となる。従来の方法では実現が難しい為、独自の1.3 μm帯二波長光注入型光パラメトリック発生 (injection seeded optical parametric generation, is-OPG) を開発し、1.3 μm帯でサブTHz周波数差に分離されたピークを観測した。

さらにこの光源を用いてDAST結晶を励起し差周波発生によるサブTHz波発生を行った。サブTHz波の最大出力は0.65 THzで80 pJであり、ピークパワー130 mW相当する。また0.3 THzから4 THzに至る広帯域で周波数可変THz波発生を実現した。本成果をCLEO Europe 2015に報告した。開発した光源は、サブTHz領域における室温動作可能な高エネルギー・広帯域周波数可変光源であり、様々な技術に応用可能である。今後さらにサブTHz波の利用可能性を広げるため、開発した周波数可変サブTHz波を利用し、サブTHz偏光渦発生に取り組む。

●誌上发表

(その他)

時実 悠・縄田耕二・韓 正利・小山美緒・野竹孝志・瀧田佑馬・南出泰亜 “高出力周波数可変サブTHz波発生のための非線形波長変換技術”, 信学

技報, IEICE Technical Report, 第115巻387号 pp53-58 (2015)

●口頭発表 Presentations

(国際学会等)

Yu Tokizane, Yoshihiko Miyake, Kouji Nawata, Shuzhen Fan, Shin'ichiro Hayashi, Takashi Notake, Atsushi Sato, Yuma Takida, and Hiroaki Minamide, Sub-THz wave generation from DAST crystal pumped by an is-BBO-OPG system, European Conference on Lasers and Electro-Optics - European Quantum Electronics Conference, 2015, paper CC_P_7 (oral).

(国内学会等)

Yu TOKIZANE, Yoshiki MIYAKE, Kouji NAWATA, Shuzhen FAN, Shin'ichiro HAYASHI, Takashi NOTAKE, Atsushi SATO, Yuma TAKIDA, Hiroaki MINAMIDE, "Tunable sub-THz wave source from DAST-DFG pumped by a dual-wavelength, injection-seeded BBO OPG system," The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT 2015) Hamamatsu, Shizuoka Aug. 30-Sep. 2 2015. [Poster]

Y. Tokizane, Y. Miyake, K. Nawata, S. Fan, S. Hayashi, T. Notake, A. Sato, Y. Takida, and H. Minamide, "Sub-THz wave generation in DAST-DFG configu-

ration pumped by a dual-wavelength, injection-seeded BBO OPG system," ALPS'15, ALPSp14-55, Pacifico Yokohama, Japan (Apr. 24, 2015). [Poster]

時実 悠・縄田耕二・韓 正利・小山美緒・野竹孝志・瀧田佑馬・南出泰亜 "高出力周波数可変サブテラヘルツ波発生のための非線形波長変換技術", 電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ電子デバイス研究会 s2-5, 東北大学電気通信研究所 (2015年12月22日) (口頭)

時実 悠, 南出泰亜, "高量子変換効率0.3-4 THz DAST差周波THz波発生", 理研RAPシンポジウム第3回量子工学研究, 理化学研究所梅太郎ホール, 和光 (Nov.12-13, 2015). (ポスター)

時実 悠, 縄田 耕二, 韓 正利, 小山 美緒, 野竹 孝志, 瀧田 佑馬, 南出 泰亜, "光注入型・光パラメトリック光源を用いた周波数可変サブテラヘルツ波発生," シンポジウム: テラヘルツ科学の最先端II, P-7, 作並温泉岩松旅館 (2015年11月19日). (ポスター)

時実 悠, 縄田 耕二, 韓 正利, 小山 美緒, 野竹 孝志, 瀧田 佑馬, 南出 泰亜, "光注入型光パラメトリック発生を励起光とした広帯域周波数可変なサブテラヘルツ波光源," 2015年第76回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-2J-6, 名古屋国際会議場 (2015年9月16日) (口頭)

XXVI-036 高感度・可搬型コヒーレントテラヘルツ検出装置の開発
Sensitive Terahertz Detection Based on Frequency Up-conversion and Its Applications.

研究者氏名: 縄田 耕二 Nawata, Kouji
受入研究室: 光量子工学研究領域
テラヘルツ光源研究チーム
(所属長 南出 泰亜)

基礎科学特別研究員2年目の本年度は、非線形光学波長変換を用いたテラヘルツ検出の高感度化に向けて、検出および発生についてそれぞれ以下の研究に取り組んだ。

検出側では、昨年度に行ったニオブ酸リチウム結晶を用いた斜周期分極反転素子によるテラヘルツ波検出技術のさらなる高感度化に向けて、和周波発生によるテラヘルツ波検出を提案し、検出感度の究極

といえる単一テラヘルツ光子検出の可能性を示した。得られた結果は国際会議IRMMW-THz2016で口頭発表を行った。また、斜周期分極反転素子を用いた実用的なテラヘルツ波検出装置として、光ファイバー技術と融合させた小型検出システムの構築にも取り組んだ。構築された小型検出システムは産学共創基礎基盤研究プログラムの最終報告で高い評価を受けるとともに、国際会議 TERA-MIR2015 の招

待講演になるなど世界的に高い注目を浴びている。

発生側では、これまでの研究によってニオブ酸リチウム結晶における誘導ブリルアン散乱抑制によって高効率テラヘルツ波発生を実現してきた。本年度は、これまで明らかにされてこなかったテラヘルツ波発生効率における励起光パルス幅依存性、特に音響フォノン緩和時間に相当するサブナノ秒領域における依存性について研究を行った。結果として、サブナノ秒のパルス幅を持つ励起光源を用いることで誘導ブリルアン散乱の影響を完全に抑制することができ、高効率テラヘルツ波発生可能であることが明らかになった。この成果は学術雑誌 *Applied Physics Letters* へ投稿中である。また、精密な測定が困難であったニオブ酸リチウム結晶における光パラメトリック利得を高精度に測定する手法についても光学設計に携わり、その成果は学術雑誌 *Physical review letters* へ投稿中である。これらの成果によって高効率テラヘルツ波光源設計における物理パラメータの詳細が判明してきており、さらなる高効率化につながると期待できる。

上記研究成果に加えて、昨年度からの研究活動を通して得られた着想の一部は「光応答計測装置および光応答計測方法」として特許申請中であり、本年度は特許の外国出願を行うことに決定した。また、電気学会特殊光波・量子発生および利用技術調査専門委員会の委員も務め、理研知を社会知へ展開することにも努めた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kouji Nawata, Shin'ichiro Hayashi, Hideki Ishizuki, Kousuke Murate, Kazuki Imayama, Takunori Taira, Kodo Kawase, and Hiroaki Minamide, "Variable pulse-energy terahertz-wave generation with peak power on the order of tens of kilowatts", Submitted
Yuma Takida, Jun-ichi Shikata, Kouji Nawata, Yu Tokizane, Zhengli Han, Mio Koyama, Takashi Notake, Shin'ichiro Hayashi, and Hiroaki Minamide: "Accurate Parametric Gain Measurement of Stimulated Raman Scattering by Phonon-Polariton Based on Ultra-Bright Terahertz-Wave Generation under

Stimulated Brillouin Scattering Suppression", Submitted

Shuzhen Fan, Feng Qi, Takashi Notake, Kouji Nawata, Yuma Takida, Takeshi Matsukawa, and Hiroaki Minamide, "Diffraction-limited real-time terahertz imaging by optical frequency up-conversion in a DAST crystal," *Optics Express*, 23, 7611-7618, (2015)

(解説)

林 伸一郎, 縄田 耕二, 瀧田 佑馬, 川瀬 晃道, 南出 泰重, "テラヘルツ光パラメトリック光源の最先端", *OPTRONICS*, No.405, pp. 65-69, 9月 (2015)

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

(Invited) Kouji Nawata, Hiroaki Minamide, "Sensitive Terahertz-wave Detection Using Optical Nonlinear Wavelength-conversion for Stand-off Sensing," Tera-MIR 2015, NATO ARW on THz Diagnostics of CBRN effects and Detection of Explosives & CBRN, Izmir, Turkey, 3-6 November 2015. [Oral]

(Invited) Kouji Nawata, Shin'ichiro Hayashi, Hiroaki Minamide, "Nonlinear optical frequency up-conversion broadening terahertz horizons in sensitive detection", SPIE DSS2015, Terahertz Physics, Devices, and Systems IX: Advanced Applications in Industry and Defense, Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA, 23 APRIL 2015. [Oral]

K. Nawata, T. Notake, H. Ishizuki, Y. Takida, Y. Tokizane, S. Hayashi, Z. Han, T. Taira, and H. Minamide, "Sum-frequency-generation based terahertz detection using a periodically poled lithium niobate" IRMMW-THz 2015, M1D-2, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, 2015/8/24. [Oral]

K. Nawata, T. Notake, H. Ishizuki, Y. Takida, Y. Tokizane, S. Hayashi, T. Taira, and H. Minamide, "Effective photon conversion from THz to NIR in a slant-strip-type periodically poled LiNbO₃," ALPS'15, ALPSp14-54, Pacifico Yokohama, Japan (Apr. 24, 2015). [Poster]

XXVI-037 シエスタ様行動をつかさどる神経基盤と分子メカニズムの解明
Molecular and Cellular Mechanism of Regulating Daily Sleepiness in Mice

研究者氏名: 丹羽 康貴 Niwa, Yasutaka
受入研究室: 生命システム研究センター
合成生物学研究グループ
(所属長 上田 泰己)

睡眠は多様ではあるが非常に保存された行動様式であり、生存に必須でもあることが知られている。しかしながら、なぜこのような行動を取らなければいけないかという問いに対する分子・細胞レベルでの回答は未だに明らかでない。それを明らかにするためには、睡眠異常を示す個体を作製し、その異常がなぜ起きたのかを分子・細胞レベルで探っていくことが最短のアプローチの一つだと考える。そのためには時間および空間特異性の高い方法で細胞摂動を与え、その個体の睡眠状態がどう変化するかを測定すればよい。本研究者は特定の神経細胞を可逆的に阻害可能な遺伝子改変マウスを作製し、昨年度までにそのマウスの睡眠が著しく減少することを発見した。

本年度は、研究室の引っ越しに伴い遺伝子改変マウスの凍結と再生産による立ち上げを余儀なくされ、上記マウスを用いた実験が困難であった。そこ

で、比較的早く立ち上げの済んだ培養細胞を用いて、上記の神経細胞をさらに少数に絞っていく技術の開発をおこなった。具体的には Tet システム転写因子を分割し、共発現した場合のみ、それらが再構成して活性を持つ split Tet システムを開発することに成功した。このシステムと昨年度開発した Tet repressor システムを組み合わせることで、ほぼ自由自在に目的の細胞群を絞り込み、操作を加えることが可能になる。

●ポスター発表

(国内学会等)

丹羽康貴, 上田泰己: “非侵襲かつ可逆的な神経阻害によるマウス行動および全脳神経活動の変化の探索”, バイオイメージ・インフォマティクスワークショップ2015, 九州大病院キャンパス, 6月(2015)

XXVI-038 自己組織化する仕組みの再構成
Reconstitution of Self-organization Mechanisms

研究者氏名: 松田 充弘 Matsuda, Mitsuhiro
受入研究室: 生命システム研究センター
再構成生物学研究ユニット
(所属長 戎家 美紀)

前年度までに私は、細胞間に遺伝子発現の違いを自発的につくる仕組みを培養細胞に再構成した。これは最も基本的な自己組織化の1つである。そこで、平成27年度はさらに高次の自己組織化原理として、体節形成における遺伝子発現の進行波の再構成に取り組んだ。この研究で、自空間的に秩序を持った進行波パターンの形成に十分な因子や、遺伝子回路、原理の解明に取り組む。これまでの報告から、進行波パターンは遺伝子発現振動と細胞間同調の2つにわけられると考えられる。前者は時間遅れを持った自己抑制転写回路、後者は Delta-Notch シグナルに

よる細胞間コミュニケーションがその原理だと考えられている。そこで、それぞれの原理を再構成する過程を通じて、進行波パターンの解明に取り組む。本年度は、振動原理の再構成と Delta-Notch シグナルの解析に取り組んだ。

- (1) これまでの報告を基に人工的な振動遺伝子回路を作製したが、振動は観察できなかった。これはこれまでに報告されている原理だけでは不十分で、未知の原理があることを示唆している。
- (2) Delta-Notch シグナルが核内でも制御を受けている可能性を示すデータを得た。そこで、これ

に關与する新規遺伝子の探索を開始した。Delta-Notchシグナルは振動・同調どちらにおいても重要な要素であるので、このスクリーニングは再構成のために有効であると考えられる。

●誌上発表 Publications

(総説)

松田充弘, 戎家美紀: 実験医学 “Notchシグナルで

細胞間を非対称化するしくみの再構成”, 羊土社, 2016年2月号.

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Matsuda M., Koga M., Woltjen K., Nishida E. and Ebisuya M.: “Cell-type diversification through reconstituted lateral inhibition”, the 26th CDB Meeting, Japan, Sep (2015)

XXVI-039 細胞内1分子計測法によるERK依存性シグナル伝達の直接計測 Single Molecule Measurement of ERK-Dependent Signal Transduction

研究者氏名: 毛利一成 Mouri, Kazunari
受入研究室: 生命システム研究センター
細胞極性統御研究チーム
(所属長 岡田 康志)

これまで長期間1細胞計測と数理モデルによる定量解析により、EGFやNGF刺激に対するPC12の増殖・分化応答は確率的に選択され、それらは栄養条件に依存して適切に選択されることを示した(Mouri K. and Sako Y., PLOS Comput. Biol., 2013)。また、EGF濃度に対しERKリン酸化量は徐々に増加するが、核移行量は急峻な変化過程を経て飽和状態となるため、核移行に高い協同性がある「全か無か」型の応答が示唆された。すなわちERK核移行が外部刺激に対するアナログ応答を細胞運命選択というデジタル応答に変換するアナログ・デジタル変換反応であることが示唆された(Shindo Y., 2016)。その機序の詳細を明らかにするため、EGF刺激後のERK活性化と核移行の同時計測を行った。その結果ERK核移行は、ERKリン酸化の数分後から始まり、5分程度かかる遅い反応で、その途上で核膜周辺にERKの集積が認められ、核移行が律速となることが示唆された。

本年度は、共焦点顕微鏡を用いてERK核移行過程を高解像撮影し raster image correlation spectroscopy (RICS) 法と呼ばれる画像解析手法を適用することで、細胞内ERKの絶対濃度の時系列変化を推定した。これによりEGF刺激後に核質に流入す

る相対的なERK分子の流入速度は0.6[個/核膜孔/秒]程度と推定された。さらにFRAP計測と数理モデル解析を統合することで、ERKの核内流入と核外排出の速度定数を同時に推定する手法を開発した。この手法とRICSを組み合わせることでEGF刺激後核質に流入する絶対的なERKの輸送速度も0.3[個/核膜孔/秒]程度となることが示唆された。更にERKの核膜通過ダイナミクスを全反射顕微鏡により細胞内1分子イメージングで計測した結果、ERKは核膜孔付近に平均230ミリ秒滞在することが示され、上記解析結果と定量的に一致する結果が得られた。これは通常のimportin依存性核輸送より3桁以上遅く、通常と異なる物理・分子機構が想定され、高速・高解像1分子計測やERK変異体の解析によりこのメカニズム解明に取り組んでいる。

●誌上発表 Publications

Shindo Y., Iwamoto K., Mouri K., Hibino K., Tomita M., Kosako H., Sako Y. and Takahashi K.: “Conversion of graded phosphorylation into switch-like nuclear translocation via autoregulatory mechanisms in ERK signaling”, Nature Communications, 7:10485 21-27 (2016)

基礎科学特別研究員
平成 27 年度採用者

研究者氏名: 木村 智樹 Kimura, Tomoki
 受入研究室: 仁科加速器研究センター
 玉川高エネルギー宇宙物理学研究室
 (所属長 玉川 徹)

木星や土星等の巨大ガス惑星は、地球の2万倍に至る磁気モーメントと、10時間程度の自転速度を持ち、高速回転している強大な磁気圏を形成している。磁気圏内のプラズマは、電磁場変動に伴う粒子加速で最高50MeVのエネルギーに至り、エウロパやエンセラダスといった、地下海に生命環境を有すると目される氷衛星群に吹きつけている。探査機その場観測、遠隔観測、理論による密接な連携で、惑星の回転磁気圏の物理やそのダイナミクスが理解できれば、同様の特性を持った中性子星等の宇宙極限環境や、地球外の生命環境変動の理解に寄与する事ができる。本研究では特に、異なるエネルギーのプラズマが、異なる波長の放射を伴うことに注目し、宇宙望遠鏡を連携させた多波長同時遠隔観測から、木星磁気圏で全球的に発生している広いエネルギー範囲の粒子加速と、それを駆動する磁気圏の電磁エネルギーの解放・輸送過程を明らかにする。

本年度は、2014年に実施したJAXA惑星分光観測衛星「ひさき」による極端紫外光観測と、チャンドラX線望遠鏡やXMMニュートンのX線望遠鏡群を用いた同時観測データの解析を行った。太陽系で最高エネルギーの重イオン粒子加速 (>1MeV/amu) が発生する、X線オーロラのダイナミクスと空間分布を調査し、高エネルギー重イオン加速を駆動する磁気圏変動を特定するのが目的である。磁気流体シミュレーションとひさき衛星のオーロラ連続監視データの解析から、探査機が現存しない木星軌道における太陽風変動の予測を行い、チャンドラX線望遠鏡によるX線オーロラ形状・強度変動との比較を行った。これにより、X線オーロラと接続する磁気圏領域が磁気圏-太陽風境界であること、X線オーロラ-太陽風速度の正相関を発見した。その結果、磁気圏と太陽風の圏界面で発生しているケルビン-ヘルムホルツ不安定性や、磁気再結合現象によりX線オーロラを伴う重イオン加速が発生していることが

示唆された。この結果は、米国地球物理学学会誌に投稿、査読中である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- Kimura, T., Ralph Kraft, Ronald Elsner, Graziella Branduardi-Raymont, George Gladstone, Chihiro Tao, Kazuo Yoshioka, Go Murakami, Atsushi YAMAZAKI, Fuminori Tsuchiya, Marissa Vogt, Adam Masters, Hiroshi Hasegawa, Sarah Badman, Elke Roediger, Yuichiro Ezoe, William Dunn, Ichiro Yoshikawa, Masaki Fujimoto, Stephen Murray (2016), Jupiter's X-ray and EUV aurora monitored by Chandra, XMM Newton, and Hisaki satellite, *J. Geophys. Res.*, 2015JA021893R, submitted.*
- K. Masunaga, K. Seki, N. Terada, F. Tsuchiya, T. Kimura, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, M. Kagitani, C. Tao, A. Fedorov, Y. Futaana, T. L. Zhang, D. Shiota, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and I. Yoshikawa (2015), Periodic variations of oxygen EUV dayglow in the upper atmosphere of Venus: Hisaki/EXCEED observations, *J. Geophys. Res. Planets*, 120, doi:10.1002/2015JE004849.*
- Chihiro Tao, Tomoki Kimura, Sarah V. Badman, Nicolas André, Fuminori Tsuchiya, Go Murakami, Kazuo Yoshioka, Ichiro Yoshikawa, Atsushi Yamazaki and Masaki Fujimoto (2015), Variation of Jupiter's Aurora Observed by Hisaki/EXCEED: 2. Estimations of Auroral Parameters and Magnetospheric Dynamics, *J. Geophys. Res.*, in press, 10.1002/2015JA021272.*
- Fuminori Tsuchiya, Masato Kagitani, Kazuo Yoshioka, Tomoki Kimura, Go Murakami, Atsushi Yamazaki, Hiromasa Nozawa, Yasumasa Kasaba, Takeshi Sakanoi, Kazunori Uemizu, Ichiro Yoshikawa, Local

electron heating in the Io plasma torus associated with Io from HISAKI satellite observation, 10.1002/2015JA021420, 2015.*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

(一般講演) T. Kimura, S. V. Badman, C. Tao, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, F. Tsuchiya, B. Bonfond, A. Steffl, R. Kraft, G. Branduardi-Raymont, Y. Ezoë, Hisaki science team, Dynamics of Jupiter's auroral acceleration investigated by multiwavelength plasma remote sensing with space telescopes, Japan Geoscience Union Meeting 2015, P-PS01, Makuhari, Japan, 2015.

(国内学会等)

(招待講演) 木村智樹, JUNO, HISAKIによる木星探査・観測に期待されるサイエンス, Symposium on Planetary Science 2016, 東北大学, 2月22-24日, 2016年

(招待講演) 木村智樹, 回転惑星磁気圏が駆動するオーロラの物理と中性子星磁気圏への応用、～中性子星の観測と理論～研究活性化ワークショップ

プ, 京都大学, 12月21日, 2015年

(招待講演) 木村智樹, 国立天文台理論天文学研究会2015, 多波長遠隔観測でみる回転惑星磁気圏のオーロラ加速, 大仁 ホテル, 伊豆, 10月27日-29日, 2015年

(招待講演) 木村智樹, 衛星周囲のプラズマ環境と惑星-衛星電磁相互作用, 衛星系研究会, 北大低温研, 7月22日, 2015年

(招待講演) 木村智樹, その場観測と多波長遠隔観測に基づく高エネルギー磁気圏物理, 巨大惑星系研究会, 東工大学地球生命研究所, 4月12日, 2015年

(一般講演) Kimura, T., R. Kraft, R. Elsner, G. Branduardi-Raymont, R. Gladstone, C. Tao, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, F. Tsuchiya, M. F. Vogt, A. Masters, H. Hasegawa, S. V. Badman, E. Roediger, Y. Ezoë, I. Yoshikawa, M. Fujimoto, and S. S. Murray, 宇宙望遠鏡群による木星オーロラの多波長観測: 極冠領域におけるX線発光, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第138回総会・講演会, R009-05, 11月1日, 2015

XXVII-002

曲がった時空上の超対称ゲージ理論の完全な分類と 物理的意味の探求及び厳密計算の開発

The Complete Classification of SUSY Gauge Theories on Curved Space-time and Development of Exact Calculations and Its Physical Meaning

研究者氏名: 田中章詞 Tanaka, Akinori
受入研究室: 分野横断型数理・計算連携研究チーム
(所属長 長瀧重博)

通常の量子場の理論の枠組みでは、相互作用がある場合に量子論的計算を完全に実行することはほぼ不可能であるが、曲がった時空上の超対称ゲージ理論は近年、相互作用がある場合にも分配関数などの物理量を厳密に計算できることが可能なことが指摘されており、これをいけば「数学的に厳密」な方法で量子場の理論の構造を調べることが可能になるため、理論的な関心が集まっている。本年度は曲がった時空上に定義された超対称ゲージ理論の厳密計算を

- (1) Chern-Simons形式による3次元重力への応用
- (2) 向き付不可能空間 $RP^2 \times S^1$ 上で新たに開発

することに成功した。(1)は曲がった時空上の超対称ゲージ理論の計算に、量子重力の分配関数を与えるという「物理的意味」を与える仕事であり、(2)は今まで知られていなかった厳密計算の開発である。(1)では量子重力理論をChern-Simons形式で書き直し、トポロジーに渡る和をゲージ場のホロノミーで表す、Rademacher和と呼ばれる数学的方法で表現した結果、重力結合定数が強く、量子重力効果が最も顕著な領域において、分配関数がモジュラーJ関数と呼ばれるものになることを示した。この結果は幾らかの仮定はあるものの、2007年に全く別の手法で予想されていた正則共形場理論の分配関

数と一致したため、まだ誰も知らない量子重力理論の定式化への一歩を与えると期待される。また (2) の結果を3次元ミラー対称性と呼ばれる異なる量子場の理論の間の等価性の予想を調べるのに応用した。向き付不能の性質が過去知られていなかった効果、2つの物質場が鏡映対称性のもとで入れ替わるなどを発見。さらに新たに開発した公式を用いると、ミラー対称性が量子変形された2項定理やRamanujanの和公式といった数学公式の形で表現されることを示した。このことはミラー対称性の予想を裏付けるのみならず、新たに導いた向き付不能空間上の公式の正しさも保証するものであるといえる。更にこのような離散対称性で守られた量子場の理論を考えることは物性物理学で近年発展してきているSymmetry Protected Topological Phasesの研究とも通じるところがあり、現在更に詳しく研究を進めている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Tanaka A., Mori H. and Morita T. : “Superconformal index on $RP^2 \times S^1$ and mirror symmetry,” Phys. Rev. D91, 105023 (2015)*
- Iizuka N., Tanaka A. and Terashima S. : “Exact Path Integral for 3D Quantum Gravity,” Phys. Rev. Lett. 115 no. 16, 161304 (2015)*
- Tanaka A., Mori H. and Morita T. : “Abelian 3d mirror symmetry on $RP^2 \times S^1$ with $N_f = 1$,” JHEP 09, 154 (2015)*

(その他)

- Honda M., Iizuka N., Tanaka A. and Terashima S.:

“Exact Path Integral for 3D Quantum Gravity II,” arXiv:1510.02142 [hep-th]

- Tanaka A., Mori H. and Morita T. : “Single-flavor Abelian mirror symmetry on $RP^2 \times S^1$,” in 9th International Symposium on Quantum theory and symmetries (QTS-9) Yerevan, Armenia, July 13-18, 2015. arXiv:1510.08598 [hep-th]
- Honda M., Iizuka N., Tanaka A. and Terashima S. : “Exact Path Integral for 3D Higher Spin Gravity,” arXiv:1511.07546 [hep-th]
- Mori H. and Tanaka A. : “Varieties of Abelian mirror symmetry on $RP^2 \times S^1$,” arXiv: 1512.02835 [hep-th]

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

- Tanaka A. : “Exact Path Integral for 3D Quantum Gravity”, 2nd String Theory in Greater Tokyo, Wako, Japan, Jun. (2015)
- Tanaka A. : “SUSY gauge theory on $RP^2 \times S^1$ ”, Mathematical Approach to Topological Phases in Spintronics, Sendai, Japan, Oct. (2015)
- Tanaka A. : “ RP^2 index and its applications”, YITP Workshop Field Theory and String Theory, YITP, Japan, Nov. (2015)
- Tanaka A. : “Supersymmetric gauge theory on $RP^2 \times S^1$ and mirror symmetry”, KEK Theory Workshop 2015 Dec, KEK, Japan, Dec. (2015)
- Tanaka A. : “On 3d quantum gravity via localization”, The 10th Asian Winter School on Strings, Particles and Cosmology, OIST, Japan, Jan. (2016)

XXVII-003

全天X線モニタ・高分散X線分光・多波長同時観測による ブラックホール連星の相対論的ジェット噴出機構の解明

Study of Relativistic Jets in Black Hole Binaries through All-sky X-ray Monitoring, High-resolution X-ray Spectroscopy, and Simultaneous Multi-wavelength Observations

研究者氏名: 志達めぐみ Shidatsu, Megumi
受入研究室: グローバル研究クラスター
MAXIチーム
(所属長 牧島一夫)

本研究は、全天X線監視装置MAXIを用いてブラックホール (BH) 連星の増光を監視し、BHへ落ち

込むガスの増加によるX線増光とともに噴出する「相対論的ジェット」の噴出機構を明らかにするこ

とを目的としている。今年度は、まずジェットのエネルギー供給源であるBHへのガス降着流に着目し、X線増光時における降着流の構造とその変化を調べた。

(1) BH連星 V404 Cygの可視・X線同時観測

2015年6月に急激な増光を示したBH連星 V404 Cygを観測するため、京都大学や10カ国以上の観測所からなる国際共同研究チームに参加した。観測の結果、周期的な光度変動を可視光で初めて捉えることに成功し、この放射エネルギーの振動現象が、今までX線で見ついていたものより1桁以上光度が低い時期に起こっていたことを明らかにした。私は可視光・X線同時スペクトルの解析を担当し、観測された可視光の光度変動は、降着円盤の内側から出た強いX線が円盤の外側を照らすことで生じたことを突き止めた。この成果を2016年1月にNature誌上で発表し (Kimura et al. 2016)、京大・理研など関係機関からプレスリリースした。

(2) X線増光中のBH連星 GRO J1655-40の多波長データの解析

BH連星 GRO J1655-40の2005年の増光時に、X線・可視・近赤外線同時観測が行われ、精度の良い多波長データが得られている。これを最新のBH降着円盤モデルを用いて解析した結果、降着円盤に沿って大量のガスが噴き出しており、BH近傍から放射されたX線の大部分が遮られ、実際のX線光度が見かけより一桁以上大きかった可能性が示された (Shidatsu et al. submitted to ApJ)。さらに、BH連星のX線観測の専門家を招いて高光度のBH降着円盤の構造に関する内部勉強会を開催し、この結果を報告した。

(3) アタカマ大型ミリ波・サブミリ波干渉計 (ALMA) を用いたBH降着円盤の磁場強度の調査

相対論的ジェット形成には、BH降着流の磁場が重要な役割を果たしているとされる。増光中のBH連星で、ジェット噴出が無い時期に、降着円盤に存在する高エネルギー電子と磁場の相互作用によって生じる微弱な電波を検出できれば、降着円盤の磁場

強度を見積もることができる。そこで、世界最高感度の干渉計ALMAを用いた観測提案を提出し、2015年8月に採択された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Shidatsu M., Done. C. and Ueda Y.: “An Optically-thick Wind in GRO J1655-40?”, ApJ, submitted*

Kimura M., Isogai K., Kato T., Ueda Y., Nakahira S., Shidatsu M., Enoto T., Hori T., Nogami D., Littlefield C., Ishioka R., Chen Y.-T., King S.-K., Wen C.-Y., Wang S.-U., Lehner M. J., Schwamb M. E., Wang J.-H., Zhang Z.-W., Alcock C., Axelrod T., Bianco F. B., Byun Y.-I., Chen W.-P. Cook K. H., Kim D.-W. Lee T., Marshall S. L., Pavlenko E. P., Antonyuk O. I., Antonyuk K. A., Pit N. V., Sosnovskij A. A., Babina J. V., Baklanov A. V., Pozanenko A. S., Mazaveva E. D., Schmalz S. E., Reva I. V., Belan S. P., Inasaridze R. Y., Tungalag N., Volnova A. A., Molotov I. E., de Miguel E., Kasai K., Stein W. L., Dubovsky P. A., Kiyota S., Miller I., Richmond M., Goff W., Andreev M. V., Takahashi H., Kojiguchi N., Sugiura Y., Takeda N., Yamada E., Matsumoto K., James N., Pickard R. D., Tordai T., Maeda Y., Ruiz J., Miyashita A., Cook L. M., Imada A. and Uemura M.: “Repetitive Patterns in Rapid Optical Variations in the Nearby Black-hole Binary V404 Cygni”, Nature, 529, 54-58(2016)*

Serino M., Shidatsu M., Ueda Y., Matsuoka M., Negoro H., Yamaoka K., Kennea J. A., Fukushima K. and Nagayama, T.: “Low-mass X-ray binary MAXI J1421-613 observed by MAXI GSC and Swift XRT”, PASJ, 67, 30(2015)*

Tachibana Y., Kawamuro T., Ueda Y., Shidatsu M., Makoto A., Yoshii T., Yatsu Y., Saito Y., Pike S. and Kawai N.: “A Soft X-Ray Lag Detected in Centaurus A”, PASJ, in print*

Investigating Properties of Neutron Stars and the Origin of Heavy Elements via All-Messenger Astronomy

研究者氏名: 久徳 浩太郎 Kyutoku, Koutarou
 受入研究室: 階層縦断型基礎物理学研究チーム
 (所属長 初田 哲男)

本年度は、ニュートリノ輸送を取り入れたブラックホール・中性子星連星合体の完全に一般相対論的なシミュレーションを遂行した。このような連星が合体した後に、ブラックホールに吸い込まれず降着円盤になった物質は衝撃波によって10メガ電子ボルトやそれ以上にまで加熱され、電子陽電子の対生成及び核子による捕獲などを通じてニュートリノを放射する。このようなニュートリノはそれ自体が観測可能な信号であると同時に、合体後に残った降着円盤を加熱して質量の放出を駆動すると期待される。さらに、合体時に力学的な機構で撒き散らされる物質がニュートリノを吸収すると、中性子過剰が部分的に解消されて、その後進むr過程元素合成が変更を受ける可能性がある。そこで我々は、複数のモデルで合体シミュレーションを行い、ニュートリノが合体過程に及ぼす影響を定量的に評価した。まず我々は、放射されるニュートリノの光度は最大時で毎秒10の53乗エルグを超え、超新星爆発に匹敵あるいはそれ以上になることを見出した。次に、合体後の降着円盤からニュートリノによって質量放出が徐々に駆動されることを確認した。ただしこの機構で飛ばされる物質は、量としては力学的に飛ばされる物質より少ないであろうことも同時に確認した。力学的に飛ばされる物質においては、中性子過剰はニュートリノや衝撃波加熱によってそれほど(=連星中性子星の場合などに比べて)解消されないことも明らかにした。

またこれに並行して、非物理的な離心率を排除した正確な連星の準平衡状態の計算手法を開発した。連星の準平衡状態は、それ自体の性質が研究対象であるだけでなく、合体シミュレーションの初期条件としても重要である。現実の宇宙に存在するコンパクト天体の連星は合体直前にはほぼ円軌道になっていると考えられる。そのため、合体シミュレーションでも可能な限り円軌道に近い初期条件を採用することは、正確な重力波の導出やそれを通した中性子星の性質の理解に必須である。まずブラックホール

のスピンのない場合には、重力波から中性子星の情報を引き出すのに問題ない程度の低離心率を達成した。現在はスピンがある場合についても計算を進めており、概ね良好な結果を得ている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Koutarou Kyutoku, Kunihiro Ioka, Hirofusa Okawa, Masaru Shibata and Keisuke Taniguchi: "Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries", *Physical Review D* 92 044028(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Koutarou Kyutoku: "Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries", *Physics and Astronomy of Neutron Stars and Supernovae*, Mitaka, Japan, Jun. (2015)

Koutarou Kyutoku: "Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries", *Fourteenth Marcel Grossmann Meeting*, Rome, Italy, Jul. (2015)

Koutarou Kyutoku: "Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries", *Quarks to Universe in Computational Science*, Nara, Japan, Nov. (2015)

Koutarou Kyutoku: "Reducing orbital eccentricity in initial data of black hole-neutron star binaries in the puncture framework", *The 25th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, Kyoto, Japan, Dec. (2015)

Koutarou Kyutoku: "Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries", *28th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics*, Geneva, Switzerland, Dec. (2015)

(国内学会等)

久徳浩太郎: "重力波天文学と電磁波対応天体", 第45回天文天体物理若手夏の学校, 千曲, 7月 (2015)

Koutarou Kyutoku: "Compact binary progenitors of

short-hard gamma-ray bursts”, GRB Workshop 2015, Wako, Sep. (2015)
久徳浩太郎: “ブラックホール・中性子星連星からの力学的質量放出”, 日本物理学会 2015 年秋季年

会, 大阪, 9月 (2015)
Koutarou Kyutoku: “Dynamical mass ejection from black hole-neutron star binaries”, High-Energy Astrophysics and Astroparticle Physics 2015, Tsukuba, Oct. (2015)

XXVII-005

Lattice QCD study to understand the origin of the universe's matter dominance

研究者氏名: 大木 洋 Oki, Hiroshi
受入研究室: 仁科加速器研究センター
理研BNL研究センター 計算物理研究グループ
(所属長 出淵 卓)

格子ゲージ理論に基づく量子色力学 (QCD) の第一原理計算を行うことにより、CP対称性を破る演算子や素粒子標準模型を超えた物理の効果を精密に評価し、現在の物質優勢宇宙となった起源の解明及び素粒子標準模型を超えた未知の物理法則の探索と検証を行うことが目的である。本研究では、理論的計算の中で特に高精度計算が必要とされる素粒子のフレーバーに関連する物理量に着目し、素粒子実験と格子上の量子色力学の両方の結果を組み合わせる事で高精度決定を行う方法を新たに提案した。具体的には、 τ 粒子のK中間子への包括的崩壊過程の実験結果にQCDの分散関係式を応用する事で、その実験値と格子QCDの数値計算から得られるハドロン真空分極関数とを対応させる事を考え、そこから小林益川行列要素 V_{us} の精密計算を行う試みである。この方法は従来の方法に比べ、実験の誤差や解析的計算の不定性が大きい τ 粒子崩壊の高エネルギー領域のデータからの寄与を抑制する事が可能であるという利点があり、 τ 粒子の包括的崩壊に対する新たな知見を得る事ができる。本研究により、素粒子標準模型の理論的予測と素粒子フレーバー物理の実験結果をより精密に比較することで、素粒子標準模型を超えた新しい物理法則の検証が可能となる。

またより直接的なアプローチとして、素粒子標準模型を超えた物理の具体的な模型を格子理論上でモンテカルロシミュレーションを行う事も考えられる。そこから得られる新粒子スペクトラムの理論的予測と現在進められているLHCによる加速器実験結果とを比較することにより、直接的な検証が可能である。本年度は、電弱対称性を動的に破るテクニカラー模型の具体的な候補である8フレーバー

QCDの格子ミュレーションを行い、様々なハドロンスペクトラムの測定を行った。その結果、通常のQCDとは異なり、フレーバー数が大きくなる事で、フレーバー一重項スカラー粒子が軽くなる傾向が見出され、新物理模型の有力な候補となり得る事がわかる。更には、フレーバー一重項擬スカラー粒子が重くなる兆候も明らかになり、素粒子現象論及び場の理論的な観点からも極めて興味深い性質を持つ可能性がある事が分かった。

●誌上発表 Publications

(総説)

Aoki Yasumichi, Aoyama Tatsumi, Bennett Ed, Kurachi Masafumi, Maskawa Toshihide, Miura Kohtaroh, Nagai Kei-ichi, Ohki Hiroshi, Rinaldi Enrico, Shibata Akihiro, Yamawaki Koichi and Takeshi Yamazaki : “Topological insights in many-flavor QCD on the lattice”, Proceedings of Sakata Memorial KMI Workshop on Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories (SCGT15), in print.

Aoki Yasumichi, Aoyama Tatsumi, Bennett Ed, Kurachi Masafumi, Maskawa Toshihide, Miura Kohtaroh, Nagai Kei-ichi, Ohki Hiroshi, Rinaldi Enrico, Shibata Akihiro, Yamawaki Koichi and Takeshi Yamazaki : “Lattice study of the scalar and baryon spectra in many-flavor QCD”, Proceedings of Sakata Memorial KMI Workshop on Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories (SCGT15), in print.

