

2007

立教大学理学部物理学科
理学研究科物理学専攻

研究案内



巻頭言

この「研究案内」には、物理学科および大学院物理学専攻における研究の内容が簡単に紹介されています。物理学教室の3研究室（理論物理学，原子核・放射線物理学，宇宙地球系物理学）ごとに，研究室全体の紹介に続いて，各研究グループの研究内容が解説されています。さらに2006年度からの3カ年計画で進行中のハイテクリサーチセンタープロジェクトの紹介も掲載されています。

学生の皆さんは，学部では講義，演習，実験という形で教育を受けますが，学部4年次の卒業研究および大学院では実際の研究活動に参加します。私たち教員は，多くの皆さんに，自分がかつとも興味を持っている分野の研究に参加し，その面白さや厳しさをともに実感してもらいたいと願っています。しかし，皆さんが大学で行われている研究を知る機会が数多く提供されているわけではありません。この小冊子が皆さんの卒業研究のテーマ選択や大学院進学の参考になれば幸いです。

この「研究案内」を読んで興味や疑問を持ったときには，是非研究室に足を運んで，教員や学生に質問したり研究の様子を見学されることを勧めます。教室での講義・学生実験室での実験とは全く違った世界をかいま見ることはできるはずです。

最近では企業の研究的な職種につくためには大学院博士前期課程(修士課程)修了が条件となりつつあります。その意味でも，私たちは多くの皆さんが大学院に進学されることを期待しています。

物理学科ホームページ：<http://www.rikkyo.ac.jp/grp/dept-phys/>

2006年度物理学科長 平山孝人

目次

研究案内		1
理論物理学研究室		2
「素粒子反応の理論的研究」	田中秀和	4
「超弦理論・M 理論の構築」	矢彦沢茂明	9
「高エネルギー天体物理学の理論的研究」	柴崎徳明	14
「一般相対論の基礎的諸問題と宇宙物理学・宇宙論への応用」	原田知広	15
原子核・放射線物理学研究室		17
「不安定原子核の核反応」	家城和夫	18
「究極の物質を求めて」	栗田和好	21
「標準模型の精密検証、高温核物質、近距離重力の実験研究」	村田次郎	23
「低エネルギー原子衝突実験」	小泉哲夫	29
「希ガス固体および希ガスクラスターにおける電子的励起 および崩壊過程の実験的研究」	平山孝人	33
宇宙地球系物理学研究室		38
「太陽コロナにおける磁気プラズマの爆発現象と地球環境」	吉森正人	41
「超高層大気の研究」	山本博聖	47
「X 線天体の研究と X 線観測装置の開発」	北本俊二	50
「宇宙粒子線による太陽系・銀河系の研究」	柳町朋樹	54
「飛翔体による地球・惑星磁気圏と惑星間空間の直接探査」	平原聖文	57
実験技術員研究紹介		62
「放射線計測エレクトロニクスの研究」	村上浩之	63
「加速器実験，多価イオン実験，宇宙観測実験・研究の支援」	須賀 一治	65
「大気光地上観測装置および物理実験装置の開発と製作」	関口宏之	67
ハイテク・リサーチ・センタープロジェクト		69
資料		72
2006 年度卒業論文		73
2006 年度修士論文		74
2006 年度博士学位論文		75

研究助成	75
論文リスト	79

研究紹介

理論物理学研究室

素粒子物理と宇宙物理の理論、対象、テーマ、人。

いろいろと興味ある問題がたくさんあります。

いつでも、誰でも、質問・議論に来てください。

astrophysics

cosmology

beyond standard model

neutron star

gravitational wave

superstring

W, Z, Higgs
quark

柴崎(宇)

原田(宇)

矢彦沢(素)

田中(素)

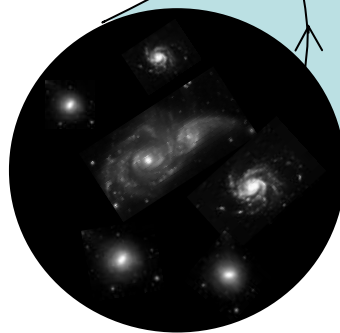
black hole

D-brane

AGN

supersymmetry

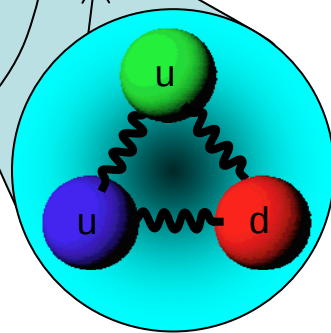
high-energy collision



instanton

early universe

dark matter



general relativity

neutron stars 山下 (宇M2)

γ -ray bursts 小泉 (宇M2)

gravity 姜 (宇M2)

gravity 島野 (宇M2)

gravity 太田 (宇M1)

gravity 山上 (宇M1)

QCD 小林 (素M1)

string theory 大宮 (素M1)

De Sitter-black hole 関和 (素0D)

grand unification 若林 (素D4)

QCD, proton 川嶋 (素D4)

string theory 三平 (素M2)

Quantum field theory 笹川 (素M2)

theory

string theory 根本 (素M1)

[研究室の概要]

理論物理学研究室では、素粒子理論と宇宙物理学の理論的研究を行っています。物質のミクロな構造を探る素粒子論と広大な宇宙で起こる現象を取り扱う宇宙物理学の分野とは一見すると対極にあるように思えるかもしれませんが、しかし、現代物理学では、物質の由来を宇宙創生や星の誕生と終焉に求め、宇宙の成り立ちは物質構造の知識を抜きでは知りえないことを教えてくれます。つまり、自然界の成り立ちと構造を知るためには、この2つの分野は不可欠な役割を担っているのです。

当研究室には、4名のスタッフと14名の大学院生が所属しています。また、卒業研究で理論物理学を選択した4年次生も加わって研究活動を行っています。

スタッフと大学院生の研究分野は以下のページで詳しく説明されていますが、研究分野の概略のみを記すと以下のようになっています。

柴崎徳明 中性子星やブラックホールを対象とする高エネルギー天体物理学の理論的研究。

田中秀和 素粒子反応の理論的研究。特に、高エネルギー素粒子反応を通して物質構造を理論的に解明することを目指しています。

矢彦沢茂明 超弦理論・M理論の構築。

原田知宏 宇宙物理学/一般相対論の基礎的諸問題と宇宙論・宇宙物理学的应用に関する研究。

素粒子反応の理論的研究

田中秀和

物質の基本構造について現時点までに分かってきたことは、「物質はクォークとレプトンで出来ており、それらの間の相互作用はゲージ粒子とよばれる粒子によって媒介されている」という物質像である。これは「素粒子の標準理論」とよばれているが、物質界や宇宙の現象を理解するための最も基礎的な理論体系の一つである。この標準理論の知識は、原子核物理学や宇宙物理学の基本的な知識でもあるので、更にその重要性が増してきている。

しかし、標準理論が物質の究極の姿を全て説明してくれるわけではなく、もっと深いレベルでの構造の反映であろうと考えられている。例えば、従来の標準理論では質量を持たない粒子として取り扱われていたニュートリノは、近年の研究から質量を持っているであろうと考えられるようになってきた。また、素粒子の質量の起源と考えられているヒッグス機構や素粒子の世代についても多くの不明な点が残されている。

このような物質構造の研究は、理論的な研究と実験的な検証とによって進められている。理論的な研究としては、素粒子の標準理論が成立する起因をより深く理解するための統一理論の構築の試みなどと共に、複雑な素粒子反応がどこまで標準理論によって説明可能かを探る試みが挙げられる。素粒子の標準理論の枠組みは、学部4年次生でも（ちゃんと勉強すれば）理解できる体系であり、この分野は卒業研究で取り組むことも可能である。

以上の観点より、現在次のような研究を行っている。

(1) 標準理論の検証

ニュートリノの質量を考慮した素粒子の標準理論は、現在実験との比較に於いて非常に良い精度で成り立っていることが知られているが、どこまでの精度で成立しているかは明らかではない。これを調べるためには、素粒子反応の精密測定が必要であるが、その結果を評価するためには、標準理論の精密計算を行い測定結果と比較する必要がある。

しかし、素粒子反応の精密計算は計算量が膨大になるものが多く、手計算で行うには限界がある。そこで、現在、高エネルギー加速器研究機構や他大学と協力をして、素粒子反応過程の理論計算の自動計算化を行い、標準理論の精密計算を行っている。

(2) ハドロン内部構造と高エネルギーハドロン散乱における強い相互作用の効果

原子核を構成する陽子や中性子などの強い相互作用をする粒子（ハドロン）は、クォークと強い相互作用を媒介するグルーオンの複合体と考えられているが、その内部構造は非常に複雑であり、未だに全貌は明らかではない。

例えば、陽子の持つスピンはクォークのスピンのみでは説明できないし、ハドロン間の相互作用はクォークやグルーオンのレベルで完全に理解できていないわけではない。このように、強い相互作用の基本法則は理解されつつあるが、その複合体であるハドロンや原子核を標準理論で理解するためには、更なる研究が必要である。

ハドロンの内部構造の探索は、主にハドロン散乱反応を用いて行われる。実験的には、終状態に多数のハドロンが生成される複雑な現象の解析が必要であり、理論的に厄介なことは、強い相互作用は単純な結合定数の有限次数での展開では不十分であることが知られている。

そこで、強い相互作用による多粒子生成機構の解明と、その知識を用いてハドロンの内部構造やハドロン散乱現象の理論的研究を行っている。

(3) 素粒子の標準理論を超える試み

素粒子の標準理論には、素粒子の質量、相互作用の強さ、相互作用を支配する対称性などの起源についての理論的に色々な疑問が内包されている。また、現在の標準理論の枠組みは、超高エネルギー領域では破綻をきたすことが示唆されており、現在実験が行われているエネルギーよりも高いエネルギー領域には新たな物理法則が存在していると考えられている。また、宇宙初期などを考える時には、素粒子の標準理論だけでは不十分であることが示唆されている。

これらの問題を解決するために様々な統一理論が提唱されているが、その中でも有望な超対称性を持つ統一理論についての研究を行うと共に、「次世代の超高エネルギー加速器では何が起こりそうか？」について理論的な研究を行っている。

最近の研究から

○ 超対称粒子の関与する散乱断面積の自動計算システムの研究・開発

素粒子の統一理論の枠組みとして有望視されている超対称性理論で予言される粒子の数は非常に多く、これらの粒子生成断面積を理論的に計算するのは多大な労力が必要である。そこで、先に開発した素粒子の標準理論に対する散乱断面積の自動計算システムを、超対称粒子の関与する散乱過程にも計算可能な形に拡張した。

[発表論文]

GRACE/SUSY Automatic Generation of Tree Amplitude in MSSM

J. Fujimoto, T. Ishikawa, M. Jimbo, T. Kaneko, K. Kato, S. Kawabata,
T. Kon, M. Kuroda, Y. Kurihara, Y. Shimizu and H. Tanaka
Comput. Phys. Commun. 153(2003), pp.106-134

○ ハドロン-ハドロン散乱における多粒子生成過程のモンテカルロ・アルゴリズムの研究

ハドロン-ハドロン散乱過程における量子色力学の効果は非常に複雑であり、これに対して理論的に整合性のあるシミュレーションを行うことが必要である。ここでは、散乱素過程に対する next-to-leading order の散乱振幅を考慮したモンテカルロジェネレータの研究・開発を行った。特に、始状態パートンに対するパートンシャワー生成との整合性を議論した。

[発表論文]

QCD event generators with next-to-leading order matrix-elements and parton showers

Y. Kurihara, J. Fujimoto, T. Ishikawa, K. Kato, S. Kawabata, T. Munehisa and H. Tanaka

Nucl. Phys. B654(2003), pp. 301-319

NLO-QCD calculation in GRACE

Y. Kurihara, J. Fujimoto, T. Ishikawa, T. Kaneko, S. Kawabata, K. Kato, H. Tanaka
and Y. Shimizu

Nucl. Phys. B(Proc. Suppl.)157(2006), pp. 231-235

○ 始状態パートンに対する 3 体分岐関数の計算

強い相互作用の効果は、有限次数の摂動計算では精度良く評価できないことが知られている。この場合は、対数的な寄与を摂動の全次数について足しあげる必要があるが、このような効果の非包含過程に対する計算手法の研究が必要である。非包含過程に対して量子色力学の高次効果を加えるために、Jet Calculus の手法を用いて、これまでに求められていなかった始状態のパートンについて全ての分岐素過程に対する 3 体分岐関数の計算を行い、その性質を調べた。

[口頭発表]

「Space-Like Jet Calculus による 3 体グルーオン分岐関数の計算」

杉浦哲哉、田中秀和、宗久知男、加藤潔

(日本物理学会第 56 回年次大会、2001 年 3 月 27-30 日、中央大学多摩キャンパス)

「Space-Like Jet Calculus による 3 体分岐関数の計算」

杉浦哲哉、田中秀和、宗久知男、加藤潔

(日本物理学会 2001 年秋季大会、2001 年 9 月 22-25 日、沖縄国際大学)

[発表論文]

Three-Gluon Decay Function Using Space-Like Jet Calculus Beyond the Leading Order

H. Tanaka, T. Sugiura, T. Munehisa and K. Kato

Prog. Theor. Phys. Vol. 105, No.5 (2001) p.827-p.843

Space-Like Jet Calculus for Single Gluon Radiating Processes

H. Tanaka, T. Sugiura, T. Munehisa and K. Kato

Prog. Theor. Phys. 109(2003), pp.981-993

○ 始状態パートンに対する高次効果を含めたモンテカルロ・アルゴリズムの研究

散乱素過程に対して、next-to-leading order(NLO)まで考慮する場合には、場の理論における摂動理論の整合性から、始状態パートンに対しては、next-to-leading-log(NLL)まで考慮する必要がある。ここでは、始状態パートンからの量子色力学効果による多粒子生成過程に対して、NLL 項までを考慮したモンテカルロ・アルゴリズムの研究・開発を行った。

[口頭発表]

「NLL 項を考慮した始状態パートンに対する QCD カスケード」

田中秀和（日本物理学 2003 年秋季大会宮城ワールドコンベンションセンター・サミット、2003 年 9 月 9-12 日）

「NLL parton shower for initial state parton radiation」

H. Tanaka (Physics Simulation for LHC, 5-6 April 2004, KEK)

「NLL パートンシャワー模型における因子化法」

田中秀和、杉浦哲也、若林裕也

日本物理学会 2005 年秋季大会（2005 年 9 月 12 - 15 日、大阪市立大学）

[発表論文]

Initial State Parton Evolution beyond the Leading Logarithmic Order of QCD

Prog. Theor. Phys. 110(2003), pp.963-973

H. Tanaka

Factorization Algorithm for Parton Showers beyond the Leading Logarithmic Order of QCD

H. Tanaka, T. Sugiura and Y. Wakabayashi

Prog. Theor. Phys. Vol.114, (2005), pp.477-486

研究指導

○ 博士課程後期課程（博士論文題目）

- ・ 2002年度
「Properties of Three-Body Decay Functions Derived with Time-Like Jet Calculus beyond Leading Order」
- ・ 2004年度
「Atomic Schwinger-Dyson Method in Finite Systems」(藤崎晴男教授より指導引継ぎ)

○ 博士課程前期課程 (修士論文題目)

- ・ 1998年度:「ニュートリノ質量と大統一理論」(浜満教授との共同指導)
- ・ 1999年度:「始状態クォークの3体分岐関数の計算」
- ・ 2002年度:「Two Higgs doublet model(type III)とlepton flavor violation」
- ・ 2003年度:「深非弾性散乱における2ジェットのスピンの依存性」
「(non-)SUSY SO(10)GUT とその中間対称性」
- ・ 2004年度:「Drell-Yan 過程に見る QCD の効果とその近似解法の妥当性」
- ・ 2006年度:「カイネマティクスを考慮した $\overline{MS}$ スキームの修正[ドレル・ヤン過程]」

(*) 1998年度—2006年度修了者 7名 (博士後期課程進学者 3名)

○ 卒業研究 (卒業論文題目)

- ・ 1998年度:「電弱理論における Higgs 粒子崩壊過程の現象論的考察」
- ・ 1999年度:「電子-陽電子散乱における Higgs 粒子生成過程」、「Flavor mixing」
「Weinberg-Salam 理論における Z^0 ボソンの崩壊」
- ・ 2000年度:「K 中間子を用いた CP 対称性の破れ」(2名による共同研究)
「高エネルギー電子-陽電子衝突におけるヒッグス粒子生成の検討」
- ・ 2001年度:「陽子・反陽子衝突におけるヒッグス粒子生成過程」
「パートンモデルに基づく陽子の内部構造」
- ・ 2002年度:「 $K^0\bar{K}^0$ 混合における CP 非保存」、「Electron-Proton 散乱と Proton の拡がり」
- ・ 2003年度:「深非弾性散乱と構造関数」
- ・ 2004年度:「ヒッグス粒子の生成・崩壊過程の理論的考察」(5名による共同研究)
- ・ 2005年度:「有限温度における光子の self-energy」、「陽子の構造」
- ・ 2006年度:「有限温度の光子の self-energy」、「メソン崩壊と弱い相互作用」
「偏極したフェルミオンの散乱断面積」、「QCD における $O(\alpha_s)$ 輻射補正」

(*) 1998年度—2006年度卒研修了者 23名 (大学院進学者 17名)

超弦理論・M 理論の構築

矢彦沢茂明

素粒子論とは物質を構成している基本粒子とその相互作用及び時空・宇宙の構造を研究する学問分野です。広い意味では、素粒子論は今までに知られた個々の自然法則や原理を、現在未解決な問題を手がかりにして、より簡潔な形で理解することを目指しています。ベータ崩壊に代表されるような弱い相互作用、ハドロンを構成しているクォークやグルーオンの強い相互作用、一般相対性理論によって記述される重力、そして電磁気力、これら四つの力とその力を感じる物質を量子論と矛盾なく統一的に記述する理論として、現在最も有望な理論が「超弦理論」です。この理論の素朴な見方は、まず振動している弦を考えて、その各振動モードを「素粒子」とみなし、次にそれが分裂したり結合したりする過程を考えることです。この見方からゲージ場や重力場の導出などの重要な性質が導けます。しかし、真空の構造や弦の多体問題等を調べるにはそのような素朴な摂動論的な描像だけでは不十分であり、非摂動論的な見方が必要になってきます。上で、「超弦理論」として「」を付けたのは、非摂動論的な見方及び定式化においては素朴に弦を基本要素とする見方を離れる必要があるかも知れないからです。弦という見方をしないで定式化され、ある極限をとると従来の超弦理論が再現されるといった可能性もあります。さらに、時空というものの捉え方自体が変わっていくこともあるでしょう。

近年、双対性、D ブレイン、行列模型、時空の非可換性等をキーワードとして少しずつ「超弦理論」に進展が見られ、私も非摂動論的な「超弦理論」の定式化に大いに興味をもって研究しています。また、時空に現れる宇宙初期の特異点やブラックホールの特異点の解消にも興味を持っています。なぜ「時空」は4次元なのか？ 宇宙項はなぜ小さいのか？ インフレーションはなぜ起こるのか？ ダークマターは何なのか？ なぜ電子の質量は約 $9 \times 10^{-31} \text{kg}$ なのか？ なぜ物質は3世代なのか？ といった問に答えられる日が来るかも知れません。

研究においては非常に柔軟な発想や思考が必要です。素粒子論を契機として、物性論、宇宙論、ブラックホールの物理、数理物理、統計物理、情報理論 ... 等にも興味を持っています。今までに、超弦理論以外にも、膜の理論、位相場の理論、超流体中の量子渦、宇宙紐のダイナミクス、D インスタントン、時空の特異点、情報計量等々も研究してきましたが、それらはいずれも深いところで「超弦理論」と結びついています。

以下に、進展させている研究のうち、特に、行列模型とインスタントン・情報の場の理論・弦理論と重力、に注目して少々説明します。

(A) 行列模型と D インスタントン

ランダム行列の固有値の分布を調べることによって原子核のスペクトルなどの統計的分布を求めることは1950年代から行われていました。このような統計的観点とは違った幾何学的観点からランダム行列を捉え始めたのは1970年代からであり、その契機はトフフットのゲージ理論と弦理論の対応関係の指摘でした。このゲージ場そのものを扱うことは難しいですが、座標依

存性等を無視し、単なる普通の行列とするならば扱いは簡単になります。このような普通の行列を用いたモデルは 1970 年代後半から調べられており、「古い」行列モデルと呼ばれています。現在では範疇が広がり、超弦理論や M 理論を構成する「新しい」行列モデルの提案がいくつかなされていますが、これらの本質的進展のための一つのヒントが「古い」行列モデルの研究です。この単純な「古い」行列モデルは非臨界弦理論との関係について多くのことが厳密にわかっており、また、二重スケーリング極限をとることによって摂動展開の全ての次数についての情報を得ることができます。しかしながら、これで全ての情報がわかっているわけではなく、重要なことは非摂動的な効果の扱いであります。そのポイントが D インスタントン効果です。福岡と矢彦沢は行列モデルにおける D インスタントン効果をボソン場表示及びフェルミオン表示を用いて構成し、具体的に計算を行いました。（ここまでの詳しい話は、立教 SFR 講義録 No.1 を参照してください。）それ以後、非臨界弦理論における境界効果と行列モデルにおける D インスタントン効果との対応がさらに詳しく調べられ、双対性についての理解が大変深まってきました。「古い」行列モデルはこれからの進展のヒントをいくつも内蔵しています。

(B) 情報の場の理論

統計的推論等で使われる情報幾何とは、確率分布のパラメータを座標とする多様体のリーマン幾何学であります。そして、情報幾何で重要な役割を果たすのがフィッシャー情報計量です。場の理論においては、古典的レベルでも、量子的レベルでも様々な確率分布関数が考えられます。統計物理学、物性物理学、素粒子物理学や弦理論などでよく登場する非線形シグマモデルのインスタントンの荷電密度を確率分布関数として採用すれば、インスタントンのモジュライ空間の計量が フィッシャー情報計量に対応します。従って、フィッシャー情報計量を計算することによって、インスタントンの統計的、あるいは確率的意味が幾何学的に見えてきます。逆に、インスタントンの性質からフィッシャー情報計量の対称性も見えてきます。実際、この場合のフィッシャー情報計量は反ド・ジッター計量となります。これは、超弦理論における AdS/CFT 対応と関連があり、大変深い意味合いを持っています。

(C) 弦理論と重力

● 質量や電荷等がどのように分布しているかが時空特異点の解消においては重要である。例えば、時空特異点を取り囲む球殻上にその質量や電荷等を持った物体 (D ブレイン等) が存在する場合、球殻内は平らになり時空特異点は解消される。問題は球殻の安定性である。弦理論においては、時空特異点解消の重要なメカニズムはエンハンソン機構である。K3 多様体に巻き付いた D6 ブレインから構成される球殻の安定性については、その球殻の半径がどのような値をとっても、振動数が虚数になる不安定モードはないことが数値解析からわかる。さらに、エンハンソン半径を境界として球殻がその内側にあるときは共鳴が起こり、一種の「不安定性」を示す。この事実はエンハンソン半径上に球殻が構成される理由を示している。鳥居・成田・前田・矢彦沢の共同研究である。

● 背景場上の弦理論の研究は純理論的にも、現象論的にも、また、宇宙論的にも重要である。一例として、反ド・ジッター時空のペンローズ極限で現れるpp-波（重力波の一種）上での共変的量子化が重要である。知崎と矢彦沢はフラックスを持ったpp-波背景上でのBRST形式の演算子的・共変正準量子化を行い、弦座標を「自由モード」を用いて完全に構成している。光円錐座標のゼロモードの役割が特に大切である。また、このフラックスを持ったpp-波背景上でのビラソロ代数のアノマリを求め、さらにBRSTチャージのベキ零性を計算することによって、時空次元と正順定数を決めた。これからさらに、超弦理論における背景場上の共変量子化を進めて行くことが重要である。また、様々な量子化の振る舞いを理解しながら、非摂動的定式化を考察することも有益であると考えている。

研究指導(卒業論文・修士論文・博士論文)

今までの卒業論文テーマ例：

「統一理論への歩み：弦理論(Bosonic String)の量子化」

「弦理論からのアインシュタイン方程式の導出」

「場の理論におけるモノポール」

「BRST形式におけるYang-Mills理論」

「時空と対称性とBlack Hole幾何学：時空の対称性」

「シュバルツシルト解と時空」

「Geometry of 2+1 Black Hole」

「インスタントン効果による真空エネルギー」

「Dブレーンと電弱ゲージ理論」

「弦理論におけるT双対性とDブレーンの関係」

「Dブレーンと標準模型の相互作用」

「超弦理論によるブラックホールのエントロピー」

「Open stringの量子化とD-brane上のゲージ場」

今までの修士論文テーマ例：

「非可換時空の場の理論におけるソリトン」

「時間依存するオービフォールド上の弦理論」

「ゲージ理論と PP-wave 上の超弦理論」

「AdS4 と臨界 $O(N)$ ベクトル模型： AdS/CFT 対応」

「境界のあるリューヴィル理論の D ブレーンと非摂動効果」

「行列模型による非臨界弦の D インスタントン」

「超弦理論の共変的量子化」

今までの博士論文テーマ例：

「重力波背景上の弦理論の共変的 BRST 量子化」

弦理論に関する参考資料

超弦理論に関する以下の資料を参考にしてください。また、興味が湧いてきた方は気軽にお立ち寄りください。

- (1) 2002 年・2005 年・2006 年に、立教大学太刀川記念会館で開催した「弦理論」研究会の講演内容は下記のホームページに公開されています。

http://www.rikkyo.ne.jp/grp/itp/jp_kennkyuukai.html

- (2) 立教大学 SFR 自由プロジェクト研究「弦理論と重力理論の数学的構造解明に関する学際的研究」(代表：矢彦沢茂明)において、以下の 8 冊の講究録を作成しました。

- 講究録 No.1 「弦理論・共形場理論と保形性」
- 講究録 No.2 「可解格子模型入門 I」
- 講究録 No.3 「モデル・ヴェイユ格子と弦理論、可積分系」
- 講究録 No.4 「弦理論の数学的構造」
- 講究録 No.5 「ゲージ理論・行列模型と非平衡統計物理学」
- 講究録 No.6 「可積分系をめぐる話題」
- 講究録 No.7 「多重ゼータ値および多重 L 値ノート」
- 講究録 No.8 「曲面の微分幾何学とソリトン方程式---可積分幾何入門---

- (3) 最近 3 年程度の発表論文は別のページに記載されています。ここでは、弦理論に

関するお勧めの過去論文を紹介します。

Evaluation of the one-loop amplitude in heterotic string theory,
S. Yahikozawa, Physics Letters B 166 (1986) 135

Modular invariance of one-loop N-point amplitudes in heterotic string theory,
S. Yahikozawa, Nuclear Physics B 291 (1987) 369

“Topological” formulation of effective vortex strings,
M. Sato and S. Yahikozawa, Nuclear Physics B 436 (1995) 100

String field theory in Rindler space-time and string thermalization,
H. Hata, H. Oda and S. Yahikozawa, Progress of Theoretical Physics 96 (1996) 985

Nonperturbative effects in noncritical strings with soliton backgrounds,
M. Fukuma and S. Yahikozawa, Physics Letters B 396 (1997) 97

Comments on D-instantons in $c < 1$ strings,
M. Fukuma and S. Yahikozawa, Physics Letters B 460 (1999) 71

高エネルギー天体物理学の理論的研究

柴崎徳明

研究対象はX線や γ 線といった高エネルギーの光子を放射する天体現象である。具体的には、マグネター、パルサー、ガンマ線バースト、宇宙ジェットなどである。これらの天体現象においては、極限的な星である中性子星やブラックホールが重要な役割を演じていると考えられる。天体現象を理論的に調べることで、およそその結果をもとに中性子星やブラックホールの性質を明らかにすることが研究の目的である。最近、次のような課題に取り組んでいる。

1. マグネター

X線・ガンマ線を繰り返し爆発的に放射する天体である。中心星は1000兆ガウスという超強磁場をもつ中性子星である。X線・ガンマ線のエネルギー源は磁場のエネルギーそのものと考えられる。しかし、爆発的なエネルギー解放のメカニズムはまだ分っていない。中性子星の内部にある量子化された磁束管が表面層にストレスを与え、星震を起こすためと考えられている。さらに、中性子星誕生の際、このような超強磁場が生じる原因についても研究を進める予定である。

2. マイクロクエーサー

大量のX線を放射するX線連星でブラックホールを含むものがある。相手の星から流れ出した物質がブラックホールに落ち込む際、その一部がジェット状に放出されることがある。これは活動銀河核の小型版でマイクロクエーサーとよばれている。電波、赤外線、X線の放射を手がかりに、宇宙ジェットの放出メカニズムに迫りたいと考えている。

3. パルサーグリッチ

パルサーグリッチとは、電波パルサーでパルス周期が突然変化する現象である。中性子星外殻の回転速度が突然変化するのである。その原因は中性子星の内部にあるとする説が有力である。超高密度の内部は超流動、超伝導の状態にあると考えられる。そこで現在、超流動渦糸や量子化された磁束管の振る舞いを調べている。グリッチを通して中性子星内部の性質と構造を明らかにしたいと考えている。

4. パルサー風とパルサーネビュラ

Be星と連星系を組んでいるパルサーがあり、この系からX線や γ 線が観測されている。Be星風とパルサー風の衝突による衝撃波の形成、衝撃波での粒子加速、相対論的な電子・陽電子によるシンクロトロン放射およびコンプトン散乱というシナリオでX線・ γ 線の放射を調べ、パルサー風の性質について重要な知見を得ることができた。現在はこの研究を発展させ、ガンマ線バーストや活動銀河核にみられる宇宙ジェットの性質について研究している。

一般相対論の基礎的諸問題と宇宙物理学・宇宙論への応用

原田知広

一般相対論に代表される重力法則は、宇宙の誕生間際から現在そして未来への進化を記述し、原子核程度の高密度物質からなる中性子星の重力を記述し、光さえも出てこれないブラックホールの構造を記述し、さらに時空のゆがみの伝播としての重力波を記述します。一般相対論は、時空の曲率と物質場の関係式によって時空の動力学を与えます。一般相対論は、単に理論的に美しいだけでなく、重力法則をきわめて精密に記述することが実証されており、宇宙論・宇宙物理学の様々な極限的な状況において非常におもしろい応用を持っています。最近の観測技術の進展は、宇宙が現在加速していることを発見しましたし、近い将来には重力波の直接検出が可能となるでしょう。さらに、他の物理学（素粒子物理学・熱統計力学・量子力学・流体力学など）や数学（力学系の理論・偏微分方程式の理論など）と関連した幅広い研究がなされています。また、ワームホールやタイムマシンなど空想科学的対象を物理として扱うこともできます。そうした様々な研究が有機的に結びついた総体が、Einstein が提案した重力理論を踏まえつつそれを遙かに超えた、現代の「一般相対論」分野として認識されています。

以下、最近の主な研究内容とこれからの研究予定などを述べます。

1. 宇宙論的ブラックホール

原始ブラックホールは1971年に Hawking によって示唆された理論的な天体で、初期宇宙の密度揺らぎによって現れ、Hawking 輻射によってガンマ線・粒子線などを放射して蒸発します。原始ブラックホールは原理的に観測可能なので、現在の観測的制限からきわめて初期の宇宙の姿に関する情報を得ることができます。このような膨張宇宙におけるブラックホールのは広く宇宙論的ブラックホールと呼ばれています。これまで私は、数値相対論や解析的手法によって、原始ブラックホールの最大質量や質量降着、宇宙論的なホライズンより大きなブラックホールの構造に関する研究、スカラー場優勢宇宙におけるブラックホールの自己相似的成長の不可能性の証明を行ってきました。今後さらに、加速膨張宇宙におけるブラックホールの進化を調べていく予定です。また、より一般的な文脈で、膨張宇宙におけるブラックホールに関する研究を行う予定です。

2. 数値相対論

ここ10年ほどの間に世界各国の重力波観測器の感度は飛躍的に向上しており、1918年のEinsteinの予言以来初めての重力波直接検出が期待されています。検出技術の進歩とあいまって、理論的な重力波の研究が進んでいます。こうした中で、Einstein 方程式の数値的な解を求

める数値相対論とよばれる方法が、日本の研究者を中心にして大成功を収めつつあります。数値相対論は、重力波波形計算だけでなく、強い重力場の非線形現象の解明や宇宙現象のシミュレーションなどにも非常な威力を発揮しています。これまで私は、数値相対論を用いた重力波波形計算や、ブラックホールの成長問題・重力崩壊シミュレーションなどを行ってきました。今後、数値相対論の数値技術的な研究やその応用的な研究などを行う予定です。

3. ブラックホール・自己相似解・臨界現象・時空特異点

1970年前後に完成した特異点定理によって、一般相対論が自らの適用限界点である時空特異点を予言することが明らかになりました。Penrose は、時空特異点はブラックホールの中に隠れていて見えないので無害だという仮説を立てましたが、この仮説が成り立たない例（裸の特異点）が発見されるなど、現在の状況は混沌としています。こうした中で、1993年、Choptuik は数値相対論によって臨界現象と呼ばれる現象を自己重力系において発見し、自己相似解が重力崩壊時空において本質的に重要な役割を果たすことを示しました。私はこれまで、裸の特異点の安定性に関する研究や、裸の特異点の量子論的な効果に関する研究、アトラクターとしての自己相似解の発見などの研究を行ってきました。今後、臨界現象の完全な理解に向けての研究や一般相対論的自己相似解の研究を行っていきます。

卒業研究のテーマ

2006年度：「連星の運動と重力波」・「連星から放出される重力波と運動」・「QUINTESENCE」・「PHANTOM MENACE」

原子核・放射線物理学研究室

スタッフ

教授 家城和夫、小泉哲夫

准教授 栗田和好、平山孝人、村田次郎

実験技術員 村上浩之、須賀一治

学生

博士後期課程 梅野泰宏、川村広和、窪寺隼人

博士前期課程 伊藤裕章、石井健一、川島基敬、堺聡史、筒井亮丞、成田圭吾、橋本公瑛、谷内勇仁、岡田健介、河西実希、塩田良太、関塚達也、豊田健司、新田稔、秦麻記、東島啓之、深井健太郎、松下昌史、山田雄介

【研究室の概要】

当研究室では、原子核から原子、クラスター、結晶にいたるミクロな世界の物理を実験的に研究しています。放射線は原子核・原子の情報をになって放出されるため、その測定は有力な実験手段ですし、放射線そのものの研究も重要となります。大型の実験装置として、Cockcroft-Walton型加速器、重イオン衝突実験装置、微小反応断面積測定装置、ECR型多価イオン源などを備え、またGe(HP) γ 線分析器など高性能な測定器も活用しています。

研究領域は、原子物理、原子核物理、放射線物理、放射線計測、表面物理などにまたがっており、各グループは独自の研究テーマをもちつつ協力しています。特に、放射線測定器、計測法、データ処理など共通性の高い課題については共同開発も行っています。また、毎週行っているコロキウムでは、全メンバー参加のもとで活発に討議をしています。これらの研究の遂行にあたっては、物理学科実験技術員の村上が電子回路の設計・製作で、須賀はCockcroft-Walton型加速器の維持管理で貢献をしています。

具体的な研究テーマは以下に詳しく述べますが、扱う現象のエネルギーはmeVから100GeVまでと大きく広がっていますし、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子、イオンなど、あらゆる放射線を様々な測定器で測定します。また、高速なデータ処理の研究も行われ、それらを組み合わせた大がかりな実験も行われます。実験研究は、高エネルギー加速器研究機構、岡崎分子科学研究所、東大CNS、理化学研究所、放射線医学総合研究所などの学外の研究施設も利用して行い、近年では海外の研究所での研究もさかんになってきました。国内・外の研究者との共同実験も活発です。



