

物理教室年次報告書
平成27年度

2016年3月
九州大学大学院理学研究院物理学部門

目次

はじめに	1
平成27年度の研究テーマと成果	
素粒子理論	2
理論核物理	14
宇宙物理理論	33
実験核物理	46
素粒子実験	60
物性理論	95
統計物理学	100
凝縮系理論	109
磁性物理学	112
量子微小物性	118
固体電子物性	126
光物性	136
低次元電子物性	142
複雑物性基礎	144
複雑流体	156
客員准教授	163
教職員一覧	164
各種委員一覧	165
物理学教室談話会	166
物理学教室水曜木曜談話会	169
物性基礎論コロキウム	170
九大原子核セミナー	173
非常勤講師一覧	174
外国人研究者等受入記録	175
教育課程委員会活動報告	176
物理学部門ファカルティ・デベロップメント報告	178
入学者数と卒業者数	180
就職・進学情況	181
体験入学・公開講座報告	182
社会活動貢献報告	184

はじめに

本報告書は、九州大学理学研究院物理学部門の年次報告として、2015年度の活動記録をまとめたものです。

本年度は、理学研究院の箱崎キャンパスから伊都キャンパスへの移転という大事業がありました。移転前の準備、移転作業、移転後の設置作業が年度内に完了しました。各研究室と物理事務室の活動も軌道に乗りました。物理教室の皆さまには無事に行えたことに深く感謝致します。

また、本年度は大学全体にかかわる動きとして、第2期法人評価における現況調査表作成がありました。副研究院長の和田教授を中心として教職員の方たちの御協力により多大の労力をかけて作成にこぎつけました。

物理部門内の人事面では、4月には前多准教授と稲垣助教が着任しました。1名の助教の再任が高い評価で認められました。10月には吉森准教授が新潟大学理学部へ教授として転出致しました。さらに、山岡助教が国立天文台に准教授として平成28年4月から転出が決まりました。伊都キャンパスに来られる方、出られる方、共に今後の御活躍を願います。

一方、森田教授が113番新元素の命名権を獲得し、学士院賞の受賞が決定、佐藤准教授が科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞しさらに第17回サー・マーティン・ウッド賞を受賞、寺西准教授が平成26年度特別研究員等審査会専門委員表彰など素晴らしい成果が上がっています。

伊都キャンパスでのタンデム加速器の建設は順調に進み、平成27年7月には物理学科3年生の学生実験を実施、箱崎キャンパスから移設したビームラインの整備と並行する形で研究・教育での利用が行われています。

教育研究活動に大きな影響を与えた移転作業も一段落つきました。物理学部門では最近の学生の動向を鑑みて学生支援室を立ち上げることにしており、講師を配置する予定です。新キャンパスで気分も一新し、物理学部門の一層の発展を期待致します。

物理教室の情報はウェブサイト

<http://www.phys.kyushu-u.ac.jp>

にあり、適宜更新されていますので御参考にしてください。

物理学部門 部門長 橋本正章

素粒子理論

研究室構成員

鈴木博 教授 原田恒司（基幹教育院） 教授
大河内豊（基幹教育院） 准教授 小島健太郎（基幹教育院） 准教授
奥村健一 助教 田尾周一郎（基幹教育院） 助教
《 博士研究員 》

《 大学院 博士課程 》

牧野広樹 水口拓也

《 大学院 修士課程 》

伊波寿 笠井彩 遠藤佑 稗田健治

《 学部 卒業研究生 》

相場信孝 釘崎充規 土屋創聖 野田憲之介
森川億人

《 訪問研究者 》

井上研三 久保博史 郷六一生 豊田文彦 杉野文彦

担当授業

力学・同演習（奥村健一）、統計力学I・同演習（奥村健一）、物理学特別講義I（奥村健一）、解析力学（鈴木博）、物理学基礎演習（鈴木博）、量子力学II（鈴木博）、物理学特別研究I・II（鈴木博・奥村健一）、場の量子論（鈴木博）、M1ゼミナール（鈴木博・奥村健一）、素粒子理論（原田恒司・大河内豊・小島健太郎）

研究・教育目標と成果

格子上の核子系有効場理論による有限密度系の研究（原田恒司）

昨年度に引き続き、核子系有効場理論を格子上で数値シミュレーションする研究を行った。実際にシミュレーションを行うにあたって、2つの問題が生じ、その解決を行った。第1に、非相対論的フェルミオンに対して、有限温度効果が予想以上に大きく

現れることがわかった。格子上では、温度方向に反周期的境界条件を課すが、この境界条件は非相対論的な伝播関数の境界条件と相性が悪く、離散化の詳細に依存してしまう。この問題は、非物理的な化学ポテンシャルを導入することで回避できることがわかった。第2に、連続理論での繰り込み群の解析は存在するが、格子正則化での繰り込み群の解析はなされておらず、そのため、非自明固定点、繰り込み群のフローの詳細など、非普遍的なものについては知られていない。この問題を、格子上でのハミルトニアンに対角化を用いて数値的な繰り込み変換を行なうことで定量的に研究した。その成果は、Koji Harada, Satoru Sasabe, and Masanobu Yahiro, "Numerical study of renormalization group flows of nuclear effective field theory without pions on a lattice" [arXiv:1604.02882] にまとめた。これらの研究は、核理論研究室の八尋教授と佐々部悟氏との共同研究である。

高次元理論における大統一対称性の自発的な破れと真空構造の解析 (小島健太郎)

これは熊本保健科学大学の竹永和典氏および愛知医科大学の山下敏史氏との共同研究である。非単連結な余剰次元を持つ高次元理論では、ゲージ場の余剰次元成分の非自明な配位が実現することで、ゲージ対称性が自発的に破れうるということが知られている。本研究では、この機構を大統一対称性の破れに適応できる可能性に着目し、単純群 $SU(7)$ 、 $SU(8)$ 、 $SO(10)$ 、 E_6 、および直積群 $SU(5) \times SU(5)$ に基づくモデルを構築した。それぞれのモデルにおける真空構造は、理論が含む粒子がつくる量子補正に応じて変化する。我々は、上記のモデルにおいて、理論の粒子スペクトルと真空構造の関係を解析することで、低エネルギーで標準理論のゲージ対称性を実現する粒子スペクトルが存在することを明らかにした。また、直積群 $SU(5) \times SU(5)$ に基づくモデルにおいては、超対称性を持つ場合への拡張を行い、さらに有限温度の効果を取り入れて理論の真空の大域的構造を解析した。その結果、大域的真空の持つゲージ対称性が、超対称性の破れ、余剰次元のサイズ、温度という3つのスケールの変化により変化することが明らかになった。この結果は、宇宙進化の歴史を含めて大統一理論のモデルを考察するうえで興味深いものだと考えている。

超対称性の破れの mirage mediation における Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model (NMSSM) の現象論的解析 (奥村健一、牧野広樹)

LHC 実験 RUN1 が終了し、様々な解析の結果、125GeV の質量で発見された Higgs 粒子はほぼ標準理論が予言する性質を持つ事が明らかになった。一方で超対称粒子を始めとする新物理の兆候は見られず、強い相互作用をする超対称粒子の質量下限は 1.5TeV に達した。このような状況を踏まえ、LHC の結果を自然に説明できるモデルの構築を目標に研究を行った。昨年度は TeV scale mirage mediation において MSSM に一重項場

を導入した NMSSM を考察したが、そこで発見した二重項ヒッグスと一重項ヒッグスの抑制効果についてさらに研究を進めた。一般に標準理論のヒッグス場と量子数が同じ軽いスカラー場が存在すると質量行列を通じて混合し、ヒッグス粒子と標準理論の他の粒子の結合定数が標準理論から大きくずれて実験の制限に抵触する。我々が考察した模型においては標準理論ヒッグス場に相当する二重項ヒッグス場と一重項ヒッグス場がそれぞれ異なる二つの近似的なスケール対称性の破れに伴う南部-Goldstone 粒子に対応していることにより、混合が強く抑制されていることが明らかになった。この機構は TeV scale mirage mediation に限らず、広く応用が可能であると考えられる。またこれとは別に TeV scale mirage-mediation では特殊な A 項の値のため不思議なことに、LHC でのヒッグス粒子の生成に寄与する 2 グルーオン結合やヒッグス粒子の 2 光子崩壊を引き起こす 2 光子結合に対する超対称粒子からの量子補正の主要項が自動的に相殺し、模型の枠内で軽い超対称粒子が存在しても標準理論の値からずれないことも発見した。昨年度の成果も合わせ、これらの成果を論文にまとめ発表した。また国際学会 LCWS2015 においても発表を行った。

超弦理論における準安定状態の崩壊と触媒効果の研究（笠井彩、大河内豊）

弦理論の近年の発展は、新しい宇宙像を描き出している。物理学において準安定状態は良く見られるが、弦理論においても多くの準安定状態が実現されているようなのである。もしこれが事実だとすると、初期宇宙において、現在とは異なる準安定状態に一度トラップされ、様々な真空間の遷移が繰り返されたと考えられる。一方で、D ブレーンを用いたスタンダードモデルの構成が弦理論では盛んに行われている。D ブレーンとアンチ D ブレーンが消滅するとき、より次元の低い D ブレーンが生成されることが知られている。これら 2 つの事実を組み合わせると、初期宇宙において準安定状態にも低い次元の D ブレーンが存在しうることになる。我々の 4 次元時空から見れば、これはソリトンとして観測できるものであり、その存在が真空の安定性に大きく寄与する可能性がある。我々は、こうしたソリトンに対応する D ブレーンが、真空の相転移を引き起こすバブルの生成率を高め、準安定状態の寿命が劇的に短くなる事を示した。また、弦理論の特有の効果からの補正も含め、さらに精密化した計算を行った。また、このアイデアを進め、現在の世界を記述する上で重要なバリオンそのものが触媒効果を引き起こす事も示した。これらの結果は弦理論のランドスケープと呼ばれる概念を議論する上で、触媒効果は見逃すことができない物理的構成要素であることを示唆している。

グラディエント・フローの摂動展開における背景場の方法とその応用（鈴木博）

近年、格子ゲージ理論の文脈でグラディエント・フローという手法が注目されている。

これは、ゲージ場の配位を一種の熱拡散方程式に従って発展させ、配位を滑らかにするものである。このグラディエント・フローの特異な性質として、これをゲージ場の量子論に適用した場合、繰り込まれた場や繰り込まれた複合演算子が自動的に得られることが分かっており、この性質を用いることで繰り込まれた物理量・観測量を摂動論によらずに構成することができる。我々は以前、グラディエント・フローのこの性質に注目することで、用いる正則化に依存しないエネルギー運動量テンソルの構成法を得た。この構成法は非摂動論的な格子ゲージ理論にも応用可能で現在注目を集めているが、この構成にはグラディエント・フローの摂動展開を計算する必要がある、そのダイアグラムの計算は非常に煩雑なものであった。この研究は、古くからゲージ場の量子論で知られて来た背景場の方法の考え方をグラディエント・フローに拡張したもので、上記の摂動計算に対する極めて見通しのよい計算法を与える。実際、この計算法による簡明な計算によって、我々の過去の1ループ計算に誤りがあったことが発見された。現在は、この手法を用いて稗田健治さんとグラディエント・フローの2ループ計算に挑戦しているところである。

コンフォーマルブートストラップ法から得られる多フレーバーゲージ理論の質量異常次元の上限 (伊波寿、牧野広樹、鈴木博)

(この研究は、伊波寿さんの修士論文の内容に基づいている。) 近年、微調整問題の解決、またヒッグス粒子の真の起源の観点から、テクニカラー模型が再び注目を集めている。この模型が現実的なクォークの質量を説明するために考えられたのがウォーキングテクニカラーであるが、このシナリオが働くためには、テクニクォークの質量異常次元がオーダー1になる必要がある。これはテクニゲージ理論の非摂動論的效果によるものと考えられており、この可能性を理論的に検証するにはゲージ理論の非摂動論的解析が必要となる。これまで、この問題、およびこれと密接に関連した共型場理論は格子ゲージ理論に基づいた数値シミュレーションにより極めて精力的に研究されてきたが、異常次元の値に関する限り、コンセンサスが得られたとは言いがたい。これは共形対称性を持った理論を有限体積の格子シミュレーションで調べることによる系統誤差によるものと思われる。こうした状況で我々は、高次元の共型場理論に対する厳密なアプローチである、コンフォーマルブートストラップ法をこの問題に適用することで何らかの物理的結果が得られないかを模索した。その結果、 $SU(12)$ の大域的対称性を持った多フレーバーゲージ理論に対するスタガードフェルミオンを用いた格子シミュレーションにおいて低エネルギーの固定点が見えているという条件のもとで、この理論の固定点での質量異常次元 γ_m^* に対して、 $\gamma_m^* \leq 1.29$ という厳密な上限を得た。この上限自体はそれほど強いものではないが、こうした厳密な上限値が得られることは、コンフォーマルブートストラップ法という非常に新しい手法—これも近年

極めて精力的に研究されている分野であるが—の素粒子物理学への応用として大変興味深い可能性を提示できたと考えている。

発表論文

《原著論文》

Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediation:

Kei Hagimoto, Tatsuo Kobayashi, Hiroki Makino, Ken-ichi Okumura and Takashi Shimomura,

Journal of High Energy Physics **1602** (2016), 089

[arXiv:1509.05327 [hep-ph]]

Gravitational correction to fuzzy string in metastable brane configuration:

Aya Kasai, Yutaka Ookouchi,

Journal of High Energy Physics, **1506** (2015), 098 [arXiv:1504.00479 [hep-th]]

Baryon as impurity for phase transition in string landscape:

Aya Kasai, Yuichiro Nakai, Yutaka Ookouchi.

[arXiv:1508.04608 [hep-th]]

Background field method in the gradient flow:

Hiroshi Suzuki,

Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2015** (2015) 10, 103B03 [arXiv:1507.02360

[hep-lat]]

Upper bound on the mass anomalous dimension in many-flavor gauge theories – a conformal bootstrap approach:

Hisashi Iha, Hiroki Makino, Hiroshi Suzuki,

[arXiv:1603.01995 [hep-th]]

to appear in Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2016**.

《Proceedings》

TeV scale mirage mediation in NMSSM and precision Higgs measurement:

Ken-ichi Okumura,

Proceedings of the International Workshop on Future Liner Colliders, Whistler, Canada,
2-6 November 2015 [arXiv:1603.04205 [hep-ph]]

Background field method in the gradient flow:

Hiroshi Suzuki,

[arXiv:1510.08675 [hep-lat]]

(2 + 1)-flavor QCD thermodynamics from the gradient flow:

Etsuko Itou, Hiroshi Suzuki, Yusuke Taniguchi, Takashi Umeda,

[arXiv:1511.03009 [hep-lat]]

Thermodynamics and reference scale of $SU(3)$ gauge theory from gradient flow on fine
lattices:

Masakiyo Kitazawa, Masayuki Asakawa, Tetsuo Hatsuda, Takumi Iritani, Etsuko Itou,
Hiroshi Suzuki,

[arXiv:1511.05235 [hep-lat]]

《その他の論文》

LCWS2015 会議報告:

奥村健一、佐貫智行,

加速器 vol.13, No. 1, 2016

著書

「新著紹介」園田英徳：今度こそわかるくりこみ理論:

鈴木博,

日本物理学会誌 71 巻 6 号掲載予定

グラディエントフローによる格子ゲージ理論のエネルギー運動量テンソル:

鈴木博,

「科研費NEWS」(2016 年度 VOL. 1) 掲載予定

講演

《 海外での講演 》

TeV scale mirage mediation in NMSSM and precision Higgs measurement:

Ken-ichi Okumura,

The International Workshop on Future Liner Colliders、2015年11月2–6日、Whistler, Canada

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory:

○笠井彩、大河内豊、

The 21st International Symposium on Particle, Strings and Cosmology (PASCOS 2015)、2015年7月2日、International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy

《 国内での講演 》

核子系有効場理論に対する繰り込み群の流れの研究

佐々部悟、原田恒司、八尋正信

日本物理学会第71回年次大会、2016年3月19日、東北学院大学

Singlet-doublet mixing in NMSSM and approximate scale symmetries

萩本啓、小林達夫、牧野広樹、○奥村健一、下村崇

日本物理学会第71回年次大会、2016年3月22日、東北学院大学

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

素粒子論研究室セミナー、2015年6月10日、京都大学理学部

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

素粒子論研究室セミナー、2015年6月22日、茨城大学理学部

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

原子核三者若手夏の学校2015、2015年8月20日、ホテルたつき

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

基研研究会「素粒子物理学の進展 2015」ポスター発表、2015年9月17日、京都大学基礎物理学研究所

宇宙の歴史と物理法則

大河内豊

高校生科学技術コンテスト、2015年9月23日、九州大学

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

国際研究集会「KEK theory workshop 2015」、2015年11月10日、高エネルギー加速器研究機構

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

国際研究集会「Developments in String Theory and Quantum Field Theory」、2015年12月2日、京都大学基礎物理学研究所

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

○笠井彩、大河内豊

日本物理学会第121回九州支部例会、2015年12月5日、九州工業大学

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

笠井彩、○大河内豊

素粒子論研究室セミナー、2015年12月8日、大阪大学理学部

Background field method in the gradient flow:

Hiroshi Suzuki

国際会議「The 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2015)」、2015年7月18日、神戸国際会議場

Energy-momentum tensor on the lattice from the gradient flow:

Hiroshi Suzuki

国際研究集会「Numerical approaches to the holographic principle, quantum gravity and cosmology」、2015年7月24日、京都大学基礎物理学研究所

Background field method in the gradient flow:

鈴木博

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月 25 日、大阪市立大学

Bosonization in the path integral formulation:

鈴木博

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月 27 日、大阪市立大学

Lattice energy-momentum tensor from the gradient flow:

Hiroshi Suzuki

初田量子ハドロン研究室セミナー、2015 年 11 月 2 日、理化学研究所

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

科学研究費補助金、基盤 C (一般)

格子上の核子系有効場理論による低温高密度系の研究

研究代表者：原田恒司

科学研究費補助金、基盤 C (一般)

ゲージヒッグス統一機構の大統一理論への応用とダイナミクスの解明

研究代表者：竹永和典

研究分担者：小島健太郎

科学研究費補助金、若手 B

真空の安定性と軽い粒子からの弦理論への制限

研究代表者：大河内豊

科学研究費補助金、新学術領域 (研究領域提案型)

ニュートリノで探る素粒子の起源と宇宙の構造

研究代表者：北野龍一郎

研究分担者：大河内豊

科学研究費補助金、基盤 C (一般)

超対称性理論の非摂動論的定式化と数値シミュレーション

研究代表者：鈴木博

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト (P&P) 特別枠・つばさプロジェクト

現代物理学における時間論の哲学的解釈

研究代表者：森田邦久

研究分担者：大河内豊

他大学での研究と教育

大河内豊：2015年9月8日-10日、北海道大学理学部で集中講義「超弦理論入門1・2」

大河内豊：2015年12月12日-13日、山形大学理学部で集中講義「サイバーク・ウィッテン理論入門」

鈴木博：2016年3月8-10日、京都大学基礎物理学研究所で集中講義「グラディエント・フローとその格子ゲージ理論への応用」

学部4年生卒業研究

相場信孝：(指導教員、鈴木博)：超弦理論の研究

釘崎充規：(指導教員、鈴木博)：超弦理論の研究

土屋創聖：(指導教員、鈴木博)：超弦理論の研究

野田憲之介：(指導教員、鈴木博)：超弦理論の研究

森川億人：(指導教員、鈴木博)：超弦理論の研究

修士論文

伊波寿：(指導教員、鈴木博)： $SU(N)$ 大域的対称性を持つ共型場理論への共形ブートストラップ法の応用

笠井彩：(指導教員、大河内豊)：磁気単極子により媒介される弦理論の準安定状態の崩

壊

学外での学会活動

小島健太郎：

日本物理教育学会評議員

大河内豊：

日本物理学会九州支部委員

日本物理学会九州支部例会オーガナイザー

素粒子論グループ素粒子論委員

国際研究会 YITP Workshop 「Developments in String Theory and Quantum Field Theory」 2015年11月9-13日 オーガナイザー

鈴木博：

日本物理学会第71～72期代議員

日本物理学会若手奨励賞（素粒子論領域）選考委員会委員長

ポスト「京」重点課題9諮問委員会委員

計算科学研究機構チームリーダー研究業績評価委員会委員

The 33rd International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2015) International Advisory Committee

The 34rd International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2016) International Advisory Committee

その他の活動と成果

奥村健一：

オープンキャンパス：2015年度オープンキャンパスにおいて「ミクロの世界の不思議」という演題で講演を行い、参加した高校生に物理学の面白さについて解説した。

出前授業：糸島高校において「ミクロの世界の不思議」という演題で出前講義を行い、九州大学物理学科の紹介と大学での物理研究の面白さについて解説を行った。

体験遊学：2015年度体験入学において「素粒子の謎」という演題で講義を行った。参加した高校生に物理学の面白さについて解説した。

鈴木博：

出前授業：鹿児島県立鶴丸高校において「相対性理論入門—アインシュタインの考えたこと—」という出前講義を行った。

理論核物理

研究室構成員

八尋 正信 教授

清水 良文 准教授

松本 琢磨 助教

《 大学院 博士課程 》

田上 真伍 嶋田 充宏 高橋 純一 渡邊 慎

石井 優大 佐々部 悟 豊川 将一 管野 淳平

《 大学院 修士課程 》

平河 優真 宮原 昌久 戸川 秀一 鳥越 悠平

開田 丈寛

《 学部 卒業研究生 》

上野 熊紀 牛谷 征貴 棚町 昂平 本宮 弘喜

堀ノ内 亮

担当授業

物理学入門（八尋正信）、量子力学I・同演習（八尋正信・松本琢磨）、特殊相対論と電気力学（八尋正信）、物理数学I（清水良文）、量子力学III（清水良文）、物理学特別研究I（八尋正信・清水良文・松本琢磨）、物理学特別研究II（八尋正信・清水良文・松本琢磨）

研究・教育目標と成果

格子 QCD による有限化学ポテンシャル領域の中間子遮蔽質量の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、高橋純一 (D3))

有限温度・有限密度領域における中間子の振る舞いは QCD 物性の研究において重要なものの一つである。カイラル対称性の回復を調べたり、核力の到達距離を調べたりするのに、中間子遮蔽質量は有用である。核力の観点から核物質中の中間子の振る舞いも興味深いトピックの一つであるが、まだ不明な点が多く研究が盛んな分野の一つである。

QCD の第一原理計算として格子 QCD があるが、有限化学ポテンシャル (μ) 領域の

計算は符号問題により困難である。そこで我々は従前より中間子遮蔽質量とは別の物理量で実績のある虚数化学ポテンシャル (μ_I) 領域からの解析接続の方法を用いた。この μ_I 領域には符号問題はなく、厳密に格子 QCD 計算が可能である。

我々は格子 QCD により虚数 μ 領域で π, ρ 中間子遮蔽質量を計算した。 π 中間子はカイラル対称性に関係する。 $T = 1.08T_c$ において μ_I が 0 から $\pi/3$ の範囲内で非閉じ込め相から閉じ込め相に変わる。この温度では π 中間子遮蔽質量は大きな変化を見せ、閉じ込め相 ($T = 0.93T_c$) における値と近くなるのを確認した。つまり、虚数 μ 領域において中間子遮蔽質量を用い、初めてカイラル対称性の回復の兆候を捉えたこととなる。

中間子遮蔽質量の虚数 μ 依存性を実数 μ 領域に外挿し、 π, ρ 中間子遮蔽質量の実数 μ 依存性を求めた。昨年度におけるクォーク数密度の研究の時と同様に、中間子遮蔽質量の実数 μ への外挿の信頼出来る領域を見積もった。 π 中間子に関しては $\mu/T \sim 1.0$ 、 ρ 中間子に関しては $\mu/T \sim 1.5$ まで外挿に信頼がある結果となった。

本研究は高橋氏を中心に推進され、その成果は近日 Physical Review D 誌に論文を投稿予定である。

スカラー・擬スカラー中間子極質量の温度依存性に対する有効模型による研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、高橋純一 (D3)、石井優大 (D2))

ハドロン質量は、量子色力学 (QCD) の真空に対して本質的な物理量である。有限温度 T では、時間方向と空間方向に対してそれぞれ質量を定義できる。極質量 (遮蔽質量) は時間方向 (空間方向) へのハドロンの伝播関数から決定される。ハドロンの極質量は原子核衝突実験における観測量であるため、その温度依存性の予言が望まれる。しかし、有限 T における格子 QCD では極質量の計算が難しく、比較的に取り扱いの容易な遮蔽質量が盛んに計算されている。一方、有効模型では極質量と遮蔽質量のどちらも計算可能である。従って、遮蔽質量に対する格子 QCD 計算の結果と整合するように有効模型を構築し、その有効模型を用いて極質量の温度依存性を予言することが重要である。

本年度では、QCD 真空における $U(1)_A$ 対称性の破れに着目し、軽いスカラー中間子と擬スカラー中間子を取り扱った。QCD 真空はトポロジカルに非自明なゲージ配位 (インスタントン) を有し、その配位と量子異常により $U(1)_A$ 対称性が破れる。温度 T が上昇するにつれてインスタントンの配位が抑制されるため、高温極限 $T \rightarrow \infty$ で $U(1)_A$ 対称性が実効的に回復すると考えられている。近年の格子 QCD 計算は、カイラル相転移温度付近における $U(1)_A$ 対称性の回復を示しており、カイラル対称性と $U(1)_A$ 対称性の回復に相関があることを示唆している。この $U(1)_A$ 対称性の回復を有効模型に取り込むことを考えた。有効模型として entanglement Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio (EPNJL) 模型を用いた。EPNJL 模型では、 $U(1)_A$ 対称性の破れを Kobayashi-

Maskawa- 't Hooft (KMT) 相互作用で記述している。 π, a_0 中間子の遮蔽質量に対する格子 QCD の結果を再現するように、KMT 相互作用の強さの温度依存性を決定した。構築されたモデルに基づき他の $U(1)_A$ パートナー (K, κ 中間子や $\eta_{\bar{s}s}, \sigma_{\bar{s}s}$ 中間子) の遮蔽質量を計算し、格子 QCD 計算の結果と比較した。新たに調整パラメータを導入することなく定量的な一致が得られた。この整合性を根拠として、 $\pi, K, \eta, \eta', a_0, \kappa, \sigma, f_0$ 中間子の極質量の温度依存性を予言した。

本研究は石井氏を中心に推進されている。

格子 QCD と中性子星観測を用いたハドロン・クォーク相転移線の決定 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、管野淳平 (D1))

ハドロン物理学における重要な課題は、有限温度 T ・有限密度 (有限クォーク化学ポテンシャル μ_q) におけるハドロン物質やクォーク物質の振舞いを知ることである。これは量子色力学 (QCD) 相図を解明することに直結しており、特に、ハドロン相とクォーク相の境界線 (ハドロン・クォーク相転移線) の位置の決定が大きなトピックの一つである。この課題へのアプローチとして、格子 QCD による数値シミュレーションがある。格子 QCD は有限 μ_q 領域において符号問題に直面するが、 $\mu_q/T \lesssim 1$ 領域においては信頼性の高いデータが得られている。一方、より高密度領域の QCD 相図を探るために、今までに様々な有効モデルが構築されてきたが、パラメータによる不定性が問題となっている。しかしこれは、中性子星の観測データを用いることで解決可能である。

そこで本研究では、 $\mu_q/T \lesssim 1$ では格子 QCD データ、 $\mu_q/T = \infty$ では中性子星観測を再現する有効モデルを構築し、ハドロン・クォーク相転移線の位置の決定を目指した。まず、ハドロン物質を相対論的平均場理論 (RMF)、クォーク物質を entanglement Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio (EPNJL) 模型で記述する 2 相モデルを構築した。次に、2 相モデルに含まれるパラメータを格子 QCD 計算と、2010 年に発見された $2M_\odot$ をもつ中性子星観測を再現するように決定した。結果、中性子星観測と完全に整合する RMF、EPNJL 模型に含まれるベクトル相互作用の強さの密度依存性を決定できた。最後に、ハドロン・クォーク相転移線を描き、 $T = 0$ における臨界化学ポテンシャルの値は、ハドロン相を記述するモデルにはほとんど依存しないことが分かった。

本研究は管野氏を中心に推進されている。

2+1 フレーバー系におけるクォーク・ハドロン転移の有効モデルによる解析 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、高橋純一 (D3)、石井優大 (D2)、管野淳平 (D1)、宮原昌久 (M2))

ハドロン相とクォーク・グルーオン・プラズマ相間の遷移は、クロスオーバーであることが格子 QCD 計算によって確かめられている。このクロスオーバー転移の物理的機構を解明するにあたって、物理的な解釈を容易に出来ることから有効モデルによる解析

が盛んに行われている。

本研究では、低温領域を hadron resonance gas (HRG) 模型、高温領域をクォーク・グルーオンの自由度による有効模型によって記述し、二つの模型を滑らかに遷移するハイブリッド模型を現象論的に構築した。ゼロ密度における格子 QCD 計算の結果をこのハイブリッド模型によって解析した。種々の物理量をハドロン部分とクォーク・グルーオン部分へと各温度ごとに分離したことで、ハドロンが支配的な状態からクォーク・グルーオンが支配的な状態に転移する時の温度を定義できた。さらに、このハイブリッド模型は 2+1 flavor 系の格子 QCD 計算におけるカイラル凝縮とポリヤコフループの温度依存性をおおよそ再現できる。ここで、カイラル凝縮を計算する際、ハドロン質量のカレントクォーク質量微分に温度依存性を考えると格子 QCD 計算の結果を説明できることが新たに分かった。また、バリオン数感受率とアイソスピン感受率への解析からハイブリッド模型の有限密度領域に関する情報を得られた。今後は、この情報を用いて有限密度領域にアプローチしたいと考えている。

本研究は、宮原氏を中心に推進されている。

純虚数化学ポテンシャル領域における 2+1 フレーバー系 QCD 相図の解析 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、石井優大 (D2)、管野淳平 (D1)、戸川秀一 (M1))

量子色力学 (Quantum Chromodynamics, 以後 QCD と略す) は、クォーク間の強い相互作用をグルーオン交換により記述する理論である。有限温度 T , 有限クォーク化学ポテンシャル μ_q におけるクォークとグルーオンの状態図は QCD 相図と呼ばれる。有限クォーク化学ポテンシャル μ_q は、クォーク数密度に対応する。

QCD 相図の相構造の強力な解析手段として、QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算がある。しかし格子 QCD 計算は、有限 μ_q 領域においては、符号問題のために計算が困難となる。そこで、有効模型で有限 μ_q 領域を解析することを考える。この際、解析に用いる有効模型の持つパラメータの不定性をできるかぎり抑えることが重要になる。

有効模型のパラメータの不定性を抑える方法として、符号問題のない格子 QCD 計算の実行可能な領域で、格子 QCD 計算の結果を再現するように有効模型を構築する事が考えられる。ゼロクォーク化学ポテンシャル ($\mu_q = 0$) 領域は典型的なその例であるが、純虚数クォーク化学ポテンシャル ($\mu_{I,q} = \text{Im}\mu_q$) 領域も符号問題を回避できる領域である。従って、格子 QCD 計算から得られる物理量の結果に含まれる誤差は小さくなり、この結果を参考にすれば、有効模型のパラメータを精度よく決定できる。最後に、純虚数クォーク化学ポテンシャル領域で構築した有効模型の結果を解析接続することにより、有限実数クォーク化学ポテンシャル領域の情報を得ることができる。

2+1 フレーバー系の QCD で、近年、この純虚数化学ポテンシャル領域における格子

QCD 計算の結果が得られ始めている。そこで本研究では、純虚数化学ポテンシャル領域での格子 QCD 計算の結果を再現するような 2+1 フレーバー有効模型の構築、またその模型を使った、物理量の振る舞いの解析を目指した。従来の有効模型のパラメータでは、格子 QCD 計算の結果を定性的には再現するものの、定量的には大きくずれていた。そこで、新たにクォーク間相互作用を加える事によって、この問題の解決を図っている。

本研究は戸川氏を中心に推進されている。

2+1 フレーバー系における有効模型による量子色力学 (QCD) 相図の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、石井優大 (D2)、管野淳平 (D1)、宮原昌久 (M2)、鳥越悠平 (M1))

初期宇宙は非常に高温で物質形成を伴った宇宙進化を経て現在の低温の宇宙へと至ったと考えられている。したがって宇宙の進化や物質の形成の起源を知るためには、有限温度・有限クォーク化学ポテンシャルの関数としてクォークとグルーオンの取りうる状態を知ることが重要となる。クォークとグルーオンの取りうる状態を図で書いたものを QCD 相図と呼ぶ。特に宇宙進化や物質の形成はクォーク・グルーオンがハドロン内部に閉じ込められている状態と閉じ込めから開放され自由に振舞っている状態を移り変わる (クォーク・ハドロン相転移) 現象である。

QCD 相図を調べるのに最も有効な方法として QCD の第一原理計算である格子 QCD があるが、符号問題のため高密度領域では計算が困難になってしまう。そこで、低密度領域における計算結果を再現する有効模型を構築し、構築した模型を QCD 相図の全領域に拡張する。

格子 QCD の計算によりクォーク・ハドロン相転移はクロスオーバーであることが示されている。2 フレーバーの有効模型では研究が盛んに行われ、クロスオーバーを再現する有効模型はあるが、より現実に近い 2+1 フレーバー系ではまだ再現する有効模型は存在しない。そこで、本研究では 2+1 フレーバー系において格子 QCD 計算の結果を再現する有効模型の構築を目指した。

具体的な方法は、それぞれ低温側でのみ格子 QCD の計算結果を再現する Hadron Resonance Gas(HRG) 模型と高温側でのみ格子 QCD の計算結果を再現する自由なクォーク+Polyakov-potential で記述される模型を組み合わせ、高温側での格子 QCD 計算の結果と低温側での格子 QCD の計算結果を同時に再現できる有効模型の構築を目指した。

本研究は宮原氏と鳥越氏を中心に推進されている。

3 次元 3 状態ポッツ模型を用いた QCD 相図の研究 (八尋正、河野宏明 [佐賀大学]、高橋純一 (D3)、開田丈寛 (M1))

QCD の第一原理計算として、格子 QCD は強力な計算手法として様々な研究に用い

られているが、有限化学ポテンシャル領域においては、符号問題が生じてしまい計算上の困難が生じてしまう。そこで、格子 QCD における重いクォーク・強結合の極限に対応する 3次元3状態ポッツ模型を用いてこの問題にアプローチした。この模型は、QCD の閉じ込め現象が持つ Z(3) 対称性を持つ古典統計に従うスピン系であり、有限化学ポテンシャル領域において格子 QCD と同様に符号問題を持つため、格子 QCD の良い類推としてこの模型で研究されている。また、計算コストの面から見ても格子 QCD よりも比較的にかさいため、様々な計算方法を試すことができる。

本研究では、この模型のハミルトニアンとポッツ模型におけるスピンを様々にとって数値計算を行った。まず、純虚数化学ポテンシャル領域を取り上げた。格子 QCD において、この領域では厳密な数値計算が可能であり、RW 周期性並びに RW 相転移が現れることが確認されている。これを 3次元3状態ポッツ模型を用いて同様な周期性、相転移が現れることを確認した。次に、実数化学ポテンシャル領域において、ハミルトニアンを Z(3) 対称性を取り入れた形に書き換え、またスピンを 3, 4, 7 状態の 3つのパターンで数値計算を行った。これらの場合では符号問題が存在しないが、クォーク質量 M と化学ポテンシャル μ との比 $\mu/M = 1$ においてフェルミ面を示唆するような変化が確認できた。また、これを符号問題が存在する 13 状態に拡張した場合、再重み法を用いて符号問題の深刻さを計算したが、 $\mu/M = 1$ 付近のごく狭い領域で符号問題の影響が小さいながら現れた。これは Z(3) 対称性を取り入れないハミルトニアンを用いた場合と比べて、符号問題が格段に改善されており、今回の計算方法は実際の格子 QCD においても有用なものになるのではないかと思われる。

本研究は開田氏を中心に推進されている。

⁶Li 弾性散乱における 4 体ダイナミクス (八尋正信、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、渡邊慎 (D3))

⁶Li は中性子 (n)、陽子 (p)、⁴He の 3つの粒子がそれぞれが緩く束縛した原子核であり、標的核 (T) との散乱過程で容易に分解する。例えば、⁶Li が 3つの構成粒子バラバラに分かれる過程 (${}^6\text{Li} + \text{T} \rightarrow n + p + {}^4\text{He} + \text{T}$) があり、ここでは標的核の自由度も含めて 4 体分解過程と呼ぶ。一方で、⁶Li はサブシステムである $n + p$ 系が重陽子 (d) として束縛するため、⁶Li が 2つの粒子に分かれる 3 体分解過程 (${}^6\text{Li} + \text{T} \rightarrow d + {}^4\text{He} + \text{T}$) も存在することになる。これら 3 体分解過程と 4 体分解過程は反応の途中で複雑に絡み合うため、統一的に 1つの模型で記述されるべきである。これを可能にする模型として、4 体連続状態離散化チャネル結合法 (4 体 CDCC) を用いる。4 体 CDCC を ⁶Li + ²⁰⁹Bi 散乱と ⁶Li + ²⁰⁸Pb 散乱に適用した結果、広範囲の入射エネルギー (24–210 MeV) に渡って実験データを説明した。次に、3 体分解過程または 4 体分解過程のどちらが反応に本質的かを検証した。その結果、3 体分解過程が重要であることを突き止めた。こ

これは即ち「 ${}^6\text{Li}$ 内部の d は散乱途中でほとんど分解しない」ということを意味する。

この成果は Physical Review C 誌に掲載された。今後は ${}^6\text{He}$ ($= n + n + {}^4\text{He}$) などのクラスター核に同様の解析手法を適用し、反応メカニズムの普遍性を探っていく。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

反応断面積で探る逆転の島とそれを越えた領域 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、木村真明 [北海道大学准教授]、武智麻耶 [新潟大学助教]、福田光順 [大阪大学准教授]、西村太樹 [東京理科大学助教]、鈴木健 [埼玉大学教授]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター特任助教]、田上真伍 (D3)、渡邊慎 (D3)、嶋田充宏 (D3))

「逆転の島」は、核図表において陽子数が 10–12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が 20–22 付近の領域を指し、領域内の原子核は殻の逆転に伴う「魔法数の破れ」や「巨大な変形」といった安定核では見られない性質を示す。近年、理化学研究所の加速器施設 RIBF によって、Ne や Mg 同位体に対する反応断面積が系統的に測定できるようになり、実験データに基づいてこの領域を探索できるようになった。我々は反対称化分子動力学法と二重畳み込み模型を用いた微視的理論によって、測定された反応断面積の解析をこれまで行ってきた。Mg 同位体では、大きな変形が逆転の島を超えた領域まで続いていることを昨年度の時点で明らかにしている。

今年度は同様の解析を Na 同位体に適用した。我々の理論は反応断面積のデータをよく再現しており、実験と整合性のある理論であることを確認できた。今後は Al の解析も同様に進め、逆転の島の北側の原子核の構造がどのように実験データに表れているかを検証する。Al まで計算を終えた時には、中性子数の変化 (アイソトープ依存性) だけでなく、陽子数の変化 (アイソトーン依存性) や質量数の変化 (アイソバー依存性) を追うことで、原子核の殻進化を探索する。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

ハロー性を定量化するパラメータの提案とその普遍的性質の解明 (八尋正信、松本琢磨、渡邊慎 (D3)、豊川将一 (D2))

ハロー核とは、コアとなる原子核に数個の核子が異常に広がった構造を持つ原子核のことである。1985 年、谷畑氏らによって Li 同位体の相互作用断面積が系統的に測定され、 ${}^{11}\text{Li}$ の異常性 (ハロー構造) が発見された。それ以降、相互作用断面積 (σ_I) や反応断面積 (σ_R) は新たなハローを発見するためのプローブとして、系統的に測定されるようになった。このように、反応断面積はハロー探索のための強力な指標であるが、特に弱束縛極限における定量的な振る舞いはよく分かっていない。また、反応断面積は質量数や入射エネルギーなどに依存する量であるため、どれだけ大きい断面積が得られればハローとみなせるかも疑問である。本研究では、ハロー性を定量化するパラメータを反応断面積を用いて定義し、その普遍的性質を明らかにする。

