

片岡研究室

高精度放射線イメージングでつなく、宇宙と医療

<http://www.spxg-lab.phys.waseda.ac.jp/>

1. 概要

人間の目で見える可視光に比べ、X線・ガンマ線は 1000 倍から 100 万倍もエネルギーが高く、ダークマターや宇宙線加速など、極限状態の宇宙を探る最良のプローブとなります。しかしながら X 線・ガンマ線で宇宙を“診る”技術は未だ 50 年と歴史が浅く、現在も激しい世界的な競争が続く分野です。我々の研究室では、天文衛星（フェルミ衛星・NuSTAR 衛星など）を用いた最先端の観測により激動する宇宙の最深部を探り、一方では小型衛星や宇宙ステーション搭載を目指した次世代検出器の開発を行います。さらに、ここで得られた技術を迅速にフィードバックすることで、さまざまな先端医療（たとえば 3 次元ガンマ線イメージング, 多色 X 線 CT や粒子線治療モニタ）や環境計測（雷ガンマ線や福島フィールド調査等）への応用展開をはかります。学生の研究スタイルも様々で、ブラックホールの謎に挑む学生もいれば、阪大病院での臨床評価、さらにはドローンを用いた空撮実験に日夜頑張る学生もいます。色々なテーマが混在しつつも新しいセンサーの開発と、それを用いた科学に対する興味は共通です。早稲田で設立 10 年目の研究室で、和気藹々と楽しくやっています。



2. 研究室のメンバー構成・居室

◆ 指導教員・秘書

- 教授 片岡 淳
(JAXA 宇宙機応用工学系・客員教授兼任)
E-mail: kataoka.jun@waseda.jp
居室：西早稲田キャンパス 55 号館 S302A
- 秘書 飯田 友子 (55S302A)



◆ 連携スタッフ（研究室出身のOB）

- 東北大学工学部・助教 吉野 将生 （シンチレータ開発、放射線検出器一般）
- 金沢大学理学部・助教 有元 誠 （医療機器開発、宇宙データ解析）
- 山形大学理学部・准教授 中森 健之 （宇宙データ解析、CTA プロジェクト）

◆ 学生（物理・応物比率は概ね半々です）

- 修士課程（※ラボリーダー）
栗原 拓也^{D,B} 藤枝 和也（※）^{B,D} 丸橋 和也^{C,B} 伊藤 颯一郎^A
木地 浩章^C 佐藤 将吾^B 田中 稜^B 西 郁也^B 細越 裕希^A Sonia Dima^B
- 学部 4 年生
小俣 陽久^B 栗山 映里^D 豊田 貴也^C 細淵真那^B

【研究グループ】 A: 宇宙物理（データ解析・衛星装置開発） B: 医学物理（粒子線治療、放射線内用療法） C: 多色 X 線 CT D: 雷ガンマ線、福島フィールド計測

◆ 研究スペース

西早稲田キャンパス： 51 号館 10 階 09（医療/環境系の学生室）
51 号館 10 階 10 室（メイン実験室）、60 号館 2 階 205 室（CT 実験室）
55 号館 S 棟 3 階 302A（片岡・秘書の居室 + サブ実験室）
55 号館 S 棟 4 階 406A（宇宙系の学生室）

◆ 共同研究

スタンフォード大などとの国際共同研究（Fermi 衛星）、JAXA 宇宙理学系、応用工学研究系、大阪大学医学部（核医学講座）、名古屋大学医学部（医用量子科学講座）、放射線医学総合研究所、名古屋陽子線治療センターほか多数

3. 研究内容について

Q：どのような研究を行っているのか

A：宇宙から医療・産業・環境計測にわたる先端計測センサーの開発と、それを用いたサイエンスが研究室のテーマです。一見ばらばらのテーマのようですが、じつは全ての研究が **高精度放射線イメージング, 次世代センサーを用いた先端計測** というキーワードで結びついています。狭い視野で研究するのではなく、分野横断型の多角的な研究が本研究室の一番の売りであり、全国的にも例がない「幅の広い」研究室です。