Y.-H. Huang Cynthia, Kanamori Issaku, Lin C.-J. David, Ogawa Kenji, Ohki Hiroshi, Ramos Alberto, Rinaldi Enrico : “Lattice study for conformal windows of

SU(2) and SU(3) gauge theories with fundamental fermions”, Proceedings of 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015), in print.

Yamanaka N., Ohki H., Hashimoto S., Kaneko T. : “Nucleon axial and tensor charges with dynamical overlap quarks”, Proceedings of 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015), in print.

Aoki Yasumichi, Aoyama Tatsumi, Bennett Ed, Kurachi Masafumi, Maskawa Toshihide, Miura Kohtaroh, Nagai Kei-ichi, Ohki Hiroshi, Rinaldi Enrico, Shibata Akihiro, Yamawaki Koichi and Takeshi Yamazaki : “SU(3) gauge theory with four degenerate fundamental fermions on the lattice”, Proceedings of 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015), in print.

Aoki Yasumichi, Aoyama Tatsumi, Bennett Ed, Kurachi Masafumi, Maskawa Toshihide, Miura Kohtaroh, Nagai Kei-ichi, Ohki Hiroshi, Rinaldi Enrico, Shibata Akihiro, Yamawaki Koichi and Takeshi Yamazaki : “Walking and conformal dynamics in many-flavor QCD”, Proceedings of 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015),

in print.

Aoki Yasumichi, Aoyama Tatsumi, Bennett Ed, Kurachi Masafumi, Maskawa Toshihide, Miura Kohtaroh, Nagai Kei-ichi, Ohki Hiroshi, Rinaldi Enrico, Shibata Akihiro, Yamawaki Koichi and Takeshi Yamazaki : “Topological observables in many-flavor QCD”, Proceedings of 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2015), in print.

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Ohki Hiroshi : “Lattice study of Walking Dynamics in Many-flavor QCD”, Brookhaven Forum 2015: Great Expectations, a New Chapter, Brookhaven National Laboratory, October 7, 2015.

Ohki Hiroshi : “Composite Scalar spectrum in many-flavor QCD”, KITP Program :Lattice Gauge Theory for the LHC and Beyond, The Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, September 18, 2015.

Ohki Hiroshi : “Walking and conformal dynamics in many-flavor QCD”, The 33rd International Symposium on Lattice Field Theory, Kobe International Conference Center, Kobe, July 14, 2015.

XXVII-006 大規模非理想輻射磁気流体シミュレーションで解き明かす 原始惑星系円盤の形成、長期力学的進化と固体成分、化学組成進化の研究 Formation and Long Term Evolution of Proto-planetary Disks and Evolution of Chemical Composition and Dust in the Disks

研究者氏名: 塚本 裕介 Tsukamoto, Yusuke
受入研究室: 戎崎計算宇宙物理研究室
(所属長 戎崎 俊一)

惑星形成の舞台となる原始惑星系円盤の形成とその力学的進化を明らかにすることは多様な惑星系の起源を明らかにするために重要である。本研究では三次元輻射流体力学シミュレーションを用いて第一原理的に円盤形成進化を明らかにし、惑星系の起源に迫ることを目的とする。

本年度は特に非理想磁気流体力学効果が原始惑星系円盤の形成にどのような影響を及ぼすかを研究した。非理想磁気流体力学効果はオーム散逸、ホール効果、両極性散逸の三種類が存在するが、この中で

特にホール効果が円盤形成進化過程に顕著な影響を与えることが分かった。

具体的にはホール効果を取り入れることで

- (1) 磁場による角運動量輸送率が磁場ベクトルと初期の回転ベクトルのなす角に応じて顕著に変化する
- (2) (1)の効果によって磁場の大局的な方向が角運動量ベクトルと平行か反平行かで円盤のサイズが10倍以上異なること
- (3) ホール効果によって円盤上空のガスが逆回転し

はじめること
などを発見した。(2), (3)については今後ALMA望遠鏡などによって実際に観測可能であると考えられる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Tsukamoto, Yusuke, Iwasaki, Kazunari, Okuzumi, Satoshi, Machida, Masahiro N., and Inutsuka Shu-ichiro “Bimodality of circumstellar disk evolution induced by Hall current” The Astrophysical Journal Letters, Volume 810, Issue 2, article id. L26, 5 pp

Tsukamoto, Yusuke, Iwasaki, Kazunari, Okuzumi, Satoshi, Machida, Masahiro N., and Inutsuka Shu-ichiro “Effects of Ohmic and ambipolar diffusion on the formation and evolution of the first core, protostar and circumstellar disc” Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 452, Issue 1, p.278-288

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Yusuke Tsukamoto, Kazunari Iwasaki, Satoshi Okuzumi, Masahiro, N. Machida, Shu-ichiro Inutsuka
“Bimodality of Circumstellar Disk Evolution Induced

by the Hall Effect” ALMA workshop on formation and evolution of disks around protostars, NAOJ, JAPAN, 12 (2015)

Yusuke Tsukamoto, Kazunari Iwasaki, Satoshi Okuzumi, Masahiro, N. Machida, Shu-ichiro Inutsuka
“Two types of circumstellar disk formation induced by Hall effect” Protoplanetary Disk Dynamics and Planet Formation, JAMSTEC, JAPAN, 10 (2015)

Yusuke Tsukamoto, Kazunari Iwasaki, Satoshi Okuzumi, Masahiro, N. Machida, Shu-ichiro Inutsuka
“Formation and early evolution of the circumstellar discs” DISC DYNAMICS AND PLANET FORMATION, Larnaka, Cyprus, 7 (2015)

(国内学会等)

塚本裕介, 奥住聡, 岩崎一成, 町田正博, 犬塚修一郎 “ホール効果による原始惑星系円盤の分化的進化” 第28回 理論懇シンポジウム「宇宙における天体形成から生命まで」, 大阪大学, 12 (2015)

塚本裕介, 高橋実道, 町田正博, 犬塚修一郎 “自己重力不安定性による惑星形成過程について” 理論天文学研究会2015, 大仁ホテル, 10 (2015)

塚本裕介, 奥住聡, 岩崎一成, 町田正博, 犬塚修一郎 “ホール効果によって引き起こされる2種類の円盤形成進化過程” 2015年日本天文学会秋季年会, 甲南大学, 9 (2015)

XXVII-007

稀少RIリングにおける内部標的を利用した 二重魔法数核 ^{78}Ni の核半径の導出

Measurements of Nuclear Radius for Doubly Magic Nuclei ^{78}Ni Using Internal Target System at Rare-RI Ring

研究者氏名: 阿部 康志 Abe, Yasushi
受入研究室: 仁科加速器研究センター
短寿命核質量測定装置開発チーム
(所属長 若杉 昌徳)

核半径の測定の手法として弾性散乱実験や反応断面積測定実験などが挙げられるが、これらの実験は安定な原子核から遠くなればなるほど生成は困難(1日1個など)であり、収量が非常に小さいため、膨大な時間が必要となる。このような収量の少ない不安定核に対しても高効率で測定するために稀少RIリングを用いた内部標的システムを提案した。このシステムにより今まで不可能と考えられてき

た、安定領域から遠く離れた不安定核について弾性散乱実験等が可能となる。このシステムにより測定可能となる領域において、二重魔法数と予想される不安定核 ^{78}Ni の弾性散乱による核半径の測定実験を行い、不安定核特有構造について明らかにする。

本年度は本研究の主体装置である稀少RIリングの全システム系の評価を主に行った。実験には ^{78}Kr 、 ^{36}Ar 及び ^{35}K ビームを使用した。生成された

不安定核を検知し、その信号を用いてリングへ入射する個別入射方式を高効率測定のために採用しており、この個別入射を実験的に世界で初めて成功した。輸送効率を含めた入射効率は10%程度であることがわかった。この効率については、入射に関係した光学系を改良することで改善することが期待される。また稀少RIリングにおける重イオンの蓄積に関しても評価した。その結果、最大4秒程度の蓄積に成功した。しかしながら、その間に運動量が0.5%程度減少してしまっていた。その主な原因としては真空度が考えられ、内部標的実験を行うためには真空度の改善が必要であることが判明した。

現在は実験時間が限られた中でより効率的に実験を進行させるため、入射系の測定システムの改良・開発を進めている。さらには蓄積されている粒子の軌道等の情報を得るための新規検出器の開発についても進めている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Abe Y., Yamaguchi Y., Wakasugi M., Uesaka T., Ozawa A., Suzuki F., Nagae D., Miura H., Yamaguchi T., and Yano Y.: “Isochronous field study of the Rare-RI Ring”, Physica Scripta T166 014047(2015)*

Abe Y., Yamaguchi Y., Wakasugi M., Uesaka T., Ozawa A., Suzuki F., Nagae D., Miura H., and Yamaguchi T.: “Measurement of isochronism using α -source for the Rare-RI Ring”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 48 24(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

阿部康志, 山口由高, 上坂友洋, 小沢顕, 洲崎ふみ, 若杉昌徳, 稀少RIリングコラボレーション: “稀少RIリングの性能評価”, 日本物理学会第71回年次大会, 東北学院大学, 泉キャンパス, 3月(2016)

XXVII-008 第1原理に基づく数値計算を用いて取り組む発雷機構の解明 Elucidation of Thunderstorm Development Mechanism Through the Fundamental Numerical Simulation

研究者氏名: 佐藤 陽祐 Sato, Yousuke
受入研究室: 計算科学研究機構
複合系気候科学研究チーム
(所属長 富田 浩文)

本研究は、気象・気候モデル（以後、モデルとのみ表記）を用いた発雷機構の解明を目的とする。現存する気象モデルには、雷を予測するために必要な、雲粒（液滴や氷粒）の電荷を取り扱ったものは非常に少なく、わずかながら存在する雲粒の電荷を表現するモデルにおいても、電荷、雲粒の電荷に大きな影響を及ぼす雲粒の大きさ、雲粒の形状といった雲の微物理特性をパラメタリゼーションという既存の観測結果を基に半経験的に決められた（いわば経験則に基づく）手法によって表現されている。そのため、現存のモデルは雲粒の微物理特性を陽に表現できず、雲内での電荷の発生機構を解き明かすには十分とは言えない。そこで、雲の微物理特性を可能な限り経験則を排除し、原理的な手法に基づいて雲の微物理特性を表現するモデルとそれに対応した雷モ

デルの開発が必要となる。

そこで本研究では原理的な手法に基づく雷モデルの開発、気象モデルへの適用、さらには開発した雷モデルが適用された気象モデルを用いて対流雲の数値実験を行い、雲内に生じる雲物の電荷分布の発生機構を明らかにすることを目的とする。このような原理的な手法によるアプローチは経験則に基づく既存の手法に対して、物理プロセス一つ一つの影響を切り分けて扱うことができる点が利点である。

本年度は雷モデルを構築する際に必要な、「(1) 原理的な手法に基づく雲微物理モデルの開発」、雷モデルを開発した後に、実験対象とする領域を決定するために必要な予備的な調査として「(2) 雷をもたらす雲の微物理特性の地域間の差異に関する調査」、および「(3) (2) で調べた微物理特性の地域

間の差異に大きな影響を与えているとされるエアロゾルの影響の評価」の3点に取り組んだ。

具体的には、これまで開発した原理的な手法に基づく雲微物理モデルに関する成果を論文にまとめ、雷モデルの開発作業を開始した。同時に、既存のモデルで領域スケールから、全球規模までのさまざまな実験を行い、大気中のエアロゾルが雲の微物理特性に与える影響、および、エアロゾルに最も大きく影響を受けるAutoconversionとよばれる雲粒の成長プロセスが雲の微物理特性に与える影響を調査した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Y., Miyamoto Y., Nishizawa S., Yashiro H., Kajikawa Y., Yoshida R., Yamaura T. and Tomita H.: “Horizontal Distance of Each Cumulus and Cloud Broadening Distance Determine Cloud Cover”, SOLA, 11 75-79, doi:10.2151/sola.2015-019(2015)*
Sato Y., Nishizawa S., Yashiro H., Miyamoto Y., Kajikawa Y. and Tomita H.: “Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud micro-

physics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation?”, Prog. Earth Planet. Sci., 2 23 doi:10.1186/s40645-015-0053-6(2015)*

Nishizawa S., Yashiro H., Sato Y., Miyamoto Y. and Tomita H.: “Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations”, Geosci. Model Dev., 8 3393-3419, doi:10.5194/gmd-8-3393-2015(2015)

Iguchi T., Choi I.-J., Sato Y., Suzuki K. and Nakajima T.: “Overview of the development of the Aerosol Loading Interface for Cloud microphysics In Simulation (ALICIS)”, Prog. Earth Planet. Sci., 2 45 doi:10.1186/s40645-015-0075-0(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

佐藤陽祐：浅い雲の雲被覆率に対する積雲の広がり
と積雲間距離の影響，日本地球惑星科学連合
2015年連合大会，AAS22-08，幕張，5月(2015)
佐藤陽祐：Autoconversionが暖かい降水に与える影
響の領域間比較，日本気象学会2015年秋季大会，
D112，京都，10月(2015)

XXVII-009 パイ中間子原子を用いたクォーク凝縮の密度依存性の実験的観測

Experimental Observation of Density Dependence of the Quark Condensate through Pionic Atom Spectroscopy

研究者氏名：西隆博 Nishi, Takahiro
受入研究室：仁科加速器センター
岩崎先端中間子研究室
(所属長 岩崎 雅彦)

低温・有限密度領域におけるQCDの理解は未だ十分に進んでおらず、特にこの領域でのカイラル対称性の部分的回復の密度依存性は現在のハドロン物理学において最も大きなテーマの一つである。これまで申請者らはパイ中間子原子の精密測定を通し、カイラル対称性の秩序変数であるクォーク凝縮を定量的に評価してきた。しかしこれまでの研究は真空中と原子核密度の6割程度という2つの密度のみでの評価であり、カイラル対称性の部分的回復が密度にどのように依存するかという点に関しては不十分であった。そこで本研究はスズの同位体を用いることで複数の密度でのクォーク凝縮のデータを取得す

る。まず ^{112}Sn などを標的とした実験を理化学研究所のRIBFにて行う。これらの標的はこれまで断面積が小さ過ぎるために用いられてこなかったが、200 pnAというRIBFの高強度ビームと我々の開発してきた高精度実験手法を用いれば十分な精度での測定が可能であると思われる。さらに ^{132}Sn などの不安定核に対しても逆運動学を用いた実験手法を開発する。この手法によってスズの同位体を $A=112\sim 132$ という幅広い領域で標的として用い、クォーク凝縮が密度にどのように依存するかを世界ではじめて明らかにする。

本年度はこれまでに行われたパイ中間子原子の分

光実験の解析を進め、次回実験での問題点を確認した。さらに¹¹²Snを含む実験計画を仁科加速器センターに提案し、受諾された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Nishi T., Ahn D., Berg P.A.G., Dozono M., Etoh D., Fujioka H., Fukuda N., Fukunishi N., Geissel H., Haettner E., Hashimoto T., Hayano S.R., Hirenzaki S., Horii H., Ikeno N., Inabe N., Itahashi K., Iwasaki M., Kameda D., Kawase S., Kisamori K., Kiyokawa Y., Kubo T., Kusaka K., Matsushita M., Michimasa S., Mishima G., Miya H., Murai D., Nagahiro H., Niikura M., Ota S., Sakamoto N., Sekiguchi K., Suzuki H., Suzuki K., Takaki M., Takeda H., Tanaka K.Y., Uesaka T., Wada Y., Watanabe N.Y., Weick H., Yamakami H., Yanagisawa Y. and Yoshida K. : “Q-value resolution improvements in the spectroscopy of deeply bound pionic atoms using BigRIPS”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 48, 235 (2014)*

●口頭発表 presentations

(国際会議)

Nishi T., Ahn D., Ayyad Y., Benlliure J., Berg P.A.G., Brinkmann -T.K., Dozono M., Etoh D., Friedrich S.,

Fujioka H., Fukuda N., Fukunishi N., Geissel H., Gellanki J., Guo C., Gutz E., Haettner E., Harakeh N.M., Hashimoto T., Hayano S.R., Higashi Y., Hirenzaki S., Horii H., Hornung C., Igarashi Y., Ikeno N., Inabe N., Itahashi K., Itoh S., Iwasaki M., Iwasaki M., Jido D., Kalantar-Nayestanaki N., Kameda D., Kanungo R., Kawase S., Kisamori K., Kiyokawa Y., Knoebel R., Kubo T., Kurz N., Kusaka K., Matsubara H., Matsushita M., Metag V., Michimasa S., Miki K., Mishima G., Miya H., Mukha I., Murai D., Murakami Y., Nagae T., Nagahiro H., Nakamura M., Nanova M., Niikura M., Noji S., Okochi K., Ong J.H., Ota S., Pietri S., Prochazka A., Rappold C., Reiter P.M., Sakamoto N., Sanchez L.R.J., Scheidenberger C., Sekiguchi K., Simon H., Sitar B., Strmen P., Sun B., Suzuki H., Suzuki K., Szarka I., Takaki M., Takechi M., Takeda H., Tanaka K.Y., Tanihata I., Terashima S., Todoroki K., Tsukada K., Uesaka T., Wada Y., Watanabe N.Y., Weick H., Widmann E., Winfield J., Xu X., Yamada H., Yamakami H., Yanagisawa Y., Yoshida K. and Zhao J. : “Missing mass spectroscopy of pionic atoms and eta prime nuclei”, Meson Production and Meson-Baryon Interaction , Sendai, Japan, 14th Sep. (2015)

XXVII-010

三次元相対論的電磁流体シミュレーションで迫る ガンマ線バーストの正体

Three-dimensional Special Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations for Gamma-ray Bursts

研究者氏名: 松本仁 Matsumoto, Jin
受入研究室: 長瀧天体ビッグバン研究室
(所属長 長瀧 重博)

本研究の目的は、三次元相対論的電磁流体シミュレーションを用いてガンマ線バーストジェットの力学進化を正確に理解し、そこからの放射過程を計算することでガンマ線バーストの全体像を無矛盾に構築することである。特に、ガンマ線バーストにおける磁場の果たす役割および即時放射における時間変動の起源の理解は本研究における最重要課題である。

本年度は、ガンマ線バーストジェットの力学進化

における初期段階である相対論的ジェットと親星との相互作用に焦点を絞り、ジェットの安定性に対する磁場の効果およびジェット伝搬中に成長する流体不安定性の基礎物理を明らかにする研究を行った。

(1) ジェット伝搬中に磁場がジェットに与える影響をより精度良く理解するために相対論的電磁流体シミュレーションコードの改良を行った。具体的には、数値流速を評価するプロシージャにおいて、アルフヴェンモードを精度良く捕らえることのできる

HLLDスキームを実装した。

(2) 改良した電磁流体シミュレーションコードを用いて、計算領域の境界から磁場を含んだ相対論的ジェットを注入し、親星中の三次元ジェット伝搬問題を解いた。ジェット伝搬中には、ジェットとコクーンの圧力差によりジェットは動径方向に振動する。この振動の復元力によりジェット境界には非軸対象モードのRayleigh-Taylor不安定性が成長するが、注入するジェットの磁気圧がジェットのガス圧と同等以上の場合には、磁気張力によりこの不安定性の成長は抑えられることがわかった。

(3) ジェット境界で成長する流体不安定性はジェットを不均一にするため、即時放射期における時間変動制の起源になりうる。ジェット境界で成長するRayleigh-Taylor不安定性の定量的な議論を可能とするため、ジェット半径の曲率を無視したシンプルなジェット境界のモデリングを行い、理論を構築した。具体的には線形解析を行い、成長するRayleigh-Taylor不安定性の波数と周波数に関する分散関係式を導き、解析的な成長率を明らかにした。また、ジェット境界で成長するRayleigh-Taylor不安定性の数値シミュレーションを行い、解析的に得られる成長率とシミュレーションの結果から得られる成長率が一致することを確認した。

●誌上発表 Publications

XXVII-011 大規模量子モンテカルロ法の開発と量子磁性体における新規量子現象の研究

Development of The Large-Scale Quantum Monte Carlo Method and Study of Novel Quantum Phenomena in Quantum Magnets

ファインマンの経路積分表示に基づく世界線量子モンテカルロ (Quantum Monte Carlo, 以下QMC) 法は量子格子模型に対しバイアスなしに統計誤差内で厳密な解を得られる強力な手法である。世界線更新のためのアルゴリズムの中でもワームアルゴリズムは、連続虚時間空間の中で大域的な更新ができ、磁場下でも更新効率が低下しない汎用性の高いアルゴリズムである。

(原著論文)

Ito H., Matsumoto J., Nagataki S, Warren D. C. and Barkov, M. V.: “Photospheric Emission from Collapsar Jets in 3D Relativistic Hydrodynamics”, The Astrophysical Journal Letters, 814 29-34 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Matsumoto J.: “Comparison of divergence-free techniques in relativistic magneto hydrodynamic simulations”, COMPUTING in PHYSICS, Valencia, Spain, Oct. (2015)

(国内学会等)

松本仁: “相対論版HLLDコードの開発”, 宇宙磁気流体・プラズマシミュレーションサマースクール, 千葉, 8月 (2015)

松本仁: “相対論的ジェットの伝搬ダイナミクス”, 2015年度天体MHD研究会, 名古屋, 8月 (2015)

松本仁: “Rayleigh-Taylor不安定性が相対論的ジェットで成長する条件”, 国立天文台天文シミュレーションプロジェクト平成27年度ユーザーズミーティング, 奥州, 1月 (2016)

松本仁: “Rayleigh-Taylor不安定性が相対論的ジェットで成長する条件”, 天文学会2016年春季年会, 東京, 3月 (2016)

研究者氏名: 正木 晶子 Masaki, Akiko
受入研究室: 柚木計算物性物理研究室
(所属長 柚木 清司)

本研究では、2014年に発表した大規模並列計算が可能なアルゴリズム (Parallelized Multi-Worm Algorithm, 以下PMWA) をより一般的な格子にも対応できるように高度化を行った。さらに、従来のワームアルゴリズムと違い、PMWAでは、人為的なワームのソース場 (具体的には横磁場) を付加することで複数のワームを導入するが、本期間中に、ソース場が入るときの相の変化を明らかにするため

に、2次元ハードコア・ボーズ模型の、横磁場、化学ポテンシャル及び相互作用を変化させたときの3次元基底状態相図を明らかにした。また、PMWAで超流動密度、多点相関関数、横磁場感受率などの物理量を測定するための定式化及び実装を行った。逐次版及び並列化版の当パッケージをオープンソース化しgithub上で公開している。

また、このQMC法の逐次版を用いて金属有機化合物Cu(DCOO)₂・4D₂Oの磁性体での励起構造の解明に取り組んだ。この物質は2次元的な結晶構造を持ち、基底状態で反強磁性秩序を持つ。近年の実験において、これまでの理論で信じられてきた反強磁性秩序下で予想されるスピン波近似による励起構造とは異なるメカニズムで発生する励起スペクトルが観測された。本研究では、QMC計算で得られた虚時間スピン・スピン相関に対し、本研究所ミシェ

ンコ上級研究員が考案したバイアスのない新しい数値解析接続手法であるStochastic Optimization法を用いて、Cu(DCOO)₂・4D₂Oをよく記述できるスピン模型の励起スペクトルを求めた。我々の結果は実験で測定されたスペクトルとよく一致し、実験で提唱されたこれまでの近似理論と異なる励起構造を示唆するものとなった。

●口頭発表

(国内学会)

正木 晶子 “DSQSS講習会”, CCMSハンズオン, 東大物性研(柏), 12月(2015年)

正木 晶子 “量子ハイゼンベルグ模型の励起スペクトル”, 日本物理学会第71回年次大会, 東北学院大学(仙台), 3月(2016年)

XXVII-012 トポロジカル絶縁体・超伝導体をもたらす新奇量子現象の理論的研究

Novel Quantum Phenomena in Topological Insulators and Superconductors

研究者氏名: 中河西翔 Nakosai, Sho

受入研究室: 古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

波動関数の位相幾何学的構造によって引き起こされる非自明な物性の理解が近年急速に深まってきている。本課題においては、接合系・超格子・微細加工などを対象に物質系の構造を設計することによって新奇な現象を理論的に提唱する、というアイデアに基づき次の2点について研究を行った。

(1) 超伝導秩序と磁気秩序の共存系に現れる束縛状態

従来型超伝導状態を示す電子に対するskyrmion構造をもつ局所磁場の影響を調べた。ナイーブな予想に反して位相気学的な非自明性に起因する状態が現れることはなかったが、幕的に減衰する状態がskyrmionの中心に現れることを明らかにした。これは磁気不純物周りに局在するShiba状態とは質的に異なる。実験においてはスピン偏極STMによってその状態を観測できることを指摘した。

(2) Kitaev梯子における超伝導位相の変調

平行に並んだ2本のKitaev鎖中の相対的な超伝導

位相を調べることで、Majorana端状態をもたらす特異なJosephson結合を議論した。Majorana端状態がゼロエネルギーであることに由来してJosephson結合は鎖間のトンネル結合の1次の効果として現れるため、通常のJosephson結合と位相差が生じる。競合の結果として位相が変調することで有限系においても基底状態に縮退が現れることを明らかにした。縮退した基底状態は量子情報への応用が期待される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Pershoguba S. S., Nakosai S. and Balatsky V. A.: “Skyrmion-induced bound states in a superconductor”, submitted

Nakosai S., Tanaka Y., Ng T. K. and Nagaosa N.: “Spontaneous modulation of superconducting phase in Kitaev ladder”, submitted

Theoretical and Experimental Research for Efficiency of Heat Engines in
Quantum-Mesoscopic Systems Based on Information Theory

研究者氏名: 田島 裕康 Tajima, Hiroyasu
 受入研究室: 創発物性科学研究センター
 超伝導量子エレクトロニクス研究チーム
 (所属長 中村 泰信)

微小系熱機関においては、通常の熱機関においては無視することの出来る出力揺らぎ・有限サイズ効果が本質的な問題になるため、マクロ系を対象にした従来の熱力学は適用できない。こうした微小系熱機関の解析を定量的に明らかにするために、以下二つの問題に取り組んでいる：

(1) 微小系熱機関の出力揺らぎの定量的解析 (2) 有限粒子・有限時間の熱力学の構築

本年度は、この (1)、(2) についてそれぞれ以下の結果を得た：

(1) に関する進展：微小熱機関の出力分散下限の導出 (論文準備中)

昨年度に熱機関の最大効率を求める為に開発した情報理論的な計算手法を発展させる事で、その出力分散の lower bound を求める事に成功した。この bound は達成可能なものであり、かつ粒子数無限大の極限で 0 になる、マクロスケールの熱機関で得られる出力が揺らいでいない事実と整合的なものである。

(2) に関する進展 1：熱浴を繰り返し使用した場合の第二法則変化 (論文準備中)

既存の熱力学研究においては、「使用後の熱機関・熱浴」を再利用した場合の熱力学法則は検討されてこなかった。熱力学においては、全ての熱機関・熱浴は再利用可能であるため、この仮定は熱力学を統計力学から基礎付けようとする試みにおける重要な問題点の一つとして知られていた。我々は、情報幾何的なアプローチによって、使用後の熱機関・熱浴を再利用した場合の熱機関効率の限界値を求める事に成功した。

さらに本年度は、熱力学の統計力学的基礎付けに関する、以下の結果を得た：

(3)：量子力学からの熱力学的巨視的理論の導出 (Publication[2])

熱力学を量子力学あるいは古典力学の様なミクロ

の物理法則から基礎付けることは、統計力学の重要な未達成目標の一つである。我々は、熱力学と同じ『変換の可能・不可能に関する全順序構造』を持っていて、かつミクロ変数にはよらないマクロな理論を量子力学から具体的に導出した。更に、具体例として、箱の中の自由粒子系を用いて、 (U, V, N) 表示の熱力学を再構成した。

この他、前年に得られた結果の整理・発表を行った (Publication [1], Presentation)

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- [1] M. Hayashi, H. Tajima: "Measurement-based Formulation of Quantum Heat Engine," arXiv:1504.0615, (2015), submitted
 [2] H. Tajima, E. Wakakuwa: "Replicating the Second Law by Macroscopic Thermodynamic Theory derived from Quantum Mechanics," arXiv:1601.000487, (2016), submitted

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

- [3] H. Tajima: Measurement-based Formulation of Quantum Heat Engine and Optimal Efficiency with Finite-Size Effect, YQIP2016, Kyoto, Jan (2016) (国内学会等)
 [5] 田島裕康：“量子測定理論に基づく量子熱機関の定式化と、有限粒子熱機関の最適効率の導出,” 量子情報の新時代, 京都, 7月, (2015)
 [6] 田島裕康：“強い大偏差理論に基づく有限粒子熱機関の最適効率の導出,” 日本物理学会, 大阪, 9月, (2015)
 [7] 田島裕康：“量子測定理論に基づく量子熱機関の定式化と、有限多粒子熱機関の最適効率の導出,” 多自由度シンポジウム, 名古屋, 10月 (2015) (招

待講演)

理学懇談会 東京, 3月 (2016) (招待講演)

[8] 田島裕康: “量子熱力学の最近の進展,” 統計物

XXVII-014 反転対称性の破れの誘起する新規電気磁気物性の開拓および物質開発
Material Development for Novel Magnetoelectric Properties Induced
by Violation of Inversion Symmetry

研究者氏名: 車地 崇 Kurumaji, Takashi
受入研究室: 創発物性科学研究センター
強相関物性研究グループ
(所属長 十倉 好紀)

反転対称性の破れた結晶構造をもつ磁性材料中では電気磁気 (ME) 効果という磁性と誘電性の結合現象を利用して、電場を使った省消費電力での磁性制御が期待されている。本研究では新規ME特性をもつ非反転対称磁性材料の開発を目指している。本年度行った研究内容を下記に列挙する。

①巨大線形ME物質 $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ におけるエレクトロマグノンの観測

当物質は極性という結晶の上下の鏡映対称性の破れを有した磁性材料で、Feサイトのスピンの共線的磁気秩序の発達に伴い巨大な線形ME効果を有することが本研究により報告された。典型的なME物質である Cr_2O_3 と比較して100倍ものME応答が生じることに起因した新規磁気光学応答が期待されることから、テラヘルツ領域の光学特性を調べた。1.2 THz, 2.4 THzにおいてマグノンモードが存在することが確認され、さらに前者のモードは光の振動電場成分により励起されるエレクトロマグノンであることが解明された。共線的磁気構造で誘起されるエレクトロマグノン例が少なく、そのメカニズムの解明に興味をもたれる。

②新規スキルミオン格子形成の候補物質 VOSe_2O_5 の磁気異常の発見

ナノメートルスケールの磁氣的渦状構造であるスキルミオンは新規磁気記憶デバイスへの応用への期待から近年急速に研究が発達している。しかし、スキルミオン発現物質はまだ数が少なく、多様性の拡張が必要とされている。本研究では材料データベース (ICSD) の中から様々な候補物質をリストアップ・単結晶育成・物性評価を行った。それらの中で VOSe_2O_5 においてスキルミオン格子

形成を示唆する磁氣的異常が観測され、単結晶を使った小角中性子散乱実験において長周期構造を発見することができた。当該物質はすでにスキルミオン格子形成が報告されているキラル磁性体 Cu_2OSeO_3 の無機化学的類縁物質で、極性構造をもつ点で対照物質といえる。

③極性構造をもつフェリ磁性体 $\text{Mn}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ におけるME結合の発見

先述した極性磁性体 $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ の類縁物質で磁性サイトが異方性の小さいMnに置き換っていることからマイクロ波などのより低エネルギーでの動的ME効果が期待される。単結晶育成の報告はあるものの再現性がなかったが、合成条件の最適化により単結晶育成に成功し、電気磁気結合も初めて観測することができた。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kurumaji T., Ishiwata S., and Tokura Y. : “Doping-tunable ferrimagnetic phase with large linear magnetoelectric effect in a polar magnet $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ ”, *Physical Review X* 5, 3 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

(予定) [Kurumaji. T, Ishiwata S., and Tokura Y. : “Doping-tunable ferrimagnetic phase with large linear magnetoelectric effect in a polar magnet $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ ”, American Physical Society, ボルチモア, メリーランド州, アメリカ合衆国, 3月 (2016)]

XXVII-015 シリコン多重量子ドットを用いた電子スピンによる量子計算の研究

Electron-spin-based Quantum Computing in Silicon Multiple Quantum Dots

研究者氏名: 米田 淳 Yoneda, Jun

受入研究室: 創発物性科学研究センター

量子機能システム研究グループ

(所属長 樽茶 清悟)

半導体量子ドット中の電子スピン系は、高い集積性を有する量子計算機の候補として着目され、ガリウム砒素ドットを用いた研究開発が著しく進展している。しかし、量子ビット操作時間に対して集団位相コヒーレンス時間 (T_2^*) が比較的短いことが量子計算の制限要因になっている。そこで本研究では、核スピンの数が少なく T_2^* に優れたシリコン系量子ドットを用い、量子計算機に不可欠な量子誤り訂正など、量子計算におけるマイルストーン実現をめざしている。

本年度はまず、ガリウム砒素系3重量子ドットにおいて、単一電子スピンに対する磁気共鳴実験を行い、微小磁石の作り出す局所磁場を利用して、3つの単一電子スピンを独立にコヒーレント操作する手法を確立した。これは、3量子ビット系における任意の1量子ビット操作に相当する。さらに、シリコン量子井戸構造を用いた2重量子ドットにおいて、同様に単一電子スピン共鳴を実現し、スピン回転の高速化により量子誤り訂正しきい値を超えた高忠実度1量子ビット操作を実現した。

量子井戸構造を用いた実験から、シリコン系に特有の谷縮退が量子ビット操作実験に与える悪影響が明らかとなった。谷縮退の問題を回避するためには、量子ドットの微細化が有効である。そこで、2次元電子ガス層を浅くすることが容易で微細化に有利なMOS構造に着目し、量子ビット操作に必要な高い制御性をもつ、電極閉じ込め型のMOS量子ドット試料のプロセス確立に取り組んだ。同試料構造では、表面アルミ電極に正電圧を印加することで、基板表面に形成された厚さ10ナノメートルのゲート酸化膜直下(シリコン/酸化膜界面)に電子を電界誘起

することができる。電子線重ね合わせ描画とアルミ電極の表面酸化を組み合わせることで、ドット径の小さい試料が作製可能となった。液体ヘリウム温度における測定で、単一量子ドット特有のクーロンダイヤモンドの観測に成功し、30ミリ電子ボルトと従来構造の数倍の帯電エネルギーを得た。これは電極閉じ込め型としては大きく、また谷縮退の分離に十分であると期待できる。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yoneda J., Otsuka T., Takakura T., Pioro-Ladrière M., Brunner R., Lu H., Nakajima T., Obata T., Palmström C., Gossard A. C. and Tarucha S., “Robust micro-magnet design for fast electrical manipulations of single spins in quantum dots”, *Applied Physics Express* 8, 084401 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

米田淳, 本田拓夢, 武田健太, M. Marx, 大塚朋廣, 中島峻, M.R. Delbecq, 天羽真一, Giles Allison, 小寺哲夫, 小田俊理, 樽茶清悟: “電極閉じ込め型シリコンMOS量子ドットの作製と評価”, 日本物理学会, 吹田, 9月(2015)

米田淳, 野入亮人, 中島峻, 大塚朋廣, M.R. Delbecq, 天羽真一, A. Ludwig, A. D. Wieck, 樽茶清悟: “三重量子ドット電子スピン共鳴における局所磁場差と交換相互作用の競合”, 日本物理学会, 仙台, 3月(2016)

Research on Majorana Fermions in Hybrid
Semiconductor-superconductor Devices

研究者氏名: 鎌田大 Kamata, Hiroshi
受入研究室: 創発物性科学研究センター
量子機能システム研究グループ
(所属長 樽茶 清悟)

マヨラナ粒子とは、それ自身が反粒子である電気的に中性な粒子である。この粒子の存在自体は80年近く前に理論提案されており、例えば、ニュートリノがマヨラナ粒子かどうかということは素粒子物理学の大きな問題のひとつとなっている。一方、この準粒子は、非アーベリアン統計に従うとともにトポロジカルな性質をもち、局所摂動に対して強固であるという特性から、擾乱に強いトポロジカル量子計算の量子ビットへの応用という観点からも大きな注目を集めている。

近年、半導体量子細線／超伝導体複合構造素子において、この粒子が実現できるという理論が提案され、固体中におけるマヨラナ粒子の生成と検出の実験的研究が世界的に活発化しつつある。しかし、固体中でのマヨラナ粒子の存在を示唆する実験結果が数グループから報告されているものの、マヨラナ粒子とは別の起源による解釈も排除できておらず、マヨラナ粒子の確かな実証はまだなされていない。

本研究では、2つの方向性でマヨラナ粒子に関する実験的研究を遂行する。1つ目は、1次元半導体量子細線の特徴評価から見直し、マヨラナ粒子生成に必要なトポロジカル相であるヘリカル状態を探索する。2つ目は、マヨラナ粒子検出の新規的な測定手法を確立し、固体素子中におけるマヨラナ粒子の実証を目指す。

本年度は、半導体InAs自己形成量子細線におい

て、量子化伝導度およびヘリカル状態の観測を試みた。InAs量子細線は、強いスピン軌道相互作用を持つため、マヨラナ束縛状態を実現する素子として期待されている。しかし、このInAs量子細線において、電子は主に表面電荷蓄積層を流れるため、その伝導は表面の粗さや不純物によって強く散乱され、バリスティックな伝導性を失う。今回、架橋型ゲート電極構造を用いることにより、それらの散乱を抑制するとともに、高品質な金属／半導体接合を実現することにより、伝導度の量子化を観測することに成功した。さらに、細線に対して磁場を印加したとき、伝導度にヘリカル状態の兆候が観測された。現在、この系におけるスピン軌道相互作用の定量的な理解を得るために、新たな試料を作製し、実験を進めている。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

鎌田大, 松尾貞茂, 馬場翔二, Deacon R., Li K., Xu H., 大岩顕, 樽茶清悟: “架橋型InAs量子細線における電気伝導特性の評価”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪, 9月(2015)

馬場翔二, 鎌田大, 松尾貞茂, Deacon R., 大岩顕, Li K., Xu H., 樽茶清悟: “InAs並列二重ナノワイヤー接合の伝導特性”, 日本物理学会2015年秋季大会, 大阪, 9月(2015)

XXVII-017 Transformation of Dinitrogen to Ammonia and Organonitrogen Compounds by Using Multimetallic Transition Metal Hydride Complexes

Name: Shaowei Hu

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science,
Advanced Catalysis Research Group
Laboratory Head: Zhaomin Hou

Nitrogen is essential for life and is very inert. Industrially, ammonia is synthesized from H_2 and N_2 under extremely harsh conditions. Chemists have long searched for a low-energy process for transformation of N_2 by using transition metal complexes. Previously, researchers used low-valent transition metal species or combination of transition metal complexes with strong reducing reagents to activate N_2 . Some catalytic transformations are even reported, however, these reaction systems require the sacrifice of an excess amount of strong reducing agents and proton agents. An alternative approach is the direct reduction of N_2 by transition metal hydrides, which avoids the use of extra reducing agents and proton sources, and may provide an entry to homogeneous catalyst systems for the synthesis of NH_3 from a mixture of N_2 and H_2 .