今年度は、コア核(c)と中性子(n)からなる1中性子ハロー核(a)に焦点を絞って研究を行った。ハロー性を定量化するパラメータを $\mathcal{H} = [\sigma_{\text{abs}}(a) - \sigma_{\text{abs}}(c)]/\sigma_{\text{abs}}(n)$ と定義する。ここで $\sigma_{\text{abs}}(x)$ は入射粒子 $x(= a, n, c)$ の吸収断面積で、共通の標的核、共通の核子あたりの入射エネルギーを取る。 \mathcal{H} は $0 \leq \mathcal{H} \leq 1$ の値を取り、 $\mathcal{H} = 0$ でハロー性が最も弱く、 $\mathcal{H} = 1$ で最も強い。我々は分解効果が無視できる高エネルギー入射の反応において、 $\sigma_{\text{R}}(x) \approx \sigma_{\text{abs}}(x)$ となる性質を用い、 $\sigma_{\text{R}}(x)$ に対する実験値から \mathcal{H} の値を種々のハロー核に対して決定した。その後、アイコンナル近似と断熱近似に基づく模型計算によって1中性子分離エネルギー(S_n)を変化させることで、 \mathcal{H} を弱束縛極限へ外挿した。 $\mathcal{H} = 1$ は s 状態ハロー核の弱束縛極限のみで実現され、さらに、 $(S_n, \mathcal{H}) = (0, 1)$ という点はあらゆる s 状態ハロー核に普遍的に現れることを示した。ここまでの成果はPhysical Review C誌に投稿中である。今後は ${}^6\text{He}$ などの3体クラスター系にまで適用範囲を広げ、2体クラスター系との共通点や相違点を明らかにしたい。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

二重畳み込み模型を用いた ${}^{3,4}\text{He}$ -原子核弾性散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター特任助教]、豊川将一 (D2))

弾性散乱を記述する微視的な理論として、 g 行列有効相互作用を入射核および標的核密度で畳み込むことで光学ポテンシャルを構築する、畳み込み模型が広く用いられている。畳み込み模型は核子-原子核散乱を良く記述するが、原子核-原子核散乱に対しては有効相互作用の構築と散乱の記述に理論的な不整合が残されている。

本研究では ${}^{3,4}\text{He}$ 原子核入射の弾性散乱に対して、散乱過程における ${}^{3,4}\text{He}$ 原子核の励起や分解を有効相互作用に繰り込まずに明示的に取り扱うことにより、前述の問題が解決され、さらにこの弾性散乱が記述されることを示した。さらに ${}^3\text{He}$ 弾性散乱に対して、実際に4体CDCC計算を行うことで $E_{\text{in}}/A=70$ MeV以上では分解効果が小さいことを確かめ、提案した模型の正当性を主張する結果を得た。

本研究の成果はPhysical Review C誌に掲載された。

t 行列畳み込み模型を用いた高エネルギー原子核散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、豊川将一 (D2)、平河優真 (M2))

原子核は、陽子と中性子(総称して核子と呼ぶ)からなり、それらの数の組み合わせにより性質が決まる有限量子多体系である。原子核には、安定核と不安定核が存在し、特に今までの安定核の研究では見られなかった特異な構造を持つ不安定核の構造について、実験・理論の両面から精力的な研究が行われている。日本の理化学研究所の実験施設RIBF(RI Beam Factory)では不安定核の多くを生成可能であり、実際に入射エネルギー300[MeV]周辺での不安定核の実験が行われている。

原子核の構造を調べる方法として、原子核同士を衝突させてその散乱の様子を調べる方法が採られる。原子核散乱では断面積と呼ばれる観測量が得られるが、これは原子核の構造を反映した重要な物理量である。原子核反応の断面積を調べることで原子核構造の理解が可能となり、これは原子核研究の大きな目標の一つとなっている。

反応を記述する理論の出発点は、入射および標的粒子の間に働くポテンシャルの下で2粒子散乱の Schrödinger 方程式を解くことである。その際、ポテンシャルを構築する理論として畳み込み模型が広く用いられている。畳み込み模型は、有効相互作用と入射核および標的核の密度によりポテンシャルを構築する模型である。本研究の目的は、この有効相互作用として原子核散乱を良く記述するものを決定することである。

そこでまず、有効相互作用として既に提唱されている Franey-Love t 行列を用いて解析を行った。Franey-Love t 行列は、核子-核子散乱の観測量を再現するようにパラメータが決定された有効相互作用である。この t 行列と畳み込み模型を用いて、陽子- ^{12}C および ^{12}C - ^{12}C 散乱の解析を行った。その結果、陽子- ^{12}C 散乱の実験データは良く再現したが、 ^{12}C - ^{12}C 散乱の反応断面積は再現できず、最大で約 15% 過大評価した。

この原因は、1核子当りのエネルギーを等しくしても核子-核子、核子-核、そして核-核散乱の3つの系で波数が異なってしまうことにあるという考察を行った。そこで、 t 行列は波数にも依存していると考え、波数依存性を非局所性という形で取り込むことにより t 行列の再構築を行った。その結果、核子-核子散乱を再現したまま、陽子- ^{12}C および ^{12}C - ^{12}C 散乱をともに良く記述する有効相互作用を決定することができた。

今回構築した t 行列を用いて他の系の解析を行い、本研究での t 行列に対する非局所性の議論が妥当であったかを確認することが今後の課題である。

本研究は平河氏と豊川氏を中心に推進された。

カイラル有効理論の核力に基づく有効相互作用の構築 (八尋正信、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター特任助教]、豊川将一 (D2))

2核子力や多核子力を系統的に決定できるカイラル有効理論に基づく核力は、少数核子系や軽い原子核構造の第一原理計算、核物質計算などに適用され、現代の核物理研究の中心的な役割を果たすようになってきた。しかし多体問題としての原子核反応への適用はなされておらず、この核力によって原子核反応が記述されるか、多核子力の効果がどのように現れるかは明らかにされていない。そこで本研究では、Brückner 理論によりカイラル有効理論の核力から g 行列有効相互作用を導出し、核反応計算に用いることで、上記の課題に取り組んだ。

「カイラル有効理論 + Brückner 理論」の枠組みによって導出された g 行列有効相互作用を用いることで、核子および ^3He - ^4He -原子核散乱をパラメタフリーに記述すること

に成功した。また弾性散乱における3核子力効果は、核子散乱では小さく、 ${}^3\text{He}$ 散乱では散乱角後方で断面積を小さくすることを確かめた。現在の枠組みにおいて現れている3核子力効果は、主に 2π 交換型の3核子力に起因しており、中間状態で Δ 励起がPauli原理により抑制される効果が重要であると考えられる。

本研究の成果はPhysical Review C誌に掲載された。

格子上の核子系有効場理論による核子系の統一的記述 (八尋正信、原田恒司 [九州大学基幹教育院教授]、佐々部悟 (D2))

微視的原子核理論に用いられる有効核力は安定核の情報を元に構築されており、不安定核に適用した際にその不定性が大きな問題となっている。この不定性を排除するためには、有効核力の構築と核子多体系の記述とを同一の理論的枠組みで統一的に実行する必要がある。

そこで本研究では、QCDと低エネルギーで等価な核子系有効場理論を格子上に構築することで実行する。本年度は、格子計算の実行に必要な低エネルギー結合定数を決定するため繰り込み群解析を実行した。

3次元無限小クランキングした角運動量射影法を用いた γ バンドの研究 (清水良文、田上真伍 (D3))

角運動量射影法において内部状態の時間対称性を破ることは非常に重要であり、これまで微小に回転させた内部状態を用いて軸対称変形した原子核の回転状態の研究を行ってきた。軸対称変形した状態には量子力学的に回転軸は一つしか存在しないが、非軸対称変形した一般の状態は3つの主軸の回りに回転することができる。この時、3つの主軸の回りに微小な回転を行った内部状態を用いて角運動量射影すると、回転していない状態から射影した結果と大きく異なることを示し、これを角運動量射影法における「無限小クランキング」と名付けた。

他方、原子核には強い電磁遷移確率で結びついた回転バンドが複数存在するが、最もよく知られた基底状態回転バンドの上に、 γ バンドと呼ばれる角運動量が $2\frac{1}{2}$ から始まる励起回転バンドが系統的に観測されている。この回転バンドは軸対称に変形した基底状態の回りの非軸対称性を破るような振動状態、または非軸対称変形した回転状態と2通りに解釈されてきたが、この γ バンドを無限小クランキングを行い非軸対称変形の効果を考慮した角運動量射影法によって考察した。 ${}^{164}\text{Er}$ という典型的な中重変形核に対し、3つの主軸の回りに無限小クランキングを行い、異なる非軸対称変形の状態を重ねあわせた上で角運動量射影を行った結果、無限小クランキングを行わない場合に実験に比べて高かった $2\frac{1}{2}$ のエネルギーが実験に近い値に下がり、また遷移確率も実験値に近い値になることを示した。また、この時結果として得られる平均的な非

軸対称変形度は比較的小さく、通常軸対称と考えられていることと矛盾しないことを明らかにした。以上のことを論文にまとめた。

この研究は田上氏を中心に行われている。

角速度混合した角運動量射影による希土類領域原子核の回転バンドの研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D3))

昨年度、クランキング法と角運動量射影法を整合させる方法として、角速度混合した角運動量射影計算を提案した。これは、異なる角速度をもった回転状態を角運動量射影することによって得られるいくつかの状態を重ね合わせることで最終的な状態を得るという方法である。

信頼性の高い有効相互作用の1つである Gogny 相互作用を用いて、希土類領域の原子核の多くの基底回転バンドについて計算を行った。さらに、高速回転状態においては回転整列により、基底回転バンド (g-band) と回転整列したバンド (s-band) が交差する g-s バンド交差が起こることが知られている。そこで、 ^{164}Er の s-band についてもこの手法を適用した。1つの状態からの射影計算に比べて慣性能率のspin依存性が改善し、対相関をよく再現している原子核に対しては実験値を非常によく再現した。また、調整パラメータなしにもかかわらず、g-s バンド交差が現れることが確認できた。この成果は論文にまとめ発表した。

本研究は嶋田氏を中心に行われている。

角運動量射影法による高速回転する非軸対称変形核の研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D3))

角運動量の大きな極限である高速回転状態は、有限量子多体系である原子核の独立運動と集団運動との競合を調べるのに適した状態であり、ウォブリング回転バンドやカイラル二重項回転バンドといった興味深い特異な回転バンドが数多く観測されている。ウォブリング回転バンドは、古典的非軸対称剛体の歳差運動を量子化したような回転状態であり、他方、カイラル二重項は3つの角運動量が右手系と左手系という鏡映対称な2つの組み方をとることにより生じる二重項であるが、昨年度までの研究により、微視的な角運動量射影計算においてもウォブリング回転やカイラル二重項が現れることは確認され、ウォブリング回転のメカニズムやカイラル二重項に現れる特徴的な電磁遷移のジグザグ構造を確かめた。本年度は、Gogny 相互作用を用いた角運動量射影計算を行い、調整パラメータなしにウォブリング運動が現れることを確かめた。

本研究は嶋田氏を中心に行われている。

変形混合した角運動量射影計算による Mg 同位体の低スピン状態の研究 (八尋正信、清

水良文、松本琢磨、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D3)、渡邊慎 (D3))

近年の加速器技術の発展により、中性子過剰核のデータが蓄積され、「逆転の島 (Island of inversion)」に関する研究が注目を集めている。逆転の島の領域内の原子核は「魔法数の破れ」といった安定核では見られない性質を示す。最近では、この領域を超えてドリップライン近傍まで Mg 同位体の実験データが揃ってきている。

これまでの我々の研究により、原子核構造計算における信頼性の高い有効相互作用の 1 つである Gogny 相互作用を用いて、1 つの変形度の状態からの角運動量射影だけでなく、変形度の異なる状態について重ね合わせた計算を行うことも可能になった。そこで、この方法を用いて Mg 同位体について、励起エネルギーなどの計算を行ったところ、実験値との非常に良い一致が得られた。また、実験で測定されているいくつかの物理量に対して、変形度混合の効果や微小な角速度を付加することによる効果について調査した。また、変形度を考える上では、 $B(E2)$ だけではなく、半径も同時に考えることが重要であることがわかった。この成果を論文にまとめ、現在投稿中である。

本研究は、嶋田氏を中心に行われている。

発表論文

《 原著論文 》

Determination of $U(1)_A$ restoration from pion and a_0 -meson screening masses: Toward the chiral regime:

M. Ishii, K. Yonemura, J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **93**, (2016) pp. 016002-1–11

Microscopic approach to ^3He scattering:

M. Toyokawa, T. Matsumoto, K. Minomo, and M. Yahiro,
Physical Review C **91** (2015) pp. 064610-1–10.

Microscopic calculations based on chiral two- and three-nucleon forces for proton- and ^4He scattering:

M. Toyokawa, M. Yahiro, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Kohno,
Physical Review C **92** (2015) pp. 024518-1–6.

Four-body dynamics in ^6Li elastic scattering:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Ogata, and M. Yahiro,

Physical Review C **92** (2015) pp. 044611-1–9.

Realistic description of rotational bands in rare earth nuclei by the angular-momentum-projected multicroanked configuration-mixing method:

M. Shimada, S. Tagami, and Y. R. Shimizu,
Phys. Rev. C **93**, 044317 (2016).

Infinitesimal cranking for triaxial angular-momentum-projected configuration-mixing calculations and its application to the γ vibrational band:

S. Tagami, and Y. R. Shimizu,
Phys. Rev. C **93**, 024323, (2016).

Angular momentum projected multi-cranked configuration mixing for reliable calculation of high-spin rotational bands:

M. Shimada, S. Tagami, and Y. R. Shimizu,
Prog. Theor. Exp. Phys. **2015**, 063D02 (2015).

《Proceedings》

Quark number density at imaginary chemical potential and its extrapolation to large real chemical potential by the effective model:

J. Takahashi, M. Ishii, H. Kouno, J. Sugano, and M. Yahiro,
Proceedings of Science (Lattice 2014) 187 (2015)

Temperature dependence of meson screening masses; a comparison of effective model with lattice QCD:

M. Ishii, T. Sasaki, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro,
Proceedings of Science (Lattice 2014) 190 (2015)

Ground-State Properties of Mg Isotopes in and Beyond the Island of Inversion through Reaction Cross Sections:

S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
JPS Conference Proceedings **6** (2015) pp. 020024-1–6.

Study on breakup mechanism of unstable nuclei with CDCC:

T. Matsumoto,

Proceedings of the 14th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms (2015) pp. 177 – 180.

Microscopic approach to nucleon-nucleus and nucleus-nucleus scattering in the framework of chiral effective field theory and Brueckner-Hartree-Fock theory:

M. Toyokawa, M. Yahiro, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Kohno, Proceedings of the 14th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms (2015) pp. 189 – 194.

《その他の論文》

講演

《海外での講演》

Determination of $U_A(1)$ restoration from meson screening masses by using the entanglement PNJL model: Toward chiral regime:

M. Ishii, J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro,

The 33rd International symposium on lattice field theory (LATTICE 2015), July 18, 2015, Kobe, Japan.

Four- and three-body channel coupling effects on ${}^6\text{Li}$ elastic scattering:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,

21st International Conference on Few-Body Problems in Physics (FB21), May 19, Chicago, USA

Microscopic approach to nucleon-nucleus and nucleus-nucleus scattering in the framework of Chiral effective field theory and Brueckner-Hartree-Fock theory:

M. Toyokawa, M. Yahiro, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Kohno,

14th international conference on nuclear reaction mechanisms (Varenna2015), June 16, Varenna, Italy

Study on breakup mechanism of unstable nuclei with CDCC:

T. Matsumoto,

14th international conference on nuclear reaction mechanisms (Varenna2015), June 18, Varenna, Italy

以下、ポスター発表.

Effective model analysis of $U_A(1)$ symmetry restoration in meson screening masses:
M. Ishii, J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro,
The 13th International workshop on QCD in extreme conditions (XQCD 2015), Sep 21, 2015, Wuhan, China.

《国内での講演》

EPNJL 模型を用いた中間子遮蔽質量の解析 :

石井優大, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 26 日, 大阪市立大学

カイラル有効理論に基づく核力による微視的反応解析と 3 核子力効果:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 大阪市立大学

4 体 CDCC における分解チャンネルの分離:

渡邊慎, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 大阪市立大学

変形度混合した角運動量射影法による Mg 同位体の低スピン状態:

嶋田充宏, 渡邊慎, 田上真伍, 清水良文, 八尋正信,

日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 大阪市立大学

ハロー性を定量化するパラメータの提案とその普遍的性質の解明:

渡邊慎, 八尋正信, 豊川将一, 松本琢磨

日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学

格子上の核子系有効場理論に対する繰り込み群の流れの研究:

佐々部悟, 原田恒司, 八尋正信

日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学

2 フレーバー格子 QCD による中間子遮蔽質量の化学ポテンシャル依存性:

高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 21 日, 東北学院大学

^3He , ^4He -原子核弾性散乱の微視的記述:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 21 日, 東北学院大学

ハドロン相からクォーク相へのクロスオーバー相転移の有効模型による解析:

宮原昌久, 管野淳平, 石井優大, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 22 日, 東北学院大学

中間子遮蔽質量の有効模型に基づく解析:

石井優大, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

相対論的平均場理論に基づく核物質の状態方程式:

管野淳平, 河野宏明, 八尋正信,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

虚数化学ポテンシャル領域における $2 + 1$ Flavour QCD 相図の解析:

戸川秀一, 八尋正信, 河野宏明, 高橋純一, 石井優大, 管野淳平, 宮原昌久, 鳥越悠平, 開田丈寛,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

クォーク・ハドロンハイブリッド模型による格子 QCD 計算の解析 I:

鳥越悠平, 高橋純一, 石井優大, 管野淳平, 宮原昌久, 戸川秀一, 開田丈寛, 河野宏明, 八尋正信,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

クォーク・ハドロンハイブリッド模型による格子 QCD 計算の解析 II:

宮原昌久, 八尋正信, 河野宏明, 高橋純一, 石井優大, 管野淳平, 戸川秀一, 鳥越悠平, 開田丈寛,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

QCD 相転移とポッツ模型:

開田丈寛, 八尋正信, 河野宏明, 高橋純一, 石井優大, 管野淳平, 宮原昌久, 戸川秀一, 鳥越悠平,

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

カイラル有効理論の核力に基づく微視的反応解析:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

第 121 回 日本物理学会九州支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 九州工業大学

4 体分解反応・連続状態の分類:

松本琢磨

KEK 理論センター研究会「原子核・ハドロン物理の課題と将来」, 2015 年 11 月 26 日, 高エネルギー加速器研究機構

カイラル有効理論に基づく核力による微視的反応解析と 3 核子力効果:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

KEK 理論センター研究会「原子核・ハドロン物理の課題と将来」, 2015 年 11 月 26 日, 高エネルギー加速器研究機構

Island of Inversion を超える領域の反応断面積と核構造:

渡邊慎

[RIBF-ULIC-miniWS034] Measurements of Reaction & Charge Changing Cross Sections for Ni Isotopes and Related Topics, 2016 年 3 月 11 日, 理研

Recent Development of CDCC:

松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

Progress in and beyond Theoretical Nuclear Physics Laboratory, 2016 年 3 月 28 日, 理化学研究所

以下、ポスター発表.

中間子遮蔽質量による $U(1)_A$ 対称性の回復の決定:

石井優大, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

基研研究会“熱場の量子論とその応用”, 2015 年 9 月 1 日, 京都大学基礎物理学研究所

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文科省科学研究費補助金、基盤研究 (C)

カイラル有効理論に基づく微視的多体理論の構築と 3 核子力効果

研究代表者: 八尋正信

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

微視的反応・構造理論による不安定核構造の系統的解明

研究代表者: 渡邊慎

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

核力に立脚した微視的理論による不安定核の静的および動的性質の系統的解明

研究代表者: 佐々部悟

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

信頼性の高い有効モデルの構築とそれを用いた QCD 物性の解明

研究代表者: 石井優大

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

有効モデルと格子 QCD 計算に基づいた QCD 相図の高密度領域の解明

研究代表者: 管野淳平

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

豊川将一、平成 27 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

渡邊慎, 日本学術振興会特別研究員 (DC1)

佐々部悟, 日本学術振興会特別研究員 (DC1)

石井優大, 日本学術振興会特別研究員 (DC2)

管野淳平, 日本学術振興会特別研究員 (DC1)

学部4年生卒業研究

【前期】上野熊紀、牛谷征貴、棚町昂平、本宮弘喜、堀ノ内亮(担当: 清水)
「素粒子・原子核物理入門」の輪講

【後期】牛谷征貴、本宮弘喜、堀ノ内亮(担当: 八尋、清水、松本)
場の量子論、核反応論、核構造論の輪講・研究

修士論文

平河優真: (指導教員 松本琢磨、八尋正信): t 行列畳み込み模型を用いた高エネルギー原子核散乱の解析

宮原昌久:(指導教員 八尋正信): ハドロン相から QGP 相へのクロスオーバー転移に対する格子 QCD 計算の解析

博士論文

嶋田充宏: (指導教員 清水良文): Microscopic study of various high-spin rotational states by the angular momentum projection method (角運動量射影法による様々な高速回転状態の微視的研究) [2016年3月授与]

高橋純一: (指導教員 八尋正信): Lattice QCD with two-flavor Wilson fermions for static-quark free energies and quark number densities at finite chemical potential (有限化学ポテンシャル領域における静的クォークの自由エネルギーとクォーク数密度に対する2フレーバーウィルソンフェルミオンでの格子 QCD 計算) [2016年3月授与]

渡邊慎: (指導教員 八尋正信、松本琢磨): Dynamic and Static Properties of Weekly-bound Nuclei (弱束縛核の動的性質と静的性質) [2016年3月授与]

その他の活動と成果

渡邊慎: 九州大学主催 日本学術振興会特別研究員申請に関する説明会, 講師

渡邊慎: 大阪大学核物理研究センター理論部セミナー, 講師

宇宙物理理論

研究室構成員

橋本 正章 教授

山岡 均 助教 町田 真美 助教 小野 勝臣 助教

《テクニカルスタッフ》

E. P. B. A. Thushari 松尾 康秀

《大学院 博士課程》

一政 遼太郎 福田 遼平

《大学院 修士課程》

植木 雄哉 宇根 遼平 米田 知司

《学部 卒業研究生》

有村 幸大 大村 匠 酒見 はる香 中尾 美穂

長野 源生

《訪問研究者》

中村 理央

《外国人留学生》

H. Liu (刘 荷蕾, H27年10月より)

担当授業

- 橋本正章
箱崎地区：一般相対論 (前期), 宇宙物理学 (後期)
伊都地区：基幹物理学 IB (後期)
- 山岡均
箱崎地区：理系主題科目 III (前期)
伊都地区：理系主題科目 III (後期), 自然科学総合実験 (後期), 少人数セミナー (後期), 物理学ゼミナール (後期), フロンティア科学 I
- 町田真美
箱崎地区：物理学ゼミナール (後期)
伊都地区：基幹物理学 IB 演習 (後期)

- 小野勝臣
箱崎地区：電磁気学 I・同演習 (前期)
伊都地区：なし

研究・教育目標と成果

Observational constraints on variable equation of state parameter of dark matter and dark energy

(橋本正章, E. P. B. A. Thushari)

An evolving equation of state (EOS) for matter and dark energy (DE) which can modify the standard cold dark matter paradigm has been investigated. Especially we have focused on a model where the equation of state for dark energy varies with time. Evolution of the universe, energy density distributions with the redshifts and its late time cosmic accelerated expansion has been discussed. The type Ia Supernovae (SNIa), union2 compilation in the redshift range $0.01 < z < 2$ and Gamma-Ray bursts observations in the redshift range $0.03 < z < 6.6$, total 833 number of data has been used to constrain the model at the late time acceleration of the universe. To contain the six parameters of this model, Markov chain Monte Carlo (MCMC) method has been used. The results were compatible with the other results. It concludes that the EOS of the constituents of the universe has probably not changed much in recent time though it is effectively change in high redshift range.

Quiescent X-ray luminosity from accreting neutron stars with neutrino losses including superfluidity (橋本正章, 松尾康秀, H. Liu)

The observational thermal luminosity of accreting neutron stars in soft X-ray transients have been compared with theoretical curves (Yakovlev & Pethick 2004), however, the quiescent thermal luminosity of 1808 from the 2006 observations ruled out the neutrino emission via pion condensates (Heinke 2007). Based on this, some members of our group have investigated the transient luminosities from accreting neutron stars with neutrino losses due to pion condensations with use of the stellar evolution code, they presented reasonable $L_{\gamma}^{\infty}(M)$ curves by comparing results with the observed data except standard data ‘Aql X-1’ and ‘4U 1608-522’. Therefore, it is necessary to include superfluidity which suppresses the neutrino emission and reduces the cooling speed of a neutron star to satisfy all the observations. We have investigated the cooling curves of the isolated neutron stars with neutrino losses due to pion condensation with the surface composition of heavy and light elements, the results reconfirmed that it is impossible to satisfy all the observational data without superfluidity. So far, we have constructed a new model that includes superfluidity with use of a stellar evolution code, preliminary results of cooling curves of isolated neutron stars can well fit the observations by choosing a proper critical temperature for the 1S_0 and 3P_2 superfluidity. Since we are aiming at explaining the quiescent X-ray luminosity, we will focus on the new stellar evolution code including superfluidity to calculate the neutron star with accretion to compare with the observations in the future work.

核反応ネットワークを拡張した X 線バーストモデルの構築 (橋本正章, 町田真美, 松尾康秀)

中性子星と低質量星の連星系において、低質量星から降着円盤を通して中性子星へ物質が降着する。このとき降着物質の量がある閾値を超えると、降り積もった物質が核燃焼を起こし、X 線バーストと呼ばれる現象が起こる。我々の X 線バーストモデルは、H - ^{68}Se までの 16 核種

を用いた近似ネットワーク (Hanawa et al. 1983) を用いた Multi zone model と呼ばれる手法でシミュレーションを行ってきた。しかし近年のバーストのシミュレーションで、X 線バーストでは $A \sim 100$ 程度まで元素合成が進む可能性があるとされている。従ってより現実的なバーストのシミュレーションをするためには、少なくとも $A \sim 100$ までの近似ネットワーク (Approximation network; APRX) が必要であり、本年度はこれに取り組んだ。

まず、Koike et al. (2003) で用いられた、1266 核種のネットワーク (Full nuclear reaction network; FNRN) を用意した。計算コストを少なくするため、X 線バーストモデルには One zone model と呼ばれる簡単なモデルを採用した。そして FNRN と開発した APRX を用いた計算結果を逐次比較し、必要があれば APRX を修正し、より FNRN と同様の結果が出せる APRX を開発した。その結果、45 核種の ^{110}Te までの APRX を構築した。これは従来の近似ネットワークよりも格段に FNRN との再現性が高く、FNRN よりも高速に計算ができるものである。さらに FNRN の核反応率を比較的新しいもの (Cybert et al. 2010) に更新して、さらに新しい APRX を構築中である。今後は新しく構築した APRX を Multi zone model のシミュレーションコードに実装し、より現実的なシミュレーションを行う。

Ia 型超新星爆発とガンマ線バーストの観測を用いたダークエネルギーの状態方程式に対する制限 (橋本正章, E.P.B.A. Thushari, 中村理央, 一政遼太郎)

ダークエネルギーの状態方程式を明らかにすることは、宇宙論における重要な課題の一つである。ダークエネルギーは我々の宇宙の進化に対する重要な役割を担っている。近年の超新星爆発の観測によると、近傍の宇宙ではダークエネルギーが宇宙の主な構成要素となっており、これによって宇宙が加速膨張していることが明らかとなっている。特に、ダークエネルギーは状態方程式の値が -1 より大きい小さいかによって異なる振る舞いをする。赤方偏移の小さい、近傍の宇宙におけるダークエネルギーの性質を明らかにするために、Ia 型超新星爆発の観測がしばしば用いられる。これに加えて、近年ではガンマ線バーストのデータも利用できるようになってきている。我々は時間発展する状態方程式をに対して、Ia 型超新星爆発とガンマ線バーストの観測から、各赤方偏移における状態方程式の値に対して制限を行った。また、解析には Markov Chain Monte Carlo 法を用いた。その結果、最も信頼性の高い状態方程式の時間発展は現在近傍において -1 よりも小さい値であり、赤方偏移が 0.3 程度よりも古い宇宙では -1 よりも大きい値になっていることが好ましいことが分かった。しかしながら、ダークエネルギーが宇宙定数として振る舞う場合との有意差は認められなかった。

Collapsar の降着円盤からのアウトフローにおける重元素合成 (橋本正章, 小野勝臣, 福田遼平)

鉄より重い元素の合成過程の一つである r -process の起源天体の候補として collapsar と呼ばれる、星の重力崩壊メカニズムに着目した。collapsar とは、 $25 M_{\odot}$ を超える星のうち高速で回転しているものが重力崩壊を起こした時に、ブラックホールと降着円盤の系を作るというものである。この円盤内は高温・高密度になるため、電子捕獲によって r -process に有利とされる中性子過剰な状態が実現する可能性がある。以上のシミュレーションの結果、 r -process 元素のうち軽いものは再現できることが分かった。しかし、既存の流体コードでは解像度の依存性が大きく、またニュートリノ輸送や核反応熱などの物理を取り入れられていないので、新たに FLASH と呼ばれる流体コードを重力崩壊シミュレーションを行うことができるように開発した。現在までに自己重力と核物質の状態方程式を取り入れることに成功しており、今後 collapsar のシミュレーションに移行していく。

r -process 元素合成における核分裂反応の影響 (橋本正章, 小野勝臣, 植木雄哉)

中性子が過剰な環境で実現されると考えられている速い中性子捕獲過程 (r -process) では、核分裂が最終的な元素組成に大きな影響を与えると考えられている。しかし、その核分裂が実際の天体現象で起きる r -process 元素合成へ与える影響はよく分かっていない。そこで本研究で

は、既存の核反応ネットワークへの核分裂反応の組み込み、原子核反応に関わるデータや理論値の最新のものへのアップデート、考慮する核種の範囲の $0 \leq z \leq 95$ から $0 \leq z \leq 95$ への拡張を行った上で、核分裂の *r*-process 元素合成への影響を調べた。*r*-process 元素合成にとって本質的であると考えられている物理的環境を特徴づける3つのパラメータ、エントロピー、中性子過剰度 (Y_e)、ダイナミカルタイムスケールを用いて簡易な爆発モデルを構築し、広いパラメータ空間で核分裂の影響を調べた。その結果、上記3つのパラメータの組み合わせによって、優勢な核分裂の種類が異なることが分かった。特に、 $Z \geq 90$ を主に生成する爆発モデルでは β 遅延核分裂、中性子誘導核分裂が自発的核分裂より優勢となり、核分裂サイクルによって最終的な元素組成に影響を与えることが分かった。

突発天体现象の情報流通とフォローアップ (山岡均)

短いタイムスケールで光度変動する「突発天体」の研究を進めている。昨年度までに引き続き、本年度も、矮新星・新星・超新星について、発見直後の分光や測光などを通じてその性質の解明を目指す。講演などを通じて、突発天体の発見やフォローアップ観測の重要性を訴え、分野を活性化していく。本年度は、国際天文学連合 IAU における新天体情報の取り扱いが再構築された。

突発天体のフォローアップ・発見確認と報告を数件行なった。新天体に特化した研究会開催や講演・記事執筆など、突発天体について周知啓発を行なった。国際天文学連合 IAU において委員会再編が行われ、天文電報中央局 CBAT は IAU の傘下から外れることになった。これに伴い、超新星発見情報は新天体ネームサーバ TNS で扱われているが、銀河系内の古典新星は従前通り CBAT が扱っている。山岡は今年度、これらの再編に主体的に関わった。今後も新天体情報流通の手段を整備していく。

アーカイブ天文学の構築 (山岡均, 宇根遼平, 米田知司)

デジタル化技術やコンピュータネットワークの発展により、サーベイ観測などで作成された天体データベースや画像を用いた天体研究＝データベース天文学が、近年可能になり脚光を浴びている。われわれはこれに加え、断片的な資料も用いた「アーカイブ天文学」を提案し実践する。今年度の目標は、他の目的で得られたサーベイ画像における超新星ショックブレイクアウトの搜索および X 線モニター観測器 MAXI データによる中性子星バーストの解析である。

日本スペースガード協会が運用する美星スペースガードセンターでは、人工衛星のトラッキングや地球接近小惑星の検出を目的としたサーベイ観測を実施している。このサーベイ画像で超新星を検出できないかを検討している。今年度は、美星センター画像から新しい超新星を検出する手法を構築し、実際に搜索を行なった。

また、理研 MAXI チームと協力して、新星爆発時の軟 X 線放射を搜索している。昨年に引き続き、さらに多数の例について改良した手法で調べたが、検出には至らなかった。また、降着中性子星に注目して MAXI データを活用する方策を検討しており、その萌芽を得た。

スペースデブリの可視光観測 (山岡均)

地球周回軌道におけるスペースデブリは増加の一途をたどっており、宇宙利用の大きな脅威となりつつある。特に、破砕イベントで発生するデブリの捕捉と追跡は、今後の宇宙環境を大いに左右する。今年度は、国際宇宙天気科学・教育センターにおいて新たに構築する地上観測網についてさらに細部の仕様設計を行なうとともに、他の宇宙天気データを利用したスペースデブリ研究の計画策定を行った。

工学研究院航空宇宙工学部門の花田教授等との共同研究である。

天文学の社会・学校教育への活用 (山岡均)

天文学を振興し、科学教育を広めるために、各種活動を広く行なっていく。今年度は、全国同

時七夕講演会、各種講演会など数多くの実践を行なった。2007年度から開催しているサイエンスパブを3回実施した。さらに府中市で、日本天文学会天体発見賞等の受賞者を囲むサイエンスパブを開催した。「ペガサス天体観測室」を用いた高年次教養科目「望遠鏡で見る宇宙環境」を前年度に引き続いて開講した。

山岡は、日本天文学会教育担当理事に加え、全国同時七夕講演会実行委員、国際天文学連合天文学アウトリーチ室アウトリーチ日本窓口、日本学術会議における大学教育の質保証にかかる天文学分野の基準策定委員会(委員長)など多様な役割を担った。今年度は特に、系外惑星命名プロジェクトを日本に広め、多数の名称提案と、投票によって日本からの提案が採択されることを手助けした。さらに、美星スペースガードセンターで発見された小惑星に「王貞治」と命名し、天文学に対する世間の関心を広く集めた。これはYahoo!ニュースのトップにも取り上げられ、九州大学のトップページでも広報された。

銀河ガス円盤の観測的可視化 (町田真美)

渦状銀河の磁場を増幅・維持を検証する目的で3次元磁気流体数値実験を行っている。その結果、磁気回転不安定性による磁場の増幅とパーカー不安定性による磁束流出のつり合いによって観測と同程度となる数 μG の磁場を増幅し、数億年以上維持できる事を示している。しかし、数値計算からは、密度や磁場ベクトルなどの物理量が求められるが、観測からは放射量などの情報のみが得られるため、直接比較、検証する事ができない。そこで、数値計算から得られた物理量を用いて観測量を再計算する観測的可視化を行っている。ここでは、磁場構造の特徴を調べるために、ストークスパラメータ、回転量度などの値を電波の波長帯で計算し、観測と比較検討した。その結果、8GHz帯は、偏波の影響が小さく赤道面近傍の構造である磁気渦状構造をトレースする事がわかった。一方、数百MHz帯では、偏波解消の効果によって、渦状構造領域はむしろ磁場成分が打ち消されるかわりに、希薄なハロー磁場構造を観測できる可能性を示した。更に、同じ数値計算モデルの結果を天の川銀河とみだてて、銀河系内から観測量の見積もりを行った。その結果、大局的な構造は説明可能であるが、偏波角分布に系統的なずれが生じる事がわかった。この結果は、本研究では取り扱っていない銀河中心のバー構造が大局的な偏波角分布には強い影響を与えている事を示唆している。

超新星爆発から超新星残骸へ至る進化の多次元数値実験 (小野勝臣)

超新星残骸の様々な波長の観測から、超新星爆発放出元素の分布が観測され、超新星残骸 Cassiopeia A では、その分布が著しく球対称からずれていることが分かった。また、超新星残骸での宇宙線の加速についてもよく分かっていない。このような超新星残骸の観測から超新星爆発メカニズムや元素の起源などの手掛かりを得るためには、超新星爆発から超新星残骸へ至るまでの進化の3次元の理論モデルを構築し、観測と直接比較ができる物理量を評価することが必要不可欠である。そこで、空間3次元の超新星残骸モデルを構築するため、多次元の流体の数値計算コードの開発に取り組んだ。これまでに、3次元の流体計算コードに、非平衡イオン化計算、電子とイオンのクーロン衝突によるエネルギーの緩和過程を導入し、3次元のテスト計算とX線放射のスペクトルの評価を行った。他方、宇宙線の加速に重要な磁場の増幅調べるため、磁気流体計算コードに、数値的に $\text{div } \mathbf{B} = 0$ を保証するベクトルポテンシャル法を導入した。しかし、数値的安定性の問題が残っているため、今後この問題の解決を行い、現実的な超新星爆発モデルを初期条件とした3次元計算、レイリー・テイラー不安定性による磁場増幅とその粒子加速や非熱的放射への影響について議論する。

発表論文

《原著論文》

- Stochastic non-circular motion and outflows driven by magnetic activity in the Galactic bulge region: Suzuki, T.K., Fukui, Y., Torii, K. Machida, M. and Matsumoto, R., MNRAS, 454, 3049S
- 銀河ダイナモ : 松元亮治, 町田真美, プラズマ・核融合学会誌, 91 卷 11 号, 721 (2015)
- Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array 's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (69th), ..., Z. Zundel (125th), Physical Review D, 2015, 92, article id. 032007 (9 pp.)
- MATTER MIXING IN CORE-COLLAPSE SUPERNOVA EJECTA: LARGE DENSITY PERTURBATIONS IN THE PROGENITOR STAR?: J. Mao, M. Ono, S. Nagataki, M. Hashimoto, H. Ito, J. Matsumoto, M. G. Dainotti, and S.-H. Lee, The Astrophysical Journal, 2015, 808, article id. 164 (26 pp.)
- The hybrid energy spectrum of Telescope Array 's Middle Drum Detector and surface array: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (70th), ..., Z. Zundel (127th), Astroparticle Physics, 2015, 68, pp. 27–44
- Effects of triple- α and $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction rates on the supernova nucleosynthesis in a massive star of $25 M_{\odot}$: Y. Kikuchi, M. Hashimoto, M. Ono, and R. Fukuda, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2015, 2015, article id. 063E01 (16 pp.)
- A Northern Sky Survey for Point-like Sources of EeV Neutral Particles with the Telescope Array Experiment: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (70th), ..., Z. Zundel (126th), The Astrophysical Journal, 2015, 804, article id. 133 (11 pp.)
- Study of Ultra-High Energy Cosmic Ray composition using Telescope Array 's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (70th), ..., Z. Zundel (127th), Astroparticle Physics, 2015, 64, pp. 49–62

《Proceedings》

- Division XII: Commission 6: Astronomical Telegrams : N. N. Samus, H. Yamaoka, A. C. Gilmore, K Aksnes, D. W. E. Green, B. G. Marsden, S. Nakano, M. Lara, E.V. Pitjeva, T. Sphar, J. Ticha, and G. Williams, Proceedings of the International Astronomical Union, 10, (Transaction T28B), pp. 134–134.
- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Quark Matter: T. Noda, N. Yasutake, M. Hashimoto, T. Maruyama, T. Tatsumi, and M. Y. Fujimoto, Acta Astronomica Sinica, Vol. 56, Supplement, pp. 52–54 (2015)
- Observational constraints on variable equation of state parameter of dark matter and dark energy: E. P. B. A. Thushari, R. Ichimasa and M. Hashimoto, JGRG25 2015, Kyoto Japan, Vol. 3, pp. 698-709 (2015)

《その他の論文》

- V5669 Sgr = NOVA Sgr 2015 No. 3 = PNV J18033275-2816054 : K. Itagaki, Y. Nakamura, H. Yamaoka, T. Kojima, S. Nakano, Y. Sakurai, K. Nishiyama, A. Takao, T. Noguchi, S. Kiyota, E. Guido, P. Camilleri, E. O. Waagen, A. Pearce, P. Shemeer, and D. Blane, *IAU Circular*, No. 9277, 2015. (NOVA SAGITTARII 2015 No. 3 = PNV J18033275-2816054 : K. Itagaki, Y. Nakamura, H. Yamaoka, T. Kojima, S. Nakano, Y. Sakurai, K. Nishiyama, A. Takao, R. Kaufman, T. Noguchi, S. Kiyota, and E. Guido, *Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 4145, 2015.)
- 惑星系命名に清き一票を あなたの投票が惑星系の名前を決める : 山岡 均:
星ナビ, 2015年11月号 (Vol. 16, No. 11), pp. 98 – 99
- 小尾信彌先生を送る : 山岡 均:
星ナビ, 2016年2月号 (Vol. 17, No. 2), pp. 92 – 92
- 小尾信彌先生の思い出 : 山岡 均:
天文月報, 2016年3月号 (Vol. 109, No. 3), pp. 225 – 225
- ついに系外惑星系の名前決まる！ 選定の経緯と見えてきた課題 : 山岡 均:
星ナビ, 2016年4月号, (Vol. 17, No. 4), pp. 56 – 57
- Resolving 4-D Nature of Magnetism with Depolarization and Faraday Tomography: Japanese SKA Cosmic Magnetism Science: Akahori, T. Fujita, Y., Ichiki K., Ideguchi S., Kudoh T., Kudoh Y., Machida, M., Nakanishi Y., Ohno H., Ozawa T. Takahashi K., Takizawa M. and SKA-JP Magnetism SWG, Magnetism chapter of Japan SKA Consortium Science Book, 24 pages, 15 figures

