

物理教室年次報告書
平成26年度

2015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26年度の研究テーマと成果	
素粒子理論	2
理論核物理	15
宇宙物理理論	38
実験核物理	54
素粒子実験	69
物性理論	103
統計物理学	111
凝縮系理論	119
磁性物理学	123
量子微小物性	133
固体電子物性	140
光物性	150
低次元電子物性	156
複雑物性基礎	159
複雑流体	170
客員教授	175
教職員一覧	176
各種委員一覧	177
物理学教室談話会	178
物理学教室水曜木曜談話会	181
物性基礎論コロキウム	182
九大原子核セミナー	184
非常勤講師一覧	185
外国人研究者等受入記録	186
教育課程委員会活動報告	187
物理学部門ファカルティ・デベロップメント報告	189
入学者数と卒業者数	191
就職・進学情況	192
体験入学・公開講座報告	194
社会活動貢献報告	195

はじめに

本報告書は、九州大学理学研究院物理学部門の年次報告として、2014年度の活動記録をまとめたものです。

本年度は、大学全体にかかわる動きとして、全学教育の基幹教育への移行がありました。カリキュラムが大幅改訂され、これまでは2年次後期に行われていた学部学生の進級判定やコース配属が2年次前期に変更されるなど、物理学部門・物理学科にとっても大きな影響がある変革です。また、10月には総長が交代し、それに先立つ7月には理学研究院長の交代がありました。2期4年間務められた荒殿教授に代わって中田教授が研究院長となり、それに伴って物理部門からは和田教授と木村(康之)教授がそれぞれ副研究院長、研究院長補佐として執行部の重責を担うことになりました。

物理部門内の人事面では、前年度末に昇任転出された浅野助教に続き、5月には柳沢助教が東京農工大学に准教授として転出致しました。一方で4月には佐藤琢哉准教授が東大から着任し、量子物性分野で新たに光物性グループを立ち上げて活動を始めました。労働契約法の改正によって一旦は5年任期再任不可とせざるを得なかった助教の任期制も、同法特例改正法案の成立を受けて1回のみ再任可・最長10年という元の制度に戻すことができ、次年度当初の採用を目指して准教授人事と助教人事が進められました。こうした人員の交代は活発な研究活動の反映といえるでしょう。また、鈴木教授が日本物理学会論文賞を、上記の佐藤准教授が情報分野の船井学術賞を受賞するなど、目に見える形での成果も上がっています。

理系のキャンパス移転が次年度の夏に迫っています。また、人員や研究教育棟の移転に先立って2016年度には放射線取扱施設の移転が進められ、原子核実験室のタンデム加速器は12月末にシャットダウンしました。これに代えて、伊都キャンパスの加速器・ビーム応用科学センターでは新たにタンデム加速器の建設が行われており、ビームラインなど箱崎施設の資産を受け継ぐ形で今後の研究教育に供されることになっています。移転事業には大きなエネルギーが必要であり、研究教育活動に大きな影響を与えます。一方で、環境の変化や機器物品の刷新によって新たな刺激が得られるという面もあります。このような機会を積極的に活かせるよう、部門全体で努力して行きたいと考えています。

物理教室の情報はウェブサイト

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

にもあり、適宜更新されています。是非そちらもご覧下さい。

物理学部門 部門長 野呂哲夫

素粒子理論

研究室構成員

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

《 博士研究員 》

久保幸貴 吉本一世

《 大学院 博士課程 》

牧野広樹 水口拓也

《 大学院 修士課程 》

武田大典 高橋京大 森本光 米本隆裕
伊波寿 笠井彩

《 学部 卒業研究生 》

遠藤祐 稗田健治 三浦大輝

《 訪問研究者 》

井上研三 久保博史 郷六一生 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（鈴木博・奥村健一）、量子力学II（鈴木博）、物理学特別研究I・II（鈴木博・奥村健一）、場の量子論（鈴木博）、M1ゼミナール（鈴木博・奥村健一）

研究・教育目標と成果

宇宙紐からのアハロノフボームによる超対称粒子の放射（大河内豊、米本隆裕）

現象論的なモデルの構築において超対称性は重要な役割を果たすと考えられている。その枠組みで既存の実験結果を説明するモデルを構築するとき、しばしば離散対称性が有用となる。この離散対称性がゲージ化されている場合、ソレノイドで良く知られたアハロノフボーム効果と同様の性質をもつ宇宙紐が形成される事が予想される。この場合、アハロノフボーム効果をもとに、粒子反粒子の対生成が起こりうる。我々はR対称性と呼ばれる超対称性特有の離散対称性に付随する宇宙紐から最軽量の超対称粒

子が生成されることを示した。また、その粒子が安定である事から現存するダークマターの量を超えないための制限が得られる事を示した。この制限は超弦理論に置いてはさらにきついものとなり、弦理論のコンパクト化に対するひとつの制限となる事を示した。

超弦理論に置ける準安定状態の崩壊 (大河内豊、笠井彩)

弦理論のこれまでの研究から大変多くの準安定の存在が示唆されている。もしこれが事実だとすると、初期宇宙に置いて弦理論の準安定状態にトラップされた可能性がある。一方で、Dブレーンを用いたスタンダードモデルの構成が非常に盛んに行われている。DブレーンとアンチDブレーンが消滅するときに、より次元の低いDブレーンが生成されることが知られている。これらの2つの事実を組み合わせると、準安定状態にも低い次元のDブレーンが存在することになる。これは我々の空間から見ればソリトンとしてみる事ができ、その存在が真空の安定性に大きく寄与する可能性がある。我々は、こうしたソリトンに対応するDブレーンが真空の相転移を引き起こすバブルの生成率を高め、準安定状態の寿命が劇的に短くなる事を示した。また、その途中過程で生じるバブルとソリトンの束縛状態は、これまで全く別の文脈で議論されてきた dielectric brane そのものであることを指摘した。

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。本年度はモデルにおいて実現される電弱対称性の破れの微調整の度合いについて詳細な解析を行った。新たに微調整の測度を計算する簡便な解析式を導出し、先行論文で行われる Z ボソン質量にたいする微調整のみならず、ヒッグスの真空期待値の比である $\tan \beta$ や NMSSM においては動的に決まる μ 項についての微調整も評価を行った。これによりモデルが 1.5TeV のスクォーク (1TeV のストップ) にたいして 10% 程度の調整で電弱対称性の破れを実現出来ることが分かった。また $\tan \beta$ が小さくない場合、LEP の Higgs 探索で知られている 90GeV 近辺の異常が微調整が最小になる一重項ヒッグスの質量領域に対応することが分かった。これを踏まえて Higgs 結合の精密測定において本モデルが予言する標準理論からのずれを評価した。二重項ヒッグスの南部-Goldstone 粒子的な振る舞いにより、一重項との混合が抑制され、10% 程度のずれに留まる事、一重項ヒッグスの結合が二重項の 10% 程度となることが分かった。これ

らは将来の実験で検証することが可能である。一方で、暗黒物質の直接、間接測定にたいする模型の予言を一重項フェルミオンが暗黒物質であるとの仮定の基に計算した。その結果、模型の予言が現在の直接測定の断面積上限ぎりぎりであることが分かった。

高次元ゲージ場による対称性の自発的な破れを含む大統一模型の構築（小島健太郎）

素粒子の大統一理論において、大統一対称性の破れのメカニズムとしてもっとも素朴なもの、ヒッグススカラー場を理論の基本的構成要素として仮定するものである。本研究では、ヒッグススカラー場の存在を仮定せずに大統一対称性が破れる可能性として、コンパクトな余剰次元を持つ高次元ゲージ理論における大統一理論を考え、ゲージ場の真空期待値が大統一対称性の自発的な破れを引き起こすモデルを構築した。これにより、 E_6 ゲージ群に基づく大統一理論が、低エネルギー極限として標準理論を導出しうることを明らかにした。本研究成果は、論文としての出版へ向けて準備を進めている最中である。

2次元 $O(N)$ 非線形シグマ模型におけるグラディエント・フローのくり込み可能性（鈴木博、牧野広樹）

2次元の $O(N)$ 非線形シグマ模型は、漸近的自由性、非摂動的質量ギャップ、また $N = 3$ の場合にはトポロジカル項やインスタントン解の存在など、4次元のゲージ理論と類似の性質を多く備えている。一方でこの理論は、large N 展開による解析が可能であったり、critical slowing down が起こらない数値シミュレーションアルゴリズムがあるなど、4次元のゲージ理論に比べて解析が容易な側面を持っている。この研究は、近年4次元格子ゲージ理論において注目を集めているグラディエント・フローの特性をより単純な理論において理解すべく、2次元の $O(N)$ 非線形シグマ模型に対してグラディエント・フローを導入し、その性質を解析したものである。ここで得られた特に重要な成果は、グラディエント・フローによりフローされた場の相関関数と複合演算子とが、結合定数のくり込みののち波動関数くり込みなしで有限になることを摂動論の全次数で証明したというものである。この結果は、グラディエント・フローと等価な $2+1$ 次元の場の理論を定式化し、その理論の非線形対称性から従う Ward-高橋関係式を詳細に解析することで得られる。このグラディエント・フローのくり込み可能性は、4次元のゲージ理論のそれと類似な、極めて非自明な事実である。この研究ではさらに、このくり込み可能性の応用として、2次元 $O(N)$ 非線形シグマ模型の格子定式化におけるエネルギー運動量テンソルの構成も行った。これも4次元ゲージ理論での対応する構成法に類似のものである。こうして構成した格子定式化のエネルギー運動量テンソルの性質の解析（の一部）は以下の研究のテーマである。

2次元 $O(N)$ 非線形シグマ模型におけるグラディエント・フローの large N 極限 (鈴木博、牧野広樹)

これは岡山光量子科学研究所の杉野文彦氏との共同研究である。上で述べたように、2次元の $O(N)$ 非線形シグマ模型は、4次元のゲージ理論に類似の性質を多く備えている一方、large N 展開による解析が可能である。この研究では、上の研究で構成した、2次元 $O(N)$ 非線形シグマ模型の格子定式化におけるエネルギー運動量テンソルの非摂動的性質を数値計算によらず解析的に調べることを狙い、グラディエント・フローされた系に対する large N 展開を考察した。large N 展開の最低次での場の2点関数の非摂動的な表式を得たのがここでの主な結果である。さらにこの結果を用いて、格子エネルギー運動量テンソルの有限温度での期待値の連続極限を計算し、それが通常の large N 展開のものと一致することを示した。これは、上で構成した格子エネルギー運動量テンソルが非摂動的な効果も含めて連続極限で正しい規格化を獲得することを意味しており、4次元ゲージ理論における格子エネルギー運動量テンソルの同様の構成法を支持するものである。一方、グラディエント・フローされた系での large N counting は元の2次元の理論よりかなり複雑であるため、この研究では large N 展開の最低次の結果しか得ることができなかった。従って large N 展開の最低次以降の系統的構成は今後の課題として残った。

ボゾン化の処方箋の経路積分における理解 (鈴木博)

これは理化学研究所の藤川和男氏との共同研究である。2次元の量子場の理論においては、スピノールであるフェルミ場やボゾン場を、スカラーのボゾン場を用いて表すボゾン化が可能であり、この事実は物性理論や弦理論などに幅広い応用を持っている。通常、このボゾン化の処方箋は演算子形式を用いて理解される。一方、場の理論のもう一つの定式化である経路積分形式においては、ボゾン化の処方箋は経路積分における変数変換とそれに伴った積分測度のヤコビアンの評価で得られる。これは、カイラルアノマリーの評価と見なすことができる。しかし従来、こうして得られるボゾン化の処方箋はスピノールの双線形カレント演算子に対するものだけであり、この意味で経路積分におけるボゾン化の理解は限定的であった。この研究では、経路積分における相関関数に対するある種の恒等式を証明することで、単独のスピノール場自身に対するボゾン化の処方箋を経路積分の枠内で示すことにはじめて成功した。特に元のスピノールがフェルミ場の場合とボゾン場の場合の両者について処方箋の正当化を示すことができた点は大変興味深いと考えている。後者は、超弦理論の世界面理論である2次元超重力理論における bosonic ghost への応用が最も重要な例である。

グラディエント・フローに基づいた格子 Gross-Neveu 模型におけるエネルギー運動

量テンソルの構成とその解析 (鈴木博)

上で述べたように、我々は、2次元の $O(N)$ 非線形シグマ模型に対して、グラディエント・フローに基づいた格子エネルギー運動量テンソルを構成し、それが連続極限で正しい規格化を獲得することを large N 展開の最低次で示した。格子エネルギー運動量テンソルに関しては、連続極限において保存則を回復するかどうかはさらなる疑問であるが、large N 展開の最低次では large N factorization という性質により残念ながらこれを調べることができない。この研究では、グラディエント・フローの large N 展開の最低次以降の展開を得、さらに格子エネルギー運動量テンソルの保存則の回復を確かめるべく、Gross-Neveu 模型を取り上げた。これは、フェルミ場からなる2次元の場の理論で、large N 展開が可能であり、漸近的自由性や非摂動的質量ギャップを持っている。一方、Gross-Neveu 模型はゲージ対称性や拘束条件を持たないため、グラディエント・フローの方程式として単純なものを取り出すことができ、その large N 展開も simple に留まることが期待される。実際この研究で示したように、グラディエント・フローのくり込み可能性の議論、格子エネルギー運動量テンソルの構成、フロー方程式の解の large N 展開での系統的構成などを行うことができる。この研究ではさらに、これらの要素を用いて、グラディエント・フローに基づいた格子エネルギー運動量テンソルが、連続極限で並進対称性に付随した Ward-高橋恒等式を確かに満たすことを large N 展開の非自明な最低次で示すことができた。これもまた、4次元格子ゲージ理論におけるエネルギー運動量テンソルの同様の構成法の正当性を支持する結果である。

グラディエント・フローに基づいたフレーバー non-singlet カイラルカレントの構成 (鈴木博、遠藤祐、稗田健治、三浦大輝)

格子ゲージ理論はゲージ理論の極めて強力な非摂動的定式化であるが、その構造ゆえに基本的な対称性と相容れない側面も持っている。その代表例は並進対称性で、この理由から並進対称性に付随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の格子ゲージ理論での構成は厄介な問題となっている。この問題に対して我々は、グラディエント・フローという概念の性質を利用することで、連続極限で自動的に正しい規格化と保存則を回復する格子エネルギー運動量テンソルの構成を提案してきた。この構成法の考え方自体は、並進対称性に限るものではなく、より広い範囲の対称性とそれに付随したネーターカレントの構成へと応用できる。この研究では、そうした構成法の例として、格子ゲージ理論が壊している別の対称性であるカイラル対称性、特にフレーバー non-singlet なカイラル対称性を取り上げ、それに対応したネーターカレントのグラディエント・フローに基づいた構成法を与えた。また、この構成法がうまくいっている一つの確認として、フレーバー non-singlet ベクトルカレントとの三角形ダイアグラムがカイラルアノマリーと無矛盾な非局所的構造を持っていることを示し

た。この構成法が、実際の数値シミュレーション上での有用性を持っているかどうかを確認することは今後の研究課題である。

複素ランジュバン法による 2 次元 $SU(2)$ 格子ゲージ理論 (鈴木博、武田大典、牧野広樹)

場の理論におけるモンテカルロ計算は汎関数積分の被積分関数を実正であることを仮定しているが、そうならない興味のある物理系が多数存在し、この事実がそれらの系の非摂動的な研究の大きな妨げとなっている。有限バリオン数密度での量子色力学 (QCD) の解析はその代表的なものである。複素ランジュバン法は、この困難を回避する可能性として近年非常な注目を集めている方法である。この方法自体は 1980 年代から存在するが、最近の関心は主に、この方法が正しい答えに収束するための十分条件が明確にされたこと (「収束証明」) によるところが大きい。その十分条件の一つは、ランジュバン発展させた配位の分布が「十分に」局在しているというものである。ところが、格子ゲージ理論における複素ランジュバン発展では、典型的にこの条件が壊れることが見出されていた。こうした状況で、十分な局在性を保証するためにゲージ冷却という方法が提案され、(実際は正しい答えが分からない) 有限バリオン数密度での QCD などに応用されてきた。我々はこの研究で、ゲージ冷却を導入した場合には「収束証明」が必ずしも適用できず、そのために方法全体の正当性が不明になることを指摘した。そしてさらに、ゲージ冷却を取り入れた複素ランジュバン法を正しい答えが解析的に分かっている 2 次元の格子ゲージ理論に適用することで、方法が必ずしも正しい答えに収束しないことを数値的に示した。この研究はゲージ理論における複素ランジュバン法の正当性について、重要な問題提起を行ったと考えている。

グラディエント・フローに基づいたクエンチ QCD でのスケール設定 (鈴木博)

これは FlowQCD Collaboration との共同研究である。格子ゲージ理論に基づく数値計算の結果を物理現象への予言とするには、理論に何らかのエネルギーまたは長さのスケールを一つ導入する必要がある。実際の数値計算は常に有限の格子間隔のもとで行われる。また格子間隔は格子ゲージ理論の裸の結合定数の関数である。そこで、上のスケール導入の作業は、実際には、次元を持ったある物理量を単位として格子間隔が裸の結合定数の関数としていくらになるかを決定することでなされる。このスケール設定の作業に用いる次元を持った物理量としては原理的には何を採用してもよいのであるが、実用上は系統誤差が少なく決定できる物理量が望ましい。この研究では、グラディエント・フローで定義されるある物理的なスケールを基準にとることで、クォークを含まないクエンチ QCD での格子間隔を裸の結合定数の関数として従来なかったほど極めて精密に決定した。これまでこのスケール設定には、クォーク間ポテンシャル

ルに基づく物理量が用いられてきたが、今後はより小さな系統誤差が期待されるグラ
ディエント・フローに基づく方法がより主流になっていくと期待される。

格子上の核子系有効場理論による有限密度系の研究（原田恒司）

太陽質量の2倍の中性子星が発見されて以来、高密度の核子系の物理に対する関心が高まっている。しかし、核子系を記述する基礎理論であるQCDの非摂動的定式化である格子QCDでは、いわゆる「符号問題」のために有限の化学ポテンシャルのある系での数値シミュレーションを行なうことが困難である。それゆえ、有限密度系を扱うのに、我々は核子系有効場理論に注目した。核子系有効場理論は、核子および中間子を基本的な自由度とする低エネルギー有効場理論である。この系では、有限の化学ポテンシャルを導入してシミュレーションを行なうことに原理的な困難はない。パイオンと核子の相互作用は「符号問題」を起しうるが、我々が行なってきた核子系有効場理論の非摂動的繰り込み群による研究の知見を用いると、その困難を避けて格子上でシミュレーションを行なうことが可能だとわかってきた。今年度は以上の理論的考察と、予備的な数値計算を核理論研究室の八尋教授と佐々部君、および広島大学の中村純教授とともに行った。

発表論文

《原著論文》

Radiation of supersymmetric particles from Aharonov–Bohm R-string:

Yutaka Ookouchi, Takahiro Yonemoto,

Journal of High Energy Physics, **1502** (2015) 164

[arXiv:1409.8384 [hep-th]]

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory:

Aya Kasai, Yutaka Ookouchi,

arXiv:1502.01544 [hep-th]

Renormalizability of the gradient flow in the 2D $O(N)$ non-linear sigma model:

Hiroki Makino, Hiroshi Suzuki,

Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2015** (2015) 3, 033B08 [arXiv:1410.7538

[hep-lat]]

Large- N limit of the gradient flow in the 2D $O(N)$ nonlinear sigma model:
Hiroki Makino, Fumihiko Sugino, Hiroshi Suzuki,
Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2015** (2015) 4, 043B07 [arXiv:1412.8218
[hep-lat]]

Bosonization in the path integral formulation:
Kazuo Fujikawa, Hiroshi Suzuki,
Physical Review **D91** (2015) 6, 065010 [arXiv:1501.00766 [hep-th]]

Universal formula for the energy-momentum tensor via a flow equation in the Gross-
Neveu model:
Hiroshi Suzuki,
Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2015** (2015) 4, 043B04 [arXiv:1501.04371
[hep-lat]]

Universal formula for the flavor non-singlet axial-vector current from the gradient flow
Tasuku Endo, Kenji Hieda, Daiki Miura, Hiroshi Suzuki,
Progress of Theoretical and Experimental Physics, **2015** (2015) 5, 053B03 [arXiv:1502.01809
[hep-lat]]

Complex Langevin method applied to the 2D $SU(2)$ Yang-Mills theory:
Hiroki Makino, Hiroshi Suzuki, Daisuke Takeda,
arXiv:1503.00417 [hep-lat]

Accurate determination of reference scales for Wilson gauge action from Yang-Mills
gradient flow:
Masayuki Asakawa, Tetsuo Hatsuda, Takumi Iritani, Etsuko Itou, Masakiyo Kitazawa,
Hiroshi Suzuki, arXiv:1503.06516 [hep-lat]

⟨⟨Proceedings⟩⟩

Measurement of thermodynamics using gradient flow:
Masakiyo Kitazawa, Masayuki Asakawa, Tetsuo Hatsuda, Takumi Iritani, Etsuko Itou,
Hiroshi Suzuki,

[arXiv:1412.4508 [hep-lat]]

著書

特集：物理科学、この一年 素粒子物理「格子ゲージ理論におけるグラディエントフローの応用」：

鈴木博,

月刊パリティ Vol.30 No.01, 2015 年 1 月

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,

Seminar, 25 March 2015, Institute of Basic Science, Center for Theoretical Physics of the Universe, Korea

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

Hiroshi Suzuki,

Conceptual advances in lattice gauge theory (LGT14), 21 July 2014, CERN, Switzerland

《 国内での講演 》

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

大河内豊

YITP workshop “Strings and Fields”、2014 年 7 月 22 日、京都大学基礎物理学研究所

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

大河内豊

日本物理学会秋季大会、2014 年 9 月 21 日、佐賀大学

Introduction to decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory:

大河内豊、笠井彩

セミナー講演、2015年1月16日、北海道大学

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

大河内豊、米本隆裕

KEK String2015、2015年1月28日、高エネルギー加速器研究機構

Decay of false vacuum via fuzzy monopole in string theory

大河内豊、笠井彩

橋本研究室 closing 研究会、2015年2月22日、理化学研究所

Decay of false vacuum via fuzzy monopole:

笠井彩、大河内豊

セミナー講演、2015年1月16日、北海道大学

Decay of false vacuum via fuzzy monopole:

笠井彩、大河内豊

KEK String2015、2015年1月29日、高エネルギー加速器研究機構

Decay of false vacuum via fuzzy monopole:

笠井彩、大河内豊

日本物理学会第70回年次大会、2015年3月21日、早稲田大学

gradient flow による格子上のエネルギー運動量テンソル:

鈴木博

離散的手法による場と時空のダイナミクス、2014年9月14日、慶應義塾大学

格子場の理論における Yang–Mills/Wilson gradient flow の応用:

鈴木博

日本物理学会 2014 年秋季大会・企画講演、2014年9月18日、佐賀大学

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

鈴木博

セミナー講演、2014年10月14日、名古屋大学

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

鈴木博

セミナー講演、2014年10月29日、京都大学

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

鈴木博

セミナー講演、2014年12月4日、東北大学

グラディエントフローによる格子上のエネルギー運動量テンソルの構成:

鈴木博

セミナー講演、2015年2月23日、奈良女子大学

Large N limit of the gradient flow in the two-dimensional $O(N)$ non-linear sigma model:

鈴木博、牧野広樹、杉野文彦

日本物理学会第70回年次大会、2015年3月24日、早稲田大学

Yang-Mills gradient flow を用いた格子 QCD のエネルギー・運動量テンソルの定式化:

牧野広樹、鈴木博

日本物理学会 2014 年秋季大会・企画講演、2014 年 9 月 18 日、佐賀大学

Yang-Mills gradient flow and the energy-momentum tensor on the lattice

Hiroshi Suzuki

Hadrons and Hadron Interactions in QCD 2015—Effective theories and lattice— (HHIQCD 2015)、2015 年 3 月 16 日、京都大学基礎物理学研究所

Renormalizability of the gradient flow in the two-dimensional $O(N)$ non-linear sigma model:

牧野広樹、鈴木博

日本物理学会第70回年次大会、2015年3月24日、早稲田大学

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)

ゲージヒッグス統一機構の大統一理論への応用とダイナミクスの解明

研究代表者：竹永和典

研究分担者：小島健太郎

科学研究費補助金、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

原田恒司：鹿児島大学で集中講義を行なった。2014年10月30-31日、および11月20-21日。講義題目は「相対論」

学部4年生卒業研究

遠藤祐：(指導教員、鈴木博、奥村健一)：素粒子論における場の量子論の研究

稗田健治：(指導教員、鈴木博、奥村健一)：素粒子論における場の量子論の研究

三浦大輝：(指導教員、鈴木博、奥村健一)：素粒子論における場の量子論の研究

修士論文

武田大典：(指導教員、鈴木博)：複素ランジュバン法を用いた $SU(2)$ ヤン・ミルズ理論の格子シミュレーション

森本光：(指導教員、鈴木博)：電磁場およびスカラー場と相互作用する系におけるウンルー効果

米本隆裕：(指導教員、大河内豊)：宇宙紐からのアハロノフボーム放射

学外での学会活動

素粒子論グループ素粒子論委員 (大河内豊)

日本物理教育学会評議員 (小島健太郎)

日本物理教育学会九州支部理事 (小島健太郎)

第 32 回日本物理教育学会研究大会実行委員 (小島健太郎)

日本物理学会九州支部役員 (鈴木博)

日本物理学会若手奨励賞 (素粒子論領域) 選考委員会委員 (鈴木博)

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

その他の活動と成果

ハーバード大学を訪問し、現地在住の共同研究者と議論した。(笠井彩)

日本物理学会第 20 回 (2015) 論文賞受賞 (鈴木博)

理論核物理

研究室構成員

八尋 正信 教授

清水 良文 准教授

松本 琢磨 助教

《 大学院 博士課程 》

田上 真伍 嶋田 充宏 高橋 純一 渡邊 慎

石井 優大 佐々部 悟 豊川 将一

《 大学院 修士課程 》

管野 淳平 米村 浩司 平川 優真 宮原 昌久

《 学部 卒業研究生 》

井生 武志 貞森 光汰 戸川 秀一 鳥越 悠平

開田 丈寛 福山 達也

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)、理論核物理学(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

格子QCDによるクォーク数密度の研究と有限温度のバリオン質量の決定法(八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2))

クォーク数密度は有限密度QCDの研究において最も基本的な物理量の一つである。有限化学ポテンシャル領域における状態方程式の決定や中性子星の内部構造の研究には非常に重要である。また、先行研究と異なる格子フェルミオン作用の使用や、実数化学ポテンシャル(μ)領域への異なるアプローチにより、クォーク数密度の結果が変わるかを見ることも重要である。

前年度までに、符号問題のない虚数 μ 領域において、クォーク数密度の虚数 μ 依存性

を得ていた。我々はクローバー改良型ウィルソンフェルミオン作用を用いている。先行研究ではスタッガードフェルミオン作用が用いられており、その結果と我々の結果は定量的に良い一致を見せた。

今年度は、クォーク数密度の虚数 μ 依存性を実数 μ 領域に外挿して、クォーク数密度の実数 μ 依存性を求めた。その結果、再重み付け因子のテイラー展開法による先行研究の結果と無矛盾なものが得られた。さらに先行研究よりも我々の結果の方が計算精度に優位性があることを示した。また実数 μ 領域への外挿の信頼性についても調べ、QCD 相転移温度以上では温度 (T) が上がるにつれて信頼できる μ/T の外挿範囲が大きくなることが分かった。

さらに、ハドロン共鳴ガス模型によりクォーク数密度の解析を行った。ハドロン共鳴ガス模型では、ハドロンとその共鳴状態が相互作用をしない自由気体と見なす。その模型が QCD 相転移温度以下のクォーク数密度の結果をよく再現することが分かった。この再現においてバリオンの質量が温度にのみ変化すると仮定し、バリオン質量の温度依存性をこの模型の範囲内で求めた。

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

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 (D2))

昨年度より、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。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、クォーク数密度が有限であるゲージ配位を作成した後、その作為的な力は取り除いて Gocksch の方法を用いる計画であった。

しかし、クォーク数密度を用いた状態密度の計算は、計算コストが非常に高いことが判明した。そこでクォーク質量が重い時に使えるホッピングパラメータ展開という手法を用い、リンク変数の掛け算のみで書けるポリヤコフループでクォーク数密度を近似することにした。本格的な計算は進んでいないが、この近似により計算時間が1万分の1程度になることは確実である。

また近年、状態密度を求めるアルゴリズムとして LLR アルゴリズムが提案された。このアルゴリズムを用いると、状態密度の値が 10^{-100} のオーダーで求まることが先行研究により示されている。クォーク数密度が高い時の状態密度は零化学ポテンシャルの場合非常に小さい。つまり、今我々が欲しい高密度領域の状態密度の値は LLR アルゴリズムで求められる可能性がある。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

中間子遮蔽質量の純虚数化学ポテンシャル依存性 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1))

核力は、 π 、 σ 、 ω 、 ρ 中間子交換によってよく記述される。それらの中間子の遮蔽質量を M_{scr} とすると、 $1/M_{\text{scr}}$ は核力の到達距離を表す。従って、 M_{scr} の実化学ポテンシャル μ 依存性、 $M_{\text{scr}}(\mu)$ は、核物質の状態方程式に対して本質的である。 $M_{\text{scr}}(\mu)$ は、遮蔽質量の純虚数化学ポテンシャル μ_1 依存性、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を解析接続 ($i\mu_1 \rightarrow \mu$) することで決定できる。有限 μ_1 領域では格子 QCD 計算が可能であり、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ に対して信頼性の高い情報が得られるため、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を有効模型を用いて計算することが重要である。

本年度では、まず、昨年度に考案した遮蔽質量の計算手法を μ_1 が有限の場合へと拡張した。また、この手法を用いて π 中間子と σ 中間子の $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を計算した。 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ は RW 周期性を示し、高温で $\mu_1/T = \pi/3$ の点で尖りを持つことが分かった。 $\mu_1/T = \pi/3$ での尖りは、RW 相転移の反映と考えられる。

本研究は石井氏を中心に推進されている。

π 、 a_0 中間子遮蔽質量に基づく $U_A(1)$ anomaly の 温度依存性の決定 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 米村浩司 (M2))

QCD 真空はトポロジカルに非自明なゲージ配位を有し、このゲージ配位と chiral anomaly により $U_A(1)$ 対称性が破れる。温度 T が上昇するとトポロジカルに非自明なゲージ配位は抑制されるため、高温では $U_A(1)$ 対称性が実効的に回復すると予想されている。しかし、実効的回復の詳細な機構や、それがハドロンスペクトルに与える影響は解明されていない。

$U_A(1)$ 対称性の回復は、カイラル極限におけるカイラル相転移の次数と深く関わっている。カイラル相転移点付近で $U_A(1)$ 対称性が回復するとカイラル相転移の次数が 1 次になりうるということが Pisarski 氏と Wilczek 氏により指摘された。この可能性について格子 QCD や有効模型で議論されているが、次数は未だ確定していない。我々は Entanglement- Polyakov loop extended Nambu–Jona-Lasinio (EPNJL) 模型を用いて、 $U_A(1)$ 対称性の実効的な回復とカイラル相転移の関係を調べた。EPNJL 模型を用いて π 中間子と a_0 中間子の遮蔽質量の T 依存性を計算し、格子 QCD の計算結果と比較することで、 $U_A(1)$ 対称性の実効的回復を模型に取り込んだ。この EPNJL 模型を用いて、カイラル極限におけるカイラル相転移の次数を調べると、平均場近似の範囲では相転移の次数が 2 次となった。

この成果を論文にまとめ、現在 Physical Review D 誌に投稿中である。本研究は米村氏と石井氏を中心に推進され、米村氏の修士論文として纏められた。

ベクトル型相互作用が QCD 相図および中性子星の最大質量に及ぼす影響 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 管野淳平 (M2))

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。そのため、有効模型による計算が盛んに行われている。その際、信頼性の高い計算を行うために、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。我々はゼロ密度領域 ($\mu_q = 0$) で格子 QCD 計算をよく再現する Entanglement Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio (EPNJL) 模型を出発点とした。格子 QCD 計算は他にも $\mu_q/T \leq 1$ (T は温度) の領域で行われており、この有限密度領域で EPNJL 模型の妥当性を確かめることが次の目標となる。

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く。その強さ G_V はクォーク・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。我々はまず、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、クォーク数密度がベクトル型相互作用の強さに敏感な量で、かつ格子 QCD を用いて計算されていることに着目して G_V の値を決定した。さらに、確定した G_V の値がクォーク・ハドロン相転移線に与える影響を評価した。その結果、低温・高密度領域ではハドロン相からクォーク相への相転移が大幅に遅れ、それに伴い高密度物質の状態方程式が非常に固くなることが分かった。得られた状態方程式は、 $2M_\odot$ をもつ中性子星観測の結果と無矛盾な最大質量を予言することも確認した。

本研究は管野氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。その成果として Physical Review D 誌に掲載された。

2+1 フレーバー系における QCD 相図の解明 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 管野淳平 (M2), 米村浩司 (M2), 宮原昌久 (M1))

宇宙進化や中性子星の内部構造、原子核衝突実験で起こる現象は、クォーク・グルーオンが自由に飛び回っている状態 (QGP 相) とハドロン内部に閉じ込められている状態 (ハドロン相) の間を移行する。これらの現象を解明することが QCD 相図の解明につながる。QCD 相図への最も強力なアプローチは QCD の第一原理計算「格子 QCD 計算」であるが、符号問題のため、高温・低密度領域でしか計算可能でない。そこで、我々は高温・低密度領域で格子 QCD 計算の結果を再現する有効模型を構築し、その有効模型によって QCD 相図の全領域へとアプローチする。また、2 フレーバー系 (u, d クォークのみ) より 2+1 フレーバー系 (u, d, s クォーク) の方がより現実的である。それ故、QCD 相図の解明に 2+1 フレーバー系における解析が求められている。

ここで、実際に 2+1 フレーバー系において解析した時の問題点を考える。QCD の二つ重要な性質にカイラル対称性の自発的破れとクォークの閉じ込めがある。この二

つの性質の振る舞いは、それぞれ、カイラル相転移と閉じ込め相転移という現象から読み取ることができる。最近の格子 QCD 計算は 2+1 フレーバー系において、有限温度・ゼロ密度領域でカイラル相転移と閉じ込め相転移の温度間に数十 MeV ほどの差があるが示された。この相転移温度の差は、格子 QCD 計算の精度の向上によって明らかになったものである。我々はこの差が QCD の性質に基づく本質的なものと考えているが、この差を有意に再現する有効模型は現在まで提示されていない。そこで、本研究では 2+1 フレーバー系において、この相転移温度の差を含めて格子 QCD 計算を再現する有効模型の構築を目指している。

本研究は宮原氏を中心に推進されている。

アイコンール反応理論による ${}^6\text{He}$ 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 [大阪大学核物理研究センター PD])

アイコンール反応理論 (ERT) は、九大グループによって提唱された核子離反応を記述する理論である。同じく核子離反応を記述する 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。

昨年度から引き続き、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子離反応の解析において ERT と Glauber 模型計算を比較を行なった。ERT の計算は、中性子剥離断面積、分解断面積、反応断面積のいずれも実験値と良く一致した。一方、Glauber 模型では Coulomb 相互作用を正確に取り扱うことができない為、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の分解断面積や反応断面積において実験値と ERT の結果とのずれが見られた。ただし、中性子剥離断面積においては、核力による効果が重要である為、Glauber 模型の結果と ERT の結果に大きな差は見られないことが分かった。

この成果は、Physical Review C 誌に掲載された。本研究は蓑茂氏を中心に推進された。

${}^{14,15,16}\text{C}$ 反応断面積に見られる反ハロー効果 (八尋正信、松本琢磨)

反応断面積は原子核の半径を反映しており、一般的には核子数の増加に伴ない、大きくなる。しかし、炭素同位体 ${}^{14,15,16}\text{C}$ の反応断面積では、 ${}^{15}\text{C}$ の反応断面積が ${}^{16}\text{C}$ の反応断面積に比べ大きくなっている。これは、反応断面積の偶奇性と呼ばれ、その原因の一つがハロー効果であることが分かっている。

${}^{15}\text{C}$ は ${}^{14}\text{C}$ に 1 中性子が弱く束縛され、薄く広がった密度分布を持ったハロー核である。基本的な殻模型で考えると、最外殻の中性子は d 軌道に入るが、 ${}^{15}\text{C}$ では s 軌道に入った構造を持つ。これは d 軌道と s 軌道が入れ変わり、殻進化が起っていることを示している。一方、 ${}^{16}\text{C}$ を ${}^{14}\text{C}$ と 2 中性子で考えると、最外殻の 2 中性子は主に d 軌道に

入った構造を持つことが実験的に示唆され、 ^{16}C が sd 殻の配位が元に戻った構造であることを示している。

本研究では、 $^{15,16}\text{C}$ を ^{14}C をコアに 1 中性子、2 中性子を加えた 2 体、3 体模型で記述し、上記の殻配位を現象論的 3 体力を考慮することで、反応断面積の偶奇性を説明できることを明かにした。

