

物理教室年次報告書
平成25年度

2014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25年度の研究テーマと成果	
素粒子理論	2
理論核物理	12
宇宙物理理論	39
素粒子実験	54
原子核実験	79
物性理論	93
統計物理学	102
凝縮系理論	109
磁性物理学	113
量子微小物性	122
固体電子物性	126
低次元電子物性	132
複雑物性基礎	136
複雑流体	153
客員教授	161
教職員一覧	162
各種委員一覧	163
物理学教室談話会	164
物理学教室水曜木曜談話会	166
物性基礎論コロキウム	168
九大原子核セミナー	170
非常勤講師一覧	172
外国人研究者等受入記録	173
教育課程委員会活動報告	174
物理学部門ファカルティ・デベロップメント報告	175
入学者数と卒業者数	176
就職・進学情況	177
体験入学・公開講座報告	178
社会活動貢献報告	180

はじめに

本報告書は物理教室と各研究室の2013年度の活動記録をまとめたものです。ここでは、物理教室全体に関わることを簡単に報告いたします。

まず教員の異動について報告します。4月に木村（崇）教授と森田教授が着任しました。さらに9月には鈴木教授と大西助教、10月には小野助教と末原助教が着任しました。4月に先端素粒子物理研究センターに着任した吉岡准教授（物理学部門助教から昇任）と音野助教は、物理教室の一員としても活動しています（理学府・理学部担当）。また、基幹教育院の大河内准教授も11月から理学府担当になりました。その一方で、浅野助教が年度末に福井大学准教授に転出されました。

招聘人事により着任した木村（崇）教授は着任早々基盤研究(S)を獲得して主幹教授となり、「量子ナノスピンの物性研究センター」を設置することになりました（2014年度から）。同主幹教授は2013年の日本学術振興会賞も受賞されており、今後の物性物理学講座の支柱としての活躍が期待されます。

理学研究院の中で物理学部門だけが2009年度から助教の任期制を採用しており、2012年度までに採用した方は最初の任期がくる1年前から再任審査を行なうことになっています（5年任期・再任1回）。今年度は初めて4名の助教の再任審査を行い、みなさん高い評価で再任が認められました。なお、労働契約法の改正を受けて、今年度採用された助教の任期は5年・再任不可になりました。しかし、その後労働契約法の特例改正法案が認められたことから、助教の任期制をもう一度見直すことになるでしょう。

私が九州大学に着任してから3年になります。その間にかかなりの教員が入れ替わり、講座・研究室の構成も大きく変化してきました。2014年度から基幹教育院が本格的に動き出します。そして、来年夏には、理学研究院が伊都キャンパスへ移転します。このような激動の時期にありますが、研究・教育の質をさらに高めていくよう、物理教室全体で励んでいきたいと考えております。

物理教室の情報は、ウェブサイトにもございますので、併せてご覧ください。

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

2014年3月

物理学部門 部門長 川越清以

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

奥村健一 助教

《 大学院 博士課程 》

久保幸貴 吉本一世 牧野広樹 水口拓也

《 大学院 修士課程 》

原田遼平 山口賢司 高橋京大 武田大典

森本光 米本隆裕

《 学部 卒業研究生 》

竹崎智之 藤山翔乃 藤山優一

《 訪問研究者 》

久保博史 井上研三 小島健太郎 (基幹教育院) 田尾周一郎 (基幹教育院)

豊田文彦

担当授業

物理学基礎演習 (奥村健一)、解析力学・同演習 (原田恒司・奥村健一)、量子力学II (原田恒司)、素粒子物理学 (鈴木博)、物理学特別研究I・II (奥村健一)、場の量子論 (原田恒司)、M1ゼミナール (原田恒司)

研究・教育目標と成果

超弦理論に置けるアハロノフボーム放射 (大河内豊)

超弦理論のコンパクト化によるスタンダードモデルの構成では、しばしばディスクリート対称性が付随する。最近の Banks-Seiberg による議論によれば、そうしたディスクリート対称性はゲージ化されている必要がある。その場合、関連して宇宙紐が生成され初期宇宙のコンパクト化の情報を拾い出せる可能性があることをアハロノフボーム効果を用いて示した。現在の観測結果を用いると、ある種のコンパクト化は許されない事を示した。

R-アクションと宇宙論的制限 (大河内豊)

準安定状態を用いた超対称性の破れのモデルは、近年注目されている。モデルの構成を容易にするうえに、現時点でのコライダーの実験結果とも矛盾しない。超対称性のモデルに特有の R 対称性に着目し、その破れに伴うソリトンが準安定状態の寿命に非常に重要であることを指摘し、既存のモデルに関しての制限を付けた。

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 実験において 125GeV の質量を持った Higgs 粒子らしき新粒子が発見された。一方で超対称粒子の兆候は見られず、その質量下限は 1TeV を越え始めた。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。昨年度に引き続き 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。昨年度の研究において、Higgs 粒子の質量を観測されている 125GeV まで上げることが出来る事、NMSSM 二重項と一重項の間の混合が自動的に抑制されることが数値計算の結果から明らかになっていたが、混合の抑制の物理的な背景が全く理解されていなかった。本年度の研究により、TeV scale mirage mediation においては NMSSM 模型がある極限でスケール変換に対する不変性をもっており、ヒッグス場が真空期待値を持つことによりこの不変性が破れることが理解された。つまり、ヒッグス粒子はこの対称性に対して擬南部ゴールドストーン場として振る舞うため一重項との混合はスケール変換を明示的に破る小さなパラメータにより抑制される。この混合の抑制のため標準理論型のヒッグス粒子以外のスカラー粒子は 200GeV 程度以下と軽いにも関わらず LHC から隠されたおり、国際リニアコライダー (ILC) による精密測定の方好の標的となる。本研究成果は昨年度の成果と共に現在論文にまとめており、出版までの最終段階にある。

TeV スケールミラージュ媒介模型への LHC による直接探索からの制限 (奥村健一、山口賢司)

TeV scale mirage 媒介模型は重い超対称粒子と軽いヒッグス粒子を少ない微調整により実現出来る希有な超対称性の破れの媒介機構であるが、LHC の直接探索実験によりどの程度制限されているかを調べた例は未だない。本年度はまず手始めとして既に ATLAS グループにより発表されている新粒子探索の解析結果を用いて模型の制限を求めた。解析は MadGraph を用いて数値的に TeV scale mirage 媒介模型の超対称粒子を含むイベントを生成し、ATLAS グループによって行われた missing transverse momentum とマルチジェットあるいは三本以上の b ジェットを要求した解析と全く同じカットをかけて生き残るイベント数を調べた。この解析により、第一、第二世代のスクォークが第三世

代と縮退した模型においては既にグルイーノ質量の下限が 2.2–2.3 TeV まで来ていることが分かった。これは電弱対称性の微調整パラメータとしては 5% 程度となる。第一、第二世代をグルイーノと縮退させた模型においてはグルイーノ質量の制限は 1.6 TeV 程度であり、まだ 10% 程度の微調整パラメータが許されていることが分かった。いずれの場合もマルチジェットが強い制限を与えている。

Holographic cold nuclear matter and neutron star (久保幸貴)

ゲージ/重力対応は(格子場の理論による数値計算を除いては、) ほぼ唯一の、摂動論に頼らないゲージ場の理論の解析手段である。そのためこれを用いた非摂動的な系、特に格子場の理論の数値計算では扱いが非常に困難となる有限化学ポテンシャルを持った強結合の低エネルギー領域 QCD など、の解析は特に興味深い研究対象である。我々は酒井・杉本模型という QCD に比較的近い性質を示すゲージ/重力対応の模型に希薄ガス近似を適用することで有限化学ポテンシャルを持つゲージ理論の有限バリオン密度相への相転移を発見した。また、その近似の下で有限バリオン密度相での状態方程式を求め、これを用いて中性子星の質量と半径を予言する方法を提案した。この方法により示唆された中性子星の質量は実際の数値よりも非常に小さく見積もられた。これは導入した希薄ガス近似も一因であるが、根本的には模型に現れるバリオン間の斥力ポテンシャルの弱さから来ていると考えられるため現行の模型では適切に現実の中性子星の物理を表すことは困難であることが分かった。

格子ゲージ理論におけるエネルギー運動量テンソルの新しい構成法とそれを用いた $SU(3)$ ゲージ理論の熱力学量の測定 (鈴木博)

格子ゲージ理論はゲージ場理論の非摂動的定式化として最もよく理解されているもので、これまで量子色力学への応用において特に大きな成果をあげて来た。格子ゲージ理論はゲージ対称性を厳密に保つ点にその特徴があるが、一方でその格子構造は並進、回転などのいわゆる時空対称性を壊してしまう。このことは、時空並進に対応したネーターカレントであるエネルギー運動量テンソル、またそれに付随した物理量を格子ゲージ理論において定義する際に問題となる。我々は、近年格子ゲージ理論の別の文脈で導入された Yang–Mills gradient flow という手法を利用することで、連続極限で自動的に保存する、正しく規格化されたエネルギー運動量テンソルを格子ゲージ理論において構成できることを指摘した。さらに、この構成法の一つの応用として、モンテカルロシミュレーションを用い有限温度 $SU(3)$ ゲージ理論の熱力学量(エネルギー密度、圧力、エントロピー密度など)を精度よく決定できることを示した。この方法は従来の方法に比べ非摂動的な繰り込みを必要としない点に特徴があり、今後さらなる応用が期待される。

フェルミオンを含んだ格子ゲージ理論におけるエネルギー運動量テンソルの新しい構成法 (鈴木博、牧野広樹)

ゲージ理論の非摂動的定式化である格子ゲージ理論は、その構造上、時空対称性（並進、回転、コンフォーマル、超対称性など）と極めて相性が悪く、このことが時空対称性に対応したネーターカレントやそれに付随した物理量を格子ゲージ理論で定義する際の問題となる。最近鈴木は、並進対称性を厳密に保つが摂動的にのみ定義される次元正則化での複合演算子と、並進対称性は壊すが非摂動的計算が可能な格子正則化での複合演算子を、Yang-Mills gradient flow という概念を媒介に関係づけるというアイデアをエネルギー運動量テンソルに適用した。このことで、連続極限で自動的に保存する、正しく規格化されたエネルギー運動量テンソルが格子ゲージ理論に対して構成される。この構成には gradient flow に従う場の演算子の繰り込みを摂動論の低次で評価する必要があるが、その計算は純ゲージ理論においてしか実行されていなかった。この研究では、この計算をフェルミオンを含む一般のベクトル型ゲージ理論で実行し、格子ゲージ理論におけるエネルギー運動量テンソルを gradient flow で与える具体的表式を得た。今後、量子色力学や多フレーバーゲージ理論などにおける時空対称性に関連した非摂動的物理に対して、この構成法が広く応用されると期待している。

非摂動的繰り込み群に基づく核子核子散乱の解析 (原田恒司)

低エネルギーの核子系の相互作用は、核子系有効場理論によって記述される。この有効場理論では、S波の相互作用を表す演算子の結合定数に非摂動的固定点が存在することが知られている。それゆえ、その解析的な計算においても、この非摂動的な性質を反映させる必要がある。我々は hybrid regularization と呼ばれる、パイオンの交換の相互作用と接触相互作用を区別する計算方法を開発し、それを用いて核子核子散乱の位相のずれを、NNLO のオーダーまで解析的に計算した。その表式に含まれる結合定数を、実験値に fit することで決定した。先行研究においては、このような取り扱いが有効場理論としての収束性の破綻をもたらすことが示されたが、我々は先行研究における問題点を指摘し、破綻が生じないことを示した。

P 波状態にある 2 つのフェルミオンと、質量の異なる 3 番目の粒子からなる系における束縛状態と Efimov 効果の繰り込み群による解析 (原田恒司、吉本一世)

Efimov 効果とは、2 体散乱の散乱長が無限大の極限で、3 体の束縛状態が、隣あう 2 つの束縛状態の束縛エネルギーが一定の比を持って無限個現れるという現象である。非摂動的有効場理論の繰り込み群による解析は、Efimov 効果のような現象に場の量子論的説明を与える点で非常に興味深い。有効場理論を用いた先行研究では、すべて dimer

とか dimeron と呼ばれる 2 粒子の伝播をあらわす補助場が用いられてきた。我々の前の論文では、3つの同種ボソン系に対して、補助場を用いない定式化を行ない、先行研究での誤りを正すとともに、Efimov 効果が有効場理論の低次の項に対する非摂動的繰り込み群のリミットサイクルとして現れることを示した。これを 2つのフェルミオンと、質量の異なる第 3の粒子からなる 3 体系に適用する研究を行なった。この系では、質量比によって、様々な状態が現れてくることが知られているが、我々の研究では、その臨界比が先行研究とは違っていることを示した。我々の値が正しければ、すでに実験的に観測可能かも知れない。

運動量依存分布関数を用いたレプトン数生成の解析 (水口拓也)

観測に基づいた考察から、現在の宇宙はバリオン数非対称な状況にあると考えられている。なぜこのような状況が実現されたかを説明可能なモデルの 1つとして、“レプトジェネシス”が先行研究において考案されている。このモデルは、現在存在が確認されているニュートリノがマヨラナ粒子であるとの前提を置くことにより、その質量が小さい理由を説明可能であるという特徴も含んでおり、理論的には非常に有望視されている。昨年度の研究内容は、レプトジェネシスのシナリオにおける非平衡過程の、ボルツマン方程式に基づく解析である。同様の研究は、これまでも他の多くの研究者によって為されてきている。しかしながら、多くの先行研究では、分布関数が熱平衡時の分布関数に比例するという非自明な仮定が用いられている。確かにそのような仮定を用いると、ボルツマン方程式が解析的に単純な形に変形でき、数値的に解き易い形になるのであるが、仮定の物理的な根拠はない。そのような解析方法とは対照的に、本研究においては、分布関数の運動量依存性は十分に考慮されている。現在は、ボルツマン方程式の衝突項に新たに散乱過程の寄与を含め、それらがレプトン数非対称の時間発展にどのような影響を及ぼすかを先と同様分布関数の運動量依存性を考慮して行っている。

発表論文

《原著論文》

Discrete gauge symmetry and Aharonov–Bohm radiation in string theory:

Yutaka Ookouchi,

Journal of High Energy Physics, **1401** (2014) 049

More on cosmological constraints on spontaneous R-symmetry breaking models:
Yuta Hamada, Kohei Kamada, Tatsuo Kobayashi, Yutaka Ookouchi,
Journal of Cosmology and Astrophysics, **P01** (2014) 024

Holographic cold nuclear matter and neutron star:
Kazuo Ghoroku, Kouki Kubo, Motoi Tachibana, Fumihiko Toyoda,
International Journal of Modern Physics A, **29** (2014) 1450060

Thermodynamics of $SU(3)$ Gauge Theory from Gradient Flow:
Masayuki Asakawa, Tetsuo Hatsuda, Etsuko Itou, Masakiyo Kitazawa, Hiroshi Suzuki,
arXiv:1312.7492

Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow—inclusion of
fermion fields:
Hiroki Makino, Hiroshi Suzuki,
arXiv:1403.4772, to appear in Progress of Theoretical and Experimental Physics

Convergent perturbative nuclear effective field theory:
Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, Yuki Yamamoto,
arXiv:1311.3063

《Proceedings》

Converging low energy expansion of nucleon-nucleon scattering based on the Wilsonian
renormalization group:

H. Kubo, K. Harada, T. Sakaeda, Y. Yamamoto,

PoS Hadron2013 (2014) 143. (Proceedings, 15th International Conference on Hadron
Spectroscopy (Hadron 2013) : Nara, Japan, November 4–8, 2013)

講演

《海外での講演》

Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediation:

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

19th International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology

TeV scale Mirage Mediation with Vector-like Quark:

Hiroki Makino, Takahiro Nakamura, Ken-ichi Okumura,

Summer Institute 2013, 20 August 2013, Jirisan National Park, Korea

《国内での講演》

Aharonov-Bohm radiation in string theory:

大河内豊

セミナー講演、2013年12月17日、大阪市立大学

Aharonov-Bohm radiation in string theory:

大河内豊

セミナー講演、2014年1月8日、京都大学理学部

超対称理論の現在と未来:

奥村健一

加速器・物理合同 ILC 夏の合宿 2013

部分的に縮退した超対称模型への LHC からの制限:

奥村健一、牧野広樹、山口賢司

第119回日本物理学会九州支部例会、2013年11月30日、久留米工業大学

Holographic cold nuclear matter as dilute instanton gas:

久保幸貴

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 20 日、高知大学朝倉キャンパス

高次元ゲージ場による E6 対称性の自発的な破れと大統一模型:

小島健太郎、竹永和典、山下敏史

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 28 日、東海大学湘南キャンパス

Energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow:

鈴木博

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 22 日、高知大学朝倉キャンパス

Yang–Mills gradient flow による格子上的エネルギー運動量テンソル:

鈴木博

研究会「離散的手法による場と時空のダイナミクス」、2013年9月27日、高エネルギー加速器研究機構

Lattice energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow:

鈴木博

第3回計算基礎科学連携拠点 (JICFuS) セミナー、2013年10月16日、大阪大学理学部

Lattice energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow:

鈴木博

計算基礎科学連携拠点 (JICFuS) 研究会「Lattice QCD at finite temperature and density」、2014年1月22日、高エネルギー加速器研究機構

核子系有効場理論の繰り込み群で何がわかるか:

原田恒司

RCNP/九大研究会「ハドロン物理と原子核物理のクロスオーバー」、2013年9月4日–6日、九州大学

Vector-like quark を導入した TeV スケール Mirage Mediation:

牧野広樹、仲村崇大、奥村健一

第119回日本物理学会九州支部例会、2013年11月30日、久留米工業大学

縮退した超対称模型への LHC からの制限:

山口賢司

原子核三者若手夏の学校、2013年8月5日

補助場を用いない Wilson 流くりこみ群による mass imbalanced fermion 系の解析:

原田恒司、久保博史、○吉本一世

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 23 日、高知大学朝倉キャンパス

Nonperturbative RG in nonrelativistic mass imbalanced fermionic system without auxiliary fields:

原田恒司、○吉本一世

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 30 日、東海大学湘南キャンパス

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

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、日本学術振興会特別研究員科研費

研究代表者：久保幸貴

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

他大学での研究と教育

奥村健一：新潟大学で集中講義を行った。2014 年 1 月 14 日から 1 月 16 日まで。講義
題目は「ヒッグス粒子と超対称性」

原田恒司：鹿児島大学で集中講義を行った。2014 年 10 月 14-15 日および 11 月 18-19
日。講義題目は「相対論」

学部 4 年生卒業研究

竹寄智之：(指導教員、奥村健一)：光円錐ゲージに基づいた超弦理論の理解

藤山翔乃：(指導教員、奥村健一)：光円錐ゲージに基づいた超弦理論の理解

藤山優一：(指導教員、奥村健一)：光円錐ゲージに基づいた超弦理論の理解

修士論文

原田遼平：(指導教員、原田恒司)：共変繰り込み可能重力理論における摂動展開表示と Arnowitte–Deser–Misner 分解表示との整合性について

山口賢司：(指導教員、鈴木博・奥村健一)：TeV スケールミラーニュ媒介模型への LHC による直接探索からの制限

博士論文

久保幸貴：(指導教員、原田恒司)：Novel examples of the application of gauge/gravity duality (ゲージ重力対応の適用の新しい例)

吉本一世：(指導教員、原田恒司)：Wilsonian renormalization group analysis of nonrelativistic three-body systems without introducing auxiliary fields (補助場を用いない非相対論的 3 体系の Wilson 流くりこみ群を用いた解析)

学外での学会活動

国際研究会「Beyond the Standard Model 2014」、2014 年 3 月 3 日–3 月 7 日、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、世話人 (大河内豊)

基研研究会「素粒子物理学の進展 2013」、2013 年 8 月 3 日–8 月 9 日、京都大学基礎物理学研究所、世話人 (大河内豊)

物理学会九州支部会座長 (奥村健一)

素粒子論グループ素粒子論委員会委員長 (原田恒司)

原子核理論

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

《 博士研究員 》

蓑茂 工将

《 大学院 博士課程 》

佐々木 崇宏 田上 真伍 嶋田 充宏 高橋 純一

渡邊 慎

《 大学院 修士課程 》

石井 優大 江頭 慧 佐々部 悟 豊川 将一

管野 淳平 米村 浩司

《 学部 卒業研究生 》

秋山 陽平 井生 武志 平川 優真 宮本 昂拓

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)、数値計算法 (清水良文)、電磁気学 (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

高密度天体の構造に関わる QCD 相構造の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 河野通郎 [九州歯科大学], 安武伸俊 [千葉工業大学], 佐々木崇宏 (D3))

QCD の相構造 (QCD 相図) と状態方程式は、宇宙進化の過程や高密度天体の性質を解明するために不可欠な要素である。しかし、QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算は有限密度領域で実行困難であるため、有限密度における相構造のほとんどは不確定である。本研究では、高密度領域の QCD 相構造を有効模型を用いて解明することを

目指した。

高密度領域ではバリオンの寄与が本質的であり、有効模型におけるバリオンの取り扱いには不定性が大きい。この不定性をなくすために我々は、核物質の解析および中性子星の質量観測に着目した。標準核密度付近の核物質の性質は、カイラル有効場理論に基づいた核力を用いて Brueckner-Hartree-Fock 計算を行うことにより、高い信頼性での解析が可能である。さらに高い密度領域の状態方程式は重イオン衝突実験の解析から見積もられている。我々はこれらのデータを再現するように核子間の有効斥力を導入し、ハドロン相を記述する模型とした。さらに、この模型を用いて中性子星の構造を計算し、現在中性子星質量観測の結果と無矛盾であることを確認した。このように構築したハドロン模型と EPNJL 模型を組み合わせることにより QCD 相図全体の解析が可能である。このように得られた相図は、有限温度の格子 QCD 計算および核物質・中性子星のデータと無矛盾なものである。

本研究は佐々木氏を中心に推進された。

格子 QCD によるカラー遮蔽ポテンシャルの化学ポテンシャル依存性の研究 (八尋正信, 中村純 [広島大学], 斎藤卓也 [高知大学], 永田桂太郎 [KEK], 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 高橋純一 (D1))

カラー遮蔽ポテンシャル (重クォークポテンシャル) は重イオン衝突実験における重クォーク束縛状態の抑制機構やジェットの性質を調べる際に重要な量である。昨年度より、我々はカラー遮蔽ポテンシャルの虚数化学ポテンシャル (μ_I) 依存性を調べてきた。

今年度は求めたカラー遮蔽ポテンシャルを実数化学ポテンシャル (μ_R) 領域に外挿した。その結果、 μ_R を大きくしていくとカラー遮蔽ポテンシャルの高さが低くなっていくことが分かった。これは、 μ を大きくしていくとクォーク間の相互作用が小さくなっていくことを示している。また、reweighting 法を用いた先行研究ではカラー遮蔽ポテンシャルに対して μ_R/T の 2 次まで計算されていたが、本研究では μ_R/T の 4 次も無視できない程の寄与を持っていることを示した。これに加えて、カラー Debye 遮蔽質量も μ_R 領域に外挿した。その結果、hard thermal loop 近似やオーダーの高い摂動計算の結果と定性的な一致は見られたが、 μ_R 依存性は我々の結果の方が大きかった。

本研究は高橋氏を中心に推進され、その成果は Physical Review 誌に論文が掲載された。

格子 QCD によるクォーク数密度の研究と有効模型の構築 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1), 管野淳平 (M1))

有限温度 (T)、有限化学ポテンシャル (μ) 領域における QCD の研究にとって、有効模型は強力なツールである。しかし、有効模型はパラメータを持ち、不定性を含む。そ

の不定性をなくすために、我々は QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算の結果と有効模型の結果を合わせることで、信頼性の高い有効模型の構築を目指している。特に、有限 μ 領域ではクォーク数密度と関連したベクター型相互作用の効果が重要である。

そこで我々はクォーク数密度の μ 依存性を格子 QCD で計算し、その結果とベクター型相互作用の入った EPNJL 模型の結果を合わせ、有限密度 QCD の物理、特に QCD 相図や中性子星の物理の研究を進めていく。格子 QCD では符号問題のない虚数化学ポテンシャル (μ_1) 領域で計算を実行し、クォーク数密度の μ_1 依存性を得た。今後、この結果に合うように EPNJL 模型のパラメータを合わせ、QCD 相図や中性子星の質量と半径の関係、中間子遮蔽質量の μ 依存性などを求めていく。

本研究は高橋氏と管野氏を中心に推進されている。

有限密度領域における格子 QCD 計算手法の開発 (八尋正信, 中村純 [広島大学], 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1))

化学ポテンシャル (μ) が有限の領域では、格子 QCD におけるクォーク行列が複素数になり、インポートランスサンプリングを用いたモンテカルロシミュレーションが困難となる。これが符号問題である。有限 μ 領域の物理を第一原理計算である格子 QCD で研究するためには、符号問題の回避が必要である。これまで reweighting 法、虚数化学ポテンシャル領域からの解析接続、ヒストグラム法など様々な回避方法により研究がなされてきた。しかし、根本的な符号問題の解決は難しいのが現状である。

そこで我々は、従来からある状態密度を用いる方法を応用した、有限密度領域における格子 QCD 計算手法の開発に取り組んでいる。Gocksch によれば、注目する物理量の、あるエネルギーの範囲を等分割及びグルーピングし、そのエネルギーグループ内で確率解釈が成り立つように分布を求め、それをいくつものエネルギーグループで行い、それぞれで求めた分布を繋ぎ合わせれば、広い範囲の確率分布が求まる。今、我々が注目すべき物理量はクォーク数密度である。この確率分布を求めてゲージ配位を集めることにより、有限密度領域の物理量を直接格子 QCD で計算することが出来る。

広い範囲にわたるクォーク数密度の確率分布を求める必要がある。しかし、有限 μ 領域の計算が困難であることから、格子 QCD を用いて有限のクォーク数密度を実現することは困難である。そこでクォーク数密度が有限となるような力を作為的に格子作用に加える。クォーク数密度が有限になるまでゲージ配位をアップデートした後、その作為的な力は取り除いて、上記の Gocksch の方法を使用する。このようにしてクォーク数密度の確率分布を求める。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

有効模型を用いたメソン遮蔽質量の導出と解析 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 石井優大 (M2))

格子 QCD で計算されている物理量として、メソンの遮蔽質量 (M_{scr}) がある。一方、有効模型による M_{scr} の計算は、激しく振動する関数の無限積分を必要とするため困難であり、これまでほとんど計算されてこなかった。そこで、有効模型による M_{scr} の計算手法の開発を目標とした。遮蔽質量に関する格子 QCD 計算の結果を再現するように有効模型を構築することで、有効模型の不定性を排除するという方針を立てた。

まず、運動量表示におけるメソン相関関数の解析性を詳細に分析することで、 M_{scr} の計算手法を考案した。複素運動量平面上の極として M_{scr} を求める事ができるため、我々の手法は従来の手法よりもはるかに簡便である。この手法に基づき、2 フレーバーの EPNJL 模型で π メソン遮蔽質量 ($M_{\pi, \text{scr}}$) の温度依存性を計算し、定性的な振る舞いを分析した。 $M_{\pi, \text{scr}}$ は、低温では一定であり、閉じ込め相転移温度 (T_c) 付近になると急激に上昇し、高温になるにつれて自由場の結果 ($2\pi T$) に下から近づいた。温度が $T \simeq 2.5T_c$ (400 [MeV]) 程度でも自由場からのずれは大きいことから、閉じ込め相転移の後でも、クォークの自由ガスという描像が成り立たないことが示唆された。次に、格子 QCD 計算の結果と比較することで、有効模型に制限を与えられるか検討した。EPNJL 模型の entanglement 結合の強さを調整することで、格子 QCD 計算を定量的に再現するような結合の強さを決定できた。今後は、他のメソン遮蔽質量に対する格子 QCD の結果と比較し、さらに信頼性の高い有効模型を構築する。

本研究は石井氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。その成果は Physical Review 誌に掲載された。

ベクトル型相互作用が QCD 相図の有限密度領域に及ぼす影響の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1), 石井優大 (M2), 管野淳平 (M1))

QCD 相図の有限密度 (有限クォーク化学ポテンシャル (μ_q)) 領域では符号問題のため、第一原理計算である格子 QCD 計算を行うことは困難である。そこで、有効模型を用いて有限密度領域での計算を行うことが重要となる。その際、信頼性の高い計算を行うためには、不定性ができるだけ排除された有効模型を使用することが望まれる。このような有効模型を構築することは、格子 QCD が実行可能な領域に着目し、格子 QCD 計算と有効模型の計算それぞれを比較することを要求する。符号問題がない領域であるゼロ密度・有限温度領域において、格子 QCD の計算結果をすべて再現する有効模型として Entanglement Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio (EPNJL) 模型がある。我々は EPNJL 模型を出発点とし、有限密度領域における 2 フレーバー系を考察した。

有限密度領域ではクォーク間に新たにベクトル型相互作用がはたらき、クォーク・ハ

ドロン相転移線の位置やクォーク物質の状態方程式に大きく影響することが知られている。そこで我々は、ベクトル型相互作用を含むように2フレーバー EPNJL 模型を拡張し、ベクトル型相互作用の強さ G_V を決定することを目標とした。 G_V の決定を行うにあたって、我々は μ_q/T (T は温度) においてクォーク数密度が格子 QCD に基づき計算されていることに着目した。しかし、クォーク数密度自身は符号問題の影響が軽微な低密度領域では小さな値を取るため、 G_V の精密な決定には不向きである。そこで、クォーク数密度を Stefan-Boltzmann 極限での値で規格化した物理量を定義した。我々は、この物理量が符号問題がないゼロ密度領域でも有限であることを発見し、これに基づき、従来上限もしくは下限しか決められていなかった G_V を一意的に決定した。

今後は、得られた G_V がクォーク・ハドロン相転移線の位置に及ぼす影響の定量的な評価に加え、中性子星内部においてクォーク・ハドロン相転移が起こっているかを考察し、「太陽質量の2倍の質量をもつ中性子星」の観測事実と矛盾しないクォーク物質の状態方程式の構築を目指す。

本研究は管野氏を中心に推進されている。

NJL 模型における正則化法依存性の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 石井優大 (M2), 米村浩司 (M1))

近年、QCD 相図の解明を目指した研究が盛んに行われているが、QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算は有限化学ポテンシャル領域では符号問題を持ち、計算困難である。このため、有効模型を用いた QCD 相図の解析が行われている。有効模型とは、最初にカットオフスケールを導入し、そのカットオフスケールより低いエネルギースケールの現象を記述する模型である。QCD 相図の解明にしばしば用いられる Nambu-Jona-Lasinio (NJL) 模型では、3次元運動量カットが通常用いられる。しかし、このカットオフは Lorentz 不変性を壊すという欠点を持っている。そこで我々は Lorentz 不変性を壊さない正則化の方法として Pauli-Villars 正則化も取り上げた。そして、カイラル相転移や閉じ込め相転移のオーダーパラメータ (カイラル凝縮、Polyakov loop)、状態方程式の正則化依存性を調べ有効模型の妥当性を分析した。この解析によって、3次元運動量カットと Pauli-Villars 正則化を用いた場合とで高温領域において異なる振る舞いをすることが分かった。

本研究は米村氏を中心に推進されている。

アイコナル反応理論による ${}^6\text{He}$ の 2 中性子剥離反応の記述 (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], 蓑茂工将 (PD), 江頭慧 (M2))

アイコナル反応理論 (ERT) は、九大グループによって提唱された核子剥離反応を記述する理論である。同じく核子剥離反応を記述する Glauber 模型と比較して、ERT

には Coulomb 相互作用を正確に取り扱える利点がある。

今年度は、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子剥離反応の解析において ERT と Glauber 模型計算を比較し、Coulomb 相互作用の取り扱いの差を調べた。その結果、Coulomb 分解過程が重要となる入射エネルギーが低い場合や標的核が重い場合の反応で、Glauber 模型との大きな違いが見られた。ERT を用いれば、調節パラメータを導入することなく、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子剥離反応の断面積を非常に良く再現する。

この成果を論文にまとめ、現在 Physical Review C 誌に投稿中である。本研究は蓑茂氏と江頭氏を中心に推進された。

荷電交換反応の解析による中性子スキン厚の決定 (八尋正信、蓑茂工将 (PD))

中性子スキン厚の解析に有力な方法のひとつとして、アイソバリックアナログ状態 (IAS) を励起する荷電交換反応 (p,n)IAS が注目されている。 (p,n) IAS は、アイソスピン対称性の下に陽子弾性散乱と等価な反応であり、光学ポテンシャルのアイソベクトル成分に強く依存すると考えられる。本研究では、この (p,n) IAS を畳み込み模型を用いた微視的反応理論によって解析し、中性子スキン厚を精密に決定することを目指す。

今年度は、さまざまな標的核・入射エネルギーに対する (p,n) IAS を系統的に解析した。その結果、標的核が軽い場合には実験を良く再現するが、標的核が重い場合には実験とのずれが見られた。実験とのずれは、標的核が重くなるほど顕著である。また、これは入射エネルギーによらず見られる傾向であることが分かった。ある程度重い核でなければ中性子スキン厚としての意味を持たないため、重い標的核で実験とのずれが生じることは非常に大きな問題である。

今後は、 (p,n) IAS の反応機構をより詳しく調べ、実験とのずれの原因を明らかにする。本研究は蓑茂氏を中心に推進されている。

1 中性子剥離反応を利用した E1 分解断面積の導出 (蓑茂工将 (PD)、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、福井徳朗 [大阪大学核物理研究センター (D2)]、吉田数貴 [大阪大学核物理研究センター (M1)])

E1 分解断面積の大きさは核の広がり強く依存するため、核がハロー核であるかどうかを決めるひとつの指標と考えられている。しかし、実験で E1 分解断面積を測定することは不可能であるため、 ${}^{12}\text{C}$ と ${}^{208}\text{Pb}$ の異なる標的に対して 1 中性子剥離反応の断面積を測定し、 ${}^{12}\text{C}$ 標的の断面積を適当にスケールリングして ${}^{208}\text{Pb}$ 標的の断面積から差し引くことで、E1 分解断面積が見積もられている。この際のスケールリング因子は経験的に決められたものが用いられるが、その理論的根拠が定かでない上、不定性が極めて大きい。そのため、スケールリング法の妥当性を理論的に確かめる必要がある。

本研究では、スケールリング法によって求められる E1 分解断面積の妥当性を、アイコ

ナール反応理論と連続状態離散化チャネル結合法を用いて調べた。これらの手法を用いれば、理論計算の範囲内で、E1 分解断面積とスケーリング法によって求めた近似的断面積を直接比較できる。そのような解析の結果、スケーリング因子は核の 1 中性子分離エネルギーに強く依存することが分かり、また、スケーリング法を用いて実験的に決められた ^{31}Ne の E1 分解断面積が、理論値より 13-20% も大きいことを示した。

この結果は論文としてまとめられ、Progress of Theoretical and Experimental Physics 誌への掲載が決定した。

1 核子剥離反応の解析による ^{30}Ne の分光的因子の決定 (蓑茂工将 (PD)、Jenny Lee [理化学研究所仁科加速器研究センター研究員]、木村真明 [北海道大学准教授]、宇都野穰 [日本原子力機構研究員]、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授])

