

A photograph of a university campus. On the left, there are large, leafy green trees. In the background, a modern multi-story building with a glass facade and a brick base is visible. The sky is clear and blue. The text is overlaid on the lower half of the image.

# 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 2022



# 立教大学理学部物理学科の構成

立教大学理学部物理学科には3つの研究室があります。素粒子論と宇宙物理学の理論を研究する理論物理学研究室、原子核・原子分子を研究する原子核・放射線物理学研究室、宇宙と地球を研究する宇宙地球系物理学研究室です。主な研究対象が素粒子・原子核と宇宙・地球に、研究手法が理論と実験・観測に大別されているというわけです。この冊子では、物理学科構成メンバーの研究を紹介します。

## 理論物理学研究室

## 原子核・放射線物理学研究室

## 宇宙地球系物理学研究室

### 理論物理学研究室

原田知広  
小林努  
中山優

初田泰之  
鈴木健太

平松尚志  
石井 貴昭

### 原子核・放射線物理学研究室

平山孝人  
栗田和好  
村田次郎

中野祐司  
立花隆行  
飯村俊

椎名陽子

### 宇宙地球系物理学研究室

北本俊二  
田口真  
亀田真吾

山田真也  
中山 陽史  
桑原 正輝

一戸悠人  
佐藤 寿紀  
**実験技術員** 須賀一治



# 理論物理学研究室

## 原田知広 一般相対論とその宇宙物理学・宇宙論への応用

教授



居室 4号館3階4331

専門分野 宇宙物理学

研究テーマ

・ブラックホール物理学、重力波、原始ブラックホール、重力崩壊、自己相似解、時空特異点

2022年度担当科目

統計力学1、理論物理学講義1(相対論)、重力特論、波動と量子、統計力学2、重力特論など

オフィスアワー 火曜昼休み

アカデミックアドバイザー 1年生

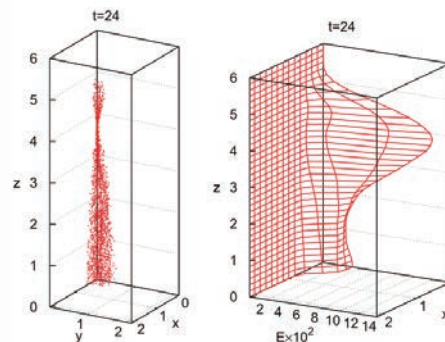
一般相対論に代表される重力法則は、太陽や地球の重力場はもちろん、宇宙の運動方程式を与え、中性子星の強重力場を記述し、光さえも出られないブラックホールを予言し、さらに時空のゆがみの伝播としての重力波を予言します。一般相対論は、単に理論的に美しいだけでなく、観測事実を極めて精密に説明することが実証されており、宇宙物理学・宇宙論の様々な状況において非常に重要な応用を持っています。最近の観測技術の進展は宇宙が加速膨張していることを発見し、ついに2016年2月には重力波の直接検出の成功が発表されました。さらに、他の物理学や数学と関連した幅広い研究がなされています。ワームホールやタイムマシンを物理学として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、現代の「一般相対論」分野です。

最近私は宇宙初期に形成される原始ブラックホールの研究を進めてきました。原始ブラックホールは観測によって初期宇宙を知る手がかりとなる貴重な存在です。私は、重力崩壊に関する知見を駆使してインフレーション起源の密度揺らぎによるブラックホール形成を研究しています。これからは重力波宇宙物理学の研究をさらに押し進めようと考えています。

私の研究室では、一般相対論・宇宙物理学・宇宙論全般に広く興味を持って研究を行っています。卒業研究生・大学院生は、多彩なテーマの中から、相談の上でテーマを設定し研究を進めています。

最近の論文・著書等

- Masashi Kimura, Tomohiro Harada, Atsushi Naruko and Kenji Toma, "Backreaction of Mass and Angular Momentum Accretion on Black Holes: General Formulation of the Metric Perturbations and Application to the Blandford-Znajek Process," accepted for publication in PTEP.
- Takuya Katagiri and Tomohiro Harada, "Stability of small charged anti-de Sitter black holes in the Robin boundary," CQG 38 (2021) 13.
- Tomohiro Harada, Chul-Moon Yoo, Kazunori Kohri, Yasutaka Koga and Takeru Monobe, "Spins of primordial black holes formed in the radiation-dominated phase of the universe: first-order effect," ApJ 908 (2021).
- Chul-Moon Yoo, Tomohiro Harada, Shin'ichi Hirano and Kazunori Kohri, "Abundance of Primordial Black Holes in Peak Theory for an Arbitrary Power Spectrum," PTEP 2021 (2021) 013E02.



3次元数値相対論でとらえた紡錘特異点の形成  
(Yoo, Harada, Okawa (2017) Fig. 3 より)



# 小林 努 宇宙論：宇宙進化史の理論的研究

教授



**居室** 4号館3階4328  
**専門分野** 宇宙論・一般相対論・宇宙物理学  
**研究テーマ**  
・インフレーションなど初期宇宙の研究  
・拡張された重力理論の研究  
**2022年度担当科目**  
解析力学、理論物理学講究3(宇宙物理学)など  
**オフィスアワー** 火曜昼休み  
**アカデミックアドバイザー** 2年生

## 最近の論文・著書等

- ・"重力理論の拡張について～一般相対論を修正する必要があるのか？～" (数理学 2022年7月号 No.709 宇宙の謎と魅力 先端研究で読み解く現代宇宙論)
- ・"Cosmological gravity probes: connecting recent theoretical developments to forthcoming observations" Shun Arai, et al. e-Print: 2212.09094 [astro-ph.CO]
- ・"How does SU(N)-natural inflation isotropize the universe?"
- ・Tomoaki Murata, Tomohiro Fujita, Tsutomu Kobayashi e-Print: 2211.09489 [gr-qc]
- ・"Testing gravity with the cosmic microwave background: constraints on modified gravity with two tensorial degrees of freedom"
- ・Takashi Hiramatsu, Tsutomu Kobayashi, JCAP 07 (2022) 07, 040.

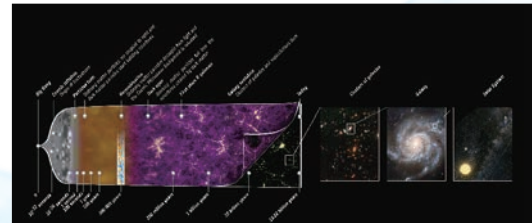
宇宙はどのようにして始まったのか？宇宙は何からできているのか？宇宙はどのように進化して現在の姿になったのか？物質の起源は？私が専門とする宇宙論は、このような根源的な問いに物理学の言葉で答えることを目指している研究分野です。

私は、特に初期宇宙の物理過程に興味を持って研究しています。初期宇宙には、インフレーションと呼ばれる急激な加速膨張期があったことが確実視されています。これによりビッグバン宇宙論の諸問題が解決されますし、星や銀河などの構造の「種」となる初期揺らぎを量子論的な過程を通して生成することもできるのです。しかし、何がインフレーションを引き起こしたのか、その具体的機構の特定には未だいたっていません。私は、インフレーション宇宙を記述する最も一般的な理論を構築することで、誕生間もない宇宙におけるさまざまな物理現象の解明を進めています。

宇宙の加速膨張とダークエネルギーも、私が興味を持っている研究テーマのひとつです。Ia型超新星の観測によって現在の宇宙が加速膨張していることが明らかになりました。これは、現在の宇宙のエネルギー密度の大部分が正体不明のダークエネルギーなるもので占められていることを示唆します。なにもかわからない「なにか」がある、ということだけが分かっているのです。この研究テーマは、宇宙全体のような大スケールを支配する重力の理論は、そもそも本当に一般相対論なのか？という問いに繋がっていきます。私は、一般相対論を超えて拡張された重力理論を探索し、その可能性をさまざまな角度から検討・検証してい

ます。特に最近では、「理論的整合性をもつ最も一般的な高階微分重力のラグランジアンはどのようなものか？」という問題に興味をもって研究しています。

宇宙に関する根源的な疑問を理論物理学の立場から追いかけてたい人、紙とペンやコンピュータで計算することが大好きな人はぜひ研究室の扉を叩いてみてください。



明らかになりつつある宇宙創生から現在にいたるまでの宇宙進化史

# 中山 優 場の量子論・超弦理論

准教授



**居室** 4号館3階4333  
**専門分野** 場の量子論・超弦理論  
**研究テーマ**  
・共形場理論に基づく臨界現象・量子重力理論の理解  
**2022年度担当科目** \*研究休暇  
卒業研究、修士論文指導  
**オフィスアワー** 研究休暇中のためなし  
**アカデミックアドバイザー** 3年生

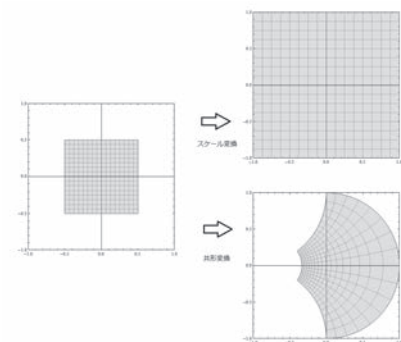
## 最近の論文・著書等

- ・Y. Nakayama "Bootstrapping critical Ising model on three-dimensional real projective space," Phys. Rev. Lett. 116(1), 14, 141602 (2016)
- ・Y. Nakayama and Y. Nomura, "Weak gravity conjecture in the AdS/CFT correspondence," Phys. Rev. D 92, no. 12, 126006 (2015)
- ・Y. Nakayama and H. Ooguri, "Bulk Locality and Boundary Creating Operators," JHEP 1510, 114 (2015)