この成果は Physical Review C 誌に掲載された。

反応断面積で探る「逆転の島」 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、木村真明 [北海道大学准教授]、武智麻耶 [新潟大学助教]、福田光順 [大阪大学准教授]、西村太樹 [東京理科大学助教]、鈴木健 [埼玉大学教授]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター PD]、田上真伍 (D3)、渡邊慎 (D2)、嶋田充宏 (D2))

今日、理化学研究所の加速器施設 RI ビームファクトリー (RIBF) によって、従来では到達不可能であった不安定核の実験が可能になり、ドリップライン近傍核までの実験データが蓄積されつつある。これを受け、改めて注目を集めている領域に「逆転の島」がある。「逆転の島」は、核図表において陽子数が 10~12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が 20~22 付近の領域であり、領域内の原子核は殻の逆転に伴う「魔法数の破れ」や「巨大な変形」といった異常な性質を示す。「逆転の島」領域において、近年 RIBF で測定された物理量の 1 つに、Mg 同位体の反応断面積がある。Mg 同位体は「逆転の島」をまたぎ、本来なら魔法数の $N = 28$ を持つ ^{40}Mg に到達する原子核である。従って、Mg 同位体の核構造の系統的決定は、Mg 同位体個々の性質を理解するに留まらず、「逆転の島」を俯瞰できる。本研究では、Mg 同位体の基底状態の構造を決定した上で、「逆転の島」の境界を断定することを目的とする。

我々は反対称化分子動力学法と二重畳み込み模型を用いた微視的理論によって、測定された反応断面積の解析を行った。我々の理論は実験データとよく一致しており、これをもって理論の信頼性を確認し、Mg 同位体の基底状態の性質を決定した。この結果を基にすると、 ^{31}Mg ($N = 19$) から ^{40}Mg ($N = 28$) まで巨大な変形が続いていたため、この領域を「巨大変形の半島」と名付けた。「巨大変形の半島」は、従来から用いられている「逆転の島」の拡大も示唆する結果である。

ここまでの成果は、理論論文及び実験論文として Physical Review C 誌にそれぞれ掲載された。来年度は Na や Al 同位体の解析を進め、「逆転の島」の北の境界を断定する。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

^6Li 入射反応における反応機構の解明 (八尋正信、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、渡邊慎 (D2))

^6Li は中性子 (n)、陽子 (p)、 ^4He の 3 つの粒子それぞれが緩く束縛した原子核であり、

反応の途中で容易に分解する。本研究では、4体連続状態離散化チャンネル結合法(4体CDCC)を用い、 ${}^6\text{Li}$ が3つの構成粒子($n, p, {}^4\text{He}$)に分解する効果を陽に取り入れた計算を行った。本年度は特に、 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 散乱に対して、 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow n + p + {}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ (4体分解反応)と ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow d + {}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ (3体分解反応)のどちらのチャンネルが反応に本質的であるかに注目した。4体CDCC計算において、これらのチャンネルは渾然一体となったものが得られるため、そこから4体分解反応と3体分解反応それぞれのチャンネルを引き出す必要がある。本研究では近似的にこれらの分離を行い、その結果、3体分解反応が重要であることが分かった。これは「 ${}^6\text{Li}$ 内部の重陽子(d)は分解しない」という現象論的モデルから導出した結論を支持する結果である。

本研究は渡邊氏を中心に推進された。

二重畳み込みモデルを用いた ${}^3, {}^4\text{He}$ -核弾性散乱の解析(八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将[大阪大学核物理研究センターPD]、豊川将一(D1))

${}^4\text{He}$ 原子核は、4つの核子が強く束縛した非常に励起しにくい原子核である。通常、核-核間光学ポテンシャルは g 行列相互作用を入射核密度と標的核密度で畳み込む、二重畳み込みモデルによって微視的に求まるが、この g 行列相互作用には既に入射核や標的核の励起による効果が一部含まれている。このため通常二重畳み込みモデルを用いた解析では、入射核(${}^4\text{He}$)励起の効果を過大評価してしまい、系統的に ${}^4\text{He}$ -核弾性散乱の実験データを再現できない。この問題の解決にあたり、本研究では多重散乱理論に基づいて二重畳み込みモデルから入射核励起の効果を排除する計算方法を提案した。

通常二重畳み込みモデルでは、2核子が入射核と標的核が重なり合った密度の中で相互作用する、frozen density近似を用いて計算される。一方で多重散乱理論によると、入射核(${}^4\text{He}$)が散乱過程で励起しないことは、2核子が標的核の密度の中で相互作用する、target density近似を用いることにより表現できる。このtarget density近似を用いた解析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target density近似によって系統的に実験データがよく再現できることが確かめられた。

本研究の成果はPhysical Review C誌に掲載された。また、 ${}^3\text{He}$ -核弾性散乱に対しても全く同様の論理が成り立ち、その成果は現在Physical Review C誌に投稿中である。

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、蓑茂工将[大阪大学核物理研究センターPD]、古立直也[北海道大学]、佐々部悟(D1))

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、本研究では典型的なハロー核である ${}^6\text{He}$ を例にとり、新しい実験結果からハロー核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、影散乱を考察することにより相関に対する理解を得た。

昨年度に引き続き、芯核の励起が期待されるハロー核についての理論的な解析を継続して進めた。

本研究は佐々部氏を中心に進められた。

t 行列畳み込み模型を用いた高エネルギー領域における核子-核散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、豊川将一 (D1)、平河優真 (M1))

現在、高エネルギー散乱の実験が盛んに行われており、反応解析の際には Glauber 模型を用いるのが標準的になっている。しかし、このモデルは direct process しか取り扱えず、高エネルギー領域においても無視できない knock-on exchange process の影響を取り込めない。そこで両方の効果を取り入れるため、核子-核子間の t 行列を用いることを考える。本研究の目的は、 t 行列畳み込み模型がどのエネルギー領域で核子-核及び核-核散乱を記述するかを分析することである。

核子-核弾性散乱は、入射粒子と標的核間の相互作用を複素一体ポテンシャル (光学ポテンシャル) で表すことにより記述される。この光学ポテンシャルは、核力に基づいて導出された核物質中の核力 (核内有効核力) を、原子核の密度で畳み込み積分を行うことによって微視的に構築される。

核子間に働く有効相互作用としては一般に g 行列が考えられるが、入射エネルギーが 200[MeV/nucl.] 以上の高エネルギー領域では媒質効果が無視でき、自由空間での核子-核子散乱から構築された t 行列を用いることができると考えられる。また t 行列には密度依存性が無く、 g 行列に比べて取り扱いが容易であるという長所もある。本研究では、1985年に提唱された歴史のある Franey Love t 行列相互作用を用いて、1核子当りの入射エネルギーが 200[MeV]–1[GeV] の高エネルギー領域における p - ${}^{12}\text{C}$ 、及び ${}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}$ の散乱の解析を行った。

p - ${}^{12}\text{C}$ に関しては、反応断面積及び微分断面積の実験値をほぼ再現し、Franey Love t 行列が核子-核散乱の解析において有用であることが示唆された。一方、 ${}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}$ については全エネルギー領域で実験データを 15% 程度過大評価した。このことから、核-核散乱においては非局所性や媒質効果、あるいは標的核内でのやりとりによる pion 生成の抑制といった効果を加味しなければならないことが推察される。

今後は、核子-核子散乱から新たに t 行列を構築し、核子-核及び核-核散乱の解析を行

う予定である。

本研究は平河氏と豊川氏を中心に推進された。

弾性散乱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 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター PD]、豊川将一 (D1))

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、核力の 2 核子力や 3 核子力を系統的に決定できる理論となっている。3 核子力は少数核子系のみでなく、核物質の形成や中性子星の構造などにおいても重要な役割を果たすと考えられている。また、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、核反応に対して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-核および核-核弾性散乱におけるカイラル有効理論の 3 核子力効果を、簡便な方法により評価した。 g 行列理論により計算された核物質の一粒子ポテンシャルが、カイラル有効理論の 2 核子力と、現象論的 2 核子力である Bonn-B ポテンシャルとで、非常に似通った性質を持つことがわかった。この事実に基づき、核物質中で評価したカイラル有効理論の 3 核子力を、Bonn-B ポテンシャルから構築された Melbourne g 行列相互作用に導入することで、その効果を半定量的に分析する方法を提案した。その結果、核-核散乱では 3 核子力効果が微分断面積の角分布後方で本質的に重要で、実験データ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 3 核子力効果が実験データが利用可能な角分布前方で小さく、その重要性はより後方で実験データが測定されることで確かめられる。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進され、その成果は Physical Review C 誌および Journal of Physics G 誌に掲載された。

カイラル有効理論の核力に基づく有効相互作用の構築 (八尋正信、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター PD]、豊川将一 (D1))

カイラル有効理論から決定された核力は、核構造の第一原理計算や殻模型計算などに適用され、3 核子力効果についても議論されてきた。しかし、核子-核散乱や核-核散乱などの核反応をカイラル有効理論の核力に基づいて記述する試みは行われておらず、3 核子力効果も定量的には解明されていない。

本研究では、カイラル有効理論の核力 (2 核子力+3 核子力) から g 行列理論により有効相互作用を構築することで、核子-核および核-核弾性散乱を系統的に解析し、核反応における 3 核子力効果を定量的に分析する。 g 行列理論により直接的に求まる有効相互作用は、非局所性を持つため畳み込み模型などの微視的反應理論への適用が困難

で、その適用範囲も狭い。この問題を解決するために、非局所有効相互作用と、エネルギー殻上 (on-shell) および on-shell 近傍の off-shell で等価な性質を持つ局所有効相互作用を構築する必要がある。現在、局所有効相互作用の構築に成功し、核子-核および核-核弾性散乱の詳細な解析を行っている。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進された。

格子上の核子系有効場理論による核子系の統一的記述 (八尋正信、原田恒司 [九州大学基幹教育院教授]、中村純 [広島大学情報教育研究センター教授]、佐々部悟 (D1))

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

そこで本研究では、QCD と低エネルギーで等価な核子系有効場理論を格子上に構築することでこれを実行する。本年度は、格子上に核子系有効場理論を定式化し、数値計算の実行可能性を検討した。

本研究は佐々部氏を中心に進められた。

原子核における四面体変形の研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、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変形しており、そのような変形核の多くは軸対称な回転楕円体変形をしていると考えられている。これに対し、原子核構造でこれまであまり調べられて来なかった、いくつかのエキゾチック変形の存在が、近年の平均場理論の計算により示唆されている。そのようなエキゾチック変形の一つである正四面体と同じ対称性をもつ四面体変形は、特定の陽子数または中性子数の原子核の安定な変形状態となると考えられている。これらの特定の粒子数は四面体変形の魔法数と呼ばれる。

昨年度、四面体変形した状態に Gogny 相互作用を用いた量子数射影を行った結果、非常に大きな相関エネルギーが得られることを示していた。本年度は四面体変形に加えて他の八重極変形に対しても量子数射影を行い、これらの変形でも四面体変形と同程度の大きな相関エネルギーが得られた。また、四面体変形の相関エネルギーが Zr の同位体でほぼ同じ程度の値であり、四面体変形の異なる魔法数にほとんど依らないことを示した。以上を論文としてまとめた。

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 (D3)、嶋田充宏 (D2))

原子核構造で広く用いられており、信頼性の高い相互作用の一つに有限レンジの

Gogny 相互作用がある。Gogny 相互作用は、平均場計算と量子数射影計算の双方に用いることができ、首尾一貫した計算が行える。昨年度までに、我々は Gogny 相互作用を用いた量子数射影の計算プログラムを作成しており、それを四面体変形に適用してきた。

しかしながら、この計算プログラムは通常の楕円体変形にも適用可能である。また、変形度などが異なる平均場の状態を重ねあわせる計算も行えるため、本年度は、異なる角速度の状態を重ねあわせて高スピン状態を記述する研究と非軸対称度 γ が異なる状態を重ねあわせてエネルギースペクトルに見られる γ バンドを記述する研究を行った。

異なる角速度の状態を重ねあわせて高スピン状態を記述する方法は、一つの角速度の状態のみから角運動量射影した場合には考慮されていなかった、角運動量が大きくなるに従って内部状態が遠心力などを感じて変化する効果を取り込むことが出来る。

γ バンドは非軸対称度 γ の振動として記述する方法と、ある決まった γ の状態の回転として記述する方法がある。異なる γ を重ねあわせて量子数射影する方法は振動と回転の双方の記述が可能である。計算結果より、それぞれの γ の平均場の状態が寄与している割合が γ に対して広がっており、 γ バンドの状態では γ 有限の状態にピークが生じ、結果的にある決まった γ の状態の回転とみなせると言える。現在、 γ バンドと基底バンドとの間の電磁遷移を計算しており、それを加えて論文にまとめる予定である。

この研究は田上氏と嶋田氏を中心に行われている。

角運動量射影法とクランキング法との整合のための角速度混合計算 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2))

角運動量射影する平均場の状態としては、回転の効果を取り込むためにクランキングをした状態がしばしば用いられる。特に、高スピン状態を記述するうえでは、回転の効果を平均場に取り入れることが重要である。しかし、角運動量射影では回転バンドのすべての状態が 1 つの内部状態から得られるため、クランキングの角速度によって多くの異なる回転バンドが得られ、どう処理すればよいかという問題が浮上する。つまり、角運動量射影法とクランキング法を整合させることが必要となる。また、ある一つの角速度の状態からの射影計算では、慣性能率がスピンと共に小さくなる、もしくは一定になるという不自然なスピン依存性を示すという問題もある。

これらの問題の解決法として、角速度混合した角運動量射影計算を行った。これは、異なる角速度の状態を角運動量射影することによって得られるいくつかの状態を重ね合わせることで最終的な状態を得るという方法である。Gogny-D1S 相互作用を用いた計算を行い、この方法により慣性能率のスピン依存性が自然な結果を示すようになることを確かめた。また、この方法が角速度の選び方にほとんど依らず、混ぜる角速度の数も少なくてもよいということを確認した。角速度混合した角運動量射影法はクラン

キング法と角運動量射影法を整合させる方法であり、信頼性の高い原子核の高速回転状態を得る方法として有用であることがわかった。この研究は、嶋田氏を中心に行われている。

角運動量射影法による高速回転する非軸対称変形核の研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2))

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、ウォブリング回転やカイラル二重項といった興味深い特異な回転バンドが数多く観測されている。

ウォブリング回転バンドは、古典的非軸対称剛体の歳差運動を量子化したような回転状態であり、他方、カイラル二重項は3つの角運動量が右手系と左手系という鏡映対称な2つの組み方をとることにより生じる二重項であるが、昨年度までの研究により、微視的な角運動量射影計算においてもウォブリング回転やカイラル二重項が現れることは確認している。本年度は、ウォブリング運動において、クランキングする軸に対する非軸対称変形の向きを変えて調査し、ウォブリング運動の起こるメカニズムの分析を進めた。また、カイラル二重項については、電磁遷移について調査した。カイラル二重項が持つB(M1)遷移の特徴的な性質が角運動量射影計算でも現れることを確認し、カイラル二重項の出現を微視的立場から裏付けることができた。この研究は、嶋田氏を中心に行われている。

変形混合した角運動量射影計算による Mg 同位体の低スピン状態の研究 (八尋正信、清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2)、渡邊慎 (D2))

近年の加速器技術の発展により、中性子過剰核のデータが蓄積され、「逆転の島 (Island of inversion)」に関する研究が注目を集めている。逆転の島の領域内の原子核は「魔法数の破れ」といった安定核では見られない性質を示す。最近では、この領域を超えた Mg 同位体までの低スピン状態のエネルギーや電磁遷移確率などの物理量が測定されている。

原子核の回転状態を微視的に記述できる方法として、角運動量射影法が知られている。これまでの我々の研究により、原子核構造計算における信頼性の高い有効相互作用の1つである有限レンジの Gogny 相互作用を用いて、1つの変形度の状態からの角運動量射影だけでなく、変形度の異なる状態について重ね合わせた計算を行うことも可能になった。そこで、現在、この方法を用いて Mg 同位体について、励起エネルギーなどの計算を行っており、変形混合のより改善する傾向が見られる。実験で測定されているいくつかの物理量について、変形度について重ね合わせない場合などの結果と

の比較を行う予定である。この研究は、嶋田氏、渡邊氏を中心に行われている。

発表論文

《原著論文》

Quark number densities at imaginary chemical potential in $N_f = 2$ lattice QCD with Wilson fermions and its model analyses:

J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **91**, (2015) pp. 014501-1–11.

Determination of the strength of the vector-type four-quark interaction in the entanglement Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio model:

J. Sugano, J. Takahashi, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **90**, (2014) pp. 037901-1–5.

Ground-state properties of neutron-rich Mg isotopes:

S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Physical Review C **89** (2014) pp. 044610-1–13.

Microscopic optical potentials for ^4He scattering:

K. Egashira, K. Minomo, M. Toyokawa, T. Matsumoto, and M. Yahiro,
Physical Review C **89** (2014) pp. 064611-1–8.

Eikonal reaction theory for two-neutron removal reactions:

K. Minomo, T. Matsumoto, K. Egashira, K. Ogata and M. Yahiro,
Physical Review C **90** (2014) pp. 027601-1–4.

Antihalo effects on reaction cross sections for $^{14,15,16}\text{C}$ isotopes;

T. Matsumoto and M. Yahiro,
Physical Review C **90** (2014) pp. 014602(R)-1–4.

Evidence of halo structure in ^{37}Mg observed via reaction cross sections and intruder

orbitals beyond the island of inversion:

M. Takechi, S. Suzuki, D. Nishimura, M. Fukuda, T. Ohtsubo, M. Nagashima, T. Suzuki, T. Yamaguchi, A. Ozawa, T. Moriguchi, H. Ohishi, T. Sumikama, H. Geissel, N. Aoi, Rui-Jiu Chen, De-Qing Fang, N. Fukuda, S. Fukuoka, H. Furuki, N. Inabe, Y. Ishibashi, T. Itoh, T. Izumikawa, D. Kameda, T. Kubo, M. Lantz, C. S. Lee, Yu-Gang Ma, K. Matsuta, M. Mihara, S. Momota, D. Nagae, R. Nishikiori, T. Niwa, T. Ohnishi, K. Okumura, M. Ohtake, T. Ogura, H. Sakurai, K. Sato, Y. Shimbara, H. Suzuki, H. Takeda, S. Takeuchi, K. Tanaka, M. Tanaka, H. Uenishi, M. Winkler, Y. Yanagisawa, S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Physical Review C **90** (2014) pp. 061305(R)-1–5.

Effects of a chiral three-nucleon force on nucleus-nucleus scattering:

K. Minomo, M. Toyokawa, M. Kohno, and M. Yahiro,

Physical Review C **90** (2014) pp. 051601(R)-1–5.

Roles of chiral three-nucleon forces in nucleon-nucleus scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, M. Kohno, and M. Yahiro,

Journal of Physics G **42** (2015) pp. 025104-1–15.

Breakup and finite-range effects on the ${}^8\text{B}(d,n){}^9\text{C}$ reaction:

T. Fukui, K. Ogata, and M. Yahiro,

Physical Review C **91** (2015) pp. 014604-1–8.

Tetrahedral symmetry in Zr nuclei: calculations of low-energy excitations with Gogny interaction:

S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,

Journal of Physics G **42**(2014) pp. 015106-1–22.

⟨⟨Proceedings⟩⟩

Heavy quark potential at finite imaginary chemical potential:

J. Takahashi, T. Sasaki, K. Nagata, T. Saito, H. Kouno, M. Yahiro, and A. Nakamura, Proceedings of Science (Lattice 2013) 166 (2014).

Breakup dynamics in ${}^6\text{Li}$ elastic scattering with four-body and three-body CDCC:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,
Journal of Physics: Conference Series **569** (2014) pp. 012048-1–4.

CDCC studies on clustering physics:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo and M. Yahiro,
Journal of Physics: Conference Series **569** (2014) pp. 012036-1–7.

連続状態離散化チャネル結合法の発展と応用:

松本琢磨,

原子核研究, Volume 59, Supplement 1 (2015) pp. 14-21.

核反応におけるカイラル3核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信,

原子核研究, Volume 59, Supplement 1 (2015) pp. 64-66.

《その他の論文》

講演

《海外での講演》

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

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

The 32nd International symposium on lattice field theory (LATTICE 2014), June 23,
New York, USA.

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

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

The 32nd International symposium on lattice field theory (LATTICE 2014), June 23,
New York, USA.

The extrapolation of the quark number density by lattice QCD and effective model from imaginary to real chemical potential:

J. Takahashi, J. Sugano, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Analysis of meson screening mass at finite temperature and density in the effective
model:

M. Ishii, T. Sasaki, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Determination of the strength of vector interaction by Lattice QCD:

J. Sugano, J. Takahashi, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Ground-state properties of neutron-rich Mg isotopes through reaction cross sections:
S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda,
D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), July 2, Darmstadtium, Darmstadt
(Germany).

Systematic analyses of one- and two-neutron removal cross sections with eikonal reac-
tion theory:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo and M. Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), July 4, Darmstadtium, Darmstadt
(Germany).

Systematical analysis of three- and four-body breakup reactions with CDCC:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo S. Watanabe and M. Yahiro,
BREAKUP REACTIONS AND RELATED TOPICS July 16, ECT*, Trento, Italy.

Effect of chiral three nucleon forces on elastic scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, M. Kohno, M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society
and the Physical Society of Japan (HAWAII 2014), October 8, Hilton Waikoloa Village,

Hawaii island.

Determination of density distribution of halo nuclei by proton elastic scattering:

S. Sasabe, T. Matsumoto, K. Minomo, N. Furutachi, M. Yahiro,

Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and the Physical Society of Japan(HAWAII 2014), October 9, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Study of high spin states in the triaxial deformed nuclei using an angular momentum projection method:

M. Shimada, S. Tagami, Y. R. Shimizu,

Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and the Physical Society of Japan(HAWAII 2014), October 8, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

以下, ポスター発表.

Determination of vector interaction from lattice QCD results at imaginary chemical potential:

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

Workshop on QCD under Extreme Conditions (XQCD 2014), June 20, 2014, New York, USA.

Analysis of meson screening mass in the entanglement PNJL model:

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

Workshop on QCD under Extreme Conditions (XQCD 2014), June 20, 2014, New York, USA.

《 国内での講演 》

格子 QCD によるクォーク数密度の計算と hadron resonance gas model による解析:

高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

有効模型を用いた中間子遮蔽質量の解析:

石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

格子 QCD に基づくクォーク間ベクトル相互作用の強さの決定:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

格子 QCD によるクォーク数密度の算出と hadron resonance gas model によるバリオン
質量の決定の可能性について:
高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

EPNJL 模型を用いた中間子遮蔽質量の導出:
石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

有効模型に基づく QCD 相図の高密度領域の解析:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

中間子遮蔽質量における $U_A(1)$ 対称性の実効的回復:
石井優大, 米村浩司, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会 第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 22 日, 早稲田大学

multi-quark 相互作用の QCD 相図における役割:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会 第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日, 早稲田大学

Ground-State Properties of Mg Isotopes in and beyond the Island of Inversion through
Reaction Cross Sections:
S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda,
D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), June 2, the University of Tokyo

CDCC Studies on Cluster Physics:

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

State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 28, KGU (Kanto Gakuin University) Kannai Media Center

核反応におけるカイラル3核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2014年度原子核三者若手夏の学校, 2014年8月7日, パノラマランド木島平

反応断面積による不安定核の変形度の決定:

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

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

3体模型を用いた $p+{}^6\text{He}$ 散乱の解析:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

弾性散乱におけるカイラル3核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

畳み込み模型による核子-核散乱の解析:

平河優真, 豊川将一, 松本琢磨, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

弾性散乱におけるカイラル3核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

RCNP 研究会 "QCD を基礎とする核子多体系物理の理解", 2014年12月19日, 大阪大学

Systematic analysis of nuclear reaction involving unstable nuclei with few-body model:

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

International Molecule-type workshop Structure and reaction of light exotic nuclei,
Yukawa Institute for Theoretical Physics, Jan. 19, Kyoto University

反応断面積の解析で探る変形及びハロー構造:

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

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

高エネルギー陽子散乱を用いた軽いハロー核の構造の決定:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

少数系模型を用いた反応断面積の偶奇性の解析:

松本琢磨, 佐々部悟, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

Na 同位体の反応計算の現状と見通し:

渡邊慎

[RIBF-ULIC-miniWS-033] Plan for Ni Reaction Cross Section Measurement and Related Topics, 2015年3月16日, 理研

反応断面積偶奇性と中性子ハロー核構造の関係:

松本琢磨, 八尋正信

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学

高エネルギー陽子散乱によるハロー構造の決定:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学

カイラル有効理論と Brueckner-Hartree-Fock 理論を用いた核反応の解析:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月23日, 早稲田大学

t 行列畳み込み模型による高エネルギー核子-核散乱の解析:

平河優真, 松本琢磨, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 23 日, 早稲田大学

角速度混合した角運動量射影法による原子核回転状態:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日, 早稲田大学早稲田キャンパス

角運動量射影計算による非軸対称変形核の回転運動:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

以下, ポスター発表.

格子 QCD によるクォーク数密度の計算と有効モデルによる解析:

高橋 純一, 管野 淳平, 石井 優大, 河野 宏明, 八尋 正信,

理研シンポジウム・iTHES 研究会 “熱場の量子論とその応用”, 2014 年 9 月 4 日, 理化学研究所

中間子遮蔽質量の EPNJL 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,

理研シンポジウム・iTHES 研究会 “熱場の量子論とその応用”, 2014 年 9 月 4 日, 理化学研究所

Breakup dynamics in ${}^6\text{Li}$ elastic scattering with four-body and three-body CDCC:

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

State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 28, KGU (Kanto Gakuin University) Kannai Media Center

Systematic Analysis for Distribution of Extra Neutrons and Core in Halo Nucleus:

T. Matsumoto, S. Sasabe, K. Minomo, N. Furutachi, K. Ogata, and M. Yahiro,

Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), June 5, the University of Tokyo

核反応におけるカイラル 3 核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2014 年度原子核三者若手夏の学校, 2014 年 8 月 7 日, パノラマランド木島平

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文科省科学研究費補助金、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

微視的反応・構造理論による不安定核構造の系統的解明

研究代表者: 渡邊慎

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

核力に立脚した微視的理論による不安定核の静的および動的性質の系統的解明

研究代表者: 佐々部悟

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

嶋田充宏、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

渡邊慎、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

石井優大、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

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)

佐々部悟、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：新潟大学理学部で「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】井生 武志、貞森 光汰、戸川 秀一、鳥越 悠平、開田 丈寛、福山 達也(担当: 八尋)

場の量子論のゼミ

【後期】井生 武志、貞森 光汰、戸川 秀一、鳥越 悠平、開田 丈寛、福山 達也(担当: 八尋、清水、松本)

NJL 模型ゼミ、核反応論、核構造論の輪講・研究

修士論文

菅野淳平:(指導教員 八尋正信):有効模型に基づく QCD 相図の高密度領域の解明

米村浩司:(指導教員 八尋正信):中間子遮蔽質量による $U(1)_A$ アノマリーの温度依存性の決定

博士論文

その他の活動と成果

九大研究会 ―格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明―,
世話人: 八尋正信, 高橋純一, 石井優大, 九州大学, 2015 年 2 月 19 日

九大研究会 ―中性子過剰領域における弱束縛系の物理―,
世話人: 八尋正信, 松本琢磨, 渡邊慎, 嶋田充宏, 佐々部悟, 九州大学, 2015 年 3 月 9-10 日

豊川将一: 2014 年度原子核三者若手夏の学校, 原子核パート世話人

松本琢磨: 2014 年度原子核三者若手夏の学校, 原子核パート講師

渡邊慎: 国際サマースクール TALENT (Course 5: Theory for exploring nuclear structure experiments) にて最優秀プロジェクト賞を受賞した.

宇宙物理理論

研究室構成員

橋本 正章 教授

山岡 均 助教 町田 真美 助教 小野 勝臣 助教

《テクニカルスタッフ》

E. P. B. A. Thushari 松尾 康秀

《大学院 博士課程》

菊池 之宏 一政 遼太郎

《大学院 修士課程》

林田 晃太郎 守田 佳永 手塚 啓 福田 遼平

三舛 慧人 植木 雄哉 宇根 遼平

《学部 卒業研究生》

米田 知司 谷口 由貴 中島 昂 中原 拓馬

五十嵐 駿太

《訪問研究者》

中村 理央

《外国人訪問研究者》

Jirong Mao

担当授業

- 橋本正章
箱崎地区：一般相対論 (前期), 宇宙物理学 (後期)
伊都地区：基幹物理学 IB(後期)
- 山岡均
箱崎地区：理系主題科目 III (前期, 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)
- 町田真美
箱崎地区：なし
伊都地区：基幹物理学 IB 演習 (後期)

- 小野勝臣

箱崎地区：電磁気学 I・同演習 (後期), 物理学ゼミナール (後期)

伊都地区：なし

研究・教育目標と成果

Observational constraints of cosmological models with variable equation of state

(橋本正章, E. P. B. A. Thushari)

We have constrained a cosmological model which is physically reasonable, mathematically tractable, and extend the study of the dark matter models to the case where the equation of state (EOS) for matter and dark energy (DE) vary with time (J. Ponce de Leon 2012). We focus on how the evolving EOS for matter and DE can modify the standard cold dark matter paradigm constrained the parameters using type Ia Supernovae (SNIa) observations in the redshift range $0.01 < z < 2$. This model is containing six inherent parameters K , β , α , ω , γ , and n . Parameterization accommodate an alternative cosmological models. We could identify dark matter and DE density evolutions approximate to the cold dark matter model at the early universe or low redshift range and significantly differ from the high redshift range. We investigated for the certain values of parameters like $\alpha = 1$ and $n = 1/3$, matter mixture recover their individual identities and separates into radiation and dust. When $z < 1$ DE becomes dominant than matter and at that stage we could observe some transition from dark matter to DE dominant eras. We constrained the model with minimum reduced $\chi^2 = 0.99$ for $-0.1 \leq \omega \leq -1.5$ and $\gamma = -1.5$ for $n = 1$. For $n = 0$, $\omega = \gamma$, $n = 0$ approximates to the Λ CDM model. To constrain these parameters we fixed $K = 10$, $\beta = 20$, $\alpha = 100$ with considerable reasons. Since these alternative models with different parametrization are really affective in the high redshift range we will focus on CMB observations to constrain this model for future work.

質量降着率の時間変動を考慮した X 線バーストモデルの構築 (橋本正章, 町田真美, 松尾康秀)

中性子星と低質量星の連星系において、低質量星から降着円盤を通して中性子星へ物質が降着すること（質量降着）により X 線バーストと呼ばれる現象が起こることが知られている。これまでの X 線バーストシミュレーションでは質量降着率はほぼ一定であると仮定されてきた。しかし X 線観測からは質量降着率は大きく時間変動することが知られている。そこでこの質量降着率の時間変動に注目して研究を行った。

まず、できるだけ現実的な時間変動する質量降着率を得るため、1次元の降着円盤シミュレーションを並列化し長時間計算を行った。その結果、定常状態から計算を始めたにも関わらず、物理量が激しく振動する結果が得られた。しかしこの振動は単なる数値的な振動や、円盤構造の1次元化のために起こった非物理的なものである可能性あるため、今後この振動が物理的に妥当なものかどうか検証をする必要がある。

さらに中性子星の進化を解く数値計算コードを用いて、時間変動する質量降着率を与えて計算を行った。ただし、前述したように降着円盤のシミュレーション結果は物理的な妥当かどうか分からないため、ここでは非常に単純な形で時間変動する質量降着率を与えた。今後はこの計算結果と X 線バーストの観測結果と比較して議論する必要がある。

大質量星の進化と超新星の爆発的元素合成に対する 3α 及び $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 熱核反応率の影響

(橋本正章, 小野勝臣, 菊池之宏)

2009年に Ogata et al. によって新しく triple- α (3α) 反応率 (OKK 反応率) が発表された。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 反応率) より 10^5 程度大きい。ヘリウム燃焼段階で 3α 反応と並んで重要である $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ は、恒星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るが不定性がある。そこで、 3α 反応は OKK 反応率と Fynbo 反応率を、 $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ 反応については CF85 (Caughlan & Fowler 1985) と Bu96 (Buchmann 1996) を適用し、 $15\text{--}70 M_{\odot}$ の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。

OKK を用いた $15\text{--}25 M_{\odot}$ のモデルでは、Ne 燃焼段階においてコアの中心ではない層で燃焼が始まるという従来の計算とは異なる結果となった。また、超新星爆発で放出される炭素と酸素の比が OKK 反応率の場合に観測を大きく上回った。 $25 M_{\odot}$ モデルでは超新星爆発での重元素合成計算を行った。He 燃焼時に OKK 反応率では ^{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。OKK 反応率を用いると超新星爆発で放出される Si より軽い元素の生成量がかなり多くなる。また、反応率によって超新星爆発直前の温度・密度構造に違いが生まれ、この構造の違いが超新星爆発で生成される p 元素の生成量に影響を与えることが分かった。

ビッグバン元素合成における CNO 組成比 (橋本正章, 中村理央, 一政遼太郎)

宇宙初期にビッグバン元素合成によって決まる元素組成は、その後の宇宙の化学進化を決定するための重要な物理量である。特に、CNO 組成比は宇宙初期における PopIII 星の形成に対して影響を与えることが分かってきた。近年の研究によれば、 $\text{CNO}/\text{H} \sim 10^{-13}$ 程度の CNO が存在すれば、その進化に影響を与えうる。観測によれば、 $\text{CNO}/\text{H} \sim 10^{-13}$ 以上の CNO が宇宙初期に既に存在していた事が予測されている。これに加え、宇宙初期になるにつれて C/O 比が上昇する傾向があり、観測された Metal poor star のなかには $[\text{C}/\text{O}]_{\text{obs}} \sim 0.35 \pm 0.15$ 程度に達するものが存在する事が確認されている。しかし、近年の観測の精密化や理論の進展にも関わらず、宇宙初期における恒星進化から推定される CNO 組成比や C/O 比と観測の間には矛盾が存在する。この問題を解決する可能性として、近年盛んに研究が行われている非一様モデルを考慮した。クリプトンまでの 464 核種、5516 の反応経路に対する最新の核反応率を採用し組成比の密度依存性について調査した。その結果、非一様性を有する場合であってもビッグバン元素合成だけで C/O 比を再現できるようなパラメータ空間は存在せず、その最小値は $[\text{C}/\text{O}]_{\text{th,min}} \sim 0.61$ であった。しかしながら、今回のモデル計算では拡散の効果は考慮していない。拡散による影響によって C/O 比が減少する可能性がある。また、重力崩壊型超新星爆発が起きれば C/O 比が減少する事が分かっているため、この影響も考慮する必要があると考えられる。

X 線トランジェントの観測と中性子星の冷却過程 (橋本正章, 野田常雄, 松尾康秀, 林田晃太郎)

様々なニュートリノ放射過程の可能性について、孤立中性子星に対する表面温度の観測結果を用いて研究がなされてきたが、連星系をなす中性子星に着目することでも、このような議論は可能である。孤立中性子星との大きな違いは降着物質が中性子星のエネルギー源になるということである。近年では、X 線トランジェントの静穏期の観測結果から中性子星の光度が見積もられるようになり、その光度の説明の一つとして crustal heating が提案された。さらにニュートリノ放射過程との関連についても議論がされるようになってきている。その結論として、観測値を説明するためには、極めて冷却率の大きい direct URCA 過程が必要だとされたが、理論計算は簡単なモデル計算であった。我々は一般相対論効果を取り入れた降着中性子星の定常状態を求め、静穏期の光度の観測結果と比べた。降着に伴うエネルギーは Haensel & Zdunik (1990) の crustal heating を用い、ニュートリノ放射は Muto et al. (1993) によって計算されたパイオン凝縮 URCA 過程を用いた。その結果、パイオン凝縮に伴うニュートリノ放射率と energy gain を考慮した状態方程式を用いることによって、Heinke et al. (2007) の観測データの説明ができた。従来用いられてきた pion 凝縮 URCA 過程よりも冷却効率が低い direct URCA 過程は必要では

ないといえる。

超新星爆発時における物質混合の可能性 (橋本正章, 小野雅臣, 手塚啓)

重力崩壊型超新星爆発では非球対称な構造が発達することが観測から知られている。非球対称爆発, 特に超新星爆発の衝撃波がニュートリノ加熱メカニズムから示唆される凹凸形状 (clumpy) を持つ場合に物質混合にどのような影響を及ぼすかを調べるため, 超新星 1987A の親星モデルを初期データとし, 球対称爆発, 爆発形状を sinusoidal に変化させた clumpy 爆発を考え, 衝撃波が星の表面を通過する直前までを計算した。その結果, 弱い clumpy 爆発では観測から求められる ^{56}Ni の速度を再現出来ない一方で, 強い clumpy 爆発ならば可能であることが分かった。超新星 1987A の超新星爆発メカニズムに関して制限を課すことになる。しかしながら今回の計算では計算領域の境界面に数値不安定が発達したことや解像度が低いことなど課題が残った。今後の研究では数値不安定を防ぐと期待される数値流速の導入や, より高解像度な 3 次元流体シミュレーションを行う必要がある。また爆発メカニズムそのものに起因するより現実的な非球対称性を取り入れる必要もある。