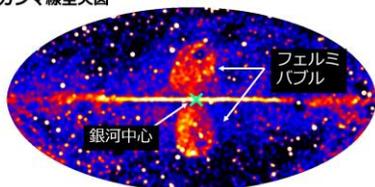
Q：具体的な研究内容は？

A：大きく4つのグループに分かれ、協力・連携しながら研究をしています(前頁：メンバー参照)。打ち合わせ・検出器ゼミなどは合同で行い、それぞれの学生が相互乗り入れてお互いの実験を手伝ったりしていますので、あくまで表面的なグループ分けとを考えてください。二つ以上に跨った仕事をしている学生も多いです。

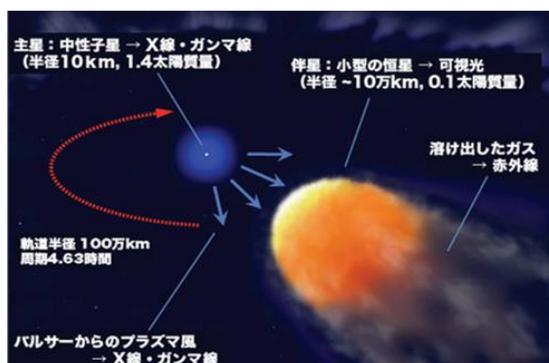
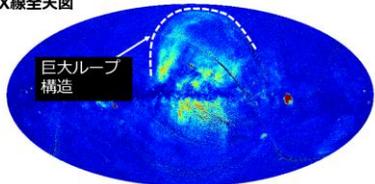
○グループA：衛星データ解析、センサー開発【宇宙物理】

世界各国の天文衛星データを使って、高エネルギー宇宙物理の研究をします。2008年に打ち上げられたフェルミ・宇宙ガンマ線望遠鏡により、3,000 を超えるガンマ線天体が発見され、その数はさらに増加の一途をたどっています。我々の研究室はフェルミチームの正規メンバーとしてデータ解析や運用に参加し、とくに巨大ブラックホールである活動銀河核やパルサーの解析では主導的立場にあります。2009年に早稲田大学と米国 NASA から共同プレス発表した「新種のガンマ線銀河」の観測、もっとも遠いクェーサー天体のガンマ線観測、また、未だ正体のわからない謎のガンマ線源：

(a) ガンマ線全天図



(b) X線全天図

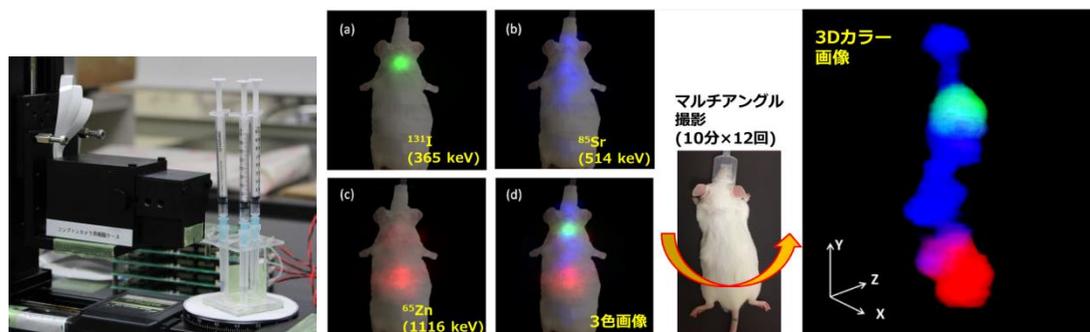


(左) 1000年前に起きた銀河中心爆発の痕跡。フェルミバブルとX線ループ構造(2018年プレスリリース) (右) すざく衛星で観測した新種のパルサー天体(2012年プレスリリース)

未同定ガンマ線天体と呼ばれます)をX線天文衛星で追観測することで、その正体を続々と明らかにしつつあります。さらには、巨大ガンマ線ローブの発見(2010年に広島大学と記者発表)、新種のパルサー天体の発見(2012年に東工大と記者発表)、銀河中心の巨大ループ構造の起源(2018年に東大・理研と共同リリース)など海外メディアからも注目される成果を上げており、いずれも修士ないしは学部生が主導して進めています。物理学会や天文学会での発表は勿論、国際会議での発表、論文化まで一貫して行います。さらに、将来のMeVガンマ線観測を見据えた50キログラム級小型衛星搭載センサー開発、新発想の宇宙観測装置の基礎開発も進めています。

