



すばる望遠鏡 18

HSC Cosmic Gallery

COSMOS フィールドの深宇宙 take 2

田中賢幸 (ハワイ観測所)

NAOJ

PRINT ISSN 0915-8863
ONLINE ISSN 2436-7230

NEWS

国立天文台ニュース

No. 338

National Astronomical Observatory of Japan

ブラックホールの謎に迫る

宝石箱を見ているようである。色とりどりの天体でぎっしりと埋め尽くされた深宇宙の画像には、現在の宇宙から遠い過去の宇宙の姿まで映し出されている。138億年の歴史が詰まった、いつまでも見飽きない一枚だ。これはCOSMOフィールドと呼ばれる有名領域で、HSCすばる戦略枠プログラムでも長時間観測を行っている。実はこのフィールドの一部の画像は2020年9月号ですでに紹介をした。しかし、その後のデータ処理や色合成の改善により、見違えるような画像になった。この画像を独り占めするのはあまりにもったいなく、ここで再度掲載しよう。是非、じっくりとお楽しみいただきたい。



HSC



HSCLA



GALAXY
CRUISE



★HSC：すばる望遠鏡「超広視野主焦点カメラ (Hyper Suprime-Cam/ハイパー・シュプリーム・カム)」
★HSCの観測データを活用した市民天文学プログラム「GALAXY CRUISE (ギャラクシークルーズ)」もお楽しみください。

2022

秋

P.04

総論

ブラックホールとはどのような天体なのでしょうか？最先端の研究成果の紹介に先立ち、ブラックホール研究の歴史やその基本的な性質、種類などについてまとめます。

P.08

視力300万の瞳

「ブラックホールの姿を捉える」これは天文学者にとって長年の挑戦でした。究極の視力を備えた電波望遠鏡ネットワークにより、ブラックホール最近傍の姿を描き出します。

P.12

スパコン

ブラックホールの謎の解明には観測とともに理論的研究が必要です。スーパーコンピュータを用いてブラックホールを再現し、降着円盤やジェットが発生メカニズムに迫ります。

P.10

宇宙ジェットの謎

ブラックホールは物質を吸い込むだけではなく!? ジェットと呼ばれる高速の噴出ガスはブラックホール最大の謎の1つです。最新の電波観測によってその性質に迫ります。

P.18

新しい目

「時空のふるえ」をキャッチする重力波望遠鏡はブラックホールを観測するまったく新しい方法です。ブラックホール同士の衝突・合体など、これまで知ることができなかったブラックホールのダイナミックな姿に迫ります。

P.14

トーラス

銀河の中心には巨大なブラックホールが存在します。どのようなメカニズムで大量のガスを吸い込み、成長するのでしょうか？最先端の観測からそのヒントが得られつつあります。

P.16

クエーサー

超巨大ブラックホールはいつ、どのように誕生したのでしょうか？ その手がかりを探るべく、できるだけ遠くの宇宙を観測し、誕生して間もない超巨大ブラックホールを探し出します。

P.22

Q&A +
これからの
ブラックホール研究

ブラックホール研究についてよくある質問をまとめました。また今後のブラックホール研究の展望についても簡単に俯瞰します。

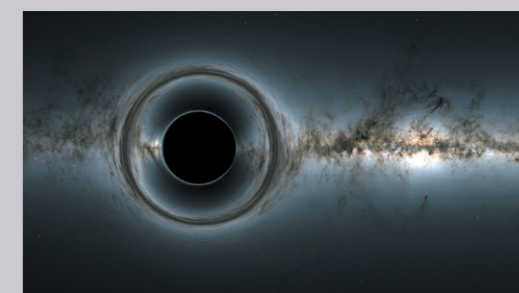
ブラックホールの謎に迫る

「宇宙でもっともミステリアスな天体」それはまさにブラックホールではないでしょうか。

その存在が予言されてから約1世紀あまりが経ち、その姿や性質が明らかになりつつあります。

今回の特集では、ブラックホールについて国立天文台が推進する様々な最先端の観測的・理論的研究についてご紹介します。

- 国立天文台水沢 VLBI 観測所の原点
- 24 白黒写真で見る
緯度観測所の所員たち
- 32 木村榮記念館で企画展を開催中！
- 34 新・キーンナンバーで読み解く宇宙
- 36 NEWS
- 40 すばる望遠鏡 HSC Cosmic Gallery 18



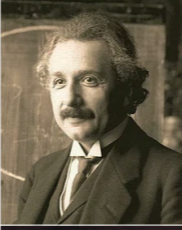



Credit: NASA's Goddard Space Flight Center; background, ESA/Gaia/DPAC

架空の天体から実在の天体へ

今から約100年余り前の1915年、ドイツ出身の物理学者アインシュタインは一般相対性理論と呼ばれる画期的な物理学の理論を発表しました。それから間もなくして、同じくドイツの物理学者シュバルツシルトは一般相対性理論の方程式がある条件のもとで解くことで、極めて強い重力によって光さえも吸い込む暗黒の天体が存在しうると発表しました。これがブラックホール予言の始まりです。明るい星や銀河が宇宙の「陽」を彩る主役とすれば、ブラックホールは宇宙の「陰」を代表する「黒幕」と言えるかもしれません。しかし提唱された当時はあくまで架空の天体で、アインシュタインですらそのような極端な天体が現実の宇宙に存在するとは考えていませんでした。

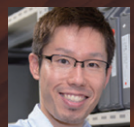
ブラックホール研究の歴史が大きく動き出したのは、それから約半世紀が経過した1970年ごろでした。当時X線望遠鏡を用いた宇宙観測が大きく進展し、はくちょう座の方向から正体不明のX線信号が検出されたのです。その信号を詳しく分析したところ、直径わずか300kmほどの領域に太陽14個分の質量が詰まった天体であることがわかったのです。これは当時知られていた高密度星である白色矮星や中性子星よりも遥かに密度が高く、残された唯一の可能性はブラックホールしかないという結論に至ったのです。それ以来、様々な観測によってブラックホール由来と考えられる信号が次々と検出され、天文学者たちはその存在を広く信じるようになりました。

そして2010年代に入り、ブラックホールの存在を決定づける2つの画期的な出来事がありました。1つは2016年に発表された米国の重力波望遠鏡LIGOによる重力波の検出（18ページ参照）、もう1つは2019年に発表されたイベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）による超巨大ブラックホールの撮影です（08ページ参照）。いずれもブラックホールの存在を直接的に示すとともに、これまでにない新たな切り口で観測が行われました。ブラックホールが予言されてから約100年の節目に、ブラックホール研究の新たなステージが幕を開けたのです。

			
アルベルト・アインシュタイン (Albert Einstein)	カール・シュヴァルツシルト (Karl Schwarzschild)	はくちょう座 X-1のX線画像 (クレジット: NASA/CXO/SAO)	EHTで撮影されたM87の超巨大ブラックホールのシャドウ (クレジット: EHT Collaboration)

輝くブラックホール？

そもそも私たちはなぜブラックホールを観測できるのでしょうか？ もしブラックホールが全てを吸い込むだけの漆黒の間であれば、望遠鏡で観測しても何も知ることができません。しかし実際のブラックホールの周りでは重力によって引きつけられたガスが円盤状に渦巻いており（降着円盤）、重力エネルギーを燃料として超高温に加熱されています。また、一部のガスは吸い込まれる手前で何らかの理由によってブラックホールの重力を振り切り、「ジェット」と呼ばれる高速のガスを噴出しています（10ページ、12ページ参照）。こうした降着円盤やジェットから、電波や可視光、X線やガンマ線といった電磁波が大量に放出されるため、それを望遠鏡で観測することで私たちはブラックホールの様々な性質を知ることができるのです。



秦 和弘
HADA Kazuhiro
水沢 VLBI 観測所

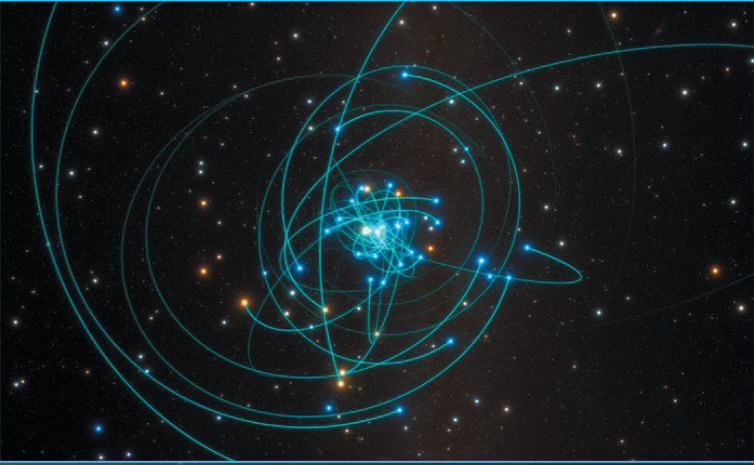
ブラックホールにも 軽量級と重量級？

これまでの研究から宇宙には質量の大きく異なる2種類のブラックホールが存在することがわかっています。1つは太陽数個～数十個分程度の質量を持つ「恒星質量」ブラックホールです。これは太陽の約20倍以上の質量を持つ星がその一生の最期に大爆発（超新星爆発）を起こした後、残骸として残されるものです。はくちょう座X-1や、重力波で検出されたブラックホールはこのタイプです。

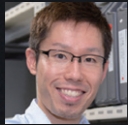
2つ目は、太陽100万個～100億個分もの大質量を抱えた「超巨大」ブラックホールです。EHTが撮影したブラックホールはこのタイプです。もともと1960年ごろに「クエーサー」と呼ばれる奇妙な天体が遠方宇宙で発見されたとき、その正体を説明するための仮説として提唱されたのが始まりです。今ではほぼ全

ての銀河の中心には超巨大ブラックホールが1つずつ存在すると考えられており、クエーサーなど特に活動的な超巨大ブラックホールを持つ銀河は総称して「活動銀河」と呼ばれています。しかしあまりにも大きな質量ゆえ、超巨大ブラックホールの形成メカニズムは未だ謎に包まれており、天文学の大きな未解決問題の1つとなっています（14ページ、16ページ参照）。

また、理論的に提唱されていても確たる観測的証拠が得られていないブラックホールもあります。例えば上記2種の間位置する「中間質量」ブラックホールや、太陽よりもずっと軽い「ミニ（またはマイクロ）」ブラックホールなどが挙げられますが、これらは観測による探索が現在も続いています。

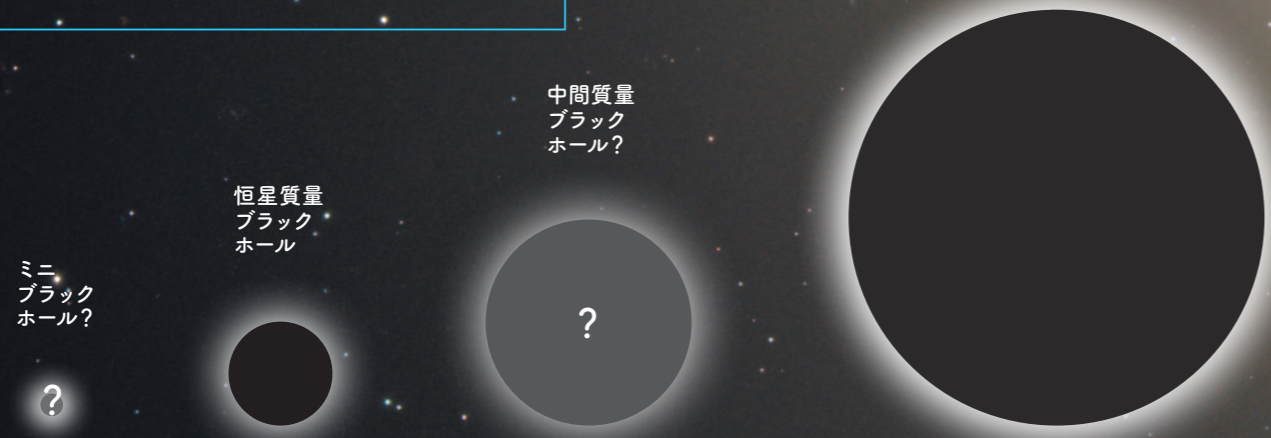


私たちが住む天の川銀河の中心にも、約400万太陽質量の超巨大ブラックホールが存在しています。これは、周囲の星の軌道の観測から裏付けられたものです。これを明らかにした研究者には2020年にノーベル物理学賞が授与されました。（クレジット：ESO/L. Calçada/spaceengine.org）



秦 和弘
HADA Kazuhiro
水沢 VLBI 観測所

ブラックホールは質量に応じて大きく4つに分類され、質量に比例してサイズも大きくなります。恒星質量ブラックホールと超巨大ブラックホールはその存在が確認されている一方、ミニ（マイクロ）ブラックホールと中間質量ブラックホールは研究者の間でも議論が続いています。



超巨大ブラックホール

中間質量
ブラック
ホール？

恒星質量
ブラック
ホール

ミニ
ブラック
ホール？

天文学者はなぜ ブラックホールを研究するのか？

天文学者がブラックホールを研究する理由は多岐にわたります。1つ目に、ブラックホールは「強い重力の最適な実験場」であることです。人類がこれまで築いてきた物理学の法則は、極限まで歪められた時空においても正しいのか、それとも修正が必要なのか？ これはブラックホール周囲の時空構造を詳しく調べることで明らかにできると期待されます。2つ目に、ブラックホールには個性・多様性があるということです。本来ガスを吸い込むだけのブラックホールから、なぜジェットや強力な電磁波といった多様な活動性もたらされるのか、大きな難問として残されています。そして3つ目に、ブラックホールは宇宙進化の「影の立役者」であるということです。近年の研究から、超巨大ブラックホールは銀河の形成や進化の歴史にも大きな影響を及ぼしていることがわかってきました。しかしその仕組みは未だ謎が多く、銀河やブラックホールが誕生して間もない初期の宇宙（遠くの宇宙）を詳しく調べる必要があります。このようにブラックホールはもはや単なる謎めいた存在にとどまらず、物理学や天文学、宇宙全体の理解にとって欠かすことのできない存在になっているのです。

ブラックホールが宇宙に存在する証拠は数多く見つかっています。私たちが住む天の川銀河の中心にも、星々の運動の様子などから巨大なブラックホールの存在が示唆されていました。一方、ブラックホールが「光さえも吸い込む暗黒の天体」であることを示す、その影（ブラックホールシャドウ）を撮影することは、一般相対性理論が提唱されて以来、天文学者にとって約100年にわたる長年の挑戦でした。