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

鉄より重い元素の合成過程の一つである r -process の起源天体は未だ解明されていない。本研究では, その候補として collapsar と呼ばれる, 星の重力崩壊メカニズムに着目した。collapsar とは, $25 M_{\odot}$ を超える星のうち高速で回転しているものが重力崩壊を起こした時に, ブラックホールと降着円盤の系を作るといえるものである。この円盤内は高温・高密度になるため, 電子捕獲によって r -process に有利とされる中性子過剰な状態が実現する可能性がある。そこで collapsar の流体シミュレーションと元素合成シミュレーションを行った。流体シミュレーションは, 親星の回転と円盤内で働く粘性の大きさの値をパラメータとして行ったが, ほぼすべてのモデルで高温・高密度の円盤内が形成され中性子過剰な物質が放出されることを確かめた。続く元素合成のシミュレーションでは, r -process 元素が多量に生成されたが, その組成比は太陽系と比較して質量数 $A < 130$ の元素が卓越しており, 今回のモデルは weak r -process に寄与するものとわかった。また, collapsar の円盤からのアウトフローはガンマ線バーストに伴う hypernova になるという示唆が MacFadyen & Woosley によってなされているが, 我々のモデルでは, hypernova で放出されるような多量の ^{56}Ni を再現することはできず, むしろ超新星としては暗いモデルもあった。

R -process 重元素合成における neutron-induced fission の影響

(橋本正章, 小野勝臣, 植木雄哉)

中性子過剰な環境で実現される r -process 重元素合成において, neutron-induced fission は他の fission よりも最終的な元素組成に大きな影響を与えると考えられている (Panov & Thielemann 2003, 2004; Martinez-Pinedo et al. 2007)。そこで, 元素合成ネットワークにその導入を行い, 超新星爆発のモデル (Nishimura et al. 2006) と公開されている neutron-induced fission の反応率 (Panov et al. 2010) を用いて, neutron-induced fission が最終的な元素組成に与える影響を調べた。超新星爆発のモデルにおいてはその影響は小さかったが, より中性子過剰な環境であり neutron-induced fission の影響が大きいと予想される中性子星合体のモデルについては調べる必要がある。今後計算を行いその影響を調べる。

突発天体现象の情報流通とフォローアップ (山岡均)

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

とを目標とした。

突発天体のフォローアップ・発見確認と報告を数件行なった。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。IAU の委員会再編に際して、新委員会を提案し、今後の新天体情報流通を強固にすることを企図している。次年度の IAU 総会での委員会再編を受け、突発天体への実地即応を続けるとともに、CBAT の再構築を模索する。

アーカイブ天文学の構築 (山岡均, 三舛慧人, 宇根遼平)

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、Kepler 観測機が得た膨大な測光データから食変光星の分類を自動化すること、および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である。

Kepler 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。その副産物として多数の食変光星が発見されているが、その変光タイプ分類は目視や膨大な計算によっており、さらにデータ量が膨大になった場合には実施が困難である。われわれは median ratio という簡単な計算で求められる値を用いた分類法を考案し、有効温度との組み合わせで変光タイプを決定する手法を確立した。この手法は、今後期待されるさらに大規模なサーベイ観測で威力を発揮するであろう。

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、他サイトで検出された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するとともに、美星センター画像のみから新しい超新星を検出する手法を模索した。次年度には方法を確立したい。

また、理研 MAXI チームと協力して、新星爆発時の軟 X 線放射を搜索している。多数の例について改良した手法で調べたが、検出には至らなかった。今後も協力体制を維持し、MAXI データを活用する方策を検討する。

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、国際宇宙天気科学・教育センターにおいて新たに構築する DEBDAS 観測網のうち、地上観測網について設計・情報収集を行なった。次年度以降、実際の構築をめざし、サテライト拠点の選定・整備を行なう。

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 3 回実施した。さらに豊中市では、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、国際天文学連合天文学アウトリーチ室アウトリーチ日本窓口、日本学術会議における大学教育の質保証にかかる

天文学分野の基準策定委員会(委員長)など多様な役割を担っており、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次元磁気流体数値実験(町田真美)

初期磁場構造の質量降着率、円盤構造への依存性を調べた。その結果、系にネットフラックスが無いモデルASMの場合には、特に中心近傍での動径方向磁場生成が抑えられ、 $10r_s$ 付近に渦構造が形成されるために、質量降着率が抑えられる事が判った。一方、中心から離れた位置では、ネットフラックスの有無によらず、磁気回転不安定性による磁場増幅が有効で先行研究同様、周期的に優勢となる方位角方向磁場の向きが反転する事も示された。そのため、どちらのモデルにおいても $20-30r_s$ 付近に磁気圧優勢円盤が形成される事が示された。これらの結果からモンテカルロ法を用いて輻射スペクトルを求めた所、ネットフラックスのあるモデルSSMでは、磁気圧隆盛円盤からの熱制動放射とそれを種とする逆コンプトン散乱によって高エネルギー放射が生成されるが、モデルASMでは中心近傍のガス密度上昇が低いため、X線スペクトル強度は、冷却の前後で大きな違いが見られなかった。

銀河ガス円盤のシミュレーションの観測的可視化(町田真美, 守田佳永)

渦状銀河の電波観測から、渦状銀河は平均で数 μ ガウスの磁場を持つ事が知られている。この磁場の起源として、銀河ダイナモモデルが提唱され、銀河全体を計算領域に含む大局的3次元磁気流体数値計算がおこなわれている。本研究では、数値実験によって得られる密度や磁場構造などの物理量から観測量である回転量やシンクロトロン放射強度などを求め、実際の観測と比較した。その結果、観測量は見込み角に大きく依存し、概ね見込み角が60度未満の場合には磁場が銀河を貫くような渦状構造が再現される事がわかった。また、見込み角が80度-90度の場合には、円盤部は方位角方向磁場が卓越したリング構造と、銀河中心から鉛直に伸びる磁場構造も見られた。結果として、同じ数値計算結果から見込み角が異なる場合の観測結果をよく再現できる事が示された。

超新星爆発における物質混合(小野勝臣, Jirong Mao)

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ることが超新星1987Aの観測から知られている。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、親星の密度に最大50%の振幅の摂動を系統的に与えた親星モデルを初期条件として、物質混合の2次元高解像度流体計算を行った。その結果、動径方向にコヒーレントでかつ25%以上の振幅の摂動を加えたモデルで観測の一部を説明できることが分かった。来年度は2次元計算で見られる数値的問題を解決するため、計算の空間次元を3次元に拡張して詳細に調べる。

超新星残骸の多次元数値実験(小野勝臣)

超新星残骸は電波、X線、ガンマ線などの様々な波長の電磁波で輝く天体であるが、超新星爆発から超新星残骸への進化、超新星残骸における宇宙線の加速など未解明の問題が数多く残っている。超新星残骸Cas Aの観測に代表されるように、多くの超新星残骸の形状は非球対称であり、空間多次元の理論計算に基づく電磁波放射の評価が必要である。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昨年度から取り組んでいる。これまでに、3次元の流体計算コードに、非平衡電離度計算、電子とイオンのクーロン衝突によるエネルギーの緩和過程を導入し、3次元のテスト計算を開始している。他方、宇宙線の加速に重要な磁場の増幅調べるため、磁気流体計算コードには、数値的に $\text{div } \mathbf{B} = 0$ を保証するベクトルポテンシャル法を導入した。来年度は個々の超新星残骸SN1006, Tycho, Cas A, W49B

等への適用を行い, 元素分布, 磁場増幅, 宇宙線加速について議論する。

発表論文

《原著論文》

- Effects of Triple- α and $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ Reaction Rates on the Supernova Nucleosynthesis in a Massive Star of $25 M_{\odot}$: Y. Kikuchi, M. Hashimoto, M. Ono, and R. Fukuda, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2015, accepted (論文番号:1410-030)
- Numerical Experiments for Nuclear Flashes toward Superbursts in an Accreting Neutron Star: M. Hashimoto, R. Kuromizu, M. Ono, T. Noda, and M. Y. Fujimoto, Journal of Astrophysics, 2014, 2014, article id. 817986 (12 pp.)
- Big-bang nucleosynthesis in comparison with observed helium and deuterium abundances : Possibility of a nonstandard model: R. Ichimasa, R. Nakamura, M. Hashimoto, and K. Arai, Phys. Rev. D, 2014, 90, 023527.
- Energy spectrum of ultra-high energy cosmic rays observed with the Telescope Array using a hybrid technique: T. Abu-Zayyad, ..., M. Ono (83th), ..., Z. Zundel (145th), Astroparticle Physics, 2015, 61, pp. 93-101
- Searches for Large-scale Anisotropy in the Arrival Directions of Cosmic Rays Detected above Energy of 10^{19} eV at the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (553th), ..., Z. Zundel (609th), The Astrophysical Journal, 2014, 794, article id. 172 (15 pp.)
- Indications of Intermediate-scale Anisotropy of Cosmic Rays with Energy Greater Than 57 EeV in the Northern Sky Measured with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment: R. U. Abbasi, ..., M. Ono (70th), ..., Z. Zundel (126th), The Astrophysical Journal Letters, 2014, 790, article id. L21 (5 pp.)
- Correlations of the Arrival Directions of Ultra-high Energy Cosmic Rays with Extragalactic Objects as Observed by the Telescope Array Experiment: T. Abu-Zayyad, ..., M. Ono (84th), ..., Z. Zundel (146th), The Astrophysical Journal, 2013, 777, article id. 88 (8 pp.) (H25 年度未報告分)
- PHOTOSPHERIC EMISSION FROM STRATIFIED JETS: H. Ito, S. Nagataki, M. Ono, S.-H. Lee, J. Mao, S. Yamada, A. Pe'er, A. Mizuta, S. Harikae, Astrophysical Journal, 2013, 777, article id. 62 (17 pp.) (H25 年度未報告分)

《Proceedings》

- Effects of triple-alpha reaction rates on the nucleosynthesis in massive stars: Y. Kikuchi, M. Hashimoto, M. Ono, S. Fujimoto, Proceedings of SCIENCE, PoS(NIC XIII) 109, in press

- The quinquennial grand shrine festival with the Nogata meteorite: H. Yamaoka, Proceedings of the International Astronomical Union, Highlights of Astronomy, Volume 16, 2015, pp. 167-167
- Observational study of the extremely slow nova V1280 Scorpii: H. Naito, S. Mizoguchi, A. Arai, A. Tajitsu, S. Narusawa, M. Yamanaka, M. Fujii, T. Iijima, K. Kinugasa, M. Kurita, T. Nagayama, H. Yamaoka, K. Sadakane, Stella Novae: Past and Future Decades. ASP Conference Series, Vol. 490, Proceedings of a conference held 4-8 February, 2013 at the Pavilion Clock Tower, Cape Town, South Africa. Edited by P. A. Woudt and V. A. R. M. Ribeiro, 2014, p.139
- Discovery of an X-ray flash from a nova explosion on MAXI J0158-744 and search for X-ray flashes for other novae: M. Morii, T. Mihara, H. Yamaoka, J. Shimanoe, H. Tomida, N. Kawai, M. Matsuoka, Suzaku-MAXI 2014: Expanding the Frontiers of the X-ray Universe, proceedings of a conference held 19-22 February, 2014 at Ehime University, Japan. Edited by M. Ishida, R. Petre, and K. Mitsuda, 2014, p.110

《その他の論文》

- 惑星の名付け親になろう : 山岡 均 :
星ナビ 2014年10月号 (Vol. 15, No. 10), P7
- IAU アウトリーチ日本窓口の役割 皆さんのイベント企画やサポートをお待ちしています !: 山岡 均 :
国立天文台ニュース 2014年9月号 (No. 254), P9

著書

- 橋本正章, 荒井賢三 : 「相対論の世界」 (裳華房) 2014年10月25日 発行

講演

《海外での講演》

- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Quark Matter:
T. Noda, N. Yasutake, M. Hashimoto, T. Maruyama, T. Tatsumi, M. Y. Fujimoto
International Conference “Quarks and Compact Stars (QCS2014)”, Beijing, China, 2014年10月20日-22日 (招待講演)

- Effects of triple-alpha reactions on the supernova nucleosynthesis:
Y. Kikuchi, M. Hashimoto, M. Ono, and S. Fujimoto
XIII Nuclei in the Cosmos, Debrecen, Hungary, 2014年7月7日-11日
(<http://www.nic2014.org/>)

《国内での講演》

- 彗星発見の夢 – 最近の天体発見動向 – : 山岡均
彗星会議 2014, 愛媛大学, 2014年6月7日
- 突発天体の Astrometry は可能か?: 山岡均
NanoJasmine サイエンスワークショップ, 国立天文台, 2014年6月26日
- ベテルギウスはいつ爆発するの?: 山岡均
宇宙が学べる大学紹介 2014 講演会, 福岡県青少年科学館, 2014年6月29日
- 太陽系を作ろう!: 山岡均
全国同時七夕講演会 2014, 福岡市別府公民館, 2014年7月5日
- 白水大池公園で太陽系を旅しよう!: 山岡均
全国同時七夕講演会 2014, 春日市星の館, 2014年7月6日
- 宇宙膨張の歴史を知ろう ~宇宙のインフレーションについて~ : 山岡均
平成 26 年度九州大学理学部先端自然科学講演会平成 26 年度福岡県高等学校理科部会 夏季研修会九州大学, 2014年8月20日
- 新星爆発時に発生する X 線突発現象の探索: 森井幹雄, 三原建弘, 松岡勝, 山岡均ほか MAXI グループ
日本天文学会 2014 年秋季年会, 山形大学, 2014年9月11-13日
- 学生を対象とした公募型宇宙企画の試み — 九州大学の事例紹介: 藤原智子, 片山千春, 鈴木右文, 花田俊也, 山岡均
日本天文学会 2014 年秋季年会, 山形大学, 2014年9月11-13日
- 天文分野における大学教育の質保証: 山岡均
日本天文学会 2014 年秋季年会天文教育フォーラム「学校教育における天文学」, 山形大学, 2014年9月11日
- DEBDAS 地上観測網の構築: 山岡均, 花田俊也, 吉川顕正
第7回スペースガード研究会, 国立天文台(三鷹), 2014年11月6日

- 第二の地球はあるか？系外惑星の発見と命名：山岡均
星のお話会, 大野城市北コミュニティセンター, 2014年11月8日
- 総合的宇宙教育の実践 — 九州大学ペガスプロジェクトの取り組み —：藤原智子, 鈴木右文, 花田俊也, 山岡均
日本航空宇宙学会西部支部会講演会, 九州大学, 2014年11月28日
- 教養科目で変光星を観測する：山岡均, 藤原智子, 花田俊也, 鈴木右文, 藤田浩輝
連星系・変光星・低温度星研究会 2014, 大阪教育大学, 2014年11月29日
星のお話会, 大野城市北コミュニティセンター, 2014年11月8日
- 九州大学高年次教養科目における超新星観測：堀井雄真, 占部由子, 丸山大輝, 羽多正吾, 本園隆浩, 山岡均
連星系・変光星・低温度星研究会 2014, 大阪教育大学, 2014年11月30日
- 未知の天体を見つけて名前を付けよう：山岡均
小惑星「愛媛大学」誕生・NPO 法人東亜天文学会愛媛支部発足記念講演会
「未知なる宇宙へ」, 愛媛県立美術館講堂, 2014年12月14日
- 星に名前を!：山岡均
『センター de クリスマス会』, 福岡県 Ruby・コンテンツ産業振興センター,
2014年12月17日
- 新星爆発の点火に伴う軟 X 線閃光の探索：森井幹雄, 三原建弘, 松岡勝, 山岡均
第 15 回宇宙科学シンポジウム, JAXA 宇宙科学研究所, 2015年1月6-7日
- 星の一生と超新星爆発：山岡均
かわさき宙と森の科学館 天文講演会, 2015年2月8日
- 新天体を見つけて地球を守る：山岡均
スペースガード探偵団 in 大分, 大分大学教育福祉科学部附属中学校, 2015年
2月15日
- 変光星の Astrometry：山岡均
NanoJasmine サイエンスワークショップ, 国立天文台, 2015年2月16日

- ケンブリッジ大学を舞台に含めた天文教育プロジェクト：鈴木右文, 藤原智子, 花田俊也, 山岡均
日本天文学会 2015 年春季年会, 大阪大学, 2015 年 3 月 18-21 日
- スペースデブリをとらえる DEBDAS 地上可視観測網の構築：山岡均, 花田俊也, 吉川顕正, 北澤幸人, 柳沢俊史
日本天文学会 2015 年春季年会, 大阪大学, 2015 年 3 月 20 日
- 新星爆発時に発生する X 線突發現象の探索 (その 2)：森井幹雄, 三原建弘, 松岡勝, 山岡均ほか MAXI グループ
日本天文学会 2015 年春季年会, 大阪大学, 2015 年 3 月 18-21 日
- 光度の中間値比を用いた食連星のタイプ分類：三舛慧人, 山岡均
2014 年度第 44 回天文・天体物理若手夏の学校, 信州・戸倉上山田温泉ホテル 圓山荘 (長野県千曲市), 2014 年 7 月 28 日-7 月 31 日
- 光度の中間値比を用いた食連星のタイプ分類：三舛慧人, 山岡均
日本天文学会 2014 年秋季年会, 山形大学, 2014 年 9 月 11 日-9 月 13 日
- 光度の中間値比を用いた食連星のタイプ分類：三舛慧人, 山岡均
2014 年度連星系・変光星・低温度星研究会, 大阪教育大学, 2014 年 11 月 29 日-12 月 1 日
- アーカイブを用いての超新星の搜索と変動検出：宇根遼平, 山岡均
2014 年度連星系・変光星・低温度星研究会, 大阪教育大学, 2014 年 11 月 29 日-12 月 1 日
- Observational Constraints of a cosmological model with a variable equation of state for matter and dark energy:
E. P. Berni Ann Thushari, M. Hashimoto, R. Nakamura
日本天文学会 2015 年春季年会, 大阪大学, 2015 年 3 月
- ブラックホール降着円盤乱流の初期磁場依存性：
町田真美, 中村賢仁, 松本亮治
日本天文学会 2015 年春季年会, 大阪大学, 2015 年 3 月 19 日
- 超新星残骸の多次元数値実験 - X 線放射と磁場増幅 - :
小野勝臣, S.-H. Lee, 長瀧重博
第 120 回日物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014 年 12 月 6 日

- Global 3-D simulation of SNRs: M. Ono
Supernovae and Gamma-ray bursts 2014, RIKEN, Japan, Aug. 25-27, 2014
- 超新星爆発時における物質混合の可能性：
手塚啓, 橋本正章, 小野勝臣
第120回日物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日
- 質量降着率の時間変化を考慮した Type I X 線バーストシミュレーション：
松尾康秀, 町田真美, 野田常雄, 林田晃太郎, 橋本正章, 藤本正行
第120回日物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日
- 超新星爆発における元素合成に対する 3α 及び $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ 熱核反応率の影響：
菊池之宏, 橋本正章, 小野勝臣, 藤本信一郎
第120回日物理学会九州支部例会, 崇城大学池田キャンパス, 2014年12月6日
- Compact Star Cooling with Colour Superconducting Phase:
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
Skytree Meeting 2014, 千葉工業大学スカイツリータウンキャンパス, 2014年6月7日-8日
- カラー超伝導状態のクォーク物質の核を持つ高密度星の熱的進化：
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
日本天文学会 2014年秋季年会, 山形大学, 2014/09/11-13
- クォーク物質を含むコンパクト星の冷却：
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
第2回 DTA シンポジウム「コンパクト星の活動性と磁氣的性質」, 国立天文台, 2014年10月27日-29日
- Cooling of Compact Stars with Colour Superconducting Quark Phase:
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
Kyoto Meeting 2014, 京都大学, 2014年12月20日-21日
- カラー超伝導状態のクォーク物質を含む高密度星の熱的進化：
野田常雄, 橋本正章, 安武伸俊, 丸山敏毅, 巽敏隆, 藤本正行
日本天文学会 2015年春季年会, 大阪大学豊中キャンパス, 2015年3月18日-21日

- X線トランジェントの静穏期と中性子星の冷却：
林田晃太郎, 野田常雄, 松尾康秀, 橋本正章, 藤本正行
第120回日本物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日
- ビッグバン元素合成におけるCNO組成比：
一政遼太郎, 中村理央, 橋本正章, 荒井賢三
物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日
- collapsarモデルにおける磁気粘性アウトフローと*r*-process:
福田遼平, 小野勝臣, 橋本正章, 長瀧重博, 滝脇知也第44回天文・天体物理若
手夏の学校, 信州・戸倉上山田温泉 ホテル圓山荘, 2014年7月
- collapsarの降着円盤からの磁気粘性アウトフローにおける*r*-process:
福田遼平, 小野勝臣, 橋本正章, 長瀧重博, 滝脇知也
日本天文学会2014年秋季年会, 山形大学, 2014年9月
- collapsarの粘性アウトフローにおける*r*-process元素合成：
福田遼平, 小野勝臣, 橋本正章, 長瀧重博, 滝脇知也
第120回物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日
- collapsarの粘性アウトフローにおける*r*-process元素合成：
福田遼平, 小野勝臣, 橋本正章, 長瀧重博, 滝脇知也
日本天文学会2015年春季年会, 大阪大学, 2015年3月
- *R*-processにおけるneutron-induced fissionの影響：
植木雄哉, 橋本正章, 小野勝臣
第120回物理学会九州支部例会, 崇城大学, 2014年12月6日

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

- 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
- 基盤研究(C)
「X線バーストシミュレーションによる中性子星内部構造の解明」(H27-H29)
研究代表者：橋本正章

- 若手研究 (B)
「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
- 若手研究 (B)
「超新星爆発から超新星残骸進化の3次元流体数値実験, 重元素の起源とX線放射の解明」(H26-H28)
研究代表者: 小野勝臣

《 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

山岡均: 中村学園大学にて「地学」の講義を行った。

山岡均: 静岡県立大学で特別講義「激動する宇宙」を行った(7月17日)。

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。

学部4年生卒業研究

- 谷口 由貴 (指導教員: 橋本正章, 山岡均): BVRI 測光によるペガサス望遠鏡のフィルター性能評価
- 米田 知司 (指導教員: 橋本正章, 山岡均): MAXI アーカイブデータで見る X 線天体
- 中原 拓馬 (指導教員: 橋本正章, 山岡均): MAXI アーカイブデータで見る X 線天体

修士論文

- 林田 晃太郎 (指導教員: 橋本正章): X 線トランジェントの観測と中性子星の冷却過程
- 守田 佳永 (指導教員: 橋本正章, 町田真美): 銀河ガス円盤シミュレーションの観測的可視化

- 手塚 啓 (指導教員：橋本正章, 小野勝臣)：超新星爆発における物質混合の可能性
- 福田 遼平 (指導教員：橋本正章, 小野勝臣)：降着円盤からのアウトフローによる超新星爆発と r -process 元素合成
- 三舛 慧人 (指導教員：橋本正章, 山岡均)：Kepler 観測機の大規模測光データを用いた食連星のタイプ分類

博士論文

菊池 之宏 (指導教員：橋本正章, 主査：橋本正章, 副査：寺西 高, 町田正博, 小野勝臣)
「Effects of triple- α and $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ reaction rates on the massive star evolution and supernova nucleosynthesis」平成 26 年度 10 月 31 日

外国人留学生の受け入れ

Timesh Mistry (Hul University, England) (2014 年 7~9 月)

学外での学会活動

山岡均:日本天文学会理事, 教育委員会委員長 (2014 年 9 月 14 日公開講演会司会), ジュニアセッション実行委員会委員, 七夕講演会実行委員会委員

日本天文協議会運営委員

IAU Commission 6 President, 同 Division B DSC, OAO National Outreach Contact

2014 年連星系・変光星・低温度星研究会世話人 (2014 年 11 月 29-30 日:座長)

日本学術会議物理学委員会 IAU 分科会オブザーバー

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

受託研究・民間との共同研究

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

その他の活動と成果

- 宇宙物理学合同セミナー:九州地区九重共同研修所において, 大学院生主催の研究発表会を行った。2014年9月14日-9月16日
- 山岡均:九州大学国際宇宙天気科学・教育センター宙空災害予測研究部門に併任
- 山岡均:IAU アウトリーチ日本窓口として, 惑星系命名や国際光年2015に取りくむ。
- 2014年6月に福岡県青少年科学館(久留米市)で「宇宙を学べる大学紹介2014 in 九州」を実行委員長として運営した(山岡)。
- 2014年8月に広島市で開催された「宇宙を学べる大学合同説明会」で九州大学を紹介(山岡)。
- 八女市星野村「星のふるさと」にて星空案内人養成講座を開講(2014年9月～2015年3月), 主任講師(山岡)。
- 福岡市内にてサイエンスパブを3回(2014年6月, 11月, 15年3月)開催(実施委員:山岡)。松山市, 豊中市で開催されたアストロノミーパブにゲストとして参加した(山岡)。
- 九州工業大学附属城東高校で出前授業を行なった(2014年6月)(山岡)。
- その他テレビ(KBC, FBS)・ラジオ(KBC)・新聞(日本経済新聞)・地域の天文台等で天文学解説を行なった(山岡)。

実験核物理

研究室構成員

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

《 博士研究員 》

相良建至（名誉教授・共同研究員）

《 大学院 博士課程 》

山口祐幸 安田淳平

《 大学院 修士課程 》

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 大倉綾華 郭儷怡 小島拓郎 進藤佑輔 田中泰貴 田端
心海 新名孝斎 則松恭彰

《 学部 卒業研究生 》

秋山陽平 河野晟之 北村徳隆 栄大輔
多賀智哉 田中輝一 畑口俊也 福多貴大 山野裕貴 山本翔也 渡辺
健友

担当授業

基幹物理学 IA(野呂哲夫、寺西高)、基幹物理学 IB(野呂哲夫)、電磁気学(野呂哲夫)、
電磁気学 I(森田浩介)、自然科学概論(若狭智嗣)、原子核物理学(野呂哲夫)、
最先端物理学(寺西高)、物理学総合実験(若狭智嗣、寺西高、坂口聡志、藤田訓裕)、
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(寺西高)、

研究・教育目標と成果

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）

天体核反応 $^{12}\text{C}+^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O}+\gamma$ 全断面積の直接測定において、昨年度までに世界初となる $E_{\text{cm}} = 1.2 \text{ MeV}$ でのデータ取得に成功している状況で、原子核実験室のシャットダウンを H26 年末に控える中、 $E_{\text{cm}} = 1.0 \text{ MeV}$ における測定を目標とした。

ビーム電流量を増強する為にイオン源プリバンチャーを開発し、従来のおよそ 2 倍のビーム輸送効率を達成した。これによって 1.0 MeV での実験が現実的な時間で行えるようになった。また、生成 ^{16}O と ^{12}C バックグラウンドを分離する TOF カウンターの開発に取り組んだ。理化学研究所・超重元素研究グループで使用されていた物を改造し、物質量を 1/5 以下に減らすことで、低エネルギー領域での ^{12}C と ^{16}O の分離が可能となった。

これらの装置を用いて $E_{\text{cm}} = 1.2 \text{ MeV}$ における断面積測定を行った。 ^{12}C 起因のバックグラウンドは十分少ないことが確認できたが、反応生成以外の ^{16}O バックグラウンドが検出されていることが判明した。バックグラウンドを評価した結果 90% の信頼性で 97 keVbarn が Upper Limit であるという結果を得た。今後、詳細な解析を行い絶対値を導出する予定である。

超重元素の合成研究 (成清義博、田中泰貴、藤田訓裕、森田浩介)

理研において ^{208}Pb や ^{209}Bi のように非常に安定な標的を用いた融合反応 (冷たい融合反応) を用いて行われてきた超重元素の合成は、113 番元素までの超重元素を合成し得たが、原子番号の増加と共に急速に減少する融合確率のため 113 より大きな原子番号の超重元素を合成することは現在の技術では不可能とされている。さらに大きな原子番号の超重核を合成するために、アクチノイド標的を用い ^{48}Ca をビームとして用いる融合反応 (熱い融合反応) によって、112 番から 118 番までの超重元素の合成が報告されている。原子番号 118 を超える原子核の合成はいまだ報告されていない。理研で原子番号 113 番より大きな超重元素の合成をめざし、 ^{248}Cm ($Z = 96$) 標的に ^{48}Ca をビームとして照射し合成される 116 番元素 Lv (リバモリウム) の検出実験が進行中である。

また 118 番より大きな原子番号の超重元素合成の試みとして $Z = 22$ の ^{50}Ti をビームとして照射する実験を計画し、現在ビームを開発中である。

重イオン融合反応の研究 (成清義博、田中泰貴、藤田訓裕、森田浩介)

超重元素の合成には融合反応が用いられるが入射エネルギーは標的とビームのクーロン障壁近傍に設定されることが多い。反応系のクーロン障壁の分布を実験的に知るため 180 度方向の準弾性散乱断面積の励起関数 (エネルギー依存性) を用いることができる。軽い系でのクーロン障壁分布を測定するため $^{27}\text{Al} + ^{12}\text{C}$ 系を研究した。 ^{12}C ビームは九州大学のタンデム加速器から供給された。また $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ca}$ 系では理研で実験を行い、180 度方向に散乱される ^{48}Ca 様粒子を検出する代わりに、0 度方向での ^{208}Pb

様粒子を反跳分離器を用いて測定した。実験結果はチャンネル結合計算と比較され重イオン反応のクーロン障壁分布に関する新たな知見を得た。

最重要不安定核 ^{132}Sn の巨大共鳴測定による原子核スピン応答の統一的理解 (安田淳平、若狭智嗣)

本研究では、ガモフ・テラー (GT) 巨大共鳴を始めとする原子核の集団励起運動に関する研究を不安定核に拡張し、ユニバーサルな原子核スピン応答の描像を確立することを目指している。その為には本年度は、代表的な二重閉核である ^{132}Sn の巨大共鳴の測定を、大立体角の SAMURAI スペクトロメータと中性子検出器アレイ WINDS を整備することで遂行した。

膨大なデータを慎重かつ詳細に解析することにより、各検出器群がほぼ所定の性能を満たしている事が確認されると共に、中性子検出器 WINDS に関してはシュミレーションを用いた性能評価も併せて行った。得られたデータから、GT 巨大共鳴のピークならびにスピン双極子 (SD) 共鳴のピークが認められ、今後更なる解析と理論計算により不安定核の構造や残留相互作用に対する新たな知見を得る事を目指す。

($p, 2p$) 反応を用いた Ca の 1 粒子強度分布測定 (西尾康貴、坂口聡志、若狭智嗣、野呂哲夫)

近年の不安定核の研究によって中性子過剰核では魔法数が安定核とは異なっていることが見いだされ、その原因のひとつとしてテンソル力の働きが提唱されている。我々のグループでは、安定核である $^{40-48}\text{Ca}$ を標的とした ($\bar{p}, 2p$) 反応実験によって、この効果を検証する試みを行って来たが、理化学研究所では酸素の不安定核を対象とした逆運動学条件での ($\bar{p}, 2p$) 反応によってこの効果を調べる実験が始まった。そこで、実験精度が格段によい安定核を標的とした ($\bar{p}, 2p$) 反応によって、酸素核領域でのこの反応の分光学的手段としての信頼性を確かめることにした。

過去に Ca 標的に付随して取得した CaO 標的のデータを再解析し、 ^{16}O 標的についてのデータを得た。その結果、偏極分解能 (A_y) に顕著な j -依存性が見られて ls 分離エネルギーの抽出に有効であることが分った。また、DWIA 計算と比較して分光学的因子を求めたところ、最も信頼出来ると考えられている ($e, e'p$) 実験の結果と 10% 以内の精度で一致し、定量的にも妥当な結果を引き出せることを確認した。

スピン偏極陽子による不安定核の反応・構造研究 (坂口聡志)

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

を進めている。

1. 「陽子弾性散乱」

中性子過剰核の弾性散乱におけるスピン軌道結合の弱化に関する研究のため、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。本年度は大口径偏極陽子標的のマイクロ波共振器の改良を進め、偏極度を最大化するために十分な強度の振動磁場を生成することに成功し、標的の原理的な開発を完了した。

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—陽子共鳴散乱における初の偏極物理量測定となる炭素 9—陽子散乱実験のため、薄膜偏極陽子標的の開発を進めた。本年度は特に、電磁界シミュレーションソフトを用いたマイクロ波共振器の設計、及び高温・真空環境下における昇華を利用した薄膜結晶の生成法の確立を行った。

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、物性物理、及び医療・化学分析への応用の観点からも興味を持たれている。本年度は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解析手法を確立し、結果を投稿論文としてまとめた。

RI ビーム生成法の開発 (牛尾国久、林慶大、郭儷怡、則松恭彰、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。そのために、以下の実験を行った。

(1) RF・荷電交換イオン源の開発

将来の ${}^{11,14}\text{C}$, ${}^3\text{H}$ ビーム生成を念頭に置き、非放射性 CO_2 , H_2 ガスを RF・荷電交換イオン源へ注入し、 C^- , H^- イオンを引き出すテストを行った。テストで用いたイオン分析系の透過効率が約 15%であったが、それを将来 100%まで改善すれば、 C^- は 2 μA 程度、 H^- は 500 nA 程度の強度が得られることがわかった。

(2) RI 生成ガス標的管の開発

N_2 (90%) と O_2 (10%) の混合ガスに 10 MeV, 1 nA の陽子ビームを照射して、 ${}^{14}\text{N}(p,\alpha){}^{11}\text{C}$ 反応による ${}^{11}\text{C}$ の生成・測定テストを行った。照射中・照射後に標的管の外から ${}^{11}\text{C}$ の β^+ 崩壊に伴う対消滅 511 keV γ 線を NaI 検出器でモニターし ${}^{11}\text{C}$ の生成を確認することができた。また、照射後にガスを半導体検出器を設置した検出器容器に移し、ガス中での陽電子線を直接検出し、ガス中の ${}^{11}\text{C}$ 濃度を実測することができた。

加速器質量分析系の開発 (衛藤竜一、高尾秀明、小島拓郎、新名孝斎、野呂哲夫、坂口聡志)

箱崎キャンパスのタンデム加速器施設では、マルチアノードイオンチェンバーのテストを進めた。今年度の進展は、昨年度までに開発したテストチェンバーにGEM(ガス電子増幅膜)を挿入することによって信号の増幅を図ったことである。このことによって電極の分割数を増やすことが可能となり、ブラッグ曲線に関するより詳細な情報が得られることになった。また、GEM導入後の位置情報の読み取りのテストも行い、0.2-0.3 mm精度で2次元の位置読み出しが可能であることを確認した。

一方、伊都キャンパスで建設中のタンデム加速器施設でもAMS測定の準備を進めており、マルチカソードイオン源(NEC社MC-SNICS)の性能テスト(駆動テストやエミッタンス測定)を進めるとともに、AMSビームラインのイオン光学的計算などを行った。

箱崎タンデム加速器のシャットダウンと伊都キャンパスでのタンデム加速器施設の建設 (スタッフ全員)

理系のキャンパス移転に伴って、箱崎キャンパスのタンデム加速器施設(原子核実験室)はシャットダウンし、その機能を伊都キャンパスの加速器・ビーム応用科学センターに移すことになった。H27に予定されている理系移転に先行して原子核実験室の移転をH26に行うことになったため、箱崎のタンデム加速器では10月末で一般実験や教育での利用を停止、その後は天体核実験のみを続けたが、12月末には全ての利用を停止した。1月末に加速器の廃止届を規制庁に提出し、1943年のバンデグラフ加速器建設に始まった箱崎キャンパスでの加速器科学の活動は幕を閉じた。

一方、伊都キャンパスの加速器・ビーム応用科学センターでは、当研究グループが中心となって8MVタンデム加速器の設置とビームラインの整備を進めている。2014年4月にタンデム加速器本体とビームラインのためのタンデム加速器・実験棟の建設が完了した。4月から9月までの間は、MC-SNICSイオン源の立ち上げ、入射ビームラインの整備、加速器本体のターミナル電圧昇圧試験、加速後の直線ビームラインの整備を行った。その後、9月に施設検査を受け、10月から陽子14 MeV 1 nAのビームが使用可能になっている。

1月からは原子核実験室の移設作業が本格化した。加速器施設としては、ビームラインを移設し、伊都のタンデム加速器のビームラインとして活用する。“移設”であり、電磁石や散乱槽等の大型機器は移設して利用するが、真空排気系、真空ダクト、ビーム診断機器などの大半は新規物品で置き換えられる。

発表論文

《原著論文》

Synthesis and detection of a seaborgium carbonyl complex:

Even, J., Yakushev, A., Duellmann, Ch E., Haba, H., Asai, M., Sato, T. K., Brand, H., Di Nitto, A., Eichler, R., Fan, F. L., Hartmann, W., Huang, M., Jaeger, E., Kaji, D., Kanaya, J., Kaneya, Y., Khuyagbaatar, J., Kindler, B., Kratz, J. V., Krier, J., Kudou, Y., Kurz, N., Lommel, B., Miyashita, S., Morimoto, K., Morita, K., Murakami, M., Nagame, Y., Nitsche, H., Ooe, K., Qin, Z., Schaedel, M., Steiner, J., Sumita, T., Takeyama, M., Tanaka, K., Toyoshima, A., Tsukada, K., Tuerler, A., Usoltsev, I., Wakabayashi, Y., Wang, Y., Wiehl, N., Yamaki, S.

