

# 物理教室年次報告書

## 平成24年度

2013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24年度の研究テーマと成果	
素粒子理論	2
理論核物理	11
宇宙物理理論	33
素粒子実験	51
原子核実験	79
物性理論	93
統計物理学	102
凝縮系理論	108
磁性物理学	113
量子微少物性	124
低次元電子物性	127
複雑物性基礎	136
複雑流体	151
客員教授	157
教職員一覧	158
各種委員一覧	159
物理学教室談話会	160
物理学教室水曜木曜談話会	163
物性基礎論コロキウム	165
九大原子核セミナー	167
非常勤講師一覧	169
外国人研究者等受入記録	170
教育課程委員会活動報告	171
物理学部門ファカルティ・デベロップメント報告	172
入学者数と卒業者数	173
就職・進学情況	174
体験入学・公開講座報告	175
社会活動貢献報告	178

## はじめに

2012年度版、九州大学理学研究院物理学部門の年次活動報告書をお届けします。

これは物理教室と14の研究室の今年度の活動記録をまとめたものです。今年は、震災の影響で延期されていた理学部の移転も2年後を目指して動き出すとともに、物理教室にもいくつかの変化がありました。まず人事の面では、原田さんと矢山さんが教授に昇格され2013年の4月から基幹教育院に配置換えになってます。ただし、両先生とも2013年度末までは物理教室の一員として活動されます。一方、今年度末には相良、篠崎、武田の3名の先生が定年退職され、町田(光男)さんも崇城大学へ教授として転出されました。また、かねてより病氣療養中であった森川さんが退職され、吉岡さんは新年度より助教からRCAPPの准教授に着任されています。

教育に関して、基幹教育院を中心として全学共通教育の改革が検討されており、2014年度からの実施予定です。それに対応して、物理学科では専攻教育も含めたカリキュラムの改訂作業が8年ぶりに行われております。

人事制度についても重要な変化がありました。2009年に導入した助教の任期制(5年任期再任1回)が、労働契約法の改正に伴いそのままでは運用が困難になったことです。数回に渡る教室での慎重な議論の末、新年度より5年任期再任不可と変更することとしました。これによって教室運営上も大きな影響が予想されます。単に助教の任期に止まらず、大学教員の人事制度全般について今後も継続的な検討が必要でしょう。

嬉しいニュースとしては、本年度も若手の活躍が目立ち、坂上さんが文部科学大臣表彰若手科学者賞、柳澤さんが日本物理学会若手奨励賞、坂口さんがJINR award in the field of the scientific methodologyを、それぞれ受賞されています。また、物理教室OBの巨海名誉教授(現久留米工業大学教授)も日本高圧力学会賞を受賞されました。

また、物理教室に関連した出来事として、素粒子実験グループを中心に先端素粒子物理学研究センター(RCAPP)が全学の研究センターとして設立されました。

物理教室の情報は、ウェブサイト [www.phys.kyushu-u.ac.jp](http://www.phys.kyushu-u.ac.jp) にもありますので、併せてご覧ください。

2013年3月

物理学部門 部門長 中西 秀

# 素粒子理論

## 研究室構成員

原田恒司 教授

奥村健一 助教

### 《 大学院 博士課程 》

田港朝貴 榮田達也 久保幸貴 吉本一世

牧野広樹 水口拓也

### 《 大学院 修士課程 》

中野正之 仲村崇大 萩本啓 武田大典

原田遼平 山口賢司

### 《 学部 卒業研究生 》

中村昌平

## 担当授業

解析力学・同演習 (原田恒司、奥村健一)、量子力学 II(原田恒司)、場の理論 (原田恒司)、物理学特別研究 (原田恒司)、物理学基礎演習 (奥村健一)、M1 ゼミナール (奥村健一)

## 研究・教育目標と成果

核子系有効場理論における核子-核子散乱の、Wilson 流繰り込み群の解析に基づく計算方法の確立 (原田恒司, 榮田達也)

核子系有効場理論は、核子とパイオンを基本的自由度として、強い相互作用を記述する枠組みであり、強い相互作用の基礎理論である QCD とカイラル対称性を通じて関係し、また、場の理論の一般的な原理に従うものである。我々は以前の論文で Wilson 流の繰り込み群の解析を通じて、有効場理論でパイオンの寄与を短距離部分と長距離部分とに分離して扱うべきことを指摘した。しかし、物理量をきちんと実験と比較できるようにするためには、cutoff 依存性のみを調べる繰り込み群の解析を越えて、有限部分までもきちんと計算する必要がある。そのために hybrid 正則化という新しい正則化の枠組みを提案し、3-ループのダイアグラムまで含む計算を行い、Next-to-next-to-leading order (NNLO) までの計算を実行した。Spin singlet については完全に計算を

実行できたが、Spin triplet では計算方法自体の曖昧さをなかなか排除できず、そのために unitarity を破ってしまう結果になってしまった。この曖昧さを取り除くために再計算を行っているところである。来年度は計算を終らせ論文にまとめることを目指す。有効場理論における非相対論的 3 粒子系の繰り込み群の dimeron 場を用いない解析 (原田恒司、吉本一世)

有効場理論を用いて、Efimov 効果のような 3 粒子系の普遍的な性質を調べる研究を行なった。Efimov 効果は、2 体の相互作用がちょうど散乱長が無限大になる場合に、無限個の 3 体束縛状態が、隣あう束縛状態の束縛エネルギーが一定となるように現れるという現象を言う。この現象は、近年実験的にも観測されるようになった。繰り込み群の観点からは、Efimov 効果はリミットサイクルというものと関連していることが知られている。先行研究ではすべて、dimeron とか dimer と呼ばれる補助的な場を導入して解析を行っていた。我々は dimeron を用いずに非摂動的な繰り込み群を定式化し、先行研究のほとんどが重要な寄与を落しているという誤りを含んでいることを指摘した。また、今まで知られていない非自明固定点の存在も指摘した。来年度は質量の異なる粒子系に生じる Efimov 効果についての研究を行なう。

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

LHC 実験において 125 GeV 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 1 TeV 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。まず昨年度に引き続き 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。TeV scale mirage mediation モデルは超対称粒子の質量スケールが数 TeV でも 10% 程度の調整で観測されている電弱対称性の破れのスケールを説明できる希少なモデルである。しかし、超対称性の破れの  $A$  項の大きさが理論的に予言されるために MSSM ではこれを微調整して 125 GeV の Higgs 粒子を実現することが困難である。NMSSM では新たに導入される一重項場によって  $F$  項のポテンシャルが生成され、Higgs 粒子の質量を持ち上げることが出来ることが知られている。本年度は電弱対称性の破れの更に詳しい解析と LHC におけるシグナルや暗黒物質からの宇宙論的な制限を調べた。その結果、本モデルにおいては電弱対称性の破れにおいて Higgs 二重項と一重項の間の混合が自動的に抑制されることを発見した。この機構の背後にある物理は現在も研究中である。また一重項が Higgs 粒子よりも軽い場合、 $F$  項ポテンシャルだけでなく、二重項と一重項との混合によっても質量を増幅できることが分かった。この抑制された混合により、LHC で発見された Higgs のシグナル強度に標準理論からの 10% 程度のずれが現れうること、また一重項が標準理論 Higgs と比較して 10% 程度のシグナル強度で発見される可能性があることを明らかにした。また暗黒物質が最も

軽い超対称粒子の熱残存量で説明されると考えた場合、丁度観測されている程度の量を説明できること、本年度発表された XENON100 実験に夜直接探索の制限にぎりぎりかかる程度の断面積を予言することを明らかにした。これらの結果は、秋の物理学会においてすでに発表され、次年度中に論文にまとめる予定である。

有効理論を用いた Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model の電弱対称性の破れの解析 (奥村健一, 萩本啓, 牧野広樹)

NMSSM における Higgs 質量を正確に予言するため、上述の TeV scale mirage mediation 模型において、超対称粒子を積分した後の有効理論を構築し、その理論において Higgs 粒子の一般的な結合に対する繰り込み群方程式を導出した。これにより大きな対数項を再加算し電弱スケールにおける Higgs 場のポテンシャルを求めた。このポテンシャルの極値を求めることで Higgs 質量を求めることを試みた。結果すでに知られている SUSY スケールにおいて有効ポテンシャルを用いて計算した結果と大きく振る舞いが異なることが示唆された。この結果は現在も再解析をおこなって原因を探っている。ベクトル型クォークを導入した TeV scale mirage mediation 模型における電弱対称性の破れの解析 (奥村健一, 仲村崇大, 牧野広樹)

TeV scale mirage mediation 模型において 125 GeV の Higgs 質量を実現するために新たにベクトル型クォークを導入し、その湯川結合の量子補正によって Higgs 質量を持ち上げようとした。一般に mirage mediation 模型において超対称な質量を持ったベクトル型クォークを積分すると、mirage mediation 模型の性質である mirage unification が成り立たなくなるため、折角作った SUSY スケールと電弱対称性の破れのスケールの小さな階層性が壊れてしまう。これを避けるため一重項場を導入し、その真空期待値によってベクトル型クォークの質量を与えるようにした。この模型の電弱対称性の破れを有効ポテンシャルを用いて解析した結果、Higgs 質量を 125 GeV に持ち上げるためには混合により Higgs 質量が軽くなることを避けるために一重項を二重項よりも軽くしなければならず、SUSY スケールをあまり大きく取ることが出来きないことが分かった。この場合、ベクトル型クォークの質量は 700 GeV 程度よりも重くならない。これは現在の LHC の制限のぎりぎりのところである。また軽い一重項は LEP II の Higgs 探索実験から強い制限を受け、また LEP II で見つかっている anomaly を説明出来る可能性があることが分かった。これらの結果はさらに模型を拡張して現在も解析中であり、秋の学会で発表して論文にまとめる予定である。

運動量依存分布関数を用いたレプトン数生成の解析 (水口拓也)

観測に基づいた考察から、現在の宇宙はバリオン数非対称な状況にあると考えられている。なぜこのような状況が実現されたかを説明可能なモデルの 1 つとして、“レプトジェネシス” が先行研究において考案されている。このモデルは、現在存在が確認されているニュートリノがマヨラナ粒子であるとの前提を置くことにより、その質量

が小さい理由を説明可能であるという特徴も含んでおり、理論的には非常に有望視されている。我々はレプトジェネシスのシナリオにおける非平衡過程のボルツマン方程式に基づく解析を行なった。同様の研究は、これまでも他の多くの研究者らによって為されている。しかしながら、多くの先行研究では、統計分布関数の運動量依存性に関して非自明な仮定が用いられている。確かにそのような仮定を用いると、ボルツマン方程式が解析的に単純な形に変形でき、数値的に解き易い形になるのであるが、仮定の物理的な根拠はない。そのような解析方法とは対照的に、我々の解析においては、統計分布関数の運動量依存性は十分に考慮されている。現在は、ボルツマン方程式の衝突項に新たに散乱過程の寄与を含め、それらがレプトン数非対称の時間発展にどのような影響を及ぼすかを先と同様統計分布関数の運動量依存性を考慮して行っている。この取り組みを十分に完遂した先行研究は現在のところ見当たらない。来年度の6月には、先行研究との違いを明瞭にした論文を投稿する予定である。

ゲージ/重力対応を用いたバリオン多体系の研究 (田港朝貴、久保幸貴)

QCDは温度と化学ポテンシャルをパラメーターとして豊かな相構造を持つとされる理論ではあるが、その第一原理的な解析は非常に難しく、格子QCDによる数値的シミュレーションでさえも符号問題と呼ばれる技術的な問題により計算が困難である。我々はゲージ/重力対応を用いてゲージ理論の化学ポテンシャルに対するバリオン数密度の相転移を解析することを目的として研究を行った。ゲージ/重力対応、特に酒井・杉本模型、においてバリオンは重力理論でのD8ブレーン中のゲージ場のソリトン解として表される。我々はこのソリトン解に対して希薄ガス近似を導入することで、有限密度、有限化学ポテンシャルのバリオンの系を構築し、その系のエネルギーを数値計算により比較することでバリオン数が化学ポテンシャルに対して一次相転移を起こすことをみた。

発表論文

《原著論文》

- “Wilsonian renormalization group analysis of nonrelativistic three-body systems without introducing dimerons”:  
Koji Harada, Hirofumi Kubo, and Issei Yoshimoto,  
Phys. Rev. **D87**, (2013) pp. 085006-1 - 085006-19.
- “TeV scale mirage mediation in NMSSM”:  
T. Kobayashi, H. Makino, K. -i. Okumura, T. Shimomura and T. Takahashi,

JHEP **1301**, (2013) 081

- “Holographic cold nuclear matter as dilute instanton gas ”:  
Kazuo Ghoroku, Kouki Kubo, Motoi Tachibana, Tomoki Taminato, Fumi-  
hiko Toyoda,  
Phys. Rev. **D87**, (2013) pp. 066006-1 066006-11.

《Proceedings》

- “Wilsonian RG analysis of the P-wave nucleon-nucleon scattering including pions” :  
Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto,  
Few-Body Systems (Online First, 04 Jan, 2013) The 20th International IU-  
PAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20), Fukuoka, Japan.

《その他の論文》

“A holographic multi-baryon system by dilute gas approximation” :

田港朝貴:

素粒子論研究・電子版, **13** No 4 (2012) [3 pages]

著書

- 「素粒子物理学ハンドブック」(山田作衛、他編集):  
原田恒司(共著)、(2012) pp. 90 - 109.

講演

《海外での講演》

- “Life without dimerons”:  
Koji Harada,  
The 6th International Conference on the Exact Renormalization Group, 2012  
年9月5日、Centre Paul Langevin (Aussois), France.

《 国内での講演 》

- 有限密度ホログラフィック QCD の 解析:  
田港朝貴、  
2012 年度原子核三者若手夏の学校、2012 年 8 月 3 日、エバーグリーン富士  
(山梨県富士吉田市)
- Causal Dynamical Triangulation(ポスター):  
中野正之、  
2012 年度原子核三者若手夏の学校、2012 年 8 月 3 日および 5 日、エバーグ  
リーン富士 (山梨県富士吉田市)
- Wilsonian RG analysis of the P-wave nucleon-nucleon scattering including  
pions :  
Koji Harada, Hirofumi Kubo, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto,  
The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics  
(FB20), 2012 年 8 月 21 日、福岡国際会議場
- Wilsonian RG analysis of nonrelativistic three-body system without using a  
dimeron field(ポスター) :  
Issei Yoshimoto,  
The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics  
(FB20), 2012 年 8 月 20 日、福岡国際会議場
- Analysis of nucleon-nucleon scattering in nuclear effective field theory(ポス  
ター):  
Tatsuya Sakaeda,  
The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics  
(FB20), 2012 年 8 月 21 日、福岡国際会議場
- A holographic multi-baryon system by dilute gas approximation:  
田港朝貴、  
基研研究会「熱場の量子論とその応用 2012」、2012 年 8 月 22 日、京都大学  
基礎物理学研究所
- 非相対論的な 3 体系と limit cycle:  
原田恒司、久保博史、吉本一世、  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都産業大学

- パイ中間子を含む核子系有効場理論による 2 核子系の解析 – ウィルソン流くり込み群の解析に基づいた計算 – :  
久保博史、原田恒司、榮田達也、山本裕樹、  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都産業大学
- A holographic multi-baryon system:  
郷六一生、久保幸貴、橘基、田港朝貴、豊田文彦、  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 11 日、京都産業大学
- Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediation:  
小林達夫、牧野広樹、奥村健一、下村崇  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 13 日、京都産業大学
- Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediation(ポスター):  
牧野広樹、  
Asia-Europe-Pacific School of High-Energy Physics、2012 年 10 月 18 日、The  
LUIGANS Spa & Resort(福岡市)
- ゲージ/重力対応と有限密度 QCD:  
田港朝貴、  
土曜談話会、2012 年 12 月 1 日、福岡工業大学
- 冷却原子系とくりこみ群:  
吉本一世、原田恒司、久保博史、  
第 118 回 日本物理学会九州支部例会 2012 年 12 月 8 日、琉球大学千原キャンパス
- Holographic dense QCD and baryonic matter(ポスター):  
田港朝貴、  
KEK 理論研究会 2013、2013 年 3 月 19 日、KEK(茨城)
- 運動量依存分布関数を用いたレプトン数生成の解析:  
船久保公一、丸鶴居史、水口拓也、  
日本物理学会第 68 回年次大会、2013 年 3 月 26 日、広島大学東広島キャンパス
- Wilson 流くりこみ群を用いた mass imbalanced Fermi 系の解析:  
吉本一世、原田恒司、遠藤晋平、

日本物理学会第 68 回年次大会、2013 年 3 月 29 日、広島大学東広島キャンパス

## 外部資金

### 《 文部省科学研究費補助金 》

- 文科省科学研究費補助金、基盤研究 C、「Wilson 流線り込み群による非線形な対称性を持つ場の理論の物理的描像の検証」研究代表者：原田恒司

## 他大学での研究と教育

- 原田恒司:  
鹿児島大学で「相対論」の集中講義を行なった。

## 学部 4 年生卒業研究

中村昌平: (指導教員、原田恒司): 格子 QCD を用いた K 中間子の質量測定

## 修士論文

- 中野正之:(指導教員、原田恒司): Causal Dynamical Triangulation の数値計算
- 仲村崇大:(指導教員、奥村健一、原田恒司): Vector-like quark を導入した TeV スケール Mirage 媒介模型における Higgs 質量の解析
- 萩本啓:( 指導教員、奥村健一、原田恒司 ):NMSSM の有効理論を用いたヒッグス質量の解析

## 博士論文

- 田港朝貴: (指導教員、原田恒司): Holographic methods for low energy QCD
- 柴田達也: (指導教員、原田恒司): Nucleon-nucleon scattering on the basis of Wilsonian renormalization group analysis in nuclear effective field theory

## 学外での学会活動

- 素粒子論委員会 幹事 (原田恒司)

# 原子核理論

## 研究室構成員

八尋 正信 教授

清水 良文 准教授

松本 琢磨 助教

### 《 大学院 博士課程 》

蓑茂 工将    佐々木 崇宏    田上 真伍

### 《 大学院 修士課程 》

嶋田 充宏    高橋 純一    長野 邦裕    渡邊 慎

石井 優大    江頭 慧    佐々部 悟    豊川 将一

### 《 学部 卒業研究生 》

菅野 淳平    難波 俊太    米村 浩司    森本 光 (前期)

## 担当授業

物理学入門(八尋正信)、自然科学概論(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)、原子核反応論(八尋正信)、物理数学I(清水良文)、数値計算法(清水良文)、電磁気学(清水良文)、物理学特別研究I(八尋正信・清水良文・松本琢磨)、物理学特別研究II(八尋正信・清水良文・松本琢磨)

## 研究・教育目標と成果

有限 $\theta$ におけるQCD相構造の研究(八尋正信, 河野宏明[佐賀大学], 境祐二[理研], 佐々木崇宏(D2), 高橋純一(M2))

QCD真空はトポロジカルに非自明であり、 $\theta$ 真空と呼ばれている。有限温度においてこの構造が変化すると、重イオン衝突実験や宇宙進化のシナリオに有意な影響を与えることが知られている。 $\theta$ 真空構造の変化はQCD作用に $\theta$ 項を付加することで解析可能であるが、 $\theta$ 項が存在する一般的QCDにおいて格子QCD計算は符号問題のため実行不可能である。このため、トポロジーが変化し $\theta$ 項が有限となったQCDの性質は、ほとんど解明されていない。

我々はまず、EPNJL模型を用いて $\theta$ パラメータの関数としてのQCD相構造を求めた結果、 $\theta$ 項の効果によりQCD相転移が強くなる傾向があると分かった。特に、トポ

ロジー項が大きいときは QCD 相転移が一次相転移になる可能性が示唆された。この結果は、現実的な 2+1 フレーバー系でも確認することができた。さらに、この領域において格子 QCD 計算を可能にする方法を新たに提案した。有効模型を用いてその実行可能性を具体的に分析することにより、十分に実行可能な方法であると分かった。

本研究は佐々木氏を中心に推進され、その成果は Physical Review 誌に掲載された。

格子 QCD による虚数化学ポテンシャル領域の重クォークポテンシャルの研究 (八尋正信, 中村純 [九大客員教授・広島大学], 斎藤卓也 [高知大学], 永田桂太郎 [広島大学], 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D2), 高橋純一 (M2))

格子 QCD は符号問題により有限の化学ポテンシャル ( $\mu_q$ ) 領域での計算が困難である。この符号問題を回避するための一つの方法として、虚数化学ポテンシャル ( $\mu_I \equiv i\mu_q$ ) 領域からの解析接続がある。他に提案されている方法とは違い、この方法では  $\mu_q/T < 1$  ( $T$  は温度) において信頼性の高い結果が得られる。このような観点から、我々は  $\mu_I$  領域における格子 QCD シミュレーションを進めている。昨年度から、クォークの閉じ込めを理解するために重要な重クォークポテンシャルに注目し、その  $\mu_I$  依存性について調べている。今年度は、ゲージ固定をした後、重クォークポテンシャルのカラーチャンネルを分けた状態を引き出した。結果は、 $\mu_I$  が大きくなるにつれて、singlet channel と anti-triplet channel はより引力が、octet channel と sextet channel はより斥力が強くなる傾向を示した。また、物理的な状態である singlet channel に関しては、カラー荷に対する Debye 遮蔽質量の  $\mu_I$  依存性を求めた。Debye 遮蔽質量は物理量であるため、どのような種類のゲージ固定でも同じ  $T, \mu_I$  であれば、同じ値が出るのが期待される。この性質により、Debye 遮蔽質量の  $\mu_I$  から  $\mu_q$  への解析接続に信頼性を与える。今回、我々はクーロンゲージとランダウゲージを用いた。2つのゲージを用いた結果は誤差の範囲以内で良い一致を見せた。 $\mu_I$  依存性としては、 $\mu_I$  が大きくなるにつれて質量が小さくなる傾向であった。これは Hard Thermal Loop 近似を用いた摂動計算と定性的に一致しているものの、その  $\mu_I$  依存性は摂動計算のものより大きかった。

今後は、Debye 遮蔽質量や重クォークポテンシャルの  $\mu_I$  依存性から解析接続によりそれぞれの  $\mu_q$  依存性を求める。

本研究は高橋氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。

高密度天体の構造に関わる QCD 相構造の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 河野通郎 [九州歯科大学], 安武伸俊 [千葉工業大学], 佐々木崇宏 (D2), 長野邦裕 (M2))

格子 QCD による第一原理計算は、符号問題のため実数クォーク数化学ポテンシャルでは行えない。また加速器を用いた実験的アプローチも、原子核の飽和性により高クォーク数化学ポテンシャル領域の実現には困難が伴う。そのため高密度系である中

中性子星の観測結果が、高クォーク数化学ポテンシャル領域の研究に重要な情報を与えると期待されている。

我々はクォーク-ハドロンの相転移を、簡単な2相模型を用いて表現した。クォークの模型としては2フレーバー Nambu-Jona-Lasinio(NJL) 模型を用いた。中性子星物質を考慮するためにはアイソスピン非対称な場合を考慮する必要があるが、昨年度に解析が行われ荷電平衡な系の状態方程式が計算可能である。中性子の模型としては自由フェルミ気体模型を用いるが、中性子間の斥力による効果を有効的に取り込むために体積排除効果を考慮した。このとき、排除体積のパラメータは低密度領域におけるカイラル摂動論から決定した。このことにより、原子核の飽和性など通常核密度周辺の性質は実験結果と整合するような模型になっている。さらに、クォーク-ハドロン間のクロスオーバー転移を、簡略的にはあるが熱力学関係式を満たすように定式化した。以上の模型を用いて状態方程式を求め、一般相対論的な力学平衡の式である Tolman-Oppenheimer-Volkoff 方程式を解くことで中性子星の構造を求めた。

体積排除効果の導入により、観測された 1.9 太陽質量の中性子星を再現することが出来た。また、クォークとハドロンが共存するハイブリッド星の可能性を詳細に分析し、クォーク物質が存在する場合であっても観測結果を再現することが可能であると分かった。

本研究は長野氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。

有効模型を用いたメソン質量の計算 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D2), 高橋純一 (M2), 石井優大 (M1))

粒子の質量は、相関関数の遠方での振る舞いを支配する物理量である。有限温度ではローレンツ対称性が破れており時間と空間が対等でないため、粒子の質量もそれぞれ pole mass ( $M_{\text{pole}}$ )、screening mass ( $M_{\text{scr}}$ ) と区別される。格子 QCD ではクォーク二粒子相関の空間依存性を解析することで、メソンの  $M_{\text{scr}}$  と  $M_{\text{pole}}$  の比が見積もられている。そこで、本研究では有効模型でメソンの  $M_{\text{scr}}$  と  $M_{\text{pole}}$  を計算し、格子 QCD の計算結果と比較することを目標とした。

本年度は、PNJL 模型を用いて  $\pi$ 、 $\sigma$  メソンの  $M_{\text{pole}}$  の温度依存性を計算した。その結果、温度の上昇に従って  $\pi$  メソンの  $M_{\text{pole}}$  は増加し、カイラル相転移の転移温度を超えると、 $\sigma$  メソンの  $M_{\text{pole}}$  に近づくことが確認できた。これは高温でのカイラル対称性の回復を表しており、先行研究を再現するものであった。

来年度は  $M_{\text{scr}}$  の温度依存性を計算して、格子 QCD の計算結果と定性的な比較を行う。またゼロ密度領域で格子計算と一致することを確認したのち、有限密度領域への拡張を行い、 $M_{\text{scr}}$  の密度依存性の解明を目指す。

本研究は石井氏を中心に推進された。

荷電交換反応の解析による中性子スキン厚の決定 (八尋正信、蓑茂工将 (D3))

核物質の状態方程式の決定は、核物理と中性子星の物理にまたがる極めて重要な課題である。中性子過剰核や中性子星などの非対称核物質の性質は、主として状態方程式の対称エネルギー項によって決まるが、その高密度領域における振る舞いはよくわかっていない。対称エネルギー項を決定するため、さまざまなアプローチにより中性子過剰核における中性子スキン厚の解析がなされている。

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

今年度は、畳み込み模型による  $(p,n)$ IAS の計算コードを開発した。今後、さまざまな標的核・入射エネルギーに対して  $(p,n)$ IAS の特徴を解析し、中性子スキン厚を精度よく決定する。本研究は蓑茂氏を中心に推進されている。

カイラル有効場の理論に基づく新しい2核子間有効相互作用の構築 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [九州歯科大学教授]、蓑茂工将 (D3)、豊川将一 (M1))

多重散乱理論によると、核反応は核子間の有効相互作用による多重散乱によって表現される。有効相互作用とは核内における2核子散乱の遷移行列であり、核力に基づいた  $g$  行列理論計算などによって、これまでにいくつもの有効相互作用が提案されている。そのような有効相互作用は、現象論的に決定された核力に基づくものであった。近年、格子 QCD や有効場の理論などの立場から核力の導出を行う試みが盛んであり、このような理論的基礎付けによる核力を用いて構築される有効相互作用の性質がどのようなものであるかは大変興味深い。

本研究では、カイラル有効場の理論からの核力に基づく新しい有効相互作用を構築する。この利点として、3核子力の効果を不定性なく取り込めることが挙げられる。3核子力は現在注目されている大きな話題のひとつで、核物質の形成においても重要な役割を果たすと考えられている。

豊川氏、河野氏を中心として、カイラル有効場の理論から構築された  $g$  行列相互作用と CD-Bonn などの現象論的核力から構築された  $g$  行列相互作用を比較し、その性質を調べた。今後、新しい  $g$  行列を実際の反応計算に適用し、全反応断面積などの解析を行う。

微視的反應模型による核子-Li アイソトープ反応解析 (八尋正信、松本琢磨、渡辺幸信)

[九州大学総合理工学府教授]、緒方一介[大阪大学核物理研究センター准教授]、郭海瑞[九州大学総合理工学府(D1)]、渡邊慎(M2))

核融合炉の設計において核子-Li アイソトープ ( ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ) 反応は重要であり、その系統的な反応データが必要とされている。しかし、中性子である  $n$  は電荷を持たないため加速することや検出することが非常に困難であり、実験からこの反応の断面積を系統的に決定することは、現段階では不可能である。特に、高エネルギー反応における断面積を決定するには精密な理論予測が必要となる。そこで我々は、 $n$ - ${}^6\text{Li}$ 、 $n$ - ${}^7\text{Li}$ 、 $p$ - ${}^6\text{Li}$ 、 $p$ - ${}^7\text{Li}$  散乱の精密理論解析を進めている。

本研究において  ${}^6\text{Li}$  と  ${}^7\text{Li}$  はそれぞれ  $d$  と  $\alpha$ 、 $t$  と  $\alpha$  の 2 体クラスター模型で記述する。そして、反応過程でそれらのクラスターに分解する効果を連続状態離散化チャンネル結合法により精密に取り入れ、また核子-Li 間の相互作用として、有効相互作用の 1 つである JLM 相互作用を用いた微視的模型により計算を行った。それぞれの反応において弾性散乱の微分断面積は系統的に実験値と良い一致を見ることができた。この知見をまとめて Physical Review C 誌に投稿し、掲載された。また同様の研究を北海道大学とも共同で研究を進めており、その成果も Physical Review C 誌に掲載された。

現在、この計算は総合理工学府の郭氏を中心として推進されている。

${}^6\text{Li}$  入射反応における分解効果 (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(D3)、渡邊慎(M2))

本研究の対象である  ${}^6\text{Li}$  は、中性子 ( $n$ )、陽子 ( $p$ )、 ${}^4\text{He}$  原子核の 3 つの粒子がそれぞれ緩く束縛した原子核である。このような弱束縛な原子核が入射する反応では、反応の途中で入射核が分解する過程が重要となり、その効果を精密に取り扱うことが必須となる。本研究では、連続状態離散化チャンネル結合法を用い、 ${}^6\text{Li}$  が 3 つの粒子 ( $n$ ,  $p$ ,  ${}^4\text{He}$ ) に分解する効果を陽に取り入れた計算を行った。

解析の対象として、 ${}^6\text{Li}$  -  ${}^{209}\text{Bi}$  弾性散乱を選択した。先行研究は「 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 」系を「 $(d + {}^4\text{He}) + {}^{209}\text{Bi}$ 」の 3 体系として扱っており、調整パラメータなしに実験を再現しなかった ( $d$  は重陽子を表す)。これは、 ${}^6\text{Li}$  内部の  $d$  が  $n$  と  $p$  に分解する過程が正確に処理されていないためと考えられる。そこで本研究では「 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 」系を「 $(n + p + {}^4\text{He}) + {}^{209}\text{Bi}$ 」の 4 体系として扱い、 $d$  が  $n$  と  $p$  に分解する過程も明確に取り入れ、計算を行った。その結果、我々は先行研究で再現できなかった実験を定量的に説明し、さらに、 ${}^6\text{Li}$  内部における  $d$  の分解の仕方が、通常の  $d$  入射反応における  $d$  の分解の仕方とは明確に異なることを発見した。最後に、 ${}^6\text{Li}$  入射反応における  $d$  分解の仕方の違いを、実効的かつ簡潔に取り入れることができる新しい 3 体模型を提案した。今後は、 ${}^6\text{Li}$  内部の  $d$  分解の反応メカニズムを明らかにすることを目指す。

本研究は渡邊氏を中心に推進され、同氏の修士論文として纏められた。その成果は

Physical Review C 誌に掲載された。

反応断面積の解析で探る中性子過剰核の変形及びハロー構造 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、木村真明 [北海道大学准教授]、武智麻耶 [理研仁科センター、ドイツ重イオン研究所]、福田光順 [大阪大学准教授]、西村太樹 [東京理科大学助教]、鈴木健 [埼玉大学教授]、蓑茂工将 (D3)、田上真伍 (D1)、嶋田充宏 (M2)、渡邊慎 (M2))

不安定核研究において最も注目を集めているものの1つとして、核図表において陽子数が10~12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が20~22程度の領域“ island of inversion ”が挙げられる。この領域の原子核は「異常な変形」や「ハロー構造」といった特有の性質を示しており、従来行われていた現象論的なアプローチが適用できない。そこで我々は反対称化分子動力学法により計算された核密度を用いた二重畳み込みモデルによる計算を試みた。これは原子核の構造に一切の仮定を置かない純微視的理論である。このモデルを island of inversion の代表核である Ne 同位体の反応に適用し、反応断面積に対する変形効果の重要性を定量的に示し、さらにその構造を決定した。解析の成果は Physical Review C 誌に掲載された。

次に、我々は上記の微視的アプローチを Mg 同位体反応に適用した。その結果、Mg 同位体反応においても反応断面積に対する変形効果の重要性が見出され、その反応機構を部分的に明らかにした。我々の解析結果は、ドリップライン近傍核である  $^{37}\text{Mg}$  がハロー構造を持つことの強い可能性を示しており、その反応機構及び構造についての詳細な議論を現在行っている。ハロー構造の記述には大きな模型空間を必要とするため、今後は大きな空間を用意した大規模計算を行い、Mg 同位体の変形及びその構造を決定する。

本研究は渡邊氏、蓑茂氏を中心に推進された。

微視的反応理論による炭素同位体入射反応の系統的解析 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、古立直也 [北海道大学]、蓑茂工将 (D3)、田上真伍 (D1)、佐々部悟 (M1))

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

後、他の系についても解析を行い反応断面積の偶奇性と原子核の構造の間の関係を調べていく予定である。この研究は佐々部氏を中心に進められている。

二重畳み込み模型を用いた  $4\text{He}$ -核弾性散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (D3)、渡邊慎 (M2)、江頭慧 (M1)、佐々部悟 (M1))

二重畳み込み模型は、核子-核子間有効核力 ( $g$  行列相互作用) を入射核と標的核の核密度で畳み込み、核-核間のポテンシャルを求める方法である。 $g$  行列相互作用は核物質中での相互作用であり、密度依存性を持つ。本研究では、この密度依存性の性質を調べ、 $4\text{He}$  弾性散乱に対して新しい密度依存性の選び方を提案した。新たに提案された核-核間ポテンシャルは、 $4\text{He}$  散乱において、従来の仮定より、よい実験との一致を与えた。今後は、この  $4\text{He}$ -核間ポテンシャルを弾性散乱以外の反応解析へ応用する。この研究は、江頭氏を中心に推進されている。

微視的光学ポテンシャルを用いた陽子弾性散乱の系統的解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (D3)、豊川将一 (M1))

2 核子間有効相互作用に基づいて構築された光学ポテンシャルを微視的光学ポテンシャルと呼ぶ。微視的光学ポテンシャルを構築する手法として、2 核子間有効相互作用を標的核密度で畳み込み積分することによって核子-核間の光学ポテンシャルを表現する畳み込み模型がある。不安定核散乱に対して信頼性の高い光学ポテンシャルを現象論的に構築することは困難なため、不安定核反応の解析には畳み込み模型による微視的光学ポテンシャルが必須となる。

本研究では、Melbourne グループの  $g$  行列有効相互作用を用いた畳み込み模型で、陽子弾性散乱に対する微視的光学ポテンシャルの性質を系統的に調べた。微分断面積や偏極分解能の解析を通じ、安定核と不安定核の密度の広がりの違いがポテンシャルの深さや半径に及ぼす影響を定量的に評価した。この成果は論文にまとめられ、現在 Physical Review C 誌に投稿中である。この研究は蓑茂氏と豊川氏を中心に進められた。

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

原子核の基底状態は変形している場合はほとんど軸対称であるが、オブレート型(ミカン型)に比べてプロレート型(レモン型)が圧倒的に多いことが知られている。数年前からその理由を理解するための研究を行っている。これまでの研究で開発してきた信頼性の高い基底状態の変形を決める方法である「連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法」により、ドリップライン近傍の不安定原子核まで含めた多くの原子核に対する信頼性のおける分析が可能になった。今年度はこれまでよく用いられてきた色々なパラ

メータセットの Woods-Saxon 型平均ポテンシャルを用いて、平均ポテンシャルの深さや広がりやスピン軌道力の強さなどを変更して、プロレート変形が現れる率の系統的な計算を行いその起源を分析して結果をまとめた。

特に興味深い結果としては、原子核の2粒子分離エネルギーが小さくなると球形の原子核が増えることが明瞭に示された。このことはハローやスキンが現れる弱束縛の不安定核の極限では相対的に変形する原子核が少なくなることを示唆しており、これからの不安定核の研究でその傾向が見えればおもしろい。また、我々は「Strutinsky 法」を用いているので、原子核の束縛エネルギーの巨視的部分と微視的殻効果を分けて分析することが可能であり、現在、巨視的部分がプロレート変形率に与える影響も調べている。この研究は杏林大の高原氏を中心に行われている。

角運動量射影法による非軸対称変形核の回転状態の研究 (清水良文、田上真伍 (D1))

原子核において最も良く知られた変形は軸対称楕円体変形である。しかし、近年の理論計算や実験結果から、その軸対称性を破った非軸対称な楕円体変形の存在が示唆されている。このような非軸対称変形をした原子核に固有の運動として、古典的な歳差運動を想起させるウォブリング回転や、3つの異なる種類の角運動量が右手系と左手系という配位をとることから生じるカイラル二重項がある。

本研究ではこれらの運動を角運動量射影法を用いて解析している。これまでに、エネルギースペクトルと電磁遷移確率を微視的に計算すること自身は可能であったが、微視的計算結果を分析して角運動量射影した状態が真に巨視的モデルのウォブリング運動やカイラル二重項状態に対応するものかどうかを調べるのが難しかった。そこで、内部状態の角運動量の向きを直接的に角運動量射影計算から引き出す方法を新たに開発した。今後は、この方法を用いて角運動量射影した状態の物理的な解釈を行っていく。本研究は田上氏を中心に行われている。

原子核におけるエキゾチック変形の研究 (清水良文、田上真伍 (D1)、J. Dudek [ストラスブル大学])

原子核でこれまでに調べられていないエキゾチックな変形が、近年の平均場理論による計算から予想されている。その一つである四面体変形は、特定の陽子数または中性子数の原子核の安定な変形として示唆されているが、現実の原子核で四面体変形した状態は未だ見つかっていない。そのため、四面体変形の存在を探る第一段階として、我々は四面体変形した状態に量子数射影を行い、実験と比較可能なエネルギースペクトルや電磁遷移確率を計算している。

これまでに、1粒子エネルギーが同じ準位は全て詰まった四面体変形した閉殻のエネルギースペクトルを計算してきたが、本年度は新たに閉殻に1粒子がついた奇核と2

粒子がついた閉殻でない偶々核のエネルギースペクトルを計算した。これらの結果では閉殻の場合には見られなかった、十分に大きな変形度でも残るエネルギー Splitting が見られた。現在はこの Splitting を説明するために、四面体変形した回転体に粒子がついた粒子回転結合モデルによる解釈を試みており、1 粒子が特定の準位に入っている場合には量子数射影法の結果をうまく説明できることがわかった。今後は他の準位に入った場合やもっと一般的な 2 粒子の場合に対してもうまく解釈できる方法を探る。この研究は田上氏を中心に行われている。

Gogny-HFB 計算による変形した不安定核の研究 (清水良文、田上真伍 (D1)、嶋田充宏 (M2))

全ての原子核が球形をしているとは限らず、むしろ変形した原子核の方が多く存在する。しかし、不安定核は、短時間で崩壊してしまうため実験が難しく、どのような形をしているのかわからないため、変形の効果を正しく取り扱える理論計算を行う必要がある。そこで、本研究では信頼性の高いと考えられている有限レンジの有効相互作用である Gogny 力を用いて、変形した不安定核を取り扱える Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) 計算プログラムを開発した。特に、ドリップ線近傍原子核の弱束縛な低密度領域を正しく記述するためには、ガウス基底を用いた HFB 法を用いることが有益であり、通常の調和振動子基底を用いたプログラムとともにガウス基底を用いたプログラムも完成させた。一般に、変形すると有限レンジの有効相互作用を用いた計算は計算時間が膨大になるが、昨年度開発したプロイデンの方法を用いて大幅な高速化が可能であることを確かめた。

最近では、BEC (ボーズ・アインシュタイン凝縮)-BCS クロスオーバーに関連する現象としてダイニュートロン相関が注目されている。開発した HFB 計算プログラムを用いて、変形核のダイニュートロン相関を調査した。核内の方向によって 2 体の相関密度に違いがあり、変形がダイニュートロン相関に大きな影響を与えることがわかった。この研究は嶋田氏を中心に進められ、同氏の修士論文としてまとめられた。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

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

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

Physical Review D **87**, (2013) pp. 056003-1-7.