Previously we have synthesized a trinuclear titanium polyhydride complex that reacts with N_2 through $N\equiv N$ bond cleavage and N-H bond formation under mild conditions, which indicated that multinuclear transition metal hydride complexes can serve as a unique platform for nitrogen fixation. In this research we try to convert dinitrogen to ammonia and organonitrogen compounds by using multimetallic transition metal hydride complexes. In the past one-year, I have synthesized a series of multimetallic Ti hydride complexes by using different substituted cyclopentadienyl (Cp) as ligand. Interestingly when the Ti hydride cluster is tetranuclear or hexanuclear complex, it could not react with dinitrogen. While in the case of the trinuclear complex, the dinitrogen is cleaved and hydrogenated, which was

similar to previously reported Ti complex. This indicates we can tune the complexes structure by modifying ligands. As a result we can improve the activities of complexes. In addition, some non-Cp ligands were also investigated, such as some pincer ligands. While the obtained Ti hydride complexes showed no activity toward dinitrogen. In the next step other transition metals will be screened for the activation of dinitrogen.

In order to liberate ammonia from the reaction system and thus achieve catalytic ammonia synthesis, a second transition metal hydride complex was added to the system. Here the Ru, Rh, and Ir hydride complex were explored, and these complexes were reported to be excellent hydrogenation catalysts and expected to promote the hydrogenolysis reactions and break the Ti-N bonds here. Preliminary studies show that some reactions took place, however, ammonia was not released as expected. We notice that the second metal hydride complex decomposed in these reactions. We expect the improvement of reactions by using more active and more stable metal hydride.

●Presentation

International Conference

Hu S., Shima T., Kang X., Luo G., Luo Y. and Hou Z.
“Carbon-carbon bond cleavage and rearrangement of benzene by a multinuclear titanium hydride complex” The international chemical congress of pacific basin societies 2015, Honolulu, USA, 2015, December 15-20.

XXVII-018 新しい界面選択的超高速分光の開発と水の界面ダイナミクスの研究

Development of Interface-specific Ultrafast Spectroscopy for the Study of Interfacial Water Dynamics

研究者氏名: 井上 賢一 Inoue, Ken-ichi

受入研究室: 田原分子分光研究室

(所属長 田原 太平)

自然界に遍在する水の大きな特徴の一つは、3次元に張り巡らされた水素結合ネットワークによって水分子同士が非常に強く相互作用し合っている点である。ところが、界面の水は水素結合ネットワークが途切れるためバルクの水とは大きく環境が異なる。そのため、界面の水はバルクの水では見られない様々な現象に参与することが知られている。これらの現象を解明するには、バルクではなく界面における水分子の構造やダイナミクスを分子レベルで理解することが不可欠である。しかし、少数の界面の水分子からの情報と圧倒的に多数のバルクの水分子からの情報が混在した信号から、前者だけを選択的に得ることは容易ではない。本研究課題では、界面選択性と高い時間分解能を有した新しい分光法を開発し、界面に存在する水分子の超高速振動ダイナミクス測定から界面における水分子の構造やダイナミクスの分子レベルでの理解に取り組む。

帯電した水界面は、生体膜界面や電極界面など身近に存在し、表面電荷と対イオンが形成する電気二重層の影響を受けた水の構造やダイナミクスは非常に興味深い。本年度は、カチオン性界面活性剤で形成した帯電した水界面のモデル界面に対して、2次元ヘテロダイン検出和周波発生分光法を用いた振動ダイナミクス測定とそのシミュレーションを行った。ヘテロダイン検出和周波発生分光法は、非線形光学過程を用いた界面選択的な分光法であり、バルクの吸収分光と対応する測定を界面で行うことができる。これを2次元分光に拡張することで、バルクの振動ダイナミクス測定に用いられる2次元赤外分光法と対をなす界面の分光法として期待されている。この先端的分光法を用いた研究から、帯電した界面における水の超高速振動ダイナミクスは、1) OH伸縮振動バンドの不均一広がり (=様々な強さの水素結合を持つ水分子が分布している)、2) フェルミ共鳴 (=水分子内の振動モード間の相互作用)の影響を強く受けているという理解が得られた。

●

(原著論文)

Inoue K., Nihonyanagi S., Singh P. C., Yamaguchi S. and Tahara T. : “2D heterodyne-detected sum frequency generation study on the ultrafast vibrational dynamics of H₂O and HOD water at charged interfaces”, *The Journal of Chemical Physics*, 142 212431 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Inoue K., Nihonyanagi S., Yamaguchi S. and Tahara T. : “TR-HD-VSFG study on ultrafast vibrational dynamics of free OH at the air/water interface”, *Time Resolved Vibrational Spectroscopy 2015*, Madison, USA, June (2015)

Inoue K., Nihonyanagi S., Singh P. C., Yamaguchi S. and Tahara T. : “2D HD-VSFG study on the ultrafast vibrational dynamics of water at charged interfaces”, *International Symposium on “Studying the Function of Soft Molecular Systems”*, Tokyo, Japan, July (2015)

(国内学会等)

井上賢一: “新しい界面選択的分光を用いて観る液体界面のダイナミクス”, 国際光年記念シンポジウム, 東京, 4月 (2015)

井上賢一, 二本柳聡史, 山口祥一, 田原太平: “TR-HD-VSFGを用いた空気/水界面の超高速ダイナミクス”, 第4回分子システム研究春季研究会, 伊東, 5月 (2015)

井上賢一, 二本柳聡史, 山口祥一, 田原太平: “時間分解ヘテロダイン検出和周波発生分光法を用いた空気/水界面の構造と超高速振動ダイナミクスの研究”, 第9回分子科学討論会, 東京, 9月 (2015)

井上賢一, 二本柳聡史, Prashant C. Singh, 山口祥一, 田原太平: “2次元ヘテロダイン検出和周波発生分光法を用いた帯電した界面における水の超高速

振動ダイナミクス”, 理研シンポジウム第3回「光量子工学研究」, 和光, 11月(2015)
井上賢一, Prashant C. Singh, 二本柳聡史, 山口祥一, 田原太平: “2次元ヘテロダイン検出和周波発生分光法を用いた生体膜モデル界面の研究”, 新学術領域「柔らかな分子系」第4回全体合宿会議,

福岡, 11月(2015)
井上賢一, Prashant C. Singh, 二本柳聡史, 山口祥一, 田原太平: “Heterogeneity and Ultrafast Vibrational Dynamics at the Model Membrane Interface Studied by 2D HD-VSFG”, 表面・界面スペクトロスコピー 2015, 埼玉, 11月(2015)

XXVII-019

新規リガンド結合部位同定法の開発と、
そのNPC1の新規ステロール結合部位同定への応用

Ligand-binding Sites Profiling by Alkyne-Tag Raman Screening (ATRaS):
Profiling Sterol-binding Sites on Niemann-pick Type C1 Protein

研究者氏名: 大金 賢司 Ohgane, Kenji
受入研究室: 袖岡有機合成化学研究室
(所属長 袖岡 幹子)

低分子化合物・生物活性化合物の作用機序を解明する上で、化合物が生体内においてどのようなタンパク質(群)と相互作用をし、さらにそのタンパク質中のどのドメイン・部位と相互作用しているかを明らかにすることは重要である。

生物化学分野においては、抗体を用いることで特定のタンパク質を検出することも濃縮精製することも可能である(例えば、ウェスタンブロットや免疫沈降法)。これらはもはや新しい技術ではないが、現代の生命科学研究においても欠かせない技術である。一方で、タンパク質と比べてはるかに小さい低分子化合物に対しては、抗体のような検出・濃縮精製に普遍的に使用可能な技術が確立されているとは言いがたい。これはケミカルバイオロジー研究の難しさの大きな要因である。これまで、検出には放射性同位体や蛍光、また安定同位体による標識が用いられ、濃縮精製には主にビオチン標識をアビジンとの相互作用を利用して精製するシステムが用いられてきた。最近では、クリックケミストリー(銅触媒によるアジド-アルキン環化付加反応)を利用し、アルキンタグやアジドタグに後から蛍光団あるいはビオチンを導入できるようになった。銅触媒の「反応」というステップ(と付随する精製のステップ)が必要であるものの、アルキンやアジドといった、わずか3原子からなる小さなタグが、検出および濃縮精製の両方に使用できるようになりつつある。

クリックケミストリーはアルキンとアジドの特徴的な「反応性」を利用した手法である。受け入れ研究室では、アルキンがラマン分光法で特異的に検出可能であることを利用し、アルキンの直接的な検出・イメージング、そしてその応用としてリガンド結合部位同定法の開発を進めている。これらは、アルキンの持つポテンシャルを直接検出へと活用する研究である。

本研究においては、受入研究室のバックグラウンドである遷移金属化学と、アルキンのある特性を活かし、新規に直接的な濃縮精製法の開発を行うことを第一の目的とする。そして、その手法をリガンド結合部位同定等、ケミカルバイオロジー分野での応用可能性を示すことを第二の目的としている。特に、応用対象としては、ステロール結合部位が未同定な膜タンパク質NPC1に焦点をあてる。

本研究期間においては、「アルキンの直接的濃縮精製」の鍵となる実験結果を得ることに成功し、それに基づいた手法開発を開始した。本手法においては、ミニカラム(固相抽出カラム)形式で容易にアルキンタグのついた低分子化合物・生体分子を濃縮できると見込まれる。これにより、手法そのものとしての価値のみならず、申請当初の計画にあった「まわりくどさ(テクニカルな問題解決方法)」が解消し、化学的あるいは基礎研究としての価値も高まったものと考えている。

XXVII-020 室温核スピン偏極法を用いたフルオロウラシルの高感度液体NMR
Hyperpolarized NMR Spectroscopy of Fluorouracil with Dynamic Nuclear
Polarization at Room Temperature

研究者氏名: 立石健一郎 Tateishi, Kenichiro
受入研究室: 仁科加速器研究センター
上坂スピン・アイソスピン研究室
(所属長 上坂友洋)

核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance: NMR) 分光法は、他の分析手法 (質量分析, UV, IR など) に比べて、感度の悪い分析法である。その低感度は測定試料の「スピン偏極率」の低さに起因し、まだ 1,000 倍以上の感度改善の余地を残している。この問題には、スピン偏極率を飛躍的に向上させることができる動的核偏極法 (Dynamic Nuclear Polarization: DNP) が有効である。DNPとは測定物に ESR アクティブな分子を添加し、その電子スピンの偏極状態をマイクロ波照射を用いて測定対象の核スピンへ移す手法である。従来法では、ラジカル中の熱平衡状態にある電子スピンを用いて DNP を行っているが、測定環境 (温度・磁場) への原理的な制約が厳しく、大きな偏極状態を作り出すには液体ヘリウムで実現される低温が不可欠であった。そこで、「高偏極電子スピン」をレーザー照射で作成し、光励起三重項電子スピンを用いた DNP (トリプレット DNP) に注目し、研究を行った。これは、特に高温下 (100 ~ 300 K) で、従来法では達成不可能な核スピンの高偏極状態を生成することができる次世代核スピン偏極法である。本年度の研究成果は、(1) トリプレット DNP に適した可溶性偏極源の発見、(2) 流水中の核スピンを偏極するための DNP 装置の構築、の 2 点である。

(1) これまでトリプレット DNP の偏極源として使用することができるのは、ペンタセンの光励起三重項電子スピンに限られていた。しかし、ペンタセンの有機溶媒に対する難溶性から、限られた物質しか高偏極化することができなかった。そこで、溶解性に重点を置いてトリプレット DNP 用の新規偏極源の探索を行った。本研究では、有機半導体用に開発されたペンタセン誘導体の中から、溶解度や UV、ESR を用いた評価で、6,13-diphenyl-pentacene を新規偏極源として見出した。また、この誘導体を溶かした重水素化エタノールと水の混合液を 100 K、

0.67 T でトリプレット DNP を行い、水中の ^1H の偏極率 (= 信号強度) を約 9 倍高めることに成功した。

(2) 凍結によって劣化などの問題が生じる試料を高偏極化するために、LC (液体クロマトグラフィー) と DNP を融合させ、流水中の核スピンを偏極するための装置を開発した。LC のカラムに偏極源を配置し、水がそこを通る時に DNP によって偏極される仕組みである。今年度は、装置の設計・製作に注力したため、DNP を実行して偏極信号を得るのは来年度の課題となった。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kawahara T., Sakaguchi S., Tateishi K., Tang T. L. and Uesaka T.: “Kinetic Parameters of Photo-Excited Triplet State of Pentacene Determined by Dynamic Nuclear Polarization”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 84 044005 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Tateishi K., Tsukihana T., Nishida S., Negoro M., Kagawa A., Morita Y., Kitagawa M., Wada S. and Uesaka T.: “Realization of ^1H spin polarization of 40% at room temperature with DNP using photo-excited triplet electron”, *Hyperpolarized Magnetic Resonance, Egmond aan Zee, Netherlands, Aug.* (2015)

(国内学会等)

立石健一郎, 野中洋, 根来誠, 香川晃徳, 北川勝浩, 和田智之, 山東信介, 上坂友洋: “可溶性ペンタセンを用いた光励起三重項電子スピンによる動的核偏極”, 第 54 回 NMR 討論会, 習志野市, 11 月 (2015)

XXVII-021

新反応：オルトベンザインの重合反応による新材料・新機能
Polymerization of *ortho*-Benzyne: Development of New Chemistry,
Functionalities, and Materials

研究者氏名: 巳上 幸一郎 Mikami, Koichiro
受入研究室: 内山元素化学研究室
(所属長 内山 真伸)

アラインは芳香族化合物から水素原子を二つ取り除いた化学種であり、理論化学者や実験化学者によってこれまで100年以上にわたり研究が続けられている。本化学種は非常に不安定であり、系中で発生させて単離することなく反応に用いられる。特にオルトベンザインは環内に非常に歪んだ三重結合を持ち、LUMO準位が非常に低いことが知られている。それらの特徴を活かして、様々な反応が開発され、天然物の全合成における骨格形成反応や結合生成反応などに用いられている。2005年に井原らはオルトベンザインにピリジンを作用させると交互共重合が進行する一方で、開始剤としてGrignard試薬や遷移金属、ラジカル開始剤を用いてもオルトベンザインの単独重合は全く進行しないことを報告している。ごく最近、伊藤・野崎らもオルトベンザインの直接的な重合は困難であることを指摘している。すなわち、オルトベンザインの発見から100年以上経過した現在においてもその単独重合は達成されていなかった。ごく最近我々は、系中で発生させたオルトベンザインに対して触媒量の一種の銅塩を作用させることでオルトベンザインの単独重合が進行することを見出した。

本年度は、添加剤やフッ素源などがオルトベンザインの重合に及ぼす影響を精査し、オルトベンザインのリビング重合性に関して調べた。まず、重合の

生長末端を安定化させる目的でアミン系配位子およびリン系配位子を系中に添加して重合を検討したが、重合を制御することは困難であることがわかった。次に様々な無機系/有機系フッ素源を用いて重合反応を検討した。まずCsFと18-crown-6を組み合わせた塩基の代わりにKFを用いた塩基系、ならびにTBATを用いた場合は重合反応は進行しなかった。一方でTBAFのTHF溶液などを用いると、理論分子量に近い分子量と狭い分子量分布を有するポリマーが得られた。これらの結果から、TBAF系フッ素源がオルトベンザインの重合制御において極めて有効な塩基であることがわかった。

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Mikami K., Mizukoshi Y., Okada Y. and Uchiyama M.: "Synthesis and fundamental properties of poly(*ortho*-phenylene)s", The international chemical congress of pacific basin societies 2015, Honolulu, USA, December (2015)

(国内学会等)

巳上幸一郎, 水越祥英, 岡田侑己, 内山真伸: "アラインのリビング重合へ向けた種々の検討", 第64回高分子学会年次大会, 北海道, 5月 (2015)

XXVII-022 睡眠覚醒のメカニズム解明に向けた非侵襲的光技術の開発とその応用

Development of Non-invasive Optogenetic Tools to Reveal the
Mechanisms of Sleep and Wake Cycle

研究者氏名: 幸長 弘子 Yukinaga, Hiroko
受入研究室: 生命システム研究センター
合成生物学研究グループ
(所属長 上田 泰己)

睡眠、覚醒リズムの解明のために、マウス個体レベルでの細胞間ネットワークを効率的に同定し、マ

ウス個体レベルで細胞状態を非侵襲的に摂動・定量することを目指しています。睡眠・覚醒のメカニズ

ムは昔から様々な研究が行われていますが、未だ睡眠や覚醒を司る細胞群は完全には明らかになっていません。本研究では、全脳を1細胞レベルの解像度で観察できることのできるイメージング技術CUBICを用いて、睡眠・覚醒時の脳の神経活動状況を観察し、網羅的に細胞の同定を行おうとしています。また、その同定した細胞群を手術などを伴わず、非侵襲に刺激するオプトジェネティクスの系の確立を行おうとしています。

本年度は、睡眠・覚醒に関わる細胞群のサンプリング、イメージング、解析手法の確立を主に行いました。神経活動をモニターできるマウスであるArc-dVenusトランスジェニックマウスを用いて、全脳の一細胞解析を行いました。コントロール用マウスと薬剤で睡眠・覚醒量の変化したマウスの睡眠量を測定の後、6時間おきにマウスの脳をサンプリングしました。それらを透明化し、脳の活性を観察しました。得られた大容量の画像データをコンピューターで解析し、活性化した細胞を定量化し、覚醒量と神経の活性化パターンの比較や、脳の領域の活性化パターンの変化を調べました。

また、非侵襲にマウスの脳を刺激するためのツール作りとして、生体内のより深部に照射可能な近赤

外線を用いることを検討しています。HEK293細胞に近赤外線に反応するタンパク質を発現させ、細胞の活性化状態をカルシウムイメージングを用いて測定しました。このタンパク質は温度依存的に活性が変化するので、質量分析法を用いて、温度変化によって変化するリン酸化部位の同定を試みました。候補に挙げた部位に変異を入れ、温度依存的な変化を調べたところ、いくつかの変異で反応が変化することが明らかになってきました。

●誌上発表 Publications

(総説)

Susaki EA., Tainaka K., Perrin D., Yukinaga H., Kuno A. and Ueda HR.: “Advanced CUBIC protocols for whole-brain and whole-body clearing and imaging.”, Nat.Protoc., 10(11) 1709-27(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

Yukinaga H., Perrin D. and Ueda HR.: “Whole-brain analysis of neural activity in the sleep/wake cycle with single cell resolution”, 第22回日本時間生物学会学術大会, 東京, 11月(2000)

XXVII-023

ラットにおける他者の場所認知の神経基盤の解明

Neural Representations of Others' Place in Rats

研究者氏名: 檀上 輝子 Danjo, Teruko
受入研究室: 脳科学総合研究センター
システム神経生理学研究チーム
(所属長 藤澤 茂義)

本研究は、動物が他の個体が存在する場所を認知する際の脳内メカニズムを解明することを目的としている。具体的な実験としては、2匹のラットを用いたT字迷路課題を行っている。この課題では、1匹目のラットの行動選択によって2匹目のラットの正解が変化するため、2匹目のラットが1匹目のラットの行動を観察し、その場所を認知することが必要である。この課題をラットに学習させ、行動課題中の2匹目のラットの海馬から大規模神経活動記録を行い、1匹目のラットの場所認知に関わる神経活動を探索する。この研究によって、海馬に存在する『場所細胞』が、他者の場所をもコードしているのか、

あるいは、他者の場所をコードするシステムが、海馬の自己の場所認知システムとは別個に独立して存在するのかを明らかにし、自己、他者それぞれの場所情報コードを可能にし、両者の関連づける脳内メカニズムを同定することが期待される。

本年度は、上記の行動課題をラットに学習させる手法と行動課題を制御するシステムを確立し、行動課題中の2ペアのラットから大規模神経活動記録を行った。神経活動記録の神経発火波形からスパイクソーティングによって単一ユニットを分離し、個々の単一ユニットの発火タイミングと行動記録（それぞれのラットの位置情報）をつきあわせた解析を行

い、下記の結果を得た。

(1) 2匹目のラットの海馬の神経活動の多くは、自己の位置情報に依存した従来の場所細胞の特徴を持ち、他者の場所はコードしていない。

(2) 少数の神経活動は、自己の位置情報と他者（1匹目のラット）の位置情報の両者の組み合わせに依存した発火活動を示す。

(3) さらに少数の神経活動は、自己、他者のいずれかが特定の場所に存在するときに発火する。これら

の単一ユニットは、他者がある場所にいるときに自己がその場所にいるときと同様の発火活動をするものであり、場所細胞における自己と他者のミラー性を示唆するものである。

●口頭発表 Presentations

Danjo T., Fujisawa S. : “Neural representations of others’ place-related information”, Annual Meeting, Soc. Neurosci., Chicago, USA, Oct. (2015)

XXVII-024 脳内で自発的に生まれる進行波の発生原理と生理的意義の理解 System-Level Understanding of Intercellular Synchronization Mechanism in Mammalian Circadian Clock

研究者氏名: 神田元紀 Kanda, Genki
受入研究室: 生命システム研究センター
合成生物学研究グループ
(所属長 上田 泰己)

我々ヒトを含めたほとんどの生物は約24時間の体内リズム（概日時計）の制御下にある。概日リズムは脳内の小さな神経核、視交叉上核（suprachiasmatic nucleus）で自発的に生み出される。視交叉上核では細胞同士が互いに位相情報を交換・同調することで組織としての頑強な概日時計を形成している。視交叉上核を構成する細胞は同一のリズムで振動しているのではなく、脳の内側から外側に向けて進行波を形成しながら24時間の振動をしている。本研究では、この進行波の発生原理と個体行動にもたらす意義を明らかにすることを試みている。本研究は概日時計を標的としているものの、開発する技術や立ち上げる実験系は他の脳部位における機能解析にも応用可能なものである。

本年度は、前年度までに質量分析や阻害剤実験によって得られた同調制御因子のノックアウトマウスをCRISPR/Casを用いて作製し、進行波が変化しう

るかを観察した。また、本研究で立ち上げた実験系の応用実証として睡眠覚醒機構における制御因子の同定も試みた。睡眠覚醒は概日リズムによって制御される代表的な個体行動であるものの、その機構は不明な点が多い。特に1日の総眠量の制御（ホメオスタシス）を司る遺伝子の同定はあまり進んでおらず、その原因としては遺伝子改変マウスの作製および表現型解析に時間がかかることが挙げられる。本研究では、CRISPR/Casによるノックアウトマウスの作製と当研究室で開発された非新規睡眠定量法を駆使することでこれらの問題を解決しようとしている。実際に、上記と同様に制御因子の候補遺伝子のノックアウトマウスを作製し、マウス個体の睡眠時間を測定したところ、有意な睡眠時間の減少が認められた。また、この表現型の作用機序の解明を目的として、全脳レベルでの蛍光 in situ hybridization (FISH) を導入した。

XXVII-025

マイクロRNAによる2型自然免疫応答の制御機構の解明
Elucidation of the Regulatory Mechanisms of Type II Innate
Immune Responses by microRNA

研究者氏名: 本村 泰隆 Motomura, Yasutaka
受入研究室: 統合生命医科学研究センター
自然免疫システム研究チーム
(所属長 茂呂 和世)

細胞間情報伝達分子として働くサイトカインは、複雑な免疫システムを厳密に制御しており、サイトカインをコードする遺伝子の発現制御機構の破たんが、免疫疾患を引き起こす。そのため、サイトカイン遺伝子の発現は厳密な制御機構によって制御されている。当研究室で発見された新規の自然リンパ球ナチュラルヘルパー (NH) 細胞は、サイトカイン産生能が非常に高く、2型サイトカインInterleukin (IL) -5、IL-13を迅速に産生することにより、寄生虫感染防御などの2型免疫応答を制御している一方で、NH細胞から過剰に2型サイトカインが産生されることにより、アレルギー病態を誘導していることが明らかとなってきた。したがって、寄生虫感染防御およびアレルギー発症メカニズムを理解する

ためには、NH細胞における2型サイトカイン遺伝子の発現がどのように制御されているかを明らかにする必要がある。

これまでに遺伝子発現解析によりNH細胞がサイトカインを産生する際にマイクロRNA合成経路が発動していることを見出し、NH細胞におけるサイトカイン遺伝子の発現制御にマイクロRNAが寄与している可能性を見出した。そこで、本研究では、NH細胞のサイトカイン遺伝子の発現制御に寄与するマイクロRNAを同定することにより、マイクロRNAによる2型サイトカイン遺伝子の制御機構を明らかにすることで、NH細胞による寄生虫感染防御機構およびアレルギー発症機構の制御分子メカニズムを明らかにする。

XXVII-026 老化した哺乳類卵母細胞における染色体の分配異常機構の解明と
その抑制

Exploring Mechanisms of Maternal Age-related Increase
in Meiosis I Error in Oocytes

研究者氏名: 榊原 揚悟 Sakakibara, Yogo
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
染色体分配研究チーム
(所属長 北島 智也)

減数第一分裂における染色体分配に誤りが生じると、異常な染色体数を持つ卵子が形成される。この卵子が不妊や先天性遺伝病を持つ子の出産リスクの主な原因となる。このような染色体分配の誤りは、母体年齢の上昇、つまり卵母細胞の老化でその確率が劇的に上昇する。しかし、どのようにして誤りが生じるのかは不確かであった。卵母細胞の老化によって引き起こされる染色体分配の誤りの全容を解明するべく、モデル生物としてマウスを用い、老化したマウスから得た卵母細胞を用いてライブイメージングをこれまで行ってきた。その解析結果から、誤

った分配となるような染色体のうち、じつに80%が分裂中期において二価染色体の早期分離を経ていることを突き止めた。このことから、二価染色体の早期分離を抑制することで、結果として老化特異的な誤った染色体分配の大部分を抑制できると考えた。そこで本研究では、この二価染色体の早期分離を抑制するために必要となる分子機構の究明と、モデル生物で得た知見のヒトへの応用可能性の模索を目的とする。

本年度は、老化したマウス卵母細胞で見られた二価染色体の早期分離が、ヒト卵母細胞において観察

できるか検証した。ヒト卵母細胞は共同研究先のIVFなんばクリニックにおいて患者の同意のもと提供を受けた。卵母細胞の老化によって姉妹動原体間の距離が広がるのがマウスでは見られており、このことをヒトでも調べたところ、ヒト卵母細胞においても母体年齢に比例して姉妹動原体間の距離が大きくなるのが分かった。これは、ヒトでも母体年齢の上昇に伴って姉妹染色分体を接着しているコヒーシンが徐々に脱離するためであると考えられた。さらに、卵母細胞を35歳以上のものとそれ以外でグループ分けすると、35歳以上の卵母細胞群においては、二価染色体の早期分離によって生じた一価染色体の形成が見られた。つまり、老化によってコヒーシンが脱離することで二価染色体の接着が弱くなり早期分離した結果だと推測でき、マウス同様にヒトにおいても、二価染色体の早期分離が老化に伴う誤った染色体分配の原因の一つであると示唆して

いる。今後、コヒーシンが老化によって脱離する分子機構を解明することで、誤った染色体分配の抑制に関する研究への展開が期待できる。

●誌上発表

(原著論文)

Sakakibara, Y., Hashimoto, S., Nakaoka, Y., Kouznetsova, A., Höög, C., and Kitajima, T.S.: “Bivalent separation into univalent precedes age-related meiosis I errors in oocytes“ *Nature Communications*, in print (2015)*

●口頭発表

(国内セミナー)

榊原揚悟: “卵子の老化: どのようにして染色体分配に誤りは生じるのか?”, 東邦大学生物化学セミナー, 東邦大学, 5月(2015)

XXVII-027

高次嗅覚中枢としての視床下部の機能的役割

—嗅覚入力から内分泌系・自律神経系出力への神経回路の解明—

Functional Analysis of Hypothalamus as a Higher Olfactory Center

—From Olfactory Input to Endocrine and Autonomic Output—

研究者氏名: 梶山十和子 Kajiyama, Towako

受入研究室: 脳科学総合研究センター

シナプス分子機構研究チーム

(所属長 吉原 良浩)

生物の生存のためには、外界からの情報に基づき適切に体内の状態を調節することが不可欠である。中でも嗅覚系は、多くの生物種において外界からの情報入力の重要な経路である。一方、体内の状態の調節は内分泌系および自律神経系を介して行われる。内分泌系・自律神経系の中核は視床下部に存在するが、視床下部のニューロンがどのような種類の嗅覚情報をどの脳領域から受け取り、どのようにして内分泌系・自律神経系へ出力するのかは全く明らかになっていない。そこで、ゼブラフィッシュをモデルとして、嗅覚の入力から視床下部を経て、内分泌系・自律神経系の出力に至るまでの一連の神経伝達の経路を包括的に明らかにすることを本研究の目的とした。

本年度は、以下の3点に取り組んだ。

(1) 視床下部における神経ペプチド・モノアミン

類発現分布アトラスの作製

ゼブラフィッシュ視床下部において嗅覚情報の入力を受けるニューロン群の性質を調べ、マーカー遺伝子を探索するために、アトラスの作製に着手した。本年度は、効率的に発現パターンを調べるために全脳の連続パラフィン切片を作製し、*in situ* hybridizationを行ったのちデジタルスライドスキャナーで全体像を取り込む手法を確立した。

(2) 性フェロモン刺激により活性化される脳領域の特定および生体内の変化の定量

本年度は、嗅覚刺激の中で性フェロモンに着目して研究を行った。まず、性フェロモン刺激による脳内の神経活動マーカー *c-fos* の発現変動を調べた。その結果視床下部の神経核で発現量上昇がみられた。また、生体内の変化としては精液の定量法の確立に取り組んだ。しかしゼブラフィッシュの精液は

ごく少量であり個体差も大きいため有意な変化を検出できず、今後改善が必要である。

(3) 視床下部におけるカルシウムイメージング

視床下部が嗅覚刺激にどのように応答するのかをリアルタイムに調べるために、視床下部におけるカルシウムイメージングに取り組んだ。本年度は、視床下部においてカルシウムインジケータを発現するトランスジェニック系統の確立を行った。複数のgal4系統について、視床下部におけるgal4発現場所

を詳細に調べた。また、交配によりイメージングに用いる系統を作出した。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

梶山十和子：“性フェロモン17, 20 β -PSのゼブラフィッシュにおける役割と神経回路基盤”，ケモビ研究会，箱根，11月（2015）

XXVII-028

自閉症スペクトラムモデルマウスのシステム神経生理学

Systems Neurophysiology of Mouse Models of Autism Spectrum

研究者氏名：田尾 賢太郎 Tao, Kentaro

受入研究室：脳科学総合研究センター

システム神経生理学研究チーム

(所属長 藤澤 茂義)

本研究の目的は、認知行動および実行機能に関与する内側前頭前皮質 (medial prefrontal cortex: mPFC) およびmPFCに投射する領域に着目し、脳領野間の機能的結合を検出するとともに、それらの領野間を長距離投射により構造的に結合している神経細胞の活動パターンに光遺伝学的手法をもちいて干渉することで、神経回路の機能および個体の行動様式に与える影響を検証することである。そのために、頭部固定条件のマウスに認知課題を遂行させ、光遺伝学的手法により長距離投射細胞を同定したうえで、複数の脳領野より電気生理学的に多細胞同時記録を実施する。さらに、自閉症スペクトラム (autism spectrum disorder: ASD) モデルマウスにおいて脳領野間の機能的結合および認知課題の学習成績が変化している可能性を検討する。本研究は、高次行動において観察される脳領野間の機能的結合の生物学的意義とその神経解剖学的基盤について新規の

知見を提供するとともに、ASDの病態生理についてシステム神経生理学的見地から有用な視座を構築することで、基礎医学の発展に貢献することが期待される。

本年度は、

(1) 前年度までに確立した「舐め分け」課題では訓練不可能であった短期記憶課題を実施するために、音提示を弁別刺激として、2本のレバーをもちいたオペラント行動課題を確立した。

(2) 脳領野間の機能的結合の減弱がASDの病態に関与する可能性を検証するために、ポリイノシン酸-ポリシチジル酸コポリマー (polycytidylic acid: poly (I:C)) をもちいた薬理的ASDモデルの作出条件を検討した。

(3) 高密度シリコンプローブをもちいて取得した電気生理データの解析精度を向上させるために、新規のスパイク検出プログラムを構築・導入した。

XXVII-029 炎症収束期に出現する好酸球サブセットと脂質メディエーターの機能解析

Functional Elucidation of Eosinophils and Eosinophil-Derived Lipid Mediators in the Resolution of Inflammation

研究者氏名:磯部 洋輔 Isobe, Yosuke
受入研究室:統合生命医科学研究センター
メタボローム研究チーム
(所属長 有田 誠)

炎症反応は、生体の恒常性を維持する上で必須の生体応答である。一方で、一度誘発された炎症は適切に収束しなければならず、この機構の破綻が慢性炎症や組織損傷の一因であると考えられている。我々はこれまでに、マウスの急性腹膜炎モデルを用いた解析から、炎症の収束期に好酸球が炎症部位へ集積することを見出した。さらに、好酸球に高発現する脂肪酸代謝酵素12/15-リポキシゲナーゼ(12/15-LOX)を介して炎症の収束を促進する、という知見を得てきた。本研究ではこれらの知見に基づき、好酸球-12/15-LOXによる炎症収束促進作用の分子メカニズムの解明を目的としている。また、炎症収束期の好酸球は、一般的な好酸球の特徴として知られる細胞障害性の顆粒分子の遺伝子発現が低く、これまでに知られている好酸球とは異なる新たなサブセットである可能性が考えられた。そこで本研究では、炎症収束期の好酸球の詳細なキャラクタライズを行い、炎症収束期の好酸球の形質発現に関

わる因子の同定を目指す。好酸球-12/15-LOXの下流のメカニズムとして、CXCケモカインの一つであるCXCL13発現細胞の存在が浮かび上がってきたため、本年度においては以下の項目を行った。

- (1) 炎症収束期におけるCXCL13発現細胞を詳細に解析し、細胞種の特定を行った。
- (2) 炎症収束期の好酸球との比較のため、各組織から好酸球を単離する系を確立した。さらに、単離した好酸球についてプロテオミクス及びトランスクリプトミクス解析を行った。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

磯部洋輔, 谷友香子, 植松黎, 新井洋由, 有田誠:“好酸球の脂質メディエーターによる炎症収束促進機構の解明”, 第57回日本脂質生化学会, 東京, 5月(2015)

XXVII-030 遺伝子発現の分散を操作する技術の開発と、分散が細胞分化に与える影響の解析

Controlling the Gene Expression Variance and Analyzing the Effect of the Variance on Cellular Differentiation

研究者氏名:関根 亮二 Sekine, Ryoji
受入研究室:生命システム研究センター
再構成生物学研究ユニット
(所属長 戎家 美紀)

本課題では、以下の二つの研究を行う。
(1) 細胞集団において目的遺伝子の発現量の平均値・分散を定量的に操作する実験系を開発する。
(2) 遺伝子発現の平均値・分散によってどのように細胞型の比率が調節されるのかを解析し、分散が細胞分化に与える影響を明らかにする。

本研究では、マウスES細胞からEpiblastとPrimitive endodermへの細胞分化を課題2の解析対象とする。一方で、本実験系は原理的にはあらゆる遺伝子の発現量を操作できるので、バックアッププランとして同じく発生現象で重要なパターン形成を解析対象とする準備も進める。

本年度は、分布操作回路の作製、および平均値・分散の操作できる値の範囲を広げるための回路の機能向上を行った。また、分布操作回路の開発と並行して二種の分泌タンパク質による細胞集団のパターン形成システムの構築を行った。

(1) 分布操作回路の作製と機能確認

申請書で提案したシンプルな分布操作回路を構築し、Dox と TMP 添加による平均値・分散の段階的な操作が多少可能なことを確認した。しかし、構築した細胞クローンは長期培養すると徐々に Dox による誘導がかからないフラクションが現れ始めた。この原因が利用した tTS に含まれる KRAB ドメインによってサイレンシングが起こるのではないかと考え、コンポーネントを tTS から TetR に変更した。

(2) 分布操作回路の機能向上

分散を大きくするために、分布操作回路のコンポーネントのうち TetR のみに制御されるプロモーター P_{tet} を、TetR と転写活性化因子 Gal4 に制御されるプロモーター P_{Galtet} に変更した。なお、 P_{Galtet} は私が新規に作成したプロモーターである。この変更によって、恒常発現する Gal4 の発現のぶれによって分散が大きくなることを期待した。この改変分布操作回路では、平均値・分散の操作ができるように見えたが、誘導のかからないフラクションが現れてしまった。サイレンシングが起こっているのではないかと考え、現在は転写活性化因子の変更や使用する細胞の変更を検討している。

XXVII-031 生物生産のための分岐・芳香性アシルCoA経路の代謝工学 Metabolic Engineering of Branched and Aromatic Acyl-CoA Pathway for Bio-production

研究者氏名: 田代 洋平 Tashiro, Yohei
受入研究室: 環境資源科学研究センター
細胞生産研究チーム
(所属長 近藤 昭彦)

