



川村静児教授



中澤知洋准教授

- \*川村静児 教授 Seiji Kawamura, Professor
- 中澤知洋 准教授 Kazuhiro Nakazawa, Associate Prof.
- 石橋和紀 講師 Kazunori Ishibashi, Lecturer
- 田村啓輔 特任講師 Keisuke Tamura, Lecturer
- 三石郁之 助教 Ikuyuki Mitsuishi, Assist. Prof.

### 宇宙は極限の実験室

我々が宇宙に目を向ける時、見た目の静寂さとは裏腹な、その極端な姿に大変驚かされます。例えば、1億度以上の高温、光さえも逃げられない極限重力、地球の10兆倍もの強磁場など、地上では実現不可能な極限物理状態が、宇宙には満ち溢れています。人類が地上で実現できる物理状態は限られており、そこで確立された物理法則は、より極限の物理状態でも成立するのか？我々がまだ知らないだけで、興味深い貴重な物理現象がまだ沢山隠されているのではないかと？宇宙とは、この問いを検証するための「極限の実験室」でもあります。

### X線や重力波で宇宙を見ると

古来より、人類は宇宙の知識を、可視光の狭い波長域での観測に頼って来ました。1960年代、ロケット、人工衛星が利用可能になってからようやく、大気層の吸収を乗り越えて、X線による宇宙の観測が始まりました。可視光の1/1000と言う短い波長、すなわち1000倍のエネルギーの光であるX線は、地上であれば、数万ボルトの電圧で電子を加速してターゲットにぶつけることで発生させます。宇宙では、一億度に達する超高温なガスの中の熱的に高エネルギー電子や、大きなプラズマ運動の中で磁場や電場で加速された電子から、X線が生じます。X線で宇宙を見ると、こうした超高温、高エネルギー現象を見出すことになるのです。近年では、ニュートリノや、重力波の直接検出など、新たな観測の窓が切り開かれました。特に重力波は宇宙の果てから届く高い透過力を持ち、将来には初源宇宙の情報をそのまま持つ「原始重力波」の検

出も期待されます。可視光だけでは見えない宇宙の真の姿に、我々は迫ります。

### X線観測衛星の開発と宇宙X線天体の観測

X線は分厚い地球大気に遮られ、地上に届くことはないため、人工衛星にX線観測装置を搭載して、宇宙から観測します。1993年打ち上げの「あすか」衛星や2005年打ち上げの「すざく」衛星(図1)、さらには2016年に打ち上げられ素

晴らしい成果を残しつつ残念なことに短命に終わった「ひとみ」衛星、これらには我々がNASAとともに開発した、X線反射望遠鏡が搭載されていました(図2)。光子のエネルギーが可視光より1000倍大きいX線は、正面から金属に当たっても反射しませんが、1-2度という非常に浅い角度であれば反射します。それゆえ、100-200枚の金属フォイルをバウムクーヘンのように多数並べる「斜入射光学系」を用います。この時、金属表面にナノメートル厚のプラチナや炭素などを、決められた間隔で~100層ほど積層すると、さらに1桁エネルギーの高い硬X線も集光・結像できるようになります。「多層膜スーパーミラー」と呼ばれるこの新技術を用いて、「ひとみ」衛星には硬X線で世界最高感度の装置が搭載されていました。今は、さらに高感度の硬X線観測を目指したFORCE計画、逆によりエネルギーの低い軟X線の精密分光を目指すDIOS計画への研究開発を続けながら、2020年打ち上げ予定のX線の偏光を撮像するNASAのIXPE衛星、「ひとみ」の軟X線精密分光を回復する2021年ごろ打ち上げ予定のXARM衛星の開発に参画しています。もちろん「すざく」や「ひとみ」の既存のデータや、NASAのチャンドラ、ESAのニュートン衛星など、現役のX線衛星を用いた観測研究も進めています。例えば図4に示したのは、宇宙最大の天体銀河団をX線で見た姿です。同じ大きさ・重さの銀河団でもなぜか天体毎に10倍ほどX線光度がばらつくのですが、我々は