ブラックホールシャドウの撮影はなぜ難しいのでしょうか？ その最大の理由は、見かけの大きさ（視直径）が途方もなく小さいためです。地球から最も大きく見えるシャドウでも満月の視直径のわずか4000万分の1ほどしかなく、地球から月面に置かれたテニスボールの大きさをはっきり認識できるだけの高い視力が必要だったのです。

この難題に果敢に挑戦しているのがイベ

ント・ホライズン・テレスコープ（EHT）です。EHTは世界中の研究者からなる国際共同プロジェクトであり、日本からも国立天文台が中心となって参加しています。EHTでは世界各地のミリ波望遠鏡をVLBI（超長基線電波干渉計）と呼ばれる技術で合成し、ほぼ地球サイズの電波望遠鏡に匹敵する解像度を実現します。これは人間の視力に例えると約300万で、ハッブル宇宙望遠鏡の実に1000倍以上に達します。

「視力300万の瞳」 でブラックホール最近傍の姿に迫ります

2019年4月、EHTは史上初のブラックホールシャドウ撮影画像を公開しました。初めて捉えた画像は、おとめ座の方向にある楕円銀河M87の中心にある超巨大ブラックホールでした。それから3年後の2022年5月、今度は私たちが住む天の川銀河の中心の超巨大ブラックホール「いて座A*（エースター）」の撮影にも初めて成功したことを発表しました。画像には、リング状に縁取られた構造の真ん中にブラックホールが作り出すシャドウが写っています。今回その姿が画像に収められたことで、これまでブラックホールの「候補天体」であったいて座A*が、紛れもなくブラック

ホールであることが視覚的に初めて確かめられたのです。また、質量が1000倍以上も異なるにもかかわらず、2つのブラックホールシャドウの形がそっくりだったことは、一般相対性理論の正しさを裏付けるものでした。

いずれの画像も2017年4月の観測に基づくものですが、なぜいて座A*の画像化には時間がかかったのでしょうか？ それはいて座A*がM87よりも明るさや構造の時間変動が速いため、いわば「カメラの露光中に激しく動き回る被写体」からの確に被写体の姿を復元するという、大変難しい課題を克服する必要があったためです。国

立天文台の研究チームはこうした新たな画像復元手法の開発・評価においても大きな貢献をしました。

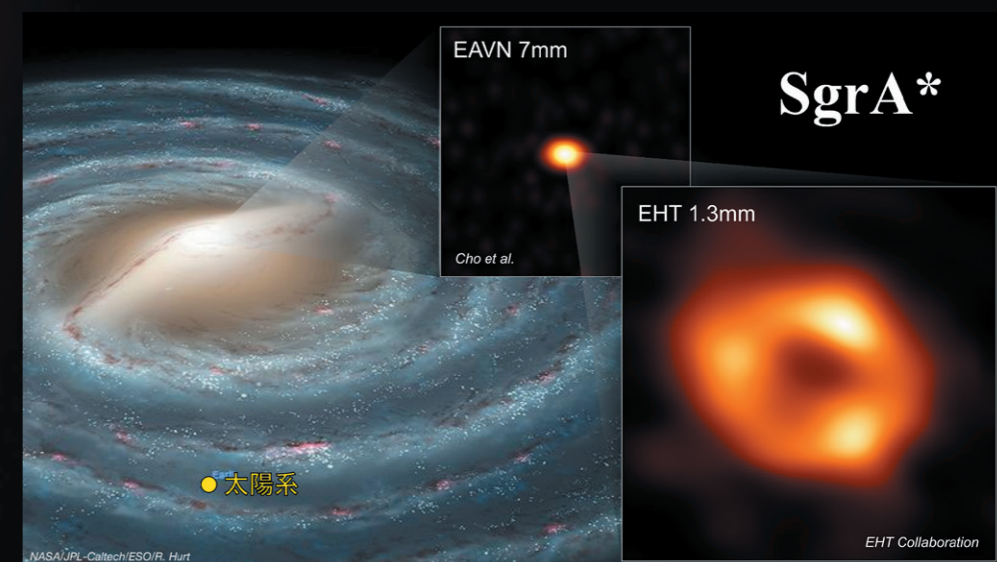
EHTでは2017年以降も観測装置を改良しながら観測を継続しています。将来的には静止画だけでなく動画の撮影をしたり、画質や解像度をさらに高める工夫をすることで、ブラックホール周辺の時空構造や、周辺ガスの運動をより詳しく明らかにしていきます。



研究成果：天の川銀河中心のブラックホールの撮影に初めて成功



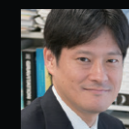
2017年観測時のEHTの望遠鏡配置図。EHTでは世界各地の電波望遠鏡で得られたデータを組み合わせて仮想的に地球サイズの望遠鏡を作り、ブラックホール近傍の観測を行なっています。(クレジット: NRAO/AUI/NSF)



いて座A*は私たちが住む天の川銀河の中心に存在する超巨大ブラックホールです。太陽系から約2万7000光年の距離にあり、明るい電波源として輝きます。中央上部のパネルは東アジアVLBI観測網（EAVN、波長7mm帯）で撮影したいて座A*の電波画像。右のパネルはEHT（波長1.3mm帯）で今回撮影されたいて座A*の電波画像。
クレジット：NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt (天の川銀河の想像図)、Cho et al. (EAVN)、EHT Collaboration (EHT)



小藤由太郎
KOFUJI Yutaro
東京大学



本間希樹
HONMA Mareki
水沢 VLBI 観測所

「宇宙ジェット」の謎



今から100年以上前、まだ「銀河」が天の川銀河の中の天体なのか外の天体なのかわからなかった頃、おとめ座の方向にある球状の星雲として知られていたM87の中心部から奇妙な光線が出ているのが発見されました。これが宇宙ジェットの発見です。その後、天の川銀河の外にはたくさんの銀河が存在し、M87もそのうちの1つであること、M87以外にもジェットをもつ活動銀河があることがわかりました。銀河の中心には超巨大ブラックホールがあり、ジェットはその強い重力を振り切って外へ飛び出しています。やがて光速に近い速さまで加速し、細い形状を保ったまま銀河の外まで到達します。一体どこからブラックホールの重力に逆らえるだけのエネルギーがもたらされるのでしょうか？ どうしてジェットは広がることなく、細い形状を保てるのでしょうか？ また、どうやって光速近くまで加速するのでしょうか？

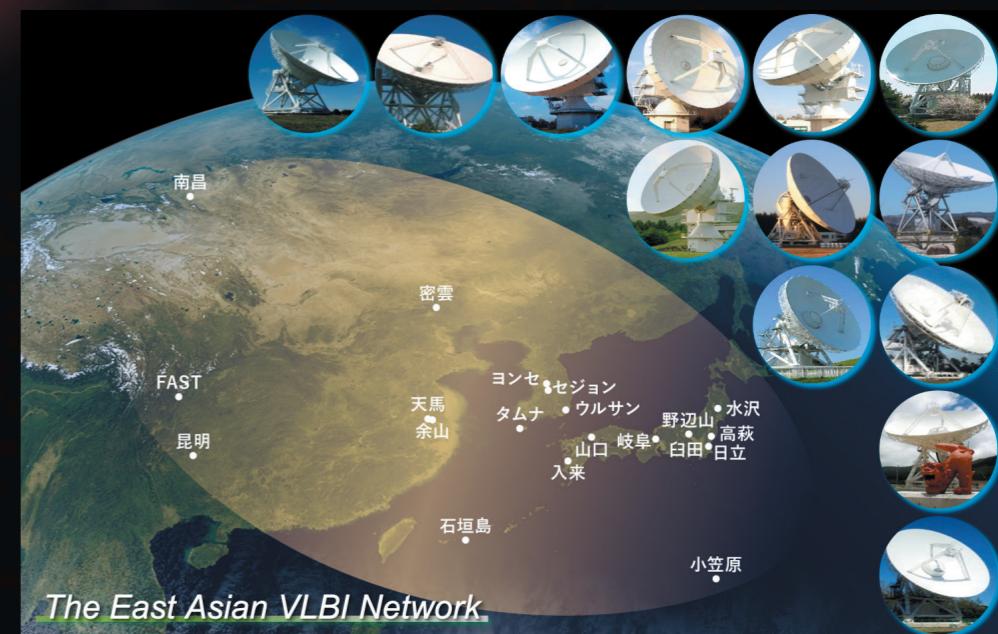
こうした謎を解明するためには、ジェットの形状や速度分布を詳しく調べなければなりません。そこで役に立つのが、高い解像度でジェットを観測できるVLBI（超長基線電波干渉計）という技術です。VLBIは離れた場所にある電波望遠鏡同士を仮想的につなぎ、1つの巨大な望遠鏡として合成することで、極めて高い解像度を実現します。国立天文台では国内の大学や韓国・中国等の研究機関と協力し、「東アジアVLBI観測網（通称EAVN）」を運用しています。EAVNは東アジア地域に分布する10台以上の電波望遠鏡を結びつけた、最大5000 kmにも広がる巨大な電波望遠鏡ネットワークです。ブラックホールを撮影したEHTと比べ、EAVNは観測する電波の波長が長く視野が広いので、ジェットをブラックホールのごく近傍から下流まで幅広く撮影することに適しています。

私たちはEAVNを用いて、これまで数多くの活動銀河ジェットを詳しく観測してきました。とりわけ重要天体であるM87のジェットについては数日から数ヶ月おきの間隔で高頻度に観測を続けており、ジェットが超巨大ブラックホールから噴出後、わずか数光年の距離において光速の30%程度から光速近くまで急速に加速する様子を捉えることに成功しています。この結果はブラックホールの周辺に強力な磁力線が渦巻いていることを示唆しており、現在私たちは観測結果を最先端の理論モデルと比較することで、加速が始まる原因を調べています。今後は東アジアのみならず、東南アジアやヨーロッパ、オーストラリアとも連携し、より大きな電波望遠鏡ネットワークで観測を行う予定です。ブラックホールジェットという天文学100年来の謎の解明に向け、私たちの挑戦はまだ続きます。



研究成果：M87ジェットの根元が次第に加速する様子を捉えることに成功

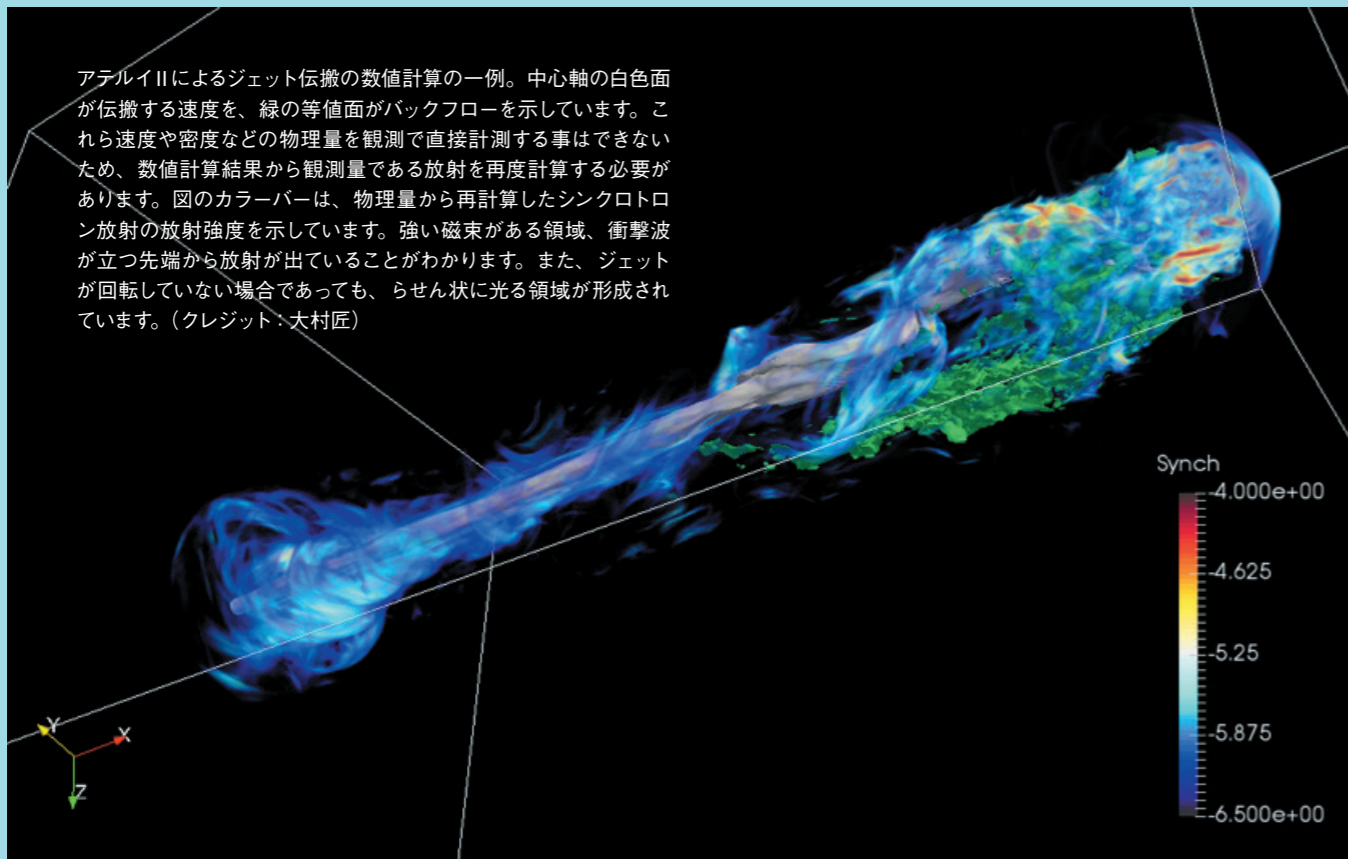
ブラックホールの強力な重力を振り切って脱出するガス流は天文学最大の謎の1つです。



