

2008

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



目次

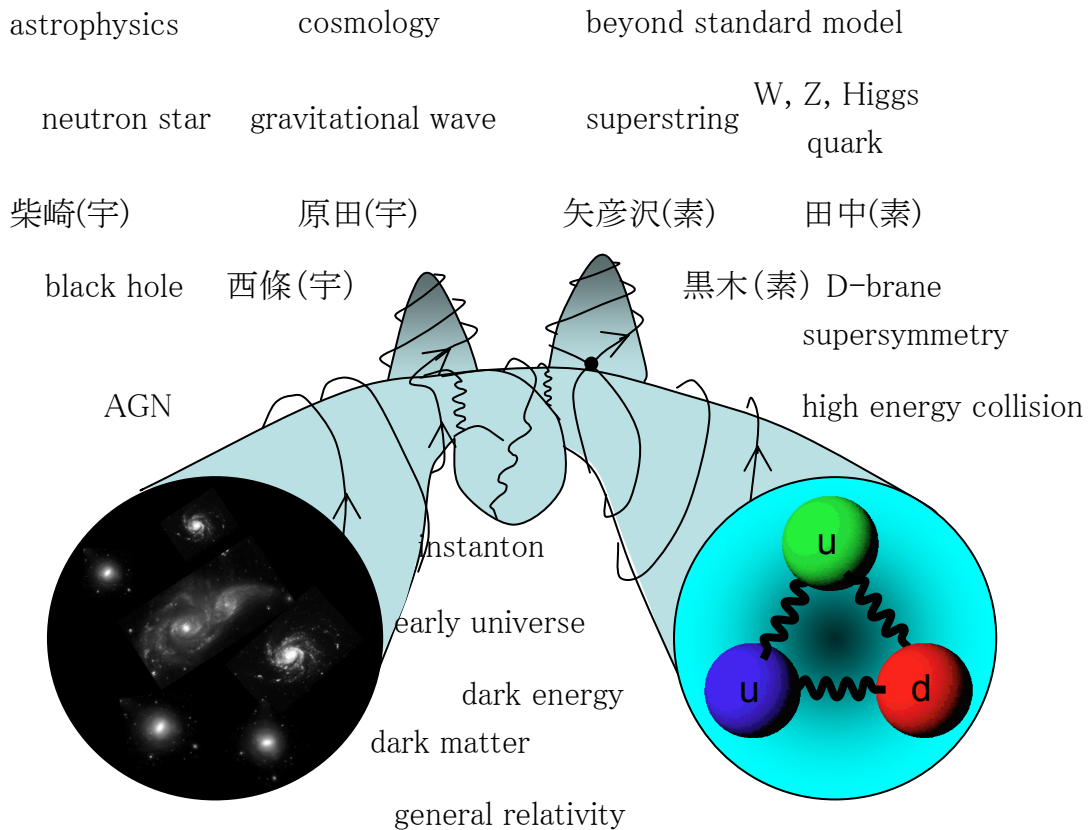
理論物理学研究室	3
「素粒子反応で探る物質構造の理論的研究」	田中秀和 5
「超弦理論・M理論の構築」	矢彦沢茂明 8
「高エネルギー天体物理学の理論的研究」	柴崎徳明 12
「一般相対論の基礎的諸問題と宇宙物理学・宇宙論への応用」	原田知広 14
「弦理論の非摂動的定式化、行列模型、ゲージ理論」	黒木経秀 16
「時空の動力学とその宇宙物理学的な応用」	西條統之 19
原子核・放射線物理学研究室	23
「不安定原子核の核反応」	家城和夫 24
「時空対称性の精密検証、余剰次元の探索」	村田次郎 27
「究極の物質の探求」	栗田和好 36
「低エネルギーイオン原子衝突の実験的研究」	小泉哲夫他 38
「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 41
宇宙地球系物理学研究室	45
「地球大気と太陽紫外線の研究」	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
「光学的手法による惑星大気の研究」	田口真 54
「Javaグラフィックスによる物理現象のシミュレーションと可視化」	泉本利章 58
「宇宙粒子線による太陽系・銀河系の研究」	柳町朋樹 63
「高エネルギー天体の観測と次期衛星搭載システムの開発」	村上弘志 66
実験技術員研究紹介	
「8チャンネルフィルター放射計データ取得システムの開発」	関口宏之 70
「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 73
ハイテク・リサーチ・センタープロジェクト	75
資料	
2007年度卒業論文	
2007年度修士論文	
2007年度博士学位論文	
2007年度研究助成	
2003-2007年度論文リスト	
2007年度学会発表	
2007年度学部卒業生進路	
2007年度博士前期課程修了者進路	

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。



Cosmology	玉置 (宇 VR)
Loop Gravity	島野 (宇 D1)
γ -ray bursts	小泉 (宇 D1)
Gravity	山上 (宇 M2)
Neutron star	太田 (宇 M2)
Gravity	大宮 (宇 M2)
Astrophysics	島袋 (M1)
Astrophysics	大月 (M1)
Gravity	若林 (M1)
Gravity	大久保 (M1)

Elementary Particle	松崎 (素 PD)
De Sitter BH	関和 (素 RS)
Grand Unification	若林 (素 RS)
QCD, Proton	川嶋 (素 D5)
String Theory	三平 (素 D1)
Thermo Field Dynamics	笹川 (素 D1)
String Theory	根本 (素 M2)
QCD	小林 (素 M2)
String Theory	高橋 (M1)
Higgs Mechanism	奥田 (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、6名のスタッフと20名の大学院生、研究員、研究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等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	高エネルギー天体物理学の理論的研究
田中秀和	素粒子反応による物質構造解明の理論的研究
矢彦沢茂明	素粒子・宇宙を含む超弦理論・M理論の構築
原田知宏	一般相対論とその宇宙物理学・宇宙論への応用
黒木経秀	弦理論の非摂動効果、非摂動的定義と時空構造の解明
西條統之	宇宙物理学。特に、相対論的天体物理学、数値相対論、重力波物理学

素粒子反応で探る物質構造の理論的研究

田中秀和、松崎 (PD)、笹川 (D1)、小林 (M2)、奥田 (M1)

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 (M2 小林君との共同研究)

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。特に、ヒッグス粒子の存在を確かめることは、標準理論の重要な検証である。このヒッグス粒子の探索は超高エネルギー陽子衝突型加速器のLHCにより探索が開始されている。そこで、標準理論におけるヒッグス粒子の探索において必要とされる生成機構や週状態についての理論的研究を行っている。

(2) ハドロンの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

(M2 小林君との共同研究)

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。強い相互作用の基本法則は理解されているが、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。また、ハドロン散乱現象を理解するためには、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) 標準理論を超える現象の探索 (PD 松崎君、M1 奥田君との共同研究)

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拡張理論が提唱されている。それらの拡張模型について調べると共に、超高エネルギー加速器や精密測定により、それらの模型が検証できるかどうかなどについて理論的な研究を行っている。

(4) 有限温度における場の量子論の研究 (D1 笹川君との共同研究)

初期宇宙や高密度星などを始として、有限温度・有限密度系は素粒子物理学や宇宙物理学などの分野においても数々の面白い現象が知られている。一方、素粒子の生成・消滅や相互作用を記述できる場の量子論の有限温度・有限密度系への適用は、絶対零度・真空における場の量子論ほどには整備されていない。

ここでは、非摂動的効果を比較的簡単に調べることの出来る Schwinger-Dyson 方程式を有限温度系に適用して、素粒子の力学的質量の生成などについて調べている。

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)

- ・ 2007年度

「Thermal Leptogenesis Scenarios in the Restrictive Left-Right Symmetric Model」

○ 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]
- 2007年度：「有限温度における Schwinger-Dyson 方程式～カイラル相転移～」

(*) 1998年度—2007年度修了者 8名（博士後期課程進学者 4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」
- 2007年度：「ハドロン生成における QCD の効果」、「Two Higgs Doublet Model」、
「コンプトン散乱の偏極についての検証」、
「Real Scalar Higgs を加えた Standard Model の拡張」

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、二重スケール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。福間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模型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-波背景上でのピ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」、「シュワ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」、「弦のチャージとDブレーン」、「閉弦と開弦におけるT双対性とDブレーン」、「電磁背景場における開弦とDブレーンの運動」

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0(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」、「弦の場の理論と解析解」

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---

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、および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ている。また、巨大フレア中にみられる X 線強度の準周期的振動も星震が原因と考え研究を進めている。

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。

(*) 1998年度—2007年度卒研修了者 27名 (大学院進学者 20名)

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。最近は、加速膨張宇宙におけるブラックホールの進化や膨張宇宙におけるワームホールについて研究しています。

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。最近では、量子重力的な効果を取り入れた数値相対論の研究などを行っています。

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、重力崩壊における量子重力効果についての研究や一般相対論における自己相似解の研究を行っていきます。

2007 年度修士論文のテーマ

「クインテッセンスを含む宇宙論的自己相似解について」

「ループ量子宇宙論におけるスーパーインフレーションとスケール不変なゆらぎ」

2007 年度卒業研究のテーマ

「ブラックホールによる粒子生成」

「音による類似ブラックホールの蒸発」

「導波管のホーキング輻射」

「地上および宇宙空間における重力波の検出計画について」

「重力波の放射についての計算」

弦理論の非摂動的定式化、行列模型、ゲージ理論

黒木経秀

私の研究の目標は、究極的には二つしかありません。

1. 宇宙はなぜ現在のような構造を持っているか
2. 物質は究極的には何から構成されているのか

を明らかにすることです。

これら二つの問題は、現時点ではまったく違うレベルの問題に見えるかもしれませんが。前者は宇宙全体の問題であり、後者は極小の世界の問題だからです。実際、20世紀の物理学の最大の発見といえば、誰しも相対性理論と量子力学を挙げると思います。前者は相対性理論の問題、後者は量子力学の問題に見えます。

ところが、例えば前者の問題に取り組む場合、「宇宙はどのように始まったのか」、あるいは「宇宙の始まりはどのような様子だったのか」を解明することが必要不可欠です。宇宙が膨張していることは観測事実ですから、宇宙は始まって間もないころ、非常に小さかったと思われます。また、その小さい中に、今宇宙全体にあるエネルギーが凝縮されていたわけですから、そこでは重力が非常に強かったはずで、重力が非常に強いときは、相対性理論は量子力学の効果によって変更を受けると信じられており、宇宙初期を解明するためには、宇宙全体を扱う相対性理論と、極小の世界を扱う量子力学両方を考慮しなければいけないことが分かります。

ところが、残念なことに、相対性理論と量子力学を一緒に考えようとする、くりこみ不可能性という、理論としての矛盾があることが分かっています。ともに20世紀の偉大な発見であり、それぞれの適用領域では実験をうまく説明するのに、いったん両方を考えようすると理論的矛盾を来すということは、この両方の理論がまだ完全でなく、その背後にさらにこの二つの理論を統合する究極の理論があることを意味しています。矛盾があるということが、逆にヒントになるわけです。そこで私は、この偉大な二つの理論を、矛盾なく統合し、それを宇宙の始まりに適用することが21世紀の主要な物理だと考えています。

上に述べたくりこみ不可能性は、粒子を点と考えることから矛盾が来ていることを示唆しています。そこで、相対性理論と量子力学を統合する理論の最有力候補として考えられているのが弦理論と呼ばれる理論です。弦理論は、宇宙のあらゆる物質、力の根源、それらがすべて弦の振動によって生ずるとする理論です。このようにして、1番目の問題を考えることは、自動的に2番目の問題も考えることになります。このような宇宙開闢を通して極大の世界と極小の世界が繋がることは、とても示唆的であるし、物理学の進歩が最終段階に来ていることを意味していると考えています。

弦理論は確かに、その振動を詳しく調べてみると現在私達の周りにあるさまざまな素粒子を含んでいることが分かります。また、エネルギーが低いときは相対性理論を含んでいることも分かっています。弦理論は量子力学に基づいて構成されていますので、弦理論こそ、相対性理論を含み、量子力学的に記述された、両者を統合する理論に見えます。上に述べたようにこの二つの理論は非常に相性が悪いので、弦理論以外に二つを矛盾なく統合している理論は現在ま

でのところ知られていないと言ってよいと思います。

実際、弦理論は究極理論であることを示すいろいろな性質を持っています。一つの例を挙げますと、弦理論は理論として矛盾がないようにと要請するだけで(平たく言ってしまうと、弦はゴムのように自由に伸び縮みさせてよい、と要請するだけです)、弦がどのような空間に存在しなくてはならないかを規定してしまうという性質を持っています。これは弦理論の著しい特徴の中でも最たるものだと思います。もし一つの理論の枠内で、説明できないことや、仮定しなければいけないことがあれば、それを説明するためにまた別の理論を考えなくてはならないわけですから、その理論は究極とは言えません。この意味では、弦理論は、理論自身が自分を規定する、という性質を持っていることになり、私達は究極理論に非常に近づいている、と言えるのかもしれませんが。このことは非常に興味深く、弦理論を研究する価値があることが分かります。

このように究極理論の最有力候補の弦理論ですが、致命的な欠陥があることが分かり、それがこの20年以上も未解決のまま残されています。それは上に究極理論として望ましい点、と述べた弦理論自身が自分の住む空間を規定する、という点で、これが逆に謎の中心となっています。実は弦理論が住むことができる空間は無限個あります。また、その中には私達が住んでいるような4次元の時空(空間3次元と時間)だけではなく、10次元の時空や0次元の時空(点)のような、私達の宇宙とは似ても似つかないようなものさえあります。これでは1番目の問題に答えることができません。たくさんある時空の中で、なぜ私達の宇宙が実現されたのかを説明できていないからです。この問題は、深刻である上に、この20年以上もの間ほとんど解決されずに謎のまま残されていると言ってよいと思います。私の研究目標の1番目は、この問題に真正面から取り組もうというものです。

私達の時空がなぜ4次元に選ばれたのか、という問いは謎のまま残されていると述べましたが、まったく手がかりがないわけではありません。10年ほど前に、弦理論を詳しく調べてみると、弦理論は弦だけで構成されていると考えるべきではないことが分かってきました。弦と、弦が張り付いている壁のような物体(ブレーン)両方を考えた方が自然であるということが分かってきたのです。ここに謎を解く鍵があると考えています。ブレーンを記述するには、高校・大学で習った行列を使うとよいことが知られています。そうすると、行列をむしろ基本的な存在として弦理論を記述し直してみたらどうかと考えたくなります。私の研究内容は、大雑把に言うと、このように行列こそが基本的な存在と仮定して、弦理論を再構成しようとする試みです。実際、非常に特殊な弦理論に対しては、行列を使った記述が正しいことが知られています。無限大の大きさの行列を用意して、その中にどのように私達の宇宙、私達の構成要素が実現されているかを考えるというアプローチです。このようなモデルを行列模型と言いますが、行列模型は量子力学的に構成され、ある特殊な場合には弦理論のような振る舞いをするし、重力を含みうるということが分かっていますので、人類が目指すべき統一理論に向けて正しい方向を指し示しているのではないかと考えています。行列模型を用いると、私達の宇宙としてなぜ4次元時空が生まれたのかを説明できるのかもしれませんが。このような私達の宇宙の根源的な問いに答え得る可能性があるのは物理学、それも素粒子物理学だけで、人類はここまで進歩したのだと実感できると同時に、これから真剣に取り組むべき課題だと思っています。

行列模型は、無限大の行列を用意するところからスタートします。無限大の行列ですので、無限の大きさのゲージ対称性という対称性を持ちます。しかしながら私達の宇宙に実現されている対称性は、無限大ではありません。そこで行列模型の重要なテーマとして、無限大の対称性から、どのように私達の宇宙の対称性が生まれたか、を解明する必要があります。ここで重要になるアイデアが、南部さんのノーベル賞対象研究の「自発的対称性の破れ」です。大きな対称性が破れて小さな対称性が残るというこのアイデアは、行列模型にぴったりです。私は南部さんのこのアイデアを、私達の宇宙の始まりに適用して、なぜ宇宙が今のような姿になったか、を解明する研究も行っています。

南部さんの「自発的対称性の破れ」もそうですが、上に述べた「くりこみ理論」も朝永さんによるものです。このように素粒子物理の最先端の研究には日本人の貢献が多く、日本の研究者が最先端の研究を行える伝統と土壌があります。ぜひとも究極理論の完成には、我々日本人がリーダーシップを取って推進したいと思います。

時空の動力学とその宇宙物理学的な応用

西條 統之

居室: 4号館3階4326

E-mail: saijo@rikkyo.ac.jp

Website: www2.rikkyo.ac.jp/web/saijo/index.html

宇宙を舞台に中性子星やブラックホール等の激変的な描像が、現在多種多様な形で私たちに提供されています。一般相対論が予言するブラックホールや重力波等の研究は、ここ近年理論模型の構築および数値シミュレーションによって理解可能な段階に到達してきました。私は最近、動力的な手法に基づいた相対論的回転星の多種多様な不安定性、相対論的回転星の重力崩壊、およびそれらを用いた中性子星の内部構造の探求、高次元時空の動力的な描像、などの研究に興味を持って取り組んでいます。

1. 相対論的天体物理学

一般相対論は Einstein が 1916 年に提唱しましたが、長らくはその数学的な側面に光が当てられてきました。それを一転させる出来事が 1960 年代に相次いで起こりました。クエーサーやパルサーの発見、またブラックホールや中性子星と推定される天体の発見より、一般相対論が現実的に我々の宇宙を記述していることも認知されはじめました。そのようにして誕生した分野が、相対論的天体物理学 (Relativistic Astrophysics) です。

それから半世紀が経過しようとしている現在、一般相対論は宇宙物理学において確固たる地位を築き上げました。一般相対論は太陽系における重力理論のテストを見事にパスし続け、名実ともに実証されています。また宇宙物理学ではブラックホールや中性子星などのコンパクト天体の激変的な現象が我々に提供されています。例えば、銀河中心には超大質量ブラックホールが存在する観測事実は年々増え続けています。宇宙でもっとも光度の高いガンマ線バーストの観測も提供され続け、マグネターや磁気的な巨大フレアの観測も最近なされました。また宇宙論では、インフレーション理論が予言する初期宇宙の原始密度ゆらぎがスケール不変であることが WMAP により検証され、この分野は文字通り精密科学の時代に突入しはじめています。

私は超大質量ブラックホールの形成過程の 1 つの候補である、超大質量星の重力崩壊によって超大質量ブラックホールを形成する描像に基づいて、3次元の相対論的流体動力的シミュレーションを用いて研究を行い、その重力崩壊後の描像や重力波源としての可能性 (重力波に関しましては、3を参照してください) を明らかにしてきました。今後は、より回転の速いブラックホール形成の可能性、重力崩壊型モデルによるガンマ線バーストの発生、相対論の枠組みにおける強磁場中性子星の諸性質、などに焦点をあてた研究に興味を持っています。

宇宙物理における中性子星やブラックホール等の激変的な描像を、物理学的な手法や数値シミュレーション的な手法を用いて、新たな知見が得られることを夢んでいます。

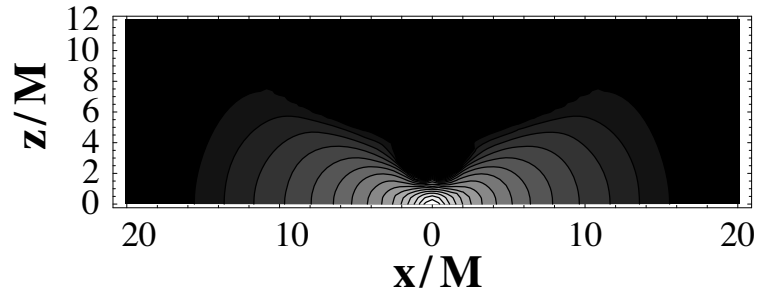


図 1: 銀河中心などに存在する超大質量ブラックホール形成直前の子午面上の密度分布. 密度の高い箇所ほど白く、低い箇所ほど黒く表示しています. なお, M は系の重力質量エネルギーを表しています.

[引用元: *The Astrophysical Journal* **615**, 866 (2004).]

2. 数値相対論

強重力場の基礎方程式である Einstein 方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu},$$

は、計量に関する 2 階の非線形偏微分方程式です. ただし, $R_{\mu\nu}$ は Ricci テンソル, $g_{\mu\nu}$ は 4 次元計量, R は Ricci スカラー, $T_{\mu\nu}$ はエネルギー・運動量テンソル, G は重力定数, c は光速です. この複雑な基礎方程式の厳密解は、限られた場合 (定常解, 球対称系, 軸対称系, 円筒対称系など時空の対称性が高い場合) でしか知られておらず, 一般の時間進化を伴う解となると数値解に頼らざるを得ません.

理論的な枠組みとしましては, 1950 年代後半から 60 年代の前半にかけて時空を時間 1 次元空間 3 次元に分解する 3+1 形式が Arnowitt, Deser, Misner によって提唱され, その大枠は現在の数値相対論の骨格として残っています. 実際の数値シミュレーションとしましては, 1970 年代の後半にはアメリカの NCSA グループがブラックホールの 2 対衝突問題をスタートさせ, 80 - 90 年代には日本の京都グループが星の重力崩壊や連星中性子星の合体を開始しました. 連星中性子星や連星ブラックホールの一般相対論の数値シミュレーションは 21 世紀に入って完成の域を迎え, 現在では天体物理学的な応用を行うことが主流になりつつあります.

私は, ニュートン重力場中, ポスト・ニュートン重力場中, あるいはコンフォーマル・フラット重力場中の 3 次元の流体動学的シミュレーションを用いて回転星の平衡解, 重力崩壊中に発生する非軸対称変形に関して動的な安定性の研究, さらに高精度が保証されている数値計算法を用いて相対論的回転星の静的な不安定性の研究を行い, 主に動学的見地からその性質を解き明かしてきました. 今後は航空工学に基づいた (動力学スケールで効く音波等の効果を無視する) 近似を施した上で, 動学的見地から回転星の静的な不安定性の性質を探求し, 重力波による中性子星の高密度領域の解明・星震学の可能性を探求しようと考えています. これらを通じて相対論的動力学から中性子星の内部構造の理解を深めたいです. またこれまでの数値相対論の手法を足がかりに, 高次元時空における数理的な諸性質を動学的に探究したいと考えています.

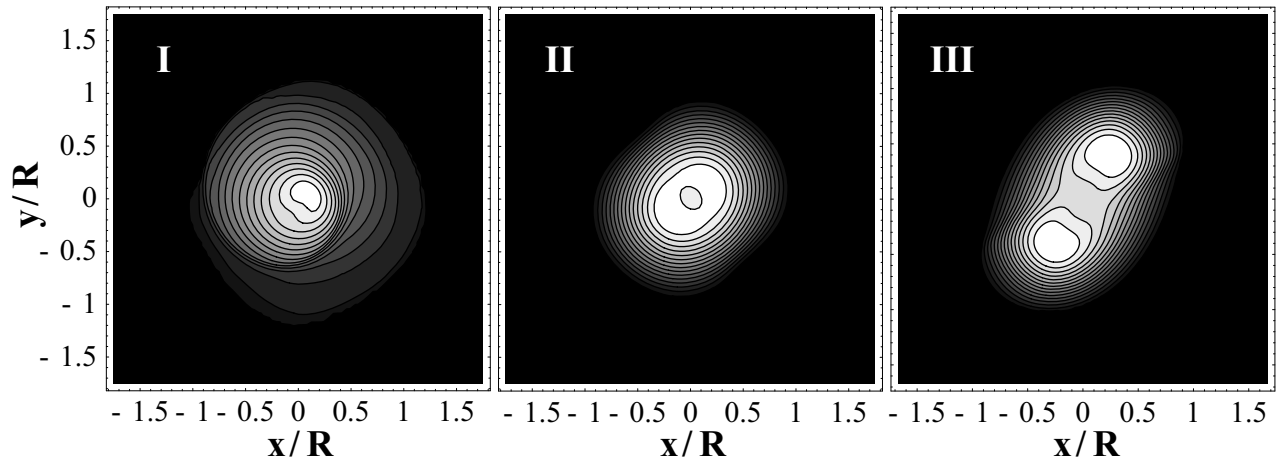


図 2: 回転星の動的な不安定性発生時の赤道面上の密度分布. Iは渦状の動的な不安定性, IIは低い $T/|W|$ における棒状の動的な不安定性, IIIは高い $T/|W|$ における棒状の動的な不安定性の発生の様子です. ただし, R は平衡解の赤道面上の半径です.

[引用元: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **368**, 1429 (2006).]

時空の動力学を解明するにあたり, 必需品とも言える数値相対論の手法を磨いたり, またそれを用いることにより, 時空の新たな側面を発見することを夢んでいます.

3. 重力波物理学

一般相対性理論では重力場自身の振動を表す重力波の存在が, 重力場の基礎方程式である Einstein 方程式そのものより予言されています. その間接的な存在証明は, Hulse, Taylor が発見した連星パルサー PSR1913+16 によってなされています. 彼らはパルサー発見後, 約 20 年間にわたってこの連星パルサーの公転周期の減少を観測し続け, この現象は連星系から重力波が放出されていると仮定すると, 観測された公転周期の減少率が一般相対論から予想される値と誤差 0.3% 以内で一致することを示しました. 1993 年には Nobel 物理学賞を授賞しましたが, これは彼らによる重力波の間接的な存在証明が評価の主たる要因です.

21 世紀に入って, 重力波を直接観測するプロジェクトが加速しました. 干渉計の腕がキロメートル級の地上型重力波型干渉計 (LIGO[アメリカ], VIRGO[イタリア, フランス], GEO600[ドイツ, イギリス], TAMA300[日本]) が稼働し, 現在の干渉計の感度を上げた次世代の地上型重力波型干渉計 (Advanced LIGO[アメリカ], LCGT[日本], Einstein Telescope[ヨーロッパ]) が稼働に漕ぎつけつつあります. さらにスペース型重力波型干渉計 (LISA[アメリカ, ヨーロッパ]) もその実現に向けて動き出しています. これらの様々な重力波形干渉計により多波長の重力波を直接検出し, まだ我々が知らない様々な宇宙の素顔に迫ることが可能になります.

重力波が検出されると何が分かるでしょう? まずは重力理論の検証が直ちにはじまるでしょう. 我々の世界で現在生き残っている重力理論では一般相対論が最有力ですが, 他の重力理論 (例えばスカラー・テンソル重力理論など) なども様々な観測事実による篩をかいくぐってきています. これらの理論に対して, 重力波はリトマス試験紙の役割をしてくれるでしょう. その

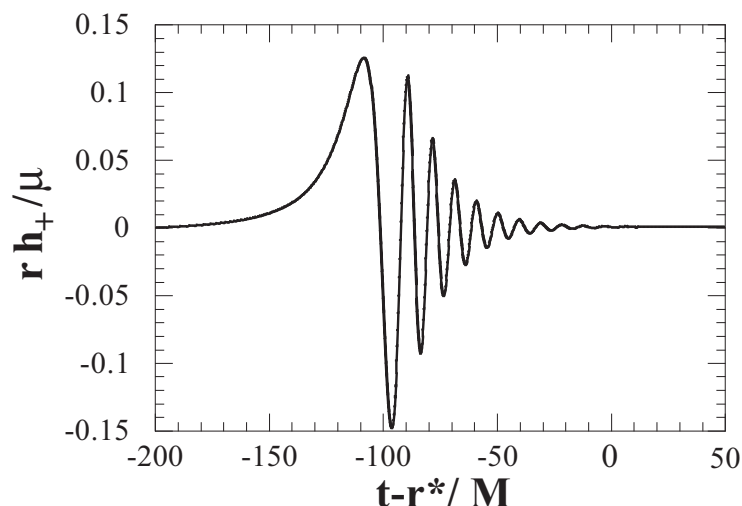


図 3: ブラックホールの赤道面上の観測者が観測する連星系から放出される重力波の波形. r は観測者から重力波源までの距離, h_+ は計量の 1 次の摂動量 (+モード), μ は伴星の質量, M はブラックホールの重力質量です. なお, ブラックホールの回転パラメータは $a/M = 0.9$ であり, 伴星はブラックホールの赤道面上を $E/\mu = 1$, $L_z/(\mu M) = 2$ で運動しています. [引用元: *Physical Review Letters* **85**, 2665 (2000).]

後, 重力波がたくさん検出されるにつれ, 宇宙の描像を解き明かすことが可能になるかも知れません. たとえば, 天体物理学的には星などの天体の質量や半径 (このように普通は単純だと思われることが宇宙では難しいのです) が精度良く直接決定可能になるでしょうし, その透過性の非常なる高さにより我々が今までに見ることができなかった中性子星の内核を見ることが可能になるでしょう. また, 宇宙論的にはその天体までの距離を測る直接的な手段となりうるでしょうし, インフレーションシナリオやダークエネルギー, 高次元重力理論 (例えばブレーンワールドシナリオ) に関する示唆が得られるかも知れません.

