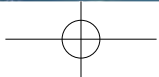


# 立教大学

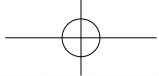
理学部物理学科

大学院理学研究科物理学専攻

# 研究案内 2020



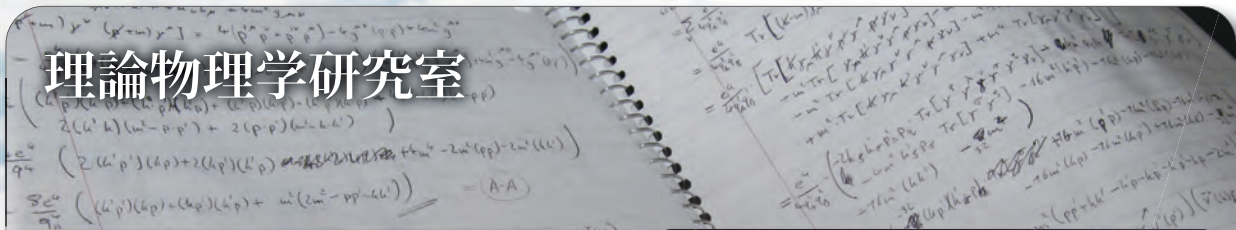




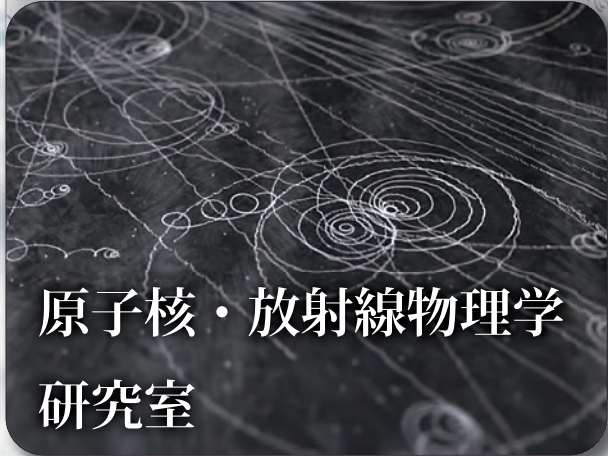
## 立教大学理学部物理学科の構成

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

田中秀和  
原田知広  
小林努

中山優  
木村匡志  
初田泰之

平松尚志

#### 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  
ZEIDLER, Simon  
樽野泰宏

椎名陽子

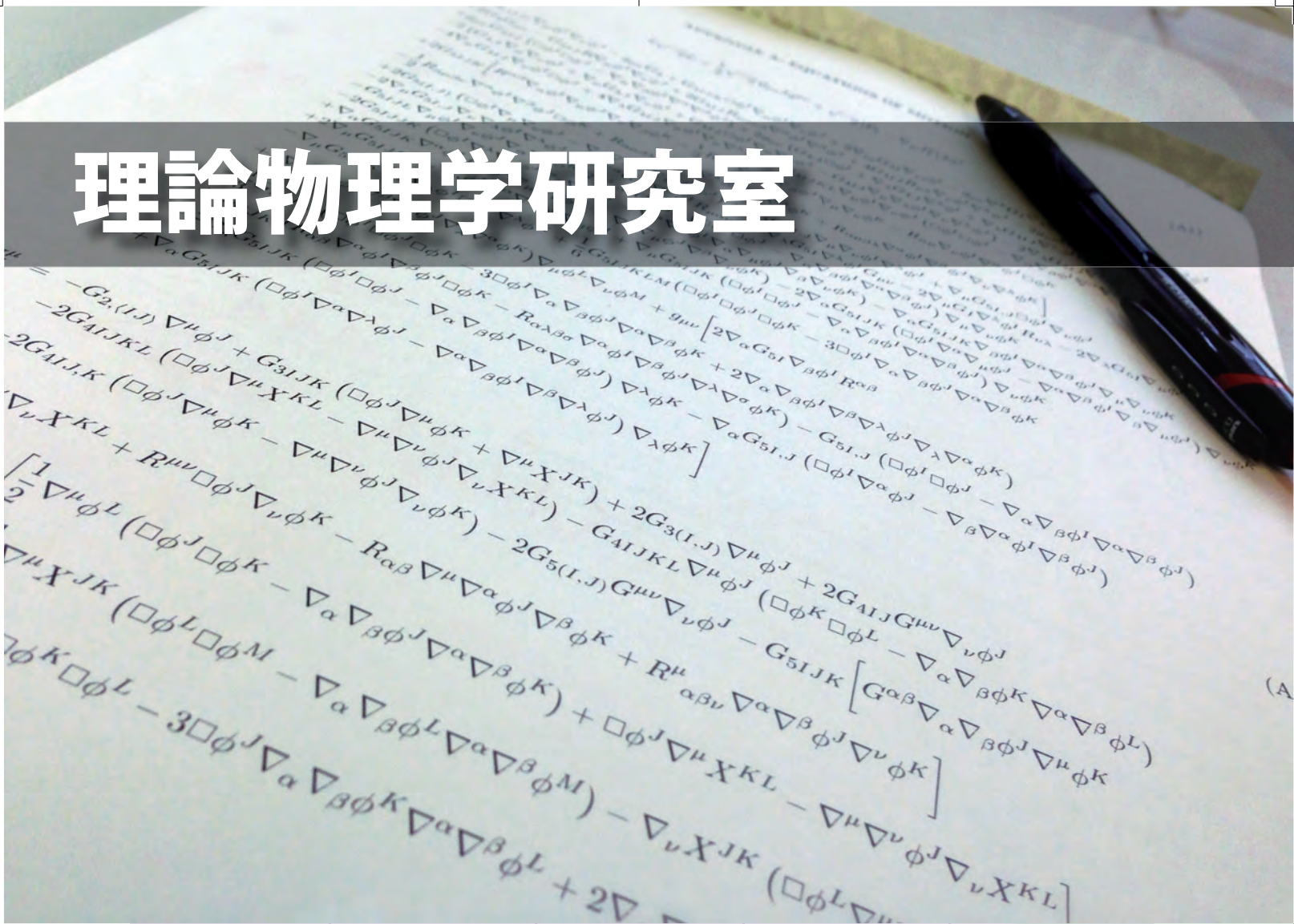
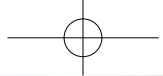
#### 宇宙地球系物理学研究室

