

2017-18 基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs
FY2017-18 Annual Report



国立研究開発法人

理化学研究所

平成 29 年度

基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs

FY2017 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 29 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、数理科学、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。平成 30 年度に採用された方より 3 年間の複数年契約を締結し、更に安定して研究に集中することが可能な環境が整えられました。

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、1668 名の基礎科学特別研究員、153 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 143 名、国際特別研究員 3 名となっています。

平成 30 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 2017. 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 mathematical sciences, physics, chemistry, biology, medicine, engineering, and any other fields related to research now being conducted at RIKEN.

SPDRs must have a PhD 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 comprised of outside experts as well as RIKEN scientists. Selection is based on submitted documents and interviews. From 2018 the SPDR contract has become a multiple-year contract valid for three (3) years in order to provide an environment with greater stability for the researchers so they are able to focus on carrying out their research.

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 1668 SPDRs and 153 FPRs, and there are currently 143 SPDRs and 3 FPRs at RIKEN.

July 2018

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	7
---------------------	---

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

目次 / Contents	177
---------------------	-----

〔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 26 ～ 29 年度採用者

FY2014 ～ 2017 Appointments

目 次

◆ 平成 26 年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
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.....	17

◆ 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.....	21
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	田中 章詞.....	23
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.....	24
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.....	25
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.....	26
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.....	27
XXVII-012	トポロジカル絶縁体・超伝導体がもたらす新奇量子現象の理論的研究	中河西 翔.....	28
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.....	29
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.....	30
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.....	31
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.....	33
XXVII-017	Transformation of Dinitrogen to Ammonia and Organonitrogen Compounds by Using Multimetallic Transition Metal Hydride Complexes	Shaowei HU.....	34
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.....	35
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.....	36
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.....	37
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.....	38
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.....	39
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.....	39
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.....	40
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.....	41
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.....	42

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.....	42
XXVII-032	農業害虫タバコ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害制御法の基盤構築	藤原 亜希子	43
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.....	44
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	45
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.....	47
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.....	48
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.....	50
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.....	51
XXVII-039	STM探針-基板間のギャッププラズモンが誘起する単分子反応系の探索	數間 恵弥子	52
XXVII-040	物質と重力の織り成す時空の量子像	横倉 祐貴.....	53

◆ 平成28年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXVIII-001	幾何学的手法を用いた異常輸送現象の解明とその高エネルギープラズマへの応用	本郷 優.....	57
XXVIII-002	ボーズ-フェルミ結合系における励起子凝縮と新規超伝導の理論	金子 竜也.....	58
XXVIII-003	X線自由電子レーザーを用いた1分子X線構造解析法の開発	井上 伊知郎	59
XXVIII-004	ミュオン水素原子の超微細構造精密分光による陽子半径の決定	神田 聡太郎	61
XXVIII-005	Exploration of QCD phase diagram at finite baryon densities by using path integral via Lefschetz thimbles	Yuya TANIZAKI.....	62
XXVIII-006	3体核力に基づいた核物質状態方程式の改良と高エネルギー天体現象への適用	富樫 甫.....	63
XXVIII-007	MAXI-NICER連携で解き明かすX線スーパーバーストにおける元素合成	岩切 渉.....	65
XXVIII-008	超新星残骸の観測による超強磁場中性子星マグネター誕生の研究	中野 俊男.....	66
XXVIII-009	2核種Xe核スピンメーザーを用いたアイソトープ微分型電気双極子モーメントの探索	佐藤 智哉.....	67
XXVIII-010	ドリップライン核 ²² Cにおける二中性子相関	久保田 悠樹	68
XXVIII-011	Exploring Quantum Chromodynamics at Finite Temperature and Density Using Complex Analysis	Hiromichi NISHIMURA	70
XXVIII-013	磁性トポロジカル絶縁体における磁壁・接合系の量子輸送現象	吉見 龍太郎	71

XXVIII-014	電子顕微鏡を用いた磁気スキルミオンの外場応答とダイナミクスの解明	柴田 基洋.....	72
XXVIII-015	数値的・解析的手法を組み合わせたアプローチによる高次元量子フラストレートスピン系の研究	紙屋 佳知.....	73
XXVIII-016	革新的結晶加工技術を駆使した物質・真空のX線非線形光学フロンティアの開拓	大坂 泰斗.....	74
XXVIII-017	温度勾配によって誘起されるスピン・熱の輸送現象の理論的研究	下出 敦夫.....	76
XXVIII-019	準結晶上の相関効果をもたらす機能物性	竹森 那由多.....	77
XXVIII-020	トポロジカル金属状態の理論研究	高橋 隆志.....	78
XXVIII-022	Polymerization of Heteroatom-containing Olefins by Rare-Earth Catalysts	Chunxiang WANG.....	79
XXVIII-023	Computational Investigation of the Reaction Mechanism in Bovine Heart Cytochrome c Oxidase	Bo THOMSEN.....	79
XXVIII-024	Bimodal Glycosyl Donor Protected by 2-O-ortho-tosylamido-benzyl Group	Feiqing DING.....	80
XXVIII-025	化合物ライブラリーおよび生物抽出物を活用したキノコ子実体形成促進因子の探索	大高 潤之介.....	81
XXVIII-026	カルボン酸の脱炭酸ホウ素化反応を経由したPETプローブの迅速供給法の開発	落合 秀紀.....	82
XXVIII-027	非線形光学イメージングによる生体組織内の力場ダイナミクスの可視化	金城 純一.....	83
XXVIII-028	立体組織形成における多細胞力学場の動態解析	奥田 覚.....	84
XXVIII-030	多種類のエピゲノムデータから新規なクロマチン状態を発見する手法の開発	尾崎 遼.....	85
XXVIII-031	生殖系列から個体内のゲノム多様性を解き明かす	原 雄一郎.....	86
XXVIII-032	グルコシノレートが生産植物自身に発揮する生理活性の分子メカニズム解明	杉山 龍介.....	87
XXVIII-034	作物の重要病害「紋枯病」の克服に向けた新たな方法論の創出	香西 雄介.....	88
XXVIII-035	発生期大脳皮質における神経幹細胞の集団的挙動と分裂様式	藤田 生水.....	89
XXVIII-036	精子幹細胞の低下した精子形成能を回復させる技術の開発	鈴木 伸之介.....	90
XXVIII-037	ERK 活性の時空間伝搬を介した上皮陥入の力学制御機構の解明	小椋 陽介.....	91
XXVIII-038	植物の小胞体ストレス応答性転写因子による植物発生における機能解析	金 俊植.....	92
XXVIII-040	腸内細菌による中枢神経系における炎症反応の制御	宮内 栄治.....	93
XXVIII-041	光遺伝学を用いた海馬における生理学的記憶痕跡の同定	田中 和正.....	94
XXVIII-044	The Control of Post-mitotic Neuronal Development by Pre-synaptic Thalamocortical Inputs	Timothy YOUNG.....	95
XXVIII-045	脂肪酸結合タンパク質による脂肪酸動態の制御と精神疾患	島本 知英.....	96
XXVIII-047	Semiconductor Nanowires-Based Spin qubits	Jian SUN.....	97

XXVIII-048	中空ファイバ中の冷却原子を用いた超放射レーザーの開発	岡場 翔一.....	98
XXVIII-049	A research on diffraction limit breaking through by using micron antenna array for real-time THz image system	Zhengli HAN.....	99
XXVIII-050	抗がん剤フリーナノ粒子の <i>in situ</i> 化学反応によるがん治療システムの開発	秋元 淳.....	100
XXVIII-051	リアルタイム無標識生体分子イメージング装置の実現	前田 康大.....	101
XXVIII-052	Towards Understanding Dark Matter using Lattice Quantum Field Theories Techniques	Enrico RINALDI	102
XXVIII-053	Regulation of Mucosal IgG by the Neonatal Fc Receptor	Alexis VOGELZANG.....	105
XXVIII-054	ヘビークォークが作りだすエキゾチックなハドロン・原子核の構造	山口 康宏.....	105
XXVIII-055	核物質の状態方程式の研究とその高密度天体現象への応用	古澤 峻.....	107
XXVIII-056	物理点における $\Omega\Omega$ 間相互作用	権業 慎也.....	108
XXVIII-059	Nuclear Mass Measurement of Super-Heavy Elements by Multi-Reflection Time-of-Flight Mass Spectrometry	Marco ROSENBUSCH.....	109
XXVIII-060	Study of Strangelets, Lightning and Meteors from Space, Balloon and Ground with Next Generation, Ultra-Sensitive Detectors	Lech Wiktor PIOTROWSKI	111

◆ 平成 29 年度採用

〈 符号 〉	〈 研究課題 〉	〈 研究者氏名 〉	〈 頁 〉
XXIV-001	Dark Matter or Charge Exchange	Liyi GU.....	115
XXIV-002	天の川銀河中心における爆発現象の発生メカニズム解明	中島 真也.....	116
XXIV-003	超伝導検出器を用いたレーザー・アクシオン暗黒物質探索	木内 健司.....	117
XXIV-004	クォーク・グルーオンの非摂動的性質から探る QCD の新たな相構造の第一原理的探求	土居 孝寛.....	118
XXIV-005	Nucleosynthesis and jets in neutron-star mergers and the explosion mechanism of massive stars	Oliver JUST	119
XXIV-006		Berwein Matthias.....	
XXIV-007	強磁場をもつ降着型パルサーの物理モデルと X 線偏光測定による実験的検証	小高 裕和.....	120
XXIV-008	ゼータ関数と L 関数の導関数の零点	Ade Irma Suriajaya.....	121
XXIV-009	大規模ミリ波センサーアレイと高速回転変調で迫る初期宇宙 - インフレーション宇宙とダークマター	小栗 秀悟.....	123
XXIV-010	Multimessenger Search for the Origin of Neutrinos	Haoning HE	124
XXIV-011	Probing the Heavy-Flavored Hadron Structure from Lattice QCD	Kadir Utku CAN.....	125
XXIV-012	化学進化から探る分子雲コアの初期条件と星/ 惑星系形成の新モデルの構築	大橋 聡史.....	126
XXIV-013	Developing Portable Atomic Clocks with 10E-18 Uncertainty	Andrew HINTON	126
XXIV-014	ストレンジネスとチャームで探るバリオン構造の研究	浅野 秀光.....	127
XXIV-015	^{78}Ni のガモフテラー崩壊	郷 慎太郎.....	128

XXIV-016		Browne Frank	
XXIV-017	群論的手法による多自由度系超伝導の対称性・発現機構の研究と第一原理計算への応用	野本 拓也.....	129
XXIV-018	冷却原子気体における強相関ボソン系の理論研究	堀之内 裕理	130
XXIV-019	スピン偏極STM発光分光法の開発及び二次元半導体における光スピン変換ダイナミックスの観測と制御	山本 駿玄.....	131
XXIV-020	フェルミオン・トポロジカル相の理論的研究	塩崎 謙.....	131
XXIV-021	任意形状光格子を用いたスピンプラストラレーションの局所ダイナミックスの観測	山本 隆太.....	132
XXIV-022	強く相互作用する量子多体系におけるトポロジカル相の理論的研究	藤 陽平.....	133
XXIV-023	無機ナノシートによる新奇3次元高次構造の物理：革新的デザインブルマテリアルの創製に向けて	謝 曉晨.....	134
XXIV-024	ゲージ場の理論を用いたトポロジカル物質における熱応答現象の研究	仲井 良太.....	136
XXIV-025	冷却原子気体において非平衡下で発現する量子多体物性の探求	中川 大也.....	137
XXIV-026	スキルミオン系における欠陥エンジニアリングとトポロジカル量子物性	岩崎 惇一.....	138
XXIV-027	Noninvasive Synthetic Therapy: Organic Synthesis of Therapeutic Molecules within Living Systems	Kenward VONG	138
XXIV-028	大規模分子動力学計算を用いた脂質二重膜内ペプチド会合過程の解明と新規膜貫通ペプチド会合体の設計への応用	新津 藍.....	139
XXIV-029	有機半導体-酸化物界面の修飾による新奇な電子機能性の開拓	中野 正浩.....	140
XXIV-030	デジタル化分子構造の回帰分析による不斉触媒の最適形状探索	山口 滋.....	141
XXIV-031	がん特異的One-Carbon Metabolismを標的としたセリン代謝を阻害する天然化合物の探索と作用機序解析	永澤 生久子	142
XXIV-032	Super-Strong Magnetic Field-Induced Block Copolymer Assembly	Xiaoyu LI	143
XXIV-033	生体内合成化学治療：動物内における毒性分子アクロレインから薬理活性複素環化合物への変換	Ambara Rachmat PRADIPTA	144
XXIV-034	時空間マルチスケール解析による植物形態形成のメカニズム解明	津川 暁.....	145
XXIV-035	皮膚表皮角質層バリア機能に関わる水分子の物性評価	白神 慧一郎	147
XXIV-036	糸状菌の病原性を指標にした「獲得形質の遺伝」メカニズムの解明	熊倉 直祐.....	148
XXIV-037	組織変形の光制御技術の開発とそれを用いた変形の分化トリガー機能の解明	高山 真美.....	149
XXIV-038	哺乳類卵母細胞の大きな細胞質の意義	京極 博久.....	150
XXIV-039	動物細胞の運命決定の変化に伴う細胞内代謝の変動の普遍的原理の解明	柳沼 秀幸.....	151
XXIV-040	脊椎動物甲状腺の進化的起源の解明	高木 互.....	152
XXIV-041	Engineering synthetic tools to aide single cell and 'omics' techniques for studying RNA localization and local translation in the context of neurological disease	Callum PARR	152

XXIV-042	一細胞顕微鏡イメージングとデジタルRNAシーケンシングの融合による細胞分裂と分化の関連機構の解明	小川 泰策.....	153
XXIV-043	単一細胞DNA複製タイミング解析によるマウス胚発生初期の三次元ゲノム構造の推定	高橋 沙央里	154
XXIV-044	近交系マウスの表現型および遺伝子型解析を用いた能動的低代謝メカニズムの解明	砂川 玄志郎	155
XXIV-045	Mechanochemical Studies of Epithelial Sheet Folding Induced by Cell-Cell Junction Remodeling	Fu-Lai WEN	156
XXIV-046	Deciphering a Hypothalamo-hippocampal Circuit in Goal-directed Spatial Navigation	Shuo CHEN	157
XXIV-047	新規スフィンゴ脂質の代謝機構および精神疾患メカニズムとの関連解明	江崎 加代子	158
XXIV-048	Identification of disease-protective loss-of-function (LoF) variants for drug development - a novel reverse genetics approach based on 200,000 Japanese individuals	Xiaoxi LIU.....	159
XXIV-049	Impacts of hierarchical visual processing on decision making: investigation with projection-specific optogenetic manipulation	Tadashi Tsubota.....	160
XXIV-050	仮想空間を用いたゼブラフィッシュ成魚終脳における意思決定機構の解明	鳥越 万紀夫	161
XXIV-051	Reversing the Chromatin Defects in An Adult Circuit to Rescue An Autism Syndrome Model in <i>Drosophila</i> .	Yun Jin PAI.....	162
XXIV-052	磁気共鳴画像法を用いた大脳皮質-基底核新経路の存在証明と大脳基底核概念の再構築	吉田 篤司.....	163
XXIV-053	Neural basis of odor-taste multisensory integration in <i>Drosophila</i>	Hongping WEI	164
XXIV-054	新規アルツハイマー病関連因子CAPONによる神経変性分子メカニズムの解明	橋本 翔子.....	164
XXIV-055	Proteinaceous Nanostructures for Intracellular Sensing Fabricated By Direct Laser Writing in a Temperature-Controlled Microfluidic Device	Daniela SERIEN	165
XXIV-056	微小無線デバイスを用いた細胞の三次元電気特性の測定手法の開発	Yaxiaer YALIKUN	166
XXIV-057	Growing Au Nanorod Arrays on a Au Nanoplate for Plasmonic Pt-Catalyzed H ₂ Generation	Guoqing WANG.....	168
XXIV-058	無意識的推論の数理モデルの拡張と精神障害モデルへの応用	磯村 拓哉.....	170
XXIV-059	Growth and Characterization of AlGa _N based UV LEDs/LDs on AlN template on sapphire substrate or AlN substrate.	Muhammad Ajmal KHAN.....	171
XXIV-060	Optical Parametric Amplification of an Over-one-octave Spanning IR Spectrum Using BBO Crystals	Yu-Chieh LIN	174
XXIV-061	癌幹細胞と胎児期上皮幹細胞に共通する分子コンセプト提唱への挑戦	清川 寛文.....	175

基礎科学特別研究員
平成 26 年度採用者

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)

多細胞生物が秩序立った体制を構築し維持するためには、細胞の不用意な分化転換や分裂、脱分化が起こらないように防ぐ仕組みがあると想定される。私はこれまでの研究によって、通常の発生プログラムにおける細胞の分化維持機構を見出してきた。ヒストン修飾酵素であるポリコーム抑制複合体2 (PRC2) の機能欠損体では細胞の分化状態が維持されずに、自発的な細胞の脱分化・分裂再開が起こることを見出した。さらにPRC2が細胞リプログラミングを誘導する転写因子群の発現抑制維持を介して、細胞の分化状態を維持していることが分かった。一方で、生物は傷など強いストレスに曝されると、細胞の分化転換や分裂の活性化を通して傷を治癒し、再生するという能力を持っている。特に植物は高い再生能力を持つことが分かっているが、その分子メカニズムはこれまで不明であった。そこで私は、傷ついた植物が細胞の塊であるカルスを形成する過程の時系列トランスクリプトーム解析およびホルモン解析を行った。その結果、成長ホルモンであるサイトカイニンの合成酵素遺伝子の発現が傷のあと速やかに誘導されていることを見出した。サイトカイニン合成酵素やシグナル伝達経路の変異体ではカル

ス形成の効率が著しく低下しており、これらがカルス化に必要であることが分かった。さらに、PRC2で発現抑制を受けている転写因子遺伝子群の中には、傷のあと速やかに発現が誘導されるものが見出されたため、ストレス条件下ではエピジェネティックな発現抑制機構を打破して発現を活性化する仕組みがあることが示唆された。

●誌上発表 Publications

(総説)

Ikeuchi M*, Rhodes J. Latest advances in plant development and environmental response, the inaugural Cold Spring Harbor Asia Plant Biology meeting in Japan. *Plant and Cell Physiology* 2017 <https://doi.org/10.1093/pcp/pcx083>. * corresponding author

●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会等)

Ikeuchi M “Emergency response and safety locking system of plant cell differentiation” *Plant Cells in Vitro: Fundamentals & Applications II*, Vienna, 2017, June 26th.

基礎科学特別研究員
平成 27 年度採用者

Establishment of Planetary High Energy Physics by Multi-wavelength
Remote Sensing Using Space Telescopes

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、理論による緊密な連携で、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。

2016年、探査機Junoが、木星極軌道に投入され、史上初の木星極域その場観測が開始された。木星軌道投入直前に、Junoは、木星磁気圏の主要エネルギー源の1つである、太陽風変動を詳細にその場観測した。研究者は、開発に参加する惑星専用宇宙望遠鏡「ひさき」による木星連続監視と、ハッブル宇宙望遠鏡の超高解像度オーロラ撮像、Junoの太陽風その場観測を緊密に連携させ、磁気圏のエネルギー解放・輸送過程によって発生している、オーロラ爆発現象を捉えることに成功した。この結果は、国際誌において発表され、理研からプレスリリースされた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tomoki Kimura, Y. Hiraki, C. Tao, F. Tsuchiya, P. Delamere, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, H. Kita, S. V. Badman, K. Fukazawa, I. Yoshikawa,

M. Fujimoto (2018), Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, *Journal of Geophysical Research Space Physics*, 123, doi: 10.1002/2017JA025029. *

Tomoki Kimura, J. D. Nichols, R. L. Gray, C. Tao, G. Murakami, A. Yamazaki, S. V. Badman, F. Tsuchiya, K. Yoshioka, H. Kita, D. Grodent, G. Clark, I. Yoshikawa, and M. Fujimoto (2017), Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, *Special Issue 'Early Results: Juno at Jupiter'*, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1002/2017GL072912. *

Grodent, D., Bonfond, B., Yao, Z., Gérard, J.-C., Radioti, A., Dumont, M. B. Palmaerts, A. Adriani, S. V. Badman, E. J. Bunce, J. T. Clarke, J. E. P. Connerney, G. R. Gladstone, T. Greathouse, T. Kimura, W. S. Kurth, B. H. Mauk, D. J. McComas, J. D. Nichols, G. S. Orton, L. Roth, J. Saur, P. Valek (2018). Jupiter's aurora observed with HST during Juno orbits 3 to 7. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, doi:10.1002/2017JA025046. *

Chihiro Tao, Tomoki Kimura, Fuminori Tsuchiya, Go Muirakami, Kazuo Yoshioka, Atsushi Yamazaki, Sarah V. Badman, Hiroaki Misawa, Hajime Kita, Yasumasa Kasaba, Ichiro Yoshikawa, Masaki Fujimoto (2018), Variation of Jupiter's Aurora Observed by Hisaki/EXCEED: 3. Volcanic Control of Jupiter's Aurora, *Geophysical Research Letters*, 45, 71-79. *

Ichiro Yoshikawa, Fumiharu Suzuki, Reina Hikida, Kazuo Yoshioka, Go Murakami, Fuminori Tsuchiya, Chihiro Tao, Atsushi Yamazaki, Tomoki Kimura, Hajime Kita, Hiromasa Nozawa and Masaki Fujimoto (2017), Volcanic activity on Io and its influence

- on the dynamics of the Jovian magnetosphere observed by EXCEED/Hisaki in 2015, *Earth, Planets and Space*, 69, 110. *
- Y. Kasaba, T. Kimura, D. Maruno, A. Morioka, B. Cecconi, L. Lamy, C. M. Jackman, H. Misawa, T. Tsuchiya, A. Kumamoto (2017), A FLUX COMPARISON OF NORTHERN AND SOUTHERN SATURN'S KILOMETRIC RADIO BURSTS DURING SOUTHERN SUMMER, *Proceeding of 8th Planetary Radio Emission Conference*, in press. *
- Y. Katoh, H. Kojima, K. Asamura, Y. Kasaba, F. Tsuchiya, Y. Kasahara, T. Imachi, H. Misawa, A. Kumamoto, S. Yagitani, K. Ishisaka, T. Kimura, M. Hikishima, Y. Miyoshi, M. Shoji, M. Kitahara, O. Santolik, Jan Bergman, Walter Puccio, Reine Gill, Martin Weiser, Walter Schmidt, Stas Barabash, and J.-E. Wahlund (2017), SOFTWARE-TYPE WAVE-PARTICLE INTERACTION ANALYZER (SWPIA) BY RPWI FOR JUICE: SCIENCE OBJECTIVES AND IMPLEMENTATION, *Proceeding of 8th Planetary Radio Emission Conference*, in press. *
- Nara, Yusuke, Ichiro Yoshikawa, Kazuo Yoshioka, Go Murakami, Tomoki Kimura, Atsushi Yamazaki, Fuminori Tsuchiya, Masaki Kuwabara, Naomoto Iwagami, (2017), Extreme Ultraviolet Spectra of Venusian Airglow Observed by EXCEED, *Icarus*, in press. *
- Ryoichi Koga, Fuminori Tsuchiya, Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Mizuki Yoneda, Kazuo Yoshioka, Tomoki Kimura, Go Murakami, Atsushi Yamazaki, Ichiro Yoshikawa, H Todd Smith (2017), The time variation of atomic oxygen emission around Io during a volcanic event observed with Hisaki/EXCEED, *Icarus*, 299, 300-307. *
- J. Kinrade, S. V. Badman, E. J. Bunce, C. Tao, G. Provan, S. W. H. Cowley, A. Grocott, R. L. Gray, D. Grodent, T. Kimura, J. D. Nichols, C. S. Arridge, A. Radioti, J. T. Clarke, F. J. Crary, W. R. Pryor, H. Melin, K. H. Baines, and M. K. Dougherty (2017), An isolated, bright cusp aurora at Saturn, *Journal of Geophysical Research*, 122, 6121-6138, doi:10.1002/2016JA023792. *
- J. D. Nichols, S. V. Badman, F. Bagenal, S. J. Bolton, B. Bonfond, E. J. Bunce, J. T., Clarke, J. E. P. Connerney, S.W. H. Cowley, R. W. Ebert, M. Fujimoto, J.-C. Gérard, G. R. Gladstone, D. Grodent, T. Kimura, W. S. Kurth, B. H. Mauk, G. Murakami, D. J. McComas, G. S. Orton, A. Radioti, T. S. Stallard, C. Tao, P. W. Valek, R. J. Wilson, A. Yamazaki, I. Yoshikawa (2017), Response of Jupiter's auroras to conditions in the interplanetary medium as measured by the Hubble Space Telescope and Juno, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1002/2017GL073029. *
- 口頭発表 Oral Presentations**
- (国際会議)
- (招待講演) Tomoki Kimura, J. D. Nichols, R. L. Gray, C. Tao, G. Murakami, A. Yamazaki, S. V. Badman, F. Tsuchiya, K. Yoshioka, H. Kita, D. Grodent, G. Clark, I. Yoshikawa, and M. Fujimoto, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, P24A-10, American Geophysical Union Fall meeting 2017, New Orleans, US, 11-15 Dec, 2017.
- (招待講演) Tomoki Kimura, Multi-wavelength observations of Jupiter's aurora during Juno's cruise phase, Planetary Space Weather Meeting, Toulouse, France, 9-12, Oct, 2017.
- (招待講演) Tomoki Kimura, Development of Virtual Observatory Database for Hisaki, Planetary Space Weather Meeting, Toulouse, France, 9-12, Oct, 2017.
- (招待講演) Tomoki Kimura, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, National Astronomical Observatory of Japan Solar Seminar, 6 Oct, 2017.
- (招待講演) T. Kimura, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, Magnetospheres of Outer Planets 2017, Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden, 12-16 June, 2017.
- (一般講演) Tomoki Kimura, Status report of Hisaki meta-database development, JSPS Sakura project meeting, Paris Observatory, Sep 5, 2017
- (一般講演) Tomoki Kimura, J. D. Nichols, R. L. Gray, C. Tao, G. Murakami, A. Yamazaki, S. V. Badman,

- F. Tsuchiya, K. Yoshioka, H. Kita, D. Grodent, G. Clark, I. Yowhikawa, and M. Fujimoto Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, International Space Science Institute, Sep 11-15, Bern, 2017
- (一般講演) Tomoki Kimura, J. D. Nichols, R. L. Gray, C. Tao, G. Murakami, A. Yamazaki, S. V. Badman, F. Tsuchiya, K. Yoshioka, H. Kita, D. Grodent, G. Clark, I. Yowhikawa, and M. Fujimoto, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, European Planetary Science Congress, EPSC2017-123, Latvia, Sep 17-22, 2017
- (一般講演) Tomoki Kimura, J. D. Nichols, R. L. Gray, C. Tao, G. Murakami, A. Yamazaki, S. V. Badman, F. Tsuchiya, K. Yoshioka, H. Kita, D. Grodent, G. Clark, I. Yoshikawa, and M. Fujimoto, Auroral explosion at Jupiter observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approaching phase of the Juno spacecraft, Japan Geoscience Union Meeting 2017, PPS01-03, Makuhari, Japan, May 20-25, 2017.

- (国内学会)
- (招待講演、基調講演) 木村智樹、巨大惑星磁気圏研究の現状と将来展望、第19回惑星圏研究会、東北大学、2月27日-3月1日、2018年
- (招待講演) 木村智樹、リモートセンシングと探査機その場観測の連携で取り組む回転惑星磁気圏のリコネクションと粒子加速、磁気リコネクション・粒子加速勉強会、東京大学、6月26-27日、2017年
- (一般講演) 木村智樹、埤千尋、村上豪、山崎敦、土屋史紀、吉岡和夫、北元、吉川一朗、藤本正樹、Brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during Juno's approach phase、R009-08、地球電磁気・地球惑星圏学会 第142回総会・講演会、京都大学、10月18日、2017年

●ポスター発表 Poster Presentations

- (国内学会)
- 木村 智樹、深沢 圭一郎、村上 豪、北元、埤千尋、土屋 史紀、ひさき衛星による木星磁気圏観測とグローバルMHDシミュレーションの連携解析の概要、地球電磁気・地球惑星圏学会 第142回総会・講演会、京都大学、R009-P16、10月16日、2017年

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: 理論科学連携研究推進グループ (iTHES)
分野横断型数理・計算連携研究チーム
(所属長 長瀧重博)

今年度は主に機械学習の方法を統計物理に応用する研究を行った。これはやや本来の研究テーマからは逸れるが、最終的には数理物理の研究にも応用できるはずであり、実際、場の理論の数値計算を大幅に高速化する可能性を見出した。これは現在論文を準備中である。また、昨年度のプレプリントが出版され、これに関する招待講演を大阪と台湾で行った。

- (原著論文)
- Tanaka A. and Tomiya A. : "Detection of phase transition via convolutional neural network" J. Phys. Soc. Jpn. 86, 063001 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

- (国内学会等)
- Tanaka A. : "Detection of phase transition via convolutional neural network", Osaka CTSR-RIKEN

●誌上発表 Publications

iTHES/iTHEMS-Kavli IPMU Joint Symposium,
Osaka Univ, Osaka, Japan, Jun.(2017)
(国際会議)

• Tanaka A. :“Machine learning based on neural net-

work”, 2017 TEQMS Summer School: From Tensor
Network to Deep Learning, NCTS, Hsinchu, Taiwan,
Aug. (2017)

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

MAXIチーム

(所属長 牧島一夫)

ブラックホール連星（ブラックホールと恒星の連星系）は、ブラックホールに大量のガスが落ちX線で急増光する際に、光速の90%を超える速度のジェットを噴き出すことが知られている。本研究は、全天X線監視装置MAXIを用いてブラックホール連星の増光を監視し、増光時に多波長観測を行うことで、その噴出メカニズムを明らかにすることを目的としている。今年度は、MAXIによるX線変動天体の常時監視・増光時の多波長観測を前年度に引き続き行うとともに、MAXIの全観測データを用いて銀河面領域の天体カタログを作成した。詳細は以下のとおりである。

(1) MAXIによるX線連星の発見

2017年9月初めに、MAXIで新しいブラックホール候補天体MAXI J1535-571を発見し、全世界に速報した。その後、この天体は徐々にX線強度を増してゆき、10月にはかに星雲のX線強度の5倍の明るさまで達し、今世紀最高光度のブラックホール候補天体となった。この増光中にMAXIで得られた、同天体の数ヶ月間にわたる観測データを解析することで、質量降着率の変化に伴う降着円盤の構造変化を詳細に調べた結果、異なる光度で2度の状態遷移を引き起こしていることが判明した。また、2017年3月には、中性子星と恒星の連星系MAXI J1807+132を発見し、Swift衛星と国内の可視光望遠鏡を用いて多波長同時観測を実施することで、中性子星周囲の降着ガスの構造に関する情報を得ることができた。これらの成果を原著論文として発表し、複数の研究会・学会でも報告した。

(2) MAXIのバックグラウンドモデルの改良と銀河面X線源カタログの作成

前年度に、自ら作成した高精度のMAXIのバックグラウンドモデルを用いて、MAXIの全観測データから天体以外の起源の信号を正確に取り除くことにより、3-10電子ボルトの帯域で、過去最高精度の全天X線画像を得ることができた。今年度は、この全天データを用いて、京都大学の共同研究者とともに、天体が混み合った銀河面領域の画像解析を進めた結果、270個の天体を検出し、各天体の正確な位置・X線強度・種族などをまとめたカタログを作成した(Hori T., Shidatsu M., et al., the *Astrophysical Journal*に投稿中)。この銀河面カタログの情報を速報に利用することで、MAXIのさらなる天体検出性能の向上が期待される。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shidatsu M., Ueda Y. and Fabrika S.: “NuSTAR and Swift Observations of the Ultraluminous X-Ray Source IC 342 X-1 in 2016: Witnessing Spectral Evolution”, *The Astrophysical Journal (ApJ)*, 839, 46(2017)*

Shidatsu M., Tachibana Y., Yoshii T., Negoro H., Kawamuro T., Iwakiri W., Nakahira S., Makishima K., Ueda Y., Kawai N., Serino M. and Kennea J.: “Discovery of the new X-ray transient MAXI J1807+132: a Candidate of a Neutron Star Low-mass X-ray binary”, *ApJ*, 850, 155(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

志達めぐみ, 橘優太郎, 吉井健敏, 根来均, 川室太希, 岩切渉, 中平聡志, 牧島一夫, 上田佳宏, 河合誠之, 芹野素子, Jamie Kennea: “MAXI による X 線新星 MAXI J1807+132 の発見と X 線・可視光による追観測”, 2017年天文学会秋季年会, 札幌市, 9月(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

志達めぐみ, 橘優太郎, 吉井健敏, 根来均, 川室太希, 岩切渉, 中平聡志, 牧島一夫, 上田佳宏, 河合誠之, 芹野素子, Jamie Kennea, 森田浩太郎: “X線トランジェント天体 MAXI J1807+132 と MAXI J1535-571 の発見と追観測”, 宇宙科学シンポジウム, 相模原, 1月(2018)

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)

昨年度末に稀少 RI リング実験にて使用する不安定核ビーム輸送ラインの一部が大きく変更された。ビーム輸送に関連する四重極電磁石などの位置も大きく変更されたため、ビーム輸送のための光学を検討し直した。今回の光学では輸送効率の向上を重視し、これまで、リングへの入射においてディスパージョンマッチング条件のみを満たすことを優先してきたが、今回はエミッタンスマッチング条件を優先とした。ディスパージョンマッチング条件は、昨年度に開発したシミュレーションの結果から多少犠牲にしても問題ないことが判明していたためである。それに対して、エミッタンスマッチング条件を重視することで、蓄積リングへの入射及びリングからの出射効率が大きく向上することが期待されたためである。2017年11月に上記のビームライン変更及び光学の変更により入射・出射効率がどれだけ改善されるかマシンスタディを行った。昨年度の実験と比較するために実験には昨年度と同じ核種である ^{78}Ge 及びその周辺核のビームを用いた。またそれと同時に1粒子に対して感度が有り、高精度で周回時間が測定可能な空洞型ショットキーピックアップを用いて等時性磁場の調整を実施した。入射効率については、昨年度の実験では入射キックトリガー数に対して入射できた粒子は2.0%であった。それに対して今回の実験では入射効率を5.6%に向上させるこ

とができた。さらに出射効率については、昨年度は0.14%であったが今回は1.9%と大きく向上させることができた。等時性については、昨年度より若干の改善は見られたが劇的な向上には至らなかった。その要因を調査したところ、磁場の調整手法ではなく外的要因によるものだと推察できた。リングで使用している磁石の磁場の変動や粒子の周回時間の時系列変化などを解析したところ、磁場が電源の出力変動に依存しており、等時性の出来具合はほぼこの電源の性能で決まってしまうようであった。さらに長時間の測定から実験室内の温度変化により磁場が変動していることも判明した。また測定した周回時間が周期的に変動しているように見られたが、こちらの原因については現在も解析を進めている。

4回のマシンスタディを終え、これまでの成果により実験装置として準備が整った。今後は ^{74}Ni をはじめとした Ni 同位体の質量測定が進められていくことが期待される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Abe Y., Yamaguchi Y., Wakasugi M., Uesaka T., Ohmika S., Ozawa A., Ge Z., Suzaki F., Naimi S., Nagae D., Miura H., Yamaguchi T. and for the Rare RI Ring

collaboration : “Measurement of isochronism using ^{78}Kr beam for the Rare RI Ring”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 49 19 (2016)*

Abe Y., Nagae D., Baba H., Ozawa A., Uesaka T., Yamaguchi T., Yamaguchi Y., Wakasugi M. and for the Rare RI Ring collaboration : “Particle selection using RF signal for Rare RI Ring experiments”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 50 186 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Abe Y. : “Analysis of isochronism in Rare-RI Ring”, The 10th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (STORI'17), Kanazawa, Japan, Nov. (2017)

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)

ガンマ線バーストは大質量星の崩壊に伴い星の中心で駆動された相対論的ジェットが星を突き破り、星間空間を伝搬する際に生じる現象だと考えられている。ジェット伝搬中にジェット境界で成長する流体不安定性は、ジェットとジェット外媒質との混合を誘発しジェットを不均一にするため、ガンマ線バーストの即時放射期における時間変動性の起源になりうる。流体不安定性の候補として非軸対称モードのRayleigh-Taylor不安定が期待され、その不安定性の成長条件は相対論的ジェットの慣性がジェット外媒質であるコクーンの慣性より大きいことであるが、実際にジェットが星の内部、星間空間を伝搬する際にその条件が満たされるかは自明ではない。そこで、シンプルなジェットモデルを構築し、ジェットとコクーンの慣性の比の評価を行った。

まず、ジェットはコクーンの圧力によって閉じ込められていること、そしてジェット境界は接触不連続面となり圧力の飛びがないことからジェットとコクーンの圧力は等しいとみなした。次に、コクーンはジェットヘッド構造の一部であるリバースショックで相対論的ジェットの運動エネルギーが熱エネルギーに転化されることで形成されるため、コクーンの慣性は静止質量エネルギーよりも熱エネルギーが支配的であるとみなした。これらの仮定及び、ガンマ線バーストジェットの慣性も熱エネルギーが支配的であることから、ジェットの速度が相対論的スピ

ードである限りコクーンよりもジェットの慣性の方が大きいことがわかった。実際にジェットが伝搬する際のコクーンとの慣性の比を評価するためジェット伝搬数値シミュレーションを行った。注入する相対論的ジェットの物理パラメータによらずジェットの周りにコクーンが形成される際にはコクーンよりもジェットの慣性の方が大きいことを確認し、ジェット境界でRayleigh-Taylor不安定性が成長しジェット境界が崩されることがわかった。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Matsumoto J., Aloy M. A. and Perucho M.: “Linear theory of the Rayleigh-Taylor instability at a discontinuous surface of a relativistic flow”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 472 1421-1431 (2017)*

Yoshida K., Yonetoku D., Sawano T, Ito H., Matsumoto J. and Nagataki S.: “Search for a Signature of Interaction between Relativistic Jet and Progenitor in Gamma-Ray Bursts”, The Astrophysical Journal, 849 64-70 (2017)*

Matsumoto J. and Masada Y.: “Synergetic Growth of the Rayleigh-Taylor and Richtmyer-Meshkov Instabilities in the Relativistic Jet”, Proceedings of the International Astronomical Union, 324 87-88 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

松本仁：“相対論的ジェットの伝搬ダイナミクス”，
磁気流体プラズマで探る高エネルギー天体現象研
究会，東京，8月（2017）

松本仁：“相対論的ジェットの境界面を不安定にする
トリガーの研究”，日本天文学会2017年秋季年
会，札幌，9月（2017）

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Matsumoto J.：“Comparison of divergence-free tech-
niques in relativistic magnetohydrodynamic simula-
tions”，ASTRONUM 2017, Saint-Malo, France, Jun.
(2017)

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

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)

①量子磁性体の励起ダイナミクスの研究

最近接相互作用のみを持つ正方格子スピン $S=1/2$
反強磁性ハイゼンベルグ模型 (AFMHM) の励起ダイ
ナミクスは、スピン波理論を基とする $S=1$ マグノ
ン励起で記述できると広く考えられている。その一
方で1980年代ごろから盛んに行われた場の理論に
よる考察からは、マグノンの $S=1/2$ スピノンへの脱
閉じ込めが起こりうると考えられる。さらに近年の
中性子散乱実験の実験結果では、波数 $k=(\pi,0)$ での
連続帯域が単純なスピン波理論では説明できずスピ
ン液体との繋がりを指摘している。

本研究では、京コンピュータなどを用いた大規模
なQMC計算によって得られた超精密な虚時間相関
関数に対し、最新の数値計算手法を施すことにより、
 $S=1/2$ AFMHMの励起スペクトル計算を行った。こ
の研究では主に3つのことを明らかにした。

- (1) 我々の計算結果がCu(DCOO) $2 \cdot 4D2O$ (CFTD)
の中性子散乱実験で得られた動的構造因子の
スペクトルの形状と定量的に非常によく一致
することを示せたこのことからCFTDが正方格
子 $S=1/2$ AFMHMを非常によく再現している
と言える。
- (2) 低エネルギー側の励起が波数 $k=(\pi,0)$ 付近は他
と定性的に異なり、準粒子励起がインコヒーレ
ントであることを示唆する結果を得た。
- (3) 波数 $k=(\pi,0)$ での動的構造因子の縦成分、横成

分の高エネルギー側の構造が $1/S$ 展開によるス
ピン波近似と比較しても明らかに異なること
や、スピン波近似では説明できない構造を持つ
ことを計算結果から明らかにした。

②希薄ボース粒子系の基底状態に関する研究

相互作用する希薄なボース原子気体の物理的性質
は絶対零度におけるボゴリウボフの平均場理論を先
駆として、古くから発展してきた。しかし近年ボ
ース粒子系に関する摂動展開理論の間違いが指摘さ
れており、これまで常識的に考えられてきた理論の再
検証する必要性が考えられている。我々は希薄ボ
ース粒子系のユニバーサルな振る舞いを、連続空間系
と離散空間系の異なる模型を比較することでこれまで
考えられてきた摂動係数の評価を行った。さらに、
離散空間模型の格子定数と連続空間模型の s 波散乱
長の比較から、ハードコア・ボース・ハバード模型
が固有に持つ s 波散乱長の大きさを見積もった。

●誌上発表 Publications

Akiko Masaki-Kato and Naoki Kawashima, “World-
line Monte Carlo methods of huge systems”, pro-
ceedings of the 36th JSST Annual International Con-
ference on Simulation Technology (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

正木晶子、「フラストレーションのない $S=1/2$ ハイゼンベルグ模型の励起ダイナミクスーマグノン励起の消失ー」, ポスト「京」プロジェクト課題7「共通基盤シミュレーション手法」研究会、2017年6月、柏(千葉)(招待講演).

正木晶子、A. S. Mischenko、白川知功、永長直人、柚木清司、「フラストレーションの無い $S=1/2$ 正方格子ハイゼンベルグモデルの励起ダイナミクス」、日本物理学会秋季大会、盛岡、2017年9月.

正木晶子、本山裕一、川島直輝: “ボース・ハバード模型を用いた連続空間希薄粒子系の数値解析とs波散乱長の見積もり”、日本物理学会第73回年次大会、千葉、2018年3月.

(国際会議)

Akiko Masaki-Kato, “The absence of single magnon excitation and fractional incoherent dynamics in a two-dimensional unfrustrated spin-1/2 antiferromagnet”, 第25回量子シミュレーション研究会, IMPACT「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」, Saitama (Japan), October (2017) (招待講演).

Akiko Masaki-Kato, “Worldline Monte-Carlo methods of huge systems”, The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology, Tokyo (Japan), October (2017) (招待講演).

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)

「量子スピアイス系におけるモノポール超電流」
幾何学的にフラストレートした系として知られるパイロクロア格子上のスピアイス系を考察した。この系では基底状態として量子スピン液体相や強磁性相、反強磁性相など興味深い相が現れることが知られているが、本研究ではそれらの相が空間的に隣接している時の振る舞いを調べた。スピン系をモノポールスピノンとそれが結合するゲージ場で記述することで、量子スピン液体相と磁気秩序相がそれぞれスピノンの絶縁体相と量子凝縮相に対応する。超伝導体で量子凝縮の結果として位相干渉効果であるジョセフソン効果が現れることを参考に、スピアイス系から成る強磁性体/量子スピン液体/強磁性体トンネル接合を考察し接合を流れるモノポール電流を調べた。そのためにモノポールスピノンと創発ゲージ場が従うanalogous quantum electrodynamicsを構成した。この定式化の元ではスピンの縦成分は「磁場」、横成分は「ゲージ場」に対応づけられる。モノポールスピノンは磁場の発散であるモノポール電荷を運ぶボソンとして振る舞う。強磁性体相では

スピノン場が量子凝縮を起こし、波動関数の位相がコヒーレンスを保った状態になっているため、2つの強磁性体間の位相差がモノポールの超伝導流を生み出すことになる。共線的な強磁性構造を仮定しカレント位相関係を導出した。

●ポスター発表 Poster Presentations

S. Nakosai, S. Onoda: “Theory for analogous Josephson effects in quantum spin ice.” 28th International Conference on Low Temperature Physics, Gothenburg, Sweden, Aug. 2017

S. Nakosai, S. Onoda: “Analogous Josephson interference effects in quantum spin ice.”

Yamada Science Foundation Junjiro Kanamori Memorial International Symposium - New Horizon of Magnetism, Tokyo, Japan, Sep. 2017

中河西翔, 小野田繁樹: “Analogous Josephson interference effects in quantum spin ice.” 第三回 理研一産総研合同WS「量子技術イノベーションコア」, 東京, 2017年11月

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。本研究計画は、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むものである：

(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、特に (1) に関して、大きな進展があった。結果は、一言で表すと、「量子操作の実装に対する不確定性」を表す不等式である ([Pub5])。これは量子熱機関にとどまらないあらゆる量子系にユニタリー操作を実装する際の普遍的な限界を表す式であるが、特に量子熱機関に対して重要な意味を持つ。以下に結果の詳細と、それがどのように (1) のテーマに結び付くかを説明する：

結果：ある系S上における時間依存ハミルトニアンによる時間発展を表すユニタリー変換を U_S とし、これを外部系Eとのエネルギー保存ユニタリー変換によって近似的に実現する状況を考えよう。こうした状況において、 U_S の実現誤差 δ_U と、E系のエネルギーゆらぎ δ_E の積をバウンドする以下の不等式が成立する：

$$\delta_U \delta_E \geq \sqrt{|[U_S, H_S]|}/40$$

すなわち、操作の誤差 δ_U を小さくすればするほど、外部のエネルギーの揺らぎは増大する。標語的に表すならば、「正確なユニタリー操作の実現のためには、大きなエネルギー揺らぎを必要とする」

量子熱機関との関連：上記不等式は、熱機関の出力とゆらぎの間の以下のような関係式に書き直すことが出来る

$$\delta_U \delta_W \geq W_{\max}/40$$

ここで δ_W は、熱機関が取り出した仕事を蓄えるストレージのエネルギーゆらぎ、 W_{\max} は、取り出された仕事の期待値の最大値を表している。すな

わち、熱機関の時間発展がユニタリーに近いとき、外部系に取り出された仕事は、外部系のエネルギーゆらぎに飲み込まれてしまう。この事実は、熱機関および熱浴のダイナミクスを、時間変化するパラメータ $\lambda(t)$ に依存するハミルトニアン $H_{\lambda(t)}$ によるユニタリー時間発展として記述する従来の量子熱機関のモデルが、現実の熱機関と異なる振る舞いを示すことを意味している。この問題点は、昨年度報告した、量子熱機関の測定理論ベースの定式化を用いることで回避することが出来る [Pub1]。本年度はこのほか、以前報告した量子Jarzynski等式に関する結果 [Pub2]、および微小熱機関の効率に対する有限サイズ効果 [Pub3]、有限時間で動作する熱機関効率の上界 [Pub4] などを与えた。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- [1] M. Hayashi and H. Tajima, "Measurement-based formulation of quantum heat engines," *Physical Review A*, 95, 032132, (2017).
- [2] Y. Morikuni, H. Tajima and N. Hatano, "Quantum Jarzynski equality of measurement-based work extraction," *Physical Review E* 95, 032147 (2017).
- [3] H. Tajima and M. Hayashi, "Finite-size effect on optimal Efficiency of Heat Engines," *Phys. Rev. E* 96, 012128 (2017).
- [4] N. Shiraishi, H. Tajima, "Efficiency versus Speed in Quantum Heat Engines: Rigorous Constraint from Lieb-Robinson Bound," *Phys. Rev. E* 96, 022138, (2017).
- [5] H. Tajima, N. Shiraishi, K. Saito, "Uncertainty Relations in Unitary Controls," arXiv:1709.06920, (2017).

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

[6]H. Tajima: Uncertainty relations in implementation of unitary control, APS March meeting, Los Angeles, March (2018).

(国内学会等)

[7]田島裕康: “時間依存ハミルトニアン近似実現における不確定性関係,” 日本物理学会, 仙台, 9月 (2017)

[8]田島裕康: “大偏差状態の熱力学法則,” 日本物理学会 千葉, 3月(2018)

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。本研究では新規磁性体を開発し、非反転対称構造によるネール型スキルミオンの発現を目指している。またスキルミオン物性の新たな展開として、磁氣的フラストレーションによってスピン構造が反転対称性を破るような磁性体におけるスキルミオン格子形成および異常電気伝導物性の探索を行った。本年度行った研究内容を下記に列挙する。

① 正方晶極性磁性体 VOSe_2O_5 におけるネール型スキルミオンの発現

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、量子スピンを有する V^{4+} イオンが正方格子を組み 8 K 以下でフェリ磁性転移をすることで過去に報告されていた。われわれは当該物質の単結晶を使った詳細な磁化測定を行い、フェリ磁性相以外にも多彩な磁気相を有する温度・磁場相図を開拓した。またドイツの FRM-II における小角中性子散乱実験を行うことにより、磁場下での三角格子スキルミオン相の発現を実証した。ゼロ磁場の磁気構造がサイクロイドらせん磁気構造である特徴も観測することに成功し、スキルミオン相がネール型スキルミオンの三角格子状態であることが確認できた。

② 三角格子フラストレーション磁性体 Gd_2PdSi_3 における異常伝導特性

スキルミオンはもともと反転対称性の破れた結晶構造において電子の相対論的效果によって発現するジャロシンスキー・守谷相互作用がマイクロなメカニズムとして考えられてきた。しかし、近年磁氣的フラストレーションによってもスキルミオン格子形成が起きることがあることが理論的に提案され、実際の物質での実現の可能性が議論されている。上記 VOSe_2O_5 における新規スキルミオン物質開発に加え、スキルミオン物質開発の新たな展開として、スキルミオン相を有するフラストレーション磁性体の探索を行った。 Gd_2PdSi_3 は磁性を担う Gd の三角格子が積層した六方晶系の結晶構造をとる。20 K で反強磁性転移をすること、 c 軸に磁場をかけたときメタ磁性転移することなどが報告されている。チョクラルスキー法により単結晶を育成し、詳細な磁化特性を調べることにより基底状態およびメタ磁性相の磁気構造は単純な二副格子の反強磁性構造ではなく、フラストレーションによって誘起された非共面な磁気構造である可能性が高いことを明らかにした。メタ磁性相においてはトポロジカルホール効果の観測にも成功し、スキルミオン格子の形成を期待できる。今後ローレンツ電子顕微鏡や共鳴 X 線散乱などの手法を利用したさらに詳しい研究を行う予定。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kurumaji, T., Ishiwata, S., and Tokura, Y. : “Diagonal

magnetolectric susceptibility and effect of Fe doping in the polar ferrimagnetic $\text{Mn}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ ”, *Physical Review B*, 95, pp045142-1 - 9 (2017)*

Yu, X. Z., Morikawa, D., Tokunaga, Y., Kubota, M., Kurumaji, T., Oike, H., Nakamura, N., Kagawa, F., Taguchi, Y., Arima, T., Kawasaki, M., and Tokura, Y. : “Current-induced nucleation and annihilation of magnetic skyrmions at room temperature in a chiral magnet”, *Advanced Materials*, 29, 1606178-1 - 6 (2017)*

Ideue, T., Kurumaji, T., Ishiwata, S., and Tokura, Y. : “Giant thermal Hall effect in multiferroics”, *Nature Materials*, 16, 797-803 (2017)*

Nakamura, M., Horiuchi, S., Kagawa, F., Ogawa, N., Kurumaji, T., Ishibashi, S., Tokura, Y., and Kawasaki, M. : “Shift current photovoltaic effect in a ferroelectric charge-transfer complex”, *Nature Communications*, 8, 281-1-6 (2017)*

Kurumaji, T., Takahashi, Y., Fujioka, J., Masuda, R., Shishikura, H., Ishiwata, S., and Tokura, Y. : “Optical magnetolectric resonance in a polar magnet (Fe, Zn) $_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ with axion-type coupling”, *Physical Review Letters*, 119, 077206-1-5 (2017)*

Kurumaji, T., Nakajima, T., Ukleev, V., Feoktystov,

A., Arima, T., Kakurai, K., and Tokura, Y. : “Néel-type skyrmion lattice in the tetragonal polar magnet VOSe_2O_5 ”, *Physical Review Letters*, 119, 237201-1-5 (2017)*

Kurumaji, T., Nakajima, T., Hirschberger, M., Kikkawa, A., Yamasaki, Y., Sagayama, H., Nakao, H., Taguchi, Y., Arima, T. H., and Tokura, Y. : “Skyrmion lattice with a giant topological Hall effect in a frustrated triangular-lattice magnet” submitted

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kurumaji, T., Nakajima, T., Ukleev, V., Feoktystov, A., Arima, T. H., Kakurai, K., and Tokura, Y. : “Néel-type skyrmion lattice formation in a new class of polar magnet”, IV international workshop Dzyaloshinskii-Moriya interaction and exotic spin structures, ペテルホフ, ロシア連邦, 5月 (2017)

(国内学会等)

車地崇、中島多朗、Victor Ukleev, Artem Feoktystov, 有馬孝尚、加倉井和久、十倉好紀：「四方晶極性磁性体 VOSe_2O_5 におけるネール型スキルミオンの発現」、日本物理学会2017年秋季大会、岩手大学、岩手県、9月(2017)

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)

半導体量子ドットに閉じ込められた電子スピンは、高い集積性をもつ量子計算機の候補として、ガリウム砒素ドット系を中心に研究開発が進展してきた。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が比較的短いことが、量子計算実現に向けた大きな課題となってきた。本研究では、核スピンの少なく長い位相コヒーレンス時間が期待されるシリコン系量子ドットにおいて高速スピン操作を実現することで、量子誤り訂正符号を可能にする量子ビットの実現をめざしている。

量子誤り訂正符号に必要となる高い量子演算精度の実現に向けて、昨年度までに究極的な量子コヒーレンスが期待される同位体制御されたシリコン量子ドット構造において、高速な量子演算を可能とする微小磁石電子スピン操作法を確立した。これにより量子ドット量子ビット系としては最高となる99.93%の単一量子ビット操作忠実度を実現し、表面符号等における量子誤り訂正閾値を達成した。本年度はこのような電子スピン量子ビットのデコヒーレンス機構の詳細について、量子ビットの感じる雑音

のスペクトルを用いて調べた。キロヘルツ程度の周波数帯域において感度のある動的デカップリング法と、ヘルツ以下の帯域において感度のあるラムゼー振動周波数の時間変動測定から、それぞれの周波数帯域において $1/f$ 雑音が支配的であることを明らかとした。さらにこれらの大きさが一致していることから、我々の量子ビットのデコヒーレンスは少なくとも7桁の周波数にわたって電荷雑音が支配していることを突き止めた。観測された $1/f$ 雑音から計算される集団位相コヒーレンス時間は25マイクロ秒程度で、実験結果の20マイクロ秒と良く一致している。さらに電荷雑音を電極電圧雑音に換算したところ、90マイクロボルト（実効値）と典型的な値を得た。これまで量子ビット電子スピン量子ビットでは磁氣的雑音がもっとも重要と考えられていたが、これらの結果は、電荷雑音がその性能を決める新たな領域に入ったことを意味している。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yoneda J., Takeda K., Otsuka T., Nakajima T., Delbecq M. R., Allison G., Honda T., Kodera T., Oda S., Hoshi Y., Usami N., Itoh K. M. and Tarucha S.: “A quantum-dot spin qubit with coherence limited by charge noise and fidelity higher than 99.9%”, *Nature Nanotechnology*, in print*

●口頭発表 Oral Presentations

米田淳: “シリコン量子ドットにおける高忠実度スピン量子演算”, 量子情報関西学生チャプター, 京都, 6月 (2017)

Yoneda J., Takeda K., Otsuka T., Nakajima T., Delbecq M. R., Allison G., Honda T., Kodera T., Oda S., Hoshi Y., Usami N., Itoh K. M. and Tarucha S.: “Charge-noise-limited coherence and three-nines fidelity of an enriched Si/SiGe spin qubit”, 2017 Silicon Quantum Electronics Workshop, Orland, USA, Aug. (2017)

米田淳, 武田健太, 大塚朋廣, 中島峻, Matthieu R. Delbecq, Giles Allison, 本田拓夢, 小寺哲夫,

小田俊理, 星裕介, 宇佐美德隆, 伊藤公平, 樽茶清悟: “同位体制御 Si/SiGe 単一電子スピンの $1/f$ 電荷揺らぎによる位相雑音”, 日本物理学会・2017年秋季大会, 盛岡, 9月 (2017)

米田淳, 武田健太, 野入亮人, 中島峻, 大塚朋廣, Sen Li, 小寺哲夫, 樽茶清悟: “シリコン量子ドットにおける2スピン同時検出”, 日本物理学会・第73回年次大会, 千葉県野田市, 3月 (2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

Yoneda J., Takeda K., Otsuka T., Nakajima T., Delbecq M. R., Allison G., Honda T., Kodera T., Oda S., Hoshi Y., Usami N., Itoh K. M. and Tarucha S.: “An isotopically-enriched silicon spin qubit with >99.9% fidelity and charge-noise-limited coherence”, Spin Qubit 3 (3rd Conference and Workshop on Spin-Based Quantum Information Processing), Sydney, Australia, Nov. (2017)

米田淳, 武田健太, 大塚朋廣, 中島峻, Matthieu R. Delbecq, Giles Allison, 本田拓夢, 小寺哲夫, 小田俊理, 星裕介, 宇佐美德隆, 伊藤公平, 樽茶清悟: “An ultrahigh-fidelity spin qubit in an isotopically-purified silicon quantum-dot”, 第三回 理研-産総研 量子技術イノベーションコア Workshop, 秋葉原, 11月 (2017)

米田淳, 武田健太, 大塚朋廣, 中島峻, Matthieu R. Delbecq, Giles Allison, 本田拓夢, 小寺哲夫, 小田俊理, 星裕介, 宇佐美德隆, 伊藤公平, 樽茶清悟: “An ultrahigh-fidelity spin qubit in an isotopically-purified silicon quantum-dot”, CREST 「量子技術」領域会議第2回シンポジウム, 京都, 12月 (2017)

Yoneda J., Takeda K., Otsuka T., Nakajima T., Delbecq M. R., Allison G., Honda T., Kodera T., Oda S., Hoshi Y., Usami N., Itoh K. M. and Tarucha S.: “A 99.9%-fidelity spin qubit in isotopically purified silicon with charge-noise-limited coherence”, The 2nd CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS2018), Komaba, Tokyo, Jan. (2018)

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氣的に中性な粒子である。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、局所摂動に対して耐性が高いことから、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より大きな注目を集めている。この準粒子を実現する系として、 ^3He の超流動状態、 Sr_2RuO_4 や UPt_3 などのp波超伝導体、 $5/2$ 量子ホール状態などが提唱されているが、技術的応用という観点では現実にそぐわない理論モデルに限られていた。

一方、近年、s波超伝導体を接合した半導体自己形成量子細線においてこの準粒子が実現できることが提唱されて以降、この系においてマヨラナ粒子の生成・検出を目指した研究が海外の研究グループを中心に活発に行われている。現在、この系におけるマヨラナ粒子の存在は様々な実験によってほぼ確実なものとなっており、そのトポロジカルな性質を現実的な技術に実装し、量子情報処理技術に応用することを目標とした研究へ進展している。

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、半導体／超伝導体複合素子の特性評価から見直し、技術的応用を視野に入れて高品質な試料作製技術の確立を目指す。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量子細線ジョセフソン接合において、超伝導電流の観測および高周波測定による交流ジョセフソン効果の観測を試みた。この系において、マヨラナ粒子が実現するトポロジカル相では超伝導位相差が 4π になると予測されているが、技術的な難しさにより、マヨラナ粒子の確かな実証はまだなされていない。今回、超伝導体金属の蒸着条件を最適化することにより、明瞭な超伝導電流を観測し、ゲート電圧および磁場で変調することに成

功した。さらに、高周波測定によって、超伝導位相差 2π を示すシャピロステップおよびジョセフソン雑音の観測に成功した。この結果は、この試料における交流ジョセフソン効果が測定可能なことを示しており、今後、試料の構造を最適化することにより、マヨラナ粒子の生成・検出が期待される。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Kamata H., Deacon R., Matsuo S., Baba S., Li K., Xu H., Ishibashi K., Tarucha S.: “Josephson radiation of nanowire Josephson junctions”, 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会, 修善寺, 8月(2017)

鎌田大, Deacon R., 松尾貞茂, 馬場翔二, Li K., Xu H., 石橋幸治, 樽茶清悟: “量子細線ジョセフソン接合におけるジョセフソン雑音放射”, 日本物理学会2017年秋季大会, 岩手, 9月(2017)

鎌田大, Deacon R., 松尾貞茂, 上田健人, Li K., Xu H., 樽茶清悟: “InAs量子細線ジョセフソン接合における高周波輸送特性”, 日本物理学会 第73回年次大会, 千葉, 3月(2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Kamata H., Deacon R., Matsuo S., Baba S., Li K., Xu H., Ishibashi K. and Tarucha S.: “Josephson radiation of InAs nanowire Josephson junctions”, International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-22), Pennsylvania, USA, 8月(2017)

Kamata H., Deacon R., Matsuo S., Li K., Xu H., Ishibashi K. and Tarucha S.: “Josephson emission of InAs nanowire Josephson junctions”, The 2nd International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS2018), Tokyo, 1月(2018)

XXVII-017 Transformation of Dinitrogen to Ammonia and Organonitrogen Compounds by Using Multimetallic Transition Metal Hydride Complexes

Name: Shaowei HU

Host Laboratory: Advanced Catalysis Research Group,
Center for Sustainable Resource Science
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 reported a trinuclear titanium polyhydride complex that cleaved and hydrogenated N_2 under mild conditions. In this research we try to convert dinitrogen to ammonia and organonitrogen compounds by using multimetallic transition metal hydride complexes. In the first two years, I have synthesized and investigated the chemistry of a series of Ti hydride complexes with substituted cyclopentadienyl (Cp) ligands and complexes with constrained geometry. The modification of ligand resulted in the formation of complexes with varying structures (binuclear, trinuclear, tetranuclear or hexanuclear), which showed different reactivities toward N_2 . In the past one year, functionalization of the resulting nitrides or imides has been explored through reaction with CO, CO_2 and isocyanide, in which the formation of N-C bonds was observed. On the other hand, in order to liberate ammonia from the reaction system and thus achieve catalytic ammonia synthesis, a second metal hydride such as LiH or KH was added to the system of titanium nitrides or imides. However, the reac-

tion led to the dissociation of Cp ligands.

Besides, we have found that the nitrogen atom in a pyridine or quinoline ring was easily extruded at a trinuclear titanium hydride framework through cleavage of the two C-N bonds. Hydrolysis of the pyridine-derived hydrocarbon skeleton at the titanium framework with H_2O led to unprecedented cyclopentadiene and ammonia, while treatment with HCl gave the corresponding linear nitrogen-free hydrocarbon products and ammonium chloride (Nature Communications 2017, 8 (1), 1866.). In contrast, the reaction of the titanium hydride complex with tert-butyl or trimethylsilyl substituted pyridines resulted in the cleavage of C-N and C-C bonds. The hydrodesulfurization of thiophene and benzothiophene by the trinuclear titanium hydride complex has also been investigated. These results indicated that multimetallic transition metal hydrides provided a versatile platform for the activation and transformation of aromatic skeletons. Relevant manuscripts are in preparation.

● Publications

Hu, S., Luo, G., Shima, T., Luo, Y., Hou, Z.: Hydrodenitrogenation of Pyridines and Quinolines at a Multinuclear Titanium Hydride Framework. Nature Communications 2017, 8 (1), 1866.

● Oral Presentation

Conference

Hu, S., Luo, G., Shima, T., Luo, Y., Hou, Z.: "Hydrodenitrogenation of Pyridines and Quinolines at a Multinuclear Titanium Hydride Framework" The 67th Conference of Japan Society of Coordination Chemistry Symposium, Hokkaido Japan 2017, Sept.16-18.

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)

本年度は、生体膜を構成する代表的な脂質である両性イオン脂質/水界面に対して界面選択的な2次元ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法(2D HD-VSFG)を用いて超高速振動ダイナミクス測定を行い、界面水の水和構造と水素結合ダイナミクスを明らかにした。これまでに、我々のグループでは定常状態の測定から両性イオン脂質/水界面ではアニオン性のリン酸基とカチオン性のコリン基の近傍にそれぞれ上向きと下向きに配向した水分子が存在すると結論している。しかし、その後のMDシミュレーションは、このような異なる水分子の構造を支持する結果とそうでない結果があり、両性イオン脂質/水界面の水和構造に関して統一した理解が得られているわけではなかった。今回得られた2次元スペクトルは、両性イオン脂質/水界面に上向きと下向きに配向した水分子が存在することを示しており、ダイナミクスの観点から両性イオン脂質/水界面には異なる水和構造が共存することを強く支持する結果を得た。さらに、両性イオン脂質のヘッドグループを構成するリン酸基とコリン基が界面水の水素結合ダイナミクスに及ぼす寄与は、それぞれの官能基が単独で界面水に及ぼす寄与の単純な和ではないことが明らかとなった。すなわち、界面水の水素結合ダイナミクスには、2つの官能基が共存していることによる協奏的な効果が存在することを示している。

また、液体界面のダイナミクス研究において非常に有効な測定手法である2D HD-VSFGの測定性能の向上にも取り組んだ。これまでの研究では、狭帯域の励起光を用いて測定したスペクトルを補完することで2次元スペクトルを得る測定法が用いられてきたが、励起光として広帯域のパルス対を用いた干渉型2D HD-VSFGの開発を行った。この手法を用いることで高時間分解能と高波数分解能の同時実現などの測定性能を向上させることができる。世界で初めて液体界面における干渉型2D HD-VSFGを用いた測定に成功し、「第11回分子科学討論会2017」において成果を報告した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Inoue K., Singh P. C., Nihonyanagi S. and Tahara T.: “Cooperative Hydrogen-Bond Dynamics at a Zwitterionic Lipid/Water Interface Revealed by 2D HD-VSFG Spectroscopy”, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 8, 5160-5165 (2017)*

Devineau S., Inoue K., Kusaka R., Urashima S., Nihonyanagi S. and Tahara T.: “Change of hemoglobin isoelectric point at the air/water interfaces probed by the orientational flip-flop of water molecules”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19, 10292-10300 (2017)*

●口頭/ポスター発表 Oral/Poster Presentations

(国際会議)

Inoue K., Nihonyanagi S. and Tahara T.: “Restricted hydrogen-bond fluctuation of interfacial water revealed by 2D HD-VSFG spectroscopy”, *Time Resolved Vibrational Spectroscopy 2017*, Cambridge, UK, July (2017) (oral)

Inoue K., Nihonyanagi S. and Tahara T.: “Hydrogen-bond fluctuation dynamics of interfacial water revealed by 2D HD-VSFG spectroscopy”, *International Symposium on “Studying the Function of Soft Molecular Systems”*, Sapporo, Japan, June (2017) (poster)

(国内学会等)

井上賢一: “ヘテロダイン検出振動和周波発生分光法を用いた界面水の超高速ダイナミクス”, 分子研研究会「水の局所構造・物性解析の最先端」, 岡崎, 5月(2017)(口頭発表)

井上賢一、二本柳聡史、田原太平: “干渉型2次元ヘテロダイン検出振動和周波発生分光装置の開発”, 第11回分子科学討論会2017, 仙台, 9月(2017)(ポスター発表)

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、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) で取り組んでいる。DNP とは測定物に ESR アクティブな分子を測定試料に添加し、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。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が、6,13-ジフェニルペンタセンを新規偏極源として見出し、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 80 倍高めることに成功した。上記研究で化学修飾による溶解性の付加が有効であることが実証された。

昨年度より、トリプレット DNP を基盤技術にして、新領域開拓課題「Dynamic Structural Biology」のサブグループ 2 がスタートした。本課題の目的は、ペンタセン誘導体をタンパク質に付加しトリプレッ

ト DNP を行うことで、高感度にタンパク質の中間状態を検出することである。初めにテスト試料として、ペプチドとペンタセンをクリック反応を用いて連結し、三重項電子スピンの生成を時間分解 ESR 測定で確認した。また、トリプレット DNP と高分解能溶液 NMR を両立するために、新システムの開発を行った。トリプレット DNP は低磁場 (>1 T) で効率的に実行することができるが、溶液 NMR は高磁場 (>10 T) でなければ十分な分解能を得ることができない。そこで、両者の中間である 3.35 T で新たなトリプレット DNP システムを設計した。磁場は、バルク高温超電導体を用いたコンパクトな超電導磁石を使用した。電子・ ^1H の共鳴周波数はそれぞれ 94 GHz/140 MHz である。ソレノイドコイルをそれぞれの周波数で共振するよう設計した。

トリプレット DNP の新規応用を目指し、MOF (Metal Organic Framework) を高偏極化することを試みた。ZIF-8 にペンタセン誘導体をドープすることで、室温下で ^1H の偏極率を約 30 倍高めることに成功した。将来的には、ガスを吸着させ、MOF の高偏極状態を移行し、「偏極ガス」の生成を目指している。

また、本年度理研奨励課題「Transportable wide-energy-range polarized neutron beam with Triplet-DNP」へ採択された。これは、中性子ビーム技術開発チームとの共同研究で、RANS (RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Source) の (無偏極) 中性子ビームをトリプレット DNP を用いて偏極中性子ビームへと変換することを目的としている。大型試料の高偏極化など、上記の分光応用とは少し異なった要求があり、ペンタセンをドープした単結晶の作成や、9GHz マイクロ波共振器の設計を行った。将来的には、磁気イメージングなどの応用を目指している。

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

K. Tateishi, T. Tsukihana, S. Nishida, M. Negoro, A. Kagawa, Y. Morita, M. Kitagawa, S. Wada, and T. Uesaka: “Realization of 1H spin polarization of 40%

at room temperature with dynamic nuclear polarization using photoexcited triplet electron”, International Conference on Neutron Optics (NOP2017), Nara, July 2017.