Fig. ECR Ion Source

不安定原子核の核反応

家城 和夫

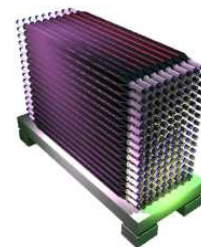
物質の世界は分子－原子－原子核－核子－クォークという階層性をもっており、それぞれの階層に多様性があります。陽子と中性子の多体系としての原子核は現在では 6000～7000 種類あるとされていますが、そのうち安定なものは 250 種類ほどしかなく、大部分は β 崩壊や α 崩壊ですぐに壊れてしまう不安定な原子核です。このような原子核の性質をしらべるのは簡単ではありませんが、最近、加速器を用いて人工的に作り出した不安定原子核をビームの形で利用し、壊れるまでの短い時間に他の標的に照射して反応を起こさせその性質を調べるという手法が使えるようになり、不安定核ビームを用いた実験からは安定核で知られていた性質とはかなり異なった様相が徐々に明らかになってきています。特に、2006 年には不安定核研究のための強力な実験施設 (RIBF) が理化学研究所で稼動を始め、原子核物理の一つのフロンティアとして大きな進展が期待されています。我々は不安定原子核ビームを用いたいくつかの実験研究を進めてきています。

中性子過剰核の構造

安定な軽い原子核では陽子数と中性子数はほぼ同じです。不安定核のなかには ^{11}Li のように中性子数(8)が陽子数(3)の倍以上ある原子核があります。このような原子核では中性子が非常に弱く結合しているため中性子だけが核の外側に大きく広がったハロー構造をもつことが知られており、通常の原子核にはない運動状態をもつことが期待されます。それを調べるには原子番号の大きな他の原子核(鉛など)との衝突によりクーロン場で励起して分解させ、中性子(2 個)と残りの核(^9Li)のエネルギーと方向を測定します。そこから励起状態や ^{11}Li の構造についての情報が得られます。(これをクーロン分解反応法と呼びます。) 中性子を効率よく測定できる大面積の中性子検出器 (<http://www.nscl.msu.edu/tech/devices/neutronwalls/index.html>) をミシガン州立大(米国)やエトベシュ大(ハンガリー)らのグループと協力してミシガン州立大に建設し、これまでハロー核とされる ^{11}Li 、 ^6He 、 ^8He などについて研究を行なって中性子 2 個が緩く束縛されている系の振動モードや崩壊様式についての情報を得ました。

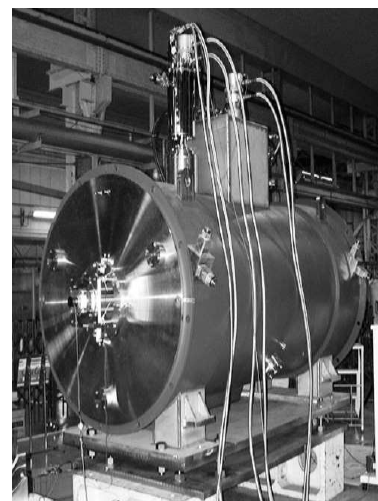
2005 年度にはミシガン州立大で新たに建設された大型中性子検出器

MoNA (<http://www.nscl.msu.edu/tech/devices/mona/index.html>、右図)を用いて ^8Li のクーロン分解反応の実験を行い、入射エネルギーについての依存性を詳しく調べました。結果の一部は須合君の修士論文(2005 年度)にまとめられています。2006 年度には理化学研究所でも東京工業大学らのグループと協同して ^6He のクーロン分解反応の実験を行いました。



原子核にも原子と同じように殻構造があります。つまり、希ガス原子が安定で不活性であるのと同じように、ある陽子数や中性子数の核ではまわりの核よりも安定性が高くなります。ところが、中性子数が 40 程度の中性子過剰核では安定核でみられる殻構造が変化していることが予想されています。

しかし、このような重い中性子過剰核では反応後の粒子を精度よく識別することが難しく、粒子のエネルギー分解能を向上させる必要がありました。そのために連携大学院の青井助教授や竹下さんらを中心に理化学研究所において TOF スペクトロメータという装置(写真)が開発され、飛行時間と Si 半導体検出器によって測定するエネルギーとを組み合わせることによって大きな立体角で高い質量分解能を得ることができるようになりました。



^{64}Cr などの不安定核について陽子非弾性散乱の実験を行ない励起状態からの γ 線を系統的に測定しました。その結果は竹下さんの博士論文として公表される予定です。

ハロー核のアイソバリックアナログ状態

^6He は中性子ハロー核の一つであり、 ^4He の周りに 2 つのハロー中性子があると考えられています。この核は ^4He と中性子 1 つ、あるいは中性子同士では安定な結合状態ができないのに 3 体となる ^4He と 2 つの中性子では結合するという面白い性質をもっています。そこで、ハローの中性子の一つを玉突きのように陽子によってたたきだして置きかえるとどうなるか、という実験を 2003 年度に千葉市の放射線医学総合研究所で行ないました。このような状態をアイソバリックアナログ状態といいます。統計精度が悪いためはまだ確定的な結果は得られていませんが、アイソバリックアナログ状態がある程度できていることがわかり、山口君の修士論文(2004 年度)にまとめました。

元素合成過程

不安定核はそのほとんどが 1 秒以下で壊れてしましますが、宇宙の初期や超新星爆発の際には不安定核は中性子や陽子と反応を起こします。元素合成過程、即ち、現在ある安定な原子核がビッグバン以降にどのようにしてできてきたのかを理解するためにはこのような不安定核を含む核反応の情報が不可欠です。不安定核のクーロン分解反応を利用すると、逆反応を利用してこのような核の反応断面積を求めることができ、いくつかの測定が行われてきました。特に、中性子を吸収して元素合成の反応が起こる過程についてはこれまで実験データがほとんどありませんでしたが、ミシガン州立大学でこれまで ^8Li や ^{14}C などの (n,γ) 反応について測定し断面積を求めてきました。

新しい原子核の探索

理化学研究所で最近稼動をはじめた RIBF では不安定核生成装置として世界一強力な BigRIPS が作られました。この装置は一次ビームの分解でできた短寿命の原子核を選別して 2 次ビームとして利用するものですが、放射線測定の様々な技術を組み合わせて選別を行い、まだ発見されていない原子核を見つけ、その質量、寿命、生成断面積など基本的物理量の測定が可能になります。この装置の開発の中心である連携大学院の久保教授らに協力し、2007 年度から新原子核探索の研究に参加しています。

測定器・データ収集システムの開発

上にも述べたように、不安定核ビームの実験は安定核に比べて強度、純度等の点で不利であり、放出される中性子などのエネルギーや方向を精度よく、かつ効率よく測定する必要があります。これまでも位置検出ができ中性子/ γ 線の識別が可能な大型の中性子検出器を作ってきましたが、現在は更なる位置・時間精度の向上を目指し、シンチレーションファイバーを用いて 3 次元的に位置情報を得ることができる新しいタイプの中性子検出器の開発を行っています。

また、このような検出器からは多数の信号を高速に処理して収集し、オンラインで実時間処理のモニターをすることが必要ですが、これをネットワークで分散処理できるようなシステムの開発なども卒業研究を通じて行なってきました。

学 部	理学部 物理学科
研究科 専攻	理学研究科 物理学専攻
職 名	准教授
氏 名	栗田 和好
氏 名 (カナ)	クリタ カズヨシ
氏 名 (英字)	Kurita Kazuyoshi
メール	kurita@ne.rikkyo.ac.jp
専門分野	原子核実験
主要担当科目 (学部)	理学とキャリア、物理入門ゼミナール, 原子核・放射線物理学講究 1, 物理学実験,卒業研究
主要担当科目 (大学院)	原子核・放射線物理学講究 1,輪講, 原子核・放射線研究,特別研究

教育研究活動

教育面においては前期に「理学とキャリア」、「物理入門ゼミナール」を担当し、導入と動機付けの機会を設けている。また、前期の「原子核・放射線物理学講究 1」、後期の「物理学実験」を担当しており物理実験の根本となる物理的理解と実験にすぐに役立つ知識、測定器をブラックボックスではなく動作原理を理解して使えるようになることを目標に授業をしている。卒業研究、特別実験では現在行っている実験研究に使用する検出器の開発を主たるテーマとしている。これらの開発は下記に示す世界第一線の実験に直接応用できるものを目指す。また、検出器性能の理解のためにコンピュータシミュレーションも行う。

国外プロジェクト

ビッグバン直後の高エネルギー密度状態ではクォークとグルオンはハドロンの閉じ込めから放たれて自由に飛び交っているような状態(QGP)であったという。この新しい究極の物質状態を実験室で作ろうという試みが米国ニューヨーク州にあるブルックヘブン国立研究所のRHIC (リック) プロジェクトである。我々は PHENIX 実験に参加して QGP 生成の可否と陽子スピン構造の解明に力を注いでいる。その目的はハドロンとその間に働く強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (QCD) を通して宇宙の成り立ちを理解することである。大学院生には米国で生の英語と異文化に接しその中で科学をする態度を学ぶよいチャンスを提供できるものと信じる。

国内プロジェクト

QGP が冷えていくとクォークとグルオンは多数のハドロンと呼ばれる強い相互作用をする粒子に崩壊していく。このハドロンのうち3つのクォークとそれらをつなぎとめるグルオンでできている粒子群はバリオンと呼ばれる。さらに、このバリオンの主要なメンバーである陽子と中性子が結合してさまざまな元素を形成し現在の宇宙が成り立っていると考えられている。しかし、現在の宇宙に分布する元素の存在比がどのようにして作り出されてきたのかは完全に理解されてはいない。この元素合成のプロセスをより深く理解するには様々な原子核同士の反応断面積を正確に測定する必要がある。我々は連携大学院を結んでいる理化学研究所の本林教授とともに同研究所の不安定核ビームを用いた反応実験を行っている。理化学研究所は世界でも有数の不安定核ビームを用いた実験が可能な研究所である。特に、これまで技術的に不可能であった不安定核の電子散乱実験で荷電分布を測定する手法（SCRIT法）の研究開発に力を入れている。これらの実験は世界をリードしておりその実験から数々の博士も誕生している。なお、理化学研究所の地理的な好条件から学部4年生の実験参加も可能である。

大学生、大学院生へのメッセージ

物理学は自然の普遍的な真実を理解する学問であるためその進歩は実験を行いその結果と合わない理論を淘汰していくことによって正しい理論にたどり着くという過程を積み重ねていくことによってなされる。よって、実験物理学者には実験の物理的な意義をよく理解することとそのような議論に足るだけの信頼できるデータを提供していける実験技術と伝達能力が要求される。我々の研究室の基本的考えは学部時代には専門分野に移る前に物理の基礎をしっかり学ぶこと。大学院の前期課程では実験の原理の理解とその技術力を磨くこと。博士課程後期課程では実際に実験を行いデータから普遍的な真実を引き出しそれを学術雑誌に投稿して正確に世界に伝えることを目標とする。

伝達の部分では全世界の科学者とのコミュニケーションが必須であり世界の共通言語としての役割を果たしている英語の習得は特に大切である。語学の習得は若いうちほど効率がよいので早い時期から英語力をつける努力をすることを勧める。

指導大学院生（本林教授指導を含む）

梅野泰宏（D3）

石井健一（M2）川嶋基敬（M2）

岡田健介（M1）河西実希（M1）塩田良太（M1）山田雄介（M1）

標準模型の精密検証、高温核物質、近距離重力の実験研究

村田次郎

大学院生 D1 川村広和, M2 成田圭吾, 筒井亮丞, M1 豊田健司, 秦麻記, 新田稔

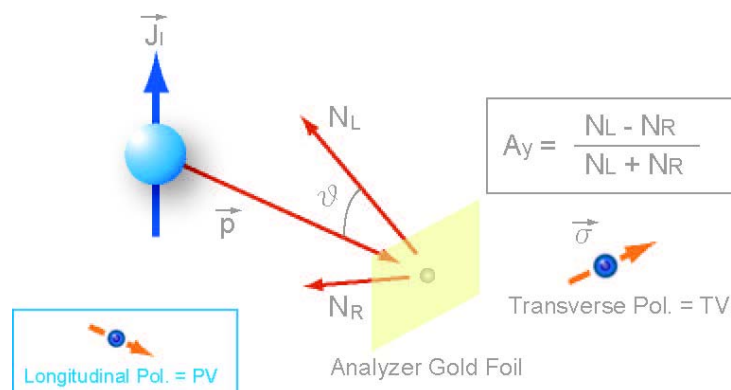
卒研究生 秋山岳伸, 池田友樹, 大石光, 羽木洋介, 原裕太, 二宮一史

原子核崩壊を利用した低エネルギーでの超精密実験による素粒子の基本相互作用の研究を行っています。加速器で作り出した不安定な原子核のベータ崩壊の精密観測を通して、右巻きゲージボゾンや時間反転対称性の破れなどの素粒子標準理論を超える現象の発見を目指しています。また、ニュートンの万有引力の法則をミリメートル以下のスケールで精密検証する事で、我々の4次元時空を超える、高次元の世界の存在を検証しようという加速器を用いない実験研究も進めています。さらに、稼動を始めた理研の RI Beam Factory を用いた、中高エネルギーでの重イオン衝突の実験も立ち上げつつあり、アイソスピン非対称な高温核物質の性質を調べていく予定です。

1. 時間反転対称性の破れ探索実験

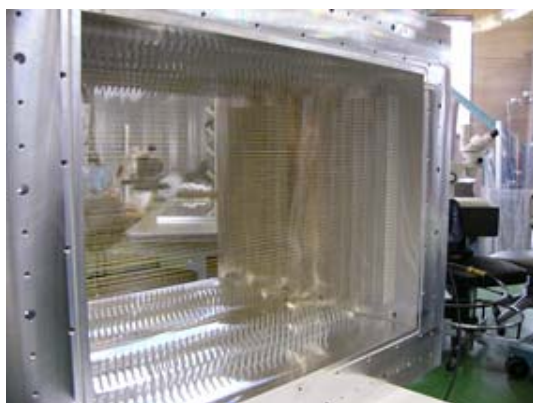
(川村広和, 成田圭吾, 豊田健司, 大石光, 羽木洋介, 原裕太)

素粒子標準理論の確立から 20 年以上の年月が経過しました。その後の大統一理論、超対称性理論や超弦理論など素粒子論の発展の一方で、実験は超巨大加速器を建設しその猛烈な攻撃にも関わらず今だ標準理論から先の物理を発見出来ずにいます。本研究室では比較的小規模実験を行う事で超標準理論物理の発見を目指しています。現在建設が進められているヨーロッパの LHC に代表される超高エネルギー衝突型加速器による巨大実験は正攻法と考えると、我々のアプローチはゲリラ戦法です。高エネルギー実験はエネルギーをより大きく与える事で「シグナル」を増幅する方法と言えますが、シグナルを発見出来るか否かはバックグラウンド現象との区別が出来るかどうかだけにかかっています。そこで巨大加速器を用いずとも、わずかなシグナルを非常に精密な測定をする事でバックグラウンドから抽出しようと、中性子や原子核の崩壊の超精密観測を目指しています。

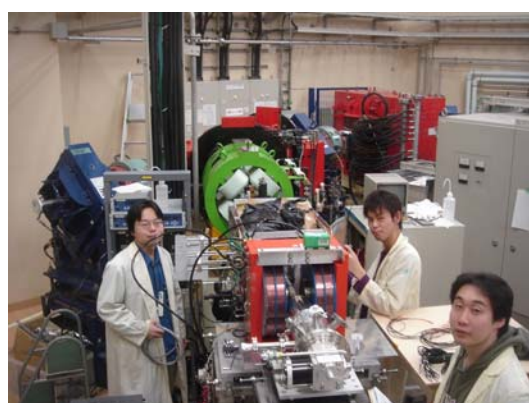


自然界に存在する原子核はその多くが安定ですが、加速器などで人工的に作り出した原子核はより安定な原子核に壊変します。その崩壊様式のうち、ベータ崩壊は標準理論の弱い相互作用で非常に精密に記述され、構造をもたない素粒子である電子を放出する為、精密な弱い相互作用の研究を行うのに適しています。例えば、標準理論では時間の向きを反転させても物理法則は変わらない、「時間反転対称性」がほぼ成立していますが、原子核のベータ崩壊を利用するとこの対称性を検証する事が出来ます。スピン偏極した原子核の崩壊を考えましょう。ベータ崩壊では電子とニュートリノ、及び壊変後の娘核が生成されます。偏極ベクトルと運動量ベクトルの外積と内積で組まれるある量は、時間反転を行うと符号を逆転させる事から、偏極核から放出される電子は横方向に偏極してはならない、というのが時間反転対称性の要求となります。この横方向偏極は実験で測定可能な量である為、例えば崩壊確率がこの量に依存するかどうかを調べる事で、時間反転対称性を検証する事が出来ます。

下図は、ベータ線の 3 次元飛跡検出器である、ドリフトチェンバーです。卒研究生が読み出し回路や飛跡再構成のプログラム開発を行いました。横方向偏極度を測定するには Mott 散乱を利用します。D1 の川村君はこのドリフトチェンバーを世界で初めて、電子の横方向偏極度計として動作させるための開発に成功し、修士論文にまとめました。2007 年度はこの武器を用いて時間反転対称性の破れの実験を遂行する為、傾斜薄膜法という手法を用いて偏極した ^8Li 核を大量に生成することの出来る、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の加速器施設にてテスト実験をいよいよ進めて行く予定です。また、大量の偏極 ^8Li 核を同様に生成できる、大阪大学のバンデグラフ加速器でも開発実験を進めていく予定で、将来的にはカナダの TRIUMF 研究所での実験を考えています。これらは大学院生が主体となって進めているプロジェクトですが、卒研究生も重要な構成要素となる幾つかの測定器の開発などを共同して行っています。



横方向偏極度計としてのドリフトチェンバー



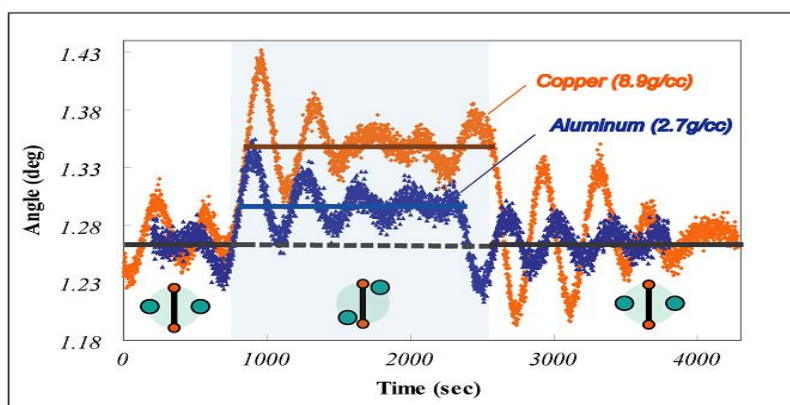
KEK-TRIAC での偏極生成実験

2. 近距離重力の実験的検証、我々の4次元を超える余剰次元の探索

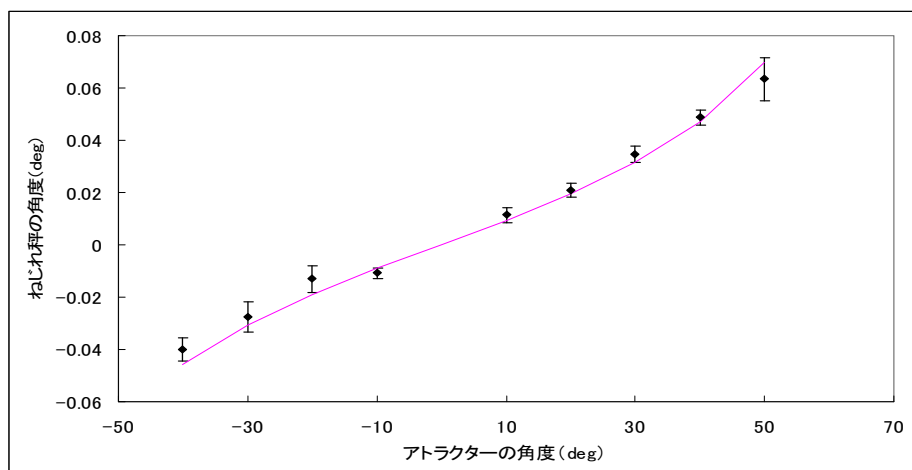
(筒井亮丞, 秦麻記, 秋山岳伸, 池田友樹, 二宮一史)

超対称性理論や超弦理論は世界が10次元や11次元であると预言しています。一方で素粒子の反応から熱力学まで、我々の知っている全ての現象は厳密に3次元空間を支持しています。しかし、盲点がありました。重力は他の3つの力に比べてあまりに弱く、素粒子のスケールはおろか実験室の大きさでもその基本である万有引力の法則は検証されていません。しかも重力だけは他の力と違って我々の4次元時空に束縛されずに自由に高次元時空全体を伝播する事が出来、その為に見かけの力の大きさが小さくなっているというシナリオがあり、万有引力の法則の検証により高次元の証拠が見つかる可能性が指摘されているのです。驚くべきことに、そのズレはミクロのスケールではなく、ミリメートル近辺で既に生じている可能性があります。

そこで、ミリメートルスケールでの重力の法則の検証をする、とてもわかりやすい実験を進めています。物体間の重力による、例えば振り子の変位を顕微鏡で観測する事でいきます。簡単な顕微鏡を用いても、振り子のワイヤーの位置は特殊な統計画像処理を行う事でピコメータの精度で決めることが可能になる事が我々の研究でわかりました。この技術は特許を取得しています。我々は高精度の振り子の製作、統計的画像処理技術の開発により万有引力の法則を限界まで小さいスケールで検証する研究をゼロからスタートさせ、ノイズの中から重力によるシグナルを確認出来る所までこぎつけました。3年目にあたる2005年度には重力の逆2乗則の定量的な検証を行う事について成功し、2006年度には高い信頼性で重力の確認、及びニュートンの法則と絶対値まで含めて矛盾しない結果を得る事が出来ました。ズレは1mmあたりから始まる可能性があり、今後はさらに高精度化を進めてより近距離での重力の逆二乗則の検証を進めて行く予定です。大学院生と卒研究生が共同して進めています。これまで通りの方法の他に、自由な発想で新しい測定原理を試みたり、国際宇宙ステーションの無重量環境を利用した実験の原理検証も進めています。



重力による変位の時系列データ。質量依存性も確認出来る。



計測された力の大きさと万有引力の法則との絶対値比較

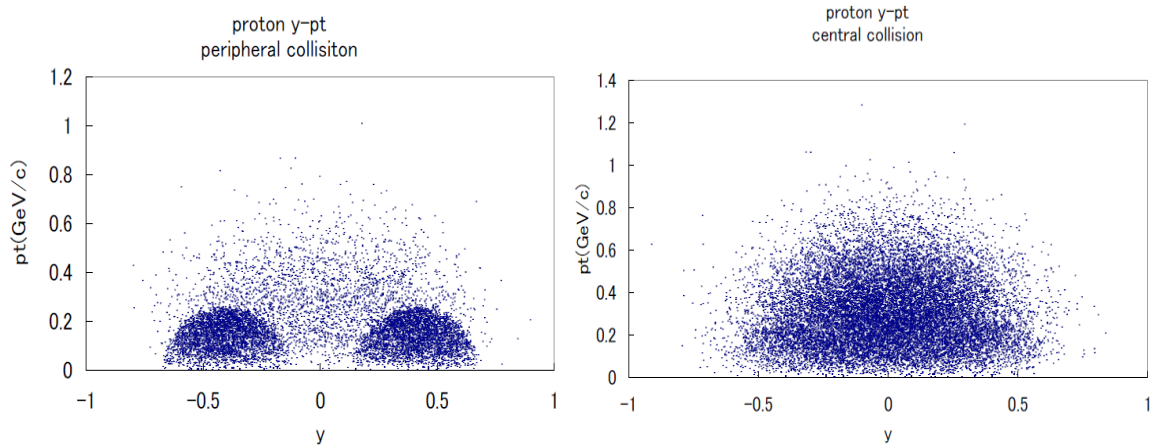
3. 高温高密度核物質の研究

(新田稔, 大石光, 羽木洋介, 原裕太)

原子核には原子の様に特別な中心がなく、陽子と中性子が複数互いに核力で結びついた構造をしており、中心から表面近傍まで、密度がほぼ一定であるという特徴があります。そこで、原子核とはハドロンで出来たとても特別な物質であると考え事が出来、核物質と呼ばれています。核物質の性質を調べる為、原子核同士を衝突させて反応の様子を観測することで多くの研究が行われてきました。通常の原子状態を形成する原子核はハドロン多体系としては極低温状態にある特別な状態にあると考えることも出来、液体状態に凝縮していると言えます。一方で、ビッグバン直後の高温状態では冷却された原子核を構成できず、ハドロン気体やクォークが自由に飛びまわる、クォーク・グルーオン・プラズマが形成されていたと考えられています。その為、宇宙の進化を明らかにする為には通常の原子核だけではなく、高温状態の核物質の性質をよく理解する必要があります。現在までに、高エネルギーでの原子核衝突実験で液体からハドロン気体相へ、さらにクォーク・グルーオン・プラズマ相への相転移現象などがよく調べられてきました。

ところが、衝突実験が行われてきた原子核は、自然界に自然に存在する安定核を用いて行われてきた為、陽子と中性子の数の比がある一定値付近から離れたものを試すことが出来ませんでした。つまり、陽子と中性子という 2 種類の物質が混ざった混合物質としての性質を知ろうという時に、その混合比を変えることが出来なかったのです。実は原子核の大きさ自身を大きく変化させると混合比を変えることは出来るのですが、系全体の大きさが大きくなってしまふ為に混合比だけによる効果を取り出すことが困難だったのです。2006 年年末に、待望の理研 RI Beam Factory が稼動を開始しました。この加速器は安定核ではなく、自然に存在しない不安定核を大量に生成する事が出来、これまで不可能だった陽子・中性子比だけを変化させ

て精密に実験をすることがついに出来るようになりました。我々は、この絶好の機会を捉えて早期に実験を行う予定で準備を急ピッチで進めています。このプロジェクトは院生と卒研生が共同して 2007 年度より本格始動しました。



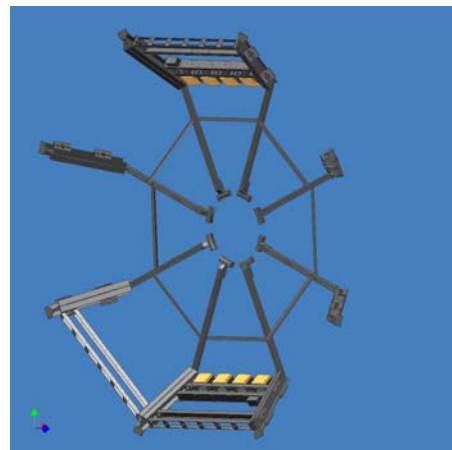
ウラン原子核同士の周辺衝突と中心衝突のシミュレーション結果

4. PHENIX における W 粒子生成実験

米国ブルックヘブン研究所の RHIC 加速器において、日本グループは共同して PHENIX 検出器を建設して高エネルギー重イオン衝突によるクォーク・グルーオン・プラズマの生成や偏極陽子衝突によるハドロンのスピン構造の探索などを推進してきました。ここでは、間近に迫った重心系エネルギー500GeVでの偏極陽子衝突実験に備えて、そこで生成が可能になる、弱い相互作用の媒介粒子である W と呼ばれるウィークボソンを選択的に捉えるトリガー装置の開発に参加しています。KEK, 理研, 京大との共同プロジェクトで今の所スタッフ（村田・栗田）以外の大学院生などは参加していません。データ収集や電子回路に興味のある人は是非参加してください。



PHENIX ミューオン検出器



導入を予定しているトリガー回路の位置

以上の様なテーマを柱にして、活動しています。以下は、これまでの卒研・修論のテーマです。

2003 年度 「実験室スケールでの万有引力の法則の検証」(卒論)

「位置検出型低エネルギーイオン検出器の開発」(卒論)

2004 年度 「ねじれ秤による近距離重力の検証」(卒論)

「ドリフトチェンバーの 3 次元トラッキングシステムの構築」(卒論)

2005 年度 「センチメートルスケールでの重力の検証」(卒論)

「飛跡検出器等のための多チャンネル読み出しシステムの構築」(卒論)

2006 年度 「近距離重力の直接観測による余剰次元探索実験」(卒論)

「シングルワイヤードリフトチェンバーの開発」(卒論)

「時間反転対称性検証実験のための電子横方向偏極度計の開発」 川村修士論文

「面白いことは何でもやる」をキーワードに、いつも新しいアイデアを探しています。何かを実際に実験でやってやろう！という気構えの学生が、我々の部屋に入ってきて一緒に頑張ってくれることを期待しています。

研究室の URL: <http://www.rikkyo.ac.jp/~jiro/>

連絡先など: jiro@rikkyo.ac.jp



低エネルギー原子衝突実験

小泉哲夫

(M2：伊藤裕章、橋本公瑛、M1：東島啓之)

我々の世界は原子分子からできている。世の中で起こる様々な現象もミクロにみれば、原子や分子がお互いに接近してきて相互作用を起こすということの積み重ねである。この様な一つ一つの原子分子の”衝突”過程を素過程というが、原子衝突の研究とは素過程を通して世の中で起こっていることを理解しようとするものといえるだろう。原子衝突の研究で取り扱う衝突エネルギーは上は数MeVから、下は熱エネルギー領域までと非常に広い範囲にわたっている。対象となる粒子も、電子・光子・原子・分子・それらのイオンと多彩である。これらの粒子が衝突すると相手から電子を奪ってしまうとか、相手とくっついてしまうとか、実に様々な現象が起こる。これは我々の世界の多様性を反映しているのだが、この多様性が原子衝突研究の魅力の一つである。さらに原子衝突の研究成果は広い分野に応用されている。宇宙空間での分子形成、核融合プラズマ、レーザー発振、化学反応、生体への放射線作用などの分野で原子衝突のデータが必要とされている。我々はその中でも低エネルギー領域（数十meV～数keV）でのイオンと原子・分子・クラスターとの衝突過程に興味を持って実験を行っている。低エネルギー原子衝突の実験は比較的小型の装置で行えるものが多い。そのため、学部4年や修士課程の学生でも、実験の全体を把握でき、中心になって実験を進めることが可能である。研究に興味のある方の参加を期待している。以下に我々の研究室で行われている研究を紹介する。

1. イオンと原子・分子の衝突過程

1-1) 多価イオンと原子分子の衝突

中性原子から電子を複数取った多価イオンはクーロンエネルギーとして大きな内部エネルギーを持っている。そのため多価イオンが原子・分子に衝突すると、たとえ衝突エネルギーが低くても標的原子・分子に大きな影響をあたえる。我々はハイテクリサーチセンタープロジェクトで導入した多価イオンビームラインを用いて、多価イオンと原子・分子の衝突過程の実験を行っている。高い内部エネルギーの影響が顕著に出ると思われる低エネルギー領域（数keV以下）での測定を中心とする。

多価イオンと標的原子が衝突すると、電荷移行や標的の電離がおこり標的原子が電離されるだけでなく、入射イオンの価数も変化する。このような多数の電子が関与

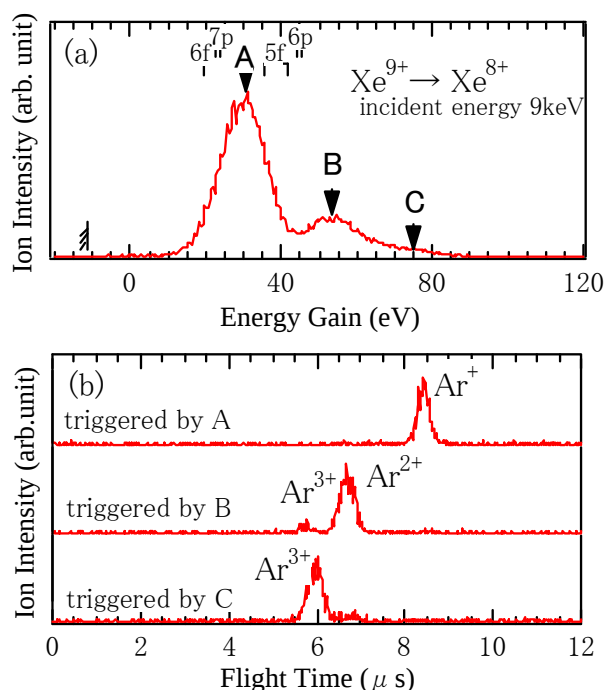


Fig.1. (a)Energy gain spectrum for observed single-electron capture processes of Xe^{9+} with Ar. (b)Time-of-flight spectra of recoil ions triggered by projectile ions.