細胞において、アシルCoAは様々な代謝物のビルディングブロックとなる重要な化合物である。近年、大腸菌や酵母を用いたバイオ生産技術が盛んに研究されており、産業的に重要な医薬中間体や有価化合物にも、アシルCoAを経由して生産されるものが数多く知られている。バイオ生産のため、細胞におけるアシルCoAの種類や量比を改変する試みも行われている。しかし、細胞内におけるアシルCoAプールの組成や濃度は、多重なフィードバック機構によって厳密に管理されているため、アシルCoA供給経路の代謝工学は極めて困難である。

代謝工学では、外来遺伝子の導入、内在遺伝子の破壊、あるいはそれらの組合せが標的化合物の生産性に与える影響を網羅的に解析し、試行錯誤末に、改良された代謝経路が創られる。このようなトライ・アンド・エラー戦略では、サンプル解析のスループットが重要となってくる。本研究では、クオラムセンシングを用いて、細胞内のアシルCoA濃度をハイスループットに検出する系を構築し、それにより、アシルCoA経路の代謝工学プロセスを高速化する。

さらには、工業レベルの物質生産に耐えうる高フラックスなアシルCoA供給経路を大腸菌において構築する。

大腸菌は、遺伝子組換え技術やその培養法が確立されているため、工業的にも広く利用されている。しかし、大腸菌では分岐・芳香性アシルCoAはほとんど合成されないため、それらをビルディングブロックとするような化合物（例えば、ポリケチドやエステルなど）は効率的に生産できない。本研究で創出される大腸菌株は、この問題の解決策となるだろう。また、新規なアシルCoA経路をゼロから人工構成するこの研究は、細胞内におけるアシルCoA代謝について理解を深めることにつながると期待される。

現在、担当研究者は、提案するアシルCoAのハイスループット検出系の確立を目指している。それと同時に、一連の研究の中で、巨大な2-ケト酸デヒドロゲナーゼ複合体を介さない、より小さい酵素から成るアシルCoA供給経路を考案し、その経路を大腸菌において構築中である。

XXVII-032 農業害虫タバコナジラミの複合共生系を成立させる分子機構の解明と
その阻害による新規病虫害制御法の基盤構築

Elucidation of Molecular Mechanisms for Multiple Endosymbiotic Systems
and Development of Novel Control Technologies by the Inhibition of
Endosymbiotic Machinery in *Bemisia tabaci*, the Agricultural Pest

研究者氏名: 藤原 亜希子 Fujiwara, Akiko
受入研究室: 環境資源科学研究センター
ケミカルゲノミクス研究グループ
(所属長 吉田 稔)

タバコナジラミは、吸汁やウイルスの媒介により、多くの農作物に甚大な被害を及ぼす世界最重要害虫である。特に近年では殺虫剤抵抗性系統の蔓延から、従来農薬に替わる新規の防除法の開発が急務となっている。

本種体内には“菌細胞”と呼ばれる肥大化した細胞が存在し、その細胞質中には、植物篩管液中に不足する必須アミノ酸等を合成・供給する必須共生細菌が存在する。加えて、二次共生細菌も存在し、宿主適応度の上昇やウイルス媒介への関与が示唆されている。このように共生系は、本種の生存・繁殖に必須かつ特異的なことから防除標的として有望である。そこで本研究では、「宿主昆虫 - 共生細菌 - 植物ウイルス」3者間の特異的な共生系への関与が予想される標的タンパク質を選定し、ケミカルバイオロジー手法を用いて化合物ライブラリーより新規分子リガンドのスクリーニングを行う。得られたリガンドを阻害剤として用いて、共生系の分子機構の解明を行うと共に、内部共生系を標的とする新たな病虫害防除技術への応用を目指す。

本年度は「宿主昆虫 - 共生細菌」と「共生細菌 - 植物ウイルス」間それぞれの共生系における標的タンパク質選定のために以下の実験を行った。

- (1) タバコナジラミ侵入系統MED Q1を安定的に維持できる飼育環境の整備が完了した。
- (2) 「宿主昆虫 - 共生細菌」共生系における標的の選定：これまでの結果から菌細胞に局在する共生細菌2種が共同して必須アミノ酸合成を行い宿主への栄養授受を担うことが予想されている。この2者間の栄養授受機構は本共生系特異的であり、ここで機能するタンパク質は標的として有望である。そこで、以前行ったRNAseq結果より菌細胞特異的なアミノ酸トランスポーターを選定し、その27個に対して発現定量用の特異的

プライマーを作製した。

- (3) 「共生細菌 - 植物ウイルス」共生系における標的の選定：

- i) TYLCVウイルスとの相互作用：共生細菌 *Hamiltonella* のGroELタンパク質は、宿主体内でTYLCVと結合し、宿主免疫系から防御することによりウイルス媒介率を向上させているのではないかと考えられている。そこで、*Hamiltonella* GroELを標的とし、ウイルス外皮タンパク質との結合阻害を引き起こす阻害剤の獲得を目指す。まず、*Hamiltonella* GroEL抗体を作製し、TYLCV抗体と共に免疫組織化学法により宿主体内での共局在の確認を行った。続いて、スクリーニングに用いるタンパク質回収のため、タグ融合 *Hamiltonella* GroEL発現系を作製した。

- ii) 必須アミノ酸合成：上記(2)で示した菌細胞中において必須アミノ酸合成に関与している2種の共生細菌の持つ必須アミノ酸合成遺伝子群から標的候補を選定するため、各遺伝子の発現定量用の特異的プライマーを作製した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kurata A., Fujiwara A., Haruyama T. and Tsuchida T. :
“Multiplex PCR method for rapid identification of genetic group and symbiont infection status in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae)”, *Appl. Entomol. Zool.*, 51 167-172 (2016)*

De Clerck C., Fujiwara A., Joncour P., Léonard S., Félix M., Francis F., Jijakli M. H., Tsuchida T. and Massart S. : “A metagenomic approach from aphid’s hemolymph sheds light on the potential roles of co-

existing endosymbionts”, *Microbiome*, 3 doi: 10.1186/s40168-015-0130-5 (2015)*

●**口頭発表 Presentations**
(国内学会等)

**XXVII-033 カスタムRNA結合タンパク質を利用した個体内シグナル動態の
実時間イメージング法の開発**
**Development of Real-Time Imaging Method of In Vivo Signaling
Dynamics Based on Customizable RNA Binding Protein**

研究者氏名: 高井 啓 Takai, Akira
受入研究室: 生命システム研究センター
細胞極性統御研究チーム
(所属長 岡田 康志)

本研究では、シロイヌナズナのRNA結合タンパク質 Pentatricopeptide Repeat Protein (PPRP) を利用した任意の内在性mRNA イメージング法の開発と、脊椎動物細胞・個体における細胞外シグナル解析への応用を目的とした。細胞外から細胞内へのシグナル伝達経路では、その最下流においてシグナル標的遺伝子のmRNA発現が制御されるが、そのmRNAを直接ライブイメージングした例はこれまでにない。そこでPPRPなどのRNA結合タンパク質を応用し、シグナル標的遺伝子のmRNAを実時間で定量・可視化することで、脊椎動物におけるシグナル制御機構の解析を行う。これまでにMS2などのRNA結合タンパク質と蛍光タンパク質を用いたRNAイメージング法が報告されているが、RNAに結合していない時にも蛍光を発するため定量性に乏しかった。本研究では、超高輝度発光タンパク質であるNano-lantern (Takai et al., PNAS 2015) のN末端・C末端分割技術を利用し、標的RNA量依存的にNano-lanternのN末端・C末端が再構成して発光するシステムを構築する。さらにPPRPを任意のRNA配列に特異的に結合するようカスタマイズするシステムを構築し、将来的には全てのRNA配列に対して実時間イメージング可能となることを目指す。本研究で試作される実時間RNAイメージング法は、いわばライブin situハイブリダイゼーション法とも呼べるものであり、脊椎動物を初め多くの生物種の遺伝子発現・シグナル解析研究に役立つものと期待する。

藤原垂希子, 倉田歩, 前田太郎, 重信秀治, 孟憲英, 鎌形洋一, 土田努: “タバココナジラミで独自進化した“菌細胞内棲み分け”による複合共生系”, 日本進化学会第17回大会, 中央大学後楽園キャンパス, 8月(2015)

本年度は、MS2やPPRPなどのRNA結合タンパク質を用いたRNAイメージングプローブの脊椎動物培養細胞における挙動解析、およびRNA結合タンパク質のRNA結合特性のin vitro解析のため、以下の研究に取り組んだ。

- (1) 脊椎動物培養細胞におけるPPRPの発現確認
- (2) 脊椎動物培養細胞におけるPPRPと蛍光タンパク質を利用したRNAイメージング
- (3) リコンビナントPPRPを用いたin vitroにおけるRNA結合特性解析

●**誌上発表 Publications**
(原著論文)

Takai A., Nakano M., Saito K., Haruno R., Watanabe T. M., Ohyanagi T., Jin T., Okada Y. and Nagai T.: “Expanded palette of Nano-lanterns for real-time multicolor luminescence imaging”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 112 4352-4356 (2015)*

●**口頭発表 Presentations**
(国内学会等)

- 1) Takai A., Nakano M., Saito K., Haruno R., Watanabe T. M., Ohyanagi T., Jin T., Okada Y. and Nagai T.: “Multicolor Nano-lanterns: the tricolored and super-brilliant luminescent proteins for multicolor, real-time bioluminescence imaging”, 第53回日本生物物理学会年会, 金沢大学(石川県金沢市), 9月(2015)
- 2) 高井啓, 中野雅裕, 春野玲弥, 渡邊朋信, 大柳

達也, 神隆, 岡田康志, 永井健治: “超高輝度発光タンパク質の多色化による遺伝子発現、オルガネラ動態および機能分子動態のマルチカラー・リ

アルタイムイメージング”, 第67回日本細胞生物学会大会, タワーホール船堀(東京都江戸川区), 6月(2015)

XXVII-034

解析が困難な高難度タンパク質結晶からの
シングルショット回折像を用いた結晶構造解析
Structure Analysis by Single Shot Diffraction Images for
Challenging Protein Crystals

研究者氏名: 山下 恵太郎 Yamashita, Keitaro
受入研究室: 放射光科学総合研究センター
生命系放射光利用システム開発ユニット
(所属長 山本雅貴)

第三世代放射光によるX線の超高輝度化や、2次元X線検出器の高速・高感度化、タンパク質調製技術の進歩などにより、1つのタンパク質の構造決定に必要な時間やコストは大幅に短縮されつつある。しかしながら、生命機能にとって重要な膜タンパク質の解析難度は高く、簡便に解析が可能な20-30 μ m以上の大きさの結晶を得ることは難しい。近年SPring-8のBL32XUやBL41XUで利用可能になった超高輝度マイクロビームX線を用いることで、10 μ m程度の微小結晶からでも十分な強度の回折が得られる可能性があるが、多くの場合放射線損傷により1回ないし数回程度のX線照射で試料結晶が破壊されてしまう。これは、活性部位の詳細な構造を観察するために、可能な限り高強度のX線を使用した高分解能での構造解析が不可欠となるためである。また、X線自由電子レーザー施設SACLAで利用できる超高輝度X線は、その極短パルス超高輝度特性から、1回限りで試料結晶は破壊される。本研究は、1回のX線照射で得られるシングルショット回折像のわずかな逆空間情報を積算することで、可能な限り少数の結晶から構造解析に十分な精度を持つ回折強度データを得ることを目的とする。さらに、新規構造の解析の場合に重原子誘導体作製の困難を排除するべく、新規の位相決定方法の開発も行う。

本年度は、ルシフェリン再生酵素の微小結晶を用いて、SACLAおよびSPring-8において大量のシングルショット回折像によるデータ収集を試みた。そのデータ収集ではルシフェリン再生酵素1分子あたり1原子の水銀を結合させており、微弱な異常分散シグナルの検出および位相決定可能性を指標とし

て、データ処理の検討を行った。SACLAを用いて取得したデータに関して、モンテカルロ積分によるデータ処理を行いSIRAS法およびSAD法による位相決定に必要な回折パターン枚数の検討を行った。前者については論文として発表済みであり、後者については論文投稿準備中である。SPring-8では、シングルショット回折像によるデータ収集時の1照射あたり結晶に与える回転量がデータの質へ与える影響を調べ最適な測定条件の検討を進めた。また、SPring-8では更に、実際の膜タンパク質微小結晶により、1結晶あたりの取得フレーム数を増やした場合のデータ収集・解析に関して自動化を進め、使用する結晶の数と得られるデータ精度の関係を調べるとともに、効果的なデータ分別方法と異常値検出方法について検討を行った。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Yamashita K., Pan D., Okuda T., Sugahara M., Kodan A., Yamaguchi T., Murai T., Gomi K., Kajiyama N., Mizohata E., Suzuki M., Nango E., Tono K., Joti Y., Kameshima T., Park J., Song C., Hatsui T., Yabashi M., Iwata S., Kato H., Ago H., Yamamoto M. and Nakatsu T. “An isomorphous replacement method for efficient *de novo* phasing for serial femtosecond crystallography”, *Scientific Reports*, 5, 14017 (2015)*

Kato H.E., Inoue K., Abe-Yoshizumi R., Kato Y., Ono H., Konno M., Hososhima S., Ishizuka T., Hoque M., Kunitomo H., Ito J., Yoshizawa S., Yamashita

K., Takemoto M., Nishizawa T., Taniguchi R., Kogure K., Maturana A.D., Iino Y., Yawo H., Ishitani R., Kandori H. and Nureki O. "Structural basis for Na⁺ transport mechanism by a light-driven Na⁺ pump", Nature, 521, 48-53 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Yamashita K.: "Experimental phasing with serial crystallography using heavy atom derivatives", 3rd Ring-

berg Workshop on Structural Biology with FELs, Germany, Feb. (2016)

Yamashita K.: "Experimental phasing at SACLA", workshop of structural biology with state-of-art photon/electron beam, San Francisco, USA, Jun. (2015) (国内学会等)

山下恵太郎, 潘東青, 菅原道泰, 吾郷日出夫, 山本雅貴, 中津 亨 "重原子誘導体を利用したシリアルフェムト秒結晶学による新規構造決定", 第53回日本生物物理学会年会, 金沢, 9月 (2015)

XXVII-035

生物発光を活用した近赤外発光による
超高感度 *in vivo* 深部イメージング技術の開発

Development of Bioluminescence Imaging Probes

研究者氏名: 岩野 智 Iwano, Satoshi
受入研究室: 脳科学総合研究センター
細胞機能探索技術開発チーム
(所属長 宮脇 敦史)

個体レベルの *in vivo* イメージングは生きのまま動物の生命現象を解明するために非常に大きな役割を担っており、発展が期待される技術である。特に、非侵襲的かつ簡便に実験可能な *in vivo* 生物発光イメージング技術は欠く事のできない基盤技術となっている。多くの生物発光反応は基質ルシフェリンが酵素ルシフェラーゼの作用により反応が進行し発光する。*in vivo* 発光イメージングにおいて最も汎用されているのはホタル生物発光系 ($\lambda_{\max} = 565 \text{ nm}$) であるが、生体透過性の高い近赤外領域での発光 (>700 nm) や高輝度化が強く望まれている。

本研究では、我々が開発した近赤外発光ルシフェリンアナログ群 (650-680 nm) に最適な高輝度な変異ルシフェラーゼを創出、高輝度な近赤外発光ホタル生物発光系を確立し、超高感度 *in vivo* 深部発光イメージング技術の実現を目指している。

今回、既に市販の近赤外発光ルシフェリン「アカルミネ」を中心に最適な変異ルシフェラーゼの探索を行った。まず、既存のルシフェラーゼ8種類との反応性の確認を行った。天然型の基質ホタルルシフェリンと様々な甲虫類のルシフェラーゼは交差反応性を持つ事が知られているが、アカルミネはある種の甲虫由来のルシフェラーゼでは極めて弱い発光しか示さない事がわかった。8種の中で最も強い発光

を示したルシフェラーゼ (lucY) と殆ど発光を示さなかったルシフェラーゼ (lucX) の両極端の性質を持つ二種類を鋳型としてそれぞれにランダム変異の導入を行った。

現在までに lucY、lucX 共に数十箇所のアミノ酸に変異を導入しており、哺乳細胞において lucY の十数倍の明るい lucY 変異体、細菌において lucY の数十倍明るい lucX 変異体の創出に成功しており、細胞内安定性や発現系、発光安定性などの検討を進めている。

並行して、ルシフェリンアナログ群の材料性能評価も行っており *in vivo* イメージングにおいて不可欠である細胞膜透過性の評価系を構築し天然型のホタルルシフェリンに比べ、細胞膜透過性が極めて良好なルシフェリンアナログも特定している。今回開発した高輝度変異ルシフェラーゼとルシフェリンアナログ群の材料特性を活かした個体レベルの高感度深部イメージングへの応用も行っている。

●口頭発表 Presentations

(国内学会等)

岩野 智, 口丸 高弘, 木山 正啓, 丹羽治樹, 宮脇敦史, 近藤科江, 牧 昌次郎: "高感度深部組織イメージングを実現した近赤外発光ルシフェリン", 平成

XXVII-036

**高集積化CE-MSデバイスによる
革新的ショットガンプロテオミクス分析****Highly Integrated CE-MS Device for Innovative Shotgun Proteomics**

研究者氏名: 川井隆之 Kawai, Takayuki

受入研究室: 生命システム研究センター

集積バイオデバイス研究ユニット

(所属長 田中 陽)

ショットガンプロテオミクス分析法により様々な重要タンパク質が解析されているが、分析時間が数日間にも及び、解析性能も未だ不十分であるのが実情である。この原因は、質量分析機 (MS) へ導入する試料の前処理分離において高速、高感度、高分離能の全てを実現する手法が無かったからである。そこで申請者は、独自の試料濃縮法によって高感度化に成功しているキャピラリー電気泳動 (CE) を利用した高速分離法を着想した。複数の CE をマイクロチップ上で高密度に集積化し、一次元目で分離した複数試料を一斉に分離することで、高分離能を維持したまま二次元分離を数十倍に高速化できる。また、高速化による余剰時間を三次元以上の多次元分離に利用することで、タンパク質解析性能の向上も期待できる。これらを高度に集積化した CE チップデバイスを微細加工技術により作製して MS へ実装することで、既存技術では難しかったリアルタイムプロテオーム解析などを実現し、プロテオミクス研究領域に技術的革新を引き起こし、世界の生命科学研究の発展に貢献することを目標に研究推進する。

本年度はチップ加工に先立ち、(1) 熔融石英キャピラリー管を用いた CE-MS ペプチド分析、(2) ペプチド分析に適した新規濃縮法の開発を推進した。

(1) 内径/外径 50/360 μm 程度の熔融石英キャピラリーをフッ酸エッチング・CO₂ レーザー加工により内径/外径 10/15 μm 程度まで先鋭化し、高感度な CE-MS 用エミッターを作製した。スプレーの不安定性やごみによる先端部の閉塞などの問題が生じたため、エミッター先端部の外径やガラス厚さを最適化することで安定性を向上するとともに、キャピラリーインレット部をテーパ構造とすることで微粒子の侵入を防ぐことでスプレーの安定性を確保した。この改良型プローブにより Angiotensin II をモ

デル試料として CE-MS 分析したところ約 5 nM (数 amol) 程度の検出下限が得られ、高性能ではない安価な TOF-MS としては非常に良好な感度を実現できた。現在電気浸透流の抑制やより小さい内径のキャピラリーを用いることでさらなる感度向上を行っている。

(2) BSA トリプシン消化物をモデル試料として新規濃縮法の開発を行った。従来法である large-volume sample stacking with an electroosmotic flow pump (LVSEP) 法、ダイナミック pH ジャンクション法、transient isotachopheresis (tITP) 法は全て濃縮効率が 200 倍以下と不十分かつ分離能の低下を招いた。そこで LVSEP 法と tITP 法を結合した新規濃縮法を開発し、これにより最大で約 500 倍程度の濃縮を、分離能を損なうことなく達成した。この手法はペプチドに限らずほぼ全ての荷電性試料に適用可能であり、次世代分析法の基礎となる可能性を示唆された。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kubo T., Kanemori K., Kusumoto R., Kawai T., Sueyoshi K., Naito T. and Otsuka K.: "Simple and Effective Label-Free Capillary Electrophoretic Analysis of Sugars by Complexation Using Quinoline Boronic Acids", *Analytical Chemistry*, 87, 5068-5073 (2015)*

Kawai T., Moriguchi H., Tanaka Y.: "Simple valves on a PDMS microchip bonded via patterned oxygen plasma", *Proceeding of IEEE Transducers 2015*, 1782-1785 (2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Kawai T.: "Ultra-sensitive capillary electrophoresis for single cell analysis", International Conference and Expo on Separation Techniques 2015, San Francisco, USA, Aug. (2015)

(国内学会等)

川井隆之: "キャピラリー電気泳動を用いた高感度一細胞分析法の開発", 第35回キャピラリー電気泳動シンポジウム, 岡山, 11月 (2015)

川井隆之: "オンライン試料濃縮法を利用した微量生体試料のCE分析", 第66回日本電気泳動学会総会, 東京, 9月 (2015)

XXVII-037

理想的な細胞内環境を有する微生物を用いた
テーラーメイド型芳香族化合物合成システムの開発

Development of the Tailor-made Biosynthesis System of Aromatic
Compounds Using Microbe

研究者氏名: 野田 修平 Noda, Shuhei
受入研究室: 環境資源科学研究センター
細胞生産研究チーム
(所属長 近藤 昭彦)

資源・エネルギー問題、環境問題を克服し、安全で持続的に発展できる低炭素循環型未来社会を実現する上で、再生可能な資源バイオマスから様々なバイオベース製品の生産を行なうバイオリファイナリーへの転換を図るグリーン・イノベーションの実現は極めて重要である。

微生物菌体触媒を用いた芳香族化合物生産は、バイオリファイナリーにおける重要な分野の一つである。近年注目されているシェールオイル革命により、今後、メタン、プロパノールやブタノール等の炭素数の少ないエネルギー・化成品原料コストは低下すると考えられる。よって、芳香族化合物のような、より複雑な構造をしたエネルギー・化成品原料の需要が急激に高まってくると予想されている。本研究においては、バイオリファイナリーにおける重要な分野の一つである「菌体触媒を用いた芳香族化合物合成」に注目した。申請者は、前年度までの理化学研究所における研究において、芳香族化合物合成に最適な細胞内環境を有する微生物を見出した。さらに、芳香族化合物修飾経路設計のために、植物二次代謝経路中より様々な芳香族化合物修飾酵素の探索を行い、ライブラリー化を行う。単離した各酵素を反応ごとにパターン分けし、望みの芳香族化合物合成の際にそれらの酵素反応を再設計する。再設計した芳香族化合物合成経路を、スクリーニングにより選抜した微生物代謝経路中に移植する。酵素に対する基質特異性の改変なども検討し、これまでに触媒

できなかった反応を触媒する酵素の創製についても検討を行い、望み通りの芳香族化合物が合成可能なテーラーメイド型芳香族化合物合成システムの開発を行う。さらに、微生物細胞内の増殖必須因子獲得と目的化合物合成を結び付ける概念を実現することにより、目的芳香族化合物の生産収率を理論収率に限りなく近づけることを目指す。このように、様々な芳香族化合物を高い収率で生産可能なプラットフォームの開発を行い、より複雑な構造を持つ芳香族化合物誘導体の合成にまで発展させることを最終目標とする。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Noda S., Shirai T., Oyama S., and Kondo A.: "Metabolic design of a platform *Escherichia coli* strain producing various chorismate derivatives", *Metab. Eng.*, 33 119-129(2016)*

Noda S., Shirai T., Mochida K., Matsuda F., Oyama S., Okamoto M., and Kondo A.: "Evaluation of *Brachypodium distachyon* L-tyrosine decarboxylase using L-tyrosine over-producing *Saccharomyces cerevisiae*". *PLoS. One.*, 10(5):e0125488(2015)*

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

Noda S., Shirai T., and Kondo A.: "Metabolic design of

a platform *Escherichia coli* strain producing various chorismate derivatives”, The 6th iBioK Asian Sym-

posium, Kobe, Japan, Dec. (2015)

XXVII-038

高強度単色テラヘルツ波パルスの時間分解計測の実現と その非線形分光への応用

Time-Resolved Measurement of Intense Monochromatic Terahertz-Wave Pulses and Its Application to Nonlinear Spectroscopy

研究者氏名: 瀧田 佑馬 Takida, Yuma
受入研究室: 光量子工学研究領域
テラヘルツ光源研究チーム
(所属長 南出 泰亜)

本研究は、周波数分解能に優れたテラヘルツ波光源である光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器 (is-TPG) に対して、フェムト秒レーザー技術を適用することで時間分解能を付与し、is-TPGから発生した高強度単色テラヘルツ波パルスの時間分解計測を狙うものである。サブナノ秒レーザーを励起光源とする is-TPG において、従来時間分解能を制限していたプローブ光の時間幅をパルス圧縮技術によってサブナノ秒からフェムト秒領域へ拡張することにより、高強度単色テラヘルツ波パルスの時間分解計測を実現する。is-TPG の周波数分解能を維持したまま時間分解能を飛躍的に向上させることによって、高強度単色テラヘルツ波パルスにより誘起される超高速非線形光学現象の観測を目指す。

本年度は、初めに is-TPG の立ち上げを行い、1 kW のピークパワーを有する高強度テラヘルツ波発生と 70 dB のダイナミックレンジを有する高感度テラヘルツ波検出を達成した。この成果は国際会議 CLEO:2015 や ALPS'15 等で発表し、分光分析システム化を目指して科研費 (若手 B) の研究課題として基礎特研と平行して遂行中である。また、is-TPG 等の周波数可変テラヘルツ波光源を用いた分光測定のコツに関して、応用物理学会の学会誌「応用物理」に総説を執筆した。

続いて、is-TPG のさらなる高強度化を目指して、ニオブ酸リチウム ($\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$) 結晶のパラメトリック利得のテラヘルツ波周波数依存性の測定を行った。これまで実験的に明らかになっていないパラメトリック利得を測定することは、is-TPG を正確に設計する上で重要であり、理論計算値と比較することで is-TPG の高強度化が期待できる。実験では、

吸収損失を低減でき、かつ、結晶長を連続パラメータ化できる台形型 $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 結晶を用いた表面結合方式を提案し、テラヘルツ波出力の結晶長依存性の詳細を初めて明らかにした。測定の結果、テラヘルツ波出力は閾値結晶長を超えると指数関数的に増大し、パラメトリック利得と閾値結晶長はテラヘルツ波周波数に依存することを明らかにした。解析の結果、得られたパラメトリック利得のテラヘルツ波周波数依存性は、従来の理論計算値と一致することを示した。また、パラメトリック利得と閾値結晶長の積が一定となり、その値が約 10 であることがわかった。これら結果から is-TPG を正確に設計することができるようになり、励起条件と結晶長の最適化によってピークパワーで 1 MW を超えるテラヘルツ波出力も期待できる。1 MW のピークパワーは 1 MV/cm の電場強度に相当するため、種々の非線形光学効果を誘起することが可能である。この成果は、国際会議 The 76th JSPS Autumn Meeting 等で発表して応用物理学の発展に寄与しようとして第 39 回応用物理学会講演奨励賞を授与されるとともに、原著論文として発表した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takida Y., Shikata J., Nawata K., Tokizane Y., Han Z., Koyama M., Notake T., Hayashi S. and Minamide H.: “Terahertz-wave parametric gain of stimulated polariton scattering” *Phys. Rev. A* 93, 043836 (2016).

(総説)

河野行雄, 瀧田佑馬: “THz 分光測定のコツ”, 応用

物理, 第85巻, pp. 428-432 (2016).

●口頭発表 Presentations

(国際会議)

[Invited] Takida Y. and Minamide H.: “Nonlinear optical crystals for efficient terahertz-wave generation and detection,” 7th International Symposium on Optical Materials (IS-OM7), Lyon, France, Mar. (2016).

Takida Y., Shikata J., Nawata K., Tokizane Y., Han Z., Koyama M., Notake T., Hayashi S. and Minamide H.: “Gain measurement of stimulated phonon-polariton scattering in MgO:LiNbO₃ for high-peak-power terahertz-wave parametric generation,” The 76th JSAP Autumn Meeting 2015, Nagoya, Japan, Sep. (2015). [第39回(2015年秋季)応用物理学会講演奨励賞受賞]

Takida Y., Notake T., Nawata K., Tokizane Y., Han Z., Hayashi S. and Minamide H.: “Gain measurement of MgO:LiNbO₃ crystal in injection-seeded terahertz-wave parametric generation,” Nonlinear Optics (NLO), Kauai, USA, Jul. (2015).

Takida Y., Notake T., Nawata K., Tokizane Y., Hayashi S. and Minamide H.: “kW-peak-power terahertz-wave parametric generation and 70 dB-dynamic-range detection based on efficient surface-coupling configuration,” Conference on Lasers and Electro-

Optics (CLEO:2015), San Jose, USA, May (2015).

Takida Y., Notake T., Nawata K., Tokizane Y., Hayashi S. and Minamide H.: “High-peak-power terahertz-wave parametric generation and highly-sensitive detection using surface-coupling configuration,” The 4th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS'15) Yokohama, Japan, Apr. (2015).

(国内会議)

[Invited] 瀧田佑馬, 四方潤一, 縄田耕二, 時実悠, 韓正利, 小山美緒, 野竹孝志, 林伸一郎, 南出泰垂: “高出力THz波発生に向けたMgO:LiNbO₃結晶のパラメトリック利得の測定,” 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 3月 (2016). [講演奨励賞受賞記念講演]

瀧田佑馬, 四方潤一, 南出泰垂: “高出力テラヘルツ波発生に向けたニオブ酸リチウム結晶のパラメトリック利得の測定,” テラヘルツ科学の最先端II, 作並, 11月 (2015). 【ポスター】

瀧田佑馬, 南出泰垂: “高出力テラヘルツ波発生に向けたフォノン-ポラリトンのパラメトリック利得の測定,” 理研シンポジウム, 和光, 11月 (2015). 【ポスター】

瀧田佑馬: “非線形光学波長変換によるテラヘルツ波の高出力発生および高感度検出,” 平成27年度日本学術振興会育志賞研究発表会, 京都, 8月 (2015). 【ポスター】

XXVII-039 単一分子の局所赤外分光を目指したプラズモン増強IR-STMの開発

Development of a Plasmon Enhanced IR-STM for Local Spectroscopy at the Single-molecule Level

研究者氏名: 数間 恵弥子 Kazuma, Emiko

受入研究室: Kim表面界面科学研究室

(所属長 金有洙)

金属ナノ構造における表面プラズモンは物質の光応答を増強する手段として、バイオセンサや表面増強ラマン散乱をはじめとする分析技術への応用が近年盛んに研究されている。本研究では、走査トンネル顕微鏡 (STM) の金属探針と金属基板のギャップ間に励起できるギャッププラズモンにより、探針直下の単一分子の振動励起を増強し、増強された振動にともなう電気双極子モーメントの変化をトンネル電流変化として検出することで、単一分子の赤外

分光の実現を目指す。これまでプラズモンがどのように分子に作用するか未解明な点も多く、またSTM探針-基板間のギャッププラズモンは赤外領域まで裾を引くことが理論的に予測されるものの実験的には明らかでない。そこで本年度は、プラズモン存在下での分子の振る舞いを明らかにするため、プラズモンが強く共鳴する可視光照射により探針直下付近の分子の変化挙動を単一分子レベルで調べた。

赤外分光の対象とする分子群の中で、一部の分子

は可視光に共鳴するプラズモンの存在下で安定であった一方で、分子内の解離に基づくSTM像の変化が観察された分子が認められた。変化挙動を詳細に調べた結果、約100 nmの先端径を有する銀探針の場合、探針直下の40 nm付近で分子の変化が見られ、探針直下に近づくほど反応した分子の割合が高くなる傾向にあった。時間領域差分法 (FDTD) による電磁場解析の結果、ギャッププラズモンに基づく増強電場の空間分布と分子の反応率に相関が見られた。さらに、反応率の波長依存性がギャッププラズ

モンの共鳴スペクトルとほぼ一致した。また、STMアクションスペクトルの手法を用いることで、光照射下の分子の変化にともなうトンネル電流の変化を検出でき、ギャッププラズモンの存在下での分子の変化を定量的に評価することが可能になった。これらの結果から、ギャッププラズモンが強く励起される可視光においては、分子がプラズモンにより励起され、一部は反応を引き起こすことが確認された。今後、ギャッププラズモン存在下での分子の振る舞いを定量的に評価し詳細に検討する。

XXVII-040

物質と重力の織り成す時空の量子像

Matter, Gravity and Quantum Spacetime

研究者氏名: 横倉 祐貴 Yokokura, Yuki
受入研究室: 分野横断型数理・計算連携研究チーム
(所属長 長瀧 重博)

本研究の目標である、時空の微視的構造の理解のための基本的な問題の1つは、量子的ブラックホールを理解することである。これに向けて本年度は全く異なる2つのアプローチで迫った。

(1) ブラックホールの形成から蒸発までを記述するモデルの構成

古典的には、重力崩壊により、ホライズンと特異点を持つ真空領域であるブラックホールができる。しかし、量子効果を取り入れるとHawking 輻射が生じるため、現実の重力崩壊でどのような天体が形成されるのかは明らかではない。私はこの問題を、球対称性を仮定し、崩壊物質を薄い層に分割する近似の下で解析した。その結果、外から見ると通常のブラックホールと区別がつかないが、その内部には崩壊物質が詰まり、ホライズンも特異点もない非常に高密度な天体が形成されることがわかった。崩壊物質そのものが蒸発とともに放出されるため、その物質の持つ情報も戻ってくると期待される。特に、熱浴中で非常にゆっくりと成長させたブラックホールの場合には、内部の計量を書き下すことができ、エントロピーの面積則を内部のエントロピー密度の積分から再現することができる。この描像は物質と時空がどのように関係するのかを理解するのに役立つと期待できる。

(2) ネーター保存量としての熱力学エントロピーの定式化

ブラックホールのエントロピーはその表面積で与えられるが、それはdiffeomorphism不変性に対するネーター電荷として見なすことができる。しかし、その物理的意味は理解されていない。一方で、ネーターの定理は対称性と保存量を結びつける一般的な定理であり、また、通常物質の熱力学エントロピーは準静的断熱過程で保存する。そこで私は「一般的に、熱力学エントロピーは何かしらの対称性に対するネーター保存量ではないのか？」と考えた。私は、古典粒子系の範囲でこの問題に取り組み、エントロピーはPlanck定数を温度で割った分だけ時間を無限小並進させる対称性に対するネーター保存量であることを示した。これはエントロピーの新しい定義であり、それは物理学全分野に新しい見方を与える。今後、この立場からブラックホールのエントロピーの意味を改めて調べたい。

●口頭発表 Presentations

(国内発表等)

- Yuki Yokokura, “Thermodynamic entropy as a Noether invariant”, KEK Theory Workshop 2015 Dec, KEK, Dec. (2015)
- 横倉祐貴, “ブラックホールの内部と情報問題”, 東大駒場素粒子論研究室セミナー, 東大駒場, 12月 (2015)
- 横倉祐貴, “Thermodynamic entropy as a Noether

invariant”, 矢上統計物理学セミナー, 慶応大学, 12月 (2015)

- 横倉祐貴, “Thermodynamic entropy as a Noether invariant”, 初田量子ハドロン研究室セミナー, 理研和光, 1月 (2016)
- 岡山光量子研におけるセミナー「Thermodynamic Entropy as a Noether invariant」、2月 (2016)
- 東京工業大学 素粒子論研究室におけるセミナー「Interior of Black Holes and Information Recovery」、2月 (2016)

●論文発表

- S. Sasa and Y. Yokokura, “Thermodynamic Entropy as a Noether invariant”, Phys. Rev. Lett. 116, 140601 (2016). (as Editor’s suggestion)

(プレスリリース)

- 理研と京大よりプレスリリース「乱雑さを決める時間の対称性を発見」

http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160427_2/

Foreign Postdoctoral Researcher Reports

国際特別研究員年報

FY2012 ~ 2015 Appointments

平成 24 ~ 27 年度採用者

Contents

(Foreign Postdoctoral Researcher)

FY2012 Foreign Postdoctoral Researchers

THz Generation from Filamentation Air-plasma and Its Application Haiwei Du	141
Application of Non-perturbative Functional Methods in Strong Interaction Gergely Fejos	142
The Role of Cytosolic Free Calcium ($[Ca^{2+}_{cyt}]$) in Plant Immunity Anuphon Laohavisit	143
Development of Selective Enzyme Inhibitors Chemically Expanded Molecular Evolutionary Engineering for Medical Drugs Ponnurengam Malliappan Sivakumar	143
Developments of Quantum Dot Fabrications Processes for Semiconductor Nanowires and their Applications to Spin Manipulations Rui Wang	144
One-Step Fabrication of 2-D Organic Nanowire Array under Magnetic Field Wei Zhang	145

FY2013 Foreign Postdoctoral Researchers

Accurate Determination of Molecular Electronic Structure: Chasing the Theoretical Limit of Computational Ef- ficiency James Anderson	149
Functional Analysis of Novel Small Orfs (Sorfs) Involved in Plant Abiotic Stress Tolerance Khurram Bashir	150
Theoretical Study of Topological Phases and Spintronics in Strongly Correlated Multiferroic Transition Metal Oxides Wei Fan	151
Autophagy Deficiency and Protein Aggregation as Pathogenic Mechanisms of Psychiatric Disorders Kelvin Kai-Wan Hui	151
Supercomputing the Difference between Matter and Antimatter via $K \rightarrow \pi \pi$ Decays Using Lattice QCD Christopher Kelly	152
Investigating the Role of Reactive Oxygen during Vertebrate Lens Formation Nicholas Love	153
High Resolution Frequency Measurements and Temperature Manipulation of a Single Antiproton - Antiproton g-factor Experiment at the Ulmer Research Unit Andreas Mooser	154
Charge Dynamics at the Solid Interface Studied by Novel Nonlinear Spectroscopy Anton Myalitsin	155
Advanced Phase Detection for Optical Lattice Clocks Nils Nemitz	156
Beyond Development: Identifying Runx1 as a Key Modulator of Immune Response and Inflammation Wooseok Seo	158

Discovering Proton and Neutron Structure from Fundamental Interactions Sergey Syritsyn	159
---	-----

FY2014 Foreign Postdoctoral Researchers

Development of Microbeam Irradiation Method for Mutation Breeding Réka Judit Bereczky	163
Development of a Novel Technology for Monitoring “real tRNA usage” during Translation in vivo Chien-Wen Chen	164
Alternative Promoters, Biomarkers and Gene Regulatory Networks in Cancers Bogumil Kaczkowski	165
Olfactory Coding Strategy of Second-order Olfactory Neurons Meng-Tsen Ke	166
Cross-species Chemical-genetic Profiling of the RIKEN Natural Product Depository to Discover the Modes of Action of Potential Bioprobes and Drugs Sheena Claire Leoncio Li	167
Copper-catalyzed Heterocarboxylation of C=X (X = C, O, N) Bonds with CO ₂ Yong Luo	168
Discovery of New Mechanisms Driving Colorectal Cancer and New Therapeutics Kendle Maslowski	169
Investigation on Differential Sensitivity of Transmission Modes in Phase Shifted Waveguide Gratings for Possible Application as Simultaneous Multi-parametric Sensing Renilkumar Mudachathi	170
Identification and Role of Amygdalar Projections to the Hippocampus in Fear-motivated Spatial Learning John Ormond	170
Designing new Materials: The Physics of f-electron Superlattices Robert Peters	171
Decay Spectroscopy of Neutron-rich Rare-earth Nuclei Relevant for the Astrophysical r-process Pär-Anders Söderström	172
Epitaxial Growth and Device Characterization of AlGa _N -Based Deep-Ultraviolet LEDs with Transparent p-AlGa _N Contact Layer Grown on 6-Inch Si(111) Substrate Tinh Tran	173
Computational Design of Symmetrical Proteins as Building Blocks for Bionanotechnology Arnout Voet	174
Towards Linking Core-Collapse Supernova Modelling with Observations Annop Wongwathanarat	175

FY2015 Foreign Postdoctoral Researchers

The Function of Natural Helper Cells in the Maintenance of Adipose Tissue Homeostasis and Metabolism Kafi Ealey	179
Establishment of the Drug Screening System for the Treatment of <i>NGLY1</i> Mutation Patients Chengcheng Huang	179
Functional study of the Decision-Making Networks in Zebrafish Merlin Lange	181

Novel Infrared Absorption Nanospectroscopy Using Metamaterials for Bioanalysis in Nanofluidic Devices Thu Hac Huong Le.....	181
Quantum Limited Measurement using Superconducting Circuits Zhirong Lin.....	182
Understanding Translation Control and Delay in Circadian Rhythms Arthur Millius.....	183
Sea Quark Polarization Measurement via Parity Violating W Boson Production in Polarized Proton-Proton Collisions Sanghwa Park.....	184
Determinants of Gene Expression Noise David Priest.....	184
Improving Mercury-based Optical Lattice Clock and Application of Trapped Atoms to Fundamental Physics Thaned Pruttivarasin.....	186
Origin and Evolution of Planetary Systems in the Milky Way Steven Rieder.....	186
Structural Dynamics of Biomolecules Studied by Novel Single Molecule Spectroscopy Bidyut Sarkar.....	187
Quantum Chromo Dynamics in Extreme Conditions Vladimir Skokov.....	188
Trans-family Grafts between Parasitic Plants and their Hosts Thomas Spallek.....	189
Neural Circuit and Molecular Mechanisms in Lateral Amygdala for Fear Memory Consolidation. Bao Zhen Tan.....	190
Catalytic N ₂ Fixation to Diamine with Titanium Complex Ching Tat To.....	191
Nuclear Transmutation for the Long-lived Radioactive Waste He Wang.....	191
An Extended Numerical Investigation of Cosmic-ray Acceleration and Photon Production during the Afterglow Phase of Gamma-ray Bursts Donald Warren.....	192
Investigations of Electromagnetic-field Induced Effects in Strongly Coupled Gauge Theories Di-Lun Yang.....	193
Study on the Cluster Structure of Carbon Isotopes Using Direct Reactions Zaihong Yang.....	194

FY2012 Foreign Postdoctoral Researchers

THz Generation from Filamentation Air-plasma and Its Application

Name: Haiwei Du

Host Laboratory: Center for Advanced Photonics

Terahertz Sensing and Imaging Team

Laboratory Head: Chiko Otani

THz generation from laser plasma interaction not only offer a strong, broad THz wave source, but also offer a way to diagnosis the new physics mechanism in laser plasma. At present, three schemes based on the ultrafast laser pulses interaction with filamentation air/gas-plasma are found and studied, single-color scheme, two-color scheme, and few-cycle scheme. In the single-color scheme, the ponderomotive force induced by the laser pulses in the plasma accelerates the free electrons and ions. Because the electrons are much lighter than the electrons, they can obtain larger velocity than ions. Therefore, electrons and ions moves after the laser pulses with different velocity, which generate space charges in the plasma. Along the propagation of the laser pulses, these space charges move forward and emit THz wave. This is also called transient-Cherenkov emission.