私は, 主に連星中性子星や連星ブラックホールを記述するために, 背景天体 (ブラックホールあるいは中性子星) に質点近似を施した伴星が運動するモデルを導入し, その系から放出される重力波の性質を数値的に探求してきました. 一般相対論の基本的な性質としての重力波を用いて, 宇宙の様々な描像を解き明かし, そして理解することを夢んでいます.

たくさんの大きな夢 (あるいは狭くて小さな夢?) をみっていますが, 物理屋は常に夢を見続け, そしてそれを追い求め続ける生き物です. 興味を持たれた方は是非居室の方に足を運んでみてください.

原子核・放射線物理学研究室

スタッフ

教授 小泉哲夫、家城和夫、平山孝人

准教授 栗田和好、村田次郎

実験技術員 須賀一治

学生

博士後期課程 川村広和、窪寺隼人

博士前期課程 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

秋山岳伸、池田友樹、聖代橋悦子、二宮一史、羽木洋介、原裕太、本多崇成

【研究室の概要】

当研究室では、原子核から原子、クラスター、結晶にいたるマイ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

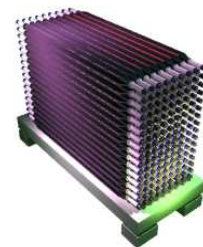
家城 和夫

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った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。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ており、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

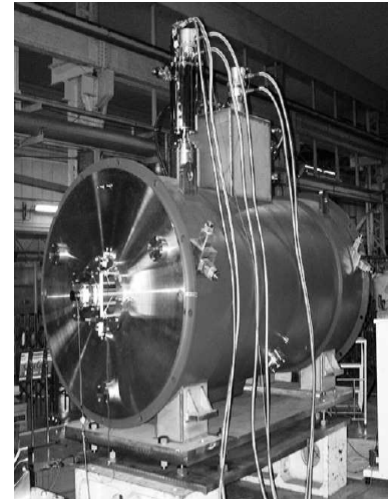
安定な軽い原子核では陽子数と中性子数はほぼ同じです。不安定核のなかには ^{11}Li のように中性子数(8)が陽子数(3)の倍以上ある原子核があります。このような原子核では中性子が非常に弱く結合しているため中性子だけが核の外側に大きく広がったハロー構造をもつことが知られており、通常の原子核にはない運動状態をもつことが期待されます。それを調べるには原子番号の大きな他の原子核(鉛など)との衝突によりクーロン場で励起して分解させ、中性子(2 個)と残りの核(^9Li)のエネルギーと方向を測定します。そこから励起状態や ^{11}Li の構造についての情報が得られます。(これをクーロン分解反応法と呼びます。) 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.nsl.msui.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.nsl.msui.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す。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ました (2007 年度)。

核物質の特異な性質

^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。

また、不安定原子核のうち中性子と陽子の数かなり違うような核では、核物質としての性質が安定な核とは異なることが考えられます。このようなアイソスピン依存性を調べる実験も計画されており、核反応から放出される陽子・中性子の分布の違いや、正負の π 中間子の分布の違いによりその効果の測定を目指しています。後者のための π 中間子測定器の開発を村田研や理研・京大のグループに協力し、放射線医学総合研究所でテスト実験を開始しています。

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いましたが、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。新同位元素の発見に関連する研究は松下君の修士論文 (2008) となる予定です。

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。

時空対称性の精密検証、余剰次元の探索

村田次郎

博士課程大学院生 D2 川村広和

修士課程大学院生 M2 豊田健司, 秦麻記, 新田稔, M1 秋山岳伸, 池田友樹, 二宮一史, 聖代橋悦子

卒研究生 大西潤一, 小川就也, 関口雄太, 中谷祐輔, 宮原直亮

理化学研究所連携大学院 竹谷篤 卒研究生 塚田和司, 河野光瑠

URL : <http://www2.rikkyo.ac.jp/web/jiro/research.html>

連絡先 : jiro@rikkyo.ac.jp

原子核崩壊を利用した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。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。宇宙の物質・反物質比の大きな偏りを説明する事が目的です。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、稼働を始めた理研の **RI Beam Factory** や放射線医学総合研究所での中高エネルギーでの重イオン衝突の実験を通して、中性子星内部などのアイソスピン非対称な高密度核物質の性質を調べています。クォーク間にはたらく強い相互作用の研究を主な目的とした米国ブルックヘブン研究所の超大型加速器実験にも参加しています。

I. 時間反転対称性の破れ探索実験 (MTV 実験)

川村広和, 豊田健司, 聖代橋悦子, 大西潤一, 宮原直亮

2008 年のノーベル物理学賞を与えられた小林・益川理論は CP 対称性のわずかな破れを説明することに成功した一方で、我々の宇宙にはなぜ反物質が殆ど存在しないのか、という根源的な質問に答えることが出来ずにいます。この研究では、小林・益川理論では観測されないはずだが、宇宙の物質・反物質比を説明する為に必要な、大きな時間反転対称性の破れの存在を実験的に探索する実験を行っています。2008 年度から本格的にデータ収集を開始し、信頼性の高いデータという意味で世界最高精度を達成しつつあります。

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に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な実験を行う事で標準理論物理の発見を目指しています。稼働を始めたヨーロッパの 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」を増幅する方法だと言えますが、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相対的な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対称性を利用して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、原子核の崩壊の超精密観測を進めています。

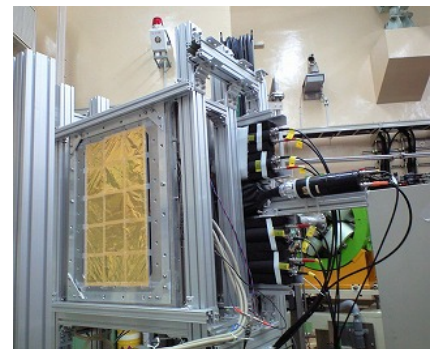
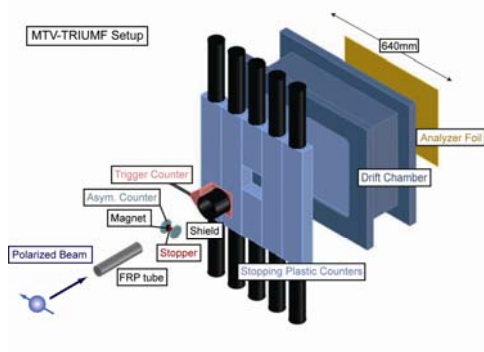


図 I-1：大学院生の建設した MTV 実験の観測装置。高エネルギー加速器研究機構での実験に用いられ、2008 年度終盤からはカナダの TRIUMF 研究所に移設予定

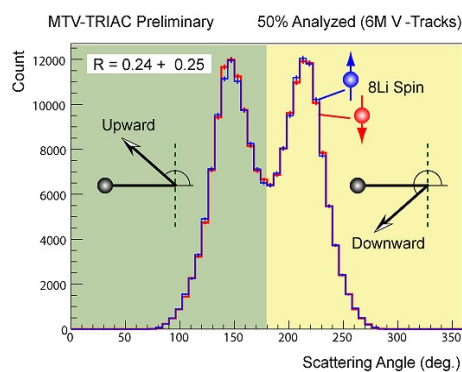


図 I-2：時間反転対称性が確認された MTV 実験の結果と実験チーム

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ベクトル三重積は、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。この偏極が存在すると時間が過去から未来へ、あるいは未来から過去へ進んでいるかを区別できる事を意味します。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。

私たちは、この電子線の横方向偏極を、電子一つ一つの飛跡を捉える事で極めて信頼性の高い方法で観測することの出来る、世界で初めての観測装置を發明し、およそ2年間のテストを経て2008年度に高エネルギー加速器研究機構にてついにデータ収集をすることに成功しました。この実験の根幹装置はドリフトチェンバーと呼ばれる最新鋭の検出器で、卒研究生や大学院生がその開発に携わってきました。高エネ研での実験は殆ど失敗もなく大成功に終わり、私たちは精度をさらに何桁も向上させることができ、標準理論を超える現象に対して十分な感度を持ちうる実験を、2008年度終盤よりカナダのバンクーバーにある TRIUMF 研究所にて実行する予定で準備を行っています。これから卒業研究や大学院で加わる皆さんには、バンクーバーに滞在して実験の主力として活躍してもらう事が期待されます。

II. 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 (Newton 実験)

秦麻記, 秋山岳伸, 二宮一史, 小川就也, 関口雄太

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、そのズレはマイ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行います。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。我々は高精度の「ねじれ振り子」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卒研究生の活躍によってこぎつけました。Newton I号という装置を卒研究生が手作りして成功させたcmスケールでの重力の観測を皮切りに、これまでに重力の逆二乗則の定量的な検証や等価原理の世界最短距離での検証に成功するなど、目覚ましい成果を上げることが出来ました。

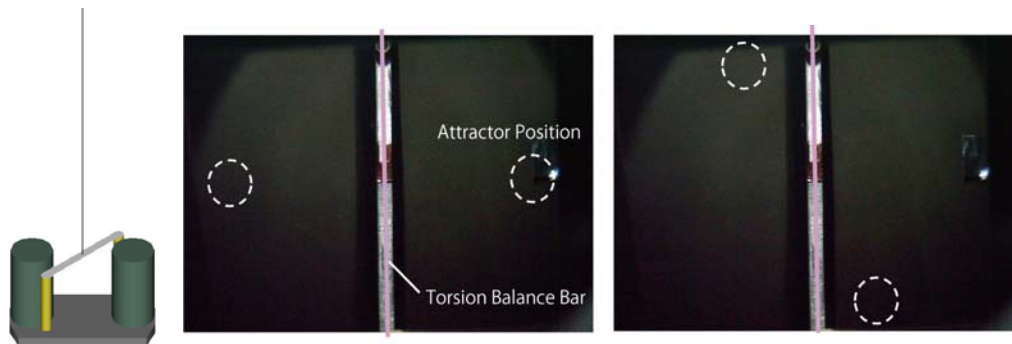


図 II-1：実験にもちいる「ねじれ秤」。重力源を移動させるとごく僅かにねじれる。

実験には上図の様なねじれ秤を用います。肉眼では重力によるねじれは確認できませんが、画像処理によって高精度で検出することが出来るのです。下図は距離依存性や質量依存性が **Newton** の法則と絶対値を含めて一致する事を劇的に捉えた結果です。

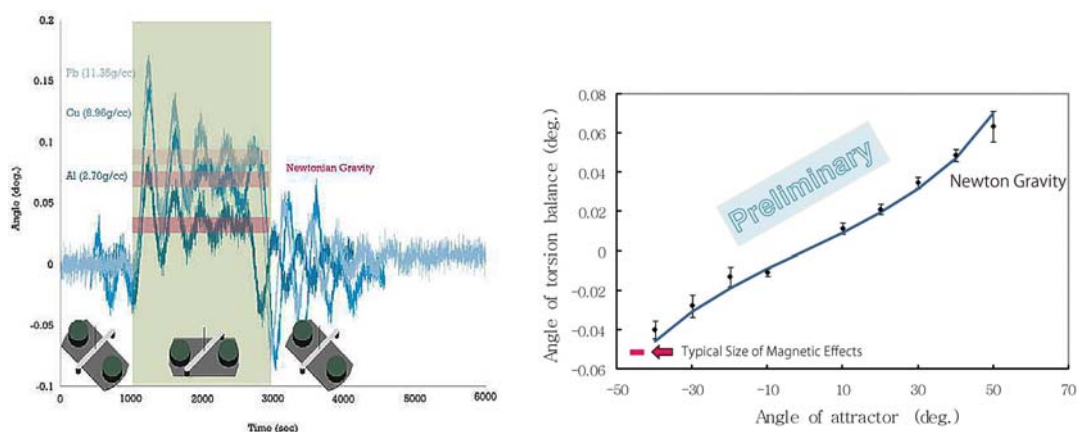


図 II-2：Newton I号の結果。万有引力の法則を cm スケールで見事に検証した。

Newton の法則からのズレは 1mm あたりから始まる可能性があり、我々はさらに近距離での精密検証を推進することでその発見を目指しています。一方、近距離で重力が **Newton** の法則の予言よりも強まる効果で、稼働を始めたジュネーブの LHC 加速器での実験で、小さなブラックホールの生成が起こるなどの驚くべき現象を同じ理論は予言しています。私たちの実験は、卒研生・大学院生の小さなチームで、超巨大科学と競争しているのです。下図は超大型加速器の余剰次元への感度と私たちの結果を比較したものです。既に肩を並べる精度を達成していることがわかりますが、LHC を凌ぐ世界一の感度を達成すべく、卒研生の手作りだった **Newton I** 号を圧倒的にしのぐ高性能を有する、**Newton II** 号、及び **III** 号を建設して余剰次元の発見一番乗りを目指しています。また、これらの実験を応用して、将来的には宇宙ステーションでの無重量環境を利用した実験を考えており、その基礎開発も同時に進めています。

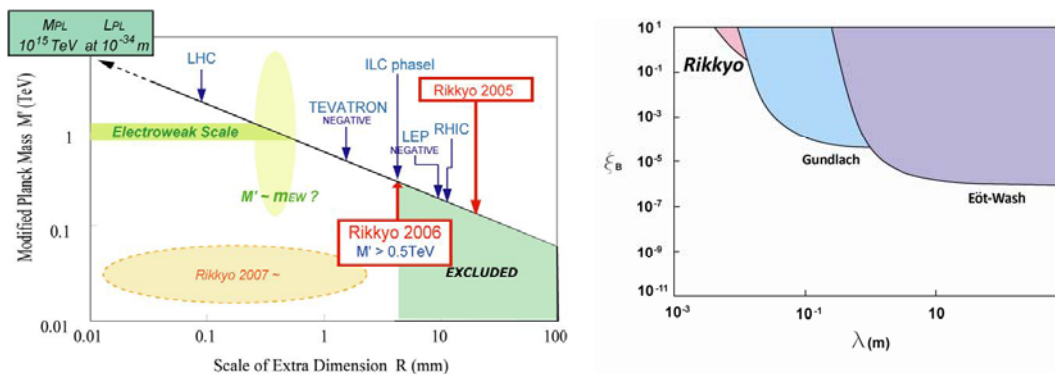


図 II-3：超大型加速器と並ぶ Newton I 号の結果。打倒 LHC を目指している。右は等価原理の検証で最も近距離で世界記録を達成している事を示す図。

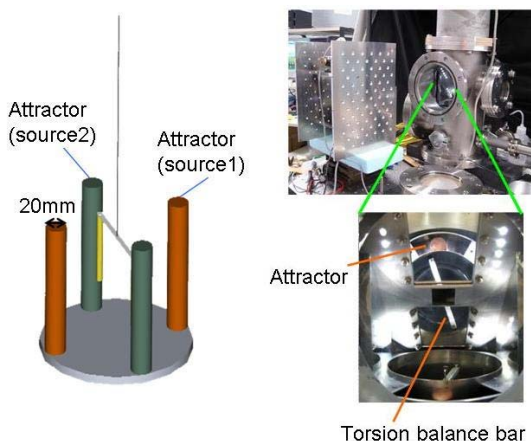


図 II-4：等価原理の精密検証を目指した Newton II 号

運動方程式に登場する慣性質量と、重力を感じる重力質量が同じものである、というのがアインシュタインの一般相対性理論の出発点となる等価原理です。近距離では実は等価原理が破れるとする理論があり、私たちの実験はその検証も同時に進めています。こちらは既にもっとも近距離での世界記録を達成することに成功しています。これらの研究は卒研究生・大学院生が自分で考案して自分で作った装置で比較的短期間で LHC に匹敵する実験を行う事が出来るなど、よそでは真似の出来ない面白い研究が出来る事を保証します。

III. 高温高密度核物質の研究

新田稔, 池田友樹, 中谷祐輔

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られる事が出来、核物質と呼ばれています。核物質の性質

を探る為、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、ここでの実験のため、特に重イオン衝突で真空から生成されるパイオンが核物質の豊かな情報を担っていると考え、パイオン検出の実験を放射線医学総合研究所にて進めています。

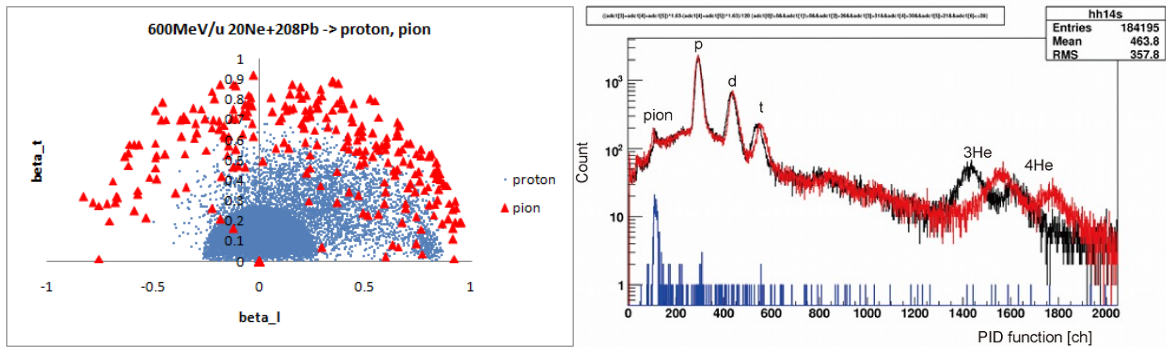


図 III-1：原子核衝突にて放出される陽子とパイオンのシミュレーションと、実験結果

この実験は比較的小型の検出器を自分で考案して製作し、シンクロトロンを用いた自分のための実験を卒研生でも進めることが出来る、とても恵まれた研究環境で進めています。次の図は 2008 年度卒研生の中谷君が自作したチェレンコフ検出器の放射線医学総合研究所での実験結果で、見事にパイオンの検出に成功した事を示しています。

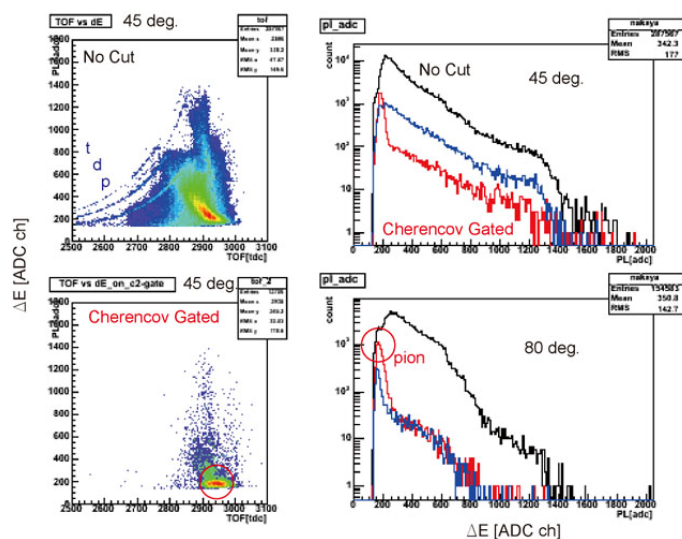


図 III-2: 卒研生が開発したチェレンコフ検出器によるパイオンの検出。

IV. PHENIX における W 粒子生成実験

池田友樹, 塚田和司, 河野光瑠, 豊田健司, 聖代橋悦子

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おり、夏休みなどにニューヨークのブルックヘブン研究所に滞在して作業を行っています。2008年には大学院生全員が数週間滞米して作業を行っただけでなく、理化学研究所での回路の開発に参加しました。さらに大学院生の池田君は修士論文のテーマとして本格的にトリガー装置の開発を行っています。理化学研究所の竹谷氏とは PHENIX 実験をテーマとした卒研で連携しています。



図 IV: PHENIX 検出器のミュオンチェンバー (2008年夏の作業)

以上の様なテーマを柱にして、活動しています。研究室メンバーは、自分の専門以外のテーマにも参加しており、互いに切磋琢磨しています。

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・高橋麻里子, 常野達朗, 宮野陽介

「位置検出型低エネルギーイオン検出器の開発」卒論・野口琢也, 千葉倫久, 関根将男, 宮越有央

2004年度

「ねじれ秤による近距離重力の検証」卒論・天沼貴之, 飯野拓也, 壇原聡, 水野幸子

「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・新井清弘, 佐野宜紀

2005年度

「センチメートルスケールでの重力の検証」卒論・荒木庸典, 山岡真一, 櫻井慶人, 大森健宏

「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・成田圭吾

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・矢沢和正, 佐藤俊昭

「シングルワイヤードリフトチェンバーの開発」卒論・下山拓也, 末廣徹, 豊田健司

「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」修論・川村広和

2007年度

「重イオン衝突実験のための検出器開発」卒論・大石光

「次世代近距離重力実験のための基礎開発」卒論・二宮一史, 秋山岳伸, 池田友樹

「トリガーカウンター (ガスワイヤーチェンバーの開発)」卒論: 原裕太, 羽木洋介

「近距離重力測定による等価原理の検証」修論・筒井亮丞

「時間反転対称性検証実験のための偏極保持装置の開発」修論・成田圭吾

2008年度

卒研中間発表

「時間反転・パリティ対称性の破れ探索実験の為の横偏極電子線源の開発」大西潤一, 宮原直亮

「フルハイビジョン技術を用いた次世代画像処理型変位計の開発」小川就也, 関口雄太

「中間エネルギー重イオン衝突実験の為のチェレンコフ検出器の開発」中谷祐輔

「RHIC-PHENIX 実験の為の光学式アラインメントシステムの開発」河野光瑠, 塚田和司

修論中間報告

「時間反転対称性の破れ探索実験に用いるトリガー回路の開発」豊田健司

「原子核衝突実験における中心衝突度フィルターとパイオン検出器の開発」新田稔

「ピコ精度画像処理型変位計を用いた自由落下方式による重力測定実験」秦麻記

「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。上記の他にも、暗黒物質探索やカオス的な研究など、新しい方向もすでに進めています。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、私たちの研究室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。なお、研究以外の「課外活動」もとても活発です。

「究極の物質の探求」

栗田 和好 (Kurita Kazuyoshi)

メール k_kurita@rikkyo.ac.jp

専門分野 原子核反応実験

主要担当科目 (学部) 理学とキャリア, 物理入門ゼミナール, エレクトロニクス
原子核・放射線物理学講究 1, 理科実験, 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原子核・放射線物理学講究 1、後期にエレクトロニクス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講義をしている。3年実験、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ー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ら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。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。

また、最近新たな実験原理の確立に成功し、不安定原子核の電子散乱実験が可能になった。立教大学はその実験の主要な検出器開発の担当になっており、今後とも重点的にすすめていく課題である。

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あ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と学ぶこと。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高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

橋本公瑛 (D1)

河西実希 (M2)

岡田健介 (M2)

塩田良介 (M2)

山田雄介 (M2)

羽木洋介 (M1)

原 裕太 (M1)

低エネルギーイオン原子衝突の実験的研究

小泉哲夫, 橋本公瑛, 小島隆夫(訪問研究員), 平山孝人

I. カイラル分子クラスターイオンの移動度(小泉哲夫, 橋本公瑛, 小島隆夫)

1. はじめに

生体物質におけるカイラリティー偏在起源の解明は自然科学における重要な課題であり、さらに根源的な問題である生命の起源と密接な関連を持っている。生体反応はカイラリティーに鋭敏であり、カイラリティーの識別は生命の維持に本質的な重要性を持っている。高感度の異性体識別手段が開発されればその意義は基礎科学の分野にとどまらず社会的な影響は大きい。

現在最も一般的に行われている識別手段は、液体(溶液)状態で光学活性分子の旋光性の違いを利用するものである。これは高感度な方法ではないので、対象が希薄な気体分子であればその識別は非常に困難である。もし試料が結晶であればX線回折により絶対配置を決めることも可能であるが、結晶が得られる試料は限られている。また現時点では高い時間分解能を持ったカイラリティー識別手段がないため、カイラリティーの動的過程を研究した例は極めて少ない。

一方、気体中のイオンの移動度はイオンと中性気体の運動量移行断面積、つまり究極的にはイオン分子間相互作用ポテンシャルにより決まることはよく知られている。イオンの構造や電子状態が異なればイオンと充填分子間の相互作用ポテンシャルが異なり、その結果移動度に差が現れる。本研究の第一の目的は、質量分析法と組み合わせることが可能で、高感度で効率的な光学異性体識別法として、イオン移動度の違いを利用した方法論を確立することである。カイラリティーの異なるイオンをドリフトさせる場合、充填気体が通常用いられているようなカイラリティーを持たない希ガスや窒素分子であれば、イオンの移動度はカイラリティーに依存しない。しかし充填ガスが前もって光学分割された分子であれば、イオンと充填ガスの相互作用にカイラリティー依存性が出現し、移動度により分離することが可能である。本方法は気相の高感度カイラリティー識別法になると期待される。

2. 実験結果と考察

我々のグループではイオン移動度によってカイラル分子のカイラリティーを識別するという目的でイオン源開発などを行ってきた。今回、我々は装置の動作試験もかねて Li^+ イオンの移動度をHeとカイラル分子である2-Butanol(ラセミ体)の混合気体中で測定し、 Li^+ イオンの移動度の2-Butanol混合率依存性を測定した。またこのとき移動管内で生成される Li^+ -2-Butanolクラスターイオンの移動度も測定した。Fig.1に Li^+ の純HeおよびHe-2-Butanol混合気体中の移動度を換算電場 E/N の関数として示す。Fig.2には $E/N=31$ および 44Td のときの混合率依存性を示す。Fig.2中の線はBlanc則から求めた混合率依存性を 31Td のときに計算したものである。その際、純2-Butanol中の移動度は不明であるので、He中の移動度と2-Butanol中の移動度の比 $K_{\text{He}}/K_{\text{B}}$ を10,50,100,150として計算した。この結果からは移動度の比(つまりは断面積比)は大きく見積もっても100程度であることが解る。

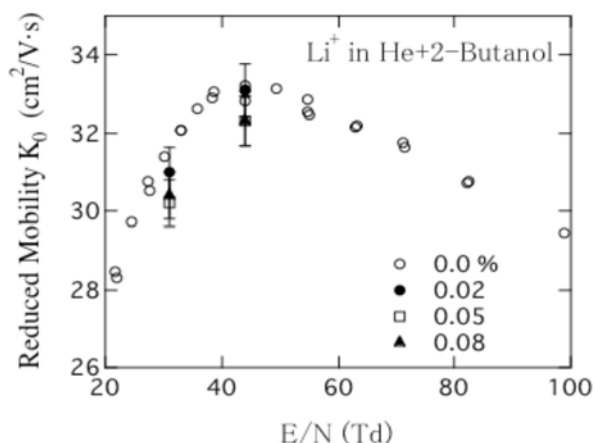


Fig.1. Reduced mobilities of Li^+ in mixture gas.

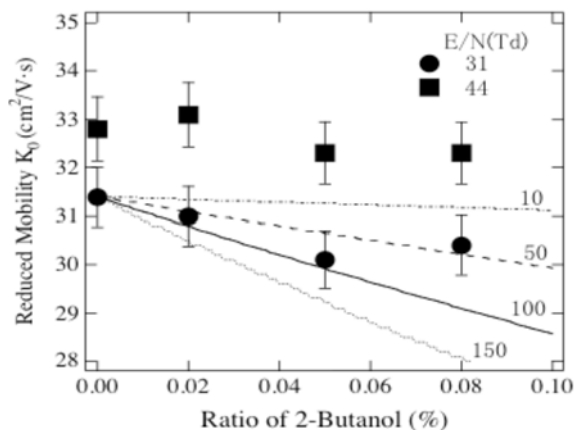


Fig.2. Mobilities of Li^+ as a function of mixture ratio.