するような衝突過程は理論的に充分解明されているとはいえない。このような多電子過程を詳細に理解するためには、入射イオンが荷電変換したイオンと標的原子が電離してできた生成イオンを同時計測する必要がある。当研究室では、イオンエネルギー損失分光法により電子捕獲したイオンの電子状態を同定し、そのとき生成したイオンを検出する同時計測装置を開発し電荷移行反応機構の解明を行っている。2006 年度には Ar^{q+} , Xe^{q+} ($q=4\sim 11$) イオンと希ガス原子との衝突過程での同時測定を行った。Fig. 1 に $\text{Xe}^{9+}+\text{Ar}$ の結果を示す。電荷移行反応の結果生じた入射イオンの電子状態によって生成イオンの価数が違うのが明瞭に分かる。

1-2) 二電子移行分光法

分子の 2 価イオンに関する情報を得るため二電子移行分光法を用いた測定を行っている。これは入射 H^+ イオンを標的分子に衝突させ、2 電子移行で生成した H^- イオンの運動エネルギーを精密に測定することによって、2 価分子イオンの電子状態を知る手法である。この方法を用いて NO や O_2 分子の 2 価イオンの電子状態について知見を得た。さらに装置を改良し分子 2 価イオンが解離してできるイオンと H^- イオンとの同時計測を可能にした。これにより分子 2 価イオンの始状態を指定した解離過程の解明が可能となる。

我々はアセチレン分子標的で同時計測を行い、アセチレン 2 価イオンの初期状態を指定した解離過程の解明に成功した。

測定結果を Fig. 2 に示す。図中の“Ionization Energy”はアセチレン 2 価分子イオンの内部エネルギーに相当する。 H^- イオンのエネルギー分析によりこの状態を特定し、同時計測によりアセチレン分子からの生成イオンを分析したスペクトルである。図に見る通り初期アセチレン 2 価分子イオンの状態により解離過程が異なることが明瞭に示されている。

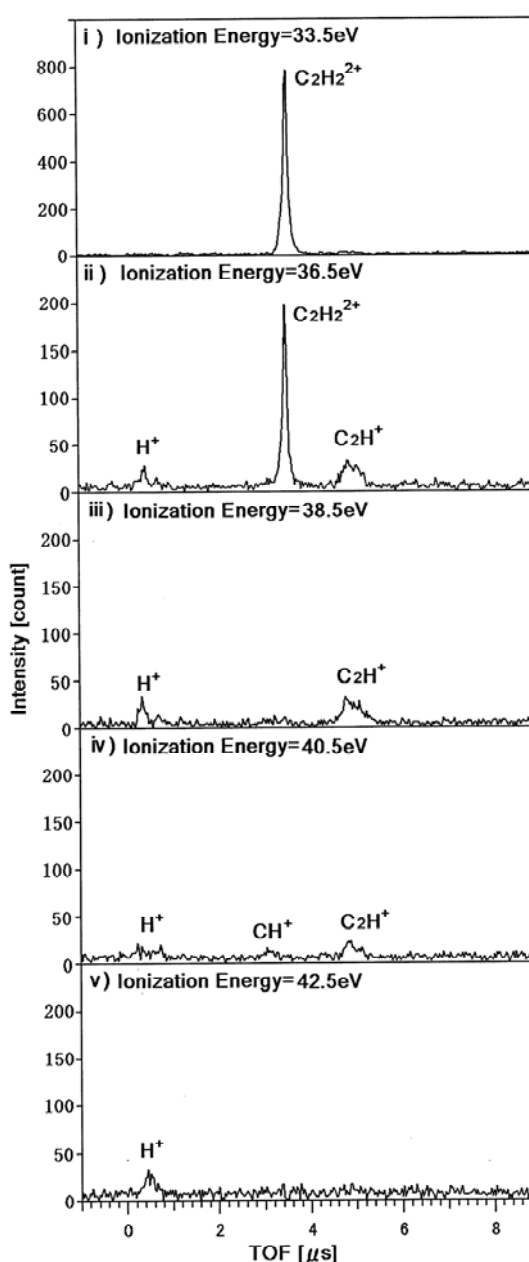


Fig. 2. 同時計測による生成イオンスペクトル

1-3) クラスターイオンの衝突過程

孤立原子分子が無数に集まって液体・固体になることはよく知られている。では何個ぐらいの原子分子が集まると孤立状態と違って液体・固体としての性質を示すようになるだろうか。これはたいへん面白い問題である。原子分子が数個から数百個結合してできる分子はクラスター分子と呼ばれ、孤立原子と液体・固体の中間の物質として注目を集めている。うまく条件を設定してやるとクラスター分子をたくさん作ることができる。このような条件では普通では結合しない希ガス原子でも結合しはじめ、He原子が10個も結合した分子などが見つかる。我々はクラスターイオンを大量に造るノズルビーム型クラスターイオン源の開発を行い、クラスターイオンと原子分子との衝突解離過程を通してクラスターの性質を実験的に研究している。クラスターイオンの衝突解離断面積から、クラスターの構造、クラスターの反応機構などの解明を目指している。

1-4) 低エネルギー領域のイオン分子反応

最近、宇宙空間にかなり大きな分子が存在することが分かってきた。これらの分子の生成過程としてイオン分子反応が重要だと言われている。また宇宙初期の星の形成過程においてもイオン分子反応断面積の知識が必要とされている。星間雲の温度は10~100 K (1~10 meV) といわれているから、このようなエネルギー領域でのイオン分子反応断面積の測定が重要になる。ところが低エネルギー領域の実験というのはそれほど簡単ではない。それは空間電荷効果という原理的制約があるため大強度の低エネルギーイオンビームを作るのが大変難しいためである。そのためいろいろな実験手法が工夫されている。移動管法はその一つで、冷却した気体の中にイオンを打ち込み気体分子との衝突で低エネルギーになったイオンを用いて実験を行う。我々は衝突エネルギー1 eV以下の領域（特に10 meV程度の領域）でのイオン分子反応断面積をこの移動管法を用いて測定している。

移動管で断面積測定を行うには、同時にイオン移動度という物理量を測定しなくてはならない。イオン移動度は気体中でのイオンの動きやすさを表す量で、イオンと気体原子の相互作用ポテンシャルに敏感な物理量である。鏡像異性体を持つカイラル分子ではカイラリティーの違いにより相互作用ポテンシャルが異なることが予想されるので、カイラル分子のカイラリティーをイオンの移動度で識別することが可能となる。2006年度の卒業研究では装置を改造し、カイラル分子を壊さずにイオン化する付着型イオン源を開発し予備実験を行った。カイラル分子の識別は生体反応などでは重要で、移動度を用いて行うのはユニークな手法である。

2. 光子を用いた原子分子の電離過程

ある程度のエネルギーを持ったイオンや光子が原子分子と衝突すると相手の電子をはぎ取る電離がおこる。単色の光を入射粒子とした場合には、原子の特定の準位にある電子を選択的に電離できるので、電離機構解明には好都合である。このような測定は、シンクロトロン放射光を利用することによって可能となった。我々は、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーや姫路にある放射光施設 SPring-8 で、光子による原子分子の電離の研究を行っている。最近、ほとんど測定例がない金属原子のK殻光吸収による原子の多重電離過程の研究を行っている。昨年度導入されたレーザープラズマ光源を用いれば立教大学においてこのような測定が可能となる。

3. ECR多価イオン源の開発

電子サイクロトロン共鳴 (ECR) を利用した ECR イオン源は大強度の多価イオン源として広く利用されている。我々の研究室でも NANOGAN という小型の ECR イオン源を導入し、実験に利用している。しかしながらより高価数で大強度のビームがとれるイオン源は様々な分野で必要とされている。理化学研究所の中川研ではこのような ECR イオン源の開発研究を行っており、当研究室では中川研と協力して研究を行っている。将来的にはイオン化領域のプラズマ中で起っている原子過程の観測も試みたい。

4. 放射線検出器の基礎的研究

原子衝突実験や原子核実験を行うには高性能の検出器は必要不可欠なものである。我々の研究室ではその検出器の基礎的な性質の測定を行い、実験への応用や新しい検出器開発を目指している。そのひとつとして低エネルギー粒子検出によく使用される二次電子増倍管の検出効率測定をおこなった。この測定は断面積の絶対値測定には不可欠なものである。もうひとつは日立化成工業との共同研究で「放射線検出器及び検出器素子に関する基礎的研究」を行っている（実験技術員村上氏との共同研究）。ここでは主に固体シンチレータの評価や物性に関する基礎的研究を行い、新しいシンチレータの開発を推進している。

希ガス固体および希ガスクラスタにおける 電子的励起および崩壊過程の実験的研究

平山孝人*

1 はじめに

私は以前からさまざまな様態の「希ガス」を対象とした研究を行ってきた。希ガス原子は「不活性ガス」と呼ばれることが示す通り、それ自身単体で安定に存在する単原子分子である。希ガス原子中の電子は許されている全ての軌道を占めていて、他の原子などと結合するための余っている手（結合手）を持たず、原子や固体といった全く違う様態でもその電子的性質はかなり似通っている事が知られている。そのため、原子数が最小の極限である孤立した原子、および最大の極限である固体、またその中間であるクラスターという3つの状態を「電子的励起過程」という一つのキーワードで統一的に理解することが可能であると考えている。

私の研究室では、希ガスクラスタ・固体の二つの相について「電子的励起過程」がどのように起こるのか、また励起状態がどのように移り変わっていくのかを明らかにするための実験的研究を行っている。

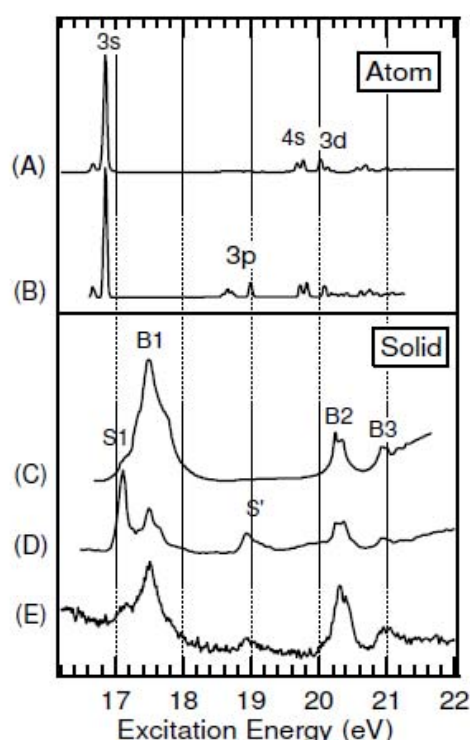


図 1: Ne を標的とした電子的励起状態の生成スペクトル。(A) Ne 原子の光励起。(B) Ne 原子の電子励起。(C) Ne 固体の光励起。(D) 光励起による Ne 固体表面からの励起原子脱離収率。(E) 光励起による Ne 固体表面からの全脱離収率。(D) と (E) の結果のみ私の研究結果である。

2 希ガス原子

希ガス原子に電子や光などを衝突させることにより、電子的な状態を変化させることができる。例として、Ne の場合の電子的励起状態の生成スペクトルを図 1 に示す。スペクトル (A) と (B) は Ne 原子を標的とした場合である。例えば 2p 軌道の電子を 3s 軌道に励起して $2p^5 3s$ 状態の原子を作るのに必要なエネルギーは、約 16.8 eV であることがこの結果から解る。また、ピークの高さがその励起状態の生成しやすさに対応する。光子で励起した場合 (A) と電子で励起した場合 (B) のスペクトルは良く似てはいるが、例えばスペクトル (B) で 18.6 – 19.0 eV に

*hirayama@rikkyo.ac.jp, <http://www.rikkyo.ac.jp/~hirayama/>

現れる $2p^5 3p$ 状態のピークは (A) には観測されていない。これは量子力学的な角運動量保存則である「選択規則」により、 $2p^5 3p$ 状態は光衝撃では生成できないためである。

希ガス原子を標的とした実験は古くからいろいろな手法を用いて行われ、また理論的にも数多くの研究例があるため、原子の電子的励起状態はかなり良く解ってきている。後述する希ガス固体と希ガスクラスターの研究を行うにあたっては、原子で得られている情報が役に立つことが多い。

3 希ガス固体

前述した通り、希ガス原子は結合手を持たないために通常環境では他の原子と結合せず、結合エネルギーが非常に小さい。Ne, Ar, Kr, Xe 固体の結合エネルギーはそれぞれ 0.02 eV, 0.08 eV, 0.12 eV, 0.17 eV であり他の物質（例えば鉄：4.3 eV, 塩：7.9 eV）と比べて極端に小さいため、固体（氷）を作るためには極低温にする必要がある。固体を作るために必要な温度は、Ne の場合は 7 K 程度以下、Xe の場合は 50 K 程度である。

Ne 固体を標的とした場合の電子的励起状態の生成スペクトルを図 1(C) に示す。原子を標的とした場合とはピークの位置・太さが大きく異なっていることがわかる。しかし、その違いを詳しく調べてみると、原子の場合に観測されているピークが全て少しずつ高エネルギー側にずれ、かつ太さが太くなっていると考えようまく説明ができることが知られている。希ガス原子は安定であり周囲の粒子と反応を起こさないため、原子の場合でも固体の場合でも（多少の違いはあるが）電子的励起に関してはほぼ同様の過程が起きていると考えて良く、このことは、さまざまな状態の希ガスを研究するうえでの利点の一つとなっている。

Ne 固体中に Ne 原子の最外殻電子を一つ励起してできる $1s^2 2s^2 2p^5 3s$ 状態を生成した場合について考えてみる。この励起状態は約 10^{-8} 秒程度の寿命を持ち、その後光を放出して基底状態 ($1s^2 2s^2 2p^6$) に落ちる。孤立した原子の場合にはその時間内に他の原子と出会う確率は非常に低いですが、固体のようにすぐそば（固体 Ne の場合は隣の原子との距離は 0.32 nm）に原子が存在するような環境では、 10^{-8} 秒という時間でも相互作用を起こすには十分な時間である。 $1s^2 2s^2 2p^5 3s$ という励起状態は、 $1s^2 2s^2 2p^5$ という状態の正イオンの外側に電子が 1 個存在している状態であり、アルカリ金属である Na 原子（電子配置： $1s^2 2s^2 2p^6 3s$ ）と似た状態になる。また、電子を一つはぎ取った（電離した）場合（電子配置： $1s^2 2s^2 2p^5$ ）は、ハロゲン元素である F 原子と同じ電子配置である。アルカリ金属元素もハロゲン元素も非常に反応性が高いことが知られている。すなわち、基底状態では「おとなしい」希ガス原子も、励起状態やイオンになった途端に非常に反応性が高くなり、周囲の原子と様々な反応を起こす。孤立した原子を標的として実験を行った場合とは違い、固体を標的とした場合にはこのような励起原子と周囲との相互作用を効率的に観測することが可能となる。

図 1 のスペクトル (D) と (E) は、それぞれ固体 Ne を光で励起した時に脱離する励起原子と全原子の脱離強度の入射光エネルギー依存性である。固体中に生成した励起原子の量はスペクトル (C) のピークの高さで知ることができるが、「励起後の脱離」という現象を通してみると、たくさん励起させたからと言ってたくさん脱離するとは限らないことが解る。また、同じ「脱離」という現象を見ても、脱離する原子の種類によってその様子が全く違うことが (D) と (E) の比較から明らかである。これらの結果を解析することにより、固体を構成する原子が励起後に周囲の原子とどのような相互作用を起こすのかなど、原子レベルでの詳細な情報を得ることができる。

3.1 低エネルギー電子衝撃による希ガス固体からの脱離現象の観測

低エネルギー (10 eV ~ 50 eV) 電子衝撃による固体 Ne からの脱離励起原子の脱離収率・脱離エネルギー分布・脱離角度分布の試料温度依存性を測定している（試料温度範囲：4.5 ~ 7 K）。

固体表面の結晶構造が脱離角度分布に影響を及ぼすことが明らかになり、現在、より詳細な測定および解析を行っている。

3.2 低速多価イオンと希ガス固体の相互作用

2001年度にハイテクリサーチセンター整備事業により購入した電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 型多価イオン源を使用して、多価イオンと希ガス固体相互作用に関する実験を行っている (図2)。多価イオンとは価数が2価以上のイオンのことで、それ自身の持つ内部 (ポテンシャル) エネルギー (= イオン化エネルギーの総和) が大きいため、多価イオンが固体表面に衝突した際には、固体を構成する原子の電子状態やそれらの幾何学的構造に大きな影響を及ぼす。現在、主に脱離粒子の観測を通して、非常にもろい希ガス固体の表面および固体中で、多価イオンの持つ巨大な静電エネルギーがどのように消費されるのかを定量的に明らかにすることを目的とする実験を行っている。

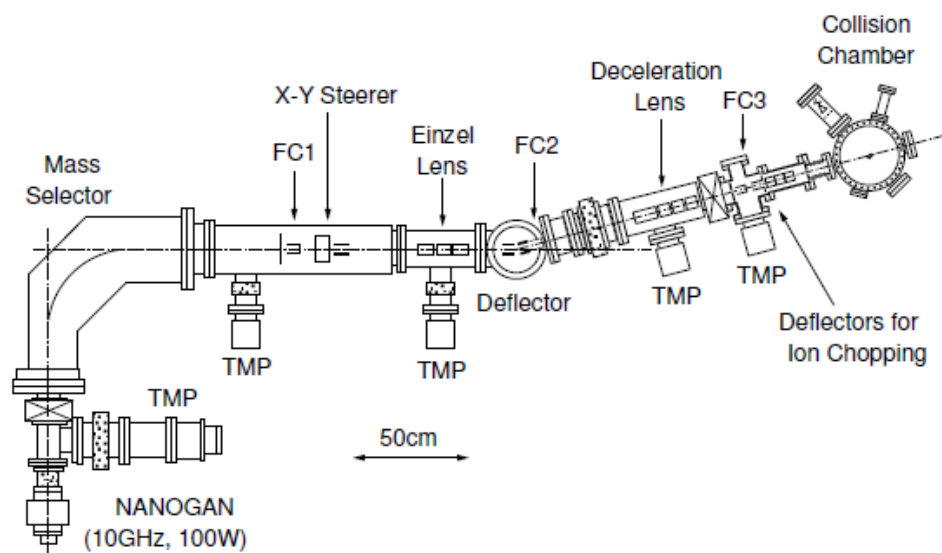


図 2: 希ガス固体-多価イオン衝突実験装置全体図。

2006年度は主に多価イオン衝撃による希ガス固体からの脱離過程の入射イオン価数依存性の観測を行った。 Ar^{q+} ($q = 1, 4, 6$) 衝撃により固体 Ne 表面から脱離するイオンの飛行時間スペクトルを図3に示す。脱離するイオンの主なものはクラスターイオン (Ne_n^+ , n : クラスターサイズ) であることがわかる。また、入射イオンの価数によってモノマーイオン (Ne^+) とダイマーイオン (Ne_2^+) の強度比が変化している。詳細な測定の結果、 $n \sim 7$ 程度以上の大きなクラスターのサイズ分布は入射イオンの価数には依存せず、運動エネルギーにのみ依存することがわかった。この大きなサイズのクラスターの脱離強度を基準にすることにより、入射イオンのポテンシャルエネルギーによる脱離 (Potential Sputtering) 収率の入射イオン価数依存性を見積もった (図4)。この結果から、固体 Ne における Potential Sputtering 収率は入射イオンの価数の3乗に比例して増加することが明らかになった。この結果は既存の脱離モデルでは説明できず、この結果の理解のためには新しいモデルの構築が必要である。

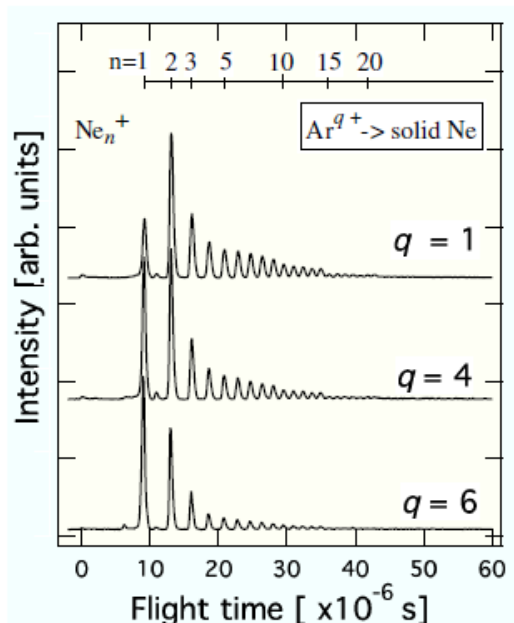


図 3: Ar^{q+} 衝撃による固体 Ne 表面からの脱離イオンの飛行時間スペクトルの入射イオン価数依存性。入射 Ar^{q+} イオンのエネルギーは 1keV。

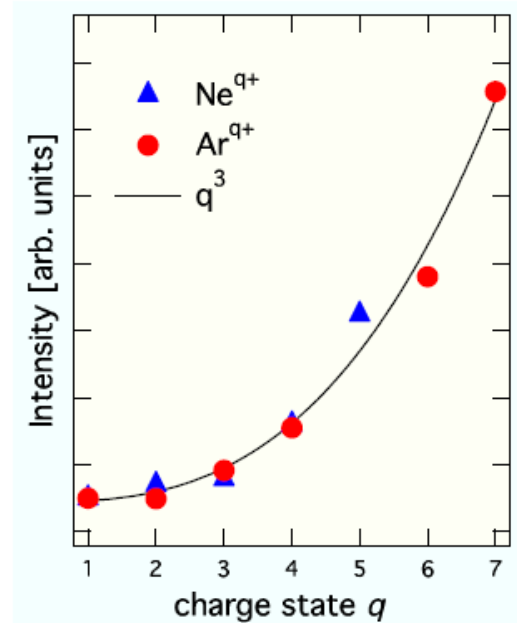


図 4: Ar^{q+} , Ne^{q+} 衝撃による Ne 固体の Potential Sputtering 収率の入射イオン価数依存性。

4 希ガスクラスタ

クラスタとは原子が有限個集まったものである。実験的に生成可能なクラスタの大きさ（原子数）は、2～数百万個程度であるが、その大きさにより「物理」が変わってくる。原子数が10個程度以下では、「原子」としての性質を強く示すが、例えば100万個（直径が原子数約100個分）程度になるとそれはほぼ「固体」としての物性を示す。その中間の状態を観測すると、物質の性質が「原子」から「固体」へどう変化していくのかを知ることができる。

4.1 電子エネルギー損失分光法を用いた希ガスクラスタの電子的励起過程の研究

この研究では、断熱膨張法を用いて希ガスクラスタビームを作り、そこに低エネルギー電子を衝突させることにより励起状態原子を生成し、その生成エネルギーおよび生成確率のクラスタサイズ依存性を広い範囲のサイズ（原子数数十～数十万）で測定する計画である。特に、電子的励起過程という観点から、どれくらいの数の原子が集まったときに「固体」としての性質を持つのか、という点に興味を持っている。また、クラスタはほぼ球形をしているので、固体と比べると表面を構成する原子数の割合が高い。そのために固体を標的とした場合には観測が難しい表面第1層目のみで起こる励起（表面励起子）を感度良く測定することが可能である。

この研究のために製作した電子エネルギー損失分光装置を図5に示す。標的とする希ガスクラスタビームは粒子密度が低いため、観測される信号も非常に弱いことが予想される。この困難を克服するために電子ビームとクラスタビームを合流して衝突させる、合流ビーム法を採用した。現在 Ar クラスタを標的とした電子エネルギー損失分光実験を行っている。

昨年度、クラスタサイズが数100個程度の Ar クラスタを標的として実験を行い、クラスタ起源の信号の観測に成功した。現在統計精度を向上させた測定を行っている。

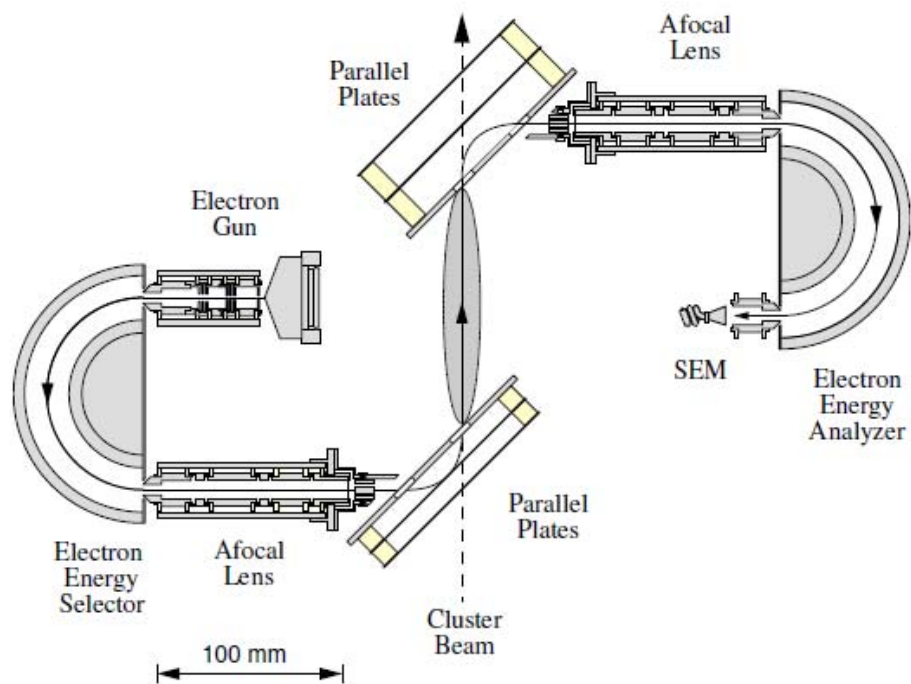


図 5: 合流ビーム法を用いた希ガスクラスターの電子エネルギー損失分光装置。実線は電子ビームの軌道，破線はクラスタービームの軌道を表わしている。

宇宙地球系物理学研究室

教職員	教授	吉森正人、山本博聖、北本俊二
	准教授	柳町朋樹、平原聖文
	実験技術員	村上浩之、関口宏之、須賀一治
研究員	PD	森井幹雄、小笠原桂一
大学院生	後期課程	
	D2	須藤敬輔
	前期課程	
	M2	荻田喬行、齋藤恒介、武井大、古山亮、本間圭一
	M1	後藤範光、宍戸洋一、柴田拓磨、姫野悟

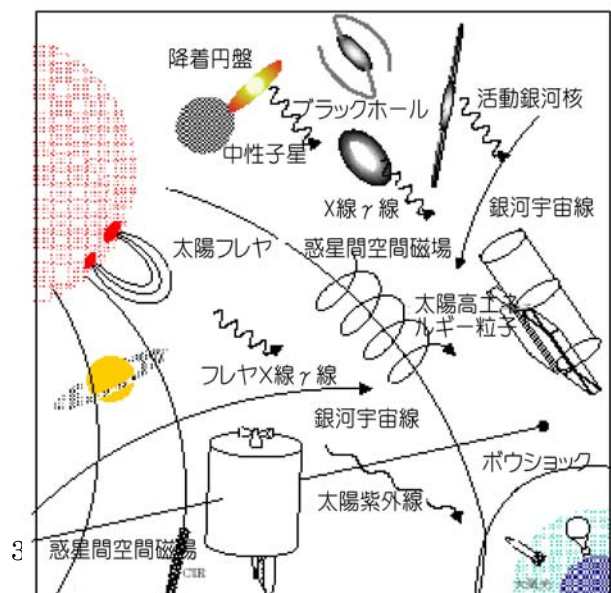
研究室概要

地球は広大な宇宙に浮かび、太陽の周りを巡る宇宙船に例えられる。この地球には、我が銀河系の内外を起源とする電波からガンマ線に及ぶ電磁波や宇宙線と呼ばれるエネルギーの高い粒子が、昼夜を問わず降り注いでいる。そして、太陽からは、電磁波の他に秒速数 100 km にも達する高速のプラズマ流（太陽風）が絶えず吹き付けている。また、時々太陽表面で起こる爆発現象（フレア）により、大量の紫外線やX線、粒子さらには磁気流体衝撃波が地球を襲い、様々な地球物理現象（磁気嵐やオーロラなど）が引き起こされ、人間活動にも影響を及ぼしている。

地球は厚い大気のパールに包まれており、また磁場を持っている為に、宇宙空間からやってくる宇宙線や太陽風さらには太陽面爆発からの強い放射線の大部分が、地球表面にまで侵入できず、我々人類の生命圏が守られている。地球表面には、大気が主役を務め地球環境に大きな関わりを持つ「大気圏」があり、その外側には、地球の大気・磁場と太陽風とが様々な現象を繰り広げる「電離圏」「磁気圏」がある。さらに地球から離れると太陽の勢力圏である「惑星間空間」や「太陽圏」が広がっており、その外には恒星の世界である「星間空間」、さらには無数の銀河が散在する「銀河間空間」が広がる。

そこには、太陽に代表されるような普通の星とともに、ブラックホールや中性子星のような特殊な天体等が多種多様な現象を引き起こし、宇宙や銀河の進化に重要な役割を演じている。

宇宙地球系物理学研究室では、ロケットや人工衛星を利用し宇宙空間から、あるいは地上からの様々な観測により、地球上層の大気



光、磁気圏プラズマ、太陽面爆発現象、太陽圏粒子・銀河宇宙線、及びブラックホールや中性子星をはじめとする様々な天体の研究を進めており、各研究分野の発展に大きく寄与している。また、これらの観測に利用される装置の開発も同時になされている。本研究室の観測の多くは、宇宙科学研究本部および関連国際協力プロジェクトに参加して行われており、国内外の共同研究として展開されている。

以下に本研究室で展開されている研究内容を分野別に紹介する。

[宇宙物理学]

我々の住む宇宙は、多種多様な環境が混ざり合って存在しながら、開闢以来進化を続けている。観測が進むにつれて、宇宙の進化と形態は解き明かされていく。しかし、一方で新たに数々の疑問が生み出される。最新の観測を進めながら、最新の疑問に答えるべき宇宙の研究を進めている。

コンパクト星とその周辺の物理学：宇宙に存在する中性子星や白色矮星は、通常の星のように物質の熱運動によって自己重力を支えるのではなく、電子や核子の縮退圧で自己の重力を支え、形を保っている。ブラックホールは、自己重力を支えることができなくなった状態である。これら3種の天体をコンパクト星と呼ぶ。これら不思議な天体が実際にどのように存在しているのか。また、その周りでは、超強重力場、超高温、超高压、超強磁場等の極端な環境での実験室では到底実現できない物理現象が繰り広げられている。それら物理現象を解き明かし、そこからコンパクト星の性質を観測的に研究している。

星や星間空間の物理学：宇宙に広がる星と星の間の空間には、数百万度で 1 cm^3 に原子1個程度という高温低密度空間から、冷たいガス雲である暗黒星雲に至るまで、いろいろな温度と、広範囲な真空度の環境が分布する。その中で星が形成されたり、衝撃波が伝わったり、実験室での物理学とは違った現象が繰り広げられている。さらには、暗黒星雲では星が形成される。そして生まれた星は光や物質の放出によって回りの空間に影響を及ぼす。これら星と星間空間を研究することで、星の進化、銀河の進化まで研究を進める。

銀河と銀河の間には、さらに低密度な空間がある。銀河が集まった銀河団と呼ばれる天体は宇宙で最も大きな重力で結びついた構造と考えられており、そこには高温ガスが充満してX線を放射している。これらの高温ガスを観測的に研究することで、現在宇宙を支配していると考えられている暗黒物質やさらには暗黒エネルギーについて、観測的に研究を進める。

[太陽地球系物理学]

太陽・惑星間空間・地球大気圏を一つの環境系としてとらえ、21世紀の宇宙時代における新しい視点から見た太陽と地球の関わりとその重要性について研究を行っている。

太陽物理学：宇宙の中でごく平凡な恒星である太陽が、どのようにして誕生し、そしてどのように進化するか、太陽エネルギーはいかにしてつくられるのか、太陽面での活動現象とは何

か、そして太陽の地球環境への影響についての研究を進めている。

惑星間空間物理学・宇宙線物理学：惑星間空間はプラズマと電磁場により支配されている。特に太陽コロナからは可視光や紫外線以外に太陽風プラズマと呼ばれる高速プラズマ流が太陽磁場と共に惑星間空間へと流出し、太陽系内の宇宙空間を支配している。ここは地上と比べれば限りなく真空に近く、それらが相互作用する相手も存在しないため、取り立てて物理の対象となるような領域ではないと思われるかも知れない。しかし、太陽活動に起因する乱れが伝わり成長することにより、極めて活動的な領域が生成される。また、太陽系外から流入する宇宙粒子線に、少くない影響を及ぼす領域でもある。

惑星磁気圏・電離圏物理学：一方、太陽風は地球磁場や地球大気と複雑に相互作用しており、その結果、ジオスペースと呼ばれる宇宙環境を形成している。これら惑星間空間物理学では、プラズマと電磁場の物理過程を基礎とし、地球近傍の宇宙空間における自然現象について研究している。

地球超高層物理学：太陽からの様々な影響を受け地球大気は変動している。更に近年は人間活動も大気にとっては無視出来ない効果を及ぼしつつある。最も地表に近い対流圏、その上層に成層圏、中間圏、熱圏と温度構造を基に名称がつけられている。これらの大気構造や大気中で起こる物理・化学過程の研究が行われている。

太陽コロナにおける磁気プラズマの爆発現象と地球環境

吉森 正人

1. 研究のねらい

地球環境を決定している最も基本的なエネルギー源は太陽光であり、そのエネルギーフラックスは地球軌道では $1.96 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ のほぼ一定値であり、太陽定数と呼ばれている。しかしながらこの太陽定数が、太陽表面における活動度によって 0.1% のオーダーで変動し、太陽活動度と相関関係を示すことが衛星観測からわかってきた。太陽表面で発生するフレアやコロナ質量放出といった大規模な爆発現象やプロミネンス等のさまざまな活動現象を支配しているのは、黒点の磁気エネルギーであるが、そもそも太陽活動は、どのようなメカニズムでおこり、そしてそれがどのようにして太陽光のエネルギーフラックスの変化を引き起こすのかを解明することは、太陽物理学の最も基本的な研究課題のひとつであり、地球環境への影響を考える原点でもある。

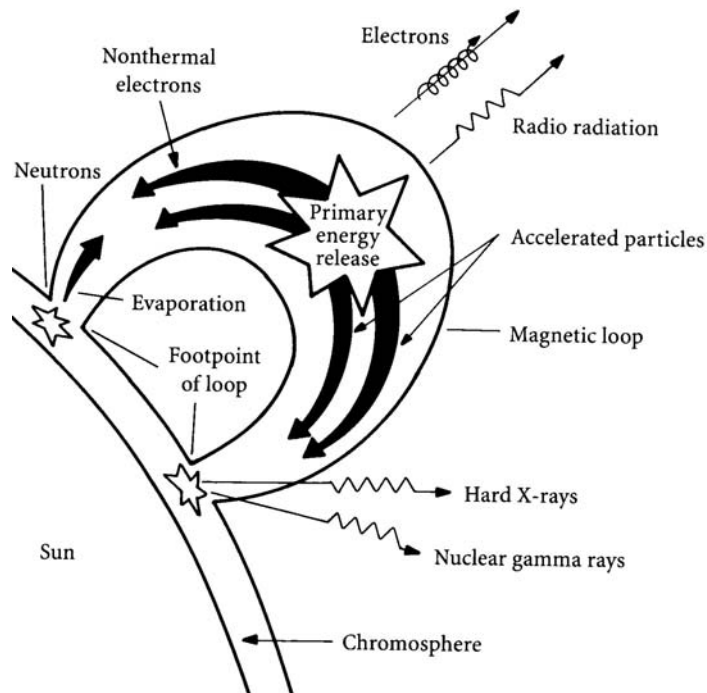
本研究の目的は、太陽活動の中で最も大規模なコロナの磁気プラズマの爆発現象(フレア)を、非熱的プロセスに重点を置き、コロナ中での高エネルギープラズマ粒子の生成過程を、人工衛星で観測された X 線、ガンマ線、粒子データの解析から明らかにしようとするものである。また太陽活動と関連して、地球大気に入射する銀河宇宙線および太陽高エネルギー粒子が、成層圏および対流圏で生成する放射性元素 Be-7 の量を地上で連続的に測定し、高層における複雑な大気の循環運動の時間変動を解析する。高層大気の運動は、地球環境の変化にも影響を与えるが、これまでの気象学では研究されていない部分も多くあり、放射性核種 Be-7 をトレーサーとして、太陽物理学、地球物理学そして環境科学の学際領域である地球環境の変動を太陽活動の観点から解明しようとするものである。

2. 研究成果

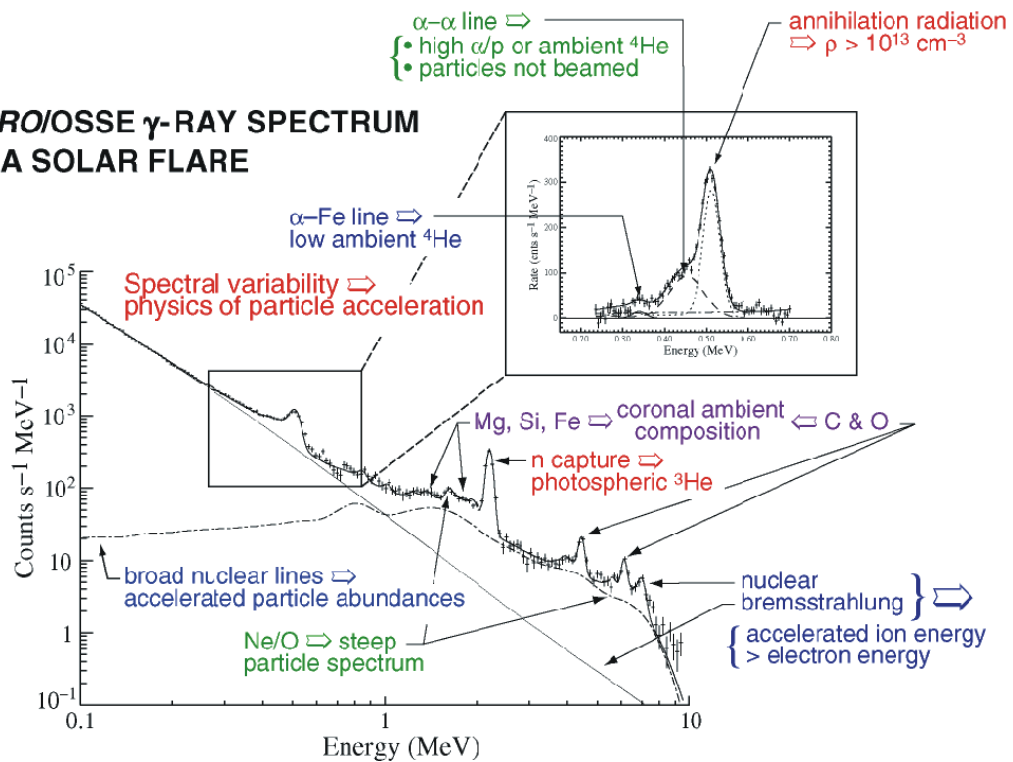
(1) 太陽面爆発における高エネルギー現象

太陽フレアは、黒点磁場に蓄えられたエネルギーが、磁力線のつなぎかえにより短時間のうちに解放され、コロナのプラズマ粒子を数千万度の高温に加熱したり、 100MeV 以上の高エネルギー粒子をつくり出す爆発現象であり、地球環境にもさまざまな影響を及ぼすことが知られている。1991–2000 年に日本の太陽観測衛星「陽光」によって得られた多数の大型フレアから放射された X 線およびガンマ線ラインのデータを詳細に解析し、電子の制動放射ならびに陽子の原子核反応の過程を明らかにした。観測された 100keV から 100MeV におよぶ広帯域電磁放射スペクトルからコロナプラズマの加速メカニズム(プラズマ波動と粒子との統計加速)を推測し、また非熱的プラズマ粒子のエネルギー総量を求め、磁気エネルギーの $1\text{-}10\%$ が粒子の加速に使われることを示した。