^{30}Ne の基底状態は、 ^{29}Ne (芯核) のさまざまな状態に中性子が結合した配位の重ね合わせとして記述できる。分光的因子とは、これらの配位の割合を示す指標である。弱束縛核の 1 核子剥離反応の断面積は配位の違いに対して非常に敏感であるため、これを利用して、 ^{30}Ne における芯核と中性子の配位、およびその分光的因子を決定することができる。このとき、1 核子剥離反応において放出されるガンマ線のエネルギーを同時に測定すれば、芯核の各状態の励起エネルギーと対応づけて議論できる。

本研究では、アイコンール反応理論を用いて ^{30}Ne の 1 核子剥離反応を解析し、 ^{30}Ne に含まれる配位の分光的因子と、芯核 ^{29}Ne のスピン・パリティを調べた。反応計算に必要な ^{30}Ne の配位を記述する構造模型として、殻模型と反対称化分子動力学の 2 つを採用した。2 つの模型が与える断面積の計算値と実験値を比較し、各配位における分光的因子をおおよそ見積もることができた。さらに、 ^{29}Ne の基底状態のスピン・パリティは $3/2^+$ と結論づけられた。

現在、Lee 氏が中心となり、この結果を論文にまとめている。

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の基底状態の性質 (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 [理研仁科センター、ドイツ重イオン研究所]、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 (PD)、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1)、渡邊慎 (D1))

理化学研究所の核実験施設 (RIBF) によって新奇なデータが蓄積されている昨今、“island of inversion” に関する研究が改めて注目を集めている。island of inversion は核図表における陽子数が 10~12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が 20~22 程度の領域であり、領域内の原子核は「魔法数の破れ」や「異常な変形」といった安定核では見られない性質を示す。近年測定された Mg 同位体に対する反応断面積 (原子核と原子核が衝突する確率に対応した物理量) も例外ではなく、安定核からの予想よりも異常に大きいこ

とが報告されている。

我々は反対称化分子動力学法 (AMD) により計算された核密度をインプットとした二重畳み込み模型を用いて、測定された Mg 同位体に対する反応断面積の理論的解析を行った。我々の用いたこの手法は、原子核構造に仮定を置かない微視的理論である。AMD 計算の結果、 $^{31-40}\text{Mg}$ に対して大きな変形が現れ、それを反映して反応断面積の実験データを概ねよく再現した。この結果は island of inversion を超えた領域においても大きな変形が続いていることを意味しており、 $N = 20$ の魔法数のみならず、 $N = 28$ の魔法数も破れていることを強く示唆している。一方、ドリップライン近傍核である ^{37}Mg に対しては実験データを過小評価しており、この結果は ^{37}Mg がハロー構造を持つことを示唆している。実際、クーロン分解反応の断面積からも ^{37}Mg は「変形ハロー」であることが示唆されており、現在の AMD の模型空間は ^{37}Mg を記述するのに十分でない可能性がある。今後、更に大きな模型空間を用意した計算を行う必要がある。

Mg 同位体に対するこの解析は EPJ Web of Conferences に掲載され、更に Physical Review にも投稿中である。来年度は反応断面積の測定が既に終わっている Na や Al 同位体に対して同様の解析を行い、island of inversion 全体を俯瞰する。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

^6He 2_1^+ からの 2 中性子崩壊の研究 (菊地右馬 [大阪大学核物理研究センター研究員]、松本琢磨、蓑茂工将 (PD)、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授])

^6He は 2 中性子ハロー構造をもつとされている。2 中性子ハロー核において 2 中性子相関の研究は精力的に進められている。本研究では ^6He の励起共鳴状態 2_1^+ からの 2 中性子崩壊モードを核子あたり 240 MeV の $^6\text{He}+^{12}\text{C}$ 散乱解析から調べた。この解析において分解断面積計算を CDCC 法により松本氏が、その計算に必要な光学ポテンシャルの計算を蓑茂氏が担当した。励起共鳴状態からの 2 中性子崩壊モードは大阪大学核物理研究センターの菊地氏が計算した。本解析により、 2_1^+ 状態における 2 中性子相関の存在が確認された。

本研究は大阪大学核物理研究センターの菊地氏により推進され、その成果は Physical Review C 誌に掲載された。

^6Li 入射反応における分解効果の系統的解析 (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]、蓑茂工将 (PD)、渡邊慎 (D1))

本研究の対象である ^6Li は、中性子 (n)、陽子 (p)、 ^4He の 3 つの粒子がそれぞれ緩く束縛した原子核とみなすことができる。このような弱束縛な原子核が入射する反応では、反応の途中で入射核が分解する過程が重要となり、その効果を精密に取り扱うことが必須となる。本研究では、4 体連続状態離散化チャネル結合法 (4 体 CDCC) を用

い、 ${}^6\text{Li}$ が3つの粒子($n, p, {}^4\text{He}$)に分解する効果を陽に取り入れた計算を行った。

前年度までの研究で、我々は「低エネルギー入射の ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 弾性散乱において、 ${}^6\text{Li}$ 内部の d (重陽子)が n と p に分解する効果は無視できる」という提案をした。本年度は、この提案が ${}^6\text{Li}$ 散乱において更に普遍的なもの、すなわち「 ${}^6\text{Li}$ 散乱において、 ${}^6\text{Li}$ 内部の d が n と p に分解する効果は無視できる」かを検証するため、4体CDCCを様々な条件下で適用した。具体的には、低エネルギー(~ 20 MeV)・中間エネルギー(~ 70 MeV)・高エネルギー(~ 240 MeV)入射の、軽い標的核(${}^{12}\text{C}$)・中重標的核(${}^{58}\text{Ni}$)・重い標的核(${}^{208}\text{Pb}$)による ${}^6\text{Li}$ 弾性散乱である。適用した結果、 ${}^{208}\text{Pb}$ 標的においては全エネルギー領域で実験データをよく再現し、さらに、 ${}^{58}\text{Ni}$ 標的においても低・中間エネルギー領域で実験データをよく再現した。しかし一方、高エネルギーにおける ${}^{58}\text{Ni}$ 標的の散乱や、中・高エネルギーにおける ${}^{12}\text{C}$ 散乱においては4体CDCCは実験を再現しておらず、詳細な解析に至っていない。全体の傾向として、クーロン力が主要な相互作用となる重い標的核や低エネルギー散乱において実験データを再現し、核力が主要な相互作用となる軽い標的核や高エネルギー散乱において実験データを再現していないようである。今後は、この原因説明を目標とする。

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 ${}^4\text{He}$ -核弾性散乱の解析(八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将(PD)、江頭慧(M2)、豊川将一(M2))

核力に基づく微視的反応理論は、これまでに多くの成功を収めてきた。例えば、核子-核散乱の断面積や偏極量、核-核散乱の全反応断面積などは実験をよく再現する。しかし、核-核散乱の断面積や ${}^4\text{He}$ -核散乱は微視的反応理論で系統的に実験を再現できないなどのいくつかの問題を残している。

二重畳み込み模型は、2核子間有効相互作用(g 行列相互作用)を入射核密度 ρ_P と標的核密度 ρ_T で畳み込むことにより、核-核間のポテンシャルを微視的に求める手法である。 g 行列相互作用は核物質中での密度依存性を持つ相互作用であり、 g 行列相互作用を原子核内の核子に適用する際には局所密度近似を用いる必要がある。しかし、この近似は理論的な不定性が大きく、二重畳み込み模型において局所密度は通常 $\rho = \rho_P + \rho_T$ と仮定されるが、この仮定の妥当性は必ずしも明確ではない。

本研究では ${}^4\text{He}$ -核散乱の問題の解決を目指した。 ${}^4\text{He}$ は非常に励起しにくい原子核であり、この性質を取り入れるために局所密度として標的核密度のみを採用する方法を提案した。この方法を従来の方法と比較検証した結果、特に重い標的核に対して本研究で提案した方法により、実験がよく再現できることが確かめられた。

本研究は江頭氏を中心に推進され、同氏の修士論文としてまとめられた。その成果は現在、Physical Review C誌に投稿中である。

微視的反応理論による炭素同位体入射反応の系統的解析 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、古立直也 [北海道大学]、蓑茂工将 (PD)、田上真伍 (D2)、佐々部悟 (M2))

不安定核に見られる特徴として原子核の密度が異常に広がった Halo 構造がある。Hartree-Fock-Bogoliubov 法による解析によって、Halo の発達が対相関力によって抑制されるということが示唆されている。近年、この理論的示唆が全反応断面積の偶奇性という形で実験的に見えているのではないかという指摘がなされた。しかし、反応断面積の偶奇性は数%の違いを指しているので様々な影響を考慮する必要がある。そこで、我々は微視的反応理論を用いて考えられる影響の中でも特に重要と思われる核媒質効果と入射核の分解効果を検証した。この解析によって、Halo 核における媒質効果が通常の原子核のそれと異なる振る舞いをするのが分かった。また、先の指摘をした理論計算においては無視されていた分解の効果が無視できないことも分かった。

この成果は Physical Review C 誌に掲載された。

陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定 (八尋正信、松本琢磨、古立直也 [北海道大学]、蓑茂工将 (PD)、佐々部悟 (M2))

ハロー核の密度分布を探る物理量として、古くから安定核の密度分布を調べる為に用いられてきた入射エネルギー数百 MeV/nucleon の陽子弾性散乱の角分布がある。この角分布の diffraction pattern はハロー核中の芯核半径と相関があるという指摘がなされている。近年、実験技術の向上により first diffraction minimum 付近までの大きな散乱角に渡って角分布の測定が可能となった。

そこで、本研究では新しい実験結果からハロー核 ${}^6\text{He}$ 中の芯核の状態を調べるとともに、diffraction pattern と芯核半径の相関に対する物理的理解を探求した。その結果、 ${}^6\text{He}$ 中の芯核は孤立した ${}^4\text{He}$ とほぼ同じ状態にあることが確認された。また、この入射エネルギーの陽子弾性は光学ポテンシャルの虚数部分が本質的であることが分かり、これが引き起こす影散乱を考察することにより相関に対する理解を得た。

本研究は佐々部氏を中心に進められ、同氏の修士論文としてまとめられた。今後は、より芯核の構造が非自明なハロー核についての解析を進める予定である。

微視的光学ポテンシャルを用いた陽子-核散乱の系統的解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (PD)、豊川将一 (M2))

2 核子間有効相互作用に基づいて構築された光学ポテンシャルを微視的光学ポテンシャルと呼ぶ。微視的光学ポテンシャルは、畳み込み模型を用いて 2 核子間有効相互作用を標的核密度で畳み込み積分することにより構築できる。畳み込み模型による微視的反応解析は安定核散乱において多くの成功を収めてきた。さらに、実験が困難な

ために光学ポテンシャルを現象論的に構築できない不安定核散乱に対しても、この畳み込み模型は有効なアプローチとなる。また、入射粒子によって標的核が励起される非弾性散乱は、チャンネル結合方程式により記述される。このときに必要となる結合ポテンシャルもまた、畳み込み模型を用いて構築できる。

本研究では、Melbourne グループの g 行列有効相互作用を用いた畳み込み模型により、陽子-安定核 (不安定核) 弾性散乱および陽子非弾性散乱を解析した。微視的光学ポテンシャルは、陽子-安定核弾性散乱の実験を微分断面積、偏極分解能ともに系統的に再現し、さらに非弾性散乱の微分断面積を良く記述することに成功した。安定核に対する微視的光学ポテンシャルは、現象論的に構築された光学ポテンシャルと近い振る舞いを持つことが確かめられ、不安定核に対する微視的光学ポテンシャルは、安定核の系統性と異なる性質を持つことが分かった。

本研究は蓑茂氏と豊川氏を中心に推進され、豊川氏の修士論文としてまとめられた。その成果は Physical Review C 誌に掲載された。

原子核反応におけるカイラル有効理論 3 核子力の効果 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [九州歯科大学教授]、蓑茂工将 (PD)、豊川将一 (M2))

カイラル有効理論は QCD と等価な低エネルギー有効理論であり、2 核子力や 3 核子力を系統的に不定性無く決定できる理論となっている。3 核子力は現在注目されている大きな話題のひとつで、核物質の形成においても重要な役割を果たすと考えられている。また、核反応に対してカイラル有効理論から不定性無く決定された 3 核子力がどのような効果を与えるかも大変興味深い。

本研究では、核子-核散乱や核-核散乱におけるカイラル有効理論の 3 核子力効果を簡便な方法で評価した。カイラル有効理論の 2 核子力から g 行列理論により核物質の一粒子ポテンシャルを計算したところ、現象論的 2 核子力である Bonn-B ポテンシャルから計算されたものと非常に似通った性質を持つことがわかった。このことから、Bonn-B ポテンシャルに基づく Melbourne g 行列相互作用にカイラル有効理論の 3 核子力を導入することで、その効果を検証する方法を提案した。その結果、核-核散乱では微分断面積の角分布後方で 3 核子力効果が本質的であり、3 核子力を取り入れることで実験をより再現することが確かめられた。一方、核子-核散乱では実験データの利用可能な前方領域において 3 核子力効果が小さく、より後方で実験データが測定されると 3 核子力効果の重要性を確かめることができる。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進され、豊川氏の修士論文としてまとめられた。その成果は現在、Physical Review C 誌に投稿中である。

今後は、カイラル有効理論の 2 核子力と 3 核子力から g 行列相互作用を構築し、核子-核散乱や核-核散乱の系統的解析を行う。

微視的反応模型による核子-Li アイソトープ反応解析 (八尋正信、松本琢磨、渡辺幸信 [九州大学総合理工学府教授]、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、郭海瑞 [九州大学総合理工学府 (D1)]、渡邊慎 (M2))

核融合炉の設計において核子-Li アイソトープ (${}^6\text{Li}$ 、 ${}^7\text{Li}$) 反応は重要であり、その系統的な反応データが必要とされている。しかし、中性子である n は電荷を持たないため加速することや検出することが非常に困難であり、実験的にこの反応の断面積を系統的に決定することは、現段階では不可能である。特に、高エネルギー反応における断面積を決定するには精密な理論予測が必要となる。そこで我々は、 $n+{}^6\text{Li}$ 、 $n+{}^7\text{Li}$ 、 $p+{}^6\text{Li}$ 、 $p+{}^7\text{Li}$ 散乱の精密理論解析を進めてきた。これまでの研究において、 ${}^{6,7}\text{Li}$ を $d + \alpha$ 、 $t + \alpha$ の2体模型として記述し、反応過程で分解する効果を CDCC で取り扱った計算で弾性散乱、全断面積の実験を系統的に再現できることを示した。

本年度は、弾性散乱だけでなく、 ${}^7\text{Li}$ 散乱において放出される t の角度分布の計算に着手し、実験データをほぼ再現できることを示した。しかし、ある放出角度、放出エネルギーのデータに関しては実験を再現できないことが判明した。この問題は、現在計算で取り入れている模型空間が十分でないということが考えられる為、今後は模型空間を広げた計算を行なう必要がある。

現在、この計算は総合理工学府の郭氏を中心として推進されている。

原子核基底状態のプロレート変形優勢の起源 (清水良文、高原哲士 [杏林大学]、田嶋直樹 [福井大学])

多くの原子核はその基底状態において変形しているが、その形は軸対称な回転楕円体型である。この場合、球を軸方向に押し潰したオブレート型 (ミカン型) か引き伸ばしたプロレート型 (レモン型) の2種類が考えられる。平均場として調和振動子ポテンシャルを考えるとこれら2種類の変形は同じぐらいの頻度で現れるが、現実の原子核では圧倒的にプロレート型変形の方が多い。このプロレート変形優勢の起源は何かということは古くからの問題であり、数年前からそれを理解するための研究を行っている。

原子核の変形を理解するためには、原子核の束縛エネルギーに対する巨視的效果 (液滴模型エネルギー) とシェル効果 (殻構造エネルギー) を考える必要がある。これまでの研究では、主にシェル効果の方を調べてきたが、昨年度から、巨視的效果がどのように現実の原子核のプロレート変形優勢状況に影響を与えるかを調べている。特に、クーロン斥力エネルギーと表面エネルギーの効果や、対称エネルギーの効果、また、体積保存条件の影響について、質量公式中のそれぞれの寄与を標準的な値から変更することによって、プロレート変形が現れる確率にどのように反映するかを調べた。この時、巨視的エネルギーのパラメータを変えると原子核の存在範囲 (中性子・陽子のドリップ

線)が大きく変わってしまうが、シェル効果によるプロレート変形優勢の基本的なメカニズムはほとんど変わらないことがわかった。しかしながら、プロレート変形とオブレート変形が競合する場合には、巨視的エネルギーが大きな影響を及ぼす場合もあり、巨視的効果も無視できない。この研究は杏林大の高原氏を中心に行われている。

原子核における正四面体型変形の研究 (清水良文、田上真伍 (D2)、J. Dudek [ストラスブール大学])

今日までに知られている原子核の多くは軸対称な回転楕円体変形であると考えられているが、近年の平均場理論による計算で、これまでにあまり調べられていないエキゾチックな変形の存在が予想されている。その一つに正四面体型の変形があり、特定の陽子数または中性子数の原子核の安定な変形として実現し、基底状態または低励起状態となると期待されている。これらの特定の粒子数は正四面体変形の魔法数と呼ばれ、陽子数と中性子数がともに魔法数である正四面体変形の二重閉殻の原子核ではその変形は特に安定となる。

昨年度、我々は二重閉殻の原子核に一つ粒子がついた四面体変形した奇核の回転スペクトルの計算を量子数射影法により行った。四面体変形の変形度が大きい場合、二重閉殻の原子核では量子スペクトルは一つの回転バンドとなる。これに対し、奇核の場合には変形度が大きくともそのスペクトルは複数の回転バンドに分離するという結果を得た。このような分離は通常の回転楕円体型変形でも見られるものであるが、正四面体回転バンドの場合にはその分離の仕方がずっと複雑になっている。この回転バンドの分離の原因を探るため、本年度は、正四面体変形した回転体の一つ粒子がついた粒子・回転体模型を用いた分析を行った。通常の楕円体変形の場合と同様に、粒子・回転体模型では正四面体変形した回転体と最後の粒子の間にコリオリ相互作用が働く。その効果を解析的・数値的に計算することで、量子数射影法の結果を再現する結果が得られることがわかり、複数の回転バンドへの分離の原因がコリオリ相互作用であると結論づけた。この研究は田上氏を中心に行われている。

Gogny 相互作用による量子数射影計算 (清水良文、田上真伍 (D2))

原子核構造計算で広く用いられている信頼性の高い有効相互作用の一つに、有限レンジの Gogny 相互作用があり、昨年までに我々のグループではこの相互作用を用いた平均場計算を行ってきた。本年度は、平均場近似で破れた対称性を回復させることでエネルギー・スペクトルなどを求める、平均場を超えた理論手法である量子数射影法においても Gogny 相互作用を用いることの出来るプログラムを作成した。これまでの我々の量子数射影計算では内部状態を作る平均場としては Woods-Saxon ポテンシャルを用いるのに対し、量子数射影法の計算では多重極型の現象論的な相互作用を用いており、

計算の首尾一貫性を欠いていた。しかし、一つの Gogny 相互作用から出発して平均場を計算し、その平均場による内部状態から量子数射影計算を行うという、完全に自己無撞着な計算が可能となった結果、より定量的な分析が出来るようになった。

開発した計算プログラムでは空間反転対称性を破った非常に一般的な変形状態に量子数射影法を適用することが出来る。このプログラムを用いて、我々がこれまで研究してきた四面体変形の閉殻で Gogny 相互作用による量子数射影法を行った。正四面体変形の場合、回転スペクトルはこれまで用いてきた Woods-Saxon ポテンシャルと多重極型の簡単な相互作用を用いた結果と非常に近いものとなることがわかった。また、角運動量射影による変形エネルギー面を求めた結果、平均場近似の時に比べて非常に深い極小が現れることを示した。このプログラムでは通常の場合の楕円体変形の計算ももちろん可能であり、通常の変形核のエネルギー面の計算も行っている。今後はより系統的な分析を行う予定である。この研究は田上氏を中心に行われている。

ガウス基底を用いた量子数射影計算 (清水良文、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1))

不安定核においては、ハロー構造やスキーン構造といった安定核では見られなかった特有の構造が見つかっており、その回転状態においても、特徴的な性質が現れることが期待される。また、原子核の回転は殻効果に起因する現象であるが、殻効果は特定の粒子数において強くなる。つまり、安定核と異なり粒子数を自由に選べるといえる不安定核は回転状態の研究に対して有用である。これまでの角運動量射影計算においては、調和振動子基底が用いられていたが、本年度は、弱束縛を特徴とする不安定核の回転状態を適切に取り扱えるガウス基底を用いた量子数射影計算を可能にした。

開発した計算プログラムを用いて、ドリップラインの原子核である ^{40}Mg について計算を行った。その結果、スピンの増加と共に慣性モーメントが大きく減少するという特異なふるまいが見られた。また、調和振動子基底を用いた場合とガウス基底を用いた場合では、原子核の密度分布の遠方でのふるまいが大きく異なるにも関わらず、慣性モーメントはよく一致しており、ハローのような広がった密度構造が慣性モーメントに影響しない可能性があることがわかった。今後は他の不安定核についても調べ、弱束縛原子核での回転運動をより詳細に調べていく予定である。この研究は嶋田氏を中心に行われている。

量子数射影法による高速回転する原子核の微視的研究 (清水良文、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1))

回転運動と独立粒子運動との競合は、原子核の色々な領域においてその性質に大きな影響を及ぼす。特に、角運動量の大きな極限である高速回転状態は、この競合した状態を調べるのに適した状態であり、磁気回転やカイラル二重項、ウォブリング回転と

いった興味深い特異な回転バンドが数多くみられる。また、不安定核においては、ハロー構造やスキン構造といった安定核では見られなかった特有の構造が見つかっており、その回転状態においても、特徴的で興味深い性質が現れることが期待される。

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回転バンドであり、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、これまでの研究により、微視的量子数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している。現在、ウォブリング回転については非軸対称変形の符号や大きさにどのように依存するのかという基本的な性質を調べており、カイラル二重項については角運動量の主軸からのずれや電磁遷移の選択則などを調べて行く予定である。また、磁気的な対称性の破れによる回転運動である磁気回転についても、どのように現れるのかのメカニズムを量子数射影法により研究する予定である。この研究は嶋田氏を中心に行われている。

発表論文

《原著論文》

Differences and similarities between fundamental and adjoint matters in $SU(N)$ gauge theories:

H. Kouno, T. Misumi, K. Kashiwa, T. Makiyama, T. Sasaki, and M. Yahiro,
Physical Review D **88** (2013) pp. 016002-1-14

Color screening potential at finite density in two-flavor lattice QCD with Wilson fermions:

J. Takahashi, K. Nagata, T. Saito, A. Nakamura, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **88**, (2013) pp. 114504-1-15

Confinement and Z_3 symmetry in three-flavor QCD:

H. Kouno, T. Makiyama, T. Sasaki, Y. Sakai, and M. Yahiro,
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **40** (2013) 095003 (19pp)

Effective model approach to meson screening masses at finite temperature:

M. Ishii, T. Sasaki, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro,

Physical Review D **89**, (2014) pp. 071901(R)-1–6.

Two-color QCD at imaginary chemical potential and its impact on real chemical potential:

K. Kashiwa, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro
Physical Review D **87**, (2013) pp. 016015-1–9.

Interplay between the 0_2^+ resonance and the nonresonant continuum of the drip-line two-neutron halo nucleus ^{22}C :

K. Ogata, T. Myo, T. Furumoto, T. Matsumoto, and M. Yahiro Physical Review C **88**, (2013) pp. 0246016-1–4.

Two-neutron decay from the 2_1^+ state of ^6He :

Y. Kikuchi, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata,
Physical Review C **88**, (2013) pp. 021602(R)-1–5.

Reaction mechanism in odd-even staggering of reaction cross sections:

S. Sasabe, T. Matsumoto, S. Tagami, N. Furutachi, K. Minomo, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Physical Review C **88**, (2013) pp. 037602-1–4.

Mass-number and isotope dependence of local microscopic optical potentials for polarized proton scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, and M. Yahiro,
Physical Review C **88**, (2013) pp. 0546021-1–14.

Microscopic study of tetrahedrally symmetric nuclei by an angular-momentum and parity projection method:

S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,
Phys. Rev. C **87**, (2013) pp. 054306-1–15.

⟨⟨Proceedings⟩⟩

Meson mass and the sign problem at finite theta:

T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,

Journal of Physics: Conference Series **432** (2013) 012031 (5pp)

Quark-Hadron 混合相を考慮した中性子星の研究:

管野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信,
原子核研究 Vol. 58 Supplement 2 (2014) pp. 68-70

New candidate for deformed halo nucleus in Mg isotopes through analysis of reaction cross sections:

S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro, EPJ Web of Conferences Vol. 66, 03095 (2014).

反応断面積の偶奇性における反応機構:

佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 39-41.

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列有効相互作用の構築に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 98-100.

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の性質:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 103-105.

The suggested presence of the tetrahedral-symmetry in the ground-state configuration of the ${}^{96}_{40}\text{Zr}_{56}$ nucleus:

J. Dudek, D. Curien, D. Rouvel, K. Mazurek, Y. R. Shimizu, and S. Tagami, Physica Scripta **89** (2014), 054007.

Nuclear tetrahedral states and high-spin states studied using quantum number projection method:

S. Tagami, M. Shimada, Y. Fujioka, Y. R. Shimizu, and J. Dudek, Physica Scripta **89** (2014), 054013.

Gogny 相互作用を用いた四面体変形核の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp.89–91.

変形した不安定核での 2 中性子相関:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp.86–88.

《その他の論文》

講演

《海外での講演》

Heavy quark potential at finite imaginary chemical potential:

J. Takahashi, T. Sasaki, K. Nagata, T. Saito, H. Kouno, M. Yahiro, and A. Nakamura,
Lattice 2013, August 2, Mainz, Germany.

Practical approach to the sign problem at finite theta-vacuum angle:

T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,

Lattice 2013, July 31, 2013, Mainz, Germany.

The suggested presence of the tetrahedral-symmetry in the ground-state configuration of the ${}^{96}_{40}\text{Zr}_{56}$ nucleus:

J. Dudek, D. Curien, D. Rouvel, K. Mazurek, Y. R. Shimizu, and S. Tagami,

20th Nuclear Physics Workshop “Marie & Pierre Curie” on “Structure and Dynamics of Atomic Nuclei”, September 28, Kazimierz Dolny, Poland.

Nuclear tetrahedral states and high-spin states studied by quantum number projection method:

S. Tagami, M. Shimada, Y. Fujioka, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,

20th Nuclear Physics Workshop “Marie & Pierre Curie” on “Structure and Dynamics of Atomic Nuclei”, September 28, Kazimierz Dolny, Poland.

以下、ポスター発表.

Constraints on quark-hadron transition from lattice QCD and neutron-star observation:
T. Sasaki, N. Yasutake, M. Kohno, H. Kouno, and M. Yahiro,
Extreme QCD 2013, August 5, 2013, Bern, Switzerland.

New candidate for deformed halo nucleus in Mg isotopes through analysis of reaction cross sections:

S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda,
D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro
International Nuclear Physics Conference (INPC2013), June 4, 2013, Firenze, Italy.

《国内での講演》

Quark-Hadron 混合相を考慮した中性子星の研究:

菅野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信,
三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 4 日, ホテルたつき (愛知県)

格子 QCD を用いた有限密度系でのクォーク間ポテンシャル:

高橋純一, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 中村純, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
RCNP/九大研究会「ハドロン物理と原子核物理のクロスオーバー」 2013 年 9 月 5 日,
九州大学

格子計算および中性子星観測と無矛盾なクォーク-ハドロン相転移の研究:

佐々木崇宏, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 20 日, 高知大学

格子 QCD によるクォーク間ポテンシャルの化学ポテンシャル依存性:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 20 日, 高知大学

中性子星観測結果を考慮した QCD 相構造の研究:

佐々木崇宏, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

虚数化学ポテンシャル領域の格子 QCD 計算によるクォーク数密度の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

Meson screening mass の導出法とその応用:
石井優大, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

混合相を考慮した中性子星内部の QCD 相転移:
管野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信,
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

NJL 模型における正則化法依存性について:
米村浩司, 石井優大, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

QCD 相図と核物質状態方程式:
佐々木崇宏, 境祐二, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
九大分野横断型研究会 -クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する-, 2014 年 3 月 5 日, 九州大学

有限密度領域の格子 QCD 計算手法の開発:
高橋純一, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

Meson screening mass の温度・密度依存性に対する有効模型を用いた解析:
石井優大, 佐々木崇宏, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信
日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

核子剥離反応の解析による分光学的因子の決定とその不定性:
蓑茂工将, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信
RCNP 研究会 核子・ハイペロン多体系におけるクラスター現象, 2013 年 7 月 26 日, KGU
関内メディアセンター

反応断面積の偶奇性における反応機構:
佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信

2013年度原子核三者若手夏の学校, 2013年8月5日, ホテルたつき (愛知県)

カイラル有効理論に基づく新しいG行列有効相互作用の構築に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2013年度原子核三者若手夏の学校, 2013年8月8日, ホテルたつき (愛知県)

4体 CDCC 法における離散的分解断面積の連続化とその応用:

松本琢磨

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013年9月4日, 九州大学

カイラル有効理論とG行列理論による、QCDに基づいた核反応の理解に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013年9月5日, 九州大学

g 行列畳み込みモデルアプローチによる微視的核反応論:

蓑茂工将

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013年9月6日, 九州大学

CDCC analysis of breakup effects on ${}^6\text{Li}$ elastic scattering:

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

The 12th CNS International Summer School (CNSSS13), August 28, 2013, Saitama, Japan, Center for Nuclear Study (CNS), the University of Tokyo

アイコナール反応理論による中性子剥離反応断面積の計算:

松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学

カイラル有効理論に基づく新しいG行列相互作用の構築と微視的反応解析:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学

微視的理論による荷電交換反応の解析:

蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学

${}^6\text{Li}$ 弾性散乱における分解効果の系統性:

渡邊慎, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学

原子核反応における3核子力の効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

第119回日本物理学会九州支部例会, 2013年11月30日, 久留米工業大学

Melbourne 有効相互作用とカイラル有効理論の3核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014年2月11日, 京都大学

カイラル有効理論3核子力を含んだ有効相互作用と核-核散乱:

蓑茂工将, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014年2月11日, 京都大学

微視的理論による island of inversion の探索:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014年2月11日, 京都大学

状態方程式策定の反応論的アプローチ:

蓑茂工将, 豊川将一, 渡邊慎, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 河野通郎, 武智麻耶, 西村太樹, 鈴木健, 福田光順, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

九大分野横断型研究会 -クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する-, 2014年3月5日, 九州大学

反応断面積で探る Mg 同位体の基底状態の性質 箸キ理論の観点から箸キ:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

[RIBF-ULIC-029] Progress and Future Plans of the Research Group for Reaction Cross Sections, 2014年3月11日, 理研

Island of Inversion 及びその周辺における Mg 同位体の性質:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

カイラル有効理論の 3 核子力効果を含む G 行列相互作用:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 30 日, 東海大学

核-核散乱および分解反応に対するカイラル有効理論 3 核子力の効果:

蓑茂工将, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 30 日, 東海大学

陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 古立直也, 八尋正信

日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 30 日, 東海大学

Gogny 相互作用を用いた四面体変形核の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 8 日, ホテルたつき (愛知県)

変形した不安定核での 2 中性子相関:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 8 日, ホテルたつき (愛知県)

点群の射影演算子を用いた四面体変形スペクトルの分析:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学朝倉キャンパス

ガウス基底を用いた変形した不安定核の回転状態の研究:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学朝倉キャンパス

原子核における四面体変形—Gogny 相互作用を用いた量子数射影計算:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

ガウス基底による弱束縛変形原子核の回転状態の研究:
嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

Gogny 相互作用を用いた量子数射影による四面体変形の研究:
田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

ガウス基底を用いた変形した不安定核の回転状態の研究 II:
嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,
日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

原子核の偏重変形優勢における Strutinsky 法の巨視的部分の寄与 I I:
高原哲士, 田嶋直樹, 清水良文,
日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

以下, ポスター発表.

