

# 物理教室年次報告書

## 平成 2 3 年度

2012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23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	31
素粒子実験	49
原子核実験	67
物性理論	81
統計物理学	90
凝縮系理論	99
磁性物理学	104
量子微少物性	116
低次元電子物性	120
複雑物性基礎	128
複雑流体	142
構造物性	148
客員教授	154
教職員一覧	155
各種委員一覧	156
物理学教室談話会	157
物性基礎論コロキウム	158
九大原子核セミナー	161
非常勤講師一覧	163
外国人研究者等受入記録	165
教育課程委員会活動報告	166
物理学部門ファカルティ・デベロップメント報告	167
入学者数と卒業者数	168
就職・進学情況	169
体験入学・公開講座報告	170
社会活動貢献報告	172

## はじめに

2011 年度版，九州大学大学院理学研究院物理学部門の年次活動報告書をお届けいたします。

従前より伊都キャンパスへの移転が進行しており，理学研究院においても，移転先の部屋割りなどの準備が進行している最中でありましたが，昨年 3 月 11 日に発生した東北大震災の影響により理学研究院の移転は少々先送りされることになったようです。残念ではありますが，職員一同，移転に向けた準備だけはきちんとしておく必要があります。この一年，人事面では大きな動きがありました。まず，素粒子理論研究室で長年に亘り教育と研究に携わってこられた井上研三教授が今年度をもって退職されました。しかし，理論核物理グループに松本琢磨助教が，素粒子実験グループに東城順治准教授，吉岡瑞樹助教，織田勸助教が，実験核物理グループに坂口聡志助教が，また複雑流体グループには柳澤実穂助教が着任されスタッフが充実しております。これからの教育や研究面での活躍が期待されます。

九州大学全体でもかなり大きな動きがありました。第一に大学活性化制度の制定です。この制度は，学内概算要求といっても良いようなシステムです。各研究院からプロジェクトを申請し，学内審査によって採択されたプロジェクトは人事面などで優遇されることとなります。幸い本年度は物理学部門で申請した素粒子実験の研究特区構想が採択されました。しかしながら，このようなプロジェクトに採択されたことは，同時に，一定の成果をあげることが要求されます。スタッフのよりいっそうの研究活動を期待したいと思います。第二に，基幹教育院がこの 10 月に設置されました。こちらは現在の共通教育を見直し，基幹教育として新しい教育内容やシステムを構築しようという目的で設置されたものです。基幹教育院には各研究院，各部門からスタッフが移動することになっております。建物は 2012 年度内には着工し，スタッフの移動は 2013 年度初頭に計画されています。

本冊子は物理学部門の 2011 年度の研究活動ならびに社会貢献活動に関する報告書です。その他の部門の活動および最新情報につきましては党研究室のホームページ，<http://www.phys.kyushu-u.ac.jp/>をご覧ください。

2012 年 3 月

平成 23 年度物理学部門部門長 鴫田昌之

# 素粒子理論研究室

## 研究室構成員

井上 研三 教授

原田 恒司 准教授

奥村 健一 助教

### 《 博士研究員 》

山津 直樹 (H23.8.31 まで)

### 《 大学院 博士課程 》

榮田 達也    田港 朝貴    久保 幸貴    吉本 一世

上農 和人

### 《 大学院 修士課程 》

牧野 広樹    水口 拓也    米田 達則 (H23.9.31 まで)    中野 正之

仲村 崇大    萩本 啓

### 《 学部 卒業研究生 》

武田 大典    原田 遼平    山口 賢司

### 《 訪問研究者 》

澤中 英之

## 担当授業

井上 研三

量子力学 II、量子力学 III、素粒子物理学、場の量子論、ゲージ理論、M1 セミナール

原田 恒司

解析力学・同演習、一般相対性理論、素粒子物理学特論、物理学特別研究

奥村 健一

解析力学・同演習、物理学基礎演習

## 研究・教育目標と成果

研究

- 超対称性にもとづく素粒子の世代構造の研究 (井上 研三, 山津 直樹)

素粒子の世代構造を支配する重要な対称性を思われる  $SU(1, 1)$  は非コンパクト群である。この群が持つ負計量の問題を量子論として克服するためには、通常の場合の量子論がもとづく繰り込み可能な理論の枠組みから踏み出して、広く可能性を追求することが求められる。これまで進めてきた研究で、超対称性がここで重要な役割を果たす兆候を見てきた。本年は、さらに具体的な例にそって、摂動論的な解析を通して、その詳細の検討を進めた。

- パイオンを含む核子系有効場理論の Wilson 流繰り込み群に基づく NNLO の計算 (原田 恒司、柴田 達也)

有効場理論は、原理的に無限個の演算子を含むので、どの次数まで計算を実行するのか、その次数までの計算には、どの演算子を含める必要があるのかを明かにすることが非常に重要である。我々は昨年度 Wilson 流の繰り込み群を核子系有効場理論に適用することによって、パイオンの交換の短距離の寄与と長距離の寄与を区別して扱うことの重要性を示した。今年度はその理解に基づき、パイオンの交換の寄与に運動量に関する cutoff を導入して、現実の核子系の S 波の散乱振幅を Next-to-next-to-leading order (NNLO) まで解析的に求める計算を行なった。この計算は 3-ループのダイアグラムの計算を含み、大変複雑なものである。現在 8 割程度計算を終了している。来年度中に計算を完結させ、論文として発表する予定である。

- 非相対論的 3 体系の Wilson 流繰り込み群と Efimov 効果 (原田 恒司、吉本 一世)

非相対論的 3 体系は 2 体系の散乱長が無限大の極限で、無限個の 3 体束縛状態をつくり、その束縛エネルギーが一定の比をなすという Efimov 現象が起ることが知られており、大変興味深い系である。この現象は極低温での原子系で実際に観測されはじめている。この現象は、繰り込み群の limit cycle と関連していることが知られているが、今までの研究では、2 粒子の有効的な自由度を記述する dimeron と呼ばれる一種の補助場を導入した繰り込み群の解析しか行なわれていない。dimeron のような自由度を導入せずに示せないのかという疑問が生じる。一方、繰り込み群方程式は一種の 1-ループのダイアグラムしか寄与しないことが知られているが、素朴に非摂動論的繰り込み群の計算を行なうと limit cycle が現れないことがわかる。我々は dimeron 場を導入することなしにどのようにして limit cycle が現れることができるかを明かにし、繰り込み群の計算を実行して Efimov の値と非常に近い limit

cycle の周期を得た。この結果は論文にまとめて発表する予定である。

- 超対称性の破れの mirage mediation におけるレプトンフレーバーの破れの研究 (奥村 健一、上農 和人)

Mirage mediation において右巻きニュートリノを導入した最小超対称理論 (MSSM) でのレプトンフレーバーを破る過程を考察した。右巻きニュートリノの質量が定数で与えられる場合、昨年度の研究により右巻きニュートリノによる敷居補正によって UV insensitive な anomaly mediation だけでなく modulus mediation と anomaly mediation の混合項に存在するレプトンフレーバーの破れもほぼ相殺され、主に modulus mediation への寄与だけが残ることが分かっている。本年度は右巻きニュートリノの質量が場の真空期待値で与えられる場合を研究し、予備的な結果を得た。

- 10TeV 超対称理論における電弱対称性の破れの研究 (奥村健一、牧野広樹)

LHC による超対称粒子の質量下限の大幅な上昇と MSSM での上限に近い質量の軽いヒッグス粒子の兆候が明らかになったことを踏まえ、TeV scale mirage mediation のような比較的電弱対称性の微調整が少ない超対称標準理論において微調整の基準を緩めて 10 TeV スケールの超対称粒子の質量を実現した場合を考察し、ヒッグス質量と超対称粒子質量の関係を計算した。これにより LHC で超対称粒子が見つからなかった場合、超対称粒子質量を予測する上で  $\tan \beta$  の測定が非常に重要であることが明らかになった。今後予言の信頼性上げるため、ヒッグス粒子の質量計算を 2-loop に改善する予定である。

- 超対称性の破れの mirage mediation における Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model の電弱対称性の破れの解析 (奥村健一、牧野広樹)

LHC による前記のような状況を踏まえ、TeV scale mirage mediation において MSSM に一重項場を導入した NMSSM を考察し、その電弱対称性の破れの構造と軽いヒッグス質量を調べた。これによりダウン型ヒッグス質量パラメータと有効  $\mu$  項の相殺が起ることで、微調整を導入することなく有効  $\mu$  項 (ヒッグシーノ質量) を 500GeV 程度まで重く出来ることが分かった。また NMSSM に典型的な偽真空やヒッグスの tachyonic mode を避けて 125GeV 程度の軽いヒッグス質量を実現可能であることを明らかにした。この結果は学外の共同研究者と共に論文にまとめる予定である。

- 初期宇宙における非平衡な素粒子の反応過程において生成される粒子・反粒子の非対称の定量的評価 (奥村健一、水口拓也)

観測事実から、現在の宇宙のエネルギー密度の物質成分には、バリオン数非対称とダークマターが主に寄与することが知られている。初期宇宙における両物質成分の生成・残存のメカニズムを記述するモデルに関しては、それぞれ有力な候補が考案されているが、両者のエネルギー密度が同程度のオーダーの量的関係にあることは、それらのモデルによっては自然に説明が困難であることが知られている。

昨年度は、バリオン数非対称とダークマターエネルギー密度の量的関係を自然に説明するようなモデルについての先行研究について整理することが主な目標であった。具体的には、Asymmetric Dark Matter というモデルに関する先行研究をまとめた。研究の過程において、「未知の素粒子の相互作用」と「初期宇宙における非平衡過程のダイナミクス」の解明が重要であるとの認識に至った。

そこで、バリオン数非対称とダークマターのエネルギー密度間の量的関係の理論的解明の一環として、今年度は、「初期宇宙における非平衡過程のダイナミクス」に重点を置いて研究を行う予定である。より具体的には、宇宙におけるバリオン数非対称のエネルギー密度を、レプトジェネシスという従来から知られているモデルに基づき、数値計算により再評価する。初期宇宙におけるバリオン数非対称の生成・残存の過程の記述の際、非平衡な素粒子の反応過程を扱うことになる。レプトジェネシスの先行研究においては、非平衡過程はボルツマン方程式という現象論的な方程式に基づいて記述されている。この方程式を数値的に解く際、正当性が明らかではない近似が用いられている。ボルツマン方程式を解く際の手法をより洗練し、得られるバリオン数非対称の値が先行研究による評価の値とどの程度異なるのかを明らかにすることが当面の課題である。

- ゲージ/重力対応を用いたハドロンの Regge 軌跡及びグルーボールの研究 (田港 朝貴、久保 幸貴)

QCD の低エネルギー領域で実現されるハドロン相において、Regge 軌跡はハドロンの持つ重要な性質の一つであり、その理論的な理解のためには QCD の非摂動効果を取り入れる必要があるとされる。そこで昨年度我々は、ゲージ/重力対応と呼ばれる超弦理論から示唆される非摂動論的手法を用いる事で、メソンとバリオンの Regge 軌跡の定性的導出を行なっている。今年度は

その流れを受けて、我々はゲージ/重力対応を用いて、ハドロンの一種とされるグルーボールの Regge 軌跡とその質量スペクトラムを調べた。具体的には回転する閉弦解をグルーボールとする従来の見方を踏襲し、超対称性がある場合とない場合の場の理論の重力双対を用いてその質量と角運動量の関係を見た。すると、どちらの場合もハドロンの質量の 2 乗とスピンの関係にあるという Regge 軌跡の定性的な一致を見る事ができた。さらに、グルーボールの Regge 軌跡の比例定数が昨年度調べたメソンの半分である事も一般に示された。一方、グルーボールの質量スペクトラムに関しては、超対称性のない場合はスペクトラムを計算する事ができ、従来の格子計算の結果と定性的に一致したものの、超対称性のある場合はグルーボールが伝播せずスペクトラムが求められない事がわかった。これは考える重力理論の持つ時空の幾何に起因するものである事が予想されるが、その詳細に関しては今後の課題にしたい。

## 教育

- 井上 研三

大学院の授業科目「ゲージ理論」の講義ノートを英文で作成し、ホームページに掲載した。学部の講義科目「素粒子物理学」の講義ノートを教科書として出版（共立出版）した。

- 原田 恒司

学部教育においては、「解析力学・同演習」および「一般相対性理論」を通して理論物理学の方法の基礎を身につけさせることを目指した。また、4年生の特別研究を担当した。プログラミングの基礎的な事柄から始めて、モンテカルロ法を学び、統計系の相転移の理論を学習し、最後には格子 QCD のシミュレーションを行って卒業論文を作成させた。来年度も同様の特別研究のテーマで行ないたい。

大学院では「素粒子物理学特論」を担当し、単に素粒子理論の学生を対象とするばかりでなく、もっと幅広い視野から有効場理論に基づく理論の基礎を講義した。

- 奥村 健一

[教育の目標と成果] 本年度は学部教育において「解析力学・同演習」および「物理学基礎演習」を担当した。これらの演習を通じて理論物理学に必要な基礎的な数学的技術や概念を習得させ、かつより進んだ学生にはさらに進ん

だテーマに対して興味を深めさせることを目標に教育を行った。特に「解析力学・同演習」においては終盤に毎回小テストを導入し、学生が授業を通じて得た理解を再確認できるようにした。

[次年度の目標] 問題のある学生を早い段階で見つけ出し、ティーチングアシスタントによる補講に誘導することで力をつけさせる。そのために授業の始めに基礎知識を確認するテストを行う。また学生の解答速度を早めるために段階的に時間制限を導入し、早く解答した者に加点することでモチベーションを高める。

## 発表論文

### 《原著論文》

- Mixed Mediation of Supersymmetry Breaking with Anomalous  $U(1)$  Gauge Symmetry: Kiwoon Choi, Kwang Sik Jeong, Ken-ichi Okumura, and Masahiro Yamaguchi, JHEP, **1106** (2011) 049
- Holographic Glueballs and Infrared Wall Driven by Dilaton: Kazuo Ghoroku, Kouki Kubo, Tomoki Taminato, Fumihiko Toyoda JHEP 1204:087 (2012), arXiv:1111.7032 [hep-th]

### 《Proceedings》

- Pions in nuclear effective field theory: how they behave differently at different scales and how they decouple at very low energies : Koji Harada, Hirofumi Kubo, and Yuki Yamamoto, Few Body Systems (Online First, 14 March 2012), APFB2011, Seoul, Korea
- Practical calculational scheme implementing the Wilsonian RG results for nuclear effective field theory including pions: Hirofumi Kubo, Koji Harada, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto, Few Body Systems (Online First, 14 March 2012), APFB2011, Seoul, Korea

## 講演

## 《 海外での講演 》

- Pions in nuclear effective field theory: how they behave differently at different scales and how they decouple at very low energies : Koji Harada, Hirofumi Kubo, and Yuki Yamamoto, APFB2011 (2011.8.22-26), Seoul, Korea
- Practical calculational scheme implementing the Wilsonian RG results for nuclear effective field theory including pions: Hirofumi Kubo, Koji Harada, Tatsuya Sakaeda, and Yuki Yamamoto, APFB2011 (2011.8.22-26), Seoul, Korea

## 《 国内での講演 》

- A Wilsonian view on the nuclear effective field theory : Koji Harada, Renormalization Group Approach from Ultra Cold Atoms to the Hot QGP, 基礎物理学研究所 (京都大学) (2011.8.31)
- 核子有効場理論の繰り込み群に基づく核子-核子散乱の解析 : 榮田達也、原田恒司、久保博史、山本裕樹, 日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学) (2011.9.18)
- パイ中間子は摂動的か非摂動的か? – Wilson 流繰り込み群による核子有効場理論の解析 –: 久保博史、原田恒司、榮田達也、山本裕樹, 日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学) (2011.9.18)
- A Holographic approach to Regge trajectory and rotating D5-brane: 郷六一生, 田港朝貴, 豊田文彦, 日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学) (2011.9.19)
- Wilson 流くりこみ群を用いた 3 体系の解析: 原田恒司, 久保博史, 山本裕樹, 吉本一世, 第 117 回日本物理学会九州支部例会 (佐賀大学) (2011.12.3)
- A Holographic approach to Regge trajectory and rotating D5-brane: 郷六一生, 田港朝貴, 豊田文彦, 第 117 回日本物理学会九州支部例会 (佐賀大学) (2011.12.3)
- Holographic Glueballs and Dynamical Wall Driven by Dilaton: 郷六一生、久保幸貴、田港朝貴、豊田文彦、第 117 回日本物理学会九州支部例会 (佐賀大学) (2011.12.3)

- 非相対論的な 3 体系の Wilson 流くりこみ群による解析: 原田恒司、久保博史、吉本一世, 日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学) (2012.3.25)
- 核子系有効場理論を用いた核子-核子散乱の繰り込み群に基づく解析: 榮田達也、原田恒司、久保博史、山本裕樹, 日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学) (2012.3.25)
- 10TeV 超対称理論でのくりこみ群による Higgs 粒子の解析: 小林達夫、牧野広樹、奥村健一、高橋亮, 日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学) (2012.3.25)
- Constraints on NMSSM parameters in TeV scale mirage mediation: 小林達夫、奥村健一、高橋翼、下村崇, 日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学) (2012.3.25)
- Holographic Glueballs and Infrared Wall Driven by Dilaton: 郷六一生, 久保幸貴, 田港朝貴, 豊田文彦, 日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学) (2012.3.27)
- Accelerated Quark and Holography: 久保幸貴, “Gravity and Quantum Theory(重力と量子論)”、(福岡工業大) (2012.3.3)
- A review on Asymmetric Dark Matter: 水口拓也、(佐賀大学) (2012.3.29)

## 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 C,  
「Wilson 流繰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
- 文部省科学研究費補助金、若手研究 (B) (2009 年度 ~ 2011 年度),  
「超対称性の破れのミラージュ伝達と LHC の物理」  
研究代表者：奥村 健一

- 文部省科学研究費補助金、特定領域研究 (2006 年度～2011 年度),  
「フレーバー混合における標準理論を越える物理の理論」  
研究分担者：奥村 健一

#### 学部 4 年生卒業研究

武田 大典、原田 遼平、山口 賢司：(指導教員、原田 恒司)

テーマ：(格子 QCD シミュレーションに基づく) ハドロン質量の第一原理計算

#### 修士論文

- 牧野 広樹 (指導教員、奥村 健一): 10TeV 超対称理論におけるヒッグス粒子の解析
- 水口 拓也 (指導教員、奥村 健一): バリオン数対称性に基づいたダークマターの存在の解明

#### 学外での学会活動

- 素粒子論委員 (2010 — 2011 年度) (奥村 健一)

#### その他の活動と成果

- 先端基礎科学次世代加速器研究会 (福岡県・佐賀県共催) 会員 (井上 研三)
- 先端加速器科学技術推進協議会 (産・官・学連携) 広報部会会員 (井上 研三)
- 九州大学・佐賀大学 ILC 推進会議 (代表：宮原三郎九大副学長、中島晃佐賀大理事) のメンバーとして、九大理学研究院、工学研究院、佐賀大学、福岡県、佐賀県の協力のもとに、脊振山系における国際リニアコライダの実現に向けた推進活動にたずさわった。(井上 研三)

# 理論核物理

## 研究室構成員

八尋 正信 教授  
清水 良文 准教授  
松本 琢磨 助教  
《 博士研究員 》

## 《 大学院 博士課程 》

角 剛典    境 祐二    蓑茂 工将    佐々木 崇宏

## 《 大学院 修士課程 》

田上 真伍    斉藤 康浩    福井 徳朗    藤岡 雄大  
嶋田 充宏    高橋 純一    長野 邦裕    渡邊 慎

## 《 学部 卒業研究生 》

石井優大    豊川将一    佐々部悟(後期)    林田晃太郎(前期)  
山口賢司(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)、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)、物理学特別研究II(八尋正信・清水良文・松本琢磨)

## 研究・教育目標と成果

格子 QCD の結果に基づく有効模型による状態方程式の予言(八尋正信、河野宏明[佐賀大学]、境祐二(D3)、佐々木崇宏(D1))

QCD 相図の第一原理である格子 QCD は、有限のクォーク数密度で計算が困難である。そのため、カイラル対称性を反映した Nambu-Jona-Lasinio(NJL) 模型や、NJL 模型に閉じ込めの効果を取り入れた Polyakov-loop extended NJL(PNJL) 模型による研究

が行われてきたが確証的な結果は得られていない。そこで我々は、有効模型を積極的に格子計算と比較し、QCD 相図に対して信頼性の高い予言をすることを目標としている。

格子 QCD が計算可能な有限密度領域として、純虚数化学ポテンシャル領域とアイソスピン化学ポテンシャル領域がある。昨年度、我々は PNJL 模型を拡張することで、これらの領域の格子 QCD の結果を定量的に再現する有効模型 (EPNJL 模型) を得た。本年度は、EPNJL 模型を用いて有限のクォーク数密度における状態方程式を予言した。その際、EPNJL 模型には含まれていないハドロンの自由度を考慮し、QCD 相図においてどの自由度が支配的かを見積もった。EPNJL 模型の結果は、Taylor 展開から求めた低密度における格子 QCD の結果と定量的に一致することを示した。

本研究は境氏を中心に推進され、Journal of Physics 誌に論文が掲載された。

純虚数化学ポテンシャルにおける相転移次数のクォーク質量依存性の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D3)、佐々木崇宏 (D1))

QCD の対称性から、純虚数化学ポテンシャル領域には Roberge-Weiss 端点 (RW 端点) と呼ばれる特殊な臨界点が存在する。近年、この RW 端点における相転移次数のクォーク質量依存性が注目され、格子計算が行われた。そこで我々は、格子計算から得られた RW 端点の相転移次数の変化を、有効模型を用いて再現することを目標に研究を行った。

我々は、EPNJL 模型および PNJL 模型を用いて、この依存性を調べた。その結果、EPNJL 模型が格子計算を定性的に再現し、PNJL 模型から EPNJL 模型への拡張が本質的に重要であることが分かった。また、この解析を通じて、EPNJL 模型がもつパラメータ領域に制限を付けることができた。

本研究は佐々木氏を中心に推進され、Physical Review 誌に論文が掲載された。

トポロジー項の QCD 相図に与える影響 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D3)、佐々木崇宏 (D1)、斉藤康浩 (M2)、高橋純一 (M1))

QCD は、理論の対称性から荷電・パリティ対称性を破るトポロジー項を持つことが許される。この項は、宇宙初期のバリオン生成に寄与すると考えられる。また、高エネルギー重イオン衝突実験においてトポロジー項の影響と考えられる現象も近年観測されており、この項が QCD 相図に与える影響を研究することは重要である。しかし、第一原理計算である格子 QCD は有限のトポロジー項があると数値計算することができない。そこで我々は、トポロジー項が QCD 相図に与える影響を有効模型を用いて解析することを目標に研究を行った。

(E)PNJL 模型を用いた解析の結果、トポロジー項の効果により 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。また、これらの解析を通じて、格子計算においてトポロジー項の効果を計算できる可能性のある方法を得ることができた。

本研究は境氏、佐々木氏、斉藤氏を中心に推進された。本研究の成果は斉藤氏の修士論文として纏められたほか、Physical Review 誌に 3 本の論文が掲載された。

温度, 密度, アイソスピン空間における QCD 相構造の解明 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 境祐二 (D3), 佐々木崇宏 (D1), 長野邦裕 (M1))

中性子星は高密度天体であるため、内部ではクォーク物質が支配的であると考えられる。そのため、中心部の構造を知るためには、有限温度・有限クォーク数密度・有限アイソスピンにおける QCD 相構造の理解が必要である。さらに、中性子星内部では  $\beta$  崩壊によって荷電平衡状態となるため、その効果を評価することも重要である。有限クォーク数密度における格子 QCD 計算は困難であるため、有効模型を用いてその相構造を解析することを目標として研究を行った。

我々は NJL 模型を用いて、温度 ( $T$ )-クォーク数化学ポテンシャル ( $\mu_q$ )-アイソスピン化学ポテンシャル ( $\mu_{iso}$ ) 領域における相構造および荷電平衡における相構造を解析した。 $T$ - $\mu_q$ - $\mu_{iso}$  空間における相構造の特徴は、パイ中間子凝縮が起こる超流動相の存在である。しかし、NJL 模型を用いた解析の結果、荷電平衡の条件下では超流動状態とならないことを確認した。

本研究は長野氏を中心に推進されている。

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], 境祐二 (D3), 佐々木崇宏 (D1), 高橋純一 (M1))

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。現在、この符号問題を回避するために様々な方法が提案されている。その一つが、純虚数化学ポテンシャル ( $\mu_1$ ) 領域からの解析接続である。 $\mu_1$  領域では符号問題がなく、格子 QCD 計算が可能である。他の方法とは違い、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  $\mu_1$  領域における格子 QCD シミュレーションを進めている。特に、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  $\mu_1$  依存性について調べている。これまでの結果として、 $\mu_1$  が大きくなるにつれて、カラー平均のクォーク・反クォークポテンシャルは強くなる傾向を示している。今後はゲージ固定の後にカラーチャネルを分けて、それぞれのポテンシャルの  $\mu_1$

依存性について調べる。それをもとに Debye 遮蔽質量を求め、その  $\mu_1$  依存性から解析接続により  $\mu_q$  依存性を求める。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

新しい反応理論による  ${}^6\text{He}$  の 2 中性子除去反応の記述 (八尋正信、松本琢磨, 緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、蓑茂工将 (D2))

昨年度、1 中性子除去反応の包括的断面積を計算するための新たな理論 Eikonal Reaction Theory (ERT) を提唱した。ERT を用いれば、反応機構において核力と Coulomb 力のどちらかが支配的、あるいはその 2 つが競合するような場合でも、統一的に記述できる。この理論を用いて  ${}^{31}\text{Ne}$  の 1 中性子除去反応を解析した成果は、Progress of Theoretical Physics 誌に掲載された。

今年度は、2 中性子除去反応を記述できるよう ERT の理論的な拡張を行った。 ${}^6\text{He}$  を  $\alpha + n + n$  の 3 体系とみなし、連続状態離散化チャネル結合法と ERT を用いて  ${}^6\text{He}$  の 2 中性子除去反応を解析した。その結果、 ${}^{12}\text{C}$  と  ${}^{208}\text{Pb}$  の異なる標的に対して、どちらの場合も実験を非常に良く再現でき、ERT が 2 中性子除去反応の解析にも有用であることを示した。現在、この成果を論文にまとめている最中である。

本研究は蓑茂氏を中心に推進された。

完全微視的反応解析による  ${}^{31}\text{Ne}$  の基底状態の決定 (八尋正信、清水良文、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、木村真明 [北海道大学創成研究機構特任助教]、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D2))

${}^{31}\text{Ne}$  や  ${}^{33}\text{Mg}$  などの中性子ドリップライン近傍の中性子数 20 周辺領域は island of inversion と呼ばれ、現在注目を集めている。これらの核は大きな変形に伴う魔法数の消滅が理論的に予言されており、特に  ${}^{31}\text{Ne}$  は変形したハロー構造を持つと予測されている。

不安定核入射反応の定量的解析を行う上で、核の変形の効果は重要な役割を示す。本研究では、構造計算において変形を顕に取り扱うことのできる反対称化分子動力学 (Antisymmetrized Molecular Dynamics: AMD) と、Melbourne 相互作用を用いた 2 重畳み込みモデルを組み合わせた完全な微視的枠組みを用いて、中性子過剰 Ne 同位体の反応断面積を解析した。 ${}^{28-30,32}\text{Ne}$  の実験データを完璧に再現したものの、 ${}^{31}\text{Ne}$  については実験を過小評価する傾向にあった。これは、 ${}^{31}\text{Ne}$  が変形したハロー構造を持ち、AMD ではハロー構造の記述ができないという欠点を持つためである。そこで、AMD に共鳴群の方法を組み合わせることでこの問題を解決し、 ${}^{31}\text{Ne}$  が変形したハロー構造を持つ極めて特異な核であることを明らかにした。

本研究は蓑茂氏、角氏が中心となって推進され、その成果は Physical Review Letter

誌に掲載された。

全反応断面積の解析による island of inversion 核の変形度の決定 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、木村真明 [北海道大学創成研究機構特任助教]、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D2)、田上真伍 (M2)、渡邊慎 (M1))

2つの原子核が衝突した際に、どちらか一方、または両方の原子核が破壊される事象を表す全反応断面積は、以前より原子核の半径の指標となる動的観測量として知られていた。昨年度、我々は全反応断面積の解析において原子核の静的変形効果を考慮することの重要性を見出し、この知見をまとめて Physical Review C 誌に投稿し、掲載された。

本研究の要点は2点ある。反応の記述において、入射原子核中の核子と標的原子核中の核子との間の相互作用を全て勘定する点と、変形原子核の「方向」を平均化することにより実効的に半径が増大した球形原子核として扱う点である。本研究では、変形原子核入射反応に伴う静的変形効果よりもさらに高次の効果(動的変形効果)を見積もり、上述の解析手法を正当化することに成功した。これは、全反応断面積という動的観測量から、原子核の実効的な半径を通じて原子核の静的な変形の度合いを決定できることを意味する。

実際に、中性子過剰 Ne 同位体入射反応の全反応断面積を解析することにより、それらの原子核が大きく変形していることを示した。これらの原子核は、大きな変形とそれに伴う中性子魔法数 20 の消失が示唆される原子核 (island of inversion) である。我々は、精度のよい全反応断面積の実験データに対して、信頼度の高い解析手法を用いて island of inversion 核の変形度を決定した。この知見をまとめた論文は、Physical Review C 誌への掲載が決定している。

今回の研究成果により、今後集積される不安定核入射反応の全反応断面積の解析を通じて、その変形度を調べることが可能になった。その第一歩として、現在、最新の Mg 同位体 (陽子数 12) の実験結果および、それらと相補的な、高エネルギー・低エネルギー実験の解析に着手している。

この研究は角氏、蓑茂氏、渡邊氏が中心となって推進された。

${}^9\text{C}$  分解反応の解析による  ${}^8\text{B}$  陽子捕獲反応率の決定 (八尋正信、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、蓑茂工将 (D2)、福井徳朗 (M2))

${}^8\text{B}$  陽子捕獲反応  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  は、元素合成過程の1つである rp-process において、水素燃焼サイクルから CNO 燃焼サイクルへの新たな経路になると期待されている。したがって、その反応率の決定は元素の起源を解明する上で非常に重要である。

しかし、 ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  は極低の入射エネルギーで起こることに加えて、 ${}^8\text{B}$  も  ${}^9\text{C}$  も不

安定核であるため、実験で直接測定することは困難である。そこで、代替反応として  $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$  などの  $^9\text{C}$  分解反応が提案された。この分解反応は、標的核を傍観している原子核とみなすと、 $^8\text{B}$  陽子捕獲反応の逆反応と解釈できる。すなわち、 $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$  の解析から  $^8\text{B}$  陽子捕獲反応率を間接的に決定し得る。

本研究では、連続状態離散化チャンネル結合法を用いて  $^9\text{C}$  が  $p$  と  $^8\text{B}$  に分解する自由度を精密に取り入れ、 $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$  を解析した。その結果、 $^8\text{B}$  陽子捕獲反応率を非常に高い精度で決定できた。今後はより重い原子核の陽子捕獲反応率を決定することを目指し、rp-process の系統的な研究を続けていく予定である。

本研究は福井氏を中心に推進された。

微視的反応モデルによる核子-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]、郭海瑞 [九州大学総合理工学府 (D1)]、渡邊慎 (M1))

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、 $n$  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 体クラスターモデルで記述する。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 を用いた微視的モデル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。現在、その他の様々な物理量に関して解析を行なっている。

現在、この計算は総合理工学府の郭氏を中心として推進されている。

4 体反応モデルによる  $^6\text{Li}$  弾性散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (D2)、渡邊慎 (M1))

これまで  $^6\text{Li}$  分解反応では、核子-Li アイソトープの解析同様、 $^6\text{Li}$  を  $d+\alpha$  の 2 体クラスターモデルによる解析が行なわれ成功を収めている。しかし、クーロン障壁近傍の入射エネルギーでの  $^6\text{Li}+^{209}\text{Bi}$  散乱において、2 体クラスターモデルによる解析が実験値を再現しないことが報告されている。このことは  $^6\text{Li}$  をより正確な  $n+p+\alpha$  の 3 体クラスターモデルによる記述が重要であることを示唆している。また核子- $^6\text{Li}$  散乱実験における分解反応断面積には  $n+p+\alpha$  の 3 体分解効果が見えており、 $^6\text{Li}$  の 3 体クラスターモデルによる記述が必要となっている。

本研究では  ${}^6\text{Li}+{}^{209}\text{Bi}$  散乱を、 $n+p+\alpha+{}^{209}\text{Bi}$  の 4 体反応模型によって解析を行なった。この反応解析では、 ${}^6\text{Li}$  を  $n+p+\alpha$  の 3 体系で記述した連続状態離散化チャネル結合法を用い、 ${}^6\text{Li}$  が構成粒子に分解する自由度を精確に取り扱った。その結果、 ${}^6\text{Li}$  を  $d+\alpha$  の 2 体系として扱う従来の模型では再現できなかった実験を再現し、この反応が  $n+p+\alpha+{}^{209}\text{Bi}$  の 4 体反応模型として扱われるべきものであることを示した。今後、標的粒子を変えた反応を分析することで  ${}^6\text{Li}$  の 3 体分解の効果を系統的に解明し、 $n+{}^6\text{Li}$  散乱の解析に取り掛かる予定である。

この研究は、渡邊氏が中心となって推進された。

カイラル有効場の理論からの核力に基づいた新しい 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 (D2)、渡邊慎 (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。

河野氏を中心として、カイラル有効場の理論による核力と現象論的核力を比較し、それぞれの核力がどのような特徴を持つのかを調べた。今後、実際の反応計算と関連づけ、3 核子力の効果の見積もりなどを行う予定である。

原子核基底状態のプロレート変形優勢の起源 (清水良文、高原哲士 [杏林大学講師]、大西直毅 [東京大学名誉教授]、田嶋直樹 [福井大学准教授])

原子核の基底状態の変形は軸対称で、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が、その理由を理解する研究を数年前から行っている。これまでの研究で我々の開発した「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を含めた分析が可能になり、現実的な平均場である Woods-Saxon ポテンシャルを用いた信頼性のある結果が得られるようになった。今年度はいろいろなポテンシャルパラメータセットについて系統的な計算を行い、平均ポテンシャルの変化のどの部分がどのようにプロレート変形

率に影響を及ぼすのかについて詳細に調べた。特に表面付近でのポテンシャルの広がりとスピン-軌道相互作用効果の干渉をより精密に調べ、その結果を論文にまとめた。この研究は杏林大の高原氏を中心に行われている。

広い模型空間での量子数射影・配位混合の効率的計算法の開発 (清水良文、田上真伍 (M2))

一般的な平均場の状態 (準粒子の真空) に対して量子数射影を行う方法の開発が行なってきた。広い模型空間で計算された平均場状態に対し量子数射影を行う場合、正準基底による切断を行えば効率的に計算可能であることを示した。この手法を拡張し、量子数射影を超えて複数の平均場状態を重ねあわせて系の状態を記述する配位混合 (もしくは生成座標法) にも適用可能になった。さらに現実的な数値計算を行うために、量子数射影として角運動量射影と粒子数射影とパリティ射影を同時に行なえ、なおかつ、配位混合を行うこともできるかなり一般的なプログラムを開発し、今年度はほぼ満足できる結果を出せるようになり、現在は計算をさらに効率的に行うための改良を試みている。この研究は田上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。

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、藤岡雄大 (M2)、田上真伍 (M2))

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が、その軸対称性を破った非軸対称変形の存在が理論的にも実験的にも示唆されている。そのような非軸対称変形をした原子核に固有の運動の一つにウォブリング回転と呼ばれるものがあり、これは古典的非軸対称剛体の歳差運動を想起させる運動になっている。これまで我々は先行研究として乱雑位相近似 (RPA) を用いてその研究を行なって来たが、本研究では RPA の代わりに角運動量射影法でウォブリング回転を記述することを試みた。この方法でウォブリング回転的な解が得られるかは自明ではなかったが、剛体模型で期待されるものと同様の性質を持つ回転状態が微視的角運動量射影法でも得られること確認した。

また、非軸対称変形核で見られる別の現象であるカイラル二重項についても計算を行った。カイラル二重項は 3 つの角運動量が右手系と左手系という鏡影対称性を破る配位を取ることによって生じる二重項であり、角運動量射影法を用いた計算でもそれが現れることを示した。今後はこれらの現象をより定量的に記述することを試みる予定である。この研究は藤岡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。

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 (M2)、J. Dudek [ストラ

スプール大学))

これまでにほとんど調べられて来なかったエキゾチックな変形状態が平均場理論により予想されている。そのようなエキゾチック変形の一つに四面体型の変形があり、この四面体変形をした状態は特定の原子核で極めて安定であると考えられているが、その存在を示す確かな証拠は見つかっていない。そこで本研究では四面体変形が原子核で実現しているかを探る第一段階として、四面体変形をした状態に量子数射影を行なうことでエネルギースペクトルや電磁遷移確率等の実験と比較できる物理量を計算し、それらにどのような特徴が現れるかを調べている。

今年度、先に述べた「広い模型空間での量子数射影・配位混合の効率的計算法の開発」の研究がほぼ完成したことにより、四面体変形した平均場状態に対して角運動量射影計算を行うことが可能になった。その結果、四面体変形特有の対称性を持つ特徴的なエネルギースペクトルを得た。また、そのスペクトルが四面体変形の大きさを大きくしていくと剛体回転体的なスペクトルになることを示した。この研究は田上氏を中心に進められている。

繰り返し計算におけるプロイデン加速法の原子核平均場計算への適用 (清水良文、嶋田充宏 (M1))

原子核の平均場計算では、自己無撞着性を満たすために多くの繰り返し計算が必要になる。特に、密度に依存する有効2体力から出発した Hartree-Fock(HF) や Hartree-Fock-Bogoliubov(HFB) 計算では、収束に時間がかかる場合があるだけでなく、容易に収束しない場合も出てくる。他方、原子分子の第一原理計算で電子の自己無撞着配位計算において、このような繰り返し計算を加速する方法としてプロイデン法 (Broyden method) が知られている。本研究では、原子核平均場計算にこのプロイデン法を適用する一般的なプログラムを作成した。これを球対称性を課した Gogny HF/HFB 計算に対して適用し、収束にかかる繰り返しの数を  $1/2$  から  $1/3$  に減少させることに成功した。また、収束しないいくつかの場合について解を収束させることができることも確かめた。これはこれから開発を予定している変形した場合の Gogny HF/HFB 計算に対して非常に有用であることが期待される。この研究は嶋田氏を中心に行われた。

発表論文

《 原著論文 》

Violations of parity and charge conjugation in the  $\theta$  vacuum with imaginary chemical potential:

H. Kouno, Y. Sakai, T. Sasaki, K. Kashiwa, and M. Yahiro,  
Physical Review D **83**, (2011) pp. 076009-1–13.

Theta vacuum effects on QCD phase diagram:  
Y. Sakai, H. Kouno, T. Sasaki, and M. Yahiro,  
Physics Letter B **705**, (2011) pp. 349–355.