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

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

The quarkyonic phase and the  $Z_{N_c}$  symmetry:

Y. Sakai, H. Kouno, T. Sasaki, and M. Yahiro,  
Physics Letter B **718** (2012) 130–135.

Quark-gluon thermodynamics with the  $Z_N$  symmetry:

H. Kouno, Y. Sakai, T. Makiyama, K. Tokunaga, T. Sasaki, and M. Yahiro,  
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **39** (2012) 085010 (21pp).

Deformation of Ne isotopes in the region of island of inversion:

T. Sumi, K. Minomo, S. Tagami, M. Kimura, T. Matsumoto, K. Ogata, Y. R. Shimizu,  
and M. Yahiro,  
Physical Review C **85**, (2012) pp. 064613-1–17.

The continuum discretized coupled-channels method and its applications:

M. Yahiro, K. Ogata, T. Matsumoto, and K. Minomo,  
Progress of Theoretical and Experimental Physics **2012**, (2012) pp. 01A206-1–44.

Determination of the  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  reaction rate from  ${}^9\text{C}$  breakup:

T. Fukui, K. Ogata, K. Minomo, and M. Yahiro,  
Physical Review C **86**, (2012) pp. 022801-1–5.

Effects of four-body breakup on  ${}^6\text{Li}$  elastic scattering near the Coulomb barrier:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,  
Physical Review C **86**, (2012) pp. 031601-1–5.

Analysis of  ${}^7\text{Li}(n,n'){}^7\text{Li}^*$  reactions using the continuum-discretized coupled-channels method:

D. Ichinkhorloo, Y. Hirabayashi, K. Katō, M. Aikawa, T. Matsumoto, and S. Chiba,  
Physical Review C **86**, (2012) pp. 064604-1–7.

Systematic analysis of nucleon scattering from  ${}^{6,7}\text{Li}$  with the continuum discretized coupled channels method:

Hairui Guo, Yukinobu Watanabe, Takuma Matsumoto, Kazuyuki Ogata, and Masanobu Yahiro,

Physical Review C **87**, (2012) pp. 024610-1–10.

Nuclear prolate-shape dominance with the Woods-Saxon potential:

S. Takahara, N. Tajima, and Y. R. Shimizu,

Physical Review C **86** (2012), 0643231-1-13.

Mixing effects on  $K$ -forbidden transition rates from the  $6^+$  isomers in the  $N=104$  isotones:

Fang-Qi Chen, Yang Sun, P. M. Walker, G. D. Dracoulis, Y. R. Shimizu and J. A. Sheikh,

Journal of Physics G **40** (2013), 015101-1-12.

《Proceedings》

有限  $\theta$  における QCD 相構造の研究:

佐々木崇宏, 高橋純一, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,

原子核研究 Vol. 57 Supplement 1 (2013) pp. 103–106

虚数化学ポテンシャル領域におけるデバイ遮蔽効果の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純

原子核研究 Vol. 57 Supplement 1 (2013) pp. 41–44

Model approach to the sign problem on lattice QCD with theta vacuum:

T. Sasaki, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, M. Yahiro,

Proceedings of Science (Lattice 2012) 076 (2012)

A simple model with  $Z_N$  symmetry:

M. Yahiro, H. Kouno, Y. Sakai, T. Sasaki, T. Makiyama,

Proceedings of Science (Lattice 2012) 099 (2012)

ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、3 フレーバー QCD のクォーク質量依存

性:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,  
原子核研究 Vol.56 Supplement 2 (2012) pp. 113–116

Recent Development of CDCC:

M. Yahiro, T. Matsumoto, K. Minomo, T. Sumi, and S. Watanabe,  
Progress of Theoretical Physics Supplement **196**, (2012) pp. 87–101.

Deformation Effect on Total Reaction Cross Sections for Neutron-Rich Ne-Isotopes:

K. Minomo, S. Watanabe, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Progress of Theoretical Physics Supplement **196**, (2012) pp. 358–364.

Microscopic approach to the scattering of unstable nuclei at intermediate incident energies:

M. Yahiro,  
CERN-proceedings-2012-002 (2012) pp. 45–52.

Eikonal reaction theory for neutron removal reactions:

K. Minomo, T. Matsumoto, K. Ogata, and M. Yahiro,  
CERN-proceedings-2012-002 (2012) pp. 61–66.

CDCC analysis for breakup of three body projectiles:

T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, M. Yahiro, and K. Katō,  
CERN-proceedings-2012-002 (2012) pp. 205–210.

Comparison of breakup processes of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$  with four-body CDCC:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,  
CERN-proceedings-2012-002 (2012) pp. 217–222.

微視的理論による中性子過剰 Ne 同位体の系統的反応解析:

蓑茂工将,  
原子核研究, Volume 57, Supplement 1 (2012) pp. 75-78.

$g$  行列相互作用を用いた軽い標的核による陽子弾性散乱の記述

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信,  
原子核研究, Volume 57, Supplement 1 (2012) pp. 133-136.

4 体 CDCC を用いた  ${}^6\text{Li}$  入射核反応の解析:  
渡邊慎, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信,  
原子核研究, Volume 57, Supplement 1 (2012) pp. 137-140.

Eikonal Reaction Theory for One- and Two-Neutron Removal Reactions:  
K. Minomo, T. Matsumoto, K. Ogata, and M. Yahiro,  
Few-body systems (2012) DOI: 10.1007/s00601-012-0517-9

Four-body CDCC analysis for breakup reactions of three-body projectiles:  
T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, M. Yahiro, and K. Katō,  
Few-body systems (2012) DOI: 10.1007/s00601-012-0579-8

量子数射影法を用いた四面体変形核の研究:  
田上真伍, 清水良文, J. Dudek,  
原子核研究, Volume 57, Supplement 1 (2012) pp. 65–68.

Efficient Methods for Quantum Number Projection and Its Application to Tetrahedral Nuclear States: S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,  
Proceedings of YKIS2011, Supplement volume of Prog. Theor. Phys. 196 (2012) pp. 334–339.

Exotic Geometrical Symmetries in nuclei: From Group Theory to Experiments:  
J. Dudek, D. Curien, A. Gózdź, Y. R. Shimizu, and S. Tagami,  
Proceedings of Zakopane Conference on Nuclear Physics, Poland, Acta Physica Polonica 44 (2013), 305–318.

#### 《 その他の論文 》

Pairing Fluctuations and Gauge Symmetry Restoration in Rotating Superfluid Nuclei:  
Y. R. Shimizu, Chap. 41, pp. 567–578, in a book ‘*Fifty Years of Nuclear BCS — Pairing in Finite Systems*’, ed. by R. A. Broglia and V. Zelevinsky, 2013, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

## 講演

### 《 海外での講演 》

Model approach to the sign problem on lattice QCD with theta vacuum:

T. Sasaki, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, M. Yahiro,  
Lattice 2012, June 26, Cairns, Australia.

A simple model with the  $Z_N$  symmetry:

M. Yahiro, H. Kouno, Y. Sakai, T. Sasaki, T. Makiyama,  
Lattice 2012, June 29, Cairns, Australia.

Meson mass and the sign problem at finite theta:

T. Sasaki, H. Kouno, M. Yahiro,  
Extreme QCD 2012, August 23, Washington D.C., USA.

Microscopic approach to the scattering of unstable nuclei at intermediate incident energies:

M. Yahiro,  
13th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, June 11, 2012, Varenna, Italy

Eikonal reaction theory for neutron removal reactions:

K. Minomo, T. Matsumoto, K. Ogata, and M. Yahiro,  
13th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, June 11, 2012, Varenna, Italy

CDCC analysis for breakup of three body projectiles:

T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, M. Yahiro, and K. Katō,  
13th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, June 11, 2012, Varenna, Italy

Comparison of breakup processes of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$  with four-body CDCC:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,  
13th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, June 11, 2012, Varenna, Italy

以下, ポスター発表.

Theta vacuum and entanglement interaction in the three-flavor Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio model:

T. Sasaki, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, M. Yahiro,  
Quark Matter 2012, August 16, Washington D.C., USA.

《 国内での講演 》

有限  $\theta$  における QCD 相構造の研究:

佐々木崇宏, 高橋純一, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,  
三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 5 日, エバーグリーン富士 (山梨県)

虚数化学ポテンシャル領域におけるデバイ遮蔽効果の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純  
三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 3 日, エバーグリーン富士 (山梨県)

有限  $\theta$  における中間子質量と符号問題:

佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,  
日本物理学会秋季大会, 2012 年 9 月 12 日, 京都産業大学

虚数化学ポテンシャル領域におけるカラーデバイ遮蔽効果の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純  
日本物理学会秋季大会, 2012 年 9 月 13 日, 京都産業大学

QCD 有効模型と高密度天体:

長野邦裕, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,  
第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

シート真空を考慮した QCD 相構造の研究:

佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,  
第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

格子 QCD を用いたクォーク間相互作用の有限温度・有限密度領域における研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純  
第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

有効模型によるクォーク-反クォーク間ポテンシャルの導出:

石井優大, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

有限  $\theta$  での符号問題に関する PNJL 模型を用いた解析:

佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学

格子 QCD によるカラーデバイ遮蔽質量の虚数化学ポテンシャル依存性の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学

微視的理論による中性子過剰 Ne 同位体の系統的反応解析:

蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

2012 年度原子核三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 5 日, ホテル エバーグリーン富士 (山梨県)

$g$  行列相互作用を用いた軽い標的核による陽子弾性散乱の記述:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2012 年度原子核三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 6 日, ホテル エバーグリーン富士 (山梨県)

4 体 CDCC を用いた  ${}^6\text{Li}$  入射核反応の解析:

渡邊慎, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

2012 年度原子核三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 6 日, ホテル エバーグリーン富士 (山梨県)

Eikonal reaction theory for one- and two-neutron removal reactions:

Kosho Minomo, Takuma Matsumoto, Kazuyuki Ogata, and Masanobu Yahiro

The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20),

August 23, 2012, Fukuoka, Japan

Four-body CDCC analysis for breakup reactions of three-body projectiles:

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

The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20),  
August 23, 2012, Fukuoka, Japan

Calculation of one- and two-neutron removal cross section for neutron rich nuclei:

松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2012年9月11日, 京都産業大学

${}^6\text{Li}$  弾性散乱における 4 体分解の効果:

渡邊慎, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2012年9月11日, 京都産業大学

Application of the eikonal reaction theory to two-neutron removal:

蓑茂工将, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2012年9月12日, 京都産業大学

反応断面積の解析による Mg 同位体の変形度の決定:

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

日本物理学会秋季大会, 2012年9月12日, 京都産業大学

CDCC と CSM による中性子剥離反応解析について:

松本琢磨

理研ミニワークショップ「原子核クラスター構造、反応研究における戦略ミーティング」, 2012年11月9日, 理化学研究所

中性子過剰炭素同位体における全反応断面積の偶奇性:

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

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012年12月8日, 琉球大学

全反応断面積の解析による  ${}^{31}\text{Ne}$  の変形ハロー構造の解明:

蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012年12月8日, 琉球大学

全反応断面積の解析で探る変形ハロ核の新たな候補:

渡邊慎, 田上真伍, 蓑茂工将, 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 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

陽子弾性散乱における微視的光学ポテンシャルの標的核依存性:

豊川将一, 蓑茂工将, 八尋正信

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

二重畳み込み模型を用いた  $^4\text{He}$  弾性散乱の解析:

江頭慧, 蓑茂工将, 渡邊慎, 佐々部悟, 松本琢磨, 八尋正信

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学

微視的構造・反応理論を用いた全反応断面積の解析による不安定核構造の決定:

蓑茂工将, 豊川将一, 渡邊慎, 松本琢磨, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

微視的有効相互作用の理論と核構造・核反応, 2013 年 2 月 12 日, 京都大学基礎物理学研究所

Analyses of breakup, one- and two-neutron removal reactions for three-body projectile:

T. Matsumoto

Coexistence of weak and strong binding in unstable nuclei and its dynamics, March 7, 2013, Kyoto, Japan

Determination of the deformed and halo structure of neutron-rich Ne and Mg isotopes by a fully microscopic framework:

K. Minomo, M. Toyokawa, S. Watanabe, M. Kimura, T. Matsumoto, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro

Coexistence of weak and strong binding in unstable nuclei and its dynamics, March 7, 2013, Kyoto, Japan

Breakup effects on  $^6\text{Li}$  elastic scattering:

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

Coexistence of weak and strong binding in unstable nuclei and its dynamics, March 11, 2013, Kyoto, Japan

不安定核における 1 および 2 中性子剥離断面積の計算:

松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日, 広島大学

微視的反応模型による炭素同位体入射反応の系統的解析:

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

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日, 広島大学

微視的反応理論による陽子弾性散乱の系統的解析:

豊川将一, 蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学

反応断面積の解析で探る Mg 同位体の変形及び八ロー構造:

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

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 広島大学

量子数射影法を用いた四面体変形核の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

2012 年度原子核三者若手夏の学校, 2012 年 8 月 3 日, エバーグリーン富士 (山梨県).

非軸対称変形核におけるエキゾチックな回転運動の研究:

田上真伍, 藤岡雄大, 清水良文,

日本物理学会秋季大会, 2012 年 9 月 12 日, 京都産業大学.

ガウス基底を用いた Gogny-HFB 計算による軸対称変形した不安定核の研究:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学千原キャンパス.

量子数射影法を用いた四面体変形核の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek

第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2012 年 12 月 8 日, 琉球大学千原キャンパス.

原子核の偏長変形優勢における Strutinsky 法の巨視的部分の寄与:

高原哲士, 田嶋直樹, 清水良文,

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日, 広島大学東広島キャンパス.

変形した不安定核での 2 中性子相関:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日, 広島大学東広島キャンパス.

量子数射影による四面体変形核の分析—四面体群のスペクトルとの比較:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 28 日, 広島大学東広島キャンパス.

Exotic shape and rotation at high-spin states:

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

RCNP International Workshop on “Physics Opportunities using Compton Suppressed Ge Clover Array (Clover12)”, 7 – 8 Dec., 2012, RCNP, Osaka, Japan.

Application of quantum number projection method to tetrahedral shape and high-spin states in nuclei:

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

Riken International Workshop on “Computational approaches to nuclear many-body problems and related quantum systems”, 12 – 16 Feb., 2013, Riken, Wako, Japan.

以下, ポスター発表.

Potential between a quark and an anti-quark in the imaginary chemical potential region:

J. Takahashi, T. Sasaki, Y. Sakai, K. Nagata, T. Saito, H. Kouno, M. Yahiro, A. Nakamura,

Few Body 20, August 21, Fukuoka, Japan.

Comparison of breakup processes of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$  with four-body CDCC:

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

The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20), August 20, 2012, Fukuoka, Japan.

Study of rotational motions associated with exotic nuclear shapes by angular momentum projection method:

S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,  
Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX4), October 24, 2012,  
Shonan Village Center, Japan.

## 外部資金

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》  
文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費  
微視的理論による不安定核の構造と反応の系統的解明  
研究代表者: 蓑茂工将

文部省科学研究費補助金、特別研究員奨励費  
第一原理計算に基づいた有効模型による QCD 相図・QCD 状態方程式の定量的決定  
研究代表者: 佐々木崇宏

文科省科学研究費補助金、基盤研究 (C)  
高スピン・エキゾチック変形原子核の研究  
研究代表者: 清水良文

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)  
蓑茂工将、日本学術振興会特別研究員 (DC2)  
佐々木崇宏、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

## 学部 4 年生卒業研究

【前期】管野淳平、難波俊太、森本光、米村浩司 (担当: 清水)  
「素粒子・原子核物理入門」の輪講

【後期】管野淳平、難波俊太、米村浩司 (担当: 八尋、清水、松本)  
場の量子論、核反応論、核構造論の輪講・研究

## 修士論文

嶋田充宏: (指導教員、清水良文): Gogny-HFB 計算による変形した不安定核のダイ  
ニュートロン相関

高橋純一: (指導教員、八尋 正信): 2 フレーバー格子 QCD によるクォーク間ポテン  
シャルの化学ポテンシャル依存性の決定

長野邦裕: (指導教員、八尋 正信): QCD 相転移と高密度天体

渡邊慎:(指導教員、八尋正信、松本琢磨):  ${}^6\text{Li}$  入射反応における分解効果

#### 博士論文

蓑茂工将:(指導教員、八尋正信): Determination of deformed and halo structure of  
unstable nuclei by fully microscopic theory (純微視的理論による不安定核の変形・ハ  
ロー構造の決定)[2013年3月授与]

#### その他の活動と成果

清水良文:日本物理学会九州支部委員 (2011年9月-2013年3月)

蓑茂工将:北海道大学原子核理論研究室セミナー

蓑茂工将:大阪大学原子核理論研究室セミナー

# 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

《 大学院 博士課程 》

E. P. B. A. Thushari      松尾 康秀      菊池 之宏

《 大学院 修士課程 》

池田 幹生      末廣 修平      一政 遼太郎      高木 康平

林田 晃太郎      守田 佳永

《 学部 卒業研究生 》

手塚 謙次郎      手塚 啓      福田 遼平      三舛 慧人

## 担当授業

- 橋本正章  
箱崎地区: 最先端物理学、自然科学概論(前期), 宇宙物理学(後期)  
伊都地区: 力学基礎・同演習(前期), 理系コア・物理学 III(前期、後期)
- 山岡均  
箱崎地区: 最先端物理学(前期), 理系主題科目 III(前期, 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: 物理ゼミナール(後期)  
伊都地区: 力学基礎・同演習(前期)

## 研究・教育目標と成果

光子と相互作用する暗黒エネルギーモデルに対する観測からの制限 (橋本正章, 中村理央, 池田幹生)

最近の観測から強く示唆されている暗黒エネルギーに対する研究を行った。暗黒エネルギーが CMB 光子と相互作用をするモデルにおける宇宙進化と観測との整合性を調査した。先行研究により、本モデルでは「宇宙の晴れ上がり」(宇宙が電離状態から中性化した時期)以降の、温度変化の時間変化に影響をあたえることが示されている (木村 2001 年; 神川 2003 年)。これまでは、高赤方偏移 ( $\sim 1000$ ) の宇宙進化に与える影響を調査してきたが、これまで考慮していなかった低赤方偏移 ( $< 4$ ) の宇宙進化に与える影響を調査した。

Ia 型超新星の光度 - 赤方偏移関係と CMB 温度の観測を用いて  $\chi^2$  検定を行った Ia 型超新星の観測と比較した結果、パラメータの上限が先行研究に比べて非常にゆるい制限になった。続いて、CO 分子のスペクトルやスニヤエフ・ゼルドビッチ効果による、CMB 温度の観測を用いた制限を行った。Ia 型超新星の観測より、厳しい制限が得られたものの先行研究に比べるとゆるい制限となり、以上のことから低赤方偏移側の宇宙膨張に与える影響は、非常に小さいということがわかった。

さらに WMAP の 7 年目の CMB 温度ゆらぎの観測との整合性を調査した。CAMB コードを本モデル用に修正し、Likelihood 解析を行い、パラメータの上限を求めた。結果としてこれまでの研究よりも非常に厳しい制限を得ることが出来た。

今年度は、さらに新しい WMAP 9yr の観測データを用いた統計解析を行う予定である。

**Observational constraints on non-standard models with variable cosmological term and Rotation in Special Relativity** (Masa-aki Hashimoto, E. P. Berni Ann Thushari, Riou Nakamura, Mikio Ikeda)

We investigate another non-standard model with a decaying cosmological term ( $DACDM$ ) which is defined as a function of scale factor that increases towards the early universe. We investigate the comoving thermal evolution with a cosmological term which decays into photon. The  $DACDM$  is constrained from Union2 SNIa observations in the redshift range  $0.01 < z < 2$  and cosmic microwave background (CMB) radiation temperature in the redshift range  $0.02 < z < 3$ . First the parameters of  $DACDM$  are constrained from the SNIa observations. It is found that this model is consistent with SNIa observations. The cosmological term in that model is large enough to accelerate the universe at the present epoch. From SNIa, we find that the effects of a decaying cosmological term on the cosmic expansion rate should be very small, but could be possible at  $z < 1.5$ .

On the other hand, we obtain the severe constraints for parameters from the CMB temperature observations. This result means the CMB temperature can be still lower than the case of the standard cosmological model. It should only affect the thermal evolution at the earlier epoch. Only upper bounds of the parameters of  $DACDM$  result from both SNIa and CMB temperature observations. As a consequence, comparing with both the observations of SNIa and CMB, we have succeeded in obtaining severe constraints for the limit of the energy density parameter of the decaying cosmological term.

As another approach, we apply special relativity to investigate "how the ray of light crosses a rotating system". The method of piecemeal measurement of distances is applied to the problem of measuring distances in rotating systems. Observations made by a single observer rotating with an angular velocity  $\omega$  and at radius  $r$  as measured in a non-rotating frame are investigated, and it is shown that the radius, as measured by the rotating observer, is given by:  $r' = \frac{r}{2} \sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}} + \frac{c}{2\omega} \sin^{-1} \frac{\omega r}{c}$  : where  $c$  is the velocity of light in vacuum. By applying

the Lorentz transformations instantaneously at a point, the corresponding inclination of the ray angle  $\alpha$  in the rotating frame is obtained as  $\sin \alpha = \omega r c$  in terms of  $r$  is as measured in the non-rotating frame: where  $\alpha$  could be expressed in terms of  $r'$ .

CMB 温度と WMAP の観測結果による減少する宇宙項の制限 (橋本正章, 池田幹生, 中村理央)

現在の宇宙の加速膨張を説明するために、宇宙項  $\Lambda$  を持った宇宙モデルがサポートされている。このモデルの 1 つとして、 $\Lambda$  をスケール因子  $a$  の関数  $\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 a^{-m}$  と考える可変  $\Lambda$  モデルがある。本研究では、特に光子と宇宙項がカップルする Decaying  $\Lambda$  Cold Dark Matter (DACDM) モデルを考え、2 つの独立な CMB の観測結果をもとに、モデルのパラメータを制限した。

第一に、CMB 温度の時間変化の観測結果より制限を行った。この観測結果と DACDM モデルの温度変化の式を用いて  $\chi^2$  検定を行い、 $\Lambda_2$  を臨界密度で規格化した  $\Omega_{\Lambda 2}$  と  $m$  の値の制限を試みた。

次に、CMB の温度揺らぎの観測から  $\Omega_{\Lambda 2}$  と  $m$  の制限を行った。観測衛星 WMAP 7yr の観測結果と DACDM モデルの温度揺らぎの式を用いて  $\chi^2$  検定を行い、 $\Omega_{\Lambda 2}$  と  $m$  の値の制限を試みた。

これら二つの制限より、宇宙項は宇宙膨張によってはほとんど変化しないことが分かった。

ビッグバン元素合成とリチウム問題 (橋本正章, 一政遼太郎, 中村理央)

ビッグバン元素合成は、宇宙の初期の段階において D,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  のような軽元素の起源を説明することで成功を収めている。しかしながら、 $^7\text{Li}$  の観測値と理論値が一致しないという問題を残している。このビッグバン元素合成の数値計算に必要な核反応に参与する原子核の核反応率を最新のものに更新した。現時点において標準的なモデルを使った元素合成結果が  $^7\text{Li}$  のみならず D についても観測の再現性をとれておらず、観測よりも 2 倍程度少ない値を算出しているのでこの問題を解決する。特に、陽子-中性子比を決定する弱い相互作用の反応率の近似精度に問題があり、これによって最終的な組成比が影響を受けていると考えている。その後、非標準的なモデルで計算を行う。

カラー超伝導状態のクォーク物質と核子の超流動を考慮した高密度星の熱的進化 (橋本正章, 野田常雄)

カラー超伝導を含むクォーク・ハドロン混合相と核子の超流動を考慮したハイブリッド星の冷却計算を詳細に行った。

Cassiopeia A (以降: Cas A) の直近 10 年の観測 (急な冷却) は、それまで考慮されていた冷却モデルでは説明の難しいものであった。また、去年度行っていた Cas A の質量と温度のカラー超伝導を含むモデルでの説明についても合致しなかったため、モデルを拡張する必要が生じた。

クォーク・ハドロン混合相と核子の超流動を考慮したモデルを構築し、近年の Cas A の観測結果と矛盾のないシミュレーションを行うことができた。カラー超伝導によって重い星が冷えるにくく、かつ、核子の超流動によって Cas A の時期 (誕生後 300 年程度) において急な冷却を示す物理的モデルを構築することができた。

しかしながら、状態方程式が他の観測結果 (特に  $M \simeq 2.0M_{\odot}$  の観測結果) と矛盾するため、 $M > 2.0M_{\odot}$  を満たせるクォーク物質まで考慮した状態方程式を導入し、冷却計算を行っていく予定である。また、同モデルの構築後、他の高密度星での現象である X 線バーストや LMXB についても拡張して計算していきたい。

中性子星の冷却と状態方程式について (橋本正章, 林田晃太郎, 野田常雄)

中性子星はどのような状態方程式(以下、EoS)を用いるかによって最大質量が決定される。近年観測された中性子星は  $2M_{\odot}$  であり、この数字は信頼性が高い。これは EoS に大きな制限を与えることになる。また、Cassiopeia A にある中性子星は連続的な表面温度のデータがあり、冷却の様子を理論計算によって得られる値と比較することで様々な物理的制限を与えることが可能であると考えている。

星周物質分布の違いによる超新星残骸形成までの物質混合のシミュレーション (橋本正章, 松尾康秀)

超新星残骸 Cassiopeia A (Cas A) は銀河系内にある天体であり、年齢が非常に若く、近傍に位置する。先行研究では Cas A の親星は主系列星時代に  $20 \sim 30M_{\odot}$  程度の質量を持つ Wolf-Rayet (WR) 星であったと考えられている。また近年の観測技術の向上により、Cas A からより多くの情報が得られるようになった。その中でも Cas A の 3 次元の元素分布の観測が興味深い (Badenes 2010)。通常、球対称な超新星爆発シミュレーションでは Fe は Si よりも内側に分布するが、Cas A の中では Fe が Si よりも外側で観測されている。従って、超新星爆発直後から超新星残骸となるまでの  $\sim 330$  年の間に何らかの物質混合があったと考えられるが、そのメカニズムについて未だ明らかになっていない。

そこで我々は流体不安定性による物質混合に注目した。一般に超新星爆発直後では SASI や Rayleigh-Taylor 不安定性などの流体不安定性が発達し、それ以降も爆発の衝撃波と星周物質との相互作用により Rayleigh-Taylor 不安定性や Richtmyer-Meshkov 不安定性による物質混合が起こる。そこで本研究では超新星残骸形成の 2 次元軸対称なシミュレーションを行った。爆発直前の星のモデルは  $20M_{\odot}$  の He core (Hashimoto 1995) を用い、星周物質は RSG wind または RSG wind + WR wind から成るものとした。Parameter は恒星風の速度  $v_{\text{RSG}}$ 、 $v_{\text{WR}}$  と WR wind の継続時間  $T_{\text{WR}}$  をであり、合計 12 モデルの星周物質分布を用意し、星周物質分布の違いによってどの程度物質混合の様子が変化するのか調べた。

その結果、星周物質分布を変えると、forward shock や reverse shock の進化に大きな影響があることが分かった。一方、星内部の元素、特に O、Si、Fe の進化は衝撃波に衝突するまではあまり変化しないことが分かった。また今回調べたモデルの中では Cas A で見られるような Si、Fe の混合は確認できなかった。その原因は Fe の進化が非常に遅く、物質混合が盛んに起こっている reverse shock 付近に Fe が衝突できないことが原因である。

そこで来年度は Fe が混合するようなモデルを構築し、Cas A の観測と比較することを目的とする。そのために物理過程や初期条件(親星や星周物質分布)を見直すことが必要である。特に親星の外層の密度分布は Fe の時間進化に影響を与える可能性があるため、調べておく必要がある。さらに星周物質分布を極端に変更し、Fe が混合するモデルを構築することも必要であると考えている。

大質量星の恒星進化中にける元素合成の核反応率の不定性による影響 (橋本正章, 菊池之宏)

2009 年に Ogata et al. によって新しく triple- 反応率 (OKK rate) が発表された。triple- 反応は 3 つのヘリウムから 1 つの炭素を合成する反応である。この反応率は恒星内でヘリウム燃焼が起きる温度で従来のもの (Fynbo et al. (2005)) (Fynbo rate) より  $10^5$  程度大きい。また、triple 反応は恒星内の元素組成モデルが変わる可能性がある。triple- 反応は、進化における主要な元素である  $^{12}\text{C}$  と  $^{16}\text{O}$  に関わる重要な反応であり、OKK rate を用いた恒星進化計算並びに元素合成計算は従来の結果を変える可能性がある。そこで、OKK rate と Fynbo rate について大質量星における元素合成について恒星進化と超新星爆発の計算を行ない結果を比較した。

He 燃焼時に OKK rate では  $^{12}\text{C}$  が過剰に作られ、その分  $^{16}\text{O}$  が減少するという結果が得られた。その後の燃焼段階でもこれらの影響が表れ、酸素層がネオン層にかわるなど進化の最終段階での構造に影響を与えることが分かった。恒星内部で生成された元素の量を観測と比較するために超新星爆発によって元素の放出量を計算し、銀河のハローに存在する恒星の表面の組成と比較した。 $^{12}\text{C}$  と  $^{16}\text{O}$  の比について OKK rate では観測と大きく異なる結果となった。今回の計算では恒星の質量が  $25M_{\odot}$  のモデルのみだったので、より軽い質量の恒星について計算する予定である。

#### 突発天体现象のフォローアップ観測 (山岡均)

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

突発天体のフォローアップ・発見確認を数件行なった。新天体に特化した講演や記事執筆など、突発天体について周知啓発を行なった。国際的に新天体情報を取り扱う天文電報中央局 CBAT (<http://www.cbat.eps.harvard.edu/>) について、山岡は、本年 8 月に開催された IAU 総会において、CBAT を統括する第 6 委員会の委員長に選出された。次年度以降も突発天体への即応を目指す。

#### アーカイブ天文学の構築 (山岡均, 高木康平)

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、他の目的で得られたサーベイ画像における超新星の搜索である。

日本スペースガード協会が運用する美星スペースガードセンターでは、人工衛星のトラッキングや地球接近小惑星の検出を目的としたサーベイ観測を実施している。このサーベイ画像で超新星を検出できないかを検討している。今年度は、既知の超新星を美星画像上で確認することに成功した。次年度は、新しい超新星の検出を目指すとともに、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を搜索する。

#### 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、破砕イベントで発生するデブリの捕捉と追跡は、今後の宇宙環境を大いに左右する。今年度は、さまざまなサイトでのデブリ観測を目標とした。

受託研究をともに行なっている IHI では可搬型小望遠鏡で、また九州大では 40cm ペガス望遠鏡で、それぞれ人工天体の観測に成功した。また、新たに三菱重工との共同研究を開始した。次年度以降、検出手法や解析方法のさらなる改良を行なう。

工学研究院航空宇宙工学部門の花田教授等との共同研究である。

#### 天文学の社会・学校教育への活用 (山岡均)

天文学を振興し、科学教育を広めるために、各種活動を広く行っていく。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。また、2007 年度から開催しているサイ

エンズパブを3回実施した。名古屋市・上天草市でのサイエンスパブにコーディネータとして参加した。さらにさいたま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。山岡が分担者として参加するP&Pの一環として、口径40cmの「ベガス天体観測室」を用いた高年次教養科目「望遠鏡で見る宇宙環境」を開講した。2012年末より山岡は日本天文学会教育担当理事に就任し、今後もより活発に活動していく。

#### 銀河ガス円盤の磁場増幅・維持機構について(町田真美)

渦巻き銀河には平均で数マイクロガウスの磁場が観測されている。この磁場の起源は未だ明らかにされていないが、磁場散逸のタイムスケールを考慮すると、初期にマイクロガウスの磁場が存在した場合にも数十億年にわたって磁場を維持するためには何らかの増幅機構が必要になる。この磁場増幅・維持機構を解明するために銀河ガス円盤の磁気流体数値実験を行った。本年度は系全体で正味のフラックスを持たない磁場形状を初期磁場として仮定し、その時間進化を追った。その結果、局所的には正味の磁場がある場合と同程度まで磁場強度は増幅するが、乱流スケールが小さくなり結果的に角運動量輸送率が下がる事、磁束はガス円盤からハロー部へ磁気浮力不安定性によって流出するが、流出時に形成される浮上磁気ループの波長が短い事などがわかった。

#### 磁気圧優勢円盤からのX線スペクトル(町田真美)

X線連星ではそのアウトバースト時にX線のエネルギースペクトル形状が大きく変化する事が知られている。この十年の観測によって、これまで知られていた光学的に厚く明るいソフト状態と光学的に薄く暗いハード状態だけではなく、光学的に薄く明るい中間状態が存在する事がわかってきている。我々はこの状態は質量降着率が上昇する事によって放射冷却の寄与が重要になった場合に形成される磁気圧優勢円盤によって説明できると考えている。そこで、磁気流体計算によって得られた物理量を用いて観測されるエネルギースペクトルを計算した。その結果、磁気圧優勢円盤から得られるスペクトルは、観測で示されるように光学的に薄い、X線の強度が増加する傾向が得られた。

#### X線連星アウトバースト時のジェット伝搬に関する数値実験(町田真美, 末廣修平)

X線連星はハード状態の時に準定常状態のジェットを噴出し、ソフト状態の時にはジェットが観測されない事が知られている。近年の詳細な観測によって、アウトバースト時にハード状態から明るいハード状態に進化する際、徐々にジェットの伝搬速度が上昇し、ソフト状態に移行する直前に超光速ジェットを噴出する事が知られている。そこで我々はジェット速度の加速の起源は円盤内部に卓越する方位角方向磁場による磁気圧であると考え、方位角方向磁場を考慮したジェット伝搬に関する2次元磁気流体数値計算を行った。その結果、初期に仮定した方位角方向磁場強度が強くなるほど、ジェットの伝搬速度は速くなる事を示した。

#### 超新星爆発時の流体不安定性について(町田真美, 守田佳永)

大質量星は進化の最後に超新星爆発を起こす。その爆発時に物質混合が生じ、爆発前のたまねぎ型の層構造が破れていることが観測から分かっている。これは流体不安定性によって生じると考えられている。そこで、超新星爆発の二次元シミュレーションを行い、この構造を再現することを試みるために、今年度はコードの改良に着手した。来年度は実際にシミュレーションを行い、流体不安定性の成長を考察する。