A canonical model of a solar flare

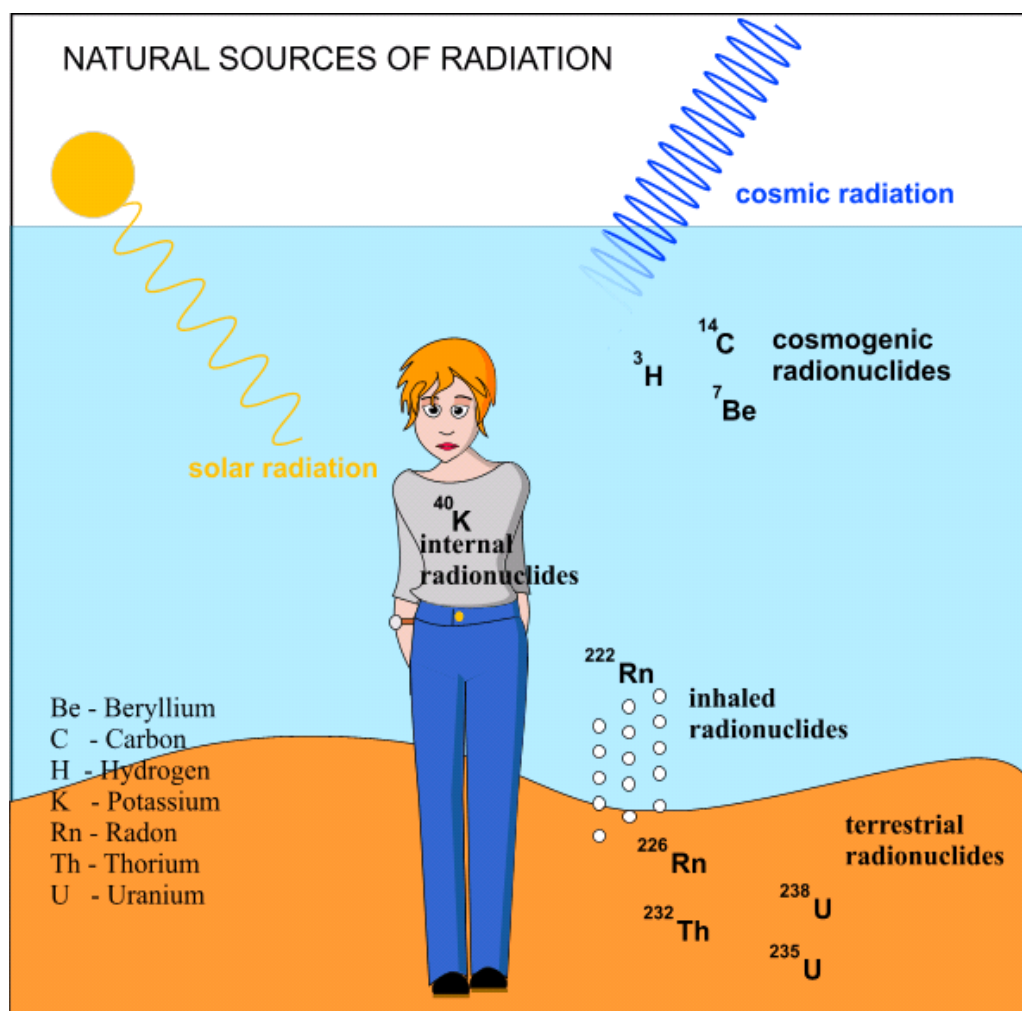


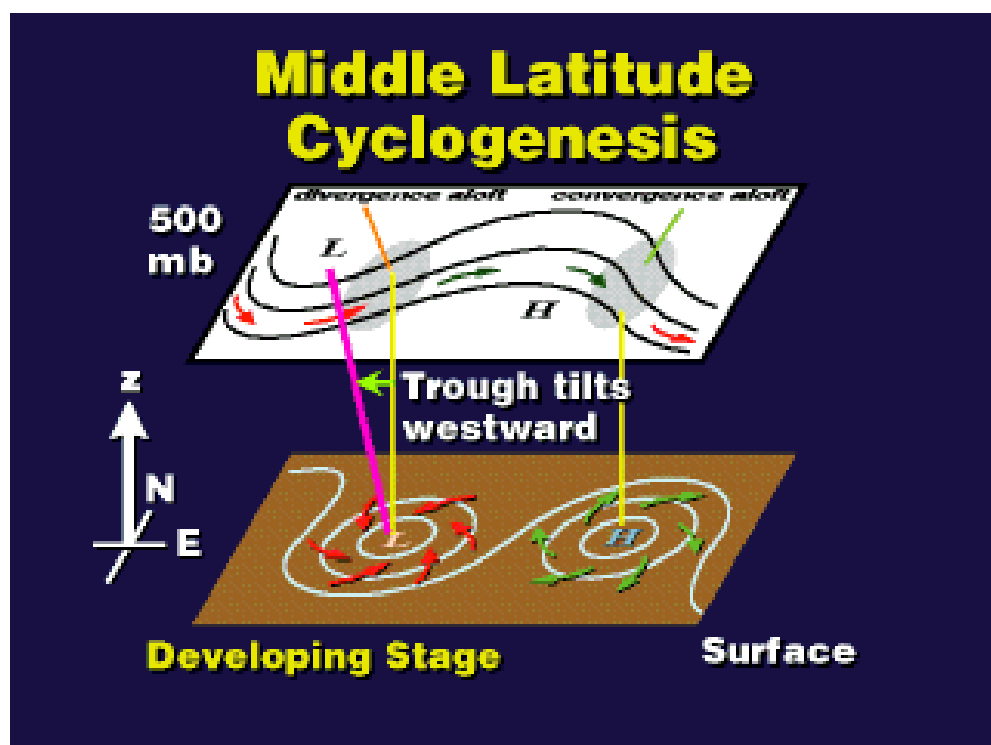
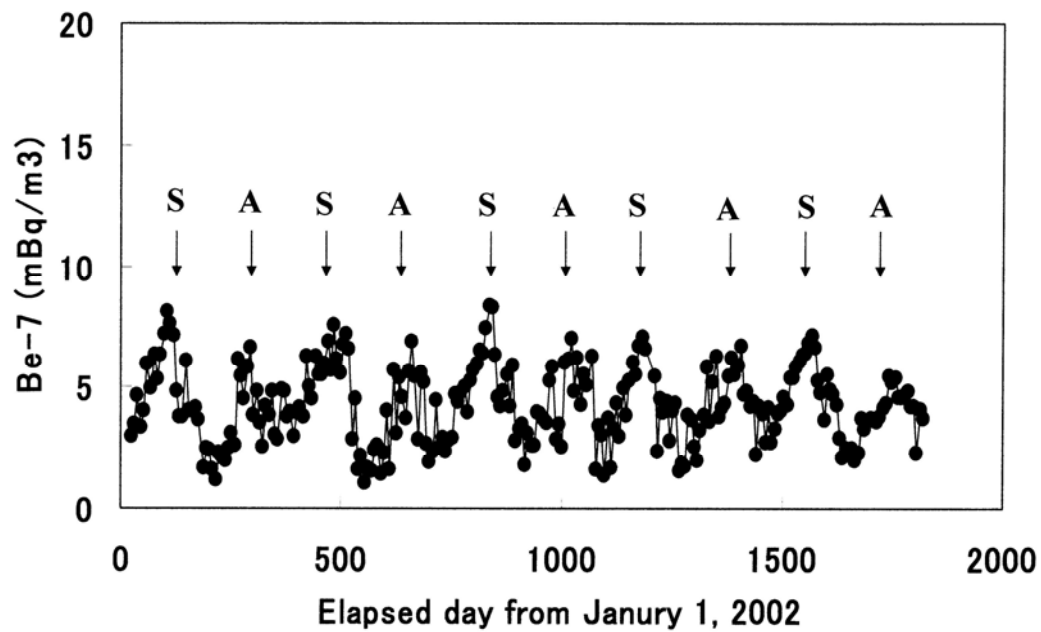
CGRO/OSSE γ -RAY SPECTRUM OF A SOLAR FLARE



(2) 放射性トレーサーBe-7 および Pb-210 を利用した高層大気運動の研究

地球大気中には銀河宇宙線や太陽高エネルギー粒子によって生成される宇宙起源の放射性核種 Be-7(半減期 53 日)や地球起源の Pb-210(半減期 22 年)などがエアロゾルに付着し、成層圏から対流圏の中を運動している。地表に降下する Be-7 および Pb-210 をダストサンプラーにより収集し、これらが放射するガンマ線のスペクトル分析から、地表へ降下する Be-7 および Pb-210 の量を決定した。2002 年からの連続測定からこれら 2 つの降下量は、春と秋に増加を示す明らかな季節変動が存在することがわかった。この結果は、成層圏および対流圏における大気運動に起因すると推定されるが、特に日本上空では春と秋に偏西風によって移動性高気圧と温帯低気圧が対になって周期的に発生するが、これに伴って高層大気に大きな大気循環が発生し、Be-7 および Pb-210 の地表への降下量が増加するプロセスを提案した。





3. 今後の課題

太陽フレアの研究は、日本の「陽光」衛星が 2000 年に観測を終了したために、2001 年 NASA が打ち上げた新しい太陽衛星「RHESSI」によって得られた X 線およびガンマ線のスペクトルとイメージの精密データを解析して、さらに詳細なフレアにともなう高エネルギー粒子生成のメカニズムを追及する。「RHESSI」衛星ではフレア時に 10MeV 以下のエネルギーで、いつ、どこでガンマ線が発生したかがわかるイメージデータが得られるので、粒子加速に関する新たな手がかりが得られるものと期待される。

また放射性核種を利用した高層大気運動の研究では、これまで太陽活動の影響がどの程度あるかが、理解されていない。この点を調べるためにさらに連続観測を継続すると同時にグローバルな観点から高層大気運動を調べるために、日本以外に高緯度地帯における Be-7 および Pb-210 の連続測定計画をロシア科学アカデミー極域研究所の協力を得て進めている。予備的測定の結果から、1月から2月初めの春先にかけて、Be-7 の降下量が増加が見られ、それが何に起因しているかを、今後解明していきたい。

超高層大気の研究

山本博聖、関口宏之

わたしたちは地球に空気があることをあまり認識することなく毎日の生活を送っている。高い山に登ったときに空気が薄い、あるいは天気予報で「冷たい空気が南下してきます」と聞くときにその存在に気づく。大気は惑星などがその星の周りに持つ気体を呼ぶときの名称で、地球の場合は特に空気と呼んでいる。地球大気は窒素分子 (N_2) 78%と酸素分子 (O_2) 21%そしてアルゴン (Ar) 1%を主成分としていて、窒素 4 酸素 1 の割合は高度 100km までほぼ一定である。これらの主成分と、雨を降らせる水蒸気 (H_2O)、温暖化と密接に関連している二酸化炭素 (CO_2) や太陽から来る有害な紫外線を防いでいるオゾン (O_3) などを微量成分として地球の大気は構成されている。気象現象に直接関与している大気は地表から 10km ほどまで、飛行機が飛行している高度もほぼ 10km である。さらにずっとはるか上空のスペースシャトルが飛行する高度 (ほぼ 300km 上空) にもほんのわずかな (地表密度の 1 千億分の 1 程度) 大気がある。この高度付近まで地球引力の大きさは地表面とほぼ変わらない。日常、この領域付近からはるかかなたの深宇宙にわたる広大な領域をすべて「宇宙」と呼んでいる。スペースシャトル高度は、大気が極めて薄く、ほとんど真空と呼べる場所である。地球半径 6400km に比べれば地球表面からすぐそこである。その領域までに存在している大気がわれわれを守ってくれている。

地球大気の温度は地上から上空に行くに連れて少しずつ下がってゆき、高度 10km (地表と比べて気圧は 3 分の 1、密度は半分) では 220K 付近 (絶対温度表示、摂氏ではマイナス 50 度) にも達している。ここから上昇に転じ高度 50km 付近 (気圧 2000 分の 1、密度 1000 分の 1) で約 270K に達したあと、再び高度の上昇とともに下がり、高度約 90km から 100km 領域 (気圧 100 万分の 1 以下、密度 50 万分の 1 以下) では、最も低い温度 (180K から 220K) になる。さらに上空では太陽からの極端紫外線を吸収する効果で暖められ上昇する。温度構造をもとに、地上から 10km 付近 (緯度によってこの高度は 9km から 17km の幅がある) までを対流圏 (Troposphere), 50km 付近までを成層圏 (Stratosphere), 90km 付近までを中間圏 (Mesosphere)、その上空を熱圏 (Thermosphere) と呼ぶ。

わたしたちの日常の生活は対流圏の中に限られているが、太陽から来る有害な紫外線の大部分を防ぐ役目を果たしているオゾンの多くは成層圏に存在していることは、超高層の大気がわたしたちに密接な関連を持っている一つの例である。また、これ以外にも、航空機の飛行高度の 10km 付近では、中緯度地域 (日本やアメリカ、ヨーロッパ諸国などが位置している領域) においては、年間を通して西風が吹いている。このため日本からアメリカに向かう場合と帰国の場合とでは飛行機は同じルートを行き来するのではなく、西風を利用したり避けたり工夫

がされている。近年の飛行機では飛行ルートや現在位置を地図の上で示してくれているので是非ルートの違いを確認して欲しい。

高度 10km から 100km 付近を中層大気 (Middle Atmosphere), さらに上層までを含めて超高層大気 (Upper Atmosphere) と呼ぶ。成層圏オゾン (Stratospheric Ozone) の役割や、南極領域で発見されたオゾンホール (Ozone Hole)、そして地球温暖化など地球大気はこの数年できわめて身近な存在であることが認識されてきている。

わたしたちは主として夜間大気光の地上観測ならびに地上に到達する太陽紫外線強度の観測を進めてきている。これらの観測結果からメソポーズ領域の温度を導出し、中間圏大気の物理化学過程の解明、そして紫外線結果から得られる大気オゾンの変動についての研究を行っている。現在取り組んでいる研究について以下に述べる。

1. メソポーズ領域の大気温度の観測

メソポーズ領域 (Mesopause Region) は高度 90km 付近を指し、大気温度が最も低温の領域である。ただし、最近最低温度領域は 100km 付近にあるとの研究結果も出され、メソポーズ領域の定義も変わることが考えられる状況にある。この領域でオゾンと水素原子の反応の結果生まれた水酸基 (OH) がかすかな光 (OH 大気光と呼ぶ) を出している。太陽光はもちろん月明かりでさえも OH 大気光よりはるかに明るい。このため月明かりの影響が少ない時期を選んで夜間に観測を行う。OH 大気光は可視域から赤外領域にわたり放射しているが、わたしたちは近赤外線領域にある OH(3-1)帯を観測対象としている。これまでに夏季に低温、冬季に高温を持つ 1 年変動が観測されていて、地球規模の大きな大気の循環運動の結果であるとして理解されている。短い時間スケールでも変動し、これの原因は対流圏あたりでの小さなスケールの擾乱が上層へ伝播した結果であると解釈されている。

地上観測は池袋キャンパス 13 号館 (東経 139.7 度、北緯 35.7 度) ならびにブラジルのサンマルチーニョ観測所 (西経 53.8 度、南緯 29.4 度) で行っている。ブラジルでの観測はブラジル宇宙科学研究所 (INPE) との協力で進めている。

2. 太陽紫外線強度の地上観測

太陽紫外線は A 領域 (波長 315nm から 400nm)、B 領域 (280nm から 315nm) そして C 領域 (190nm から 280nm) と分類されている。成層圏オゾンにより生物への影響が大きい UV-C は完全に大気中で吸収され、地表には届かない。一方 UV-A にはオゾン吸収はほとんど効かず、UV-B は一部分が地表に到達している。これらの UV は人類を初めとする生物に影響を及ぼしている。

太陽紫外線強度の長期変動を知り、UV-A と UV-B の強度比からオゾン全量が求められる

ことを利用してオゾン全量の変動も求める。観測場所は、国内では立教大学池袋 13 号館と鹿児島工業専門学校 の 2 ヶ所、国外では、ブラジルのサンタマリア郊外のサンマルチーニョ観測所とリオグランデならびにチリのコンセプションとプンタアレナスの 4 ヶ所である。207 年度からは新たにサンパウロ大学での観測も開始する予定である。

3. 大気温度観測装置の開発

従来から用いてきている観測装置にあわせて新たな装置の開発も進めている。フィルターへの入射角変化に従って透過波長がシフトする性質を利用した **Tilting Filter Photometer** による OH 大気光観測を 2005 年度から開始した。近赤外線領域でのこの種の観測装置はわたしたちの装置が始めての試みである。

X線天体の研究とX線観測装置の開発

教授 北本俊二

日本学術振興会特別研究員 (PD) 森井幹雄

D2 須藤敬輔

M2 荻田喬行、斉藤恒介、武井大

M1 宍戸洋一、柴田拓磨、後藤範光

宇宙には地上では到底達成できないような、超強重力場、超強磁場、超高輻射場あるいは、超高温、超低温、超高密度、超高真空等のいろいろな極限的な環境が存在します。それら極限状態でどのような物理現象が繰り広げられているのか研究する事は、宇宙物理学の一つの大きな課題です。この研究室では、中性子星や、ブラックホールといった特殊な天体とその周りで起こっている現象、それから、星や星形成領域等の高温プラズマを研究しています。

X線による天体観測は主に人工衛星により行います。研究室では、人工衛星によって取得したデータを解析することにより、天体の研究を進めています。また、人工衛星に搭載することを目指して観測装置の開発も行っています。最高の研究をするためには、最高の観測装置で観測することが必要です。

1. ブラックホールや中性子星の研究

中性子星は半径が10 km程度であるのに、質量は太陽と同程度である大変小さく重い星です。その中性子星に物質が降り積もると、大きな位置エネルギーが開放され、高温となりX線で明るく輝きます。中性子星には1兆ガウスもの磁場を持つものがあり、そこでは物質は磁場により磁極に集中して降り積もります。そのため、特に磁極がX線で明るく輝きます。中性子星が自転しており、地球のように自転軸と磁軸がずれていれば、明るくX線で輝く磁極は見え隠れします。そのような中性子星を観測すると、X線強度が自転の周期で変動し「X線パルサー」と呼ばれるものになります。その強い磁場は電子共鳴散乱のエネルギーを観測で測定することで確認できます。磁場の弱い中性子星では、降り積もった物質が爆発的な核融合反応を起こすことがあります。それは「X線バースト」と呼ばれます。ブラックホールに物質が降ってゆくと、やはり位置エネルギーが開放されて、高温になりX線で明るく輝きます。しかし、最終的には物質はブラックホールに吸い込まれてしまいます。あるいは、一部の物質は宇宙ジェットとして再び星間空間に吹き飛ばされこともあるかもしれません。このように、中心にブラックホールがある天体と中性子星がある天体を観測すればなんらかの違いがあるはずです。その違いはX線のエネルギースペクトルであり、X線の時間変動に現れると期待します。研究室では、そのような考えでいろいろなブラックホール候補星と中性子星であると考えられる天体をX線で観

測し、極限環境でどのような物理現象が起こっているのか理解し、ブラックホールの証拠を掴もうと研究を続けています。

21世紀になってブラックホールに流れ込む物質の振る舞いの研究は新しい時代に入ってきました。物質が中性子星やブラックホールに落ち込む時は一般に降着円盤と呼ばれる円盤を形

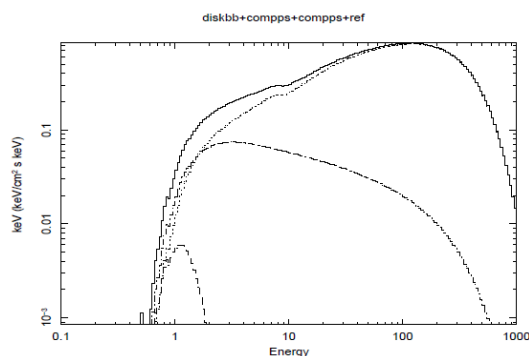


図 1. 「すざく」で観測したブラックホール候補星 GROJ1655-40 のエネルギースペクトル。0.5keV から 400keV 近くまで、3 桁にわたるエネルギースペクトルを観測する。(Takahashi, Sudoh, Kitamoto et al., 2006)

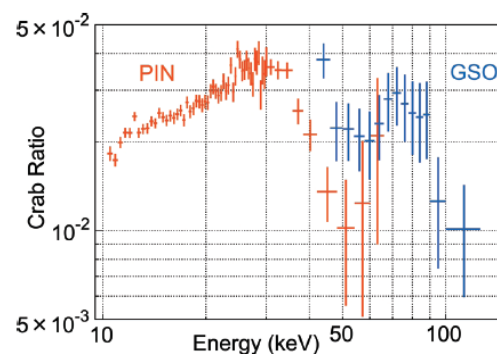


図 2. 「すざく」で観測した X 線パルサー A0535+26 のエネルギースペクトルと、単純なベキ型と考えられているかに星のエネルギースペクトルとの比、46.3keV あたりに吸収構造を検出した。(Terada, Kitamoto, Sudoh et al. 2006)

成します。この降着円盤は、位置エネルギーを熱や放射のエネルギーに変換する役割を担うもので、その性質は直接観測と結びつき、多くの研究が進められてきました。観測的には、米国の「チャンドラ」「RXTE」、欧州の「XMM-ニュートン」等の衛星に加えて、日本の「すざく」衛星が活躍を始めました。

研究室では、短時間変動を調べるため、昨年の GRSJ 1915+103 に加えて、X1630-47 のエネルギースペクトルと時間変動の両方の振る舞いを同時に説明できるようなモデルの研究を進めています。また、「すざく」衛星の 3 桁にもおよぶ広いエネルギー領域でエネルギースペクトルを観測できる能力で、さらに私たちの研究を進めようとしています。図 1 はブラックホール候補星 GROJ1655-52 の「すざく」によるエネルギースペクトルです。そのほか、超強磁場を持つ中性子星 A0535+26 でサイクロトロン共鳴構造を測定し、磁場の状態についても研究しています。図 2 には、X 線観測衛星「すざく」で観測した、X 線パルサー A0535+26 の電子共鳴散乱です。～ 4×10^{12} gauss の磁場強度に相当します。

2. 大質量星と星形成領域の研究

普通の星も X 線を放射しています。特に早期型星と呼ばれる重く青白い星は、X 線が強いことが知られていますが、そ

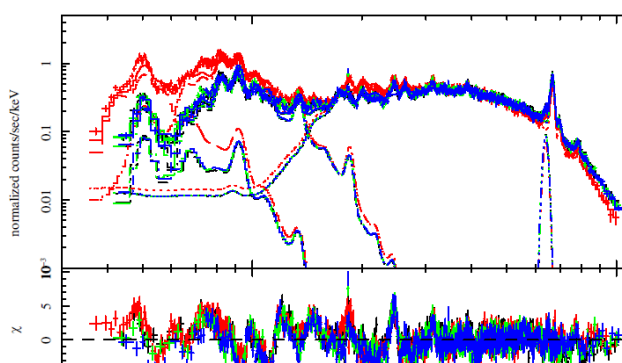
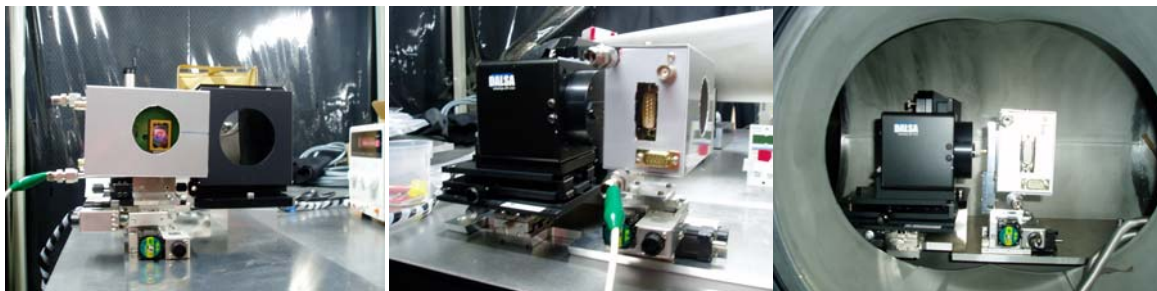


図 3. すざく衛星が観測した大質量星、りゅうこつ座 η 星のエネルギースペクトル。たくさんの元素からの輝線が見えている (Sekiguchi et al. 2007)。

の X 線放射機構には決定的な説明はありません。私たちは早期型星の X 線放射機構の研究をしています。そのために、米国の「チャンドラ」衛星の回折格子による高分散のエネルギースペクトルの解析も進めています。その結果、早期型星で強い星風内で生じる自発的な衝撃波で説明できるものとそうでないものがあることがわかってきました (Yamamoto et al. 2007)。さらに、「すざく」による大質量星りゅうこつ座 η 星の解析も進めています。りゅうこつ座 η 星は X 線で特別に明るい巨大な星です。なにか特別なことが起こっているに違いありません。さらに、散開星団をはじめとした星形成領域では、若い星がたくさんあります。その若い星からも X 線放射が発見されており、その X 線放射機構の研究も大変面白い研究です。

3. 超高精度 X 線望遠鏡の開発研究

研究室では、将来はブラックホールを観測的に「見てみたい」という夢があります。その夢に向かって、観測装置の開発研究を進めています。その一つは、究極の X 線望遠鏡の開発研究です。X 線は波長が短いので、小さい望遠鏡でも高角度分解能が達成できます。しかし、現在の X 線望遠鏡の角度分解能はどれも原理的な限界にはほど遠いものです。それは、X 線光学系の精度が不足していることが理由です。そこで、X 線光学系の精度を追求することにより、格段に優れた角度分解能を有する X 線望遠鏡を開発しようと考えています。私たちの研究室では、これを X-ray milli-arc-sec (X-mas) Project と呼んでいます。そのための光学実験と、X 線実験を織り交ぜて、試行錯誤を続けています。そこでは、X 線反射鏡の研究、X 線反射鏡を制御する研究と多種多様な研究が含まれています。図 4 に、実験室にある X 線望遠鏡の焦点面構造を示しました。X 線反射鏡は多層膜でコーティングした回転放物面鏡です。X 線は X 線用の CCD で検出します。基準に使う可視光を X 線用 CCD の極近くを通して波面センサーに導きます。波面センサーで検出した基準の波面を参照にして、最良の X 線像をとれるよう、副鏡として使用している可変形状鏡を操作します。4 m 離れたところに置いた間隔 500 ミクロン、線幅 50 ミクロンのメッシュ（網）の像を図 5 に示します。



4. X線偏光検出器の開発研究

将来の X 線観測で、新しい領域を打ち開くと期待されているのが X 線の偏光観測です。X 線の偏光状態を知ると、X 線放射機構そのものの情報を引き出すことができます。また、X 線源の幾何学的な形状についての情報もわかると期待できます。しかしながら、今は、X 線での撮像観測、エネルギースペクトル観測、時間変動の観測が主であり、X 線の偏光状態はほとんど観測

図 4. Xmas 計画で進めている X 線望遠鏡の焦点面に置く主鏡、CCD カメラ、波面センサー。

できていません。私たちは、グループとして得意な多層膜や CCD を応用して、X 線偏光計の

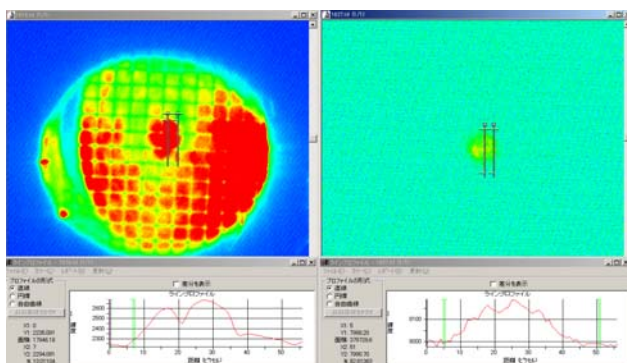


図 5. Xmas 計画の X 線望遠鏡で撮像した 500 ミクロン間隔、50 ミクロン線幅のメッシュの像 (左)。13.5nm の X 線の像 (右)

試作を進めています。いろいろ試行錯誤の途中ですが、将来天体観測に使えるようなものを作るよう、研究を始めたところです。図 6 は、Mo/Si の自立型の多層膜です。多層膜は人口結晶とも呼ばれるもので、ブラック反射と同じ性質を示し X 線を反射します。特に 45 度入射の X 線に対してブラック条件があう波長の X 線は、偏光方向により反射率が大きく異なります。同時に透過率も異なります。図 7 にシミュレーション計算で求めた X 線の透過率を示しました。反射面に対する、X 線の電場方向で P 波、S 波と区別して偏光状態を表します。P 波、S 波で透過率が大きく異なることがわかります。検証実験は高エネルギー加速器研究機構の放射光を用いて進めています。

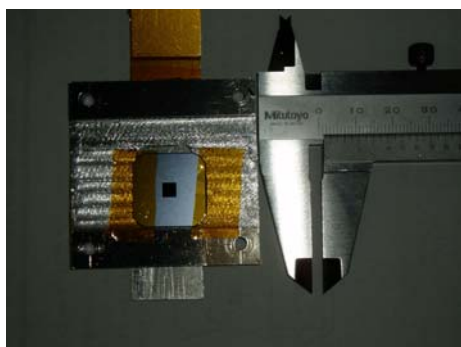


図 6. Mo/Si の自立多層膜。

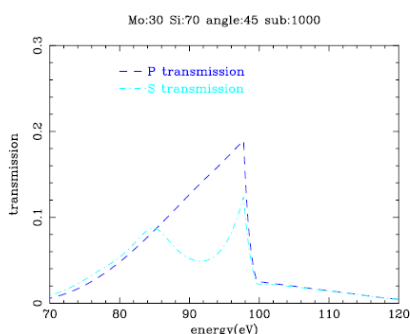


図 7. 45 度入射での X 線の反射率。
偏光の違う X 線を P 波、S 波と呼ぶ。
両者の反射率が大きく異なる。

宇宙粒子線による太陽系・銀河系の研究 柳町

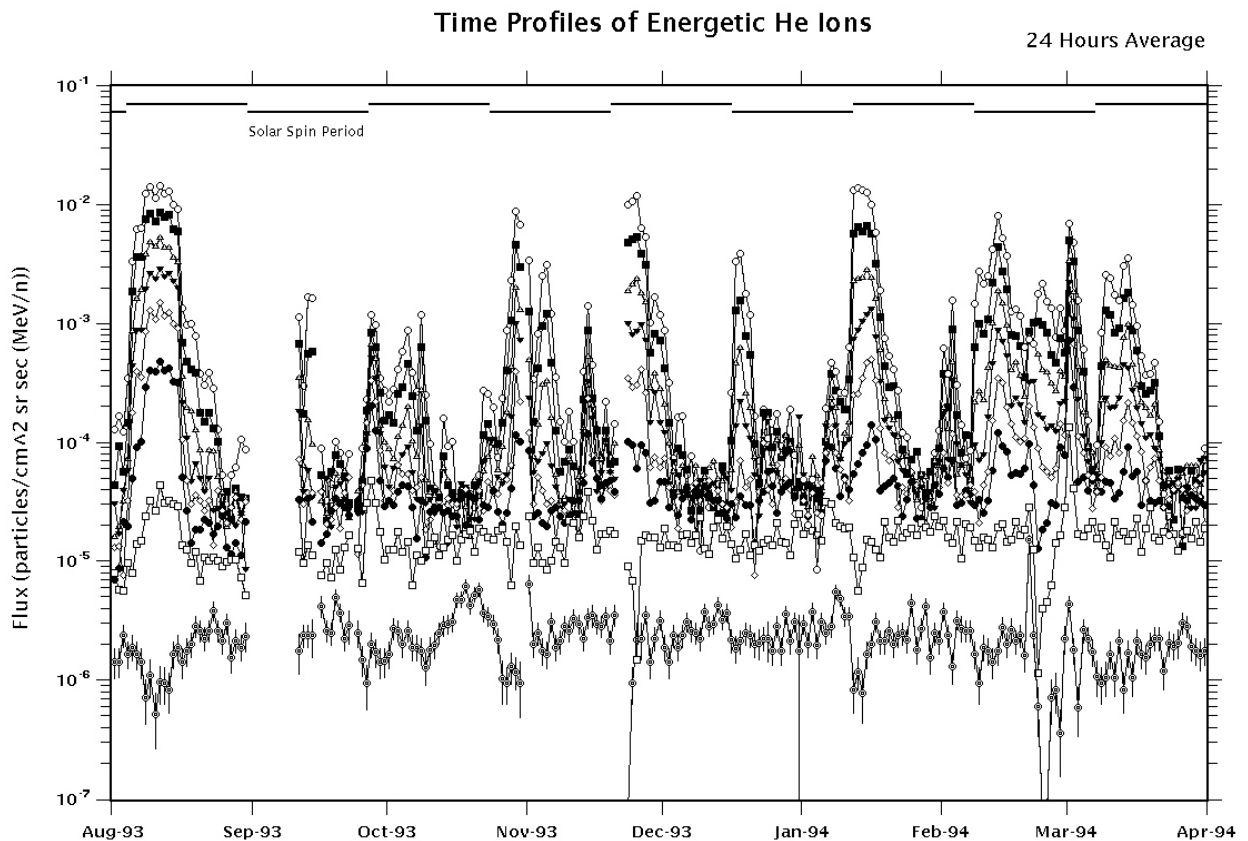
宇宙空間を超高速で飛び回っている原子核——宇宙粒子線の化学組成、同位体およびエネルギー・スペクトルの測定は、その起源、元素合成プロセス、加速過程、伝播機構などを解明する上で非常に大きな鍵を握っている。

現在までに測定された宇宙線の最高エネルギーは、 10^{20} エレクトロンボルト(eV)すなわち 10 ジュール(J)を越えている。このように高エネルギーの原子核が私たちに衝突すれば、甚大なダメージを与えないではないはずだが、そのために怪我をしたとか障害が発生した等ということがないのは、地球が幾重ものバリアーに守られているためである。運動する荷電粒子は磁場から力を受けて進路を曲げられるが、地球が存在する太陽圏には、太陽から吹き出す太陽風と呼ばれるプラズマの流れによって太陽表面から引き出された惑星間磁場が存在し、太陽圏の外側から侵入する比較的能量の低い宇宙線は、進路を曲げられ地球が位置する太陽圏の中心付近まで達することができない。それでも地球の近くまで侵入してきた高エネルギーの宇宙線の多くは、地球自身が持つ磁場——地球磁場に妨げられて地表まで降り注いでくることはない。この第 2 のバリアーも突破できるようなよりエネルギーの高い宇宙線から最後に私たちを守ってくれるものは、地球の大気である。水に換算すると 10m もの厚さの大気中に突入した宇宙線は、大気を構成する原子核と衝突して破壊される。もちろん破壊された後の残存物の中には地表まで到達するものもあるが、それらは分厚い大気を通過することができたもの、言い換えれば大気中の物質との相互作用が極めて小さいものであるから、人体に及ぼす影響も小さい。

磁場を伴う 2 つのバリアー領域は、外から侵入してくる粒子を阻止する一方、その内部で運動する粒子に磁場の強さに応じた様々な影響を与えており、それぞれの領域特有の現象を出現している。地球磁場はそこに衝突してくる太陽風プラズマとの相互作用により、明確な境界が形成され地球磁気圏という領域を作り出している。この領域では、そこに取り込まれた太陽風プラズマ粒子やイオン化された地球大気を構成する原子が、磁気圏の磁場との相互作用によって運動エネルギーが 10^3 から 10^5 eV 程度まで加速される。

また、常に秒速 400~500km 程度の外向きの太陽風が吹いている太陽圏では、ときどき秒速 600~700km に達する高速の太陽風が吹き出して前面の低速太陽風を圧縮し、この圧縮が十分成長する太陽・地球間の 2~4 倍の距離のところで、低・高速太陽風の境界面で衝撃波が形成される。この領域では、やはり磁場との相互作用によってイオン化された原子が 10^7 eV 程度のエネルギーまで加速されている。低・高速太陽風が吹き出す太陽表面上の位置は、ある程度の期間固定されている。したがって、粒子加速が生じている衝撃波領域は、太陽の自転とともに約 27 日周期で太陽の周りを回転することになるため、この領域は共回転相互作用領域と呼ばれている。この領域で加速された粒子を地球を周回する人工衛星で観測すると、やはり 27 日周期で高エネルギー粒子の増加が見られることになる。