北本俊二  
田口真  
内山泰伸

亀田真吾  
山田真也  
坂谷尚哉

一戸悠人  
福原哲哉  
**実験技術員** 須賀一治





# 理論物理学研究室

## 田中秀和 素粒子反応の理論的研究

教授



居室 4号館3階4324

専門分野 素粒子物理学

研究テーマ

・クォーク・グルーオン系の物理

2020年度担当科目

素粒子概論、量子場理論、理論物理学講義2、波動と量子など

オフィシアワー 水曜昼休み

アカデミックアドバイザー 2年生

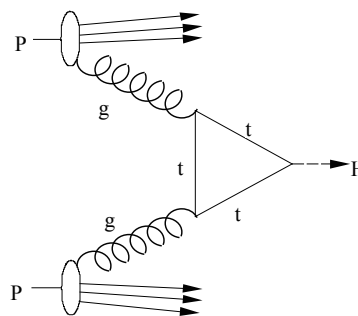
最近の論文・著書等

- Quark mass function at finite density in real-time formalism, H.Tanaka and S.Sasagawa PTEP 2020 (2020), 053B06
- "Quark mass function at finite temperature in real-time formalism", H. Tanaka and S. Sasagawa PTEP 2019 (2019),033B04
- "Schwinger-Dyson Equation in Minkowski Space beyond the IE Approximation", S. Sasagawa and H. Tanaka, PTEP 2017 (2017),013B04.

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」という物質像です。これは「素粒子の標準理論」とよばれ、物質や宇宙の現象を理解するための最も基礎となる理論体系の一つです。

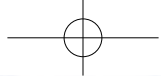
しかし、標準理論が物質の究極の姿を全て説明してくれるわけではなく、もっと深いレベルでの構造の反映であろうと考えられています。例えば、素粒子の質量の起源と考えられているヒッグス機構や素粒子の世代についても多くの不明な点が残されています。素粒子の標準理論が正しいとすると、ヒッグス粒子が存在するはずですが、2012年7月にCERNのLHC加速器でヒッグス粒子が発見されました。現在、この粒子の性質について詳細な検証が行われています。

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ます。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や、宇宙進化との関係性を調べる研究などと共に、現在知られている素粒子が自然界で引き起こす現象を理論的に調べる試みが挙げられます。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す。



陽子と陽子の衝突におけるヒッグス粒子 (H) 生成過程の一例





# 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

2020年度担当科目

統計力学1, 理論物理学講義1(相対論), 天体物理学, 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 3年生

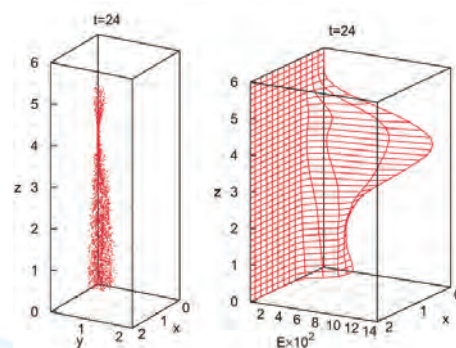
一般相対論で代表される重力法則は、太陽や地球の重力場はもちろん、宇宙の運動方程式を与え、中性子星の強重力場を記述し、光さえも出られないブラックホールを予言し、さらに時空のゆがみの伝播としての重力波を予言します。一般相対論は、単に理論的に美しいだけでなく、観測事実を極めて精密に説明することが実証されており、宇宙物理学・宇宙論の様々な状況において非常に重要な応用を持っています。最近の観測技術の進展は宇宙が加速膨張していることを発見し、ついに2016年2月には重力波の直接検出の成功が発表されました。さらに、他の物理学や数学と関連した幅広い研究がなされています。ワームホールやタイムマシンを物理学として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

- Ken-ichi Nakao, Chul-Moon Yoo and Tomohiro Harada, "Gravastar formation: What can be the evidence of a black hole?," Phys. Rev. D 99 (2019) no.4, 044027.
- Tomohiro Harada, Vitor Cardoso and Daiki Miyata, "Particle creation in gravitational collapse to a horizonless compact object," Phys. Rev. D 99 (2019) no.4, 044039.
- Takafumi Kokubu, Koutaro Kyutoku, Kazunori Kohri and Tomohiro Harada, "Effect of Inhomogeneity on Primordial Black Hole Formation in the Matter Dominated Era," Phys. Rev. D 98 (2018) no.12, 123024.
- Chul-Moon Yoo, Tomohiro Harada and Hirota Okawa, "3D Simulation of Spindle Gravitational Collapse of a Collisionless Particle System," Class. Quant. Grav. 34 (2017), 105010 (17pp).



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

2020年度担当科目

解析力学, 理論物理学講義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

- "Effective scalar-tensor description of regularized Lovelock gravity in four dimensions", Tsutomu Kobayashi, JCAP 07 (2020) 013
- "Extended Cuscuton as Dark Energy", Aya Lyonaga, Kazufumi Takahashi, Tsutomu Kobayashi, JCAP 07 (2020) 004
- "Revisiting slow-roll dynamics and the tensor tilt in general single-field inflation", Yosuke Mishima, Tsutomu Kobayashi, Phys.Rev.D 101 (2020) 4, 043536
- "On the gauge dependence of gravitational waves generated at second order from scalar perturbations", Keitaro Tomikawa, Tsutomu Kobayashi, Phys.Rev.D 101 (2020) 8, 083529

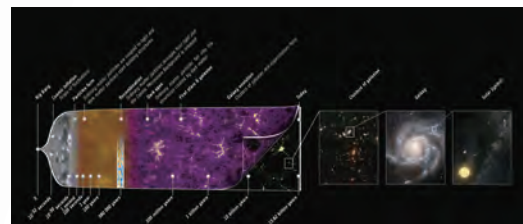
宇宙はどのようにして始まったのか？ 宇宙は何からできているのか？ 宇宙はどのように進化して現在の姿になったのか？ 物質の起源は？ 私が専門とする宇宙論は、このような根源的な問いに物理学の言葉で答えることを目指している研究分野です。