著書

- 大宇宙 101 の謎 改訂版 : 山岡 均: 河出書房新社, 96 頁, 2015 年 7 月 9 日

講演

《海外での講演》

- Reporting Astronomical Discoveries: Past, Now, and Future :
H. Yamaoka, D. W. E. Green, N. N. Samus, and R. West
IAU General Assembly, Meeting #29, Honolulu, Hawaii, U.S.A. 2015年8月3-7日
- Inspiring People to Participate in the NameExoWorlds Contest :
K. Usuda-Sato, R. Iizuka, H. Yamaoka, and H. Agata
IAU General Assembly, Meeting #29, Honolulu, Hawaii, U.S.A. 2015年8月10-14日

- Reporting Astronomical Discoveries: Business Meeting of Commission 6 :
H. Yamaoka, D.W.E. Green
IAU General Assembly, Meeting #29, Honolulu, Hawaii, U.S.A. 2015年8月11日

《国内での講演》

- 国際光年：宇宙からやってくる光：山岡均
サイエンス友の会特別教室, 科学技術館 (東京都千代田区), 2015年5月9日
- 惑星系に名前を付けよう!: 山岡均
2015年度中京大学国際教養学部学術講演会, 中京大学 (名古屋市昭和区), 2015年5月27日
- 太陽系外惑星の命名!: 山岡均
全国同時七夕講演会 2015, 春日市星の館 (福岡県春日市), 2015年7月4日
- 惑星系の名前を知ろう!: 山岡均
全国同時七夕講演会 2015, 福岡市別府公民館 (福岡県福岡市), 2015年7月7日
- 天文の現状：山岡均
「大学教育の質保証のための教育課程の参照基準」天文学分野シンポジウム,
東京大学 (東京都文京区), 2015年7月18日
- 太陽系以外の惑星系はあるのか～その発見と命名に至るまで～：山岡均
2015年度第4回文化講演会, 河合塾北九州校, 2015年9月26日, 河合塾福岡校, 2015年9月27日
- 月のおはなし：山岡均
別府公民館お月見会, 福岡市別府公民館 (福岡県福岡市), 2015年9月26日
- 天体の名前はどうやってつけられるの? (特別公開講演)：山岡均
なよろ市立天文台, 2015年10月3日
- 超新星 2006jc: LBV は超新星になるのか (招待講演)：山岡均
第1回新天体搜索者会議, なよろ市立天文台, 2015年10月3日
- 汎地球観測ネットワークを基軸とした宇宙天気研究・教育の革新的国際展開:
花田俊也, 吉川顕正, 山岡均, 野口高明, 北澤幸人, 柳澤俊史, 松本晴久
第59回宇宙科学技術連合講演会, かごしま県民交流センター, 2015年10月8日

- 岡山における天体発見: 山岡均
第8回スペースガード研究会, 倉敷物語館, 2015年11月17日
- 国際光年2015と日本(基調講演): 山岡均
みんなで報告・国際光年2015「宇宙からの光」総括シンポジウム, 東京理科大学, 2016年1月11日
- パネルディスカッション: 次の一步を考えよう!—天文をより身近な存在に—:
山岡均, 田中千秋, 綾仁一哉, 雁宏道, 高梨直紘, 縣秀彦
みんなで報告・国際光年2015「宇宙からの光」総括シンポジウム, 東京理科大学, 2016年1月11日
- 系外惑星のお話し~第2の地球は存在するのか?~: 山岡均
第5回サイエンスカフェ@うきは, 蛭子町珈琲店(福岡県うきは市), 2016年1月23日
- 新天体を見つけて地球を守る: 山岡均
スペースガード探偵団 in 佐賀, 佐賀県立致遠館中学校・高等学校(佐賀県佐賀市), 2016年1月30日
- 小惑星観測アーカイブ画像を用いた超新星およびショックブレイクアウト探査: 宇根遼平
2015年度連星・変光星研究会, 岡山理科大学, 2015年12月27日
- X線監視装置「MAXI」の観測による Aql X-1 のプロペラ効果について: 米田知司
2015年度第45回天文・天体物理若手夏の学校, 信州・戸倉上山田温泉ホテル圓山荘(長野県千曲市), 2015年7月27日-7月30日
- Observational constraints on variable equation of state parameter of dark matter and dark energy: E. P. B. A. Thushari, R. Ichimasa and M. Hashimoto,
25th workshop of General Relativity and Gravitation In Japan, Yukawa institute for theoretical physics, Kyoto, Dec. 7-11, 2015
- Pion凝縮によるニュートリノ放射過程を考慮した静穏期の中性子星光度と観測との比較:
松尾康秀, 橋本正章, 林田晃太郎, 野田常雄, 藤本正行
第121回日物理学会九州支部例会, 九州工業大学, 2015年12月5日

- 銀河ガス円盤数値実験による観測的可視化 II 天の川銀河: 町田真美, 赤堀卓也, 中村賢仁, 中西裕之, 日本天文学会 2016 年春季年会, 3 月 14 日-17 日, 首都大学東京
- 銀河中心領域の磁気活動による光速度分散領域形成メカニズムの解明 柿内健佑, 鈴木建, 福井康雄, 鳥居和史, 町田真美, 松元亮治, 日本天文学会 2016 年春季年会, 3 月 14 日-17 日, 首都大学東京
- Helically moving HI cloud found in the outer Galactic disk: 中西裕之, Naomi, McClure-Griffiths, 町田真美, 齊田千恵, 日本天文学会 2016 年春季年会, 3 月 14 日-17 日, 首都大学東京
- 銀河ガス円盤の観測的可視化, 町田真美, 守田佳永, 中村賢仁, 赤堀卓也, 中西裕之 日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2015, 9 月 16 日-18 日, 鹿児島大学
- 銀河ガス円盤シミュレーションを用いた渦状銀河の観測的可視化, 町田真美, 守田佳永, 中村賢仁, 赤堀卓也, 中西裕之, 日本天文学会 2015 年秋季年会, 2015 年 9 月 10 日-12 日, 甲南大学
- SKA 時代に向けた宇宙磁場研究の進展, 町田真美, 赤堀卓也, SKA 宇宙磁場科学検討班 日本天文学会 2015 年秋季年会, 2015 年 9 月 10 日-12 日, 甲南大学
- Rotation measure distribution obtained from numerical simulation: Machida, M., Morita, Y., Nakamura K., Akahori T., Nakahishi H., The Galactic center workshop 2015, 2015 年 7 月 13 日-14 日, 名古屋大学 (招待講演)
- Multi-Dimensional Numerical Modeling of Supernova Remnants: M. Ono, S.-H. Lee, S. Nagataki, Workshop on Supernovae and Their Remnants – The Elegant Last Dance of Stars–, Institute of Space and Astronautical Science (ISAS/JAXA), Japan, Nov. 9-10, 2015
- $2M_{\odot}$ の最大質量を満足する高密度性の熱的進化モデル: 野田常雄, 安武伸俊, 橋本正章, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
日本天文学会 2015 年秋季年会, 甲南大学, 2015 年 9 月 9-11 日
- 核子の超流動・超伝導状態を考慮した中性子星の冷却: 野田常雄, 安武伸俊, 橋本正章, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行 日本天文学会 2016 年春季年会, 首都大学東京, 2016 年 3 月 14-17 日

- 最新の観測データと宇宙初期元素合成：
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三
物理学会九州支部例会, 福岡, 2015年12月5日
- 相互作用するダークエネルギーに対するビッグバン元素合成からの制限：
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三第28回理論懇シンポジウム, 大阪
大学, 2015年12月23日-25日
- collapsarの降着円盤における元素合成：
福田遼平, 第45回天文・天体物理若手夏の学校, 信州・戸倉上山田温泉 ホテル
圓山荘, 2015年7月27日-30日
- main r-processを実現するパラメータのセットについて：
植木雄哉, 橋本正章, 小野勝臣, 福田遼平
第120回物理学会九州支部例会, 九州工業大学, 2015年12月5日

外部資金

《文部省科学研究費補助金》

- 基盤研究(C)
「X線バーストシミュレーションによる中性子星内部構造の解明」(H27-H29)
研究代表者：橋本正章
- 若手研究(B)
「超新星爆発から超新星残骸進化の3次元流体数値実験, 重元素の起源とX線放射
の解明」(H26-H28)
研究代表者：小野勝臣

他大学での研究と教育

山岡均：中村学園大学にて「地学」の講義を行った。

山岡均：筑紫女学園大学にて「天文学」「地球惑星科学」の講義を行った。

山岡均：鹿児島大学で集中講義「天文学概論」を行った。

町田真美：名古屋大学大学院生との共同研究を行った。

学部4年生卒業研究

- 有村幸大 (指導教員：橋本正章, 山岡均)：九州大学の望遠鏡画像を用いた限界等級の算出
- 酒見はる香 (指導教員：橋本正章, 山岡均)：九州大学の望遠鏡画像を用いた限界等級の算出
- 大村匠 (指導教員：橋本正章, 町田真美)：HLLD 法を用いた電磁流体力学方程式の解法

修士論文

- 植木雄哉 (指導教員：橋本正章, 小野勝臣)： r -process への核分裂反応の影響
- 宇根遼平 (指導教員：橋本正章, 山岡均)：小惑星搜索アーカイブ画像を用いた超新星およびショックブレイクアウト探索

外国人留学生の受け入れ

Helei Liu (刘 荷蕾, 華南理工大学大学院, 中国) (2015 年 10 月 – 2016 年 9 月)

学外での学会活動

山岡均：日本天文学会理事, 教育委員会委員長 (2015 年 9 月 12 日および 2016 年 3 月 13 日公開講演会司会), ジュニアセッション実施委員会委員, 七夕講演会実行委員会委員

日本天文協議会運営委員

日本スペースガード協会理事

IAU Commission 6 President, 同 Division B DSC, OAO National Outreach Contact, National Representative at Honolulu GA

日本学術会議物理学委員会 IAU 分科会オブザーバー

「大学教育の質保証のための教育課程編成上の参照基準」天文学分野策定委員会委員長

町田真美: 日本天文学会男女共同参画委員会の委員として活動した

町田真美: 日本 SKA コンソーシアム宇宙磁場科学検討班の代表としての活動を行った。

町田真美: 日本 SKA コンソーシアム宇宙磁場科学検討班による「宇宙磁場 2015」研究会を主催した。

受託研究・民間との共同研究

山岡均：株式会社 IHI からの受託研究「未知スペースデブリの効率的な探索方法の研究」(代表者：花田俊也 (工学研究院)) に分担者として参加

その他の活動と成果

- 宇宙物理学合同セミナー：九州地区九重共同研修所において、大学院生主催の研究発表会を行った。2015年9月1日-9月3日
- 山岡均：九州大学国際宇宙天気科学・教育センター宙空災害予測研究部門に併任
- 山岡均：IAUアウトリーチ日本窓口として、惑星系命名や国際光年2015に取りくむ。
- 福岡市内にてサイエンスパブを3回（2015年7月, 11月, 16年3月）開催（実施委員：山岡）。名古屋市, 立川市で開催されたサイエンスパブ等にゲストとして参加した(山岡)。
- 2015年6月に大阪市で開催された「宇宙を学べる大学合同説明会」で九州大学を紹介(山岡)。
- 2015年7月に鹿児島市で開催された「宇宙を学べる大学紹介2015 in 九州」に参加し, 九州大学を紹介(山岡)。
- 2015年11月に松山市で開催された「2015年度中四国地区「天文・宇宙を学べる大学」合同進学説明会」に参加し, 九州大学を紹介(山岡)。
- 八女市星野村「星のふるさと」にて星空案内人養成講座を開講(2015年9月～11月), 主任講師(山岡)。
- 久留米高校からの大学訪問を受け入れた(2015年7月)(山岡)。
- 八女学院中学・高校で出前授業を実施した(2016年3月)(山岡)。
- テレビ・ラジオ・新聞・地域の天文台等で天文学解説を行なった(山岡)。
- 九州大学大学院言語文化研究院 EEP プロジェクトの「領域横断型の英語読解聴解教材開発」のテキスト制作に協力。宇宙論の解説ページの作成を担当(山岡, 一政)。

実験核物理

研究室構成員

野呂哲夫 教授 森田浩介 教授
若狭智嗣 准教授 寺西高 准教授
藤田訓裕 助教 坂口聡志 助教
岩村龍典 技術職員

《 博士研究員 》

《 大学院 博士課程 》

山口祐幸 安田淳平

《 大学院 修士課程 》

大倉綾華 郭儷怡 小島拓郎 進藤佑輔
田中泰貴 田端心海 新名孝斎 則松恭彰
秋山陽平 河野晟之 栄大輔 畑口俊也 福多貴大 山野裕貴 渡辺
健友

《 学部 卒業研究生 》

上ノ町水紀 上野熊紀 岡祥平 多賀智哉
多和航希 中島峻 西田峻 平野剛 光岡駿

担当授業

物理学概論 A(寺西高)、基幹物理学 IB(野呂哲夫)、力学・同演習(若狭智嗣)
電磁気学 I(森田浩介)、自然科学概論(若狭智嗣)、原子核物理学(野呂哲夫)、
最先端物理学(坂口聡志)、物理学総合実験(若狭智嗣、坂口聡志、藤田訓裕)、
物理学ゼミナール(森田浩介、寺西高)、原子核・高エネルギー実験学(寺西高)、
実験核物理学(野呂哲夫)

研究・教育目標と成果

超重元素の合成研究 (田中泰貴、山野裕貴、渡辺健友、藤田訓裕、森田浩介)

理研において ^{208}Pb や ^{209}Bi のように非常に安定な標的を用いた融合反応(冷たい融合反応)を用いて行われてきた超重元素の合成は、113番元素までの超重元素を合成し

得たが、原子番号の増加と共に急速に減少する融合確率のため 113 より大きな原子番号の超重元素を合成することは現在の技術では不可能とされている。さらに大きな原子番号の超重核を合成するために、アクチノイド標的を用い⁴⁸Ca をビームとして用いる融合反応(熱い融合反応)によって、112 番から 118 番までの超重元素の合成が報告されている。原子番号 118 を超える原子核の合成はいまだ報告されていない。理研では⁵¹V や⁵²Cr ビームと²⁴⁸Cm ($Z = 96$) 標的を用いて原子番号 119, 120 番元素の合成をめざした実験が進行中であり、標的やビームの開発を行っている。

現在は 118 番元素を従来用いられてきた⁴⁸Ca ビームを使わずに合成し、別の同位体生成も試みる事を目指して $Z = 22$ の⁵⁰Ti をビームとして照射する実験を計画し、現在ビームを開発中である。

重イオン融合反応の研究 (田中泰貴、山野裕貴、渡辺健友、藤田訓裕、森田浩介)

超重元素の合成には融合反応が用いられるが入射エネルギーは標的とビームのクーロン障壁近傍に設定されることが多い。反応系のクーロン障壁の分布を実験的に知るため 180 度方向の準弾性散乱断面積の励起関数(エネルギー依存性)を用いることができる。²⁴⁸Cm + ⁴⁸Ca, ²⁰⁸Pb + ⁵⁰Ti, ²⁰⁸Pb + ⁴⁸Ca の反応系について、理研リニアック加速器と反跳分離器(GARIS)を用いた実験を行い、180 度方向に散乱される⁴⁸Ca 様粒子を検出する代わりに、0 度方向に反跳する²⁴⁸Cm, ²⁰⁸Pb 粒子を GARIS を用いて測定した。実験結果はチャンネル結合計算と比較され重イオン反応のクーロン障壁分布に関する新たな知見を得た。

逆運動学¹³²Sn 反応によるガモフテラー遷移の研究 (安田淳平、若狭智嗣)

ガモフテラー(GT)遷移は原子核のスピン・アイソスピンをそれぞれ一単位変え、それ以外の量子数は変えない、最も基本的な励起モードの一つである。中重核領域において、この励起モードは GT 巨大共鳴として現れ、その情報は核子間相互作用のアイソベクトル項を理解する上で極めて重要である。実験的には中間エネルギーにおける荷電交換反応によって調べられてきたが、多くは安定核に限られていた。近年、逆運動学における (p, n) 荷電交換反応測定の手法の開発により、不安定核の GT 遷移測定が可能となった。

本研究では、この手法をより広い質量数範囲に拡大させるため、理研 RIBF において、大立体角低エネルギー中性子検出器群 WINDS と大アクセプタンススペクトロメータ SAMURAI とを組み合わせたセットアップの開発を行い、質量数 $A \sim 100$ において最も重要である二重閉殻核の¹³²Sn の GT 遷移測定を行った。SAMURAI スペクトロメータは (p, n) 反応の同定に用いており、その広い運動量アクセプタンスのため、終状態が多粒子放出崩壊する高い励起状態の測定が可能であり、 γ -、 $1n$ -、および $2n$ -崩

壊に対して (p, n) 反応を示す運動学相関を得ることに成功するとともに、GT 巨大共鳴のピークならびにスピン双極子 (SD) 共鳴のピークが認められた。

核子ロックアウト反応による原子核多体効果のアイソスピン依存性の研究 (大倉綾華、若狭智嗣)

3核子系には、すべてが同種核子であるアイソスピン $|T_3| = 3/2 (T = 3/2)$ の系と、1つのみ異なる $|T_3| = 1/2$ (主には $T = 1/2$) の系があり、3核子間力は $T = 3/2$ では斥力的、 $T = 1/2$ では引力的であることが知られている。 $(\bar{p}, 2p)$ 反応は3番目の核子が陽子のときは $T = 3/2$ 、中性子のときは $T = 1/2$ の3核子間力が寄与する。一方 (\bar{p}, np) 反応では3番目の核子によらず $T = 1/2$ であり、3核子間力の影響は常に引力的であるので、その影響は $(\bar{p}, 2p)$ 反応に比べより顕著に現れると期待される。

本研究では、 $^{12}\text{C}(\bar{p}, np)$ 反応を測定し、3番目の核子の存在確率に対応する有効核密度が通常核密度の0.3倍程度となる $1p$ 軌道を対象とした。その結果、断面積の比のエネルギー依存性において、2体力のみを考慮した計算に比べ、実験値が有意に小さいことが分かった。次に、3体力を考慮した計算と比較すると、実験値と理論計算の差違は3体力を考慮する事により小さくなる方向であった。しかし、現在の3核子間力の効果では実験値を再現するには不十分である。この事は、3核子間力の効果のアイソスピン依存性が現在の理論モデルより大きい可能性を示唆している。本研究により示唆された原子核多体効果の強いアイソスピン依存性は、陽子と中性子の数がアンバランスでアイソスピンの大きい不安定核反応の理解にも重要である。

$E_p = 197 \text{ MeV}$ での $(p, 2p)$ 反応による1粒子強度の測定 (進藤佑輔、田端心海、坂口聡志、若狭智嗣、野呂哲夫)

RCNPにおいて標記ビームエネルギーで $(p, 2p)$ 反応の測定を行い、このエネルギー領域での $(p, 2p)$ 反応の分光学的有用性を調べた。この実験 (E413) の本来の目的は、Ca同位体を対象としてLS分離エネルギーの同位体依存性からテンソル力の働きを調べようとするものであったが、今回は ^{48}Ca のみを標的としたため、視点を変えた解析を試みたものである。但し、今回の目的のために追加ビームタイムを申請し、 ^{90}Zr 、 ^{40}Ca 、 ^{12}C を標的とした短時間の測定も行った。

分光学的有用性としては、既に $E_p = 392 \text{ MeV}$ において ^{40}Ca と ^{12}C を標的とした測定/解析を行っており、最も信頼度が高いとされる $(e, e'p)$ 反応の結果と10-15%程度の精度で一致する結果が得られることを確かめて来た。今回のエネルギーでは392 MeVより歪曲効果が大きくなるためにその信頼性が低下することが懸念される一方、その歪曲効果のために反応の j -依存性が大きくて、束縛軌道の全角運動量 $j = l + s$ の決定が容易であるとの大きな特徴がある。解析の結果は、特定の軌道を除いて概ね392 MeV

での状況に匹敵する結果が得られ、このエネルギーにおいても分光学的手段として有用であることが確認できた。

スピン偏極陽子による不安定核の反応・構造研究 (坂口聡志)

近年、不安定核におけるテンソル力・スピン軌道力・三体力などのスピン依存相互作用の働きが注目を集めている。これらの相互作用の現れを調べるため、不安定核ビーム実験用の世界唯一の偏極陽子標的を開発し、スピン自由度を活かした不安定核研究を進めている。

本年度は特に、理研 RI ビームファクトリーにおいて 2016 年度 6 月に予定されている、偏極陽子- ^6He 弾性散乱実験のための準備を集中的に進めた。具体的には、大口径標的用結晶の製作と陽子偏極試験、陽子検出用プラスチックシンチレータの設計と製作、SAMURAI 磁気分析器内チェンバーのヘリウム充填機構の開発及び試験、検出器配置や磁気分析器の設定の検討、陽子検出器及び標的架台の設計及び発注、真空配管系の設計及び発注、など、実験セットアップの構築を進めた。また、国際コラボレーションの構築、共同実験の担当部分のアサイン、マンパワーの手配など、ソフト方面の準備を進めた。

さらに、芳香族分子の三重項状態を用いた動的核偏極技術による原子核物理及びその応用を議論するため、九州大学にてワークショップを開催した。

タンデム加速器による RI ビーム生成技術の開発 (則松恭彰、寺西高)

本研究の目的はタンデム加速器により、寿命が数分以上の核種の RI ビームを生成する技術を開発することである。本年度は三重陽子 (t) の生成・加速の可能性を探った。マクロな量の三重水素は放射性物質として取り扱いに規制がかけられており、通常の原子核実験用の加速器施設では安全管理の点から使用が困難である。もし、法規制対象外の極低濃度のトリチウムを含んだ水素ガスをイオン化しタンデム加速器により加速することができれば、例え強度が弱いビームであっても、中性子移行反応の研究、検出器テスト等に有用である。この手法のための予備実験として、タンデム加速器により加速した重陽子ビームを重水素ガス標的にて、 $d(d, t)$ 反応により極微量のトリチウムを生成するテストを行い、想定する生成率が得られることを確認した。また、水素ガスを RF・荷電交換型イオン源に導入し、水素負イオンを生成するテストを行い、イオン化効率の基礎データを得た。副産物的成果として、水素ガス導入と RF 印加だけで負イオンを生成するという簡便な水素負イオン生成法を確立することができた。この方法は、イオン源初段で生成された水素陽イオンとイオン源内に滞留している水素分子の荷電交換反応によって水素負イオンが生成されるという現象を利用している。

${}^9\text{C}+p$ 共鳴散乱による ${}^{10}\text{N}$ 共鳴状態の探索 (郭儷怡、坂口聡志、寺西高)

本研究は ${}^9\text{C}+p$ 共鳴散乱により未知の原子核 ${}^{10}\text{N}$ の共鳴状態を探索し、やはりまだ完全には明らかにされていないミラー核 ${}^{10}\text{Li}$ の準位との対応関係を明らかにし、これらの核構造に関する知見を得ることを目的としている。本年度は以下の2点に取り組んだ。

1) 低エネルギー ${}^9\text{C}$ ビームの生成テスト

理化学研究所の RIPS ビームラインにおいて、核子あたり約 4 MeV の ${}^9\text{C}$ ビームを生成するテストを行い、将来の本実験のセットアップを設計するために必要なビーム強度、純度、エネルギー・位置・角度広がりなどのデータを取得した。

2) ${}^9\text{C}+p$ 共鳴散乱のテスト測定

将来の本実験では共鳴状態の明確な識別のため、理研・九大により新たに開発される低エネルギー実験用の偏極陽子標的が用いられる予定である。今回は、上記ビーム生成テストの直後に、予備測定として、非偏極の陽子標的 (ポリエチレン膜) を用いて、 ${}^9\text{C}+p$ 弾性散乱の励起関数を測定した。現在データ解析中である。

加速器質量分析系の開発 (小島拓郎、新名孝斎、畑口俊也、河野晟之、野呂哲夫、坂口聡志)

箱崎のタンデム施設は前年度でシャットダウンし、伊都キャンパスの新加速器施設を用いての AMS システムの構築に取り組み出した。イオン源 (MC-SNICS) の性能評価、入射ビーム並びに加速後のビームのエミッタンス測定、AMS ビームラインの整備等々、基礎的な整備と調整が主である。箱崎施設では行っていなかったこととしては、高圧ターミナルでのガストリップパーによる荷電変換のテストを開始し、C ビームに関しては炭素薄膜による荷電変換に比べて明らかにビームのエミッタンスの増大が押さえられるとの結果を得ている。

伊都キャンパスタンデム加速器施設の立ち上げと箱崎加速器施設の廃止措置 (スタッフ全員)

伊都キャンパスの加速器・ビーム応用科学センターでは京大からタンデム加速器が移設され、H26年9月に施設検査に合格して、10月から使用が可能になった。一方、ビームラインはシャットダウンした箱崎タンデム加速器施設 (原子核実験室) の主要機器の再利用によって、大型散乱槽ビームライン、AMS ビームライン、FFAG 加速器への入射ビームラインを設置することにし、H26年度中の設計と新規機器の製作を経て、H27年3月によりやく伊都施設に移設・構築された。このため4月から急ピッチで総合駆動テストや制御系の調整を進め、6月にビームライン系の施設検査に合格、同月に予定していた物理学科3年生の学生実験に間に合わせる形で全系の供用が可能となった。夏

以降はそれぞれのビームラインの総合調整、京大より移設したアルファトロスイオン源 (α 粒子など気体試料用イオン源) の再構築などを実施、全系の機能強化に取り組んでいる。

一方、箱崎施設では管理区域解除に向けての廃止措置を実施した。数年前に放射化の規制強化があり、法改正後この規模の加速器施設の廃止は初めてであったため、規制庁も我々も手探りの状態でのスタートであった。解体作業と並行して各機器の測定を行いながら検討を加えた結果、線量測定結果に基づいた放射化物の判定基準を考案するに至り、規制庁の理解も得られて措置の目処が立った。伊都施設での加速器立ち上げと並行しての実施であったため、当初の予定よりは少し遅れて H28 年度に一部の作業を持ち越すことになったが 9 月末には完了する見込みである。

発表論文

《 原著論文 》

First application of the Trojan horse method with a radioactive ion beam: Study of the $^{18}\text{F}(p,\alpha)^{15}\text{O}$ reaction at astrophysical energies:

S. Cherubini, M. Gulino, C. Spitaleri, G.G. Rapisarda, M. La Cognata, L. Lamia, R.G. Pizzone, S. Romano, S. Kubono, H. Yamaguchi, S. Hayakawa, Y. Wakabayashi, N. Iwasa, S. Kato, T. Komatsubara, T. Teranishi, A. Coc, N. de Sereville, F. Hammache, G. Kiss, S. Bishop, and D.N. Binh

Phys. Rev. C **92**, 015805 (2015).

Measurement of the $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ cross section at $E_{c.m.} \approx 2.1 - 5.3$ MeV: A. Kim, N.H. Lee, M.H. Han, J.S. Yoo, K.I. Hahn, H. Yamaguchi, D.N. Binh, T. Hashimoto, S. Hayakawa, D. Kahl, T. Kawabata, Y. Kurihara, Y. Wakabayashi, S. Kubono, S. Choi, Y.K. Kwon, J.Y. Moon, H.S. Jung, C.S. Lee, T. Teranishi, S. Kato, T. Komatsubara, B. Guo, W.P. Liu, B. Wang, and Y. Wang

Phys. Rev. C **92**, 035801 (2015).

Candidate Resonant Tetraneutron State Populated by the $^4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{Be})$ Reaction:

K. Kisamori, S. Shimoura, H. Miya, S. Michimasa, S. Ota, M. Assie, H. Baba, T. Baba, D. Beaumel, M. Dozono, T. Fujii, N. Fukuda, S. Go, F. Hammache, E. Ideguchi, N. Inabe, M. Itoh, D. Kameda, S. Kawase, T. Kawabata, M. Kobayashi, Y. Kondo, T. Kubo, Y. Kubota, M. Kurata-Nishimura, C. S. Lee, Y. Maeda, H. Matsubara,

K. Miki, T. Nishi, S. Noji, S. Sakaguchi, H. Sakai, Y. Sasamoto, M. Sasano, H. Sato, Y. Shimizu, A. Stolz, H. Suzuki, M. Takaki, H. Takeda, S. Takeuchi, A. Tamii, L. Tang, H. Tokieda, M. Tsumura, T. Uesaka, K. Yako, Y. Yanagisawa, R. Yokoyama, and K. Yoshida

Phys. Rev. Lett., **116** (2016) 052501.

Nonquenched Isoscalar Spin-M1 Excitations in sd-Shell Nuclei:

H. Matsubara, A. Tamii, H. Nakada, T. Adachi, J. Carter, M. Dozono, H. Fujita, K. Fujita, Y. Fujita, K. Hatanaka, W. Horiuchi, M. Itoh, T. Kawabata, S. Kuroita, Y. Maeda, P. Navrtil, P. von Neumann-Cosel, R. Neveling, H. Okamura, L. Popescu, I. Poltoratska, A. Richter, B. Rubio, H. Sakaguchi, S. Sakaguchi, Y. Sakemi, Y. Sasamoto, Y. Shimbara, Y. Shimizu, F. D. Smit, K. Suda, Y. Tameshige, H. Tokieda, Y. Yamada, M. Yosoi, and J. Zenihiro

Phys. Rev. Lett., **115** (2015) 102501.

SHE research at RIKEN/GARIS:

Kousuke Morita,

Nucl. Phys. A **944** (2015) 30-61.

Synthesis of the heaviest nuclei in cold fusion reactions:

G. Müzenberg and K. Morita,

Nucl. Phys. A **944** (2015) 3-4.

《Proceedings》

《その他の論文》

Spectroscopy of single-particle states in oxygen isotopes via the ${}^A\text{O}(\vec{p}, pN)$ reaction with polarized protons

S. Kawase, T. Uesaka, S. Shimoura, K. Yako, S. Ota, S. Michimasa, H. Tokieda, H. Miya, T.L. Tang, K. Kisamori, M. Takaki, Y. Kubota, C.S. Lee, R. Yokoyama, T. Fujii, M. Kobayashi, M. Sasano, J. Zenihiro, H. Matsubara, M. Dozono, H. Sakai, T. Kubo, K. Yoshida, N. Inabe, Y. Yanagisawa, H. Takeda, K. Kusaka, N. Fukuda, D. Kameda, H. Suzuki, T. Kawahara, T. Wakui, S. Sakaguchi, T. Noro, T. Wakasa, J. Yasuda, T. Fukunaga, Y. Maeda, W. Kim, S.H. Hwang, S. Stepanyan, A. Obertelli,

A. Galindo-Uribarri, E. Padilla-Rodal, and D. Beaumel
CNS-REP-93, p.9 (2015).

Analysis of proton-proton elastic scattering in SHARAQ04 experiment

T.L. Tang, S. Kawase, T. Uesaka, S. Shimoura, K. Yako, S. Ota, S. Michimasa, T. Kawahara, T. Wakui, S. Sakaguchi, S.H. Hwang, Y. Kubota, M. Sasano, H. Matsubara, M. Dozono, C.S. Lee, H. Tokieda, H. Miya, T. Fujii, K. Kisamori, M. Takai, R. Yokoyama, M. Kobayashi, J. Zenihiro, H. Takeda, K. Kusaka, N. Fukuda, D. Kameda, H. Suzuki, W. Kim, S.S. Stepanyan, T. Wakasa, J. Yasuda, T. Fukunaga, T. Noro, Y. Maeda, D. Beaumel, A. Obertelli, A. Galindo-Uribarri, and E. Padilla-Rodal
CNS-REP-93, p.11 (2015).

講演

《 海外での講演 》

SHE Research at RIKEN/GARIS:

K. Morita,

Super Heavy Nuclides International Symposium,
2015/3/31-4/2, Texas A&M University, USA

Slow neutron detector WINDS for (p, n) reaction in inverse kinematics with SAMURAI spectrometer:

J. Yasuda, T. Wakasa *et al.*,

The 17th International conference on Electromagnetic Isotope Separators and Related Topics (EMIS2015), May 15, 2015, Grand Rapids, U.S.A

Study of Gamow-teller transition from ^{132}Sn via the (p, n) reaction in inverse kinematics:

J. Yasuda, T. Wakasa *et al.*,

The 5th International conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX5), September 15, 2015, Krakow, Poland

《 国内での講演 》

SHE Research at RIKEN/GARIS:

K. Morita

5th International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements(TAN15),

Urabandai, Fukushima, Japan, May 26, 2015

Pionic and tensor correlations studied by high resolution and polarization transfer measurements:

T. Wakasa

International symposium on “High-resolution Spectroscopy and Tensor interactions” (HST15), November 2015, Osaka, Japan

Solid polarized proton target in low magnetic field and at high temperature:

S. Sakaguchi (招待講演)

NOPTREX meeting, Nagoya University, July 27-28, 2015.

Progress report on polarized target project at SAMURAI:Preparation status for experiment with polarized proton target (SAMURAI13):

S. Sakaguchi

SAMURAI International Collaboration Workshop 2015, RIKEN Nishina Center, 7–8 September 2015.

Elastic scattering with spin-polarized proton target:

S. Sakaguchi (招待講演)

Physics with Fragment Separators - 25th Anniversary of RIKEN-Projectile Fragment Separator (RIPS25), Shonan Village Center, 5-7 December 2015.

Recent and future development of polarized proton target:

S. Sakaguchi

Nuclear physics with Triplet-DNP technique and its application, Jan. 8, 2016.

Neutron polarization measurement system for studying NN interaction in nuclear medium:

J. Yasuda, T. Wakasa *et al.*

CNS Summer School 2014, August 2014, Wako, Japan

偏極移行量による双極子励起モードの研究:

若狭智嗣

日本物理学会 2015 年秋季大会 (2015 年 9 月、大阪市立大学)

新元素合成への挑戦:

森田浩介 (招待講演)

日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学

$E_{cm} = 1.0$ MeV での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 全反応断面積測定:

藤田訓裕, 相良建至, 田尾成章, 成清義博, 濱元健一, 伴忠彦, 山口祐幸

日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 21 日, 東北学院大学

${}^{132}\text{Sn}(p, n)$ 反応によるガモフテラー遷移の研究:

安田淳平, 若狭智嗣, 坂口聡志, 他

第 71 回日本物理学会年次大会 (2016 年 3 月、東北学院大学)

九州大学理学部の高大連携事業の試み —エクセレント・スチューデント・イン・サイエンス育成プロジェクト (ESSP)—:

野呂哲夫

2015 年度 物理教育学会年会 第 32 回物理教育研究大会 (2015 年 8 月、九州大学)

逆運動学 ${}^{132}\text{Sn}(p, n)$ 反応によるガモフテラー遷移の研究:

安田淳平, 笹野匡紀, Remco Zegerds, 他 SAMURAI17 Collaboration

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

(p,2p) 反応による ${}^{48}\text{Ca}$ の一粒子強度分布測定:

進藤佑輔, 野呂哲夫, 若狭智嗣, 坂口聡志, 安田淳平, 田端心海, 大倉綾華, 民井淳, Guillaume Gey, 岩本ちひろ, 渡辺珠以, 藤岡宏之, 阪上朱音, Yang Zaihong, Panin Valerii

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

分光学的手段としての (p,2p) 反応の信頼性:

田端心海, 野呂哲夫, 若狭智嗣, 坂口聡, 安田淳平, 進藤佑輔, 大倉綾華, 中島峻

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

(p, np) 反応測定による原子核多体効果の研究:

大倉綾華, 若狭智嗣, 安田淳平, 坂口聡志, 進藤佑輔, 田端心海, 中島峻, 野呂哲夫, 前田幸重, 山本達也

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

スピン依存力の核内媒質効果研究のための中性子偏極度計の較正:

中島峻, 若狭智嗣, 大倉綾華 A, 野呂哲夫, 坂口聡志, 前田幸重, 安田淳平, 進藤佑輔, 田端心海, 山本達也

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

陽子共鳴散乱実験のための低エネルギー ^9C ビームの開発:

柴大輔, Evgeniy Milman, 寺西高, 坂口聡志, 郭儷怡, 則松恭彰, 秋山陽平, 福多貴大, Sergey Chebotaryov, Wooyoung Kim, 上坂友洋, 市川雄一, 笹野匡紀, 立石健一郎, 今井伸明, 山口英斉, 早川勢也, Daid Miles Kahl, 坂口裕司, 安部敬治郎, 北村徳隆, 金子智昭, 山田紘太郎, Sanghoon Hwang, Dahee Kim, Alfredo Galindo-Uribarri, Elisa Romero-Romero, Didier Beaumel

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

九大タンデム加速器における新 AMS ビームラインの開発

河野晟之, 野呂哲夫, 寺西高, 坂口聡志, 小島拓郎, 新名孝斎, 郭儷怡, 則松恭彰, 畑口俊也, 柴大輔, 福多貴大, 秋山陽平, 西田峻, 上ノ町水紀

第 121 回日本物理学会九州支部例会 (2015 年 12 月、九州工業大学)

九州大学タンデム加速器実験施設現状報告: 廃止と移転:

寺西高, 野呂哲夫, 森田浩介, 若狭智嗣, 藤田訓裕, 坂口聡志

第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、2015 年 07 月 03 日、東北大学

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

基盤研究 (C) 「スピン偏極を取り入れた非束縛核分光法の開発」

(寺西高 2015~2017 年度)

若手研究 (B) 「低エネルギー不安定核ビーム実験用の薄膜偏極陽子標的の開発」

(坂口聡志 2013~2015 年度)

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

安田淳平、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

他大学での研究と教育

集中講義：北海道大学理学部 (森田浩介)

集中講義：奈良女子大学理学部 (森田浩介)

学部4年生卒業研究

- (1) 上ノ町水紀：(指導教員、野呂哲夫)
九大タンデム加速器における AMS システムの開発 – ビーム軸調査 –
- (2) 上野熊紀：(指導教員、寺西高)
Ge 検出器によるガンマ線計測とコンピューター・シミュレーション
- (3) 岡祥平：(指導教員、寺西高)
RF・荷電交換イオン源による水素負イオンの生成
- (4) 多賀智哉：(指導教員、森田浩介)
 $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 共鳴散乱実験のためのビーム軌道計算
- (5) 多和航希：(指導教員、寺西高)
Ge 検出器によるガンマ線計測とコンピューター・シミュレーション
- (6) 中島峻：(指導教員、若狭智嗣)
スピン依存力の核内媒質効果研究のための中性子偏極度計の較正
- (7) 西田峻：(指導教員、野呂哲夫)
ターミナル電圧 6.5MeV における荷電平衡状態の測定
- (8) 平野剛：(指導教員、森田浩介)
 ^{12}C の弾性散乱を用いたタンデム加速器のエネルギー較正
- (9) 光岡駿：(指導教員、森田浩介)
九州大学タンデム加速器におけるエネルギー較正

修士論文

- (1) 大倉綾華：(指導教員、若狭智嗣)
核子ノックアウト反応による原子核多体効果のアイソスピン依存性の研究

- (2) 郭儷怡：(指導教員、寺西高)
陽子共鳴散乱実験のための低エネルギー⁹C ビーム開発
- (3) 小島拓郎：(指導教員、野呂哲夫)
九大タンデム加速器施設における AMS システムの開発 – 同位体分析系の構築 –
- (4) 進藤佑輔：(指導教員、野呂哲夫)
(\bar{p} , 2p) 反応による ⁴⁸Ca の一粒子強度分布測定
- (5) 田中泰貴：(指導教員、森田浩介)
重核同士の融合反応の障壁分布の研究
- (6) 田端心海：(指導教員、野呂哲夫)
分光学的手段としての (p, 2p) 反応の信頼性
- (7) 新名孝斎：(指導教員、野呂哲夫)
九大タンデム加速器施設における AMS システムの開発 – イオンビームの生成と加速 –
- (8) 則松恭彰：(指導教員、寺西高)
三重陽子ビーム生成に向けた水素負イオン源の開発と DD 反応の測定