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。

本年度は、睡眠・覚醒に関わる細胞群同定のため、イメージングや睡眠のデータの解析で明らかになってきた脳内部位の実験的検討を主に行っていました。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、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群に分け、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、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。その結

果、睡眠または覚醒に関与する脳の部位の候補がいくつか得られました。その結果を実験的に確かめるため、再度、複数の条件でサンプリングを行い、in situハイブリダイゼーション法等を用いて候補部位の責任細胞の同定を試みました。また、CNO依存的に神経を活性化させることのできるDREADDを用いて責任候補細胞に摂動をかけ、睡眠量の変化を検討しました。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Yukinaga H., Perrin D., Qianhui Z., Sunagawa AG., Tainaka K. and Ueda HR.: “CUBIC-Map Analyses for Whole-organ Cellular Activity Profiling”, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Makuhari, July 2017

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Yukinaga H.: “Whole-brain Cellular Activity Profiling during Sleep and Wake”, The 9th Basic Biology Forum of Young Scientists, Osaka Univ., Osaka, September 2017

Spatial Representations of Self and Other in the Hippocampus

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)

本研究の目的は、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である。そのために、他者観察を必要とする行動課題を開発し、これを行っているラットの海馬から神経活動を記録し、他者の位置情報がどのように表象されているか解析した。他者観察を必要とする行動課題はT字迷路を用いて、2匹のラット（自己と他者）で行う。課題は、1匹目（他者）が先にスタートし、2匹目（自己）が追いかける形で開始する。行動課題には2種類あり、「反対方向課題」では追いかける自己が、他者と反対方向を選択すると報酬の水がもらえ、「同一方向課題」では、自己が他者と同じ方向を選択すると報酬が獲得できるようになっている。

行動課題中の自己ラットの海馬からシリコンプローブを用いて大規模に神経活動を記録した。記録データ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（自己と他者の位置情報）をつきあわせて解析を行い、下記の結果を得た。

- (1) 自己ラットの海馬の錐体細胞の多くは、自己の位置情報に依存した従来の場所細胞の特徴を持つが、これらの細胞のうち、80%以上は、シャッフルによって得られたコントロール群と比較して有意に、他者の位置情報に特異的な発火活動を示す。これらのうち有意な割合の細胞が、自己の将来の目的地ではなく、他者が存在する場所依存的な発火活動を示す。
- (2) 5%程度の単一ユニットは、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。この種のユニットの場所受容野は、T字迷路上に普遍的に存在する。

- (3) これまで場所細胞の発火パターンから、自己の場所を高い信頼性を持って再構築（デコーディング）することが可能であることが示されてきたが、今回、同一セッションで記録した単一ユニット群（場所細胞アSEMBリ）の発火パターンから、自己の場所のみならず、他者の場所をもデコーディング可能であることが確認された。

●誌上発表 Publications

Danjo, T., Toyozumi, T. and Fujisawa, S.: "Spatial representations of self and other in the hippocampus", *Science*, 359 213-218(2018)*

●口頭発表 Oral Presentation

(国際学会)

Danjo T.: "Neuronal representations of other's place in the hippocampus", 2nd Annual Conference of Neuroscience Society of Nepal, National Academy of Science and Technology, Nepal. May.(2017)

Danjo T.: "Spatial representations of self and other in the hippocampus", BSI retreat, Omiya, Japan, Nov. (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際学会)

Danjo T., Fujisawa S.: "Spatial representations of self and other in the hippocampus", Annual Meeting, Soc. Neurosci., Washington D.C., USA, Nov.(2017)

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。本年度は具体的な応用例として睡眠覚醒機構に着目した。睡眠覚醒は体内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、その機構は明らかになっていない点が多く、特に1日の総眠量の制御(ホメオスタシス)やREM・NREM睡眠を司る遺伝子の同定はあまり進んでいなかった。

本年度は、前年度までに本研究に導入された

CRISPR/Casによるノックアウトマウス的高速作製と非侵襲新規睡眠測定法により、睡眠覚醒機構における制御因子候補が同定されたため、その機序の解明を目指した。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、いくつかの遺伝子で有意な睡眠時間の減少が認められた。次に、一定以上の睡眠量の変化(有意かつ1 S.D.以上)が観察された遺伝子についてそのノックアウトマウスのEEG/EMGによる睡眠測定を行ったところ、遺伝子AのノックアウトマウスではNREM睡眠量のみが有意に減少し、遺伝子BのノックアウトマウスではNREMおよびREM睡眠量が有意に減少した。これら知見に加えて、断眠実験、ケージ交換実験、薬理学実験、全脳レベルでの蛍光in situ hybridization (FISH)、ビデオ撮影による行動観察実験、脳波の詳細な解析、などを実施し、これらのノックアウトマウスに対するより深い表現系を観察した。

また、本課題外の論文を出版した(Yachie et al. Nat Biotechnol, 2016)。

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)

マイクロRNAは、タンパク質へ翻訳されない20から25塩基長の1本鎖RNAであり、ヒトではゲノム上に1000以上のマイクロRNAがコードされている。これまでに免疫システムにおいても様々な役割が明らかとなってきている。

グループ2自然リンパ球(ILC2)は、当研究室で見出した新規のリンパ球であり、2型サイトカイン

Interleukin (IL) -4、5、IL-13を迅速に産生することにより、初期の寄生虫感染防御などの2型自然免疫応答を制御している。ILC2におけるサイトカイン産生能は、これまでに知られている2型サイトカイン産生細胞の中でも、迅速性があり、また非常に産生量が高い。そのため、寄生虫感染初期における防御反応に重要な役割をもつことが明らかとなって

いるが、なぜILC2が迅速かつ多量に2型サイトカインを産生できるのかという疑問に対しては答えが出ておらず、未だ2型自然免疫応答の制御機構が明らかとなっていない。

本年度は、マイクロRNAの合成酵素Dicerを欠失したマウスを用いてILC2の機能、特にサイトカイン産生に与える影響を解析することで、ILC2の機能におけるマイクロRNAの役割の解明を試みた。また、ILC2に強く発現するマイクロRNAクラスターに着目し、マイクロRNAクラスター欠損マウスを用いて同様にILC2の機能解析を行い、ILC2の機能を制御するか検証を行った。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会等)

Yasutaka Motomura: Regulation of lipid metabolite-

mediated IL-4 production in group 2 innate lymphoid cells, The 5th Annual Meeting of the International Cytokine and Interferon Society, Kanazawa, November (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際学会等)

Yasutaka Motomura: Role of ILC2-derived interleukin-4 in immune responses, 18th International Congress of Mucosal Immunology, Washington D.C., July (2017)

(国内学会等)

本村泰隆: Regulation of ILC2-mediated antigen non-specific immune responses by cysteinyl leukotriene, 第46回日本免疫学会学術集会, 仙台, 12月(2017)

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 Disorder

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關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) 昨年度に確立した確率的逆転学習課題を遂行中の頭部固定マウスにおいて前帯状皮質 (ACC) より多細胞同時電気生理記録を実施し、一部の興奮性細胞およびパルブアルブミン (PV) 陽性抑制性細胞が試行間の待機中に負のフィードバックの蓄積量を線形的に表現していることを発見した。
- (2) PV陽性抑制性細胞を光遺伝学的に活性化させることで試行間の待機中にACCの神経活動を抑制したところ、負のフィードバックにより選択肢を変化させる適応的意思決定が阻害されることを発見した。

現在、薬理学的に作出した自閉症スペクトラムモデルマウスをもちいて同様の行動試験を遂行中であ

り、上記の適応的意思決定が障害されている可能性を検証している。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

Agetsuma M., Hamm JP., Tao K., Fujisawa S., Yuste R.: “Parvalbumin-positive interneurons regulate neuronal ensembles in visual cortex”, Cerebral Cortex, in print*

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)

顆粒球の一種である好酸球は、細胞内に細胞障害性の顆粒を有し、主に寄生虫感染やアレルギーにおいて機能するエフェクター細胞であると考えられてきた。一方で近年、腸管のIgA産生や、糖代謝能の改善における好酸球の関与が報告され、組織恒常性の維持に関わる好酸球の新規機能が注目されている。これまでに我々は、急性炎症の収束期に好酸球が炎症部位に集積し、炎症の収束を促進すること、および好酸球に発現する脂肪酸代謝酵素12/15-リポキシゲナーゼ(12/15-LOX)がその機能の発揮に重要であることを見出している。本研究ではその作用機序の解明のため、これまでに炎症収束期を含む様々な組織における好酸球のトランスクリプトーム情報を得た。また、炎症収束期の好酸球に特徴的な分子を中心に、好酸球特異的ノックアウトマウスの作製を行ってきた。さらに、12/15-LOXにより代謝され生成する脂質メディエーターの、標的タンパク質を同定するための新規技術開発に取り組み、候補分子を複数見出した。

本年度においては以上の研究を継続し、好酸球、

および12/15-LOX由来脂質メディエーターの作用機構に迫った。

- (1) 好酸球特異的な12/15-LOXノックアウトマウスをいくつかの組織炎症・傷害モデルに適用し、組織恒常性の維持における好酸球の12/15-LOXの重要性について検討を行った。
- (2) 炎症収束期の好酸球に特徴的に発現する転写因子の好酸球特異的ノックアウトマウスの解析を行い、好酸球の遺伝子発現に対する当該分子の寄与について解析を行なった。
- (3) 脂質メディエーターの標的分子の候補のいくつかについて、実際に代謝物の結合を示唆するエビデンスを得た。

●口頭発表 Oral Presentations
(国内学会等)

磯部洋輔：“ ω 3脂肪酸の機能性の発揮に重要な代謝経路の包括的解析”，新学術領域研究「リポクオリティ」若手研究発表会，横浜，5月（2017）

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。分布操作回路の方については、分散の最大値を大きくする方法を模索した。上記のパターン形成システムで使っている特別なプロモーター (Nodal プロモーター) は、Tet プロモーターやGal プロモーターに比べて分散が多いことが最近分かったので、Nodal プロモーターを元に分布操作回路を作るつもりである。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

- Ryoji Sekine, and Miki Ebisuya: “Synthetic Turing pattern formation using the Nodal-Lefty signaling in cultured cells,” 第41回分子生物学会年会, 神戸, 2017.

●ポスター発表 Poster Presentations

- Ryoji Sekine, and Miki Ebisuya: “Synthetic Turing pattern formation using the Nodal-Lefty signaling in cultured cells,” 細胞を創る研究会10.0, 京都, 2017.

●誌上发表 Publications

- Akifumi Nishida, Ryoji Sekine, Daisuke Kiga, and Masayuki Yamamura: “High-frequency Noise Attenuation of a Two-component System Responding to Short-pulse Input,” Proceedings of the 2016 7th International Conference on Computational Systems Biology and Bioinformatics, 2016

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)

地球温暖化の解決のためCO₂排出量削減が急務となっている。その解決策のひとつとして、CO₂から再生可能なバイオマスからのモノづくりが注目を集めている。グルコースなどの糖質バイオマスの変

換において、大腸菌などの微生物を触媒として用いるバイオ生産技術が、最も効率的な方法のひとつである。近年では、遺伝子組換えによって、微生物の代謝経路を人為的に改変し、目的化合物の生産性や

収量を向上させることが盛んに行われている。代謝経路をデザインする上で、アシルCoAなどの補酵素は様々な代謝物のビルディングブロックであり、その濃度や量比バランスを制御することは極めて重要である。本研究は、細胞内における補酵素のバランスを人為的に改変し、バイオ生産へ応用を目指すものであった。

当該研究員は、昨年度からアシルCoAだけでなく葉酸も研究対象として加え、その代謝工学を行ってきた。細胞内において、葉酸派生物は核酸やアミノ酸のビルディングブロックとなっている。葉酸はホルミル基やメチル基など1つの炭素原子を含む断片のドナーの役割を果たすことから、その代謝系はC1代謝系とも呼ばれている。大腸菌において、C1代謝系の炭素は、セリン及びグリシンに由来し、余った分はギ酸やCO₂として捨てられている。C1代謝系は可逆的な反応で構成されており、理論上、C1代謝系を逆流させて、ギ酸やCO₂をバイオマスへ変換可能である。このC1代謝の逆流経路は、還元的グリシン合成経路 (Reductive Glycine Pathway: RGP) と呼ばれている。還元的グリシン合成経路は、細胞の生理現象として知られているものの、それを応用利用する研究は知られていない。

CO₂固定で最もポピュラーなのはカルビン回路であるが、RGPでは、カルビン回路よりも5分子少ないATP量で、3分子のCO₂から1分子のピルビン酸が合成される。当該研究員は、RGPの応用利用を目指し、まずRGPを大腸菌へ導入することに取り組んだ。大腸菌はモデル微生物のひとつとして知られ、バイオ生産においても汎用されている。もしRGPを介して炭素固定する大腸菌が作製できれば、その菌株はそのまま産業へ応用できる。当該研究員は、遺伝子破壊によって、グリシンやセリン要求性大腸菌を作製し、それをRGPのアミノ酸合成能のスクリーニングに利用した。この手法では、スクリーニング株の生育によって、RGPの機能を簡単に評価できる。これらの実験の末、大腸菌において、効率的にセリンを合成可能なRGPの構築に成功した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tashiro Y., Hirano S., Matson M. M., Atsumi S., Kondo A.: “Electrical-biological hybrid system for CO₂ reduction” *Metab Eng*, 47: 211-218 (2018)

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、従来農業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、共生系分子機構の解明を行うと共に、それを標的とする新たな病虫害防除技術への応用を目指す (1-2は富山大学 土田 努准教授との共同研究)。

(1) 菌細胞複合共生系についての解析:

前年度は農業被害の甚大なタバコナジラミ侵入系統に着目し、2種の共生細菌が宿主小胞体 (ER)

を介して同一菌細胞内で棲み分ける独特の機構が存在することを3D imaging解析等により示したが、本年度はさらに、雌雄・成長時期別の棲み分け状況の変化、及び同科異属のオンシツコナジラミにおける棲み分け状況について詳細に調査を行った。その結果、菌細胞内の棲み分けは、老化に伴うER構造の消失と同時に崩壊し、この崩壊はオスにおいてより早期に生じること、オンシツコナジラミとタバココナジラミ侵入系統では、菌細胞の形態や内部に保有する共生細菌が大きく異なっているが、棲み分け機構自体は両者に存在していることなど、菌細胞内棲み分けの進化生物学的な意義を明らかにする上で重要な知見が得られた(現在論文作成中)。

(2) 共生系を標的とした植物ウイルス媒介阻害剤のスクリーニング:

タバココナジラミが媒介する植物病原ウイルスTYLCVの外皮タンパク質と共生細菌*Hamiltonella*が作るGroELタンパク質の結合がウイルス媒介効率を上昇させるという現象に着目し、ウイルス媒介のみを特異的に阻害する新規薬剤の開発を目指して、これら2つのタンパク質間相互作用の阻害剤スクリーニングに取り組んだ。アルファシステムによるハイスループットスクリーニング系を構築し、特異的な阻害剤候補として最終的に9化合物を得ることができた。現在、人工飼料を用いての成虫への候補剤投与実験が終了し、生存そのものには影響を与えないことが確認できたので、化合物処理後にウイ

ルスを吸汁させた場合のウイルス媒介効率への影響の検証に着手している。[協力: タンパク質機能・構造研究チーム 白水 美香子チームリーダー及び村山 美幸技師、創薬シード化合物探索基盤ユニット 園田 健テクニカルスタッフ及び葉原 いくテクニカルスタッフ]

(3) タバココナジラミ菌細胞由来の培養細胞の作出:

タバココナジラミ培養細胞や菌細胞培養細胞の樹立は、各種共生遺伝子の機能解析や阻害剤スクリーニングを行うにあたって非常に有用である。本年度はまず宿主細胞からの培養細胞株樹立に取り組むことで、本種における細胞培養の最適条件の検討を行った。成虫、幼虫、胚子等部位・成長ステージ別に分けて半翅目用初代培地で無菌的に培養を行ったところ、胚子(約4,000個/well)条件で2ヶ月間生存している細胞が存在していることが確認できた。現在培養を継続中である。[協力: 農研機構 渡邊 和代 契約研究員及び秋月 岳主任研究員]

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fujiwara A.: "The study of multiple endosymbiotic systems in the agricultural insect pests" JAPAN-CHINA YOUNG WOMEN SCIENTISTS SYMPOSIUM, Beijing, China, Nov. (2017)

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)

本研究課題では、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、in vivo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、またそのmRNAの細胞内局在などの動態が制御されている。しかしながら、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。そこで本研究課題ではPPRPを任意のRNA配列に対して結合するよう改良・応用し、内在性mRNAを実時間で定量・可視化することで、

生きた細胞におけるシグナル制御機構の解析に取り組んだ。これまでにRNAイメージング法として、MS2などのRNA結合タンパク質を用いた方法が報告されているが、標的とするRNAにMS2ステムループなどのRNAタグを導入する必要がある、RNAタグを導入することによる目的RNAの機能・動態への影響が懸念されていた。本研究ではこれまでに、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、RNAタグを導入することなく非改変の内在性RNAを実時間でイメージングするシステムを開発した。さらにこの方法を用いることで、非改変の内在性 β アクチンmRNA、及び非コードRNAであるNeat1を可視化することに成功した。この実時間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、モデル生物に限らず多くの生物種の遺伝子・シグナル解析研究に応用可能である。今後のmRNA・非コードRNAを含む全てのRNA研究分野への応用・貢献が大きく期待される。

本年度は、これまでに開発した簡便・迅速なカス

タム化PPRP遺伝子構築法をさらに発展させるとともに、カスタム化PPRPを用いた以下の研究に取り組んだ。

- (1) カスタム化PPRPを用いたin vivo内在性RNAイメージング
- (2) カスタム化PPRPのin vivo RNA結合特性解析
- (3) カスタム化PPRPを応用した内在性RNA制御法の開発

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

高井啓, 岡田康志: “高輝度マルチカラー発光タンパク質Nano-lanternの開発と迅速・高感度な遺伝子転写活性・分子間相互作用の定量計測への応用”, 第69回日本細胞生物学会大会, 仙台国際センター (宮城県仙台市), 6月 (2017)

Takai A. and Okada Y.: “Development and application of designable RNA-binding protein for live-cell imaging and manipulation of authentic RNAs”, 2017 ASCB | EMBO Meeting, Philadelphia (Pennsylvania, USA), Dec.(2017)

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、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・削減されつつある。しかしながら、生命機能の解明に重要な膜タンパク質等の解析難度は高く、現状簡便に解析が可能な20-30 μm 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なマイクロビームX線を用いることで、10 μm 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照射で試料が破壊

されてしまう。活性部位の詳細な構造を観察するためには高分解能な回折像が必須であり、これを達成するためには可能な限り高強度のX線を使用する必要があるためである。また、X線自由電子レーザー(XFEL)施設SACLAで利用できる超高輝度X線は、その短パルス性から、1回限りで試料は破壊される。本研究は、1回の測定あたりわずかししか得られない逆空間情報から、可能な限り少数の結晶を用いて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した。

本年度は、水銀結合ルシフェリン再生酵素およびセレノメチオニン化Stemの微小結晶を用いて、

SACLAを利用したシリアルフェムト秒結晶学によって得られる異常分散シグナルの評価およびSAD法による位相決定の可能性について検討を行い、論文を出版した。高分解能の反射を与える結晶ならば、1万から数万枚程度の回折写真から位相決定が可能であることが示されたが、シリアル結晶学では低分解能領域におけるデータ精度が低下しやすいという知見を得た。くわえて、昨年度に続き、SPring-8のマイクロフォーカスビームラインBL32XUにて1結晶あたり数度程度のみ収集する手法を高度化・利用推進を行った。高難度試料においても、放射光ビームラインではXFELと異なり1結晶からより多くのデータを得ることが可能で、これにより数十から数百程度の結晶を用いて高分解能構造解析が可能であることを示した。本手法によるデータの解析プログラムをさらに高度化し、ユーザの実際のサンプルに対して適用し、膜タンパク質など微小結晶しか得られなかった様々な高難度試料を構造解析成功へ導いた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Abe S., Tabe H., Ijiri H., Yamashita K., Hirata K., Atsumi K., Shimoi T., Akai M., Mori H., Kitagawa S. and Ueno T.: “Crystal Engineering of Self-Assembled Porous Protein Materials in Living Cells”, *ACS Nano*, 11, 2410-2419 (2017)*
- Suga M., Akita F., Sugahara M., Kubo M., Nakajima Y., Nakane T., Yamashita K., Umena Y., Nakabayashi M., Yamane T., Nakano T., Suzuki M., Masuda T., Inoue S., Kimura T., Nomura T., Yonekura S., Yu L., Sakamoto T., Motomura T., Chen J., Kato Y., Noguchi T., Tono K., Joti Y., Kameshima T., Hatsui T., Nango E., Tanaka R., Naitow H., Matsuura Y., Yamashita A., Yamamoto M., Nureki O., Yabashi M., Ishikawa T., Iwata S. and Shen J.: “Light-induced structural changes and the site of O=O bond formation in PSII caught by XFEL”, *Nature*, 543, 131-135 (2017)*
- Hirai H., Yasui N., Yamashita K., Tabata S., Yamamoto M., Takagi J. and Nogi T.: “Structural basis for ligand capture and release by an endocytic receptor ApoER2”, *EMBO reports*, 18, 982-999 (2017)*
- Shimada A., Kubo M., Baba S., Yamashita K., Hirata K., Ueno G., Nomura T., Kimura T., Shinzawa-Itoh K., Baba J., Hatano K., Eto Y., Miyamoto A., Murakami H., Kumasaka T., Owada S., Tono K., Yabashi M., Yamaguchi Y., Yanagisawa S., Sakaguchi M., Ogura T., Komiyama R., Yan J., Yamashita E., Yamamoto M., Ago H., Yoshikawa S. and Tsukihara T.: “A nanosecond time-resolved XFEL analysis of structural changes associated with CO release from cytochrome c oxidase”, *Science Advances*, 3, e1603042 (2017)*
- Taniguchi R., Inoue A., Sayama M., Uwamizu A., Yamashita K., Hirata K., Yoshida M., Tanaka Y., Kato H.E., Nakada-Nakura Y., Otani Y., Nishizawa T., Doi T., Ohwada T., Ishitani R., Aoki J. and Nureki O.: “Structural insights into ligand recognition by the lysophosphatidic acid receptor LPA₆”, *Nature*, 548, 356-360 (2017)*
- Yamashita K., Kuwabara N., Nakane T., Murai T., Mizohata E., Sugahara M., Pan D., Masuda T., Suzuki M., Sato T., Kodan A., Yamaguchi T., Nango E., Tanaka T., Tono K., Joti Y., Kameshima T., Hatsui T., Yabashi M., Many H., Endo T., Kato R., Senda T., Kato H., Iwata S., Ago H., Yamamoto M., Yumoto F. and Nakatsu T.: “Experimental phase determination with selenomethionine or mercury-derivatization in serial femtosecond crystallography”, *IUCrJ*, 4, 639-647 (2017)*
- Shihoya W., Nishizawa T., Yamashita K., Inoue A., Hirata K., Kadji F.M.N., Okuta A., Tani K., Aoki J., Fujiiyoshi Y., Doi T. and Nureki O.: “X-ray structures of endothelin ET_B receptor bound to the clinical antagonist bosentan and its analogue”, *Nature Structural & Molecular Biology*, 24, 758-764 (2017)*
- Lee Y., Nishizawa T., Takemoto M., Kumazaki K., Yamashita K., Hirata K., Minoda A., Nagatoishi S., Tsumoto K., Ishitani R. and Nureki O.: “Structure of the triose-phosphate/phosphate translocator reveals the basis of substrate specificity”, *Nature Plants*, 3, 825-832 (2017)*
- Abe S., Atsumi K., Yamashita K., Hirata K., Mori H. and Ueno T.: “Structure of in cell protein crystals containing organometallic complexes”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, in press (2017)*

Tosha T., Nomura T., Nishida T., Saeki N., Okubayashi K., Yamagiwa R., Sugahara M., Nakane T., Yamashita K., Hirata K., Ueno G., Kimura T., Hisano T., Muramoto K., Sawai H., Takeda H., Mizohata E., Yamashita A., Kanematsu Y., Takano Y., Nango E., Tanaka R., Nureki O., Shoji O., Ikemoto Y., Murakami H., Owada S., Tono K., Yabashi M., Yamamoto M., Ago H., Iwata S., Sugimoto H., Shiro Y. and Kubo M.: “Capturing an initial intermediate during the P450_{nor} enzymatic reaction using time-resolved XFEL crystallography and caged-substrate”, *Nature Communications*, 8, 1585 (2017)*

Halsted T.P., Yamashita K., Hirata K., Ago H., Ueno G., Tosha T., Eady R.R., Antonyuk S.V., Yamamoto M. and Hasnain S.S.: “An unprecedented dioxygen species revealed by serial femtosecond rotation crystallography in copper nitrite reductase”, *IUCrJ*, 5, 22-31 (2018)*

Miyauchi H., Moriyama S., Kusakizako T., Kumazaki K., Nakane T., Yamashita K., Hirata K., Dohmae N., Nishizawa T., Ito K., Miyaji T., Moriyama Y., Ishitani R. and Nureki O.: “Structural basis for xenobiotic extrusion by eukaryotic MATE transporter”, *Nature Communications*, 8, 1633 (2017)*

Suno R., Kimura K.T., Nakane T., Yamashita K., Wang J., Fujiwara T., Yamanaka Y., Im D., Horita S., Tsujimoto H., Tawaramoto M.S., Hirokawa T., Nango E., Tono K., Kameshima T., Hatsui T., Joti Y., Yabashi M., Shimamoto K., Yamamoto M., Rosenbaum D.M., Iwata S., Shimamura T. and Kobayashi T.: “Crystal Structures of Human Orexin 2 Receptor

Bound to the Subtype-Selective Antagonist EMPA”, *Structure*, 26, 7-19 (2018)*

Hori T., Okuno T., Hirata K., Yamashita K., Kawano Y., Yamamoto M., Hato M., Nakamura M., Shimizu T., Yokomizo T., Miyano M., Yokoyama S.: “Na⁺-mimicking ligands stabilize the inactive state of leukotriene B₄ receptor BLT1”, *Nature Chemical Biology* (2018)*

(総説)

Yamamoto M., Hirata K., Yamashita K., Hasegawa K., Ueno G., Ago H. and Kumasaka T.: “Protein micro-crystallography using synchrotron radiation”, *IUCrJ*, 4, 529-539 (2017)*

山下恵太郎: “微小結晶のための自動データ処理システム KAMO”, *日本結晶学会誌*, 59, 207-208 (2017) *

●口頭発表 Oral presentations

(学会)

山下恵太郎: “微小結晶を用いたタンパク質X線結晶構造解析におけるデータ処理方法の開発”, *日本結晶学会2017年度年会*, 広島, 11月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Yamashita K., Hirata K., Kawano Y., Ueno G., Hasegawa K., Kumasaka T. and Yamamoto M. “Automated data processing system for multiple small-wedge data”, 2017 Annual Meeting of the American Crystallographic Association, New Orleans, USA, 5月 (2017)

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)

in vivo 生物発光イメージング (Bioluminescence imaging: BLI) は動物個体で起こる生命現象を非侵襲に可視化する技術である。 *in vivo* BLIで最も汎用

されるのはホタル生物発光反応 ($\lambda_{\max} = 565 \text{ nm}$) である。遺伝子にコードされた発光酵素ホタルルシフェラーゼ (Fluc) が発光基質ホタルルシフェリン

(D-luciferin) を酸素化し、生じる発光シグナルを利用するものであり、がん研究を初め広く生命科学分野で応用がなされている。

我々は Fluc によって酸素化され、生体透過性の高い近赤外発光を発する基質『AkaLumine (-HCl)』($\lambda_{\max} = 675 \text{ nm}$) を開発し、マウスの *in vivo* 深部組織イメージングにおいて、Fluc/AkaLumine-HCl が Fluc/D-luciferin に比べ感度良くシグナル検出できることを報告した。この改善は主に AkaLumine-HCl の良好な生体内分布と近赤外発光に起因するものであり、一方 AkaLumine の Fluc との反応性は D-luciferin に比べ明らかに低いことが明らかとなった。そのため AkaLumine の性能を最大限引き出すため酵素ルシフェラーゼの最適化が不可欠と考えていた。

本研究では、AkaLumine に最適な高輝度変異ルシフェラーゼの創出、次いで超高感度 *in vivo* 深部組織イメージングへの応用を行った。

Fluc を鋳型とし、ランダム変異導入とスクリーニングを執拗に繰り返すことで、AkaLumine と反応し極めて明るく光る変異ルシフェラーゼ『Akaluc』の創出に成功した。この Akaluc/AkaLumine (以下 AkaBLI) の組合せは肺組織イメージングにおいて、従来の Fluc/D-luciferin の約 50 倍、脳深部においては、約 1,400 倍もの検出感度を示した。この AkaBLI は Akaluc で標識した細胞 1 個がマウス肺の毛細血管にトラップされる様子の可視化に加え、マ

ウス及びマーマセットの脳深部の少数の標識神経細胞からの発光を、非侵襲的かつ自由行動下での高速ビデオ撮影で可視化することに成功した。また、神経活動依存的プロモーター *c-fos* と AkaBLI を組み合わせ、環境変化に応じてマウス海馬のわずか数十個の神経細胞が活性化する様子を同一個体で追跡することに成功した。

以上のように、今回開発した AkaBLI は動物個体での極少数の細胞の動態を経時的、定量的、高感度に可視化することや、特定の少数の細胞の遺伝子発現を非侵襲的にモニタできる事を示している。生命科学分野で進展しつつある様々な生物工学技術と AkaBLI を組み合わせることで、これまで見ることが叶わなかった生命現象を可視化出来ると期待している。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Iwano S., Sugiyama M., Hama H., Watakabe A., Hasegawa N., Kuchimaru T., Tanaka Z. T., Takahashi M., Ishida Y., Hata J., Shimozono S., Namiki K., Fukano T., Kiyama M., Okano H., K.-Kondoh S., McHugh J. T., Yamamori T., Hioki H., Maki S. and Miyawaki A.: "Single cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals", *Science*, 359, 935-939 (2018)*

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

Innovative Shotgun Proteomics by Highly Integrated CE-MS Device

研究者氏名: 川井 隆之 Takayuki Kawai
受入研究室: 生命システム研究センター
一細胞質量分析研究チーム
(所属長 柳田 敏雄)

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) を利用した高感度・高速分析法を着想した。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一細胞プロテオーム解析やリアルタイム計測などを実現し、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を推進している。

1つ目の要素技術、超高感度CE-MSシステムの開発においては、溶融石英キャピラリーを用いた高効率イオン化エミッターの加工法の確立、およびそれを用いたCE-MS分析システムの構築を行った。内径・壁厚・先端径がそれぞれ50・10・5 μm 程度のエミッターを用いたところ、従来のシースレス型エミッターより最大で5倍程度高いS/Nシグナルを得ることに成功した。加工したエミッターは連続200回以上の測定にも耐え、再現性も時間相対標準偏差(RSD)1.3%、面積RSD 8.9% (n = 50) と従来法と比較して遜色ない性能であった。

続いて2つ目の要素技術、メタボローム・プロテオーム用の濃縮基盤技術として、汎用的オンライン試料濃縮法 large-volume dual preconcentration by isotachopheresis and stacking (LDIS) 法を開発した。LDISでは最大10 mM食塩相当の塩を含む試料であっても、分離性能を損なうことなく最大で2000倍程度の濃縮が可能であり、前処理で取り除くことのできない数mM程度の塩が残っていてもそのまま濃縮が可能であった。本手法を用いることで、150程度のHeLa細胞からタンパク質糖鎖を遊離させ、蛍光誘導体化した後、CEで濃縮・サイズ分離して定量的にプロファイルすることに成功した。

最終的に上記の2技術を統合したLDIS-nanoCESI-MS分析システムを開発した。LDISとの結合のためには濃縮中にアウトレット側のキャピラリー末端から泳動液を引き込む必要があったが、インレット側からの吸引圧力補助システムなどを実装してこれを実現した。HepG2細胞をマイクロマニピュレーターでガラスニードル内部に吸引し、これをマイクロチューブ内で超音波破碎し、トリプシン消化し、その後キャピラリー内部に大量導入してLDIS-nanoCESI-MS分析したところ、一細胞由来

のタンパク質消化物が多数検出された。また同様にアセトニトリルを用いた代謝物抽出を行って分析したところ、全20種類のアミノ酸を含む多数の代謝物の検出にも成功した。以上のように、本手法によって1細胞プロテオーム・メタボローム解析のポテンシャルを実証することに成功した。研究期間終了後も、検出できる試料範囲の拡大・定量性の向上・スループット向上・チップへの集積化などを行い、本手法の生命科学分野への応用を推進していく予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. A.V. Patel, T. Kawai, L. Wang, S. S. Rubakhin, J. V. Sweedler, “Chiral Measurement of Aspartate and Glutamate in Single Neurons by Large-Volume Sample Stacking Capillary Electrophoresis”, *Analytical Chemistry*, 2017, 89, 12375-12382.
2. F. Kitagawa, T. Ishiguro, M. Tateyama, I. Nukatsuka, K. Sueyoshi, T. Kawai, K. Otsuka “Combination of large-volume sample stacking with an electroosmotic flow pump with field-amplified sample injection on cross-channel chips”, *Electrophoresis*, 2017, 38, 2075-2080.

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kawai T., Tanaka Y.: “Highly Quantitative Single-Cell Metabolomics by Capillary Electrophoresis Coupled with Mass Spectrometry”, *Single Cell Science Symposium*, Yokohama, Japan, July (2017)

(国内学会等)

川井 隆之*, 太田 亘俊, 田中 陽 “感度・分離能を両立する新規オンライン試料濃縮法の開発” 第77回分析化学討論会(京都, 2017年5月)

川井 隆之*, 太田 亘俊, 田中 陽 “感度・分離能を両立する新規オンライン試料濃縮法の開発.2” 第24回クロマトグラフィーシンポジウム(京都, 2017年6月)

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ン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、バイオリファイン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、バイオリファイン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ホ

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., Yutaro Mori., Sachiko Oyama., Tomokazu Shirai., and Kondo A. : “Engineering a synthetic pathway for maleate in *Escherichia coli*”, *Nat. Commun.*, 8 1153-1155 (2017)*

(総説)

Noda S., and Kondo A. : “Recent Advances in Microbial Production of Aromatic Chemicals and Derivatives”. *Trends. Biotechnol.*, 35 785-796(2017)*

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Noda S., Shirai T., Kondo A.: “Metabolic engineering of *Escherichia coli* for maleate production via chorismate pathway”, SB7.0., Singapore, Jun.(2017)

Noda S., Shirai T., Kondo A.: “Metabolic Engineering of a Platform *Escherichia coli* to Produce Various Chorismate Derivatives”, International Union of Microbiological Societies (IUMS) 2017., Singapore, Jul.(2017)

Noda S., Shirai T., Kondo A.: “MICROBIAL PLATFORM TO SYNTHESIZE CHORISMATE DERIVATIVES VIA METABOLIC ENGINEERING APPROACH”, *Enzyme Engineering XXIV.*, Toulouse, France, Sep.(2017)

野田修平、白井智量、近藤昭彦：“大腸菌を用いた芳香族化合物誘導体合成プラットフォームの開発”，酵素工学会 第78回講演会，秋田，10月（2017）

Noda S., Shirai T., Kondo A.: “Metabolic engineering of *Escherichia coli* to construct a platform for the

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光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器 (is-TPG) において、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の実現を目的としている。is-TPGの周波数分解能を維持したまま時間分解能を現状のナノ秒からピコ秒オーダーにまで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共鳴的に誘起される新奇の超高速非線形光学現象の観測を目指している。

本年度は、時間分解計測の実現に向けた取り組みを行った。はじめに、高速応答性に優れたシヨットキーバリアダイオード検出器と高速オシロスコープを用いて、これまでに立ち上げたis-TPGから出力されるテラヘルツ波パルスの測定を行った。その結果、繰り返し周波数200 Hz、パルス幅140 psのテラヘルツ波パルス列の観測に成功した。現在は、前年度までに開発した高感度テラヘルツ波検出系を用いた光学的相関測定によって、テラヘルツ波パルスのパルスエンベロープの形状およびパルス幅をより正確に評価する実験を進めている。それと並行して、超高速非線形光学現象を観測するためのサンプル選定を進めている。

一方で、上記のパルス幅測定の実験中に、想定外に興味深い結果が得られたため、計画を一部変更して実験を進めた。この結果については、現在特許出願のための準備を進めている（本年度内に出願完了見込み）。

また、これまでに得られた高感度テラヘルツ波検出系の成果をまとめて、積極的に成果発表を行った。本年度では、4件の招待講演（内3件は国際会議）を含む合計7件の成果発表を通して、本研究成果を関連分野に広くアピールした。

●口頭発表 Oral Presentations

[Invited] Takida Y. and Minamide H.: “Nonlinear optical detection of terahertz waves from sub-nanosecond pulses to continuous wave,” 6th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2017), Troy, USA, Oct. (2017).

[Invited] Minamide H. and Takida Y.: “Intense terahotonics source and power calibration,” XXXII International Union of Radio Science General Assembly & Scientific Symposium (URSI GASS 2017), Montreal, Canada, Aug. (2017).

[招待講演] 瀧田佑馬, 南出泰亜: “非線形光学波長変換によるテラヘルツ波検出の最先端～サブナノ秒パルスからCWまで～,” 電子情報通信学会テラヘルツ応用システム研究会, 京都, 8月 (2017年).

Takida Y., Nawata K., Suzuki S., Asada M., and Minamide H.: “Simultaneous nonlinear up-conversion of dual-frequency terahertz-wave radiation,” Nonlinear Optics (NLO) 2017, Waikoloa, USA, Jul. (2017).

Takida Y., Nawata K., Suzuki S., Asada M., and Minamide H.: “Nonlinear optical detection of terahertz-wave radiation from resonant-tunneling-diode oscillators,” Conference on Lasers and Electro-Optics - European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC 2017), Munich, Germany, Jun. (2017).

[Invited] Takida Y. and Minamide H.: “Frequency-domain spectroscopy using high-power tunable THz-wave sources: towards THz sensing and detector sensitivity calibration,” SPIE Defense + Commercial

Sensing, Anaheim, USA, Apr. (2017).

●ポスター発表 Poster Presentations

瀧田佑馬, 南出泰重: “ニオブ酸リチウム結晶を用

いたテラヘルツ波の非線形波長変換検出～連続波からサブナノ秒パルスまで～,” 理研シンポジウム: 第五回「光量子工学研究領域」, 和光, 11月(2017年).

XXVII-039

STM 探針-基板間のギャッププラズモンが誘起する
単分子反応系の探索

Investigation of gap plasmon-induced chemical reactions at the
single-molecule level with an STM

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)

金属ナノ構造が示す局在表面プラズモンは、金属表面近傍のナノ領域に強い光電場を生じることから、物質の光応答や反応を増強する手段として幅広い応用が期待されている。中でも、プラズモン誘起化学反応は新奇の光触媒反応として注目を集めている。機構として、プラズモンの減衰過程で金属内に生じるホットエレクトロンの移動により分子が一時的な陰イオン (TNI) 状態を形成し、振動緩和を介して反応が進行すると考えられている。これまで機構は局所反応の平均的な観測に基づき議論されているが、未解明な点が多くある。機構解明には、単一分子レベルでのプラズモン誘起化学反応を実空間および実時間観測することが必須である。

本研究は、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いて単一分子のプラズモン誘起解離反応を実空間・実時間観測するため、銀製の STM 探針と金属基板間に光照射により生成するプラズモンを利用した。分子はジメチルジスルフィド ($(\text{CH}_3\text{S})_2$) を用いた。可視光照射後に探針直下付近で $(\text{CH}_3\text{S})_2$ 分子が2つに分かれる様子が観察された。これはプラズモンによって $(\text{CH}_3\text{S})_2$ 分子の S-S 結合が解離し、2つの CH_3S へと分解したためである。時間領域差分法による電場解析と反応の実空間観測により、探針直下のプラズモンの電場が強い場所で $(\text{CH}_3\text{S})_2$ 分子の解離反応が優先的に起こることが示された。さらに、反応効率 (Y) の入射光波長 (λ) 依存性 (Y- λ スペクトル) は、光解離の Y- λ スペクトルよりも長波長側にピークを示し、光解離が起こらない長波長域においても効率は低いものの反応が進行した。密度汎関数法により求めた分子の電子状態を考

慮した結果、光解離の起こる波長域ではプラズモンによって分子の直接励起 ($n_s \rightarrow \sigma_{ss}^*$) が増強され、光解離の起こらない長波長域ではフェルミレベル近傍のギャップ内準位にある分子軌道から σ_{ss}^* への直接励起が誘起されたと結論された。

反応にともなうトンネル電流の変化を追跡することでプラズモン誘起解離反応の実時間観測が可能となる。STM による非弾性トンネル過程で生成した、分子の TNI 状態からは、分子の解離の前に回転が観測された。一方、プラズモン誘起反応では回転は起こらず解離のみが観測された。これは、本反応が分子の TNI 状態から振動緩和を介した反応、つまりホットエレクトロンが分子へ移動することで起こる反応とは異なる機構で説明されることを示す。以上から、 $(\text{CH}_3\text{S})_2$ 分子のプラズモン誘起解離反応は σ_{ss}^* 由来の軌道への直接電子励起によって起こると結論される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kazuma E., Jung J., Ueba H., Trenary M. and Kim Y.: “A direct pathway to molecular photodissociation on metal surfaces using visible light”, *J. Am. Chem. Soc.* 139, 3115-3121(2017)*

Kazuma E., Jung J., Ueba H., Trenary M. and Kim Y.: “Real-space and real-time observation of a plasmon-induced chemical reaction”, *Science* 360, 521-526 (2018)*

●口頭発表 Oral Presentations

數間惠弥子, 鄭載勲, 上羽弘, Michael Trenary, 金有洙: “プラズモン誘起解離反応のSTMによる実空間・実時間観測”, 第11回分子科学討論会, 宮城県仙台市, 9月(2017)

Kazuma E., Jung J., Ueba H., Trenary M. and Kim Y.: “Molecular photodissociation on metal surfaces using visible light” 33rd Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Nagoya University, Japan, June (2017)

數間惠弥子, 鄭載勲, 上羽弘, Michael Trenary, 金有

洙: “Real-space and real-time observation of plasmon-induced dissociation of a single molecule”, 日本化学会第98春季年会, 千葉県船橋市, 3月(2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

Kazuma E., Jung J., Ueba H., Trenary M. and Kim Y.: “Visible-light-induced molecular photodissociation on metal surfaces”, 5th Ito International Research Conference (IIRC5), Tokyo, Japan, November (2017)

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: 理論科学連携研究推進グループ分野横断型計算科学連携研究チーム
(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に向けて、本年度は、物質と重力が強く相互作用する極限状況であるブラックホールの内部を研究した。ブラックホールは蒸発するが、その際、既知の物質の情報がどのようにして未知の時空の情報に転化するのかを理解することがポイントとなる。昨年度は、コンフォーマルな物質を考え、Weyl アノマリーとエネルギー運動量テンソルの保存則を使って、蒸発するブラックホールの内部のエネルギー分布を記述した。本年度は、さらに一步踏み込んで、ブラックホール内部の時空上でスカラー場のHeisenberg方程式を解き、そこから、エネルギー運動量テンソルの真空期待値を求めることを試みた。つまり、物質場そのものの振る舞いを調べた。そこで問題となるのは、ブラックホール内部の時空は非常に大きく曲がっているため、WKB近似が通用しないことであった。そこで、我々は新しい摂動展開法を開発し、厳密解を構成することに成功した。その結果、主要項からの寄与は厳密に評価でき、UV発散の除去及びアノマリーの再現がうまくいった。この整合的な結果は次の物理的描像を示唆している。ブラックホール内部ではその強力な重力のために、物質は束縛状態として閉じ込められており、ブラックホール表面近傍の物質はHawking放射として抜け出る。この計算が完了すれば、ブラックホールの外から物体を

投げ入れた場合、どのようにして外部に放出されるのかの一連の時間発展を場の理論的に理解できるだろう。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- H.Kawai and Y.Yokokura, “A Model of Black Hole Evaporation and 4D Weyl Anomaly,” Universe 3, 51 (2017).

(図書)

- 横倉祐貴, “ネーター保存量としての熱力学エントロピー”, 物理科学雑誌パリティ (丸善出版)、2017年9月号34頁、

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

- Yuki Yokokura, “Thermodynamic Entropy as a Noether invariant”, seminar at String theory group, Taiwan National University, Mar 2018
- Yuki Yokokura, “A Self-consistent Model of Black Hole Evaporation”, Quantum Black Holes in the Sky?, Perimeter Institute, Nov 2017.
- Yuki Yokokura, “Thermodynamic Entropy as a Noether invariant”, Seminar at quantum gravity group, Centre de Physique Théorique- Marseille University,

Nov 2017.

- Yuki Yokokura, “A Self-consistent Model of Black Hole Evaporation”, Seminar at quantum gravity group, Centre de Physique Théorique-Marseille University, Oct 2017.
- Yuki Yokokura, “A Model of Black Hole Evaporation and 4D Weyl Anomaly”, Strings and Fields, YITP Kyoto University, Aug 2017.
- Yuki Yokokura, “A Model of Black Hole Evaporation and 4D Weyl Anomaly”, Loops17, Warsaw University, July 2017.

(国内発表等)

- 横倉祐貴、“蒸発するブラックホールの内部のエネルギー運動量テンソル”、日本物理学会第73回年次大会、東京理科大学、3月(2018)
- 横倉祐貴、“A Self-consistent Model of Black Hole Evaporation”、素粒子論研究室のセミナー、名古屋大学、12月(2017)

- 横倉祐貴、“蒸発するブラックホールの内部の量子場の状態”、日本物理学会秋季大会、宇都宮大学、9月(2017) .
- 横倉祐貴、“蒸発するブラックホールとエントロピー”、集中講義の講師、KEK、7月(2017)
- 横倉祐貴、“A Self-consistent Model of Black Hole Evaporation”、数理物理・物性基礎論セミナー、慶応大学、7月(2017)
- 横倉祐貴、“Thermodynamic Entropy as a Noether invariant”、物性研究室のセミナー、東京大学、6月(2017)
- 横倉祐貴、“A Model of Black Hole Evaporation and 4D Weyl Anomaly”、素粒子論研究室のセミナー、首都大学東京、5月(2017)

(ポスター)

- Yuki Yokokura, “Quantum Fields inside Evaporating Black Holes”, KEK theory workshop, KEK, Nov 2017

基礎科学特別研究員
平成 28 年度採用者

幾何学的手法を用いた異常輸送現象の解明と
その高エネルギープラズマへの応用

Study on anomalous transport phenomena through geometrical
method and its application to high energy plasma

研究者氏名: 本郷 優 Hongo, Masaru
受入研究室: 理論科学連携研究推進グループ
分野横断型計算科学連携研究チーム
(所属長 長瀧 重博)

流体力学は多体系のマクロスケールの時間発展を記述する低エネルギー有効理論である。空気や水などの流体力学の古典的な対象に加えて、近年では物質中の電子や冷却原子気体などの量子多体系に対しても流体力学が応用されるようになってきている。これらの系はマクロなふるまいは流体力学によって記述されているものの、ミクロには量子論で記述されており、2つの記述の間には理論的なギャップが存在する。本年度の研究ではこのような非相対論的な量子系に対して、ミクロな量子論に基づいてマクロな流体力学を導出する方法を確立した。また、ミクロな理論が量子異常を有する系が、二次相転移点近傍で示す動的臨界現象の解析を行い、その動的ユニバーサリティクラスを明らかにした。以下にそれぞれの研究内容を示す。

具体的にはミクロな理論として相互作用するシュレディンガー場の量子論を考慮し、この系から非相対論的な流体力学の方程式を導出した。昨年度の研究では、局所熱平衡状態にある相対論的な量子系は、温度や流速の非一様性により定まる「曲がった時空中の量子論」で与えられることを明らかにしたが、その際、系を記述するために用いられる時空は(擬)リーマン時空によって与えられた。しかしながら、非相対論的な系はリーマン時空中にあるのではなく、ニュートン・カルタン時空と呼ばれる時空中におかれたものとして取り扱う必要が生じる。そのため、本研究では、ニュートン・カルタン時空という幾何学の言葉を用いることで、正しく非相対論的な流体方程式を記述することができることを明らかにした。

考えている物理系がミクロなレベルで量子異常を有するとき、マクロなレベルの輸送現象にも影響を残すことが近年明らかになっている。その一例が、磁場に比例した電流を表すカイラル磁気効果(Chiral Magnetic Effect)である。このような量子

異常を含む流体中では、カイラル磁気波(Chiral Magnetic Wave)という新奇な波動的集団励起を引き起こす。このような集団励起の存在は一般に二次相転移点近傍の臨界ダイナミクスに影響する。そこで、カイラル磁気波が生じる場合について、動的くりこみ群という手法に基づき臨界ダイナミクスの動的ユニバーサリティクラスを明らかにした。この研究は慶應義塾大学の山本 直希氏、曾我部 紀之氏との共同研究である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hongo M.: "Path-integral formula for local thermal equilibrium", *Annals of Physics*, 383, 1-32 (2017)

(総説)

日高 義将, 本郷 優: "場の量子論と流体力学のつながり", *数理科学*, No. 649, 22-29 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hongo M.: "Detailed balance and dynamical KMS symmetry in hydrodynamics", *Infrared physics of gauge theories and quantum dynamics of inflation*, Biwako Club, Jan. (2018)

Hongo M.: "Hydrodynamics, current algebra, and quantum anomaly"

Workshop of recent developments in QCD and quantum field theories, National Taiwan University, Nov. (2017)

(国内学会等)

本郷 優: "非平衡有効場の理論と流体力学", 理論シンポジウム(非平衡物理の最前線—素粒子・宇宙から物性まで—), 12月(2017)

本郷 優: "射影演算子法に基づいたカイラル輸送現象の導出", 日本物理学会第72回秋季大会, 宇都

宮大学, 9月 (2017)

本郷 優: “Quark Matter 2017 理論の発展—カイラル磁気効果、カイラル渦効果を中心に”, 第33回 Heavy Ion Cafe並びに第23回 Heavy Ion Pub 合同研究会, 名古屋大学, 4月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

本郷 優: “非相対論的幾何学、対称性、流体力学”, 熱場の量子論とその応用 2017, 京都大学, 8月 (2017)

XXVIII-002 ボーズ-フェルミ結合系における励起子凝縮と新規超伝導の理論 Theory of exciton condensation and exotic superconductivity in boson-fermion-coupled systems

研究者氏名: 金子 竜也 Kaneko, Tatsuya

受入研究室: 柚木計算物性物理研究室

(所属長 柚木 清司)

励起子絶縁体で実現されるとされる励起子秩序は、バンド間クーロン相互作用によって異なるバンドの電子状態が自発的に混成した状態で、半導体-半金属転移付近の電子-ホール対 (励起子) の量子凝縮状態として古くから議論されている。特に、励起子秩序相の候補として考えられている TiSe_2 や Ta_2NiSe_5 の低温相では、局所的な結合軌道の形成に付随して格子歪みが生じるため、電子と格子のカップリングが不可分となり問題を複雑化している。本研究は、これらの電子・ホール、フォノン、励起子が複雑に絡み合ったボーズ-フェルミ結合系において発現する励起子相の実態を理論的に明らかにすることを目的としている。

本年度は、候補物質の TiSe_2 に着目し、電子-格子結合が導く電荷密度波 (CDW) 状態と、CDW に対する電子間 (励起子) 相関の寄与を研究した。具体的には、昨年度に構築した TiSe_2 の有効模型に励起子秩序を導くバンド間クーロン相互作用を導入し、CDW の安定性について議論した。その結果、励起秩序の形成が電子-格子結合と協力的に働き、3つのフォノンモードのソフト化によって実現する triple- q CDW 状態をより安定化させることを示した。さらに、triple- q CDW 状態における一粒子スペクトルや電荷密度分布を計算することで TiSe_2 の電子状態も明らかにした。 TiSe_2 は CDW の消失に伴い超伝導相が発現することが観測されており、現在は超伝導の発現に対する有効的な理論を模索している。

励起子秩序の実証という点から考えると、励起子秩序を導くクーロン相互作用の寄与を候補物質の低

温秩序相から実験的に抽出する必要がある。その点に対する効果的な提案はまだできていない。そこで、候補物質の秩序相の解明にも応用されているポンプ・プローブ実験などの時間分解測定に着目し、励起子秩序の実証に向けた光誘起ダイナミクス of the 理論研究を計画している。本年度は、実時間ダイナミクスを扱える厳密対角化法などの計算手法の拡充および基礎的な強相関模型に対する手法の応用を行った。ここでは、励起子系を扱う模型より簡素な相関電子模型ではあるが、Hubbard 模型を用いて Mott 絶縁体における光誘起現象について検証した。その過程で、ある特定の周波数のパルス照射で超伝導のペア相関関数に異常な上昇が生じることを発見し、それを η -pair の生成として解釈するとうまく説明できることがわかった。この結果は当初に予期していたものではなかったが、光誘起の絶縁体-金属転移および超伝導の研究に新規な観点をもたらす可能性を秘めている。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hamada K., Kaneko T., Miyakoshi S. and Ohta Y.: “Excitonic Insulator State of the Extended Falicov-Kimball Model in the Cluster Dynamical Impurity Approximation”, Journal of the Physical Society of Japan 86, 074709 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

金子 竜也, 太田幸則, 柚木清司: “ TiSe_2 の1粒子スペ

クトルと電荷密度分布”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月 (2017)

金子竜也, 白川知功, 柚木清司: “Mott絶縁体における η -相関の光誘起理論”, 日本物理学会2018年年次大会, 野田, 3月 (2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Kaneko T., Ohta Y. and Yunoki S.: “Charge-density wave and excitonic instabilities of a realistic multi-

orbital Hubbard model with electron-phonon coupling for 1T-TiSe₂”, International Conference on Strong Correlated Electron Systems (SCES2017), Prague, Czech Republic, Jul. (2017)

(国内学会等)

金子竜也, 白川知功, 柚木清司: “光励起されたMott絶縁体における二重占有率の増加と1粒子スペクトルの変化”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月 (2017)

XXVIII-003 X線自由電子レーザーを用いた1分子X線構造解析法の開発

Development of molecular imaging using X-ray free-electron laser

研究者氏名: 井上 伊知郎 Inoue, Ichiro
受入研究室: 放射光科学総合研究センター
ビームライン開発チーム
(所属長 矢橋 牧名)

本研究の目的はX線自由電子レーザー SACLAを利用して、1つの蛋白質分子によるX線散乱の様子から、その構造を原子分解能で決定する「X線1分子構造解析法」を実現することである。具体的には、フェムト秒時間スケールのX線ダメージを解明し、ダメージの効果を組み込んだX線構造解析法を開発することでXFELを“分子を見る顕微鏡”として進化させる。XFELのパルス幅(数フェムト秒)は蛋白質分子の回転運動の時間スケールより短い。そのため蛋白質1分子にX線が照射されるとX線が当たった瞬間の分子の向きに応じた散乱像が測定される。様々な向きを向いた1分子からの散乱の様子を解析することで蛋白質の原子分解能の3次元構造が解明できる。

本年は、①ダメージの大小を左右する重要な光源パラメータであるXFELのパルス幅の評価法の開発、②ダブルパルスXFELを利用したフェムト秒X線ダメージの可視化、③XFELの高次高調波の光診断技術、の3つについて研究を行なった。

①については、Hanbury Brown-Twiss型の強度干渉法によるパルス幅決定法を考案・実証した。この方法では、SACLAの電子ビームをアンジュレータ1台に通して放射光を発生させ、発生した放射光をシリコン分光結晶を用いて単色化する。放射光の単色度を変化させながら光強度の空間相関(強度干渉)

の程度を評価することで、SACLAの電子バンチの時間プロファイルを決定した。実験によって得られた電子バンチ形状からSACLAから出射されるXFELのパルス幅が半値幅で7フェムト秒程度であることが明らかになった。結果は、現在論文誌に投稿中である。

②については、最初のX線パルスで生じた試料へのダメージを次のX線パルスで測定する「X線ポンプ・X線プローブ法」を用いてX線ダメージ過程を可視化することを目指して研究を行なった。ここで言う可視化とは、精密に測定したX線回折強度から試料中の電子密度分布を決定(マッピング)することを意味する。プローブ光として波長の短い3次高調波XFELを利用することで、わずかな原子変位や電子密度分布の変化を捉えられるように実験を行なった。ダイヤモンドを試料として実験を行なった結果、プローブ光の回折強度がポンプ光の照射後に徐々に減衰することが観測された。しかし、電子密度分布をマッピングできるだけの、S/Nの高い実験データを取ることはできなかった。次年度に再実験を行い、X線ダメージ過程の可視化を実現させたい。

③では、②に関連してXFELの高調波の強度やプロファイルを調べるためのX線屈折光学素子の開発を行なった。ガラス状ダイヤモンドを材質としたX線プリズムを製作し、SACLAにおけるXFEL高調

波の強度を評価することができた。結果は、近日中に論文誌に掲載される予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Inoue I., Osaka T., Tamasaku K., Ohashi H., Yamazaki H. Goto S., and Yabashi M.: “An X-ray harmonic separator for next-generation synchrotron X-ray sources and X-ray free-electron lasers”, *J. Synchrotron Radiat.*, accepted.

Inoue I., Hara T., Inubushi Y., Tono K., Inagaki T., Katayama T., Amemiya Y., Tanaka H., and Yabashi M.: “X-ray Hanbury Brown-Twiss interferometry for determination of ultrashort electron-bunch duration”, submitted.

Inubushi Y., Inoue I., Kim J., Nishihara A., Matsuyama S., Yumoto H., Koyama T., Tono K., Ohashi H., Yamauchi K., and Yabashi, M.: “Measurement of the X-ray spectrum of a free electron laser with a wide-range high-resolution single-shot spectrometer”, *Appl. Sci.* 7, 584 (2017)*.

Gorel A., Motomura K., Fukuzawa H., Doak R. B., Grünbein M. L., Hilpert M., Inoue I., Kloos M., Kovacsova G., Nango E., Nass K., Roome C. M., Shoeman R. L., Tanaka R., Tono K., Joti Y., Yabashi M., Iwata S., Foucar L., Ueda K., Barends T. R. M., and Schlichting I.: “Multi-wavelength anomalous diffraction de novo phasing using a two-colour X-ray free-electron laser with wide tunability”, *Nature Commun.* 8, 1170 (2017)*.

Gorel A., Motomura K., Fukuzawa H., Doak R. B., Grünbein M. L., Hilpert M., Inoue I., Kloos M., Kovacsova G., Nango E., Nass K., Roome C. M., Shoeman R. L., Tanaka R., Tono K., Joti Y., Yabashi M., Iwata S., Foucar L., Ueda K., Barends T. R. M., and Schlichting I.: “Two-colour serial femtosecond crystallography dataset from gadoteridol-derivatized lysozyme for MAD phasing”, *Scientific Data* 4, 170188 (2017)*.

Osaka T., Hirano T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Inoue I., Tono K., Robert A., Yamauchi K., Hastings J. B., and Yabashi M.: “Characterization

of temporal coherence of hard X-ray free-electron laser pulses with single-shot interferograms”, *IUCrJ* 4, 728-733 (2017)*.

Hirano T., Osaka T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Inoue I., Matsuyama S., Tono K., Robert A., Hastings J. B., Yamauchi K., and Yabashi M.: “Performance of a hard X-ray split-and-delay optical system with a wavefront division”, *J. Synchrotron Radiat.* 25, 20-25 (2018)*.

Tono K., Togashi T., Inubushi I., Katayama T., Owada S., Yabuuchi T., Kon A., Inoue I., Osaka T., Yumoto H., Koyama T., Ohashi H., and Yabashi M.: “Overview of optics, photon diagnostics and experimental instruments at SACLA: development, operation and scientific applications”, *Proc. SPIE* 10237 (2017)*.

●口頭発表 Oral Presentations

Inoue I., Hara T., Inubushi Y., Tono K., Tanaka H., and Yabashi M.: “Determination of XFEL pulse duration via X-ray intensity interferometry”, *XOPT2017*, Yokohama, Japan, Apl. (2017)

Inoue I.: “Recent developments of X-ray optics and photon diagnostics at SACLA” (invited), *PhotonDiag 2017*, Menlo Park, USA, May (2017).

Inoue I.: “Reflection self-seeding at SACLA”, 9th Hard X-ray FEL Collaboration Meeting, Kannabe, Japan, Dec. (2017).

井上伊知郎, 大坂泰斗, 玉作賢治, 大橋治彦, 山崎裕史, 後藤俊治, 矢橋牧名: “X線自由電子レーザー・次世代放射光源のためのハーモニクセパレータの検討”, 第31回日本放射光学学会年・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1月 (2018).

●ポスター発表 Poster Presentations

Inoue I., Inubushi Y., Osaka T., Hara T., and Yabashi M.: “Observation of X-ray interaction with matter in femtosecond-ångstrom resolutions”, *Gordon Research Conference on X-ray Science*, Easton, USA. July (2017).

Inoue I.: “Hanbury Brown-Twiss interferometry and X-ray harmonic separator”, 9th Hard X-ray FEL Collaboration Meeting, Kannabe, Japan, Dec. (2017).

Precision Spectroscopy of the Hyperfine Splitting in Muonic Hydrogen Atom for the Determination of the Proton Radius

研究者氏名: 神田 聡太郎 Kanda, Sohtarō

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)

本研究課題では、ミュオン水素原子の基底状態における超微細構造を精密にレーザー分光することで陽子半径を実験的に決定することを目指している。2017年度は実験の中核をなすレーザー光源の要素開発を行った。当初の研究計画では電子検出器とシミュレーションフレームワークの開発を予定していたが、これらは着任以前の研究によってほぼ確立された（成果リスト論文1, 口頭発表7および8, ポスター発表2）。そのため、検出器に加えて実験の遂行に必須の装置であるレーザー光源の開発に取り組んだ。光源には高出力・狭線幅が要求されるが、前例の限られる波長領域であることもあり、開発が難航していた。

レーザー光源の開発にあたり、それまで検討されていたCr,Zn:Se結晶を用いた広帯域励起光源と多段増幅器による構成を見直し、より低コストでシンプルなTm,Ho:YAGレーザーによる励起光源を用いた構成を提案した。新しいシステムでは、励起光源の出力エネルギーを必要十分な水準に高めることができるため多段の増幅器が不要となるほか、分光実験中の調整・操作も簡便になるという利点がある。Tm,Ho:YAGレーザーに要求される性能はパルスエネルギー 20 mJ以上、パルス幅 150 ns以下であったが、光学系の最適化および調整によって 23 mJ, 120 nsという良好な結果を得た。さらに、レーザー光の狭線化のために必要となる量子カスケードレーザーの仕様検討および設計を行い、素子の製造に漕ぎ着けた。そのほか、非線形光学結晶を用いた波長変換器と誘電体多層膜による多重反射鏡の開発にも着手し、来年度に本格的な開発を行うための足がかりを得た。これらの成果のうち一部は論文として投稿中である。

本研究課題で取り組む分光実験は適切な予備実験を設定することが難しいと考えられてきたが、分光対象である励起状態のミュオン水素原子が標的中の陽子と非弾性散乱して脱励起する過程の断面積は実

測された例がなく、理論計算のみが知られていることに着目し、これを実験的に確認するための新たな予備実験を提案した。代表者として研究計画を阪大RCNPに提案し、A評価で採択された。さらに、励起状態の寿命を延ばすための核スピン偏極標的を考案し、原理実証に向けた基礎的検討を行った。

●誌上发表 Publications

1. S. Kanda, “Direct measurement of muonium hyperfine splitting at J-PARC”, Proceedings of Science, PoS(INPC2016)170 (2017) 1-6.*
2. S. Kanda, “Development of magnetic shield for the MuSEUM experiment” RIKEN APR 49 (2017) 227.*
3. S. Kanda et al., “Direct Measurement of Muonium Hyperfine Structure Under Precise Controlled Zero Field”, KEK MSL Prog. Rep. 2016 (2017) 57.
4. C. Aidala et al., “Cross section and transverse single-spin asymmetry of muons from open heavy-flavor decays in polarized p + p collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV”, Phys. Rev. D 95, 112001 (2017) 1-15.*
5. A. Adare et al., “Nonperturbative-transverse-momentum effects and evolution in dihedron and direct photon-hadron angular correlations in p+p collisions at $\sqrt{s} = 510$ GeV”, Phys. Rev. D 95, 072002 (2017).*

●口頭発表 Oral Presentations

1. Precision Laser Spectroscopy of the Ground State Hyperfine Splitting in Muonic Hydrogen, muon科学と加速器研究会, Tsukuba, Jan. (2018).
2. Precision Laser Spectroscopy of the Ground State Hyperfine Splitting in Muonic Hydrogen, FPUA, Nagoya, Jan. (2018).
3. 超伝導計測のミュオン実験への応用, TIAかけはし研究会, Wako, Jan. (2018).
4. Precision Laser Spectroscopy of the Ground State

- Hyperfine Splitting in Muonic Hydrogen, NuFact2017, Uppsala, Oct. (2017).
5. ミュオン水素原子の精密レーザー分光, 日本物理学会秋季大会, Utsunomiya, Sep. (2017).
 6. Precision laser spectroscopy of the muonic hydrogen HFS for determination of the proton Zemach radius, FPUNA, Osaka, Jul. (2017).
 7. Direct Measurement of Muonium Hyperfine Splitting; Apparatus Development and First Spectroscopy Result, 量子ビームサイエンスフェスタ, Tsukuba, Mar. (2017).

8. J-PARCにおける大強度パルスミュオンビームを用いたミュオニウム基底状態超微細構造の直接測定実験, 日本物理学会年次大会, Osaka, Mar. (2017).

● **ポスター発表 Poster Presentations**

1. Laser Spectroscopy of Muonic Atoms, Discovery Evening, Wako, Nov. (2017).
2. Precision Microwave Spectroscopy of Muonium Atom, 物質階層原理研究会, Gotenba, Mar. (2017).

XXVIII-005 Exploration of QCD phase diagram at finite baryon densities by using path integral via Lefschetz thimbles
Exploration of QCD phase diagram at finite baryon densities by using path integral via Lefschetz thimbles

Name: Yuya TANIZAKI

Host Laboratory: Theory Group,

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Dmitri KHARZEEV

In this research, I derived new rigorous results on Quantum Chromodynamics (QCD). Taking into account recent developments about topological phases of matters, I succeeded to compute the new topological feature of 3-flavor massless QCD. The quantity I computed is renormalization group invariant, and thus it gives a rigorous constraint on 3-flavor massless QCD even how it is strongly coupled. Furthermore, I developed the method that applies this result to the phase diagram of QCD under flavor-symmetry-twisted boundary condition. As a result, the whole phase diagram under symmetry-twisted boundary condition cannot show the trivial gapped phase. In the zero-temperature limit, our constraint on the phase diagram becomes true even if we undo the symmetry twist, and thus it is valid also for the zero-temperature finite-density 3-flavor massless QCD.

I also unveiled the new feature of the gradient flow defining Lefschetz thimbles. Since this is an important technique to understand the mathematical properties of the path integral and the sign problem in finite-density QCD, this result is expected to be useful for practical

application of the Lefschetz thimble method to the sign problem.

● **Publication**

Original Paper

- Y. Tanizaki, Y. Kikuchi, T. Misumi, N. Sakai: Anomaly matching for phase diagram of massless $Z(N)$ -QCD, [arXiv:1711.10487[hep-th]]
- Y. Tanizaki, T. Misumi, N. Sakai: Circle compactification and 't Hooft anomaly, *J. High Energy Phys.* 12 (2017) 056*
- Y. Kikuchi, Y. Tanizaki: Global inconsistency, 't Hooft anomaly, and level crossing in quantum mechanics, *Prog. Theor. Exp. Phys.* (2017) 113B05*
- Y. Tanizaki, H. Nishimura, J.J.M. Verbaarschot: Gradient flows without blow-up for Lefschetz thimbles, *J. High Energy Phys.* 10 (2017) 100*
- Y. Tanizaki, Y. Kikuchi: Vacuum structure of bifundamental gauge theories at finite topological angles, *J. High Energy Phys.* 06 (2017) 102*
- T. Hayata, Y. Kikuchi, Y. Tanizaki: Topological Properties of the Chiral Magnetic Effect in Multi-Weyl

Semimetals, Phys. Rev. B 96, 085112 (2017) *

● Oral Presentation

Conference

Y. Tanizaki: “Anomaly Matching and Circle Compactification”, Resurgence in Gauge and String Theory, Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, CA, USA, 2 Nov. 2017.

Y. Tanizaki: “Lefschetz-thimble approach to the fermion sign problem”, Toward real-time simulations of quantum field theories and solutions to the sign

problem, Keio Univ., Japan, 20 Sep. 2017.

Y. Tanizaki: “Theta dependence and anomaly matching”, RIMS-iTHEMS International Workshop on Resurgence Theory, Kobe, Japan, 6-8 Sep. 2017.

Y. Tanizaki: “Lefschetz-thimble approach to the fermionic sign problem”, Simulating QCD with Lefschetz thimbles, ECT*, Trento, Italy, 28-30 June 2017.