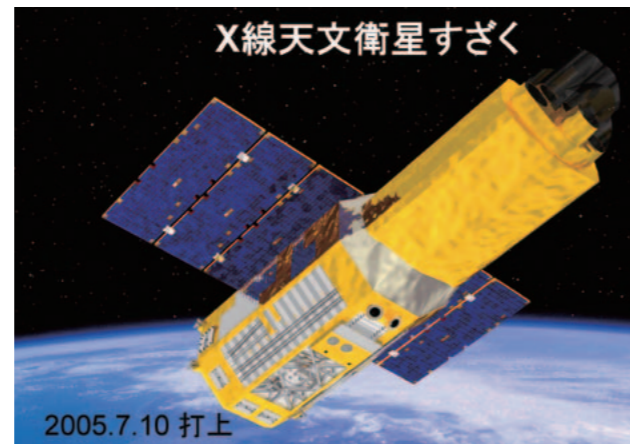


図1. X線天文衛星すざく (JAXA)

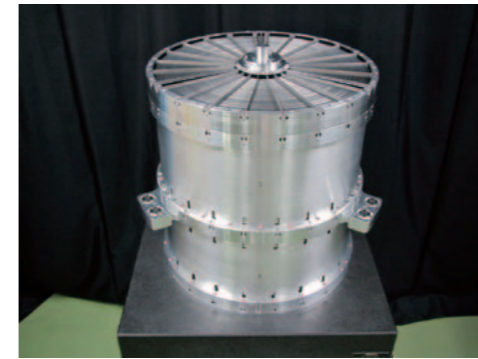
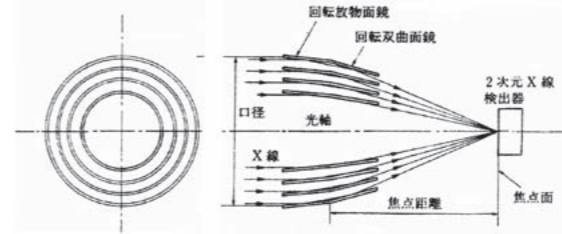


図2. (上) 多重薄板X線望遠鏡の概念図 (下) ひとみに搭載した硬X線望遠鏡

際立って暗い例は銀河団衝突で生まれることを発見しました。他にも、我々の銀河の中に、鉄の蛍光X線だけで見える領域を発見し、高エネルギー陽子と分子雲の相互作用によるものかもしれないという仮説を提唱しています。

### 雷ガンマ線研究

雷から高エネルギーガンマ線が到来することが、2000年ごろに発見されました。我々は、宇宙X線・ガンマ線観測技術を活かして地上と宇宙から雷ガンマ線の観測を続けており、2017年には雷からのガンマ線により瞬時的に中性子や陽電子が多く発生することを発見し(榎戸ら Nature 2017)、さらには2019年打ち上げ予定の雷ガンマ線観測専用衛星TARANISにも参画しています。

### 宇宙開闢の瞬間を探る重力波観測へむけた開発研究

重力波はアインシュタインが一般相対性理論により100年以上前にその存在を予言した重力の波です。重力波は潮汐的な時空のひずみが光速で伝わる波で、物質が加速度運動をすると放射されます。2015年に、アメリカのLIGOにより重力波の初検出がなされて以来、ブラックホール連星や中性子星連星の合体からの重力波が相次い