ミクロな量子系からマクロな重力理論まで自然界には階層構造が備わっています。一見すると極小の物理と極大の物理にはなんの関係もなさそうです。しかし、現代物理学の柱であるくりこみ群の考え方と量子場の理論と重力理論を統一した量子重力理論、例えば超弦理論によれば、両者は普遍的な性質によって支配されていることがわかってきています。この新しい宇宙観は、20世紀に開発された「臨界現象の普遍性」をさらに推し進めた現代物理学の最先端のテーマになっています。

ここ数年、私の研究テーマの柱の一つは「スケール不変である場の理論は共形変換で不変であるか？」という疑問でした。海岸線の形状、ローマンブロッコリー、そして株価の変動。私たちの世界は、拡大・縮小して眺めてもその性質を保ち続ける「スケール不変性」という性質を持った現象で満ち溢れています。スケール不変な相対論的量子場の理論は「共形不変性」と呼ばれるより大きな対称性を持つと信じられてきました。この信仰は一体正しいのでしょうか？私はこの長年の疑問に、超弦理論に立脚して決着をつけたいと思っています。

スケール不変な理論は共形不変であると認めると、近年開発された「共形ブートストラップ」という強力な手法によって、3次元の臨界現象をはじめ多くの物理学の難問が「解けて」しまいます。臨界現象は「共形仮説」によって単なる「スケーリング仮説」とは比較にならないくらい強い制限に縛られているのです。私は、この手法によって、QCDやフラストレーションをもった磁性体の相転移、そして、量子スピン系の量子相転移などへ新しい視点から非摂動的な知見を与えることに成功しました。今後の課題として、この共形不変性の背後に潜むくりこみ群の性質を超弦理論の観点から見直すことで、量子重力の根源的な構造を明らかにしたいと思っています。



スケール対称性と共形対称性

# 初田泰之

准教授



**居室** 4号館3階4324  
**専門分野** 数理解物理学、超対称な場の量子論、超弦理論  
**研究テーマ**  
・スペクトル問題と超対称性  
・ブラックホール摂動論の数理  
・非摂動効果とリサージェンス理論  
**2022年度担当科目**  
物理数学1、波動と量子、量子場理論、素粒子特論1、理論物理学講義2（素粒子論）  
**オフィスアワー** 月曜昼休み  
**アカデミックアドバイザー** 4年生

理論物理学の面白さに魅せられて研究を続けてきました。理論物理学の魅力の一つは「自由さ」です。理論の研究では物理的な制約がないため、ある意味で何でもありの世界です。自己の責任において、あらゆる研究テーマを自由に設定できます。

私の専門は量子力学、場の量子論及び弦理論周辺に現れる数理解物理学です。現在は理論物理の様々な分野に現れるスペクトル問題（固有値問題）をこれらの理論を用いて如何にして調べるかに特に興味を持っています。

量子力学、場の量子論そして弦理論は微視的世界を記述するために作られた理論です。量子力学における基礎方程式はシュレーディンガー方程式ですが、この方程式とよく似た方程式は量子力学とは直接関係しない巨視的世界にもしばしば現れます。つまり量子力学で発達した手法は、分野を超えて様々な問題へ応用でき、逆もまた然りです。特に一見無関係に思われるブラックホールの解析に量子力学の方法が利用できることを知ったときは驚きました。このような隠れた共通の数理構造を利用すると、これまで解けなかった問題を解くことができる可能性があります。このことは「先入観に囚われない」、「一面だけでなく多面的なものごとを見る」、「異分野の人々と交流する」など人生においても大切な教訓を与えてくれています。

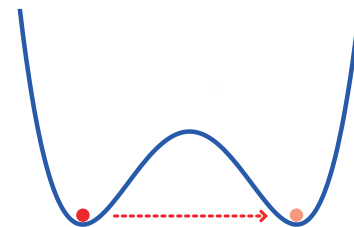
量子力学にはトンネル効果という古典力学では許されないポテンシャル壁のすり抜け現象がありま

## 最近の論文・著書等

- ・ "An alternative to the Teukolsky equation," Y. Hatsuda, Gen. Rel. Grav. 53 (2021) 10, 93.
- ・ "Quasinormal modes of Kerr-de Sitter black holes via the Heun function," Y. Hatsuda, Class.Quant.Grav. 38 (2020) 2, 025015.
- ・ "Quasinormal modes of black holes and Borel summation," Y. Hatsuda, Phys.Rev.D 101 (2020) 2, 024008.

す。トンネル効果は現実でも普遍的に見られる物理現象で、例えば量子コンピュータにも利用されています。トンネル効果の理論的側面として、非摂動補正、インスタントンの物理、リサージェンス理論など大変豊かな構造の世界が広がっています。

最近では量子計算や量子情報理論などにも興味を持っています。重力の量子論を理解する上で重要な役割を果たすと思うからです。今後も自由な発想で、分野の垣根を超えて研究を進めたいと思います。



トンネル効果は粒子があたかもポテンシャルの壁をすり抜けるかのような量子力学特有の物理現象です。原子核の崩壊、超伝導量子ビット、走査型トンネル顕微鏡などに見られます。シンプルな現象でありながら、数理解物理学としても大変興味深い研究対象です。

# 鈴木健太

助教



**居室** 4号館3階4326  
**専門分野** 場の理論、弦理論、量子重力理論  
**研究テーマ**  
・低次元系でのAdS/CFT対応と、それに関連した場の理論と弦理論  
**2022年度担当科目**  
物理数学2、物理学演習4、コンピュータ実験2  
**オフィスアワー** 月曜昼休み

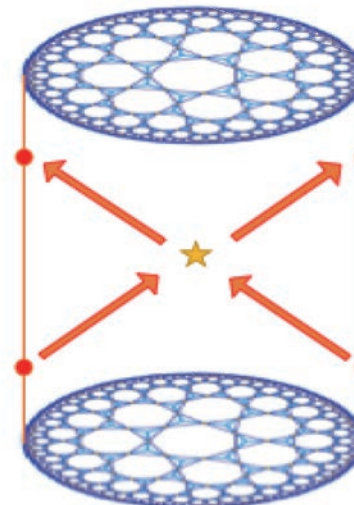
## 最近の論文・著書等

- ・ "Brane dynamics of holographic BCFTs", Keisuke Izumi, Tetsuya Shiromizu, Kenta Suzuki, Tadashi Takayanagi, Norihiro Tanahashi, JHEP 10, 050 (2022)
- ・ "Factorizing wormholes in a partially disorder-averaged SYK model", Kanato Goto, Kenta Suzuki, Tomonori Ugajin, JHEP 09, 069 (2022)
- ・ "JT gravity limit of Liouville CFT and matrix model", Kenta Suzuki, Tadashi Takayanagi, JHEP 11, 137 (2021)

ブラックホールの事象の地平面内では、古典的には光ですら脱出することができない空間の極限領域となっていますが、一方で、量子論を適用するとホーキング放射により、ブラックホールは蒸発することが知られています。しかし、ホーキング放射は完全にランダムな熱輻射であるために、一度ブラックホールに飲み込まれた情報は完全に喪失してしまうのではないか、というブラックホール情報喪失問題が存在します。この問題は、量子重力理論の根本に関わる、現代物理学の最大の難問と考えられています。近年この問題の解決に向けた重要な発展が、「ブラックホールの事象の地平面の内側と外側の自由度は独立ではない」という考えのもとで、AdS/CFT対応を用いて展開されました。AdS/CFT対応は、ゲージ・重力双対性（または、ホログラフィー原理）の1例であり、曲率が負である反ド・ジッター空間での量子重力理論を、時空の次元が1つ少ない重力を含まない場の理論と対応させる関係性であります。

私の現在の主な研究対象は、低次元系でのAdS/CFT対応及び、ゲージ・重力双対性です。代表例としては、Sachdev-Ye-Kitaev (SYK) モデル、Jackiw-Teitelboim (JT) 重力理論、リウヴィル場理論、ランダム行列理論などです。これら低次元モデルは、上記のブラックホール情報喪失問題の進展にも大きく寄与しました。低次元系モデルを考える一つの利点は、対称性を増やし、解析能力を高めることができる点です。私の研究目標は、これら解析性の高い低次元モデルを最大限活用して、未だに謎の多い量子重力理論の構造の解明に貢献していくことです。

# AdS/CFT 対応と量子重力理論



AdS/CFT対応の概念図：円柱内部の反ド・ジッター空間 (AdS) での量子重力の現象を、円柱の境界に存在する共形場理論 (CFT) の言葉で記述できる。



# 平松尚志

助教



居室 4号館3階4335

専門分野 宇宙論

研究テーマ

- ・初期宇宙における超高エネルギー物理現象
- ・宇宙論的背景重力波
- ・宇宙マイクロ波背景放射
- ・拡張された重力理論の検証

2022年度担当科目

物理入門ゼミナール、物理学演習2・3、  
コンピュータ実験1、物理数学3、宇宙物理概論

オフィスアワー 水曜昼休み

生まれて間もない頃の宇宙は、非常に高温・高密度の世界で、宇宙の再加熱（ビッグバン）や、真空の相転移に伴う宇宙論的位相欠陥の出現など、今では想像もできないくらい激しい物理現象に満ちた世界でした。このような超高エネルギー現象は、地球上のあらゆる巨大な物理実験設備を用いても、到底、再現することができません。これを、様々な数値シミュレーションを駆使して解明するのが、私の研究分野である数値宇宙論です。