## 発表論文

### 《原著論文》

- Constraints on a Vacuum Energy from Both SNIa and CMB Temperature Observations,  
Riou Nakamura, E. P. Berni Ann Thushari, Mikio Ikeda, and Masa-aki Hashimoto,  
Advanced Astronomy, Vol. 2012, article ID 52524, 6 pages
- COOLING OF COMPACT STARS WITH COLOR SUPERCONDUCTING PHASE IN QUARK-HADRON MIXED PHASE,  
Tsuneo Noda, Masa-aki Hashimoto, Nobutoshi Yasutake, Toshiki Maruyama, Toshitaka Tatsumi, and Masayuki Fujimoto,  
Astrophys. J. 765, 1, 2013 (Published: 2013/03/01)
- Dynamo Activities Driven by Magnetorotational Instability and the Parker Instability in Galactic Gaseous Disks,  
Mami Machida, Kenji E. Nakamura, Takahiro Kudoh, Takuya Akahori, Yoshiaki Sofue, and Ryoji Matsumoto,  
The Astrophysical Journal, 764, 81.9, (2013)
- Strategy to search fragments from breakups in GEO,  
Masahiko Uetsuhara, Toshiya Hanada, Hitoshi Yamaoka, Toshifumi Yanagisawa, Hirohisa Kurosaki, and Yukihiro Kitazawa,  
Advances in Space Research, **49** (2012) 1151 – 1159
- Evidence for Type Ia Supernova Diversity from Ultraviolet Observations with the Hubble Space Telescope,  
Xiaofeng Wang, Lifan Wang, Alexei V. Filippenko, Eddie Baron, Markus Kromer, Dennis Jack, Tianmeng Zhang, Greg Aldering, Pierre Antilogus, W. David Arnett, Dietrich Baade, Brian J. Barris, Stefano Benetti, Patrice Bouchet, Adam S. Burrows, Ramon Canal, Enrico Cappellaro, Raymond

G. Carlberg, Elisa di Carlo, Peter J. Challis, Arlin P. S. Crotts, John I. Danziger, Massimo Della Valle, Michael Fink, Ryan J. Foley, Claes Fransson, Avishay Gal-Yam, Peter M. Garnavich, Chris L. Gerardy, Gerson Goldhaber, Mario Hamuy, Wolfgang Hillebrandt, Peter Höflich, Stephen T. Holland, Daniel E. Holz, John P. Hughes, David J. Jeffery, Saurabh W. Jha, Dan Kasen, Alexei M. Khokhlov, Robert P. Kirshner, Robert A. Knop, Cecilia Kozma, Kevin Krisciunas, Brian C. Lee, Bruno Leibundgut, Eric J. Lentz, Douglas C. Leonard, Walter H. G. Lewin, Weidong Li, Mario Livio, Peter Lundqvist, Dan Maoz, Thomas Matheson, Paolo A. Mazzali, Peter Meikle, Gajus Miknaitis, Peter A. Milne, Stefan W. Mochnacki, Ken'ichi Nomoto, Peter E. Nugent, Elaine S. Oran, Nino Panagia, Saul Perlmutter, Mark M. Phillips, Philip Pinto, Dovi Poznanski, Christopher J. Pritchett, Martin Reinecke, Adam G. Riess, Pilar Ruiz-Lapuente, Richard A. Scalzo, Eric M. Schlegel, Brian P. Schmidt, James Siegrist, Alicia M. Soderberg, Jesper Sollerman, George Sonneborn, Anthony Spadafora, Jason Spyromilio, Richard A. Sramek, Sumner G. Starrfield, Louis G. Strolger, Nicholas B. Suntzeff, Rollin C. Thomas, John L. Tonry, Amedeo Tornambe, James W. Truran, Massimo Turatto, Michael Turner, Schuyler D. Van Dyk, Kurt W. Weiler, J. Craig Wheeler, Michael Wood-Vasey, Stanford E. Woosley, and Hitoshi Yamaoka,  
*Astrophys. J.*, **749** (2012) 126

- Five-year optical and near-infrared observations of the extremely slow nova V1280 Scorpii,  
 Hiroyuki Naito, Sahori Mizoguchi, Akira Arai, Akito Tajitsu, Shin'ya Narusawa, Masayuki Yamanaka, Mitsugu Fujii, Takashi Iijima, Kenzo Kinugasa, Mikio Kurita, Takahiro Nagayama, Hitoshi Yamaoka, and Kozo Sadakane,  
*Astron. Astrophys.*, **543** (2012) A86

⟨⟨Proceedings⟩⟩

- CMB constraints on the thermal evolution with a decaying cosmological term  
 :  
 Riou Nakamura, E. P. Berni A Thushari, Mikio Ikeda, and Masa-aki Hashimoto,

The 11th International symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2011 (AIP Conference Proceedings), Volume 1484, pp.400-402, 2012

- Effect of a new 3-alpha reaction rate on X-ray bursts of a helium accreting neutron star :

Yasuhide Matsuo, Hideyuki Tsujimoto, Tsuneo Noda, Motoaki Saruwatari, Masaomi ono, Masa-aki Hashimoto, and Masayuki Fujimoto

The 11th International symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2011 (AIP Conference Proceedings), Volume 1484, p. 381-383, 2012

- Effect of a new 3-alpha reaction on the s-process in massive stars :

Yukihiro Kikuchi, Masaomi Ono, Yasuhide Matsuo, Masa-aki Hashimoto, and Shin-ichiro Fujimoto,

The 11th International symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2011 (AIP Conference Proceedings), Volume 1484, p. 384-386, 2012

- Search for the prompt X-ray emissions at the ignition of the Galactic classical novae :

Jun Shimano, Hitoshi Yamaoka, Takehiro Mihara, Mutsumi Sugizaki, and Motoko Serino,

The First Year of MAXI: Monitoring variable X-ray sources, 4th International MAXI workshop, Eds., T. Mihara and M. Serino, Yatabe Printing Co., Ltd., 2012, p.161-162

- The 4th Spaceguard meeting & one day meeting on observation of variability :

Hitoshi Yamaoka,

Spaceguard Research Vol. 4, 1 (2012)

- Search for the prompt X-ray emissions at the ignition of the Galactic classical novae :

Jun Shimano, Hitoshi Yamaoka, Takehiro Mihara, Mutsumi Sugizaki, Mo-

toko Serino

Spaceguard Research Vol. 4, 2-6 (2012)

- A possibility of time-variable magnitude of the progenitor of Supernova 2011dh in M51, with analysis of archival data :  
Tadahumi Sato, Hitoshi Yamaoka, Kazuya Ayani  
Spaceguard Research Vol. 4, 7-10 (2012)

### 《 その他の論文 》

- Rotation in Special Relativity : E. P. B. A. Thushari and L. N. K. De Silva :  
Annual Research Journal of SLSAJ, Vol. 12, pp. 42-49 2012
- Thermodynamical description of hadron-quark phase transition and its implications on compact-star phenomena : N. Yasutake, T. Noda, H. Sotani, T. Maruyama, T. Tatsumi: Review in “Recent Advances in Quarks Research”, Nova Science, H. Fujikage & K. Hyobanshi Ed. (ISBN 1622579704) (arXiv:1208.0427)
- Supernova 2012bv IN NGC 6796 = PSN J19213020+6108101 : K. Ayani, H. Yamaoka, and S. Maeno : *Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 3092, 2012
- Nova Sagittarii 2012 No. 3 = PNV J17522579-2126215 : H. Yamaoka, and K. Itagaki : *Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 3156, 2012
- Nova Monocerotis 2012 = PNV J06393874+0553520 : M. Soma, S. Fujikawa, H. Yamaoka, and S. Nakano : *Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 3202, 2012
- ベテルギウスが爆発するって本当ですか? : 山岡 均 : 「星ナビ」2013年2月号 (Vol. 14, No. 2), 30 – 41

### 著書

- 万人の基礎物理学 (第一版第二刷)  
上床美也・巨海玄道・酒井健・中西剛司・野田常雄・中村理央  
学術図書出版社、240 頁、2013 年 4 月出版
- 週刊朝日百科かがくるプラス改訂版  
監修 : 山岡 均ほか  
朝日新聞出版, 2012 年 3 月 ~ 2013 年 3 月

- 宇宙図 2013、「一家に1枚宇宙図」制作委員会(山岡 均ほか)制作  
科学技術広報財団, A1 ポスター, 2013年3月28日

## 講演

### 《 海外での講演 》

- Three-dimensional Magnetohydrodynamic Simulations of Disk Dynamos :  
Ryoji Matsumoto and Mami Machida,  
US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection MR2012, Princeton University, Princeton, America, May 23-25, 2009.
- Magnetic Fields in Astrophysical Disks :  
Ryoji Matsumoto and Mami Machida  
APCTP Workshop on Astrophysics: Magnetic Fields in Astrophysics, Pohang, South Korea, November 21, 2012.
- The quinquennial grand shrine festival with the Nogata meteorite :  
Hitoshi Yamaoka,  
International Astronomical Union General Assembly Joint Discussion 5, From Meteors and Meteorites to their Parent Bodies: Current Status and Future Developments, Beijing, China, August 22, 2012.

### 《 国内での講演 》

- 崩壊する暗黒エネルギーに対する WMAP 7yr からの制限 :  
池田幹男, 中村理央, 橋本正章  
第25回理論懇シンポジウム, つくば国際会議場, 2012年12月22日-24日
- カラー超伝導と核子の超流動を考慮したハイブリッド星の冷却 :  
野田 常雄, 橋本 正章, 安武 伸俊, 丸山 敏毅, 巽 敏隆, 藤本 正行  
日本天文学会 2012年秋季年会, 2012年09月19日-21日, 大分大学
- カラー超伝導と核子の超流動を考慮した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 2013年春季年会, 2013年03月20日-23日, 埼玉大学

- QCD 相転移とカラー超伝導を考慮した高密度星の冷却 :

野田 常雄, 橋本 正章, 安武 伸俊, 丸山 敏毅, 巽 敏隆, 藤本 正行  
 京都大学 基礎物理学研究所 研究会 “ハドロン物質の諸相と状態方程式 -中性子星の観測に照らして-”, 2012 年 8 月 30 日-9 月 1 日
- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Phase In Quark Hadron Mixed Phase :

野田 常雄, 橋本 正章, 安武 伸俊, 丸山 敏毅, 巽 敏隆, 藤本 正行  
 京都大学 原子核グループセミナー “Kyoto Meeting 2012W”, 2012 年 12 月 23 日-24 日
- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Phase In Quark Hadron Mixed Phase :

野田 常雄, 橋本 正章, 安武 伸俊, 丸山 敏毅, 巽 敏隆, 藤本 正行  
 京都大学 原子核グループセミナー “Kyoto Meeting 2012”, 2012 年 5 月 26 日-27 日
- Cassiopeia A 中性子星の冷却曲線の観測から得られる制限について :

林田晃太郎  
 第 42 回天文・天体物理若手 夏の学校, 福井県東尋坊温泉三国観光ホテル, 2012 年 8 月 1 日-4 日
- IIb 型超新星爆発による衝撃波と星周物質との相互作用の 2 次元シミュレーション :

松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長滝重博, 固竹慶, 山田章一, 山下和之  
 超新星と超新星残骸の融合研究会 -恒星進化・爆発メカニズムと元素合成-, 国立天文台 三鷹キャンパス, 2012 年 10 月 15 日-17 日
- Simulations of the mixing of Si and Fe in the evolution of Cassiopeia A :

松尾康秀, 橋本正章, 小野勝臣, 長滝重博, 固竹慶, 山田章一, 山下和之  
 International Winter School on the Interstellar Medium and High-Energy Phenomena 2013, ホテル近鉄アクアヴィラ伊勢志摩 (三重県志摩市), 2013 年 3 月 3 日-8 日
- Triple- $\alpha$  反応率の不定性が超新星爆発直前における大質量星の元素組成に与える影響 :

菊池 之宏, 橋本 正章, 松尾 康秀, 小野 勝臣, 藤本 信一郎

2012年天文若手の会 夏の学校, 福井県東尋坊温泉三国観光ホテル 2012年8月1日-4日

- Triple- $\alpha$  反応率の不定性が大質量星の元素組成に与える影響 :  
菊池 之宏, 橋本 正章, 松尾 康秀, 小野 勝臣, 藤本 信一郎  
日本天文学会 2013年春季年会 埼玉大学 (埼玉県さいたま市), 2013年3月20日-23日
- CCD がもたらした天文学研究の革命 :  
山岡均  
CANP'12(デジタル天体写真ファンの集い) 基調講演, サンピア福岡 (福岡県福津市), 2012年6月2日
- 金環日食を楽しむ :  
山岡均  
教恩寺 (熊本県熊本市), 2012年5月12日
- 「食」をしらべる :  
山岡均  
全国同時七夕講演会, 福岡市別府公民館, 2012年7月6-7日
- 空を見上げると、何があるの? ~七夕の星のはなし~ :  
山岡均  
全国同時七夕講演会, 春日市星の館, 2012年7月8日
- 「食」のはなしと天体望遠鏡 :  
山岡均  
講演と天体観望の会, 中村三陽高等学校・中学校 (福岡市), 2012年8月1日
- 時間変動天体に関する情報流通の現状と展望 :  
山岡均  
日本天文学会 2012年秋季年会 (企画セッション基調講演), 大分大学, 2012年9月20日
- 宇宙図プロジェクト 2012 :  
小阪 淳, 高梨直紘, 山岡均 (ゲスト)  
Platform01(別府市), 2012年9月20日

- 流れ星のおはなし :  
山岡均  
中学生向け講座「なんちゅうカレッジ」, 春日市星の館, 2012年11月17日
- ペガスス望遠鏡を利用した大学高年次の宇宙教育 :  
平山寛, 山岡均, 藤原智子, 鈴木右文, 花田俊也  
第56回宇宙科学連合講演会, 別府国際コンベンションセンター, 2012年11月20日
- 九州大学ペガススプロジェクトの活動紹介 :  
藤原智子, 鈴木右文, 花田俊也, 山岡均, 平山寛  
2012年天文教育普及研究会・九州支部会, 熊本博物館, 2012年12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, 熊本市立花陵中学校, 2012年12月9日
- 星の一生, 宇宙の一生 :  
山岡均, 吉岡瑞樹,  
第7回サイエンスカフェ@ふくおか, メディカルシティ天神(福岡市), 2013年3月1日
- 九州大学ペガススプロジェクトによる異分野融合型宇宙教育の取り組みとその効果 :  
藤原智子, 鈴木右文, 花田俊也, 山岡均, 平山寛  
Q-Conference2012, 九州産業大学, 2013年3月2日
- 九州大学ペガススプロジェクトによる総合的宇宙教育の試み :  
藤原智子, 鈴木右文, 花田俊也, 山岡均, 平山寛  
日本天文学会2013年春季年会, 埼玉大学, 2013年3月20日
- 大学教育における汎学科の天体・宇宙観測科目の実践 :  
山岡均, 平山寛, 藤原智子, 花田俊也, 鈴木右文  
日本天文学会2013年春季年会, 埼玉大学, 2013年3月20日
- 一家に1枚 宇宙図 2013 :  
小阪淳, 高梨直紘, 縣秀彦, 片桐暁, 亀谷和久, 川越至桜, 日下部展彦, 高田裕行, 内藤誠一郎, 成田憲保, 平松正顕, 山岡均, 「一家に1枚 宇宙図 2007」制

## 作委員会

日本天文学会 2013 年春季年会, 埼玉大学, 2013 年 3 月 21 日

- 一家に 1 枚 宇宙図 2013 制作記念イベント パネルディスカッション :  
梶谷真司, 小阪淳, 片桐暁, 鳴川肇, 山岡均, 高梨直紘  
ブレヒトの芝居小屋 (東京都練馬区), 2013 年 3 月 23 日
- 宇宙図 2013 ~ 宇宙の歴史を 1 枚のポスターに ~ :  
山岡均  
いとしまサイエンスキャラバン「宇宙のはじまりと今 ~ 最新科学で宇宙を  
考えよう! ~」, 糸島市役所 (福岡県糸島市), 2013 年 3 月 24 日
- 世界の超新星サーベイ :  
高木康平  
第 42 回天文天体物理若手夏の学校, 三国観光ホテル (福井県坂井市), 2012 年  
8 月 1-4 日
- 銀河ガス円盤に関する数値実験 :  
町田真美, 中村賢仁, 松元亮治  
日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」2012 (第 1 回), 志賀島 (福岡), 2012  
年 06 月 25 日-2012 年 06 月 26 日
- 銀河ガス円盤における磁気流体ダイナモ機構の探求 :  
町田真美, 中村賢仁, 松元亮治  
日本流体力学会 年会 2012, 高知大学, 2012 年 09 月 16 日 ~ 2012 年 09 月 18 日
- 銀河ガス円盤ダイナモの初期磁場構造依存性について :  
町田真美, 中村賢仁, 松元亮治  
日本天文学会 2012 年秋季年会, 大分大学, 2012 年 09 月 19 日
- 降着円盤ダイナモと状態遷移の大局的 3 次元磁気流体計算 :  
小野貴史, 小川崇之, 川島朋尚 (千葉大), 町田真美, 松元亮治  
日本天文学会 2012 年秋季年会, 大分大学, 2012 年 09 月 19 日
- Global Three-dimensional Magnetohydrodynamic Simulations of Disk Dy-  
namos :  
松元亮治, 小川崇之, 小野貴史, 町田真美  
East Asia Numerical Astrophysics Meeting, 奈良, 2012 年 10 月 31 日

- 巨大ブラックホール降着流の磁気流体数値実験の進展：  
松元亮治，小野貴史，小川崇之，町田真美，川島朋尚，小田寛，大須賀健
- SN1987A の  $^{56}\text{Ni}$  の膨張速度を説明するニュートリノによる非球対称な超新星爆発について：  
守田佳永，町田真美，松尾康秀  
2012 年度 第 42 回天文・天体物理若手 夏の学校，福井県東尋坊温泉三国観光ホテル(福井県坂井市)，8 月 1 日(水)–8 月 4 日(土)，2012 年

## 外部資金

### 《 文部省科学研究費補助金 》

1. 基盤研究 (C)  
「QCD 相転移と爆発的宇宙物理現象」 (H24–H26)  
研究代表者：橋本正章
2. 若手研究 (B)  
「銀河ガス円盤の磁気流体数値実験:磁気浮上ループ・渦状腕衝撃波による粒子加速の寄与」 (H23–H26)  
研究代表者：町田真美
3. 基盤研究 (B)  
「磁気流体数値実験と X 千観測の連携によるブラックホール候補天体の状態遷移の解明」 (H23–H 25)  
研究分担者：町田真美

## 他大学での研究と教育

中村理央：久留米工業大学非常勤講師として実験と「物理学実験」「物理学 II」の講義を行なった。中村理央：福岡国際医療福祉学院視機能療法学科の非常勤講師として、「物理学」「数学(統計学)」の講義を行なった。

野田常雄：久留米工業高等専門学校で「応用物理 II」の講義を行った。

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

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。

山岡均：福岡大学にて「宇宙天体物理学」の集中講義を行った。

山岡均：中村学園大学にて「地学」の講義を行った。

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

#### 学部4年生卒業研究

手塚謙次郎：(指導教員, 山岡均)：位置天文学法における系外惑星検出精度の評価

手塚啓：(指導教員, 橋本正章)：Supernova envelope 内の Rayleigh-Taylor 不安定性

福田遼平：(指導教員, 橋本正章)：ZEUS-2D コードによる  $3.3M_{\odot}$  He コアの超新星爆発

三舛慧人：(指導教員, 山岡均)：Kepler の測光データを用いた恒星の光度変動の統計的調査

#### 修士論文

池田幹生：(指導教員, 橋本正章) CMB 温度と WMAP の観測結果による減少する宇宙項の制限

末廣修平：(指導教員, 町田真美、橋本正章) 磁気圧優勢円盤からのジェット伝播に関する2次元数値実験

#### 博士論文

内藤博之：(論文博士, 主査 山岡均, 副査 橋本正章, 篠崎文重, 定金晃三 (大阪教育大)) :  
Observational Study of the Extremely Slow Nova V1280 Scorpii

#### 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 (~ H24.12), 同委員長 (H24.12 ~)

日本天文学会ジュニアセッション実行委員会委員長 (~ H24.12), 同委員 (H24.12 ~)

IAU Commission 6 Vice President (~ H24.8), 同 President (H24.8 ~)

日本天文学会 2012 年秋季学会企画セッション世話人, 座長 (時間領域の天文学) : 2012 年 9 月 20–21 日

2012 年連星・変光星・低温度星研究会世話人, 座長 : 2012 年 12 月 14–16 日

## 受託研究・民間との共同研究

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

山岡均：株式会社三菱重工との共同研究「スペースデブリに関する共同研究」(代表者：花田俊也(工学研究院)) に分担者として参加

## その他の活動と成果

- 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
- 2012年6月10日に大阪市立科学館で開催された「天文学が学べる大学合同説明会」に参加、九州大学における天文学教育について説明した(山岡)。
- 福岡市内にてサイエンスパブを3回(2012年7月, 9月, 13年3月)開催した(実施委員：山岡)。名古屋市, 埼玉市でサイエンスパブを開催した(山岡)。
- その他テレビ・ラジオ・Web・地域の天文台等で天文学解説を行なった(山岡)。

# 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 助教      織田 勸 助教

### 《 博士研究員 》

須藤 裕司 ( 学術研究員 )      井上 研三 ( 特任教授 )      江崎 哲郎 ( 特任教授 )

### 《 大学院 修士課程 》

上野 翔      大石 航      松本 悟      宮崎 陽平

### 《 学部 卒業研究生 》

江川 大智      岡川 航己      調 翔平 ( 後期から )      田中 元気

富田 龍彦      中居 勇樹

## 担当授業

- 川越

箱崎地区：最先端物理学（前期）、コアセミナー（前期）、素粒子物理学（後期）、物理学ゼミナール（後期）

伊都地区：物理学 III(前期・後期)

- 吉岡

箱崎地区：基礎物理実験学・同実験（後期）

伊都地区：自然科学総合実験（前期）

## 研究・教育目標と成果

CERN/LHC でのアトラス実験 (川越 清以、東城 順治、織田 勸)

スイスのジュネーブにある欧州合同原子核研究所 (CERN) では大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) による高エネルギー陽子衝突実験が進行中である。今年度は世界最高の重心系エネルギー 8 TeV で運転を行い、昨年度の 4 倍程度の、積分ルミノシティにして約  $20 \text{ fb}^{-1}$  の衝突事象を各実験に提供した。我々のグループは国際共同実験であるアトラス実験を推進している。

今年度はその検出器の運転を担当するとともに、素粒子物理学の標準模型で必要とされるヒッグス粒子の発見と、その性質の研究に重点をおいて活動した。

- ヒッグス粒子の発見とその性質研究（川越 清以、東城 順治、織田 勸）

今年度はヒッグス粒子と考えられる新粒子が発見された、素粒子物理学の歴史に残る年となった。我々のグループは標準模型ヒッグス粒子の早期発見を目指して、特に、背景事象が少なく、信号有意度の高い、ヒッグス粒子が $Z$ 粒子対に崩壊して、各 $Z$ 粒子がレプトン（電子またはミューオン）対に崩壊する、4レプトンチャンネルと呼ばれる崩壊モードの解析に注力した。東城は夏季まで、アトラス実験全体の解析用データの処理の責任者として活動し、遅滞なく処理を進めた。織田は6月までに、4レプトンチャンネルで効率的に解析を進めるために、レプトンを4つ以上含む事象のみを取り出すフィルターを作成し、東城と協力して世界中の計算機センターで稼働させた。その後は、レプトンの検出効率やエネルギー・運動量の系統誤差を評価した。7月4日に、アトラス実験と、LHCのもう1つの超大型実験であるCMS実験がともに、標準模型ヒッグス粒子の探索において、質量125 GeV付近に新粒子を発見したことを公表し、各メディアを通じて世界的大ニュースとなった。その後、8月に出版された新粒子発見の論文に記載されている質量や有意度は我々のグループの系統誤差の評価結果に基づくものである。10月以降、東城と織田は、4レプトンチャンネルの解析グループの解析用データ処理と系統誤差の評価の責任者となって、12月までに取得した全データの解析を進めた。新粒子の信号の有意度を向上させ、新粒子が、標準模型ヒッグス粒子と同じ、0のスピンと正のパリティを持つことを支持する結果を得て、3月に公表した。

- アトラス内部検出器の運転（川越 清以、東城 順治、織田 勸）

我々のグループは、アトラス内部飛跡検出器内のシリコン半導体飛跡検出器(SCT)の運転を担当している。その性能を最大限に発揮して、高品質のデータを取得するため、全600万チャンネルからなる検出器の較正を継続的に進めている。東城はSCTの検出器較正の責任者として活動し、上記のヒッグス粒子の発見に大きく貢献した。5月の運転中に、SCTは電流が非常に大きくなり、高電圧が印加できなくなる問題が生じた。織田はセンサー毎に衝突データを調べることで、問題が特定の部位のみで起きていることを確認した。センサーに貯まった電荷による放電が起きていると推測して、6月以降は、休止中の高電圧の値を以前よりも低くすることにより、電流の増加は見られなくなり、運転に影響を与えなくなった。また、8時間毎の3交代の検出器運転のシフトも担当し、高品質のデータを取得した。

- アトラス内部飛跡検出器のアップグレード（川越 清以、東城 順治、織田 勸）

アトラス内部飛跡検出器は、2021年までの運転で放射線損傷により性能が劣化する。

同時に、ビームバンチ交差あたりの衝突回数が 80 回近くになり得るため、SCT の現行の読み出し回路では対応できなくなる。織田は、既已取得された衝突データに基づいて SCT のデータ量を推定し、読み出し回路中のデータ形式の変更と、読み出し回路の増設により、対応可能であることを明らかにした。この解決案に基づいて SCT の変更が進められている。2023 年からのさらに高いルミノシティでの運転に備えて、内部飛跡検出器を全て入れ替えるアップグレード計画が進行中である。その計画の中で、検出器ならびにデータ収集システムの技術検討を行った。

国際リニアコライダー計画 (川越 清以、吉岡 瑞樹、須藤 裕司、井上 研三、江崎 哲郎、上野 翔、大石 航、宮崎 陽平)

次世代加速器実験計画「国際リニアコライダー」(ILC) のための物理と測定器の研究を行っている。本年度から須藤裕司学術研究員が本研究の推進のため加わった。また、理学研究院の井上研三特任教授、江崎哲郎特任教授とともに、計画実現に向けた推進活動を行っている。

- 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、須藤 裕司、大石 航、宮崎 陽平)

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) と日仏共同で進んでおり、日本では九州大学がその拠点となっている。本年度は新設計のシリコンパッドの基本性能の自動計測システムによる電圧-電流特性、電圧-電気容量特性の温度・湿度依存性に関する測定を行った。来年度は赤外線レーザーを用いたシリコン検出器の詳細測定及び基本性能の測定を行い研究開発を進める。

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

ILC 測定器の電磁カロリメータに用いるセンサーとして、性能的にはシリコンパッドが最適と考えられるが、コストが高すぎると懸念されている。一方、シンチレータストリップは比較的安価であるが、ストリップ構造によるゴーストイメージのため、性能が若干劣ると考えられている。そこで、サンプリングカロリメータ中にシリコンパッド層とシンチレータストリップ層を組み合わせる事で (ハイブリッド式電磁カロリメータ)、優れたジェットエネルギー分解能を維持しながらコストを大幅に削減する事を考え、シミュレーションによる研究を進めている。本年度は様々な

ハイブリッド構造についてジェットエネルギー分解能に対する結果を出した。今後もハイブリッド構造の最適化にむけて研究を行う。

- シリコン電磁カロリメータ試作機の性能試験（川越 清以、吉岡 瑞樹、須藤 裕司、上野 翔、宮崎 陽平）  
2012年7月、2013年2月にフランスグループが主導しているシリコン電磁カロリメータ試作機の電子、陽電子ビームを用いた性能試験に参加しデータ取得を行った。高磁場中での動作試験も行い、これらのデータ解析の結果をもとにフランスグループと議論し、読み出し回路の改善を行っている。来年度も試作機の性能試験に積極的に加わり、シリコン電磁カロリメータの開発を日仏共同で進めるとともに、日本での試作機製造のための準備を行う。
- ILC 加速器建設のための背振地域の地質調査（川越 清以、吉岡 瑞樹、江崎 哲郎、井上 研三）  
ILC の国内建設候補地は福岡県・佐賀県にまたがる背振山地と岩手県の北上山地に絞られている。われわれは、高エネルギー加速器研究機構（KEK）の技術協力を得て、福岡県、佐賀県とともに背振山地の地質調査と最適ルートの検討を行っている。本年度は平成 23 年度第 3 次補正予算による KEK からの受託研究「国際リニアコライダー計画（ILC）施設建設に係る現地調査」として行った。その内容は、衝突点大空洞候補地付近でのボーリング調査と物理探査、および ILC 想定ルートの空中写真判読、地表踏査等である。その結果は、平成 25 年度前半に報告書としてまとめる。

ミュオン・電子転換過程の探索（川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、大石 航）

茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARC において、ミュ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）の準備を国際共同研究で進めている。本年度後半から活動を開始し、世界最高強度のパルスミュオンビームを生成する施設の設計と検出器の開発を行っている。

- 大強度パルスミュオンビーム生成における中性子線量の研究（吉岡 瑞樹）  
世界最高強度のパルスミュオンビームを実現することが、COMET 実験を成功させる鍵である。J-PARC の大強度陽子ビームを「遅い取り出し」運転でハドロン実験施設の実験エリアに設置する標的へ入射する。標的で生成される大量のパイ中間子をソレノイド磁場で捕獲し、崩壊で生成されるミュオンを実験に用いる。実験施設の放射線遮蔽を設計するため、粒子・重イオン輸送計算コード PHITS を用いて、中性子線量の見積りを行った。実験開始時に予定している装置の配置で、暫定的な結果を出した。今後、より詳細な研究を進める。

- 電磁カロリメータの開発 (川越 清以、東城 順治、吉岡 瑞樹、大石 航)

高計数率環境下で電子のエネルギーを測定し、事象トリガーに使用するための電磁カロリメータの開発を開始した。磁場がある真空中で動作させ、高エネルギー分解能と速い時間応答を必要とするため、GSO または LYSO 結晶をアバランシェ・フォトダイオードで読み出すことを検討している。本年度は、結晶の試作、プロトタイプの検出器と読み出し回路を製作、データ収集システムの構築を行い、電子ビームによる性能テストの準備を進めた。2013 年 3 月には、J-PARC ハドロン実験施設の K1.1BR ビームラインでテスト実験 (J-PARC T51 実験) の一部を行った。来年度も検出器の開発とテスト実験による性能テスト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)

- 中性子電気双極子能率探索実験のための新型中性子反射鏡の開発研究 (吉岡 瑞樹)

我々は中性子の電気双極子能率を  $10^{-27}$  e-cm の精度で測定する実験計画を立案している。超冷中性子発生源から電気双極子能率測定計までの輸送管壁面に用いる高反射率、高フェルミポテンシャルの中性子反射鏡の開発研究を行った。そのような反射鏡として有望である重水素化炭素薄膜の研究に集中し、高エネルギー加速器研究機構所有の製膜装置にて製膜を行った。重水素化炭素薄膜を製膜パラメータを変えて複数作製し、中性子反射鏡としての特性を以下の方法により系統的に調査した。(1)RBS/ERDA 法による元素比率組成の測定。測定は茨城大学のタンデトロン加速器を用いて行った。(2)X 線反射率による密度及び膜厚の測定。測定は理化学研究所の Smartlab 装置を用いて行った。(3) 中性子反射率法によるフェルミポテンシャルの測定。測定は茨城県東海村の J-PARC 物質生命科学実験施設にて行った。(4) 原子間力顕微鏡による表面粗さの測定。測定は理化学研究所の AFM を用いて行った。比較のため、同様の測定を軽水素 DLC 炭素についても行った。以上の測定結果より、(a) 重水素化炭素薄膜のフェルミポテンシャルは軽水素炭素薄膜のそれに比して当初の予測通り高いことを確認した。ポテンシャルの値として従来中性子反射鏡として用いられているニッケルミラーと同等の値を得ることができた。(b)(1) および (2) の結果によるフェルミポテンシャルの推定値と (3) の結果を比較し、線形性が良いことを確認した。(c) バイアス電圧がおよそ 0.5 kV の時に膜密度が最大となることを確認した。(d)(4) の測定により、表面粗さはシリコン基板と同程度であることが分かり、非鏡面反射率はニッケルミラーと比すと一桁以上改善していることが示された。以上まとめると、当初の目標通り、高いフェルミポテンシャル及び低い表面粗さを持つ重水素化炭素薄膜の成膜技術を確立することができた。重水素炭素薄膜は中性子電気双極子能率測定実験のための超冷中性子輸送導管に適しているこ

とが分かり、その成膜技術を確立することができた。

- 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。入射中性子の速度分布と、標的核の熱運動を考慮したシミュレーションプログラムを開発した。また、希ガス封入容器窓材の候補としているシリコン単結晶の中性子散乱実験を茨城県 J-PARC において行い、中性子吸収断面積に関しては先行文献と一致している事を確認した。来年度はビームラインに改良を施し、小角度領域での散乱断面積を決定する実験を行う。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of a New  $\chi_b$  State in Radiative Transitions to  $\Upsilon(1S)$  and  $\Upsilon(2S)$  at ATLAS”, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 152001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the centrality dependence of the charged particle pseudorapidity distribution in lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **710**, 363 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson in the decay channel  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  with  $4.8 \text{ fb}^{-1}$  of  $pp$  collision data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with ATLAS”, *Phys. Lett. B* **710**, 383 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for same-sign top-quark production and fourth-generation down-type quarks in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1204**, 069 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for diphoton events with large missing transverse momentum in  $1 \text{ fb}^{-1}$  of 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **710**, 519 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for extra dimensions using diphoton events in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **710**, 538 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive  $W^\pm$  and  $Z/\gamma^*$  cross sections in the  $e$  and  $\mu$  decay channels in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 072004 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for decays of stopped, long-lived particles from 7 TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 1965 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for excited leptons in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 072003 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for anomaly-mediated supersymmetry breaking with the ATLAS detector based on a disappearing-track signature in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Eur. Phys. J. C **72**, 1993 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Scalar Bottom Quark Pair Production with the ATLAS Detector in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Rev. Lett. **108**, 181802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Study of jets produced in association with a  $W$  boson in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 092002 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the polarisation of  $W$  bosons produced with large transverse momentum in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS experiment”, Eur. Phys. J. C **72**, 2001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross section for top-quark pair production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector using final states with two high- $p_T$  leptons”, JHEP **1205**, 059 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark pair production cross-section with ATLAS in the single lepton channel”, Phys. Lett. B **711**, 244 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Production of Resonant States in the Photon-Jet Mass Distribution Using  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV Collected by the ATLAS

Detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 211802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross section of an isolated photon associated with jets in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 092014 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of Spin Correlation in  $t\bar{t}$  Events from  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV Using the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 212001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet mass and substructure of inclusive jets in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS experiment”, JHEP **1205**, 128 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy vector-like quarks coupling to light quarks in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **712**, 22 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for contact interactions in dilepton events from  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **712**, 40 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of inclusive two-particle angular correlations in  $pp$  collisions with the ATLAS detector at the LHC”, JHEP **1205**, 157 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons decaying via  $H^\pm \rightarrow \tau\nu$  in  $t\bar{t}$  events using  $pp$  collision data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1206**, 039 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $WW$  cross section in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector and limits on anomalous gauge couplings”, Phys. Lett. B **712**, 289 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new particles decaying to  $ZZ$  using final states with leptons and jets with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions”, Phys. Lett. B **712**, 331 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for FCNC single top-quark production at