東アジアVLBI観測網（EAVN）の電波望遠鏡群。（クレジット：国立天文台）



田崎文得
TAZAKI Fumie
東京エレクトロン
テクノロジーソリューションズ株式会社

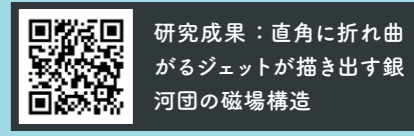


アテルイIIによるジェット伝搬の数値計算の一例。中心軸の白色面が伝搬する速度を、緑の等値面がバックフローを示しています。これら速度や密度などの物理量を観測で直接計測する事はできないため、数値計算結果から観測量である放射を再度計算する必要があります。図のカラーバーは、物理量から再計算したシンクロトロン放射の放射強度を示しています。強い磁束がある領域、衝撃波が立つ先端から放射が出ていることがわかります。また、ジェットが回転していない場合であっても、らせん状に光る領域が形成されています。(クレジット:大村匠)

EHTによっていて座A*やM87のブラックホールシャドウが撮影され、ついにブラックホール自身の存在の証拠を直接目とすることができるようになってきました。一方で、ブラックホールに吸い込まれる降着円盤のガスが、実際のように動いているかは観測画像のみでは簡単にはわかりません。こうしたブラックホール周辺のダイナミックなガスの運動や複雑な物理現象を解き明かすために、スーパーコンピュータを用いた様々な数値シミュレーションが行われています。国立天文台では天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイII」を運用しており、国内外の研究者に広く活用されています。ブラックホールは降着円盤を通してガスを吸い込むだけの一方通行のシステムと思われがちですが、一部のガスはブラックホールから逃げる方向にも噴出しています。このようなガス流がいわゆる宇宙ジェットです。近年EAVNなどの高解像度観測により、M87をはじめとする活動銀河核からのジェットの詳細な構造がわかってきました。しかしジェットの複雑な構造の成因もまた、観測のみでは特定できません。ジェットの形成・伝搬機構の解明にも数値シミュレーションは大いに役立っています。

こうした活動銀河ジェットは、銀河団の構成員の一員であることも多いです。銀河団同士が衝突している現場でジェットが噴出し、銀河団の運動方向にジェットがたなびく現象が知られています。2020年にMeerKAT望遠鏡(脚注1)で観測されたAbell3376は2つの銀河団が衝突している衝突銀河団で、小さい銀河団の中心にある銀河MRC0600-399もたなびくジェットを持っています。しかし、たなびく向きが通常と逆向きになっているのが特徴です。そこで私たちは、動いている銀河団の淵に形成されるそろった磁力線とジェットが相互作用することで逆向きに曲がったと仮説を立て、アテルイIIを用いて検証しました。その結果、まっすぐに進んでいたジェットが磁力線と衝突し、磁力線方向に曲げられている事が実際にシミュレーションによって確かめられました。

このようにスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションは、観測だけでは知ることが難しいガスの空間分布や運動の時間経過などを予測する上で欠かすことができない研究手法です。そしてシミュレーションから得られた理論的知見を実際の観測データと比較する、こうした観測と理論の密接な連携が宇宙の真理を解き明かすために今後もますます重要になっていくでしょう。

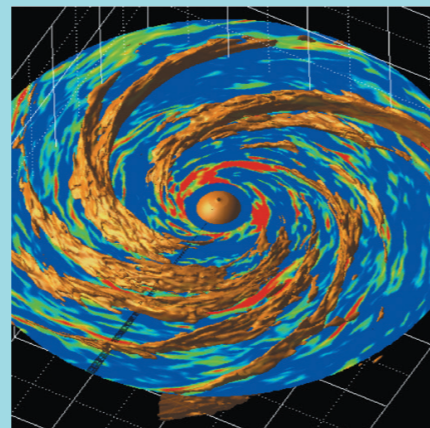


研究成果：直角に折れ曲がるジェットが描き出す銀河団の磁場構造

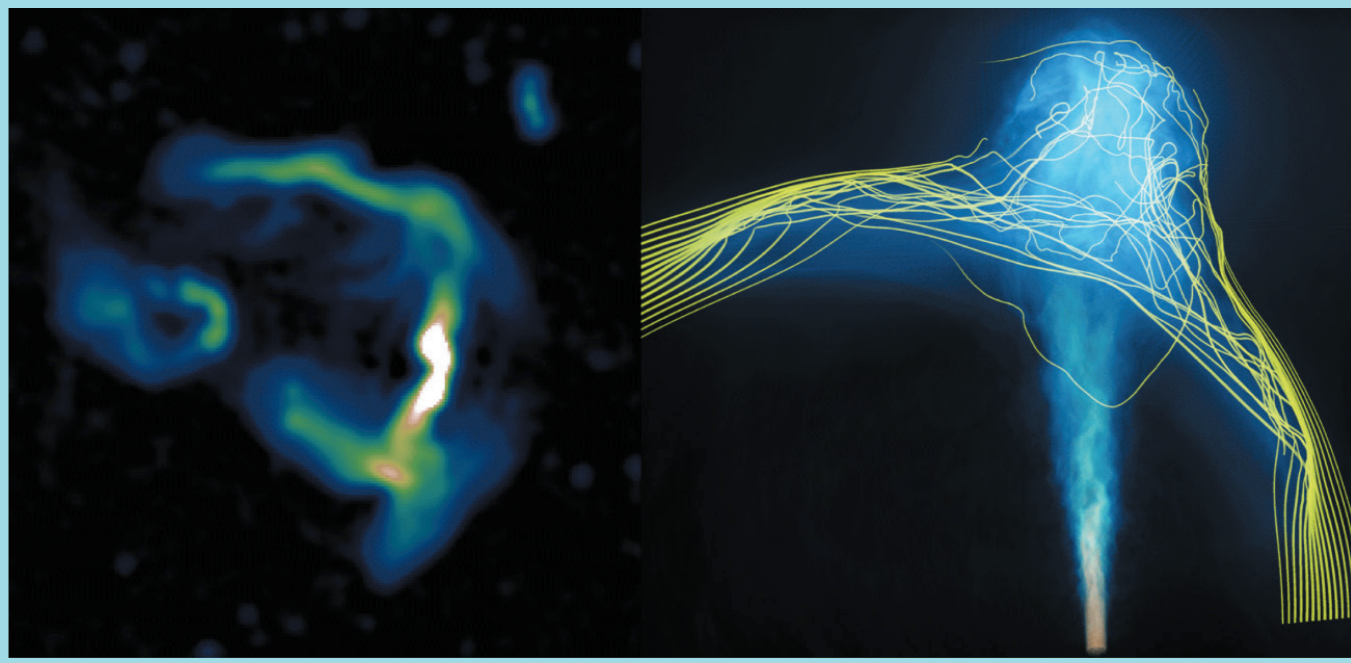
脚注1：南アフリカ共和国に建設された、パラボラアンテナ64台からなるセンチ波電波望遠鏡

それはまさに「理論の望遠鏡」と言えます。

スーパーコンピュータでブラックホールを再現する



ブラックホールに吸い込まれるガス(降着円盤)のシミュレーション。黄色で示した等値面は渦状構造を示し、渦を境界に吸い込まれるガスと逃げ出すガスが混在する。(クレジット:町田真美)



左図：MeerKAT望遠鏡で観測されたMRC0600-399の電波画像。ジェットの先端が直角に折れ曲がっている様子がわかります。右図：ジェットと銀河団磁場の相互作用を明らかにするためにアテルイIIを用いて行った数値シミュレーションの計算結果。黄色は銀河団磁場の磁力線、水色はジェットガスの等値面を示している。クレジット：Chibueze, Sakemi, Ohmura et al. (左図)、中山弘敬、大村匠、町田真美 (右図)

町田真美
MACHIDA Mami
科学研究部

「トーラス」 それはブラックホールの燃料貯蔵庫

アルマ望遠鏡による最先端の観測から、超巨大ブラックホールが成長・活動する仕組みが明らかになりつつあります。



今西昌俊
IMANISHI Masatoshi
ハワイ観測所

太陽の100万倍以上の質量を持つ超巨大ブラックホールが宇宙に存在することは、EHTによるブラックホールシャドウの撮像から多くの人を知ることとなりました。しかし、超巨大ブラックホールがどのように質量を獲得して成長してきたのかに関しては、未解決の大きな問題として残っています。物質を盛んに飲み込んで活動的になっている超巨大ブラックホールは、周囲の降着円盤が明るく輝き、活動銀河中心核として観測されます。活動銀河中心核の様々な観測事実から、活動的な超巨大ブラックホールと降着円盤の周囲には、物質（ガスと塵）がドーナツ状に分布し、トーラスと呼ばれる構造を形成すると考えられています。このトーラスは、中心の超巨大ブラックホールに供給する物質の重要な「貯蔵庫」で

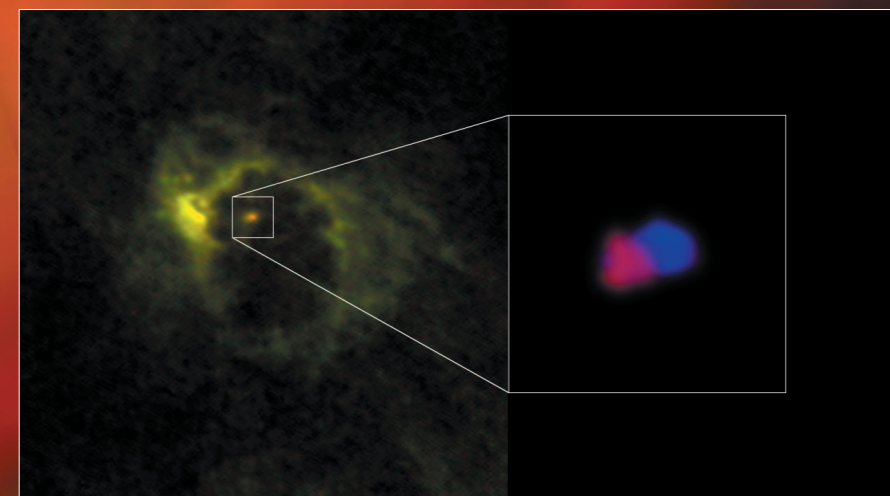
あり、超巨大ブラックホールの質量増大を理解する上で重要な鍵を握ります。しかしながら、トーラスの質量を支配しているガスの粘性を考えると、中心の超巨大ブラックホールに十分な量のガスは輸送されず、質量が十分に成長しないということになってしまいます。何か私たちの知らない物理機構があるはずなのです。

トーラスは小さいため（半径で30光年以下）、地球から5000万光年程度の近傍の距離にある活動銀河中心核の場合でも、見かけの大きさが0.15秒角（1秒角は1度の1/3600）より小さくなります。これよ

りはるかに優れた空間解像度を持ち、ガスを高感度で観測できるアルマ望遠鏡によって初めて、トーラスの詳細な構造や運動を調べることが可能になってきました。私たちは、上記のトーラスモデルが提唱される元となった近傍の高光度活動銀河中心核であるM77を、アルマ望遠鏡を用いて詳しく観測しました。その結果、これまでの多くの他の観測結果から期待されていた通りに、ほぼ東西方向に分布・回転するトーラス中の高密度ガスの姿を鮮明に描き出すことに成功しました。



研究成果：
活動的な超巨大ブラックホールを取り巻くガスと塵のドーナツ
— 予言されていた回転ガス雲を初めて観測で確認



アルマ望遠鏡が明らかにした渦巻銀河 M77 の中心部の様子。半径約700光年の馬蹄形をしたガス雲と、その中心にある超巨大ブラックホールを包む半径約20光年のコンパクトなガス雲（トーラス）が見えています。右図はこの中心部のトーラス領域を拡大したもので、私たちに近づく方向に動くガスを青、遠ざかる方向に動くガスを赤で着色しています。超巨大ブラックホールの位置を中心に、トーラス中のガスが回転している様子がアルマ望遠鏡によって初めてはっきりと捉えられました。クレジット：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Imanishi et al.

では、このトーラスからどのようにしてより中心にある超巨大ブラックホールにガスが輸送されるのでしょうか？ 私たちは、アルマ望遠鏡で解像度をさらに倍増させた観測データを新たに取得し、トーラスの内側と外側で高密度ガスが逆回転する証拠を見つけました。そこから、コンパクトなガ

スの塊がトーラスの元々の回転方向とは逆の方向から衝突し、逆回転の状態を作り出しているという仮説を立てました。このような外的要因により乱された状態が実現すれば、トーラスの回転成分（角運動量）を大きく抜き取ることができます。これにより、内側にガスを効率的に輸送すること

ができ、超巨大ブラックホールが盛んにガスを飲み込んで、高光度の活動銀河中心核として明るく輝くことができます。宇宙の超巨大ブラックホールがどのようにしてガスを飲み込み質量を増加させることができるのかという重要な問いに関して、大きな手がかりをつかむことができました。



「クエーサー」の130億光年先の

超巨大ブラックホールはいつ、どこで、どのように誕生したのでしょうか？

宇宙は光り輝く銀河で満ち溢れていますが、その多くの中心核には、太陽の100万から100億倍もの質量を持つ超巨大なブラックホールが1つずつ存在します。銀河中心部の星の運動を支配し、EHTが捉えたリング画像を作り出し、クエーサーの強烈な光の源となっているのは、すべて超巨大ブラックホールです。このように私たちの観測する様々な天体現象を作り出す超巨大ブラックホールで

すが、一体どのように誕生するのか、未だに分かっていません。その謎を解く鍵の1つは、遠方宇宙にあります。たとえば地球から130億光年彼方の宇宙では、ビッグバンからまだ8億年の時間しか経過していません。そのような若い宇宙では、多くの超巨大ブラックホールがまだ形成途上にあると考えられ、観測によってその様子を直接確認できる可能性があります。

すばる望遠鏡に搭載されている
広視野カメラ
Hyper Supreme-Cam (HSC)

私たちは2014年以来、すばる望遠鏡の大集光力と最新鋭カメラHyper Supreme-Cam (HSC) の広視野を駆使して、最遠方の超巨大ブラックホールを探してきました。その目印としたのが、超巨大ブラックホールが物質を飲み込む際に出すクエーサーの光です。夜空に浮かぶ無数の天体の光の中から、遠方クエーサーの光だけを効率的に選び出すために、専用の数値プログラム群を開発しました。HSCで広大な空を観測し、検出された5億個以上の天体情報をこのプログラム群に流し込むことで、遠方クエーサーである確率が最も高い数百の候補天体を抽出することができます。さらにすばる望遠鏡とカナリア大望遠鏡(脚注1)で追観測を行い、候補1つずつのスペクトルを調べることで、最遠方の超巨大ブラックホール約200個を発見することに成功しました。これらは地球から128億光年以上の彼方にあり、そのような遠方宇宙に人類の知る超巨大ブラックホールのうち、半数近くを占めます。