Y. Tanizaki, H. Nishimura, J.J.M. Verbaarschot: “Lefschetz-thimble flows without blow-up”, LATTICE 2017 (35th Int'l Symposium on Lattice Field Theory), Granada, Spain, oral, 18-24 June

XXVIII-006

3体核力に基づいた核物質状態方程式の改良と 高エネルギー天体现象への適用

Nuclear Equation of State with the Three-Body Interaction and Its Application to High-Energy Astrophysics

研究者氏名: 富樫 甫 Togashi, Hajime
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)

本研究課題では、現実的なバリオン間相互作用から出発した多体変分計算によって、信頼性の高い高密度物質の状態方程式 (EOS) を構築し、「バリオン間相互作用」と「中性子星や超新星爆発などの高密度天体现象」を直接関連させて理解することを目指す。本研究課題遂行のため、今年度は主に以下の研究を行った。

1. 現実的核力に基づく超新星物質状態方程式の構築と重力崩壊型超新星爆発シミュレーションへの適用

昨年度から継続して、現実的2体核力 Argonne v18 と3体核力 Urbana IX に基づき、重力崩壊型超新星爆発などの高密度天体シミュレーションに適用可能な核物質 EOS を構築した。今年度は広範囲の密度、温度、陽子混在度に対する核物質の熱力学量を完備した EOS テーブルを完成させ、この成果を論文発表すると共に、構築した EOS テーブルを web (<http://www.np.phys.waseda.ac.jp/EOS/>) で公開した。この EOS は、生の核力に基づく世界初の超新星爆発計算用核物質 EOS であり、欧州コンパクト星研究ネットワークのホームページ (<http://compose.obspm.fr/>)

上でも、唯一 “Microscopic calculations” に分類される EOS となった。我々の EOS に基づく中性子星の質量と半径の関係は、今年度に初観測された連星中性子星合体からの重力波 (GW170817) から予測される中性子星の質量と半径の関係と矛盾しないこともわかった。さらに今年度は、公開した EOS テーブルを用いて、太陽質量の15倍の質量を持つ親星モデルから出発した球対称重力崩壊型超新星爆発と原始中性子星の冷却シミュレーションを行い、我々の EOS がこれらの天体シミュレーションに問題なく適用できることを確認した。今後、複数の親星モデルに基づくシミュレーションの系統的な解析により、EOS が流体のダイナミクスやニュートリノ光度に与える影響を明らかにする。

2. 高密度一様核物質におけるハイペロン混合の研究

昨年度に定式化したハイペロン物質に対するクラスター変分法を用いて、有限温度核物質内部におけるラムダ粒子混合の影響を調べた。特に今年度は、等エントロピー近似のもとで、中心部にニュートリノが閉じ込められた β 安定物質

(超新星物質) とニュートリノが逃げ出した後の β 安定物質(原始中性子星物質)におけるハイペロン混在度を比較した。その結果、超新星物質では中心部におけるニュートリノの縮退のため、星の内部で中性子化が進まず、ラムダ粒子の混合も抑制されることがわかった。さらに、超新星物質と原始中性子星物質のどちらの場合でも、現象論的なハイペロン3体力の寄与を考慮した場合には、その強い斥力のために、ラムダ粒子の混在臨界密度が大幅に増加することもわかった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Togashi H., Nakazato K., Takehara Y., Yamamuro S., Suzuki H. and Takano M.: “Nuclear equation of state for core-collapse supernova simulations with realistic nuclear forces”, Nucl. Phys. A, 961 78-105 (2017)*

Furusawa S., Togashi H., Nagakura H., Sumiyoshi K., Yamada S., Suzuki H. and Takano M.: “A new equation of state for core-collapse supernovae based on realistic nuclear forces and including a full nuclear ensemble”, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 44 094001 (2017)*

Yamamoto Y., Togashi H., Tamagawa T., Furumoto T., Yasutake N. and Rijken Th. A.: “Neutron-star radii based on realistic nuclear interactions”, Phys. Rev. C, 96 065804 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Togashi H., Nakazato K., Takehara Y., Yamamuro S., Suzuki H. and Takano M.: “New table of supernova equation of state using a variational method and its application to astrophysical compact objects”, Quarks and Compact Stars 2017, Kyoto, Japan, February (2017)

Togashi H., Hiyama E., Nakazato K., Takehara Y., Ya-

mamuro S., Suzuki H. and Takano M.: “Nuclear equation of state with the variational method and the effect of Λ hyperons in supernova cores”, International Workshop on Quantum Many-Body Problems in Particle, Nuclear, and Atomic Physics, Danang, Vietnam, March (2017)

Togashi H., Hiyama E. and Takano M.: “Hyperon stars at zero and finite temperatures with the variational method”, International Workshop on Strangeness Nuclear Physics 2017, Osaka, Japan, March (2017)

Togashi H., Hiyama E., Nakazato K., Takehara Y., Yamamuro S., Suzuki H. and Takano M.: “Nuclear equation of state with realistic nuclear forces”, ECT* Workshop on “New Perspectives on Neutron State Interiors”, Trento, Italy, October (2017)

Togashi H., Hiyama E. and Takano M.: “Variational calculation for nuclear equation of state and hyperon mixing in the supernova core”, ECT* Workshop on “ASTRA: Advances and open problems in low-energy nuclear and hadronic STRAngeness physics”, Trento, Italy, October (2017)

Togashi H., Hiyama E., Nakazato K., Takehara Y., Yamamuro S., Suzuki H. and Takano M.: “Variational approach to hot and dense matter in compact stars”, International Workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017, Wako, Japan, December (2017)

(国内学会等)

富樫甫、肥山詠美子、鷹野正利: “変分法による有限温度ハイペロン物質状態方程式と原始中性子星への適用”、日本物理学会第72回年次大会、大阪、3月(2017)

富樫甫: “変分法による核物質状態方程式-Supernova EOSテーブル完成までの道のり-”、研究会「原子核のサイズと状態方程式の物理」、福岡、3月(2017)

富樫甫: “現実的核力に基づく核物質状態方程式の研究と今後の展望”、RIBF理論若手放談会: エキゾチック核物理の広がり、神戸、8月(2017)

MAXI-NICER連携で解き明かすX線スーパーバーストに
おける元素合成

Observational study of nucleosynthesis in X-ray superburst using
the MAXI-NICER cooperation

研究者氏名: 岩切 渉 Iwakiri Wataru
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)

我々の知る鉄より重い重元素の中には、陽子過剰な同位体が存在しており、そのような重元素を作る過程として、陽子捕獲と β^+ 崩壊を繰り返す速い陽子の捕獲過程 (rapid proton capture process: 以下rp過程) が考えられており、その発生場所として低質量X線連星で発生するX線バーストが候補とされている。我々は現在国際宇宙ステーション (ISS) で稼働中である理研のMAXIと、ISSに搭載予定のNASAのNICERを、ISS内のネットワークで繋げることにより、頻度は少ないが継続時間が通常のX線バーストより1000倍ほど長いスーパーバーストの詳細観測を目指している。本年度は、6月にNICERが打ち上げられ無事ISSに設置され、運用が開始された。我々は、前年度からMAXIが見つけた突発天体に関するNICERの緊急ToO (Target of Opportunity) 観測に関して議論を重ねていたおかげで、NICERの運用開始直後の7月18日には、MAXIがはえ座の恒星GT Musからの巨大フレアを捉え、NICERによるToO観測を成功するに至った。その後、連絡システムの調整などを議論して、12月までにMAXIが発見した突発現象に対するNICERのToO観測の発動に4回成功した。特に00年代以降初のX-ray novaと呼ばれる突発増光を引き起こしたブラックホール連星系のMAXI J1535-571の観測に関しては、MAXIがいち早く状態遷移の情報をNICERに提供し、NICERは拡がった鉄輝線の兆候と準周期的振動の変化を捉え、NICER初の

Astronomer's telegram への報告となった (Gendreau+17)。スーパーバーストはNICER打上げ後に発生していないものの、MAXIはこれまでにスーパーバーストを年に1~2イベントを捉えているので、観測は時間の問題と思われる。また、MAXIで過去に捉えたEXO 1745-248からのスーパーバーストの約2日後に取得されていたRXTE衛星のX線データから、等価幅の強い輝線構造を発見し、さらに数時間で強度が減衰していくことを発見した。この輝線構造と減衰の解釈として、rp過程によって作られた不安定核の関連が考えられる。これらの結果を研究会で発表し、現在投稿論文としてまとめている。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

岩切 渉: “MAXIとNICERで迫るX線バースト天体におけるrp過程”, 字核連研究会, 理研和光, 7月 (2017)

岩切 渉: “NuSTAR衛星による降着駆動型パルサー4U 1626-67の観測 (2)”, 日本天文学会秋季年会, 北海道大学, 9月 (2017)

岩切 渉: “X線バーストによる元素合成の現場は捉えることができるか?”, ~中性子星の観測と理論~ 研究活性化ワークショップ 2017, 国立天文台, 11月 (2017)

XXVIII-008 超新星残骸の観測による超強磁場中性子星マグネター誕生の研究
Study of magnetar formation through observations
of supernova remnants

研究者氏名: 中野 俊男 Nakano, Toshio
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)

マグネターは2-10秒ほどのパルス周期を持つX線天体で、周期とその変化率から、典型的な中性子星を二桁も上回る超強力な双極子磁場を持つと、広く考えられている。しかし、強力な磁場の発生源や、マグネター誕生の仕組みはほとんど分かっていない。X線による超新星残骸の観測は、親星や超新星爆発で合成され放出された物質の元素組成を直接的に調べることができ、マグネターの親星を推定するのに有用である。また、マグネターの持つ強力な磁場の直接的な検証には、将来のX線偏光観測が欠かせない。そこで本研究では、超新星残骸の観測的研究と科学衛星に搭載されるX線偏光計の開発を行っている。

前年度は、SMEX（米NASA小型衛星計画）の候補であったX線偏光衛星PRAXySプロジェクトに参加し、Time Projection Chamber（TPC）型偏光計と、その主要部品であるガス電子増幅フォイル（GEM）の開発試験を行った。惜しくも次期SMEXには、X線撮像偏光衛星IXPEが採択されたものの、その偏光計にはPRAXySと類似のGEMが用いられる。そこで本年度は、IXPE搭載を目指したGEMの開発試験を行った。GEMは二枚の銅箔で絶縁体を挟んだものに無数の穴が空いた構造をしているが、IXPE用GEMの穴径（30um）は、PRAXyS用（70um）に比べて小さく加工が難しい。本年度前半に、最初の地上試験用GEMを試作し、顕微鏡検査や、エネルギー分解能、ゲインの一様性・安定性、などの性能評価を行った。その結果、X線を照射するにつれ、徐々にゲインが落ちていくことが分かった。走査電子顕微鏡により、GEMの穴の縁を観察すると、銅箔が絶縁体よりも後退したリム構造が見られ、これがゲイン低下を招くと考えられた。そこで、エッチング強度を変えてリム構造が小さくなるよう第二試作

を行い試験したところ、ゲインの低下幅が小さくなり、改善されることが分かった。

PRAXyS用に開発されたTPC型偏光計は、IXPE偏光計と比べて撮像能力はないものの、検出効率が高く、より高いエネルギー帯域への拡張が容易である。そこで、TPC型偏光計の封入ガスをDME 1/4気圧からAr:DME（6:4）1気圧に変更し、IXPEがカバーする2-10keVよりも高たいエネルギー帯への拡張を試みた。X線発生装置により17keVのX線を照射、光電子の軌跡が取得できることを確認し、偏光計と機能しうることを確認した。また、撮像機能の付加として、すだれコリメータを組み合わせたフーリエ合成1次元撮像偏光計を考案し、そのシミュレーションと実証試験を行った。3.0 mmから0.3 mm幅のスリットを持つ1から10次までのモリブデン製コリメータを製作し、TPC型偏光計に取り付け、そこに小型X線装置からのX線を照射した。その結果、小型X線装置の1次元位置と偏光を同時に測定できることを確認し、フーリエ合成1次元撮像偏光計の実証に成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

中野俊男: 超新星残骸の観測と中性子星の磁場進化,
日本 SKA パルサー・突発天体研究会, 茨城, 1月
(2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国内学会等)

中野俊男, 玉川 徹, 早藤麻美, 岩切 涉, 北口貴雄, 榎戸
輝揚, 窪田恵: Time Projection Chamberとフーリエ
合成による撮像偏光計の基礎研究, 北海道, 9月
(2017)

**2核種Xe核スピンメーザーを用いた
アイソトープ微分型電気双極子モーメントの探索**
Search for the Isotope-differential EDM of Xe Atoms with the
Double-species Nuclear Spin Maser

研究者氏名: 佐藤 智哉 Sato, Tomoya
受入研究室: 仁科加速器研究センター
上野核分光研究室
(所属長 上野 秀樹)

粒子に発現する永久電気双極子モーメント (EDM) は時間反転対称性および荷電パリティ対称性を破る。素粒子の標準模型から予測される EDM の値は検出不可能なほど小さい一方、標準模型を超える模型の多くが実験技術の改良により到達可能な領域に EDM 予言値を与えるため、EDM は新物理の探索に適した観測量である。本研究では、核スピンの歳差運動を長時間維持・観測可能とする独自の技術である「能動帰還型核スピンメーザー」を用いる。また、長期間のメーザー発振における磁場、温度やレーザー光強度等のメーザー運転環境の変動による周波数ドリフトを抑制するために、 ^{129}Xe と ^{131}Xe の 2 核種を同一セルに封入し同時発振させ、メーザー間での周波数比較を行って周波数変動を打ち消す ^{131}Xe 共存磁力計を用いる。これらの技術によって静磁場・静電場中における反磁性原子キセノン (Xe) 核スピンのラーモア歳差周波数を精密に測定し、Xe 原子 EDM を現在の実験上限値を超える精度で探索することを目指す。

能動帰還型核スピンメーザーでは Xe 核スピンの歳差運動は同一セルに存在するルビジウム (Rb) のスピンを介して観測されるが、この Rb スピンがメーザー発振の維持に不可欠な帰還磁場の影響を受け、周波数測定における系統誤差を生むことが問題となっていた。これを回避するために、スピン歳差観測と帰還磁場印加を交互に繰り返す「間欠帰還方式」のメーザーを新たに開発し、それによる ^{129}Xe と ^{131}Xe 同時メーザー発振に成功した。この方式では歳差観測時には帰還磁場が存在せず Rb スピンによる歳差観測を精密に行うことができるため、帰還磁場起因の系統誤差が抑制可能である。同方式による能動帰還型核スピンメーザーの性能評価に向け、メーザー発振条件の最適化及び信号雑音比の向上を行っている。また、EDM 測定実験では Xe 原子へ電場を印加する必要があるため、電極付き EDM セル

製作のための電極素材やセル製作方法について検討を行った。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sato T., Ichikawa Y., Kojima S., Funayama C., Tanaka S., Inoue T., Uchiyama A., Gladkov A., Takamine A., Sakamoto Y., Ohtomo Y., Hirao C., Chikamori M., Hikota E., Suzuki T., Tsuchiya M., Furukawa T., Yoshimi A., Bidinosti C.P., Ino T., Ueno H., Matsuo Y., Fukuyama T., Yoshinaga N., Sakemi Y., and Asahi K.: “Development of co-located ^{129}Xe and ^{131}Xe nuclear spin masers with external feedback scheme”, Phys. Lett. A, in print.*

Sato T., Ichikawa Y., Kojima S., Funayama C., Tanaka S., Sakamoto Y., Ohtomo Y., Hirao C., Chikamori M., Hikota E., Furukawa T., Yoshimi A., Bidinosti C.P., Ino T., Ueno H., Matsuo Y., Fukuyama T., and Asahi K.: “Development Of ^{131}Xe Co-magnetometry For Xe Atomic EDM Search”, Proceedings of Science (INPC2016), 174(2017).*

(総説)

Yamanaka N., Sahoo B. K., Yoshinaga N., Sato T., Asahi K., and Das B.P.: “Probing exotic phenomena at the interface of nuclear and particle physics with the electric dipole moments of diamagnetic atoms: A unique window to hadronic and semi-leptonic CP violation”, Eur. Phys. J. A, 53 54(2017).*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

佐藤智哉, 市川雄一, 井上壮志, 内山愛子, Gladkov A., 高峰愛子, 小島修一郎, 舟山智歌子, 田中俊也, 坂本雄, 大友祐一, 平尾千佳, 近森正敏, 彦田絵里, 古川武, 吉見彰洋, Bidinosti C.P., 猪野隆, 上野秀樹, 松

尾由賀利, 福山武志, 吉永尚孝, 酒見泰寛, 旭耕一郎: “間欠帰還型能動核スピンメーザーの動作特性と環境応答”, 日本物理学会2017年秋季大会, 宇都宮大, 9月(2017).

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Sato T., Ichikawa Y., Inoue T., Uchiyama A., Gladkov A., Takamine A. Kojima S., Funayama C., Tanaka S., Sakamoto Y., Ohtomo Y., Hirao C., Chikamori M., Hikota E., Furukawa T., Yoshimi A., Bidinosti C.P.,

Ino T., Ueno H., Matsuo Y., Fukuyama T., Yoshinaga N., Sakemi Y., and Asahi K.: “Development of co-existing ^{129}Xe and ^{131}Xe masers with time-separated feedback scheme for the Xe atomic EDM search”, The third International Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS 2017), Colorado, USA, May(2017).

(研究会)

佐藤智哉: “キセノン原子EDM測定へ向けた能動帰還型核スピンメーザーの開発”, 「物質階層原理」第1回春合宿, 御殿場高原ホテル, 5月(2017).

XXVIII-010

ドリップライン核 ^{22}C における二中性子相関

Two-Neutron Correlation in the Drip-Line Nucleus ^{22}C

研究者氏名: 久保田 悠樹 Kubota Yuki

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)

原子核は陽子と中性子という二種類のフェルミ粒子からなる量子多体系である。一般に極低温のフェルミ多体系ではBCS機構により二粒子がクーパー対を形成し、ボーズ凝縮することによって超伝導状態が発現することが知られている。原子核においてもこれに相当する現象が起こっていると考えられ、質量の偶奇性などにその兆しが見られる。一方、原子核においては異なるタイプの二粒子相関が表れると予想されている。それが、二中性子が空間的に局在化した対を形成する、ダイニュートロン相関である。これは中性子ドリップラインにおける原子核の存在限界と深く関わっている。これまで様々な実験的研究がなされてきたが、実験結果の解釈が強くモデルに依存していること、終状態相互作用により基底状態の情報が失われてしまうこと、等の問題があった。本研究では、準弾性 (p,pn) 反応と付随する中性子放出を適用することでこれらの困難を克服した新手法を開発し、ダイニュートロン相関を明らかにすることを試みる。

本年度は、ダイニュートロン相関が強く実現されていると考えられている ^{11}Li 核におけるダイニュートロン相関の発達を明らかにし、また同時に二粒子相関を研究する手法として準弾性 (p,pn) 反応が有効であることを明らかにした。ダイニュートロン相

関の強さの尺度として二中性子のコア核に対する開き角を採用し、その変化を終状態 ^{10}Li の相対エネルギーの関数として導出した。その結果、ダイニュートロン相関の強さが相対エネルギーによって変化していることが明らかになった。また、ダイニュートロン相関が原子核表面付近で強く実現していることを示唆する結果を得た。 ^{11}Li 原子核全体で平均した場合、先行研究に比べてダイニュートロン相関は弱いという結果となった。これは、先行研究で用いられていた手法が原子核表面にしか感度がないため、ダイニュートロン相関の強さを過大評価していたと考えられる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kawase S., Uesaka T., Tang T. L., Beaumel D., Dozono M., Fukunaga T., Fujii T., Fukuda N., Galindo-Uribarri A., Hwang S., Inabe N., Kawabata T., Kawahara T., Kim W., Kisamori K., Kobayashi M., Kubo T., Kubota Y., Kusaka K., Lee C. S., Maeda Y., Matsubara H., Michimasa S., Miya H., Noro T., Nozawa Y., Obertelli A., Ogata K., Ota S., Padilla-Rodal E., Sakaguchi S., Sakai H., Sasano M., Shimoura S., Stepanyan S., Suzuki H., Suzuki T., Takai

- M., Takeda H., Tamii A., Tokieda H., Wakasa T., Wakui T., Yako K., Yasuda J., Yanagisawa Y., Yokoyama R., Yoshida K., Yoshida K. and Zenihiro J.: “Exclusive quasi-free proton knockout from oxygen isotopes at intermediate energies”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, in print.
- Sekiguchi K., Witala H., Akieda T., Eto D., Kon H., Wada Y., Watanabe A., Chebotaryov S., Dozono M., Golak J., Kamada H., Kawakami S., Kubota Y., Maeda Y., Miki K., Milman E., Ohkura A., Sakai H., Sakaguchi S., Sakamoto N., Sasano M., Shindo Y., Skibiński R., Suzuki H., Tabata M., Uesaka T., Wakasa T., Yako K., Yamamoto T., Yanagisawa Y. and Yasuda J.: “Complete set of deuteron analyzing powers from dp elastic scattering at 190 MeV/nucleon”, *Physical Review C* 96, 064001 (2017).
- Olivier L., Franchoo S., Niikura M., Vajta Z., Sohler D., Doornenbal P., Obertelli A., Tsunoda Y., Otsuka T., Authalet G., Baba H., Calvet D., Château F., Corsi A., Delbart A., Gheller J.-M., Gillibert A., Isobe T., Lapoux V., Matsushita M., Momiyama S., Motobayashi T., Otsu H., Péron C., Peyaud A., Pollacco E. C., Roussé J.-Y., Sakurai H., Santamaria C., Sasano M., Shiga Y., Takeuchi S., Taniuchi R., Uesaka T., Wang H., Yoneda K., Browne F., Chung L. X., Dombrádi Z., Flavigny F., Giacoppo F., Gottardo A., Hadyńska-Klęk K., Korkulu Z., Koyama S., Kubota Y., Lee J., Lettmann M., Louchart C., Lozeva R., Matsui K., Miyazaki T., Nishimura S., Ogata K., Ota S., Patel Z., Şahin E., Shand C., Söderström P.-A., Stefan I., Steppenbeck D., Sumikama T., Suzuki D., Werner V., Wu J. and Xu Z.: “Persistence of the $Z=28$ Shell Gap Around ^{78}Ni : First Spectroscopy of ^{79}Cu ”, *Physical Review Letters* 119, 192501 (2017).
- Shand C., Podolyák Z., Górska M., Doornenbal P., Obertelli A., Nowacki F., Otsuka T., Sieja K., Tostevin J., Tsunoda Y., Authalet G., Baba H., Calvet D., Château A., Chen S., Corsi A., Delbart A., Gheller J., Giganon A., Gillibert A., Isobe T., Lapoux V., Matsushita M., Momiyama S., Motobayashi T., Niikura M., Otsu H., Paul N., Péron C., Peyaud A., Pollacco E., Roussé J.-Y., Sakurai H., Santamaria C., Sasano M., Shiga Y., Steppenbeck D., Takeuchi S., Taniuchi R., Uesaka T., Wang H., Yoneda K., Ando T., Arici T., Blazhev A., Browne F., Bruce A., Carroll R., Chung L., Cortés M., Dewald M., Ding B., Dombrádi Z., Flavigny F., Franchoo S., Giacoppo F., Gottardo A., Hadyńska-Klęk K., Jungclaus A., Korkulu Z., Koyama S., Kubota Y., Lee J., Lettmann M., Linh B., Liu J., Liu Z., Lizarazo C., Louchart C., Lozeva R., Matsui K., Miyazaki T., Moschner K., Nagamine M., Nakatsuka N., Nishimura S., Nita C., Nobs C., Olivier L., Ota S., Orlandi R., Patel Z., Regan P., Rudigier M., Şahin E., Saito T., Söderström P.-A., Stefan I., Sumikama T., Suzuki D., Vajta Z., Vaquero V., Werner V., Wimmer K., Wu J. and Xu Z.: “Shell evolution beyond $Z=28$ and $N=50$: Spectroscopy of $^{81,82,83,84}\text{Zn}$ ”, *Physics Letters B* 773, 492 (2017).
- Sekiguchi K., Wada Y., Watanabe A., Eto D., Akieda T., Kon H., Miki K., Sakamoto N., Sakai H., Sasano M., Shimizu Y., Suzuki H., Uesaka T., Yanagisawa Y., Dozono M., Kawase S., Kubota Y., Lee C. S., Yako K., Maeda Y., Kawakami S., Yamamoto T., Sakaguchi S., Wakasa T., Yasuda J., Ohkura A., Shindo Y., Tabata M., Milman E., Chebotaryov S., Okamura H. and Tang T. L.: “Deuteron Analyzing Powers for dp Elastic Scattering at Intermediate Energies and Three-Nucleon Forces”, *Few-Body Systems* 58, 48 (2017).

●口頭発表 Oral Presentations

- Y. Kubota: “Probing neutron-neutron correlation in ^{11}Li via the quasi-free (p,pn) reaction”, Paris, France, February (2018).
- Y. Kubota: “Probing neutron-neutron correlation in ^{11}Li through the quasi-free (p,pn) reaction”, The 244th RIKEN RIBF Nuclear Physics Seminar, Saitama, Japan, December (2017).
- Y. Kubota: “Neutron-neutron correlation in Borromean nucleus ^{11}Li ”, SAMURAI International Collaboration Workshop 2017, Darmstadt, Germany, August (2017).
- Y. Kubota: “Dineutron correlation in Borromean nuclei”, 3rd International Workshop on Quasi-Free Scattering with Radioactive-Ion Beams (QFS-RB17), York, United Kingdom, July (2017).

Y. Kubota: “Two-neutron correlation in Borromean nuclei via the quasi-free (p, pn) reaction”, 日本物理

学会第72回年次大会シンポジウム, 大阪大学豊中キャンパス, March (2017).

XXVIII-011 Exploring Quantum Chromodynamics at Finite Temperature and Density Using Complex Analysis

Name: Hiromichi NISHIMURA

Host Laboratory: Theory Group,

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Dmitri KHARZEEV

With Y. Tanizaki and J. Verbaarschot, we have made a new proposal to improve the Lefschetz thimble technique to tame the fermion sign problem in quantum chromodynamics. We have argued that the conventional gradient flow defining Lefschetz thimbles generically blows up, and thus one needs to monitor the divergence of gradient flows with great care in numerical computations. Instead of doing that, we propose a new gradient flow equation that also defines Lefschetz thimbles and does not suffer from blow-ups. We show its theoretical foundation by providing a geometric interpretation of the change in the gradient flows, and also prove rigorously that our new flow equation does not have blow-ups. In some examples of one-dimensional integrals with a sign problem, we numerically construct the complex contours using the new gradient flow to see how it works in practice. By appropriately choosing the regularization parameters of the new gradient flow, we check that it solves the sign problem as the conventional flow equation does.

With R. Pisarski and V. Skokov, we have studied phase transitions in $SU(\infty)$ gauge theories at non-zero temperature using matrix models. Our basic assumption is that the effective potential is dominated by double trace terms for the Polyakov loops. As a function of the various parameters, related to terms linear, quadratic, and quartic in the Polyakov loop, the phase diagram exhibits a universal structure. In a large region of this parameter space, there is a continuous phase transition whose order is larger than second. This is a generalization of the phase transition of Gross, Witten, and Wadia. Depending upon the detailed form of the

matrix model, the eigenvalue density and the behavior of the specific heat near the transition differ drastically. We speculate that in the pure gauge theory, that although the deconfining transition is thermodynamically of first order, it can be nevertheless conformally symmetric at infinite N .

● Publications

(Original Papers)

- Y. Tanizaki, H. Nishimura and J. J. M. Verbaarschot: Gradient flows without blow-up for Lefschetz thimbles. JHEP 1710, 100 (2017)
- H. Nishimura, R. D. Pisarski and V. V. Skokov: Finite-temperature phase transitions of third and higher order in gauge theories at large N . To appear in Physical Review D
- H. Nishimura, R. D. Pisarski and V. V. Skokov: Possible higher order phase transition in large- N gauge theory at finite temperature. PoS(CPOD2017)075.

● Oral Presentations

(International conferences)

- H. Nishimura: Phase structure of large- N gauge theory at finite temperature, Talk given by HN at 15th International Conference on QCD in Extreme Conditions (XQCD 2017), Pisa, Italy, 26-28 June 2017.
- H. Nishimura: Possible higher order phase transition in large- N gauge theory at finite temperature, Talk given by HN at 11th International Workshop on Critical Point and Onset of Deconfinement (CPOD 2017), Stony Brook, USA, 7-11 August 2017.

XXVIII-013 磁性トポロジカル絶縁体における磁壁・接合系の量子輸送現象
Quantum transport phenomena at domain wall or heterojunction
of magnetic topological insulator

研究者氏名: 吉見 龍太郎 Yoshimi, Ryutaro
受入研究室: 創発物性科学研究センター
強相関量子伝導研究チーム
(所属長 十倉 好紀)

トポロジカル絶縁体は、バンドギャップの開いたバルク状態とギャップの閉じた金属的な表面状態(ディラック状態)を有する系である。磁性元素を添加し強磁性の発現した磁性トポロジカル絶縁体では自発的な時間反転対称性の破れによって表面ディラック状態にギャップが開き、量子異常ホール効果が発現する。ゼロ磁場でも非散逸なエッジ伝導を生じる異常量子ホール効果は、基礎物理・素子応用の双方から注目が高まっている。しかしながら、異常量子ホール効果の観測温度は1 K程度であり、数十meVの大きさがあるギャップと比較して著しく低い点ことが知られている。これまでの研究で、表面ディラック状態における電子・正孔の空間不均一性、ドーピングされている磁性元素濃度の空間不均一性、磁性元素添加による基板界面結晶の格子欠陥などの可能性が指摘されてきたが、電気輸送測定だけではこれらのどれが主要な要因であるか議論することは難しかった。そこで、電荷や磁性不純物の空間依存性を調べるため、創発物性計測研究グループとの共同研究により走査型トンネル顕微鏡を用いた分光測定を試みた。本研究で用いる薄膜試料をトンネル分光装置で測定するためには専用の試料成長ホルダーと試料の真空搬送技術が必要になる。本年度は測定の前段階として、試料作成条件を最適化し、量子異常ホール効果の発現を確認した。これによって量子異常ホール効果に関する上記の問題に取り組むことが出来るようになる。

次に、トポロジカル絶縁体と接合できる物質開拓として、極性半導体GeTeの開発を行った。特に、磁性元素Mnをドーピングした(Ge,Mn)Teで、電流印加による磁化反転現象を観測した。母物質であるGeTeはバルク結晶構造の空間反転対称性が破れていることに起因してスピン偏極したバンドを有する。スピン偏極したバンドに電界をかけるとエデルシュタイン効果によってスピン蓄積が生じ、強磁性

体の磁化反転が可能になる。これらの研究はこれまで表面や界面などの二次元電子系でのみ行われてきたが、本研究ではバルク物質に由来するエデルシュタイン効果として初めて、強磁性体の磁化反転に成功した。

●誌上発表 Publications

(総説)

吉見龍太郎, 塚崎厚, 川崎雅司, 十倉好紀: “トポロジカル絶縁体における量子異常ホール効果”, 固体物理, 52, 235-248, (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimi R.: “Quantum Hall Effects in topological insulator heterostructures”, CEMS Topical Meeting on Emergent 2D Materials 2017, Wako, Japan, July, 21st, 2017.

Yoshimi R., Yasuda K., Tsukazaki A., Takahashi K. S., Kawasaki M., Tokura Y.: “Current-induced magnetization switching in Rashba bulk ferromagnet”, American Physical Society, Los Angeles, United States, March, 2018 (予定).

(国内学会等)

吉見龍太郎, 安田憲司, 塚崎敦, 高橋圭, 川崎雅司, 十倉好紀: 「極性強磁性半導体Ge_{1-x}MnxTeにおける電流誘起磁化反転」, 日本物理学会2017年年次大会 東京理科大学, 領域4 22aB402-3 2018年3月

●ポスター発表 Poster Presentations

Yoshimi R., Yasuda K., Tsukazaki A., Takahashi K. S., Kawasaki M., Tokura Y.: “Current-induced magnetization switching in Rashba bulk ferromagnet”, CEMS Symposium on Trends in Condensed Matter Physics, Wako, Japan, November, 2017.

Electron Microscopic Study on External Field Response and
Dynamics of Magnetic Skyrmions

研究者氏名: 柴田 基洋 Shibata, Kiyou
 受入研究室: 創発物性科学研究センター
 強相関量子構造研究チーム
 (所属長 有馬 孝尚)

ローレンツ電子顕微鏡法などの透過型電子顕微鏡を用いた磁気構造分析手法は高い空間分解能を有し、ナノスケール磁気構造やその変化の実空間観察に大変有用である。本研究は透過型電子顕微鏡の各種法を特にナノスケールの渦状磁気構造である磁気スキルミオンに適用し、その外場応答とダイナミクスの解明を目指すものである。

当期は主に、昨年度から継続していた磁気スキルミオン結晶とらせん磁気構造の共存状態の電流応答について画像・統計処理による分析と論文化を行った。具体的にはパルス電流印加前後の磁気スキルミオン結晶とらせん磁気構造の共存状態のローレンツ像について機械学習の手法でドメイン構造のマッピングを行い、相関を調べることでドメイン境界の移動量を定量化した。主な結果は以下のとおりである。

1. 磁気スキルミオン結晶とらせん磁気構造の相境界は電流の向きと半平行に移動する傾向があることが電流の極性変化から確認できた。
2. 駆動に必要な臨界電流密度は凡そ 10^9 A/m 程度である。
3. 定性的な傾向として、電流値の増大、パルス印加時間の増大、温度上昇により、境界の移動距離は増大し、駆動速度は 1 mm/s 程度である。
4. 磁気構造変化の時間的・空間的不均一性と、高温での磁気構造変化の増大は、境界の電流駆動がピニングサイトからの熱的な励起などの熱的な過程に影響されていることを示唆している。
5. らせん磁気構造に対して 2.5×10^9 A/m², 150 μ s などの電流密度が大きくパルス幅が長いパルス印加では、ジュール発熱と急冷によると考えられるスキルミオンの増加が見られた。
6. 超高压電子顕微鏡により膜厚の大きい (500 nm 程度) 試料領域の磁気構造を観察し、スキルミオン結晶の生成等を確認した。
また、新たに印加磁場を増加させていった際のス

キルミオン結晶の崩壊過程を探るため、ローレンツ像の画像・統計分析にも着手した。具体的には磁場を変えて実験的に得たローレンツ像やマイクロマグネティックシミュレーションによって生成した磁化マップからスキルミオンの中心位置の集合を抽出し、パーシステントホモロジー解析を試みた。これまでに、スキルミオン結晶の結晶性が低下していく様子をパーシステンス図における分布の広がりとして可視化することができた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Shibata K., Tanigaki T., Akashi T., Shinada H., Harada K., Niitsu K., Shindo D., Kanazawa N., Tokura Y., and Arima T.: “Current-driven motion of domain boundaries between skyrmion lattice and helical magnetic structure”, *Nano Letters*, 18 929-933 (2018)*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Shibata K., Tanigaki T., Akashi T., Shinada H., Harada K., Niitsu K., Shindo D., Kanazawa N., Tokura Y., and Arima T.: “Lorentz TEM observation and analysis of current-induced chiral magnetic domain motion”, *The third East Asia Microscopy Conference*, Busan, Republic of Korea, Nov. (2017)

柴田基洋, 谷垣俊明, 明石哲也, 品田博之, 原田研, 新津甲大, 進藤大輔, 金澤直也, 十倉好紀, 有馬孝尚: “ローレンツTEMを用いたカイラル磁気構造ドメインの電流印加応答の分析”, *日本顕微鏡学会第73回学術講演会*, 札幌, 6月(2017)

柴田基洋, 谷垣俊明, 明石哲也, 品田博之, 原田研, 新津甲大, 進藤大輔, 金澤直也, 十倉好紀, 有馬孝尚: “ローレンツTEMを用いた磁気構造の電流印加応

XXVIII-015

数值的・解析的手法を組み合わせたアプローチによる
高次元量子フラストレートスピン系の研究

Study of Higher-Dimensional Frustrated Quantum Spin Systems by
Numerical and Analytical Approaches

研究者氏名: 紙屋 佳知 Kamiya, Yoshitomo
受入研究室: 古崎物性理論研究室
(所属長 古崎 昭)

量子スピン液体などの凝縮系の新規相やその近傍の秩序相に現れる低エネルギー励起が引き起こす物理について研究している。具体的な研究対象は、量子スピン液体の素励起であるスピノンが引き起こす現象や、トポロジカル超伝導体の端状態・渦束縛状態として現れるマヨラナ・フェルミオンが引き起こす現象である。

量子スピン液体においては、スピノンが量子効果によってゆらぎ続け、絶対零度においても通常の磁性体が示す秩序化を起こさない。より本質的には、分数素励起(スピノン)の出現と、その諸性質によって特徴付けられる。量子スピン液体相そのものだけでなく、その近傍の磁気秩序相においても、(1)スピノン由来の連続体励起が高エネルギースペクトルにあらわれたり、(2)低エネルギー素励起マグノンを構成するものとして、2粒子束縛状態を形成したスピノンがあらわれたりといった興味深いシナリオが考えられている。実際、従来型のスピン波描像では定性的に説明のつかない現象が、近年量子磁性体の中性子散乱実験などで見つかった。これらの理論的理解は急務であり、実験グループとの緊密な連携をとることにより、さらなる物質探索の指針を確立することが期待されている。

一方、トポロジカル超伝導体の端状態・渦束縛状態としてあらわれるマヨラナ・フェルミオンを活用することにより、トポロジカル量子計算が可能になるのではないかと期待されている。これまでの理論研究において、許されるトポロジカル相の分類、各トポロジカル相を特徴付ける指標の構成、またどのような実験的セットアップでマヨラナ・フェルミオン系を実現させるか等について、主に相互作用を無視した取り扱いによって急速な進展があった。より最近では、相互作用の効果に着目して新規相・相

転移を探索する研究も行われるようになった。

本年度は、上記の研究トピックに関連して、

- ・3次元格子上に定義されたKitaev・モデルにおいて実現する、3次元カイラルスピン液体という量子スピン液体の新規相の研究
 - ・(2次元) Kitaev・モデルのダイナミクスを古典近似で解析し、量子極限と定性的によく似た連続体スペクトルがあらわれることを示した研究
 - ・相互作用するマヨラナ・フェルミオン系の有限温度相転移を量子モンテカルロ法によって調べた研究
 - ・三角格子量子反強磁性体 $Ba_3CoSb_2O_9$ の $1/3$ 磁化プラトーにおけるダイナミクスを調べた実験グループとの共同研究
 - ・マルチフェロイック有機磁性体の温度磁場相図についての実験グループとの共同研究
- などを行った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kato Y., Kamiya Y., Nasu J. and Motome Y.: “Chiral Spin Liquid at Finite Temperature in a Three-Dimensional Kitaev Model”, *Phys. Rev. B*, 96 174409 (2017)*

Samarakoon A. M., Banerjee A., Zhang S.-S., Kamiya Y., Nagler S. E., Tennant D. A., Lee S.-H. and Batista C. D.: “Comprehensive study of the dynamics of a classical Kitaev spin liquid”, *Phys. Rev. B*, 96 134408 (2017)*

Žuković M., Tomita Y. and Kamiya Y.: “Ordering phenomena in a heterostructure of frustrated and unfrustrated triangular-lattice Ising layers”, *Phys. Rev. E*,

96 012145 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

Kamiya Y.: “Interacting Square-Lattice Majorana Qubits at the Surface of a Topological Insulator”, USTC Workshop “Simulation of Interacting Quantum Many-Body Systems” (invited), University of Science and Technology in China, Hefei, China, May (2017)

Kamiya Y.: “Multiferroics by design with frustrated magnets with trimerized structure”, Condensed Matter Seminar (invited), Renmin University, Beijing, China, June (2017)

Kamiya Y.: “Anomalous spin dynamics in frustrated quantum magnets with magnetic order”, Condensed Matter Colloquium (invited), Shanghai Jiao-Tong University, Shanghai, China, June (2017)

Kamiya Y.: “Multiferroics by design with frustrated magnets with trimers”, Condensed Matter Seminar (invited), Kavli Institute of Theoretical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, June (2017)

紙屋佳知, Chern G.-W., Teo J., 古崎昭: “トポロジカル絶縁体表面上の正方格子マヨラナ・フェルミオン系と量子コンパスモデル”, 日本物理学会2017

年秋季大会, 岩手大学, 盛岡, 日本, 9月(2017)

Kamiya Y.: “Majorana stripe order on the surface of a three-dimensional topological insulator”, YIPQS long-term and Nishinomiya-Yukawa memorial workshop, Novel Quantum States in Condensed Matter (NQS) 2017, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, Nov. (2017)

紙屋佳知: “キタエフ・スピン液体の Z_2 フラックスと線形・非線形磁場応答: 強磁性モデルと反強磁性モデル”, 基盤研究 (A) 研究会「第二回量子スピン液体研究の新展開」, 東京大学, 東京, 日本, 12月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Kamiya Y.: “Deviation from semiclassical spin dynamics in frustrated quantum magnets with magnetic order”, SCES 2017, Clarion Congress Hotel, Prague, Czech Republic, July (2017)

Kamiya Y.: “Multiferroics by design: how to build multiferroic materials with frustrated molecular magnets”, Junjiro Kanamori Memorial International Symposium, University of Tokyo, Tokyo, Japan, Sep. (2017)

XXVIII-016

革新的結晶加工技術を駆使した物質・真空の
X線非線形光学フロンティアの開拓

Development of Frontiers of X-ray Nonlinear Optics in Matter and
Vacuum Utilizing Innovative Crystal Fabrication Techniques

研究者氏名: 大坂 泰斗 Osaka, Taito
受入研究室: 放射光科学総合研究センター
理論支援チーム
(所属長 玉作 賢治)

大気圧下で発生させたプラズマによる革新的結晶加工技術を利用することで、従来技術では作製困難な結晶光学素子を開発する。開発した新規結晶光学素子によりX線非線形光学の物性研究、ダイナミクス研究への応用や、未開である真空の非線形光学効果の探索、発見を目的とする。物質のX線非線形光学現象の1つであるX線パラメトリック下方変換 (XPDC) により、赤外から軟X線に対する物質の光学応答を原子スケールの空間分解能で測定可能で

ある。本研究において開発するX線分割・遅延光学系により生成可能な、時間的に分離された2つの単色X線パルス光を利用してXPDC測定を行うことで、X線照射による他波長域の光に対する光学応答変化や、過渡的な構造における光学応答が解明出来ると期待する。さらに、プラズマ加工法を側面部の高精度無歪薄化技術へと昇華させ、高効率な一体型X線コライダー結晶素子を開発することで、真空の非線形光学現象である光子-光子散乱の発見、もし

くはその散乱断面積に大きな制限を設けることを期待する。

本年度は、(1) X線分割・遅延光学系の改良、(2) 単色X線FELパルスの強度増大、(3) Bragg型硬X線コライダー結晶の作製に対して、それぞれ以下のような取り組みを行った。

- (1) 開発したX線分割・遅延光学系の試作機には、直進ステージを駆動させ分割パルス間の遅延時間を変化させた際、結晶光学素子の姿勢変化によって分割ビームのポインティングが安定しないという問題があった。この問題を解決するため、姿勢変化の小さな直進ステージの開発や、より短い移動距離でも大きな遅延時間変化を与えられる新たな光学配置を設計した。そして常設装置としてSACLAビームラインへ導入するための準備を進めた。
- (2) 本研究課題では、1eV程度まで単色化したXFELパルスの強度が重要であるが、現状不十分である。単色XFELパルスの強度を増大可能なセルフシード法の実現に向け、ギャップ幅約100 μm の「マイクロチャンネルカット結晶」の試作、評価を行った。試作した結晶表面には、加工の困難さ故に、多くの結晶学的ダメージが確認されたものの、数値シミュレーションによりセルフシードへの影響は小さいことを確認した。開発した素子を利用したセルフシード法の試験を今年度中に実施予定である。
- (3) Bragg型硬X線コライダー結晶の作製には、局在化したプラズマを利用した数値制御内壁面加工技術の確立が必須となる。その前段階として、局在化プラズマによるチャンネルカット結晶モノクロメータの内壁加工を行った。試作した結晶の評価を1月末に実施予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Osaka T., Hirano T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Inoue I., Tono K., Robert A., Hastings J. B., Yamauchi K., and Yabashi M.: “Characterization of temporal coherence of hard X-ray free-electron laser pulses with single-shot interferograms,” IUCrJ 4(6), 728-733 (2017)*

Tono K., Togashi T., Inubushi Y., Katayama T., Owada S., Yabuuchi T., Kon A., Inoue I., Osaka T., Yumoto

H., Koyama T., Ohashi H., and Yabashi M.: “Overview of Optics, Photon Diagnostics and Experimental Instruments at SACLA: Development, Operation and Scientific Applications”, Proc. SPIE 10237, 1023706 (2017)*

Hirano T., Osaka T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Inoue I., Tono K., Robert A., Hastings J. B., Yamauchi K., and Yabashi M.: “Performance of a hard X-ray split-and-delay optical system with a wavefront division,” J. Synchrotron Rad. 25, 20-25 (2018)*

Inoue I., Osaka T., Tamasaku K., Ohashi H., Yamazaki H., Goto S., and Yabashi M.: “An X-ray harmonic separator for next-generation synchrotron X-ray sources and X-ray free-electron lasers”, J. Synchrotron Rad. (2018)* Accepted for publication

(総説)

大坂 泰斗: “波長可変型硬X線分割・遅延光学系の開発: 現状と将来展望”, 放射光, Vol. 30, No. 3, 145-141 (2017) *

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Osaka T. (invited): “A hard x-ray split-and-delay optics with wavefront dividing crystals at SACLA,” SPIE OPTICS+OPTOELECTRONICS 2017, Prague, Czech Republic, April (2017)

Osaka T., Inoue I., Hirano T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Tono K., Yamauchi K., and Yabashi M.: “Hard x-ray split-delay optics for time-domain high-resolution x-ray spectroscopy with XFELs,” 10th International Conference on Inelastic X-ray Scattering (IXS2017), Hamburg, Germany, August (2017)

Osaka T.: “Development of SDO at SACLA,” 9th Hard X-ray FEL Collaboration Meeting, Hyogo, Japan, December (2017)

(国内学会)

大坂 泰斗, 井上 伊知郎, 金城 良太, 平野 嵩, 森岡 裕貴, 佐野 泰久, 矢橋 牧名: “X線自由電子レーザーのセルフシードに向けた μ -チャンネルカット反射型X線モノクロメータの基礎検討”, 2017年度精密工学会秋季学術講演会, 豊中、大阪, 9月 (2017)

大坂 泰斗 (招待講演): “SACLAにおける硬X線分割遅延光学系の現状と将来展望”, 第14回X線結像光学シンポジウム, つくば, 茨城, 11月 (2017)
大坂 泰斗, 井上 伊知郎, 金城 良太, 平野 嵩, 森岡 裕貴, 佐野 泰久, 犬伏 雄一, 登野 健介, 原 徹, 稲垣 隆宏, 後藤 俊治, 大橋 治彦, 矢橋 牧名: “SACLAにおける反射型セルフシードの検討-実証実験に向けた進捗報告-”, 第31回日本放射光学学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 茨城, 1月 (2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Osaka T., Hirano T., Morioka Y., Sano Y., Inubushi Y., Togashi T., Inoue I., Tono K., Matsuyama S., Yamachi K., and Yabashi M.: “Measuring Temporal Profile of Femtosecond X-Ray Pulses with a Hard X-Ray Split-and-Delay Optical System at SACLA,” International conference on X-ray optics and applications 2017 (XOPT2017), Yokohama, Japan, April (2017)

XXVIII-017 温度勾配によって誘起されるスピン・熱の輸送現象の理論的研究

Theoretical Study on Spin and Heat Transport Phenomena Driven by Temperature Gradient

研究者氏名: 下出 敦夫 Shitade, Atsuo
受入研究室: 創発物性科学研究センター
スピン物性理論研究チーム
(所属長 多々良 源)

一般に非可換なゲージ場がある場合にゲージ共変性を陽に保ちながら勾配展開を行い、次の2つの結果を得た。

1.スピントルクの計算法

電子系と結合した局在スピン系では、電場を用いて局在スピンを操作することができる。たとえば局在スピスが空間的に変化しているところにスピン分極電流を流すと、交換相互作用のために電子スピンと局在スピスが平行になろうとするため、局在スピスが回転する。このようなスピントルクはSU(2)ゲージ変換の方法を用いて計算することができるが、磁性不純物やスピン軌道相互作用がある場合、SU(2)ゲージ変換によってこれらの項も空間的に変化するため、計算が煩雑になる。

勾配展開では時間、空間微分とゲージ場の強さを対等に扱うことができ、Hamiltonianの具体形を知らなくともGreen関数を摂動的に書き下すことができる。スピントルクは空間微分について1次、電場について1次の電子スピンの摂動論である。私は勾配展開の利点に着目し、一般のHamiltonianに対するスピントルクの第一原理的な公式を導出した。

2. 軌道磁気四極子モーメントの定式化

電気(磁気)多極子モーメントは物質中の古典電磁気学において、電荷(電流)密度の分布を特徴づ

ける物理量である。よく知られているのは電気(磁気)双極子モーメントである電気分極(軌道磁化)である。多極子モーメントは位置を含む積分で与えられており、結晶においてはよく定義されていない。電気分極と軌道磁化については解決されているものの、高次の多極子モーメントについては19世紀から現在にいたるまで解決されていない。

勾配展開ではゲージ場の強さの微分についての摂動論を導出することもできる。私は軌道磁化の定義に倣い、磁場の空間微分について1次の熱力学ポテンシャルの摂動論によって軌道磁気四極子モーメントを定義し、第一原理的な公式を導出した。磁気四極子モーメントは磁気電気分極率と同様に時間、空間反転対称性が破れている場合にのみ許される。磁気四極子モーメントと磁気電気分極率の一般的な関係を示すことができた。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shitade Atsuo: “Anomalous Thermal Hall Effect in a Disordered Weyl Ferromagnet”, Journal of the Physical Society of Japan, 86 054601(2017)*

(その他)

Shitade Atsuo: “Gradient expansion formalism for ge-

neric spin torques”, arXiv:1708.03424, submitted

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shitade Atsuo: “Gradient expansion formalism for generic spin torques”, APS March Meeting 2018, Los Angeles Convention Center, Los Angeles, United States, Mar.(2018)

Shitade Atsuo: “Gradient expansion formalism for generic spin torques”, Novel Quantum States in Condensed Matter 2017, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto, Japan, Nov.(2017)

Shitade Atsuo: “Anomalous thermal Hall effect in a disordered Weyl ferromagnet”, Conference on Weyl Fermions in Materials, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, Oct.(2017)

(国内学会等)

下出 敦夫, “勾配展開を用いたスピントルクの計算”, 日本物理学会 第73回年次大会, 東京理科大学, 3月 (2018)

下出 敦夫, “Weyl強磁性体における異常熱Hall効果”, 日本物理学会 2017年秋季大会, 岩手大学, 9月 (2017)

XXVIII-019

準結晶上の相関効果をもたらす機能物性

Functional properties of strongly correlated quasicrystals

研究者氏名: 竹森 那由多 Takemori, Nayuta
受入研究室: 創発物性科学研究センター
計算物質科学研究チーム
(所属長 有田 亮太郎)

最近、広義の結晶でありながら並進対称性を持たない強相関準結晶物質 $\text{Au}_{51}\text{Al}_{34}\text{Yb}_{15}$ において電子相関に由来した量子臨界的挙動が発見された。この性質は長周期構造を持つ近似結晶においては出現しないため、準結晶の幾何学的構造を記述する準周期性が本質的な要因となる量子臨界性の存在を示している。準周期格子はフラクタル格子の1つであり、その幾何学的構造を反映して、自由電子模型において無限重縮退をもたらす自己相似状態などが厳密な固有状態として現れる。このため、強相関効果により量子臨界性のみならず多彩な物性が低温領域において発現することが、同様の無限重縮退が現れるカゴメ格子やパイロクロア格子における研究結果の類推から予想される。

準結晶物質が持つこのような幾何学的特徴に起因して、準結晶合金はゼーベック係数が大きいことなど優れた熱電的特徴を持つことが知られており、実際に熱電材料として応用されている。また、最近近似結晶において超伝導状態が発見されたことにより、準結晶物質における超伝導状態が実現可能性及びその機構に興味を持たれている。しかしながら、強相関準結晶物質における超伝導状態や熱電効果は理論的にほとんど調べられていない。本研究では、

準結晶において相関効果をもたらす非自明で豊かな機能物性を理論的に予言及び設計を行うことを目的とする。計算手法として、実空間動的平均場近似や、申請者が開発した実空間Dual Fermionの手法を用い、さらに第一原理計算と組み合わせることにより理想的な熱電材料となる準結晶物質を設計する。また、周期性がない系における超伝導状態を取り扱う手法を開発し、その安定性を予言する。

本年度は、

- (1) 周期系 (Na_xCoO_2 及び Na_xFeO_2 及び Na_xCrO_2) の熱電係数に関する研究
- (2) 非周期系における非BCS型超伝導状態の解析を行った。まず、(1)の研究を通して、準結晶物質の熱電性能を調査する上で必要な知見を得た。また、(2)の研究を通して、実験的に観測された準結晶での超伝導状態が周期系で知られているBCS型超伝導体と異なる性質を示す可能性を指摘した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takabayashi Y., Menelaou M., Tamura H., Takemori N., Koretsune T., Štefančič A., Klupp G., Buurma A., Nomura Y., Arita R., Arčon D., Rosseinsky M.

and Prassides K.: “ π -electron $S=1/2$ quantum spin-liquid state in an ionic polyaromatic hydrocarbon”,

Nature Chemistry, 9, 2764 (2017).

XXVIII-020

トポロジカル金属状態の理論研究

Theoretical study of topological metallic states

研究者氏名: 高橋 隆志 Takahashi Ryuji
受入研究室: 古崎物性理論研究室
(所属長 古崎 昭)

29年度におこなった主な研究は以下、甲、乙、丙、丁である。研究内容、乙、丙は論文投稿中である。

甲. Bloch状態による Landau-Zener トンネル問題

Landau-Zener (LZ) 問題とは2準位量子系における、外力による準位間遷移現象を記述する。

前年度に築いた格子系における経路積分及び瞬子法を用い、Dirac 模型との類似性の高い強束縛近似模型である Su-Schrieffer-Heeger (SSH) 模型におけるトンネル確率を計算した。計算の結果、格子系のトンネル確率がDirac系におけるそれよりも大きくなり、同じパラメタであっても格子系の透過確率が相対的に大きく、1000倍以上大きくなる場合があることが示された。これは、トンネルにおける非線型作用の寄与が指数関数的に影響するためであり、トンネル効果において格子の効果が無視できないことを示した。

乙. Landau-Zener トンネル 効果における Berry 曲率の役割

LZ トンネル問題で用いられる有効模型は、SSH 模型を含め、分散関係において対称性を持ったものが良く用いられる。本研究はこの対称性の一つであるカイラル対称性を持った、定ギャップにおけるトンネル効果において、Berry 位相がトンネル効果を含む転送行列のユニタリ性をあたえることを示した。

丙. 梯子系による Landau-Zener トンネル問題

単純な1次元強束縛模型を梯子系に拡張した系におけるトンネル効果の研究を行った。半古典近似における LZ 問題は、バンド端において透過現象が生じる。梯子系はバンド端付近での分散関係がバンド端を機軸にして非対称的になる。本研究はその効果

がトンネル現象に及ぼす寄与を研究し、その結果として半古典的な透過経路が梯子間相互作用によって、歪曲し、透過振幅が複素数になることを示した。また、二つのバンド端からの透過振幅の干渉が起こり、物理パラメタを変化させることによって透過確率が振動することを示した。

丁. 時間反転対称性が壊れた系における Landau-Zener トンネル現象の研究

直近の問題として、時間反転を破った場合における LZ 問題の研究を行っている。系として SSH 模型を梯子状にし、外部磁場を駆けた場合を用いた。SSH 模型におけるギャップは格子歪由来とし、自由エネルギーの鞍点から求めた。弾性散乱からギャップがもたらされると仮定すると、回転対称性が存在し、尚且つ格子のバネ定数がある程度大きくなる必要があることが分かった。磁場によってバンド構造が変化するので、それによるトンネル確率の変化を今後研究する。

●誌上発表 Publications

- ・ R. Takahashi, N. Sugimoto : “Landau-Zener tunneling problem for Bloch states”, Phys. Rev. B 95, 224302(2017)

●口頭発表 Oral Presentations

- ・ 高橋隆志: “格子系による Landau-Zener トンネル問題”、日本物理学会、岩手、九月
- ・ 高橋隆志: “Anomalous Hall effect of the magnon by the interaction with phonons” 米物理学会、アメリカ、3月

XXVIII-022

Polymerization of Heteroatom-containing Olefins by Rare-Earth Catalysts

Name: Chunxiang WANG

Host Laboratory: Advanced Catalysis Research Group

Center for Sustainable Resource Science

Laboratory Head: Zhaomin HOU

The metal-catalyzed copolymerization of ethylene with heteroatom (such as O and S)-containing functional olefins has been considered to be the most straightforward and atom-efficient route for the synthesis of functionalized polyethylenes. Copolymers produced from the copolymerization of ethylene with disubstituted olefins such as 1,1-disubstituted or 1,2-disubstituted olefins are expected to exhibit superior material properties and higher stability when compared to those with monosubstituted olefins. However, disubstituted olefins have higher steric demands than that of monosubstituted olefins, and show much lower reactivity towards coordination/insertion of a monomer and subsequent propagation. In the present study, the heteroatom-assisted copolymerization of ethylene with disubstituted olefins catalyzed by rare-earth metal catalysts was developed. It was found that the interaction between the heteroatom in a disubstituted olefin and the rare-earth metal atom in the catalyst can dramatically raise the polymerization activity and enable its copolymerization with ethylene, leading to the formation of a new family of functionalized polyethylenes. Both *cis*- and *trans*-1,2-disubstituted olefins readily copolymerized with ethylene to produce copolymers with similar structure

and property. The findings of this research will enable the polymerization of a broader range of functionalized disubstituted olefins in the future, and gain widespread use in other related monomers.

● Publications

Papers

Wang, C., Luo, G., Nishiura, M., Song, G., Yamamoto, Y., Luo, Y. and Hou, Z.: Heteroatom-assisted olefin polymerization by rare-earth metal catalysts. *Sci. Adv.* 2017, 3, e1701011.*

Other

Wang, C., Wang, H., Nishiura, M. and Hou, Z.: Preparation method for homopolymer and copolymer of polar olefins (patent application) application no. 2017-049096, filed on 14 March 2017.

● Oral Presentations

Conferences

Wang, C., Luo, G., Nishiura, M., Song, G., Yamamoto, Y., Luo, Y. and Hou, Z.: "Heteroatom-assisted olefin polymerization by rare-earth metal catalysts" 66th Symposium on Macromolecules, Matsuyama-city Japan 2017, September 20-22.

XXVIII-023

Computational Investigation of the Reaction Mechanism in Bovine Heart Cytochrome *c* Oxidase

Name: Bo THOMSEN

Host Laboratory: Theoretical Molecular Science Laboratory

Cluster for Pioneering Research

Laboratory Head: Yuji SUGITA

Currently we are investigating the hydration of Bovine Heart Cytochrome *c* Oxidase (BHCcO) using enhanced sampling techniques in molecular dynamics simulations. While modern crystallography methods

are able to resolve water, they often do so under conditions that does not reflect those of the working protein. We are therefore aiming to elucidate the hydration of several water containing channels in BHCcO, most im-

portantly the H-channel. The function of the channel in BHCcO and other CcOs of the A family has for a long time been controversial, with suggestions ranging from it being essential for proton transport to it having no function at all.

We are currently preparing models for BHCcO using the Charmm36 force field with modifications for the redox active groups responsible for the electron transport and reduction of oxygen in CcOs; Cu_A, Cu_B, Heme A and Heme A₃. The models will be used in a simulation scheme where water is pulled into the H-pathway to increase hydration of the pathway. Further investigations of the protonation states of several key residues will be needed once the hydration of the pathway has been sampled. Time has therefore been spent learning continuum electrostatic and quantum mechanics/molecular mechanics (QM/MM) methods for calculation of the p*K*_a in complex environments.

The main method used in this study is molecular dynamics, and it is therefore critical to have an accurate

force field parametrization of the BHCcO structures used in the study. The force field parameters of the redox active sites of BHCcO are currently being investigated using quantum mechanical methods. The force field of especially heme A is important to the water contents of the H-pathway, since the hydroxyethylfarnesyl group of heme A and the side of the porphyrin is in direct contact with water in the pathway. All of these study elements will hopefully lead to a clearer picture of the function of the H-pathway in BHCcO, and to the publication of the findings within the next fiscal year.

● Poster Presentations

International Conferences

Thomsen B., Sugita Y. and Yagi K.: "Investigating the Hydration of Polyamide 6 using Theoretical Difference Infrared Spectroscopy" 253rd American Chemical Society National Meeting and Exposition: Advanced Materials, Technologies, Systems and Processes, April 2-7.

XXVIII-024

Bimodal Glycosyl Donor Protected by 2-*O*-ortho-tosylamido-benzyl Group

Name: Feiqing DING

Host Laboratory: Synthetic Cellular Chemistry Laboratory

Laboratory Head: Yukishige ITO

Stereo-controlled *O*-glycosylation is essential in achieving formation of specific glycosidic linkage of various oligosaccharides of biological interest. Extensive efforts have been made to develop "ideal" glycosyl donors by optimizing leaving groups and activators, along with protective groups and reaction conditions, in order to maximize the efficiency of glycosylation in terms of chemical yield, selectivity, and operational simplicity. In a majority of cases, it is now possible to get desired oligo-saccharide using a series of suitably prepared donors for each linkage of target oligosaccharides. For the next step, development of a single type of donors universal for the synthesis of all isomers of the oligosaccharide is not only an important issue for the solution-phase oligosaccharide synthesis but also a rather difficult issue to be solved for solid-phase synthesis. In

our preliminary study, a highly versatile glucosyl donor having C2-*o*-TsNHbenzyl ether as bimodal directing group has been developed for glycosylation, which exhibited α - or β -stereoselectivity by adjusting the catalyst, solvent, concentration and temperature. Utility of this "single donor" approach was demonstrated by assembly of all four isomers of naturally occurring trisaccharides D-Glc-(1→2)-D-Glc-(1→6)-D-Glc. Clarification of its mechanistic detail, optimization of reaction conditions, and expansion to other sugar components will be subjects of future study.

● Publications

Papers

Ding F.Q., Ishiwata A. Ito Y.: imodal Glycosyl Donor Protected by 2-*O*-ortho-tosylamido-benzyl Group.

submitted

● Oral Presentations

International conferences

1. Ding F.Q., Ishiwata A. Ito Y.: “Stereodivergent *O*-Glycosylation by a “Single Donor”: Preparation of Anomeric Isomers of Triglucosides.” 9th Asian Community of Glycoscience and Glycotechnology Conference, Department of Chemistry, The University of Hong Kong, Hong Kong, China, December 17-21, 2017.

Domestic conferences

1. Ding F.Q., Ishiwata A. Ito Y.: “Stereoselective and

Divergent Synthesis of Anomeric Isomers of Triglucosides Using a Single Donor.” Systems Glycobiology and Beyond —Toward :a bridge between fundamental research and applied science.” RIKEN, Wako City, Japan, November 16-17, 2017.

2. Ding F.Q., Ishiwata A. Ito Y.: “2-O-(ortho-tosylamido-benzyl) Glucosyl Donor for Stereoselective Preparation of All Possible Anomeric Isomers of D-Glc-(1→2)-D-Glc-(1→6)-D-Glc” 東北糖鎖研究会・東京糖鎖研究会合同シンポジウム, 第11回東北糖鎖研究会・GlycoTOKYO2017.” Gunma. University, Kiryu, Japan, November 18-19, 2017.

XXVIII-025

化合物ライブラリーおよび生物抽出物を活用した キノコ子実体形成促進因子の探索

Exploring the Inducer for Mushroom Fruiting Body Formation by Utilizing the Organism Extracts and NPDepo

研究者氏名: 大高潤之介 Otaka, Junnosuke

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)

キノコとは肉眼で確認可能な子実体を形成する糸状菌のことをいう。キノコの生活環は孢子→(発芽)→菌糸→(成長)→子実体原基→(成熟)→子実体(孢子形成)で主に成り立っており、子実体形成には光・温度・湿度といった物理的要因が関わっていることが明らかにされている。また、ゲノム解読が終了したキノコ類にいたっては子実体形成に際し発現変動する遺伝子およびその機能に関する分子生物学的研究が活発的に進んでいる。その一方で、生活環内の分化誘導に関与する化学物質についての知見はまったく進んでおらず、キノコ子実体形成に際し関与する化合物を明らかにすることは、「分化」という生命現象の化学的理解(ケミカルバイオロジー)に繋がるのみでなく、キノコ栽培後に大量に廃棄される菌床(年約30万トン発生)の削減や容器代の節約といった産業分野への貢献に繋がると考える。本研究では子実体形成を促進する因子を植物や微生物の産生した二次代謝物質およびそれら誘導体を活用して探索することを目的とした。

2017年度は、キノコの二次代謝が分化誘導に関

与するという予想のもと、モデルキノコ・ヒトヨタケを使用し二次代謝と分化へ与える影響を調べた。その過程で新規骨格セスキテルペノイド2種を含む10種の新規セスキテルペノイドを得た。得た新規骨格セスキテルペノイドに関しては、NMR, MS, UV, IR, CD, X線結晶構造解析といった詳細な手法で絶対立体化学を解明した。そして、ヒトヨールAとヒトヨールBと命名した。

その一方で、ヒトヨタケ子実体形成に際し特定の代謝産物に変化する興味深い現象をGC/MSを使用して明らかにした。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Otaka J., Hashizume D., Masumoto Y., Muranaka A., Uchiyama M., Koshino H., Futamura Y. and Osada H.: “Hitoyol A and B, Two Norsesquiterpenoids from the Basidiomycete *Coprinospora cinerea*”, Org. Lett., 19 4030-4033(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Junnosuke Otaka: New secondary metabolites from Basidiomycete, 3rd KRIBB-RIKEN Chemical Biology Joint Symposium, Ochang Branch Institute, KRIBB, Korea, Sep. (2017)

(国内学会)

Junnosuke Otaka: Two novel skeletal norsesquiterpenoids from the basidiomycete *Coprinopsis cinerea*,

2017年度日本農芸化学会大会, Nagaya, Meijo Univ, Japan, Mar. (2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

“Chemical investigation on the Basidiomycete *Coprinopsis cinerea*”, CSRS中間報告会, 和光, 11月 (2017)

XXVIII-026

カルボン酸の脱炭酸ホウ素化反応を経由した
PETプローブの迅速供給法の開発

Expeditious Synthesis of PET Probes
via Decarboxylative Borylation of Carboxylic Acid

研究者氏名: 落合 秀紀 Ochiai, Hidenori
受入研究室: ライフサイエンス技術基盤研究センター
分子標的化学研究チーム
(所属長 細谷 孝充)

カルボン酸は多くの天然物・医薬品に見られる基本的かつ重要な骨格であり、多種多様なカルボン酸が容易に入手可能である。これらのカルボン酸を高化学選択的に有機ホウ素化合物のような反応性中間体に導く手法を開発できれば、PETプローブをはじめとする各種プローブを迅速かつ簡便に合成できるものと考えられる。すなわち、カルボン酸部位を有する医薬品・天然物などの可視化したい化合物そのものを、有機ホウ素化合物をはじめとする反応性中間体（標識前駆体）へと導き、このものに対し放射性元素を導入する標識反応を行うことで、原理的にわずか2段階でPETプローブを合成することができると考えられる。また、カルボン酸から得られる反応性中間体に対しヘテロ原子やハロゲン原子を導入したり、炭素-炭素結合形成を行うことで、PETプローブのみならず、医薬・創薬分野における有用化合物を幅広く供給することができるものと考えられる。

一方、カルボン酸を出発原料とした、脱炭酸を伴う変換反応は、脱炭酸クロスカップリングをはじめとしてこれまでに多く報告されているものの、いずれの変換もカルボン酸の安定な炭素-炭素結合切断に大きなエネルギーを必要とするためか、150 °C以上の高温条件を必要とし、それに伴い基質適用範

囲が十分ではなかった。

これに対し、筆者はPETプローブの迅速供給法の開発を目指し、カルボン酸を温和な条件下対応する有機ホウ素化合物へと導く手法を確立した。すなわち、まず、カルボン酸を反応性・安定性に優れた誘導体であるチオエステルへと変換した。続いて得られたチオエステルに対し、ロジウム触媒存在下、ホウ素化試薬を加熱条件下（80 °C）作用させることで、チオエステルからの脱一酸化炭素を伴うホウ素化反応が進行することを見いだした。これら二段階の変換はいずれも温和な条件下で進行し、非常に高い官能基許容性を有するため、市販されているカルボン酸部位を有する医薬品類を含む広範な基質に適用することができた。本手法を応用することで、天然物を含む既存のカルボン酸を起点としたPETプローブなどの分子プローブの開発や構造展開が容易になると期待され、創薬研究などに大きく貢献できるものと考えている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ochiai H., Niwa T. and Hosoya T.: “Stereo-inversion of Stereocongested Carbocyclic Alcohols via Triflylation and Subsequent Treatment with Aqueous *N,N*-

Dimethylformamide”, *Org. Lett.*, 18, 5982-5985 (2016)*

Ochiai H., Uetake Y., Niwa T. and Hosoya T.: “Rhodium-Catalyzed Decarbonylative Borylation of Aromatic Thioesters for Facile Diversification of Aromatic Carboxylic Acids”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 56, 2482-2486 (2017)

Niwa T., Ochiai H., Isoda M. and Hosoya T.: “Facile Transformation of α,β -Unsaturated Carboxylic Acids to Alkenylboronic Esters via Rhodium-Catalyzed Decarbonylative Borylation of α,β -Unsaturated Thioesters”, *Chem. Lett.*, 46, 1315-1318 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

落合秀紀, 植竹裕太, 丹羽節, 細谷孝充: “ロジウム触媒を用いた芳香族カルボン酸の形式的脱炭酸ホウ素化反応”, 第14回次世代を担う有機化学シンポジウム, 渋谷, 5月 (2016)

落合秀紀, 丹羽節, 細谷孝充: “ロジウム触媒を用いた α,β -不飽和チオエステルの脱カルボニルホウ素化反応によるビニルホウ素化合物合成法の開発”, 日本化学会第97春季年会, 横浜, 3月 (2017)

XXVIII-027

非線形光学イメージングによる生体組織内の 力場ダイナミクスの可視化

Visualization of Stress Field and its Dynamics in Biological Tissues by Means of Nonlinear Optical Imaging

研究者氏名: 金城 純一 Kaneshiro, Junichi

受入研究室: 生命システム研究センター

先端バイオイメージング研究チーム

(所属長 渡邊 朋信)

本研究では、非線形光学イメージング法の1つである光第二高調波発生顕微鏡 (SHGM) を利用して、生体組織の構造状態および構造に起因する現象の可視化を目的とする。SHGMは二次の非線形光散乱現象を利用した方法であり、生体組織内で極性を持つ繊維状タンパク質複合体や結晶質を選択的に観察できるだけでなく、偏光分解計測により構造由来の物理量を抽出でき、とりわけ分極状態の変化に敏感な計測が可能である。この特性を利用して生体組織内に発生する応力分布を計測し、さらにそのダイナミクスを調べることが目的である。本研究では、計測対象を心筋細胞に設定し、単一の心筋細胞、あるいは細胞群における張力伝播の様子を可視化することが目標である。

筋繊維の持つ物理量のうち、SHGMを用いて計測可能で、かつ張力発生およびその伝播に関連するものは、(1) 線維の構造単位であるサルコメアの長さ、(2) サルコメア内のアクチン-ミオシン複合体 (アクトミオシン) の構造、の2つが挙げられる。アクトミオシン内のミオシン分子配向の状態は、筋肉の収縮状態に応じて光第二高調波の偏光強度の変

化に反映されることが、既に実験動物を用いた先行研究によって分かっている。本研究では同様の実験を心筋に対して行い、張力伝播の可視化のための計測・解析基盤とする。本年度は、筆者がこれまで開発を続けてきたSHGMを用い、顕微画像および偏光依存性測定結果から、サルコメア長とミオシン配向状態の相関を定量するための以下の実験を行った。

- (1) SHGMの顕微画像から、筋繊維上のラインプロファイルを抽出し、フーリエ変換した後に平均のサルコメア長を算出した。
- (2) サルコメア長を算出に用いたものと全く同じ関心領域に対して、実験結果から平均の偏光依存性を求め、サルコメアの構造対称性から決定される第二高調波テンソルを用いて、ミオシンの配向角を反映するパラメータをスカラー量として推定した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

金城純一, 岡田康志, 島知弘, 辻井美香, 今田勝巳,

市村垂生, 渡邊朋信: “光第二高調波によるタンパク質構造解析”, 第55回日本生物物理学会年会若手招待講演, 熊本大学黒髪キャンパス, 2017年9月

●ポスター発表 Poster Presentations
(国際学会)

XXVIII-028

立体組織形成における多細胞力学場の動態解析
Mechanical Analysis of Multicellular Dynamics during
Three-Dimensional Tissue Morphogenesis

研究者氏名: 奥田 覚 Okuda, Satoru
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
立体組織形成研究チーム
(所属長 永樂 元次)

多細胞生物の組織・器官は、三次元的に複雑な形態（外形や構造）を有しており、その自律的な形成過程では、細胞の増殖や収縮などの力作用が重要な役割を担っている。しかし、このような細胞レベルの力作用が組織・器官レベルの三次元的な形態形成に及ぼす影響については未知な点が多く、これらの多階層スケールに跨る生命現象を包括的に理解する試みは始まったばかりである。本研究では、三次元頂点モデルによる力学シミュレーション技術、実画像データに基づく細胞・組織形態と生化学場の同定技術、および、原子間力顕微鏡（AFM）による力学物性の計測技術を発展・統合し、三次元的な組織形成における力学場を細胞レベルから定量的に解析する手法を開発する。さらに、マウス・ヒトES細胞から分化誘導した立体的な眼杯組織に対して、開発した多細胞力学場の解析手法を適用する。これにより、三次元的な眼杯組織の形成過程における細胞レベルの力学場、および、それが個々の細胞の動態や組織全体の形態形成に及ぼす影響について解析し、多細胞の立体組織形成における基本原理の解明を目指す。

本年度は、開発した三次元頂点モデルを応用し、多様な細胞活動を伴う三次元的な組織・器官の変形の数値解析を行った。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

Junichi Kaneshiro, Tomohiro Shima, Yasushi Okada, Tomonobu M. Watanabe, Taro Ichimura: “Second-Harmonic Generation Microscopy as a Tool for Detection of Structural Information in Biopolymers”, The 24th Congress of the International Commission for Optics, Keio Plaza Hotel, Tokyo, August 2017

Okuda S., Miura T., Inoue Y., Adachi T., Eiraku M.: “Combining Turing and 3D vertex models reproduces autonomous multicellular morphogenesis with undulation, tubulation, and branching”, *Scientific Reports*, 8 2386(2018)*

Hashimoto A., Nagao A., Okuda S.: “Topological graph description of multicellular dynamics based on vertex model”, *Journal of Theoretical Biology*, 437 187-201(2018)*

Ito S., Okuda S., Abe M., Fujimoto M., Onuki T., Nishimura T., Takeichi M.: “Induced cortical tension restores functional cell junctions to adhesion-defective carcinoma cells”, *Nature Communications*, 8 1834(2017)*

Okuda S., Unoki K., Eiraku M., Tsubota K.: “Contractile actin belt and mesh structures provide the opposite dependence of epithelial stiffness on the spontaneous curvature of constituent cells”, *Development Growth and Differentiation*, 59 455-464(2017)*

Inoue Y., Watanabe T., Okuda S., Adachi T.: “Mechanical role of the spatial patterns of contractile cells in invagination of growing epithelial tissue”, *Development Growth and Differentiation*, 59 444-454(2017)*

Okuda S., Eiraku M.: “Role of molecular turnover in dynamic deformation of a three-dimensional cellular membrane”, *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 16 1805-1818(2017)*

(総説)

奥田 寛, 永楽元次: “眼杯オルガノイド × Computational Biology – in vitro と in silico の相補的アプローチ”, 実験医学, 35, 2683-2688 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Okuda S.: “Predictive control of three-dimensional tissue morphogenesis based on complete modeling of single cell dynamics”, さきがけ「統合1細胞解析のための革新的技術基盤」研究領域第7回領域会議, Kanazawa, Jan.(2018)

Okuda S.: “In-silico & in-vitro modeling of multicellular dynamics in development and disease”, Semi-

nar at EMBL Barcelona, Dec.(2017)

Okuda S.: “Versatile Model for Computational Simulation of Three-Dimensional Multicellular Dynamics”, XXVI Congress of the International Society of Biomechanics 2017, Brisbane, Jul.(2017)

Okuda S.: “Mechanics in collective Cell Migration as Maintaining an epithelial Sheet Structure: 3D Vertex Model Approach”, The 69th Annual Meeting of the Japan Society for Cell Biology, Sendai, Jun.(2017)

Okuda S.: “Predictive control of three-dimensional tissue morphogenesis based on complete modeling of single cell dynamics”, さきがけ「統合1細胞解析のための革新的技術基盤」研究領域第6回領域会議, Okayama, Jun.(2017)

XXVIII-030

多種類のエピゲノムデータから新規なクロマチン状態を発見する手法の開発

Development of a Bioinformatic Method to Identify Novel Chromatin States Based on Multiple Epigenomic Datasets

研究者氏名: 尾崎 遼 Ozaki, Haruka

受入研究室: 情報基盤センター

バイオインフォマティクス研究開発ユニット
(所属長 二階堂 愛)

本研究の最終目標は、エピゲノムがどのように細胞機能を制御しているかを解明することである。そのために、多種類のエピゲノムデータから新規なクロマチン状態を探索する手法を開発する。細胞は同じゲノム情報を持ちつつ、ヒストン修飾やクロマチン構造といったエピゲノムのレベルでの変化により、遺伝子発現プロファイルを変化させ、様々な細胞状態を作り出す。各ゲノム領域でのエピゲノムの組み合わせ（クロマチン状態）がエピゲノムの生物学的機能が決まるために重要である。近年では、同一の細胞状態で多種類のエピゲノムをシーケンスすることが一般的になった。そのため、これらのデータからクロマチン状態を発見することで、複雑な生命システムとエピゲノムとの関連を明らかにできると期待される。しかしながら、既存の手法では、各エピゲノムデータの定量性や形状、スケールの違いなどが無視されたデータ解析がなされており、新規のクロマチン状態やその関係性を見落している。本研究ではスケール不変なウェーブレット変換後、

新規パターンをパラメータ設定なしに発見できる深層学習を利用することで、既存のクロマチン状態予測の本質的な欠点を克服する。

本年度は、新しいタイプのエピゲノムデータを利用することを目指し、データ解析パイプラインの整備と基礎的な性状の解析に取り組んだ。具体的には、受入研究室で開発された完全長1細胞トータルRNAシーケンス法RamDA-seqのデータを用いて、エンハンサー RNA (eRNA) を1細胞レベルで検出することを試みた。eRNAは遠位の転写制御領域であるエンハンサーの活性を反映して転写されるため、eRNAの検出はエンハンサーというエピゲノム状態の計測を意味する。一方、RamDA-seqでは遺伝子の発現量も計測できるため、eRNAも測定できれば、個々の細胞でのエピゲノム状態と遺伝子発現を同時測定したデータセットが得られると期待された。

まず、RamDA-seqのデータからeRNAを検出するパイプラインを開発した。次に、マウス胚性幹細

胞を分化誘導後に時系列サンプリングした細胞に RamDA-seq を適用したデータを解析したところ、実際に eRNA の検出でき、かつ、細胞分化の進行度に応じて変動する eRNA を 1,000 箇所以上発見した。さらに、細胞間で大きな変動を示す遺伝子の周辺に 相関する eRNA が存在することがわかった。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hayashi T., Ozaki H., Sasagawa Y., Umeda M., Danno H. and Nikaido I.: "Full-length total RNA sequencing from single cells uncovers dynamics of recursive splicing and enhancer RNAs", Nature Communications, in print*

●口頭発表 Oral Presentations

尾崎遼, 林哲太郎, 笹川洋平, 團野宏樹, 梅田茉奈, 二階堂愛: "一細胞トータル RNA シーケンス法 RamDA-seq による一細胞エンハンサー RNA 解析", RNA フロンティアミーティング 2017, 滋賀県大津市, 11 月 (2017)

尾崎遼, 林哲太郎, 笹川洋平, 團野宏樹, 梅田茉奈, 二階堂愛: "一細胞エンハンサー RNA 解析による細胞間不均一性の理解", 第 9 回生命情報科学若手の会, 愛知県蒲郡市, 10 月 (2017)

尾崎遼: "一細胞エンハンサー RNA 解析による転写制御の理解とそのためデータ解析技術", 第 6 回生命医薬情報学連合大会 (IIBMP 2017), 北海道札幌市, 9 月 (2017)

Ozaki H., Hayashi T., Sasagawa Y., Danno H., Umeda M. and Nikaido I.: "Single-cell enhancer RNA analysis in mouse embryonic stem cells", NIG International Symposium 2017 - Commemorating the 30th Anniversary of DDBJ, Mishima, Shizuoka, May(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

尾崎 遼, 林 哲太郎, 笹川 洋平, 團野 宏樹, 梅田 茉奈, 二階堂 愛: "一細胞エンハンサー RNA 解析でエンハンサーのゆらぎを捉える", NGS 現場の会 第 5 回研究会, 宮城県仙台市, 5 月 (2017)

XXVIII-031

生殖系列から個体内のゲノム多様性を解き明かす

Cell-population Genomics in Germ Line

研究者氏名: 原雄一郎 Hara, Yuichiro
受入研究室: ライフサイエンス技術基盤研究センター
分子配列比較解析ユニット
(所属長 工樂 樹洋)

動物において、単一個体内のゲノムは DNA 複製時の修復機構や損傷細胞のアポトーシス等により細胞間でほぼ同一に維持されているが、必ずしも全てが同一では無い。さらにこのゲノム多様性は時に個体や種の生存に積極的に利用されることもある。度重なる細胞分裂および減数分裂時の相同組換えを経て生じた精子ゲノムの突然変異は、生物進化の駆動力として次世代に遺伝する。一方、ランダムに生じた変異のうち少なくとも受精能に有害な変異は、数千万の精子から 1 つないし数細胞のみ選ばれる受精というプロセスによってスクリーニングされる。本研究は、精子 1 細胞のゲノムに起きた *de novo* 突然変異を DNA シーケンシングにより同定し、単一個体にある細胞集団の中で「少しずつ異なるゲノムを

持つ」細胞がいかに生き残っていくか、あるいは淘汰されていくかを理解することを目的とする。そのために本研究は、1 細胞 DNA シーケンシングにより同定された精子のゲノム多様性と精子の受精能に関する表現型を照らし合わせて、精子ゲノムに生じた *de novo* 突然変異が受精に至るまでに排除されるかを分類する。

本年度は、loss of function であっても有害に働くと考えられる減数分裂後のハプロイドで転写される遺伝子を RNA-seq により同定し、1 細胞 DNA シーケンシングを行うための「ミューテーターマウス」の入手およびホモ個体作出、ならびに微量 DNA シーケンシングのパイロット実験を行っている。

1) 12 週齢の野生型マウス 3 個体の精巣から、

spermatogonia, レプトテン期、パキテン期、ディプロテン期の spermatocytes, 第二減数分裂中期細胞、round spermatids, elongating spermatid をセルソーターを用いて分画した。これらの6種の細胞をそれぞれ用いて RNA-seq を行った。

- 2) 共同研究先から譲渡された変異マウス (雄ヘテロ) から、ホモ雄個体の作出を行っている。この変異マウスでは、変異数が野生型のおよそ20倍に上昇している。
- 3) 1細胞エキソーム解析のためのパイロット実験を開始した。

また、本研究の技術開発のために応募した所内奨励課題に採用され、上記の手順を用いてハプロイドで発現する small RNA の同定も行った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hara Y., Takeuchi M., Kageyama Y., Tatsumi K., Hibi M., Kiyonari H., and Kuraku S.: “Characterizing asymmetric fates of duplicated genes through whole genome analysis on Madagascar ground gecko.” submitted*.