有限密度領域におけるカラー遮蔽ポテンシャル:
高橋純一, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 中村純, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
基研研究会「熱場の量子論とその応用」2013 年 8 月 26 日, 京都大学基礎物理学研究所

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の性質:
渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信
2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列有効相互作用の構築に向けて:
豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信
2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

反応断面積の偶奇性における反応機構:

佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信
2013年度原子核三者若手夏の学校, 2013年8月5日, ホテルたつき(愛知県)

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, 特別研究員奨励費

第一原理計算に基づいた有効モデルによる QCD 相図・QCD 状態方程式の定量的決定

研究代表者: 佐々木崇宏

文部省科学研究費補助金, 特別研究員奨励費

θ 真空を考慮した格子 QCD による QCD 相構造の解明

研究代表者: 高橋純一

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

微視的理論による不安定核の構造と反応の系統的解明

研究代表者: 蓑茂工将

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

量子数射影法を用いた原子核におけるエキゾチックな変形・回転状態の研究

研究代表者: 田上真伍

文科省科学研究費補助金、基盤研究(C)

高スピン・エキゾチック変形原子核の研究

研究代表者: 清水良文

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

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)

蓑茂工将、日本学術振興会特別研究員 (PD)
佐々木崇宏、日本学術振興会特別研究員 (DC1)
田上真伍、日本学術振興会特別研究員 (DC2)
高橋純一、日本学術振興会特別研究員 (DC1)
渡邊慎、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

他大学での研究と教育

清水良文：大阪大学理学部で「原子核の高速回転状態」というタイトルで3日間の集中講義を行った。

学部4年生卒業研究

【前期】秋山陽平、井生武志、平川優真、宮本昂拓 (担当: 松本)
コンピュータを用いた原子核研究超入門

【後期】平川優真、宮本昂拓 (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

石井優大: (指導教員, 八尋正信): 有限温度における中間子遮蔽質量の有効モデルによる導出

江頭慧:(指導教員、八尋正信、松本琢磨): 二重畳み込みモデルにおける有効相互作用の密度依存性の取り扱い

佐々部悟:(指導教員、八尋正信、松本琢磨): 陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定

豊川将一:(指導教員、八尋正信): 原子核弾性散乱における3核子力効果

博士論文

佐々木崇宏: (指導教員、八尋正信): QCD thermodynamics under extreme conditions

(極限状態における QCD 熱力学)[2014 年 3 月授与]

その他の活動と成果

佐々木崇宏: セミナー (University of Wrocław, Division of Elementary Particle Theory)

佐々木崇宏: サイエンスカフェにて講演

蓑茂工将: RCNP/九大研究会「原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー」, 世話人

蓑茂工将: 九大分野横断型研究会「クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する」, 世話人代表

蓑茂工将: 大阪大学核物理研究センター理論部セミナー, 講師

渡邊慎: 原子核三者若手夏の学校, 原子核パート世話人

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 (H25年10月より) 助教

E. P. B. A. Thushari テクニカルスタッフ 野田 常雄 (2013年9月まで) テクニカルスタッフ

《 大学院 博士課程 》

松尾 康秀 菊池 之宏

《 大学院 修士課程 》

一政 遼太郎 林田 晃太郎 高木 康平 守田 佳永
手塚 啓 福田 遼平 三舛 慧人

《 学部 卒業研究生 》

植木 雄哉 宇根 遼平 五十嵐 駿太 永野 龍太郎

《 訪問研究者 》

中村 理央

担当授業

- 橋本正章
箱崎地区: 最先端物理学、自然科学概論(前期), 宇宙物理学(後期)
伊都地区: 力学基礎・同演習(前期)
- 山岡均
箱崎地区: 理系主題科目 III(前期, 後期), 物理学ゼミナール(後期)
伊都地区: 自然科学総合実験(前期, 後期), 少人数セミナー(後期)
- 小野勝臣
箱崎地区: 電磁気学 I・同演習(後期)
伊都地区: なし

研究・教育目標と成果

カラー超伝導状態のクォーク物質を考慮した高密度星の冷却計算 (橋本正章, 野田常雄)

カラー超伝導を含むクォーク・ハドロン混合相と核子の超流動を考慮した高密度性 (ハイブリッド星) の冷却計算を詳細に行った。去年度まで、Cassiopeia A (以降: Cas A) の温度変化を説明可能なモデルの構築、およびそれを用いた冷却計算を行っていた。しかしながら、状態方程式が他の観測結果 (特に $M \simeq 2.0M_{\odot}$ の観測結果) と矛盾していたため、最大質量が $M > 2.0M_{\odot}$ を満たせるクォーク物質まで考慮した状態方程式を導入しモデルを構築する必要が生じた。 $M > 2.0M_{\odot}$ を満たすクォーク物質入りの状態方程式を用い、冷却モデル (カラー超伝導・核子の超流動を考慮) を構築した。テスト計算の段階であるが、以前の状態方程式で確認されていた、“重い星が冷えにくく軽い星が冷えやすい” という状況の再現を確認した。今後は、この $2.0M_{\odot}$ に到達可能な状態方程式を用い、詳細な冷却計算および連星系における熱的進化にも拡張していく予定である。また、新たに出てきた Cas A の観測結果 (急な冷却が起きていない) を説明可能な計算を行い、原子核物理と矛盾のない中性子の超流動モデルの星への応用を探っていきたい。

Observational constraints of cosmological models with variable equation of state (橋本正章, E. P. B. A. Thushari)

Analyzing the dark energy equation of state is one of the useful way to avoid the barriers which appear through the modification of the theoretical models. We focus our attention on how the evolving Equation of state (EoS) for matter and dark energy can modify the standard model. Rather than investigating a specific dark energy model, the number of dark energy models including the cosmological constant through the variable EoS has been proposed (Hannestad & E. Mortsel 2004). Later on J. Ponce de Leon (2012) has investigated how the evolving equation of matter and dark energy might modify the Λ CDM paradigm. These authors have done analytical simulation to investigate the significant role of dark energy and how the primordial equation of state of matter contribute to the present acceleration and so on. We focus on constructing a cosmological model with the observations to have the appropriate EoS. Since these models are having the cosmological parameters like Hubble parameter (H), energy density parameter (Ω), decelerating parameter (q) and statefinder parameter (r), it allows to express them as functions of redshift. Modification has done through the variable EoS for the matter mixture. Then the parametrization of dark energy is also considered. It is fine tuning to constrain the parameters through the observations and we use SNIa observation to investigate the validity of this model at the present stage of acceleration.

親星の外層の違いによる超新星残骸形成時の物質混合のシミュレーション (橋本正章, 松尾康秀)

超新星残骸 Cassiopeia A (CasA) で見られるような Fe と Si の物質混合のメカニズムを調べるために、超新星爆発直後から超新星残骸形成までの球対称計算を行い、どのようなモデルで流体不安定性による Fe と Si の物質混合が起こるのか調べた。昨年度は、親星の恒星風の速度と Wolf-Rayet wind の継続時間をパラメータとして研究を行ったので、今年度はさらに親星の外層をパラメータに加えてシミュレーションした。その結果、恒星風の速度や wind の継続時間は Fe や Si 分布の時間進化にほとんど影響を与えないが、親星の外層は非常に大きな影響を与えることが分かった。さらに流体不安定性により Fe と Si の物質混合を起こすためには親星の He 層が恒星風により多く失われている必要があることが分かった。一方、観測からは Cas A は IIb 型超新星爆発を起こしたことが分かっており、それほど He 外層を失っていないと考えられている。今後は、我々のシミュレーションの結果と観測の齟齬を解決すべく議論を行う必要がある。

大質量星の恒星進化および超新星爆発における triple- α 反応率の不定性による影響 (橋本正章, 菊池之宏, 小野勝臣)

2009年に Ogata et al. によって新しく triple- α 反応率 (OKK rate) が発表された。triple- α 反応

は3つのヘリウムから1つの炭素を合成する反応である。この反応率は恒星内でヘリウム燃焼が起きる温度で従来のもの (Fynbo et al. 2005)(Fynbo rate) より 10^5 程度大きい。また、triple α 反応は恒星内の元素組成モデルが変わる可能性がある。triple- α 反応は、進化における主要な元素である ^{12}C と ^{16}O に関わる重要な反応であり、OKK rate を用いた恒星進化計算並びに元素合成計算は従来の結果を変える可能性がある。そこで、OKK rate と Fynbo rate について大質量星における元素合成について恒星進化と超新星爆発の計算を行ない結果を比較した。8 M_{\odot} He core モデルを用いて計算を行った。He 燃焼時に OKK rate では ^{12}C が過剰に作られ、その分 ^{16}O が減少するという結果が得られた。その後の燃焼段階でもこれらの影響が表れ、酸素層がネオン層にかわるなど進化の最終段階での構造に影響を与えることが分かった。恒星内部で生成された元素の量を観測と比較するために超新星爆発によって元素の放出量を計算し、銀河のハローに存在する恒星の表面の組成と比較した。 ^{12}C と ^{16}O の比について OKK rate では観測と大きく異なる結果となった。また、4 M_{\odot} -16 M_{\odot} He core について4モデルの計算を行い、恒星の質量の違いにもたらす影響を調べた。4 M_{\odot} モデルでは Ne 燃焼時に中心ではなく外側で燃焼が始まり、より低質量の恒星の振る舞いを示した。さらなる解析を進め、観測との比較を行う予定である。

新しい天体核反応率と宇宙初期元素合成 (橋本正章, 中村理央, 一政遼太郎)

宇宙初期に起きる元素合成はビッグバン元素合成 (BBN) とよばれ、軽元素 (^4He , D 等) の起源を説明できる理論として成功を収めてきた。しかしながら、BBN から予測される各軽元素の量と観測値は必ずしも一致していない。今回、核反応率依存性を調べる為に Descouvemont et al.(2004) によって求められた核反応率と、NACRE-II の反応率 (2013) を用い比較を行った。併せて Monte Carlo 法を用いることで反応率の不定性も考慮した。その結果、中性子寿命の最新値 880.1 ± 1.1 秒を用いる限り、BBN の主要元素である ^4He と D の理論値から baryon-to-photon ratio η の値が決まらない事を示した。そこで、これを解決する為に非標準モデルとしてレプトン非対称性を考慮した BBN モデルを採用し計算を行った。この非対称性は荷電中性なニュートリノセクターの存在のために許容される。これを考慮した結果、 ^4He と D から η の範囲を決める事ができるようになり、また非対称性に対する制限を得た。

中性子星の冷却と状態方程式について (橋本正章, 野田常雄, 林田晃太郎)

Cassiopeia A の中心天体は中性子星であると考えられている。最新の観測によれば、この天体の表面温度の観測結果は従来の観測と異なる結果を示したため、天体の質量、表面組成、状態方程式、冷却プロセスに重点を置き、最新の観測結果が再現できないかどうか調べた。結果、従来の観測結果では必要とされた Non-Standard な冷却プロセスがなくとも、条件次第では観測結果を説明できるのではないかと考えている。

親星の非球対称性が超新星爆発内部の流体不安定性に及ぼす影響 (橋本正章, 小野雅臣, 手塚啓)

親星の非球対称性が超新星爆発内部の流体不安定性に与える影響を調査するため、簡単なモデルをたてて数値計算を行った。先行研究により、重力崩壊直前の大質量星内部では強い乱流が生じる可能性が有ることが示唆されている (Arnett+2011)。これまでは球対称な親星を仮定して計算を行っており、非球対称な親星については考慮していなかった。そこで、非球対称性の反映として超新星内部に様々な摂動を与え、計算を行った。その結果、球対称な親星からの計算と比較して大きな違いは見られなかった。今年度は計算解像度の向上や次元比較解析を行う予定である。

突発天体現象のフォローアップ観測 (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を活性化することを目標とした。突発天体のフォローアップ・発見確認を数件行なった。新天体に特化した講

演や記事執筆など、突発天体について周知啓発を行なった。国際的に新天体情報を取り扱う天文電報中央局 CBAT (<http://www.cbat.eps.harvard.edu/>) は現在、人手と資金両面が不足であり、その対策は急務である。山岡は国際天文学連合 IAU において CBAT を統括する第 6 委員会の委員長として、この対応策を策定中である。次年度以降も、突発天体への実地即応を続けるとともに、CBAT の活性化を模索する。

アーカイブ天文学の構築 (山岡均, 高木康平, 三舛慧人)

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、および膨大な測光データの活用である。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、超新星爆発の衝撃波が恒星表面に達した瞬間のショックブレイクアウトが美星画像でとらえられているかどうか搜索し、実例は見当らなかったが方法を確立した。次年度は、美星センター画像のみからの新しい超新星の検出を目指す。ケプラー観測機は、系外惑星のトランジット検出を目指して、高精度かつ高時間分解の恒星測光データを蓄積している。これを用いた恒星本体の変動についての研究が盛んに行なわれているが、多くの研究では対象となる恒星を絞るなどして、データ全体を扱っていない。今年度は、大量データをすべて扱う手法を模索し、周期解析については全量の使用を可能にした。次年度は他の方法による解析を実施する。

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、破碎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、デブリ観測における座標系変換を考察した。IHI・JAXA と進める受託研究、三菱重工との共同研究のそれぞれで、新たな観測計画を策定した。次年度以降、実際に観測を行ない、取得データを用いて検出や解析方法のさらなる改良を行なう。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 4 回実施した。名古屋市でのサイエンスパブにコーディネータとして参加した。さらに三鷹市では、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、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ており、今後もより活発に活動していく。

ブラックホール降着円盤の 3 次元 MHD 数値計算 (町田真美)

質量降着の起源となる磁気乱流の初期磁場構造依存性に関して調べるために降着円盤全体を計算領域に含む 3 次元磁気流体数値実験を行った。初期磁場構造として、回転方向成分のみを持つ弱い方位角方向磁場を仮定したネット磁場の有るモデルと、赤道面に反対称な方位角方向磁場を与える事で系全体のネット磁場が無いモデルとで計算を行った。その結果、ネット磁場の無いモデルでは、有るモデルよりも、局所的な角運動量輸送率に違いは無い事、しかし質量降着率は半分程度になる事がわかった。この違いは、系の渦構造の違いに起因しており、ネット磁場の無いモデルでは小さなスケールの乱流が卓越する事がわかった。

超新星爆発における物質混合 (小野勝臣)

超新星爆発の衝撃波が星の中を伝搬する過程で、超新星爆発の非球対称性、あるいは親星の非球

対称な構造に起因する物質混合により、爆発の元素合成で作られる ^{56}Ni が球対称で予想されるより遥かに外側へ運ばれていることが超新星 1987A の観測から知られている。爆発の非球対称性と親星の小さな揺らぎを考慮した物質混合の 2 次元数値実験を前年度までに行い、クランプ状の爆発が重要であることを示した。親星の爆発前の構造は理論的には良く分かっていないが、対流により比較的大きな揺らぎが生じる可能性が指摘されている。本年度は、より大きな親星の非球対称性に着目し、物質混合の 2 次元高解像度流体計算を行った。その結果、コヒーレントかつ極端に大きな振幅の摂動を加えたモデルで観測を再現する可能性があることが分かった。来年度は更に詳細に調べ、2 次元計算で見られる数値的問題を解決するため、3 次元計算も行う予定である。尚、本研究は JSPS 外国人特別研究員 (理研所属) の Mao 氏との共同研究である。

超新星残骸の多次元数値実験 (小野勝臣)

超新星残骸は超新星爆発の衝撃波が星間物質及び超新星爆発放出元素を暖めることで電波、X 線、ガンマ線で輝く天体である。電磁波観測と理論を突き合わせるにより、超新星残骸における放射過程、宇宙線の粒子加速、超新星爆発における物質混合、超新星爆発メカニズムへ示唆を与えることが期待される。近年の超新星残骸 Cas A の観測から、各元素の分布が球対称から著しくずれていることが分かった。多次元の超新星残骸モデルに基づく電磁波放射の理論的評価が必要である。そこで、空間 3 次元の超新星残骸モデルを構築するため、多次元の流体数値計算コードの開発に取り組んだ。各放出元素からの輝線を評価するため、重要な以下の物理過程を高解像度流体計算コード FLASH に組み込んだ。1. エネルギー方程式における電子とイオンの 2 流体の取り扱い。2. 各元素の非平衡電離度計算。3. 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。今年度は空間 1 次元、2 次元でコードの妥当性を先行研究と比較し検証した。来年度は 3 次元への拡張、個々の超新星残骸への適用をし、各物理過程の議論を行う。

超新星爆発における r -process 元素合成 (小野勝臣、橋本正章、福田遼平)

中性子捕獲過程 r -process の天体サイトは長年の謎であったが、新たな r -process サイトとして、collapsar と呼ばれる超新星爆発メカニズムを提案する。collapsar の降着円盤内で中性子捕獲が進むと r -process に有利に働くが、実際にシミュレーションにより中性子過剰になることが確認された。今後、ニュートリノ輸送や磁場の効果、核反応エネルギー生成を取り扱えるように流体コードを改良し、 r -process ネットワーク計算を行っていく。

発表論文

《 原著論文 》

- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Phase in Quark Hadron Mixed Phase
T. Noda, M. Hashimoto, N. Yasutake, T. Maruyama, T. Tatsumi, M. Fujimoto
The Astrophysical Journal, 2013, Vol. 765, 1–5
- R-Process Nucleosynthesis in MHD Jet Explosions of Core-Collapse Supernovae
Motoaki Saruwatari, Masa-aki Hashimoto, Ryohei Fukuda, and Shin-ichiro Fujimoto

Journal of Astrophysics, Volume 2013(2013), Article ID 506146, 1–13,
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/506146>

- Constraint on Heavy Element Production in Inhomogeneous Big-Bang Nucleosynthesis from the Light Element Observations
Riou Nakamura, Masa-aki Hashimoto, Shin-ichiro Fujimoto, and Katsuhiko Sato
Journal of Astrophysics, Volume 2013 (2013), Article ID 587294, 1–9,
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/587294>
- Matter Mixing in Aspherical Core-collapse Supernovae: A Search for Possible Conditions for Conveying ${}^5\text{Ni}$ into High Velocity Regions
M. Ono, S. Nagataki, H. Ito, S.-H. Lee, J. Mao, M. Hashimoto, A. Tolstov
The Astrophysical Journal, 2013, 773, 161–189, doi:10.1088/0004-637X/773/161
- Numerical Experiments For Nuclear Flashes Toward Superbursts In An Accreting Neutron Star
M. Hashimoto, R. Kuromizu, M. Ono, T. Noda, M. Fujimoto
Journal of Astrophysics, in press
- Orbit determination by genetic algorithm and application to GEO observation :
Hideaki Hinagawa, Toshiya Hanada, Hitoshi Yamaoka,
ADVANCES IN SPACE RESEARCH, **53** (2014) pp. 532-542

《Proceedings》

-

《その他の論文》

- : Dwarf Nova in Aquila = PNV J19150199+0719471 :
K. Itagaki, T. Kojima, S. Nakano, Y. Sakurai, Y. Nakamura, H. Yamaoka, T. Yusa, S. Dallaporta, U. Murani, P. Brlas, E. Waagen, F. Guenther, A. Oksanen, J. Hamsch, P. Hallsten, L. Izzo, Toshihide Noguchi, R. Pickard, D. Blane, and G. Poyner :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3554, 2013
- : Supernova 2013gn IN NGC 5557 = PSN J14182850+3630244 :
K. Ayani, and H. Yamaoka :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3727, 2013

- : Supernova 2013hg = PSN J12095569+2953513 :
K. Ayani, and H. Yamaoka :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3753, 2013
- : Supernova 2013hu in NGC 3693 = PSN J11280786-1311336 :
K. Ayani, and H. Yamaoka :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3776, 2014
- : Supernova 2014J in M82 = PSN J09554214+6940260 :
S. J. Fossey, B. Cooke, G. Pollack, M. Wilde, T. Wright, M. Verstraaten, K. Itagaki, H. Kaneda, H. Yamaoka, S. Kiyota, E. Guido, N. Howes, M. Nicolini, L. Elenin, I. Molotov, J. Brimacombe, T. Noguchi, S. Nakano, G. Masi, and P. Schmeer :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3792, 2014
- : Supernova 2014L in M99 = PSN J12184868+1424435 :
T. Zhang, X. Wang, J. Mo, J. Chen, H. Yamaoka, K. Itagaki, S. Kiyota, E. Guido, N. Howes, M. Nicolini, P. Bacci, R. Bacci, G. Masi, F. Nocentini, P. Schmeer, M. Mancini, and M. Burali :
Central Bureau Electronic Telegrams, No. 3795, 2014
- なぜ超新星符号がないの？ :
山岡 均 :
「星ナビ」2013年6月号 (Vol. 14, No. 6), 51 – 51
- 「簡単な計算で学ぶ天文学」のススメ :
山岡 均 :
NYAISAS メールマガジン, No. 118 (2013)
- 村山先生の思い出 :
山岡 均 :
「天文月報」2013年11月号 (Vol. 106, No. 11), 757 – 758
- ベテルギウスはいつ爆発するの？ :
山岡 均 :
「月刊うちゅう」2014年1月号 (Vol. 30, No. 10), 4 – 9
- プラネタリウム番組銀河鉄道 999 赤い星ベテルギウスいのちの輝きに見る「星の生と死」 :
山岡 均 :
「星ナビ」2014年3月号 (Vol. 15, No. 3), 26 – 31
- CCD時代で最も近いIa型超新星 M82の超新星2014J :
山岡 均 :
「星ナビ」2014年4月号 (Vol. 15, No. 4), 48 – 49
- 対談「世界を知りたい、宇宙を伝えたい」 — 天文学を通じて原点を考える — :
山岡 均, 高妻真次郎 :
「八事」第30号, 36 – 58

著書

- ニュートン別冊 宇宙図 新改訂 第2版：
小阪 淳, 青木 和光, 縣 秀彦, 家 正則, 倉本 圭, 小久保 英一郎, 小林 憲正,
駒宮 幸男, 佐々木 晶, 杉山 直, 田村 元秀, 観山 正見, 山岡 均, 吉川 真, 吉
田 直紀, 渡部 潤一, 市來 淨與, 川越 至桜, 片桐 暁, 亀谷 和久,
ニュートンプレス、144 頁、2013 年 9 月 10 日.
- Newton Highlight 79 천문학 발전 400년

海部 宣男, 中川 貴雄, 祖父江 義明, 山岡 均, 尾崎 洋二, 岡村 定矩, 渡部
潤一, 石黒 正人
Newton Korea, 144 頁, 2014 年 2 月 10 日
- 天文学躍進の 400 年
協力：山岡 均ほか
ニュートン別冊, ニュートンプレス, 160 頁, 2009 年 5 月 15 日

講演

《海外での講演》

- Thermal Evolution of Compact Stars with Color Superconducting Quark
Matter :
T. Noda, N. Yasutake, M. Hashimoto, T. Maruyama, T. Tatsumi, M. Y.
Fujimoto
International Conference “The Structure and Signals of Neutron Stars, from
Birth to Death”, Florence, Italy, 2014 年 3 月 24 日-28 日

《国内での講演》

- 夏の星空と宇宙図 2013 : 山岡均
全国同時七夕講演会 2013, 福岡市別府公民館, 2013 年 7 月 7 日
- 宇宙の一生を一枚のポスターに！ 宇宙図 2013 : 山岡均
全国同時七夕講演会 2013, 春日市星の館, 2013 年 7 月 7 日
- 星空を眺めるのがもっと楽しくなる！ 夏の夜の天文学講座 : 山岡均
全国同時七夕講演会 2013, アヴァンティ編集部主催, 天神パークビル (福岡市
中央区), 2013 年 7 月 18 日

- 「宇宙を語る」！ 議論と討論：
川越清以, 東城順治, 山岡均, 平山寛, 吉岡瑞樹, 米澤英彦, 古浦新司
第12回サイエンスカフェ@ふくおか, 福岡アジアビジネスセンター(福岡市中央区), 2013年7月19日
- 一枚のポスターに詰まった最新の宇宙像：山岡均
全国同時七夕講演会 2013, 大野城市北コミュニティセンター, 2013年7月20日
- 七夕と夏の星空と太陽の活動と宇宙図 2013：山岡均
天文講演会, 福岡市中村三陽高校, 2013年7月27日
- ベテルギウスは、まだあるのか？(星の最期を考える)：
土佐誠, 山岡均, 大西浩次
星カフェみやぎ座, 東北大学, 2013年9月9日
- 小惑星搜索画像によるショックブレイクアウトの探索：
高木康平, 山岡均, 坂本強
日本天文学会 2013年秋季年会, 東北大学, 2013年9月10日
- Kepler 変光星の HR 図における分布：
三舛慧人, 山岡均
2013年度 連星系・変光星・低温度星研究会, 九州大学, 2013年11月25日
- 小惑星搜索画像によるショックブレイクアウトの探索：
高木康平, 山岡均, 坂本強
2013年度 連星系・変光星・低温度星研究会, 九州大学, 2013年11月25日
- 冬の星空を旅しよう！：
山岡均
コドモ to サイエンスカフェ, 箱崎水族館(福岡市東区), 2014年2月11日
- 隕石の話：
山岡均
天文講演会, 大野城市北コミュニティセンター, 2014年2月15日
- Discovery of an X-ray flash from a nova explosion on MAXI J0158-744 and search for X-ray flashes for other novae：
Mikio Morii, Takehiro Mihara, Hitoshi Yamaoka, Jun Shimanoe, Hiroshi

Tomida, Nobuyuki Kawai, Masaru Matsuoka, MAXI Team
Suzaku-MAXI 2014: Expanding the Frontiers of the X-ray Universe, Ehime
University (Matsuyama, Ehime, Japan), 2014 Feb. 20.

- 太陽系をつくろう！：
山岡均
こどもっとだいがく, アイランドシティ(福岡市東区), 2014年3月1日
- 各種資格制度との比較：
山岡均
第8回 星空案内人(星のソムリエ) 資格認定制度シンポジウム, 九州大学,
2014年3月9日
- 星野村星のソムリエ養成講座-主任講師として：
山岡均
第8回 星空案内人(星のソムリエ) 資格認定制度シンポジウム, 九州大学,
2014年3月10日
- 大学教育における汎学科の「手を動かす天文学」の実践：
山岡均
日本天文学会 2014年春季年会, 国際基督教大学, 2014年3月19日
- 九州大学ペガスプロジェクトによる宇宙教育とその成果：
藤原 智子, 鈴木 右文, 花田 俊也, 山岡 均
日本天文学会 2014年春季年会, 国際基督教大学, 2014年3月19日
- Kepler を用いた恒星の光度変動の統計的調査に向けて：
三舛慧人
第43回天文天体物理若手夏の学校, 宮城蔵王ロイヤルホテル(宮城県刈田郡
蔵王町), 2013年7月29日-8月1日
- 降着円盤のグローバルMHDシミュレーション：
町田真美、中村賢仁、松元亮治
学会名：STEシミュレーション研究会 & 太陽地球惑星系科学(STP)シ
ミュレーション・モデリング技法勉強会 合同研究集会 - 宇宙プラズマ・大
気・天体 - 2013年12月24日ー2013年12月27日
- 非対称な超新星爆発における物質混合- ^{56}Ni が高速度領域へ運ばれる条件の
探査：

小野勝臣, 長瀧重博, 伊藤裕貴, LEE, Shiu-Hang, MAO, Jirong, 橋本正章,
TOLSTOV, Alexey

第 119 回日本物理学会九州支部例会, 久留米工業大学, 2013 年 11 月 30 日

- 多次元の超新星爆発および超新星残骸モデル, 重元素の起源 :
小野勝臣
第 7 回ブラックホール磁気圏勉強会, 熊本大学, 2014 年 3 月 3 日-5 日
- Effect of triple-alpha reaction rates on the stellar evolution of massive stars :
Yukihiro Kikuchi, M. Ono, Y. Matsuo, M. Hashimoto, S. Fujimoto
Supernovae and Gamma-Ray Bursts 2013, Conference on Supernovae, Yukawa
Institute for Theoretical Physics, Kyoto 2013 University, October 28 - Novem-
ber 1, 2013
- Triple-alpha 反応率の不定性が大質量星の進化ならびに s-process 元素合成に
与える影響 :
菊池之宏, 橋本正章, 小野勝臣, 藤本信一郎
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 久留米工業大学, 2013 年 11 月 30 日 (土)
- 超新星爆発における物質混合の星周物質依存性 :
松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長瀧重博, 固武慶, 山田章一, 山下和之
日本天文学会 2013 年秋季大会, 東北大学, 2013 年 9 月 10 日-12 日
- Dependence of the Mixing Between the Elements on Circumstellar Mediums
During Supernova Expansions :
松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長瀧重博, 固竹慶, 山田章一, 山下和之
Supernovae and Gamma-Ray Bursts 2013, 京都大学, 2013 年 10 月 28 日-11
月 1 日
- 星周物質分布が超新星残骸形成過程での物質混合に与える影響 :
松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長瀧重博, 固竹慶, 山田章一, 山下和之
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 久留米工業大学, 2013 年 11 月 30 日
- Long Time Evolutionary Simulations in Supernova Included the Uncertain-
ties of Circumstellar Medium and Stellar Envelop :
松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長瀧重博, 固竹慶, 山田章一, 山下和之
Multi-messengers from Core-Collapse Supernovae, 福岡大学, 2013 年 12 月 2
日-6 日

- Cooling of compact stars with color superconductivity :
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
京都大学原子核グループ主催研究会「Kyoto Meeting 2013S」, 京都大学, 2013年6月8日-9日
- ハイブリッド星におけるカラー超伝導と核子の超流動の冷却に対する影響:
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
日本物理学会九州支部第119回支部例会, 久留米工業大学, 2013年11月30日
- Cooling of the compact star in Cassiopeia A:
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
京都大学原子核グループ主催研究会「Kyoto Meeting 2013W」, 京都大学, 2013年12月21日-22日
- カラー超伝導状態のクォーク物質が中性子星の冷却に及ぼす影響:
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
科研費新学術領域「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」 中性子星核物質研究会, 理化学研究所 (和光市), 2013年12月27日-28日
- Thorne-Zytkow 天体形成時の中性子星=巨星相互作用:
鷹野重之, 野田 常雄, 大槻かおり, 小野勝臣
日本天文学会 2014年春季年会特別セッション, 国際基督教大学, 2014年3月19日-22日
- ビッグバン元素合成における 4He の組成比 :
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三
第119回日本物理学会九州支部例会, 久留米工業大学, 2013年11月
- 核反応率のビッグバン元素合成へ及ぼす影響:
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三
第26回理論懇シンポジウム, 東京大学, 2013年12月
- ビッグバン元素合成からのニュートリノの縮退パラメータに対する制限 :
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三
日本天文学会 2014年春季年会, 国際基督教大学, 2014年3月
- Cassiopeia A 中性子星の熱進化のモデル化 :
林田晃太朗, 野田常雄, 橋本正章, 藤本正行
日本天文学会 2013 秋季年会, 東北大学, 2013年9月10日-12日

- R-process Nucleosynthesis In Supernova Explosions :
R. Fukuda, M. Saruwatari, M. Hashimoto, S. Fujimoto
Multi-Messengers from Core-Collapse Supernovae, 福岡大学, 2013 年 12 月
2-6 日
- 超新星 r-process と fission :
福田遼平, 橋本正章, 小野勝臣
物理学会九州支部例会, 久留米工業大学, 2013 年 11 月 30 日

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

1. 基盤研究 (C)
「トリプル α 天体核反応率への宇宙物理学からの制限」 (H24-H26)
研究代表者: 橋本正章
2. 若手研究 (B)
「銀河ガス円盤の磁気流体数値実験: 磁気浮上ループ・渦状腕衝撃波による粒子加速の寄与」 (H23-H26)
研究代表者: 町田 真美
3. 基盤研究 (B)
「磁気流体数値実験と X 千観測の連携によるブラックホール候補天体の状態遷移の解明」 (H23-H 25)
研究分担者: 町田 真美

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

他大学での研究と教育

菊池之宏: 九州産業大学基礎教育サポートセンターに非常勤教師として勤務し, 物理・数学の個別指導を行った。

野田常雄: 久留米工業高等専門学校で「応用物理 II」「物理」の講義を行った。

野田常雄: 久留米工業大学工学部において「物理学 I」「物理学実験」の講義を行った。

山岡均: 中村学園大学にて「地学」の講義を行った。

高木康平: 九州産業大学基礎教育サポートセンターに非常勤教師として勤務し, 物理・数学の個別指導を行った。

学部 4 年生卒業研究

五十嵐 駿太 (指導教員, 橋本正章) : 重力崩壊型超新星爆発における Ni の生成量と膨張速度

植木雄哉 (指導教員, 橋本正章) : r-process における重元素合成と fission の影響

宇根遼平 (指導教員, 橋本正章, 山岡均) : 美星スペースガードセンター画像を用いた超新星の測光

永野龍太郎 (指導教員, 橋本正章, 山岡均) : 美星センター観測画像による超新星の光度曲線の作成

修士論文

一政遼太郎 (指導教員, 橋本正章) : 新しい天体核反応率と宇宙初期元素合成

高木康平 (指導教員, 橋本正章, 山岡均) : 小惑星探査画像を用いた超新星 Shock Breakout 探索

博士論文

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, ジュニアセッション実行委員会委員, IAU Commission 6 President, 同 Division B DSC,

2013 年連星系・変光星・低温度星研究会世話人代表

日本学術会議物理学委員会 IAU 分科会にオブザーバー参加

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
山岡均 : 株式会社三菱重工との共同研究「スペースデブリに関する共同研究」(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

- 九大・熊大合同セミナー : 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。2013 年 9 月 4 日-9 月 7 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

- 2013年6月に大阪市立科学館で開催された「天文学が学べる大学合同説明会」に参加、九州大学における天文学教育について説明した(山岡)。
- 2013年月に佐賀県立宇宙科学館で「宇宙を学べる大学合同説明会 in 九州」を実行委員長として運営した(山岡)。
- 福岡市内にてサイエンスパブを4回(2013年6月, 10月, 12月, 14年3月)開催した(実施委員: 山岡)。名古屋市でサイエンスパブを開催した(山岡)。
- その他テレビ・ラジオ・Web・地域の天文台等で天文学解説を行なった(山岡)。
- 宮崎県立延岡高校で出前授業を行なった(2013年10月)。

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 (学術研究員) 井上 研三 (特任教授) 江崎 哲郎 (特任教授)

山口 博史 (学術研究員)

《 大学院 修士課程 》

上野 翔 大石 航 松本 悟 宮崎 陽平

古浦 新司 調 翔平 田中 元気 富田 龍彦

中居 勇樹

《 学部 卒業研究生 》

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

担当授業

- 川越

箱崎地区：コアセミナー（前期）、物理学ゼミナール（後期）

伊都地区：物理学III（前期・後期）、力学基礎・演習（前期）

- 東城

箱崎地区：素粒子物理学（後期）

伊都地区：力学基礎・演習（前期）

- 吉岡

箱崎地区：原子核・高エネルギー実験学（後期）

伊都地区：自然科学総合実験（前期）

- 織田

箱崎地区：基礎物理実験学・同実験（後期）

- 末原
伊都地区：自然科学総合実験（後期）

研究・教育目標と成果

CERN-LHCにおける ATLAS 実験 (川越 清以、東城 順治、織田 勸、音野 瑛俊)
 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 加速器は 2013 年 1 月に運転を一旦停止し、重心系エネルギーを設計値である 13 – 14 TeV へ増強するため、加速器改修の長期シャットダウンに入った。今年度は、シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良、ボトムジェット同定アルゴリズムの開発、ヒッグス粒子の性質の研究、検出器アップグレード計画の策定を進めた。

- **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)

ビーム衝突点から発生する多数の荷電粒子の検出では、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。内部飛跡検出器のうち、我々のグループは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み、活動を統括する Calibration Coordinator (東城)、Data Quality Coordinator (音野) を担ってきた。SCT 検出器の運転に参加する国内研究機関のうち、九州大学は CERN にスタッフが常駐しているため、大学間で連携して研究を進めるうえで中心的役割を担っている。検出器の運転では、挙動の変化を逐次的にデータベースに反映させ、円滑な衝突事象の再構成を実現した。検出器全体の 99 % 以上を正常に動作させ、取得データの 99 % 以上を物理解析に用いることを可能にしている。また、LHC 加速器が再稼働する 2015 年以降は、重心系エネルギーを増強し、瞬間ルミノシティも向上させるため、データ収集システムにかかる負荷を分散する必要がある。これまでと同程度の高い効率でデータを収集するための読み出し回路数を評価し、長期シャットダウン中のシステム改良方針を決定した。さらに、2015 年以降に取得するデータを物理解析に用いるための判定基準について、運用準備を進めている。特に、内部飛跡検出器の Pixel 検出器と TRT 検出器の情報を組み合わせることにより早期に異常を検知し、運転にフィードバックをかけることを目指している。

- **ボトムジェット同定アルゴリズムの開発** (川越 清以、東城 順治、音野 瑛俊)
 ヒッグス粒子のボトムクォーク対へ崩壊をはじめ、ボトムクォークを起源

とするジェット (b -jet) を終状態に持つ重要な物理過程が多く存在するため、 b -jet の同定は ATLAS 実験で重要な役割を果たす。 b -jet を他の軽いクォークを起源とするジェットと区別する手法が、 b -tagging である。ATLAS 実験で標準とする b -tagging は MV1 と呼ばれ、 b -jet に対する検出効率が 70 % の場合、軽いクォークを起源とする jet を 1/100 に除去することができる。MV1 は、複数の b -tagging アルゴリズムを neural network を用いて合成したものであり、そのうち最も寄与が大きい JetFitter について詳細な研究を行った。JetFitter は、ジェットの方向を仮想的に粒子の軌跡と考えることによって、複数の二次崩壊点を効率的に再構成するアルゴリズムである。JetFitter をシミュレーションサンプルに適用して真の崩壊過程と比較し、近接する異なる粒子が同一の粒子として誤って再構成されてしまう事象 (fake) が高い運動量領域で優勢になることを定量的に示した。LHC 加速器が再稼働する 2015 年以降の実験では、この fake 事象を抑制しつつ高い b -tagging 効率を維持することが課題である。