Science, **345** (2014) 1491-1493.

Production of ^{262}Db in the $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F}, 5n)^{262}\text{Db}$ reaction and decay properties of ^{262}Db and ^{258}Lr :

Haba, H., Huang, M., Kaji, D., Kanaya, J., Kudou, Y., Morimoto, K., Morita, K., Murakami, M., Ozeki, K., Sakai, R.

Phys. Rev. C **89** (2014) 024618.

Complete set of deuteron analyzing powers for dp elastic scattering at 250–294 MeV/nucleon and the three-nucleon force:

K. Sekiguchi, Y. Wada, J. Miyazaki, H. Witala, M. Dozono, U. Gebauer, J. Golak, H. Kamada, S. Kawase, Y. Kubota, C.S. Lee, Y. Maeda, T. Mashiko, K. Miki, A. Nogga, H. Okamura, T. Saito, H. Sakai, S. Sakaguchi, N. Sakamoto, M. Sasano, Y. Shimizu, R. Skibinski, H. Suzuki, T. Taguchi, K. Takahashi, T.L. Tang, T. Uesaka, T. Wakasa, and K. Yako

Phys. Rev. C **89**, 064007 (2014).

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).

Kinetic parameters of photo-excited triplet state of pentacene determined by dynamic nuclear polarization:

T. Kawahara, S. Sakaguchi, K. Tateishi, T. L. Tang, and T. Uesaka
J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 044005 (2015).

Examination of the role of the $^{14}\text{O}(\alpha,p)^{17}\text{F}$ reaction rate in type-I x-ray bursts:

J. Hu, J.J. He, A. Parikh, S.W. Xu, H. Yamaguchi, D. Kahl, P. Ma, J. Su, H.W. Wang, T. Nakao, Y. Wakabayashi, T. Teranishi, K.I. Hahn, J.Y. Moon, H.S. Jung, T. Hashimoto, A.A. Chen, D. Irvine, C.S. Lee, S. Kubono,
Phys. Rev. C **90**, 025803 (2014).

Isobaric analog resonances of ^{31}Mg and the border of the island of inversion:

N.Imai, M.Mukai, J.Cederkall, H.Aghai, P.Golubev, H.T.Johansson, D.Kahl, J.Kurcewics, T.Teranishi, Y.X.Watanabe,
Phys. Rev. C **90**, 011302 (2014).

Elastic scattering of $^{25}\text{Al} + p$ to explore the resonance structure in ^{26}Si :

H.S. Jung, C.S. Lee, Y.K. Kwon, J.Y. Moon, J.H. Lee, C.C. Yun, M.J. Kim, T. Hashimoto, H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Kubono, Y. Wakabayashi, Y. Togano, S. Choi, Y.H. Kim, Y.K. Kim, J.S. Park, E.J. Kim, C.-B. Moon, T. Teranishi, N. Iwasa, T. Yamada, S. Kato, S. Cherubini, S. Hayakawa, G.G. Rapisarda, Phys. Rev. C **90**, 035805 (2014).

《Proceedings》

Measurement of the $^2\text{H}(p,n)$ Breakup Reaction at 170 MeV and the Three-Nucleon Force Effects

Y. Maeda, T. Saito, H. Miyasako, T. Uesaka, S. Ota, S. Kawase, T. Kikuchi, H. Tokieda, T. Kawabata, K. Yako, T. Wakasa, S. Sakaguchi, R. Chen, H. Sakaguchi, T. Shima, T. Suzuki, and A. Tamii

Few-Body Systems **55**, 729 (2014).

Complete Set of Deuteron Analyzing Powers for dp Elastic Scattering at Intermediate Energies and Three Nucleon Forces

K. Sekiguchi, H. Okamura, Y. Wada, J. Miyazaki, T. Taguchi, U. Gebauer, M. Dozono, S. Kawase, Y. Kubota, C.S. Lee, Y. Maeda, T. Mashiko, K. Miki, S. Sakaguchi, H. Sakai, N. Sakamoto, M. Sasano, Y. Shimizu, K. Takahashi, R. Tang, T. Uesaka, T. Wakasa, and K. Yako

Few-Body Systems **55**, 717 (2014).

A windowless gas target for low-energy ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ experiment: Improvement to reduce ${}^{16}\text{O}$ backgrounds:

K. Sagara, K. Fujita, H. Yamaguchi, N. Tao, T. Ban, K. Hamamoto, Y. Narikiyo, D. Kodama, T. Mitsuzumi

J. Radioanal. Nucl. Chem. published online (2015.3.) 5 pages.

《その他の論文》

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

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

CNS-REP-92, p.13 (2014).

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

Research of Superheavy Elements at RIKEN – Present Status and Perspective – :
K. Morita
2nd Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), June 4, 2014,
Tokyo, Japan (Invited).

Spin-asymmetry measurement in proton resonant scattering from unstable nuclei:
S. Sakaguchi
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), Darmstadt, Germany, 30 June - 4
July, 2014.

Equipment to measure ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ total cross section at $E_{cm}=1.0$ MeV at KUTL:
H. Yamaguchi, K. Sagara, K. Fujita, Y. Narikiyo, K. Hamamoto, T. Ban, N. Tao and
T. Teranishi
13th International Conference on Nuclei in the Cosmos, Hungary, 2014.7.07-11.

Measurement of ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ total cross section down to $E_{cm} = 1.0$ MeV at KUTL:
K. Sagara, H. Yamaguchi, K. Fujita, Y. Narikiyo, K. Hamamoto, N. Tao, and T. Ban
13th International Conference on Nuclei in the Cosmos, Hungary, 2014.7.07-11.

Research on Superheavy Element at RIKEN:
K. Morita
Zakopane Conference on Nuclear Physics, Sep. 3, 2014, Zakopane, Poland (Invited).

Development of neutron polarization measurement system for studying NN interaction
in nuclear medium:
J. Yasuda, T. Wakasa *et al.*
The 21st International Symposium on Spin Physics (SPIN2014), October 2014, Beijing,
China

Research of Superheavy Element at RIKEN:
K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, H. Haba, K. Ozeki, Y. Kudou, Y. Wakabayashi,
A. Yoneda, A. Yoshida, T. Ohnishi, Y. Kasamatsu, H. Hasebe, M.-H. Huang, J. Kanaya,

R. Kanungo, K. Katori, T. Sumita, K. Tanaka, T. Yamaguchi, T. Akiyama, R. Sakai, S. Yamaki, H. Kudo, S. Goto, M. Murakami, Y. Kariya, H.-S. Xu, T. H. Huang, Z. Gan, L. Ma, E. Ideguchi, T. Suda, H. Kikunaga, N. Sato, H. Koura, S. Mitsuoka, M. Asai, F. Tokanai, T. Moritani, K. Mayama, M. Takeyama, S. Namai, A. Mashiko, A. Ozawa, K. Sueki, Y.-L. Zhao, H. Geissel, S. Hofmann, Y. Maurer, K. Fujita, Y. Narikiyo, T. Tanaka, and S. Yamamoto
Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, October 2014, Hawaii, U.S.A

Development of neutron polarization measurement system for studying the medium effect on NN interaction:
J. Yasuda, T. Wakasa *et al.*
Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, October 2014, Hawaii, U.S.A

Direct measurement of ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ reaction cross section near stellar energies:
K. Sagara
Fourth Joint Meeting of Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, 2014. 10.07-11.

Acceleration-Deceleration system and Pre-buncher system for high intensity ${}^{12}\text{C}$ pulsed beam:
Y. Narikiyo, K. Sagara, K. Fujita, H. Yamaguchi, K. Hamamoto, T. Ban, N. Tao, L. Kaku
Fourth Joint Meeting of Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, 2014.10.07-11.

Development of TOF detector with ultra-thin Formvar films for astrophysics experiment:
K. Hamamoto, K. Sagara, K. Fujita, H. Yamaguchi, Y. Narikiyo, N. Tao, T. Ban
Fourth Joint Meeting of Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, 2014.10.07-11.

Solid polarized proton target for radioactive ion beam experiments:
S. Sakaguchi

Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, USA, October 7-11, 2014.

Studies of unstable nuclei with spin-polarized proton target:

S. Sakaguchi

The 21st International Symposium on Spin Physics (SPIN2014), Beijing, China, October 20-24, 2014.

Spectroscopy of unbound states in unstable nuclei using spin-polarized proton resonance scattering:

T. Teranishi

The SKKU International Symposium on Recent Progress in Physics for the 60th Anniversary of Physics Department, Nov. 5-7, 2014, SungKyunKwan University, Suwon, Korea.

《 国内での講演 》

Spin-asymmetry measurement in proton resonant scattering from unstable nuclei:

S. Sakaguchi

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), Darmstadt, Germany, 30 June - 4 July, 2014.

九大での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応全断面積測定 の現状:

相良建至

「宇宙核物理実験の現状と将来」研究会 RCNP 2014.8.7.

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

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

CNS Summer School 2014, August 2014, Wako, Japan

A windowless gas target for low-energy ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ experiment: improvement to reduce ${}^{16}\text{O}$ backgrounds:

K. Sagara, K. Fujita, H. Yamaguchi, N. Tao, T. Ban, K. Hamamoto, Y. Narikiyo, D. Kodama, T. Mitsuzumi

27th World Conference of the International Nuclear Target Development Society, Tokyo, 2014.9/01-05.

タンデム加速器による RI 生成テスト:

牛尾国久, 寺西高, 林慶大, 郭儷怡, 則松恭彰, 秋山陽平, 榮大輔, 福多貴大
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

タンデム加速器のターミナル電圧制御系の開発:

郭儷怡, 寺西高, 牛尾国久, 林慶大, 則松恭彰, 福多貴大, 榮大輔, 秋山陽平
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

タンデム加速器における RF 荷電交換型イオン源の開発:

則松恭彰, 寺西高, 牛尾国久, 林慶大, 郭儷怡, 榮大輔, 福多貴大, 秋山陽平
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

$E_{c.m.} = 1.5\text{--}1.2 \text{ MeV}$ での ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$ 反応断面積測定と ${}^{16}\text{O}$ バックグラウンド除去:

伴忠彦, 相良建至, 藤田訓裕, 山口祐幸, 田尾成章, 成清義博, 濱元健一
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

$E_{(cm)} = 1.0 \text{ MeV}$ での ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$ 断面積測定のための RMS 改造と TOF 測定:

田尾成章, 相良建至, 藤田訓裕, 山口祐幸, 成清義博, 濱元健一, 伴忠彦
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

九大新加速器施設における AMS 用イオン源のビームテスト:

新名孝斎, 野呂哲夫, 寺西高, 坂口聡志, 衛藤竜一, 高尾秀明, 林慶大, 牛尾国久, 小島拓郎, 郭儷怡, 則松恭彰

第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

加速器質量分析のためのマルチアノードイオンチェンバーの開発:

高尾秀明, 野呂哲夫, 坂口聡志, 衛藤竜一, 小島拓郎, 新名孝斎, 北村徳隆
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

$ECM=1.0 \text{ MeV}$ における ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応全断面積測定～九大タンデムでの最終実験～:

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

日本物理学会 第70回年次大会 2015.3.21-24, 早稲田大学.

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)

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

安田淳平、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

他大学での研究と教育

大阪大学理学部物理学科セミナー 2014 年 7 月 25 日 豊中市「新元素の探索-現代の錬金術-」 (森田浩介)

学部 4 年生卒業研究

- (1) 秋山陽平： (指導教員、寺西高)
 $^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$ 反応における中性子の測定
- (2) 河野晟之： (指導教員、野呂哲夫)
伊都キャンパス タンデム加速器用 MC-SNICS イオン源のテスト
- (3) 北村徳隆： (指導教員、若狭智嗣)
中性子飛行時間測定法による (p, n) 反応を用いたアイソバリックアナログ状態及び Gamow-Teller 共鳴の研究
- (4) 栄大輔： (指導教員、寺西高)
入射分析電磁石の磁場制御

- (5) 田中輝一：（指導教員、森田浩介）
 ……
- (6) 畑口俊也：（指導教員、野呂哲夫）
 伊都キャンパス加速器施設 AMS ビームラインのビームトランスポート
- (7) 福多貴大：（指導教員、寺西高）
 厚い Al 標的への陽子照射実験: γ 線の測定
- (8) 山野裕貴：（指導教員、森田浩介）
 ……
- (9) 山本翔也：（指導教員、森田浩介）
 ……
- (9) 渡辺健友：（指導教員、森田浩介）
 ……

修士論文

- (1) 牛尾国久：（指導教員、寺西高）
 タンデム加速器による不安定核ビーム加速のための RI 生成ガス標的の開発
- (2) 衛藤竜一：（指導教員、野呂哲夫）
 伊都キャンパス タンデム加速器の加速陽子エネルギーの絶対測定
- (3) 田尾成章：（指導教員、森田浩介）
 $E_{\text{cm}} = 1.0 \text{ MeV}$ での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応測定のための ${}^{12}\text{C}$ ビーム増強と反跳質量分析器改造
- (4) 高尾秀明：（指導教員、野呂哲夫）
 AMS 用マルチアノードイオンチェンバーへの GEM の導入と粒子識別機能の開発
- (5) 成清義博：（指導教員、森田浩介）
 超重元素領域における重イオン融合反応の障壁分布の研究
- (6) 西尾康貴：（指導教員、野呂哲夫）
 $(\bar{p}, 2p)$ 反応による ${}^{16}\text{O}$ の一粒子強度の決定
- (7) 濱元健一：（指導教員、森田浩介）
 $E_{\text{cm}} = 1.0 \text{ MeV}$ 以下での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応測定のための飛行時間測定器の開発
- (8) 林慶太：（指導教員、寺西高）
 タンデム加速器のための RF-荷電交換型イオン源の開発
- (9) 伴忠彦：（指導教員、森田浩介）
 $E_{\text{cm}} = 1.5 \sim 1.0 \text{ MeV}$ での ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$ 反応断面積測定

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
同 サイクロトロン施設高度化・技術諮問委員会委員
- 森田浩介：韓国加速器計画 RISP プログラム助言委員
5th International Conference on the Chemistry and Physics of Transactinide Elements, Co-chairman of the Local Organizing Committee, and a member of International Advisory Committee
- 若狭智嗣：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
- 相良建至：International Advisory Committee of Int. Conf. on Few-Body Problems in Physics

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」2015年3月27日(寺西高)
- 体験入学・実験「身の回りの放射能体験」2015年3月27日(藤田訓裕)
- サイエンスカフェ@ふくおか「スプーン一杯、10億トン！極限物質“原子核”とは～巨大加速器で迫る量子力学の世界～」2014年1月30日(坂口聡志)
- 日本耳鼻咽喉科学会学術講演会 2014年5月16日 福岡市 「113番元素発見への道のり」(森田浩介)
- 福岡県高校理科部会夏季研修会講演会 2014年8月20日 福岡市「113番新元素の探索」(森田浩介)
- 科学を語る会講演会 2014年11月8日 福岡市 「新元素の探索ー現代の錬金術ー」(森田浩介)
- 理化学研究所、研究員幹事会総会講演会 2015年3月6日 和光市 「113番新元素の探索」(森田浩介)

素粒子実験研究室

研究室構成員

川越 清以 教授

東城 順治 准教授 吉岡 瑞樹 (RCAPP) 准教授

織田 勸 助教 音野 瑛俊 (RCAPP) 助教 末原 大幹 助教

《 博士研究員 》

須藤 裕司 (特任助教) 山口 博史 (学術研究員)

《 大学院 博士課程 》

上野 翔 大石 航 松本 悟 宮崎 陽平

《 大学院 修士課程 》

古浦 新司 調 翔平 田中 元気 富田 龍彦

中居 勇樹 角 直幸 住田 寛樹 高田 秀佐

田中 聡一 長澤 翼 長島 寛征 平井 寛人

藤山 翔乃 Darnajou Mathieu

《 学部 卒業研究生 》

草内 悠也 野口 恭平 真玉 将豊 森下 彩

《 研究生 》

Zhang Jiawei

担当授業

- 川越

箱崎地区：物理学ゼミナール (後期)、素粒子実験 (後期)

伊都地区：基幹物理学 IA(前期)、物理学入門 II(後期)

- 東城

箱崎地区：物理学ゼミナール (後期)、素粒子物理学 (後期)

- 吉岡

箱崎地区：数値計算法 (後期)、原子核・高エネルギー実験学 (後期)

- 織田
箱崎地区：物理学総合実験 (通年)
- 末原
伊都地区：自然科学総合実験 (前期)
箱崎地区：基礎物理実験学・同実験 (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、古浦 新司、調 翔平、藤山 翔乃、Darnajou Mathieu)

スイス・ジュネーブ郊外にある欧州合同原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) において、国際共同研究 ATLAS 実験を推進している。LHC 加速器では、2013 年 1 月から運転を一旦停止し、重心系エネルギーを設計値に近い 13 TeV へ増強するための加速器改修が順調に進んだ。来年度初頭から再稼働する予定である。今年度は、シリコン半導体飛跡検出器の運転・維持・改良、ヒッグス粒子の性質の研究、超対称性粒子の探索、検出器アップグレード計画の遂行を行った。

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

ビーム衝突点から発生する多数の荷電粒子の検出において、ATLAS 検出器最内層に配置した内部飛跡検出器が重要な役割を果たす。九州大学は、内部飛跡検出器の 1 つであるシリコン半導体飛跡検出器 (SemiConductor Tracker : SCT) の運転に精力的に取り組んできた。SCT 検出器の運転に参加する国内研究機関の中で、九州大学は唯一スタッフが CERN に常駐する大学であるため、国内研究機関が連携して研究を進める上での中心となっている。2013 年までは、東城が Calibration Coordinator を務め、SCT 検出器の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。SCT 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。LHC 加速器は運転再開後に重心系エネルギーを 13 TeV に増強し、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。織田は、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た。策定した長期シャットダウン中のシステム改良方針に基づいて、2014 年は新たな読み出し回路を導入し、宇宙線を用いた性能評価を行った。音野は、Data Quality Coordinator を務め、九州大学の修士 2 年の古浦と共に検出効

率を測定し、読み出し回路の問題点を明らかにした。さらに、2015 年から再開するビーム衝突に向けて、継続的な試運転を行った。

- 検出器の状態の情報を保持するデータベースの管理 (織田 勸)

ATLAS 実験は、その汎用検出器を構成する各検出器の時間的に変化し得る状態の情報を保持するためのデータベースを持っている。そのデータベースを Conditions Database と呼ぶ。Conditions Database は、データの取得・処理やシミュレーションに用いる。Conditions Database での各検出器の情報の更新や管理は、各検出器の担当者に任されている。Conditions Database 全体の調整・管理役として、ATLAS 実験のデータ準備部門 (Data Preparation) に (Deputy) Conditions Coordinator という役職が置かれている。織田は、2015 年の 1 年間は Deputy Conditions Coordinator を、2016 年の 1 年間は Conditions Coordinator を務め、円滑なデータ準備に貢献する予定である。今年度は、取得した宇宙線データの処理や重心系エネルギー $\sqrt{s} = 13$ TeV のシミュレーションの作成を通じて、調整・管理に必要な知識や経験の習得に努めた。

- ヒッグス粒子の性質の研究 (織田 勸)

2012 年までの重心系エネルギーが $\sqrt{s} = 7$ TeV と 8 TeV である LHC RUN1 のデータを用いて、ヒッグス粒子 (H) の性質の研究を昨年度に引き続き行い、結果を論文として出版した。我々のグループが注力してきたのは、ヒッグス粒子が Z 粒子対に崩壊し、各 Z 粒子がレプトン (l 、電子またはミューオン) 対に崩壊する、4レプトンチャンネル ($H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$) である。このチャンネルには背景事象が少なく、ヒッグス粒子を完全に再構成できるという利点がある。ヒッグス粒子が 2 光子に崩壊するチャンネル ($H \rightarrow 2\gamma$) と合わせて、ヒッグス粒子の質量 (m_H) の測定の最終結果を論文にまとめた。4 l チャンネルでは、 $m_H = 124.51 \pm 0.52$ (統計誤差) ± 0.06 (系統誤差) GeV という極めて小さい系統誤差で質量を求めることができた。2 γ チャンネルと統合した結果は、 $m_H = 125.36 \pm 0.37$ (統計誤差) ± 0.18 (系統誤差) GeV となった。次に、4 l チャンネルでの生成断面積と微分断面積を求めたが、素粒子の標準模型 (Standard Model, SM) に基づく計算結果と比較して、大きなずれは観測されなかった。さらに、4 l チャンネルで、ヒッグス粒子と他の粒子との結合を測定した。測定した生成断面積を SM における生成断面積で規格化した信号強度 (μ) は $\mu = 1.44_{-0.31}^{+0.34}$ (統計誤差) ± 0.21 (系統誤差) であり、SM の場合の $\mu = 1$ と概ね一致した。トップクォークを介したグルーオンによる生成と、ゲージ粒子を介したクォークによる生成それぞれで信号強度を求めた

が、SM からの有意なずれは観測されなかった。この質量が約 125 GeV であるヒッグス粒子のスピンと CP の測定結果、及び、質量が 1000 GeV 以下の 2 個目のヒッグス粒子の探索結果は、2015 年の半ばに論文として投稿する予定である。また、2015 年度からの $\sqrt{s} = 13$ から 14 TeV での LHC RUN2 に向けて、解析用データを生成する枠組み (Derivation Framework) の開発、試運転も行った。

- **超対称性粒子の探索 (音野 瑛俊)**

LHC RUN1 でのヒッグス粒子発見によって、素粒子標準模型において未発見粒子は無くなった。しかし、素粒子標準模型には、天体観測から存在が示唆されているダークマターの候補となる粒子が無い。ダークマターを記述できる有力な理論は、標準模型の素粒子にスピンが 1/2 異なるパートナーを導入した超対称性理論である。ただし、ヒッグス粒子の質量が 125 GeV の場合、最も単純な超対称性理論における超対称性スカラー粒子である squark の質量は、数 TeV から 100 PeV 程度の範囲にあると想定され、LHC での直接発見は難しい。一方で、超対称性フェルミオン粒子は、LHC が到達できるエネルギーの範囲内にあることが期待できる。しかし、最も生成断面積が大きいとされる gluino が生成しても、squark を介してのみ崩壊するため、squark の質量が 1 PeV を超えると gluino は $O(1)$ mm より長い飛程を持つ。従来の gluino 探索はビーム衝突点での崩壊を仮定しているため、長い飛程を持つ長寿命 gluino に特化した探索を進めた。残念ながら新粒子の発見はできなかったが、1 mm ~ 1 m の飛程を持つ長寿命 gluino の存在に最も厳しい制限を付けた。この結果は 2015 年 3 月の Moriond EW 会議で公表し、音野が主要著者として投稿論文 (arXiv:1504.05162 [hep-ex]) にまとめた。

- **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ービング・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。今年度は、昨年度に策定した仕様に基づいて、システムの導入を進め、その立ち上げを行った。今後、ATLAS 実験の検出器アップグレード計画だけでなく、国際リニアコライダー計画で推進するシリコン・タングステン電磁カロリメータの開発を含め、素粒子実験研究室が進めるシリコン検出器の開発において、重要な役割を果たすと期待できる。

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

ATLAS 実験は 2024 年頃に、以後の高ルミノシティ環境下でのデータ取得のために、その内部飛跡検出器を総入れ替えする予定である。新たな内部飛跡検出器は全てシリコン半導体検出器で構成され、ITk と呼ばれる。この ITk 検出器に限られた資源の中で最適化するために、シミュレーションを用いた性能評価を行う必要がある。ATLAS 実験のシミュレーション、データ処理、データ解析に用いる統合環境ソフトウェアは Athena と呼ばれる。ITk のシミュレーションは、LHC RUN1 に用いられた Athena リリース 17 では稼働していたが、RUN2 に用いるリリース 20 では稼働していなかった。織田はこれまでの Athena の開発・管理の経験を生かして、9 月から、リリース 20 での ITk のシミュレーションの整備を主導し、3 月までに稼働させることができた。リリース 17 とリリース 20 間の詳細な結果の比較は進行中だが、リリース 20 を用いた ITk のシミュレーションは既に一般ユーザーの使用に供されている。このリリース 20 でのシミュレーションによる性能評価に基づいて、2015 年末までに ITk の仕様が策定される予定である。

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、上野 翔、宮崎 陽平、富田 龍彦、住田 寛樹、高田 秀佐、平井 寛人)

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。本年度はこれまでのシリコンカロリメータの基礎特性研究に加え、カロリメータのデータ収集系の開発をフランス・ドイツ等と共同で開始した。シミュレーションを用いた物理解析、測定器の最適化も引き続き並行して行っている。

- **電磁カロリメータ用シリコンパッド検出器の開発研究** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、宮崎 陽平、富田 龍彦、高田 秀佐)

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用いて、ガードリングによる応答の違いを検証し、従来のガードリング構造で確認されたリング状のクロストークが、ガードリングなし、または分割構造のシリコンパッドでは発生しないことを確認した。メッシュ状の電極を持つパッドを用いてピクセル内へのレーザーの入射も行い、ピクセル間クロストークが十分小さいこと等を確認した。また、リーク電流、静電容量特性の自動計測装置に改良を加え、中央部と周辺部の電流を独立に計測できるようにした。従来理論予想とずれていたリーク電流の温度特性が、中央部では予想と合致し、理論とのずれは周辺部からの電流に起因する可能性が高いことがわかった。

- **ハイブリッド式電磁カロリメータの研究とカロリメータの最適化** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、上野 翔、住田 寛樹)
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。本年度はより一般的にカロリメータの性能のレイヤ数やセルサイズに対する依存性を調べるため、主にシリコンパッドの構造を用いて性能比較を行った。また、得られる性能は再構成ソフトウェアのパラメータにも依存することがわかり、各種パラメータの最適化を合わせて行い、従来の結果が部分的にソフトウェアの不適合によるものであることを示した。
- **シリコン電磁カロリメータ読み出しシステムの試験およびカロリメータ統合読み出しシステムの開発** (川越 清以、吉岡 瑞樹、末原 大幹、須藤 裕司、平

井 寛人)

ILCの電磁カロリメータは細分化されているため、極めて多数のチャンネルを効率よく読み出す必要があり、読み出しシステムの開発も大きな課題である。ILDのシリコン電磁カロリメータでは、シリコンセンサーの各セルにASICを含む回路基板を直接接合させ、デジタル変換を行って外部へデータを転送する。ASICやそれを含む読み出し回路には、増幅部のノイズ、物理的な平面度、スペース、消費電力などに高い要求が課される。この読み出しシステムは、これまで主にフランスで開発が進められてきたが、本年度より九州大学も共同開発研究に本格的に参画した。読み出しシステムのプロトタイプをフランスから輸入し、プロトタイプの性能評価を進めるとともに、ハイブリッド方式も見据えてシンチレータ方式との協調動作のためのソフトウェアの開発および電子回路の調整を、シンチレータ方式の読み出しシステムを開発しているドイツのDESY研究所と共同で行った。11月にはスイスのCERN研究所にて、加速器のビームを用いた協調動作の試験を行い、タイミング同期、共通データファイルのオンライン自動生成機構などを開発し、実際にシリコンとシンチレータの両方に同一粒子からの飛跡を確認できた。

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

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実験におけるヒッグス測定は、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向上が期待できる。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て統計数は格段に多いが、バックグラウンドの分離およびヒッグスの崩壊に対する依存性を抑えることが難しいため、格段に困難な解析テーマである。本年度は、昨年度の解析をさらに進め、標準模型に近いヒッグスに対す

る全断面積測定精度を十分に保ちつつ、ヒッグスの崩壊に対する依存性を押さえるため、終状態の特徴によりいくつかのカテゴリに場合分けする解析を導入した。この方式により、ヒッグスの崩壊モードが標準模型の予想からずれた場合でも、あるカテゴリの信号有意度が下がっても他のカテゴリの信号有意度が上がるため、全断面積の合計に対する崩壊モードの依存性をかなり押さえることができる。本研究により、250 GeV の ILC において、レプトンモードよりややよい統計精度かつ統計精度に比べ十分に小さいヒッグス崩壊モード依存性を得ることができた。今後は 350 GeV, 500 GeV についても調べ、ILC での測定性能の全貌を明らかにするとともに、ILC のランニングシナリオの策定にも有用な情報とする。

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

トップ粒子は標準模型で最も重い粒子であり、そのヒッグスとの湯川結合の結合定数は多くの新物理に感度のある重要な測定テーマである。ILC では、500 GeV 以上のエネルギーでトップ湯川結合を直接測定することができる ttH プロセスを解析することができる。ttH プロセスは終状態に多くのハドロンジェットやレプトンを含む複雑なモードであり、丹念な解析が必要となる。本研究室は、この 500 GeV の ILC における ttH プロセスの解析を担当している。本年度は、昨年度に解析を行った tt が 6 ジェットに崩壊するモードに加え、tt が 4 ジェットと 1 レプトン、2 ジェットと 2 レプトンに崩壊するモードも解析し、ttH の主な崩壊モードを網羅した解析を行った。また、レプトン識別ソフトウェアの改善や、解析方法の最適化による改善も行うとともに、フレーバー識別やジェットエネルギーの較正の誤差に起因する系統誤差の評価も行った。さらに、500 GeV よりわずかに大きな重心系エネルギーで、測定性能が大きく改善されることも示した。

- **ミューオン・電子転換過程の探索** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、大石 航、中居 勇樹、田中 惣一、長島 寛征)

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC のハドロン実験施設において、ミューオンが電子に転換する過程を探索するため、COMET 実験 (J-PARC E21 実験) を国際共同研究で進めている。世界最高強度のパルスミューオンビームを生成するための実験施設は、昨年度から建設を開始し、本年度は建屋が完成した。来年度以降も引き続き、建屋内での専用ビームラインの建設を予定している。我々の研究グループは、ミューオン-電子転換過程を探索するための検出器の開発を行っている。COMET 実験の第一段階 (Phase-I) では、 $\mathcal{O}(10^{-15})$ の発見感度 (または上限値設定) での実験を計画してお

り、円筒型ドリフトチェンバーとトリガー検出器を組み合わせた検出器システムが主要な役割を果たす。さらに、Phase-Iで初めて生成するミューオンビームの性質を詳細に調べることが不可欠である。Phase-Iにおけるミューオンビームの研究は、 $\mathcal{O}(10^{-17})$ の発見感度(または上限値設定)を目指したCOMET実験の第二段階(Phase-II)へ進むためにも重要である。Phase-Iにおけるミューオンビームの研究とPhase-IIにおける物理測定では、ストローチューブ飛跡検出器と電磁カロリメータを用いる計画である。

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

Phase-Iの物理測定に用いるトリガー検出器の開発を進めている。電子をトリガーするため、UVアクリルをチェレンコフ輻射体とし、光検出器であるMulti-Pixel Photon Counter (MPPC)による読み出しを検討してきた。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。昨年度から開発を進めてきたプロトタイプ検出器の性能を評価するため、東北大学電子光物理学研究センターの電子ビームを用いたテスト実験を行った。テスト実験の結果、プロトタイプ検出器が要求性能を十分に満たすことを確認した。一方、COMET実験全体のデザインを進めていく過程で、新たに取り組む課題が生まれてきた。最もインパクトが大きな課題は、COMET実験施設で予想される中性子量が更新され、MPPCの中性子耐性が問題となることである。そのため、九州大学タンデム加速器実験施設において中性子を発生させ、MPPCの中性子耐性試験を行った。その結果、MPPCは中性子耐性の要求を満たさず、使用に不適合と判断した。対応策として、光検出器にファインメッシュ型光電子増倍管を使用するための検討を開始した。光検出器の変更に伴って、ライトガイドも含めたプロトタイプ検出器・前置増幅回路の開発を進めた。来年度は、その開発を完了させ、ビーム試験による性能評価、及び、検出器各構成要素の中性子耐性試験を行う予定である。

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

Phase-Iのミューオンビームの研究、及び、Phase-IIの物理測定に用いる、電磁カロリメータの開発を進めている。電磁カロリメータは、高計数率環境下で信号電子のエネルギーを測定し、事象トリガーを生成するために重要な役割を果たす。磁場がある真空中で動作させ、高エネルギー分解能と速い時間応答を必要とするため、GSO結晶またはLYSO結晶をアバランシェ・フォトダイオード(APD)で読み出すことを検討してきた。採用候補のGSO結晶と

LYSO 結晶の性能比較を行うため、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を構築し、高品質の電子ビームが利用できる東北大学電子光物理学研究センターでテスト実験(課題番号 2768)を昨年度末に行った。テスト実験のデータ解析を進め、その結果、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と 1 cm 以下の位置分解能を得た。両結晶の性能比較において、特に重視するエネルギー分解能で LYSO 結晶が GSO 結晶より優れており、実機製作のコストも勘案し、COMET 実験として LYSO 結晶を選定した。実機開発に向けた次のステップとして、電磁カロリメータ全体の詳細設計を開始した。本年度は主に、検出器のモジュール構造の設計、APD の有感面積の再検討、APD 用測温抵抗の選定、校正モニタリング用 LED の選定、検出器構成要素の放射線損傷試験を進めた。来年度内には、最終プロトタイプ検出器を用いたビーム試験を行い、実機建設に向けた開発要素をすべて洗い出す予定である。

- **ストローチューブ飛跡検出器の開発** (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、山口 博史、田中 惣一)

ストローチューブ飛跡検出器は 5 層あり、各層は x 方向 2 面と y 方向 2 面の 4 面で構成する。磁場がある真空中で動作させ、荷電粒子の各層での位置情報を用いて、高運動量分解能で飛跡を再構成する。CERN NA62 実験で実機として製作実績がある直径 9.8 mm のストローチューブを改良し、COMET 実験用に低物質量化したものを Phase-1 で用いる。Phase-2 に向けて、増加する粒子多重度に対応し、かつ、運動量分解能を向上させるために、直径を 5 mm にしてさらなる低物質量化をする計画である。本年度は、ストローチューブ飛跡検出器の最小単位である、ストローチューブ 1 本の基礎特性の研究を重点的に進めた。基礎特性の測定は、ストローチューブ 1 本を収めることができる真空チェンバーとガス混合装置を製作し、それらを用いて行った。ガスは、Ar と CO₂ の混合ガスである。主要な基礎特性は、変形、ガスの漏れ、⁵⁵Fe 線源による信号波形の理解、増幅率のガス混合比依存性である。信号波形の研究では、発生する紫外線がカソード電極で光電効果を起こし、アフターパルスを作る現象が見られた。アフターパルスを軽減するため、ガス混合比・印加電圧等の最適化を進める予定である。また、ストローチューブ飛跡検出器の信号読み出し回路 (ROESTI) の開発を進めた。ROESTI は、波形の増幅・整形を行う ASD チップ・アナログ-デジタル変換のための ADC チップ・波形記録を行う DRS4 チップ・FPGA で構成し、SiTCP により外部通信を行う。本年度は、プロトタイプの Ver. 2 の性能評価、用いるチップ・

電子回路部品の放射線損傷試験、プロトタイプの Ver. 3 の設計・製作を進めた。来年度は、プロトタイプの Ver. 3 の性能評価を行う予定である。

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、長澤 翼)

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

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

ルス幅の性能については要求を満たすことを示した。一方、タイムウォークの要求性能は 5 ns 以下であり、ビームテスト前のベンチテストの段階で要求値を満たしておらず、次期バージョンのチップでの改良を必要とすることが分かっていた。次のステップとして、すべての要求性能を満たす次期バージョンのチップを開発するため、電子回路シミュレーションを用いた設計を行った。次期バージョンのアナログ部 Slit2014 については、ダイナミックレンジの性能が要求を満たしており、かつ、要求自体を緩める余地があることから、ゲインを上げてタイムウォークを下げる方針を採用した。また、デジタル部 GM2DV2 の設計を並行して行った。これらを組み合わせ、実機で目指す 128 チャンネルのアナログ・デジタル混載チップである Slit128A を設計し、Silterra CMOS 0.18 μm プロセスによる製作を完了した。来年度は、Slit128A の性能評価を進める予定である。

中性子を用いた基礎物理 (吉岡 瑞樹、松本 悟、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、角直幸)

我々は茨城県東海村の J-PARC 加速器を用いて中性子崩壊寿命を高精度で測定する実験を推進している。中性子寿命を導出するためには、中性子のフラックスと β 崩壊の量を知る必要があるが、これまで行われてきた実験では中性子と壁との相互作用やフラックスの系統誤差が問題となっていた。これに対し、我々の実験ではフラックスと β 崩壊電子を TPC 検出器で同時測定することにより、これまでの実験に伴っていた系統誤差を回避することが可能となる。我々は、この新たな手法を用いて 0.1% の精度で中性子の寿命を測定することを目指している。本年度は 2014 年 6 月に取得した物理データの解析を行った。まず、信号事象抽出のための選択条件の開発を行った。各選択条件の検出効率を見積もるために、GEANT4 を用いたモンテカルロシミュレーションの構築を行った。その結果、全選択条件の検出効率は 96% と見積もられた。次に、背景事象をそのメカニズム毎に分類し、各背景事象数を定量的に見積もった。その結果信号事象と背景事象の比はおよそ 1.1 と算出された。以上の解析手法を用いて O(1)% の精度で中性子寿命が決定できると期待される。次年度は詳細な系統誤差の見積もりを行い、中性子寿命を決定することを目的とする。