○グループB：次世代分子イメージング・即発ガンマ・中性子等【医学物理】

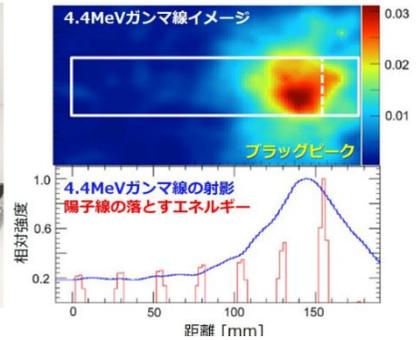
ガンの早期発見にはPET(陽電子断層撮影)と呼ばれる可視化技術が不可欠です。研究室では、過去に解像度1mmの小動物用PETの開発に成功しましたが、一方でPETは原理的に、対消滅ガンマ線(511keV)以外のガンマ線が使えません。また、PET用の薬剤を生成するためにはサイクロトロンなど大掛かりな装置が必要で、コストも高くなります。そこで、我々は世界最小のガンマ線カメラを開発し、これを高精度化することで511keVに限定されない「多色の」3D分子イメージング装置開発を行っています。2016年度には大阪大学でシリンジファントムや生体マウスを用いた実験を行い、世界初の3次元3色画像の取得に成功しました(Kishimoto et al. 2017; Nature Scientific Reports)。2018年度からは大阪大学医学部と共同で、実際の患者さんを対象としたRI内用療法への展開を始めています(年間5症例程度を撮影)。



(左)世界最小・最軽量の医療用コンプトンカメラ(中)同カメラを用いて撮影した、生体マウスの3色3Dガンマ線イメージ(青511keV, 赤662keV, 緑1116keV)

近年、腫瘍に高エネルギーの粒子線(陽子線・炭素線)を照射し、ガン細胞に効率的なダメージを与える放射線治療が注目されています。しかしながら、粒子線は照射が正しく行われないと正常細胞を破壊し、ガン細胞は残存する最悪な事態を招きかねません。現在、正しい照射の確認にはPET装置が用いられていますが、実際に付与され

る線量と、得られるPET 画像の齟齬が指摘されています。我々は治療における即発ガンマ線を用いた「高精度・照視野オンラインモニタ」の確立を目指しています。2017 年に

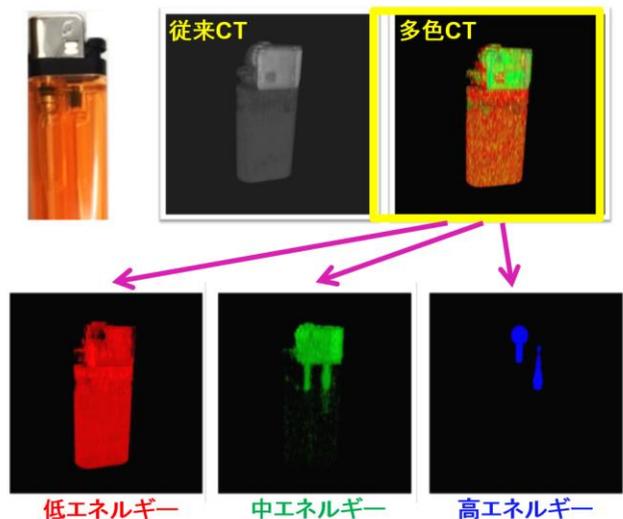


(左) 研究室で開発した 1-10MeV 専用コンプトンカメラ (右) 粒子線治療で発生する 4.4MeV ガンマ線のイメージングに、世界で初めて成功

は世界で初めて、コンプトンカメラを用いた 4.4MeV 即発ガンマ線イメージングに成功し、この成果も Nature Scientific Reports に掲載されました。さらに、X 線やガンマ線のみならず、電荷をもたない中性子の可視化技術にも挑戦しています。陽子線治療中には大量の 2 次中性子（高速中性子）が発生しますが、現状では被ばく量を定量化することは困難です。我々は、新しい発想に基づくコンパクトな中性子カメラの開発に成功し、放医研などで評価実験を始めています。