Quark-mass dependence of three-flavor QCD phase diagram at zero and imaginary  
chemical potential: Model prediction:  
T. Sasaki, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,  
Physical Review D **84**, (2011) pp. 091901-1–6.

Spontaneous parity and charge-conjugation violations at real isospin and imaginary  
baryon chemical potentials:  
H. Kouno, M. Kishikawa, T. Sasaki, Y. Sakai, and M. Yahiro,  
Physical Review D **85**, (2012) pp. 016001-1–12.

Equation of state in the PNJL model with the entangle interaction:  
Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,  
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **39**, (2012) 035004 (17pp).

Theta vacuum and entanglement interaction in the three-flavor Polyakov-loop extended  
Nambu-Jona-Lasinio model:  
T. Sasaki, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,  
Physical Review D **85**, (2012) pp. 056009-1–9.

Effective Radii of Deuteron-Induced Reaction:  
S. Hashimoto, K. Ogata, M. Kohno, K. Minomo, and S. Chiba,  
Physical Review C **83**, (2011) pp. 054617-1–11.

Three-Body Model Analysis of Subbarrier  $\alpha$  Transfer Reaction:  
T. Fukui, K. Ogata, and M. Yahiro,  
Progress of Theoretical Physics **125**, (2011) pp. 1193-1204.

Eikonal Reaction Theory for Neutron-Removal Reaction:

M. Yahiro, K. Ogata, and K. Minomo,  
Progress of Theoretical Physics **126**, (2011) pp. 167-176.

Deformation effect on total reaction cross sections for neutron rich Ne isotopes:  
K. Minomo, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,  
Physical Review C **84**, (2011) pp. 034602-1-5.

Analysis of inclusive ( $d, xp$ ) reactions on nuclei from  ${}^9\text{Be}$  to  ${}^{238}\text{U}$  at 100 MeV:  
T. Ye, S. Hashimoto, Y. Watanabe, K. Ogata, and M. Yahiro,  
Physical Review C **84**, (2011) pp. 054606-1-8.

Determination of the structure of  ${}^{31}\text{Ne}$  by a fully microscopic framework:  
K. Minomo, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,  
Physical Review Letter **108**, (2012) pp. 052503-1-4.

The role of spin-orbit potential in nuclear prolate-shape dominance:  
S. Takahara, N. Onishi, Y. R. Shimizu, and N. Tajima,  
Physics Letter B **702**, (2011) pp. 429-432.

Efficient method to perform quantum number projection and configuration mixing for  
most general mean-field states:  
S. Tagami and Y. R. Shimizu,  
Progress of Theoretical Physics **127**, (2012) pp. 79-115.

《Proceedings》

有限クォークおよび有限アイソスピン化学ポテンシャルにおける QCD 相図:  
佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信  
原子核研究 Vol.55 Supplement 1 (2011) pp. 81-84

実数及び純虚数化学ポテンシャル領域における PNJL 模型を用いた 2+1 フレーバー  
QCD 相構造の研究:  
小田輝, 松本健史, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信  
原子核研究 Vol.55 Supplement 1 (2011) pp. 77-80

QCD phase diagram at finite baryon and isospin chemical potentials:

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

AIP Conference Proceedings Volume 1388 (2011) pp. 524–526

Entanglement between the Deconfinement and the Chiral Symmetry Restriction:

Yuji Sakai, Takahiro Sasaki, Hiroaki Kouno and Masanobu Yahiro

AIP Conference Proceedings Volume 1388 (2011) pp. 560–522

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

Yuji Sakai, Takahiro Sasaki, Hiroaki Kouno and Masanobu Yahiro

素粒子論研究・電子版 Vol. 11, No.1 (2012) pp. 38–40, 冊子版 Vol.119, No.4C (2012) pp. F38–F39

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

素粒子論研究・電子版 Vol. 11, No.1 (2012) pp. 167–169, 冊子版 Vol.119, No.4C (2012) pp. F167–F169

微視的反應理論に基づく “Island of Inversion” 核入射反應の系統的解析:

蓑茂工将, 角剛典, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信,

素粒子論研究・電子版 Vol. 10, No.2 (2011) pp. 135–140, 冊子版 Vol.119, No.4B (2012) pp. E135–E140

Determination of  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  Reaction Rate from  ${}^9\text{C}$  Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

素粒子論研究・電子版 Vol. 10, No.2 (2011) pp. 150–154, 冊子版 Vol.119, No.4B (2012) pp. E150–E154

Microscopic Approach to Scattering of Unstable Nuclei:

蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎, 清水良文, 八尋正信,

原子核研究, Volume 55, Supplement 1 (2011) pp. 41–44.

Three-Body Model Analysis of Subbarrier  $\alpha$  Transfer Reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,  
原子核研究, Volume 55, Supplement 1 (2011) pp. 45–48.

《 その他の論文 》

講演

《 海外での講演 》

Determination of the QCD phase diagram from no sign problem regions:

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

Quark Matter 2011, May 24, 2011, Annecy, France.

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential:

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

Extreme QCD 2011, July 18, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

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

Extreme QCD 2011, July 18, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

Quark-mass dependence of three-flavor QCD at zero and imaginary chemical potential:

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

Extreme QCD 2011, July 19, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

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

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

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 28, 2012, Pisa, Italy.

以下, ポスター発表.

Determination of  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  Reaction Rate from  ${}^9\text{C}$  Breakup:

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

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

Determination of deformation in the island-of-inversion region through reaction cross sections:

Shin Watanabe, Kosho Minomo, Takenori Sumi, Takuma Matsumoto, Masaaki Kimura, Kazuyuki Ogata, Yoshifumi R Shimizu, and Masanobu Yahiro,  
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

Systematic analyses of breakup reactions involving light neutron-rich nuclei:

T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, K. Katō, and M. Yahiro,  
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

《国内での講演》

有効理論による有限密度 QCD:

八尋正信

新学術領域「素核宇宙融合」×「新ハドロン」クロスオーバー研究会, 2011年6月23日, 理化学研究所計算科学研究機構

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

2011年度原子核三者若手夏の学校, 2011年8月19日, 白浜荘 (滋賀県)

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信

基研研究会「熱場の量子論とその応用」, 2011年8月22日, 京都大学基礎物理学研究所

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

基研研究会「熱場の量子論とその応用」, 2011年8月22日, 京都大学基礎物理学研究所

Quark-mass dependence of three-flavor QCD at zero and imaginary chemical potential:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2011年9月18日, 弘前大学文京町キャンパス

温度, 密度, アイスピン空間における QCD 相構造の解明:

長野邦裕, 佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

QCD 相図における  $\theta$ -真空の影響:

斉藤康浩, 佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

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

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

格子 QCD による純虚数化学ポテンシャル領域の研究:

高橋純一, 長野邦裕, 佐々木崇宏, 境祐二, 永田桂太郎, 河野宏明, 八尋正信, 中村純

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

QCD 相図に対するシート真空の効果:

佐々木崇宏, 境祐二, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信

日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 25 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

虚数化学ポテンシャル領域での重クォークポテンシャルの研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 境祐二, 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 67 回年次大会, 2012 年 3 月 27 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

微視的核反応理論による "Island of Inversion" 核入射反応の系統的解析:

蓑茂工将

基研研究会「微視的核反応理論による物理」, 2011 年 8 月 2 日, 京都大学基礎物理学研究所

${}^9\text{C}$  分解反応の解析による  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  反応率の決定

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

基研研究会「微視的核反応理論による物理」, 2011 年 8 月 3 日, 京都大学基礎物理学研究所

Three-Body Model Analysis of Subbarrier  $\alpha$  Transfer Reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信

「s-process はどこまでわかっているか」研究会, 2011年8月4日, 大阪大学核物理研究センター

Determination of  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  Reaction Rate from  ${}^9\text{C}$  Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

2011年度原子核三者若手夏の学校, 2011年8月18日, 白浜荘 (滋賀県)

Eikonal reaction theory for neutron removal:

蓑茂工将, 八尋正信, 緒方一介

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月18日, 弘前大学文京町キャンパス

中性子過剰 Ne 同位体入射反応断面積における Ne 同位体の変形効果の役割:

角剛典, 蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月19日, 弘前大学文京町キャンパス

Determination of  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  Reaction Rate from  ${}^9\text{C}$  Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月19日, 弘前大学文京町キャンパス

Deformation effect on total reaction cross sections for neutron-rich Ne-isotopes:

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

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Three-Body Model Analysis of Subbarrier  $\alpha$  Transfer Reaction:

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

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 24, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Eikonal reaction theory for neutron removal reaction:

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

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 26, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Description for breakup reactions of three-body projectiles:

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

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 26, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Eikonal reaction theory for neutron removal:

蓑茂工将, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

反応断面積による不安定核の変形度の決定に向けて:

渡邊慎, 蓑茂工将, 角剛典, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

離散化チャンネル結合法による核子-軽核散乱の微分断面積の評価:

松本琢磨

仁科センター共用促進・産業連携部ミニワークショップ「不安定核ビーム反応実験データ採録の課題と将来」, 2011 年 12 月 14 日, 理化学研究所

微視的構造・反応理論による island of inversion 核の定量的反応解析:

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

RCNP 研究会「第 2 回実証的原子核物理学」, 2012 年 2 月 23 日, 大阪大学核物理研究センター

CDCC 法による少数多体反応系の記述:

松本琢磨

RCNP 研究会「第 2 回実証的原子核物理学」, 2012 年 2 月 23 日, 大阪大学核物理研究センター

Efficient method to perform quantum number projection and configuration mixing for most general mean-field states:

Shingo Tagami, Yoshifumi R. Shimizu, and Jerzy Dudek

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

量子数射影の効率的な手法と四面体変形核への適用:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

原子核の 3 軸非対称性の研究:

藤岡雄大, 田上真伍, 清水良文

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

量子数射影の効率的な手法と四面体変形核への適用:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek

日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 26 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

以下, ポスター発表.

Determination of  ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$  Reaction Rate from  ${}^9\text{C}$  Breakup:

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

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

信頼性の高い有効モデルによる QCD 相構造の定量的解明

研究代表者: 境祐二

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

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

研究代表者: 佐々木崇宏

文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)

境祐二、日本学術特振興会別研究員 (DC1).

佐々木 崇宏、日本学術特振興会別研究員 (DC1).

#### 学部4年生卒業研究

【前期】石井優大、豊川将一、林田晃太郎、山口賢司 (担当: 八尋)  
場の量子論の輪講

【後期】石井優大、佐々部悟、豊川将一 (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

斎藤康浩: (指導教員、八尋正信):  $\theta$  真空を考慮した QCD 相図の解明

福井徳朗: (指導教員、八尋正信): 3 体核反応論による天体核反応率の間接決定

田上真伍: (指導教員、清水良文): 量子数射影の効率的な手法とその応用

藤岡雄大: (指導教員、清水良文): 角運動量射影法による 3 軸非対称変形核の回転状態の研究

#### 博士論文

角剛典: (指導教員、八尋正信): Microscopic approach to total reaction cross sections for deformed projectiles (変形原子核入射反応の全反応断面積に対する微視的アプローチ)[2012年3月授与]

境祐二: (指導教員、八尋正信): Determination of the phase diagram of Quantum Chromodynamics from the regions with no sign problem (符号問題がない領域からの量子色力学相図の決定)[2012年3月授与]

#### その他の活動と成果

八尋正信: 大阪大学核物理センター, 運営委員.

八尋正信: Progress of Theoretical Physics 編集委員.

八尋正信: 核理論委員会委員.

清水良文: 日本物理学会九州支部委員 (2011年8月~)

蓑茂工将、佐々木崇宏、斉藤康浩、福井徳朗、藤岡雄大、嶋田充宏、高橋純一、長野邦裕、渡邊慎: 原子核三者若手夏の学校, 三者準備校.

# 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 》

佐藤 匡史      島ノ江 純      池田 幹生      末廣 修平

### 《 学部 卒業研究生 》

高木康平      中島大智      林田晃太郎      舟橋史祥

守田佳永

## 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  
伊都地区: 自然科学総合実験(前期, 後期)
- 町田真美  
箱崎地区: 物理学特別講義 A(物理学最前線) (前期)、電磁気学 I・同演習(後期)、物理学ゼミナール(後期)  
伊都地区: 力学基礎・同演習(前期)

## 研究・教育目標と成果

時間変化する宇宙項モデルに対する観測からの制限(橋本正章、中村理央、E. P. B. A. Thushari、池田幹夫) 最新の観測から示唆される暗黒エネルギーモデルに関する研究を行う。暗黒エネルギーと放射エネルギー成分がカップル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。ここ数年、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果や一酸化炭素分子のスペクトルなどを用いた温

度の観測結果が報告されているため、それら観測結果を用いた本モデルのパラメータ調査を行った。

本モデルにおける温度の時間変化を計算し、最新の観測値を用いた統計解析計算を行ったところ、観測と矛盾しないパラメータ領域を得た。加えて、本モデルの詳細な制限を行なうために、できるだけ遠方の温度の観測が必要となることを示した。今後は、宇宙マイクロ波背景放射のパワースペクトルなどを用いた、詳細な解析を行う予定である。

非一様ビッグバン元素合成に対する観測からの制限 (橋本正章、中村理央) ビッグバン元素合成は、水素、 $^4\text{He}$ 、 $^7\text{Li}$  の起源を説明できることで成功をおさめているが、観測精度の向上によって、 $^7\text{Li}$  の観測と理論予測値が一致しない問題が指摘されている。そこで、非一様ビッグバン合成モデル (初期宇宙において、極端な高密度領域の存在を仮定する) が、この  $^7\text{Li}$  問題を解決できるかを調査した。

標準的なモデルよりも、6-7 桁より密度が高い領域を仮定し、高密度・低密度領域において元素合成計算を行った。その結果、生成された  $^7\text{Li}$  の理論値は、標準ビッグバン元素合成よりも 2 倍程度少なくなり、 $^7\text{Li}$  問題を解決可能であることがわかった。しかし、本モデルで採用している仮定の妥当性を評価した結果、その仮定が妥当でないことがわかったので、来年度は様々なモデルの元での元素合成計算を行なうことを考えている。

**Observational constraints on non-standard models with variable cosmological terms** (E. P. B. A. Thushari, R. Nakamura, M. Ikeda, M. Hashimoto)

We have constrained the two kinds of non-standard models with variable cosmological terms from the observations of Type Ia Supernova, Big Bang nucleosynthesis and cosmic microwave background radiation. In the previous studies, the Brans-Dicke model with a variable cosmological term has been (*BDA*) constrained from the Big Bang nucleosynthesis and the magnitude-redshift relations of supernova. On the other hand recently released observational data of Type Ia Supernovae (SNIa), union2 compilation are used to constrained this model from the magnitude-redshift relations at the present stage of the universe. In the present studies, 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. 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  $0.02 < z < 3$ . We obtain the upper bound of our model parameters from 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  $z < 1.5$ . The magnitude-redshift relation does not change seriously with the parameter region  $0 < m < 4$ ; where  $m$  is the model parameter inherent in *DACDM*. When the value of  $m$  increases, it causes to decrease the expansion rate of the universe. We constrained the upper bound for the parameter  $\Omega_{\Lambda 2}$  using newly released SNIa observations; where  $\Omega_{\Lambda 2}$  is the energy density of the decaying cosmological term of *DACDM* model. Although we succeed to obtain the upper-bound of the parameter as  $\Omega_{\Lambda 2} < 4.5 \times 10^{-3}$ , the predicted region is wider compared with previous constraint (Nakamura *et al.*, 2001, 8, D. Puy 2004). From this result, the decaying- $\Lambda$  has minor effect on the cosmic expansion at low- $z$ .

We have investigated the possible difference in the thermal evolution of the universe with decaying- $\Lambda$ . The cosmological term in the *DACDM* is interacted with photons. The photon energy density of *DACDM* can be changed with the model parameters compared with *SACDM* for positive values of  $z$ . It concludes that the photon temperature in *DACDM* is lower compared with *SACDM* in the parameter region that we used. We can obtain more se-

vere parameter constraints from CMB temperature compared with those of SNIa. We obtain the limit of  $\Omega_{\Lambda 2}$  as  $\Omega_{\Lambda 2} < 2.7 \times 10^{-4}$  (we cannot obtain the limit of  $m$ ). 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.

Ia 型超新星の観測による宇宙パラメータの制限 (池田幹生、中村理央、橋本正章) 現在、宇宙の姿を探るために様々な観測が行われている。その中で特に重要なのが、ビッグバン元素合成、宇宙マイクロ波背景放射、Ia 型超新星の観測である。それらをフリードマン方程式にあてはめ、密度パラメータ  $\Omega$  や無次元ラムダパラメータ  $\Lambda$  などの宇宙パラメータを制限できる。それを行うため、アインシュタイン方程式をテンソルを使って解き、フリードマン方程式を導いた。その式を Ia 型超新星の観測結果にあてはめ、昨年ノーベル賞を受賞した宇宙膨張の証明が再現できるかを確かめた。自分が行ったのは Ia 型超新星の観測による結果だけであるので、次の目標として、宇宙マイクロ波背景放射の解析を行い、パラメータのさらなる精度向上に努めたい。クォーク物質を核に持つ高密度星の熱的進化 (野田常雄、橋本正章)

クォークハドロン混合相およびカラー超伝導を考慮したクォーク・ハドロン・ハイブリッド星の冷却計算を詳細に行った。

近年の Cassiopeia A (以降: Cas A) の観測 (質量が大きく冷えていない) を説明するためのモデルとして、中心部にカラー超伝導の領域を持つハイブリッド星を考慮した。また、状態方程式も、Cas A の観測結果である  $M > 1.5M_{\odot}$  を満たすものを導入した。それにより、Cas A の温度と質量を同時に満たすモデルを構築することが可能となった。

しかしながら、Cas A について新たな観測結果が示され、それによるとここ 10 年の間の温度変化が極めて速く、上記のモデルのみでは説明が困難になった。そこで、先行研究で示されている核子の超流動の影響を含めたモデルを考慮し、計算を行った。その結果、Cas A の温度および質量を説明するためには、核子の超流動・クォークのカラー超伝導・超伝導状態にないクォーク物質を組み合わせることで可能であるということがわかった。

来年度は、他の観測との整合性も考慮し、 $M > 2.0M_{\odot}$  を満たせる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、他の高密度星での現象である X 線バーストについても、新たなモデルを用い計算していきたい。

ブラックホールと降着円盤からのジェット状爆発に伴う重元素合成 (橋本正章、小野勝臣)

銀河に存在する鉄より重たい元素は、恒星進化の過程で起こる遅い中性子捕獲過程 ( $s$ -process), あるいは超新星爆発などの爆発的現象で起こる速い中性子捕獲過程 ( $r$ -process) によって作られると考えられている。しかしながら、 $r$ -process の天体サイトはよく分かっておらず、そのことが銀河の銀河の化学進化の理解を困難にしている。そこで、本研究ではブラックホールと降着円盤からのジェットによる超新星爆発モデルについて、星の進化過程から爆発までに起こる元素合成の数値計算を行い、重元素合成について調べた。

その結果、 $s$ -process によっては質量数 90 以上の重元素はあまり作られないことが分かった。爆発時の元素合成計算の結果、放出される物質の一部は  $r$ -process を経て質量数 160 程度までの重元素を生成し得るが、太陽系組成の第 3 ピークの元素はあまり作られないことが分かった。この爆発モデルがより一般的な超新星爆発モデルより頻度が少ないことを考慮に入れても、生成された質量数 90 から質量数 160 の元素は太陽系組成に寄与し得ることが分かった。また、この爆発による元素合成によって、軽い中性子捕獲元素である Sr-Y-Zr が多く生成されることが分かった。これらは通常、 $s$ -process で作られると考えられている。しかし近年の銀河の化学進化モデルの計算から、これまで考えられてきた元素合成過程だけでは太陽系組成の Sr-Y-Zr 元素量を説明できないという問題があった。今回調べた爆発モデルでは、上記で考えられていない Sr-Y-Zr を爆発で生成する元素合成過程が起こることが分かった。

中性子捕獲過程で重要となる、ニュートロンドリップライン近傍元素の中性子捕獲反応率や星の中で起こるベータ崩壊率は不定性が大きい。今後はインプットとして用いる原子核物理の

天体現象で起こる元素合成への影響を調べ、観測との整合性から原子核物理に何等かのフィードバックを与える必要があるだろう。

OKK rate が pure He X 線バーストに与える影響 (橋本正章, 松尾康秀, 野田常雄)

2009年緒方氏らにより triple- $\alpha$  反応率が新しい手法で計算された (OKK rate)。この反応率は、従来のものと比べると、低温領域 ( $10^7 - 10^8$  K) で非常に大きな値を持っており、この温度領域で triple- $\alpha$  反応が起こっている様々な天体の理論計算が従来のものと比べて大きく変化することが予想される。そこで我々は OKK rate の妥当性を検証することを目的として研究を行った。

まず我々は pure He X 線バーストと呼ばれる、中性子星と低質量星との連星系において起こる爆発的 He 燃焼現象に注目した。この現象は triple- $\alpha$  反応率に対して非常に sensitive なため、シミュレーションの結果と観測を比較することで、OKK rate の妥当性を検証ができると考えたためである。その結果、我々の計算では OKK rate を用いたほうが観測をうまく説明できることが示唆された。

但し、この結果は先行研究とは正反対の結果である (実は2010年に別グループが OKK rate を用いて pure He X 線バーストのシミュレーションを行い、OKK rate では観測をうまく説明できないと主張していた)。さらに解析を進めていくにつれ、我々のモデルと先行研究のモデルでは決定的に異なる点が存在することが分かった。それは中性子星内部からの加熱率 (crust heating rate) である。先行研究のモデルは我々のモデルと比べて crust heating rate がかなり高く、これが原因で先行研究のモデルと我々のモデルで反対の結果を得たことが分かった。crust heating rate は理論的不定性が大きいため今後は crust heating rate にパラメータを課し、研究を進めていくことが必要である。

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, 小野勝臣)

2009年に Ogata et al. によって新しく triple- $\alpha$  反応率 (OKK rate) が発表された。triple- $\alpha$  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- $\alpha$  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- $\alpha$  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。そのため、OKK rate と Fynbo rate について大質量星の元素合成計算を次の、 $^{12}\text{C}$  について行ない、比較した。

s-process 元素：質量数が60から90までの元素ヘリウム、炭素燃焼中の s-process という過程で合成される。s-process で生成される元素は He 燃焼後は OKK rate のほうが生成量が少ないが、C 燃焼と同じくらいになる。また、OKK rate の影響は小さいと考えられる。以上から、OKK を用いた計算では He 燃焼時の  $^{12}\text{C}$  が多くなり  $^{16}\text{O}$  が少なくなるが、C 燃焼終了時の s 元素生成量は結果として従来と同程度となる。また、今回の計算では従来よりも多くなった  $^{12}\text{C}$  が C 燃焼時に大きな中性子源となることが分かった。その他の核反応の反応率不定性と質量の違いによる影響：質量の小さい星では炭素の割合が増えるということが知られている。また、炭素、酸素の比を決める反応率に  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  があるが不定性が高い。さらに、OKK rate は従来のものよりも炭素の割合を増やすことが期待される。結果として、OKK rate は Fynbo rate より He 燃焼段階の温度で数桁高いので、多くの  $^4\text{He}$  が  $^{12}\text{C}$  となり  $^{16}\text{O}$  が減少した。また、OKK rate と  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  反応率の低いものを使うと、酸素より炭素のほうが多くなるという結果が得られた。

$6M_{\odot}$  のコアを持つ恒星の組成は超新星 1987A の観測から制限がつけられるので、今後それぞれの組み合わせについて超新星爆発直前まで計算を行なうつもりである。

突発天体現象のフォローアップ観測 (山岡均)

短いタイムスケールで光度変動する「突発天体」の研究を進めている。昨年度までに

引き続き、本年度も、矮新星・新星・超新星について、発見直後の分光や測光、位置精測を通じて、その性質の解明を目指す。講演や表彰を通じて、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。本年度の目標としては、近年錯綜が深まっている観測情報の取り扱いを改善することが挙げられる。

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、日本天文学会天体発見賞・天体発見功労賞によって、突発天体について周知啓発を行なった。国際的な新天体情報の取り扱いの改善として、TOCPの運用周知を進めた

(<http://www.cbat.eps.harvard.edu/unconf/tocp.html>)。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, 島ノ江純, 佐藤匡史)

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、超新星親星の搜索と全天 X 線監視装置 MAXI における新星の検出である。

発見前の画像が利用できる超新星について、超新星爆発前の姿を探求した。特に M51 に出現した超新星 2011dh の親星について、爆発前の画像を複数の元期で見だし、その時間変動について検討した (佐藤, 山岡)。X 線全天監視装置 MAXI のデータを用いて、発見された新星の即時 X 線放射を搜索するとともに、爆発後数十日以降に期待される軟 X 線についても検出を試みた (島ノ江, 山岡)。これらの結果は、両名の修士論文となった。

スペースデブリの可視光観測 (山岡均)

地球周回軌道におけるスペースデブリは増加の一途をたどっており、宇宙利用の大きな脅威となりつつある。特に、破砕イベントで発生するデブリの捕捉と追跡は、今後の宇宙環境を大いに左右する。今年度は、暗いデブリを捉え、その起源を推定することが目標である。

JAXA 入笠観測所や美星スペースガードセンター、さらに台湾の鹿林天文台の協力で得られた画像から、複数の重ね合わせ手法によって、未カタログの暗いデブリを検出することに成功した。30cm クラスの望遠鏡によって、1m クラス望遠鏡では未発見であったものが捕捉できたことになる。複数の破砕イベントで発生したデブリの区別が可能であることも示した。この結果は、論文や国際会議で報告した。次年度以降は、さらに多くの暗いデブリを検出し、追跡観測による軌道決定を行なうなど、さらなる多くの目標と課題を解決していく。

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, 島ノ江純, 佐藤匡史)

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スパブを2回実施した。名古屋市・上天草市でのサイエンスパブ/カフェに講師として参加した。さらに鹿児島市・京都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、伊都キャンパスに口径40cmの「ペガサス天体観測室」と構築した。次年度は、観測室を利用した高年次教養科目を開講する。

磁気圧を考慮した降着円盤モデルの構築：3次元MHD数値計算(町田真美) 冷却効果を含むブラックホール降着円盤の3次元磁気流体数値実験を行った。先行研究では赤道面对称性を課していたため、磁気圧優勢円盤が形成されやすい条件であったため、今回は降着円盤全体を計算領域に含み赤道面に非対称な磁場構造が形成される場合の数値実験を行った。その結果、先行研究同様に赤道面には磁気圧優勢円盤が形成される事が示された。また、その結果を元にポストプロセスでスペクトルを計算した所、磁気圧優勢円盤のX線強度は移流優勢円盤より約2桁明るくなる事が示された。

磁気圧を考慮した降着円盤モデルの構築：1次元遷音速解(町田真美、末廣修平) X線連星はアウトバースト時にX線スペクトル状態遷移が生じる事が知られている。アウトバーストの立ち上がりは光学的に薄い移流優勢円盤、遷移後は光学的に厚い標準降着円盤で説明できる事が知られていたが、高時間分解能の観測から、これまでの降着円盤理論では説明できない光学的に薄く非常に明るい状態が存在する事が分かってきた。この状態は3次元磁気流体数値計算によって発見された磁気圧優勢円盤で説明できると考えている。これまでに一温度遷音速解を求め、磁気圧優勢円盤は安定な解である事を示した。しかし、 $10^9$ 以上の降着円盤では、イオン温度と電子温度が異なる事が知られている。そこで、1次元二温度遷音速解を求め、円盤構造と磁気圧、質量降着率の関係を調べた。

銀河磁場ダイナモ機構の解明(町田真美) 渦巻き銀河の磁場の生成・維持機構を調べる目的で、銀河ガス円盤の3次元磁気流体数値実験を行った。その結果、方位角方向に方位角方向磁場の鉛直構造の時間依存性を調べた所、周期的な磁束の向きの変換が起こる事、その周期は10倍の回転時間程度である事がわかった。この時間は磁気回転不安定性の成長の時間スケールと一致する。さらに数値計算結果から得られた物理量を用いて作成した全天のRM分布は観測を定性的には説明できる事がわかった。

発表論文

《原著論文》

- Constraints from SNIa and CMB temperature observations on a Decaying Cosmological term  
Riou Nakamura, E. P. Berni Ann Thushari, Mikio Ikeda, Masa-aki Hashimoto, submitted to *Advances in Astronomy* [arXiv:1112.2911[astro-ph] ]
- Ensemble Variability of Near-infrared-selected Active Galactic Nuclei:  
Shinjirou, Kouzuma, and Hitoshi Yamaoka, *Astrophys. J.*, **747** (2012) 14
- Global Structure of Optically Thin, Magnetically Supported, Two-Temperature, Black Hole Accretion Disks  
Hiroschi Oda, Mami Machida, Kenji E. Nakamura, Ryoji Matsumoto, Ramesh Narayan Publication of the *Astronomical Journal of Japan*, vol. 64, No.1, article no.15, 2012
- Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Phase in Quark Hadron Mixed Phase:  
Tsuneo Noda, Masa-aki Hashimoto, Yasuhide Matsuo, Nobutoshi Yasutake, Toshiki Maruyama, Toshitaka Tatsumi and Masayuki Fujimoto, *Astrophysical Journal Letter*, Submitted. (arXiv:1109.1080)
- EXPLOSIVE NUCLEOSYNTHESIS IN THE NEUTRINO-DRIVEN ASPHERICAL SUPERNOVA EXPLOSION OF A NON-ROTATING  $15M_{\odot}$  STAR WITH SOLAR METALLICITY: Shin-ichiro Fujimoto, Kei Kotake, Masa-aki Hashimoto, Masaomi Ono and Naofumi Ohnishi, *Astrophysical Journal*, **736**, (2011) pp. 61
- Effects of a New Triple- $\alpha$  Reaction 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 Y. Fujimoto, *Progress of Theoretical Physics*, **126** (2011) pp. 1177-1186
- Effects of a New Triple- $\alpha$  Reaction on the S-process in Massive Stars: Yukihiro Kikuchi<sup>1</sup>, Masaomi Ono<sup>1</sup>, Yasuhide Matsuo, Masa-aki Hashimoto and Shin-ichiro Fujimoto, *Progress of Theoretical Physics*, **127**, (2012) pp. 171

《Proceedings》

- CMB constraints on the thermal evolution with a decaying cosmological term  
Riou Nakamura, E. P. Berni Ann Thushari, Mikio Ikeda, Masa-aki Hashimoto,  
Proc. of The 11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies, to be published
- Near-Infrared Variable AGNs Derived by Cross-Identification :  
S. Kouzuma, H. Yamaoka  
Proc. of ADASS XX (ASP Conference Proceedings, Vol. 442), Eds. I. N. Evans, A. Accomazzi, D. J. Mink, and A. H. Rots. 2011., p.555
- Molecular Loops in the Galactic Center: Detailed Observations of the Footpoint of the Loops  
Torii, K., Fukui, Y., Kudo, N., Yamamoto, H., Kawamura, A., Machida, M., Takahashi, K., Nozawa, S., Matsumoto, R.  
Astronomical Society of the Pacific, 439, p.71, 2011
- Molecular Loops in the Galactic Center ? The Physical Condition in the Whole Loops  
Kudo, N., Torii, K., Machida, M., Takahashi, K., Nozawa, S., Yamamoto, H., Okuda, T., Kawamura, A., Mizuno, N., Onishi, T., Matsumoto, R., Fukui, Y.  
Astronomical Society of the Pacific, 439, p.69, 2011
- Three-Dimensional Global MHD Simulations of the Magnetic Loop Structures in our Galactic Center  
Machida, M., Matsumoto, R., Nozawa, S., Takahashi, K., Torii, K., Kudo, N., Fukui, Y  
Astronomical Society of the Pacific, 439, p.65 2011
- Molecular Loops in the Galactic Center  
Y. Fukui, K. Torii, N. Kudo, H. Yamamoto, A. Kawamura, M. Machida, K. Takahashi, S. Nozawa, R. Matsumoto  
Astronomical Society of the Pacific 439, p.61 2011
- Constraints on a Decaying Cosmological term from both SNIa and CMB temperatures observations:  
R. Nakamura, E. P. B. A. Thushari, M. Ikeda, M. Hashimoto  
Submitted to the journal of Advances in Astronomy on February 2012.