下図は、1993年8月から8ヶ月間に渡って GEOTAIL 衛星で観測された He イオンの強度変化を示している(最下段の強度が大きく変化していないデータは酸素イオンである)。図中の上下に分かれた実線は、低・高速太陽風の境界面が地球を通過した1994年3月7日の10時を基点とした太陽自転周期を表している。多少ずれているところもあるが、線分の切れ目を始点として He イオン強度が増加していることがわかる。



星間空間と呼ばれる太陽圏の外に存在するイオン化されていない中性原子は、惑星間磁場に妨げられることなく太陽圏の奥深くまで入り込み、太陽の紫外線や太陽風プラズマ粒子との衝突によってイオン化され、 10^8 eV 程度のエネルギーまで太陽圏内部で加速されて宇宙線異常性分として観測されている。

太陽圏の外側には星間空間と一言で呼ばれる空間が、銀河系の縁まで広がっている。星間空間の大部分は、 1cm^3 あたり水素原子核が 1 個存在する程度の太陽圏よりも希薄な空間であるが、そこは超新星の爆発が起きたり、その名残りである大規模な磁場の擾乱が存在する大変活動的な場でもある。このような領域でイオンは 10 の 10 数乗 eV のエネルギーまで加速され、およ

そ 1 千万年に渡って銀河系の大規模な磁場に閉じ込められている。

現在われわれは、1992 年に N A S A の協力を得て打ち上げられた、宇宙科学研究所の人工衛星 GEOTAIL による観測データの解析に力を注いでいる。この衛星には他大学との共同研究により開発した 4 種類の検出器が搭載されており、地球磁気圏粒子から銀河宇宙線までの広いエネルギー範囲にわたる宇宙粒子線の観測を行っている。これらの観測データの解析から銀河宇宙線の伝播機構、宇宙線異常成分、太陽高エネルギー粒子の加速・伝播機構、磁気圏プラズマの振る舞い、太陽風や太陽高エネルギー粒子と地球磁場との相互作用等の研究が進行中である。

日本の宇宙科学研究所によって 2000 年に打ち上げられた火星探査衛星には、私たちが開発した検出器が搭載され、磁場が極めて弱い火星における太陽風と火星大気との相互作用を探る研究を期した。しかし、昨年の 12 月に衛星を火星周回軌道へ投入することができなかったことは、非常に残念である。また、月周回衛星に宇宙粒子線検出器を搭載し、銀河宇宙線、太陽高エネルギー粒子あるいは太陽圏で加速された粒子の観測や、スペースシャトルを利用した通常の熱核融合反応では生成されない鉄より重い宇宙線の観測等の計画が進められている。

宇宙粒子線による太陽系・銀河系の研究

柳町 朋樹 M1：姫野 悟

宇宙空間を超高速で飛び回っている原子核＝宇宙粒子線の化学組成、同位体およびエネルギー・スペクトルの測定は、その起源、元素合成プロセス、加速過程、伝播機構などを解明する上で非常に大きな鍵を握っている。

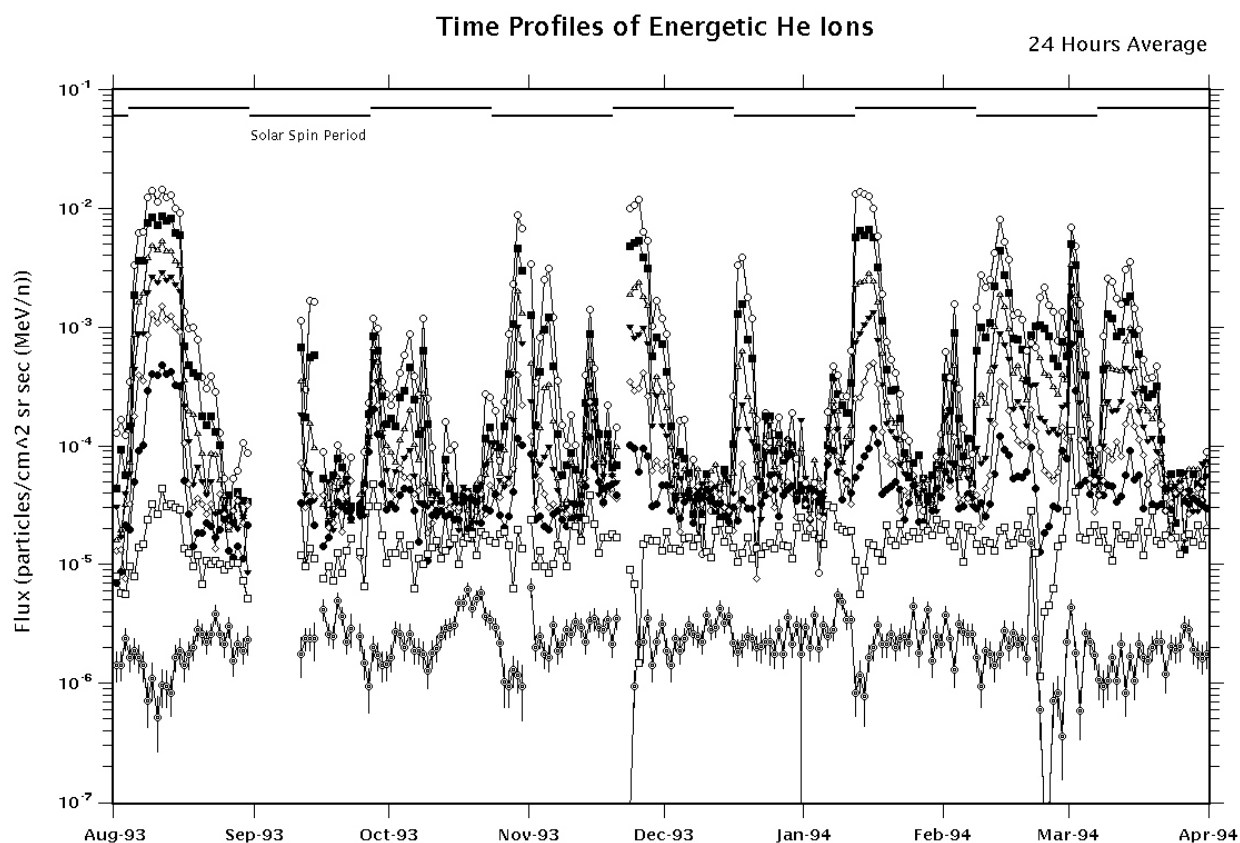
現在までに測定された宇宙線の最高エネルギーは、 10^{20} エレクトロンボルト(eV)すなわち 10 ジュール(J)を越えている。このように高エネルギーの原子核が私たちに衝突すれば、甚大なダメージを与えないではないはずだが、そのために怪我をしたとか障害が発生した等ということがないのは、地球が幾重ものバリアーに守られているためである。運動する荷電粒子は磁場から力を受けて進路を曲げられるが、地球が存在する太陽圏には、太陽から吹き出す太陽風と呼ばれるプラズマの流れによって太陽表面から引き出された惑星間磁場が存在し、太陽圏の外側から侵入する比較的エネルギーの低い宇宙線は、進路を曲げられ地球が位置する太陽圏の中心付近まで達することができない。それでも地球の近くまで侵入してきた高エネルギーの宇宙線の多くは、地球自身が持つ磁場——地球磁場に妨げられて地表まで降り注いでくることはない。この第2のバリアーも突破できるようなよりエネルギーの高い宇宙線から最後に私たちを守ってくれるものは、地球の大気である。水に換算すると 10m もの厚さの大気中に突入した宇宙線は、大気を構成する原子核と衝突して破壊される。もちろん破壊された後の残存物の中には地表まで到達するものもあるが、それらは分厚い大気を通過することができたもの、言い換えれば大気中の物質との相互作用が極めて小さいものであるから、人体に及ぼす影響も小さい。

磁場を伴う2つのバリアー領域は、外から侵入してくる粒子を阻止する一方、その内部で運動する粒子に磁場の強さに応じた様々な影響を与えており、それぞれの領域特有の現象を出現している。地球磁場はそこに衝突してくる太陽風プラズマとの相互作用により、明確な境界が形成され地球磁気圏という領域を作り出している。この領域では、そこに取り込まれた太陽風プラズマ粒子やイオン化された地球大気を構成する原子が、磁気圏の磁場との相互作用によって運動エネルギーが 10^3 から 10^5 eV 程度まで加速される。

また、常に秒速 400～500km 程度の外向きの太陽風が吹いている太陽圏では、ときどき秒速 600～700km に達する高速の太陽風が吹き出して前面の低速太陽風を圧縮し、この圧縮が十分成長する太陽・地球間の2～4倍の距離のところで、低・高速太陽風の境界面で衝撃波が形成される。この領域では、やはり磁場との相互作用によってイオン化された原子が 10^7 eV 程度のエネルギーまで加速されている。低・高速太陽風が吹き出す太陽表面上の位置は、ある程度の期間固定されている。したがって、粒子加速が生じている衝撃波領域は、太陽の自転とともに約

27日周期で太陽の周りを回転することになるため、この領域は共回転相互作用領域と呼ばれている。この領域で加速された粒子を地球を周回する人工衛星で観測すると、やはり27日周期で高エネルギー粒子の増加が見られることになる。

下図は、1993年8月からの8ヶ月間に渡って GEOTAIL 衛星で観測された He イオンの強度変化を示している(最下段の強度が大きく変化していないデータは酸素イオンである)。図中の上下に分かれた実線は、低・高速太陽風の境界面が地球を通過した1994年3月7日の10時を基点とした太陽自転周期を表している。多少ずれているところもあるが、線分の切れ目を始点として He イオン強度が増加していることがわかる。



星間空間と呼ばれる太陽圏の外に存在するイオン化されていない中性原子は、惑星間磁場に妨げられることなく太陽圏の奥深くまで入り込み、太陽の紫外線や太陽風プラズマ粒子との衝突によってイオン化され、10⁸eV程度のエネルギーまで太陽圏内部で加速されて宇宙線異常性分として観測されている。

太陽圏の外側には星間空間と一言で呼ばれる空間が、銀河系の縁まで広がっている。星間空

間の大部分は、 1cm^3 あたり水素原子核が1個存在する程度の太陽圏よりも希薄な空間であるが、そこは超新星の爆発が起きたり、その名残りである大規模な磁場の擾乱が存在する大変活動的な場でもある。このような領域でイオンは10の10乗eVのエネルギーまで加速され、およそ1千万年に渡って銀河系の大規模な磁場に閉じ込められている。

現在われわれは、1992年にNASAの協力を得て打ち上げられた、宇宙科学研究所の人工衛星GEOTAILによる観測データの解析に力を注いでいる。この衛星には他大学との共同研究により開発した4種類の検出器が搭載されており、地球磁気圏粒子から銀河宇宙線までの広いエネルギー範囲にわたる宇宙粒子線の観測を行っている。これらの観測データの解析から銀河宇宙線の伝播機構、宇宙線異常成分、太陽高エネルギー粒子の加速・伝播機構、磁気圏プラズマの振る舞い、太陽風や太陽高エネルギー粒子と地球磁場との相互作用等の研究が進行中である。

日本の宇宙科学研究所によって2000年に打ち上げられた火星探査衛星には、私たちが開発した検出器が搭載され、磁場が極めて弱い火星における太陽風と火星大気との相互作用を探る研究を期した。しかし、昨年の12月に衛星を火星周回軌道へ投入することができなかったことは、非常に残念である。また、月周回衛星に宇宙粒子線検出器を搭載し、銀河宇宙線、太陽高エネルギー粒子あるいは太陽圏で加速された粒子の観測や、スペースシャトルを利用した通常の熱核融合反応では生成されない鉄より重い宇宙線の観測等の計画が進められている。

飛翔体による地球・惑星磁気圏と惑星間空間の直接探査

平原 聖文、小笠原 桂一、浅村 和史（訪問研究員）

我々の研究活動においては、2005 年後半から大きな展開があった。我々が 5 年に渡り開発してきた人工衛星搭載用オーロラカメラ・粒子センサーで取得されたデータを本格的に解析出来る環境が整備されつつあるのが大きな要因である。まず、これら、人工衛星搭載用オーロラカメラで取得された最新のオーロラ画像の例を以下に示す。

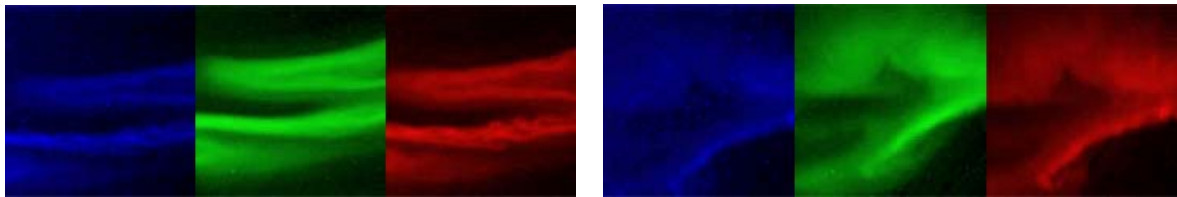


写真 1: 高度 630km を飛翔する最新の人工衛星に搭載されたカメラにより撮影されたオーロラ

白黒印刷の為、鮮明ではないが、3 枚が 1 組になっている画像は、それぞれ左から 428nm、558nm、670nm の波長でのオーロラ発光の 2 次元空間分布を示す。オーロラの発光層高度を 110km と仮定すると、写っている領域は約 100km 四方に対応する。これらの画像は 120msec 毎に動画として取得されていて、微細な構造の空間分布に加え、活発なオーロラ活動の時間的な変動を詳細に解析出来る。また、同様に高い空間・時間分解能を持つオーロラ粒子センサーによる観測も行われている。この様な高性能の観測器を搭載した人工衛星は我々が関わった INDEX（打ち上げ後、「れいめい」と名付けられた）衛星計画が初めてである。

さて、この様なオーロラ現象に代表される地球・惑星周辺の宇宙空間ではどのような現象が起こっているのかについて解説しながら、以下に研究紹介を行う。

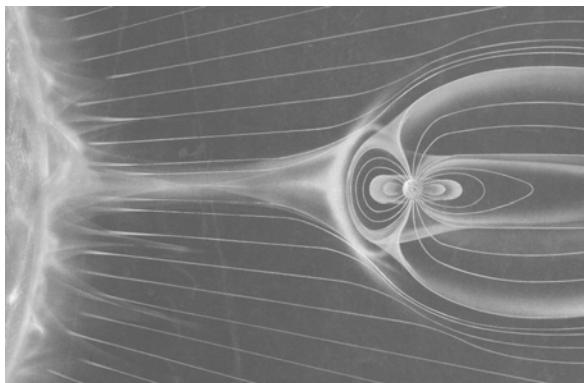


図 1: 地球近傍の宇宙空間プラズマの概念図
太陽(左)から吹き出す太陽風と地球磁気圏(右)



写真 2: 幾重にも折り重なったオーロラの例
(地上からの撮影)

太陽コロナから加速され流れ出す太陽風は地球にとっては超音速のプラズマ流である。その

平均速度は秒速 400km であり、1~10 個/cc 程度のプロトン・ α 粒子・電子が主成分である。この太陽風が磁気(双極子型の地球固有磁場)の壁で守られた地球超高層大気領域(磁気圏・電離圏)に吹き付けた時、様々な電磁場・プラズマ現象が起こる(図 1)。これらの幾つかは、スペースシャトルや宇宙ステーションの乗組員だけでなく、地上にいる我々でも実際に体験したり、時には驚異・脅威となる場合がある。例えば、北極圏・南極圏ではオーロラ現象(写真 2)が見られたり、極地方の電離圏を流れるオーロラ電流により様々な地上設備に誘導電流が発生し、変電設備の故障、大停電や原油・天然ガスのパイプラインの破損・腐食、等が引き起こされる。地球近傍の宇宙空間で起こっている現象は実に興味深いものであり、また、宇宙の 99.9%以上を満たす宇宙プラズマの普遍的な素過程そのものである。例えば、超音速の流体(太陽風)中に障害物(地球磁場)があるのだから、地球を取り囲む様に衝撃波が生成される。衝撃波通過時に太陽風は減速され、流れの方向が地球磁気圏を避ける様になる。この時、減少した運動エネルギーは内部エネルギー(熱エネルギー)へと変換される。この辺りで起こっている現象は、磁化プラズマの天然の実験室として格好の研究対象であるが、まだ地球磁気圏外なので地上からはほとんど探知出来ないし影響もないので、人工衛星等を使った直接観測が主流である。宇宙プラズマ中の衝撃波の物理は、昨今の高エネルギー天文学でも重要視され広い分野で理論的・観測的研究が進んでいるが、プラズマダイナミクスを直接観測出来る地球・惑星近傍での我々の衛星観測計画は、極めて有効な手法といえる。

衝撃波を通過した太陽風の一部は地球磁気圏の外側境界層へと吹き付ける。しかし、太陽風は荷電粒子の集合体であるため地球磁場をたやすくは横切れない。ローレンツ力のため磁力線の周りにはくると向きを変えられるからである。従って、磁気圏境界層では、吹き付ける太陽風の圧力(動圧)と地球磁場の磁気圧が「せめぎ合い」、それらがつり合う事で磁気圏の形がほぼ決定される。それら以外にも、太陽風プラズマは太陽面から延びる磁力線を運んでくるし、内部(熱)エネルギーもあるので、それらも境界層を変形させる圧力となる。また、地球磁気圏内にも太陽風ほど密度は高くないものの、より高温(数千万度)の磁気圏プラズマが存在し、地球磁場と共に太陽風からの圧力を支えている。

それでは、磁気圏境界層では太陽風と地球磁気圏との圧力が均衡し太陽風は跳ね返されるだけか、という点と磁場中での宇宙プラズマの振る舞いはそれほど単純ではない。太陽風が運ぶ惑星間空間磁場と地球固有磁場の関係を見てみよう(図 2)。それらは太陽風が境界層にぶつかる前はつながってはいない。しかし、境界面に押し寄せた後(図 2 の 1、1'),そこで太陽風磁場と地球磁場が「せめぎ合い」を続けるよりは、お互いの磁力線がつなぎ換わり、拮抗している領域から一緒になって押し出される方がプラズマや磁力管の輸送には都合がよい(図 2 の 2)。この状況は、お互いの磁場の方向がほぼ反対方向を向いている場合に起こりやすく、「磁力線の再結合(リコネクション)」と呼ばれている。最近では太陽フレアやより遠くの天文現象でも同じ原理が働いていると考えられる様になってきた。

この様に、地球磁気圏境界層で太陽風磁場と地球磁場がいったん再結合されてしまうと、太陽風はその磁力線に沿って地球磁気圏の昼間側から夜側の磁気圏尾部領域へと進入出来る様になる(図 2 の 5)。このプラズマの振る舞いは、小川に置かれた小石周辺の水の流れとよく似ている。その結果、太陽風プラズマは地球夜側の磁気圏へとため込まれる。この領域はプラズマ

シートと呼ばれ、熱いプラズマの貯蔵庫となっている。

プラズマシート中の高温プラズマはその後様々な過程・領域を経る。一部は地球双極子磁場の磁力線に沿って地球極域に降り込み、華麗なオーロラ発光現象(写真 2)を見せてくれる。他の一部は数 MeV 程度まで加速され、気象・放送・通信などの分野で使われる人工衛星の電子回路に悪影響を及ぼす。またあるものは地球磁気圏内に蓄積し切れないほど大きなエネルギーをもたらすので、磁気圏尾部で磁気圏磁場同士の再結合を起こし(図 2 の 6、6')、熱いプラズマを含んだ磁力線を丸ごと太陽風領域へと放出する事で磁気圏全体のエネルギー収支のバランスを維持する。この際に地上ではオーロラが現れたり、電磁場が乱れるのが観測される。

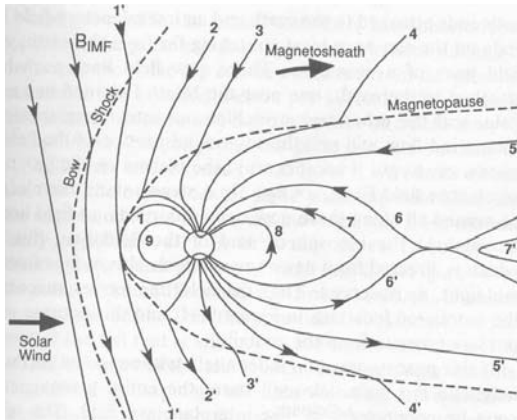


図 2: 磁気圏前面(1)と尾部(6)での磁力線の再結合

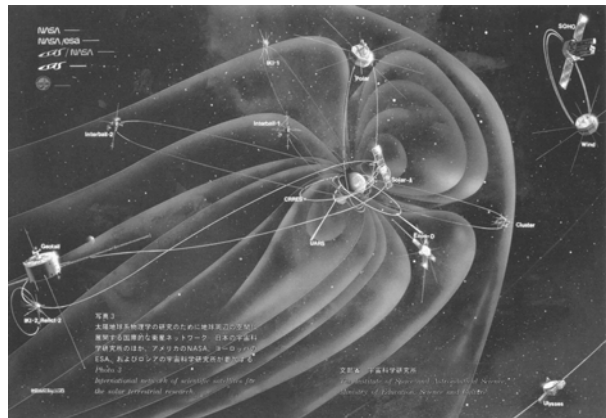


図 3: ISTP の科学探査人工衛星群

このようなダイナミックな太陽風・磁気圏プラズマの物理機構を調べるため、我々はプラズマ観測器を始め、高エネルギー粒子観測器、磁場・電場計測器、プラズマ波動観測器を開発し、1989 年に EXOS-D(あけぼの)衛星を、1992 年に日米共同プロジェクトとして Geotail 衛星を打ち上げ、観測を続けている。因みに、地球電離圏から上層の地球大気・磁場の勢力圏を exosphere(外圏)、地球夜側に伸びる細長い磁気圏を geotail(地球の尾)と一般に呼んでいる。このような大規模な観測計画は、日本だけでなく米国・欧州・ロシア等と国際共同体制で行われており、International Solar-Terrestrial Physics Program(ISTP)による科学探査人工衛星群が打ち上げられ研究されている(図 3)。

次に、地球から見えるプラズマ現象として、極域でのオーロラを考えてみよう。オーロラ発光は、プラズマシートから地球向きに大規模な静電場で加速されて降り込んでくる電子が、高度 100km の電離圏下部に達するまでに地球大気原子・分子と衝突を繰り返し、それらを励起・発光させる事で説明される。ここで、電子が地球方向に静電場で加速されるなら、地球電離圏に豊富に存在する水素・酸素やヘリウムなどの正イオンは同じ電場により反対方向にプラズマシートへと加速され地球の重力圏を脱出している事が予想される。実際、地球大気は太陽光で電離されイオンとなった後、極地方ではオーロラ電子と逆向きに地球から大量に逃げ出してい

る事が、やはり衛星観測で明らかにされつつある。

さて、アラスカやカナダ北部、スカンジナビアで観光客の目を楽しませるオーロラとそれを光らせる電子の微細な空間分布・構造を解明するために、我々の研究グループでは小型の人工衛星を打ち上げ、様々な観測計画を遂行中である。冒頭に紹介した通り、この衛星はれいめい衛星と呼ばれ(図 4)、世界最初の人工衛星であるスプートニク 1 号や史上初の宇宙飛行士となったユーリ・ガガーリンが宇宙へと飛び立ったカザフスタン共和国のバイコヌール宇宙基地より、2005 年 8 月 24 日に打ち上げられた。理学観測機器開発の中心となっているのは、立教大学、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部、国立極地研究所、それに東北大学である。

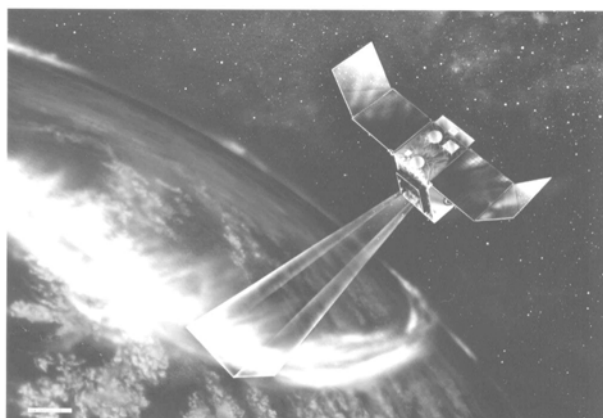


図 4: オーロラ観測中のれいめい衛星の想像図

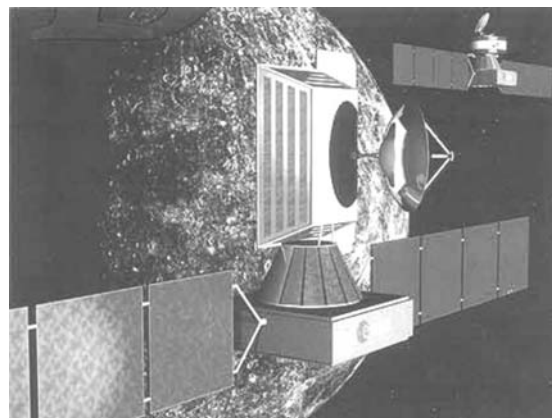


図 5: 日欧共同の水星探査機 BepiColombo の想像図

地球とは異なり、固有磁場を持たない、あるいは弱い固有磁場しか持たない惑星と太陽風との相互作用は一体どうなるのだろうか？また、固有磁場はあるが濃い大気がない惑星の場合はどうであろうか。これらはそれぞれ金星・火星の場合と水星の場合に当てはまる疑問である。現在、日本でも宇宙科学研究所が中心となって様々な惑星探査計画が進行中である。日本初の火星探査衛星 Planet-B(のぞみ)衛星は、1998 年に鹿児島県内之浦町の宇宙空間観測所から宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部の M-V ロケットにより打ち上げられたが、残念ながら火星周回軌道に投入される事が出来なかった。しかし、太陽風と火星上層大気との相互作用を調べる宇宙プラズマ物理学、更には惑星大気進化の視点からも火星探査の継続は重要であり、現在、米国・欧州が精力的に探査計画を実施している。日本も今後の新しい火星探査の可能性を議論する必要があるだろう。その他に、以下の通り、将来の科学探査人工衛星計画も数多く計画され、他惑星や月へと研究対象を広げつつある。

1. ヨーロッパ宇宙機構 (ESA) の水星探査計画 (BepiColombo 計画: 図 5) への協力として、2013 年の打ち上げを目指し日本で計画中の水星磁気圏探査衛星 (Mercury Magnetospheric Orbiter: MMO)
2. 2009 年に打ち上げ予定である日本独自の金星気候探査衛星 (Planet-C)
3. 2007 年に打ち上げ予定の月周回探査衛星 SELENE

我々の研究グループは、これまでの探査衛星計画での観測器開発・データ解析の経験を活かし、

水星・金星や月、それに将来は木星などへも探査機を送り込む事を考えており、21 世紀の科学研究のフロンティアを開拓しつつある。この様な国際的大規模プロジェクトに代表される我々の研究体制は立教大学、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部(神奈川県相模原市)や国立極地研究所(板橋区)、東京大学、京都大学、東北大学、九州大学、東京工業大学、名古屋大学、早稲田大学などと共同で行われており、その研究内容は、衛星計画の立案・観測機器の開発・データ解析・モデリング・数値シミュレーション等に代表される。特に宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部は、国立大学・私立大学を問わず一般の学部生・院生に広く門戸を開けており、立教大学からも衛星計画に参加出来る。宇宙科学に関連した卒業研究や修士・博士課程での研究に興味があり、「好奇心」と「体力」と「知力」、それに「やる気」を持った人が、衛星搭載用観測器の設計・試作・開発やデータ解析・モデリングに取り組むのを期待している。

実験技術員研究紹介

放射線計測エレクトロニクスの研究

実験技術員 村上浩之

主な研究テーマは放射線計測の為のエレクトロニクスシステムの研究ですが物理実験を行うにはエレクトロニクスの力を利用しなければ何も出来ないのが現代の物理実験の姿です。特に加速器を利用する原子核実験、素粒子実験や気球や人工衛星を利用する宇宙線実験、X線・赤外線天文観測、地球・宇宙空間物理観測等では一人で実験の全てを行う事は出来ないので数人から数百人のグループで実験を行います。その中でエレクトロニクスは主要な実験技術です。最適なエレクトロニクスの技術を使用出来るか否かが実験の成否を決める場合が多く見られます。

物理実験で重要な事は起こった物理的な現象をありのままに捉える事です。このためにそこで起こった現象を物理量として捉えそれを電気的な信号に変換するセンサー（検出器）、そこからの電気信号を増幅や変換などを行い目的の物理量に対応した電気信号を取り出すアナログ信号処理、アナログ信号をデジタル信号に変換するアナログーデジタル変換（A-D変換）、デジタル信号から目的とする情報を表示（記録等）を行うデジタル信号処理など行って定量的に目的とする物理量を取得します。実験によって異なりますがセンサーの数は1個から数千万になります。センサーの数が多いほど大規模な実験となります。

気球や人工衛星等の飛翔体を利用する実験では物理量の取得だけでなく取得可能なデータ量の制約、消費電力・発熱量の制約などが加わります。これらの制約を全て満足しないと意味のある実験データを取得する事は出来ません。これらの実験に使用するエレクトロニクスシステムは市販されている物はほとんど無く自らの手で作り出す必要があります。市販されている実験装置だけでは他人の実験を真似をする（実際には真似をするのも困難）程度の事しか出来ません。エレクトロニクスの技術力が無い実験グループはオリジナルな実験を行うのは困難です。

立教大学の物理実験グループは放射線計測に関連する実験技術を利用して他大学や研究所と多くの共同研究プロジェクトに参加しています。

5. 宇宙線高エネルギー電子の観測。

CALET と名前を付けられた高エネルギー電子・ γ 線・重粒子観測装置は宇宙ステーションの日本のモジュール「希望」の暴露部に搭載される約1.5トンの観測装置です。基礎的な開発は進んでいますが本格的な観測装置の開発はこれからです。観測出来るまでには10年以上掛かるかも知れません。10GeVから1TeVまでの高エネルギー電子観測装置は気球に搭載して観測に成功しています。2004年の初めには南極周回気球で約2週間の観測を行いました。立教大学はエレクトロニクスシステムに関し全ての基本設計を分担しています。

6. 重イオン核物理（反応）実験

理化学研究所で行っている不安定核ビームを利用した実験で立教関係のひとと技術が重要な役割を担っています。半導体検出器の信号処理に関するエレクトロニクス技術は優れています。

7. 放射線計測エレクトロニクス基本回路の開発、他。

現在使用されている放射線計測に使用されている市販のエレクトロニクスシステム（モジュール）は30年以上前に開発された物です。しかし、生産されている部品の体系が大幅に変化して今までの市販のモジュールは近々生産中止になります。開発コストの関係で新たなモジュールが従来のメーカーから発売される見込みはありません。現在の部品体系に適合したモジュールシステムを個別の実験グループで開発する必要があります。メーカーには実験に適したモジュールを開発する力はないのでメーカーに仕様を示して発注する事は出来ません。このままでは実験が出来なくなるので実験グループ内で測定回路の開発を行い生産はメーカーに委託する事になります。そのためには測定回路開発と放射線計測エレクトロニクスの開発・研究を担う人材の育成を行う必要があります。

放射線計測エレクトロニクス技術の担う人材の育成は重要ですがほとんど行われていません。放射線計測エレクトロニクスの開発・研究を担う人材を継続的に育成していかないと放射線計測エレクトロニクス技術の継承が途絶えてしまう危険性が大きいので積極的な人材育成が重要な課題です。

加速器実験，多価イオン実験，宇宙観測実験・研究の支援

実験技術員 須賀 一治

1. Cockcroft-Walton 型 荷電粒子加速装置（加速器）の管理。

（4号館に「加速器」があります。理学部内で最大規模の実験装置です。

近年、色々なところを修繕し、リニューアル・オープン！）

最近の主な実験課題：

「GS0 Ce シンチレーターの Proton 発光測定」－大学院研究実験(小泉先生)

「固体金属内の原子核反応」－卒業研究実験(家城先生)

「シリコン検出器の不感層の測定」－卒業研究実験(栗田先生)

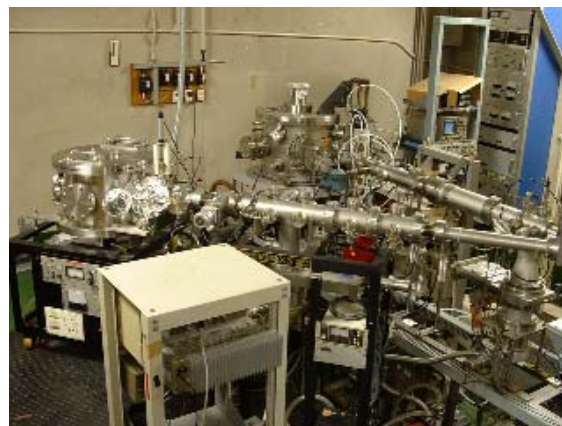
「固体金属内における重水素密度分布の測定」－卒業研究実験(家城先生)

など

（放射線に関係するので、立入り前に特別な教育講習や特別な健康診断を受けて、許可された者でなければ、加速器の「実験」を見る(参加する)事はできませんが、加速器室内・装置の見学は一般の方でも可能です(実験していない時に限る)。見学希望者は申込んで下さい(なるべく何人かでまとまって)。)



Cockcroft-Walton 型 荷電粒子加速装置
イオン源 高圧ターミナル



同 重イオン衝突実験コース
微小反応断面積測定実験コース

2. 高エネルギー加速器研究機構(KEK, つくば市)の放射光科学研究施設(PF)において、 「X線の短時間変動とX線による直接撮像で迫るブラックホールへの物質流入の研究」 (文部科学省 科学研究費補助金 特定領域研究, 北本先生)実験。

- ・新 多層膜蒸着 偏向素子(裏面照射型 CCD)の評価実験.
- ・X線天文観測衛星「すざく」(ASTRO-E2, 2005年07月11日打上げ成功)搭載のX線 CCD カメラ(XIS)用 可視光遮断フィルター(OBF)の評価実験.