○グループC：低被ばく・多色X線CT システムへの挑戦【医学物理】

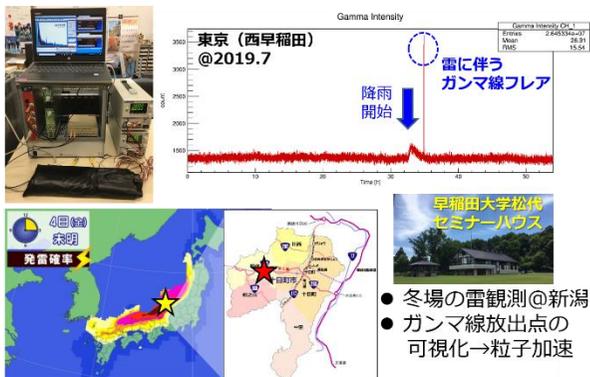
従来のレントゲン撮影や X 線 CT などは 2 次元静止面を基本とし、エネルギー情報を持たないモノクロ画像です。もし CT を多色で撮影できれば、被写体の立体構造や材質、ダイナミクスまで、情報量は飛躍的に向上します（たとえば、今撮っている対象が「何」であるのか、その材質までリアルタイムで判別できるようになる）。我々は独自に開発した高精細シンチレータと半導体光増幅素子 MPPC を組み合わせることで、従来の 1/100 程度の低被ばくで多色撮影が可能、革新的な次世代 CT システムを開発しています。



従来型モノクロ CT 画像と、本研究で取得した 3D 多色 CT 画像。エネルギー範囲を選択することでライターを構成する素材まで識別できる。しかも被ばく量は 1/100 !

○グループD：環境用ガンマ線カメラの開発【環境物理】

福島での除染効率化のため、我々の研究室では「10秒以内にガンマ線を正確に可視化する」まさに日本のみならず世界が期待する革新的な技術開発に成功しました。2013年9月に試作品が完成し、共同研究メーカーである浜松ホトニクス社とプレスリリースを行いました。すでにカメラは市販化され、2016年9月には、福島県下の森林および高校で、ドローンにガンマ線カメラを搭載して放射性核種の飛散状況を上空から調査しました。



雷から生ずるガンマ線の謎を追う @西早稲田キャンパス&松代セミナーハウス

さらに近年、雷にともない強いガンマ線が発生することが世界各地で報告されていますが、その詳細は分かっておりません。われわれの研究室では雷のガンマ線・中性子スペクトル計測装置・カメラを西早稲田（51号館屋上）、新潟県十日町市（松代セミナーハウス）に設置し、夏冬季に生ずる雷を日夜モニタしています。最終的には世界初となる雷雲のガンマ線イメージングに挑戦し、その加速機構に迫る予定です。

Q：企業等との共同研究、就職先は？

A：現在進行中の共同研究の一例です：

- 浜松ホトニクス株式会社 【コンプトンカメラの開発全般】
- 日立金属株式会社 【低被ばく多色X線CTの開発】
- 日本原子力研究開発機構 【高線量用ガンマ線カメラの開発】
- 量子科学技術研究開発機構 【医療用コンプトンカメラの開発】

就職先は以下メンバーページに公開しています：

<http://www.spxg-lab.phys.waseda.ac.jp/member.html>

4. 研究室のスケジュール

◆ 研究室ゼミ・打ち合わせ

- 論文紹介ゼミ : 火曜2限（毎週・全員）
- 宇宙物理ゼミ : 水曜3限（毎週・希望者のみ）
- 検出器ゼミ : 金曜3限（毎週・全員）
- 全体打ち合わせ : 金曜4限（毎週・B4のみ）