私たちは現在、発見されたクエーサーの存在密度分布など統計量を調べ、若い宇宙における超巨大ブラックホールの成長の様子に迫ろうとしています。ジェミニ望遠鏡(脚注2)や欧州南天天文台超大型望遠鏡(脚注3)によるブラックホールの質量測定も進んでおり、またアルマ望遠鏡により、超巨大ブラックホールの宿主となっている銀河の質量や星形成率も明らかにされつつあります。さらには2021年に打ち上げられたNASAのジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡も活用し、私たちの発見したクエーサーに対する大規模な追観測を行う予定です。これら一連の観測、さらに世界中で今後実施される様々な研究を通して、超巨大ブラックホール誕生の謎が徐々に紐解かれていくだろうと期待しています。



研究成果：超遠方宇宙に
大量の巨大ブラックホール
を発見



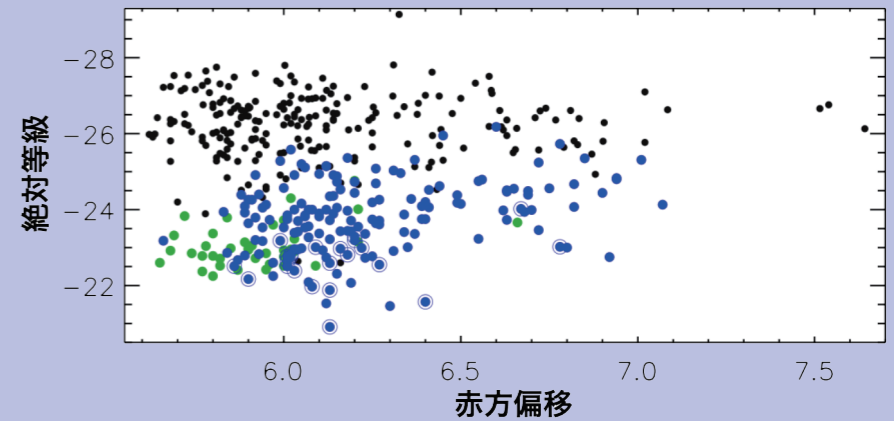
すばる望遠鏡HSCの探査で発見した、地球から130.5億光年彼方にある超巨大ブラックホールからのクエーサー光。

すばる望遠鏡で
宇宙最遠方の
ブラックホール
に迫ります。

脚注1：スペイン領カナリア諸島のラパルマ島山頂地域に建設された有効口径10.4 mの望遠鏡

脚注2：ハワイ島マウナケア山頂とチリのセロ・パチョンに建設された2台の8.1m望遠鏡

脚注3：チリのセロ・バラナル山に建設された4基の有効口径8.1mの光学赤外線望遠鏡

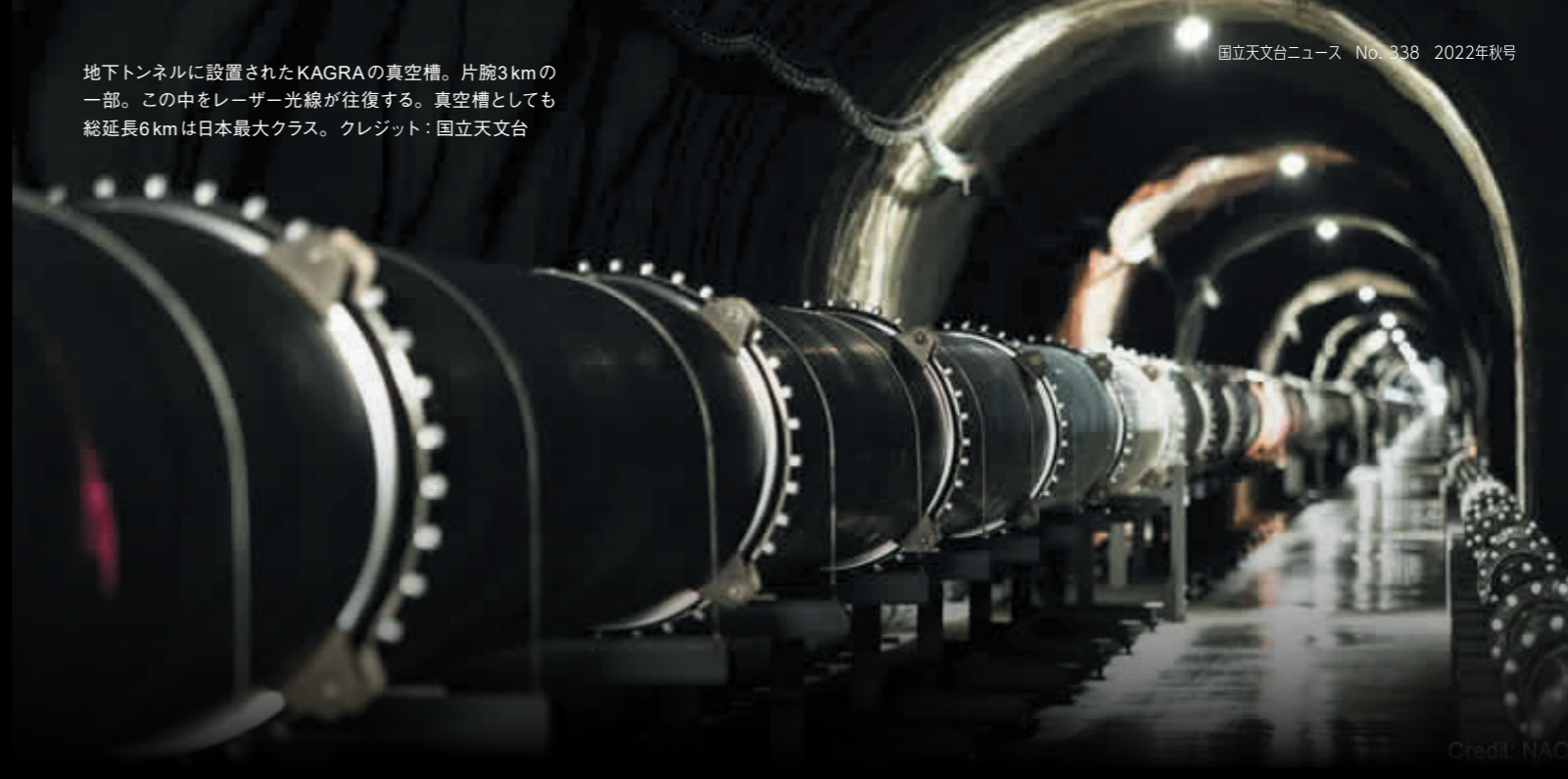


最遠方宇宙で知られる超巨大ブラックホール群の、地球からの距離(赤方偏移;大きいほど遠い)とクエーサー光の明るさ(絶対等級;小さいほど明るい)の分布。赤方偏移6.0以上が128億光年以上であり、ビッグバンからの経過時間が10億年未満の若い宇宙に対応します。青と緑の点はそれぞれ、私たちが発見したクエーサーと銀河を表します。黒い点は、競合する他グループの発見した超巨大ブラックホールです。すばる望遠鏡の大集光力によって、私たちは特に暗いクエーサーの発見に成功しています。



松岡良樹
MATSUOKA Yoshiki
愛媛大学

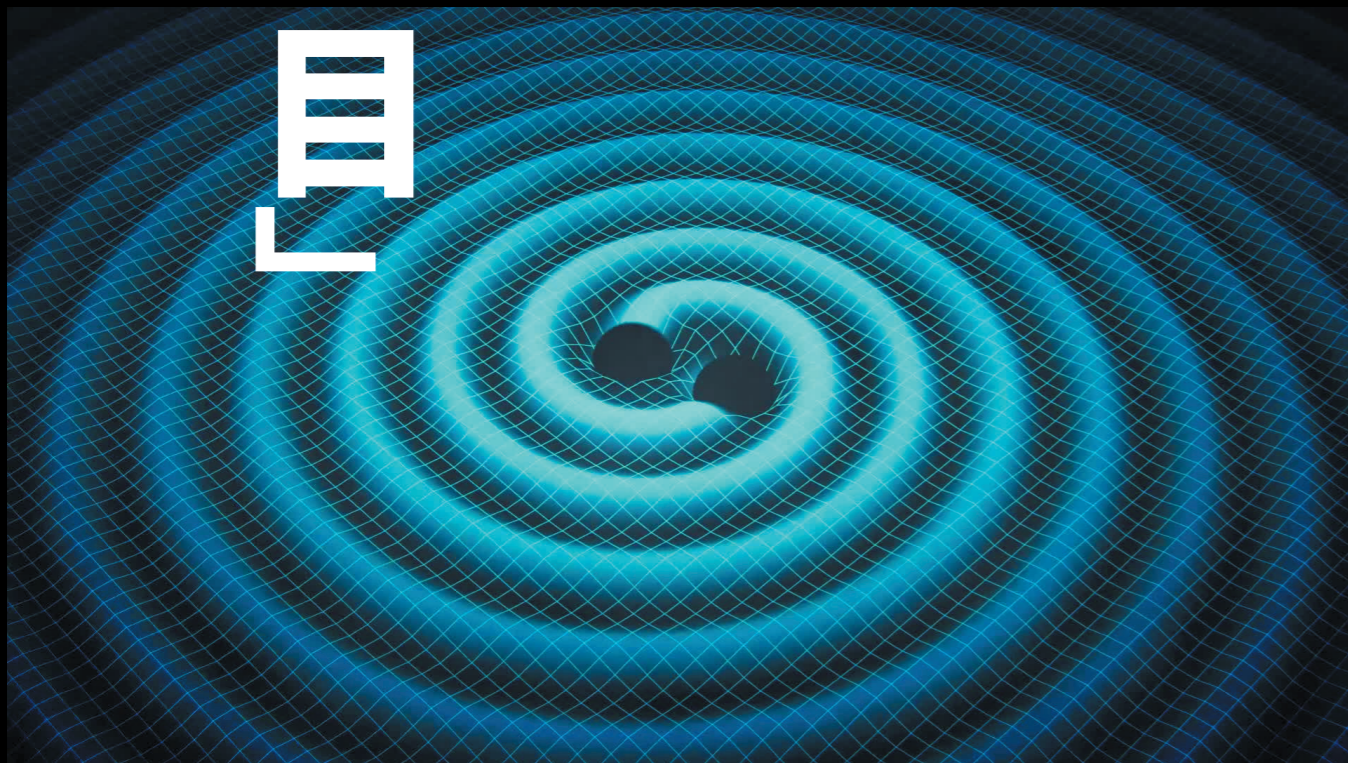
地下トンネルに設置されたKAGRAの真空槽。片腕3kmの一部。この中をレーザー光線が往復する。真空槽としても総延長6kmは日本最大クラス。クレジット：国立天文台



Credit: NAO

「新しい目」

宇宙を観測する「新しい目」で、これまで知られていなかったブラックホールのダイナミックな姿を明らかにします。



クレジット：Swinburne Astronomy Productions

重力波とは、一般相対性理論によれば私たちが暮らす時空自体の微弱なふるえがさざなみのように伝わってくる現象で、ブラックホールを研究する新しい手段です。近年、重力波による観測の発展により、さまざまな恒星質量クラスのブラックホールがかつてない頻度で見つかるようになりました。

2015年秋、アメリカの重力波望遠鏡LIGOが史上初めて重力波の直接観測に成功しました。この重力波は約13億光年先でブラックホールどうしが衝突・合体するときに放出されたものです。合体

前はそれぞれ太陽質量の30倍程度で、これらが最終的には光速の半分ほどのスピードで螺旋状に互いに距離を詰めて衝突し、1つに合体して新たに太陽質量の60倍ほどのブラックホールになったと推定されました。

従来の電磁波を用いた観測では、恒星進化の最後にできるブラックホールは太陽質量の25倍程度が上限でした。初めての重力波の観測例が、これほど重たいブラックホールになると予想した科学者はほとんどいなかったことでしょう。さらに驚くべきことは、そのようなブラックホールが2つ

もあり、互いに連星を成していたことでした。たとえば元は恒星の連星だったとすると、ブラックホールになるには両者が超新星爆発をするなど破滅的な環境を経ているはずですが、離れ離れになっていないのはどうしてでしょうか。こういった数々の謎について科学者の間で活発な議論が交わされています。これまでの80回近い観測例にも豊富なバリエーションが見られます。どのような質量のブラックホール連星合体が起きやすいのか、宇宙初期から今に至るまでそれはどう変化してきたのか、といった議論も進んでいます。

重力波観測は、検出器を長期間稼働して信号を待ち構えます。しかも、地震計のように複数の離れた場所に検出器を配置して信号の到達時間差から重力波源の方向をおおまかに決定します。このための国際共同観測網が形成されており、前述のLIGOや欧州のVirgoのほか、最近では国立天文台が共同ホスト機関として推進する日本のKAGRA（ホスト機関は東京大学宇宙線研究所）も参画しています。

現在、それぞれの検出器では感度や安定度を向上するオーバーホールを進めており、2023年3月から始まる第4期観測では検出頻度はさらに高まるでしょう。特にKAGRAの高感度化は、天球面上における重力波源の方向決定精度の向上に直結します。もしも、連星合体するブラックホールを生み出す母体がどのような銀河か特定できたら、宇宙への理解は大きく進展することでしょう。