Nishimura O., Hara Y., and Kuraku S.: “gVolante for standardizing completeness assessment of genome and transcriptome assemblies.” *Bioinformatics*, doi: 10.1093/bioinformatics/btx445, (2017)*

Kadota M., Hara Y., Tanaka K., Takagi W., Tanegashima C., Nishimura O., and Kuraku S.: “CTCF binding landscape in jawless fish with reference to Hox clus-

ter evolution.” *Scientific Reports*, 7, Article number: 4957, (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

原雄一郎, 竹内未紀, 景山優花, 辰見香織, 日比正彦, 清成寛, 工樂樹洋: “ソメワケササクレヤモリ: 進化学に照らした動物実験と比較ゲノム解析の提案”, 2017年度生命科学系学会合同年次大会 (Con-Bio2017), 神戸, 12月(2017)

原雄一郎, 竹内未紀, 景山優花, 辰見香織, 日比正彦, 清成寛, 工樂樹洋: “ソメワケササクレヤモリゲノムから探るゲノム領域に依存する不均等な遺伝子進化”, 日本進化学会第19回大会, 京都, 8月(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Hara Y., Tatsumi K., Kiyonari H., and Kuraku S.: “Madagascar ground gecko, yet another experimental system for amniotes.” The CDB 29th meeting “Mavericks, New Models in Developmental Biology,” Kobe, Oct. (2017).

Hara Y. and Kuraku S.: “Reconstruction of amniote phylome: a lesson of utilization and modification of the existing ortholog dataset.” *Quest for Orthologs 5*, Los Angeles, USA, Jun. (2017).

Hara Y.: “Cell population genomics in germ line.” RIKEN Kansai Joint Retreat, Awaji, Jul. (2017).

Hara Y. and Kuraku S.: “Heterogeneous ortholog retention is driven by disparity between genomic fields.” *CDB Symposium 2017*, Kobe, Mar. (2017).

XXVIII-032

グルコシノレートが生産植物自身に発揮する 生理活性の分子メカニズム解明

Molecular-level Analysis to Elucidate Physiological Roles of Glucosinolates in the Producing Plants

研究者氏名: 杉山 龍介 Sugiyama, Ryosuke
受入研究室: 環境資源科学研究センター
代謝システム研究チーム
(所属長 平井 優美)

グルコシノレートはこれまでに200種ほどが知られる植物二次代謝産物であり、ワサビなどの辛味成分である他、土壌の害虫駆除への活用など、人間にとってなじみ深い化合物といえる。また、特定のグ

ルコシノレート分解物に抗がん作用が知られることから、これらを含む作物は機能性食品としても期待されている。一方、植物にとってのグルコシノレートは、外敵に対する化学的防御物質であると同時に

に、植物自身の生命活動を制御するシグナルとしてもはたらくと考えられている。器官や生育環境などに応じてグルコシノレートが複雑に生産調節されている様子から、本研究では、「グルコシノレートは側鎖の化学構造に応じて異なる機能を持つのか」に着目した。現在、グルコシノレートの内的な生理活性に関する研究は、生合成変異による表現型解析など、植物個体レベル・組織レベルの知見にとどまっているものが多くを占める。本研究では、微生物二次代謝産物の単離・作用解析を行ってきた経験を活かし、グルコシノレートの作用メカニズムを分子レベルで解明することを目指す。本化合物群の構造多様性と生理活性の関係を明らかにすることは、二次代謝産物の生産意義という学術的関心の高いテーマへの挑戦だけでなく、特定の活性を示す分子種の生産コントロールなど、グルコシノレート含有作物の可能性をさらに高めることにもつながる。

本年度は、植物組織内での活性発現において重要と考えられる「グルコシノレートの分解プロセス」に着目した研究を行った。

1) シロイヌナズナ実生の代謝物を質量分析装置で経時観察し、植物組織の破壊を伴わずに進行す

るグルコシノレートの分解プロセスの一部を明らかにした。

- 2) 遺伝子発現解析から、グルコシノレートの分解プロセスに関与すると予想される候補遺伝子群を選出し、各種変異体を用いた検証実験を行った。
- 3) 今後のメタボローム解析に向けた化合物ツールとして、安定同位体ラベル化グルコシノレートやその他類縁体を化学合成した。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

杉山龍介, 桑原亜由子, 平井優美: “組織傷害に由来しないグルコシノレートの分解に関する研究”, 第59回日本植物生理学会年会, 札幌, 3月 (2018)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Sugiyama R., Kuwahara A., Hirai Y. M.: “Side chain-dependent functional differentiation of glucosinolates and their roles in Arabidopsis”, Glucosinolate Conference 2017, Berlin, Germany (2017)

XXVIII-034 作物の重要病害「紋枯病」の克服に向けた新たな方法論の創出

Development of Novel Protection Methods for Sheath Blight Disease

研究者氏名: 香西雄介 Kouzai, Yusuke
受入研究室: 環境資源科学研究センター
セルロース生産研究チーム
(所属長 持田 恵一)

糸状菌 *Rhizoctonia solani* が原因となるイネ2大病害の1つ「紋枯病」は、殺菌剤耐性菌の出現と地球環境変化により、将来の被害拡大が懸念されている。この状況はそもそも植物の紋枯病抵抗性機構に関する知見が乏しく、植物免疫に依存する防除策が適用できないことに起因する。本研究では、紋枯病に対する新たな防除方法論の創出を目的として、小型草本植物のミナトカモジグサを用いて植物ホルモンの1つサリチル酸 (SA) による「紋枯病抵抗性誘導作用」およびミナトカモジグサの「紋枯病抵抗性系統」の背景原理の解明を進めている。本年度では以下の成果を得た:

(1) SA および紋枯病抵抗性誘導能を持たない SA ア

ナログ化合物を処理した後のミナトカモジグサ葉身における遺伝子発現プロファイルから、二次細胞壁の強化が SA で誘導される紋枯病抵抗性の鍵である可能性を見出した。

- (2) 紋枯病抵抗性系統を用いた遺伝学的解析から、3番染色体上に座乗する抵抗性と強く関連する QTL を同定した。
- (3) 罹病性系統と抵抗性系統における菌感染過程の時系列比較トランスクリプトーム解析を行い、抵抗性反応に特徴的な応答を明らかにした。
- (4) 共同研究として、イネのキチン受容体キナーゼ OsCERK1 が細菌由来のリポ多糖に対する応答に寄与することを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kouzai Y, Kimura M, Watanabe M, Kusunoki K, Osaka D, Suzuki T, Matsui H, Yamamoto M, Ichinose Y, Toyoda K, Matsuura T, Mori C I, Hirayama T, Minami E, Nishizawa Y, Onda Y, Mochida K, and Noutoshi Y : “Salicylic acid-dependent immunity contributes to resistance against *Rhizoctonia solani*, a necrotrophic fungal agent of sheath blight, in rice and *Brachypodium distachyon*”, *New Phytologist*, 217(2), pp771-783 (2018)

Desaki Y, Kouzai Y (co-first author), Ninomiya Y, Iwase R, Shimizu Y, Seko K, Molinaro A, Minami E, Shibuya N, Kaku H, Nishizawa Y : “OsCERK1 plays a crucial role in the lipopolysaccharide-induced immune response of rice”, *New Phytologist*, 217(3), pp1042-1049 (2018)

(総説)

持田 恵一, 香西 雄介, 恩田 義彦 : 草本系バイオマス増産のためのゲノム育種基盤, 月刊アグリバイオ 2017年11月号, 北隆館 (2017)

●口頭発表 Publications

(学会)

香西雄介, 持田恵一, 恩田義彦, 能年義輝 : “小型草本モデル植物ミナトカモジグサを用いた紋枯病抵抗性系統の探索とその特徴付け”, 平成29年度日本植物病理学会大会, 岩手, 4月(2017)

Kouzai Y, Mochida K, Onda Y, and Noutoshi Y : “Expression profiling of marker genes for defense-associated phytohormones in *Brachypodium distachyon* highlights its similar immune systems to rice”, The 3rd International *Brachypodium* Conference, Beijing, China, July(2017)

XXVIII-035 発生期大脳皮質における神経幹細胞の集団的挙動と分裂様式

Comprehensive analysis of the neural progenitor behaviors and division modes in the developing cerebral cortex

研究者氏名: 藤田生水 Fujita, Ikumi
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)

発生期の哺乳類の大脳皮質において、神経幹細胞は脳室面に対して概ね水平方向に分裂することで、細長い形態の上皮極性を維持する。しかし、分裂軸のゆらぎや擾乱により、神経幹細胞が上皮極性を失うことで、脳室帯の外側へと移動してゆく異なるタイプの幹細胞（脳室帯外神経幹細胞、oRG）に転換しうることが知られている。このことから、発生システムが内包するゆらぎは、神経幹細胞の多様性を生み出す要因の一つであると推測される。本研究はこれまで、LGN変異マウスを用いて人為的に分裂軸のゆらぎを増大させることによって誘導したoRGが、小頭症原因遺伝子 *Aspm* の変異による紡錘体形成異常に対して、極めて脆弱であることを示唆する結果を得ている。本年度は、(1) oRGを生じる発生様式が一般的に小頭症原因遺伝子の変異に対して脆弱であるのか、(2) 分裂軸のゆらぎがoRGを生じうるための前提条件とは何か、という点に関

して進展があった。

- (1) *mInsc* の過剰発現は、神経幹細胞で分裂軸を擾乱し、oRGを誘導することが知られている。*mInsc* を発生期大脳で条件的に過剰発現するマウスを作製し、*Aspm* 変異マウスと掛け合わせたところ、LGN *Aspm* 二重変異マウスの場合と同様に多くのアポトーシスが観察され、重篤な小頭症が引き起こされた。また、元来発生期にoRGが見られるフェレットの胎児において、CRISPR/Cas9により *Aspm* 遺伝子破壊を行った。その結果、内在的にoRGを持つ発生システムにおいても、紡錘体形成不全に対する脆弱性が内包されることが示唆された。
- (2) 神経発生初期のLGN変異マウスにおいては、分裂軸は擾乱されるものの、oRGは生じないことが知られていた。その原因として、発生初期の神経幹細胞は、一度上皮極性を失っても、再

び上皮極性を取り戻す性質があることが示唆されていた。今回、発生初期のマウス大脳皮質のスライス培養法を確立することにより、失われた上皮極性が実際に再形成される様子を明らかにした。この性質により、発生初期においてはoRGの産生が抑制されていることが示唆された。さらにこの性質は神経産生が盛んになる発生中期以降には低下することも分かった。上皮極性の柔軟な再形成能が発生中期以降に喪失することは、内在的なoRGの産生を可能とする条件であることが示唆される。今後、フェレット等の系で検証を進めることで、複雑脳におけるoRGの産生機構を理解するための重要な知見となることが期待される。

XXVIII-036

精子幹細胞の低下した精子形成能を回復させる技術の開発

Development of Technology to Rescue the Defective Spermatogenesis Ability

生体外で精子形成能を維持しながら培養が可能な精子幹細胞株（GS細胞）を実験材料とし、精子形成能を維持するメカニズムを解明することを目的とした。特にGS細胞の培養過程もしくは樹立過程で生じる精子形成能を失った細胞（以下dGS細胞；defective GS細胞）においてGS細胞より発現が低下している遺伝子に着目し、GS細胞からdGS細胞に変化する過程で生じる遺伝子発現量の変化およびエピジェネティックな変化の観点において解析することにより、精子形成能を維持するメカニズムを解明する。

しかし、昨年度の研究により現在のGS細胞の培養系では少なくとも3種類の細胞集団が存在していることが見出され、精子形成能を維持するメカニズムを正確に把握するためには、まずこれらの不均一性を正確に把握する必要があると考え、3種類の特性を持つGS細胞の識別・分画ができる手法を開発した。本年度は、これらの3種類の特性を持つGS細胞の性質を把握し、分化系の開発に繋げた。

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際学会)

Fujita I., Suetsugu T., Kishida C., Tsunekawa T., Konno D., Fujimori A. and Matsuzaki M.: “Induction of outer radial glia by the random spindle orientation causes severe microcephaly in the *Aspm* mutant mice”, ASCB | EMBO 2017 Meeting, Philadelphia, USA, Dec.(2017)

Fujita I., Suetsugu T., Kishida C., Tsunekawa Y., Konno D., Fujimori A. and Matsuzaki M.: “Induction of outer radial glia by the random spindle orientation causes severe microcephaly in the *Aspm* mutant mice”, EMBO Conference: Gene regulatory mechanisms of neural fate decisions, San Juan de Alicante, Spain, Sep.(2017)

研究者氏名:鈴木伸之介 Suzuki, Shinnosuke

受入研究室:バイオリソースセンター

疾患ゲノム動態解析技術開発チーム

(所属長 阿部 訓也)

- (1) 3種類の特性を持つGS細胞を分画し、RNA-seq解析を行うことにより、各特性で発現変動している遺伝子を特定した。
- (2) RRBS解析により各特性で発現変動している遺伝子はDNAのメチル化で制御されているわけではないことを見出した。
- (3) RNA-seq解析の結果から不均一な細胞集団から均一な分化系細胞集団を誘導する系を確立した。

●誌上发表 Publications

(総説)

Suzuki S, Minami N. CHD1 controls cell lineage specification through zygotic genome activation, *Adv Anat Embryol Cell Biol*, 2018;229:15-30. doi: 10.1007/978-3-319-63187-5_3.

●口頭発表 Oral Presentations

鈴木伸之介, CRISPR/Cas9システムを利用した複数

遺伝子発現制御システムの開発, Epigenome Editing Study Workshop, 東京, 2017 (招待講演)
鈴木伸之介, CRISPR/Cas9システムを用いた複数遺伝子の高効率機能解析技術の開発, 2017年度モロシヌス研究会, 熊本, 2017

●ポスター発表 Poster Presentations

Shinnosuke Suzuki, Kuniya Abe, Technology development for gene function analysis by CRISPR/Cas9 system, 4th World Congress of Reproductive Biology, Okinawa, 2017

XXVIII-037 ERK 活性の時空間伝搬を介した上皮陥入の力学制御機構の解明 Mechanical control of Epithelial Invagination by a Spatiotemporal Propagation of ERK Activity

研究者氏名: 小椋 陽介 Ogura, Yosuke
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
形態形成シグナル研究チーム
(所属長 林 茂生)

細胞外シグナル調節キナーゼ (ERK) は発生過程において、細胞の増殖、運動や分化などの多様な現象を制御する。ERK 活性は上皮細胞増殖因子 (EGF) などの細胞外シグナル分子によって近傍の細胞に伝えられるため (ERK 活性の細胞間伝搬)、細胞間コミュニケーションにおいて重要な役割をもつ。このような EGF-ERK 経路の機能は培養細胞を用いた生化学的な解析によって明らかになってきた。しかし、EGF-ERK 経路による細胞間コミュニケーションの生体内での役割については不明な点が多い。ERK 活性が制御する発生現象として、脊椎動物の眼や耳、昆虫の呼吸器官 (気管) などの上皮の陥入を伴う形態形成運動がある。ショウジョウバエの気管は ERK 活性の細胞間伝搬に異常が見られる各種変異体が可能であり、ERK 活性の細胞間伝搬と上皮の陥入運動の接点を探る上で優れたモデルである。本研究は、上皮の陥入運動機構の制御に、細胞間コミュニケーションという新たな視点を導入する。さらに、ERK 活性の細胞間伝搬を、上皮の陥入を駆動する力学装置として働くアクチン-ミオシンの制御と結びつけることで、EGF-ERK 経路による生化学的なシグナルが生体内の細胞の力学特性を制御するメカニズムを明らかにする。

本年度は、以下の3つの重要な知見が得られた。

1) ERK 活性伝搬の分子機構の解明を行なった。Ras-ERK 経路とミオシンをつなぐ分子機構を明らかにするために、ミオシンと共局在する Ras 活性化因子を探索したところ、細胞膜上において Ras の活性化に関わるグアニンヌクレオチド交換

因子 Sos が ERK 活性化によって起こるミオシンの活性化に関与することを示唆する結果を得た。

2) ERK 活性の細胞間伝搬が起こる仕組みとして、EGF リガンドの活性化因子 Rhomboid が EGFR による正のフィードバックを受けていることを見出した。

3) 蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET) 技術を用いたライブイメージングを行い、ERK 活性の細胞間伝搬が ERK 活性の全か無かの応答と密接に関連していることを示した。従来、ショウジョウバエを含む胚の発生過程でのパターン形成は、段階的な ERK 活性化によって説明されてきたが、上記の全か無かの ERK 活性化はこの枠組みに対立する現象である。

また、次年度の研究の準備として、上皮細胞において細胞の変形やミオシン動態の定量に用いるコンピュータプログラムの開発を、同所属の Sami 博士との共同研究で行った。

●口頭発表 Oral Presentations

Yosuke Ogura, Fu-Lai Wen, Mustafa M. Sami, Tatsuo Shibata, Shigeo Hayashi: "Intercellular propagation of EGF-ERK signaling by relay mechanism directs epithelial invagination", Taiwan-Japan Joint Meeting on Bioimaging for Young Researchers, Academia Sinica (Taipei), 11月(2017年)

小椋 陽介, Fu-Lai Wen, Mustafa M. Sami, 柴田 達夫, 林 茂生: "EGF-ERK/MAPK シグナルの反復リレーによる上皮の陥入", 分子生物学会年会(生命科学

系学会合同年次大会), 神戸, 12月(2017年)

●ポスター発表 Poster Presentations

Mustafa M. Sami, Yosuke Ogura, Yu-Chiun Wang, Shigeo Hayashi: “Automated image processing and analysis software for epithelial cells quantification”, 17th international ELMF meeting, Dubrovnik, 5月(2017年)

Yosuke Ogura, Fu-Lai Wen, Mustafa M. Sami, Tatsuo Shibata and Shigeo Hayashi, “Iterative EGF-ERK

signaling relay directs mechanical force required for epithelial invagination”, 18th international Congress of Developmental Biology, Singapore, 6月(2017年)

Yosuke Ogura, Fu-Lai Wen, Mustafa M. Sami, Tatsuo Shibata and Shigeo Hayashi: “An intercellular relay of EGF-ERK signaling polarizes the mechanical force to facilitate invagination of organ placode”, EMBL Symposium: Mechanical Forces in Biology, Heidelberg, 7月(2017年)

XXVIII-038

植物の小胞体ストレス応答性転写因子による 植物発生における機能解析

Functional Study of ER Stress-Responsive Transcription Factors in Plant Development

研究者氏名: 金俊植 Kim, June-Sik
受入研究室: 環境資源科学研究センター
機能開発研究グループ
(所属長 篠崎 一雄)

小胞体は真核細胞においてタンパク質の高次構造が形成される場所として生命現象の根幹となる細胞小器官である。タンパク質形成は様々な刺激によって影響を受けやすいため、常に一定量の変性タンパク質(unfolded protein)が小胞体内部に蓄積するが、これを小胞体ストレス(ER stress)と呼ぶ。特に高温や病害は、変性タンパク質の発生を促進させるため過度な小胞体ストレスをもたらす事が報告されている。小胞体はこのようなストレスを緩和するために変性タンパク質の蓄積程度に応じてタンパク質形成機構を助長する転写制御機構(unfolded protein response; UPR)を保有している。代表的なモデル植物であるシロイヌナズナには三つのbZIP型転写因子がUPRを制御する。本研究では、その内の二つ(bZIP17とbZIP28)の機能欠損変異植物体が示す著しい根の伸長抑制現象に対する分子遺伝学的機構の解明を目標とする。これまでにストレス応答機構と生育促進機構の両者間の拮抗関係に対しては多くの議論がなされて来たものの、根など特定組織に限られた発生への直接的関与に対しては未だに未知の部分が多く残されている。本研究の成果は、小胞体ストレスという生命現象の根幹と植物発生プロセスを結びつける大きな足がかりになると期待してい

る。

本年度では、変異体が示す根の伸長抑制表現型の原因遺伝子を見つけ出すための様々なアプローチを行った。

- (1) 関連する複数の多重変異体を用いた網羅的遺伝子発現解析を行い、bZIP17とbZIP28に特異的に依存する複数の細胞伸長遺伝子を発見した。
- (2) 突然変異誘導剤を利用して、根の伸長を回復するサプレッサ変異体を作出した。
- (3) 既知の負の根部伸長遺伝子の機能欠損を導入し、根の伸長回復を図った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kim J.S., Yamaguchi-Shinozaki K. and Shinozaki K.: “ER-anchored transcription factors bZIP17 and bZIP28 regulate root elongation”, *Plant Physiol.*, 176 2221-2230(2018)**

Morimoto K., Ohama N., Kidokoro S., Mizoi J., Takahashi F., Todaka D., Mogami J., Sato H., Qin F., Kim J.S., Fukao Y., Fujiwara M., Shinozaki K. and Yamaguchi-Shinozaki K.: “BPM-CUL3 E3 ligase modulates thermotolerance by facilitating negative regula-

tory domain-mediated degradation of DREB2A in *Arabidopsis*”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 114 E8528-E8536(2017)*

Sano N., Kim J.S., Onda Y., Nomura T., Mochida K., Okamoto M. and Seo M.: “RNA-seq using bulked recombinant inbred line population uncovers the importance of brassinosteroid for seed longevity after priming treatments”, Sci. Rep., 7 8095(2017)*

Elbashir A.A.E., Gorafi Y.S.A., Tahir I.S.A., Kim J.S. and Tsujimoto H.: “Wheat multiple synthetic derivatives: a new source for heat stress tolerance adaptive traits”, Breed. Sci., 67 248-256(2017)*

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Kim J.S., Sakamoto Y., Matsunaga S., Yamaguchi-Shinozaki K. and Shinozaki K.: “Two ER-bound transcription factors bZIP17 and bZIP28 jointly determine plant root elongation and cell growth genes expression in *Arabidopsis thaliana*”, Taiwan-Japan Plant Biology 2017, Taiwan Society of Plant Biologists, Taipei, Taiwan Nov.(2017)

Kim J.S., Mega R., Tanaka K., Taji T., Shinozaki K. and Okamoto M.: “Identification of QTL to plant drought tolerance using genome resequencing”, Plant Biology 2017, American Society of Plant biologists, Hawaii, USA, Jul.(2017)

XXVIII-040

腸内細菌による中枢神経系における炎症反応の制御

Regulation of Inflammatory Responses in the Central Nerve System by Gut Microbiota

研究者氏名: 宮内 栄治 Miyauchi, Eiji
受入研究室: 統合生命医科学研究センター
粘膜システム研究グループ
(所属長 大野 博司)

多発性硬化症は遺伝的要因と環境的要因がからみ合って発症する中枢神経系脱髄疾患である。その環境的要因の一つとして以前より細菌またはウイルス感染の関与が疑われてきたが、近年の多発性硬化症モデル (Experimental autoimmune encephalomyelitis, EAE) 動物を用いた実験により、腸内細菌も中枢神経系炎症および脱髄に大きな影響を与えることが示されてきた。実際、多発性硬化症患者は健康人とは異なる腸内細菌叢を有することも報告されている。そこで本研究では、どのような腸内細菌が中枢神経系の炎症に関与するのか、作用機序も含めて明らかにすることを目的としている。

昨年度までに、小腸に定着する *Erysipelotrichaceae* 科の菌株が EAE においてミエリン特異的 T 細胞の病原性を高めること、また *Erysipelotrichaceae* 科菌株と *Lactobacillus* 属菌株が腸管内に共存することで EAE 病態がさらに悪化することを見出した。本年度は、*Lactobacillus* 属菌株が EAE 病態悪化にどのように関与するのか、その作用機序解明を目的とした。

ミエリン抗原 (MOG) 特異的 TCR トランスジェニックマウス (2D2 マウス) の各リンパ節および腸管組織における MOG 特異的 T 細胞の挙動を解析した結果、これらの T 細胞が主に腸管粘膜固有層で増殖していることが示された。また、抗生物質処理によりその増殖が抑制されたことから、腸内細菌由来のタンパク質が TCR 依存的に MOG 特異的 T 細胞を活性化している可能性が考えられた。そこで、マウス小腸内細菌由来 DNA のショットガンシーケンシングを行い、MOG を mimic する菌由来タンパク質候補を探索した結果、昨年度単離した *Lactobacillus* 属菌株が複数の mimicry タンパク質候補を有することが示された。候補タンパク質のうち、UvrA ペプチドを合成し 2D2 マウス由来 MOG 特異的 T 細胞を刺激した結果、T 細胞の増殖を誘導することが明らかとなった。以上の結果から、昨年度単離した *Lactobacillus* 属菌株は、MOG を mimic するタンパク質を発現することで MOG 特異的 T 細胞を活性化し、EAE 病態を悪化させることが考えられた。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

宮内 栄治, 佐藤 由美子, 内山 幹, 小井戸 薫雄, 荒川 廣志, 川住 雅美, 伊藤 鮎美, 大草 敏史, 大野 博司: “炎症性腸疾患患者における喫煙による腸内環境の変動”, 2017年度生命科学系学会合同年次大会, 神戸, 12月(2017)

Miyauchi E., Kim S.W., Ohno H.: “Mimicry peptides from gut commensals stimulate myelin-specific T cells and exacerbate experimental autoimmune en-

cephalomyelitis”, 第46回日本免疫学会学術集会, 仙台, 12月(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Miyauchi E., Kim S.W., Suda W., Hattori M., Taylor T.D., Ohno H.: “The Role of Gut Microbiota in the Pathogenesis of Experimental Autoimmune Encephalomyelitis”, 18th International Congress of Mucosal Immunology, Washington D.C., USA, Jul.(2017)

XXVIII-041

光遺伝学を用いた海馬における生理学的記憶痕跡の同定 Optogenetic Identification of a Physiological Memory Trace in the Hippocampus

研究者氏名: 田中和正 Tanaka, Kazumasa

受入研究室: 脳科学総合研究センター

神経回路・行動生理学研究チーム

(所属長 Thomas J. McHugh)

近年、日々の経験についての記憶を保存する細胞群(記憶痕跡、memory engram)が海馬内に形成されることが明らかになってきた。しかし、それらがどのように形成され、どのように機能しているのかは未だ全くの謎のままである。

本研究計画は、

- 1) 海馬が記憶痕跡を残すための *in vivo* での神経細胞活動パターンを同定する
- 2) 記憶痕跡から記憶を想起するための *in vivo* での神経細胞活動パターンを同定することを目的とする。

生きている動物の脳内で、海馬がどのような活動を通して記憶を残し、どのような活動を通して記憶を引き出しているのかを明らかにすることは、記憶装置としての海馬の動作原理を理解する上で必須である。

本年度では、計画した研究の大部分は完了した。研究目的1) に対しては、海馬CA1で記憶痕跡が形成されるときにそれら錐体細胞が6-12Hz(シータ域)の頻度で反復的にバースト活動を示すことがわかった。この活動パターンは、これら細胞が記憶の記録に関わらない場合にはみられなかった。またこの活動パターンは、*in vitro*での長期増強誘導に用いられる刺激プロトコルと類似しており、シータ域

での連続したバースト活動が最初期遺伝子c-Fosの誘導に関与していることを示唆している。また、目的2) に対しては、記憶痕跡である場所細胞とそれ以外との場所細胞がエピソード記憶の異なる認知領域に関わっていることが示された。これらの研究成果をまとめた論文を現在執筆中である。

今年度残りの数カ月および来年度には、観察した活動パターンと記憶記録・想起との因果関係の解明に取り組むとともに、本研究計画を派生させた複数のプロジェクトを進展させて、海馬記憶痕跡のより包括的な理解を目指す。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Satoshi Iwano, Mayu Sugiyama, Hiroshi Hama, Akiya Watakabe, Naomi Hasegawa, Takahiro Kuchimaru, Kazumasa Z. Tanaka, Megumu Takahashi, Yoko Ishida, Junichi Hata, Satoshi Shimozone, Takashi Fukano, Hideyuki Okano, Shinae Kizaka-Kondoh, Thomas J. McHugh, Tetsuo Yamamori, Hiroyuki Hioki, Shojiro Maki, Atsushi Miyawaki*, “Engineered bioluminescence emission beyond natural limits for single cell through-body imaging” *Science*, accepted.

●口頭発表 Oral Presentations

(招待講演)

田中和正：“海馬文脈表象による空間情報表現”、
京大学医学部セミナー、東京都板橋区、4月(2017)

(国内学会)

田中和正：“Physiology of Hippocampal Memory
Engram”、海馬と高次脳機能学会、愛知県名古屋市、
9月(2017)

(国際学会)

Kazumasa Z. Tanaka：“Contextual Representation
within the Hippocampus”、2nd Annual Conference
of Neuroscience Society of Nepal、5月(2017)

田中和正：“Physiology of Hippocampal Memory
Engram”、日本神経科学学会2017年度年次大会、
千葉県幕張、7月(2017)

**XXVIII-044 The Control of Post-mitotic Neuronal Development by
Pre-synaptic Thalamocortical Inputs**

Name: Timothy YOUNG

Host Laboratory: Laboratory for Molecular Mechanisms of Thalamus
Development

Brain Science Institute

Laboratory Head: Tomomi SHIMOGORI

The unique barrel ‘hollow’ and ‘septa’ arrangement of cortical neurons is a well-described feature of rodent primary somatosensory cortex. Together, these compartments make up whisker-related neuronal circuits for processing sensory information, but each receives separate inputs from the thalamus and consists of distinct circuit-specific neuronal types. Despite these differences, these barrel cell types cannot be separated by their electrophysiological properties, moreover, a detailed molecular characterization is lacking. We therefore aimed to identify specific markers that can be used to distinguish between hollow and septal neuronal identities within mouse barrel cortex, allowing for future genetic dissection and greater understanding of the development/function of sensory circuits.

Using *in situ* hybridization, we identified specific hollow- and septa-related patterns of gene expression that may serve as the basis for barrel formation/function. A close spatiotemporal relationship between these expression patterns and innervation by thalamocortical afferents (TCAs) was observed over the first postnatal week. Sparse YFP-labelling of neurons by *in utero* electroporation revealed a similar temporal relationship between TCA innervation and barrel cell morphology. Disruption of neural activity within the pathway (infraorbital nerve transection or TeNTxTCA overex-

pression) had little effect on reciprocal patterning of hollow/septa genes. Changes in barrel marker expression, however, could be induced by alterations in TCA innervation patterns. Here, we found ectopic TCA innervation of *reeler* mutant cortex corresponded to locations of hollow-marker expression. Moreover, barrel hollow gene expression was reduced by the absence of TCA innervation (using *Celsr3* conditional mutants), whereas septa markers were no longer restricted and expanded into neighbouring layer IV cortical regions. Strikingly, loss of barrel hollow markers in the *Celsr3* mutant also corresponded to a shift from septa/pyramidal cell types at the expense of hollow/spiny stellate cells. Together these data suggest that extracortical inputs provide important cues to shape sensory cortical circuits, driving specific gene expression that likely underlies development of barrel hollow and septal functional compartments.

In order to identify such TCA-specific genes, a ribo-tag approach known as the TRAP method was utilized. mRNAs specifically isolated from TCA axon terminals within the cortex at the time of barrel formation were collected and subjected to RNA sequencing. Bioinformatics analyses indicated a number of putative genes enriched within barrel TCA axons, however, due to the nature of these experiments (low yield, high variability-

ty), additional screening and replicates are needed for confirmation. Furthermore, we also performed microarray analyses using *Celsr3* mutant samples to identify potential TCA-regulated genes that are critical for neuronal identity in barrel cortex. Preliminary data point to a possible role for TGF-beta signalling in barrel formation. Studies using *Smad7* conditional knockout mice are underway in order to confirm and further elucidate such a novel role of this pathway in cortical develop-

ment.

● Poster Presentations

Conferences

Scrap and Build. Karuizawa, 2017. "Determination of spiny stellate neuronal fate in barrel cortex by thalamocortical inputs". Young TR, Matsui A, Kikuchi SS, Ogawa M, Shimogori T.

XXVIII-045 脂肪酸結合タンパク質による脂肪酸動態の制御と精神疾患 Regulation of Lipid Homeostasis by Brain-type Fatty Acid Binding Protein in Psychiatric Disorders

研究者氏名: 島本知英 SHIMAMOTO, Chie
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)

代表的な精神疾患である統合失調症の病態メカニズムは未だ不明であるが、多くの臨床研究によりその病態と関連がある分子の一つとして脂肪酸が注目されている。また、我々のこれまでの研究から、脂肪酸シャペロン分子の一つである「脳型脂肪酸結合タンパク質 (FABP7)」も統合失調症の病態に関与している可能性が高い分子であるとわかっている。しかし、現段階では統合失調症の病態メカニズムに、FABP7や各種脂質分子およびその関連分子がどのように関与しているのか不明である。そこで本研究では、統合失調症様行動異常を示す *Fabp7* ノックアウト (KO) マウスやヒト死後脳を用いてリピドミクス解析や遺伝学的解析など多層的なアプローチを行い、「脳内脂質恒常性の変化-統合失調症の発症・病態」の生物学的経路を予測することを目指す。本年度は、以下の解析を行った。

1) *Fabp7*-CRISPR/Cas9n KOマウスの作成: これまでに行った *Fabp7* KOマウスの脳のイメージング質量分析より、野生型と比較しKOの前頭葉や脳梁 (統合失調症との関連が示唆されている脳領域) で特定の脂質の含量低下がみられることが判明した。その一方で、解析に使用したKOマウスが、当該遺伝子の近傍に別系統由来のゲノム配列をもっている (KOマウス作成時に使用したES細胞由来) ことが偶然判明した。別系統

由来のゲノム配列が脂質代謝へ影響を及ぼす可能性はないと考えられるが、念のためCRISPR/Cas9n システムを用いた *Fabp7* KOマウス (*Fabp7*-CRISPR/Cas9n KOマウス) を作成し、今後再解析の必要が生じた場合に備えた。

2) ヒト死後脳の脂質分析: 本研究の最終目標は、マウスの解析からヒントを得て、ヒトサンプルでの解析を行い、疾患の分子病理を解明し、新しい治療法の創製、提案を目指すことにおいている。統合失調症では白質の異常が繰り返し報告されており、白質は特に脂質に富む組織である。上記のマウスモデルでも脳梁 (白質が束になった領域) での脂質組成の異常が明らかになったことから、統合失調症患者およびコントロール (n = 15ずつ) の死後脳の脳梁から脂質を抽出し、液体クロマトグラフ質量分析 (LC-MS) で解析した。その結果、統合失調症患者サンプルで特定の脂肪酸側鎖をもつリン脂質が有意に低下していることが判明した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Maekawa M., Watanabe A., Iwayama Y., Kimura T., Hamazaki K., Balan S., Ohba H., Hisano Y., Nozaki Y., Ohnishi T., Toyoshima M., Shimamoto C., Iwa-

- moto K., Bundo M., Osumi N., Takahashi E., Takashima A., Yoshikawa T.: “Polyunsaturated fatty acid deficiency during neurodevelopment in mice models the prodromal state of schizophrenia through epigenetic changes in nuclear receptor genes”. *Transl Psychiatry* 7, e1229. (2017)*
2. Balan S., Yamada K., Iwayama Y., Hashimoto T., Toyota T., Shimamoto C., Maekawa M., Takagai S., Wakuda T., Kameno Y., Kurita D., Yamada K., Kikuchi M., Hashimoto T., Kanahara N.: “Comprehen-

sive association analysis of 27 genes from the GABAergic system in Japanese schizophrenia patients”. *Schizophrenia Research* 185, 33-40 (2017)*

●ポスター発表 Poster Presentations

島本知英、江崎加代子、岩山佳美、大西哲生、前川素子、豊島学、吉川武男：“統合失調症の病態と脳梁における脂質変動との関係解明”，第13回日本統合失調症学会、徳島、3月（2018）

XXVIII-047

Semiconductor Nanowires-Based Spin qubits

Name: Jian SUN

Host Laboratory: Advanced Device Laboratory

Laboratory Head: Koji ISHIBASHI

In the past fiscal year, I have studied the helical gap in Ge/Si core/shell nanowire. Helical state, exhibiting spin momentum locking, is predicted to emerge in 1D ballistic semiconductor nanowires (NWs) possessing strong Rashba spin-orbit interaction under an appropriate applied external magnetic field. Such a helical state is a key ingredient for the realization of Majorana zero modes, and has application for spin filtering, and Cooper pair splitters. A distinct experimental signature of the helical state is a re-entrant conductance gap feature at the $2e^2/h$ conductance plateau as different portions of the band dispersion are probed. Recently the helical state has been experimentally detected in the lowest sub-band of InAs and InSb NWs. Hole systems offer several potential advantages for spintronics and quantum information processing application, having an effective spin of $J = 3/2$, momentum and spin are strongly coupled, enabling pure electric spin manipulation. Additionally, hole spin lifetimes can be significantly prolonged in the presence of confinement.

I did the experimental measurement of helical hole states in a quantum point contact formed in a Ge/Si core/shell NW. Owing to a large valance band offset ~ 0.5 eV between Ge and Si, holes are naturally accumulated in the Ge core and strongly confined by the interface with the Si shell. The dopant-free growth leads to the high mobility with mean-free-path up to ~ 500 nm.

In addition, both Ge and Si lack nuclear spin which through hyperfine coupling is the typical leading contributor to the limit of spin coherence times for III-IV based qubit devices. More importantly, a strong dipole-coupled Rashba type SOI is predicted in Ge/Si NWs as a result of the quasi-degeneracy in its low energy valence bands, as such Ge/Si NWs are a promising material system to investigate helical hole states. The helical hole state is detected as a re-entrant conductance feature on conductance plateaus observed at integer multiples of $2e^2/h$. The helical spin-gap feature is confirmed by both magnetic field dependence and angular dependence, from which we can also extract a strong spin-orbit energy $E_{so} = 2.8$ meV and large Landé g-factor of 4.7. They show good agreement with previous theoretical predictions and our previous weak anti-localization measurements.

●Publications

Papers

Sun J., Deacon R. S., Wang R., Yao J., Lieber C. and Ishibashi K.: Helical Hole State in Multiple Conduction Modes in Ge/Si Core/Shell Nanowire. *Submitted* *

●Oral Presentations

Conference

Sun J., Deacon R. S., Wang R., Yao J., Lieber C. and Ishibashi K.: Helical Hole State in Ge/Si Core/Shell Nanowire. To be presented in JSAP spring meeting 2018, Tokyo, March 17-20, 2018.

Sun J., Deacon R. S., Wang R., Yao J., Lieber C. and Ishibashi K.: Helical Hole State in Ge/Si Core/Shell Nanowire. To be presented in MEXT project meeting, Atsugi, Feb. 15-16, 2018.

● Poster Presentations

Sun J., Deacon R. S., Wang R., Yao J., Lieber C. and Ishibashi K.: Helical Hole State in Ge/Si Core/Shell Nanowire. The 2nd CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems, Tokyo, Jan. 15-17, 2018.

XXVIII-048 中空ファイバ中の冷却原子を用いた超放射レーザーの開発 Development of Super-Radiance Laser with Cold Atoms in a Hollow-Core Fiber

研究者氏名: 岡場 翔一 Okaba, Shoichi

受入研究室: 光量子工学研究領域

エクストリームフォトニクス研究グループ

時空間エンジニアリング研究チーム

(所属長 香取 秀俊)

本研究の目的は、コアが中空であるファイバ（中空ファイバ）中の冷却⁸⁸Sr原子の超放射現象を利用した周波数安定度の高いレーザー光源の開発である。

周波数や時間といった物理量はあらゆる物理量の中で最も精度良く測定できるものであり、新たな周波数標準の候補とされる原子時計の1つである光格子時計は、当初の目標である18桁の精度にすでに到達している。そのため、今後はこの光格子時計の持つ高い周波数精度を様々な分野に応用していく必要があるが、光格子時計の分光用レーザーの周波数安定化に不可欠な共振器システムが非常に巨大であり、応用に向けた小型化、可搬化の大きな障害となっていた。そこで考えられているのが原子の放射する光を光源として利用することである。不変な共鳴周波数をもつ原子が放射する光をそのまま利用すれば、安定な共振器が無くても非常に安定な周波数を持つ光が得られる。さらに、原子集団の超放射現象を利用すると、光の放射方向が特異的になり、放射光のパワーをほぼ損失なく光源として利用できる。このような光源は既に提案されているが、狭い領域に多数の原子をトラップするために原子間衝突によるデコヒーレンスという問題があった。そこで、我々は中空ファイバ中に原子を導入し、原子を捕獲する領域を広げることを考えた。中空ファイバ中では自

由空間中とは異なり、光が回折せずに、原子をトラップするのに必要な強度をファイバの長さだけ維持できる。これにより、トラップされる原子数を維持しながらも、原子間衝突を抑えることができ、十分なパワーを持ちつつ周波数安定度の高い光源が得られると期待される。

本年度は、昨年度と同様に中空ファイバ中の超放射現象を観測した。

- (1) 中空ファイバ中の⁸⁸Sr原子集団の超放射現象を中空ファイバにカップルさせた π パルスによって直接励起して観測し、その諸特性を調べた。
 - (1-a) 超放射現象によって放射される光を周波数が既知のローカル光と干渉させ、その周波数差を測定することで、超放射光の周波数の原子数、励起光周波数に対する依存性を調べた。
 - (1-b) 超放射現象によって放射される光の収集効率（検出光子数／全放射光子数）を測定し、特に、その放射光の空間モードや収集効率の原子数に対する依存性を調べた。
- (2) 中空ファイバ中に461nmの共鳴光を導入し、その蛍光をファイバのガラス壁越しに観測することによって、中空ファイバ中の原子分布を直接的に観測した。

(3) 励起 π パルスを中空ファイバ側面から照射し、
入射光と波数ベクトルが異なる超放射光を観測した。

XXVIII-049 A research on diffraction limit breaking through by using micron antenna array for real-time THz image system

Name: Zhengli HAN

Host Laboratory: Tera-Photonics Research Team

Center for Advanced Photonics

Laboratory Head: Hiroaki MINAMIDE

Metamaterial with double-layer split ring resonators (SRRs) array is proposed for the terahertz (THz)-wave near-field imaging system based on the different frequency generation (DFG) with nonlinear crystal DAST (Diethylaminosulfur trifluoride). Different from the traditional THz-wave near-field imaging with single probe by needle or aperture, in this work the metamaterial works as an array of the near-field probes that reserve the object near-field information and transfer it to the THz-wave detection system with DAST crystal. The proposed concept is expected to benefit the application of THz-wave near-field imaging with real-time performance.

THz wave is an electromagnetic wave located between the infrared and microwave. Because of the unique fingerprint properties of THz wave to many molecules, THz-wave researches have attracted lots of interests. THz-wave spectroscopy and imaging system are realized in laboratory and recently in commercial, associated with the development of several types of THz-wave source and detector. Among the THz-wave imaging techniques, near-field imaging with high resolution is desired for the applications, such as observing the interaction between THz-wave and matter, and the molecule analysis for bio research. However, the traditional THz-wave near-field imaging technique usually employs a signal probe which consumes long time with raster scanning to obtain an image. A near-field imaging system with real-time performance is expected in the THz-wave research community.

Recently THz-wave detection with DAST crystal frequency up-conversion was demonstrated in our group and THz-wave far-field imaging was also inves-

tigated. In this work, we propose to add film metamaterial on the DAST surface for a THz-wave near-field imaging system. Film metamaterial design uses double-layer SRRs with a polymer as the substrate. Under THz wave incidence, SRRs get resonance at resonant frequency, resulting in the electric field enhancement at local region, where this property also hold for other frequencies near by the resonance, due to the natural low quality factor of the SRR resonance. For instance, at 0.88 THz, each SRR works as an antenna pixel to confine the electric field of the incident THz wave into the gap (capacitor) of metallic patterns at the center of the SRR lattice, where the electric field distribution was calculated by COMSOL and HFSS simulation. The enhanced electric field reinforces the up-conversion efficiency of the nonlinear DAST crystal, resulting in improving the detection signals of the image. Meanwhile, since the film metamaterial can transfer the near-field of object from one layer SRR (attaching object) to the other layer SRR (attaching DAST), the detection signals reserve the near-field information of the object. Therefore, the metamaterial works an effective array of the near-field probe for the real-time THz-wave imaging system.

During this year, the film metamaterial device was developed by photo-lithography technique. We used THz TDS (THz time domain spectroscopy) to test the device spectra performance, which is well agreed with the simulation. A novel THz-wave phase shifter based on the film metamaterial with double-layer metallic patterns was also investigated. We analyze the effects introduced by the near-field coupling between the double-layer metallic patterns and the mechanism of the

high transmission of the THz-wave phase shifter. The near-field coupling plays an important role in the THz-wave device performance, and it is also a key factor in the THz-wave near-field imaging which is undergoing.

● Publications

Papers

- [1] Zhengli Han, Seigo Ohno, Yu Tokizane, Kouji Nawata, Takashi Notake, Yuma Takida and Hiroaki Minamide, "Thin terahertz-wave phase shifter by flexible film metamaterial with high transmission," Optics Express Vol. 25, Issue 25, pp. 31186-31196 (2017).

● Oral Presentations

International conferences

- [1] Takashi Notake, Kouji Nawata, Yuma Takida, Yu Tokizane, Zhengli Han, Mio Koyama, Andreas Karsaklian Dal Bosco, and Hiroaki Minamide "Characterization of Unexplored Second-order Nonlinear Optical Coefficients of organic DAST Crystal", in Proc. 6th Advanced Lasers and Photon Sources, Yokohama, Japan, (April 18 -21, 2017)
- [2] Y. Tokizane, K. Nawata, Y. Takida, Z. Han, A.K. Dal Bosco, M. Koyama, T. Notake, H. Minamide, "DAST-difference frequency THz-wave generation with wide tuning range from 0.2 to 3 THz", Proc. 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO24), M1H-02, Keio Plaza Hotel, Tokyo,

Japan, (Aug. 21, 2017)

Domestic conferences

- [1] Z. Han, Y. Tokizane, K. Nawata, M. Koyama, A. Karsaklian Dal Bosco, Y. Ogata, T. Notake, Y. Takida, and H. Minamide, "Polymer metamaterial for an ultrathin THz-wave Fresnel zone plate," 第64回応用物理学会春季学術講演会, 14a-211-1, パシフィコ横浜(2017年3月14日)
- [2] Zhengli Han, Yu Tokizane, Kouji Nawata, Takashi Notake, Yuma Takida, Hiroaki Minamide, "Flexible Film Metamaterial for a thin THz-Wave Phase Shifter," 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 7p-A409-11, 福岡国際会議場 (2017年9月7日)

● Poster Presentations

International conferences

- [1] Zhengli Han, Yu Tokizane, Kouji Nawata, Mio Koyama, Andreas Karsaklian Dal Bosco, Yoichi Ogata, Takashi Notake, Yuma Takida, Hiroaki Minamide, "Flexible Film Metamaterial for an Ultrathin THz-wave Phase Coding Plate," in Proc. 8th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP8), Taipei, Taiwan (May 22-26, 2017)

Domestic conferences

- [1] Zhengli Han, Seigo Ohno, Yu Tokizane, Kouji Nawata, Takashi Notake, Yuma Takida and Hiroaki Minamide, "Film metamaterials applied to THz optics", the 5th RIKEN RAP Symposium, Sendai (Nov. 29-30, 2017)

XXVIII-050

抗がん剤フリーナノ粒子の *in situ* 化学反応による がん治療システムの開発

Development of Cancer Treatment System by *in situ* Chemical Reaction of Anticancer Drug-Free Nanoparticles

研究者氏名: 秋元 淳 Akimoto, Jun
受入研究室: 伊藤ナノ医工学研究室
(所属長 伊藤 嘉浩)

腫瘍は血管透過性が高くリンパ機構が未発達であることからナノ粒子が蓄積しやすい傾向がある。この機構を利用して、抗がん剤をナノ粒子に内包して腫瘍に抗がん剤を送達する薬物送達システムの開発が行われている。しかし、抗がん剤を腫瘍に送達す

るには、ナノ粒子は抗がん剤を目的部位まで安定に保持する必要があり、途中で漏出した抗がん剤は、通常の抗がん剤と同様の薬物動態を示すことから副作用の発現につながる。そこで、抗がん剤を利用せずに、抗がん剤と同様の機能をナノ粒子に付与する

ことができれば、薬物の体内動態に影響されない新たなナノ粒子製剤の創製につながる。本研究では、これを実現するために2つの方法について検討した。一つは、ナノ粒子に正電荷を付与して細胞膜障害性を制御する方法について検討した。一般に細胞膜は負電荷を帯電していて、特にがん細胞はシアル酸を大量に発現しているから強い負電荷を帯びている。正電荷をもつ高分子はこの細胞と強く相互作用することから一般に細胞傷害性を示すことが知られている。本研究では、温度変化による高分子の構造変化により、正電荷高分子の遮蔽と露出を制御するシステムを構築することで、外部刺激により、正電荷高分子の細胞への膜障害性を制御することに成功した。また、細胞内外のタンパク質もしくは細胞膜と反応性を有する官能基を導入したナノ粒子を作製し、この官能基の反応性を温度変化に応答した高分子の構造変化により制御するシステムについても検討した。この結果、このナノ粒子は温度変化に応答して、アミノ基を有する高分子との相互作用を変化させ、高分子との架橋によりゲルを形成した。今後、

細胞に対する本ナノ粒子の影響を検討するが、がん細胞外にゲル構造を形成することができれば細胞の遊走性を抑制することが可能であることから、がんの増殖・転移を抑制できる新しいナノ粒子製剤の開発につながると期待できる。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会等)

Jun Akimoto, “Development of ER-stress mediated cell death inducing system”, 2017 Chinese Pharmaceutical Conference and A3 International Symposium, Shanghai, China, Oct. (2017).

Jun Akimoto, “Development of a cancer treatment system utilizing structure change of thermoresponsive polymeric micelles”, The fifth RIKEN-NCTU Symposium on Physical and Chemical Sciences, Hsinchu, Taiwan, Dec. (2017).

秋元淳: “温度応答性ナノ粒子を利用した小胞体ストレス誘導法の開発”, 理研/iCOMN/物材機構医工学ネットワーク, 川崎, 12月 (2017年)

XXVIII-051

リアルタイム無標識生体分子イメージング装置の実現

Realization of Real-time Label-free molecular imaging system

研究者氏名: 前田 康大 Maeda, Yasuhiro

受入研究室: 光量子工学研究領域

光量子技術基盤開発グループ・

光量子制御技術開発チーム

(所属長 和田 智之)

生体内の分子の組成や分布、構造変化をリアルタイムで可視化するためには試料の分子構造を反映した情報と位置情報を同時に取得できる蛍光イメージングや分光イメージング技術が有用である。そこで本研究では2波長発振電子制御波長可変レーザーとスピニングディスクビームスキャナを用いたCoherent Anti-stokes Raman Spectroscopy (CARS) リアルタイム分光イメージング装置や同じビームスキャナを用いて高分解能、広観察視野、高深度観察、高時間分解能を有した二光子蛍光顕微鏡および励起用高出力フェムト秒ファイバーレーザーの開発をおこなっている。非線形顕微鏡技術に高時間分解能を実現するスピニングディスクビームスキャナを適用する事で、これまで困難であった非線形光学顕微鏡

の高時間分解能化を目指している。スピニングディスクビームスキャナは広い面積を高速に照明し、画像を得る事ができることから、一光子励起蛍光では多用されているものの、CARSを含む非線形振動分光イメージングや二光子励起蛍光イメージングの分野ではほとんど利用されていない。本研究では光源開発を同時に行う事でスピニングディスクビームスキャナの欠点を克服した顕微鏡技術の実現を目指している。

本年度は、スピニングディスクビームスキャナを用いた二光子蛍光顕微鏡およびその励起光源となる高出力近赤外フェムト秒ファイバーレーザーの開発を実施し、ライブイメージングに成功した。ファイバーレーザーは目標である平均出力10W、パルス

幅300fs、繰り返し周波数72MHzを達成した。また、開発した顕微鏡は広い観察視野(400 μ m \times 400 μ m、25倍対物レンズ使用時)高い深度分解能と高い時間分解能を達成した。この顕微鏡を用いてシロイヌナズナの根の深部ライブイメージングを行い、通常の一光子蛍光顕微鏡では困難であった20 μ m以下の深度におけるライブイメージの取得に成功した。

また、スピニングディスクビームスキャナビームスキャナを用いたCARS分光システムの開発においては、信号検出用分光システムの改良、および励起光源の最適化を進めた。

●口頭発表 Oral Presentations

前田康大、黒川量雄、伊藤容子、中野明彦、和田智之：“スピニングディスクを用いた二光子励起蛍光顕微鏡の開発”、電気学会光・量子デバイス研究会、東京、9月(2017)

前田康大：“2波長発振電子制御波長可変レーザーを用いたCARS分光システム”、平成28年度電気学会技術委員会奨励賞受賞記念講演、東京、9月(2017)

Yasuhiro Maeda, Kazuo Kurokawa, Yoko Ito, Akihiko Nakano, Satoshi Wada: “Development of Laser for 4D Cell Imaging” Taiwan-Japan Joint Meeting on Bioimaging for Young Researchers, Taipei, 11月

(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

前田康大、黒川量雄、伊藤容子、中野明彦、和田智之：“4D細胞計測用高出力フェムト秒ファイバーレーザー”、理研シンポジウム:「観る・測る・解く」4次元細胞計測の現状と未来、和光、8月(2017)
前田康大、黒川量雄、伊藤容子、中野明彦、和田智之：“4D細胞計測顕微鏡の開発”、第78回応用物学会秋季学術講演会、福岡、9月(2017)

Yasuhiro Maeda, Kazuo Kurokawa, Yoko Ito, Akihiko Nakano, Satoshi Wada: “Development of Laser for 4D Cell Imaging” Taiwan-Japan Joint Meeting on Bioimaging for Young Researchers, Taipei, 11月(2017)

前田康大、黒川量雄、伊藤容子、中野明彦、和田智之：“4D細胞計測顕微鏡と励起用近赤外高出力フェムト秒ファイバーレーザーの開発”、レーザー学会第511回研究会「ファイバーレーザー技術」、和光、11月(2017)

Yasuhiro Maeda, Kazuo Kurokawa, Yoko Ito, Akihiko Nakano, Satoshi Wada: “Wide field video-rate two-photon imaging by using spinning disk beam scanner” BiOS 2018, San Francisco, 1月(2018)

XXVIII-052 Towards Understanding Dark Matter using Lattice Quantum Field Theories Techniques

Name: Enrico RINALDI

Host Laboratory: Computing Group

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Taku IZUBUCHI

The Large Hadron Collider (LHC) and the biggest underground detectors for dark matter searches have come up empty handed in their recent searches for this elusive form of matter that makes up approximately 85% of all mass in our Universe. Both colliders and underground detectors have been only able to place new limits on the mass and interactions of dark matter, under the assumption that dark matter is a particle behaving according to some commonly used models.

This year I have published a Phys. Rev. D paper with

colleagues at Brookhaven National Laboratory (BNL) that describes a new model for dark matter, which also explains in a unified framework the mystery of neutrino masses. Our model therefore contains a solution for two of the missing ingredients in the Standard Model (SM) of particle physics: dark matter and right-handed neutrinos. Without right-handed neutrinos, the neutrinos of the SM have no mass. But this goes against the recently observed (and recognized with the 2015 Nobel prize in physics) neutrino flavor oscillations.

In the framework we envisioned, dark matter is a composite meson of new dark quarks, while the right-handed neutrino is a composite neutron of those same quarks. These composite objects stem from a new strongly interacting sector at high energy. We investigate several possible signatures of the new sector, such as the production of gravitational waves from a deconfining transition in the early Universe that could be detected today, or the in-flight decay of dark mesons that could be produced in high energy collisions at the LHC.

The deconfining transition in the early Universe is expected to happen for our model of dark matter because the theory describing the high-energy regime is similar to QCD with light quarks. In fact, the QCD transition itself is studied in experiments at RHIC, BNL, but it can be studied with first principles numerical lattice QCD simulations. Together with a team from BNL and Europe, we have performed state-of-the-art lattice QCD simulations of a hot quark-gluon plasma, like the one present in experiments, and investigated the properties of charge fluctuations. Our results, published in a Phys. Rev. D paper, compare favorably to the experimental observations, suggesting that the lead ion collisions happening every second in the experiments at RHIC are actually producing a plasma that is described by the microscopic theory of QCD.

The common theme of lattice quantum field theory simulations is what makes this research unique. It links studies of QCD, directly applicable to experimental results, to dark matter searches and other exotic beyond the SM models. Lattice gauge theory simulations can also be used to investigate the possibility of a quantum theory of gravity, by means of the gauge/gravity duality, or to probe the internal structure of the nucleons and nuclei we are made of.

I have submitted for publication two papers about the aforementioned applications of lattice simulations. The first was submitted to the Journal of High Energy Physics. It describes numerical results of a new technique to obtain information about the geometry of black holes, such as their horizon radius, utilizing a gauge theory and the gauge/gravity correspondence.

The second was submitted to Nature and it is on the

second revision now, awaiting formal acceptance. It describes a groundbreaking first-principles result for the strength of the interaction between a pion and a nucleon, the so-called axial coupling, which determines important nuclear processes, from the decay of a free neutron, to the nuclear fusion in the Sun and the abundance of light nuclei at the time of nucleosynthesis.

It is a lattice QCD calculation performed with the aid of the largest supercomputers in the USA and it achieves an unprecedented precision thanks to a newly developed algorithm, considerably boosting our ability to study nuclear physics processes (e.g. neutron stars) from first-principle simulations of QCD in the coming years.

● Publications

Refereed proceedings

Chang C. C., Nicholson A., Rinaldi E., Berkowitz E., Garron N., Brantley D., Monge-Camacho H., Monahan C., Bouchard C., Clark M. A., Joo B., Kurth T., Orginos K., Vranas P. and Walker-Loud A.: Nucleon axial coupling from Lattice QCD. *arxiv:1710.06523*, *EPJ in print**

Aoki Y., Aoyama T., Bennett E., Kurachi M., Maskawa T., Miura K., Nagai K.-i., Ohki H., Rinaldi E., Shibata A., Yamawaki K. and Yamazaki T.: Flavor-singlet spectrum in multi-flavor QCD. *arxiv:1710.06549*, *EPJ in print**

Berkowitz E., Nicholson A., Chang C.C., Rinaldi E., Clark M. A., Joo B., Kurth T., Vranas P. and Walker-Loud A.: Calm Multi-Baryon Operators *arxiv:1710.05642*, *EPJ in print**

Papers

E. Rinaldi, E. Berkowitz, M. Hanada, J. Maltz and P. Vranas: Toward Holographic Reconstruction of Bulk Geometry from Lattice Simulations. *arXiv:1709.01932 JHEP submitted**

H. Davoudiasl, P. Giardino, E. Neil and E. Rinaldi: Unified scenario for Composite Right-Handed Neutrinos and Dark Matter. *Phys. Rev. D96, 115003 (2017) published**

A. Bazavov, H.-T. Ding, P. Hegde, O. Kaczmarek, F. Karsch, E. Laermann, S. Mukherjee, H. Ohno, P.

- Petreczky, E. Rinaldi, H. Sandmeyer, C. Schmidt, C. Schroeder, S. Sharma, W. Soeldner, R.A. Soltz, P. Steinbrecher and P. M. Vranas: Skewness and Kurtosis of Net Baryon-Number Distributions at Small Values of the Baryon Chemical Potential. *Phys. Rev. D96, 074510 (2017) published**
- Berkowitz E., Brantley D., Bouchard C., Chang C. C., Clark M. A., Garron N., Joo B., Kurth T., Monahan C., Monge-Camacho H., Nicholson A., Orginos K., Rinaldi E., Vranas P. and Walker-Loud A.: An Accurate Calculation of the Nucleon Axial Charge with Lattice QCD. *arxiv:1704.01114, "Nature" submitted**
- Submitted FY16, now published:
- Aoki Y., Aoyama T., Bennett E., Kurachi M., Maskawa T., Miura K., Nagai K., Ohki H., Rinaldi E., Shibata A., Yamawaki K. and Yamazaki T.: Light flavor-singlet scalars and walking signals in $N_f=8$ QCD on the lattice. *Phys. Rev. D96, 014508 (2017) published**
- Berkowitz E., Bouchard C., Chang C. C., Clark M., Balint J., Kurth T., Monahan C., Nicholson A., Orginos K., Rinaldi E., Vranas P. and Walker-Loud A.: Möbius domain-wall fermions on gradient-flowed dynamical HISQ ensembles. *Phys. Rev. D96, 054513 (2017) published**
- **Oral Presentations**
- Conferences
- Rinaldi E.: How to test the gauge/gravity duality with lattice simulations. "Quantum gravity, string theory and holography", YITP, Kyoto, Japan, April (2017)
- Rinaldi E.: Many-flavor theories on the lattice. "Lattice for Beyond the Standard Model Physics", Boston University, Boston, USA, April (2017)
- Rinaldi E.: Flavor-singlet spectrum in multi-flavor QCD: SU(3) with $N_f=4,8$ and 12. "Lattice 2017", Granada, Spain, June (2017)
- Rinaldi E.: Lattice Field Theory results on new strong dynamics. "Old and new strong interactions from LHC to future colliders", ECT*, Trento, Italy, September (2017)
- Rinaldi E.: Petaflops computing for the search of New Physics. "Interdisciplinary Theoretical and Computational Physical Sciences", Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, October (2017)
- Rinaldi E.: Dark interactions and supercomputers. "Brookhaven forum 2017: in search of new paradigms", Brookhaven National Laboratory, Upton NY, USA, October (2017)
- Rinaldi E.: Exploring signals of conformality in theories with many flavors: a LatKMI report. "Continuum and Lattice Approaches to the Infrared Behavior of Conformal and Quasi-Conformal Gauge Theories", Stony Brook University, Simons Center for Geometry and Physics, Stony Brook, NY, USA, January (2018)
- Seminars
- Rinaldi E.: What lattice gauge theory can do for Dark Matter searches. Università di Roma 1, La Sapienza, Roma, Italy, February (2017)
- Rinaldi E.: Beyond the Standard Model Physics with Lattice Simulations. Università di Roma 2, Tor Vergata, Roma, Italy, March (2017)
- Rinaldi E.: The nucleon axial charge from lattice QCD. RIKEN, BNL, Upton, US, May (2017)
- Rinaldi E.: How to Test the Gauge/Gravity Duality with Lattice Simulations. University of Oregon, Eugene, US, May (2017)
- Rinaldi E.: The nucleon axial coupling from Lattice QCD. RIKEN Nishina Center, Wako, Japan, October (2017)
- Rinaldi E.: The nucleon axial charge from Lattice QCD. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA, January (2018)

Name: Alexis VOGELZANG

Host Laboratory: Laboratory for Mucosal Immunity

Center for Integrative Medical Sciences

Laboratory Head: Sidonia FAGARASAN

FcRn binds to conserved elements of the Fc portion of IgG at low pH, transports IgG across polarized epithelial barriers, and chaperones IgG between endocytic and degradative compartments. In the first year of this project, we surveyed expression of FcRn in our chosen C57Bl6 model. Histochemical analysis of FcRn expression had indicated positive expression in intestinal compartments, yet addition of *fcrn*^{-/-} tissue controls to our panel showed no expression over background in C57Bl6 mice during homeostasis. In addition, RT PCR analysis of epithelial cells compared to immune cells, confirmed an absence of baseline transcription in the gut tissue. My previous studies established a role for FcRn in the lung, maintaining gradients of IgG subtypes in the lumen. In contrast in the gut, IgG is not actively transported into the lumen in the absence of inflammation in this mouse strain. These studies suggest that there is no role in homeostasis in mice, making them a poor model for human baseline FcRn expression and fecal IgG secretion.

Various publications point to FcRn upregulation during infection, thus we performed mRNA sequencing of

resting wildtype compared to *rorgt*^{-/-} mice, a model of infiltrative spontaneous colitis with increased IgG production in LN and gut, as well as immunodeficient *rag1*^{-/-} mice. Again, we saw no differences in *fcrn* gene expression in the epithelial cells from these animals, suggesting diffusion rather than transport underlies IgG secretion in these animals. However, this data has revealed new pathways of interest for my research studying the responses of epithelial cells in the gut to immune infiltration. I propose the new topic 'Dissecting Epithelial Cell Inflammatory Responses in the Gut' for research continuing in 2018 financial year (see Appendix 2).

In addition, I have optimized the isolation of colonic crypts and generation of immortal organoid culture methods for analysis of epithelial response to inflammatory cell subsets.