- Nucleosynthesis in Magnetohydrodynamical Jets from Collapsars : M. Ono, M. Hashimoto, S. Fujimoto, K. Kotake and S. Yamada  
Proceedings of FINUSTAR3, Rhodes, Greece, 23-27 August 2010, AIP Conference Proceedings, **1377** (2011) pp. 411-413
- Nucleosynthesis in neutrino-driven, aspherical supernova explosion of a massive star : S. Fujimoto, M. Hashimoto, M. Ono, K. Kotake, and N. Ohnishi  
Proceedings of FINUSTAR3, Rhodes, Greece, 23-27 August 2010, AIP Conference Proceedings, **1377** (2011) pp. 353-355

### 《 その他の論文 》

- Dwarf Nova in Pegasus :  
H. Yamaoka, K. Itagaki, H. Kaneda, E. Guido, G. Sostero, K. Kadota, and S. Nakano  
*Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 2731, 2011.
- Supernova 2011ek near NGC 918 = PSN J02254889+1832000 :  
S. Nakano, H. Yamaoka, K. Kadota, M. Tsuboi, D. D. Balam, M. L. Graham, E. Y. Hsiao, and D. W. E. Green  
*Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 2783, 2011.
- V1313 Scorpii = Nova Scorpii 2011 No. 2 :  
J. Seach, H. Yamaoka, Y. Nakamura, and N. Samus,  
*IAU Circular*, No. 9233, 2011. (NOVA SCORPII 2011 No. 2 = PNV J16364440-4132340 = PNV J16364300-4132460 :  
J. Seach, H. Yamaoka, and Y. Nakamura,  
*Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 2813, 2011. )
- Supernova 2011fp in NGC 57 = PSN J00152561+1719119 :  
S. Nakano, K. Itagaki, K. Nishimura, H. Yamaoka, J. Brimacombe, and T. Noguchi  
*Central Bureau Electronic Telegrams*, No. 2820, 2011.
- 新天体発見報告のためのガイド (寄稿) :  
山岡 均  
「新彗星発見に挑む」(えびなみつる著, 誠文堂新光社, 318p, 2011年4月), 312 – 313.
- 早い、近い、明るい 3拍子そろった超新星 2011fe :  
山岡 均  
「星ナビ」2011年12月号 (Vol. 12, No. 12), 64 – 65.
- 大学全入時代の物理教育の試み:  
巨海 玄道, 野田 常雄,  
*大学の物理教育*, **17** (2011) pp. 133-136

## 著書

- 週刊朝日百科かがくる改訂版、監修：山岡均ほか、朝日新聞出版、2011年3月～2012年3月
- 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～
- 万人の基礎物理学  
上床美也・巨海玄道、酒井健・中西剛司・野田常雄  
学術図書出版社、240頁、2012年4月出版予定

## 講演

### 《 海外での講演 》

Global 3D MHD Simulations of Disk Dynamo

M. Machida, K. E. Nakamura, R. Matsumoto

MHD and Kinetic Processes in Laboratory, Space and Astrophysical Plasmas Workshop, Beijing, China, 6月6日-9日, 2011

Quasi-periodic Galactic Dynamo obtained from 3D MHD Simulations

M. Machida, K. E. Nakamura, R. Matsumoto

Magnetic Fields in the Universe III: From Laboratory and Stars to Primordial Structures, Zakopane, Poland, 8月21日-27日, 2011

Three dimensional MHD Simulations of Differentially Rotating Systems

M. Machida, K.E. Nakamura, R. Matsumoto

2011 Northeastern Asian Symposium on Plasma Fusion, Daejeon, Korea, 9月25日-28日, 2011

### 《 国内での講演 》

- 非一様ビッグバン元素合成に対する軽元素観測からの制限  
中村理央、橋本正章(九州大学)、佐藤勝彦(明星大学)  
日本天文学会 2011年秋季年会、鹿児島大学都元キャンパス、2011年9月19日-22日

- CMB constraints on the thermal evolution with a decaying cosmological term  
Riou Nakamura, E. P. Berni Ann Thushari, Mikio Ikeda, Masa-aki Hashimoto,  
The 11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of  
Galaxies 理化学研究所和光キャンパス, 2011年11月14日-17日
- 崩壊する暗黒エネルギーモデルに対する観測からの制限  
中村理央、池田幹夫、E. P. B. A. Thushari、橋本正章(九州大・理)  
日本天文学会 2012年春季年会、龍谷大学深草キャンパス、2012年3月19  
日-22日
- Cooling of Quark-Hadron Hybrid Stars  
野田常雄  
Kyoto Meeting 2011、京都大学 6月4日~5日
- 高密度星内部におけるカラー超伝導が冷却過程に及ぼす影響  
野田常雄、橋本正章、安武伸俊、丸山敏毅、巽敏隆、藤本正行  
日本天文学会 2011年秋季年会、鹿児島大学 9月19~22日
- カラー超伝導の核を持つハイブリッド星の冷却  
野田常雄、橋本正章、丸山敏毅、巽敏隆、安武伸俊、藤本正行  
第23回理論天文学宇宙物理学懇談会シンポジウム、国立天文台三鷹キャン  
パス 11月5日~7日
- 福岡の大学天文事情 -九州大学(理)の場合-  
野田常雄、町田正博、町田真美  
2011年天文教育普及研究会・九州支部会、宗像ユリックス 11月12日~13日
- 大学全入時代の基礎物理教育  
巨海玄道、野田常雄  
第117回日本物理学会九州支部例会、佐賀大学、12月3日
- カラー超伝導の核を持つハイブリッド星の熱的進化  
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 2012年春季年会、龍谷大学深草キャンパス 3月19~22日
- Nucleosynthesis in a Massive Star Associated with Magnetohydrodynamical  
Jets from Collapsars:  
Masaomi Ono, Masa-aki Hashimoto, Shin-ichiro Fujimoto, Kei Kotake, Shoichi

Yamada,

The 11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG11), CNS Univ. of Tokyo / RIKEN, Japan, November, 14-17, 2011

- Full Nucleosynthesis in a Massive Star Associated with Magnetohydrodynamical Jets from Collapsars  
小野勝臣, 橋本正章, 藤本信一郎, 固武慶, 山田章一  
研究会 “s-process はどこまで分かっているか?”, 大阪大学核物理研究センター (RCNP)(大阪府茨木市), 8月4日-5日, 2011年
- Effects of a New 3-alpha Reaction on a He Accreting Neutron Star:  
Yasuhide Matsuo, Hideyuki Tsujimoto, Tsuneo Noda, Notoaki Saruwatari, Masaomi Ono, Masa-aki Hashimoto, and Masayuki Y. Fujimoto,  
The 11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 14-17 November 2011
- 超新星爆発による衝撃波と星周物質との相互作用が元素分布に与える影響  
松尾康秀、橋本正章、小野勝臣、長滝重博、固武慶、山田章一、山下和之  
日本天文学会 2012 年春季大会、龍谷大学深草キャンパス (京都府京都市) 3月19日-22日, 2011年
- 新しい triple- $\alpha$  反応率が恒星進化における s-process 元素合成に与える影響  
菊池之宏、橋本正章、小野勝臣、松尾康秀  
2011 年度第 41 回天文・天体物理若手 夏の学校, 愛知県西浦温泉ホテルたつき (愛知県蒲郡市), 8月1日-8月4日, 2011年
- Effect of a new triple- $\alpha$  reaction on the weak s-process in the evolution of  $25 M_{\odot}$  massive stars  
菊池之宏研究会 “s-process はどこまで分かっているか?”, 大阪大学核物理研究センター (RCNP)(大阪府茨木市), 8月4日-5日, 2011年
- Effect of a new triple- $\alpha$  reaction on the weak s-process in the evolution of massive stars  
菊池之宏、橋本正章、小野勝臣、松尾康秀天文学会 2011 年秋季年会, 鹿児島大学 (鹿児島県鹿児島市), 9月19日-22日, 2011年

- Effect of a New 3-alpha Reaction on the S-process in Massive Stars  
Yukihiro Kikuchi, Masaomi Ono, Yasuhide Matsuo, Masa-aki Hashimoto, Shin-ichiro Fujimoto  
The 11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG11), CNS Univ. of Tokyo / RIKEN, Japan, November, 14-17, 2011
- Effects of a New Triple- $\alpha$  Reaction on the S-process in Massive Stars  
菊池之宏, 小野勝臣, 松尾康秀, 橋本正章, 藤本信一郎  
第117回日本物理学会九州支部例会, 佐賀大学本庄キャンパス (佐賀県佐賀市), 12月3日, 2011年
- 新しい triple- $\alpha$  反応率が大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 2012 年春季年会, 龍谷大学深草キャンパス (京都府京都市), 3月20日, 2012年
- ぼくたちは空を見てきた — 七夕伝説や日食の伝承 — :  
山岡均  
全国同時七夕講演会、大野城市まどかぴあ、2011年7月7日
- 星を見るにはどうするの? :  
山岡均  
全国同時七夕講演会、福岡市別府公民館、2011年7月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、2011年7月8日
- 七夕、夏の大三角、はやぶさ、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) 2011年8月1日
- 天の川に潜る! :  
山岡均  
佐賀県立宇宙科学館天文祭、佐賀県武雄市、2011年8月27日
- 太陽からの光、星の光 :  
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、2011年11月12日

- 祝！小惑星 Banpeiyu 命名：  
山岡均  
小惑星命名記念式典記念講演、日奈久温泉金波楼 (熊本県八代市)、2011年12月4日
- 君も新しい星を見つけてみないか～星の文化館20周年に寄せて～：  
星の文化館開館20周年記念講演、福岡県八女市星野村、2011年12月11日
- 新天体を見つけて地球を護る：  
山岡均  
スペースガード探偵団、福岡市立別府小学校、2011年12月18日
- サイエンスパブの紹介：  
山岡均  
サイエンスカフェミーティング、九州大学、2012年1月20日
- アーカイブ画像から探る、超新星の過去の姿：  
佐藤匡史, 山岡均  
天文天体物理若手夏の学校2011, 愛知県西浦温泉 ホテルたつき, 2011年8月
- アーカイブ画像から探る、M51に出現したSN 2011dhの爆発前の姿：  
佐藤匡史, 山岡均  
日本天文学会2011年秋季年会, 鹿児島大学, 9月19日-22日, 2011年
- アーカイブ画像から探る、M51に出現したSN 2011dhの親星の明るさの時間変化の可能性：  
佐藤匡史, 山岡均, 綾仁一哉  
第4回スペースガード研究会 & 時間変動の観測に関する one day meeting, 九州大学, 2011年12月17日
- 全天X線監視装置MAXIによる古典新星の検出可能性について：  
島ノ江純, 山岡均  
天文天体物理若手夏の学校2011, 愛知県西浦温泉 ホテルたつき, 2011年8月
- 全天X線監視装置MAXIによる古典新星爆発時のX線閃光の探索：  
島ノ江純, 山岡均, 三原建弘, 杉崎睦, 芹野素子  
日本天文学会2011年秋季年会, 鹿児島大学, 9月19日-22日, 2011年

- 全天 X 線監視装置 MAXI による古典新星爆発時 X 線閃光の探索 :  
島ノ江純  
第 4 回スペースガード研究会 & 時間変動の観測に関する one day meeting,  
九州大学, 2011 年 12 月 17 日
- MAXI による古典新星 V407 Cyg からの X 線 :  
島ノ江純, 山岡均, 三原建弘, 杉崎睦, 芹野素子  
日本天文学会 2012 年春季年会, 龍谷大学, 3 月 20 日, 2012 年
- 銀河ガス円盤の磁場構造に関する数値実験  
町田真美、中村賢仁 (九産大)、松元亮治 (千葉大)  
CMB 領域シンポジウム 2011、宇宙研、7 月 11 日-12 日
- 銀河ガス円盤ダイナモの 3 次元磁気流体数値実験  
町田真美、中村賢仁 (九産大)、松元亮治 (千葉大)  
日本流体力学会年会 2011、首都大、2011 年 9 月 7 日-9 日
- 銀河磁場ダイナモ機構に関する 3 次元磁気流体数値実験  
町田真美、中村賢仁 (九産大)、松元亮治 (千葉大)  
日本天文学会 2011 年秋季年会、鹿児島大学、9 月 19 日-22 日
- MHD 数値実験に基づく銀河磁場モデルの WMAP K-バンド全天偏光分布図  
を用いた検証  
森嶋隆裕、中村翔、服部誠 (東大理)、町田真美 (九大理)、松元亮治 (千葉  
大理)  
日本天文学会 2011 年秋季年会、鹿児島大学、9 月 19 日-22 日
- MHD 数値実験より求めた RM 分布の初期磁場構造依存性  
町田真美, 中村賢仁 (九産大)、赤堀卓也 (KASI)、祖父江義明 (明星大)、松元  
亮治 (千葉大)  
日本天文学会 2012 年春季年会、龍谷大学、2012 年 3 月 19 日-22 日
- X 線連星状態遷移時の明るい Hard 状態に関する MHD 数値実験  
町田真美, 中村賢仁 (九産大), 小田寛 (国立天文台), 松元亮治 (千葉大)  
日本天文学会 2012 年春季年会、龍谷大学、2012 年 3 月 19 日-22 日
- 3 次元磁気流体力学シミュレーションを用いた渦巻き銀河の大局的磁場構造  
モデルの構築

中村 翔、服部 誠、森嶋 隆裕 (東北大)、松元亮治 (千葉大)、町田真美  
日本天文学会 2012 年春季年会、龍谷大学、2012 年 3 月 19 日-22 日

## 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」 (H21-H23)  
研究代表者: 橋本正章
2. 基盤研究 (S)  
「超新星の爆発機構とガンバ線バースト源エンジンの統一的解明」(H19-H23)  
研究分担者: 橋本正章
3. 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
4. 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-H25)  
研究分担者: 町田 真美

### 《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

科学技術総合推進費補助金: 女性研究者養成システム改革加速:  
研究代表者: 町田真美

## 他大学での研究と教育

中村理央: 久留米工業大学において非常勤講師をおこなった。担当科目: 物理学実験 (前期)  
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。

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。

佐藤匡史: 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。

島ノ江純: 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

高木康平: (指導教員、山岡均): Ia型超新星を用いた距離測定

中島大智: (指導教員、町田真美): パーカー不安定性成長率の線形解析、数値計算

林田晃太郎: (指導教員、橋本正章): 中性子星の質量限界

舟橋史祥: (指導教員、山岡均): RSNの電波強度データの解析

守田佳永: (指導教員、町田真実): 面平行な層における不安定性成長率の数値計算

## 修士論文

佐藤匡史: (指導教員、山岡均、橋本正章) アーカイブ画像を用いた超新星親星の研究

島ノ江純: (指導教員、山岡均、橋本正章) 全天X線監視装置MAXIによる新星からのX線の探索と新星・超新星からのX線の検出可能性

## 博士論文

## 学外での学会活動

山岡均: 日本天文学会教育委員会委員

日本天文学会ジュニアセッション実行委員会委員長

IAU Commission 6 Vice President 日本天文学会 2011年秋季学会座長(高密度星):2011年9月19日

## 受託研究・民間との共同研究

山岡均: 株式会社IHIとのスペースデブリの効率的な検出に関する受託研究(代表者: 花田俊也(工学研究院))に分担者として参加

## その他の活動と成果

- 九大・熊大・鹿大合同セミナー: 九州地区九重共同研修所において、大学院生主催の研究発表会を行った。2011年8月?日-?日
- 2011年6月12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)。
- 福岡県八女市星野村の財団法人「星のふるさと」と協力して、星空案内人養成講座を2011年10月に実施した(主任講師: 山岡)。

- 2011年12月17日に九州大学にて第4回スペースガード研究会 & 時間変動の観測に関する one day meeting を開催した(世話人:山岡)
- 福岡市内にてサイエンスパブを2回(2011年11月, 12年3月)開催した(実施委員:山岡, 島ノ江, 佐藤)。鹿児島市、京都市でサイエンスパブを開催した(山岡)。
- その他テレビ(NHK BS プレミアム「超新星を見つけ出せ」2011年11月8日など)・Web・地域の天文台等で天文学解説を行なった。

# 素粒子実験

## 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

《 学部 卒業研究生 》

上野 翔      大石 航      松本 悟（後期から）

## 担当授業

- 川越  
箱崎地区：最先端物理学（前期）、原子核・高エネルギー実験（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・ジュネーブ郊外にある欧州合同原子核研究所（CERN）で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。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おり、その検出器の運転を責任担当し、標準模型ヒッグス粒子の発見に重点をおいて活動している。グループの各メンバーは以前よりアトラス実験で活動してきたが、今年度から九州大学グループを立ち上げ、新規グループとして実験への正式参加が承認された。

- 標準模型ヒッグス粒子の探索（川越 清以、東城 順治、織田 勸）  
標準模型ヒッグス粒子の早期発見を目指してその探索を行っている。特に、ヒッグス粒子が  $Z$  粒子対に崩壊し、各  $Z$  粒子がレプトン（電子またはミューオン）対に崩壊するモードを用いれば、背景事象が少なく、早期発見に有効である。今年度は

重心系エネルギー 7 TeV、積分ルミノシティ約  $5 \text{ fb}^{-1}$  のデータを解析することにより、ヒッグス粒子の候補と考えられる事象をわずかな統計ながら捉えた。来年度は、重心系エネルギーを 8 TeV に増強して数倍のデータを取得し、ヒッグス粒子の発見を目指す。

- 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、アトラス内部検出器内のシリコン半導体飛跡検出器の運転を責任担当している。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。また、今後のルミノシティの増強に伴い、データ収集システムのアップグレードを予定しており、その性能評価と技術選定を含めた準備研究を行っている。
- アトラス内部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。そのため、2023 年からの高ルミノシティでの運転に備え、内部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。そのアップグレード計画のなかでシリコン半導体ピクセル型検出器の開発を進めるため、来年度へ向けた検出器ならびにデータ収集システムの技術検討を開始した。

国際リニアコライダー計画（川越 清以、吉岡 瑞樹、上野 翔、大石 航）

次世代加速器実験計画「国際リニアコライダー」のための物理と測定器の研究をおこなっている。また、素粒子理論の井上研三教授、理学研究院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、大石航）  
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ことが要となっており、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 測定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、これまでフランスの研究機関 (LLR Ecole Polytechnique, LAL Orsay) を中心に開発が進められてきたが、今後は、日仏共同で進めていく。日本では九州大学がその拠点となる。本年度は、九州大学にシリコンパッドの基本性能を測定するための自動計測システムを立ち上げ、電圧-電流特性、電圧-電気容量特性、および放射性体制に関する測定を行った。

- 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、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ことで（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ことを考え、シミュレーションによる研究を開始した。すでにシミュレーションプログラムはできており、キャリブレーションの方法は確立した。すでにジェットエネルギー分解能に対する結果が出始めており、今後はハイブリッド構造の最適化をにむけた研究を行う。
- 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。本年度は福岡県・佐賀県の予算により、背振山地の暫定ルート周辺約 300km<sup>2</sup> の地質調査が行われた。
- ILC 研究都市構想の策定（川越清以、井上研三）  
ILC を核とする国際学術研究都市の検討が 2011 年度の福岡県、佐賀県の予算で進められた。九州大学理学研究院からは川越・井上が事務局および委員として参加し、月一回の会合や、CERN 視察などを通じて他の委員とともに活発な議論を行い、「サイエンスフロンティア九州構想」としてまとめた。その内容は 2012 年 1 月 26 日に開催された第 7 回先端基礎科学次世代加速器研究会で「国際研究都市構想の取組状況」として紹介された。報告書は、現在印刷中である。

#### 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時間収束装置の開発研究（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。 $10^{-27}$ e·cm の精度達成のためには超冷中性子の密度向上が不可欠であるが、我々は勾配磁場と高周波を用いた中性子時間収束装置を考案した。フランス ILL 研究所にて試作機を用いた原理実証実験を行い、世界で初めて中性子を時間的に収束させることに成功した。目下の課題はスピン反転率が計算値の半分程度しか出ておらず、来年度はその解決を目指す。

- 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）  
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。製膜した試料を理化学研究所の X 線反射率計、筑波大学の ERDA/RBS、茨城県東海村 J-PARC の中性子反射率計にて特性を測定した。その結果、フェルミポテンシャルおよそ 230neV を達成する製膜パラメータを得た。来年度は各種製膜パラメータによる系統的な理解を目指す。
- 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。未知の相互作用を湯川型と仮定した場合の到達感度の見積もりを行った。茨城県東海村の J-PARC 加速器を用いれば、原理的にはこれまでの測定感度を 4 桁向上できることが分かった。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データの解析を行い、先行文献と矛盾しない事を確認した。来年度は真空容器試作機的设计・製作を行い、中性子ビームによる散乱データを収集する。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive and dijet cross-sections of  $b$ -jets in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **71**, 1846 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the Inelastic Proton-Proton Cross-Section at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector,” *Nature Commun.* **2**, 463 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the differential cross-sections of inclusive, prompt and non-prompt  $J/\psi$  production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV,” *Nucl. Phys. B* **850**, 387 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of first or second generation leptiquarks in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector at the LHC,”

Phys. Rev. D **83**, 112006 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Contact Interactions in Dimuon Events from  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector,” Phys. Rev. D **84**, 011101 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $WW$  cross section in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with ATLAS,” Phys. Rev. Lett. **107**, 041802 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $W\gamma$  and  $Z\gamma$  production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector,” JHEP **1109**, 072 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Limits on the production of the Standard Model Higgs Boson in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Eur. Phys. J. C **71**, 1728 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Heavy Long-Lived Charged Particles with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV,” Phys. Lett. B **703**, 428 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for new phenomena with the monojet and missing transverse momentum signature using the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions,” Phys. Lett. B **705**, 294 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $\Upsilon(1S)$  Production Cross-Section in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in ATLAS,” Phys. Lett. B **705**, 9 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Diphoton Events with Large Missing Transverse Energy with  $36 \text{ pb}^{-1}$  of 7 TeV Proton-Proton Collision Data with the ATLAS Detector,” Eur. Phys. J. C **71**, 1744 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of dijet production with a veto on additional central jet activity in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector,” JHEP **1109**, 053 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of multi-jet cross sections in proton-

proton collisions at a 7 TeV center-of-mass energy,” *Eur. Phys. J. C* **71**, 1763 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the transverse momentum distribution of  $Z/\gamma^*$  bosons in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **705**, 415 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Properties of jets measured from tracks in proton-proton collisions at center-of-mass energy  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **84**, 054001 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for neutral MSSM Higgs bosons decaying to  $\tau^+\tau^-$  pairs in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **705**, 174 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the isolated di-photon cross-section in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **85**, 012003 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross-section in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using 35  $\text{pb}^{-1}$  of ATLAS data,” *Phys. Lett. B* **706**, 150 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Inclusive search for same-sign dilepton signatures in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *JHEP* **1110**, 107 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in 1  $\text{fb}^{-1}$  of  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **705**, 28 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for dilepton resonances in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. Lett.* **107**, 272002 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $Z \rightarrow \tau\tau$  Cross Section with the ATLAS Detector,” *Phys. Rev. D* **84**, 112006 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark pair production cross

section in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in dilepton final states with ATLAS,” Phys. Lett. B **707**, 459 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $W \rightarrow \tau\nu$  Cross Section in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS experiment,” Phys. Lett. B **706**, 276 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A measurement of the ratio of the  $W$  and  $Z$  cross sections with exactly one associated jet in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with ATLAS,” Phys. Lett. B **708**, 221 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a heavy Standard Model Higgs boson in the channel  $H \rightarrow ZZ \rightarrow llqq$  using the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **707**, 27 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the pseudorapidity and transverse momentum dependence of the elliptic flow of charged particles in lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **707**, 330 (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], “Measurement of the Transverse Momentum Distribution of  $W$  Bosons in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector,” Phys. Rev. D **85**, 012005 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for New Physics in the Dijet Mass Distribution using  $1 \text{ fb}^{-1}$  of  $pp$  Collision Data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV collected by the ATLAS Detector,” Phys. Lett. B **708**, 37 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the inclusive  $W^\pm$  and  $Z/\gamma$  cross sections in the electron and muon 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 a Standard Model Higgs boson in the  $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$  decay channel with the ATLAS detector,” Phys. Rev. Lett. **107**, 221802

(2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Higgs boson in the  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$  decay channel in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Rev. Lett.* **107**, 231801 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the jet fragmentation function and transverse profile in proton-proton collisions at a center-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector,” *Eur. Phys. J. C* **71**, 1795 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson in the decay channel  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$  with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **705**, 435 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurements of the electron and muon inclusive cross-sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **707**, 438 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross section for the production of a  $W$  boson in association with  $b$ -jets in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **707**, 418 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the cross-section for  $b$ -jets produced in association with a  $Z$  boson at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” *Phys. Lett. B* **706**, 295 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for displaced vertices arising from decays of new heavy particles in 7 TeV  $pp$  collisions at ATLAS,” *Phys. Lett. B* **707**, 478 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for New Phenomena in  $t\bar{t}$  Events With Large Missing Transverse Momentum in Proton-Proton Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS Detector,” *Phys. Rev. Lett.* **108**, 041805 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions,” *Phys. Lett. B* **710**, 67 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for supersymmetry in final states with jets, missing transverse momentum and one isolated lepton in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions using 1  $fb^{-1}$  of ATLAS data,” Phys. Rev. D **85**, 012006 (2012).

G. Aad *et al.* [Atlas Collaboration], “Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum using  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS detector,” JHEP **1111**, 099 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for Massive Colored Scalars in Four-Jet Final States in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions with the ATLAS Detector,” Eur. Phys. J. C **71**, 1828 (2011).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Electron performance measurements with the ATLAS detector using the 2010 LHC proton-proton collision data,” Eur. Phys. J. C **72**, 1909 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the  $ZZ$  production cross section and limits on anomalous neutral triple gauge couplings in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. Lett. **108**, 041804 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Searches for supersymmetry with the ATLAS detector using final states with two leptons and missing transverse momentum in  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collisions,” Phys. Lett. B **709**, 137 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “A study of the material in the ATLAS inner detector using secondary hadronic interactions,” JINST **7**, P01013 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for strong gravity signatures in same-sign dimuon final states using the ATLAS detector at the LHC,” Phys. Lett. B **709**, 322 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “ $K_S$  and  $\Lambda$  production in  $pp$  interactions at  $\sqrt{s} = 0.9$  and 7 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC,” Phys. Rev. D **85**, 012001 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross section for  $Z/\gamma^*$

in association with jets in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **85**, 032009 (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], “Measurement of the  $WZ$  production cross section and limits on anomalous triple gauge couplings in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **709**, 341 (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], “Search for scalar bottom 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], “Search for contact interactions in dilepton events from  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **712**, 40-58 (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**, 22-39 (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,” accepted by Phys. Rev. D, arXiv:1112.6297 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV,” arXiv:1112.6426 [hep-ex].

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], “Search for the Higgs boson in the  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$  decay channel in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. Lett. **108**, 111802 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of  $D^{*\pm}$  meson production in jets from  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **85**, 052005 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for first generation scalar leptoquarks in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **709**, 158 (2012).

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], “Performance of Missing Transverse Momentum Reconstruction in Proton-Proton Collisions at 7 TeV with ATLAS,” Eur. Phys. J. C **72**, 1844 (2012).

G. Aad *et al.* [Atlas Collaboration], “Performance of the ATLAS Trigger System in 2010,” Eur. Phys. J. C **72**, 1849 (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 top quark pair production cross-section with ATLAS in the single lepton channel,” Phys. Lett. B **7119**, 244-263 (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 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 anomalous production of prompt like-sign muon pairs and constraints on physics beyond the Standard Model with the ATLAS detector,” Phys. Rev. D **88**, 032004 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Rapidity gap cross sections measured with the ATLAS detector in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV,” *Eur. Phys. J. C* **72**, 1926 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for pair production of a heavy quark decaying to a  $W$  boson and a  $b$  quark in the lepton+jets channel with the ATLAS detector,” accepted by *Phys. Rev. Lett.*, arXiv:1202.3076 [hep-ex].

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,” arXiv:1202.3389 [hep-ex].

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], “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-pt leptons,” *JHEP* **1205**, 059 (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 down-type fourth generation quarks with the ATLAS detector in events with one lepton and high transverse momentum hadronically decaying  $W$  bosons in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions,” accepted by *Phys. Rev. Lett.*, arXiv:1202.6540 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Combined search for the Standard Model Higgs boson using up to  $4.9 \text{ fb}^{-1}$  of  $pp$  collision data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector at the LHC,” *Phys. Lett. B* **710**, 49 (2012).

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for the Standard Model Higgs boson in the diphoton decay channel with  $4.9 \text{ fb}^{-1}$  of  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with ATLAS,” *Phys.*

Rev. Lett. **108**, 111803 (2012).

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

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the azimuthal ordering of charged hadrons with the ATLAS detector,” arXiv:1203.0419 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for FCNC single top-quark production at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  with the ATLAS detector,” Phys. Lett. B **712**, 351-369 (2012).  
arXiv:1203.0529 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Single hadron response measurement and calorimeter jet energy scale uncertainty with the ATLAS detector at the LHC,” accepted by Eur. Phys. J. C, arXiv:1203.1302 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Search for a light Higgs boson decaying to long-lived weakly-interacting particles in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  with the ATLAS detector,” accepted by Phys. Rev. Lett., arXiv:1203.1303 [hep-ex].

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

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the azimuthal anisotropy for charged particle production in  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$  lead-lead collisions with the ATLAS detector,” arXiv:1203.3087 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Forward-backward correlations and charged-particle azimuthal distributions in  $pp$  interactions using the ATLAS detector,”  
arXiv:1203.3100 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the production cross section of an isolated photon associated with jets in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  with the

ATLAS detector,” *Phys. Rev. D* **85**, 092014 (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,” arXiv:1203.3172 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of inclusive two-particle angular correlations in  $pp$  collisions with the ATLAS detector at the LHC,” arXiv:1203.3549 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Determination of the strange quark density of the proton from ATLAS measurements of the  $W \rightarrow l\nu$  and  $Z \rightarrow ll$  cross sections,” arXiv:1203.4051 [hep-ex].

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], “Measurement of the charge asymmetry in top quark pair production in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector,” arXiv:1203.4211 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Jet mass and substructure of inclusive jets in  $\sqrt{s} = 7$  TeV  $pp$  collisions with the ATLAS experiment,” arXiv:1203.4606 [hep-ex].

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,” arXiv:1203.5015 [hep-ex].

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,” arXiv:1203.5420 [hep-ex].

G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Measurement of the top quark mass with the template method in the  $t\bar{t} \rightarrow$  lepton + jets channel using ATLAS data,” arXiv:1203.5755 [hep-ex].

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,” arXiv:1203.5763 [hep-ex].

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,” arXiv:1203.6193 [hep-ex].

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,” Physics Letters **B712** (2012) 289-308.

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,” arXiv:1203.6580 [hep-ex].

T. Ino *et al.*, “Measurement of the neutron beam polarization of BL05/NOP beamline at J-PARC,” Physica B **406**, 2424 (2011).

Y. Arimoto *et al.*, “Longitudinal-gradient magnet for time focusing of ultra-cold neutrons,” Physics Procedia **17**, 22 (2011).

Y. Arimoto *et al.*, “Development of Longitudinal-Gradient Magnet for Time Focusing of Ultra-Cold Neutron With Anisotropic Inter-Pole,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, in Press. doi:10.1109/TASC.2012.2183569.

## 講演

《 海外での講演 》

ECAL Review:

Kiyotomo Kawagoe,

5th ILD workshop, Paris, May 2011.

Physics at the ILC:

Kiyotomo Kawagoe,

3rd LCFORUM Meeting, DESY in Hamburg, February 2012.