II. 精密多価イオン分光-多価イオンと原子分子の衝突過程-

(小泉哲夫、平山孝人)

1. はじめに

多価イオンと原子分子の衝突過程の研究は、多価イオンと物質の相互作用の基礎過程として重要なだけでなく、プラズマ基礎過程、化学反応基礎過程、宇宙空間におけるX線発光の基礎過程などの応用へも大変有力な情報を与える。本研究では主に多価イオン衝突における電荷移行反応を中心に研究を進めている。多価イオンと原子分子の衝突では1電子移行だけでなく、複数の電子が反応に関与する多電子移行反応が大きな確率で起こるが、このような過程は多くの電子の相関を考慮に入れる必要があり、基礎物理の問題としても理論的に完全には解決していない問題である。

このような多電子が関与する反応では、入射多価イオンの価数変化を測定しただけでは反応経路が特定できない。そこで本研究では入射多価イオンの価数変化、エネルギー損失を測定すると同時にそのときに生成した反跳イオンの価数分析も行う同時計測法を用いて反応経路を特定する研究を行っている。今回は Ar^{q+} ($q=3\sim 7$) および Xe^{q+} ($q=4\sim 9$) と希ガス原子 (He, Ar) の電荷移行反応を同時計測法で測定し、単純な1電子移行反応過程と、多電子移行反応後に入射イオンが自動電離を起こすTransfer Ionization(TI)過程を区別することに成功し、TI過程の起こる確率を見積もることができた。

2. 実験装置

本研究では多価イオンの生成にハイテクリサーチセンター整備事業で導入したE CR多価イオン源を用いている。イオン源から引き出された多価イオンは扇形マグネットで質量分析されたのち輸送系、減速レンズ系を通し疑似半球型静電エネルギー選別器でエネルギー幅を約 $2xqeV$ にそろえる。標的気体と衝突し価数変化した入射イオンは散乱角 0° に設置した疑似半球型静電エネルギー分析器でエネルギー変化を測定される。一方、生成反跳イオンは飛行時間型質量分析器(TOF)で価数分析を行う。エネルギー分析器で価数変化とエネルギー変化を特定された入射イオンをスタート信号、TOFからの生成イオンをストップ信号として同時計測することで反応経路を特定した電荷移行反応の測定を行った。

3. 測定結果

まずはじめに入射イオンの価数変化が1と2の場合について入射イオンのエネルギー変化を測定し、Classical Over-Barrier (COB)モデルとの比較をおこなった。入射イオンは Xe^{q+} ($q=7\sim 11$)で入射エネルギーは9keV、標的原子はHeおよびArである。結果の詳細は論文(2)を参照してほしい。1電子系では実験とよく一致するCOBモデルも今回のような多電子系では実験と多少の違いが見られる。電子相関をきちんと取り入れた理論が必要なことが、今回の結果からはっきり示された。

次に Ar^{q+} ($q=3\sim 7$)および Xe^{q+} ($q=4\sim 9$)入射で価数変化が1の場合について、同時計測法を用いて単純1電子移行過程とTI過程を区別する測定をおこなった。その結果、観測された価数変化が1の場合でも入射イオンの価数が5～6価になると、TI過程が20%程度起こることが示された(国際学会(1),国内学会(11))。

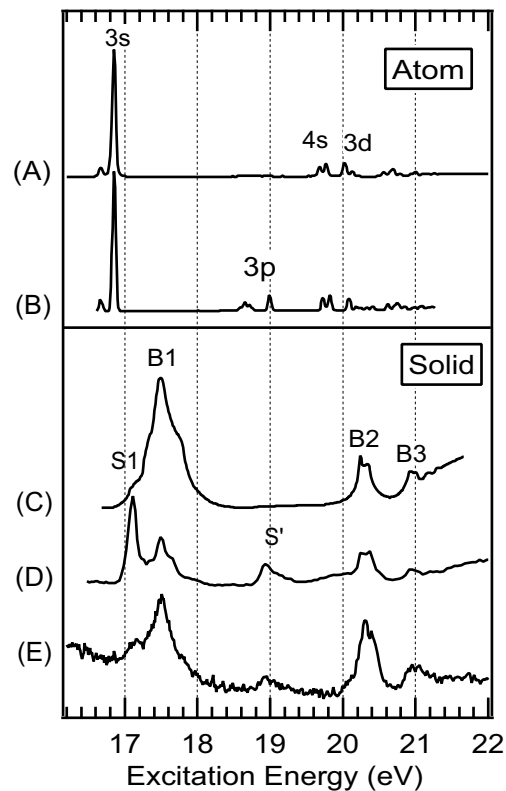
希ガス固体および希ガスクラスタにおける 電子的励起および崩壊過程の実験的研究

平山孝人*, 立花隆行 (PD), 窪寺隼人 (D2), 深井健太郎 (M2), 関塚達也 (M2)

1 はじめに

我々のグループで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理解することが可能であると考えている。

我々の研究室では、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。



2 希ガス原子と希ガス固体

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 16.8eV 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

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。

*hirayama@rikkyo.ac.jp, <http://www2.rikkyo.ac.jp/web/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。

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的环境下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 0.02eV, 0.08eV, 0.12eV, 0.17eV 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 7K 程度以下、Xe の場合は 50K 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、さまざまな様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 0.32nm）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 実験結果

3.1 低速多価イオンと希ガス固体の相互作用（深井健太郎，立花隆行，小泉哲夫，平山孝人）

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。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。

2007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。Ne 固体にイオンを入射するとクラスターイオンの脱離が観測される。我々が以前報告した結果によると、低エネルギーイオン衝撃でも Ne 固体表面からサイズ (1 粒子中の原子数) 100 を超える非常に大きなクラスターイオンが脱離することがわかっている。脱離クラスターイオンのサイズ分布を詳細に測定したところ (図 2), サイズが大きい ($n > 3$) 場合はそのサイズ分布は入射イオンの運動エネルギーのみに依存するが、サイズが小さい場合は入射イオンの価数 (ポテンシャルエネルギー) に大きく依存することがわかった。これを利用して得られた固体 Ne 表面からのポテンシャルスパッタリング収率 Y_{PS} の入射イオンのポテンシャルエネルギー依存性を図 3 に示す。 Y_{PS} は入射イオンの運動エネルギーに依存しているが、その傾きは同じであり、この傾きは純粋にポテンシャルスパッタリングの寄与を表していることがわかる。現在、このグラフの縦軸の絶対値を入れるための新しい測定を試みているところである。

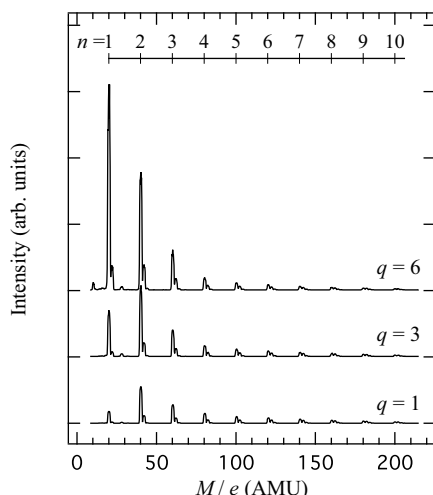


図 2: Ar^{q+} ($q = 1, 3, 6$) 衝撃による固体 Ne 表面からの脱離イオンの質量スペクトル。入射 Ar^{q+} イオンのエネルギーは 1keV。

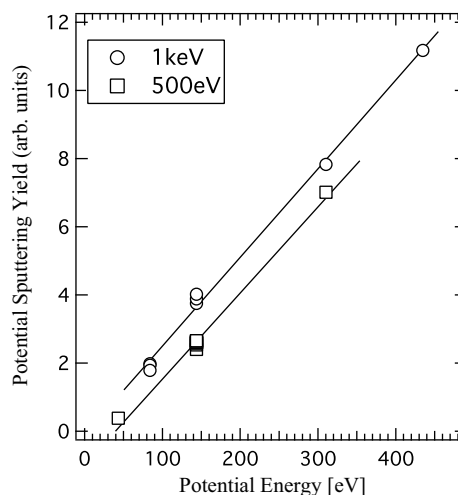


図 3: Ar^{q+} ($q = 1 \sim 7$) 衝撃による Ne 固体の Potential Sputtering 収率。横軸は入射イオンの持つポテンシャルエネルギー。

3.2 電子エネルギー損失分光法を用いた希ガスクラスターの電子的励起過程の研究 (関塚達也, 堺聡史, 窪寺隼人, 立花隆行, 平山孝人)

クラスター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ーの大きさ (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。

この研究では、断熱膨張法を用いて希ガスクラスタービームを作り、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ー

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、クラスター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。

Ar クラスターを標的とした電子エネルギー損失スペクトルを図4に示す。平均クラスターサイズ（クラスターを構成する原子の数） $\langle N \rangle$ が大きくなると、バルク励起子（固体中の励起状態）生成に起因するピーク（12.1eV）が成長していることが判る。これは、クラスターサイズが200以下程度でも、その内部では「固体」の状態が生成されていることを示している。また、入射電子のエネルギーが(a) 100 eV と(b) 250 eV では、バルク励起子のピークが現れるクラスターサイズが変化している。これは、入射電子のクラスター粒子内への進入深さが、入射エネルギーが250 eV の場合には100 eV の場合よりも大きいためであることで説明できる。

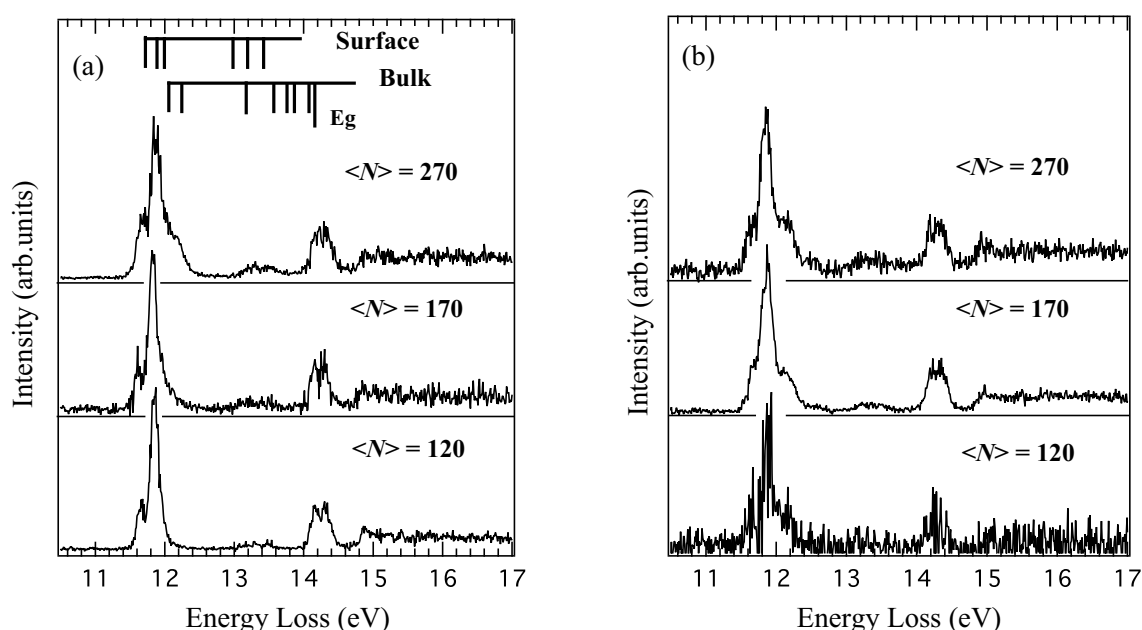


図4: Ar クラスターを標的とした電子エネルギー損失スペクトルの平均クラスターサイズ $\langle N \rangle$ 依存性。入射電子のエネルギーは (a) 100 eV, (b) 250 eV。

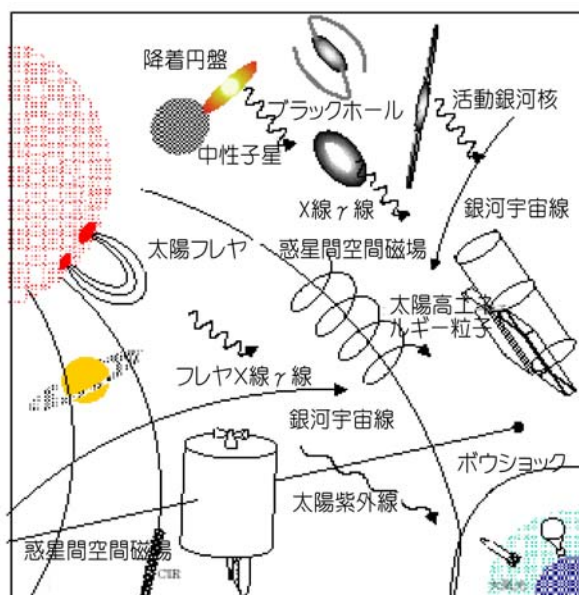
宇宙地球系物理学研究室

教職員	教授	泉本利章、北本俊二、田口 真、山本博聖
	准教授	柳町朋樹
	助教	村上弘志
	実験技術員	関口宏之、須賀一治
研究員	PD	森井幹雄
	訪問研究員	幸村孝由
大学院生	後期課程	
	D3	須藤敬輔
	D1	武井 大
	前期課程	
	M2	後藤範光、宍戸洋一、柴田拓磨、姫野 悟
	M1	酒田一也、竹中恵理、長崎健太

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。

地球は厚い大気のベ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金星をはじめとする太陽系惑星の世界があり、それらを含めた「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、太陽紫外線、地球および惑星大気、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・極地研究所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研究グループ別に紹介する。

地球大気と太陽紫外線の研究

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と呼ぶときの名称で、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。その活動領域を人々は「宇宙空間」と認識しているが、地球半径 6400km に比べれば地球表面からすぐそこであり、私たちの住む地球の引力がまだまだ大きな働きをしている領域である。その領域までにほとんどの大気は存在していて、その大気がわれわれを守ってくれているのである。

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の工夫がされている。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、地上に到達する太陽紫外線強度の観測ならびに夜間大気光の地上観測を進めている。地上紫外線観測は我が国にとどまらず南米大陸のブラジルをはじめとするいくつかの地点で連続観測を続けてきており、これらの結果から地上に届く紫外線強度の変動を調べ、また紫外線強度比から得られる大気オゾンの変動についての研究を進めている。夜間大気光観測結果からは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を進めている。

1. 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 (サンタマリア大学) とサンパウロ大学ならびにチリのコンセプション (コンセプション大学) とプンタアレーナス (マゼラン大学) の 4 ヶ所である。2008 年度からは新たに赤道直下のナタル (北リオグランデ連邦大学) での観測も開始する。それぞれの大学との共同研究である。

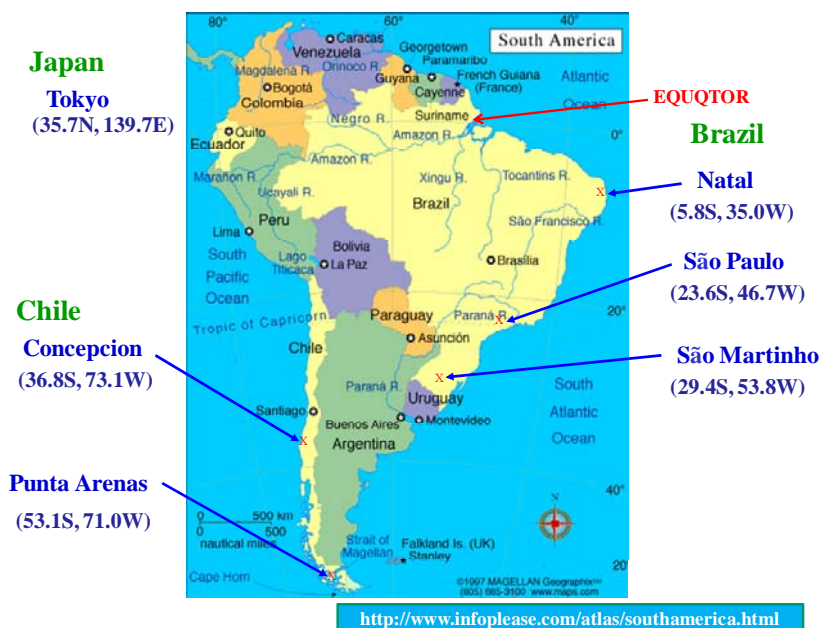
2. メソポーズ領域の大気温度の観測

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、わたしたちは市街地 (立教大学池袋キャンパス) においても観測可能な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

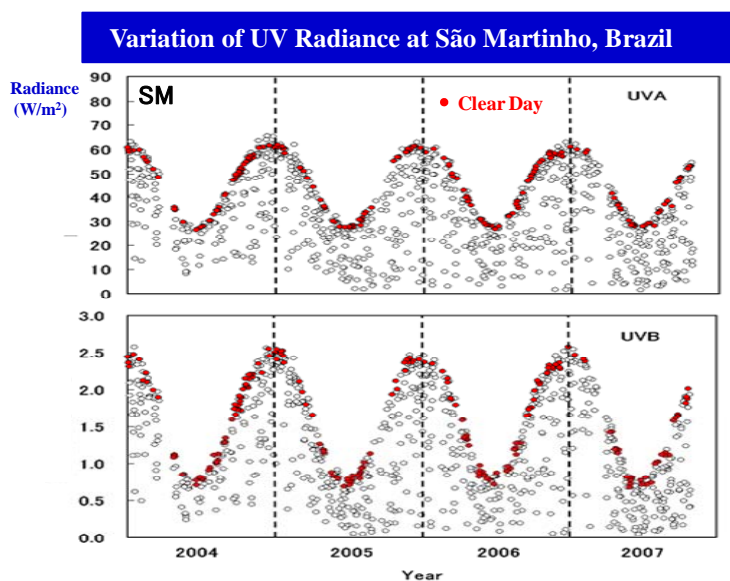
持つ1年変動が観測されていて、地球規模の大きな大気の循環運動の結果であるとして理解されている。短い時間スケールでも変動し、これの原因は対流圏あたりでの小さなスケールの擾乱が上層へ伝播した結果であると解釈されている。

従来から用いてきている観測装置にあわせて新たに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 大気光観測も開始した。近赤外線領域でのこの種の観測装置を用いての観測は初めての試みである。

太陽紫外線観測装置設置場所



ブラジル サンマルチーニョ観測所での太陽紫外線強度の変動



X線天体の研究とX線観測装置の開発

教授 北本俊二

助教 村上弘志

先端科学計測研究センター (PD) 森井幹雄

D3 須藤敬輔

D1 武井大

M2 宋戸洋一、柴田拓磨、後藤範光

M1 竹中恵理、長崎健太

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、星や星形成領域等に付随する高温ガスをはじめとした、宇宙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標と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、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きているのか理解し、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」衛星が活躍を始めています。

研究室では、ブラックホール候補星である、Cyg X-1 と GRO J1655-40 のエネルギースペクトルを X

線天文衛星「すざく」で詳細に観測し、その共通性を示しました。図1には両方の天体からの X線エネルギースペクトルを示します。およそ 4 keV を境に2種類の成分が存在することに加えて、弱い降着円盤成分と、降着円盤による照り返しの成分を考えることで、両方の天体のエネルギースペクトルを説明できました。図2に示す 4.5 年に渡る光度曲線は、中性子星を含む連星系と思われる天体が 1987 年に増光していたことを示しています。この結果は「ぎんが」衛星が観測していたデータを再解析することで求めたものです。このように、X線で突然明るくなる天体が割りとたくさんあることがわかってきました。

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

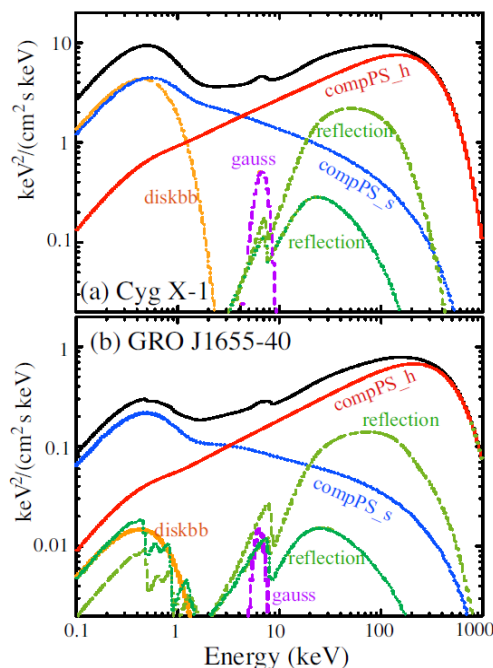


図1. 「すざく」の観測から求めたブラックホール候補星 Cyg X-1 と GRO J1655-40 のエネルギースペクトルのモデル。(Makishima, Kitamoto et al., 2008)

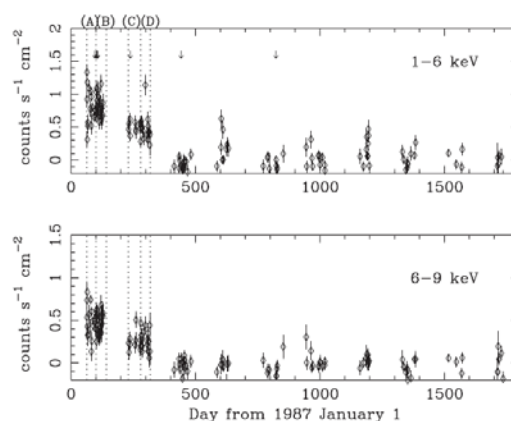


図2. 「ぎんが」衛星の全天モニター装置で観測した中性子星連星系, GS1741-288 の 4.5 年にわたる光度曲線。(Yamauchi, Nakagawa, Sudoh, Kitamoto, 2007)

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、「すぎく」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。X 線反射鏡は多層膜でコーティングした回転放物面鏡、または球面鏡です。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 4 に示します。

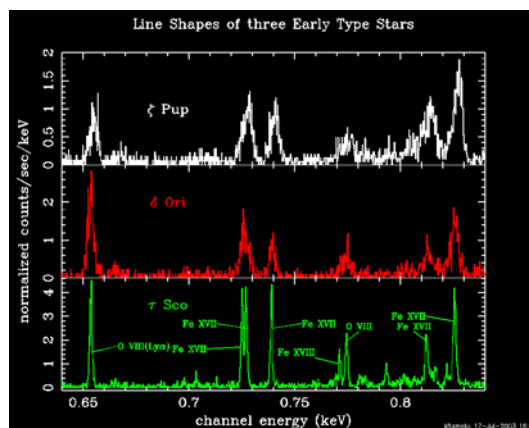


図 3. 「Chandra」の観測から求めた三つの早期型星のエネルギースペクトル。輝線の太さがそれぞれ異なっている。(Yamamoto, Takano, Kitamoto, Kohmura, , 2007)

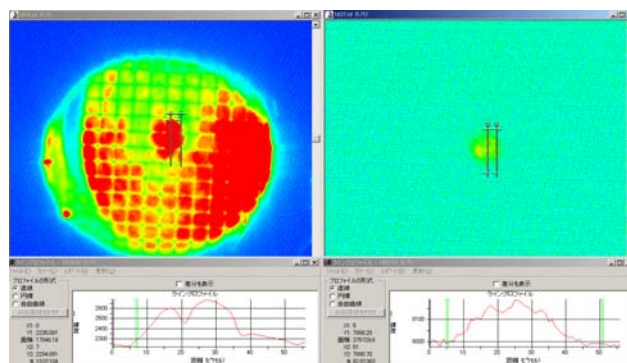


図 4. Xmas 計画の X 線望遠鏡で撮像した 500 ミクロン間隔、50 ミクロン線幅のメッシュの像 (左)。13.5nm の X 線の像 (右)

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 5 は、Mo/Si の多層膜と CCD を使った X 線偏光計の中身が見える状態で撮った写真です。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 6 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。

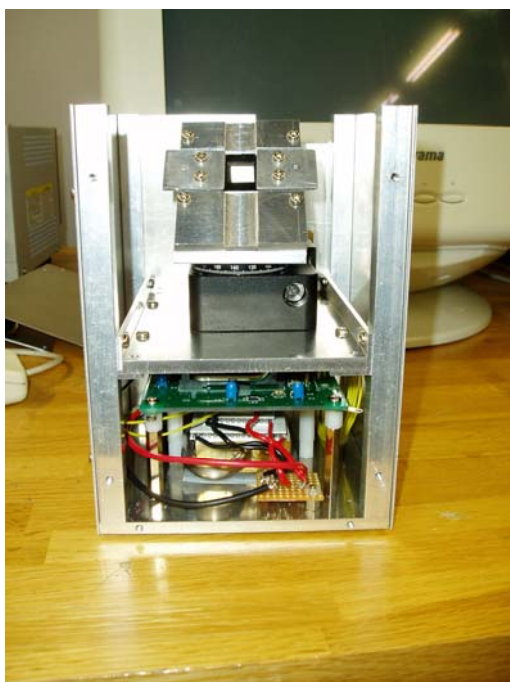


図 5. Mo/Si の自立多層膜を使った X 線偏光カメラの中身が見える状態の写真。

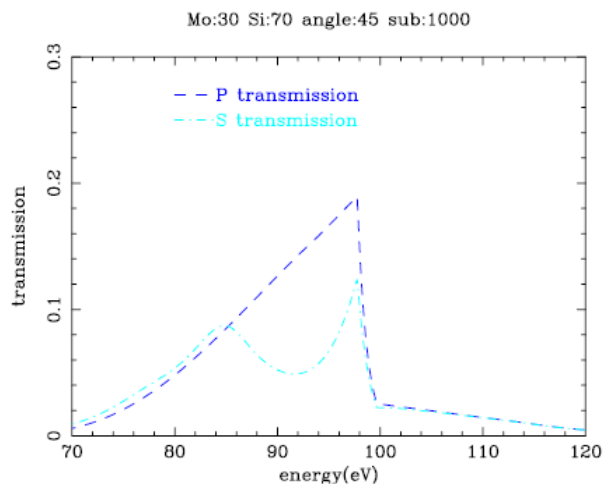


図 6. 45 度入射での X 線の透過率。偏光の違う X 線を P 波、S 波と呼ぶ。両者の透過率が大きく異なる。

光学的手法による惑星大気の研究

田口 真

M1 酒田一也

惑星大気から発せられる光は、その起源となる場所の組成、温度、圧力、電磁場、放射場、化学過程、力学過程等に関する情報を秘めている。その光を撮像あるいは分光することによって、それらの情報を引き出すことができる。我々は地上あるいは飛翔体から光学的にリモートセンシングすることによって得られたデータを基に、地球も含めた惑星の大気や周辺のプラズマ環境を研究している。以下に研究内容を紹介する。

1. オーロラ・大気光: 共役点イメージャー、ファブリーペローイメージャー

オーロラは地球磁場の磁力線に沿って加速されて地球に降り込んできた荷電粒子が大気と衝突する際に持っていた運動エネルギーを光として放出する現象である。地球磁場は双極子成分が卓越しており、またオーロラ粒子の源が地球磁気圏の夜側赤道領域付近に存在するため、オーロラは南北両半球の極域(オーロラ帯)に現れる。オーロラ発生の舞台となる超高層大気や磁気圏は、もともと南北非対称であり、しかもダイナミックに変動している。したがって、一本の磁力線でつながれた南北極域の2地点(地磁気共役点)で同時にオーロラを観測したときに、必ずしも鏡像の関係にあるオーロラが見えるわけではない。共役点で同時観測されたオーロラの形態や明るさは南北両極での磁場、オーロラ加速機構、大気温度・組成等の違いを反映している。

南極昭和基地とアイスランドはオーロラ帯において両半球でオーロラ観測を実施している唯一の地磁気共役点ペアである。共役点イメージャーは昭和基地とアイスランドのフッサフェルに1台ずつ設置されていて、オーロラの単色全天画像(図1)を撮ることができる。この装置を用いて、オーロラ発光強度の南北半球での違いを研究している。オーロラ発光強度は、オーロラ粒子の密度、磁場強度、大気温度によって決まると考えられているが、オーロラ加速メカニズムの南北対称性はまだよくわかっていない。2006年の共役点イメージャー観測から、南北の磁場強度比から予測される発光強度比(南半球での発光強度/北半球での発光強度)は、帯状に伸びるオーロラの場合、1.11~3.25であった。この比は南北の磁場強度の違いによって帯状のオーロラの幅が南北半球で異なるために現れるものであると考えられる。また、異なるタイプのオーロラの発光強度比を比較することにより、地磁気共役オーロラの地上観測から南北の沿磁力線加速電場強度の違いをリモートセンシングできる可能性を示すことができた。しかし、これまでのところ同時観測例が非常に少ないため、今後も観測を継続してデータを蓄積し、統計的な研究をしていきたい。