学外での学会活動

- 野呂哲夫：物理学会若手奨励賞 (実験核物理領域)・原子核談話会新人賞選考委員長
核物理委員会委員、大阪大学核物理研究センター運営委員会委員
同 サイクロトロン施設高度化・技術諮問委員会委員
J-PARC 放射線安全委員会委員
- 森田浩介：韓国加速器計画 RISP プログラム助言委員
- 若狭智嗣：大阪大学核物理研究センター研究計画検討専門委員会委員
同 実験課題審査専門委員会委員
- 坂口聡志：「日本の核物理の将来レポート」編集委員

その他の活動と成果

- 体験入学・実験「物質を透過する粒子線」寺西高 (2016年3月29日)
- 体験入学・実験「身の回りの放射能体験」藤田訓裕 (2015年3月29日)
- つくば国際会議場、第5回科学の甲子園全国大会
基調講演「未知への領域へ挑む！探検者へ」森田浩介 (2015年3月20日)
- 豊田理化学研究所、第12回豊田理研懇話会「113番元素発見」森田浩介
(2015年12月18日)
- ワークショップ “Nuclear physics with Triplet-DNP technique and its application”

世話人（坂口聡志）（九州大学伊都キャンパス、2016年1月8日）
出前講義「原子核の世界と宇宙の歴史」 野呂哲夫（2015年9月、松山南高等学校）

素粒子実験研究室

研究室構成員

川越 清以 教授

東城 順治 准教授 吉岡 瑞樹 (RCAPP) 准教授

織田 勸 助教 音野 瑛俊 (RCAPP) 助教 末原 大幹 助教

《 博士研究員 》

須藤 裕司 (特任助教) 山口 博史 (学術研究員)

《 大学院 博士課程 》

大石 航 松本 悟 調 翔平 富田 龍彦

中居 勇樹

《 大学院 修士課程 》

角 直幸 住田 寛樹 高田 秀佐 田中 聡一

長澤 翼 長島 寛征 平井 寛人 藤山 翔乃

Darnajou Mathieu 野口 恭平 真玉 将豊 森下 彩

《 学部 卒業研究生 》

伊藤 拓実 上野 和輝 岡川 航己 古賀 淳

斉藤 貴士 白濱 脩太郎 関谷 泉 山城 大知

《 研究生 》

Zhang Jiawei

担当授業

- 川越

伊都地区：基幹物理学 IA(前期)、物理学入門 II(後期)、物理学ゼミナール(後期)

- 東城

伊都地区：物理学ゼミナール(後期)、素粒子物理学(後期)

- 吉岡

伊都地区：数値計算法(後期)、原子核・高エネルギー実験学(後期)

- 織田
箱崎地区：物理学総合実験 (前期)
伊都地区：物理学総合実験 (後期)
- 末原
伊都地区：自然科学総合実験 (前期)、基礎物理実験学・同実験 (後期)

研究・教育目標と成果

CERN 研究所 LHC 加速器における ATLAS 実験 (川越 清以、東城 順治、織田 勸、音野 瑛俊、調 翔平、藤山 翔乃、Darnajou Mathieu)

スイス・ジュネーブ郊外にある欧州合同原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) において、国際共同研究 ATLAS 実験を推進している。LHC 加速器では、2015 年から設計値に重心系エネルギー 13 TeV での運転を再開した。今年度は、シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良、検出器データベースの管理、ヒッグス粒子の性質の研究、超対称性粒子の探索、検出器アップグレード計画の遂行を行った。

- **シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良** (川越 清以、東城 順治、織田 勸、音野 瑛俊、調 翔平、藤山 翔乃)

ビーム衝突点から発生する多数の荷電粒子の検出において、ATLAS 検出器最内層に配置した内部飛跡検出器が重要な役割を果たす。我々のグループは、内部飛跡検出器の 1 つであるシリコン半導体飛跡検出器 (Semiconductor Tracker : SCT) の運転に精力的に取り組んできた。SCT 検出器の運転に参加する国内研究機関の中で、九州大学は唯一スタッフが CERN に常駐する大学である。2013 年までは東城が国内研究機関が連携して研究を進める上での中心となり、それ以降は音野がその役割を引き継いでいる。音野は、2013 年 11 月より SCT data quality coordinator を務め、2015 年の LHC の運転開始以降、今年度から CERN に常駐をしている博士 1 年の調と共に、ビーム衝突時における SCT 検出器の性能評価を行い、順調なデータ取得を実現した。2016 年 2 月から、織田が SCT 検出器の offline software coordinator を務め、検出器ソフトウェア全般において責任を持っている。我々のグループは、今後も引き続き SCT 検出器に高い性能を発揮させるべく、その運転に大きく貢献してゆく予定である。

- **検出器の状態の情報を保持するデータベースの管理** (織田 勸)

ATLAS 実験は、その汎用検出器を構成する各検出器の時間的に変化し得る

状態の情報を保持するために、Conditions Database と呼ばれるデータベースを持っている。Conditions Database はデータの取得、再構成、モニタリングやシミュレーションに用いられる。Conditions Database の各検出器の情報の更新や管理は、各検出器の担当者に任されている。Conditions Database 全体の調整・管理役として、ATLAS 実験のデータ準備部門 (Data Preparation) に (Deputy) Conditions Coordinator という役職が置かれている。織田は2015年1月から9月は Deputy Conditions Coordinator を、その後、2016年末までの予定で Conditions Coordinator を務めており、円滑なデータ準備に貢献している。

- **ヒッグス粒子の性質の研究 (織田 勸)**

我々のグループが注力しているのは、ヒッグス粒子が Z 粒子対に崩壊し、各 Z 粒子がレプトン (l 、電子またはミューオン) 対に崩壊する、4レプトンチャンネル ($H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$) である。このチャンネルには背景事象が少なく、ヒッグス粒子を完全に再構成できるという利点がある。2015年はこれまでより高い重心系エネルギー 13 TeV で実験を行った。織田は解析用データの生成や系統誤差の評価のフレームワークの更新を担当した。2012年までのデータに対して行った解析を踏襲し、2015年12月に予備的な結果を公表した。質量が約 125 GeV のヒッグス粒子の観測数は $1.0^{+2.3}_{-1.5}$ 個、有意度は 0.7σ 、生成断面積は 12^{+25}_{-16} pb であり、再発見には至らなかった。質量が 200 GeV 以上の未知のスカラー共鳴状態の探索も行ったが、得られた結果は標準模型と 2σ の範囲で一致するものであり、新しい共鳴状態は発見されなかった。2016年は、2015年の約6倍の積分ルミノシティ 20 fb^{-1} 程度のデータを取得できる見込みで、迅速に結果を出せるように準備を進めた。

- **超対称性粒子の探索 (音野 瑛俊、藤山 翔乃)**

2012年のヒッグス粒子発見によって、素粒子標準模型 (Standard Model : SM) における未発見粒子は無くなった。しかし、天体観測から存在が示唆されているダークマターの候補となる粒子が SM には無い。ダークマターを記述できる有力な理論は、SM の素粒子にスピンの異なるパートナーを導入した超対称性理論である。ただし、ヒッグス粒子の質量が 125 GeV の場合、最も単純な超対称性理論における超対称性スカラー粒子である squark の質量は、数 TeV から 100 PeV 程度の範囲にあると想定され、LHC 加速器における実験での直接発見は難しい。一方で、超対称性フェルミオン粒子は、LHC 加速器で到達できるエネルギーの範囲内にあることが期待できる。しかし、最も生成断面積が大きいとされる gluino が生成しても、squark を介

してのみ崩壊するため、squark の質量が 1 PeV を超えると gluino は $O(1)$ mm より長い飛程を持つ。従来の gluino 探索はビーム衝突点での崩壊を仮定しているため、長い飛程を持つ長寿命 gluino に特化した探索を進めた。残念ながら新粒子の発見はできなかったが、1 mm ~ 1 m の飛程を持つ長寿命 gluino の存在に対して最も厳しい制限を付けた。この結果について、音野が主要著者として執筆した論文として発表した [Phys. Rev. D 92, 072004 (2015)]。また、音野は理論研究者らと長寿命粒子を生む新たなシナリオを考案し、ATLAS 実験での発見能力を検討した論文を 2 編執筆し、双方ともに論文誌で発表した [Phys. Lett. B 748, 24 (2015), JHEP 09, 105 (2015)]。2015 年に取得したデータの解析は、修士 2 年の藤山と協力して進めた。2016 年夏の国際会議でその結果を発表することを目指している。

- **検出器アップグレード計画** (川越 清以、東城 順治、織田 勸、音野 瑛俊、Darnajou Mathieu)

現行の LHC 加速器は、2023 年まで運転して積分ルミノシティ 300 fb^{-1} を実験に提供する予定である。その後は、加速器改良により瞬間ルミノシティを $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に増強し、2026 年から高ルミノシティ LHC (HL-LHC) として再稼働させ、エネルギーフロンティア物理をさらに推進する計画である。HL-LHC 計画に対応し、ATLAS 実験では検出器をアップグレードする計画を進めている。特に大規模な計画として、内部飛跡検出器全体を新型の高放射線耐性シリコン検出器にアップグレードする。我々のグループは、シリコン検出器アップグレード計画に参画するため、ピクセル・ストリップ型検出器の開発に必須である半導体実装と性能評価を可能とする「次世代シリコン半導体検出器開発システム」を導入した。システムの導入により、アルミ線ワイヤーボンディング・センサーと読み出しチップのプロベリング・多チャンネル電気特性評価とデータ収集・電子回路シミュレーションと設計・有限要素法による力学的および熱的設計・事象シミュレーションが可能となり、一環した開発環境を整備した。今年度は、システムの導入・立ち上げ、キャンパス移転に伴う移設と再立ち上げを行った。特に、アルミ線ワイヤーボンディングについては、 $25 \mu\text{m}$ アルミ線ワイヤーの自動ボンディングを行えるように整備した。今後、ATLAS 実験の検出器アップグレード計画だけでなく、国際リニアコライダー計画で推進するシリコン・タングステン電磁カロリメータの開発を含め、素粒子実験研究室が進めるシリコン検出器の開発において、重要な役割を果たすと期待できる。また、HL-LHC 計画での最重要課題の一つであるヒッグス粒子の自己結合の測定に向けたシミュレー

ション研究、シリコンピクセル検出器を読み出すための開発環境整備を開始した。来年度に向けて、研究を本格化させる予定である。

- **内部飛跡検出器アップグレード用のシミュレーションの整備**（織田 勸）

ATLAS 実験は、HL-LHC 計画における高ルミノシティ環境下でのデータ取得のために、2024 年頃に内部飛跡検出器を総入れ替えする予定である。その内部飛跡検出器は、全てシリコン半導体検出器で構成され、ITk と呼ばれる。この ITk 検出器を限られた資源の中で最適化するために、シミュレーションを用いて性能を評価し、仕様を策定する必要がある。織田は、2014 年度末までに最新のソフトウェアのバージョンで ITk のシミュレーションを稼働させた。2015 年度は、以前のソフトウェアのバージョンでの結果との比較、ITk の様々なレイアウトでのシミュレーションの実装、カロリメータ検出器を含めたシミュレーションの実装、ソフトウェアのバグを検知するためのジョブ自動実行システムの整備、一般ユーザーでも容易に使えるようにするためのマニュアルの整備などを行った。これを用いて ITk の仕様の策定が進められた。

国際リニアコライダー計画（川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、富田 龍彦、住田 寛樹、平井 寛人、野口 恭平、眞玉 将豊、森下 彩）

次世代加速器実験計画「国際リニアコライダー」(ILC) のための物理と測定器の研究を行っている。測定器の開発においては、ILC 電磁カロリメータで用いるシリコンセンサーのガンマ線照射試験および読み出し回路の開発、ビームテストを行った。シミュレーションを用いた物理解析、測定器の最適化も引き続き並行して行っている。

- **電磁カロリメータ用シリコンパッド検出器の開発研究**（川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、住田 寛樹、平井 寛人）

ILC 実験では、ジェットに対する優れたエネルギー分解能が必要であり、そのために Particle Flow Algorithm (PFA) と呼ばれる解析方法が考案された。PFA では、ジェット中の個々の粒子をカロリメータで分離する事が要となっており、そのためには3次元的に細分化された電磁カロリメータが必要となる。ILD 検出器ではタングステンを吸収体とするサンプリング型カロリメータを考えており、センサー部分にはシリコンパッドとシンチレータストリップが提案されている。シリコンパッドについてはフランスの研究機関（LLR Ecole Polytechnique, LAL Orsay）と日仏共同で進めており、日本では九州大学がその拠点となっている。本年度は九州大学加速器・ビーム応用センターのコバルト線源を用いて、シリコンセンサーのガンマ線照射試験を行った。

いくつかの照射量において、照射前、照射後の暗電流の変化を確認し、変化は見られるものの、ILCで予想される照射量においては性能に大きな影響が出ないことを確認した。小型センサーの読み出し機構においては、新たにプリント基板の開発を行い、1チャンネルごとの読み出しを可能とするとともに、切替装置のソフトウェアの開発・試験も行った。

- **ハイブリッド式電磁カロリメータの研究とカロリメータの最適化** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、住田 寛樹、眞玉 将豊)

ILC 測定器の電磁カロリメータに用いるセンサーとして、性能的にはシリコンパッドが最適と考えられるが、コストが高すぎると懸念されている。一方、シンチレータストリップは比較的安価であるが、ストリップ構造によるゴーストイメージのため、性能が若干劣ると考えられている。そこで、サンプリングカロリメータ中にシリコンパッド層とシンチレータストリップ層を組み合わせる事で (ハイブリッド式電磁カロリメータ)、優れたジェットエネルギー分解能を維持しながらコストを大幅に削減する事を考え、シミュレーションによる研究を進めている。本年度は電磁カロリメータのコストを全体で3割程度削減することを年頭に、レイヤ数やレイヤの構造 (前方・後方の吸収層の厚みの比や前方と後方に相当するレイヤ数の割合、シンチレータの割合など) を変化させて最適な構造を評価した。

- **シリコン電磁カロリメータ読み出しシステムの試験およびカロリメータ統合読み出しシステムの開発** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、平井 寛人、野口 恭平)

ILCの電磁カロリメータは細分化されているため極めて多数のチャンネルを効率よく読み出す必要があり読み出しシステムの開発も大きな課題である。ILDのシリコン電磁カロリメータでは、シリコンセンサーの各セルにASICを含む回路基板を直接接合させ、デジタル変換を行って外部へデータを転送する。ASICやそれを含む読み出し回路には、増幅部のノイズ、物理的な平面度、スペース、消費電力などに高い要求が課される。この読み出しシステムはこれまで主にフランスで開発が進められてきたが、昨年度より九州大学も共同開発研究に本格的に参画した。本年度は11月にスイス・CERN 研究所で行われたビームテストに参加し、ビームテストの運転に参加するとともにビームテストで得られたデータを解析し、過去のデータとのノイズの大きさの比較などを行った。また、読み出しシステムに用いる集積回路 (ASIC) の評価ボードを用いて、ASIC 単体におけるノイズの評価を行った。さらに、ASIC を基板上に直接実装する新しい方式についても、フランスで行われた

試験に参加し、測定システムの開発・評価を行った。

- **ILCにおけるZがハドロン対に崩壊するモードを用いたヒッグスZH随伴生成全断面積の測定性能評価** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、富田 龍彦、森下 彩)

LHC実験においてヒッグス粒子が発見され、また新物理に係わる粒子は今のところ発見されていない。この現状を踏まえて、ILC建設への重要なステップとして、ILCの物理的意義をより明確にすることおよびILCの測定器を物理に合わせて改めて最適化することが求められている。ILC実験においてはまずヒッグス粒子の精密測定が極めて重要な物理である。ILCのヒッグス測定はLHCと比べてよりモデル非依存かつ格段の精度でヒッグスと各粒子の結合定数を求められることが特長である。このモデル非依存のヒッグス測定の要となるのがヒッグス反跳質量分布を用いたZH全断面積測定である。この測定はZがレプトン対に崩壊する場合がもっとも解析しやすいが、Zがハドロン対に崩壊する場合も利用することでさらに格段の精度上昇が期待できる。本研究室ではこのZがハドロン対に崩壊する場合のZH全断面積測定を推進している。このモードはレプトン対のモードに比べ統計数は格段に多いが、バックグラウンドの分離およびヒッグスの崩壊に対する依存性を抑えることが難しいため格段に困難な解析テーマである。本年度は250 GeVのILCにおける最終結果を得るとともに、350 GeVにおいても同様の解析を行い統計精度の評価を行った。

- **ILCにおけるトップ湯川結合の直接測定精度の評価** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司)

トップ粒子は標準模型で最も重い粒子であり、そのヒッグスとの湯川結合の結合定数は多くの新物理に感度のある重要な測定テーマである。ILCでは500 GeV以上のエネルギーでトップ湯川結合を直接測定することができる。ttHプロセスを解析することができる。ttHプロセスは終状態に多くのハドロンジェットやレプトンを含む複雑なモードであり、丹念な解析が必要となる。本研究室はこの500 GeVのILCにおけるttHプロセスの解析を担当している。本年度はレプトン識別をはじめとした解析アルゴリズムの改良を行うとともに、多変量解析を導入し性能向上を果たし、ILCの500 GeVにおけるttHプロセスの性能評価を完了した。

ミューオン・電子転換過程の探索 (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、大石 航、中居 勇樹、田中 聡一、長島 寛征、野口 恭平)

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設J-PARCのハドロン実験施設において、ミュー

オンが電子に転換する過程を探索するため、COMET 実験 (J-PARC E21 実験) を国際共同研究で進めている。世界最高強度のパルスミューオンビームを生成するための実験施設は、建屋が完成し、専用ビームラインの建設が進んでいる。我々の研究グループは、ミューオン-電子転換過程を探索するための検出器の開発を行っている。COMET 実験の第一段階 (Phase-I) では、 $\mathcal{O}(10^{-15})$ の発見感度 (または上限値設定) での実験を計画しており、円筒型ドリフトチェンバーとトリガー検出器を組み合わせた検出器システムが主要な役割を果たす。さらに、Phase-I で初めて生成するミューオンビームの性質を詳細に調べることが不可欠である。Phase-I におけるミューオンビームの研究は、 $\mathcal{O}(10^{-17})$ の発見感度 (または上限値設定) を目指した COMET 実験の第二段階 (Phase-II) へ進むためにも重要である。Phase-I におけるミューオンビームの研究と Phase-II における物理測定では、ストローチューブ飛跡検出器と電磁カロリメータを用いる計画である。

- **Phase-I トリガー検出器の開発** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、中居 勇樹)

Phase-I の物理測定に用いるトリガー検出器の開発を進めている。電子をトリガーするため、UV アクリルをチェレンコフ輻射体とし、信号-背景比の向上とタイミング情報を得るため、プラスチックシンチレータを組み合わせる。光検出器としてファインメッシュ型光電子増倍管 (FM-PMT) を用いたプロトタイプ検出器の開発を進めた。主要な開発要素として、FM-PMT 後段に設置する前置増幅回路、放射線耐性、検出器筐体の設計がある。前置増幅回路の開発では、必須、または、検討項目とする機能を備えたプロトタイプの開発・製作を行い、性能試験を実施して要求性能を満たすことを示した。放射線耐性については、COMET 実験施設で想定する中性子・ガンマ線量に対応して、検出器構成各部の性能の線量依存性を研究した。中性子は神戸大学のタンデム加速器、ガンマ線は九州大学の加速器・ビーム応用科学センターにあるガンマ線照射施設において、性能試験を行った。FM-PMT、遮光材、電子回路部品等について試験を行い、性能評価・構成部品選定を進めた。検出器筐体は、トリガー検出器全体を配置・支持し、実験環境下における背景事象の対する遮蔽、円筒型ドリフトチェンバー部のヘリウムに対する遮蔽を兼ね備えるデザインの開発を行った。第一案が完成し、実機を目指したデザインへ改良を行う予定である。来年度は、これらの開発を完了させる予定である。

- **電磁カロリメータの開発** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、大石 航、中居 勇樹、長島 寛征、野口 恭平)

Phase-I のミューオンビームの研究、及び、Phase-II の物理測定に用いる、電

磁カロリメータの開発を進めている。電磁カロリメータは、高計数率環境下で信号電子のエネルギーを測定し、事象トリガーを生成するために重要な役割を果たす。磁場がある真空中で動作させ、高エネルギー分解能と速い時間応答を必要とするため、LYSO結晶をアバランシェ・フォトダイオード(APD)で読み出す。昨年度に選定したLYSO結晶の電子・ミューオン・荷電パイ中間子の粒子同定性能を評価するため、スイス・PSI研究所において、ビーム試験を行った。電子の同定には予想通り問題がないことを確かめた。一方、ミューオン・荷電パイ中間子の同定は類似する性質を持つため容易ではないが、それぞれの粒子が結晶中で起こす特徴的な性質を検出した。ビーム試験で得た性質、および、COMET実験での実機の上流側に設置するストローチューブ飛跡検出器と組み合わせた粒子の飛行時間測定を用いて、これら3種の粒子を高い効率で同定できることを示した。また、検出器のモジュール構造の設計、APDの有感面積の再検討、APD用測温抵抗の選定、校正モニタリング用LEDの選定、検出器構成要素の放射線損傷試験、前置増幅回路の改良を進めた。これらの要素を取り入れたプロトタイプ検出器を開発し、東北大学電子光理学研究センターにおいてビーム試験を行った。データ解析の暫定的結果として、エネルギー分解能の向上を確認した。一方、不良チャンネル・ビーム試験後に理解した改良点等もあり、検出器開発の最終試験には至らなかった。来年度には、実機建設に向けた開発要素をすべて洗い出し、最終プロトタイプ検出器を用いたビーム試験を行う予定である。

- **ストローチューブ飛跡検出器の開発** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、田中 聡一、野口 恭平)

ストローチューブ飛跡検出器は5層あり、各層は x 方向2面と y 方向2面の4面で構成する。磁場がある真空中で動作させ、荷電粒子の各層での位置情報を用いて、高運動量分解能で飛跡を再構成する。CERN NA62実験で実機として製作実績がある直径9.75 mmのストローチューブを改良し、COMET実験用に低物質量化したものをPhase-1で用いる。Phase-2に向けて、増加する粒子多重度に対応し、かつ、運動量分解能を向上させるために、直径を5 mmにしてさらなる低物質量化をする計画である。本年度は、昨年度に行ったストローチューブ1本の基礎特性の研究結果に基づいて、ストローチューブ飛跡検出器のプロトタイプを製作し、性能評価を行った。真空中での動作試験、使用するガスの候補であるAr/CO₂とAr/C₂H₆の混合比と増幅率の研究、電子のドリフト時間・ドリフト速度の研究、位置分解能の研究を行った。プロトタイプ検出器を東北大学電子光理学研究センターの電子ビームを

用いて試験を行った。その結果、0.45 Pa の真空中での動作、電子ドリフトにおける X-T 関係のデータとシミュレーションとの一致、位置分解能 $200 \mu\text{m}$ を達成し、要求性能を満たすことを示した。さらに、電磁カロリメータと組み合わせた状態でのビームを用いた動作試験も行った。電磁カロリメータで発行するトリガーを用いたデータ収集を行い、基本動作を確認した。来年度は、さらに系統的な動作試験を行い、開発を完了させる予定である。

ミューオン異常磁気モーメント・電気双極子モーメントの測定 (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、末原 大幹、長澤 翼、眞玉 将豊)

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) において、ミューオンの異常磁気モーメントと電気双極子モーメントを測定する実験 (J-PARC E34 実験) を国際共同研究で進めている。極冷ミューオンビームを用いた全く新しい測定原理に基づく実験である。本実験に用いる検出器の開発を担当している。

- シリコンストリップ検出器用読み出しチップの開発 (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、末原 大幹、長澤 翼、眞玉 将豊)

ミューオンの異常磁気モーメント ($g-2$) の測定は、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の E821 実験が 0.54 ppm の精度で素粒子標準模型 (SM) から 3.3σ のずれを発表し、素粒子物理学における SM を超える物理 (BSM) の探索において重要な位置を占めている。また、電気双極子モーメント (EDM) の測定は、BNL E821 実験が $1.9 \times 10^{-19} e \cdot \text{cm}$ の上限値を与えた。有限の EDM が存在する場合、EDM は時間反転対称性を破るため、CPT 定理を仮定すれば CP 非保存を意味する。それを生み出す BSM の存在を示唆するため、異常磁気モーメントの測定と並び重要性が高い。我々が J-PARC 加速器 MLF 施設で準備を進めている新しい実験は、極冷ミューオンビームを生成・加速し、収束電場を用いずに超高精度磁場中にミューオンを蓄積することにより、 $g-2$ を 0.1 ppm の精度で、EDM を $10^{-21} e \cdot \text{cm}$ の感度で、それぞれを分離して測定し、BMS を探索する野心的な計画である。この実験の実現のために鍵を握る検出器は、ミューオンを蓄積する磁場内に設置する高計数率シリコンストリップ検出器である。ミューオンの崩壊で生成される陽電子の飛跡をシリコンストリップ検出器のヒット情報から再構成する。実験技術として挑戦的な点は、平均ヒット計数率で1ストリップあたり 1.2 MHz から二桁低い領域まで、高検出効率で動作することが要求されることである。その検出器を実現するために、シリコンストリップ検出器に用いる読み出しチップの開発を進めている。64チャンネルを有するプロトタイプ読み出しチップのアナログ部である Slit2013 について、昨年度に行ったビーム試験のデータ解

析を進めた。その結果、信号-雑音比・ゲイン・ノイズ・ダイナミックレンジ・パルス幅の性能については要求を満たすことを示した。一方、タイムウォークの要求性能は 5 ns 以下であり、試験の結果では要求を満たしておらず、次期バージョン Slit2014 での改良を見込んでいる。本年度は Slit2014 の TEG の評価基板の開発とチップの評価、および、アナログ部 Slit2014 とデジタル部 GM2DV2 を備えた混載チップの SliT128A の評価基板の開発を行った。TEG の評価基板への実装は、25 μm 径のアルミ線ワイヤーボンディングで行った。TEG に印加するバイアス調整を行い、評価基板上での性能評価を行った。懸案であったタイムウォークの改善は、TEG でも満たされておらず、さらに改良が必要であることを示した。さらに、SliT128A の評価基板の設計・開発を行った。評価基板には FPGA を搭載しており、実験における最初のアナログ・デジタル混載チップの評価に用いる。基板製作を完了させ、チップの評価基板への実装をアルミ線ワイヤーボンディングで行った。来年度は、SliT128A の性能評価を進める予定である。

中性子を用いた基礎物理 (吉岡 瑞樹、松本 悟、富田龍彦、角直幸、高田秀佐、森下彩)

- **高精度中性子崩壊寿命測定実験** (吉岡瑞樹、富田龍彦、角直幸、森下彩)

我々は茨城県東海村の J-PARC 加速器を用いて中性子崩壊寿命を高精度で測定する実験を推進している。中性子寿命を導出するためには中性子のフラックスと β 崩壊の量を知る必要があるが、これまで行われてきた実験では中性子と壁との相互作用やフラックスの系統誤差が問題となっていた。これに対し、我々の実験ではフラックスと β 崩壊電子を TPC 検出器で同時測定することにより、これまでの実験に伴っていた系統誤差を回避することが可能となる。我々は、この新たな手法を用いて 0.1% の精度で中性子の寿命を測定することを目指している。本年度は 2014 年および 2015 年に取得した物理データの解析を行い、信号事象と背景事象を定量的に評価した。解析に必要なモンテカルロシミュレーションの開発を行い、 β 崩壊信号分布をよく再現することを確かめた。以上の解析手法を用いて O(1)% の精度で中性子寿命が決定できることを示した。また、0.1% の精度での寿命測定に向けた新検出器の開発を開始した。

- **複合核状態における時間反転対称性の破れの探索実験** (吉岡瑞樹、高田) 中性子吸収反応による複合核共鳴状態では部分波干渉によって空間反転対称性の破れが極めて大きく観測される場合が存在する。時間反転対称性の破れについても同様の増幅効果が現れる可能性が理論的に示唆されており、中性子の

電気双極子能率を超えた感度を持ちうる。本実験は茨城県東海村の J-PARC にて行う計画だが、現在は J-PARC/MLF/BL04 で取得したデータによる標的核の選定および各種デバイス開発を行っている。本年度はデータ解析に必要となるモンテカルロシミュレーションの開発を行った。また、標的核候補の一つであるインジウムを用いて取得したデータの解析を行い、解析方法を確立した。その過程で現行のデータ収集系には難点があることを明らかにした。次年度は、新データ収集系により追加データを取得し、より詳細な解析を行う予定である。

- **低エネルギー中性子の小角散乱を用いた未知相互作用の探索実験**（吉岡瑞樹、松本悟）

我々は低エネルギーの中性子と希ガス原子の散乱によりナノメートルスケールで未知の相互作用を探索する実験計画を立案している。昨年度中に実験装置は全て J-PARC/MLF/BL05 に設置済みであり、データ取得可能な状況であったが、J-PARC 加速器の不調により年度末まで本実験は行えなかった。本年度は主に理論計算の見直しおよびモンテカルロシミュレーションの改良をインディアナ大学と共同で行った。本年度3月末に初のデータ収集を行い、次年度ではその詳細なデータ解析を行う予定である。

発表論文

《原著論文》

N. Nagata, H. Otono, S. Shirai, “Probing Bino-Gluino Coannihilation at the LHC”, *Phys. Lett. B* **748**, 24 (2015).

N. Nagata, H. Otono, S. Shirai, “Probing Bino-Wino Coannihilation at the LHC”, *JHEP* **1510**, 086 (2015).

H. Otono, “New probes for bino dark matter with coannihilation at the LHC”, *Proceeding of Science EPS-HEP2015*, 182 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena with photon+jet events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **03**, 041 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in highly boosted top-quark pair production in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collision data collected by the ATLAS experiment”, Phys. Lett. B **756**, 52 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the ZZ Production Cross Section in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **116**, 101801 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Combination of searches for WW , WZ , and ZZ resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **755**, 285 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons in the $H^\pm \rightarrow tb$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, JHEP **03**, 127 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for strong gravity in multijet final states produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector at the LHC”, JHEP **03**, 026 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in dijet mass and angular distributions from pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **754**, 302 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of b -Jet Identification in the ATLAS Experiment”, JINST **11**, 04 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the dependence of transverse energy production at large pseudorapidity on the hard-scattering kinematics of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV with ATLAS”, Phys. Lett. B **756**, 10 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for single top-quark production in the s -channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector using the Matrix Element Method”, Phys. Lett. B **756**, 228 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for prompt lepton-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **02**, 062 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Dijet production in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with large rapidity gaps at the ATLAS experiment”, Phys. Lett. B **754**, 214 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the correlations between the polar angles of leptons from top quark decays in the helicity basis at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **93**, 012002 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Identification of boosted, hadronically decaying W bosons and comparisons with ATLAS data taken at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, Eur. Phys. J. C **76**, 154 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross-section of a single top quark in association with a W boson at 8 TeV with the ATLAS experiment”, JHEP **01**, 064 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the differential cross-section of highly boosted top quarks as a function of their transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **93**, 032009 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the production of single vector-like and excited quarks in the Wt final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **02**, 110 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for magnetic monopoles and stable particles with high electric charges in 8 TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **93**, 052009 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of four-lepton production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **753**, 552 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of four-jet differential cross sections in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector”, JHEP **12**,

105 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the electroweak production of supersymmetric particles in $\sqrt{s}=8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **93**, 052002 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for flavour-changing neutral current top quark decays $t \rightarrow Hq$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **12**, 061 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}W$ and $t\bar{t}Z$ production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **11**, 172 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet charge in dijet events from $\sqrt{s}=8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **93**, 052003 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top squark pair production in final states with two tau leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 81 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for Higgs boson pair production in the $hh \rightarrow bb\tau\tau, \gamma\gamma WW^*, \gamma\gamma bb, bbbb$ channels with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 092004 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of a new heavy quark that decays into a W boson and a light quark in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 112007 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in top-quark pair production in the lepton-plus-jets final state in pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 87 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Constraints on new phenomena via Higgs boson couplings and invisible decays with the ATLAS detector”, JHEP **11**, 206 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a high-mass Higgs boson decaying to a W boson pair in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **01**, 032 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for single top-quark production via flavour-changing neutral currents at 8 TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 55 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for invisible decays of a Higgs boson using vector-boson fusion in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **01**, 172 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of fiducial cross-sections for $t\bar{t}$ production with one or two additional b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 11 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Summary of the ATLAS experiment ’s sensitivity to supersymmetry after LHC Run 1 — interpreted in the phenomenological MSSM”, JHEP **10**, 134 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for flavour-changing neutral current top-quark decays to qZ in pp collision data collected with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, Eur. Phys. J. C **76**, 12 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 5 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for lepton-flavour-violating $H \rightarrow \mu \tau$ decays of the Higgs boson with the ATLAS detector”, JHEP **11**, 211 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Constraints on non-Standard Model Higgs boson interactions in an effective Lagrangian using differential cross sections measured in the $H \rightarrow \gamma\gamma$ decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **753**, 69 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of transverse energy-energy correlations in multi-jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector and determination of the strong coupling constant $\alpha_s(m_Z)$ ”, Phys. Lett. B **750**, 427 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of the ratio of b -quark fragmentation fractions f_s/f_d in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. Lett. **115**, 262001 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the branching ratio $\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S)\Lambda^0)/\Gamma(\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda^0)$ with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **751**, 63 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of the $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+$ and $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$ decays with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 4 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ Z boson production in p +Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV measured with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **92**, 044915 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for an additional, heavy Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ$ decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV in pp collision data with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **76**, 45 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for photonic signatures of gauge-mediated supersymmetry in 8 TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 072001 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Summary of the searches for squarks and gluinos using $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS experiment at the LHC”, JHEP **10**, 054 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the Higgs boson production and decay rates and coupling strengths using pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV in the ATLAS experiment”, Eur. Phys. J. C **76**, 6 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of the top-quark pole mass using $t\bar{t}$ + 1-jet events collected with the ATLAS experiment in 7 TeV pp collisions”, JHEP **10**, 121 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Centrality, rapidity and transverse momentum dependence of isolated prompt photon production in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV measured with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **93**, 034914 (2016).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ATLAS Run 1 searches for direct pair production of third-generation squarks at the Large Hadron Collider”, Eur. Phys. J. C **75**, 510 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production of neighbouring jets in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **751**, 376 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of exclusive $\gamma\gamma \rightarrow \ell^+\ell^-$ production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **749**, 242 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of (W/Z)H production and Higgs boson couplings using $H \rightarrow WW^*$ decays with the ATLAS detector”, JHEP **08**, 137 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy Majorana neutrinos with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, JHEP **07**, 162 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the associated production of the Higgs boson with a top quark pair in multilepton final states with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **749**, 519 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of colour flow with the jet pull angle in $t\bar{t}$ events using the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, Phys. Lett. B **750**, 475 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Modelling $Z \rightarrow \tau\tau$ processes in ATLAS with τ -embedded $Z \rightarrow \mu\mu$ data”, JINST **10**, P09018 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for metastable heavy charged particles with large ionisation energy loss in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS experiment”, Eur. Phys. J. C **75**, 407 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the top quark branching ratios into channels with leptons and quarks with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 072005 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for type-III Seesaw heavy leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. D **92**, 032001 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy lepton resonances decaying to a Z boson and a lepton in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **09**, 108 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Dark Matter in Events with Missing Transverse Momentum and a Higgs Boson Decaying to Two Photons in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **115**, 131801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for high-mass diboson resonances with boson-tagged jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **12**, 055 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Higgs boson pair production in the $b\bar{b}b\bar{b}$ final state from pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 412 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of differential J/ψ production cross sections and forward-backward ratios in p + Pb collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **92**, 034904 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new light gauge bosons in Higgs

boson decays to four-lepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, Phys. Rev. D **92**, 092001 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for $t\bar{t}$ resonances using lepton-plus-jets events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **08**, 148 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for production of vector-like quark pairs and of four top quarks in the lepton-plus-jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **08**, 105 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for high-mass diphoton resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 032004 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the Total and Differential Higgs Boson Production Cross Sections Combining the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Decay Channels at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **115**, 091801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for massive, long-lived particles using multitrack displaced vertices or displaced lepton pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **92**, 072004 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Analysis of events with b -jets and a pair of leptons of the same charge in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **10**, 150 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for invisible decays of the Higgs boson produced in association with a hadronically decaying vector boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 337 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of charged-particle spectra in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, JHEP **09**, 050 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top pair production cross section in 8 TeV proton-proton collisions using kinematic information in the lepton+jets final state with ATLAS”, Phys. Rev. D **91**, 112013 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy long-lived multi-charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 362 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the correlation between flow harmonics of different order in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **92**, 034903 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for New Phenomena in Dijet Angular Distributions in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV Measured with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **114**, 221802 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for low-scale gravity signatures in multi-jet final states with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, JHEP **07**, 032 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a new resonance decaying to a W or Z boson and a Higgs boson in the $\ell\ell/\ell\nu/\nu\nu + b\bar{b}$ final states with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 263 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for vector-like B quarks in events with one isolated lepton, missing transverse momentum and jets at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **91**, 112011 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark mass in the $t\bar{t} \rightarrow$ lepton + jets and $t\bar{t} \rightarrow$ dilepton channels using $\sqrt{s} = 7$ TeV ATLAS data”, Eur. Phys. J. C **75**, 330 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for production of WW/WZ resonances decaying to a lepton, neutrino and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 209 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson produced in association with top quarks and decaying into $b\bar{b}$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 349 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Charged Higgs Boson Produced in the Vector-Boson Fusion Mode with Decay $H^\pm \rightarrow W^\pm Z$ using pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Experiment”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 231801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Heavy Neutral Particle Decaying to $e\mu$, $e\tau$, or $\mu\tau$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 031801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the forward-backward asymmetry of electron and muon pair-production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **09**, 049 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of spin and parity of the Higgs boson in the $WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$ decay channel with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 231 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events containing a same-flavour opposite-sign dilepton pair, jets, and large missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 318 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence of $W \gamma \gamma$ Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and Limits on Anomalous Quartic Gauge Couplings with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 031802 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Constraints on the off-shell Higgs boson signal strength in the high-mass ZZ and WW final states with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 335 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Two-particle Bose-Einstein correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J.*

C **75**, 466 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for high-mass resonances decaying to $\tau^+\tau^-$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **07**, 157 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Differential top-antitop cross-section measurements as a function of observables constructed from final-state particles using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in the ATLAS detector”, JHEP **06**, 100 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for massive supersymmetric particles decaying to many jets using the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, Phys. Rev. D **91**, 112016 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in final states with an energetic jet and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 299 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of top-quark pair production in association with a photon and measurement of the $t\bar{t}\gamma$ production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **91**, 072007 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in dileptonic decays of top quark pairs in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, JHEP **05**, 061 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct pair production of a chargino and a neutralino decaying to the 125 GeV Higgs boson in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 208 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for the Higgs-boson Yukawa coupling to tau leptons with the ATLAS detector”, JHEP **04**, 117 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos in events with isolated leptons, jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **04**, 116 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Scalar Charm Quark Pair Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 161801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Identification and energy calibration of hadronically decaying tau leptons with the ATLAS experiment in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 303 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation and measurements of the production of prompt and non-prompt J/ψ mesons in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 229 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of Spin Correlation in Top-Antitop Quark Events and Search for Top Squark Pair Production in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV Using the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 142001 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Centrality and rapidity dependence of inclusive jet production in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV proton-lead collisions with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **748**, 392 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation and measurement of Higgs boson decays to WW^* with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **92**, 012006 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in events with three or more charged leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **08**, 138 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of three-jet production cross-sections in pp collisions at 7 TeV centre-of-mass energy using the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 228 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for $W' \rightarrow tb \rightarrow qqbb$ decays in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 165 (2015).

F. Sefkow *et al.*, “Experimental tests of particle flow calorimetry”, *Rev. Mod. Phys.* **88**, 015003 (2016).

T. Suehara and T. Tanabe, “LCFIPuls : A Framework for Jet Analysis in Linear Collider Studies”, *Nucl. Instrum. Meth. A* **808**, 109-116 (2016).

S. Kawada *et al.*, “A study of the precision measurement of the Higgs boson decaying into tau pairs at the ILC”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 617 (2015).

B. Bochenko *et al.*, “Shower development of particles with momenta from 15 GeV to 150 GeV in the CALICE scintillator-tungsten hadronic calorimeter”, *JINST* **10**, P12006 (2015).

G. Mootgat-Pick *et al.*, “Physics at the e^+e^- linear collider”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 371 (2015).

I. Nakamura, Y. Nakai *et al.*, “A 64ch readout module for PPD/MPPC/SiPM using EASIROC ASIC”, *Nucl. Instrum. Meth. A* **787**, 376-379 (2015).