[⇒ 北本先生のページを参照。]



高エネルギー加速器研究機構(KEK)
放射光科学研究施設(PF, Photon Factory)



同 ビームライン BL-11A

3. 多価イオン測定装置 実験

「低エネルギー電子および多価イオン-希ガス固体表面の相互作用の実験的研究」

(小泉先生, 平山先生)

・脱離原子・イオンの測定システムの構築, 高イオンビームラインの改造(計画)

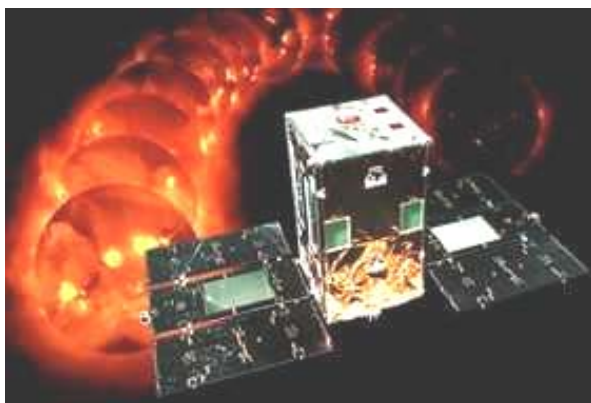
[⇒ 小泉先生, 平山先生のページを参照。]

4. 太陽観測衛星「ようこう」(SOLAR-A)ミッション(1991年から2004年4月まで)

(「ようこう」には、立教大学が責任担当の 硬X線スペクトル計(WBS > HXS), γ 線スペクトル計(WBS > GRS) 他を搭載(吉森先生)。)

ー人工衛星の観測計画立案・同オペレーション, データ解析ツールの開発整備。

[⇒ 吉森先生のページを参照。]



太陽観測衛星「ようこう」想像図



X線天文観測衛星「すざく」想像図

[共に (C)宇宙航空研究開発機構(JAXA) 宇宙科学研究本部(ISAS)]

大気光地上観測装置および物理実験装置の開発と製作

実験技術員 関口宏之

最近 1 年ほどの間に開発・製作した大気光地上観測装置 (Tilting Filter Photometer) と物理実験装置 (簡易型回折格子分光器) について報告する。

Tilting Filter Photometer

超高層大気の研究グループは、OH (3-1) 帯夜間大気光から高度 90 km 付近のメソポーズ領域の温度の導出を目的として継続して観測を行っている。

定常的な観測ベースである立教大学池袋キャンパスでは液体窒素冷却の Ge 素子を光センサーとしてフィルター放射計による観測を行っている。この装置は高感度を有していて、他の観測装置の基準となる性格を持たせている。液体窒素を必要とし、3 ないし 4 時間毎にその補充を行う必要があるため、様々な場所での観測には向いていない。

こういった状況で、また長期間継続しての観測を想定して、ほぼ無人で連続観測が行える装置として Tilting 機能を取り入れた新たな装置を開発した。装置の内部を図 1 に示す。透過中心波長 1547 nm の干渉フィルター (直径 50 mm) を垂直から 30 度まで傾けることで 1510 nm から 1547 nm の波長範囲をカバーし、OH(3-1) 帯の P 枝の 3 本のライン強度を測定する。光センサーは電子冷却方式の InGaAs 素子 (直径 5 mm) を用いている。垂直から 30 度までのスキャンを 30 秒で行うモードを基本とする。

装置の制御とデータの取得はノートパソコンで行い、観測開始日から終了日までの日出・日没時刻を入力しておけば、自動的に観測が開始される。

本装置を用いた観測は 2003 年秋から開始した。2004 年 1 月には鹿児島での観測を行った。それは、大気光波状構造キャンペーン (WAVE2004) のためのロケット実験との同時観測が目的であった。

近赤外線領域でのこの種の観測装置はわたくしたちの装置が初めての試みである。

現在、池袋キャンパスで毎月、新月を挟んで前後 5 日、合計 10 日間の夜間観測を行っている。

装置の重量は 20 kg 程度であり、外形サイズは 33×23×44 cm である。

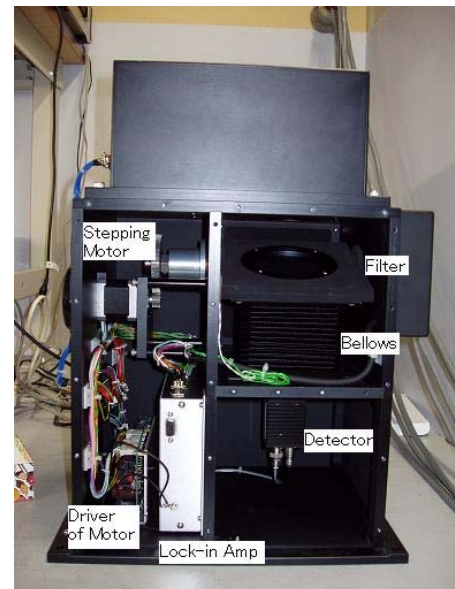


図 1 Tilting

簡易型回折格子分光器(および解析・表示ソフト)

最近ではいろいろな色の発光ダイオード(LED)が製造されていて、日常生活の中で電気製品、信号機または掲示板にと広く使用されている。青色発光ダイオードが話題になったこともあり、3年生の物理実験「半導体」の実験項目のひとつとして、発光ダイオード(LED)を取り上げた。それらの波長スペクトルを測定する目的で製作したのが本装置である。使用した透過型の回折格子の格子の数は1000本/mmである。分光器の概観を図2に示す。(外形サイズは22×30×14cm)

設計に当たって、次の2点に留意した。

- 1 スペクトルを「目視」できること。
- 2 その「強度スペクトル」を測定できること。

図2の概観図で側面の黒い四角の部分が入射スリットである。回折格子に垂直に入射した光は、上から見て左右対称に分散する。一方にはC-MOSイメージ・センサーを置き、他方には鏡を置き外部からスペクトルが目視できるようにした。

測定試料として色の違うLEDを9個用意した。

図3にスタンドとLEDを示す。

子分光器



図3 発光ダイオード

C-MOSイメージ・センサーからのビデオ信号はビデオ・キャプチャーを通して静止画(bmp形式)としてパソコンに取り込まれる。測定例として図4に蛍光灯とピンク色に光るLEDのスペクトルを示す。蛍光灯のスペクトルでは、5本の水銀のラインが見える。これらの波長はわかっているので、横軸(ピクセル)と波長の関係が求まる。ピンク色に光るLEDのスペクトルには2つの離れた波長にピークがあるのがわかる。それらは、青と赤の光である。青と赤の光の合成でピンク色に見えるのである。下はピンク色のLED



図2 簡易型回折格

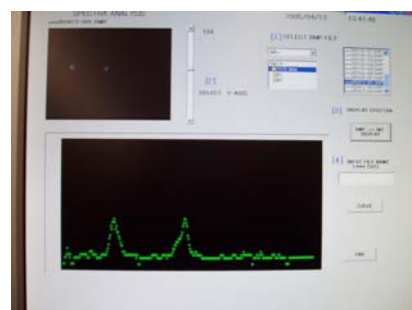
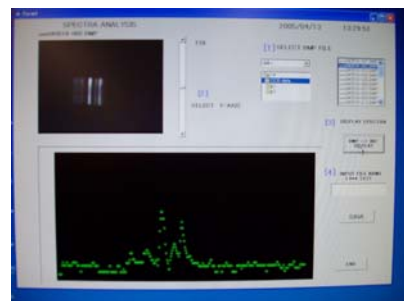


図4 スペクトルと強度分布
上は蛍光灯、
下はピンク色のLED

ハイテク・リサーチ・センタープロジェクト

2001～2005 年の 5 年間、理学部ではハイテク・リサーチ・センター整備事業として「1. 光・イオン計測法の研究および可搬型測定器の開発」、「2. 高度相関データ処理」の 2 つの研究プロジェクトを遂行していました。この研究プロジェクトは立教大学大学院理学研究科で発展してきた数学的・物理学的・化学的・情報科学的手法を総合して、情報処理を含む科学的計測法について最先端の学際研究を組織的・系統的に行うことを目指したものでした。5 年間の研究により、生体高分子から原子核・素粒子におよぶ非常に広い領域にわたり目覚ましい成果をあげることができました。このプロジェクトは 2005 年度が最終年度だったのですが、さらなる研究発展のため、あらたに「光・粒子精密計測法の新展開」のテーマで組織を再編し 3 年間(2006～2008)の継続を申請し文科省に採択されました。さらに大型研究装置としてレーザープラズマ光源も導入することができました。この装置は新しいプロジェクトの中心機器となるものです。

これは物理学科だけのプロジェクトではありませんが（主体となる研究組織は先端科学計測研究センター）、物理学科のスタッフが中心になっている研究計画も多いので紹介します。大学院生・学部卒研究生もこのプロジェクトに参加することができるので、興味のある方は担当教員におたずねください。

研究目的

計測は科学の実験的研究の基盤をなす。その技術的な進歩が新しい現象の発見につながり、研究の発展に大きな貢献をしてきた。一方で、新しい計測法の開発は、生産技術の進歩の重要な一翼をになうという意味で、産業基盤技術の一つと位置づけられる。先端科学計測研究センターは、立教大学理学研究科を中心に発展してきた科学的手法を総合し、他研究機関、企業との協力のもとに、新たに組織的・系統的に科学的計測法について最先端の学際的研究を行い、その成果の科学研究への適用を行うのみならず、新しい産業基盤技術への応用を図ることを目的としている。

今回のプロジェクトでは 5 年間の研究成果を活用するとともに、さらなる計測技術の開発・向上を進める。そのため研究プロジェクトを以下のように整理・再編する。本事業では計測手法の実験的開発およびその応用に重点を置く。特に赤外から γ 線領域までの光計測の精密化とその応用を中心とし、それと新しい粒子計測法の開発とあわせて総合的な計測技術の進展を目指す。今回の事業では以下の 3 つの領域において研究を行う。

領域 A. 光精密計測法と基礎科学への応用：高感度・高分解能の光計測技術開発とその基礎科学への応用

領域 B. 表面精密計測法：表面吸着分子の電子状態および表面と光・粒子の相互作用

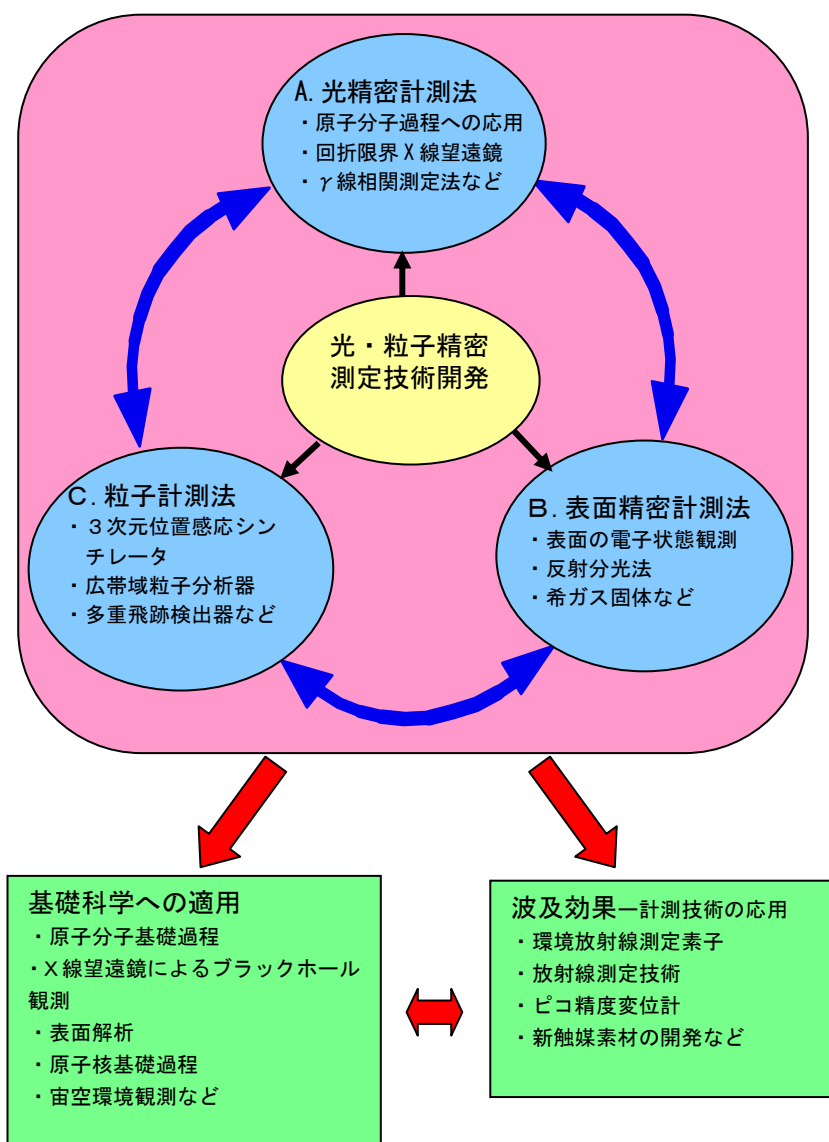
領域 C. 粒子計測法の新展開：新たな粒子精密計測法の開発とその基礎科学への応用

これらの領域は互いに密接に関連し、A で開発された光計測技術は B、C での計測に利用さ

れるし、Cでの粒子計測法はA、Bの研究の中に生かされる。各領域の関連は下図の通りである。

本事業は、理学研究科での研究に密接に関連しており、基礎的な理学研究の成果を計測技術に適用するという点に特徴がある。また、参加研究者は主に理学研究科の物理学専攻、化学専攻を中心に構成され、研究テーマは原子核から生体分子にわたるなど学際的な研究である。母体の先端科学計測研究センターは、理学研究科の専攻の枠を超え学際的研究を組織的・系統的に進めている。

光・粒子精密計測法の新展開 研究領域の相関



研究組織

[2007 年度先端科学計測研究センター研究員]

センター長 小泉哲夫

運営委員 小泉哲夫、北本俊二、村田次郎、平山孝人、枝元一之、望月祐志

研究員

物理学科 : 小泉哲夫、家城和夫、平山孝人、栗田和好、村田次郎、柳町朋樹、北本俊二、
平原聖文

化学科 : 漆山秋雄、池澤泰成、枝元一之、望月祐志

実験技術員 : 関口宏之、村上浩之、須賀一治

P D : 立花隆行、森井幹雄、眞正浄光、小笠原桂一、今村 賢司

訪問研究員 : 本林透(理研 : 栗田)、清水成宜(日立化成 : 小泉)、幸村孝由(工学院大 : 北本)、
浅村和史(宇宙航空開発研究機構 : 平原)、高島健(宇宙航空開発研究機構 : 柳町)
小島隆夫(理研 : 小泉)、佐々木研一(枝元)

計画中の研究テーマ

A. 光精密計測法と基礎科学への応用

レーザープラズマ光源の原子分子過程への応用(小泉)

回折限界X線望遠鏡の開発(北本)

高感度熱ルミネッセンス材料の開発(漆山)

超高感度 γ 線相関測定法の開発(本林)

B. 表面精密計測

吸着状態測定のための反射分光法の開発(池澤)

固体のサイト選択的電子状態計測法の開発(枝元)

多価イオン内部エネルギーの固体内消費過程の高分解能計測(平山)

表面系の電子状態の量子化学手法による解析(望月)

C. 粒子計測法の新展開

宙空環境計測用広エネルギー帯域粒子分析器の開発(平原)

人工衛星に搭載する粒子線観測装置のデータ処理システムの開発(柳町)

3次元位置感応型シンチレータの開発(家城)

次世代放射線多重飛跡検出器の開発(村田)

電子散乱実験用反跳核検出器の開発(栗田)

資料

2006 年度卒業論文

氏名	論文タイトル	担当教員
深井	Ar イオン及び Ar 多価イオン衝撃による Xe 固体からの脱離イオンの観測	平山
関塚	飛行時間法を用いた 希ガスクラスタービームのサイズ分布測定	平山
山中	電子エネルギー損失分光実験のための スキャンセクターの設計・製作	平山
近藤	電子衝撃により希ガス固体表面から脱離した励起原子の角 度分布測定装置の改造	平山
太田	重力波と連星の運動	原田
中島	連星から放出される重力波と運動	原田
白崎	Quintessence	原田
杉崎	Phantom Menace	原田
新田(稔)・秦	超弦理論によるブラックホールのエントロピー	矢彦沢
根本・大宮	Open string の量子化と D-brane 上のゲージ場	矢彦沢
石川・川畑	夜間大気光の観測	山本
小川・勝井	太陽紫外線の地上観測	山本
鯉住・姫野	宇宙粒子線検出器	柳町
棚橋・福田	宇宙粒子線検出器	柳町
松下	APD と WLS Fiber を用いた光検出器の開発	家城
砂川	力学実験：速度計測器	村上
作田	電子回路を用いた楽器開発	村上
東島	ECR イオン源のプラズマポテンシャル測定	中川
古川・町田	内部加熱源を持つマグネターからの熱輻射	柴崎
津久井・羽生・牧野	地球磁気圏と太陽活動の相関関係	平原
今井	れいめい衛星搭載電子エネルギー分析器の 電子観測に影響を与える衛星環境の評価	平原
中村	プラズマ粒子の観測器を地上で性能評価する地上装置の基 礎設計	平原
尾高・酒井	地上光学観測によるパルサータイミング オーロラのエネルギー特性の研究	門倉
佐藤・矢澤	近距離重力の直接観測による 余剰次元探索実験	村田
下山・末廣・豊田	シングルワイヤードリフトチェンバーの開発	村田
安藤・木暮・新田	自己重力ガス雲の分裂	須佐

(秀)		
谷口・永作	初期の膨張宇宙における密度ゆらぎの成長	須佐
荒木	メソン崩壊と弱い相互作用	田中
後藤	偏極したフェルミオンの散乱断面積	田中
小中	有限温度の光子の Self Energy	田中
小林	QCD における $O(\alpha_s)$ 輻射補正	田中
石田	『すざく』XIS のデータ解析による XIS の性能追跡	北本
後藤・穴戸	CCD Head 基盤の製作	北本
柴田	低エネルギーX線の反射率測定実験	北本
山本	すざく衛星による Cyg X-1 の研究	北本
坂巻	移動度によるカイラリティーの識別	小泉
鈴木	同時計測法による 低速多価イオン電荷移行反応の研究	小泉 平山
岡田・塩田	二次イオン電子放出を用いた重イオンの検出	栗田
河西・綿引	Si 検出器における dead layer の測定	栗田
細井	シリコン半導体検出器の放射線損傷	栗田

2006 年度修士論文

氏名	論文タイトル	指導教員
大久保 洋輔	X-mas 計画のための X 線撮像実験と閉ループ制御の性能評価	北本
加藤 春明	希ガス固体における電子遷移誘起脱離の試料温度依存性	平山
川村 広和	時間反転対称性検証実験のための電子横方向偏極度計の開発	村田
窪寺 隼人	電子エネルギー損失分光法による希ガスクラスターの電子的励起過程の研究	平山
佐久間 優	第一世代星の超新星爆発による誘発的星形成	須佐
佐藤 大介	第一世代星の形成率の解明に向けての数値計算プログラムの開発	須佐
鈴木 輔	超弦理論の共変的量子化	矢彦沢
関口 晶子	Suzaku 衛星による大質量星 η Carinae の観測的研究	北本
藤田 慎也	低速多価イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離過程の実験的研究	平山
町田 智大	GS0(Ce)位置検出器の波形弁別回路システムの開発	村上・栗田
松田 悠	カイネマティックスを考慮した $\overline{MS}$ スキームの修正 [ドレル・ヤン過程]	田中

2006 年度博士学位論文

氏名	論文タイトル	指導教員
関和 雄一	Thermodynamics of de Sitter Black Holes : Thermal Cosmological Constant ド・ジッター・ブラックホール時空の熱力学：有限温度宇宙項)	藤崎
牧 秀樹	第一世代星形成における磁場の散逸 ～コア収縮期から質量降着期まで～	須佐
知崎 陽一	重力波背景上の弦理論の共変的 B R S T 量子化	矢彦沢

研究助成

科学研究費助成金 特定領域研究

代表者：藤崎 晴男

分担者：田中 秀和、矢彦沢 茂明

課題名：弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究

助成額：1250 万円 期間：2001-2006

立教大学研究奨励助成金 一般研究（個人研究）

代表者：田中秀和

課題名：非包含素粒子散乱過程に対する量子色力学の高次効果

助成額：49 万円 期間：2005

立教大学学術推進特別重点資金 自由プロジェクト研究

代表者：矢彦沢 茂明

分担者：田中 秀和、須佐 元、今村 洋介、杉本 茂樹、佐藤 文廣、
比嘉 達夫、笥 三郎、佐藤 信哉、大杉 英史

課題名：弦理論と重力理論の数学的構造解明に関する学際的研究

助成額：736 万円 期間：2003-2004

科学研究費助成金 基盤研究 C

代表者：柴崎徳明

分担者：森井幹雄、

課題名：超強磁場中性子星の磁場の起源とそのエネルギー解放メカニズムの研究

助成額：230 万円 期間：2003-2005

科学研究費補助金 若手研究 B

代表者：原田知広

課題名：スペクトル法を用いたアインシュタイン方程式の超高精度数値解法の研究

助成額：360 万円 期間：2006-2008

科学研究費補助金 特定領域研究

代表者：中村卓史

分担者：田中貴浩，井岡邦仁(2005 年度)，原田知広(2005 年度)

課題名：重力波研究の新しい展開 計画研究 A03 ケ 「重力波源と波形の研究」

助成額：5100 万円 期間：2002-2005

科学研究費 基盤研究 C 一般

代表者：坂上裕之（核融合科学研究所）

分担者：平山孝人，山田一博（核融合研），櫻井誠（神戸大）

課題名：高密度イオンビームを用いた新世代・電子-イオン衝突実験

助成額：370 万円 期間：2004 年度～2006 年度）

科学研究費助成金 若手研究 A

代表者：村田次郎

課題名：単光子イメージング検出器を用いたベータ・ニュートリノ相関観測実験

助成額：3000 万円 期間：2006-2008

科学研究費助成金 萌芽研究

代表者：村田次郎

課題名：ピコ精度デジタル画像処理型変位計を用いた近距離重力の研究

助成額：330 万円 期間：2006-2007

科学研究費助成金 学術創成

代表者：齊藤直人（KEK）

分担者：栗田和好、村田次郎、竹谷篤（理研）

課題名：偏極陽子衝突を用いた核子スピン構造研究の新展開

助成額：2 億 220 万円 期間：2006-2010

科学研究費助成金 若手研究 B

代表者：村田次郎

課題名：ベータ・ニュートリノ相関超精密観測装置の開発

助成額：380 万円 期間：2003-2005

立教大学学術推進特別重点資金 共同研究科プロジェクト研究

代表者：村田次郎

分担者：旭耕一郎、上野秀樹、長谷山智仁、吉見彰洋（理研）

課題名：時間反転対称性の破れ探索実験用 β 線飛跡検出器の開発

助成額：1044 万円 期間：2003-2004

科学研究費助成金 基盤研究 C2

代表者：上野秀樹

分担者：村田次郎、小林義男、旭耕一郎

課題名：Mg 同位体の励起状態の磁気モーメント測定

助成額：360 万円 期間：2003-2004

科学研究費補助金 萌芽研究

代表者：吉森 正人

課題名：宇宙線生成核種 Beryllium-7 をトレーサとした地球高層大気運動の研究

助成額：350 万円 期間：2004-2006

科学研究費補助金 特定領域公募

代表者：北本俊二

分担者：幸村孝由、山本則正

課題名：X線の短時間変動とX線による直接撮像で迫るブラックホールへの物質流入の研究

助成額：290 万円 期間：2004-2006

科学研究費補助金 特定領域公募

代表者：北本俊二

課題名：時間変動で探るブラックホールへの物質流入とブラックホール撮像への挑戦

助成額：110 万円

科学研究費補助金 基盤研究 C

代表者：山本則正

分担者：幸村孝由、北本俊二、柴崎徳明

課題名：輻射輸送を考慮した衝突輻射モデルによる星のX線放射機構の解明

助成額：140 万円 期間：2003-2004

JAXA受託研究

代表者：北本俊二
課題名：回折限界X線望遠鏡の性能評価
助成額：174 万円 期間：2004

日産財団
代表者：北本俊二
共同分担者：栗田和好、村田次郎
課題名：見えない信号をキャッチせよ
助成額：30 万円 期間：2004.10 – 2005.10

科学研究費補助金 基盤研究 A 一般
2004～2007 年度
代表者：平原 聖文
分担者：柳町 朋樹、齋藤 義文、高島 健、浅村 和史、関 華奈子、海老原 祐輔
課題名：広エネルギー帯多成分宇宙プラズマの計測手法確立と相互作用解明を目指す発展的研究
助成額：3630 万円 期間：2004-2007

立教大学産学官共同研究補助
栗田和好、村上浩之
課題名：指向性 γ 線サーベイメータの開発
都立産業技研 櫻井昇、クリアパルス 森国城
助成額：896 万円 期間：2003-2004

立教大学産学官共同研究補助
担当者：小泉哲夫、村上浩之
課題名：放射線検出器及び検出素子に関する基礎的研究
日立化成 清水成宣
助成額：25 万円 期間：2004-2005

立教 SFR 大学院生研究

立教大学学術推進特別重点資金（立教 SFR） 大学院生研究
代表者：川村広和
共同研究者：
課題名：時間反転対称性検証実験のための電子横方向偏極度計および偏極核生成法

の開発

助成額：50 万円 期間：2007

立教大学学術推進特別重点資金（立教 SFR） 大学院生研究

代表者：窪寺隼人

共同研究者：

課題名：電子エネルギー損失分光法による希ガスクラスターの電子的励起過程の研究

助成額：50 万円 期間：2007

論文リスト

田中

NLO-QCD calculation in GRACE

Y. Kurihara, J. Fujimoto, T. Ishikawa, T. Kaneko,
S. Kawabata, K. Kato, H. Tanaka
and Y. Shimizu

Nucl. Phys. B(Proc.Suppl.)157(2006), pp.231-235

Factorization Algorithm for Parton Showers
beyond the Leading Logarithmic Order
of QCD

H. Tanaka, T. Sugiura and Y. Wakabayashi

Prog. Theor. Phys. Vol.114, (2005), pp.477-486

GRACE/SUSY Automatic Generation of Tree
Amplitude in MSSM

J. Fujimoto, T. Ishikawa, M. Jimbo, T. Kaneko, K.
Kato, S. Kawabata,

T. Kon, M. Kuroda, Y. Kurihara, Y. Shimizu and H.
Tanaka

Comput. Phys. Commun. 153(2003),
pp.106-134

QCD event generators with next-to-leading order
matrix-elements and parton
showers

Y. Kurihara, J. Fujimoto, T. Ishikawa, K. Kato, S.
Kawabata, T. Munehisa

and H. Tanaka

Nucl. Phys. B654(2003), pp.301-319

Space-Like Jet Calculus for Single Gluon
Radiating Processes

H. Tanaka, T. Sugiura, T. Munehisa and K. Kato

Prog. Theor. Phys. 109(2003), pp.981-993

Initial State Parton Evolution beyond the
Leading Logarithmic Order of QCD

Prog. Theor. Phys. 110(2003), pp.963-973

H. Tanaka

学会発表

「NLL 項を考慮した始状態パートンに対する QCD
カスケード」

田中秀和

（日本物理学 2003 年秋季大会宮城ワールドコンベン
ションセンター・サミット、
2003 年 9 月 9-12 日）

「NLL parton shower for initial state parton
radiation」

H. Tanaka

Physics Simulation for LHC (5-6 April 2004 at KEK, Tsukuba)

「NLL パートンシャワー模型における因子化法」

田中秀和、杉浦哲也、若林裕也

日本物理学会 2005 年秋季大会 (2005 年 9 月 12-15 日、大阪市立大学)

矢彦沢

Covariant BRST Quantization of Closed Strings in the pp-Wave Background,

Y. Chizaki and S. Yahikozawa, Progress of Theoretical Physics 116 (2006) 937

「行列模型と弦理論」、矢彦沢茂明、立教 SFR 講究録 No.1 (2004) 85

Information metric on instanton moduli spaces in nonlinear sigma models,

S. Yahikozawa, Physical Review **E**69 (2004) 026122

Stability of the shell of D6-D2 branes in an N=2 supergravity solution,

K. Maeda, T. Torii, M. Narita and S. Yahikozawa,

Physical Review **D**65 (2002) 024030

The excitation of a charged string passing through a shock wave in a charged

Aichelburg-Sexl spacetime, K. Maeda, T. Torii, M. Narita and S. Yahikozawa,

Nuclear Physics **B**598 (2001) 115

学会発表

BRST Quantization of String Theory in pp-Wave Background with Flux,

Y. Chizaki and S. Yahikozawa,

Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities (日本物理学会

と米国物理学会の共催), 2006 年 11 月 1 日, Sheraton Waikiki Hotel, Hawaii

フラックスのある pp-wave 上の弦の BRST 量子化、知崎陽一・矢彦沢茂明、

京大基研研究会、2006 年 9 月 13 日

Covariant BRST Quantization of Closed Strings in pp-Wave Background,

Y. Chizaki and S. Yahikozawa, String 2006, Beijing, China, June 19-24, 2006

Information metric on instanton moduli spaces in nonlinear sigma models,

S. Yahikozawa, Strings 2005, The University of Toronto, July 11-16, 2005

pp-wave 上の弦理論の BRST 量子化、知崎陽一・矢彦沢茂明、

日本物理学会 2005 年度秋季大会、2005 年 9 月 12 日

柴崎

X-Ray and Gamma-Ray Emission from the PSR 1259-63/Be Star System, Publ. Astron. Soc. Japan, K. Murata, H. Tamaki, H. Maki, and N. Shibazaki, 55(2003)473-481

Pulse Profile Change Possibly Associated with a Glitch in an Anomalous X-Ray

Pulsar 4U 0142+61

M. Morii, N. Kawai, & N. Shibazaki 2005, *Astrophys. J.*, 622, 544-548

Giant Flare of SGR 1806-20 from a Relativistic Jet R. Yamazaki, K. Ioka, F. Takahara, & N. Shibazaki, *Publ. Astron. Soc. Japan* 57 (2005), L11-L1

Magnetars as Cooling Neutron Stars with Internal Heating

A. D. Kaminker, D. G. Yakovlev, A. Y. Potekhin, N. Shibazaki & P. S. Shternin 2006, Mon. Not. R. Astron. Soc., 371, 477-483

学会発表

COE 研究会「超強磁場中性子星の進化」、2006／6、名古屋大学

ORIUM-COE 若手分野横断セミナー

「パルサーグリッチと超流体渦糸のピンニング」、2006／11、名古屋大学

「準周期的振動 (QPO) のメカニズムを探る」

佐藤孔明、柴崎徳明

日本天文学会春季年会、2006、和歌山大学

中性子星の内部構造—理論と観測—

柴崎徳明

COE 研究会「高密度星の物理的解読」、2006、名古屋大学

「中性子星の物理」

柴崎徳明

首都大学東京大学院理学研究科物理学特別講義。2005、首都大学東京

「マグネター研究の現状」

柴崎徳明

日本天文学会秋季年会、2005、札幌コンベンションセンター

原田

-
- Ken-ichi Nakao, Yasunari Kurita, Yoshiyuki Morisawa and Tomohiro Harada , "Relativistic Gravitational Collapse of Cylindrical Dust", Prog. Theor. Phys. 117(1), 75-102 (10/2006), [gr-qc/0610039](#).

- Tomohiro Harada , "Is there a black hole minimum mass?", Phys. Rev. D74(8), 084004 (10/2006) (4 pages), [gr-qc/0609055](#).
- Tomohiro Harada , Hideki Maeda and B. J. Carr, "Non-existence of self-similar solutions containing a black hole in a universe with a stiff fluid or scalar field or quintessence", Phys. Rev. D74(2), 024024 (7/2006) (17 pages), [astro-ph/0604225](#).
- Tomohiro Harada and B. J. Carr, "Super-horizon primordial black holes", Phys. Rev. D72(4), 044021 (8/2005) (12 pages), [astro-ph/0508122](#)
- Tomohiro Harada and B. J. Carr, "Growth of primordial black holes in a universe containing a massless scalar field", Phys. Rev. D71(10), 104010 (5/2005) (16 pages), [astro-ph/0412135](#).
- Tomohiro Harada and B. J. Carr, "Upper limits on the size of primordial black holes", Phys. Rev. D71(10), 104009 (5/2005) (9 pages), [astro-ph/0412134](#).
- Hideki Maeda, Takashi Torii and Tomohiro Harada , "Novel Cauchy-horizon instability", Phys. Rev. D71(6), 064015 (3/2005) (6 pages), [gr-qc/0501042](#).
- Umpei Miyamoto, Hideki Maeda and Tomohiro Harada , "Quantum Effect and Strength of Naked Singularities", Prog. Theor. Phys. 113(3), 513-533 (3/2005), [gr-qc/0411100](#).
- Hideo Iguchi, Tomohiro Harada and Filipe C Mena, "Spherically symmetric perfect fluid in area-radial coordinates", Class. Quantum Grav. 22(5), 841-853 (3/2005), [gr-qc/0405026](#).
- Hideki Maeda and Tomohiro Harada , "Kink instability and stabilization of the Friedmann universe with scalar fields", Phys. Lett. B607(1-2), 8-16 (2/2005), [gr-qc/0412040](#)

- Tomohiro Harada and Ken-ichi Nakao, "Border of spacetime", Phys. Rev. D70(4), 041501(R) (8/2004) (3 pages). [gr-qc/0407034](#)
 - Umpei Miyamoto and Tomohiro Harada, "Semiclassical instability of the Cauchy horizon in self-similar collapse", Phys. Rev. D69(10), 104005 (5/2004) (10 pages). [gr-qc/0312080](#)
 - Hajime Sotani, Kazunori Kohri and Tomohiro Harada, "Restricting quark matter models by gravitational wave observation", Phys. Rev. D69(8), 084008 (4/2004) (10 pages). [gr-qc/0310079](#)
- (a) 会議集録
- Tomohiro Harada, "Black Holes in Scalar field/Quintessence Cosmology", to appear in the Proceedings of the Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, July 23-29, 2006, Berlin, Germany.
 - Tomohiro Harada, "GROWTH OF PRIMORDIAL BLACK HOLES", in "Gravitation and Astrophysics: On the Occasion of the 90th Year of General Relativity", the Proceedings of the Seventh Asia-Pacific International Conference on Gravitation and Astrophysics, Nov 23-26, 2005, Chungli, Taiwan, ed. J. M. Nester, C-M. Chen and J-P. Hsu (World Scientific, Singapore, 2006).
 - Tomohiro Harada, Hideo Iguchi and Filipe C. Mena, "SPHERICALLY SYMMETRIC PERFECT FLUID COLLAPSE IN AREA-RADIAL COORDINATES", Proceedings of the International Workshop "Dynamics and Thermodynamics of Blackholes and Naked Singularities", May 13-15, 2004, Milan, Italy, ed. L. Fatibene, M. Francaviglia, R. Giambo' and G. Magli, [gr-qc/0512092](#)
 - Hideki Maeda and Tomohiro Harada, "Stability criterion for self-similar solutions with a scalar field and those with a stiff fluid in general relativity", Journal of the Korean Physical Society 45 (Supplement), S90-S94, as Proceedings of VIth APCTP International Conference of Gravitation and Astrophysics.
 - Tomohiro Harada, "Gravitational Collapse and Naked Singularities", Pramana 63(4), 741-754 (10/2004), as Proceedings of the 5th International Conference on Gravitation and Cosmology, Jan 5-10, 2004, Cochin, India, ed. by B.R. Iyer, V. Kuriakose and C.V. Vishveshwara. [gr-qc/0407109](#)
 - Tomohiro Harada, "Non-existence of self-similar black hole in a universe with a scalar field or quintessence", to appear in Proceedings of the 16th Workshop on General Relativity and Gravitation, Nov 27 - Dec 1, 2006, Niigata, Japan.
 - Tomohiro Harada, "Super-horizon primordial black hole and its evolution", in Proceedings of the 15th Workshop on General Relativity and Gravitation, Nov 28 - Dec 2, 2005, Tokyo, Japan, ed. T. Shiromizu, H. Yoshino, A. Hosoya, T. Nakamura and M. Sasaki, pp. 88-91.
 - Tomohiro Harada, "Super-horizon primordial black holes: How do they grow?", J. Phys.: Conf. Ser. 31 (2006) 111-114: Proceedings of the Third 21st Century COE Symposium on Physics of Self-organization System: Astrophysics and Interdisciplinary Science, Sep 1-3, 2005, Tokyo, Japan, ed. K. Maeda, S. Yamada and T. Daishido. [J. Phys. Server](#)
 - Tomohiro Harada, "Self-Similar Solutions, Critical Behavior and Convergence to

Attractor in Gravitational Collapse",
 Proceedings of the 12th Workshop on General
 Relativity and Gravitation, Nov 25 - 28, 2005,
 Tokyo, Japan, ed. M. Shibata, Y. Eriguchi, K.
 Taniguchi, T. Nakamura and K. Tomita, p123.
[gr-qc/0302004](http://arxiv.org/abs/gr-qc/0302004)

(b) 解説など

- 原田知広, 「原始ブラックホールの形成と成長」,
 日本物理学会誌第 62 巻第 1 号 30 頁(2007 年 1
 月)
- Hideki Maeda and Tomohiro Harada,
 "Kinematic self-similar solutions in general
 relativity", in "General Relativity Research
 Trends. Horizons in World Physics, Volume
 249", (Nova Science Publishers, New York,
 USA, 2005). [gr-qc/0405113](http://arxiv.org/abs/gr-qc/0405113)
- 原田知広, 「重力崩壊と自己相似仮説」, 日本
 物理学会誌第 59 巻第 3 号 175 頁(2004 年 3 月)

学会発表

(a) 国内の主な学会

- 前田秀基(早大理工・客員研究員、立教大理・客
 員研究員、国際基督教大・非常勤研究員)、原
 田知広(立教大理・講師)、B. J. カー(ロンドン
 大学クインメアリ校・教授)、「暗黒エネルギー
 宇宙における自己相似的ブラックホール解の存
 在可能性について」、日本物理学会、首都大学東
 京、2007 年 3 月
- 原田知広(立教大理・講師)、「ブラックホール
 に最小質量はあるか?」、日本物理学会、奈良女
 子大学、2006 年 9 月
- 原田知広(京大理・講師(研究機関研究員))、
 前田秀基(早大理工学術院・客員講師)、B. J. カ
 ー(ロンドン大学クインメアリ校・教授)、「自己
 相似的原始ブラックホール非存在定理 I」、日本
 物理学会、愛媛大学・松山大学、2006 年 3 月
- 原田知広(京大理・講師(研究機関研究員))、
 「原始ブラックホール: 大きさと成長」(招待講

演)、日本物理学会、大阪市立大学、2005 年 9
 月

(b) 国際会議

- Tomohiro Harada, "Naked singularities and
 self-similarity in gravitational collapse", an
 invited talk, Workshop "From Geometry To
 Numerics", 20-24 November, 2006, Institut
 Henri Poincare, Paris, France.
- Tomohiro Harada, "Singularities and
 Self-Similarity in Gravitational Collapse", an
 invited plenary talk, Hayashibara Forum on
 Singularities, 20-23 November, 2006, Ins t
 itut des Hautes Etudes Scientifiques,
 Bur-sur-Yvette, France.
- Tomohiro Harada, "Black Holes in Scalar
 Field/Quintessence Cosmology", The 11th
 Marcel Grossmann Meeting on recent
 developments in theoretical and
 experimental general relativity, gravitation,
 relativistic field theories, 23-29 July, 2006,
 Berlin Freie Universitaet, Berlin, Germany.
- Tomohiro Harada, "Primordial black holes in
 scalar field/quintessence cosmology",
 Discussion Workshop on Black Holes,
 Spacetime Singularities and Cosmic
 Censorship, 3-8 Mar, 2006, Mumbai, India.
- Tomohiro Harada, "Growth of primordial
 black holes", The 7th Asia-Pacific
 International Conference on Gravitation and
 Astrophysics, 23 - 26 Nov, 2005, Chungli,
 Taiwan.
- Tomohiro Harada, "The Size of Primordial
 Black Holes", Yukawa International Seminar
 2005, The Next Chapter in Einstein's Legacy,
 27 June - 1 July, 2005, Kyoto, Japan. (poster)
- Tomohiro Harada, "Primordial Black Holes
 with a massless scalar field", The 17th
 International Conference on General

Relativity and Gravitation, July 18-23, 2004, Dublin, Ireland.