When there are two noncollinear filaments with a crossing region, the THz wave radiation from the filament may be changed. Thus, we studied the THz waves from this noncollinear structure experimentally. The experiment was carried out on an amplifier femtosecond laser system. The laser beams are separated into three beams, two beams are focused to generate noncollinear filaments, and the third one is to probe the generated THz pulse by electro-optic sampling method. The results shows that there are two THz pulses, the large one generated from the first filament is named main THz pulse, and the small one from the pump 2 pulses interaction with the pump 1 filament is named 2nd THz pulse. The frequency spectra of these two THz pulses are different in the high frequency region (~2 THz), main THz pulse is broader than the 2nd THz pulse. When the pulse energy of pump 1 is decreased, the main THz pulse is decreased while the 2nd THz pulse keeps stably. When the pump 1 is decreased to 200 μ J, the 2nd THz pulse disappears. This is because that the less pump energy only generate tenuous plasma, thus the electron density is not dense enough to induce this phenomenon.

This phenomenon is different from that produced by a single filament. The physics mechanism is studying. Here we just give a phenomenological analysis. There are two possibilities to produce this phenomenon. When there are two filaments with a crossing region, the electrons in the overlap of them is denser than the other part of filament. Thus, the denser electrons disturb the THz wave emission source in the filament and change the angular distribution of THz wave radiation. So some THz waves from the second filament are detected by the EO sampling method. According to the transient-Cherenkov emission, the distribution of THz wave is also the function of the frequency. Low frequency waves have wider angle, comparing to the high frequency waves. Therefore, they are easy to detect. As a result, the 2nd THz pulse only has low frequency components. Another explanation is that the 2nd THz pulse is generated by the pump 2 pulses interaction with the pump 1 filament. This generation progress does not affect the transient-Cherenkov emission, and consequently there are the main THz pulse and the 2nd THz pulse. The second possibility cannot explain the difference in frequency. More deep analysis is studying.

Although there is only a phenomenological analysis, these experimental results are hoped to explore new mechanisms between laser plasma interactions. Furthermore, it may offer new way changing and controlling the THz wave radiation from laser plasma filament, which can open the application of THz wave in remote sensing.

In addition, a strong THz wave time-domain spectroscopy system is built based on the optical rectification with tilted-pulse-front pumping. The field of THz wave in this system is high up to several 100kv/cm, and all the measurements on this system have been done.

● Publications

Papers

Haiwei Du, Hiromichi Hoshina, and Chiko Otani, THz

generation from optical rectification tilted-pulse-front pumping scheme with laser pulses focused to a line, *SPIE Proceedings* 9671, AOPC 2015 96710M, 2015 October 15*

●Presentations

International conferences

1. Haiwei Du, Hiromichi Hoshina, and Chiko Otani, THz generation from optical rectification tilted-pulse-front pumping scheme with laser pulses focused to a line, poster, Applied Optics and Photonics China, China Beijing, 2015 May 5th-7th
2. Haiwei Du, Hiromichi Hoshina, and Otani Chiko, THz waves radiated from two noncollinear femtosecond

filaments, poster, 3rd International Symposium on Microwave/THz Science and Applications, Japan Okinawa, 2015, June 30th-July 4th

Domestic conferences

3. Du Haiwei, Hiromichi Hoshina, and Otani Chiko, THz waves radiated from two noncollinear femtosecond plasma filaments, poster, 3rd Symposium of RIKEN Center for Advanced Photonics, Japan Wako, 2015, November 12th-13th
4. Du Haiwei, Hiromichi Hoshina, and Otani Chiko, THz waves radiated from two noncollinear femtosecond plasma filaments, poster, 2nd Conference of Advances of THz Science, Japan Sendai, 2015, November 19th-20th

Application of Non-perturbative Functional Methods in Strong Interaction

Name: Gergely Fejos

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science

Quantum Hadron Physics Laboratory

Lab. Head: Tetsuo Hatsuda

Description of research:

Throughout FY 2015 I have analyzed the three flavor linear sigma model, with particular interest in implementing the so-called axial or $U_A(1)$ anomaly.

Based on my previous works, I generalized the idea of the chiral invariant expansion to cases where nonzero anomaly is included. I also calculated the flow equation of the next-to-next-to-leading order coefficient of the chiral expansion and found numerically that the series is converging and there is no need to go beyond a next-to-leading order approximation. Concerning the anomaly itself, I derived the field dependent renormalization group equation of the $U_A(1)$ coefficient. I solved the equation analytically in a high temperature, field independent limit and gave a qualitatively correct formula for

the parameter space that is applicable for decreasing anomaly with respect to the temperature. I also solved the full equations numerically and found a similar result.

The main finding of the study is that there is a possibility that even without the implicit temperature dependence of the bare anomaly coefficient, mesonic fluctuations can weaken the anomaly towards the critical temperature and can give account on the corresponding decrease in the η' meson mass.

●Publication:

- G. Fejos, "Functional dependence of axial anomaly via mesonic fluctuations in the three flavor linear sigma model" *Phys. Rev. D* 92, 036011 (2015)

The Role of Cytosolic Free Calcium ($[Ca^{2+}]_{cyt}$) in Plant Immunity

Name: Anuphon Laohavisit

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science

Plant Immunity Research Group

Laboratory Head: Ken Shirasu

Parasitic plants need to employ several strategies to overcome various challenges during the course of plant-plant parasitism. One such important obstacle is for the parasitic plant to germinate in the presence of nearby host and subsequently to locate and sense host root proximity. Strigolactone is an important cue to overcome the former obstacle. The latter problem can be overcome by either direct contact, or by sensing diffusible phenolic compounds such as DMBQ (2,6 dimethoxy-1,4-benzoquinone), a lignin-derived compound from the host root. DMBQ perception induces the development of a haustorium - an invasive feeding structure, and is an important hallmark of plant parasitism. The role of strigolactones in parasitic and host plants is already well-established. However, while the role of DMBQ is defined in parasitic plants, its role in host plants remains elusive.

To elucidate the role of DMBQ in plants, DMBQ responses were observed and quantified in plants, which include short root growth and adventitious root formation upon DMBQ application. To further characterise the

role of DMBQ, EMS mutagenesis was performed and mutant screening was carried out. Approximately, 50,000 T2 EMS seeds have been screened initially. More stringent criteria were imposed on further selection for DMBQ responses and finally, approximately 13 putative mutants were obtained (those which did not respond to DMBQ).

These mutants are currently being mapped to identify the causative genes. Bulk segregant analysis, coupled with whole genome sequencing will be employed to facilitate mutants mapping. Once the gene is mapped, further characterisation will be done to elucidate the role of DMBQ in both the host and parasitic plants.

● Publications

Laohavisit A, Anderson A, Bombelli P, Jacobs M, Howe CJ, Davies JM, Smith AG (2015) Activity of NADPH oxidase in diatoms and its role in current output in biophotovoltaic devices. *Algal Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2015.08.009>

Development of Selective Enzyme Inhibitors Chemically Expanded Molecular Evolutionary Engineering for Medical Drugs

Name: Ponnurengam Malliappan Sivakumar

Host Laboratory: Nanomedical Engineering Laboratory

Laboratory Head: Yoshihiro Ito

Selective COX-2 (Cyclooxygenase-2) enzyme inhibitors are known to have therapeutic applications in Inflammation, Cancer, Alzheimer's disease, etc. Recent past they gained interest since they do not inhibit the COX-1 (Cyclooxygenase -1) enzyme, which is known to be involved in pathophysiological functions. Hence designing an inhibitor, selectively target COX-2 enzyme could be used for several therapeutic applications.

In the present study, we used *In vitro* display to develop selective COX-2 enzyme inhibitors. We named

them as super-inhibitor which combines a small molecule inhibitor along with a peptide aptamer. Here we incorporated non-selective small molecule inhibitors namely, chalcone and 1,3,5-triphenyl-2-pyrazolines using *in vitro* ribosomal display method. *In vitro* ribosomal display is used to incorporate non-natural amino acids (phenylalanine coupled with small molecule) to the peptide aptamer. t-RNA coupled non-natural amino acids were prepared chemically and *in vitro* selection was performed using the random mRNA library. Since we are

interested in COX-2 enzyme inhibitors, we performed a positive selection with COX-2 enzyme immobilized on magnetic beads and negative selection against COX-1 enzyme immobilized on magnetic beads and magnetic beads alone. After several cycles of the ribosomal display, we obtained few super-inhibitors (peptide aptamer sequences) by cloning and sequencing. Super-inhibitors composed of peptide aptamer and small molecules were synthesized by solid phase peptide synthesis as well as post-translational modification strategies. The synthesized super-inhibitors were evaluated for their inhibitory activity, selectivity against COX-2 and COX-1 enzyme. Super-inhibitors combined with chalcone as well as 1,3,5-triphenyl-2-pyrazoline showed they are selective against the COX-1 enzyme. Both of this class of super-inhibitors showed higher inhibitory activity against COX-1 enzyme instead COX-2 enzyme. These results clearly indicate that we obtained COX-1 enzyme inhibitor instead of COX-2 enzyme inhibitors. This may be due to the similarity and identity (more than 80%) of these two isozymes.

We also perform additional projects namely, “immobilization of growth factors for biomaterial/tissue engineering applications” and “Novel microarrays for simultaneous serodiagnosis of multiple anti-viral anti-bodies” during my FPR tenure.

For growth factor immobilization project, we immobilized different growth factor and evaluated their effect on

cell adhesion of 3T3-fibroblasts (EGF- Epidermal Growth Factor), migration of RAW 246.7 cells (MCP-1- Monocyte Chemoattractant Protein-1), differentiation of mesenchymal stem cells (BMP-4 - Bone Morphogenic Protein-4 and Insulin), differentiation of PC-12 cells (NGF- Nerve Growth Factor) and pluripotency maintenance (LIF-Leukemia Inhibitory Factor) in pluripotent stem cells were studied. Growth factors were immobilized, confirmed their efficacy by antibody staining (immunostaining) and their biological role was evaluated on various cell types.

In regard to the Microarray project, attenuated viruses were immobilized successfully using photoreactive polymer and the developed microarray was evaluated for serodiagnosis successfully.

●Book Edition

1. Andrew G. Mercader, Pablo R. Duchowicz, P. M. Sivakumar, Chemometrics Applications and Research: QSAR in Medicinal Chemistry, Apple Academic Press, Canada (In Press).

●Oral Presentations

1. Ponnuregam Malliappan Sivakumar, Yoshihiro ITO, “Immobilization of growth factors and their application as biomaterials” ICMAT-IUMRS-ICA-2015, Suntec Singapore, Singapore, July 2015.

Developments of Quantum Dot Fabrications Processes for Semiconductor Nanowires and their Applications to Spin Manipulations

Name: Rui Wang

Host Laboratory: Advanced Device Laboratory

Laboratory Head: Koji Ishibashi

Spin qubit formed in semiconducting material is predicted to possess long coherence time to be exploited as good quantum memory. The quantum computation is proposed to may come true by combining spin qubits with superconducting qubits (fast qubit operation) *via* a microwave transmission line (quantum information bus). One ingredient is to realize the strong coupling between qubits and photons through circuit quantum electrody-

namics (cQED). My research goals are the fabrication of quantum dot (QD) in one-dimensional (1D) nanowires and the investigation of the interaction between QDs (spin or charge) and electromagnetic field by diverse manners. Group III-IV InSb nanowires and Group-IV Ge/Si core/shell nanowires are selected to construct the QDs due to the presence of strong spin-orbit interaction (SOI), which enables the all electric operation of spin qubits.

Ge/Si core/shell nanowire is a p-type 1D semiconductor due to the large valence band offset between the two constituents thus avoiding the requirement to intentionally implant impurity dopants as in conventional semiconductors. Moreover, the lack of nuclear spin of group-IV material may ensure long spin coherence. We have achieved to form single QD (size down to ~50nm) and coupled QDs along the nanowires with local fine gates. The quantum transport through QDs is investigated at dilution refrigerator temperature ($T_{\text{base}} \sim 30\text{mK}$) and basic physical parameters including Coulomb charging energy and quantum level spacing are identified. The spin manipulation will be demonstrated in an electrical dipole spin resonance (EDSR) measure with a local RF sensor. In addition, the SOI strength and the electrical field tuning capability in extend wires is also investigated by a magnetoconductance measurement of weak anti-localization (WAL) effect under dual electrical gating.

InSb nanowire is a small band gapped semiconductor with large g factor and strong SOI. Working either in electron or hole regime can be easily controlled by gate field effect. We have successfully embedded an InSb nanowire into a superconducting microwave cavity. QDs are formed in InSb wires with predefined local gates. We investigate the characteristics of a double QD interacting with a single mode microwave field. The charge stability

diagram can be obtained from the amplitude and phase response of a RF resonator independently with dc transport measurement. As the charge transits between dot-dot, or dot-lead the change of resonator is compared and the charge dipole-cavity interaction strength is extracted with a dispersive readout measurement. The Rabi splitting of quantum levels is not observed due to short charge coherence time. Spin qubit-cavity interaction will be further investigated.

● Publications

Wang R., Deacon R. S., Car D., Bakkers E. P. A. M., Ishibashi K.: Individual InSb nanowires coupled to a superconducting microwave cavity. (to be submitted)
Wang R., Deacon R. S., Yao J., Lieber C. M., Ishibashi K.: Spin orbit interaction in single Ge/Si core/shell nanowires with electrically swinging dual gates. (in preparation)

● Oral Presentations

Domestic conferences

Wang R., Wada K., Deacon R. S., Fukata N. and Ishibashi K.: "Fabrication and Characterization of Coupled Quantum Dots in Ge/Si Core/Shell Nanowires" The Japan Society of Applied Physics Japan, March, 2015.

One-Step Fabrication of 2-D Organic Nanowire Array under Magnetic Field

Name: Wei Zhang

Host Laboratory: Center for Emergent Matter Science
Bioinspired Material Research Team
Laboratory Head: Yasuhiro Ishida

Topological hydrogel could afford high mechanical strength and toughness at the same time compared to common chemical and physical hydrogels, since they are cross-linked by topological bonds. It is well known that, topological hydrogels based on polyrotaxane have been well developed, however, trials on getting gels based on polycatenane have never been succeeded.

We designed and synthesized a hydrogel based on polycatenane were designed and synthesized. The catenane structure is based on a coordination complex be-

tween phenanthroline and copper ions. The cheap and water soluble polyvinyl alcohol are serving as polymer matrix for supporting the hydrogel. Then boric acids, which are known to bind with polyvinyl alcohol efficiently are chose as connecting part for polymer matrix and catenane. After mixing a boric acid attached phenanthroline copper complex with polyvinyl alcohol, an orange hydrogel were formed. Once we remove the center copper ion by a chelating ligand, such as EDTA, a topological hydrogel based on polycatenane could be ob-

tained.

● **Publications**

Papers

Selective Synthesis of Single and Multi-Walled Supramolecular Nanotubes Using Solvophobic/Solvophilic

Controls: Stepwise Radial Growth via “Coil-on-Tube” Intermediates, Seelam Prasanthkumar, Wei Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida, *Angew. Chem., Int. Ed.* 2015, in press (selected as a VIP paper).

FY2013 Foreign Postdoctoral Researchers

Accurate Determination of Molecular Electronic Structure: Chasing the Theoretical Limit of Computational Efficiency

Name: James Anderson

Host Laboratory: Advanced Institute for Computational Science
Computational Materials Science Research Team
Laboratory Head: Seiji Yunoki

According to conventional wisdom, determining the wavefunctions and energies of molecular systems' stationary states is, even with neglecting relativity and using the Born-Oppenheimer approximation, intractable. The computational effort required to achieve a given level of accuracy grows exponentially with the number of electrons in the system. The goal of this research project is to challenge this paradigm, adapting recent advances in the mathematics of complexity to the electronic Schrödinger equation and, in the process, developing an entirely new grid-based approach to the electronic structure problem.

The wavefunction appropriate for most chemical applications can be obtained by solving the electronic Schrödinger equation sufficiently accurately. Most methods for approximating this wavefunction utilise a set of Slater determinants that result from solving the Hartree-Fock (HF) equations within a model space. Generally, increasing the number of determinants improves the wavefunction approximation. By selecting all of the determinants then the best wavefunction in the model space, the full-configuration interaction (FCI) wavefunction, can be obtained. FCI is a method for solving the electronic Schrödinger equation that can reliably obtain a given accuracy. Unfortunately, FCI scales exponentially as the number of electrons (denoted N) increases. The FCI method is general and can be used with any Hamiltonian. It does not take advantage of the simplicity of the electronic Hamiltonian or the smoothness of the wavefunction. However, new algorithms in the mathematics of complexity literature take advantage of this simplicity to prescribe how to design a grid that can obtain FCI accuracy that grows as a polynomial of the number of electrons.

Using these algorithms from the complexity literature I have designed a multidimensional grid method (instead of using analytic Slater determinants) for computing the

wavefunction. The algorithms work by combining several grids of lower dimensions at different accuracies (different numbers of points) to construct the final efficient sparse grid. The first step in my method is to form three-dimensional (3D) grids on the unit cube from one-dimensional grids that lie on the unit interval. Several 3D grids are constructed at different accuracies to be utilised when forming the final N -electron grid. These 3D grids are then mapped from the unit cube into real space using a novel transformation of coordinates that concentrates grid points in a pattern that resembles the molecular electron density. This transformation uses the "conditional distribution method" with respect to a weight function constructed from a linear combination of atomic densities. Each of these mapped 3D grids are appropriate for performing one-electron calculations such as HF or density-functional theory calculations. The N -electron grid in the configuration space for electrons is built from the mapped 3D grids as prescribed by the complexity algorithm utilised. Unlike many computational approaches where the antisymmetry principle is a computational burden, in this approach it is a huge advantage: all points that differ by the interchange of two same spin electrons can be consolidated, resulting in a method that is more than $N_\alpha!N_\beta!$ times more efficient! (N_α and N_β are the number of up- and down-spin electrons respectively.)

● Presentations

International conferences

Anderson J. S. M., Ayers P. W.: "Relativistic Formulation of the Quantum Theory of Atoms in Molecules" Mount St. Vincent Theoretical Chemistry Meeting Halifax Canada 2015, September 13.

Anderson J. S. M., Ayers P. W.: "The Zero-Flux Condition for the Quantum Theory of Atoms in Molecules Beyond the Schrödinger Picture Encompassing Special Relativity" The Thirteenth Interdisciplinary Ex-

change Evening Wako Japan 2015, November 17.

Anderson J. S. M., Nakata M.: “The RDM Method Applied to the Two-Dimensional Hubbard Model” Workshop on Quantum Marginals and Numerical Ranges Guelph Canada 2015, August 17-21.

Anderson J. S. M., Ayers P. W., Otsuka T., Shimizu N.: “FCI Truncation for Solving the Electronic and Nuclear Schrödinger Equations” Novel Computational Methods for Quantitative Electronic Structure Calculations Kobe Japan 2015, June 16-20.

Anderson J. S. M., Ayers P. W.: “The Zero-Flux Condition for the Quantum Theory of Atoms in Molecules Beyond the Schrödinger Picture” presented at New Frontiers of Relativistic Quantum Chemistry Beijing China 2015, June 13-16.

Anderson J. S. M., Ayers P. W.: “The Zero-Flux Condition for the Quantum Theory of Atoms in Molecules Beyond the Schrödinger Picture” presented at International Congress on Quantum Chemistry Beijing China 2015, June 8-13.

Functional Analysis of Novel Small Orfs (Sorfs) Involved in Plant Abiotic Stress Tolerance

Name: Khurram Bashir

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science
Plant Genomic Network Research Team
Laboratory Head: Motoaki Seki

Plant production is severely affected by different abiotic stresses including heat and drought stress. Small open reading frames (sORFs) which encode small peptides (less than 100 amino acids residues) are predicted to be involved in plant's response to different abiotic stresses. In Arabidopsis, 7,901 sORFs have been identified and many of these are predicted to be involved in abiotic stress tolerance. I am characterizing the role of AT4 in heat stress tolerance. AT4 putatively encodes two small peptides (AT4a & AT4b), and its expression is up-regulated by heat stress. AT4a encodes a 24 amino acid peptide while AT4b is predicted to encode 53 amino acids long peptide. Arabidopsis plants overexpressing full length AT4 (Harboring AT4a and AT4b) exhibited heat tolerance however plants overexpressing AT4b does not exhibited heat stress. We could not detect the AT4a peptide in AT OX lines indicating that either it does not encode a small peptide or its concentration is too low to be detected by western blot analysis. We have developed transgenic lines overexpressing the silent mutated AT4a peptide and these lines did not exhibit heat tolerance. We are also analyzing mutants of AT4. Further analysis of these lines would be useful to understand the exact role of AT4 under heat stress. I have also identified 20 small peptides in chloroplast of Arabidopsis. We also performed the microarray analysis under drought stress to

identify sORFs which are differentially regulated in roots and shoots.

● Publications

Papers:

- 1). Vigani G, Bashir K, Ishimaru Y, Lehmann, M, Casiraghi MF, Nakanishi H, Seki M, Geigenberger P, Zocchi G, Nishizawa NK. Knocking down Mitochondrial Iron Transporter (MIT) reprograms primary and secondary metabolism in rice plants. *Journal of Experimental Botany*. Accepted. (2015). Equal contribution.
- 2). Bashir K., Ishimaru Y, Itai RN, Senoura T, Takahashi M, An G, Oikawa T, Ueda M, Sato A, Uozumi N, Nakanishi H, Nishizawa NK. Iron deficiency regulated *OsOPT7* is essential for iron homeostasis in rice. *Plant Molecular Biology*. 88:165-176. (2015).

● Oral Presentations

International conferences

- 1). Bashir K, Nakaminami K, Higuchi M, Yoshizumi T, Okamoto M Tanaka M, Matsui M, Shinozaki K, Hanada K, Seki M., Ishimaru Y, Nakanishi H and Nishizawa NK. Strategies to develop plants tolerant to abiotic stresses. International Symposium on Advances in Molecular Biology of Plants and Health Sciences. Lahore, Pakistan. December 28-31. (2015).

2). Bashir K, Nakaminami K, Higuchi M, Yoshizumi T, Okamoto M, Tanaka M, Matsui M, Shinozaki K, Hanada K and Seki M. Characterizing the Role of Heat

Stress-Inducible Small Open Reading Frames (sORFs). The 26th International congress on Arabidopsis Research. Paris, France. July 5-9. (2015)

Theoretical Study of Topological Phases and Spintronics in Strongly Correlated Multiferroic Transition Metal Oxides

Name: Wei Fan

Host Laboratory: Computational Condensed Matter Physics Laboratory
Laboratory Head: Seiji Yunoki

Following the research proposal of 2014 fiscal year, I first studied quantum anomalous Hall (QAH) effect in SrIrO₃ thin films based on appropriate models. Based on a recent paper (Physical Review B 90, 195145 (2014)), where they proposed possible QAH phase in one or two layers of SrIrO₃ sandwiched between other oxide layers, I studied the QAH effect of multiple layers of SrIrO₃, and found a flat band could appear in specially chosen parameter spaces. This flat band is closely related to topological protected surface state. Then, applying an external magnetic field along perpendicular directions of SrIrO₃ layers, QAH state could appear according to time-

reversal symmetry breaking argument. This paved the way to study the transport properties of QAH state in devices built with SrIrO₃ multiple layers.

Transport studies are based on non-equilibrium Green's functions within the Keldysh formalism. The detailed description of the method has been reported in previous papers (Physical Review B 85, 125401 (2012)). The transport tunnel junction is composed of 5 layers of SrIrO₃ along [110] direction. Two gold wires are connected on both sides of SrIrO₃ layers in order to provide sufficient electrons.

Autophagy Deficiency and Protein Aggregation as Pathogenic Mechanisms of Psychiatric Disorders

Name: Kelvin Kai-Wan Hui

Host Laboratory: Brain Science Institute
Laboratory for Protein Conformation Diseases
Laboratory Head: Motomasa Tanaka

In the present study, autophagy deficiency was induced by *Atg7* deletion to test the hypothesis that disrupted protein homeostasis and increased protein misfolding and aggregation play a causal role in psychiatric disorders. My previous experiments demonstrated that the disruption of protein homeostasis by *Atg7* deletion in forebrain excitatory neurons (CaMKII-cre *Atg7* cKO) leads to increased aggregation of disease-associated proteins, neuronal dysfunction and abnormal psychiatric behaviours reminiscent of human autistic spectrum disorder (ASD) patients. In FY 2015, I have performed quantitative mass spectrometric experiments to identify

aggregated proteins (aggreome) in the affected brain regions (cerebral cortex and hippocampus) as a result of autophagy deficiency. The dataset suggests that multiple cell signaling pathways may be affected due to protein aggregation, including calcium signaling, cytoskeletal remodeling, and axonal transport, all of which have been shown to be defective in animal models for psychiatric disorders. In addition, data analysis revealed a time-dependent change in the aggreome, consistent with the timeline for neurodegeneration in *Atg7* cKO mice previously reported by our collaborator (Nilsson *et al.*, Cell Reports 2013). In parallel, we have also examined for

time-dependent changes in behavioural deficits displayed by these mice however no significant changes were observed at the different ages examined.

As excitatory-inhibitory balance is believed to underlie the pathology of ASD and other psychiatric disorders, the effects of autophagy deficiency in forebrain inhibitory interneurons (Dlx5-cre *Atg7* cKO) is also being examined. My previous experiments demonstrated that p62 consistently accumulates in a time-dependent manner in the affected neurons, primarily located within the striatum as well as in the cerebral cortex and the hippocampus. However, the identity of aggregated proteins appears to be distinct compared to those found in excitatory neurons. A detailed examination of the principal neuronal cell type in the striatum (medium spiny neurons) revealed a significant reduction in dendritic spine density of *Atg7* cKO mice. In addition, while previous electro-

physiology experiments showed that synaptic plasticity in the form of long-term potentiation (LTP) recorded from hippocampal CA1 neurons (excitatory) were not affected by *Atg7* deletion in interneurons, the frequency of miniature inhibitory post-synaptic currents (mIPSCs) recorded in these neurons were observed to be significantly increased in *Atg7* cKO mice, consistent with an alteration in inhibitory signaling in the brains of these mice. At the behavioural level, Dlx5-cre *Atg7* cKO mice interestingly display some behavioural deficits (*e.g.*, nesting behaviour, social interaction, open field activity) similar to CaMKII-cre *Atg7* cKO mice but showed normal marble burying behaviour, in contrast to deletion of *Atg7* in forebrain excitatory neurons. Further experiments in FY2016 will be performed to identify additional defects in Dlx5-cre *Atg7* cKO mice as well as elucidating the mechanisms underlying such deficits.

Supercomputing the Difference between Matter and Antimatter via $K \rightarrow \pi\pi$ Decays Using Lattice QCD

Name: Christopher Kelly

Host Laboratory: BNL Research Center

Computing Group

Laboratory Head: Taku Izubuchi

The matter/antimatter in the Universe is thought to arise due to ‘baryogenesis’ processes, of which a necessary ingredient is the breaking of the charge-parity symmetry. While CP-violation exists in the Standard Model, it is far too small to account for the observed asymmetry. Most new physics models predict, in particular, new contributions to direct CP-violation in hadronic decays that may be observable by comparing experiment to a precise Standard Model determination.

Direct CP-violation was originally observed in the decays of a kaon into two pions, and precise measurements are now available. Low energy strong interactions play an important role in these decays, hence lattice techniques are required for a Standard Model prediction to be formulated. My research, performed in collaboration with Columbia University in the US as well as Edinburgh and Southampton universities in the UK, has been to apply the technique of lattice QCD to the determina-

tion of the $K \rightarrow \pi\pi$ decay amplitude in the $I=0$ channel. Combined with our existing measurement of the $I=2$ channel amplitude, this has enabled us to determine epsilon-primed, the measure of direct CP-violation in the Standard Model for the first time.

The two key difficulties of this calculation are ensuring that the statistically-noisy disconnected diagrams are measured precisely, and ensuring the decay is performed with energy conserving kinematics. To this end we have developed parallel code optimized for the IBM Blue Gene/Q machines that uses all-to-all propagator methods and the novel G-parity boundary conditions to overcome these challenges.

Our results, recently published in Physical Review Letters, are the first *ab initio* determination of epsilon-primed. The current result for the $I=0$ amplitude has a large, 85% total error, primarily due to a strong cancellation between the two dominant contributions to the $I=0$

amplitude. The result for epsilon-primed presently agrees with experiment at the 2.1-sigma level, but with further measurement this may resolve into a disagreement, indicating the presence of new physics.

The primary goals for the near future, and the main focus of my research, are reducing the statistical and systematic uncertainties through a combination of improved algorithms and measurement techniques.

●Publications

Original paper, P. A. Boyle *et al*, “The Low Energy Constants of SU(2) Partially Quenched Chiral Perturbation Theory from $N_f=2+1$ Domain Wall QCD”, arXiv:1511.01950 (submitted to PRD)

Original paper, Z. Bai *et al*, “Standard Model Prediction for Direct CP Violation in $K \rightarrow \pi \pi$ Decay”, Phys. Rev. Lett. 115, no. 21, 212001 (2015)

Original paper, T. Blum *et al*, “ $K \rightarrow \pi \pi$ $I=3/2$ decay amplitude in the continuum limit”, Phys. Rev. D 91, no. 7, 074502 (2015)

Proceedings from Lattice 2015, C.Kelly, “Standard Model Prediction for Direct CP-Violation in $K \rightarrow \pi \pi$ Decays”, PoS(LATTICE2015)009

●Oral Presentations

02/06/15 - conference presentation, “Multi-Hadron and Nonlocal Matrix Elements in Lattice QCD” workshop, BNL, NY, USA: “Progress towards an ab initio, Standard Model calculation of direct CP-violation in K decays”

03/27/16 - seminar, BNL, NY, USA: “Progress towards the first principles lattice calculation of ϵ' ”

07/15/15 - plenary talk, “Lattice 2015”, Tsukuba, Japan: “Standard-model prediction for direct CP violation in $K \rightarrow \pi \pi$ decays”

09/07/15 - plenary talk, “Fundamental parameters from Lattice QCD” workshop, Mainz, Germany: “CP-violation in the kaon sector on the lattice”

10/08/15 - conference presentation, “Brookhaven Forum 2015”, BNL, USA: “Standard-model prediction for direct CP-violation in kaon decays”

10/27/15 - plenary talk, “KEKFF”, Tokyo, Japan: “Kaon decays on the lattice”

10/30/15 - seminar, KEK, Tsukuba, Japan: “Standard-model prediction for direct CP violation in $K \rightarrow \pi \pi$ decay”

12/14/15 - seminar, LANL, NM, USA: “Standard-model prediction for direct CP violation in $K \rightarrow \pi \pi$ decay”

Investigating the Role of Reactive Oxygen during Vertebrate Lens Formation

Name: Nicholas Love

Host Laboratory: Center for Developmental Biology

Laboratory for In Vitro Histogenesis

Laboratory Head: Mototsugu Eiraku

Injuries and disorders eye can cause blindness, disfigurement, and an overall lowering of life quality. Many of these maladies are caused by morphogenic failures during optic development or the wound healing process. In order to innovate strategies to alleviate suffering following optic injuries, understanding the basic biological mechanisms employed during vertebrate lens tissue organization are critical.

The formation of the vertebrate lens is a fascinating and classic instance of tissue organization. Lens formation orchestrates a tightly controlled program of gene activation, growth factor signaling, cell differentiation,

and morphogenesis. Previous studies have demonstrated that small, diffuse, reactive oxidant species (ROS) such as hydrogen peroxide (H_2O_2) can act a global coordinators of processes implicated during lens formation e.g. cell fate, differentiation signaling, cytoskeletal modulation, cell migration, and growth. Moreover, in the 1940s it was observed that vertebrate optic development correlated with localized increases in oxidant levels, though a lack of technology at the time precluded detailed investigation of this genetic and molecular mechanisms underlying these phenomena.

Using recently developed microscopy and DNA se-

quencing techniques, I have performed a series of experiments that reveal a new facet of the complexity to in vitro optic tissue generation. Namely, I have published research showing how the Fgf- and Wnt-signaling pathways provide genetic information to ES-cell derived optic tissues. Ultimately, it is hoped that discoveries made from these studies will precipitate novel methods to treat injuries of the eye and lens.

●Publication

Original Paper

Andrabi M, Kuraku S, Takata N, Sasai Y, Love NR.

Comparative, transcriptome analysis of self-organizing optic tissues. *Scientific Data*. (2015). Published *

Love NR, Pollak N, Dölle C, Niere M, Chen Y, Oliveri P, Amaya E, Patel S, Ziegler M. Calmodulin-sensitive NAD kinase controls animal NADP biosynthesis and is modulated via evolutionarily divergent calmodulin-dependent mechanisms. *PNAS*. (2015). Published.*

Love N.R., Ziegler M., Chen Y., and Amaya E.: Carbohydrate metabolism during vertebrate appendage regeneration: What is its role? How is it regulated?

Bioessays. (2014). Published.*

Love N.R., Chen Y., Han Y., Ishibashi S., Kritsiligkou P., Lea R., Gallop J.L., Dorey K., and Amaya E.: Amputation induced reactive oxygen species (ROS) are required for successful *Xenopus* tadpole tail regeneration. *Nature Cell Biology*. (2013). Published *

Love N.R., Thuret R., Chen Y., Ishibashi S., Sabherwal N., Paredes R., Alves-Silva J., Dorey K., Noble A.M., Guille M.J., Sasai Y., Papalopulu N., and Amaya E.: pTransgenesis: a cross-species, modular transgenesis resource. *Development*. (2011). Published *

Love N.R., Chen Y., Bonev B., Gilchrist M.J., Fairclough L., Lea R., Mohun T.J., Paredes R., Zeef L.A., and Amaya E.: Genome-wide analysis of gene expression during *Xenopus tropicalis* tadpole tail regeneration. *BMC Dev Biol*. (2011). Published *

●Presentation

International Conference

Love N.R.: "Generation of optic tissues using embryonic ES cells" Bayer Lindau Dialogue, Lindau Germany 2015, 30 June.