- **ヒッグス粒子の性質の研究 (織田 勸)**

2012 年 7 月に ATLAS 実験と CMS 実験が標準模型ヒッグス粒子の探索において新粒子を発見した。我々のグループは、背景事象が少なく、信号有意度の高い崩壊モードとして、ヒッグス粒子が Z 粒子対に崩壊し、各 Z 粒子がレプトン (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の研究に注力してきた。特に、解析用データの生成と系統誤差の評価を担当した。新粒子がヒッグス粒子と一致するか否かを決定するため、新粒子の他粒子との結合とスピン・パリティを研究した。結合の大きさにより、生成断面積や崩壊分岐比が変化する。終状態の付加的なジェットやレプトンの有無を調べることで、生成過程の情報を取り出せる。これまでに取得したデータを用いて得たゲージボソンとフェルミオンに対する結合の値は、標準模型ヒッグス粒子の場合に期待される値と統計誤差および系統誤差の範囲内で一致した。スピン (J) とパリティ (P) を 4 つのレプトンの角度分布やレプトン対の不変質量分布から決定して、標準模型ヒッグス粒子と同じ $J^P = 0^+$ であるという結果を 10 月に学術論文として出版した。同月、Brout-Englert-Higgs (BEH) 機構を提唱した F. Englert と P.W. Higgs にノーベル物理学賞が授与され、BEH 機構が予測するヒッグス粒子を ATLAS 実験と CMS 実験が発見したことが受賞理由に明記された。今年度の後半では、検出器の較正の改善・シミュレーションサンプルの再生成・解析手法の改良により、系統誤差を大幅に低減させた。2014 年度前半には最終結果を論文として公表する予定である。

- **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)
 現行の LHC 加速器は 2022 年まで運転した後、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、2025 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。その計画に対応し、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耐放射線シリコン検出器で構成する。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」の導入を検討してきた。システムは、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にも共用できる。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構築することができる。来年度の導入・稼働を目指し、今年度はシステムの仕様を策定した。

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、井上 研三、江崎 哲郎、上野 翔、宮崎 陽平、富田 龍彦)

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。本年度から末原大幹助教が本研究の推進のため加わり、これまでのカロリメータ研究に加え、シミュレーションを用いた物理解析・アルゴリズム開発を新たに始めた。

- **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、宮崎 陽平、富田 龍彦)
 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。本年度は赤外線レーザーを用いたシリコンパッドの応答特性測定装置を開発した。これはシリコンパッドの特定部位に疑似

信号としてレーザーを入射し他セルへのクロストーク等を測定する装置で、現在はパッド端部に配置するガードリングの付近にレーザーを入射し、ガードリングの構造の違いによる影響評価を行っている。また、前年度に開発したリーク電流、静電容量特性の自動計測装置を用いて、新たな仕様のシリコンパッドの評価も行った。来年度は、セルの電極部をメッシュ状に加工したシリコンパッドを用いて、レーザーをピクセル内に入射した場合の応答も調べる予定である。

- **ハイブリッド式電磁カロリメータの研究** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、上野 翔)

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。本年度はシリコンパッドとシンチレータストリップの組み合わせ方や吸収体の厚み、レイヤ数等を系統的に変化させてシミュレーションを行い性能の違いを重点的に調べた。来年度はそれを元に最適なハイブリッドカロリメータの構造を決定するとともに、実際に2種類のセンサーを組み合わせた実機を製作しビームテストを目指す。

- **シリコン電磁カロリメータ試作機の性能評価** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、上野 翔、宮崎 陽平)

シリコン電磁カロリメータの技術プロトタイプの開発に参加し、ビームテストおよびデータ解析を行った。ビームテストは昨年度に引き続き 2013 年 7 月にドイツの DESY 研究所にて行い、我々は現地におけるデータ収集に貢献するとともにデータ解析を主導的に行った。今回のビームテストでは特にパワーパルス運転 (発熱節減のため ILC 加速器のサイクル (5Hz) に合わせて必要な時間のみ電力を供給する) 時の性能安定性について調べ、電力を投入してから 600 μ 秒程度の期間はゲインの変動が見られることを発見した。

来年度以降は、昨年までは主にフランスで行われていたデータ収集系の開発を九州大学側でも本格的に進める予定であり、そのためフランスのデータ収集系の九州大学への移転を進めている。これを用いて来年度はデータ収集系の改良を行い、次回のより大規模なビームテストに備える。またシリコン電

磁カロリメータ以外の ILC 測定器との協調動作も重要な課題であり、これは九州大学のグループが中心となって取り組むことになっている。

- **ILC 物理解析およびそれを用いた測定器最適化**（川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、富田 龍彦）

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。現在までに、本モードを用いての全断面積測定はレプトン対と同程度の精度が得られたが、今後さらに高度かつ最適な解析手法を導入し、精度をレプトン対の半分程度まで高めることを目指して研究をすすめる。また、トップ粒子とヒッグス粒子の結合を直接測定する ttH プロセスも ILC で特に重要な物理の一つである。これに関しても本研究室が担当し、以前のものを上回る精度の解析結果が得られている。これも系統誤差の評価や解析のさらなる改善を行う。また、これらの解析結果および他の解析結果も用いて ILD 測定器における最適な構造を検証し、決定に参画していく予定である。

- **ILC 国内候補地の調査検討と一本化のための立地評価**（川越清以、吉岡瑞樹、江崎哲郎、井上研三）

ILC の国内建設候補地は福岡県・佐賀県にまたがる背振山地と岩手県の北上山地に絞られている。われわれは、高エネルギー加速器研究機構（KEK）の技術協力を得て、福岡県、佐賀県とともに背振山地の地質調査と最適ルート of 検討を行ってきた。本年度は平成 23 年度第 3 次補正予算による KEK からの受託研究「国際リニアコライダー計画 (ILC) 施設建設に係る現地調査」の結果をまとめ、7 月に KEK への報告を行った。

平成25年1月に、ILC戦略会議のもとに素粒子実験研究者7名とILC施設の専門家1名で構成されるILC立地評価会議（共同議長：川越（九州大学）、山本（東北大学））が設立され、国内候補値一本化に向けて、技術的な観点と社会環境の観点から2つの候補地の学術的・科学的評価を開始した。九州大学は、佐賀大学、福岡県、佐賀県、九州経済連合と協力して、技術評価と社会環境基盤評価のための資料を作成し、ILC立地評価会議に提出した。ILC立地評価会議は技術専門委員会、社会環境基盤評価専門委員会での議論をふまえて評価を行ない、さらに国際レビューを経たうえで、8月23日に「北上山地を最適とする」評価結果を公表した。なお、九州大学・佐賀大学は平成26年1月に研究会を設立して、ILC立地評価会議の評価内容の検証を始めている。本研究室は、ILC建設地がどこであっても、その実現に向けた研究活動・推進活動を今後も行なっていく。

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）

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実験施設が本年度から建設を開始し、検出器の開発を行っている。

● **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）

高計数率環境下で電子のエネルギーを測定し、事象トリガーに使用するための電磁カロリメータの開発を進めている。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、GSOまたはLYSO結晶をアバランシェ・フォトダイオードで読み出すことを検討している。採用候補である結晶を用いて、プロトタイプ検出器と読み出し回路を製作、データ収集システムの構築を行い、J-PARCハドロン実験施設のK1.1BRビームラインでテスト実験（J-PARC T51 実験）を行った。ビーム性能の不定性の範囲で良好な結果を得たが、ビームタイムの縮小により測定計画が未消化であった。最終結果を得るべく、読み出し回路と電子の入射位置を測定するシンチレーションファイバー検出器を改良し、高品質の電子ビームが利用できる東北大学電子光理学研究センターで再度テスト実験（課題番号2768）を行った。両結晶について、エネルギー105 MeV付近で5%程度以下のエネルギー分解能を得ることに成功した。最終結果を来年度中にまとめ、実機に採用する結晶を決定する予定である。

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

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。我々のグループは、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 アクリルをチェレコフ輻射体とし、光検出器である Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) による読み出しを検討している。さらに、信号-背景比の向上とタイミング情報を提供するため、MPPC 読み出しによるプラスチックシンチレータを組み合わせる。今年度は、UV アクリルの厚みの最適化、UV アクリルとプラスチックシンチレータを覆う反射材・遮光材の最適化、MPPC を用いた読み出しについて、宇宙線試験を行った。最終設計に向けた開発を進めるため、来年度に東北大学電子光理学研究センターでの電子ビームによるテスト実験を計画し、その準備を進めている。COMET 実験施設では、膨大な中性子量が予想されるため、中性子量の評価と MPPC の放射線耐性を研究することが今後の課題である。

- **ビーム粒子識別性能の研究** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史)

COMET 実験の Phase-I では、円筒型ドリフトチェンバーとトリガー検出器による物理ランに加え、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。特に、ミューオンビーム中の電子・パイ中間子・反陽子などの背景粒子を識別することが鍵を握る。検出器には、Phase-II における物理ランのために開発を進めている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り、シミュレーションを用いた検出器のビーム粒子識別性能の研究を開始した。検出器の配置などの最適化を進める予定である。

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、古浦 新司、調 翔平)

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り、本年度から検出器開発を開始した。

- **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、古浦 新司、調 翔平)

ミュオン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 3σ のずれを発表し、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 $1.9 \times 10^{-19} e \cdot cm$ の上限値を与えたが、有限の値が 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 $10^{-21} e \cdot cm$ の上限値まで、それぞれを分離して測定し、BSM を探索する野心的な計画である。この実験を可能とする検出器は、ミュ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。実験技術的に挑戦的な点は、平均ヒット計数率で 1 ストリップあたり 1.6 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。今年度は、電子回路シミュレーションによるチップの評価、評価基板上に実装したチップの性能評価を行った。その評価に基づき、来年度に計画している J-PARC 加速器 MLF 施設と東北大学電子光学研究センターにおけるビームテストの準備を進めた。来年度は、ビームテストによる評価を行い、実機を目指した次期プロトタイプの開発・製作を目指す。

中性子を用いた基礎物理 (吉岡 瑞樹、松本 悟、田中元気)

- 高精度中性子崩壊寿命測定実験 (吉岡瑞樹、田中元気)

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 $0.1a$ 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 2012 年 6 月に取得したコミッションングランのデータ解析を行った。詳細な解析に先立ち、ひとつひとつのイベントを目で見て確認する、アイスキャンを行った。その結果、壁から発生する α 線

や放電などが背景事象になるということ突き止めた。その後、先行実験と同様の解析手法を用いて解析を行った。その過程で、Geant4を用いたシミュレーション構築を行った。実験データとシミュレーションでエネルギーや粒子の飛ぶ距離などの様々な分布の比較を行ったが、まだ改善の余地があった。次年度はその改善に取り組む予定である。

- **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。当該年度では、散乱ガス試料容器の窓材選定実験を行い、散乱ガス試料容器を完成させる予定であったが。窓材選定実験は、実験実施予定であった J-PARC 加速器施設が当該年度中運転を停止していたため実施が不可能であった。そのため、すでに取得してあった予備データの詳細な解析及びこのために新規開発したモンテカルロシミュレーションを組み合わせて、懸念されていた窓材による背景事象が本実験の障害とならないことを示した。また、標的粒子の熱運動を考慮した実験系のシミュレーションを新たに開発し、測定系の最適化を行った。その結果、中性子ビームダクトから 1m 下流に標的容器、さらに 3m 下流に中性子検出器を設置する事で測定時間が最小になることが分かった。

発表論文

《原著論文》

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Multi-Higgs Boson Cascade in $W^+W^-b\bar{b}$ events with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, *Phys. Rev. D* **89**, 032002 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Standalone vertex finding in the ATLAS muon spectrometer”, *JINST* **9**, P02001 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark pair production charge asymmetry in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, *JHEP* **1402**, 107 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Quantum Black-Hole Production in High-Invariant-Mass Lepton+Jet Final States Using Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 091804 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector using 4.6 fb^{-1} ”, *Phys. Rev. D* **89**, 052004 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the mass difference between top and antitop quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **728C**, 363-379 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for long-lived stopped R -hadrons decaying out-of-time with pp collisions using the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **88**, 112003 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charginos nearly mass-degenerate with the lightest neutralino based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **88**, 112006 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter in events with a hadronically decaying W or Z boson and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 041802 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in photon + jet events collected in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **728C**, 562-578 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for microscopic black holes in a like-sign dimuon final state using large track multiplicity with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **88**, 072001 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct third-generation squark pair production in final states with missing transverse momentum and two b -jets in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, *JHEP* **1310**, 189 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS experiment”, JHEP **1310**, 130 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for excited electrons and muons in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, New J. Phys. **15**, 093011 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Dynamics of isolated-photon plus jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Nucl. Phys. B **875**, 483-535 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of top quark polarization in top-antitop events from proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 152001 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of jet shapes in top-quark pair events at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **73**, 2676 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark charge in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1311**, 031 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of Higgs production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC”, Phys. Lett. B **726**, 88-119 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data”, Phys. Lett. B **726**, 120-144 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the differential cross section of B^+ meson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV at ATLAS”, JHEP **1310**, 042 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Azimuthal Angle De-

pendence of Inclusive Jet Yields in Pb+Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. Lett. **111**, 152301 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of jet substructure techniques for large- R jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, JHEP **1309**, 076 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the high-mass Drell-Yan differential cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **725**, 223-242 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the distributions of event-by-event flow harmonics in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, JHEP **1311**, 183 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for $t\bar{t}$ resonances in the lepton plus jets final state with ATLAS using 4.7 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, Phys. Rev. D **88**, 012004 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Triggers for Displaced Decays of Long-lived Neutral Particles in the ATLAS Detector”, JINST **8**, P07015 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Characterisation and mitigation of beam-induced backgrounds observed in the ATLAS detector during the 2011 proton-proton run”, JINST **8**, P07004 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonant diboson production in the $WW/WZ \rightarrow l\nu jj$ decay channels with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, Phys. Rev. D **87**, 112006 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross section of jets in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1307**, 032 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for nonpointing photons in the dipho-

ton and E_T^{miss} final state in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **88**, 012001 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive jet cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV and comparison to the inclusive jet cross section at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **73**, 2509 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement with the ATLAS detector of multi-particle azimuthal correlations in p+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, Phys. Lett. B **725**, 60-78 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for third generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1306**, 033 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Extra Dimensions in diphoton events using proton-proton collisions recorded at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, New J. Phys. **15**, 043007 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Improved luminosity determination in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector at the LHC”, Eur. Phys. J. C **73**, 2518 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for WH production with a light Higgs boson decaying to prompt electron-jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, New J. Phys. **15**, 043009 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a light charged Higgs boson in the decay channel $H^+ \rightarrow c\bar{s}$ in $t\bar{t}$ events using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **73**, 2465 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross-section for W boson production in association with b -jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1306**, 084 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production in

pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, Phys. Rev. D **87**, 112003 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of kT splitting scales in $W \rightarrow l\nu$ events at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **73**, 2432 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for long-lived, multi-charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **722**, 305-323 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for single b^* -quark production with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, Phys. Lett. B **721**, 171-189 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for prompt lepton-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **719**, 299-317 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of Associated Near-side and Away-side Long-range Correlations in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV Proton-lead Collisions with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **110**, 182302 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a heavy narrow resonance decaying to $e\mu$, $e\tau$ or $\mu\tau$ with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC”, Phys. Lett. B **723**, 15-32 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter and large extra dimensions in events with a jet and missing transverse momentum with the ATLAS detector”, JHEP **1304**, 075 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of W^+W^- production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous WWZ and $WW\gamma$ couplings”, Phys. Rev. D **87**, 112001 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for displaced muonic lepton jets from light Higgs boson decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **710**, 32-50 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of charged-particle event shape variables in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton interactions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **88**, 032004 (2013).

Shower development of particles with momenta from 1 to 10 GeV in the CALICE Scintillator-Tungsten HCAL:

C.Adloff *et al.*

9, P01004 (2014), doi:10.1088/1748-0221/9/01/P01004

Validation of GEANT4 Monte Carlo models with a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter:

C.Adloff *et al.*

JINST **8**, P07005 (2013), doi:10.1088/1748-0221/8/07/P07005

Track segments in hadronic showers in a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter:

C.Adloff *et al.*

JINST **8**, P09001 (2013), doi:10.1088/1748-0221/8/09/P09001

《Proceedings》

The Performance of the Physics Prototype of the CALICE ScWECAL for ILD:

Yuji Sudo

Proceedings of the CHEF2013 Conference - Eds. J.-C. Brient, R. Salerno, and Y. Sirois, pp.145-151, ISBN 978-2-7302-1624-1, 2013

Simulation Study for the Hybrid ECAL for ILD:

Hiraku Ueno

Proceedings of the CHEF2013 Conference - Eds. J.-C. Brient, R. Salerno, and Y. Sirois, pp.279-285, ISBN 978-2-7302-1624-1, 2013

講演

《 海外での講演 》

Status of Higgs Searches

Junji Tojo on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations

Flavor Physics and CP Violation (FPCP2013), 19-24 May 2013, Rio de Janeiro

A consideration of combined DAQ for hybrid ECAL:

Suehara Taikan

CALICE Collaboration meeting, 19-21 March 2014, Argonne

Study of the response of the CALICE Si-W ECAL physics-prototype to positrons:

Miyazaki Youhei

CALICE Collaboration meeting, 19-21 March 2014, Argonne

Silicon sensor study for ILD ECAL:

Tomita Tatsuhiko

CALICE Collaboration meeting, 19-21 March 2014, Argonne

Si ECAL TB analysis: ramp up time of the electronics:

Sudo Yuji

CALICE Collaboration meeting, 19-21 March 2014, Argonne

Simulation Study for the Hybrid ECAL:

Ueno Hiraku

CALICE Collaboration meeting, 19-21 March 2014, Argonne

Beam test performance of the SiECAL technological prototype:

Sudo Yuji

LCWS13, 11-15 Nov 2013, Tokyo

Simulation study of the Hybrid ECAL for ILC:

Ueno Hiraku

LCWS13, 11-15 Nov 2013, Tokyo

Study of the response of the CALICE SiW ECAL physics-prototype to positrons:

Miyazaki Youhei

LCWS13, 11-15 Nov 2013, Tokyo

A study of silicon sensors for ILD ECAL:

Tomita Tatsuhiko

LCWS13, 11-15 Nov 2013, Tokyo

Linear Collider Detectors:

Kawagoe Kiyotomo

27 Oct - 2 Nov 2013, Seoul

R&D for the ECAL:

Sudo Yuji

2013 ILD meeting, 24-26 Sep 2013, Cracow

Silicon sensor study for ILD ECAL:

Yoshioka Tamaki

CALICE Collaboration meeting, 9-11 Sep 2013, Annecy

Study of the response of the CALICE SI-W ECAL physics prototype to positrons:

Miyazaki Youhei

CALICE Collaboration meeting, 9-11 Sep 2013, Annecy

Si Sensor Study for ILD Calorimeter:

Yuji Sudo

ECFA LC2013, 27-31 May 2013, Humburg

The performance of the Physics Prototype of the CALICE ScWECAL for ILD

Yuji Sudo

ECFA LC2013, 27-31 May 2013, Humburg

Simulation study of the hybrid Ecal:

Hiraku Ueno

ECFA LC2013, 27-31 May 2013, Humburg

The Performance of the Physics Prototype of the CALICE ScWECAL for ILD:

Yuji Sudo

CHEF2013, 22-25 April 2013, Paris

Simulation Study for the Hybrid ECAL for ILD:

Hiraku Ueno

CHEF2013, 22-25 April 2013, Paris

《 国内での講演 》

125 GeV Higgs at the LHC : $h \rightarrow ZZ, WW$:

Susumu Oda on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations

Higgs and Beyond、2013年6月、東北大学

LHC-ATLAS 実験における $H \rightarrow Z^{(*)}Z^{(*)} \rightarrow 4l$ チャンネルを用いたヒッグス粒子の研究 :

織田勸、他 ATLAS Collaboration

第 119 回日本物理学会九州支部例会、2013年11月、久留米工業大学

Present and future of physics at the LHC experiments :

Susumu Oda

Workshop on High-energy QCD and nucleon structure、2014年3月、KEK 東海キャンパス

$H \rightarrow ZZ$ (combined) spin/CP 測定 :

織田勸

新学術領域「先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学」研究会、2014年3月、東京大学

LHC-ATLAS 実験における $H \rightarrow Z^{(*)}Z^{(*)} \rightarrow 4l$ チャンネルを用いたヒッグス粒子の研究 :

織田勸、他 ATLAS Collaboration

日本物理学会第 69 回年次大会、2014年3月、東海大学

シンポジウム講演「ILC の物理 (実験)」:

末原大幹

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27 日～30 日、東海大学湘南キャンパス

リニアコライダー実験における質量 125GeV のヒッグスに対するトップ湯川結合の測定精度の評価: 須藤裕司

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27 日～30 日、東海大学湘南キャンパス

ILD における ECAL のためのシリコン検出器の特性研究とレーザーへの応答測定:
富田龍彦

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27 日～30 日、東海大学湘南キャンパス

ILC における Si-W 電磁カロリメータ試作機の性能研究:
宮崎陽平

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27 日～30 日、東海大学湘南キャンパス

ILC における電磁カロリメータのためのシリコン検出器のレーザーを用いた特性研究:
富田龍彦

第 119 回日本物理学会九州支部例会、2013 年 11 月 30 日、久留米工業大学

ILC における Si-W 細分割電磁カロリメータ試作機の性能研究:
宮崎陽平

第 119 回日本物理学会九州支部例会、2013 年 11 月 30 日、久留米工業大学

シンポジウム講演「ILC の物理」:

吉岡瑞樹

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

ILC における ILD ECAL のハイブリッド構造の最適化:

上野翔

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

ILC 実験用シリコン電磁カロリメータ technological prototype の性能評価:
須藤裕司

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

ILC における電磁カロリメータのためのシリコン検出器のレーザーを用いた特性研究:

富田龍彦

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

ILC における Si-W 細分割電磁カロリメータ試作機の性能評価:

宮崎陽平

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

素粒子から宇宙を探る –ヒッグス粒子とコライダー実験–

川越清以

クラブ関西 講演会、2014 年 03 月 13 日

素粒子と宇宙：ヒッグス粒子とは何か

川越清以

学校法人松尾学園 出前授業、2013 年 11 月 08 日

素粒子で宇宙の謎に迫る – LHC と ILC –

川越清以

九州大学 ホームカミングデー講演、2013 年 10 月 09 日

国際リニアコライダー (ILC) 計画について

川越清以

日本技術士会九州本部 研修会講演、2013 年 07 月 27 日

宇宙と物質の起源に迫る：ヒッグス粒子と国際リニアコライダー

川越清以

科学を語る会 講演会、2013 年 07 月 13 日

国際リニアコライダー計画とは何か

川越清以

九州経済連合会 講演会、2013 年 06 月 11 日

ヒッグス粒子とコライダー

川越清以

九州大学物理学科同窓会 講演、2013 年 06 月 06 日

物質・宇宙の起源に迫る ILC 計画

川越清以

福岡市・九州大学 福岡市市民講演会、2013年05月22日

国際リニアコライダーについて（研究者から

川越清以

土木学会西部支部 総会講演、2013年04月24日

国際リニアコライダーと都市計画

川越清以

都市計画学会九州支部 講演会、2013年04月07日

J-PARC でのミューオン電子転換探索実験 (COMET 実験) における電磁カロリメータの開発研究：

大石航

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

J-PARC でのミューオン電子転換探索実験 (COMET 実験) における電磁カロリメータの開発研究：

大石航

第 119 回日本物理学会九州支部例会、2013 年 11 月、久留米工業大学

J-PARC でのミューオン-電子転換過程探索実験 (COMET 実験) における MPPC を用いたチェレンコフトリガー検出器の開発：

中居勇樹

第 119 回日本物理学会九州支部例会、2013 年 11 月、久留米工業大学

J-PARC でのミューオン-電子転換過程探索実験 (COMET 実験) における MPPC を用いたチェレンコフトリガー検出器の開発：

中居勇樹

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月、東海大学湘南キャンパス

J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し回路の要求性能：

古浦新司

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月、東海大学湘南キャンパス

J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験：シリコンストリップ検出器用 ASIC の性能評価：
調翔平

日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月、東海大学湘南キャンパス

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、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)

文部科学省研究費補助金、若手研究 B

低エネルギー中性子散乱を用いたナノメートルスケールでの重力逆 2 乗則検証実験

研究代表者 吉岡瑞樹

《 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

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：(指導

教員、川越清以)：ミューオンの寿命測定

修士論文

- 上野翔：(指導教員、川越清以)：国際リニアコライダー計画におけるハイブリッド電磁カロリメータの構造最適化に向けた研究
- 大石航：(指導教員、東城順治)：J-PARCにおけるミュー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
- 松本悟：(指導教員、吉岡瑞樹)：低エネルギー中性子散乱を用いたナノメートルスケールでの重力逆2乗則の検証
- 宮崎陽平：(指導教員、川越清以)：ILCにおけるSi-W細分割電磁カロリメータ試作機の性能研究

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
高エネルギー物理学研究者会議：ILC戦略会議委員
高エネルギー物理学研究者会議：ILC立地評価会議共同議長
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
東京大学素粒子物理国際研究センター 研究協議会委員
- 東城
日本物理学会九州支部委員
- 吉岡
日本物理学会素粒子実験領域運営委員
日本物理学会九州支部委員

高エネルギーニュース編集委員

受託研究・民間との共同研究

- 高エネルギー加速器研究機構からの受託研究「国際リニアコライダー計画 (ILC) 施設建設に係る現地調査」(代表：川越清以)
- 九州大学とフランス CNRS/IN2P3 との共同研究「電磁カロリメータのためのシリコンセンサーの開発」(日本側研究代表者：川越清以)

その他の活動と成果

一般向け講演

「加速器のあるまち - CERN 帰国報告」：

東城 順治

国際リニアコライダー (ILC) 応援企画、福岡県福岡市、2013 年 4 月

「私がヒッグス粒子を見つけました」：

東城 順治

佐賀大学公開講座「ヒッグス粒子が見つかった!」、佐賀県佐賀市、2013 年 7 月

「素粒子物理学の最先端」：

東城 順治

松山中央高校「学部・学科研究会 (大学模擬授業)」、愛媛県松山市、2013 年 7 月

「CERN の目的と成果 - ILC 誘致の意義について」

東城 順治

福岡市議 CERN 視察団・視察報告会、福岡県福岡市、2013 年 7 月

「最先端の素粒子物理学」：

東城 順治

九州大学オープンキャンパス、福岡県福岡市、2013 年 8 月

粒子物理学講座(原子核実験グループ)

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
前田豊和 技術職員

《 大学院 博士課程 》

山口祐幸

《 大学院 修士課程 》

大中貴恵 兒玉大輔 西山憲一 福永拓
前田裕史 安田淳平 牛尾国久 衛藤竜一
田尾成章 高尾秀明 成清義博 西尾康貴 濱元健一 林慶太 伴
忠彦

《 学部 卒業研究生 》

郭儷怡 久間大平 小島拓郎 進藤佑輔
田中泰貴 田端心海 新名孝斎 則松恭彰 山本翔也

担当授業

力学基礎・同演習(野呂哲夫、寺西高)、コアセミナー(若狭智嗣)、
少人数セミナー(寺西高)、電磁気学(野呂哲夫)、自然科学総合実験(寺西高)、
物理学最前線(寺西高)、力学(若狭智嗣)、電磁気学I・同演習(森田浩介)、
最先端物理学(坂口聡志)、原子核物理学(野呂哲夫)、
物理学実験(森田浩介、藤田訓裕、坂口聡志、若狭智嗣、寺西高)、
物理学ゼミナール(森田浩介、若狭智嗣)、原子核・高エネルギー実験学(森田浩介)、
原子核実験(若狭智嗣)

研究・教育目標と成果

核内核子間相互作用の研究のための中性子スピン測定系の開発(安田淳平、若狭智嗣)

原子核媒質内において、核子・中間子の性質が変化する「媒質効果」があるのか否かは原子核物理において興味深いテーマである。媒質効果を調べる上で、核内での核子

核子散乱に対応する核子ノックアウト反応は有効である。我々は、Exclusiveな $(\bar{p}, \bar{n}p)$ 反応の世界初の測定を行うことを目指している。そのために、(1)中性子偏極度測定、(2)Exclusive測定、の2つの要素を有する $(\bar{p}, \bar{n}p)$ 反応における偏極移行量測定系の開発を行った。その結果、 ${}^6\text{Li}$ 及び ${}^{12}\text{C}$ 両標的に対して $1s$ 軌道と $1p$ 軌道の分離に成功し、微分断面積及び偏極分解能の取得に成功した。さらに、偏極移行量に関しても、所定の時間の測定を行うことで媒質効果の研究に必要な精度が得られるとの結論を得た。

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用いて、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「1. 陽子弾性散乱実験」及び「2. 陽子共鳴散乱実験」を遂行するための準備を集中的に進めた。また、装置開発の過程における物性的な研究「3. 芳香族三重項偏極過程の解明」も推進した。

1. 「陽子弾性散乱」 弾性散乱におけるスピン軌道結合の弱化に関して決定的な結論を得るため、反応理論の確立された中高エネルギー200MeV/Aにおける p - ${}^6\text{He}$ 偏極分解能測定を理研RIBFにて遂行する。この目的のため、大口径の偏極陽子標的システムを構築し、従来の6倍強、世界最大の体積を持つ試料を偏極させることに成功した。また、偏極度の向上のためのマイクロ波回路及び新波長レーザーの開発、さらに、高分解能の反跳陽子検出器や多芯線型ドリフトチェンバー等、検出器セットアップの構築を進めている。

2. 「陽子共鳴散乱」 陽子共鳴散乱は、陽子過剰核の非束縛状態を研究するための強力な手法である。不安定核一陽子共鳴散乱における初の偏極物理量測定として炭素9-陽子散乱実験のマシントimeが認められたことを受け、低エネルギー炭素9ビーム開発実験、及び薄膜偏極陽子標的の開発を進めた。

3. 「三重項偏極過程の解明」 標的に用いている偏極原理はまだ解明されていない部分も多く、物性的にも興味を持たれている。本年度は、その内の芳香族分子励起状態の寿命及びスピン格子緩和時間決定のための解析手法を考案し、結果を投稿論文としてまとめ始めている。

$(p, 2p)$ 反応を用いたCaの1粒子強度分布測定 (福永拓、坂口聡志、野呂哲夫)

近年の不安定核物理の発展によって、中性子過剰核など安定領域から離れた原子核の殻構造が安定領域とは異なっていることが分かって来た。その殻構造変化を生み出す原因の一つとして、大塚氏提唱のテンソル力による、モノポール効果がある。この効果があると、陽子の $j_>$ 軌道と $j_<$ 軌道とのエネルギー差が、特定の軌道の中性子数

に応じて変化する。

この効果の検証には、 $f_{7/2}$ 軌道の中性子数が大きく異なる Ca 同位体で陽子の $d_{3/2}$ 軌道と $d_{5/2}$ 軌道の (平均) エネルギー差の変化を調べるのが有効である。そこで、 $(\bar{p}, 2p)$ 反応を用いて両軌道の強度分布を調べるプログラムを始めている。この測定では、個々の準位を分離測定するために高分解能が要求されるため、数年前から RCNP の 2 アームスペクトロメータ系の高分解能化に取り組み、昨年度までの開発で $\Delta E=160\text{keV}$ を達成、本測定実施に目処をつけた。この結果に基づいて 2013 年 5 月に RCNP において実験を行った。

RCNP の偏極イオン源の不調でビームの質・量とも充分ではなかったが、限られたデータから、 $E_p=200\text{ MeV}$ での $(\bar{p}, 2p)$ 反応が軌道の同定と 1 粒子強度の抽出の協力的な手段になることを確認し、これまで $1d_{3/2}$ であると考えられていた領域に $1d_{5/2}$ 強度が混在していることを見いだした。

pd 分解反応における Space Star 異常 (相良建至、大中貴恵、前田裕史)

$p+d \rightarrow p+p+n$ 分解反応からの 3 核子が、(a) 正三角形をなして遠ざかり、(b) その正三角形がビーム軸と垂直となる運動学条件を Space Star (SS) と呼ぶ。1989 年に $E_n = 13\text{ MeV}$ での $n+d \rightarrow n+n+p$ 反応の SS 断面積が厳密な Faddeev 計算値と約 30% 合わない現象が報告され SS anomaly と呼ばれている。しかし、4 半世紀経った今も SS anomaly の原因が解明されていない。我々は、高信頼度で測定できる $p+d \rightarrow p+p+n$ 反応で SS anomaly を 1998 年から系統的に調べ、15 年後の今年度で実験を完了した。昨年度までの実験で、 $p+d \rightarrow p+p+n$ の異常は

- (a) 正三角形条件で最大になる、
- (b) 垂直条件で最大になる、

との結果を得た。つまり、異常は SS 条件で最大になる、と判明した。今年度で、(c) エネルギー依存性の調査を終えた。結果は以下のとおり。

(c) $p+d \rightarrow p+p+n$ の SS 異常は $E(p\text{-beam}) = 7.5, 9.5, 13\text{ MeV}$ で約 -8% で一定である。

これら (a),(b),(c) の SS anomaly の特質から、理論家が早急に原因を解明すべきである。

超重元素の探索 (成清義博、藤田訓裕、森田浩介)

理化学研究所の線形加速器 (RILAC) からの大強度重イオンビームを用い、新しい超重元素の探索実験を行っている。今年度は 12 月に ^{248}Cm (原子番号 96) 標的に ^{48}Ca (原子番号 20) ビームを照射し、完全融合反応によって合成される原子番号 116 の Lv (リバモリウム) の合成実験を行った。この反応はロシア、ドゥブナにあるフレロフ核

反応研究所 (FLNR) や、ドイツの重イオン科学研究所 (GSI) ですでに研究が行われているが、それらの実験結果を追認する結果を得た。合成された核種は ^{292}Lv および ^{293}Lv である。検出効率においては世界最高の値を得た。また現在解析中であるが ^{292}Lv の α 崩壊チェーンの中に今までは確認されていなかった、 ^{284}Cn (コペルニシウム、原子番号 112) の α 崩壊が観測されている可能性が高い。さらには ^{284}Cn の α 崩壊の娘核である ^{280}Ds (ダームスタチウム、原子番号 110) は未知の同位体であり、新核種が発見されている可能性が高い。今後はこの実験のさらなる追試を行うとともに ^{50}Ti ビームによる新元素探索実験を計画している。

2 中性子共鳴探索手法の開発 (相良建至、大中貴恵、前田裕史)

nn 間相互作用は直接実験ができないので未確定である。2010 に Witala と Gloeckel が、nn 相互作用が 8% 程度強いなら nn-QFS 異常が説明でき、nn 共鳴が存在する可能性がある、と指摘した。そこで我々は nn 共鳴の存否を調べるために、 $\text{D}(\text{d},\text{n})^3\text{He}$ で生成する n-beam を用いて断面積を測定するための準備研究を進めた。