- **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。本年度は希ガス標

的を封入する標的ガス容器を作製した。標的容器入射窓には、前年度の研究結果により厚さ 2 mm のシリコン材を用いた。また、散乱した中性子が飛行するための真空散乱層を作製した。散乱した中性子が真空散乱層内壁に衝突するのを防ぐために、中性子吸収材を内壁に設置した。以上の装置を真空試験を行った後に、茨城研東海村の J-PARC/MLF/BL05 ビームラインに設置した。また、 ^3He 位置敏感型検出器の動作確認を行った後に、同ビームラインに設置した。以上により、本実験開始のための準備は全て整った。J-PARC 施設への諸手続き上、本年度中に希ガスを標的とする本実験の実験許可が間に合わなかったが、本実験装置群により予備データを取得した。取得予備データの詳細な解析により、空気による中性子全断面積を決定することができ、本実験装置が正しく機能していることが確認できた。本実験は、次年度中に開始する予定である。

発表論文

《 原著論文 》

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Higgs and Z Boson Decays to $J/\psi\gamma$ and $\Upsilon(nS)\gamma$ with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 121801 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons decaying via $H^\pm \rightarrow \tau^\pm\nu$ in fully hadronic final states using pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1503**, 088 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the transverse polarization of Λ and $\bar{\Lambda}$ hyperons produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **91**, 032004 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for anomalous production of prompt same-sign lepton pairs and pair-produced doubly charged Higgs bosons with $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions using the ATLAS detector”, *JHEP* **1503**, 041 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for heavy long-lived charged particles with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, *JHEP* **1501**, 068 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the Nuclear Modification Factor for Jets in Pb+Pb Collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **114**, 072302 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in events with a photon and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **91**, 012008 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive jet cross-section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using 4.5 fb^{-1} of data with the ATLAS detector”, JHEP **1502**, 153 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $WW + WZ$ cross section and limits on anomalous triple gauge couplings using final states with one lepton, missing transverse momentum, and two jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, JHEP **1501**, 049 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for invisible particles produced in association with single-top-quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 79 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the X_b and other hidden-beauty states in the $\pi^+\pi^-\Upsilon(1S)$ channel at ATLAS”, Phys. Lett. B **740**, 199 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter in events with heavy quarks and missing transverse momentum in pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 92 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for s -channel single top-quark production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **740**, 118 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the W production cross sections in association with jets with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 82

(2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the $b\bar{b}$ decay of the Standard Model Higgs boson in associated $(W/Z)H$ production with the ATLAS detector”, JHEP **1501**, 069 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonant diboson production in the $llq\bar{q}$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 69 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1411**, 056 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for nonpointing and delayed photons in the diphoton and missing transverse momentum final state in 8 TeV pp collisions at the LHC using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 112005 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair and single production of new heavy quarks that decay to a Z boson and a third-generation quark in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1411**, 104 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of distributions sensitive to the underlying event in inclusive Z -boson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 3195 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for $H \rightarrow \gamma\gamma$ produced in association with top quarks and constraints on the Yukawa coupling between the top quark and the Higgs boson using data taken at 7 TeV and 8 TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **740**, 222 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of long-range pseudorapidity correlations and azimuthal harmonics in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV proton-lead collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **90**, 044906 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for long-lived neutral particles decaying into lepton jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1411**, 088 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of Higgs boson production in the diphoton decay channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 112015 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A measurement of the ratio of the production cross sections for W and Z bosons in association with jets with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 3168 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the total cross section from elastic scattering in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Nucl. Phys. B **889**, 486 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the lepton flavor violating decay $Z \rightarrow e\mu$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 072010 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of Higgs boson production and couplings in the four-lepton channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **91**, 012006 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production and lepton charge asymmetry of W bosons in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **75**, 23 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of flow harmonics with multi-particle cumulants in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 3157 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Fiducial and differential cross sections of Higgs boson production measured in the four-lepton decay channel in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **738**, 234 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Performance of the ATLAS muon trigger in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, *Eur. Phys. J. C* **75**, 120 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new resonances in $W\gamma$ and $Z\gamma$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **738**, 428 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new particles in events with one lepton and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1409**, 037 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Scalar Diphoton Resonances in the Mass Range 65 – 600 GeV with the ATLAS Detector in pp Collision Data at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 171801 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of jet vetoes and azimuthal decorrelations in dijet events produced in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 3117 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross-section of $\psi(2S) \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+\mu^-)\pi^+\pi^-$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV at ATLAS”, *JHEP* **1409**, 79 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Electron and photon energy calibration with the ATLAS detector using LHC Run 1 data”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 3071 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of spin correlation in top-antitop quark events from proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **90**, 112016 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of fiducial and differential cross sections for Higgs boson production in the diphoton decay channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with ATLAS”, *JHEP* **1409**, 112 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the muon reconstruction performance of the ATLAS detector using 2011 and 2012 LHC proton-proton collision data”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 3130 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of differential production cross-sections for a Z boson in association with b -jets in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, *JHEP* **1410**, 141 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for contact interactions and large extra dimensions in the dilepton channel using proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 3134 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Flavor tagged time-dependent angular analysis of the $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ decay and extraction of $\Delta\Gamma$ s and the weak phase ϕ_s in ATLAS”, *Phys. Rev. D* **90**, 052007 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in the dijet mass distribution using $p-p$ collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **91**, 052007 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of an Excited B_c^\pm Meson State with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 212004 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section as a function of jet multiplicity and jet transverse momentum in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, *JHEP* **1501**, 020 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross-section of high transverse momentum vector bosons reconstructed as single jets and studies of jet substructure in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, *New J. Phys.* **16**, 113013 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair-produced third-generation squarks decaying via charm quarks or in compressed supersymmetric scenarios in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **90**, 052008 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events with large missing transverse momentum, jets, and at least one tau lepton in 20 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector”, JHEP **1409**, 103 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for strong production of supersymmetric particles in final states with missing transverse momentum and at least three b -jets at $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, JHEP **1410**, 24 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for top squark pair production in final states with one isolated lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, JHEP **1411**, 118 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Simultaneous measurements of the $t\bar{t}$, W^+W^- , and $Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **91**, 052005 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of normalized differential cross sections for $t\bar{t}$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 072004 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the direct production of charginos, neutralinos and staus in final states with at least two hadronically decaying taus and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1410**, 96 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Comprehensive measurements of t -channel single top-quark production cross sections at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 112006 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A neural network clustering algorithm for the ATLAS silicon pixel detector”, JINST **9**, P09009 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson decay to $\mu^+\mu^-$ with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **738**, 68 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross-section using $e\mu$ events with b -tagged jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 3109 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search For Higgs Boson Pair Production in the $\gamma\gamma b\bar{b}$ Final State using pp Collision Data at $\sqrt{s} = 8$ TeV from the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 081802 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for WZ resonances in the fully leptonic channel using pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **737**, 223 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Higgs boson mass from the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ channels with the ATLAS detector using 25 fb^{-1} of pp collision data”, *Phys. Rev. D* **90**, 052004 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Z/γ^* boson transverse momentum distribution in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1409**, 145 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of inclusive jet charged-particle fragmentation functions in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **739**, 320 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct pair production of the top squark in all-hadronic final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1409**, 015 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the underlying event in jet events from 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **74**, 2965 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet energy measurement and its systematic uncertainty in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”,

Eur. Phys. J. C **75**, 17 (2015).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using $\sqrt{s} = 8$ TeV proton–proton collision data”, JHEP **1409**, 176 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Light-quark and gluon jet discrimination in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 3023 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for Electroweak Production of $W^{\pm}W^{\pm}jj$ in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **113**, 141803 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events with four or more leptons in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 052001 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for microscopic black holes and string balls in final states with leptons and jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 8$ TeV”, JHEP **1408**, 103 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for high-mass dilepton resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 052005 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the centrality and pseudorapidity dependence of the integrated elliptic flow in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 2982 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Monitoring and data quality assessment of the ATLAS liquid argon calorimeter”, JINST **9**, P07024 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Operation and performance of the ATLAS semiconductor tracker”, JINST **9**, P08009 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross section of high

transverse momentum $Z \rightarrow b\bar{b}$ production in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$ with the ATLAS Detector”, Phys. Lett. B **738**, 25 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of χ_{c1} and χ_{c2} production with $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ pp collisions at ATLAS”, JHEP **1407**, 154 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Muon reconstruction efficiency and momentum resolution of the ATLAS experiment in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ in 2010”, Eur. Phys. J. C **74**, 3034 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry at $\sqrt{s}=8\text{ TeV}$ in final states with jets and two same-sign leptons or three leptons with the ATLAS detector”, JHEP **1406**, 035 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Electron reconstruction and identification efficiency measurements with the ATLAS detector using the 2011 LHC proton-proton collision data”, Eur. Phys. J. C **74**, 2941 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the low-mass Drell-Yan differential cross section at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ using the ATLAS detector”, JHEP **1406**, 112 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the parity-violating asymmetry parameter α_b and the helicity amplitudes for the decay $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi + \Lambda^0$ with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **89**, 092009 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dark matter in events with a Z boson and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s}=8\text{ TeV}$ with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **90**, 012004 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for top quark decays $t \rightarrow qH$ with $H \rightarrow \gamma\gamma$ using the ATLAS detector”, JHEP **1406**, 008 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of Four-Lepton Production at the Z Resonance in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ and 8 TeV with ATLAS”, Phys. Rev. Lett.

112, 231806 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct production of charginos, neutralinos and sleptons in final states with two leptons and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1405**, 071 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top squark pair production in events with a Z boson, b-jets and missing transverse momentum in $\sqrt{s}=8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 2883 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct top-squark pair production in final states with two leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1406**, 124 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of event-plane correlations in $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV lead-lead collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. C **90**, 024905 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector”, JHEP **1404**, 169 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production of a W boson in association with a charm quark in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1405**, 068 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “The differential production cross section of the ϕ (1020) meson in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions measured with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **74**, 2895 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Invisible Decays of a Higgs Boson Produced in Association with a Z Boson in ATLAS”, Phys. Rev. Lett. **112**, 201802 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Higgs boson decays to a photon and

a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ and 8 TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **732**, 8 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the electroweak production of dijets in association with a Z-boson and distributions sensitive to vector boson fusion in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector”, JHEP **1404**, 031 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross section of prompt J/ψ mesons in association with a W^\pm boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1404**, 172 (2014).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of dijet cross sections in pp collisions at 7 TeV centre-of-mass energy using the ATLAS detector”, JHEP **1405**, 059 (2014).

T. Tomita, K. Kawagoe, T. Yoshioka, T. Suehara, Y. Sudo, H. Ueno, Y. Miyazaki, H. Hirai, H. Sumida and T. Takada, “A Study of silicon sensor for the ILC ECAL”, Proceedings of Science, PoS TIPP2014, 273 (2014).

M.S. Amjad *et al.*, “Beam test performance of the SKIROC2 ASIC”, Nucl. Instrum. Meth. A **778**, 78 (2014).

C. Adloff *et al.*, “The Time Structure of Hadronic Showers in Highly Granular Calorimeters with Tungsten and Steel Absorbers”, JINST **9**, P07022 (2014).

K. Mishima, T. Yoshioka *et al.*, “Production of Ultra Cold Neutrons by a Doppler Shifter with Pulsed Neutrons at J-PARC”, J. Phys. Conf. Ser. **528**, 012030 (2014).

D. Sakurai, T. Yoshioka *et al.*, “Development of a new neutron mirror made of deuterated Diamond-like carbon”, J. Phys. Conf. Ser. **528**, 012010 (2014).

R. Katayama, T. Yoshioka *et al.*, “Development of a simulation for measuring neutron electric dipole moment”, J. Phys. Conf. Ser. **528**, 012031 (2014).

講演

《 海外での講演 》

Prospects of Higgs and SM measurements at HL-LHC :

Hidetoshi Otono on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations

Next steps in the Energy Frontier - Hadron Colliders, 25-28 August, 2014, Fermi National Accelerator Laboratory, Chicago

Common DAQ :

Taikan Suehara

HGC4ILC, 2 February 2015, Plaiseau

Overview of ILC Accelerator/Detectors :

APEC seminar, 29 October 2014, Tokyo

Study of Direct Top Yukawa Coupling Measurement at ILC with Center-of-Mass Energy of 500 GeV :

Yuji Sudo

LCWS14, October 2014, Belgrade

Characteristic study of silicon sensor for ILD ECAL :

Shusuke Takada

LCWS14, 06 - 10 October 2014, Belgrade

Hybrid ECAL : optimization and related developments :

Taikan Suehara

LCWS14, 06 - 10 October 2014, Belgrade

Development of combined DAQ for silicon and scintillator ECAL and related software issues :

Taikan Suehara

LCWS14, 06 - 10 October 2014, Belgrade

Higgs recoil mass study using $ZH \rightarrow qqH$ @ 250 GeV ILC :

Tatsuhiko Tomita

LCWS14, 06 - 10 October 2014, Belgrade

Optimization of detectors for the ILC :

Taikan Suehara

The 37th International Conference on High Energy Physics, 02 - 09 July 2014, Valencia

Development of a Highly Granular Silicon-Tungsten ECAL for the ILD (poster) :

Yuji Sudo

The 37th International Conference on High Energy Physics, 02 - 09 July 2014, Valencia

A silicon sensor study for the ILD ECAL (poster) :

Tatsuhiko Tomita

The 3rd Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP2014), 02 - 06 June 2014, Amsterdam

Study of SiW-ECAL development for ILD :

Taikan Suehara

American Workshop on Linear Colliders 2014, 12 - 16 May 2014, Chicago

Higgs recoil mass study using qqH at 250 GeV ILC :

Tatsuhiko Tomita

American Workshop on Linear Colliders 2014, 12 - 16 May 2014, Chicago

Measurement Accuracy of the Top Yukawa Coupling in ttH at the ILC :

Yuji Sudo

American Workshop on Linear Colliders 2014, 12 - 16 May 2014, Chicago

Development of Electromagnetic Calorimeter Using GSO and LYSO Crystals for the J-PARC Muon-to-Electron Conversion Search Experiment :

Kou Oishi

IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 08 - 15 November 2014, Seattle

Development of a Cerenkov Trigger Detector for the COMET Experiment (poster) :

Yuki Nakai

The 2nd International Symposium on Science at J-PARC, 12 - 15 July 2014, Ibaraki

Development of Electromagnetic Calorimeter Using GSO and LYSO Crystals for the J-PARC Muon-to-Electron Conversion Search Experiment (poster) :

Kou Oishi

The 2nd International Symposium on Science at J-PARC, 12 - 15 July 2014, Ibaraki

Performance Evaluation of readout electronics board for the COMET Straw Tube Tracker (poster) :

Hiroshi Yamaguchi

The 2nd International Symposium on Science at J-PARC, 12 - 15 July 2014, Ibaraki

An Improved Fast Readout ASIC for Si-Strip Detector in the J-PARC Muon g-2/EDM Experiment and Other Related Applications (poster) :

Shohei Shirabe

IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 08 - 15 November 2014, Seattle

Neutron Lifetime Measurement Initiated at J-PARC/MLF/BL05 :

Genki Tanaka

Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan, 7-11 October 2014, Hawaii

《 国内での講演 》

LHC-ATLAS 実験におけるビーム衝突点から離れて崩壊する新粒子の探索

音野瑛俊

日本物理学会 第70回年次大会、2015年3月、早稲田大学

Higgs Boson - summary & perspective -

織田勸

新学術領域研究会 テラスケール 2014 先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学、2014年11月、大阪大学

ILC における tth チャンネルを用いた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 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

ILC における $ZH \rightarrow qqH$ イベントを用いた ZH 生成断面積の精密測定：

富田龍彦

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

ILD 電磁カロリメータのためのピクセル型シリコン検出器の特性研究：

高田秀佐

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

ILC における ILD ECAL のハイブリッド構造の研究：

住田寛樹

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

ILC 電磁カロリメータのための読み出しシステムの開発：

平井寛人

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

ILC 加速器/測定器と新物理：

末原大幹

新物理の実証策を考える会、2015 年 3 月、沖縄科学技術大学

ILC における ILD ECAL のためのシリコン検出器に関する研究：

高田秀佐

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

ILC における ILD ECAL のハイブリッド構造の最適化：

住田寛樹

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

ILC 実験における直接測定によ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 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

ILD における電磁カロリメータのためのピクセル型シリコン検出器の特性研究：

高田秀佐

日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

ILC の物理：

吉岡瑞樹

ILC 大学連携タスクフォースセミナー、2014 年 5 月、新潟大学

ILC の物理と測定器：

末原大幹

ILC 大学連携タスクフォースセミナー、2014 年 4 月、岡山大学

J-PARC COMET 実験用ストローチューブ飛跡検出器の基礎特性研究：

田中聡一

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

J-PARC COMET 実験用電磁カロリメータに用いるアバランシェフォトダイオードの
中性子耐性の研究：

長島寛征

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

COMET 実験におけるストローチューブ飛跡検出器用フロントエンド読出し回路の開
発：

山口博史

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

J-PARC ミューオン・電子転換過程探索実験 COMET のための電磁カロリメータの研
究開発：

大石航

素粒子・原子核実験における全吸収型カロリメータの実例と応用、2015 年 3 月、東
北大学電子光理学研究センター

J-PARC ミューオン電子転換過程探索実験 COMET のためのストローチューブ飛跡検
出器の研究開発：

田中聡一

第 21 回東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム、2015 年 2 月、白馬村

J-PARC ミューオン・電子転換過程探索実験 COMET のための電磁カロリメータの研究開発：

大石航

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

J-PARC ミューオン電子転換過程探索実験 COMET のためのストロー飛跡検出機の研究開発：

田中聡一

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

J-PARC でのミューオン電子転換過程探索実験 (COMET 実験) におけるトリガー検出器の開発研究：

中居勇樹

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

COMET 実験 Straw Tube Tracker に用いる読み出し回路の開発：

山口博史

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

COMET 実験のための電磁カロリメータの開発：

大石航

Open-It 若手の会 若手研究会@宮崎、2014 年 10 月、宮崎

J-PARC ミューオン・電子転換過程探索実験 COMET のための電磁カロリメータ試作機の性能評価：

大石航

日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

J-PARC ミューオン-電子転換過程探索実験 (COMET 実験) 用チェレンコフトリガー検出器の試作機性能評価：

中居勇樹

日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

COMET 実験検出器の粒子識別性能評価：

山口博史

日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

J-PARC muon g-2/EDM 精密測定実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC
の開発：

調翔平

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

J-PARC muon g-2/EDM 精密測定実験：シリコンストリップ検出器試作機のビームを
用いた性能評価：

長澤翼

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器試作機の開発：

調翔平

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験：ファイバーホドスコープの開発：

長澤翼

第 120 回日本物理学会九州支部例会、2014 年 12 月、崇城大学

J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器試作機の開発：

調翔平

日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

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：

吉岡瑞樹

第 3 回 KMI 分野横断セミナー「精密測定で迫る重力」、2015 年 3 月、名古屋大学

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験の現状：

田中元気

日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

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

角直幸

日本物理学会第70回年次大会、2015年3月、早稲田大学

J-PARC/BL05における中性子寿命測定実験:系統誤差の評価:

角直幸

第120回日本物理学会九州支部例会、2014年12月、崇城大学

外部資金

《文部省科学研究費補助金》

文部省科学研究費補助金、特別推進研究

ILCのための最先端測定器の国際的新展開

研究分担者 川越清以 (研究代表者 東北大学 山本均)

文部省科学研究費補助金、新学術領域研究

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

研究分担者 川越清以 (研究代表者 東京大学 駒宮幸男)

文部省科学研究費補助金、特別推進研究

最高強度ミュオンビームによるミュオン・レプトンフレーバー非保存探索の新展開

研究分担者 東城順治 (研究代表者 大阪大学 久野良孝)

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (A)

LHC 実験の新局面における素粒子標準模型を超える物理の研究

研究代表者 東城順治

文部科学省研究費補助金、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

文部科学省研究費補助金、若手研究 (B)

ヒッグス粒子の性質測定による新物理の探索

研究代表者 織田勸

《 文部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

草内 悠也、野口 恭平、真玉 将豊、森下 彩：(指導教員、川越清以)：オルソポジトロニウムの寿命測定

修士論文

- 古浦新司：(指導教員、東城順治)：ATLAS 実験シリコン飛跡検出器の宇宙線を用いた性能評価
- 調翔平：(指導教員、東城順治)：ミューオン $g-2$ /EDM 実験に用いるシリコン検出器の読み出し ASIC 回路の開発
- 田中元気：(指導教員、吉岡瑞樹)：J-PARC における中性子寿命精密測定実験 – 2014 年度取得データの解析 –
- 富田龍彦：(指導教員、川越清以)：ILC における ZH 随伴生成過程の $q\bar{q}H$ チャネルを用いた生成断面積の測定制度に関する研究
- 中居勇樹：(指導教員、吉岡瑞樹)：COMET 実験に用いるトリガー検出器の開発

学外での学会活動

- 川越
日本物理学会：代議員
日本物理学会：九州支部委員 (監事)
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
高エネルギー加速器研究機構：リニアコライダー計画推進委員会委員
高エネルギー加速器研究機構：大型シミュレーション計画推進委員会委員
高エネルギー加速器研究機構：日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究

計画委員会委員

高エネルギー加速器研究機構：素粒子原子核研究所運営会議委員

高エネルギー加速器研究機構：加速器・共通基盤研究施設運営会議委員

東京大学素粒子物理国際研究センター：研究協議会委員

- 東城

高エネルギー加速器研究機構：測定器開発優秀修士論文賞選考委員

- 吉岡

日本物理学会：素粒子実験領域運営委員

高エネルギー物理学研究者会議：高エネルギーニュース編集委員

受託研究・民間との共同研究

- 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）

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 野口慎平 中村有花 原諒平

松本幸介 山田一雄 井上雅郎 山北知史

《 大学院 修士課程 》

魚岡勇佑 岡次聡 阿部健太 小池貴之

富田聖也

《 学部 卒業研究生 》

酒井雄太 時松幹

担当授業

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

研究・教育目標と成果

生体分子の運動に対する溶媒のダイナミクス (原諒平)

生体分子の運動と溶媒粒子の緩和速度の関係を明らかにする手法の開発を目的として研究を行った。動的密度汎関数法を用いることで、生体分子の動く速度とルートを決定した時、溶媒粒子の分布を計算することができた。今後は、この手法を様々な系に適用することで、溶媒の緩和速度がどのように生体内で影響しているかを議論する。

非平衡定常駆動系における相反関係式 (山田一雄)

平衡線形応答関数について成り立つ相反関係式を非平衡定常状態に拡張することを目標として、非平衡駆動ランジュバン系における線形応答関数の解析計算を行った。Donsker-Varadhanの定理を拡張することで、非平衡定常状態では揺動散逸関係式の破れの際に相反関係が成り立つことが分かった。今後は、熱伝導系などの非平衡系での相反関係の解析を行うことにする。

熱力学的摂動論を用いた枯渇効果による結晶化の研究 (末松安由美)

大きさの異なる2成分剛体球系において、大粒子間に枯渇効果によって働く相互作用と結晶化の関係を明らかにすることを目標として、熱力学的摂動論を用いて相図の作成を行った。その結果、大粒子間の中心間距離が直径に等しくなる位置の有効ポテンシャルの深さによって、共存密度が下がることがわかった。今後は、これまでの研究で一定と仮定していた小粒子の密度変化を取り入れた計算を行って、より精度の高い相図の作成を目指す。

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)

コロイド溶液のマイクロレオロジーにおいて、プローブ粒子がコロイド粒子から受ける抵抗力に対して、コロイド粒子間の剛体球相互作用が及ぼす影響を理論的に解明するために、動的密度汎関数理論を用いた数値計算からプローブ粒子周辺のコロイド粒子の濃度分布を求めた。その結果、コロイド粒子間の剛体球相互作用には、プローブ粒子がコロイド粒子から受ける抵抗力を増加または減少させる効果があり、この効果はプローブ粒子の速度やコロイド粒子の濃度によって決まることが分かった。来年度は、プローブ粒子が溶媒から受ける抵抗力に対する粒子間相互作用の効果の解明を目指す。

囚人のジレンマとネットワーク (阿部健太)

スモールワールドネットワーク上における繰り返し多人数囚人のジレンマのシミュレーションにおいて、特定の条件下で観測されるブレイクダウンという現象の性質を明らかにするため、待ち時間について解析を行った。小さい系の場合待ち時間は指数分布を示すことがわかった。今後は系を拡大して解析を行い性質を議論する。

大きな粒子の溶液中での拡散について摂動理論を用いた研究 (中村有花)

溶質周りの溶媒の密度分布が溶質の拡散に与える影響を明らかにするために、剛体球系において拡散係数の計算を行った。その結果、溶質周りの溶媒の密度が高くなるにつれて拡散係数はストークスアインシュタイン則の値よりも小さい値をとることが分かった。速度場の解析によって、溶質表面の高密度によって溶質表面で溶媒の速度が急激に変化し、溶質にかかる摩擦が大きくなることが原因であることを明らかにした。

溶媒の粒子性を考慮したときのアインシュタインの粘度式の拡張 (山北知史)

溶質周りの溶媒和の効果 considering、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。その結果、溶液の粘度は、溶質周りの溶媒の密度分布の影響を大きく受けることが明らかになった。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を定量的に明らかにした。今後は、溶液の粘度を数値的に計算することを目指す。

微視的な力学系からのストークス則の導出 (吉森明)

巨視的な物体の抵抗係数は Stokes 則で与えられるが、Stokes 則を導くためには流体力

学だけでなく、物体の表面で境界条件を仮定しなければならない。しかしながら、原子分子をあらわに考える微視的な立場に立てば、物体と液体粒子の相互作用が与えられる時、この境界条件も一意的に決まる。ここでは、相互作用が距離にしかよらない球対称であれば、必ず接線方向の力が0になる slip 境界条件になることを厳密に示した。来年度は、一般の相互作用で境界条件がどうなるか研究する。

分子液体における動的密度汎関数理論 (岡次聡)

動的密度汎関数理論を分子液体に拡張する事を目的として、定式化を行い、具体的に2原子分子系に適応した。2原子分子の拡散を数値的に計算し、単純液体と比べた。速い時刻では、原子間の拘束により、分子液体の方が遅く拡散するのに対し、遅い時刻では、分子間の相関のために、分子液体の方が拡散が速い。

タンパク質結晶の相転移のメカニズム (魚岡勇佑)

密度汎関数理論を用いてタンパク質の結晶化のメカニズムについて解析するのを目標としている。そのために、大きな剛体球と小さな剛体球からなる単純な系で、実際に構築した理論と既存の結果が一致するか数値計算を用いて確認した。その結果、さらに理論の改良が必要なのが明らかになった。今後は理論を改良し、それを応用してタンパク質結晶の相図を描き、イオン依存性について解析することを目指す。

粒径可変の分子動力学法の開発 (松井淳)

粒径を力学変数として扱えるように、従来の分子動力学法を拡張する。2成分混合系を用いて、与えられた圧力と温度環境で、粒径比が時間変化して最適化された。

発表論文

《 原著論文 》

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, **83** (2014) pp. 53001

Solid phase stability of a double-minimum interaction potential system:

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

Journal of Chemical Physics, **140** (2014) pp. 244501

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, **83** (2014) pp. 64601

A Theory of Solvation Effects on Viscosity:

Tomofumi Yamakita and Akira Yoshimori,
Journal of the Physical Society of Japan, **84** (2015) pp. 43602

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

Kazuo Yamada and Akira Yoshimori,
Journal of the Physical Society of Japan, **84** (2015) pp. 044008

《Proceedings》

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

Ayumi Suematsu, Akira Yoshimori, Masafumi Saiki, Jun Matsui & Takashi Odagaki ,
Journal of Molecular Liquids, **200** (2014) pp. 12–15

Effects of interactions between particles on dynamics in microrheology:

Masao Inoue and Akira Yoshimori,
Journal of Molecular Liquids, **200** (2014) pp. 81–84

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

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama,
Journal of Molecular Liquids, **200** (2014) pp. 85–88

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

T. Muranaka, J. Matsui and Y. Hiwatari,
Molecular Simulation, (2014) DOI: 10.1080/08927022.2014.932357

講演

《海外での講演》

Application of the Time-Dependent Density Functional Theory to Microrheology:

Masao Inoue, Akira Yoshimori,
8th Mini-Symposium on Liquids, 7月5日、岡山大学

Effects of solvation structure on diffusion and breakdown of the Stokes-Einstein relation:

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama,
8th Mini-Symposium on Liquids, 7月5日、岡山大学

A unified proof of the Harada-Sasa equality for underdamped and overdamped Langevin systems:

Kazuo Yamada and Akira Yoshimori,

8th Mini-Symposium on Liquids, 7月5日、岡山大学

A theoretical method of calculating a solvent dynamical effect on a solute insertion into a cylindrical vessel:

Ryohei Hara, Akira Yoshimori,

8th Mini-Symposium on Liquids, 7月5日、岡山大学

Effects of solvation structure on a large-particle diffusion:

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama,

Jlich Soft Matter Days 2014, 11-14 November 2014, Bad Honnef, Germany, **Nature Physics Poster Prize**

Force on Probe Particles in Microrheology: A Numerical Study by the Time-Dependent Density Functional Theory:

Masao Inoue and Akira Yoshimori,

Jlich Soft Matter Days 2014, 11-14 November 2014, Bad Honnef, Germany

A theoretical method of calculating a solvent dynamical effect on a solute insertion into a cylindrical vessel:

Ryohei Hara and Akira Yoshimori,

Jlich Soft Matter Days 2014, 11-14 November 2014, Bad Honnef, Germany

《国内での講演》

動的密度汎関数理論のマイクロレオロジーへの応用:

井上雅郎、吉森明

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9月7日-10日、中部大学

狭い空間に溶質が入るときの溶媒の動的効果:

原諒平、吉森明

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9月7日-10日、中部大学

拡散係数におけるストークス-アインシュタイン則の破れ—溶質の大きさと溶媒の密度の効果—:

中村有花、吉森明、秋山良

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9月7日-10日、中部大学

枯渇効果による有効ポテンシャルと結晶化:

末松安由美、吉森明、秋山良、中村有花

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9 月 7 日-10 日、中部大学

電解質溶液中の同符号コロイド粒子間の実効引力: 積分方程式理論を用いた間接効果への分解:

藤原慎吾, 澤山拓斗, 吉森明, 秋山良

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9 月 7 日-10 日、中部大学

レナード・ジョーンズ・ガウス系の固液相転移:

松本幸介、松井淳

日本物理学会 2014 年秋季大会, 9 月 7 日-10 日、中部大学

溶媒の粒子性を考慮したときの粘性の理論:

山北知史, 吉森明

第 37 回溶液化学シンポジウム, 2014 年 11 月 12~14 日, アバンセ (佐賀市)

枯渇効果の有効ポテンシャルの違いが結晶化にもたらす影響:

末松安由美, 吉森明、秋山良、中村有花

第 37 回溶液化学シンポジウム, 2014 年 11 月 12~14 日, アバンセ (佐賀市)

動的密度汎関数理論による剛体分子液体の研究:

岡次聡, 吉森明, 吉田紀生

日本物理学会九州支部例会 (2014 年度), 2014 年 12 月 14 日, 崇城大学

溶質の運動に対する溶媒の枯渇効果,:

原諒平, 吉森明

日本物理学会九州支部例会 (2014 年度), 2014 年 12 月 14 日, 崇城大学

液体の理論のコロイド分散系への応用:

井上雅郎, 吉森明

立体視プロジェクションシステムを使った分子科学研究講演会, 2014 年 12 月 5~6 日、九州工業大学飯塚キャンパス

同符号荷電コロイド間引力の高濃度域での引力消失: OZ-HNC 理論による解析:

藤原、澤山、吉森、秋山

高分子基礎研究会 2014, 2014 年 11 月 27 日 (木)~29 日 (土)、湯布院 FIT セミナーハウス

Stokes-Einstein 則の微視的な力学からの導出:

吉森明

第70回日本物理学会年次大会(2015年), 2015年3月21日-24日, 早稲田大学

不均一環境下で溶質が溶媒から受ける抵抗:

原諒平, 吉森明

第70回日本物理学会年次大会(2015年), 2015年3月21日-24日, 早稲田大学

場の量で表した原田佐々公式の導出:

山田一雄, 吉森明

第70回日本物理学会年次大会(2015年), 2015年3月21日-24日, 早稲田大学

マイクロレオロジーにおけるプローブ粒子の速度と抵抗力の関係:

井上雅郎, 吉森明

第70回日本物理学会年次大会(2015年), 2015年3月21日-24日, 早稲田大学

枯渇効果による結晶化に粒子間相互作用が及ぼす影響:

末松安由美, 吉森明, 秋山良

第70回日本物理学会年次大会(2015年), 2015年3月21日-24日, 早稲田大学

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学科研費補助金、基盤 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

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)

末松安由美、日本学術振興会特別研究員 DC2

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

酒井雄太:(指導教員、松井淳): ガラス転移近傍の動的不均一性の解析

修士論文

岡次聡：(指導教員、吉森明)：動的密度汎関数理論を用いた分子液体のダイナミックスの研究

その他の活動と成果

体験入学: 「エントロピー：ゴムの伸び縮みを考察しよう」を実施（3月）

統計物理学 研究室

研究室構成員

中西 秀 教授

野村 清英 准教授

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 》

武久 悟之 中尾 幸 パク ドンヒョン 森重 順平

工藤 竜也

《 学部 卒業研究生 》

安藤 大晃 案納 桂子 磯山 貴一 宇土 弘毅

永徳 はるか 椎葉 力哉 迎 裕樹

《 訪問研究者 》

早瀬 友美乃

担当授業

中西：相転移の統計力学、統計物理学 I

野村：自然科学概論（高年次教養）、量子統計物理学（大学院）

坂上：基幹物理学 IA 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。これまで高速ビデオを用いた顕微鏡観察の結果 (i) 薄膜は直径 $10\mu\text{m}$ 程度の微小水滴からなり、(ii) それらは水面から $10 \sim 100\mu\text{m}$ 程度の空中に浮遊していること、(iii) 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、(iv) それは一つの水滴の消滅が引き金になっており、(v) 伝播速度 1 m/s 程度の波面として伝わっていることが分かっていた。更に、(vi) 水滴のサイズは熱水の温度ともに大きくなること、(vii) 界面活性剤を入れても現象に定性的変化は見られないこと、を見出した。これらの結果を論文にまとめ公表した。(市川、梅木(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実験的及び3次元シミュレーションによって調べた。その結果、粘化バンドが局在化して負圧が生じていることを見出した。(永弘(仙台高専)、御手洗(NBI)との共同研究)
3. 紙のクランプリング(早瀬、中西): 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。この様な紙の折りたたみの性質を理解するために、単純なモデル化による計算機シミュレーションを行った。(早瀬との共同研究)
4. 砂丘のダイナミクス(中尾、坂上、中西): 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、1方向から風が吹く場合には風向きに垂直な稜線を持つ横列砂丘が、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平行な稜線を持つ縦列砂丘が形成され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、砂丘のダイナミクスをその稜線に縮約したモデルである移動稜線モデルを用いて、横列・縦列砂丘のシミュレーションと線形安定性解析を行った。特に、一方向風下では線形不安定なパラメタ領域における直線状の縦列砂丘が、一定時間ごとに風向が反転することにより線形安定となることを解析的に示した。
5. 融液成長のシミュレーション(工藤、坂上、中西): 拡散律速の結晶成長に見られるパターンの再現、解析を目的にシミュレーションモデルの構築を行った。物質の状態を表す連続変数を導入し、その変数のダイナミクスを確率過

程で記述することでシミュレーションモデルの構築を行った。また、そのシミュレーションモデルを用いてそれらしいパターンを再現することができた。

6. ナノチャネル中での DNA の非平衡ダイナミクス (坂上): カナダの実験グループと共同で、ナノチャネル中に拘束された長鎖 DNA の非平衡ダイナミクスの研究を行った。レーザートラップしたビーズを操作し、DNA 分子を方端から押してチャネルに沿って輸送することが出来る。この時、ビーズの操作速度が閾値を超えると、DNA 分子は圧縮を伴った特徴的な非平衡ダイナミクスを示すことを理論と実験の両面から明らかにし定量的な解析を行った。(W. Reisner[McGill University] との共同研究)
7. 異常拡散系における非平衡ダイナミクス (坂上): 高分子中のモノマーの運動を解析すると、中間時間領域において典型的な亜拡散挙動を示す。モノマーに外力を加えて駆動すると、モノマーは力方向にドリフト運動を行い、それに伴い高分子鎖は伸長されていく。鎖に沿っての張力の伝搬に注目することにより、この非平衡過程を記述するスケーリング理論を構築した。また、ミクロな高分子モデルから、モノマーの運動を記述する一般化ランジュバン方程式を導出し、スケーリング理論の検証を行った。興味深い点として、排除体積効果による非線形効果が顕著になると、平均のドリフト運動周りの揺らぎについて単純なスケーリング則からの逸脱が見られるようになる。これについて、分子動力学シミュレーションの結果を定性的に再現する理論を構築した。(齋藤拓也 [京都大学福井謙一記念研究センター] との共同研究)
8. 相分離流体の電気粘性効果 (パク、中西、坂上): 二相に分離した誘電流体に電場をかけると系の粘性が上昇する。この電気粘性効果には、相分離界面に作用するマクスウェル応力によるドメインの変形が関係している。流体系の相分離ダイナミクスを記述するモデル H を、誘電分極効果を含む形に拡張し、数値シミュレーションを行った。その結果、電場下でのレオロジーとドメイン構造の変化との関連について、以下の点を明らかにした: (i) 電場が強い場合には、電場方向に平行な縞状のドメイン構造が生じ粘性率が大きく上昇する。(ii) 微粒子分散系で見られる降伏応力は見られない。(iii) 電場による縞状のドメイン構造に垂直方向にせん断率をかけると、それがある閾値に達した時、縞構造が不安定化し、シアバンドが形成される。更に、せん断率の上昇とともに粘性率は減少する。
9. 強電場中の非相溶性ブレンドが示すシアモジュラス (設楽、坂上): ポリマーブレンドなどの二相に分離した流体を平行平板電極ではさみ、強い電場を印