◆ 研究室の行事

- 歓迎会、暑気払いビアパーティ、忘年会、卒修論お疲れ会++ … ?
- ゼミ合宿(8月中旬~下旬頃)@軽井沢

比較的新しい研究室なので、これといった「マスト」の行事は決まっていません。飲みたいときに、集まって飲む。ゼミ合宿の場所等も含め、アイデア募集中です！

5. ラボ・リーダーから一言

片岡研究室の紹介冊子を読んで頂きありがとうございます！紹介のように我々の研究室は幅の広い分野の研究を行っており、全員が一人1テーマで研究を進めています。またフィールドワークや外部施設との共同研究などの機会もたくさんあるので、B4のうちはたくさんの実験に参加し、興味のある研究テーマを探していくことができるのが片岡研究室の魅力です。

本研究室はゼミ等の時間以外にコアタイムはないので、空き時間でのアルバイトなども自由です。(実際、約半分の学生がアルバイトをしています)しかしながら、最先端の研究であるため、外部実験や学会発表、論文執筆などとやることは多く決して楽なものではありません。ですのでオン・オフの切り替えを上手にすることで密度の濃い研究生生活を送ることができると思います。

忙しい研究生生活の中でもゼミ合宿や飲み会など楽しい行事も多く、片岡先生や秘書さん、学生もみな仲が良く、相談や議論がしやすいとてもいい雰囲気の研究室です。また、放射線のことやプログラミングの知識があまりないという方でも先輩が丁寧に指導してくれるので安心してください。



(実際私も入った時は初心者でした)

学生室は51号館の10階09室にあります。興味を持っていただけの方は、是非一度見学に来て下さい！メールはラボリーダーの藤枝、もしくは片岡先生に直接お願いします。(藤枝：kazuya-f-2266@fujii.waseda.jp)

6. 最先端の研究を、早稲田から世界へ — 研究室先輩の成果です！

【宇宙物理・観測関連のプレスリリース】

- 銀河中心「巨大ガンマ線バブル」の謎に迫る—1000 万年前の大爆発を X 線で検証 (2018.7.26) 【早大・東大・理研・金沢大】
⇒ [academist journal などに掲載](#)
- ブラックホールに吸い込まれる直前 100km での物質の幾何構造が判明 ~偏光 X 線を使った世界初の観測に成功 (2018.6.25) 【広島大・東大・早大・名大】
⇒ [朝日新聞などに掲載](#)
- 直径 100m の気球で天体からの硬 X 線の偏光情報を世界初検出 (2017.8.10) 【早大・広島大・東大・名大】
- 理工・片岡研究室、新種の「毒蜘蛛パルサー」発見 — 東工大グループと共同研究し、日本天文学会で発表(2012.3.21) 【早大・東工大】
⇒ [朝日新聞などに掲載](#)
- 巨大な高エネルギー粒子雲からのガンマ線を発見 (2010.4.2) 【広島大・早大】
- 新種のガンマ線銀河を発見 (2009 年 6 月 1 日) 【早大・NASA】
⇒ [毎日新聞などに掲載](#)

【医学物理/医療イメージングのプレスリリース】

- 世界初！4.4 MeV ガンマ線 の高精度イメージングに成功 — 先端医療と宇宙をつなぐ、新しい架け橋へ (2018.5.26) 【早大・量研機構】
⇒ [日経産業新聞などに掲載](#)
- 陽子線が体内で起こす核反応を光で可視化— 陽子線治療の精度向上に大きく貢献 (2018.2.7) 【早大・東京女子医大・京都府立医大・量研機構】
- 世界最軽量「手のひらサイズ 580 g」医療用ガンマ線可視化カメラを開発 (2017.5.18) 【早大・阪大医・浜ホト・量研機構】
⇒ [日経新聞などに掲載](#)

【環境計測のプレスリリース】

- 世界初 -ドローンを用いた上空からのガンマ線撮影に成功 (2016.9.16) 【早大】
⇒ [日経産業新聞などに掲載](#)
- ガンマ線撮像用コンプトンカメラの高性能化に成功~除染のさらなる効率化、環境調査、医療、理学応用へ期待~ (2014.7.23) 【早大・浜松ホトニクス】
- 放射性物質の除染作業を効率化するガンマ線撮像用コンプトンカメラを製品化 ~高感度コンプトンカメラとして、従来よりも大幅な小型・軽量化と低価格化を実現~ (2013.9.10) 【浜松ホトニクス・早大】
⇒ [朝日新聞・日経新聞などに掲載](#)