実験上の問題点は、 $\text{D}(\text{n},\text{p})\text{nn}$ からの p が微量なことと、 $\text{D}(\text{d},\text{n})^3\text{He}$ からの大量の n が Si 検出器にバックグラウンド (BG) を生じさせることである。前年度には D 気体標的を改良し、鉛+パラフィン遮蔽の効果と E-E 型検出器の性能を調べた。今年度は、(n,p) 反応を起こさない炭素で検出器のスリットとシールドを作り、かつ n 遮蔽効果大の鉄を最大 40cm 厚さ (総重量 200kg) に配置して検出器を覆った。その結果、n 起因の p-BG は $\text{D}(\text{n},\text{p})\text{nn}$ からの p 予想量と同程度になった。本研究で、 $\text{D}(\text{n},\text{p})\text{nn}$ の nn 共鳴探索方法のめどがついた。検出器をガス+Si にすれば、本測定が行えるだろう。ビームをパルス化して飛行時間差も測定すればさらに BG が減らせる。

天体ヘリウム-炭素核融合反応速度の測定 (藤田訓裕、山口祐幸、田尾成章、成清義博、濱元健一、伴忠彦、相良建至)

ヘリウム燃焼期の恒星で起こる天体核反応 $^{12}\text{C}+^4\text{He}\rightarrow^{16}\text{O}+\gamma$ の全断面積測定において、反応エネルギー $E_{cm} = 1.2$ MeV でのデータ取得に成功した。これは ^{16}O を直接測定する方法では世界初のデータである。

昨年までに ^{16}O のバックグラウンドが標的に付着した酸化皮膜から発生している事を突き止められていたので、その対策を行った。標的容器の内径を広げ、標的上流の 2 カ所にスリットを設置する事でビームが容器の酸化皮膜に触れない様なビーム通しを可能とした。その他の反応生成 ^{16}O と同じエネルギーを持つ ^{12}C バックグラウンドは開発したイオンチェンバー (E- ΔE カウンタ) を用いて粒子識別を行い、除去する事が出来た。

$E_{cm} = 1.0$ MeV 以下での測定のために Recoil Mass Separator の立体角アクセプタン

スの拡大を行った。Q2, Q4 磁石を大口径の物に交換し、Electric Deflector の極板距離を広げる改造を行った。proton のペンシルビームを用いて測定し、ビーム軸に対して上下、左右共に ± 2 度以上のアクセプタンスがある事を確認した。

長期測定のための He ガス循環系も開発が完了し、正常に動作している事を確認した。ガス標的に使用した He の 95% はポンプで回収された後、クライオ冷凍機で冷却された熱交換器やフィルターを通して不純物が取り除かれ、リザーバタンクに貯蔵され標的に再利用される。 ^{12}C ビームと標的との弾性散乱を測定し、不純物の混合割合が 0.1% 以下で有る事が確認された。

次年度のタンデムシャットダウンまでに TOF 検出器の開発を行い、 $E_{cm} = 1.0$ MeV での断面積測定を完了させる予定である。

低エネルギー不安定核ビームによる不安定核の研究 (寺西高)

RI ビームを用いて不安定核の共鳴準位を探索し、不安定核の構造や不安定核が関与する天体核反応についての知見を得ることを目標にしている。本年度は実験データがほとんどない陽子非束縛核 ^{10}N のレベルを調べるため、低エネルギー ^9C ビームと偏極陽子標的を用いた $^9\text{C}+p$ 共鳴弾性散乱の測定計画を RIBF PAC に提案し、テストマシンタイムを取得した。来年度以降にテスト実験を実施する予定である。

RF・荷電交換イオン源の開発 (林慶大、牛尾国久、寺西高)

小規模・低コストの RI ビーム生成法として、寿命が数分以上の中・長寿命不安定核の 2 次イオンをガス分子の形でイオン源に注入し、負イオンとして引き出し、タンデム加速器により加速するという手法の開発を目指している。本年度は、将来の ^{11}C や ^{14}C ビーム生成を念頭に置き、炭素を含んだガス分子である非放射性 CO_2 を RF・荷電交換イオン源へ注入し、炭素ビームを引き出すテストを行った。今後、運転条件の最適化を行い、他のガスを用いたテストも行う予定である。

加速器質量分析の開発と利用 (西山憲一、衛藤竜一、高尾秀明、野呂哲夫、坂口聡志)

九大のタンデム加速器を用いた加速器質量分析システムの実用化のため、イオン源、ビーム輸送系、検出器系の改良を行っている。理系のキャンパス移転が 2015 年度に決定し、それに伴って箱崎タンデム加速器が 2014 年末にシャットダウンされることになったため、伊都キャンパスでの実現を見据えた開発活動を行った。

ビーム輸送系の開発としては、加速器上流と下流のビームエミッタンスを測定、その比較から、加速器ストリッパ膜でエミッタンス増大があることを確認した。

また、マルチアノードイオンチェンバーについては、実際に ^{13}C 粒子と ^{14}C 粒子の検出信号を比較し、データ処理によって分離度 85 可能であるとの結果を得た。それと同

時に、電氣的バックグラウンドによって分解能が悪化していることが確認されたため、GEM(ガス電子増幅膜)を挿入して若干のガス増幅を行うことを検討している。

加速器・ビーム応用科学センターでのタンデム加速器施設の建設 (寺西高、野呂哲夫)
現在、伊都キャンパスの加速器・ビーム応用科学センター(以下、加速器センター)において、8 MV タンデム加速器の設置を進めている。本加速器の主要機器は、京都大学理学部から九州大学へ2012年度に移設されたものであり、加速器タンク、SF₆ガス・リザーバータンク、制御系、イオン源、ビームラインの一部など移設が困難なものや老朽化したものは九州大学で更新しつつある。2013年度は6月から年度末まで、タンデム加速器・実験棟(以下、新棟)の建設が加速器センターのFFAG加速器棟の隣に増設する形で行われた。この新棟は、2012年度にタンデム加速器設置作業のために仮設されたプレハブ棟を取り囲みながら建設され、新棟完成後にプレハブ棟の壁と屋根が取り除かれた。一方、加速器調整作業は新棟建設前の4月と5月のみに行われ、これまでに、加速器タンクの真空テストおよび乾燥圧縮空気による加圧テストが完了し、また制御系テストの一部が行われた。2014年4月から加速器調整作業が再開され、2014年度内に最初のビーム加速が行われる予定である。

発表論文

《原著論文》

Extraction of anti-analog giant dipole resonance and neutron skin thickness for ²⁰⁸Pb
J. Yasuda, T. Wakasa, M. Okamoto, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, S. Kuroita, Y. Maeda, T. Noro, Y. Sakemi, M. Sasano, and K. Yako
Prog. Theor. Exp. Phys. **063D02** (2013).

Observation of Low- and High-Energy Gamow-Teller Phonon Excitations in Nuclei
Y. Fujita, H. Fujita, T. Adachi, C.L. Bai, A. Algora, G.P.A. Berg, P.von Brentano, G. Colo, M. Csatos, J.M. Deaven, E.Estevez Aguado, C. Fransen, D.De Frenne, K. Fujita, E. Ganioglu, C.J. Guess, J. Gulyas, K. Hatanaka, K. Hirota, M. Honma, D. Ishikawa, E. Jacobs, A. Krasznahorkay, H. Matsubara, K. Matsuyanagi, R. Meharc-hand, F. Molina, K. Muto, K. Nakanishi, A. Negret, H. Okamura, H.J. Ong, T. Otsuka, N. Pietralla, G. Perdikakis, L. Popescu, B. Rubio, H. Sagawa, P. Sarriguren, C. Scholl, Y. Shimbara, Y. Shimizu, G. Susoy, T. Suzuki, Y. Tameshige, A. Tamii, J.H. Thies,

M. Uchida, T. Wakasa, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, K.O. Zell, and J. Zenihiro
Phys. Rev. Lett. **112**, 112502 (2014).

Proton polarization in photo-excited aromatic molecule at room temperature enhanced by intense optical source and temperature control:

S. Sakaguchi, T. Uesaka, T. Kawahara, T. Ogawa, L. Tang, T. Teranishi, Y. Urata, S. Wada, and T. Wakui

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **317** (2013) 679-684.

Investigation of the thermonuclear $^{18}\text{Ne}(\alpha,p)^{21}\text{Na}$ reaction rate via resonant elastic scattering of $^{21}\text{Na} + p$:

L.Y. Zhang, J.J. He, A. Parikh, S.W. Xu, H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Kubono, P. Mohr, J. Hu, P. Ma, S. Z. Chen, Y. Wakabayashi, H.W. Wang, W.D. Tian, R.F. Chen, B. Guo, T. Hashimoto, Y. Togano, S. Hayakawa, T. Teranishi, N. Iwasa, T. Yamada, T. Komatsubara, Y. H. Zhang, and X. H. Zhou,

Physical Review C 89 (2014) 015804.

Low-energy radioactive ion beam production of ^{22}Mg :

N.N. Duy, S. Kubono, H. Yamaguchi, D. Kahl, Y. Wakabayashi, T. Teranishi, N. Iwasa, Y.K. Kwon, L.H. Khiem, Y.H. Kim, J.S. Song, J. Hu, Y. Ayyad,

Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A723 (2013) 99.

The $^{18}\text{Ne}(\alpha,p)^{21}\text{Na}$ breakout reaction in x-ray bursts: Experimental determination of spin-parities for α resonances in ^{22}Mg via resonant elastic scattering of $^{21}\text{Na}+p$:

J.J. He, L.Y. Zhang, A. Parikh, S.W. Xu, H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Kubono, J. Hu, P. Ma, S.Z. Chen, Y. Wakabayashi, B.H. Sun, H.W. Wang, W.D. Tian, R.F. Chen, B. Guo, T. Hashimoto, Y. Togano, S. Hayakawa, T. Teranishi, N. Iwasa, T. Yamada, T. Komatsubara,

Physical Review C 88 (2013) 012801.

Resonant scattering of $^{22}\text{Na}+p$ studied by the thick-target inverse-kinematic method:

S.J. Jin, Y.B. Wang, J. Su, S.Q. Yan, Y.J. Li, B. Guo, Z.H. Li, S. Zeng, G. Lian, X.X. Bai, W.P. Liu, H. Yamaguchi, S. Kubono, J. Hu, D. Kahl, H.S. Jung, J.Y. Moon, C.S. Lee, T. Teranishi, H.W. Wang, H. Ishiyama, N. Iwasa, T. Komatsubara, B.A. Brown,

Physical Review C 88 (2013) 035801.

《Proceedings》

Decomposing spin-dipole resonances by complete polarization transfer measurements:
T. Wakasa, M. Okamoto, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, S. Kuroita, Y. Maeda,
H. Miyasako, T. Noro, T. Saito, Y. Sakemi, T. Yabe, and K. Yako
AIP Conf. Proc. **1524**, 46 (2013).

Resonance scattering experiments with radioactive nuclear beams - Recent results and
future plans:

T. Teranishi, S. Sakaguchi, T. Uesaka et al.,
AIP Conf. Proc. 1525 (2013) 552–557.

Search for Perpendicular Plane Anomaly in pd breakup at $E_p = 13$ MeV:
S. Kimura, K. Sagara, K. Ishibashi, S. Tanaka, Y. Maeda, and K. Ohnaka
Few-Body Systems Vol. 54 #7-10 (2013) 1293-1296.

Measurement of ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O}) \gamma$ in inverse kinematics:

K. Fujita, K. Sagara, T. Teranishi, M. Iwasaki, D. Kodama, S. Liu, S. Matsuda, T.
Mitsuzumi, J. Y. Moon, M. T. Rosary, and H. Yamaguchi
Few-Body Systems Vol. 54 #7-10 (2013) 1603-1606.

講演

《海外での講演》

Study of anti-analog giant dipole resonance in ${}^{208}\text{Pb}(p, n)$ and neutron skin thickness
for ${}^{208}\text{Pb}$:

J. Yasuda, T. Wakasa, M. Okamoto, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, S. Kuroita,
Y. Maeda, T. Noro, Y. Sakemi, M. Sasano, and K. Yako
International Nuclear Physics Conference (INPC2013), June 2013, Florence, Italy

(p, pN) studies with spin measurements at intermediate energies:

T. Noro

2nd International Workshop on Quasi-Free Scattering with Radioactive-Ion Beams (QFS-RB13), Sep. 2013, Terceira, Portugal)

Study of Unstable Nuclei with Spin-polarized Protons:

S. Sakaguchi

Nuclear Physics Seminar, Institute for Basic Science, Daejeon, Korea, 19 Feb., 2014.

Study of Unstable Nuclei with Spin-polarized Protons:

S. Sakaguchi

Nuclear Physics Seminar, Kyungpook National University, Daegu, Korea, 17 Feb., 2014.

Recent Results on Superheavy Element Research at RIKEN:

K. Morita

International conference FUSION14, February 2014, New Delhi, India

Recent Few-Nucleon Experiments and Discrepancies to be solved:

K. Sagara (invited)

The 22nd European Conference on Few Body Problems in Physics, Krakow Poland, 2013.9.9-13.

Feasibility study of nn-resonance state search using $2\text{H}(n,p)\text{nn}$ reaction at $E_n=12$ MeV:

Y. Maeda, K. Sagara, K. Ohnaka, K. Ishibashi, S. Tanaka, S. Kimura, S. Kuroita

The 22nd European Conference on Few Body Problems in Physics, Krakow Poland, 2013.9.9-13.

Systematic measurement of pd breakup cross section around Space Star:

K. Ohnaka, K. Sagara, Y. Maeda, K. Ishibashi, S. Kimura, S. Tanaka, T. Fukunaga, J. Yasuda, T. Yabe, K. Yashima, Y. Eguchi, H. Shimoda, T. Sueta, S. Kuroita

The 22nd European Conference on Few Body Problems in Physics, Krakow Poland, 2013.9.9-13.

Direct Measurement of 4He (^{12}C , ^{16}O) γ cross section with RMS at TUTL:

K. Sagara

Workshop in Caserta Direct measurements in Nuclear Astrophysics with Recoil Mass

separators, 2014.10.04-05, Caserta, Italy.

《 国内での講演 》

Anti-analog giant dipole resonance and neutron skin thickness in ^{208}Pb :

J. Yasuda, T. Wakasa, M. Okamoto, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, S. Kuroita, Y. Maeda, T. Noro, Y. Sakemi, M. Sasano, and K. Yako

The 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), July 2013, Tokyo, Japan

Superheavy Element Research at RIKEN:

K. Morita

The 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12), July 2013, Chiba, Japan

$E_{\text{cm}}=1.2\text{MeV}$ 以下での $^4\text{He}(^{12}\text{C},^{16}\text{O}) \gamma$ 反応の直接測定:

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

日本物理学会

新発見の 113 番元素 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

理化学研究所一般公開特別講演、理化学研究所、4月(2013).

113 番新元素の探索:

森田浩介

近未来への招待状 (科学技術・学術政策研究所主催講演会)、文部科学省、5月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

理化学研究所科学講演会、東京、10月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

理化学研究所科学講演会、鳥栖、鳥栖中学校、香楠中学校、鳥栖高等学校、11月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

東京大学物理教室コロキウム、東京、12月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

講演会、坂戸高校、埼玉、12月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

福岡工業大学土曜談話会、福岡、12月(2013).

新元素の探索 - 現代の錬金術 -:

森田浩介

日本化学会市民講座、名古屋大学、3月(2014).

陽子弾性散乱のアイソスピン空間への拡張で探る中性子スキン厚と状態方程式:

坂口聡志

九大分野横断型研究会「クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する」、九州大学、3月(2014).

Preparation status of SAMURAI13 experiment:

S. Sakaguchi

SAMURAI International Workshop, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 9 Sept., 2013.

タンデム加速器におけるRF荷電交換型イオン源の開発:

林慶大、寺西高、牛尾国久、則松恭彰

第119回日本物理学会九州支部例会,2013年11月30日,久留米工業大学

九州大学タンデムを用いたAMS測定の開発:

衛藤竜一

第119回日本物理学会九州支部例会,2013年11月30日,久留米工業大学

加速器知る超分析のためのマルチアノードイオンチェンバの開発:

西山憲一、衛藤竜一、小島拓郎、新名孝斎

第119回日本物理学会九州支部例会,2013年11月30日,久留米工業大学

天体核反応 $12\text{C} + \alpha \rightarrow 16\text{O} + \gamma$ の $E_{\text{cm}}=1.2\text{MeV}$ における全反応断面積測定:
伴忠彦, 相良建至, 藤田訓裕, 山口祐幸, 兒玉大輔, 成清義博, 濱元健一, 田尾成章, 久間
太平, 郭儷怡
第 119 回日本物理学界九州支部例会、久留米工業大学 2013 年 11 月 30 日

$E_{\text{cm}}=1\text{MeV}$ 以下での $4\text{He}(12\text{C},16\text{O}) \gamma$ 測定のための反跳質量分析器改造:
田尾成章, 山口祐幸, 藤田訓裕, 相良建至, 兒玉大輔, 成清義博, 濱元健一
第 119 回日本物理学界九州支部例会、久留米工業大学 2013 年 11 月 30 日

p d 分解反応における Star Anomaly の系統的測定:
大中貴恵, 相良建至, 前田裕史, 石橋和久, 木村駿太郎, 田中翔基, 福永拓, 安田淳平, 矢
部達也, 八嶋恵介, 黒板翔
第 119 回日本物理学界九州支部例会、久留米工業大学 2013 年 11 月 30 日

nn 分解反応を用いた nn 共鳴状態探索のための実験手法に関する研究:
前田裕史, 相良建至, 大中貴恵, 石橋和久, 木村駿太郎, 田中翔基, 黒板翔
第 119 回日本物理学界九州支部例会、久留米工業大学 2013 年 11 月 30 日

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

基盤研究 (B) 「天体エネルギーにおける炭素 - ヘリウム融合反応全断面積の直接測定」
(相良建至 2012~2014 年度)

基盤研究 (C) 「次世代型不安定核反応実験に向けた RI 生成・加速の新技术開発」
(寺西高 2012~2014 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)

新学術領域研究 (研究領域提案型) 「冷却不安定原子を用いた電子電気双極子能率探索」
(研究代表者:酒見泰寛、分担者:若狭智嗣)

学部4年生卒業研究

- (1) 郭儷怡：(指導教員、森田浩介)
 ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O}) \gamma$ 実験における標的付近からの ${}^{16}\text{O}$ バックグラウンド I
- (2) 久間大平：(指導教員、森田浩介)
 ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O}) \gamma$ 実験における標的付近からの ${}^{16}\text{O}$ バックグラウンド II
- (3) 小島拓郎：(指導教員、野呂哲夫)
イオンチェンバを用いた同位体分離能の評価
- (4) 進藤佑輔：(指導教員、若狭智嗣)
アイソバリック・アナログ状態への遷移を用いた質量公式のクーロン項の係数の測定
- (5) 田中泰貴：(指導教員、森田浩介)
気体充填型反跳分離器 (GARIS) の動作原理?
- (6) 田端心海：(指導教員、若狭智嗣)
アイソバリックアナログ状態を利用した原子核の電荷半径の測定
- (7) 新名孝斎：(指導教員、野呂哲夫)
伊都キャンパス新ビームラインのための電磁石の性能評価
- (8) 則松恭彰：(指導教員、寺西高)
RF 荷電交換イオン源の開発
- (9) 山本翔也：(指導教員、森田浩介)
気体充填型反跳分離器 (GARIS) の動作原理?

修士論文

- 大中貴恵：(指導教員、若狭智嗣)
pd 分解反応における Space Star Anomaly の確定とエネルギー依存性の研究
- 兒玉大輔：(指導教員、森田浩介)
 $E_{cm} = 1.2 \text{ MeV}$ での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応予備測定と He 循環系開発
- 西山憲一：(指導教員、野呂哲夫)
九大タンデム加速器を用いた AMS システムの開発
— ビームエミッタンス測定と検出器でのビーム識別 —
- 福永拓：(指導教員、野呂哲夫)
 $(\vec{p}, 2p)$ 反応による Ca の 1 粒子強度分布測定
- 前田裕史：(指導教員、若狭智嗣)
nn 状態探索のための ${}^2\text{H}(n,p)nn$ 反応の低バックグラウンド測定
- 安田淳平：(指導教員、若狭智嗣)

核内核子間相互作用の研究のための中性子スピン測定系の開発

学外での学会活動

- 野呂哲夫：日本物理学会 代議員、J-PARC 放射線安全委員会委員
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
国際助言委員 (2004 年 4 月～)
- 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
大阪大学核物理研究センター実験課題審査専門委員会委員
- 寺西高：日本物理学会九州支部委員
- 相良建至：Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB)

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」2014 年 3 月 24 日 (寺西高)

物性理論研究室

研究室構成員

吉森明 准教授

松井淳 助教

《 大学院 博士課程 》

末松安由美 (後期休学) 中村有花 野口慎平 原諒平

松本幸介 (後期休学) 山田一雄

《 大学院 修士課程 》

井上雅郎 山北知史 魚岡勇佑 岡次聡

《 学部 卒業研究生 》

阿部 健太 時松 幹 富田 聖也

担当授業

統計力学 II(吉森明)、統計力学補習(吉森明)、非平衡物理学(吉森明)、力学基礎同演習(吉森明)、力学基礎同演習(松井淳)、物理数学演習(松井淳)

研究・教育目標と成果

[I] 非平衡系・複雑系を中心とした物性理論

1. 過冷却液体、ガラス転移の数値的、理論的研究

(a) 3次元単成分液体のガラス転移(松本幸介、松井淳)

LJG ポテンシャルモデル粒子の単成分系で分子動力学シミュレーションを行った。高い圧力下では結晶へ、低い圧力下ではガラスへ転移することがわかっている。中程度の圧力下では、一次転移して、周期構造のない高密度相になる。拡散係数の温度依存がアレニウス型であることから、高密度相が液体である可能性を検討した。

(b) GPGPU を用いた高速シミュレーションの開発(松本幸介、松井淳) : GPGPU を利用して、分子動力学シミュレーションの超並列化を試みた。

(c) ジャンプ待ち時間分布の対数発散 (松井淳)

ガラス中の分子のジャンプ拡散について待ち時間の空間相関について解析した。

2. 揺動散逸関係式の破れの表現と原田佐々公式 (山田一雄、吉森明)

多数のランジュバン粒子の密度場で記述される系を場のオーバーダンプランジュバンモデルと呼ぶ。このモデルの過渡的運動量場に関する揺動散逸関係式の破れが定常発熱率と結びつくことを示した。

[II] 化学物理の理論的研究

1. 多成分溶媒中での大きな溶質の拡散の研究 (中村有花、吉森明)

2成分剛体球溶媒中での溶質の拡散係数を、溶質周りの溶媒の密度分布を考慮できる理論を用いて計算した。2成分溶媒の混合比や半径比によって拡散係数は変化し、流体力学のストークス-アインシュタイン則が大きく破れる場合があることが分かった。また、この破れが溶質表面での溶媒粒子の密度と強い相関があることを明らかにした。

2. 穴中の粒子の平衡状態とダイナミックスの研究 (原諒平、吉森明)

狭い空間の中に溶質が入る現象は、シャペロンの機能、ABCトランスポーターなどあり、基本的な現象である。このような現象において溶媒が溶質に与える影響をTDDFT(動的密度汎関数理論)を用いて理論の定式化を行った。また、溶質が等速度で動いているときの溶媒の確率密度分布の時間変化を数値的に明らかにし、多くの溶媒が狭い空間に閉じ込められることが分かった。

3. 枯渇効果による蛋白質の結晶化 (末松安由美、吉森明)

枯渇効果による蛋白質の結晶化メカニズムを明らかにする為に、蛋白質および結晶化剤としての高分子を大小2成分の剛体系にモデル化した系を扱った。小粒子が与える大粒子間の実効的な引力について、これまでの研究では簡単な単極小のモデルが使われてきた。本研究では積分方程式理論を用いたより複雑な結果を採用し、それを扱うための理論を確立した。

4. 参照剛体球系の計算にRY近似を使った熱力学摂動論 (魚岡勇佑、吉森明)

結晶化の研究を簡便に行うため、Ramakrishnan-Yussouff(RY)近似を使った熱力学摂動論を定式化し、蛋白質の結晶化に応用することを目標にしている。参照系として剛体球を取り、結晶と液体の自由エネルギー

差を RY 近似で計算する。さらに、剛体球以外の相互作用を摂動として取り入れるため、その式の形を導出した。来年度は、具体的な系に応用し、他の方法と比較して精度を明らかにする。

5. 動的密度汎関数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)

マイクロレオロジーでは、複雑流体の内部に挿入されたプローブ粒子の運動の様子から、その複雑流体の力学的性質が決定される。この時、複雑流体の構成粒子（コロイド粒子など）同士の相互作用がプローブ粒子の運動に影響を及ぼす。本研究では、コロイド溶液のマイクロレオロジーに相当する簡単な問題設定の下で、コロイド粒子間の相互作用がプローブ粒子の運動に及ぼす影響について、動的密度汎関数理論を用いて数値的に調べた。

6. アインシュタインの粘度式の拡張 (山北知史、吉森明)

溶質周りの溶媒和の効果を考慮して、溶媒粒子の密度分布から溶液の粘度を計算する理論を定式化した。これにより、溶液の粘度は溶媒粒子の分布の影響を大きく受けることを明かにした。特に、溶質 - 溶媒間に引力が働く場合に溶液の粘度を計算し、引力が大きいほど粘度も大きくなることが明らかとなった。

7. 相互作用点モデルによる動的密度汎関数理論の分子液体への拡張 (岡次聡、吉森明)

動的密度汎関数理論は単純液体のダイナミクスを記述する理論であるが、本研究ではこの理論を相互作用点モデルによって分子液体に適用できる理論へと拡張した。またそれを用いて二原子分子に関して各サイトごとに密度場の時間変化を数値的に計算し、得られた結果を単純液体のものと比較することで分子液体特有の動的性質を明らかにした。

発表論文

《原著論文》

Perturbation Theory of Large-Particle Diffusion in a Binary Solvent Mixture:

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama,

Journal of the Physical Society of Japan, **Vol. 83** 064601 (2014).

A Unified Proof of the Harada-Sasa equality for Underdamped and Overdamped Systems:

Kazuo Yamada and Akira Yoshimori,

Journal of the Physical Society of Japan, **Vol. 83** 053001 (2014).

Coarse-grained forms for equations describing the microscopic motion of particles in a fluid:

Shankar P. Das and Akira Yoshimori,

Phys. Rev. E, **Vol. 88** 043008 (2013) [8 pages].

A theoretical framework for calculations of the structural relaxation time on the basis of the free energy landscape theory:

Toru Ekimoto, Akira Yoshimori, Takashi Odagaki and Takashi Yoshidome

Chemical Physics letters, **Vol. 577** , Pages 58-61 (2013).

A non-perturbative approach to freezing of superfluid 4He in density functional theory,

T. Minoguchi¹, D.E. Galli, M. Rossi and A. Yoshimori

Journal of Physics: Conference Series. 400, 012050, (2013)

《Proceedings》

Effects of Solvation Structure on Diffusion of Large Particle in Binary Mixture Studied by Perturbation Theory:

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama,

Journal of Molecular Liquids, 印刷中

Control of solid-phase stability by interaction potential with two minima:

A. Suematsu, A. Yoshimori, M. Saiki, J. Matsui, T. Odagaki,

Journal of Molecular Liquids, 印刷中

講演

《海外での講演》

Entropic effects of solvent on big sphere dynamics into a cylindrical vessel,

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

“Statphys25”, July 21 - 26, 2013 Seoul National University, Seoul, Korea

《国内での講演》

「Control of solid-phase stability by interaction potential with two minima」
(招待講演)

A. Suematsu, A. Yoshimori, M. Saiki, J. Matsui, T. Odagaki,
”7th Mini-Symposium on Liquids” 九州大学,7月5日-7月6日, 2013

「Phase stability of a double-minimum potential system」

末松安由美, 吉森明, 才木将史, 松井淳, 小田垣孝

”7th Mini-Symposium on Liquids” 九州大学,7月5日-7月6日, 2013

「Perturbation theory of large particle diffusion in a binary solvent」

中村有花, 吉森明, 秋山良, 山口毅

”7th Mini-Symposium on Liquids” 九州大学,7月5日-7月6日, 2013

「Effects of particle correlation on microrheology」

井上雅郎, 吉森明

”7th Mini-Symposium on Liquids” 九州大学,7月5日-7月6日, 2013

「A study of phase transition using interaction potential with two minima」

末松安由美, 吉森明, 才木将史, 松井淳, 小田垣孝

”33rd International Conference on Solution Chemistry” 京都,7月7日-7月12日,2013

「Perturbation theory of large particle diffusion in a binary solvent」

中村有花, 吉森明, 秋山良, 山口毅

”33rd International Conference on Solution Chemistry” 京都,7月7日-7月12日,2013

「枯渇効果による相転移」

末松安由美, 吉森明, 秋山良, 中村有花

”日本物理学会 2013 年秋季大会” 徳島,9月25日-9月28日,2013

「大きな粒子の拡散における溶媒の充填率の効果」

中村有花, 吉森明, 秋山良

”日本物理学会 2013 年秋季大会” 徳島,9月25日-9月28日,2013

「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

”日本物理学会 2013 年秋季大会” 徳島,9 月 25 日-9 月 28 日,2013

「モデルガラスにおける縦波観測の再考」

村中正、松井淳、樋渡保秋

”日本物理学会 2013 年秋季大会” 徳島,9 月 25 日-9 月 28 日,2013

「粒子間相互作用に極小が 2 つある系の多様性」

松本幸介、松井淳

”第 4 回計算統計物理学研究会” 宇部,10 月 5 日-10 月 6 日,2013

「Application of a Liquid Theory to Colloidal Dispersion Systems」

井上雅郎、吉森明

”3rd International Conference on Molecular Simulation” 兵庫,11 月 18 日-11 月 20 日,2013

“A Theory of Phase Transition for Two-Minimum Potential Systems”

Ayumi Suematsu, Akira Yoshimori, Masafumi Saiki, Jun Matsui and Takashi Odagaki

”3rd International Conference on Molecular Simulation” 兵庫,11 月 18 日-11 月 20 日,2013

「The observation of the longitudinal wave velocity in a model supercooled liquid」

村中正、松井淳、樋渡保秋

”3rd International Conference on Molecular Simulation” 兵庫,11 月 18 日-11 月 20 日,2013

「拡散係数における溶媒和の効果」

中村有花、吉森明、秋山良

”第 119 回日本物理学会九州支部例会” 福岡,11 月 30 日,2013

「コロイド分散系の原田佐々公式」

山田一雄、吉森明

”第 119 回日本物理学会九州支部例会” 福岡,11 月 30 日,2013

「コロイド分散系のダイナミクスにおける粒子間相互作用の効果」

井上雅郎、吉森明

”第 119 回日本物理学会九州支部例会” 福岡,11 月 30 日,2013

「粒子間相互作用に極小が2つある系の固液転移」

松本幸介、松井淳

”第119回日本物理学会九州支部例会” 福岡,11月30日,2013

「A Study of Microrheology by the Time Dependent Density Functional Theory」

井上雅郎、吉森明

”5th JCS International Symposium on Theoretical Chemistry” 奈良,12月2日-12月6日,2013

「Depletion effects on diffusion in a binary hard sphere mixture」

中村有花、吉森明、秋山良

”Nagoya Symposium on Depletion Forces: Celebrating the 60th Anniversary of the Asakura-Oosawa Theory” 愛知,3月14日-3月15日,2014

「Depletion effects on dynamics in microrheology」

井上雅郎、吉森明

”Nagoya Symposium on Depletion Forces: Celebrating the 60th Anniversary of the Asakura-Oosawa Theory” 愛知,3月14日-3月15日,2014

「Depletion effects on viscosity of solution」

山北知史、吉森明

”Nagoya Symposium on Depletion Forces: Celebrating the 60th Anniversary of the Asakura-Oosawa Theory” 愛知,3月14日-3月15日,2014

「枯渇効果による結晶化の有効ポテンシャルを使った研究」

末松安由美、吉森明、秋山良、中村有花

”日本物理学会 2014 春季大会” 神奈川,3月27日-3月30日,2014

「溶媒の粒子性を考慮したときの溶質の拡散の理論」

中村有花、吉森明、秋山良

”日本物理学会 2014 春季大会” 神奈川,3月27日-3月30日,2014

「コロイド分散系のマイクロレオロジー」

井上雅郎、吉森明

”日本物理学会 2014 春季大会” 神奈川,3月27日-3月30日,2014

「溶媒の粒子性を考慮したときの溶液の粘性の理論」

山北知史、吉森明

”日本物理学会 2014 春季大会” 神奈川,3 月 27 日-3 月 30 日,2014

「相互作用点モデルにおける動的密度汎関数理論」

岡次聡、吉森明、吉田紀生

”日本物理学会 2014 春季大会” 神奈川,3 月 27 日-3 月 30 日,2014

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

基盤研究 (C) “生命現象に対する水分子の動的効果” (研究代表者：吉森明) (新規)

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)

中村有花、日本学術振興会特別研究員 (DC2)

学部 4 年生卒業研究

阿部 健太：(指導教員、吉森明)：蛋白質の圧力変性と形態熱力学

富田 聖也：(指導教員、松井淳)：楕円粒子系の固液転移

修士論文

井上 雅郎：(指導教員、吉森明)：動的密度汎関数理論を用いたマイクロレオロジーの研究

山北 知史：(指導教員、吉森明)：溶液の粘度における溶媒の分布の効果

その他の活動と成果

1. オープンキャンパス

2. 高校生体験入学「ゴム弾性」実習（準備のみ）

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

坂上 貴洋 助教

《 博士研究員 》

設楽 恭平

《 大学院 博士課程 》

近藤 洋一郎

《 大学院 修士課程 》

倉本 龍 水落 憲一 武久 悟之 中尾 幸

パク ドンヒョン 森重 順平

《 学部 卒業研究生 》

安藤 大晃 工藤 達矢 秋山 陽平

《 研究生 》

Daniel Krüger

《 訪問研究者 》

早瀬 友美乃

担当授業

中西： コアセミナー（全学）、物理学最前線、量子力学I補修

相転移の統計力学、統計物理学I

野村： コアセミナー、力学基礎・同演習（全学）、一般相対論、量子統計物理学（大学院）

坂上： 物理学基礎演習、統計力学I演習

研究・教育目標と成果

1. 熱水上の微小水滴（中西）：熱いコーヒーや紅茶などの熱水表面に見られる白い湯気の薄膜およびそれに亀裂が入るように見える現象の実験的観察を行った。高速ビデオを用いた顕微鏡観察の結果、薄膜は直径 $10\mu\text{m}$ 程度の微小水

滴からなり、それらは水面から $10\mu\text{m}$ 程度の空中に浮遊していること、亀裂が入ったように見えるのはその水滴が集団落着していること、それは一つの水滴の消滅が引き金になっており、 1 m/s 程度の波面として伝わっていることが分かった。(市川(京大)との共同研究)