● Oral presentation

Conference

Vogelzang A: Breaking the wall of bacterial dark matter inside us. Falling Walls Lab Tokyo 2017

XXVIII-054 ヘビークォークが作り出すエキゾチックなハドロン・原子核の構造

Exotic Hadron and Nuclear Structures with Heavy Quarks

研究者氏名: 山口康宏 Yamaguchi, Yasuhiro

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)

本研究では、系の持つ対称性に基づいたハドロン間相互作用の構築を行い、それを用いたハドロン複合状態の理論解析とそれら状態の性質の理解を行うことを目的とした。ヘビーハドロンの領域では、これまでの模型解析では予言されなかった「エキゾチックな状態」が加速器実験で多数報告されている。なぜエキゾチックな状態が出現するのかは完全には

理解されていないが、ハドロン閾値近傍では、励起した一つのハドロンがいるのではなく、複数のハドロンによる複合状態が実現しているのではないかと考えられている。その様な状態ではハドロン間相互作用が重要な要素となるが、相互作用を構築するためには現状の実験データは十分ではない。そこで本研究ではより基礎的な視点に立ち、系の持つべき対

称性に注目することによって相互作用を構築し、それに基づいた理論解析を行うことによって閾値近傍のヘビーハドロン状態の性質を探る。

本年度は、2体ハドロンの散乱状態とマルチクォークからなるハドロン状態の結合を考え、マルチクォーク状態を起源とするハドロン間近距離力の導出と、それを用いたハドロン束縛・共鳴状態の理論解析を行った。

- (1) 着目するエネルギー領域近傍では、多くのハドロン閾値が存在する。これはヘビークォークスピ対称性が近似的に実現しているためであり、この対称性が要請するハドロンチャンネルは全て取り込んだ計算を行う必要がある。この対称性は相互作用構築にも重要であり、対称性を反映した有効ラグランジアンを用いてハドロン間の長距離相互作用であるパイオン交換力を導出した。
- (2) 多くのハドロン閾値がある一方で、マルチクォークからなるハドロン励起状態の結合も許される。ここではマルチクォーク状態のスピン構造を解析し、そのスピン波動関数を用いてハドロン散乱状態との結合を特徴付ける Spectroscopic factor の導出を行った。得られたマルチクォーク状態との結合はハドロン間近距離力の役割を果たす。
- (3) 導出した長距離・近距離力を相互作用としたチャンネル結合シュレディンガー方程式を解くことによって、束縛・共鳴状態の性質を調べた。本解析では近距離力が重要な働きをすることが得られ、ハドロン散乱状態とマルチクォーク状態の結合の役割が調べられた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamaguchi Y. and Santopinto E.: “Hidden-charm pentaquarks as a meson-baryon molecule with coupled channels for $D\bar{b}^{(*)}\Lambda_{c}$ and $D\bar{b}^{(*)}\Sigma_{c}^{(*)}$ ”, *Physical Review D* 96, 014018 pp.1-9 (2017)*

Hosaka A., Hyodo T., Sudoh K., Yamaguchi Y., and Yasui S.: “Heavy Hadrons in Nuclear Matter”, *Progress in Particle and Nuclear Physics* 96, 88-153 (2017)*

Yamaguchi Y., and Yasui S.: “Mesic nuclei with a heavy antiquark”, *Progress of Theoretical and Ex-*

perimental Physics 2017, 093D02 pp.1-14 (2017)*

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: *Physical Review D* 96, 114031 pp.1-25 (2017)*

●口頭発表 Oral Publications

(学会)

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: “Hidden-charm meson-baryon molecules with a short-range attraction from five quark states”, 9th Workshop on Hadron physics in China and Opportunities Worldwide, Nanjing, China, July (2017)

山口 康宏, Giachino A., 保坂 淳, Santopinto E., 竹内 幸子, and 瀧澤 誠: “ハドロン分子における5クォーク状態が作る近距離引力”, RCNP 研究会「核子・ストレンジネス多体系におけるクラスター現象」, 大阪, 8月 (2017)

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: “Hidden-charm meson-baryon molecules with a short-range attraction from five quark states”, The 7th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB 2017), Guilin, China, Aug. (2017)

山口 康宏, Giachino A., 保坂 淳, Santopinto E., 竹内 幸子, and 瀧澤 誠: “ハドロン分子における5クォーク状態が作る近距離引力”, 日本物理学会 2017年秋季大会, 栃木, 9月 (2017)

山口 康宏 and 安井 繁宏: “反ヘビークォークを含むメソン原子核系の解析”, 日本物理学会 2017年秋季大会, 栃木, 9月 (2017)

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: “Hidden-charm meson-baryon molecules coupled with five-quark states”, Tokyo Tech - Uppsala University Joint Symposium (WG6 Hadron physics), Tokyo, Japan, Nov. (2017)

山口 康宏, Giachino A., 保坂 淳, Santopinto E., 竹内 幸子, and 瀧澤 誠: “ハドロン分子におけるコンパクトな5クォーク状態が作る近距離引力”, KEK 理論センター研究会「ハドロン・原子核物理の理論研究最前線 2017」, 茨城, 11月 (2017)

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: “Hidden-charm me-

son-baryon molecules coupled with five-quark states”, International workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017 (HNP2017), Saitama, Japan, Dec. (2017)

●ポスター発表 Poster Publications
(学会)

Yamaguchi Y., Giachino A., Hosaka A., Santopinto E., Takeuchi S., and Takizawa M.: “Hidden-charm meson-baryon molecules with a short-range attraction from five quark states”, XVII International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON2017), Salamanca, Spain, Sep. (2017)

XXVIII-055 核物質の状態方程式の研究とその高密度天体現象への応用
Equation of State of nuclear matter and its application to compact star phenomena

研究者氏名: 古澤 峻 Furusawa, Shun
受入研究室: 理論科学連携研究推進グループ
階層縦断型基礎物理学研究チーム
(所属長 初田 哲男)

重力崩壊型超新星爆発などの高密度天体現象は、重力波・ニュートリノなどの放出源や、高温高密度下の核物理の検証場所として重要な研究対象である。本研究課題の目的は、それらの天体現象の解明に不可欠な真の核物質状態方程式の構築を目指し、ミクロな核物質の性質とマクロな天体現象のメカニズムの関連を首尾一貫して解明することである。

本年度は、ミクロな物理の研究として (1, 2) を、マクロな天体現象への応用として (3, 4) を進めた。

- (1) 現実的な核力を用いた変分法に基づく一様核物質計算を、原子核集団の高温高密度効果を考慮した非一様相核物質計算に適用し、状態方程式データを作成した。それを1次元の超新星爆発シミュレーションに、状態方程式の硬さが超新星爆発に与える影響がこれまでの予想より小さいことを示した。またその状態方程式の原子核組成を基に、弱相互作用反応率データを作成した。
- (2) 原子核の液滴模型とスキルム型の一様核物質計算を用いて、従来とは抜本的に異なる、原子核の構造と組成を同時に最適化する計算を行った。これまでの計算では原子核構造か組成のどちらかしか最適化出来ず調べられなかったが、本研究により中性子過剰な原子核から順々に不安定になり気化することなど、高密度高温下の原子核集団の振る舞いを明らかにした。

- (3) 状態方程式と弱相互作用反応率データを、超新星爆発を起こす直前の大質量星から漏れ出る前兆ニュートリノの放出計算に適用し、電子捕獲型超新星爆発か、重力崩壊型超新星爆発かを反ニュートリノの検出量で判別できる可能性があることなどを示した。
- (4) 状態方程式と弱相互作用反応率データを、スーパーコンピュータ京を用いた最先端の2次元超新星爆発計算に適用した。ニュートリノ輸送を近似なしで解く世界初の多次元超新星爆発計算であり、これまで調べられなかったニュートリノのダイナミクスなどを明らかにした。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

Furusawa S., Togashi H., Nagakura H., Sumiyoshi K., Yamada S., Suzuki H. and Takano M.: “A new equation of state for core-collapse supernovae based on realistic nuclear forces and including a full nuclear ensemble”, Journal of Physics G, 44, 9 (2017)*
Kato C., Nagakura H., Furusawa S., Takahashi K., Umeda H., Yoshida T., Ishidoshiro K. and Yamada S.: “Neutrino emissions in all flavors up to the pre-bounce of massive stars and the possibility of their detections”, Astrophysical Journal, 848, 1 (2017)*
Nagakura H., Iwakami W., Furusawa S., Okawa H., Harada A., Sumiyoshi K., Yamada S., Matsufuru H.

and Imakura A.: “Simulations of Core-Collapse Supernovae in Spatial Axisymmetry with Full Boltzmann Neutrino Transport” *Astrophysical Journal*, 854,136 (2018)*

Furusawa S., Mishustin I.: “Equilibrium nuclear ensembles taking into account vaporization of hot nuclei in dense stellar matter”, *Physical Review C*, 97, 025804 (2018)*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Furusawa S.: “Nuclear Physics Inputs for Supernova Simulations” 1-Day Meeting on Nuclear-Astro, Kobe, Japan, Jun.(2017)

古澤 峻：“重力崩壊型超新星爆発における原子核物理のインプット”，日本物理学会，宇都宮市，9月（2017）

Furusawa S.: “Equations of state including full nuclear ensemble and weak interaction rates in core-collapse

supernovae” The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei, Halong City, Vietnam, Sep. (2017)

Furusawa S. “Equations of state and weak interaction rates in core-collapse supernovae” New perspectives on Neutron Star Interiors, Trento, Italy, Oct.(2017)

Furusawa S. “Equations of state and weak interaction rates in core-collapse supernovae” Theories of Astrophysical Big Bangs, Wakoshi, Saitama, Nov. (2017)

Furusawa S. “Constraint on the nuclear Equation of State from GW170817” R-Astro Meeting on Gravitational Waves from Neutron Star Mergers, Wakoshi, Saitama, Dec. (2017)

Furusawa S. “Self consistent calculation of nuclear composition in supernova matter” Physics of Core-Collapse Supernovae and Compact Star Formations, Shunjukuku, Tokyo, Mar. (2018)

XXVIII-056

物理点における $\Omega\Omega$ 間相互作用

$\Omega\Omega$ Interaction at Physical Point

研究者氏名: 権業 慎也 Gongyo, Shinya

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)

二つのバリオンの束縛状態（もしくは共鳴状態）であるダイバリオンの探索は、理論面実験面双方から長い間取り組まれてきた。理論の立場からは1977年のJaffeによる模型を使ったHダイバリオンの予言に始まり、 ΩN 、 $\Omega\Omega$ 、 $\Delta\Delta$ などのダイバリオンの予言が様々な模型を用いて行われてきた。しかし、模型での計算結果はパラメータに強く依存するだけでなく、そもそも用いる模型によってダイバリオンの有無も変わり、現実はどうなるのか判断が難しい状況が続いていた。それに対して、ハドロンのミクロな自由度であるクォーク・グルーオンからの第一原理計算（格子QCD）では、こういったパラメータ依存性はなく、真の理論であるQCDに基づき、現実の世界ではどのダイバリオンが現れるか否かに対して理論的決着を与えることができる。さらに、束縛エネルギーや位相差といった物理量に対

しても定量的なレベルで予言できることから、実際の実験に対してより明確な指針を与えることができる。本研究課題では、格子QCDを用いて、スーパーコンピュータ京ならびにFX100にて現実に非常に近い状況下（パイ中間子の質量が140MeV程度）での $\Omega\Omega$ 間相互作用を研究した。その結果、ダイバリオン（ダイオメガ）の存在を示唆する結果が得られた。そのダイバリオンの束縛エネルギーは1.5MeV程度と非常に小さく、また散乱長が有効距離に比べて大きいため、ユニタリー極限に近い状況になっている。さらに、この系に対するクーロン相互作用の影響も調べた。現在計画されているJPARCの重イオン実験ではこのダイバリオンの発見につながる可能性がある。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Gongyo S., Sasaki K., Aoki S., Doi T., Hatsuda T., Ikeda Y., Inoue T., Iritani T., Ishii N., Miyamoto T. and Nemura H.: “Most Strange Dibaryon from Lattice QCD”, Phys. Rev. Lett. 120, 212001 (2018)

●口頭発表 Oral Presentations

Gongyo S.: “Lattice QCD studies of dibaryon candidates”, International Conference on Exotic Atoms

and Related Topics - EXA2017, Vienna, Austria, Sep. 2017

Gongyo S.: “Interactions between Decuplet Baryons from Lattice QCD”, Reimei2017 international workshop, Tokai, Japan, Dec. 2017

●ポスター発表 Poster Presentations

Doi T., Gongyo S.: “物理点における $\Omega\Omega$ 間相互作用の研究”, 第4回成果報告会, 東京, 11月 (2017)

XXVIII-059 Nuclear Mass Measurement of Super-Heavy Elements by Multi-Reflection Time-of-Flight Mass Spectrometry

Name: Marco ROSENBUSCH

Host Laboratory: SLOWRI Team

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Michiharu WADA

A new evaluation code based on a maximum-likelihood algorithm has been developed for treatment of the nuclear mass data from the recent successful experiments (see report FY2016). This code allows to investigate the mathematically poorly defined additional uncertainties for the extraction of measurement values from raw data. This is achieved by automatically applying multiple data fits under different conditions and thus covering possible instabilities from each single fit. Precise data analysis of $^{210-214}\text{Ra}$ and $^{210-214}\text{Ac}$ isotopes, measured by a multi-reflection time-of-flight mass spectrometer (MRTOF MS), was performed using the new code. It has been observed that for data sets with poor statistics, the new code can provide realistic uncertainties approaching that of the Birge-ratio from high-statistics data. Several of the Ra and Ac isotopes were measured only by indirect methods before, i.e. through their Q_α value from decay data. Their masses could now be confirmed by first direct mass measurements [Rosenbusch *et al.*, submitted to PRC]. The new code has been further used to analyze nuclear mass data from the very exotic isotopes $^{77,78,79}\text{Cu}$ measured at the ISOLDE facility at CERN. The result is a first nuclear-structure study of the highly-desired isotope ^{78}Ni from just one proton away [Welker *et al.*, Phys. Rev. Lett. 119, 192502 (2017)]. This result combined with other

experimental data from isotopes in the vicinity yields a first consolidated confirmation of the doubly-magic character of ^{78}Ni . This also confirms novel PFSDG-U shell-model calculations that predict a new island of inversion for lighter $N=50$ isotopes (lower proton number) by the lowering of the 0_2^+ state (intruder) below the 2^+ state.

Furthermore, the theory of possible mass accuracy considering an ion ejection with dynamic increase of the ejection field from the preparation trap has been treated analytically. For low-energy nuclear mass measurements ions are stored and cooled in a preparation radio-frequency (RF) trap and later ejected towards the MRTOF MS to be mass analyzed. This electric ejection field must be applied using a switch and is thus not instantaneously present but increases in time until the full field is present. If the ions are ejected in that way, a new mass dependency arises and can harm the correctness of the measured mass value. This study can influence the future treatment of raw time-of-flight data from our experiments and is of high importance for the community (manuscript in preparation).

A prototype for a radio-frequency ion carpet with a novel planar design has been constructed and tested for the future facility SLOWRI. The goal of the new design is to stop and efficiently transport ions produced at

the SRC accelerator in a helium-gas environment. As the mass determination with an MRTOF MS requires low-energy ions, such a gas cell must be used to stop the relativistic motional energies of the reaction products behind the target. Improvements of the design are still necessary and the project is presently ongoing.

● Publications

- First Direct Mass Measurements of Nuclides around $Z=100$ with a Multireflection Time-of-Flight Mass Spectrograph
Y. Ito, P. Schury, M. Wada, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 22 authors)
Phys. Rev. Lett. 120, 152501 (2018) (published)
- Precision mass measurements of $58-63\text{Cr}$: Nuclear collectivity towards the $N=40$ island of inversion
M. Mougeot, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 25 authors)
Phys. Rev. Lett., accepted (2018) (in print)
- Binding Energy of ^{79}Cu : Probing the Structure of the Doubly Magic ^{78}Ni from Only One Proton Away
A. Welker, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 18 authors)
Phys. Rev. Lett. 119, 192502 (2017) (published)
- Atomic masses of intermediate-mass neutron-deficient nuclei relative uncertainty down to 35-ppb via multireflection time-of-flight mass spectrograph
S. Kimura, Y. Ito, D. Kaji, P. Schury, M. Wada, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 22 authors)
Accepted by IJMS (2018) (in print)
- Observation of doubly-charged ions of francium isotopes extracted from a gas cell
P. Schury, M. Wada, Y. Ito, D. Kaji, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 14 authors)
Phys. Rev. C 96, 044325 (2017) (published)
- Precision electron-capture energy in ^{202}Pb and its relevance for neutrino mass determination
A. Welker, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 18 authors)
Eur. Phys. J. A 53, 153 (2017) (published)
- Penning-trap mass spectrometry and mean-field study of nuclear shape coexistence in the neutron-deficient lead region

- V. Manea, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 28 authors)
Phys. Rev. C 95, 054322 (2017) (published)
- Precision mass measurements of cesium isotopes - new entries in the ISOLTRAP chronicles
D. Atanasov, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 20 authors)
J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 44, 044004 (2017) (published)
- Mass-selective ion ejection from multi-reflection time-of-flight devices via a pulsed in-trap lift
F. Wienholtz, S. Kreim, M. Rosenbusch, L. Schweikhard, R.N. Wolf
Phys. Rev. C 95, 054322 (2017) (published)
- Spectroscopy of the long-lived excited state in the neutron-deficient nuclides $^{195,197,199}\text{Po}$ by precision mass measurements
N. A. Althubiti, ... , M. Rosenbusch, ... (total: 26 authors)
Phys. Rev. C 96, 044325 (2017) (published)
- Nuclear deformation in the $A=100$ region: Comparison between new masses and mean-field predictions
A. de Roubin, ... , M. Rosenbusch, ... (total 19 authors)
Phys. Rev. C 96, 014310 (2017) (published)

● Oral Presentation

- Advanced Radioactive Isotope Science (ARIS), Keystone (Colorado), USA, 28.05.2017 - 02.06.2017
Talk: About possible ambiguities from alpha spectroscopy and direct mass measurements of neutron-deficient Actinium and Radium isotopes
- Electrostatic Storage Devices (ESD), Lyon, France, 19. - 22.06.2017
Talk: Recent developments and applications of multi-reflection time-of-flight mass spectrometry
- 10th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (STORI'17), Kanazawa, Japan, 13. - 18.11.2017
Talk: Direct mass measurements of neutron-deficient Actinium and Radium isotopes; Probing indirect mass links in the region of heavy nuclei

XXVIII-060 Study of Strangelets, Lightning and Meteors from Space, Balloon and Ground with Next Generation, Ultra-Sensitive Detectors

Name: Lech Wiktor PIOTROWSKI

Host Laboratory: EUSO Team

Global Research Cluster

Laboratory Head: Marco CASOLINO

In FY2017 I was involved in three experiments within EUSO framework: EUSO-SPB, EUSO-TA and Mini-EUSO. I spent March 2017 in NASA facility in Wanaka, New Zealand, preparing the launch of the EUSO-SPB (Super Pressure Balloon), focusing on final integration, tests and launch procedures. Following my return to Japan, I organised a shifting station in RIKEN and trained more than 11 people, including RIKEN, University of Tokyo and University of Saitama researchers, for management of the incoming balloon flight. The Japanese RIKEN station was one of the 3 in the world, the other being in Europe and US, for time coverage convenience. EUSO-SPB launched on 24th of April and flew for 12 days. Its main operating time - night - was Japanese day, therefore RIKEN's shifting station was the main station responsible for the flight duration. I was acting as the station's manager and the experiment expert. The flight was a big success, collecting over 27 hours of data, over a factor of ten more than the EUSO-BALLOON flight in 2014. The data analysis allowed us to measure changing UV emission from ground, sea and clouds and compare it to infrared images, as well as identify an unexpected source of false triggers - cosmic rays directly hitting the detector. The work of vetoing these events in future experiments has started. The scheduled length of flight was between 30 and 100 days, but the mission ended prematurely due to a leak in the NASA's balloon material, before registering an ultra-high energy cosmic ray event. Initial results of the mission were presented at the 35th International Cosmic Rays Conference in Busan, Korea in July 2017 and the overall scientific paper is in the final stages of preparation.

In parallel I was working on the Mini-EUSO space mission - a small photomultiplier based camera to be observing Earth UV emission from International Space Station. The instrument is in the final stage of integra-

tion and tuning. We were able to observe both laboratory sources as well as night sky including airplanes and the Moon. The data is analysed using the format and software that I have created.

The third experiment that I have been working on, EUSO-TA, is an on-ground telescope similar to EUSO-SPB and Mini-EUSO. Following campaigns in 2015 and 2016, we have decided to perform an upgrade of the instrument to increase its observational capabilities to the same level of the newer missions. In November 2017 we have dismantled the current focal surface in Utah, USA and started working on new readout electronics and software trigger. In addition, we have started working on automatisisation of the experiment, making successful tests of remote operations of the telescope's container shutter door, power supplies and webcams. Remote operations will allow for much higher duty cycle compared to previous years.

● Publications

Papers

Abbott B., et al., Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, *Astrophysical Journal Letters*, Volume: 848, Issue: 2, Article Number: L12, Oct 20 2017

Abdellaoui G., et al., Cosmic ray oriented performance studies for the JEM-EUSO first level trigger, *Nuclear Instruments & Methods In Physics Research Section A - Accelerators Spectrometers Detectors And Associated Equipment*, Volume: 866, Pages: 150-163, Sep 11 2017

Abdellaoui G., et al., Meteor studies in the framework of the JEM-EUSO program, *Planetary and Space Science*, Volume: 143 Special Issue: SI Pages: 245-255, Sep 1 2017

Review Articles

Casolino M., Klimov P., Piotrowski L., Observation of

ultra high energy cosmic rays from space: Status and perspectives, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume: 2017, Issue 12, 1 December 2017

Other

Fenu F., et al., Simulations of mini-EUSO observations of UV phenomena in the atmosphere, *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference*

Piotrowski L., Belov A., Capel F., Mini-EUSO data processing and quasi-real time analysis, *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference*

Capel F., et al., Mini-EUSO flight software and operations on ISS, *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference*

Piotrowski L., The EUSO-TA detector: status and performance, *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference*

Plebaniak Z., et al., Point Spread Function of EUSO-TA detector, *Proceedings of 35th International Cos-*

mic Ray Conference

● Oral Presentations

International conferences

Piotrowski L., The EUSO-TA detector: status and performance, 35th International Cosmic Ray Conference, 12-20 July 2017, Busan, Korea

Piotrowski L., Ku pomiarom UHECR z orbity - wyniki i perspektywy eksperymentów z rodziny JEM-EUSO, Seminarium Zakładu Astrofizyki Narodowego Centrum Badań Jądrowych, 26 October 2017

● Poster Presentations

International conferences

Piotrowski L., Belov A., Capel F., Mini-EUSO data processing and quasi-real time analysis, 35th International Cosmic Ray Conference, 12-20 July 2017, Busan, Korea

基礎科学特別研究員
平成 29 年度採用者

Name: Liyi GU

Host Laboratory: Tamagawa high energy astrophysics laboratory
Nishina Center for Accelerator-Based Science
Laboratory Head: Toru TAMAGAWA

Though theoretically expected, the charge exchange emission from galaxy clusters has not yet been confidently detected. As suggested in [1], a detection of charge exchange line emission from galaxy clusters would not only impact the interpretation of the newly-discovered 3.5 keV line (known as the “dark matter” line, [2]), but also open up a new research topic on the interaction between hot and cold matter in clusters. We aim to perform the most systematic search for the O VIII charge exchange line in cluster spectra using the RGS grating on board the European *XMM-Newton* X-ray satellite. By the residual stacking, we do find a hint of a line-like feature at 14.82 Å, the characteristic wavelength expected for oxygen charge exchange. This feature has a marginal significance of 2.8 sigma, and the average equivalent width is 2.5×10^{-4} keV. We further demonstrate that the putative feature can be hardly affected by the systematic errors from continuum modelling and instrumental effects, or the atomic uncertainties of the neighboring thermal lines. Assuming a realistic temperature and abundance pattern, the physical model implied by the possible oxygen line agrees well with the theoretical model proposed previously to explain the reported 3.5 keV line. Our results suggest that the “dark matter” line is merely normal atomic emission from the mixing of hot and cold matter in the cluster center. The search for real dark matter particles has to continue.

The *Hitomi* spectrum of the Perseus cluster, obtained just before the termination of the *Hitomi* mission, offers an unprecedented view of the energy range around the “dark matter” line, as well as an excellent benchmark of the atomic modeling for the hot collisional plasma. We reported the non-detection of the “dark matter” line at its expected energy, while the *Hitomi* spectrum is consistent with our interpretation based on the charge exchange model. The *Hitomi* results also show that, for such line detection using high resolution

X-ray spectroscopy, an accurate atomic code is as important as the astrophysical modeling and instrumental calibration aspects. Substantial updates of atomic databases and targeted laboratory measurements are needed to get the current codes ready for the data from the next *Hitomi*-level mission.

References:

- [1] Gu, L., Kaastra, J., and Raassen, A.J.J.: A novel scenario for the possible X-ray line feature at ~3.5 keV. Charge exchange with bare sulfur ions, *Astronomy & Astrophysics*, 584, L11, 2015
- [2] Bulbul, E., Markevitch, M., Foster, A., et al: Detection of an Unidentified Emission Line in the Stacked X-Ray Spectrum of Galaxy Clusters, *the Astrophysical Journal*, 789, 13, 2014

● Publications

Papers

- Mao, Junjie, Kaastra, J. S., Mehdipour, M., Gu, Liyi, et al: Anatomy of the AGN in NGC 5548 IX. Photoionized emission features in the soft X-ray spectra, *Astronomy & Astrophysics*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Temperature Structure in the Perseus Cluster Core Observed with Hitomi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Atomic data and spectral modeling constraints from high-resolution X-ray observations of the Perseus cluster with Hitomi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Hitomi Observations of the LMC SNR N132D: Highly Redshifted X-ray Emission from Iron Ejecta, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu,

- Hiroki, et al: Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster, *Nature*, 551, 478, 2017 (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Glimpse of the highly obscured HMXB IGR J16318-4848 with Hitomi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Hitomi Observation of Radio Galaxy NGC 1275: The First X-ray Microcalorimeter Spectroscopy of Fe-K α Line Emission from an Active Galactic Nucleus, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Mao, Junjie, Kaastra, J. S., Mehdipour, M., Raassen, A. J. J., Gu, Liyi, and Miller, J. M.: Density diagnostics of ionized outflows in active galactic nuclei. X-ray and UV absorption lines from metastable levels in Be-like to C-like ions, *Astronomy & Astrophysics*, 607, 100, 2017 (*)
- Hoang, D. N., Shimwell, T. W., Stroe, A., et al: Deep LOFAR observations of the merging galaxy cluster CIZA J2242.8+5301, *MNRAS*, 471, 1107, 2017 (*)
- Gu, Liyi, Mao, Junjie, de Plaa, Jelle, Raassen, A. J. J., Shah, Chintan, and Kaastra, Jelle S.: Charge exchange in galaxy clusters, *Astronomy & Astrophysics*, in print (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Measurements of resonant scattering in the Perseus cluster core with Hitomi SXS, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Kaastra, J. S., Gu, L., Mao, J., Mehdipour, M., Mernier, F., de Plaa, J., Raassen, A. J. J., and Urdampilleta, I.: Science with hot astrophysical plasmas, *Journal of Instrumentation*, 12, C08008, 2017 (*)
- Hitomi Collaboration: Aharonian, Felix, Akamatsu, Hiroki, et al: Hitomi X-ray studies of Giant Radio Pulses from the Crab pulsar, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print (*)
- Mullen, P. D., Cumbee, R. S., Lyons, D., Gu, L., Kaastra, J., Shelton, R. L., and Stancil, P. C.: Line Ratios for Solar Wind Charge Exchange with Comets, *the Astrophysical Journal*, 844, 7, 2017 (*)
- Mernier, F., de Plaa, J., Kaastra, J. S., et al: Radial metal abundance profiles in the intra-cluster medium of cool-core galaxy clusters, groups, and ellipticals, *Astronomy & Astrophysics*, 603, 80, 2017 (*)

● Oral Presentations

Conferences

- Gu, L.: 16th Meeting of American high energy astrophysical division, Sun Valley, Idaho USA, 2017, August 20-24
- Gu, L.: 2017 AtomDB workshop, University of Georgia, Athens, GA USA, 2017, November 2-3
- Gu, L.: Max-Planck institute for nuclear physics colloquium, Heidelberg Germany, 2017, November 8
- Gu, L.: AHEAD high resolution X-ray spectroscopy school, Alicante Spain, 2017, November 13-17
- Gu, L.: ISSI workshop “clusters of galaxies: physics and cosmology”, Bern Switzerland, 2017, November 20-24

XXIV-002

天の川銀河中心における爆発現象の発生メカニズム解明

Unveiling the Origin of an Explosive Event in the Galactic Center

研究者氏名: 中島 真也 Nakashima Shinya
 受入研究室: グローバル研究クラスタ
 MAXI チーム
 (所属長 牧島 一夫)

銀河の中心部は大質量ブラックホールや、それを取りまく多数の星・高密度のガスが存在するユニ

クな領域であり、その活動が周囲に及ぼす影響（フィードバック）は銀河進化を解き明かす鍵である。

実際、われわれの太陽系が属する天の川銀河でも銀河中心部から噴き出す巨大な双極状構造が見つかっており、天の川銀河中心で起きた過去の爆発現象が起源と考えられている。しかし、そのような爆発がどのように起こったのかはまだ明らかになっていない。本研究はX線分光観測を用いて、噴き出しの主成分である高温プラズマの性質を調べることで、爆発現象の起源を探ることが目的である。

高温プラズマの観測から物理量を引き出すためには、プラズマの放射モデルを仮定する必要がある。既存のプラズマ放射モデルの妥当性を検証するために、本年度はまず、ひとみ衛星が取得したペルセウス座銀河団プラズマの解析を行った。ひとみ衛星に搭載された軟X線分光器は広がった天体に対してこれまでの30倍の分光性能を持ち、微細構造線や弱輝線を分解・検出に成功している。このデータを用いて、プラズマ放射モデル中の輝線のエネルギー中心値・強度の検証・修正を行うことができた。また、単にモデルを検証するだけでなく、ペルセウス座銀河団プラズマは予想に反して単純な温度構造を持ち、ガスの運動が静穏であることも明らかにした。これは、銀河団中心銀河の大質量ブラックホールによるフィードバックが弱いことを示唆している。

次に、上記でアップデートしたプラズマ放射モデルを使って、すぎく衛星のアーカイブデータ解析を進めた。天の川銀河中心領域の狭帯域X線イメージ

を作成し、高温プラズマの吹き出し構造を見つけた。吹き出しのスケールは約100 pcと小さいが、さらに大きく広がっている可能性もある。現在、さらに詳細な解析を進めている。また、噴き出した高温プラズマの時間進化を追う上で重要な、天の川銀河全体の高温ガスハロー空間分布についても解析を進めている。まだ暫定的であるが、過去の観測結果と異なり、ディスク状のガス分布を示す結果が得られている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hitomi Collaboration (corresponding author): “Temperature Structure in the Perseus Cluster Core Observed with Hitomi”, Publication of Astronomical Society of Japan, in print *

●口頭発表 Oral Presentations

Shinya Nakashima and the Hitomi Collaboration: “Hitomi observation of the Perseus cluster: temperature and metal abundance in the cool-core region”, X-ray Universe 2017, Roma, Italy, Jun.(2017)

中島 真也, ひとみコラボレーション: “X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析 II”, 日本天文学会2017年秋季年会, 札幌, 9月(2017)

XXIV-003 超伝導検出器を用いたレーザー・アクシオン暗黒物質探索 Laser-driven axion dark matter search experiment using superconducting detector

研究者氏名: 木内 健司 Kiuchi, Kenji
受入研究室: 光量子工学研究領域
テラヘルツイメージング研究チーム
(所属長 大谷 知行)

世界は何でできているのか? というのは素朴だが極めて興味深く重要な質問である。近年の宇宙観測によると、我々が知っている物質はわずか5%程で、約1/4が暗黒物質、そして残りが暗黒エネルギーと呼ばれる物で満たされている。この中で暗黒物質とは、光を介した電磁相互作用はほとんどせず(暗黒)、質量を持っている(物質)のことである。その存在は銀河の回転速度などからほぼ明らかであるが、そ

の正体はわかっていない。

アクシオンは、強い相互作用の理論(量子色力学)が内包する物質と反物質の対称性問題を解決するために提案された未発見の粒子である。このアクシオンは存在すれば暗黒物質としてもふるまう可能性が示されている。

近年、常伝導体を超伝導体で挟んだSNS接合がアクシオンと効率的に相互作用する可能性が示され

(原著論文)

Takahiro M. Doi, Shoichiro Tsutsui: “Modifying partition functions: a way to solve the sign problem”, Phys. Rev. D96 (2017) 094511.*

Hideo Suganuma, Takahiro M. Doi, Krzysztof Redlich and Chihiro Sasaki: “Relating Quark Confinement and Chiral Symmetry Breaking in QCD”, J.Phys. G44 (2017) 124001.*

(図書)

Takahiro Doi: “Lattice QCD Study for the Relation Between Confinement and Chiral Symmetry Breaking”, Springer Theses (2017).

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Takahiro M. Doi, Kouji Kashiwa: “Dirac-mode analysis for quark number density and its application for

deconfinement transition”, The 35th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2017), Granada, Spain, Jun. (2017).

Takahiro M. Doi, Shoichiro Tsutsui: “Improved complex Langevin method by modifying a theory”, the international workshop “Monte Carlo methods in computer simulations of complex systems”, Vladivostok, Russia, Oct. (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Takahiro M. Doi, Shoichiro Tsutsui: “A way to avoid the global sign problem by modifying the Lefschetz thimble method”, The 15th International Conference on QCD in Extreme Conditions (XQCD 2017), Pisa, Italy, Jun. (2017).

XXIV-005 Nucleosynthesis and jets in neutron-star mergers and the explosion mechanism of massive stars

Name: Oliver JUST

Host Laboratory: Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory Head: Shigehiro NAGATAKI

This fiscal year was very exciting for my research, because for the first time a binary neutron-star merger has been directly observed, namely by means of gravitational waves as well as electromagnetic radiation. Before the event was observed, I contributed to a study investigating the impact of neutrino-oscillations on the r-process nucleosynthesis in black-hole tori formed after neutron-star mergers. The study found quite a strong such impact, but only on the neutrino-driven winds, which are subdominant in these systems compared to viscously/magnetically driven outflows. The study suggests that the impact will be stronger if hyper-massive neutron stars (instead of black holes) are formed after a merger. Shortly after the merger event was observed, I contributed to a study which proposed a new method of constraining the radius of a neutron star, and thereby the nuclear equation of state, from the observational signals of a neutron-star merger. Based on the observed merger, this study implies a new lower bound on the

radius of a typical neutron star of 10.7 km. Using the proposed method, future observations of neutron-star mergers will allow to formulate even tighter constraints on the radius, from below as well as from above. I have spent significant effort on several more projects during this fiscal year, however, with not yet published results. Firstly, I was conducting a comparison of codes for simulating core-collapse supernovae in two dimensions (i.e. assuming axisymmetry). All code comparisons have been done so far using the assumption of spherical symmetry, which is much more simple because of the absence of turbulence and stochasticity. The results of this study, which will likely be submitted still in the present fiscal year, prove that the ALCAR code (of which I am a main co-developer) produces accurate results, and they will help guiding the development and testing of future, multidimensional supernova simulation codes. Secondly, as an ongoing project I was and still am constructing models to investigate the

propagation of jets of short gamma-ray bursts through the environment formed after a neutron-star merger. Thirdly, another ongoing project is the development of long-term evolution models of hyper-massive neutron stars, which can be formed as remnants of neutron-star mergers. Please see Appendix 2 for more details concerning ongoing projects.

● Publication

Original Paper

- Bauswein A., Just O., Janka H.-Th. and Stergioulas N.: Neutron-star Radius Constraints from GW170817 and Future Detections, *Astrophys. Journal Letters*, 850, L34 (2017)
- Wu M.-R., Tamborra I., Just O. and Janka H.-Th.: Imprints of neutrino-pair flavor conversions on nucleosynthesis in ejecta from neutron-star merger remnants, *Phys. Rev. D* 96, 123015 (2017)

● Oral Presentation

Conference/Workshop/Seminar

- Just O.: “Impact of neutrinos in neutron-star mergers”, R-process Workshop, Seattle, USA, 2017, August 2
- Just O.: “Core-collapse supernova simulations with the ALCAR code”, Supernova conference, Ringberg Germany, 2017, July 26
- Just O.: “Neutron-star merger outflows and neutron-star radius constraints from gravitational wave observations”, Theories of Astrophysical Big Bangs, RIKEN Japan, 2017, November 7
- Just O.: “Modeling remnants of neutron-star mergers and core-collapse supernovae”, Nuclear Astro Workshop, Kobe Japan 2017, June 6
- Just O.: “Modeling core-collapse supernovae and remnants of neutron-star mergers”, Berkeley Lab, USA 2017, September 15
- Just O.: “Neutron-star merger outflows and neutron-star radius constraints”, NAOJ Japan, 2017, October 21

XXIV-007

強磁場をもつ降着型パルサーの物理モデルと X線偏光測定による実験的検証

Physical Model of Strongly Magnetised Accreting Pulsars and Its Experimental Verification with X-ray Polarimetry

研究者氏名: 小高裕和 Odaka, Hirokazu
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)

天体物理学の観測的研究において、X線より高いエネルギー域での偏光測定は、天体物理の議論に必要な精度の観測例が皆無であり、依然として技術的なフロンティアに位置付けられている。本研究課題では、世界初のX線偏光測定による降着型中性子星（パルサー）の物理モデルの確立を目指している。研究初年度は、前職のスタンフォード大学でも進めていたX線偏光の解析を継続してきた。ひとみ衛星の軟ガンマ線検出器は世界初の天文台衛星に搭載されたガンマ線偏光計であった。衛星の機能喪失により、わずか5000秒の観測時間であったが、高い偏光度が期待できる「かに星雲」の貴重なデータを得ることができた。このデータを解析し、かに星雲の

偏光度を約20%（3シグマ程度の有意度）と求めることができた。同じくひとみ衛星に搭載された硬X線撮像検出器は、検出器構成が偏光測定に最適化されていないものの、原理的にはコンプトン散乱の偏光依存性を利用することで、偏光に感度を持つ。軟ガンマ線検出器と同様の解析を行なった結果、統計有意度は小さかったが（約1シグマ）、軟ガンマ線検出器やPoGO+気球実験の報告と無矛盾な結果を得た。これは、世界初の軌道上における反射光学系を持つコンプトン偏光計の実証であり、将来の硬X線偏光観測に向けた重要なマイルストーンになりうる。これらのひとみ衛星によるかに星雲の観測結果は、現在、論文を準備中である。

ひとみ衛星の硬X線撮像検出器の軌道上バックグラウンドデータも貴重なものであり、このデータを題材に、軌道上バックグラウンドシミュレーションの枠組みを開発した（前職から継続の課題）。これは軌道上で問題となる宇宙線陽子や地磁気に束縛された陽子による放射化のバックグラウンドを高い精度で高速に計算可能にしたもので、ひとみ衛星が実測したバックグラウンドスペクトルを良い精度で再現することに成功した。この結果は論文としてまとめ、すでに受理されている。この成果を将来の硬X線観測のバックグラウンド予測に反映させ、高い精度のミッション設計が可能になる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Odaka, H. et al., “Modeling of proton-induced radioactivation background in hard X-ray telescopes: Gent4-based simulation and its demonstration by Hitomi’s measurement in a low Earth orbit”, Nuclear

Instruments and Methods in Physics Research, Section A, in print.

Tomaru, R., Done, C., Odaka, H., Watanabe, S., Takahashi, T., “Monte-Carlo simulations of the detailed iron absorption line profiles from thermal winds in X-ray binaries”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, in print

Hitomi Collaboration including Odaka, H. as one of the corresponding authors, “Atomic data and spectral modeling constraints from high-resolution X-ray observations of the Perseus cluster with Hitomi”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print

Hitomi Collaboration including Odaka, H., “Hitomi Observation of Radio Galaxy NGC 1275: The First X-ray Microcalorimeter Spectroscopy of Fe-K α Line Emission from an Active Galactic Nucleus”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in print

XXIV-008

ゼータ関数とL関数の導関数の零点

Zeros of the derivatives of zeta functions and L-functions

研究者氏名: Ade Irma Suriajaya

受入研究室: 理論科学連携研究推進グループ

分野横断型数理学連携研究チーム

(所属長 坪井 俊)

リーマンゼータ関数の零点の分布は素数の分布に密接に関係していることから、整数論の重要な課題の一つとなった。素数の分布自体は暗号論に用いられ、実社会への応用も知られている。私は素数の分布をゼータ関数の性質を通して研究することに興味を持っている。

リーマンゼータ関数から始まり、等差数列中の素数の分布を調べるための特殊な関数も定義された。その関数は、ディリクレのL関数と言い、リーマンゼータ関数の一種の一般化である。ゼータ関数とL関数の零点の分布は、それ自身だけではなく、その値の分布や導関数の零点の分布によっても調べられるため、値分布と導関数の零点の性質を詳しく調べる必要がある。リーマンゼータ関数の零点は一階導関数の零点と密接に関係し、私は以前、そのような関係のいくつかが高階導関数に対しても成り立つこ

とを示した。また、エルゴード変換による値分布も調べた。後者の研究は、リーマンゼータ関数とディリクレL関数に対するだけではなく、より一般に、大きな有理型関数の関数族に対して調べた。今年度、ディリクレL関数の一階導関数の零点の分布に関する研究成果はやっと出版された。

リーマンゼータ関数の“重要”な零点は「臨界帯領域」という呼ばれる領域内にしか存在しないことがわかり、特に、その領域の真ん中の線である「臨界線」と呼ばれる線上にしかないと予想されている (cf. リーマン予想)。私は前年度から、Junghun Lee氏、Athanasios Sourmelidis氏と Jörn Steuding教授と、その臨界帯領域内のリーマンゼータ関数の離散的な値分布を調べ始めた。この研究において、我々は確率的な手法を用いた。しかし、この研究方法では、最も大事である「臨界線」上の情報が得られなかつ

た。今年、その研究を一度まとめ、現在投稿準備中である。臨界線の値の分布を調べるのに、私と Jörn Steuding 教授は、リーマンゼータ関数の値自身の代わりに、二つの値の差を調べている。この研究は現在進行中であり、一部の結果が得られた。我々の研究の出発点は、Xiannan Li 氏と Maksym Radziwiłł 氏の 2015 年の論文である。Li 氏と Radziwiłł 氏は、リーマンゼータ関数が零を取らない臨界線上の等差数列の割合が真に正であることを示した。我々が考えている、リーマンゼータ関数をリーマンゼータ関数の二つの値の差に置き換えることにより、単なる値分布だけではなく、臨界線上でゼータ関数はどの頻度で違う値を取るかもわかる。また、このような研究は初めてであり、新鮮なアイデアである。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- H. Akatsuka and A. I. Suriajaya, “Zeros of the first derivative of Dirichlet L-functions”, *J. Number Theory* 184 (2018), 300-329.
- A. I. Suriajaya, “Two estimates on the distribution of zeros of the first derivative of Dirichlet L-functions under the generalized Riemann hypothesis”, *J. Théor. Nombres Bordeaux* 29 (2017), no. 2, 471-502.

●口頭発表 Oral Presentations

(学会・研究集会・ワークショップ)

- A. I. Suriajaya: 「リーマンゼータ関数の4乗平均の臨界線上の近似関数等式 (An approximate functional equation for the fourth moment of the Riemann zeta function on the critical line)」、日本数学会、東京大学 (Tokyo, Japan)、2018年3月
- A. I. Suriajaya: 「ゼータ関数及びL関数の零点の分布」、第1回 岡潔女性数学者セミナー、奈良女子大学 (Nara, Japan)、2017年12月1日
- A. I. Suriajaya: “Some improvements in estimates related to the distribution of zeros of the derivatives of the Riemann zeta function and Dirichlet L-functions”, *Analytic Number Theory and Related Areas, RIMS (Kyoto, Japan)*, October 30, 2017
- A. I. Suriajaya: “Distribution of zeros of the derivatives of the Riemann zeta function and Dirichlet L-functions”, *Symposium for South Asian Women in Math-*

ematics, Tribhuvan University (Kathmandu, Nepal), October 14, 2017

- A. I. Suriajaya: “Values of the Riemann zeta function on vertical arithmetic progressions in the critical strip”, *Number Theory Week 2017 -- A conference on the occasion of the 60th birthday of Jerzy Kaczorowski, Adam Mickiewicz University (Poznań, Poland)*, September 4, 2017
- A. I. Suriajaya: “Values of the Riemann zeta function on vertical arithmetic progressions in the critical strip”, *Various Aspects of Multiple Zeta Functions -- Conference in Honor of Kohji Matsumoto’s 60th Birthday, Nagoya University (Nagoya, Japan)*, August 22, 2017
- A. I. Suriajaya: “Distribution of zeros of the derivatives of the Riemann zeta function and Dirichlet L-functions”, *International Conference in Number Theory and Applications -- Conference in Honor of Vichain Laohakosol, Kasetsart University (Bangkok, Thailand)*, July 18, 2017
- A. I. Suriajaya: “An ergodic value distribution of certain meromorphic functions”, *30th Journées Arithmétiques, University of Caen Normandy (Caen, France)*, July 7, 2017
- A. I. Suriajaya: 「ディリクレL関数の一階導関数の非零領域」、第10回数論女性の集まり (WINJ10)、早稲田大学 (Tokyo, Japan)、2017年6月3日 (セミナー・コロキウム)
- A. I. Suriajaya: 「リーマンゼータ関数とその導関数の零点の分布及びそれらの関係」、東京理科大学 (Noda, Japan)、2017年11月29日
- A. I. Suriajaya: “An approximate functional equation for the fourth moment of the Riemann zeta function on vertical arithmetic progressions on the critical line”, *Oberseminar Zahlentheorie, University of Würzburg (Würzburg, Germany)*, October 4, 2017
- A. I. Suriajaya: “Distribution of zeros of the derivatives of the Riemann zeta function and Dirichlet L-functions”, *TU Graz (Graz, Austria)*, September 27, 2017
- A. I. Suriajaya: “Zeros of the Riemann zeta function and its derivatives”, *KMITL Number theory seminar, KMITL (Bangkok, Thailand)*, July 20, 2017
- A. I. Suriajaya: “A new zero-free region for the first derivative of Dirichlet L-functions”, *Oberseminar*

Zahlentheorie, University of Würzburg (Würzburg, Germany), July 11, 2017

A. I. Suriajaya: 「ディリクレL関数の一階導関数の非零領域」、東工大 数論・幾何学セミナー、東京

工業大学 (Tokyo, Japan)、2017年6月16日

A. I. Suriajaya: 「ディリクレL関数の一階導関数の零点の個数評価」、早稲田大学整数論セミナー、早稲田大学 (Tokyo, Japan)、2017年6月2日

XXIV-009 大規模ミリ波センサーアレイと高速回転変調で迫る初期宇宙 - インフレーション宇宙とダークマター -

Quest for Begin of the Universe with the Combination of High-speed Modulation and Large Array of Millimeter-wave Sensors: Inflationary Universe and Dark Matter

研究者氏名: 小栗 秀悟 Oguri, Shugo

受入研究室: 光量子工学研究領域

テラヘルツイメージング研究チーム

(所属長 大谷 知行)

本研究の目的はインフレーション宇宙論の実験的検証と、ダークマターの探索である。独自の電波望遠鏡の技術を用いてこれに挑む。

宇宙初期は高温高密度の状態であったと考えられている。この時に発せられた黒体放射は、現在、電波望遠鏡で捉えることができ、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) と呼ばれている。CMBの発見により、ビッグバン宇宙論は確かなものになったが、地平線問題や平坦性問題など、まだ未解決な問題が残っている。これらを解決するために、宇宙初期に一瞬にして空間が引き伸ばされて平坦な宇宙が造られたというインフレーション宇宙論が提唱されている。検証にはCMBを用いる。宇宙が引き伸ばされた際に発生した原始重力波は、CMBの偏光マップに特徴的なパターンを刻印する。その痕跡を電波望遠鏡によって捉える。

現在、2018年度の観測開始を目指して、電波望遠鏡GroundBIRDの開発を行っている。特徴としては、①検出器のベースラインドリフト (10秒程度) より早いスキャン変調による低ノイズ観測、②応答速度の早い次世代超伝導検出器MKIDの運用、があげられる。本年度は、それぞれの要素に対して、研究開発を行った。

①スキャン変調は、望遠鏡 (およそ重量500kg) を3秒で1周という高速で回転させることによって実現する。もし倒壊したら大惨事となる。そこで、加速度計を用いて、安定性の評価を行った。倒壊の兆候としては、回転軸のブレが考えられる。3次元ジャイロセンサーから算出した回転軸と、3

次元加速度計から算出した重力方向を比較し、約0.1°のズレがあることを確認した。また、そのズレは回転速度によらず一定だったため、倒壊の危険はないと判断した。同時に、加速度計のデータを用いて、振動の評価も行った。望遠鏡の光学的な角度分解能は0.5°であり、振動の影響はそれ以下であることを確認した。

②MKIDは、共振器を用いた測定器である。共振周波数の波を入力し、帰ってきた波の振幅と位相の変化で応答を読み取る。一つの信号線に複数の周波数の波を同時に入力し、帰ってきた信号を周波数分解することで、多重化読み出しが可能である。その専用の読み出し回路の開発を行った。DACとADCを操るFPGAのコーディングを行い、120個のMKIDを同時に読み出せる系を開発した。またFPGAをPCから制御するプログラムも作成し、MKIDのノイズレベルの評価も行った。MKID自身のノイズレベルより冷凍機内の熱雑音は低く、リードアウト由来の雑音はさらに低く抑えられているのを確認した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Nagasaki T. et al.: "GroundBIRD - observation of CMB polarization with a high-speed scanning and MKIDs", J. Low Temp. Phys., submitted, JLTP-D-17-00326*

Kutsuma H. et al.: "Optimization of geomagnetic shielding for MKIDs mounted on rotating cryostat",

J. Low Temp. Phys., submitted, JLTP-D-17-00329*

●口頭発表 Oral Presentations
(学会)

Oguri S.: “Search for hidden photon cold dark matter using radio telescopes”, 17th International Workshop on Low Temperature Detectors, Kurume, Japan, Jul. (2017)

XXIV-010 Multimessenger Search for the Origin of Neutrinos

Name: Haoning HE

Host Laboratory: Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory Head: Shigehiro NAGATAKI

The origin of the IceCube neutrinos is still an open question, and in the 35th International Cosmic Ray Conference, the IceCube collaboration reported a new extremely soft neutrino spectrum, revealing a new piece of puzzle on the origins of neutrinos. Upper limits from diffuse gamma ray observations suggest that the neutrino sources are either distant or hidden from gamma-ray observations. It is possible that the neutrinos are produced in jets that are formed in the core collapsing massive stars and fail to break out, the so called choked jets. We study neutrinos from the jets choked in the hydrogen envelopes of red supergiant stars. Fast photo-meson cooling softens the neutrino spectrum, making it hard to explain the PeV neutrinos observed by IceCube in a one component scenario, but a two-component model can explain the spectrum. Furthermore, we predict that a newly born jet-driven type-II supernova may be observed to be associated with a neutrino burst detected by IceCube.

The High-Energy Stereoscopic System (H.E.S.S.) has detected an extended region of diffuse TeV gamma-ray emission along the Ridge in the central 200 parsec of the Galaxy, indicating a peta-electrovolt accelerator ('PeVatron') in the Galactic Center. We assume a past hypernova locating in the Galactic Center, since an individual supernova remnant can not accelerate particles to PeV energy over 1000 years. We simulate the acceleration of CRs in the hypernova remnant (HNR) and meanwhile their confinement and escape. The escaped protons diffuse around the galactic center and interact with protons in the interstellar medium, then produce gamma-ray emission and neutrino emission. We find out that the past hypernova in the Galactic

Center can contribute to H.E.S.S. observations at energy above 10 TeV, and predict a cutoff of the gamma-ray spectrum at 100 TeV, which can be tested by the further observations. Under the constraint of H.E.S.S. observations, we also derive the contribution of the HNR to the IceCube observations around the Galactic Center, which is consistent with the current IceCube observations.

●Publication

He H., Nagataki S., Kusenko A., Fan Y. and Wei D.: Neutrinos from Choked Jets accompanied by Type II Supernovae, the Astrophysical Journal, submitted*

●Oral Presentation

He H., Lee H., Nagataki S. and Kusenko A.: High Energy Gamma Rays and Neutrinos from a Past Hypernova in the Galactic Center, 35th International Cosmic Ray Conference, Busan Korea, July (2017)

He H.: The summaries on the IceCube Observations and Neutrinos from Choked Jets Followed by Type II Supernovae, Seminar, Nanjing China, August (2017)

He H., Nagataki S., Kusenko A., Fan Y. and Wei D.: Neutrinos from Choked Jets Followed by Type II Supernovae, Workshop on Astroparticle Physics II, Beijing China, August (2017)

He H., Nagataki S., Kusenko A., Fan Y. and Wei D.: An introduction to the High Energy Neutrino Observations and Neutrinos from Choked Jets accompanied by Type II Supernovae, Seminar, Sendai Japan, November (2017)

He H., Nagataki S., Kusenko A., Fan Y. and Wei D.: Neutrinos from Choked Jets accompanied by Type II

Supernovae, Theories of Astrophysical Big Bangs,
Wako Japan, November (2017)
He H., Nagataki S., Kusenko A., Fan Y. and Wei D.:

Neutrinos from Choked Jets accompanied by Type II
Supernovae, PACIFIC 2018 symposium, Akaigawa
Japan, February (2018)

XXIV-011 Probing the Heavy-Flavored Hadron Structure from Lattice QCD

Name: Kadir Utku CAN

Host Laboratory: Strangeness Nuclear Physics Laboratory
Nishina Center for Accelerator-Based Science
Laboratory Head: Emiko HIYAMA

As an on-going Turkish-Japanese collaborative effort on charmed baryon phenomenology, we have extended our calculations to transition form factors of singly charmed baryons.

[1] The axial or pseudoscalar transition is relevant to studying the strong decay of a $\Sigma_c(2455)$ particle with quark content (uuc) or (ddc), which decomposes into a $\Lambda_c(udc)$ and a $\pi(u\bar{d}$ or $d\bar{u})$. It is possible to extract the $\Lambda_c\Sigma_c\pi$ -coupling constant from a pseudoscalar form factor calculation and calculate the decay width of the process for which there is data from several experimental collaborations. The latest and most precise experimental determination of the decay width comes from the BELLE Collaboration [S. Lee et al. (Belle Collaboration), Phys.Rev. D89, 091102 (2014)] and puts the PDG world average for $\Sigma_c(2455)^{++}(uuc)$ to $\Gamma = 1.89^{+0.09}_{-0.18}$ MeV [K. Olive et al. (Particle Data Group), Chin.Phys. C38, 090001 (2014)]. We have utilized the ab initio lattice QCD method in this work to numerically simulate the process and calculate the decay width. We pay great attention to identifying and quantifying the systematic errors that might plague a reliable extraction of the relevant parameters. On the physical quark mass point, our calculations have yielded a value of $\Gamma = 1.65 \pm 0.28 \pm 0.30$ MeV where the first error is statistical and the second is a combination of several systematic errors. This result is in good agreement with the world average. This work establishes our foundations and confirms the reliability of the method to extract such phenomenological quantities from first principles calculations. In the following works, we plan to investigate the strong decays of other charmed baryons, which are relevant to experimental

interests.

[2] From a phenomenological and heavy-quark point of view, the $\Xi'_c(\Xi_c)$ system is particularly interesting. Since the mass difference between Ξ'_c and Ξ_c is smaller than mass of the π , it is expected that there is no strong transition between these baryons and most probable decay mode is electromagnetic. This has, in fact, been observed by experiments, however, there is no decay width determination available yet [K. Olive et al. (Particle Data Group), Chin.Phys. C38, 090001 (2014)]. On the other hand, these baryons have the same quark content, lsc | $l \in \{u, d\}$, but belong to different layers of SU(4) multiplet, in other words, have different wave functions. In addition, they contain three different quarks in different scales, making this system an ideal laboratory to probe heavy-quark dynamics. In this work, we calculate the electromagnetic transition form factors of these baryons in lattice QCD close to the physical point. This calculation allows us to give predictions for the decay width of positively charged Ξ'_c^+ and neutral Ξ'_c^0 baryons as $\Gamma_{\Xi'_c^+} = 5.468 \pm 1.5$ keV and $\Gamma_{\Xi'_c^0} = 0.002 \pm 0.004$ keV, respectively. These results are quite interesting since compared to the other model-dependent methods, we predict a smaller width for Ξ'_c^+ and an essentially zero width for Ξ'_c^0 , for which other methods report a finite value. We also analyze the form factors to identify the individual quark contributions. We find that while the light and strange quark contributions have similar magnitudes, charm quark contribution is smaller (larger) for $\Xi'_c(\Xi_c)$ indicating the different roles of the charm quark depending on the internal dynamics of the baryon. Magnetic moments of these baryons are extracted as well.

● Publications

Papers

[1] Can K.U., Erkol G., Oka M and Takahashi T.T.:
 $\Lambda_c \Sigma_c \pi$ coupling and $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c \pi$ decay in lattice QCD ,

Phys. Lett. B768 (2017) 309-316.

[2] Bahtiyar H., Can K.U., Erkol G., Oka M. and Takahashi T.T.: $\Xi_c \gamma \rightarrow \Xi'_c$ transition in lattice Q, Phys. Lett. B772 (2017) 121-126.

XXIV-012

化学進化から探る分子雲コアの初期条件と星/
惑星系形成の新モデルの構築

Establishing the Star and Planet Formation Scenario by Revealing the
Initial Conditions of Molecular Dense Cores with the Chemical evolution

研究者氏名: 大橋 聡史 Ohashi, Satoshi
受入研究室: 坂井星・惑星系形成研究室
(所属長 坂井 南美)

星、惑星系を形成するための初期条件をその母体となる分子雲コアを詳細に調べることで明らかにすることを目的とした。そのためには、まずはじめに星形成直前となる分子雲コアを探索する必要がある。そこで本研究では化学進化という観点で分子雲コアの進化を追い、進化しているにも関わらず星形成が始まっていない分子雲コアをオリオン座A分子雲内に発見した。本年度はこの分子雲コアを世界最高の分解能と感度を有するALMA望遠鏡によって観測し、そのデータを解析、分子雲コアの物理状態を調べた。

Ken'ichi; Kang, Sung-Ju; Sayers, Jack; Evans, Neal J., II; Cho, Jungyeon; Kwon, Jungmi; Park, Geumsook; Ohashi, Satoshi; Yoo, Hyunju; Lee, Youngung: "Precessing Jet and Large Dust Grains in the V380 Ori NE Star-forming Region", ApJS, 232, 24, 2017

●誌上発表 Publications

Ueda, Junko; Watanabe, Yoshimasa; Iono, Daisuke; Wilner, David J.; Fazio, Giovanni G.; Ohashi, Satoshi; Kawabe, Ryohei; Saito, Toshiki; Komugi, Shinya: "ALMA observations of the dense and shocked gas in the nuclear region of NGC 4038 (Antennae galaxies)", PASJ 69, 6, 2017
Choi, Minh; Kang, Miju; Lee, Jeong-Eun; Tatematsu,

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

大橋聡史,立松健一,神鳥亮, Patricio Sanhueza,廣田朋也, Quang Nguyen Luong,Minho Choi: "ALMA observations of part of filaments in the Orion A cloud for the initial conditions of star formation", 2017年秋季天文学会

●ポスター発表 Poster Presentations

Satoshi Ohashi: "Multiple star formation of a starless core being part of a filament in the Orion A cloud", Francesco's Legacy -Star Formation in Space and Time-

XXIV-013

Developing Portable Atomic Clocks with 10E-18 Uncertainty

Name: Andrew HINTON

Host Laboratory: Space-Time Engineering Research Team

Center for Advanced Photonics

Laboratory Head: Hidetoshi KATORI

The recent development in the field of optical lattice clocks (OLCs) has opened many exciting opportunities

to explore fundamental physics, such as the time variation of the fine structure constant, and to function as a

tool for metrology applications like relativistic geodesy. In the laboratory these devices can reach incredible uncertainties of a part in 10^{18} , outside the current limit of the SI definition. To assess the performance of such clocks there is a growing need for portable reference clocks to enable intercontinental comparisons where fiber and satellite links are insufficient. Development of portable systems will also enable future applications in remote locations such as seismic monitoring or inertial navigation.

The portability aspect of OLCs - which encompasses the size, weight and power of components - has been investigated in this work. An OLC can be decomposed into three core subsystems: an atomic system (vacuum, trapping lasers, electronics), clock laser (oscillator) and an optical comb (counter). Currently the trapping lasers and electronics represent the largest volume in the experiment; one focus of this work was reduction of these components. Modular containers for optics and electronics were designed to be compatible with the industry 19" racking standard to enable integration with other laboratory equipment and aid compactness. These containers were designed to be mechanically robust and water-cooled to minimize perturbations when operated outside a temperature-controlled laboratory. Custom mounting structures for optics and light sources

were designed to be compatible with the new containers.

Stabilization of the laser frequency is typically realized with a Fabry-Perot cavity consisting of two high-reflectivity mirrors separated by a low-expansion glass substrate to minimize temperature-induced length changes. In the laboratory the substrate is supported loosely to minimize vibration-induced length changes. For a portable system it is undesirable to have the substrate loosely supported as it is likely to move and cause damage. To make a rigidly mounted cavity system the optimum mounting structure was simulated and designed such that the squeezing forces induce fractional length changes of less than 5×10^{-11} . A compact vacuum system that is sufficiently pumped by a small, low power ion pump was designed to house the mounted cavity to further reduce temperature-induced length changes with the goal to eventually include this entire system in remote applications.

● Poster Presentations

Conferences

Hinton A.: RIKEN Center for Advanced Photonics annual symposium, Sendai Japan 2017, November 29-30

XXIV-014 ストレンジネスとチャームで探るバリオン構造の研究 Study of Baryon Structure with Strangeness and Charm

研究者氏名: 浅野 秀光 Asano, Hidemitsu
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)

バリオンがどのようにしてクォークから形成されているのか? その答えとして、単純な構成子クォークモデルでは不十分であることが明らかになっている。そこで、本研究ではこのハドロン物理の基本問題に対して、ストレンジクォークやチャームクォークという不純物を入れたバリオンを生成し、バリオン中の3つの構成子クォーク以外の有効自由度を浮き立たせることで取り組む。そのために、大強度陽子加速器施設 J-PARC にて2つの実験 (E31, E50)

を行っている。

E31実験ではK1.8BRビームラインで1.0 GeV/cの運動量を持つK中間子ビームを用いて、 $\Lambda(1405)$ 分光を行う。 $\Lambda(1405)$ は、ストレンジクォークを持っていながら、負パリティを持つ全てのバリオンの中で最も軽い。この性質は、3つの構成子クォーク以外の有効自由度に由来すると思われる。そこで、 $\Lambda(1405)$ が反K中間子と核子が束縛して分子状態となっているという予想を分光実験で確認する。

E50実験では、高運動量ビームラインで20 GeV/cの運動量を持つ π 中間子ビームを用いて、チャームクォークが入ったバリオンの分光実験を行う。チャームバリオンの中では、チャームクォークが重たいため、残りの2つの軽いクォーク間の相関をあぶり出して調べることができる。この実験では、チャームバリオンの励起状態の質量スペクトルや、崩壊事象を系統的に調べることで、観測量に反映されるクォーク相関の性質を明らかにする。

本年度は、E31実験の準備を行い、1月より

J-PARCでのビームタイムが始まった。今後、約1ヶ月間データを取得し続ける。解析は $\Lambda(1405)$ から崩壊して発生する π 、 Σ 粒子を検出することで行う。その後、 $\Lambda(1405)$ のスペクトラムについて議論を行う。また、E50実験に用いるシンチレーションファイバー検出器のR&Dを行った。小型の試作機を製作し、東北大学電子光物理学研究センターにて高レート試験を行い、検出効率等のレート依存性を調べた。また、E50用大型ファイバー検出器の設計を行い、実機の一部の製作を開始した。

XXIV-015

^{78}Ni のガモフテラー崩壊 Gamow-Teller decay of ^{78}Ni

研究者氏名: 郷 慎太郎 Go Shintaro
受入研究室: 仁科加速器研究センター
櫻井RI物理研究室
(所属長 櫻井 博儀)

原子核は陽子と中性子からなる量子多体系である。原子核が安定となる陽子・中性子数は魔法数と呼ばれ、安定核においてよく成立することがわかっている。しかし近年、不安定核領域のいくつかの原子核では安定核で見られていた魔法数が消失し、新たな魔法数が発現する例が報告されている。これらの現象は陽子・中性子数がアンバランスな系において安定核で成立した殻構造が変化したものと理解されている。 ^{78}Ni は陽子魔法数28、中性子魔法数50を持つ二重魔法数核であるが、その生成の困難さからその魔法数による安定性が維持されるのか、あるいは別の秩序が現れているのかは未だに理解されていない点が多い。原子核のガモフ・テラー遷移強度分布は核構造を敏感に反映する測定量である。遷移強度分布は従来のベータ・ガンマ線核分光測定技術によって導出することができる。しかし、中性子過剰核側に対象核が進むにつれベータ崩壊に伴う遅発中性子放出が無視できなくなる。従来の実験セットアップに遅発中性子測定を加えることによって中性子のエネルギー分光を可能にし、中性子分離エネルギーより上に遷移したベータ崩壊強度を導出することの重要性が増してきている。本研究は二重魔法数核とされる ^{78}Ni のガモフ・テラー遷移強度分布、従来のベータ・ガンマ線核分光測定に遅発中性子飛行時間測定を加えることによって導出することを目的

とする。

本年度は実験を行う予定の理化学研究所RIビームファクトリーに検出器アレイのセットアップを行った。具体的には遅発中性子飛行時間測定を可能とする検出器アレイをアメリカ、テネシー大学から搬入し、そのテストベンチを設置後、線源を使った測定を行った。また、本実験に用いるインプランテーション検出器を2017年秋に理化学研究所RIビームファクトリーで行われたBRIKEN実験(実験番号:DA17-02, NP1512-RIBF139)において使用した。その結果、多くの中性子過剰核においてそのベータ崩壊半減期の測定に成功し、中性子飛行時間測定実験においても使用に耐えうるものであることを確認した。

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

- S. Go: "Development of fast timing implantation detector based on YAP scintillator" 3rd International Symposium on Super-Heavy Elements, SHE2017, Kazimierz Dolny, Poland, September (2017)
- S. Go: "Gamow-Teller decay of ^{74}Co and decay properties of $^{78}\text{Co} \rightarrow ^{78}\text{Ni}$ " Advances in Radioactive Isotope Science, ARIS2017, Keystone, Co, USA May (2017)

XXIV-017 群論的手法による多自由度系超伝導の対称性・発現機構の研究と
第一原理計算への応用

Group Theoretical Study of the Pairing Symmetry and Mechanism in Multi-Component
Superconductors and its Application to the First-principles Calculations

研究者氏名:野本拓也 Nomoto, Takuya
受入研究室:創発物性科学研究センター
計算物質科学研究チーム
(所属長 有田亮太郎)

第一原理計算に基づく超伝導理論は、現実の物質中で起きているスピン・軌道そして格子自由度が複雑に絡み合った多彩な物理を読み解くうえで必要不可欠な道具である。特に超伝導密度汎関数理論(SCDFT)は経験的パラメータを全く必要としないユニークな計算手法であり、その発展は電子格子相互作用を起因とした様々な従来型・非従来型超伝導体を系統的かつ定量的に評価できる大きな可能性を秘めている。本研究課題ではこのような多自由度が絡みあう複雑な超伝導体の解明を(1)群論的手法に基づく多自由度系超伝導の分類および(2)スピン軌道相互作用の導入を中心としたSCDFTの適用限界の拡大・転移温度予測能力の向上という2つのテーマを中心に試みる。本年度は特に(2)のテーマを中心にSCDFTのコード開発を進め、目的であったスピン軌道相互作用の導入を達成し、また奇パリティ超伝導を含む各種異方的超伝導体を計算できるよう拡張を行った。また開発したSCDFTを用いてInドープのSnTeをはじめとするいくつかのトポロジカル超伝導候補物質の計算を行い、特に(In,Sn)Te系ではスピン軌道相互作用による電子格子相互作用の増大が転移温度を大きく上昇させることを明らかにした。今後、開発したSCDFTを様々な系に適用することで、電子格子相互作用を媒介とする非従来型超伝導発現の可能性の模索やスピン軌道相互作用が超伝導転移温度に与える影響などについて系統的に調べていく。また(1)に関するテーマとして、立方晶のf電子系における多電子結晶場基底状態と有効的な局所引力相互作用の関係を導き、局所引力を起因とした新しいタイプの異方的超伝導の発現機構を提案した。また空間群の表現論を活用した超伝導のノード構造の分類の研究も同時に進めており、

任意の磁気空間群におけるノード構造の分類を目標としたプログラム開発にも取り組んでいる。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hattori K., Nomoto T., Hotta T. and Ikeda H.: “Local Nodal Cooper Pairs in Multiorbital Systems”, Journal of the Physical Society of Japan, 86 113702(2017)*
Sun Y., Kittaka S., Nakamura S., Sakakibara T., Irie K., Nomoto T., Machida K., Chen J. and Tamegai T.: “Gap structure of FeSe determined by angle-resolved specific heat measurements in applied rotating magnetic field”, Physical Review B, 96 220505(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

野本拓也、河村光晶、是常隆、有田亮太郎：“超伝導密度汎関数理論に基づくSnTe系超伝導の研究”，日本物理学会秋季大会，盛岡市，9月(2017)
Nomoto T., Hattori K. and Ikeda H.: “Pairing symmetry and nodal structure in multi-orbital superconductors”, J-Physics 2017: International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena, Morioka, Japan, Sep.(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Nomoto T., Ikeda H.: “Symmetry-Protected Line Nodes in Non-symmorphic Magnetic Space Groups”, 28th International Conference on Low Temperature Physics, Gothenburg, Sweden, Aug.(2017)

Theoretical study of strongly correlated bosons in ultracold atoms

研究者氏名:堀之内 裕理 Horinouchi, Yusuke

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、研究計画に挙げた、質量インバランスのあるボソン系の4体問題に対する汎関数くりこみ群解析、及び研究計画には挙げていないが、近年の冷却原子気体の実験技術の向上により注目されるようになった、3体相互作用をもつ少数多体系の解析を行った。

前者に関しては、先行研究で2つの矛盾する結果が得られていた。具体的には、三量体に対する四量体の数が質量インバランスによらず1つしか存在しない [Y. Wan et al. (2012)] という結果と、質量比が小さい所で1つ、大きい所で2つ存在する [D. Blume et al. (2014)] という結果である。前者は、質量比が大きな極限でも必ずしも正しくないBorn-Oppenheimer近似を用いており、後者は相互作用の詳細を反映してしまう、変分法を用いている。この相反する結果を解決するため、質量インバランスのあるボソン系に対して、網羅的に汎関数くりこみ群解析を行った。結果、2つ先行研究のどちらとも反する結果（質量比が小さい領域で2つの、質量比が大きい領域で3つの四量体が存在する）が得られた。この結果は、質量比の小さな領域において、ごく最近東京大学の上田正仁教授のグループが得た理論研究の結果と定性的に合致するものである。

後者に関しては、東工大の西田祐介准教授が提案したsemi-super Efimov effect（共鳴的な3体相互作用を持つ2次元のボソン系で、相互作用の詳細に依らず無限個の4体束縛状態が現れるという現象）の普遍性を、質量インバランスのある系、及び別の空

間次元へと拡張し、不純物系への応用を提案した。具体的には、3体相互作用のある4体系の束縛状態スペクトルを、様々な次元や質量比を持つ粒子系に関して、Bethe-Salpeter方程式およびくりこみ群方程式を用いて解析的に計算した。その結果、2次元の質量インバランスのあるボソン系、及び1次元の線形分散を持つボソン系に対して、ロバストにsemi-super Efimov effectが現れることを示した。特に質量インバランスのある系においては、質量比が0及び無限大になるような不純物極限においても、安定にsemi-super Efimov effectが現れることを示し、不純物系の物理への応用を提案した。

●口頭発表 Oral presentation

堀之内裕理：“汎関数くりこみ群の基礎と数理物理への応用”，One-day lecture at RIKEN String Theory and MathPhys group, 埼玉県和光市理化学研究所, 2017年8月4日

●ポスター発表 Poster presentation

堀之内裕理：“Topological property of a limit cycle in Efimov physics”, The 5th CEMS Research Camp on “Photon & Material”, 埼玉県熊谷市ホテルヘリテージ, 2017年7月6日

Yusuke Horinouchi: “Semi-super Efimov effect for mass-imbalanced systems”, Novel Quantum State in Condensed Matter 2017, 京都府京都市京都大学, 2017年11月1日

**XXIV-019 スピン偏極STM 発光分光法の開発及び二次元半導体における
光スピン変換ダイナミックスの観測と制御**

**Development of spin-polarized STM luminescence spectroscopy and
its application to investigation and control of photon-spin conversion
dynamics in a two dimensional semiconducting material**

研究者氏名: 山本 駿玄 Yamamoto, Shunji
受入研究室: Kim 表面界面科学研究室
(所属長 金有洙)

光-スピン変換は、スピンの情報を光の情報に変換する事で、スピン状態にはない光の特性（高速伝達性等）を利用可能とする、スピントロニクスの中核の一つである。そのため、スピン流を高効率で光の偏極（偏光）に変換できるデバイスが求められていたが、近年、二次元半導体であるWS₂において95%に達する高い変換効率が報告され、注目を集めている。この高い変換効率は、二次元性に由来した性質だが、二次元物質特有の問題も存在し、①バルクに対して表面の割合が大きく、欠陥や不純物から大きく影響を受ける事や、②三次元物質に比べてスピン流の注入/評価が技術的に難しいこと等が考えられる。私の提案する、STM発光とスピン偏極STMを組み合わせた「スピン偏極STM発光分光」は、上記の問題に捕らわれずにWS₂を調べる事ができる。すなわち、①当研究室の持つSTM発光技術は、トンネル電子による局所励起発光を観察する手法のため、欠陥や不純物の存在しない場所で選択的に発光を行う事が可能である。また、②私の持つスピン偏極STM技術は、磁性探針（FeやCr）を用いたSTM測定手法であり、真空障壁を用いたスピン注入となるため、異物質接合による界面効果に影響されず、二次元物質にスピンの注入ができる。そこで私は、この二つの技術を組み合わせたスピン偏極STM発光分光手法を開発し、二次元半導体WS₂の

光-スピン変換プロセスの研究を行う。これにより、スピントロニクスにおける観測手法の開発のみならず、新奇な光-スピン変換ダイナミックスの詳細を記述可能とするため、スピントロニクスの基礎研究として唯一無二の役割を果たすと期待している。

本年度は、STM発光計測が実現されているSTM装置において、スピン偏極STM測定を確立し、磁場印加状態における偏光発光計測を行った。

- (1) イリジウム表面上の鉄試料において、スパイラルスピンの磁気構造観測を実現し、当研究室のSTM装置においてスピン偏極STM測定を確立した。
- (2) GaAs 試料に関して、当研究室STM装置においてマグネットによる磁場印加を実現し、偏光発光の観測を行った。

●発表 Poster Presentation

Shunji Yamamoto, “Direct Visualization of Surface Phase of Oxygen Molecules Physisorbed on the Ag(111) Surface: A Two-dimensional Quantum Spin System”, 5th Ito International Research Conference, RIKEN Centennial Anniversary & Surface and Interface Spectroscopy 2017, Tokyo, November 20-23 2017.

XXIV-020 フェルミオン・トポロジカル相の理論的研究

A theoretical study for fermionic topological phases

研究者氏名: 塩崎 謙 Shiozaki, Ken
受入研究室: 古崎物性理論研究室
(所属長 古崎 昭)

基底状態に縮退のないトポロジカル相（SPT相）を検出するための非局所秩序変数の構築を目的とし

た。トポロジカル相はその定義により局所秩序変数は存在しない。しかし、一般に非局所秩序変数が存

在する可能性はある。非局所秩序変数は、(i) バルクの性質である、(ii) 多体の相互作用の存在下においても有効である、(iii) disorderの存在化においても有効である、といった性質を有し、SPT相と観測可能物理量との関係の解明において重要な示唆を与えることが期待され、SPT相における重要課題のひとつである。SPT相の非局所秩序変数を見つけるひとつの指針は、SPT相の低エネルギーの挙動を記述するトポロジカル場の理論(TQFT)の分配関数を、基底状態と対称性演算子によって翻訳することである。与えられた対称性のもと、SPT相を記述するTQFTの分配関数の分類は、群コホモロジー、あるいはCobordismなどの数学的手法を用いることによって実行される。本研究においては、この方針に基づき、時間反転対称なフェルミオンSPT相における非局所秩序変数の構築を進めた。得られた結果は以下である。

- (1) 演算子形式において向き付けのない時空多様体を実効的に構成する手法として、部分転置と呼ばれる方法がボソン系においては知られていた。これをフェルミオン系に拡張することに成功した。
- (2) フェルミオンの部分転置を用いることにより、時間反転対称性によって保護されたフェルミオンSPT相の非局所秩序変数の系統的な構築を行った。

●誌上発表 Publications
(原著論文)

XXIV-021 任意形状光格子を用いたスピンプラストラーションの
局所ダイナミクスの観測
Direct Observation of Local Spin Dynamics in Various Frustrated
Systems by a Freely Changeable Optical Lattice

幾何学的フラストラーションのあるスピン系では新奇な磁気秩序相、例えば量子スピン液体やスピン固体などの量子相が発現することが理論的に知られており、実験でも観測されるようになってきた。こ

Shiozaki K., Shapourian H., Gomi K. and Ryu S.: “Many-body topological invariants for fermionic short-range entangled topological phases protected by antiunitary symmetries”, submitted.