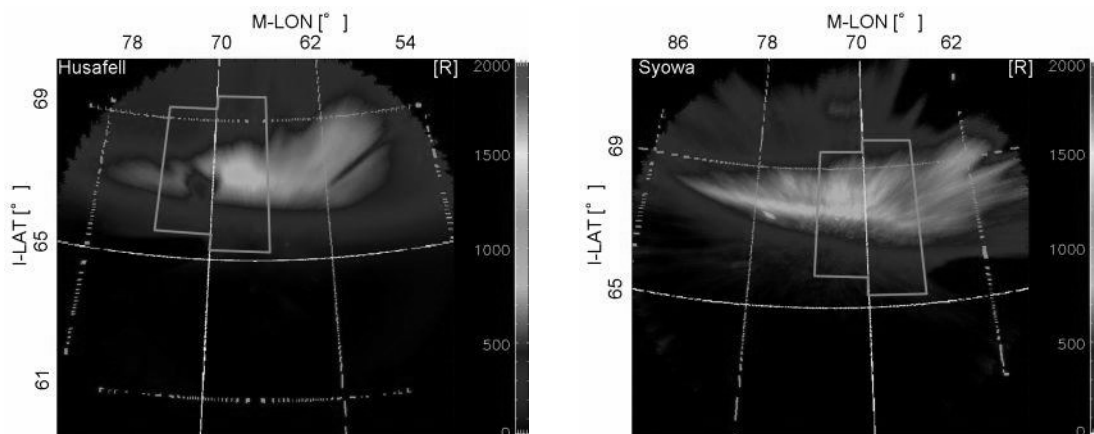


図1. アイスランド・フッサフェル(左)及び南極昭和基地で同時に撮像された窒素分子イオン(427.8 nm)のオーロラ発光の全天画像[Asozu, 2007]。

中間圏・熱圏領域ではオーロラの他に大気光という微弱な発光がある。大気光は太陽光エネルギーによって励起された原子がエネルギーを放出する過程で出る光である。中間圏・熱圏領域に存在する大気分子・イオンの種類によって特徴的な波長で発光する。例えば、酸素原子が出す禁制線(波長 557.7 nm 及び 630.0 nm)はオーロラ・大気光の代表的な光である。これらの発光は励起してから発光するまでの時間が長いので、その場の大気温度及び風によるドップラーシフトを受ける。それらの光の波長位置と幅を精密に測定することによって、発光層における視線風速と温度を導出することができる。

ファブリーペローイメージャーはそのような原理を利用して、熱圏の大気温度・風速をリモートセンシングする装置である。ファブリーペローイメージャーはオーロラ発光輝線の1つを取り出し、ファブリーペロー干渉計で分光する。全天からのオーロラ発光の干渉フリンジを CCD カメラで撮像することで、視線風速及び温度の二次元分布を得ることができる。2001 年に南極昭和基地に設置され熱圏・電離圏観測機器の一つとして観測を行った。得られたデータからは電離圏 F 層大気温度と太陽活動度の関係(図2)や E 層ダイナミクスとオーロラ活動の関係が研究されている。ファブリーペローイメージャーは昭和基地での観測で不具合が発生したため、現在国内に持ち帰り整備中である。2009 年度は立川の国立極地研究所に設置し、整備後の性能を確認するために試験観測を1年間実施する。その後、北極域での観測に再投入する計画である。

Temperature in the F-Region and Solar EUV Flux

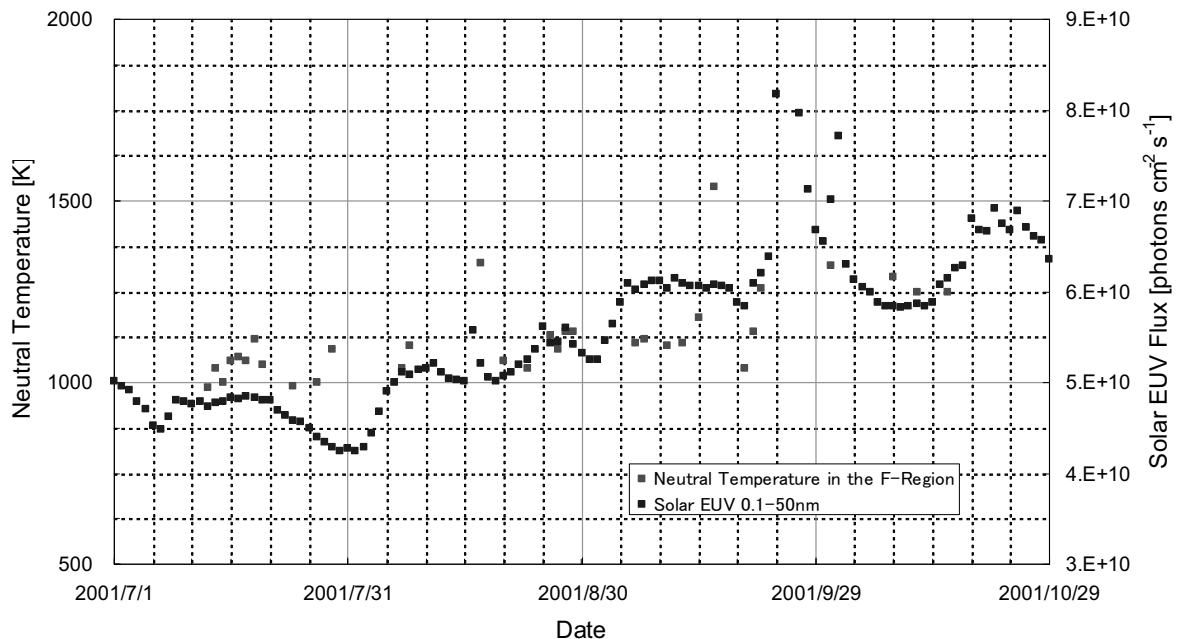


図2. ファブリーペローイメージャーで測定された F 層温度及び太陽極端紫外線フラックスの関係。

2. 電離圏擾乱:真空紫外シュミットカメラ

中間圏・熱圏・電離圏(MTI)領域では、伝播性電離層擾乱やプラズマバブルと呼ばれるグローバルスケールの擾乱現象があることが知られている。これらの現象は地上からの光学的撮像観測ではその全体像の一部しかとらえることができない。静止衛星からこれらの現象をグローバルに捉えるべく MTI 観測衛星(IMAP)が提案されている。地上観測では可視光領域の大気光が利用されているが、衛星観測では下層大気酸素分子による吸収の影響がないため、真空紫外領域の大気光を利用することが可能となる。真空紫外領域を使うと昼間側の散乱光による妨害が少ないという観測上のメリットがある。

真空紫外域には何種類かの原子・分子輝線スペクトルが存在する。その

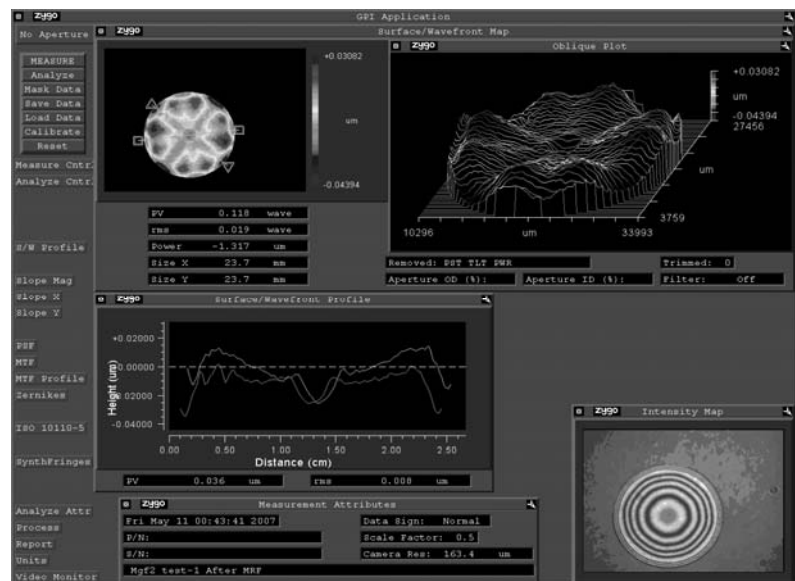


図3. 磁性流体研磨によって製作された MgF₂ 基板面の目標面からの残差。左上のパターンに示されるように、目標面に対して非常にわずかだが十字模様の残差が残った。この模様が現れる原因を探り、現れないようにすることが次の課題である。

中で酸素原子 135.6 nm 輝線は明るさがF層電子密度の自乗に比例し、コロナ成分がないため比較的高い空間解像度で観測できる。しかし中緯度でのOI 135.6 nm 大気光の明るさは10 R程度しかなく、積分時間20分で撮像しようと思うと光学系にはF1.0という明るさが必要になる。

シュミットカメラは球面収差、コマ収差、非点収差が皆無で、非常に明るく視野が広い光学系として可視域では広く実用化されているが、真空紫外領域ではほとんど例がない。その原因の1つは真空紫外領域で利用できる透過光学材料が限られている点にある。フッ化マグネシウム(MgF₂)はそのような材料の1つである。我々は、MgF₂を補正板材料とした真空紫外領域で動作するシュミット光学系の開発を進めている。これまでの基礎実験でダイヤモンドターニング+磁性流体研磨でMgF₂基板を磨いて光沢面を出すことが可能であることがわかったが、課題も現れた(図3)。今後、補正板研磨過程や結像面湾曲の課題を解決し、真空紫外シュミット光学系製作技術の確立を目指していく。

3. 惑星大気・磁気圏・気球搭載望遠鏡

ガリレオが手製の望遠鏡で初めて惑星を眺めて以来、地上望遠鏡を使った惑星光学観測は常に惑星研究において重要な地位を占めてきた。しかし、地上大型望遠鏡で惑星観測を行う場合、観測精度が地上の気象条件に大きく左右されたり、長期間のマシントime確保が困難であったりという問題がある。一方、極域成層圏に望遠鏡を浮遊させると、惑星を24時間以上にわたって連続観測が可能である。また成層圏高度では大気が薄いいため、良好なシーイングが期待され、大気吸収が少なく、天候に影響されずに常時観測が可能である。極に近いほど天体の日周運動にともなう高度変化が小さいため、観測条件が一定になるメリットもある。このようなメリットを生かし、惑星の大気及びプラズマを地球から撮像観測することを目的として気球搭載望遠鏡システム(図4)を開発している。気球搭載望遠鏡は地上大型望遠鏡と比較して安価であり、探査機による直接探査と比較して失敗のリスクが小さい。また気球搭載望遠鏡は将来の惑星望遠鏡衛星へのステップとしての位置づけでもある。

主望遠鏡として口径300 mmのシュミットカセグレン望遠鏡を搭載している。焦点付近で光路は3つに分けられて、紫外(波長400 nm)及び赤外(波長900 nm)の撮像カメラ、及び金星像位置検出用光電子増倍管に導かれる。ゴンドラの方角は太陽を基準に一定の角度に保たれる。姿勢制御には気球とゴンドラを結ぶ吊り紐に対してゴンドラを回転させる機構と、コントロールモーメントジャイロが働く。その他に、地磁気センサー、気圧センサー、温度センサー、GPS受信機等が搭載される。電力は太陽電池パネルで発生し、ニッケル水素電池に蓄えられる。仮に太陽電池パネルの発電がなくても、ニッケル水素電池の電力だけで約6時間の動作が可能である。制御用PC、高圧電源、光電子増倍管用プリアンプ等は与圧容器に収納され、上空の低温低圧及び着水時の海水から守られる。主望遠鏡に平行にガイド鏡が取り付けられている。上空でゴンドラの姿勢が安定したところで、まずガイド鏡に目標天体を捉え、次にガイド鏡中心に目標天体を持ってくるように経緯台を制御すると、主望遠鏡の視野に目標天体が入る。ゴンドラ姿勢制御及び経緯台の天体追尾制御で追い切れない追尾エラーは、光路の途中に入れた二軸可動鏡で補正する仕組みになっている。

気球望遠鏡システムは全ての惑星を観測対象とするが、当面の目標は、金星を第一のターゲットとして紫外及び赤外の撮像によって雲の移動パターンから大気循環を検出することである。まず国内で気球望遠鏡システムの実証試験を行う。その結果期待通りの性能が確認されれば、北極圏、スウェーデン・キルナから放球し、北米まであるい



図4. 岩手県にある三陸大気観測所の放球装置上に設置され、最終噛合試験中の気球搭載望遠鏡。この写真が撮影された2007年の実験では残念ながら、外的な原因のために放球には至らなかった。2008年からは実験場所が北海道大樹町に移った。2008年も新実験場でのオペレーション習熟のため、我々の実験は実施されなかった。

は極周回での本格的長時間観測を目指す。現状のシステムでは、電力の関係から日照中の観測に限られる。もう一つの内惑星である水星は薄いナトリウム大気とそれが流失してできた長い尾を持つことが知られている。水星の尾の長時間連続観測から、水星ナトリウム大気の成因を詳しく調べることも次のテーマとして考えている。近い将来スーパープレッシャー気球が実用化されれば、成層圏に浮かぶ半恒久的な天文台の実現も夢ではなくなる。

4. 金星大気:PLANET-C/LIR

金星は地球と双子の惑星と呼ばれることがあるように、大きさは似通っている。しかし、自転周期、大気組成、大気構造、磁場の有無、海洋の有無等、大きく異なる点が多い。金星地表面は 90 気圧、460°C以上という地獄のような環境になっている。大気主成分である炭酸ガスによる強力な温室効果が原因であるが、どのようにして現在のような状態に至ったのかが問題である。一方、金星は自転周期が 243 日と非常に遅いが、高度 70 km 上空では 4 日間で金星を一周するような高速の風が吹いている。これは金星大気のスーパーローテーションと呼ばれているが、その駆動メカニズムは未だ謎である。

金星探査計画は赤外から紫外までをカバーする光学撮像観測機器を搭載した探査機(PLANET-C:図5)を金星周回軌道に投入し、金星気象学上の諸問題の解明を主目的とする惑星探査計画である。PLANET-C に搭載されるイメージャーは波長が短い方から、紫外カメラ(UVI)、雷・大気光カメラ(LAC)、近赤外カメラ(IR1/IR2)、中間赤外カメラ(LIR)の5種類である。波長によって光が発せられる金星大気高度や放射メカニズムが異なることを利用して、金星大気を立体的に可視化する。PLANET-C は三軸姿勢制御によって撮像観測時にカメラ搭載面を金星へ向ける。周期 30 時間で逆行する周回軌道運動を利用して、金星大気の4日循環場に乗って連続撮像を行う。スーパーローテーションや子午面循環のメカニズム解明、メソスケール現象や大気散逸過程の解明、雷放電、大気光、火山活動など未知の現象の探索を目的とする。PLANET-C は 2010 年の打ち上げを目指して開発が進められている。

LIR(図6)は波長 10 μm 付近の中赤外領域を使って、高度 45~70km に広がる雲層上端からの熱放射を撮像する屈折光学系イメージャーである。雲頂における温度差から高度差を導出し、その時間変化を追うことによって、雲の水平構造と大気循環場を導出する。LIR は酸化バナジウムを抵抗素子とする非冷却マイクロボロメーターアレイ(UMBA)を検出器として用いている。半導体赤外検出器は通常、感度を上げるために冷却装置を必要とする。一方、UMBA は低感度ながら、冷却装置が不要なため、小型、軽量、低消費電力であり、さらに低コストという大きな利点がある。このような特徴から UMBA は衛星搭載赤外センサーとして非常に適しているため、地球観測衛星や惑星探査機のセンサーとして応用が始まっている。衛星からの赤外撮像観測には大気、雲、地表面、海水面の温度導出、放射量からの2次情報として雲頂高度、大気微量成分量、地熱分布、表面組成分布の導出、さらに火山や山火事監視等の用途がある。PLANET-C 搭載 LIR は UMBA を利用して世界で初めての惑星赤外イメージのスナップショットを取得することを目指している。

LIR はすでにフライトモデルが完成し、他機器との噛合試験を実施している。今後、LIR 単体の環境試験、衛星に組み上げて総合試験を実施する。そして、PLANET-C は 2010 年に打ち上げられ、同年に周回軌道に投入される予定である。PLANET-C による観測が始まるのを前に、観測によって得られるであろうデータをシミュレーションして、そこから物理量を導出するアルゴリズムの開発を始めている。

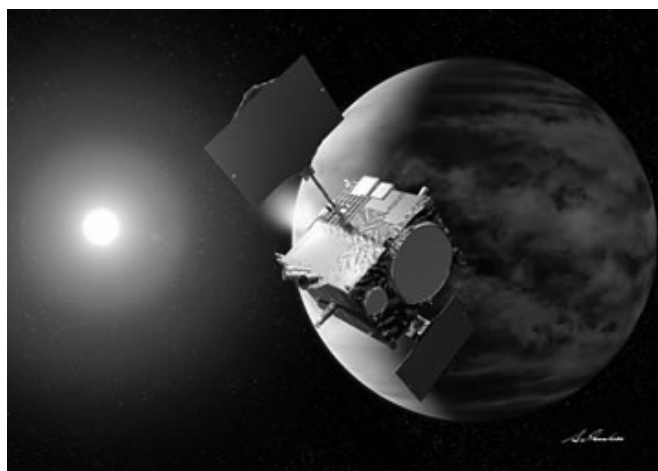


図5. 金星周回軌道に入るために減速中の PLANET-C の想像図(JAXA)。

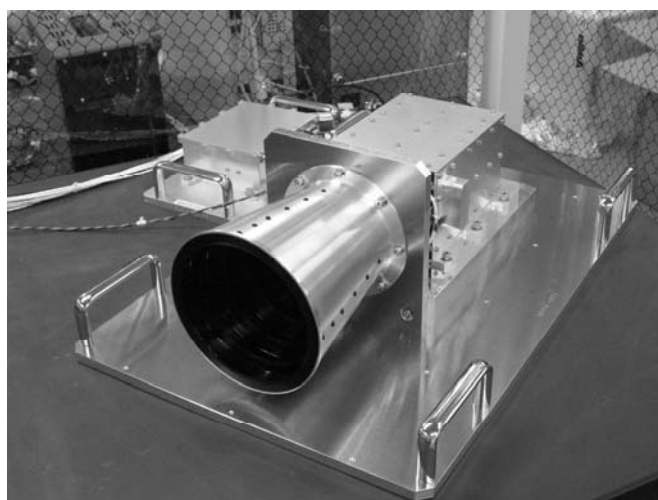


図6. LIR プロトモデル。フライトモデルも同形状である。

Java グラフィックスによる物理現象のシミュレーションと可視化

泉本 利章

量子力学、電磁気学、物理実験などの問題を学部物理教育とマルチメディアの観点から取り上げ、その仕組みやメカニズムについてオブジェクト指向言語 Java[1]を用いたシミュレーションを行ったり、Java グラフィックスを利用した可視化を行っています。その結果を Java Applet として仕上げ、Web サーバーにアップロードすることにより、誰でもビジュアルなシミュレーションを PC 上でインタラクティブに再現できるようになります。

一般的に、理工学分野の物理シミュレーションを Java で実行する際の長所と短所[2]は：

- 柔軟で、シミュレーションのツールを提供するグラフィック機能
- Fortran や C にグラフィック機能と通信機能を追加
- 実験家にとって、どのプラットフォームでも利用できる Java の開発作業のやりやすさ
- ネットワークプログラムの開発
- △ リアルタイムのアプリケーションは、Java 仮想マシン (JVM) では困難であった
- △ 2次元配列、複素数の欠如は、大規模数値計算に不利であるが、C や Fortran とのインターフェース利用でカバー

などがあげられますが、現在のところ、私たちは、柔軟でシミュレーションのツールを提供するグラフィック機能に着目して Java を利用しています。ごく普通に使われている PC をつかってプラットフォームが何かを問わずに利用できるという JVM の利点も享受しています。

現時点で取り扱う課題として、量子力学などに基づく物理現象の可視化を対象としていますが、以下ではシミュレーションの分類を行いながら、これまでに私たちが作成した Java Applet の一断面の静止画を、それに沿って添えて行くと次のようになります：

- (1) 時間、空間的に連続して起こる物理現象のシミュレーションとして
 - (ア) 時間依存性を調べる解析解の利用、
 - (イ) 時間依存性を調べる微分方程式の数値解法

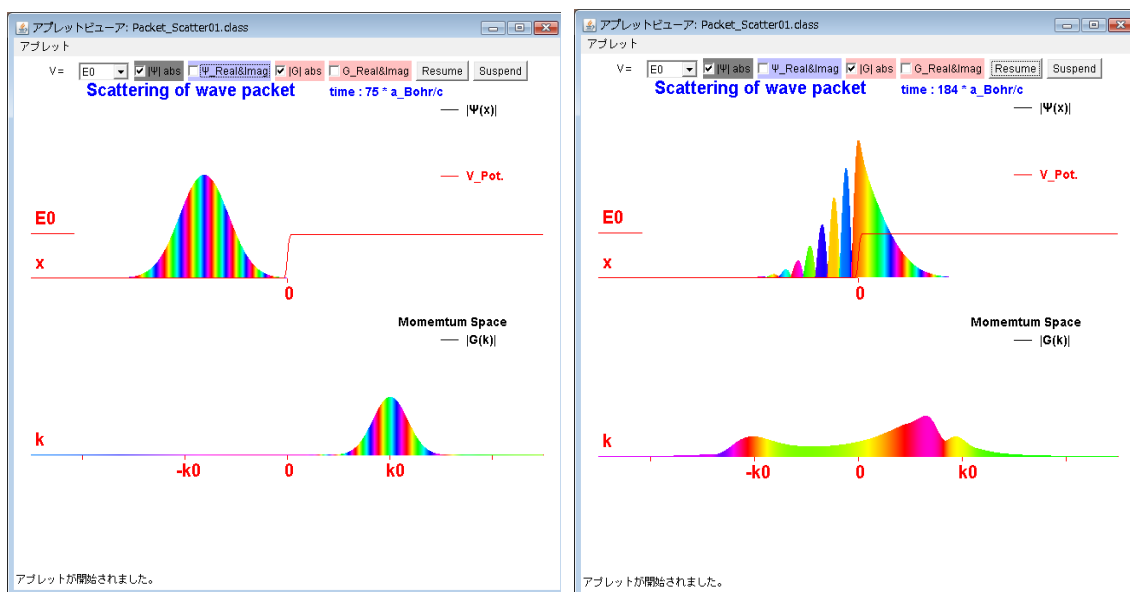
私たちが制作した Applet でこれらに属するものとして次のようなものがあります。

- 1次元波束の散乱のシミュレーション

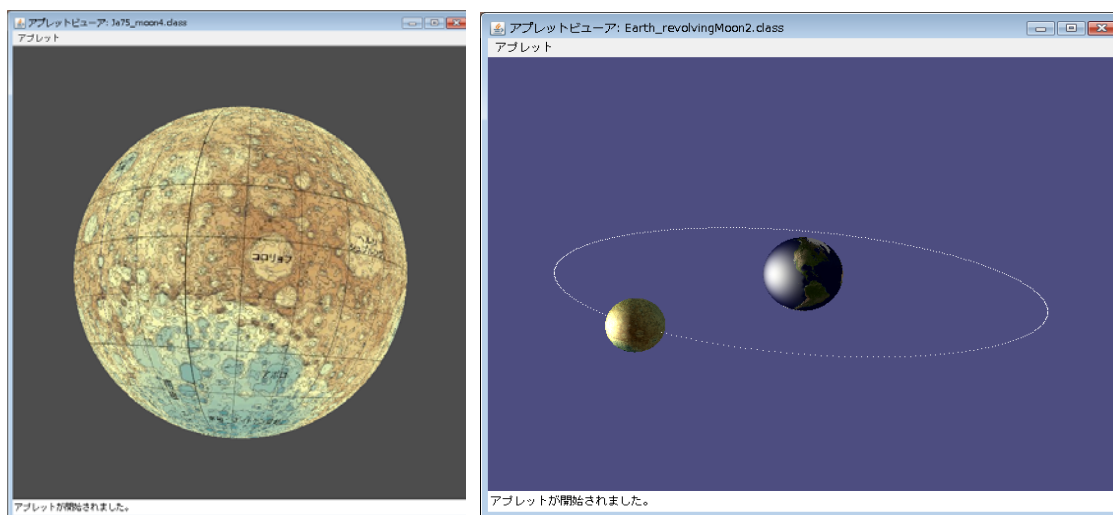
左側から入射している初期波束の状態が左図に、また時間が経過して、波束がステップ状の (入射エネルギーと同じ大きさの) ポテンシャル障壁に達したときの散乱状態を右図にみることができます。波動関数の振幅の絶対値とともに、その位相 $0 \rightarrow 2\pi$ は、色相 Red \rightarrow Green \rightarrow Blue \rightarrow (再度 Red) の順に対応づけられ、カラー表示されています。

また、両図内の下段には、それぞれ対応する経過時間の運動量空間の状態が示さ

れています。



- JAXA の月周回衛星「かぐや」による測定データから国土地理院が作成した月の地形図[3, 4]を貼りつけた月の公転、自転と地球の自転の3Dシミュレーション。(左からの平行光線は北半球が冬の太陽光です。また、月と地球の半径を、便宜上、大きくしています。)



- (2) 時間、空間に関して、とびとびに起きるイベント現象。
- (ア) 例えば、粒子の散乱など、量子力学が支配する現象のシミュレーション、
 - (イ) ランダム数の生成、微分断面積のモンテカルロ積分と運動学的な位相空間、
 - (ウ) あるいは、天空などにおける、マクロなレベルでの物理を適用するイベントシミュレーション

これらに属するものとしては、

- Fourier 変換による運動量空間での波束の散乱 (上述の図)
- 微分断面積の計算
- モンテカルロ法により π を求める数値積分 (右図)

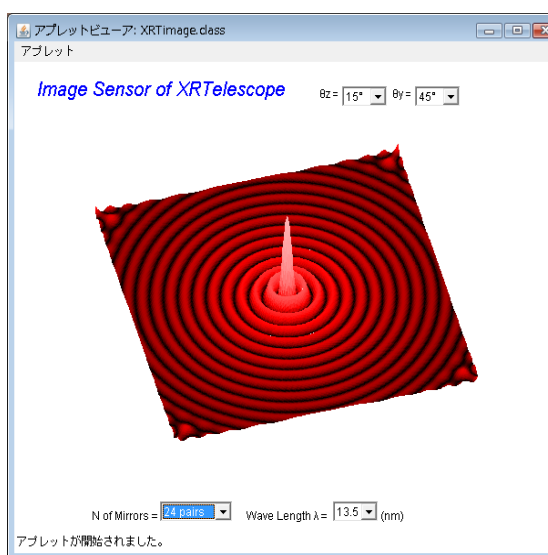
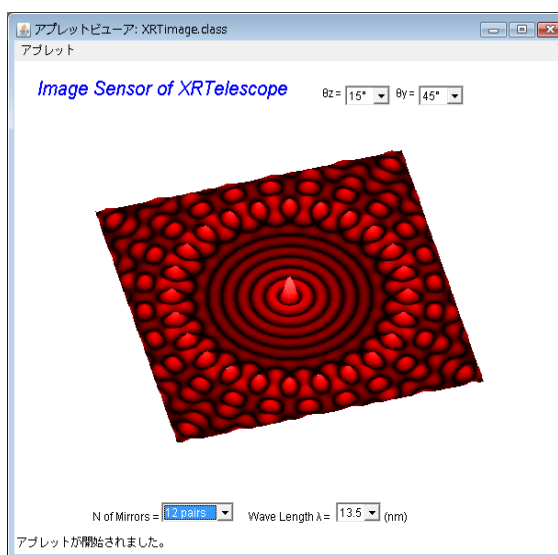
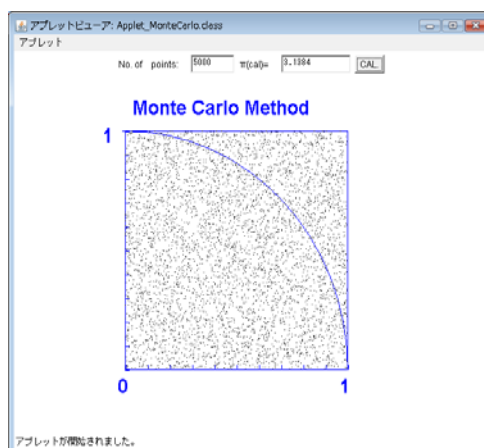
(3) 時間成分が入りこまない静的な現象として

(ア) 光学とレンズ。

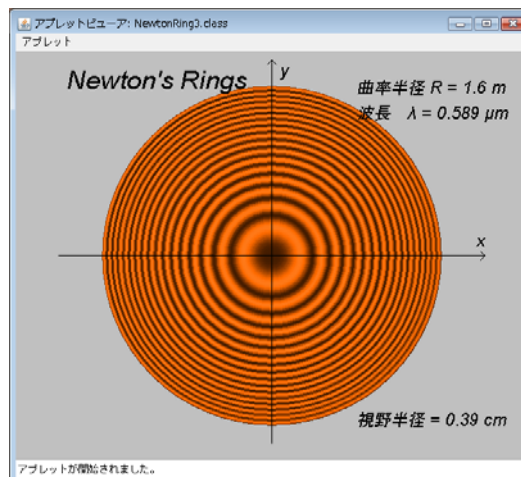
これに属する Applet として、

- X線天体望遠鏡 [5]における X線のイメージセンサー上の干渉現象。

Applet 上で、左のケースから右のケースへ平面反射鏡の個数を $N=12$ 対から 24 対に増やすことによって平行 X線が効率よく集束することや、入射 X線波長の長短への依存性を見ることができます。[6]