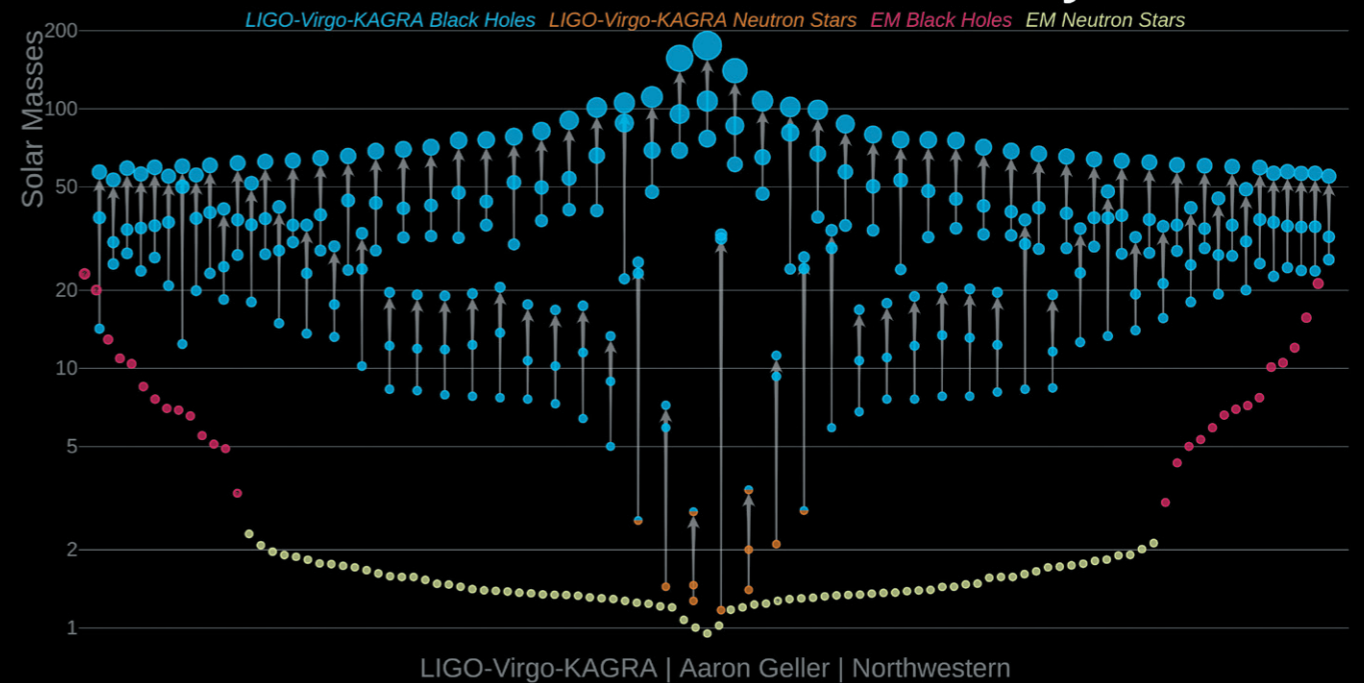


研究成果：電磁波では見えない宇宙の新しい姿をとらえる！



阿久津智忠
AKUTSU Tomotada
重力波プロジェクト

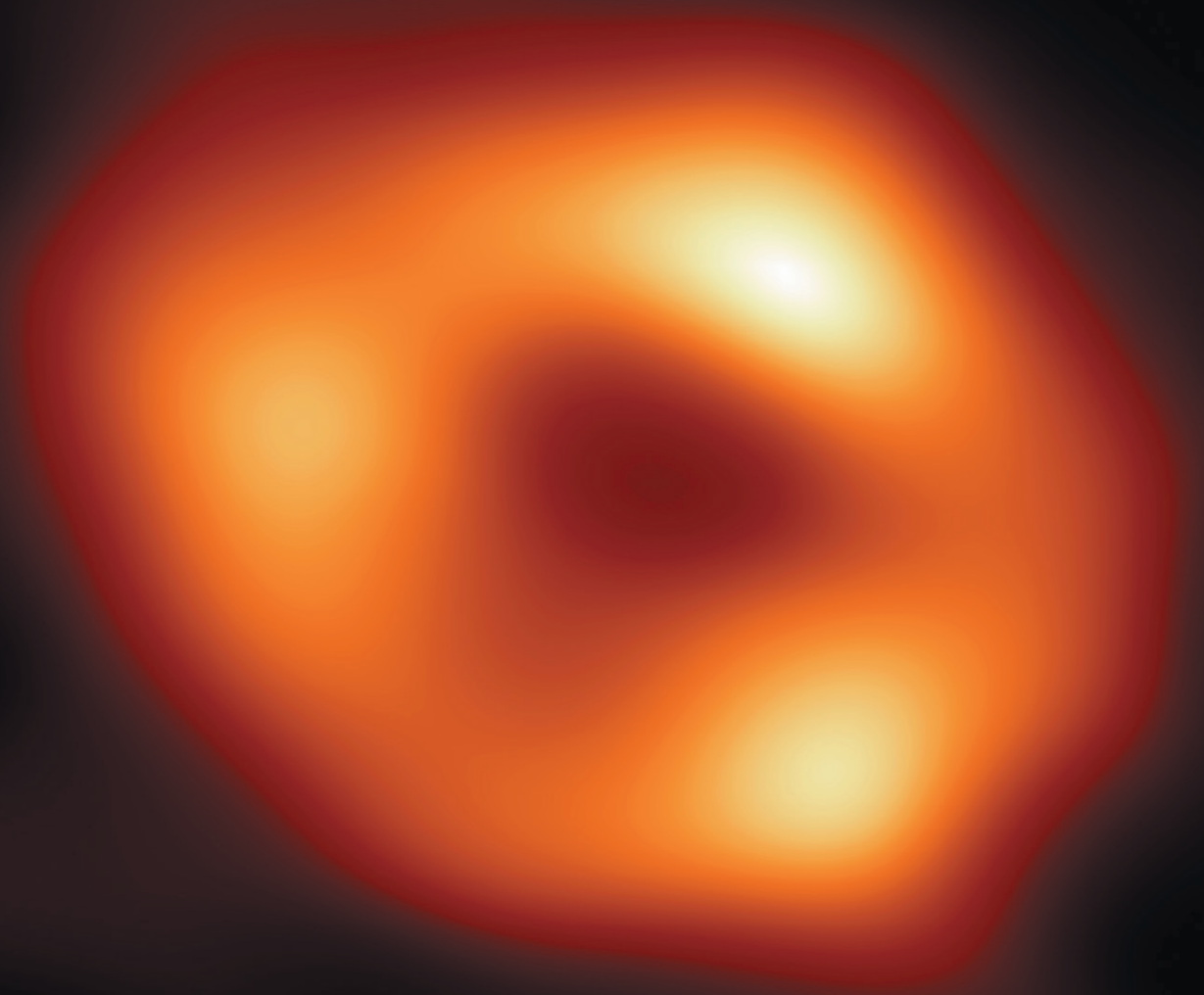
Masses in the Stellar Graveyard



これまでに見つかった中性子星と恒星質量ブラックホールの質量の一覧。縦軸が対数表示の質量で横軸は任意。青は重力波で見つかったブラックホールの連星合体、橙は重力波で見つかった中性子星の連星合体、赤は従来の電磁波観測で見つかったブラックホール、黄色は従来の電磁波観測で見つかった中性子星。重力波で見つかった天体は、ふたつが合体してより質量の大きなひとつの天体が作られることを示しています。クレジット：LIGO-Virgo / Aaron Geller / Northwestern University.



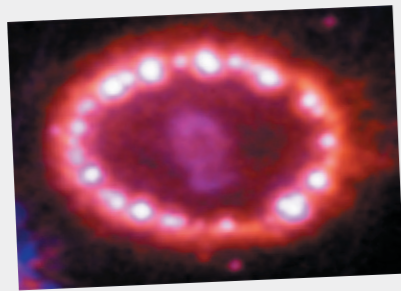
M87 銀河の中心にある
ブラックホールシャドウの画像



いて座 A* : 天の川銀河の中心にある
ブラックホールシャドウの画像

Q1. ブラックホールは、 どうやってできたの？

A1. 恒星質量ブラックホールは、太陽の約20倍以上の質量を持つ巨大な星が一生の最後に超新星爆発を起こし、そのあとに残骸として残されるものです。一方、超巨大ブラックホールがどうやってできたかは、わかっていません。宇宙誕生後数億年の時代にすでに超大質量ブラックホールが存在した証拠が観測から見つかったため、(天文学的には)非常に短い時間で超巨大ブラックホールが作られたことは間違いのないようです。宇宙初期に巨大なガスの塊が一気に収縮して誕生したという説や、宇宙初期に生まれた超巨大星が爆発してブラックホールが作られ、それがたくさん合体して超巨大ブラックホールになったという説などがありますが、決着はついていません。ミニブラックホールは、ビッグバン直後の超高温高密度な宇宙で作られた可能性があります。



1987年に観測された超新星1987A。太陽の20倍ほどの質量の星が一生を終えて爆発しました。Credit: NASA, P. Challis, R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and B. Sugerman (STScI)

ブラックホール Q & A

謎に満ちたブラックホールはとても人気のある天体で、講演会などではたくさんの質問が寄せられます。ここでは、ブラックホールに関するよくある質問とその回答をまとめました。

Q2. ブラックホールは、この 宇宙にいくつくらいあるの？

A2. 恒星質量ブラックホール候補は、天の川銀河に35個ほど発見されています。巨大な星が一生を終えたときにできる巨大な星から、巨大な星の数と天の川銀河の歴史とから、巨大な星の数と天の川銀河の中には1億個もの恒星質量ブラックホールが存在するのではないか、という研究結果もあります。超巨大ブラックホールは、ほとんどの銀河の中心にあります。宇宙全体に、銀河は何千億個もあるとされているため、ブラックホールの総数も莫大な数になります。

Q3. ブラックホールの中は どうなっているの？

A3. 理論的には、ブラックホールの中心にはあらゆる物質が極限まで圧縮された特異点があるとされています。しかしブラックホールの中からは光も何も出てこないため、観測してその中の様子を調べることができません。仮にブラックホールの中に入って内部の様子を調べられたとしても、それを外の誰かに伝えることができません。

Q4. ブラックホールの中に 入ったらどうなるの？

A4. 恒星質量ブラックホールの場合、ブラックホールの近くでは人の足と頭にかかる重力の強さが非常に大きく違うので、その差(潮汐力)によって体が引き伸ばされてしまいます。一方で超巨大ブラックホールではその差が小さいので、ほとんど気づくことなくブラックホールに入ってしまうことでしょう。しかし、振り返ってブラックホールの外に出ることはできません。

Q5. ブラックホールが地球 に近づいてくることはないの？

A5. ブラックホールが太陽系の中に飛び込んでくるようなことがあれば、地球の軌道が乱されて大変なことになると思います。しかし、広大な天の川銀河の中では太陽系は非常に小さいので、ブラックホールが飛び込んでくる心配はほとんど不要でしょう。天の川銀河には1億個ものブラックホールがあると推定されますが、太陽系に猛スピードで近づいてくるようなブラックホールは発見されていません。太陽と同じ質量のブラックホールなら、遠くにあるときに感じる重力の強さも太陽と同じですから、過度な心配は不要です。また、ブラックホールより数千倍も多く存在する別の恒星が太陽系に飛び込んでくる確率の方が高いことでしょう。星は重力に加えて光や熱を出しますので、どちらかという恒星が太陽系に飛び込んでくる方が厄介かもしれません。

Q6. ブラックホールの観測 でよく耳にするVLBIって何？

A6. Very Long Baseline Interferometer (超長基線電波干渉計)の略語で、電波天文学で用いられる観測技術です。離れた場所にある複数の電波望遠鏡で同時に天体を観測し、後日コンピュータ上で各局の観測データを合成することで、巨大な口径を持つ電波望遠鏡と等価な高い解像度を実現します。日本の電波望遠鏡ネットワークVERA、東アジアの電波望遠鏡ネットワークEAVN、地球規模の電波望遠鏡ネットワークEHTはいずれもVLBI技術に基づいています。これらは同じVLBIでも望遠鏡の配置や観測波長、受信システムを工夫することで、VERAのように星の位置を高精度で計測したり、EAVNのようにジェットを高感度で撮影したり、EHTのようにブラックホールシャドウを撮影するなど、それぞれに特徴を持った観測をすることができるようになります。

Q7. ブラックホールの撮影 が間違いだったって聞いたけど、ホントはどうなの？

A7. 確かに、EHTによるブラックホールシャドウの撮影に異議を唱える論文が出版されていますが、その論文についても研究者による検証が進められている段階であり、ブラックホールの撮影が間違いだったと研究者の間で広く認められるには至っていません。EHTのように広い範囲に散らばった限られた数の望遠鏡を結合して観測する方法(VLBI)では、画像の合成が非常に難しいため、研究者は様々な工夫を凝らして研究を進めています。今回の異議は、観測データや解析手法を公開して、研究者の間で広く議論を進めることによってより確からしい結果に近づける、という現代科学の研究プロセスの一環と言えます。EHTでは望遠鏡数を増やした観測を行っていますので、その解析結果によって、超巨大ブラックホールの周囲の構造についてより確からしい知見が得られていくと期待されます。

これから ブラックホール 研究

ブラックホール特集はいかがでしたでしょうか。最先端のブラックホール研究が様々な方法で行われていることがお分かりいただけたかと思います。またブラックホールと一概に言ってもその性質はバリエーション豊かであり、多様な謎や研究テーマがあることも感じていただけたのではないのでしょうか。今回ご紹介した内容以外にも国立天文台では多くの研究者によってブラックホールに関する色々な研究が観測・理論の両面から精力的に行われています。

ではブラックホール研究の今後はどうなっていくのでしょうか？ 現在稼働中の望遠鏡やスパコンでは装置のアップグレードや観測ネットワークの拡張が続いており、さらに精度を高めた研究が進むでしょう。一方2020年代後半から2030年代に向けて、新たな大型望遠鏡の建設・検討が世界各地で進められています。例えば国立天文台が国際協力のもとで建設中の30m望遠鏡TMTでは、大集光力を活かして宇宙で最初に誕生した銀河や超巨大ブラック

ホールからの光が捉えられるかもしれません。また電波帯ではSKA^{★1}やngVLA^{★2}といった超大型電波干渉計の建設・計画が欧州・米国を中心に進められており、国立天文台でも参画に向けた検討を進めています。SKAやngVLAではブラックホールの成長・進化プロセスやジェットの発生メカニズム、銀河や銀河団との相互作用などへの理解が格段に進展すると期待されています。

さらにこうした多波長の望遠鏡が、重力波やニュートリノといった電磁波以外の望遠鏡とタッグを組んで推進する「マルチメッセンジャー天文学」が、ブラックホール研究においても大きく花開きつつあります。マルチメッセンジャー天文学では、ブラックホールと中性子星の合体や突発的な大爆発(フレア)など、従来の天文学では知ることができなかったブラックホールのダイナミックな姿や、あるいは誰も予想だにできなかった全く新しい現象も次々と発見されるかもしれません。