《 国内での講演 》

素粒子物理学最前線 – 順調に進む LHC 実験 – :

川越清以

九州大学理学研究院物理学部門談話会、2011 年 6 月

LHC の現状と最新結果:

川越清以

ILC 夏の合宿 2011、志賀高原、2011 年 8 月

ILC の物理・測定器:

川越清以

高エネルギー物理学将来計画検討小委員会タウンミーティング『コライダー加速器による高エネルギー物理学の将来展望』、名古屋大学、2011 年 9 月

J-PARC における中性子電気双極子能率測定実験計画 III:

吉岡瑞樹

日本物理学会 2011 年秋季大会、弘前大学、2011 年 9 月

Prompt data reconstruction of the ATLAS experiment in 2011:

織田勸

日本物理学会 2012 年年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月

重水素化 Diamond-Like Carbon の中性子反射率測定:

吉岡瑞樹

中性子制御デバイスとその応用 V、京都大学原子炉実験所、2012 年 2 月

中性子を用いた未知相互作用の探索:

松本悟

中性子制御デバイスとその応用 V、京都大学原子炉実験所、2012 年 2 月

Hybrid ECAL Simulation for ILD:

上野翔

CALICE Collaboration Meeting、信州大学、2012 年 3 月

Measurement of Basic Characteristics of Si-pads for ILD ECAL:

大石航

CALICE Collaboration Meeting、信州大学、2012年3月

中性子小角散乱による重力逆二乗則検証実験:

吉岡瑞樹

中性子を用いた素粒子物理、名古屋大学、2012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

#### 他大学での研究と教育

川越清以：ILC 推進活動の一環として、ILC 推進を行う日本の研究機関のメンバーがチームを作って大学巡りをおこない、「ILC タスクフォースセミナー：宇宙創成の謎に迫る国際リニアコライダー」を開催している。以下に、川越が行った講演を示す。

広島大学 10月28日: ILC 測定器

九州大学 11月25日: ILC の物理と準備状況

神戸大学 1月24日: ILC の物理と準備状況

京都大学 2月28日: ILC の物理と準備状況

#### 学部4年生卒業研究

上野翔:(指導教員、川越清以): ILC 実験用電磁カロリメータのハイブリッド構造の最適化研究

大石航:(指導教員、川越清以): 次世代加速器実験における超細分電磁カロリメータのためのシリコン検出器の基礎特性研究

松本悟:(指導教員、川越清以): 中性子を用いた未知中間力の探索

# 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      劉盛進

## 《 大学院 修士課程 》

石橋和久      衛藤 晴彦      桑田薫法      田中惇平  
松田沙矢香      山口祐幸      Maria Theodora Rosary      岩崎諒  
木村駿太郎      田中翔基      野副貴博      三鼓達輝  
山足麻耶

## 《 学部 卒業研究生 》

大中貴恵      兒玉大輔      西山憲一      福永拓  
前田裕史      安田淳平      吉永拓実

## 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)、  
実験核物理学(若狭智嗣)

## 研究・教育目標と成果

低エネルギー  $pd$  分解反応における Star 異常と QFS 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、吉永拓実)

これまで我々は九大タンデム、RCNP AVF Cyclotron、筑波大タンデムを用いて、 $E_p = 9.5, 13, 19\text{MeV}$ ,  $E_d = 19, 26\text{MeV}$  での Star 条件と ppQFS 条件での断面積異常の系統的測定を行って、

①pd Star 異常は Star 傾き角  $\theta$  が  $90^\circ$  (Space Star) 付近でのみ起こるようだ、

②ppQFS 異常は存在しないようだ、との暫定的結論を得ていた。

これらはケルン大他の実験を否定する結論であり、慎重に運ぶ必要がある。今年度は、①②の信頼性を高める確認実験を行い、更に①の異常の原因を探るための新研究③を開始した。

①に関して、 $E_p=13\text{MeV}$  で  $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$  で再実験を行い、異常が無いことを確かめた。

②に関して、最も低い  $E_p=7.5\text{MeV}$  で新実験を行い、やはり異常が無いことを確かめた。これで①②の結論はより確実になった。①の異常の原因は理論的に全く判っていない。そこで

③  $\theta = 90^\circ$  (ビームに垂直平面) で、Star(3核子が正三角形をなす) 以外でも異常が在るか無いか、を調べることにした。今年度は collinear(3核子が直線上、 $\theta = 180^\circ$ ) で実験し、異常が無いことを確認した。次年度から、 $\theta = 160^\circ \sim 80^\circ$  で系統的に測定し、Space Star 異常の原因を探る。

2 中性子共鳴の探索 (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、吉永拓実)

核子-核子間相互作用で、nn 間は pp 間や pn 間と異なり直接実験ができないので、未確定である。2010 に Witala-Gloeckel が、もし nn-force が  $8 \times 2$  中性子共鳴 (nn 共鳴) が存在する可能性がある、と指摘した。そこで我々は nn 共鳴の存否を確認するために、 $D(d,n)^3\text{He}$  で生成した  $0^\circ$  方向の n-beam を用いて  $D(n,p)nn$  断面積を測定することを企画した。 $D(n,p)nn$  実験の問題は、検出する p が極微量なことと、 $D(d,n)X$  からの n が Si 検出器に生じるバックグラウンド (BG) が多いことである。BG を低減するための n 遮蔽材の最適素材・配置を調べる実験を行った。次年度に BG 問題を解決し、 $D(n,p)nn$  測定に進む。

スピン観測の完全測定によるスピン・アイソスピン応答の研究 (若狭智嗣、岡本緑)

近年、不安定核における一粒子軌道の中性子数や陽子数依存性を始めとする実験データの充実に伴い、中心力とスピン軌道力では説明が困難な現象が多く見つかってきた。このような現象はテンソル力 ( $\pi$  中間子) の効果を陽に扱う事により説明することに成功している。しかしながら、これらテンソル力の効果は基底状態や低励起状態の静的な状態に対してのみ確かめられおり、スピン双極子共鳴などの動的な状態に対しての情報は皆無に等しく、取り分け、 $\pi$  中間子と同じ量子数を持つスピン・パリティ  $0^-$  状態の分布が注目されていた。我々は、偏極観測のスピン・パリティ選択性により、 $^{16}\text{F}$  のスピン・パリティ  $0^-$  状態の分離・同定に世界で初めて成功すると共に、殻模型計算とよい一致を示すことを確認した。

### スピン偏極陽子による不安定核の反応・構造研究(坂口聡志)

近年、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: 71MeV/A の  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^8\text{He}$  の弾性散乱においてスピン軌道結合の弱化が示唆された。国内外の理論研究者と議論を進め、決定的な結論を得るために微視的理論模型の確立された 200-300MeV/A における測定が必要である、というコンセンサスを得た。2. 荷電交換反応による IAS 状態の励起: 前年度に行った原理検証実験の結果について小ワークショップを行い、理論解析手法について意見を交換した。また、テスト実験として、不安定核  ${}^8\text{He}$  からの荷電交換反応の測定を理化学研究所にて行った。データ解析を進め、本実験の実現可能性について検討する。3. 核子ロックアウト反応: 理化学研究所 RIBF における初の偏極実験のため、散乱槽や光励起手法の改良を行った。得られた偏極陽子標的の性能については現在データ解析中である。4. 陽子共鳴散乱: 薄膜単結晶の作成、及び常温でのスピン偏極を達成するための新波長レーザーの開発に目処をつけた。低エネルギービーム実験用の偏極標的の開発・実験例の検討を進めている。

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、谷口雅彦、山口裕幸、松田沙矢香、Theodora Maria Rosary、劉盛進、三鼓達輝、岩崎諒、兒玉大輔)

BG 対策: 昨年度、天体核反応  ${}^{12}\text{C}+{}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O}+$  全断面積の  $E_{\text{cm}}=1.5\text{MeV}$  での測定に成功し、世界のトップに躍り出たが、最終目標の 0.7MeV 測定にはバックグランド (BG) を 3 桁以上低減する必要がある。そのため今年度は、 ${}^{16}\text{O}$  と  ${}^{12}\text{C}$ (BG) を分離する E?E カウンター(イオンチェンバー + SSD)の開発に取り組んだ。4.5MeV の  ${}^{16}\text{O}$  と  ${}^{12}\text{C}$  は分離出来たが、2-3MeV の大量の  ${}^{12}\text{C}$  が pile-up した BG が残っていると判明し、E1? E2?E タイプに改造した。テストは来年度に行う。

He ガス循環系: 膜なし He ガスには 15-20 m<sup>3</sup>/day(ポンベ 2-3 本)の He 流量が要る。ガス循環利用が不可欠である。そこで 95 空気・油を除去する、ガス循環系を製作した。テスト運転をしたが、ガス循環ポンプによる加熱に対策が必要と判り、改造中である。

${}^{16}\text{O}$  の荷電分布: 我々は  ${}^{12}\text{C}+{}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O}+$  からの 1 荷電状態の  ${}^{16}\text{O}$  を検出して全断面積を評価するので、 ${}^{16}\text{O}$  の荷電分布が必要である。4He を通過させた  ${}^{16}\text{O}$  ビームの平衡荷電分布を  $E_{\text{cm}}=1.5, 1.15\text{MeV}$  のエネルギーで実測した。さらに劉氏が荷電分布の理論計算を行い、素反応である電子捕獲・電子分離の過去の計算値のいずれかを約 2 倍変えると実験値を再現できると判った。その理由を究明中である。

### 低エネルギー不安定核ビームによる不安定核の研究(寺西高)

安定線から離れた核種の 2 次ビームを用いて未知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。本年度は過去に測定した  ${}^{14}\text{O}+p$  および

$^{17}\text{Ne}+p$  共鳴散乱の R-matrix 解析を行い、陽子非束核  $^{15}\text{F}$  の基底状態と第一励起状態のエネルギーと幅をこれまでより高精度で決定し、陽子非束縛核  $^{18}\text{Na}$  の新しい  $3^-$  準位を同定した。また、九大新施設および外部施設における新たな不安定核ビーム実験の検討を進めている。今年度は主に新タンデム加速器を用いた再加速 RI ビーム簡易生成法について研究開発計画の素案をまとめた。今後これらに関して学生とともに進めていきたい。

加速器質量分析の開発と利用 (野呂哲夫、坂口聡志、衛藤晴彦、田中惇平、桑田薫法、岡部貴博、山足摩耶)

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た。また、ビームトランスポート計算とビームエミッタンス測定を行い、計算上はほとんどビーム損失のないトランスポートが可能なエミッタンス/アクセプタンスになっていることを確認した。

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・テストを行った。試作器の電極を改造した結果、上下・左右の 2 次元位置座標情報が得られることを確認した。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Isobaric analog resonances of the  $N = 21$  nucleus  $^{35}\text{Si}$ :

N. Imai, Y. Hirayama, Y. X. Watanabe, T. Teranishi, T. Hashimoto, S. Hayakawa, Y. Ichikawa, H. Ishiyama, S. C. Jeong, D. Kahl, S. Kubono, H. Miyatake, H. Ueno, H. Yamaguchi, K. Yoneda, and A. Yoshimi,  
Physical Review C 85 (2012) 034313-1-5.

Strong  $^{25}\text{Al}+p$  resonances via elastic proton scattering with a radioactive  $^{25}\text{Al}$  beam:

J. Chen, A. A. Chen, G. Amadio, S. Cherubini, H. Fujikawa, S. Hayakawa, J.J. He, N. Iwasa, D. Kahl, L.H. Khiem, S. Kubono, S. Kurihara, Y. K. Kwon, M. La Cognata, J.Y. Moon, M. Niikura, S. Nishimura, J. Pearson, R. G. Pizzone, T. Teranishi, Y. Togano, Y. Wakabayashi, and H. Yamaguchi,  
Physical Review C 85 (2012) 015805-1-7.

Structural Evolution in the Neutron-Rich Nuclei  $^{106}\text{Zr}$  and  $^{108}\text{Zr}$ :

T. Sumikama, K. Yoshinaga, H. Watanabe, S. Nishimura, Y. Miyashita, K. Yamaguchi, K. Sugimoto, J. Chiba, Z. Li, H. Baba, J.S. Berryman, N. Blasi, A. Bracco, F. Camera, P. Doornenbal, S. Go, T. Hashimoto, S. Hayakawa, C. Hinke, E. Ideguchi, T. Isobe, Y. Ito, D.G. Jenkins, Y. Kawada, N. Kobayashi, Y. Kondo, R. Krucken, S. Kubono, G. Lorusso, T. Nakano, M. Kurata-Nishimura, A. Odahara, H.J. Ong, S. Ota, Zs. Podolyak, H. Sakurai, H. Scheit, K. Steiger, D. Steppenbeck, S. Takano, A. Takashima, K. Tajiri, T. Teranishi, Y. Wakabayashi, P.M. Walker, O. Wieland, H. Yamaguchi

Physical Review Letters 106 (2011) 202501-1-4.

Analyzing power in elastic scattering of  $^6\text{He}$  from polarized proton target at 71 MeV/nucleon  
Sakaguchi S., Iseri Y., Uesaka T., Tanifuji M., Aoi N., Hashimoto Y., Hiyama E., Ichikawa M., Ichikawa Y., Ishikawa S., Itoh K., Itoh M., Iwasaki H., Kawabata T., Kawahara T., Kuboki H., Maeda Y., Matsuo R., Nakao T., Okamura H., Sakai H., Sasamoto Y., Sasano M., Sato Y., Sekiguchi K., Shinohara M., Suda K., Suzuki D., Takahashi Y., Tamii A., Wakui T., Yako K., Yamaguchi M., and Yamamoto Y.

Phys. Rev. C 84, 024604 (2011).

Quasielastic scattering of  $^6\text{He}$  from  $^{12}\text{C}$  at 82.3 MeV/nucleon

J. L. Lou, Y. L. Ye, D. Y. Pang, Z. X. Cao, D. X. Jiang, T. Zheng, H. Hua, Z. H. Li, X. Q. Li, Y. C. Ge, L. H. Lv, J. Xiao, Q. T. Li, R. Qiao, H. B. You, R. J. Chen, H. Sakurai, H. Otsu, M. Nishimura, S. Sakaguchi, H. Baba, Y. Togano, K. Yoneda, C. Li, S. Wang, H. Wang, K. A. Li, T. Nakamura, Y. Nakayama, Y. Kondo, S. Deguchi, Y. Satou and K. Tshoo  
Phys. Rev. C 83, 034612 (2011).

Recoil proton tagged knockout reaction for  $^8\text{He}$

Z.X. Cao, Y.L. Ye, J. Xiao, L.H. Lv, D.X. Jian, T. Zheng, H. Hua, Z.H. Li, X.Q. Li, Y.C. Ge, J.L. Lou, R. Qiao, Q.T. Li, H.B. You, R.J. Chen, D.Y. Pang, H. Sakurai, H. Otsu, M. Nishimura, S. Sakaguchi, H. Baba, Y. Togano, K. Yoneda, C. Li, S. Wang, H. Wang, K.A. Lib, T. Nakamura, Y. Nakayama, Y. Kondo, S. Deguchi, Y. Satou, and K. Tshoo  
Phys. Lett. B 707, 46 (2011).

Elastic Scattering of  $^6\text{He} + \text{p}$  at 82.3 MeV/nucleon

Faisal Jamil-Qureshi, Lou Jian-Ling, Ye Yan-Lin, Cao Zhong-Xin, Jiang Dong-Xing, Zheng

Tao, Hua Hui, Li Zhi-Huan,, Li Xiang-Qing, Ge Yu-Cheng, Pang Dan-Yang, Li Qi-Te, Xiao Jun, Lv Lin-Hui, Qiao Rui, You Hai-Bo, Chen Rui-Jiu, Lu Fei, H Sakurai, H Otsu, M Nishimura, S Sakaguchi, H Baba, Y Togano, K Yoneda, Li Chen,, Wang Shuo,, Wang He,, Li Kuo-Ang,, T Nakamura, Y Nakayama, Y Kondo, S Deguchi, Y Satou and K H Tshoo  
Chinese Physics Letters 27, 092501 (2010).

The 270 MeV deuteron beam polarimeter at the Nuclotron Internal Target Station  
P.K. Kurilkin, V.P. Ladygin, T. Uesaka, K. Suda, Yu.V. Gurchin, A.Yu. Isupov, K. Itoh, M. Janek, J.-T. Karachuk, T. Kawabata, A.N. Khrenov, A.S. Kiselev, V.A. Kizka, J. Kliman, V.A. Krasnov, A.N. Livanov, Y. Maeda, A.I. Malakhov, V. Matousek, M. Morhach, S.G. Reznikov, S. Sakaguchi, H. Sakai, Y. Sasamoto, K. Sekiguchi, I. Turzo, and T.A. Vasiliev  
Nucl. Instr. Meth A 642, 45 (2011).

Complete set of polarization transfer observables for the  $^{16}\text{O}(\vec{p}, \vec{n})^{16}\text{F}$  reaction at 296 MeV and 0 degrees  
T. Wakasa, M. Okamoto, M. Takaki, M. Dozono, K. Hatanaka, M. Ichimura, T. Noro, H. Okamura, and Y. Sakemi  
Phys. Rev. C **84**, 014614 (2011).

High-precision  $^{28}\text{Si}(p, t)^{26}\text{Si}$  reaction to determine  $^{22}\text{Mg}(\alpha, t)^{25}\text{Al}$  reaction rates  
A. Matic, A.M. van den Berg, M.N. Harakeh, H.J. Wörtche, M. Beard, G.P.A. Berg, J. Görres, P. LeBlanc, S. O'Brien, M. Wiescher, K. Fujita, K. Hatanaka, Y. Sakemi, Y. Shimizu, Y. Tameshige, A. Tamii, M. Yosoi, T. Adachi, Y. Fujita, Y. Shimbara, H. Fujita, T. Wakasa, J.P. Greene, R. Crowter, and H. Schatz  
Phys. Rev. C **84**, 025801 (2011).

Three nucleon force effects in intermediate-energy deuteron analyzing powers for  $dp$  elastic scattering  
K. Sekiguchi, H. Okamura, N. Sakamoto, H. Suzuki, M. Dozono, Y. Maeda, T. Saito, S. Sakaguchi, H. Sakai, M. Sasano, Y. Shimizu, T. Wakasa, K. Yako, H. Witala, W. Glöckle, J. Golak, H. Kamada, and A. Nogga  
Phys. Rev. C **83**, 061001 (2011).

《Proceedings》

Discrepancy of Cross Sections in  $pd$  Breakup Reactions at  $E_p = 250$  MeV

S. Kuroita, K. Sagara, Y. Eguchi, K. Yashima, T. Shishido, T. Yabe, M. Dozono, Y. Yamada, T. Wakasa, T. Noro, H. Matsubara, J. Zenihiro, A. Tamii, H. Okamura, K. Hatanaka, T. Saito, Y. Maeda, H. Kamada, and Y. Tameshige

Proc. of EFB21 (Salamanca 2010.8.30-9.03), Few Body Systems Vol. 50 (2011) 287-290.

Experimental Study of Space Star Anomaly in  $pd$  Breakup around 10MeV/A

T. Yabe, K. Sagara, S. Kuroita, K. Ishibashi, T. Tamura, Y. Eguchi, K. Yashima, T. Sueta, H. Shimoda, and Y. Maeda

Proc. of EFB21 (Salamanca 2010.8.30-9.03), Few Body Systems Vol. 50 (2011) 291-294.

Direct Measurement of  $^{12}\text{C}+^4\text{He}$  Fusion Cross Section near Stellar Energy

K. Sagara, K. Fujita, T. Teranishi, M. Taniguchi, N. Oba, H. Yamaguchi, and S. Matsuda

Proc. of EFB21 (Salamanca 2010.8.30-9.03), Few Body Systems Vol. 50 (2011) 315-318.

Study of spin-dipole strengths in  $^{16}\text{F}$  via complete polarization transfer measurements

M. Dozono, T. Wakasa, M. Okamoto, M. Takaki, K. Hatanaka, and Y. Sakemi

J. Phys. Conf. Ser. **295**, 012122 (2011).

Discrepancy of Cross Sections in  $pd$  Breakup Reactions at  $E_p = 250$  MeV

S. Kuroita, K. Sagara, Y. Eguchi, K. Yashima, T. Shishido, T. Yabe, M. Dozono, Y. Yamada, T. Wakasa, T. Noro, H. Matsubara, J. Zenihiro, A. Tamii, H. Okamura, K. Hatanaka, T. Saito, Y. Maeda, H. Kamada, and Y. Tameshige

Few-Body Systems **50**, 287 (2011).

Elastic Scattering of Neutron-Rich Helium Isotopes from Polarized Protons at 71 MeV/A

S. Sakaguchi, T. Uesaka, T. Kawabata, T. Wakui, N. Aoi, Y. Hashimoto, Y. Ichikawa, K. Itoh, M. Itoh, H. Iwasaki, T. Kawahara, Y. Kondo, H. Kuboki, Y. Maeda, T. Nakamura, T. Nakao, Y. Nakayama, H. Okamura, H. Sakai, Y. Sasamoto, M. Sasano, Y. Satou, K. Sekiguchi, T. Shimamura, Y. Shimizu, M. Shinohara, K. Suda, D. Suzuki, Y. Takahashi, A. Tamii, K. Yako and M. Yamaguchi

Journal of Physics: Conf. Ser. 312, 082037 (2011).

Spin observable in proton elastic scattering of  $^6\text{He}$  and its relevance to cluster structure

T. Uesaka and S. Sakaguchi

Journal of Physics: Conf. Ser. 321, 012011 (2011).

Complete Set of Deuteron Analyzing Powers for Deuteron-Proton Elastic Scattering at 250 MeV/nucleon and Three-Nucleon Forces

K. Sekiguchi, H. Okamura, N. Sakamoto, H. Suzuki, M. Dozono, Y. Maeda, T. Saito, S. Sakaguchi, H. Sakai, M. Sasano, Y. Shimizu, T. Wakasa, and K. Yako  
J. Phys. Conf. Ser. **312**, 082038 (2011).

Search for a permanent EDM using laser cooled radioactive atom

Y. Sakemi, K. Harada, T. Hayamizu, M. Itoh, H. Kawamura, S. Liu, H.S. Nataraj, A. Oikawa, M. Saito, T. Sato, H.P. Yoshida, T. Aoki, A. Hatakeyama, T. Murakami, K. Imai, K. Hatanaka, T. Wakasa, Y. Shimizu, and M. Uchida  
J. Phys. Conf. Ser. **302**, 012051 (2011).

## 講演

### 《 海外での講演 》

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, T. Komatsubara  
The 5th Asia-Pacific Conference on Few Body Problems in Physics (Seoul, 2011.8.22.-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. Mitsudumi, M. Iwasaki, and Maria T. Rosary  
The 5th Asia-Pacific Conference on Few Body Problems in Physics (Seoul, 2011.8.22.-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. Matsubara, J. Zenihiro, Y. Tameshige, H. Okamura, A. Tamii, K. Hatanaka, T. Saito, Y. Maeda, and H. Kamada  
The 5th Asia-Pacific Conference on Few Body Problems in Physics (Seoul, 2011.8.22.-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  
The 5th Asia-Pacific Conference on Few Body Problems in Physics (Seoul, 2011.8.22.-26.)

Feasibility study of  $D(3H,3He)nn$  experiment searching for  $nn$  ground state  
S. Tanaka, K. Sagara, K. Ishibashi, and S. Kimura  
The 5th Asia-Pacific Conference on Few Body Problems in Physics (Seoul, 2011.8.22.-26.)

Analyzing power in elastic scattering of  $6He$  and  $8He$  from polarized protons at 71 MeV/u  
S. Sakaguchi, T. Uesaka, T. Wakui, N. Aoi, Y. Hashimoto, 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, M. Shinohara, K. Suda, D. Suzuki, Y. Takahashi, A. Tamii, Y. Iseri, M. Tanifuji, K. Yako, M. Yamaguchi and Y. Yamamoto  
The first International Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2011), Leuven, Belgium, 2011.5.29. - 2011.6.3.

Isospin-generalized proton elastic scattering from  $116Sn$  and  $120Sn$  at 170 MeV (poster)  
S. Sakaguchi, T. Uesaka, T. Wakasa, H. Sakaguchi, R. Chen, M. Dozono, S. Kawase, Y. Maeda, H. Miyasako, M. Okamoto, S. Ota, H. Sakai, T. Saito, M. Sasano, T. Shima, T. Suzuki, A. Tamii, S. Terashima, H. Tokieda, K. Hatanaka, Y. Yasuda and K. Yako  
The first International Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2011), Leuven, Belgium, 2011.5.29. - 2011.6.3.

Charge-exchange (p,n) reaction to isobaric analog state as probe for neutron-skin (poster)  
S. Sakaguchi, T. Uesaka, H. Sakaguchi, T. Wakasa, M. Sasano, R. Chen, M. Dozono, K. Hatanaka, T. Kawabata, S. Kawase, Y. Kikuchi, Y. Maeda, H. Matsubara, H. Miyasako, Y. Nozawa, M. Okamoto, S. Ota, H. Sakai, T. Saito, H. Shima, T. Suzuki, A. Tamii, S. Terashima, H. Tokieda, K. Yako, Y. Yasuda, and N. Yokota  
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), Pisa, Italy 26-29 March 2012.

《 国内での講演 》

”Proton elastic resonance scattering of light unstable nuclei”:

T. Teranishi

Review meeting on CRIB activities, June 21, 2011, Center for Nuclear Study (CNS), University of Tokyo, Wako, Saitama

”偏極陽子弾性散乱で探る 中性子過剰ヘリウム同位体のスピン軌道ポテンシャル” (核物理談話会新人賞受賞記念講演)

坂口 聡志

日本物理学会 2011 年秋季大会、弘前大学、2011 年 9 月

”Triplet Polarization from Nuclear Physics Viewpoint”

Satoshi Sakaguchi

RIBF-ULIC Mini-workshop ”Future Direction of Triplet Polarization Studies”, 2011 Oct.

”Analyzing power measurement for  $p+{}^6\text{Li}$  elastic scattering at 71MeV/A”

Satoshi Sakaguchi

RIBF-ULIC Mini-workshop ”Polarization phenomenon in proton elastic scattering from unstable nuclei”, 2011 Dec.

”Isospin-generalized proton elastic scattering as a probe for isovector density distribution”

Satoshi Sakaguchi

RIBF-ULIC Mini-workshop ”Polarization phenomenon in proton elastic scattering from unstable nuclei”, 2011 Dec.

”陽子ノックアウト反応による原子核 1 粒子状態の強度分布測定”

野呂哲夫

日本物理学会 RCNP-RIBF シンポジウム (弘前大学 2011 年 9 月)

”pd 分解反応断面積における Star 異常と QFS 異常の検証”

相良建至, 黒板翔, 矢部達也, 石橋和久, 田村隆志, 木村駿太郎, 田中翔基, 岡本緑, 前田幸重, 小松原哲郎, 田岸義宏, 小沢顕, 石橋陽子, 伊藤由太, 大石寛人, 横山和幸, 阿部康志, 福岡翔太, 中村聡佑, 奥村公威

日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学 2011 年 9 月)

” $E_{\text{cm}}=1.5, 1.15\text{MeV}$  での  $4\text{He}(12\text{C},16\text{O})$  反応断面積測定の現状”

藤田訓裕, 相良建至, 寺西高, 谷口雅彦, 劉盛進, 大場希美, 松田沙矢香, 山口祐幸, Maria T. Rosary, 三鼓達輝, 岩崎諒, J.Y. Moon

日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学 2011 年 9 月)

”九州大学タンデム加速器での活動と新キャンパスでの加速器建設”

野呂哲夫

日本原子力学会「2011 年秋の大会」加速器・ビーム科学部会セッション「中型加速器の普及とビーム応用の新展開」(九州工業大学 2011 年 9 月)

”天体核反応測定のためのイオンチェンバー開発”

三鼓達輝, 藤田訓裕, 相良建至, 山口裕幸, 松田沙矢香, 岩崎諒, Maria T. Rosary, 劉盛進, 寺西高  
第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

” $E_{cm}=1.5\text{MeV}$  以下での  $4\text{He}+^{12}\text{C} \rightarrow ^{16}\text{O}+$  反応測定における BG 除去”

岩崎諒, 藤田訓裕, 相良建至, 山口裕幸, 松田沙矢香, 三鼓達輝, Maria T. Rosary, 劉盛進, 寺西高  
第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”天体核反応  $4\text{He}+^{12}\text{C} \rightarrow ^{16}\text{O}+$  からの  $^{16}\text{O}$  の荷電分布”

劉盛進, 相良建至, 寺西高, 藤田訓裕, 山口裕幸, 松田沙矢香, 三鼓達輝, 岩崎諒, Maria T. Rosary,  
櫻井誠

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”pd 分解反応における Space Star Anomaly と今後の垂直面内実験”

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, 吉永拓実

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”pd 分解反応における collinear 異常の探索”

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, 吉永拓実

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”天体核反応測定のためのイオンチェンバー開発”

三鼓達輝, 藤田訓裕, 相良建至, 山口裕幸, 松田沙矢香, 岩崎諒, Maria T. Rosary, 劉盛進, 寺西高  
第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

” $E_{cm}=1.5\text{MeV}$  以下での  $4\text{He}+^{12}\text{C} \rightarrow ^{16}\text{O}+$  反応測定における BG 除去”

岩崎諒, 藤田訓裕, 相良建至, 山口裕幸, 松田沙矢香, 三鼓達輝, Maria T. Rosary, 劉盛進, 寺西高  
第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”天体核反応  $4\text{He}+^{12}\text{C} \rightarrow ^{16}\text{O}+\gamma$  からの  $^{16}\text{O}$  の荷電分布”

劉盛進, 相良建至, 寺西高, 藤田訓裕, 山口裕幸, 松田沙矢香, 三鼓達輝, 岩崎諒, Maria T. Rosary, 櫻井誠

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”pd 分解反応における Space Star Anomaly と今後の垂直面内実験”

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, 吉永拓実

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”pd 分解反応における collinear 異常の探索”

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, 吉永拓実

第 117 回日本物理学界九州支部例会、佐賀大学 2011 年 12 月 3 日

”精密核物理の将来”

若狭智嗣

日本物理学会 (2011 年秋季大会、弘前大学)

”エネルギーアップグレードによる物理”

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 (2012 年 3 月、大阪大学)

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

基盤研究 (C) 「低エネルギー不安定核反応による 2 核子相関の研究」(寺西高 2009 ~ 2011 年度)

文部省科学研究費補助金、新学術領域研究 (研究領域提案型)

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)

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 H22-H24)

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) 大中貴恵：(指導教員、相良建至)  
Ep=13MeVにおけるpd Star 反応前方断面積の測定
- (2) 兒玉大輔：(指導教員、相良建至)  
KUTLにおけるバックグラウンド低減のためのイオンチェンバー開発 I
- (3) 西山憲一：(指導教員、野呂哲夫)  
九大 AMS 入射ビームのエミッタンス測定
- (4) 福永拓 (指導教員、若狭智嗣)  
中性子偏極度計 NPOL3 の較正-位置検出関数の改良-
- (5) 前田裕史：(指導教員、相良建至)  
pd 分解反応における微分断面積異常の 依存性の探索
- (6) 安田淳平：(指導教員、若狭智嗣)  
中性子偏極度計 NPOL3 の較正-位置再構成関数の再定義による改良-
- (7) 吉永拓実：(指導教員、相良建至)  
pd 分解反応の Star 条件などにおける運動学の考察

#### 修士論文

- 石橋和久：(指導教員、相良建至)  
pd 分解反応における Star 異常の確定と Collinear 異常の研究
- 衛藤 晴彦：(指導教員、野呂哲夫)  
九大タンデム AMS システムにおける測定手法の最適化と現代植物試料の年代測定
- 桑田薫法：(指導教員、野呂哲夫)  
AMS 測定のためのマルチアノードイオンチェンバの開発
- 田中惇平：(指導教員、野呂哲夫)  
九大タンデム加速器による  $^{14}\text{C}$  年代測定のための ion optics
- 松田沙矢香：(指導教員、相良建至)  
窓なし He 標的の実用化研究 密度分布・荷電割合・ガス循環
- 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

## 学外での学会活動

- 野呂哲夫：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  
J-PARC 放射線安全委員会委員  
日本物理学会 実験核物理領域副代表 (~ 2011.9)、同領域代表 (2011.10 ~ )
- 相良建至：The 20th International IUPAP Conference on Few-Body Problems  
in Physics (FB20, 2012.8.20-25) 議長 ( 2007 年 3 月 ~ )  
AAsia-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 月から)

## その他の活動と成果

- 体験入学・実験「物質を透過する粒子線」2012 年 3 月 30 日 (寺西高)
- 体験入学・実験「身の回りの放射能体験」2012 年 3 月 30 日 (藤田訓裕)

当グループは核物理研究者コミュニティーの一員として次の活動に参加した：「福島県付近の一般住民向け放射線スクリーニング作業」(2011 年 3-4 月)、「福島県付近の土壌試料の採集および Ge 検出器による放射線測定」(2011 年 5-9 月)。

# 物性理論研究室

## 研究室構成員

吉森明 准教授

松井淳 助教

《 博士研究員 》

水口朋子

《 大学院 博士課程 》

末松安由美

《 大学院 修士課程 》

稲吉裕子 野口慎平 中村有花 山田一雄

原諒平 松本幸介

《 学部 卒業研究生 》

五十嵐淳哉 井上雅郎 山北知史

## 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(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) 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(水口朋子)

相互作用ポテンシャルの引力部分のみが異なる3つのモデルについて分子動力学シミュレーションを実行し、古典核生成理論を用いてガラス形成能の違いを調べた。その結果、引力が強いモデルほどガラス形成が容易になることを明らかにした。

- (b) 3次元単成分液体のガラス転移(松本幸介、松井淳)  
液体状態から冷却すると凝固点で面心立方格子結晶に一次転移する。この凝固線が、ある圧力以下では消失して、液体のような乱雑構造の固体に一次転移となり、さらに低い圧力で、ガラス転移線と交差することを、分子動力学シミュレーションにより見いだした。
- (c) 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。
- (d) 過冷却液体とガラスの構想解析：球面調和関数展開(五十嵐淳哉、松井淳)  
ガラスの構造の等方性を解析するため、二体分布の配向成分を球面調和関数展開した。 $L = 12$ の成分が突出していることを見出した。
- (e) ジャンプ待ち時間分布の対数発散(松井淳)  
これまでに、液体中の分子運動のうち構造緩和に寄与するジャンプ拡散の待ち時間分布が、ガラス転移温度以上ではおおよそポアソン分布、転移点では-2のべきをもつロングテイルを示した。ジャンプ拡散の抽出するために用いた条件を変えると、抽出されるイベントが変化するが、待ち時間分布のべきは変わらないことを確認した。

2. Harada-Sasa 公式における under-damped と over-damped の関係(山田一雄、吉森明)

Harada-Sasa 公式はランジュバン方程式で記述できる様々な非平衡定常系で成り立つ恒等式として知られているが、多くの場合独立に証明されている。特に under-damped と over-damped の関係を明らかにするために、under-damped から極限をとることで over-damped での Harada-Sasa 公式を導出した。さらに、それまで知られていなかった時間領域で成り立つことを示した。

[II] 化学物理の理論的研究 (吉森明)

- 1. 大きな粒子の拡散における摂動理論の開発 (稲吉裕子、吉森明)  
これまで、溶媒粒子より充分大きい溶質が溶液内を拡散するときの理論を開発してきた。理論の精度を明らかにするために、溶質溶媒間に引力がある木原ポテンシャル系で計算し、従来の研究と比較した。その結果、引力の効果の見積もりが17%以内で従来の研究と一致した。
- 2. 2成分溶媒中での大きな粒子の拡散の研究(中村有花、吉森明)  
2成分溶媒中での溶質の拡散係数を、溶質周りの溶媒の密度分布を考慮して理論的に計算した。2成分溶媒の混合比や粒子の大きさの違いによって拡散係数

が変化することが分かり、溶質表面の溶媒の密度が拡散係数に大きな影響を与えることを明らかにした。

3. 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。
4. 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理論を、レナード・ジョーンズ・ポテンシャル系に応用した。この結果を論文にまとめた(出版準備中)。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、各転移が起こる圧力を求め相互作用との関係を明らかにした。
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。そこで、溶質が小さいときに粘度式がどのように変更を受けるかを考えた。このとき、アインシュタインの粘度式からのずれは溶媒の密度分布から得られることを明らかにした。
6. マイクロレオロジーの実験における粒子の運動(井上雅郎、吉森明)  
マイクロレオロジーの実験では、ゲルやコロイド溶液中における観察用の粒子の運動から、その複雑流体の力学的性質を決定する。この実験に対応する問題として、粒子間相互作用の無いコロイド溶液中を一定速度で運動する粒子について、運動の際に働く抵抗力と速度との関係を流れのある拡散方程式を数値的に解いて明らかにした。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

”Studies of liquid-solid transitions using a thermodynamic perturbation method with modified weighted density approximation”:

Ayumi Suematsu, Akira Yoshimori, Takashi Odagaki,

Journal of the Physical Society of Japan, **Vol. 80** 025001 (2011).