Y. Nakai, K. Kawagoe, K. Oishi, J. Tojo, H. Yamaguchi, T. Yoshioka *et al.* [COMET Collaboration], “Development of a Cerenkov Trigger Detector for the COMET Experiment”, *JPS Conference Proceedings* **8**, 025009 (2015).

K. Oishi *et al.* [COMET Collaboration], “Development of Electromagnetic Calorimeter Using GSO and LYSO Crystals for the J-PARC Muon-to-Electron Conversion Search Experiment”, *JPS Conference Proceedings* **8**, 025014 (2015).

H. Yamaguchi, J. Tojo *et al.*, “Performance Evaluation of Readout Electronics Board for the COMET Straw-Tube Tracker”, *JPS Conference Proceedings* **8**, 025007 (2015).

S. Nishimura, S. Koura, S. Shirabe, J. Tojo, T. Yoshioka *et al.* [J-PARC muon $g-2$ /EDM collaboration], “Design of the Positron Tracking Detector for the Muon $g-2$ /EDM Experiment at J-PARC”, *JPS Conference Proceeding* **8**, 025015 (2015).

H. Otono, N. Sumi, T. Yoshioka *et al.*, “Development of time projection chamber for

precise neutron lifetime measurement using pulsed cold neutron beams”, Nucl. Instrum. Meth. A **799**, 187-196 (2015).

R. Katayamai, T. Yoshioka *et al.*, “Simulation Study for systematic uncertainty suppression in nEDM experiment assuming various surfaces roughness”, JPS Conf. Proc. **8**, 026004 (2015).

《Proceedings》

講演

《海外での講演》

Searches for New Physics in Unconventional Signatures at ATLAS :

Hidetoshi Otono on behalf of the ATLAS collaboration

51st Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Interactions, 18 - 25 March 2016, La Thuile, Italy

New probes for bino dark matter with coannihilation at the LHC :

N. Nagata, H. Otono and S. Shirai

The European Physical Society Conference on High Energy Physics 2015 (EPS-HEP), 22 - 29 July 2015, Vienna, Austria

Study of Higgs boson production in bosonic decay channels at the LHC (including off-shell production) :

Susumu Oda on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations

27th Rencontres de Blois on “Particle Physics and Cosmology”, 31 May - 5 June-2015, Blois, France

ECAL Integration / CALICE DAQ task force :

Taikan Suehara

AIDA-2020 WP5 meeting, February 2016, Orsay, France

Optimization of layer composition for ILD ECAL :

Hiroki Sumida

LCWS15, November 2015, Whistler

Status and news from the ECAL :

Taikan Suehara

LCWS15, November 2015, Whistler, Canada

Status of the CALICE SiW ECAL :

Taikan Suehara

LCWS15, November 2015, Whistler, Canada

Study of Direct top Yukawa Coupling Measurement at the ILC with a Center-of-mass Energy of 500 GeV :

Yuji Sudo

LCWS15, November 2015, Whistler, Canada

Measurement Precision Study of the top Yukawa Coupling with ILD Full Simulation at ILC 500 GeV :

Yuji Sudo

ALCW2015, April 2015, Tsukuba, Japan

Hadronic Higgs Recoil Mass Study with ILD at 250 GeV :

Tatsuhiko Tomita

ALCW2015, April 2015, Tsukuba, Japan

soLenoid and tIme projectioN chAmber for neutron lifetime measurement – LINA :

Hidetoshi Otono

14th Vienna Conference on Instrumentation, February 2016, Vienna, Austria

Upgrade of a neutron lifetime measurement at J-PARC/MLF/BL05 :

Naoyuki Sumi

The international workshop on future potential of high intensity proton accelerator for particle and nuclear physics (HINT2015), October 2015, Tokai, Japan

《 国内での講演 》

LHC-ATLAS 実験における $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ チャンネルを用いたヒッグス粒子の測定
織田勸

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

ATLAS 実験におけるシリコン半導体飛跡検出器の検出効率に関する研究
調翔平

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

125 GeV ヒッグス粒子の最新実験成果

織田勸

新学術領域研究会 テラスケール 2015 先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの
素粒子物理学、2015 年 12 月、東京工業大学

LHC/ATLAS 現状

音野瑛俊

新学術領域研究会 テラスケール 2015 先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素
粒子物理学、2015 年 12 月、東京工業大学

LHC における SUSY ダークマターの新しい探索提案

音野瑛俊

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

ILD 測定器のためのシリコン電磁カロリメータの開発

末原大幹

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

ILC 実験による tth 事象を用いたトップ湯川結合の測定精度の評価

末原大幹

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

ILC 計画

川越清以

素粒子物理・原子核物理分野の「大型施設計画・大規模研究計画マスタープラン」に
関するシンポジウム、2016 年 2 月、日本学術会議講堂

ILCにおけるILD ECALのためのシリコン半導体検出器の特性研究
住田寛樹
第121回日本物理学会九州支部例会、2015年12月、九州工業大学

ILC 電磁カロリメータのための読み出しシステムの開発
平井寛人
第121回日本物理学会九州支部例会、2015年12月、九州工業大学

ILCにおけるZH 随伴生成過程でのハドロンチャンネルを用いたZH 生成断面積の精密測定
富田龍彦
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

ILC 計画の現状
川越清以
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

ILD シリコン電磁カロリメータのための読み出しASIC、SKIROK2 の性能評価
平井寛人
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

ILC におけるILD カロリメータの構造最適化
住田寛樹
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

ILC カロリメータの概要と統合DAQの開発
末原大幹
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC ミューオンによるフレーバー実験
東城順治
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

COMET 実験における電磁カロリメータの開発
山口博史

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

COMET 実験用ストローチューブ飛跡検出器の研究開発

田中聡一

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

COMET 実験の円筒型検出器系におけるトリガー検出器の開発

中居勇樹

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

COMET 実験に用いる 電磁カロリメータの開発

山口博史

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

COMET 実験用電磁カロリメータの放射線耐性の研究

長島寛征

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

磁場耐性型 PMT を用いた COMET 実験用トリガー検出器の開発

中居勇樹

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC COMET 実験用ストローチューブ飛跡検出器のプロトタイプ性能評価

田中聡一

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC COMET 実験用検出器の粒子識別性能の研究

大石航

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC COMET 実験のための電磁カロリメータデザイン

大石航

計測システム研究会 2015、2015 年 7 月、大阪大学 RCNP

J-PARC muon $g-2$ /EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC・SiT128A

の性能評価

長澤翼

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

J-PARC muon $g-2$ /EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC の TEG 性能評価

真玉将豊

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

J-PARC muon $g-2$ /EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC の TEG 性能評価

長島寛征

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

J-PARC muon $g-2$ /EDM 精密測定実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC・SliT128A の性能評価

末原大幹

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC muon $g-2$ /EDM 精密測定実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC の TEG 性能評価

真玉将豊

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験におけるシリコントラッカーの開発

東城順治

計測システム研究会 2015、2015 年 7 月、大阪大学 RCNP

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験：2014/2015 年データ解析

角直幸

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験：新検出器開発

森下彩

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

複合核共鳴における CP 非保存探索のためのクラスタ型 Ge 検出器のシミュレーション
高田秀佐

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月、東北学院大学

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験：新検出器開発
森下彩

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

J-PARC/MLF/BL04 クラスタ型 Ge 検出器での (n, γ) 測定のための Geant4 によるシ
ミュレーション

高田秀佐

第 121 回日本物理学会九州支部例会、2015 年 12 月、九州工業大学

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験：新検出器開発
角直幸

日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月、大阪市立大学

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、特別推進研究

ILC のための最先端測定器の国際的新展開

研究分担者 川越清以 (研究代表者 東北大学 山本均)

文部省科学研究費補助金、新学術領域研究

先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学～真空と時空への新たな挑
戦：LHC での発見が導く次世代エネルギーフロンティアの発展

研究分担者 川越清以 (研究代表者 東京大学 駒宮幸男)

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (A)

荷電レプトンフレーバー非保存探索実験の革新的検出器開発による新展開

研究代表者 川越清以

文部省科学研究費補助金、特別推進研究

最高強度ミューオンビームによるミューオン・レプトンフレーバー非保存探索の新展開
研究分担者 東城順治 (研究代表者 大阪大学 久野良孝)

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (A)

LHC 実験の新局面における素粒子標準模型を超える物理の研究

研究代表者 東城順治

文部科学省研究費補助金、基盤研究 (S)

ミュオン異常磁気能率の精密測定による新物理法則の探索

研究分担者 吉岡瑞樹 (研究代表者 高エネルギー加速器研究機構 齊藤直人)

文部科学省研究費補助金、若手研究 (B)

ヒッグス粒子の性質測定による新物理の探索

研究代表者 織田勸

文部科学省研究費補助金、若手研究 (B)

ATLAS 検出器を用いた長寿命グルイーノの探索

研究代表者 音野瑛俊

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

高エネルギー加速器研究機構：大学等連携支援事業

九州大学-KEK の連携による加速器科学の推進・研究拠点形成と若手研究者育成

事業代表者 川越清以

学部 4 年生卒業研究

古賀 淳、斉藤 貴士、白濱 脩太郎：(指導教員、川越清以)：オルソポジトロニウムの寿命測定

伊藤 拓実、上野 和輝、関谷 泉、山城 大知：(指導教員、川越清以)：電磁カロリメータ用シリコンパッドセンサーの特性測定

岡川 航己：(指導教員、川越清以)：ミューオンを使った火山観測に関する研究

修士論文

- 角直幸：(指導教員、吉岡瑞樹)：J-PARCにおける中性子寿命精密測定実験
– データ解析とアップグレード –
- 住田寛樹：(指導教員、川越清以)：国際リニアコライダー実験に用いる電磁
カロリメータの構造最適化とシリコン半導体検出器の特性に関する研究
- 高田秀佐：(指導教員、川越清以)：複合核共鳴反応を利用した CP 対称性の
破れ探索のための $\text{In}(n,\gamma)$ 反応の解析
- 田中総一：(指導教員、東城順治)：ミュオン-電子転換過程探索実験に用い
るストロークチューブ飛跡検出器の研究開発
- 長澤翼：(指導教員、吉岡瑞樹)：J-PARC ミュオン $g-2$ /EDM 実験に用い
るシリコンストリップ検出器読み出し ASIC 回路の開発
- 長島寛征：(指導教員、吉岡瑞樹)：ミュオン・電子転換過程探索実験用電
磁カロリメータの研究開発
- 平井寛人：(指導教員、川越清以)：国際リニアコライダー実験のための電磁
カロリメータ読み出しシステムの性能評価
- 藤山翔乃：(指導教員、東城順治)：LHC-ATLAS 実験における長寿命新粒子
探索に用いる信号事象の飛跡及び崩壊点再構成に関する研究

学外での学会活動

- 川越
 - 日本物理学会：代議員
 - 高エネルギー物理学研究者会議：高エネルギー委員会委員 (9月まで)
 - 高エネルギー物理学研究者会議：ILC 戦略会議委員
 - 高エネルギー加速器研究機構：リニアコライダー計画推進委員会委員
 - 高エネルギー加速器研究機構：大型シミュレーション計画推進委員会委員
 - 高エネルギー加速器研究機構：日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究
計画委員会委員
 - 高エネルギー加速器研究機構：素粒子原子核研究所運営会議委員
 - 高エネルギー加速器研究機構：加速器・共通基盤研究施設運営会議委員
 - 東京大学素粒子物理国際研究センター：研究協議会委員
 - Asia-Europe-Pacific School of High Energy Physics：国際組織委員会委員
 - ILD detector group：Deputy Spokesperson(12月から)

- 東城
高エネルギー加速器研究機構：測定器開発優秀修士論文賞選考委員
- 吉岡
高エネルギー物理学研究者会議：高エネルギーニュース編集委員

物性理論研究室

研究室構成員

吉森明 准教授

松井淳 助教

《 博士研究員 》

末松安由美

《 大学院 博士課程 》

野口慎平 原諒平 山田一雄 井上雅郎

山北知史 松本幸介 (休学)

《 大学院 修士課程 》

魚岡勇佑 阿部健太 小池貴之 富田聖也

酒井雄太

《 学部 卒業研究生 》

正岡直紀 時松幹 大楠茂幸

担当授業

統計力学II、統計力学II補習、非平衡物理学(吉森明)、統計力学II(吉森明)、基幹物理学IB演習、物理数学演習(松井淳)

研究・教育目標と成果

生体分子の運動に対する溶媒のダイナミクス (吉森明、原諒平)

生体分子が溶液中を運動するとき、それに伴って溶媒の密度分布は変化する。溶媒の密度変化の緩和時間が生体分子の速度に比べて無視できないような非平衡過程において、生体分子が行う仕事を計算する方法を動的密度汎関数法を用いて開発した。

非平衡定常駆動系における相反関係式 (吉森明、山田一雄)

平衡線形応答関数について成り立つ相反関係式を非平衡定常状態に拡張することを目標として、非平衡駆動ランジュバン系における線形応答関数の解析計算を行った。温度と力の摂動に対して、揺動散逸関係式の破れのための相反関係を検証した。

熱力学的摂動論を用いた枯渇効果による結晶化の研究 (吉森明、末松安由美)

大きさの異なる2成分剛体球系において、大粒子間に枯渇効果によって働く相互作用

と結晶化の関係を明らかにすることを目標として、熱力学的摂動論を用いて相図の作成を行った。

マイクロレオロジーにおける粒子間相互作用の効果 (吉森明、井上雅郎)

コロイド溶液のマイクロレオロジーでは、試料溶液に分散させたプローブ粒子が受けるコロイド粒子からの抵抗力を測定する。この抵抗力とコロイド粒子間相互作用との関係を理論的に記述することを目指す。特に溶媒をあらわに取り入れる理論を開発し、コロイド間の相互作用がない時は、溶媒からとコロイド粒子からの抵抗力が互いにキャンセルする事を見いだした。今後は溶媒がプローブに侵入出来ない場合に拡張する。

ネットワーク上の囚人のジレンマ (松井淳、阿部健太)

スモールワールドネットワーク上における繰り返し多人数囚人のジレンマのシミュレーションにおいて、特定の条件下で観測されるブレイクダウン現象の性質を明らかにするため、ブレイクダウン発生の時間間隔について統計解析、発生の直前と直後の状態変化から計算される発生確率と比較した。

溶媒の粒子性を考慮したときのアインシュタインの粘度式の拡張 (吉森明、山北知史)

溶質周りの溶媒和効果を考慮した、溶液の粘度の理論を定式化した。この理論では、溶媒の密度分布の影響は、流体力学方程式の境界条件として取り込まれる。動的密度汎関数理論を数値計算する事により、この理論を検証するとともに、溶媒が2種類以上ある時の混み合い効果に応用する。

荷電コロイド粒子系のリエントラントな相挙動 (吉森明、魚岡勇佑)

タンパク質の結晶化において、電解質濃度の違いで転移密度にリエントラントな挙動を示すことが知られている。電解質が引き起こす溶液構造の変化を溶質間の有効ポテンシャルで表し、有効ポテンシャルがはたらく粒子系の固液相転移として解析した。

楕円体のブラジルナッツ効果 (松井淳、正岡直起)

シリンダー容器に1つの楕円体粒子とたくさんの剛体球を詰め、上下に加振させる。楕円体の大きさ、アスペクト比を変化させ、楕円体粒子が上昇していく様子を計算機シミュレーションを用いて解析した。

発表論文

《 原著論文 》

Dynamics of the entropic insertion of a large sphere into a cylindrical vessel:

Ryohei Hara, Ken-ichi Amano, Masahiro Kinoshita, and Akira Yoshimori,

J. Chem. Phys. 144, 105103 (2016)

A Theory of Solvation Effects on Viscosity:

Tomofumi Yamakita and Akira Yoshimori,
J. Phys. Soc. Jpn. 84, 043602 (2015)

A Unified Expression of Harada-Sasa Equality in Underdamped and Overdamped Langevin Systems of the Field Variable Description:

Kazuo Yamada and Akira Yoshimori,
J. Phys. Soc. Jpn. 84, 044008 (2015)

Theoretical Method of Calculating a Solvent Nonequilibrium Effect on Solute Movement:

Ryohei Hara and Akira Yoshimori,
J. Phys. Soc. Jpn. 84, 123601 (2015)

講演

《国内での講演》

不均一環境での溶質の速度に対する溶媒の動的効果:

原諒平, 吉森明,
機能物性融合科学研究会シリーズ2 ソフトダイナミクス (2015年4月2日
- 3日, 東京大学)

非平衡定常駆動系における相反関係式:

山田一雄, 吉森明,
機能物性融合科学研究会シリーズ2 ソフトダイナミクス (2015年4月2日
- 3日, 東京大学)

Reciprocal Relation to the Violations of Fluctuation-response Relation in the Driven Diffusive Model:

Kazuo Yamada, Akira Yoshimori,
International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium
2015 (20-23, August, 2015, Kyoto)

溶質が狭い空間に入るときの溶媒の動的効果～空間の大きさ依存性～:

原諒平, 吉森明,
2015年度日本物理学会秋季大会 (2015年9月16日(土) - 19日(火), 関西
大学)

揺動散逸定理の破れにおける相反関係式:

山田一雄, 吉森明,

2015年度日本物理学会秋季大会 (2015年9月16日(土) - 19日(火), 関西大学)

EFFECTS OF DEPLETION INTERACTION ON THE CRYSTALLIZATION:

A.Suematsu,

「動的秩序と機能」第4回国際シンポジウム 2015.11.22,23 九州大学西新プラザ

液体の理論のマイクロレオロジーへの応用:

井上雅郎, 吉森明,

第29回 分子シミュレーション討論会 (11月30日(月) ~ 12月1日(水), 新潟市)

液体の理論を用いたマイクロレオロジーの研究:

井上雅郎, 吉森明,

第44回 日本物理学会新潟支部例会 (12月5日(土), 新潟大学)

コロイド分散系のマイクロレオロジーにおける粒子間相互作用の効果:

井上雅郎, 吉森明,

第5回 ソフトマター研究会 (12月17日(木) ~ 19日(土), 東北大学)

荷電コロイド粒子系のリエントラントな相挙動:

魚岡勇佑, 吉森明

日本物理学会 第71回年次大会 (2016年3月19日(土) ~ 22日(火), 東北学院大学)

マイクロレオロジーにおける粒子間相互作用と溶媒の効果:

井上雅郎, 吉森明

日本物理学会 第71回年次大会 (2016年3月19日(土) ~ 22日(火), 東北学院大学)

学部4年生卒業研究

正岡直起 : (指導教員、松井淳) : 楕円体のブラジルナッツ効果

修士論文

魚岡勇佑：(指導教員、吉森明)：荷電コロイド粒子系のリエントラントな相挙動

阿部健太：(指導教員、松井淳)：空間の囚人のジレンマゲームにおける崩壊現象

博士論文

原諒平：(指導教員、吉森明)：Effect of a Density Structure of Solvent Particles on Solute Dynamics

山田一雄：(指導教員、吉森明)：Violation of the Fluctuation-Response Relation for the Langevin model in the Non-equilibrium Steady State

学外での学会活動

日本物理教育学会第32回物理教育研究大会実行委員(松井淳)

その他の活動と成果

体験入学での実験演習「エントロピー」を実施した (2016年3月)

統計物理学 研究室

研究室構成員

中西 秀 教授

野村 清英 准教授 御手洗菜美子 客員准教授

坂上 貴洋 助教

《 博士研究員 》

設楽 恭平 Shiwani Singh

《 大学院 修士課程 》

森重 順平 工藤 竜矢 案納 桂子 磯山 貴一

宇土 毅 椎葉 力哉 向 大樹

《 学部 卒業研究生 》

佐藤 俊之 佐藤 広明

《 研究生 》

近藤 洋一郎

《 訪問研究者 》

早瀬 友美乃

担当授業

中西： 基幹物理学 II、相転移の統計力学、統計物理学 I

野村： 基幹物理学 II、理系主題科目 III、自然科学概論、量子統計物理学 (大学院)

坂上： 基幹物理学 IA 演習、物理学基礎演習

研究・教育目標と成果

1. ダイラタント流体のずり粘化 (中西)：ずり粘化現象を示すダイラタント流体について、そのメカニズムを明らかにするために、3次元 Taylor-Couette セル中の流れの現象論的モデルによるシミュレーションと実験を行った。特に、ずり粘化振動における圧力分布の測定とシミュレーションを比較することによって、軸方向に局在した粘化領域が、振動しながら流体とともに回転していることが分かった。また、圧力測定の結果、粘化領域では負圧が卓越

していることを明らかにした。これは、単純なジャミングによる粘化メカニズムでは理解しにくく、粉体粒子のダイラタンシーが重要な役割を果たしていることを示唆する。(仙台高専の永弘氏との共同研究)

2. 圧縮による高分子の螺旋形成 (早瀬、坂上、中西) : 一本の持続長の長い高分子をナノチューブに閉じ込め、ピストンによってゆっくりと圧縮した場合の高分子の形態変化の様子を、計算機シミュレーションによって調べた。直径 D のナノチューブに閉じ込められた持続長 l_p の高分子鎖は、 $\lambda = D^{2/3} l_p^{1/3}$ で与えられる偏向長 (deflection length) 程度でチューブの壁にぶつかり向きを変えることが知られている。高分子鎖の全長と持続長が同程度の場合、ピストンによって高分子を圧縮してゆくと、ナノチューブの長さが高分子鎖の長さと同じ長さになった時点で、高分子はナノチューブに沿ったらせん構造を取ることが、シミュレーションの結果から分かった。このような高分子形状の転移を理解するために、高分子の配位に対する自由エネルギーの表式を検討した。
3. 熱水上の微小水滴 (中西) : これまでに、熱水上に 10 ミクロン程度の微小水滴が浮揚していることを見出し、集団消滅の様子を高速度カメラでの観察に成功していた。浮揚力の物理的起源を明らかにするために、必要な実験を検討した。(京都大学の市川氏との共同研究)
4. Lieb-Schultz-Mattis(LSM) の定理の拡張 (野村, 森重, 磯山) : $U(1)$ 対称な 1 次元量子スピン系にたいする Lieb-Schultz-Mattis(LSM) の定理は従来 Marshall-Lieb-Mattis (MLM) の定理と一体と考えられてきた。しかしこれではフラストレーションのある場合には使えなかった。我々は挟みうちの手法を使うことで、LSM の定理を MLM の定理から分離し、フラストレーションのある場合に拡張した。空間反転対称性やスピン反転対称性はなくてもよいので、ジャロシンスキー守谷相互作用などを含んでいても成立する。その結果、(1) 磁化が簡単な有理数になる場合は、最低励起スペクトルは Brillouin ゾーンとは異なる周期性を示す (CDW と関連)。(2) それ以外の磁化の場合は、最低励起スペクトルは波数について連続となる。ことを示した。
5. Marshall-Lieb-Mattis の定理 (野村) : MLM の定理は bipartite な格子の上のスピン系に関するもので、基底状態が唯一などを証明するものである。従来は磁性についてのみ使われていたが、実は波数や空間反転など他の量子数についても応用可能である。特に、半整数スピンで有限の長さの格子では、 $4n$ と $4n + 2$ では異なる結果となることを示した。

6. ナノチャンネル中でのDNAの非平衡ダイナミクスII (坂上) : 昨年度に引き続き、カナダの実験グループと共同でナノチャンネル中に拘束された長鎖DNA分子の非平衡ダイナミクスの研究を行った。光トラップしたビーズを用いて、DNAを方端から強い力で押し始めると、DNAは濃度波の伝搬を伴う特徴的な圧縮過程を経て定常状態へと至る。昨年度の定常状態の解析を過渡的過程へと拡張することを目指し、濃度場の時間発展を支配する非線形拡散方程式の導出とその解析を行った結果、実験とのよい一致を得た。(W. Reisner[McGill University]との共同研究)
7. 高分子鎖の回転ダイナミクス (坂上) : 回転する棒状の障害物に高分子鎖の一端を固定する。回転の角速度を増して行くと、高分子鎖は棒の周りにぐるぐると巻き付き動的な定常状態へと至る。ねじれブロブ (torsional blob) という概念を導入し、この定常状態の性質 (トルク-角速度関係、コンフォメーション) をスケーリング理論とランジュバン動力学シミュレーションにより明らかにした。このような回転ダイナミクスは、DNA二重らせんのジッピングや、RNA転写過程に関連してくると期待される。(E. Carlon [KU Leuven]との共同研究)
8. 環状高分子溶液の相分離挙動 (坂上) : 環状高分子のトポロジー (結び目、絡み目構造) は、合成の段階で固定され、鎖を切断しない限り変化することはない。このトポロジー一定の拘束条件は、環状鎖系の構造、揺らぎ、機能に非自明な影響を及ぼし、その解明は高分子科学における主要な未解決問題となっている。本年度は、以前の論文 (T.Sakaue, Phys. Rev. Lett. 106, 167802(2011)) で提案したトポロジカル体積の概念を基に、環状鎖ブレンドの相挙動を記述する平均場理論を構築した。通常の線形鎖-線形鎖ブレンドに比べ、環状鎖-線系鎖ブレンドでは、相溶性が大幅に増加するのに対し、環状鎖-環状鎖ブレンドでは逆の傾向が見られることを予言し、その物理的メカニズムについて議論をした。
9. 強電場中の非相溶性ブレンドが示すシアモジュラス (設楽、坂上) : ポリマーブレンドなどの二相に分離した流体を平行平板電極ではさみ、強めの電場を印加すると電極間を架橋するような構造を示す。その状況で電場に直交する向きに微小なずり変形を与えた場合のシアモジュラスを計算した。当初は完全に絶縁的な二相流体を念頭においていたが、わずかに伝導度がある場合にも理論を拡張し、その結果が実験ともよい一致を示すことを確認した。
10. 遅延フィードバックを用いた反応拡散系の孤立ドメインの制御 (設楽) : 神

経軸索の電位パルスのモデルともなっている FitzHugh-Nagumo 方程式は、孤立した興奮領域を示す典型的な非線形偏微分方程式である。この方程式の activator の時間発展を表す式に線形の遅延フィードバックを加えた 1 次元系の数値シミュレーションを行っており、進行する孤立ドメインを停止させたり、静止したドメインを推進させたりできることを確認した。理論解析も行っているが、分岐点がシミュレーション結果と精度よく合わず、今後の課題としている。(太田(東大)との共同研究)

11. ラトルバックの動力学 (近藤、中西) : ラトルバックという半楕円体状の玩具の運動を解析した。ラトルバックは、順方向に回転(スピン)させるとそのまま回り続けるが、逆方向に回転させると振動しながら反転し、あたかも角運動量保存則に反するかのような挙動を示す。これは、形状の楕円体の主軸と慣性主軸がずれているためで、振動運動が摩擦力を介して回転のトルクを与えるのである。先行研究において、近似された運動方程式を用いて反転時間の理論表式が得られているが、その適用範囲の検証は不十分であった。本研究では、広範なパラメータや初期回転状態に対してシミュレーションを行い、反転時間やダイナミクスを詳細に検討し、理論表式との比較をした。さらに理論を拡張し、反転時間と形状や質量分布などのパラメータとの関係をより明確にした。得られた表式はラトルバックのデザインに役にたつ。
12. 注入型ケミカルガーデンのシミュレーションモデルの構築 (工藤、坂上、中西) : 水ガラス(ケイ酸ナトリウム水溶液)に金属塩水溶液を混ぜると、その境界に遊離したゲル状のケイ酸があたかも植物のように様々な形態に成長し、ケミカルガーデンと呼ばれている。本研究では、水ガラスに満たされたヘレ-シヨウセルに金属塩水溶液を注入する、注入型のケミカルガーデン実験におけるパターン形成のシミュレーションモデルを構築した。ビスコスフィンガリングのモデルとの類似性に注目し、遊離したケイ酸ゲルの効果を導入することによって、注入速度に応じてパターンの変化する傾向が実験結果のものと一致するモデルの構築に成功した。
13. 粘弾性流体の乱流現象 (椎葉、坂上、中西) : 高ワイゼンベルグ数領域において、粘弾性体が乱流的振舞いをするのが実験で知られている。この現象を数値的に理解するために流体力学の数値計算スキームである格子ボルツマン法を粘弾性体へ拡張を試みた。
14. 電気粘性流体のダイナミクス (宇土、坂上、中西) ; 二相溶液の電気粘性流体のダイナミクスを再現するために、下準備として単純な相分離現象の性質

とその数値シミュレーションの方法を学んだ。数値シミュレーションではモデル B を用いた保存系の相分離のシミュレーションを行ったが、温度のパラメータを変化させて相分離が起こる場合と起こらない場合の両方を再現をすることが出来た。相分離が起こる場合には相分離の過程と界面の時間発展が予想した振る舞いをしめすことを確かめた。

15. ダイラタント流体のずり粘化機構 (案納、坂上、中西) : ダイラタント流体の外部衝撃による急激なずり粘化の機構について、レイノルズのダイラタンシーの原理に基づいて微視的な理解を試みた。厚紙で作成した 2 次元粉粒体系のモデルで模擬実験を行い、その画像解析により外部からの変形を加えたときに粒子同士の接触点がどのように生成・伝播してゆくか観察した。
16. $Z_2 \times Z_2$ 対称性や $SU(2)$ 対称性と LSM の定理 (磯山、野村) : $Z_2 \times Z_2$ 対称性と並進対称性を持つ量子スピン鎖について、系が持つエネルギースペクトルの特徴と物理的状態がどのように対応するかを調べた。LSM の定理を用いた議論の際には $U(1)$ 対称性や $SU(2)$ 対称性を加えた系を考え、特に $SU(2)$ 対称性を加えた系については、gap のあるエネルギースペクトルには dimer 的な状態が対応するという結果を得られた。この議論は、フラストレーションがある系についても問題なく適用可能で、スピン梯子やスピントューブ、ダイヤモンド鎖など豊富な適用例がある。
17. Ashkin-Teller 多重臨界点のひねり境界条件による解析 (向、野村) : $S=1/2$ ボンド交替 XXZ スピン鎖の dimer-Néel 多重臨界点は、 $Z_2 \times Z_2$ 対称性の破れに伴う Ashkin-Teller 多重臨界点と関連することが知られている。この多重臨界点近傍では有限サイズスケールリング法の収束性が悪化する。そこで dimer-dimer 転移で有効な z 軸まわりのひねり境界条件法に習って、y 軸まわりのひねり境界条件法を考え、転移点を計算した。また有限サイズスケールリングの結果と比較して、収束性が良いことを確かめた。

発表論文

《 原著論文 》

1. K. Nomura, J. Morishige, T. Isoyama, J. Phys. A: Math. Theor. **48** (2015) 375001. “Extension of the Lieb-Schultz-Mattis theorem”

2. A. Khorshid, S. Amin, Z. Zhang, T. Sakaue, W. Reisner, *Macromolecules* 49 (5), 1933-1940 (2016). “Non-Equilibrium Dynamics of Nanochannel Confined DNA”
3. M. Laleman, M. Baiesi, B.P. Belotserkovskii, T. Sakaue, J-C Walter and E. Carlon, *Macromolecules* 49 (1), 405-414 (2016). “Torque-Induced Rotational Dynamics in Polymers: Torsional Blobs and Thinning”
4. T. Saito and T. Sakaue, *Phys. Rev. E* 92, 012601:1-13 (2015). “Driven anomalous diffusion: An example from polymer stretching”
5. A. Bricard, J-B. Caussin, D. Das, C. Savoie, V. Chikkadi, K. Shitara, O. Chepizhko, F. Peruani, D. Saintillan, and D. Bartolo, *Nature Communications*, 6, 7470 (2015). “Emergent vortices in populations of colloidal rollers”

《Proceedings》

《その他の論文》

著書

田中 基彦、鵜田 昌之、柳澤 美穂、坂上 貴洋、藤原 慶 共訳、
「自然世界の高分子 — 物理現象から生命の起源まで —」、吉岡書店 (2016).
“Giant Molecules — Here, There, and Everywhere” by A. Grosberg and A. Khokhlov

講演

《海外での講演》

1. International Congress on Natural Sciences ICNS-2015, 2015/Sep/10 National Changhua University of Education in Taiwan.
 - (a) K. Nomura, “Extension of the Lieb-Schultz-Mattis Theorem”
 - (b) T.Mukai and K.Nomura, “Generalized VBS state and twisted boundary condition method” (poster)
2. T. Sakaue “On miscibility of ring polymer blend” (Invited talk) RING POLYMERS: ADVANCES AND PERSPECTIVES, 2015/7/14, Crete, Greece.
3. T. Sakaue and T. Saito “Driven Anomalous Diffusion: a Model for Chromosome Segregation?” (Poster) International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, 2015/8/22, Kyoto.
4. T. Sakaue “Anomalous driven motion of biopolymers: stretching, compression and rotational dynamics” (Invited talk) KIAS Workshop on Anomalous Dynamics in Biological Systems, 2015/9/4, Seoul, Korea.

5. T. Sakaue “On anomalous diffusion of chromosomal loci in living cells” (Invited talk) 4-th International Symposium of the Mathematics on Chromatin Live Dynamics, 2015/12/8, Hiroshima.
6. T. Sakaue “Dynamics of translocation in complex medium” (Invited talk) Translocation of polymer through nanopores: Interplay between theory, simulations and experiments, 2016/2/8, Espoo, Finland.
7. K. Shitara, 2015/6/23, Technische Universitt Mnchen, Germany: ”Influence of Time-Delayed Feedback on a Solitary Domain in an Excitable Reaction-Diffusion System”

《国内での講演》

1. 設楽恭平、坂上貴洋、第42回日本レオロジー学会年会, 2015年5月13日~14日、於：京都大学宇治キャンパス、「非相溶ブレンドの電気粘性効果に関する理論的研究」
2. 坂上貴洋, 広島大学核内クロマチン・ライブダイナミクスの数理解析拠点 (ReMcD 融合研究セミナー), 2015/5/14. “Driven anomalous diffusion: A model for chromosome segregation?” (招待講演)
3. 坂上貴洋, 新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」第二回公開シンポジウム, 東京, 2015年5月1日. 「ナノピストン中での DNA の動的圧縮と非平衡ダイナミクス」(ポスター発表)
4. 中西 秀, 2015年7月17日、慶応義塾大学物理学科談話会、“Coffee Physics: 熱水面の上の微小水滴のダイナミクス”
5. 日本物理学会 2015年秋季大会、2015年9月16日~19日、於：関西大学
 - (a) 野村清英, 森重順平, 磯山貴一, Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張 IV
 - (b) 磯山貴一, 野村清英, SU(2) 対称性と Lieb-Schultz-Mattis の定理
 - (c) 齋藤拓也, 坂上貴洋, 駆動される高分子の標識されたモノマーの異常拡散
6. 物性研短期研究会「スピン系物理の深化と最前線」, (2015年11月16-18日, 柏キャンパス)
 - (a) 野村 清英, 「Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張」
 - (b) 磯山貴一, 野村清英, 「SU(2) 対称性と Lieb-Schultz-Mattis の定理」
7. 第121回 日本物理学会 九州支部例会、於 九州工業大学, 2015年12月5日
 - (a) 工藤竜矢, 坂上貴洋, 中西秀, 二次元ケミカルガーデンの格子モデルの構築
 - (b) 森重順平, 野村清英, Bose 系における Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張
 - (c) 磯山貴一, 野村清英 SU(2) 対称性と Lieb-Schultz-Mattis の定理
 - (d) 野村清英, 磯山貴一, 森重順平, Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張
8. 設楽恭平、千葉大学理学部、2015年12月21日、「Dynamics of a localized domain in a reaction-diffusion system」
9. 設楽恭平、北海道大学工学部、2016年1月12日、「Rheological property of binary mixtures under electric field」

10. 向 大樹, 野村 清英, 量子スピン系研究会 2016 年 1 月 29-30 日, 「Ashkin-Teller 多重臨界点のひねり境界条件法による解析」
11. 日本物理学会 第 71 回年次大会、於：東北学院大学, 2016 年 3 月 19 日～22 日
 - (a) 早瀬友美乃, 坂上貴洋, 中西秀, 圧縮下における高分子の螺旋形成
 - (b) 永弘進一郎, 中西秀, 御手洗菜美子, ダイラタント流体のずり粘化メカニズムと負圧を伴う粘化領域
 - (c) 森重順平, 野村清英, 1 次元 Bose 系への Lieb-Schultz-Mattis の定理の応用
 - (d) 磯山貴一, 野村清英, スピン梯子系などフラストレーションのある系への LSM の定理の応用
 - (e) 野村清英, 磯山貴一, Marshall-Lieb-Mattis の定理について
 - (f) 坂上貴洋, 環状鎖ブレンドの相溶性相図
 - (g) 設楽恭平, 坂上貴洋, 強電場中での非相溶ブレンドのずれ弾性
 - (h) 齋藤拓也, 坂上貴洋, 伸張させる条件に依存した高分子の揺らぎの特徴
 - (i) 御手洗菜美子, Stanley Brown, Kim Sneppen, 溶原フェージによるプラーク形成

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

1. 中西秀、萌芽、「水面上の微小水滴の生成・浮遊機構とその集団運動：コーヒーの湯気の物理学」（研究代表）
2. 中西秀、基盤 (C)、「ダイラタント流体の二種類の異なるずり粘化メカニズムの解明」（分担者、代表者：永弘 進一郎 (仙台高専)）
3. 野村 清英, 基盤 (C)、「パイロクロア格子が創出する新奇スピン液体相の物性研究」（連携研究者、代表：大塚 博巳 (首都大学東京)）
4. 坂上貴洋、基盤 (B) 「非相溶性ブレンドの電気粘性効果」（研究代表）
5. 坂上貴洋、新学術領域研究（ゆらぎと構造の協奏）公募研究、「負の相関に起因する異常拡散現象とその周辺」（研究代表）

学部 4 年生卒業研究

1. 佐藤 広明、「イーデンモデルのシミュレーション」
2. 佐藤 俊之、「DLA による雪の結晶のパターン」

修士論文

1. 工藤 竜矢、「ケミカルガーデンのシミュレーションモデルの構築」
2. 森重 順平、「離散格子上の Bose 系」

学外での学会活動

1. 中西秀、日本物理学会 代議員、物性委員会幹事、京都大学基礎物理学研究所共同利用運営委員会委員
2. 野村清英、日本物理学会 会誌編集委員

凝縮系理論

研究室構成員

河合伸 准教授 成清修 准教授

《 大学院 修士課程 》

穴井雄太 渡邊大悟

《 学部 卒業研究生 》

土田孝三 (前期) 野上晋平 (前期) 坂井俊宏 (後期) 市田大生 (後期)

担当授業

身の回りの物理学 (河合伸)、物理数学 II(河合伸)、最先端物理学 (まとめ係り担当 : 河合伸)

物理学総合演習 (成清修)、量子力学補習 (成清修)、教職実践演習 (成清修)、非線形物理学 (成清修)

研究・教育目標と成果

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面 Sn 置換原子操作 (河合伸、穴井雄太)

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面上の Sn 置換原子の原子位置を NC-AFM を使って操作できることが報告されている。この原子操作には、Sn 置換原子の移動だけでなく、もともと存在する Ge 原子の移動が伴う。しかし、Ge 原子は、NC-AFM の操作とは逆の方向へ移動しており、理論的な解明が必要であった。

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Sn 置換欠陥構造の第一原理計算を行った。原子移動経路でのサドルポイントエネルギーを精度よくもとめた。その結果、NC-AFM による Sn 原子の移動により、Ge 原子のサドルポイントエネルギーが著しく低下することが解明された。さらに Sn 原子は、移動経路上の特定の場所に長く留まり、そのことが Ge 原子の熱拡散を促進することが解った。

この研究により、Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面 Sn 置換原子操作の機構が原子レベルで明らかになった。

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 原子空孔 (河合伸、坂井俊宏)

Ge(111) 表面 $c(2 \times 8)$ 表面の Ge 原子空孔の構造解析を第一原理計算に基づき行った。Ge 原子空孔の STM 観測は、空状態（正のサンプルバイアス）でのみ報告されている。第一原理計算の結果、シミュレートされた STM 像は、空状態では観測結果を再現する。占有状態（負のサンプルバイアス）でのシミュレート TM 像は、特異的なバイアス電圧依存性を持ち、像の 2 次元空間対象性が円から大きく乖離することを示した。

オートポイエシス集団に進化能を持たせた (成清修、松藤弘教)

細胞生命がもっていなければならない重要な性質としてオートポイエシスがある。しかし、オートポイエシス系は進化能を持たないので、それだけでは、生命系とは言えない。本研究では、オートポイエシス系に認知機能を実装して細胞に進化能を持たせた。具体的には脂質二重膜に機能性タンパク質を埋め込み、環境との共進化を可能にした。これらの細胞集団の進化シミュレーションを行った。[その他の論文]

2 次元 Dirac 電子の Hall 伝導度の化学ポテンシャル依存性を明らかにした (成清修)

2 次元 Dirac 電子による輸送現象の記述は近年のトポロジカル絶縁体の研究などでリバイバルしている。トポロジカル不変量としての絶縁体の Hall 伝導度は、量子 Hall 効果の研究において 30 年前に理解が達成されていた。しかし、金属における Hall 伝導度はトポロジカル不変量でなくなることもあり、理解が充分ではなかった。本研究では、金属における Hall 伝導度の正しい計算を示した。[その他の論文]

高温超伝導体の Hall 効果の奇妙な振る舞いはスペクトル関数法で理解される (成清修)

高温超伝導体の正常金属相に見られる奇妙な Hall 効果は、長年に渡って論争的となっている。金属中の相互作用する電子系に対する標準理論である Fermi 流体論はこの奇妙な Hall 効果の説明に失敗する。本研究では、その失敗の原因を初めて究明し、そこから、Fermi 流体論と直交する方向のアプローチに踏み切り、実験を説明し、かつ、論理的にも首尾一貫した理論を完成させた。[国内での講演]

発表論文

《その他の論文》

Evolutionary simulations of autopoietic cells with cognition:

Hiroataka Matsufuji, Osamu Narikiyo

arXiv:1512.08310.