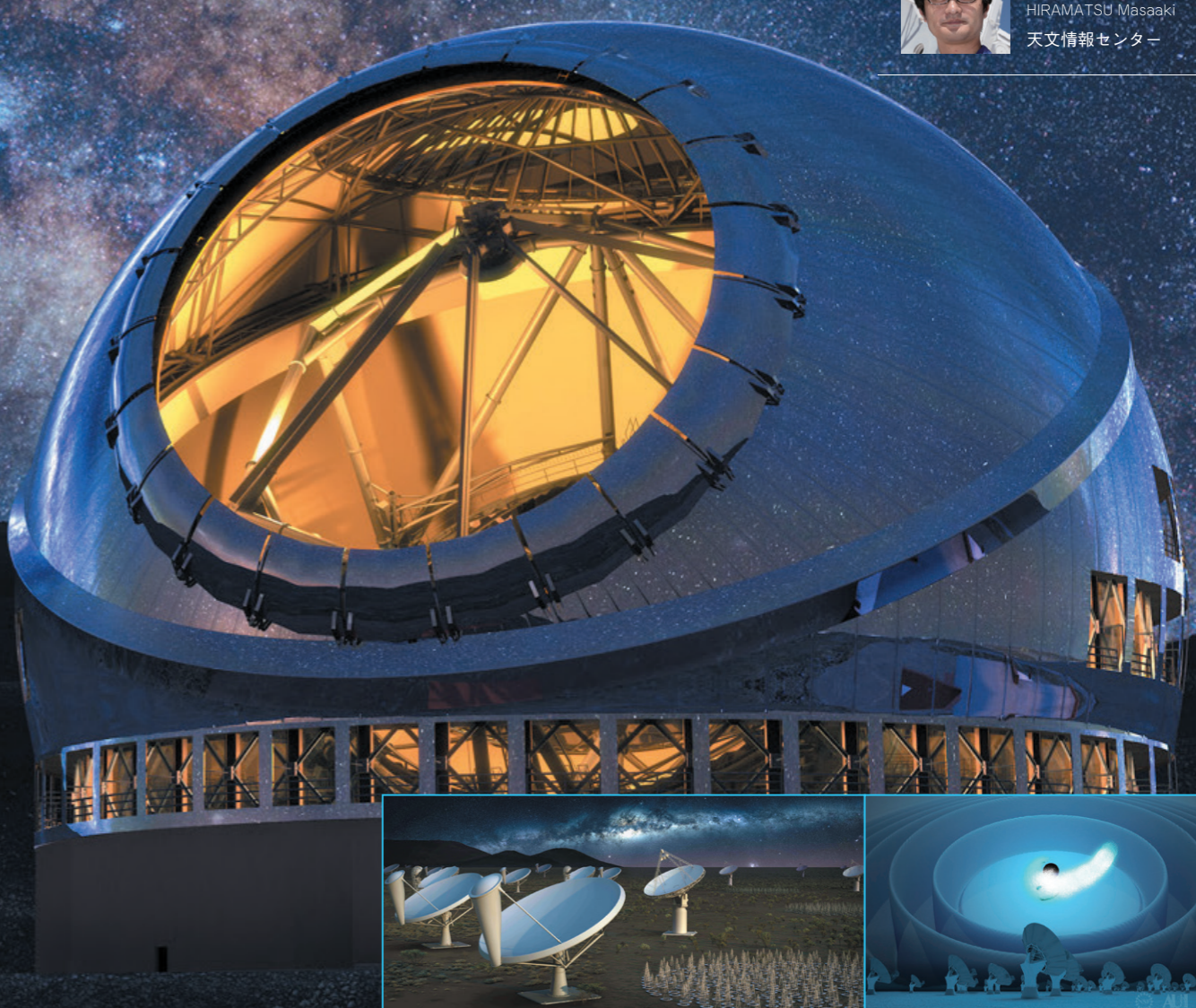
ブラックホールは知れば知るほど新たな謎が出てくるまさに「底なし沼」の天体で、研究者もその魅力に惹きつけられて抜け出せなくなっています。今後のブラックホール研究の発展にもぜひご期待ください。



秦 和弘
HADA Kazuhiro
水沢 VLBI 観測所



平松正顕
HIRAMATSU Masaaki
天文情報センター



★1: 南アフリカと豪州に建設中の、センチ波帯超大型電波干渉計
★2: 米国を中心に計画されている、センチ波帯次世代大型電波干渉計

国立天文台水沢 VLBI 観測所の原点

白黒写真で見る



文・写真資料：馬場幸栄（国立科学博物館）
協力：水沢 VLBI 観測所

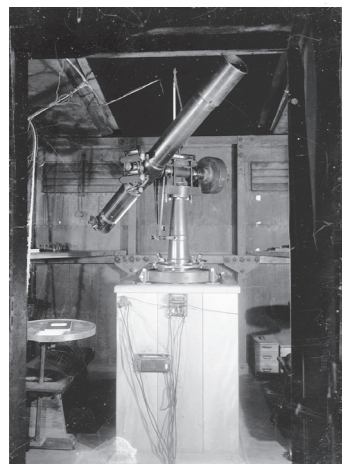
緯度観測所の 所員たち



木村栄については、『木村栄の生涯』（前編・後編）もご参照ください。

ブラックホールシャドウの撮像で注目を集めた国立天文台水沢 VLBI 観測所の原点は、明治32年に岩手県の水沢に創設された緯度観測所でした。国際緯度観測事業という国際観測プロジェクトに参加した水沢の緯度観測所は観測精度の高さと研究成果の革新性で世界の天文学をリードし、そのバトンは昭和63年に国立天文台へと引き継がれました。緯度観測所の前期・中期を支えた所員たちを白黒写真とともに紹介します。

地道な観測と数学的ひらめきで 世界を驚かせた木村栄



木村がドイツから持ち帰ったヴァンシャフ社製眼視天頂儀。



$$\Delta\phi = x \cos\lambda + y \sin\lambda + z$$

木村 栄^{ひさし}は明治3年に石川県に生まれました。寺子屋を経営していた養父母のもとで英才教育を受けて育った木村は、明治22年に帝国大学理科大学星学科（現在の東京大学理学部天文学科）に進学すると、

東京天文台初代台長・寺尾 寿^{ひさし}のもとで天文観測を、地球物理学者・田中館愛橘^{たなかだて あいまつ}のもとで地磁気観測を学びました。明治32年に岩手県の水沢に文部省直轄の研究機関として臨時緯度観測所が設立される

と、木村は29歳で初代所長に就任しました。ただし所長といっても、設立当時の所員は事務員を入れても6名しかおらず、木村はわずか2名しかいない観測者のひとりとして兼務していました。

水沢の臨時緯度観測所に与えられた使命は、地球の緯度変化をとらえるための天体観測を毎晩行い、そのデータを5年間ドイツのポツダムにある国際緯度観測事業中央局に送ることでした。国際緯度観測事業の観測所は水沢、チャルジュイ、カルロフォルテ、ゲイザースバーグ、シンシナティ、ユカイアの6か所に設置されていました。当時の日本は欧米諸国から科学後進国とみなされていたため、ポツダムの中央局は当初、水沢にはドイツ人研究者を派遣するつもりでいました。しかし、日本の科学者たちは、日本人だけで立派に観測ができると主張して譲らず、木村たちを観測者にしました。そうした経緯がありましたので、水沢における観測は国家の威信をかけたものであり、その責任は木村の双肩に重くのしかかっていたのです。

儀に問題があるのではないかと、木村の恩師である田中館が細部まで点検を行いました。しかし、これといった不具合は見つかりませんでした。この不名誉な50点問題によって、木村は窮地に立たされました。いったいなぜ観測値が計算値と離れているのか、木村は考え続けました。ある日、気分転換に臨時緯度観測所のテニスコートで汗を流した木村は、机に戻って

の式をそのまま使っていたことに問題があったのです。木村がこの「Z項の発見」を明治35年1月に国際学術雑誌で発表すると、世界中の天文学者・地球物理学者が衝撃を受けました。中央局長を勤めていた天文学者カール・テオドール・アルブレヒトは木村の発見を称賛し、当初5年で終了する予定だった国際緯度観測事業を延長することにしました。明治38年に刊行された国際緯度観測事業の報告書には、6つの観測所のうちで水沢の観測データが最も精密で信頼性が高いと記されました。こうして木村は名誉を挽回し、日本の科学力の高さを世界に示したのです。

大正11年、木村は国際緯度観測事業の中央局長に就任しました。それに伴って水沢の緯度観測所（大正9年に臨時緯度観測所から常設の緯度観測所となりました）は同事業の中央局となり、国際的拠点のひとつとして世界の天文学をリードしてゆきました。木村は研究者としてだけでなく組織のリーダーとしても優れた才能を発揮しました。学閥や学歴にこだわらずに優秀な人材を集め、女性も積極的に採用しました。所員たちに芸術・スポーツ活動を奨励したため、緯度観測所にはさまざまな部活動が誕生し、所員たちは職位・部局の垣根を越えて交流しました。所員の家族たちのために定期的に家族参加の運動会を開催したほか、幼稚園も設立しました。水沢の市民とも講演会や趣味の謡曲・テニスを通して親しく交流したため、木村は人々から「所長さん」と呼ばれて敬愛されました。



木村栄（前列左から4番目）と緯度観測所の所員たち。

水沢での観測は自然との闘いでした。光の屈折を防ぐため、観測室の温度は外気の温度と同じに保たれました。真冬の水沢は-20℃まで気温が下がることがありましたが、それでも暖房を入れることは許されませんでした。木村たちは毎晩欠かすことなく4時間以上の観測を行い、観測データをポツダムの中央局に送り続けました。ところが明治34年、事件が起こりました。ポツダムの中央局から、水沢の観測値は計算値から離れすぎている、これでは50%の信頼度しか付けられない、という連絡が届いたのです。これでは国家の面目丸つぶれです。すぐに日本の科学者たちのあいだで大騒ぎになりました。もしかして観測に使用していた眼視天頂

中央局の報告書を読み返しました。すると、ふと、6か所すべての観測データに共通の年周変化が存在することに気づきました。これまで緯度変化を求めるときに使ってきた $\Delta\phi = x \cos\lambda + y \sin\lambda$ という計算式では、この年周変化を説明することができません。未知の要素zが緯度変化に影響を与えているのかもしれないと考えた木村は、新しい項を加えた $\Delta\phi = x \cos\lambda + y \sin\lambda + z$ という式を作ってみました。すると、従来の式で計算したときよりも観測値と計算値ははるかに合致しました。じつは、従来の式は、18世紀の天才数学者レオンハルト・オイラーが地球を剛体と仮定した条件のもとで作ったものでした。水沢の観測に問題があったのではなく、世界中の科学者がオイラー



2列目左から木村栄、川崎俊一、池田徹郎。

浮遊天頂儀を日本にもたらした川崎俊一

川崎俊一は明治29年に滋賀県で生まれました。義兄である天文学者・山本一清の影響を受けた川崎は京都帝国大学理学部理学科に入学し、新城新蔵に師事します。大正11年に緯度観測所に就職すると、観測課長として眼視天頂儀を用いた緯度観測に従事しました。昭和7年にはイギリスへ留学し、グリニッジ天文台長フランク・ダイソンの協力のもと浮遊

天頂儀を用いた緯度観測を行ったほか、ケンブリッジ大学で地球物理学者ハロルド・ジェフリーズらの講義を受講しました。帰国後は、イギリスから持ち帰った図面をもとに浮遊天頂儀を制作し、水沢での緯度観測に使用しました。浮遊天頂儀は鏡筒を水銀槽に浮かべることで重力によって正確な鉛直を得ることができるだけでなく、天体の動きを撮影してガラ

ス乾板に記録することもできました。目視で観測を行う従来の眼視天頂儀では観測者によってデータに個人差が生じるおそれがありましたが、写真技術を取り入れた浮遊天頂儀ではそうした個人差を取り除くことができました。川崎は昭和16年に第2代所長に就任しましたが、病気のため昭和18年に46歳の若さで亡くなってしまいました。



緯度観測所に設置した自作の反射望遠鏡と山崎正光。

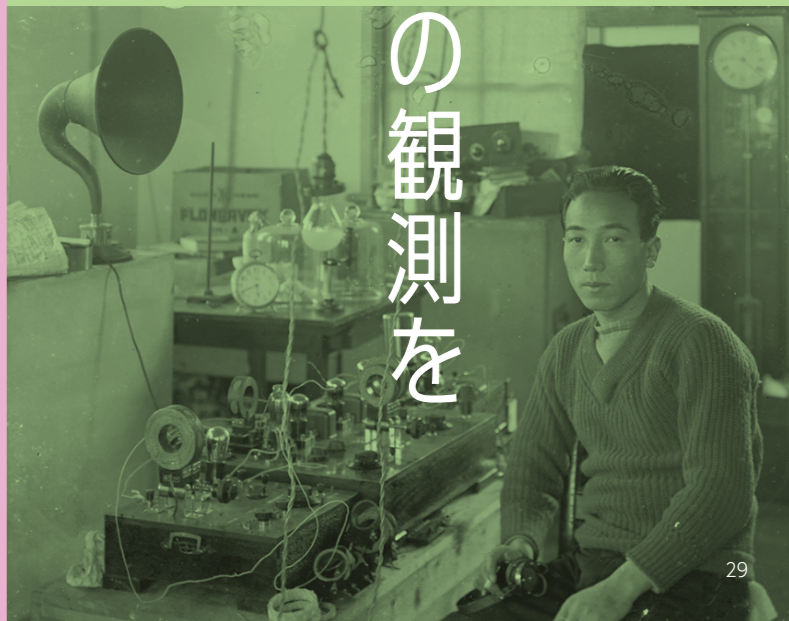
自作の望遠鏡で彗星を発見した山崎正光

山崎正光は明治19年に高知県で生まれました。4歳のときに父を亡くしましたが、10代で米国に渡り、働きながら英語を学びました。天文学に興味を持つようになると、働いていたルート家の主人が天文学者ロバート・エイトケンを紹介してくれたので、エイトケンの助手としてリック天文台で天体観測の経験を積みました。カリフォルニア大学で天文学の学位を取得すると、天文学者・新城新蔵の勧めで京都帝国大学の天文学講師になりました。大正12年に緯度観測所に就職してからは川崎俊一とともに緯度観測に従事しました。観測の傍ら、自ら反射鏡を磨いて口径8インチ（20センチ）の反射望遠鏡を作りました。昭和3年にはその望遠鏡で山崎フォルブス彗星（クロンメルン彗星）を発見し、日本人初の彗星発見者となりました。その功績によって山崎は米国太平洋天文学会よりドノホー賞を授与されています。