$\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **712**, 351 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for lepton flavour violation in the  $e\mu$  continuum with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions at the LHC”, Eur. Phys. J. C **72**, 2040 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the charge asymmetry in top quark pair production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 2039 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Gluinos in Events with Two Same-Sign Leptons, Jets and Missing Transverse Momentum with the ATLAS Detector in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Rev. Lett. **108**, 241802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in final states with missing transverse momentum and  $b$ -jets with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 112006 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $W$  boson polarization in top quark decays with the ATLAS detector”, JHEP **1206**, 088 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Light Higgs Boson Decaying to Long-Lived Weakly Interacting Particles in Proton-Proton Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 251801 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $t\bar{t}$  production with a veto on additional central jet activity in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 2043 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark mass with the template method in the  $t\bar{t} \rightarrow \text{lepton} + \text{jets}$  channel using ATLAS data”, Eur. Phys. J. C **72**, 2046 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonant  $WZ$  production in the  $WZ \rightarrow \ell\nu\ell'\ell'$  channel in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **85**, 112012 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Pair Production of a Heavy Up-Type Quark Decaying to a  $W$  Boson and a  $b$  Quark in the lepton+jets Channel with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 261802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Supersymmetry in Events with Three Leptons and Missing Transverse Momentum in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  Collisions with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **108**, 261804 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Forward-backward correlations and charged-particle azimuthal distributions in  $pp$  interactions using the ATLAS detector”, JHEP **1207**, 019 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for heavy neutrinos and right-handed  $W$  bosons in events with two leptons and jets in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 2056 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $\tau$  polarization in  $W \rightarrow \tau\nu$  decays with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Eur. Phys. J. C **72**, 2062 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of the Strange-Quark Density of the Proton from ATLAS Measurements of the  $W \rightarrow \ell\nu$  and  $Z \rightarrow \ell\ell$  Cross Sections”, Phys. Rev. Lett. **109**, 012001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the decay  $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **713**, 387 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Down-Type Fourth Generation Quarks with the ATLAS Detector in Events with One Lepton and Hadronically Decaying  $W$  bosons”, Phys. Rev. Lett. **109**, 032001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair-produced heavy quarks decaying to  $Wq$  in the two-lepton channel at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **86**, 012007 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of inclusive jet and dijet production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **86**, 014022 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the azimuthal anisotropy for charged particle production in  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV lead-lead collisions with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. C* **86**, 014907 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for  $t\bar{t}$  resonances with the ATLAS detector in  $2.05 \text{ fb}^{-1}$  of proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2083 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Hunt for new phenomena using large jet multiplicities and missing transverse momentum with ATLAS in  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions”, *JHEP* **1207**, 167 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a fermiophobic Higgs boson in the diphoton decay channel with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2157 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Combined search for the Standard Model Higgs boson in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **86**, 032003 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for events with large missing transverse momentum, jets, and at least two tau leptons in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **714**, 180 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry with jets, missing transverse momentum and at least one hadronically decaying  $\tau$  lepton in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **714**, 197 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Pair Production of a New  $b'$  Quark that Decays into a  $Z$  Boson and a Bottom Quark with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 071801 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for  $tb$  Resonances in Proton-Proton Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector”, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 081801 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for scalar top quark pair production in natural gauge mediated supersymmetry models with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Lett. B **715**, 44 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for second generation scalar leptoquarks in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 2151 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for  $t\bar{t}$  resonances in lepton+jets events with highly boosted top quarks collected in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1209**, 041 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the azimuthal ordering of charged hadrons with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **86**, 052005 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”, Phys. Lett. B **716**, 1 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson in the  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow \ell\nu\ell\nu$  decay mode with  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of ATLAS data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Lett. B **716**, 62 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for TeV-scale gravity signatures in final states with leptons and jets with the ATLAS detector at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Lett. B **716**, 122 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Evidence for the associated production of a  $W$  boson and a top quark in ATLAS at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Lett. B **716**, 142 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson in the  $H \rightarrow \tau^+\tau^-$  decay mode in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with ATLAS”, JHEP **1209**, 070 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for flavour changing neutral currents in top-quark decays in  $pp$  collision data collected with the ATLAS detector at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, JHEP **1209**, 139 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $W^\pm Z$  production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2173 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for top and bottom squarks from gluino pair production in final states with missing transverse energy and at least three  $b$ -jets with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2174 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Underlying event characteristics and their dependence on jet size of charged-particle jet events in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **86**, 072004 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ATLAS measurements of the properties of jets for boosted particle searches”, *Phys. Rev. D* **86**, 072006 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a standard model Higgs boson in the  $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell^+ \ell^- \nu \bar{\nu}$  decay channel using  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 7$  TeV data with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **717**, 29 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $W\gamma$  and  $Z\gamma$  production cross sections in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and limits on anomalous triple gauge couplings with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **717**, 49 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Standard Model Higgs boson in the mass range 200–600 GeV in the  $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell^+ \ell^- q\bar{q}$  decay channel with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **717**, 70 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark pair cross section with ATLAS in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using final states with an electron or a muon and a hadronically decaying  $\tau$  lepton”, *Phys. Lett. B* **717**, 89 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $t$ -channel single top-quark production cross section in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **717**, 330 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Further search for supersymmetry at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in final states with jets, missing transverse momentum and isolated leptons with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **86**, 092002 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the pseudorapidity dependence of the total transverse energy in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with ATLAS”, JHEP **1211**, 033 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a heavy top-quark partner in final states with two leptons with the ATLAS detector at the LHC”, JHEP **1211**, 094 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of event shapes at large momentum transfer with the ATLAS detector in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Eur. Phys. J. C **72**, 2211 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events with large missing transverse momentum, jets, and at least one tau lepton in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector”, Eur. Phys. J. C **72**, 2215 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a Supersymmetric Partner to the Top Quark in Final States with Jets and Missing Transverse Momentum at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **109**, 211802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Direct Top Squark Pair Production in Final States with One Isolated Lepton, Jets, and Missing Transverse Momentum in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  Collisions Using  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of ATLAS Data”, Phys. Rev. Lett. **109**, 211803 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $b$ -hadron production cross section using decays to  $D^{*+}\mu^{-}X$  final states in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Nucl. Phys. B **864**, 341 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for high-mass resonances decaying to dilepton final states in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1211**, 138 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonant top quark plus jet production in  $t\bar{t}$ +jets events with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Phys. Rev. D* **86**, 091103 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for light scalar top-quark pair production in final states with two leptons with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2237 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for anomalous production of prompt like-sign lepton pairs at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1212**, 007 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for doubly charged Higgs bosons in like-sign dilepton final states at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2244 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson produced in association with a vector boson and decaying to a  $b$ -quark pair with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **718**, 369 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Higgs boson in the  $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu jj$  decay channel at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **718**, 391 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for diphoton events with large missing transverse momentum in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **718**, 411 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ATLAS search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Eur. Phys. J. C* **72**, 2241 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Time-dependent angular analysis of the decay  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  and extraction of  $\Delta\Gamma_s$  and the  $CP$ -violating weak phase  $\phi_s$  by ATLAS”, *JHEP* **1212**, 072 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of massive particles de-

caying into three quarks with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions at the LHC”, JHEP **1212**, 086 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A Particle Consistent with the Higgs Boson Observed with the ATLAS Detector at the Large Hadron Collider”, Science **338**, 1576 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for  $R$ -parity-violating supersymmetry in events with four or more leptons in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector”, JHEP **1212**, 124 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Magnetic Monopoles in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  Collisions with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **109**, 261803 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Dark Matter Candidates and Large Extra Dimensions in Events with a Photon and Missing Transverse Momentum in  $pp$  Collision Data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **110**, 011802 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ATLAS search for new phenomena in dijet mass and angular distributions using  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, JHEP **1301**, 029 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for contact interactions and large extra dimensions in dilepton events from  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Rev. D **87**, 015010 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **718**, 841 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in the  $WW \rightarrow l\nu l'\nu'$  final state in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **718**, 860 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct slepton and gaugino production in final states with two leptons and missing transverse momentum with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Phys. Lett. B **718**, 879 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $Z$  Boson Production in Pb-Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS Detector”, Phys. Rev. Lett. **110**, 022301 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of isolated-photon pair production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1301**, 086 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of top quark pair relative differential cross-sections with ATLAS in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Eur. Phys. J. C **73**, 2261 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair-produced massive coloured scalars in four-jet final states with the ATLAS detector in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, Eur. Phys. J. C **73**, 2263 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for resonances decaying into top-quark pairs using fully hadronic decays in  $pp$  collisions with ATLAS at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, JHEP **1301**, 116 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for direct chargino production in anomaly-mediated supersymmetry breaking models based on a disappearing-track signature in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, JHEP **1301**, 131 (2013).

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  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collision data”, Phys. Rev. D **87**, 012008 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of heavy top-like quarks decaying to a high- $p_T$   $W$  boson and a  $b$  quark in the lepton plus jets final state at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B **718**, 1284 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $\Lambda_b^0$  lifetime and mass in the ATLAS experiment”, Phys. Rev. D **87**, 032002 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the flavour composition of dijet

events in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2301 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *JHEP* **1302**, 095 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the jet radius and transverse momentum dependence of inclusive jet suppression in lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **719**, 220 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A search for high-mass resonances decaying to  $\tau^+\tau^-$  in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **719**, 242 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in events with photons, bottom quarks, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **719**, 261 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for long-lived, heavy particles in final states with a muon and multi-track displaced vertex in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **719**, 280 (2013).

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

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2304 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Single hadron response measurement and calorimeter jet energy scale uncertainty with the ATLAS detector at the LHC”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2305 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet energy resolution in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV recorded in 2010 with the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2306 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $t\bar{t}$  production cross section in the tau+jets channel using the ATLAS detector”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2328 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena in events with three charged leptons at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Rev. D* **87**, 052002 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of upsilon production in 7 TeV  $pp$  collisions at ATLAS”, *Phys. Rev. D* **87**, 052004 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for light top squark pair production in final states with leptons and  $b$ -jets with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions”, *Phys. Lett. B* **720**, 13 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of angular correlations in Drell-Yan lepton pairs to probe  $Z/\gamma^*$  boson transverse momentum at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *Phys. Lett. B* **720**, 32 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for charged Higgs bosons through the violation of lepton universality in  $t\bar{t}$  events using  $pp$  collision data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS experiment”, *JHEP* **1303**, 076 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $ZZ$  production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and limits on anomalous  $ZZZ$  and  $ZZ\gamma$  couplings with the ATLAS detector”, *JHEP* **1303**, 128 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of hard double-parton interactions in  $W(\rightarrow \ell\nu)+2$ -jet events at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector”, *New J. Phys.* **15**, 033038 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for heavy long-lived sleptons and  $R$ -hadrons with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Phys. Lett. B* **720**, 277 (2013).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Multi-channel search for squarks and gluinos in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector at the LHC”, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2362 (2013).

C. Adloff *et al.*, “Construction and performance of a silicon photomultiplier/extruded scintillator tail-catcher and muon-tracker”, JINST **7**, P04015 (2012).

Y. Arimoto, T. Yoshioka *et al.*, “Present Status of the Neutron Fundamental Physics at J-PARC”, Prog. Theor. Exp. Phys., 02B007 (2012).

Y. Arimoto, P. Geltenbort, S. Imajo, Y. Iwashita, M. Kitaguchi, Y. Seki, H. M. Shimizu and T. Yoshioka, “Demonstration of focusing by a neutron accelerator”, Phys. Rev. A **86**, 023843 (2012).

Y. Arimoto, Y. Iwashita, T. Yoshioka *et al.*, “Development of Longitudinal-Gradient Magnet for Time Focusing of Ultra-Cold Neutron With Anisotropic Inter-Pole”, IEEE Trans. Appl. Supercond. **22**, 4500704 (2012).

## 講演

### 《 海外での講演 》

Hybrid ECAL Study for ILC ECAL:

Hiraku Ueno,

ACFA2012, Deagu in Korea, April 2012.

Silicon pad study including sensor radiation test:

Kou Oishi,

ACFA2012, Deagu in Korea, April 2012.

The CALICE Si-W ECAL - physics prototype:

Tamaki Yoshioka,

ACFA2012, Deagu in Korea, April 2012.

Summary - Calorimeter/Muon/DAQ:

Tamaki Yoshioka,

ACFA2012, Deagu in Korea, April 2012.

Performance of the CALICE analogue calorimeters and tests of GEANT4:

Tamaki Yoshioka,

ICHEP2012, Melbourne in Australia, July 2012.

Hybrid ECAL:

Tamaki Yoshioka,

CALICE Collaboration Meeting, Cambridge in the United Kingdom, September 2012.

Simulation study of the Hybrid ECAL for ILD:

Hiraku Ueno,

LCWS12, University of Texas in U.S., October 2012.

Si sensor study in Kyushu Univ:

Kiyotomo Kawagoe,

CALICE Collaboration Meeting, Hamburg in Germany, March 2013.

Simulation study of hybrid ECAL:

Yuji Sudo,

CALICE Collaboration Meeting, Hamburg in Germany, March 2013.

Simulation study of the ScECAL physics prototype:

Yuji Sudo,

CALICE Collaboration Meeting, Hamburg in Germany, March 2013.

Preliminary results on Si-W ECAL performance at Feb'2013 DESY test beam II:

Yuji Sudo,

CALICE Collaboration Meeting, Hamburg in Germany, March 2013.

《 国内での講演 》

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

織田勲、川越清以、東城順治、他 ATLAS Collaboration

日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学、2012 年 9 月

LHC-ATLAS 実験における  $X \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  チャンネルを用いた新粒子の研究:

織田勸、川越清以、東城順治、他 ATLAS Collaboration  
日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

シミュレーションを用いた ILC ECAL におけるハイブリッド構造の最適化研究:  
上野翔  
高エネルギー物理 春の学校 2013、琵琶湖リゾートクラブ、2012 年 5 月

Simulation of the Hybrid ECAL:  
吉岡瑞樹  
ILD workshop 2012、九州大学、2012 年 5 月

ILD ECAL のための Si-Pad の基礎特性研究:  
宮崎陽平  
加速器・物理合同 ILC 夏の合宿 2012、武雄センチュリーホテル、2012 年 7 月

ILC における ILD ECAL のハイブリッド構造の最適化研究:  
上野翔  
日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学、2012 年 9 月

ILC における ECAL のための Si-pad 検出器の基礎特性研究:  
宮崎陽平  
日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学、2012 年 9 月

特別講演「ヒッグス粒子( ? )の発見」:  
川越清以  
ビーム物理研究会 2012、広島大学、2012 年 11 月

Simulation Study of the Hybrid ECAL:  
上野翔  
ILC Tokusui Workshop 2012、KEK、2012 年 12 月

Si-sensor tests:  
宮崎陽平  
ILC Tokusui Workshop 2012、KEK、2012 年 12 月

シンポジウム講演「ILC 計画の物理」:

川越清以

素粒子物理・原子核物理分野の「大型施設計画・大規模研究計画マスタープラン」に関するシンポジウム (日本学術会議)、日本学術会議講堂、2013 年 2 月

ILC の物理と詳細技術設計書:

川越清以

ビーム物理領域、素粒子実験領域合同シンポジウム、主題: 国際リニアコライダー: 技術設計書完成と展望、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

ILC における ILD ECAL のハイブリッド構造の最適化:

上野翔

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

リニアコライダー実験用シンチレータストリップ細分割電磁カロリメータ試作機の粒子ビームを用いた性能研究:

須藤裕司

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

シンポジウム講演「概要説明」:

川越清以

素粒子実験領域、素粒子論領域合同シンポジウム、主題: 荷電レプトンフレーバー非保存探索による LHC 時代の素粒子物理、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

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

大石航、川越清以、東城順治、吉岡瑞樹、他 COMET Collaboration

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

中性子を用いた重力法則の検証:

松本悟

高エネルギー物理 春の学校 2013、琵琶湖リゾートクラブ、2012 年 5 月

中性子を用いた重力法則の検証:

松本悟、猪野隆、北口雅暁、嶋達志、清水裕彦、三島賢二、吉岡瑞樹

加速器・物理合同 ILC 夏の合宿 2012、佐賀県武雄センチュリーホテル、2012 年 7 月

低エネルギー中性子小角散乱を用いた重力法則の検証:

松本悟、吉岡瑞樹、清水裕彦、嶋達志、猪野隆 and NOP collaboration

日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学、2012 年 9 月

BL05 非偏極ビームラインのまとめと今後:

吉岡瑞樹

中性子物理研究会、名古屋大学、2012 年 11 月

中性子を用いた重力法則の検証:

松本悟、吉岡瑞樹、清水裕彦、嶋達志、猪野隆、北口雅暁 and NOP collaboration

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

J-PARC E36 実験に向けた鉛ガラス・チェレンコフ検出器の性能測定:

宮崎陽平

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、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)

文部科学省研究費補助金、研究活動スタート支援

次世代中性子電気双極子能率探索実験のための新型中性子反射鏡の開発研究

研究代表者 吉岡瑞樹

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

日本学術振興会：頭脳循環を加速する若手研究者派遣プログラム  
時空構造解明を目指すアトラス実験での若手研究者育成とネットワーク構築  
担当研究者 川越清以 (主担当研究者 神戸大学 山崎祐司)

日本学術振興会：二国間交流事業 フランスとの共同研究  
リニアコライダー実験のための電磁カロリメータの研究  
研究代表者 川越清以

高エネルギー加速器研究機構：大学等連携支援事業  
九州大学における次世代加速器実験を目指した研究拠点形成と学部レベルからの研究者育成  
事業責任者 川越清以

学部4年生卒業研究

江川 大智、岡川 航己、調 翔平、田中 元気、富田 龍彦、中居 勇樹：(指導教員、川越清以)：  
ミュオンの寿命測定

学外での学会活動

川越清以

- Asia-Europe-Pacific School of High Energy Physics (2012 October, Fukuoka): Local Organizing Committee Chair
- 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：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

受託研究・民間との共同研究

高エネルギー加速器研究機構からの受託研究「国際リニアコライダー計画 (ILC) 施設建設に係る現地調査」(代表：川越清以)

九州大学とフランス CNRS/IN2P3 との共同研究「電磁カロリメータのためのシリコンセンサーの開発」(日本側研究代表者：川越清以)

その他の活動と成果

一般向け講演会

特別講演会「ヒッグス!?粒子発見」:

川越 清以

佐賀県武雄市、2012年7月

「素粒子物理の最前線 –ヒッグス粒子と見られる新粒子の発見と ILC への期待–」:

川越 清以

第8回先端基礎科学次世代加速器研究会、佐賀県鳥栖市、2012年7月

「LHC とヒッグス粒子」:

川越 清以

九州大学理学部先端自然科学講演会、九州大学、2012年8月

一般向け巡回公演会「LHC 実験にて新粒子 (ヒッグス粒子?) 発見」:

川越 清以

名古屋大学、2012年8月

市民講演会「最先端加速器で宇宙の始まりを探る」:

川越 清以

福岡県福岡市、2012年8月

第2回サイエンスカフェ@福岡:

川越 清以

福岡県福岡市、2012年9月

一般向け巡回公演会「LHC 実験にて新粒子 (ヒッグス粒子?) 発見」:

川越 清以

九州大学、2012年9月

「加速器について」:

川越 清以

先端加速器科学技術推進シンポジウムアクロス福岡、2012年9月

第4回サイエンスカフェ@福岡:

吉岡 瑞樹

福岡県福岡市、2012年11月

市民講演会@和白:

川越 清以

福岡県福岡市、2012年12月

第12回サイエンスカフェ in さが:

川越 清以

佐賀県唐津市、2012年12月

第6回サイエンスカフェ@ふくおか:

吉岡 瑞樹

福岡県福岡市、2013年1月

博多21の会:

川越 清以

福岡県福岡市、2013年2月

九州経済フォーラム・地域交流懇談会:

川越 清以

佐賀県唐津市、2013年3月

第7回サイエンスカフェ@ふくおか:

吉岡 瑞樹

福岡県福岡市、2013年3月

東風小学校講演会:

川越 清以

福岡県糸島市、2013年3月

いとしまサイエンスキャラバン:

吉岡 瑞樹

福岡県糸島市、2013年3月

第8回サイエンスカフェ@ふくおか:

吉岡 瑞樹

福岡県福岡市、2013年3月

# 粒子物理学講座(原子核実験グループ)

## 研究室構成員

野呂哲夫 教授      相良建至 教授  
若狭智嗣 准教授      寺西高 准教授  
森川恒安 助教      藤田訓裕 助教      坂口聡志 助教  
前田豊和 技術職員

## 《 大学院 博士課程 》

谷口雅彦      岩淵利恵      山口祐幸

## 《 大学院 修士課程 》

石橋和久      Maria Theodora Rosary      岩崎諒      岡部貴博  
木村駿太郎      山口祐幸      田中翔基      野副貴博  
三鼓達輝      山足麻耶      大中貴恵      兒玉大輔  
西山憲一      福永拓      前田裕史      安田淳平

## 《 学部 卒業研究生 》

稲田拓真      牛尾国久      衛藤竜一      神ゆりえ  
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

## 担当授業

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

## 研究・教育目標と成果

低エネルギー  $p+d$  分解反応における Star 異常の検証(相良建至、石橋和久、木村駿太郎、田中翔基、大中貴恵、前田裕史)

$p + d \rightarrow p + p + n$  分解反応で放出された 3 核子が、正 3 角形をなして遠ざかり、その正 3 角形がビーム軸と垂直となる運動学条件を Space Star と呼ぶ。Space Star で分解反応断面

積が理論計算値と合わない現象を Space Star anomaly(SS anomaly) と呼ぶ。断面積異常の SS anomaly は、原因候補すら判っていない。SS anomaly は最初  $n+d \rightarrow n+n+p$  反応で報告されたが、我々は高信頼度で測定できる  $p+d \rightarrow p+p+n$  反応で SS anomaly を系統的に調べている。

正三角形がビーム軸と成す角度を  $\theta$  とする。 $0^\circ \sim 180^\circ$  の測定から  $90^\circ$  で anomaly が最大で、 $90^\circ$  から離れると anomaly がゆっくり減少する事を既に見出している。今年度は、 $\theta = 90^\circ$  に固定し、 $p-p$  間の開き角 ( $\theta = 120^\circ$  で正三角形) を、 $100^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $140^\circ$ 、 $160^\circ$  で測定した。昨年度に  $180^\circ$  で測定した。 $120^\circ$  では再測定をした。その結果、anomaly は  $\theta = 120^\circ$  (正三角形) で最大で、 $120^\circ$  から離れるとゆっくり減少する傾向が見られた。Anomaly の最大値は 15% ではなく約 9% である事も判った。Anomaly は Space Star 付近に同在し、その大きさは約 9% しかない。何らかの干渉で生じるのか、Ay puzzle と連動して生じるのか。

次年度に anomaly のエネルギー依存性を調べつつ、Space Star Anomaly の原因を考察する。

## 2 中性子共鳴の探索 (相良建至、石橋和久、田中翔基、木村駿太郎、前田裕史、大中貴恵)

$nn$  間相互作用は直接実験ができないので未確定である。2010 に Witala と Gloeckel が、もし  $nn$ -force が 8 と指摘した。そこで我々は  $nn$  共鳴の存否を確認するために、 $D(d,n)^3\text{He}$  で生成した 0 度方向の  $n$ -beam を用いて  $D(n,p)nn$  断面積を測定する準備を進めている。

$D(n,p)nn$  実験の問題は、検出する  $p$  が微量なことと、 $D(d,n)^3\text{He}$  からの大量の  $n$  が Si 検出器にバックグラウンド (BG) を生じさせることである。今年度は、一次  $d$  ビームが  $\text{D}_2$  ガスか Ta 薄膜及び Ta 板にしか当たらないよう標的容器を改良して、 $D(d,n)^3\text{He}$  以外の  $n$  発生をなくした。また、 $\Delta E$ -E 型と  $\Delta E$ - $\Delta E$ -E 型の検出器を試したが BG 低減効果はほぼ同じと判明した。検出器前の金属製のスリットとシールド内壁で  $X(n,p)$  反応で発生した  $p$  が BG になっているので、 $(n,p)$  反応 Q 値が負で大きい炭素でスリットとシールドを作るしかないと判った。炭素シールドは次年度の課題である。

## スピン双極子共鳴に対するテンソル相関の影響 (若狭智嗣、岡本緑)

原子核物理学におけるホットな話題の 1 つとして、Shell Evolution をはじめとする原子核構造に対するテンソル力の効果が挙げられる。我々は、このテンソル力が励起状態、特に集団性の高い双極子巨大共鳴 (SDR) のような励起モードにどのような影響を及ぼしているのかに興味を持っている。SDR のスピン・パリティ  $J^\pi$  は  $0^-$ 、 $1^-$ 、 $2^-$  と 3 種類存在する。テンソル力の効果は  $J^\pi$  に強く依存する事が理論的に示唆されており、SDR をその  $J^\pi$  を分離して同定する事が重要となる。我々は偏極移行量と呼ばれる量が  $J^\pi$  に非常に敏感であることに着目し、 $^{208}\text{Pb}(p,n)$  の偏極移行量の情報を用いて、 $^{208}\text{Pb}$  の SDR を  $J^\pi$  で分離することに世界で初めて成功した。その結果、三重偶 (TE) のテンソル力が  $1^-$  に対して引力的な相関を与えている事、更には三重奇 (TO) のテンソル力が  $0^-$  に対して引力的な相関を与えている事を、実験的に解

明した。

原子核巨大共鳴を用いた核物質の状態方程式の研究 (安田淳平、若狭智嗣)

原子核の状態方程式は最も基本的な物理量の1つであるが、そのアイソスピン依存性(対称エネルギー項)には不定性が大きい。対称エネルギー項は、大部分が中性子で構成される中性子星の性質を特徴付けるため、宇宙物理においても非常に重要な量である。我々は、対称エネルギー項を実験的に求める手段として、荷電交換反応におけるアンチアナログ双極子共鳴 (AGDR) に着目した。AGDR では陽子と中性子が逆位相で振動しており、対称エネルギーが復元力としてはたらいっている。偏極移行量を測定することにより、物理的バックグラウンドとなるスピン双極子共鳴 (SDR) を実験的に分離し、これまでにない精度で AGDR の励起エネルギーを導出した。励起エネルギーと最新の理論計算との比較から対称エネルギーに制限を与えることに成功し、硬い (Stiff) と呼ばれる状態方程式を支持するとの結果を得た。この結果は、近年測定された太陽質量の約 2 倍の質量を持つ中性子星の観測結果と無矛盾である。

( $p, 2p$ ) 反応を用いた Ca 核内有効  $ls$  分離エネルギーの測定 (野副貴博、坂口聡志、野呂哲夫)

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

この効果の検証には、 $f_{7/2}$  軌道の中性子数が大きく異なる Ca 同位体で陽子の  $d_{3/2}$  軌道と  $d_{5/2}$  軌道のエネルギー差の変化を調べることが有効である。そこで、陽子ノックアウト反応である ( $p, 2p$ ) 反応を用いて両軌道の強度分布を調べるプログラムを始めている。この測定では、個々の準位を分離測定するために高分解能が要求されるため、数年前から RCNP の 2 アームスペクトロメータ系の高分解能化に取り組んできた。その結果、今年度の開発で  $\Delta E=160\text{keV}$  を達成、本測定実施に目処をつけた。

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、テンソル力・スピン軌道力・三体力と言ったスピン依存相互作用の不安定核における現れが注目を集めている。不安定核ビーム実験用の世界唯一の偏極陽子標的を用いて、スピン自由度を活かした不安定核研究を進めている。

1 「陽子弾性散乱」 弾性散乱におけるスピン軌道結合の弱化に関して決定的な結論を得るため、反応模型の確立された  $200\text{MeV}/A$  における  $p\text{-}^6\text{He}$  偏極分解能測定を理研 RI ビームファクトリー実験課題採択委員会において提案し、採択された。実験遂行のため、偏極標的の面積化・検出器セットアップの構築を進めている。

2「荷電交換反応によるIAS状態の励起」 阪大RCNPにおいて行った錫同位体からの(p,n)IAS反応について、データの理論解釈を九大核理論研究室と協同で進めている。スキンの厚さと微分断面積の間に理論的な関係が示唆された一方で、感度や定量性及びデータとの関係について、より理解を深めていく必要がある。

3「核子ロックアウト反応」 理研RIBFにおいて、偏極陽子による世界初の核子ロックアウト反応測定を行った。不安定な酸素同位体をビームとし、反跳陽子及び中性子を測定した。

4「陽子共鳴散乱」 陽子共鳴散乱は、不安定核の非束縛状態を研究するための強力な手法である。共鳴散乱における偏極物理量測定の実現のため、常温での陽子偏極の研究を行った。光励起強度の増強及び温度制御により、従来は5%以下であった偏極度を3倍に向上させることに成功した。

天体ヘリウム - 炭素核融合反応速度の測定 (相良建至、寺西高、藤田訓裕、前田豊和、山口裕幸、Maria T. Rosary、劉盛進、三鼓達輝、岩崎諒、兒玉大輔、成清義博、濱元健一、田尾成明、判忠彦)

$E_{cm}=1.2\text{MeV}$  測定： 天体核反応  $^{12}\text{C}+^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O}+\gamma$  全断面積の  $E_{cm}=1.5\text{MeV}$  での測定成功の後、今年度は  $E_{cm}=1.2\text{MeV}$  での測定を試みた。

イオンチェンバー： $^{16}\text{O}$ と $^{12}\text{C}$ (BG)を分離するイオンチェンバー+SSD( $\Delta EE$ カウンター)を開発して $^{16}\text{O}$ と $^{12}\text{C}$ は分離出来たが、大量の低エネルギー $^{12}\text{C}$ がpile-upしてBGになるので $\Delta E1\Delta E2E$ タイプに改造して解決した。

$^{16}\text{O}$ のBG：標的付近から $^{16}\text{O}$ のBGが発生している事が判った。本物の $^{16}\text{O}$ と区別できないので発生源をなくすしかない。 $^{16}\text{O}$ のBGは、標的容器(真鍮)内壁の酸化皮膜に $^{12}\text{C}$ ビームが当たって発生していると判った。金メッキを試みたが、内径2.5mmの内壁は十分にメッキが出来なかった。金膜を内張りしてみたが、加工時に金表面に酸化物が付着したのか、 $^{16}\text{O}$ のBGが発生した。きれいな表面の金で内張りする方法を研究中である。

Heガス循環系：膜なしHeガスには1日15-20 $\text{m}^3$ のHe流量が要る。Heは世界的に不足し、循環利用が不可欠である。そこで95%のHeを再利用しクライオ冷凍機で空気・油・水を除去するガス循環系を製作し試運転した。循環系のHeリザーバーの1 $\text{m}^3$ バルーンからのアウトガスが $^{16}\text{O}$ のBGを生じると判り、金属製リザーバー+圧力調整器に置き換えつつある。

次年度には、 $^{16}\text{O}$ のBGを解決して $E_{cm}=1.2\text{MeV}$ で測定する。その後Recoil Mass Separatorを大口径化して $E_{cm}=1.0\text{MeV}$ での測定に取り掛かる。

低エネルギー不安定核ビームによる不安定核の研究(寺西高)

RIビームを用いて不安定核の共鳴準位を探索し、不安定核の構造や不安定核が関与する天体核反応についての知見を得ることを目標にしている。今年度は、近い将来に計画している偏極陽子標的とRIビームによる共鳴散乱実験に向け検討をおこなった。いくつかのモデルケー

スに対し、独自開発の R-matrix コードにより偏極分解能を計算した。その結果を取り入れたモンテカルロ・シミュレーションを行い、現実的な実験条件下で測定が十分可能であることを示した。また、伊都キャンパスに設置するタンデム加速器に中・長寿命不安定核の 2 次イオンを入射する計画の検討を進めた。プロトタイプとして用いる RF・荷電交換イオン源の設置作業や関連する制御系の開発を行った。

加速器質量分析の開発と利用 (野呂哲夫、坂口聡志、岡部貴博、山足麻耶、西山憲一)

九大タンデムで加速器質量分析システムの安定化を目標として、イオン源、ビーム輸送系、検出器系の改良を行っている。ビームトランスポートは、上流から順に設定手法の確立を図っている。また、遠隔モニター・制御系の整備を進めている。

さらに、より重い元素の AMS 測定実現に向けて、マルチアノード イオンチェンバーの試作・テストを行い、2 次元位置読み出しの手法を確立した。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Complete sets of polarization transfer observables for the  $^{208}\text{Pb}(\vec{p}, \vec{n})$  reaction at 296 MeV and Gamow-Teller and spin-dipole strengths for  $^{208}\text{Pb}$

T. Wakasa, M. Okamoto, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, S. Kuroita, Y. Maeda, H. Miyasako, T. Noro, T. Saito, Y. Sakemi, T. Yabe, and K. Yako

Phys. Rev. C **85**, 064006 (2012).

Gamow-Teller transition strengths in the intermediate nucleus of the  $^{116}\text{Cd}$  double- $\beta$  decay by the  $^{116}\text{Cd}(p, n)^{116}\text{In}$  and  $^{116}\text{Sn}(p, n)^{116}\text{In}$  reactions at 300 MeV

M. Sasano, H. Sakai, K. Yako, T. Wakasa, M. Dozono, V. Rodin, A. Faessler, K. Fujita, M.B. Greenfield, K. Hatanaka, K. Itoh, T. Kawabata, H. Kuboki, Y. Maeda, K. Miki, K. Muto, S. Noji, H. Okamura, Y. Sakemi, K. Sekiguchi, Y. Shimizu, Y. Sasamoto, Y. Tameshige, A. Tamii, and T. Uesaka

Phys. Rev. C **85**, 061301 (2012).

Shallow and diffuse spin-orbit potential for proton elastic scattering from neutron-rich helium isotopes at 71 MeV/nucleon:

S. Sakaguchi, T. Uesaka, N. Aoi, Y. Ichikawa, K. Itoh, M. Itoh, T. Kawabata, T. Kawahara,

Y. Kondo, H. Kuboki, T. Nakamura, T. Nakao, Y. Nakayama, H. Sakai, Y. Sasamoto, K. Sekiguchi, T. Shimamura, Y. Shimizu, and T. Wakui  
Physical Review C **87** (2013) 021601(R).

Measurement of the vector and tensor analyzing powers for dp-elastic scattering at 880 MeV:  
P.K. Kurilkin, V.P. Ladygin, T. Uesaka, K. Suda, Yu.V. Gurchin, A.Yu. Isupov, K. Itoh, M. Janeka, J.-T. Karachuk, T. Kawabata, A.N. Khrenov, A.S. Kiselev, V.A. Kizka, V.A. Krasnova, N.B. Ladygin, A.N. Livanova, Y. Maeda, A.I. Malakhov, S.M. Piyadin, S.G. Reznikov, S. Sakaguchi, H. Sakai, Y. Sasamoto, K. Sekiguchi, M.A. Shikhalev, T.A. Vasiliev, and H. Witala  
Physics Letters B, 715 (2012) 61-65.

Experimental study of resonant states in  $^{27}\text{P}$  via elastic scattering of  $^{26}\text{Si}+p$ :  
H.S. Jung, C.S. Lee, Y.K. Kwon, J.Y. Moon, J.H. Lee, C.C. Yun, S. Kubono, H. Yamaguchi, T. Hashimoto, D. Kahl, S. Hayakawa, Seonho Choi, M.J. Kim, Y.H. Kim, Y.K. Kim, J.S. Park, E.J. Kim, C.-B. Moon, T. Teranishi, Y. Wakabayashi, N. Iwasa, T. Yamada, Y. Togano, S. Kato, S. Cherubini, G.G. Rapisarda,  
Physical Review C 85 (2012) 045802-1-9.

$\alpha$ -resonance structure in  $^{11}\text{C}$  studied via resonant scattering of  $^7\text{Be}+\alpha$  and with the  $^7\text{Be}(\alpha,p)$  reaction:  
H. Yamaguchi, D. Kahl, Y. Wakabayashi, S. Kubono, T. Hashimoto, S. Hayakawa, T. Kawabata, N. Iwasa, T. Teranishi, Y.K. Kwon, D.N. Binh, L.H. Khiem, N.N. Duy,  
Physical Review C 87 (2013) 034303-1-12.

《Proceedings》

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

Analyzing power in elastic scattering of polarized protons from neutron-rich helium isotopes:  
S. Sakaguchi, Y. Iseri, T. Uesaka, M. Tanifuji, Aoi, Hiyama, Ichikawa, S. Ishikawa, K. Itoh, M. Itoh, H. Iwasaki, T. Kawabata, T. Kawahara, H. Kuboki, Y. Maeda, T. Nakao, H. Okamura,

H. Sakai, Y. Sasamoto, M. Sasano, Y. Satou, K. Sekiguchi, K. Suda, D. Suzuki, A. Tamii, T. Wakui, K. Yako, M. Yamaguchi, and Y. Yamamoto  
Few-Body Systems, DOI 10.1007/s00601-013-0617-1 (2013).

Systematic Experiment on Star Anomaly in  $pd$  Break up at  $E/A = 9.5$  MeV:  
K. Ishibashi, K. Sagara, S. Kimura, S. Tanaka, T. Yabe, S. Kuroita, T. Tamura, M. Okamoto, Y. Maeda, Y. Ooishi, Y. Ishibashi, A. Ozawa, Y. Tagishi, and T. Komatsubara  
Few Body Systems Vol. 54 #1-4 (2013) 295-298, Proc. of APFB2011 (Seoul 2011. 8.22-8.26)

Direct measurement of  $^{12}\text{C}+^4\text{He}$  fusion cross section at  $E_{\text{cm}} = 1.5$  MeV at KUTL:  
H. Yamaguchi, K. Sagara, K. Fujita, T. Teranishi, M. Taniguchi, S. Matsuda, S. Liu, T. Mitsuizumi, M. Iwasaki, and Maria T. Rosary  
Few Body Systems Vol. 54 #1-4 (2013) 299-302, Proc. of APFB2011 (Seoul 2011. 8.22-8.26).

Search for QFS Anomaly in  $pd$  Breakup Reaction Below  $E_p = 19$  MeV:  
S. Kimura, K. Sagara, S. Kuroita, T. Yabe, M. Okamoto, K. Ishibashi, T. Tamura, S. Tanaka, Y. Maeda, Y. Ooishi, Y. Ishibashi, A. Ozawa, Y. Tagishi, and T. Komatsubara  
Few Body Systems Vol. 54 #1-4 (2013) 367-370 Proc. of APFB2011 (Seoul 2011. 8.22-8.26).

Cross Section Enhancement in  $pd$  Reactions at Higher Energy:  
K. Sagara, S. Kuroita, T. Sueta, H. Shimoda, Y. Eguchi, K. Yashima, T. Yabe, M. Dozono, Y. Yamada, T. Wakasa, T. Noro, H. Matsumura, J. Zenihiro, Y. Tameshige, H. Okamura, A. Tamii, K. Hatanaka, T. Saito, Y. Maeda, and H. Kamada  
Few Body Systems Vol. 54 #1-4 (2013) 469-473, Proc. of APFB2011 (Seoul 2011. 8.22-8.26).

Feasibility Study of  $D(^3\text{H}, ^3\text{He})nn$  Experiment Searching for  $nn$  Ground State :  
S. Tanaka, K. Sagara, K. Ishibashi, S. Kimura  
Few Body Systems Vol. 54 #1-4 (2013) 469-473,  
Proc. of APFB2011 (Seoul 2011. 8.22-8.26).