2018年3月1日：BS ジャパン（全国放送）
科学ミチル — 世界は未知で満ちている
「見えない光で未知を観る！」



3月1日(木) 夜8時55分～

#048 「見えない光で未知を視る！」

【宇宙にあふれる“見えない光”。それを操り、宇宙にひそむ未知なる世界を映し出す。】

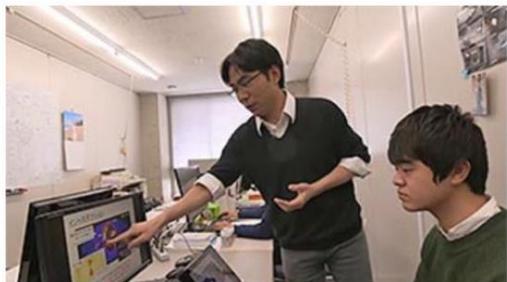
地球に降り注ぐ様々な光。

その光の中には目には見えない光が含まれているという。

銀河系の謎を解き明かす見えない光の大いなる力とは？

◆片岡淳教授（早稲田大学）

宇宙から医療・産業・環境計測に渡る放射線検出器を開発。少年時代の「宇宙を探索したい」という夢が今の研究につながっているという。見えない光を使って宇宙の真理を探る。



輝くブラックホールの謎

太陽系を回る天の川銀河の中心には太陽の400万倍もの質量の巨大なブラックホールがある。1000万年前に巨大な爆発が起こり、桁違いに明るい輝き、3000年前にも激しい活動があったと推定される。2019年、久しぶりに活動した可能性が。昔は眠っていたように静かだが、なぜ時どき目覚めて明るく輝くのか。研究者が注目している。

巨大ブラックホールの異常に最初に気づいたのは、米カリフォルニア大学のトラン・ドゥ博士のグループだ。5月12日夜、ハワイ島マウナケア山頂にある大型望遠鏡の向きを天の川銀河の中心に定め、ブラックホールの周りを赤外線帯で観測していた。過去に観測された

最高輝きの2倍に達する明るさだった。しかしなぜか2週間後に明るさは元の1にまで低下した。これまで観測されていなかった現象だ。「巨大ブラックホールが目覚めたのだろうか」。ドゥ博士はツイッターにこう記した。米欧の天文衛星によるX線観測でも最近、巨大ブラッ

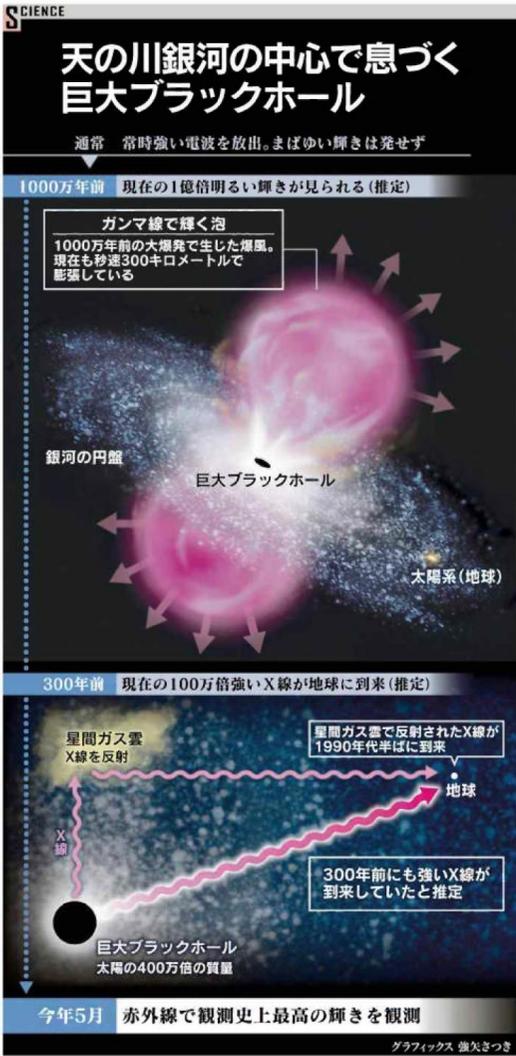
クホールが急に輝きを増す現象が幾度か捉えられた。このブラックホールを研究する早稲田大学の片岡教授は「1000万年前に巨大爆発が起き、今より1億倍は明るく輝いていたと推定される。このガンマ線を研究ができるようになった。天の川銀河は星やガスからなる半径5万光年の円盤だ。このガンマ線は、電波と銀河サイクス。天の川銀河中心の巨大ブラックホールで生じた爆発が1000万年かけて広がってきたと考えられる」（片岡教授）。