”Time Dependent Density Functional Theory Formulated by the Interaction-Site model”:

Akira Yoshimori,

Journal of the Physical Society of Japan, **Vol. 80** 034801 (2011).

”Configurational Entropy and Heat Capacity in Supercooled Liquids”:

Akira Yoshimori and Takashi Odagaki,

Journal of the Physical Society of Japan, **Vol. 80** 034801 (2011).

”Glass formation and thermodynamics of supercooled monatomic liquids”:

Vo Van Hoang and T. Odagaki,

J Phys Chem B., **115**, 21 (2011) .

”Self organization of social hierarchy on interaction network”:

R. Fujie and T. Odagaki,

J. Stat. Mech. (2011) P06011(15pages)

”Self organization of social hierarchy in competitive society”:

R. Fujie and T. Odagaki,

J. Phys. Soc. Jpn. 80, 124802 (2011)(5 pages)

”Dynamics of Vitrification and Crystallization in a Two-Dimensional Monatomic System”:

T. Mizuguchi and T. Odagaki,

J. Phys. Soc. Jpn. 81, 024601(2012) (7 pages)

《Proceedings》

Ayumi Suematsu, Akira Yoshimori, Masafumi Saiki, Jun Matsui, and Takashi Odagaki Application of Phase Transition Theory to Glass Transition System, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl., accepted for publication (2012) 査読有

Y. Nakamura, A. Yoshimori, and R. Akiyama A Perturbation Theory for Friction of a Large Particle Immersed in a Binary Solvent, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl., accepted for publication (2012) 査読有

## 講演

### 《 海外での講演 》

26th International Conference on Low Temperature Physics(2011年8月10-17日)。MWDA calculation of freezing of superfluid He-4, T. Minoguchi, D.E. Galli, M. Rossi, and A. Yoshimori

「A perturbation theory for friction of a large particle immersed in a binary solvent」

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

”8th Liquid Matter Conference” Wien、9月6-10日,2011

”Vitrification and crystallization processes of a monatomic system”

Tomoko Mizuguchi, Takashi Odagaki

8th liquid matter conference, P8.30, Wien, Austria、9月6-10日,2011

### 《 国内での講演 》

「Rotational Relaxation of Solvent Molecules around an ion: Spatial Distribution of Relaxation Time」

植松 勇一郎, 吉森 明

”理論化学討論会” 岡山、5月13日,2011

「溶液中での巨大粒子の並進運動に対する共溶媒の効果」

中村 有花, 吉森 明, 秋山 良

”理論化学討論会” 岡山、5月13日,2011

「Application of a phase transition theory to a glass forming system」

Ayumi Suematsu, Akira Yoshimori, Takashi Odagaki

”5th Mini-Symposium on Liquids” 岡山、6月25,26日,2011

「A perturbation theory for friction of a large particle immersed in a binary solvent」

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

”5th Mini-Symposium on Liquids” 岡山、6月25,26日,2011

「Co-solvent effects on friction of a macromolecule immersed in a solution」

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

”Workshop on Hydration and ATP Energy 2011 第2回全体会議” 大阪、8月9-11日,2011

”Rotational Relaxation of Solvent Molecules around an ion: Spatial Distribution of Relaxation Time”

Yuichiro Uematsu, Akira Yoshimori

”Workshop on Hydration and ATP Energy 2011 第2回全体会議” 大阪、8月9-11日,2011

基研研究会 2011 「非平衡系の物理 -ミクロとマクロの架け橋」(2011年8月18-20日)。原田佐々公式のフォッカープランク方程式を使った研究、山田一雄, 吉森明

「A perturbation theory for friction of a large particle immersed in a binary solvent」

Yuka Nakamura, Akira Yoshimori, Ryo Akiyama

”The 7th Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics” 東京、9月2-8日,2011 **Fujitsu Poster Prizes**

「大きな粒子が2成分溶媒系から受ける抵抗の理論とその応用」

中村有花、吉森明、秋山良

”2011年物理学会秋季大会” 富山、9月21-24日,2011

「フォッカープランク方程式を使った原田佐々公式の研究」

山田一雄、吉森明

”2011年物理学会秋季大会” 富山、9月21-24日,2011

「3次元単成分系モデルのガラス転移 II」

才木将史、松井淳

”2011年物理学会秋季大会” 富山、9月21-24日,2011

「2次元モデルガラスにおける縦波の速度」

村中正, 松井淳, 樋渡保秋

”2011年物理学会秋季大会” 富山、9月21-24日,2011

「2次元2成分ソフトコア系のエネルギー最小構造」

松井淳

”計算統計物理学研究会”、金沢、9月25-26日,2011

「溶液化学と非平衡物理」

吉森明

第34回溶液化学シンポジウム招待講演(2011年11月15日-17日)。

「大きな粒子の拡散～粒子と溶媒の間の引力の効果～」

稲吉 裕子、吉森 明、秋山良

”第117回日本物理学会九州支部例会” 佐賀、12月3日,2011

「大きな粒子の拡散～溶媒2成分系の理論～」

中村 有花、吉森 明、秋山 良

”第117回日本物理学会九州支部例会” 佐賀、12月3日,2011

「大きな粒子が狭い空間に入るときの溶媒の効果」

原 諒平、吉森 明、天野 健一、木下 正弘

”第117回日本物理学会九州支部例会” 佐賀、12月3日,2011

「Lennard-Jones-Gauss 系の固液相転移」

末松 安由美、吉森 明、才木 将史、松井 淳、小田垣 孝

”第117回日本物理学会九州支部例会” 佐賀、12月3日,2011

「2次元モデルガラスにおける波の発生と観測」

村中正、松井淳、樋渡保秋

”第25回分子シミュレーション討論会”、東京、12月5-7日,2011

「粒子が狭い空間に入るときの溶媒の効果」

原 諒平、天野 健一、木下 正弘、吉森 明

”水を主役とした ATP エネルギー変換第4回全体会議” 仙台、3月7,8,9日,2012

「球状の溶質の周りの水の誘電緩和」

Y. Kubota, A. Yoshimori (Kyushu U.), N. Matubayasi (Kyoto U.), M. Suzuki (Tohoku U.), R. Akiyama (Kyushu U.)

”水を主役とした ATP エネルギー変換第4回全体会議” 仙台、3月7,8,9日,2012

「熱力学的摂動論を用いた Lennard-Jones-Gauss 系の固液相転移の研究」

末松安由美、吉森明、才木将史、松井淳、小田垣孝

”2012 年度日本物理学会春季大会” 西宮、3 月 24,25,26,27 日,2012

「3次元単成分系モデルのガラス転移 III」

松本幸介、松井淳

”2012 年度日本物理学会春季大会” 西宮、3 月 24,25,26,27 日,2012

「大きな粒子の拡散に対する新しい理論～他の理論との比較～」

稲吉裕子、中村有花、吉森明、秋山良

”2012 年度日本物理学会春季大会” 西宮、3 月 24,25,26,27 日,2012

「大きな粒子の拡散における微量共溶媒の効果」

中村有花、稲吉裕子、吉森明、秋山良

”2012 年度日本物理学会春季大会” 西宮、3 月 24,25,26,27 日,2012

「粒子が狭い空間に入るときの溶媒の効果」

原諒平、天野健一、木下正弘、吉森明

”2012 年度日本物理学会春季大会” 西宮、3 月 24,25,26,27 日,2012

「液体における非平衡現象の理論」

吉森明

文部科学省「平成 23 年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ拡がっていく数学 ～期待される『見えない力』～」研究会、重イオン衝突と非平衡物理の理論的発展(招待)(理化学研究所 2012 年 2 月 18 日)。

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

1. 基盤研究 (C) “大きな疎水性物質の拡散” (研究代表者: 吉森明) (継続)
2. 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)

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)

水口朋子、日本学術特振興会別研究員 (PD).

#### 学部4年生卒業研究

五十嵐淳也：(指導教員、松井淳)：ガラスの構造は等方的か

井上雅郎：(指導教員、吉森明)：コロイド粒子系における力の計算

山北知史：(指導教員、吉森明)：アインシュタインの粘度式の拡張

#### 修士論文

稲吉裕子：(指導教員、吉森明)：大きな溶質の拡散に対する摂動理論

野口慎平：(指導教員、吉森明)：自己平均性の破れと壺モデル

中村有花：(指導教員、吉森明)：大きな粒子が2成分溶媒から受ける抵抗の理論

#### その他の活動と成果

1. オープンキャンパス
2. 高校生体験入学「相対性理論シミュレーター」実習
3. 中村有花が 7th Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics で富士通ポスター賞を受賞。

# 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 》

蓬田 光樹      雪山 裕貴      倉本 龍

### 《 学部 卒業研究生 》

水落 憲一

### 《 訪問研究者 》

若生 潤一

## 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）、コアセミナー（全学）  
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. ずり粘化流体の振動現象（中西）：濃厚な粉体-流体混合媒質が示す急激なずり粘化を現象論的に記述する流体力学モデルの振る舞いを、解析的、数值的、および実験的に調べた。モデルの解析により単純剪断流や斜面流で一様流が不安定化しずり粘化振動をすることを示していたが、実験的にはそのような報告がこれまでなかった。そこで、我々自身で実験を計画し実施した。その結果、予想された領域に振動現象が見出された。（御手洗（NBI）、永弘（仙台高専）との共同研究）

2. 概日リズム系に対する分子揺らぎの影響 (中西、西野、坂上、若生): 生体に広く見られる 24 時間周期の振動、いわゆる概日リズムは、遺伝子発現過程を含む負のフィードバックループによる生化学振動により実現しているものが多く、また、非常に安定して周期を刻むことが知られている。しかし、生体内の化学振動系は、関わっている分子数が非常に少なく、さらに、遺伝子転写過程における DNA は基本的に 1 つしかないために、分子揺らぎの影響を大きく受けるはずである。このような生体化学振動に対する分子揺らぎ、特に、遺伝子転写過程に由来する揺らぎの影響を調べた。
3. 粉体斜面流における非弾性コラプス (若生、北岸、坂上、中西): 粉体斜面流における非弾性コラプスを調べるために、より簡単な系である、床から励起した一次元系のシミュレーションを行った。反発係数を一定に保ったまま弾性定数を大きくしていったときに振る舞いを調べることにより、反発係数に 3 つの領域があることが分かった。即ち、単位時間あたりの粒子間衝突回数が (i) 有限の極限に収束する領域、(ii) 対数発散する領域、(iii) べき発散する領域が見出された。粒子数  $N$  が 10 程度以下の小さな系ではべき発散領域は狭く、3 粒子系ではべき発散領域はなくなることが分かった。一方、粒子数の大きな系では 2 つの相の境界がいずれも  $1 - 1/N$  で 1 に近づきべき発散領域が大きくなることを示した。
4. 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 ( $S=1$  の場合と異なり) つながっており、中間に intermediate-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)
5. 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。
6. 濃厚環状鎖溶液の統計力学 (坂上): 環状鎖の濃厚溶液の統計的性質は、線形鎖のそれとは定性的に異なることが知られている。これは、鎖が互いにすり抜けられ

ないため、環状化による鎖のトポロジーが熱揺らぎの中で一定に保たれるためである。このトポロジカルな拘束効果を、実効的な排除体積として取り扱い、濃厚環状鎖溶液の統計則を記述する理論的枠組みを構築した。鎖長、濃度、鎖の硬さの効果など、これまでに知られてきた実験、シミュレーション結果を首尾一貫して説明することに成功し、また、トポロジーに由来する長さスケールを同定し、それと濃厚線形鎖溶液における絡まりあい長との類似、関連性を議論した。

7. 微小チャンネル中での高分子鎖のダイナミクス (坂上): 流動場を利用することにより、高分子鎖をナノスケールの細管に導入することが出来る。この細管への導入に要する臨界流量について、長い鎖では、鎖長や細管のサイズに依らず、熱エネルギーと溶媒の粘性率の比だけで決まることが理論的に予測されている。今回、短い鎖においては、鎖長依存性が表れる別のレジームがあることを理論的に示し、格子ボルツマン法と分子動力学法のハイブリッドシミュレーションにより検証した。また、細管サイズ依存性が表れる場合があることも指摘、考察した。(R Ledesma-Aguilar, J.M. Yeomans (Univ. Oxford) との共同研究)
8. 伸張した DNA の揺らぎ (坂上): 一分子実験技術の進展と共に、DNA をはじめとする生体高分子鎖の力学特性の測定技術はますます重要性を増している。中でも、光、磁気ピンセットや、原子間力顕微鏡を用いた DNA の伸張技術は典型的なものであり、ここにおいて、Marko と Siggia により解析、提案された鎖の両末端にかかる力と伸張との関係式は実用面においても極めて重要な役割を果たしてきた。本研究では、平均的な伸張に加え、張力下での DNA の揺らぎを定量化することの重要性に着目し、force-fluctuation 関係式を理論、実験の両面から解析、提案した。(馬場、村山 (東京農工大) との共同研究)
9. 非相溶性ブレンドにおけるマクスウェル応力 (坂上): 相分離した流体系における電気粘性効果の定式化に向けて、相分離界面に発生するマクスウェル応力の基礎的性質を調べた。特に重要な成果として、ドメイン構造の統計則を用いて、マクスウェル応力の界面テンソルによる表現を導出した。電場と流動場のカップリングにより、マクスウェル応力を異方的な繰り込んだ界面張力として捉えることが出来ることを議論した。(太田 (京都大) との共同研究)
10. 重力下での駆動粉体系の重心運動における揺動散逸関係 (若生): 重力下で流動化された粉粒体の定常状態における揺動散逸関係の妥当性について調べた。この粉体系の重心運動を記述するランジュバン方程式に基づく理論は、揺動散逸関係が成立することを予測する。ただし、この揺動散逸関係は、熱平衡近傍において成り立つ関係における平衡温度を、重心の運動エネルギーで定義される有効温度で置き換え

た形をしている。我々はこの理論の予測を確かめるために、広範囲のパラメタに及ぶ事象推進型分子動力学シミュレーションを行った。揺動散逸関係は、周波数の大きい領域においては、広範囲のパラメタ領域でよく成立していることが示された。(磯部(名工大)との共同研究)

11. 1次元的に拘束された高分子結び目の形状評価(中島、坂上): 揺らぐ結び目構造を記述する特徴のひとつとして、結び目の大きさのスケールリング則がある。これは、結び目の局在問題の文脈でも興味を持たれている性質である。我々は分子鎖内に絡まり合いを持った高分子鎖を1次元的な管の中に閉じ込めてランジュバンダイナミクスシミュレーションを行い、結び目領域の強い局在性、大きさの分布関数およびそのスケールリング、実空間での形状についての特徴を得た。
12. 制約充足問題としての結び目不変量計算(中島、坂上): 結び目の不変量は数学の分野で興味を持たれているほか、ランダムに生成される高分子の配位の弁別にも応用される重要な量である。多くの結び目不変量は多項式時間では計算できないため、大規模な高分子配位に対して不変量を計算することは難しい。我々は結び目の彩色数と呼ばれる不変量の計算問題をランダムグラフ上の統計力学モデルの基底探索問題の形に定式化できることを見出し、高分子結び目のサンプルに対して拡張アンサンブルモンテカルロ法を用いてこの不変量の計算を行った。
13. 細孔を通り抜ける高分子鎖ダイナミクスの動的相図(齋藤、坂上): 長いDNA、タンパク質などの鎖状高分子は、鎖の太さ程度の小さな穴を通り抜けることができる。外場駆動力下における、高分子鎖の微細孔を通り抜ける輸送現象は driven translocation と呼ばれており、鎖長、駆動力を幅広く変えて、実験・計算機実験が活発に行われている。本研究では、driven translocation を、高分子鎖に沿った張力の伝播と、それに伴う形状変形の非平衡ダイナミクスで記述し、4つの特徴的なレジームに分けられることを提案した。
14. 高分子鎖の微細孔を通り抜ける時間の分布(齋藤、坂上): 近年、単分子操作技術の著しい進展により、DNA鎖の微細孔を通り抜ける時間を実験的に測定できるようになってきた。そして、この系は計算機実験も活発に行われており、豊富な知見が蓄積してきている。報告されている結果によると、通り抜け時間の分布は、その平均時間の値と同程度の広がりを示している。本研究では、張力の伝播経路が、高分子鎖の初期形状に依存することに注目し、“初期形状由来の確率的な張力伝播メカニズム”を提案した。その描像に基づいた解析結果によると、通り抜け時間の平均と標準偏差のスケールリング指数は一致し、この特徴は報告されている実験・計算機実験の結果とよく一致する。

15. 流れ場における長鎖 DNA 折り畳み転移のダイナミクス (齋藤、坂上): 生体内におけるゲノム DNA の全長は非常に長く、真核生物に至っては数センチメートルのオーダーにも及ぶが、直径数マイクロメートル程度の核内にコンパクトに折り畳まれ、動的に高次構造を変化させつつ機能していると考えられている。生体内における DNA の機能解明のためには、長鎖 DNA にみられる高次構造変化ダイナミクスの理解が重要となってくる。本研究では、微細流路中、片端をピラーに固定された長鎖 DNA を、流れ場により伸張させ、その後、凝縮剤 (多価カチオン) を添加することで、折り畳みダイナミクスの単分子観測を行った。観測結果の詳細な解析から、凝縮速度は 3 段階の特徴的な過程を経ることがわかった。片端固定された高分子鎖の張力は、下流末端から単調に増加し非一様な形状を取る。この特徴的折り畳みダイナミクスを、この非一様な形状、2 次構造変化 (オーバーストレッチ)、折り畳みによる高次構造変化を取り入れたメカニズムから議論した。(鷲津・小穴研究室 (東京大学) との共同研究)
16. ゲル中の DNA の振動電場による伸長 (雪山、坂上、中西): ゲル内部に埋め込まれた DNA に振動電場をかけると、外場がなければエントロピーの制約によって小さな領域にまとまっている DNA が、電場に平行な方向に伸長する現象が確認されている。このような系に対して、簡単な 2 次元モデルを構成し、電場の振動数と振幅を変えて計算機実験を行った。その結果、高分子が電場方向に伸長する場合と、電場と垂直方向に伸長する場合があることを示した。
17. 固体表面に吸着された環状高分子 (蓬田、坂上、中西): 最近、固体表面上に吸着された環状 DNA の形状の観察などが実験的に行われるようになり、線形高分子に対して環状高分子がどのように異なるのか或いは同じように振る舞うのか興味を持たれている。本研究では、2 次元環状高分子の形状について、他の高分子の影響を 2 次元面内圧力として取り入れて、外圧の下での環状高分子の大きさや形状について計算機シミュレーションを行った。その結果、プロップモデルによる見積りによく一致する結果が得られた。
18. 粉粒体中の音波 (倉本、坂上、中西): 粉粒体中の音波は、粉粒体の不均一な接触により伝わるため、その伝播は空間的にも一様ではなく、また、複雑な周波数依存性も観測されている。更に、その音速は通常の固体ものと比べて極めて遅く 10% 程度になる。本研究ではこのような粉体中の音波の伝播について、分子動力学法の一つである離散要素法 (DEM) を用いて調べる予定で、文献調査及びプログラムの開発を行った。

## 発表論文

### 《原著論文》

1. Ludvig Lizana, Namiko Mitarai, Kim Sneppen, and Hiizu Nakanishi, Phys. Rev. E 83, 066116 (2011) [5 pages]. “Modeling the spatial dynamics of culture spreading in the presence of cultural strongholds”
2. Hiizu Nakanishi, Shin-ichiro Nagahiro, and Namiko Mitarai, Phys. Rev. E 85, 011401 (2012) [11 pages]. “Fluid dynamics of dilatant fluids”
3. T. Tonegawa, K. Okamoto, H. Nakano, T. Sakai, K. Nomura, M. Kaburagi, J. Phys. Soc. Jpn., **80** (2011) p.043001. “Haldane, Large-D and Intermediate-D States in an S=2 Quantum Spin Chain with On-Site and XXZ Anisotropies”
4. T. Sakaue, Phys. Rev. Lett., 106 (2011) 167802:1-4. “Ring Polymers in Melts and Solutions: Scaling and Crossover”
5. R. Ledesma-Aguilar, T. Sakaue, J.M. Yeomans, Soft Matter, 8 (2011) 1884-1892. “Length-dependent translocation of polymers through nanochannels”
6. T. Sakaue and T. Ohta, Phys. Rev. Lett., 108 (2012) 078301: 1-5. “Maxwell Stress in Fluid Mixtures”
7. T. Sakaue, Phys. Rev. E, 85 (2010) 021806:1-11. “Statistics and geometrical picture of ring polymer melts and solutions”
8. R. Ledesma-Aguilar, T. Sakaue, J.M. Yeomans, Soft Matter, 8 (2012) 4306-4309. “Easier sieving through narrower pores: fluctuations and barrier crossing in flow-driven polymer translocation”
9. T. Baba, T. Sakaue and Y. Murayama, Macromolecules, 45 (2012). 2857-2862. “Force-Fluctuation relation in a single DNA chain”
10. Chihiro H. NAKAJIMA and Takahiro SAKAUE, J. Phys. Soc. Jpn. 81 (2012) 035001. “Computing a Knot Invariant as a Constraint Satisfaction Problem”
11. Takuya Saito, Takahiro Sakaue, Daiji Kaneko, Masao Washizu, and Hidehiro Oana, J. Chem. Phys., 135, 154901 (2011). “Folding dynamics of tethered giant DNA under strong flow”
12. Takuya Saito, Takahiro Sakaue, Eur. Phys. J, E 34, 135 (2011). “Dynamical diagram and scaling in polymer driven translocation”

### 《Proceedings》

1. Namiko Mitarai and Hiizu Nakanishi, Eur. Phys. J. Special Topics 204 (2012) 5-17. “Granular flow: Dry and wet”
2. Chihiro H. NAKAJIMA and Takahiro SAKAUE, Prog. Theor. Phys. Suppl. 191 (2011) 205-209 “Knot Localization in a Flexible polymer Confined in a Tube”

3. Takuya Saito and Takahiro Sakaue, Progress of Theoretical Physics Supplement, 191, 210-214 (2011). “Driven Translocation of Semi-flexible Polymer under Strong Force”,

## 講演

### 《 海外での講演 》

1. Kiyohide NOMURA, The 1st International Congress on Natural Sciences (ICNS2011) with Sisterhood Universities 2011 August 24-27 at Pukyong National University, Korea. ”Theory of commensurate-incommensurate transition”
2. Hiizu Nakanishi, 8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, Sept. 6-10, 2011. “Rheology of dilatant fluid”
3. T. Sakaue, “Regional Bio-Soft Matter Workshop-2011: Non-equilibrium Statistical Physics in Bio-Soft Systems”, 2011/10/29 (Taipei, Taiwan). “Statistics and geometrical picture of ring polymer melts”

### 《 国内での講演 》

1. 利根川孝 (神戸大), 岡本清美 (東工大理工), 中野博生 (兵庫県立大), 坂井徹 (原子力機構), 野村清英 鍋木誠 (神戸大), 第7回トピカルミーティング「フラストレーションが創る新しい物性」文部科学省・科学研究補助金・特定領域研究(473)彦根市“異方的 S=2 反強磁性量子スピン鎖の基底状態相図: 四次の一軸性オンサイト異方性の効果”
2. 第一回ソフトマター研究会, 2011/8/3-5、 於:キャンパスプラザ京都
  - (a) 坂上 貴洋、「Ring Polymers in Melts and Solutions」
  - (b) 中島千尋、坂上貴洋, “彩色状態数による高分子結び目の判別とモンテカルロ法による彩色状態数計算”(ポスター)
  - (c) 齋藤拓也, “微細孔を通り抜ける高分子鎖のダイナミクス”(ポスター)
  - (d) 若生潤一、北岸宏之、坂上貴洋、中西秀, “粉体斜面流における非弾性コラプス: 1次元軟体球モデルの剛体球極限”(ポスター)
  - (e) 永弘進一郎、中西秀、御手洗菜美子, “ダイラタント流体の数値シミュレーション”(ポスター)
3. 基研研究会 2011,”非平衡系の物理 -ミクロとマクロの架け橋” 2011/8/18-20: 京都大学基礎物理学研究所,
  - (a) 中西秀、生体内の化学振動における分子ゆらぎの影響 (poster)
  - (b) 若生 潤一、鉛直加振された粉体気体系における重心運動: 揺らぎのダイナミクスと揺動散逸関係 (poster)
4. 日本物理学会秋の分科会、於: 富山大学 2011年9月21日~24日

- (a) 中西秀, 西野遼太, 坂上貴洋, 若生潤一, “遺伝子調節振動系における分子揺らぎの影響”
  - (b) 若生潤一, 北岸宏之, 坂上貴洋, 中西秀, “粉体斜面流における非弾性コラプス: 1次元モデルにおける軟体球の剛体球極限 “
  - (c) 永弘進一郎, 中西秀, 御手洗菜美子, “ダイラタント流体モデルの2次元シミュレーション “
  - (d) 利根川孝, 岡本清美, 中野博生, 坂井徹, 野村清英, 鎚木誠, “異方的 S=2 反強磁性量子スピン鎖の基底状態相図 –Intermediate-D 相の存在– I”
  - (e) 岡本清美, 利根川孝, 中野博生, 坂井徹, 野村清英, 鎚木誠, “異方的 S=2 反強磁性量子スピン鎖の基底状態相図 –Intermediate-D 相の存在– II”
  - (f) 坂上 貴洋, “拘束下の高分子鎖: 幾何学、力学、トポロジーの効果”
  - (g) 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性と大きさの分布関数”
  - (h) 齋藤拓也, 坂上貴洋, “高分子鎖の微細孔通り抜けダイナミクス”
5. Takashi Tonegawa, Kiyomi Okamoto, Hiroki Nakano, Toru Sakai, Kiyohide Nomura, and Makoto Kaburagi, Novel Quantum States in Condensed Matter 2011 (NQS2011) 2011 November 7-11 at Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP). “Ground-State Phase Diagram of an Anisotropic  $S = 2$  Antiferromagnetic Chain with Quartic, Uniaxial, On-Site Anisotropy”
  6. 第 117 回日本物理学会九州支部例会、佐賀大学本庄キャンパス、2011 年 12 月 3 日
    - (a) 蓬田光樹, 坂上貴洋, 中西秀, “2次元平面に吸着した環状高分子の形状の圧力依存性”
    - (b) 雪山裕貴, 坂上貴洋, 中西秀, “ゲル中の鎖状高分子の振動電場による伸張運動”
  7. 中西 秀, 定量生物の会第 4 回例会, 2012 年 1 月 8 日 ~ 9 日, 名古屋大学, “概日リズム系における分子揺らぎの影響”
  8. 野村 清英, 量子スピン研究会, 福井大学, 2012 年 2 月 18 日. “整合–非整合遷移と磁化の even-odd effect”
  9. 国際研究集会 “Phase Transition Dynamics in Soft Matter :Bridging Microscale and Mesoscale”, 2012/2/20-22, at: Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University
    - (a) Hiizu Nakanishi, “Fluid dynamics of dilatant fluids“
    - (b) Takahiro Sakaue, “Statistics and geometrical picture of ring polymer melts”(Poster)
    - (c) Chihiro Nakajima, “Localization and size distribution of a polymer knot confined in a channel” (Poster)
  10. 中島 千尋, 基研研究会 『情報統計力学の最前線–情報と揺らぎの制御の物理学を目指して–』 2012/3/21-23 於: 京都大学基礎物理学研究所, “結び目の彩色問題”
  11. T. Sakaue, “Phase Transition Dynamics in Soft matter: Bridging Microscale and Mesoscale”, 2012/2/21 (Kyoto). “Statistics and geometrical picture of ring polymer melts” (Poster)

12. 日本物理学会 第 67 回年次大会, 於: 関西学院大学, 2011 年 3 月 24 日 ~ 27 日

- (a) Ludvig Lizana, 御手洗菜美子, Kim Sneppen, 中西秀, “情報を持ったランダムウォーカーによる方言の伝播モデル”
- (b) 若生潤一, 北岸宏之, 坂上貴洋, 中西秀, “粉体斜面流における非弾性コラプス II: 粒子数依存性”
- (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”
- (d) 坂上 貴洋, 太田 隆夫, “非相溶性ブレンドのマクスウェル応力”
- (e) 中島千尋, 坂上貴洋, “結び目不変量計算問題の制約充足問題としての定式化”
- (f) 齋藤拓也, 坂上貴洋, “微細孔を通り抜ける高分子鎖のダイナミクス: 通り抜け時間の平均と分散のスケーリング”

## 外部資金

### 《 文部省科学研究費補助金 》

1. 中西秀, 文部省科学研究費補助金, 基盤 C 「ダイラタント流体のレオロジー」(研究代表者)
2. 野村 清英基盤 C 「量子スピン鎖における新奇相の精密探索とレベルスペクトロスコピー」(研究分担者)

### 《 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)、「揺らく結び目構造の数理」

## 学部 4 年生卒業研究

水落 憲一, 「計算機シミュレーションによる界面成長モデルの紹介とその解析」

## 修士論文

1. 蓬田 光樹, 「二次元平面に吸着した環状高分子の形状の圧力依存性」
2. 雪山 裕貴, 「ゲル中の線形高分子の振動電場による伸長運動」

## 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
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      廣田洋平

《 学部 卒業研究生 》

幸松諒      中村駿也      松崎航      山西史倫

## 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 / Nonlinear Physics (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指数関数ファクター (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、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あることを明らかにした。さらに、表面電子状態がどのような性質のときに、指数関数ファクターが現れるかを明らかにした。この結果から、指数関数ファクターが現れ無いつきの表面電子状態の性質がわかる。

Ge(111) 表面 Sn 吸着系の相転移 (河合伸、廣田洋平)

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た。

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。相転移温度が約 170 K であると決定した。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。我々のモンテカルロシミュレーションの結果は、仮想的に Ge 置換欠陥がない表面での相転移温度を決定したことになり、欠陥による安定化という仮説と一致する。

遺伝暗号コードの起源と進化の研究/教育 (成清修、山下達朗)

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。

遺伝暗号の進化に関して、「コドン捕獲」と「曖昧な遷移」の二大シナリオが提唱されているが互いに矛盾するものと考えられてきた。我々は物理的な状態空間でこれらを議論し、異なる道筋にそった進化であり、どちらもありうることを明らかにした。

免疫系に見られるリアルタイム進化の研究/教育 (成清修、斎藤士郎)

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。

免疫系で観察されているスケールフリーな挙動を説明するような単純な物理モデルの計算機実験を行った。

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ていたが、他の論文執筆を優先させたため未だ達成していない。出版作業は来年度の目標とする。

プロトタンパク質とプロトRNAの相互の分子認識に立脚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行った。

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、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、出版作業は来年度の目標とする。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していたが、これは実現している。

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。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していた。これらは、他の論文執筆を

優先させたことと、修士院生の在籍がない学年が生じたため未だ達成されていない。学会発表および出版作業を来年度の目標とする。

オートポイエシスと生命を同一視する考えがあるが、オートポイエシス系は進化能を持たないので生命とは言えない。我々はオートポイエシスに認知機能を実装して細胞に進化能を持たせた。具体的には脂質二重膜に機能性タンパク質を埋め込み、環境との共進化を可能にした。これらの細胞集団の進化シミュレーションを行った。

#### 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、研究成果の公表を目標とし、arXivに6編をアップした。これらは、教科書的に細部まで記述しており、今後この分野の理論計算を行うための必読文献となると考える。また、理論の全部を説明してはいないので、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。

#### 発表論文

##### 《 原著論文 》

Real-space observation of local anisotropic correlation between buckled dimers on Si(100) induced by a bidentate adsorbed molecule:

Md. Zakir Hossain, Kozo Mukai, Yoshiyuki Yamashita, Hiroshi Kawai and Jun Yoshinobu, *Chemical Communications*, **47**(2011) 10392.

Scale-free dynamics of somatic adaptability in immune system:

Shiro Saito, Osamu Narikiyo, *BioSystems*, **103** (2011) 420.

Physical Model for the Evolution of the Genetic Code:

Tatsuro Yamashita, Osamu Narikiyo, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80** (2011) 124801.

《 その他の論文 》

Ward Identities for Cooper Pairs:

Osamu Narikiyo, arXiv:1108.0815.

”Comment on “Giant Nernst Effect due to Fluctuating Cooper Pairs in Superconductors”:

Osamu Narikiyo, arXiv:1108.1011.

Ward identities for anisotropic Cooper pairs:

Osamu Narikiyo, arXiv:1108.5272.

Ward identities for particle-particle and particle-hole pairs:

Osamu Narikiyo, arXiv:1109.1404.

Codon Capture and Ambiguous Intermediate Scenarios of Genetic Code Evolution:

Tatsuro Yamashita, Osamu Narikiyo, arXiv:1110.5123.

A Diagrammer’s Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: I. Conductivity and Thermopower:

Osamu Narikiyo, arXiv:1112.1513.

A Diagrammer’s Note on Superconducting Fluctuation Transport for Beginners: II. Hall and Nernst Effects with Perturbational Treatment of Magnetic Field:

Osamu Narikiyo, arXiv:1203.0127.