キーとなる観測手段は、宇宙マイクロ波背景放射と背景重力波です。宇宙膨張に伴って宇宙の温度が低下し、宇宙誕生から38万年経つと、光子と電子との結合が切れ、光子が自由に運動できるようになります（宇宙の晴れ上がり）。この時の光子は、138億年経った今も電波として観測することができ、これを宇宙マイクロ波背景放射（CMB）と呼んでいます。これは、観測可能な光子のうち、宇宙で最も古い光子であり、宇宙の晴れ上がりのころから現在に至るまでの様々な情報を得ることができます。

宇宙が晴れ上がるよりも前は、電磁波を用いて観測することはできません。そこで重要になるのが重力波です。宇宙の再加熱や宇宙論的位相欠陥といった現象は、大きな重力波を生み出します。その重力波は、背景重力波として我々の周りをいまま漂っています。背景重力波は宇宙の晴れ上がりよりも遥かに前の宇宙の情報を我々にもたすため、宇宙の歴史だけでなく、たとえば大統一理論や超弦

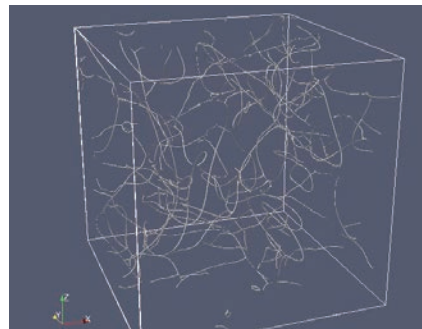
## 数値宇宙論に基づく初期宇宙の解明

最近の論文・著書等

- ・"New Type of String Solutions with Long Range Forces", Takashi Hiramatsu, Masahiro Ibe, Motoo Suzuki, J. High Energy Phys. 02 (2020) 058
- ・"Testing Seesaw and Leptogenesis with Gravitational Waves", Jeff A. Dror, Takashi Hiramatsu, Kazunori Kohri, Hitoshi Murayama, Graham White, Phys.Rev.Lett 124 (2020) 041804"
- ・Hunting for Statistical Anisotropy in Tensor Modes with B-mode Observations", Takashi Hiramatsu, Shuichiro Yokoyama, Tomohiro Fujita, Ippei Obata, Phys.Rev.D 98 (2018) 083522

理論の検証などといったことも可能にしてくれます。

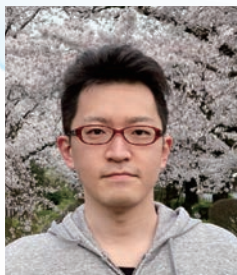
私の研究では、こういった超高エネルギー物理現象をコンピュータ上で実際に再現し、CMBへの影響や重力波スペクトルの理論予言などを行っています。



宇宙論的位相欠陥の一種である宇宙紐のシミュレーション

# 石井 貴昭

助教



居室 4号館3階4326

専門分野 素粒子論、弦理論、重力理論

研究テーマ

- ・AdS時空のブラックホール
- ・弦のダイナミクスと非線形性・カオス

2022年度担当科目

物理数学1、物理数学特論、物理学演習2・3、コンピュータ実験1・2

オフィスアワー 水曜昼休み

物理現象は時空で起こりますが、その舞台となる時空はどのようなものなのでしょうか。私たちは時間+空間3次元の4次元時空に住んでいますが、なぜこのようにうまく存在できているのでしょうか。量子重力の最有力候補である超弦理論では時空が10もしくは11次元であることが予想され、その文脈に基いて私たちは様々な時空を考えることが動機づけられます。そしてまた、超弦理論の発展において発見されたゲージ・重力双対性という考えでは、負の宇宙項を持つAdSという時空が登場して重要な役目を担い、理論的に興味深いダイナミクスが発見されています。私は、ゲージ・重力双対性に関連した様々な時空における場の量子論と重力理論について、幅広く興味を持って研究しています。時空に興味を持ついち研究者としての大きな夢は、これらの研究の行く果てに、私たちの世界がなぜ4次元時空でそしてその4次元がどのように特別なかを理解することです。

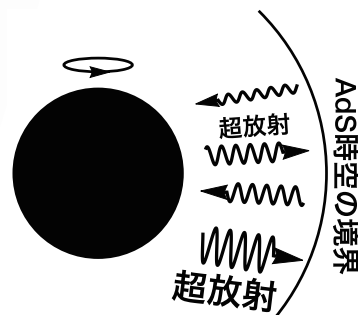
最近、高次元AdS時空での重力とブラックホールに興味を持った研究を主におこなっています。「ブラックホールは毛が三本」と言われることがありますが、これは漸近平坦な4次元で重力と電磁気力のみを含む系ではブラックホールは質量、電荷、角運動量の三つの物理量だけで特徴づけられるという唯一性に関する定理です。他方、高次元時空やAdS時空のような拡張された時空ではこの定理の前提条件がみたされず、そのために様々な面白いブラックホールや現象があります。とりわけ、AdS時空の回転ブラックホールについては、増幅する重力波によりブラックホール自体が大幅に変更する超放射不安定性という現象が起こり、その結果、共鳴

## ゲージ・重力双対性と関連する素粒子・重力理論

最近の論文・著書等

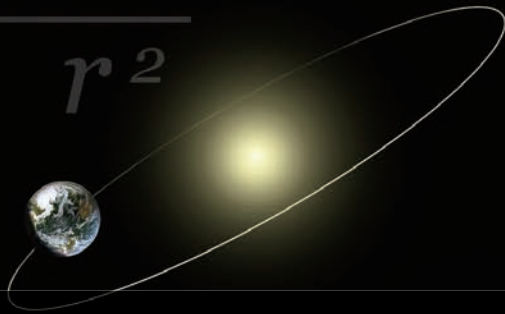
- ・"Energy extraction from AdS black holes via superradiance", Takaaki Ishii, Youka Kaku, and Keiju Murata, JHEP2210(2022)024
- ・"Chaotic string dynamics in deformed  $T^{1,1}$ ", Takaaki Ishii, Shodai Kushiro, and Kentaroh Yoshida, JHEP 2105 (2021) 158
- ・"Multioscillating black holes", Takaaki Ishii, Keiju Murata, Jorge E. Santos, and Benson Way, JHEP 2105 (2021) 011
- ・"Resonating AdS soliton", Markus Garbiso, Takaaki Ishii, and Keiju Murata, JHEP 2008 (2020) 136

振動する目新しいブラックホールが出現することがわかってきました。この現象に注目した研究が取り組んでいる課題の一つです。

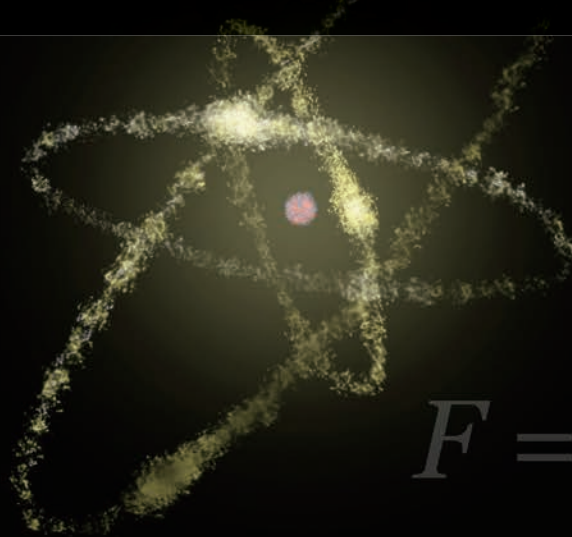


超放射不安定性の概念図：AdS時空では境界があるために超放射現象による増幅が続くことができ、不安定性が起こります。

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$



# 原子核・放射線物理学研究室



$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

## 平山孝人 表面物理学：固体表面における電子的励起・崩壊過程の実験的研究

教授



居室 4号館1階4140

専門分野 表面物理学・原子分子物理学

研究テーマ

- ・希ガスクラスターの電子的励起過程の観測
- ・希ガス固体における電子遷移誘起脱離過程の実験的研究

2022年度担当科目

物性概論, 熱力学, 理数教育企画, 科学英語1など

オフィスアワー 月曜昼休み

アカデミックアドバイザー 2年生

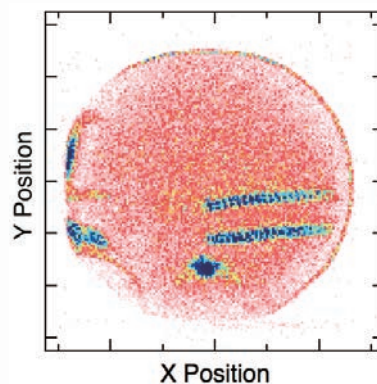
私は以前からさまざまな様態の希ガスを対象とした研究を行ってきました。希ガス原子は「不活性ガス」と呼ばれることが示す通り、それ自身単体で安定に存在する単原子