A Diagrammer's Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: Supplement. Hall Conductivity of Dirac Fermion: Linear Response:

Osamu Narikiyo

arXiv:submit/1520944.

講演

《国内での講演》

Spectral function method for Hall conductivity:

Osamu Narikiyo

International Workshop Nano-Spin Sciences (九州大学 2015 年 7 月 14 日)

学部 4 年生卒業研究

[前期]

土田孝三：(指導教員、河合伸) 表面物理学の入門的学習

野上晋平：(指導教員、成清修)：情報熱力学の講究

[後期]

坂井俊宏：(指導教員、河合伸)：Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 原子空孔

市田大生：(指導教員、成清修)：代数的量子論における Born 則の導出

修士論文

穴井雄太：(指導教員、河合伸)：Ge(111) $c(2\times 8)$ 表面 Sn 置換原子操作

その他の活動と成果

磁性物理学

研究室構成員

和田裕文 教授

光田暁弘 准教授

《 大学院 修士課程 》

甲木 義人 山本 伊吹 大山 耕平 林田 愛希羅

平嶋 将大 前山 聖哉

《 学部 卒業研究生 》

鳩山 慎太郎 福田 光祐

《 訪問研究者 》

川南 剛 准教授 (神戸大学工学部)

岡村 哲至 教授 (東京工業大学総合理工学研究科)

平野 繁樹 (北海道立総合研究機構 研究主査)

山下 敬一郎 (大電株式会社 副部長)

平野 直樹 (中部電力(株) 研究主査)

担当授業

熱力学 (和田裕文)、物性物理学 II (和田裕文)、物理学総論 (和田裕文) 基幹物理学 IB(光田暁弘)、物理学ゼミナール(光田暁弘)

研究・教育目標と成果

巨大磁気熱量効果を示す Mn 化合物を用いた磁気冷凍作業物質の開発 (和田裕文、平嶋 将太、前山 聖哉) Fe_2P 型を持つ $(\text{Mn,Fe})_2(\text{P,Si})$ 化合物は巨大磁気熱量効果を示す。この物質をベースとした磁気冷凍材料の開発とその物理を調べている。今年度は $(\text{Mn,Fe}):(\text{P,Si})$ の仕込み組成比を 2:1 から系統的にずらせた場合の物性を調べた。この試料は揮発性の P を含んでいるため、固相反応 (焼結) で作製される。そのために非常に難しい。そこでこれを一度溶解し、再熱処理によってバルク化することを目指している。現在のところその熱処理条件と最適組成を調べているところである。また、磁場中で測定可能な DSC の開発を行っている。

磁場中伝導現象の研究 (和田裕文、前川佳朗、山本伊吹) 最近、磁気抵抗やホール効果といった磁場中での伝導現象に興味を持ち、研究を進めている。今年度は EuNi_2P_2 の磁気抵抗とホール効果を調べた。この物質は Eu 化合物の中では例外的に低温まで価数が 2 と 3 の中間を取る。これまでの研究で低温では Eu は非磁性であるが、高温では局在モーメントが発生していると考えられている。最近琉球大学のグループが磁気モーメント消失のメカニズムが近藤効果であることを提唱している。そこでこの化合物の伝導現象が近藤効果由来の物質 (Ce 系の重い電子化合物) とどのくらい異なっているかを調べた。研究の結果磁気抵抗やホール効果の温度変化は代表的な Ce 系の重い電子化合物のそれとよく似ていることが明らかになった。ただしその近藤温度は Ce 系に比べて 1 桁大きい。

EuPdP の圧力効果 (光田暁弘、甲木義人、和田裕文) EuTX ($\text{T}=\text{Pt}, \text{Pd}, \text{Ni}$, $\text{X}=\text{P}, \text{As}$) 系化合物は、価数転移と価数秩序転移を同時にかつ逐次的に引き起こす珍しい物質群として注目されている。我々は EuPdP の単結晶試料の育成と結晶方位決めに成功し、六方晶の c 軸に平行方向と垂直方向の電気抵抗測定を行った。その結果、 c 軸平行方向の電気抵抗は垂直方向に比べて約 10 倍の大きな値を示すことが明らかになった。類似物質で価数秩序が直接観測されている EuPtP と同じ傾向を示すことから EuPdP でも同じような構造の価数秩序が形成されている可能性が高い。また、圧力下の電気抵抗を 8GPa まで測定したところ、2GPa 付近で磁気秩序が消失すること、4GPa 付近に新たな価数転移と思われる振舞が出現することが分かった。次年度では、これらの振舞についてより詳細に調べるとともに、まだ試料育成に成功していない EuNiP , EuPdAs についても新たな育成方法を検討しながら進めて行く。

YbPd の磁気構造解析 (光田暁弘、大山耕平、和田裕文) 立方晶 CsCl 型構造を持つ YbPd は価数揺動物質であり、低温で磁気秩序を示すことが報告されてきたが、そのメカニズムが不明であった。我々の研究により、その途中で立方晶から正方晶への構造相転移、および価数秩序転移があることがわかり、価数秩序構造についてもほぼ明らかになってきた。価数秩序により、磁性的な Yb と非磁性的な Yb が規則的に配列していることから、磁性的な Yb だけが秩序する磁気秩序において、価数秩序の影響が強く反映されていると考えて、磁気秩序を明らかにするために中性子回折実験を行ってきた。本年度は新たに作製した今までよりも格段に歪みの少ない純良な粉末試料を用いて J-PARC の BL20(iMATERIA) において粉末中性子回折を行った。その結果、解析に足る磁気反射を複数本観測することに成功した。現在、結果を解析しているが、今のところ磁気構造を特定するに到っていない。その原因として J-PARC に新しく導入された 1K 冷凍機の吸収補正を行う必要がある可能性が浮上している。次年度はこれをクリアーにして磁気構造解析を進める。さらに、低温で正方晶に歪むことから生じる結晶場分裂、及び基底状態の波動関数を求めるために非弾性中性子散乱実験を計画し

ている。

発表論文

《原著論文》

Recent progress of magnetocaloric effect and magnetic refrigerant materials of Mn compounds:

H. Wada, T. Takahara, K. Katagiri, T. Ohnishi, K. Soejima, and K. Yamashita
J. Appl. Phys. vol. **117** (2015) 172606.

Large magnetoresistance of $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$:

Masaki Sugishima, Hirofumi Wada, Akihiro Mitsuda, Akihiro Kondo and Koichi Kindo
Physica Status Solidi (b) vol. **252** No. 12 (2015) 2784-2788.

《Proceedings》

著書

和田裕文: 磁気便覧 日本磁気学会編 丸善 (2016) 4.2.6 磁気熱量効果測定法 pp. 519-521,
5.8.4 磁気冷凍 pp.815-820

講演

《国内での講演》

温度誘起価数転移を示す $\text{Eu}(\text{Rh}_{1-x}\text{Ir}_x)_2\text{Si}_2$ の硬 X 線光電子分光:

市木勝也, 三村功次郎, 安齋太陽, 魚住孝幸, 佐藤仁, A. Rousuli, 上田茂典, 光田暁弘, 藤本巧, 喜舎場英吾, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹

日本物理学会 2015 年秋季大会

$\text{Eu}(\text{Rh}_{1-x}\text{T}_x)_2\text{Si}_2$ ($\text{T}=\text{Ir}, \text{Co}$) の低温粉末 X 線回折:

光田暁弘, 藤本巧, 喜舎場英吾, 浜野卓, 和田裕文

日本物理学会 2015 年秋季大会

EuNi_2P_2 の硬 X 線光電子分光:

三村功次郎, 市木勝也, 安齋太陽, 播木敦, 魚住孝幸, 佐藤仁, 内海有希, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹

日本物理学会 2015 年秋季大会

局所空間反転対称性の欠如した LaPt_2Si_2 の単結晶試料を用いた NMR による研究:

青山泰介, 久保徹郎, 松野治貴, 藤秀樹, 小手川恒, 光田暁弘, 永野雄太郎, 荒岡信隆, 和田裕文, 山田裕

日本物理学会 2015 年秋季大会

Magnetocaloric Properties of $(\text{MnFe})_2\text{PGe}$ and $(\text{MnFe})_2\text{PSi}$ Compounds Fabricated by a Melting Method:

M. Hirashima and H. Wada

2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science Nov.19-21 Waseda Univ. Tokyo

$(\text{Mn,Fe,Ru})_x(\text{P,Si})$ の磁性に及ぼす作製プロセスの効果:

平嶋将大, 和田裕文

第 121 回日本物理学会九州支部例会

価数転移を示す EuPdP の高圧下電気抵抗:

甲木義人, 梅田真史, Bosen Wang, 光田暁弘, 上床美也, 和田裕文

第 121 回日本物理学会九州支部例会

超伝導と CDW が共存する LaPt_2Si_2 の NMR による研究:

青山泰介, 久保徹郎, 松野治貴, 小手川恒, 藤秀樹, 光田暁弘, 永野雄太郎, 荒岡信隆, 和田裕文, 山田裕

日本物理学会第 71 回年次大会

価数秩序物質 YbPd の粉末中性子回折:

大山耕平, 光田暁弘, 大山研司, 松川健, 吉田幸彦, 星川晃範, 石垣徹, 岩佐和晃, 和田裕文

日本物理学会第 71 回年次大会

EuPtP の二段価数転移に伴う結晶構造変化:

森吉千佳子, 黒岩芳弘, 三村功次郎, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会第 71 回年次大会

層状六方晶価数転移物質 EuPdP の圧力効果:

光田暁弘, 甲木義人, 梅田真史, Bosen Wang, 上床美也, 和田裕文

日本物理学会第 71 回年次大会

XFEL による強磁場 X 線吸収分光装置の開発と $\text{Eu}(\text{Rh}_{0.7}\text{Ir}_{0.3})_2\text{Si}_2$ の磁場誘起価数転移への応用:

安村光正, 野尻浩之, 松澤智, Jun-Sik Lee, Diling Zhu, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会第 71 回年次大会

紫外線光電子分光を用いた価数転移物質 $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8})_2$ の電子状態の研究:

岩野真伸, 門野利治, 井戸田知樹, 篠田智晃, 塚村和俊, 谷口翔一, 村田満理, 光田暁弘, 和田裕文, 今田真

日本物理学会第 71 回年次大会

100T を超える超強磁場における価数揺動系 EuNi_2X_2 ($\text{X}=\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, P) の磁化測定:

市川俊和, 池田暁彦, 松田康弘, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会第 71 回年次大会

EuPt_2Si_2 の硬 X 線光電子分光:

三村功次郎, 市木勝也, 安齋太陽, 播木敦, 魚住孝幸, 佐藤仁, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹

日本物理学会第 71 回年次大会

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽

磁気熱量効果測定のための高精度磁場中示差走査熱量計の開発

研究代表者：和田裕文

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

JST ALCA

階層構造磁気蓄熱再生器を持つ磁気ヒートポンプの開発

研究代表者:川南 剛

他大学での研究と教育

和田裕文：福岡大学理学部で極限物質科学の講義を半期担当した。

学部 4 年生卒業研究

鳩山 慎太郎：(指導教員、和田裕文)： RCO_2 (R=希土類元素) の電子輸送現象

福田 光祐：(指導教員、光田暁弘)： RC_2 (R=Eu, Yb) の試料作製と高圧下物性

修士論文

甲木 義人: (指導教員、光田暁弘) : 価数転移を示す EuPdP の高圧下物性

山本 伊吹: (指導教員、和田裕文) : EuNi_2P_2 の圧力下における伝導現象

外国人留学生の受け入れ

その他の活動と成果

和田裕文 : Elsevier 社 Physica B エディター

和田裕文 : 九州大学理学研究院副研究院長

和田裕文 : 九州大学低温センター長

和田裕文 : 九州大学理学部附属極低温実験室長

和田裕文 : 2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science Nov.19-21
Waseda Univ. Tokyo の co-chairperson

光田暁弘 : 九州大学低温センター運営委員

光田暁弘 : 九州大学理学部附属極低温実験室運営委員

光田暁弘 : 九州大学理学部省エネルギー対策委員会委員

光田暁弘 : 九州大学理学部大学説明会委員

光田暁弘 : 九州大学超伝導システム科学研究センター運営委員

量子微小物性

研究室構成員

渡部行男 (量子微小物性 A) 教授

荒井毅 (量子微小物性 B) 准助教

担当授業

-----渡部-----

物性物理学 III (週 1 コマ)

原子分子の量子力学 (週 1 コマ)

電磁気学 II (週 1 コマ)

最先端物理学 (オムニバス方式の分担者)

基幹物理学 IA (週 1 コマ 全学共通教育)

基幹物理学 IB (週 1 コマ 全学共通教育)

基幹物理学 II (週 1 コマ 全学共通教育)

基幹物理学 IB (週 1 コマ 全学共通教育 : H26 に未記載のため今年 H27 に記載)

上記講義数は、物理学科の一般教授の約 2 倍である。

物理学科教授による講義参観を受けた (事前予告無し 4 件、事前予告有 1 件)。即ち、物理学科の他教員の授業参観 (2 3 年に 1 件、事前予告有) の約 10 倍を受けた。これは 2011 年度以降ほぼ同様。

-----荒井-----

物理学実験 (前期)

物理学実験 (後期)

研究・教育目標と成果

渡部と荒井は、公式の組織上は独立互いに独立している。

(2010 年に、両名が知らない間に、渡部と荒井を別組織と、物理部門から大学本部に申告された。これに従い、それ以前も研究は独立であったが、その翌年以降、予算部

屋等全て独立組織として運営されている。)

———— 量子微小物性 A 渡部 —————

(1)-(5) 全体の研究概要と目的 (この記述は毎年ほぼ同じ)

一言でまとめ

(1)-(5) は全体として一つのテーマ。

強誘電体などの絶縁体は、自由電子はないとして様々な概念が築かれているが、その本質部分である表面や巨大な電場↓では、自由電子が、本質的な役割を持ち、従来確立したと考えられている現象が、全く変わる可能性がある。これを解明する。

強誘電体は、反転可能な自発分極を持つ絶縁体と定義される。結晶構造からは、金属強誘電体も考えてもよいが、絶縁性が高くなければ強誘電体の物性は有用にならない。

このように強誘電体を絶縁体として考えると、自発分極が作る電場は巨大になる。この自発分極からの巨大な電場は、反電場と呼ばれ、従来、強誘電体のマイクロ構造や大きさの限界、特性の制限等の支配要因と考えられ、現在でも、その考えが主流である。

この自発分極の効果は、強誘電体の表面や分域（結晶方向が揃った領域）の表面といった表面に現れる。即ち、強誘電体を決め特徴づけるのは表面である。この点は、量子ホール効果のエッジ電流等の近年トポロジカルな不変量とも似ている。

しかし、この表面がどのようなものか、特に、巨大な反電場の下でどのようなになるかは、あまり理解されていない。この理解の不十分さが顕著に現れたのが、強誘電体と半導体の間に絶縁体を挿入したデバイス構造である。

これに関し、渡部は、強誘電体のバンドギャップが有限であることを考慮すると、巨大な反電場の下では、強誘電体は自ら、表面に電子層・ホール層を形成することを理論的に示し、これにより、従来考えられいた強誘電体の様々な制限や原理が著しく変わることを提案した。

Y. Watanabe, Phys. Rev. B57, 789(1998) ISI 被引用 102 回 (129 回) 等

この結果は、渡部が世界で最初に実証した、強誘電体による電界効果（自発分極による伝導の持続的制御）で示唆されている。

Y. Watanabe, Appl. Phys. Lett. 66, 1770 (1995) ISI 被引用 123 回 (173 回)

Y. Watanabe, 米国特許 , U.S. Patent No. 5418389 (1995)

渡部のこの理論予想を直接示すため、超高真空中で、強誘電体の表面を原子レベルに制御し、強誘電体表面に、自発分極により誘起される電子層が存在することを示した。しかし、いまだ、上記の理論よりも従来の考えが受け入れられているため、この続きとして(2)の研究を行っている。また、これをナノスケール行うのが(3)の研究である。Y. Watanabe, M. Okano, and A. Masuda, Phys. Rev. Lett. 86, 332-335 (2001) ISI 被引用 76 回 (92 回)

Physical Review Focus 2001.1.8 に解説

この問題の解決には、強誘電体が電場に対してどのような特性をもつか、その微小な伝導がどのような意味を持つかを解明する必要がある。この過程で、特異な伝導現象を発見した。これがテーマ(1)である。この現象は、2004年頃からR-RAM効果と呼ばれ応用が追求されている伝導可変現象とも関係する。

Y. Watanabe et al., Physica C235-240, 739(1994) この分野の世界初の論文2報のうちの1報

Y. Watanabe, Phys. Rev. B59, 11257(1999) ISI 被引用 121 回 (140 回)

この伝導可変現象は、強誘電体やペロブスカイト酸化物では、1994年にまずPhillips、その1ヶ月後に渡部が発表した。但し、両者の提案する機構は、全く異なる。このため、スイスIBMでNobel賞受賞者のBednorz博士と共同して解明を試みた。この発表論文は、R-RAMの基礎的論文とみなされている。

Y.Watanabe, J.G.Bednorz et al., Appl. Phys. Lett.78, 3738(2001) ISI 被引用 389 回 (591 回)

MRS Bulletin 26 (7) 489 (2001) に解説

R-RAMの伝導機構は、最近酸素欠陥の移動とされる場合が多いが、これは、強電場に曝し絶縁破壊に近づけた状態のものであり、あらゆる酸化物絶縁体で必ず起こる状態と考えられる。逆に、この状態にしてしまうと、電子や格子の特性に特有な物理現象が見えなくなる。このため、R-RAMや上記(1)の機構は未解決と考えている。

Y.Watanabe,Ferroelectrics349,190-209(2007)(自己論文の解説)ISI 被引用 32 回 (40 回)

この解明には、基本的な伝導素過程の解析が必須であり、この解析の元になる理論を提案した。これをさらに拡張するのが(4)である。

Y. Watanabe, Phys. Rev. B 81, 195210 (2010).

上記の議論とテーマ (2)(3) は、強誘電体や多くの酸化物の微小化の物性制限が、現在現在考えられているものと大きく異なる可能性を示す。これを実証するに、従来のナノ構造形成法では困難なため、全く新しい方法が必要になる。これがテーマ (5) である。

成立特許 3 件 (2014 年)

上記の ISI は Web of Scinece(トムソン・ロイター) の検索。各分野で運営している専用引用検索 (例:素核専用) の引用数は、ISI より約 3 5 割増しになる。 () 内の引用数は、Google Scholar。

[今年度の各テーマの説明]

今年度は、キャンパス移転で、移転後は、渡部の実験室が 2 スパンの部屋一室 (元の広さの 1/3)、実験室配置の検討を行った。このため、今後の実験計画を作成し、それに必須のものを残し、他の装置は譲渡し、また、多数の装置やパソコン関係を廃棄した。

さらに、これらの装置を狭い新部屋に入れるため、部屋を 3 次元的に効率よく使う配置を考案した。このため、移転業者の作業が始まる時期より前に全装置と P C を動作と性能検査をし、その結果、殆どの P C 等を小型高性能のものに変更し、装置の組み換えを行った。

これにより、移転作業 (動作確認・梱包) が始まる前に、多くの装置の性能を従来より高めることができた。

また、移転 (9/20) の前後で、各 1 システムが多数の装置から構成される 20 式程度のシステムの移転前移転後動作確認を担当業者と共に行った。但し、このうち 4 式は、担当業者の失敗などがあり、作業繰り返し、年度を越えても未完になった。

以上のため、今年度は、移転前の実験室の整備、移転と移転前後の動作確認でほぼ、教育・運営以外の時間を使い、研究が殆どできなかつた。しかし、上記のように、装置の性能を改善し、且つ、狭い実験室の弊害をある程度除くことができた。

移転では、梱包と設置の間だけでなく、移転前の動作確認後から移転の後の動作確認終了まで、装置を使うことができないため、時間がないだけでなく、このために、装置が使えなかつた。

しかし、P C は動作確認が簡単なため、この制限が殆どなかつた。このため、P C を

用いる研究（第一原理計算）は、進展させることができた。

(1) 強誘電体酸化物の相転移での伝導異常の解明：

従来、BaTiO₃の相転移での伝導異常測定系の温度制御などの精密化と偏光同時観察を行ってきたが、今年は進展なし。

(2) 強誘電体酸化物の表面電子層の確定：

BaTiO₃単結晶の表面伝導：酸化物強誘電体は、反電場の影響は、極薄化すると甚大で、応用上も重要な問題である。我々は、このような巨大な電界があると、強誘電体の最表面は単純な絶縁体と見なせないと提案し、初期検証として高真空中でBaTiO₃の表面伝導を測定し、支持する結果を得ている。

この立場から、反電界理論を見直し、従来確立したと考えられている強誘電体の180°分域の理論を見直した作った理論の初期の形を提出している。

以下の(3)の結果と総合して、原子レベルで制御した強誘電体酸化物の表面電子層の物性解明することを予定している。

この研究に関しては、今年度は、実験での進展なく、主に(3)の立場で行った。

(3) 超高真空AFMによる表面研究：

超高真空AFMにより超清浄な表面の分域を測定し、従来の分域理論では説明できず上記の自分たちの理論に合うことを発見している。

第一原理計算は、LAPW法(Linear Augmented Plane Wave法)と擬ポテンシャル法(PAWを含む)で行ってきた。これまでは、計算機の処理速度の制限のため、典型的物質のバルク(無限に大きなもの)での計算のみであった。

今年度は、PC環境を整備し、並列計算の整備やCPUの高速化等の設定を調整し、LAPW法(Linear Augmented Plane Wave法)計算でも、56格子からなるスラブ(表面の1次元モデル)でも、構造最適化ができるようになった。但し、条件によっては3日間かかる。

また、計算の後処理を充実させ、エネルギーや最適化構造に加え、Partial DOS、電子分布、バンド図を簡単に図示できるようにした。また、擬ポテンシャル法では、LDA、GGA(+PAW)で、50個程度の原子からなる格子の最適化も、十分早くできるようになった。

これにより、超高真空 AFM による表面の実験は、BaTiO₃で行っているが、それをモデルかした第一原理計算を行った。実験結果を対比できる計算を次年度に行う予定である。

(4) 表面によらないバルク伝導のみによる整流現象の発見と理論：

この整流現象の理論をつくり実験結果を詳細に再現できており、酸化物強誘電体単結晶の相転移での伝導異常と強誘電体エピタキシャル薄膜の伝導異常のの解明に用いることを検討している。今年度は本テーマの進展はなかった

(5) 科研費挑戦的萌芽研究”金属酸化物からのトンネル電子による、結晶性酸化物ヘテロ接合の形成”を実施するため、ヘテロ構造の新しい形成法を検討した。

また、本研究に関して1件の特許査定を得た。

————— 量子微小物性 B 荒井 —————

(1) 準周期構造・非反転対称等多層膜の熱伝導：

準周期構造・非反転対称等従来の物質研究では実験的研究の困難だった系での物性研究を熱伝導率測定から推進している。

蒸着膜による多層膜系と最近進展の著しい3次元プリンタの両面から追っている。超伝導接合 mK 冷凍機の断熱のための基礎研究と準周期・非反転対称構造での熱伝導研究を通じて準周期構造・非反転対称での物性研究をなすことの両者を意図している。まずは多層膜系から開始している。

実験的に研究するために平成23年度採択された挑戦的萌芽研究科研費で加熱蒸着方式の準周期構造多層膜作製装置や極低温 2K までの熱伝導率測定装置の製作を行っている。蒸着装置の基幹部分に難題が見つかり改良中である。

熱伝導率測定装置は遅まきながら進捗している。計算機シミュレーションを準備している。同時に多層膜による1次元方向での熱伝導ばかりでなく、最近大きく進展している3次元プリンタを用いた3次元構造での研究の可能性の検討を行った。

ただ、いずれもキャンパス移転に伴う遅延が大きく平成27年度のみでなく28年度4月

現在でも移転後の作業の片付いていない部分が多く今年度も期待するほどの進捗は難しそうである。

(2) ビスマス系高温超伝導体の単結晶中の超音波の音速測定に関する論文執筆

講演

《 海外での講演 》

国際会議

————— 量子微小物性 A 渡部 —————

渡部 WIEN2k workshop, Institute of High Performance Computing (IHCP), Singapore, June 24-27, 2015 (参加)

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

————— 量子微小物性 A 渡部 —————

渡部 行男 代表 (共同研究者無し), 金属酸化物からのトンネル電子による、結晶性酸化物ヘテロ接合の形成

挑戦的萌芽研究 課題番号 26600087, 平成 27 年度～平成 29 年度

学外での学会活動

————— 量子微小物性 A 渡部 —————

Integrated Ferroelectrics 誌 編集委員

その他の活動と成果

————— 量子微小物性 A 渡部 —————

村田学術振興財団 選考委員

日本学術振興会からの委託業務

スイス学術振興会の研究費審査

国立マレーシア大学外部評価委員

中等教育担当教員研修事業（高校教員を対象としたリカレント教育）：設定と補助

九州大学世界に羽ばたく未来創成科学者育成プロジェクト（FC-SP）「知的探求型プログラム（ESSP）」（JSTの委託事業）委員

渡部、加来、金属化合物を含むヘテロ接合を有する構造体 特許査定

固体電子物性

研究室構成員

木村 崇 教授

大西 紘平 助教 山田 和正 助教

権丈 淳 技術職員 石間 美香 技術職員

《 大学院 博士課程 》

野村 竜也 山野井 一人 日出柄誠 Nagarjuna Asam

《 大学院 修士課程 》

小野雄馬 川北直史 高以来優 坂本 美智子

植松 銀河 横谷 有紀 岡部 京太 小川 俊幸

《 学部 卒業研究生 》

日高 洋平 中野 陽介 岡出 康太朗 石瀧 真之

小澤孝拓

《 訪問研究者 》

Kungwon Rhie Ming-Wei Wu

担当授業

物理実験学 (木村崇)、基幹物理学 I A (木村崇)、基幹教育セミナー (木村崇)、物理学総合実験 (山田和正)、物理学基礎実験 (大西紘平)

研究・教育目標と成果

横型スピバルブ素子を用いたスピン流の研究 (小川俊幸・植松銀河・高以来優・野村竜也・胡少杰・木村崇)

スピン流のもつ諸特性 (生成・伝導・吸収) について調査した。スピン流生成特性においては、CoFe 系合金を用いた場合、熱励起起因のスピン生成量の材料組成依存性が、スレーター・ポーリング曲線に従うことを発見した。スピン流伝導特性においては、系が曲がりを持つ場合、スピン緩和機構が、曲がりの影響を受けることを発見した。スピン流吸収特性においては、スピン吸収体に温度勾配が存在する場合、スピン吸収効率が增大することを発見した。さらに、横型スピバルブ素子の、スピンチャンネル層を CoFeAl/Cu の 2 層膜構造にすることで、従来素子構造よりも、明瞭で大きなスピン

吸収効率の変調技術を確立した。これらの成果の一つとして、スピン流を利用した磁化反転に関する論文が、出版される予定である。

磁性薄膜におけるスピンドイナミクスの研究 (日高洋平・岡出康太郎・横谷有紀・山野井一人・崔曉敏・木村崇)

我々のグループでは、電子スピンの高速歳差運動や磁気渦と呼ばれる特異な磁化状態での磁気共鳴、また、これらに付随して生じる様々な事象の究明を行っている。昨年度は、『磁気共鳴時に生じる発熱の定量的な評価』に関する論文、また『正方形ドットの対称性を利用した磁気渦共鳴周波数の変調』や『異方性磁気抵抗効果を用いた高強度高周波磁場照射下でのスピン波共鳴の挙動の観察』など、複数の論文を出版した。また、論文以外にも、国際会議にて『スピンドイナミクスの非線形的挙動』に関する発表にてポスター賞の受賞や磁気学会にて『磁化共鳴時の発熱現象から生成されるスピン流』に関する発表にて櫻井講演賞を受賞するなど、様々な研究成果が得られている。これらの研究成果以外にも、磁気渦共鳴現象の検出感度を素子構造の最適化により従来の50倍近くの高感度化にも成功しており、この技術を軸に磁気渦伝搬現象のソリトンの挙動の解明にも挑戦している。

スピン偏極電極を用いた電界誘起相転移現象 (中野陽介・岡部京太・川北直史・木村崇)

近年、従来のメモリに代わる可能性を秘めたデバイスとして、ReRAM（抵抗変化型メモリ）が注目されている。ReRAMはトランジスタに匹敵するほどの大きな抵抗変化を示すが、その微視的な機構は十分には解明されていない。我々はReRAMで用いられる金属酸化物が、磁性を持つ原子を含むことが多いことに着目し、磁場によって抵抗変化特性を制御することを試みている。本研究では、ReRAM素子をサブミクロンサイズ以下に微細化し、さらにサイドゲートを設け、ゲート電圧制御によるスイッチング特性の制御を試みた。その結果、ゲート電圧の印加に応じて、スイッチング電圧が変調され、電場によって金属酸化物界面における電子状態が変化したことを示唆する結果を得た。

強磁性／超伝導複合ナノ構造におけるクーパ対の変調の観測 (石瀧真之・坂本美智子・小野雄馬・大西紘平・木村崇)

超伝導体と強磁性体を用いたナノ微細構造において、クーパ対の変調を観測することを以下の方法で目指した。Nb/Cuのジョセフソン接合またNi-Fe層を加えた試料において、クーパ対の変調を調べた。試料はNb/CuまたはNb/Cu/Ni-Feの多層膜のNb層の一部をミリングを行って、ギャップを作成したものを利用した。Nb/Cu/Ni-Feの方がNb/Cuよりもギャップ部の転移温度が低く、また磁場を細線に垂直に印加する

とさらに低くなることが観測された。これはクーパー対の漏れ磁場による変調を示唆した。Nb/Ni-Feの細線構造において、磁壁を利用することでクーパー対の変調を試みた。Ni-Fe細線に切れ込みをいれ、そこにNb細線を2本配置した構造を用いた。Nb細線間のNi-Fe部の抵抗が転移温度以下で磁壁が導入されている方がされていない方よりも低かった結果が得られた。磁壁周辺の非一様な方向の磁化によってクーパー対が変調された可能性が示された。

発表論文

《原著論文》

Thickness dependence of spin wave nonreciprocity in permalloy film:

M. Nakayama, K. Yamanoi, S. Kasai, S. Mitani, and T. Manago,

Jpn. J. Appl. Phys., **54** (2015) pp. 83002

Spin currents injected electrically and thermally from high spin polarized Co₂MnSi:

A. Pfeiffer, S. Hu, R. M. Reeve, A. Kronenberg, M. Jourdan, T. Kimura, and M. Klaui

,

Appl. Phys. Lett., **107** (2015) pp. 82401

Hole spin relaxation in bilayer WSe₂:

F. Yang, L. Wang, and M. W. Wu,

Phys. Rev. B., **92** (2015) pp. 155414-1-15

Detection of Vortex Core Oscillation Using Second-Harmonic Voltage Detection Technique:

X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura,

IEEE Trans. Magn., **51** (2015) pp. 4300303

Heat dissipation due to ferromagnetic resonance in a ferromagnetic metal monitored by electrical resistance:

K. Yamanoi, Y. Yokotani, and T. Kimura,

Appl. Phys. Lett., **107** (2015) pp. 182410-1-4

Stability of standing spin wave in permalloy thin film studied by anisotropic magnetoresistance effect:

K. Yamanoi, Y. Yokotani, X. Cui, S. Yakata and T. Kimura,
J. Appl. Phys., **118** (2015) pp. 233909-1-5

Sensitive detection of vortex-core resonance using amplitude-modulated magnetic field:

X. Cui, S. Hu, M. Hidegara, and T. Kimura,
Sci. Rep., **5** (2015) pp. 17922

Directional dependence of vortex core resonance in a square-shaped ferromagnetic dot:

X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura,
Physica E., **75** (2016) pp. 28-32

Laterally configured resistive switching device based on transition-metal nano-gap electrode on Gd oxide:

M. Kawakita, K. Okabe, and T. Kimura,
Appl. Phys. Lett., **108** (2016) pp. 023101-1-4

講演

《 海外での講演 》

Reconfigurable vortex oscillations using an isosceles triangular ferromagnetic dot:

X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura,

5th Zing Bionanomaterials Conference, Carvoeiro, PORTUGAL (Apr. 2015)

Excellent Material for Thermal Spin Injection and Its Application:

T. Kimura,

Energy Materials Nanotechnology (EMN) Phuket Meeting 2015, Phuket, THAILAND (May. 2015)

Influence of ferromagnetic electrodes on the resistive switching device based on NiO:

K. Okabe, M. Kawakita, S. Yakata, T. Kimura,

IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)

2nd harmonic detection of nonlinear vortex oscillation under strong RF magnetic field based on the anisotropic magnetoresistance effect:

X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Precise evaluation of small spin-dependent Seebeck coefficient for Permalloy using lateral spin valve:
S. Hu, X. Cui, T. Nomura, and T. kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Dynamical spin injection induced by FMR heating effect in CoFeAl strip:
K. Yamanoi, Y. Yokotani, S. Yakata, and T. Kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Fabrication of Laterally-Configured Resistive Switching Device with Spin-Polarized Nano-Gap Electrodes:
M. Kawakita, K. Okabe, S. Yakata, and T. Kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Enhancement of thermal spin signal and suppression of anomalous Nernst effect in the CoFeAl/Cu/CoFeAl lateral spin valve:
Y. Yokotani, K. Yamanoi, S. Yakata, and T. Kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Influence of ferromagnetic electrodes on the resistive switching device based on NiO:
G. Uematsu, T. Nomura, S. Hu, M. Hidegara, and T. Kimura ,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector:
T. Kimura,
IEEE International Magnetism Conference (Intermag) 2015, Beijing, CHINA (May. 2015)
Spin Current Manipulation Using Superconductor:
K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
BIT's 4th Annual World Congress of Advanced Materials-2015 (WCAM-2015), Chongqing, CHINA (May. 2015)
Spin current transport in a Nb/Cu/NiFe tri-layer structure:

K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP) 2015, Kashiwa,
JAPAN (June. 2015)
Large spin-dependent thermoelectric effects using CoFe-based alloy:
T. Kimura,
International Conference and Exhibition on Mesoscopic and Condensed Matter Physics,
Boston, USA (June. 2015)
Thermal spin injections using CoFe-based alloy:
T. Kimura,
International Workshop Nano-Spin Sciences II, Fukuoka, JAPAN (July. 2015)
Spin current insulation at a superconducting/normal metal interface:
K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
International Workshop Nano-Spin Sciences II, Fukuoka, JAPAN (July. 2015)
Spin current transport in a Nb/Cu/NiFe tri-layer structure:
K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)
Modulation of spin transport using anti-ferromagnetic insulator film:
M. Kawakita, K. Okabe, T. Nomura, S. Yakata, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)Spin
Excitation of nonlinear ferromagnetic resonance and standing spin wave under strong
ac magnetic field:
K. Yamanoi, Y. Yokotani, S. Yakata, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)Spin
Detection of spin-dependent Peltier effect using lateral spin valve:
T. Nomura, G. Uematsu, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)Spin
Enhancement of spin-injection-induced electrical voltage using thermally excited CoFeAl
film:
G. Uematsu, T. Nomura, K. Okabe, M. Kawakita, S. Hu, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)Spin

Electric field effect in CoFeB/NiO exchange coupled system:

K. Okabe, M. Kawakita, S. Yakata, T. Kawae, and T. Kimura,
20th International Conference on Magnetism (ICM2015), Barcelona, SPAIN (July.
2015)Spin

Indirect detection of magnetization direction using thermal spin injection:

S. Hu, T. Nomura, G. Uematsu, and T. Kimura,
2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2015), Tokyo,
JAPAN (Nov. 2015)

Efficient Spin Injection and Absorption Using CoFe-Based Alloys and Its Application:

T. Kimura,
2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2015), Tokyo,
JAPAN (Nov. 2015)

Spin current transport in a Nb/Cu/NiFe tri-layer structure:

K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
Korea-Japan Spin-orbit workshop, Daejeon, KOREA (Nov. 2015)

Efficient thermal spin injection using CoFe-based alloy:

T. Kimura,
Korea-Japan Spin-orbit workshop, Daejeon, KOREA (Nov. 2015)

Systematic study on dynamical spin injection from CoFeAl using laterally configured
structure:

Y. Yokotani, K. Yamanoi, S. Yakata, and T. Kimura,
2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

Evaluation of heating effect and thermal spin injection due to ferromagnetic resonance:

K. Yamanoi, Y. Yokotani, S. Yakata, and T. Kimura,
2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

Interplay between the superconducting and magnetic proximity effects in Nb/Cu/NiFe
tri-layered structures:

Y. Ono, M. Sakamoto, K. Ohnishi. And T. Kimura,
2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

Spin transport properties in a Cu wire fabricated on a magnetic insulator NiO:

M. Kawakita, K. Okabe, Y. Yokotani, K. Yamanoi, and T. Kimura,
2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

Adjustment of Co/Fe ratio for efficient thermal spin injection in CoFeAl alloy:

G. Uematsu, T. Ogawa, S. Hu, K. Yamanoi, M. Kawakita, and T. Kimura,
2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

Efficient thermal spin injection using CoFe-based alloy:

T. Ogawa, G. Uematsu, Y. Yokotani, K. Yamanoi, T. Nomura, M. Kawakita, and T. Kimura,

2016 Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, USA (Jan. 2016)

《 国内での講演 》

高効率熱スピン注入技術による エナジーハーベスティングデバイスの創成:

T. Kimura,

イノベーション・ジャパン 2015, 東京ビッグサイト, 2015年8月, (口頭発表)

高効率熱スピン注入技術による エナジーハーベスティングデバイスの創成:

T. Kimura,

イノベーション・ジャパン 2015, 東京ビッグサイト, 2015年8月, (ポスター発表)

強磁性共鳴による磁性体加熱効果と熱スピン注入:

山野井一人, 横谷有紀, 植松銀河, 家形諭, 木村崇,

第39回 日本磁気学会 学術講演会, 名大, 2015年9月

CoFe系合金のスピンダイナミクスにおける動的熱スピン注入の検出:

山野井一人, 横谷有紀, 植松銀河, 家形諭, 木村崇,

日本金属学会 2015年秋季(第157回)講演大会, 九大, 2015年9月

CoFe系合金における高効率熱スピン注入:

野村竜也, 植松銀河, 胡少杰, 木村崇,

第39回 日本磁気学会 学術講演会, 名大, 2015年9月

CoFe系合金における異方性スピン吸収効果:

小川俊幸, 植松銀河, 横谷有紀, 山野井一人, 野村竜也, 木村崇,

日本物理学会 2015年秋季大会, 関西大学, 2015年9月

フォノン振動制御によるギルバート緩和項の変調:

岡出康太朗, 山野井一人, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇,

日本物理学会 第121回九州支部例会, 九工大, 2015年12月

結合型磁性円盤列における非線形磁気渦共鳴の検出:

日高洋平, 山野井一人, 横谷有紀, 野村竜也, 木村崇,

日本物理学会 第121回九州支部例会, 九工大, 2015年12月

磁性多層膜におけるコヒーレント磁気共鳴の実現:

小澤孝拓, 日高洋平, 中野陽介, 岡出康太朗, 山野井一人, 岡部京太, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇,

日本物理学会 第121回九州支部例会, 九工大, 2015年12月

新奇な横型スピンバルブを用いた縦・横スピン緩和長の評価:

小川俊幸, 植松銀河, 野村竜也, 木村崇,
日本物理学会 第121回九州支部例会, 九工大, 2015年12月
超伝導/強磁性複合ナノ構造における磁区構造制御による超伝導近接効果の変調:
石瀧真之, 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇,
日本物理学会 第121回九州支部例会, 九工大, 2015年12月
Spin dependent transport in superconductor/ferromagnet hybrid structure :
K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, and T. Kimura,
平成27年度 スピン変換年次報告会, 東北大, 2016年1月
Nb/Cu/NiFe 多層膜における強磁性体層による超伝導ジョセフソン電流の変調:
大西紘平, 小野雄馬, 坂本美智子, 木村崇,
日本物理学会 第71回年次大会, 東北学院大学, 2016年3月
新奇な横型スピバルブ構造を用いた微細磁性ドットへの高効率スピン吸収:
野村竜也, 胡少杰, 植松銀河, 小川俊幸, 木村崇,
日本物理学会 第71回年次大会, 東北学院大学, 2016年3月
強磁性加熱効果のダンピング定数依存性と動的熱スピン注入効率の評価:
山野井一人, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇,
日本物理学会 第71回年次大会, 東北学院大学, 2016年3月

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究
大純スピン流を用いた超高性能多端子スピントルク発振器
研究代表者：木村 崇

文部省科学研究費補助金、基盤研究(S)
純スピン流注入による磁気相転移の選択的制御と革新的ナノスピndeバイスへの応用
研究代表者：木村 崇

文部省科学研究費補助金、若手研究(B)
高スピン偏極ナノピラーによる交差アンドレーエフ反射の観測と量子ビットへの応用
研究代表者：大西 紘平

修士論文

川北直史：(指導教員、木村崇)：金属/磁性酸化物 複合ナノ構造におけるスピン輸送特性に関する研究

小野雄馬：(固体電子物性 木村崇・大西紘平)：強磁性体/超伝導体複合ナノ構造におけるスピン偏極電流と超伝導電流の相互作用に関する研究

高以來優：(固体電子物性 木村崇)：非直線形状を持つ非磁性細線中でのスピン緩和に関する研究

光物性

研究室構成員

佐藤 琢哉 准教授

《 大学院 修士課程 》

中垣内 啓太 姫野 滉盛

《 学部 卒業研究生 》

齊藤 圭太 土田 孝三

担当授業

物理学ゼミナール (佐藤琢哉)、磁性体物理学 (佐藤琢哉)

研究・教育目標と成果

光で誘起したスピン波の伝播シミュレーション (姫野滉盛、佐藤琢哉)

円偏光パルスを、面内方向に磁場が印加された磁性体薄膜に照射したとき、逆ファラデー効果により磁化が面直方向に誘起され、スピン歳差運動が生じる。この時のスピン波の伝播は交換スピン波もしくは静磁波、双極子-交換スピン波に分類され、そのうちの静磁波の分散関係を数値計算に利用した。数値計算における薄膜は xy 平面に無限に広がっているものを考え、厚さを変化できるようにした。スピン波の分散関係は厚さ、印加磁場、飽和磁化、異方性などに依存しこれらは運動はマクスウェル方程式と静磁近似を用いて記述されている。これから静磁波の分散関係を得て、ポンプ光によるスピン波の誘起モデルに分散関係を取り込むことにより、スピン波伝搬の数値計算を行った。薄膜の厚さを $1 \text{ nm} \sim 100 \text{ }\mu\text{m}$ 、スポットサイズを $0.1 \text{ }\mu\text{m} \sim 100 \text{ }\mu\text{m}$ のようにスケールさせながら計算させたところ、スポット光のサイズと伝播に相似性があることが判明した。東京大学生産技術研究所の吉峯功氏 (大学院生) との共同研究である。

光誘起スピン波の時間分解イメージングの開発 (姫野滉盛、齊藤圭太、佐藤琢哉)

スピン波は磁気秩序を持つ物質中を伝播する波であり、電子の電荷が移動しないためにジュール熱が生じないという特徴を持つ。そのため、スピン波は消費電力が少ない情報処理技術に応用されることが期待されている。本研究では、光パルスで非熱的に生成されたスピン波の2次元波形を時間分解して測定するイメージング手法を開発す

ることを目的とした。いくつかの CMOS カメラの性能を評価し、変調信号に同期して画像を取り込める機種を選定することができた。今後は同機種を実際に購入し、スピン波の時間分解イメージングを行う予定である。東京大学生産技術研究所の吉峯功氏(大学院生)との共同研究である。

DAQ を用いたポンプ・プローブ時間分解測定系の構築 (土田孝三、佐藤琢哉)

フェムト秒パルスを用いたポンプ・プローブ時間分解測定系の SN 比向上を目的として、DAQ(データ集録デバイス)を用いたシステム構築を目的として研究を行った。光学系の構築、測定プログラムの確認、フェムト秒パルスの評価などを完了した。今後は実際に磁性体試料を用いた測定を行う予定である。

発表論文

《 原著論文 》

Non-thermal optical excitation of terahertz-spin precession in a magneto-optical insulator:

S. Parchenko, T. Satoh, I. Yoshimine, F. Stobiecki, A. Maziewski, and A. Stupakiewicz, Applied Physics Letters **108** (2016) pp.032404-1-5

《 その他の論文 》

逆磁気光学効果を用いた偏光一磁化振動の 3 次元転写 :

佐藤琢哉 :

日本物理学会誌 **70** (2015) pp.840-844

光を用いたスピン波生成・検出技術 :

佐藤琢哉 :

まぐね **10** (2015) pp.307-313

逆ファラデー効果を用いた超高速スピン制御 :

佐藤琢哉 :

応用物理 **85** (2016) pp.9-14

講演

《 海外での講演 》

Antiferromagnetic writing and reading of an optical polarization state:

T. Satoh, R. Iida, T. Higuchi, M. Fiebig, and T. Shimura,

20th International Conference on Magnetism (ICM), Th.I-P02, Jul. 5–10, 2015 (Barcelona, Spain)

Laser-induced ultrafast magnetization dynamic in RE-TM garnets:

S. Parchenko, I. Yoshimine, T. Satoh, A. Maziewski, and A. Stupakiewicz,

20th International Conference on Magnetism (ICM), Th.I-P08, Jul. 5–10, 2015 (Barcelona, Spain)

Non-thermal ultrafast light excitation of exchange resonance in multisublattice rare-earth Bi-doped iron garnets:

S. Parchenko, T. Satoh, A. Maziewski, and A. Stupakiewicz,

Ultrafast Magnetism Conference (UMC) 2015, Oct. 19–23, 2015 (Nijmegen, the Netherlands)

Laser-induced antiferromagnetic-paramagnetic transition in a complex multi-sublattice CuB_2O_4 :

A. M. Kalashnikova, K. Imasaka, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh, T. Shimura, and T. Satoh,

Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS) 2015, Mo-P-02, Nov. 29–Dec. 2, 2015 (Penang, Malaysia)

Unidirectional control of spin wave generated by light pulses using interference:

I. Yoshimine, Y. Tanaka, T. Satoh, and T. Shimura,

Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS) 2015, Tu-03-04, Nov. 29–Dec. 2, 2015 (Penang, Malaysia)

Determining the Verdet constant in antiferromagnetic materials:

C. Tzschaschel, S. Günther, T. Satoh, M. Fiebig,

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), MA 13.5, Mar. 6–11, 2016 (Regensburg, Germany)

《国内での講演》

反強磁性体における逆磁気光学効果～超高速磁化制御に向けて～ (invited):

佐藤琢哉

第25回日本磁気学会光機能性デバイス・材料専門研究会「磁気光学材料と効果を用いた評価・デバイスへの応用」, Jul. 30, 2015 (九州工業大学戸畑キャンパス)

六方晶反強磁性体を用いた偏光-磁化振動の3次元転写:

佐藤琢哉

第5回光科学異分野横断萌芽研究会, Aug. 4-6, 2015 (ホテル竹島)

Asymmetric propagation of spin wave generated by light pulses:

I. Yoshimine, Y. Tanaka, T. Satoh, T. Shimura

2015年 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-3A-3, Sep. 13-16, 2015 (名古屋国際会議場)

Generation and control of magnetic excitations by polarized light in antiferromagnets and ferrimagnets (受賞講演):

T. Satoh

18th Millennium Science Forum, Nov. 11, 2015 (駐日英国大使館)

Optical control of antiferromagnetism (invited):

T. Satoh

International Workshop : Spintronics with Antiferromagnets (32nd Reimei Workshop on Frontiers of Condensed Matter Physics), Nov. 16-17, 2015 (Tohoku University, Japan)

One to one mapping of optical polarization to magnetic oscillations in hexagonal YMnO_3 :

T. Satoh, R. Iida, T. Higuchi, M. Fiebig, and T. Shimura

2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2015), R1-3-3, Nov. 19-21, 2015 (Waseda University, Japan)

Magnetization dynamics and optical control of antiferromagnets (invited):

T. Satoh

第20回スピン工学の基礎と応用 (PASPS-20), Invite-3, Dec. 3-4, 2015 (東北大学片平)

キャンパス)

偏光を用いた反強磁性体・フェリ磁性体における磁気励起の光学的生成と制御 (受賞講演):

佐藤琢哉

大阪大学 博士課程教育リーディングプログラム SMW 賞受賞者講演会, Dec. 4, 2015
(大阪大学シグマホール)

光で誘起したスピン波の伝播シミュレーション:

姫野滉盛, 吉峯功, 佐藤琢哉

第 121 回日本物理学会九州支部例会, D-1, Dec. 5, 2015 (九州工業大学戸畑キャンパス)

直線・円偏光パルスを用いたマグノンのコヒーレント制御 (invited):

佐藤琢哉

東京大学物性研究所短期研究会「量子物質研究の最前線」, G4, Dec. 8-9, 2015 (東京大学柏キャンパス)

偏光を用いた反強磁性体・フェリ磁性体における磁気励起の光学的生成と制御 (受賞講演):

佐藤琢哉

東京大学大学院理学系研究科・理学部物理学教室・ミレニアムサイエンスフォーラム
共催 談話会, Feb. 18, 2016 (東京大学小柴ホール)

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、若手研究 (A)

逆磁気光学効果による磁化のベクトル制御と磁気相転移の検証

研究代表者：佐藤琢哉

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

三菱財団研究助成

光パルスによって生成したスピン波の高感度時間分解イメージング

研究代表者：佐藤琢哉

他大学での研究と教育

佐藤琢哉：客員教授@スイス ETH Zurich

佐藤琢哉：集中講義@北海道大学

佐藤琢哉：研究員@東京大学生産技術研究所

学部4年生卒業研究

齊藤圭太：(指導教員、佐藤琢哉)：CMOSカメラを用いたスピン波観測系の評価

土田孝三：(指導教員、佐藤琢哉)：DAQを用いたポンプ・プローブ時間分解測定系の構築

学外での学会活動

日本物理学会 領域5 運営委員

日本物理学会 九州支部 庶務

日本磁気学会 企画委員

MORIS 2015 Program committee

電気学会 フォト・マグノニクス技術調査専門委員会委員

その他の活動と成果

佐藤琢哉：平成27年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 受賞

佐藤琢哉：ミレニアム・サイエンス・フォーラム 第17回サー・マーティン・ウッド賞 受賞

低次元電子物性

研究室構成員

矢山英樹 教授

《 大学院 修士課程 》

由留部正輝 西村優吾

《 学部 卒業研究生 》

内山大嘉

《 訪問研究者 》

Ali Gamal Hafez Ernassel Rabie

担当授業

物理学特別研究 I、物理学特別研究 II、基幹物理学 IB、物理学概論 A、基幹教育セミナー、課題協学科目

研究・教育目標と成果

(1) 高感度磁化測定法の開発 (由留部、矢山)

磁化の測定法は、大きく分けて次のような方法がある。1. 振動試料法 (VSM)、2. SQUID 磁化測定法、3. 交番勾配磁場法。この中で最も普及しているのは、1 と 2 である。2 は 1 より高感度であるが、装置が効果になるのが難点である。3 の装置は感度が SQUID を超えるものもあるが、温度変化させた時の較正が難しいという問題があり、あまり普及していない。

しかし非常に高感度であるのは魅力であるため、3 の開発を昨年度より引き続き行っている。昨年度は予備実験を行い信号を検出することに成功した。今年度は、その感度を高めるため、センサーであるピエゾ素子 (バイモルフと呼ばれる) を試料の近傍に置くことを目的に研究開発した。試料の近くということは、低温部で高磁場の位置にバイモルフを設置するということである。バイモルフは温度や磁場には比較的感度が鈍いが、高感度の磁化の測定においては誤差を生じる可能性がある。

超伝導体 Pb を試料に用いた実験の結果、次のことが明らかになった。1. バイモルフを低温・高磁場においてもあまり影響を受けない。2. 機械的共振点周波数では振幅が鋭いピークを示し、温度や磁場によって共振周波数が変化するので、測定が難しい。そ

のため、共振点から少し周波数をずらして測定する方法を提案した。

発表論文

《その他の論文》

1. 矢山英樹, 核断熱消磁冷却 V, 九州大学低温センターだより No.10, 2016. p.26.

講演

《海外での講演》

学部4年生卒業研究

内山大嘉 (指導教員: 矢山): 液体ヘリウム面上の2次元電子系

修士論文

由留部正輝: 低温 AGFM の開発

学外での学会活動

応用物理学会九州支部理事

受託研究・民間との共同研究

矢山: 「極低温クライオスタットの開発」, (株) 低温技術研究所との共同研究

その他の活動と成果

1. 特許 特願 2016-018446 磁化測定装置 発明者・権利者: 矢山英樹

複雑物性基礎

研究室構成員

木村康之 教授

水野大介 准教授

岩下靖孝 助教 稲垣紫緒 助教

《 博士研究員 》

有賀隆行 (特任准教授) 江端 宏之

《 大学院 博士課程 》

野口朋寛 Heev Ayade Lara Gay Villaruz Moccooro 西澤 賢治

高橋 健太郎

《 大学院 修士課程 》

永徳 はるか 田村 優太 奈良 周平 藤井 明彦

本田 菜月 諸留 寛大 河村 隆弘 栗原 喬

《 学部 卒業研究生 》

大石 隼道 荻原 僚 梅田 勝比呂 小池 涼太郎

高田 哲弘 棚町 昂平 吉原 公貴 中島 昂

担当授業

物理学の進展 (木村康之)、物性物理学 I (木村康之)、振動と波動 (木村康之)、複雑系物理学 (木村康之)、物理学ゼミナール (水野大介)、身の回りの物理学 (水野大介)、物理学総合実験 (岩下靖孝)、物理学総合実験 (稲垣紫緒)、最先端物理学 (稲垣紫緒)

研究・教育目標と成果

《 今年度の目標 》

○新規なレーザートラップ手法の開発や、それによる力測定・粒子操作をコロイド系に適用し、その物性測定及び非線形挙動の解明を行なうことを目指した。(1, 2)

○複雑なソフトマター複合系における局所レオロジー挙動や相分離過程などを詳細に解明することを目指した。(1, 5)

- 様々なコロイド粒子の作成や、その分散系における集動的挙動などを解明することを目指した。(3, 4)
- 非平衡現象を解明するための新規なマイクロレオロジー測定システムの開発を目指した。(6)
- 粉体のバンド構造や局所構造の解明を目指した。(7, 8)
- マイクロレオロジー計測法にフィードバック機構を導入し、細胞やバクテリアの集団運動等の強い非平衡系の揺らぎ応答の同時観測を実現する。(11)
- 細胞骨格やコロイド系の力学応答に非アファインな応答が果たす役割をマイクロレオロジーによる広帯域計測により実証する。(9, 12)
- actin-myosin gel や遊走バクテリア溶液等の active system 中における非平衡揺らぎが新しい Levy 分布のクラスに属していること、およびその分布形状の解析解を明らかにする。(13, 15, 16)
- 各種細胞抽出液の力学特性を計測することで、細胞内部環境のガラス的振る舞いを明らかにすることを目指した。(10)
- PICO-TREC による opioid 信号伝達複合体の高速検出することで、信号伝達複合体が結合する細胞骨格の力学特性を AFM を用いた実験と数値計算により明らかにする。(14)

《今年度の成果》

- (1) **ネマチック液晶中のコロイド粒子間相互作用の研究** (河村、田村、岩下、木村)
 ネマチック液晶中にミクロンサイズのコロイド粒子を分散させるとその界面での液晶配向状態に依存して、コロイド間に液晶の弾性を媒介とした相互作用が働くことが知られている。われわれは2本の光ピンセットを用いて2つのコロイド粒子を捕捉し、それらの位置を変化させつつ、トラップ位置の微小な変化をその顕微鏡像から観測することで粒子間相互作用の直接測定を行った。本年度はことに、その粒子間相互作用および形成された結晶構造が電場の印加により変化することなどを研究した。
- (2) **ホログラフィック光ピンセット・顕微鏡の開発** (永徳、岩下、木村)
 光空間変調器を用いて位相ホログラムを作成し、多点の光トラップや光渦を複数作成することに成功している。それらに加え、ホログラフィを利用した新規な3次元粒子追跡手法の確立を目指した。その結果、多粒子の3次元同時追跡を可能にするシステムを実現した。
- (3) **ヤヌス粒子の作成とその凝集構造の研究** (野口、吉原、岩下、木村)

シリカ粒子へ金蒸着し、それをチオール化することにより、親水面・疎水面を持った両親媒性コロイド粒子(ヤヌス粒子)を作成した。このヤヌス粒子-水-油3成分系において、その界面活性及び凝集挙動のセッケン分子系との相違を実験により解明した。またクサビ形セルを用いてヤヌス粒子の擬2次元的な密充填状態を形成し、閉じ込め効果を利用して多様な方向秩序相を制御することに成功した。

(4) 異形状粒子の作成とそのピッカリングエマルションの研究 (小池、岩下、木村)

光反応性の樹脂(SU-8)を用いて任意形状を得るソフトリソグラフィーを用い、多様な幾何学形状の微粒子を作成した。さらにその表面物性を制御し、両親媒性などを付与することに成功した。この異形状粒子と水-油との3成分系におけるエマルションを顕微鏡観察したところ、粒子形状が液滴形態に影響することを示唆する結果を得た。

(5) 液晶電気対流系の3次元観察 (高橋、高田、岩下、木村)

負の誘電率異方性を持つ液晶に電場を印加する事により生じる電気対流に対しコロイド粒子を分散させ、非熱的な駆動力による運動について調べた。その結果、ネマチック液晶の対流構造、コレステリック液晶の対流構造をそれぞれ反映した特異な拡散、輸送現象を見出した。

(6) アクティブマイクロレオロジー測定システムの構築 (藤井、岩下、木村)

媒質に分散したコロイド粒子に交流的な外力を与えてその応答を測定するアクティブマイクロレオロジー測定システムの開発を進めている。ことに、外力として交流電場を印加し、荷電コロイド粒子を励振する電気泳動マイクロレオロジー測定システムを構築し、これを用いたソフトマター系の局所力学物性測定を進めている。

(7) 回転円筒容器における粉体の相分離現象の研究 (大石、稲垣、江端、木村)

水平に置いた円筒容器に、大きさの異なる二種類の粉体を入れ、回転させたときに観察されるサイズ分離現象について、実験を行った。従来、粉体のサイズ分離現象は、動的安息角に有意に差のある粒子の組み合わせの時によく観察されると思われていたが、ポピーシードとバジルシード、ガーネットサンドと珪砂の組み合わせで動的安息角について調べたところ、動的安息角はサイズ分離現象の有無を予測する適切なパラメータでないことが分かった。どのような物理量によってサイズ分離現象が起こる条件を決められるか、今後さらに実験を進める。

(8) 水平振とうによる粉体の相分離現象の研究 (稲垣、江端、木村)

擬二次元的な細長い容器の中に大きさの異なる二種類の粉体を入れ、容器の細長い面に平行に水平方向に振とうすることを行った。その結果、二種類の粒子は相分離を起こし、縞状のパターン（バンド）を形成することがわかった。さらに、二種類の粉体のサイズ比や水平振とうの振動数を変えることで単調緩和、進行波、自己複製するバンドなど様々なダイナミクスを発見した。

(9) 生きた細胞骨格の非平衡ゆらぎ (Heev Ayade、水野)

アクチン、ミオシンゲルにATPを添加した系に分散させたコロイド粒子の運動を van Hove 相関関数や非ガウスパラメータを用いて評価することで、その非平衡度の実験的な評価に成功した。

(10) 細胞内部環境のガラス的挙動 (西澤、藤原、柳澤、水野)

進化や発生の段階の異なる各種の細胞質の力学特性をマイクロレオロジーにより評価した。その結果、いずれもガラス転移近傍の振る舞いを示し、丁度細胞内濃度でジャミング転移を起こすことを見出した。さらに現実に生きている細胞の内部環境は一定の流動性と揺らぎを示すことから、細胞は自らの代謝活性により細胞質を自発的に駆動することで本来ガラス化するべき状態を流動下させていることを見出した。

(11) フィードバック増強マイクロレオロジーの開発と細胞・生体組織計測 (梅田、本田、西澤、M. Bremerich, H. Ayade、水野)

光トラップしたプローブ粒子の変位を4分割フォトダイオードで精密計測し、さらに計測信号をもとにピエゾ駆動ステージ、およびAODを高速フィードバック制御しながら active-passive マイクロレオロジー計測を行った。従来強すぎる非平衡揺らぎのためにプローブ粒子を安定捕捉できない試料（細胞内部や遊走バクテリア溶液）でマイクロレオロジー計測を行い、揺動散逸定理の破れや非平衡揺らぎの分布形状の解析を行った。

(12) 細胞骨格の非線形かつ非等方かつ非アファインな力学応答 (本田菜月、荻原、D. Head, 池辺詠美、中益朗子、P. Zhang, 木下英、L.G. Villaruz, 安藤祥司、水野)

フィードバックマイクロレオロジーにより、局所的・巨視的な外力印加下における細胞骨格ゲルの非線形応答を観測と数値シミュレーションによる結果の解析を進めている。

(13) 細胞骨格の非平衡揺らぎは新しいクラスの Levy 分布に属する (Heev Ayade, Irwin Zaid, 水野)

非平衡な細胞骨格（アクチン/ミオシンゲル）中におけるマイクロレオロジー計測により観測される非平衡揺らぎが、新しいクラスのLevy分布に属していることを明らかにした。また、その分布形状を、力生成の動力学も考慮にいたした時間発展する解析解として求めた。これにより細胞骨格内部における力生成を揺らぎから推定することが可能になった。

(14) オピオイド信号伝達複合体の構造形成とダイナミクスにフィラミンAが果たす役割 (Lara Gay Villaruz, 水野)

オピオイド情報伝達複合体の組織化に対してFLNAが果たす役割を生化学的および物理的(ナノメカニクス,1分子計測)手法を用いて直接計測することを目標とした。FLNAが2次元膜内の信号伝達複合体の組織化と細胞(骨格)の3次元構造とを結びつける効果を解明するために、細胞膜と直下の細胞骨格の力学特性を両方調べ、MOP-Rの機能との相関を求めることにより、オピオイド系鎮痛剤に対する耐性その他の副作用の発現に対してFLNAが果たしている役割とその機構が明らかになる。

(15) 遊走バクテリア懸濁液中における非平衡揺らぎの統計分布 (栗原、諸留、奈良、有留、Heev Ayade, Irwin Zaid, 水野大介)

培養液中で遊走するバクテリア(大腸菌)や単細胞微生物(クラミドモナス)が生み出す非平衡揺らぎが我々の提案する新しい極限安定分布に属することを明らかにした。その時間発展を解析することで、非平衡揺らぎに新しい極限分布が現実の物理系において普遍的に現れる機構とその出現条件を明らかにした。遊走微生物が存在を許された空間の次元と、現実の空間の次元を様々に制御した実験を行うことで、この新しい極限分布を拡張することが今後の課題である。

(16) 粘弾性体中を遊走するスピロプラズマによる増強レプテーションの非平衡機構 (奈良、棚町、荻原、水野大介)

粘弾性体中を遊走するバクテリア(スピロプラズマ)が生み出す揺らぎが、レプテーション/チキソトロピーの増強を介して、媒質の力学的性質を大きく変化させるメカニズムをマクロ・ミクロの両面から究明している。非平衡状態における実効的な温度をマイクロレオロジー法により新たに定義することで、温度-時間換算則、歪み速度-周波数換算則等の古典的規則や概念を、非平衡状態に拡張して理解することを目指す。

《 来年度の目標 》

研究(1-16)のさらなる発展、及び教育の充実。

発表論文

《原著論文》

Yuta Tamura and Yasuyuki Kimura, "Fabrication of ring assemblies of nematic colloids and their electric response", Applied Physics Letters **108**, 011903 (2016).

Hiroyuki Ebata, Masaki Sano, "Model of heap formation in vibrated gravitational suspensions", Physical Review E **92**, 053016 (2015).

Shogo Okubo, Shuhei Shibata, Yuriko Sasa Kawamura, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura, "Dynamic clustering of driven colloidal particles on a circular path", Physical Review E **92**, 032303 (2015).

Yoshitsugu Kubo, Shio Inagaki, Masatoshi Ichikawa, and Kenichi Yoshikawa, "Mode bifurcation of a bouncing dumbbell with chirality", Physical Review E **91**, 052905 (2015).

Irwin Zaid, Daisuke Mizuno, "Analytical limit distributions from random power-law interactions" Physical Review Letters accepted

《その他の論文》

著書

講演

《海外での講演》

Y. Iwashita, and Y. Kimura, "Self-assembled structures of one-patch colloidal particles", 2015 International Conference of Colloids and Interface Science, Taipei, Taiwan, July 21-24, 2015.

Y. Tamura and Y. Kimura, "Two-dimensional non-close-packed nematic colloidal assemblies and their electrical response", European Conference on Liquid Crystal 7-11 September 7-11, The University of Manchester, UK

K. Nishizawa (Kyushu Univ.), K. Fujiwara (Keio Univ.), N. Nakajo (Kyushu Univ.), M. Yanagisawa (Tokyo Univ. of Agri. and Tech.), D. Mizuno (Kyushu Univ.), Enrico Fermi Summer School "Soft Matter Self-Assembly", "Microrheology study of crowding and glassy like behavior in cells", 7月2日、イタリア

Natsuki Honda, Kenji Nishizawa, Takayuki Ariga, and Daisuke Mizuno, Dual-feedback microrheology in cytoskeletal networks, APS March Meeting 2016, 17th Mar. 2016,

Baltimore, The United States of America

Daisuke Mizuno, Rheology and fluctuations in active systems, EAJSSP2015, The third east asia joint seminar on statistical Physics, 2015 Oct 15, KIAS, Seoul, Korea 招待

Daisuke Mizuno, Microrheology towards the characterization of forces and mechanics in living cells, 第26回CDBミーティング Mechanistic Perspectives of Multicellular Organization, 2015 Sep 8, 国際ワークショップ 招待

Daisuke Mizuno, Glass-like behavior of in vitro and living cytoplasm, Mechanobiology - Mechanisms of force sensation and transduction that control cell behavior in health and disease, 2016 March 23, Het Trippenhuis, Amsterdam, The Netherlands 口頭

Daisuke Mizuno, High - frequency affine mechanics of locally stressed cytoskeletons, Mechanobiology - Mechanisms of force sensation and transduction that control cell behavior in health and disease, 2016 March 22-24, Het Trippenhuis, Amsterdam, The Netherlands ポスター

《 国内での講演 》

Daisuke Mizuno, Microrheology of Active Systems, SFS2015 - International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, 2015 Aug 22, Kyoto, Japan

Natsuki Honda, Kenji Nishizawa, Takayuki Ariga, Taiki Yanagishima, and Daisuke Mizuno, Dual-feedback microrheology in cytoskeletal networks, International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, 21th Aug. 2015, Kyoto, Japan

K. Nishizawa (Kyushu Univ.), K. Fujiwara (Keio Univ.), N. Nakajo (Kyushu Univ.), M. Yanagisawa (Tokyo Univ. of Agri. and Tech.), D. Mizuno (Kyushu Univ.), Enrico Fermi Summer School “Soft Matter Self-Assembly”, “Microrheology study of crowding and glassy liInternational Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, “ Microrheology Study of Molecular Crowding Effect in Cells ”、8月22日、京都大学 芝蘭会館)

T. Ariga, M. Tomishige, D. Mizuno, Non-equilibrium energy measurement of molecular motor kinesin, International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, 2015.8.20-2015.8.23, Kyoto, Japan

吉原 公貴、岩下 靖孝、木村 康之 「ヤマス粒子構造体のプラズモン共鳴」 第121回日本物理学会九州支部例会

小池 涼太郎、岩下 靖孝、木村 康之 「多角形粒子による Pickering Emulsion」 第121回日本物理学会九州支部例会

高田哲弘, 田村優太, 高橋健太郎, 岩下靖孝, 木村康之 「液晶電気対流パターンの3次元観察」 第121回日本物理学会九州支部例会

高橋健太郎, 高田哲弘, 岩下 靖孝, 木村 康之 「コレステリック液晶電気対流中での粒子ダイナミクス」 第121回日本物理学会九州支部例会

田村優太, 岩下 靖孝, 木村 康之 「ネマチックコロイドを用いた異方的構造体」 第121回日本物理学会九州支部例会

永徳 はるか, 岩下 靖孝, 木村 康之 「コロイド粒子系のダイナミクス」 第121回日本物理学会九州支部例会

河村 隆弘, 田村 優太, 岩下 靖孝, 木村 康之 「電場下のネマチックコロイド粒子間相互作用」 第121回日本物理学会九州支部例会

藤井 明彦, 貞包 浩一朗, 深尾 浩次 「ラポナイトのエイジング現象へ一価の陽イオンが与える影響」 第121回日本物理学会九州支部例会

稲垣紫緒, 江端宏之 「粉粒体の相分離現象」 第121回日本物理学会九州支部例会

江端宏之, 稲垣紫緒 「粉粒体の偏析による自己複製パターン」 第121回日本物理学会九州支部例会

大石隼道, 稲垣紫緒, 江端宏之 「回転円筒容器を用いた粉粒体の偏析現象」 第121回日本物理学会九州支部例会

岩下 靖孝, 木村 康之 「2次元系におけるヤヌス粒子の自己組織化」 第66回コロイドおよび界面化学討論会

野口朋寛, 岩下 靖孝, 木村 康之 「金属パッチ粒子による金属面の被覆」 第66回コロイドおよび界面化学討論会

岩下 靖孝, 木村 康之 「1パッチ粒子の方向秩序による多様なメソ構造形成」 第66回コロイドおよび界面化学討論会

岩下 靖孝, 木村 康之 「1パッチ粒子による多様なメソ方向秩序相」 第32回九州コロイドコロキウム

岩下 靖孝, 木村 康之 「1パッチ粒子密充填系の示す多様なメソ方向秩序」 第5回ソフトマター研究会

田村, 岩下, 木村, 「ネマチックコロイドを用いた異方的構造体とその電場応答」 第5回ソフトマター研究会

藤井, 貞包, 深尾, 木村, 「ラポナイト懸濁液への一価カチオン依存性」, 第5回ソフトマター研究会

木村康之, 「エキゾチックな粒子間相互作用によるコロイド構造体の形成」, ソフトマター研究会 12月19日, 東北大国内招待

木村康之, 「非熱的に駆動されたコロイド粒子系のダイナミクス」 新領域の第2回公開シンポジウム, 東大本郷 5月1日国内招待

稲垣紫緒、江端宏之、吉川研一 「回転二重円筒における粉体相分離現象の内部構造について」日本物理学会 2015年秋季大会（関西大学）

江端宏之、稲垣紫緒 「水平振とうによる粉粒体の相分離現象」 日本物理学会 2015年秋季大会（関西大学）

江端宏之、佐野雅己 「“泳ぐ”液滴の形状の対称性と運動モード」 アクティブマター研究会 2016（九州大学）

諸留 寛大、水野 大介、栗原 喬 「力双極子集団が生み出す非ガウスな統計分布」 第121回日本物理学会九州支部例会

梅田勝比呂、西澤賢治、本田菜月、水野大介 「細胞のマイクロレオロジー」 第121回日本物理学会九州支部例会

棚町昂平、Heev Ayade, Irwin Zaid, 水野大介 「非平衡ゲルにおける非ガウス揺らぎの数値解析」 第121回日本物理学会九州支部例会

奈良周平、栗原喬、水野大介 「遊走微生物ゲル中の非平衡揺らぎ」 第121回日本物理学会九州支部例会

有賀隆行、富重道雄、水野大介、分子モーターキネシンの非平衡エネルギー計測、ゆらぎと構造の協奏第2回公開シンポジウム、2015.4.40-2015.5.1、東京都文京区
本田菜月、西澤賢治、有賀隆行、水野大介、多重フィードバックによる細胞骨格のマイクロレオロジー計測、第5回ソフトマター研究会、2015年12月18日、東北大学 仙台、ポスター発表

栗原 喬、Irwin zaid、水野大介、遊走微生物懸濁液における非平衡揺らぎのLevy統計、アクティブマター研究会2016、2016年1月22日（金）、九州大学箱崎キャンパス

棚町昂平、棚町昂平、Heev Ayade、Irwin zaid、水野大介、非平衡ゲルにおける非ガウス揺らぎの数値解析、アクティブマター研究会2016、2016年1月22日（金）、九州大学箱崎キャンパス

棚町昂平、棚町昂平、Heev Ayade、Irwin zaid、水野大介、非平衡ゲルにおける非ガウス揺らぎの数値解析、第2回若手勉強会「ソフトマター若手勉強会」、2016年3月10、11日、東京大学検見川セミナーハウス

荻原 僚 梅田勝比呂、西澤賢治、水野大介、細胞のマイクロレオロジーとすり場印可装置の開発、第5回 細胞競合コロキウム、3月16日、北海道大学医学部フラテホール

水野大介、Microrheology in cells under dual feedback control、The 1st International Symposium of “Cell Competition”、2015 Sep 9,10、京都大学 芝蘭会館 ポスター

水野大介、力と力学特性による細胞競合メカニズム、細胞競合 第3回領域会議、2015 Sep 11、京都大学 芝蘭会館 口頭

細胞・アクティブマターのマイクロレオロジー、揺らぎと構造の協奏 A03 班会議、揺

らぎと構造 第3回領域研究会 6・17 - 19、1月26日、東北大学

Daisuke Mizuno, Non-Gaussian limit distributions out of truncated power-law interactions, One-day meeting on non-Gaussian fluctuation, 2016 feb 22, 京都大学基礎物理学研究所 国際ワークショップ 招待

H. Ayade, I. Zaid, and D. Mizuno, Truncated Levy Fluctuations Induced by Myosin Molecular Motors, Mini-workshop on non-Gaussian fluctuation, February 22, 2016, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金 (新学術領域)、計画研究
非熱的に駆動されたバイオマターの非平衡動力学
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (B)

マルチビーム3次元マイクロレオロジー顕微鏡の開発とそのソフトマターへの応用
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究

エキゾチックコロイド系の新規時空間構造の研究
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (B)

フィードバックマイクロレオロジーによる細胞力学の観測
研究代表者：水野大介

文部省科学研究費補助金 (新学術領域)、公募研究

力と力学特性による細胞競合メカニズム
研究代表者：水野大介

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (C)

アクティブなゆらぎ環境下での生体分子モーターキネシンの1分子運動解析
研究代表者：有賀隆行

文部省科学研究費補助金、若手研究(B)

コロイド分子の自己組織化

研究代表者：岩下靖孝

文部省科学研究費補助金、若手研究B

自発的に「泳ぐ」液滴：パターン形成による運動機能獲得

研究代表者：江端宏之

文部省科学研究費補助金、若手研究B

粉粒体での相分離と対流のクロストーク：散逸粒子系の非平衡物理

研究代表者：稲垣紫緒

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

武田科学研究助成

人工骨細胞ネットワークにおける力学刺激情報伝達過程の解析

研究代表者：水野大介

内藤記念科学振興財団

力学刺激を検出することで自らを作り変える人工骨システムの開発

研究代表者：水野大介

池谷科学技術振興財団

パッチ粒子のナノ秩序構造を利用した新規プラズモン材料の創製

研究代表者：岩下靖孝

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択(学外からの受け入れを含む)

他大学での研究と教育

水野大介：東京大学で集中講義を行った。

学部4年生卒業研究

大石 隼道：(指導教員、木村康之)：回転ドラムによる粉粒体の分離現象

小池 涼太郎：(指導教員、木村康之)：多角形粒子による Pickering Emulsion
高田 哲弘：(指導教員、木村康之)：液晶電気対流パターンの3次元観察
吉原 公貴：(指導教員、木村康之)：遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎのマイクロレオロジー計測
荻原 僚：(指導教員、水野大介)：micro-rheology 計測に用いるずり場印加装置の開発
梅田 勝比呂：(指導教員、水野大介)：細胞のマイクロレオロジー
棚町 昂平：(指導教員、水野大介)：平衡ゲルにおける非ガウス揺らぎの数値解析
中島 昂：(指導教員、水野大介)：3次元レーザーインターフェロメトリー

修士論文

河村 隆弘：(指導教員、木村康之)：外場下でのネマチックコロイド間相互作用
栗原 喬：(指導教員、木村康之)：遊走微生物懸濁液における非平衡揺らぎの統計分布

外国人留学生の受け入れ

Heev Ayade (水野大介)
Lara Gay Villaruz (水野大介)
Francis van Esterik (短期 3ヶ月 水野大介)

学外での学会活動

散乱研究会運営委員 (木村)
ソフトマター研究会運営委員 (木村)
日本物理学会代議員 (木村)

その他の活動と成果

高校生体験入学講師 (3月、岩下)
山口県立徳山高校出前講義(稲垣紫緒)

複雑流体

研究室構成員

鴫田昌之 教授

前多裕介 准教授

《 博士研究員 》

Ziane Izri 山下祐太郎

《 大学院 修士課程 》

清田翔 辻章太郎 福山達也

《 学部 卒業研究生 》

王鵬 上瀧守 中倉好晴 樋口福永

野上晋平

担当授業

基幹物理学 1B (鴫田)、自然科学総合実験 (鴫田)、物理学概論 B (前多)、基礎物理学実験・同演習 (鴫田、前多)

研究・教育目標と成果

1. ゲル・界面活性剤の物理学 (鴫田)

・ 山下祐太郎：高分子三成分系の相挙動

分子量の異なるポリエチレングリコールがゼラチンの相挙動に及ぼす影響を実験的に研究した。

・ 清田翔：非イオン性界面活性剤の相図

代表的な非イオン性界面活性剤であるトリトンの相挙動を実験的に解明した。

・ 辻章太郎：単一泡の寿命

単一泡の寿命に関する統計的な性質を実験から明らかにした。

2. 非平衡輸送現象の物理学 (前多、福山)

温度勾配下で分子が輸送される現象 (Soret 効果) は非平衡系の物理学の中心課題の一つである。Polyethylen glycol (PEG) 高分子溶液中の温度勾配下では、Soret 効果と二次的な PEG 濃度勾配による拡散泳動の競合により輸送される分子の空間分布に様々

なパターンが現れる「非平衡クロス効果」が知られている [1]。しかし従来の研究は静的な温度分布の下での分子輸送を対象としたものがほとんどであり、変動する温度場の下で起こる輸送現象に関する研究は十分でない。本研究では、動く温度勾配下の非平衡クロス効果の実験的・理論的研究を行った。

実験においては PDMS チャンバーに PEG20000 水溶液を封入し、赤外線レーザー (波長 1480nm) を一定速度で円形スキャンし、動く温度勾配を実現した。すると温度勾配が動く方向とは逆向きに溶液の流れが生じることを見出した。レーザー スキャン速度を上昇させるにつれて流れの速度は増加を示すが、あるレーザー スキャン速度に達すると流れの速さが 10.5 $\mu\text{m}/\text{min}$ でピークをもつ。さらに熱源が速く動くようになると、流れの速度は減少をし続ける。このように我々が発見した流動減少は、熱源の移動速度に依存して特徴的な時定数で効果が最大となる共鳴的な現象であることがわかった。次に、動く温度勾配下の流動現象のメカニズムを解明するため理論モデルを構築した。その結果、流動がうまれる物理的機構とは、温度勾配の波が動くことで熱膨張・粘性変化・熱拡散の3つの効果のクロストークであることを明らかにした。今後、理論と実験の定量的な比較を行い、我々の理論モデルの妥当性を検証する予定である。さらに、本手法を利用することで、マテリアルの電磁気学的な性質に依存しない分子操作法・分子整流法の開発が期待できる。こうした応用技術への展開も行ってゆく予定である。

3. 非平衡輸送現象と生命の起源に関する研究 (前多、野上)

細胞は遺伝情報を DNA や RNA の塩基配列にコードし、自己複製によって増殖する。では、いったいどのように太古の地球において、長大な遺伝情報を保持する DNA はどのように形成されたのだろうか。平衡系の酵素反応による DNA 連結反応では、長大な分子が出現する確率は指数関数的に減衰してしまう。したがって、組織化された集合体が形成されるには単量体分子が濃縮されていることが要求される。これは「生命の起源の濃度問題」と呼ばれ、生命システムの誕生には平衡系を離れ、分子の拡散を凌駕する非線形・非平衡なプロセスが必要であることを示唆している。