クモの糸で高精度の観測を実現させた平三郎

平三郎は明治41年に岩手県で生まれました。水沢尋常高等小学校を卒業すると緯度観測所の採用試験を受けて、14歳で機械工見習いとして働き始めました。当時の緯度観測所では眼視天頂儀のマイクロメーターに十字線（測定基準線）としてドイツから輸入したクモの糸を張っていましたが、ドイツ製のクモの糸は非常に高価で予算を圧迫していました。そこで木村所長はクモの糸を採集してくるようにと平に命じました。平は岩手の山々をひとり何日も歩き回り、クモの卵囊（らんのう。クモの卵を守る繭状の糸）を採集しました。平が集めたクモの糸は透明で直径が3マイクロメーター以下という極細のもので、6等星や7等星といった小さな天体も容易に観測することができました。このことは緯度観測所における高精度な観測の実現に大きく貢献しました。平は緯度観測所にあるあらゆる機器の整備を担当したほか、台湾日食や礼文島金環食の観測にも同行し、技術面で緯度観測所の活動を支えました。

緯度観測所の短波無線報時受信機を整備する平三郎。



池田徹郎は明治27年に島根県で生まれました。京都帝国大学理学部物理学科で気象学を学ぶと、親友の川崎俊一に誘われて緯度観測所に就職しました。緯度観測所では気象課の課長として高層気流が緯度変化に与える影響の研究を行いました。第2代所長となった川崎が昭和18年に早逝すると、池田は所長事務取扱（所長代理のこと。昭和22年に第3代所長に就任）として戦時下の緯度観測所を支えました。戦時中は、多くの男性所員が出兵し、残された所員たちも観測所の敷地で野菜を栽培して飢えをしのぐ状況でしたが、それでも天体観測・気象観測は毎晩休むことなく続けられました。それを可能にしたのは池田の人柄によるところが大きかったのではないかとされています。大学出身のエリート技師（研究者）たちが近づきがたい雲の上の存在であるなか、池田は入所当時から雇（技術補佐員、事務補佐員）・小使い（用務員）・給仕（雑用係）らと同じ詰襟の制服を好んで着用し、女性所員たちとも一緒におやつを食べるなど、庶民派の研究者であり続けました。また、経済的理由で女学校や大学に進学できなかった所員たちのために「池田教室」を開催し、無償で数学や気象学を教えました。水沢の公立高校に奨学金制度を設立するなど所員だけでなく市民の教育にも貢献した池田は、水沢の名誉市民第1号となりました。



緯度観測所の制服を着た石川栄助（前列中央）。

戦時下の観測と 所員教育に 尽くした 池田徹郎

官舎の縁側に座る池田徹郎と息子たち。



飯坂タミ子は大正7年に水沢で荷車の製造販売を営む家庭に生まれました。姉や妹は女学校へと進学しましたが、水沢尋常高等小学校で優秀な成績を修めていた彼女は校長と担任の推薦を受けて、卒業後すぐに14歳の若さで緯度観測所に就職しました。働きながら勉強を続ける同僚・石川栄助に触発された飯坂は、在職中に専門学校入学者検定（女学校卒業者と同等の学力を認める試験）を受験し、16歳で数学科と地理科の試験に合格しました。緯度観測所では計算係として勤務し、週6日、算盤・計算尺・手廻し計算器を駆使して計算作業に従事しました。いちども計算ミスをしたことがなかったため、同僚たちからは「計算の神様」と呼ばれました。緯度観測所には飯坂のような女性計算係が大勢おり、各種事業を常に陰で支えていました。



緯度観測所の運動会に参加する寺島倭子（中央、三つ編みの女性）。

「計算の神様」と呼ばれた 飯坂タミ子

眼視天頂儀室前の飯坂タミ子（個人蔵）。戦前の女性所員たちは袴姿で通勤していた。



仕事と結婚を 両立させた 寺島倭子

寺島倭子^{しずこ}は大正13年に水沢で生まれました。父・善治は緯度観測所の会計係で、所員の遠足に幼い娘を連れてゆくほどの子煩悩な人物でしたが、病気のため33歳の若さで亡くなってしまいました。家計を支えるべく、寺島は水沢尋常高等小学校を卒業するとすぐに緯度観測所に就職し、身体の弱い祖母を支えながら計算係として勤務しました。緯度観測所には計算係のためのマニュアルは存在せず、計算方法は先輩である飯坂タミ子から習いました。休日には男性所員たちと一緒に池田教室で数学の勉強もしました。寺島が勤務していた当時、女性所員は結婚すると「寿退社」するのが一般的でした。しかし、上司である池田徹郎が結婚・妊娠・子育てのために女性が仕事を辞める必要はないという考えを持っていたこともあり、寺島は結婚・妊娠後も緯度観測所での仕事を続けました。ただし、当時の女性所員の給料では子守りを雇うことが難しかったため、出産2か月前に惜しまれながら退職しました。それでも、結婚しても緯度観測所の仕事を辞める必要がないということの後輩の女性所員たちに示した功績は大きかったと言えます。

苦学して 学者になった 石川栄助

石川栄助は明治43年に水沢に生まれました。11人きょうだいの第7子として生まれた石川は幼い頃から豆腐の配達をして家計を支えました。家庭の経済的事情のため進学は断念せざるをえず、水沢尋常高等小学校を卒業すると裁判所の給仕として働きながら尋常科正教員検定試験を受験し、16歳で水沢尋常小学校の教員となりました。木村栄所長と池田徹郎気象課長の勧めで緯度観測所の採用試験を受けた石川は、17歳で所員となりました。数学が好きだった石川は、休日には上司である池田徹郎が主催する「池田教室」で解析学を学び、仕事の傍ら数学の論文を執筆して学術雑誌に投稿し続けました。昭和13年には数学科中等教員試験に合格し、緯度観測所を退職して28歳で盛岡高等農林学校（のちの岩手大学）の教員となりました。最終的には岩手大学の統計学教授となっています。家庭の事情で進学できなくても数学者となることを諦めなかった石川に刺激を受けた所員は少なくありませんでした。

木村榮記念館で企画展を開催中！

国立天文台水沢キャンパス内には緯度観測所の歴史と木村榮の業績を紹介した木村榮記念館が一般公開されています。この建物は、1900年（明治33年）に建築された臨時緯度観測所創立時の庁舎で、観測所が開所した1899年（明治32年）の翌年建設され、1966年（昭和41年）まで研究室として使用された歴史的建築物でもあります。

今から100年前の1922年（大正11年）9月6日に水沢緯度観測所は国際緯度観測事業の中央局となりました。局長は木村榮博士です。毎月世界の緯度観測所からデータが送られ水沢で整理、計算、解析を行っていました。木村榮記念館ではそれら水沢に送られた観測ノートを企画展示しています。世界7カ所の緯度観測所から送られた観測ノートの実物を展示しています。2023年の春までを予定しています。この機会に、ぜひお越しください。



<https://www.miz.nao.ac.jp/kimura/>

●入館時はマスクの着用、手の消毒、三密を避けるなどの感染症対策をお願いします。みなさまのご理解、ご協力を重ねてお願いします。

新・キーナンバーで読み解く宇宙

国立天文台の特別公開を各所で「現地」開催！

3年ぶり

自然科学研究機構国立天文台では、市民の皆さまに星と宇宙に親しんでいただき、国立天文台で行われている天文学研究に関心を持っていただくことを目的とし、国立天文台の各地区において特別公開を毎年実施しています。三鷹地区では「三鷹・星と宇宙の日」、野辺山地区では「野辺山宇宙電波観測所 特別公開」、そしてハワイ観測所岡山分室の「あさくち天文台フェスタ」や、水沢VLBI観測所の各局での「いわて銀河フェスタ」（奥州市）、「南の島の星まつり」（石垣市）などは、地元の自治体協力のイベントとしても実施されています。特別公開では、普段の一般公開では見ることができない施設を見学したり、研究者と直接話ができることもあり、毎年たいへん多くの方に来場していただいていたのですが、ここ2年は新型コロナ禍のため、中止またはオンラインでのみ実施を余儀なくされてしまいました。今年は制限はあるものの、数地区で3年ぶりの現地開催が実施でき、かつての活気が戻ったようで嬉しいです。来年こそは制限なしでの現地開催ができることを切に望みます。

文 梅本智文
UMEMOTO Tomofumi
天文情報センター
普及室長

南の島の星まつり 2022 2022年7月30日～8月7日



「南の島の星まつり」は今回で21回目を迎えました。7月30日（土）から8月7日（日）までの9日間開催され、8月6日（土）は夕涼みライブ&星講座・観望会、8月7日（日）は国立天文台副台長の吉田道利教授による記念講演会、VERA石垣島観測局特別公開が開催されました。期間中、石垣島天文台では見学者にオリジナル記念写真が配布されました。「夕涼みライブ&星講座・観望会」および「記念講演会」は石垣市観光文化課のYoutubeチャンネルで配信されています。是非ご覧ください（石垣島天文台 花山秀和）。



いわて銀河フェスタ 2022 2022年8月20日～28日



野辺山宇宙電波観測所特別公開 2022 は「野辺山40周年と新しい挑戦」をテーマに、コロナ感染状況を鑑み、8月28日（日）の当日オンライン企画と、8月26日（金）～11月未までの分散現地企画（キーワードラリー）の実施となりました。オンライン企画では、45m望遠鏡ユーザーによる研究を広く知ってもらう事を意識した「ヨンゴ研究発表会」を実施し、7件の講演と、28件のポスター発表が行われました（野辺山宇宙電波観測所 西村 淳）。



野辺山宇宙電波観測所 特別公開 2022 2022年8月28日 (8月26日～11月30日)

3年ぶりの開催となりますが、現地開催とオンラインを併用し、また1日での開催による集中を避け、複数日に渡り規模の小さなイベントを多数実施しました。現地開催ではクイズラリーやペットボトルロケット打上げ体験、実験イベントなどにたくさんの方が参加されました。またYouTube国立天文台水沢チャンネルとしては初となるライブ配信を行い、スタッフもドキドキの中、無事会場の様子を全国の皆さんにお届けすることができました。全国の方から寄せられる水沢でのさまざまな活動を直接見てみたいとの声に、少しはお応えすることができたと思っています（水沢VLBI観測所 小澤友彦）。



あさくち天文台フェスタ 2022 2022年11月5日

新型コロナウイルスの影響により、過去2年オンラインのみでしたが、今年は現地での開催が復活。オンライン企画と合わせて初のハイブリッド開催となりました。入場者を事前募集で制限するの初めてで、不安だらけの開催でしたが、現地企画はまずまず盛り上がり、やはり対面して解説できる充実感に満ちていました。一方、オンラインは3年目ということもあり内容も充実。遠方でも参加できる長所を生かし、好評を得ました（天文情報センター 普及室 佐藤幹哉）。



国立天文台ハワイ観測所岡山分室のある岡山県浅口市は、他に京都大学岡山天文台の3.8mせいめい望遠鏡や浅口市によって運営される岡山天文博物館があり、日本でもっとも可視光の望遠鏡が集まる場所です。2022年の11月5日にこの三者が共催して「あさくち天文台フェスタ2022」が開催されました。コロナ禍での制限やドームスリットのトラブルによる188cm望遠鏡の公開中止などがありましたが、総計約250人（博物館入場者数調べ）が来場し、スタンプラリーや工作、ミニ講演会などの催しが行われました。せいめい望遠鏡では普段は入れないドームの中で望遠鏡をより近くで見たり、実際にボタンを押して望遠鏡を動かしたりと楽しい休日をご過ごしてもらえたものと思います（ハワイ観測所岡山分室 田實晃人）。

三鷹・星と宇宙の日 2022 2022年10月28日、29日



NEWS

第31回 IAU総会にてブース出展

松本 瑞 (国際連携室)

2022年8月2日から11日まで、韓国の釜山で第31回 IAU (国際天文学連合) 総会が開かれ、国立天文台はプラチナ・スポンサーとしてブース出展を行いました。



新型コロナウイルス感染拡大の影響で一年延期となった

今回の会議では直前での感染再拡大もあり、来訪者は少数になるだろうと予想されていましたが、全体の参加者約2000人の内、約1200人が現地対面にてこの会議に参加するなど、盛況な会議となりました。国立天文台展示ブースでは、すばる望遠鏡 (すばる2) やアルマ望遠鏡をはじめとした国立天文台の研究活動に関する広報や、主に若手研究者のためのリクルート情報を提供しました。

国立天文台には、日本人のみならず外国人研究者等も対象とした国立天文台フェローなど、さまざまな受入制度や事業があります。これらの情報と共に、国際連携室が提供する生活支援や日本語教室など、外国人研究者等が国立天文台で充実した研究生活を送るための支援内容についても紹介しました。

また、国立天文台展示ブース内には来年夏に福島で開催予定のIAU主催「アジア太平洋地域の天文学に関する国際会議 (APRIM2023)」の紹介デスクも設置され、来年の同会議開催に期待する方々の来訪もありました。

展示ブースには合計約750人の参加者が訪れ、久しぶりの対面開催であったこともあり、展示担当者への活発な質問が多く聞かれました。



国際連携室
HP

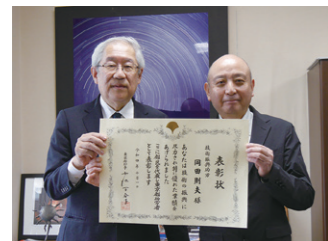


国際会議等
でのブース
出展実績

岡田則夫さん (先端技術センター) が、令和4年 東京都功労者表彰にて技術振興功労で表彰されました

岡田さんの受賞のコメントです。

「このたびは技術振興功労賞を賜り、誠に光栄に存じます。お世話になったすべての皆様に御礼申し上げます。国立天文台は近年の観測装置が大型・高精度化される中、困難なミッションを数々成功させて来ました。今回の受賞は先端技術センターにおける長年に亙るものづくりを通じてこれらの成果に貢献したことだと思えます。これからもこの地で技術開発のバトンが引き継がれていくことを信じています」。



岡田さん (右) と常田台長 (左)。(クレジット: 国立天文台)

すばる望遠鏡画像が「アストロ・デー」参加者を魅了



大画面に映し出されたHSC画像に興味津々の子供。(クレジット: 国立天文台)