分子です。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ます。そのため、原子数が最小の極限である孤立した原子、および最大の極限である固体、またその中間であるクラスター（有限個の原子が集まった粒子）という3つの状態を「電子的励起過程」という一つのキーワードで統一的に理解することが可能であると考えています。

私の研究室では、希ガスクラスター・希ガス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ます。原子が数十個～数千個集まった粒子であるクラスターに電子を衝突させ、跳ね返ってきた電子のエネルギーを測定することで、クラスター中でどのような励起過程が起きたのかを知ることができます。このような測定をクラスターの原子数（サイズ）を変えて行なうことで、たかだか100個程度の原子しかない粒子でも「固体」の性質を示すことが明らかになりました。また希ガスの固体表面に低エネルギーの電子・光・イオンを入射することによって飛び出してくる（脱離）粒子の持つ質量やエネルギーなどの情報から、固体表面においてどのような励起過程やその崩壊過程が起きているのか、また固体からどのような過程を経て粒子が飛び出してくるのかを知ることができます。

最近の論文・著書等

- ・ "Construction of coincidence measurement system of desorbed ions and scattered projectiles from surfaces of noble gas solids induced by slow multiply-charged ion impact", H. Sawa, S. Uchida, H. Ueta, and Takato Hirayama, X-Ray Spectrom. 49, (2020) 91.
- ・ "New ion desorption mechanism from rare gas solids by multiply charged ion impacts", K. Ban, M. Akiwa, H. Ueta, T. Tachibana, and T. Hirayama, Fiz. Nizk. Temp./Low Temp. Phys. 45, (2019) 850.
- ・ "Development of a UHV-compatible low-energy electron gun using the photoelectric effect", H. Sawa, M. Anazai, T. Konishi, Takayuki Tachibana, and Takato Hirayama, J. Vac. Soc. Jpn. 60, (2017) 467-70.



Ar<sup>6+</sup>をNe固体表面に入射した際の反射イオンの価数スペクトル。6価のイオンが固体表面で電荷交換をして、中性Ar原子とAr<sup>+</sup>イオンになっていることがわかる。



# 栗田和好 究極の物質の探求

教授



居室 13号館地階 CB05

専門分野 原子核実験

研究テーマ

・不安定核構造

・QCD 物理

2022年度担当科目

力学1, 基礎物理学演習1, ハドロン物理学, 原子核概論

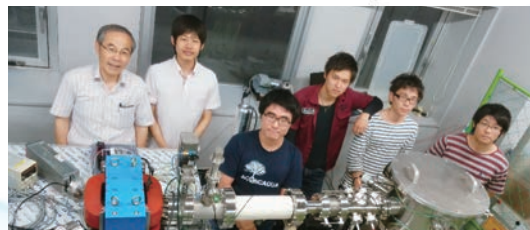
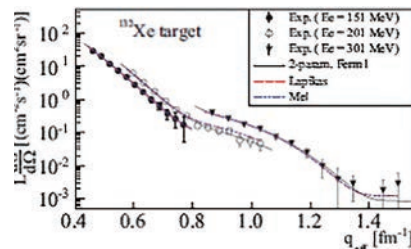
オフィスアワー 木曜昼休み

アカデミックアドバイザー 4年生

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。我々はそのために、連携大学院を結んでいる理化学研究所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。とくに、我々がこれまで開発してきた SCRIT 法は不安定核を浮遊ターゲットとして電子散乱実験を可能にする手法で、この手法を用いて不安定核内部の構造の探求を世界に先駆けて開始したところである。修士、博士論文を書くトピックとしては格好のテーマであり、研究者を目指す学生の皆さんをはじめ新たな物理学進展の瞬間に臨みたいと思う人をおおいに歓迎する。なお、学部4年生の理化学研究所での実験参加も可能である。

最近の論文・著書等

- ・ "FRAC: Fringing-RF-field-activated dc-to-pulse converter for low-energy ion beams", M. Wakasugi, M. Togasaki et al. Rev. Sci. Instr. 89,(2018)095107
- ・ "First elastic electron scattering from  $^{132}\text{Xe}$  at the SCRIT facility" K. Tsukada, K. Kurita et al., Phys.Rev.Lett. 118 (2017)
- ・ "The SCRIT electron scattering facility project at RIKEN RI beam factory", T. Ohnishi, K. Kurita et al. Phys. Scripta T166 (2015) 014071



上: SCRIT 電子散乱実験初の物理結果  
下: イオン照射装置前で集合写真。11

# 村田次郎 時空対称性の精密検証

教授



居室 13号館6階 C607

専門分野 原子核・素粒子物理学、重力物理学

研究テーマ

・基本相互作用のもつ対称性の研究・標準模型を超える物理の探索

・近距離での重力の研究・余剰空間次元の探索

2022年度担当科目

コンピュータ実験1/2, 原子核物理学、

物理計測論、原子核概論

オフィスアワー 水曜昼休み

アカデミックアドバイザー 1年生

「時間と空間」、そして「物質と力」という物理学の究極の性質を明らかにする事を目標に、実験的な研究を行っています。時間反転対称性の破れ探索実験と、余剰次元の探索実験という、私たち自身が発明した装置を用いる事で他人には真似の出来ない研究を進めています。

巨大加速器実験による探索は高エネルギー化によって信号を増幅する正攻法ですが、私たちは小さな信号を超精密計測によって小さいまま雑音から見つける、アイデア勝負の小規模実験での挑戦を行っています。時間反転対称性はノーベル賞を獲得した小林・益川模型によってわずかな破れが予想されていますが、その破れではこの宇宙に物質に比べて反物質が非常に少ない説明が出来ません。私たちは、この矛盾を解決する、超対称性理論などが予言する大きな時間反転対称性の破れの探索を、カナダのパンクーバーにある TRIUMF 研究所にて世界最高精度で進めています。「時間に特別な向きがあるかどうか」という問いに対して、最も厳しい答えを持っているのは我が研究室なのです。

一方、画像処理技術を駆使する事で物体の位置をピコ精度で観測する技術を開発し、それを用いた独自の方法で我々の4次元時空を超える、超弦理論などが要求する一方で実験的には未発見の、余剰次元の存在を重力の逆二乗則の検証という方法で探索しています。これまでに時間反転の装置を応用した新たな実験で、時空の歪みを利用した原子核スケールでの逆二乗則の検証を初めて成功させた他、ミリメートルでの余剰次元の存在に対して明確な答えを出すことに成功しました。

現在は、時間反転対称性を前人未到の超高精度で新たに検証し、余剰次元のミクロンスケールでの探索に挑戦しています。面白い事は何でも挑戦する、そんな研究室で世界を舞台に楽しく研究しています！

最近の論文・著書等

- ・ "The MTV experiment: searching for T-violation in polarized Li-8 at TRIUMF", Hyperfine Interact (2016) 237:125
- ・ "A new measurement of electron transverse polarization in polarized nuclear  $\beta^-$ -decay", Modern Physics Letters A Vol. 32, No. 10 (2017) 1750058
- ・ 日本経済新聞 2016年6月5日朝刊 「5次元世界そこにあるかも」
- ・ Newton 2016年1月号「特集 高次元『特別インタビュー1』」
- ・ コズミックフロント「重力の神秘」NHK-BS 2014年11月
- ・ ガリレオX「世界は本当に三次元か？」BS フジ 2013年10月 他



大学院生を中心としたカナダでの時間反転対称性の検証実験の研究チーム



# 中野祐司 原子分子スケールで探る宇宙

准教授



**居室** 13号館6階C609  
**専門分野** 原子分子物理学, 実験室宇宙物理学  
**研究テーマ**  
・宇宙の物質進化に関する実験的研究  
・加速器を使った高エネルギー原子物理  
**2022年度担当科目**  
力学2, 基礎物理学演習2, 物理入門ゼミナール,  
原子分子物理学, 物理学実験(化)  
**オフィスアワー** 火曜昼休み  
**アカデミックアドバイザー** 3年生

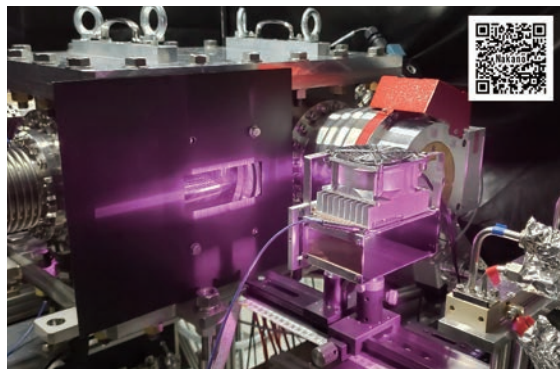
## 最近の論文・著書等

- ・ "Photodetachment Spectroscopy of Highly Excited  $C_2^-$  and Their Temporal Evolution in the Ion Storage Ring RICE", J. Phys. Soc. Jpn. 91, 084302 (2022)
- ・ "極低温静電型イオン蓄積リングの開発と冷却分子イオンの物理", 日本物理学会誌「解説」77, 346 (2022)
- ・ "Photodissociation spectroscopy of  $N_2O^+$  in the ion storage ring RICE", J. Chem. Phys. 153, 184305 (2020)
- ・ "Radiative cooling dynamics of isolated  $N_2O^+$  ions in a cryogenic electrostatic ion storage ring", Phys. Rev. A 102, 023119 (2020)