High Resolution Frequency Measurements and Temperature Manipulation of a Single Antiproton - Antiproton g-factor Experiment at the Ulmer Research Unit

Name: Andreas Mooser

Host Laboratory: Ulmer Initiative Research Unit

Laboratory Head: Stefan Ulmer

The Standard Model of particle physics (SM) is the theory which best describes our knowledge about fundamental particles and their interactions. However it is known that this theory is incomplete. This inspires various searches for physics beyond the SM, among these direct high-precision tests of the combined charge, time and parity (CPT) invariance. Our aim is to perform such tests of CPT invariance by comparing the fundamental properties of protons and antiprotons at lowest energies and with greatest precision. To this end we developed a cryogenic multi Penning trap setup, which consists of a reservoir trap serving as a source for antiprotons during accelerator shutdowns, a precision trap allowing for non-destructive and precise frequency measurements and an

analysis trap enabling the detection of the spin state. Using a single antiproton delivered by the antiproton decelerator at CERN in Switzerland all of these traps have been successfully commissioned within our last experimental campaign. In addition we developed a novel fast measurement scheme for cyclotron frequency comparisons of two individual particles. The latter enabled us to compare the charge-to-mass ratio of the proton and the antiproton with a fractional precision of 69 parts per trillion. This constitutes the most precise test of CPT-invariance using baryons so far. Our measurements were performed at cyclotron frequencies of about 30MHz, which means that in this case CPT invariance holds at the atto-electronvolt scale. In addition we were able to set a limit

of 0,72 part per trillion on sidereal variations in the charge-to-mass ratio, which could be mediated by anisotropic and CPT violating contributions to the SM. Turning arguments around and assuming that CPT invariance holds, our measurements constraints any anomalous gravitational coupling of antimatter.

With an improved setup using a so called self-shielding coil we meanwhile achieved a 3.5-fold higher magnetic field stability which will allow for a significantly improved charge-to-mass ratio comparison and a sub parts per billion measurement of the antiproton magnetic moment in the future.

For a measurement of the magnetic moment the observation of spin-flips is needed. Here the challenge is to observe these spin-flips on a background of frequency fluctuations in a Penning trap with a superimposed magnetic field inhomogeneity. Within the recent 2015 CERN antiproton run we observed such spin quantum transitions. The scope of our current research is the implementation of experiment routines to perform an antiproton magnetic moment measurement at the parts per billion level.

●Publications

Original Paper

Ulmer S., Smorra C., Mooser A., Franke K., Nagahama H., Schneider G., Higuchi T., Van Gorp S., Blaum K., Matsuda Y., Quint W., Walz J. and Yamazaki Y.: High-precision comparison of the antiproton-to-proton charge-to-mass ratio. *Nature* 524, 196 (2015), published*.

Smorra C., Blaum B., Bojtar L., Borchert M., Franke K.

A., Higuchi T., Leefer N., Nagahama H., Matsuda Y., Mooser A., Niemann M., Ospelkaus C., Quint W., Schneider G., Sellner S., Tanaka T., Van Gorp S., Walz J., Yamazaki Y. and Ulmer S.: BASE - The Baryon Antibaryon Symmetry Experiment. *Eur. Phys. J. Special Topics* 224, 3055 (2015), published*.

Mooser A., Smorra C. and Ulmer S.: Das magnetische Moment des Protons. *PhiuZ* 46, 92 (2015), published.

●Oral Presentations

International Conferences

Mooser A., Smorra C., Blaum B., Franke K. A., Higuchi T., Leefer N., Nagahama H., Matsuda Y., Quint W., Schneider G., Sellner S., Tanaka T., Walz J., Yamazaki Y. and Ulmer S.: “A test of CPT invariance at the Attoelectronvolt Scale” Low energy antiproton physics, Kanazawa Japan 2016, Mach 6-11.

Mooser A., Smorra C., Blaum B., Franke K. A., Higuchi T., Leefer N., Nagahama H., Matsuda Y., Quint W., Schneider G., Sellner S., Tanaka T., Walz J., Yamazaki Y. and Ulmer S.: “The Magnetic Moment of the Proton and the Antiproton” The 47th Conference of the European Group on Atomic Systems, Riga Latvia 2015, July 14-17.

Mooser A., Smorra C., Blaum B., Franke K. A., Higuchi T., Leefer N., Nagahama H., Matsuda Y., Quint W., Schneider G., Sellner S., Tanaka T., Walz J., Yamazaki Y. and Ulmer S.: “The g-Factor of the Proton and the Antiproton” Seminar at the Max-Planck Institut für Kernphysik, Heidelberg Germany 2015, July 22.

Charge Dynamics at the Solid Interface Studied by Novel Nonlinear Spectroscopy

Name: Anton Myalitsin

Host Laboratory: Molecular Spectroscopy Laboratory

Laboratory Head: Tahei Tahara

Heterodyne-detected vibrational sum frequency generation (HD-VSFG) spectroscopy provides interface-selective vibrational spectra ($\text{Im}[\chi^{(2)}]$) that can be directly compared with bulk infrared spectra. Additionally, the sign of the $\text{Im}[\chi^{(2)}]$ spectra provides information about the orientation of molecules at the interface. Recently we

obtained complex $\chi^{(2)}$ spectra from the “buried” silica/water interface with HD-VSFG spectroscopy by using the non-resonant signal from the buried silica/air interface as a reference.

In the last year we studied biocompatible polymer/water interfaces with HD-VSFG spectroscopy. For exam-

ple, poly(2-methoxyethyl acrylate) (PMEA) shows excellent bio/blood compatibility and is often used as coating for catheters and other medical equipment. However, the origin of biocompatibility for PMEA is still controversially debated. Some studies attribute blood compatibility to a specific species of water molecules (“*intermediate water*”) which exists only at the biocompatible polymer/water interface. Other reports claim that no specific water structure exists at the PMEA/water interface, i.e. water molecules at that interface behave like in bulk water. However, these models focus on water soaked into the polymer, studied with non-interface selective methods such as ATR-IR.

In our study we measured the complex $\chi^{(2)}$ spectra of the PMEA/water interface and compared it to the blood incompatible PMMA/water interface (PMMA: poly(methyl-methacrylate)). To avoid inter- and intramolecular coupling of H₂O we used isotopic dilution. Our results show for both polymer/water interfaces H-up orientation of interfacial water, in which water molecules at the interface direct the hydrogen atoms toward the polymer. However, the spectral shape differed significantly between the blood compatible PMEA and blood incompatible PMMA: The Im[$\chi^{(2)}$] spectrum of PMEA/water interface resembled the IR spectrum of water. On the other hand, the Im[$\chi^{(2)}$] spectrum of the PMMA/water interface showed a red shift of the main OH band, indicating the presence of stronger hydrogen bonds than bulk water.

In conclusion, we did not find a specific water species at the PMEA/water interface. Quite the contrary, our results suggest that water molecules at the PMEA interface show hydrogen bond strength similar to that in bulk water.

A publication summarizing these findings is currently in preparation.

●Publications

Papers

A. Myalitsin, S.-h. Urashima, S. Nihonyanagi, S. Yamaguchi and T. Tahara, J. Phys. Chem. C., 2016, 9357

●Presentation

International conference

Myalitsin A., Nihonyanagi S., Yamaguchi S., Yanagisawa J., Aoki T. and Tahara T.: “Heterodyne-Detected Vibrational Sum Frequency Generation Spectroscopy Studies of Hemocompatibility at the Polymer/Water Interface”, Pacificchem, Honolulu USA 2015, December 15-20.

Domestic Conference

Myalitsin A., Nihonyanagi S., Yamaguchi S., Yanagisawa J., Aoki T. and Tahara T.: “Heterodyne-Detected Sum-Frequency Generation Studies on the ‘Buried’ Silica/Water Interface and Polymer/Water Interface”, 日本分光学会年次講演会, Tokyo JAPAN 2015, June 1-3.

Myalitsin A., Nihonyanagi S., Yamaguchi S., Yanagisawa J., Aoki T. and Tahara T.: “Study of the Buried Polymer/Water Interface with Heterodyne-Detected Vibrational Sum Frequency Generation Spectroscopy”, 9th Annual Meeting of Japan Society for Molecular Science, Tokyo JAPAN 2015, September 16-19.

ミヤリトシン アントン; 二本柳聡史; 山口祥一; 柳沢順次; 青木隆史; 田原太平: “バイオポリマー/水界面のヘテロダイン検出振動和周波発生分光”, 「柔らかな分子系」第4回全体合宿会議, 北九州 日本2015, November 24-26.

Advanced Phase Detection for Optical Lattice Clocks

Name: Nils Nemitz

Host Laboratory: Quantum Metrology Laboratory

Laboratory Head: Hidetoshi Katori

Clocks based on atomic transitions in the optical regime now surpass the primary cesium standards in both accuracy and stability, such that their measurements can

no longer be fully expressed in terms of the SI second. Demonstrating the performance of such optical clocks therefore relies on direct comparisons.

After concluding the initial uncertainty evaluation of the Yb clock implemented over the course of this project, we undertook a campaign of ratio measurements comparing the clock transition frequency of the ytterbium isotope ^{171}Yb to that of ^{87}Sr , determined by the strontium clocks previously developed at the Quantum Metrology Laboratory^[1].

The obtained ratio value $R = 1.207\,507\,039\,343\,337\,749(55)$ slightly improves on a previous record-setting result obtained for the ratio of clocks based on single mercury and aluminum ions^[2] in terms of the fractional uncertainty of 4.6×10^{-17} . More significantly, the greater measurement stability of optical lattice clocks allows reaching an overall uncertainty of 5×10^{-17} with a measurement time of only 150 s, representing a 90-fold reduction.

The technique of synchronous interrogation, which allows the instability originating from the noise of the employed clock lasers to be partially suppressed was demonstrated here for the first time in the context of a ratio measurement between clocks employing different atomic species. The best observed stability will support reaching a statistical uncertainty of 2×10^{-18} with a convenient measurement time of less than twelve hours, not only allowing rapid evaluation of systematic effects, but also opening up exciting possibilities to probe fundamental physical effects - particularly a variation of the fine structure constant - on short time scales.

At this point, the overall accuracy of the ytterbium clock is limited by the uncertainty of the frequency shifts induced by the optical lattice used to trap the atoms. For this reason, we have recently begun preparations for a detailed evaluation of the underlying higher-order effects, which we hope to conclude during the remainder of this fiscal year.

[1] Ushijima *et al.*, Cryogenic optical lattice clocks, *Nature Photonics* 9 185-189 (2015)

[2] Rosenband *et al.*, Frequency Ratio of Al^+ and Hg^+ Single-Ion Optical Clocks; Metrology at the 17th Decimal Place, *Science* 319 1808-1812 (2008)

●Publications

Original Article

Takamoto M., Ushijima I., Das M., Nemitz N., Ohkubo T., Yamanaka K., Ohmae N., Takano T., Akatsuka T., Yamaguchi A. and Katori H.: Frequency ratios of Sr, Yb, and Hg based optical lattice clocks and their applications. *Comptes Rendus Physique* 16, 489, published June 2015 *

Nemitz N., Ohkubo T., Takamoto M., Ushijima I., Das M., Ohmae N. and Katori H.: Frequency ratio of Yb and Sr clocks with 5×10^{-17} uncertainty at 150 s averaging time. Accepted by *Nature Photonics* 10, 258–261 (2016)

doi:10.1038/nphoton.2016.20

●Oral Presentations

International conferences

Nemitz N., Ohkubo T., Takamoto M., Ushijima I., Das M., Ohmae N. and Katori H.: Measuring the Yb/Sr clock frequency ratio with cryogenic optical lattice clocks. *Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium (IFCS) and European Frequency and Time Forum (EFTF)* in Denver USA 2015, April 12-16

Domestic conferences

Nemitz N., Ohkubo T., Takamoto M., Ushijima I., Das M., Ohmae N. and Katori H.: Measuring the Yb/Sr clock frequency ratio with cryogenic optical lattice clocks. *Autumn Meeting of the Physical Society of Japan* in Osaka 2015, September 16-19

Invited seminar presentation

Nemitz N., Ohkubo T., Takamoto M., Ushijima I., Das M., Ohmae N. and Katori H.: Measuring the Yb/Sr clock frequency ratio with cryogenic optical lattice clocks. *National Institute of Information and Communications Technology (NICT)* in Tokyo 2015, September 24

●Poster Presentations

International conferences

Nemitz N., Ohkubo T., Takamoto M., Ushijima I., Das M., Ohmae N. and Katori H.: Measuring the Yb/Sr clock frequency ratio with cryogenic optical lattice clocks. Presented at *8th Symposium on Frequency Standards and Metrology* in Potsdam, Germany 2015, October 12-16

Beyond Development: Identifying Runx1 as a Key Modulator of Immune Response and Inflammation

Name: Wooseok Seo

Host Laboratory: Center for Integrative Medical Sciences

Laboratory for Transcriptional Regulation

Laboratory Head: Ichiro Taniuchi

Runx proteins are evolutionarily conserved transcription factors and plays essential roles during various developmental processes and it has been shown that Runx-deficient mice show severe developmental blockages. Our laboratory has been studying how Runx proteins control development of blood cells. During the characterization of Runx-deficient mice, we have observed that the Runx mutant mice also exhibit several immunological pathologies such as spontaneous infiltration of leukocytes into lungs which resembles human asthma. This observation led us to propose a hypothesis that Runx transcription factors might have direct roles in immune responses in addition to the well-characterized roles in development. Consistent with this hypothesis, our laboratory showed that indeed Runx1 directly regulates the expression of IL-4, a key cytokine in immune responses such as asthma pathogenesis. However the abnormal expression of IL-4 in the Runx mutant cells was not enough to explain the severe lung pathologies. To this end, I have proposed that there must be other inflammatory mediators regulated by Runx transcription factors.

To discover other inflammatory molecules that are abnormally over-expressed in Runx1-deficient mice, my ongoing project was began. Screening of secreted proteins by activated T cell cultures successfully showed that CC chemokines (CCL3, CCL4 and CCL5) are highly expressed from activated T lymphocytes in addition to IL-4 in the absence of Runx1. Since CC chemokines play important roles in mediating inflammation, this discovery proposed that CC chemokines might be new potential targets of Runx-mediated transcriptional repression.

Thorough biochemical and mouse model studies have concluded that indeed CC chemokines are direct targets of Runx transcription factors. Therefore, my study supported the idea that Runx transcription factors can directly controls immune homeostasis by regulating key inflammatory molecules such as IL-4 and CC chemokines.

To prove the direct involvement of Runx on CCL5 locus, last year I have generated a Crispr/Cas9-generated knockout mouse line in which Runx binding region of CCL5 locus is removed. This new animal tool clearly showed that Runx binding is important for controlling CCL5 expression.

● Publications

Review articles

Seo W. and Taniuchi I.: Transcriptional Regulation regulation of Early early T-Cell cell Development development in the Thymus. *Eur. J. Immunol.* Volume 46, Issue 3, pages 531-538, March 2016.

● Oral Presentations

Domestic conferences

Seo W. and Taniuchi I.: "Repression of CCL5 by Runx/CBF β is essential to prevent lung infiltration", JSI (Japanese Society of Immunology) 2015, Sapporo, Japan, 2015, November 18-20.

Seo W. and Taniuchi I.: "Control of thymocyte fate decision by local chromatin structure", MBSJ (Molecular Biology Society of Japan) 2015, Kyoto, Japan, 2015, December 1-4.

Discovering Proton and Neutron Structure from Fundamental Interactions

Name: Sergey Syritsyn

Host Laboratory: BNL Research Center

Theory Group

Laboratory Head: Dmitry Kharzeev

Lattice Quantum Chromodynamics (lattice QCD) is a practical way of making predictions for Nuclear Physics from the fundamental theory of strong interactions. Lattice QCD algorithms and computing capabilities have matured to the point when calculations directly comparable to the experiment are possible, and in some cases overcome the experimental precision. In addition, lattice QCD calculations are important as input into searches of new physics such as parity and baryon number violations.

One of the important milestones for lattice QCD is to reproduce several "benchmark" quantities such as the nucleon charge radius, nucleon axial charge, and quark momentum fraction in the nucleon. The nucleon charge radius is especially important in the light of the ongoing proton radius controversy. In my research, I have calculated the radius with 10% uncertainty, which is comparable to the experimental discrepancy in muon-proton and electron-proton experiments. I am continuing these calculations to improve the statistical and systematical precision. Reproducing the nucleon axial charge and the quark momentum fraction appears more challenging, and I am working on tighter control of systematic uncertainties in these quantities. Once these quantities are reproduced with certainty, lattice QCD will become the most universal theoretical tool to study the nucleon structure with impact on experiments measuring the 3D structure of the nucleon (JLab, future EIC) and the origin of the nucleon spin.

One of the recent achievements is computing the strange form factors of the nucleon. For the first time, these form factors have been computed on a lattice with sufficient precision to discriminate them from zero. Compared to experiments, the lattice QCD precision is much better and also indicate that experiments need to improve precision by at least an order of magnitude to match our current lattice calculations. In addition, experiments can only access a linear combination of elec-

tric and magnetic strange form factors, and our results indicate that the most common kinematics in experiments results in a large cancellation making measurements difficult, whereas on lattice we have access to these form factors independent of each other.

My lattice calculations of nucleon structure also have impact on the new physics searches. For example, the baryon number violation through neutron oscillation depends on the coupling of neutrons to effective six-quark operators that may be generated by new physics. I have computed the matrix elements of these effective operators thus connecting the hypothetical physics beyond the Standard model to potentially observable rates of neutron-antineutron transitions. This year I have also started another project to compute the neutron electric dipole moment (nEDM) induced by quark-gluon parity-violating interaction, the so-called quark chromo-EDM interaction. These calculations, combined with upper limits on (or measurement of) from next-generation experiments that will search for the neutron electric dipole moment, will constrain the BSM models.

● Publications

1. "High-precision calculation of the strange nucleon electromagnetic form factors", J. Green, S. Meinel, M. Engelhardt, S. Krieg, J. Laeuchli, J. Negele, K. Orginos, A. Pochinsky, S. Syritsyn; Phys.Rev. D92 3, 031501 (2015).
2. "Detecting Stealth Dark Matter Directly through Electromagnetic Polarizability", T. Appelquist et al.(LSD Collaboration); Phys.Rev.Lett. 115 17, 171803 (2015).
3. "Stealth Dark Matter: Dark scalar baryons through the Higgs portal", T. Appelquist et al. (LSD Collaboration); Phys.Rev. D92 7, 075030 (2015).

Oral Presentations

1. "Nucleon Tensor Charge and Transversity from Lattice QCD", invited talk at SOLID Workshop, Stony

- Brook University, Jan 28-30, 2016.
2. “*Structure and Spin of the Nucleon in Lattice Quantum Chromodynamics*”, theory seminar, Michigan State University, Dec 8, 2015.
 3. “*Structure and Spin of the Nucleon in Lattice Quantum Chromodynamics*”, theory seminar, Stony Brook University, Dec 4, 2015.
 4. “*Neutron-Antineutron Oscillation Matrix Elements with DW Fermions at the Physical Point*”, contribution talk at LATTICE2015, July 14-18, Kobe, Japan.
 5. “*Nucleon structure results from LQCD using Wilson fermions*”, invited talk at the 6th Workshop of the APS Topical Group on Hadronic Physics, Baltimore, MD, Apr 8-10, 2015.
 6. “*Nucleon Structure and Matrix Elements*”, CCS-BNL Workshop on Lattice Gauge Theories, University of Tsukuba, March 12-13, 2015.

FY2014 Foreign Postdoctoral Researchers

Development of Microbeam Irradiation Method for Mutation Breeding

Name: Réka Judit Bereczky

Host laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science

Ion Beam Breeding Team

Laboratory Head: Tomoko Abe

The aim of the FPR work is the development of microbeam irradiation method of biological cells using RIKEN Pelletron accelerator combined with a beam optics of tapered glass capillary. The unique points of the FPR work are as follows: studying the beam profile based on interactions of ions with insulator surface to obtain the proper microbeam with uniform energy, evolution of cell culturing, pre- and post-irradiation treatment method for our experimental setup and the production of a semi-automatic tracking system of cells.

In the second year the focus of the FPR project was the investigation of the profile of the microbeam extracted from the capillary optics. In the case of thinner capillaries, i.e. order of 1 micron, the divergence of the extracted beam has been investigated, but for larger outlet, order of 10 micron, with thin end-window no study has been done yet.

In our experiment He ions with the energy of 4.5 MeV were used and transmitted through tapered capillaries with different outlet diameters of the order of 10 micron. The beam profile was obtained with pieces of CR-39 for each capillary and then compared with simulated data by SRIM code, which is the most reliable for this energy region. In order to use SRIM code, the beam was assumed to start on the upstream surface of the end window with a homogeneous lateral distribution ($x, y; x^2 + y^2 < r^2$) and a Gaussian fluctuation of lateral momentum components (p_x, p_y) expressed as a standard deviation, σ_{pxy} , where r is the window radius. The new findings are that the introduction of multi-component of σ_{pxy} (narrow) and σ_{pxy} (broad) reproduces the experimental beam profile at CR-39. The standard deviations for narrow and broad distributions are expected to be core and halo components, respectively, and used in the estimation of beam spread for each capillary. These results were presented in international conferences.

To reduce the halo components I have investigated once how is this component generated and then what is

the best capillary shape to suppress it. To achieve this goal I have started Geant4 simulations which enable us to introduce the complicated capillary geometry and to consider both the ions traveling straight through the capillary and the ions interacting with the inner wall of it.

I obtained microbeam irradiation techniques, which consist of cell culturing and the analyzing method of photos taken by microscope, through the collaboration with the National Institute of Radiological Sciences (NIRS) in Chiba, where the bystander crosstalk talk between lung cancer (A549) and normal (WI38) cells has been investigated. The nuclei of the A549 cells were irradiated with 3.4 MeV proton beams which diameters were 2 micron, using the Single Particle Irradiation System to Cells (SPICE) facility. We found that irradiated A549 cells did not affect bystander WI38 cells. Rather, bystander WI38 cells induced inverse protective signaling in irradiated A549 cells, which was independent of gap junctional intercellular communication. These results improve our current understanding about radiation induced bystander crosstalks in cancer radiotherapy scenario.

In conclusion, an estimation method of microbeam spread and the methods specified for our system in cell culturing and data analysis were established as planned for this year.

● Publication

Bereczky R.J., Ikeda T., Kobayashi T., Utsugi M., Hirano T., Sakai Y. and Abe T.: Estimation method of microbeam divergence from glass capillaries for biological use. RIKEN Accelerator Progress Report 48 (2015) 316.

Ikeda T., Bereczky R.J., Kobayashi T., Sakai Y., and Abe T.: Microbeam divergence from glass capillaries compared with simulation for biological use. RIKEN Accelerator Progress Report 2016. Submitted.

●Presentation

Berezky R.J.: “A method to estimate the beam divergence of microbeam produced by a tapered glass capillary for biological application” Seminar in Department of Physics, Toho University, Funabashi, Japan, 2015. March 11.

Berezky R.J.: “Estimation method of microbeam divergence from glass capillaries for biological use” 9th International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter in Darmstadt, Germany, 2015. May 18 - 21.

Berezky R.J.: “A method to estimate the divergence of microbeam produced by a tapered glass capillary for biological use” Seminar in Photonics and Electronics Science and Engineering Center, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2015. May 29.

Berezky R.J.: “A method to estimate the divergence of microbeam produced with glass capillaries for biological use” 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, Tsuruga, Japan, 2015. May 30 - June 1.

Development of a Novel Technology for Monitoring “real tRNA usage” during Translation in vivo

Name: Chien-Wen Chen

Host Laboratory: Brain Science Institute

Laboratory for Protein Conformation Diseases

Laboratory Head: Motomasa Tanaka

Translation of mRNA requires the evolutionary conserved, multistep machineries involving mRNA, tRNA, rRNA and various translation factor proteins. Among them, the peptide elongation is one of the crucial steps, in which ribosomes coordinate the pairing between mRNA codons and tRNA anti-codons to synthesize polypeptide chains (Agirrezabala and Frank 2009). The translation process is highly sensitive to environmental stresses such as temperature change, nutrient deprivation and osmotic shock. In fact, cells under stress conditions generally induce selective gene expression but inhibit global translation in order to adapt to the stress (Harding, Novoa et al. 2000), (Holcik and Sonenberg 2005).

Recent deep sequencing and theoretical analyses suggest that the usage of mRNA codons in translation dynamically change upon various stresses and the codon bias in mRNA plays an important role in cell's stress response (Gingold, Dahan et al. 2012). Furthermore, tRNA codons may also have an impact on translational control by stress-induced cells (Endres, Dedon et al. 2015).

Nonetheless, it has been poorly understood what tRNAs species are indeed incorporated into ribosomes and thereby modulate mRNA translation when cells encounter environmental stresses, largely due to limitation of the technology to analyze tRNAs inside ribosomes during translation. Here we develop a novel tRNA ribosome profiling technique which globally monitors ribosome-bound tRNAs inside ribosomes in yeast cells and applied this technology to decipher the roles of tRNAs in translational control under environmental stresses

By monitoring cellular tRNAs and ribosome-bound tRNAs, we found that ribosome-bound tRNAs were sensitive to environmental changes, due to the ribosome-bound tRNAs represented the tRNA usage in translation. In addition, we also identified that tRNA integrity was strongly affected under stress in a yet-to-identified mechanism. Currently, we are looking for the potential signaling pathway involved in this phenotype. The manuscript for the methodology is preparing. I am planning to submit it to an appropriate journal early this year.

Alternative Promoters, Biomarkers and Gene Regulatory Networks in Cancers

Name: Bogumil Kaczkowski

Host Laboratory: Center for Life Science Technologies

Genome Information Analysis Team

Laboratory Head: Piero Carninci

Genes that are frequently deregulated in cancer are clinically attractive as both potential pan-cancer diagnostic markers and therapeutic targets. The aim of this work was to identify genes that are recurrently up-regulated or down-regulated across many different cancer types using Cap Analysis of Gene Expression (CAGE) data collected for the FANTOM5 (Functional ANnotation Of Mammalian genomes) project. CAGE is a 5' sequence tag technology that globally determines transcription start sites (TSS) in the genome and their expression levels. CAGE methodology has been originally pioneered at RIKEN Yokohama and it allowed us to assess novel aspects of the cancer transcriptome. We compared the CAGE expression profiles from a collection of 224 different cancer cell lines and corresponding normal primary cells to identify transcripts that are recurrently up or down regulated in a broad range of cancer types.

We identified 2,108 differentially expressed promoters associated with 656 protein-coding genes and 271 long non-coding RNAs. Additionally, we used the unique capability of CAGE to estimate the activity of enhancers based on the bi-directional transcription of enhancer RNAs and identified 90 enhancers that are activated in cancer cell lines. With ChIA-PET data we linked 16 of our cancer-activated enhancers to promoters of known cancer related genes.

Second, we used the genomic location of the TSSs provided by CAGE to show that promoters that overlap repetitive elements (especially SINE/Alu and LTR/ERV1 elements) are often upregulated in cancer. Our finding showing that promoters, which overlap repetitive elements are more likely to be up regulated in cancer is consistent with the fact that repetitive sequences are frequently hypo methylated in cancer and that hypo methylation of promoters of tumor promoting genes leads to their activation in cancer. Interestingly, a specific repeat family, REP522 (largely palindromic, unclassified interspersed repeat of ~1.8Kb in size), showed

particular enrichment in the most up-regulated promoters. To our knowledge this is the first report implicating REP522 activation in cancer. To show that the observed activation of REP522 elements was not a mapping artifact, we performed a wet lab validation by qPCR for 11 up-regulated transcripts that are initiated from REP522 elements at different genomic regions. We confirmed up-regulation of 8 REP522 initiated transcripts in 3 cancer cell lines compared to normal fibroblasts.

Finally, to confirm that our results are relevant to clinical tumors we performed complementary analysis in RNA-seq data from 4,055 tumors and 563 normal tissues profiled by The Cancer Genome Atlas (TCGA) and we identified a core set of pan-cancer biomarkers (of both coding and non-coding transcripts) that are recurrently perturbed in both the FANTOM5 and TCGA datasets.

●Publications

Papers

1. B. Kaczkowski, Y. Tanaka, H. Kawaji, A. Sandelin, R. Andersson, M. Itoh, T. Lassmann, FANTOM5 consortium, Y. Hayashizaki, P. Carninci, and A. R. Forrest, "Transcriptome analysis of recurrently deregulated genes across multiple cancers identifies new pan-cancer biomarkers.," *Cancer Res.*, p. canres.0484.2015, Nov. 2015.

●Oral Presentations

Domestic

1. B. Kaczkowski, Y. Tanaka, H. Kawaji, A. Sandelin, R. Andersson, M. Itoh, T. Lassmann, FANTOM5 consortium, Y. Hayashizaki, P. Carninci, and A. R. Forrest, "Recurrent Transcriptome Alterations Across Multiple Cancer Types", Molecular Biology Society of Japan (MBSJ), Kobe, Japan, 2015-12-04
2. Kaczkowski B, Carninci P, Hayashizaki Y, the FANTOM5 consortium, Forrest ARR.: "Recurrent transcriptome alterations across multiple cancer types".

Young Investigator's Talk at RIKEN Joint Retreat, Kakegawa, Japan. January 29-30 2015

● Poster Presentations

International Conference

1. Kaczkowski B, Carninci P, Hayashizaki Y, the FANTOM5 consortium, Forrest ARR.: "Recurrent transcriptome alterations across multiple cancer types" Cell Symposia: Hallmarks of Cancer: Asia, Beijing, China. 9-11 November 2014

Domestic

1. B. Kaczkowski, Y. Tanaka, H. Kawaji, A. Sandelin, R.

Andersson, M. Itoh, T. Lassmann, FANTOM5 consortium, Y. Hayashizaki, P. Carninci, and A. R. Forrest, "Recurrent Transcriptome Alterations Across Multiple Cancer Types", Molecular Biology Society of Japan (MBSJ), Kobe, Japan, 2015-12-04

2. B. Kaczkowski, Y. Tanaka, H. Kawaji, A. Sandelin, R. Andersson, M. Itoh, T. Lassmann, FANTOM5 consortium, Y. Hayashizaki, P. Carninci, and A. R. Forrest, "Transcriptome analysis of recurrently deregulated genes across multiple cancers identifies new pan-cancer biomarkers.", International Mammalian Genome Conference (IMGC), Yokohama, Japan, 2015-11-11

Olfactory Coding Strategy of Second-order Olfactory Neurons

Name: Meng-Tsen Ke

Host Laboratory: Center for Developmental Biology

Laboratory for Sensory Circuit Formation

Laboratory Head: Takeshi Imai

High-resolution imaging deep inside tissues has been challenging, as it is extremely sensitive to light scattering and spherical aberrations. During the optical clearing process, there is also a potential risk for introducing artifacts to fine structures. Furthermore, some method, such as CLARITY, requires specialized equipments and complicated procedures. To solve the problem, our group previously developed an aqueous optical clearing agent, SeeDB, which facilitated large-scale fluorescence imaging of the mouse brain. SeeDB used simply fructose to match the refractive index (RI) and control tissue optical properties. Combined with two-photon microscopy, SeeDB allowed us to image and trace the axons in fixed intact mouse brains at the millimeter-scale level. However, on synaptic connection level, the resolution of confocal or two-photon imaging is insufficient due to the diffraction limit of light. Although nanoscale imaging has been achieved by electron microscopy (EM), the gigantic data set makes the wiring analysis over long distance difficult. To fill in the gap between EM-based and light microscopy-based connectomics, we are seeking for superresolution microscopy, which incorporates new strategies that improve lateral resolution down to nanometer-scale. Currently, superresolution imaging is limit-

ed to depth less than 10 micron.

To achieve super-resolution imaging of thick tissues, we tried to minimize the 1) light scattering and 2) spherical aberrations using an optical clearing and index matching strategy. In addition, during the clearing process, 3) fine structures have to be maintained, as we are unable to determine genuine fine structures from deformed samples. Because we need to obtain photons from smaller volumes than in conventional fluorescence imaging, 4) fluorophores have to be bright and stable in the cleared samples. We report an improved optical clearing and mounting media for high-resolution fluorescence imaging (SeeDB2). SeeDB2 can be applied not only for large-scale imaging, but also for small-scale, high resolution imaging. Refractive index of SeeDB2 is adjustable from 1.46 to 1.52 (SeeDB2G for RI at 1.46, SeeDB2S for RI at 1.52). Light scattering and spherical aberration can be minimized when the RI of the sample is matched with that of objective lens and cover glass (RI \sim 1.52). Using high-numerical aperture (NA) objective lens under confocal microscopy, fine structures of dendritic spines can be visualized at high resolutions in SeeDB2S-cleared brain slices. A combination of SeeDB2 and volumetric super-resolution microscopy enabled

light microscopy-based connectomics at the synaptic scale, with rich genetic and chemical information. SeeDB2 enabled super-resolution microscopy of mouse brain slices, fly brains, mouse oocytes, and cultured cells, up to a depth of > 100 micron, an order of magnitude deeper than previously possible. As the availability of commercial superresolution microscopy widens, this protocol should enable us to easily obtain high resolution 3D images of fluorescence-labeled samples under more natural condition, while saving time and effort on image alignment.

Cross-species Chemical-genetic Profiling of the RIKEN Natural Product Depository to Discover the Modes of Action of Potential Bioprobes and Drugs

Name: Sheena Claire Leoncio Li

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science
Molecular Ligand Target Research Team
Laboratory Head: Charles Boone

In my current work, I conducted chemical genomics screens using *S. cerevisiae* non-essential gene mutants using a high throughput pipeline that we established in the previous fiscal year. Briefly, quantification of deletion mutant fitness after compound treatment generates chemical-genetic signatures that can be highly predictive of a compound's mode of action. The pipeline uses a drug hypersensitive diagnostic subset of yeast deletion alleles, and is highly parallel because each mutant is marked with a DNA barcode that allows highly multiplexed next generation sequencing to quantify mutant populations after compound exposure. We are very close to submitting a manuscript that describes this work, where we screened 14,000 compounds from the RIKEN NPDepo and NIH. We identified high confidence target biological process predictions for ~1500 compounds (RIKEN High Confidence Compound Set), and determined the “functional signatures” of different compound collections.

This year, I conducted further screens using the same pipeline for ~400 extremely bioactive compounds from the RIKEN NPDepo, ~200 natural products from Dr. Ray Andersen's laboratory at the University of British Columbia, and ~3040 synthetic compounds from the

● Oral Presentations

International Conference

Ke M.-T., Fujimoto S., Yoshida S., Takayama R., Kitajima T. S., Sato M. and Imai T.: "Super-resolution mapping of the brain using SeeDB2" Focus on Microscopy 2016, Taipei Taiwan, 2016 Mar 20-23

Domestic Conference

Ke M.-T., Fujimoto S., Yoshida S., Takayama R., Kitajima T. S., Sato M. and Imai T.: "Super-resolution mapping of the brain using SeeDB2" The 38th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe Japan, 2015 Jul 28-31

Chinese National Compound Library. The results for these studies will be the basis for future manuscripts.

I have also constructed three other *S. cerevisiae* mutant collections that will be used to generate higher resolution chemical genomic profiles, with the goal of obtaining more accurate compound target predictions. The first is a full genome deletion collection which will be used to 1) identify deletion mutants that can be used to improve our current diagnostic pool and 2) provide more comprehensive chemical-genomic information for target prediction. The second is a heterozygous deletion collection for essential genes that will be used to identify precise essential gene targets of compounds using the drug-induced haploinsufficiency (HIP) approach. The third is a temperature sensitive collection for essential genes that will also be used to improve our current diagnostic pool. We will use these collections to screen the RIKEN High Confidence Compound Set, in order to identify the precise modes of action for these compounds.

● Publications

Papers

Dickinson Q, Bottoms S, Hinchman L, McIlwain S, Li S,

Myers CL, Boone C, Coon JJ, Hebert A, Sato TK, Landick R, Piotrowski JS. Mechanism of imidazolium ionic liquids toxicity in *Saccharomyces cerevisiae* and rational engineering of a tolerant, xylose-fermenting strain. *Microb Cell Fact*. 2015 Jan 20; 15(1):17.

Serate J, Xie D, Pohlmann E, Donald C Jr, Shabani M, Hinchman L, Higbee A, Mcgee M, La Reau A, Klinger GE, Li S, Myers CL, Boone C, Bates DM, Cavalier D, Eilert D, Oates LG, Sanford G, Sato TK, Dale B, Landick R, Piotrowski J, Ong RG, Zhang Y. Controlling microbial contamination during hydrolysis of AFEX-pretreated corn stover and switchgrass: effects on hydrolysate composition, microbial response and fermentation. *Biotechnol Biofuels*. 2015 Nov 14;8:180.

Piotrowski JS, Okada H, Lu F, Li SC, Hinchmann L, Ranjan A, Smith DL, Higbee AJ, Ulbrich A, Coon JJ, Deshpande R, Bukman YV, McIlwain S, Ong IM, Myers CL, Boone C, Landick R, Ralph J, Kabbage M, Ohya Y. Plant-derived antifungal agent poaic acid targets B-1,3-glucan. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2015 March 24; 112(12):E1490-7.

● Oral Presentations

International conferences

Li, S.C. Functional annotation of biological processes targeted by chemical libraries. 27th international conference on yeast genetics and molecular biology. Trentino, Italy. 2015, September 6-12.

Copper-catalyzed Heterocarboxylation of C=X (X = C, O, N) Bonds with CO₂

Name: Yong Luo

Host Laboratory: Organometallic Chemistry Laboratory

Laboratory Head: Zhaomin Hou

In recent decades, CO₂ fixation has become an active area of research in both academic and pharmaceutical laboratories. Among these achievements, the heterocarboxylation of unsaturated substances with CO₂ which introduces both hetero unit and carboxyl acid group in a single process is of particular interest. As a continuous work of the last fiscal year, I focused on synthesizing and utilizing various new *N*-heterocyclic carbene-copper complexes for asymmetric boracarboxylation of styrene with CO₂ in the FY2015.