このガンマ線は、電波と銀河サイクス。天の川銀河中心の巨大ブラックホールで生じた爆発が1000万年かけて広がってきたと考えられる（片岡教授）。このガンマ線は、電波と銀河サイクス。天の川銀河中心の巨大ブラックホールで生じた爆発が1000万年かけて広がってきたと考えられる（片岡教授）。

米国の天文衛星にまでガンマ線観測で10年、この円盤に垂直な方向に爆風が巨大な泡のように膨らんだ様子が見つかった。爆風の噴き出し口は円盤の中心部で、そこは巨大ブラックホールがある。泡の直径は1000万年超。このガンマ線は、電波と銀河サイクス。天の川銀河中心の巨大ブラックホールで生じた爆発が1000万年かけて広がってきたと考えられる（片岡教授）。

このガンマ線は、電波と銀河サイクス。天の川銀河中心の巨大ブラックホールで生じた爆発が1000万年かけて広がってきたと考えられる（片岡教授）。

銀河中心部繰り返し爆発か



巨大ブラックホール
1割が活発に活動

質量が太陽の10万倍から100億倍あるブラックホール。あらゆる銀河の中心に存在するとみられるが、どうやって形成されたのかわかっていない。天の川銀河中心のものは静かで暗いが、全体の約1割が活発に活動、それらの銀河は中心部が最も明るく輝く。

活動的なタイプの代表例はM87銀河中心の巨大ブラックホールだ。電波観測の国際協力プロジェクトで撮影に成功し、その画像は今年4月に発表された。同プロジェクトは天の川銀河中心の巨大ブラックホールも撮影しているが、画像解析が難しく結果はまだ発表されていない。今後、観測能力を増強する計画で、自覚め始めたブラックホールの様子がつかめるかもしれない。

クホールは目覚め、今より約100万倍明るくX線を輝かせていたらしい。巨大ブラックホールから300光年の距離にある星間ガス雲が1990年代半ばから約10年間、強いX線を放ち続けたことが日本天文衛星で観測されたのだ。この現象は、ブラックホールが目覚めた際に出した強いX線が星間ガス雲を反射され、直接地球に達したと受け止められている。中に入れば光が放出できないブラックホールが、周囲を取り巻く超高温のガス円盤からは赤外線や電波、X線など様々な波長の光が放出されている。その輝きが急変するといったことは、ガス円盤に激しい動きがあったことを示す。その理由は複数ある。

片岡教授は「1000万年前の巨大爆発を「近々」にあった巨大ガス雲などがブラックホールに吸い込まれる過程で生じた」と考えている。また小山勝二(京都大学)教授らは「300年前の変化について「近々の星が大爆発して発生した衝撃波がブラックホール

を取り巻くガス円盤を揺さぶり生じたため」という説を唱えている。

今年、また活動が盛んになった原因は何か。地球の3倍くらいは質量の星間ガス雲が14年に巨大ブラックホールに最接近したことが注目されている。国立天文台の川島朋尚(たけの)博士らは模擬実験から「ガス雲の最接近でブラックホールを取り巻くガス円盤が揺さぶられ、約5年遅れてその輝きが顕著になった」と推測する。この数年間、巨大ブラックホールが激しく明るくなる現象が何度も観測される可能性があるという。

宇宙に数多くある銀河の中心には巨大ブラックホールがあり、星々の進化に深く関わっている」と多くの天文学者はみている。天の川銀河は最も近い観測対象で、太陽系の成り立ちの解明にもつながる。国際観測グループが19年、撮影に成功し科学史に残る話題となった巨大ブラックホールは、謎に包まれた天体でもある。世界の研究者が天の川銀河中心の変化に目を凝らしている。(中島林彦)