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認されています。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ま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。

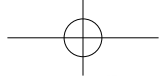
宇宙の加速膨張とダークエネルギーも、私が興味を持っている研究テーマのひとつです。Ia型超新星の観測によって現在の宇宙が加速膨張していることが明らかになりました。これは、現在の宇宙のエネルギー密度の大部分が正体不明のダークエネルギーなるもので占められていることを示唆します。なにもかわからない「なにか」がある、ということだけ分かっているのです。この研究テーマは、宇宙全体のような大スケールを支配する重力の理論は、そもそも本当に一般相対論なのか？という問いに広がっていきます。私は、一般相対論を超えて拡張された重力理論を探求し、その可能性をさまざまな角度から検討・検証してい

ます。特に最近、「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。

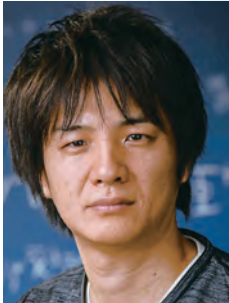


明らかにみつる宇宙創生から現在にいたるまでの宇宙進化史



# 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

2020年度担当科目

量子力学1, 量子力学2, 数理物理特論1, 素粒子特論2, 理論物理学講義5, 理論物理学講義5 (数理物理学)

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

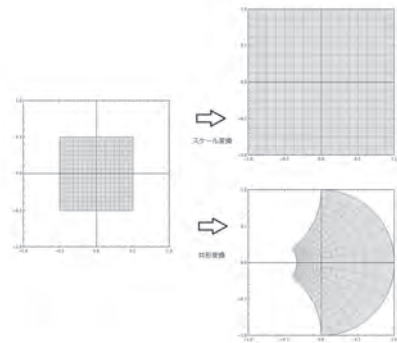
最近の論文・著書等

- Y. Nakayama "Bootstrapping critical Ising model on three-dimensional real projective space," Phys. Rev. Lett. 116, 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や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

# 木村匡志 一般相対性理論、ブラックホール物理

助教



居室 4号館3階4326

専門分野 相対性理論・重力理論

研究テーマ

・回転ブラックホール近傍での高エネルギー粒子衝突、高次元ブラックホール、特異点解析、時空の対称性、安定性解析、準固有振動、修正重力理論

2020年度担当科目

物理学演習1、コンピュータ実験1、流体力学、物理学演習4、物理学数学2、コンピュータ実験2

オフィスアワー 水曜昼休み

最近の論文・著書等

- "Stability analysis of black holes by the S-deformation method for coupled systems", Masashi Kimura, Takahiro Tanaka, Class.Quant. Grav.36:055005,2019
- "Black holes in an Effective Field Theory extension of General Relativity", Vitor Cardoso, Masashi Kimura, Andrea Maselli, Leonardo Senatore, PRL.121,251105,2018
- "Mass Ladder Operators from Spacetime Conformal Symmetry", Vitor Cardoso, Tsuyoshi Hourii, Masashi Kimura, Phys.Rev.D.96,024044,2017

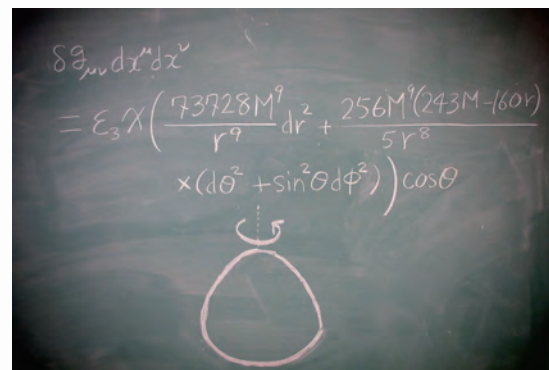
ブラックホールは一般相対性理論によって予言される「一度入ると誰も外に出られない領域」であり、我々の宇宙にブラックホールが存在することは観測からもほぼ確実視されています。私はこのようなブラックホール周辺で起る現象、あるいはブラックホール時空そのものについての理論研究を行っています。

一般相対性理論では時空の曲がりとして重力を記述しています。時空の曲がり小さいときはニュートン力学と同じになるので、時空がとても曲がっている領域での現象を調べることで一般相対性理論が正しいのかどうかを検証することができます。

一般相対性理論のすごいところは、その理論を用いて宇宙そのものの時間発展を議論できる点です。重要な予言の一つに宇宙そのものが膨張することがあり、これは観測でも確かめられています。膨張する宇宙を過去に遡ると宇宙には始まりがあったはずで、多くの物理学者はその可能性を真剣に考えています。どのようにして宇宙が始まったのかに対して理解を深めることは私が物理を研究する大きな動機になります。

宇宙の初期の現象を調べることで宇宙の初期へ理解を深めようというのが素朴な感覚ですが、一方で、宇宙の初期に重要となる物理法則へ理解を深めることで間接的に宇宙の初期を理解してみようというアプローチも個人的にはアリではないかと考えています。宇宙の初期には、時空はとても曲がっていたと考えられるので、逆に時空がとても曲がっている領域の現象を調べることで宇宙を支配する法則へ迫れるかもしれません。時空がとても曲がっていることによる典型的な現象がブラックホールなので、これが私がブラックホー

ルを研究している理由の一つとなります。一般相対性理論でブラックホール周りの現象を説明できるのか？もしできないなら本当はどういう理論が正しいのか？といった疑問へ答えようとする中で宇宙を支配する法則へ迫れると期待しています。



Cardoso, Kimura, Maselli, Senatore, PRL.121,251105(2018)における有効場理論的アプローチによるブラックホールの研究で予言された北半球と南半球で形の異なるブラックホール



# 初田泰之

助教

## 超弦理論の数理的側面



居室 4号館3階4326  
専門分野 超弦理論, 超対称ゲージ理論, 数理物理学

研究テーマ  
・ゲージ・重力双対性  
・カラビ・ヤウ幾何学の量子可積分系・2次元電子系への応用  
2020年度担当科目  
物理学1・3, 物理学演習2・3, コンピュータ実験1・2  
オフィスアワー 木曜4限