加すると電極間を架橋するような構造を示す。その状況で電場に直交する向きに微小なずり変形を与えた場合のシアモジュラスを計算した。シアモジュラスはマクスウェル応力と界面張力から来る寄与に分解することができ、マクスウェル応力からの寄与は混合比が1 : 1のときに最大になり、界面張力からの寄与は構造の特徴的な波長に反比例することがわかった。この結果は構造因子を計算して求める方法と、電磁気学的な議論で求める方法の両者から得ることができ、いずれの方法を用いても結果は整合した。

10. Quincke 回転子を作る渦構造 (設楽) : PMMA などの粒子を有機溶媒に分散させた懸濁液に直流電場を印加すると電気双極子が電場の向きとは逆向きに生じることがある。電場がある程度以上の強さになると電気双極子が回転の揺らぎに対して不安定になり、Quincke 回転と呼ばれる電場に直交する回転軸での粒子の自転運動が誘起される。さらに、Quincke 回転する粒子が生み出す流れ場は基盤などの境界付近で非対称な形になり、基盤に沿った粒子の並進運動を引き起こす。並進運動する粒子が多数集まると集団運動を引き起こすため、この系はアクティブマター集団を研究する格好の対象となっている。我々はこの Quincke 回転子を円形の容器に閉じ込めたときに示す渦構造に関する研究を実験、理論の両面から行った。(A. Bricard, J-B. Caussin, D. Bartolo (ENS de Lyon) との共同研究)
11. 複素関数論から見た整合-非整合転移 (武久, 野村) : 整合-非整合転移では相関関数が単純な Ornstein-Zernike 型の相関関数にならないことが知られている。また、相関長が転移点近傍で短くなるため、動的構造因子を複素関数論を用いて考察した。動的構造因子にいくつかの仮定を与えることにより、関数形を見積もることができた。先行研究とは異なる関数形が得られ、同時刻相関関数、静的構造因子が先行研究と異なる結果になった。
12. Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張 (森重, 野村) : 1次元量子スピン系に対する Lieb-Schultz-Mattis の定理を、フラストレーションのある場合に拡張した。また、励起状態について波数について連続性を示した。

発表論文

《原著論文》

1. Ken-ichi Mizuochi, Hiizu Nakanishi and Takahiro Sakaue, EPL 107 (2014) 38003 [6 pages]. “Dynamical scaling of polymerized membranes”

2. Takahiro Umeki, Masahiko Ohata, Hiizu Nakanishi, and Masatoshi Ichikawa, Scientific Reports 5 (2015) 8046. “Dynamics of microdroplets over the surface of hot water”
3. M. Yanagisawa, S. Nigorikawa, T. Sakaue, K. Fujiwara and M. Tokita, Proc.Natl. Acad. Sci. USA, 111, 15894-15899 (2014/Oct. 27). “Multiple patterns of polymer gels in microspheres due to the interplay among phase separation, wetting, and gelation”
4. A. Khorshid, P. Zimny, D. T.-La Roche, G. Massarelli, T. Sakaue, and W. Reisner, Phys. Rev. Lett., 113, 268104:1-5 (2014). “Dynamic Compression of Single Nanochannel Confined DNA via a Nanodozer Assay”,
5. T. Sakaue, K. Shitara, and T. Ohta, Phys. Rev. E 89 (2014) 052301:1-7. “Dynamics and electrorheology of sheared immiscible fluid mixtures”

《Proceedings》

《その他の論文》

Kiyoshide Nomura, Extension of the Lieb-Schultz-Mattis theorem

<http://arxiv.org/abs/1503.05662>

著書

講演

《海外での講演》

1. K. Nomura, 2015/Feb/17 at University of Wuppertal, Germany; “Extension of the Lieb-Schultz-Mattis Theorem”
2. K. Nomura, 2015/Feb/19 at University of Wuppertal; “Commensurate - Incommensurate transition using the complex analysis”
3. K. Nomura, 2015/Feb/26 at Geneva University, Switzerland; “Extension of the Lieb-Schultz-Mattis Theorem”
4. T. Sakaue, Surmounting the Insurmountable - Pathways of Biological Physics: An international Conference on Biological Physics, 2014/8/30, Pohang, Korea; “Nonequilibrium Dynamics of Polymer Translocation – a personal review” (Invited talk)
5. T. Sakaue, 2014/10/30, Lausanne, Switzerland; “Dynamics of DNA in Nanofluidic Piston” CECAM workshop “Nanofluidics in physics and biology” (Invited talk)

6. T. Sakaue, 2014/10/27, Seminar at Institute for Theoretical Physics, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium; “Dynamics of DNA in Nano-fluidic Piston”

《国内での講演》

1. 設楽恭平、坂上貴洋、太田隆夫, 新学術領域「ゆらぎと構造の協奏:非平衡系における普遍法則の確立」第二回領域研究会 北海道大学 2014/8/230, 「非相溶性ブレンドの電場に対する応力の応答」
2. 日本物理学会 2014年秋季大会、2014年9月7日～10日、於：中部大学
 - (a) 梅木崇浩, 中西秀, 市川正敏: 熱水上に浮遊する微小水滴とその集団消滅現象
 - (b) 中尾幸, 中西秀, 坂上貴洋: ひも模型を用いた砂丘のダイナミクス
 - (c) 早瀬友美乃, 中西秀: 丸めた紙の統計力学
 - (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 IV
 - (e) 岡本清美, 利根川孝, 坂井徹, 森重順平, 野村清英: ボンド反転対称性のない場合のレベルスペクトロスコピー — 桁交代のあるラダーの例
 - (f) 野村清英, 森重順平 Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張:
 - (g) 齋藤拓也, 坂上貴洋: 伸張した高分子鎖の揺らぎと応答
 - (h) 坂上貴洋: Nano-pore based characterization of randomly branched polymer
 - (i) 設楽恭平, Antoine Bricard, Jean-Baptiste Caussin, Denis Bartolo: 電場に駆動される粒子集団の回転運動
3. 第120回 日本物理学会 九州支部例会、於 崇城大学, 2014年12月6日
 - (a) 中尾幸, 坂上貴洋, 中西秀: 移動稜線モデルを用いた砂丘のダイナミクス
 - (b) パクドンヒョン, 坂上貴洋, 中西秀: 二相誘電流体の電気粘性効果
 - (c) 森重順平, 野村清英: Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張
 - (d) 武久悟之, 野村清英: 複素関数論から見た整合-非整合遷移
4. 中西秀、梅木崇浩、市川正敏: 第4回ソフトマター研究会, 2015年1月6日～8日、於：名古屋大学, 「コーヒークップの中の嵐: 熱水上に浮かぶ微小水滴とそのダイナミクス」
5. 量子スピン系研究会 2015年1月9-10日、於：福井大学
 - (a) 武久悟之, 野村清英, 複素関数論から見た整合-非整合転移
 - (b) 野村清英, Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張
6. アクティブ・マター研究の過去・現在・未来, 2015年3月14日、於：仙台,
 - (a) 坂上貴洋、設楽恭平: 「電気粘性効果とアクティブマター」
 - (b) 坂上貴洋、齋藤拓也: “Driving an Anomalous Walker”
7. 日本物理学会 第70回年次大会、於：早稲田大学, 2015年3月21日～24日
 - (a) 永弘進一郎, 中西秀, 御手洗菜美子: ずり粘化振動における粘化領域の3次元構造

- (b) 中尾幸, 坂上貴洋, 中西秀: 移動稜線モデルによる横列・縦列砂丘のダイナミクスとその安定性
- (c) 早瀬友美乃, 中西秀: まるめた紙の折れ目の構造解析
- (d) 梅木崇浩, 中西秀, 市川正敏: 熱水面上に浮遊する微小水滴のサイズ分布と温度の相関
- (e) 武久悟之, 野村清英: 複素関数論から見た整合 非整合遷移
- (f) 森重順平, 野村清英: Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張 II
- (g) 野村清英, 森重順平: Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張 III
- (h) 齋藤拓也, 坂上貴洋: 引き伸ばされていく高分子の揺らぎと移動距離
- (i) 坂上貴洋: ナノピストン中での DNA のダイナミクス

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)、「パイロクロア格子が創出する新奇スピン液体相の物性研究」（連携研究者、代表：大塚 博巳 (首都大学東京))
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）
4. 坂上貴洋, 新学術領域研究 (ゆらぎと構造の協奏) 公募研究、「負の相関に起因する異常拡散現象とその周辺」(研究代表)

学部 4 年生卒業研究

1. 案納 桂子, 「格子ボルツマン法の紹介」
2. 磯山 貴一, 「Toeplitz 行列からみた相関関数-1次元 XY モデル他への応用」
3. 宇土 弘毅, 「拡散係数が増加する拡散モデル」
4. 永徳 はるか, 「Anomalous yet Brownian diffusion に対する拡散モデル」
5. 椎葉 力哉, 「LBM の紹介とその数値計算」
6. 迎 裕樹, 「Repton model を用いた DNA の電気永動のシミュレーション」

修士論文

1. 武久 悟之, 「複素関数論から見た整合-非整合転移」
2. 中尾 幸, 「移動稜線モデルによる横列・縦列砂丘のダイナミクスとその安定性」

3. パク ドンヒョン, 「二相誘電溶液の電気粘性効果」

学外での学会活動

1. 中西秀、日本物理学会 代議員、物性委員会幹事京都大学基礎物理学研究所
共同利用運営委員会委員

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 》

福之上未来 穴井雄太

《 学部 卒業研究生 》

大神亮介 大山耕平 (前期のみ) 渡邊大悟 溜慎一郎

担当授業

身の回りの物理学 (河合伸)、物理学I (河合伸)、物理数学 II(河合伸)、
物理学総合演習 (成清修)、量子力学補習 (成清修)、教職実践演習 (成清修)

研究・教育目標と成果

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Sn 置換欠陥 (河合伸、穴井雄太)

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Sn 置換欠陥構造の第一原理計算を行った。置換欠陥の安定性、局所原子構造について、信頼性の高い結果をえた。置換欠陥による構造歪が数原子程度の距離に留まることを明らかにした。さらに、Sn 欠陥が Ge アドアトムと同様に正に帯電しているが、Sn 欠陥の局所状態密度が僅かにフェルミ順位を跨ぐことを明らかにした。Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面のレストアトムは、負に帯電していて、この表面が電荷分極が標準的の表面とは逆の分極を持つ特異な系であると解った。

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Pb 置換欠陥 (河合伸、大神亮介)

Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Pb 置換欠陥構造の第一原理計算を行った。置換欠陥の安定性、局所原子構造について、信頼性の高い結果をえた。Pb 欠陥の帯電が Ge アドアトムと比べ有意に小さいと解った。Pb 欠陥の局所状態密度が大きくフェルミ順位を跨ぐことを明らかにした。このことは、Ge(111) 表面 $c(2\times 8)$ 表面の Pb 置換で構成される線状の原子パターンが一次元伝導体になりうることを示している。将来への大きな発展の基礎となった。

Si(111)($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)Sn 表面の Si 置換欠陥 (河合伸)

Si(111)($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)Sn 表面は二次元ブラベ格子に一個の Sn 原子が吸着した構造であり、全ての Sn が同等である。最近、この表面の低温実験で、Sn 原子の吸着高さに 2 つの状態があることが報告された。これは、Si(111)($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)Sn 表面の従来への考えと矛盾する。

我々は、第一原理計算を使い、Si(111)($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)Sn 表面の安定性を確かめた。その計算をもとに、(1/27) の Sn を Si 原子と置換した系での安定構造を求めた。その結果、Si 欠陥からの距離に依って Sn 原子の高さが 2 値的に変化することを発見した。この変化は、長距離に及び、僅かな Si 置換欠陥が系全体の Sn 原子の高さ 2 値化することを示している。実験で報告された 2 つの状態は、Si 置換欠陥によって誘起されたものであることを明らかにした。

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、論文草稿は用意できたものの未だ投稿できていない。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。

オリゴマール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、学会発表および研究成果の出版を目標としていた。前者は達成したが、後者は来年度の目標とする。

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ル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。

構成的アプローチによる言語起源および言語進化の研究/教育 (成清修、福之上未来)

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。

ヒト言語に関する理論的研究は精密化されているが、時間を遡った動物の言語起源に関する理論的研究は未発達で、今後の発展を俟つところが大きい。我々は実験的解析の進んでいるトリ原始言語の起源と進化について新しい仮説を提唱した。それは、遺伝子の「重複」と「変異」による進化戦略を言語階層に適用したものである。

超伝導ゆらぎ理論の研究 (成清修)

本テーマに関しては、集大成の研究ノートをプレプリントサーバーに公開しつつある。超伝導ゆらぎによる熱伝導の理論的理解を達成した。近似によらず成立する Ward 恒等式の導出が鍵であった。

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、最終段階を迎えつつあり、共同研究者と総括論文の詰めを行っている。

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

《 原著論文 》

Ward identities for charge and heat currents of particle-particle and particle-hole pairs:
Osamu Narikiyo
Europhysics Letters, **107** (2014) 17003.

《 その他の論文 》

A Diagrammer's Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: Supplement. Boltzmann Equation and Fermi-Liquid Theory:
Osamu Narikiyo
arXiv:1406.5831.

講演

《 国内での講演 》

Minimal Cell in Oligomer World:
中村駿也、成清修

第 37 回日本分子生物学会年会 (2014 年 11 月 26 日)

STM による表面局在振動励起と表面原子操作

河合伸

物性科学シンポジウム (日本原子力研究開発機構主催) (2014 年 10 月 18 日)

学部 4 年生卒業研究

大神亮介 : (指導教員、河合伸) : Ge(111)-c(2 × 8) 表面の Pb 置換欠陥

大山耕平 : (前期のみ、指導教員、河合伸) : 固体表面構造の入門的理解

渡邊大悟 : (指導教員、成清修) : 統合情報の幾何学

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

福之上未来 : (指導教員、成清修) : 鳥型原始言語に対する構成的アプローチ

その他の活動と成果

物性コロキウム「Sn 吸着 Si(111) 表面の置換欠陥」(河合伸)

九州大学大学院理学研究院物理学部門物性基礎論 (2014 年 11 月 7 日)

高校出張講義「現代物理学入門 -アインシュタインの考えたこと-」(成清修)

福岡県立八女高等学校 (2014 年 7 月 30 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

《 大学院 修士課程 》

川見 洋一郎 布川 敬志 藤本 巧 前川 佳朗

安永 良子 甲木 義人 山本 伊吹

《 学部 卒業研究生 》

大山 耕平 林田 愛希羅 平嶋 将太 前山 聖哉

《 訪問研究者 》

Prof. Pham Duc Thang (Dean of Faculty of Engineering Physics and Nanotechnology, University of Engineering and Technology, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam)

Prof. Nguyen Huu Duc (Vice President of Vietnam National University, Hanoi, Vietnam)

担当授業

物性物理学 II (和田裕文)、物理学総論 (和田裕文)、素励起物理学 (和田裕文)、基幹物理学 IB (光田暁弘)、自然科学総合実験 (光田暁弘)、物理学総合実験 (光田暁弘)

研究・教育目標と成果

巨大磁気熱量効果を示す Mn 化合物を用いた磁気冷凍作業物質の開発 (和田裕文、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。今年度は (Mn,Fe):(P,Si) の仕込み組成比を 2:1 から系統的にずらせた場合の物性を調べた。組成を 1.95 : 1 にすると Fe₂P 型化合物の単相が得られ、シャープな磁気転移を示すが、さらに (P,Si)-rich の 1.9 : 1 にすると 2 種類の不純物相が現れ、主相の磁気転移はブロードになる。そして 1.85 : 1 にすると磁化が 2 ケタも減少し、系は反強磁性を示すことが明らかになった。このことはこの系では強磁性と反強磁性のエネルギー差が非常に小さいことを示している。こ

れがこの系の一次転移と何らかの相関があると考えられる。また、この系の温度ヒステリシスと格子定数 a のジャンプの大きさの相関について議論した。

磁場中伝導現象の研究（和田裕文、前川佳朗、山本伊吹）

最近、磁気抵抗やホール効果といった磁場中での伝導現象に興味を持ち、研究を進めている。今年度は遍歴電子メタ磁性転移 $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ のホール効果の磁場依存性を調べた。遍歴電子メタ磁性とは磁場によって引き起こされる常磁性から強磁性への一次転移である。ホール抵抗率を測定した結果、常磁性状態と強磁性状態で正常ホール係数が符号反転することがわかった。シングルキャリアモデルで伝導電子のキャリア数を算出すると、電気伝導に支配的なキャリアが電子からホールへと変化する結果が得られた。この結果はバンド分極により伝導電子が減るという考え方と矛盾しない。今後はバンド計算の結果と比較を行う予定である。また、異常ホール係数については常磁性-強磁性に関わらず温度上昇と共に直線的に増加する結果が得られている。その他に同じく遍歴電子メタ磁性を示す $\text{La}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_{13}$ 化合物の磁気抵抗を測定し、 $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ と同様に正の磁気抵抗を観測した。

価数転移を示す Eu 化合物の研究（光田暁弘、藤本巧、甲木義人、和田裕文）

Eu 化合物が示す価数転移について最近いろいろなバリエーションがあることが分かってきた。本年度は、従来型と似た振舞を示す $\text{Eu}(\text{Rh}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{Si}_2$ ($\text{M}=\text{Co}, \text{Ir}$) 系及び、価数秩序転移を伴う EuTX ($\text{T}=\text{Pt}, \text{Pd}, \text{Ni}$, $\text{X}=\text{P}, \text{As}$) 系に着目して研究を行った。前者については、 $x = 0$ において圧力誘起価数転移を示すことが最近の我々の研究で明らかになったが、この振舞を高圧下の X 線吸収実験によって、圧力下で価数が温度変化する様子を直接的に観測した。その様子は従来型の価数転移物質と同等であることが明らかになった。また、 $\text{M}=\text{Co}, \text{Ir}$ で置換した物質では常圧で価数転移を示すことが明らかになっているが、その振舞を低温粉末 X 線回折により調べた。特に $\text{M}=\text{Ir}$ において一次の価数転移において低温相、高温相のみならずその間に中間相が出現する様子が観測された。 EuRh_2Si_2 系の価数転移においては価数転移が多段で起こる様子がしばしば観測されるが、今回の結果はそれに対応する振舞と考えられる。一方で、 EuTX 系については試料作製が上手くいかず大きな進展がなかった。本年度は特に EuTX 系について試料作製と圧力効果について研究を進展させたい。

RT_2P_2 における一軸圧力効果（光田暁弘、安永良子、和田裕文）

正方晶 ThCr_2Si_2 型構造を持つ RT_2P_2 (R :希土類金属、 T :遷移金属) は各構成元素が層状に積層する構造をもっている。さらに P 層同士が接近して共有結合を形成する場合(結合相)とそうでない場合(非結合相)があり、それに伴う R や T 元素の磁性の変化が報告されている。我々は EuCo_2P_2 に注目した。この物質は 3GPa の静水圧下で P 層の非結合-結合転移が起こり、Eu の価数が 2 価から 3 価へ価数転移して Eu の反強磁性が消失するとともに、Co の磁性が常磁性→反強磁性へ変化することが報告されていた。今

回、我々は単結晶試料の c 軸方向に一軸圧力を加えることによって P 層の非結合-結合転移を誘起し、それに伴って現れる物性変化を予測して研究を行った。その結果、静水圧力よりも低い 0.5GPa の一軸圧力下で Co の強磁性が出現することが明らかになった。一方、Eu の価数は変化することなく 2 価のままであった。この結果は Co の形式価数をパラメータとして見ると RT_2P_2 系を統一的に理解できそうである。来年度は他の RT_2P_2 系における一軸圧力下の振舞を調べたい。

価数秩序転移物質 YbPd の研究 (光田暁弘、和田裕文、大山耕平)

立方晶 CsCl 型構造をもつ YbPd は $T_1 = 125\text{K}$ で立方晶から正方晶へ構造相転移し、 $T_2 = 105\text{K}$ で Yb が価数秩序転移し、 $T_3 = 1.9\text{K}$ で Yb が磁気秩序を示す。昨年度はこの物質の純良粉末試料を得ることに成功し、低温粉末 X 線回折から上記の構造相転移の詳細を調べることができた。本年度はより詳細な X 線回折を行った結果、 T_1 の構造相転移が従来の見解とは異なる相転移である可能性が浮上してきた。来年度はその詳細について調べることにする。また、 T_3 以下の磁気構造を粉末中性子回折から調べ、価数秩序構造と磁気秩序構造の相関についても明らかにしたい。

発表論文

《 原著論文 》

Tuning the Curie Temperature and Thermal Hysteresis of Giant Magnetocaloric $(\text{MnFe})_2\text{PX}$ ($X = \text{Ge}$ and Si) Compounds by the Ru Substitution:

Hirofumi Wada, Koshi Nakamura, Kodai Katagiri, Takayuki Ohnishi, Keiichiro Yamashita

and Akiyuki Matsushita Jpn. J. Appl. Phys. vol. **53** (2014) 063001.

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:

IEEE Trans. Magn. vol. **50**, No. 6, (2014) 2501806.

NMR studies of ordered structures and valence states in the successive valence-transition system EuPtP:

T. Mito, K. Nishitani, T. Koyama, H. Muta, T. Maruyama, G. Pristas, K. Ueda, T. Kohara, A. Mitsuda, M. Sugishima and H. Wada

Phys. Rev. B vol. **90**, No. 19 (2014) 195106.

Zero-field NMR and NQR studies of magnetically ordered state in charge-ordered EuPtP:

T. Koyama, T. Maruyama, K. Ueda, T. Mito, A. Mitsuda, M. Umeda, M. Sugishima, and H. Wada

Phys. Rev. B vol. **91**, No. 9 (2015) 094419.

《Proceedings》

Inelastic X-ray Scattering of Valence Fluctuating YbPd:

Akihiro Mitsuda, Masaki Sugishima, Takumi Hasegawa, Satoshi Tsutusi, Alfred Q. R. Baron, Masayuki Udagawa and Hirofumi Wada

JPS Conf. Proc. **3** (2014) 011037.

Structural phase transition and superconductivity in LaPt_2Si_2 : ^{139}La - and ^{195}Pt -NMR studies :

Tetsuro Kubo, Yasuhide Kizaki, Hisashi Kotegawa, Hideki Tou, Yutaro Nagano, Nobutaka Araoka, Akihiro Mitsuda and Hirofumi Wada

JPS Conf. Proc. **3** (2014) 017031.

Temperature-Induced Valence Transition of $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$: Hard X-ray Photoemission Study:

K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, E. Matsuyama, S. Motonami, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi

Proceedings of the 18 the Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2014) 127.

Valence-lattice interaction on YbPd:

T. Hasegawa, N. Ogita, A. Mitsuda, M. Sugishima, F. Wada, S. Tsutsui, and M. Udagawa

J. Phys: Conf. Ser. vol. **592** (2015) 012061.

講演

《海外での講演》

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

H. Wada, T. Takahara, K. Katagiri, K. Sadamatsu, T. Ohnishi, K. Soejima and K. Yamashita

59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, Hawaii

Valence-lattice interaction on YbPd:

T. Hasegawa, N. Ogita, A. Mitsuda, M. Sugishima, H. Wada, S. Tsutsui, A. Q. R. Baron, and M. Udagawa

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2014), Grenoble, France

Hard X-ray photoemission study of the temperature-induced valence transition system $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$:

K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, E. Matsuyama, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2014), Grenoble, France

40 T Soft X-ray Spectroscopy on Field-induced Valence Transition in $\text{Eu}(\text{Rh}_{1-x}\text{Ir}_x)_2\text{Si}_2$:

H. Yasumura, Y. Narumi, T. Nakamura, Y. Kontami, A. Yasui, E. Kishaba, A. Mitsuda, H. Wada, K. Kindo, and H. Nojiri

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2014), Grenoble, France

Bulk electronic structure in EuNi_2X_2 ($X = \text{Si}, \text{P}, \text{Ge}$) investigated by hard X-ray photoemission spectroscopy:

K. Mimura, K. Ichiki, H. Anzai, T. Uozumi, E. Matsuyama, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2014), Grenoble, France

Electronic Structure of the Temperature-Induced Valence Transition System $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$.

K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi

6th International Conference on Hard X-ray Photoemission Spectroscopy, Hsinchu, Taiwan

Eu 3d and 5p Electronic Structure of $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ Studied by Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy:

K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, E. Matsuyama, H. Sato, Y. Utsumi, S.

Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi
19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19), Niigata, Japan

Hard X-Ray Photoemission Study of EuNi_2X_2 ($\text{X} = \text{Si}, \text{P}, \text{Ge}$): Relation between Eu Mean Valence and Eu 3d Spectral Shape:

K. Mimura, K. Ichiki, H. Anzai, T. Uozumi, E. Matsuyama, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi
19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19), Niigata, Japan

Eu 3d and 5p Core-Level Photoemission Study on Temperature-Induced Valence Transition of $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$:

K. Ichiki, K. Mimura, H. Anzai, T. Uozumi, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi
19th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Higashi-Hiroshima, Japan

Electronic Structure of EuNi_2X_2 ($\text{X} = \text{Si}, \text{P}, \text{Ge}$) Studied by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy.

K. Mimura, K. Ichiki, H. Anzai, A. Hariki, T. Uozumi, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, A. Mitsuda, H. Wada, Y. Taguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi
19th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Higashi-Hiroshima, Japan

Temperature Dependence of Fermi Surface in Mixed-Valent EuPtP .

H. Anzai, K. Ichiki, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, A. Mitsuda, M. Umeda, S. Manabe, H. Wada, H. Ikeda, and K. Mimura
19th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Higashi-Hiroshima, Japan

《 国内での講演 》

^{151}Eu 放射光メスバウアー分光による EuRh_2Si_2 の圧力下磁場誘起価数転移の観測:
光田暁弘, 浜野卓, 喜舎場英吾, 増田亮, 北尾真司, 小林康浩, 瀬戸誠, 小林寿夫, 阪

口友唯, 依田芳卓, 平尾直久, 和田裕文

日本物理学会 2014 年秋季大会

$\text{Eu}(\text{Rh}_{1-x}\text{Ir}_x)_2\text{Si}_2$ の磁場誘起価数転移における表面とバルクの比較:

安村光正, 鳴海康雄, 野尻浩之, 中村哲也, 小谷佳範, 保井晃, 喜舎場英吾, 光田暁弘, 和田裕文, 金道浩一

日本物理学会 2014 年秋季大会

$\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ のホール効果:

前川佳朗, 和田裕文, 川崎大地

日本物理学会 2014 年秋季大会

温度誘起価数転移を示す $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の電子状態: 硬 X 線光電子分光による研究 II :

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, 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 2014 年秋季大会

EuNi_2P_2 における磁場下での伝導現象:

山本伊吹, 合木悠介, 和田裕文

日本物理学会 2014 年秋季大会

正方晶 ThCr_2Si_2 型 Eu 化合物の一軸圧効果:

安永良子, 光田暁弘, 和田裕文

日本物理学会 2014 年秋季大会

価数転移を示す Eu 化合物の磁気秩序状態における NMR 測定:

丸山丈博, 小山岳秀, 上山藤乃, 上田光一, 水戸毅, 光田暁弘, 喜舎場英吾, 杉島正樹, 和田裕文

日本物理学会 2014 年秋季大会

パルス強磁場と組み合わせた一軸圧力下超音波測定装置の開発:

中西良樹, Y. Shadi, Z. Sergei, W. Joachim, 光田暁弘, 和田裕文, 青木大

日本物理学会 第 70 回年次大会

価数秩序物質 YbPd の低温粉末 X 線回折:

光田暁弘, 田邊巧祐, 長谷川巧, 筒井智嗣, 和田裕文

日本物理学会 第 70 回年次大会

二段の価数転移を示す EuPtP の角度分解光電子分光:

安齋太陽, 市木勝也, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, 光田暁弘, 梅田真史, 眞鍋栄樹, 和田裕文, 池田浩章, 三村功次郎

第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽

磁気熱量効果測定のための高精度磁場中示差走査熱量計の開発

研究代表者：和田裕文

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

JST ALCA

階層構造磁気蓄熱再生器を持つ磁気ヒートポンプの開発

研究代表者:川南 剛

他大学での研究と教育

和田裕文：福岡大学理学部で極限物質科学の講義を半期担当した。

光田暁弘：新潟大学理学部で集中講義を担当した。

学部 4 年生卒業研究

大山 耕平：(指導教員、光田暁弘)：価数秩序物質 YbPd の一軸圧力効果

林田 愛希羅：(指導教員、和田裕文)：遍歴電子メタ磁性体 $\text{La}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_{13}$ の磁気抵抗

平嶋 将太：(指導教員、和田裕文)：MnFePSi 化合物の磁性に及ぼす作製プロセスの効果

前山 聖哉：(指導教員、和田裕文)：Ni 置換 MnFePSi 化合物の低温 X 線回折

修士論文

川見 洋一郎：(指導教員、和田裕文)：三角格子を有する CsNiP の磁氣的性質

布川 敬志：(指導教員、和田裕文)：(Mn,Fe,Ru)₂(P,Si) の磁性に及ぼす非化学量論組成の効果

藤本 巧：(指導教員光田暁弘)：EuRh₂Si₂ 系における Eu 価数の圧力効果と価数転移に伴う構造変化

前川 佳朗：(指導教員、和田裕文)：Co(S_{1-x}Se_x)₂ のホール効果

安永 良子：(指導教員、光田暁弘)：EuCo₂P₂ の一軸圧力効果

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

光田暁弘：日本物理学会九州支部 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：九州大学理学研究院副研究院長

和田裕文：九州大学低温センター長

和田裕文：九州大学理学部附属極低温実験室長

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

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

量子微小物性 A
渡部
物性物理学 III
原子分子の量子力学
電磁気学 II（渡部）
半導体物理学（大学院）
全学共通教育 基幹物理学 1 A（伊都）
全学共通教育 基幹物理学 1 B（伊都）

量子微小物性 B
荒井
物理学実験（前期）
物理学実験（後期）

研究・教育目標と成果

渡部と荒井は、組織上独立で、以下の(1)-(5)が渡部(量子微小物性 A)、(6)-(7)が荒井(量子微小物性 B)の研究テーマ。(物理部門から大学本部へ、渡部と荒井が別組織として報告された 2010 年以降、この報告に沿って、予算部屋等全て独立である。)

(1)-(5) 全体の研究概要と目的 (この記述は毎年ほぼ同じ, 渡部)

一言でまとめ

(1)-(5)は全体として一つのテーマ。

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

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

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

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

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

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

Y. Watanabe, Phys. Rev. B57, 789(1998) ISI 被引用 101 回 (109 回) 等

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

Y. Watanabe, Appl. Phys. Lett. 66, 1770 (1995) ISI 被引用 118 回 (138 回)

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

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

Y. Watanabe, M. Okano, and A. Masuda, Phys. Rev. Lett. 86, 332-335 (2001)

ISI 被引用 73 回 (83 回)

Physical Review Focus 2001.1.8 に解説

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

Y. Watanabe et al., Physica C235-240, 739(1994)

Y. Watanabe, Phys. Rev. B59, 11257(1999) ISI 被引用 117 回 (131 回)

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

Y.Watanabe, J.G.Bednorz et al., Appl. Phys. Lett.78, 3738(2001) ISI 被引用 371 回 (539 回)

MRS Bulletin 26 (7) 489 (2001) に解説

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

Y.Watanabe,Ferroelectrics349,190-209(2007)(自己論文の解説)ISI 被引用 30 回 (33 回)

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

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

上記の議論とテーマ (2)(3) は、強誘電体や多くの酸化物の微小化の物性制限が、現在現在考えられているものと大きく異なる可能性を示す。これを実証するに、従来のナノ構造形成法では困難なため、全く新しい方法が必要になる。これがテーマ (5) である。成立特許 3 件 (2014 年)

ISI は Web of Science(トムソン・ロイター)(各分野で運営している専用引用サイト (例:

素核専用)の引用数はISIより約3割増しになる)。()内の引用数は、Google Scholar。

今年度の各テーマの説明

(1) 強誘電体酸化物の相転移での伝導異常の解明 (渡部) :

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

(2) 強誘電体酸化物の表面電子層の確定 (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の初期の形を提出している。

以下の(3)の結果と総合して、原子レベルで制御した強誘電体酸化物の表面電子層の物性解明することを予定している。この研究に関しては、今年度は主に(3)の立場で行った

途中経過ではあるが、この研究の現状を、材料関係で世界的に最も重視されているアメリカ材料学会(MRS)の招待講演で発表した。

(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ている。

この理論解析と実験を今年行った。特に、電極外側の分域構造の電位分布と圧電応答分布を測定し、分極が揃う過程を解析した。また、この電位分布を2次元の数値モデルで解析した。

(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ており、酸化物強誘電体単結

晶の相転移での伝導異常と強誘電体エピタキシャル薄膜の伝導異常のの解明に用いることを検討している。

今年度は本テーマの進展はなかった

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

また、本研究に関して3件の特許を取得した。

荒井准助教の研究活動

(6) 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平成23年度採択された挑戦的萌芽研究科研費で加熱蒸着方式の準周期構造多層膜作製装置や極低温2Kまでの熱伝導率測定装置の製作を行った。基幹部分は目途が立ち、周辺部分の製作に入っている。計算機シミュレーションを準備している。同時に多層膜による1次元方向での熱伝導ばかりでなく、最近大きく進展している3次元プリンタを用いた3次元構造での研究の可能性の検討を行った。

(7) 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*. 461,38-43(2015)

《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.

MRS Proceedings, Volume 1674, (2014) mrss14-1674-j02-06, (MRS Online Proceedings Library)

著書

講演

《海外での講演》

国際会議 招待講演

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,

MRS Spring Meeting (2014)

国際会議

Materials Research Society Spring Meeting (MRS Spring Meeting), 座長.