2. ダイラタント流体のずり粘化振動(中西): 片栗粉水のような粉体・流体の混合物は非常に急激なずり粘化を示すことが知られており、我々はその現象論的モデルを構成することによりそれがシアの下で粘化状態と緩和状態を行き来する自発振動、すなわちずり粘化振動を示すことを示し、さらに実験的観察に成功していた。今年度は、ずり粘化振動におけるシリンダー内の粘化構造を調べるために、シリンダー及び軸に圧力センサーを取り付け、振動時のシリンダー外壁の圧力及び軸にかかる力の不均一性を調べた。(永弘(仙台大専)、御手洗(NBI)との共同研究)
3. 紙のクランプリング(早瀬、中西、坂上): 紙は比較的容易に折曲げられるが、その面積をかえるような変形に対しては非常に大きな抵抗を示す。そのような性質のために、紙を無作為に丸めたときの差し渡しの長さ R は、紙の大きさ L に対してコンパクトな構造から予想される振る舞い $R \sim L^{2/3}$ よりも大きくなる。この様な紙の性質を、2次元物体の折りたたみ構造というより一般的な枠組みで理解するために、単純なモデル化による計算機シミュレーションを準備している。(早瀬との共同研究)
4. 粉体堆積中の振動モード解析(倉本、中西、坂上): 粉体堆積中の音波の伝播を解析するために、計算機シミュレーションを行った。離散要素法(DEM)により作成した2次元の粉体堆積構造を用いて、線形ばねと質点の系の振動モードの解析を行った。その結果、高い振動数をもつモードで振幅の局在化が見られた。粉体堆積構造が疎であるほど、局在化が見られる周波数領域が広くなることが分かった。次に、線形ばねに減衰を入れた系で、1つの粒子に正弦的な力を加えた場合の透過率を求めた。透過率の振動数依存性は非常に複雑になり、Liu と Nagel らの実験(PRL,1992)と類似の構造を示した。
5. 網状高分子内のダイナミクス(水落、坂上、中西): 1次元ポリマーのモデルを2次元に拡張した、網状高分子のダイナミクスを調べた。特に、系内のモノマーの平均2乗変位を数値シミュレーションによって調べ、中間時間領域で時間の指数が1よりも小さい垂拡散することを示した。網状高分子の平衡構造は、熱揺らぎの下でも平坦な平面構造をとることが知られているが、そ

れに対応して、平面に対する拡散方向によって拡散の指数が異なることを明らかにした。

6. 砂丘のダイナミクス (中尾、中西、坂上): 砂丘は砂の量や風向きの変化によって様々な形態をとることが知られている。特に、一方方向から風が吹く場合には風向きに垂直な横方向に砂丘が連なる横列砂丘が安定化し、季節により異なる2方向から風が吹く場合には平均の風向に対して平行に砂丘が並ぶ縦列砂丘が安定化することが観察により知られているが、両者の関係は必ずしも明らかではない。そこで、横列砂丘のダイナミクスを記述する縮約模型のひとつであるひも模型を用いて、斜めから風が吹く場合の横列砂丘に対応する定常解の線形安定性を調べた。
7. ずり流の下での相分離ダイナミクス (パク、坂上、中西): 温度などのパラメータを変えることにより、単一相から2相共存状態へ転移させた時に現れる構造は、系の流体力学的性質に大きく依存する。従来、分離した2層の粘性係数が等しい場合について研究がされてきたが、粘性が異なる場合に相の構造がどのようになるか、数値シミュレーションによって調べる。今年度は、その為の計算機コードの開発を行い、予備的な結果を得つつある。
8. 細孔を用いた不規則分岐鎖のキャラクタリゼーション (坂上): 高分子鎖を構成するモノマーの中に、結合手が3以上ある箇所があると、そこでは枝分かれが発生する。このような分岐が不規則に多数存在する鎖を不規則分岐鎖 (randomly branched polymer) という。細管 (nano-channel) 内に拘束された不規則分岐鎖の非自明な静的、動的性質についてのスケーリング則を構築し、その物理的起源を議論した。また、それを基に、細孔 (nano-pore) を用いた不規則分岐鎖の新たなキャラクタリゼーション法を提案した。 (F. Brochard-Wyart (Institute Curie) との共同研究)
9. 高分子鎖の細孔通過現象 (坂上): 高分子鎖の細孔通過現象について、昨年度まで、細孔通過前の部分 (cis-side) のみに着目することにより、この過程を記述する動的スケーリング則を確立してきた。今年度は、これまでの研究で考慮されてこなかった細孔を通過した部分鎖の効果 (trans-side effect) について、高分子鎖の非平衡ダイナミクス的一般論の立場から議論を行った。その結果、昨年度までの結果に有限サイズ補正効果を与えることが明らかになった。(齋藤 (京大福井センター) との共同研究)
10. ゲルの濡れ (坂上): マイクロメータスケールの微小液滴内に二種類の水溶性高分子 (PEG とゼラチン) を内包して温度を下げると二相に相分離を起

こす。更に温度を低下すると、ゼラチンのゲル化に伴い、液滴全体が大きく変形を起こす場合がある。ここでは、ゲル相と PEG リッチ相との界面エネルギーとゲルの弾性エネルギーの競合が重要となる。この現象を、ゲルの濡れ (wetting) という視点から考察し、実験結果との比較を行った。(柳澤、濁川、鴫田 (九大) との共同研究)

11. 非相溶性ブレンドの交流電場に対する剪断応力応答 (設楽、坂上) : 高分子溶液の混合液体などの、相分離したブレンドにシアをかけ、速度勾配の方向に交流電場をかけたときの剪断応力の応答の様子を、理論と数値計算を用いて解析した。理論では 2 相流体の構成方程式を与える土井、太田らの理論を元に、電場の効果を取り入れた構成方程式を導出した。その構成方程式を元に電場に対する剪断応力の応答の様子を数値計算によって調べたところ、実験で確認されている応答の様子と定性的に一致した。(太田 (東大) との共同研究)
12. 遅延フィードバックを用いた Turing パターンの制御 (設楽) : 光感受性の試薬を用いた反応である CDIMA 反応の数値モデルに遅延フィードバックを加えることで、Turing パターンの制御を試みた。光感受性の効果は線形とし、その項に遅延フィードバックを導入する。数値実験の結果、時間遅れとフィードバックの強度がある値を超えると静止構造が不安定になり、伝搬や振動など多彩な振る舞いを示すことが分かった。また、静止状態から伝搬状態への分岐点を振幅方程式の理論解析より求め、それが数値実験の結果ともよく一致することを示した。(入 (東大)、外崎 (花王)、太田 (東大) との共同研究)
13. サイト反転の系でのひねり境界条件 (武久、野村) : $S=1/2$ スピン梯子系について、桁相互作用が強磁性一反強磁性のように交替する場合は、リンクに対する空間反転対称性がなりたたない。したがって Gaussian 転移などを決めるのに有効であったひねり境界条件法がそのままでは使えない。この問題について、サイトに対する空間反転とひねり境界条件を両立させる方法を見出した。これは、交替磁場のある問題や、フェリ磁性の系にも応用ができる。
14. フラストレートしたスピン系の整合-非整合遷移 (森重、野村) : 次近接相互作用のある $S=1/2$ スピン鎖でボンド交代のある系での整合-非整合遷移について、研究を行っている。

発表論文

《原著論文》

1. Ryota Nishino, Takahiro Sakaue, and Hiizu Nakanishi, PLOS ONE 8(4) (2013) e60938; “Transcription fluctuation effects on biochemical oscillations”
2. Jun’ichi Wakou, Hiroyuki Kitagishi, Takahiro Sakaue, and Hiizu Nakanishi, Phys. Rev. E87 (2013) 042201 [11 pages]. “Inelastic collapse in one-dimensional driven systems under gravity”
3. Sahin-Ichiro Nagahiro, Hiizu Nakanishi and Namiko Mitarai, EPL 104 (2013) 28002 [6 pages]. “Experimental observation of shear thickening oscillation”
4. Hiizu Nakanishi, Takahiro Sakaue, and Jun’ichi Wakou, J. Chem. Phys. 139, 214105 (2013)[11 pages]. “Hamilton-Jacobi method for molecular distribution function in a chemical oscillator”
5. T. Saito and T. Sakaue, Phys. Rev. E, 88, 042606:1-5 (2013). “Cis-trans dynamical asymmetry in driven polymer translocation”
6. T. Sakaue and F. Brochard-Wyart, Macro Letters, 3, 194-197 (2014). “Nanopore-Based Characterization of Branched Polymers”
7. R. Iri, Y. Tonosaki, K. Shitara, and T. Ohta, J. Phys. Soc. Jpn, 83 (2014) 024001:1-5. “Dynamics of Turing Pattern under Time-Delayed Feedback”

《Proceedings》

著書

M. Yanagisawa, T. Sakaue and K. Yoshikawa, “Characteristic Behavior of Crowding Macromolecules Confined in Cell-Sized Droplets” (Chapter 7 in “New Models of the Cell Nucleus: Crowding, Entropic Forces, Phase Separation and Fractals”, edited by R. Hancock and K.W. Jeon, Academic Press), International Review of Cell and Molecular Biology,307, 175-204 (2014).

講演

《海外での講演》

1. Hiizu NAKANISHI, STATPHYS25, July 22-26, 2013, Seoul, Kore, “Hamilton-Jacobi analysis of molecular distribution function in a chemical oscillator” (oral)

2. T. Sakaue, STATPHYS25, 2013/7/25 (Seoul, Korea) , “Statistics and Geometrical Picture of Ring Polymer Melts” (poster)
3. Hiizu Nakanishi, Biocomplex seminar at NBI, University of Copenhagen, 2013/9/11n “Storm in a Teacup: dynamics of micro-droplets on hot water surface”
4. Mahito Ohata, Masatoshi Ichikawa and Hiizu Nakanishi, International Soft Matter Conference 2013 September 15-19, 2013 at Rome, Italy, “Storm in a Teacup: dynamics of micro-droplets on hot water surface”

《国内での講演》

1. 坂上貴洋、文部科学省 生命動態システム科学推進拠点「核内クロマチン・ライブダイナミクスの数理研究拠点」、広島大学、2013/7/12、「染色体の高次構造～紐の絡み合いという視点から」
2. 日本物理学会 2013年秋季大会、2013年9月25日～28日、於：徳島大学
 - (a) 中西秀, 若生潤一, 坂上貴洋、「ハミルトンヤコビ法による化学 Fokker-Planck 方程式の非定常解」
 - (b) 坂上貴洋, 中西秀、「界面揺らぎにおける記憶効果と異常拡散」
 - (c) 柳澤実穂, 濁川慎平, 坂上貴洋, 鴫田昌之、「マイクロ液滴内での高分子溶液の相分離とゲル化によるパターン形成」
 - (d) 齋藤拓也, 坂上貴洋、「Crumpled Globule における標識されたモノマーの異常拡散」
3. 第119回 日本物理学会 九州支部例会、於 久留米工業大学, 2013年11月30日
 - (a) 倉本龍, 中西秀, 坂上貴洋、「粉体堆積物の振動モード解析」
 - (b) 中尾幸, 中西秀, 坂上貴洋、「横列砂丘の線型安定性 斜めから風が吹いた場合」
 - (c) 水落憲一, 坂上貴洋, 中西秀 「tethered membrane のダイナミクス」
 - (d) 濁川慎平, 坂上貴洋, 鴫田昌之, 柳澤実穂 「マイクロスケール空間内での高分子水溶液の相分離とゲル化によるパターン形成」
4. 野村 清英, 岡本 清美, 利根川 孝, 坂井 徹、量子スピン系研究会 (福井大学,2013年12月14日)、「F-AF ladder(サイト反転不変)系でのひねり境界条件とパリティ」
5. 坂上貴洋、お茶の水女子大学物理学科、2014/2/4、“Ring Polymer Melt”
6. 日本物理学会 第69回年次大会、於：東海大学, 2014年3月27日～30日
 - (a) 水落憲一, 中西秀, 坂上貴洋 「網状分子のダイナミクス」
 - (b) 永弘進一郎, 中西秀, 御手洗菜美子 「ずり粘化振動における不均一粘化構造の実験的観測」
 - (c) 市川正敏, 梅木崇浩, 大畑真彦, 中西秀 「コーヒーの湯気 ～浮遊する微小水滴とその集団消滅～」
 - (d) 利根川孝, 岡本清美, 引原俊哉, 坂井徹, 森重順平, 野村清英、「桁相互作用が交代した異方的 S=1/2 ラダーの基底状態 II」

- (e) 野村清英, 森重順平, 利根川孝, 岡本清美, 引原俊哉, 坂井徹、「桁相互作用が交代した異方的 $S=1/2$ ラダーの基底状態 III」
- (f) 齋藤拓也, 坂上貴洋、「伸張される高分子鎖の過渡的過程における揺らぎ」
- (g) 設楽恭平, 坂上貴洋, 太田隆夫、「非相溶性ブレンドの振動電場に対する剪断応力応答」

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. 野村 清英、基盤 (C) 「量子スピン鎖における新奇相の精密探索とレベルスペクトロスコピー」(研究分担者)
3. 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)

学部4年生卒業研究

1. 安藤 大晃、「二重振り子の初期値鋭敏性」
2. 工藤 達矢、「site percolation と invasion percolation の比較」
3. 秋山 陽平、「カオス軌道のシミュレーション」

修士論文

1. 倉本 龍、「粉体堆積中の振動モード解析」
2. 水落 憲一、「網状高分子のダイナミクス」

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
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 》

中村駿也 福之上未来

《 学部 卒業研究生 》

穴井雄太 溜慎一郎

担当授業

物理学 I(河合伸)、力学基礎・同演習(河合伸)、熱と波動論基礎(河合伸)、
物理数学 II(河合伸)、力学基礎・同演習(成清修)、物理学総合演習(成清修)、
非線形物理学(成清修)

研究・教育目標と成果

Ge(111)c(2×8) 表面の安定構造と準安定構造(河合伸、穴井雄太)

Ge(111) 清浄表面の安定構造は、c(2×8) 構造であることが従来より知られている。Ge(111)c(2×8) 表面には、ユニットセルあたり、4つのアドアトムと4つのレストアトムがある。しかし、その構造の熱的揺らぎについては、知られていない。我々は、第一原理計算に基づき、Ge(111)c(2×8) 表面の安定構造を求めた。結果は、実験とよい一致を示した。さらに、アドアトム、レストアトムの局所配置を変えて、第一原理計算に基づく準安定構造探索を行い、3つの準安定構造を発見した。1つの安定構造、3つの準安定構造の間で、4つのレストアトムの配置は、それぞれ、2値的な配置を取る。アドアトムの配置は、レストアトムの配置に従属することを明らかにした。

Sn 吸着 Si(111) 表面の置換欠陥(河合伸)

Sn 吸着 Si(111) 表面の安定構造は、 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 構造であると言われている。これは、第一原理計算の結果とも一致する。しかし、低温実験での STM を使った、電流スペクトル実験では、Sn の高さが 2 値的にゆっくり揺らぐことが報告されている。これは、 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 構造と矛盾する。従来より、STM で Sn 吸着 Si(111) 表面には、Si の置換欠

陥が存在することが知られている。我々は、第一原理計算に基づき Si 置換欠陥がある系での構造計算を行った。Si 置換欠陥の存在が Sn 配置の 2 値性を引き起こすことが明らかになった。これは、定性的には実験結果を再現する。

原始細胞の情報処理システムの研究/教育 (成清修、津田隼)

本テーマに関して今年度は、研究成果の出版を目標としており、プレプリントサーバーでの公開は達成した。学術雑誌への出版は来年度の目標とする。

近年明らかになったミニRNAの機能に立脚し、細胞内の最も原始的な情報処理システムを計算機上に構築した。従来考えられることのなかったヘリカーゼ様タンパク質の導入により、首尾一貫した動作のループを閉じさせることができた。

オートポイエシス集団の進化能の研究/教育 (成清修、松藤弘教)

本テーマに関して今年度は、研究成果の出版を目標としていたが、次項の出版作業を優先させたため未だ実行できていない。出版作業を来年度の目標とする。

オートポイエシスと生命を同一視する考えがあるが、オートポイエシス系は進化能を持たないので生命とは言えない。我々はオートポイエシス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。

オリゴマーワールドにおける遺伝子複製の起源の研究/教育 (成清修、佐藤大介)

本テーマに関して今年度は、学会発表および研究成果の出版を目標としていた。前者は達成し、後者はプレプリントサーバーでの公開は達成した。学術雑誌への出版は来年度の目標とする。

生命起源の仮説として我々が提唱しているオリゴマーワールドの枠組みにおいて、遺伝子を複製するメカニズムについて詳しく考察し、計算機実験を行った。

オリゴマーワールドにおけるアナログ情報の研究/教育 (成清修、中村駿也)

本テーマに関して今年度は、修士論文の完成を目標としており達成した。来年度は、学会発表および研究成果の出版を目標とする。

合成生物学やアストロバイオロジーにおいて原始細胞を構築する際の指針となるような細胞モデルを考案した。形状空間を用いてデジタルな遺伝コードが成立する以前のアナログな原始細胞システムをオリゴマーワールドの枠組みで計算機上に実装した。この細胞システムは情報の解釈項となり文脈依存性を示す。

超伝導ゆらぎ理論の研究 (成清修)

本テーマに関しては、継続的に研究が進行中である。

今年度は、熱流に対する Ward 恒等式の Feynman 図による正しい理解を示し、プレプリントサーバーに公開した。これまでに存在した文献は、これを理解していないので、ほとんどが誤りを含んだものとなっている。

高温超伝導体のホール効果の理論の研究 (成清修)

本テーマに関しては、継続的に研究が進行中である。

高温超伝導体の正常金属相におけるホール効果の理論は、長年に渡って論争が続いてきた問題であったが、最も伝統的なアプローチを最も忠実に遂行することによって、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。現在、輸送現象の様々な定式化の比較検討を行い、我々の結果の歴史的な位置づけを定めつつある。

発表論文

《その他の論文》

Replication of proto-RNAs sustained by ligase-helicase cycle in oligomer world:

Daisuke Sato, Osamu Narikiyo

arXiv:1306.0199.

Translation by adaptor-helicase cycle in oligomer world:

Hayato Tsuda, Osamu Narikiyo

arXiv:1307.3857.

A Diagrammer's Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: Supplement. Jonson-Mahan Transmutation:

Osamu Narikiyo

arXiv:1309.4257.

講演

《国内での講演》

Replication of proto-RNAs sustained by ligase-helicase cycle in oligomer world:

佐藤大介、成清修

第36回日本分子生物学会年会 (2013年12月4日)

学部4年生卒業研究

穴井雄太：(指導教員、河合伸)：Ge(111)c(2x8)構造における最安定構造と準安定構造

溜慎一郎：(指導教員、成清修)：化学反応系の行う計算

修士論文

中村駿也：(指導教員、成清修)：オリゴマーワールドにおける原始細胞システム

学外での学会活動

河合伸：日本物理学会九州支部の支部長

その他の活動と成果

物理学教室木曜談話会「たかが Hubbard モデルされど Hubbard モデル」(成清修)

九州大学大学院理学研究院物理学部門 (2013年10月31日)

物性コロキウム「インフレーション宇宙のエントロピー」(成清修)

九州大学大学院理学研究院物理学部門物性基礎論 (2013年6月11日)

素粒子理論セミナー「いまさら Ward 恒等式」(成清修)

九州大学大学院理学研究院物理学部門素粒子理論 (2013年12月13日)

磁性物理学

研究室構成員

和田裕文 教授

光田暁弘 准教授

浅野貴行 助教

《 大学院 修士課程 》

梅田 真史 喜舎場英吾 合木 悠祐 高原 剛

福井 博章 川見 洋一郎 布川 敬志 藤本 巧

前川 佳朗 安永 良子

《 学部 卒業研究生 》

甲木 義人 田邊 巧祐 山本 伊吹

《 訪問研究者 》

三村 功次郎 (大阪府立大学工学研究科 准教授)

Alexander V. Andreev (Institute of Physics, Academy of Sciences, Prague, Czech Republic)

林 好一 (東北大学金属材料研究所 准教授)

筒井 智嗣 (高輝度光科学研究センター 副主幹研究員)

長谷川 巧 (広島大学大学院総合科学研究科 助教)

大山 研司 (東北大学金属材料研究所 准教授)

担当授業

力学基礎・同演習 (和田裕文)、物理学ゼミナール (和田裕文)、物性物理学II (和田裕文)、物理学総論 (和田裕文)、磁性体物理学 (和田裕文)、力学基礎・同演習 (光田暁弘)、物理学総合実験 (光田暁弘)、自然科学総合実験 (光田暁弘)、物理学総合実験 (浅野貴行)

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、高原 剛、布川敬志)

Fe₂P型を持つ(Mn,Fe)₂(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。昨年度のRu置換に引き続き、今年度はFeをNiやCuで置換した系について調べ、とくにNi置換によって温度ヒステリシスが大幅に減少することを見出した。また温度ヒステリシスの幅とひずみの相関についても調べた。さらに(Mn,Fe):(P,Si)の仕込み組成比を2:1から(P,Si)-richにずらすことによって、不純物相(MnFe)₃Siの析出が抑えられ、キュリー温度のコントロールが容易になることを明らかにした。現在科学研究費補助金の交付を受けて、高精度磁場中示差走査熱量計を開発中である。

磁場中伝導現象の研究 (和田裕文、合木悠祐、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。対象は3d電子系の遍歴電子メタ磁性体や4f電子系の価数転移物質である。前者については昨年Co(S_{1-x}Se_x)₂の磁気抵抗が遍歴電子メタ磁性転移によって大幅に増加することを見出した。これはバンド分極によって通常の常磁性体からハーフメタリックな強磁性への転移によるものと考えているが、異常ホール効果も磁場中で大きなジャンプを示し、この考えを支持している。またEuNi₂Si₂は圧力下で価数転移するが、ホール効果の温度依存性においてホール係数が負から正へと大きくジャンプすることを初めて観測した。これは価数転移に伴い伝導電子数が変化したことによる正常ホール効果の変化であると考え、現在解析を進めている。その他にEuNi₂P₂の磁気抵抗の符号が温度によって反転することも見出した。

価数秩序転移物質YbPdの研究 (光田暁弘、和田裕文、田邊巧祐)

YbPdは立方晶CsCl型構造という単純な結晶構造でありながら、4つの相転移を示す物質として知られ、そのうちの3つの相転移の機構が不明であった。我々はSPring-8の筒井氏、広島大の長谷川氏らとの共同研究でX線非弾性散乱実験を行ったが、そこから求められたフォノン分散関係にYbの価数揺動が関与していることが明らかになった。また、この物質の純良な粉末試料を得ることが困難であったが、新しい熱処理方法により粉末X線回折ピークが鋭い試料を得ることに成功した。低温で測定したところ、上の相転移に伴って回折ピークが分裂する様子が観測されて低温の構造を明らかにすることができた。来年度はこの粉末の純良化を進めて、より詳細に構造を調べるとともに、中性子回折、X線吸収やNMRなどの共同研究に発展させていく予定である。

EuTP(T=Pt,Pd)の価数転移および価数秩序転移の研究 (光田暁弘、和田裕文、梅田真史、安永良子)

EuPtPはEuの平均価数が温度変化し、同時に価数秩序構造の周期が変化する特異な

物質である。昨年度の高圧下電気抵抗測定によって、高圧下で更に価数が増加して新たな価数秩序構造が出現していることを示唆する結果を得たので、本年度は SPring-8 の水牧氏、河村氏らと高圧下で X 線吸収実験を行い、高圧、低温下で価数を測定した。圧力印加と共に価数は 3 価方向へシフトしていることが明らかになったが、圧力下で温度を変化させても価数はほとんど変化しないことが分かった。また、EuPtP の Pt サイトを Pd で置き換えた EuPdP 試料の作製に成功した。この試料は圧力下の EuPtP の振舞を常圧下で実現している系であると予想される。常圧では価数転移などの異常は見られなかったが、高圧下で新たな相転移が出現することが明らかになった。来年度はこの振舞をより詳細に調べるとともに、関連物質である EuNiP や EuPdAs の試料作製を目指す。

EuRh₂Si₂ 系における磁場誘起価数転移の伝導現象（光田暁弘、和田裕文、喜舎場英吾、藤本巧）

EuRh₂Si₂ は 1GPa 程度の圧力で価数転移が誘起されることを当グループで発見した。この圧力下においては比較的弱い磁場 (~ 7T) でも価数転移が誘起することがわかり、磁場誘起価数転移について様々な物性測定から調べることが可能になった。我々は電気伝導の観点から価数転移を調べることを目的として、圧力下の EuRh₂Si₂ と常圧下の Eu(Rh_{0.7}Ir_{0.3})₂Si₂ の磁気抵抗測定を行った。その結果、前者は原子置換を行っていないクリーンな系であり、価数転移による磁気散乱の増大および、更なる磁場による磁気散乱の減少によって磁気抵抗の振舞を説明できた。一方、後者は Ir 置換によるランダムネスの導入が磁気抵抗の振舞に影響を及ぼしており、特に価数転移が起こる前の負の磁気抵抗の原因がよくわからない。この物質については、パルス強磁場を利用した価数測定および磁気円二色性測定を東北大金研の鳴海氏らと行っており、次年度はそれらの結果を含めて磁気抵抗の振舞について解明を目指す。

クロミズム化合物の磁性（浅野貴行、福井博章）

外部からの様々な刺激により物質の色が可逆的に変化するクロミズム現象を有するモリブデン酸コバルト (CoMoO₄) に注目した。この物質は、これまで中性子回折や比熱測定によって低温での磁気構造が報告されているが、詳細な磁性についてはほとんど明らかにされていない。そこで、色の変化に伴う磁気異常の有無を観測するため磁化率の温度依存性、低温での磁性を解明するため磁化過程や比熱測定などの物性測定を行った。その結果、期待していた色の変化に伴う磁氣的性質の異常は残念ながら観測することはできなかった。しかし、比熱測定や磁化過程において、過去に報告された磁気構造を支持する結果が得られた。特に、磁場中比熱の温度依存性の実験において、特異な 3 つの逐次磁気転移を観測した。また、磁化過程に多段磁化ステップが観

測されていることなどから、磁場誘起の新しい量子凝縮相が存在していることが期待される。今後、磁気共鳴や中性子散乱実験等による微視的測定において磁氣的性質の解明を試みたい。

三次元反強磁性体の磁気希釈効果（浅野貴行、甲木義人）

RbMnF₃ は、磁性イオンである Mn²⁺ ($S=5/2$) が単純立方格子を形成した三次元ハイゼンベルグ反強磁性帯の代表的なモデル物質の一つである。パーコレーション濃度 (c_p) よりさらに希釈した RbMn_cMg_{1-c}F₃ では、少数 (有限) 個の Mn²⁺ イオンが反強磁性的に結合したスピクラスタを形成しランダムに分布している。これまで、極端に希釈した RbMn_{0.03}Mg_{0.97}F₃ の磁化測定をパルス磁場を用いて行ったところ、磁化 $M(H)$ 及び磁化の磁場微分 dM/dH 曲線から明らかに 10 個のステップ状の異常が観測され、特に dM/dH 曲線にはより多くの微細構造ピークが観測された。その起源を明らかにするため、異なる希釈濃度の試料を合成とパルス磁場と同じ現象の観測が期待される交流磁化率の測定を開始した。その結果、パルス磁場下での磁化過程の微細構造を交流磁化率測定でも観測し、希釈濃度の増加に伴い微細構造ピークが鮮明に現れること確認した。今後、広範な温度及び磁場領域において測定を実施する予定である。

発表論文

《原著論文》

Charge Density Wave and Superconductivity of RPt₂Si₂ (R = Y, La, Nd, and Lu):

Yutaro Nagano, Nobutaka Araoka, Akihiro Mitsuda, Hideki Yayama, Hirofumi Wada, Masaki Ichihara, Masahiko Isobe and Yutaka Ueda

J. Phys. Soc. Japan vol. **82** (2013) 064715.

Origins of Phase Transitions in Valence Fluctuating YbPd:

Akihiro Mitsuda, Masaki Sugishima, Takumi Hasegawa, Satoshi Tsutsui, Masahiko Isobe, Yutaka Ueda, Masayuki Udagawa, Hirofumi Wada

J. Phys. Soc. Japan **82** (2013) 084712.

Valence transition induced by pressure and magnetic field in antiferromagnet EuRh₂Si₂:

Akihiro Mitsuda, Suguru Hamano and Hirofumi Wada

J. Korean Phys. Soc. **62** (2013) 1787-1791.

Phase diagram and Eu valence state in $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$:

Masaki Sugishima, Akihiro Mitsuda and Hirofumi Wada J. Korean Phys. Soc. **62**
(2013) 2019-2023

《その他の論文》

室温磁気冷凍材料としての Mn 化合物:

和田裕文, 片桐高大

日本 AEM 学会誌 第 21 巻, 第 1 号, (2013) 46-51.

講演

《海外での講演》

Magnetocaloric Effect and Magnetoresistance due to Itinerant Electron Metamagnetic transition in $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$:

Hirofumi Wada, Daichi Kawasaki and Yoshiro Maekawa

International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2013), Hanoi

《国内での講演》

希土類化合物・磁気冷凍材料の物理と放射光メスバウアー分光法への期待:

和田裕文

第 1 回先進的放射光メスバウアー分光研究会

電子の秩序化現象 —価数秩序と電荷密度波—:

和田裕文

日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部 第 293 回材料科学談話会

$(\text{Mn,Fe,X})_{2-\delta}(\text{P,Si})(\text{M}=\text{Ni,Cu})$ の磁気熱量効果と磁氣的性質:

高原剛, 和田裕文, 片桐高大

日本物理学会 2013 年秋季大会

硬 X 線光電子分光による $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ ($x = 0.70, 0.79, 0.82$) の温度誘起価数転移の研究:

市木勝也, 三村功次郎, 安齋太陽, 魚住孝幸, 本並哲, 小林大祐, 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 2013 年秋季大会

Eu(Rh_{1-x}M_x)₂Si₂(M=Ir,Co) における化学的圧力及び磁場効果:

喜舎場英吾, 浜野卓, 光田暁弘, 近藤晃弘, 金道浩一, 水牧仁一朗, 新田清文, 和田
裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

単結晶 EuNi₂Ge₂ の圧力下でのホール効果測定:

合木悠佑, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

EuPtP の圧力下 X 線吸収分光:

梅田真史, 眞鍋栄樹, 光田暁弘, 水牧仁一朗, 河村直己, 石松直樹, 渡辺真仁, 和田
裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

価数転移を示す Eu 系化合物の NMR による研究:

西谷孝二, 水戸毅, 牟田寛弥, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 光田暁弘, 杉島正樹,
和田裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

CoMoO₄ の磁氣的性質とクロミズム制御:

福井博章, 久保克隆, 浅野貴行, 和田裕文, 諸富大樹, 稲垣祐次, 河江達也, 三田稔,
松尾晶, 金道浩一, 佐藤卓

日本物理学会 2013 年秋季大会

二段価数秩序転移を示す EuPtP の高圧効果:

光田暁弘, 梅田真史, 眞鍋栄樹, 松林和幸, 水牧仁一朗, 河村直己, 石松直樹, 上床
美也, 渡辺真仁, 和田裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

(La, Pt)-NMR による LaPt₂Si₂ の電荷密度波と超伝導の研究:

久保徹郎, 木崎泰英, 小手川恒, 藤秀樹, 永野雄太郎, 荒岡信隆, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会 2013 年秋季大会

クロミック化合物 CuMoO_4 の磁性と結晶粒径の相関:

浅野 貴行, 福井博章, 久保克隆, 三田稔, 松尾晶, 金道浩一, 牧瀬圭正, 伊藤利充

日本物理学会 2013 年秋季大会

$\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ の構造と磁氣的性質:

川見洋一郎, 福井博章, 浅野貴行, 和田裕文, 稲垣祐次, 河江達也, 松尾晶, 金道浩一

日本物理学会 第 119 回九州支部例会

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

日本学術振興会科学研究費補助金、基盤 C(一般)

価数転移・価数秩序に注目したユーロピウム化合物の新奇物性探索と機構解明

研究代表者：光田暁弘

日本学術振興会科学研究費補助金、基盤 C(一般)

複合環境下におけるモリブデン酸銅のマルチクロミズムの構築とクロミズム粒径依存性

研究代表者：浅野貴行

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

JST A-STEP FS ステージ シーズ顕在化タイプ

磁気空調システム開発のための熱交換機構の研究

研究代表者:山下敬一郎

NEDO 委託事業「省エネルギー革新技术開発事業」先導研究

磁気ヒートポンプ技術の研究開発

研究代表者:平野直樹

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

甲木 義人：(指導教員、浅野貴行)：RbMnF₃ の磁気希釈効果

田邊 巧祐：(指導教員、光田暁弘)：価数秩序転移を示す YbPd の純良粉末試料作製

山本 伊吹：(指導教員、和田裕文)：価数揺動物質 EuNi₂P₂ の伝導物性

修士論文

梅田 真史：(指導教員、光田暁弘)：EuTP(T=Pt,Pd)における価数転移・価数秩序転移の圧力効果

喜舎場 英吾：(指導教員、光田暁弘)：静水圧及び化学的圧力誘起価数転移を示す EuRh₂Si₂ における 磁場効果

合木 悠佑：(指導教員、和田裕文)：EuNi₂Ge₂ の圧力下ホール効果

高原 剛：(指導教員、和田裕文)：一次磁気相転移化合物 (Mn,Fe,X)_{2-δ} (P,Si) (X=Ni,Cu) の磁性と磁気熱量効果

福井 博章：(指導教員、浅野貴行)：クロミック化合物 CoMoO₄ の磁氣的性質

外国人留学生の受け入れ

学外での学会活動

和田裕文：日本物理学会 第69期 代議員
和田裕文：日本物理学会九州支部委員

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：強磁場フォーラム 幹事

和田裕文：九州大学低温センター長

和田裕文：九州大学新キャンパス計画専門委員

和田裕文：九州大学理学部附属極低温実験室長

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
浅野貴行：九州大学理学部部門支援室相談員
浅野貴行：九州大学理学部附属極低温実験室運営委員
浅野貴行：九州大学理学部学生生活相談委員

量子微小物性（半導体物理）I

研究室構成員

渡部行男 教授
荒井 毅 准助教

担当授業

物性物理学 III（渡部）
原子分子の物理学（渡部）
電磁気学 II（渡部）
半導体物理学（大学院）（渡部）
全学共通教育 力学基礎同演習（週 2 回:伊都）（渡部）
全学共通教育 現代物理（工学部:伊都）（渡部）
全学共通教育 現代物理（理学部:伊都）（渡部）
全学共通教育 物理学 3 後期 1/4（渡部）
高年次教養 自然科学概論 前期 1/4（渡部）
最先端物理学（学部 3 年オムニバス 1 回分）（渡部）

物理学実験（前期）（荒井）
物理学実験（後期）（荒井）

研究・教育目標と成果

(1) 強誘電体酸化物の相転移での伝導異常の解明（渡部）：

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た。

(2) 強誘電体酸化物の表面電子層の確定（渡部）：

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を

昨年に引き続き改良した。

来年度、(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。

(3) 超高真空 AFM による表面研究 (渡部) :

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た。

来年度、誘電体の 180° 分域の理論の改訂理論の提出を行う。

(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 (渡部) :

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た。

来年度、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予定である。

(5) 準周期構造多層膜の熱伝導 (荒井) :

準周期構造多層膜の熱伝導研究を推進している。超伝導接合 mK 冷凍機の断熱のための基礎研究と準周期構造での熱伝導研究を通じて準周期構造での物性研究をなすことを意図している。実験的に研究するために今年度採択された挑戦的萌芽研究科研費で製作する準周期構造多層膜作製装置や熱伝導率測定装置の設計をした。また、計算機シミュレーションを準備している。

(6) 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 (荒井) :

発表論文

《原著論文》

Y. Watanabe, Proper Permittivity for Depolarization Field in Perfectly Insulating Ferroelectric and Examination of Background Permittivities, *Ferroelectrics*, in press

《Proceedings》

Y. Watanabe, Y. Urakami, D. Matsumoto, S. Kaku, S.-W. Cheong, G. A. Thomas, and S. Miyauchi Novel Electrical Conduction of Insulators under Examination of Defects and Injection and Relationship to Theories of Ferroelectric Domains. *Proceedings of MRS spring meeting 2014* (submitted)

講演

《 海外での講演 》

国際会議 招待講演

Y. Watanabe, S. Kaku, S. Miyauchi, S.-W Cheong, D. Matsumoto and Y. Urakami, Statics and Dynamics of cc and ac Domains of Virtually Intrinsic Ferroelectric in Clean Limit, International Meeting on Ferroelectricity (IMF13) ,2013.09.02.