物理学では一見無関係に思われる事柄が、実は深い所で関係していたということがしばしばあります。このような関係は双対性と呼ばれます。典型例は電磁気学のマクスウェル方程式における電場と磁場の対称性(電磁双対性)でしょう。

私はこれまで AdS/CFT 対応と呼ばれる超弦理論とゲージ理論の間の双対性についての研究を行いました。特に高い対称性を持つ模型に対して、いくつかの面白い成果をあげることが出来ました。

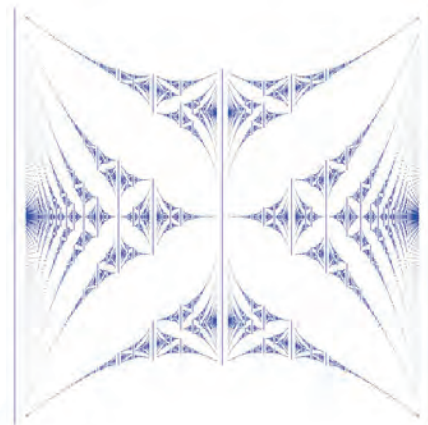
近年特に興味をもっているテーマは、カラビ・ヤウ多様体と量子可積分系・2次元電子系との関係についてです。カラビ・ヤウ多様体は超弦理論において中心的な役割を果たす空間ですが、数え上げ幾何学やミラー対称性を通して数学者にも興味を持たれています。過去の研究で、カラビ・ヤウ多様体の幾何学的不変量が、量子可積分系の固有値問題を解くことに利用できるということを発見しました。このような対応を利用することで、これまで解が知られていなかった数学の問題に対して、超弦理論の観点から解を予想することが可能となりました。

またごく最近の研究では、カラビ・ヤウ多様体が磁場中における2次元格子上の電子のスペクトルをも記述することがわかりました。カラビ・ヤウ多様体という高度に数学的な空間が、現実的な電子系を記述し得るという発見は、大変エキサイティングなものです。このような関係は全く予期せぬもので、その背後には何か深い構造が存在することを示唆しているように思われます。今後の研究でそのような構造をより深く理解し、超弦理論の応用の可能性を追い求めていきたいと思っています。

理論物理学の楽しさは、全く自由な発想で、何にも縛られることなく研究を進めていけることだと思います。そのような自由を大切にしながら研究に取り組むことを心掛けています。

### 最近の論文・著書等

- ・ "Calabi-Yau geometry and electrons on 2d lattices,"  
Y. Hatsuda, Y. Sugimoto and Z. Xu,  
Phys. Rev. D95 (2017) 8, 086004, [arXiv:1701.01561 [hep-th]].
- ・ "Hofstadter's Butterfly in Quantum Geometry,"  
Y. Hatsuda, H. Katsura and Y. Tachikawa,  
New J. Phys. 18 (2016) 10, 103023, [arXiv:1606.01894 [hep-th]].
- ・ 「位相的弦理論で解く量子可積分模型」, 初田泰之, 日本物理学会誌 71 (2016) 11, 752-756.



「ホフスタッターの蝶」と呼ばれる電子のエネルギーバンドが、カラビ・ヤウ幾何学にも現れることが分かった。

# 平松尚志

助教

## 数値宇宙論に基づく初期宇宙の解明



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

2020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, 物理学3, 宇宙物理概論  
オフィスアワー 木曜4限

### 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

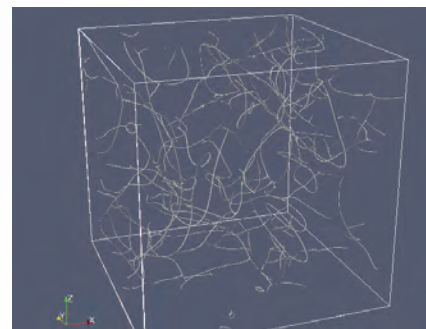
理論の検証などといったことも可能にしてくれます。

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。

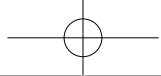
生まれて間もない頃の宇宙は、非常に高温・高密度の世界で、宇宙の再加熱(ビッグバン)や、真空の相転移に伴う宇宙論的位相欠陥の出現など、今では想像もできないくらい激しい物理現象に満ちた世界でした。このような超高エネルギー現象は、地球上のあらゆる巨大な物理実験設備を用いても、到底、再現することができません。これを、様々な数値シミュレーションを駆使して解明するのが、私の研究分野である数値宇宙論です。

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。

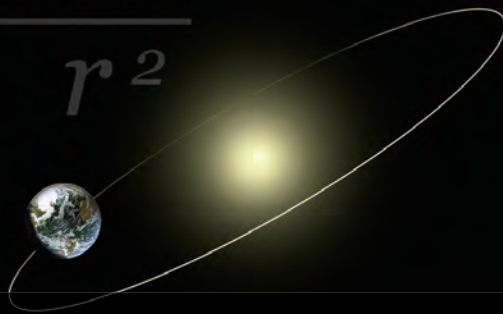
宇宙が晴れ上がるよりも前は、電磁波を用いて観測することはできません。そこで重要になるのが重力波です。宇宙の再加熱や宇宙論的位相欠陥といった現象は、大きな重力波を生み出します。その重力波は、背景重力波として我々の周りをいまも漂っています。背景重力波は宇宙の晴れ上がりよりも遥かに前の宇宙の情報を我々にもたらすため、宇宙の歴史だけでなく、たとえば大統一理論や超弦



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



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



# 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 13号館6階C609

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

2020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 4年生

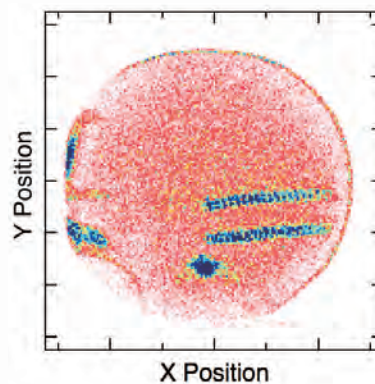
私は以前からさまざまな様態の希ガスを対象とした研究を行ってきました。希ガス原子は「不活性ガス」と呼ばれることが示す通り、それ自身単体で安定に存在する単原子