外部資金

《文部省科学研究費補助金》

渡部 行男 代表 (共同研究者無し),

金属酸化物からのトンネル電子による、結晶性酸化物ヘテロ接合の形成

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

他大学での研究と教育

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)

日本学術振興会からの委託業務 (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)

渡部、加来、松元、金属酸化物を含むヘテロ構造の作製法及び該金属酸化物の製造法
特許第 5585137 号

渡部、松元、加来、酸化物強誘電体の分極電場の増大法
特許第 5659517 号

渡部、加来、金属酸化物を含むヘテロ接合を有する微小構造体
特許第 5672623 号

固体電子物性

研究室構成員

木村 崇 教授

大西 紘平 助教 山田 和正 助教

《 博士研究員 》

山田 晋也

《 大学院 博士課程 》

野村 竜也 日出柄 誠 山野井 一人

《 大学院 修士課程 》

小野 雄馬 川北 直史 高以来 優

《 学部 卒業研究生 》

坂本 美智子 植松 銀河 横谷 有紀 岡部 京太

姫野 滉盛

《 訪問研究者 》

Gerrit Ernst-Wilhelm Bauer Kungwon Rhie Alexander Pfeiffer Rajesh
Kumar Imtiaz Ahmed

担当授業

物理実験学 (木村崇)、基幹物理学 I A (木村崇)、基幹教育セミナー (木村崇)、物理学ゼミナール (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

スピン偏極電極を用いた電界誘起相転移現象 (川北直史、岡部京太、木村崇)

GdO や NiO などの金属酸化物を2つの金属電極で挟み、電界を印加すると金属絶縁体相転移現象が誘起される。この現象は、電界の極性反転により逆方向の相変化も誘起できるため、物理的に興味深いだけでなく、抵抗スイッチング素子やメモリストなどのナノエレクトロニクスへの応用も期待されている。我々は、相転移を示す金属酸化物が磁性をもつ原子を含む場合が多いことに着目し、相転移とスピン状態の相関を明らかにするべく研究を進めている。本研究では、W/NiO/CoFeB 素子を作製し、伝導特性の評価を行った。温度の低下につれて、高抵抗状態から低抵抗状態への転移時の

スイッチング電圧が高くなる傾向がみられ、NiOの磁気特性とスイッチング電圧との間に相関があることを示す結果が得られた。

CoFe系合金を用いた熱励起スピン流生成の研究 (野村竜也、植松銀河、大西紘平、木村崇)

熱を使ったスピン流生成は、新奇な熱電素子や新しいスピンドバイスの実現を期待させる興味深い現象である。我々は、特徴的なバンド構造を有したCoFeAl合金を使った横型スピンバルブ素子、熱電素子において、CoFeAl/非磁性体の界面に温度勾配をつけることで、効率よくスピン流を生成することに成功した。また、スピン依存ペルチェ効果による冷却効果の観測にも成功した。今後は、より変換効率の大きな熱電素子の実現を目指し研究を行う予定である。

磁性薄膜の熱スピンドイナミクスと非線形的振る舞いの研究 (山野井一人、横谷有紀、木村崇)

今年度の成果を下記に示す。

1. 強磁性薄膜における磁化の歳差運動時の発熱現象の観察を行い、この効果を活用した非磁性体への熱スピン注入を達成した。
2. 微細強磁性薄膜に高強度不均一マイクロ波を照射することで、非線形強磁性共鳴と定在スピン波の励起に成功した。

来年度は、スピンドイナミクスと熱との相関関係の詳細な解明を目指す。

スピン偏極電子とクーパ対との相互作用の観測 (坂本美智子、小野雄馬、大西紘平、木村崇)

超伝導体と強磁性体で常磁性体を挟む構造を使って、スピン蓄積とクーパ対が共存した状態を人工的に創出し、クーパ対に対するスピン偏極電子の影響を以下の2つの方法で観測した。1つ目の実験では多端子スピン注入源を使って調べた。試料はスピン注入源となる2つのNiFeドットと中央に検出用のNiFeドットをNb/Cu上に配置した構造である。スピン注入源の磁化方向を操作して非局所抵抗を測定し、スピン蓄積の有無で比較を行った。スピン蓄積がある方が電流による非局所抵抗上昇率が高いことから、スピン蓄積によるクーパ対破壊を示唆する結果を得た。2つ目の実験ではジョセフソン結合を用いて、強磁性体近接効果を受けた非磁性体に超伝導電流を流し、その変調から調べた。試料はNiFe/Cu/Nbの三層の細線にミリングによってNb層にのみギャップを作ることでジョセフソン接合を実現した。その結果、NiFeの界面近傍のみ超伝導状態が抑制されている様子が観測され、界面における強磁性近接効果の観測の可能性を示した。

有機スピントロニクス (山田和正)

近年、有機のスピ注入が注目されている。有機はエコロジーな材料であり、フレキシブルなスピデバイスを作ることが可能になるスピ注入を行うためには、磁性金属と良好な界面（できるならオーミックコンタクト）を得ることが必要である。導電性高分子と磁性金属の界面はよく分かっていない。界面を調べるため、I-V特性、C-V特性の測定およびその温度依存性の測定を行なった。スピバルブ効果は得られなかった。金属と導電性高分子の界面の特性を調べた。高分子と金属の界面に、導電性の小さい層ができていないかと考えられる。界面の改良が必要だと分かった。

発表論文

《原著論文》

Magnetization reversal of permalloy film by pure spin current injection: relation between reversal time and injected surface:

S. Honda and T. Kimura,
JPS Conf. Proc., **5** (2015) pp.011017

Geometrical optimization of a local ballistic magnetic sensor:

Yuhsuke Kanda, Tatsuya Nomura, Takashi Kimura and Masahiro Hara,
Appl. Phys. Lett. **104** (2014) pp.142408

Efficient thermal spin injection using CoFeAl nanowire:

S. Hu, H. Itoh and T. Kimura,
NPG Asia Mater., **6** (2014) e127

Significant change of spin transport property in Cu/Nb bilayer due to superconducting transition:

K. Ohnishi, Y. Ono, T. Nomura and T. Kimura,
Sci. Rep., **4** (2014) pp.6260

Detection of a vortex nucleation position in a circular ferromagnet using asymmetrically configured electrodes:

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

Appl. Phys. Lett., **105** (2014) pp.082403

Significant modulation of electrical spin accumulation by efficient thermal spin injection:

S. Hu, and T. Kimura,
Phys. Rev. B, **90** (2014) pp.134412

講演

《海外での講演》

Spin current insulation at a superconducting/normal metal interface:

K. Ohnishi, Y. Ono, M. Sakamoto, T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Electric-field-induced phase transition using spin-polarized electrode:

K. Okabe, M. Kawakita, S. Yakata, T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Thermally-driven spin injection and spin-injection-induced heat ejection:

T. Nomura, G. Uematsu, and T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Detection of heating effect induced by spin dynamics in a ferromagnetic thin film:

K. Yamanoi, Y. Yokotani, and T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Spin transports and its control in nonmagnetic bended wires:

Y. Takaira, S. Hu, T. Nomura, and T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Excitation of nonlinear ferromagnetic resonance and standing spin wave under strong ac magnetic field:

Y. Yokotani, K. Yamanoi, S. Yakata, and T. Kimura,
International Workshop “Nano-Spin Sciences”, Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Possibility to control the Cooper-pair formation dynamics using multi-terminal spin injection:

M. Sakamoto, Y. Ono, K. Ohnishi, T. Kimura,
International Workshop “ Nano-Spin Sciences ” , Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Modulation of spin current transport using magnetic oxide film:

M. Kawakita, K. Okabe, T. Nomura, S. Yakata, and T. Kimura,
International Workshop “ Nano-Spin Sciences ” , Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Spin dynamics in aNb/Cu/NiFe tri-layerd structure:

Y. Ono, K. Ohnishi, S. Yakata, and T. Kimura,
International Workshop “ Nano-Spin Sciences ” , Karatsu, Japan, (Feb. 2015)

Enhancement of thermal spin signal and suppression of anomalous Nernst effect in the CoFeAl/Cu/CoFeAl lateral spin valve:

G. Uematsu, T. Nomura, S. Hu, M. Hidegara, and T. Kimura,
International Workshop “ Nano-Spin Sciences ” , Karatsu, Japan (Feb. 2015)

Spin current reflection due to a superconducting gap in a Nb/Cu/NiFe tri-layered structure:

K. Ohnishi, Y. Ono, T. Nomura, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA) Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

Highly efficient thermal spin injection using CoFeAl injector:

T. Kimura,
Nano S&T, China (Oct, 2014)

Spin dynamics in a Nb/Cu/NiFe tri-layered structure:

Y. Ono, K. Ohnishi, S. Yakata, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

Efficient lateral spin valve device consisting of different ferromagnetic nanopillars:

S. Hu, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia
(IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

Control of GdOx transform by spin-polarized nanogap electrodes:
M. Kawakita, K. Ohnishi, S. Yamada, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia
(IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

Spin precession due to in-plane magnetic field in a CoFeAl/Cu/CoFeAl metallic lateral
spin valve:
T. Nomura, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia
(IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

Magnetic and transport properties of submicron Gd strip:
M. Hidegara, Tatsuya Nomura, Kohei Ohnishi, Masahiro Hara, and Takashi Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia
(IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

2nd harmonic detection of nonlinear vortex oscillation under strong RF magnetic field
based on the anisotropic magnetoresistance effect:
X. Cui, S. Yakata, and T. Kimura,
International Union of Materials Research Society International Conference in Asia
(IUMRS-ICA), Fukuoka, Japan (Aug. 2014)

《国内での講演》

横型スピバルブ素子における熱流の影響と熱流を用いた高効率スピン流生成:

木村崇,

第23回日本磁気学会光機能磁性材料・デバイス専門研究会, 中央大学, 2015年3月

スピンドYNAMIXに起因した磁性薄膜ヒーティング効果の検出:

山野井一人, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

横型スピバルブを用いた依存ペルチェ効果の検出:

野村竜也, 植松銀河, 日出柄誠, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

曲がりをもつ非磁性細線におけるスピン流の拡散伝導とその制御:

高以來優, 胡少杰, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

磁性酸化物薄膜によるスピン流輸送特性の変調:

川北直史, 岡部京太, 野村竜也, 冢形諭, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

スピン偏極電極を用いた電界誘起相転移現象:

岡部京太, 川北直史, 冢形諭, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

多端子スピン注入によるクーパ対形成ダイナミクス制御の試み:

坂本美智子, 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

Nb/Cu/Nb ジョセフソン接合における強磁性薄膜近接効果の影響:

小野雄馬, 坂本美智子, 大西紘平, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

CoFe系合金を用いた高効率熱スピン注入と熱励起スピン信号の巨大化:

植松銀河, 野村竜也, 日出柄誠, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

高強度マイクロ波磁界による非線形強磁性共鳴と定在スピン波の励起:

横谷有紀, 山野井一人, 冢形諭, 木村崇,

日本物理学会 第70回年次大会, 東京, 2015年3月

強磁性三角ナノリングにおける還流磁区状態の制御と磁化過程の検出:

日出柄誠, 野村竜也, 木村崇,

日本物理学会 第 70 回年次大会, 東京, 2015 年 3 月

超伝導体/常伝導体界面における純スピン流反射現象:

大西紘平, 小野雄馬, 坂本美智子, 木村崇,

量子ナノスピン物性研究センター研究会「ナノ物理研究の最前線」, 糸島, 2015 年 2 月

NiO 薄膜を介した 3d 伝導電子のスピン輸送特性:

岡部京太, 川北直史, 野村竜也, 家形諭, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

ナノ磁性体中のスピンドYNAMICSによるエネルギー散逸機構:

横谷有紀, 山野井一人, 家形諭, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

CoFe 系合金における熱的スピン流励起と非線形スピン吸収効果:

植松銀河, 野村竜也, 胡少杰, 日出柄誠, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

多端子スピン生成源を用いたクーパ対形成ダイナミクスの解明:

坂本美智子, 小野雄馬, 大西紘平, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

高スピン偏極ハード磁性体を用いた 3 次元スピン歳差運動の実現とスピン検出:

高以來優, 胡少杰, 野村竜也, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

強磁性三角ナノリングの静的、及び動的磁化状態の検出:

日出柄誠, 崔曉敏, 木村崇,

日本物理学会 第 120 回九州支部例会, 熊本, 2014 年 12 月

強磁性-常磁性 複合ナノ構造におけるスピン流の電氣的、及び熱的制御:

木村崇,

応用物理学会 応用電子物性分科会, 東京, 2014 年 11 月

スピン流制御と磁場センサー:

木村崇,
イノベーションジャパン 2014, 東京, 2014年9月

超伝導転移温度近傍における Cu/Nb 二層膜のスピン輸送特性:
小野雄馬, 大西紘平, 坂本美智子, 木村崇,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月

スピン偏極電極を用いた磁性酸化物薄膜における電界誘起相転移現象の観測:
川北直史, 岡部京太, 大西紘平, 木村崇,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月

CoFe 系合金における静磁的相互作用を用いたスピンドイナミクスの変調:
山野井一人, 胡少杰, 姫野滉盛, 横谷有紀, 家形諭, 木村崇,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月

熱スピン注入による間接的スピン信号の検出:
野村竜也, 植松銀河, 胡少杰, 大西紘平, 木村崇,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 年 9 月

多角形状ナノ磁性体の磁気渦形成過程の不安定性とスピンドイナミクス:
日出柄誠, 崔曉敏, 大西紘平, 木村崇,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 春日井, 2014 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への応用
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

巨大純スピン流を用いた超高性能多端子スピントルク発振器

研究代表者：木村 崇

文部省科学研究費補助金、若手 (B)

高スピン偏極ナノピラーによる交差アンドレーエフ反射の観測と量子ビットへの応用
研究代表者：大西紘平

CREST 次世代エレクトロニクスデバイスの創出に資する革新材料・プロセス研究
電荷レス・スピン流の三次元注入技術を用いた超高速スピンドバイスの開発
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 (日本学術振興会 特別研究員 PD) 縦型スピン伝導素子の創製に向けたハー
フメタル合金上への半導体結晶成長

野村 竜也 (日本学術振興会 特別研究員 DC1) 方向制御純スピン流による革新的磁区構
造制御技術の創成

学部 4 年生卒業研究

横谷 有紀:(指導教員、木村崇) 高強度高周波磁場下におけるスピンドYNAMIXの研究
植松 銀河:(指導教員、木村崇) 強磁性/非磁性複合構造におけるスピン流輸送特性の
研究

岡部 京太:(指導教員、木村崇) 交換結合 CoFeB/NiO 多層膜の磁気特性と電界効果の
研究

坂本 美智子:(指導教員、木村崇) 近接効果型超伝導 Cu 薄膜におけるスピン蓄積効果の
研究

その他の活動と成果

高校生のための体験入学 2014 年 3 月

光物性

研究室構成員

佐藤 琢哉 准教授

《 学部 卒業研究生 》

鬼東 空汰 中垣内 啓太 姫野 滉盛

担当授業

物理学総合実験 (佐藤琢哉)、物理学ゼミナール (佐藤琢哉)

研究・教育目標と成果

六方晶反強磁性体を用いた偏光 - 磁化振動の 3 次元転写の研究 (佐藤琢哉)

3 回対称性を持つ六方晶 YMnO_3 は、3 つの直交する独立な磁化振動モード (X, Y, Z モード) を持つ。ここに偏光ストークスパラメータ S_1, S_2, S_3 のフェムト秒光パルスを照射すると、逆コットン・ムートン効果、逆ファラデー効果の作用により、それぞれ X, Y, Z モードの磁化振動モードが誘起された。これは光の 3 つの偏光自由度すべてを独立に磁化振動モードという形で転写できたことを意味している。時間遅延を与えたプローブ光を用いて、コットン・ムートン効果とファラデー効果によって、この 3 つの磁化振動モードを独立に読み出した。また、偏光がねじれたダブル光パルスを用いて、約 1 THz で回転運動する磁化振動モードを単結晶系で初めて引き起こした。この結果は、振動モードのそれぞれに重ね合わせの原理が成り立ち、図 1 のようにポアンカレ球上の任意の点で示される偏光を持つ光パルスの偏光情報を、磁性体へ書き込み、またそれを別の光パルスで読み出せることを意味している。東京大学生産技術研究所の志村努教授、飯田隆吾博士 (元大学院生)、ドイツ・FAU の樋口卓也博士、スイス・ETH Zürich の Manfred Fiebig 教授との共同研究である。

光誘起スピン波の時間分解イメージングの開発 (佐藤琢哉)

スピン波は磁気秩序を持つ物質中を伝播する波であり、電子の電荷が移動しないためにジュール熱が生じないという特徴を持つ。そのため、スピン波は消費電力が少ない情報処理技術に応用されることが期待されている。われわれは、光パルスで非熱的に生成されたスピン波の 2 次元波形を時間分解して測定するイメージング手法を開発し

てきた。スピン波の伝播をポンプ-プローブ法と CCD カメラを用いた 2 次元イメージングを組み合わせることで測定した。スピン波は円偏光パルスをビスマス添加希土類鉄ガーネット単結晶に照射することで逆ファラデー効果の作用により生成される。2 枚の試料を 100 μm 離して並べ、片方にスピン波を生成したところ、スピン波がギャップを越えて隣の試料に伝播する様子 (いわゆるスピン波トンネル現象) を観測することに成功した。東京大学生産技術研究所の志村努教授、吉峯功氏 (大学院生) との共同研究である。

フェリ磁性体におけるテラヘルツスピン歳差運動の研究 (佐藤琢哉)

ビスマス添加希土類ガーネットにおいて、逆ファラデー効果を用いてスピン歳差運動を誘起した。その結果、二つの振動モードが観測された。一つは数 GHz 程度の周波数の歳差運動 (後方体積スピン波) と、外部磁場に依存しない THz 程度の振動モードである。これらのモードは保証温度と臨界温度に近づくにつれて周波数が急激に減少することが見出された。高周波モードの起源は、希土類副格子と遷移金属副格子の間の交換共鳴の励起であると考えている。フェリ磁性体としては極めて高い周波数の磁気モードの励起に成功したと言える。東京大学生産技術研究所の吉峯功氏 (大学院生)、ポーランド・University of Białystok の An drzej Maziewski 教授、Andrzej Stupakiewicz 准教授、Sergii Parchenko 氏 (大学院生) との共同研究である。

CuB₂O₄ の円偏光励起ダイナミクスの研究 (佐藤琢哉)

ワイドギャップ遷移金属酸化物である CuB₂O₄ には結晶学的・光学的に様々な興味深い性質が報告されている。CuB₂O₄ の単位結晶中には 2 種類の結晶配置をとる Cu 原子 (4 配位する Cu(A) と 6 配位する Cu(B)) が存在し、それぞれに共鳴する各 3 つの d-d 遷移のスペクトルピークは FWHM が 1 meV 程度と非常に急峻である。この急峻なスペクトルピークによって、個々のエネルギー準位が分離している半導体のようにスピン偏極した電子の励起や、Cu(A), Cu(B) に対する選択的アクセスが可能になることが期待される。本研究では超短パルス光を用いた時間分解 Pump-Probe 測定法により Cu(A), Cu(B) に共鳴する Pump 光による励起を試み、Cu(A), Cu(B) に対する選択的アクセスを目指して行われた。Pump 光による励起直後に生じた面直成分のスピンが指数関数的に緩和されこと分かり、スピン偏極した電子の励起・観測に成功したといえる。東京大学生産技術研究所の志村努教授、今坂光太郎氏 (大学院生)、ロシア・Ioffe 研究所の R. V. Pisarev 教授、A. M. Kalashnikova 博士、ロシア・Kerensky 研究所の L. N. Bezmaternykh 博士との共同研究である。

発表論文

《原著論文》

Phase-controllable spin wave generation in iron garnet by linearly polarized light pulses:
I. Yoshimine, T. Satoh, R. Iida, A. Stupakiewicz, A. Maziewski, and T. Shimura,
Journal of Applied Physics **116** (2014) pp.0439071-1-8

Magnetization reversal and magnetic domain structures in Gd-Yb-BIG crystals:
S. Parchenko, M. Tekielak, I. Yoshimine, T. Satoh, A. Maziewski, and A. Stupakiewicz,
IEEE Transactions on Magnetics **50** (2014) pp.6000904-1-4

Writing and reading of an arbitrary optical polarization state in an antiferromagnet:
T. Satoh, R. Iida, T. Higuchi, M. Fiebig, and T. Shimura,
Nature Photonics **9** (2015) pp.25-29

著書

Ultrafast Magnetism I

Proceedings of the International Conference UMC 2013 Strasbourg, France, October
28th - November 1st, 2013:

Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 159 (2014)

J.-Y. Bigot, W. Hübner, T. Rasing, R. Chantrell (Eds.)

Excitation and control of spin wave by light pulses

T. Satoh, Y. Terui, R. Moriya, B. A. Ivanov, K. Ando, E. Saitoh, T. Shimura, and K.
Kuroda

講演

《海外での講演》

Magnetization reversal and magnetic domain structures in Gd-Yb-BIG crystals:
S. Parchenko, M. Tekielak, I. Yoshimine, T. Satoh, A. Maziewski, A. Stupakiewicz,
IEEE International Magnetics Conference, INTERMAG Europe 2014, 9 BV, May 4-8,
2014 (Dresden, Germany)

Non-thermally induced of ultrafast magnetization precession in rare-earth Bi-doped

iron garnets:

S. Parchenko, I. Yoshimine, T. Satoh, A. Maziewski, A. Stupakiewicz,
The European Conference PHYSICS OF MAGNETISM 2014 (PM'14), P-3-17, June
23-27, 2014 (Poznan, Poland)

Spatio-temporally resolved study of spin wave generated by light pulses:

I. Yoshimine, T. Satoh, A. Stupakiewicz, A. Maziewski, and T. Shimura,
Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2014, 1OR-A-2, June 29 -
July 3, 2014 (Moscow, Russia)

Optical control and detection of three dimensional magnetic oscillations in YMnO_3
(invited):

T. Satoh,
Moscow International Symposium on Magnetism (MISM) 2014, 3TL-C-2, June 29 -
July 3, 2014 (Moscow, Russia)

Terahertz spin manipulation in antiferromagnets (invited):

T. Satoh,
International Workshop Novel Trends in Physics of Ferroics (NTPF) 2014, July 4-6,
2014 (St. Petersburg, Russia)

Spin wave excitation and control by femtosecond pulses (invited):

T. Satoh
The second International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (ICAMN2014),
Oct. 29 - Nov. 1, 2014 (Hanoi, Vietnam)

《 国内での講演 》

超短光パルスによるスピンの励起とその伝播の時空間イメージング:

吉峯功, 佐藤琢哉, 志村努

第39回光学シンポジウム, 13, June 26-27, 2014 (東京大学生産技術研究所)

超高速な磁気の波を自在に制御しイメージングする (invited):

佐藤琢哉

CREST・さきがけ光科学光技術合同シンポジウム 進化する光イメージング技術～ 百
聞はイメージングに如かず II～, June 27, 2014 (東京大学)

Ultrafast manipulation of spin and orbital angular momenta by light pulses (invited):

T. Satoh

第38回日本磁気学会学術講演会, Symposium "Spin manipulation using light" 3aB-1, Sep. 2-5, 2014 (慶應義塾大学)

CuB₂O₄ 結晶の超高速ダイナミクス:

今坂光太郎, A. M. Kalashnikova, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh, 志村努, 佐藤琢哉

日本物理学会「2014年秋季大会」, 7aAJ-4, Sep. 7-10, 2014 (中部大学)

Observation of reflection and tunnel effect in photoinduced spin waves by spatio-temporally resolved imaging:

I. Yoshimine, T. Satoh, T. Shimura

2014年 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-S2-4, Sep. 17-21, 2014 (北海道大学)

次世代スピントロニクスに向けた時間分解スピン波イメージングの手法開発:

佐藤琢哉

九州大学テクノロジーフォーラム2014, G410-07, Dec. 3, 2014 (東京国際フォーラム)

光パルスを用いた六方晶 YMnO₃ 磁化のベクトル制御:

佐藤琢哉, 飯田隆吾, 樋口卓也, M. Fiebig, 志村努

第120回日本物理学会九州支部例会, G410-07, Dec. 6, 2014 (崇城大学)

フェムト秒光パルスを用いた CuB₂O₄ のフォノン・スピンダイナミクス:

今坂光太郎, A. M. Kalashnikova, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh, 志村努, 佐藤琢哉

International Symposium on Optical Memory (ISOM) '15 Workshop, Dec. 18, 2014 (東京大学生産技術研究所)

フェムト秒光パルスによる超高速スピン波制御:

佐藤琢哉

九州大学量子ナノスピン物性研究センター研究会「ナノ物理研究の最前線」, Feb. 6, 2015 (九州大学伊都キャンパス)

Writing and reading of optical polarization state in antiferromagnet (invited):

T. Satoh

International Workshop Nano-Spin Sciences, Feb. 18-19, 2015 (Yobuko, Japan)

六方晶反強磁性体を用いた偏光-磁化振動の3次元転写 (invited):

佐藤琢哉

平成26年度スピン変換年次報告会, Mar. 3-4, 2015 (京都大学ローム記念館)

CuB_2O_4 の円偏光励起スピンドイナミクス:

今坂光太郎, A. M. Kalashnikova, R. V. Pisarev, L. N. Bezmaternykh, 志村努, 佐藤琢哉

日本物理学会「第70回年次大会」, 24aCN-11, Mar. 21-24, 2015 (早稲田大学早稲田キャンパス)

他大学での研究と教育

佐藤琢哉: 東京大学生産技術研究所で研究員として研究を行った。

学部4年生卒業研究

鬼東空汰:(指導教員、佐藤琢哉): 光とスピン波の相互作用

中垣内啓太:(指導教員、佐藤琢哉): 固体の非線形光学特性:エネルギー考察

姫野滉盛:(指導教員、佐藤琢哉): 逆ファラデー効果, ラマン散乱と関連する現象の理論的考察

学外での学会活動

日本磁気学会 企画委員

MORIS 2015 Program committee

電気学会 フォト・マグノニクス技術調査専門委員会委員

その他の活動と成果

佐藤琢哉: 船井情報科学振興財団 第14回船井学術賞 受賞

低次元電子物性

研究室構成員

矢山英樹 教授

《 大学院 修士課程 》

由留部正輝

《 学部 卒業研究生 》

西村優吾

《 訪問研究者 》

Ali Gamal Hafez Ernassel Rabie

担当授業

物理学特別研究 I、物理学特別研究 II、基幹物理学 IB、物理学概論 A、自然科学総合実験、最先端物理学、自然科学概論

研究・教育目標と成果

(1) 高感度磁化測定法の開発 (由留部、矢山)

磁化の測定法は、大きく分けて次のような方法がある。1. 振動試料法 (VSM)、2. SQUID 磁化測定法、3. 交番勾配磁場法。この中で最も普及しているのは、1 と 2 である。2 は 1 より高感度であるが、装置が効果になるのが難点である。3 の装置は感度が SQUID を超えるものもあるが、温度変化させた時の較正が難しいという問題があり、あまり普及していない。

しかし非常に高感度であるのは魅力であるため、3 の開発を行うことにした。測定の原理は、次のとおりである。反平行に巻いた 2 つのコイルを直列に繋ぎ、直流磁場の中に置く。直列につないだコイルに交流電流を流すと、つなぎ目の部分では磁場の向きが交流の周波数に応じて変化し、磁場勾配が交流的に変化することになる。直流磁場が重畳して試料が磁化するため、試料には交流的に力が働くことになる。その力は磁化に比例するので、力を測定すれば磁化がわかる。力の検出には、ピエゾ素子を用いる。ピエゾ素子は非常に高感度であるため、高感度の磁化測定法となる。

今年度は、まず室温での動作を目的に、ピエゾ素子の一つであるバイモルフという電子素子を用いて信号が検出できるかを確認する予備実験を行った。その結果、信号

は非常によく検出できたが、支持物体を通して伝わる振動によりノイズとして検出される信号が大きいことが分かった。そのノイズを減少させるためには、バイモルフを非常に柔らかい物質で支持しなければならない。そのための材料を検討している。

発表論文

《原著論文》

1. Hideki Yayama and Yosuke Yatsuyama, Mobility of 2D Electrons on Pure ^4He and on ^3He - ^4He Dilute Solution, J. Low Temp. Phys., 175, 401-406, 2014

《その他の論文》

1. 矢山英樹, 核断熱消磁冷却 IV, 九州大学低温センターだより No.9, 2015. p.16.

著書

栗焼久夫、副島雄児、鵜田昌之、原田恒司、本庄春雄、矢山英樹、基幹物理学、培風館 2014 年

講演

《海外での講演》

学部 4 年生卒業研究

西村優吾（指導教員：矢山）：液体ヘリウム面上の 2 次元電子系の電気伝導

修士論文

由留部正輝：高感度磁化測定法の開発

学外での学会活動

応用物理学会九州支部理事

受託研究・民間との共同研究

矢山：「極低温クライオスタットの開発」, (株) 低温技術研究所との共同研究

その他の活動と成果

1. 特許 第 5610529 号 比熱測定法及び熱伝導率測定法 発明者・権利者：矢山英樹
2. 特許 特願 2014-166265 クライオスタット装置 発明者・権利者：矢山英樹

複雑物性基礎

研究室構成員

木村康之 教授

水野大介 准教授

岩下靖孝 助教

《 大学院 博士課程 》

野口朋寛 Heev Ayade Lara Gay Villaruz Mocco

《 大学院 修士課程 》

大久保 省吾 祐下 岳志 高橋 健太郎 松岡 良晴

松元 大吾 西澤 賢治 河村 隆弘 栗原 喬

《 学部 卒業研究生 》

田村 優太 本田 菜月 諸留 寛大 中島 昂

担当授業

物理学入門 2 (木村康之)、物性物理学 I(木村康之)、物理学ゼミナール (木村康之)、熱と波動論基礎 (水野大介)、物理学概論 B(水野大介)、物理コア (水野大介)、物理学入門 (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, 2, 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, 5)

○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, 6)

○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。

(7)

○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。(10)

○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。(8,11)

○ 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。(12,14)

○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旨とした。(9)

《今年度の成果》

(1) ネマチック液晶中のコロイド粒子間相互作用の研究 (河村、田村、岩下、木村)

ネマチック液晶中にミクロンサイズのコロイド粒子を分散させるとその界面での液晶配向状態に依存して、コロイド間に液晶の弾性を媒介とした相互作用が働くことが知られている。われわれは2本の光ピンセットを用いて2つのコロイド粒子を捕捉し、それらの位置を変化させつつ、トラップ位置の微小な変化をその顕微鏡像から観測することで粒子間相互作用の直接測定を行った。本年度はことに、その粒子間相互作用が電場の印加により変化すること、液晶の配向場の対称性を変えることで様々な結晶構造が形成されることなどを研究した。

(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、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) 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、それを利用して純粋な方向秩序化の機構を実験とシミュレーションにより解明した。

(5) 液晶電気対流系の3次元観察 (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コロイド粒子を分散させ、非熱的な駆動力による運動について調べた。その結果、ネマチック液晶の対流構造、コレステリック液晶の対流構造をそれぞれ反映した特異な拡散、輸送現象を見出した。

(6) 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った。また形状が異方的になるにつれて、向きが揃ったネマチック秩序が現れることが分かった。

(7) イオン液体の研究 (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。

(8) 生きた細胞骨格の非平衡ゆらぎ (Heev Ayade、水野)

アクチン、ミオシンゲルに ATP を添加した系に分散させたコロイド粒子の運動を van Hove 相関関数や非ガウスパラメータを用いて評価することで、その非平衡度の実験的な評価に成功した。

(9) 細胞内部環境のガラス的挙動 (西澤、藤原、柳澤、水野)

進化や発生の段階の異なる各種の細胞質の力学特性をマイクロレオロジーにより評価した。その結果、いずれもガラス転移近傍の振る舞いを示し、丁度細胞内濃度でジャミング転移を起こすことを見出した。さらに現実に生きている細胞の内部環境は一定の流動性と揺らぎを示すことから、細胞は自らの代謝活性により細胞質を自発的に駆動することで本来ガラス化するべき状態を流動下させていることを見出した。

(10) フィードバック増強マイクロレオロジーの開発 (本田、西澤、M. Bremerich, H. Ayade、水野)

光トラップしたプローブ粒子の変位を4分割フォトダイオードで精密計測し、さらに計測信号をもとにピエゾ駆動ステージ、およびAODを高速フィードバック制御しながら active-passive マイクロレオロジー計測を行った。従来強すぎる非平衡揺らぎのためにプローブ粒子を安定捕捉できない試料（細胞内部や遊走バクテリア溶液）でマイクロレオロジー計測を行い、揺動散逸定理の破れや非平衡揺らぎの分布形状の解析を行った。

(11) 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。

(12) 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。

(13) 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。

(14) 遊走バクテリア懸濁液中における非平衡揺らぎの統計分布 (栗原、諸留、奈良、有留、Heev Ayade, Irwin Zaid, 水野大介)

培養液中で遊走するバクテリア(大腸菌)や単細胞微生物(クラミドモナス)が生み出す非平衡揺らぎが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、粘弾性体中におけるenhanced reptationを観測することが今後の課題である。

《 来年度の目標 》

研究(1-14)のさらなる発展、及び教育の充実。

発表論文

《 原著論文 》

S. Tanaka, Y. Oki and Y. Kimura, “Melting process of a single finite-sized two-dimensional colloidal crystal”, *Physical Review E*, **89**, pp. 052305-1~9 (2014).

K. Takahashi and Y. Kimura, “Dynamics of colloidal particles in electrohydrodynamic convection of nematic liquid crystal”, *Physical Review E*, **90**, pp. 012502-1~5 (2014).

Y. Iwashita and Y. Kimura, “Orientational order of one-patch colloidal particles in two dimensions”, *Soft Matter* **10**, 7170 (2014)

岩下靖孝, 木村康之 「ヤヌス粒子の2次元分散系における凝集構造」, *日本物理学会誌* **69**, 213 (2014)

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)

《 その他の論文 》

Y. Kimura and K. Izaki, “Measurement of interparticle force between nematic colloids”, *Proceedings of SPIE*, No.9164 9164O-1-7 (2014).

S. Okubo, S. Shibata and Y. Kimura, “Collective behavior of the optically driven particles on a circular path”, SPIE2014 proceeding, No.9164 91641P-1-6 (2014).

著書

柴山 充弘, 佐藤 尚弘, 岩井 俊昭, 木村 康之, 「光散乱法の基礎と応用」, 講談社サイエンスフィック, 2014年

講演

《海外での講演》

Y. Iwashita, and Y. Kimura, “Patterns of Janus colloidal particles in two dimensions”, 9th Liquid Matter Conference, Lisbon, Portugal, July 21-25, 2014.

T. Noguchi, Y. Iwashita, and Y. Kimura, “Micelles and emulsions of amphiphilic Janus particles in a binary liquid mixture”, 9th Liquid Matter Conference, Lisbon, Portugal, July 21-25, 2014.

S. Okubo, S. Shibata, and Y. Kimura, “Collective behavior of the optically driven particles on a circular path”, SPIE2014, Optical Trapping and Optical Micromanipulation XI, San Diego, USA, August 17-21, 2014.

Y. Kimura and K. Izaki, “Measurement of interparticle force between nematic colloids”, SPIE2014, Optical Trapping and Optical Micromanipulation XI, San Diego, USA, August 17-21, 2014.

《国内での講演》

Y. Kimura and K. Izaki, “Interparticle force between nematic colloids”, International Conference in Asia (IUMRS-ICA) 2014, Fukuoka, Japan, August 24-28, 2014.

K. Takahashi and Y. Kimura, “Dynamics of colloidal particles in electrohydrodynamic convection of nematic liquid crystal”, International Conference in Asia (IUMRS-ICA) 2014, Fukuoka, Japan, August 24-28, 2014.

Y. Kimura, K. Katuda, K. Takahashi and Y. Ishibashi, “Three-dimensional structure of electroconvective patterns in cholesteric liquid crystals”, International Conference in Asia (IUMRS-ICA) 2014, Fukuoka, Japan, August 24-28, 2014.