講演

《 国内での講演 》

原始細胞における遺伝情報の翻訳と多様化のメカニズム:

津田隼、成清修

第 34 回日本分子生物学会年会 (2011 年 12 月 14 日)

学部 4 年生卒業研究

幸松諒：(指導教員、河合伸)：Sn 吸着 Si(111) 表面の低温構造

中村駿也：(指導教員、成清修)：生物システムの情報論的理解

松崎航：(指導教員、成清修)：ハイパーサイクルによる遺伝情報の進化

山西史倫：(指導教員、成清修)：ハイパーサイクルシステムの安定性と情報処理

#### 修士論文

廣田洋平：(指導教員、河合伸)：Ge(111) 表面 Sn 吸着系における高温励起構造と相転移

#### その他の活動と成果

物性コロキウム「STM における内側のトンネル効果」(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 (2012 年 10 月 6 日)

物性コロキウム「超伝導における Ward 恒等式」(成清修)  
九州大学大学院理学研究院物理学部門物性基礎論 (2012 年 1 月 12 日)

高校出張講義「21 世紀の物理学 -アインシュタインの宿題-」(成清修)  
福岡県立福岡高等学校 (2011 年 7 月 12 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 博士課程 》

杉島正樹

### 《 大学院 修士課程 》

久保克隆 三田稔 清家諭 中村昂史

宮田真彦 高田えみか 川崎大地 片桐高大

永野雄太郎 浜野卓 眞鍋栄樹

### 《 学部 卒業研究生 》

梅田真史 合木悠佑 高原剛 党ケイ森

福井博章

### 《 訪問研究者 》

小林 寿夫（兵庫県立大学大学院物質理学研究科 教授）

林 好一（東北大学金属材料研究所 准教授）

## 担当授業

力学基礎・同演習（和田裕文）、物理学ゼミナール（和田裕文）、物性物理学 II（和田裕文）、力学基礎・同演習（光田暁弘）、自然科学総合実験（光田暁弘）、磁性体物理学（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、中村昂史、片桐高大）

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．今年度は MnFePGe 系について，Ru 添加による温度ヒステリシスの減少させた磁気冷凍材料の開発に成功した．また，MnFePSi 系では Mn と Fe の比を変えた材料の物性を調べ，一

次転移が広い組成で観測されること、温度ヒステリシスは Mn/Fe 組成にも大きく依存することを見出している。

伝導現象から眺めた希土類磁性体および遷移金属磁性体の研究 (和田裕文、杉島正樹、宮田真彦、川 大地、永野雄太郎)

伝導現象からみた金属磁性体の得意な振る舞いに興味を持っている。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。普通常磁性から強磁性への転移では電気抵抗は減少するのが常で、この現象は大変珍しい。これはバンド分極によって強磁性ではマイナススピンバンドがほぼいっぱいになったハーフメタリックな強磁性が生じているためであろうと考えている。これを検証するために現在ホール効果測定を進めているところである。同じように磁場を加えて磁気抵抗が大きく変化する物質として価数秩序系  $\text{EuPtPAs}$  に着目し、この物質の Eu 価数が磁場で大きく変化するとき磁気抵抗も急減することを見出した。 $\text{LaPt}_2\text{Si}_2$  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。つまりこの系は CDW と超伝導が共存する珍しい系である。我々は以前この物質が  $T^*C$  以下で 3 倍周期の超格子反射を示すと同時に社法相にひずむことを報告したが、今回は同種の  $\text{YPt}_2\text{Si}_2$  は  $T_2C$  や  $\text{LuPt}_2\text{Si}_2$  は  $T_2C$  についても研究を行った。その結果これらの物質も超伝導を起こすが、CDW 転移は観測されないことが分かった。また解析の結果 CDW 転移は  $c$  面内の原子間距離に強く依存することが明らかになっている。そのほかに微小磁性体の伝導現象についても共同研究を行っている。

YbPd の価数秩序の検証 (光田暁弘、和田裕文、杉島正樹)

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、構造変化について知見を得るために、東大物性研・上田寛研究室との共同研究によって、単結晶試料の (100) 面を散乱面として X 線回折装置で  $\theta$ - $2\theta$  スキャンを測定した。その結果、 $T_1$  以下で正方晶または斜方晶へ構造相転移を起こし、 $T_2$  以下で価数秩序が起こっている可能性が明らかになった。また、 $T_4$  に対する知見を得るために、東大物性研・榊原研究室との共同研究によって、 $T_4 \sim T_3$  付近の磁化過程を測定したところ、磁気秩序温度  $T_3$  以下で多段のメタ磁性が観測された。 $T_3$  以下で複雑な磁気構造を示していることが示唆される。来年度は単結晶 X 線回折により、より詳細な構造を決定すること、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指す。

$\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$  の価数秩序相図の決定と磁場、圧力効果 (光田暁弘、和田裕文、杉島正樹、眞鍋栄樹、梅田真史)

六方晶  $\text{Ni}_2\text{In}$  型構造をとる  $\text{EuPtP}$  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きた。本年度はこの As 置換系について、電気抵抗、パルス強磁場磁気抵抗、低温粉末 X 線回折の測定を行って詳細に調べたところ、As40%の試料では  $T_1, T_2$  の 2 つの転移が明瞭に観測されること、As50% ~ 60% 置換の試料では転移が 1 つになり、 $\beta$  相が基底状態となっていることが明らかになった。また、As 置換は負の化学的圧力に対応していると考えてきたが、As60%の試料に静水圧力を印加して調べたところ、2 つの転移が出現するものの上に述べた  $T_1, T_2$  の振舞とは異なっており、新しい価数秩序状態が出現している可能性も考えられる。圧力効果については EuPtP に対して 3GPa 以上の圧力を印加して新しい価数秩序状態を探索すること目標として、新型の圧力セルの導入を開始した。来年度は、この新型セルを用いて、圧力下で新しい価数秩序状態を観測することを目指す。

#### EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の圧力誘起価数転移 (光田暁弘、和田裕文、浜野卓)

正方晶 ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型構造をもつ EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は  $T_N = 23$  K の反強磁性体である。我々は昨年度にこの化合物が 1GPa 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。本年度はこの振舞について、圧力下における磁化率、電気抵抗、熱膨張測定から詳細に調べた。価数転移出現直後の圧力においては 10K 程度の温度ヒステリシスが観測され、一次相転移であることがわかった。また、線膨張率  $\Delta L/L$  は転移に伴い 0.3%変化し、価数が変化していることを強く示唆している。2GPa までの温度-圧力相図を作成したところ、EuNi<sub>2</sub>(Si,Ge)<sub>2</sub> 系とよく似た相図であることが明らかになった。更に価数揺らぎによる量子臨界現象の出現を期待して、価数転移出現直後の圧力下で、温度 0.2K まで振舞を調べたが、非フェルミ液体や超伝導などは観測されなかった。来年度は原子置換による化学的圧力効果や磁場効果について調べていく。

#### EuFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> の Fe による圧力誘起超伝導と Eu 磁性の競合 (光田暁弘、和田裕文、清家諭)

EuFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> は  $T_{SDW} = 190$ K で Fe がスピン密度波 (SDW) 転移を起こし、 $T_N = 20$ K で Eu が反強磁性転移を起こす。圧力を印加すると、他の Fe 系超伝導と同様に  $T_{SDW}$  が抑制され、Fe による超伝導が出現するが、Eu の磁性が存在するためにこの超伝導抑制される振舞が報告されていた。我々はこれまで、Eu サイトを同じ 2 価で非磁性のアルカリ土類金属で置換することで、キャリアドーピングすることなく Eu の磁性を弱めて両者の競合関係を調べてきた。本年度は Ba 置換系試料の作製を試みて、Ba を 10%, 25%, 50%置換した試料作製に成功した。Ba 置換と共に Eu の反強磁性転移温度  $T_N$  が低下し、Ba50%置換では  $T_N = 5$ K に達することが明らかになった。

#### 三量体構造を有する量子スピン反強磁性体の磁氣的性質の研究 (三田稔、浅野貴行)

複合スピン (二量体や三量体等) 間の磁氣的相互作用の大きさや次元性に起因する大変興味深い磁場中挙動が、特に、低次元量子スピン二量体系の実験的研究において報告され現在まで活発に研究されている。また、 $S=1/2$  反強磁性三量体系は、 $S=1/2$  単量体と  $S=1/2$  反強磁性二量

体の双方の物理的性質を併せ持つと理論的に予想され大変注目されている量子スピン系である。そこで、三量体系の磁氣的性質を実験的研究において解明することを目的とし、結晶学的に磁性イオンである  $\text{Cu}^{2+}$  ( $S=1/2$ ) の三量体が一次的に配列した  $\text{Na}_2\text{Cu}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$ 、二次元的に配列した  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、三次元的に配列した  $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{P}_4\text{O}_{14}$  のモデル物質に着目し、その合成及び磁氣的性質の研究を実施した。

まず、 $\text{Na}_2\text{Cu}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$  については、磁化率の温度依存性、磁化の磁場依存性及び比熱の温度依存性を調べ、一次元三量体モデル及び一次元単量体-二量体モデルとの比較を行った。実験結果から、 $\text{Na}_2\text{Cu}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$  は、反強磁性三量体 (もしくは反強磁性二量体-単量体) を基本単位とする複合スピン系であり、十分低温まで磁気秩序がないことが明らかになった。また、磁化曲線や短距離秩序の観測から、強い反強磁性一次元磁性体の性質を持っていることも明らかになった。次に、結晶学的に三量体が二次元的に配列した  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  についても、磁化率の温度依存性、磁化の磁場依存性及び比熱の温度依存性を調べ、三量体モデル及び単量体-二量体モデルとの比較を行った。その結果、 $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  も反強磁性三量体 (もしくは反強磁性二量体-単量体) を基本単位とする複合スピン系であることが明らかになった。しかし、二次元面内での相互作用と同程度の三次元的な磁氣的相互作用が存在するため、結晶構造に反して二次元面内で短距離秩序を示すよりも早く三次元磁気秩序することが明らかになった。さらに、磁場を印加すると三次元磁気秩序は消失し、高磁場領域において磁気秩序が誘起されている可能性を示唆する大変興味深い磁場中挙動を観測した。最後に、三量体が三次元的に配列した物質  $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{P}_4\text{O}_{14}$  については、過去に低磁場相において三次元磁気秩序が観測し高磁場相では磁場誘起磁気秩序の可能性を指摘してきたが、その磁気秩序の起源が不明であったため中性子散乱実験を実施した。その結果、一重項-三重項励起が観測され  $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{P}_4\text{O}_{14}$  の基底状態は、二量体-単量体モデルであることが明らかになった。さらに中性子弾性散乱実験より、零磁場における三次元磁気秩序は、十分低温で反強磁性二量体が一重項状態 (非磁性状態) となり、残された単量体が寄与していることも明らかになった。この実験結果から、 $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{P}_4\text{O}_{14}$  は、零磁場において三量体内の二量体が一重項状態で存在し残った単量体が三次元磁気秩序していることを強く示唆している。また、磁場を印加すると単量体の磁気秩序が消失し、さらに二量体内の相互作用を壊す程の強い磁場を印加すると二量体間の相互作用のため磁場中において三次元磁気秩序が誘起されていると考えられる。

クロミック化合物の磁氣的性質の研究 (久保克隆、福井博章、浅野貴行)

サーモクロミズムとピエゾクロミズムの性質を併せ持つモリブデン酸銅  $\text{CuMoO}_4$  に注目し、良質な粉末試料を合成した後、これまで磁化率、比熱、強磁場磁化など巨視的な測定方法を用いて磁氣的性質を明らかにしてきた。そこで磁氣的なミクロ構造を調べるため中性子回折及び散乱実験を実施した。粉末回折実験では、比熱測定で異常が観測された 1.75K 以下の温度領域において明らかに三次元的な磁気構造を反映した磁気回折を観測することに成功した。また、詳

細な非弾性散乱実験の結果、磁化率や強磁場磁化過程から 1.75K 以上の温度領域で考察した単位胞内に 2 個の反強磁性二量体と 2 個の単量体が存在する磁気構造の 2 個の単量体のみが三次元磁気構造に寄与していることが判明した。即ち、1.75K 以下では、非磁性状態を形成している反強磁性二量体と三次元的に磁氣的相互作用した単量体が共存している大変興味深い磁気構造を明らかにすることができた。

さらに、FZ(フローティング)法により作製した大型単結晶試料を用いて、詳細な磁化率と強磁場磁化測定を実施した。磁化率測定では、粉末試料で観測されたクロミズムの起源である構造相転移を反映した磁気異常を示す温度が明確に観測された。しかし、この構造相転移により体積が約 13%縮小することを反映して結晶が粉碎し、その結果として明確に観測された転移温度が温度変化の測定を繰り返すことにより鈍化し粉末試料の振舞に類似する傾向を観測した。そこで、温度変化により構造相転移温度を通過する毎に粉碎した試料の粒径を SEM(走査型電子顕微鏡)により計測し、その粒径と磁気異常の変化量に相関があることを実験的に証明することができた。また、単結晶試料の強磁場磁化測定では、粉末試料の際に観測された飽和磁化の約 1/3 の有限磁化プラトーを経た飽和磁化に至る全磁化過程は観測されず、最大磁場 60T まで約 1/3 の有限磁化プラトーのみが観測された。このことは、粉末試料の測定結果から考察した反強磁性二量体・単量体ではなく、より強固な反強磁性相互作用の存在を強く示唆している。また、同様にサーモクロミズムとピエゾクロミズムの性質を併せ持つモリブデン酸コバルト  $\text{CoMoO}_4$  の実験的研究に着手した。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Static and dynamical properties of a magnetic vortex in a regular polygonal nanomagnet  
M. Miyata, S. Nonoguchi, S. Yakata, H. Wada and T. Kimura  
IEEE Trans. Mag. vol. 47, No. 10 (2011) 2505-2507.

Temperature-Induced Valence Transition of  $\text{EuPd}_2\text{Si}_2$  Studied by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy:

Kojiro Mimura, Takayuki Uozumi, Takahiko Ishizu, Satoru Motonami, Hitoshi Sato, Yuki Utsumi, Shigenori Ueda, Akihiro Mitsuda, Kenya Shimada, Yukihiro Taguchi, Yoshiyuki Yamashita, Hideki Yoshikawa, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, and Keisuke Kobayashi”,  
Japanese Journal of Applied Physics, 50 (2011) pp. 05FD03-1-2

Detailed investigation of elastic properties of YbPd single crystal:

M. Sugishima, K. Yamada, A. Mitsuda, H. Wada, K. Matsubayashi, Y. Uwatoko, K. Suga, K. Kindo,

Journal of the Physical Society of Japan, **80** (2011) pp. SA093-1-3

Effects of Magnetic Field, Pressure and Dilution of Yb on Phase Transitions in Valence Fluctuating Compound YbPd:

Y. Nakanishi, T. Kamiyama, K. Deto, F. Shichinomiya, R. Kashiwazaki, M. Nakamura, M. Yoshizawa, M. Sugishima, A. Mitsuda, H. Wada”,

Journal of the Physical Society of Japan, **80** (2011) pp. SA094-1-3

Effect of substitution of  $\text{Ca}^{2+}$  for  $\text{Eu}^{2+}$  on pressure-induced superconductivity in  $\text{EuFe}_2\text{As}_2$ :

A. Mitsuda, T. Matoba, S. Seike, F. Ishikawa, Y. Yamada, H. Wada,

Journal of the Physical Society of Japan, **80** (2011) pp. SA117-1-3

Raman scattering investigation on YbPd:

T. Hasegawa, N. Ogita, M. Sugishima, A. Mitsuda, H. Wada and M. Udagawa,

Journal of the Physical Society of Japan **80** (2011) pp. SA095-1-3

Oxidation state sensitivity of Eu  $L_{\gamma_4}$  emission and its applications to oxidation state selective EXAFS spectroscopy of  $\text{EuPd}_2\text{Si}_2$ :

H. Hayashi, N. Kanai, Y. Takehara, N. Kawamura, M. Mizumaki, A. Mitsuda,

Journal of Analytical Atomic Spectroscopy **26** (2011) pp. 1858-1862

Molecular Beam Epitaxy Growth of Superconducting  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  and  $\text{SmFeAs}(\text{O},\text{F})$  Films:

Shinya Ueda, Soichiro Takeda, Shiro Takano, Akihiro Mitsuda, and Michio Naito,

Japanese Journal of Applied Physics **51** (2011) pp. 010103-1-10

Pressure-Induced Valence Transition in  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$ :

A. Mitsuda, S. Hamano, N. Araoka, H. Yayama, H. Wada,

Journal of the Physical Society of Japan **81** (2012) pp. 023709-1-4

Field-induced valence transition in  $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$ :

A. Mitsuda, T. Okuma, M. Sugishima, H. Wada, K. Sato, K. Kindo,

The European Physical Journal B **10** (2012) pp. e2011-20807-1-5

Magnetic Ordering and Tunable Structural Phase Transition in the Chromic Compound  $\text{CuMoO}_4$ :

T. Asano, T. Nishimura, S. Ichimura, Y. Inagaki, T. Kawae, T. Fukui, Y. Narumi, K. Kindo, T. Ito, S. Haravifard, and B. D. Gaulin,

J. Phys. Soc. Jpn., **80** (2011) pp. 093708-1-4

Coexistence of singlet and ordered  $S=1/2$  moments in the ground state of the triclinic quantum magnet  $\text{CuMoO}_4$ :

S. Haravifard, K. Fritsh, T. Asano, J. P. Clancy, Z. Yamani, G. Ehlers, T. Nishimura, Y. Inagaki, T. Kawae, I. Swainson, and B. D. Gaulin,

Phys. Rev. B, **84** (2011) pp. 094436-1-7

《Proceedings》

Control of vortex chirality in polygonal nanomagnets

M. Miyata, S. Yakata, M. Hara, H. Wada and T. Kimura

Proc. IEEE Region 10 Annual Conf. TENCN, Fukuoka, (2010) 1878-1880.

《その他の論文》

光田暁弘、浜野卓、矢山英樹、和田弘文:

九州大学低温センターだより No.6 (2012) p.15-20

講演

《海外での講演》

Magnetization Process of  $S = 1/2$  Antiferromagnetic Trimer System:

T. Asano, K. Matsuura, M. Sanda, H. Wada, J. Wang, A. Matsuo, Y. Narumi, and K. Kindo,  
The 26<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics, Beijing, China

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. Wada, D. Morodomi, Y. Inagaki, T. Kawae, J. Wang, A. Matsuo, and K. Kindo,

The 26<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics, Beijing, China

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,  
The 26<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics, Beijing, China

《 国内での講演 》

立方晶価数揺動系化合物 YbPd の構造相転移:

杉島正樹, 光田暁弘, 磯部正彦, 浜根大輔, 山浦淳一, 長谷川巧, 上田寛, 和田裕文,  
日本物理学会第 67 回年次大会

二段価数転移を示す EuPtP における電子相間: 硬 X 線光電子分光による研究:

川田翔, 三村功次郎, 魚住孝幸, 佐藤仁, 内海有希, 上田茂典, 杉島正樹, 光田暁弘, 和田裕文,  
島田賢也, 田口幸広, 生天目博文, 谷口雅樹, 小林啓介  
日本物理学会第 67 回年次大会

価数転移を示す EuPtP の <sup>31</sup>P-NMR:

西谷孝二, 水戸毅, 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 67 回年次大会

価数揺動系 YbPd の極低温磁化測定:

光田暁弘, 杉島正樹, 三田村裕幸, 榊原俊郎, 和田裕文  
日本物理学会第 67 回年次大会

X 線ラマン散乱法による EuPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の価数転移の観測 (II):

稲見俊哉, 石井賢司, Jarrige Ignace, 光田暁弘  
日本物理学会第 67 回年次大会

クロミック化合物 CoMoO<sub>4</sub> の磁氣的性質:

浅野貴行, 福井博章, 久保克隆, 三田稔, 和田裕文, 諸富大樹, 稲垣祐次, 河江達也, 松尾晶,  
金道浩一, 佐藤卓  
日本物理学会第 67 回年次大会

$S = 1/2$  反強磁性三量体  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  単結晶の磁性:

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

佐藤卓

日本物理学会第 67 回年次大会

Eu-T-P(T=Ni,Pd,Pt) 系の試料作製と磁性:

梅田真史, 杉島正樹, 光田暁弘, 和田裕文

第 117 回日本物理学会九州支部例会

元素置換による新しい Eu 系価数揺動物質の探索:

和田裕文, 光田暁弘, 合木悠佑

第 117 回日本物理学会九州支部例会

福井博章、久保克隆、三田稔、浅野貴行、和田裕文、松尾晶、佐藤卓、金道浩一:

クロミック化合物  $\text{CoMoO}_4$  の磁氣的性質

第 117 回日本物理学会九州支部例会

EuPtP における低温の電気抵抗の圧力依存性:

眞鍋栄樹, 光田暁弘, 矢山英樹, 和田裕文

第 52 回高压討論会

パルス強磁場による  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.18}\text{Ge}_{0.82})_2$  の軟 X 線吸収 MCD 実験の理論解析:

小谷章雄, 中村哲也, 鳴海康雄, 林美咲, 光田暁弘, 広野等子, 児玉謙司, 森岡貴之, 木下豊彦, 和田裕文, 金道浩一, 野尻浩之

日本物理学会 2011 年秋季大会

パルス強磁場による  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.18}\text{Ge}_{0.82})_2$  の軟 X 線吸収 MCD 実験:

中村哲也, 鳴海康雄, 林美咲, 光田暁弘, 広野等子, 児玉謙司, 森岡貴之, 木下豊彦, 和田裕文, 金道浩一, 野尻浩之, 小谷章雄

日本物理学会 2011 年秋季大会

$\text{EuNi}_2\text{X}_2$  (X=Si, P, Ge) の硬 X 線光電子分光:

三村功次郎, 川田翔, 魚住孝幸, 本並哲, 佐藤仁, 内海有希, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 島田賢也, 田口幸広, 山下良之, 吉川英樹, 生天目博文, 谷口雅樹, 小林啓介

日本物理学会 2011 年秋季大会

X 線ラマン散乱法による  $\text{EuPd}_2\text{Si}_2$  の価数転移の観測:

稲見俊哉，石井賢司，I. Jarrige，吉田雅洋，光田暁弘，和田裕文  
日本物理学会 2011 年秋季大会

反強磁性体  $\text{EuRh}_2\text{Si}_2$  における圧力誘起価数転移:

浜野卓，光田暁弘，和田裕文

日本物理学会 2011 年秋季大会

$\text{EuFe}_2\text{As}_2$  の高圧下の熱電能と電子状態:

米須将太，仲村愛，新垣望，瑞慶覧長潤，竹田政貴，高江洲義尚，辺土正人，仲間隆男，内間清晴，的場智広，光田暁弘，和田裕文

日本物理学会 2011 年秋季大会

二段価数転移を示す  $\text{EuPtP}_{1-x}\text{As}_x$  における価数測定:

光田暁弘，杉島正樹，新田清文，水牧仁一朗，和田裕文

日本物理学会 2011 年秋季大会

電子線回折による  $\text{YbPd}$  の金属的電荷秩序の研究:

杉島正樹，光田暁弘，和田裕文，浜根大輔

日本物理学会 2011 年秋季大会

$\text{CuMoO}_4$  の磁気構造:

浅野貴行，西村泰三，稲垣祐次，河江達也，S.Haravifard，K.Fritsh，J.P.Clancy，Z.Yamani，I.Swainson，G.Ehlers，B.D.Gaulin

日本物理学会 2011 年秋季大会

クロミック化合物  $\text{CuMoO}_4$  の不純物効果:

久保克隆，三田稔，西村泰三，浅野貴行，和田裕文，松尾晶，金道浩一

日本物理学会 2011 年秋季大会

二次元  $S=1/2$  反強磁性三量体  $2b \cdot 3\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の磁気秩序:

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

日本物理学会 2011 年秋季大会

$\text{DMACuCl}_3$  の極低温磁化測定:

稲垣祐次、坂元康剛、河江達也、浅野貴行、網代芳民  
日本物理学会 2011 年秋季大会

DMACuCl<sub>3</sub> における極低温磁化測定:  
坂元康剛、諸富大樹、稲垣祐次、河江達也、浅野貴行、網代芳民  
日本物理学会 2011 年秋季大会

価数揺動系 YbPd における価数秩序の検証と圧力誘起重い電子物性:  
光田暁弘  
新学術領域「重い電子系の形成と秩序化」第 3 回研究会

#### 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)

モリブデン酸銅における磁気クロミズム制御  
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

## 他大学での研究と教育

和田裕文：新潟大学理学部で磁性物理学の集中講義を行った。

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

梅田 正史：(指導教員、光田暁弘)：EuPtP<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub> の圧力効果

合木 悠佑：(指導教員、和田裕文)：EuCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の価数揺動と熱処理効果及び元素置換

高原 剛：(指導教員、和田裕文)：Mn<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>P<sub>0.6</sub>Si<sub>0.4</sub> 化合物の巨大磁気熱量効果

党ケイ森：(指導教員、和田裕文)：金属ナノ構造におけるスピン流誘起自励発振現象に関する研究

福井 博章：(指導教員、浅野貴行)：クロミック化合物 CoMoO<sub>4</sub> の磁氣的性質

## 修士論文

久保 克隆：(指導教員、浅野貴行)：単結晶 CuMoO<sub>4</sub> の磁氣的性質とサイズ効果

中村 昂史：(指導教員、和田裕文)：MnFePGe 系の磁気転移の熱処理依存性

三田 稔：(指導教員、浅野貴行)：S=1/2 量子スピン三量体の磁氣的性質

清家 諭：(指導教員、光田暁弘)：EuFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 系における圧力誘起超伝導と反強磁性 Eu の競合

宮田 真彦：(指導教員、和田裕文)：多角微小強磁性体におけるスピнкаイラリティ，スピндаイナミクスの制御

## 博士論文

杉島 正樹：(指導教員、和田裕文)：A study of valence ordering in YbPd and EuPtP<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>

## 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・工学部) (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今年度採択された挑戦的萌芽研究科研費で製作する準周期構造多層膜作製装置や熱伝導率測定装置の設計をした。また、計算機シミュレーションを準備している。

(6) ビスマス系高温超伝導体の単結晶中の超音波の音速測定に関する論文執筆 (荒井):

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Y. Watanabe, Unidirectional Bulk Conduction under Trap Density Gradient for Description of Resistance Switching, *Ceramics International*, 38, S447, 2011.12.

Y. Watanabe, Properties of clean surface of BaTiO<sub>3</sub> single crystals in UHV and virtual absence of nonferroelectric surface layer, *Ferroelectrics*, 419, 28, 2011.08.

Y. Watanabe, Theory of unidirectional bulk conduction under trap density gradient for resistance switching, *Proc. 2020 19th IEEE Int. Symp. Appl. Ferroelectr. ISAF 2010*, 1-4 (2011), 1-4

Y. Watanabe, Examination of consistency of intrinsic 2D conduction layer on BaTiO<sub>3</sub> in extreme clean limit with ferroelectric basics, *Ferroelectrics* (in press)

## 講演

### 《 海外での講演 》

#### 国際会議 招待講演

Y. Watanabe, D. Matsumoto(博士卒), S. Kaku(博士卒), and M. Arai, Properties of intrinsic ferroelectric surface in extreme clean limit: Giant 2D conduction on atomically clean surface of stoichiometric BaTiO<sub>3</sub> in UHV for ferroelectric basics ,12th European Meeting on Ferroelectricity (EMF-2011),2011.06.28.

#### 国際会議 口頭発表

Y. Watanabe, D. Matsumoto(博士課程) and S. Kaku ( 博士課程 ), Properties of intrinsic ferroelectric surface in extreme clean limit: Giant 2D conduction on atomically clean surface of stoichiometric BaTiO<sub>3</sub> in UHV, *Fundamental Physics of Ferroelectrics 2012*,2012.01.30.

Y. Watanabe and Fabio La Mattina, Pursuit of Electronically Driven Conductor-Insulator Transition in SrTiO<sub>3</sub>:Cr Single Crystals for Resistance Switching (oral) ,12th European Meeting on Ferroelectricity (EMF-2011),2011.07.28

## 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)

12th European Meeting on Ferroelectricity (EMF-2011)(フランス) 座長

日本物理学会, 代議員  
日本物理学会九州支部, 幹事

#### その他の活動と成果

村田学術振興財団 選考委員  
鹿児島県玉龍高校 出前講義

# 低次元電子物性

## 研究室構成員

篠崎文重 教授

矢山英樹 准教授

山田和正 助教 小久保伸人 (高等教育開発推進研究センター所属) 助教

### 《 大学院 修士課程 》

江崎翔平 多持洋孝 尾堂智隆 日高和也

成清敬史 金崎直史 八山陽介

### 《 学部 卒業研究生 》

上原広大 花田智紀 鈴川慎一郎 内山啓介

下田悠太 吉崎聡一郎

### 《 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) 超伝導 NbN 薄膜における超伝導転移温度の抑制 (江崎、尾堂、山田、篠崎)

近年、超伝導窒化ニオブ (NbN) の単一光子検出器やテラヘルツ受光器などの高性能検出素子への応用が盛んに行われている。超伝導体を用いた検出素子において、超伝導転移温度  $T_C$  は素子の動作温度を決める重要なパラメータである。多くの超伝導体で、この  $T_C$  は試料の薄膜化に伴い、減少することが知られている。今回我々は、「膜厚の減少に伴う  $T_C$  抑制機構」を解明する目的で、膜厚  $d$  を  $2\text{nm} < d < 25\text{nm}$  の範囲で変化させ、 $T_C$  およびキャリア数  $n$  を求めた。実験は MgO(100) 基板上に DC マグネトロンスパッタ法により、NbN-2 次元膜を作成した。すべての試料膜で、スパッター中の Ar に対する N<sub>2</sub> ガス比は固定した。実験は 300K-2K の温度範囲で行い、面抵抗  $R_{sq}$  の温度依存性およびキャリア数  $n$  を見積もるため Hall 係数を同時に測定した。その結果、臨界温度の  $T_C$  は面抵抗  $R_{sq}$  でスケールが分かった。 $R_{sq}$  の増加に伴い、

$T_C$  は単調に減少した。この振る舞いを「局在効果によって強められたクーロン斥力を考慮した Finkelstein 理論」で解析した。Fitting から求まる  $\tau$  は、自由電子モデルおよび Drude の式から得られる  $\tau$  と数倍の範囲で一致した。又、これから予想される mean free path  $\ell$  ( $\approx 1.2 - 2.2$ ) と  $H_{c2}(T)$  における  $T_C$  近傍での  $dH_{c2}/dT$  から求まる  $\ell$  ( $\approx 1.2 - 2.9$ ) も良い一致を示す。この値は NbN の格子定数と同程度であり、 $\ell$  の値として合理的である。このことから NbN 薄膜における、膜厚の減少に伴う  $T_C$  の減少には局在効果が関与していると考えられる。

### (2) 磁束格子フローのモードロック共鳴と形状効果 (多持、小久保、篠崎)

第 2 種超伝導体において電流駆動された磁束量子のフロー状態では、駆動速度に応じて磁束配列の並進・回転対称性が動的に変化し、磁束配列の格子化や、その格子方位の回転など他の系では見られない多彩な物理現象を伴うことがここ数年の研究で明らかになりつつある。特に、アモルファス NbGe 超伝導膜におけるモードロック共鳴実験で明らかにされた 2 種類の格子方位運動は、既存の理論的な考察では説明できない新しい物理現象である。試料の幾何学的形状効果や不均一性に起因したピン止め環境の影響などいくつかの可能性が提案されているが、未だ結論するまでに至っていない。本研究テーマでは、試料端の形状効果に着目し、磁束格子の三角構造と調和したジグザグな試料端形状を持つアモルファス MoGe 超伝導ブリッジ膜を作製した。モードロック共鳴法により格子方位を調べたところ、試料端の形状に一致する格子方位が現われることを見出したが、この一致は磁束密度が低い低磁場のみに限られ、高磁場では試料端の形状によらず常に同じ格子方位が現われることを見出した。これらの結果より、低磁場での格子方位は、試料端を流れる遮蔽電流が重要な役割を果たし、高磁場ではピン止め環境の影響で格子方位が定まる可能性を提案した。周期的に配列した微小強磁性体上に超伝導膜を成膜し、磁化の向きや強磁性体の配列構造から超伝導体の臨界電流と磁束配列構造を制御する新しい試みも行った。臨界電流は磁場に対して複雑な振動を示すことを見出し、微小強磁性体配列に釣り合う磁束のチャンネル構造で説明できることを明らかにした。さらに、磁場傾斜により強磁性体配列の磁化の向きを変化させると、臨界電流の傾斜角度依存性に非対称性が現れることを見出し、強磁性体の磁化の向きで臨界電流の大きさを制御できることを実験的に実証した。

### (3) In 系酸化膜の電子弱局在と反局在効果 (日高、江崎、鈴川、山田、篠崎)

Indium oxide ( $\text{In}_2\text{O}_{2-x}$ ) に代表される縮退半導体のキャリアは主として酸素欠損に由来する電子が担っていると考えられている。Indium oxide の抵抗率  $\rho$  はスパッター作成時の条件、特に Ar ガス中の  $\text{O}_2$  濃度に大きく依存する。又、成膜後の熱処理によっても  $\rho$ 、キャリア数  $n$  を制御でき、金属的特性から半導体特性まで幅広く変化させることが可能である。IO(indium-oxide), ITO(indium-tin-oxide), IZO(indium-zinc-oxide) 3 次元膜 ( $d=350\text{nm}$ ) の  $\rho(T, H)$ 、特に低温領域の量子効果に注目し測定・解析を行い、抵抗の温度・磁場依存性が弱局在理論によって説明できることを示した。特に最近では indium の比率を下げ、基板を選ばない新素材の開発が盛

んに行われている。中でも indium-zinc-gallium-oxide (IZGO) や indium-zinc-tin-oxide (IZTO) が注目されている。しかし、これらの輸送特性、とりわけ低温での電気抵抗の振る舞い、磁気伝導率の温度、磁場特性、散乱機構に関する基礎的な研究は少ない。そこで本年度は、アモルファス及び多結晶 InO-ZnO, IZGO、IZTO 膜の抵抗が金属的伝導から半導体的伝導まで幅広く変化する試料の電気伝導特性、特に磁気伝導度  $\Delta\sigma = 1/\rho(H) < 1/\rho(0)$  を中心に測定を行い、局在理論を用いた解析から、非弾性散乱時間  $\tau_{in}$ 、及び、 $\tau_{so}$  スピン-軌道散乱時間の温度、抵抗率依存性を求めた。その結果、抵抗率の増加に伴い、磁気抵抗の符号は負から正へと変化することを示した。同時に  $\tau_{so}$  は大きく減少し、スピン-軌道散乱に関与する元素を固定した単純な自由電子モデルでは説明できない。この事は、抵抗率増加に伴い、散乱元素の主体が、軽元素である酸素から重元素の In 等へ変わったことで説明できる。

(4) Polyaniline の輸送特性に及ぼす 2 次ドーピング効果 (成清、花田、山田、篠崎)  
高分子の高い導電率をもたせる 2 次ドーピングのメカニズム解明を目的に実験研究を行った。一次ドーピングとしてスルホコハク酸エステルを使用し、二次ドーパント m-CR (メタクレゾール) 濃度と抵抗率の関係を測定し、ドーパント濃度が 1 約 3 桁変化することをすでに見出している。本年度は二次ドーピングとして m-CR だけでなく、4-IPP、4-EtoPh (エトキシフェノール) を用いた実験を行った。抵抗率の温度依存性を測定し、バリアブルレンジホッピングのモデルで解析した。ホール効果を測定しキャリア密度  $n$  および移動度  $\mu$  を求めた。ゼーベック効果を測定した。それぞれのドーパント濃度依存性について調べた。

(5) 超伝導 NbN 薄膜の磁気伝導度と電子非弾性散乱時間 (尾堂、山田、篠崎)  
量子通信技術の一つに超伝導単一光子検出器があり、窒化ニオブ (NbN) は代表的な材料である。理由は転移温度が約 17K と高く、GHz を超える周波数光にも対応できる。今年度我々は、平滑な表面を有し、NbN との格子定数のマッチングも良い単結晶 MgO 基板の上に NbN 薄膜を epitaxial 成長させ、膜厚の異なる NbN 単結晶薄膜を準備した。実験は  $T_C$ 、移動度  $\mu$  の測定に加えて、磁気伝導度  $\Delta\sigma$  を極めて、 $T_C$  近傍まで測定した。実験データを電子局在理論で解析することで、fitting parameter である非弾性散乱時間  $1/\tau_{in}$  の広い温度範囲にわたる依存性を得ることが出来る。従来、散乱頻度  $1/\tau_{in}$  は電子-電子、電子-格子、電子対揺らぎが原因となる、 $1/\tau_{e-e}$ 、 $1/\tau_{el-ph}$ 、 $1/\tau_{fluc}$  3 項の和で解析され、理論との良い一致が報告されている。しかし、今回の NbN 薄膜ではこれまで報告のない  $T_C$  近傍での異常な  $\tau_{in}$  を観測した。現在、この振る舞いの原因となる散乱機構を検討中であるが、超伝導揺らぎ効果で大きく寄与する Aslamazov-Larkin 項と Maki-Thompson 項に加え、DOS 項の寄与の可能性もある。本系の広範囲に渡る電気抵抗 温度にも、通常の金属的な単調な  $d\rho/dT$  が見えず、又、キャリアの特徴的な温度依存性も示す。これらとの関連を明らかにすることが今後の課題である。

(6) 微細加工を施した超伝導アモルファス Mo-Ge 膜における異常抵抗 (上原、江崎、多持、篠崎)

超伝導薄膜抵抗の印加電流依存性を調べるため、MoGe アモルファス薄膜をリフトオフ法で細線化し、端子形状を通常の 4 端子型、および 2 端子型を作成した。試料電流の増加に伴い、4 端子形状膜では超伝導転移温度  $T_C$  は単調に低下した。これは試料薄膜の局所的発熱によるもので、見かけの転移温度低下による効果と考えられる。一方、2 端子形状膜の抵抗は  $T_C$  直上で、ピークを示し、電流増加に伴い、ピークの高さは増し、高電流下では、最高値はノーマル抵抗値を 3-5% 上回った。又、磁場印加によって異常抵抗は抑制された。この振る舞いを理解するために、端子近傍での電流密度分布によって生じる見かけ上異なる転移温度を持つ回路網から構成されていると仮定し、解析を行った。

(7) 高精度高速比熱測定法 (金崎、矢山)

従来の緩和法はある温度で比熱を測定し、次の温度に変化させ比熱を測定する。これを繰り返して広い温度範囲の比熱のデータを得るため、長時間を要する。また、測定点の間に相転移に基づくピークが存在する場合は見逃す可能性があるなどの問題があった。本測定法は広い温度範囲を一気に緩和させその温度の時間微分から比熱を測定する方法で、40K-4K の温度範囲で比熱を 30 分以内に測定することが可能である。また、ほとんど連続に測定できるためピークを見逃すことがない。試料として ErNi と鉛を用いてこの測定法の優位性を確かめることができた。

(8) ヘリウム表面の 2 次元電子系 (矢山)

ヘリウム表面の低次元電子系は振動に弱いという特徴がある。GM 機械冷凍機式希釈冷凍機にセルをセットして実験を行い振動の影響を評価した。その結果、混合器での振幅が数ミクロンであり測定には影響がないことが分かった。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

1) Geometric blockade in a quantum dot coupled to two-dimensional and three-dimensional electron gases:

K. Yamada, M. Stopa, T. Hatano, T. Yamaguchi, and T. Ota, Y. Tokura, S. Tarucha, Phys. Rev. B, (R) **84** (2011) 201303.

2) Weak localization and percolation effects in annealed In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO thin films:

B. Shinozaki, S. Ezaki, K. Hidaka, K. Makise, T. Asano, K. Yano, and H. Nakamura, AIP

Advances **1** (2011) 032149.