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。

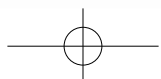
私の研究室では、希ガスクラスター・希ガス固体の二つの相について電子的励起過程がどのように起こるのか、また励起状態がどのように移り変わっていくのかを明らかにするための実験的研究を行っています。原子が数十個～数千個集まった粒子であるクラスターに電子を衝突させ、跳ね返ってきた電子のエネルギーを測定することで、クラスター中でどのような励起過程が起きたのかを知ることができます。このような測定をクラスターの原子数（サイズ）を変えて行なうことで、ただかか100個程度の原子しかない粒子でも「固体」の性質を示すことが明らかになりました。また希ガスの固体表面に低エネルギーの電子・光・イオンを入射することによって飛び出してくる（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

2020年度担当科目

力学1, 基礎物理学演習1, ハドロン物理学, 原子核特論

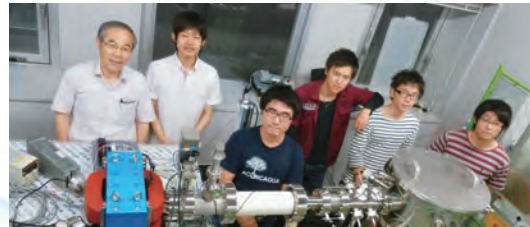
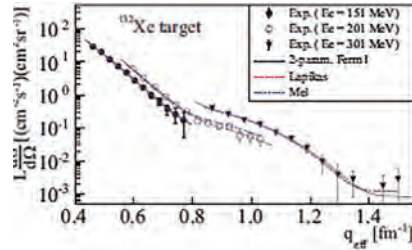
オフィスアワー 月曜昼休み

アカデミックアドバイザー 1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

2020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、理学とキャリアなど

オフィスアワー 金曜昼休み

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、この矛盾を解決し、超対称性理論などが予想する大きな時間反転対称性の破れの探索を、カナダのバンクーバーにある 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手法で我々の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  
**2020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(生)・(化) など  
**オフィスパワー** 火曜昼休み  
**アカデミックアドバイザー** 1年生

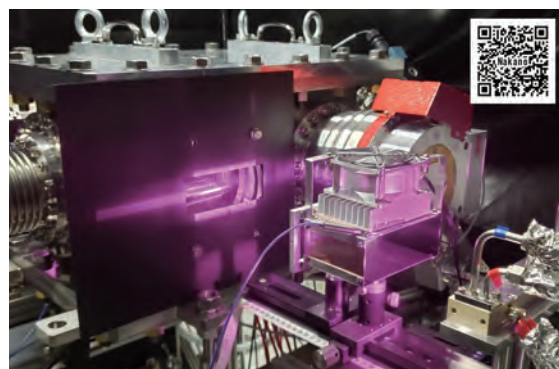
ビッグバンから約38万年後に水素原子が作られ、星・惑星系や生命の誕生に至るまで、物質はどのように誕生し、進化してきたのでしょうか？その過程には未だ多くの謎が残されています。さらに、近年驚異的に進歩する天文観測技術によって、これまで見えなかった新しい宇宙の姿が次々と露わになってきています。

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、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。本研究室では、このようなマイ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。

## 最近の論文・著書等

- ・ "Radiative cooling dynamics of isolated  $N_{2}^{+}$  ions in a cryogenic electrostatic ion storage ring", Phys. Rev. A 102, 023119 (2020)
- ・ 粒子ビームサイエンスの進歩と展望—HIMACの成果を中心に— 6章【原子分子】HIMACが切り拓いた高エネルギーイオン原子衝突の最前線, "数百 MeV/u 重イオンと結晶標的 II—3次元コヒーレント共鳴励起—", RADIOISOTOPES, 68, 517–528 (2019),
- ・ "A cryogenic linear ion trap beamline for providing keV ion bunches", Rev. Sci. Instr. 89, 113110 (2018).
- ・ "Design and commissioning of the RIKEN cryogenic electrostatic ring (RICE)", Rev. Sci. Instrum. 88, 33110 (2017).



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。

# ZEIDLER, Simon Laser-Interferometrical Measurements of Gravity

助教



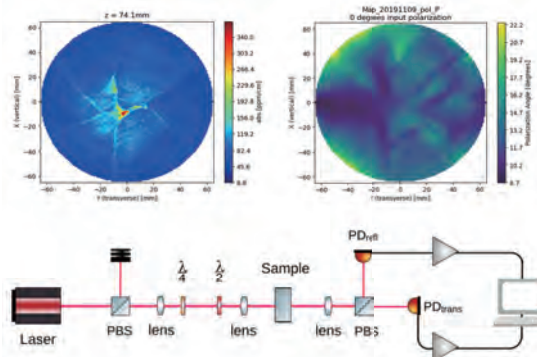
**居室** 13号館6階C606  
**専門分野** Gravity-Physics, Optics, Data-Analysis  
**研究テーマ**  
 ・ Gravity at short distances  
 ・ Gravitational-waves  
**2020年度担当科目**  
 基礎物理学実験, 物理学実験2  
**オフィスパワー** 水曜昼休み

My main research field is about optics and how we can use the unmatched precision of optical instruments in gravity related measurements. The focus of my work is the design and application of optical and mechanical instruments, as well as data-analysis. I work closely with Prof. Murata in his laboratory on the Newton-V experiment which strives to get the most precise measurement of micro-gravity (i.e., gravity between bodies which are just micrometers away). As the space-time, which defines gravity, has been characterized successfully for matter being far away, we still do not have any knowledge about it at microscopic scales. At the same time, I work on a project approaching the Newton-V measurement purely with laser interferometry.

I am also involved in research and development of mirrors for the KAGRA project, the KAmioka GRavitational-wave detector, which is in operation in the Kamioka-mine located in the Gifu-prefecture in Japan. Gravitational-waves are tiny ripples in space-time (strain amplitude  $\sim 10^{-21}$  [ $\text{Hz}^{-1/2}$ ]), caused by unimaginable strong events like the merging of two black-holes or supernovae. KAGRA is the first gravitational-wave detector based on laser-interferometry with cryogenically cooled Sapphire mirrors. Together with the LIGO detectors in the USA and the Virgo detector in Italy, a global network of gravitational-wave observatories is spanned offering an almost complete hemispherical surveillance of the universe. LIGO, Virgo, and KAGRA are among the most sensitive instruments mankind has ever built.