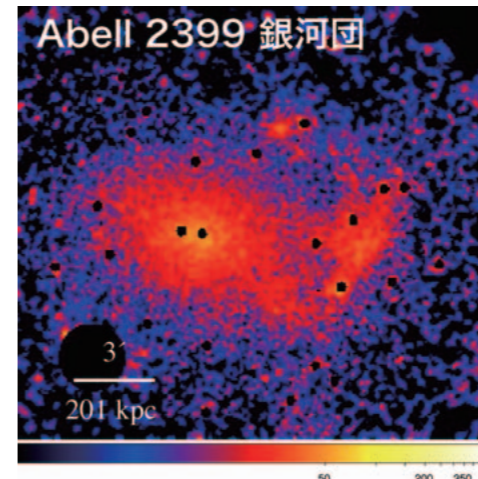


図4. X線表面輝度の暗い特殊な銀河団Abell 2399のX線イメージ

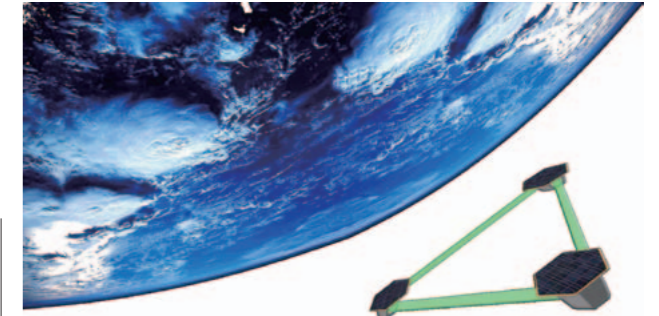


図3. DECIGOの前哨衛星B-DECIGOの想像図 (絵: 佐藤修一)

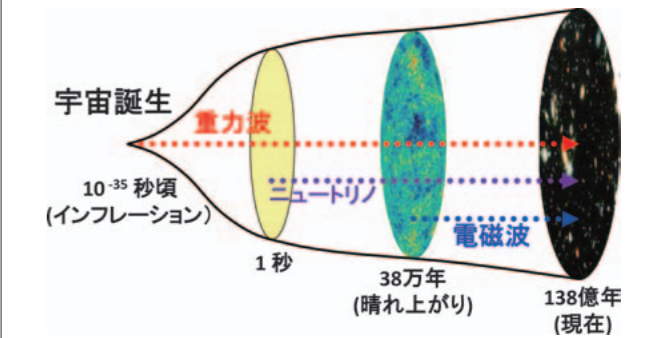
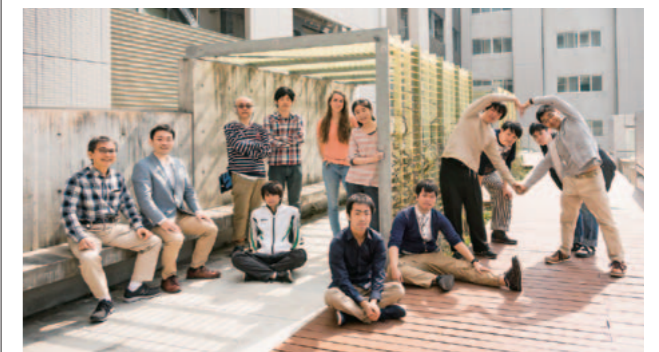


図5. 重力波によるインフレーションの直接観測

で検出されてきました。まさに、重力波によりこれまで電磁波では見ることができなかった新しい宇宙の姿を観測する、いわゆる重力波天文学が創成したのです。そして、重力波天文学のもたらす様々なサイエンスの中でも、最もエキサイティングなものの一つが宇宙開闢の瞬間を探ることです。我々は、宇宙誕生直後(10<sup>-35</sup>秒頃)に起こったと考えられているインフレーションの時代に生成された重力波を検出し(図5)、宇宙がどのように誕生したかを解明することに挑戦します。具体的には、日本が推進しているスペース重力波アンテナDECIGO(図3)のため、量子ロッキングなどの新しい手法を用いて不確定性原理で規定される標準量子限界を破る技術を開発します。また、地上においてインフレーションからの重力波検出を可能にするような全く新しい重力波検出方法の開発にも挑戦します。

### 学生の皆さんへ

X線天体や雷ガンマ線のデータ解析を進めて新たな現象や物理を探査する研究や、未来の宇宙X線観測や重力波観測を実現するための新しい観測技術の開発を、自らの手で進めています。先端の宇宙物理の観測研究を、一緒に進めませんか？



Uxg研メンバー

<http://www.u.phys.nagoya-u.ac.jp/>

\*連絡先 kawamura@u.phys.nagoya-u.ac.jp FAX 052-789-2919

教授: 1/准教授: 1/助教: 1/講師: 1/特任講師: 1/  
PD: 0/DC: 0/MC: 5