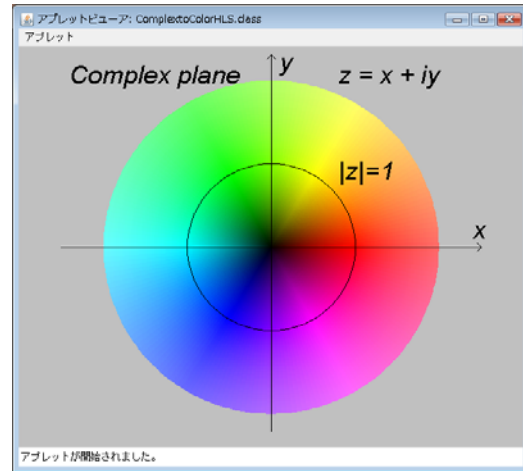


- Newton's Rings (光の干渉現象)
学部の物理実験で取り扱っていますが[7]、そこで用いた光の波長とレンズの曲率半径を入力データとして、Newton's Rings をシミュレートした結果と観測データが再現できるのか比較検討を行っています。

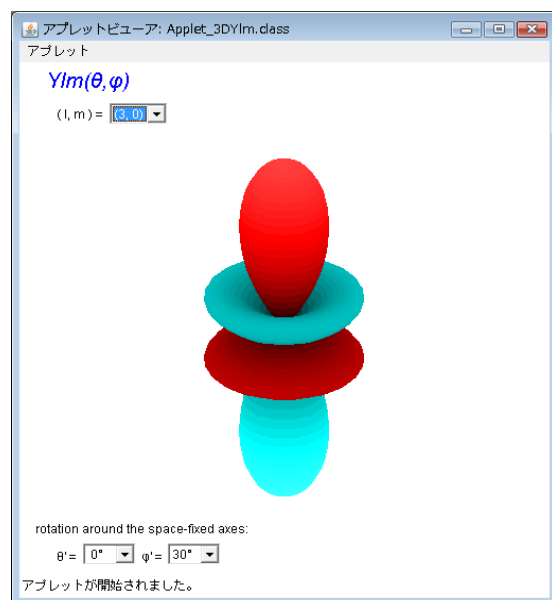
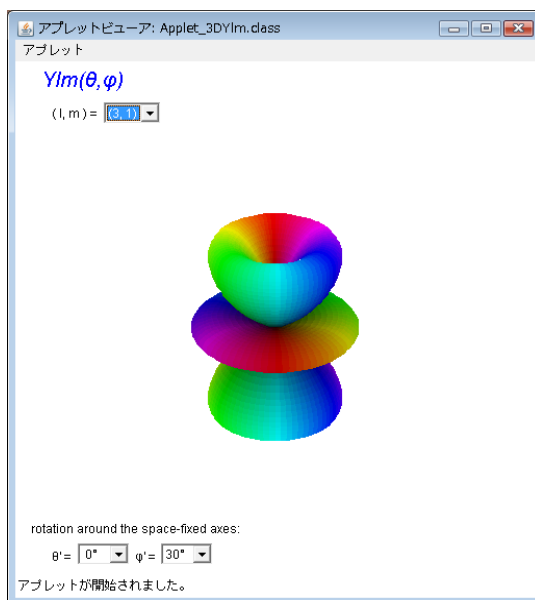


また、これらを支援するための HLS カラーシステム（色相、彩度、明度）を用いた可視化の Applet として、

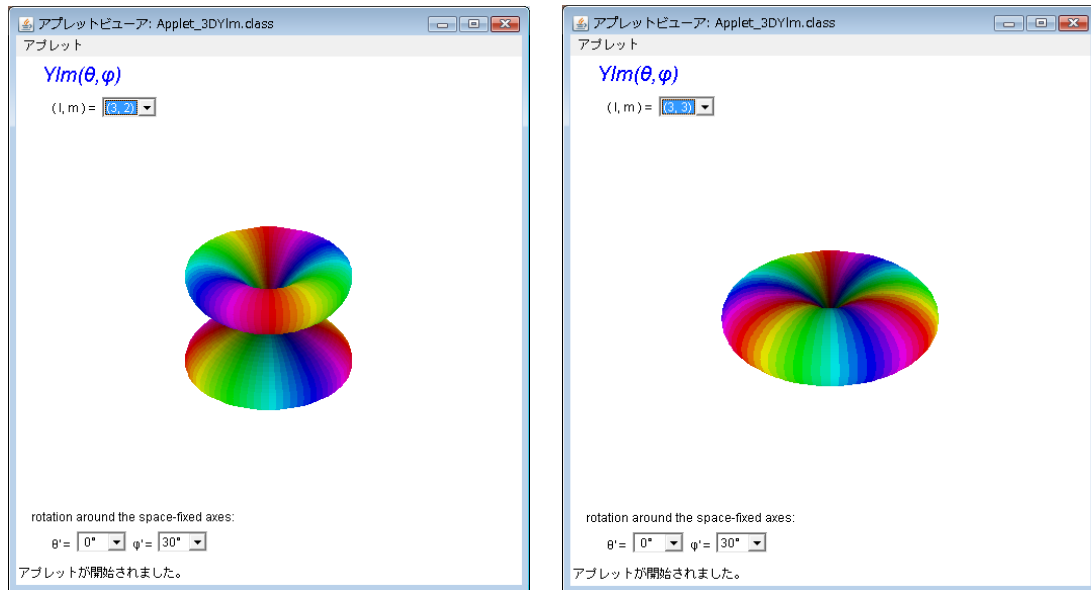
- 複素数：
HLS カラーシステムを用いて、複素数を可視化しています。ここでは、複素数の絶対値を明度に、位相を色相に対応させています。（彩度は固定しています。）



- $Ylm(\theta, \phi)$ の $\ell=3, m=0, 1, 2, 3$ のカラープロット
 $\ell=3, m=0$ では、 ϕ 方向に、色相が一定になっており、正また負の値をとっていることがわかります。また、 $m=1$ では、 ϕ 方向に、色相が $R \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow (R)$ と一巡しており、位相が 2π 変化していることがわかります。



次の図の $m=2$ においては、 ϕ 方向に、色相が循環しているのをみることにより、位相が 4π 、 $m=3$ では、同様に ϕ 方向に、位相が 6π 変化していることがわかります。



最後に、これらのテーマのいくつかについては、今後、Web ページ上に公表したり、別途の報告[8]などを行います。

参考文献

- [1] Sun Microsystems, Inc., Java™ Platform, Standard Edition 6 JDK.
- [2] C. S. Lindsey, J. S. Tolliver, T. Lindblad: “JavaTech: Introduction to Scientific and Technical Computing with Java” (Cambridge, 2005)
- [3] 田口 真, 春山純一: private communication.
- [4] 月の地形図, <http://gisstar.gsi.go.jp/selene/>
- [5] MAXIM Pathfinder, <http://maxim.gsfc.nasa.gov/docs/pathfinder/pathfinder.html>
- [6] 北本俊二, private communication.
- [7] 柳町朋樹, private communication.
- [8] 安藤高志, 高田壮起, 武田裕太, 津金澤雅人, 畑中涼, 泉本利章: “JAVA を用いた物理現象の数値シミュレーションと可視化”, 日本物理学会講演概要集, 第 64 回年次大会 (2009) .

宇宙粒子線による太陽系・銀河系の研究 柳町, 姫野

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。

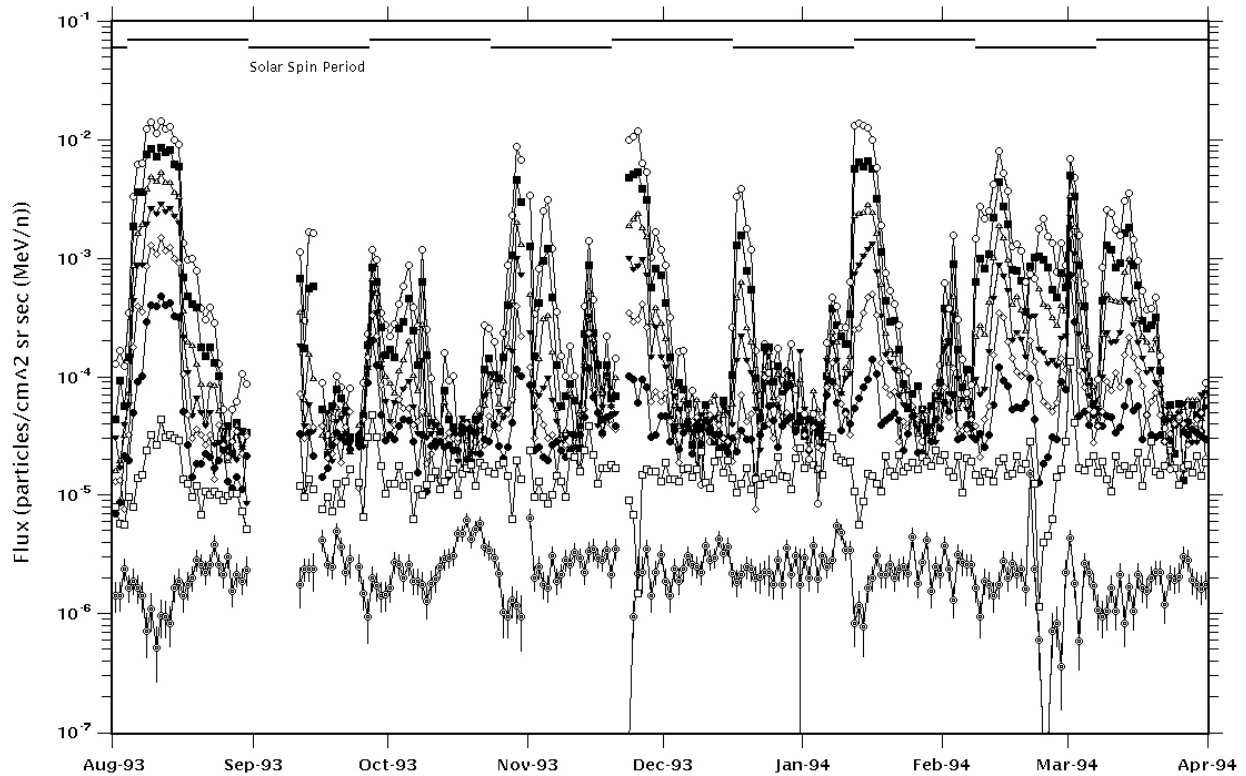
磁場を伴う2つのバリアー領域は, 外から侵入してくる粒子を阻止する一方, その内部で運動する粒子に磁場の強さに応じた様々な影響を与えており, それぞれの領域特有の現象を出現している。地球磁場はそこに衝突してくる太陽風プラズマとの相互作用により, 明確な境界が形成され地球磁気圏という領域を作り出している。この領域では, そこに取り込まれた太陽風プラズマ粒子やイオン化された地球大気を構成する原子が, 磁気圏の磁場との相互作用によって運動エネルギーが 10^3 から 10^5 eV程度まで加速される。

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。

Time Profiles of Energetic He Ions

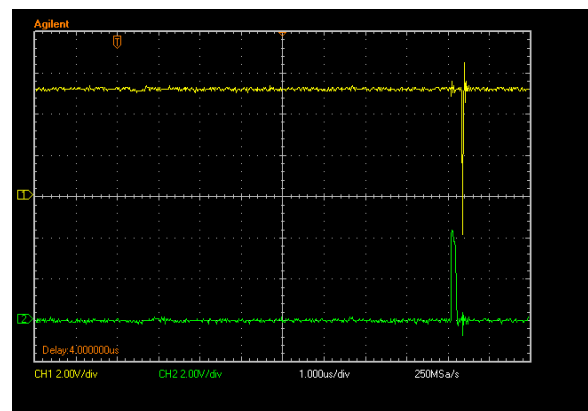
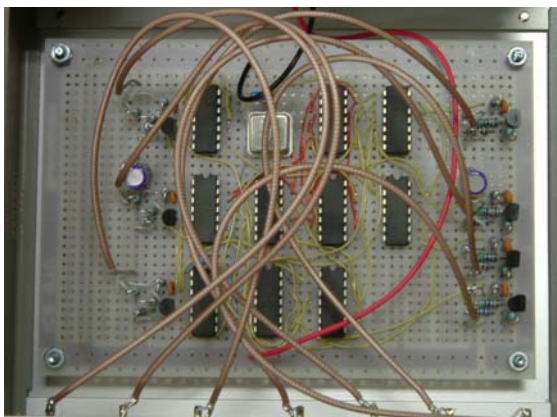
24 Hours Average



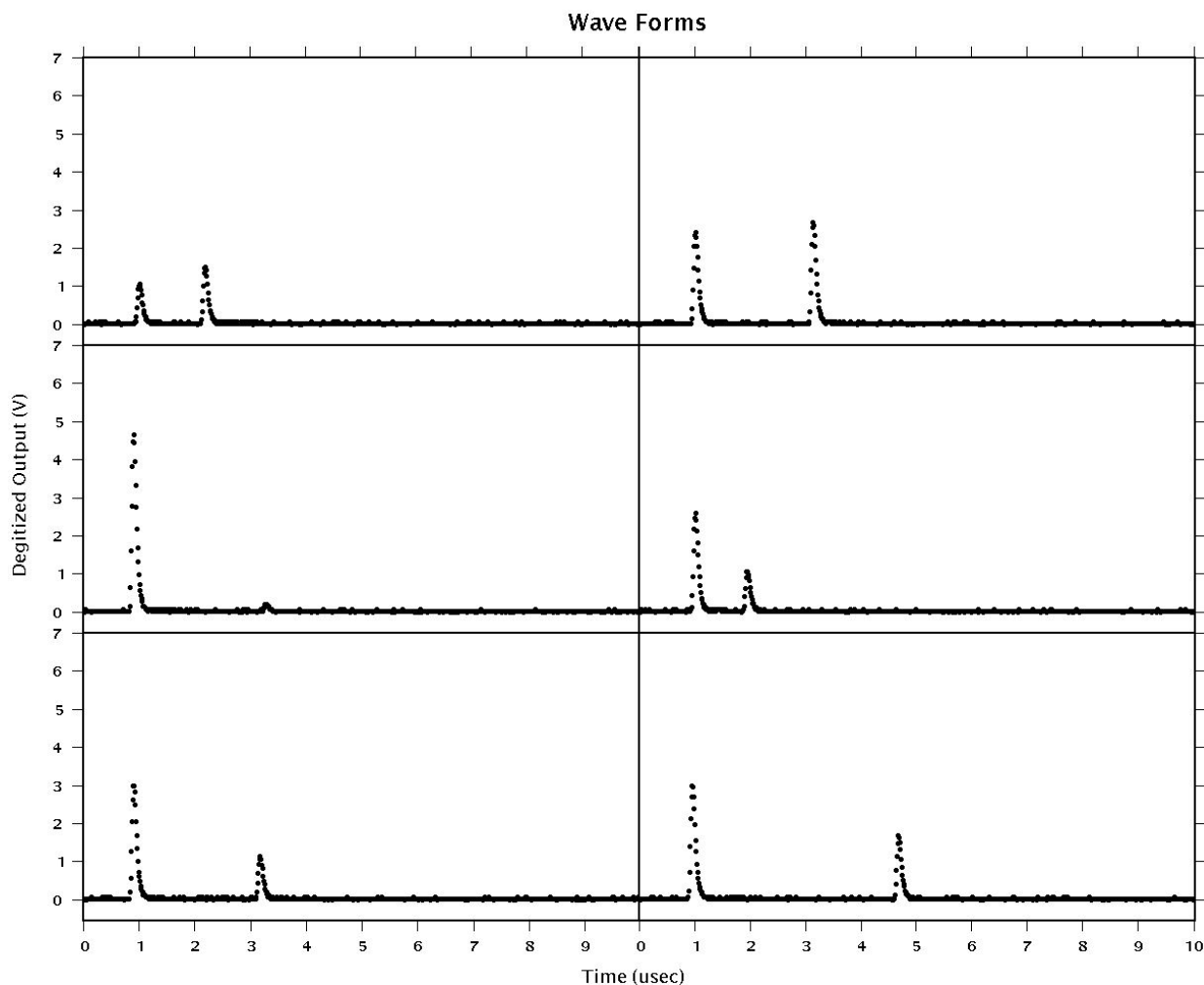
星間空間と呼ばれる太陽圏の外に存在するイオン化されていない中性原子は、惑星間磁場に妨げられることなく太陽圏の奥深くまで入り込み、太陽の紫外線や太陽風プラズマ粒子との衝突によってイオン化され、 10^8 eV程度のエネルギーまで太陽圏内部で加速されて宇宙線異常性分として観測されている。

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、さまざまな研究分野で広く利用されている波形解析の手法を宇宙における観測に応用するための基礎研究を行っている。



そのための手ごろな研究対象として、地上で観測されるミュー粒子を採用し、プラスチックシンチレータで観測した波形を解析してその寿命を測定するシステムを姫野を中心として作製している。前ページ下段左図は、このシステム専用のトリガーロジックを司る回路の写真であり、右側の図は、この回路の出力であるトリガーパルス(下)と回路自身のリセットパルスを示す。この回路は、上中下3段のシンチレータ出力を論理的に処理して、ミュー粒子が崩壊したイベントその他を識別する。興味あるイベントであると判断した場合、リセット後に最初に入力された信号から 8μ 秒後にデジタイザをトリガーするパルスが出力され、その $100n$ 秒後に回路をリセットする。



上の図は、中段のシンチレータでミュー粒子が崩壊したイベントのシンチレータ出力の波形を示す。横軸は μ 秒単位の時間、縦軸はデジタイザの出力(V)で、最初のパルスは中段のシンチレータで静止したミュー粒子によるものであり、後ろのパルスがそのミュー粒子が崩壊してできた電子によるパルスである。ミュー粒子の寿命は、2パルスの時間間隔の平均値として求めることができる。

高エネルギー天体の観測と次期衛星搭載システムの開発

助教 村上弘志

北本教授や大学院生と協力し、X線天文学の研究や観測機器の開発を行なっています。その中で特に私が中心となって行なっている部分について紹介します。

1 X線観測

1.1 銀河系中心領域の観測

ほとんどの銀河系の中心には、巨大なブラックホールがあると考えられています。太陽の数百万倍から数億倍もの質量をもち、一部のものは明るく輝いていますが暗くて本当にブラックホールがあるかどうか分からないものも多くあります。我々の銀河系の中心もその一つで、近くの星の運動から400万太陽質量ほどのブラックホールがあることがほぼ明らかになっていますが、ほとんどX線を出していません。

しかしその一方で、過去には激しい活動が起こっていたと見られる痕跡が発見されました。一つは高温プラズマで、もう一つが蛍光X線です。1993年に打ち上げられた「あすか」や続いて2005年から観測開始した「すざく」により成果が挙げられてきており、日本の研究が世界をリードしています。以下にこの二つを詳しく説明します。

高温プラズマ 「あすか」以前に「ぎんが」衛星により銀河系の中心領域から一億度近くもの高温プラズマが発見されました。そのような高温のうえに数百光年もの範囲に広がっており、エネルギーを合計すると超新星爆発1000個分もの巨大なものになります。この領域に発見されている超新星残骸は10個程度と桁違いに小さいため、このプラズマをつくり出すエネルギーがどこから発生したのかが大きな謎です。供給源として一つの候補が中心の大質量ブラックホールです。高温プラズマは広がり続けていると考えられるため、1000年ほど前に大爆発を起こしたのかもしれない。

しかしあまりに巨大なエネルギーのため、高温プラズマの存在に疑問をもつ人も多く、広がった高温プラズマではなく中性子星など多数の天体が集まって分解できずに見えているのではないかと、という反論が出されています。また、そもそも高温プラズマではなく高エネルギー電子の衝突によりX線が出ているのでは、という説もあります。

「すざく」などの観測によりこの高温プラズマの性質を明らかにし、起源を解明しようと研究を続けています。

蛍光 X 線 銀河中心領域からのもう一つの大きな発見が中性鉄輝線です (図 1)。X 線を出す物体は、通常一千万度以上の高温となっているため、鉄などの元素は電子が剥ぎとられてプラズマの状態になっており、電子は 1 個か 2 個程度しか残っていません。中性鉄とは、これに対して電子が一個も剥ぎとられていない状態を指します。電子が不足していないので中性、というわけです。

銀河中心からこの中性鉄輝線が観測されたことは、非常に冷たい物質から X 線が出ていることを意味します。実際輝線の分布を調べてみると数十 K (-200°C 以下) の低温ガス雲と一致していることがわかりました。このような冷たい物質は自力で X 線を出すことはできません。何かに励起されて X 線を出していると考えられます。

私はこれまでの研究で、この中性鉄輝線は低温ガス雲が外部から強い X 線で照らされて蛍光・散乱 X 線で輝いていると考えれば観測結果を良く説明できることを明らかにしてきました。しかし、ここで問題となるのは外部の強い X 線源の正体です。計算によると、通常の X 線天体では全く強度が足りません。

そこで我々が提唱しているのが、銀河系中心のブラックホールが過去には非常に明るかった、という説です。数百年前に数百万倍の明るさで輝いていると現在の蛍光 X 線を説明できます。蛍光・散乱 X 線は遠回りして地球に届くため、直接見るより過去の情報を得られる、というわけです。

現在は暗くて X 線では観測が難しいブラックホールですが、ほんの数百年前には明るく輝いていたのかもしれませんが、ブラックホールが存在する証拠の一つと考えています。

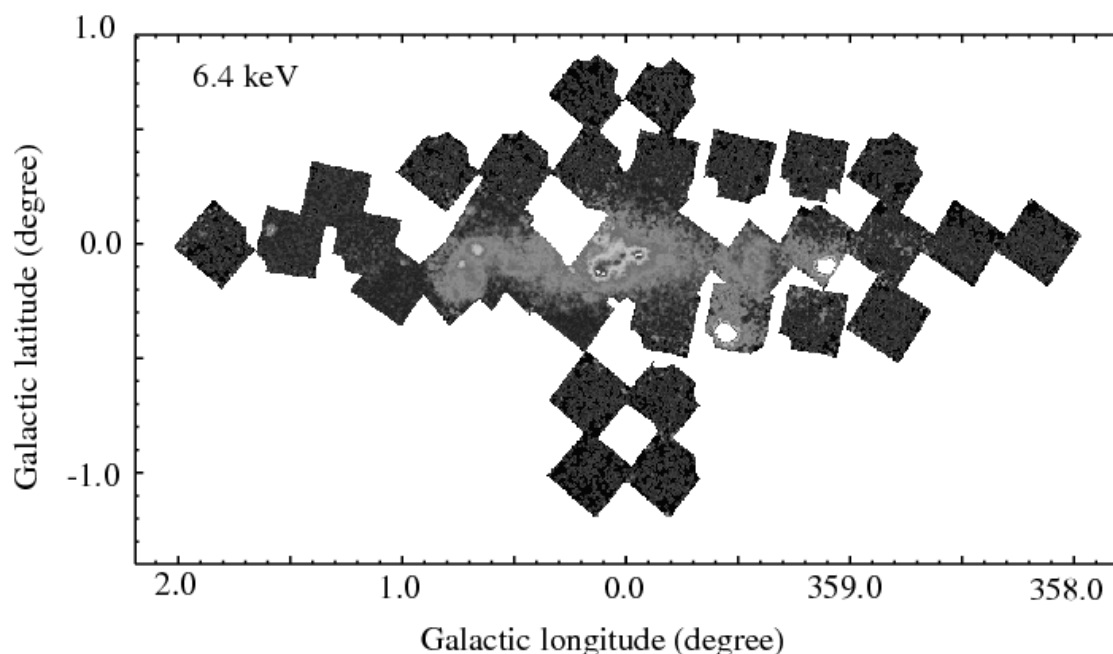


図 1: すざくが観測した銀河系中心領域の中性鉄輝線分布

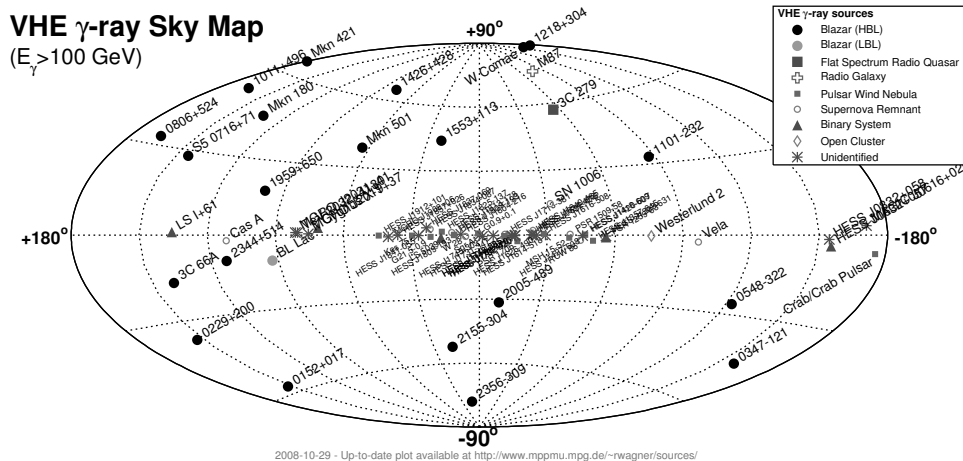


図 2: TeV 天体の全天マップ (<http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/sources/>)

1.2 TeV 未同定天体の観測

地球には、「宇宙線」と呼ばれる高エネルギー粒子が降り注いでいます。地上の加速器では到底作り出せないようなエネルギーのものもあり、その加速源がどこであるかが大きな謎となっています。解明の重要な手がかりと考えられているのが TeV 未同定天体です。

TeV とは 10^{12} eV という非常に高いエネルギーのことですが、このエネルギー範囲の γ 線が、他の波長では何も見えない場所から検出されることがあります。TeV 以外の波長で同定されないことから TeV 未同定、と呼ばれるわけですが、このような一見何もないところからなぜ高エネルギーの γ 線が降り注ぐのか、その謎を解くため「すざく」の観測結果をもとに研究を続けています。加速がどのように行なわれているのか、 γ 線を放射している高エネルギー粒子の正体は何か、など多くのことが今後の研究で明らかになっていくでしょう。TeV γ 線の観測はまだ始まったばかりで今後も多くの天体の発見が期待されています (図 2)。

2 次期衛星搭載システムの開発

X 線は地上に到達しないため、観測手段として人工衛星が使われます。次期衛星に向けて検出器の開発なども行なっていますが、ここではその検出器とデータ通信を行なうための新規格についての実験を紹介します。

2.1 新規格 SpaceWire を利用した CCD 読みだしシステムの開発

これまで、人工衛星に載せられる検出器の通信規格に決まったものではありませんでした。機器ごとに異なった出力形式を持ち、処理する計算機もそれに応じた取り込み方をしなく

てはいけなかったのです。そのため地上での試験などの際には、人工衛星ごと、検出器ごとに、対応した接続機器を必要としました。衛星搭載品は大量生産するようなものではないため、これは非常に効率が悪い方法です。

この状況を改善するために提案されたのが SpaceWire という規格です。この新規格により、コンピュータでの USB 接続のように簡単に接続しデータをやりとりすることが可能になり、地上試験や人工衛星の開発での効率改善が期待されています。2013年に打ち上げられる予定の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H でもこの規格を用いることになりました。そこで、立教大学でもこの規格を利用した試験環境の整備を進めています。

試験装置としては、SpaceWire 接続端子を持った Space Cube というものを使います。Space Cube はほんの 5cm 角のほぼ立方体の形状をしたものですが、これ自体が一つの計算機として立派に働きます (図 3)。この計算機から SpaceWire を通して他の機器と通信をすることができますし、ネットワークを通じて他の計算機とのデータのやりとりも可能です。

我々はこの装置を利用し、ASTRO-H 搭載 CCD 検出器の駆動・読みだし回路との接続に成功しました。Space Cube 自体は市販のもので入手しやすいため、多くの期間で試験環境を整えることができます。また、デジタル I/O ボードなども開発されており、これを利用した実験装置の研究も進めようと考えています。