ビッグバンから約38万年後に水素原子が作られ、星・惑星系や生命の誕生に至るまで、物質はどのように誕生し、進化してきたのでしょうか？その過程には未だ多くの謎が残されています。さらに、近年驚異的に進歩する天文観測技術によって、これまで見えなかった新しい宇宙の姿が次々と露わになってきています。

遠く離れた天体やこれらの誕生する星間雲、さらに宇宙初期の原始ガスやブラックホール近辺などなど、宇宙空間にどのような物質が存在し、何が起きているのでしょうか。これを知るためには、遙か彼方の物質や物理現象を原子分子スケールで理解することが重要です。当研究室では、このようなミクロな視点から壮大な宇宙の姿を明らかにしていくことを目指し、原子・分子・光を用いた実験的研究を行っています。

星間空間に存在する、または存在すると考えられる様々な物質を単一の原子分子レベルで超高真空中に取り出し、その量子力学的な構造や振る舞いを実験的に調べています。単に固有の物質について知りたいのではなく、その背景にある共通の「物理」を知ることで、現象の本質を理解し、物質的観点に立って宇宙の全体像と進化過程を解明することが目的です。単一の原子や分子、光子は目で見ることも手で操ることもできませんが、最先端のビーム制御技術やレーザー光源、極低温技術を駆使して新しい実験手法の開拓に日々挑戦しています。



大強度の半導体レーザーを用いた高速水素原子ビーム生成装置の写真。宇宙空間の原子分子過程で重要となる「水素原子と星間分子の衝突反応」を真空装置内に再現して調べることで、遙か彼方の星間雲や星の誕生領域で起こっている現象を突き止める。

# 立花隆行

助教



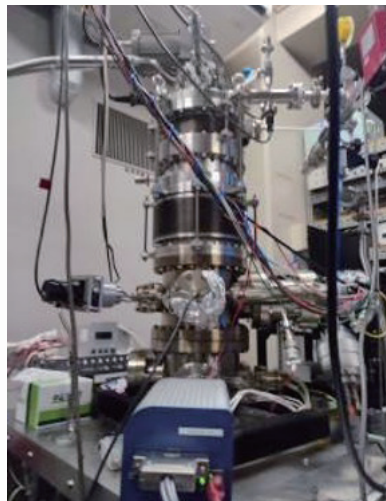
**居室** 13号館6階C606  
**専門分野** 表面物理学  
**研究テーマ**  
・低温金属表面における電子遷移誘起脱離  
・陽電子消滅誘起イオン脱離  
**2022年度担当科目**  
物理学実験2  
**オフィスアワー** 木曜昼休み

## 最近の論文・著書等

- ・ "陽電子-電子対消滅による固体表面からのイオン脱離", 日本物理学会誌「最近の研究から」76巻(2021)11号.
- ・ 表面分析ハンドブック "陽電子消滅誘起脱離法", (2021年, 朝倉書店).
- ・ "New ion desorption mechanism from rare gas solids by multiply charged ion impacts" Low. Temp. Phys. 45, (2019) 727-731.
- ・ "Efficient and surface site-selective ion desorption by positron annihilation", Sci. Rep. 8, (2018) 7197-1-7.

電子、光子、イオンなどのビームが固体に入射すると、多様な形でエネルギーの移行が起こる結果として固体の表面を構成する原子や分子が真空中に放出(脱離)することがあります。この現象はビームと固体表面の相互作用に現れる最基礎な反応であり、その過程を理解することは原子や分子の動的反応を解明する上で極めて重要です。立教大学には、レーザープラズマ真空外光源、ECR型多価イオン源、低エネルギー電子線源などの複数のビーム源があり、これらを利用して研究を進めています。

また、電子の反粒子である陽電子のビームを用いた研究も進めています。陽電子は電子と出会うと対消滅を起こしますが、陽電子が固体に入射した場合には固体内の電子とはすぐには消滅せずに、陽電子が好む元素周辺に集まった後に対消滅するという性質を持っています。最近の研究から、この性質をうまく利用すると固体表面の特定の元素を選択的に脱離させることが可能であることが明らかになってきました。この現象を応用することで、将来的には物質表面を原子レベルで加工する技術に新しい手法を提案できるのではないかと期待しています。

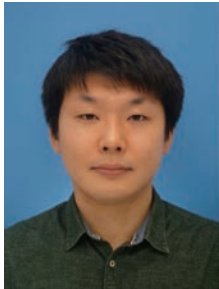


低温金属表面における吸着等温線を測定するための極高真空装置



# 飯村俊

助教



居室 4号館2階4267

専門分野 原子核構造学

研究テーマ

- ・電子散乱で見る原子核
- ・精密質量測定による核の新魔法数の研究
- ・崩壊核分光による原子核構造の研究
- ・宇宙元素合成 r-process の研究

2022年度担当科目

物理学実験1, 物理学実験(生), 物理学1

オフィスアワー 木曜昼休み

原子核はどんな形や大きさなのだろう？どんな性質の力が核を結びつけているのだろうか？そんな素朴で根源的な問いを解明するために、我々は実験的手法で研究しています。

原子核は、いくつかの陽子と中性子が核力で結合した有限量子多体系であり、その陽子数や中性子数が変化することで、質量・形・励起状態などで様々な性質が現れてくる不思議な物体です。特に魔法数(2, 8, 20, 28, 50, 82, 126)といった個数では、球形に強く結合していることが知られており、1949年にメイヤーとイェンゼン(1963年ノーベル物理学賞)によって理論的に解明されています。しかし近年、陽子数と中性子数のバランスが大きく崩れたエキゾチックな原子核(高アイソスピン核)において、既知の魔法数の消滅や、新しい魔法数の出現が観測され、その盛衰を解き明かすことは原子核研究の重要課題となっています。さらに、このミクロな不安定核の性質は、我々の身の回りにある元素が、宇宙のどこで・いつ・どのように生まれたのかを解き明かす鍵となっており、原子核物理学と宇宙物理学の分野を飛び越えた活発な議論がなされています。

我々はそのようなエキゾチックな原子核の構造を理解することを目指し、立教大、理化学研究所、カナダ TRIUMF 研究所、大阪などで、物理実験やそのための装置開発を日々行っています。

理研 RI Beam Factory においては、加速器を用いてエキゾチックな原子核を生成し、MRTOF 質量分析器という装置で100万分の1以上の精度で質量測定する実験、また、生成された原子核に電子ビームを照射して不安定核の電荷分布を測定する SCRIT 実験などを行っ

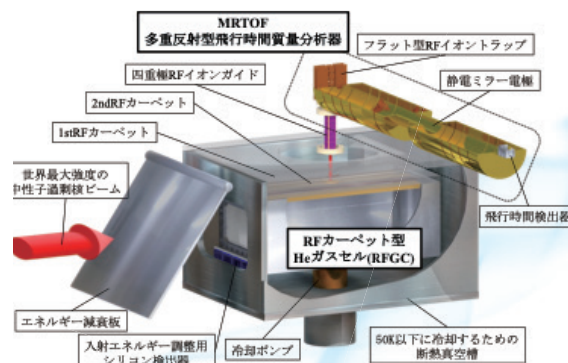
## 原子核の基本特性から探る核構造

最近の論文・著書等

- ・“Study of the N = 32 and N = 34 Shell Gap for Ti and V by the First High-Precision Multireflection Time-of-Flight Mass Measurements at BigRIPS-SLOWRI”, S. Iimura et al., Phys. Rev. Lett., Accepted on November 22, 2022
- ・“The new MRTOF mass spectrograph following the ZeroDegree spectrometer at RIKEN’s RIBF facility”, M. Rosenbusch et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 167824, (2022).

ています。

実験に向けたハードやソフトの技術開発も、大きなウエイトを占める研究なので、ものづくりが好きな人は大活躍できます！



理化学研究所のZD MRTOF装置。超電導リングサイクロトロンSRCと不安定核生成・分離装置BigRIPSで作られた高速不安定核ビームが左から入射してRF装置によって捕集され、低速ビームとして引き出された不安定核がMRTOFによって質量分析される。

# 椎名陽子

助教



居室 13号館6階C606

専門分野 原子分子物理学

研究テーマ

- ・低温移動度分析を用いた異性体を含む反応に関する研究

2022年度担当科目

物理学実験1, 物理学実験(化), 物理学実験(生)

オフィスアワー 水曜昼休み

宇宙の極低温・極低密度条件下での原子分子反応、特に異性体(構成原子が全く同じで、構造が異なる分子)を含む反応についての実験的研究に取り組んでいます。

現在の宇宙はどのように形成されたのでしょうか？星間空間の中でも低温で星間ガスや塵が濃い領域(分

子雲: 温度数10 K、密度10~10<sup>6</sup>個/cm<sup>3</sup>程度)には様々な分子が見つかり、分子雲、天体、惑星系、ひいては宇宙の成り立ちを知る重要な手がかりとして期待されています。観測技術の発展により大きな星間分子が発見されるにつれ、それらの分子の異性体に注目が集まっています。たとえば星間分子としてさまざまなシアノ基(-NC)をもつ化合物が見つかる一方、イソシアノ基(-CN)をもつ化合物はHCN以外ほぼ見つかっていません。また観測する領域ごとに異性体の存在比が異なるなど、未解明の謎が多く残っています。異性体間の構造の差は、分子雲における物質の進化および星・惑星系の形成過程においてどのように影響しているのでしょうか？これを解明するには、分子雲の極低温・極低密度条件下において、異性体が関わる化学反応の断面積や分岐比を詳細に調べる実験が必要不可欠です。