国際会議

Y. Watanabe, Proper permittivity for depolarization field in perfect insulator and examination of background permittivity, International Meeting on Ferroelectricity (IMF13)

International Meeting on Ferroelectricity (IMF13), 座長.

《 国内での講演 》

渡部、工業化が拓く強誘電体の展望： ほとんど自由な電子が開く新しい強誘電体の世界, 村田学術新興財団 助成金贈呈式

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

荒井毅 代表, フォノン輸送制御と mK 冷凍機のための準周期構造多層膜によるフォノン熱伝導の断熱, 挑戦的萌芽研究 課題番号 23654104, 平成 23 年度～平成 25 年度

他大学での研究と教育

Wien 工科大学, Austria 訪問

学外での学会活動

Integrated Ferroelectrics 誌 編集委員 (渡部)

その他の活動と成果

村田学術振興財団 選考委員 (渡部)

国立マレーシア大学外部評価委員 (渡部)

リカレント教育設定と補助 (渡部)

体験入学 (研究紹介説明) (渡部)

誘電体の初歩講義, 関西地区企業 (渡部)

公開特許 2013-075356 号 金属酸化物を含むヘテロ接合を有する構造体 (渡部)

海外訪問研究者 2013.11, Prof. Janssen, University of Nijmegen, Neatherlands (渡部)

固体電子物性講座

研究室構成員

木村 崇 教授

山田 和正 助教 大西 紘平 助教

《 博士研究員 》

山田 晋也

《 大学院 修士課程 》

党 ケイシン

《 学部 卒業研究生 》

小野 雄馬 川北 直史

担当授業

力学基礎・演習 (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

Nb/Cu/NiFe 三層構造におけるスピンドイナミクス (小野雄馬、大西紘平、木村崇)

常伝導体から超伝導体に注入された電子は、超伝導体内でクーパー対となり、超伝導電流を形成する。通常、クーパー対はスピン一重項となるため、超伝導電流とスピン流は重畳せず、超伝導体は純スピン流にとって絶縁体的存在になると期待される。純スピン流は非局所スピン注入法により形成できるが、横型スピバルブ素子では、注入電流による発熱から超伝導ギャップが減少し、明瞭な観測が困難である。そこで本研究では、電流を用いないスピポンピング法により、常伝導体/超伝導体接合における純スピン流について実験的に調べている。

試料は、高真空成膜装置を用いて作製した Nb/Cu/NiFe 三層構造である。NiFe 層を強磁性共鳴させることで Cu 層に形成される純スピン流は、Nb/Cu 界面に到達する。本研究では、Nb 層の超伝導転移前後の Py の強磁性共鳴スペクトルを測定することで、Nb/Cu 界面における純スピン流の輸送特性について調べた。得られた信号は従来の NiFe 単層膜に比べ、線幅が広がっており、Nb 層へのスピン流の吸収が生じているのが確認できた。Nb を超伝導状態にすると、NiFe の強磁性共鳴スペクトルの線幅に明瞭

な変化が現れ、純スピン流の反射効果を示唆する結果を得た。

スピン偏極ナノギャップ電極による GdO_x の伝導特性制御 (川北直史、大西紘平、山田和正、木村崇)

電界誘起金属-絶縁体転移現象は、次世代のナノ電子デバイスとしての可能性も秘めており、国際的に精力的な研究が行われている。しかしながら、相転移メカニズムの微視的起源等、未解明な点も多く残されている。一方で、相転移を起こす物質は、Mn 酸化物、Gd 酸化物、Co ドープ Ti 酸化物など、磁性を持つ原子を含んだ物質で構成されている場合が多く、相転移に伴いスピン状態にも何らかの遷移が現れる可能性も期待できる。そこで本研究では、GdO_x をベースにした相転移デバイスにおいて、強磁性電極ナノギャップを用いた新奇な横型相転移デバイス構造を作製し、GdO_x の相転移制御、及び電極材料におけるスピンの役割等について実験的に調べている。実験試料は GdO_x 薄膜上の Metal 電極を通電断線法により断線し、電極にナノギャップを形成することで、Metal/GdO_x/Metal 接合を作製した。今回は、電極材料として CoFeB を用いた試料の *I-V* 特性において、2V 付近で急激な抵抗変化が観測されており、強磁性電極を用いた金属-絶縁体転移に成功したものと考えられる。

発表論文

《 原著論文 》

Wide range tuning of resonant frequency for a vortex core in a regular triangle magnet:
S. Yakata, T. Tanaka, K. Kiseki, K. Matsuyama and T. Kimura,
Scientific Reports **3** (2013) pp. 3567

Thermal gradient driven enhancement of pure spin current at room temperature in nonlocal spin transport devices:
S. R. Bakaul, S. Hu and T. Kimura,
Phys. Rev. B **88** (2013) pp. 184407

Thermo-electric effect in a nano-sized crossed Permalloy/Cu junction under high bias current:
C. Mu, S. Hu, J. Wang and T. Kimura,
Appl. Phys. Lett. **103** (2013) pp. 132408

Measurement of the ferromagnetic resonance of a single micron dot by using a vector network analyzer:

K. Yamanoi, T. Manago, S. Yakata and T. Kimura,
J. Korean Phys. Soc. **63** (2013) pp. 800

Spin Wave Excitation and Propagation Properties in a Permalloy Film:

K. Yamanoi, S. Yakata, T. Kimura and T. Manago,
Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) pp. 083001

Detection of edge magnetic state by a ballistic bend resistance measurement:

T. Matsunaga, K. Furukawa, Y. Kanda, M. Hara, T. Nomura and T. Kimura,
Appl. Phys. Lett. **102** (2013) pp. 252405

Size Dependence of Ferromagnetic Resonance Frequency in Submicron Patterned Magnet:

T. Manago, K. Yamanoi, S. Yakata and T. Kimura,
Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) pp. 053001

講演

《 海外での講演 》

Wide-range tuning of vortex-core resonance using asymmetric confined potential in a triangular permalloy dot:

S. Yakata and T. Kimura,
MML2013, Kyoto, Japan (May, 2013)

T. Kimura, Generation of large spin current in metallic nanostructures and its application Energy Materials Nanotechnology (EMN) east meeting, Beijing, China, (Sept. 2013)

Giant thermal spin accumulation in NLSV structure by using CoFeAl/Cu interface at room temperature:

S. Hu and T. Kimura,

MMM 2013, Denver, U.S.A. (Nov., 2013)

Detection of nonlinear vortex oscillation under strong RF magnetic field using anisotropic magnetoresistance effect:

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

MMM 2013, Denver, U.S.A. (Nov., 2013)

T. Kimura, Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector, EMN fall meeting, Orland U.S.A., (Dec. 2013)

《国内での講演》

ナノピラー型非局所スピバルブにおける高効率純スピン流の生成:

野村竜也, 胡少杰, 木村崇

日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013年9月

スピン偏極ナノギャップ電極による GdOx の伝導特性制御:

川北直史, 大西紘平, 木村崇

日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014年3月

Nb/Cu/NiFe 三層構造におけるスピンドイナミクス:

小野雄馬, 大西紘平, 木村崇

日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014年3月

Nb/Cu/NiFe 三層構造を用いた超伝導状態によるスピン流反射現象の測定:

大西紘平, 小野雄馬, 野村竜也, 木村崇

日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014年3月

Nb/Cu/Py 三層構造における純スピン流輸送特性:

小野雄馬, 大西紘平, 川北直史, 野村竜也, 木村崇

第 119 回日本物理学会九州支部例会、久留米工業大学、2013年11月

Pd ナノコンタクトにおける近藤効果:

家永紘一郎, 高田弘樹, 大西雄貴, 稲垣祐次, 辻井宏之, 木村崇, 河江達也

第 119 回日本物理学会九州支部例会、久留米工業大学、2013年11月

スピン注入による GdOx 薄膜の電子相転移制御の試み:

川北直史, 大西紘平, 家形諭, 木村崇

第 119 回日本物理学会九州支部例会、久留米工業大学、2013 年 11 月

Py 中のスピン波伝搬における減衰長の磁場依存性:

山野井一人, 家形諭, 木村崇, 眞砂卓史

九州表面・真空研究会、福岡大学、2013 年 6 月

位相縮約に基づく磁性体発振素子の注入同期機構の最適化設計:

中田一紀, 田中久陽, 家形諭, 木村崇

日本応用数理学会 数理設計研究部会、アクロス福岡、2013 年 9 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、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ンドバイスの応用

研究代表者：木村 崇

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究

純スピン流の局所注入による多ビット情報書き込み技術の創出

研究代表者：木村 崇

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

キャノン財団 研究助成プログラム「産業基盤の創生」

スピン吸収効果を用いた極微細スピントーリングデバイスの開発

研究代表者：木村 崇

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)

山田 晋也

学部4年生卒業研究

小野雄馬:(指導教員、木村崇):Nb/Cu/Py 三層構造における純スピン流輸送特性。

川北直史:(指導教員、木村崇):スピン注入による GdOx 薄膜の電子相転移制御の試み。

修士論文

党 ケイシン:(指導教員、木村崇):磁区構造制御されたナノ磁性体におけるスピン注入自励発振現象。

外国人留学生の受け入れ

党 ケイシン

その他の活動と成果

高校生のための体験入学 2014年3月

九州大学紹介(可也幼稚園) 2013年11月

九州大学紹介(筑紫中央高校) 2013年10月

出前講義(東筑高校) 2013年12月

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 》

内山啓介 下田悠太 吉崎聡一郎 樋口正和

立川 雄大

《 学部 卒業研究生 》

坂本迅 柴田直哉

《 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、物理学総合実験、物理実験学、最先端物理学

研究・教育目標と成果

(1) ヘリウム面上の 2 次元電子系の逸出率の測定 (下田、矢山)

これまでの研究では、液体ヘリウム面上の 2 次元電子系の運動は面内に限られる場合がほとんどであった。今回は、面に垂直上方に電子が逸出する際の速度について研究を行った。すでに、2 次元電子系は低温・高密度の電子状態でウィグナー結晶へ転移することが知られているが、転移点近傍の狭い温度範囲でヘキサ相が存在することが理論的に予測されているが、これは未だ実験より確認されていない。この研究の最終的
目的は、ウィグナー結晶転移点におけるヘキサ相の存在を逸出率に現れる異常により確認することである。今回、ヘリウム温度の低温で動作する増幅器を用いて、感度を向上させた。実験結果は、逸出率を電子密度の関数として測定することが可能であることを示した。今後、温度を 100mK 程度まで下げ、ウィグナー結晶転移点近傍での逸出率の測定を目指す。

(2) 液体水素上の 2 次元電子系の電気伝導 (樋口、矢山)

低温液体上の 2 次元電子系の実験は、多くがヘリウム上で行われている。これまでに、液体水素上の 2 次元電子系の実験は数例に限られており、高温での電気伝導度の低下

が、水素中に発生する泡による電子の消滅で説明されていた。今回、比較的高温の20K以下で精密に電気伝導を測定し、この考察が正しいかを検証した。その結果、過去のデータは温度依存性が大きすぎるということがわかり、泡による電子の消滅だけでは説明できないことが明らかになった。

(3) 2段断熱消磁冷凍機の開発 (吉崎、矢山)

100mK以下の温度を生成する一般的な方法として希釈冷凍機がある。しかし、複雑なHeガスの循環システムが必要であること、超流動Heの漏れなどの問題が多い。Heガスを用いない磁気冷凍機はそれらの問題がないため将来有望である。しかし、ワンショットの冷却方式であるため連続的な低温維持ができない。今回、熱スイッチを用いた2段冷却システムを開発することで、将来の連続運転方式への可能性を探ることを行った。2つのクロムカリミョウバン(CPA)ソルトピルを製作し、両者をインジウム熱スイッチを用いて接続し、熱スイッチのON/OFFは超伝導マグネットからの漏れ磁場を利用することで、2段断熱消磁を行った。その結果、約80mKの低温が得られ、漏れ磁場による熱スイッチの切替が可能であることを示した。

発表論文

《原著論文》

1. Oscillation mode transformation of edge magnetoplasmons in two-dimensional electron system on liquid-helium surface,
Shuji Yamanaka, Toshikazu Arai, Anju Sawada, Akira Fukuda, Hideki Yayama,
Low Temp. Phys., Vol.39, No.10, pp.842-850, 2013.
2. Effect of SC on frequency content of geomagnetic data using DWT Application: SC automatic detection,
Essam Ghamry, Ali G. Hafez, Kiyohumi Yumoto, Hideki Yayama,
Earth Planets Space, Vol.65, pp.1007-1015, 2013.
3. Oscillation mode transformation of edge magnetoplasmons in two-dimensional electron system on liquid-helium surface,
Shuji Yamanaka, Toshikazu Arai, Anju Sawada, Akira Fukuda, Hideki Yayama,
Fiz. Nizk. Temp., Vol.39, No.10, pp.1086-1095, 2013.

4. Charge Density Wave and Superconductivity of RPt_2Si_2 ($R = \text{Y, La, Nd, and Lu}$),
Yutaro Nagano, Nobutaka Araoka, Akihiro Mitsuda, Hideki Yayama, Hirofumi Wada,
Masaki Ichihara, Masahiko Isobe, Yutaka Ueda,
J. Phys. Soc. Jpn., Vol.82, 2013, pp.064715 1-5.

5. Systematic examination of the Geomagnetic Storm Sudden Commencement using
multi resolution analysis,
Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyohumi Yumoto,
Adv. Space Res., Vol.51, pp.39-49, 2013.

6. Un-decimated discrete wavelet transform based algorithm for extraction of geomag-
netic storm sudden commencement onset of high resolution records,
Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyohumi Yumoto,
Comp. Geosci., Vol.51, pp.143-152, 2013.

《その他の論文》

1. 矢山英樹, 核断熱消磁冷却 III, 九州大学低温センターだより No.8, 2014. p.18.

講演

《海外での講演》

学部4年生卒業研究

坂本迅、柴田直哉（指導教員：矢山）：液体水素上の2次元電子系の電気伝導

修士論文

下田悠太：液体ヘリウム面上の2次元電子系の逸出率測定

吉崎総一郎：2段断熱消磁冷凍機の開発

樋口正和：液体水素上の2次元電子系

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

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

《 大学院 博士課程 》

黒山 晃司 野口朋寛 Heev Ayade

《 大学院 修士課程 》

井崎邦義 田中小百合 玉井達哉 勝田康平

石垣武士 中野裕生 有松 寛 山本 匠

大久保 省吾 祐下 岳志 高橋 健太郎 松岡 良晴 松元 大吾

《 学部 卒業研究生 》

河村隆弘 栗原喬 有留真人 増田壮大

《 研究生 》

張 通 Lara Gay Villaruz Moccooro

担当授業

電磁気学(木村康之)、力学基礎・同演習(木村康之)、物性物理学I(木村康之)、物理学III(木村康之)、複雑系物理学(木村康之)、熱と波動論基礎(水野大介)、物理学ゼミナール(水野大介)、物理コア?(水野大介)、最先端物理学(岩下靖孝)、物理学総合実験(岩下靖孝)

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, 3)

○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。(2, 6)

- 様々なコロイド粒子の作成や、その分散系における集合的挙動などを解明することを目指した。(4, 5, 7, 8)
- 興味深い液晶の相挙動を NMR で調べることを目的とした。(9)
- イオン液体のガラス転移を NMR とシミュレーションで解明することを目的とした。(10)
- 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。(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)
- 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。

《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 (井崎、河村、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が粒子・欠陥対のタイプによって変化すること、電場の印加により変化することなどを研究した。また、粒子間力の測定法として新たな流体力学的な補正を行ったフリーリリース法の開発も行った。

(2) 混合脂質リポソームの光ピンセットによる変形と力測定 (祐下、柳澤、岩下、木村)

多成分脂質からなり膜内で相分離するベシクル構造 (リポソーム) 内に複数のコロイド粒子を挿入し、そのうち2つをレーザーにより反対方向に引っ張った。するとベシクルが球状→レモン状→球+棒状と変化したり、太い部分と細い部分が数珠つなぎとなった形態を取るなど、様々な興味深い挙動が現れた。

(3) ホログラフィック光ピンセットの開発 (大久保、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、多点の光トラップを可能にした。更に粒子に角運動量を与える光渦を複数作成することに成功した。開発したシステムを用いて、流体的に結合した多粒子系の示す集団運動の解明を試みた。その結果、リミットサイクル運動・クラスター形成など、相互作用の非線形性に起因する特徴的な挙動を観察することに成功し、数値シミュレーションなどによりその物理的機構の一端を解明することができた。

(4) コロイド結晶の生成・融解過程の研究 (田中、岩下、木村)

光ピンセットのレーザーを導電性薄膜に照射することで作成した、局所熱勾配を用いて粒子を集積し、コロイド結晶を作成できる。さらに、レーザー照射を止めることで、この2次元コロイド結晶の融解過程を見ることもできる。この生成・融解過程に関し、顕微鏡による実時間観察を行なった。その結果、結晶化の駆動力は熱泳動効果で定性的に説明できることが分かった。また融解は結晶境界からだけでなく内部からも進行すること、及びその際の粒子秩序の変化が2次元粒子系の相転移と関連があることが明らかとなった。これらの実験結果を説明するためにブラウンダイナミクス・シミュレーションを行い、実験とよい一致をみた。

(5) ヤヌス粒子の作成とその凝集構造の研究 (野口、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。また溶媒の臨界効果を利用してヤヌス粒子間の異方的な相互作用を精密に制御することにも成功し、それを利用して凝集構造形成における階層性を解明した。

(6) 液晶電気対流系の3次元観察 (勝田、高橋、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、液晶配向方向を反映した蛍光を発する色素を用い、3次元的に対流構造を観察した。その結果、コレステリック液晶系において、過去の研究から予想されていたものの実際には確認されていなかったパターン遷移過程を、初めて明確に観察することができた。

(7) 異方的コロイド粒子の運動 (松元、岩下、木村)

樹脂製のコロイド粒子を高分子フィルム内に分散させ、粒子がガラス転移点以上になる温度でフィルムを引き伸ばすことで、一軸延伸された楕円状粒子を作成した。その粒子を沈殿させ、2次元的なブラウン運動を観察し、画像解析により拡散挙動を調べた。すると、時間スケールにより重心の拡散が回転拡散の影響を受けることが分かつ

た。

(8) 臨界効果を利用したコロイド粒子の凝集キネティクスの解明 (玉井、岩下、木村)

等方的なコロイド粒子を水-ルチジン臨界組成溶液に分散させ、一相状態から昇温し臨界点に近づけていくと、粒子間の引力が連続的に増大する。この現象を利用し、引力の大きさによりコロイド粒子の2次元的な凝集キネティクスがどのように変化するかを調べた。その結果、引力の増加によってよりパーコレートしやすくなる可能性が示唆された。

(9) リエントラント液晶の相挙動の解明 (中野、木村)

温度降下時に等方相→ネマチック相→スメクチック相→ネマチック相と変化するリエントラント液晶の相挙動をNMRにより調べた。その結果、dimer形成がその特異な相挙動に大きく影響することを確認し、また分子の各部分の運動性が各相により大きく異なることを見出した。

(10) イオン液体の研究 (石垣、松岡、木村)

イミダゾール系イオン液体のガラス転移をNMR及びシミュレーションにより調べた。その結果、結晶とガラス状態の運動の相異や、様々な局所構造の形成が明らかとなった。

(11) フィードバック増強マイクロレオロジーの開発 (M. Bremerich, H. Ayade, 有松、西澤、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 (D. Head, 池辺詠美、中益朗子、P.Zhang, 木下英、L.G. Villaruz, 安藤祥司、水野)

細胞骨格に軸対称な応力を加えつつ広帯域マイクロレオロジーを行った。その非線形かつ非等方な応答を定量的に解析することで、10-10kHzのマクロなレオメータでは計測できない中間周波数域にアファインかつ弾性的な力学応答が存在することを明

らかにし、それ以下の周波数域における緩和がネットワークの非アファイン変形によるものであることを実証した。

(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 (栗原喬、有留真人、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 Levy の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 LEVY 分布が普遍的に現れる機構と条件を明らかにすることが今後の課題である。

《 来年度の目標 》

研究 (1 - 15) のさらなる発展、及び教育の充実。

発表論文

《 原著論文 》

Interparticle force between different types of nematic colloids:

Kuniyoshi Izaki and Yasuyuki Kimura,
Physical Review E, 87, 062507 (2013)

Stable cluster phase of Janus particles in two dimensions:
Yasutaka Iwashita, Yasuyuki Kimura,
Soft Matter 9, 10694 (2013)

Hydrodynamic effects in the measurement of interparticle forces in nematic colloids:
Kuniyoshi Izaki and Yasuyuki Kimura,
Physical Review E, 88, 054501 (2013)

local mechanical response in semiflexible polymer networks subjected to an axisymmetric prestress:
David Head and Daisuke Mizuno,
Physical Review E 22717 88 (2013)

High-frequency affine mechanics and nonaffine relaxation in a model cytoskeleton:
David Head, Emi Ikebe, Akiko Nakamasu, Peijuan Zhang, Lara Gay Villaruz, Suguru Kinoshita, Shoji Ando and Daisuke Mizuno,
Physical Review E 42711 89 (2014)

講演

《 海外での講演 》

Hydrodynamically induced collective motion of optically driven colloidal particles on a ring:

Yasuyuki Kimura, Shuhei Shibata and Yuriko Sassa,
International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Patterns in hexagonally close-packed Janus colloidal monolayer:

Y. Iwashita, and Y. Kimura,
International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Cluster structures of Janus colloidal particles controlled by tunable attractive interac-

tion:

Y. Iwashita, and Y. Kimura,

International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Melting of an Isolated Two-dimensional Colloidal Crystal:

Sayuri Tanaka, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura,

International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Aggregates of Amphiphilic Janus Particles in a Binary Liquid Mixture:

Tomohiro Noguchi, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura,

International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Microrheology study of crowding effects on cell mechanics:

Kenji Nishizawa, Kei Fujiwara, Miho Yanagisawa and Daisuke Mizuno,

International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Levy statistics and dynamics in active cytoskeletons:

Irwin Zaid, Heev Ayade and Daisuke Mizuno,

International Soft Matter Conference 2013, Rome, Italy, September 15-19, 2013

Interparticle force between nematic colloids:

Yasuyuki kimura and Kuniyoshi Izaki,

12th European Conference on Liquid Crystals, Rhodes, Greece, September 22-27, 2013

Interaction between nematic colloids with different types of defects:

Kuniyoshi Izaki, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki kimura,

12th European Conference on Liquid Crystals, Rhodes, Greece, September 22-27, 2013

Levy statistics and dynamics in active cytoskeletons:

Daisuke Mizuno,

2013 SPP Physics Congress, University of San Carlos, Cebu city, Philippines, October 24, 2013

Levy statistics and dynamics in active cytoskeletons:

Daisuke Mizuno,

Taiwan International Workshop on Biological Physics and Complex Systems (BioComplex-Taiwan-2013), National Taiwan University, July 19, 2013

Levy statistics and dynamics in active cytoskeletons:

Daisuke Mizuno,

15th SPVM National Physics Conference in Davao, Davao City, Philippines, October 26, 2013

Athermal Fluctuations of Probe Particles in Active Cytoskeletal Network:

Heev Ayade, Irwin Zaid, Daisuke Mizuno,

KITP conference "Active Processes in Living and Nonliving Matter" University of California, Santa Barbara, USA, February 10, 2014

Athermal Fluctuations of Probe Particles in Active Cytoskeletal Network:

Heev Ayade, Irwin Zaid, Daisuke Mizuno,

58th annual meeting of Biophysical Society, Moscone Convention Center, San Francisco, USA, February 16, 2014

Non-Gauss athermal fluctuations in Bacterial bath :

Masato Aridome, takasi kurihara, Heev Ayade, Irwin Zaid, Daisuke Mizuno,

KITP conference "Active Processes in Living and Nonliving Matter", Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, USA , February 12, 2014

Non-Gauss athermal fluctuations in Bacterial bath:

Masato Aridome, takasi kurihara, Heev Ayade, Irwin Zaid, Daisuke Mizuno,

58th annual meeting of Biophysical Society, Moscone Convention Center, San Francisco, USA, February 18, 2014

《 国内での講演 》

ヤヌス粒子の自己組織化:

岩下 靖孝

第3回ソフトマター研究会

ネマチックコロイド間相互作用の測定法の比較とその応用:
井崎 邦義、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

液晶電気対流に駆動されたコロイド粒子系の挙動:
高橋 健太郎、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

球と楕円からなるコロイド系の構造:
松元 大吾、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

水-油混合系における両親媒性ヤヌス粒子が形成する凝集構造:
野口 朋寛、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

円環上を光駆動されたコロイド系の示すリズム運動:
大久保 省吾、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

有限サイズの二次元コロイド凝集体の融解の研究:
田中 小百合、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

一軸伸長された相分離リポソームの変形:
祐下 岳志、柳澤 実穂、岩下 靖孝、木村 康之
第3回ソフトマター研究会

多様な高分子の混み合い効果が細胞内粘性へ及ぼす影響:
西澤 賢治 (九大院理)、藤原 慶 (東北大院工)、柳澤 実穂、水野 大介
第3回ソフトマター研究会

コロイド分子の自己組織化:
岩下 靖孝
第3回ソフトな物工の未来を考える会

ヤヌス粒子 2次元格子における方向秩序:

岩下 靖孝、木村 康之

日本物理学会 第 69 回年次大会

液晶電気対流中に分散したコロイド粒子系の輸送と拡散:

高橋健太郎, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 69 回年次大会

ヤヌス粒子を利用した金属面の固体誘電体被覆:

野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 69 回年次大会

流体相互作用する光駆動粒子系の示すリズム運動:

大久保省吾, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 69 回年次大会

光ピンセットにより一軸変形された相分離リポソーム:

祐下岳志, 柳澤実穂, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 69 回年次大会

細胞内マイクロレオロジーに対する分子混み合い効果:

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

日本物理学会 第 69 回年次大会

揺動散逸定理を破る生き物の非平衡揺らぎの統計分布:

水野大介

第 69 回日本物理学会年次大会シンポジウム「動的ゆらぎの普遍法則」東海大学, 2014

年 03 月 28 日

光ピンセットを用いた相分離リポソームの一軸変形:

祐下岳志, 柳澤実穂, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

高分子ゲルの広帯域マイクロレオロジー:

栗原喬, 有留真人, 水野大介

第 119 回日本物理学会九州支部例会

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:

有留真人, 栗原喬, Heev AyadeA, Irwin Zaid, 水野大介

第 119 回日本物理学会九州支部例会

液晶電気対流によるコロイドの輸送と拡散:

高橋健太郎, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

球と楕円粒子からなるコロイド系の構造:

松元大吾, 田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

ヤヌス粒子による金属粒子の被覆構造形成:

野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

臨界由来相互作用による異種粒子混合系の凝集:

岩下靖孝, 木村康之, 玉井達哉

第 119 回日本物理学会九州支部例会

有限サイズの二次元コロイド結晶の研究:

田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

光駆動粒子系のダイナミクス:

大久保省吾, 増田壮大, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

ホログラフィック光ピンセットを用いた粒子操作:

増田壮大, 大久保省吾, 岩下靖孝, 木村康之

第 119 回日本物理学会九州支部例会

ネマチックコロイド相互作用の新たな測定法:

井崎邦義, 河村隆弘, 岩下靖孝, 木村康之
第 119 回日本物理学会九州支部例会

電場下でのネマチックコロイド間相互作用:
河村隆弘, 井崎邦義, 岩下靖孝, 木村康之
第 119 回日本物理学会九州支部例会

リエントラント液晶 6OCB・8OCB の NMR:
中野裕生, 木村康之, 町田光男
第 119 回日本物理学会九州支部例会

イオン液体 [DEME][BF₄] と水の混合物の NMR:
松岡良春, 木村康之, 町田光男
第 119 回日本物理学会九州支部例会

イオン液体 bmimPF₆ の相転移とダイナミクス - NMR による測定—
石垣武士, 木村康之, 町田光男
第 119 回日本物理学会九州支部例会

ヤヌス粒子と金属粒子の複合構造:
野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之
日本物理学会 2013 年秋季大会

有限サイズの二次元コロイド結晶の消滅過程:
田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之
日本物理学会 2013 年秋季大会

外力下でのリポソームの相分離と変形:
祐下岳志, 柳澤実穂, 岩下靖孝, 木村康之
日本物理学会 2013 年秋季大会

楕円粒子を用いた構造形成:
松元大吾, 田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之
日本物理学会 2013 年秋季大会

液晶電気対流中のコロイド粒子系のダイナミクス:

高橋健太郎, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2013年秋季大会

光駆動コロイド系のダイナミクス:

大久保省吾, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2013年秋季大会

細胞内マイクロレオロジーに対する分子混み合い効果:

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

日本物理学会 2013年秋季大会

電気泳動光散乱の基礎 (招待講演):

木村 康之

第25回散乱研究会 2013年11月15日 HULIC HALL

Microrheology of equilibrium and non-equilibrium complex fluids (Invited):

Yasuyuki Kimura

Workshop on Non-Equilibrium Complex Fluids, March 6, 2014 Tokyo Metropolitan University (Hachioji, Tokyo)

Athermal Fluctuations of Probe Particles in Active Cytoskeletal Networks:

Zaid Irwin, Ayade Heev, Yeomans Julia, Mizuno Daisuke

第51回日本生物物理学会年会 The 51st Annual Meeting of the BSJ, poster, 京都、アネックスホール, 2013/10/28

Nonlinear stress propagation, anisotropic stiffening, and nonaffine relaxations in cytoskeletal networks:

水野 大介, Villaruz Lara, 中益 朗子, 池辺 詠美, Head David,

第51回日本生物物理学会年会 The 51st Annual Meeting of the BSJ, poster, 京都、アネックスホール, 2013/10/28

Molecular crowding effects on intracellular mechanical environments:

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介,

日本生物物理学会 2013 年会 (京都国際会議場, 2013 年 10 月)

生き物の非平衡揺らぎの統計分布と力学特性:

水野大介

第7回物性科学領域横断研究会 (領域合同研究会) 東京大学・武田ホール 2013年12月1日

マイクロレオロジーを用いた細胞内部の力学特性の研究～分子の混み合い効果～:

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介,

第一回西日本非平衡ミニシンポジウム, 九州大学 2013年5月

Glass-like behavior in cells:

西澤賢治, 藤原慶, Marcel Bremerich, 柳澤実穂, 水野大介,

7th Mini-Symposium on Liquids, 九州大学, 2013年7月

生き物の非平衡揺らぎ・混みあい効果と力学特性:

水野大介

揺らぎと構造の協奏: 非平衡系における普遍法則の確率第一回領域研究会, KKR ホテル熱海、2013年12月25日—12月27日

生体ソフトマターの非平衡力学計測システムの開発:

水野大介、

2013 旭硝子財団助成研究発表会, ホテルグランドヒル市ヶ谷、2013年7月29日

細胞集団が形成する組織の非線形・非平衡メカニクスと自発生成力の観測:

水野大介

ミクロからマクロへ階層を超える秩序形成のロジック 2013年度班会議, 淡路夢舞台国際会議場、2013年6月12日—14日

マイクロレオロジーを用いた非平衡系 (生き物) の力学計測:

水野大介、

ミクロからマクロへ階層を超える秩序形成のロジック 夏合宿研究会淡路夢舞台国際会議場、2013年8月26日—28日

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、若手研究 (A)

細胞内部の非平衡力学に基づく非熱的揺動力の計測
研究代表者：水野大介

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究

多粒子光トラップによる神経細胞の軸索伸長の制御とその特異性の起源の解明
研究代表者：水野大介

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

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

学部4年生卒業研究

河村隆弘：(指導教員、木村康之)：電場下でのネマチックコロイドの粒子間力測定

増田壮大：(指導教員、木村康之)：ホログラフィック光ピンセットによる粒子操作の研究

有留真人：(指導教員、水野大介) 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：

栗原喬：(指導教員、水野大介) 高分子ゲルの広帯域マイクロレオロジー：

修士論文

井崎邦義：(指導教員、木村康之)：ネマチック液晶中の異方的粒子間相互作用とその応用

玉井達哉：(指導教員、木村康之・岩下靖孝)：溶媒の臨界性を利用したコロイド凝集の制御

勝田康平：(指導教員、木村康之)：コレステリック液晶電気対流のパターンの研究

田中小百合：(指導教員、木村康之)：有限サイズの二次元コロイド結晶の研究

石垣武士：(指導教員、木村康之)：イオン液体 [bmim] [PF₆] の NMR 測定と分子動力学シミュレーション

中野裕生：(指導教員、木村康之)：¹H-,¹³C-NMR によるリエントラ液晶 6OCB-8OCB のダイナミクスの研究

有松寛：(指導教員、木村康之)：外力印加下におけるフィードバックを用いた細胞内マイクロレオロジー

山本匠：(指導教員、木村康之)：顕微鏡観察用透析セルをいたアクチン-ミオシンゲルのマイクロレオロジー

外国人留学生の受け入れ

Heev Ayade (水野大介)

Lara Gay Villaruz (水野大介)

張通 (水野大介)

Benjamin Brunel (短期 5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)

日本生物物理学会 地区委員 (水野)

その他の活動と成果

平成26年物理学科体験入学講演会 「光でミクロな物体を操る」 (3月、木村)

複雑流体

研究室構成員

鵜田昌之 教授

柳澤実穂 助教

《 大学院 博士課程 》

山下裕太郎

《 大学院 修士課程 》

濁川慎平 山下泰弘 吉田貴亮 佐藤寛貴

西澤賢治

《 学部 卒業研究生 》

清田翔 藤井利輝

担当授業

自然科学総合実験（柳澤実穂）

物理学特別講義 A(物理学最前線)（柳澤実穂）

基礎物理実験学・同実験（鵜田昌之・柳澤実穂）

力学基礎・同演習（鵜田昌之）

熱と波動論基礎（鵜田昌之）

熱力学（鵜田昌之）

研究・教育目標と成果

高分子混合溶液における相分離とゲル化に関する研究 (鵜田昌之、柳澤実穂、山下裕太郎)

ゼラチンならびにポリエチレングリコール (PEG) はよく知られた水溶性高分子である。これらの高分子を混合した水溶液において興味深い相分離現象が見いだされた。我々は、この相分離現象のメカニズムを明らかにすることを目的として研究を行った。PEGの分子量を変化させて測定を行ったところ、相分離点の温度はPEGの分子量に強く依存するということが明らかとなった。モデル細胞内での水性二相分離とゲル化によるパターン形成 (柳澤実穂、鵜田昌之、濁川慎平) 細胞内は多様かつ多量の生体高分子から成る高粘弾性流体で満たされている。この細胞内環境のモデル系として、ミ

クロな油中水滴の内部にゼラチン・PEG水溶液を内包する実験を行った。この高分子混合水溶液は、温度低下に伴って水性二相分離とゼラチンのゲル化を示す。ゼラチンと液滴界面との相互作用と、相分離をゲル化によって停止することによって、多様なマイクロゲル・パターンを生み出すことに成功した。

相分離したゲルの輸送特性 (鴫田昌之、柳澤実穂、山下泰弘)

中性の高分子多糖として利用されているアガロースは、水溶液中においてゲルを形成したのちに相分離を生じることが知られている。相分離による内部構造変化がゲルの物性に与える影響を明らかにするため、アガロースゲルの高分子網目と水間の摩擦係数を測定した。さらにゲルの構造サイズを定量化し、これとゲルの摩擦係数との相関関係を見出すことができた。

接着した液滴間に発生する接着力評価 (柳澤実穂、鴫田昌之、吉田貴亮)

脂質膜で覆われたマイクロサイズの油中水滴を2つ接着させた際に発生する接着力が、液滴界面を覆う脂質の種類によってどう変化するのかを定量的に評価した。脂質の炭化水素鎖に含まれる炭素数がある定数よりも小さくなると、接着力が急激に減少することを見出し、原著論文としてまとめることができた。

電氣的に中性なゲルの膨潤挙動 (鴫田昌之、佐藤寛貴)

電氣的に中性なジメチルアクリルアミドゲルに、解離基を持つモノマーを共重合させることで、ゲルの体積相転移におけるイオン化の影響を解析した。このゲルはアセトン水溶液下で収縮するが、その収縮率はゲルの解離度に強く依存した。解離度が小さい時は、アセトン濃度の増加に伴ってゲルは連続的に収縮・再膨潤するリエントラントの挙動を示した。一方の解離度が大きい時は、あるアセトン濃度で不連続的に縮むことが分かった。来年度は系の温度制御、電場制御等を試みることで、イオン化したゲルの膨潤・収縮現象を解明したい。

細胞内部の粘性に対する多成分高分子混み合い効果の影響 (柳澤実穂、西澤賢治)

細胞内環境を物理的に理解する上では、細胞内の力学的特徴を解明することが必要である。本研究では1種類の蛋白質からなるBSA溶液と、数百種類の蛋白質からなる細胞抽出液について粘性率を測定し、その濃度依存性から細胞内の分子混み合い効果に迫った。BSA溶液ではコロイド懸濁液のガラス転移前駆現象と同じような振る舞いが見られるが、細胞抽出液ではより低い高分子濃度で粘性率の発散散逸が起こることが分かった。今後は多成分系ではより低濃度で粘性散逸が起こる理由を物理的に明らかにしたい。

Triton 水溶液の曇点曲線と相分離 (鵜田昌之、清田翔)

一般に非イオン性界面活性剤の水溶液は温度を上げていくと白濁し、このときの温度を曇点という。本研究では、代表的な非イオン性界面活性剤である Triton X-100 と Triton X-114 の曇点の濃度依存性を明らかにした。今後の研究では、これらの各系のスピノダル曲線を決定し、また、有機塩を添加したときの相挙動の変化を明らかにすることを目指す。

接着したマイクロ液滴内における相分離ドメインの配向 (柳澤実穂、鵜田昌之、藤井利輝)

接着した2つの液滴内に高分子混合溶液を封入して相分離させた際に、相分離の配置へ接着した膜界面が及ぼす影響を解析した。その結果、相分離界面はマイクロ液滴の接着面に対して、垂直か水平のどちらかに揃うことが分かった。このことは、マイクロ空間内での相分離配置はバルク系で最も支配的となる相分離界面張力だけの寄与では決まらず、周囲のマイクロ液液界面の影響を強く受けることを意味する。今後はこの機構を明らかにする。

発表論文

《原著論文》

Generation of giant unilamellar liposomes containing biomacromolecules at physiological intracellular concentrations using hypertonic conditions Kei Fujiwara and Miho Yanagisawa, ACS Synthetic Biology, in press.