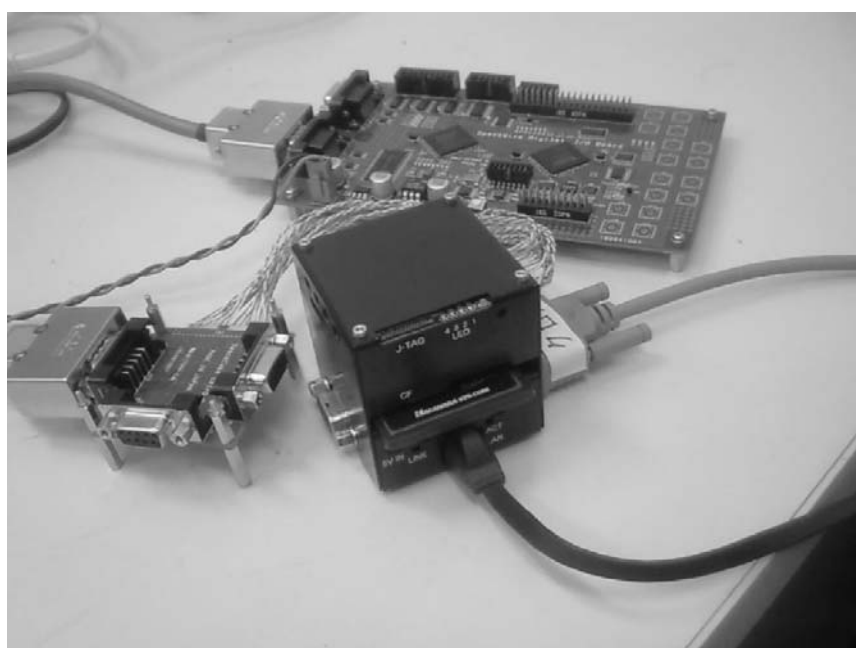


図 3: Space Wire 接続用の小型計算機 Space Cube。奥に見えているのがデジタル I/O ボード。

8チャンネルフィルター放射計データ取得システムの開発

実験技術員 関口宏之

我々、赤外線グループは近赤外線領域で夜間大気光の地上観測を行っている。観測装置は「Tilting Filter Spectrometer (TFS)」と「8チャンネルフィルター放射計」がある。これらの装置を使って、毎月、新月の日を中心に10日間の観測を行っている。今回は後者の放射計についての報告である。

フィルター放射計（以下、放射計と略す）で20年以上の観測を行ってきた。観測装置そのものは故障することなく動作しているが、使用してきたパソコン（PC-98 Note）も古くなり代替のパソコンを入手することも困難になってきたことと、改良すべき点もいくつかありシステム全体を見直しより観測しやすいように改良した。

システム全体のブロックダイアグラムを図1に示し、観測の流れを説明する。大気光はフード上方から入射し下部のミラーで反射し、シャッター、チョッパー、フィルターを通り検出器に入る。プリアンプからの大気光信号はロックインアンプで同期検波されインターフェイスでA/D変換されパソコンに取り込まれる。同時にフィルターID電圧もA/D変換されパソコンに取り込む。

これまでは、シャッターの開閉制御とフィルター送り制御をそれぞれ独立のタイマー信号で行っていたため、データ取得用のパソコンのタイマーと数時間で1秒のずれが生じていた。本システムではデータ取得と制御を1台のパソコンで行うように改良した。この改良によりデータ解析が容易になり運用が簡単になった。インターフェイスカード（PCMCIA、DAS-08、Measurement Computing社）を使いプログラムはVisual Basic Ver.6 (Microsoft社)で書かれている。プログラムのサイズは実行形式で90kB程度である。

Observation System

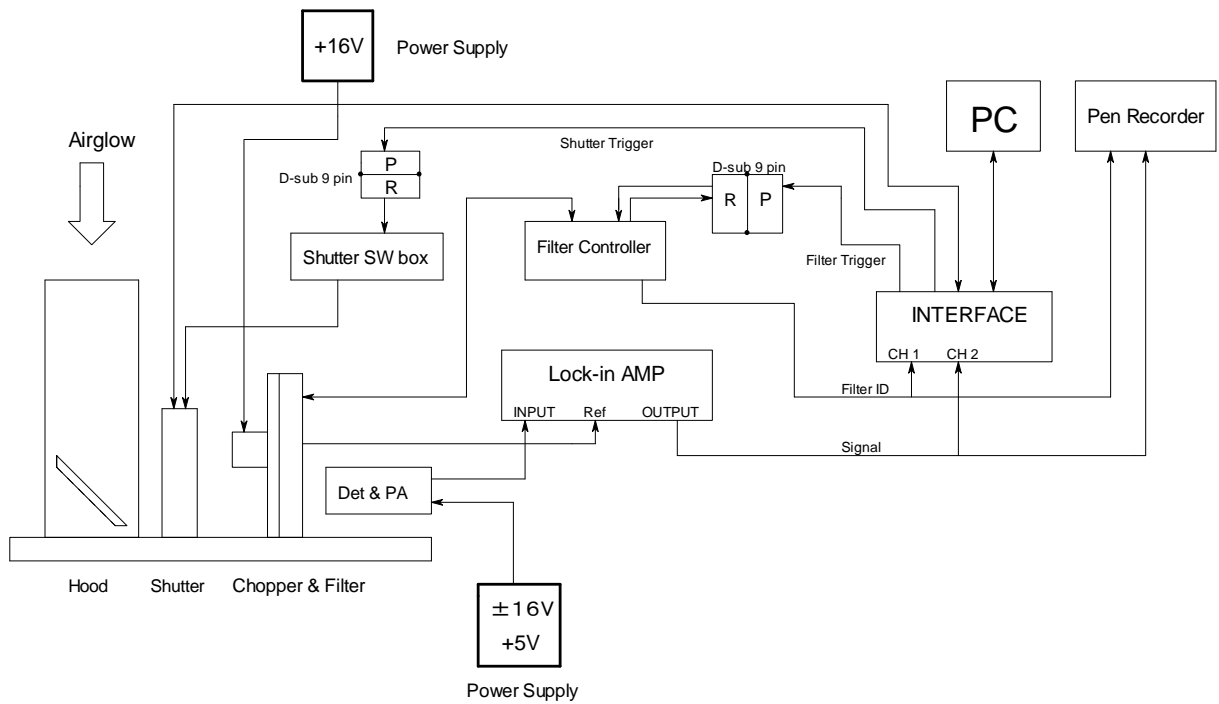


図1 システム全体のブロックダイアグラム

観測時のパソコン画面を図2に示す。画面右には日付、時刻、日没時刻、日出時刻、大気光強度電圧、フィルターID、シャッターと電源の状態を表示している。また、画面中央に大気光強度を表示した。上は17時間、下は1時間ごとのデータ表示である。

プログラムを実行するとその日の日没時刻と翌日の日出時刻を計算し、それを基準にしてシャッターの開閉時刻と電源のON/OFF時刻を計算する。装置の動作が正常であることが確認できたら、画面の「スタートボタン」を押すとデータ取得およびシャッターとフィルターの制御が自動的に行なわれる。1秒ごとに取得した大気光強度データとフィルターIDデータは1時間ごとにファイル名

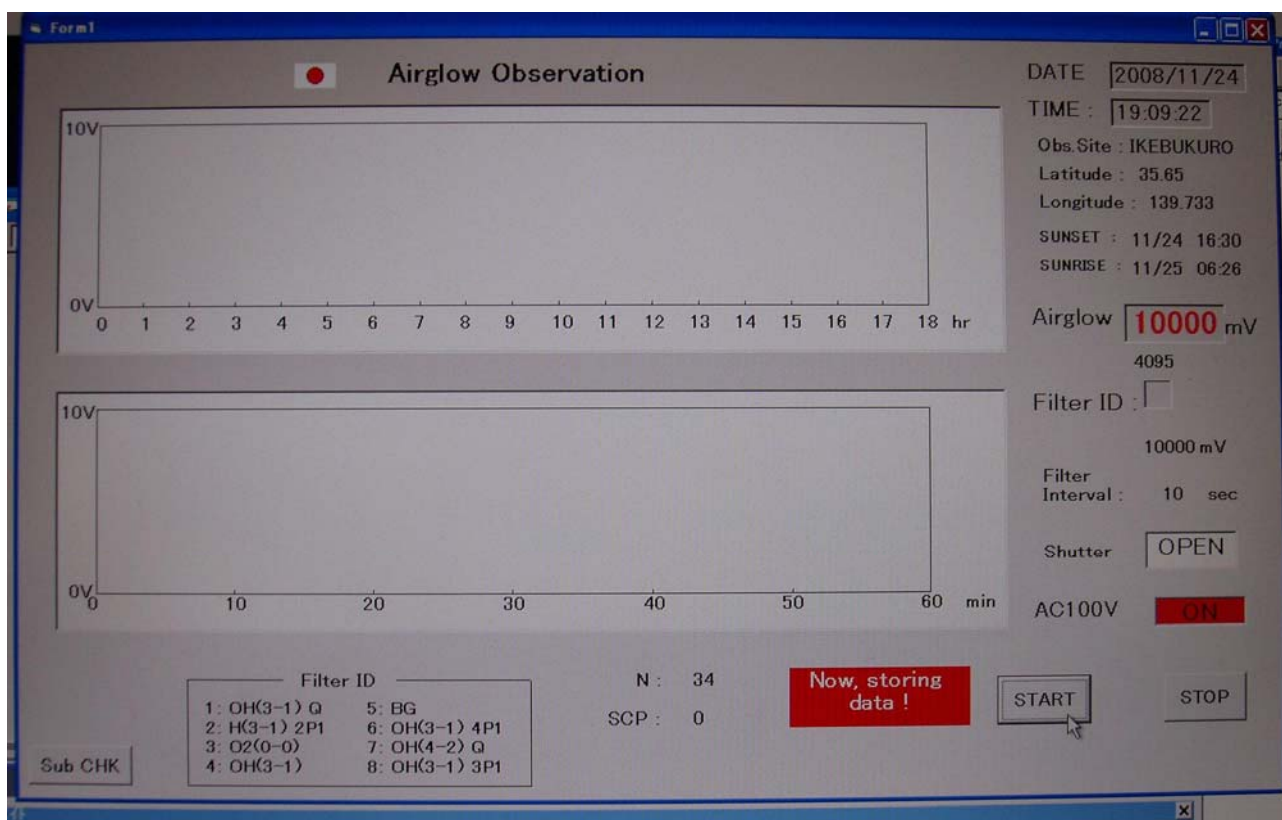


図2 データ表示画面

を付けてハードディスク（HD）にセーブする。例えば、2008年11月27日の18時から19時の1時間のデータであればファイル名は「08112718」となる。また、フィルターは10秒ごとに切り替えるように設定してある。

プログラムを実行すると日没10分前に電源が入り、日没10分後にシャッターが開きデータの取得を開始する。翌日の日出時刻10分前にシャッターを閉じ、7分前に最後の1時間データをHDにセーブした後、電源をOFFして観測を終了する。

ゼロレベルを測定するために観測中に2時間ごとに3分間シャッターを閉じることも行っている。（20:30、22:30、00:30、02:30、04:30の5回）
2008年8月から本システムによる観測を行っている。

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)

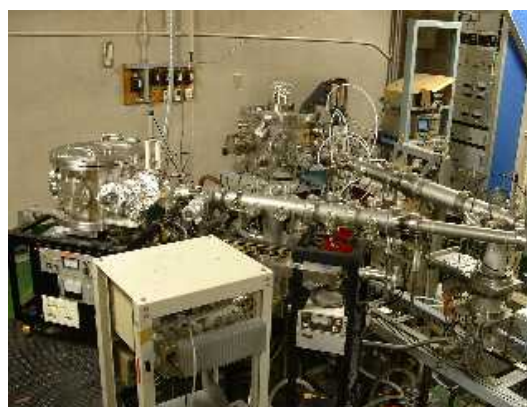
「固体金属内における重水素密度分布の測定」－卒業研究実験(家城先生)

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

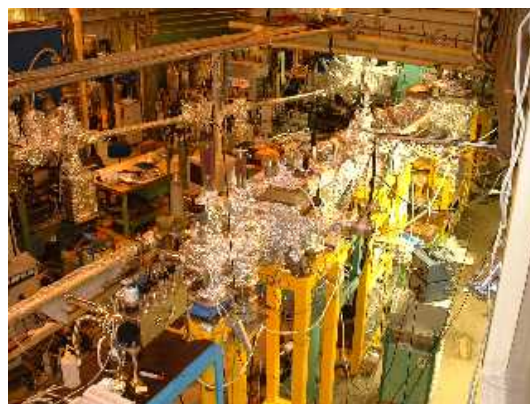
2. 高エネルギー加速器研究機構(KEK, つくば市)の放射光科学研究施設(PF)において、 「X線の短時間変動とX線による直接撮像で迫るブラックホールへの物質流入の研究」 (文部科学省 科学研究費補助金 特定領域研究, 北本先生)実験。

- ・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.



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=停年退職)。)

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。



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)]

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开发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

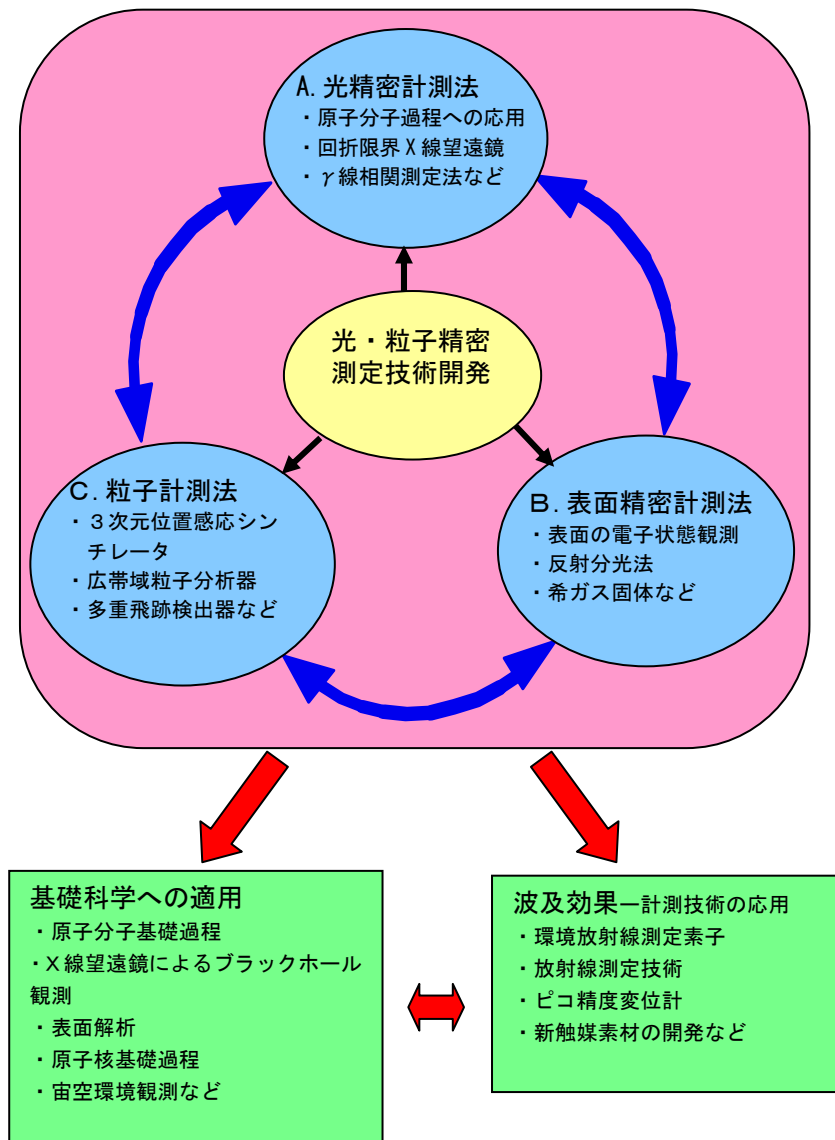
領域B. 表面精密計測法：表面吸着分子の電子状態および表面と光・粒子の相互作用

領域C. 粒子計測法の新展開：新たなる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な研究を組織的・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

[2008 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、栗田和好、枝元一之

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
田口真、村上弘志

化学科 : 漆山秋雄、枝元一之、島田透

実験技術員 : 関口宏之、須賀一治

PD : 立花隆行、森井幹雄、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)、
小島隆夫(理研:小泉)、佐々木研一(枝元)、平原聖文(東大院:柳町)、
竹谷篤(理研:栗田)、藤原康平(理研:栗田)、一宮亮(理研:栗田)

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

2007年度 卒業論文題目

研究題目	氏名	指導教員
ブラックホールによる粒子生成	結城	原田
音による類似ブラックホールの蒸発	松本	原田
導波管のホーキング輻射	岡田	原田
地上および宇宙空間における重力波の検出計画について	萩原	原田
重力波の放射についての計算	折居	原田
衛星搭載を目指した X 線偏光計の開発	池田・岩淵	北本
超高精度 X 線望遠鏡の波面制御の研究	竹中	北本
「RXTE」衛星による、特異な X 線パルサー 4U0142+61 の観測的研究	長崎	北本
「すざく」衛星による、白鳥座 X-3 の観測的研究	渡辺	北本
完全空乏化裏面照射型 CCD の性能評価	和野	北本
太陽紫外線の地上観測	青木・浅野・鈴木・高山	山本
夜間大気光の観測	倉科・河	山本
MCP における検出効率の測定	岩波・馬場	栗田
Si 検出器における dead layer の測定	北畠・東條	栗田
中性子カウンターの校正	青山・築館	栗田
低圧動作型多芯線ドリフトチェンバーの開発	宮	下浦
レーザープラズマ光源を用いた希ガス固体の光励起脱離実験	中尾	平山
弦のチャージと D ブレイン	高橋・巻渕	矢彦沢
閉弦と開弦における T 双対性と D ブレイン	大久保・酒田	矢彦沢
電磁背景場における開弦と D ブレインの運動	長沢	矢彦沢
He ガス中における Li ⁺ イオンの移動度測定実験	姜	小泉
ECR イオン源内の bias disc がプラズマポテンシャルに与える影響	高井	中川
ハドロン生成における QCD の効果	大矢	田中
コンプトン散乱の偏極についての検証	逆井	田中
Real Scalar Higgs を加えた Standard Model の拡張	聖代橋	田中
Two Higgs Doublet Model	奥田	田中
Shock wave and particle acceleration	茂田	柴崎

研究題目	氏名	指導教員
X線スペクトルから推察したブラックホールの質量	大高・葛西	柴崎
QPOによるブラックホールの質量と角運動量の推察	大月・島袋	柴崎
Hybrid Photo Detector (HPD) の性能評価	河田・本多	家城
マルチアノード光電子増倍管を用いた位置測定	相川・吉崎	家城
次世代近距離重力実験のための基礎開発	秋山・池田・ 二宮	村田
重イオン衝突実験のための検出器開発	大石	村田
トリガーカウンター（ガスワイヤーチェンバー）の開発	羽木・原	村田
太陽フレアで観測された硬 X 線スペクトルのハードニングと陽子イベントとの 相関	木村	吉森
太陽フレアおよび銀河宇宙線中の He-3 粒子の観測	和田	吉森
太陽フレアにおける陽電子消滅ラインの観測	山田	吉森
惑星間空間におけるコロナ質量放出 (ICME) の観測	斎藤	吉森
太陽フレアにおけるコロナのダブル硬 X 線源	保坂	吉森
Si 半導体検出器によるアイソトープ弁別	菊川	柳町
GEOTAIL 衛星搭載 HEP-HI 検出器による宇宙粒子線の観測	白井・長倉	柳町
GEOTAIL 衛星搭載 HEP-MI1 検出器による宇宙粒子線の観測	荒川・稲葉	柳町
極軌道衛星データを用いたパルサーティングオーロラの研究	原口・穂嶋	門倉
プリアンプのピルアップに関する限界式の確認	柳生	村上

2007年度 博士課程前期課程修士論文題目

研究題目	氏名	指導教員
中性子星の熱的進化	山下 章夫	柴崎
SCRIT 実験用反跳核検出器の開発	石井 健一	栗田
X-mas 計画における斜入射型 X 線望遠鏡の開発	萩田 喬行	北本
RHIC-PHENIX シリコン崩壊点検出器の開発	川嶋 基敬	栗田
クインテッセンスを含む宇宙論的自己相似解について	姜 正訓	原田
PSR B1259-63 / SS2883 からの TeV ガンマ線の研究	小泉 聡	柴崎
透過型多層膜偏光計の開発	齋藤 恒介	北本
電子エネルギー損失分光法を用いた希ガスクラスターの電子的冷機過程の研究	堺 聡史	平山
有限温度における Schwinger-Dyson 方程式 ～カイラル相転移～	笹川 修司	田中
ループ量子宇宙論におけるスーパーインフレーション とスケール不変なゆらぎ	島野 誠大	原田
超軟 X 線天体から見る白色矮星連星系の進化	武井 大	北本
近距離重力測定による等価原理の検証	筒井 亮丞	村田
時間反転対称性検証実験のための偏極保持装置の開発	成田 圭吾	村田
混合気体中のリチウムイオンとクラスターイオンの移動度	橋本 公瑛	小泉
太陽紫外線地上観測	古山 亮	山本
夜間OH大気光観測装置の開発	本間 圭一	山本
弦の場の理論と解析解	三平 健太郎	矢彦沢

2007年度 博士学位論文題目

- **Thermal Leptogenesis Scenarios in the Restrictive Left-Right Symmetric Model**
(左右対称模型における繰り込み群解析と熱的なレプトン数非対称の生成)
若林 裕也 (指導教員 田中)

- **Experimental Investigation of the Stellar Reaction $^{26}\text{Si}(p, \gamma)^{27}\text{P}$ via Coulomb Dissociation**
(クーロン分解を用いた天体核反応 $^{26}\text{Si}(p, \gamma)^{27}\text{P}$ の実験的研究)
梶野 泰宏 (指導教員 栗田)

- **Development of large deformation in neutron-rich nuclei around ^{62}Cr**
(^{62}Cr 近傍中性子過剰核における変形の発現)
竹下 英里 (論文博士)

- **中性子過剰核 ^{74}Ni における陽子芯偏極**
菅野 祥子 (論文博士)

2007 年度研究助成

科学研究費補助金 若手研究(B)

「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」(2006-2008)

研究代表者：原田知広、助成金総額：360 万円

科学研究費補助金 若手研究(A)

「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」(2006-2008)

研究代表者：村田次郎、助成金総額：2,280 万円

科学研究費補助金 萌芽研究

「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」(2006-2007)

研究代表者：村田次郎、助成金総額：330 万円

科学研究費補助金 萌芽研究

「宇宙環境を利用した近距離重力の研究」(2008-2009)

研究代表者：村田次郎、助成金総額：340 万円

科学研究費補助金 学術創成

「偏極陽子衝突を用いた核子スピン構造研究の新展開」(2006-2010)

研究代表者：齊藤直人氏 (KEK)、分担者：村田次郎、栗田和好、竹谷篤、助成金総額：2 億 2,000 万円

科学研究費補助金、基盤研究(A)

「マイクロサテライトが拓くスプライト及び雷放電逃走電子の科学」(2005-2007)

研究代表者：高橋幸弘、分担者：田口 真、他、助成金総額：4,134 万円

科学研究費補助金、基盤研究(B)海外学術、

「極域電離圏環境が南北両極オーロラの動態と強度に及ぼす影響の研究」(2005-2008)

研究代表者：佐藤夏雄、分担者：田口 真、他、助成金総額：1,543 万円

科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「超高角度分解能エックス線望遠鏡からエックス線干渉計への発展的研究」 2007~2009

研究代表者：北本俊二、助成金総額：964 万円

科学研究費補助金 萌芽研究

「多層膜と電荷結合素子の組み合わせによるエックス線偏光計の開発」(2007~2008)

研究代表者：北本俊二、助成金総額：330 万円

科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「科学衛星観測データベースの宇宙科学教育への活用」(2007~2009) 分担

研究代表者：長瀬文昭 (JAXA/ISAS) 分担者：北本俊二、助成金総額：910 万円

ひらめき☆ときめきサイエンス〜ようこそ大学の研究室へ〜KAKENHI

「小さなもののあいだの重力を測ろう！ー ニュートンは本当に正しい？ ー」(2007)

研究代表者：村田次郎 助成金総額：54 万円

立教大学学術推進特別重点資金 (立教SFR) (個人研究)

課題名 「非包含ハドロン散乱過程に対する QCD 高次効果」(2007)

研究代表者：田中秀和、助成金総額：48.9 万円

立教大学学術推進特別重点資金 (立教SFR)

「低エネルギーイオンビームと凝縮性固体表面の相互作用の実験的研究」(2007-2008)

研究代表者：平山孝人、助成金総額：594 万円

立教大学学術推進特別重点資金 (立教SFR) 大学院生研究

「ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験」(2008)

研究代表者：秦麻記、分担者：秋山岳伸、二宮一史、助成金総額：50万円

立教大学学術推進特別重点資金（立教SFR）大学院生研究

「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」(2007)

研究代表者：川村広和、助成金総額：50万円

立教大学学術推進特別重点資金（立教SFR）大学院生研究

「電子エネルギー損失分広報による希ガスクラスターの電子的励起過程の研究」(2007)

研究代表者：窪寺隼人、助成金総額：50万円

論文リスト(2003–2007 年度)

★田中

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. B*654(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

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

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

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

Constraints on QCD Factorization in the Drell-Yan Process

H. Tanaka, Y. Matsuda and H. Kobayashi, *Prog. Theor. Phys.*118 (2007),pp.749-758

★柴崎

Uniting the Quiescent and Burst Emission Spectra of Magnetar Candidates

Y. E. Nakagawa, A. Yoshida, K. Yamaoka & N. Shibazaki, To appear in *Publ. Astron. Soc. Japan*, 2008

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

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-L15

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

★矢彦沢

Information metric on instanton moduli spaces in nonlinear sigma models,

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

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

Y. Chizaki and S. Yahikozawa, *Progress of Theoretical Physics* 116, 937-964, (2006).

General Operator Solutions and BRST Quantization of Superstrings in the pp -Wave with Torsion,

Y. Chizaki and S. Yahikozawa, *Progress of Theoretical Physics* 118, 1127-1156, (2007)

★原田

Self-similar cosmological solutions with dark energy II: black holes, naked singularities and wormholes

Hideki Maeda, Tomohiro Harada and B. J. Carr, *Phys. Rev. D*77(2), 024023 (1/2008) (12 pages)

Self-similar cosmological solutions with dark energy I: formulation and asymptotic analysis

Tomohiro Harada, Hideki Maeda and B. J. Carr, *Phys. Rev. D*77(2), 024022 (1/2008) (13 pages)

Critical Collapse of Einstein Cluster

Ashutosh Mahajan, Tomohiro Harada, Pankaj S. Joshi and Ken-ichi Nakao, *Prog. Theor. Phys.* 118(5), 865-878 (2007)

Black Hole Evaporation in an Expanding Universe

Hiromi Saida, Tomohiro Harada and Hideki Maeda, *Class. Quantum Grav.* 24(18), 4711-4732 (9/2007)

Analytical solutions for black-hole critical behaviour

Tomohiro Harada and Ashutosh Mahajan, *Gen. Rel. Grav.* 39, 1847-1854, (8/2007)

Relativistic Gravitational Collapse of Cylindrical Dust

Ken-ichi Nakao, Yasunari Kurita, Yoshiyuki Morisawa and Tomohiro Harada, *Prog. Theor. Phys.* 117(1), 75-102 (10/2006)

Relativistic Gravitational Collapse of Cylindrical Dust

Ken-ichi Nakao, Yasunari Kurita, Yoshiyuki Morisawa and Tomohiro Harada, *Prog. Theor. Phys.* 117(1), 75-102 (10/2006)

Is there a black hole minimum mass?

Tomohiro Harada, Phys. Rev. D74(8), 084004 (10/2006) (4 pages)

Non-existence of self-similar solutions containing a black hole in a universe with a stiff fluid or scalar field or quintessence

Tomohiro Harada, Hideki Maeda and B. J. Carr, Phys. Rev. D74(2), 024024 (7/2006) (17 pages)

Super-horizon primordial black holes

Tomohiro Harada and B. J. Carr, Phys. Rev. D72(4), 044021 (8/2005) (12 pages)

Growth of primordial black holes in a universe containing a massless scalar field

Tomohiro Harada and B. J. Carr, Phys. Rev. D71(10), 104010 (5/2005) (16 pages)

Upper limits on the size of primordial black holes

Tomohiro Harada and B. J. Carr, Phys. Rev. D71(10), 104009 (5/2005) (9 pages)

Novel Cauchy-horizon instability

Hideki Maeda, Takashi Torii and Tomohiro Harada, Phys. Rev. D71(6), 064015 (3/2005) (6 pages)

Quantum Effect and Strength of Naked Singularities

Umpei Miyamoto, Hideki Maeda and Tomohiro Harada, Prog. Theor. Phys. 113(3), 513-533 (3/2005)

Spherically symmetric perfect fluid in area-radial coordinates

Hideo Iguchi, Tomohiro Harada and Filipe C Mena, Class. Quantum Grav. 22(5), 841-853 (3/2005)

Kink instability and stabilization of the Friedmann universe with scalar fields

Hideki Maeda and Tomohiro Harada, Phys. Lett. B607(1-2), 8-16 (2/2005)

Border of spacetime

Tomohiro Harada and Ken-ichi Nakao, Phys. Rev. D70(4), 041501(R) (8/2004) (3 pages)

Semiclassical instability of the Cauchy horizon in self-similar collapse

Umpei Miyamoto and Tomohiro Harada, Phys. Rev. D69(10), 104005 (5/2004) (10 pages)

Restricting quark matter models by gravitational wave observation

Hajime Sotani, Kazunori Kohri and Tomohiro Harada, Phys. Rev. D69(8), 084008 (4/2004) (10 pages)

Stability Criterion for Self-Similar Solutions with a Scalar Field and Those with a Stiff Fluid in General Relativity

Tomohiro Harada and Hideki Maeda, Class. Quantum Grav. 21(2), 371-390 (12/2003)

A Classification of Kinematic Self-Similar Perfect-Fluid Solutions II

Hideki Maeda, Tomohiro Harada, Hideo Iguchi and Naoya Okuyama, Prog. Theor. Phys. 110(1), 25-63 (7/2003)

Nonradial oscillations of quark stars

Hajime Sotani and Tomohiro Harada, Phys. Rev. D68(2), 024019 (7/2003) (10 pages)

Computing gravitational waves from slightly nonspherical stellar collapse to black hole: Odd-parity perturbation

Tomohiro Harada, Hideo Iguchi and Masaru Shibata, Phys. Rev. D68(2), 024002 (7/2003) (21 pages)

Criticality and convergence in Newtonian collapse

Tomohiro Harada, Hideki Maeda and Benoit Semelin, Phys. Rev. D67(8), 084003 (4/2003) (10 pages).