この濃度問題を解決するために本研究では、熱水系に類似する温度勾配をもつ非平衡環境を実験室内に構築し、温度勾配下の DNA や RNA の分子輸送に関する研究を通じて、生命の起源の濃度問題を物理的なアプローチで解消する研究を行った。高分子 PEG が含まれる溶液中に温度勾配を形成すると、DNA が長さ依存的に濃縮され、空間パターンをも形成することを発見した。とくに、温度勾配下でおこる分子濃縮が二重らせん構造すなわち遺伝情報をもつ DNA や RNA で特に増強されることから、自然

界にありふれる温度勾配が遺伝情報をもつ分子を選別する機能をもつ実験的証拠を与えた。非平衡系で起こる分子輸送現象をもたらす秩序形成が、分子の選別と重合反応の増大の2つの機能を担い、生命の起源の濃度問題を解消に導く可能性を示唆している。今後、分子が選別・濃縮される秩序形成と酵素反応・化学反応によるDNA伸張との関係を明らかにすることが課題であり、現在も高感度DNA定量測定を併用しながら解析を進めている。

4. アクティブマターの物理学（前多、樋口）

鳥や魚、細胞のようにエネルギーを費やしながら持続的に動く粒子をアクティブマターとよぶ。個々のアクティブマターの動きは無秩序でありながら、集団となると渦のように統率された集団運動を示す。アクティブマターの代表例はロッド形状をしたバクテリアであり、メソスケールの乱流や巨大数揺らぎなど、集団運動に関する統計的性質を解明する良いモデルとなっている。ところが近年、枯草菌 *Bacillus subtilis* を円柱状の油中水滴に封入すると、乱流様のパターンではなく境界に沿う規則的な渦運動を示すことが報告された [H. Wioland, et al. PRL 2013]。アクティブマターと壁の配向が大域的なパターンを誘導することは、秩序形成のメカニズムを理解する上で重要な知見をもたらすと考えられる。しかし、実験系の制約から境界形状は円柱・球に限定され、その大きさも制御できないという課題がある。本研究では、境界形状を自在に設計する微細加工技術を開発し、円や球に限らない様々な拘束条件下での集団運動について解析を行った。

バクテリア大腸菌 *Escherichia coli* の直進性変異体 RP4979 を薬剤処理し、細胞間のネマチック相互作用を制御する新規の系を構築した。さらに、表面処理を施した Polydimethyl siloxane チャンバーの微小容器内にバクテリア懸濁液を封入する手法を確立し、花型の境界形状をもつ微小容器内での集団運動を PIV (Particle Image Velocimetry) から解析を行った。その結果、回転集団運動が対をなした渦ペアが形成されること、渦の回転方向が同じ向き・反対向きの渦ペアが出現することが明らかとなった。また、渦が3つ形成されるフラストレートされた条件下では1つの渦が分裂し、小さな渦に分裂する「ミニ渦ペアの形成」が起こることが観察された。最後に、渦ペア形成をもたらす要因を明らかにするため自己駆動ロッドの数値計算を行った結果、密度揺らぎと局所的な境界形状が渦ペアの制御に重要な役割を果たすことを見出しつつある。今後、1つ1つの細胞を蛍光顕微鏡で可視化することで方向秩序を定量的に計測し、アクティブマターの理論モデルとの比較を詳細に行う予定である。

5. 人工細胞の合成生物学（前多、Izri）

“ There ’ s plenty of room at the bottom (原子分子スケールには情報を蓄える広大な地がある)” は今世紀最大の科学的挑戦の始まりの言葉である。我々は、目に見えない物質のスケールにまで工学を落とし込んだとき、「自然を模倣する」ことが最適な戦略であることに気づく。本研究の狙いは、原始的な生命がいかにして誕生したのかを明らかにするため、ミクロンサイズのリン脂質ベシクルの形態を持ちながら、自らを複製する能力を持つミニマム細胞を構築することにある。ミニマム細胞とは、現実の細胞を模倣しながらも、可能な限り単純な仕組みで動作する人工物を意味する概念である。バクテリアは内部の染色体 DNA にコードされた情報に従い、多様な分子を絶え間なく産生する精密機械である。分子にプログラムされた自律的な活動を支え、生物らしさの根源となるのは「自らをコピーする事で増殖する」自己複製能力である。この自己複製を行う「最小要素からなる人工細胞」を構築することで、生命システムの設計原理を明らかにすることが本研究の目標である。

このような目標を達成するためには、新たな技術開発が必要となる。本年度はマイクロ流体デバイスを用いて、リン脂質ベシクルに最小限の構成要素となるタンパク質群を封入するあらたな手法の開発を行った。5~10 ミクロンサイズのマイクロウェルを平面脂質二重膜でシールし、無細胞転写翻訳の遺伝子発現を行うマイクロ流体デバイスを作成する。このマイクロウェルを光硬化性 SU-8 フォトレジストを用いて構築する手法を検討し、脂質分子など界面活性剤でシールするプロトコルを開発した。さらに、無細胞転写・翻訳系における遺伝子発現を行う予備的実験を行い、試験管内での遺伝子発現が正常に動作することを確認した。今後は、細胞分裂の機能を担う遺伝子群である FtsZ, MinD, MreB とその関連遺伝子をマイクロウェル内で発現する無細胞遺伝子発現を行い、細胞分裂現象の再構成実験とその理論モデルの解析を行って行く予定である。

なお、本研究は Human Frontier Science Program の下、Vincent Noireaux 教授 (Minnesota University) との共同研究として行われたものである。

発表論文

《 原著論文 》

1. Takuya Ohmura, Masatoshi Ichikawa, Ken-ichiro Kamei, and Yusuke T. Maeda. Oscillation and collective conveyance of water-in-oil droplets by microfluidic bolus flow. Applied Physics Letters 107, 074102 (2015)

2. Tatsuya Fukuyama, Ariko Fuke, Megumi Mochizuki, Ken-ichiro Kamei, and Yusuke T. Maeda.

Directing and boosting of cell migration by entropic force gradient in polymer solution. *Langmuir* 31, 12567-12572 (2015)

3. Midori Fujiki, Masayo Ito, Kell Mortensen, Shintaro Yashima, Masayuki Tokita, and Masahiko Annaka, Friction coefficient of well-defined hydrogel networks. *Macromolecules*, 49, 634-642 (2016)

《その他の論文》

Evolutionary simulations of autopoietic cells with cognition:

Hiroataka Matsufuji, Osamu Narikiyo

arXiv:1512.08310.

A Diagrammer's Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: Supplement. Hall Conductivity of Dirac Fermion: Linear Response:

Osamu Narikiyo

arXiv:submit/1520944.

著書

翻訳

自然世界の高分子 -物理現象から生命の起源まで- 原書名 : 'Giant Molecules' -Here, There, and Everywhere- 監訳 : 田中基彦, 鵜田昌之, 翻訳 : 坂上貴洋, 藤原慶, 柳澤実穂

講演

《国内での講演》

前多 裕介: 分子輸送から解く生命の起源 : 輸送・情報・構造の動的相関の解明と新たな分子操作技術の確立, JST さきがけ細胞構成第7回領域会議, 伊豆天城高原, 2015年7月14-15日.

前多 裕介: Trapping by an "entropic" force: from the origin of life to boosted cell migration, 熊本大学リエゾンラボ研究会 2015年7月8日. (招待講演)

前多 裕介: 分子輸送から解く生命の起源: 輸送・情報・構造の動的相関の解明と新たな分子操作技術の確立, JST さきがけ細胞構成第2回成果報告会, 東京大学, 2015年11月25日.

前多 裕介: 分子輸送から解く生命の起源: 輸送・情報・構造の動的相関の解明と新たな分子操作技術の確立, JST さきがけ細胞構成第8回領域会議, 八芳園, 2015年11月26-27日.

福山 達也、前多 裕介: 動的溫度勾配下における共鳴流動現象, 第121回日本物理学会九州支部例会, 九州工業大学, 2015年12月5日.

辻 章太郎、鵜田 昌之、前多 裕介: 単一泡の崩壊過程と寿命, 第121回日本物理学会九州支部例会, 九州工業大学, 2015年12月5日.

Yusuke T. Maeda: A physicist's approach to the origin of life: Non-equilibrium entropic force, NIG International symposium 2016: Quantitative biology, The University of Tokyo, 2016年1月10日. (招待講演)

福山 達也、前多 裕介: 動的溫度勾配下における非平衡クロス効果, 第71回日本物理学会年次大会, 東北学院大学, 2016年3月19-22日.

衛藤 貫太、樋口 福永、市川 正敏、前多 裕介: 配向制御によるバクテリア集団運動の相変化, 第71回日本物理学会年次大会, 東北学院大学, 2016年3月19-22日.

外部資金

《文部省科学研究費補助金以外の外部資金》

1. 前多裕介、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業さきがけ「分子輸送から解く生命の起源: 輸送・情報・構造の動的相関の解明と新たな分子操作技術の確立」(研究代表)
2. 前多裕介、光科学技術研究振興財団、研究助成「光を利用した分子操作技術による細胞の情報デコーディングの理解と制御」(研究代表)

3. 前多裕介、稲森財団、研究助成「リガンド濃度勾配の光制御技術を用いた細胞の非対称性の制御と理解」(研究代表)
4. 前多裕介、Human Frontier Science Program、研究グラント「Towards self-reproduction of protocells and minimal cells: Evolution versus engineering」(研究分担、代表: Vincent Noireaux (Minnesota Univ.))

学部4年生卒業研究

- 王鵬 (指導教員: 鵜田): 電場下におけるゲルの挙動
上瀧守 (指導教員: 鵜田): 相分離したゲルの構造と物性
中倉好晴 (指導教員: 鵜田): ゼラチンのゲル化に及ぼすテトラエチレングリコールの影響
樋口福永 (指導教員: 前多): 境界形状が誘起するアクティブマター集団運動
野上晋平 (指導教員: 前多): 温度勾配下の輸送現象の実験的研究

修士論文

- 清田翔 (指導教員: 鵜田) 非イオン性界面活性剤の相挙動
辻章太郎 (指導教員: 鵜田) 音圧印加から探る泡の寿命の現象論的理解

その他の活動と成果

前多 裕介: 高校教員へのリカレント教育講座, 2015年8月10日.

前多 裕介: 非平衡物理学から探る「生命とは何か?」, 高校生のための体験入学, 2016年3月26-27日.

客員准教授

コペンハーゲン大学 准教授 御手洗菜美子

物性基礎論分野で、今年度から御手洗菜美子氏（コペンハーゲン大学ニールスボーア研究所准教授）が、来年度までの2年の予定で、客員准教授に着任している。今年度は3月14日から18日まで来ていただき、教室談話会をしていただいた。また、3月14日には理学部・理学府の女子学生との懇談会を開催した。

文責：中西秀

平成27年度教職員一覧

研究グループ	教授	准教授	助教
素粒子理論	鈴木博 原田恒司+++	大河内豊+++ 小島健太郎+++	奥村健一 田尾周一郎+++
理論核物理	八尋正信	清水良文	松本琢磨
宇宙物理理論	橋本正章		山岡均 町田真美 小野勝臣
素粒子実験	川越清以	東城順治 吉岡瑞樹*	織田勸 末原大幹 音野瑛俊*
実験核物理	野呂哲夫 森田浩介	若狭智嗣 寺西高	藤田訓裕 坂口聡志
物性理論		吉森明	松井淳
統計物理学	中西秀	野村清英 御手洗菜美子+	坂上貴洋
凝縮系理論		河合伸 成清修	
磁性物理学	和田裕文	光田暁弘	
量子微小物性	渡部行男		荒井毅++
固体電子物性	木村崇		山田 和正 大西 紘平 胡少杰**
光物性		佐藤琢哉	
低次元電子物性	矢山英樹+++		
複雑物性基礎	木村康之	水野大介	岩下靖孝 稲垣紫緒
複雑流体	鵜田昌之	前多裕介	

+客員 ++准助教 +++基幹教育院 *RCAPP **量子ナノスピン物性研究センター

技術職員	原子核実験室 岩村龍典 極低温実験室 上田雄也 吉松洋
------	--------------------------------

平成27年度各種委員

(○は委員長)

部門長・学科長・専攻長：橋本

副部門長：木村(崇)，森田

将来計画委員：○川越，鈴木，木村(康)，木村(崇)，橋本，中西

教育課程委員：○鈴木，鴫田，八尋，橋本，清水，河合、若狭，水野，河合，松本，藤田

入試委員会委員長(全ての入試関連委員会の統括)：中西

助の会幹事：大西

百年史：八尋，○中西，八尋，松井

社会連携委員：○渡部

キャンパス移転：木村(康)

奨学金資格検討委員：○森田，木村(崇)，吉森，和田

経理委員：○野呂，木村(康)

業績評価部会：○木村(崇)，水野

就職・成績管理担当：○森田，和田，寺西

図書：○成清，寺西

情報委員会：○清水，寺西，野村，成清，山岡

支線LAN管理者：山岡，清水

広報委員：○若狭，吉岡，河合，末原

大学院説明会：○光田，奥村

年次報告担当：○渡部，河合

談話会：渡部

教員積立会計：吉森

教員免許更新講習：○渡部，野村

体験入学・入学オリエンテーション実施委員：○吉岡，水野，岩下，山田，荒井

未来の科学者：○鴫田，渡部，吉森

理学部便り編集委員：坂上

学生生活・修学相談員：吉森，坂口

ハラスメント関連支援室：○中西，若狭，吉森，町田

H27 年度 物理学教室談話会

世話人 渡部行男

第1回教室談話会

講演題目：長瀧天体ビッグバン研究室が目指すサイエンス

講師：長瀧 重博 氏（理化学研究所・准主任研究員）

日時：7月2日（木） 16：30～17：30

場所：物理第一会議室（2154室）

第2回教室談話会

講演題目：細胞はフワフワなベッドが大好き

～基質の軟らかさがもたらす細胞集団の協調性～

講師：芳賀永氏（北海道大学 大学院先端生命科学研究院 先端融合科学研究部門・教授）

日時：7月14日（火） 17：00～18：00

場所：物理学科第一会議室（2154室）

第3回教室談話会

講演題目：「電子散乱による短寿命不安定核の内部構造研究

－世界初の不安定核専用電子散乱実験施設での研究と展望－」

講師：須田 利美 氏（東北大学・電子光物理学研究センター・教授）

日時：7月30日（木） 16：00～

場所：物理第1会議室（理学部2号館2154号室）

これより前、箱崎キャンパス、これより後、伊都キャンパスで開催

第4回物理学教室談話会

講演題目：ニュートリノ振動：T2K実験から ハイパーカミオカンデへ

講師：中家 剛氏 京都大学大学院 理学研究科・教授

日時：11月9日（月） 16：30～17：30

場所：物理学科 第二講義室（W1-B-212室）

第5回教室談話会

講演題目：“Complex dynamics of single polymers”

講師：Enrico Carlon 氏（Institute for Theoretical Physics, KU Leuven, Belgium）

日時：平成27年11月17日（火）15:00～16:30

場所：物理会議室（ウエスト1号館A棟7階711号室（W1-A-711））

第6回 物理教室談話会

講演題目：極冷ミュオンビームを用いたミュオン $g-2$ /EDM 精密測定

講師：三部 勉氏 高エネルギー加速器研究機構・准教授

日時：12月14日（月）16:30～17:30

場所：物理学科 第二講義室（W1-B-212室）

第7回 物理教室談話会

講演題目：「重いクォークを含むハドロンのスペクトロスコピー」

講師：岡 真氏（東京工業大学・教授）

日時：12月15日 16:00～17:30

場所：W1-A-723 物理セミナー室3

第8回教室談話会

講演題目：「Strong CP problem and axion on the lattice」

講師：北野 龍一郎氏（高エネルギー加速器研究機構・教授）

日時：1月14日（木）16:30～18:00

場所：W1-A-723 物理セミナー室3

第9回教室談話会

講演題目：「スピントロニクス材料の界面電子状態と電気伝導の理論研究」

講師：三浦良雄 氏（京都工芸繊維大学・准教授）

日程：1月27日（水）16:00 - 17:30

場所：九州大学理学部物理学科 物理セミナー室1

（ウエスト1号館A棟7階701号室）

第 10 回物理談話会

講演題目：「コヒーレント制御の基礎と応用」

講師：香月浩之 氏（奈良先端科学技術大学院大学・准教授）

日程：2月2日(火) 17:00 ~ 18:00

場所：九州大学理学部物理学科 物理セミナー室 1
(ウエスト 1 号館 A 棟 7 階 701 号室)

第 11 回物理学教室談話会

講演題目：Multi-reflection time-of-flight Mass spectrographs for Superheavy Elements

講師：Dr. Peter H. Schury（高エネルギー加速器研究機構 KEK、素粒子原子核研究所 和光原子核科学センター・助教）

日時：2月9日 15:20~

場所：物理教室第 2 セミナー室 W1-A722

第 12 回 物理学教室談話会

講演題目：「超弦理論で物性を解く」

講師：橋本 幸士氏（大阪大学・教授）

日時：2月18日（木） 16:30 ~ 18:00

場所：ウエスト 1 号館 B 棟 2 階 212 講義室 H26 年度

第 13 回 物理学教室談話会

講演題目：Population dynamics of phage and bacteria in spatially structured habitats using Phage lambda and Escherichia coli

講師：Namiko Mitarai (Niels Bohr Institute, University of Copenhagen)

日時：3月15日（火） 13:00 より

場所：W1-B 211 号室（九州大学伊都キャンパス West 1 号館 B 棟 2 階）

H27 年度 物理学教室水曜木曜談話会

世話人 渡部行男

全て伊都キャンパスで開催

H27 年度第 1 回物理学教室 水曜談話会

講演題目： J-PARC における素粒子物理実験

講師：吉岡 瑞樹

日時：2015 年 11 月 4 日（水） 16：30 - 17：50

場所：W1-B-212

H27 年度第 2 回物理学教室 水曜談話会

講演題目：アクティブな生体ソフトマターにおける非ガウスな非平衡揺らぎと
非線形・非アファインかつガラス的な力学応答の
マイクロレオロジー研究

講師：水野 大介

日時：2015 年 12 月 25 日（金） 16：30 - 17：50

場所：W1-B-212

2015年度 物性基礎論コロキウム開催一覧

第一回 (2015年4月14日)

御手洗 菜美子 (Niels Bohr Institute)

"Foodweb assembly rules"

第二回 (2015年4月28日)

Shiwani Singh (統計物理学)

"Lattice Fokker Planck Method for Complex Fluids"

第三回 (2015年5月12日)

岡本 清美 (芝浦工業大学)

"Diamond-type Quantum Spin Chain --- Theory and Experiment"

第四回 (2015年5月26日)

坂上 貴洋 (統計物理学)

"Driven anomalous diffusion: A model for chromosome segregation?"

第五回 (2015年6月9日)

設楽 恭平 (統計物理学)

"Electrorheological Behavior of Binary Fluid"

第六回 (2015年6月23日)

近藤 洋一郎 (統計物理学)

"On Spinning Toys"

第七回 (2015年7月7日)

山田 一雄 (物性理論)

"Thermal response in driven diffusive systems" (論文紹介)

第八回 (2015年10月2日)

谷本 博一 (Jacques Monod Institute)

"A positioning problem in the cell"

第九回 (2015年10月20日)

- 野口 慎平 (物性理論)
「不合理が導く公正な世界」
- 第十回 (2015年11月10日)
原 諒平 (物性理論)
「枯渇剤の非平衡効果を考慮した枯渇効果」
- 第十一回 (2015年11月17日) (兼: 第5回教室談話会)
Enrico Carlon (KU Leuven)
"Complex dynamics of single polymers"
- 第十二回 (2015年11月24日)
Mathias Heltberg (Niels Bohr Institute)
"Entrainment in NF-KB network"
- 第十三回 (2015年12月8日)
山北 知史 (物性理論)
「溶質の大きさと溶液の粘度」
- 第十四回 (2016年1月8日)
井上 雅郎 (物性理論)
「二流体モデルのコロイド溶液への応用」
- 第十五回 (2016年1月19日) (複雑物性と合同開催)
末松 安由美 (物性理論)
「枯渇効果による結晶化と有効ポテンシャル」
- 第十六回 (2016年2月2日)
中西 秀 (統計物理学)
"Jamming in the tensile field"
- 第十七回 (2016年3月1日)
野村 清英 (統計物理学)
"Extension of Lieb-Schultz-Mattis theorem II"

第十八回 (2016年3月15日) (兼: 第13回教室談話会)

御手洗 菜美子 (Niels Bohr Institute)

"Population dynamics of phage and bacteria in spatially structured habitats using Phage λ and *Escherichia coli*"

平成 27 年度九大原子核セミナー開催一覧

第 925 回 2015 年 6 月 3 日 (月)

講師：中村 純 (大阪大学 RCNP)

演題：道具としての格子 QCD シミュレーション

第 926 回 2015 年 8 月 5 日 (水)

講師：蓑茂 工将 (大阪大学 RCNP)

演題：ノックアウト反応で観測するカイラル有効場理論 3 核子力の効果

第 927 回 2016 年 2 月 3 日 (水)

講師：吉田 賢市 (新潟大学)

演題：Proton-neutron pairing in spin-isospin responses

第 928 回 2016 年 2 月 18 日 (木)

講師：河野 通郎 (大阪大学 RCNP)

演題：カイラル有効理論による核力のつくり方

第 929 回 2016 年 2 月 23 日 (火)

講師：緒方 一介 (大阪大学 RCNP)

演題：量子散乱理論への招待 —見えない世界をどう描くか?—

第 930 回 2016 年 3 月 2 日 (水)

講師：肥山 詠美子 (理化学研究所仁科加速器センター)

演題：少数多体系物理の最前線

平成27年度非常勤講師一覧

講師	所属	題目
入佐正幸	九州工業大学	生物物理学
橋本幸士	大阪大学	素粒子理論特別講義
岡 真	東京工業大学	ハドロンスペクトロスコピーの最近の進展
長瀧重博	理化学研究所	天体ビッグバン現象理論
中家剛	京都大学	ニュートリノ物理学の進展
須田利美	東北大学	電子散乱による不安定核構造研究
三浦良雄	京都工芸繊維大学	磁性と電子構造
香月浩之	奈良先端科学技術大学院大学	超短パルス光が拓く量子波束の物理とその応用
芳賀永	北海道大学	細胞集団の力学的相互作用が生み出す協同現象とその科学方法論
北野 龍一郎	高エネルギー加速器研究機構	素粒子理論特別講義
三部勉	高エネルギー加速器研究機構	素粒子実験特別講義
Enrico Carlon	Institute for Theoretical Physics KULeuven, Belgium	Advanced Monte Carlo Methods
Peter Schury	理化学研究所	Precise mass measurements of unstable nuclei

平成 27 年度外国人研究者等受入記録

所属・職・氏名	国籍	受入の目的	受入期間	受入者
中国科学技術大学・教授・Wu Ming-Wei	中国	大学・部局間国際交流協定等推進事業	27 年 6 月 1 日～27 年 8 月 31 日	木村(崇)
ジャイピー工科大学・講師・Kumar Rajesh	インド	共同研究における素子作製・特性評価及び研究打合せ等	27 年 6 月 18 日～27 年 6 月 28 日	木村(崇)
ジャイピー工科大学・大学院生・Sarita	インド	共同研究における素子作製・特性評価及び研究打合せ等	27 年 6 月 18 日～27 年 6 月 28 日	木村(崇)
Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research・研究員・Shiwani Singh	インド	外国人訪問研究員（研究課題：高分子の統計物理学研究）	27 年 3 月 6 日～28 年 3 月 5 日	中西
サンカルロス大学 研究助手 JOHN PHILIP T. BILLONES	フィリピン共和国	共同研究および研究補助	27 年 12 月 1 日～27 年 5 月 29 日	水野
アムステルダム大学 フライ大学 博士課程学生 F. A. S. VAN ESTERIK	オランダ	共同研究	27 年 4 月 1 日～27 年 6 月 29 日	水野
中国科学技術大学・教授・Wu Ming-Wei	中国	EFP セミナー	28 年 2 月 29 日～28 年 3 月 7 日	木村(崇)
Sungkyunkwan University Assistant Professor Kyungyuk Chae	韓国	共同研究	28 年 1 月 11 日～28 年 1 月 14 日	寺西

2015 年度教育課程委員会活動報告

鈴木 博

2016 年 4 月 1 日

委員会メンバー：

- 委員長：鈴木
- 副委員長：八尋、鵜田
- 時間割・シラバス：若狭
- 特研配属：清水
- コース分属：水野
- 学科 FD：水野
- 中期計画（教育関連）：河合、鈴木、八尋、鵜田
- アンケート：八尋、松本
- 3 年次学生実験：若狭、藤田
- 国際コース：鵜田
- 過年度生対応：鵜田

2015 年度の活動を大まかな時系列順に列挙すると以下のようである：

- 基礎学力調査
- 理学部（府）移転に関する授業・講義室調整
- 過年度生のコース分属認定と専攻科目の履修に関する（個別）指導
- 進学説明会における学科の特色資料作成
- 過年度生の物理専攻科目の受講許可ルール策定
- 編入生の単位認定
- FR の博士入試免除制度の変更
- 第 2 期法人評価に係る現況調査表（教育（理学部及び理学府））の作成（授業評価、評価結果のフィードバック、FD 活動、など）
- 研究倫理教育の実施
- 基幹教育科目に関わる 2 年次進級要件の確認
- 授業参観調整・実施
- 英語・外国語を取り入れた授業科目の設定案作成・調整

- 学部入学者に係る個人用パソコンの仕様の設定
- シラバス・ルーブリック作成に関する依頼
- 伊都キャンパス移転に伴う基幹科目との開講時限等の調整
- 学年担任・アドバイザーとの学生に関する情報共有、成績不振の学生への個別履修指導
- 各種調査（国費外国人留学生への個別入試の有無など）に対する回答
- 入学後の成績として調査する対象科目の設定
- 過年度生の進級判定・コース分属
- 次年度の講義担当希望調査、原案作成および調整
- 交換留学の単位互換の認定作業
- 基幹教育カリキュラム改定に関する意見集約
- 授業アンケート実施・問題点への対応
- 障がいのある学生の修学支援実態調査
- 英文シラバスの記載確認
- 障がいのある入学志願者についての対応（理学部と入試課、基幹教育、キャンパスライフ健康支援センター等との協議）
- コース配属予備調査
- 外国の大学で履修した科目の取扱いに関する意見集約
- 修士論文ガイドラインの策定
- 学外非常勤講師授業計画作成
- 次年度進級・新入生・編入生ガイダンス計画
- コース配属
- 理学研究院との共催 FD「伊都キャンパスにおける学生生活・学科活動と人間関係」（宮原里依子氏）実施
- 「生物物理学」基本シラバス策定
- 授業科目の E/J 科目、E/E 科目設定案作成
- 「GPA2.0 を卒業の目安とする」点に関する対応の議論
- FD「Some Thoughts on Elite Education in the Age of Informatization」（Ming-Wei Wu 氏）開催
- 次年度理学部・理学府履修の手引きの確認作業
- クォーター制への対応の協議の開始

教育課程委員会が今後特に注意すべき課題としては、従来の業務以外に、2017 年度からのクォーター制への移行に関する制度改定、障がいのある学生への合理的配慮への対応、また 2018 年度からの国際コースの導入への対応などが挙げられる。

平成27年度 物理学部門ファカルティ・ディベロップメント報告

「伊都キャンパスにおける学生生活・学科活動と人間関係」

開催日時： 1月 7日（木） 午前 10:30 -

開催場所： 理学研究院 大会議室 W1-C-408

物理学部門では、大学院理学研究院・大学院理学府・理学部の中期目標・中期計画を軸にファカルティ・ディベロップメントを行ってきた。ただし、本年度は、理学研究院が郊外の伊都キャンパス移転したためにことに伴い、所属する学生・職員の生活や人間関係等にこれまでに無い困難や問題が発生する可能性を勘案し、「伊都キャンパスにおける学生生活・学科活動と人間関係」をテーマにファカルティディベロップメントを行った。当該テーマは、物理学部門所属の教員が必ずしも豊富な経験や専門的知識を有していない問題でもある。そこで理学研究院カウンセリングルームの専門家を招き、その豊富な経験に学びつつ、こうした支援環境の利用や日常的な活動に関する理解を深めることとした。

当日は、理学研究院カウンセリングルーム相談員である宮原里依子氏が、「理系の学生、職員の生活や人間関係について」約1時間講演を行った。講演は3部構成（新キャンパスへの移行と生活、ハラスメントの基礎知識、学生の不適應のタイプと学生相談）であり、各テーマ毎に質疑応答が行われた。

上記に関する報告書（講演のスライド試料、議事的全記録が集録されている）を作成し、講演と議論の詳細をそこに記した。尚、今回の物理学部門FDは、研究院長からの要請により、理学研究院との共催として他部門の教職員も参加して開催された。

さらに、次項の教育の質向上支援プログラム（EEP）セミナー1件を物理学科FDとして開催した。

EEP Program Seminar / 物理学部門 FD

日時：2016年3月2日(水) 午後4時から

場所：ウエスト1号館 B-211 号室

講師：Prof. Dr. Ming-Wei Wu

<http://wu.ustc.edu.cn/~mwu/>

Title : Some Thoughts on Elite Education in the Age of Informatization

Abstract :

In this talk, I will share with you my worry and thinking in face of the current challenges in elite education we (Eastern Asia) are encountering. I face these challenges almost every day in my teaching in China as well as in my teaching last year in Kyushu University. I try to understand these challenges by comparing our unique culture with Christian culture and would like to discuss with you the possible strategy to overcome the challenges.

平成 27 年度 入学者数と卒業生数

	入学者数	卒業生数
物理学科	6 6	6 8
物理学科 3 年次編入	5	—
修士課程 (物理学専攻)	4 3	3 9
博士課程 (物理学専攻)	7	博士学位取得者 4

2015 年度の就職・進学状況

2015 年も昨年に引き続いて求人は増えており、経済の回復基調が感じられる年度であった。しかし今年はいままでと異なって企業と学生の接触が3月からとなり、また企業の入社選考が8月1日開始になった。このため学生だけでなく企業も戸惑うところが多く、お互い手探りで就職活動になった。これに伴って学校推薦の取り扱いがややこしくなった。企業によっては8月1日以前に学校推薦を求めてくるところがあり、それを発行すると、学生を縛ってしまう可能性がある。そこで物理学科（専攻）では学校推薦の発行は8月1日以降とした。後で聞いたところでは他学部、他専攻でもそのようにしたところが多かったようである。しかし会社によっては強く推薦を求めてくるところもあり、結局本人の了解があれば担当教員による教員推薦を発行することで対応した。またOBやリクルーターによる推薦を学校推薦と同じように考える企業があるなど大学側と認識が一致しないケースがいくつかあり、就職担当も学生も混乱した。来年度に向けて改善していくことが望まれる。例年物理学科（専攻）でおこなっているOBやリクルーターによる会社説明会は3月から4月にかけて行われた。修士の場合、OBやリクルーターによる会社説明会、あるいは九大で開かれる合同説明会等をきっかけとして会社面接に進む学生が多い。また今年には物理のメーリングリストで紹介した会社を就職先に選んだ学生が複数いたことも特徴である。

修士の進路・就職

今年度の修士2年生は37名で、休学中の1名を除くと全員が進学か就職かに決定した。内訳は博士進学4名、民間企業31名、独立行政法人2名であった。特徴は博士の進学が非常に少なかったことと、また教員になった人がひとりもいなかったことである。民間企業の主な就職先は、日立、三菱電機、ソニー、富士通、九州電力、ブリジストン、TOTO、東京エレクトロン、今治造船、NTTデータ、JR西日本、三菱総研、大和証券、明治安田生命保険などである。

博士の進路・就職

博士課程はD3で修了した人、それ以上在籍して修了した人、中途退学した人などさまざまであるが、就職先では気象庁に2名、理化学研究所のPDが1名、民間が1名であった。またD3のうち3人は2015年度末まで就職先は決まっていないが、これはD3の間は博士論文に集中して、博士号取得後に就職活動に専念しようとしているためである。

学部生の進路・就職

修士進学は45名（九大物理41名 他大学・他学府4名）、民間企業に就職5名、教員2名、留年、未定、その他が9名であった。

体験入学・公開講座報告

担当：吉岡瑞樹

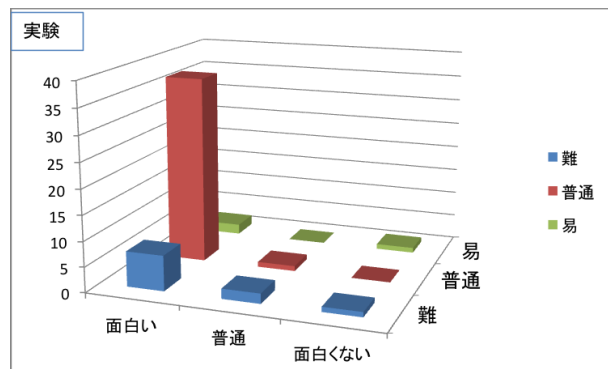
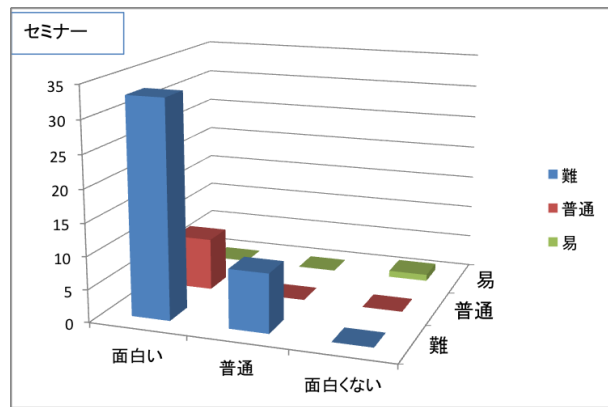
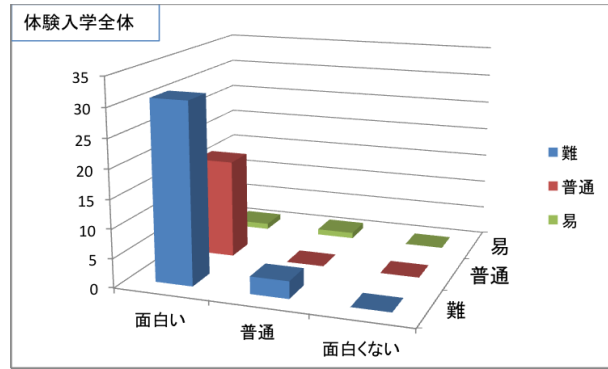
平成28年3月28日(月)～29(火)の2日間にわたって、「第19回体験物理学」を実施した。例年、春休みの期間に高校1・2年生を対象として3日間実施してきたが、アンケートで3日通うのは大変であるとの意見が多く寄せられたことから、7年前から期日を2日間に短縮して実施している。また、セミナー部分を公開講座として一般向けに広く解放し、大学への3年次編入を考えている高等専門学校生への説明会を兼ねている。例年と同様に、福岡県内の全ての高校と周辺県の有力高校に案内状を送り、参加者を募集したところ、65名の参加があった。また、一般向けの公開講座への申込者2名、高専生8名で、全体受講者数が70名を超えた。実際のセミナー・実験の内容、スケジュール、担当者は下記のプログラムに示す。体験入学参加者の住所は福岡を中心に、熊本、長崎、佐賀、鹿児島、山口など広範囲にわたっている。最終日に閉校式を行い、今後の改善のためにアンケートをお願いした。体験入学に2日間参加した高校生に対して全般の感想について聞いた結果を最後のグラフに示す。興味(面白いー普通ー面白くない)と難易度(難しいー普通ー易しい)について答えてもらい、各生徒がどの組み合わせで回答したかを集計したものである。全体のアンケートで、「面白くて難易度もちょうど良い」と「面白いが難しい」が多数であり、概ね好評であったと考えている。実験では「面白くて難易度もちょうど良い」が圧倒的に多く、「実験が楽しかった」という声も聞かれた。しかし、昨年度から引き続き特にセミナーにおいて「面白い一方、内容が難しい」という声がやや多くあるので、今後、改善の余地があると思われる。

	2016年3月28日(月)		2016年3月29日(火)
10:15～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	「非平衡物理学から探る 「生命とは何か？」 (前多准教授)	10:10～12:10	実験(A～Hから1テーマ)
12:00～13:30	昼休み	12:10～13:10	昼休み
13:30～14:20	「素粒子の謎」 (奥村助教)	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	「ビッグバン宇宙と超新星爆発」 (橋本教授)	13:20～15:20	実験(A～Hから1テーマ)
15:30～	解散	15:30～15:45	閉校式

【実験テーマ(担当者)】

- A. 物質を透過する粒子線(寺西 高)
- B. 極低温の世界(浅野 貴行)
- C. 超伝導を体験する(山田 和正)
- D. エントロピー：ゴムの伸び縮みを考察しよう(松井 淳)

- E. BZ 反応～化学反応が「振動する」～ (岩下 靖孝)
- F. 光の回折と波～波動の重ね合わせと高校・大学の数学～ (荒井 毅)
- G. 日用品を使った電磁力の実験 (坂上 貴洋)
- H. 身の回りの放射線を調べよう (藤田 訓裕)



平成27年度社会貢献活動報告

社会連携委員長 渡部行男

1) 高校訪問出前授業等の実施

以下各高校において、模擬講義もしくは理学部および物理学科の説明（入試状況、カリキュラム、就職状況等）を行った。

1 先端科学普及事業（高校への出張講義等）

1) 愛媛県立松山南高校

9月16日（水） 1～3年生対象 30名程度
野呂 哲夫 教授

2) 鹿児島県立鶴丸高等学校

10月23日（金） 2年生対象 40名程度（20×2）
鈴木 博 教授

3) 福岡県立糸島高等学校

10月29日（木） 2年生対象 30名程度
奥村 健一 助教

4) 鹿児島工業高等専門学校

12月9日（水） 4年生対象 20名程度
松本 琢磨 助教

5) 八女学院高等学校

3月25日（金） 1・2年生対象 50人程度
山岡均 助教

2) 理学部先端自然科学講演会 (中等教育理科担当教員のためのリカレント教育)

福岡県高等学校理科部会と合同で中高教育に携わる方々に対して、最先端の自然科学と科学技術の現状に関する講演会を開催した。

実施日：平成27年 8月 10日

物理学部門の講演は、佐藤琢哉 准教授 (光物性)、前多裕介准教授 (生物物理)、委員 渡部行男教授。

3) 先端科学体験事業 (体験物理学) 委員 吉岡瑞樹准教授 取りまとめ

実施日：平成28年 3月28日(木)～29(金)

対象：高校生，高専生

内容：大学での物理学を実験・実習とセミナーを通して2日間体験してもらう。

セミナー

「非平衡物理学から探る「生命とは何か？」

「素粒子の謎」

「ビックバン宇宙と超新星爆発」

【実験テーマ(担当者)】

A. 物質を透過する粒子線(寺西 高)

B. 極低温の世界(浅野 貴行)

C. 超伝導を体験する(山田 和正)

D. エントロピー:ゴムの伸び縮みを考察しよう(松井 淳)

E. BZ 反応～化学反応が「振動する」～(岩下 靖孝)

F. 光の回折と波～波動の重ね合わせと高校・大学の数学～(荒井 毅)

G. 日用品を使った電磁力の実験(坂上 貴洋)

H. 身の回りの放射線を調べよう(藤田 訓裕)

	3月28日(月)		3月29日(火)
10:15~11:00	開校式	10:00~10:05	実験の注意
11:10~12:00	「非平衡物理学から探る「生命とは何か？」 (前多准教授)	10:10~12:10	実験(A~Hから1つ)
12:00~13:30	昼休み	12:10~13:10	昼休み
13:30~14:20	「素粒子の謎」(奥村助教)	13:10~13:15	集合
14:30~15:20	「ビックバン宇宙と超新星爆発」(橋本正章教授)	13:20~15:20	実験(A~Hから1つ)
		15:30~15:45	閉校式

4) 公開講座 現代物理学入門

実施日：平成28年 3月28日(月)

内容：3)のセミナーについては一般の方々に対する講座として公開した。

5) 未来の科学者養成講座「エクセレント・スチューデント・イン・サイエンス 育成プロジェクト」(JSTの委託事業)

委員 嶋田昌之 教授 渡部行男 教授 吉森明 准教授

平成25年9月~平成26年3月 毎月第2、第4土曜日に、本部門名誉教授等により、理学部で行った。

また、公開講演会(平成27年11月7日(土))で、本物理学専攻博士後期課程野口朋寛氏が

<ソフトマターの世界~身近な世界の後ろ側~>を理学部で講演した。