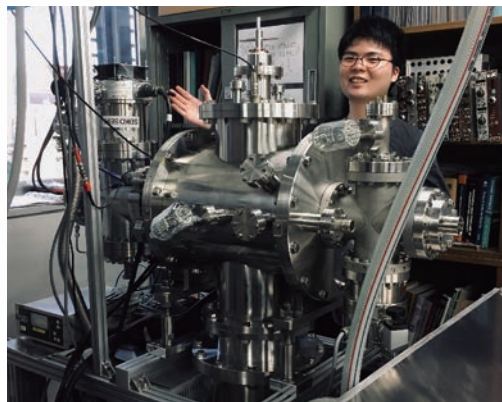
構成原子が同じで構造だけが異なる異性体は、質量が同じであるため、原子分子分野でよく用いられる電場や磁場を利用した質量分析では分けることができません。そこで、構造によって分子イオンを分別することができる、移動度分析という手法を発展させることで実験を行おうとしています。移動度分析装置を液体窒素温度に冷却することで従来よりも分解能を向上させ、温度可変のイオントラップを組み合わせることで特定の異性体を分別・蓄積する装置を開発し、極低温・極

## 分子雲での物質進化における分子構造の影響

最近の論文・著書等

- ・“Measurement of Auger electrons emitted through Coster-Kronig transitions under irradiation of fast C<sup>2+</sup> ions”, Y. Shiina et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, (2018).
- ・“Measurement of backward secondary-electron yield under molecular ion impact coincident with emerging projectiles”, S. Tomita, Y. Shiina et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 354, 109-111 (2015).

低密度条件下における異性体と水素分子などの反応速度定数の測定を行う計画です。異性体の構造と反応速度の関係から、分子雲における物質進化の過程を探ります。



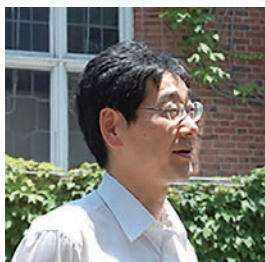
極低温・極低密度条件下における異性体と水素分子などの反応を調べるための移動度分析装置



# 宇宙地球系物理学研究室

## 北本俊二 X 線で宇宙を解明

教授



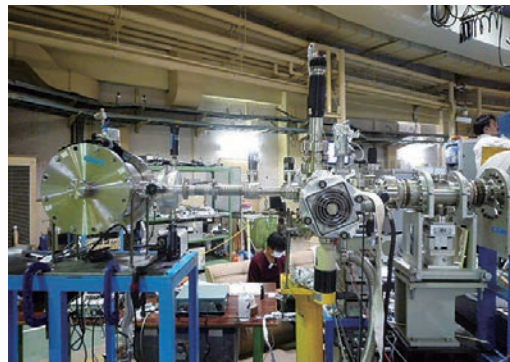
**居室** 13 号館 6 階 C613  
**専門分野** X 線天文学・X 線観測装置の開発  
**研究テーマ**  
・X 線天体の観測による研究  
・X 線干渉計・補償光学 X 線望遠鏡の開発  
**2022 年度担当科目**  
卒業研究 1、2、特別研究 3、  
宇宙物理学序論 1、宇宙放射線特論  
**オフィスアワー** 金曜昼休み  
**アカデミックアドバイザー** 4 年生

宇宙にはブラックホールと恒星が連星系をなしており、恒星のガスがブラックホールに流れ込み降着することで、X 線で輝いている天体があります。また、ブラックホールに中性子星が置き換わって同じように X 線で輝いている天体もあります。それらの天体では、いろいろな時間スケールで X 線の強度変動や、エネルギースペクトルの変動を示します。これらの変動は物質がブラックホールや中性子星に降着する様子を知る手がかりとなります。研究室では、人工衛星を使い、X 線でこれらの天体を観測することで、ブラックホールや中性子星に物質が降着する様子を研究しています。観測は人工衛星を使うので、人工衛星に搭載する機器の開発や試験も行っています。また、次を書くように、観測装置の独自開発も進めています。

X 線望遠鏡は、同口径の可視光の望遠鏡に比べて、理論的には遥かに高い角度分解能（回折限界）を持つことができます。ところが、技術的に大変難しく、理論的な限界には未だ誰も達していません。我々は、二つの方法で、高い分解能を持つ X 線望遠鏡の開発に挑戦しています。一つは、能動光学を用いる方法です。これは、「すばる望遠鏡」等で用いられている技術で、鏡の形状をコンピューターで制御することで、高い分解能を達成しようとする技術です。もう一つは、X 線干渉計です。天体からある波長の X 線を 2 箇所の鏡で受け止め合成し干渉させた場合、干渉の度合いは、2 箇所の鏡の間隔と天体の見かけの大きさにより決められます。従って X 線干渉計は普通の意味での撮像はできませんが、天体の大きさやある程度の形状を測定する事ができます。X 線干渉計を天体観測に応用しようとしているのは、今では世界中で我々だけです。そして、夢は世界に先駆けて X 線干渉計を実現しブラックホールの大きさを測定する事です。

### 最近の論文・著書等

- "X-ray transmission calibration of the gate valve for the X-ray astronomy satellite XRISM", Midooka, T., Tsujimoto, M., Kitamoto, S., et al, 2021, JATIS, 7, 028005
- "The Modulating Optical Depth of the Photoelectric Absorption Edge with a Pulse Phase in Accretion-powered X-Ray Pulsars", Yoshida, Y., and Kitamoto, S., 2019, ApJ, 280, 101
- "Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi", Hitomi Collaboration,... Kitamoto, S. et al. 2018,PASJ, 70,9
- "The Intensity Modulation of the Fluorescent Line by a Finite Light Speed Effect in Accretion-powered X-Ray Pulsars", Yoshida, Yuki; Kitamoto, Shunji; Hoshino, Akio, 2017,ApJ,849,116
- "Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster", Hitomi Collaboration,... Kitamoto, S. et al. 2017, Nature, 551, 478



2016 年に打ち上げた「ひとみ」衛星に搭載した、X 線検出器に使用した Be 窓の同等品を高エネルギー加速器研究機構の Photon Factory で較正実験している様子。



# 田口真 光で探る惑星大気

教授



居室 13号館6階C603

専門分野 惑星大気物理学

研究テーマ

- ・惑星大気ダイナミクスの研究
- ・惑星探査用光学センサー、気球搭載望遠鏡の開発

2022年度担当科目

電磁気学1.2、惑星大気物理特論、  
宇宙地球系物理概論、基礎物理実験など

オフィスアワー 月曜昼休み

アカデミックアドバイザー 2年生

惑星の大気中では様々な発光現象が起こっています。光は障害物がない限り光速で進み続け、遠く離れた場所に発光源の情報を届けてくれます。私たちの研究室では光を使った惑星大気の研究を行っています。2015年12月に金星周回軌道に投入された金星探査機「あかつき」は人類が初めて目にする金星の姿を地上に送り届けています。「あかつき」搭載中間赤外カメラが取得する金星大気上層の温度分布データを使った研究により金星大気ダイナミクスの新しい発見が続々と生まれています。

惑星の大気にもオーロラや雷など地球大気と同じような発光現象があります。しかし、惑星は遠く離れているので、詳しく調べるためには大型望遠鏡を使うか、探査機を飛ばして惑星に近づかなければなりません。また、微弱な光をとらえるためには、明るい光学系と高感度の光検出器が必要になります。私たちはそれらの光学技術を結集して、高度30kmの地球の成層圏から惑星大気を観測する気球搭載望遠鏡を開発しています。現在地上にある大型望遠鏡が成層圏に浮かんでいる様子を想像してみてください。私たちはそのような惑星観測の近未来を描いています。同時に、「あかつき」搭載中間赤外カメラや火星探査機「のぞみ」搭載水素吸収セルをベースに将来の太陽系探査での実用化を目指した新しい探査技術開発も行っています。

北極や南極で見られるオーロラは言葉で言い表せないほど美しく神秘的な発光現象です。その光には、発光する粒子やオーロラが発生する場所の物理状態に関する情報が含まれています。私たちの研究室では、アイスランドと南極昭和基地でのオーロラ観測によっ

最近の論文・著書等

- ・ Yamada, T., et al., Influence of the cloud-level neutral layer on the vertical propagation of topographically generated gravity waves on Venus, Earth Planets Space, 71:123, doi:10.1186/s40623-019-1106-7, 2019.
- ・ Horinouchi, T., et al., How is the super-rotation of Venus' atmosphere maintained by waves and turbulence, Science, 368, 405–409,

て得られたデータに基づいて、地球の超高層大気や磁気圏の研究を進めています。

宇宙や自然が好きな人、惑星探査機に自分の観測装置を載せてみたい人、南極や北極に行ってみたい人、是非私たちの研究室をのぞきにきてください。



JAXA 宇宙科学研究所特別公開「あかつき」ブースのお手伝い  
(2017年8月25日)。

# 亀田真吾 太陽系から、その外の惑星系へ

教授



居室 13号館6階C602

専門分野 惑星科学

研究テーマ

- ・はやぶさ2を使った小惑星の可視分光観測・含水鉱物検出
- ・火星衛星探査機搭載用望遠鏡・分光広角カメラの開発
- ・地球類似惑星検出のための紫外線分光観測手法の開発