1. Based on the references and previous achievements of our group, commercial phosphine-based chiral ligands almost showed no reactivity under various reaction conditions. Thus, various NHC ligands with different electronic property and steric hindrance were designed, synthesized and screened in this reaction. Finally, we found that sulfonate-bearing chiral bidentate NHC-Cu complexes could dramatically increase the enantioselectivity, and 69% ee was achieved when 10 mol % of this catalyst precursor and 0.8 equivalents of LiO^tBu were employed.

2. Other types of alkenes were tested in this reaction, since different substituents have significant influence on the enantioselectivity. After screening, 1,1-disubstituted alkenes showed no reactivity under the standard reaction condition. 1,2-disubstituted alkenes provided complex mixture with containing a small amount of desired products.

3. Other parameters were also very important in this reaction and investigated in the following step. Attempt to decrease the reaction temperature was unsuccessful, because the CO₂ incorporation step could not work well under lower temperature.

4. Heterocarboxylation of C=N and C=O bonds were explored with the utilization of aldehydes and imines. As a preliminary investigation, these reactions could undergo smoothly to provide the desired products. Functionalization of the obtained product is in progress with an expectation to develop more efficient access to complex molecules.

Discovery of New Mechanisms Driving Colorectal Cancer and New Therapeutics

Name: Kendle Maslowski

Host Laboratory: Centre for Integrative Medical Sciences

Laboratory for Intestinal Ecosystem

Laboratory Head: Hiroshi Ohno

In the past year this study has focused on the mechanisms of *Salmonella*-induced colorectal tumor regression. In the previous year (FY2014), we developed a model where mice with carcinogen and inflammation-induced colitis-associated cancer (CAC) were treated with aromatase A-deficient *Salmonella typhimurium* (STm Δ^{aroA}). STm Δ^{aroA} is auxotrophic for aromatic amino acids, therefore it can not replicate in normal conditions, making it non-pathogenic. However, previous reports have shown that such attenuated bacterial strains can survive in tumor environments (without causing disease), likely due to the high abundance of nutrients within tumor tissue. We confirmed that STm Δ^{aroA} can reside within tumor tissue in the colon, but not in normal adjacent tissue. Mice administered STm Δ^{aroA} , by either oral or intraperitoneal (ip) route, had a reduction in tumor burden, without signs of adverse effects from bacterial administration.

To understand the mechanisms of tumor regression we performed RNAseq analysis on tumor and normal tissue from non-treated and STm Δ^{aroA} -treated mice (after 6 weeks of oral or ip treatment). Operational Taxonomic Unit (OTU) analysis was employed to identify differences between non-treated and STm Δ^{aroA} -treated tumors. OTU terms including metabolic processes and cellular transport were amongst the top changes for both treatment routes, and ip STm Δ^{aroA} -treated mice additionally had OTU's with immune response related terms. On the transcript level, we found changes in the expression level of genes involved in epithelial or mesenchymal identity that indicated a restoration of 'epithelial-identity' in treated tumors (Smoc2, Vimentin, Lgr5) (epithelial to mesenchymal transition is one aspect of tumor progression). Additionally, transcripts involved in amino acid transport (Slc6a20a, Gpt), Wnt signaling (Yes1) and me-

tabolism (Pdk4, Ldhd) were also identified.

Preliminary metabolomic analysis of non-treated and STm Δ^{aroA} -treated tumors have also been conducted. We saw striking reductions in amino acids following 6 weeks treatment with STm Δ^{aroA} (N=2/group) and even just 24 hours after the first treatment (N=1/group). Along with the transcription data, this suggests that alterations in the metabolic status of the infected tumors could be responsible for tumor regression.

We also performed a preliminary assessment of STm Δ^{aroA} -treatment in Apc $^{\text{min/+}}$ mice, which spontaneously develop small intestinal and colonic polyps. STm Δ^{aroA} -treatment also showed promising results in Apc $^{\text{min/+}}$ mice. This will be further interrogated in continuing experiments.

In summary, we have now identified some of the effects of STm Δ^{aroA} -treatment in colon tumors; most intriguingly alterations in tumor metabolism and restoration of epithelial homeostasis. This will now be confirmed in additional experiments and models, and we will aim to elucidate the initial changes induced by STm Δ^{aroA} -treatment.

● Oral Presentations

Domestic conference

Maslowski KM., Takahashi M., Ohno H.: "Epithelial-intrinsic innate immunity in *Salmonella*-induced tumor regression". Japanese Society of Immunology Annual Meeting, Sapporo 2015, November 18-20.

Oral and poster presentation.

International conference

Maslowski KM.: "Epithelial NAIPs in host defence against pathogen and carcinogenesis". Cell Death and Immunity, Cell Symposium, Berkeley, CA, USA. November 8-10, 2015. Poster presentation and flash talk.

Investigation on Differential Sensitivity of Transmission Modes in Phase Shifted Waveguide Gratings for Possible Application as Simultaneous Multi-parametric Sensing

Name: Renilkumar Mudachathi

Host Laboratory: Metamaterials Laboratory

Laboratory Head: Takuo Tanaka

This research was focused on the development of a simultaneous multi-parametric sensing platform based on a clever engineering of the Photonic Band Gap (PBG) effect in phase shifted waveguide gratings. Theoretical analysis of resonant cavities realized using simple one-dimensional PBG structures revealed that it could support multiple resonant modes, which on the transmission side are referred to as band edge and defect mode transmissions. The idea of simultaneous multi-parametric sensing stems from a unique characteristic of these transmission modes, i.e. the frequency of the defect mode depends only on the functional parameters of the defect layer and that of the band edge mode on the grating layers, that we called differential sensitivity. Theoretical studies carried out using analytical and numerical methods could show the excitation of such multiple transmission modes in grating waveguide with a defect layer at the center.

A prototype of the device has been fabricated on silicon on insulator (SOI) optical bench platform using the standard micro fabrication technique. The device is a 4mm silicon waveguide with gratings etched on either

side. The grating period is $1\ \mu\text{m}$ with a filling factor of 0.5. The grating length is $100\ \mu\text{m}$. The input /output waveguide cross-section has an area of $2\ \mu\text{m}^2$ to facilitate the mode matching with the fiber collimator of spot size around $2\ \mu\text{m}$. The device has been excited with a super luminescent broadband light source with a center wavelength of 1550nm and full width at half maximum of 90nm . The transmission spectrum of the device with and without defect layer has been captured using an optical spectrum analyzer. The transmission spectrum shows three peaks, the defect mode wavelength at 1545nm and band edge transmissions at 1510nm and 1565nm providing a dynamic range of 50nm , thus confirming the theoretical predictions.

●Presentation

International Conference (to be presented)

Renilkumar M., Takuo Tanaka., Manoj M. Varma,: “Engineering the photonic band gap for simultaneous multi-parametric sensing” The 9th International Conference on Nanophotonics Taiwan 2016, March 21-25.

Identification and Role of Amygdalar Projections to the Hippocampus in Fear-motivated Spatial Learning

Name: John Ormond

Host Laboratory: Brain Science Institute

Neural Circuitry of Memory,

Laboratory Head: Joshua Johansen

Pathological stress states are thought to involve learning-induced changes to brain circuitry resulting from traumatic experience. The amygdala is well known to play a central, possibly orchestrating, role in both fear and anxiety. Fear is frequently studied in rodents using contextual fear conditioning (CFC), in which the animal is exposed to an aversive stimulus (the unconditioned

stimulus (US)) during training. After conditioning, re-introduction to the conditioning context elicits a fear response, demonstrating that an association between the context and the US has been made. CFC provides a good model to understand pathological stress states for two main reasons: 1) similar to innate anxiety, CFC requires an intact hippocampus (cued fear conditioning, another

common conditioning paradigm, does not); and 2) in humans, contextual fear produces the feeling of aversive expectation about potential future dangers that characterizes anxiety.

To investigate the role of amygdala and entorhinal projections in driving hippocampal learning during contextual fear (CFC), I have designed a novel behavioral task in which rats must learn to run to a goal location for food reward while avoiding paths which are paired with aversive eye-lid shock. Using high-density electrophysiology, pharmacological inactivations, and optogenetics, I am investigating how encoding of context in the hippocampus changes after introduction, or change in location, of the aversive stimulus, and which input regions are necessary to cause these downstream changes.

In terms of hippocampal encoding, I have shown that changing the location of the aversive stimulus (there are three possible shock locations) induces place field remapping in both the CA3 and CA1 regions of the dorsal hippocampus. Interestingly, when running the task with two shock locations, changing one shock location but

leaving the second unchanged induces remapping at all locations, suggesting that the dorsal hippocampus is not storing specific information about the location of the aversive stimuli. Using pharmacological inactivations, I have shown that task learning requires both the basolateral amygdala (BLA) and the lateral entorhinal cortex (LEC), which likely serves as a relay between the dorsal hippocampus and BLA as they are not directly connected.

Currently, additional data is being collected to investigate which paths (aversive or “safe”) are reactivated within the hippocampal map during rest periods between laps. This additional data will also be used to more precisely determine the type of remapping expressed by the hippocampus during the task (the preliminary analysis suggest that it may be rate remapping rather than global remapping). Lastly, experiments using optogenetic inactivation of synaptic terminals are currently underway to confirm the importance of the BLA to LEC to dorsal hippocampus circuit for task learning.

Designing new Materials: The Physics of f-electron Superlattices

Name: Robert Peters

Host Laboratory: Computational Condensed Matter Physics Laboratory

Laboratory Head: Seiji Yunoki

During the fiscal year 2015, I started analyzing superconductivity in f-electron superlattices. In a first step, I collaborated with Dr. Y. Tada (ISSP Tokyo). We studied magnetic and superconducting properties of f-electron superlattice systems using the FLEX approximation. FLEX enables us to treat non-local fluctuations, and thus makes it possible to analyze the interplay between magnetic fluctuations and d-wave superconductivity. We found that while in ordinary (none f-electron) superlattices, superconductivity is suppressed, d-wave superconductivity can be strongly enhanced in f-electron superlattices. This enhancement can be explained by the existence of magnetic moments in f-electron materials, which lead to strong magnetic fluctuations. By building a superlattice out of these f-electron materials, these fluctuations become more and more two-dimensional which favors

d-wave superconductivity. These results have been published in Physical Review B.

However, a big disadvantage of FLEX is that correlation effects are not well included. Therefore, I began to study superconductivity using the dynamical mean-field theory, which includes local correlation effects exactly. As a preliminary study, I analyzed in collaboration with Dr. J. Bauer (Harvard University) the interplay between superconductivity and the pseudogap phenomenon in the attractive Hubbard model. In our study we found that the observed pseudogap is not related to superconducting fluctuations above the critical temperature, as it is often believed. We found that this pseudogap originates due to a crossover between Fermi-liquid and non-Fermi-liquid behavior which is connected to the metal-insulator transition occurring in this model. We furthermore found in

our analysis that the widely used T-matrix approximation does not include correlations correctly. The results of this study have been published in Physical Review B.

The third topic, which I have studied in 2015, is about correlation effects in SmB₆. SmB₆ is an f-electron system, which is known to be a Kondo insulator. However, although this material is an insulator, the resistivity saturates at very low temperature, which has been explained by metallic surface states. Recently, it has been proposed that SmB₆ is topologically non-trivial and these surface states are protected due to the topology. This would explain the robustness of these states. In collaboration with T. Yoshida (RIKEN), H Sakakibara (RIKEN) and N Kawakami (Kyoto University), we have analyzed correlation effects in a realistic model for SmB₆, which has been created by first principles calculations. We have confirmed that SmB₆ is a strong topological insulator. Furthermore, we have found a remarkable interplay between strong correlations and the topology of SmB₆. Because of a strong enhancement of correlations at the surface, heavy surface states appear in the surface layer and light states appear in the next-to-the-surface layer. This coexistence of heavy and light surface states is thereby a remarkable interplay between strong correlations and non-trivial topology. We have submitted the results of this study to Physical Review B.

Decay Spectroscopy of Neutron-rich Rare-earth Nuclei Relevant for the Astrophysical r-process

Name: Pär-Anders Söderström

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science
Radioactive Isotope Physics Laboratory
Laboratory Head: Hiroyoshi Sakurai

Changes in nuclear shell structure far from stability are largely associated with the monopole component of the proton-neutron interaction. Thus, there is a large ongoing experimental effort aiming to investigate how these shell and sub-shell closures evolve for very exotic nuclei at and below ⁷⁸Ni. The study of single neutron and proton particle and hole states outside ⁷⁸Ni is one important way to gain information on this topic. In this

●Publications

1. Tada Y and Peters R “Spin fluctuations and superconductivity in layered f-electron superlattices” Physical Review B 92 035129 published*
2. Peters R and Bauer J “Local origin of the pseudogap in the attractive Hubbard model” Physical Review B 92 014511 published*
3. Peters R and Kawakami N “Large and small Fermi-surface spin density waves in the Kondo lattice model” Physical Review B 92 075103 published*
4. Yoshida T, Peters R, Kawakami N “Restoration of topological properties at finite temperatures in a heavy-fermion system” submitted
5. Peters R, Yoshida T, Sakakibara H, Kawakami N “Coexistence of light and heavy surface states in the topological Kondo insulator SmB₆” submitted

●Presentations

International conferences

6. International conference “International conference on magnetism” in Barcelona: contributed talk “Large Fermi-surface antiferromagnetism in the Kondo lattice model”, 07.07.2015

Domestic conferences

7. Autumn meeting Physical Society meeting Japan: contributed talk “LDA/DMFT study of the topological Kondo insulator SmB₆”

paper new experimental results on ⁷⁶Co, one neutron-hole and one proton-hole in ⁷⁸Ni, were presented. Due to the purity of the of the excited states, this is a unique case to study the neutron-proton interaction in a region with sparse experimental information.

●Publications

Original paper

P.-A. Söderström, et al. Two-hole structure outside 78 Ni: Existence of a μs isomer of ^{76}Co and β decay into ^{76}Ni . *Phys. Rev. C*, 92:051305(R), 2015.

● Oral Presentations

International conference

Status and results from the decay spectroscopy project EURICA (Euroball-RIKEN Cluster Array). The XI Latin American Symposium on Nuclear Physics and

Applications, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2 Dec 2015.

In-flight and decay spectroscopy at RIKEN. Nustar Week 2015, University of Warsaw, Warsaw, Poland, 29 Sep 2015.

Recent results obtained with EURICA at RIKEN. XIII Nordic Meeting on Nuclear Physics, Saariselkä, Finland, 13th C17 Apr 2015.

Epitaxial Growth and Device Characterization of AlGaIn-Based Deep-Ultraviolet LEDs with Transparent p-AlGaIn Contact Layer Grown on 6-Inch Si(111) Substrate

Name: Tinh Tran

Host Laboratory: Center for Advanced Photonics

Terahertz Quantum Device Research Team

Laboratory Head: Hideki Hirayama

Deep ultraviolet light emitting diodes (UV-LEDs) based on AlGaIn materials have attracted considerable attention due to their wide range of applications in air, water purification, disinfection, chemical sensors, bio-medical, non-line-of-sight communication, etc. AlGaIn-based deep UV-LEDs on sapphire substrates have been already commercialized recently. However, the growth of AlGaIn on silicon substrates for deep UV-LED applications have been extensively studied due to facing a lot of challenges. AlGaIn-based UV-LEDs need an AlN template on the Si substrate which will provide many advantages since it can transmit the very short wavelengths (~ 210 nm), Si substrate can be removed by chemical treatment to allow back illumination, to avoid the generated UV light reabsorption for back emission configuration and is crucial for achieving good quality for AlGaIn layers to obtain high efficiency deep UV-LEDs. Besides these advantages, the initial growth of thick AlN template on Si substrates have to face many challenges, such as a large lattice mismatch between AlN and Si (111) ($\sim 19\%$) will lead to high dislocation density and crack initiating stress, the presence of an oxide on the Si substrate also leads to low coherence between AlN template and the Si substrate, insufficient mobility of AlN species on Si surface inhibits the structure rearrangement, or a main hindrance to the development of AlN film is the

low growth rate, etc. Thus, conventional bulk AlN grown on Si is troublesome for researchers. Metal organic chemical vapor deposition deposited AlN nucleation layers at low temperature typically show a mosaic structure with a very high edge and screw dislocation densities of about 10^9 and $10^8/\text{cm}^2$, respectively, for a thin AlN template ($\sim 0.5 \mu\text{m}$). Therefore, various methods have been used to suppress these problems for AlN template grown on either sapphire or Si substrates, such as native bulk AlN substrate, migration enhanced metal organic chemical vapor deposition, pulsed flow multilayer AlN buffer layers, modifications of growth mode and high temperature growth, etc. However, there were a few reports on the growth of AlN on stripe patterned-AlN/Si or -AlN/sapphire substrates and almost no report on the direct growth of thick AlN templates on circle pattern-Si substrates have been issued.

Until now, we have successfully developed thick AlN on micro-circle patterned Si(111) substrates for the first time. And the deep UV-LEDs devices are now under developing at the laboratory.

The latest result has been presented at 2 international, 2 domestic conferences and published two papers as shown below.

Our current works can be summarized as thick AlN templates grown directly on micro-circle patterned-

Si(111) substrates by MOCVD reactor, using NH₃ pulse-flow multilayer with epitaxial lateral overgrowth. Then, the samples sent to another MOCVD reactor to continue developing deep UV-LEDs structures. Finally, the deep UV-LEDs structures will be fabricated devices.

For the remained time of the project, we will finish the deep UV-LEDs fabrication and hope that we can obtain high quality devices performance and publish more quality papers.

●Publications

Papers

1. Tran B. T., Hirayama H., Maeda N., Jo M., Toyoda S. and Kamata N.: Direct Growth and Controlled Coalescence of Thick AlN Template on Micro-circle Patterned Si Substrate. *Scientific Reports*, 5 14734 (2015)
2. Tran B. T., Hirayama H., Maeda N., Jo M. and Toyoda S.: "Direct Growth of Thick AlN Template on Micro-circle Patterned-Si Substrate", *Optical Society of American*, 26H1_4 (2015)

●Oral Presentations

International conferences

1. Tran B. T., Hirayama H., Toyoda S. and Maeda N.: "Direct Growth and Controlled Coalescence of Thick AlN Template on Circle Patterned-Si Substrate", *SPIE Optics+Photonics: Fourteenth International Conference on Solid State Lighting and LED-based Illumination Systems*, San Diego, California, United States, August 9-13, 2015.
2. Tran B. T., Hirayama H., Maeda N., Jo M. and Toyoda S.: "Direct Growth of Thick AlN Template on Micro-circle Patterned-Si Substrate", *CLEO-PR2015*, Busan, South-Korea, August 24-28, 2015.

Domestic conferences

1. Tran B. T., Maeda N., Jo M. Hirayama H.: "Growth of Optical Properties of AlN/AlGa_N Heterostructures on Patterned Si Substrate", *Nagoya Congress Center*, Nagoya City, Japan, September 13-16, 2015.
2. Tran B. T., Hirayama H., Maeda N., Jo M.: "Growth of AlN Template and AlGa_N MQWs on Micro-circle Patterned Si Substrate", the 6th International Symposium on Growth of III-Nitrides, *Hamamatsu City*, Nagoya, Japan, November 8-13, 2015.

Computational Design of Symmetrical Proteins as Building Blocks for Bionanotechnology

Name: Arnout Voet

Host Laboratory: Center for Life Science Technologies
Structural Bioinformatics Team
Laboratory Head: Kam YJ Zhang

Description of research:

During FY2015 I have investigated the design and application of symmetric protein building blocks. The major achievement was the biomineralisation of the smallest nanocrystal, bio mineralized by a designer protein for which the structure was resolved using crystallography. This resulted in a *Angewandte Chemie Intl Edition* paper and a highlight in a news and view in *Nature chemistry*. A derivative protein is under investigation that is a protein ligand in a protein metal coordination complex hybrid material. We are now finalizing the publication of this completely novel type of material and are confident this result will stimulate other researchers to join our efforts to use artificial protein and derived materials for

various application. Several more Pizza derivatives have been created and their affinity towards different metal ions was measured. We have measured the affinity using ITC and crystallized these complexes and are waiting for beamtime to reveal the interactions in 3D. Other achievements were the design of a novel 8fold symmetric protein named Tako8 which is currently being engineered into a cube forming protein. Furthermore, several protein complexes have been purified for a cryoEM centred collaboration with Dr. Hideki Shigematsu. Regular pizza complexes consisting of concatenations of 6bladed units could be visualized. Attempts to create higher order complexes by combining different larger order complexes however failed. Expression of the protein complexes was

successful. However either the complexes did not reassemble into their expected complexes, or aggregated during the purification process. Nevertheless the cryoEM experiments are showing very promising results on the self-assembly of the Pizza complexes as well as the modulation into fiber-formation using metal triggered self-assembly. In collaboration with prof. Claessens (KU Leuven, Belgium) I have been involved in a drug discovery related project for the design of improved androgen receptor antagonists for the treatment of prostate cancer. The results have been written up in a paper and are currently under revision.

●Publications

Papers

Biominalization of a Cadmium Chloride Nanocrystal by a Designed Symmetrical Protein. Voet AR, Noguchi H, Addy C, Zhang KY, Tame JR. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2015 Aug 17;54(34):9857-60. doi: 10.1002/anie.201503575.

The crystal and solution structure of YdiE from *Esche-*

richia coli. Nishimura K, Addy C, Shrestha R, Voet AR, Zhang KY, Ito Y, Tame JR. *Acta Crystallogr F Struct Biol Commun.* 2015 Jul;71(Pt 7):919-24. doi: 10.1107/S2053230X15009140.

An integrated map of HIV genome-wide variation from a population perspective. Li G, Piamongsant S, Faria NR, Voet AR, Pineda-Peña AC, Khouri R, Lemey P, Vandamme AM, Theys K. *Retrovirology.* 2015 Feb 15;12:18. doi: 10.1186/s12977-015-0148-6.

●Oral Presentations

International conferences

PacifiChem2015: Hawaii December 2015

REV3olutionary design of symmetric proteins and their applications

Arnout R.D. Voet

Domestic conferences

BSJ2015: Kanazawa September 2015

REV3olutionary design of symmetric proteins and their applications

Arnout R.D. Voet

Towards Linking Core-Collapse Supernova Modelling with Observations

Name: Annop Wongwathanarat

Host Laboratory: Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory: Shigehiro Nagataki

Core-collapse supernova (CCSN) is the final stage of evolution of a massive star whose mass is approximately 10 times greater than that of our Sun. The detailed description of how such massive star explodes still remains unresolved for several decades, despite the fact that the basic concept of the explosion mechanism was proposed since over fifty years ago. Astrophysicists have studied the problem extensively using both numerical simulations and observational data. However, a direct connection between theory and observations of CCSNe has not been firmly established. Past researches in this field have been focusing either on the explosion mechanism or on the late-time evolution of CCSNe separately due to the complexity of the problem. Only recently with the advancement of large-scale computing power that three-dimensional (3D) simulations considering both the ex-

plosion phase and the late-time evolution become possible. This type of simulations is considered computationally very challenging due to the vast length and time scales that need to be covered in such simulations.

In FY2015, I performed a set of three-dimensional long-time CCSN simulations starting from the SN shock revival phase until the SN shock breaks out from the surface of the progenitor star. This set of simulations aims to study the radial mixing process by Rayleigh-Taylor instabilities which occur as the SN shock sweeps through the envelope of the progenitor star. Results from these simulations show that heavy elements which are synthesized at the core of the exploding star during the explosion phase can be mixed outward to near the surface of the progenitor star as required by observations of SN1987A. The results from these simulations also show

that the radial mixing efficiency depends on the density structure of the progenitor star. Furthermore, in FY2015 I collaborated with Victor Utrobin at the Institute for Theoretical and Experimental Physics in Moscow to study the bolometric light curves which result from three-dimensional long-time CCSN simulations using one-dimensional Lagrangian radiation hydrodynamic code. The results from this analysis show that one of the three-dimensional models I performed can reproduce the basic features observed in the light curve of SN1987A. This is a great success for the first step towards linking CCSNe simulations with observations.

● **Publication**

Original Paper

Wongwathanarat A., Müller E. and Janka H.-Th.: Three-dimensional simulations of core-collapse supernovae: from shock revival to shock breakout. *Astronomy & Astrophysics* published *

Utrobin V. P., Wongwathanarat A., Janka H.-Th. and Müller E.: Supernova 1987A: neutrino-driven explosions in three dimensions and light curves. *Astronomy & Astrophysics* published *

● **Presentation**

Domestic Conference

Wongwathanarat A., Müller E. and Janka H.-Th.: “3D long-time core-collapse supernova simulations” Workshop on Supernovae and Their Remnants The Elegant Last Dance of Stars JAPAN 2015, November 9-10

FY2015 Foreign Postdoctoral Researchers

The Function of Natural Helper Cells in the Maintenance of Adipose Tissue Homeostasis and Metabolism

Name: Kafi Ealey

Host Laboratory: Center for Integrative Medical Sciences

Laboratory for Innate Immune Systems

Laboratory Head: Kazuyo Moro

The goal of the present study was to assess mediators of cross-talk and cell to cell interactions between natural helper (NH) cells, which are now termed group 2 innate lymphoid cells (ILC2s) and immune cells in adipose tissue to determine mechanisms for immune regulation of adipose tissue homeostasis.

Since it is known that macrophages, which accumulate in adipose tissue of both lean and obese individuals are critical participants in obesity-induced inflammation, natural helper cells were co-cultured with primary mouse macrophages under stimulation with various cytokines using both contact and transwell systems of co-culture. Indirect co-culture under IL-33 stimulation resulted in increased expansion of ILC2s and significantly increased secretion of cytokines such as MIP-1a, MIP-1b, MCP-1, KC and G-CSF that are known to have potent chemotactic effects on immune cells, including macrophages. In addition, co-culture conditions were shown to potentiate NH cell migration in an *in vitro* chemotaxis assay. To assess the relationship between ILC2s and adipocyte metabolism, ILC2s were co-cultured with either primary mouse adipocytes that were differentiated from mouse embryonic fibroblasts or mouse 3T3-L1 pre-adipocyte cells differentiated into adipocytes. Co-culture of ILC2s with adipocytes under stimulation with IL-33 resulted in impaired ILC2 function as assessed by impaired secre-

tion of Type 2 cytokines. ILC2-derived soluble factors had significant effects on adipocyte metabolism resulting in reduced adipocyte lipolysis and reduced expression of C/EBP α and PPAR γ that are essential for normal adipocyte differentiation. ILC2-derived soluble factors also increased expression and secretion of CCL11 from adipocytes. CCL11 is known to be a critical factor for eosinophil chemotaxis, *in vivo*. Using an *in vitro* chemotaxis assay, increased migration of bone marrow-derived eosinophils was observed in the presence of adipocytes that were co-cultured with ILC2 under IL-33 stimulation.

Collectively, the data from this present study highlight a potential role for IL33 and ILC2s in regulating metabolism. The results show that specific interactions of ILC2s with macrophages and adipocytes may activate metabolic pathways to increase migration of other immune cells into adipose tissue to maintain homeostasis. Future studies will aim to assess whether ILC2s activate these specific metabolic pathways *in vivo* in adipose tissue.

● Publication

Original Paper

Moro K., Ealey KN., Kabata H. and Koyasu S.: Isolation and analysis of group 2 innate lymphoid cells in mice. *Nat. Protoc.* 2015 10(5): 792-806

Establishment of the Drug Screening System for the Treatment of *NGLY1* Mutation Patients

Name: Chengcheng Huang

Host Laboratory: Global Research Cluster

Glycometabolome Team

Laboratory Head: Tadashi Suzuki

The final goal of this study is to find an efficient mammalian ENGase inhibitors for the treatment of *NGLY1* mutation patient. To achieve this, the cell system was be-

ing established for a large scale screening. The idea is to utilize the nature of the model protein RTA Δ , which could easily get insoluble once the glycan chain has been

cleaved by the deglycosylating enzyme ENGase, and to express it in a double-KO cell inducibly expressing ENGase using a *tet-on* system. Thus the activity of ENGase could be reflected by the generation of the insolubilized RTAΔ in the cell. At present the first-round antibiotic screening has been carried and 20 mono colonies have been examined, for their stably expressing of a regulatory molecule rtTA, which induces the expression of the target gene under a *tet-on* promoter by binding doxycycline. A transient *tet-on* luciferase plasmid was expressed in these colonies and doxycycline was added and the luciferase activity was compared between the doxycycline treated and untreated clones, in order to obtain a rtTA-expressing cell. Among the 20 cells tested, only 1 colony has shown significant increase in the luciferase activity by around 6 times. Currently I am characterizing this cell to see if this cells are compatible for our screening purpose.

To visualize RTAΔ by imaging, EGFP-labeling RTAΔ was constructed and the solubilization of the EGFP-RTA in the Ngly1-KO cell was examined. Unfortunately the addition of EGFP has increased the solubility of RTAΔ, and therefore turned out to be an undesired substrate for the screening. Currently replacing the EGFP with a different fluorescent tag, such as aggregation-prone DsRed, will be tested.

To find a marker protein for the labeling of insoluble aggregation, the empAI value from the proteomics analysis of both the cytosolic fraction and the detergent insoluble fraction of wild type, ENGase-KO, Ngly1-KO, as well as double-KO cell was extracted and compared. Among the cytosolic fractions, tropomyosin as well as type 1 collagen have relatively high distribution in Ngly1-KO cell; while among the detergent insoluble fractions, a spectrin alpha chain non-erythrocytic 1 has espe-

cially low distribution in Ngly1-KO cell. And these molecules will be stained by antibodies for the confirmation of their actual expressing within the cell, followed by detection of cytosolic distribution after identifying of some target proteins.

To biochemically examine the inhibitory effect of compounds, in vitro ENGase assay was established using cytosolic fraction of double-KO cell over-expressing ENGase as an enzyme source and RNase B as a substrate. Through bioinformatics analysis and structure model for human ENGase, 10 potential ENGase inhibitor candidates were selected among the FDA approved drugs (collaborative effort with Dr. Jeff Skolnick (Georgia Institute of Technology)). Among the 10 compounds tested, glucuronic acid, gluconolactone, as well as frovatriptan succinate monohydrate were identified to inhibit ENGase activity in vitro, with a IC50 of 1.6 mM, 3.9 mM, and 0.9 mM respectively.

● Publications

Papers:

Huang C, Harada Y, Hosomi A, Masahara-Negishi Y, Seino J, Fujihira H, Funakoshi Y, Suzuki T, Dohmae N, and Suzuki T.: Endo- β -N-acetylglucosaminidase forms N-GlcNAc protein aggregates during ER-associated degradation in Ngly1-defective cells. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 112(5):1398-403(2015)

Huang C, Seino J, Wang L, Haga Y and Suzuki T.: Autophagy regulates the stability of sialin, a lysosomal sialic acid transporter. *Biosci. Biotechnol. Biochem*. 79(4):553-7(2015)

Review articles:

Suzuki T, Huang C and Fujihira H. : The cytoplasmic peptide:N-glycanase (NGLY1)-structure, expression and cellular functions. *Gene* 577:1-7(2016)

Functional study of the Decision-Making Networks in Zebrafish

Name: Merlin Lange

Host Laboratory: Brain Science Institute

Developmental Gene Regulation

Laboratory head: Hitoshi Okamoto

Action selection among several choices to adapt animal behavior in function of his environment and past history is a fundamental cognitive process, well conserved in animal kingdom. It has been documented that neuronal circuits of the corticobasal ganglia are critical for decision-making. We have elucidated that zebrafish *Danio rerio*, a small tropical fresh water fish member of the teleost class, has partially the equivalent structure as the mammalian corticobasal ganglia.

In the current work I first wanted to elucidate the precise neuroanatomy of the zebrafish corticobasal ganglia. I developed an elegant technique combining viral transsynaptic tracing (with rabies virus) and transgenic animal. Especially we can perform retrograde monosynaptic tracing on the striatal neurons, the main output nucleus of the corticobasal ganglia. We are now able to precisely map the synaptic connection within the zebrafish corticobasal ganglia. The technic is now working I am on the process of data acquisition. Furthermore, on the brain of virus-injected samples, we are now able to perform tissues clearing method (i.e *Scale* technic developed by the group of Dr. Miyawaki in RIKEN BSI), followed by 3D imaging an approach that enables the comprehensive analysis of the whole brain cellular network.

Then, using the calcium indicator GCaMP7 (a genetically encoded calcium indicator), we recorded the brain activity in corticobasal ganglia nucleus of transgenic animal during a Go-NoGo task. The result suggests that the activity of the zebrafish indirect striatal neurons, a key component of the corticobasal ganglia, is enhanced during the NoGo action selection. Indeed during the NoGo stimulation, we observed more activated neurons in the indirect striatal neurons, when we looked at the GCaMP7 activity with a 2 photons microscope. All together our data support the existence of functionally equivalent structure as the mammalian corticobasal ganglia in zebrafish, playing a key function in decision making.

● Oral Presentations

Poster presentations

“Functional study of the decision-making networks in zebrafish” Lange, Kakinuma, Islam, Aoki, Tsuboi and Okamoto. BSI retreat, Tokyo November 2015

Seminar Presentation

“Functional study of the decision-making networks in zebrafish” Lange, Kakinuma, Islam, Aoki, Tsuboi and Okamoto. Invited seminar by Dr Jiu-Lin Du, ION institute, Shanghai, November 10, 2015

Novel Infrared Absorption Nanospectroscopy Using Metamaterials for Bioanalysis in Nanofluidic Devices

Name: Thu Hac Huong Le

Host Laboratory: Center for Advanced Photonics

Innovative Photon Manipulation Research Team

Laboratory Head: Takuo Tanaka

This study realizes a novel infrared (IR) absorption nanospectroscopy for bioanalysis by employing a nanofluidic devices integrated with IR-absorbing metamaterials. Herein, the confinement of detection spaces in 10-100 nm space of nanofluidic devices has eliminated the

background that obstructs the IR-absorption measurement, while the integration of metamaterials offers not only the strong field enhancement but also the tailoring of resonance wavelength to the vibrational modes of interest that significantly improves the sensitivity. Further-

more, the photo thermal lens spectroscopy (TLS) is introduced to detect the IR-absorption with single molecule level. The proposed nanospectroscopy should be the first ultra-sensitive spectroscopy that can give detailed molecular structural and chemical information (or the “finger-prints”) of single biomolecules. It allows the identification of biomolecules as well as the *in-situ* monitoring of biological interactions such as protein bindings or conformation. Therefore, it offers a powerful platform for bioanalytic nanofluidic devices as well as for studying of cellular dynamics in a label-free fashion, that is totally different to existing methods. The research plan is divided into three steps: (1) Engineering of metamaterials and fabrication of nanofluidic devices with metamaterials integrated, (2) Establishment of photothermal

spectroscopy in mid-IR and demonstration of IR nanospectroscopy, (3) Application to the study of protein dynamics using biomimetic nanofluidic devices. During the first year of this fellow program, the fabrication method of IR-compatible nanofluidic devices, in parallel to the design and fabrication of metamaterials with unique optical properties for photothermal spectroscopy purpose was established. In details, a versatile process to fabricate nanofluidic devices on IR-transparent CaF_2 substrates was developed. The direct fabrication on CaF_2 substrates enables not only the construction of fluidic channels with fine nanostructures, but also the integration of plasmonic nanostructures to utilize the localized surface plasmon effects.

Quantum Limited Measurement using Superconducting Circuits

Name: Zhirong Lin

Host Laboratory: Center for Emergent Matter Science

Superconducting Quantum Electronics Research Team

Laboratory Head: Yasunobu Nakamura

In the present study, we are developing itinerant microwave-photon detector using driven superconducting quantum circuits. The lack of an efficient detector for itinerant microwave photons has been a long-standing problem in microwave quantum optics using superconducting circuits. We developed an efficient time-gated-mode microwave photon detection of a single microwave photon propagating through a waveguide. To capture single microwave quanta, we employ an artificial Λ -type three-level system comprising the dressed states of a driven superconducting qubit coupled to a microwave resonator. After capture stage, we non-destructively readout the qubit state using a parametric phase-locked oscillator we developed in 2014. We attained a detection efficiency ~ 0.7 and a bandwidth $\sim 2\pi \times 16\text{MHz}$. We are fabricating the new devices to extend the detection from time-gated-mode to the continuous-mode operation. The continuous-mode microwave photon detection has been theoretically proved. These results would contribute to various applications in quantum sensing, quantum communication and quantum information processing.

In addition, we studied the dynamics of a nonlinear oscillator near the critical point. We found the effective quantum activation energies for the transitions between the interstate states and the corresponding scaling law. These results would contribute to attract more attention of using Josephson parametric oscillator as a platform for studying quantum phenomena away from thermal equilibrium in well-characterized systems.

● Publications

Papers

Lin Z. R., Nakamura Y. and Dykman M. I.: Critical fluctuations and the rates of interstate switching near the excitation threshold of a quantum parametric oscillator. *Phys. Rev. E* 92, 022105 (2015)*

Koshino K., Inomata K., Lin Z. R., Nakamura Y. and Yamamoto T.: Theory of microwave single-photon detection using an impedance-matched Λ system. *Phys. Rev. A* 91, 043805 (2015)*

Koshino K., Lin Z. R., Inomata K., Yamamoto T. and Nakamura Y.: Dressed-state engineering for continu-

ous detection of itinerant microwave photons. arXiv:1509.05858, submitted*

Inomata K., Lin Z. R., Koshino K., Oliver W. D., Tsai, J. S., Yamamoto T. and Nakamura Y.: Single microwave-photon detector using an artificial Λ -type three-level system. arXiv:1601.05513, submitted*

●Presentations

International conferences

Lin Z. R., Inomata K., Koshino K., Nakamura Y., Tsai, J. S. and Yamamoto T.: “Josephson parametric phase-

locked oscillator and its application to quantum information processing”, The 15th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 2015), Nagoya Japan, July 6-9 (2015). (Oral)

Lin Z. R., Inomata K., Koshino K., Tsai, J. S., Yamamoto T. and Nakamura Y.: “Josephson parametric amplifier and oscillator and their application to quantum information processing”, The CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS2016), Tokyo Japan, January 12-14 (2016). (Poster)

Understanding Translation Control and Delay in Circadian Rhythms

Name: Arthur Millius

Host Laboratory: Quantitative Biology Center

Laboratory for Synthetic Biology

Laboratory Head: Hiroki Ueda

Life is remarkably adapted to the 24-hour rotational movement of the earth. In mammals, the molecular time-keeping mechanism for circadian rhythms relies primarily on transcription activators and repressors. Briefly, a protein called period (PER) heterodimerizes with another protein cryptochrome (CRY), and translocates to the nucleus where it represses transcription of the *period* gene and other genes that activate *period* transcription. While much work has been devoted to understanding the systems regulation of the transcriptional network, less is known how the process of translation itself influences biological rhythms. Translation efficiency has been shown to affect circadian rhythms in bacteria and neurospora, but it is unclear if similar mechanisms apply to mammals. We are taking a systems approach using next-generation sequencing of ribosome-protected mRNA fragments to observe how ribosomes bind and translate mRNA at different times of the day. Specifically, we plan to isolate ribosomes from mouse liver at different circadian times, generate cDNA libraries from ribosomal-

bound mRNA, and use high-throughput sequencing to characterize rhythmically-translated transcripts. We will compare translation levels to mRNA expression by qPCR and total protein abundance as measured by mass spectrometry in the same liver samples to understand protein flux through circadian pathways. Additionally, we will examine ribosomes bound to evolutionarily-conserved upstream open reading frames (uORFs) in the 5' upstream regions of many circadian mRNAs. We plan to explore the function of these uORFs in circadian clock genes such as *Per2* and *Cry1* in 3T3 luciferase reporter cell lines and in knock-out rescue experiments in mouse embryonic fibroblasts, ES cells and whole animals. We hypothesize that uORFs in the 5' regions of clock genes are important for high-amplitude, robust circadian rhythms. Our work ultimately aims to understand how modulation of mRNA translation might affect the clock, which will be important for reducing the symptoms of jet-lag and in understanding and treating circadian-related diseases such as cancer and depression.