2022年5月14日、ハワイ島ヒロのショッピングモール「プリンズ・クヒオ・プラザ」にて、毎年恒例の天文学イベント「アストロ・デー」が開催されました。2020年はコロナ禍で中止、2021年は天文学の体験キットをモールの店舗に託すのみと限定的な開催でしたが、今年は3年ぶりに対面での開催となりました。

コロナ禍前と同じとはいえないながらも、すばる望遠鏡のブースでは9名のスタッフが、参加者と直接交流できる喜びを再認識しました。これからもハワイ観測所は、地元ハワイ島の人たちと天文学の楽しさを共有し、子供達が将来の進路を考えるきっかけとなるような活動を続けていきます。



ハワイ観測所が ハワイ科学技術博物館サイエンスナイトに参加

ハワイ観測所は、地元ハワイ島の地域社会の一員として様々なイベントに参加し、STEM (科学・技術・工学・数学) 教育活動に貢献しています。2022年9月14日には、400人を超える子供たちと保護者などが訪れた、デ・シルバ小学校で行われた「サイエンスナイト」に参加しました。



「サイエンスナイト」のすばる望遠鏡のブースに、子どもたちが集まり、話し合いながらハワイ観測所特製のゲームを行っている様子。(クレジット: 国立天文台)

「サイエンスナイト」は、地元のハワイ科学技術博物館が「家族で楽しめる科学」をテーマに開催するイベントです。2019年以来初の大規模なイベントとなり、ハワイ観測所のほか、ハワイ宇宙飛行研究所、ケアアウ高校ロボットチーム、ハワイ島外来種対策委員会、ハワイ大学ヒロ校・ウミガメ座礁対策チーム、ハワイ大学ヒロ校天文学科などが参加しました。訪れた地元の人たちは、様々なアクティビティを通して、科学や数学、機械の仕組みなどについて学習しながら楽しみました。

ハワイ観測所のブースでは、日本の伝統的なカードゲームの1つである「かるた」を元にした、新しいカードゲームを行いました。「かるた」は、読み手が「読み札」を読み上げ、競技者が、読み上げられた内容と対になる「絵札」を探し、できるだけ多くの絵札を集めた人が勝つゲームです。今回、ハワイ観測所が行ったゲームは、スタッフが天文学にまつわる質問をして、子どもたちが家族や友人と一緒に答えを考え、答えと合った惑星の絵札を見つけるというもの。正解が1つしかない問題もあれば、複数の正解がある問題もあります。ゲームの最後には、参加した子供たちに「子ども天文学者」の認定書が手渡され、皆、嬉しそうな表情で受け取っていました。



星空ライブカメラ設置・運用の協定を朝日新聞社と締結

自然科学研究機構 国立天文台と朝日新聞社は、ハワイ島マウナケアの「星空ライブカメラ」の設置・運用についての協定を締結しました。すばる望遠鏡の山頂施設に設置された星空ライブカメラが、24時間365日ライブ配信するマウナケア山頂付近の映像は、天文・科学の



協定調印式に臨む朝日新聞社の中村史郎代表取締役社長 (左) と常田佐久 国立天文台台長 (右)。(クレジット: 国立天文台)

裾野を広げることにつながると期待されます。

両代表による協定調印式は、2022年9月13日に都内にて執り行われました。



レバノン・ノートルダム大学と 研究学術協力の覚書を締結

2022年7月12日、自然科学研究機構 国立天文台とレバノン共和国のノートルダム大学 (NDU) は、研究学術協力の覚書を締結しました。

国立天文台とNDUとの研究学術協力については、最初の覚書が2014年6月に締結されています。この覚書の下、日本とレバノンの研究者が突発天体、小惑星、変光天体等の共同観測研究を行うことを目的として、60センチメートル反射望遠鏡が国立天文台から新しい天文台の建設を計画していたNDUに提供されました。この望遠鏡は高知県の芸西天文台から国立天文台に寄贈されていたものです。

今回の覚書は、これまでの両者の協力関係の継続を確認するために締結されました。計画中のNDUの天文台は現在、建設準備が進められている段階です。完成すれば、アラブ・中東地域で最も高い標高にある天文台となる予定で、提供された望遠鏡は近い将来、大いに活用されることになるでしょう。



《左》NDUのベシャーラ・クウォーリー学長 (クレジット: ノートルダム大学)、《右》ニダル・ヤヒヤー駐日レバノン大使 (左) と常田佐久・国立天文台台長 (右)。(クレジット: 国立天文台)



世界各地で進む TMT 分割鏡の研磨

TMTの主鏡は分割鏡であることから、複数の場所で作ることが可能です。分割鏡の鏡材製作と最初の整形については日本のメーカーが全数を担当することにより、均一な素材を提供しますが、時間のかかる研磨工程は日本、米国、インド、中国で分担することになっています。2015年には日本で、2020年には米国で研磨加工が始まり、インドでも研磨加工に向けた準備が進んでいます。



米国コヒーレント社の工場内で、研磨加工のトレーニングを受ける、インドの光学エンジニア。(Credit: TMT国際天文台)

インドTMT連携機構 (ITCC) は、研磨からの工程を一貫して行うことのできる施設 (インドTMT光学製作所: ITOFF) を作り、2020年には日本から最初の鏡材が到着しています。コロナ禍での渡航制限が緩和されてからは、インドの光学担当者が米国の研磨工場でのトレーニングを積んでおり、インドでの研磨加工が実現に向かっていくところです。

2022年度 iSALE 講習会

松本 侑士 (天文シミュレーションプロジェクト)

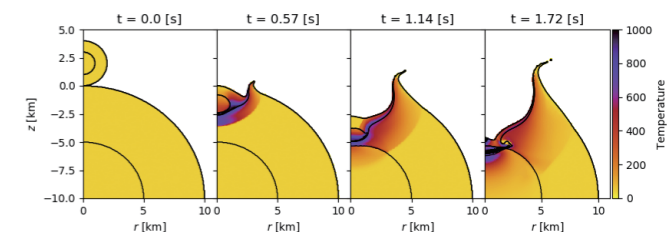
天体衝突は惑星系の歴史では頻りに起きる現象です。惑星や衛星に加え、小惑星探査機「はやぶさ」や「はやぶさ2」が訪れたイトカワやリュウグウといった小天体の成り立ちにも重要な役割を果たしていることが示唆されています。天体への衝突の影響を解明すべく行われているのが衝突シミュレーションです。衝突シミュレーションの明らかにする高温高圧下での表面物質の変成は、まさに「はやぶさ」や「はやぶさ2」の回収した試料の説明に役立てられています。

衝突シミュレーションの入門の場として、国立天文台天文シミュレーションプロジェクト (CfCA) は科学研究目的のための衝突シミュレーションコード iSALE の講習会を主催しています。2022年度も iSALE 講習会が開催され、大学生から大学職員までの10名の受講者が集まりました。講師に黒澤耕介氏 (千葉工業大学) と眞生有理氏 (JAXA) を迎え、衝突という物理現象について、また iSALE を用いた衝突シミュレーションについて学びました。講習会を通して受講者は図のようなシミュレーションを習得しました。

これらのシミュレーションには国立天文台 CfCA の計算資源が用いられています。今後講習会受講者が国立天文台 CfCA の計算資源を活かし、イトカワやリュウグウ、あるいは他の惑星、衛星への衝突の影響についての研究を進めることが期待されます。



iSALE
について



iSALEによる小天体同士の衝突シミュレーションの一例。高温を経験した物質が表層へと巻き上げられている。

金属3Dプリンタを用いた、初の電波天文用の受信機部品の製作に成功

3次元モデルデータに基づいて材料を積層・結合させることにより立体的に製品を生成する、付加製造技術（Additive Manufacturing, AM）の天文観測機器への応用を、2015年頃から国立天文台のアルマプロジェクトと先端技術センターとが連携して検討してきました。天文観測機器は一つの望遠鏡に一つだけの装置という固有なケースが多いこと、また特殊な部品が必要になることから、積層造形技術を有効に活用できる可能性があります。

当時は、アルマ望遠鏡のバンド1受信機（観測周波数35ギガヘルツから50ギガヘルツ）のプロトタイプ的设计開発が進んでいたことから、バンド1受信機用の部品を試作品として選定し、装置の販売代理店企業と共に検討を重ねました。その後2019年に、先端技術センターに金属3Dプリンタを導入し、実用品としてのコルゲートホーンの製作に着手することになりました。

コルゲートホーンは、天体からの電磁波を受信機上で最初に受信し、後段に設置された検出器へ電磁波を集光する役目を果たします。最先端の受信機に使用するためには、アンテナビームパターンやその周波数特性といったコルゲートホーンそのものの性能が、仕様を満たす必要があります。加えて、コルゲートホーンが設置される低温かつ真空という環境で、問題なく機能するための金属材料物性の評価も重要です。

製作したコルゲートホーンは現在、台湾の中央研究院天文及天文物理研究所（ASIAA）でバンド1受信機に組み込まれ、マイナス258度という極低温の環境で最終段階の性能試験が行われています。これまでの試験の結果では、このコルゲートホーンはアルマ望遠鏡の仕様適合していることが確認されています。試験終了後、受信機はアルマ望遠鏡に搭載されます。電波天文学において、金属3Dプリンタで製作した初めての部品を組み込んだ高感度受信機の誕生です。



金属3Dプリンタで製作したコルゲートホーン（左）と、上部にコルゲートホーンを搭載したバンド1受信機（右）。

天文・科学情報スペースが来館者数10万人を達成しました！

三鷹駅南口中央通りにある「天文・科学情報スペース」(*)が、オープンからの来館者が10万人となりました。2022年10月2日（日）にお祝いの記念イベントを開催しました。10万人目の来館者は、お子さんが天文好きの親子連れでした。祝福の中、河村孝三鷹市長から感謝状、記念品が贈呈され、国立天文台の常田佐久台長からは、国立天文台グッズ

が贈呈されました。そして、三鷹のキャラクターPokiも登場し、和やかな雰囲気の中、記念撮影を行いました。

当館は、2015年9月に開館し、今年で開館7周年を迎えました。これからも年間を通じて、天文に関する様々な展示・イベントを企画・開催してまいります。皆様のご来館をお待ちしています。



左から、河村孝三鷹市長、10万人目の来館者ご一家、常田佐久台長とPoki。

※「天文台のあるまち・三鷹」のまちづくりの拠点創出を目指し、JR三鷹駅南口、中央通りのビルの空きスペースを活用した展示・イベントスペースとして、2015年9月26日にオープンしました。三鷹市、国立天文台、三鷹ネットワーク大学推進機構、まちづくり三鷹の4者による共同設置のスペースです。



令和3年度の国立天文台 台長賞の授賞式開催

令和3年度の国立天文台 台長賞は、運営部門は「新型コロナウイルスワクチン職域接種の円滑な実施（新型コロナウイルスワクチン職域接種事務局及び功労者）」、技術・開発部門は「ALMA Band 1 受信機の開発と量産（Ted Huang, Patrick Koch, You-Hua Chu）」に対して贈られ、7月13日に授賞式が行われました。



(上) 運営部門の受賞者たち。(下) 技術・開発部門の受賞者たち。

国立天文台図書室・企画展示「時と天文学」本棚、開催中！

小栗順子（図書室）

国立天文台特別公開「三鷹・星と宇宙の日」のメインテーマに関わる事柄を、図書室の蔵書からたどる企画展示、「時と天文学」をただいま開催中です。来年こそオンラインで図書室企画の開催を！と思い描きながら厳選した42冊が一堂に会する今秋の企画展示。展示本棚は、天文台図書室に入ってすぐ！という一等地に設置しました。図書室ホームページの特設サイト「オンラインでも来て！見て！図書室2022」にて、本リストをご覧いただけます。おすすめ&見どころは、公開日メイン講演会の講師陣から直々におすすめいただいた本のほか（著書まで寄贈いただきました）、「時」に関してさまざまな角度からアプローチした入門書。「暦法、時法」以外の分類本が登場しているのも注目ポイントですよ。中には、地域の公共図書館などで所蔵していない場合があります。調査研究目的でしたら資料利用のサービスを受け付けますので、最寄りの公共図書館のカウンターや、所属機関の図書館室を通してお申し込みください。特設サイト内にある「図書室のイロイロ」は、ホッと一息のコーナー。イロイロな話題を紹介していますので、ぜひお楽しみください。

天文台図書室がどんなところなのか知ったり、図書室にある本から天文や宇宙について興味の裾野を広げたり、新たな知見を得るというのは、実際に「図書室」という空間にたずんで、本を手取るなどの出会いや体験が一番大きいですよ。今後の公開日企画や、一般利用が再開して自由に利用いただけるようになった時の楽しみの1つにしてくださいね！



編集後記

国立天文台ニュースリニューアル第2号では天文学で今最もホットなトピックである、ブラックホールについて特集しました。さまざまな切り口でブラックホールの謎を解明しようと努力する研究者たちの情熱が伝われば幸いです。今回もぜひ感想をアンケートでお寄せください！（編集委員・秦和弘）

次号予告

次号（2023年冬号）は「計算機天文学」を特集します。電波天文まんが「アルマーの冒険」は木星電波の受信にチャレンジ！ お楽しみに。

NAOJ NEWS/ 国立天文台ニュース

No.338 2022秋号

©2022 NAOJ（本誌記事の無断転載・放送を禁じます）

発行日/2022年11月1日

発行/大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1
TEL 0422-34-3958（出版室）
FAX 0422-34-3952（出版室）
国立天文台代表 TEL 0422-34-3600
質問電話 TEL 0422-34-3688
shuppan@ml.nao.ac.jp
https://www.nao.ac.jp/naoj-news/



国立天文台ニュース編集委員会

- 編集委員：小久保英一郎（委員長・天文シミュレーションプロジェクト）/渡部潤一（天文情報センター）/石井未来（TMTプロジェクト）/秦和弘（水沢VLIBI観測所）/勝川行雄（太陽観測科学プロジェクト）/平松正顕（天文情報センター）/伊藤哲也（アルマプロジェクト）
- 編集：天文情報センター出版室

アンケートにご回答ください
Please fill in the questionnaire.



★リニューアルしたNAOJ News（国立天文台ニュース）は、いかがでしたか？ NAOJ Newsは、読者の皆さんと一緒に作る広報誌を目指します。ぜひアンケートにお答えいただいで、これからの誌面作りの参考とさせていただきます。下記のリンクや2次元バーコードからアンケートフォームに進み、ご回答をよろしくお願いいたします。

<https://forms.office.com/r/s14gs5Gsxy>

回答期限：2022年12月31日