2022年度担当科目

JAXA 宇宙科学技術講義、惑星物理学、宇宙の科学  
宇宙物理学序論など

オフィスアワー 月曜昼休み

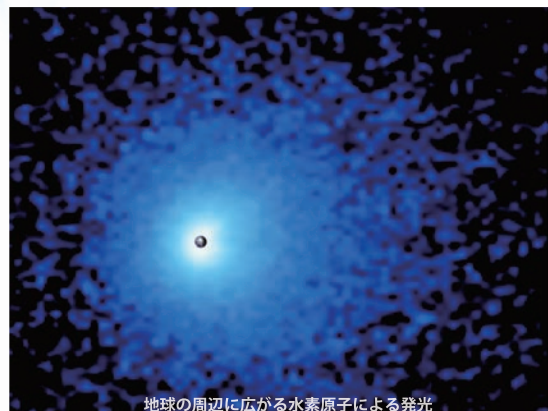
アカデミックアドバイザー 1年生

生き物がいて、文明を持つ惑星は地球以外には見つかっていません。太陽系のその他の惑星は何故地球とは異なる環境になったのでしょうか？特に生命にとって必要と思われる液体の水に注目して研究を進めています。地球の水は、微量の水分を含む小惑星によって、太陽系の外側からもたらされたと考えられており、そのような小惑星の1つがはやぶさ2が到達したリュウグウです。ここから物質を持ち帰り、始原物質とその状態を明らかにすることを目標としています。引き続き、さらにその外側にある小天体である、火星の月の探査が検討されています。同様に始原物質を手に入れることに加え、火星形成に関する情報を得ることを目標としています。本研究室では、学生のうちから積極的にこれらの探査計画に参加して成果を上げています。火星衛星探査では、はやぶさ2で出来なかったことを克服し、より性能の高い望遠鏡、分光観測カメラを用意し、より万全な形で試料採取を行いたいと考えています。これによって、地球生命の起源に迫ることを目的としています。

太陽系には我々人間のような生命体が他の天体上に存在しないことは明らかです。しかし、太陽系の外の惑星が既に3500個以上見つまっている状況です。地球と同じ位の大きさで、その系の太陽から受ける熱の量も丁度よいくらいと思われる惑星も見つっていますが、生命がいるかどうか、海があるかどうか、どのような大気を持っているか、については、全く情報が得られていません。本研究室では、まず生命に大きく関わる、海があ

最近の論文・著書等

- ・ Kameda et al. (2017), "Ecliptic North-South Symmetry of Hydrogen Geocorona", Geophysical Research Letters 44, 11,706-11,712
- ・ Sugita S., Honda R., Morota T., Kameda S. et al. (2019), "The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy", Science 364, 252



地球の周辺に広がる水素原子による発光

るかどうか、に迫るために、水素・酸素原子大気の観測を検討しています。2015年には、地球の水素原子大気が非常に遠方まで広がっている様子を捉えることができました(図)。これは地球に海(液体の水)があることと深い関係があります。地球の様な星があれば、同様に水素や酸素原子の大気が広がっていると考えられるため、それを推定するためのシミュレーションの研究とともに、宇宙での観測を目的とした観測装置の開発を進めています。



# 山田真也 観測的宇宙物理学と次世代 X 線観測装置開発

准教授



居室 4 号館 2 階 4203  
専門分野 高エネルギー天文学  
研究テーマ  
・ブラックホール観測  
・超伝導検出器  
・精密 X 線分光  
2022 年度担当科目  
物理学概論, など  
オフィスアワー 火曜昼休み  
アカデミックアドバイザー 3 年生

X 線は透過力が高いので、ブラックホール近傍を見透すことや、宇宙の中でも激しい現象を捉えるのが得意です。温度は 1000 万度を超えるような高温で、身の回りの鉄や銅も気体として存在している世界を対象にしています。そういう直感が効かない世界を物理学を使って、何が起きているかを想像したり、観測で検証するのが X 線を用いた宇宙の観測的研究の醍醐味です。目標は、「宇宙 X 線観測を通して、宇宙の進化やブラックホールと銀河の関わりなど、未だに残る宇宙の謎を一つでも解明すること」です。

研究の軸は、X 線衛星 XRISM に搭載される精密 X 線分光器 (Resolve) の開発です。宇宙空間で 50mK という極低温で X 線検出器を動作させるため、宇宙用の冷凍機など特殊な宇宙技術を結集して、世界初の詳細な精密 X 線分光の実現を目指しています。また、将来の X 線衛星に向けた超電導遷移端検出器 (Transition Edge Sensor) の開発もしています。次世代の X 線衛星でも主力のセンサーで、自分たちで製作して測定し、宇宙で動作させるための想像力を育むことを目指しています。宇宙観測向けに開発された精密 X 線分光器を用いた様々な実験も進めています。宇宙空間分子の地上再現実験、ミュオン原子を用いた電子相互作用の検証、放射光での物質分析など、宇宙と地上の実験の良さを融合させて、よりよい実験技

## 最近の論文・著書等

- ・ "Coevolution of the Technology on Transition-Edge-Sensor Spectrometer and Its Application to Fundamental Science", S.Yamada et al., 10.1007/s10909-020-02441-2, JLT-P-D-19-00241R2, JLT-P, March 2020
- ・ "In-flight performance of pulse-processing system of the ASTRO-H/Hitomi soft x-ray spectrometer, Ishisaki", Yoshitaka; Yamada, Shinya et al., Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Volume 4, id. 011217 (2018), 10.1117/1.JATIS.4.1.011217

術を追求していきます。宇宙 X 線データを用いた天体解析も進めています。最先端のソフトウェア技術や機械学習と組み合わせた研究も進めています。ブラックホールの周囲に形成される冷たいガスと高温ガスの織りなす不思議な現象の解明や、ブラックホールと銀河の共進化の素過程の理解など、知りたいことは尽きません。



精密 X 線分光の実証実験

# 中山陽史 ハビタブル惑星の存在条件とは？

特任准教授



居室 13 号館 6 階 C606  
専門分野 系外惑星科学  
研究テーマ  
・惑星大気シミュレーション  
・系外惑星系における惑星進化の検討  
2022 年度担当科目  
JAXA 宇宙科学技術講義、基礎物理実験、物理入門ゼミナール  
オフィスアワー 水曜昼休み

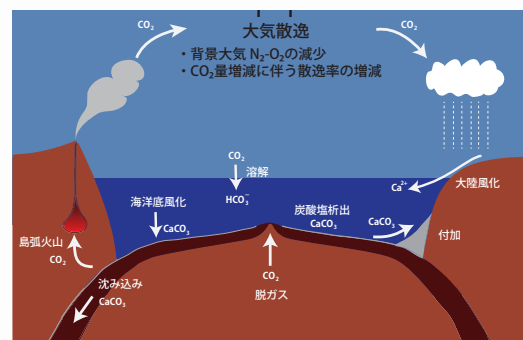
現在、5000 個以上の系外惑星が見つかっており、系外惑星は普遍的に存在するということが分かっています。検出の難しさから地球サイズの惑星の数はあまり多くはありませんが、観測技術の発展に伴いたくさんの惑星が見つかっていくでしょう。そういった惑星はどのような惑星なのか？地球のような惑星は存在するのか？を明らかにすべく世界的に多くの観測計画が立案・実行されています。これは系外惑星を通して、地球はどのようにしてできたのか、そして地球型惑星の多様性・普遍性を理解できるまたとない機会になります。私は主にシミュレーションなどの理論的な手法を用いて、温暖な環境を維持する条件、すなわちハビタブル惑星が存在する条件を検討しています。

地球は水の惑星と呼ばれ、その海の存在は生命の誕生だけでなく、惑星の進化に至るまで様々な影響を与えることが分かっています。しかし、その海の質量は惑星質量の 0.1% 以下と極めて少量の水が惑星の進化を決定づけています。系外惑星を考えた場合、惑星が持つ水の量は大きなバラつきを持つと考えられ、水の量によって温室効果気体としても有名な CO<sub>2</sub> の量が大きく変わってくるということが分かっています。一方で系外惑星、特に太陽に比べて低質量な星の周りを回る惑星が観測的に注目されています。しかし、低質量な星は星としての特徴が太陽とは大きく異なり、特に、強い紫外線を長期的に放射することが分かっています。そのため、温暖環境を維持するのに重要な大気が存在が困難である可能性があります。そのため高層大気の振る舞いを理論的に検討し、大気がどのように進化していく

## 最近の論文・著書等

- ・ Nakayama et al. (2022), Survival of Terrestrial N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> Atmospheres in Violent XUV Environments through Efficient Atomic Line Radiative Cooling, ApJ, 937(2), 72, doi:10.3847/1538-4357/ac86ca
- ・ Nakayama et al. (2019), Runaway climate cooling of ocean planets in the habitable zone: a consequence of seafloor weathering enhanced by melting of high-pressure ice, MNRAS, 488, 1580, doi:10.1093/mnras/stz1812