- Tomohiro Harada, "Spherically symmetric perfect fluid collapse in the area-radial coordinates", International Workshop on Dynamics and Thermodynamics of Blackholes and Naked Singularities, May 13-15, 2004, Milan, Italy.

(c)主な国際的研究集会での発表

- Tomohiro Harada, "Non-existence of self-similar black hole in a universe with a scalar field or quintessence", The 16th Workshop on General Relativity and Gravity, 27 Nov - 1 Dec, 2006, Niigata Prefectural Civic Center, Niigata, Japan
- Tomohiro Harada, "Super-horizon primordial black hole and its evolution", The 15th Workshop on General Relativity and Gravity, 28 Nov - 2 Dec, 2005, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
- Tomohiro Harada, "Super-horizon primordial black holes", The 3rd 21st Century COE Symposium on Physics of Self-organization System: Astrophysics as Interdisciplinary Science, Sep 1-3, 2005, Waseda University, Tokyo, Japan
- Tomohiro Harada, "Growth of primordial black holes in a universe containing a massless scalar field", Post-YKIS 2005 Workshop: Frontiers of Gravitational Wave Physics, 27-28, July, 2005, Kyoto, Japan
- Tomohiro Harada, "Primordial Black Holes with a Massless Scalar Field", The Workshop on Numerical Relativity, Feb 22-23, 2005, Tainan, Taiwan

家城

Study of the Stellar $^{22}\text{Mg}(p, \gamma)^{23}\text{Al}$ Reaction using

the Coulomb-Dissociation Method

T.Gomi, T.Motobayashi, Y.Ando, N.Aoi, H.Baba, K.Demichi, Z.Elekes, N.Fukuda, Zs.Fulop, U.Futakami, H.Hasegawa, Y.Higurashi, K.Ieki, N.Imai, M.Ishihara, K.Ishikawa, N.Iwasa, H.Iwasaki, S.Kanno, Y.Kondo, T.Kubo, S.Kubono, M.Kunibu, K.Kurita, Y.U.Matsuyama, S.Michimasa, T.Minemura, M.Miura, H.Murakami, T.Nakamura, M.Notani, S.Ota, A.Saito, H.Sakurai, M.Serata, S.Shimoura, T.Sugimoto, E.Takeshita, S.Takeuchi, Y.Togano, K.Ue, K.Yamada, Y.Yanagisawa, K.Yoneda, A.Yoshida
Nucl.Phys. **A734** E77 (2004)

Molecular states in neutron-rich beryllium isotopes

A.Saito, S.Shimoura, S.Takeuchi, T.Motobayashi, T.Minemura, Y.U.Matsuyama, H.Baba, H.Akiyoshi, Y.Ando, N.Aoi, Zs.Fulop, T.Gomi, Y.Higurashi, M.Hirai, K.Ieki, N.Imai, N.Iwasa, H.Iwasaki, Y.Iwata, S.Kanno, H.Kobayashi, S.Kubono, M.Kunibu, M.Kurokawa, Z.Liu, S.Michimasa, T.Nakamura, S.Ozawa, H.Sakurai, M.Serata, E.Takeshita, T.Teranishi, K.Ue, K.Yamada, Y.Yanagisawa, M.Ishihara
Nucl.Phys. **A738** 337 (2004)

Secondary neutron-production cross sections from heavy-ion interactions in composite targets

L.Heilbronn, Y.Iwata, H.Iwase, T.Murakami, H.Sato, T.Nakamura, R.M.Ronningen, K.Ieki, I.Gudowska, N.Sobolevsky
Phys.Rev. C 73, 024603 (2006)

Study of the $^{26}\text{Si}(p, \gamma)^{27}\text{P}$ reaction through Coulomb dissociation of ^{27}P

Y.Togano, T.Gomi, T.Motobayashi, Y.Ando, N.Aoi, H.Baba, K.Demichi, Z.Elekes, N.Fukuda, Zs.Fulop, U.Futakami, H.Hasegawa, Y.Higurashi, K.Ieki, N. Imai, M.Ishihara, K.Ishihara, K.Ishikawa, N.Iwasa, H.Iwasaki, S.Kanno, Y.Kondo, T.Kubo, M.Kunibu, K.Kurita, Y.U.Matsuyama, S.Michimasa, T.Minemura, M.Miura, H.Murakami, T.Nakamura, M.Notani, S.Ota, A.Saito, H.Sakurai, M.Serata, S.Shimoura, T.Sugimoto, E.Takeshita, S.Takeuchi, K.Ue, K.Yamada, Y.Yanagisawa, K.Yoneda, and A.Yoshida
Eur. Phys. J, **A 27**, Supplement 1, 233 (2006)

Can neutron-capture cross sections be measured with Coulomb dissociation ?

A. Horvath, K. Ieki, A. Kiss, A. Galonsky, M. Thoennessen, T. Baumann, D. Bazin, C. A. Bertulani, C. Bordeanu, N. Carlin, M. Csanad, F. Deak, P. DeYoung, N. Frank, T. Fukuchi, Zs. Fulop, A. Gade, D. R. Galaviz, C. Hoffman, R. Izsak, W. A. Peters, H. Schelin, A. Schiller, R. Sugo, Z. Seres, and G. Veres
Eur. Phys. J **A 27**, Supplement 1, 217 (2006)

Target screening effect on the pre-emission of neutrons from ^{11}Li halo nuclei

M.Petrascu, A.Constantinescu, I.Cruceru, M.Giurgiu, A.Isbasescu, H.Petrascu, C.Bordeanu, S.Serban, V.Stoica, I.Tanihata, W.G.Lynch, M.A.Famiano, V.L.Lyuboshits, V.V.Lyuboshits and K.Ieki
Phys. Rev. **C 73** 057601 (2006)

学会発表

^6He のクーロン分解反応

篠原摩有子, 中村隆司, 佐藤義輝, 近藤洋介, 南日卓,

島村智之, 中山佳晃, 米田健一郎, 青井考, 馬場秀忠, 市川雄一, 家城和夫, 石原正泰, 木村仁美, 小林俊雄, 町田智大, 本林透, 大津秀暁, 櫻井博儀, 下浦享, 白木章雄, 杉本崇, 武内聡, 大田晋輔, 武内聡, 梶野泰宏, 山田一成, 山口充孝, 谷内勇仁
日本物理学会 2007 年春季大会, 2007.3 東京都八王子市

^9He のクーロン分解反応

南日卓, 中村隆司, 佐藤義輝, 近藤洋介, 篠原摩有子, 島村智之, 中山佳晃, 米田健一郎, 青井考, 馬場秀忠, 市川雄一, 家城和夫, 木村仁美, 小林俊雄, 町田智大, 本林透, 大津秀暁, 櫻井博儀, 下浦享, 白木章雄, 杉本崇, 武内聡, 大田晋輔, 武内聡, 梶野泰宏, 山田一成, 山口充孝, 谷内勇仁, 石原正泰
日本物理学会 2007 年春季大会, 2007.3 東京都八王子市

小泉

X-ray-induced fluorescence spectroscopy with highly charged ion beam produced by a laser ion source

S. Ozawa, M.Wakasugi, M. Okamura, T. Katayama, T. Koizumi, and M. Serata
Rev. Sci. Instrum. **75** (2004) 1579-1581.

X-ray-induced fluorescence spectroscopy with EBIT

S. Ozawa, M.Wakasugi, M. Okamura,, T. Koizumi, M. Fukuda, and T. Katayama
J. Phys.Conference Series 2 (2004) 134-142.

Double charge transfer spectroscopy of O_2^{2+} : Band analyses of low-lying repulsive states

O.Furuhashi, T.Kinugawa, T.Hirayama, T.Koizumi, C.Yamada and S.Ohtani
Phys. Rev. A **70**(2004) 052501.

Light Output and Decay Curve of GSO:Ce under Electron, Proton, Alpha Particle and Fission Fragment Excitations

S. Shimizu, M. Suzuki, T. Koizumi, H. Ishibashi and S. Kubota

Nucl. Instr. and Meth. A. **537**(2005) 57-60.

Observation of resonance structures in 4d photoionization of Eu^+

T.M. Kojima, F. Chen, M. Kitajima, T. Koizumi, Y. Nakai, H. Yamaoka, N. Watanabe

J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **144-147**(2005)71-74.

Ion yield spectroscopy of sodium following K-shell photoexcitation

H. Yamaoka, T. Koizumi, M. Oura, Y. Tamenori, A. Terai, K. Takahiro, K. Kawatsura,

T. Mukoyama

J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **144-147**(2005)75-78.

Study of the Broad Emission Wavelength of Lu0.4Gd1.6Si0.5Ce for APD Detection

S Shimizu, H. Murakami, T. Koizumi, T. Usui, N. Shimamura, K. Kurashige,

Y. Kutata, N. Senguttuvan, K. Sumiya, and H. Ishibashi

IEEE Trans. Nucl. Sci. **53**(2006)3934-3937.

Study of nonradiative decay properties following resonant double excitation

to the $[1s2p]nln''$ states of Ne atom using soft X-ray undulator radiation

M. Oura, Y. Tamenori, F. Koike, T. Hayaishi, H. Yamaoka, T. Koizumi,

T. Takahiro, K. Kawatsura, T. Mukoyama

Rad. Phys. Chem. **76**(2007) 460-474.

Multiple Charge Transfer by Slow Multi-Charged Xe Ions

H. Ito, Y. Chihara, Y. Suzuki, T. Hirayama, and T. Koizumi

J. Phys.: Conference Series. **58**(2007) 311-314.

学会発表

Desorption of atoms and ions from the surface of solid Ne by low energy ion impact

S. Fujita, T. Hirayama, T. Koizumi

International Conference on Atomic Collisions in Solids(2006.7,Berlin)

同時計測装置による分子二価イオンの解離過程の研究

茅原雄太、伊藤裕章、古橋治、絹川亨、平山孝人、小泉哲夫

原子衝突研究協会第31回研究会 (2006.8,岡崎コンファレンスセンター)

Xe^{q+} ($q=5\sim 10$)イオンの多重電荷移行反応

伊藤裕章、茅原雄太、鈴木啓久、平山孝人、小泉哲夫

原子衝突研究協会第31回研究会 (2006.8,岡崎コンファレンスセンター)

低速多価イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離粒子の観測

藤田慎也、深井健太郎、立花隆行、小泉哲夫、平山孝人

原子衝突研究協会第31回研究会 (2006.8,岡崎コンファレンスセンター)

Multiple Charge Transfer by Slow Multi-Charged Xe Ions

H. Ito, Y. Chihara, Y. Suzuki, T. Hirayama, and T. Koizumi

HCI2006 (Queen's University Belfast,UK)

Time-of-flight studies of desorbed metastable atoms from solid Ne by low energy ion impact

S. Fujita, T. Hirayama, T. Koizumi

24th European Conference on Surface Science (2006.9,Paris)

Sputtering of condensed rare gases by singly and multiply charged ion impact

S.Fujita, T.Tachibana, T.Koizumi, and T.Hirayama

DIET11(2007.3, Berlin)

Li⁺・(2-ブタノール) イオン移動度のカイラリティ依存性

橋本公瑛、坂巻雄輔、小島隆夫、清水敏夫、田沼肇、城丸春夫、小泉哲夫

日本物理学会 2007 年春季大会（鹿児島大）
低速多価イオン衝撃による希ガス固体表面からの 2 次粒子の観測

藤田慎也、深井健太郎、立花隆行、小泉哲夫、平山孝人

日本物理学会 2007 年春季大会（鹿児島大）
同時計測法による Ar^{q+}(q=3~6)電荷移行反応の研究
鈴木啓久、伊藤裕章、平山孝人、小泉哲夫
日本物理学会 2007 年春季大会（鹿児島大）

平山

Multiple charge transfer by slow multi-charged Xe ions, H. Ito, Y. Chihara, Y. Suzuki, T. Hirayama and T. Koizumi, J. Phys. Conf. Ser. **58**, (2007) 311.

Exciton induced photodesorption in rare gas solids, T. Hirayama and I. Arakawa, J. Phys. Cond. Matt. **18**, (2006) S1563-1580.

希ガス固体表面における電子遷移誘起脱離, 荒川一郎, 平山孝人, 真空 **49**, (2006) 593-599.

Photodesorption of ionized water clusters from water physisorbed on rare gas solids, T. Tachibana¹, Y. Yamauchi, H. Nagasaki, T. Miura, T. Hirayama, M. Sakurai and I. Arakawa, Surf. Sci. **593**, (2005) 264.

Double charge transfer spectroscopy of O₂²⁺ band analyses of low-lying repulsive states, O.Furuhashi, T.Kinugawa, T.Hirayama, T.Koizumi, C. Yamada, and S. Ohtani, Phys. Rev. A **70**, (2004) 052501.

学会発表

低速多価イオン衝撃による希ガス固体表面からの 2 次粒子の観測

藤田慎也、深井健太郎、立花隆行、小泉哲夫、平山孝人

日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学, 21aXH-6

同時計測法による Ar^{q+} (q = 3 ~ 6)電荷移行反応の研究

鈴木啓久、伊藤裕章、平山孝人、小泉哲夫

日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学, 21aXH-10

低速多価イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離粒子の観測

藤田慎也、深井健太郎、立花隆行、小泉哲夫、平山孝人

第 31 回原子衝突研究協会研究会, 2006 年 8 月, 岡崎コンファレンスセンター, P47

同時計測装置による分子二価イオンの解離過程の研究

茅原雄太、伊藤裕章、古橋治 A、絹川亨 B、平山孝人、小泉哲夫

第 31 回原子衝突研究協会研究会, 2006 年 8 月, 岡崎コンファレンスセンター, P35

Xe^{q+} (q=5 - 10) イオンの多重電荷移行反応

伊藤裕章、茅原雄太、鈴木啓久、平山孝人、小泉哲夫

第 31 回原子衝突研究協会研究会, 2006 年 8 月, 岡崎コンファレンスセンター, P36

低速希ガス多価イオンの多重電荷移行反応

伊藤裕章、茅原雄太、平山孝人、小泉哲夫

日本物理学会年会, 2006 年 3 月, 愛媛大学, 30pTB-9

イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離粒子の観測

藤田慎也, 市川万里子, 水上理映子, 平山孝人, 小泉哲夫

日本物理学会年会, 2006 年 3 月, 愛媛大学, 30aPS-53

合流ビーム法を用いた希ガスクラスターの電子的励起過程の実験的研究

窪寺隼人, 瀬戸根正基, 堺聡史, 平山孝人

日本物理学会年会, 2006 年 3 月, 愛媛大学, 27aTB-11

低速多価イオンによる Ne 固体のポテンシャルスパッタリング

藤田慎也, 古橋治, 小泉哲夫, 平山孝人

日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月, 同志社大学, 20aYA-3

二電子移行分光法による分子解離過程の研究ー同時計測装置の開発ー

茅原雄太, 伊藤裕章, 古橋治, 絹川亨, 平山孝人, 小泉哲夫

日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月, 同志社大学, 21pYA-4

電子-イオン衝突過程における放出電子分光実験

坂上裕之, 山田一博, 平山孝人, 櫻井誠, 高柳俊暢, 大谷俊介

日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月, 同志社大学, 20aYA-9

二電子移行分光法による分子解離過程の研究ー同時計測装置の開発ー,

茅原雄太, 伊藤裕章, 古橋治, 絹川亨, 平山孝人, 小泉哲夫

第 30 回原子衝突研究協会研究会, 2005 年 8 月, 理化学研究所, P19

低速多価イオン衝撃による Ne 固体表面からの絶対脱離収率の測定,

藤田慎也, 市川万里子, 水上理映子, 古橋治, 平山孝人, 小泉哲夫

第 30 回原子衝突研究協会研究会, 2005 年 8 月, 理化学研究所, P31

電子衝撃による Ne 固体からの脱離角度分布の温度依存性

加藤春明, 玉木健一, 古橋治, 平山孝人

第 30 回原子衝突研究協会研究会, 2005 年 8 月, 理化学研究所, Q06

Ar 多価イオン衝突による N₂ 分子の解離, 茅原雄太, 伊藤裕章, 古橋治, 絹川亨, 平山孝人, 小泉哲夫, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 2004 年 9 月, 青森大学, 14pTE-9

合流ビーム法を用いた希ガスクラスターの電子エネルギー損失分光実験, 瀬戸根正基, 窪寺隼人, 星野文吾, 古橋治, 平山孝人, 第 29 回原子衝突研究協会研究会, 2004 年 8 月, 東北大学

多価イオン衝突による分子の解離ー同時計測装置の開発ー, 茅原雄太, 伊藤裕章, 古橋治, 絹川亨, 平山孝人, 小泉哲夫, 第 29 回原子衝突研究協会研究会, 2004 年 8 月, 東北大学

プロトン二電子移行反応による O₂²⁺ の分光, 古橋治, 絹川亨, 平山孝人, 小泉哲夫, 山田千樞, 大谷俊介, 日本物理学会第 59 回年次大会, 2004 年 3 月, 九州大学, 30pXN-1

希ガス固体表面上から光励起脱離する水クラスターイオンの入射エネルギー依存性, 立花隆行, 山内裕子, 長崎仁志, 三浦崇, 平山孝人, 櫻井誠, 荒川一郎, 日本物理学会第 59 回年次大会, 2004 年 3 月, 九州大学, 28pWR-9

合流ビーム法を用いた希ガスクラスターと電子の衝突実験，瀬戸根正基，膳崇訓，古橋治，平山孝人，日本物理学会第 59 回年次大会，2004 年 3 月，九州大学，27aXN-7

学会発表（国際会議）

Sputtering of condensed rare gases by singly and multiply charged ion impact

S. Fujita, T. Tachibana, T. Koizumi, and T. Hirayama

The 11th Internal Workshop on Desorption Induced by Electronic

Transitions (DIET-11) (11 - 15 March 2007, Berlin, Germany)

Time-of-flight studies of desorbed metastable atoms from solid Ne by low energy ion impact

S. Fujita, T. Hirayama, and T. Koizumi,

The 24th European Conference on Surface Science (ECOSS 24) (4 - 8 September 2006, Paris, France), CLU-Th-P-550

Angular distribution of desorbed atoms from rare gas solids by low energy electron impact

H. Kato and T. Hirayama,

The 24th European Conference on Surface Science (ECOSS 24) (4 - 8 September 2006, Paris, France), CLU-Th-P-538

Experimental study of electronic excitation processes in Ar cluster using a merging beam method

H. Kubotera, M. Setone, S. Sakai, and T. Hirayama,

The 24th European Conference on Surface Science (ECOSS 24) (4 - 8 September 2006, Paris, France),

CLU-Th-P-457

Multiple charge transfer by slow multi-charged Xe ions

H. Ito, Y. Chihara, Y. Suzuki, T. Koizumi, and T. Hirayama,

13th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions (HCI2006) (28 Aug. - 1 Sept., 2006, Belfast, UK)

Desorption of atoms and ions from the surface of solid Ne by low energy ion impact

S. Fujita, T. Hirayama, and T. Koizumi,

The 22nd International Conference on Atomic Collisions in Solids (ICACS 2006) (21 - 26 July, 2006, TU-Berlin, Germany)

Desorption of atoms and ions from rare gas solid surface by slow multiply-charged ion impact

T. Hirayama, T. Hannuki, W. Yasaku, O. Furuhashi, and T. Koizumi,

The 10th Internal Workshop on Desorption Induced by Electronic Transitions (DIET-10) (8-11 November 2004, Susono, Japan)

セミナー・他

低エネルギー電子・光子・イオン入射による希ガス固体からの粒子の脱離

平山孝人

東京工業大学化学科セミナー，2006 年 11 月 24 日，東京工業大学

低速イオン衝撃による希ガス固体表面からの脱離課程

平山孝人

第 31 回原子衝突研究協会研究会シンポジウム「イオ

ン-表面相互作用」, 2006 年 8 月, 岡崎コンファレンスセンター, S1-4

栗田

Scaling Of Particle And Transverse Energy Production In Pb-208 + Pb-208 Collisions At 158-A/Gev.

M.M. Aggarwal et. al.

Eur.Phys.J.C18:651-663,2001

Systematics Of Midrapidity Transverse Energy Distributions In Limited Apertures From P + Be To Au + Au Collisions At Relativistic Energies.

T. Abbott et al.

Phys.Rev.C63:064602,2001

Localized Charged Neutral Fluctuations In 158 A GeV Pb + Pb Collisions.

M.M. Aggarwal et al.

Phys.Rev.C64:011901,2001

System, Centrality, And Transverse Mass Dependence Of Two Pion Correlation Radii In Heavy Ion Collisions At 11.6-A-GeV And 14.6-A-GeV.

L. Ahle et al.

Phys.Rev.C66:054906,2002

Measurement Of Analyzing Power For Proton Carbon Elastic Scattering In The Coulomb Nuclear Interference Region With A 22-GeV/C Polarized Proton Beam.

J. Tojo et al.

Phys.Rev.Lett.89:052302,2002

FURTHER OBSERVATIONS ON MIDRAPIDITY ET DISTRIBUTIONS WITH APERTURE CORRECTED SCALE.

T. Abbott et al.

Phys.Rev.C68:034908,2003

POLARIZED PROTON COLLIDER AT RHIC.

I. Alekseev et al.

Nucl.Instrum.Meth.A499:392-414,2003

PHENIX CENTRAL ARM PARTICLE ID DETECTORS.

PHENIX Collaboration (M. Aizawa et al.).

Nucl.Instrum.Meth.A499:508-520,2003

PHENIX ON-LINE SYSTEMS.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler et al.)

Nucl.Instrum.Meth.A499:560-592,2003

ANOMALOUSLY HINDERED E2 STRENGTH B(E2:2(1)+ $\rightarrow$ 0+) IN C-16.

N. Imai et al.

Phys.Rev.Lett.92:062501,2004

Fiddling carbon strings with polarized proton beams.

[H. Huang \(Brookhaven\)](#) , [K. Kurita \(Rikkyo U. & Wako, RIKEN\)](#) . 2006. 19pp.

Published in AIP Conf.Proc.868:3-21,2006.

村田

Development of a new drift chamber based Mott polarimeter.

D. Kameda (Wako, RIKEN) , Hiroyuki Kawamura, Jiro Murata, K. Narita, T. Shimoyama, T. Suehiro, T. Toyoda (Rikkyo U.) , M. Uchida (Tokyo Inst. Tech.) . 2007. 4pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006.

AIP Conf.Proc.915:1105-1108,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 1105-1108

Production of polarized radioactive beams via the inverse-kinematics reactions and their applications.

K. Shimada *et al.* 2007. 6pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf.Proc.915:857-862,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 857-862

Developments of atomic beam resonance method with RI beams.

A. Yoshimi, H. Ueno, T. Sugimoto, D. Kameda, K. Asahi (Wako, RIKEN) , K. Shimada, D. Nagae (Tokyo Inst. Tech.) , Jiro Murata, Hiroyuki Kawamura (Rikkyo U.) . 2007. 4pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf.Proc.915:849-852,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 849-852

Nuclear moment measurements of neutron-rich aluminum isotopes using spin-polarized RI beams: Determination of the boundary of the 'Island of inversion'.

D. Kameda *et al.* 2007. 4pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf.Proc.915:845-848,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 845-848

Nuclear-moment measurements at RIKEN and perspectives in RIBF.

H. Ueno *et al.* 2007. 4pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf.Proc.915:841-844,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 841-844

Beta neutrino correlation and T-violation experiment in nuclear beta decay.

Jiro Murata *et al.* 2007. 4pp.

Prepared for 17th International Spin Physics Symposium (SPIN06), Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf.Proc.915:218-221,2007. Also in *Kyoto 2006, Spin physics* 218-221

Pico-Precision Displacement Sensor using Digital Image Analysis

IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record 675, 2005

Micron-Precision Optical Alignment System for Muon Tracking Chambers

J. Murata, A. Al-Jamel, R.L. Armendariz, M.L. Brooks, T. Horaguchi, N. Kamihara, H. Kobayashi, D.M. Lee, T.A. Shibata, W.E. Sondheim, A. Taketani, T. Watanabe

“Muons: New Research”, Nova Science Publishers, Ed. J. Caparthy, ISBN1-59454-175-2, 2004

Fundamental Beta Decay Experiments at RIKEN-RIBF

J. Murata

Czech, J. Phys. Vol. 54, B217-B220, 2004

学会発表

時間反転対称性検証実験のための電子横方向偏極度計の開発

立大理, 理研^A, 東工大理^B 川村広和, 村田次郎, 成田圭吾, 豊田健司, 下山拓也, 末廣徹, 亀田大輔^A, 内田誠^B

日本物理学会 2007 年春季大会

T-Violation Experiment using Polarized ⁸Li at

KEK-TRIAC

Jiro Murata

KEK Seminar, KEK, 25Apr, 2006

T-Violation Experiment using Electron
Polarimeter

International Workshop on Nuclear Physics with
RIBF, RIKEN, 13-17 Mar, 2006

Beta Decay experiments using stopped RI

第二回「停止・低速不安定核ビームを用いた核分光
研究会」, KEK, 7-8 Mar, 2006

Pico-Precision Displacement Sensor Using Digital
Image Analysis.”

Jiro Murata

IEEE Nuclear Science Symposium & Medical
Imaging Conference, 23-29 Oct, 2005, Wyndham
El Conquistador Resort, Puerto Rico

New Project of Fundamental Beta Decay
Experiments at RIKEN-RIBF

J. Murata

International Nuclear Physics Conference (INPC
2004), Göteborg, Sweden, 27Jun - 2Jul, 2004.

超低速 RI を用いたベータ・ニュートリノ関連実験

村田次郎

研究会「RIBF 戻しビームラインを用いた科学の展
開」 Oct.20, 2004, 理化学研究所

栗田・村田 (PHENIX Collaboration)

Measurement of high-p(T) single electrons from
heavy-flavor decays in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.

By PHENIX Collaboration (A. Adare *et al.*).
Phys.Rev.Lett.97:252002,2006.

Improved measurement of double helicity
asymmetry in inclusive midrapidity π^0 production
for polarized p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.

By PHENIX Collaboration (Stephen Scott Adler *et al.*).

Phys.Rev.D73:091102,2006.

Common suppression pattern of eta and π^0
mesons at high transverse momentum in Au+Au
collisions at $S(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.

By PHENIX Collaboration (Stephen Scott Adler *et al.*). Phys.Rev.Lett.96:202301,2006.

Low mass dilepton production at RHIC energies.
PHENIX Collaboration (K. Ozawa *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:421-426,2005

Can phi mesons give an answer to the baryon
puzzle at RHIC?

PHENIX Collaboration (J. Velkovska *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:317-322,2005

Medium effects on high particle production
measured with the PHENIX experiment.

PHENIX Collaboration (H. Busching *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:303-310,2005

Differential probes of medium-induced energy loss.

PHENIX Collaboration (B.A. Cole *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:271-280,2005

Heavy flavor production in PHENIX.

PHENIX Collaboration (O. Drapier *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:201-208,2005

Quarkonium production from d + Au to Au + Au
collisions.

PHENIX Collaboration (M. Rosati *et al.*). 2005.

Eur.Phys.J.C43:173-178,2005

Nuclear modification of electron spectra and implications for heavy quark energy loss in Au+Au collisions at $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Oct 2005.
Phys.Rev.Lett.96:032301,2006

Measurement of identified π^0 and inclusive photon v_2 and implication to the direct photon production in $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV Au+Au collisions.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Aug 2005.
Phys.Rev.Lett.96:032302,2006

Single electrons from heavy flavor decays in p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Aug 2005.
Phys.Rev.Lett.96:032001,2006

Measurement of transverse single-spin asymmetries for mid-rapidity production of neutral pions and charged hadrons in polarized p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Jul 2005.
Phys.Rev.Lett.95:202001,2005

Centrality dependence of direct photon production in $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV Au + Au collisions.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Mar 2005.
Phys.Rev.Lett.94:232301,2005

Measurement of single electron event anisotropy in Au+Au collisions at $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Feb 2005.
Phys.Rev.C72:024901,2005

Mid-rapidity direct-photon production in p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Feb 2005.
Phys.Rev.D71:071102,2005

Saturation of azimuthal anisotropy in Au + Au collisions at $\sqrt{s(NN)} = 62$ -GeV to 200-GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Nov 2004.
Phys.Rev.Lett.94:232302,2005

Production of phi mesons at mid-rapidity in $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV Au+Au collisions at RHIC.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Oct 2004.
Phys.Rev.C72:014903,2005

Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration.
PHENIX Collaboration (K. Adcox *et al.*). Oct 2004.
Nucl.Phys.A757:184-283,2005

Centrality dependence of charm production from single electrons measurement in Au + Au collisions at $\sqrt{s(NN)} = 200$ -GeV.
PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.Lett.94:082301,2005

Systematic studies of the centrality and $s(NN)^{1/2}$ dependence of the $d E(T) / d \eta$ and $d(N(ch) / d \eta$ in heavy ion collisions at mid-rapidity.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.C71:034908,2005,

Erratum-ibid.C71:049901,2005

Jet structure of baryon excess in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.C71:051902,2005

Deuteron and antideuteron production in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.Lett.94:122302,2005

BOSE-EINSTEIN CORRELATIONS OF CHARGED PION PAIRS IN AU + AU COLLISIONS AT $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*). Jan 2004. 6pp.

Phys.Rev.Lett.93:152302,2004

HIGH $P(T)$ CHARGED HADRON SUPPRESSION IN AU + AU COLLISIONS AT $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.C69:034910,2004

MEASUREMENT OF NONRANDOM EVENT BY EVENT FLUCTUATIONS OF AVERAGE

TRANSVERSE MOMENTUM IN $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV AU+AU AND P+P COLLISIONS.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.Lett.93:092301,2004

IDENTIFIED CHARGED PARTICLE SPECTRA AND YIELDS IN AU+AU COLLISIONS AT $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.C69:034909,2004

J / Ψ PRODUCTION FROM PROTON PROTON COLLISIONS AT $s^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.Lett.92:051802,2004

SINGLE IDENTIFIED HADRON SPECTRA FROM $s(NN)^{1/2} = 130$ -GEV AU+AU COLLISIONS.

PHENIX Collaboration (K. Adcox *et al.*).

Phys.Rev.C69:024904,2004

J / Ψ PRODUCTION IN AU AU COLLISIONS AT $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV AT THE RELATIVISTIC HEAVY ION COLLIDER.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.C69:014901,2004

HEAVY ION COLLISIONS AT COLLIDER ENERGIES: INSIGHTS FROM PHENIX.

PHENIX Collaboration (A. Drees *et al.*).

Pramana 60:639-650,2003

SCALING PROPERTIES OF PROTON AND ANTI-PROTON PRODUCTION IN $s(NN)^{1/2} = 200$ -GEV AU+AU COLLISIONS.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).

Phys.Rev.Lett.91:172301,2003

PHENIX DETECTOR OVERVIEW.

PHENIX Collaboration (K. Adcox *et al.*).
Nucl.Instrum.Meth.A499:469-479,2003

PHENIX MUON ARMS.

PHENIX Collaboration (H. Akikawa *et al.*).
Nucl.Instrum.Meth.A499:537-548,2003

ELLIPTIC FLOW OF IDENTIFIED HADRONS IN AU+AU COLLISIONS AT $S(NN)^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).
Phys.Rev.Lett.91:182301,2003

SUPPRESSED π^0 PRODUCTION AT LARGE TRANSVERSE MOMENTUM IN CENTRAL AU+ AU COLLISIONS AT $S(NN)^{1/2} = 200$ GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).
Phys.Rev.Lett.91:072301,2003

MID-RAPIDITY NEUTRAL PION PRODUCTION IN PROTON PROTON COLLISIONS AT $S^{1/2} = 200$ -GEV.

PHENIX Collaboration (S.S. Adler *et al.*).
Phys.Rev.Lett.91:241803,2003

CENTRALITY DEPENDENCE OF THE HIGH $P(T)$ CHARGED HADRON SUPPRESSION IN AU+AU COLLISIONS AT $S(NN)^{1/2} = 130$ -GEV.

PHENIX Collaboration (K. Adcox *et al.*).
Phys.Lett.B561:82-92,2003

吉森

Long-term Variations in Cosmic-Ray Produced
Be-7 in the Atmosphere with 11-year Solar Cycle

M. Yoshimori, 30th International Cosmic Ray
Conference, in press.

Atmospheric Air Mass Motions Inferred from Seasonal Variations in Surface Cosmogenic Be-7 Concentration

M. Yoshimori, 30th International Cosmic Ray
Conference, in press.

Temporal Variations in Cosmogenic and Terrestrial Radionuclides

M. Yoshimori, 30th International Cosmic Ray
Conference, in press.

Variations in Surface Beryllium-7 Concentrations with Solar Activity

M. Yoshimori, Adv. Space Res., in press.

Atmospheric Motion Studied from Surface Concentrations of Cosmogenic Beryllium-7

M. Yoshimori, Adv. Space Res., in press.

Beryllium 7 Radionuclide as a Tracer of Vertical Air Mass Transport in the Troposphere

M. Yoshimori, Adv. Space Res. 36, 828 - 832 (2005).

Production and Behavior of Beryllium 7 Radionuclide in the Upper Atmosphere

M. Yoshimori, Adv. Space Res. 36, 922 - 926
(2005).

A Statistical Study of Gamma-ray Emitting Solar Flares Observed with Yohkoh

Y. Matsumoto, K. Makishima,
J. Kotoku, M. Yoshimori et al., Publ. Astron. Soc.
Japan, 57,
211 - 220 (2005).

Atmospheric Air Mass Motions
Studied from Measurement of Cosmogenic Be-7
Radionuclide

M. Yoshimori, 29th International Cosmic Ray
Conference 2, 361-364 (2005).

Temporal Variations in Surface Concentrations of
Radionuclides as Viewed from Altitude
Distributions

M. Yoshimori, 29th International Cosmic Ray
Conference 2, 365 – 368 (2005).

Cosmogenic Radionuclide ⁷Be in
the Upper Atmosphere by Galactic Cosmic Rays
and Solar
energetic Particles

M. Yoshimori, 29th International Cosmic Ray
Conference, jap-yoshimori-M-abst1-sh35 (2005).

Solar Neutron Events Associated with Large Solar
Flares in Solar Cycle 23

K. Watanabe, Y. Muraki, Y. Matsubara, T.Sako,
T. Sakai, H. Tsuchiya, S. Shibata, S. Masuda,
M. Yoshimori et al., 29th International Cosmic Ray
Conference 2, 37 – 40 (2005).