3) Superconducting characteristics and microstructure of polycrystalline Zn-doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  films:

S. Takada, N. Kokubo, K. Makise, K. Yamada, B. Shinozaki, K. Yano and H. Nakamura, Physica C **471** (2011) 717.

4) 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.

5) A wavelet spectral analysis technique for automatic detection of geomagnetic sudden commencements, Ali G. Hafez, Essam Ghamry, Hideki Yayama and Kiyofumi Yumoto, IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.

《 その他の論文 》

1. 矢山英樹, 希釈冷凍 ( ), 九州大学低温センターだより No.5, 2011. 03. 2. 矢山英樹, Ali Gamal Hafez, 日本国特許 特願 2011-160833, 顕微鏡用クライオスタット装置, 出願人: 株式会社低温技術研究所

講演

《 海外での講演 》

i) Depression of positive magneto-conductance due to anti-weak localization effect in annealed  $\text{In}_2\text{O}_3$ -ZnO thick films: B. Shinozaki, S.Ezaki, K.Hidaka, K.Makise, T.Asano, N.Kokubo, K.Yamada, Yano and H. Nakamura, International conference of low temperature physics (LT26) Beijing, China, 2011/8/10-17)

ii) Characteristics of  $T_C$  and  $\rho(T)$  of polycrystalline  $(\text{In}_2\text{O}_3)$ - $(\text{ZnO})$  films with low carrier density: B.Shinozaki, S.Takada, N.Kokubo, K.Makise, T.Asano, K.Yamada, K.Yano and H.Nakamura International conference of low temperature physics (LT26) Beijing, China, 2011/8/10-17)

iii) Activation like behavior on the temperature dependence of the carrier density in  $\text{In}_2\text{O}_3$ -ZnO film: K.Makise, B.Shinozaki, T.Asano, K.Yano, H.Nakamura, International conference of low temperature physics (LT26) Beijing, China, 2011/8/10-17)

iv) The temperature dependence of Hall mobility of oxide thin film  $\text{In}_2\text{O}_3$ -ZnO: K.Yamada,

B.Shinozaki, K.Yano, H.Nakamura, International conference of low temperature physics( LT26 )  
Beijing, China, 2011/8/10-17)

v) Vortex-Lattice Orientation in the Flux-Flow State of Amorphous Superconducting Films  
in Oblique Field: N. Kokubo, T. Yoshimura, and B. Shinozaki

vi) Reorientation of a Moving Vortex Lattice in Amorphous  $\text{Mo}_{1-x}\text{Ge}_x$  Superconducting  
Films,: N. Kokuboa, H. Tamochi, B. Shinozaki, T. Nishizaki, and N. Kobayashi

vii) Transport characteristics of indium zinc oxide films with low carrier density at low temper-  
atures: B. Shinozaki The 1st international Congress on natural Sciences (ICNS2011) August  
25-27, 2011 Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

viii) The Fluctuation Effects of Superconducting Niobium Nitride Films: S. Ezaki and B.  
Shinozaki The 1st international Congress on natural Sciences (ICNS2011) August 25-27,  
2011 Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

iX) Mobility of electrons on helium film capillary condensed on two dimensionally corrugated  
surface of dielectric substrate: Ryoma Kobayashi and Hideki Yayama International  
Conference of Low Temperature Physics (LT26) Beijing, China, 2011.8.10-17.

《 国内での講演 》

1) 駆動された磁束格子の方位と試料端の形状効果: 多持洋孝, 小久保伸人, 篠崎文重、日本物  
理学会 2011 年秋季大会 2011 年 9 月 21 日 (水)-24 日 (土) 富山大学

2) a-NbGe 超伝導膜の傾斜磁場下における磁束格子フローの格子方位回転 III: 小久保伸人、吉  
村哲也、篠崎文重、日本物理学会第 67 回年次大会 2012 年 3 月 24 日 (土) -27 日 (火) 関西学院  
大学

3) In-Zn-Ga- $\text{O}_3$  次元膜の磁気抵抗、電子局在と熱処理効果 II: 日高和也、江崎翔平、牧瀬圭正、  
山田和正、小久保伸人、浅野貴行、篠崎文重、笈井重和、矢野公規、中村浩昭、第 117 回物理  
学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

4) 透明導伝膜 In-Sn-Zn-O の輸送特性: 鈴川禎一郎、江崎翔平、牧瀬圭正、山田和正、小久保  
伸人、浅野貴行、篠崎文重、笈井重和、矢野公規、中村浩昭、第 117 回物理学会九州支部例会、

佐賀大学 (23/12/3)

5) 超伝導 NbN 薄膜の磁気伝導度と非弾性散乱時間: 尾堂智隆、江崎翔平、浅野貴行、山田和正、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮、篠崎文重、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

6) 超伝導 NbN 薄膜のゆらぎ伝導度と対破壊パラメータ: 江崎翔平、尾堂智隆、浅野貴行、山田和正、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮、篠崎文重、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

7) 超伝導細線の温度 抵抗特性: 上原広大、江崎翔平、多持洋孝、小久保伸人、山田和正、篠崎文重、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

8) 駆動状態における磁束格子の方位と試料端の形状効果: 多持洋孝、小久保伸人、篠崎文重、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

9) 導電性高分子ポリアニリンの抵抗率・キャリア数の温度依存性 II: 成清敬史、花田智紀、山田和正、篠崎文重、板東徹、黒田憲寛、中村浩昭、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

10) 導電性高分子膜におけるゼーベック係数のドーパント依存性: 花田智紀、成清敬史、山田和正、篠崎文重、板東徹、黒田憲寛、中村浩昭、第 117 回物理学会九州支部例会、佐賀大学 (23/12/3)

11) NbN 薄膜における超伝導転移温度の抑制: 江崎翔平、尾堂智隆、浅野貴行、篠崎文重、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮、2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会 (早稲田大学)

12) Indium 系酸化物膜の磁気抵抗と局在・反局在効果: 日高和也、江崎翔平、牧瀬圭正、山田和正、浅野貴行、篠崎文重、苫井重和、矢野公規、中村浩昭、2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会 (早稲田大学)

13) NbTiN および NbN 薄膜における揺らぎ効果: 江崎翔平、尾堂智隆、浅野貴行、篠崎文重、牧瀬圭正、寺井弘高、山下太郎、三木茂人、王鎮、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形大学)

14) ホール効果によるポリアニリンの移動度の評価: 山田和正、滝川陽介、成清敬史、篠崎文重、黒田憲寛、中村浩昭、板東徹 2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形大学)

15) 振動条件下での He 表面電子の電気伝導度測定, 八山陽介, 内山啓介, 下田悠太, 吉崎聡一郎, 矢山英樹, 物理学会九州支部会 佐賀大学, 2011.12.03.

16) 連続比熱測定法, 金崎直史, 矢山英樹, 物理学会九州支部会 佐賀大学, 2011.12.03.

#### 学部 4 年生卒業研究

1) 源島久志 (指導教員: 篠崎、山田): 延伸された高分子ポリアニリン膜の電気輸送特性

2) 成清敬史 (指導教員: 篠崎、山田、小久保): 導電性高分子膜にけるゼーベック係数のドーパント量依存性

3) 日高和也 (指導教員: 篠崎、山田): 2,3 次元  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$  膜の磁気抵抗に及ぼす熱処理効果

4) 松本直樹 (指導教員: 篠崎、山田): 多結晶酸化物半導体  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$  の有効ホール移動度と結晶粒界

5) 下岡孝明 (指導教員: 篠崎、山田、小久保): a-NbGe 超伝導膜における磁束格子フローと磁気相図

6) 尾堂智隆 (指導教員: 篠崎、山田、小久保): アモルファス NbGe 超伝導膜における臨界電流と形状効果

#### 修士論文

吉村哲也 (指導教員: 篠崎、小久保): アモルファス超伝導体における磁束格子の駆動運動と格子方位

高田聡 (指導教員: 篠崎、山田、小久保): 縮退半導体  $(\text{In}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{ZnO})_x$  膜の超伝導特性

滝川陽介 (指導教員: 篠崎、山田): Polyaniline の輸送特性に及ぼすドーピング効果

#### 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

# 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 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 修士課程 》

黒山晃司      高崎広太      青木辰徳      國崎泰史  
佐々百合子      石橋優作      相藤貴之      榎田修治  
柴田就平      桴海文吾      野口朋寛      藤川淳也

## 《 学部 卒業研究生 》

浦本 匠      竹田雄作      井崎邦義      田中小百合  
玉井達也      勝田康平      石垣武士

## 《 研究生 》

張 通

## 担当授業

電磁気学(木村康之)、熱と波動論基礎(木村康之)、物性物理学 I(木村康之)、物理学(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, 4 )

複雑なソフトマター複合系における局所レオロジー挙動や相分離過程などを詳細に解明することを目指した。( 2, 5, 6, 7 )

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。( 8 )

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。( 9 )

## 《今年度の成果》

( 1 ) ネマチック液晶中のコロイド粒子間相互作用の研究 ( 桴海、井崎、浦本、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、それらの距離を変化させつつ、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。

( 2 ) 拘束空間中での高分子のダイナミクス ( 高崎、木村 )

高分子を壁の間にはさんで擬似2次元空間内に拘束すると、自由空間とは大きく異なった運動を示す。これを実験的に検証する為に、DNA 1分子の蛍光顕微鏡観察を行った。ことに本年度は蛍光画像から高分子の動径分布関数を計算するとともに、シミュレーションの結果と比較を行なった。さらに、DNA濃度による拘束の影響の変化を観測し、従来の理論との比較を行なった。

( 3 ) ホログラフィック光ピンセットの開発 ( 佐々、柴田、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。開発されたシステムを用いて、3次元的光トラップならびに粒子に角運動量を与える光渦の作成を行い、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、偶奇効果・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出来た。

(4) コロイド結晶の生成・融解過程の研究(相藤、田中、岩下、木村)

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

(5) ヤヌス粒子の作成とその凝集構造の研究(國崎、野口、玉井、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。さらに極性-非極性液体混合系において、実際にそれらのエマルション構造を形成することに成功した。またシリカ粒子を油滴でマスクし、露出領域を化学処理することによる両親媒性コロイド粒子(ヤヌス粒子)の作成にも成功した。

(6) 液晶電気対流系の3次元観察(石橋、勝田、岩下、木村)

負の誘電率異方性を持つ液晶に電場を印加する事により生じる電気対流に対し、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中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) リオトロピック液晶の核形成・成長キネティクスの研究(青木、岩下、木村)

リオトロピック液晶のスポンジ ラメラ相転移において、条件により様々な核形成・成長キネティクスが現れることを見出した。またそれらと既知の秩序化・結晶化キネティクスとの類似及び相違を明らかにすることが出来た。

(8) 水素結合型物質の研究(町田光男、榎田修治)

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。

(9) 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。

《 来年度の目標 》

研究 ( 1 - 9 ) のさらなる発展、及び教育の充実。

発表論文

《 原著論文 》

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

Yuriko Sassa, Shuhei Shibata, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura,  
Phys. Rev. E (2012) accepted.

Nematic colloids - interaction between particles in anisotropic liquids:

Yasuyuki Kimura, Takahiro Kishita, Kosuke Kita and Noboru Kondo,  
J. Phys. Soc. Jpn. (2011) accepted.

Interparticle force in nematic colloids - comparison between experiment and theory:

Takahiro Kishita, Noboru Kondo, Kenji Takahashi, Masatoshi Ichikawa, Jun-ichi Fukuda  
and Yasuyuki Kimura,  
Phys. Rev. E. **84** 021704 (2011).

Temperature and confinement effect on interparticle force in nematic colloids:

Noboru Kondo, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura,  
Mol. Cryst. Liq. Cryst., **545**, pp. 115-122 (2011)

Non-Gaussian athermal fluctuations in active gels Non-Gaussian athermal fluctuations  
in active gels :

T. Toyota, D. A. Head, C. F. Schmidt, and D. Mizuno,  
Soft Matter **7** 3234-3239 (2011)

High-resolution microrheology in the pericellular matrix of prostate cancer cells:

Nadja Nijenhuis, Daisuke Mizuno, Jos A. E. Spaan, and Christoph F. Schmidt,  
J. Royal Soc. Interface 1742-5662 (doi:10.1098) (2012)

Non-local fluctuation correlations in active gels:

D. Head and D. Mizuno,

Physical Review E, **81** 041910 (2010)

細胞の力学知覚の物理メカニズム:

水野大介, 中益朗子,

生物物理, **51** 014-017 (2011)

細胞骨格の非平衡揺らぎと力学特性:

水野大介,

日本物理学会誌, **66** 276-279 (2011)

講演

《 海外での講演 》

Structure formation of Janus particles:

Yasutaka Iwashita, Tomohiro Noguchi, Taishi Kunisaki, Yasuyuki Kimura

8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, 2011

Interparticle force in nematic colloids:

Yasuyuki Kimura, Takahiro Kishita, Noboru Kondo, Masatoshi Ichikawa, Jun-ichi Fukuda

8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, 2011

Hydrodynamically induced collective motion of driven particles on a ring path:

Yuriko Sassa, Shuhei Shibata, Yasutaka Iwashita, Masatoshi Ichikawa, Yasuyuki Kimura

8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, 2011

Introduction to electrophoretic light scattering:

Yasuyuki Kimura

NICEM, Seoul National University (招待講演)

Mechano-sensing and active cytoskeleton (invited):

Daisuke Mizuno

5TH SICBM 2011, Shanghai, China

Rigidity sensing and active cytoskeleton (invited):

Daisuke Mizuno

Regional Bio-Soft Matter Workshop-2011, National Taiwan University, Taipei

Exploring the physical calibration mechanism for cellular mechano-sensing:

Daisuke Mizuno

17th IUPAB International Biophysics Congress (17th IBC)

Non-Gaussian athermal fluctuations in active gels:

Daisuke Mizuno

17th IUPAB International Biophysics Congress (17th IBC)

《 国内での講演 》

コレステリック液晶における電気対流パターンの3次元構造:

石橋優作, 勝田康平, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第67回年次大会

液晶中の粒子クラスターの物性:

桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第67回年次大会

流体力学的に結合した駆動コロイド粒子の集団運動:

柴田就平, 佐々百合子, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第67回年次大会

駆動コロイド粒子が示すリミットサイクルとそのスイッチング現象:

佐々百合子, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第67回年次大会

両親媒性ヤヌス粒子によるエマルション構造の形成:

野口朋寛, 國崎泰史, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 第 67 回年次大会

Microemulsions of amphiphilic Janus particles in a binary liquid mixture:

T. Noguchi, T. Kunisaki, Y. Iwashita, Y. Kimura

Phase Transition Dynamics in Soft Matter: Bridging Microscale and Mesoscale, Kyoto, 2012

Interparticle force in nematic colloids:

K. Izaki, B. Fukai, Y. Iwashita, Y. Kimura

Phase Transition Dynamics in Soft Matter: Bridging Microscale and Mesoscale, Kyoto, 2012

Electrohydrodynamic patterns in cholesteric liquid crystals:

K. Katsuda, Y. Ishibashi, Y. Iwashita, Y. Kimura

Phase Transition Dynamics in Soft Matter: Bridging Microscale and Mesoscale, Kyoto, 2012

Melting of an isolated two-dimensional colloidal crystal:

S. Tanaka, Y. Iwashita, Y. Kimura

Phase Transition Dynamics in Soft Matter: Bridging Microscale and Mesoscale, Kyoto, 2012

液晶中の異方性粒子の相互作用:

桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

第 117 回日本物理学会九州支部例会

液晶コロイドの異方的相互作用:

浦本匠, 桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

第 117 回日本物理学会九州支部例会

液晶コロイドの構造形成:

井崎邦義, 桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

第 117 回日本物理学会九州支部例会

コレステリック液晶の電気対流 I -相図-

勝田康平, 石橋優作, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

コレステリック液晶の電気対流 II -構造-:  
石橋優作, 勝田康平, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

リオトロピック液晶におけるラメラ相の核形成・成長:  
青木辰徳, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

ヤヌス粒子の作成:  
玉井達也, 野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

両親媒性ヤヌス粒子による凝集構造の形成:  
野口朋寛, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

熱泳動効果によるコロイドの構造形成:  
田中小百合, 柴田就平, 佐々百合子, 相藤貴之, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

熱泳動効果によるコロイド結晶の生成過程:  
相藤貴之, 田中小百合, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

流体力学的に結合した粒子系のリズム運動:  
佐々百合子, 田中小百合, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

粒径の異なる駆動されたコロイド粒子のクラスター形成:  
柴田就平, 田中小百合, 佐々百合子, 岩下靖孝, 木村康之  
第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

流体力学的に結合したコロイド粒子系の運動:

佐々百合子, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2011 年秋季大会

ヤヌス粒子の作成とその物性の制御:

野口朋寛, 玉井達也, 國崎泰史, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2011 年秋季大会

ヤヌス粒子分散系における凝集構造の形成:

岩下靖孝, 野口朋寛, 國崎泰史, 玉井達也 A, 木村康之

日本物理学会 2011 年秋季大会

駆動されたコロイド粒子の集団運動:

柴田就平, 佐々百合子, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2011 年秋季大会

液晶 コロイドの異方的相互作用:

桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

日本物理学会 2011 年秋季大会

ヤヌス粒子分散系における構造形成:

野口朋寛, 岩下靖孝, 國崎泰史, 玉井達哉, 木村康之

第 63 回コロイドおよび界面化学討論会

駆動されたコロイド粒子の集団運動:

柴田就平, 佐々百合子, 岩下靖孝, 木村康之

第 1 回ソフトマター研究会

円環上を駆動されるコロイド粒子のダイナミクス:

佐々百合子, 柴田就平, 岩下靖孝, 木村康之

第 1 回ソフトマター研究会

液晶コロイドの異方的相互作用:

桴海文吾, 岩下靖孝, 木村康之

第 1 回ソフトマター研究会

Nematic Colloids- Interaction between particles in anisotropic liquids:

Yasuyuki Kimura

The 5th international mini-symposium on liquids (招待講演)

強誘電体  $C_5NH_6BF_4$  の NMR:

石垣武士、町田光男

第 18 回中国四国北九州地区誘電体セミナー (島根大学)

三角格子リラクサー  $CH_3CN/HOC_6H_4OH$  の NMR:

藤川淳也、町田光男

第 18 回中国四国北九州地区誘電体セミナー (島根大学)

イオン液体  $emimBF_4$ 、 $bmimBr$  の NMR:

黒山晃司、藤川淳也、高橋寿明、町田光男

2011 年日本物理学会秋期大会 (富山大学)

三角格子包接化合物  $CH_3CN/HOC_6H_4OH$  のゲスト分子の運動:

藤川淳也、町田光男

2011 年日本物理学会秋期大会 (富山大学)

$KH_3(SeO_3)_2$ 、 $KD_3(SeO_3)_2$  の高温相の中性子 MEM 解析とトンネル効果:

町田光男、榎田修治、馬込栄輔、鬼柳亮嗣、木村宏之、野田幸男

2011 年日本物理学会秋期大会 (富山大学)

$KHCO_3$  と  $KDCO_3$  の高温相における核分布とトンネル効果:

町田光男

2011 年日本物理学会秋期大会 (富山大学)

Thermal and Athermal Fluctuations in an Active Gel:

Heev L. Ayade , Peijuan Zhang , Toshihiro Toyota , Irwin M. ZaidA , Julia YeomansA  
and Daisuke Mizuno

日本物理学会 第 67 回年次大会

ビメンチン細胞骨格の非線形かつ異方的な力学応答:

David A. Head , 池辺詠美 , 中益朗子 , Peijuan Zhang , 木下英 , 安藤祥司 , 水野大介

日本物理学会 第 67 回年次大会

Dynamic behavior of non-equilibrium mechanics in cell models:

Peijuan Zhang Heev Ayade , Daisuke Mizuno

日本物理学会 第 67 回年次大会

AFM probing opioid signalosome on neuroblastoma :

Lara Gay M. Villaruz , Catherine Tardin , Daisuke Mizuno

日本物理学会 第 67 回年次大会

The thermal and athermal fluctuations in active gel:

Heev Ayade, Peijuan Zhang, 豊田聖啓, 水野大介

第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

非熱的に駆動された細胞モデルの非平衡レオロジー:

Peijuan Zhang, Heev Ayade, 水野大介

第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

AFM probing opioid signalosome on neuroblastoma:

Lara Gay M. Villaruz , Catherine TardinA , Daisuke Mizuno

第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

外力下における vimentin ネットワークのマイクロレオロジー:

張通, Peijuan Zhang, 木下英, 安藤祥司, 水野大介

第 1 1 7 回日本物理学会九州支部例会

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金、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)

Marcel Bremerich, 日本学術振興会外国人特別研究員(欧米短期)

オピオイド信号伝達複合体の構造形成とダイナミクスにフィラミンAが果たす役割

日本学術振興会2国間交流事業

研究代表者：水野大介

#### 他大学での研究と教育

木村康之：客員教授：東京大学工学系研究科特定客員大講座

町田光男：山口大学でパルス NMR の原理と応用に関する集中講義をおこなった。

町田光男：福岡工業大学で電子情報基礎数学 B の講義を担当した。

#### 学部 4 年生卒業研究

井崎邦義：(指導教員、木村康之)：ネマチックコロイド構造体の作成

浦本 匠：(指導教員、木村康之)：ネマチックコロイドの異方的粒子間相互作用

田中小百合：(指導教員、木村康之)：有限サイズ 2 次元コロイド結晶の融解過程

玉井達也：(指導教員、木村康之)：両親媒性ヤヌス粒子の作成

勝田康平：(指導教員、木村康之)：液晶電気対流における 3 次元分子配向構造の解明

石垣武士：(指導教員、町田光男)： $C_5NH_6BF_4$  の NMR、 $C_5NH_6BF_4$  の分子運動と相転移を NMR で調べた。

#### 修士論文

相藤貴之：(指導教員、木村康之)：集光レーザー光によるコロイド粒子の構造形成

青木辰徳：(指導教員、木村康之・岩下靖孝)：リオトロピック液晶におけるラメラ相の核形成・成長

石橋優作：(指導教員、木村康之)：蛍光共焦点偏光顕微鏡法を用いた液晶の 3 次元構造観察

榎田修治：(指導教員、町田光男)： $KH_3(SeO_3)_2$ 、 $KD_3(SeO_3)_2$  の高温相の中性子 MEM 解析とトンネル効果

國崎泰史：(指導教員、木村康之・岩下靖孝)：ヤヌス粒子の作製及び凝集構造の形成

佐々百合子：(指導教員、木村康之)：周回する光駆動粒子系の示す流体相互作用による集団運動

黒山晃司：(指導教員、町田光男)：BMIMPF<sub>6</sub>、BMIMBr、EMIMBF<sub>4</sub> の NMR

高崎広太：(指導教員、木村康之)：1 分子直接観察法による擬 2 次元高分子系の研究

#### 学外での学会活動

日本物理学会領域 1 2 副代表 (-2011/9) (木村)

日本物理学会領域12代表(2011/10-) (木村)  
日本物理学会領域12若手奨励賞審査委員長(木村)  
日本物理学会九州支部委員長 (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)  
日本物理学会領域12運営委員 (岩下)

#### その他の活動と成果

招待講演：第60回九州地区理科教育研究大会(7月、木村)  
高校生体験入学講師(3月、岩下)

# 複雑流体研究室

## 研究室構成員

鴫田昌之 教授

向井貞篤（講師） 准教授

柳澤実穂 助教

### 《 大学院 修士課程 》

前田智 横井龍一 岡村香奈 山下祐太郎

### 《 学部 卒業研究生 》

土岐恭介 濁川慎平 山下泰弘 吉田貴亮

## 担当授業

力学基礎・同演習（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

高分子濃厚溶液と気体の界面に生じる単一泡の寿命に関する研究（鴫田昌之、柳澤実穂、前田智）

気-液界面に生じた単一泡もしくは泡沫は重力によって流体が液膜内部を流下することによって消滅する。従って、泡の寿命は流体の物性の影響を受ける。本研究では、流体に高分子濃厚溶液を用いることにより、溶液の粘弾性の影響を明らかにすることを目的とした。単一泡の寿命測定、溶液の粘弾性を測定することにより、単一泡の寿命は溶液の粘性率が大きな影響を及ぼすことが明らかになった。溶液の弾性は、単一泡の短時間挙動、特に泡の生成過程に影響があると思われる結果が得られた。

界面活性剤-水系の相挙動に及ぼす高分子網目の影響（鴫田昌之、柳澤実穂、横井龍一）  
両親媒性物質である界面活性剤は濃度や温度によってさまざまな形態を形成することが知られている。本研究では代表的な界面活性剤である Triton X-100 を用い、この形態形成に及ぼす高分子網目の効果を明らかにする目的で研究した。最初に、Triton X-100 のみの相図を決定した。この界面活性剤は単体のみでは典型的な LCST 型の相挙動を示すことがわかった。この界面活性剤の水溶液を溶媒としてポリアクリルアミドゲルを調製したところ、その相図が全体的に低温側にシフトすることがわかった。レーザー

走査共焦点顕微鏡観察を行ったところ，顕微鏡観察が可能な程度の大きな凝集体が形成されていることが明らかとなった．

一次元拡散・反応系におけるパターン形成 (鴫田昌之、柳澤実穂、岡村香奈)

拡散・反応系におけるパターン形成現象のひとつとして Liesegang 現象が知られている．Liesegang 現象の新しいクラスとして，ゲル化とカップリングしたパターン形成が最近発見された．この研究では，高分子電解質多糖とこれをゲル化させる金属イオンの系が用いられている．この系におけるパターン形成の原理を明らかにする目的で，パターン形成に及ぼす電場の影響を調べた．また，二次元パターンの形成についても研究を進めている．

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で非常に興味深い相分離現象が見いだされた．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．我々は温度履歴や空間サイズ，水滴を覆う脂質組成によって，多様なミクロゲル・パターンが現れることを見出すと共に，そのパターン解析から形成機構を解明することを目指す．

ゲルのスピノダル分解と輸送物性 (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．この多糖は水溶液中においてゲルを形成した後に相分離が生ずる．相分離の結果としてゲルの構造は均一なものから著しく疎な構造へと変化する．このように，疎な構造形成を物性の変化から明らかにする目的でゲルの高分子網目と溶媒との間の摩擦係数を測定した．その結果，ゲルの摩擦はスピノダル分解による構造形成によって支配されていることがわかった．

二細胞モデル間の膜接着とその内部及び膜構造の影響 (柳澤実穂、吉田貴亮)

油中水滴同士を接触させると，界面張力と膜接着力のバランスによって，ある接触角で安定化することが知られていた．我々はその接着力が膜組成や膜構造，内部構造によって変化することを定量的に明らかにした．今後はさらに，細胞間に電位差や浸透圧差などを与えた際に，どのような膜形態や構造の変化が起こるのかという非平衡現象を明らかにしたい．

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Viscoelastic Properties and Microstructures on 11S Globulin and Soybean Protein Isolate Gels: Magnesium Chloride-Induced Gels.:

Takao Nagano and Masayuki Tokita,

Food Hydrocolloids, **25**, (2011) pp 1647-1654.

Oriented reconstitution of a membrane protein in vesicles with asymmetric lipid compositions: Experimental verification with the potassium channel KcsA.:

M. Yanagisawa., M. Iwamoto, A. Kato, K. Yoshikawa, and S. Oiki,

J. Am. Chem. Soc., **1131**, (2011) pp 11774-11779.

UV-Induced Bursting of Cell-Sized Multi-Component Lipid Vesicles in a Photosensitive Surfactant Solution.:

A. Diguët, M. Yanagisawa, Y-J. Liu, E. Brun, S. Abadie, S. Rudiuk, and D. Baigl,

J. Am. Chem. Soc., **134**, (2012) pp 4898-4904.

Cell-Sized Confinement in Microspheres Accelerates the Reaction of Gene Expression.:

A. Kato, M. Yanagisawa, Y. T. Sato, K. Fujiwara and K. Yoshikawa,

Sci. Rep. (Nature Publishing Group), **2**, (2012) pp 283 (4 pages).

Micro-segregation induced by bulky-head lipids: Formation of characteristic patterns in a giant vesicle. :

M. Yanagisawa, N. Shimokawa, M. Ichikawa and K. Yoshikawa,

Soft Matter, **8**, (2012) pp 488-495.

## 講演

### 《 国内での講演 》

多成分ベシクルにおける相分離と膜変形とのカップリング・ダイナミクス .

柳澤実穂

第 67 回日本物理学会年次大会 , 関西学院大学 ( 2012 年 3 月 25 日 ) .

ゼラチン・ポリエチレングリコール・水系の相挙動．  
山下祐太郎，柳澤実穂，向井貞篤，安中雅彦，鴫田昌之  
日本物理学会第 67 回年次大会，関西学院大学（2012 年 3 月 27 日）．

多糖類水溶液のリーゼガング現象．  
岡村香奈，柳澤実穂，成田貴行，大西勇，鴫田昌之  
日本物理学会第 67 回年次大会，関西学院大学（2012 年 3 月 27 日）．

多成分ベシクルにおける側鎖高分子結合型脂質によるミクロ相分離現象．  
柳澤実穂、下川直史、市川正敏、吉川研一  
第 117 回日本物理学会九州支部例会，佐賀大学（2011 年 12 月 3 日）．

ゲル中における界面活性剤の相分離．  
横井龍一，柳澤実穂，向井貞篤，後藤元彰，鴫田昌之  
第 117 回日本物理学会九州支部例会，佐賀大学（2011 年 12 月 3 日）．

気液界面上における単一泡の寿命と粘弾性の関係．  
前田智，柳澤実穂，向井貞篤，鴫田昌之  
第 117 回日本物理学会九州支部例会，佐賀大学（2011 年 12 月 3 日）．

ゼラチン PEG 水三成分系の相挙動．  
山下祐太郎、柳澤実穂、向井貞篤、安中雅彦、鴫田昌之  
第 117 回日本物理学会九州支部例会，佐賀大学（2011 年 12 月 3 日）．

カラギーナンゲルのリーゼガング現象に及ぼす電場の効果．  
岡村香奈，柳澤実穂，成田貴行，大西勇，鴫田昌之  
第 117 回日本物理学会九州支部例会，佐賀大学（2011 年 12 月 3 日）．

ゼラチンゲルの相挙動．  
山下祐太郎，柳澤実穂，向井貞篤，安中雅彦，鴫田昌之  
第 60 回 高分子討論会，岡山大学（2011 年 9 月 28～30 日）．

多糖ゲルのリーゼガング現象．  
岡村香奈，成田貴行，大西勇，鴫田昌之  
第 60 回 高分子討論会，岡山大学（2011 年 9 月 28～30 日）．

Controlling the Orientation and Localization of a Biomacromolecule in a Model Cell System: Experimental Demonstration with the Potassium Channel KcsA and DNA.

柳澤実穂，加藤絢子，吉川研一

The 3rd Asian Symposium on Advanced Materials (ASAM-3) (2011.09.21) .

Oriented reconstitution of a potassium channel KcsA in a giant unilamellar vesicle.

柳澤実穂，岩本真幸，加藤絢子，吉川研一，老木成稔

第 49 回日本生物物理学会年会 (2011 年 9 月 18 日) .

Marked acceleration of gene-expression in a cell-sized droplet covered by a lipid layer.

加藤絢子，柳澤実穂，佐藤裕子，吉川研一

第 49 回日本生物物理学会年会 (2011 年 9 月 18 日) .

細胞サイズ空間はタンパク質発現を顕著に加速する：その脂質組成依存性 .