Self-similar cosmological solutions with dark energy I: formulation and asymptotic analysis

Tomohiro Harada, To appear in the Proceedings of the 8th International Conference on Gravitation and Astrophysics, 29 Aug -1 Sep 2007, Nara Women's University, Nara, Japan.

Black Hole Evaporation in a Friedmann Universe

Tomohiro Harada, to appear in the Proceedings of the 8th International Conference on Gravitation and Astrophysics, 29 Aug -1 Sep 2007, Nara Women's University, Nara, Japan.

Black Holes in Scalar field/Quintessence Cosmology

Tomohiro Harada, to appear in the Proceedings of the Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, July 23-29, 2006, Berlin, Germany.

GROWTH OF PRIMORDIAL BLACK HOLES

Tomohiro Harada, 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).

SPHERICALLY SYMMETRIC PERFECT FLUID COLLAPSE IN AREA-RADIAL COORDINATES

Tomohiro Harada, Hideo Iguchi and Filipe C. Mena, 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

Stability criterion for self-similar solutions with a scalar field and those with a stiff fluid in general relativity

Hideki Maeda and Tomohiro Harada, Journal of the Korean Physical Society 45 (Supplement), S90-S94, as Proceedings of Vth APCTP International Conference of Gravitation and Astrophysics.

Gravitational Collapse and Naked Singularities

Tomohiro Harada, *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.

Non-existence of self-similar black hole in a universe with a scalar field or quintessence

Tomohiro Harada, to appear in Proceedings of the 16th Workshop on General Relativity and Gravitation, Nov 27 – Dec 1, 2006, Niigata, Japan.

Super-horizon primordial black hole and its evolution

Tomohiro Harada, 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.

Super-horizon primordial black holes: How do they grow?

Tomohiro Harada, *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.

Self-Similar Solutions, Critical Behavior and Convergence to Attractor in Gravitational Collapse

Tomohiro Harada, 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.

SPHERICALLY SYMMETRIC PERFECT FLUID COLLAPSE IN AREA-RADIAL COORDINATES

Tomohiro Harada, Hideo Iguchi and Filipe C. Mena, 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,

Stability criterion for self-similar solutions with a scalar field and those with a stiff fluid in general relativity

Hideki Maeda and Tomohiro Harada, *Journal of the Korean Physical Society* 45, S90-S94 (2004) as Proceedings of VIth APCTP International Conference of Gravitation and Astrophysics.

Gravitational Collapse and Naked Singularities

Tomohiro Harada, *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.

Stability Criterion for Self-Similar Solutions in General Relativity

Tomohiro Harada, "", Proceedings of the Fifth RESCEU International Symposium on New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, Nov 13-16, 2001, Tokyo, Japan, ed. K. Sato and T. Shiromizu (Universal Academy Press, Tokyo, Japan 2002), p.273.

「ブラックホール、ホワイトホール」

井田大輔, 黒田和明, 白水徹也, 中尾憲一, 原田知広, 福江純, *ニュートン* 2008年3月号 12頁 (ニュートンプレス)

「原始ブラックホールの形成と成長」

原田知広, *日本物理学会誌* 第62巻第1号 30頁 (2007年1月)

「重力崩壊と自己相似仮説」

原田知広, *日本物理学会誌* 第59巻第3号 175頁 (2004年3月)

★黒木**Improved perturbation theory and four-dimensional space-time in IIB matrix model**

H. Kawai, S. Kawamoto, T. Kuroki and S. Shinohara, *Prog. Theor. Phys.* 109, 115 (2003)

Dijkgraaf-Vafa theory as large-N reduction

H. Kawai, T. Kuroki and T. Morita, *Nucl. Phys. B* 664, 185 (2003)

Supersymmetric large-N reduced model with multiple matter,

H. Kawai, T. Kuroki and T. Morita, *Nucl. Phys. B*, 683, 27 (2004)

Loops versus matrices: The nonperturbative aspects of noncritical string,

M. Hanada, M. Hayakawa, N. Ishibashi, H. Kawai, T. Kuroki, Y. Matsuo and T. Tada, *Prog. Theor. Phys.* 112, 131 (2004)

Universality of nonperturbative effect in type 0 string theory

H. Kawai, T. Kuroki and Y. Matsuo, *Nucl. Phys. B* 711, 253 (2005)

Direct derivation of the Veneziano-Yankielowicz superpotential from matrix model

H. Kawai, T. Kuroki, T. Morita and K. Yoshida, *Phys. Lett. B* 611, 269 (2005)

Universality of nonperturbative effects in $c < 1$ noncritical string theory,

N. Ishibashi, T. Kuroki and A. Yamaguchi, *JHEP* 0509, 043 (2005)

Dynamical generation of non-Abelian gauge group via the improved perturbation theory

T. Aoyama, T. Kuroki and Y. Shibus, *Phys. Rev. D* 74, 106004 (2006)

T duality of the Zamolodchikov-Zamolodchikov brane,

T. Kuroki and F. Sugino, Phys. Rev. D **75**, 044008 (2007)

Spontaneous Supersymmetry Breaking by Large-N Matrices

T. Kuroki and F. Sugino, Nucl. Phys. B **796**, 471 (2008)

Production cross section of rotating string

T. Kuroki and T. Matsuo, Nucl. Phys. B **798**, 291 (2008)

Dijkgraaf-Vafa theory as large-N reduction

T. Kuroki, IV. International Symposium QUANTUM THEORY AND SYMMETRIES, Varna, Bulgaria, August 2005

Dijkgraaf-Vafa theory as large-N reduction,

T. Kuroki, IV. International Symposium QUANTUM THEORY AND SYMMETRIES, Varna, Bulgaria, August 2005.

★西條

Faraday resonance in dynamical bar instability of differentially rotating stars

Motoyuki Saijo, Yasufumi Kojima, Physical Review D **77**, 63002 / 1 - 12 (2008)

Secular bar mode instability in rotating relativistic stars

Motoyuki Saijo, Eric Gourgoulhon, *Proceedings of the sixteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, edited by K. Oohara et al., 86 – 89 (2007). Talk given at the sixteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, Niigata Prefectural Civic Center, Niigata, Japan, 27 November – 1 December 2006.

Instabilities in rotating relativistic stars driven by viscosity

Motoyuki Saijo, Eric Gourgoulhon, *Proceedings of the Isolated Neutron Stars: from the Surface to the Interior*, edited by D. Page, R. Turolla and S. Zane, Astrophysics and Space Science **308**, 481 – 485 (2007). Poster presented at the Isolated Neutron Stars: from the Surface to the Interior, The Geological Society of London, London, United Kingdom, 24 – 28 April, 2006.

Viscosity driven instability in rotating relativistic stars

Motoyuki Saijo, Eric Gourgoulhon, Physical Review D **74**, 084006 / 1 – 13 (2006); [arXiv:astro-ph/0606569].

Low $T=|W|$ dynamical instabilities in differentially rotating stars: Diagnosis with canonical angular momentum

Motoyuki Saijo, Shin'ichirou Yoshida, *Proceedings of the Albert Einstein Century International Conference (AIP Conference Proceedings 861)*, edited by J.-M. Alimi and A. Füzfa (American Institute of Physics, New York, 2006), 728 – 735. Talk given at the Albert Einstein Century International Conference, Palais de l' UNESCO, Paris, France, 18 – 23 July 2005.

Gravitational waves from a dust disk around a Schwarzschild black hole

Hajime Sotani, Motoyuki Saijo, Physical Review D **74**, 024001 / 1 – 13 (2006); [arXiv:gr-qc/0507030].

Low $T=|W|$ dynamical instabilities in differentially rotating stars: Diagnosis with canonical angular momentum

Motoyuki Saijo, Shin'ichirou Yoshida, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **368**, 1429 – 1442 (2006); [arXiv:astro-ph/0505543].

The Japanese Space Gravitational Wave Antenna - DECIGO

Seiji Kawamura *et al.* Classical and Quantum Gravity **23**, S125 – S131 (2006).

Collapse of a differentially rotating supermassive star

Motoyuki Saijo, *Proceedings of the Tenth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity*, edited by M. Novello, S. Perez-Bergliaffa and R. Ruffini (World Scientific, Singapore, 2006), 1616 – 1618. Talk given at Tenth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, Brazilian Center of Physical Research and University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 20 – 26 July 2003.

Dynamical bar instability in a relativistic rotational core collapse

Motoyuki Saijo, Physical Review D **71**, 104038 / 1 – 13 (2005); [arXiv:astro-ph/0505423].

Dynamical One-Armed Spiral Instability in Differentially Rotating Stars

Motoyuki Saijo, Shin'ichirou Yoshida, *Proceedings of the 22nd Texas Symposium on Relativistic Astrophysics*, edited by P. Chen et al., eConf C041213, 1419 (2005). Poster presented at the 22nd Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Stanford, California, USA, 13 – 17 December 2004.

Dynamical bar instability in collapsing stars

Motoyuki Saijo, *Proceedings of the fourteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, edited by W. Hikida et al., 458 – 461 (2005). Poster presented at the fourteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto, Japan, 29 November – 3 December 2004.

The Collapse of Differentially Rotating Supermassive Stars: Conformally Flat Simulations

Motoyuki Saijo, The Astrophysical Journal **615**, 866 – 879 (2004); [arXiv:astro-ph/0407621].

Collapse of differentially rotating supermassive stars

Motoyuki Saijo, *Proceedings of the thirteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, edited by K. Nakao et al., 220 – 223 (2004). Talk given at the thirteenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, Osaka City University, Osaka, Japan, 1 – 4 December 2003.

One-Armed spiral instability in differentially rotating stars

Motoyuki Saijo, *Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference*, edited by T. Kajita et al., (Universal Academy Press, Tokyo, 2003), 3041 – 3044. Poster presented at the 28th International Cosmic Ray Conference, Tsukuba, Japan, 31 July – 7 August 2003.

One-Armed Spiral Instability in Differentially Rotating Stars

Motoyuki Saijo, Thomas W. Baumgarte, Stuart L. Shapiro, *The Astrophysical Journal* **595**, 352 – 364 (2003); [arXiv:astro-ph/0302436].

One-Armed spiral instability in differentially rotating stars

Motoyuki Saijo, Thomas W. Baumgarte, Stuart L. Shapiro, *Proceedings of the twelfth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, edited by M. Shibata et al., 355 – 359 (2003). Talk given at the twelfth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 25 – 28 November 2002.

★小泉

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの運動エネルギー分布測定,

立花隆行, 深井健太郎, 藤田慎也, 小泉哲夫, 平山孝人, *J. Vac. Soc. Jpn.* 51,(2008) 138-40.

Multiple Charge Transfer by Slow Multi-Charged Xe Ions

H. Ito, Y. Cihara, Y. Suzuki, T. Hirayama and T. Koizumi, *J. Phys. Conference Series* 58(2007)311-314.

Study of nonradiative decay properties following resonant double excitation to the $[1s2p]nln'l'$ states of Ne atom using soft x-ray undulator radiation

M. Oura, Y. Tamenori, F. Koike, T. Hayaishi, H. Yamaoka, T. Koizumi, K. Takahiro, K. Kawatsura, T. Mukoyama, *Radiation Phys. and Chem.* 76 (2007) 469-474.

Study of the Broad Emission Wavelength of Lu_{0.4}Gd_{1.6}SiO₅:Ce for APD Detection

S. Shimizu, H. Murakami, T. Koizumi, T. Usui, N. Shimura, K. Kurashige, Y. Kurata, N. Senguttuvan, K. Sumiya, and H. Ishibashi, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 53(2006)3934-3937.

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.

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.

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.

Double charge transfer spectroscopy of O₂²⁺: Band analyses of low-lying repulsive states

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

X-ray-induced fluorescence spectroscopy with EBIT

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

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.

Double charge transfer spectroscopy of NO²⁺ at vibrational resolution: application of Franck-Condon analyses to a dication systems

O. Furuhashi, T. Kinugawa, T. Hirayama, T. Koizumi, C. Yamada, S. Ohtani, *Chem. Phys.* 295(2003) 185-193.

★家城

Isomeric 0⁺ state in ¹²Be

S. Shimoura, A. Saito, 他(10 番目), *Phys. Lett. B* 560, 31 (2003)

Astrophysical reaction rate for the ⁸Li(n, γ)⁹Li reaction

H. Kobayashi, K. Ieki, A. Horvath, A. Galonsky, 他, *Phys. Rev. C* 67, 015806 (2003)

In-beam γ spectroscopy of ³⁴Si with deuteron inelastic scattering using reverse kinematics

N. Iwasa, T. Motobayashi 他(13 番目), *Phys. Rev. C* 67, 064315 (2003)

Measurements of astrophysical neutron capture cross sections via the inverse reaction

Horvath, A. Galonsky 他(9 番目) *Nucl. Phys. A* 719, 9c (2003)

Molecular states in neutron-rich beryllium isotopes

A.Saito, S.Shimoura, S.Takeuchi,他(15 番目), Nucl.Phys. A738, 337 (2004)

Coulomb dissociation experiment for explosive hydrogen burning: study of the $^{22}\text{Mg}(p, \gamma)^{23}\text{Al}$ reaction

T.Gomi, T.Motobayashi,他(13 番目), J.Phys.(London) G31, S1517 (2005)

Coulomb Dissociation of ^{23}Al for the stellar $^{22}\text{Mg}(p, \gamma)^{23}\text{Al}$ reaction

T.Gomi, T.Motobayashi 他(13 番目), Nucl.Phys. A758, 761c (2005),Nucl.Phys. A734, E77 (2004),Nucl.Phys. A718, 508c (2003)

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

Y.Togano, T.Gomi, T.Motobayashi,他(14 番目), Eur.Phys.J. A 27, Supplement 1, 233 (2006),Nucl.Phys. A758, 182c (2005)

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

L.Heilbronn, Y.Iwata, 他(8 番目), Phys.Rev. C 73, 024603 (2006)

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

Y.Togano, T.Gomi, T.Motobayashi, 他(14 番目), 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, 他, 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,他(15 番目), Phys. Rev. C 73 057601 (2006)

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

L.Heilbronn, Y.Iwata, 他(8 番目), Phys.Rev. C 73, 024603 (2006)

Experimental state of n-n correlation function for Borromean halo nuclei investigation

M.Petrascu, A.Constantinescu, 他(15 番目), Nucl.Phys. A790, 235c (2007)

Secondary Neutron-Production Cross Sections from Heavy-Ion Interactions Between 230 and 600 MeV/Nucleon

L.Heilbronn, C.J.Zeitlin, Y.Iwata, 他(11 番目), Nucl.Sci.Eng. 157, 142 (2007)

Isoscalar compressional strengths in ^{14}O

H.Baba, S.Shimoura, 他(10 番目), Nucl.Phys. A788, 188c (2007)

★栗田

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, K.Kurita et al. Phys.Rev.Lett.89:052302,2002

Proton Carbon CNI Polarimeter For RHIC.

K.Kurita, Nucl.Phys.Proc.Suppl.105:164-167,2002

Polarized Proton Collider At RHIC

I.Alekseev, K. Kurita et al. Nucl.Instrum.Meth.A499:392-414,2003

Double helicity asymmetry in inclusive mid-rapidity π^0 production for polarized p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV.

S.S.Adler K.Kurita et al., Phys. Rev. Lett. 93, 202002 (2004)

Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration.

By PHENIX Collaboration (K. Adcox *et al.*). Oct 2004. 127pp. Published in Nucl.Phys.A757:184-283,2005.

Measurement of transverse single spin asymmetries for midrapidity production of neutral pions and charged hadrons in polarized p+p collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV

S.S.Adler, K. Kurita et al., Phys. Rev. Lett. 95, 202001 (2005)

不安定核電子散乱実験のための自己閉じ込め型不安定核標的(SCRIT)

若杉昌徳、栗田和好 他, 加速器 Vol.2, No.3, 2005(337-347)

Fiddling carbon strings with polarized proton beams.

H. Huang (Brookhaven) , K. Kurita (Rikkyo U. & Wako, RIKEN) . 2006. 19pp. Prepared for 12th Beam Instrumentation Workshop (BIW06), Fermilab, Batavia, Illinois, 1-4 May 2006. (2006 Faraday Cup Award), Published in AIP Conf.Proc.868:3-21,2006

Novel Internal Target for Electron Scattering off Unstable Nuclei

M. Wakasugi, K. Kurita et al. Phys. Rev. Lett. 100, 164801 (2008)

★平山

Electronic excitation processes in rare gas clusters studied by electron energy loss spectroscopy

H. Kubotera, T. Sekitsuka, S. Sakai, T. Tachibana and T. Hirayama, Appl. Surf. Sci. submitted.

Absolute sputtering yields from solid Ne by low energy He⁺ and Ar^{q+} (q = 1 ~ 6) impact

S. Fujita, K. Fukai, T. Tachibana, T. Koizumi and T. Hirayama, J. Phys. Conf. Ser. accepted for publication.

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの観測

立花隆行, 深井健太郎, 藤田慎也, 小泉哲夫, 平山孝人, J. Vac. Soc. Jpn. 51, (2008) 138-40.

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) 311-314.

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. Tachibana, Y. Yamauchi, T. Miura, T. Hirayama, M. Sakurai, I. Arakawa, Surf. Sci. 593, (2005) 264-268.

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. A70, (2004) 052501.

Lateral Compression of a Xe Film Physisorbed on Ag(111)

S. Igarashi, A. Tosaka, T. Hirayama and I. Arakawa, Langmuir 19, (2003) 4627-4632.

Double charge transfer spectroscopy of NO²⁺ at vibrational resolution : application of Franck-Condon analyses to a dicationic system

O. Furuhashi, T. Kinugawa, T. Hirayama, T. Koizumi, C. Yamada, and S. Ohtani, Chem. Phys. 295, (2003) 185-193.

Absolute measurements of the total PSD and ESD yields at the surface of solid krypton

T. Adachi, T. Hirayama, T. Miura, I. Arakawa and M. Sakurai, Surf. Sci. 528, (2003) 60-66.

Absolute yields of the exciton induced desorption at the surface of solid rare gases

I. Arakawa, T. Adachi, T. Hirayama, and M. Sakurai, Low Temp. Phys. 29, (2003) 259-265.

レーザープラズマ真空紫外光源による電子遷移誘起脱離実験

佐藤淳一, 長崎仁志, 三浦 崇, 平山孝人, 荒川一郎, 真空 46, (2003), 559-562.

水が吸着した希ガス固体表面から電子遷移誘起脱離する水クラスターイオンの観測

立花 隆行, 山内 祐子, 長崎 仁志, 田澤 俊彦, 三浦 崇, 平山 孝人, 桜井 誠, 荒川 一郎
真空 46, (2003) 257-260.

★村田

Development of a new drift chamber based Mott polarimeter.

H. Kawamura, J. Murata et al. (2007). 4pp. SPIN06, Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006, AIP Conf. Proc. 915:1105-1108 (2007).

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

Jiro Murata *et al.* (2007). 4pp. SPIN06, Kyoto, Japan, 2-7 Oct 2006. AIP Conf. Proc. 915:218-221 (2007).

Measurement of the electric quadrupole moment of ³²Al.

D. Kameda, J. Murata, Phys. Lett. B647 (2007) 93-97.

Development of ion transportation, extraction and neutralization systems for atomic beam resonance method.

D. Nagae, J. Murata et al., Physica E29 580 (2005)

Micron-precision optical alignment system for muon tracking chambers.

J. Murata et al., Caparthy, J. (ed.): Muons: New research, 209-220. NOVA Science Publishers, Inc., (2004)

Study on the transient field at very high velocities for the g-factor measurement of excited states in unstable nuclei,

A. Yoshimi, J. Murata et al., Nucl. Phys. A738(2004)519-522

Fundamental beta decay experiments at RIKEN-RIBF.

J. Murata, Czech. J. Phys. 54 :B217-B220 (2004).

Recent result from the nuclear moment measurements using a spin polarized radioactive beam,

D. Kameda, J. Murata et al., Nucl. Phys. A734 (2004) 481-484.

Study on the transient field at very high velocities for the g-factor measurement of excited states in unstable nuclei ,

A. Yoshimi, J. Murata et al., Nucl. Phys. A738 (2004) 519-522.

Optical Alignment System for the PHENIX Collaboration Muon Tracking Chambers

J. Murata, et al., Nucl. Instrum. Meth. A500:309-317 (2003)

★村田、栗田

Inclusive cross-section and double helicity asymmetry for pi0 production in p + p collisions at s^{1/2} = 200-GeV: Implications for the polarized gluon distribution in the proton.

- PHENIX Collaboration. 7pp. Phys.Rev.D76:051106 (2007)
- Measurement of density correlations in pseudorapidity via charged particle multiplicity fluctuations in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 32pp. Phys.Rev.C76:034903 (2007).
- Elliptic flow for phi mesons and (anti)deuterons in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.99:052301 (2007).
- J/psi Production vs Centrality, Transverse Momentum, and Rapidity in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.98:232301 (2007).
- System Size and Energy Dependence of Jet-Induced Hadron Pair Correlation Shapes in Cu+Cu and Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ and 62.4-GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.98:232302 (2007).
- Energy Loss and Flow of Heavy Quarks in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.98:172301 (2007).
- Correlated Production of p and anti-p in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 12pp. Phys.Lett.B649:359-369 (2007).
- J / psi production versus transverse momentum and rapidity in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.98:232002 (2007).
- A Detailed Study of High-p(T) Neutral Pion Suppression and Azimuthal Anisotropy in Au+Au Collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 23pp. Phys.Rev.C76:034904 (2007).
- High transverse momentum eta meson production in p+p, d+Au and Au+Au collisions at $S(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 38pp. Phys.Rev.C75:024909 (2007).
- Measurement of Single Muons at Forward Rapidity in p+p Collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV and Implications for Charm Production.**
- PHENIX Collaboration. 25pp. Phys.Rev.D76:092002 (2007).
- High transverse momentum eta meson production in p+p, d+Au and Au+Au collisions at $S(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 38pp. Phys.Rev.C75:024909 (2007).
- Scaling properties of azimuthal anisotropy in Au+Au and Cu+Cu collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.98:162301 (2007).
- Evidence for a long-range component in the pion emission source in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. PRL98:132301 (2007).
- Measurement of high-p(T) single electrons from heavy-flavor decays in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.97:252002 (2006).
- Improved measurement of double helicity asymmetry in inclusive midrapidity pi0 production for polarized p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 4pp. Phys.Rev.D73:091102 (2006).
- Common suppression pattern of eta and pi0 mesons at high transverse momentum in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.96:202301 (2006).
- Nuclear modification of electron spectra and implications for heavy quark energy loss in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.96:032301 (2006).
- Measurement of identified pi0 and inclusive photon v_2 and implication to the direct photon production in $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV Au+Au collisions.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.96:032302 (2006).
- Single electrons from heavy flavor decays in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.96:032001 (2006).
- Modifications to di-jet hadron pair correlations in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.97:052301 (2006).
- Measurement of transverse single-spin asymmetries for mid-rapidity production of neutral pions and charged hadrons in polarized p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.95:202001 (2005).
- Centrality dependence of direct photon production in $s(NN)^{1/2} = 200$ GeV Au+Au collisions.**
- PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.94:232301 (2005).

- Measurement of single electron event anisotropy in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 11pp. Phys.Rev.C72:024901 (2005).
- Mid-rapidity direct-photon production in p+p collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 7pp. Phys.Rev.D71:071102 (2005).
- Saturation of azimuthal anisotropy in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 62$ GeV to 200 GeV.**
PHENIX Collaboration. 7pp. Phys.Rev.Lett.94:232302 (2005).
- Production of phi mesons at mid-rapidity in $s(NN)^{1/2} = 200$ - GeV Au+Au collisions at RHIC.**
PHENIX Collaboration. 26pp. Phys.Rev.C72:014903 (2005).
- Centrality dependence of charm production from single electrons measurement in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 6pp. 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. 27pp. Phys.Rev.C71:034908 (2005).
- Jet structure of baryon excess in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.C71:051902 (2005).
- Deuteron and antideuteron production in Au + Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ GeV.**
PHENIX Collaboration. 6pp. 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, 6p Phys.Rev.Lett.93:152302 (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. 6pp. Phys.Rev.Lett. 93:092301 (2004).
- High p(T) charged hadron suppression in Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ GeV.**
PHENIX Collaboration. 22p Phys.Rev.C69:034910 (2004)
- Identified charged particle spectra and yields in Au+Au collisions at $S(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 32pp. Phys.Rev.C69:034909 (2004).
- Single identified hadron spectra from $s(NN)^{1/2} = 130$ -GeV Au+Au collisions.**
PHENIX Collaboration. 69p. Phys.Rev.C69:024904 (2004)
- J / psi production from proton proton collisions at $s^{1/2} = 200$ -GeV.**
PHENIX Collaboration. 6pp. Phys.Rev.Lett.92:051802(2004).
- J / psi production in Au Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV at the Relativistic Heavy Ion Collider.**
PHENIX Collaboration. 11pp. Phys.Rev.C69:014901 (2004).
- Heavy ion collisions at collider energies: Insights from PHENIX.**
PHENIX Collaboration. 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, Phys.Rev.Lett.91:172301 (2003)
- PHENIX detector overview.**
PHENIX Collaboration, Nucl.Instrum.Meth.A499:469-479(2003)
- PHENIX muon arms.**
PHENIX Collaboration. 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, Phys.Rev.Lett.91:182301 (2003)
- Suppressed pi0 production at large transverse momentum in central Au+Au collisions at $s(NN)^{1/2} = 200$ GeV.**
PHENIX Collaboration, 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, Phys.Lett.B561:82-92 (2003)

★山本

Waves in airglow structures experiment 2004: Overview and preliminary results

Iwagami, N., H. Yamamoto (no. 8), H. Sekiguchi, K-I. Oyama *et al.*, Adv.Space Res., 35, 1964-70, 2005
ブラジル・チリにおける太陽紫外線観測

(Ground-based observations of solar ultraviolet radiation in Brazil and Chile), 野澤宏大、山本博聖、卷田和男、N.J.Schuch、A.Foppiano、R.M.Mac-Mahon, 拓殖大学理工学研究報告、9、25-2、2005

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

Nozawa, H., H. Misawa, S. Okano, H. Yamamoto(no.9) et. al., Geophys. Res. Lett., 33, L16103,doi:10.1029/2005GL025623, 2006

Estimativa para calculo de oz?nio tatl usando dados de UVB e UVA do observatorio especial do sul, Brasil,

Caroline Bertagnolli, H.Nozawa, H.Yamamoto(no.8), Nelson J. Schuch et. al., Revista Brasileira de Geof?sica (2007) 25(Supl. 2): 9-15

Ground-based observations of solar UV radiation at Tokyo, Brazil and Chile

Nozawa,H, H.Yamamoto(no.2), K.Makita, N.J.Schuch et. al., Revista Brasileira de Geof?sica (2007) 25(Supl. 2): 17-25

★田口

Solar cycle dependence of interplanetary Lyman α emission and solar wind anisotropies derived from NOZOMI/UVS and SOHO/SWAN observations,

Nakagawa, H., H. Fukunishi, Y. Takahashi, S. Watanabe, M. Taguchi, et al., J. Geophys. Res., 108(A10), 8035, doi:10.1029/2003JA009882, (2003).