Y. Iwashita, and Y. Kimura, “Layering transitions in orientational order of one-patch colloidal particles”, Physics of Structural and Dynamical Hierarchy in Soft Matter, Tokyo, Japan, March 16-18, 2014

岩下 靖孝、木村 康之 「ヤヌス粒子の layering transition」 日本物理学会 第 70 回年次大会

野口 朋寛、岩下 靖孝、木村 康之 「金属パッチを利用した金属面の粒子被覆」 日本物理学会 第 70 回年次大会

田村優太、木村康之、岩下靖孝 「ネマチック液晶中でのコロイド構造体の作製」 日本物理学会 第 70 回年次大会

河村隆弘、田村優太、岩下靖孝、木村康之 「電場下のネマチックコロイド粒子間相互作用」 日本物理学会 第 70 回年次大会

高橋健太郎、岩下靖孝、木村康之 「液晶電気対流を用いた非平衡ダイナミクス」 日本物理学会 第 70 回年次大会

本田菜月、西澤賢治、有賀隆行、柳島大輝 A、水野大介 「フィードバックマイクロレオロジーによるソフトマターのゆらぎと応答の観測」 日本物理学会 第 70 回年次大会

栗原喬 有留真人 Heev Ayade 水野大介 Irwin Zaid 「遊走微生物懸濁液の非平衡揺らぎの Levy 統計」 日本物理学会 第 70 回年次大会

野口 朋寛、岩下 靖孝、木村 康之 「金属パッチ粒子による金属表面の被覆条件の探索」 第 4 回ソフトマター研究会

野口 朋寛、岩下 靖孝、木村 康之 「ヤヌス粒子被覆による金属粒子の分散安定化」 日本物理学会 2014 年秋季大会

祐下岳志、岩下靖孝、木村康之、柳澤実穂 「光ピンセットを用いた三成分リポソームの強制変形」 日本物理学会 2014 年秋季大会

松元大吾、岩下靖孝、木村康之 「楕円コロイド粒子系が示す構造」 日本物理学会 2014 年秋季大会

大久保省吾、岩下靖孝、木村康之 「光で駆動されたコロイド粒子の集団運動」 日本物理学会 2014 年秋季大会

高橋健太郎、岩下靖孝、木村康之 「液晶電気対流による粒子輸送ダイナミクス」 日本物理学会 2014 年秋季大会

河村隆弘、井崎邦義、岩下靖孝、木村康之 「外場下でのネマチックコロイド粒子間相互作用」 日本物理学会 2014 年秋季大会

西澤賢治、藤原慶、中條信成、柳澤実穂、水野大介 「多成分高分子混み合いによる細胞内部のガラス的挙動」 日本物理学会 2014 年秋季大会

栗原喬 有留真人 Heev Ayade 水野大介 Irwin Zaid 「遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎの統計分布」 日本物理学会 2014 年秋季大会

松岡良春、町田光男、木村康之 「イオン液体 [bmim][BF₄] の NMR」 第 120 回日本物理学会九州支部例会

高橋健太郎、岩下靖孝、木村康之 「コレステリック液晶電気対流中での粒子ダイナミ

クス」 第120回日本物理学会九州支部例会

田村優太, 河村隆弘, 岩下靖孝, 木村康之 「ネマチックコロイド結晶の作製」 第120回日本物理学会九州支部例会

河村隆弘, 田村優太, 岩下靖孝, 木村康之 「電場下のネマチックコロイド間相互作用」 第120回日本物理学会九州支部例会

松元大吾, 岩下靖孝, 木村康之 「様々な軸比の楕円体粒子が作る構造」 第120回日本物理学会九州支部例会

祐下岳志, 岩下靖孝, 木村康之, 柳澤実穂 「相分離リポソームの突起形成」 第120回日本物理学会九州支部例会

大久保省吾, 岩下靖孝, 木村康之 「円環上を運動する微粒子の流体相互作用による集団運動」 第120回日本物理学会九州支部例会

諸留寛大, 栗原喬, 水野大介 「遊走微生物懸濁液中のゆらぎと力学応答の測定」 第120回日本物理学会九州支部例会

栗原喬, 有留真人, Heev Ayade, Irwin Zaid, 水野 大介 「遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎの統計分布」 第120回日本物理学会九州支部例会

本田菜月, 西澤賢治, 有賀隆行, 柳島大輝, 水野大介 「フィードバックマイクロレオロジーを用いたソフトマターの力学挙動観測」 第120回日本物理学会九州支部例会

水野大介 「揺動散逸定理を破る生き物の非平衡揺らぎ」 ISSP ワークショップ 機能物性融合科学研究会シリーズ(2)「ソフトダイナミクス」

有賀隆行、富重道雄、水野大介 「生体分子モーターキネシンの非平衡エネルギー計測」 ゆらぎと構造の協奏第2回公開シンポジウム

水野大介 「フィードバックマイクロレオロジーを用いた細胞力学の測定」 定量生物の会 第7回年会

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(新学術領域)、計画研究
非熱的に駆動されたバイオマターの非平衡動力学
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、基盤研究(B)

マルチビーム3次元マイクロレオロジー顕微鏡の開発とそのソフトマターへの応用
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究
エキゾチックコロイド系の新規時空間構造の研究
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (B)
フィードバックマイクロレオロジーによる細胞力学の観測
研究代表者：水野大介

文部省科学研究費補助金 (新学術領域)、公募研究
力と力学特性による細胞競合メカニズム
研究代表者：水野大介

文部省科学研究費補助金、基盤研究 (C)
アクティブなゆらぎ環境下での生体分子モーターキネシンの1分子運動解析
研究代表者：有賀隆行

文部省科学研究費補助金、若手研究 (B)
コロイド分子の自己組織化
研究代表者：岩下靖孝

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》
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)

Philippines DOST 資金による共同研究受け入れ
John Phillip Billones (短期 3ヶ月 水野大介)
Mary Ann Ruelan (短期 3ヶ月 水野大介)

Stephen Flores (短期 3ヶ月 水野大介)

他大学での研究と教育

岩下靖孝：Stuttgart 大学（ドイツ）にて共同研究を行った。2014/8-9。

学部4年生卒業研究

田村優太：(指導教員、木村康之)：ネマチック液晶中でのコロイド構造体の作成

本田菜月：(指導教員、水野大介)：フィードバック MR による細胞骨格の力学挙動観測

諸留寛大：(指導教員、水野大介)：遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎのマイクロレオロジー計測

修士論文

松岡良春：(指導教員、木村康之)：[BF4]系イオン液体の NMR 測定

松元大吾：(指導教員、木村康之)：楕円体コロイド粒子が作る構造の研究

大久保省吾：(指導教員、木村康之)：流体相互作用する光駆動粒子系のダイナミクス

祐下岳志：(指導教員、木村康之)：相分離リポソームの力学応答

高橋健太郎：(指導教員、木村康之)：液晶電気対流中に分散したコロイド粒子系のダイナミクスの研究

西澤賢治：(指導教員、木村康之)：高分子混み合いに伴う細胞内ガラス的挙動のマイクロレオロジー研究

外国人留学生の受け入れ

Heev Ayade (水野大介)

Lara Gay Villaruz (水野大介)

Francis van Esterik (短期 3ヶ月 水野大介)

学外での学会活動

散乱研究会運営委員 (木村)

ソフトマター研究会運営委員 (木村)

日本物理学会代議員 (木村)

その他の活動と成果

高校生体験入学講師（3月、岩下）

複雑流体研究室

研究室構成員

鴫田昌之 教授 小貫明（客員） 教授

柳澤実穂 助教

《 大学院 博士課程 》

山下祐太郎

《 大学院 修士課程 》

佐藤寛貴 清田翔 辻章太郎

《 学部 卒業研究生 》

大久保圭吾 藤川雅大

担当授業

基幹物理学 1A, 熱と波動論基礎, 自然科学総合実験, 基礎物理実験学・同実験 (鴫田昌之)

研究・教育目標と成果

ゼラチン-ポリエチレングリコール-水からなる高分子三成分系の相挙動 (鴫田昌之, 山下祐太郎)

高分子三成分系の相挙動を解明することを目的に, ゼラチン-ポリエチレングリコール-水からなる系の相図を明らかにした. 混合の濃度比によって, 様々な相が現れることを見いだした. この系の相図は, 特に第二成分であるポリエチレングリコールの分子量に大きく依存することがわかった. これらの結果を *Journal of Molecular Liquids* 誌に発表した.

解離基を含まないゲルの膨潤挙動 (鴫田昌之, 佐藤寛貴)

ゲルの膨潤挙動に関する標準データを得る目的で, 解離基を全く含まないゲルを調製し, その膨潤挙動を明らかにした. 種々の事情を勘案し, ジメチルアクリルアミドをモノマーとし, 非イオン性アゾ系重合開始剤を用いて調製したゲルを試料とした. 得られたゲルの膨潤挙動を水-アセトン混合溶媒中で調べた. このゲルにおいては, 非イオン性ゲルに特徴的と思われる膨潤挙動を示した. これに加え, 溶媒組成の変化に

対して、ゲルが順次、膨潤 → 収縮 → 膨潤という挙動を示す再帰還型の膨潤挙動を示すことを見いだした。また、このゲルに解離性のモノマーを共重合したイオン化ゲルも調製し、イオン化度の影響を明らかにした。

界面活性剤水溶液の相図 (鴫田昌之, 清田翔)

界面活性剤, Triton X-100 水溶液の相図を明らかにした。またこの相図に及ぼす添加塩の効果も明らかにした。添加塩には無機塩と有機塩を用いた。無機塩は溶媒の質を低下させる作用がある。これに対して、有機塩は界面活性剤と強く相互作用することがわかった。塩添加により、臨界温度は変化するが、相分離曲線には大きな変化が現れないことがわかった。

単一泡の生成と崩壊 (鴫田昌之, 辻章太郎)

界面活性剤水溶液の界面に生成する単一泡の寿命を測定した。単一泡の寿命の統計分布は通常の高ス分布とは異なることを強く示唆するデータが得られた。次年度は、より多くの実験データを収集する必要がある。これにより、詳細かつ正確な議論をする。

発表論文

《 原著論文 》

Phase separation in binary polymer solution: Gelatin/Poly(ethylene glycol) system:
Miho Yanagisawa, Yutaro Yamashita, Sada-atsu Mukai, Masahiko Annaka, and Masayuki Tokita

J. Mol. Liq., **200** (2014) pp. 2-6

Sol-gel transition and phase separation in ternary system of gelatin-water-poly(ethylene glycol) oligomer:

Yutaro Yamashita, Miho Yanagisawa, and Masayuki Tokita,

J. Mol. Liq., **200** (2014) pp. 47-51

Multiple patterns of polymer gels in microspheres due to the interplay among phase separation, wetting, and gelation:

Miho Yanagisawa, Shinpei Nigorikawa, Takahiro Sakaue, Kei Fujiwara, and Masayuki Tokita,
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **111** (2014) pp. 15894-15899

講演

《国内での講演》

1. 生体高分子系の相挙動.

山下祐太郎, 鴫田昌之

第41回生体分子科学討論会 2014

2014年6月7日

2. ミクロ空間内でのゼラチン・ポリエチレングリコール水溶液の相分離とゲル化に伴うパターン形成.

柳澤実穂, 濁川慎平, 鴫田昌之

日本物理学会 2014年秋季大会

2014年9月8日

3. 三成分高分子混合溶液における相分離とゲル化の競合.

山下祐太郎, 鴫田昌之

日本物理学会 2014年秋季大会

2014年9月8日

4. イオン化ゲルの膨潤挙動.

佐藤寛貴, 鴫田昌之

日本物理学会 2014年秋季大会

2014年9月8日

5. 界面活性剤水溶液の相挙動.

清田翔, 鴫田昌之

日本物理学会 2014年秋季大会

2014年9月7日

6. 光ピンセットを用いた三成分リポソームの強制変形.

祐下岳志, 岩下靖孝, 木村康之, 柳澤実穂
日本物理学会 2014 年秋季大会
2014 年 9 月 8 日

7. ゼラチン溶液のゲル化と相分離挙動.
山下祐太郎, 鴫田昌之
第 120 回日本物理学会九州支部例会
2014 年 12 月 6 日

8. 面活性剤溶液の臨界挙動.
清田翔, 鴫田昌之
第 120 回日本物理学会九州支部例会
2014 年 12 月 6 日

9. 単一泡の寿命.
辻章太郎, 鴫田昌之
第 120 回日本物理学会九州支部例会
2014 年 12 月 6 日

10. ゼラチン溶液の相分離とゲル化.
山下祐太郎, 鴫田昌之
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 22 日

11. 界面活性剤水溶液の相挙動に対する添加塩の効果 .
清田翔, 鴫田昌之
日本物理学会第 70 回年次大会
2015 年 3 月 21 日

12. 単一泡の寿命の解析.
辻章太郎, 松井淳, 鴫田昌之
日本物理学会 第 70 回年次大会
2015 年 3 月 21 日

13. 相分離したアガロースゲルのフリクション.

山下泰弘, 柳澤実穂, 鵜田昌之
第37回日本バイオレオロジー学会年会
2014年6月5日

14. ゲルの流体摩擦.

鵜田昌之
高分子ゲル研究会「ゲルワークショップ イン 長崎」(招待講演)
2014年9月27日

学部4年生卒業研究

大久保圭吾:(指導教員, 鵜田昌之):ゲルの流体摩擦に関するレビュー.

藤川雅大:(指導教員, 鵜田昌之):ゲルの逆浸透現象に関するレビュー.

修士論文

佐藤寛貴:(指導教員, 鵜田昌之, 柳澤実穂):ゲルの膨潤挙動

学外での学会活動

物理学会九州支部・支部長

その他の活動と成果

柳澤実穂助教は平成26年5月より東京農工大学に准教授として転出いたしました.

平成 26 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、昨年度に引き続き京都大学名誉教授小貫明先生を客員教授として迎えた。しかしながら、年度内には双方の時間的都合が合わず、本校にて議論頂く機会を持てなかった。年度を超えてしまうが、平成 27 年 6 月に本校において頂いて会合を持ち、情報の交換を行う予定でいる。

文責

鴫田

平成26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 末原大幹 音野瑛俊++++
実験核物理	野呂哲夫 森田浩介	若狭智嗣 寺西高	藤田訓裕 坂口聡志
物性理論		吉森明	松井淳
統計物理学	中西秀	野村清英	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
光物性		佐藤琢哉	
低次元電子物性	矢山英樹+++		
複雑物性基礎	木村康之	水野大介	岩下靖孝
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 岩村龍典 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、家田恵、田口登子、高木まゆみ、 小森茉莉子 RCAPP 事務職員 重松さおり
------	--

平成26年度各種委員

(○は委員長)

部門長・学科長・専攻長：野呂

副部門長：鴫田 渡部

将来計画委員：○川越，鈴木、木村(康)，木村(崇)，野呂，中西

教育課程委員：○鴫田，八尋，清水，若狭，水野，河合，松本，藤田

入試委員会委員長（全ての入試関連委員会の統括）：中西

助の会幹事：織田

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，森田

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，森田，寺西

図書：○成清，寺西

情報委員会：○東城，寺西，野村，成清，山岡

支線 LAN 管理者：山岡，東城

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，野村

体験入学・入学オリエンテーション実施委員：○吉岡，水野，藤田，山田，荒井

未来の科学者：○鴫田，吉森

理学部便り編集委員：坂上

学生生活・修学相談員：吉森，坂口

ハラスメント関連支援室：○中西，若狭，吉森，町田

H26 年度 物理学教室談話会

世話人 渡部行男

第 1 回教室談話会

題目：「実験・観測・理論で解き明かす中性子星物質状態方程式」

講師：大西 明 氏(京都大学基礎物理学研究所 教授)

日時：7月9日(水) 16:00 ~ 17:00

場所：物理第一会議室(理学部2号館1階2154)

第 2 回教室談話会

題目：「正弦2乗変形へと至る道- 非一様ハミルトニアンが持つ一様な基底状態-」

講師：西野友年氏 (神戸大学大学院理学研究科物理学専攻)

日時：7月9日(水) 17:20-18:30

場所：物理第三講義室(理学部2号館2階2249室)

第 3 回教室談話会

題目：「物体周りの高分子流体の流れ - 動的枯渇効果と絡み合いの効果 -」

講師：谷口 貴志氏(京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻)

日時：7月15日(火) 15:30~17:00

場所：物理第二会議室(理学部2号館1階2155号室)

第 4 回物理学教室談話会

講義題目：**Spintronics with yttrium iron garnets**

講師：Gerrit E. W. Bauer 氏(東北大学 金属材料研究所・教授)

日時：11月12日(水) 17:00 ~

場所：理学部大会議室

第 5 回教室談話会

講演題目：インフレーション宇宙を探る宇宙マイクロ波背景放射の観測

講師：羽澄 昌史氏(高エネルギー加速器研究機構 教授)

日時：11月11日(火) 17:00~18:00

場所：物理第三講義室(理学部2号館2階2249室)

第6回 物理教室談話会

講演題目： 加速器科学の動向と、国際リニアコライダー計画の位置づけ

講師： 栗木雅夫（広島大学先端物質科学研究科・教授）

日時： 11月25日（火）15:30 - 16:30

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： 「ネマティック液晶のトポロジカル欠陥の連結性に依存する非平衡・非線形な振る舞い」

講師： 荒木武昭氏（京都大学大学院理学研究科・准教授）

（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： 11月27日（木） 16:00～18:00

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： QCD axion with high scale inflation

講師： Kiwoon Choi 氏

（Korea Advanced Institute of Science and Technology 教授）

日時： 12月15日（月） 16:30 ～ 18:00

場所： 第1会議室（2154室）

第9回教室談話会

講演題目： 超流動クラスター内の分子ダイナミクスの探索と
新しい量子モンテカルロ法の開発

講師： 三浦 伸一 氏（金沢大学理工研究域・教授）

日時： 12月16日（火）16:00～17:00

場所： 九州大学理学部2号館物理学教室第一会議室

第10回物理談話会

講演題目： 「理研 RIBF 施設と停止 RI 核分光研究の展開」

講師： 上野 秀樹 氏（独立行政法人理化学研究所・主任研究員）

日時： 12月16日（火）14:45より

場所： 物理第3講義室（理学部2号館2249号室）

第 11 回物理学教室談話会

講演題目： Fabrication, characteristic properties of nanostructured ferroic materials
and composites

講 師： Prof. Pham Duc Thang

University of Engineering and Technology, Vietnam National University, Hanoi,
Vietnam

日 時： 1 月 14 日 (水) 16 : 30 - 17 : 30

場 所： 物理第 1 会議室 (2154 室)

第 12 回 物理学教室談話会

講演題目： 「KEK Isotope Separator (KISS)による r-過程研究」

講 師： 宮武 宇也 氏 (高エネルギー加速器研究機構・教授)

日 時： 1 月 29 日 (木) 16 : 30 より

場 所： 物理第 1 会議室 (理学部 2 号館 2154 号室)

H26 年度 物理学教室水曜木曜談話会

H26 年度第 1 回物理学教室 水曜談話会

講演題目： 生体高分子溶液の粘弾性と相分離挙動

講師： 柳澤実穂

日時： 2014 年 4 月 9 日 (水) 16:30 - 17:50

場所： 物理第 2 講義室

H26 年度第 2 回物理学教室 水曜談話会

講演題目： 超新星・変動天体を理解するには

講師： 山岡 均

日時： 2014 年 5 月 28 日 (水) 16:30 - 17:50

場所： 物理第 3 講義室 (2249 号室)

H26 年度第 3 回物理学教室 水曜談話会

講演題目「低次元系の相転移 -- BKT 転移とひねり境界条件 --」

講師： 野村 清英

日時： 2014 年 7 月 2 日 (水) 16:30 - 17:50

場所： 物理第 3 講義室 (2249 号室)

H26 年度第 4 回物理学教室 水曜談話会

講演題目： Stokes-Einstein 則を微視的な力学から導く

講演者： 吉森朗

日時： 2014 年 10 月 22 日(水) 16:30

場所： 物理第 3 講義室 (2249 号室)

H26 年度第 5 回物理学教室 水曜談話会

講演題目： ブラックホール降着円盤に関する 3 次元磁気流体数値計算

講師： 町田 真美

日時： 2014 年 12 月 3 日(水) 16:30~17:50

場所： 物理第 1 講義室 (2149 号室)

2014年度 物性基礎論コロキウム開催一覧

第一回 (2014年4月22日)

西澤 賢治 (複雑物性)

「高分子混み合い効果と細胞内部粘性率の関係」

第二回 (2014年5月13日)

森田 邦久 (基幹教育院)

「科学と反証主義」

第三回 (2014年5月27日)

山田 一雄 (物性理論)

"Work Relation and the Second Law of Thermodynamics in Nonequilibrium Steady States" (論文紹介)

第四回 (2014年6月10日)

岡本 隆一 氏 (首都大学)

「二成分流体中を動くコロイド粒子のストークス抵抗法則」

第五回 (2014年6月24日)

中西 秀 (統計物理)

「Membrane」

第六回 (2014年7月15日) (兼: 第3回教室談話会)

谷口 貴志 (京大工学部)

「物体周りの高分子流体の流れ

ー 動的枯渇効果と絡み合いの効果 ー」

第七回 (2014年7月22日)

鳥飼正志 (三重大学工学部)

「結晶構造から粒子間相互作用を求める」

第八回 (2014年10月15日)

Rastin Matin (Niels Bohr Institute)

“The Lattice Boltzmann Method for Studying Fluid Dynamics”

第九回 (2014年10月22日)

吉森 明 (物性理論)

「Stokes-Einstein 則を微視的な力学から導く」

第十回 (2014年11月7日)

河合 伸 (凝縮系理論)

「Sn 吸着 Si(111)表面の置換欠陥」

第十一回 (2014年11月26日)

御手洗 菜美子 (Niels Bohr Institute)

" Phage and bacteria: Coexistence on a narrowing staircase "

第十二回 (2014年12月5日)

野村 清英 (統計物理)

「Lieb-Schultz-Mattis の定理の拡張」

第十三回 (2014年12月16日) (兼: 第9回教室談話会)

三浦 伸一 氏 (金沢大学理工学研究域)

「超流動クラスター内の分子ダイナミクスの探索と新しい量子モンテカルロ法の開発」

第十四回 (2015年1月26日)

Mogens Jensen (Niels Bohr Institute)

“Vorticity Patterns in Tissues induced by Cell Divisions”

第十五回 (2015年2月2日) (複雑物性と合同開催)

David Andelman (Tel Aviv University)

"Domains in Asymmetric Membranes: Structure, Phase Transitions and Dynamics"

第十六回 (2015年2月20日)

松井 淳 (物性理論)

「構成粒子の大きさが変化する場合の分子動力学」

平成 26 年度九大原子核セミナー開催一覧

第 918 回 2014 年 6 月 13 日 (金)

講師：田上 真伍 (九州大学)

演題：原子核における四面体変形

第 919 回 2014 年 7 月 4 日 (金)

講師：小野 勝臣 (九州大学)

演題：天体现象から探る中性子星の内部構造

第 920 回 2014 年 10 月 22 日 (水)

講師：鈴木 宜之 (新潟大学・理研)

演題：Clustering and response functions of light nuclei in explicitly correlated Gaussians

第 921 回 2014 年 12 月 18 日 (木)

講師：富谷 昭夫 (大阪大学)

演題：カイラルフェルミオンを用いた高温 QCD における U(1) アノマリーの解析

第 922 回 2015 年 1 月 13 日 (火)

講師：肥山 詠美子 (理化学研究所)

演題：厳密少数多体系計算法の確立とその展開

第 923 回 2015 年 2 月 2 日 (月)

講師：Daniel Baye (Universite Libre de Bruxelles)

演題：The Lagrange-mesh method

第 924 回 2015 年 2 月 16 日 (月)

講師：Pierre Descouvemont (Universite Libre de Bruxelles)

演題：CDCC description of ${}^9\text{Be}+{}^{208}\text{Pb}$ scattering around the Coulomb barrier

平成 26 年度非常勤講師一覧

大学院担当

講師	所属	題目
栗木雅夫	広島大学大学院先端物質科学研究科	高エネルギー加速器入門
大西明	京都大学基礎物理学研究所	高密度物質と中性子星の物理
荒木武昭	京都大学大学院理学研究科	ソフトマターにおける相転移ダイナミクス
Gerrit E. W. Baue	東北大学金属材料研究所	Parameters in spintronics and spin caloritronics
三浦伸一	金沢大学理工研究域数物科学系	分子液体の統計力学の基礎と応用
上野秀樹	独立行政法人理化学研究所	RI ビームと利用研究
西野友年	神戸大学大学院理学研究科物理学専攻	テンソルネットワーク状態とその応用
谷口貴志	京都大学大学院工学研究科化学工学専攻	ソフトマターの物理
羽澄昌史	高エネルギー加速器研究機構	宇宙背景放射の観測と物理
宮武宇也	高エネルギー加速器研究機構	中性子過剰未知重原子核探索と宇宙核物理
Pham Duc Thang	University of Engineering and Technology, Vietnam National University (VNU)	Ferromagnetics, ferroelectrics and their nanostructured composites: from fundamentals to applications
Kiwoon Choi	Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)	Special lectures on elementary particle physics

平成 26 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
Department of Physics, Johannes Gutenberg University Main・修士学生・Alexander Pfeiffer	ドイツ	外国人訪問研究員（研究課題：高品質ホイスラー合金による純スピントリプル生成）	26年5月11日～26年9月19日	木村(崇)
Jirong MAO	中国	共同研究	26年4月10日～27年4月9日	橋本
University of San Carlos 研究助手 JOHN PHILIP T. BILLONES	フィリピン共和国	共同研究	26年12月1日～27年3月15日	水野
University of San Carlos 研究助手 STEPHEN L. FLORES	フィリピン共和国	共同研究	26年12月1日～27年3月15日	水野
University of San Carlos 研究助手 MARY ANN A. RUELAN	フィリピン共和国	共同研究	26年12月1日～27年3月15日	水野
理学研究院 客員教授 Rhie Kung Won	韓国	研究の推進	26年12月1日～27年2月28日	木村(崇)
理学研究院 助教 Rajesh Kumar	インド	研究の推進	27年1月4日～27年1月16日	木村(崇)
Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research Senior Research Fellow, Shiwani Singh	インド	共同研究	27年3月1日～28年2月28日	中西

2014 年度教育課程委員会活動報告

4 月には、中期目標、中期計画達成事項の提出した。また、新年度からの役割分担を行った。

委員長：鵜田

副委員長：八尋

中期目標・中期計画：河合

分属：水野

特研配属：清水

部門 FD：水野

シラバス・時間割：若狭

アンケート：八尋・松本

3 年生実験：若狭・藤田

●基幹教育

基幹教育実施元年であったが、基本的には大きな問題はなかったといえる。しかし、基幹教育セミナー、課題協学科目、自然科学総合実験などの進級要件科目において、幾人かの学生が単位を取得できず、前期において留年が確定する学生が現れるという問題が生じた。学生の認識不足、出欠状態が把握できなかったことなどの問題が考えられる。また、年度末の進級判定においても、学科間で進級条件の文言の解釈に少し温度差があり、問題になった。進級要件科目の対応については、基幹教育院に対し、学籍の出席状況を把握できるように申し入れを行い、改善に向けて努力するとの回答を得た。また、理学部の進級判定要件については、進級要件の見直し、特に、曖昧な解釈になり得る文言の削除を含め、見なおしを検討する予定である。

●国際コース

2014 年度末、各部局に国際コースを設置する旨の通達が教育研究評議会よりあった。このコースは、国際教養学部（仮称）構想のなかで、各学部で国際コースを開設するというものである。この通達に基づき、理学部においても WG を作り検討を開始した。検討すべき事項は以下である。

1. 理念・目的、養成すべき人材像。
2. ディプロマポリシー、カリキュラムポリシー、アドミッションポリシーの策定。
3. 開設コースのカリキュラム構想。

各学科 2 名程度の学生を国際コース学生と位置づけ、外国語による講義などを含め、上記の 3 点について検討を行い、平成 27 年 2 月 2 日に回答した。さらなる策定を行う必要があ

るが、これには現在のWG委員（鶴田）が継続してこの任に当たるものとした。

●学期制の見直し

平成29年度より学期制を見直し、4学期制とすることが教育企画委員会より通達があり、4案が示され、これに対する部門の意見が求められ、これを理学部として集約して提出した。

●新GPA制度

平成27年度には新GPA制度が試行され、平成28年度には本格的運用となる。これに伴い、シラバスなども大きな変更がなされる。この点を再確認し、理解を深めるために、部門のFDを実施した。また、本格運用となる平成28年度入学性からは、卒業要件としてGPA2.0以上が課される可能性が極めて高い。

●外国語による授業の実施

平成33年度には25%程度の講義を外国語で実施することを目指して改革することとなっている。どの科目を対象とするのか、部門全体で慎重に議論してゆく必要がある。

平成27年度以降には、下記の事柄が教育上の大きな変更点となる可能性が高い。

1. 学期制の見直し。
2. 国際教養学部を設置と各部局の国際コースの開設。
3. 外国語による授業の実施。

いずれも、極めて重要な案件であるにも関わらず、殆どの事項がトップダウンで行われている。また、各部局・部門の意見聴取が命ぜられるが、多くは締め切りが短く、実質的に、部門の委員会を開催してから対応することができないという状況であった。従って、メール会議に頼るより方法がなく、このようなタイムスケールで様々な問題を処理することに危険性を感じた1年であった。部門全体で対処するようなシステムがあると良いと感じる。

その他、基幹教育に移行したことにより、過年度生の進級要件や履修科目などに対する細やかな対応が必要となっている。これらの学生は、個々に進級要件や事情が異なるので細やかな対応をする必要がある。

平成26年度 物理学部門ファカルティ・ディベロップメント報告

「改定GPA制度にともなう成績評価のあり方、および、標準化について」

開催日時： 2014年12月24日 13:00 ～ 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、「改定GPA制度にともなう成績評価のあり方、および、標準化について」をテーマにファカルティディベロップメントを行った。2014年12月24日(水) 13:00 ～ 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、本部学務部学務企画課専門員の大津正知さんが、従来のGPA制度および改訂される制度(1. GPA2.0以上を卒業の”目安“とする。2. ルーブリックを作成し、これに基づいた評価を行う。)について説明・紹介され、議論が行われた。その後、成清修准教授が、来年度から実施される改訂GPA制度に関し、理学研究院FDおよび該当委員会における経緯、特に数理学研究院において議論されている対処策等に関し、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、中西教授・八尋教授が、学生評価法に関する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。

上記に関する報告書(講演のスライド試料、議事の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。

さらに、次項の教育の質向上支援プログラム(EEP)セミナー2件を物理学FDとして開催した。

EEP Program Seminar / 物理学部門 FD

題目 : Concepts of Interactive Education at the University of Notre Dame

講師 : Grant J. Mathews

Director, Center for Astrophysics

Department of Physics, University of Notre Dame

日時 : 2015 年 1 月 8 日 (木) 17 時より (一時間程度)

場所 : 物理学第 2 講義室 (2155 号室)

Abstract: This talk will review the history of the University of Notre Dame and its development, first as a research university, and then as an educational institution. The development of emphasis on internationalization and on integrating research and interactive education into both the undergraduate and graduate curriculum will be summarized.

題目 : The teaching structure at the Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

講師 : Mogens Jensen

Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

日時 : 1 月 28 日 (水) 16 : 30 より

場所 : 物理学第 2 講義室 (2155 号室)

(九州大学 箱崎キャンパス 理学部 2 号館 1 階)

平成26年度 入学者数と卒業生数

	入学者数	卒業生数
物理学科	62	61
物理学科3年次編入	3	—
修士課程（物理学専攻）	37	41
博士課程（物理学専攻）	16	博士学位取得者1

2014 年度の就職・進学状況

景気回復に伴って求人が増えたことで、学生の売り手市場になっている感じの年であった。例年2月～3月にかけて10社ほどの会社が物理学科生向けの会社説明会を行っている。これによってOBやリクルーターを通して会社と接触し、その後面接を経て内々定をもらう修士学生は10人以上いる。内々定に至らなかった学生も含めればOBやリクルーター経由の就職活動はかなりの数にのぼると思われる。企業就職ではそれ以外は自由応募であり、応募時に学校推薦を使う学生の数は極めて少ない。最近はいろいろな業種の方が人材を求めて物理の就職担当を訪問してくれる。この年は自衛隊や特許庁からも来られた。中には非常にユニークで高い業績を挙げている会社もあるが、知名度の点で苦戦している会社もある。当方では訪ねていただいた会社については就職メーリングリストに流して学生さんに会社名と業務内容を知っていただくような取り組みを行っている。そのような中から自分に合った会社を探し出して、内々定をもらってきた学生もいる。

修士の進路・就職

今年度の修士2年生は45名で、進路の内訳は以下の通りであった。民間企業の主な就職先は、日立、東芝、ヤマハ発動機、ニコン、横浜ゴム、東芝三菱電機産業システム、NTTデータ、大分ガス、宇宙技術開発、日本アルゴリズム、富士ソフト、日本原燃などである。また例年に比べて教員（志望も含む）が多かった。

博士課程進学（含 他大学）	7
民間企業	25
教員（含 私立、非常勤）	6
公務員・独立行政法人	1
留年	1
留学	1
退学・その他	4
合計	45

博士の進路・就職

博士課程を修了した人では1名がIHIに就職している。

学部生の進路・就職

修士進学は44名（九大物理39名 他大学・他学府5名）、民間企業に就職4名、教員2名、留年、未定、その他が10名であった。

体験入学・公開講座報告

担当：吉岡瑞樹

平成 27 年 3 月 26 日 (木)～27(金) の 2 日間にわたって、「第 18 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、6 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、52 名の参加があった。また、一般向けの公開講座への申込者 9 名、高専生 6 名で、全体受講者数が 70 名近くとなった。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、長崎、佐賀、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、「面白くて難易度もちょうど良い」と「面白いが難しい」がほぼ同数であり、概ね好評であったと考えている。実験では「面白くて難易度もちょうど良い」が圧倒的に多く、「実験が楽しかった」という声も聞かれた。しかし、昨年度から引き続き特にセミナーにおいて「面白い一方、内容が難しい」という声がやや多くあるので、今後、改善の余地があると思われる。

	2015 年 3 月 26 日 (木)		2015 年 3 月 27 日 (金)
10:00～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	「原子を観る。動かす。」 (河合准教授)	10:10～12:10	実験 (A～H から 1 テーマ)
12:00～13:30	昼休み	12:10～13:10	昼休み
13:30～14:20	ミクロな原子核の世界の探索」 (松本助教)	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	「ビッグバン宇宙と超新星爆発」 (橋本教授)	13:20～15:20	実験 (A～H から 1 テーマ)
15:30～	解散	15:30～15:45	閉校式

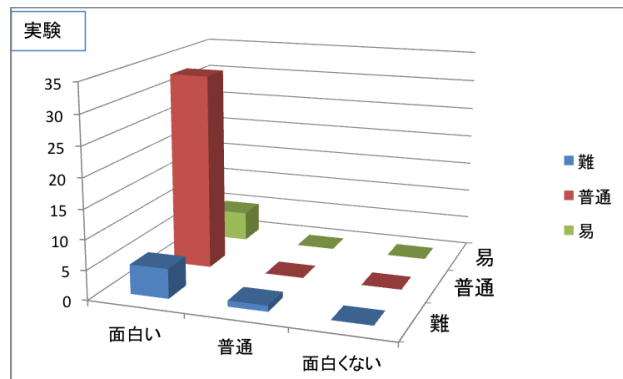
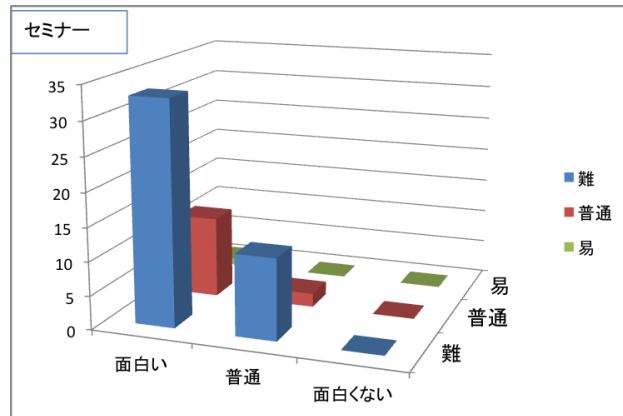
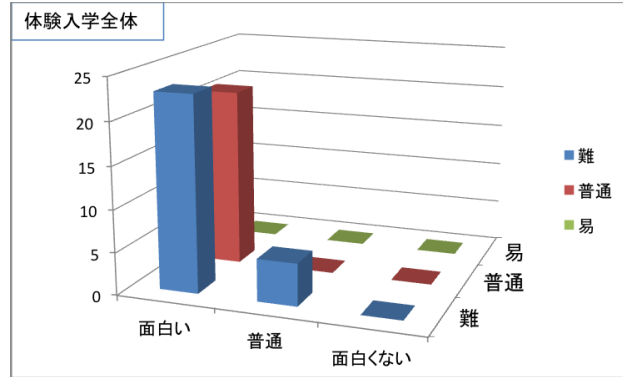
【実験テーマ (担当者)】

- A. 物質を透過する粒子線 (寺西 高)
- B. 極低温の世界 (浅野 貴行)
- C. 超伝導を体験する (山田 和正)
- D. エントロピー：ゴムの伸び縮みを考察しよう (松井 淳)
- E. BZ 反応～化学反応が「振動する」～ (岩下 靖孝)

F. 光の回折と波～波動の重ね合わせと高校・大学の数学～（荒井 毅）

G. 日用品を使った電磁力の実験（坂上 貴洋）

H. 身の回りの放射線を調べよう（藤田 訓裕）



平成26年度社会貢献活動報告

社会連携委員長 渡部行男

1) 高校訪問出前授業等の実施

以下各高校において、模擬講義もしくは理学部および物理学科の説明（入試状況、カリキュラム、就職状況等）を行った。

1 先端科学普及事業（高校への出張講義等）

1) 愛媛県立松山西中等教育学校

7月29日（火） 1～3年生対象 20名程度
吉岡瑞樹 准教授

2) 福岡県立八女高等学校

7月30日（水） 1・2年生対象 40名程度
成清修 准教授

3) 愛媛県立宇和島南中等教育学校

9月13日（土） 4・5年生対象 50名程度
中西秀 教授

4) 福岡県立東筑高等学校

10月10日（金） 1・2年生対象 40名程度
渡部行男 教授

5) 熊本高等専門学校

11月6日（木） 3・4年生対象 100名程度

川越清以 教授

6) 大分県立大分舞鶴高等学校 (SSH事業)

9月4日 (木) 30名

坂上貴洋助教

2) 理学部先端自然科学講演会 (中等教育理科担当教員のためのリカレント教育)

福岡県高等学校理科部会と合同で中高教育に携わる方々に対して、最先端の自然

科学と科学技術の現状に関する講演会を開催した。

実施日：平成24年 8月 20日

物理学部門の講演は、森田浩介教授 (原子核)、山岡均助教 (宇宙論)、委員 渡部行男教授。

3) 先端科学体験事業 (体験物理学) 委員 吉岡瑞樹准教授 取りまとめ

実施日：平成26年 3月26日(木)～27(金)

対象：高校生，高専生

内容：大学での物理学を実験・実習とセミナーを通して2日間体験してもらう。

セミナー 「原子を観る。動かす。」

「マイクロな原子核の世界の探索」

「ビックバン宇宙と超新星爆発」

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 | 光田暁弘准教授 |
| C. 超伝導を体験する | 山田和正助教 |
| D. エントロピー:ゴムの伸び縮みを考察しよう | 松井淳助教 |
| E. BZ 反応 ~化学反応が「振動」する~ | 岩下靖孝助教 |
| F. 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 |
| G. 日用品を使った電磁力の実験 | 坂上貴洋助教 |
| H. 身の回りの放射線を調べよう | 藤田訓裕助教 |

3月26日(木)		3月27日(金)	
10:00 ~ 11:00	開校式	10:00~10:05	実験の注意
11:10 ~ 12:00	「原子を観る。動かす。」(河合伸准教授)	10:10~12:10	実験(A~H から 1つ)
12:00 ~ 13:30	昼休み	12:10~13:10	昼休み
13:30 ~ 14:20	「マイクロな原子核の世界の探索」(松本琢磨助教)	13:10~13:15	集合
14:30 ~ 15:20	「ビックバン宇宙と超新星爆発」(橋本正章教授)	13:20~15:20	実験(A~H から 1つ)
		15:30~15:45	閉校式

4) 公開講座 現代物理学入門

実施日：平成26年 3月26日(木)

内容：3) のセミナーについては一般の方々に対する講座として公開した。

5) 未来の科学者養成講座「エクセレント・スチューデント・イン・サイエンス 育成プロジェクト」(JSTの委託事業)

委員 鴫田昌之教授 吉森明准教授

平成25年9月～平成26年3月 毎月第2、第4土曜日に、本部門名誉教授等により、理学部で行った。

また、公開講演会（10月4日（土））で、鈴木博教授が

〈アインシュタインの考えたこと ― 相対性理論入門―〉を理学部で講演した。