柳澤実穂，加藤絢子，佐藤裕子，吉川研一

第 63 回コロイドおよび界面化学討論会 (2011 年 9 月 8 日) .

細胞サイズ空間での脂質膜界面の新物性：生体高分子の構造・配置の特異性と高次機能の出現 .

柳澤実穂，加藤絢子，吉川研一

新学術ソフト界面第 6 回シンポジウム (2011 年 7 月 28 日) .

## 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、基盤 C(一般)

界面活性剤の自己組織化を用いた機能性複合ゲルの創製 .

研究代表者：鴫田昌之

## 他大学での研究と教育

防衛大学校において講演を行った .

#### 学部4年生卒業研究

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とその内部及び膜構造の影響.

#### 修士論文

前田智:(指導教員:鴫田昌之)高分子濃厚溶液と気体の界面に生じる単一泡の寿命に関する研究.

横井龍一:(指導教員:鴫田昌之)界面活性剤-水系の相挙動に及ぼす高分子網目の影響.

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・拡散・反応系におけるパターン形成現象のひとつとして Liesegang 現象が知られている.

山下祐太郎:(指導教員:柳澤実穂)ゼラチン-ポリエチレングリコール-水三成分系の相挙動.

#### その他の活動と成果

##### 柳澤実穂

第6回日本物理学会若手奨励賞,日本物理学会(2012年3月). Excellent Presentation Award, The 3rd Asian Symposium on Advanced Materials. (2011年9月).

注意:柳澤実穂 助教の「柳」の漢字は、正式には **栁** であるが、この報告書では、「柳」を使っています。

# 構造物性

## 研究室構成員

武田信一 教授

《 大学院 博士課程 》

上野広樹 Rosantha Kumara 島倉宏典

《 大学院 修士課程 》

脇阪有衣子 安永晃教 大庭俊輔 八尋惇平

《 学部 卒業研究生 》

井上大樹 田代宏之

## 担当授業

力学基礎・同演習（武田信一）

コアセミナー（武田信一）

## 研究・教育目標と成果

### 今年度の成果

共晶型合金の局所構造と動的性質及び電子物性（上野広樹、安永晃教、武田信一、川北至信）

共晶型液体合金及び相分離を内包する液体合金（液体 Bi-Sn, Bi-Zn 合金など）について高エネルギー X 線による回折実験及び小角散乱実験を行い、RMC 構造モデリングとからミクロ領域での揺らぎと相分離挙動について報告してきた。また貴金属-IV 属の共晶型合金の構造については中性子回折実験とから構造の詳細を得て報告してきた。

Ag 超イオン伝導体の構造とイオン伝導経路の解明（Rosantha、安永晃教、川北至信、武田信一）

Ag-Ge-Se 系超イオン導電性ガラスについて、PAL 放射光施設のビームラインで Ge の K 吸収端で XAFS 測定を行い、Ge イオンの周りの局所構造を調べた。これらの RMC 構造モデリングから超イオン導電状態転移における Ag イオンの周りの局所構造の変化、構造とイオン伝導度、銀の伝導経路との関連をまとめた。

分子性液体の構造とダイナミクス（島倉宏典、川北至信、武田信一）

分子間相関を持つ分子性液体二酸化塩素について SPring8 BL04B2 放射光 X 線により静的構造を得て、配向相関を持った分子性液体の構造解析における RMC 構造モデリングの解析を試みている。結晶固体の二量体とは異なるがそれに近い配向相関を有する液体の配位構造及び温度変化を得ている。また極性を持った分子性液体 Se-ハロゲンについて中性子準弾性散乱を行い、構造とダイナミクスについての結果を発表してきた。現在液体中における分子の運動を調べており、その分子性液体の構造と運動の可視化を行った

イオン液体の液体の構造（脇阪有衣子、島倉宏典、川北至信、武田信一）

イオン液体（ヘキサフルオロオスファート イミダゾリウム塩等）について X 線構造測定を行い、RMC 構造モデリングからイミダゾリウム塩イオン液体の詳細な構造を解析中であるが、途中経過については研究会等で発表してきた。

AgI-AgPO<sub>3</sub> の局所構造とイオン伝導経路の解明（安永晃教、八尋惇平、川北至信、武田信一）

AgI - AgPO<sub>3</sub> 混合系ガラスについて構造測定を行い、構造とイオン伝導度、銀の伝導経路に関する興味深い結果を得て学会等で報告してきた。

溶融酸化物混合系の局所構造（八尋惇平、尾原幸治、武田信一）

高融点のアルミニウム系酸化物混合系の構造をガスジェット浮遊法を用いて測定し、RMC 法モデリングを用いて調べた。

分子性液体の構造と光散乱（大庭俊輔、島倉宏典、武田信一）

分子性の糖類液体及び水溶液における水素結合の相関を調べる目的でラマン散乱測定を行った。

来年度の目標

Ag 超イオン伝導体の構造とイオン伝導経路の解明（Rosantha、川北至信、武田信一）

Ag-Ge-Se 系超イオン導電性ガラスについて、超イオン導電状態転移における構造と銀の伝導経路との関連を調べるために X 線小角散乱及び X 線非弾性散乱測定を進める。

超イオン導電性溶融塩の構造（田原周太、川北至信、武田信一）

ハロゲン化銀混合系における Ag イオン間の揺らぎや超イオン導電メルトとの関連を調べる。

分子性液体の構造とダイナミクス（島倉宏典、大庭俊輔、川北至信、武田信一）

配向相関を持つ分子性液体二酸化塩素及び Se-ハロゲン系について RMC 構造モデリングによる解析をまとめ、液体中における分子における構造と運動とをまとめる。

分子性液体の光散乱測定（大庭俊輔、島倉宏典、武田信一）

分子性の糖類液体及び水溶液における水素結合の相関を調べる目的でラマン散乱実験を行い、構造と液体中の運動及び分子間相関のダイナミクスを調べる。

浮遊法による高温酸化物融体の構造解析（八尋惇平、尾原幸治、小原真司、武田信一）

$(\text{CaO})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  の高温における混合融体の構造を容器を用いない、ガスジェット浮遊法による測定法に習熟すると共に、中距離構造とガラス形成傾向との関連を RMC 法モデリングを用いて調べる。

## 発表論文

### 《 原著論文 》

Structure of eutectic liquids in the Au-Si, Au-Ge, and Ag-Ge binary systems by neutron diffraction,

Physical Review B, 83 (1), 014203, (2011).

P.Chirawatkul, A.Zeidler, P.S.Salmon, S.Takeda, Y.Kawakita, T.Usuki and H.Fischer

Medium-range correlation of Ag ions in superionic melts of  $\text{Ag}_2\text{Se}$  and  $\text{AgI}$  by reverse Monte Carlo structural modelling - Connectivity and void distribution

J. Physics Condensed Matter 23 (2011), art. no. 235102.

S.Tahara, H.Ueno, K.Ohara, Y.Kawakita, S.Kohara, S.Ohno, S.Takeda

### 《 その他の論文 》

Local Structure of Superionic Glass  $\text{Ag}_x(\text{GeSe}_3)_{1-x}$ ;  $x = 0.565$ .

EPJ Web of Conferences, 15, 02007(p5) (2011).

L.S.R. Kumara, K.Ohara, Y.Kawakita, P.Jovari, M.Hidaka, N.E. Sung B.Beuneu, S.Takeda

Quasi-elastic neutron scattering of dense molecular liquid selenium bromide.

Journal of Physics: Conference Series 340 (2012) 012080.

H. Shimakura, Y Kawakita, Y Inamura, T Kikuchi, H Ueno, M Nakamura, K Nakajima, S Ohira-Kawamura, K Shibata, M Arai, S Takeda

Fluctuations in medium-range structure of Bi-based metallic liquid alloys,  
H. Ueno, Y. Kawakita, K. Ohara, S. Tahara, S. Kohara, M. Itou, S. Takeda  
J. Physics:Conference Series 340 (2012) 012081

## 講演

### 《 海外での講演 》

Quasi-elastic neutron scattering of dense molecular liquid selenium bromide,  
H. Shimakura, Y. Kawakita, Y. Inamura, T. Kikuchi, H. Ueno, M. Nakamura, K.  
Nakajima, S. Ohira-Kawamura, K. Shibata, M. Arai, S. Takeda  
5th European Conference on Neutron Scattering, 2011, July, Prague, Czech

Fluctuations in medium-range structure of Bi-based metallic liquid alloys H. Ueno, Y.  
Kawakita, K. Ohara, S. Tahara, S. Kohara, M. Itou, S. Takeda  
5th European Conference on Neutron Scattering, 2011, July, Prague, Czech

Quantitative analysis for inter-molecular correlation of radical Chlorine dioxide molec-  
ular liquid,  
H. Shimakura, N. Ogata, Y. Kawakita, K. Ohara, S. Taleda  
8th Liquid Matter Conference, 2011 September, Wien, Austria

### 《 国内での講演 》

ガスジェット浮遊法によるアルミナ系酸化物の研究

尾原幸治, 小原真司, 水野章敏, 八尋惇平, 武田信一

日本物理学会 2011 年秋期大会, 富山, 2011 年 9 月 21-24 日.

カルシウムアルミネート系ガラスの構造

尾原幸治, 小原真司, 水野章敏, 中平敦, 久保敬, 臼杵毅, 八尋惇平, 武田信一

第 52 回ガラスおよびフォトニクス材料討論会, 兵庫, 2011 年 11 月 24-25 日.

RMC modeling of Ag<sub>0.5</sub>(GeSe<sub>3</sub>)<sub>0.5</sub> superionic glass by EXAFS, x-ray and neutron diffraction,

L.S.R. Kumara, K.Ohara, Y.Kawakita, P.Jovari, M.Hidaka, N.E.Sung, B.Beuneu, S.Takeda  
(九州支部会 2011年12月3日佐大)

銀系超イオン伝導体の構造解析

安永晃教, 尾原幸治, 島倉宏典, 川北至信, 乾雅祝, 梶原行夫, 小原真司, Y.J. Park, 武田信一 (九州支部会 2011年12月3日佐大)

超イオン導電ガラスの伝導と構造の相関

八尋惇平, 安永晃教, 尾原幸治, 川北至信, 小原真司, 武田信一 A(九州支部会 2011年12月3日佐大)

イオン液体 [Bmim][PF<sub>6</sub>] の構造モデリング

脇阪有衣子, 尾原幸治, 島倉宏典, 川北至信, 森田秀利, 八尾誠, 永谷清信, Y.J.Park, 武田信一 (九州支部会 2011年12月3日佐大)

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

基盤研究 (C) 超イオン伝導ガラスの高次構造と超イオン伝導チャンネル形成のメカニズム (分担 武田)

学部4年生卒業研究

井上大樹 : (指導教員、武田信一) : 液体の構造と物性

田代宏之 : (指導教員、武田信一) : 超イオン導電ガラスの構造

修士論文

安永晃教 : (指導教員、武田信一) : 超イオン導電ガラス (AgI)<sub>x</sub> - (AgPO<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub> の中距離構造と Ag イオン分布

脇阪有衣子 : (指導教員、武田信一) : イオン液体 [BMIM][PF<sub>6</sub>] の構造モデリング

## 博士論文

Loku Singgappulige Rosntha Kumara : ( 指導教員、武田信一 ) : Structural Study for the Medium Range Correlation of Silver Ions on the Superionic Transition in Glassy Material of  $\text{Ag}_x(\text{GeSe}_3)_{1-x}$

## 受託研究・民間との共同研究

武田信一 : 「シンクロトロン光を利用するナノテクノロジー・MEMS 関連の部品・金型製造におけるメッキ技術の研究開発」( 佐賀県商工連合会との受託研究 )

## その他の活動と成果

物理学実験の現状と問題点

武田信一

物理学部門FD、2011年10月24日

平成23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) 相構造や状態方程式の研究はハドロン物理だけでなく、素粒子物理、宇宙・天体物理、物性物理とも密接に関係した重要な課題である。RHIC、GSI、J-PARC、LHC 等の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おり、国内外の多くの研究者が精力的に研究を進めている重要な課題である。

第一原理計算である格子 QCD 計算は、符号問題のため、実数化学ポテンシャル ( $\mu$ ) では実行困難である。有限温度 (T) 系では、実際、 $\mu/T > 1$  領域において信頼できる結果が得られていない。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の研究し、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、T と  $\mu$  の全域に亘る QCD 相図や状態方程式の予測を行った。[2] これらの研究の統合は本質的に発展を与えることが強く示唆される。

上記の視点から、平成23年度客員教授として、中村純教授を招聘した。実際、研究室をしばしば訪問して頂き、共同研究をスタートした。これによって、修士一年の学生が格子 QCD 計算をスタートし、3月の物理学会でその成果を講演した。更に、博士2年の学生が符号問題に知見を与える論文をまとめた。[3] 他の学生にも刺激を与え、興味を持つ学生が増えた。更に、素粒子論研究室の学生で、格子 QCD 計算に興味を持つ学生が増えた。このように、初年度として想定以上の成果を上げた。

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ことを目指す。

[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, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro, Phys. Rev. D85 (2012) pp. 056009-1-9.

平成23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	井上研三	原田恒司	奥村健一
理論核物理	八尋正信 中村 純 +	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 織田勤
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 ++
低次元電子物性	篠崎文重	矢山英樹	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	鴫田昌之	向井貞篤 +++	柳澤実徳
構造物性	武田信一		

+客員教授

++准助教

+++講師

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 23 年度各種委員

(○は委員長)

部門長・学科長・専攻長：鵜田

副部門長：八尋，木村

情報理学コース：志堂寺

部門分野連絡代表者：基礎粒子系理論：八尋

粒子物理学：相良

物性基礎論：中西

量子物性：篠崎

複雑物性：木村

将来計画委員：○川越，八尋，野呂，中西，木村

教育課程委員：○八尋，橋本，野呂，武田，清水，若狭，成清，光田，浅野，岩下

社会連携委員：○和田

施設管理委員：○鵜田，町田（光）

奨学金資格検討委員：○相良，篠崎，武田，原田

経理委員：○相良

入試委員会委員長（全ての入試関連委員会の統括）：木村

業績評価部会：○中西，橋本，渡部

就職・成績管理担当（11月交代）：○和田，寺西

学年担当：和田，八尋（1），矢山・和田（2），若狭，矢山（3），吉森（4），  
光田（07），町田（光）（06），野村（04）

図書：○成清，水野

情報委員：○清水，寺西，野村，山岡

広報委員：○原田，若狭，松井

大学院説明会：○矢山，奥村

年次報告担当：○渡部，寺西，野村

談話会委員・教員積み立て等会計：吉森

体験入学・入学オリエンテーション実施委員：○矢山，藤田，山田，荒井

**FR** 育成プログラム：○吉森，河合（2年任期，○は次年度交代者）

**AS** 育成プログラム：○矢山，光田（2年任期，○は次年度交代者）

未来の科学実行委員：○篠崎，和田，水野

学生生活相談委員：○橋本，町田（光）

平成23年度物理学教室談話会

	月日	講師	講演タイトル	世話人
第1回	6月30日	川越 清以	素粒子物理最前線:順調に進む LHC 実験	吉岡瑞樹
第2回	9月29日	森田 浩介 理化学研究所	新元素の探索-現代の錬金術師	相良 建至
第3回	10月20日	福田 順一 産業技術総合研究所	薄いセルに閉じ込めたコレステリックブルー相の欠陥構造	坂上 貴洋
第4回	12月1日	小林 寿夫 兵庫県立大学	核共鳴散乱法による鉄系超伝導化合物 $AFe_2As_2$ の物性	和田 裕文
第5回	12月8日	岩田 真 名古屋工業大学	酸化物強誘電体におけるモルフォトロピック:相境界近傍の異方性と電場誘起効果	町田 光男
第6回	12月15日	大西 勇 広島大学	Dissipative cavity soliton の分岐解析	鴫田 昌之
第7回	12月15日	中村 隆司 東京工業大学	RI ビームファクトリーで拓く束縛限界原子核の世界	寺西 高
第8回	12月26日	藤本 正行 北海道大学	超金属欠乏星で探る銀河系ハローの形成過程と宇宙黎明期の解明	橋本 正章
第9回	2月7日	福間 将文 京都大学	Entropic formulation of (relativistic) continuum mechanics and a causal completion of relativistic fluid mechanics	原田 恒司

## 2011 年度 物性基礎論コロキウム開催一覧

第一回 (2011 年 4 月 14 日)

森 肇 (九州大学名誉教授)

「乱流・カオスの二重構造とその相似性」

第二回 (2011 年 4 月 26 日)

和田 浩史 (京大基研)

「拡散泳動と基礎とその高濃度への拡張」

第三回 (2011 年 5 月 10 日)

若生 潤一 (都城高専[統計物理学訪問研究員])

「鉛直加振された粉粒体気体における重心揺らぎの性質」

第四回 (2011 年 5 月 24 日)

松井 淳 (物性理論)

「ガラス転移近傍での異常ダイナミクス -- 原子ジャンプ待ち時間の対数発散 --」

第五回 (2011 年 6 月 7 日)

坂上 貴洋 (統計物理学)

「非平衡揺らぎについての話題」

第六回 (2011 年 6 月 21 日)

齋藤 拓也 (統計物理学)

「Scaling in Polymer Driven Translocation」

第七回 (2011 年 7 月 5 日)

中島 千尋 (統計物理学)

「1 次元的な閉じ込めを受けた高分子結び目の局在性」

第八回 (2011 年 7 月 19 日)

中西 秀 (統計物理学)

「ダイラタント流体の物理」

- 第九回 (2011年10月6日)  
河合 伸 (凝縮系理論)  
「STM、STSにおける内側のトンネル効果」
- 第十回 (2011年10月20日) 教室談話会として開催  
福田 順一 (産総研)  
「薄いセルに閉じ込めたコレステリックブルー相の欠陥構造」
- 第十一回 (2011年11月10日)  
小池 修 (東京大学工学研究科)  
「CFDによる微粒子分散液の3次元流動シミュレーション」
- 第十二回 (2011年12月6日) EEP セミナーとして開催  
J. Yeomans (Oxford University)  
「Swimming and Scattering at Low Reynolds Number」
- 第十三回 (2011年12月7日) EEP セミナーとして開催  
J. Mathiesen (NBI)  
「Complex patterns and speciation on the rocks」
- 第十四回 (2011年12月22日)  
野村 清英 (統計物理学研究室)  
「レーザー冷却の物理」
- 第十五回 (2012年1月12日)  
成清 修 (凝縮系理論)  
「超伝導における Ward 恒等式」
- 第十六回 (2012年1月26日)  
J. Juul (NBI)  
「Equilibrium strategy and population-size effects in lowest unique bid auctions」
- 第十七回 (2012年2月9日)  
吉森 明 (物性理論)  
「配置エントロピーとガラスの比熱」

第十八回 (2012年2月16日)

若生 潤一 (都城高専[統計物理学訪問研究員])

「粉体斜面流における非弾性コラプス：軟体球の剛体極限」

平成 23 年度九大原子核セミナー開催一覧

第 884 回 2011 年 5 月 12 日(木)

講師：河野 通郎 氏 (九州歯科大学)

演題：中性子星物質の理解をめざして

第 885 回 2011 年 5 月 27 日(金)

講師：Jae Yu 氏 (University of Texas at Arlington)

演題：A Quest for the Origin of the Universe

第 886 回 2011 年 6 月 10 日(金)

講師：田島 治 氏 (高エネルギー加速器研究機構)

演題：インフレーション宇宙の痕跡を探す！ - QUIET 実験の初期結果

第 887 回 2011 年 7 月 15 日(金)

講師：橘 基 氏 (佐賀大学)

演題：中性子星の観測に関する最近の話題と高密度ハドロン物質

第 888 回 2011 年 7 月 29 日(金)

講師：松崎 昌之 氏 (福岡教育大学)

演題：奇質量核での 2 フォノン・ガンマ振動バンド

第 889 回 2011 年 9 月 22 日(木)

講師：Ronald C. Johnson 氏 (Surrey 大学)

演題：Some interesting features of elastic scattering and break-up of loosely bound nuclei and their interpretation in terms of nuclear structure

第 890 回 2011 年 10 月 18 日(火)

講師：Daniel Baye 氏 (Brussels 大学)

演題：The R-matrix theory

第 891 回 2011 年 11 月 11 日(金)

講師：坂口 聡志 氏 (九州大学)

演題：不安定核からの偏極陽子散乱

Scattering of “spin-polarized” protons from unstable nuclei

第 892 回 2011 年 11 月 18 日(金)

講師：Yang Sun 氏 (Shanghai Jiao Tong University)

演題：Nuclear shell model studies with projection theory and implications in astrophysics

第 893 回 2011 年 12 月 2 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 4 体分解反応の記述

第 894 回 2011 年 12 月 9 日(金)

講師：Jacek Golak 氏 (Jagiellonian University)

演題：Two-nucleon and three-nucleon systems in three-dimensions

第 895 回 2012 年 2 月 16 日(木)

講師：笹野 匡紀 氏 (理化学研究所)

演題：Gamow-Teller transitions from  $^{56}\text{Ni}$

第 896 回 2012 年 3 月 19 日(月)

講師：柏 浩司 氏 (理研 BNL 研究センター)

演題：虚数化学ポテンシャル及び強磁場系を用いた QCD 相構造の研究

第 897 回 2012 年 3 月 21 日(水)

講師：Umesh Garg 氏 (University of Notre Dame/RIKEN)

演題：Nuclear Incompressibility, the Asymmetry Term, and the MEM Effect

平成23年度非常勤講師一覧

学部担当

講師	所属	題目
入佐正幸	九州工業大学情報工学部・准教授	生物物理学

大学院担当

講師	所属	題目
大西 勇	広島大学大学院理学研究科 ・准教授	非線形数理科学
森田 浩介	理化学研究所・准主任研究員	超重元素の合成機構と探索実験
中村 隆司	東京工業大学理工学部・教授	不安定核物理の最前線
福田 順一	産業技術総合研究所・主任研究員	液晶の秩序構造とその連続体理論
福間 将文	京都大学大学院理学研究科・准教授	場の量子論・弦理論・非平衡統計力学におけるくりこみ群的手法
岩田 真	名古屋工業大学工学研究科・准教授	誘電体物理学
小林 寿夫	兵庫県立大学大学院物質理学研究科・教授	放射光を用いた分光法と強相関物性
藤本 正行	北海道大学大学院理学研究院・教授	恒星進化と銀河系考古学

平成23年度外国人研究者等受入記録

氏名（所属・職）	国籍	受入の目的	受入期間	受入者
韓国中央大学・研究員・ Moon Jun young	韓国	タンデム加速器を用いた天体 C+ $\alpha$ 核融合反応の共同実験	3月6日～ 4月6日	相良建至
レベデフ研究所・研究 員・ Inga Yu. Tolstikhina	ロシア	He ガス通過後の 16O の荷電 分布計算の打合せ	6月25日～ 6月26日	相良建至
University of Surrey・ 教授・ Ronald C.Johnson	イギリ ス	第 889 回原子核セミナー講演 「Nuclear Reaction Theory」及 び研究議論のため	9月20日～ 9月23日	八尋正信
韓国中央大学・研究助 手・ Moon Jun young	韓国	天体核反応測定のためのエ ネルギー重イオン検出器開 発	7月18日～ 7月25日	相良建至
韓国中央大学・助教授 ・ Lee Ju hahn	韓国	天体核反応測定のためのエ ネルギー重イオン検出器開 発	7月18日～ 7月25日	相良建至
韓国中央大学・大学院 生・ Lee Pilsoo	韓国	天体核反応測定のための エ ネルギー重イオン検出器開 発	7月18日～ 7月25日	相良建至
The Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics, University of Oxford・教 授・ Julia Yeomans	イギリ ス	EEP プログラムでの招聘(研 究、教育に関するセミナーを 行う)	12月4日～ 12月10日	坂上貴洋
Jagiellonian University・ 教授・ Jacek Golak	ポーラ ンド	3核子系反応における3核子 力と反応機構の研究	10月17日～ 12月16日	相良建至
University of Oxford・ PhD・ Irwin Zaid	カナダ イギリ ス	非平衡ゆらぎの理論研究、及 び論文執筆を行う	12月10日～ 1月13日	水野大介
Université Libre de Bruxelles・教授・ Daniel Baye	ベルギ ー	第 890 回原子核セミナー講演 及び研究議論のため	10月17日～ 10月21日	八尋正信
コペンハーゲン大学、ニー ルスボーア研究所・ 博士課程学生・ Jeppe Juul	デンマ ーク	大学院の国際化、学術交流	1月23日～ 2月3日	中西秀

## 教育課程委員会活動報告

2011年度に行った主な活動を以下にあげる。

### ・アドバイザー制度

10月の2年生進級後のアドバイザーについて、2009年度は担当を入れ替えたが、2008年度、2010年度は継続担当とした。継続担当で特に問題が発生しなかったため、2011年度も継続担当とした。

### ・学習支援

授業の理解が不十分な学生への支援のあり方を議論し、試行を続けている。

今年度試行されていたのは

－物理学入門（一年生）での、TA名を割り当てての課外指導。

－解析力学（二年前期）での、TA名を割り当てての課外指導。

両者とも、遅くまで熱心に質問が出る、単位取得者が増加するなど、有効に機能している。継続的支援を検討してゆく。

### ・進級時のコース配属について

2010年度より配属決定に成績が用いられることを、アドバイザーを通して、周知した。このため、2011年度の配属は学生の希望通りに行われ、ほぼ定員比率に近いコース配属になった（進級者67名の内、物理コース52名、情報理学コース15名）。

### ・半期15回授業の実施

2010年度より、中教審の方針に従って、半期15回の授業実施体制（試験期間を授業期間に含めない）がとられることになった。2011年度は、半期15回授業が定着し、スムーズに遂行された。

### ・必修科目のありかた

学生の年限での卒業にハードルとなっている下記の点について当面の対処法を検討した。

①物理学コースと情報理学コースへの配属の前に必修科目の解析力学があること。

②3年生の学生実験が通年科目になっていること。

①に関しては、上記の課外指導を行った。②に関しては、下記の検討を行った。

### ・学生実験の見直し

教育課程委員会およびFDを通じて、学生実験の問題点を整理し、実験科目を修正してゆくことが決まった。今後は、具体的実験内容、通年単位の是非、などを検討してゆく。

2011 年度物理学部門ファカルティ・ディベロップメント報告  
「効果的な学生実験に向けて」

開催日時： 第1回： 2011年10月24日(月) 16:30  
          第2回： 2012年03月05日(月) 15:00  
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。

2011年度はアクティブ・ラーニングの重要な要素である学生実験の改善を目指して、報告・提案・議論を行った(下記の報告・提案者は部門内教員)。また、伊都キャンパスへの移転に伴い、学生実験の環境が変化するため、その対応も計画した。

第1回では、武田教授が「自然科学総合実験(2年前期)と基礎物理実験学・同実験(2年後期)の現状について」、鴫田教授が「基礎物理実験学・同実験(2年後期)の将来について」、浅野助教が「物理学総合実験(3年通年)の現状について」報告を行い、改善点について全教員で議論を行った。

第2回では、前回の議論をもとに、武田教授の「他大学の物理学関係の実験教育の状況について」、鴫田教授の「物理基礎実験学・同実験発表会」についての報告・提案を受けて、今後の学生実験の大枠について全教員で議論し合意を形成した。更に、八尋教授が「中期計画・中期目標と学生実験の見直し」として、アンケート調査を踏まえた報告を行い、学士の学位プログラムとしての教育目的・到達目標の策定、アクティブ・ラーニングの意識向上、教材の調査、外国人教員受け入れについてなど、中期計画・中期目標に関する多くの重要なテーマについて議論がなされた。

その他に、Oxford 大学物理学科の Yeomans 教授に講演“THE UNIVERSITY OF OXFORD: TEACHING AND LEARNING UNDER THE DREAMING SPIRES”を行っていただき(開催日時:2011年12月8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。

上記3件に関する報告書(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。2012年度以降の学生実験改善の具体的な作業は、この報告書に基づいて行われることになる。

平成 23 年度 入学者数と卒業生数

	入学者数	卒業生数
物理学科	64	51
物理学科 3 年次編入	5	—
修士課程 (物理学専攻)	40	38
修士課程 (基礎粒子系科学専攻)	—	1
博士課程 (物理学専攻)	5	博士学位取得者 2

## 2011 年度の就職・進学状況

2011 年 3 月の東日本大震災により、大企業の採用活動の開始時期が 4 月から 6 月に延期されたこと、またギリシャに端を発する欧州通貨危機による異常な円高のため、企業の採用枠が減少し、今年度の就職活動は困難を極めたものとなった。

### 修士の進路・就職

平成 23 年度の修士 2 年生は留年生も含めて 42 名であり、進路は以下のとおりである。就職浪人となったものは修了、留年をあわせて 4 名であったが、うち 1 名は公務員を目指しているため、今年度も企業へ就職活動を行っているものは 3 名であるため、実質的には例年より少ない結果となった。

博士課程進学（他大学も含む）	10
民間企業	21
教職（非常勤を含む）	4
公務員	0
留年	1
未定	3
退学	2
その他	1
合計	42

おもな就職先は JFE スチール、LIXIL、NTT、日立グループ、トヨタ、住友電装、東レ、富士フィルム、キャノン電子、東芝、住友重機、富士通、TDK、大日精化工業、横河メータ&インスルメンツ、ナビタイムジャパン、アルパイン、シンフォニアテクノロジーなど。

### 博士の進路・就職

博士課程の D3 以上は 8 名で、うち 1 名が大学職員として就職、2 名はスリランカからの留学生で帰国予定、2 名がポスドクである。

### 学部生の進路・就職

4 年生は留年を含めて 54 人であり、修士進学 45 名（九大 41 名、他大学 4 名）、就職 6 名、留年 2 名、退学 1 名であった。就職先の分野は、銀行、保険、百貨店、ソフトウェアであった。一般に学部生は文系就職が多い。目的意識がはっきりしているためか、早いうちに決まることが多いようである。

## 体験入学・公開講座報告

担当：矢山英樹

平成24年3月29日(木)～30日(金)の2日間にわたって、「第15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、3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。

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、69名の参加があった。また、一般向けの公開講座への申込者13名、高専生2名で、全受講者数が84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、熊本、長崎、佐賀、宮崎、鹿児島など広範囲にわたっている。

最終日に閉校式を行い、今後の改善のためにアンケートをお願いした。体験入学に2日間参加した高校生に対して全般の感想について聞いた結果を最後のグラフに示す。興味(面白いー普通ー面白くない)と難易度(難しいー普通ー易しい)について答えてもらい、各生徒がどの組み合わせで回答したかを集計したものである。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。ただ、高校生からは昨年度から引き続き「内容が難しい」という声が多く、一般の参加者からは「内容が易しすぎる」という回答があるので、今後、改善の余地があると思われる。

### [開講日程・内容]

	平成24年3月29日(木)		3月30日(金)
10:00～11:00	開校式	10:00～10:05	実験の注意
11:10～12:00	セミナー「究極の粒子・究極の力」 (原田准教授)	10:10～12:10	実験(A～Iから1つ)
12:00～13:30	昼休み	12:10～13:10	昼休み
13:30～14:20	セミナー「宇宙論の変遷」(橋本教授)	13:10～13:15	集合
14:30～15:20	セミナー「カオスー簡単な系の複雑な運動ー」(中西教授)	13:20～15:20	実験(A～Iから1つ)
		15:30～15:45	閉校式

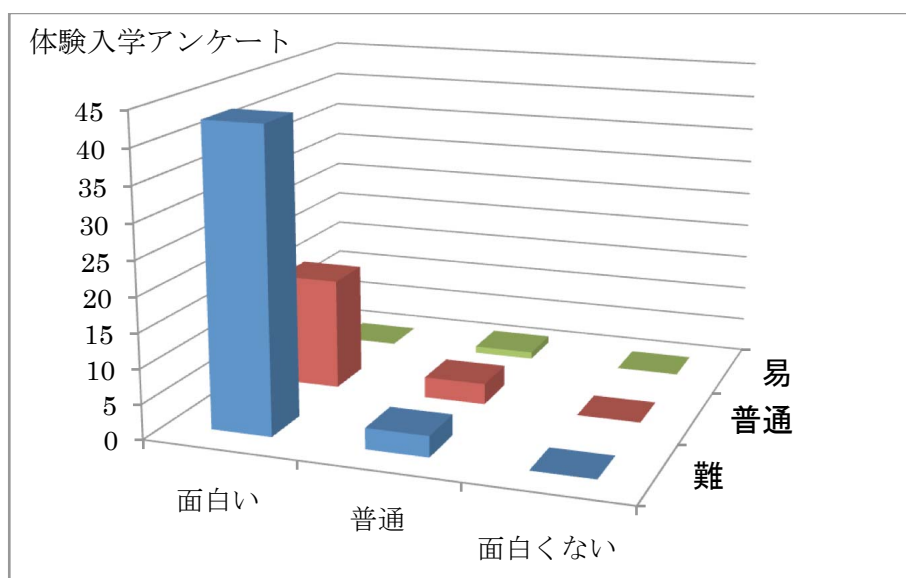
### [実験テーマ(担当者)]

- 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. 身の回りの放射能を体験する(藤田 訓裕)
- 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ー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. 相対論自転車(松井 淳)
- I. 色について調べよう(町田 光男)

[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。



## 平成23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）

- i) 実施日：平成23年 7月12日（火）  
担当者：成清 修 准教授  
福岡県立福岡高等学校（講義）
- ii) 実施日：平成23年 7月13日（水）  
担当者：河合 伸 准教授  
福岡県立八幡高等学校（講義）
- iii) 実施日：平成23年 7月27日（水）  
担当者：八尋 正信 教授  
愛媛県立八幡浜高等学校（講義）
- iv) 実施日：平成23年 8月25日（木）  
担当者：渡部 行男 教授  
鹿児島玉龍高等学校（講義）
- v) 実施日：平成23年 11月 7日（月）  
担当者：橋本 正章 教授  
佐賀県立佐賀西高等学校（講義）
- vi) 実施日：平成23年 11月14日（月）  
担当者：寺西 高 准教授  
熊本県立宇土高等学校（講義）
- vii) 実施日：平成24年3月16日（金）  
担当者：町田 光男 准教授  
山口県立徳山高等学校（講義）

## 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(第50回 九州高等学校理科教育研究会(共催)).

実施日：平成23年7月28-29日

物理学部門の担当は木村康之教授.

## 3) 先端科学体験事業（体験物理学）

実施日：平成24年3月29-30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。  
矢山准教授とりまとめ

セミナー 「究極の粒子・究極の力」

「宇宙論の変遷」

「カオス —簡単な系の複雑な運動—」

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  
身の回りの放射能を体験する 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 色について調べよう

## 4) 公開講座

実施日：平成22年3月29日

内容：3)のセミナーについては一般の方々に対する講座として公開した。

5) 未来の科学者養成講座「エクセレント・スチューデント・イン・サイエンス 育成プロジェクト」(JSTの委託事業)

平成23年9月～平成24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