Sol-gel transition and phase separation in ternary system of gelatin-water-poly(ethylene glycol) oligomer Yutaro Yamashita, Miho Yanagisawa, and Masayuki Tokita, Journal of Molecular Liquids, in press.

Phase separation in binary polymer solution: gelatin/Poly(ethylene glycol) system Miho Yanagisawa, Yutaro Yamashita, Sada-atsu Mukai, Annaka Masahiko, and Masayuki Tokita Journal of Molecular Liquids, in press.

Characteristic behavior of crowding macromolecules confined in cell-sized droplets Miho Yanagisawa, Takahiro Sakaue, and Kenichi Yoshikawa. International Review of Cell

and Molecular Biology, 307 (2014) pp. 175-204.

Adhesive force between paired microdroplets coated with lipid monolayers Miho Yanagisawa, Taka-aki Yoshida, Miyuki Furuta, Satoshi Nakata, and Masayuki Tokita, Soft Matter, 9 (2013) pp. 5891-5897.

Phase behaviors of agarose gel Takaharu Morita, Takayuki Narita, Sada-atsu Mukai, Miho Yanagisawa, and Masayuki Tokita. AIP Advances, 3 (2013) p. 042128.

Structure and frictional properties of colloid gel. Masayuki Tokita Polymers, 6 (2014) 651-666

著書

「ゲルの実空間構造解析」 鴫田昌之

「ゲルの安定化と機能性付与・次世代への応用開発」（技術情報協会編）分担執筆

「一次元拡散反応系におけるゲル化とパターン形成」 成田貴行, 岡村香奈, 鴫田昌之

「ゲルテクノロジーハンドブック」（株式会社エヌ・ティー・エス編）分担執筆

「基幹物理学」 原田・副島・栗焼・矢山・鴫田・本庄培風館, 分担執筆

講演

《 海外での講演 》

Spontaneous patterning of gels by confining to microspheres (ポスター)

柳澤 実穂, 濁川 慎平, 坂上 貴洋, 鴫田 昌之

International Soft Matter Conference 2013, イタリア・ローマ (2013年9月17日)

Microrheology study of crowding effects on cell mechanics (ポスター)

西澤賢治, 藤原慶, Marcel Bremerich, 柳澤実穂, 水野大介

International Soft Matter Conference 2013, イタリア・ローマ (2013年9月18日)

《 国内での講演 》

Glass-like behavior in cells

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

7th Mini-Symposium on Liquids, 九州大学西新プラザ (2013年7月5日)

Hydrodynamic friction of phase-separated agarose gel

山下 康弘, 柳澤 実穂, 鵜田 昌之

7th Mini-Symposium on Liquids, 九州大学西新プラザ (2013年7月5日)

Phase behavior of binary polymer solution: Gelatin-PEG-water system

山下祐太郎, 柳澤実穂, 鵜田昌之

7th Mini-Symposium on Liquids, 九州大学西新プラザ (2013年7月5日)

Spontaneous patterning of gels by confining polymer mixture to microspheres

柳澤実穂 (招待講演)

7th Mini-Symposium on Liquids, 福岡西陣プラザ (2013年7月6日)

細胞内マイクロレオロジーに対する分子混み合い効果

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

日本物理学会 2013 年秋大会, 徳島大学 (2013年9月25日)

ゼラチン・PEG・水 3 成分系の相挙動の PEG 分子量依存性

山下祐太郎, 柳澤実穂, 鵜田昌之

日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学 (2013年9月27日)

相分離したゲルの流体力学的摩擦

山下泰弘, 柳澤実穂, 鵜田昌之

日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学 (2013年9月27日)

エチレングリコール・オリゴマー水溶液中におけるポリアクリルアミドゲルの膨潤挙動

佐藤寛貴, 柳澤実穂, 鵜田昌之

日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学 (2013年9月27日)

マイクロ液滴内での高分子溶液の相分離とゲル化によるパターン形成

柳澤実穂, 濁川慎平, 坂上貴洋, 鵜田昌之

日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学 (2013 年 9 月 27 日)

Aqueous phase separation and sol-gel phase transition of biopolymer blend in cell-sized droplets

柳澤実穂 (招待講演)

第 51 回日本生物物理学会年会, 京都国際会議場 (2013 年 10 月 28 日)

Molecular crowding effects on intracellular mechanical environments

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

日本生物物理学会 2013 年会, (2013 年 10 月 29 日)

細胞サイズ小胞への高分子封入による新規機能創成

柳澤 実穂 (招待講演)

2013 年日本化学会中国四国支部大会, 広島大学 (2013 年 11 月 16 日)

多様な高分子の混み合い効果が細胞内粘性へ及ぼす影響

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

第 3 回ソフトマター研究会, 首都大学東京 (2013 年 12 月 13 日)

ゲルの流体力学的摩擦

山下泰弘, 柳澤実穂, 鴫田昌之

日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学 (2014 年 3 月 27 日)

高分子混合溶液における相分離とゲル化のカップリング

山下祐太郎, 柳澤実穂, 鴫田昌之

日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学 (2014 年 3 月 27 日)

電氣的に中性なゲルの膨潤挙動

佐藤寛貴, 柳澤実穂, 鴫田昌之

日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学 (2014 年 3 月 27 日) .

細胞内部の粘性に対する多成分高分子混み合い効果の影響

西澤賢治, 藤原慶, 柳澤実穂, 水野大介

日本物理学会 69 回年次大会, 東海大学 (2014 年 3 月 27 日)

生体高分子溶液の粘弾性と相分離挙動

柳澤実穂（招待講演）

日本物理学会 69 回年次大会，東海大学（2014 年 3 月 27 日）

マイクロ液滴内での高分子溶液の相分離とゲル化による座屈現象

柳澤実穂，濁川慎平，坂上貴洋，山下祐太郎，鵜田昌之

日本物理学会 69 回年次大会，東海大学（2014 年 3 月 28 日）

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 (B)

多細胞モデルの構築と細胞間相互作用の制御

研究代表者：柳澤実穂

文部省科学研究費補助金、新学術領域研究（研究領域提案型）

ソフトマター物理による非対称マイクロゲルの創成と制御

研究代表者：柳澤実穂

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

委任経理金 ニプロパッチ株式会社

鵜田昌之

学部 4 年生卒業研究

清田翔：（指導教員，鵜田昌之） Triton 水溶液の曇点曲線と相分離

藤井利輝：（指導教員，柳澤実穂） 接着したマイクロ液滴内における相分離ドメインの配向

修士論文

濁川慎平：（指導教員，柳澤実穂） ミクロ空間内での相分離とゲル化によるパターン形成

山下康弘：（指導教員，鵜田昌之） ゲルのスピノダル分解と輸送物性

吉田貴亮：(指導教員, 柳澤実穂) 二細胞モデル間の膜接着力の定量解
佐藤寛貴：(指導教官, 鵜田昌之) 中性ゲルの膨潤挙動
西澤賢治 (指導教官, 柳澤実穂) タンパク質溶液の粘弾性測定

外国人留学生の受け入れ

山下裕太郎：(指導教員, 鵜田昌之)

平成25年度客員教授

京都大学名誉教授 小貫明

複雑流体研究室では、京都大学名誉教授小貫明を客員教授として迎えた。2013年は4月ならびに10月に来校頂き、研究室スタッフとのミーティングを行った。

また、10月来校時には物理学特別講義 IX（ソフトマター物理学の基礎と最近の発展）を開講して頂いた。この講義はSTEP10の開講講義としても提供された。

文責 鵜田

平成25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+++	奥村健一
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++++	織田観 未原大幹 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	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	浅野貴行
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
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
複雑流体	鴫田昌之 小貫明+		柳澤実穂

+客員教授

++准助教

+++基幹教育院

++++RCAPP

技術職員	原子核実験室 前田豊和 極低温実験室 上田雄也 吉松洋
------	--------------------------------

事務職員	学科事務職員 山路有希 久保早苗 恵裕子 重松さおり 田口登子 RCAPP 事務職員 宮本翔子 石原五月 大西昌子
------	---

平成25年度各種委員

(○は委員長)

部門長・学科長・専攻長：川越

副部門長：中西

将来計画委員：○川越，木村(康)，木村(崇)，野呂，八尋，中西

教育課程委員：○鴫田，八尋，川越，若狭，清水，成清，水野，坂上，岩下

入試委員会委員長（全ての入試関連委員会の統括）：木村(康)

助の会幹事：坂口

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：○橋本，木村(崇)，吉森

経理委員：○野呂，木村(康)

業績評価部会：○橋本，渡部

就職・成績管理担当：○和田，寺西

図書：○成清，寺西

情報委員会：○寺西，野村，東城，山岡

支線 LAN 管理者：寺西

広報委員：○若狭，吉岡、松井

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

教員積み立て等会計：吉森

教員免許更新講習：○渡部，若狭

体験入学・入学オリエンテーション実施委員：○吉岡，水野，藤田，山田，荒井

H25 年度 物理学教室談話会

第 1 回教室談話会

題目：「我々は宇宙をどこまで理解したのか」

講師：杉山 直 氏 (名古屋大学大学院理学研究科 教授)

日時：9 月 26 日(木) 16:30～

場所：物理第一会議室 (理学部 2 号館 1 階 2 1 5 4)

第 2 回教室談話会

題目：「ガラス転移動力学について」

講師：小貫 明氏 (京都大学名誉教授, 九州大学客員教授)

日時：10 月 2 日 (水), 14 時-15 時 30 分

場所：物理第一会議室 (理学部 2 号館 1 階 2 1 5 4)

第 3 回教室談話会

題目：「砂漠と自然性 - 場の理論をこえて - 」

講師：川合 光 氏 (京都大学大学院理学研究科・教授)

日時：10 月 31 日(木) 15:50～

場所：物理第一会議室 (理学部 2 号館 1 階 2 1 5 4 号室)

第 4 回物理学教室談話会

講義題目：ゆらぎの定理から導かれる非平衡定常系の熱力学構造

講師：中川尚子氏 (茨城大学理学部物理学科)

日時：11 月 6 日 (水) 16:00～17:00

場所：第一会議室 (2154 室)

第 5 回教室談話会

講演題目：温度誘起価数転移を示す Eu 化合物の電子状態：

硬 X 線光電子分光による研究

講師：三村 功次郎 氏 (大阪府立大学工学研究科・准教授)

日時：11 月 13 日 (水) 16:00-17:30

場所：第 1 会議室 (2154 室)

第 6 回 物理教室談話会

講演題目：ミューオンで探る素粒子の大統一理論

講師：森 俊則(東京大学素粒子国際研究センター・教授)
日時：2013年11月18日(月) 16:30より
場所：物理第1会議室(理2号館2154号室)

第7回 物理教室談話会

講演題目：創発するエキゾチック原子核
講師：櫻井 博儀氏
(東京大学大学院理学研究科・教授／ 理化学研究所・主任研究員)
日時：12月3日(火) 16:30より
場所：九州大学理学部物理学科 第1会議室(2154号室)

第8回教室談話会

講演題目：レーザー冷却原子で探る反物質消失の謎
講師：酒見 泰寛氏
(東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・教授)
日時：12月18日(水) 16:30-18:00
場所：第1会議室(2154室)

第9回教室談話会(日本物理学会九州支部特別講演会)

講演題目：High-field magnetization of Tm₂Fe₁₇ single crystal
講師：Dr. Alexander V. Andreev
(Institute of Physics, Academy of Sciences, Prague, Czech Republic)
日時：12月19日(木) 15:00-16:30
場所：九州大学理学部2号館物理学教室第一会議室
(福岡市東区箱崎6-10-1)

九州大学物理教室第10回物理談話会

「Ising型相互作用をする系の量子ゆらぎ」
講師：南 和彦准教授(名古屋大学大学院多元数理科学研究科)
日時：12月26日(木) 16:00~17:00
場所：物理学科第1会議室(2154室)

H25 年度 物理学教室水曜木曜談話会

H25 年度第 1 回物理学教室 水曜談話会

講演題目 希土類金属化合物における価数不安定下の磁性研究

講師 : 光田 暁弘

日時 : 2013 年 5 月 1 日 (水) 16 : 30 - 17 : 50

場所 : 物理第 2 講義室

H25 年度第 2 回物理学教室 水曜談話会

講演題目 ヤヌス粒子の自己組織化

講師 : 岩下 靖孝

日時 : 2014 年月 9 日 (水)

場所 : 物理第 2 講義室

H25 年度第 3 回物理学教室 水曜談話会

講演題目 超対称理論の小さな階層性問題と
超対称性の破れのミラージュ媒介機構

講師 : 奥村 健一

日時 : 2013 年 6 月 26 日 (水) 17 : 00 - 18 : 20

場所 : 物理第 2 講義室

H25 年度第 4 回物理学教室 水曜談話会

講演題目 R I ビームによる不安定核の共鳴状態の研究

講師 : 寺西 高

日時 : 2013 年 7 月 24 日 (水) 17 : 00 - 18 : 20

場所 : 物理第 2 講義室

平成 25 年度第 1 回物理学教室 木曜談話会

講演題目 たかが Hubbard モデル されど Hubbard モデル

講師 : 成清 修

日時 : 2013 年 10 月 31 日 (木) 17 : 00 - 18 : 20

場所 : 物理第一講義室

平成 25 年度第 2 回物理学教室 木曜談話会

講演題目 ぎりぎり固体

講 師 : 松井淳

日時 : 2013 年 11 月 28 日 (木) 16 : 30 - 17 : 50

場所 : 物理第一講義室

平成 25 年度第 3 回物理学教室 木曜談話会

講演題目 スピン系の magnetism と chromism の相関

講 師 : 浅野 貴行

日時 : 2013 年 12 月 19 日 (木) 17 : 00 - 18 : 20

場所 : 物理第一講義室

2013年度 物性基礎論コロキウム開催一覧

第一回 (2013年4月23日)

野村 清英 (統計物理)

「レーザー冷却の物理 2」

第二回 (2013年5月9日)

山口 哲生 (九州大学大学院工学研究院機械工学部門)

「高分子ゲルのすべり摩擦」

第三回 (2013年5月21日)

設楽 恭平 (統計物理)

「反応拡散系における局在パターンのダイナミクス」

第四回 (2013年5月28日)

西森 拓 (広島大学・理・数理分子生命理学専攻)

「アリの採餌行動における決断とゆらぎ」

第五回 (2013年6月11日)

成清 修 (凝縮系理論)

「インフレーション宇宙のエントロピー」

第六回 (2013年6月25日)

吉森 明 (物性理論)

「コロイド分散系の粗視化」

第七回 (2013年7月16日)

松井 淳 (物性理論)

「コーシー分布」

第八回 (2013年10月10日)

坂上 貴洋 (統計物理)

「異常な拡散についての話題」

第九回 (2013年11月6日) (兼：第4回教室談話会)

中川 尚子 (茨城大学理学部物理)
「ゆらぎの定理から導かれる非平衡定常系の熱力学構造」

第十回 (2013 年 11 月 21 日)
中村 有花 (物性理論)
「大きな粒子の拡散と Stokes-Einstein 則」

第十一回 (2013 年 12 月 12 日) (兼: EEP セミナー)
Walter Reisner (Department of Physics, McGill University)
"Conformational Sculpting of DNA in Nanoconfinement"

第十二回 (2014 年 1 月 9 日)
Cecilia Lovkvist (Niels Bohr Institute)
"Improved contact prediction in proteins:
Using pseudolikelihoods to infer Potts models "

第十三回 (2014 年 1 月 23 日)
原諒平 (物性理論)
「Komatsu-Nakagawa representation の紹介」

第十四回 (2014 年 2 月 6 日)
野口慎平 (物性理論)
「Productivity dispersion: Facts, Theory, and Implications (論文紹介)」

第十五回 (2014 年 2 月 20 日) (複雑物性と合同開催)
Gijs Wuite (VU University Amsterdam)
"Measuring the physics that drives DNA-protein interactions "

第十六回 (2014 年 2 月 27 日)
近藤 洋一郎 (統計物理)
「Sustainable Energy」

平成 25 年度九大原子核セミナー開催一覧

第 908 回 2013 年 4 月 12 日 (金)

講師：八尋 正信 氏 (九州大学)

演題：核物理学を展望する

第 909 回 2013 年 5 月 24 日 (金)

講師：緒方 一介 氏 (大阪大学 RCNP)

演題：炭素 22 の非束縛励起状態の存在形態

第 910 回 2013 年 5 月 31 日 (金)

講師：相良 建至 氏 (九州大学・共同研究員)

演題：3 核子系実験と未解明の現象

第 911 回 2013 年 7 月 12 日 (金)

講師：松崎 浩之 氏 (東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻)

演題：129I-AMS を利用した地球環境科学の研究 (自然システムと人為起源システム)

第 912 回 2013 年 7 月 12 日 (金)

講師：三宅 泰斗 氏 (東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻)

演題：福島第一原子力発電所事故起源の放射性ヨウ素同位体比の推定

第 913 回 2013 年 7 月 17 日 (水)

講師：鈴木 賢二 氏 (九州工業大学 シニア・アカデミー)

演題：有効相互作用理論の歴史と展望

第 914 回 2013 年 10 月 23 日 (水)

講師：水山 一仁 氏 (大阪大学 RCNP)

演題：連続状態粒子振動結合法に基づく核構造・核反応の統一的記述

第 915 回 2014 年 1 月 29 日 (水)

講師：I-O. Stamatescu 氏 (Heidelberg)

演題：Approaching finite density QCD using Complex Langevin Simulation

第 916 回 2014 年 3 月 3 日 (水)

講師：関澤 一之 氏 (筑波大学)

演題：TDHF 計算による多核子移行反応の研究

第917回 2014年3月14日(金)

講師：柏浩司氏(理研BNL)

演題：Effective model approach to phase structures of QCD and QCD-like theory

平成 25 年度非常勤講師一覧

学部担当

講師	所属	題目
入佐正幸	九州工業大学情報工学部	生物物理学

大学院担当

講師	所属	題目
南 和彦	名古屋大学大学院多元数理科学研究科	可解格子模型と 1 次元確率過程
酒見泰寛	東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター	レーザー冷却原子による基本対称性の物理
森俊則	東京大学素粒子物理国際研究センター	標準理論を超える新しい素粒子物理現象の探求
杉山直	名古屋大学大学院理学研究科	観測的宇宙論
三村功次郎	大阪府立大学大学院工学研究科	光電子分光法により観測される強相関物質の電子状態
川合光	京都大学大学院理学研究科	弦理論の展望—非摂動的定式化を中心とし
櫻井博儀	東京大学大学院理学系研究科/理化学研究所仁科加速器研究センター	RI ビームで拓く不安定核物理
中川尚子	茨城大学理学部	非平衡系の統計力学

平成25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
理学研究院・外国人特別研究員 BAKAUL, S.R.	バングラデ イシュ	日本学術振興会・外国人特別研究員	24年10 月1日～ 26年9月 30日	木村(崇)
ナポリ第2大学・準教授 Lucio Gialanella	イタリア	天体核反応実験装置・手法に関する議論およびセミナー	11月23日～ 11月24日	相良
ドイツシンクロトロン研究所(DESY)・主任研究員 Felix Sefkow	ドイツ	研究打ち合わせ・セミナー講演	11月5日 ～ 11月6日	川越
Institute of Physics , Academy of Sciences・ Professor Alexander V. Andreev	チェコ	磁性に関する共同研究	12月12 日～ 12月20 日	和田
Vrije 大学教授 Gijs Wuite	オランダ	共同研究	2月15日 ～ 3月15日	水野
IPBS/CNR 博士 Catherine Tardin	フランス	共同研究	3月7日～ 3月29日	水野
サンカルロス大学 教授 Rommel Bacabac	フィリピン	共同研究	3月16日 ～ 3月25日	水野
Heidelberg 大学教授 I-O. Stamatescu	ドイツ	セミナー	1月29日 ～ 1月31日	八尋

25年度 教育課程委員会活動報告

委員長：鵜田教授

委員：八尋教授，清水准教授，成清准教授，若狭准教授，水野准教授，
岩下助教，坂上助教

従来の「共通教育」が，平成26年度に「基幹教育」に移行・実施されることに
伴い実務が多かった。

1、大学院教育

講義実施科目の見なおしを行い，実施科目を整理した。
基礎科目の見なおしを行い，現行4科目を3科目にした。
カリキュラムマップを作成した。

2、学部教育

基幹教育の実施に伴い，学部2年次以降の専攻教育を改正した。
必修科目の見なおし。新規科目の開講。時間割の変更。
基幹教育を含むカリキュラムマップの作成（26年度まで継続）。

3、理学部カリキュラムWG

基幹教育と理学部専攻教育科目との調整。

4、3年次実施の実験科目の再編

伊都での実施を目指した実験内容の検討を行った。

5、部門FDの実施

大学院教育について。

6、特研配属の方法

特研配属の方法を見なおした。

7、基幹教育について

基幹教育履修要項の作成。
進級条件の策定。

8、情報理学分属について

情報理学科との協議を行い，分属時期の見なおし，変更した。

平成25年度 物理学部門ファカルティ・ディベロップメント報告

「大学院教育のあり方について」

開催日時： 2014年1月10日(金) 17:00 ～ 2時間程度

開催場所： 物理学第一講義室 (2149号室)

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いる。

本年度は、「大学院教育のあり方について」をテーマにファカルティディベロップメントを行った。全教員を対象とした開催日における議論に先立ち、本部門出身で現在はコペンハーゲン大学ニールスボーア研究所の御手洗菜美子准教授が来日され、「Graduate school education in Denmark: in comparison with the Japanese system」の題目で講演を行っていただいた。デンマークにおける物理学分野の大学院教育の詳細について紹介していただくことで、本学における教育のあり方について議論するための参考になった。

2014年1月10日(金) 17:00 ～ 開催されたファカルティディベロップメントにおいては、まず、八尋教授が新たに作成された「大学院教育の目的と到達目標について」(原案)について説明・紹介され、教員の意識の統一が図られるとともに、原案からの若干の修正が議論された。その後、清水准教授が、来年度から実施される大学院カリキュラムの変更に関し、その目的や経緯を助教を含めた全体場で説明された。また、現在作成中の大学院の履修マップについても紹介され、議論が行われた。その後、中西教授・鴫田教授が、大学院教育を改善するためのモデルケースや具体的な処方箋について講演を行っていただき、最後にフリーディスカッションを行った。大学院教育の在り方に関しては、その他にも1) 大学院講義と大学院生の長期にわたる出張実験、2) 就職活動と大学院教育 3) 修士・博士課程学生の定員充足率の問題と改善方法について 4) 外国人教員の必要性 等々、様々な問題が提起されており、良いブレインストーミングの機会ともなった。

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、議論の詳細をそこに記した。

平成 25 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	5 6
物理学科 3 年次編入	3	—
修士課程 (物理学専攻)	4 1	4 3
博士課程 (物理学専攻)	8	博士学位取得者 4

2013 年度の就職・進学状況

今年度は修士と学部学生で対照的な状況になった。今年の修士は例年より数が多く、企業就職者数も博士後期課程進学者数も昨年より増加した。景気が少し上向いてきたためか、就職できないという理由で留年した修士はほとんどいなかった。物理学専攻の学生の就職は自由応募とリクルーターを通しての就職活動が大半である。今年度も2月～3月にかけてOBのリクルーターによる物理学科生向けの会社説明会を10回ほど開催しており、その効果は大きいようである。一方、学部では留年した学生が近年になく多かった。このため修士進学者数も例年に比べて減少するという結果になった。

修士の進路・就職

今年度の修士2年生は48名で、進路の内訳は以下の通りであった。例年より少し博士進学者と民間企業の就職が増えたのに対し、教員数は少なかった。民間企業の主な就職先は、日立、東芝、JFEスチール、東洋鋼鉄、ブリジストン、大塚化学、矢崎総業、東洋ガラス、ソフトバンクモバイル、日本電気航空宇宙システム、構造科学研究所、株式会社FBS、大塚製薬、シマノ、長府製作所、キャノンアイテックなどである。また独立行政法人の日本原子力開発機構にも1名採用されている。

博士課程進学（含 他大学）	11
民間企業	28
教員（含 私立，非常勤）	1
公務員・独立行政法人	1
留年	4
未定	1
退学・その他	2
合計	48

博士の進路・就職

博士課程を修了した人では1名が学振のポスドク、2名が大学の博士研究員に採用されている。

学部生の進路・就職

修士進学は36名（九大物理30名 他大学・他学府6名）、民間企業に就職2名、教員1名、留年と未定が12名、退学・その他が1名であった。

体験入学・公開講座報告

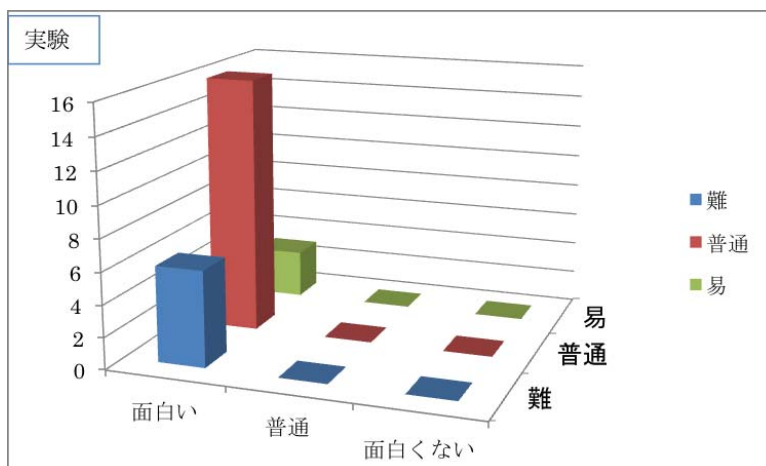
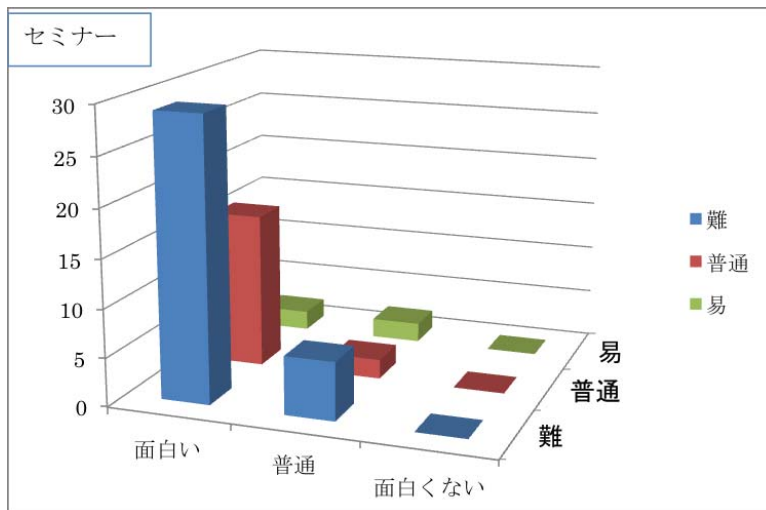
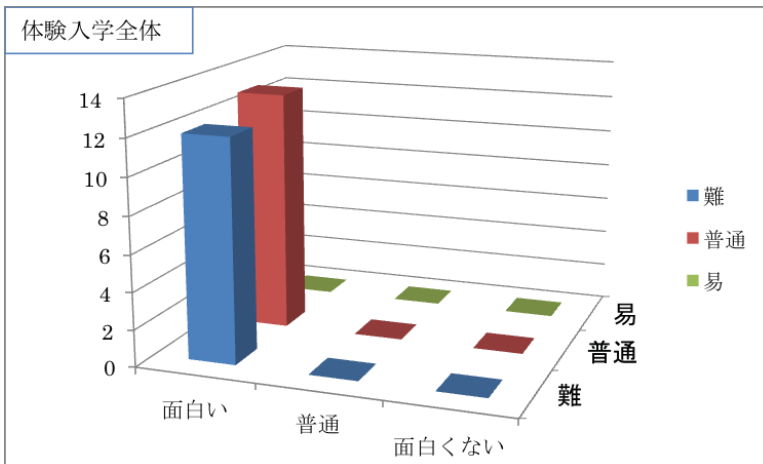
担当：吉岡瑞樹

平成26年3月23日(日)～24(月)の2日間にわたって、「第17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、5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、37名の参加があった。また、一般向けの公開講座への申込者24名、高専生9名で、全体受講者数が70名に達した。今年は25日に大学の卒業式、27日から物理学学会があったため、日曜日を含む日程となった。初日のセミナーは日曜日であったため公開講座の応募者が例年より多く、また、二日目の24日が卒業式の高校が多数あったため体験入学の応募者は例年より少なかった。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、大分、熊本、長崎、佐賀、宮崎、広島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最も多い回答は「面白くて難易度もちょうど良い」、2番目は「面白いが難しい」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」という声はやや多くあるので、今後、改善の余地があると思われる。

	2014年3月23日(日)		2014年3月24日(月)
10:00～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	「光でミクロの世界を操る」 (木村教授)	10:10～12:10	実験(A～Dから1テーマ)
12:00～13:30	昼休み	12:10～13:10	昼休み
13:30～14:20	究極の物理法則をさぐる～素粒子理論の世界～ (鈴木教授)	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	「ビッグバン宇宙と物質進化」 (橋本教授)	13:20～15:20	実験(A～D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. 光の回折と波の不思議～波動の重ね合わせと高校・大学の数学～(荒井 毅)



平成25年度社会貢献活動報告

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) 愛媛県立松山中央高等学校

実施日：7月16日（火）

東城順治 准教授

2) 福岡県立京都高等学校

実施日：9月13日（金）

野村清英 准教授

3) 宮崎県立延岡高等学校

実施日：10月26日（土）

山岡均 助教

4) 福岡県立春日高等学校

実施日：11月11日（月）

清水良文 准教授

5) 福岡県立東筑高等学校

実施日：11月1日（金）

木村崇 教授

6) 福岡県立筑前高等学校

実施日：11月14日（木）

河合伸 准教授

2) 理学部先端自然科学講演会（リカレント教育）研修会

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24年 8月 17日

物理学部門の講演は、橋本教授（相対論）、光田准教授（X線回折）、委員渡部行男教授。

3) 先端科学体験事業（体験物理学）

実施日：平成26年 3月23日(日)～24(月)

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。
吉岡准教授とりまとめ

セミナー「光でマイクロの世界を操る」

究極の物理法則をさぐる ～素粒子理論の世界～

「ビッグバン宇宙と物質進化」

実験

- A. 物質を透過する粒子線（寺西高 准教授）
- B. 極低温の世界（浅野貴行 助教）
- C. 超伝導を体験する（山田和正 助教）
- D. 光の回折と波の不思議 ～波動の重ね合わせと高校・大学の数学～（荒井毅 准助教）

	3月23日(日)		3月24日(月)
10:00～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	「光でマイクロの世界を操る」 (木村教授)	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	究極の物理法則をさぐる～素粒子 理論の世界～（鈴木教授）	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	「ビッグバン宇宙と物質進化」 (橋本教授)	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25年 3月 23日(日)

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)

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、公開講演会で、木村 崇教授が

〈ナノ構造で発現する不思議な電気の流れ方〉を理学部で講演した。