●口頭発表 Oral Presentations

塩崎謙: “トポロジカル超伝導体の“秩序変数”について”, 超伝導研究の最先端:多自由度、非平衡、電子相関、トポロジー、人工制御, 京都, 6月(2017)

塩崎謙, 笠真生: “空間1次元のボソンSPT相, MPS状態, 及び同変な位相的場の理論について”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月(2017)

塩崎謙, Shapourian Hassan, 笠真生: “フェルミオン・トポロジカル相を特徴づける多体のトポロジカル不変量について”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月(2017)

塩崎謙, 佐藤昌利, 五味清紀: “トポロジカル絶縁体・半金属の有する加群構造について”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月(2017)

Shiozaki K.: “Order parameters for fermionic SPT phases”, TTCM2017, Tsukuba, Japan, Sep.(2017)

Shiozaki K.: “Fermionic partial transpose and non-local order parameters for SPT phases of fermions”, NQS2017, Kyoto, Japan, Oct.(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Shiozaki K.: “Fermionic partial transpose”, TTCM2017, Tsukuba, Japan, Sep.(2017)

研究者氏名: 山本 隆太 Yamamoto, Ryuta
受入研究室: 創発物性科学研究センター
量子多体ダイナミクス研究ユニット
(所属長 福原 武)

のような秩序相は物理的に非常に興味深いものだが体系的な理解をする上で依然として実験による検証が求められている。しかし、通常固体中では層間の相互作用を完全に排除することが困難なため、理論

検証が容易な2次元系を実現できず、多くの場合、実験結果と理論との比較、検証の際には近似や仮定を用いる必要がある。本研究では、冷却原子系における格子中のスピン分布の直接観測技術と空間光位相変調器による任意の格子形状構築技術を組み合わせることで、幾何学的フラストレーションをもつ様々な格子形状のスピン系を実現し、スピン分布やスピンダイナミクスの直接観測を通して新奇な磁気秩序への理解を深めることを目的としている。冷却原子系ではレーザー光で物質中の格子を再現するため、固体中では無視のできない層間の相互作用などを任意に操作することができる。これにより実験結果と理論の比較が容易となる。また、冷却原子系では量子気体顕微鏡と呼ばれる格子中のスピン分布を直接観測および操作する技術があり、この技術を活用して新奇な磁気秩序相においてどのようなスピン分布が実現されているのか、また意図的に外乱を加えることでスピン分布はどのような時間発展を起こすのか、などの知見が得られることが期待される。加えて空間光位相変調器によって任意の格子形状を構築することも可能なため、様々な幾何学的フラストレーションのあるスピン系に対して統一的な理解を得

ることできると考えられる。本年度は上記の研究を推進するために必要不可欠である実験装置の設計および開発を行い、下記3点の項目を達成した。

- (1) 極低温まで原子気体を冷却し、量子縮退（ボース凝縮体）を実現した。
- (2) 幾何学的フラストレーションのある三角格子を構築し、量子縮退領域まで冷却した原子気体を導入した。
- (3) 空間光位相変調器の動作を確認し、適当な光パターンの構築に成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

山本隆太、中村一平、福原武：“三角光格子にトラップされたボース凝縮体の実現”，日本物理学会第73回年次大会，東京理科大学（野田キャンパス），3月（2018）

●ポスター発表 Poster Presentations

Yamamoto R., Nakamura I. and Fukuhara T.: “Towards quantum simulation of frustrated spin systems with single site-resolved imaging”, DAQS2018, The University of Tokyo, Jan.(2018)

XXIV-022 強く相互作用する量子多体系におけるトポロジカル相の理論的研究

Theoretical Study of Topological Phases in Strongly Interacting Many-body Systems

研究者氏名：藤陽平 Fuji, Yohei
受入研究室：古崎物性理論研究室
（所属長 古崎 昭）

フラストレート磁性体におけるスピン液体や、光格子中のボゾンのMott絶縁体において実現するトポロジカル相では相互作用が本質的な役割を果たす。電子系におけるトポロジカル相は自由粒子系においても実現する一方で、粒子間の相互作用によって、スピン電荷分離などのより多彩な物性を示す。本研究では、平均場近似を超えて相互作用を取り扱う解析手段によって、与えられた微視的模型における物質相の性質を調べるだけでなく、欲しいトポロジカル相に対応した微視的模型をリバースエンジニアリングし、トポロジカル相の実験的実現に向けた系統的な解析方法を整備することを目標とする。そのために、微視的模型を定量的に取り扱う場の理論、

トポロジカル相の有効的記述としてのゲージ理論、それらを手掛かりとした少数系に対する数値シミュレーションを駆使して、スピン液体などで実現が期待される様々なクラスのトポロジカル相の安定性や静的・動的性質を調べる。さらに、それらを実現するための具体的な実験的セットアップを提案することを目指す。

本年度は、カゴメ反強磁性体におけるスピン液体状態の性質を、旧来の方法とは異なり、ボゾンの格子ゲージ理論と1次元の場の理論を組み合わせた手法により調べた。その結果、時間反転対称性を局所的に破るようなスピンの3体相互作用を考えた場合に、カゴメ反強磁性体の基底状態がDirac型の線形

分散を持つフェルミオンとU(1)ゲージ場が結合した臨界的なスピン液体で記述されることを発見した。

●口頭発表 Oral Presentations

Fuji Y., He Y.-C., Bhattacharjee S. and Pollmann F.: “カゴメ反強磁性体と関連するボゾン模型におけるトポロジカル相”, 茨城大学, 7月(2017)

Fuji Y., He Y.-C., Bhattacharjee S. and Pollmann F.: “Dirac composite fermion theory to kagome spin liquids and related bosonic models”, 京都大学基礎物理学研究所, 9月(2017)

Fuji Y., He Y.-C., Bhattacharjee S. and Pollmann F.: “Dirac composite fermion theory for kagome spin liquids”, Trends in Theory of Correlated Materials (TTCM2017), Tsukuba, Sep. (2017)

Fuji Y. and Lecheminant P.: “非可換SU(N)分数量子Hall状態に対する擬1次元系からのアプローチ”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月(2017)

He Y.-C., Fuji Y. and Bhattacharjee S.: “ゲージ化によって得られるカゴメ反強磁性体の臨界スピン液体”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡, 9月(2017)

Fuji Y. and Lecheminant P.: “Coupled-wire construction of multi-component quantum Hall states”, 名古屋大学, 10月(2017)

Fuji Y., He Y.-C., Bhattacharjee S. and Pollmann F.: “Dirac composite fermion theory for kagome spin liquids”, Novel Quantum States in Condensed Matter 2017 (NQS2017), Kyoto, Nov. (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Fuji Y., He Y.-C., Bhattacharjee S. and Pollmann F.: “Dirac composite fermion theory to kagome spin liquids and related bosonic models”, Gordon Research Conference 2017: Topological & Correlated Matter, Hong Kong, China, Jun. (2017)

XXIV-023

無機ナノシートによる新奇3次元高次構造の物理： 革新的デザインブルマテリアルの創製に向けて

Physics of novel 3D hierarchical structures of inorganic nanosheets:
towards innovative designable materials

研究者氏名: 謝 曉晨 Aya, Satoshi
受入研究室: 創発物性科学研究センター
ソフトマター物性研究ユニット
(所属長 荒岡 史人)

近年、グラフェンを始めとする種々の無機ナノシート材料において、2次元系ならではの新しい物性に注目が集まっている。しかしながら、2次元の無機ナノシートかが集まり3次元の高次構造へと至る発展メカニズム、およびその物性については未着手の領域が多い。こうした、無機ナノシートによる高次構造形成に介在する相互作用を正しく理解することは、基礎科学的に興味深いだけでなく、材料科学の側面からも「機能発現のための戦略的デザイン」のために多くの可能性を秘めていると言える。本研究では、無機ナノシート間に働く相互作用を走査型プローブ顕微鏡・光散乱等の手法により明らかにし、これらがどのようにバルクの高次構造を支配するかについて普遍的な学理を探求する。そして、流動性

と配向性の共在という液晶の概念をナノシートに持ち込むことによって、物理的・化学的な相互作用による能動的な構造・制御を実現し、これまで実現しえなかった新規なデザインブルナノシート超構造を創製することを目的としている。

初年度である平成29年度は、ナノシート間の相互作用を解明すべく、溶液中に分散された無機ナノシート間に働く力を観測した。具体的には、偏光顕微手法によるナノシート溶液粘弾性状態の見積もり、マイクロ・ナノロジー手法にもとづいた動的散乱測定によるナノシートの揺らぎ観測、および圧縮レオメーターによるナノシート溶液が発現するマクロな粘弾性挙動の観察に成功した。得られた結果によれば、ナノシート溶液は従来の層状液晶と類

似した粘弾性特性をもつことがわかった。このことは、既存の物理フレームワークによってナノシートにおけるナノ・マイクロ力学特性を記述できる可能性を示唆している。もちろん、ナノシートに特有な揺らぎ状態も観測されていることから、さらなる詳細な揺らぎ解析と理論体系の構築が次なる課題である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Orientational transition in a liquid crystal triggered by thermodynamic growth of interfacial wetting sheets”, *J. Vis Exp.*, DOI: 10.3791/55729 (2017)

Fumito Araoka*, Alexey Eremin, Satoshi Aya, Guksik Lee, Atsuki Ito, Hajnalka Nadasi, Nerea Sebastian, Ken Ishikawa, Osamu Haba, Ralf Stannarius, Koichiro Yonetake, and Hideo Takezoe: “Photoresponsive smart surface of LC azo-dendrimer: photomanipulation of topological structures and real-time imaging at a nano-scale”, *Proc. SPIE*, DOI:10.1117/12.2251128(2017)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Anomalous temperature-dependent anchoring in liquid crystals mediated by thermodynamic smectic wetting sheets”, *Appl. Phys. Lett.*, 111, 201604(2017)

(総説)

謝 暁晨*: “局所構造に起因するマクロ物性制御及び応用”, *液晶*, 第21巻, 第1号 (2017)

謝 暁晨*: “マルチスケールな液晶階層構造相関の理解からアクティブな液晶構造操作へ”, *液晶*, 第21巻, 第4号 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(国外学会等)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Orientational Transition through Photodynamically Reconfigurable Two-

Dimensional Anisotropic Fluids”, 14th EUROPEAN CONFERENCE ON LIQUID CRYSTALS, Moscow, June (2017)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Control of Orientation and Structures of Liquid Crystals Through a Photodynamically Reconfigurable Azodendrimer” (invited), The 39th PIERS (Progress In Electromagnetics Research Symposium), Singapore, November(2017) (国内学会等)

謝 暁晨*, 荒岡 史人*: “光応答性 dendrimer の界面ダイナミクス観察”, 2017年日本液晶学会討論会, 青森, 9月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国外学会等)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Interfacial dynamics of light-responsive azo-dendrimer wetting sheets”, 1st International Symposium on Nanotechnology and Mesophase Engineering, Osaka, June(2017)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: ““Inversed” temperature dependence of anchoring strength triggered by interfacial wetting”, 14th EUROPEAN CONFERENCE ON LIQUID CRYSTALS, Moscow, June(2017)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Programmable pattern formation in anisotropic liquids mediated by topological defects”, 10TH LIQUID MATTER CONFERENCE, Slovenia, July(2017)

Satoshi Aya*, Fumito Araoka*: “Unusual temperature dependence of anchoring torque in liquid crystals triggered by surface-localized structures”, 10TH LIQUID MATTER CONFERENCE, Slovenia, July(2017)

(国内学会等)

謝 暁晨*, 荒岡 史人*: “光応答性 dendrimer の界面ダイナミクス観察”, 2017年日本液晶学会討論会, 6月 (2017)

XXIV-024 ゲージ場の理論を用いたトポロジカル物質における熱応答現象の研究
Field Theoretical Study of Thermal Response Phenomena in
Topological Materials

研究者氏名: 仲井良太 Nakai, Ryota
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)

結晶中の電子構造のトポロジー及び対称性に由来する熱応答現象の解明を目的として研究を行った。トポロジー由来の現象と対称性由来の現象について、それぞれの結果を以下にまとめる。

1. 量子ホール系における熱ホール伝導度と熱分極の量子化

量子ホール系のようなトポロジカル物質においては、電子状態のトポロジーによって応答係数が量子化される現象がトポロジカル相を特徴付ける。この研究では特に熱応答現象に着目し、その背景にある時空の対称性とその破れ（量子異常）との対応について研究を進めている。

本年度はまず、量子ホール系における熱分極の量子化を理解するために、転送行列を用いた手法によって、捻られた時空における電子系の分配関数を解析的に評価した。その結果、トポロジカル物質の端状態に特有の分散関係が、時空の捻りによって端状態間の熱の輸送を引き起こすことを明らかにした。ここで得られた分配関数の計算方法を用いて、熱応答現象における乱れの効果についての研究を進めている。

2. 空間反転対称性の破れた結晶中の電子における非線形熱電応答

応答現象の定性的な性質は結晶がもつ対称性に強く影響を受ける。空間反転対称性が破れた結晶を考えたとき、伝導現象において順方向と逆方向の伝導係数が異なる成分（非相反成分）が現れうる。

ここでは空間反転対称性の破れた結晶において、交流電場によって誘起される非線形熱伝導に非相反成分が現れることを、ボルツマン方程式を用いた解析計算によって示した。さらに、非相反熱電係数を

具体的な物質の有効模型で評価することにより、非相反熱電効果が実験的に観測可能であることを示した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Nakai R., Ryu S. and Nomura K.: “Laughlin’s argument for the quantized thermal Hall effect”, *Physical Review B*, 95 165405(2017)*.

●口頭発表 Oral Presentations

Nakai R., Ryu S. and Nomura K.: “Quantization of the heat polarization in twisted spacetime”, APS March Meeting 2018, Los Angeles, United States, Mar. 8, 2018.

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Nakai R., Ryu S. and Nomura K.: “Gauge-invariance argument for the quantization of the thermal Hall conductivity”, 28th International Conference on Low Temperature Physics, Gothenburg, Sweden, Aug. 12, 2017.

Nakai R., Ryu S. and Nomura K.: “Gauge invariance in quantized thermal transport phenomena”, *Novel Quantum States in Condensed Matter 2017*, Kyoto, Japan, Nov. 9, 2017.

(国内学会等)

仲井良太, 笠真生, 野村健太郎: “量子化された熱ホール効果におけるゲージ不変性”, 日本物理学会(2017年秋季大会), 岩手大学, 2017年9月24日

Emergent Quantum Many-Body Phenomena
in Non-Equilibrium Ultracold Atoms

研究者氏名: 中川大也 Nakagawa, Masaya

受入研究室: 創発物性科学研究センター

量子凝縮体研究チーム

(所属長 上田 正仁)

近年の冷却原子気体の実験的發展に基づき、相互作用する冷却原子気体が非平衡下におかれたときに発現する非自明な量子多体現象を予言することを目的に研究を行っている。本年度は以下の3つの研究を行い、それぞれ興味深い結果を得た。

(1) 非弾性散乱の存在する原子系における非エルミート量子多体効果

励起状態や準安定状態に置かれた原子は、一般に非弾性散乱を受けるとトラップから外部へと放出されてしまう。この原子ロスダイナミクスは量子マスター方程式を通して非エルミートハミルトニアンで記述することができ、そこでは相互作用は複素係数となる。このような、強く相互作用する非エルミート量子多体系のミニマルモデルとして、非エルミートハミルトニアンによる近藤効果の解析を行った。くりこみ群を用い非弾性散乱による非エルミート系特有の相転移を見出したほか、Bethe 仮設法により非エルミート近藤モデルの厳密解を得た。この模型は対応する実験系が今年度実現されたことが報告されており、本結果は実験的にも大きな意味を持つと考えられる。

(2) SPT相のクロスオーバーに基づいた強相関トポロジカルポンプの理論

冷却原子系におけるトポロジカルポンプの実現を受け、そこにおける強相関効果を、対称性に保護されたトポロジカル相 (SPT相) の観点から調べた。相互作用の増大と共にフェルミオンのSPT相からボソンのSPT相へのクロスオーバーが起こることにより、自由粒子系のトポロジカルポンプは必ず強相関領域で破綻する場合があることを指摘した。

(3) 周期駆動非平衡系におけるWeylフェルミオンとFloquetカイラル磁気効果

2の結果に加え、トポロジカルポンプを周期駆動された非平衡系という観点からも研究した。3次元格子系におけるFloquetバンドを考えることにより、通常の静的なバンド構造では現れることのない単一

Weylフェルミオンが実現される例を構成した。また、それに付随して、カイラル磁気効果の周期駆動系での対応物として、磁場をかけるとトポロジカルポンプが磁場と平行な方向に起こるというFloquetカイラル磁気効果が現れることを予言した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakagawa M. and Kawakami N.: “Symmetry-protected topological phase transition in one-dimensional Kondo lattice and its realization with ultracold atoms”, *Phys. Rev. B* 96, 155133 (2017)*

Takasan K., Nakagawa M. and Kawakami N.: “Laser-irradiated Kondo insulators: Controlling the Kondo effect and topological phases”, *Phys. Rev. B* 96, 115120 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakagawa M.: “Strongly correlated topological pumping from symmetry-protected topological phases”, *Novel Quantum States in Condensed Matter 2017*, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Japan, Nov. (2017)

(国内学会等)

中川大也, 吉田恒也, Robert Peters, 川上則雄: “相互作用によるSPT相のクロスオーバーとトポロジカルポンプへの非摂動効果”, 日本物理学会2017年秋季大会, 岩手大学, 9月 (2017)

中川大也: “強相関トポロジカルポンプの理論”, 第七回「強相関電子系理論の最前線」, 函館市, 12月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Nakagawa M. and Kawakami N.: “Interaction-Induced

Crossover of Fermionic Symmetry-Protected Topological Phases in One Dimension”, International Conference on Topological Materials Science 2017, Tokyo Institute of Technology, Japan, May (2017)

Nakagawa M.: “Topological pumping in strongly interacting bosons and fermions”, The 2nd CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems, University of Tokyo, Japan, Jan. (2018)

XXIV-026 スキルミオン系における欠陥エンジニアリングとトポロジカル量子物性 Defect Engineering and Topological Phases in SKyrmion Systems

研究者氏名: 岩崎 惇一 Iwasaki, Junichi
受入研究室: 創発物性科学研究センター
量子凝縮体研究チーム
(所属長 上田 正仁)

原子核物理学にて最初に提案されたスキルミオンというトポロジカルな場の配置は、今や磁気スキルミオンとして磁性体中でも観測されている。磁気スキルミオンは、例えばカイラルな結晶構造を持つ磁性体や多層磁性体の界面などの、空間反転対称性が破れた磁性体中で広く存在することがわかっている。カイラル磁性体のバルクでは、2次元のスキルミオンが外部磁場の印加方向に重なったスキルミオンストリングという構造が現れる。

我々は、カイラル磁性体のバルクで現れる単一のスキルミオンストリングに注目し、スキルミオンストリング周りに局在してその延長方向に伝わるようなマグノンモードについて調べた。マグノンスペクトラムはほぼ解析的に計算することができ、ストリング周りには局在しない連続スペクトラムの下に、2つの局在モードが存在することがわかった。1つはブリージングモード、もう1つは並進モードである。これらの2つのモードは非相反性を示す。すなわち、マグノンの伝搬方向に対して非対称な振る舞いを示すのである。そして、非相反性の大きさは2つのモードで大きく異なる。具体的には、ブリージ

ングモードは k_z の1次項を持ち大きな非相反性を示すのに対し、並進モードはゴールドストーンモードであることから k_z の1次項は禁止されている。そして注目すべきことに、ブリージングモードは k_z の1次項を持つがゆえに $k_z=0$ でもエネルギーを単一方向に運ぶのである。我々は微視的なシミュレーションも行い、解析的な結果がシミュレーションの結果と良く一致することを示した。

●口頭/ポスター発表 Oral/Poster Presentations (国際会議)

Iwasaki J. and Rosch A.: “Nonreciprocal Current along Skyrmion String in Chiral Magnets”, Topology Matters, Mainz, Germany, July (2017)

Iwasaki J. and Rosch A.: “Nonreciprocal Current along Skyrmion String in Chiral Magnets”, SKYMAG 2017, Paris, France, May (2017)

(国内学会等)

岩崎 惇一, Rosch A.: “カイラル磁性体中のスキルミオンストリングを伝わる非相反流”, 日本物理学会2017年秋季大会, 盛岡市, 9月 (2017)

XXIV-027 Noninvasive Synthetic Therapy: Organic Synthesis of Therapeutic Molecules within Living Systems

Name: Kenward VONG

Host Laboratory: Biofunctional Synthetic Chemistry Laboratory

Laboratory Head: Katsunori TANAKA

Control of drug release within localized areas of the body has become a hotly pursued research topic within

the last decade. Unique from the numerous groups that have focused on small molecule-triggered drug release

methodologies, this present study explores the possibilities of metal-catalyzed drug release strategies. A novel transformation was discovered and developed based on a gold-triggered N,N-disubstituted 2-ethynylbenzamide cyclization reaction. In this transformation, gold-coordination to an alkyne moiety promotes cyclization with a nearby carbonyl moiety. The addition of the carbonyl group onto an alkyne is believed to be promoted by an N-linked electron donating group (ex/methyl group). Subsequent hydrolysis then allows the release of an amine, which needs to be a secondary amine. Since several drug classes contain secondary amines, examples being Endoxifen (active metabolite of the anticancer drug Tamoxifen) and monomethyl auristatin E (antineoplastic agent), this chemical reaction is envisioned to be applicable for a number of drug therapies. To further understand and improve upon reaction kinetics, structure-activity relationship (SAR) studies were performed where the main points of emphasis were substitutions of the alkyne moiety, aromatic moiety, and on the secondary amine. This work was able to show various trends that strongly influence amine release kinetics. The most significant observation was that substitution with a strong electron withdrawing group on the aromatic moiety could lead to two-fold higher yields compared to the model reaction. To transition the drug release reaction for in vivo applications within living biological systems, Endoxifen

and Doxorubicin (via modified 4-aminobenzylcarbamate chemistry) linked compounds were synthesized and are currently being tested in various adaptations within cell-based and animal-based studies. Overall, these results should become the foundation for the future development of organ-localized, gold-catalyzed drug release therapies within living biological systems.

● Publications

Papers

Vong K., Tsubokura K., Nakao Y., Tanei T., Noguchi S., Kitazume S., Taniguchi N., and Tanaka K.: Cancer cell targeting driven by selective polyamine reactivity with glycine propargyl esters. *Chem. Commun.* published*

● Oral Presentations

Conferences

Vong K., Tanaka K.: "Propargyl-assisted Selective Amidation Applied to Peptide Conjugation and Tumor Cell Imaging" 第59回天然有機化合物討論会, Sapporo JP, Sept (2017)

Vong K., Tanaka K.: "Exploiting Glycine Propargyl Ester Reactivity for Biological Applications" 6th RIKEN-Max Planck Joint Research Center for Systems Chemical Biology Symposium, Naha JP, Apr (2017)

XXIV-028 大規模分子動力学計算を用いた脂質二重膜内ペプチド会合過程の解明と新規膜貫通ペプチド会合体の設計への応用

Large-scale Molecular Dynamics Simulations of Folding Pathways of Transmembrane Self-assembling Peptides in Lipid Bilayers and its Application for Designing Novel Peptide Assemblies

研究者氏名: 新津 藍 Niitsu, Ai
受入研究室: 杉田理論分子科学研究室
(所属長 杉田 有治)

本研究課題では、膜蛋白質の折り畳みにおいて最も基礎的な α ヘリックスの会合機構を、計算機を用いた動的構造計算と実験により得られる静的構造情報を最大限に活用し解明する。膜蛋白質が立体構造を取る際の折り畳み機構の理解は、その構造情報量

に限りがあるために遅々として進んでいない。そこで天然の膜蛋白質よりも単純化された、脂質二重膜中で自己会合する人工 α ヘリックスペプチドを設計し、構造計算と実験的構造解析を行うことで、その会合機構の解明を目指す。これに関して、私たちは

これまでに、脂質二重膜中で非常に安定な筒形構造に自己会合するペプチド (cWza) を開発してきている。cWzaのように安定な会合体を形成するペプチドはこれまでに報告がない。よってcWzaの折り畳み機構の理解を通し、全く新しい膜蛋白質の折り畳みに関する知見を得られると期待される。さらに本研究はここで得られた知見をもとに全く新規な (*de novo*) 膜ペプチド会合体の2-4量体を作り分け設計を行う。この課題は未だ黎明期にある膜蛋白質の設計研究の先駆けに位置づけられ、設計ペプチドの新規生体材料としての応用可能性と共に大きな波及効果が期待できる。

動的な挙動であるcWzaペプチドの会合機構解明を達成するため、まずこれまでの実験から得られたcWzaペプチド会合体の静的構造情報をもとにして、1) 計算機を用いた会合体形成の動的構造計算を実施する。そして、2) 計算結果を利用した次世代cWzaペプチドの再設計と分光分析によるその構造解析を行い、構造計算方法の信頼性を実験的に評価する。さらに、上記研究課題1、2で確立した構造計算方法を用いて3) *de novo*ペプチドの設計とその構造解析を実施する。

本年度は1)の準備となるcWzaペプチド会合体、またペプチド単体の脂質二重膜存在下における全原子分子動力学計算を行った。また3)の準備となる新規ペプチド会合体の静的構造モデリングおよび脂質二重膜中での分子動力学計算を、グラスゴー大学の共同研究者と連携・議論しながら実施した。さらに3)に関連した電気化学実験を英国ブリストル大にて行った。

XXIV-029 有機半導体—酸化物界面の修飾による新奇な電子機能性の開拓

Investigation of Novel Functionality of Organic Devices induced by Self-Assembled Monolayers on the Metal Oxide surfaces.

近年、次世代のエレクトロニクス技術として、有機半導体を用いたデバイスについての研究が盛んに行われている。これまでの研究では、有機半導体デバイスの性能向上のため、固体中の分子配向や有機

●誌上发表 Publications

(総説)

Niitsu A., “Characterization of protein/peptide pores in a planar lipid bilayer by single channel current recording”, PSSJ Archive, 10, e086(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

Niitsu A., Mahendran K.R., Thomson A. R., Bayley H., Woolfson D.N. and Sugita Y. “Design and characterization of membrane-spanning alpha-helical peptide pores” 17th annual meeting of Protein Science Society of Japan, Miyagi, Japan, Jun.(2017)

Niitsu A., Mahendran K.R., Thomson A. R., Session B.R., Sugita Y. Bayley H. and Woolfson D.N. “Designing autonomous peptide-based membrane pores” Alpbach Workshop coiled-coil, fibrous and repeat proteins, Alpbach, Austria, Sep.(2017)

Niitsu A., Mahendran K.R., Thomson A. R., Bayley H., Sugita Y. and Woolfson D.N. “Redesign and *de novo* design of transmembrane alpha-helical peptide barrels” 55th annual meeting of the viophysical society of Japan, Kumamoto, Japan, Sep.(2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Niitsu A., Mahendran K.R., Thomson A. R., Bayley H., Woolfson D.N. and Sugita Y. “Design and characterization of membrane-spanning alpha-helical peptide pores” 17th annual meeting of Protein Science Society of Japan, Miyagi, Japan, Jun.(2017)

研究者氏名: 中野 正浩 Nakano, Masahiro
受入研究室: 創発物性科学研究センター
創発分子機能研究グループ
(所属長 瀧宮 和男)

薄膜のエネルギーレベルなどバルク中での物性制御が主として行われてきた。一方で、本研究者は有機トランジスタにおいて有機半導体と無機酸化物の界面を自己集合単分子膜 (SAM) により修飾するこ

とで、特異な性質が発現することを見出した。すなわち、電荷を誘起するSAMを有機トランジスタに用いた場合、誘起された電荷の種類に応じて、トランジスタの極性がp型またはn型に変化する、というものである (M. Nakano *et al.*, *Advanced Materials*, 2017, 29, 1602893)。従来ではSAMによる界面修飾は、表面自由エネルギーの低減、もしくは表面トラップの減少によりトランジスタ特性を向上させるための手段でしかなかった。これに対し、界面のSAM修飾によってデバイス中のキャリアが直接影響され、特性が大きく変化してしまうということは全く新たな発見である。これは、有機デバイスに存在する界面を修飾することで、これまでの手法（バルク中の物性制御）だけでは得られなかった電子機能性が発現する可能性があることを意味する。本研究においては、多くの有機デバイスが持つ有機半導体—酸化物の界面に焦点を当て、これを簡便に修飾する手法としてSAM修飾に着目した。有機半導体—酸化物界面を様々なSAMで修飾し、SAMと有機半導体との相互作用により発現する新奇な電子機能性の探索とその評価を研究の目的とする。本研究により、これまでになかった電子機能性が明らかとされることで、SAMと組み合わせた有機半導体の新たな活用法が切り開かれることが期待できる。

本年度は、すでに報告済みの π 共役分子骨格 (M. Nakano *et al.*, *Organic Letters*, 2016, 18, 3376) を基盤として、SAMと組み合わせるための有機半導体の合成を主に行い、報告した。合成した有機半導体は、有機トランジスタ、有機薄膜太陽電池、および有機熱電変換デバイスに用いる材料として優れた特性を示した。また、SAM分子についても合成を

行い、安定性やその合成手法についても知見を得ることができた。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hammonnet J., Nakano M., Nakano K., Sugino H., Takimiya K. and Tajima K.: “Bis(naphthothiophene diimide)indacenodithiophenes as Acceptors for Organic Photovoltaics”, *Chemistry of Materials*, 29 9618-9622(2017)*

(総説)

Takimiya K., Nakano M.: “Thiophene-Fused Naphthalene Diimides: New Building Blocks for Electron Deficient π -Functional Materials”, *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 91 121-140(2018)*

●口頭発表 Oral Presentations

中野正浩, 瀧宮和男: “有機両極性半導体の開発と自己組織化単分子膜を用いたキャリア種制御”, JIEP 最先端実装技術シンポジウム2017, 東京ビックサイト, 6月(2017)

Nakano M., Hammonnet J., Chen W. and Takimiya K.: “Thiophene-Fused Naphthalenediimides: Useful Building Blocks for the Development of Semiconducting Materials with Strong Electron Affinity”, CNRS & JSPS Project the 1st Kickoff Meeting 2017, Bordeaux, France., Jun.(2017)

Nakano M., Hammonnet J. and Takimiya K.: “Thiophene-Fused Naphthalenediimides: Useful Building Blocks for electron Deficient π -Conjugated Materials”, CNRS & JSPS Project, the 2nd Discussion Meeting 2017, Saitama, Japan, Nov.(2017)

XXIV-030 デジタル化分子構造の回帰分析による不斉触媒の最適形状探索 Exploration of Optimal Shapes of Chiral Catalysts through Regression Analysis of Digitized Molecular Structures

研究者氏名: 山口 滋 Yamaguchi, Shigeru
受入研究室: 環境資源科学研究センター
触媒・融合研究グループ
(所属長 袖岡 幹子)

不斉触媒反応は医薬品など生物活性分子の合成に必要不可欠であり、不斉触媒反応開発は有機化学に

おける重要な一分野となっている。不斉触媒開発の効率化を目指し、不斉触媒のデータ駆動型設計法を

開発している。具体的には、触媒の3次元構造から計算した分子場と呼ばれる分子構造情報と、生成物の鏡像異性体比との間の回帰分析を行っている。作成した回帰モデルの回帰係数をもとに触媒のどこが反応において重要かを可視化できる。可視化した重要構造情報をもとに触媒設計が簡単にできるようになれば、不斉触媒開発の効率化を達成できる可能性がある。分子場解析に基づくデータ駆動型不斉触媒設計のための方法論の開発を目的として研究を行った。

不斉触媒反応における分子場解析は、上述のように分子の3次元構造から計算した分子場と、生成物の鏡像異性体比との間の回帰分析である。前年度までに機械学習分野の代表的手法であるLASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) 回帰の分子場解析への導入に成功している。LASSO回帰は大量のデータから重要な情報の抽出を可能にする機械学習法であり、様々な分野で頻繁に使われている。しかしLASSOを不斉触媒反応解析に使用した例はなかった。そこでLASSOを用いて不斉触媒反応の分子場解析を行い、不斉触媒上の重要な構造情報を抽出・可視化する検討を行った。従来の不斉触媒反応の分子場解析に比べ、解釈が簡

単な形で重要構造情報を抽出・可視化できることを明らかにしている。

上述のLASSOを用いた分子場解析では、解釈が簡単な形で不斉触媒の重要構造情報を可視化できるものの、可視化した重要構造情報をもとに鏡像異性体生成比が向上する分子設計には成功していない。そこで今年度はLASSOを用いた分子場解析を改良した。鏡像異性体生成比を決定する重要な因子を分子場計算に取り込み、分子場解析を行うことで、可視化した重要構造情報から鏡像異性体生成比が向上する分子設計に成功した。

●口頭発表 Oral Presentations

(招待・依頼講演)

山口滋：“均一系触媒における重要構造情報可視化技術の深化を目指して”，第3回キャタリストインフォマティクスシンポジウム—動き出した触媒開発と人工知能の融合研究—，東京，11月（2017）

山口滋：“有機合成スマート化を志向したキャタリストインフォマティクス”，第227回JOEM研究会 Xインフォマティクスの最前線～マテリアルズ、バイオ、キャタリス～，東京，1月（2018）

XXIV-031 がん特異的 One-Carbon Metabolism を標的としたセリン代謝を阻害する天然化合物の探索と作用機序解析

Search for novel natural compounds targeting serine biosynthesis and One-Carbon Metabolism in cancer cells

研究者氏名：永澤生久子 Nagasawa, Ikuko

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)

がん細胞では糖代謝やアミノ酸代謝機構においてリプログラミングが生じており、がん細胞の生存及び増殖、浸潤、薬剤耐性、幹細胞性等に重要であることが知られるようになってきた。中でも近年、特に注目されているのがOne-Carbon Metabolismと呼ばれるセリンを出発物質として一炭素ユニットの供給源として働く代謝経路である。セリンは核酸合成やエピジェネティクス反応のメチル基を供与するだけでなく、TCA回路で働く α -KGの供給や、GSHの前駆体としての役割も担っており、細胞増殖に必

要なタンパク質、核酸及び脂質等の高分子化合物の供給源として、それらの代謝を結びつけるハブの役割をしている。

本研究では、このセリン代謝を標的としたがん治療薬の開発を目指し、がん細胞のセリン要求性を利用した化合物スクリーニングを実施しようと試みた。しかしながら予備検討の結果、二次元の培養細胞系では鋭敏なセリン要求性の応答が見られず、化合物スクリーニングに応用することは困難であると判断した。そこで先に、既にセリン要求性が高いこ

とが報告されている大腸がん細胞株を用いて、細胞増殖阻害作用を指標とした化合物スクリーニングを実施した。NPDepo化合物ライブラリーの約18,000化合物において、大腸がん細胞株に対する細胞増殖阻害作用を評価した。活性を示した化合物群の中から、既に標的分子が同定されている化合物を除外し、他臓器のがん細胞株に対する作用も考慮して、新たな作用機序で細胞増殖阻害効果を発揮すると予想さ

れる化合物Aを見出した。続けて、別プロジェクトにおいて構築したプロテオミクスを基盤とした薬剤作用機序解析ツールを駆使し、化合物Aの標的分子候補として糖代謝に関わる酵素Bを同定した。化合物Aは酵素Bを介して大腸がん細胞の増殖・生存の維持に重要な代謝機構に影響を与えている可能性があり、今後さらに詳細な作用機序を検証する。

XXIV-032 Super-Strong Magnetic Field-Induced Block Copolymer Assembly

Name: Xiaoyu LI

Host Laboratory: Emergent Bioinspired Soft Matter Research Team
Center for Emergent Matter Science
Laboratory Head: Yasuhiro ISHIDA

Unfortunately, common hydrocarbon-based block copolymers we have tested so far do not show particular response to even super-strong magnetic field. Therefore, no results have been obtained in this direction.

However, during experiments, other interesting phenomena have been discovered based on the current research projects from the same team. It was found that the titanium-deficient titanium nanosheets (TiNS, chemical formula $[\text{Ti}_{0.87}\square_{0.13}\text{O}_2]^{0.52-}$, with a thickness of 0.75 nm and lateral size of up to 20-30 microns) aqueous dispersion, upon mild UV irradiation, can generate unusual high content of Ti^{3+} species. During this process, the pristine white TiNS change to purple color, which is darkened with longer irradiation time. It is found that this transition requires minimum content of organic ionic species in the aqueous dispersion, proper pH value (~ 7), and most importantly, the low level of oxygen. This transition usually occurs in minutes, depending on conditions. The purple TiNS can be changed back into their original white state by simply bubbling air for seconds. This interconversion between white and purple TiNS is non-destructive and fully reversible so that all the physical properties of the TiNS after cycles of interconversion remain unchanged, including pH values of the dispersion, hydrodynamic diameter and zeta-potential of the TiNS, and the crystalline structure of the TiNS. The TiNS after cycles also remain intact, demonstrating the non-destructive nature

of this transition process. The purple TiNS are demonstrated to be able to initiate the polymerization of vinyl-containing monomers (such as N-isopropylacrylamide to form hydrogels, or styrene to form microcapsules), and also reduce metal ions (such as Au^+) into nanoparticles.

The generation and existence of Ti^{3+} is confirmed by electron paramagnetic resonance measurement. TEM electron diffraction experiment also shows that the crystalline lattices are changed after UV irradiation on the TiNS, and the diffraction pattern matches that of Ti_2O_3 from literatures very well. Meanwhile, high content of Ti^{3+} also changed the semiconductive nature of the original TiNS toward more insulating side, as concluded from our field-effect transistor measurement. Moreover, the TiNS containing sufficient amount of Ti^{3+} forms $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}$ mixed valence species, resulting in completely different magnetic properties and also different alignment behavior in magnetic field from the original white TiNS. The original TiNS are purely diamagnetic and aligned perpendicularly to the magnetic field direction in aqueous dispersions. Meanwhile, the purple TiNS, as confirmed with M-H measurement, are paramagnetic, and can be attracted by magnetic field. Furthermore, these purple TiNS (in aqueous dispersion) can be aligned parallelly to the direction of magnetic field. Although the photo-response (photocatalytic or photovoltaic) properties of titanium dioxide have

been extensively studied, the reversible interconversion of the magnetic properties of these materials is discovered for the first time. Besides interests for fundamental research, these responsive TiNS may also be applied in smart display or windows in the future.

● Oral/poster Presentations

International conferences

Li, X.Y., Ebina, Y., Sasaki, T., Ishida, Y., Aida, T.

“The Undiscovered Purple Titanium Nanosheet”, Gordon Research Conference, 2017, May 20-26th, Les Diablerets, Switzerland

Domestic conferences

Li, X.Y., Manners, I. “Non-Covalent Synthesis of Supramicelles with Complex Architectures via Hierarchical Assembly”, RIKEN CEMS Topical Meeting 2016 “Nanoparticles / Nanotubes / Nanosheets”, 2016, September 07

XXIV-033 生体内合成化学治療：動物内における毒性分子アクロレインから薬理活性複素環化合物への変換

Therapeutic In Vivo Synthetic Chemistry: Transformation of Toxic Acrolein into Pharmacologically Active Heterocyclic Compounds in Live Animals

研究者氏名: Ambara Rachmat PRADIPTA
受入研究室: 田中生体機能合成化学研究室
(所属長 田中 克典)

The objective of this research is to synthesize pharmacologically active compounds by utilizing our original reactions directly in live animals. Recently, I serendipitously uncovered that aryl azides can react with acrolein in a click manner, without the use of any catalyst, to produce 4-formyl-1,2,3-triazoline derivatives. The reaction shows impressive reactivity and selectivity, even under physiological conditions and in the presence of various interferences. Furthermore, by utilizing a fluorescence-labeled phenyl azide, I have successfully applied the click reaction directly in live cells to detect and visualize endogenous acrolein released from oxidatively stressed cells. Herein, I expand the utility of azide-acrolein click reaction to transform the toxic acrolein into pharmacologically active compounds directly in live mice. We called this strategy “therapeutic in vivo synthetic chemistry”.

This year I found a fluorescence-labeled phenyl azide that can selectively image acrolein of the cancer cells, whereas no method has been reported in literature for the detection of acrolein in cancer cells. Moreover, by collaborating with Department of Breast and Endocrine Surgery - Osaka University, we ensured that this method is applicable to discriminate normal and breast cancer tissue. Our method is superior to any other tech-

niques so far reported, since it could sensitively visualize cancer morphology and localization in resection stump during surgical operation. Our inexpensive probe and easy-to-perform method has potential to be applied to current breast-conserving surgery in the hospital. At the same time, since these results clearly showed that our fluorescence-labeled phenyl azide is selective against cancer cells, next year I will utilize the compound to synthesize anticancer drug directly in mouse model of cancer.

● 誌上发表 Publications

(原著論文)

1. Tsutsui A., Pradipta A. R., Kitazume S., Taniguchi N. and Tanaka K.: “Effect of Spermine-Derived AGEs on Oxidative Stress and Polyamine Metabolism”, *Org. Biomol. Chem.*, 15 6720-6724 (2017)*
2. Qi Y., Pradipta A. R., Li M., Zhao X., Lu L., Fu X., Wei J., Hsung R. P., Tanaka K. and Zhou L.: “Cinchonine Induces Apoptosis of HeLa and A549 Cells Through Targeting TRAF6”, *J. Exp. Clin. Onc. Res.*, 36 35 (2017)*
3. Tsubokura K., Vong K. K. H., Pradipta A. R., Ogura A., Urano S., Tahara T., Nozaki S., Onoe H., Nakao Y., Sibgatullina R., Kurbangalieva A., Watanabe Y.

and Tanaka K.: “In Vivo Gold Complex Catalysis within Live Mice”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 56 3579-3584 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(招待講演)

1. Pradipta A. R.: “Biofunctional Chemistry of Acrolein: From Tumor Detection to Theranostics”, 生有研シンポジウム, Kyoto, Nov. (2017)
2. Pradipta A. R.: “Biofunctional Chemistry of Acrolein: Tumor Detection and In Vivo Synthetic Chemistry”, Indonesian Students Association Scientific Conference, Suita, Oct. (2017)
3. Pradipta A. R.: “Utilization of Azide-Acrolein Click Reaction for Oxidative Stress Imaging of Live Cells”, The 4th International Seminar on Chemistry, Bandung, Indonesia, Sept. (2017)
4. Pradipta A. R.: “Utilization of Azide Reactivity Towards Acrolein for Oxidative Stress Imaging and In Vivo Synthetic Chemistry”, Keio University Depart-

mental Talk (Host: Prof. Yukari Fujimoto), Hiyoshi, Aug. (2017)

(学会)

5. Pradipta A. R., Fujii M., Ito A., Arata M., Yoshida M. and Tanaka K.: “アクロレイン・アジドのクリック反応に基づく生細胞アクロレイン検出”, 第11回バイオ関連化学シンポジウム, 東京, 9月 (2017)
6. Pradipta A. R., Fujii M., Ito A., Arata M., Yoshida M. and Tanaka K.: “アジドの反応性を駆使したがんのアクロレインイメージング”, 日本化学会第97春季年会, 日吉, 3月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

1. Pradipta A. R. and Tanaka K.: “Acrolein Imaging of Tumor by Using the Orthogonal Reactivity of Azide”, RIKEN-Max Planck Joint Research Center for Systems Chemical Biology the Sixth Symposium, Naha, Apr. (2017)

XXIV-034 時空間マルチスケール解析による植物形態形成のメカニズム解明 Elucidation of underlying mechanism in plant morphogenesis by spatiotemporal multi-scale analysis

研究者氏名: 津川 暁 Tsugawa, Satoru

受入研究室: 望月理論生物学研究室

(所属長 望月 敦史)

植物器官の形態形成にとって重要な微小管配向と成長方向がどのスケールで最も高い相関を示すか、を定量的に解明することを目的としている。微小管と成長が細胞構造を超えて相関を持つ場合は、生物の細胞という基本単位とは異なる連続的な構造単位が存在する証拠になり、形態形成科学のパラダイムシフトにつながる事が予想されている。データ科学による多スケール階層を持つ物体の力学的理解を進めることで、ミクロな分子特性とマクロな細胞特性の両方を同時に考慮した植物発生学の研究が進むことを期待している。

本年度は、局所成長ベクトルを計算する手法の開発と実装が完了し、異なるスケール指標で成長を見る手法を確立できた。また、その研究課程で以下2つの共同研究を進めた。

(1) 細胞群スケールでの成長転移現象の発見

莖片器官への分化直後の細胞とその娘細胞群(クローン)に着目し、クローン同士の成長多様性が莖片の成長に応じてどのように変化するかを調べた。その結果、莖片の早期段階では成長多様性が減少し、後期段階では成長多様性が増加する、という従来報告のない成長転移を起こしていることを発見した。また、成長転移はクローンの位置、細胞分裂、気孔細胞への分化に依らないことを確認した。驚くべきことに細胞分裂を起こして新しくできたクローン(細胞)はそれを内包する古いクローン(細胞群)と成長の振る舞いが異なることを見出した。これは異なるスケールで成長の振る舞いが異なることを意味しており、多スケールによる成長解析の必要性が高まる研究成果であるといえる。

(2) 頑健な器官形状を導く力学的フィードバックによる成長不均一性の制御

細胞レベルでは成長が不均一で多様であるにもかかわらず、器官レベルではなぜ均一で再現的なサイズや形が達成されるのか、という植物発生学の問題に挑戦した。特に毛細胞と呼ばれる急激に成長し突起する特殊な細胞に着目し、毛細胞の突起が周辺細胞の力学的性質にどのような影響を及ぼすかを調べた。まず有限要素法によるシミュレーションによる結果から急激な成長の周りには円状の応力変化が起こることを確認し、実際のデータでも毛細胞の周辺細胞の微小管配向（応力構造を反映）が円状に変化することを実証した。このデータ解析を元に毛細胞の数が器官全体の横幅と相関を持つかどうかを理論及び器官輪郭データの解析により確かめた。その結果、野生型では微小管による力学的フィードバックが作用することで、毛細胞の周辺細胞が急激な成長を遮蔽することで器官全体の横幅が毛細胞の数に依らず、頑健性を獲得していることを結論付けた。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Satoru Tsugawa, Nathan Hervieux, Daniel Kierzkowski, Anne-Lise Routier-Kierzkowska, Aleksandra Sapala, Olivier Hamant, Richard S. Smith, Adrienne H. K. Roeder, Arezki Boudaoud and Chun-Biu Li, “Clones of cells switch from reduction to enhancement of size variability in *Arabidopsis* sepals”, *Development*, 144(23), 4398-4405, (2017)

Nathan Hervieux, Satoru Tsugawa, Antoine Fruleux, Mathilde Dumond, Anne-Lise Routier-Kierzkowska, Tamiki Komatsuzaki, Arezki Boudaoud, John C. Larkin, Richard S. Smith, Chun-Biu Li and Olivier Hamant, “Mechanical Shielding of Rapidly Growing

Cells Buffers Growth Heterogeneity and Contributes to Organ Shape Reproducibility”, *Curr. Biol.*, 27(22), p. 3468-3479.e4, (2017)

(総説)

津川 暁, “植物の形作りの仕組みに迫るデータ科学”, *生物物理*, 57(3), p. 131-134, (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(研究会, セミナー)

Satoru Tsugawa, “Recent collaborations and plans for multi-scale analysis of growth”, Seminarium, Matematisk statistik, Department of mathematics, Stockholm, Sweden, May, (2017)

津川 暁, “古典系マッシュルームビリヤード系の研究紹介”, 原山研究室セミナー, 早稲田大学, 12月 (2017)

津川 暁, “再現的な器官形状を生む細胞成長ゆらぎの時空間平均化”, 山崎研究室セミナー, 早稲田大学, 11月 (2017)

津川 暁, “分子・細胞・器官スケールをつなぐデータ解析”, 非線形・複雑系シンポジウム, 鳴門教育大学, 9月 (2017)

津川 暁, “Scale connecting data analysis”, 首藤研究室セミナー, 首都大学東京, 7月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

津川 暁, 小田祥久, 望月敦史, 木部道管パターンを生む数理モデルの解析, 日本数理生物学会, 北海道大学, 10月 (2017)

津川 暁, 確率的細胞の振る舞いと再現的な器官形成をつなぐ, 理研公開シンポジウム「観る・測る・解く」4次元細胞計測の現状と未来, 理化学研究所, 6月 (2017)

Characterization of physical properties of water involved in barrier function
of the stratum corneum in the skin epidermis

研究者氏名: 白神 慧一郎 Shiraga, Keiichiro

受入研究室: 統合生命医科学研究センター

皮膚恒常性研究チーム

(所属長 天谷 雅行)

水は生命活動に欠かすことのできない重要な物質であると広く信じられており、角質層内における水も皮膚疾患に関わる重要因子であると考えられる。複雑な物理的性質がゆえに、水が実際にどのような役割を果たしているかはほとんど明らかにされていなかったが、我々は世界に先立ってテラヘルツ帯の誘電応答をもとに培養細胞内の水和状態や水素結合ネットワーク環境といった“水の質”を定量評価する技術構築に成功している。そのため、テラヘルツ技術は皮膚表皮中において“水の質”と皮膚疾患の関係性を議論する新たな要素技術になると期待している。そこで本年度は、テラヘルツ技術を用いて皮膚表皮細胞中の水を議論するための基盤構築を目指し、(1) 水の物性解析のためのモデル最適化、ならびに (2) 近接アレイセンサを用いた単一細胞測定に取り組んだ。

- (1) 水は 20 GHz 付近に非常に大きな緩和型分散を有しており、これまでこの緩和モードは Debye 関数で表現するのが通例とされていた。しかし、50 MHz ~ 400 THz に至る水の超広帯域分光測定を行ったところ、50 THz 以上の高周波側では Debye モデルが実験値をほとんど再現できていないことが示された。ここで我々は Debye モデルでは無視していた慣性効果を実効的に取り入れた確率的周波数変調 (SFM) モデルを採用することでこの問題は解決することに成功したため、テラヘルツ帯においてもこのモデルを用いることでより正確に水和状態と水素結合ネットワーク環境の評価が行えると考えられる。
- (2) テラヘルツ波の波長は数百 μm ~ 数 mm 程度であるため、遠距離場では複数細胞中における水の平均的情報しか観測することができない。しかし、皮膚表皮中では細胞間の不均質性が大きいため、単一細胞レベルで水の質を議論できることがより望ましい。そこで本研究では、直上

数 μm 角の複素誘電率を反映して発振周波数が変化する CMOS 共振器を集積した近接アレイセンサを用いて単一細胞の水の定性的な評価を行なった。発振周波数の変化量を解析したところ、この近接センサは波長よりも十分に小さい HeLa 細胞を single-cell レベルで観測できることが明らかとなり、さらにホルマリン固定によって細胞内では水和水割合が減少していることも見出された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Shiraga K., Adachi A. and Ogawa Y.: “Characterization of the hydrogen-bond network of water around sucrose and trehalose: H-O-H bending analysis”, *Chemical Physics Letters*, 678 59-64(2017)

Shiraga K., Ogawa Y., Tanaka K., Arikawa T., Yoshikawa N., Nakamura M., Ajito K., Tajima T.: “Coexistence of komotropic and chaotropic impacts of urea on water as revealed by terahertz spectroscopy”, *The Journal of Physical Chemistry B*, 122 1268-1277(2018)

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

白神慧一郎, 小川雄一: “広帯域テラヘルツ分光を用いた細胞内水の評価”, 平成29年度日本分光学会年次講演会シンポジウム「テラヘルツ分光技術の最先端応用」, 早稲田, 5月 (2017)

白神慧一郎, 小川雄一, 中村昌人, 味戸克裕, 田島卓郎: “Characterization of the hydrogen-bond network of water around sucrose and trehalose investigated with broadband spectroscopy”, 第55回生物物理学会年会, 熊本, 9月 (2017)

白神慧一郎: “広帯域テラヘルツ分光を用いた親水基・疎水基と水の相互作用評価”, 第一回アクア

フォトミクス研究会, 慶應, 11月 (2017)
白神慧一郎, 小川雄一, 田中耕一郎, 有川敬, 中村
昌人, 味戸克裕: “同位体・温度効果に基づく水
の分子間伸縮振動の特性評価”, シンポジウム テ
ラヘルツ科学の最先端IV, 熱海, 12月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

白神慧一郎: “テラヘルツ分光を用いた培養細胞内
の“水”の性質評価”, 理研公開シンポジウム「観
る・測る・解く」4次元細胞計測の現状と未来,
和光, 6月 (2017)

XXIV-036 糸状菌の病原性を指標にした「獲得形質の遺伝」メカニズムの解明

The Mechanism of the Acquired Traits Inheritance in Plant Pathogenic Fungi

研究者氏名: 熊倉直祐 Kumakura, Naoyoshi

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)

生物は日々変化する環境に適応し、時にその適応した性質を次世代に伝える。この現象は「獲得形質の遺伝」としてラット・ヒト・線虫など複数の生物種で報告され、生命が持つ重要な性質であることが認識されつつあるにも関わらず、その分子メカニズムはほとんど明らかとなっていない。本研究課題では「獲得形質の遺伝」の分子メカニズム研究に適した生物として、糸状菌に着目した。作物に感染する病原性糸状菌は培地上での育成を数ヶ月続けると病原性が低下し、この性質は世代交代を経て維持される。しかしながら、病原性が低下した糸状菌であっても植物に感染させると高い病原性が回復し、その性質も数世代にわたり維持される。この現象は病原性の強弱という一世代で得た「獲得形質」が何らかのメカニズムで遺伝することを示す。このメカニズムとしてエピジェネティックな遺伝子発現制御が疑われるものの、ゲノム情報の不足によりその解析は困難であった。本研究課題ではこれまでに得てきた病原性糸状菌のゲノム情報、分子遺伝学的な解析に不可欠な形質転換技術を駆使し、病原性糸状菌の「獲得形質の遺伝」メカニズムを分子レベルで解明する。

本年度は以下の結果が得られた。

- (1) イチゴ圃場で単離された *C. fructicola* NK-21 株において、胞子の生産量が培地上での生育で低下し(弱い株)、イチゴへの接種で回復することを見出した(回復株)。
- (2) NK-21 株におけるトランスクリプトーム解析を実施し、得られたシーケンスデータについて

De novo アセンブリを行いNK-21株弱い株と回復株の遺伝子発現の変動を網羅的に解析した。

- (3) 弱い株と回復株はゲノムが同一と考えられるにも関わらず、胞子形成に関わる遺伝子や複数の転写因子の発現が大きく変動していることを見出した。
- (4) 遺伝子破壊実験に向け、モデル炭疽病菌であるウリ類炭疽病菌においてマーカーリサイクリング法を確立した。本手法により原理的には何回でも遺伝子破壊ができるようになった。本手法を *C. fructicola* に適用するための実験に着手した。

●誌上発表 Publications

(総説)

Tsuzuki M., Motomura K., Kumakura N. and Takeda, A.: “Interconnections between mRNA degradation and RDR-dependent siRNA production in mRNA turnover in plants”, *Journal of Plant Research*, 130(2), 211-226 (2017)*

Kumakura, N. and Kurihara, Y.: “Link between plant virus and RNA silencing”, *BSJ-Review*, 8B, 48-57 (2017)

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

熊倉直祐, Suthitar Singkaravanit-Ogawa, Pamela Gan, 津島綾子, 鳴坂真理, 鳴坂義弘, 高野義孝, 白須賢:

“RNA分解ドメインを持つエフェクターSRNはウリ類炭疽病菌の病原性に関与する”, 平成29年度植物病理学会大会, 岩手, 4月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Kumakura N., Singkaravanit-Ogawa S., Gan P., Tsu-

shima A., Narusaka M., Narusaka Y., Takano Y. and Shirasu K.: “A novel class of conserved effectors with ribonuclease domains is involved in virulence of phytopathogenic *Colletotrichumfungi* on plants”, The 5th International Conference on Plant-Biotic Interactions, Xiamen China, Aug. (2017)

XXIV-037

組織変形の光制御技術の開発とそれを用いた
変形の分化トリガー機能の解明

Development of a Photoactivation Technique for Tissue Deformation
and Investigation of Deformation-triggered Differentiation

研究者氏名: 高山 真美 Takayama, Mami
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)

本課題は2つの目的を有している。

- (1) 光制御技術を用いて頂端収縮を誘導するシステムを開発する。
- (2) 開発した技術を用いて頂端収縮を起こし組織変形を誘導して、変形と細胞分化の関係を解析する。

本研究では頂端収縮を起こす光制御技術として2つの方法、人工転写因子GAVPOによる遺伝子発現誘導システムとCIBN, CRY2光スイッチを用いたタンパク質局在変化を用いている。これらの技術を用いて頂端収縮を介した組織変形を誘導できれば、組織変形が細胞分化と独立して制御可能になる。これにより、発生過程において組織変形が細胞分化を引き起こすトリガーとなり得るかを検証することができる。

本年度は頂端収縮制御システムを構築するための遺伝子ベクターを作製し、MDCK細胞に導入して頂端収縮を誘導することができるかを調べた。また、GAVPOによる発現誘導システムに関してはMDCK細胞の3D培養において、頂端収縮による変形が起こるかを併せて検討した。

- (1) 頂端収縮制御システム構築のための遺伝子ベクターの作製

GAVPOによる遺伝子発現システムは、発現の有

無を蛍光顕微鏡下で観察可能にするため、蛍光タンパク質を同時に発現するシステムを構築した。システムは期待通りに作動したが、ゲノムに挿入したシステムが培養を経るうちに減退してしまい、安定して発現させることが困難であることが判明した。安定発現株を作製するためこのシステムの変更を加える、あるいは可視化せずクローン化して発現誘導を保証する方法を検討している。

CIBN, CRY2光スイッチを用いたシステムでは複数の結合パートナーの組み合わせから光依存的に適切に頂端面で結合する分子を同定し、システムを光依存的に作動させることに成功した。

- (2) 各システムの機能観察

GAVPOによる発現誘導、CRY2,CIBN光スイッチシステムいずれもMDCK細胞の2次元培養下での頂端収縮の誘導が可能であることを示唆する結果を得た。GAVPOによる発現誘導システムについてはMDCK細胞3D培養でも発現誘導を行い、頂端収縮によると考えられる形態変化が観察された。

今後は2次元、3次元両培養法でそれぞれ局所光刺激により頂端収縮が光依存的に誘導されるかについて検討し、さらに3次元培養での組織変形を誘導するための培養法や光刺激の条件検討を行う必要がある。

The functional significance of large cytoplasmic volume
in mammalian oocytes

研究者氏名: 京極 博久 Kyogoku, Hirohisa
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)

卵母細胞は体細胞に比べて染色体分配異常を起こしやすく、特に、減数第一分裂における染色体の分配異常頻度は非常に高いことが古くから指摘されている。しかし、なぜ卵母細胞において染色体の分配異常頻度が高いのかは長い間わかっていない。そこで、本研究では、卵母細胞と体細胞の最大の違いである、細胞質の体積に着目し研究を計画した。卵母細胞は一般的な体細胞よりも100倍以上大きい細胞質を持っており、これが、卵母細胞が染色体分配異常を引き起こしやすい原因でないかと考え、ライブイメージングとマイクロマニピュレーション技術を組み合わせて直接的に明らかにすることを目的とした。

本年度は、マイクロマニピュレーション技術を用いて細胞質量を半分 (Half) と2倍 (Giant) にした卵母細胞を作成し、細胞質量の変化が第一減数分裂に与える影響を主にライブセルイメージング技術を用いて解析した。

- (1) 細胞質量の異なる卵母細胞において、ライブイメージングを用いて分裂後期への進行の遅延を調べた。その結果、第一減数分裂にかかる時間は、細胞質量を小さくすると遅くなり、大きくすると早くなることが分かった。さらに、この細胞質量依存的に変化する分裂後期への進行時間は紡錘体形成チェックポイント (SAC) 効率が変化したことによるものであることが明らかとなった。SACは、分裂後期への進行時間を調整する機構の一つである。
- (2) 大きな細胞質で紡錘体チェックポイントが弱い原因の解明を行った。細胞質量依存的なSAC効率の変化が、SAC構成因子のどの分子によるものかを調べた。核膜崩壊前に核膜孔で紡錘体チェックポイント複合体 [Mitotic checkpoint complex (MCC)] が形成され、これがSAC効率に重要なことは知られている。細胞質量が変化しても、核膜上で形成されるMCCの量に変

化はないが、核膜崩壊後は核/細胞質の比が変化することにより、MCCの濃度が変化します。これにより、SACの効率は細胞質が大きいほど下がっていくことが明らかとなりました。

- (3) 卵母細胞の紡錘体のサイズがその機能に及ぼす影響の解明を行った。その結果、細胞質量を増加させると紡錘体のサイズが増加し、紡錘体の機能が低下することで赤道面に並ばない染色体 (ミスアライメント染色体) が増加することを明らかにした。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kyogoku H. and Kitajima TS.: “Large Cytoplasm Is Linked to the Error-Prone Nature of Oocytes”, *Developmental Cell*, 41 287-298(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

京極博久, 北島智也: “大きな細胞質は染色体分配の厳密性を下げる”, 新学術3領域合同若手勉強会2017, 白浜, 6月 (2017)

京極博久, 北島智也: “共焦点レーザー顕微鏡を用いたマウス卵母細胞の高解像度ライブイメージングから見えてくるもの”, 第九回・光塾, 山口, 9月 (2017)

京極博久: “卵母細胞の大きな細胞質の意義”, 2017年度生命科学系学会合同年次大会 (ConBio2017), 神戸, 12月 (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

京極博久, 北島智也: “大きな細胞質は染色体分配の厳密性を下げる”, 新学術3領域合同若手勉強会2017, 白浜, 6月 (2017)

Kyogoku H. and Kitajima TS.: “Large cytoplasm predisposes oocytes to chromosome segregation errors”, 4th World Congress of Reproductive Biology

XXIV-039

動物細胞の運命決定の変化に伴う細胞内代謝の変動の
普遍的原理の解明

Revealing Fundamental Rules of the Intracellular Metabolic
Changes During Cell Fate Change.

研究者氏名: 柳沼 秀幸 Yaginuma Hideyuki
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)

アデノシン三リン酸 (ATP) は細胞内の反応に必要な重要なエネルギー通貨である。細胞内の ATP を供給する反応には主に解糖系と酸化的リン酸化があり、どちらに依存しているかは細胞の種類や状態によって異なる。がん細胞や未分化細胞において ATP の合成に占める酸化的リン酸化の割合が低く、解糖系への依存度が高い (Warburg 効果)。Warburg 効果に代表されるような代謝変化では、まず細胞の運命決定の変化が先にあり、続いて細胞が適応した結果として代謝を解糖系に依存ようになるのだという理解が古典的にはなされてきた。しかし近年では、運命決定と代謝の区分は実際は曖昧なものであり、むしろ相互に影響しあっていることが示唆されている。そこで本研究では、我々が開発した定量的に単一細胞の測定が可能な蛍光 ATP センサー QUEEN を用いて、細胞運命の決定と代謝状態の変化の関係を明らかにする。

過去に発表した QUEEN は、25°C でのバクテリアなどにおける使用に最適化されていたが、これを動物細胞の最適温度である 37°C に最適化する作業は前年度までに完了していた。本年度は、この改良版 QUEEN を用いた代謝状態測定系の開発と検証を行った。

(1) QUEEN の動物細胞における ATP 濃度測定値は、細胞を破壊して測定するルシフェラーゼアッセイの ATP 測定結果とよく一致することを示した。動物細胞中においても、QUEEN 定量性が高いことを示すことに成功した。(2) QUEEN と代謝阻害剤

を併用し、細胞の ATP 合成に使用する経路を調べる手法の開発を行った。たとえば腎臓上皮細胞 (MDCK 細胞) の低密度培養では、酸化的リン酸化の阻害剤はほとんど効かないが解糖系の阻害剤は細胞内 ATP 濃度を大きく低下させる。このことは、この細胞がエネルギー合成のほとんどを解糖系に依存していることを表す。同様の手法で、ニューロンとグリアの ATP 合成経路の違いも可視化できることがわかった。(3) MDCK は培養時の細胞密度によって依存する経路が大きく変化することも見出した。これは分化の際の代謝変動を観察しているものと考えられる。

今後は、代謝変動の計測を別の細胞種や培養条件の系にも応用して普遍的な傾向がみられるかを解析する。また、代謝変動をもたらすメカニズムの解明を行う。

●ポスター発表 Poster Presentations
(学会)

柳沼秀幸、岡田康志：“改良型蛍光 ATP センサーを用いた細胞内代謝変化の可視化” 日本生物物理学会第 55 回年会、熊本、9 月 (2017)

Hideyuki Yaginuma, Yasushi Okada : “The development of non-FRET ratiometric ATP indicator “QUEEN-37C” and its application for single-cell metabolism analysis”, ASCB | EMBO 2017 Meeting, Dec (2017)

XXIV-040

脊椎動物甲状腺の進化的起源の解明

Evolutionary Origin of The Vertebrate Thyroid Gland

研究者氏名: 高木 互 Takagi, Wataru

受入研究室: 主任研究員研究室

倉谷形態進化研究室

(所属長 倉谷 滋)

顎口類と5億年以上前に分岐した円口類(ヤツメウナギ・ヌタウナギ)の発生過程の胚を用いて、甲状腺の進化史をたどることが本研究の目的である。これまで脊椎動物の甲状腺は、頭索類や尾索類のもつ内柱から進化したと考えられており、円口類はその中間的な状態を示す動物群だとされてきた。円口類の一種であるヤツメウナギが、その幼生期に甲状腺ではなく内柱を持ち、変態を通して内柱の一部から甲状腺が生じるからだ。しかしながら、同じ円口類に属するヌタウナギでは、甲状腺がどのように発生するのか、発生段階を追った詳細な解析は行われてこなかった。100年以上前に Charles Stockard は1つのヌタウナギ胚を用いて「ヌタウナギ甲状腺もヤツメウナギと同様、内柱のような溝状の構造物を経てから発生する」と報告している。この論文を根拠に、内柱から間接的に甲状腺を生じることが円口類に共通の形質だと信じられてきた。ただし、Stockard が用いた胚は固定状態が悪く、しばしば本来の形態を保存できていないことが指摘されていた。そこで本年度は発生中のヌタウナギ胚を用いて、甲状腺の組織学的観察を行い、正常発生を詳細に記述した。また、顎口類で甲状腺発生のマーカー遺伝

子として用いられる *nkx2-1*、*pax2/5/8*、*hhex* 遺伝子のヌタウナギ甲状腺での発現についても解析した。その結果、ヌタウナギの甲状腺は発生ステージ45の胚において、第一、第二咽頭弓の間のレベルで肥厚した内胚葉上皮として観察され、上述の3つのマーカー遺伝子を発現していた。発生が進むと甲状腺原基は腹大動脈の分岐部分と接しながら、腹側の間葉領域に落ち込んでいき、尾側方向へと伸長していた。これは顎口類の甲状腺の発生パターンと非常に類似している。さらに、いずれの発生ステージにおいても内柱様の組織構造は観察されなかった。よってこれらの結果から「顎口類と円口類の共通祖先は既に現生顎口類と同じ甲状腺の発生プログラムを獲得していた可能性が示唆された。

●口頭/ポスター発表 Oral/Poster Presentations (国内学会等)

高木 互, 菅原文昭, Pascual-Anaya Juan, 大石康博, 樋口真之輔, 倉谷 滋: “円口類研究から明らかになる脊椎動物甲状腺の進化史”, 日本動物学会, 富山, 9月 (2017)

XXIV-041

Engineering synthetic tools to aid single cell and 'omics' techniques for studying RNA localization and local translation in the context of neurological disease

Name: Callum PARR

Host Laboratory: Cell Conversion Technology Team

Center for Life Science Technologies

Laboratory Head: Jae Woo SHIN

One possible means to regulate the biogenesis, including localization of RNA is through base and sugar modifications in the RNA molecule. However, current methods to determine such 'epitranscriptomic' signatures are in their infancy and suffer three major limita-

tions: (i) over reliance on antibody enrichment which still requires very deep-sequencing (ii) inherent non-specific pull down through antibody-epitope interactions, and (iii) can only discover one particular chemical modification at a time. Additionally, using NGS

data we can only form correlative conclusions between a particular RNA modification and biological consequence on the RNA molecule. This is further complicated that many different modifications may exist on the same RNA molecule, leading to synergies, potentiation, and attenuations.

The first set of problems may be resolved through the newest generation of commercial sequencers that measure ionic current within a protein pore as a molecule passes through it. Recurrent neural networks (RNNs) can be trained to decipher from this raw signal, the sequence of standard ribonucleotides (uridine, cytidine, adenosine, and guanosine) as it passes through the pore. Modifications of standard ribonucleotides may also be hidden within this raw signal and teased out using further training sets for RNNs. The advantage is that we can measure as different modifications as we trained the base-caller to recognize. Furthermore, as it is single-molecule sensing, we can have true quantitative and stoichiometric measurements of population of RNA molecules. We will now begin to test the discovery of base-analogs, 4-thiouracil, and 5-ethynyluridine using nanopore sequencing on synthetic RNA mole-

cules versus unmodified synthetic molecules before moving to cell-based systems.

To provide causative evidence that a certain RNA modification leads to a biological consequence, new RNA-targeting CRISPR-Cas systems allow for site-specific modification when fused to functional domains such as deaminases, methylases, or demethylases. We will use this versatile system to write and erase certain RNA modifications marks in a site-specific manner with single-nucleotide resolution to decipher the functional roles of such modifications with respect to RNA localization and local translation.

Ultimately, we set out to decipher how RNA modifications alters the life-cycle of RNA molecules, such as mRNA in particular with focus in its localization within specialized cells such as neurons. We hypothesize that RNA modification can regulate the interaction to a class of proteins called RNA binding proteins. In turn, this regulated RNA localization is believed to be vital for the fine temporal and spatial control neuronal function. Therefore, dysregulation of such RNA modification may be associated with numerous neurological disease.