Direct measurement of  $^4\text{He}(^{12}\text{C}, ^{16}\text{O})$  in inverse kinematics:  
K. Fujita, K. Sagara, T. Teranishi, M. Iwasaki, D. Kodama, S. Matsuda, T. Mitsuizumi, M. T. Rosary, and H. Yamaguchi  
Proceedings of Science NIC XII (2013) No.249 /1-5 (online publication).

講演

《 海外での講演 》

Background reduction systems for direct measurement of  ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$  reaction:

H. Yamaguchi

XII International Symposium on Nuclei in the Cosmos (2012/8/05-12, Cairns, Australia)

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

K. Fujita

XII International Symposium on Nuclei in the Cosmos (2012/8/05-12, Cairns, Australia)

Resonant Scattering Experiments with Radioactive Nuclea Beams – Recent Results and Future Plans:

T. Teranishi

The 22nd International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry (CAARI2012), August 05–10, 2012, Fort Worth, Texas, USA

Measurement of  ${}^{12}\text{C}+{}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O}+\gamma$  Total Cross Section near Stellar Energy:

K. Sagara

The 8th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium (Beijing, 2012.10.15-19)

Decomposing spin-dipole resonances by complete polarization transfer measurements:

T. Wakasa

International Conference on Recent Trends in Nuclear Physics (ICRTNP-2012), November 2012, Chandigarh, India.

Single-particle properties and in-medium NN-interaction properties Investigated via  $(p, 2p)$  reactions:

T. Noro

ESNT workshop on Nuclear Pair Correlations Probed via Proton-Induced Transfer and Knock-out Reactions, Paris, France, Feb. 6–8, 2013.

《 国内での講演 》

Analyzing power in elastic scattering of polarized protons from neutron-rich helium isotopes:

S. Sakaguchi, Y. Iseri, T. Uesaka, M. Tanifuji, N. Aoi, E. Hiyama, Y. Ichikawa, S. Ishikawa,

K. Itoh, M. Itoh, H. Iwasaki, T. Kawabata, T. Kawahara, H. Kuboki, Y. Maeda, T. Nakao, H. Okamura, H. Sakai, Y. Sasamoto, M. Sasano, Y. Satou, K. Sekiguchi, K. Suda, D. Suzuki, A. Tamii, T. Wakui, K. Yako, M. Yamaguchi, and Y. Yamamoto  
The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (FB20), Fukuoka, Japan, Aug. (2012).

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

K. Fujita, K. Sagara, T. Teranishi, M. Iwasaki, D. Kodama, S. Liu, S. Matsuda, T. Mitsuzumi, J. Y. Moon, M. T. Rosary, and H. Yamaguchi  
The 20th International Symposium on Few-Body Problems in Physics, 2012.8.20-25, Fukuoka

Search for Perpendicular Plane Anomaly in pd breakup at  $E_p = 13$  MeV:

S. Kimura, K. Sagara, K. Ishibashi, S. Tanaka, Y. Maeda, and K. Ohnaka  
The 20th International Symposium on Few-Body Problems in Physics, 2012.8.20-25, Fukuoka

Does QFS anomaly appear in pd breakup?:

K. Ishibashi, K. Sagara, S. Kimura, S. Tanaka, H. Ohnaka, K. Ohnaka, and Y. Maeda  
The 20th International Symposium on Few-Body Problems in Physics, 2012.8.20-25, Fukuoka

Systematic measurement of pd breakup Star cross section at  $E/A=9.5$  and 13 MeV:

K. Ohnaka, Y. Maeda, K. Ishibashi, S. Kimura, S. Tanaka, and K. Sagara  
The 20th International Symposium on Few-Body Problems in Physics, 2012.8.20-25, Fukuoka

D(n,p)nn experiment searching for nn ground state:

S. Tanaka, K. Sagara, K. Ishibashi, S. Kimura, Y. Maeda, and K. Ohnaka  
The 20th International Symposium on Few-Body Problems in Physics, 2012.8.20-25, Fukuoka

Background reduction in direct measurement of  ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})$  reaction:

H. Yamaguchi, K. Fujita, K. Sagara, M. T. Rosary, T. Mitsuzumi, M. Iwasaki, D. Kodama, and T. Teranishi

Spin-parity decomposition of spin dipole resonances and tensor interaction effects:

T. Wakasa  
The 4th international conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX4), October 2012, Hayama, Japan

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

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

16th IUPAP International Conference on Electromagnetic Isotope Separator and Techniques Related to Their Applications (EMIS 2012), Matsue, Japan, 2nd December - 7th December, 2012.

Solid polarized proton target for low-energy RI-beam experiment:

S. Sakaguchi

RIBF ULIC Mini Workshop on Prospects on reaction studies using polarized targets with low energy beams, Saitama, RIKEN, January (2013).

九州大学原子核実験室の現状報告と加速器・ビーム応用科学センターにおける 8MV タンデム加速器建設計画:

寺西 高

第 25 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, 2012 年 7 月 20 日 ~ 21 日, 名古屋大学

タンデム加速器の加速減速強集束運転法:

山口祐幸, 相良建至, 寺西高, 藤田訓裕, Maria Theodora Rosary, 三鼓達輝, 岩崎諒, 兒玉大輔

日本物理学会 秋季大会 (京都産業大学 2012 年 9 月)

アイソベクトル型励起による  $^{208}\text{Pb}$  の中性子スキン厚研究:

安田淳平

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

AMS 測定用位置検出型マルチアノードイオンチェンハの開発:

山足麻耶, 野呂哲夫, 坂口聡志, 森川恒安, 前田豊和, 衛藤晴彦, 桑田薫法, 岡部貴浩, 西山憲一, 衛藤竜一, 高尾秀明

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

AMS ヒーム輸送のためのイオン光学計算と調整方法の確立:

西山憲一, 岡部貴浩, 山足麻耶, 衛藤竜一, 高尾秀明

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

イオン光学系制御・監視システムの開発による AMS 測定の効率化:

岡部貴浩, 野呂哲夫, 坂口聡志, 森川恒安, 山足麻耶, 西山憲一, 高尾秀明, 衛藤竜一

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

$^{44}\text{Ca}(p, 2p)$  反応における  $A_y$  の  $J$ -dependence:

福永拓, 野呂哲夫, 若狭智嗣, 坂口聡志, 野副貴博, 安田淳平, 民井淳, 三木謙二郎,  
伊藤健

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

LAS スペクトロメータの高分解能化と  $^{44}\text{Ca}$  の  $(p, 2p)$  測定について:

野副貴博, 野呂哲夫, 坂口聡志, 福永拓, 三木謙二郎, 伊藤健, 民井淳

第 118 回日本物理学会九州支部例会 (2012 年 12 月、琉球大学)

天体核反応  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O} +$  全断面積の  $E_{\text{cm}}=1.2\text{MeV}$  での測定:

兒玉大輔, 藤田訓裕, 山口祐幸, 三鼓達輝, 岩崎諒, 成清義博, 濱元健一, 田尾成章,  
神ゆりえ, 伴忠彦, 寺西高, 相良建至

第 118 回日本物理学界九州支部例会、琉球大学 2012 年 12 月 8 日

天体  $\text{C}^+$  反応実験のための He 標的性能評価と He ガス循環系:

成清義博, 相良建至, 藤田訓裕, 山口祐幸, 三鼓達輝, 兒玉大輔, 岩崎諒, 濱元健一,  
田尾成章, 神ゆりえ, 伴忠彦, 寺西高

第 118 回日本物理学界九州支部例会、琉球大学 2012 年 12 月 8 日

天体  $\text{C}^+$  反応実験のための TOF 測定装置の開発:

濱元健一, 相良建至, 藤田訓裕, 山口祐幸, 三鼓達輝, 岩崎諒, 成清義博, 田尾成章,  
神ゆりえ, 伴忠彦, 寺西高

第 118 回日本物理学界九州支部例会、琉球大学 2012 年 12 月 8 日

$\text{D}(n,p)nn$  を用いた  $nn$  共鳴探索:  $E^-$   $E-E$  での BG 低減:

前田裕史, 相良建至, 石橋和久, 木村駿太郎, 田中翔基, 大中貴恵

第 118 回日本物理学界九州支部例会、琉球大学 2012 年 12 月 8 日

10MeV 近傍での 3 核子系反応断面積異常究明の現状:

相良建至, 石橋和久, 木村駿太郎, 田中翔基, 前田裕史, 大中貴恵  
第 118 回日本物理学界九州支部例会、琉球大学 2012 年 12 月 8 日

170MeV における錫同位体からの  $(p, n)$  IAS 反応:

坂口聡志

日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学, (2013 年 3 月).

$^{208}\text{Pb}$  のアンチアナログ双極子共鳴測定による対称エネルギー項及び中性子スキン厚の研究:

安田淳平

第 68 回日本物理学会年次大会 (2013 年 3 月、広島大学)

pd 分解反応 Space Star Anomaly の研究: 正 3 角形条件の必要性:

大中貴恵, 相良建至, 石橋和久, 木村駿太郎, 田中翔基, 前田裕史, 福永拓, 安田淳平

日本物理学会 第 68 回年次大会 (広島大学 2013 年 3 月)

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) 「恒星温度での炭素 - ヘリウム核融合反応率測定」(藤田訓裕 2010 ~ 2012 年度)

若手研究 (B) 「アイソスピン一般化陽子弾性散乱を用いた中性子スキン厚測定法の開発」(坂口聡志 2010 ~ 2012 年度)

新学術領域研究 (研究領域提案型)

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

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)

#### 学部4年生卒業研究

- (1) 稲田拓真 (指導教員、若狭智嗣)  
アイソパリックアナログ状態を用いた質量公式のクーロン項及び核半径の測定
- (2) 牛尾国久:(指導教員、寺西高)  
双極電磁石の磁場測定
- (3) 衛藤竜一:(指導教員、野呂哲夫)  
箱崎キャンパスおよび伊都キャンパスの AMS ビームラインでのビーム計算
- (4) 神ゆりえ:(指導教員、相良建至)  
天体核反応実験のための標的 He ガス循環系の改造と性能評価
- (5) 田尾成章:(指導教員、相良建至)  
標的 He ガス循環系の構築と He 回収率
- (6) 高尾秀明:(指導教員、野呂哲夫)  
イオンチェンバにおける充填ガスの組成によるビーム飛程の変化の測定
- (7) 成清義博:(指導教員、相良建至)  
 ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})$  実験における標的付近からの  ${}^{16}\text{O}$  バックグラウンド
- (8) 西尾康貴:(指導教員、若狭智嗣)  
アイソパリックアナログ状態を用いた質量公式のクーロン項及び核半径の測定
- (9) 濱元健一:(指導教員、相良建至)  
数 MeV の  ${}^{16}\text{O}/{}^{12}\text{C}$  識別のための TOF 測定装置開発
- (10) 林慶太:(指導教員、寺西高)  
四重極電磁石の開発と制御
- (11) 伴忠彦:(指導教員、相良建至)  
標的 He ガス循環系の漏れ対策と He 温度対策

#### 修士論文

- Maria Theodora Rosary:(指導教員、相良建至)  
Improvement of Acceleration-Deceleration Method to Obtain High-Intensity Beam for Astro-Nuclear Experiments (H24年9月修了)
- 岡部貴博:(指導教員、野呂哲夫)  
九大タンデム AMS システムにおけるビームトランスポートの最適化とイオン光学監視・調整システムの開発
- 木村駿太郎:(指導教員、相良建至)  
ビーム垂直面内における  $pd$  分解反応断面積異常の探索
- 田中翔基:(指導教員、相良建至)

$nd$  分解反応を用いた di-neutron 探索 ~手法開発と予備実験~

野副貴博:(指導教員、野呂哲夫)

$(\bar{p}, 2p)$  反応による Ca 核内陽子平均エネルギー準位測定

三鼓達輝:(指導教員、相良建至)

$E_{c.m.} = 1.2$  MeV での  ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O}+$  反応予備測定と He 循環系開発

山足麻耶:(指導教員、野呂哲夫)

AMS 測定用位置検出型マルチアノードイオンチェンバの開発

山口祐幸:(指導教員、相良建至)

天体核反応  $\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} +$  測定のための  ${}^{16}\text{O}/{}^{12}\text{C}$  分離カウンター開発

## 博士論文

劉盛進 (Liu Shengjin):(指導教員、相良建至)

Charge state distribution of  ${}^{16}\text{O}$  from  ${}^4\text{He}({}^{12}\text{C}, {}^{16}\text{O})\gamma$  of astrophysical interest

九大理・委託研究生 (2010年11月~2012年2月)

学位取得(神戸大学、2012年9月)

## 学外での学会活動

野呂哲夫: 日本物理学会 実験核物理領域代表、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  
東京大学原子核科学センター評価委員会委員

相良建至: The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems  
in Physics (FB20, 2012.8.20-25) 議長  
Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB)  
国際助言委員 (2004年4月~)

若狭智嗣: 大阪大学核物理研究センター研究計画検討専門委員会委員

寺西高: 理化学研究所 RI ビームファクトリー (RIBF) ユーザーグループ委員 (UEC)  
(2009年10月~2012年9月)

## その他の活動と成果

教員免許講習「現代物理学二講」担当 (若狭智嗣)

体験入学・実験「物質を透過する粒子線」2013年4月3日 (寺西高)

体験入学・実験「身の回りの放射能を調べよう」2013年4月3日 (藤田訓裕)

# 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    中村有花    野口慎平

《 大学院 修士課程 》

原諒平    松本幸介    山田一雄    井上雅郎

山北知史

《 学部 卒業研究生 》

魚岡勇佑    岡次聡    山口裕士    森本 光

## 担当授業

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

## 研究・教育目標と成果

[I] 非平衡系・複雑系を中心とした物性理論(松井淳、吉森明)

### 1. 過冷却液体、ガラス転移の数値的、理論的研究

(a) 3次元単成分液体のガラス転移(松本幸介、松井淳)

LJG ポテンシャルモデル粒子の単成分系で分子動力学シミュレーションを行った。低い圧力条件下で急冷したガラスは通常よりも密度が低いことが分かった。通常のガラスとこの低密度のガラスの構造比較を行い、相互角錐構造の多寡に違いがあると結論付けた。

(b) GPGPUを用いた高速シミュレーションの開発(松本幸介、松井淳):GPGPUを利用して、分子動力学シミュレーションを超並列化して、約30倍高速なプログラムを作成した。

(c) ジャンプ待ち時間分布の対数発散(松井淳)

ソフトコア系の分子動力学シミュレーションを用いて、ガラス中の分子のジャンプ拡散について待ち時間分布がベキ-2のロングテールを示す結果を論文にまとめた。待ち時間分布の空間相関について、相関長の待ち時間依存性を計算した。

2. 揺動散逸関係式の破れの表現と原田佐々公式(山田一雄、吉森明)

非平衡定常状態の理解を深める足掛かりとして、ランジュバン系における揺動散逸関係式の破れの一般的な表現を導いた。この表現から原田佐々公式と呼ばれる非平衡定常状態の公式が直ちに得られることを示すことができた。また、場のランジュバンモデルと呼ばれる系にもこの公式が拡張できることが分かった。来年度は、より一般的な系において同公式が成立するかどうかを調べる。

3. Bacteria ratchet motor の解析(魚岡勇佑、吉森明)

「Bacteria ratchet motor」は、バクテリア(熱非平衡)溶液内に微小な歯車を浸すことで、歯車が自発的に一定方向に回転することを示した研究である。熱平衡系との違いを明らかにするために、1次元の簡単なモデルを使って数値計算を行いバクテリアから取り出される仕事の原因を解析した。解析から、バクテリアが一定方向に進みつ続ける傾向が重要なのが分かった。その解析結果から分布関数を計算して、バクテリアと歯車、溶液の位置関係を明らかにした。

[II] 化学物理の理論的研究(吉森明)

1. 溶媒中での大きな粒子の拡散の研究(中村有花、吉森明)

大きな溶質粒子周りの溶媒和構造を考慮しながら、溶質の拡散係数を簡単に計算できる理論を摂動展開を用いて定式化した。この理論を引力のある系に適用した結果、摂動を用いていない、より精度の高い理論の計算結果とよく一致した。摂動理論が大きな溶質の拡散係数の計算に非常に有効であることが明らかになった。

2. 穴中の粒子の平衡状態とダイナミックスの研究(原諒平、吉森明)

シリンダー状の形をした GroEL は GroEL の中に変性したタンパク質をいれ、変性したタンパク質を修復する。GroEL の中に変性した蛋白質に入るダイナミックスについて、積分方程式理論とフォッカープランク方程式を用いた理論の定式化を行い、蛋白質の確率密度分布の時間変化を明らかにした。

3. 熱力学摂動論と密度汎関数理論を使った固液相転移の研究(末松安由美、吉森明)

粒子間ポテンシャルの斥力部分に MWDA、引力部分は摂動的に扱う熱力学的摂動論を、レナード・ジョーンズ・ポテンシャル系に応用した。また、与えられたパラメーターにおいて fcc, bcc および液相のうち最も安定となる相を決定した。このとき、結晶化が起こる圧力を求め相互作用との関係を明らかにした。来年度は枯渇効果に同じ方法を応用して、相図を明らかにする。

4. マイクロレオロジーの数値的研究(井上雅郎、吉森明)

マイクロレオロジーでは、複雑流体の内部で観測用の粒子を動かし、その複雑流体の力学的性質を調べる。この時、粒子を動かす速度と粒子が複雑流体から受ける抵抗力との関係が重要となる。本研究では、球形と円柱形の粒子をコロイド溶液中で動かす場合を考え、コロイドの濃度が薄い極限において、上記の関係を数値計算から求めた。

5. アインシュタインの粘度式の拡張(山北知史、吉森明)

アインシュタインの粘度式は希薄溶液の粘度に関する式であり、この粘度式は溶質が巨視的な大きさで、流体力学を使えるときに成立する。また、溶媒は一樣に分布していると仮定している。そこで、溶質周りの溶媒和の効果を考慮して、溶媒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。

6. 単純液体における密度場の数値計算(岡次聡、吉森明)

単純液体における密度場の時間発展を動的密度汎関数理論を用いて数値的に計算した。そこから多粒子効果が溶媒の緩和の過程でどのように現れるのか、また溶質が緩和にどのような影響を与えるのかを調べた。

[III] 社会物理学の理論的研究(松井淳、吉森明)

1. 自己平均性の破れと壺モデル(野口慎平、吉森明)

壺モデルの球を増やすルールについて、確率的な重みを加えた拡張モデルがある。拡張モデルの自己平均性の破れを、数値シミュレーションおよび連続近似を用いた解析的手法の両方で調べた。

2. 複雑ネットワークの研究(森本光、松井淳、吉森明)

高いクラスター係数をもつスケールフリーネットワークをつくるため、新しいモデルを提案した。BA モデルおよび適応度モデルに、共通のリンクをもつノードに必ずリンクをつくるように改良を加え、数値的にネットワークの構造を詳しく調べた。特にノードの数を無限遠にしてもクラスター係数が0でない有限の値になることを示した。

《原著論文》

A Theory of Hole Transfer in DNA,

Takaki Himeno, Akira Yoshimori,

*Journal of the Physical Society of Japan*, **Vol. 81** 093801 (2012).

New macroscopic expression connecting energy dissipation with violation of fluctuation response relation in colloidal many-particle systems,

Akira Yoshimori and Takahiro Harada

*Journal of the Physical Society of Japan*, **Vol. 81** 094002 (2012).

Perturbation theory of large-particle diffusion,

Yuko Inayoshi, Akira Yoshimori, and Ryo Akiyama

*Journal of the Physical Society of Japan*, **Vol. 81** 114603 (10 pages) (2012).

Molecular dynamics study of fast dielectric relaxation of water around a molecular-sized ion

Yoji Kubota<sup>1</sup>, Akira Yoshimori, Nobuyuki Matubayasi, Makoto Suzuki, and Ryo Akiyama

*The Journal of Chemical Physics*, **Vol. 137**, 224502 (2012).

A Time Dependent Density Functional Theory of Polarization Relaxation under External fields,

Y. Uematsu, and A. Yoshimori

*Journal of the Physical Society of Japan*, **Vol. 82** 013001 (4 pages) (2013).

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

Toru Ekimoto, and A. Yoshimori, Takashi Odagaki, and Takashi Yoshidome

*Chemical Physics letter*, 印刷中.

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

T. Minoguchi<sup>1</sup>, D.E. Galli, M. Rossi and A. Yoshimori

*Journal of Physics: Conference Series*. 印刷中

《Proceedings》

”Application of Phase Transition Theory to a Glass-Forming System”

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

J. Phys. Soc. Jpn **81** (2012) SA020

”A Perturbation Theory for Friction of a Large Particle Immersed in a Binary Solvent”

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

J. Phys. Soc. Jpn **81** (2012) SA026

## 講演

### 《 海外での講演 》

「Perturbation theory of large particle diffusion」

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

”Berkeley 2013 Mini Statistical Mechanics Meeting” Berkeley、1月11-13日,2013

### 《 国内での講演 》

「Slip and Stick boundary conditions for diffusion coefficient and radial distribution function」

中村有花, 吉森明, 秋山良

”第6回 Mini-Symposium on Liquids”九州大学、6月23日,2012

「A solvent effect on insertion path of a solute particle into a cylindrical vessel」

原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明

”第6回 Mini-Symposium on Liquids”九州大学、6月23日,2012

「拡散係数における Slip、Stick 条件と動径分布関数」

中村有花, 吉森明, 秋山良

”物理学会 2012 年秋季大会”横浜、9月18日-9月21日,2012

「拡散係数における枯渇効果」

中村有花, 吉森明, 秋山良

”第2回ソフトマター研究会”九州大学、9月24日-9月26日, 2012

「溶液中で狭い空間に溶質が入るときの経路」

原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明

”2012年度日本物理学会秋季大会”横浜、9月18日-9月21日,2012

「複合状態のエントロピー増大則と力学」  
吉森明”2012年度日本物理学会秋季大会”横浜、9月18日-9月21日,2012

「分子動力学シミュレーションで探る溶質分子周りの水の速い誘電緩和」  
久保田陽二、吉森明、松林伸幸、鈴木誠、秋山良”2012年度日本物理学会秋季大会”横浜、9月18日-9月21日,2012

「シャペロニンに対する蛋白質挿入のダイナミクス」  
原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明  
”第2回ソフトマター研究会”九州大学、9月24日-9月26日,2012

「粒子間相互作用に極小を2つ持つ系における固液相転移の研究」  
末松安由美、吉森明、才木将史、松井淳、小田垣孝  
”第2回ソフトマター研究会”九州大学、9月24日-9月26日,2012

「溶質分子まわりで見られる水の速い緩和成分」  
久保田陽二、吉森明、松林伸幸、鈴木誠、秋山良  
”第2回ソフトマター研究会”九州大学、9月24日-9月26日,2012

「GPU-Accelerated MD Simulation for Short-Range Particle Interaction」  
松本幸介、松井淳  
”CCP2012”神戸、10月14日-10月18日,2012

「溶質が狭い空間に入るダイナミクスにおける溶媒のエントロピー効果」  
原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明  
”第35回溶液化学シンポジウム”東京都新宿区、11月12日-11月14日,2012

「イオン近傍で見られる水の速い誘電緩和のシミュレーション」  
久保田陽二、吉森明、松林伸幸、鈴木誠、秋山良  
”第35回溶液化学シンポジウム”東京都新宿区、11月12日-11月14日,2012

「大きな粒子の拡散における摂動理論」  
中村有花、吉森明、秋山良  
”第26回分子シミュレーション討論会”九州大学、11月26日-11月28日,2012

「溶媒の効果を含めた溶質のダイナミクス：シャペロニンへの蛋白質の挿入過程」  
原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明  
”第 26 回分子シミュレーション討論会”九州大学、11 月 26 日-11 月 28 日, 2012

「LJG ポテンシャル系におけるガラスの MD シミュレーション」  
松本幸介、松井淳  
”第 26 回分子シミュレーション討論会”九州大学、11 月 26 日-11 月 28 日, 2012

「分子動力学シミュレーションで探る溶質分子周りの水の速い誘電緩和」  
久保田陽二、吉森明、松林伸幸、鈴木誠、秋山良  
”第 26 回分子シミュレーション討論会”九州大学、11 月 26 日-11 月 28 日, 2012

「シャペロニンの中央になぜ蛋白質が入るのか」  
原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会”沖縄、12 月 8 日,2012

「原田佐々公式が成り立つ時間領域の拡張」  
山田 一雄, 吉森 明  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会”沖縄、12 月 8 日,2012

「二つの極小をもつ粒子間相互作用が相転移に及ぼす影響」  
末松安由美, 吉森明, 才木将史, 松井淳, 小田垣孝  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会”沖縄、12 月 8 日,2012

「数理モデルによるマイクロレオロジーの研究」  
井上雅郎、吉森明  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会” 沖縄、12 月 8 日, 2012

「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、吉森明  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会” 沖縄、12 月 8 日, 2012

「誘電分光測定でみられるハイパーモバイル水とシミュレーションで見られる速い誘電緩和」  
久保田陽二、吉森明、松林伸幸、鈴木誠、秋山良  
”第 118 回日本物理学会九州支部例会” 沖縄、12 月 8 日, 2012

「原田佐々公式のオーバーダンプト極限とアンダーダンプト極限の関係」

山田 一雄, 吉森 明

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 29 日, 2013

「極小を二つ持つ相互作用ポテンシャルを用いた相転移の研究」

末松安由美, 吉森明, 才木将史, 松井淳, 小田垣孝

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 29 日, 2013

「大きな粒子の拡散における摂動理論-摂動を使わない理論との比較-」

中村有花, 吉森明, 秋山良

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 26 日-3 月 29 日, 2013

「低密度ガラス-高密度ガラスの転移」

松本幸介、松井淳

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 26 日-3 月 29 日, 2013

「ガラス転移の間欠的拡散」

松井淳

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 26 日-3 月 29 日, 2013

「マイクロレオロジーの数値的研究」

井上雅郎、吉森明

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 26 日-29 日, 2013

「アインシュタインの粘度式の拡張」

山北知史、吉森明

”物理学会 2012 年秋季大会” 横浜、9 月 18 日-9 月 21 日, 2012

「溶質の溶媒和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、吉森明

”物理学会第 68 回年次大会” 広島、3 月 26 日-3 月 29 日, 2013

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

新学術領域研究(計画)「水を主役とした ATP エネルギー変換」 “溶質分子が作り出す水の状態変化と水からの反作用” (研究代表者: 秋山良)(継続)

学部 4 年生卒業研究

魚岡勇佑:(指導教員、吉森明): Bacteria ratchet motor の解析

岡次聡:(指導教員、吉森明): 単純液体における動的密度汎関数理論を用いた密度場の数値計算

山口裕士:(指導教員、松井淳): 過冷却液体の動的不均一性

森本光:(指導教員、松井淳、吉森明): 新しい成長するネットワークモデルの提案とその解析

修士論文

原諒平:(指導教員、吉森明): 生命現象における水の役割 ~ 溶質が狭い空間に入るときのエントロピー効果 ~

松本幸介:(指導教員、松井淳): 三次元単成分系の熱力学的異常

山田一雄:(指導教員、吉森明): 非平衡定常状態における揺動散逸関係の破れ

その他の活動と成果

1. 開学記念行事「相対論シミュレーター」出展
2. オープンキャンパス
3. 高校生体験入学「相対性理論シミュレーター」実習
4. 分子シミュレーション討論会の開催

# 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 》

齋藤 拓也      中島 千尋

《 大学院 博士課程 》

近藤 洋一郎

《 大学院 修士課程 》

倉本 龍      水落 憲一

《 学部 卒業研究生 》

武久 悟之      中尾 幸      パク ドンヒョン

## 担当授業

中西： コアセミナー（全学） 物理学最前線、量子力学 I 補修  
統計物理学 I、相転移の統計力学

野村： 力学基礎・同演習（全学） 一般相対論、量子統計物理学（大学院）

坂上： 統計力学 I 演習、物理学基礎演習

## 研究・教育目標と成果

1. ハミルトンヤコビ法による分子マスター方程式の解法 (中西、坂上) : 化学反応系の分子揺らぎに対するマスター方程式の解法としてハミルトンヤコビ法が知られているが、化学振動子系に対して適用可能な近似解法を得た。具体的に、Brusselator に対して分布関数を求め、Monte Carlo シミュレーションの結果とよく一致することを示した。(都城高専の若生との共同研究)
2. 異方的  $S=2$  反強磁性量子スピン鎖の基底状態 (野村) :  $S=2$  反強磁性 XXZ 鎖に 1 イオン異方性を加えたモデルについて研究したレベルスペクトロスコピーを用い BKT 転移の起きる境界を調べた。またひねり境界条件法を用い Gaussian 転移線 (2 次相

転移)を調べた。その結果、いわゆる Haldane 相と Large-D 相は ( $S=1$  の場合と異なり)つながっており、中間に 中間-D 相が現れることが分かった。また、Neel 相との境界について考察し、2次転移から1次転移に移行することを予想した。(利根川(神戸大)、岡本(東工大)、中野(兵庫大)、坂井(Spring-8)、鍋木(神戸大))との共同研究)

3. フラストレートしたスピン系の整合-非整合遷移(野村): フラストレートしたスピン系の整合-非整合遷移のグリーン関数について調べ、エネルギースペクトルとの関連について考察した。具体的には特定の波数でのグリーン関数の時間相関関数からエネルギーの分散曲線を考察した。グリーン関数の時間相関には単純な振動項だけでなく、減衰項が現れることがわかった。特定の波数では減衰項が消失する。
4. 生体高分子鎖の動的応答と伸長のダイナミクス(坂上): 平衡状態にある高分子鎖の片端を強い力で引っ張り始めると、大変形を伴う特徴的な過渡的過程の後に定常状態に落ち着く。この、過渡的過程と定常状態をラウス模型とスケーリング理論により解析した。定常状態において、力と伸張の関係(動的伸長則)、力と速度の関係(動的摩擦則) 定常形状を導出した。過渡的過程において、鎖に沿っての張力の伝播により次々と鎖の変形が起こることを指摘し、これを記述する動的スケーリング則を導出した。また、過渡的過程において、セグメント濃度場の従う非線形方程式を導出し、その解析から上記スケーリング則を再導出した。(齋藤(現京大福井センター)、和田(立命館))との共同研究)
5. ラベルモノマーの記憶効果と異常拡散(坂上): 高分子中のあるモノマーに着目すると、そのダイナミクスは異常であることは古くから知られている。このラベルモノマーのダイナミクスを記述する一般化ランジュバン方程式を、一般の微視的な鎖のモデルから導出し、以下の点を議論した。i) 鎖の連結性による粘弾性に由来する負の記憶項の存在(sub-diffusionの要因)。ii) 弱い力で方端を引っ張った場合の異常ドリフトと揺らぎ(線形応答)。iii) 強い力で方端を引っ張った場合の異常ドリフトと揺らぎ(非線形応答)。
6. 高分子鎖の輸送過程における時間分布(齋藤、坂上): ランダムコイル状の高分子鎖に、突然、局所的な駆動力が働いたとき、即座に鎖全体は応答しない。その直後は鎖の一部だけが応答し、張力の伝播とともに、この動いているドメインは成長していく。張力は鎖に沿って伝播していくが、初期形状は、ランダムな形状をとっている。そのため、張力の伝播経路は初期形状に依存し確率的なものになる。本研究では、確率的な張力伝播を議論し、輸送過程の時間分布のスケーリング指数を求めた。
7. 環状高分子溶液の相分離現象の解析(中島、坂上): 高分子濃厚溶液の物性は、各々の

分子のトポロジー的特徴に大きく依存するが、環状高分子溶液の物性はトポロジー拘束の効果を有効排除体積として記述する坂上の理論が成功している。この理論を、鎖長の異なる2種類の高分子の混合溶液の相分離現象に適用し、その相図を求めた。その結果、線形環状混合溶液は線形線形混合溶液と比べ、相溶性を示す領域が大きく広がる(パラメータ強度で10倍以上)ことが示唆された。

8. 素因数分解問題の統計力学的定式化(中島): 計算機科学の分野において、素因数分解の問題の計算量複雑性は、未だ明確に理解されていない。近年、相転移などの統計力学的現象が計算複雑性の変化と関係があることが示唆されている。素因数分解問題を統計力学のモデルで定式化し、統計力学の視点から計算複雑性に焦点を当てた。その結果、素因数分解問題の複雑性を反映すると見られる特徴を見出した。
9. 粉体堆積中の振動モード解析(倉本、中西、坂上): 離散要素法(DEM)を用いて作成した2次元の粉体堆積構造を用いて、線形ばねと質点の系の振動モードの解析を行った。簡単のために、振動の方向は平面に垂直な $z$ 軸方向とした。振動モード解析の結果、高い振動数をもつモードで振幅の局在化が見られた。粉体堆積構造が疎であるほど、局在化が見られる周波数領域が広がることが分かった。
10. 揺らぐ膜の性質(水落、坂上、中西): 1次元のポリマーに対し、それを2次元に拡張した場合、構造のスケーリング則が1次元ポリマーと異なることが知られている。そこで膜のモデルの1つであるテザー膜(tethered membrane)を用いて数値計算実験を行い、特にその動的な性質について調べた。その結果、膜面の向きの緩和時間がシステムサイズのべき乗に比例することを見出した。

## 発表論文

### 《原著論文》

1. Hiizu Nakanishi, Shin-ichiro Nagahiro, and Namiko Mitarai, Phys. Rev. E 85, 011401 (2012) [11 pages]. “Fluid dynamics of dilatant fluids”.
2. Namiko Mitarai, and Hiizu Nakanishi, Eur. Phys. J. Special Topics 204 (2012) 5-17. “Granular flow: Dry and wet”
3. T. Sakaue, T. Saito and H. Wada, Phys. Rev. E, 86 (2012) 011804:1-8. “Dragging a polymer in a viscous fluid: Steady state and transient”
4. T. Sakaue, Phys. Rev. E, 87 (2013) 040601(R):1-4. “Memory Effect and Fluctuating Anomalous Dynamics of a Tagged Monomer”
5. Takuya Saito and Takahiro Sakaue, Phys. Rev. E 85, 061803 (2012). “Process time distribution of driven polymer transport”
6. Chihiro H Nakajima and Takairo Sakaue, Soft Matter, 9 (2013) 3140-3146. “Localization and size distribution of a polymer knot confined in a channel”

### 《Proceedings》

### 《その他の論文》

- 坂上貴洋、齋藤拓也, 日本物理學會誌 67(10), 705-709, 2012-10-05.  
「紐状分子の非平衡ダイナミクス：細孔通過現象を中心に」

## 講演

### 《海外での講演》

1. Hiizu Nakanishi, Takahiro Sakaue, and Ryota Nishino “DNA Dynamics and Life Strategies”, 12-18 August, 2012. C-MOL Summer school, NBI, Copenhagen university at Krogerup Hoejskole, Humlebaek, Denmark, ”Transcription fluctuation effects on biochemical oscillations”
2. T. Sakaue, CECAM workshop ”Polymet Translocation through Nanopores”, 2012/9/17 (Mainz, Germany) ”On the distribution of translocation time” (invited talk).
3. T. Sakaue, ”Statistical Mechanics: Interplay of Theory and Computer Simulations”, 2012/9/19 (Mainz, Germany) ”Statistics of Ring Polymer Melts and Solutions” (poster) .
4. T. Sakaue, ”APS March meeting 2013”, 2013/3/20 (Baltimore, USA), “ Nonequilibrium Dynamics of Polymer Translocation ”(invited talk).