## 最近の論文・著書等

- ・ "Measuring Birefringence Homogeneity in High-Quality Optical Substrates", Simon Zeidler et al., Proceedings of 39th Symposium of Technological Developments in Astronomy (2020)
- ・ "Measuring scattering light distributions on high-absorptive surfaces for stray-light reduction in gravitational-wave detectors", Simon Zeidler et al., Optics Express, Vol. 27, No. 12 (2019)
- ・ "KAGRA: 2.5 generation interferometric gravitational wave detector", KAGRA Collaboration, Nature Astronomy, Vol. 3 (2019)
- ・ "Calculation method for light scattering caused by multilayer coated mirrors in gravitational wave detectors", Simon Zeidler et al., Optics Express, Vol. 25, No. 5 (2017)



Top: results of ultra-precise measurements to relate the absorption coefficient (in [ppm/cm]) of Sapphire mirror-substrates with inherent birefringence. Bottom: principal setup for birefringence measurements



# 梶野泰宏 原子核構造から迫る天体での元素合成

助教



居室 4号館2階4267

専門分野 原子核物理学

研究テーマ

- ・中性子過剰核の光応答
- ・間接的手法を用いた天体核反応の研究

2020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2限

我々を構成する元素がどこで、どのようにして生まれたのか? という究極的な疑問に迫るための実験的研究を行っています。

元素は宇宙初期に生成された水素をもとにして、原子核反応の繰り返しにより、より原子番号が大きいものが作られていっています。鉄より原子番号の小さい元素は、主に恒星中心部で起こる燃焼過程によって水素から生成されることが知られています。一方鉄より原子番号が大きい元素は、超新星爆発や中性子星合体によって生成される可能性が示唆されていますが、その詳細は未だにわかっていません。元素がどのような天体現象で生成されるかを知るには、そこで起こる原子核反応の性質を知る必要があります。また中性子星合体の主役である中性子星は、その名の通り主に中性子からできていますが、その構造を知ることも中性子星合体における元素合成過程のモデル化に欠かせません。

そこで私達のグループではその天体現象で起こる原子核反応の性質を調べるため、地上の加速器を用いて天体内での反応で重要である不安定原子核を生成し、その不安定核が関与する反応の性質を実験的に調べています。また中性子数が陽子数より極端に多い原子核の構造を調べることで、中性子の塊である中性子星の構造を解き明かす研究も行っています。

実験は理化学研究所RIビームファクトリーにあるSAMURAIという施設で行っています。SAMURAIは超伝導電磁石を用いることによって、原子核反応から生成される荷電粒子や中性子を高効率で測定することを可能にした施設です。私達のグループではこのSAMURAIと

最近の論文・著書等

- ・ "Skyrme random-phase approximation analysis of low-energy dipole states in oxygen isotopes", T. Inakura and Y. Togano, Phys. Rev. C 97, 054330 (2018).
- ・ "Single-neutron knockout from  $^{20}\text{C}$  and the structure of  $^{19}\text{C}$ ", J. W. Hwang, Y. Togano et al., Phys. Lett. B 769 503 (2017).

共に用いることが出来るCATANAというガンマ線検出器を建設し、核反応によって荷電粒子や中性子とともに放出されるガンマ線の測定を可能にしました。

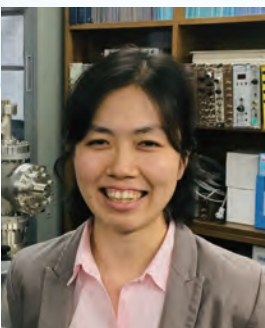
現在は私達のグループで行った、中性子過剰核の光応答の性質を世界で初めて調べた実験の解析を行うと共に、次世代ガンマ線検出器の建設に向けた基礎研究を行っています。



理化学研究所のSAMURAIスペクトロメータ。中央左側に見える濃い青のものがSAMURAI超伝導電磁石でその周辺のものほぼ全て反応生成物測定のための検出器である。

# 椎名陽子 分子雲での物質進化における分子構造の影響

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

2020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 $10\text{--}10^6$ 個/cm $^3$ 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。観測技術の発展で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(-CN)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?

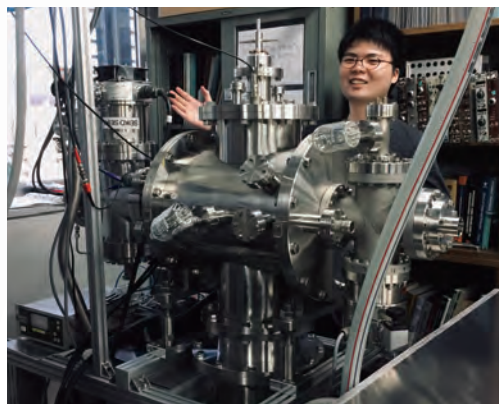
これを解明するには、分子雲の極低温・極低密度条件下において、異性体が関わる化学反応の断面積や分岐比を詳細に調べる実験が必要不可欠です。

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て特定の異性体を分別・蓄積する装置を開発し、極低温・極

最近の論文・著書等

- ・ "Measurement of Auger electrons emitted through Coster-Kronig transitions under irradiation of fast C $^{2+}$  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

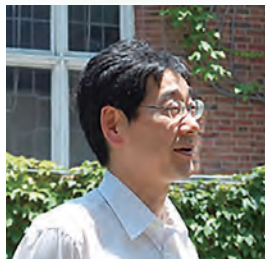


# 宇宙地球系物理学研究室



## 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

2020年度担当科目

電磁気学1, 電磁気学2, 宇宙地球系物理学概論,  
宇宙放射線特論, 基礎物理実験

オフィスアワー 金曜3限

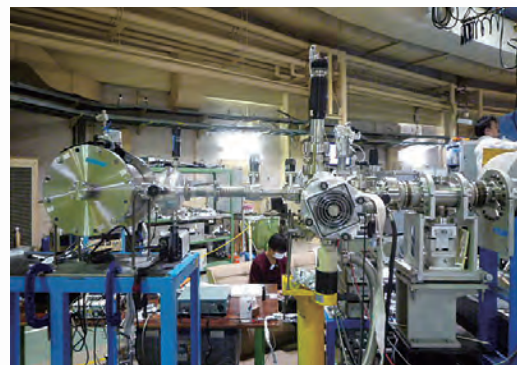
アカデミックアドバイザー 2年生

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、次に書くように、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。

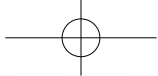
最近の論文・著書等

- ・ "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
- ・ "Orbital modulations of X-ray light curves of Cyg X-1 in its low/hard and high/soft states" Sugimoto, Juri; Kitamoto, Shunji; Mihara, Tatehiro; Matsuoka, Masaru, 2017, PASJ, 849, 116.