のかを検討する必要があります。このように地球を地球たらしめる要素たちが、条件が変わった場合にどのような振る舞いをするのかを物理的に理解し、惑星としての進化について理解を深めていきます。その他系外惑星の観測手法の検討も進めており、自分達で行った理論的推定を観測的に検証していくという手順で研究を進めています。



大気散逸、炭素循環で決まる表層環境進化の概念図



# 一戸悠人 銀河団ガスの物理

助教



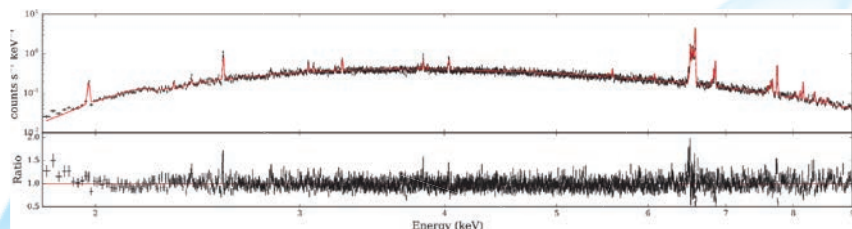
**居室** 4号館2階4205  
**専門分野** 高エネルギー宇宙物理学  
**研究テーマ**  
・X線による銀河団の観測研究  
・検出器や天文データ解析手法の開発  
**2022年度担当科目**  
基礎物理実験, 物理学実験2  
**オフィスアワー** 木曜昼休み

## 最近の論文・著書等

- ・Hitomi collaboration, "Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi", PASJ, 70, 10, 2018
- ・Y. Ichinohe et al., "Neural network-based preprocessing to estimate the parameters of the X-ray emission of a single-temperature thermal plasma", MNRAS, 475, 4739, 2018
- ・Hiroyasu Tajima et al., "Design and performance of Soft Gamma-ray Detector onboard the Hitomi (ASTRO-H) satellite", JATIS, 4, 021411, 2018

銀河団は、宇宙の進化とともに衝突を繰り返してきた、宇宙最大の天体です。可視光で銀河団を観測すると銀河の集まりに見えますが、それは銀河団全体からみるとごく一部に過ぎません。観測可能な質量のほとんどは数千度から数億度の超高温ガスによって担われており、これら高温ガスの基本的な物性や運動を理解することは、宇宙物理学や宇宙論における重要課題の一つです。これらのガスはあまりにも高温なため、X線で明るく輝いています。私は、日本の「ひとみ」、米国のChandra、ヨーロッパのXMM-Newtonなど、世界中の最新のX線天文衛星を用い、銀河団の状態を解明することを目標に研究を進めています。

宇宙の観測研究を行うためには、もちろん観測装置が必要です。そこで、私は観測装置の開発にも携わっています。見たい波長（可視光、電波、X線、ガンマ線）や見る場所（地上、衛星軌道、気球、何を見るか（スペクトル、画像、時間変化）などによって必要とされる装置は異なり、装置には最新の技術が注ぎ込まれるため、宇宙用途に開発した検出器が全く別の用途に用いられることもあります。例えば最近では、将来のX線天文衛星に搭載される予定で



「ひとみ」衛星によって得られたペルセウス座銀河団のスペクトル（黒）と、ニューラルネットワークによるスペクトルの予測（赤）

# 桑原 正輝 惑星大気の観測的研究

助教



**居室** 13号館6階C606  
**専門分野** 惑星物理学  
**研究テーマ**  
・惑星探査  
・紫外線観測器開発  
**2022年度担当科目**  
JAXA 宇宙科学技術講義, 惑星物理学, 物理入門ゼミナール, 基礎物理実験  
**オフィスアワー** 木曜昼休み

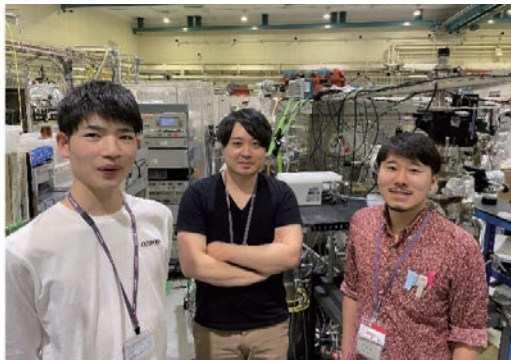
## 最近の論文・著書等

- ・Kuwabara et al., Evaluation of hydrogen absorption cells for observations of the planetary coronas, Review of Scientific Instruments, 89, 023111, doi:10.1063/1.5007812, 2018.
- ・Kuwabara et al., The geocoronal responses to the geomagnetic disturbances, Journal of Geophysical Research, Vol. 122, pp 1269-1276, doi:10.1002/2016JA023247, 2017.

私たちの住む地球はどのようにして生まれ今の姿になったのか？なぜ地球で生命が育まれたのか？地球以外にも生命は存在するのか？これらの疑問に答えるために長年多くの研究者が様々な手法を用いて研究してきました。その中でも重要な手法のひとつが人工衛星や惑星探査機を用いた観測的研究です。

惑星の高層大気は様々な波長の光を放っています。その光を捉えることで惑星大気の情報を遠隔で得ることができます。私は特に紫外線と呼ばれる目に見えない光を用いて太陽系惑星の大気観測を行っています。紫外線の中でも波長の短い光を極端紫外線と呼びますが、この光は地球の大気に吸収されてしまうため地上からでは観測することができず、宇宙空間からの観測が必須になります。そのため、観測器を開発し人工衛星や探査機に搭載し観測を行います。現在は、将来の太陽系惑星探査に向けた水素原子大気の観測器の開発を進めています。この観測器は水素大気の密度・温度分布の時空間変動や同位体比の計測を目的としており、これらの情報が得られれば、惑星の変遷、つまり生命の有無や存在の条件を知る手がかりとなります。

その他にもヨーロッパと共同で行う水星探査計画 BepiColombo や彗星探査計画 Comet Interceptor, NASAが開発している次世代ロケット SLS (Space Launch System)の初号機によって打ち上げられる超小型探査機 EQUULEUSの開発などに携わっています。



極端紫外光研究施設での実験





## 佐藤 寿紀 X 線で探る超新星爆発の物理

助教



居室 4 号館 2 階 4205

専門分野 高エネルギー宇宙物理学

研究テーマ

- ・ X 線による超新星残骸の観測
- ・ X 線観測装置の開発と地上応用

2022 年度担当科目

物理学実験 1、物理入門ゼミナール、物理学実験 (生)

オフィスアワー 木曜昼休み

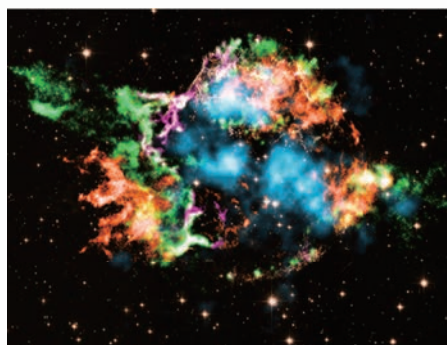
最近の論文・著書等

- ・ T. Sato et al. "High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection", Nature, Volume 592, p537–540, (2021)
- ・ T. Sato et al. "A Subsolar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova", The Astrophysical Journal, Volume 893, Issue 1, 49, (2020)
- ・ T. Sato et al. "Genus Static Applied to the X-ray Remnant of SN 1572: Clues to the Clumpy Ejecta Structure of Type Ia Supernovae" The Astrophysical Journal, Volume 879, Issue 2, 64, (2019)

太陽の約 8 倍以上重い星は、進化の最終段階で「超新星爆発」を起こします。これは宇宙でも最大規模の爆発現象で、その爆発の仕組みは未だに明らかになっていません。星がどのように進化して爆発するかを調べるために、超新星そのものを観測する研究は、世界中の研究者によって盛んに行われている有用なアプローチです。一方で私は、超新星の「残骸」を用いて、爆発の仕組みやその背景に潜む物理に迫りたいと考えています。この超新星の残骸は爆発後何百年も何千年の間、高温プラズマとして宇宙空間に存在し続け、X 線などの電磁波を放射しています。私は、その X 線を観測することで、爆発時に合成された元素を観測し、爆発中の物理情報を引き出す研究を進めています。

私は、これらの観測研究だけでなく、観測装置 (特に X 線望遠鏡) の開発にも携わっています。将来の X 線天文衛星に搭載される予定の X 線望遠鏡を NASA との共同研究で製作し、評価を行ってきました。X 線の屈折率は、1 より僅かに小さいため、通常のレンズのような屈折を利用した集光・結像はできません。そのため、X 線望遠鏡では全反射を用いて、集光・結像を実現しています。すでに衛星搭載が決定している望遠鏡は、すでに確立された技術を用いられる事が多いですが、これまで用いられた事のない新たな光学系の開発にもチャレンジしたいと思っています。望遠鏡開発に限らず、X 線天文衛星に搭載される予定である TES カロ

リメータと呼ばれる検出器を用いた地上実験も行っています。例えば、隕石やはやぶさ 2 などによるサンプルリターン資料には、宇宙で誕生した元素の情報が詰まっており、私の専門の超新星との関わりも強いです。宇宙観測や地上実験など様々な視点から宇宙の謎に迫っています。



X 線で明るく輝く超新星残骸 カシオペア座 A (Credit: NASA/CXC)





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

<http://www.rikkyo.ac.jp/dept-phys/>