Auroral O⁺ 732/733 nm emission and its relation to ion upflow,

Koizumi, N., S. Okano, T. Sakanoi, M. Taguchi, and T. Aso, Adv. Polar Upper Atmos. Res., 18, 96-104, (2004).

A new all-sky optics for aurora and airglow imaging,

Taguchi, M., M. Ejiri, and K. Tomimatsu, Adv. Polar Upper Atmos. Res., 18, 140-148, (2004).

Lyman alpha imaging of solar activity on the interplanetary hydrogen screen for space weather forecasting,

Okazaki Y., H. Fukunishi, Y. Takahashi, M. Taguchi, S. Watanabe, J. Geophys. Res., 110, A03104, doi:10.1029/2004JA010828, (2005).

Quasi-stationary auroral patches observed at the South Pole Station,

Ebihara, Y. Y. -M. Tanaka, S. Takasaki, A. T. Weatherwax, and M. Taguchi, J. Geophys. Res., 112, A01201, doi:10.1029/2006JA012087, (2007).

Development of airglow temperature photometers with cooled-CCD detectors,

Shiokawa, K., et al. (13番目), Earth Planets Space, 59, 585-599, (2007)

Balloon-borne telescope system for optical remote sensing of planetary atmospheres and plasmas,

Taguchi, M., et al., Adv. Geosci., vol. 7 (Planetary Science), Eds. Anil Bhardwaj et al., pp. 169-179, World Scientific, Singapore, (2007).

Planet-C: Venus Climate Orbiter mission of Japan

Nakamura, M., et al. (7番目), , Planet. Space Sci., 55, 1831-1842, (2007).

The longwave infrared imager onboard the Venus Climate Orbiter,

Taguchi, M., et al., Adv. Space Res., 40, 861-868, doi:10.1016/j.asr.2007.05.085, (2007).

★村上

X-rays from the HII Regions and Molecular Clouds near the Galactic Center

K. Koyama, H. Murakami, and S. Takagi, Astronomische Nachrichten Supplement 324 117 (2003)

Reflected X-ray Emissions on Giant Molecular Clouds - Evidence of the Past Activities of Sgr A*

H. Murakami, A. Senda, Y. Maeda, and K. Koyama, Astronomische Nachrichten Supplement 324 125 (2003)

Discovery Of New SNR Candidates in the Galactic Center Region with ASCA and Chandra

A. Senda, H. Murakami, and K. Koyama, Astronomische Nachrichten Supplement 324 151 (2003)

Chandra High Resolution Spectroscopy of the Absorption Line Features in the Low Mass X-ray Binary GX 13+1

Y. Ueda, H. Murakami, K. Yamaoka, T. Dotani, K. Ebisawa, Astrophysical Journal 609, 325 (2004)

High Energy Activities of Our Galactic Center and Its Environment

K. Koyama, A. Senda, H. Murakami, Y. Maeda, Progress of Theoretical Physics Supplement 155, 152 (2004)

Study of the Galactic Interstellar Medium from High Resolution X-ray Spectroscopy: X-ray Absorption Fine Structures and Abundances of O, Mg, S, Si and Fe

Y. Ueda, K. Mitsuda, H. Murakami, K. Matsushita, Astrophysical Journal, 620, 274 (2005)

Suzaku Reveals Helium-burning Products in the X-ray Emitting Planetary Nebula BD+303639

M. Murashima, M. Kokubun, K. Makishima, H. Murakami (5番目) 他6名, Astrophysical Journal, 647, L131 (2006)

The X-Ray Observatory Suzaku

K. Mitsuda, H. Murakami (85番目) 他141名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S1 (2007)

X-Ray Imaging Spectrometer (XIS) on Board Suzaku

K. Koyama, H. Murakami (28 番目) 他 44, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S23 (2007)

Discoveries of Diffuse Iron Line Sources from the Sgr B Region

K. Koyama, H. Murakami (7 番目) 他 9 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S221 (2007)

X-Ray Spectrum of Sgr A East

K. Koyama, H. Murakami (8 番目) 他 6 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S237 (2007)

Iron and Nickel Line Diagnostics for the Galactic Center Diffuse Emission

K. Koyama, H. Murakami (10 番目) 他 15 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S245 (2007)

Swift and Suzaku Observations of the X-Ray Afterglow from the GRB 060105

M. Tashiro, H. Murakami (16 番目) 他 35 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S361 (2007)

Performance of the Charge-Injection Capability of Suzaku XIS

H. Nakajima, H. Murakami (16 番目) 他 18 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S1 (2008)

Suzaku X-Ray Spectroscopy of a Peculiar Hot Star in the Galactic Center Region

Y. Hyodo, H. Murakami (7 番目) 他 6 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S173 (2008)

Suzaku Discovery of an X-Ray Reflection Nebula and a New Supernova Remnant Candidate in the SgrB1 Region

M. Nobukawa, H. Murakami (9 番目) 他 8 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S191 (2008)

Energy-Scale Calibration of the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer Using the Checker Flag Charge Injection Technique in Orbit

M. Ozawa, H. Murakami (17 番目) 他 26 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, accepted (2008)

New CTI Correction Method for the Spaced-Row Charge Injection of the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer

H. Uchiyama, H. Murakami (16 番目) 他 22 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, accepted (2008)

X-Ray Reflection Nebulae with Large Equivalent Widths of Neutral Iron Ka Line in the Sgr C Region

H. Nakajima, H. Murakami (6 番目) 他 6 名, Publications of the Astronomical Society of Japan, accepted (2008)

Chandra Observations of 6.4-keV Line Emissions in Our Galactic Center Region

H. Murakami, Y. Maeda, K. Koyama, and A. Senda, Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies 5 (2003)

Search for New SNR Candidates in the Galactic Center Region with Chandra

A. Senda, H. Murakami, A. Bamba, S. Takagi, and K. Koyama, Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies 17 (2003)

Igr J16318-4848

H. Murakami, T. Dotani, and R. Wijnands, IAU Circ., 8070, 3 (2003)

X-ray imaging spectrometer (XIS) on board Astro-E2

T. Dotani, H. Murakami (3 番目) 他 17 名, Proceedings of the SPIE, 4851, 1071 (2003)

The ASCA and Chandra Observations of the Galactic center

K. Koyama, A. Senda, H. Murakami, and Y. Maeda, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics Supplement 3 297 (2003)

Resolving Non-Thermal X-ray Knots From the Galactic Center with Chandra Deep Exposure Observation

A. Senda, S. Takagi, K. Koyama, A. Bamba, H. Murakami, X-Ray and Radio Connections Published electronically by NRAO, <http://www.aoc.nrao.edu/events/xraydio> (E7.22) 5, (2005)

Origins of the instrumental background of the x-ray CCD camera in space studied with Monte Carlo simulation

H. Murakami, M. Kitsunezuka, M. Ozaki, T. Dotani, T. Anada, Proceedings of the SPIE, 6266, 62662Y (2006)

GRB060105: refined analysis of the suzaku observation.

K. Nakazawa, H. Murakami (16 番目) 他 19 名, GRB Coordinates Network, Circular Service 4606, 1 (2006)

The Development of a Back-Illuminated Supportless CCD for SXI onboard NeXT

T. G. Tsuru, H. Murakami (15 番目) 他 16 名, Proceedings of the "The X-ray Universe 2005", 26-30 September 2005, El Escorial, Madrid, Spain. Organised by European Space Agency (ESA). Ed. by A. Wilson. ESA SP-604, Volume 2, Noordwijk: ESA Publications Division, p975 (2006)

科学データ可聴化プロジェクト ～プロジェクト立ち上げと初期データ公開～

宇野伸一郎, 村上弘志 (12 番目) 他 11 名, 日本福祉大学情報社会科学論集 10 (2007)

GRB 070328: suzaku ToO follow up starts.

K. Nakazawa, H. Murakami (9 番目) 他 12 名, GRB Coordinates Network, Circular Service, 6226, 1 (2007)

EUV-imaging experiments of a normal incident telescope with an adaptive optics system

S. Kitamoto, H. Murakami (10 番目) 他 8 名, Proceedings of the SPIE, 7015, 70153Y (2008)

★北本**A Bright Transient X-Ray Source Near the Galactic Center Found in Archival Ginga Data from 1987,**

Yamauchi, S.; Nakagawa, Y.; Sudoh, K.; Kitamoto, S, 2007PASJ...59.1141

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; and 2 coauthors, 2007PASJ...59S.151

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; and 36 coauthors 42 番目 Kitamoto, S. 2007PASJ...59S..23

The X-Ray Observatory Suzaku

Mitsuda, Kazuhisa; Bautz, Mark; Inoue, Hajime; Kelley, Richard L.; Koyama, Katsuji; Kunieda, Hideyo; Makishima, Kazuo; Ogawara, Yoshiaki; Petre, Robert; Takahashi, Tadayuki; and 133 coauthors 59 番目 Kitamoto, S. 2007PASJ...59S...1

Suzaku observations of cyclotron resonances in binary X-ray pulsars

Terada, Y.; Mihara, T.; Nagase, F.; Angelini, L.; Dotani, T.; Enoto, T.; Kitamoto, S.; Kohmura, T.; Kokubun, M.; Kotani, T.; and 9 coauthors, 2007AdSpR..40.1485

X-ray imaging and adaptive optics system for a 13.5nm telescope

Kitamoto, S.; Ohkubo, Y.; Tsujimoto, M.; Ogita, T.; Saitoh, K.; Morii, M.; Sudoh, K.; Gotoh, N.; Shishido, Y.; Shibata, T.; Takenaka, E., 2007SPIE.6688E..39

Ground bakeout experiment of the optical blocking filter (OBF) for the Suzaku XIS

Mori, Hideyuki; Tsuru, Takeshi Go; Matsumoto, Hironori; Uchiyama, Hideki; Ozawa, Midori; Takikawa, Yohjiro; Nobukawa, Masayoshi; Koyama, Katsuji; Torii, Ken'ichi; Tawa, Noriaki; Kitamoto, Shunji; Sudoh, Keisuke; Kohmura, Takayoshi, 2007SPIE.6686E..21

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)

Development of a new radiation detector utilizing CNTs as anodes

Kotani, Taro; Kawai, Nobuyuki; Chiba, Shigeto; Kitamoto, Shunji (2005, Physica, E, 29, 505-509)

Soft Lag and its Implication of X-Ray Time Variation in GRS 1915+105

Y. Ohkawa, S. Kitamoto, and T. Kohmura, (2005, ApJ, 621,951-958)

GX339-4; the distance, state transitions, hysteresis and spectral correlations

A.A. Zdziarski, M. Gierlinski, J. Mikokajewaska, G. Wardzinski, D.M. Smith, B.A. Garmon and S. Kitamoto (2004, MNRAS, 351,791-807)

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

S. Kitamoto, T. Kohmura, N. Yamamoto, H. Saito, H. Takano, Kazuharu Suga, Eiji Ozawa, Kazuma Suzuki, Risa Kato, Yusuke Tachibana, Yusuke Tsuji, Ken Koganei, Kiyoshi, Hayashida, Haruyoshi Katayama, Hideyuki Enoguchi, Yusuke Nakashima, Takayuki Shiroshouji, (2003, NIM A, 505,683-687)

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; Satoh, 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; Koyama, Katsuji; Tsunemi, Hiroshi; Hayashida, Kiyoshi; Miyata, Emi; Ozawa, Hideki; Touhiguchi, Masakuni; Matsuura, Daisuke; Dotani, Tadayasu; 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

RXTE Observation of the Low-Mass X-ray Binary Pulsar GX1+4

Kohmura, Takayoshi; Kitamoto, Shunji, 2005, AIP Conference Proceedings, Volume 797, pp. 519-522

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, 2005, Proceedings of SPIE, 5900, "Optics for EUV, X-Ray and Gamma-Ray Astronomy II", 2-9 August, 2005, Sandiego, 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, 2005, Progress of XRM2005, Egret Himeji, Himeji, Hyogo, Japan,, in press

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, S. Chiba 2004, Progress of Theoretical Physics Supple. 155, "Stellar-mass, Intermediate-mass, and Supermassive Black Holes" edited by S. Mineshige and K. Makishima, 363-364

X-Ray Time Variation of GRS 1915+105

Y. Ohkawa, S. Kitamoto, N. and T. Kohmura, 2004, Progress of Theoretical Physics Supple. 155, "Stellar-mass, Intermediate-mass, and Supermassive Black Holes" edited by S. Mineshige and K. Makishima, 393-394

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, 2004, Proceedings of SPIE, 5488, "UV and Gamma-Ray Space Telescope System", 21-24 June, 2004, Glasgow, 460-467.

RXTE Observation of Cen X-3

T. Kohmura, and S. Kitamoto, 2003, Proceedings of "Pulsars, AXPs, and SGRs observed with BeppoSAX and Other Observatories", 23-25, Sept, 2002, Marsala, 237-240

Diagnostics of the X-ray Emission Mechanism with Line Profile Observed with Chandra

N. Yamamoto, S. Kitamoto, H. Takano, 2004, Proceedings of "X-ray and Radio Emission of Young Stars", 28-29, July, 2003, Tokyo, 122-129

X-ray Line Profile of Early Type Stars

S. Kitamoto, H. Takano, H. Saitoh, N. Yamamoto, T. Kohmura, 2004, Proceedings of "X-ray and Radio Emission of Young Stars", 28-29, July, 2003, Tokyo, 114-121,

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, T. Tanaka, 2003, Proceedings of SPIE, 5168, "Optics for EUV, X-Ray and Gamma-Ray Astronomy", 3-4, Aug, 2003, San Diego, 376-385,

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, S. Chiba 2003, Proceedings of SPIE, 5169, "Astronomical Adaptive Optics Systems and Applications", 3-4, Aug, 2003, San Diego, 268-275,

Development of an Ultrahigh-precision X-ray telescope with an adaptive optics system

S. Kitamoto, H. Takano, H. Saitoh, N. Yamamoto, T. Kohmura, K. Suga, H. Sekiguchi, 2003, Proceedings of SPIE, 5037, "Emerging Lithographic Technologies VII", 25-27, Feb, 2003, Santa Clara, 294-301,

学会発表(2007年度)

★矢彦沢

NS-NS フラックスのある pp-wave 上の超弦理論の共変的 BRST 量子化

知崎陽一・矢彦沢茂明、日本物理学会 第 62 回年次大会、北海道大学
札幌キャンパス、2007 年 9 月 21 日～9 月 24 日

★原田

重力崩壊の臨界現象の厳密な臨界解

原田知広(立教大理・講師)、A. Mahajan(タータ基礎研究所・研究奨学生)
日本物理学会年次大会、近畿大学、2008 年 3 月

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

原田知広(立教大理・講師)、前田秀基(CECS・博士研究員、国際基督教大)、B. J. Carr(ロンドン大学クインメアリ校・教授)、
日本物理学会秋季大会、北海道大学、2007 年 9 月

Self-similar cosmological solutions with dark energy

Tomohiro Harada, The 17th Workshop on General Relativity and Gravity, 3 – 7 Dec, 2007, Nagoya University,
Nagoya, Japan. (poster and short talk)

Self-similar cosmological solutions with dark energy I: formulation and asymptotic analysis

Tomohiro Harada, Hideki Maeda and B.J. Carr, The 8th International Conference on Gravitation and Astrophysics, 29 Aug
–1 Sep 2007, Nara Women's University, Nara, Japan. (poster and short talk, refereed)

Black Hole Evaporation in a Friedmann Universe

Hiroshi Saida, Tomohiro Harada and Hideki Maeda, The 8th International Conference on Gravitation and Astrophysics, 29
Aug –1 Sep 2007, Nara Women's University, Nara, Japan. (poster and short talk, refereed)

Asymptotically Friedmann Self-Similar Solutions with Dark Energy

Tomohiro Harada, Hideki Maeda and B. J. Carr, The 18th International Conference on General Relativity and Gravitation,
8–14 July 2007, Sydney Conference Centre, Sydney, Australia. (refereed)

★黒木

Large-N limit と metastable vacua

黒木経秀、杉野文彦、日本物理学会 第 62 回年次大会、北海道大学、2007 年 9 月

Wilson loop に対する master field と AdS/CFT

河本祥一、黒木経秀、三輪光嗣、日本物理学会 第 63 回年次大会

★西條

ブラックホール形成に着目した相対論的回転星の重力崩壊

西條統之, Ian Hawke, 第20 回理論天文学宇宙物理学懇談会シンポジウム, 京都大学, 京都府, 2007.12.25 – 27.

Collapse of differentially rotating relativistic stars: Post black hole formation stage

Motoyuki Saijo, Ian Hawke, *Proceedings of the seventeenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*, edited
by Y. Nambu et al., in press (2008). Talk given at the seventeenth workshop on General Relativity and Gravitation in Japan,
Nagoya University, Nagoya, Japan, 3 – 7 December 2007.

Symmetry Breaking in Nonlinear Growth of Bar Instability

Motoyuki Saijo, Yasufumi Kojima, *Proceedings of the Encuentros Relativistas Españoles 07*, edited by A. Oscoz, E. Mediavilla
and M. Serra-Ricart, EAS Publications Series **30**, 299 – 302 (2008). Talk given at the Encuentros Relativistas Españoles,
Puerto de La Cruz, Spain, 10 – 14 September 2007.

★小泉

Transfer Ionization Processes between Slow Multi-Charged Ions and Neutral Atoms

Y. Suzuki, H. Ito, Y. Chihara, T. Hirayama, and T. Koizumi, XXV International Conference on Photonic, Electronic and
Atomic Collisions (Freiburg, Germany, 2007.7)

ECR イオン源ガスミキシング効果とプラズマポテンシャル

東島啓之、高井渉、日暮祥英、小泉哲夫、中川孝秀、日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会(近畿大学、2008.3).

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの観測

立花隆行、深井健太郎、小泉哲夫、平山孝人、日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会(近畿大学、2008.3).

多価イオン入射による希ガス固体からのポテンシャルパッキング

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会(近畿大学, 2008.3).

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの運動エネルギー分布測定

立花隆行, 深井健太郎, 小泉哲夫, 平山孝人, 第 48 回真空に関する連合講演会(学習院大学, 2007.11).

付着型イオン源を用いたカイラル分子のイオン化

橋本公瑛, 小島隆夫, 田沼肇, 平山孝人, 小泉哲夫, 第 48 回真空に関する連合講演会(学習院大学, 2007.11).

多価イオン-希ガス固体衝突における脱離 2 次粒子の観測

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会 2007 年第 62 回年次大会(北海道大学, 2007.9).

ECR イオン源ミラー磁場配位がプラズマポテンシャルに与える影響

東島啓之, 日暮祥英, 小泉哲夫, 中川孝秀, 第 32 回原子衝突研究協会研究会, (東京工業大学, 2007.8).

多価イオン-希ガス固体表面衝突における2次イオン測定

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 第 32 回原子衝突研究協会研究会(東京工業大学, 2007.8).

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 春季大会(鹿児島大学, 2007.3).

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 春季大会(鹿児島大学, 2007.3).

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 春季大会(鹿児島大学, 2007.3).

★家城

理研 RIBF における超伝導 RI ビームセパレーター-BigRIPS の性能評価 I

松下昌史, 家城和夫, 久保敏幸, 日下健祐 H.Geissel, H. Weick, J. Nolen, O. Terasov, T. Nettelspn, D. Bazin, B. Scherrill, D. Morrissey, W. Mittig 日本物理学会 2008 年春季大会, 2008.3 東大阪市

横方向エネルギー計測による重イオン衝突における中心衝突度測定法の開発

新田稔, 中井陽一, 西村俊二, 村上哲也, 家城和夫, 村田次郎, 他, 日本物理学会 2008 年春季大会, 2008.3 東大阪市

★平山

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの観測,

立花隆行, 深井健太郎, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会, 2008 年 3 月, 近畿大学本部キャンパス, 24aRB-4

多価イオン入射による希ガス固体からのポテンシャルパッキング,

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会, 2008 年 3 月, 近畿大学本部キャンパス, 24aRB-3

電子エネルギー損失分光法を用いた Ar クラスターの電子的励起過程の実験的研究,

関塚達也, 窪寺隼人, 塚聡史, 立花隆行, 平山孝人, 日本物理学会 2008 年第 63 回年次大会, 2008 年 3 月, 近畿大学本部キャンパス, 26aRA-11

希ガス固体表面上からイオン衝撃脱離するクラスターイオンの運動エネルギー分布測定,

立花隆行, 深井健太郎, 小泉哲夫, 平山孝人, 第 48 回真空に関する連合講演会, 2007 年 11 月, 学習院大学

付着型イオン源を用いたカイラル分子のイオン化,

橋本公瑛, 小島隆夫, 田沼肇, 平山孝人, 小泉哲夫, 第 48 回真空に関する連合講演会, 2007 年 11 月, 学習院大学

多価イオン-希ガス固体衝突における脱離 2 次粒子の観測,

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 日本物理学会 2007 年第 62 回年次大会, 2007 年 9 月, 北海道大学, 21aRF-4

希ガスクラスターにおける電子的励起過程の実験的研究,

塚聡史, 窪寺隼人, 関塚達也, 立花隆行, 平山孝人, 日本物理学会 2007 年第 62 回年次大会, 2007 年 9 月, 北海道大学, 22aRF-11

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

多価イオン-希ガス固体表面衝突における2次イオン測定,

深井健太郎, 藤田慎也, 立花隆行, 小泉哲夫, 平山孝人, 第 32 回原子衝突研究協会研究会, 2007 年 8 月, 東京工業大学, Q03

Transfer ionization processes between slow multi-charged ions and neutral atoms

Y. Suzuki, H. Ito, Y. Chihara, T. Hirayama and T. Koizumi, The 25th Internal Conference on the Physics of Electronic, Atomic and Photonic Collisions (XXV ICPEAC), (July 2007, Freiburg, Germany)

★村田

画像処理型変位計を用いた近距離重力実験と原子核のベータ崩壊による基礎物理実験

NOP Workshop 低速中性子光学及びそれを利用した基礎物理学、村田次郎、KEK, 2007/9/5-7

ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験

秦麻記、川村広和、佐藤俊昭、筒井亮丞、矢沢和正、村田次郎、日本物理学会 2007 年秋季大会 北海道大学

横方向エネルギー計測による重イオン衝突における中心衝突度測定法の開発

新田稔、秋山岳伸、池田友樹、大石光、豊田健司、成田圭吾、二宮一史、川村広和、村田次郎他 9 名、日本物理学会 2008 年春季大会 近畿大学

時間反転対称性検証実験のための偏極保持装置開発

成田圭吾、川村広和、豊田健司、村田次郎、他 8 名、日本物理学会 2008 年春季大会 近畿大学

ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離での等価原理の検証実験

秦麻記、秋山岳伸、池田友樹、筒井亮丞、二宮一史、村田次郎、日本物理学会 2008 年春季大会 近畿大学

★山本

Ground-based observations of solar UV radiation in Japan and Brazil

サンパウロ大学 2007 年 8 月 ならびに UFRN(北リオグランデ連邦大学)2007 年 8 月

★田口

OH Airglow in the Auroral Zone

Makoto Taguchi; Hidehiko Suzuki; Yasunobu Ogawa; Takehiko Aso; Satonori Nozawa, , Japan Geoscience Union Meeting 2007, Chiba, May 19-24, 2007.

Optical Design of FUVI onboard the Proposed IMAP Satellite

Makoto Taguchi; Junya Ono, , Japan Geoscience Union Meeting 2007, Chiba, May 19-24, 2007.

LIR onboard Venus Climate Orbiter - Development of a Proto Model

Makoto Taguchi; et al., , Japan Geoscience Union Meeting 2007, Chiba, May 19-24, 2007.

Balloon-Borne Telescope System for Optical Remote Sensing of Planetary Atmospheres and Plasmas

Makoto Taguchi; et al., , Japan Geoscience Union Meeting 2007, Chiba, May 19-24, 2007.

月周回衛星「かぐや(SELENE)」搭載超高層プラズマイメージャ

田口 真、他、第 31 回極域宙空圏シンポジウム、板橋、2007 年 7 月 23 日～24 日。

The first experiment of a balloon-borne telescope system for planetary atmosphere and plasma studies,

Makoto Taguchi, et al., Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences, Fall Meeting, Nagoya, Sep. 28-Oct.1, 2007.

気球搭載望遠鏡による金星観測

田口 真、他、平成 19 年度大気球シンポジウム、相模原、2007 年 12 月 13 日～14 日。

気球搭載望遠鏡による惑星圏観測

田口 真、他、第 9 回惑星圏研究会、仙台、2008 年 3 月 17 日～19 日。

★泉本

JAVA を用いた物理現象の数値シミュレーションと可視化

安藤高志 他、日本物理学会講演概要集、第 64 回年次大会(2009)。

★村上

JUDO and UDON --- New Quick Look tools with interactive web interface

H. Murakami, K. Ebisawa, T. Tamura, H. Narumi, The Suzaku X-ray Universe, San Diego, 2007 年 12 月 10-12 日

X 線観測の FITS データ

村上弘志、FITS 画像教育利用ワークショップ、国立天文台、2007 年 12 月 23-24 日

X 線による銀河系中心領域からの鉄輝線観測

村上弘志、瀧川庸二郎、信川正順、鶴剛、中嶋大、電波と X 線で探る銀河系中心、銀河名古屋大学、2008 年 3 月 10 日

宇宙科学データアーカイブ DARTS

村上弘志 他 8 名、天文学会春季年会、東京、2008 年 3 月 24-27 日

★北本

X-ray Imaging and adaptive optics system for a 13.5 nm telescope

S. Kitamoto et al.

SPIE, Optical Engineering and Applications, Optics for EUV, X-Ray and Gamma-Ray Astronomy III, 2007.8.28-31, San Diego, Vol 6688-17-1~18

ASCA衛星とXMM-Newton衛星、Chandra衛星の分散分光器を用いたSuper Soft Source CAL87の分光観測

武井大他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

X-mas 計画における斜入射型 X 線望遠鏡の開発

荻田喬行 他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

X-mas 計画における CCD の性能評価

後藤範光 他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

CCD 用冷却装置の開発

宍戸洋一 他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

新型干渉計の計画

柴田拓磨 他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

透過型多層膜偏光計の開発

斉藤恒介 他、2007年秋季天文学会、岐阜大学、2007.9.26~28

補償光学を使ったX線望遠鏡の開発

北本俊二、2007年11月2日-3日「第9回X線結像光学シンポジウム」中部大学

補償光学を使った X 線撮像実験

北本俊二他、2008年1月8日-9日「第8回 宇宙科学シンポジウム」JAXA/ISAS

「すざく」の成果-その3 白色矮星連星系

寺田幸功、武井大、2008年1月8日-9日「第8回 宇宙科学シンポジウム」JAXA/ISAS

X-mas 計画における斜入射型 X 線望遠鏡の開発 II

荻田喬行 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

レーザープラズマ光源を使った X-mas 望遠鏡の性能試験

柴田拓磨 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

両面照射型 CCD の特性評価

後藤範光 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

CCD 用冷却装置の開発

宍戸洋一 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

X 線天文衛星「すざく」によるオメガ星雲における広がった X 線放射の観測 II

竹中 恵理 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

白鳥座 X-3 からの X 線輝線の研究

北本俊二 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

すざく衛星による 2007 年こぎつね座新星の即応観測

武井大 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

「すざく」による Anomalous X-ray Pulsar 1E 1841-045 の観測 II

森井幹雄 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

すばる・IRCS による AXP 1E1841-045 の金石外ムービー観測

田中康之 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

RXTE 衛星を用いた X 線連星パルサー Vela X-1 の X 線観測

幸村孝由 他、2008 春日本天文学会 国立オリンピック記念青少年総合センター 2008.3.24-27

学部卒業生進路

○就職先一覧

システム計画研究所、NTT データ、オージス総研、CSK株式会社、株式会社コスモ（株）VSN エレクトロニクス事業部、株式会社ブレイン、NTT 東日本、富士ソフト株式会社、他、サービス業、不動産業、商社、運輸、SE

○その他

大学院進学（立教大学大学院、他大学大学院）、地方公務員、公務員試験受験、海外大学院活動中、高等学校非常勤講師

○大学院進学者一覧

立教大学 16

千葉大学 1

東北大学 1

修士修了者進路

日本サムスン、ブリジストン、双実、ソニー・エルエスアイ・デザイン（株）、日本電気航空宇宙システム株式会社、東芝情報システム株

その他、メーカー、ソフト、中学校・高等学校非常勤講師、大学院博士後期課程進学

2007 立教大学理学部物理学科・大学院理学研究科物理学専攻
研究案内

2009年2月

発行者 立教大学理学部物理学科・大学院理学研究科物理学専攻
〒171-8501 東京都豊島区西池袋3-34-1

編集者 北本俊二

本書の無題複製・転載を禁じます。