《 国内での講演 》

1. 基研研究会「非平衡系の物理 - その普偏的理解を目指して」, 2012年8月1-4日, 京都大学基礎物理学研究所
  - (a) 中西 秀、若生潤一、坂上貴洋、“Hamilton-Jacobi 法による化学振動の分子揺らぎ解析”
  - (b) 坂上貴洋、蓬田光樹、中西秀、“二次元環状高分子鎖の圧力による形態変化”
  - (c) 若生潤一、北岸宏之、坂上貴洋、中西秀、“重力下で励起される1次元粉体系における非弾性コラプス”
  - (d) 永弘進一郎、中西秀、御手洗菜美子、“ダイラタント流体のずり粘化振動”
  - (e) 中島千尋、坂上貴洋、“1次元的に閉じ込められた高分子結び目の局在現象”
2. 坂上貴洋、つくばソフトマター研究会 2012 2012/8/30 (東海)、「細孔を通過する高分子鎖のダイナミクス」(招待講演)
3. 日本物理学会 2012年秋季大会、2012年9月18日~21日、於：横浜国立大学
  - (a) 永弘進一郎、中西秀、御手洗菜美子、“ダイラタント流体のずり粘化振動の実験観測”
  - (b) 野村 清英、“整合-非整合遷移とエネルギー分散曲線”
  - (c) 利根川孝、岡本清美、中野博生、坂井徹、野村清英、鍋木誠、“異方的 S=2 XXZ 反強磁性鎖の基底状態相図：四次の一軸性オンサイト異方性の効果 II”
  - (d) 齋藤拓也、坂上貴洋、“高分子鎖輸送過程の時間分布:分布の広がりスケーリング”
  - (e) 中島千尋、坂上貴洋、“環状高分子ブレンドの相分離現象の平均場理論”
4. 『第2回ソフトマター研究会』、2012/9/24-26、於 九州大学 西新プラザ、
  - (a) 中島千尋、坂上貴洋、“トポロジー効果を考慮した平均場理論による環状-線形高分子混合溶液の相分離”(ポスター)
  - (b) 坂上貴洋、“紐状分子の非平衡ダイナミクス：張力伝播と大変形”(招待講演)
5. Chihiro Nakajima 『4th YSM-SPIP in Sendai』 2012/12/14-16, at Tohoku University, “Statistical mechanical formulation and simulation of prime factorization of integers”(Poster)
6. Chihiro Nakajima 『Quantum Information via Statistical Mechanics - Counting Steps toward Realization -』, 2013/1/7, at Kyoto University, “Prime factorization of integers with advanced stochastic algorithm on classical computer”(Oral)
7. 坂上貴洋、高分子基礎研究会 2013 2013/1/26 (福山)、“Statistical Physics of Ring Polymer Melts”(口頭)
8. ”Self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter”, 2013/2/19 (Kyoto).
  - (a) T. Sakaue, ”On memory effect and anomalous dynamics in polymer”(poster).
  - (b) Chihiro Nakajima, Takahiro Sakaue, “Mean field theoretical study of polymer blends with topological constraints”(Poster)

9. 日本物理学会 第 68 回年次大会, 於: 広島大学, 2013 年 3 月 26 日 ~ 29 日

(a) 中島千尋, “交換モンテカルロ法による素因数分解”

#### 外部資金

##### 《 文部省科学研究費補助金 》

1. 野村 清英基盤 (C) 「量子スピン鎖における新奇相の精密探索とレベルスペクトロスコピー」 (研究分担者)
2. 坂上貴洋 基盤研究 (B) 「非相溶性ブレンドの電気粘性効果」 (研究代表)

##### 《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

- 坂上貴洋、科学技術振興機構 さきがけ、領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」(西浦廉政)「揺らぐ結び目構造の数理」
- 齋藤拓也、平成 24 年度九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト D3 タイプ「生体内における高分子ダイナミクスの解明に向けた統計物理学的解析手法の構築」

#### 学部 4 年生卒業研究

1. 武久 悟之「非対称単純排他過程 (ASEP) による非平衡定常状態の記述」
2. 中尾 幸「砂丘におけるパターン形成のセル模型」
3. パク ドンヒョン「ブラウン粒子の First Passage 問題」

#### 学外での学会活動

1. 中西秀、日本物理学会九州支部会 委員、日本物理学会 物性委員会幹事
2. 野村清英、日本物理学会 会誌編集委員

# 凝縮系理論

## 研究室構成員

河合伸 准教授      成清修 准教授

《 大学院 修士課程 》

新垣亮      佐藤大介      中村駿也

《 学部 卒業研究生 》

原口拓也

## 担当授業

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

## 研究・教育目標と成果

トンネル微分電導率スペクトルにおける染み出しの効果 (河合伸、新垣亮)

STM 装置を使った、トンネル微分電導率スペクトルは、表面局在電子状態の局所状態密度を直接測定できるものと考えられて、広範な表面で実験が行われている。しかし、現実の実験結果を見ると、局所状態密度に指数関数ファクターをかけたものがトンネル微分電導率スペクトルと対応しているものもある。

我々は、昨年度までに、量子散乱理論を用いて、この指数関数ファクターは、表面電子状態の真空への染み出しに関連したものであり、STM チップ先端電子状態の真空への染み出しに関連したものではないことを明らかにしている。

今年度研究を進めて、トンネル微分電導率スペクトルに指数関数ファクターが出現する条件をあきらかにした。具体的な実験結果を調べることにより、理論的にもとめた指数関数ファクター出現条件が妥当であることを示した。

表面電子状態の真空への染み出しには、エネルギー依存性がある。このエネルギー依存性について、一次までの展開を行い、Ge(001) 表面で行われたトンネル微分電導率スペクトルと比較した。STM チップ先端温度の印可電圧依存性を仮定し、実験結果を良く再現する展開係数を求めた。しかし、その係数は、異常に大きな値となり、一次までの展開では不十分であるこ

とが解った。

#### Ge(111) 表面 Sn 吸着系の置換型 Ge 欠陥 (河合伸)

Ge(111) 表面 Sn 吸着系は、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造を呈するが約 210K 付近で  $3 \times 3$  構造に相転移する。昨年度までの研究で、この相転移を研究するために Sn の自由度をイジング的に扱ったモデルハミルトニアンを開発した。その結合定数を第一原理計算により決定している。このモデルハミルトニアンをもとに、モンテカルロシミュレーションを行った結果は相転移温度が約 170 K であると示している。

実験では、220 K 付近の相転移温度が報告されている。Ge(111) 表面 Sn 吸着系には、Ge の置換型欠陥があり、その欠陥配置をもとに、Ge 置換欠陥が  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造を安定化することが仮説として提唱されてきた。

大きなユニットセルでの第一原理計算を行い、Ge 置換型欠陥の安定性を調べた。Ge 置換型欠陥の安定性を調べた。 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造には、同等な 3 つのドメインが存在する。Ge 置換型欠陥により、3 つの同等なドメインが 2 つの安定ドメインと 1 つの準安定ドメインに分化されることを示した。Ge 置換型欠陥存在しても、Sn の局所的な構造は大きく 2 つに分類され、イジング的な性質を保持することを明らかにした。

この結果は、Ge 置換型欠陥の存在が  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造を安定化することを示していて、従来からの仮説の正当性を示すものである。

#### 情報から見た生命の起源と進化の研究/教育 (成清修、西尾朋晃)

本テーマに関して今年度は、研究成果の出版を目標とし、達成した。

オリゴマーワールド仮説を提唱し、形状空間を舞台にした計算機実験をもとに、遺伝子によって制御された代謝サイクルの成立として、生命起源を論じた。

#### 原始細胞の情報処理システムの研究/教育 (成清修、津田隼)

本テーマに関して今年度は、研究成果の出版を目標としていたが、後続の修士院生の研究にリンクして発展したため、未だ出版できていない。出版作業は来年度の目標とする。

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

#### オートポイエシス集団の進化能の研究/教育 (成清修、松藤弘教)

本テーマに関して今年度は、学会発表および研究成果の出版を目標としていた。学会発表は達成したが、出版作業については来年度の目標とする。

オートポイエシスと生命を同一視する考えがあるが、オートポイエシス系は進化能を持たな

いので生命とは言えない。我々はオートポイエシスに認知機能を実装して細胞に進化能を持たせた。具体的には脂質二重膜に機能性タンパク質を埋め込み、環境との共進化を可能にした。これらの細胞集団の進化シミュレーションを行った。

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

本テーマに関して今年度は、修士院生の研究・教育として軌道に乗せることを目標としていた。修士論文としてまとめ、来年度は、学会発表および研究成果の出版を目標とする。また、後続の修士院生の研究・教育として発展させることを目標とする。

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

熱起電力の超伝導ゆらぎ理論の研究 (成清修)

本テーマに関して今年度は、連続した解説の公表を目標としていたが、派生した次項の発展を優先させたので、Ward 恒等式についてまとめた arXiv1 編に留まった。来年度も続きを公表することを目標とする。

熱起電力に対する超伝導ゆらぎの効果については、長年に渡り誤った論文が発表され続けている。我々(大阪大学グループとの共同研究)は、熱流の定義から理論を見直すことを始め、保存則を満たす正しい定式化を完成した。特に、種々の Ward 恒等式の発見は、強固な基礎となった。

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、突発的に研究が進展し、arXiv に 2 編をアップした。

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。

発表論文

《 原著論文 》

Origin and diversification of a metabolic cycle in oligomer world:

Tomoaki Nishio, Osamu Narikiyo,

BioSystems, **111** (2013) 120.

《 その他の論文 》

Revival of Single-Particle Transport Theory for the Normal State of High-Tc Superconductors: I. Relaxation-Time Approximation:

Osamu Narikiyo, arXiv:1204.5300.

Revival of Single-Particle Transport Theory for the Normal State of High-Tc Superconductors: II. Vertex Correction:

Osamu Narikiyo, arXiv:1301.5996.

Ward identities for extended objects:

Osamu Narikiyo, arXiv:1212.6484.

Origin and diversification of a metabolic cycle in oligomer world:

Tomoaki Nishio, Osamu Narikiyo, arXiv:1209.4424.

講演

《 国内での講演 》

Adaptation to and Co-evolution with environment of primitive cells with self-creating functional membrane:

松藤弘教、成清修

第 35 回日本分子生物学会年会 (2012 年 12 月 11 日)

学部 4 年生卒業研究

原口拓也 : (指導教員、河合伸) : Pb/Ge(111) の相転移と安定構造

修士論文

新垣亮 : (指導教員、河合伸): 浸みだし関数を考慮した半導体表面トンネル分光と Tip 先端温度の解析

佐藤大介 : (指導教員、成清修): オリゴマーワールド仮説に基づく原始細胞の複製および複雑化のメカニズム

その他の活動と成果

物理学教室木曜談話会「トンネル電子による固体表面振動励起と原子移動」(河合伸)  
九州大学大学院理学研究院物理学部門(2012年10月4日)

物性コロキウム「Ge(111)表面 Sn 吸着系における置換 Ge 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(2013年2月21日)

# 磁性物理学

## 研究室構成員

和田裕文 教授

光田暁弘 准教授

浅野貴行 助教

### 《 大学院 修士課程 》

片桐 高大    川崎大地    永野雄太郎    眞鍋 栄樹

浜野 卓    梅田 真史    合木 悠祐    高原 剛

福井 博章    喜舎場英吾

### 《 学部 卒業研究生 》

川見洋一郎    布川 敬志    藤本 巧    前川 佳朗

安永 良子

### 《 訪問研究者 》

小山 佳一（鹿児島大学理学部物理科学科 教授）    藤井 伸平（鹿児島大学理学部物理科学科 教授）    川南 剛（神戸大学大学院工学研究科 機械工学専攻 准教授）    榊原 俊郎（東京大学物性研究所 教授）

## 担当授業

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

## 研究・教育目標と成果

巨大磁気熱量効果を示す Mn 化合物を用いた磁気冷凍作業物質の開発（和田裕文、片桐高大、高原 剛）

Fe<sub>2</sub>P 型の結晶構造を示す Mn 化合物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．これまで MnFePGe や MnFePSi 系について，Ru 添加により，温度ヒステリシスが大幅に減少することを見出している．その原因が *c* 面内の格子定数にあることを明らかにした．Ru 元素は Fe に置換するが原子半径が Fe より大きいので，温度ヒステリシスが減ることも理解で

きる．現在さらに Ru とは別の元素置換効果について調べている．

遷移金属磁性体・超伝導体の伝導現象の研究（和田裕文、川崎大地、永野雄太郎、合木悠祐）  
遍歴電子メタ磁性体  $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  では磁場によって常磁性から強磁性への転移が観測されるが、これにしたがって電気抵抗が大きく増加する．これはバンド分極によって通常の常磁性体からハーフメタリックな強磁性への転移で説明できると考えている．この考えを検証するため磁気抵抗とホール効果の磁場依存性を測定した．前者では磁気抵抗のジャンプの大きさが、組成や温度によらないことを明らかにした．これは抵抗変化がバンド構造の変化と結びついていることを示唆している．またホール効果も遍歴電子メタ磁性転移によって大きく変化することを明らかにした．現在さらに温度依存性について検討している． $\text{LaPt}_2\text{Si}_2$  は  $T_2C$  は 1.8 K 付近で超伝導を示すが、この物質は  $T^*C = 110$  K で CDW によると思われる転移を示す．今回新たに  $\text{NdPt}_2\text{Si}_2$  は  $T_2C$  でも CDW 転移を観測した．またその転移温度が格子定数  $a$  と強い相関をもっていることを見出した．また、La 化合物の超伝導と CDW は別の PtSi ブロック層で発生している可能性を指摘した．

YbPd の価数秩序の検証（光田暁弘、和田裕文）

立方晶 CsCl 型構造をもつ YbPd は  $T_1 = 125$  K,  $T_2 = 105$  K,  $T_3 = 1.9$  K,  $T_4 = 0.5$  K で相転移を示す．このうち  $T_3$  については磁気秩序であることがわかっているが、それ以外の相転移の原因は分かっていない．これまでの研究から、 $T_1$  または  $T_2$  において Yb が 2 種類の価数に分離し秩序すると考え、研究を行っている．本年度は、低温構造について知見を得るために、JASRI/SPring-8 の筒井智嗣氏、広大院総合科の長谷川巧氏らとの共同研究によって、単結晶試料を用いて非弾性 X 線散乱実験を室温で行い、フォノンの分散関係を調べた．その結果、縦波の X 点 ( $1/2$  0 0) 付近に明瞭なソフトニングが観測された．一方、横波の X 点、縦・横波の M 点 ( $1/2$   $1/2$  0) にはソフトニングが見られないため、低温構造は  $a \times a \times 2a$  であることを示唆している．来年度は、低温の測定および R 点 ( $1/2$   $1/2$   $1/2$ ) 方向の測定も行い、より詳細に調べて行く．また、磁場中中性子回折により価数秩序構造を決定することを目標とする．

EuPtP の圧力効果および  $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$  の価数測定（光田暁弘、和田裕文、眞鍋栄樹、梅田真史）

六方晶  $\text{Ni}_2\text{In}$  型構造をとる EuPtP は  $T_1 = 235$  K,  $T_2 = 195$  K で 2 つの価数秩序転移を示す珍しい物質である． $T_2 < T < T_1$  ( $\beta$  相) においては c 軸方向に... $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{3+}$ - $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{3+}$ ... と積層し、 $T < T_2$  ( $\gamma$  相) においては... $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{3+}$ - $\text{Eu}^{2+}$ - $\text{Eu}^{3+}$ ... と積層している．この化合物の P サイトを As で置換していくと  $T_1, T_2$  とともに低下し、As を 50% 以上置換すると  $T_1$  と  $T_2$  がマージして価数秩序転移が 1 つになることがわかっていた．本年度は EuPtP について、東大物性研の上床研究室との共同研究によって 8GPa まで電気抵抗測定を行い、 $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$

について JASRI/SPRING-8 の水牧仁一朗氏らとの共同研究によって X 線吸収実験による Eu 価数測定を行った。前者では、新たな価数転移と思われる電気抵抗異常が数個見つかった。これまで  $\text{EuTX}(\text{T:Pt,Pd,Ni}, \text{X:P,As})$  においては  $2 + n/6 (n = 1 \sim 6)$  の価数を実現していると考えられて来たが、 $n = 4 \sim 6$  に対応する相が高圧下で実現している可能性がある。後者では、価数の温度依存性をこれまでより詳細に測定し、基底状態における価数が  $x = 0 \sim 0.4$  においては  $2 + 3/6$ 、 $x = 0.5 \sim 0.6$  においては  $2 + 2/6$  となっていることが明らかになった。来年度は、 $\text{EuPtP}$  の高圧下の価数測定を行うこと、 $\text{EuPtP}$  以外の  $\text{EuTX}$  化合物を作製することを目指す。

**$\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  の圧力誘起価数転移と元素置換効果** (光田暁弘、和田裕文、浜野卓、喜舎場英吾)  
正方晶  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$  型構造をもつ  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  は  $T_N = 23 \text{ K}$  の反強磁性体である。我々は昨年度にこの化合物が  $1 \text{ GPa}$  程度の圧力下で反強磁性を消失させ、価数転移を示すことを見いだした。本年度はこの磁場効果を調べたところ、 $7 \text{ T}$  程度の磁場下で磁場誘起価数転移を観測することに成功した。また、 $7 \text{ T}$  の磁場中で試料を冷却すると価数転移が消失し、高温の 2 価状態が磁場によって最低温まで安定化することを見いだした。また、 $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  において、 $\text{Rh}$  サイトを  $\text{Co}$  で置換することによっても価数転移が生じることを見いだした。 $\text{Co}$  置換は正の化学的圧力効果に対応しており、 $\text{Co}$  置換が 3 価の  $\text{Eu}$  が安定化する環境を作り出したと考えられる。本年度は、以上の現象を電気抵抗、熱膨張測定などより詳細に調べていくことを目指す。

**四面体を基本単位とする幾何学的競合系の新規モデル物質の探索** (川見洋一郎、浅野貴行)  
幾何学的競合系の基本単位は、正三角形や正四面体である。正三角形が辺共有した構造を有する二次元三角格子に関する実験的・理論的研究は、長い歴史を経た現在でも活発に行われている。特に、幾何学的競合効果がより顕著に出現すると期待されている正三角形が頂点共有したカゴメ格子は、最近、良質なモデル磁性体が発見され新奇量子磁性が観測されている。正四面体を基本単位とする幾何学的競合効果に関しては、これまで三次元的に頂点共有したパイロクロア構造を有する物質群を対象として磁氣的・電氣的性質の研究が行われている。そこで、これまでに報告例のない基本単位の正四面体が頂点及び辺共有した二次元格子を有するモデル磁性体の探索を行い、その結果、 $\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$  が有力な候補となることを見出した。 $\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$  の結晶構造は、二次元面内ではカゴメ格子、それに垂直な方向では一次元ダイヤモンド格子の磁氣的に興味深い二面性を有している。 $\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$  の粉末試料を合成し磁化及び比熱測定の結果、主要な磁氣的相互作用は、反強磁性であり、約  $20 \text{ K}$  に磁気秩序を示唆する異常が観測された。また、 $4.2 \text{ K}$  における磁化過程の測定では、強磁性に起因する履歴現象が観測されたことから、低温での磁気構造は、フェリ的であることが示唆される。今後、強磁場磁化や磁場中比熱、中性子回折・散乱、さらに不純物効果の実験的研究を行うことにより、より詳細な磁気構造や幾何学的競合効果の影響を議論したい。

クロミック化合物の磁氣的性質の研究 (福井博章、浅野貴行)

外的条件の変化に伴い色が可逆的に変化するクロミズムは、大変興味深い現象であり、我々の日常生活へも応用されている。その現象を有するクロミック物質の磁氣的性質に着目し、特に、温度と圧力によりクロミズムを示すモリブデン酸銅 ( $\text{CuMoO}_4$ ) に着目して実験的研究を行ってきた。これまでモリブデン酸銅のクロミズムの起源である約 200K での構造相転移に伴う巨大な磁化温度履歴現象を観測し、また非磁性イオンやイオン半径の異なる数種類の元素による置換効果により、その構造相転移温度を低温や高温へ自在に制御することに成功している。さらに興味深い現象として、この構造相転移により約 13% の体積変化が起こるため、その結果として結晶が粉碎し磁氣的性質に多大な効果を及ぼしていることを確認した。

そこで、構造相転移温度により粉碎し結晶粒径を小さくするのではなく、人為的に遊星型微粒粉碎機を使用することにより予め粒径を制御した試料を準備し磁氣的測定を実施した。その結果、明らかに結晶粒径の変化に伴い構造相転移に起因する磁気温度履歴現象や磁気モーメント誘起などが観測された。現在、実験結果から考えられる磁氣的な構造のモデルを考案し、磁氣的性質の変化と結晶粒径との定量的な相関を実験的に導くため、数多くの粒径の異なる結晶を合成し実験を実施している。

同様の性質を有するモリブデン酸コバルト ( $\text{CoMoO}_4$ ) にも着目し、クロミズムに伴う磁氣的異常の実験的検証を試みたが、現在までその影響は確認されていない。その理由として、構造相転移に伴い磁性イオンである  $\text{Co}^{2+}$  周辺の結合が変化していないことが原因であると思われる。また、クロミズム制御の試みとして非磁性イオンにおいて置換した試料を合成し、室温での X 線回折を試みた。その結果、置換量の変化に伴い構造相転移前後の二相の共存量が変化したことからクロミズムの制御に成功している可能性が示唆される。さらに現在まであまり報告されていない広範な温度領域での磁氣的性質を解明するため、極低温までの比熱測定を実施したところ 3 個逐次的な興味深い相転移を観測した。今後、磁気構造を解明するために極限環境下での実験を実施し、またクロミズムに伴う何らかの異常を観測するため、熱測定など様々な方法を駆使して実験を実施することにより磁氣的性質の全貌解明を試みる予定である。

発表論文

《 原著論文 》

Soft-X-ray Magnetic Circular Dichroism under Pulsed High Magnetic Fields at Eu  $M_{4,5}$  Edges of Mixed Valence Compound  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.18}\text{Ge}_{0.82})_2$  :

Tetsuya Nakamura, Toko Hirono, Toyohiko Kinoshita, Yasuo Narumi, Misaki Hayashi, Hiroyuki Nojiri, Akihiro Mitsuda, Hirofumi Wada, Kenji Kodama, Koichi Kindo, and Akio Kotani

J. Phys. Soc. Jpn **812** (2012) 103705.

Magnetocaloric properties and magnetic refrigerant capacity of  $\text{MnFeP}_{1-x}\text{Si}_x$

K Katagiri, K Nakamura and H. Wada

J. Alloys Compd. **553** (2013) 286-290.

《Proceedings》

Magnetic Ordering of Antiferromagnetic Trimer System  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

M. Sanda, K. Kubo, T. Asano, H. Morodomi, Y. Inagaki, T. Kawae, J. Wang, A. Matsuo, K. Kindo, and T. J. Sato

J. Phys.: Conf. Ser., **400** (2012) pp. 032054-1-4

Low-Temperature Magnetization Study of Spin Gap System  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2\text{CuCl}_3$  with Nanometer Particle Size

Y. Sakamoto, H. Morodomi, Y. Inagaki, T. Kawae, T. Asano, and Y. Ajiro

J. Phys.: Conf. Ser., **400** (2012) pp. 032077-1-4

《その他の論文》

$\text{CuMoO}_4$  の磁氣的性質とクロミズム制御

浅野貴行、西村泰三、市村収太

九州大学低温センターだより No.7 (2013) pp. 14-7

講演

《海外での講演》

Position dependence of vortex core oscillation in polygonal nanomagnets:

Satoshi Yakata, Masahiko Miyata, Hirofumi Wada, Kohei Kiseki, Takashi Kimura

International Conference on Magnetism (ICM2012)

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

Masaki Sugishima, Akihiro Mitsuda, Hirofumi Wada, Masahiko Isobe, Yutaka Ueda

International Conference on Magnetism (ICM2012)

Valence transition induced by pressure and magnetic field in antiferromagnet  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  :

Akihiro Mitsuda, Suguru Hamano, Hirofumi Wada

International Conference on Magnetism (ICM2012)

Superconductivity and structural transition of  $\text{RPt}_2\text{Si}_2$  ( $\text{R} = \text{Y, La, Lu}$ ):

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

International Conference on Magnetism (ICM2012)

$^{31}\text{P}$ -NMR study of valence fluctuating compound  $\text{EuPtP}$ :

Takeshi Mito, Koji Nishitani, Takehide Koyama, Koichi Ueda, Takao Kohara, Akihiro Mitsuda, Masaki Sugishima, Hirofumi Wada

International Conference on Magnetism (ICM2012)

Effects of impurities in the chromic compound  $\text{CuMoO}_4$

T. Asano, T. Nishimura, K. Kubo, M. Sanda, K. Matsuura, A. Matsuo, Y. Narumi, and K. Kindo

The 19<sup>th</sup> International Conference on Magnetism, Busan, Korea

Magnetic property of  $\text{Ni}^{2+4}$  antiferromagnetic perfect triangle cluster

E. Takata, M. Sanda, K. Kubo, T. Asano, A. Matsuo, K. Kindo, and M. Oshikawa

The 19<sup>th</sup> International Conference on Magnetism, Busan, Korea

Magnetization process of  $S = 1/2$  diamond chain compound  $\text{Na}_2\text{Cu}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$

M. Sanda, K. Matsuura, T. Asano, J. Wang, A. Matsuo, K. Kindo, H. Morodomi, Y. Inagaki, and T. Kawae

The 19<sup>th</sup> International Conference on Magnetism, Busan, Korea

Mn-Based compounds for magnetocaloric applications at room temperature (Keynote lecture):

Hirofumi Wada

5th IIR/IIF International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, THERMAG V

Valence ordering and its pressure effect in YbPd:

Akihiro Mitsuda

10th PRAGUE COLLOQUIUM ON f-ELECTRON SYSTEMS (PCFES 2012)

Hard X-ray Photoemission Study of the Two Valence Transitions in EuPtP:

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

12th International Conference on Electron Spectroscopy and Structure (ICESS-12)

《 国内での講演 》

EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> における圧力誘起価数転移の磁場効果:

光田 暁弘, 浜野 卓, 和田 裕文

日本物理学会 2012 年秋季大会

遍歴電子メタ磁性体 Co(S<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>)<sub>2</sub> の磁気抵抗:

川崎大地, 光田 暁弘, 和田 裕文

日本物理学会 2012 年秋季大会

EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の転移点近傍における特異な弾性異常:

中西 良樹, 田村大, 中村光輝, 吉澤正人, 浜野 卓, 喜舎場英吾, 光田 暁弘, 和田 裕文

日本物理学会 2012 年秋季大会

CuMoO<sub>4</sub> の磁氣的性質と結晶粒径の相関:

浅野貴行, 久保克隆, 三田稔, 松尾晶, 金道浩一, 牧瀬圭一, 伊藤利充

日本物理学会 2012 年秋季大会

ニッケル正三角クラスターの磁性:

高田えみか, 三田稔, 久保克隆, 浅野貴行, 松尾晶, 金道浩一, 押川正毅

日本物理学会 2012 年秋季大会

Eu(Rh<sub>1-x</sub>Ir<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> における強磁場磁化過程:

喜舎場英吾, 浜野 卓, 光田 暁弘, 和田 裕文, 近藤 晃弘, 金道 浩一

第 118 回日本物理学会九州支部例会

希土類化合物・磁気冷凍材料の物理と放射光メスbauer分光法への期待:

和田 裕文

第1回先進的放射光メスbauer分光研究会

第26回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム

硬X線光電子分光による  $\text{Eu}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  の電子状態:

三村功次郎, 魚住孝幸, 本並 哲, 佐藤 仁, 内海有希, 上田茂典, 光田暁弘, 清家 諭, 和田裕文, 島田賢也, 田口幸広, 生天目博文, 谷口雅樹

価数揺動物質 YbPd の X 線非弾性散乱:

光田暁弘

新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」第4回研究会

スピン注入と電流誘導磁界による磁気渦自励発振の制御党ケイシン, 鬼石宏平, 家形 諭, 和田裕文, 木村 崇日本物理学会 第68回年次大会

価数転移物質 EuPtP の f 電子状態に関する NMR 研究:

水戸毅, 西谷孝二, 牟田寛弥, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 光田 暁弘, 杉島 正樹, 和田 裕文  
日本物理学会 第68回年次大会

価数揺動物質 YbPd のフォノン分散測定

光田 暁弘, 杉島 正樹, 長谷川 巧, 筒井 智嗣, A. Q. R. Baron, 宇田川眞行, 和田 裕文  
日本物理学会 第68回年次大会

反強磁性体  $\text{EuPt}_2\text{Si}_2$  の圧力温度相図:

池田陽一, 能勢健太郎, 光田暁弘, 家高宣幸, 水島俊雄, 桑井智彦, 石川義和, 荒木新吾, 小林達生

日本物理学会 第68回年次大会

反強磁性三量体  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  単結晶の磁氣的性質:

三田稔, 久保克隆, 浅野貴行, 佐藤卓

日本物理学会 第68回年次大会

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部科学省科学研究費補助金、新学術領域研究 (研究領域提案型) 「重い電子系の形成と秩序化」  
公募研究

立方晶イッテルビウム化合物における価数秩序の検証と圧力誘起重い電子物性  
研究代表者：光田暁弘

日本学術振興会科学研究費補助金、基盤 C(一般)

価数転移・価数秩序に注目したユーロピウム化合物の新奇物性探索と機構解明  
研究代表者：光田暁弘

文部省科学研究費補助金、基盤 C(一般)

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

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

JST 先端的低炭素化技術開発事業 (ALCA) 探索ステージ  
高効率磁気ヒートポンプ材料の開発  
研究代表者:和田裕文

JST A-STEP FS ステージ シーズ顕在化タイプ

磁気空調システム開発のための熱交換機構の研究  
研究代表者:山下敬一郎

NEDO 委託事業「省エネルギー革新技术開発事業」先導研究

磁気ヒートポンプ技術の研究開発  
研究代表者:平野直樹

公益財団法人吉田学術教育振興会

巨大磁気熱量効果を示す Mn 化合物を用いた磁気エアコン材料の開発  
研究代表者:和田裕文

他大学での研究と教育

和田裕文：福岡大学理学部で極限物質科学の講義を半期担当した。

#### 学部4年生卒業研究

川見 洋一郎 : (指導教員、浅野貴行) :  $\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$  の構造と磁氣的性質

布川 敬志 : (指導教員、和田裕文) :  $\text{MnRuP}_{1-x}\text{As}_x$  の磁性

藤本 巧 : (指導教員、光田暁弘) : 強磁性体  $\text{EuRhIn}$  の圧力下での物性

前川 佳朗 : (指導教員、和田裕文) :  $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  のホール効果

安永 良子 : (指導教員、光田暁弘) :  $\text{EuCo}_2(\text{X}_{1-x}\text{P}_x)_2$  ( $\text{X}=\text{Si,Ge}$ ) の試料作成と磁性

#### 修士論文

片桐 高大 : (指導教員、和田裕文) : 一次相転移化合物  $(\text{Mn,Fe,X})_{2-\delta}(\text{P,Si})$  ( $\text{X}=\text{Ru,Co}$ ) の巨大磁気熱量効果

川 大地 : (指導教員、和田裕文) : 遍歴電子メタ磁性体  $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  の伝導現象

永野雄太郎 : (指導教員、和田裕文) :  $\text{RPt}_2\text{Si}_2$  ( $\text{R}=\text{Y, Nd, Sm, Dy, Tm, Lu}$ ) の電気輸送現象と磁性

眞鍋 栄樹 : (指導教員、光田暁弘) : 多段階数転移を示す  $\text{EuPtP}$  の圧力下輸送特性と磁性

浜野 卓 : (指導教員、光田暁弘) : 反強磁性体  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  における静水圧および化学的圧力誘起価数転移

#### 外国人留学生の受け入れ

党ケイシン (和田裕文)

#### その他の活動と成果

和田裕文 : Elsevier 社 Physica B エディター

和田裕文 : 強磁場フォーラム 幹事

和田裕文 : 九州大学低温センター副センター長

和田裕文：九州大学学生委員

和田裕文：九州大学新キャンパス計画専門委員

# 量子微小物性（半導体物理）I

## 研究室構成員

渡部行男 教授

荒井 毅 准助教

## 担当授業

物性物理学 III (渡部)

原子分子の物理学 (渡部)

電磁気学 II (渡部)

半導体物理学 (大学院)(渡部)

全学共通教育 現代物理 (工学部) (渡部)

全学共通教育 現代物理 (理学部) (渡部)

全学共通教育 物理学 3 前期 1/4 (渡部)

全学共通教育 物理学 3 後期 1/4 (渡部)

最先端物理学 (学部 3 年オムニバス 1 回分)(渡部)

物理学実験 (前期)(荒井)

物理学実験 (後期)(荒井)

## 研究・教育目標と成果

(1) 強誘電体酸化物の相転移での伝導異常の解明 (渡部):

BaTiO<sub>3</sub> の相転移での伝導異常測定系の温度制御などの精密化と偏光同時観察を行った。

(2) 強誘電体酸化物の表面電子層の確定 (渡部):

BaTiO<sub>3</sub> 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 BaTiO<sub>3</sub> の表面伝導を測定し、支持する結果を得ている。この立場から、反電界理論を見直し、従来確立したと考えられている強誘電体の 180°分域の理論を見直した作った理論を昨年に引き続き改良した。

来年度、(3) の結果と総合して、原子レベルで制御した強誘電体酸化物の表面電子層の物性解

明する。

(3) 超高真空 AFM による表面研究 (渡部):

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

来年度、誘電体の 180°分域の理論の改訂理論の提出を行う。

(4) 表面によらないバルク伝導のみによる整流現象の発見と理論 (渡部):

この整流現象の理論をつくり実験結果を詳細に再現できた。

来年度、酸化物強誘電体単結晶の相転移での伝導異常と強誘電体エピタキシャル薄膜の伝導異常のの解明に用いる予定である。

(5) 準周期構造多層膜の熱伝導 (荒井):

準周期構造多層膜の熱伝導研究を推進している。超伝導接合 mK 冷凍機の断熱のための基礎研究と準周期構造での熱伝導研究を通じて準周期構造での物性研究をなすことを意図している。実験的に研究するために平成 23 年度に採択された挑戦的萌芽研究科研費で製作する準周期構造多層膜作製装置や熱伝導率測定装置の設計/製作に取り組んだ。外部から幸運に様々な蒸着装置ユニットを入手できる見込みができ、製作を延期し、設計を大幅に改定している。

(6) ビスマス系高温超伝導体の単結晶中の超音波の音速測定に関する論文執筆 (荒井):

## 発表論文

### 《 原著論文 》

## 著書

Y. Watanabe, Intrinsic Free Electrons/Holes at Polarization Discontinuities and their Implications for Basics of Ferroelectricity and its Origin, Solid State Phenomena Vol. 189 (Ferroics and Multiferroics) (2012) pp. 57-93,(Trans Tech Publications, Switzerland).(www.scientific.net)  
( 単行本, 総説)

## 講演

《 海外での講演 》

国際会議 招待講演

Californina Institute of Technology (Caltech) 招待講演 (渡部)

国際会議 口頭発表

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

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

学外での学会活動

Integrated Ferroelectrics 誌 編集委員 (渡部)

その他の活動と成果

村田学術振興財団 選考委員 (渡部)

国立マレーシア大学外部評価委員 (渡部)

教員免許状更新講習 講師及び取りまとめ (渡部)

特許出願 1 件 (渡部)

# 低次元電子物性

## 研究室構成員

篠崎文重 教授      矢山英樹 教授

山田和正 助教

### 《 大学院 修士課程 》

尾堂智隆      日高和也      成清敬史      八山陽介

内山啓介      下田悠太      吉崎聡一郎      樋口正和

### 《 学部 卒業研究生 》

原田 由宇子      立川 雄大      比恵島 昂太

### 《 訪問研究者 》

Ali Gamal Hafez Ernassel Rabie

## 担当授業

力学基礎・同演習(篠崎文重)、3年生ゼミナール(篠崎文重)、物理学特別研究I(篠崎文重、矢山英樹、山田和正)、物理学特別研究II(篠崎文重、矢山英樹、山田和正)、物理学総合実験(矢山英樹、山田和正)、物理実験学(矢山英樹)、最先端物理学(矢山英樹)

## 研究・教育目標と成果

### (1) PANI 膜の Variable-range-hopping(成清、山田、篠崎)

導電性高分子は金属に変わる新しい導電物質として注目され、伝導機構についての研究も多くされてきた。しかし、導電性高分子に対して新たな分子を添加した試料の研究はあまりされていない。今回我々は導電性高分子ポリアニリンに対し新たに分子を添加した試料について測定を行い、ホッピング伝導機構の解明を目的とし研究を行った。試料はまず高分子ポリアニリン溶液に対し、スルホコハク酸エステルを添加することでキャリアを生成させ導電性を持たせた。この酸を第1ドーパントとする。次に第1ドーパされた溶液に対し、メタクレゾール(mCR)、4イソピルフェノール(4IPP)、4エトキシフェノール(4EtoPh)の3種類の分子をそれぞれ添加させた。この分子を第2ドーパントとする。このとき濃度(%)=[第2ドーパントの重量]/[PANI溶液の重量]×100と定義した。その後、溶液を滴下し膜厚15μmの試料を作成した。測定は2K-300Kの温度範囲で4端子法を用いて抵抗及びHall係数の測定を行った。第2ドーパントの量を変化させ抵抗率を測定した結果、第2ドーパント濃度の5%付近において抵抗率が3桁と

大きく変化することが分かった。この試料に対して抵抗率の温度依存性について調べた。伝導機構を理解するために  $\rho(T) = \rho_0 \times \exp[(T_0/T)^n]$  で与えられる variable range hopping (VRH) conductivity をもとに解析を行った。VRH 式中の指数  $n$  は Zabrodskii and Zinov 'eva(Z-Z) plot と呼ばれる  $\ln W - \ln(1/T)$  ( $W = - \ln \rho / \ln T$ ) のグラフの傾きから与えられる。その結果、抵抗率の比較的小さい試料では、高温領域において Mott の VRH に従い、低温領域において Efros-Shklovskii(ES) の VRH に従う crossover が見られた。また、抵抗率の大きい試料では、Mott の VRH から ES の VRH への crossover が見られなかった。Crossover の見られなかった試料に関して高温領域で Mott の VRH が見えているのか、ES の VRH が見えているのかは判断がつかなかった。第 2 ドーパントの種類による VRH に振舞いについては違いが見られず、抵抗率の大きさによるものだった。一方、Hall 係数の測定を行いキャリア数と移動度における抵抗率の変化との関係について調べてみた。その結果、m-CR を加えた試料ではドーパント濃度による抵抗率の変化と移動度の変化において相関が見られ、抵抗率の変化は移動度の変化が関係していると思われる。4EtoPh を加えた試料では抵抗率の変化とキャリア数の変化に相関が見られ、4IPP を加えた試料では移動度とキャリア数のどちらも抵抗率の変化に関係しているように見られた。