学会発表

Cosmogenic Be-7 Concentrations and Solar
Activity

M. Yoshimori, Seminar on Astrophysics and
Geophysics (June 25, 2006, University of New
Hampshire, USA)

Recent Observations of Solar X-rays, Gamma-rays
and Neutrons

M. Yoshimori, Annual Meeting of Current

Topics of Cosmic Ray Physics

(October 10, 2006, Moscow Engineering and
Physics Institute, Russia)

Variations in Beryllium-7 Production in the
Earth's Atmosphere with the 11-year
Cycle of Solar Activity

M. Yoshimori, Recent Advances of Solar
Physics (March 12, 2007, University of
Adelaide, Australia)

Study of Atmospheric Motions from
Measurements of Cosmogenic and Terrestrial
Radionuclides

M. Yoshimori 日本物理学会 (2005 年 9 月 12 日 : 大
阪市立大学)

Temporal Variations in Surface Concentrations of
Terrestrial Lead-210 and Uranium- 235
Radionuclide

M. Yoshimori IZMIRAN, Russian Academy of
Sciences (August 19, 2005, Moscow)

Temporal Variations in Surface Concentrations of
Radionuclides

M. Yoshimori 日本物理学会 (2005 年 3 月 27 日 : 東
京理科大学)

High-Energy Solar Flare Phenomena as Viewed
from Gamma-ray Lines

M. Yoshimori Workshop of Solar Terrestrial
Physics (University of Nagoya,
Jan. 6, 2005)

山本

Implication for the solar wind effect on the Io
plasma torus,

H.Nozawa, H. Misawa, M. Kagitani, S. Takahashi,
A. Morioka, T. Kimura, S. Okano, H. Yamamoto,
and R. Sood (2006) ,
Geophys. Res., Lett., Vol.33, 2006

Ground-based observations of solar UV radiation
at Japan, Brazil and Chile,
H.Nozawa, H. Yamamoto, K. Makita, N. J. Schuch,
D. K. Pinheiro, S. Carbone, A. J. Foppiano, and R.
M. Mac-Mahon (2006),
In press RBGf, 2006

ブラジル・チリにおける太陽紫外線観測,
野澤宏大, 山本博聖, 巻田和男, N. J. Schuch, A.
Foppiano, and R. M. Mac-Mahon,
拓殖大学理工学研究報告, Vol. 9, No. 3, 25-28, 2005
年.

Waves in airglow structures experiment 2004:
Overview and preliminary results,
N.Iwagami, S.Ohtsuki, M.Akojima, M.Kubota,
Y.Murayama, S.Kawamura, T.Nakamura,
H.Yamamoto, H.Sekiguchi, N.Kimura,
K.Shiokawa, T.Okada, K.Ishisaka, Y.Ashihara,
Y.Kaiho, T.Abe, Y.Koizumi, R.Yoshimura, and
K-I.Oyama,
Adv.Space Res., 35, 1964-70, 2005

大気光波状構造キャンペーン 2004 における地上観
測の概要ならびに観測初期結果,
久保田実、村山泰啓、川村誠治、五十嵐喜良、亘慎
一、吉村玲子、西牟田一三、塩川和夫、大塚雄一、
長澤親生、阿保真、内海通弘、山本博聖、関口宏之、
山本衛、中村卓司、岩上直幹、小山孝一郎、阿部琢
美、
宇宙航空研究開発機構特別資料「S-310-33 号機観測
ロケット研究報告」、p35-44、2005 年 3 月.

学会発表

Ground-based observations of solar UV radiation
at Tokyo, Brazil and Chile,
H.Nozawa, H. Yamamoto, K. Makita, N. J. Schuch,
D. K. Pinheiro, S. Carbone, A. J. Foppiano, and R.
M. Mac-Mahon

9th International Congress of the Brazilian
Geophysical Society, Salvador, 2005

Modelo para Cálculo da Coluna Total de Ozônio
usando Dados do Espectroradiômetro do
Observatório Espacial do Sul.,

Caroline Bertagnolli , Rafael Peres, Samara
Carbone, Robinson L. Manfro, Damaris K.
Pinheiro, Augusta A. M. P. Schuch, H. Nozawa, H.
Yamamoto e Nelson J. Schuch,
9th International Congress of the Brazilian
Geophysical Society, Salvador, 2005

東京、ブラジル、チリにおける太陽地紫外線の地上
観測

野澤宏大、山本博聖、巻田和男、N.J.Schuch、
D.K.Pinheiro、A.J.Foppiano

第 19 回大気圏シンポジウム 2005 年 2 月 宇
宙科学研究所

北本

Journals (2006年度)

X-Ray Emission-Line Profiles of Three Early-Type
Stars Observed with Chandra

Yamamoto Norimasa; Takano Haruko; Shunji
Kitamoto; Kohmura Takayoshi

(2007,PASJ, 59, 237)

Suzaku Observation of Diffuse X-Ray Emission
from the Carina Nebula

[Hamaguchi, Kenji](#);

[Petre, Robert](#);

[Matsumoto, Hironori](#);

[Tsujimoto, Masahiro](#);

[Holt, Stephen S.](#); [Ezoe, Yuichiro](#); [Ozawa, Hideki](#);
[Tsuboi, Yohko](#); [Soong, Yang](#); [Kitamoto, Shunji](#);
[Sekiguchi, Akiko](#); [Kokubun, Motohide](#)
(2007,PASJ, 59, S151)

X-Ray Imaging Spectrometer (XIS) on Board
 Suzaku

[Koyama, Katsuji](#); [Tsunemi, Hiroshi](#);
[Dotani, Tadayasu](#); [Bautz, Mark W.](#);
[Hayashida, Kiyoshi](#); [Tsuru, Takeshi Go](#);
[Matsumoto, Hironori](#); [Ogawara, Yoshiaki](#);
[Ricker, George R.](#); [Doty, John](#); [Kissel, Steven E.](#);
[Foster, Rick](#); [Nakajima, Hiroshi](#);
[Yamaguchi, Hiroya](#); [Mori, Hideyuki](#);
[Sakano, Masaaki](#); [Hamaguchi, Kenji](#);
[Nishiuchi, Mamiko](#); [Miyata, Emi](#); [Torii, Ken'ichi](#);
[Namiki, Masaaki](#); [Katsuda, Satoru](#);
[Matsuura, Daisuke](#); [Miyachi, Tomofumi](#);
[Anabuki, Naohisa](#); [Tawa, Noriaki](#);
[Ozaki, Masanobu](#); [Murakami, Hiroshi](#);
[Maeda, Yoshitomo](#); [Ichikawa, Yoshinori](#);
[Prigozhin, Gregory Y.](#); [Boughan, Edward A.](#);
[Lamarr, Beverly](#); [Miller, Eric D.](#); [Burke, Barry E.](#);
[Gregory, James A.](#); [Pillsbury, Allen](#); [Bamba, Ava](#);
[Hiraga, Junko S.](#); [Senda, Atsushi](#);
[Katayama, Haruyoshi](#); [Kitamoto, Shunji](#);
[Tsujimoto, Masahiro](#); [Kohmura, Takayoshi](#);
[Tsuboi, Yohko](#); [Awaki, Hisamitsu](#) (2007,PASJ, 59, S23)

The X-Ray Observatory Suzaku

K, Mitsuda et al. (143 Authors) (2007,PASJ, 59, S1)

Cyclotron Resonance Energies at a Low X-Ray
 Luminosity: A0535+262 Observed with Suzaku
[Terada, Y.](#); [Mihara, T.](#); [Nakajima, M.](#); [Suzuki, M.](#);
[Isobe, N.](#); [Makishima, K.](#); [Takahashi, H.](#)

[Enoto, T.](#); [Kokubun, M.](#); [Kitaguchi, T.](#); [Naik, S.](#);
[Dotani, T.](#); [Nagase, F.](#); [Tanaka, T.](#); [Watanabe, S.](#);
[Kitamoto, S.](#); [Sudoh, K.](#); [Yoshida, A.](#);
[Nakagawa, Y.](#); [Sugita, S.](#); [Kohmura, T.](#); [Kotani, T.](#);
[Yonetoku, D.](#); [Angelini, L.](#); [Cottam, J.](#); [Mukai, K.](#);
[Kelley, R.](#); [Soong, Y.](#); [Bautz, M.](#); [Kissel, S.](#); [Doty, J](#)
(2006,ApJL, 648, L139)

Periodic long-term X-ray and radio variability of
 Cygnus X-1

[P. Lauchowicz, A.A. Zdziarski, A. Schwarzenberg-Czerny, G.G., Pooley and S. Kitamoto](#) (2006, MNRAS, 368, 1025)

Proceedings(2006 年度)

An application of active optics to x-ray imaging:
 X-mas (x-ray milli arc-second) Project

[Tsujimoto, Masahiro](#); [Kitamoto, Shunji](#);
[Ohkubo, Yohsuke](#); [Sato, Jun'ichi](#);
[Watanabe, Takeshi](#); [Sudoh, Keisuke](#);
[Sekiguchi, Akiko](#); [Suga, Kazuharu](#);
[Sekiguchi, Hiroyuki](#) , 2006, Proceedings of SPIE,
 6272, "Advances in Adaptive Optics II," Jun. 13,
 2006,152K

X-ray polarimeter with a multilayer-coated CCD

[Kitamoto, Shunji](#); [Watanabe, Takeshi](#);
[Kanai, Jun'ichi](#); [Sudoh, Keisuke](#); [Sato, Jun'ichi](#);
[Ohkubo, Yousuke](#); [Sekiguchi, Akiko](#);
[Tsujimoto, Masahiro](#); [Suga, Kazuharu](#);
[Kohmura, Takayoshi](#); [Maeda, Yoshitomo](#);
[Okada, Shunsaku](#); [Itoh, Yumi](#); [Nakamura, Ryoko](#);
[Kunieda, Hideyo](#) , 2006, Proceedings of SPIE,
 6266, "Space Telescopes and Instrumentation II:
 Ultraviolet to Gamma Ray" Jun. 13, 2006,83K

Soft x-ray imager (SXI) onboard the NeXT satellite
[Tsuru, Takeshi](#) Go; [Takagi, Shin-Ichiro](#);
[Matsumoto, Hironori](#); [Inui, Tatsuya](#);
[Ozawa, Midori](#); [Kovama, Katsuji](#);
[Tsunemi, Hiroshi](#); [Hayashida, Kiyoshi](#);
[Miyata, Emi](#); [Ozawa, Hideki](#);
[Touhiguchi, Masakuni](#); [Matsuura, Daisuke](#);
[Dotani, Tadavasu](#); [Ozaki, Masanobu](#);
[Murakami, Hiroshi](#); [Kohmura, Takayoshi](#);
[Kitamoto, Shunji](#); [Awaki, Hisamitsu](#), 2006,
 Proceedings of SPIE, 6266, "Space Telescopes and
 Instrumentation II: Ultraviolet to Gamma Ray"
 Jun. 13, 2006, 74T

学会発表

Title of the presentation, Author List, Name of the
 conference year, place

"Development and Current Status of a soft X-ray
 Telescope with an Adaptive Optics System",
 Kitamoto, S,
 "Workshop on X-Ray and XUV active Optics",
 SOLEIL Synchrotron, Orsay, France,
 2006.12.15-16

"Adaptive Optics System for the soft X-ray
 Telescope", Kitamoto, S.

"Advanced Optical Fabrication for Analyzer
 Technologies(ADOPTTECH2006)", Riken, Wako,
 Saitama, Japan, 2006.6.08-6.09

"X-ray Polarimeter with a
 Multi-Layer-Coated CCD", Kitamoto, S. Saitoh, K.
 et al.

S P I E "Astronomical Telescopes and
 Instrumentation 2006", Orlando, USA,
 2006.5.24-6.1

"An Application of Active Optics to X-ray
 Imaging: X-mas (X-ray milli arc-second) Project",
 Tsujimoto, M, Ohkubo Y. Kitamoto, S. et al.
 S P I E "Astronomical Telescopes and
 Instrumentation 2006", Orlando, USA,
 2006.5.24-6.1

「Photon Factory での偏光測定実験」
 斉藤 恒介、辻本 匡弘、須藤 敬輔、大久保 洋
 輔、関口 晶子、荻田 喬行、北本 俊二、田原 譲、
 桜井 郁也、日本天文学会 2006 年秋季年会 九州
 国際大学 2006.9.19-21

「X-mas 計画のための実験用望遠鏡の撮像実験」大
 久保 洋輔、辻本 匡弘、須藤 敬輔、斉藤 恒介、
 荻田 喬行、後藤 範光、宍戸 洋一、柴田 拓磨、
 北本 俊二、日本天文学会 2006 年秋季年会 九州
 国際大学 2006.9.19-21

「超新星残骸 1E0102.2-7219 の観測による「すざく」
 搭載 XIS の性能評価」武井大、辻本匡弘、関口晶子、
 北本俊二、中島大、山口弘悦、Eric Miller、日本天
 文学会 2006 年秋季年会 九州国際大学
 2006.9.19-21

「X-mas 計画における X 線発生装置の評価」荻田
 喬行・北本 俊二・大久保 洋輔・斉藤 恒介・柴
 田 拓磨、日本天文学会 2006 年秋季年会 九州国
 際大学 2006.9.19-21

「X 線望遠鏡への補償光学の応用」北本俊二、辻本
 匡弘、大久保洋輔、斉藤恒介、須藤敬輔、荻田喬行、
 関口晶子、武井大、柴田拓磨、後藤範光、宍戸洋一、
 山本則正、幸村孝由、日本天文学会 2006 年秋季年
 会 九州国際大学 2006.9.19-21

「補償光学を使った射入射型望遠鏡の開発」荻田

喬行、北本 俊二、大久保 洋輔、齊藤 恒介、日本天文学会 2007 年春季年会 東海大学 2007.3.28-3.30

「透過型多層膜偏光計の製作と偏光測定実験」齊藤恒介、北本 俊二、森井 幹雄、須藤 敬輔、大久保 洋輔、関口 晶子、荻田 喬行、武井 大、後藤 範光、穴戸 洋一、柴田 拓磨、日本天文学会 2007 年春季年会 東海大学 2007.3.28-3.30

「すざく衛星による 1E0102.2-7219 観測中に検出されたトランジェント天体」武井 大、辻本 匡弘、北本 俊二、森井 幹雄、前田 良知、Eric Miller、日本天文学会 2007 年春季年会 東海大学 2007.3.28-3.30

「大質量星 eta Carinae の X 線スペクトル解析」関口晶子、北本俊二、辻本匡弘（立教大学）、濱口健二、Y. Soong（NASA/GSFC）、国分紀秀（東京大学）、Suzaku eta Carinae team、日本天文学会 2007 年春季年会 東海大学 2007.3.28-3.30

“Spectral analysis of eta Carinae with Suzaku” Akiko, Sekiguchi

“The Extreme Universe in the Suzaku Era” , Kyoto, Japan, December, 4-8, 2006

“Suzaku XIS Observations of the SNR 1E0102.2-7219 Region” , Dai, Takei

“The Extreme Universe in the Suzaku Era” , Kyoto, Japan, December, 4-8, 2006

「すざく衛星の成果」北本俊二、2006 年度天文天体物理理論懇談会、2006.12.25-27,立教大学

「X-mas 望遠鏡による撮像実験」北本俊二他 第 7 回宇宙科学シンポジウム 2006.12.21-22, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

「補償光学軟 X 線望遠鏡の開発研究」北本俊二他、第 7 回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会「高エネルギー宇宙物理学の将来計画」宇宙線研究所、2007 年 3 月 12 日—14 日

柳町

Observation of galactic cosmic ray particles by the HEP-HI telescope on the geotail satellite

T.Doke, N.Hasebe, T.Hayashi, K.Itsumi, J.Kikuchi, M.N.Kobayashi, K.Kondoh, H.Shirai, T.Takashima, T.Takehana, Y.Yamada, T.Yanagimachi and J.Yashiro,

Adv. Space Res., **23**, 487(1999)

The Correlation Between CIR Ion Intensity and Solar Wind Speed at 1 AU

Kobayashi, M.N., Doke, T., Kikuchi, J., Hayashi, T., Itsumi, K., Takashima, T., Takehana, N., Shirai, H., Yashiro, J., Hasebe, N., Kondoh, K., Yanagimachi, T., Nagatani, M., Harada, A. and Willken, B.

Adv. Space Res., **26**, 861(2000)

Electron and ion spectrometer onboard the Nozomi spacecraft and its initial results in interplanetary space

Ihara, A., Doke, T., Hasebe, N., Kikuchi, J., Kobayashi, M.N., Maezawa, K., Nagata, K., Sakaguchi, T., Shino, T., Takashima, T., Teruhi, S., Wilken, B. and Yanagimachi, T.,

Astroparticle Phys., **17**, 263(2002)

1994 年 3 月の CIR イベント

柳町朋樹

宇宙放射線, **3**, 115(2002)

学会発表

GEOTAIL 衛星による銀河宇宙線の観測

柳町朋樹

STE 研究集会「宇宙線で探る太陽圏空間V」, 2001
年 1 月, 名古屋大学

1994 年 3 月の CIR イベント

柳町朋樹

STE 研究集会「宇宙線で探る太陽圏空間VI」, 2002
年 1 月, 名古屋大学

平原

Periodic emergence of multicomposition cold ions
modulated by geomagnetic field line oscillations in
the near-Earth magnetosphere, M. Hirahara, K.
Seki, Y. Saito, T. Mukai, J. Geophys. Res., Vol. 109,
No. A3, 10.1029/2003JA010141, 2004.

Statistical properties of low-frequency waves and
ion beams in the plasma sheet boundary layer:
Geotail observations, T. Takada, K. Seki, M.
Hirahara, M. Fujimoto, Y. Saito, H. Hayakawa, T.
Mukai, J. Geophys. Res., Vol. 109, No. A2,
10.1029/2004JA010395, 2005.

Two types of PSBL ion beam observed by
GEOTAIL: Their relation to low frequency
electromagnetic waves and cold ion, T. Takada, K.
Seki, M. Hirahara, H. Hayakawa, Y. Saito, T.
Mukai, Adv. Space Res., 36(10), 1883-1889, 2005.

Statistical properties of low-frequency waves and
ion beams in the plasma sheet boundary layer:
Geotail observations, T. Takada, K. Seki, M.
Hirahara, M. Fujimoto, Y. Saito, H. Hayakawa,
and T. Mukai, J. Geophys. Res., 110,
doi:10.1029/2004JA010395, 2005.

An overview and initial in-orbit status of “INDEX”
satellite, H. Saito, T. Mizuno, K. Tanaka, Y. Sone,
S. Fukuda, S. Sakai, N. Okuizumi, M. Mita, Y.
Fukushima, M. Hirahara, K. Asamura, T. Sakanoi,
A. Miura, T. Ikenaga, and Y. Masumoto, 56th
International Astronautical Conference,
2005/10/16-21, IAC-05-B5.6.B.05, 2005.

ERG - A small-satellite mission to investigate the
dynamics of the inner magnetosphere, K.
Shiokawa, K. Seki, Y. Miyoshi, A. Ieda, T. Ono, M.
Iizima, T. Nagatsuma, T. Obara, T. Takashima, K.
Asamura, Y. Kasaba, A. Matsuoka, Y. Saito, H.
Saito, M. Hirahara, Y. Tonegawa, F. Toyama, M.
Tanaka, M. Nose, Y. Kasahara, K. Yumoto, H.
Kawano, A. Yoshikawa, Y. Ebihara, A. Yukimatsu,
N. Sato, S. Watanabe, and the Inner
Magnetosphere Subgroup in the Society of
Geomagnetism and Earth, Planetary and Space
Sciences, Adv. Space Res., in press, 2006.

学会発表

れいめい衛星によるオーロラ発光・粒子観測と地
上・衛星共同研究に関する最新状況報告、平原 聖文,
坂野井 健,浅村 和史,笠羽 康正,岡田 雅樹,小淵 保
幸,井野 友裕,山崎 敦,小川 泰信,野澤 悟徳,関 華奈
子,岡野 章一,麻生 武彦,江尻 全機,門倉 昭,宮岡 宏,
田口 真,海老原 祐輔,塩川 和夫,細川 敬祐,家田 章
正,坂口 歌織,亘 慎一,菊池 崇,村田 健史,篠原 育、
日本地球惑星科学連合 2006 年大会、2006 年 5 月
14-17 日、幕張

れいめい衛星打ち上げ後 1 年間の観測成果、平原聖
文、STEL 研究集会:地上-れいめい同時観測研究集会、
2006 年 9 月 25 日、豊川

今年度冬期の地上-れいめいキャンペーン観測: 展望
と検討、平原聖文、小川泰信、STEL 研究集会:地上-

れいめい同時観測研究集会、2006 年 9 月 25 日、豊川

オーロラ発光活動とオーロラ粒子分布・ダイナミクスとの微細相関に関するれいめい観測結果、平原 聖文、坂野井 健、浅村 和史、小淵 保幸、井野 友裕、山崎 敦、関 華奈子、海老原 祐輔、Thomsen Michelle F、地球電磁気・地球惑星圏学会第 120 回講演会、2006 年 11 月 4 日-7 日、相模原

Observations of fine structure and variation of auroral emissions and particles with high-time and spatial resolutions: Initial results of the Reimei satellite and simultaneous ground-based observations, M. Hirahara, T. Sakanoi, K. Asamura, Y. Obuchi, T. Ino, A. Yamazaki, Y. Kasaba, Y. Ogawa, S. Nozawa, and K. Seki, European Geosciences Union General Assembly, April 2-7, 2006, Vienna, Austria.

The latest results on fine-scale auroral phenomena by the Reimei satellite and the coordinated ground-based observations (Invited), M. Hirahara, T. Sakanoi, K. Asamura, Y. Obuchi, T. Ino, A. Yamazaki, Y. Kasaba, M. Okada, Y. Ogawa, S. Nozawa, K. Seki, Y. Ebihara, T. Murata, and I. Shinonara, Asia-Oceania Geoscience Society 2nd Annual General Assembly, July 10-14, 2006, Singapore.

Introduction of the Reimei Satellite: Observations of Fine-Scale Auroral Phenomena and Collaborative Studies with Ground-Based Observations, M. Hirahara, T. Sakanoi, K. Asamura, Y. Kasaba, M. Okada, Y. Obuchi, T. Ino, A. Yamazaki, Y. Ogawa, S. Nozawa, K. Seki, Y. Ebihara, American Geophysical Union: Western Pacific Geophysics Meeting, July 24-27, 2006,

Beijing, China.

Fine-scale correlation between the auroral emission and particle properties observed by a Japanese micro-satellite, Reimei, M. Hirahara, T. Sakanoi, K. Asamura, Y. Obuchi, T. Ino, A. Yamazaki, Y. Kasaba, Y. Ebihara, and K. Seki, FAST Auroral Physics Colloquium, Aug. 21-22, 2006, Bodega Bay, California.

村上

“Japanese polar patrol balloon experiments from 2002 to 2004”,
N.Izutsu , I.Iijima , T.Kawasaki , Y.Matsuzaka ,
M.Namiki , S.Ohta , Y.Saito , M.toriumi ,
T.Yamagami , Y.Ebihara , M.Ejiri , A.Kadokura ,
N.Sato , H.Yamagishi , Y.Katayose , Y.Tomida ,
M.Fujii , K.Kasahara , H.Murakami , Y.Konno ,
S.Uchiyama

“Study of >100GeV electrons with BETS detector using a long duration balloon flight in Antarctica“
S.Torii , K.Yoshida , T.tamura , H.Kitamura ,
T.Yamagami , N.Tateyama , K.Anraku ,
T.Yamashita , J.Chang , J.Nishimura , Y.Saito ,
S.Ohta , M.Namiki , Y.Matsuzaka , I.Iijima ,
H.Yamagishi , A.Kadakura , K.Kasahara ,
S.Ogawa , M.Fujii , H.Kaiho , M.Shibata ,
Y.Katayose , T.Inoue , K.Mizutani , Y.Hirai ,
H.Murakami , T.Kobayashi , Y.komori , T.Yuda ,

“Pulse Shape Simulation and Anarysis of Segumented Ge Detectors for Position Extraction”,
M.Kurokawa, S.Shimour, H.Iwasaki, H.Baba,
S.Michimasa, S.Ota, H.Murakaki and H.Sakai
IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-50(5),109,(2003)

“THE ENNERGY SPECTRUM OF COSMIC-RAY ELECTRONS FROM 10 TO 100 GeV OBSERVED WITH A HIGHLY GRANULATED IMAGING CALORIMETER”, S.Torii, T.Tamura, N.Tateyama, K.Yoshida, J.Nishimura, T.Yamagami, H.Murakami, T.Kobayashi, Y.Komori, K.Kasahara and T.yoda ,THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 559:973-984,(2001)

“The Calorimetric Electron Telescope (CARET) for the JEM Exposure Facility “, S.Torii, N.Tateyama, T.Tamura, T.Ouchi, K.Kashiwagi, K.Yoshida, K.Hibino, T.Yamagami, Y.Saito, H.Murakami, T.Kobayashi, Y.Komori, K.Kasahara, T.Yuda, M.Ohnishi, M.Shibata, F.Makino and J.Nishimura , CP504,Space Technorogy and Aplications International Forum-2000, 187 , (2000)

“A Simple Pulse Shape Discrimination Method for Phoswich Counter “, * H.Murakami, S.Gunji, M.Hirayama, T.Kamae, S.Miyazaki, Y.Sekimoto, T.Takahashi

T.Tamura, M.Tanaka, N.Yamaoka, T.Yamagami, M.Nomachi and K.Mori, , IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-39 No.5 1316, (1992)

“New Readout Electronics For the VENUS Liquid Argon Calorimeter at TRISTAN “, Y.Fukushima, J.Shirai, Y.Unno, R.Tanaka and H.Murakami, IEEE Trns. Nucl. Sci. NS-36 NO.1, 670,(1989)

,”ON THE EQUIVALENT NOISE CHARGE(ENC) OF A CR-(CR)ⁿ PREFILTER INTO A GATED

INTEGRATOR SYSTEM INCLUDING THE 1/f NOISE SOURCE “, H.Murakami, Nucl. Instr. and Meth. A234, 132-141,(1985)

学会発表

PPB-BETS による高エネルギー電子の観測解析報告、鳥居祥二、田村忠久、山上隆正、村上浩之、笠原克昌、他 PPB-BETS チーム、日本物理学会 2004 年秋期大会、2004、高知、高知大学

南極周回気球による一次電子観測の解析報告、北村尚、鳥居祥二、田村忠久、他 PPB-BETS チーム、日本物理学会 第 60 回年次大会、2005、千葉、東京理科大学野田キャンパス

CALET 開発報告 11 : プロトタイプ検出器による 2005 年度三陸気球実験報告、田村忠久、吉田健二、日比野欣也、湯田利典、立山暢人、柏木利介、奥野祥二、鳥居祥二、西村純、

槇野文命、山上隆正、斉藤芳隆、福家英之、高柳昌宏、上野史郎、富田洋、笠原克昌、

柴田槇雄、片寄祐作、内堀幸夫、北村尚、倉又秀一、市村雅一、村上浩之、小林正、

古森良志子、水谷興平、寺沢敏夫、他 CALET チーム、日本物理学会 2005 年秋季大会、

大阪、大阪市立大学杉本キャンパス、

南極周回気球による 100TeV-1TeV 領域一次電子エネルギースペクトル、吉田健二、北村尚

鳥居祥二、田村忠久、立川暢人、湯田利典、飯嶋一征、松阪幸彦、並木道義、西村純、

太田茂雄、斉藤芳隆山上隆正、江尻全機、門倉昭、山岸久雄、片寄祐作、柴田槇雄、笠原克昌、

小林正、古森良志子、水谷興平、村上浩之、常進、日本物理学会 2005 年秋季大会、

大阪、大阪市立大学杉本キャンパス、

南極周回気球による 100GeV 以上の大気ガンマ線観測、 吉田健二、田村忠久、立川暢人、湯田利典、鳥居祥二、北村尚、飯嶋一征、松阪幸彦、並木道義、西村純、太田茂雄、斉藤芳隆、山上隆正、江尻全機、門倉昭、山岸久雄、片寄祐作、柴田慎雄、笠原克昌、小林正、古森良志子、水谷興平、村上浩之、常進、 日本物理学会 第 61 回年次大会、 2006、愛媛、愛媛大学・松山大学

CALET 開発報告 12 : 無機結晶シンチレーターの VLSI 読み出しシステムの開発、片寄祐作、柴田慎雄、鳥居祥二、田村忠久、吉田健二、奥野祥二、日比野欣也、内堀幸夫、村上浩之、笠原克昌、山上隆正、他 CALET チーム、日本物理学会 第 61 回年次大会、 2006、愛媛、愛媛大学・松山大学

CALET 開発報告 13 : 気球実験用プロトタイプ検出器の性能、 田村忠久、吉田健二、鳥居祥二、中村謙人、本藤俊祐、山上隆正、斉藤芳隆、福家英之、笠原克昌、渡辺怡禎、片寄祐作、村上浩之、他 CALET チーム、 日本物理学会 第 61 回年次大会、 2006、愛媛、愛媛大学・松山大学

CALET 開発報告 15 : CALET 計画の装置開発状況と将来展望 鳥居祥二、奥平修、小平聡、清水雄輝、長谷部信行、宮島光弘、宮地孝、宮下直之、晴山慎、上野史郎、斉藤芳隆、高柳昌弘、富田洋、西村純、福家英之、榎野文命、山上隆正、奥野祥二、立山暢人、田村忠久、日比野欣也、塩見昌司、瀧田正人、湯田利典、垣本史雄、常定芳基、寺沢敏夫、小林正、吉田篤正、山岡和貴、笠原克昌、吉田健二、片寄祐作、柴田慎雄、市村雅一、倉又秀一、内堀幸夫、北村尚、村上浩之、古森良志子、水谷興平、 R.E.Streitmatter , J.W.Michell,

L.M.Babier, A.A.Moissev, J.F.Krizanic, G.Case, M.L.Cherry, T.G.Guzik, J.B.Isbert, J.P.Wefel, W.R.Binns, M.H.Israel, H.S.Krawczynski, J.F.Ormes, PS.Marrocchesi, P.Maestro, M.G.Bagliesi, V.Millucci, M.Meucci, G.Bigongiari, R.Zei, F.Ligabue, F.Ligabue, F.Morsani, O.Adriani, P.Papini, P.Spillantini, L.Bonechi, E.Vannuccini, J.Chang, W.Gan, T.Lu

日本物理学会 2007 年春期大会、 2006、東京、首都大学東京 南大沢キャンパス

CALET 開発報告 16 : 気球搭載プロトタイプ検出器による電子・ガンマ線観測結果 清水雄輝、鳥居祥二、平晃一、日高健、赤池陽水、福田康博、田村忠久、山上隆正、斉藤芳隆、福家英之、笠原克昌、吉田健二、渡辺怡禎、佐藤俊成、片寄祐作、村上浩之、他 CALET チーム

日本物理学会 2007 年春期大会、 2006、東京、首都大学東京 南大沢キャンパス

須賀

Adaptive X-ray Optics with a Deformable Mirror S. Kitamoto, N. Yamamoto, T. Kohmura, K. Suga, H. Sekiguchi, J. Satoh, K. Sudoh, T. Watanabe, Y. Ohkubo, A. Sekiguchi, and M. Tsujimoto

Proceedings of SPIE, 5900 (2005), pp.377-384

Development of a Soft X-ray Telescope with an Adaptive Optics System

S. Kitamoto, J. Satoh, T. Watanabe, K. Sudoh, T. Kohmura, N. Yamamoto, Y. Ohkubo,

A. Sekiguchi, K. Suga and H. Sekiguchi

Progress of XRM2005, 2005, Egret Himeji, Himeji, Hyogo, Japan, in press.

A Statistical Study of Gamma-Ray Emitting Solar Flares Observed with Yohkoh

Y. Matsumoto, K. Makishima, J. Kotoku, M. Yoshimori, K. Suga, T. Kosugi, S. Masuda, and K. Morimoto

Publ. Astron. Soc. Japan, 57 (2005) pp.211-220.

Development of an Ultra-High Precision X-Ray Telescope

S. Kitamoto, H. Takano, H. Saitoh, N. Yamamoto, T. Kohmura, K. Suga, H. Sekiguchi, Y. Ohkawa, J. Kanai and S. Chiba

Progress of Theoretical Physics Supple. 155(2004), pp.363-364.

Evaluation of an Ultrahigh Precision X-Ray Optics

S. Kitamoto, N. Yamamoto, T. Kohmura, K. Suga, H. Sekiguchi, Y. Ohkawa, J. Kanai,

S. Chiba, H. Sato, K. Sudo, and T. Watanabe

Proceedings of SPIE, 5488 (2004), pp.460-467.

Development of an Ultrahigh-precision X-ray optics

S. Kitamoto, H. Takano, H. Saitoh, N. Yamamoto, T. Kohmura, K. Suga, H. Sekiguchi, Y. Ohkawa, J. Kanai and S. Chiba

Proceedings of SPIE, 5169(2003), pp.268-275,

Soft X-ray Transmission of Optical Blocking Filters for the X-Ray CCD Camera onboard Astro-E2

S. Kitamoto, T. Kohmura, N. Yamamoto, H. Takano, H. Saitoh, K. Suga, H. Sekiguchi,

S. Chiba, I. Okamoto, K. Hayashida, H. Katayama, T. Enoguchi, Y. Nakashima, T. Shiroshoji, Y. Tawara, T. Furuzawa and T. Tanaka

Proceedings of SPIE, 5168(2003), pp.376-385,

Soft X-ray Transmission of Optical Blocking Filters for the X-ray CCD Cameras

onboard Astro-E2

S. Kitamoto, T. Kohmura, N. Yamamoto, H. Saito, H. Takano, K. Suga, (他 11 名)

Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A 505(3), (2003) pp.683-687.

Characteristics of Yohkoh X-ray Flares and Charge States of SEP Fe Ions

M. Yoshimori, K. Suga, S. Nakayama, H. Takeda, H. Ogawa, E. Moebius, M. A. Popecki

and D. J. Morris

Advances in Space Research, 30(3), (2002) pp.623-628.

Gamma Rays and Neutrons from a Large Solar Flare on November 6, 1997

M. Yoshimori, K. Suga, S. Nakayama, H. Takeda, H. Ogawa, R. J. Murphy

and G. H. Share

Advances in Space Research, 30(3), (2002) pp.629-634.

Gamma-ray Line Observations of the 2000 July 14 Flare and SEP Impact on the Earth

G.H.Share, R.J.Murphy, A.J.Tylka, R.A.Schwartz, M.Yoshimori, K.Suga, S.Nakayama

and H.Takeda

Solar Physics, 204 (2001) pp.41-53.

学会発表

X-mas 望遠鏡による撮像実験

北本俊二、佐藤順一、関口晶子、大久保洋介、渡邊岳史、須藤啓輔、須賀一治 (立教大理)、

伊藤真之 (神戸大発達)、上田佳宏 (宇宙研)

日本天文学会 2005 年秋季年会 (札幌コンベンションセンター)

X·mas 望遠鏡の X 線照射実験

佐藤順一、北本俊二、山本則正、大川洋平、金井淳
一、千葉茂人、須藤啓輔、渡邊岳史、

須賀一治、関口宏之（立教大理）、幸村孝由（工学院
大）

日本天文学会 2005 年春季年会（明星大学）