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

2020年度担当科目

卒業研究、修士論文指導演習（実験）など

オフィシアワー 研究休暇中のためなし

アカデミックアドバイザー 研究休暇中のためなし

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, doi:10.1126/science.aaz4439, 2020.

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。

宇宙や自然が好きで、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ようという人、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)。

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

## 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

2020年度担当科目

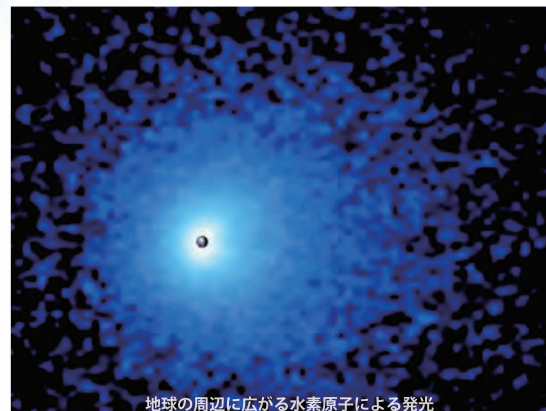
JAXA 宇宙科学技術講義、惑星物理学、宇宙の科学、宇宙物理学序論など

オフィシアワー 水曜5限

アカデミックアドバイザー 2年生

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



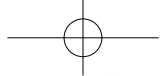
地球の周辺に広がる水素原子による発光

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

るかどうかが、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  
 2020 年度担当科目  
 物理学概論, 卒業研究,  
 修士論文指導演習 (実験) など  
 オフィスアワー 木曜昼休み

### 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, JLTP-D-19-00241R2, JLTP, 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

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。

研究の主軸は、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 線衛星に向けた超伝導遷移端検出器 (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。宇宙星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

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

# 坂谷尚哉 熱物性と惑星形成史

助教



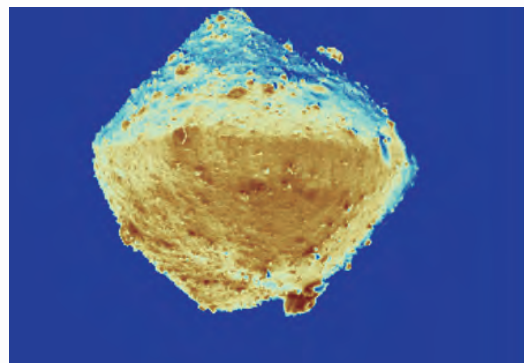
居室 13号館6階C606  
 専門分野 惑星物理学  
 研究テーマ  
 ・惑星表層物質の熱物性に関する実験的研究  
 ・小天体探査  
 ・微惑星の熱進化  
 2020 年度担当科目  
 物理学実験1、物理入門ゼミナール、物理学実験 (生)  
 オフィスアワー 木曜昼休み  
 最近の論文・著書等

- ・ Okada et al., Highly porous nature of a primitive asteroid revealed by thermal imaging, Nature 579, 518-522, 2020.
- ・ Sakatani et al., Thermal conductivity of lunar regolith simulant JSC-1A under vacuum, Icarus 309, 13-24, 2018.
- ・ Sakatani et al., Thermal conductivity model for powdered materials under vacuum based on experimental studies, AIP Advances 7, 015310, 2017.

率計測に関する室内実験も行ってきました (博士論文もそれで行きました)。今後はこれを小惑星模擬物質等に置き換えた実験的な研究を進めたいと考えています。

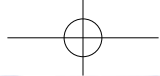
惑星の形成はガスと塵 (ダスト) が混ざり合った原始惑星円盤内のダストの集積からスタートします。ミクロンサイズのダストから km サイズの微惑星、更に数千 km サイズの地球型惑星にまで進化する過程を理解することは、惑星科学の大テーマのひとつです。小惑星や彗星などの小天体は、誕生から大きな変成作用を受けておらず、始原的な情報を保持していると考えられています。日本の小惑星探査機はやぶさ2には、立教大学が中心となって開発された中間赤外カメラ (TIR) が搭載されており、直径 1 km ほどの小惑星リュウグウの表面温度を調べました。小惑星の表面温度変化を調べることで、表層の熱物性、更には物質の空隙率 (スカスカ度合い) をも推定することができます。はやぶさ2によるリュウグウの観測運用が終わった現在、TIR を中心としたデータ解析から、惑星の元となる物体はどのようなものであったのか?、どのように進化してきたのか?を、2020 年末に地球に帰ってくるリュウグウのサンプル分析結果と合わせて解明したいと思っています。

現在の惑星形成論は多くの仮定に基づいて作られています。その「仮定」を「実証」に変えるのが惑星探査、更には室内実験の大きな役割です。探査に関しては、はやぶさ2の次として、ヨーロッパと共同で検討を進めている Comet Interceptor (初の長周期彗星の探査)、日本の火星衛星探査 MMX (火星衛星 Phobos からのサンプルリターン) の可視光カメラ開発を行っています。また、私はこれまでに主に月の表層物質をターゲットとした粉体の熱伝導



TIR によって撮像した小惑星 Ryugu の温度分布





# 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  
 2020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

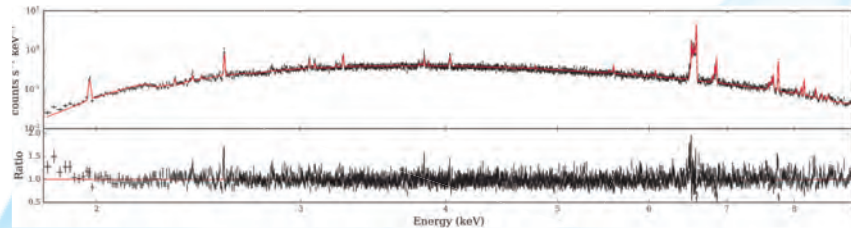
- ・ Hitomi collaboration, "Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi", PASJ, 70, 10, 2018
- ・ Y. Ichinohe et al., "Neural network-based preprocessing to estimate the parameters of the X-ray emission of a single-temperature thermal plasma", MNRAS, 475, 4739, 2018
- ・ Hiroyasu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