## (2) IZO 系縮退半導体膜の量子効果と M-I 転移 (日高, 篠崎)

縮退半導体であるインジウム系酸化物膜は高い導電性を持ち可視光を通す。またこの物質のキャリアは酸素欠損が担っており、製膜時の酸素濃度を変化させることや、製膜後の膜を大気中で熱処理することで抵抗率の制御が可能である。このことを利用し我々は金属領域から絶縁体領域まで幅広く抵抗の値を変化させることができた。試料は DC スパッタ法を用いて SiO<sub>2</sub> 上に酸化インジウム亜鉛 (IZO) ならびに酸化インジウム亜鉛ガリウム (IZGO), 酸化インジウム亜鉛錫 (IZTO) を蒸着した。本研究では厚さ  $d$  を 25nm, 50nm, 350nm の 3 種類の試料を用意し、それを 300K から 2K にわたる広い温度領域で 4 端子法を用いて抵抗ならびにホール抵抗を測定した。そして以下の結果を得た。1) 乱れた系において低温では試料の次元に応じた温度依存性、磁場依存性を持つ量子効果である弱局在効果が存在する。今回 350nm では 3 次元の弱局在効果が、25nm, 50nm で 2 次元の弱局在効果が確認された。2) 3 次元系での磁気伝導率、 $\Delta\sigma = 1/\rho(H) - 1/\rho(0)$ 、2 次元系での磁気伝導度  $\Delta\sigma = 1/R_{sq}(H) - 1/R_{sq}(0)$  において、非弾性散乱時間  $\tau_{in}$ 、スピン軌道散乱時間  $\tau_{so}$ 、拡散定数  $D$  をパラメータとして弱局在理論を用いて解析を行った。 $\tau_{in}$  の温度依存性は次元性を考慮した理論とのおおよその一致を示した。抵抗率が上昇し、より半導体的特性が強くなっていくと  $\tau_{in}$  の減少率に比べて  $\tau_{so}$  の減少率が極めて大きく、弱局在効果から反局在効果へ移ることが確認された。これは磁気伝導度の符号が正から負への変化をすることに相当する。その際、 $\tau_{in}$  の抵抗率依存性は簡単な自由電子モデルで説明できるのに反して  $\tau_{so}$  は理論よりも更に強い抵抗率依存性を示した。これは  $\tau_{so}$  を決める元素を固定したままの自由電子モデルでは説明出来ないことを意味し、電子の散乱体が軽元素から重

元素へ変化したことを示唆している。3) 電気抵抗率が半導体的性質を示す試料の解析では、温度変化を  $\rho = \exp(T_0/T)^P$  と仮定し Zabrodskii and Zinov 'eva (Z-Z)plot を行った。幅広い抵抗値を持つ試料に対して、温度変化の振る舞いを詳細に調べることで、金属-絶縁体転移が起こる臨界抵抗率  $\rho_c^*$  を求めることに成功した。 $\rho > \rho_c^*$  膜について、温度減少に伴い、次元性を持つ Mott 型 variable range hopping から Efros-Shklovskii (ES) 型の variable range hopping 伝導機構の発現を確認し、またその指数 P も低温では次元によらず一定の値に切り替わることを示した。

### (3) NbN/MgO 及び NbN/AlN/MgO 薄膜の超伝導特性 (尾堂, 篠崎)

今回我々は、超伝導窒化ニオブ (NbN) 薄膜の基礎物性の解明を目指し研究を行った。試料は、単結晶 MgO 基板上に NbN をエピタキシャル成長させ、一定の蒸着条件の下で膜厚  $d$  の異なる試料 ( $1 < d < 25.8\text{nm}$ ) を作成した (NbN/MgO)。測定は面抵抗  $R$  の温度依存性を測定し、また磁気伝導度  $\Delta\sigma = 1/R(H) - 1/R(0)$  を超伝導転移温度  $T_c$  まで精密に行った。さらに、NbN と基板間に  $d=1\text{nm}$  の窒化アルミニウム (AlN) を下地膜として挟んだ NbN/AlN/MgO 膜を作成し ( $1.6 < d < 20\text{nm}$ )、両シリーズの超伝導転移温度  $T_c$  の面抵抗  $R$  依存性を測定した。伝導度の逆数で与えられる面抵抗  $R$  の温度依存性の実験結果を再現するために、電子局在及び電子間相互作用の項、熱的超伝導揺らぎの主要項である AL 項と MT 項、さらに超伝導揺らぎの存在でフェルミレベルにおける 1 電子状態密度 density of state が減少し、ノーマル状態の伝導率の減少をもたらす DOS 項の各項の和を用いた。膜厚の薄い試料に関して、DOS 項を含めて計算をした結果は、DOS 項を含まずに計算した結果よりもよく実験を再現しており、この膜には DOS の効果が含まれていると考えられる。また、 $\Delta\sigma$  の解析は超伝導揺らぎの項である i) Aslamasov-Lalkin 項  $\Delta\sigma_{AL}(H, T)$  と ii) Maki-Thompson 項  $\Delta\sigma_{MT}(H, T)$ 、および iii) 電子局在項  $\Delta\sigma_L(H, T)$  の和で行った。ii), iii) 項は電子の非弾性散乱時間  $\tau_{in}(T)$  を含み、 $\Delta\sigma(H, T)$  の解析から非弾性散乱機構を求めることが出来るが、NbN の  $\tau_{in}(T)$  は  $T_c$  近傍で急激な増加を示し、これは従来研究されてきた超伝導薄膜 (Nb, Al など) の  $\tau_{in}(T)$  の振る舞いとは大きく異なることが本研究で分かった。この原因の 1 つとして状態密度の減少が考えられ、その結果、非弾性散乱頻度が減少し、即ち散乱時間が増加すると定性的に理解できる。一方、 $T_c$  の  $R$  依存性は、 $R$  の小さい領域ではどちらのシリーズも同じ振舞いを示したが、 $R = 200\Omega$  から NbN/AlN/MgO 膜の  $T_c$  変化は NbN/MgO に比べ、緩やかな振舞いを示した。また  $T_c$  近傍の  $H_{C2}(T)$  から決めた percolation 指数  $\theta$  の  $R$  依存性で、均質系  $\theta = 0$  からずれ始める  $R$  の値は  $R = 100\Omega$  であり、両者に強い関連があると考えられる。このことから NbN/AlN/MgO 膜は percolation structure をとっている可能性があり、超伝導領域の有効な幅と長さは、それぞれ均質系に比べ、幅は小さく、長さは長いと予想される。したがって、 $R = 100\text{-}200\Omega$  以上の膜は  $R$  値を過大評価している可能性がある。

#### (4) ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ 溶液上の 2 次元電子系の易動度 (八山、矢山)

1960 年代に、超流動  ${}^4\text{He}$  の自由表面の研究のために、微量の  ${}^3\text{He}$  を含む  ${}^4\text{He}$  の表面張力が研究されていた。1966 年、Andreev は彼の理論の中で「 ${}^4\text{He}$  の自由表面に不純物  ${}^3\text{He}$  に対する束縛ポテンシャルが存在する」という仮説を唱えた。これを Andreev 状態と呼ぶ。このことは、半世紀近く経った現在でも、確認を試みた実験は少なく、明確な実験的証明がなされていないままである。

本研究は、 $\text{He}$  液面上 2 次元電子系の移動度を測定することにより、この Andreev 状態の存在を実験的に確かめることを最終的な目的としている。今回はそのアプローチの第一歩として、 $0.5\%{}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  溶液および液体  ${}^4\text{He}$  の上に形成した 2 次元電子系の移動度の温度依存性を様々な押さえつけ電場や周波数で測定し、両者を比較した。

その結果、純粋な  ${}^4\text{He}$  については、約  $0.8\text{K}$  以上での  $\text{He}$  ガスによる散乱領域と、 $0.8\text{K}$  以下の表面波を量子化したリップロンによる散乱領域が確認された。リップロン領域では、電子が三角格子を組んだ 2 次元の固体、Wigner 結晶 (WC) への転移が観測された。 $0.5\%{}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  溶液上では、WC への転移温度は、それぞれの電子密度で  ${}^4\text{He}$  の転移温度と同じであった。約  $0.4\text{K}$  以上の高温域では、 ${}^4\text{He}$  の場合よりも低い移動度が観測された。これは  ${}^4\text{He}$  より大きな蒸気圧をもつ  ${}^3\text{He}$  ガス原子による散乱が優勢であるためと考えられる。

リップロンによる散乱が支配的な  $0.4\text{K}$  以下の低温域では、移動度の絶対値はほぼ同じであるが、温度依存性が異なるという結果が得られた。 ${}^4\text{He}$  上では、移動度が温度に対して一定になるのに対し、 $0.5\%{}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  溶液上では、温度を下げるほど移動度がわずかに上昇する傾向が見られた。この違いは、他の中性子回折実験などを含めて総合的に考えると、Andreev 状態の存在を示唆しているものと考えられる。

しかし、 $0.5\%{}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  溶液上での移動度の温度依存性は、 $0.5\%{}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$  溶液の表面張力の測定結果と、 ${}^4\text{He}$  液上の 2 次元電子液体の電導度を記述した Saitoh の理論から予想される結果とは逆の現象であるため、何らかの別の効果ははたらいっていると考えられる。この実験結果を理解するためには WC の移動度に対する新たな理論が必要である。

#### 発表論文

##### 《 原著論文 》

Fluctuation conductance and the Berezinskii-Kosterlitz-Thouless transition in two dimensional epitaxial NbTiN ultra-thin films:

Makise K, Terai H, Yamashita T, Miki S, Wang Z, Y Uzawa Y, Ezaki S, Odou T and Shinozaki B,

Journal of Physics: Conference Series Volume **400** (2012) 022064

Characteristics of  $T_c$  and  $\rho(T)$  of polycrystalline  $(\text{In}_2\text{O}_3)\text{-}(\text{ZnO})$  films with low carrier density:

Shinozaki B, Takada S, Kokubo N, Makise K, Asano T, Yamada K, Yano K and Nakamura H,

Journal of Physics: Conference Series Volume **400** (2012) 022107

Activation like behavior on the temperature dependence of the carrier density in  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$  films .Makise K, Shinozaki B, Asano T, Yano K and Nakamura H ,

Journal of Physics: Conference Series Volume **400** (2012) 042043

Depression of positive magneto-conductance due to anti-weak localization effect in annealed  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$  thick films:

Shinozaki B, Ezaki S, Hidaka K, Makise K, Asano T, Kokubo N, Yamada K, Yano K and Nakamura H,

Journal of Physics: Conference Series ,Volume **400** (2012) 042052

The temperature dependence of Hall mobility of the oxide thin film  $\text{In}_2\text{O}_3\text{ ZnO}$ :

Yamada K, Shinozaki B, Yano K and Nakamura H,

Journal of Physics: Conference Series ,Volume **400** (2012) 042069

Relationship between variable range hopping transport and carrier density of amorphous  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-10wt.}$  K. Makise, B. Shinozaki, T. Asano, K. Mitsuishi, K. Yano, K. Inoue, and H.Nakamura,

J.Appl.Phys.**112** (2012) 033716.

Localization and interaction effects in ultrathin epitaxial NbN superconducting films:

S Ezaki, K Makise, B Shinozaki, T Odou, T Asano, H Terai, Y Yamashita, S.Miki and Z Wang,

J. Phys. Condens. Matter **24** (2012) 475702.

Systematic examination of the Geomagnetic Storm Sudden Commencement using multi resolution analysis:

Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyohumi Yumoto,

Adv. Space Res., Vol.51, pp.39-49, 2013.

Un-decimated discrete wavelet transform based algorithm for extraction of geomagnetic storm sudden commencement onset of high resolution records:

Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyohumi Yumoto,  
Comp. Geosci., Vol.51, pp.143-152, 2013.

Incompressible edge wave in classical two-dimensional electron liquid on helium surface:

S. Yamanaka, T. Arai, A. Sawada, A. Fukuda and H. Yayama,  
Europhys. Lett., 100, 17009, pp.1-5,2012.

Linewidth broadening in edge-magnetoplasmon resonance of helium surface state electrons:

T. Arai, S. Yamanaka, H. Yayama, A. Sawada and A. Fukuda,  
J. Phys.: Conf. Ser., Vol.400, No.042001, pp.1-4,2012.

Mobility of electrons on helium film capillary condensed on two dimensionally corrugated surface of dielectric substrate:

Ryoma Kobayashi and Hideki Yayama,  
J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 400, No.042034, pp.1-4,2012.

A wavelet spectral analysis technique for automatic detection of geomagnetic sudden commencements,

Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyohumi Yumoto,  
IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., Vol.50, pp.4503-4512, 2012.

Pressure-Induced Valence Transition in Antiferromagnet  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$ ,

Akihiro Mitsuda, Suguru Hamano, Nobutaka Araoka, Hideki Yayama, and Hirofumi Wada,  
J. Phys. Soc. Jpn., 81, 023709-1-4, 2012.

#### 《 その他の論文 》

1. 矢山英樹, 核断熱消磁冷却, 九州大学低温センターだより No.6, 2012. p.21.
2. 光田暁弘、浜野卓、荒岡信隆、矢山英樹、和田裕文、 $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  における圧力誘起価数転移、九州大学低温センターだより No.6, 2012. p.15.

講演

《 海外での講演 》

《 国内での講演 》

Indium 系酸化物薄膜の金属-絶縁体 (M-I) 転移:

日高和也、江崎翔平、牧瀬圭正、山田和正、浅野貴行、篠崎文重、笈井重和、矢野公規、中村浩昭

2012 秋季応用物理学会 (愛媛大学)

グラニューラー NbN 超薄膜の輸送特性と超伝導特性:

牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮、富成征弘、尾堂智隆、浅野貴行、篠崎文重

2012 秋季応用物理学会 (愛媛大学)

NbN 超薄膜の超伝導揺らぎと転移温度抑制機構:

牧瀬圭正、尾堂智隆、江崎翔平、浅野貴行、篠崎文重、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮

2012 秋季物理学会 (横浜国立大学)

Indium-gallium-zinc 酸化物薄膜の電子局在と電子間相互作用:

篠崎文重、日高和也、牧瀬圭正、浅野貴行、笈井重和、矢野公規、中村浩昭

2013 春季応用物理学会 (神奈川工科大学)

超伝導 NbN 薄膜の揺らぎ伝導度と磁気伝導度に及ぼす DOS 効果:

尾堂智隆、江崎翔平、浅野貴行、山田和正、篠崎文重、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮

2012 秋季第 118 回日本物理学会九州支部例会 (琉球大学)

Indium 系酸化物薄膜の Variable range hopping:

日高和也、江崎翔平、牧瀬圭正、山田和正、浅野貴行、篠崎文重、笈井重和、矢野公規、中村浩昭

2012 秋季第 118 回日本物理学会九州支部例会 (琉球大学)

Polyaniline 膜における Mott から Efros-Shklovskii hopping 伝導への crossover:

成清敬史、山田和正、浅野貴行、篠崎文重、黒田憲寛、西村剛、中村浩昭

2012 秋季 第 118 回日本物理学会九州支部例会 (琉球大学)

不均質超伝導 NbN/AlN/MgO 薄膜の超伝導転移温度  $T_C$  , 及び上部臨界磁場  $H_{C2}(T)$  の面抵抗

依存性:

原田由宇子、尾堂智隆、浅野貴行、山田和正、篠崎文重、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮

2012 秋季 第 118 回日本物理学会九州支部例会 (琉球大学)

導電性高分子ポリアニリンのホッピング伝導と第二ドーパント依存性:

山田和正、成清敬史、篠崎文重、黒田憲寛、西村剛、中村浩昭

西日本誘電体会議

希薄 3 ヘリウム液面上の電子移動度測定:

八山陽介, 矢山英樹, 吉崎聡一郎

2012 秋季 第 118 回日本物理学会九州支部例会 (琉球大学)

Mobility of electrons on helium capillary condensed on corrugated substrate:

Hideki Yayama,

NPCQS2012 Workshop, Okinawa Institute of Science and Technology, 2012 年 4 月 24 日

学部 4 年生卒業研究

原田由宇子 (指導教員: 篠崎、山田): 不均質超伝導 NbN/AlN/MgO 薄膜の超伝導転移温度  $T_C$ , 及び上部臨界磁場  $H_{C2}(T)$  の面抵抗依存性

立川雄大、比恵島昂太 (指導教員: 矢山): 2 次元電子系の移動度測定

修士論文

成清敬史 (指導教員: 篠崎、山田): PANI 膜の Variable-range-hopping

尾堂智隆 (指導教員: 篠崎): NbN/MgO 及び NbN/AlN/MgO 薄膜の超伝導特性

日高和也 (指導教員: 篠崎、山田): IZO 系縮退半導体膜の量子効果と M-I 転移

八山陽介 (指導教員: 矢山):  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  溶液上の 2 次元電子系の移動度

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

篠崎：「有機・無機導電材料の基礎物性測定及び測定結果の解析」出光興産(株)先進技術研究所との共同研究

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

2013年3月末をもって、篠崎は定年退職、矢山は基幹教育院へ異動した。

# 複雑物性基礎

## 研究室構成員

木村康之 教授

町田光男 准教授      水野大介 准教授

岩下靖孝 助教

Heev Ayade (~9月) 技術職員      Lara Gay Villaruz Moccooro 技術職員      鎌田

巧 技術職員

## 《 博士研究員 》

Marcel Bremerich      Peijuan Zhang

## 《 大学院 博士課程 》

黒山晃司

## 《 大学院 修士課程 》

柴田就平      桴海文吾      野口朋寛      藤川淳也

井崎邦義      田中小百合      玉井達哉      勝田康平

石垣武士      中野裕生      有松 寛      山本 匠

## 《 学部 卒業研究生 》

竹田雄作      大久保省吾      祐下岳志      高橋健太郎

松元大吾      松岡良春

## 《 研究生 》

張 通      張 天寿      Heev Ayade (10月~)

## 担当授業

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

## 研究・教育目標と成果

### 《今年度の目標》

新規なレーザートラップ手法の開発や、それによる力測定・粒子操作をコロイド系に適用し、その物性測定及び非線形挙動の解明を行なうことを目指した。( 1, 3 )

複雑なソフトマター複合系における局所レオロジー挙動や相分離過程などを詳細に解明することを目指した。( 2, 6 )

様々なコロイド粒子の作成や、その分散系における集合的挙動などを解明することを目指した。( 4, 5, 7, 8 )

水素結合型物質のトンネル現象を実験的に調べることを目的とした。( 9 )

イオン液体のガラス転移を NMR で調べることを目的とした。( 10 )

マイクロレオロジー計測法にフィードバック機構を導入し、細胞やバクテリアの集団運動等の強い非平衡系の揺らぎ応答の同時観測を実現する。( 11 )

細胞骨格やコロイド系の力学応答に非アファインな応答が果たす役割をマイクロレオロジーによる広帯域計測により実証する。( 12 )

actin-myosin gel や遊走バクテリア溶液等の active system 中における非平衡揺らぎが新しい Levy 分布のクラスに属していること、およびその分布形状の解析解を明らかにする。( 13 )

### 《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 ( 桴海、井崎、岩下、木村 )

ネマチック液晶中にミクロンサイズのコロイド粒子を分散させるとその界面での液晶配向状態に依存して、コロイド間に液晶の弾性を媒介とした相互作用が働くことが知られている。われわれは2本の光ピンセットを用いて2つのコロイド粒子を捕捉し、それらの位置を変化させつつ、トラップ位置の微小な変化をその顕微鏡像から観測することで粒子間相互作用の直接測定を行った。本年度はことに、その粒子間相互作用が粒子間角度、粒子クラスターサイズによって変化することを実験および数値シミュレーションによる理論により明らかにした。更にその相互作用を利用して、様々なコロイド構造体を作成することに成功した。

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

多成分脂質からなり膜内で相分離するベシクル構造 ( リボソーム ) 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(柴田、大久保、岩下、木村)

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

(4) コロイド結晶の生成・融解過程の研究(田中、岩下、木村)

光ピンセットのレーザーを導電性薄膜に照射することで作成した、局所熱勾配を用いて粒子を集積し、コロイド結晶を作成できる。さらに、レーザー照射を止めることで、この2次元コロイド結晶の融解過程を見ることが出来る。この生成・融解過程に関し、顕微鏡による実時間観察を行なった。その結果、結晶化の駆動力は熱泳動効果で定性的に説明できることが分かった。また融解は結晶境界からだけでなく内部からも進行すること、及びその際の粒子秩序の変化が2次元粒子系の相転移と関連があることが明らかとなった。

(5) ヤヌス粒子の作成とその凝集構造の研究(野口、竹田、岩下、木村)

シリカ粒子へ金蒸着し、それをチオール化することにより、親水面・疎水面を持った両親媒性コロイド粒子(ヤヌス粒子)を作成した。このヤヌス粒子-水-油3成分系において、その界面活性及び凝集挙動のセッケン分子系との相違を実験により解明した。また溶媒の臨界効果を利用してヤヌス粒子間の異方的な相互作用を精密に制御することにも成功し、それを利用して凝集構造形成における階層性を解明した。

(6) 液晶電気対流系の3次元観察(勝田、高橋、岩下、木村)

負の誘電率異方性を持つ液晶に電場を印加する事により生じる電気対流に対し、液晶配向方向を反映した蛍光を発する色素を用い、3次元的に対流構造を観察した。その結果、コレステリック液晶系において、過去の研究から予想されていたものの実際には確認されていなかったパターン遷移過程を、初めて明確に観察することができた。

(7) 異方的コロイド粒子の運動(松元、岩下、木村)

樹脂製のコロイド粒子を高分子フィルム内に分散させ、粒子がガラス転移点以上になる温度でフィルムを引き伸ばすことで、一軸延伸された楕円状粒子を作成した。そ

の粒子を沈殿させ、2次元的なブラウン運動を観察し、画像解析により拡散挙動を調べた。すると、時間スケールにより重心の拡散が回転拡散の影響を受けることが分かった。

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

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

( 9 ) 水素結合型物質の研究(町田光男)

水素結合型物質のトンネル現象を実験的に調べる研究を行った。その結果、中性子構造解析から得られた  $\text{KHCO}_3$ 、 $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$  の核分布を量子力学計算により再現できた。来年度は他の物質においてもトンネリングが起こっていることを検証することを目指す。

( 10 ) イオン液体の研究(町田光男、黒山晃司、藤川淳也)

イミダゾール系イオン液体のガラス転移をNMRで調べた。その結果、結晶とガラス状態の運動の相異が明らかとなった。来年度は液体相とガラス相の運動の研究を行う。

( 11 ) フィードバック増強マイクロレオロジーの開発 (M. Bremerich, H. Ayade、有松、西澤、水野)

光トラップしたプローブ粒子の変位を4分割フォトダイオードで精密計測し、さらに計測信号をもとにピエゾ駆動ステージ、およびAODを高速フィードバック制御しながら active-passive マイクロレオロジー計測を行った。従来強すぎる非平衡揺らぎのためにプローブ粒子を安定捕捉できない試料(細胞内部や遊走バクテリア溶液)でマイクロレオロジー計測を行い、揺動散逸定理の破れや非平衡揺らぎの分布形状の解析を行った。

( 12 ) 細胞骨格の非線形かつ非等方かつ非アフィンな力学応答 (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。

( 1 3 ) 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、およびその分布形状の解析解を明らかにした。

《 来年度の目標 》

研究 ( 1 - 1 3 ) のさらなる発展、及び教育の充実。

発表論文

《 原著論文 》

Nematic colloids - interaction between particles in anisotropic liquids:  
Yasuyuki Kimura, Takahiro Kishita, Kosuke Kita and Noboru Kondo,  
J. Phys. Soc. Jpn. 81 SA SA007 (8pp) (2012).

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

Yuriko Sassa, Shuhei Shibata, Yasutaka Iwashita, Yasuyuki Kimura,  
Phys. Rev. E 85 061402 (8pp) (2012).

High-resolution microrheology in the pericellular matrix of prostate cancer cells :

N. Nijenhuis, D. Mizuno, J. A. E. Spaan, and C. F. Schmidt,  
J. Royal Society Interface 9, 1733-1744 (2012).

講演

《 海外での講演 》

Mesoscopic mechanical properties of bilayers systems (invited):

Kimura Y.,

Biological & Pharmaceutical Complex Fluids: New Trends in Characterizing Microstructure, Interactions & Properties An ECI Conference, Tomar, Portugal, 2012  
年 8 月 2 日 .

Direct observation of electroconvective patterns in cholesteric liquid crystals by fluorescence confocal polarizing microscopy:

Katsuda, K., Ishibashi, Y., Iwashita, Y., Kimura, Y.,

24th International Liquid Crystal Conference, Mainz, Germany, 2012

Anisotropic Interparticle Force in Nematic Colloids:

Izaki, K., Fukai, B., Iwashita, Y., Kimura, Y.,

24th International Liquid Crystal Conference, Mainz, Germany, 2012

Interparticle Force in Nematic Colloids - Comparison between Experiment and Theory:

Kimura, Y., Kishita, T., Izaki, K., Fukuda, J.,

24th International Liquid Crystal Conference, Mainz, Germany, 2012

Non-Gauss a-thermal fluctuations in active cytoskeletons (invited) :

D. Mizuno

Biological & Pharmaceutical Complex Fluids: New Trends in Characterizing Microstructure, Interactions & Properties An ECI Conference, Tomar, Portugal, 2012  
年 8 月 1 日 .

Anisotropic stiffening of cytoskeletons by local force transmission :

D. Mizuno

Physcell 2012, Hyeres, France, Sep. 2-8, 2012

Nonlinear force propagation, anisotropic stiffening and non-affine relaxation in a model cytoskeleton :

D. Mizuno

APS March meeting, Baltimore, Maryland, USA, 2013

Athermal Fluctuations of Probe Particles in Active Cytoskeletal Networks :

HEEV AYADE, IRWIN ZAID, DAISUKE MIZUNO

APS March meeting, Baltimore, Maryland, USA, 2013

Feedback-enhanced Microrheology :

HEEV AYADE, MARCEL BREMERICH, HIROSHI ARIMATSU, DAISUKE MIZUNO

APS March meeting, Baltimore, Maryland, USA, 2013

《 国内での講演 》

液晶・高分子混合系のメソ構造形成 (依頼講演):

木村康之、近藤昇、木下隆裕、北紘典

第 60 回高分子討論会

金属 非金属ヤヌス粒子による金属粒子の被覆と分散安定化:

野口朋寛, 竹田雄作, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 68 回年次大会

ヤヌス粒子の 2 次元パターン形成:

岩下靖孝, 竹田雄作, 木村康之

日本物理学会 第 68 回年次大会

有限サイズのコロイド凝集体の融解・昇華:

田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 68 回年次大会

コレステリック液晶電気対流パターンの三次元変化:

勝田康平, 石橋優作, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 68 回年次大会

ネマチックコロイドの異方的相互作用:

井崎邦義, 桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 68 回年次大会

応力下の多成分リポソームの相分離:

祐下岳志, 木村康之, 柳澤実穂

第 118 回日本物理学会九州支部例会

臨界溶液におけるコロイドの凝集ダイナミクス:

玉井達哉, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

ヤヌス粒子2次元分散系におけるクラスター成長機構:

岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

パッチコロイド粒子の作成:

竹田雄作, 野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

金属蒸着ヤヌス粒子による金属粒子の分散安定化:

野口朋寛, 竹田雄作, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

孤立した二次元コロイド結晶の昇華:

田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

楕円形粒子の作成とその物性:

松元大吾, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

ホログラフィック光ピンセットを用いた光駆動多粒子系の作製:

大久保省吾, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

流体相互作用する光駆動多粒子系の運動:

柴田就平, 大久保省吾, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

コレステリック液晶電気対流の三次元構造のパターン変化:

勝田康平, 石橋優作, 岩下靖孝, 木村康之

第118回日本物理学会九州支部例会

異種ネマチックコロイド間の相互作用:  
井崎邦義, 桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 8 回日本物理学会九州支部例会

ネマチックコロイドの構造体の物性:  
桴海文吾, 井崎邦義, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 8 回日本物理学会九州支部例会

コレステリック液晶電気対流パターンの形成過程:  
勝田康平, 石橋優作, 岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

異種欠陥を伴うネマチックコロイドの粒子間相互作用:  
井崎邦義, 岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

金属-非金属面からなるヤヌス粒子の分散系における凝集構造形成:  
岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

臨界溶液におけるコロイドの凝集キネティクス:  
玉井達哉, 岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

水-油-両親媒性ヤヌス粒子 3 成分系における凝集構造の変化:  
野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

有限サイズ二次元コロイド凝集体の融解:  
田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之  
日本物理学会 2012 年秋季大会

孤立した二次元コロイド凝集体の融解:  
田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之

## 第2回ソフトマター研究会

異種欠陥を伴うネマチックコロイドの粒子間相互作用:

井崎邦義、桴海文吾、岩下靖孝、木村康之

第2回ソフトマター研究会

ヤヌス粒子の2次元分散系における凝集構造:

岩下靖孝, 木村康之

第2回ソフトマター研究会

コレステリック液晶電気対流パターンの形成過程:

勝田康平, 石橋優作, 岩下靖孝, 木村康之

第2回ソフトマター研究会

円環上を運動する粒子系が示すリズム運動:

佐々百合子、柴田就平、木村康之

第2回ソフトマター研究会

流体力学的に結合した光駆動コロイド粒子の集団運動:

柴田就平、岩下靖孝, 木村康之

第2回ソフトマター研究会

水 2,6ルチジン混合溶液におけるコロイドの二次元凝集ダイナミクス:

玉井達哉、岩下靖孝, 木村康之

第2回ソフトマター研究会

水 - 油 - 両親媒性ヤヌス粒子混合系における凝集構造の体積分率依存性:

野口朋寛、岩下靖孝, 木村康之

第2回ソフトマター研究会

Emulsion Formation of Amphiphilic Janus Particles in a Binary Liquid Mixture:

T. Noguchi, T. Kunisaki, Y. Iwashita, and Y. Kimura,

International Association of Colloid and Interface Scientists, Conference

リラクサー  $\text{CH}_3\text{CN}/\text{HOC}_6\text{H}_4\text{OH}$  の NMR

藤川淳也、町田光男  
日本物理学会 2012 年秋季大会

イオン液体 bmimBr の NMR  
中野裕生、石垣武士、町田光男  
日本物理学会 2012 年秋季大会

イオン液体 bmimBF<sub>4</sub> の NMR  
石垣武士、町田光男  
日本物理学会 2012 年秋季大会

三角格子リラクサーリラクサー CH<sub>3</sub>CN/HOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OH の NMR  
藤川淳也、町田光男

イオン液体 bmimPF<sub>6</sub> の NMR  
石垣武士、町田光男  
第 19 回中国・四国・北九州地区誘電体セミナー

イオン液体 bmimI の NMR  
松岡良春、町田光男  
第 19 回中国・四国・北九州地区誘電体セミナー

イオン液体 bmimX(X=Cl, Br) の NMR  
第 19 回中国・四国・北九州地区誘電体セミナー  
中野裕生、町田光男

AFM Probing Opioid Signalingosome on Neuroblastoma :  
Lara Villaruz, Junhua Li, Catherine Tardin, Daisuke Mizuno  
第 50 回日本生物物理学会年会

Feedback-enhanced active-passive microrheology in cells :  
有松 寛, Bremerich Marcel, 水野 大介, Ayade Heev, Zhang Peijuan  
第 50 回日本生物物理学会年会

Force transmission and anisotropic stiffening of reconstituted cytoskeletons:

Head David, 池辺 詠美, 中益 朗子, Zhang Peijuan, 安藤 祥司, 水野 大介  
第 50 回日本生物物理学会年会

Athermal Fluctuations in Active Cytoskeletal Networks Follow Truncated Levy Distribution :

Ayade Heev, 山本 匠, 水野大介  
第 50 回日本生物物理学会年会

フィードバック増強 active/passive マイクロレオロジーによる細胞骨格の力学計測 :

Marcel Bremerich, 有松寛, 水野大介  
第 1 1 8 回日本物理学会九州支部例会

広帯域マイクロレオロジーにより観測される細胞骨格の非線形かつ異方的かつ非アファインな力学応答 :

水野大介, David Head  
第 1 1 8 回日本物理学会九州支部例会

Athermal Fluctuations of Different Probe Sizes in Active Cytoskeletal Networks :

Heev Ayade, Irwin Zaid, 山本匠, 豊田聖啓, Peijuan Zhang, Julia Yeomans, 水野大介  
第 1 1 8 回日本物理学会九州支部例会

Nonlinear force propagation, anisotropic stiffening and non-affine relaxation in a model cytoskeleton :

D. Mizuno

Self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter Kyoto, Japan, Feb. 18(Mon.) - 20(Wed.), 2013

細胞（骨格）の非平衡揺らぎと非線形かつ異方的かつ非 affine な力学応答 :

水野大介  
第 2 回ソフトな物工の未来を考える会

マイクロレオロジーを活用した塗膜構造形成過程の理解 :

水野大介  
平成 24 年度先端膜工学研究推進機構春季講演会

揺動散逸定理を破る非平衡揺らぎの時空間構造（招待講演）：

水野大介

第 17 回久保記念シンポジウム「ゆらぎのなかの構造」東京, 2012 年 10 月 6 日

力生成する細胞（骨格）が示す非平衡揺らぎの統計分布（招待講演）：

水野大介

第 2 回ソフトマター研究会, 福岡, 2012 年 9 月 26 日

Non-Gauss athermal fluctuations in active cytoskeletons (invited) :

D. Mizuno

The 50th Annual Meeting of the BSJ, Symposium “ Living matter far from equilibrium: from DNA to cytoskeletons and cells ” Nagoya, Japan, 2012 年 9 月 23 日 .

## 外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、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

液晶中の自己組織化を利用した 3 次元構造体の創製  
研究代表者：木村康之

文部省科学研究費補助金、若手研究 (A)

細胞内部の非平衡力学に基づく非熱的揺動力の計測  
研究代表者： 水野大介

文部省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究

多粒子光トラップによる神経細胞の軸索伸長の制御とその特異性の起源の解明  
研究代表者： 水野大介

文部省科学研究費補助金、若手研究 (B)

非熱的揺動力による新しいコロイドメゾ構造の創成

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

倉田記念日立科学技術財団 倉田奨励金

超音波によるコロイドメゾ秩序化の新手法

研究代表者：岩下靖孝

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

他大学での研究と教育

木村康之：非常勤講師：東北大学理学系研究科物理学専攻

学部4年生卒業研究

竹田雄作：(指導教員、木村康之・岩下靖孝)：パッチコロイド粒子の作成

大久保省吾：(指導教員、木村康之)：ホログラフィック光ピンセットを用いた光駆動多粒子系の作製

祐下岳志：(指導教員、木村康之)：応力下の多成分リポソームの相分離

高橋健太郎：(指導教員、木村康之)：液晶電気対流中の粒子の運動

松元大吾：(指導教員、木村康之)：楕円形粒子の作成とその物性

松岡良春：(指導教員、町田光男)：低分子ガラスの NMR

修士論文

柴田就平：(指導教員、木村康之)：流体相互作用する光駆動多粒子系のダイナミクス

野口朋寛：(指導教員、木村康之・岩下靖孝)：“両親媒性”ヤヌス粒子が形成する凝集構造

桴海文吾：(指導教員、木村康之)：液晶中のコロイドクラスター間相互作用

藤川淳也：(指導教員、町田光男)：三角格子リラクサー  $\text{CH}_3\text{CN}/\text{HOC}_6\text{H}_4\text{OH}$  の NMR

#### 学外での学会活動

日本物理学会領域 1 2 代表 (木村)

日本物理学会九州支部委員長 (木村)

散乱研究会運営委員 (木村)

ソフトマター研究会運営委員 (木村)

日本生物物理学会 地区委員 (水野)

日本物理学会九州支部会 委員 (水野)

#### その他の活動と成果

高校生体験入学講師 (4月、岩下)

大分県立舞鶴高等学校 出前授業 (7月、木村)

# 複雑流体研究室

## 研究室構成員

鴫田昌之 教授

柳澤実穂 助教

### 《 大学院 修士課程 》

岡村香奈 山下祐太郎 濁川慎平 山下泰弘

吉田貴亮

### 《 学部 卒業研究生 》

佐藤寛貴 西澤賢治 吉田双葉 土岐恭介

## 担当授業

力学基礎・同演習（鴫田昌之）、熱と波動論基礎（鴫田昌之）、熱力学（鴫田昌之）、  
基礎物理実験学・同実験（鴫田昌之・柳澤実穂）、自然科学総合実験（柳澤実穂）

## 研究・教育目標と成果

ゼラチン-ポリエチレングリコール-水三成分系の相挙動（鴫田昌之、柳澤実穂、山下祐太郎）

ゼラチンならびにポリエチレングリコール（PEG）は、ともによく知られた水溶性高分子である。これらの高分子を混合した水溶液は温度変化に応じて相分離する。この相分離現象のメカニズムを明らかにする目的で研究を行った。その結果、高分子成分間の相溶性の低いことがその主たる原因ではないかと思われる結果を得た。

モデル細胞内での水性二相分離とゲル化によるパターン形成（柳澤実穂、濁川慎平）  
細胞内には多様かつ多量の生体高分子から成る高粘弾性流体が含まれている。そのモデルとして、細胞サイズ・油中水滴の内部にゼラチン・ポリエチレングリコール水溶液を内包する実験を行った。この2成分高分子水溶液は、温度低下に伴って水性二相分離とゼラチンのゲル化を示す。温度履歴や空間サイズ、水滴を覆う脂質組成によって、多様なマイクロゲル・パターンを生み出すことに成功した。来年度は、観察されたモデル細胞の形状をゲル弾性、相界面に働く界面張力などによって理論的に説明することを目指す。

相分離したゲルの輸送特性（鴫田昌之、柳澤実穂、山下泰弘）

アガロースは中性の高分子多糖として広く利用されている。アガロースは水溶液中においてゲルを形成したのちに相分離を生じる。相分離現象による内部構造の変化がゲルの物性に与える影響を明らかにするため、アガロースゲルの高分子網目と水間の摩擦係数を測定した。さらにゲルの構造特性を定量化し、これがゲルの摩擦係数に対して支配的であることを明らかにした。

接着した液滴間に発生する接着力評価 (柳澤実穂、吉田貴亮)

脂質膜で覆われた油水滴を2つ接着させた際に発生する接着力が、液滴界面を覆う脂質の種類によってどう変化するのかを定量的に評価した。脂質の炭化水素鎖に含まれる炭素数が16よりも小さくなると、接着力が急激に減少することを見出した。来年度は、この接着力が決定される因子を明らかにすることを目指す。

エチレングリコール水溶液中でのポリアクリルアミドゲルの膨潤挙動 (鴫田昌之、柳澤実穂、佐藤寛貴)

ポリアクリルアミドゲルは、PEG水溶液下で収縮する。その膨潤曲線のPEG濃度依存性とPEG分子量依存性を調べた。ゲルはPEG濃度の上昇に伴って収縮するが、ある濃度で最大値を示すリエントラント曲線をとることが分かった。また最もゲルが収縮するPEG濃度は、PEGの分子量に依存した。来年度は、ゲルの濁度測定や収縮する時間発展を解析することから、この収縮現象を解明したい。

タンパク質溶液の粘弾性測定 (柳澤実穂、西澤賢治)

細胞内の粘弾性挙動を明らかにするために、細胞内をモデル化した系として球状タンパク質BSA溶液と大腸菌細胞から得た抽出液を用いて、濃度変化に伴う粘弾性をマイクロレオロジーにより測定した。BSA溶液の濃度が細胞内濃度程度を超えると、粘性は急激に増加するが、弾性は水と同程度であることが分かった。一方の細胞抽出液は、同濃度においてBSAよりも大きな粘性を持つことがわかった。

モデル細胞間接着力への内包高分子の影響 (柳澤実穂、吉田双葉)

細胞間に含まれる生体高分子が細胞接着へ及ぼす影響を定量的に評価した。細胞間に含まれる生体高分子は、細胞膜の外側に存在する脂質膜とは引力相互作用を持ち接着力を強めるが、膜の内側に存在する脂質膜では変化させないことが分かった。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Physicochemical analysis from real-time imaging of liposome tubulation reveals the characteristic of individual F-BAR domain proteins

Yohko T.-Takiguchi, Toshiki Itoh, Kazuya Tsujita, Shunsuke Yamada, Miho Yanagisawa, Kei Fujiwara, Akihisa Yamamoto, Masatoshi Ichikawa, and Kingo Takiguchi  
Langmuir, **29** (2013) pp. 328-336.