XXIV-042 一細胞顕微鏡イメージングとデジタルRNA シークエンシングの融合による細胞分裂と分化の連関機構の解明

A Study of the Coordination Dynamics between Cell Division and Differentiation by Combination of Imaging and Digital RNA Sequencing for Single Cells

研究者氏名: 小川 泰策 Ogawa, Taisaku
受入研究室: 生命システム研究センター
オミックス動態研究ユニット
(所属長 城口 克之)

本研究の目的は、顕微鏡イメージングにより単一細胞の分裂・分化状態を同時同定し、画像記録した単一細胞内の全遺伝子発現をデジタルRNA シークエンシングにより網羅的に調べる手法を開発することで、細胞分裂と分化の連関機構を探ることである。解析対象として、表面マーカーによって詳細な分化スキームが決められている造血系の細胞を用いることにした。分化をコントロールできる造血前駆細胞のセルラインを使って、造血細胞の分裂・分化にかかわる遺伝子発現変動を解析する。

本年度は主に実験プラットフォームの構築に取り組んだ。

(1) 半自動一細胞ピックアップシステムの開発

顕微鏡イメージングした瞬間の単一細胞内の全遺伝子発現を調べるため、顕微鏡下で観察中の単一細胞を高速にマイクロウェルに分注できるシステムを構築した。また、全自動シークエンスライブラリー作製システムを組み上げたことで、分注された単一細胞からハイスループットにシークエンスライブラリーを作製できるようにした。これにより、単一細

胞の顕微鏡画像とその瞬間の全遺伝子発現データを結び付けることに成功した。実際に、分化マーカーの有無と全遺伝子発現状態の相関が得られた。

(2) 分子バーコードによる核酸分子の高精度デジタル計測法の開発

次世代シーケンサーによる分子バーコードを用いた核酸分子のデジタル計測法は、すでに多くのグループに利用されているが、その精度はこれまで詳細に解析されていなかった。特に、PCR増幅によるエラーやシーケンスエラーが分子バーコードの計測に大きく影響するため、それらのエラーを除去する必要があった。そこで本年度、新たに分子バーコードをデザインし、バーコードの計測法を改良することで、1万個以上の核酸分子を正確にデジタル計測できる手法を開発した (Ogawa T. et al, Sci Rep 2017)。今回開発した手法により、現在次世代シーケンサーの利用者の間で問題とされている、複数の試料由来のシーケンス結果が混ざってしまう問題を解決できることを示した。

(3) 顕微鏡イメージングによる細胞の分化状態の同定

2つの分化状態の細胞を、分化マーカーによらない顕微鏡画像から予測できるかを調べるため、2状態の細胞の核画像、および明視野画像をそれぞれ数万個ずつ取得し、2状態を画像から判別できるような機械学習のモデルを組んだ。試行錯誤を重ねて学習モデルを組むことで、核画像、および明視野画像から約90%の成功率で2つ分化状態を推定すること

に成功した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ogawa, T., Kryukov, K., Imanishi, T. and Shiroguchi, K.: “The efficacy and further functional advantages of random-base molecular barcodes for absolute and digital quantification of nucleic acid molecules” *Sci. Rep.* 7, 13576 (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

Ogawa, T., Kryukov, K., Ikawa, T., Imanishi, T. and Shiroguchi, K.: “Digital and absolute quantification of nucleic acid molecules using random-base molecular barcodes and their further functional advantages”, The 40th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Kobe, Japan, Dec. (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

Ogawa, T., Kryukov, K., Ikawa, T., Imanishi, T. and Shiroguchi, K.: “Digital and absolute quantification of nucleic acid molecules using random-base molecular barcodes and their further functional advantages”, The 40th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Kobe, Japan, Dec. (2017)

XXIV-043 単一細胞DNA複製タイミング解析によるマウス胚発生初期の三次元ゲノム構造の推定

Prediction of the 3D Genome Organization During Early Mouse Embryogenesis by Single-Cell Replication Timing Profiling

研究者氏名: 高橋 沙央里 Takahashi, Saori
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
発生エピジェネティクス研究チーム
(所属長 平谷 伊智朗)

マウスの初期胚発生過程においては、核内の三次元ゲノム構造が大きく変化する。三次元ゲノム構造はHi-C法によるゲノムワイド解析で、A (ユークロマチン区画) またはB (ヘテロクロマチン区画) コンパートメントに分類できる。しかし現在までにHi-C法によるコンパートメント解析が単一細胞で

できた報告例はない。一方で我々は、DNA複製タイミング解析の結果がHi-C法のA/Bコンパートメント分布と極めて似ていることを見出した。これは、DNA複製タイミング解析によってHi-Cの核内コンパートメント分布が推定可能なことを意味する。そこで、本研究では単一細胞レベルのゲノムワイド

DNA複製タイミング解析の実験系を確立し、着床前後マウス胚の単一細胞解析を行い、核内コンパートメント分布を推定することを目的とした。そして、初期胚での細胞間の均一性・不均一性や、分化に伴う細胞系譜特異的な変化を核内コンパートメント分布の観点から明らかにする。

本年度はまず、マウスES細胞を用いて単一細胞ゲノムワイドDNA複製タイミング解析scRepli-seq (single-cell DNA replication sequencing method) の確立を行った。フローサイトメーターを用いて複製中期 (Mid S) 細胞を回収しDNAコピー数を解析すると、コピー数が2倍のS期前半 (Early S) 複製領域と、コピー数が1倍のS期後半 (Late S) 複製領域を、単一細胞で同定することができた。驚くべきことに、複数の単一細胞でscRepli-seqを行った結果、DNA複製プロファイルは細胞間で極めて均一であることが観察された。この結果から、細胞の核内コンパートメントも細胞間で安定に保存されている可能性が示唆された。次に、我々は細胞分化に伴う複製タイミング変化が単一細胞でも検出可能かを調べるために、マウスES細胞の分化前後の細胞を用いscRepli-seqを行った。その結果、分化前後で複製タイミングが変化することが細胞集団レベルで示されている領域については、単一細胞レベルでもその変化が検出できた。また、haplotype-resolved scRepli-seqを行うことで、雌ES細胞分化に伴う不活性X染色体のLate S複製への変化も観察できた。今後はこのscRepli-seqを初期胚での解析に応用したいと考えている。

XXIV-044

近交系マウスの表現型および遺伝子型解析を用いた 能動的低代謝メカニズムの解明

Discovering of the Mechanism of Active Hypometabolism Through Genetic and Phenotypic Analysis of Inbred Mouse Strains

本研究は哺乳類の有する能動的低代謝能 (冬眠や休眠) を臨床応用することを目指し、マウスの休眠現象をモデルとして、低代謝の原理を明らかにしようとしている。このため、①個体の高速かつ簡便な

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takahashi S.#, Miura H.#, Shibata T.#, Nagao K., Okumura K., Ogata M., Obuse C., Takebayashi S-i. and Hiratani I.: “Genome-wide stability of the DNA replication program in single mammalian cells”, bioRxiv, doi: <https://doi.org/10.1101/237628> (2017) (#These authors contributed equally to this work)

(総説)

Takahashi S., Kobayashi S. and Hiratani I.: “Epigenetic differences between naïve and primed pluripotent stem cells”, Cellular and Molecular Life Sciences, doi: 10.1007/s00018-017-2703-x (2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

Takahashi S., Shibata T., Miura H., Nagao K., Obuse C., Takebayashi S-i. and Hiratani I.: “Prediction of the 3D genome organization by single-cell replication timing profiling”, 第11回日本エピジェネティクス研究会年会, 東京, 5月 (2017) selected

●ポスター発表 Poster Presentations

Takahashi S., Shibata T., Miura H., Nagao K., Obuse C., Takebayashi S-i. and Hiratani I.: “Prediction of the 3D genome organization by single-cell replication timing profiling”, 第11回日本エピジェネティクス研究会年会, 東京, 5月 (2017)

研究者氏名: 砂川 玄志郎 Sunagawa, Genshiro
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
網膜再生医療研究開発プロジェクト
(所属長 高橋 政代)

代謝表現型解析を開発し②休眠表現型の異なる近交系を交配させた個体の表現型と遺伝子型の関連性をみることで低代謝関連遺伝子を同定することを計画している。本年度は、計測環境を整備し、複数のマ

ウスの休眠中の呼吸パターンを非侵襲に計測することに成功した。来年度は、呼吸パターンから酸素消費量を推定するアルゴリズムを開発する。近交系の休眠解析については、C57BL/6JとC57BL/6Nを交配した個体の休眠表現型を評価し、さらにB6以外の近交系の休眠表現型の計測を開始し、B6とは異なる休眠表現型を呈するマウス近交系を複数同定した。さらに、同プロジェクトで提案したアプローチにとどまらず、マウスの細胞培養を用いた低代謝因子の検索や休眠マウスの脳機能的MRI解析のプロジェクトを開始しており、来年度も多角的に能動的低代謝の原理に迫っていききたい。

●口頭発表 Oral Presentations

Genshiro A. Sunagawa, Masayo Takahashi., : “Active hypometabolism in inbred mice as a model of suppressed homeostasis of body temperature.”, CDB Symposium 2018, Kobe, Japan., 2018年3月

Genshiro A. Sunagawa: “Toward clinical application of hibernation: daily torpor in mice as a model of active hypometabolism.”, The 32nd Shimane Anesthesiology Meeting, Shimane, Japan., 2017年12月

Genshiro A. Sunagawa, Masayo Takahashi., : “Human-free cell culture automation via AI-driven robots.”, The 5th RAP Symposium, Sendai, Japan., 2017年11

月

Genshiro A. Sunagawa: “Daily torpor in inbred mice: from organism to cells.”, The 1st Workshop of Hibernation and Torpor Research, Shizuoka, Japan., 2017年7月

Genshiro A. Sunagawa, Masayo Takahashi.: “Toward clinical application of hibernation: daily torpor in mice as a model of active hypometabolism.”, The 20th meeting of the Japanese Association of Brain Hypothermia and Temperature Management, Kumamoto, Japan., 2017年7月

●ポスター発表 Poster Presentations

Genshiro A. Sunagawa, Masayo Takahashi.: “Understanding the mechanism of hypometabolism from daily torpor in inbred mice”, The 95th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Takamatsu, Japan., 2018年3月

Genshiro A. Sunagawa, Masayo Takahashi.: “Toward clinical application of hibernation for tissue/organ preservation: understanding the mechanism of hypometabolism from daily torpor in inbred mice.”, The 17th Congress of the Japanese Society for Regenerative Medicine, Yokohama, Japan., 2018年3月

XXIV-045 Mechanochemical Studies of Epithelial Sheet Folding Induced by Cell-Cell Junction Remodeling

Name: Fu-Lai WEN

Host Laboratory: Laboratory for Physical Biology

Quantitative Biology Center

Laboratory Head: Tatsuo SHIBATA

Epithelial tissue consisting of inter-connected polarized cells is one of the key animal tissues, which covers body surfaces and lines internal organs and cavities. The epithelial cell polarity (asymmetry) endows epithelial tissues with distinct biochemical and mechanical properties along the apical, basal, and lateral sides of cells. Hence, polarized epithelial tissues are capable of sensing and responding to stimuli arising at different sides of the cells for proper execution of tissue functions. Although it was recognized that such intracellu-

lar polarity (asymmetry) is crucial for endowing epithelial tissues with normal morphology and bio-functions, the mechanism by which epithelial cell polarity regulates cell and tissue behaviors is poorly understood. To address this issue, in the present study we investigate the physical mechanisms underlying a novel tissue folding that requires remodeling of epithelial cell polarity. Specifically, we aim to understand how the interplay between mechanical forces that deform cells and epithelial cell polarity that regulate forc-

es collectively sculpt the tissue morphology. To this end, we first identify the mechanical conditions for shaping epithelial tissues, and then explore how the mechanical conditions are regulated by intracellular epithelial polarity. We recently develop a mathematical model for the morphological changes of a cross section of monolayered epithelial tissues. We showed that in the absence of external forces, epithelial tissues can spontaneously undergo folding when the mechanical properties (e.g. elasticity and tension) at the apical, basal, or lateral sides of tissues are modulated. We are now extending this model by considering how cell mechanical properties are modulated by remodeling of epithelial cell polarity. Taken together, both mechanical and bio-chemical perspectives revealed in our study will comprehend our understanding of epithelial tissue morphogenesis regulated by intracellular epithelial polarity. Since remodeling of epithelial cell polarity is fundamental to many biological processes including pathological conditions such as wound healing and tumor metastasis, our research could provide crucial insights into epithelial polarity-regulated cellular behaviors in diverse systems.

● Publication

Original Paper

- [1] Wen F. L., Wang Y. C. and Shibata T.: Epithelial sheet folding induced by apical or basal-lateral modulation: geometrical features, mechanical inference, and boundary effects. *Biophys. J.*, 2017, 112(12):2683-2695, published*

● Oral Presentations

Domestic Conference

- [1] Wen F. L., Wang Y. C. and Shibata T.: Modeling autonomous folding of epithelial sheets, 50th Annual Meeting of the Japanese Society of Developmental Biology, Tokyo, Japan, May 2017.
 [2] Wen F. L., Wang Y. C. and Shibata T.: Physical mechanisms of epithelial morphogenesis, RIKEN Symposium: Behavior and Logic of Cellular Systems IX, Wako, Japan, April 2017.

● Poster Presentations

International Conference

- [1] Wen F. L., Wang Y. C. and Shibata T.: Autonomous epithelial folding driven by mechanical modulations, EMBL Symposium: Mechanical Forces in Biology, Heidelberg, Germany, July 2017.

XXIV-046

Deciphering a Hypothalamo-hippocampal Circuit in Goal-directed Spatial Navigation

Name: Shuo CHEN

Host Laboratory: Laboratory for Circuit and Behavioral Physiology
 Brain Science Institute
 Laboratory Head: Thomas MCHUGH

Decision-making during goal-directed navigation is a highly evolved behavior requiring a coordination of perception, learning and memory, and planning. In the past year, by using an array of circuit interrogation techniques including viral tracing and optogenetics, I have successfully identified a crucial role of the neural circuit from hypothalamic supramammillary nucleus (SuM) to hippocampal dentate gyrus (DG) in mice performing a T-maze delayed non-match to sample task. This progress has filled the gap on a wide circuit map

that bridge to the hippocampus for making decisions during spatial navigation. At first, I performed brain-wide 3D mapping of SuM efferents by taking advantage of a SuM-Cre transgenic mouse line that allows specific expression of fluorescent proteins at SuM. After brain tissue clearing, high-resolution 3D reconstruction of an atlas of SuM efferents was achieved, indicating strong projections from SuM to hippocampal DG. Next, I employed targeted optogenetics to test the function of SuM-DG circuit in goal-directed navigation.

Cre-dependent channelrhodopsin-2 (ChR2) or archaerhodopsin (ArchT)-expressing adeno-associated virus (AAV) was injected to SuM. For the ChR2-transfected mice, application of 488 nm laser at DG terminals showed no effect on the task performance. However, when 532 nm laser was applied to the ArchT-transfected mice, I found a dramatic decline of the T-maze performance, indicating that inhibition of the SuM-DG circuit significantly impaired the animal's spatial working memory during goal-directed navigation. Finally, to obtain an anatomical insight into the distinctive functions of the SuM-DG circuit, I performed immunohistochemistry (IHC) to map task-dependent cFOS expression in the SuM and examined overlapping between cFOS immunoreactive cells and Cre-dependent YFP expression. Extensive overlapping was found at the lateral SuM in animals that performed the goal-directed navigation task. Considering that SuM neurons projecting to hippocampal DG are mainly located laterally, this result is in good agreement with the finding that the SuM-DG circuit supports spatial working memory.

● Publications

Paper

Chen S., Weitemier A.Z., Zeng X., He L.M., Wang X.Y., Tao Y.Q., Huang A.J.Y., Hashimoto Y., Kano M., Iwasaki H., Parajuli K.L., Okabe S., Loong Teh D.B., All A.H., Tsutsui-Kimura I., Tanaka K.F., Liu X. and McHugh T.J.: Near-infrared deep brain stimulation via upconversion nanoparticle-mediated optogenetics. *Science*. in print*

● Oral Presentations

Conference

Chen S.: "Near-infrared optogenetics enabled by upconversion nanoparticles" HHMI Janelia From Light to Sound Frontiers in Deep Tissue Imaging, Ashburn USA 2017, June 4-7.

● Poster Presentations

Conference

Chen S.: "Near-infrared deep brain stimulation via upconversion nanoparticle-mediated optogenetics" Gordon Research Conference Photosensory Receptors and Signal Transduction, Lucca Italy 2018, March 4-9.

XXIV-047 新規スフィンゴ脂質の代謝機構および精神疾患メカニズムとの関連解明 Biochemical Dissection of Novel Sphingolipids in the Pathophysiology of Psychiatric Illnesses

研究者氏名: 江崎 加代子 Esaki, Kayoko
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)

統合失調症は、複数の遺伝的要因や環境要因により発症すると考えられており、近年複数の臨床研究よりスフィンゴ脂質が疾患病理に関連する因子として報告されている。我々はスフィンゴ脂質が精神疾患の発症・進行などの病態に関与するメカニズムを明らかにし、精神疾患の治療および予防に向けた臨床応用のための知見を得ることを目指している。本年度は、統合失調症患者死後脳を用いてスフィンゴ脂質の分析を行い、スフィンゴ脂質代謝関連遺伝子について解析を行った。主な結果は以下の通りであ

る。

- (1) 統合失調症患者群およびその対照群の死後脳の脳梁（白質）と Brodmann area 8（灰白質）についてそれぞれ15例ずつ脂質分析を行ったところ、脳梁で有意に一部のスフィンゴ脂質含量が低下していた。
- (2) 死後脳のスフィンゴ脂質含量と患者の各種交絡因子に相関は見られなかった。また、向精神薬クロザピンを投与したマウスの脳梁および前頭葉ではスフィンゴ脂質含量の変化が見ら

れなかったことから、患者死後脳のスフィンゴ脂質含量低下は向精神病薬の影響ではないことが示唆された。

- (3) 患者および対照群の死後脳についてスフィンゴ脂質代謝酵素の遺伝子発現を解析したところ、脳梁において有意な発現変化が見られた。
- (4) スフィンゴ脂質受容体の一部のサブタイプについて、患者群の脳梁において有意な遺伝子発現

上昇が見られた。

●ポスター発表 Poster Presentations

(国内学会)

江崎加代子, 島本知英, 岩山佳美, 平林義雄, Brian Dean, 吉川武男: “統合失調症死後脳を用いた脂質代謝解析”, 第13回日本統合失調症学会理研, 徳島, 3月 (2018)

XXIV-048 Identification of disease-protective loss-of-function (LoF) variants for drug development - a novel reverse genetics approach based on 200,000 Japanese individuals

Name: Xiaoxi LIU

Host Laboratory: Laboratory for Genotyping Development

Center for Integrative Medical Sciences

Laboratory Head: Yukihide MOMOZAWA

Loss-of-function (LoF) variants, including nonsense mutations, frameshift insertions/deletions (indels), and splicing-site variants, are capable of disrupting the protein sequence and structure. Although LoF variants are well known as causes of various rare mendelian diseases, their distribution and roles in healthy individuals as well as in patients of common complex diseases are largely neglected. A recent study estimated that human genomes typically contain approximate 100 genuine LoF variants with ~20 genes completely inactivated (MacArthur et al. Science 2012), which indicated that there is an unappreciated role of LoF in the human health. However, it remains unknown how individuals with causal LoF variants are protected against the diseases and whether those LoF variants also confer the risk of common diseases.

Despite it is generally believed that the LoF variants have damaging impacts and are harmful for human health, several studies shown there is an opposite scenario in which LoF variants may actually protect against diseases including HIV, type 2 diabetes (T2DM), and Alzheimer disease. In realizing such genes could be novel drug targets, these discoveries enable an alternative approach for the drug development by designing and utilizing chemicals or antibodies that disable or inhibit those candidate genes which inacti-

vated by LoF variants. However, it is yet unknown how many protective LoF variants exist in the human genome and whether they are population specific or not.

To address above questions, in this study, we are carrying out a large-scale genetic study to comprehensively identify and annotate LoF variants, and to examine their effects on various health conditions including 47 different common diseases in 200,000 Japanese individuals. We designed a hybrid approach by combining the whole-genome sequencing technology (WGS), deep target-resequencing, and computational method including imputation and association statistical analysis. With this study, we expect not only to gain an unprecedented insight into the genotype-phenotype relationship but also to identify LoF variants that either cause or protect against common diseases - which may server as targets of novel therapeutic agents.

Our research design includes three main steps.

- (1) Creation of a high-resolution and population-specific LoF variation map
- (2) High accuracy Imputation for 200,000 individuals and statistical analysis to determine protective LoF
- (3) We will carry out statistical analysis to identify protective LoF variants that are associated with the common diseases based on the case-control study design.

The overview of the research plan is shown as in the following figure

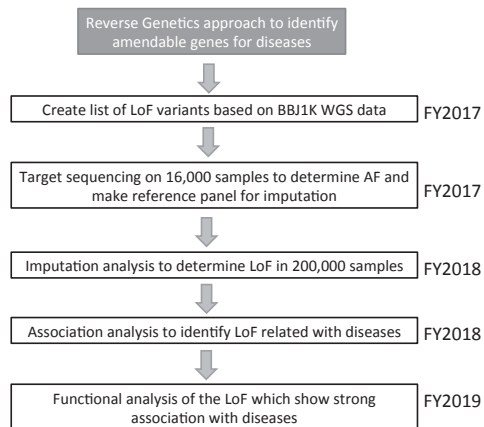


Figure 1. Outline of the study design and schedule

We have finished the step 1-2 in the FY2017 as outlined in the plan. We performed the variant annotation for variants in 1037 whole-genome sequencing data and we curated a list of loss-of-function of 8599 variants which are highly reliable. We found on average each individual carries 30 LoF variants.

By statistical power analysis, we found the LoF with allele frequency ≥ 0.005 is suitable for association analysis given the current sample size of the BioBank Japan cohort. Furthermore, We performed the target-sequencing of the LoFs with AF ≥ 0.005 ($n = 1,538$) on 16,000 samples to create the imputation reference panel and the experiments were done.

XXIV-049 Impacts of hierarchical visual processing on decision making: investigation with projection-specific optogenetic manipulation

Name: Tadashi Tsubota

Host Laboratory: Laboratory for Neural Circuit and Behavior
Brain Science Institute

Laboratory Head: Andrea Benucci

The main purpose of this research is to identify differential roles of lower- and higher-order visual areas on decision making based on visual information in mice. For this purpose, complex decision-making tasks are necessary to be trained for mice. However, it was difficult to obtain trained mice (learners) with a high yield ($> 50\%$) and a short training duration (< 1 month) with manual trainings by experimenters. Therefore, an automated platform for behavioral trainings of decision-making tasks was developed (Publications #1). This platform increased the yield of learners ($\sim 67\%$) and dramatically (~ 10 fold) reduced training durations. During FY2017, 12 mice have learned the complex orientation discrimination task. Two-photon calcium imaging of hundreds of neurons spanned across lower- and higher-order visual areas is currently being performed using some of these learners. This experiment can reveal time courses of choice probability development in different visual areas. Therefore, along with future experiments with optogenetic perturbations, it will reveal differential contributions of those

areas on decision making.

To attain the purpose of the study, it is also necessary to develop a method for selective optogenetic perturbations of functionally identified neurons. Two different techniques have been tested during FY2017: one using neuronal activity-dependent promoters (eSARE, Ca-Flare, etc.) and the other using patterned-light illumination with a digital micro-mirror device. During optimization of the latter technique, it was found that pairing of patterned optogenetic stimulations can reorganize functional connectivity among visual cortical neurons in vivo. More specifically, paired optogenetic stimulations of a single orientation-tuned neuron and surrounding neuronal populations in the layer 2/3 of the primary visual cortex can change orientation representation of surrounding populations in a manner dependent on functional preference of the single neuron. This finding itself is novel and quite important for advancing our understandings of functional specificity and plasticity of in-vivo cortical recurrent connectivity. The finding was presented in international conferences

(Publications #3 and #4) and has been submitted to a journal (Publications #2) during FY2017. Therefore, the research project is developing multilaterally beyond the initial expectation.

● Publications

Original Papers

1. Aoki R¹, Tsubota T¹, and Benucci A.: “An automated platform for high-throughput mouse behavior and physiology with voluntary head-fixation”, *Nature Communications* 8: 1196 (2017)*

(¹Double first authors)

2. Tsubota T., Frandi E., Benucci A.: “Sensory representation plasticity driven by single neurons in the

mouse cortex”, Submitted*

● Poster Presentations

International Conferences

3. Tsubota T., Frandi E., Benucci A.: “Plasticity for stimulus selectivity in the visual cortex of adult mice induced by patterned optogenetic stimulation”, Soc. for Neurosci. 47th annual meeting, Washington DC, USA, November (2017)

4. Tsubota T., Frandi E., Benucci A.: “Plasticity of functional representation in visual cortical neurons of adult mice induced by patterned optogenetic stimulation”, The Japan Neurosci. Soc. 40th meeting, Chiba, Japan, July (2017)

XXIV-050

仮想空間を用いたゼブラフィッシュ成魚終脳における 意思決定機構の解明

研究課題英名: Elucidation of Decision Making Mechanism in the Telencephalon of Adult Zebrafish using Virtual Reality

研究者氏名: 鳥越 万紀夫 Torigoe, Makio
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)

本研究の目的はゼブラフィッシュ成魚終脳において意思決定過程がどのような神経活動によって表現されているのかを明らかにすることである。

生物にとってその状況に応じた適切な行動をとる、いわゆる意思決定は生存に不可欠である。これまでの研究から意思決定には皮質-基底核回路とそれに作用する海馬、扁桃体が重要な役割を果たしていると考えられており、それぞれの領域で情報は特定の神経細胞群の活動（神経アンサンブル）によって表現されている。しかしながらその実態は未だ直接的に捉えられておらず不明である。

本研究では意思決定に寄与する神経回路を終脳に持ち、その脳領域全てのイメージングが容易であるゼブラフィッシュ成魚をモデル動物とした。また意思決定過程における神経細胞活動を捉えるため仮想空間-2光子顕微鏡イメージングシステムを構築することで意思決定過程がどのような神経アンサンブルによって表現され、それぞれのアンサンブルがどのような役割を果たしているのかを明らかにする。

本年度は昨年度までに確立した仮想空間-2光子Ca²⁺イメージングシステムを用い、仮想空間において色を指標にしたGO/NOGO嫌悪学習を行っている魚の終脳の神経活動を観察・解析した。GO課題では手前が青、向こう側に赤が提示され、NOGO課題ではその逆の色パターンが提示される。GO課題では赤に逃げなければならず、NOGO課題では赤に留まらなければならない。この条件を満たさなかった場合は電気ショックを与える。魚がこのルールを学習した後、魚の行動を仮想空間に反映しない条件に変更し、学習した魚が描く予測とは異なる環境を作り出した。その結果、1、ゴールである色の変わり目に強く活動するアンサンブル、2、GO課題の青領域において景色が後ろに流れると活動が抑制されるアンサンブル、3、GO課題の青では活動しゴールである赤領域に到達すると活動が抑制されるアンサンブル、4、ゴールに到達することで活動するアンサンブルを同定した。2、3のアンサンブルはGO課題を成功するために結果的に抑制されな

ければならない。非常に興味深いことにこの現象は自由エネルギー理論で提唱されている；描く予測に対する誤差を減らすように行動するという active inferenceにおける予測誤差と一致する。自由エネルギー原理は人の研究において導入された理論であり、申請者の今年度の結果と考え合わせると魚の脳においても人と同様の意思決定機構が働いている可能性も示唆している。

●口頭発表 Oral Presentations

Makio Torigoe, Islam Tanvir, Hisaya Kakinuma, Hideaki Shimazaki, Chi Chung Alan Fung, Tazu Aoki, Tomoki Fukai, Hitoshi Okamoto: “*In-vivo* imaging of telencephalic neural activities in adult zebrafish performing decision making task in the closed-loop virtual reality environment”, The 40th Annual Meeting of The Japan Neuroscience Society, Chiba, Japan, Jul. (2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

Makio Torigoe, Islam Tanvir, Hisaya Kakinuma, Hideaki Shimazaki, Chi Chung Alan Fung, Tazu Aoki, Tomoki Fukai, Hitoshi Okamoto: “*In-vivo* imaging of telencephalic neural activities in adult zebrafish during decision making task in the closed-loop virtual reality environment”, 次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム2017, Tokyo, Japan, Dec. (2017)

Makio Torigoe, Islam Tanvir, Hisaya Kakinuma, Hideaki Shimazaki, Chi Chung Alan Fung, Tazu Aoki, Tomoki Fukai, Hitoshi Okamoto: “*In-vivo* imaging of telencephalic neural activities in adult zebrafish performing decision making task in the closed-loop virtual reality environment”, 44th Naito conference, Hokkaido, Japan, Oct.(2017)

XXIV-051 Reversing the Chromatin Defects in An Adult Circuit to Rescue An Autism Syndrome Model in *Drosophila*.

Name: Yun Jin PAI

Host Laboratory: Laboratory for Genetic Control of
Neuronal Architecture
Brain Science Institute
Laboratory Head: Adrian MOORE

Autism spectrum disorders (ASDs) are characterized by cognitive deficiencies and impairments in social interactions. They are considered neurodevelopmental disorders, with cognitive deficits occurring due to the disruption of neurodevelopmental programs. In ASD animal models with mutations in chromatin regulators, learning deficits can be rescued at adult stages by reversing the loss of chromatin regulation. I intend to understand the mechanisms underlying the cognitive defects in *Drosophila* ASD models and how adult-stage rescue is achieved in this model. As ASD symptoms remain predominantly untreatable, complicated by their relatively late onset, findings from this work may contribute to development of therapeutic interventions to reverse the symptoms in adolescents and adults.

In order to assess cognitive and behavioural pheno-

types in the fly, I began by establishing a social space assay utilizing a two-dimensional triangular chamber design [adapted from McNeil et al (2015) J. Vis. Exp. (105), e53242] that allowed for quantification of nearest neighbour distances and positional tracking over a period of time. The assay successfully showed increased nearest neighbour distances and decreased centrophobism in *Drosophila white* mutants (previously reported to have defects in vision, serotonin and dopamine production, and courtship conditioning) when compared to Oregon wild type flies. I conducted a preliminary screen of RNAi knockdown lines of select genes associated with chromatin modification and a pan-neuronal driver and found that, contrary to expectation, nearest neighbour distance was reduced in two of the candidates screened: *Chro* and *Trl*.

Defects in dendritic morphology have been reported in *Drosophila* models of neurological disorders including syndromic autism models such as Fragile X. Using drivers specific for class IV dendrite arborisation (da) neurons, I found defects in dendrite morphology in *Chro* knockdown animals as well as in knockdown of other genes involved in chromatin organisation, transcriptional control, and housekeeping, such as *Sens2*, *Cct5*, and *Tcp1*. The complex morphology of class IV neurons is regulated by the transcription factor *Knot*. When *Knot* is overexpressed in morphologically simple class I neurons using a UAS transgene construct, an

overbranching phenotype is observed. Knocking down *Chro*, *Cct5*, and *Tcp1* in the presence of UAS-*Knot* was able to partially rescue the overbranching phenotype, suggesting an involvement of those genes in transcriptional regulation and dendrite morphology.

● Oral Presentations

Conferences

Pai Y.J. “Reversing the Chromatin Defects in An Adult Circuit to Rescue An Autism Syndrome Model in *Drosophila*.”, OIST Developmental Neurobiology Course 2017, Okinawa, July 23 – August 7 (2017).

XXIV-052 磁気共鳴画像法を用いた大脳皮質-基底核新経路の存在証明と 大脳基底核概念の再構築

Verification of the new cortico-basal ganglia pathway and reconstruction of the concept of the basal ganglia functions by Magnetic Resonance Imaging

研究者氏名: 吉田 篤司 Yoshida, Atsushi
受入研究室: ライフサイエンス技術基盤センター
機能構築イメージングチーム
(所属長 林 拓也)

自らの意志で行動を開始するとき、脳は視覚などの外的情報や記憶などの内的情報を統合的に処理し、適切な運動とタイミングを選択している。こうした随意運動の制御には大脳基底核が重要な役割を果たしている。その一方で、大脳基底核の入力部である線条体はドーパミン細胞からの投射を強く受け、強化学習に関与することが知られている。これらの機能を発現する回路として、直接路、間接路、ハイパー直接路という3つの経路による概念が提唱され、この概念は大脳基底核の機能をうまく説明できることから広く受け入れられてきた。しかしながら、近年ではこれに矛盾する結果も報告されている。また、随意性運動制御と強化学習といった異なる機能が大脳基底核の各経路でどのように処理されているかは未だ明らかではない。研究者は先行研究にて課題遂行中のサル淡蒼球外節から神経活動記録を行い、3つの経路とは別に、第4の経路として「ハイパー間接路」が存在する可能性を報告した。本研究ではマカクサルとヒトを対象とした磁気共鳴画像法(以下MRI)により新経路の存在を検証し、随意性運動制御と強化学習という異なる機能に対する各経

路の関与を明確にすることで、大脳基底核機能の概念の再構築を行う。

マカクサルを被験体とした実験では覚醒状態でMRI撮像を行うために外科的手術により頭部に固定器具を装着し、MRI内でのトレーニングを行った。まずは課題を用いずに安静時機能的MRIの撮像を行ったが、体動によるデータの劣化があるために現在は体動の抑制を試みている。

ヒトを被験体とする実験ではMRI撮像中に提示する視覚刺激課題のプログラムを生成した。この課題は2つのセッションで構成され、一つのセッションでは、複数の視覚刺激を用意し、提示される視覚刺激とどの運動(ボタン押し)を行うべきかのルールは事前には明示されないため被験者は試行錯誤により視覚刺激と選択すべき行動の連合学習を行う必要がある。次のセッションでは事前にルールを明示して課題を行うため、連合学習は必要としない。現在は視覚刺激プログラムの微調整を行い、今年度末から来年度にかけて被験者を募集し、MRI撮像を行っていく。

XXIV-053 Neural basis of odor-taste multisensory integration in *Drosophila*

Name : Hongping WEI

Host Laboratory : Laboratory for Circuit Mechanisms of
Sensory Perception
Brain Science Institute
Laboratory Head : Hokto KAZAMA

We perceive the world with multiple sensory systems of various modalities. Information obtained through these systems is integrated in our brain for us to form perception and to make action selection. However, because of the complexity of the human brain, how multisensory inputs are integrated in the brain at cellular and circuit levels remains poorly understood. The aim of my study is to investigate how information about taste and odor is integrated in the brain to guide feeding behavior in *Drosophila*. When sucrose solution, a taste stimulus, is presented to the taste neurons on the legs or a mouth, a fly will extend its mouthpart, the proboscis, and try to drink. This feeding behavior is called proboscis extension reflex, or PER. In my preliminary data, I found that besides tastants, odors alone can also evoke PER, which indicates that PER is a multisensory behavior.

In this work, I will try to identify and functionally characterize multisensory neurons and circuits that are

involved in PER. I started to record neural activity in gustatory receptor neurons (GRNs) with calcium imaging using two-photon microscopy since last August. The progress includes:

- 1) Genetically encoded calcium indicator GCaMP6s was expressed in different subtypes of GRNs using Gal4/UAS binary expression system. And GCaMP6s expression was confirmed by immunohistochemistry.
- 2) I developed a preparation, which is suitable for GRN recording and successfully recorded sucrose-induced calcium increases in the sugar sensing GRNs.
- 3) I examined GRN responses to odorants and found that GRNs are activated by several food-related odorants, including both attractive and aversive ones. The activity of sugar-sensing, bitter-sensing, and low salt-sensing GRNs has been recorded, and I found that they show different odor tuning properties. I am currently in the process of data analysis.

XXIV-054

新規アルツハイマー病関連因子CAPONによる 神経変性分子メカニズムの解明

Elucidation of molecular mechanism of CAPON induced neurodegeneration in Alzheimer's disease

研究者氏名: 橋本 翔子 Hashimoto, Shoko
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)

ADの病理進行メカニズムとして、 $\text{A}\beta$ アミロイド前駆体タンパク質 (APP) から切り出されてできる $\text{A}\beta$ の凝集・沈着 (老人斑) が引き金となり、過剰リン酸化 Tau の凝集からなる神経原線維変化の形成、大脳皮質・海馬における神経細胞死が起こる—というアミロイドカスケード仮説が提唱されている。しかし、アミロイド病理から Tau 病理、Tau 病

理から神経細胞死へ至る分子機序は未だに不明である。実際、受入研究室で作製されたアミロイド病理のみを誘発する AD モデルマウスである APP-ノックイン (KI) マウスにおいても、Tau 病理や神経細胞死はほとんど認められない。その理由として、 $\text{A}\beta$ 、Tau とは別に、病理進行に重要な未知の因子が存在することを考え、その重要因子候補として、

Tau結合タンパク質の探索を行った。その結果、CAPON (carboxyl-terminal PDZ ligand of neuronal nitric oxide synthase protein)を同定した。CAPONは、nNOS (neuronal nitric oxide synthase) のアダプタータンパク質として知られており、NMDA受容体の過剰活性化を介した興奮毒性に関わると考えられている。興奮毒性による神経細胞の傷害は、ADの症状に強く起因する事象である。これまでに、ADにおけるCAPONの機能を明らかにするため、アデノ随伴ウイルスを用いてAPP-KIマウスの脳にCAPON遺伝子を導入・過剰発現させ、脳の病理を解析した。その結果、CAPON過剰発現マウスでは、Tau病理の亢進、及び神経細胞死を伴う海馬の異常な萎縮が引き起こされることを発見した。このことから、CAPONを中心とするAD病理形成機構の解明から新たな創薬標的が提示できると考えられる。さらに、CAPONが神経変性を惹起する分子機序を解明し、CAPONを中心に据えた、新しい神経変性メカニズムを提唱する予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Shoko Hashimoto, Ayano Ishii, Naoko Kamano, Naoto Watamura, Takashi Saito, Toshio Ohshima, Makoto Yokosuka, and Takaomi C. Saido
Endoplasmic reticulum stress responses in mouse models of Alzheimer disease: overexpression paradigm versus knock-in paradigm *J. Biol. Chem.*, 293(9)3118-3125, 2018

(総説)

Hiroki Sasaguri, Per Nilsson, Shoko Hashimoto, Kenichi Nagata, Takashi Saito, Bart De Strooper, John Hardy, Robert Vassar, Bengt Winblad, and Takaomi C. Saido

APP mouse models for Alzheimer's disease preclinical studies.

EMBO J. 2017 Sep 1;36(17):2473-2487

Shoko Hashimoto and Takaomi C. Saido

Critical Review: Involvement of Endoplasmic reticulum stress in the etiology of Alzheimer's disease. *Open Biology*, 8: 180024, 2018,

●口頭発表 Oral Presentations

橋本翔子、釜野直子、石井綾乃、斉藤貴志、西道隆臣 “グルタチオン量減少がアルツハイマー病病理に及ぼす影響の解析” 2017年度生命科学系学会合同年次年会(Conbio2017)、神戸、2017年12月6日

●ポスター発表 Poster Presentations

Shoko Hashimoto, Naoko Kamano, Yukio Matsuba, Per Nilsson, Shin-ichi Muramatsu, Takashi Saito, and Takaomi C. Saido “The role of a novel Tau binding protein in the progression of Alzheimer's disease” EMBL Symposia- Mechanism of Neurodegeneration, Heidelberg (Germany), June 15th, 2017

橋本翔子、釜野直子、松葉由紀夫、村松慎一、斉藤貴志、西道隆臣 “新規アルツハイマー病関連因子による神経変性メカニズムの解明” 第36回日本認知症学会学術集会、金沢、2017年11月24日

XXIV-055 Proteinaceous Nanostructures for Intracellular Sensing Fabricated By Direct Laser Writing in a Temperature-Controlled Microfluidic Device

Name: Daniela SERIEN

Host Laboratory: RIKEN-SIOM Joint Research Unit

RIKEN Center for Advanced Photonics

Laboratory Head: Koji SUGIOKA

In the present study, direct femtosecond laser exposure induces multi-photon cross-linking to fabricate proteinaceous microstructures on top and inside microfluidic glass devices. It was found that using a glycerol water solvent was beneficial for the fabrication because

it reduced the cavitation bubble formation risk and increased the refractive index match to the glass microfluidic devices. These changes allow integration of 3D microcomponents into glass microfluidics. Two different proteins were integrated into the same microfluidic

device highlighting the potential of versatile application in medical devices and total analysis systems. Further, we discovered that photoinitiator-free fabrication can be achieved. This finding is beneficial for the application of intracellular sensing because there will be only exposure to the protein(s) of choice. Photoinitiator-free high-aspect ratio structures with a simplified pentamode design show less deformation than with a woodpile design after drying or simulated force application. Removing the risk from entrapped remaining photoinitiator causing unwanted influence to the experiment or analysis, our finding carries important impact for any medical application of this technology.

● Publication

Original Paper

Serien D., Kawano H., Miyawaki A., Midorikawa K. and Sugioka K.: Femtosecond Laser Direct Write Integration of Multi-Protein Patterns and 3D Microstructures into 3D Glass Microfluidic Devices. *Appl. Sci.*, vol. 8, 147, 2018

● Oral / Poster Presentation

International Conference

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “3D micro-fabrication of mouse and human variants of serum albumin by femtosecond laser multiphoton cross-linking” SPIE Photonics West LASE, USA 2018, Jan 27 to Feb 1 2018

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Ship-in-a-

bottle Integration of two-protein patterns inside 3D glass microfluidics by femtosecond Laser” SPIE Photonics West BIOS, USA 2018, Jan 27 to Feb 1 2018

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Ship-in-a-Bottle Integration of 3D Proteinaceous Microstructures inside Glass Microchannel by Two-Photon Cross-Linking” 18th Int. Sym. on Laser Precision Microfabrication (LPM 2017), June 5-8 2017

International Symposium

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Integrating Biomimetic Proteinaceous Microstructures Into Glass Microfluidics by Femtosecond Laser Direct Writing” The 8th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (STAR8), May 28 2017, *invited talk*

National Conference

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Photoinitiator-Free Fabrication of Microstructures of Serum Albumin Proteins By Femtosecond Laser Direct Write” 65th JSAP spring meeting, Mar 17-20 2018

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Fabrication of 3D Proteinaceous Microstructures by Femtosecond Laser Direct Writing: Reduction of Water Fraction to Hinder Cavitation Bubble Formation” 78th JSAP autumn meeting, Sep 5-8 2017

National Symposium

Serien D., Midorikawa K. and Sugioka K.: “Pentamode for high-aspect-ratio proteinaceous microstructures” The 5th Symposium on RIKEN Center for Advanced Photonics, Nov 29-30 2017

XXIV-056 微小無線デバイスを用いた細胞の三次元電気特性の測定手法の開発

Development of Micro wireless device for three dimensional cell potential measurement

研究者氏名: Yaxiaer YALIKUN

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)

細胞の電気化学的計測は細胞レベルでの評価技術で、さまざまな分野と目的で用いられている。たとえば全ての細胞種で普遍的に働く Ca^{2+} シグナルは、その細胞内濃度変化によって発生から神経伝達

物質の遊離、筋収縮、遺伝子発現、分泌、免疫応答、そして、学習や記憶の高次脳機能に至るまでの様々な生理機能を調節する。ほかにも Na^{+} 、 K^{+} 、 Cl^{-} など、多彩な生理応答を制御するシグナルがあり、こ

これらのシグナルの変動をリアルタイムでモニタリングすることは、臓器機能とその病態での変化を解明する上で極めて有効である。また、シグナルは細胞内に均一分布されず、小胞体とミトコンドリアなど小器官に貯蔵、協調によって制御されている。これらの小器官の細胞内場所により、同様な細胞であってもシグナルの伝達特性は異なる場合がある。そのため、3次元的な多点電位の測定方法は必要と考えられる。

従来の蛍光などの光学的システムを用いた評価手法と電気化学的手法を用いた計測と評価法が報告されている。光学的手法は一般的に周辺装置も含めた小型化が困難、光を吸収あるいは遮断する材料が使用できない、用いる基質が生体材料の機能に影響を及ぼす恐れがあるなどの問題点を抱えている。電気化学的手法を用いた計測手法は微小電極を用いたバイオセンシングデバイスが主流で、これまで種々の微小電極が開発された。主にプローブ型とチップ型微小電極を用いたバイオセンシング2種類に分けられる。前者は局所領域における生体関連物質の電気化学シグナルと、光学、イオンコンダクタンス、形状のいずれかのシグナル情報の同時に取得できるが、操作システムは複雑であり、三次元的な計測は困難である。後者は細胞の呼吸活性を電気化学的にモニタリングすることより、各種薬剤の効果をチップレベルで細胞内シグナリングを迅速に評価できるが、浮遊した状態の細胞の計測非常に困難である。いずれの方式において電極の設置、配置、溶液の導入が必要であり、電場が不均一である可能性はある。したがって、新しいバイオセンシングデバイスシステムへの展開が期待される。

本研究ではシリコン、ガラス、金属の微細加工技術を用いて細胞内電位変化を効率的に伝達できるナノスケールのセンサーを作製し、無線バイオセンシングデバイスを開発する。このナノバイオセンサーを利用し、無線でシングル細胞内部の電位変化を測定する手法の原理を検証する。さらに、バイオセンシングデバイスの作成する材料、成分の構成比率、形状設計と発信のメカニズムを検討し、明らかにする。発信電波の周波数は細胞内電位の変化速度と場所に依存するものですので、これらの変化の関係を明らかにする。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

- (1) Y. Yalikus, Y. Aishan, A. Mosha, K. Sumiyama, Y. Tanaka : "Oocyte all-surfaces' imaging method using micro-scale rotational flow", *Micro & Nano Letters*, in press (2017)
- (2) B. Guo, C. Lei, Y. Wu, H. Kobayashi, T. Ito, Y. Yalikus, S. Lee, A. Isozaki, M. Li, Y. Jiang, A. Yasumoto, D. Di Carlo, Y. Tanaka, Y. Yatomi, Y. Ozeki, K. Goda : "Optofluidic Time-Stretch Quantitative Phase Microscopy," *Methods*, (2017) in press
- (3) Y. Yalikus, Y. Hosokawa, T. Iino, Y. Tanaka : "Embryonic body culturing in an all-glass microfluidic device with laser-processed 4 μ m thick ultra-thin glass sheet filter," *Biomedical Microdevices*, 19, 85 (2017).
- (4) Y. Yalikus and Y. Tanaka : "Ultra-thin Glass Sheet Integrated Transparent Diaphragm Pressure Transducer," *Sensors & Actuators: B. Physic*, 263, 102-112 (2017)
- (5) B. Guo, C. Lei, H. Kobayashi, T. Ito, Y. Yalikus, Y. Jiang, Y. Tanaka, Y. Ozeki, Keisuke Goda : "High-throughput label-free screening of euglena gracilis with optofluidic time-stretch quantitative phase microscopy," *Cytometry Part A*, 91(5), 494 (2017).
- (6) Y. Tanaka, Y. Noguchi, Y. Yalikus, N. Kamamichi : "Earthworm muscle driven bio-micro-pump," *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 242, 1186-1192 (2017).

●口頭発表 Oral Presentations

- (7) Yaxiaer Yalikus, Yusufu Aishan, Kenta Sumiyama, Yo Tanaka : "Imaging Method of Oocyte by using a Micro-scale Rotational Flow," 28th 2017 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (Nagoya, Japan, Dec. 2017)

●ポスター発表 Poster Presentations

- (8) Yo Tanaka, Yaxiaer Yalikus : "A foot-treading type electric power generator using micro/nano channels in a porous glass filter," The 31st IEEE International

- Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2018) (Belfast, Northern Ireland, UK, Jan. 2018)
- (9) Yaxiaer Yalikun, Yo Tanaka : “On-chip glass microlens fabrication using ultra-thin glass sheet,” The 21th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2017) (Savannah, Georgia, USA, Oct. 2017)
- (10) Yaxiaer Yalikun, Yusufu Aishan, Kenta Sumiyama, Yo Tanaka : “All surface imaging method of oocyte by using smaller vertical rotational flow,” The 21th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2017) (Savannah, Georgia, USA, Oct. 2017)
- (11) D.Fujita, T. Iino, H.Hagihara, Y.Yalikun, Y.Tanaka, R.Yasukuni and Y.Hosokawa : “Open-window in microfluidic chip with ultra-thin glass for single cell isolation by femtosecond laser irradiation”, International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (Nagoya, Japan, Dec. 2017)
- (12) Yaxiaer Yalikun, Yoichiro Hosokawa, Takanori Iino, Yo Tanaka : “All-glass 12- μ m ultra-thin and flexible microfluidic chip fabricated by femtosecond laser processing for on-chip imaging processing,” The 32nd Congress of the International Society for Advancement of Cytometry (CYTO 2017) (Boston, MA, USA, 2017)
- (13) Yaxiaer Yalikun, Yo Tanaka : “On-site target cell cultivation and analysis based on large-scale integration of all-glass valves on a microfluidic chip,” The 32nd Congress of the International Society for Advancement of Cytometry (CYTO 2017) (Boston, MA, USA, 2017)

XXIV-057 Growing Au Nanorod Arrays on a Au Nanoplate for Plasmonic Pt-Catalyzed H₂ Generation

Name: Guoqing WANG

Host Laboratory: Bioengineering Laboratory

Laboratory Head: Mizuo MAEDA

The present study is indeed aimed at preparing a gold super-nanostructure for plasmon-enhanced photocatalysis. In the past year, I have demonstrated as a proof-of-concept that deposition of Au atoms on single Au nanoplates could form nanowire arrays with the aid of a shape-directing ligand. Herein, the amphiphilic molecule with strong binding to Au, 4-mercaptobenzoic acid (MBA), is chosen for restricting the deposition of Au on Au nanoplates. In a previous study, island growth of quasi-spherical Au nanoparticles has been documented (Wang, *et al.*, *Chem* 2017, 3, 678). Here, the symmetry-breaking mechanism is thought to be due to the dynamic but selective inhibition of the emerging Au islands at the initial growth stage in the presence of high-concentration MBA (Feng, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, 7624.). With the continuous Au deposition on the less MAB-capped sites, the freshly deposited Au could gradually evolve into nanowire configura-

tion. Meanwhile, the elongation of the nanowires is accompanied with the plasmonic red shift. The analysis of MBA concentration effect indicates that one-dimensional nanostructures are hardly formed at a low MBA concentration. With increasing MBA amount, there is a higher trend of confining the island growth into one-dimension. Furthermore, some ligands with similar molecular structures to MBA are tested. Interestingly, one-dimensional nanostructures could be occasionally formed, even including nanotubes. In summary, the above results are, to my knowledge, the first report on synthesis of hierarchical Au nanostructures involving discrete shapes.

● Publication

Original Paper

G. Wang, Y. Liu, C. Gao, L. Guo, M. Chi, K. Ijiri, M. Maeda and Y. Yin. Island Growth in the Seed-Medi-

ated Overgrowth of Monometallic Colloidal Nanostructures. *Chem*, 2017, 3, 678-690.

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama T. Takarada and M. Maeda. Directed Assembly of Anisotropic Nanoparticles by Terminal-Base Pairing of Surface-Grafted DNA. *Small*, 2017, 13, 1702137. (Inside cover)

Chia-Chen Chang, Guoqing Wang, Tohru Takarada and Mizuo Maeda. Iodine-Mediated Etching of Triangular Gold Nanoplates for Colorimetric Sensing of Copper Ion and Aptasensing of Chloramphenicol. *ACS Applied Materials Interfaces*, 2017, 9 34518-34525.

Guoqing Wang, Tong Bu, Tamotsu Zako, Ryoko Watanabe-Tamaki, Takuo Tanaka and Mizuo Maeda. Dark field microscopic analysis of discrete Au nanostructures: Understanding the correlation of scattering with stoichiometry. *Chemical Physics Letters*, 2017, 684, 310-315.

● Oral Presentation

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama, T. Takarada and M. Maeda. “Non-crosslinking aggregation of DNA-modified gold nanoparticles for gene diagnosis and directed assembly” 254th ACS meeting & Exposition, Washington, DC, USA 2017, August 20-24.

G. Wang, K. Ijio, M. Maeda and Y. Yin. “Island growth in the seeded overgrowth of monometallic colloidal nanostructures” IUMRS-ICAM 2017 (The 15th International Conference on Advance Materials), Kyoto, Japan, 2017, August 27-September 1.

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama, T. Takarada and M. Maeda. “Non-crosslinking aggregation of DNA-modified anisotropic gold nanoparticles for gene diagnosis and directed assembly” IUMRS-ICAM 2017 (The 15th International Conference on Advance Ma-

terials), Kyoto, Japan, 2017, August 27-September 1.

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama, T. Takarada and M. Maeda. “Non-crosslinking aggregation of DNA-modified gold nanorods for genotyping and directed assembly” AMBA 2017 (Advanced Materials for Biomedical Applications, Ghent, Belgium, 2017, September 27-29)

王国慶・宝田徹・前田瑞夫：“Purification of anisotropic nanoparticles in complex media by depletion flocculation”，第66回高分子討論会，松山，9月（2017）

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama, T. Takarada and M. Maeda. “Spontaneous aggregation of DNA-modified gold nanoparticles for gene diagnosis and directed assembly” PPC 15 (The 15th Pacific Polymer Conference), Xiamen, China, 2017, December 10-14.

● Poster Presentation

G. Wang, K. Ijio, M. Maeda and Y. Yin. “Island growth in the seeded overgrowth of colloidal Au nanostructures” 13th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XIII), Nanjing, China, 2017, October 15-20.

G. Wang, Y. Akiyama, N. Kanayama, T. Takarada and M. Maeda. “Spontaneous aggregation of DNA-modified anisotropic nanoparticles for gene diagnosis and directed assembly” ISNAC 2017 (The 44th International Conference on Nucleic Acid Chemistry, Tokyo, Japan, 2017, November 14-16)

G. Wang, K. Ijio, M. Maeda and Y. Yin. “Island growth in the seeded overgrowth of colloidal Au nanostructures” 第27回日本MRS年次大会，横浜，12月（2017）

無意識的推論の数理モデルの拡張と精神障害モデルへの応用
 Enhancement of mathematical model of unconscious inference
 and application to computational psychiatry

研究者氏名: 磯村 拓哉 Isomura, Takuya
 受入研究室: 脳科学総合研究センター
 神経適応理論研究チーム
 (所属長 豊泉 太郎)

ヘルムホルツの無意識的推論や内部モデル仮説によると、脳は常に感覚入力の背後にあるダイナミクスや原因を推論していると考えられている。しかし、実際の神経回路網における無意識的推論の実装方法は分かっていない。実際の神経回路網がある種の機械学習の様にふるまい、感覚入力の背後にある生成モデルの隠れ変数（信号源、原因）やパラメータを教師なし学習できるという実験的知見に基づき、我々は実験結果との類推から生理学的に妥当な新たな独立成分分析アルゴリズム“Error-gated Hebbian rule (EGHR)”を開発した。本アルゴリズムは“Hebb 学習則×第3のスカラー要素による学習率の修飾”の形で記述できるため、神経回路網の学習モデルとして妥当であり、またニューロモルフィックチップへの実装が容易であるという特徴がある。本年度は、提案アルゴリズムの適用範囲を拡張するために以下の研究を行なった。

- (1) EGHR を拡張し主成分分析と独立成分分析の両方を実行可能な新アルゴリズム EGHR- β を開発した。本アルゴリズムにより、背景ノイズを含む多次元の入力に対しても信号源の推論が実行可能になった。また従来のアルゴリズムでは困難であった、背景ノイズの方が信号源よりも大きい場合の推論も実行可能になった。
- (2) 感覚入力为非線形生成モデルから生成されている場合は信号源の推論は一般には困難であることが知られている。しかし我々は入力の次元が信号源の次元よりも大きい場合はその限りではないことを示し、線形ニューラルネットを用いて非線形生成モデルを推論する場合の解の精度保証を与える理論を構築した。
- (3) 入力の背後にあるダイナミクスを利用して隠れた原因/コンセプトを推論する新しいアルゴリズムを開発した。現在取り組んでいる予備解析の結果からは、提案手法が自然動画像や音声の入力に対しても柔軟な推論能力を有することが

示唆されている。

- (4) 複数のタスクを扱うことが可能な汎用推論モデルの開発に取り組んでいる。本研究の成果により、人工知能に複雑な周囲環境や他者の思考を柔軟に推論する能力を付与でき、また社会性相互作用の障害を他者の思考の推論能力の障害としてモデル化できると期待される。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Isomura T., Toyozumi T.: “Error-gated Hebbian rule: a local learning rule for principal and independent component analysis”, Scientific Reports, 8, 1835 (2018).

(総説)

Kusmierz L., Isomura T., and Toyozumi T.: “Learning with three factors: modulating Hebbian plasticity with errors”, Current Opinion in Neurobiology, 46 170-177(2017)*

●口頭発表 Oral Presentations

磯村拓哉：“培養神経回路網における内部モデルと自由エネルギー原理：電気生理と学習理論”，第27回日本数理生物学会年会，札幌，10月（2017）

磯村拓哉：“神経回路網における自由エネルギー原理－電気生理実験による検証と生物学的な学習アルゴリズムの開発－”，日本神経回路学会 時限研究会2017，京都，8月（2017）

磯村拓哉，豊泉太郎：“Error-gated Hebb 則による主成分分析/独立成分分析”，第40回日本神経科学大会，横浜，7月（2017）

●ポスター発表 Poster Presentations

Isomura T., Toyozumi T., Kotani K. and Jimbo Y.: “GABAergic input modulates Hebbian plasticity and the free energy minimization in vitro”, Neuroscience 2017, Washington, DC, USA, Nov. (2017)

Name: Muhammad Ajmal KHAN

Host Laboratory: Quantum Optodevice Laboratory

Center for Advanced Photonics, Riken

Laboratory Head: Hideki HIRAYAMA

(I)- Research and development of the ultraviolet rays-A (UV-A) with wavelength 320 - 400 nm, are aimed to be used for, skin treatment, making electronic components, making 3D printing, making medical equipment, painting, coating, making inkjet printer, and flexo screen etc. On other side the UVA applications can be used in the UV cure (resin hardening, print, the painting), UV adhesives, etc. In 2015, Hamamatsu photonics successfully demonstrated to AlGaIn based LD below 330 nm shortest wavelength which is grown on GaN templates with threshold current density of 25 kA/cm² (pulse current, 10 ns, 5 kHz, RT). But the GaN can absorb major amount of light therefore we decided for paradigm shift to use AlN template on sapphire substrate. Initially in the Hirayama Lab, the UVA LED device structure was optimized by optimizing both the buffer n-AlGaIn layer and then multi quantum wells (MQWs) layer for the target of UVA LED device structure on AlN template in the LP-MOVPE. First three specimens of MQWs were optimized as a function of the film thickness by varying the growth time, like 10, 15 and 20 sec under the same growth condition and then photoluminescence (PL), emission peak position as well as internal quantum efficiency (IQE) were investigated. Subsequently we optimized the buffer growth condition and then the desired PL emission around 326 nm were successfully achieved from the QW grown by 15 sec growth time with max IQE at RT around 30%. Next, as a first trial we attempted for the complete UVA LED device, based on the n-Al_{0.25-0.32}GaN buffer layer and optimized MQWs on the AlN template. Briefly speaking, 4- μ m thick AlN template on (0001)-sapphire substrate having the FWHM of the XRC values of (0002) and (10-12) planes are 200 and 300 arcsec respectively were used for the growth of UVA LED structure in LP-MOVPE. Subsequently two stacks of AlGaIn graded layers including Si-doped n-

Al_{0.25-30}GaN current spreading layer were grown on the epitaxial AlN template on sapphire substrate for UVA LED devices at the growth temperature 1130° C and pressure 76 Torr. Next an over layer of active region consisting of a three-fold Al_{0.20}GaN(2.5nm)/Al_{0.30}GaN (5nm) MQWs for 326nm wavelength, emission respectively were deposited. As we know that it is very challenging to achieve a reasonable hole concentration having shallow donor energy level in an AlGaIn alloy with high Al mole contents, therefore two fold thin p-Al_{0.7}Ga_{0.30}N layer (10nm) were inserted as a multi quantum blocking (MQBs) layers between MQWs and p-AlGaIn layer. At the end (150nm)-thick Mg-doped p-AlGaIn with an average aluminum content of 30-35% and relatively thin p⁺-AlGaIn (50nm) p-contact layers with highly Mg-doped were grown. The Ni(20nm)/Au(100nm) for the p-electrode were deposited on the LED device in the physical evaporation system. During the performance evaluation, a single peak electroluminescence (EL) around 326 \pm 3 nm from UVA LEDs were achieved. EQE was found still as low as 0.4 % with output power around 0.1mW at the driving dc current 8mA. In this study we did not optimized the p-AlGaIn, especially the EBL layer to further improve the EQE and LEE. In the next experiment, we used the growth condition with minor modification, where we changed the two stack of n-AlGaIn buffer layers composition to Ga(sccm)/Al(sccm):8/23 and 9/23 respectively with growth temperature 1150° C and pressure 76 Torr. Thanks to the EBL Ga(sccm)/Al(sccm):9/30, where the performance of the UVA LED device were slightly improved, the EQE were enhanced from 0.42 % to 0.55 %. Especially the maximum output power was quite improved from 0.1 mW to 3.2 mW for UVA applications. But we still need to overcome several research challenges like further reduction of TDDs in n-AlGaIn and p-AlGaIn.

(II)-Smart and high-power UVB LEDs both for (300-320nm)-band and for (280-300nm)-band light sources are strongly demanded for many applications including vitamins D3 production in human skin, immunotherapy (psoriasis, vitiligo), and enriching phytochemicals in plants. The main purpose of this work is to develop efficient AlGaIn based 310nm- and 295nm-band UVB LEDs grown on the low TDDs AlN template. Especially to focus on Narrow Band, NB control (310nm) UVB LED, through developing a novel crystal growth technique of high-quality of graded stacks of AlGaIn buffers, high IQE from AlGaIn based multi quantum well (MQWs) and highly reflective *p*-electrode. Briefly speaking, 4- μ m thick AlN template on (0001)-sapphire substrate having the FWHM of the XRC values of (0002) and (10-12) are 200 and 300 arc-sec respectively were used for the growth of both 310nm-and 295nm-band UVB LED structure. Subsequently a four or two stacks of AlGaIn graded layers including Si-doped n -Al_{0.5-0.6}Ga_{0.4-0.5}In current spreading layer were grown on the epitaxial AlN layer on sapphire substrate for 310nm-and 295nm-band UVB LED devices. Next an over layer of an active region consisting of three-fold Al_{0.35}Ga_{0.65-0.67}In (1.5-2.5nm)/Al_{0.44}Ga_{0.56}In (6-6.7nm) or Al_{0.40}Ga_{0.60}In (2.5nm)/Al_{0.5}Ga_{0.5}In (6-6.7nm) MQWs for 295nm and 310nm emission wavelength respectively were deposited with total thickness of the device around 2 μ m. But the performance 310nm-band UVB LED were deteriorated and might be caused by the miscibility gap effect and the presence of SRH (non-radiative) recombination in the MQWs may not be ignored. We successfully optimized the AlGaIn based MQWs on *n*-AlGaIn current spreading layer using LP-MOVPE and IQE around 47% from 295nm-band UVB MQWs with single peak emission 295nm and IQE around 30-35% from 310nm-band UVB MQWs with single peak emission 310nm-315nm were successfully achieved. In the case of AlGaIn based 310nm-band UVB, a narrow band, NB (310 \pm 3nm) on AlN template on sapphire, with maximum output power, 7.1 mW just on wafer level measurement were successfully realized. In the case of 295nm-band UVB, when we replace the Ni *p*-electrode by highly reflective *p*-electrode of Ni(1nm)/Mg(200nm)

and also used the novel AlGaIn current spreading layer then the EQE were enhanced from 2.7% to 3.5% at 20mA and subsequently maximum output power was also improved from 9.8 mW to 12.6 mW. These two result shows great hope for the medical treatment by monochromatic UVB radiation at 310nm, which is ideal wavelength for inducing HBGT1 without death of cell in human body and equally applicable for the phytochemical enrichment in the plants. Producing of 2.4 times more efficient vitamin D3 in human skin by using 293nm-band UVB than the normal sunlight. Conventional LED has electrical resistance of approx. 90 Ω and we need to reduce it further by interfacial passivation by highly-doped Si in SiNx between *n*-AlGaIn and AlN substrate as well as also between *n*-AlGaIn and *p*-AlGaIn respectively. Especially the interface layer between MQWs and barrier is very critical due to the coupled problem of point defects, trap centers or TDDs generation in the active region due to the miscibility gap effect, which is caused by the abrupt changes in the composition of the III and V materials for 310nm-band UVB range emission. SRH type non-radiative recombination at the barrier and QW may causes the degradation of radiative efficiency (η_{rad}) due to the Al composition difference between QW and barrier. LEE can be improved by *p*-AlGaIn layer transparency, highly reflective Rh/Ru electrode and lens-like resin encapsulation. LEE can also be enhanced by the introduction of photonic crystal (PhC) in the *p*-AlGaIn above the MQBs. Highly conductive *p*-AlGaIn is very challenging because of its large activation energy of acceptors and therefore as a next attempt to struggle for the thin layer of h-BN on the *p*-AlGaIn layer. Carrier injection efficiency (CIE) can be improved through optimization of a MQBs (electron-blocking) and above all to further reduce the TDDs in all layers including *n*-AlGaIn, MQWs and *p*-AlGaIn by new growth condition of AlN on nano-Patterned Sapphire Substrate (nano-PSS). In short words, several time improvement is expected in the external quantum efficiency and output power of the UVA- and UVB-LED by using highly reflective electrodes Rh/Ru and combining a transparent *p*-AlGaIn contact layer either with a PhC or h-BN, and then reducing TDDs/point defects in the AlGaIn buffer,

MQWs and p-AlGaN on AlN template grown on nano-PSS. Such high performance, smart and environmentally safe UV-B and UV-A LED devices could be useful both for medical and agricultural applications.

● Publications

Papers

Review articles

- [1] M. Ajmal Khan, Noritoshi Maeda, Takuma Matsumoto, Masafumi Jo, Yuki Akamatsu, Ryohei Tanabe, Yoichi Yamada, and Hideki Hirayama, *AlGaN based ultraviolet-B light-emitting diodes (UVB-LED) with milliwatt output power for medical and agricultural applications. (submitted)*
- [2] M. Ajmal Khan and T. Suemasu, *Donor and acceptor energy levels in impurity Sb-, In-, Ag- and Cu-doped semiconducting BaSi₂ thin films for device applications, Energy Procedia, 124 (2017)612-620.*
- [3] M. Ajmal Khan, Y. Sato, K. Sawano and Y. Ishikawa, *Enhancing the Short Circuit Current Density Due to the Influence of the Si-buffer Layer at the Hetero-Interface of Strained Epi-Si_{1-x}Ge_x (x ≤ 0.10) Heterojunction Solar Cell, J. Phys. D: Appl.Phys. 51, 185107(2018).*
- [4] M. Ajmal Khan and T. Suemasu, *Donor and acceptor levels in impurity-doped semiconducting BaSi₂ thin films for solar cells application, Phys. Status Solidi A, 1700019 (2017).*

● Oral Presentations

Conferences

- [1] M. Ajmal Khan, T. Matsumoto, N. Maeda, Masafumi Jo, Norihiko Kamata, and Hideki Hirayama, *Narrow Band Milliwatts power operation of AlGaN based UVB LED for Medical Applications, (Oral:)* International Conference on UV LED Technologies & Applications (ICULTA-2018), April 22-25, 2018, Berlin, Germany.
- [2] M. Ajmal Khan, Takuma Matsumoto, Noritoshi Maeda, Masafumi Jo, Hideki Hirayama, Norihiko Kamata, *EQE enhancement of AlGaN Based Lower*

Bound (295±nm) UVB-LED by using high reflective Ni/Mg electrode for medical applications, (Oral:19a-E202-6), The 65th JSAP Spring Meeting, March 17-20, 2018, Waseda University, Tokyo, Japan.

- [3] M. Ajmal Khan, Y. Itokazu, T. Matsumoto, S. Minami, N. Maeda, Masafumi Jo, Norihiko Kamata, and Hideki Hirayama, *Characterization of AlGaN based Lower Bound (280-300nm) UVB LED device grown by MOCVD, (Oral:Accepted) 11th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IS-Plasma2018/IC-PLANTS2018) March 04-08 Meijo University, Nagoya, Japan.*
- [4] M. Ajmal Khan, Yuri Itokazu, Takuma Matsumoto, Noritoshi Maeda, Masafumi Jo, Hideki Hirayama, Norihiko Kamata, *Exceeding 30% IQE of AlGaN quantum well 304 nm UVB emission and single peak operation of 326nm UV LED, (Oral: 5p-A301-13), The 78th JSAP Autumn Meeting, Sep 05-08, 2017, Fukuoka, Japan.*
- [5] M. Ajmal Khan and T. Suemasu, “Donor and Acceptor Levels in Impurity-doped Semiconducting BaSi₂ Thin Films for Solar Cells Application 7th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2017, April 02-05, 2017, Freiburg, Germany
- [6] (Invited talk) M. Ajmal Khan, Y. Ishikawa and T. Suemasu, “Design, Growth and Characterization of different materials for wide-band gap (Si-NWs, P-a-SiOxCy:H thin film), medium gap (BaSi₂) and small band gap (SiGe) Solar cells applications Under the Renewable Energy Curriculum of both “The GREEN Program, USA and “Iceland School of Energy’s Program, Reykjavik University, Iceland, March 10, 2017.

● Poster Presentations

- [1] M. Ajmal Khan, Y. Itokazu, T. Matsumoto, S. Minami, N. Maeda, M. Jo, H. Hirayama, N. Kamata, *Development of UVB LED for medical applications, (Poster: PS-69), The 5th RAP Symposium, Nov.2930, 2017, Sendai, Japan.*

Optical Parametric Amplification of an Over-one-octave Spanning IR Spectrum Using BBO Crystals

Name: Yu-Chieh LIN

Host Laboratory: Attosecond Science Research Team

Center for Advanced Photonics

Laboratory Head: Katsumi MIDORIKAWA

We generate ultrabroadband, self-phase-stabilized, infrared pulses centered at wavelength of 1.75 μm by a 708-nm pumped two-stage optical parametric amplification (OPA) operating at signal-idler degeneracy for beta-barium borate (BBO) crystals. The pump source is a lab-built Ti:sapphire-based chirped-pulse amplification (CPA) system composed of a regenerative amplifier and a four-pass amplifier. Via this two-stage CPA system, an intense ultrashort pump pulse with energy of 1.8 mJ, duration of 60 fs, and repetition rate of 200 Hz is generated. The pump wavelength is specifically tuned at 708 nm for the realization of the broadest gain bandwidth in the BBO crystals of the OPA system. The combination of the 708-nm pump source and two-stage amplification in the OPA enables the generation of more than one-octave spectral bandwidth ranging from 1 to 2.3 μm , corresponding to a transform-limited pulse duration of 5 fs (0.9 optical cycle). On the other hand, the resulting pulse is passively carrier-envelope-phase (CEP) stabilized since it is the difference frequency generation between the pump and the signal arising from the same source. To determine the stability of CEP, we performed a long-term CEP measurement of the amplified pulses using an f -to- $2f$ interferometer. The CEP was directly measured without additional spectral broadening due to the ultrabroad spectral bandwidth we have obtained. The stabilization is demonstrated here for 10 minutes, during which the CEP drift is measured to be around 467 mrad. These results would contribute to further applications on high energy physics and high harmonic generation.

● Oral Presentations

Conferences

- [1] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, R. Amani, K. Midorikawa, "Ultrabroad-band infrared spectrum amplified in a BBO crystal using intense red femtosecond pump

pulses," The 38th Annual Meeting of Laser Society of Japan, Jan. 24th-26th in Kyoto, Japan (2018).

- [2] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, R. Amani, K. Midorikawa, "Passively CEP-stabilized, over one-octave-bandwidth infrared pulses amplified in a BBO crystal by 708-nm femtosecond pump pulses," The 6th JSAP-OSA Joint Symposia in the 78th JSAP Autumn Meeting 2017, Sep. 5th-8th in Fukuoka, Japan (2017).

- [3] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, R. Amani, K. Midorikawa, "More than One-octave Spanning Infrared Spectral Amplification in a BBO Crystal Pumped by a Red Femtosecond pulse," The 24th Congress of the International Commission for Optics, Aug. 21th-25th in Tokyo, Japan (2017).

- [4] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, R. Amani, K. Midorikawa, "Optical parametric amplification of a more than one-octave bandwidth pulse in a BBO crystal pumped by a 712-nm tuned Ti:sapphire laser pulse," Nonlinear Optics Topical Meeting, Jul. 17th-21th in Waikoloa, Hawaii, USA (2017).

● Poster Presentations

Conferences

- [1] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Over one-octave bandwidth, passively-CEP-stabilized infrared laser pulses amplified in BBO crystals," The 10th Photon Frontier Network Symposium, Jan. 23th in Kyoto, Japan (2018).

- [2] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Optical parametric amplification of an over-one-octave spanning IR spectrum using BBO crystals," CREST meeting, Dec. 21st in Tokyo, Japan (2017).

- [3] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Generation of ultrabroadband infrared pulses in a BBO crystal pumped by red femtosecond pulses," The 2nd International Symposium on Attosecond Science, Aug. 26th in Saitama, Japan (2017).

[4] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Generation of UV vortex beams by laser pulse filamentation in air," The 8th Asian Workshop on Generation and Application of Coherent XUV and X-ray Radiation, Mar. 27th-29th in Hsinchu, Taiwan (2017).

[5] Y. C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Generation of Intense Femtosecond Vortex Beams," Photon Frontier Network Symposium, Jan. 24th at Chiyodaku, Tokyo, Japan (2017).