ある TES カロリメータと呼ばれる検出器を、地上の加速器実験に応用すべく、原子核実験の研究者とコラボレーションをしています。

最新の装置によって取得されるデータを十分に味わうためには、従来の手法では不足することが多々あります。天文データや検出器データから最大限の情報を引き出すために、加速器実験で用いられるモンテカルロシミュレーション、機械学習の一分野であるニューラルネットワーク、画像処理分野発祥のアルゴリズムなど、天文分野に限らず使えるものは全て使う事で、これまで到達できなかったレベルのデータ解析手法を開発することを目指しています。

銀河団は、宇宙の進化とともに衝突を繰り返してできた、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千万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線で見えてくれています。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）

# 福原哲哉 熱赤外カメラによる惑星リモートセンシング

助教



居室 13号館6階C606  
 専門分野 惑星物理学  
 研究テーマ  
 ・ 地球型惑星の気象力学に関する研究  
 ・ 地球型惑星および小惑星表面の熱物性に関する研究  
 ・ 惑星探査機および地球観測衛星搭載の熱赤外カメラの開発  
 2020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

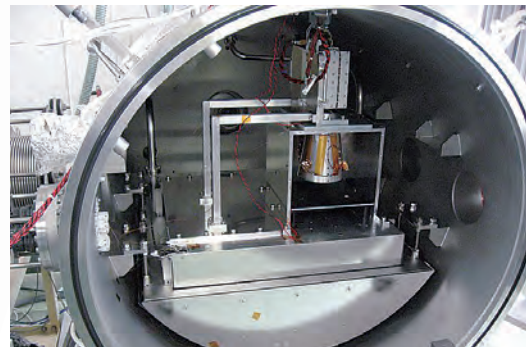
### 最近の論文・著書等

- ・ Fukuhara, T. et al., Detection of small wildfire by thermal infrared camera with the uncooled microbolometer array for 50 kg class satellite, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, DOI: 10.1109/TGRS.2017.2690996, 2017.
- ・ Fukuhara, T. et al., Large stationary gravity wave in the atmosphere of Venus, Nature Geoscience, DOI: 10.1038/NGeo2873, 2017.

が、大学で開発した人工衛星でもできる事を実証しました。今後は高価な人工衛星ではなく、安価な人工衛星を大量に打ち上げられる仕組みを作っていきたいと考えています。また、このような開発経験を将来の惑星探査計画（例えば火星探査）にも活かして短期間に信頼性の高い高性能な宇宙用のサーモグラフィを開発したいと考えています。

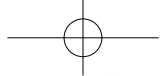
2015年12月7日に日本の金星探査機あかつきが軌道投入に成功しました。あかつきは捉える波長が異なる複数の観測カメラを用いて金星の大気を観測し、謎の多い金星の気象を解明することを目的としています。我々の研究グループが開発した中間赤外カメラ（LIR）はそのうちの1台です。LIRは熱放射を捉えて対象の温度を画像化する「サーモグラフィ」で昼夜の区別なく観測できることが強みです。高度65km付近の金星の雲頂の温度分布と時間変化を観測・解析することで、雲頂付近の大気を力学的に解明していきたいと考えています。あかつきと同じカメラは小惑星探査機はやぶさ2にも搭載されています。小惑星は自転に伴って（昼夜が交互に繰り返されることで）表面の温度が著しく変化します。温度変化の程度（温まりやすさ、冷めやすさ）は表面の状態に依ります。はやぶさ2に搭載された中間赤外カメラで表面温度の時間変化を観測することで表面の状態を推定し、他の観測機器の観測結果ともあわせて小惑星の起源にまで迫りたいともくろんでいます。

「サーモグラフィ」で地球を人工衛星から観測すれば、地球環境の熱的な状態をグローバルに監視することが可能です。近年は「超小型衛星」と呼ばれる安価な人工衛星が大学の研究室でも作られるようになりました。2014年5月24日に打ち上げられた UNIFORM 衛星もその一つです。この衛星には我々が開発した宇宙用のサーモグラフィが搭載され、林野火災や火山活動の監視を行っています。これまで国家レベルの予算規模でないとできなかった観測



あかつき搭載中間赤外カメラの開発試験の様子





## 須賀一治 自分達で運転する加速器を使った研究実験

実験技術員



居室 4号館 1階 4137  
 専門分野 加速器の管理・運転  
 研究テーマ  
 ・実験, 測定機器の開発, 保守  
 ・放射線管理  
 2020年度担当科目  
 基礎物理実験, 物理学実験(化), 物理学実験(生)

### ● Cockcroft-Walton型 荷電粒子加速装置 (加速器)

4号館に『加速器』があります。稼動している装置としては理学部内で、そして立教大学内で、最大規模の実験装置です。私立大学が加速器を所有している事自体が非常に珍しいです。大学院生や卒業研究生も、自分達で加速器を運転制御して実験を行ないます。

◎主な仕様；

加速粒子：p, d, He-3, He-4, C, N, O, F, Ne, Si, P, S, Cl, Ar, Kr, Xe。

最大加速電圧：300kV(重イオン加速), 200kV(中性子発生)。

ビームライン：0度, 40度, 90度の3コース。

■近年の主な実験課題：

「GSO Ce シンチレーターの Proton 発光測定」－大学院博士論文実験

「固体金属内の原子核反応」－卒業研究実験

「シリコン検出器の不感層の測定」－卒業研究実験

「2次電子放出を用いた重イオンの検出」－卒業研究実験 など。

◆放射線に関係するので、立入り前に放射線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「実験に参加する」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(実験していない日時に限る)。※ 本加速器は、2020年度中に、廃止・解体になる予定です。



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



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





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/>