Phase separation in crowded micro-spheroids: DNA-PEG system

Nupur Biswas, Masatoshi Ichikawa, Alokmay Datta, Yuko T.-Sato, Miho Yanagisawa, and Kenichi Yoshikawa

Chem. Phys. Lett., **539** (2012) pp. 157-162.

Emergence of a thread-like pattern with charged phospholipids on an oil/water interface

Hiroaki Ito, Masatoshi Ichikawa, Miho Yanagisawa, and Kenichi Yoshikawa

J. Chem. Phys., **136** (2012) p. 204903.

## 講演

### 《 海外での講演 》

Orientation control of the potassium channel KcsA and spatial arrangement of DNA in a cell-sized vesicle

柳澤実穂、加藤絢子、吉川研一

PhysCell2012、フランス・イエール (2012年9月8日)

Transport Properties of Phase-Separated Agarose Gel (ポスター)

山下泰弘、柳澤実穂、鴫田昌之

The 2nd International Congress On Natural Science、国立中山大学 (2012年10月24日)

Phase and Phase Transitions in Agarose Solution

鴫田昌之

The 2nd International Congress On Natural Science、国立中山大学 (2012年10月24日)

### 《 国内での講演 》

Spatial arrangement and orientation control of biomacromolecules in a model cell system: Experimental demonstration with DNA and the potassium channel KcsA

柳澤実穂、加藤絢子、吉川研一

International Association of Colloid and Interface Scientists Conference、仙台国際会議場（2012年5月18日）

モデル細胞内でのゼラチン/PEG 相分離とゼラチンのゲル化に伴う膜変形

柳澤実穂、濁川慎平、吉田貴亮、鴫田昌之

田中豊一記念シンポジウム 2012、酪農学園大学（2012年6月29日）

電場下における  $\gamma$ -カラギーナンのゲル化と構造形成（ポスター）

岡村香奈、柳澤実穂、成田貴行、大西勇、鴫田昌之

田中豊一記念シンポジウム 2012、酪農学園大学（2012年6月29日）

ゼラチン・ポリエチレングリコール・水三成分系の相挙動（ポスター）

山下祐太郎、柳澤実穂、向井貞篤、安中雅彦、鴫田昌之

田中豊一記念シンポジウム 2012、酪農学園大学（2012年6月29日）

細胞スケールの脂質膜界面が示す特異性：蛋白質発現の顕著な加速とDNAの混雑効果によるミクロ相分離

柳澤実穂、吉川研一

新学術ソフト界面：第8回公開シンポジウム、山形大学（2012年7月26日）

相分離したゲルの輸送物性

山下泰弘、柳澤実穂、鴫田昌之

日本物理学会 2012年秋季大会、横浜国立大学（2012年9月18日）

Localization of bulky-molecules in raft-like domains on phase-separated liposomes:

Control of domain size and bursting rate of liposome

柳澤実穂、ダミアン・ベイグル、吉川研一

第50回生物物理学会年会、名古屋大学（2012年9月23日）

相分離したゲルの輸送物性

山下泰弘、柳澤実穂、鴫田昌之

第2回ソフトマター研究会、九州大学西新プラザ（2012年9月24日）

Gel pattern formation in model cells coupled with phase separation

濁川慎平、鴫田昌之、柳澤実穂

第 50 回生物物理学会年会、名古屋大学 (2012 年 9 月 24 日)

Adhesive force of a lipid bilayer between contacted cell-sized droplets

吉田貴明、古田美幸、松田唯、中田聡、鴫田昌之、柳澤実穂

第 50 回生物物理学会年会、名古屋大学 (2012 年 9 月 24 日)

ゼラチン・ポリエチレングリコール・水三成分系の相挙動 (ポスター)

山下祐太郎、柳澤実穂、向井貞篤、安中雅彦、鴫田昌之

第 2 回ソフトマター研究会、九州大学西新プラザ (2012 年 9 月 25 日)

ゼラチン・PEG・水系における相分離とゲル化

山下祐太郎、柳澤実穂、向井篤、安中雅彦、鴫田昌之

第 118 回日本物理学会九州支部例会、琉球大学 (2012 年 12 月 8 日)

電場下における  $\gamma$ -カラギーナンのゲル化と構造形成

岡村香奈、柳澤実穂、成田貴行、大西勇、鴫田昌之

第 118 回日本物理学会九州支部例会、琉球大学 (2012 年 12 月 8 日)

ゼラチン・PEG・水系の相挙動に及ぼす PEG 分子量の影響 (ポスター)

山下祐太郎、柳澤実穂、鴫田昌之

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学 (2013 年 3 月 29 日)

マイクロ液滴内での高分子混合系の水性二相分離とゲル化によるパターン形成

柳澤実穂、濁川慎平、坂上貴洋、鴫田昌之

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学 (2013 年 3 月 29 日)

## 外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、若手研究 (B)

多細胞モデルの構築と細胞間相互作用の制御

研究代表者：柳澤実穂

文部省科学研究費補助金、若手研究(スタートアップ)  
非対称粘性下におけるモデル生体膜の変形機構  
研究代表者：柳澤実穂

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》  
委任経理金，ニプロパッチ株式会社  
研究代表者：鴫田昌之

第5回資生堂女性研究者サイエンスグラント  
理論的理解のための皮膚細胞様モデル構築とモデル細胞間相互作用の制御  
研究代表者：柳澤実穂

九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト（D1：萌芽的若手研究）  
内部階層構造を有し外界と物質輸送する細胞モデルとその制御理論の構築  
研究代表者：柳澤実穂

学部4年生卒業研究

佐藤寛貴：(指導教官、鴫田昌之) エチレングリコール水溶液下におけるポリアクリル  
アミドゲルの膨潤挙動  
西澤賢治：(指導教官、柳澤実穂) タンパク質溶液の粘弾性測定  
吉田双葉：(指導教官、柳澤実穂) モデル細胞を用いた細胞接着力の定量評価

修士論文

岡村香奈：(指導教員、鴫田昌之) 一次元拡散・反応系におけるパターン形成．  
山下祐太郎：(指導教員、鴫田昌之) 3成分高分子溶液系の相挙動．  
濁川慎平：(指導教員、柳澤実穂) モデル細胞内での水性二相分離とゲル化によるパター  
ン形成．  
山下泰弘：(指導教員、鴫田昌之) ゲルのスピノダル分解と輸送物性．  
吉田貴亮：(指導教員、柳澤実穂) 二細胞モデル間の膜接着力の定量解析．

## 平成24年度客員教授

基礎粒子系物理学講座 理論核物理研究室

中村 純 教授 (広島大学情報メディア教育研究センター)

量子色力学 (QCD) の研究はハドロン物理だけでなく、核物理、素粒子物理、宇宙・天体物理とも密接に関係した重要な課題である。現在、高エネルギー実験や格子 QCD によって、急速にその解明が進んでいる。

第一原理計算である格子 QCD 計算は、実数化学ポテンシャル ( $\mu$ ) において符号問題を持ち、その実行が困難である。実際、有限温度 (T) 系では  $\mu/T > 1$  領域において信頼できる結果は未だ得られていない。このように、この符号問題の解決が格子 QCD における最も大きな課題となっている。中村純教授は、格子 QCD の世界的権威である。氏のグループは  $\mu/T=2$  まで格子 QCD 計算を可能する方法を平成22年度に考案し、大きな発展を与えた。[1] 一方、九大グループは、数年に亘って有効模型を使って QCD の研究を行い、既存の格子 QCD 計算の結果をすべて再現する模型を考案した。[2]

上記の背景を元に、平成23-24年度に客員教授として中村純教授を招聘し、共同研究を推進させた。これによって、二人の学生が格子 QCD 計算をスタートし、物理学会でその成果を講演した。具体的研究課題は、符号問題のない純虚数化学ポテンシャル領域におけるクォーク-反クォーク間ポテンシャルの化学ポテンシャル依存性の導出である。その依存性を使って、純虚数化学ポテンシャル領域から実数純化学ポテンシャル領域へ外挿することによって、実数化学ポテンシャル領域でのクォーク-反クォーク間ポテンシャルを決定した。現在、論文にまとめているところである。

$\theta$  真空を有する格子 QCD 計算も、有限の  $\theta$  において符号問題を持っている。中村純教授との議論を行い、この符号問題を解決できる方法を提案した。[3] また、11月30日(金)に教室談話会を開き、中村純教授に「極限状態 QCD シミュレーション今昔」と題して講演をして頂き、学生や関連分野の研究者に対して格子 QCD の啓蒙を行った。

このように、平成23-24年度の二年間で具体的成果を上げることができた。今後は、九大グループと広島大グループの共同研究体制を強化し、世界的成果を継続的に上げてゆく予定である。

[1] K. Nagata and A. Nakamura, Phys. Rev. D83 (2011) 114507(1-9); Phys. Rev. D82 (2010) 094027(1-13).

[2] Y. Sakai, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro, Phys. Rev. D77, 051901 (2008).

Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno and M. Yahiro, Phys. Rev. D82, 076003 (2010).

[3] T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro, Phys. Rev. D87, 056003-1 (2013).

## 平成24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	原田恒司 <sup>+++</sup>		奥村健一
理論核物理	八尋正信 中村 純 <sup>+</sup>	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
素粒子実験	川越清以	東城順治	吉岡瑞樹 織田観
実験核物理	相良建至 野呂哲夫	若狭智嗣 寺西高	藤田訓裕 坂口聡志 森川恒安
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 <sup>++</sup>
低次元電子物性	篠崎文重 矢山英樹 <sup>+++</sup>		山田和正
複雑物性基礎	木村康之	町田光男 水野大介	岩下靖孝
複雑流体	鵠田昌之		柳澤実徳
構造物性	武田信一		

+客員教授

++准助教

+++基幹教育院

技術職員	原子核実験室 前田豊和 極低温実験室 上田雄也 吉松洋
------	-----------------------------------

学科事務職員	山路有希 久保早苗 古木多恵子 恵裕子 重松さおり 土嶋裕美
--------	-----------------------------------

## 平成24年度各種委員

(○は委員長)

部門長・学科長・専攻長：中西

副部門長：橋本

情報理学コース：横尾

将来計画委員：○川越，和田，木村，野呂，八尋，中西

教育課程委員：○鴫田，橋本，八尋，清水，成清，水野，坂上，岩下，中西

入試委員会委員長（全ての入試関連委員会の統括）：木村

助の会幹事：坂口

百年史：八尋，○篠崎，武田，相良，中西

社会連携委員：○渡部

キャンパス移転：木村

奨学金資格検討委員：○橋本，相良，吉森，武田

経理委員：○野呂，木村

業績評価部会：○橋本，渡部

就職・成績管理担当：○和田，寺西

図書：○成清，寺西

情報委員会：○寺西，野村，東城，山岡

支線 LAN 管理者：寺西

広報委員：○若狭，原田，松井

大学院説明会：○光田，奥村

年次報告担当：○渡部，河合

談話会：渡部

教員積み立て等会計：吉森

教員免許更新講習：○渡部，若狭

体験入学・入学オリエンテーション実施委員：○矢山，水野，藤田，山田，荒井

百年祭実効委員：○寺西，野村，藤田，松井，坂上，荒井

未来の科学実行委員：○篠崎，原田，鴫田，成清

学生生活相談委員：○吉森，浅野

理学部便り編集委員：町田(真)

いざない編集委員：松井

セクハラ防止委員：松本

FR 育成プログラム：○河合，水野

AS 育成プログラム：○光田，成清

## 24年度 物理学教室談話会

### 第1回物理学教室談話会

講演題目 中性子のスピン測定における不確定性  
-- ハイゼンベルクの不確定性原理を超えて --  
講師：長谷川裕司 (ウィーン工科大学)  
日時：2012年5月15日(火) 16:00~17:30

### 第2回物理学教室談話会

講演題目：トリプル $\alpha$ 反応の3体 Faddeev 計算  
講師：石川壮一 (法政大学)  
日時：2012年9月4日(火) 16:30より  
場所：物理第1会議室(理2号館2154号室)

### 第3回物理教室談話会

講演題目：The XENON direct dark matter search program  
講師：José A. Matias Lopes  
(University of Coimbra/Superior Institute of Engineering)  
日時：2012年9月28日(金) 14:30より  
場所：物理第1会議室(理2号館2154号室)

### 第4回教室談話会

講演題目：GLASS TRANSITION: FROM TWO TO INFINITE DIMENSIONS  
講師：Prof. Rolf Schilling  
(Institute of Physics, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Germany)  
日時：10月18日(木) 15:00-16:00  
場所：第3講義室(理学部2号館2階2249号室)

### 第5回物理教室談話会

講演題目：宇宙と素粒子  
講師：諸井健夫 (東京大学理学系)  
日時：11月1日(木) 16:00|17:00  
場所：物理第一会議室(2154室)

第 6 回教室談話会

講演題目：シヤストリー・サザーランド型格子を持つ  $\text{Yb}_2\text{Pt}_2\text{Pb}$  の  
極低温磁化過程と隠れた高次多極子秩序

講師： 榊原俊郎（東京大学物性研究所）

日時：12月4日（火）16：00－17：30

場所：物理第1会議室(2154室)

第 7 回教室談話会

講演題目：暗黒星雲（ダークネビュラ）から暗黒物質（ダークマター）まで  
～鹿児島大学で行われている宇宙に関する“ダークな”研究～

講師： 半田利弘（鹿児島大学理学部）

日時：12月10日（月）15：00－16：00

場所：物理第1講義室(2149室)

第 8 回物理学教室談話会

講演題目：Collective Motion of Self-Propelled Soft Particles

講師： 太田隆夫（京都大学大学院理学研究科）

日時：12月11日（火） 13：30～15：30

場所：第一会議室

第 9 回物理教室談話会

講演題目：不安定核ビームで探るスピン・アイソスピン応答

講師： 上坂友洋（理化学研究所）

日時：12月11日（火）16:00 - 17:00

場所：大学院講義室（2263号室）

第 10 回物理学教室談話会

講演題目：量子ビームを用いた構造不規則な物質の構造とダイナミクス

講師： 川北至信（独立行政法人日本原子力研究開発機構 J-PARC センター）

日時：12月20日（木）15:00 - 16:00

場所：物理学科 第一会議室（箱崎地区）

第11回物理教室談話会

講演題目：ニュートリノ研究の現状と将来

講師：中畑雅行（東京大学宇宙線研究所）

日時：1月7日（月） 16:30-17:30

場所：物理第一会議室（理学部2号館一階2154号室）

第12回物理教室談話会

講演題目：蛋白質の高圧変性と水和水の体積及び圧縮率変化

講師：墨智成（豊橋技術科学大学大学院工学研究科）

日程：1月22日（火） 16:00～17:30

場所：物理学部門第一会議室（2154室）

## 24年度 物理学教室水曜木曜談話会

### 第1回物理学教室 水曜談話会

講演題目：揺らぐ紐の物理

講師：坂上貴洋

日時：2012年5月13日（水）

場所：物理第2講義室

### 第2回物理学教室 水曜談話会

講演題目：高精度中性子測定で観る原子核のスピン応答

講師：若狭智嗣

日時：2012年6月27日（水）

### 第3回物理学教室 水曜談話会

講演題目：有効理論によるハドロン・原子核物理の解明

講師：八尋正信

日時：2012年7月25日（水）

場所：物理第2講義室

### 第1回物理学教室 木曜談話会

講演題目：トンネル電子による固体表面振動励起と原子移動

講師：河合伸

日時：2012年10月4日（木）

場所：物理第2講義室

### 第2回物理学教室 木曜談話会

講演題目：水素結合型物質における量子トンネリング

講師：町田光男

日時：2012年11月1日（木）

場所：物理第2講義室

第3回物理学教室 木曜談話会

講演題目：量子ドットと導電性高分子の低次元電子系

講師：山田和正

日時：11月22日（木）

場所：物理第2講義室

第4回物理学教室 木曜談話会

講演題目：天体温度における炭素-ヘリウム核融合反応の直接測定

講師：藤田 訓裕

日時：2013年1月17日（木）

場所：物理第2講義室

## 2012年度 物性基礎論コロキウム開催一覧

第1回 (2012年4月13日)

松井淳 (物性理論)

「ガラス転移における構造変化

-- ガラスはもとの液体のランダムな構造をもつのか？」

第2回 (2012年4月27日)

柳澤美穂 (複雑流体)

「多成分ベシクルの相分離パターンと機能創発」

第3回 (2012年5月11日)

坂上貴洋 (統計物理)

「ランダムウォークと高分子統計」

第4回 (2012年5月25日)

齋藤拓也 (統計物理)

「高分子鎖輸送過程の時間分布:分布の広がりスケーリング」

第5回 (2012年6月8日)

吉田紀生 (化学部門)

「生体機能解明をめざした、分子認識の統計力学」

第6回 (2012年6月22日)

中島千尋 (統計物理学)

「結び目の彩色問題」

第7回 (2012年7月6日)

水口朋子 (京大化研)

「粒子間相互作用ポテンシャルの引力項の変化がガラス形成能に及ぼす影響」

第8回 (2012年7月20日)

末松安由美 (物性理論)

「統計力学的手法による固液相転移の研究」

第9回 (2012年10月4日)

野口慎平 (物性理論)

「自発的な秩序の形成～相互作用する壺～」

第10回 (2012年10月18日)

Rolf Schilling

(Institute of Physics, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Germany)

「GLASS TRANSITION: FROM TWO TO INFINITE DIMENSIONS」

第11回 (2012年11月1日)

中村有花 (物性理論)

「大きな粒子の拡散における摂動理論とその精度」

第12回 (2012年11月29日)

中西秀 (統計物理)

「Non-coalescing droplets -- physics of coffee dripping --」

第13回 (2012年12月20日) EEP セミナーとして開催

Wokyung Song (POSTECH)

「" Surmounting the unsurmountable"」

-Physics for biological Self-organization」

第14回 (2013年1月17日)

千葉文野 (慶大理工)

「高分子の液体-液体転移」

第15回 (2013年1月29日)

Ala Trusina (Niels Bohr Institute, Copenhagen University)

「Theoretical models of collective cellular stress responses」

第16回 (2013年2月21日)

河合伸 (凝縮系理論)

「Ge(111)表面 Sn 吸着系における置換 Ge 欠陥」

## 平成 24 年度九大原子核セミナー開催一覧

第 898 回 2012 年 5 月 25 日(金)

講師：松本 琢磨 氏 (九州大学)

演題：離散化チャネル結合法による不安定核分解反応の解析と核データ評価への応用

第 899 回 2012 年 6 月 5 日(火)

講師：Pierre Descouvemont 氏 (Universite Libre de Bruxelles)

演題：Scattering of exotic nuclei

第 900 回 2012 年 7 月 6 日(金)

講師：蓑茂 工将 氏 (九州大学)

演題：Eikonal reaction theory for neutron removal reactions

第 901 回 2012 年 7 月 13 日(金)

講師：佐々木 崇宏 氏 (九州大学)

演題：有効模型を用いた 2+1 フレーバー QCD 相構造の解析

第 902 回 2012 年 7 月 27 日(金)

講師：David Boilley 氏 (University of Caen and GANIL, France)

演題：Crossing barriers to reach the Super-heavy Elements Island

第 903 回 2012 年 10 月 12 日(金)

講師：坂口 聡志 氏 (九州大学)

演題：アイソスピン一般化陽子弾性散乱と中性子スキン

第 904 回 2012 年 10 月 26 日(金)

講師：永田 桂太郎 氏 (広島大学 情報メディア教育研究センター)

演題：格子 QCD シミュレーションによる有限密度 QCD の研究

第 905 回 2012 年 11 月 28 日(水)

講師：福田 光順 氏 (大阪大学)

演題：反応断面積で探る不安定核の構造

第 906 回 2012 年 1 月 7 日(月)

講師：古立 直也 氏 (北海道大学 原子核反応データ研究開発センター)

演題：拡張した AMD を用いた軽い不安定核構造の研究

第 907 回 2012 年 2 月 8 日(火)

講師：安武 伸俊 氏 (千葉工業大学)

演題：Thermodynamical description of hadron-quark phase transition and its implications on compact-star phenomena

## 平成 24 年度非常勤講師一覧

### 学部担当

講師	所属	題目
松崎昌之	福岡教育大学教育学部・教授	物理現象と人間環境

### 大学院担当

講師	所属	題目
榊原俊郎	東京大学物性研究所	f 電子化合物の極低温磁化測定と多極子の物理
諸井健夫	東京大学 理学系 物理学科	初期宇宙論
川北至信	独立行政法人日本原子力研究開発機構	量子ビームを用いた構造不規則な物質の構造とダイナミクス
石川壮一	法政大学	少数粒子系の物理学
墨 智成	豊橋技術科学大学 情報・知能工学系	密度汎関数理論に基づく液体論とその応用
中畑雅行	東京大学宇宙線研究所	素粒子実験学特論 I
太田隆夫	京都大学	複雑物性の物理
上坂友洋	理化学研究所 仁科加速器センター	スピンと不安定核物理学

平成 24 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
IPBS/CNRS(薬理生物学 研究所/フランス国立科学 センター) Assistant Professor(助教 相当) Catherine Tardin	フラン ス	オピオイド信号伝達複合体の 力学特性と機能解析 (二国間共同研究)	4月6日～ 5月7日	水野
ブリュッセル大学教授 Pierre Descouvemon	ベルギ ー	第 899 回原子核セミナー講演 「Scattering of exotic nuclei」 及び研究議論のため	6月4日～ 6月8日	八尋
University of Gaen Assoc. Prof. David Boilley	スイス	「Crossing barriers to reach the Super-heavy Elements Island」についての講演のため	7月27日 ～ 7月27日	八尋
Kharkov Insitute of Physics 教授 SHEBEKO OLEKSANDR	ウクラ イナ	国際会議出席のため	8月17日 ～ 8月26日	相良
Jagiellonian University ポズドク IZABERA CIEPAL	ポーラ ンド	国際会議出席のため	8月17日 ～ 8月28日	相良
Department of Physicas, Melktil aUniversity 講師 HTUN HTUN OO	ミヤン マー	国際会議出席のため	8月19日 ～ 8月25日	相良

## 教育課程委員会活動報告

2012年度に行った主な活動を以下に挙げる。

- 学位プログラムならびにカリキュラムマップの作成。

理学部教務委員会からの依頼により学部教育に対する学位プログラムの作成とカリキュラムマップを作成した。また、大学院課程（修士・博士）についても同様の学位プログラムとカリキュラムマップを作成した。ただし、基幹教育に移行した後は再修正をする必要があるといわれている。

- 学習支援。

3年次編入生に対する補講を継続的に行った。従来の科目に加え、学生から電磁気学についても補講をしてほしいとの依頼があり、TAを手当てした。

- 基幹教育への移行に対応したカリキュラムの全般的見なおし。

基幹教育院が発足し、26年度からの基幹教育の実施が現実化しておりこれに向けてカリキュラムの策定を行っている。年度明け以来、基幹教育院とのやりとりを複数回行い、1年次科目や取得単位数などについては概ね収束の方向にあるが、2年次以降については不明の点が多い現状である。

基幹教育の実施に伴い、専攻教育科目やひいては大学院科目まで含めたカリキュラムの見なおしをしなければならない。2013年度中には2014年度入学性が卒業するまでの4年分の時間割を作成しなければならない。

- 改正労働契約法が2013年4月から実施されるに伴い、助教の任期が5年となる。

このような事態に鑑み、学生実験の改革を早急に行う必要がある。これに関しては、しかしながら、これまでに充分議論し、またFD等でも取り上げて問題点とその解決の方向性は概ねできているとあって良い。2013年度には実際のテーマと実施方法を確定し、実験指導書の作成を視野に入れた改革を行わなければならない。

## 2012 年度物理学部門ファカルティ・ディベロップメント報告

「学生に学習時間を確保させるには」

「大学院講義の改善に向けて」

開催日時： 第1回： 2012年11月08日(木) 17:00

第2回： 2013年03月07日(木) 16:30

開催場所： 物理第一講義室

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。

第1回は、「学生に学習時間を確保させるには」をテーマに、全教員にアンケート調査を実施し、その結果を議論に反映させた。モデルケースとして、八尋教授が「物理学入門」(1年前期)、原田教授が「解析力学・同演習」(2年前期)、浅野助教が「物理学総合実験」(3年通年)の授業における工夫について報告を行った。アンケート結果およびモデルケースの紹介を踏まえて、授業の改善点について全教員で議論を行った。

第2回は、「大学院講義の改善に向けて」をテーマに、八尋教授が大学院生に対するアンケート調査の結果を紹介し、問題点の整理および提言を行った。原田教授が「場の量子論」、野村准教授が「量子統計物理学」、木村教授が「複雑系物理学」の講義の様子を紹介し、問題点の整理および提言を行った。最後に、全教員で改善に向けた議論を行った。

その他に、Pohang 工科大学物理学の Sung 教授に講演 “Physics Education at POSTECH” を行っていただき (開催日時：2012年12月19日(木) 16:30、開催場所：物理第三講義室)、同学科における教育活動について詳しく知ることができ、大きな刺激となった。更に、Copenhagen 大学 Niels Bohr 研究所の Trusina 教授に講演 “The professor-student feedback through evaluation and grading system in Danish universities” を行っていただき (開催日時：2013年1月31日(木) 17:00、開催場所：物理第一講義室)、同大学における教員と学生の相互作用について詳しく知ることができ、大きな参考となった。

上記に関する報告書 (講演のスライド資料、アンケート集計結果、質疑応答の全記録が収録されている) を作成し詳細をそこに記した。

## 平成 2 4 年度 入学者数と卒業者数

	入学者数	卒業者数
物理学科	5 9	5 5
物理学科 3 年次編入	3	—
修士課程 (物理学専攻)	4 7	3 8
博士課程 (物理学専攻)	—	1
	7	博士学位取得者 7

## 2012年度の就職・進学状況

2012年度は企業の採用活動が正式に2011年12月より解禁になった。物理の学生にとっては例年2月ごろより始めていた就職活動を少し早める結果になったようである。物理学科でも2月～3月にかけてOBのリクレーターによる物理学科生向けの会社説明会を10回ほど開催した。ほかにも就職メーリングリストを作成して、就職担当に送られてくる会社案内のメールを転送したり、物理学科を訪問された企業の案内メールを送付するなどして学生の就職活動を支援している。

### 修士の進路・就職

今年度の修士2年生は41名で、進路の内訳は以下の通りであった。傾向は例年とあまり変わらない。民間企業の主な就職先は、ソフトバンクグループ、三菱電機、日立、東芝、JR九州、日本電産、いすゞ自動車、トヨタ車体研究所、岡野バルブ製造、イサハヤ電子、MHエアロスペースシステムズ、三菱日立製鉄機械、東芝メディカルシステムズなどである。教員では2名が福岡県に公立高校教員として採用され、2名が私立の中学・高校に就職した。

博士課程進学（含 他大学）	8
民間企業	24
教員（含 私立，非常勤）	5
公務員	0
留年	1
未定	2
退学	1
合計	41

### 博士の進路・就職

博士課程を修了した人では1名が学振のポスドク、1名が他大学の博士研究員、1名が民間企業に就職した。

### 学部生の進路・就職

修士進学は44名（九大物理40名 他大学・他学府4名）、民間企業に就職4名、教員1名、未定が2名、その他1名であった。学部生の就職先は、SMBC コンシューマファイナンス、東京海上日動、東芝三菱電機産業システム、中国電力および福岡雙葉学園であった。

## 体験入学・公開講座報告

担当：矢山英樹

平成25年4月2日(火)～3日(水)の2日間にわたって、「第16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日間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、4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開放し、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も兼ねている。今年は3月末に物理学会が開催されたため、例年より少し遅く4月にずれ込んで開催した。

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、72名の参加があった。また、一般向けの公開講座への申込者3名、高専生1名で、全受講者数が76名に達した。実際のセミナー・実験の内容、スケジュール、担当者は下記のプログラムに示す。体験入学参加者の住所は福岡を中心に、大分、熊本、長崎、佐賀、宮崎、鹿児島、沖縄、東京など広範囲にわたっている。

最終日に閉校式を行い、今後の改善のためにアンケートをお願いした。体験入学に2日間参加した高校生に対して全般の感想について聞いた結果を最後のグラフに示す。興味(面白いー普通ー面白くない)と難易度(難しいー普通ー易しい)について答えてもらい、各生徒がどの組み合わせで回答したかを集計したものである。全体のアンケートで最も多い回答は「面白いが難しい」、2番目は「面白くて難易度もちょうど良い」であり、概ね好評であったと考えている。実験では「面白くて難易度もちょうど良い」が圧倒的に多く、「実験が楽しかった」という声も聞かれた。しかし、昨年度から引き続き特にセミナーにおいて「面白い一方、内容が難しい」という声がやや多くあるので、今後、改善の余地があると思われる。

### [開講日程・内容]

	2013年4月2日(火)		2013年4月3日(水)
10:00～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	「ソフトマター物理学から細胞機能へ迫る」(柳澤助教)	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	「不思議なミクロの世界の住人 原子核を探る」(清水准教授)	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	「ビッグバン宇宙と星の進化」(橋本教授)	13:20～15:20	実験(A～Hから1つ)

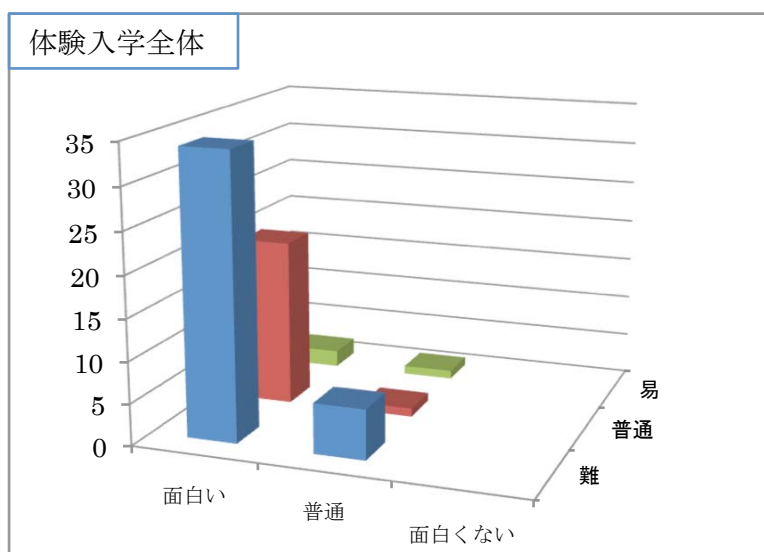
		15:30～15:45	閉校式
--	--	-------------	-----

[実験テーマ (担当者)]

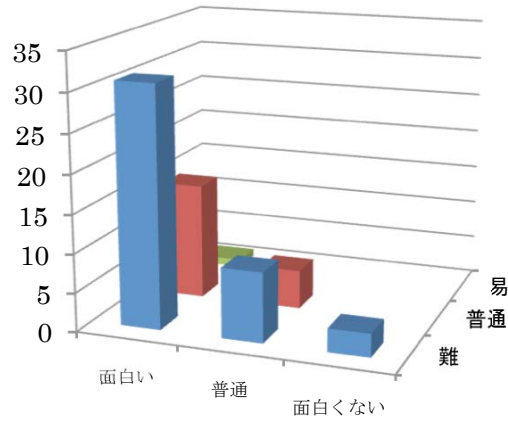
- A. 物質を透過する粒子線 (寺西 高)    B. 極低温の世界 (浅野 貴行)
- C. 超伝導を体験する(山田 和正)        D. 相対論自転車 (松井 淳)
- E. BZ 反応 ～化学反応が「振動」する～(岩下 靖孝)
- F. 光の回折と波の不思議－波動の重ね合わせと高校・大学の数学(荒井 毅)
- G. 日用品を使った電磁力の実験(坂上 貴洋)
- H. 身の回りの放射線を調べよう(藤田 訓裕)

[アンケート結果]

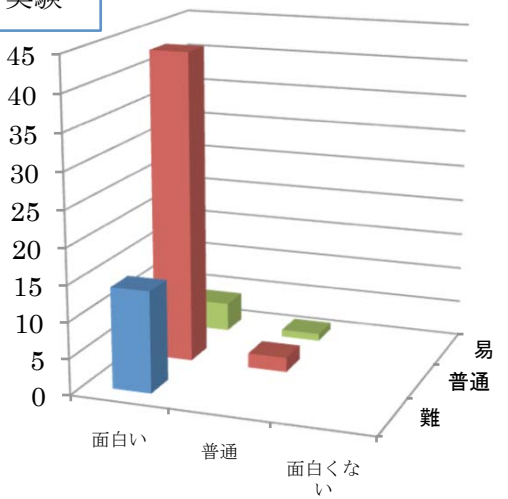
「平成22 年度体験入学全体に対して、興味と難易度についてそれぞれ3 段階で評価して下さい」に対する回答を集計した結果。縦軸は人数。



セミナー



実験



## 平成24年度社会貢献活動報告

### 1) 高校訪問出前授業等の実施

以下各高校において、模擬講義もしくは理学部および物理学科の説明（入試状況、カリキュラム、就職状況等）を行った。

#### 1 先端科学普及事業（高校への出張講義等）

##### 1) 大分県立大分舞鶴高等学校

実施日：平成24年7月9日（月）

担当者：木村 康之 教授

##### 2) 宮崎県立宮崎北高等学校

実施日：平成24年7月21日（土）

和田 裕文 教授

##### 3) 長崎県立諫早高等学校

実施日：平成24年7月30日（月）

担当者：鵜田 昌之 教授

##### 4) 佐賀県立唐津東高等学校

実施日：平成24年9月21日（金）

担当者：寺西 高 准教授

##### 5) 山口県立下関西高等学校

実施日：平成24年10月26日（金）

担当者：吉森 明 准教授

## 2) 理学部先端自然科学講演会（リカレント教育）研修会

福岡県高等学校理科部会と合同で中高教育に携わる方々に対して，最先端の自然

科学と科学技術の現状に関する講演会を開催した。

実施日：平成23年8月17日

物理学部門の講演は、川越清以教授、野村清英准教授、委員渡部行男教授。

## 3) 先端科学体験事業（体験物理学）

実施日：平成25年4月2-3日

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。

矢山英樹教授とりまとめ

セミナー 「ソフトマター物理学から細胞機能へ迫る」

「不思議なマイクロの世界の住人 原子核を探る」

「ビッグバン宇宙と星の進化」

実験 物質を透過する粒子線 極低温の世界 超伝導を体験する

身の回りの放射線を調べよう BZ反応～化学反応が「振動」する

日用品を使った電磁力の実験 相対論自転車

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

## 4) 教員免許状更新講習

高校教員の免許更新のための講習

実施日：平成24年8月8日（水）

特殊相対性理論の基礎 自然現象と相対論 若狭智嗣准教授

量子力学の基礎 固体電子論の基礎 渡部行男教授

## 5) 公開講座 現代物理学入門

実施日：平成25年4月2日

内容：3)のセミナーについては一般の方々に対する講座として公開した。

6) 未来の科学者養成講座「エクセレント・スチューデント・イン・サイエンス 育成プロジェクト」(JSTの委託事業)

平成24年9月～平成25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。