Sea Quark Polarization Measurement via Parity Violating W Boson Production in Polarized Proton-Proton Collisions

Name: Sanghwa Park

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science

Radiation Laboratory

Laboratory Head: Hideto Enyo

Over decades, a series of experimental and theoretical effort has been made to understand the structure of proton spin. The origin of the proton spin is understood as the sum of the contributions from partons and their orbital angular momentum. While the valence quark contribution is well known, yet the sea quark polarization is poorly constrained. The parity violating W production in polarized proton-proton collisions provides clean access to the sea quark polarization in the proton. W bosons are produced only by left-handed quark and right-handed antiquark, and therefore it is directly related to the helicity of quarks and anti-quarks. The charge of W boson selects the quark and anti-quark flavor. The single spin asymmetry can be defined as the difference of cross sections of positive and negative helicity proton beams and divided by the sum. By measuring this asymmetry from forward to backward rapidity, one can access to the flavor-decomposed quark and anti-quark polarization.

PHENIX measurement has performed the W measure-

ment in longitudinally polarized proton collisions at 510 GeV at Relativistic Heavy Ion Collider. At PHENIX, W boson is measured by its weak leptonic decay, electron/positron at mid-rapidity and muon at forward and backward rapidity. The forward measurement of positive muons is sensitive to anti-d quark polarization, and the backward measurement of negative muons is sensitive to anti-u quark polarization. This forward rapidity measurement is unique at PHENIX as this forward rapidity is covered by only the PHENIX at RHIC, and therefore it can further improve the constraint of the anti-quark polarization. The preliminary result shows good agreement with the theoretical predictions, and the result is being finalized for the publication.

● Oral Presentations

Domestic conferences

Park S.: "W Physics in PHENIX", Spinfest Workshop, Tokai, Japan, July (2015)

Determinants of Gene Expression Noise

Name: David Priest

Host Laboratory: Quantitative Biology Centre

Laboratory for single cell gene dynamics

Laboratory Head: Yuichi Taniguchi

Gene expression displays considerable variation (termed noise) when measured at the single cell level, however the key determinants of this noise remain unclear. The present study includes a set of projects investigating the sources of gene expression noise in bacteria. Genes expressed at a low level (less than a few copies of mRNA or protein per cell) display considerable cell-to-cell variation due to stochastic copy number fluctuations that dominate when there are only a few molecules. As gene expression increases, these effects average out, and

mean scaled noise decreases, however there comes point where noise stops decreasing, and this unavoidable 'noise floor' is suggested to be due to cell-to-cell fluctuations in important proteins, such as RNA polymerase. Fluctuations in such 'global noise factors' should propagate through basic gene expression mechanisms (such as transcription and translation), to many other proteins, and as a result, in single cells, these factors should be correlated to many other proteins. Taking advantage of this idea, Project 1 aims to identify global noise factors

via their degree of correlation to a set of diagnostic genes. This approach requires high-throughput, two-colour fluorescence imaging of a library of 2400 *E. coli* strains, which is challenging due to the small size of bacteria. To solve this, we have initiated a collaboration with Yo Tanaka (Lab of Integrated Biodevices, RIKEN QBiC), to develop a method, based on micropatterned agarose, to efficiently image our cell library. We have a working prototype that can physically segregate *E. coli* cells and will soon commence imaging of the library.

In addition to global factors, it was shown that promoter architecture can affect gene expression noise, however the degree of this effect remains controversial. Project 2 therefore aims to measure noise in mRNA copy number across a panel of *E. coli* reporters with different promoter architectures including DNA looping. We are currently developing the technique to measure these strains, called single molecule mRNA fluorescence *in situ* hybridisation (smFISH). Finally, another source of noise can be the bacterial cell cycle, during which the copy number of genes can double due to the nature of bacterial genome replication. To investigate this, we have initiated a collaboration with theoretician A. prof. Abhyudai Singh of the University of Delaware (Project 3). We are setting up systems to measure gene copy number and expression level in both fixed and live cells to determine whether *E. coli* possesses mechanisms to correct gene expression for gene dosage and indeed, how noisy gene expression is throughout the cell cycle. Thus, during my first year at RIKEN I have developed significant technical expertise (microscopy, HPLC and image analysis), and have initiated multiple collaborations, both local and international, resulting in number of projects that will yield publications over the next two years.

●Publications

No papers accepted for publication during period April 1st, 2015 to January 8th, 2016

●Presentations

I attended three international conferences to present the

following two recently published papers from my doctoral thesis:

1. Priest, David G., Sandip Kumar, Yan Yan, David D. Dunlap, Ian B. Dodd, and Keith E. Shearwin. 2014. "Quantitation of Interactions between Two DNA Loops Demonstrates Loop Domain Insulation in *E. coli* Cells." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (42): E4449-57.
2. Priest, David G., Lun Cui, Sandip Kumar, David D. Dunlap, Ian B. Dodd, and Keith E. Shearwin. 2014. "Quantitation of the DNA Tethering Effect in Long-Range DNA Looping in Vivo and in Vitro Using the Lac and λ Repressors." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (1): 349-54.

● International conference: *q-bio summer school*

- Date: July 8th, 2015
- Location: Fort Collins Campus, Colorado State University, Colorado, United States of America
- Talk: Special Contributed Evening Session, David Priest, RIKEN QBiC (Osaka, Japan), "Quantitative characterization of long distance DNA looping".

● International conference: *4th International Symposium of the Mathematics on Chromatin Live Dynamics*.

- Date: December 9th, 2015.
- Location: JMS Aster Plaza, Hiroshima, Japan.
- Talk: "DNA loops that control other DNA loops: Testing the Loop-domain model in *E. coli*, David Priest, RIKEN QBiC (Osaka, Japan).

● International conference: *Pacificchem 2015*

- Date: December 19th, 2015
- Location: Hyatt Regency, Waikiki, Honolulu, Hawaii, United States of America
- Talk: "DNA loops that control other DNA loops: Testing the Loop-domain model in *E. coli*, David Priest, RIKEN QBiC (Osaka, Japan).

Improving Mercury-based Optical Lattice Clock and Application of Trapped Atoms to Fundamental Physics

Name: Thaned Pruttivarasin

Host Laboratory: Quantum Metrology Laboratory

Laboratory Head: Hidetoshi Katori

Recent progress in trapped atoms allows us to apply them to precisely test fundamental physics. Current accepted theory that describes the three fundamental forces (strong, weak and electromagnetic interaction) is called the Standard Model. However, it is well-known that the Standard Model is incomplete, and physicists have been actively searching for evidence of any departure from this theory. Two of the most active experimental searches for physics beyond the Standard Model are a search for variation of fundamental constants and a search for violation of Lorentz symmetry.

Optical lattice clocks based on trapped mercury (Hg) are suitable for a search for time-variation of the fine structure constant (α). This is because the energy transition in Hg used for atomic clock is more sensitive to change in the value of α . By referencing a Hg clock to a strontium (Sr) clock (which is less sensitive to α -variation) and monitoring any change to the Hg clock frequency, we directly search for any evidence of new physics beyond the Standard Model. Our recent effort was to improve the current Hg-Sr clock system to reduce the systematic uncertainty. This includes improving radio-frequency sources in the experimental setup increase robustness.

Lorentz symmetry has been under many stringent experimental tests since the day of Michelson and Morley more than 100 years ago. Recent work on trapped calci-

um ions (Pruttivarasin *et al.*, Nature, 2015), which applies techniques in quantum information to precision measurement, drastically improved on the limits of Lorentz violation parameters for electrons to reach a part in 10^{18} . Based on this work, together with our collaborators, we look for a more promising experimental system which can utilize this technique and improve further the precision of the Lorentz symmetry test. We identify that a trapped ytterbium ion (Yb^+) is suitable for this task due to its enhanced sensitivity. The projected limit of Lorentz violation parameters for electrons is estimated to be improved by more than 10^4 times over the calcium-ion experiment.

● Publication

Original Paper

Pruttivarasin T. and Katori H.: Compact field programmable gate array-based pulse-sequencer and radio-frequency generator for experiments with trapped atoms, Rev. Sci. Instrum. 86, 115106 (2015).

Dzuba V. A., Flambaum V. V., Safronova M. S., Porsev S. G., Pruttivarasin T., Hohensee M. A. and Haeflner, H.: Strongly enhanced effects of Lorentz symmetry violation in entangled Yb^+ ions, Nature Physics, (2016). (Advance Online Publication: <http://www.nature.com/articles/nphys3610>)

Origin and Evolution of Planetary Systems in the Milky Way

Name: Steven Rieder

Host Laboratory: Advanced Institute for Computational Science

Particle Simulator Research Team

Laboratory Head: Junichiro Makino

Description of research:

My research is about studying the origin and evolution of planetary systems in the Milky Way. This topic can be

split in roughly three subtopics: the evolution of planetary systems in solitude, the effect of stellar encounters on planetary systems and the frequency of interactions

between stars. In the last year, my research was focused most on the first and last parts.

Regarding the evolution of planetary systems in solitude, I worked with Dr. Kenworthy at Leiden University to investigate one recently discovered particular system, called *J1407*. This Sun-like star, which is 16 million years young and part of the *Scorpius-Centaurus* star association, experienced an unusually long eclipse in 2007, which was hypothesised to be caused by a companion object with a large ring system around it. Further observational constraints showed that this object would need to be on a highly eccentric orbit. We investigated whether such an object would remain stable for a significant period of the star's lifetime, or if it would necessarily be a transient object. We found that for the object to be stable, it would need to be relatively massive (more likely a brown dwarf than a planet), and the rings would need to be in retrograde orbit relative to the companion's object around the star. This has implications for the formation mechanism of such an object, as these conditions make it unlikely the object was formed like this in situ. This result has been submitted to *MNRAS*.

Regarding the frequency of stellar encounters, I work with Prof. Sills at McMaster University to reproduce in simulations the young stellar environments found in the *MYSIX* survey. These environments are representative

of the early stages in a star's life: < 1 million years after the stars have formed in the gas cloud, but before the gas has dispersed. In our current model, these environments over several million years change into an environment like the Orion nebula, which is a well-studied stellar environment in a later stage. The model allows us to investigate the features of the environment as a whole as well as the movement of the individual stars, the latter of which we use to quantify and qualify the encounters between stars.

Finally, I continue my work with Prof. van de Weygaert at Groningen University on the large-scale formation process of Milky Way-like galaxies. We use a large-scale simulation to study the relation between the mass of dark matter haloes (in which galaxies are embedded) and the direction of matter inflow onto these haloes.

● Oral Presentation

Domestic conferences

Rieder S: "The strange rings around stellar companion J1407b", MODEST 15-S, Kobe, December 7-11

Rieder S: "Impact of stellar encounters on planetary systems", 3rd DTA Symposium "The Origins of Planetary Systems: from the Current View to New Horizons", Tokyo, June 1-4

Structural Dynamics of Biomolecules Studied by Novel Single Molecule Spectroscopy

Name: Bidyut Sarkar

Host Laboratory: Molecular Spectroscopy Laboratory

Laboratory Head: Tahei Tahara

The function of a biopolymer (e.g. protein, DNA or RNA) is dictated by its structure. However, the structure is usually not static and the conformational dynamics of the biopolymer governs its structure-function relationship. In this work, we aim to study the conformational dynamics of functional biomolecules in previously unexplored μ s-ms time-domain using two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy (2D-FLCS). In the following I describe the progress we made towards understanding two key problems of biology: (I) the earliest step of amyloid aggregation, and (II) ligand sensing

mechanism of a riboswitch. Finally, I introduce a new method, combining dynamic fluorescence quenching and 2D-FLCS, which can provide new insights into biomolecular structural dynamics.

(I) *Earliest step in amyloid aggregation*: In our quest to understand which of 'misfolding' and 'aggregation' initiates the conversion of non-toxic monomeric protein to toxic aggregates (amyloids), we use Amylin (implicated in type-II diabetes) as a model peptide. To study the conformational dynamics of amylin we require the peptide with Förster resonance energy transfer (FRET) pair at-

tached to it. So far, we have standardized the fluorophore labeling at either terminal (for donor and acceptor dye) and working on to produce the FRET pair labeled peptide with high purity and yield. Additionally, we are working on to form the intramolecular disulphide bond between two cysteine residues of Amylin. Initial low purity of the crude peptide (prepared by solid-phase peptide synthesis) makes the preparation of dual fluorophore labeled peptide with high purity challenging.

(II) *Ligand sensing by riboswitch*: To understand how a riboswitch recognizes its cognate ligand, we use PreQ1 riboswitch. Naturally occurring PreQ1 riboswitch has the smallest known ligand sensing ‘aptamer’ domain (34 nucleotides). To study the conformational states and the dynamics of ligand recognition, we procured PreQ1 riboswitch labeled with FRET-pair dyes at appropriately selected positions. Preliminary 2D-FLCS measurements on the riboswitch suggested some interesting and previously unknown sub-ms dynamics in the presence of the cognate ligand PreQ1. However, the results cannot be confirmed beyond doubt due to some acceptor dye photo-physics, which contaminates the actual signal. Presently we are trying to clarify the issue with a new sample labeled with a different acceptor fluorophore, which is not expected to show such interfering photo-physics.

(III) *New method combining dynamics quenching and 2D-FLCS*: Conformational dynamics of biopolymers are

widely studied using FRET probes. However, FRET measurements require labeling multiple dyes and work for a limited dye-pair distance. Here we combined the dynamic fluorescence quenching method and 2D-FLCS to study μ s-conformational dynamics of biomolecules labeled with a single fluorophore. While collisional quenching (using iodide ion) resolves conformations with different solvent exposure of the fluorophore, 2D-FLCS extracts the kinetics information with sub- μ s time resolution. We demonstrated the applicability of the method by studying the conformational dynamics of a hairpin-DNA. We also used a multi-foci FLCS setup for the measurements to improve the signal to noise ratio. In complementary to FRET measurements which measures distance between two fluorophores, this new method can be employed to study dynamic changes in microenvironment of biomolecules.

● Oral Presentation

Domestic conference

Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Study of microsecond conformational dynamics of biomolecules using dynamic quenching and two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy (2D FLCS)” 96th Annual Meeting of The Chemical Society of Japan, Doshisha University, Kyotanabe, 2016, March 24-27.

Quantum Chromo Dynamics in Extreme Conditions

Name: Vladimir Skokov

Host Laboratory: RIKEN BNL Research Center

Theory Group

Laboratory Head: Samuel Aronson

During my first 5 months of the appointment at RBRC I published two papers, one of them in Phys. Rev Lett. The main results are

1. The determination of the distribution of linearly polarized gluons of a dense target at small x by solving the Balitsky-Jalilian-Marian-Iancu-McLerran-Weigert-Leonidov-Kovner rapidity evolution equations. From these solutions, the amplitude of $\sim \cos^2 \varphi$ azimuthal asymmetries in deep inelastic scattering dijet production

at high energies was estimated. Sizable long-range in rapidity azimuthal asymmetries with a magnitude in the range of $\sqrt{2} = \langle \cos^2 \varphi \rangle \sim 10\%$ was found.

2. It was shown that for a finite number of emitting sources, the Color Glass Condensate produces substantial elliptic azimuthal anisotropy, characterized by $\sqrt{2}$, for two and four particle correlations for momentum greater than or of the order the saturation momentum. The flow produced has the correct semi-quantitative fea-

tures to describe flow seen in LHC experiments with p-Pb and pp collisions. This flow is induced by quantum mechanical interference between the waves of produced particles, and the flow itself is coupled to fluctuations in the positions of emitting sources.

●Publications

Papers

- A. Dumitru, T. Lappi, V. Skokov: Distribution of Linearly Polarized Gluons and Elliptic Azimuthal Anisotropy in Deep Inelastic Scattering Dijet Production at High Energy, *Phys. Rev. Lett.* 115, 25, 252301 (2015).
- L. McLerran and V. Skokov: Finite Numbers of Sources, Particle Correlations and the Color Glass Condensate, *Nucl. Phys. A* 947, 142 (2016).

Trans-family Grafts between Parasitic Plants and their Hosts

Name: Thomas Spallek

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science

Plant Immunity Research Group

Laboratory Head: Ken Shirasu

Parasitic plants are pests of many crop plants of agricultural importance. Their interaction with the host plant is complex and molecular events remain largely elusive. I focus on infection and disease promoting strategies of *Striga* and *Phtheirospermum japonicum*, a hemi-parasitic plant. I monitored host responses in the model plant *Arabidopsis thaliana* and focused on mutants and marker genes which were previously reported to be associated with graft efficiency. Grafting is a well-known horticultural technique of combining the beneficial traits of one rootstock with the scion of a different genotype. While grafting is widely used for hundreds of years, the underlying molecular events are poorly understood. However, growth hormones such as auxin and cytokinins were reported to play a pivotal role during grafting. In the course of my study, more than 26 *Arabidopsis* genotypes were analysed for resistance to parasitic plants. In particular, host genes of the auxin signalling pathways were linked to altered haustoria development of the parasite. Some of these genes are also required for efficient graft formation in *Arabidopsis*, while others had stronger effects on haustoria development than on graft formation and vice versa. It was further established that auxin inducible genes were expressed at the infection side at early time points of infections. Notable, auxin response markers are also early expressed across graft junctions. In contrast, host cytokinin makers were up-regulated after haustoria

were fully established and the dynamics of this cytokinin marker was substantially different to the dynamics of this gene during graft formation. An increase of cytokinin in host and parasite was furthermore confirmed by biochemical quantifications of plant hormones. In conclusion, I identified host growth hormone responses as important components of the developmental framework underlying infections of parasitic plants. I observed a remarkable commonality and differences between infections of parasitic plants and graft formation, which are currently studied in depth.

●Presentation

International Conference

Spallek T., Wakatake T., Melnyk C., Yoshida S., Shirasu K.: “Breaking the spell - Are host hormone responses the key to parasitism of witchweeds and related parasitic plants?” XVIII. International Plant Protection Congress (IPPC) Berlin Germany 2015, August 24-27.

Seminar

Spallek T., Wakatake T., Melnyk C., Yoshida S., Shirasu K.: “Breaking the spell - Are host hormone responses the key to parasitism of witchweeds and related parasitic plants?” Centre for Organismal Studies (COS), Heidelberg University, Heidelberg Germany 2015, August 31.

Neural Circuit and Molecular Mechanisms in Lateral Amygdala for Fear Memory Consolidation.

Name: Bao Zhen Tan

Host Laboratory: Brain Science Institute

Neural Circuits of Memory Laboratory

Laboratory Head: Joshua Johansen

In the present study, we used cued fear conditioning to study the neuronal substrates of associative learning and mechanisms of memory formation in the mammalian brain. An aversive unconditioned stimulus (US; electric foot shock) was paired with a neutral conditioned stimulus (CS; auditory tone) During this acquisition phase, the tone acquires aversive properties and on subsequent exposure (memory test phase), will elicit a fear response (freezing). Pathways transmitting the CS and US converge in the lateral amygdala (LA), and occurrence of synaptic plasticity and concomitant activation of neuromodulatory afferents to the LA underlies the acquisition of fear conditioning. One such neuromodulator is noradrenaline (NA). The locus coeruleus (LC) is a prominent source of NA in the brain. While it is known that LC neurons and NA release in the LA are activated by aversive events, it is unclear if LC is the source of NA to the LA, and the specific temporal epochs during fear conditioning in which these inputs are important. Using a Cre recombinase-dependent-targeting with retrograde virus approach, I targeted the LC neurons that project to the LA and blocked NA release in the LA specifically during US period using inhibitory opsins and laser inhibition. I found that temporally specific inhibition of NA nerve terminals in the LA during acquisition is sufficient to attenuate long term memory 24 hours later, compared to fluorescent controls.

In the brain, encoding and storing of associative memories requires the detection of different input signals and translation of these associations into changes in the number, structure, or function of synapses. Thus, transient coincidences result in the transcriptional activation of genes encoding factors required for enhanced synaptic transmission. CRT1, a transcriptional cofactor, senses the coincidence of two important second messengers -

calcium and cAMP, and via its nuclear translocation, dramatically increases CREB's transcriptional activity and neural plasticity. Using immunohistochemical studies, I found that fear learning (and not just sensory experience) produces a significant increase in CRT1 nuclear translocation in the LA neurons immediately after, and nuclear localization is maintained and enhanced even after 1 hour, suggesting that CRT1 may serve to regulate long term memory acquisition and consolidation in the LA. Indeed, when CRT1 activity or expression was decreased via viral expression of a dominant-negative version of CRT1 or shRNA targeting CRT1 respectively, cued long term memory was attenuated.

It is well established that synaptic plasticity in the LA plays a critical role in the association of CS and US inputs, and thus the acquisition and maintenance of fear learning and memory. The molecular and circuit processes discovered in our studies could represent general mechanisms for how memories are formed and modulated in other neural circuits. In addition, because fear conditioning is an established model for anxiety disorders such as post-traumatic stress disorder, these findings could have important clinical implications. Understanding how the LA neural circuit connections and intracellular signaling pathways in this circuit engage fear memory may provide important insights into how these disorders occur and offer potential therapeutic targets for drug treatment.

● Publication

Uematsu, A., Tan, B.Z., and Johansen, J.P.: Projection specificity in heterogenous locus coeruleus cell populations: implications for learning and memory. *Learn & Mem.* in print*

Catalytic N₂ Fixation to Diamine with Titanium Complex

Name: Ching Tat To

Host Laboratory: Center for Sustainable Resource Science
Advanced Catalysis Research Group
Laboratory Head: Zhaomin Hou

The catalytic activity of titanium complexes for ammonia (NH₃) synthesis from dinitrogen (N₂) and dihydrogen (H₂) was explored in present studies. The investigation was divided into two directions: (1) homogeneous phase study employing molecular complexes; (2) heterogeneous phase study via surface supported approach. The former direction focused on using non-cyclopentadienyl (Cp) type titanium trialkyl complexes, as an extension study of reported N₂ cleavage and hydrogenation by Cp type ligated titanium system. Unfortunately, the preparation of titanium trialkyl ligated by non-Cp type ligands was challenging. Attempted synthesis of scorpionate (Tp) titanium trialkyl from its chloride precursor was accompanied with the formation of unknown paramagnetic species and decomposition to intractable products. On the other hand, hydrogenolysis of titanium trimethyl ligated with polydentate phenoxyimine ligand under N₂ yielded complicated mixture which was difficult to purify due to extremely well solubility in common organic solvents. Further investigation from this direction was temporarily ceased.

The second approach made use of mesoporous heterogeneous support with chemically bonded titanium complexes as catalytic material. Current investigation shown

that MCM-41 modified with Ti(CH₂TMS)₄ or Ti(NMe₂)₄ released only up to stoichiometric amount of NH₃ in flow reactor. We proposed that addition of second transition metal complexes might aid the catalytic formation of NH₃. To our delight, without high temperature pretreatment, when Ti(NMe₂)₄ was loaded on MCM-41 pre-functionalized with Co₂(CO)₈ to form the catalyst, NH₃ could be catalytically produced up to 9 turnovers (e.g. 900% yield) with respect to titanium in flow reactor (2.5 MPa, H₂/N₂ flow rate = 60/20 mL/min, 250 °C). The role of cobalt has not been experimentally determined. It is assumed that poly-nuclear cobalt cluster was formed inside the mesoporous support which readily activated H₂ to form [Co^I]H unit. Due to the weak Co-H bond dissociation energy of about 60 kcal/mol, [Co^I]H unit served as active hydrogen atom donor for NH₃ formation. Alternatively, titanium and cobalt loaded on MCM-41 reacted with each other to form bi-metallic cluster which exhibited unique activity for catalytic NH₃ synthesis. Indeed, Ti(NMe₂)₄ is not an ideal precursor due to intrinsic nitrogen content. Further experiments employing non-nitrogen containing precursors, e.g. Ti(CH₂TMS)₄, with Co₂(CO)₈ are ongoing.

Nuclear Transmutation for the Long-lived Radioactive Waste

Name: He Wang

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science
Radioactive Isotope Physics Laboratory
Laboratory Head: Hiroyoshi Sakurai

In the present work, the spallation reactions of long-lived fission products (LLFP) ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr on proton and deuteron at 200 MeV/nucleon have been studied for the purpose of nuclear waste transmutation. LLFP is one of the major component in the high-level waste from nuclear reactor systems. The LLFP nuclei are highly ra-

dioactive and have long life times. In order to reduce the quantity of high-level radioactive waste, the partitioning and transmutation technology has been introduced. However, for the LLFP transmutation, experimental reaction data are currently lacking. Aiming at bringing a new invention to the nuclear transmutation on LLFP, the

spallation reactions of ^{137}Cs and ^{90}Sr have been studied. The present work is the first attempt in the history of nuclear physics to solve the problem of the LLFP transmutation.

The experiment was performed at Radioactive Isotope Beam Factory (RIBF) in the RIKEN Nishina Center. The inverse kinematics was applied in order to study systematically the target dependence of reactions, and to avoid the difficulties associated with using a highly radioactive target. The ^{137}Cs and ^{90}Sr beams were produced by in-flight fission of a ^{238}U primary beam at 345 MeV/nucleon in the BigRIPS separator, and the reaction residues were analyzed by the ZeroDegree spectrometer. Thanks to the advanced RI facilities at RIBF, both the LLFP beams and spallation products were unambiguously identified event-by-event. The proton- and deuteron-induced spallation cross sections were obtained by using the polyethylene (CH_2), deuterated polyethylene (CD_2), and natural carbon targets.

The results lead a deep understanding for the mechanism in the spallation reactions. It is found that the deuteron-induced cross sections (σ_d) are much larger than the proton-induced ones (σ_p) for the light products towards the neutron-deficient side in the isotopic distribution. This is because that a higher energy deposit can be obtained by deuteron relative to proton. This allows a large emission of protons and neutrons, resulting in a large cross section. The difference between σ_d and σ_p provides useful information in the production of RI beams via the spallation reactions.

The total cross sections on proton and deuteron for

^{137}Cs and ^{90}Sr have been deduced to be around 1 barn. Because of the large total cross sections, the number of the LLFP nuclei can be reduced considerably after the spallation reaction. In addition, since σ_d is higher on the neutron-deficient side, more neutrons can be produced by the deuteron beam. These neutrons may induce the secondary reactions in the nuclear waste for further transmutation. It appears that the deuteron is a potential candidate for the LLFP transmutation. The new results suggest that the spallation reaction is a promising mechanism for the LLFP transmutation and will lead a reduction of the radiotoxicity of the spent fuel.

The high quality data of the proton- and deuteron-induced spallation cross sections are critical to converge towards a solution for transmutation of long-lived waste. Worldwide activities on the LLFP transmutation in nuclear physics as well as nuclear engineering may be driven by the initiative of the present study.

●Publications

Original Papers

Wang H., Otsu H., Sakurai H., Ahn D., Aikawa M., Doornenbal P., Fukuda N., Isobe T., Kawakami S., Koyama S., Kubo T., Kubono S., Lorusso G., Maeda Y., Makinaga A., Momiyama S., Nakano K., Niikura M., Shiga Y., Söderström P.-A., Suzuki H., Takeda H., Takeuchi S., Taniuchi R., Watanabe Ya., Watanabe Yu., Yamasaki H. and Yoshida K.: Spallation reaction study for fission products in nuclear waste: Cross section measurements for ^{137}Cs and ^{90}Sr on proton and deuteron. *Physics Letter B* 754, 104 (2016) published*

An Extended Numerical Investigation of Cosmic-ray Acceleration and Photon Production during the Afterglow Phase of Gamma-ray Bursts

Name: Donald Warren

Host Laboratory: Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory Head: Shigehiro Nagataki

The afterglow phase of a gamma-ray burst reveals information about the progenitor star and its environment. It also offers insight into the microphysics of collisionless shock acceleration, and tests theories of high-energy physics at energy scales far beyond anything current ex-

periments can reach. Current approaches to afterglow emission assume a very basic model for the photon production: synchrotron emission from a single power-law distribution of energetic electrons. Our previous work has shown that efficient particle acceleration causes sub-

stantial departures from a power-law distribution, especially for electrons. Due to plasma instabilities around relativistic shocks, even electrons that don't enter the acceleration process become ultra-relativistic and generate observable synchrotron radiation. The presence of a “thermal bump” in particle spectra further undermines the standard model for afterglow emission. My current work extends this effort by simulating efficient electron acceleration at multiple times during an afterglow. In contrast to previous work, the simulation now calculates the interaction between accelerated particles and the shock's velocity profile-essential to the departure from a power-law distribution-in the same manner at all shock speeds, from the ultra-relativistic speeds early in the afterglow until well into the non-relativistic late afterglow. We find that the wave-particle interactions around relativistic shocks have a significant effect on the accelerated particle spectrum, and consequently on the photon emission. In particular, magnetic field amplification by short-wavelength Weibel instabilities increases both the characteristic energy of synchrotron emission as well as its intensity, while limiting the volume behind the shock that produces observed emission. Additionally, the same Weibel instabilities mediate energy transfer from ions to electrons until the shock slows to the point where the instability is quenched. The quenching of this instability, and the resultant cessation of energy transfer, causes a steepening in the temporal decay of synchrotron radi-

ation. The time at which this steepening occurs, curiously, falls in a range associated with a steepening in afterglow observations. However, this extant steepening is attributed to large-scale hydrodynamical or geometrical effects rather than to the microphysics of shock acceleration. Additional investigation is necessary, and will be performed in the future, to determine whether this coincidence holds, and perhaps the primacy of the two competing explanations for the same spectral break.

●Publications

Papers

Warren D., Ellison D., Bykov A.M. and Lee S.-H.: Electron and ion acceleration in relativistic shocks with applications to GRB afterglows. *MNRAS*, 452, 1, p.431 (2015).

Ellison D., Warren D. and Bykov A.M.: Particle spectra and efficiency in nonlinear relativistic shock acceleration: survey of scattering models. *MNRAS*, *in print*.

●Oral Presentations

Domestic conferences

Warren D. “Efficient Shock Acceleration of Ions & Electrons in the Afterglow Phase of GRBs”. RIKEN GRB Workshop 2015. Wako, Japan, 31 Aug-2 Sep.

Warren D. “Nonlinear diffusive shock acceleration in GRB afterglows”. CTA Japan Meeting 2015. Kashiwa, Japan, 13-14 Jan 2016.

Investigations of Electromagnetic-field Induced Effects in Strongly Coupled Gauge Theories

Name: Di-Lun Yang

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science

Quantum Hadron Physics Laboratory

Laboratory Head: Tetsuo Hatsuda

Our research has been recently focused on finding novel analytic solutions in (magneto) hydrodynamics. The study of hydrodynamic evolution is imperative to understand properties of the strongly coupled quark gluon plasma (sQGP) produced in heavy ion collisions. Although the theoretical study for the comparison with experimental data requires complicated simulations, the analytic solutions in simplified cases may provide further

insights and understandings of fundamental physics. Particularly, the influence from strong magnetic field generated from colliding nuclei upon the hydrodynamic evolution of the sQGP is less studied due to complexity of the magneto-hydrodynamics. Therefore, we aim at analyzing the impact from a spacetime-dependent magnetic field on the evolution of the sQGP. In the Bjorken expansion with an external magnetic field following the power-

law fall-off in time and the Gaussian distribution in one of spatial coordinates, we found an analytic solution in magneto-hydrodynamics at leading order in the perturbative expansion of the weak magnetic field. It turns out that the spatial dependence of the magnetic field not only modifies the energy density but also changes the fluid velocity, which consequently results in anisotropic flow in the transverse directions even in the Bjorken case. The finding implies that the magnetic field generated in heavy ion collisions may also contribute to the hadron flow. Theoretically, our finding could also provide a guideline for numerical simulations of more practical conditions. Moreover, we investigated the magneto-hydrodynamics in the Gubser flow, which incorporates transverse expansion on top of the Bjorken solution. However, introducing a magnetic in one of transverse directions breaks rotational symmetry required by the Gubser flow. Thus, the solution with arbitrary magnetic fields in magneto-hydrodynamics for the Gubser flow may not be found. Nonetheless, for magnetic fields preserving the required symmetries with particular spacetime dependence, we obtained some analytic solutions. Peculiarly, when such (internal) magnetic fields obey the “frozen flux condition” stemming from Maxwell equations and conservation of entropy currents, the energy density and the fluid velocity remain unchanged in the local rest frame. That is, the charged fluid does not “feel” the presence of magnetic fields in such special cases. On the other hand, in order to make further comparison with experimental data especially for low-energy collisions, the Bjorken flow or even the Gubser flow are insufficient since the rapidity dependence is lost. We found a novel solution in 3+1 hy-

drodynamics analytically in early and late times of the evolution, which depends on both rapidity and transverse coordinates. In early times, the longitudinal flow dominates the transverse flow, while the flow pattern becomes isotropy in late times. Our solution thus qualitatively captures the general feature of the time evolution for the sQGP in heavy ion collisions. Further generalization and application of this solution may be pursued in the future.

●Publications:

Hatta Y., Xiao B., and Yang D.: A non-boost-invariant solution of relativistic hydrodynamics in 1+3 dimensions. *Phys. Rev. D.* published

●Presentation:

International conferences

Muller B. and Yang D.: “Viscous Leptons and Fluid-like Photons in the Strongly Coupled Quark Gluon Plasma”. Quark Matter 2015 (poster presentation), Japan, 2015, September 29.

Pu S., Wu S., and Yang D.: “Chiral Hall Effect and Chiral Electric Waves in Strongly Coupled Plasmas”. Quark Matter 2015 (poster presentation), Japan, 2015, September 29.

Mukhopadhyay A. and Yang D.: “Gluon transport in a semi-holographic model of QCD”. Quark Matter 2015 (poster presentation), Japan, 2015, September 29.

Domestic conferences

Yang D.: “Collective Flow of Photons in Strongly Coupled Gauge Theories”. YITP Nuclear Theory seminar, Kyoto, Japan, 2015, November 19.

Study on the Cluster Structure of Carbon Isotopes Using Direct Reactions

Name: Zaihong Yang

Host Laboratory: Nishina Center for Accelerator-Based Science

Spin Isospin Laboratory

Laboratory Head: Tomohiro Uesaka

The present study focuses on the cluster structure in nuclei, which has been at the forefront of nuclear physics but is still far from being understood. Carbon isotopes are of special interest in cluster studies because of the

specific importance of the Hoyle state with triple- α structure in nucleosynthesis processes. Rich cluster structures have been predicted for the ground state of carbon isotopes and we plan to study this topic by using quasi-free

($p, p\alpha$) reaction on a hydrogen target.

We have performed a test experiment at RCNP by using the proton induced ($p, p\alpha$) reaction to study the alpha-clustering at the surface of tin isotopes. As suggested by the generalized relativistic density functional (gRDF) calculations, alpha clustering can take place on the surface of heavy nuclei and low-density nuclear matter, and it is important for the nuclear equation of state, and for the neutron-skin thickness of heavy nuclei and its relation to the density dependence of the symmetry energy. The probability of preformed alpha clusters (n_α) at the surface of tin isotopes will be extracted from the ($p, p\alpha$) cross section, which is determined by measuring the scattered proton and alpha particle in coincidence with the Grand Raiden spectrometer (GR) and the Large Acceptance Spectrometer (LAS). This is the first systematic investigation on nuclear clustering at the surface of heavy nuclei, which will help to explain the pre-formation of alpha clusters as a prerequisite for alpha decay. The systematic behavior of n_α along the tin isotopic chain can be determined in this work, which can be directly compared with the gRDF prediction and will provide a stringent test of the gRDF theory. The experimental

method has been confirmed in the test experiment, and the proton-alpha correlation corresponding to ($p, p\alpha$) reaction with the preformed alpha cluster is observed in the rather limited beam time (several hours). We will carry out the measurements with improved detector system and longer beam time (7 days) around autumn of 2016.

● Oral Presentations

International conferences

Yang Z.: “Study on the cluster structure of light neutron-rich nuclei”, SINAP-CUSTIPEN Workshop on Clusters and Correlations in Nuclei, Nuclear Reactions and Neutron Stars, Shanghai China 2015, Dec 14-18

Domestic conferences

Yang Z.: “Cluster structure in light neutron-rich nuclei”, International Mini-Workshop on alpha-condensates and monopole excitations, Osaka Japan, 2015, Sep 2-3.

Yang Z.: “Strong Monopole Transition and Clustering in ^{12}Be ”, アイソスカラー型単極遷移で探る原子核の励起状態とクラスター構造, Osaka Japan, 2015, July 16-17.

2015-16 基礎科学・国際特別研究員年報

平成 28 年 8 月 31 日 印 刷

平成 28 年 8 月 31 日 発 行

編集兼 国立研究開発法人理化学研究所
発行者 人 事 部 研 究 人 事 課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号

2015-16

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs
FY2015-16 Annual Report

基礎科学・国際特別研究員年報