XXIV-061 癌幹細胞と胎児期上皮幹細胞に共通する分子コンセプト提唱への挑戦 The Identification of Common Molecular Mechanism between Cancer Stem Cells and Fetal Epithelial Stem Cells

研究者氏名: 清川 寛文 Kiyokawa, Hirofumi
受入研究室: 多細胞システム形成研究センター
呼吸器形成研究チーム
(所属長 森本 充)

がん細胞は、一度分化し成熟した細胞が喫煙などの外部刺激にさらされ出現する。これは、本来細胞が持つ恒常性制御機構の破綻と捉えられるが、また一方でこの恒常性制御機構は胎児期の細胞分化と増殖により確立すると考えられている。そのため胎児期の恒常性の確立を解明することは、恒常性の破綻により生じるがん細胞の理解にもつながる重要知見となりうる。これまで悪性度の高い癌細胞が示す未分化な性質と、胎児期の未分化細胞の性質は頻繁に比較されてきたが、その実態としての分子挙動の共通性はほとんど分かっていない。そのため本研究では、胎児期末分化細胞とがん細胞間での相違性・相同性を分子レベルでの解明を目的とした。今年度では研究の第一歩として、発生中のマウス気管上皮細胞をモデルに、胎児期末分化細胞の分化・増殖過程の制御メカニズムの解析を行った。

- (1) 既知の増殖マーカー、分化マーカーを用いた免疫組織染色を行うことで、胎生15日目が気管上皮細胞の分化・増殖にとって重要な時期であることを見出した。
- (2) 胎生日15日周辺での Transcriptome profile を解明するために、Chromiumを用いた single cell RNA-seqを行った。使用した気管は次の6ポイントから回収し (E12.5, E13.5, E14.5, E15.5, E16.5, E18.5)、酵素処理により single cell suspension を作成した。結果、胎生15.5日以降

では増殖細胞が急激に減少し、細胞分化が進むことが確認できた。また分化・増殖を制御因子の候補 (ID 遺伝子, Jak1-Stat3, BMP4 pathway, FOXM1) を見つけることに成功した。

来年度では single cell RNA-seq で見出した候補因子の分化・増殖に対する影響を、気管オルガノイド、遺伝子改変マウスモデルで検討予定である。

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

清川寛文, 森本充: “気管発生時における気道上皮細胞の同調的増殖制御機構の解明”, 第57回 日本呼吸器学会学術講演会, 東京, 4月(2017年)

清川寛文, 森本充: “Temporal Control of Tissue Maturation with Proliferation Reduction in Developing Trachea”, 第50回 発生生物学会, 東京, 5月(2017年)

清川寛文, 森本充: “Temporal Orchestration of Tissue Maturation with Proliferation Reduction and Cell Differentiation in Developing Trachea”, 18th International Congress of Developmental Biology, シンガポール, 6月(2017年)

清川寛文, 森本充: “Elucidating Temporal Control of Tissue Maturation with Proliferation Reduction in Mice Developing Trachea”, 2017年度生命科学系学会合同年次大会, 神戸, 12月(2017年)

Foreign Postdoctoral Researcher Reports

国際特別研究員年報

FY2014 ~ 2015 Appointments

平成 26 ~ 27 年度採用者

Contents

(Foreign Postdoctoral Researcher)

FY2014 Foreign Postdoctoral Researchers

Towards Linking Core-Collapse Supernova Modelling with Observations Annop WONGWATHANARAT	183
Discovery of new mechanisms driving colorectal cancer and new therapeutics Kendle MASLOWSKI	184
Olfactory Coding Strategy of Second-order Olfactory Neurons Meng-Tsen KE	185

FY2015 Foreign Postdoctoral Researchers

Origin and Evolution of Planetary Systems in the Milky Way Steven RIEDER	189
Quantum Chromo Dynamics in Extreme Conditions Vladimir SKOKOV	189
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 Cameron WARREN III	192
Study on the Cluster Structure of Carbon Isotopes Using Direct Reactions Zaihong YANG	193
Investigations of Electromagnetic-Field Induced Effects in Strongly Coupled Gauge Theories Di-Lun YANG	194
Quantum Limited Measurement using Superconducting Circuits Zhirong LIN	195
Structural Dynamics of Biomolecules Studied by Novel Single Molecule Spectroscopy Bidyut SARKAR	196
Catalytic N ₂ Fixation to Diamine with Titanium Complex Ching Tat TO	197
Functional study of the Decision-Making Networks in Zebrafish Merlin LANGE	198
Understanding Translation Control and Delay in Circadian Rhythms Arthur MILLIUS	199
Determinants of Gene Expression Noise David PRIEST	200
Trans-family Grafts between Parasitic Plants and their Hosts Thomas SPALLEK	201
The Function of Natural Helper Cells in the Maintenance of Aipose Tissue Hmeostasis and Mtabolism Kafi EALEY	202

Establishment of the Drug Screening System for the Treatment of <i>NGLY1</i> Mutation Patients Chengcheng HUANG	203
Neural Circuit and Molecular Mechanisms in Lateral Amygdala for Fear Memory Consolidation Bao Zhen TAN	204
Novel Infrared Absorption Nanospectroscopy Using Metamaterials for Bioanalysis in Nanofluidic Devices Thu Hac Huong Le.....	206

FY2014 Foreign Postdoctoral Researchers

Towards Linking Core-Collapse Supernova Modelling with Observations

Name: Annop WONGWATHANARAT

Host Laboratory: Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory Head 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 CC-SNe 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 explosion 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 FY2017, I published my research on a three-dimensional long-time CCSN simulation of a stripped envelope supernova in the *Astrophysical Journal*. Based on this research work press releases were issued at RIKEN and the Max-Planck institute for Astrophysics in Germany. Results from this research work supports the idea that the supernova that gave birth to the Cassiopeia A (Cas A) supernova remnant may be powered by neutrinos because the simulation results reproduce several basic properties that are observed from Cas A, despite the fact that the simulation was not fine-tuned. Firstly, the nucleosynthesis production of nickel and titanium in the simulation can account for the expected amounts of these two elements in Cas A remnant. The large amount of titanium was difficult to re-

produce in previous studies, but can be accounted for by our result. The major production channel for titanium is found to be the alpha-rich freeze-out process occurred in expanding high entropy ejecta. Secondly, the distribution of iron produced by our simulation shows remarkable agreement with the overall observed morphology of the element in Cas A remnant. In addition, the distribution of titanium in our simulation concentrates in the hemisphere opposite to the NS kick direction, a result which is consistent with recent observations by the NuSTAR satellite. Finally, we find that for the same explosion energy the lack of an extended hydrogen envelope results in the ejecta being expelled at much higher velocities than in the case of a red supergiant star with a massive hydrogen envelope. The maximum velocities of nickel and titanium in our simulation are comparable to the values reported in the literatures. Our results therefore lend strong support to the neutrino-driven explosion mechanism.

● Publication

Original Paper

Wongwathanarat A., Janka H.-Th., Müller E., Pllumbi E., and Wanajo S.: Production and Distribution of ^{44}Ti and ^{56}Ni in a Three-dimensional Supernova Model Resembling Cassiopeia A. *The Astrophysical Journal* published*

● Presentation

International Conference

Wongwathanarat A.: "Production and Distribution of ^{44}Ti and ^{56}Ni in a Three-dimensional Supernova Model Resembling Cassiopeia A" CSI: Princeton -- A Definitive Investigation of the Core-Collapse Supernova Cassiopeia A, April 17-19

Discovery of new mechanisms driving colorectal cancer and new therapeutics

Name: Kendle MASLOWSKI

Host Laboratory: Laboratory for Intestinal Ecosystem

Centre for Integrative Medical Sciences

Laboratory Head: Hiroshi OHNO

This study has sought to understand the mechanisms of *Salmonella*-induced colorectal tumor regression. The first two years of this project established a treatment protocol with aromatase A-deficient *Salmonella typhimurium* (STm Δ^{aroA}) and started to look into the mechanism of tumor regression using RNA sequencing and metabolomics analysis. I developed successful treatment of colorectal tumors in mice with STm Δ^{aroA} and identified changes induced by STm Δ^{aroA} treatment that involved restoration of epithelial characteristics in tumors and altering the metabolic environment. In the last year (FY2016) I extended these studies to a second model of intestinal tumorigenesis as well as using an *in vitro* method using tumor-derived organoid cultures, and further assessed the mechanism of STm Δ^{aroA} -induced tumor regression.

Using a genetic model of small intestinal cancer (Apc $^{\text{min/+}}$ mice) I could significantly reduce tumor burden and size by treating these mice from 8 weeks of age until 18 weeks with oral STm Δ^{aroA} . This model of cancer is characterized by very high burden of tumors in the small intestine, around 70 to 90 per mouse, and STm Δ^{aroA} treatment reduced that to 20 to 40 per mouse. Similar to results observed using a model of colitis-associated colorectal cancer (CAC), STm Δ^{aroA} treatment of Apc $^{\text{min/+}}$ mice also altered transcription of genes associated with stem cell expansion or mesenchymal phenotypes.

In the previous year, we conducted preliminary metabolomics analysis on CAC-bearing mice treated with STm Δ^{aroA} for 6 weeks. We have now increased the number of samples analyzed and can indeed find alterations in the metabolic landscape of STm Δ^{aroA} treated tumors. Of the changes observed, the most striking thus far are the reduction of some amino acids, metabolic intermediates of the TCA cycle (e.g. succinate) and critical mid or endpoint metabolites (pyruvate and lactic acid). Furthermore, succinate is considered an onco-

metabolite, so reduction in STm Δ^{aroA} treated tumors is consistent with a reduction in the tumorigenic environment. Additionally, we have conducted the metabolomics analysis on tumors from mice treated for just 24 hours and see that many of these changes occur at this early time point. Therefore, we sought to analyze initial events following STm Δ^{aroA} treatment that are tumor cell-intrinsic by using organoid cultures derived from tumors. Organoids model the complete architecture of the colonic epithelium (from stem cells in the crypt base to mature cells types such as enterocytes and goblet cells). I isolated the stem cells from tumors of the small intestine and colon of Apc $^{\text{min/+}}$ mice and from the colon of CAC-induced WT mice. These organoid cultures were then infected with STm Δ^{aroA} (or no infection for control) and were analyzed after 24 hours. Interestingly, I found that infection of tumor organoids in culture could replicate the many changes I observed *in vivo*, both in gene transcription and metabolite changes. Therefore, the effect of STm Δ^{aroA} on tumors is tumor cell intrinsic, i.e. involvement of immune cell recruitment is not necessary. In line with this observation, I could not detect any difference in the levels of IL-1 β and TNF- α in non-treated and STm Δ^{aroA} -treated tumors *in vivo*.

And, finally, I employed scanning electron microscopy to visualize STm Δ^{aroA} localization in detail. This revealed that STm Δ^{aroA} occur in large colonies within the tumor. I could find them in necrotic regions as well as within crypts. With this method, it is difficult to visualize intracellular bacteria. I am using fluorescence confocal microscopy to study this, and that work is ongoing.

In summary, this project sought to determine whether intestinal tumors could be treated with attenuated *Salmonella* and to ascertain the mechanisms. I have successfully employed two models of *in situ* intestinal cancer to show that STm Δ^{aroA} treatment can signifi-

cantly reduce tumor burden and size. I have shown that this is mediated by changes in the metabolic landscape of infected tumors, which I hypothesize places metabolic competition on the tumors (that STm Δ^{aroA} wins and tumor cells lose), and that tumors undergo a reverse of mesenchymal transition to re-establish normal epithelial characteristics which likely contributes to the complete removal of tumors or at least reduction in tumor size. Furthermore, *in vitro* methods of tumor organoids could replicate many of these findings, indicating that STm Δ^{aroA} treatment directly affects tumor cells.

● Review articles

Other

Maslowski K., Kanaya T., Ohno H. (2016) Innate im-

mune pathways of the intestinal epithelium protecting against infection and tumorigenesis. *Clinical Immunol. & Allergol.* 66(3), 294-300. (review in Japanese).

● Oral Presentations

International seminars

Maslowski KM.: "Epithelial innate immunity protects against pathogens and tumorigenesis— Future prospects for bacterial therapies". University of Birmingham, United Kingdom. 14th July 2016. Invited seminar.

Maslowski KM.: "Epithelial NAIPs in host defence against pathogen and carcinogenesis". CRUK Manchester, United Kingdom. 19th July 2016. Invited seminar.

Olfactory Coding Strategy of Second-order Olfactory Neurons

Name: Meng-Tsen KE

Host Laboratory: Laboratory for Sensory Circuit Formation
Center for Developmental Biology
Laboratory Head: Takeshi IMAI

Dendritic spines are specialized protrusions from the dendrite that serve as postsynaptic recipient of excitatory synaptic input and compartmentalize postsynaptic responses. Being the major sites of information processing and storage in the brain, increase or decreases in spine numbers may correlate with the activities of afferent synaptic terminals. Changes in dendritic spine number and morphology are also found to be linked with neuropsychiatric disorders. Although the dendritic spine distribution is crucial to understand synaptic integration mechanisms within a neuron, the geometrical distribution at a whole-neuron scale is not fully established. In previous light microscopy studies, quantitative analysis of spine morphology has been limited due to diffraction limit of light. Electron microscopy (EM) provide nanoscale segregation of dendritic spines. However, in the EM, quantification has been limited to just a part of a neuron due to difficulty in large-scale reconstructions. To fill in the gap between EM-based and light microscopy-based connectomics, we recently

established a tissue clearing agent, SeeDB2, which is optimized for deep-tissue high-resolution imaging under super-resolution microscopy. A combination of SeeDB2 method and volumetric super-resolution imaging enabled light microscopy-based connectomics at the synaptic scale, with rich genetic and chemical information. We performed comprehensive mapping of dendritic spines in layer 5 cortical pyramidal neurons. Because resolution was constant throughout >100 micron thickness with super-resolution microscopy, we could trace a long apical dendrite at high resolution and reliably count the number of spines on apical, oblique, and basal dendrite. We found that spine density was highly biased along long apical dendrites, demonstrating >10-fold differences. The biased spine distribution on apical dendrites was emerged during adolescence stage. Spine density bias was less evident in basal and oblique dendrites in layer 5 as well as layer 2/3 neurons. Size distribution of dendritic spine heads was consistent throughout all dendrites. Dendritic geometry

rather than dendritic shaft diameter better explained the biased distribution of spine density along apical dendrites. Our results provide an important platform to understand synaptic integration in different types (apical, basal, and oblique) of dendrites in cortical pyramidal neurons.

● **Oral Presentations**

Ke M.-T. and Imai T.: “Dynamic regulation of spine density in cortical pyramidal neurons” Japan Neuroscience Society Yokohama Japan, 2017 July 20-23

FY2015 Foreign Postdoctoral Researchers

Origin and Evolution of Planetary Systems in the Milky Way

Name: Steven RIEDER

Host Laboratory: Particle Simulator Research Team

Advanced Institute for Computational Science

Laboratory Head: Junichiro MAKINO

In this year, I finished my study of the early evolutionary phase of embedded star clusters. Star clusters start with a more complex structure than when they are older. This initial structure may have an impact on the appearance and parameters later in its life, and may also influence the number and quality of interactions between stars. As such, we studied this initial phase by modelling initial conditions on the observations of young, embedded star clusters. As these observations cannot tell us all the required parameters, we set out a strategy to determine the impact of each of the unknown parameters, particularly the amount of gas, the spread in the Z-direction, and the velocity spread. To simulate these clusters, we used the AMUSE framework to simulate the effects of gravity, gas dynamics and stellar evolution together. We presented the results

at conferences and submitted an article to the MNRAS journal.

● Publications

Papers

Sills, A., Rieder, S., Scora, J., McCloskey, J. and Jaffa, S.: Dynamical evolution of stars and gas of young embedded stellar sub-clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, published *

● Oral Presentations

Conferences

Rieder, S.: Simulations of young star clusters: the MYSTIX case, MODEST-17 “Under Prague’s Starry Skies”, September 18-22

Quantum Chromo Dynamics in Extreme Conditions

Name: Vladimir SKOKOV

Host Laboratory: Theory Group,

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Dmitri KHARZEEV

The computation of observables in high energy QCD involves an average over stochastic semi-classical small-x gluon fields. The weight of various configurations is determined by the effective action. We introduce a method to study fluctuations of observables, functionals of the small-x fields, which does not explicitly involve dipoles. We integrate out those fluctuations of the semi-classical gluon field under which a given observable is invariant. Thereby we obtain the effective potential for that observable describing its fluctuations about the average. We determine explicitly the effective potential for the covariant gauge gluon distribution both for the McLerran-Venugopalan (MV) model and for a (non-local) Gaussian approximation for the small-

x effective action. This provides insight into the correlation of fluctuations of the number of hard gluons versus their typical transverse momentum. We find that the spectral shape of the fluctuations of the gluon distribution is fundamentally different in the MV model, where there is a pile-up of gluons near the saturation scale, versus the solution of the small-x JIMWLK renormalization group, which generates essentially scale invariant fluctuations above the absorptive boundary set by the saturation scale. Further we studied fluctuations of the conventional and linearly polarized Weizsäcker-Williams gluon distributions at small x are defined from the two-point function of the gluon field in light-cone gauge. They appear in the cross section for dijet

production in deep inelastic scattering at high energy. We determine these functions in the small- x limit from solutions of the JIMWLK evolution equations and show that they exhibit approximate geometric scaling. Also, we discuss the functional distributions of these WW gluon distributions over the JIMWLK ensemble at rapidity $Y \sim 1/\alpha_s$. These are determined by a 2d Liouville action for the logarithm of the covariant gauge function $g^2 \text{tr} A^+(q)A^+(-q)$. For transverse momenta on the order of the saturation scale we observe large variations across configurations (evolution trajectories) of the linearly polarized distribution up to several times its average, and even to negative values.

The CGC approach to calculation of the double inclusive gluon production was extended by including high density effect in the CGC wave function of the projectile (proton). The main result is that these effects lead to the appearance of odd harmonics in the two particle correlation $C(k,p)$. We find that in the high momentum limit, $|k|,|p| \gg Q_s$, this results in a positive $c_1\{2\}$. Additionally when the magnitudes of the two momenta are approximately equal, $|k|/|p| \approx 1$, the density effects also generate a positive third harmonic $c_3\{2\}$, which translates into a non-vanishing v_3 when the momenta of the trigger and associated particle are in the same momentum bin. The sign of $c_3\{2\}$ becomes negative when $|k|/|p| > 1.1$ suggesting an interesting experimental signature.

● Publications

Papers

- A.Kovner, M.Lublinsky and V.Skokov, “Initial state qqq correlations as a background for the Chiral Magnetic Effect in collision of small systems,” *Phys. Rev. D* 96 (2017) no.9, 096003
- K.Fukushima and V.Skokov, “Polyakov loop modeling for hot QCD,” *Prog. Part. Nucl. Phys.* 96 (2017) 154
- A.Dumitru and V.Skokov, “Fluctuations of the gluon

distribution from the small- x effective action,” *Phys. Rev. D* 96 (2017) no.5, 056029

- A.Kovner, M.Lublinsky and V.Skokov, “Exploring correlations in the CGC wave function: odd azimuthal anisotropy,” *Phys. Rev. D* 96 (2017) no.1, 016010

● Oral Presentations

Invited plenary talk

- “Initial perspective on the ridge”, 4-th international conference on Initial Stages in High-Energy Initial Collisions, Polish Academy of Arts and Sciences, Krakow, Poland, September 18-22, 2017

Seminar

- “Finding the QCD Critical Point”, EMMI Nuclear and Quark Matter Seminar, ExtreMe Matter Institute EMMI, GSI Helmholtzzentrum fuer Schwerionenforschung, Germany, September 6, 2017
- “Volume dependence of baryon number cumulants and their ratios”, CPOD 2017: Critical Point and Onset of Deconfinement, Stony Brook University, USA, August 7-11, 2017

Invited talk

- “Azimuthal Anisotropy in small- x DIS dijet production”, Synergies of pp and pA Collisions with an Electron-Ion Collider, Brookhaven National Laboratory, June 28, 2017
- “Odd Azimuthal Anisotropy from CGC”, 2017 RHIC & AGS Annual Users' Meeting, Beam-Energy Scan in Small Systems, Brookhaven National Laboratory, June 20, 2017
- “CME, Isobars and Magnetic Field in Heavy Ion Collisions”, 2017 RHIC & AGS Annual Users' Meeting, Isobar Program, Brookhaven National Laboratory, June 20, 2017
- “Magnetic field in heavy-ion collisions: case for isobaric collisions”, XII Workshop on Particle Correlations and Femtoscopy, NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands, June 14, 2017

Nuclear Transmutation for the Long-lived Radioactive Waste

Name: He WANG

Host Laboratory: Radioactive Isotope Physics Laboratory
Nishina Center for Accelerator-Based Science
Laboratory Head: Hiroyoshi SAKURAI

In the present work, proton/deuteron-induced spallation reaction for the long-lived fission product (LLFP) ^{107}Pd has been investigated at 50 MeV/nucleon for the purpose of nuclear waste transmutation. Together with my previous research results on spallation reaction of ^{107}Pd at 100 and 200 MeV/nucleon, a systematic study on the energy dependence of cross sections has been obtained in order to find out a suitable reaction energy for nuclear transmutation.

LLFP is one of major component in high-level radioactive waste in spent fuel and it contains useful material. Palladium is one of promising metals in LLFP because palladium is rare metal and has a huge potential for industrial use. However, the palladium metal has a radioactive isotope ^{107}Pd , which is a typical long-lived fission product with a half-life of 6.5×10^6 years. In order to reuse palladium, it is essential to search the best mean for the transmutation of ^{107}Pd .

My previous study on ^{107}Pd at 100 and 200 MeV/nucleon has shown that spallation reaction could be a promising mechanism for the ^{107}Pd transmutation. In particular, I have found that the production of other LLFP nuclei becomes smaller when the reaction energy decreases. Aiming at obtaining an optimized energy for nuclear transmutation, I performed experimental studies on ^{107}Pd at a lower reaction energy --- 50 MeV/nucleon.

The experiment was carried out at the RIKEN Radioactive Isotope Beam Factory. For heavy isotopes, the reaction study at low energy becomes more complicated than that for high energy due to the difficulties in detection and charge-state distributions. In order to overcome the challenges, we used hydrogen and deuterium targets in gas phases, developed a new ionization chamber for the determination of energy loss, and operated the ZeroDegree spectrometer in the dispersive mode for a clear identification of each charge state. In particular, I developed a so-called "range" analysis to determine the atomic number by the ionization cham-

ber. By using these techniques, all the reaction products were unambiguously identified.

The present results at 50 MeV/nucleon yield valuable information on reaction mechanism. It is found that the cross sections for silver isotopes, which were produced by charge-exchange channel, continuously increases from 200 to 50 MeV/nucleon. For the light-mass products, the deuteron-induced cross sections (σ_d) at 50 MeV/nucleon are almost the same as the proton-induced ones (σ_p) at 100 MeV/nucleon, indicating that deuteron-induced reaction at 50 MeV/nucleon dissipates similar energy to the proton-induced one at 100 MeV/nucleon in the central collision. This observation is consistent with the observation for σ_d at 100 MeV/nucleon and σ_p at 200 MeV/nucleon.

The results indicate that proton/deuteron-induced spallation reaction at 50 MeV/nucleon is promising for transmutation of ^{107}Pd because of a large total reaction cross sections. Further analysis is still ongoing. The results on the energy dependence will be critical for the optimization of beam energy for an accelerator-driven transmutation system for LLFP.

● Publications

Original Papers

Wang H., Otsu H., Sakurai H., Ahn, Chiga N., Doornenbal P., Fukuda N., Isobe T., Kubo T., Kubono S., Lorusso G., Söderström P-A., Suzuki H., Takeda H., Watanabe Ya., Yoshida K., Matsuzaki T., Shimizu Y., Sumikama T., Uesaka M., Kawase S., Nakano K., Watanabe Yu., Araki S., Kin T., Takeuchi S., Toganoyama Y., Nakamura T., Kondo Y., Ozaki T., Saito A., Tsubota J., Aikawa M., Makinaga A., Ando T., Momiyama S., Nagamine S., Niikura M., Saito T., Taniuchi R., Wimmer K., Kawakami S., Maeda Y., Yamamoto T., Shiga Y., Matsushita M., Michimasa S., and Shimoura S.:

Spallation reaction study for the long-lived fission

products in nuclear waste: Cross section measurements for ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{107}Pd using inverse kinematics. *Energy Procedia* 131, 127 (2017). published*

Wang H., Otsu H., Sakurai H., Ahn D., Aikawa M., Ando T., Araki S., Chen S., Chiga N., Doornenbal P., Fukuda N., Isobe T., Kawakami S., Kawase S., Kin T., Kondo Y., Koyama S., Kubono S., Maeda Y., Makinaga A., Matsushita M., Matsuzaki T., Michimasa S., Momiyama S., Nagamine S., Nakamura T., Nakano K., Niikura M., Ozaki T., Saito A., Saito T., Shiga Y., Shikata M., Shimizu Y., Shimoura S., Sumikama T., Söderström P.-A., Suzuki H., Takeda H., Takeuchi S., Taniuchi R., Togano Y., Tsubota J.,

Uesaka M., Watanabe Ya., Watanabe Yu., Wimmer K., Yamamoto T. and Yoshida K.:

Spallation reaction study for fission products in nuclear waste: Cross section measurements for ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{107}Pd on proton and deuteron. *EPJ Web of Conference* 146, 09022 (2017). published*

● Oral Presentations

Domestic Conference

Wang H.: “Systematic study for the spallation reaction of ^{107}Pd at different energies”, ImPACT-OEDO workshop, Center for Nuclear Study, University of Tokyo, Wako-shi, Saitama, Japan, July 13-14, 2017

An Extended Numerical Investigation of Cosmic-ray Acceleration and Photon Production during the Afterglow Phase of Gamma-ray Bursts

Name: Donald Cameron WARREN III

Host Laboratory: Nagasaki Astrophysical Big Bang Laboratory

Laboratory Head: Shigehiro NAGATAKI

This work continued previous efforts to understand the role of low-energy electrons in gamma-ray burst (GRB) afterglows. These electrons are swept up by the relativistic shock front, and shock-heated to high energies, but do not participate in the Fermi acceleration process to gain further energy (so the term “low-energy” is only by comparison). As these thermal electrons constitute the bulk of the total population (somewhere between 95-99% of electrons are thermal, rather than Fermi-accelerated nonthermal), they play a critical role in the GRB afterglow. They produce photons just like their higher-energy counterparts do, and produce an observable signature that has been detected in numerous afterglows. Unlike the high-energy nonthermal electrons, however, thermal electrons represent a significant—and largely unexplored—source of photon *absorption*. Our work this year showed that thermal electrons cannot be ignored when interpreting radio observations of GRB afterglows. When included properly, key observational parameters (such as the synchrotron self-absorption frequency) and inferred physical parameters (such as the energy released in the GRB) change by a factor $1/NT$, where NT is the fraction of

electrons in the non-thermal part of the distribution. Since thermal electrons are 95-99% of the total population, this means astrophysicists may be under- or over-estimating physical quantities by factors of 20-100. Future work on this topic will seek to transform this largely numerical work into analytical approximations, which will allow rapid application to past and future observations. When the current body of observations is re-examined with a thermal electron model, we anticipate significant repercussions to the existing theoretical framework of gamma-ray bursts.

● Publications

Papers

Warren D.C., Ellison D.C., Barkov M.V. and Nagataki S.: Nonlinear Particle Acceleration and Thermal Particles in GRB Afterglows. *The Astrophysical Journal*, 835, 248 (2017), published.*

Ito H., Matsumoto J., Nagataki S., Warren D.C., Barkov M.V. and Yonetoku D.: The Photospheric Origin of the Yonetoku Relation in Gamma-Ray Bursts. *Nature Astronomy*, submitted.*

Warren D.C., Barkov M.V., Ito H., Nagataki S. and

Laskar T.: Synchrotron Self-Absorption in GRB Afterglows: The Effects of a Thermal Electron Population. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted.*

● Oral Presentations

International Conferences/Events

Warren D.: Astrophysical Big Bangs and the people who love them. Mercer University physics dept colloquium, Macon, USA, Apr 2017.

Warren D.: Nonlinear diffusive shock acceleration beyond the non-relativistic regime, with application to GRB afterglows. Georgia State University astro-

physics seminar series, Atlanta, USA, Apr 2017.

Warren D.: Thermal electrons in GRB afterglows. Fifty-One Ergs, Corvallis, USA, Jun 2017.

Warren D.: Thermal electron production and consequences for GRB afterglows. Theories of Astrophysical Big Bangs, Wako, Japan, Nov 2017.

Warren D.: Thermal Particles and Nonlinear Acceleration in Gamma-Ray Burst Afterglows. Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Cape Town, South Africa, Dec 2017.

Warren D.: Thermal Electrons in Gamma-Ray Burst Afterglows. PACIFIC Meeting 2018, Akaigawa, Japan, Feb 2018.

Study on the Cluster Structure of Carbon Isotopes Using Direct Reactions

Name: Zaihong YANG

Host Laboratory: Spin-isospin Laboratory

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Tomohiro UESAKA

The tetraneutron (${}^4\text{n}$), “*Element 0*” made purely of neutrons, has been drawing the attention of nuclear physics community around the globe for decades. But no firm conclusion on its properties has been drawn despite many experimental and theoretical efforts. This multi-neutron system, whether existing as bound or quasi-bound (resonances), have an extremely high impact on modern nuclear theories. It provides the possibility to investigate “purely” the nuclear forces which is free from Coulomb interaction, and also serves as a mini-prototype of neutron matter to study the properties of extremely neutron-rich nuclear matter and will provide new insight on our understanding of the nuclear equation of state (EOS) and compact objects in the cosmos like neutron stars.

Earlier experimental attempts to search for a bound ${}^4\text{n}$ with a wide variety of methods all failed to find positive evidence. In 2002 Marques *et al.* reported possible existence of a low-lying resonant ${}^4\text{n}$ state, but it could not be reproduced by subsequent attempts of other groups. The resurgence of interest on this topic in recent years was triggered by the report on observation of a low-lying ${}^4\text{n}$ resonance released by Kisamori *et al.* in 2016.

The measurement is clean from background because of the high-performance SHARAQ spectrometer employed, but still suffered from the low statistics. This observation was nicely reproduced by recent *ab initio* Quantum Monte Carlo and No Core Shell Model calculations, but was not supported by another *ab-initio-type* calculation using complex scaling method with three nucleon forces included.

We carried out new measurements at RIBF on the four-neutron system populated in the decay of ${}^7\text{H}$, aiming to pin down the low-lying level scheme of ${}^4\text{n}$ and to study the multi-neutron correlation. The secondary ${}^8\text{He}$ beam with an energy of around 150 A MeV was produced in the fragmentation of ${}^{18}\text{O}$, and then purified and transported with the BigRIPS beam line. ${}^7\text{H}$ was produced in the $(p, 2p)$ reaction of ${}^8\text{He}$ on the vertex-tracking liquid hydrogen target MINOS. The recoil protons were tracked by the TPC of MINOS and then recorded by a NaI array (constructed from 36 crystals from DALI2 spectrometer) surrounding the target. Charged fragments were analyzed by the SAMURAI spectrometer, and decay neutrons were detected by a combined setup of NEBULA and NeuLAND which provides the

highest 4-neutron detection efficiency achievable at present. Now the data analysis is still in progress, and high statistics will be achieved for four-neutron events as estimated in the preliminary analysis.

● Oral Presentations

Conference

Yang Z.: “Neutrons in extremely many-neutron systems”, Workshop on Nuclear Cluster Physics

(WNC2017), Sapporo Japan 2017, Oct.25-27.

Yang Z.: “studies of multi-neutron systems with $(p,2p)$ reaction”, SAMURAI International Collaboration Workshop 2017, Darmstadt Germany 2017, Aug. 8-11.

Yang Z.: “On the shoulders of BISOL: new opportunities for neutron-rich nuclei studies at around 150 AMeV”, 1st User meeting for BISOL, Beijing China 2017, Mar.18-19.

Investigations of Electromagnetic-Field Induced Effects in Strongly Coupled Gauge Theories

Name: Di-Lun YANG

Host Laboratory: Quantum Hadron Physics Laboratory

Nishina Center for Accelerator-Based Science

Laboratory Head: Tetsuo HATSUDA

Our research has been recently focused on novel quantum effects in chiral systems pertinent to quantum anomalies in the framework of kinetic theory. After constructing the chiral kinetic theory (CKT) through the quantum field theory based on the Wigner-function approach, we further implement such a formalism to investigate the non-equilibrium anomalous transport of chiral fluids formed by Weyl fermions. The goal of our study is to obtain second-order nonlinear responses near local equilibrium stemming from quantum corrections such as the chiral anomaly and side-jump phenomena in the presence of both background electric/magnetic fields and vorticity of fluids. In our study, we firstly show that the local-equilibrium distribution function can be non-trivially introduced in a co-moving frame with respect to the fluid velocity when the quantum corrections in collisions are involved. For the study of anomalous transport, contributions from both quantum corrections in anomalous hydrodynamic equations of motion and those from the CKT and Wigner functions are considered under the relaxation-time (RT) approximation, which result in anomalous charge Hall currents propagating along the cross product of the background electric field and the temperature (or chemical-potential) gradient and of the temperature and chemical-potential gradients. On the other hand, the nonlinear quantum correction on the charge density

vanishes in the classical RT approximation, which in fact satisfies the matching condition given by the anomalous equation obtained from the CKT.

Furthermore, unlike the cases in equilibrium, it is found that the chiral magnetic effect (CME) and chiral vortical effect (CVE) are modified by the shear and bulk strengths. Particularly, the shear strength could result in charged Hall currents for CME and CVE, which propagate perpendicular to applied magnetic fields and vorticity. These quantum corrections stemming from side jumps and anomalies are dissipative and pertinent to interactions. It is in fact that such corrections are also associated with the relation between a time-dependent magnetic field and the coupling of the magnetic field and shear/bulk strength as a reminiscence of AC conductivity for CME, which is also non-equilibrium and dissipative. Moreover, we show that the non-equilibrium corrections for the energy-density current should vanish based on the matching condition obtained from the CKT with the classical RT approximation. Although the non-equilibrium effects upon charge currents are dissipative, the second law of thermodynamics is still satisfied.

● Publications

Papers

Hidaka Y., Pu S. and Yang D.: Relativistic Chiral Ki-

netic Theory from Quantum Field Theories. Phys. Rev. D. Published*

Hidaka Y., Pu S. and Yang D.: Nonlinear Responses of Chiral Fluids from Kinetic Theory. Phys. Rev. D. Published*

Hidaka Y. and Yang D.: Non-equilibrium Chiral Magnetic/Vortical Effects in Viscous Fluids. Submitted Proceedings:

● Presentation

International conferences

Yang D.: “Non-equilibrium anomalous transport of Chiral Fluids from Kinetic Theory”, QCD Workshop on Chirality, Vorticity and Magnetic Field in Heavy Ion Collisions 2018, Galileo Galilei Institute, March 20th, 2018, Florence, Italy

Yang D.: “Nonlinear Responses of Chiral Fluids from Kinetic Theory”, Workshop of Recent Developments

in QCD and Quantum Field Theories, National Taiwan University, November 10th, 2017, Taipei, Taiwan

Yang D.: “Side-Jumps and Collisions in Chiral Kinetic Theory from Quantum Field Theories”, Strangeness and charm in hadrons and dense matter, Yukawa Institute, May 16th, 2017, Kyoto, Japan

Yang D.: “Side-Jumps and Collisions in Chiral Kinetic Theory from Quantum Field Theories”, QCD Workshop on Chirality, Vorticity and Magnetic Field in Heavy Ion Collisions 2017, University of California Los Angel, March 27th, 2017, Los Angel, United States

Domestic conferences

Yang D.: “Nonlinear Responses of Chiral Fluids from Kinetic Theory”, seminar talk, Keio University, November 29th, 2017, Hiyoshi, Japan

Quantum Limited Measurement using Superconducting Circuits

Name: Zhirong LIN

Host Laboratory: Superconducting Quantum Electronics Research Team
Center for Emergent Matter Science

Laboratory Head: Yasunobu NAKAMURA

In present study, we are developing real-time microwave photon detector. Single-photon detection is an essential component in many quantum optics experiments. It is also widely applied to high-sensitivity measurement approaching the quantum limit in various fields. In optical domain, avalanche photodiodes, superconducting nanowire detectors, etc. are commercially available and commonly used. On the other hand, a high-efficiency single photon detector is a long-standing problem in microwave domain, due to weak energy of single quanta (4 to 5 orders of magnitude lower than single optical photon). In last two years, several microwave photodetection experiments have been realized at time-gated-mode including our achievement of microwave photon detection implemented with an impedance-matched artificial Λ type three-level system. The continuous microwave-photon detector is more attractive and practical for quantum-optics ex-

periments. We have tested different designs of the continuous single microwave-photon detector based on impedance-matched Λ system in circuit QED. In the samples, we have observed that both continuous monitoring of quantum state and capturing microwave photons can work simultaneously. We are approaching the optimum design. The final experiments will be carried out in the coming several months. Using a same system, we also performed an experiment of quantum-state swapping between a superconducting qubit and a flying qubit which can be applied to realize a deterministic remote entanglement and distributed quantum computation.

● Publications

Papers

Koshino K., Inomata K., Lin Z. R., Tokunaga Y., Yamamoto T. and Nakamura Y.: Tunable quantum gate

between a superconducting atom and a propagating microwave photon. Phys. Rev. Applied 7, 064006 (2017)* (Editors' Suggestion)

● Oral Presentation

International conferences

Lin Z. R.: "Single microwave-photon detector using superconducting circuits", Forum on Frontiers of Quantum Computation, Beijing China 2017, April

26-28 (Invited Speaker)

● Poster Presentation

Lin Z. R., Inomata K., Koshino K., Masuda S., Yamamoto T. and Nakamura Y.: "Quantum-state transfer between a superconducting qubit and a propagating microwave photon", The CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS), Tokyo Japan 2018, January 15-17

Structural Dynamics of Biomolecules Studied by Novel Single Molecule Spectroscopy

Name: Bidyut SARKAR

Host Laboratory: Molecular Spectroscopy Laboratory

Laboratory Head: Tahei TAHARA

Conformational transitions, typically occurring in microsecond to seconds timescale, usually govern the function of biopolymers (such as proteins, DNA and RNA). While there are several methods to study ms or slower dynamics, the sub-ms regime remained rather unexplored. Two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy (2D FLCS), recently developed at RIKEN, provides a unique opportunity to study conformational dynamics in μ s-ms timescale. In the following, I describe (I) the use of 2D FLCS for elucidating the ligand sensing mechanism of preQ₁ riboswitch, (II) development of dynamic quenching-based 2D FLCS (DQ 2D FLCS) for singly-labeled biopolymers, and (III) implementation of pulsed interleaved excitation (PIE) in 2D FLCS for improving accuracy.

(I) *Folding dynamics and distinct binding mechanisms of preQ₁ riboswitch*: In this work, we performed 2D FLCS on a FRET-pair labeled transcriptional preQ₁ aptamer for elucidating its ligand recognition mechanism. It revealed \sim 100 μ s dynamics between the open (hairpin) and folded (H-type pseudoknot) states in the apo-form. Similar sub-ms dynamics was observed even after the addition of the ligand (preQ₁) or cofactor (Mg²⁺), both of which favors folding. However, the binding mechanisms for these two are different. While Mg²⁺ binds via 'conformational selection' mechanism, preQ₁ follows 'induced fit' mechanism. Interestingly, this fast \sim 100 μ s dynamics was observed in only a small popu-

lation of molecules, while others may follow slower dynamics ($>$ 10ms, as reported previously). We performed kinetic Monte-Carlo simulation to estimate that \sim 10-20% of molecules undergo the sub-ms dynamics. Considering the bacterial transcription rate (40-80 nt/s), the slower dynamics may govern the transcription thermodynamically. In comparison, the μ s-dynamics should provide finer regulation through kinetic control.

(II) *Dynamic quenching-based 2D FLCS (DQ 2D FLCS)*: 2D FLCS usually utilizes fluorescence lifetime of FRET-pair labeled biopolymers to distinguish the conformers by their inter-dye distances. We developed a new method which employs dynamic fluorescence quenching in a 2D FLCS measurement (DQ 2D FLCS). For a singly-labeled biopolymer, it reports the conformation-specific solvent accessibility around the fluorophore. By applying DQ 2D FLCS to a singly-labeled hairpin DNA, we could resolve \sim 100 μ s dynamics between the 'open' and 'hairpin' states. This observation accords well with the result of corresponding FRET-based measurements. In addition, due to its higher sensitivity for local changes, DQ 2D FLCS revealed an additional $<$ 50 μ s local dynamics, possibly between the 'folded' and 'partially folded' hairpin states. By generating state-specific Stern-Volmer plots, we further showed that DQ 2D FLCS can be used to estimate site- and state-specific solvent accessibility for a system un-

dergoing μ s-dynamics.

(III) *Multicomponent analysis by maximum entropy method for PIE-2D FLCS*: Incorporating pulsed interleaved excitation (PIE), in which donor and acceptor molecules are excited alternately, can improve the accuracy of 2D FLCS for FRET-labeled molecules. In this work, we developed the maximum entropy method for analyzing the photon data from PIE-2D FLCS. The analysis protocol characterizes individual species in a mixture by their dye stoichiometry, donor fluorescence lifetime and FRET efficiency. In addition, it also provides the system imperfections, such as the extent of donor fluorescence leak into acceptor detection channel and the direct acceptor excitation by donor excitation pulse. We verified the robustness of the developed analysis for simulated and experimental photon data.

● Oral Presentation

Conference

1. Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Development of dynamic quenching based two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy for studying microsecond conformational dynamics of singly labeled biopolymers”. The 11th Annual Meeting of Japan Society for Molecular Science, Sendai, Japan, 2017, September 15-18.
2. Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy re-

veals μ s-dynamics and distinct folding mechanisms of preQ₁ riboswitch”. The 55th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Kumamoto, Japan, 2017, September 19-21.

● Poster Presentation

Conference

1. Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Microsecond folding dynamics of preQ₁ riboswitch studied by two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy”. KAKENHI International Symposium on “Studying the Function of Soft Molecular Systems”, Sapporo, Japan, 2017, June 26-28.
2. Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy with pulsed interleaved excitation: Multicomponent analysis by maximum entropy method”. The 11th Annual Meeting of Japan Society for Molecular Science, Sendai, Japan, 2017, September 15-18. (Presenting author: Dr. Kunihiko Ishii)

International Conference

3. Sarkar B., Ishii K. and Tahara T.: “Microsecond conformational dynamics and distinct folding mechanisms of preQ₁ riboswitch studied by two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy”. The 62nd Annual Meeting of Biophysical Society, San Francisco, USA, 2018, February 17-21.

Catalytic N₂ Fixation to Diamine with Titanium Complex

Name: Ching Tat TO

Host Laboratory: Advanced Catalysis Research Group

Center for Sustainable Resource Science

Laboratory Head: Zhaomin HOU

In this year, two research projects have been conducted.

(1) Reactivity of Multinuclear Titanium Imide Hydride Cluster

In an attempt to broaden the scopes of N₂ functionalization into organic skeletons using the multinuclear titanium cluster system developed in this laboratory, (Cp*Ti)₄(NH)₂(H)₄ was allowed to react with benzalde-

hyde and its substituted derivatives. In serendipity, the reactions gave moderate to good yields of bibenzyls and (Cp*Ti)₄(NH)₂(O)₂. The carbonyl group in benzaldehyde was reduced and underwent homo-coupling with another reduced benzaldehyde to produce the observed bibenzyl. The bridging hydride ligand in (Cp*Ti)₄(NH)₂(H)₄ was transferred to the benzylic position in bibenzyl based on deuterium labelling experi-

ments. In addition, the carbonyl oxygen was captured into the cubane framework of $(\text{Cp}'\text{Ti})_4(\text{NH})_2(\text{O})_2$. This transformation differs from the McMurry reaction which produces alkenes. This reductive C-C coupling is unique for aromatic aldehydes and inert towards other carbonyl functionalities. Therefore, it tolerates substituted benzaldehydes bearing ketone, amide and ester groups, as well as other electron donating and withdrawing substituents. To our delight, further exposure of $(\text{Cp}'\text{Ti})_4(\text{NH})_2(\text{O})_2$ with 3 equivalents of aromatic aldehydes under air afforded hydrobenzamides and $(\text{Cp}'\text{Ti})_6(\text{O})_6$. It is best described as nitrogen transfer from $(\text{Cp}'\text{Ti})_4(\text{NH})_2(\text{O})_2$ coupled with condensation/trimerization of aldehydes to produce hydrobenzamides. $(\text{Cp}'\text{Ti})_6(\text{O})_6$ could be effectively recycled to $\text{Cp}'\text{TiCl}_3$ through treatment with HCl, therefore com-

pleting the synthetic cycle.

(2) Catalytic NH_3 Synthesis from N_2 and H_2 by Supported Molybdenum Catalyst

This work aims to fix N_2 to NH_3 directly using N_2 and H_2 under conditions much milder than the industrial Haber-Bosch process. The catalyst was prepared by wet impregnation of molecular molybdenum clusters on mesoporous supports. Modifications by (1) changing the supporting materials; (2) addition of second metal as co-catalyst/promoter and (3) catalyst activation methods have been investigated to enhance the NH_3 synthesis activity. Recent investigations allowed reaction conditions from 200 to 400 °C and 10 atm to achieve promising catalytic activity. Further studies to optimize the reaction conditions are underway.

Functional study of the Decision-Making Networks in Zebrafish

Name: Merlin LANGE

Host Laboratory: Developmental Gene Regulation

Brain Science Institute

Laboratory head: Hitoshi OKAMOTO

It is well documented that neuronal circuits of the corticobasal ganglia are critical for decision-making in mammalian. It has been classically hypothesized that the direct and indirect pathways mediate behavioral promotion and inhibition, respectively. However, new reports recently challenged this classical dichotomous model.

We have elucidated that zebrafish *Danio rerio*, has partially the equivalent structure as the mammalian corticobasal ganglia circuitry, and that zebrafish telencephalon contains the direct- and indirect-like neuronal populations essential in action selection during reward and aversion reinforcement. By combining transgenic animal, Rabies-virus tracing system and Scale tissue clearing technology we generate brain wide maps of neurons sending projection to the striatal direct or indirect pathway. We discovered that the majority of the inputs of the striatal pathway arise from the zebrafish dorsal pallial neurons (functionally equivalent to the mammalian cortex). Overall, our results support that

the corticobasal ganglia circuitry is conserved throughout vertebrates - from Zebrafish to Primates.

Then we use in vivo two-photon imaging to monitor the activity of the two-striatal pathways in trained zebrafish for either positive (i.e. food) or aversive (i.e. electric shock) reinforcement learning. At population level we identify two anatomically distinct neuronal clusters during the reinforcement cue presentation, a group of cells show excitatory response, by contrast another population develop an inhibitory response. Furthermore the direct pathway displays tune activity for the positive reinforcement-learning cue while the indirect pathway shows response tuning for the aversive reinforcement-learning cue. Altogether we observed quantitative differences between direct and indirect striatal pathways activity related to value and reward, providing new insights into striatal neuronal mechanism for action selection. Our results reconsider the classical view of corticobasal ganglia function mediating opposite effects, and support a model with different

subpopulation in striatal direct and indirect pathways having opposite activities to adapt the behavioral responses.

● Publications

Lange M., Froc C., Grunwald H., Norton W., Bally Cuif L. “Pharmacological analysis of zebrafish lphn3.1 morphant larva suggest that saturated dopaminergic signaling could underlie that ADHD-like locomotor hyperactivity.” *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, Feb. 2018

● Oral Presentations

Lange M, Kakinuma H, Cherng BW, Shiraki T, Aoki R, Islam T, Hama H, Namiki K, Miyawaki A and Okamoto H. “Differential contribution of striatal pathways activity to action selection after reward and aversive learning” *Japanese Neuroscience Meeting 2017*, Chiba Japan

● Poster Presentations

Lange M, Kakinuma H, Cherng BW, Shiraki T, Aoki R, Islam T, Hama H, Miyawaki A and Okamoto H. “Differential contribution of striatal pathways activity to action selection after reward and aversive learning” *Naito 41st symposium on decision-making 2017*, Sept3-6, Hokkaido, Japan

Lange M, Kakinuma H, Cherng BW, Shiraki T, Aoki R, Islam T, Hama H, Miyawaki A and Okamoto H. “Differential contribution of striatal pathways activity to action selection after reward and aversive learning”, *Society for neuroscience meeting*, Nov 11-15 2017, Washington USA

Lange M, Kakinuma H, Cherng BW, Shiraki T, Aoki R, Islam T, Hama H, Miyawaki A and Okamoto H. “Differential contribution of striatal pathways activity to action selection after reward and aversive learning”, *Zebrafish meeting for behavior and imaging*, Nov 15-17 2017, Rockville USA

Understanding Translation Control and Delay in Circadian Rhythms

Name: Arthur MILLIUS

Host Laboratory: Laboratory for Synthetic Biology

Quantitative Biology Center

Laboratory Head: Hiroki UEDA

Most mammalian proteins have 24-hour (circadian) cycles of production and degradation, but *de novo* transcription is only responsible for a small fraction of this rhythmicity. Previously, we used ribosomal profiling to delineate how ribosomes bind mRNA in mice liver over a 24-hour period, and compared these results to transcription by qPCR and steady state protein accumulation by mass spectrometry for select circadian genes. We observed both a delay between mRNA synthesis and translation, and a delay between translation and protein production for different circadian genes.

Our ribosomal profiling data revealed extensive binding of ribosomes to upstream open reading frames (uORFs) in circadian mRNAs including a central circadian rhythm gene *Per2*. We discovered that more uORFs decrease ribosome binding in the downstream coding region. In addition, a synthetic promoter with many

uORFs causes higher repression of a downstream reporter compared to that of synthetic promoters with few or no uORFs. However, it is unclear if uORFs suppress the threshold required to observe expression in a population or if uORFs directly suppress translation in an individual cell. To distinguish between these models, we will examine expression of fluorescent reporters in individual cells. By comparing expression of a red fluorescent reporter driven by a promoter with an uORF to a green fluorescent reporter without an uORF and vice-versa, we can determine the effect of uORFs in a single cell.

Because *PER2* is a central component of the circadian rhythm-generating circuit, it is crucial to understand how this mRNA may be translationally repressed by its uORF. Loss of the *Per2* uORF in 3T3 cells increases the baseline level of expression of a down-

stream luciferase reporter. However, the physiological relevance for the Per2 uORF in mice and humans is unclear. We will rescue Per1/2 dKO cells and mice with PER2 driven by a Per2 promoter lacking the Per2 uORF. We expect PER2 protein to be higher in cells and mice with PER2 driven by a promoter lacking the Per2 uORF. This may cause a delay in daily PER2 degradation, which may lengthen the circadian period and slow adaptation to artificially induced jet-lag. In addition, our preliminary data show that Per2 may be translationally repressed, and that this repression may be temporally regulated by an unknown trans-acting factor. We will use mRNA crosslinking and mass spectrometry to identify the factor(s) binding the Per2 5' upstream region in an uORF-dependent manner.

Circadian rhythms are linked to a wide array of biological processes including sleep, metabolism, and proper immune system functioning. Defects in circadian rhythms are related to cancer, depression, and

obesity. Therefore, understanding how mRNA translation is modulated throughout the day is crucial for developing new treatments and understanding human health. Importantly, most mRNAs that form the core circuit for circadian rhythms have one or more uORFs like Per2. Understanding the uORF regulatory module and how other trans-acting factors modulate translational repression could suggest new avenues for RNA therapy and lead to human studies examining the impact of uORFs in a wide range of disorders.

● Oral Presentations

Domestic conferences

Millius, A. “Life in Translation: Circadian Rhythms and Living in Japan”, JSBBA 4th Student Forum, Kobe University 2017 (Keynote Speaker)

Millius, A. “After the 2017 Nobel Prize in Physiology of Medicine: The future for circadian rhythms”, Hyogo Science E-café, Kobe University 2017

Determinants of Gene Expression Noise

Name: David PRIEST

Host Laboratory: Laboratory for single cell gene dynamics

Quantitative Biology Center

Laboratory Head: Yuichi TANIGUCHI

We sought to study variability in gene expression among a population of cells (gene expression noise) using the bacterium *Escherichia coli*. One approach to measure gene expression noise is to fluorescently tag a protein of interest and then measure its expression level in hundreds of cells using fluorescence microscopy. Accurate measurement of noise requires a system capable of producing high quality microscope images of thousands of bacterial cells across multiple different samples. Although there were pre-existing sample holders for measuring gene expression noise in *E. coli*, such as the PDMS microfluidic device developed by our laboratory head, they are often difficult to implement. Therefore, for the first part of this project, we sought to create an easy-to-use sample holder. We settled on a design for multi-sample agarose gel pad, that had micro-patterned ‘capsules’ to hold cells still and

flat under the microscope. This device, called Capsule-Hotel, is capable of automatically measuring gene expression noise across 24 samples, thereby permitting high-throughput imaging. Our CapsuleHotel method was published in Scientific Reports, detailed below.

We then used CapsuleHotel to re-measure a set of chromosomal yellow fluorescent protein (YFP) fusion strains originally measured and published by the Laboratory Head in his 2010 paper in Science. We found that in our system, the apparent gene expression noise was lower than the 0.1 ‘noise floor’ measured in that paper. We are currently conducting experiments to determine the validity of this result and its possible cause, which could be a combination of factors such as microscope design, sample holder (CapsuleHotel vs PDMS microfluidic), growth media and even location (Japan vs U.S.).

We also created a library of ~2000 different *E. coli* strains that consisted of a chromosomal YFP fusion strain into which one of 24 different bacterial artificial chromosomes with a different promoter driving a red fluorescent protein (RFP) reporter. We have measured over 1000 of these strains to produce a matrix of YFP vs RFP. We are currently analysing this data to identify ‘global noise factors’, YFP genes that should show highly correlated expression to multiple RFP reporters.

● Publication

Original Paper

Priest, David G., Nobuyuki Tanaka, Yo Tanaka, and

Yuichi Taniguchi. 2017. “Micro-Patterned Agarose Gel Devices for Single-Cell High-Throughput Microscopy of *E. Coli* Cells.” *Scientific Reports* 7 (1). Nature.com:17750.

● Poster presentation

International conference

Priest, David G., Nobuyuki Tanaka, Yo Tanaka, and Yuichi Taniguchi. “High-Throughput Microscopy of *E. coli* Cells with Micropatterned Agarose Devices.” 2017 Synthetic Biology: Engineering, Evolution & Design (SEED), Hyatt Regency, Vancouver, British Columbia, Canada. June 20 - 23 2017.

Trans-family Grafts between Parasitic Plants and their Hosts

Name: Thomas SPALLEK

Host Laboratory: Plant Immunity Research Group

Center for Sustainable Resource Science

Laboratory Head: Ken SHIRASU

Plant diseases lead to substantial yield losses in crop plants. These diseases are caused by plant pathogens that comprise a wide spectrum of different organisms, including parasitic plants. An estimated 1% of known flowering plant species evolved mechanisms to gain access to nutrients and water from the vasculature of other plants. Among the different plant families with parasitic plants, the Orobanchaceae family contains the largest number of agricultural relevant parasitic plants. We, therefore, studied mechanisms of plant-plant parasitism in the Orobanchaceae species *Phtheirospermum japonicum*.

Phtheirospermum is native to East-Asia and became over the recent years a model system for molecular and genetic studies of parasitic plant-host interactions. One crucial step in this development was my observation that *Phtheirospermum* infections of the model plant *Arabidopsis thaliana* is beneficial for the growth of the parasite and detrimental to the growth of the host plant. I was further able to visualize transport routes from host to parasite by using fluorescent tracers and real-time live cell imaging. During these experiments, it was also noted that host plants developed hypertro-

phies above *Phtheirospermum* attachment sites. Hypertrophies result from enhanced tissue growth of infected plants and are characteristic symptoms caused by many, evolutionary unrelated parasitic plants, including mistletoes and some *Cuscuta* species.

The plant hormone cytokinin is a central regulator of plant growth. We, therefore, studied the role of cytokinins in hypertrophy development. Host plants with reduced sensitivity to cytokinins did not develop hypertrophies in response to *Phtheirospermum*, indicating that hypertrophy induced by parasitic plants is primarily driven by cytokinin responses. Host cytokinin biosynthesis mutants, to the contrary, still showed hypertrophies above parasite attachment sites. This result prompted us to investigate the possibility of cytokinin transfer from parasite to host. For this, we quantified cytokinins in wild-type host plants and host cytokinin biosynthesis mutants. In either case, we could confirm an increase in cytokinins upon infection with *Phtheirospermum*. These results, together with experiments done with transgenic *Phtheirospermum* roots that expressed a cytokinin degrading enzyme and showed a reduced induction of hypertrophy, indicate the direct

transfer of cytokinins from parasite to host.

The presence of hypertrophy was further linked to reduced biomass losses in host plants. Cytokinins are known regulators of nutrient allocations in plants and their function is also exploited by other plant pathogens. Our data suggest that cytokinins produced by parasitic plants can act similarly to promote parasitism by parasitic plants. Cytokinin responses also occur during grafting of plant shoots to plant rootstocks. However, unlike in grafting, cytokinin responses triggered by *Phtheirospermum* are prolonged. The significance of this differences is currently under investigation.

● Publication

Papers

Spallek, T., Melnyk, C.W., Wakatake, T., Zhang, J., Sakamoto, Y., Kiba, T., Yoshida, S., Matsunaga, S.,

Sakakibara, H., and Shirasu, K. (2017). Interspecies hormonal control of host root morphology by parasitic plants. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114: 5283–5288.

● Oral presentation

International Conference

Spallek T., Melnyk C., Wakatake T., Kiba T., Yoshida S., Sakakibara H. and Shirasu K.: “Using Hypertrophy to Study Interspecies Signalling between Parasitic Plants and their Hosts” 14th World Congress on Parasitic Plants (14th WCPP), Pacific Grove, USA, 2017, June 25-30.

Spallek T. and Shirasu K.: “Multiple Transport Routes along Vascular Junctions in Haustoria of Parasitic Plants” Molecular Biology of Plants (MBP 2018), Dabringhausen, Germany, 2018, February 20-23.

The Function of Natural Helper Cells in the Maintenance of Adipose Tissue Homeostasis and Metabolism

Name: Kafi EALEY

Host Laboratory: Laboratory for Innate Immune Systems
Center for Integrative Medical Sciences
Laboratory Head: Kazuyo MORO

Obesity is associated with excessive accumulation of white adipose tissue (WAT). In response to excess energy, WAT undergoes expansion by changing the size of adipocytes, increasing the number of adipocytes through recruitment and activation of adipocyte precursor cells (APCs) and dynamic remodeling of the extracellular matrix (ECM). Chronic overnutrition, however, results in a shift from type 2 immunity that is associated with metabolic homeostasis and anti-inflammatory processes to type 1 immunity associated with chronic low-grade inflammation, metabolic dysregulation and insulin resistance. Group 2 innate lymphoid cells (ILC2s) are a critical innate cellular source of type 2 cytokines in fat. ILC2s constitutively produce type 2 cytokines, particularly IL-5 and IL-13, and rapidly produce large amounts of these cytokines in response to stimulation with IL-33 and IL2+IL-25. The overall goal of this project was to characterize the molecular

pathways by which adipose tissue ILC2s interact with adipocytes and their precursors during adipose tissue expansion and remodeling.

Using an *in vitro* transwell co-culture system, I found that soluble factors from activated ILC2s inhibited pre-adipocyte differentiation of mature adipocytes and inhibited expression of key adipogenic genes. Conversely, adipocyte-derived factors inhibited ILC2 function through inhibition of type 2 cytokine production. Using *in vivo* models, I found that HFD-induced early activation of APCs was significantly blunted in *Rag2^{-/-} γ c^{-/-}* mice that are deficient in all adaptive and innate lymphocytes, including ILC2s. Previous unpublished data from our research group has shown that these mice are obesity-resistant, thus my findings suggest that ILC2s may be important in the initial activation of pathways of APC differentiation to mature adipocytes. Interestingly, although the function of ILC2s was not inhibited

during the early stages of HFD feeding, in obese mice fed a long-term high-fat diet, cytokine production in ILC2s was significantly blunted. Overall these data suggest a model whereby adipose tissue ILC2s play a critical role in activation of APCs in response to energy excess, facilitating pathways of differentiation of mature adipocytes. However, chronic overnutrition leads to the development of mature adipocytes that secrete factors to inhibit and limit ILC2 function and excess activation of type 2 immunity.

● Publications

Ealey KN, Moro K, Koyasu S. Are ILC2s Jekyll and Hyde in airway inflammation? *Immunol Rev* 2017; 278(1): 207-218 (Review)

● Oral Presentations

46th Annual meeting of the Japanese Society for Immunology

Ealey KN, Koyasu S, Moro K. Mechanisms for the regulation of adipose tissue expansion and remodeling by group 2 innate lymphoid cells. Sendai Japan 2017, Dec. 12.

● Poster Presentations

46th Annual meeting of the Japanese Society for Immunology

Ealey KN, Koyasu S, Moro K. Mechanisms for the regulation of adipose tissue expansion and remodeling by group 2 innate lymphoid cells. Sendai Japan 2017, Dec. 12.

Establishment of the Drug Screening System for the Treatment of *NGLY1* Mutation Patients

Name: Chengcheng HUANG

Host Laboratory: Glycometabolome Team/Systems Glycobiology
Global Research Cluster

Laboratory Head: Tadashi SUZUKI

To investigate the ENGase specific pattern in the cell for the screening system, RTAΔN236Q, the model glycoprotein prone to get aggregated when its single glycan was cleaved during the ERAD, was added by EGFP and RFP at the C-terminus. The cell fractionation experiment showed increased solubility of non-glycosylated form of both fluorescent labeled protein and live cell image showed endosome-like co-localization instead of cytosolic localization of the non-fluorescent labeled protein. At the same time, an aggreosome-formation protein httQ91 kindly provided by Dr. Kopito (Stanford University) was also co-expressed with RTAΔN236Q for the living cell image. The result showed a short life of the cells bearing the httQ91 protein after formation of the aggreosome, making it difficult for the observation of co-localization of the substrates and impossible for identifying an inhibitor.

To this end, the fluorescent labeling method was not suitable for this system. Next the cells were expressed with RTAΔN236Q and the cells detected by western blotting analysis as well as cell staining in fixed cells.

when treated with proteasome inhibitor MG132 or bortezomib, increased amount of non-glycosylated protein, as well as increased staining of both the glycosylated and non-glycosylated protein was observed by western blotting analysis in Double-KO cell which did not have any deglycosylating enzyme, meanwhile, large dots were observed in the cell staining. Similar dots were also observed in Wild Type cells, as well as the Ngly1-KO cell, when calculating the ratio of the cells bearing the dots, the Ngly1-KO showed slightly higher ratio than the Double-KO cell. While whether this aggregation is correlated with the insoluble fraction of RTAΔN236Q needs to be further confirmed. To identify whether this aggregation was specific to RTAΔN236Q, the staining of other reported ERAD substrate was also detected, the result showed dot-like staining of NHK but not TCR, suggesting the formation of the aggregation is dependent on the nature of the substrate. The nature of the dot was also detected by co-staining with different markers, no specific co-localization was observed when using the aggreosome

marker vimentin, ER marker Calreticulin, the autophagy marker LC3, and GlcNAc staining lectin WGA, which needs further identification.

● Publications

Original paper

Ishii N., Sunaga C., Sano K., Huang C., Iino K., Matsuzaki Y., Suzuki T. and Matsuo I. A New Fluorogenic Probe for the Detection of Endo- β -N-acetylglucosaminidase. *ChemBioChem*. Accepted Author Manuscript. doi:10.1002/cbic.201700662

Galeone A, Han SY, Huang C, Hosomi A, Suzuki T, Jafar-Nejad H. Tissue-specific regulation of BMP signaling by *Drosophila* N-glycanase 1. *Elife*. 2017 Aug 4;6. pii: e27612.

Fujihira H, Masahara-Negishi Y, Tamura M, Huang C, Harada Y, Wakana S, Takakura D, Kawasaki N, Taniguchi N, Kondoh G, Yamashita T, Funakoshi Y, Suzuki T. Lethality of mice bearing a knockout of the

Ngly1-gene is partially rescued by the additional deletion of the Engase gene. *PLoS Genet*. 2017 Apr 20;13(4):e1006696.

● Presentations

International symposium

Huang C., Harada Y., Hosomi A., Masahara-Negishi Yuki., Seino J., Fujihira H., Funakoshi Y., Suzuki T., Dohmae N., and Suzuki T.: Studies on the pathologic mechanism of NGLY1 deficiency. *Systems glycobiology and beyond*. Nov. 16-17, 2017 (Wako) poster presentation.

Domestic conferences

Huang C., Harada Y., Hosomi A., Masahara-Negishi Yuki., Seino J., Fujihira H., Funakoshi Y., Suzuki T., Dohmae N., and Suzuki T.: Studies on the pathologic mechanism of NGLY1 deficiency. *Consortium of Biological Sciences 2017 Dec. 6th~9th, 2017*. (Kobe) poster presentation.

Neural Circuit and Molecular Mechanisms in Lateral Amygdala for Fear Memory Consolidation

Name: Bao Zhen TAN

Host Laboratory: Neural Circuits of Memory Laboratory

Brain Science Institute

Laboratory Head: Joshua JOHANSEN

In the present study, we used auditory fear conditioning to study the neuronal substrates of associative learning and mechanisms of memory formation in the mammalian brain. During this acquisition phase, animals learn that a neutral auditory tone (conditioned stimulus, CS) predicts an aversive event, an electric foot shock in this case (unconditioned stimulus, US). Retrieval of this well-established memory by presenting a learned fear cue (CS) triggers reconsolidation processes during which memory may be updated, weakened or strengthened. Noradrenergic (NA) blockade in the rat basolateral amygdala (BLA) combined with retrieval impairs reconsolidation of fear memories. Emotional arousal can lead to the activation of NA cells located in the locus coeruleus (LC) and other brainstem areas, and can cause the subsequent release

of NA in the brain and modulate memory storage. However, it is unclear if LC is the source of NA to the BLA for fear memory reconsolidation, and what the precise temporal aspects of LC-NA signaling during retrieval and reconsolidation are. 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 cue presentation period during retrieval using inhibitory opsins and laser inhibition. I found that temporally specific inhibition of NA nerve terminals in the LA during cue retrieval is sufficient to attenuate post-retrieval long term memory (PR-LTM) 24 hours later, compared to fluorescent controls.

In the brain, encoding and storing of associative memories requires the detection of different input sig-

nals 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. CRTTC1, 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 auditory cue retrieval (and not context exposure) produces a significant increase in CRTTC1 nuclear translocation in the LA neurons immediately after, and nuclear localization is maintained and enhanced even after 1 hour, suggesting that CRTTC1 may serve to regulate long term memory retrieval and reconsolidation in the LA. Indeed, when CRTTC1 activity or expression was decreased via viral expression of a dominant-negative version of CRTTC1 or shRNA targeting CRTTC1 respectively, PR-LTM was attenuated. Furthermore, optical inhibition of LC-NA projections in the LA during cue retrieval blocks this CRTTC1 nuclear translocation.

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 once formed, are maintained 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

Paper

#Uematsu, A., #Tan, B.Z., Ycu, E.A., Sulkes, J., Koivumaa, J., Junyent, F., Kremer, E.J., Witten, I.B., Deisseroth, K., and Johansen, J.P. Modular organization of the brainstem noradrenaline system coordinates opposing learning states. *Nat Neurosci*, 20: 1602-11. (2017).* (#co-first authors)

Review article

Uematsu, A., Tan, B.Z., and Johansen, J.P.: Projection specificity in heterogenous locus coeruleus cell populations: implications for learning and memory. *Learn & Mem*. 22: 444-51. (2015).*

● Poster Presentation

International Conference

Tan, B.Z. and Johansen, J.P. “Noradrenergic control of memory reconsolidation – from circuits to molecules.” Society for Neuroscience, Washington, D.C. USA, 2017, Nov 11-15.

Tan, B.Z. and Johansen, J.P. “Noradrenergic control of memory reconsolidation – from circuits to molecules.” Asia-MCCS meeting, Singapore, 2017, Aug 1-3.

Tan, B.Z. and Johansen, J.P. “Noradrenergic control of memory reconsolidation – from circuits to molecules.” Europe-MCCS - FENS meeting, Copenhagen, Denmark, 2016, June 30 – July 6.

Domestic Conference

Tan, B.Z. and Johansen, J.P. “Noradrenergic control of aversive memory formation – from circuits to molecules.” Japan Neuroscience Society meeting, Chiba, 2017, July 20-23.

メタマテリアルを装荷したナノ流体デバイスによる超高感度赤外分光法の創成
Novel Infrared Absorption Nanospectroscopy Using Metamaterials for Bioanalysis
in Nanofluidic Devices

研究者氏名: レッサーハクホウン Thu Hac Huong Le

受入研究室: 光量子工学研究領域

フォトン操作機能研究チーム

(所属長 田中 拓男)

近年、生体内分子の機能解析により、がんの早期診断や個別化治療に有用なバイオマーカーの探索を目指すプロテオミクスやメタボロミクスの研究が盛んに行われる。そのため、標的単一細胞の組織やタンパク質等をラベルフリーで定性、並びに定量する方法が要求される。赤外分光法は分子の化学結合や構造情報を与え、タンパク質構造機能解析に非常に有力な手法である。赤外吸収を増強させる方法として金属微粒子、金属薄膜やプラズモニク・メタマテリアルを用いた表面増強赤外吸収分光法が注目されてきた。一方、プラズモンによる増強効果を最大限に利用するには、分子が増強された電場領域（ホットスポット）内に存在する必要がある。しかし、従来の技術ではその制御は困難であった。そこで、本研究はナノ流体工学を利用する極微小空間内（幅や深さが数十nm程度）における分子捕獲操作に着目し、分子をメタマテリアルのホットスポットに輸送できるデバイスを考案した。本研究の目的は、プラズモニク・メタマテリアルとナノ流体デバイス融合させ、新たな赤外分光デバイス構築を作り、超高感度な赤外分光法を実現する。

本デバイスは平らな金ミラーと中赤外光に共振する金属微小光共振器の間に数十nm（深さ）の流体チャンネルが挟み込まれた構造となった。この構造に無偏光の垂直入射に対して、中赤外領域に強いプラズモンモード（四重極子共鳴モード）を表すことが分かった。また、この共鳴モードにおいて電場と磁場とも微小光共振器と金属ミラーの間に蓄積し、すなわちナノチャンネルの部分が電磁場のホットスポットとなった。そこに対象分子を導入すれば、分子と前述したプラズモンモードとの相互作用を最大限に引き起こすことができ、分子の赤外吸収検出感度を著しく向上できる。

研究期間内では、金属ナノ構造体を装荷するかつナノギャップを精密に制御できるナノ流体デバイスの新たな製作方法を開発し、超高感度な赤外分光法

を開発するとともに以下の機能・応用を実現した。

- (1) 定性・定量分析を実証した。その感度は従来のメタマテリアルを用いた赤外分光法よりも2桁以上の感度向上が実現できた。
- (2) 本デバイスの極短光路長の特徴を利用し、水溶液中のタンパクの測定に成功した。
- (3) 本デバイスにおけるプラズモンの空間的分布を生かし、10-100 nm空間に閉じ込まれた水分子やタンパク質の分子構造解析方法を開発した。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- (1) Thu H. H. Le, T. Tanaka*, “Plasmonics-nanofluidics hybrid metamaterial: an ultrasensitive platform for infrared absorption spectroscopy and quantitative measurement of molecules”, *ACS Nano* **11**, 9780-9788 (2017).
- (2) Thu H. H. Le, T. Tanaka*, “Plasmonics-nanofluidics hybrid metamaterial absorbers: fabrication and applications in infrared absorption spectroscopy”, *The proceedings of the 21th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences*, 105-106 (2017).
- (3) S. W. Heo, Thu H. H. Le, T. Tanaka, I. Osaka, K. Takimiya, and K. Tajima*, “Cumulative gain in organic solar cells by using multiple optical nanopatterns”, *Journal of Materials Chemistry A* **5**, 10347-10354 (2017).
- (4) Thu H. H. Le, and T. Tanaka*, “Novel nanofluidic configuration with metamaterials integrated for ultra-sensitive infrared absorption spectroscopy”, *The proceedings of the 20th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences*, 1112-1113 (2016).

●口頭発表 Oral Presentations

(学会)

- (1) <招待講演> Thu H. H. Le, T. Tanaka, “Manipulating the confinement of plasmonic energy in plasmonics-nanofluidics hybrid device and its applications”, *the 2nd International Symposium on Optically-Assisted Mechanical Systems & the 2nd RIKEN-nCOMS Joint Symposium*, Seoul, Korea (2017).
- (2) Thu H. H. Le, T. Tanaka, “Plasmonics-nanofluidics hybrid metamaterial absorbers: fabrication and applications in infrared absorption spectroscopy”, *the 21th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences*, Savannah, U.S.A. (2017).
- (3) Thu H. H. Le, T. Tanaka, “Infrared absorber by metamaterials embedded in nanofluidic device for ultrasensitive IR spectroscopy”, *the 9th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS9)*, BC, Canada (2017).
- (4) Thu H. H. Le, and T. Tanaka, “メタマテリアルが装荷したナノ流体デバイスによる超高感度赤外分光分析法の実現とその応用”, 日本化学会春季年会, 3月(2017)
- (5) <招待講演> Thu H. H. Le, T. Tanaka, “Nanofluidics: an emerging platform for metamaterials-based nanospectroscopy and biosensors”, *the 1st RIKEN-nCOMS Joint Symposium & RIKEN Metamaterials Symposium 2016*, Wako, Japan (2016).
- (6) Thu H. H. Le, and T. Tanaka, “Design of plasmonic metamaterials for photothermal spectroscopy and application in molecular detection”, *SPIE Optics +*

Photonics 2016, San Diego, U.S.A (2016).

- (7) Thu H. H. Le, and T. Tanaka, “Nanofluidic device embedded with metamaterials for ultrasensitive infrared absorption spectroscopy”, 理研・RAPシンポジウム, 和光, 11月(2016)

●ポスター発表 Poster Presentations

(学会)

- (1) Thu H. H. Le, and T. Tanaka, “Novel nanofluidic configuration with metamaterials integrated for ultrasensitive infrared absorption spectroscopy”, *the 20th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences*, Dublin, Ireland (2016).
- (2) Thu H. H. Le, and T. Tanaka, “Nanofluidic device with metamaterials embedded for ultrasensitive infrared absorption spectroscopy”, *the 8th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology (IWAMSN)*, Ha Long, Vietnam (2016).
- (3) Thu H. H. Le, Y. Yokota, and T. Tanaka, “Novel photothermal spectroscopy using plasmonic metamaterials for detection in nanofluidics”, *the 9th International Conference on Nanophotonics*, Taipei, Taiwan (2016).
- (4) Thu H. H. Le, T. Tanaka, “Novel infrared absorption nanospectroscopy by nanofluidic devices integrated with metamaterials for bioanalysis”, *the 8th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS8)*, Vienna, Austria (2015).

2017-18 基礎科学・国際特別研究員年報

平成30年7月30日 印刷

平成30年7月30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

2017-18

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs
FY2017-18 Annual Report

基礎科学・国際特別研究員年報