

特別寄稿

地球サイズの望遠鏡で迫る

ブラックホールの謎

国立天文台水沢VLB観測所所長・教授

本間 希樹



ブラックホールの視覚的に捉えることは100年来の課題

宇宙が多くの謎に包まれているかぎり、「それを解き明かしたい」と考えるのは人類として当然であり、私たち天文学者は、そのような「宇宙の謎の解明」を目指して日々研究を続けている。私を含む世界の研究者が特に注目して研究してきたのが、宇宙の中で最も謎めいた天体・ブラックホールである。ブラックホールとは、重力が強くて光さえ脱出できない不思議な天体である。光であれ物質であれ、それに近づくと

脱出できなくなり、のみ込まれてしまう。そして光すら出てこないことから、その名の通り「黒い穴」のような暗黒の天体となる。ブラックホールはアインシュタインの一般相対性理論によって今から100年ほど前に予言された。しかし、当時はその性質があまりにも不可思議であったため、その存在を信じる人は皆無であった。相対性理論を生み出したアインシュタインですら、ブラックホールの存在を信じようとはしなかった。

その後100年間の研究の蓄積により、ブラックホールが存在することや、銀河

の中心が巨大ブラックホールであることは、間違いないものになっていった。ブラックホールの連星が合体する様子が重力波で観測されたり（2017年のノーベル物理学賞の対象）、天の川銀河の中心部の星の運動から、太陽の400万倍の質量を持つ巨大ブラックホールが存在することが示されたりした（2020年のノーベル物理学賞の対象）。しかし、そのような無数の研究にもかかわらず、ブラックホールの存在が目に見える形で示されたことはなかった。「本当に存在するなら見てみたい」と思う気持ちは誰しも同じであり、その姿を

NASA Image and Video Library

視覚的に捉えることは1000年来の課題だったのである。

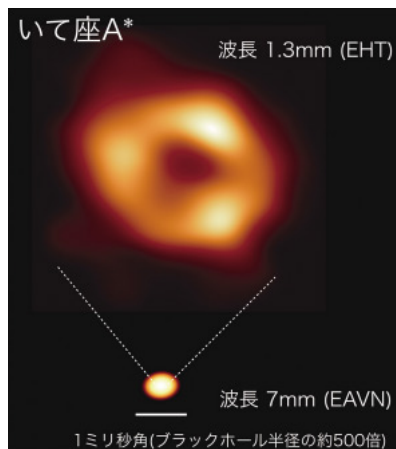
地球サイズの望遠鏡を合成する 国際プロジェクトEHT

もし、ブラックホールがあつたら、その後から来る光を背景にして、光が脱出できない領域（事象の地平面）が黒い影として浮かび上がるはずである。そのようなブラックホールの「影絵」の撮影を目指して、世界の研究者が協力してできたのが、国際プロジェクト「Event Horizon Telescope (EHT)」、日本語に訳すと「事象の地平面望遠鏡」である。ブラックホールはとてつもなくコンパクトでかつ非常に遠方にあるので、写真撮影には極めて高い視力が必ずとなる。そのため、Very Long Baseline Interferometry (VLBI) という技術を使い、世界中の電波望遠鏡を組み合わせて1つの巨大な望遠鏡を合成した。北米、ヨーロッパ、そして南米、さらには南極の電波望遠鏡を組み合わせることによって直径1万キロメートルという地球サイズの望遠鏡を作り出し、視力300万という

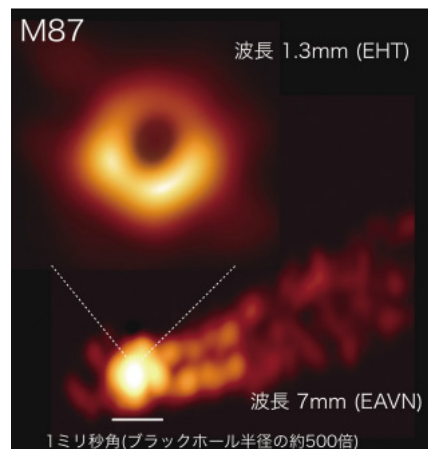
前人未到の視力を達成した。

銀河の中心にある巨大 ブラックホールの撮影に成功

その最初の成果として得られたのが、EHTが2019年に発表した楕円銀河M87の中心にある巨大ブラックホールの写真である（図表1）。写真にはドーナツ状の構造とその中心の暗い領域が捉えられている。この中心部の「ドーナツの穴」こそが、ブラックホールの影である。一方、ドーナツ状の部分にはブラックホールの周りを周回している光（電波）である。ブラックホールの周りは重力が極めて強く時間と空間が歪んでおり、光すら真つすぐ進むことはない。光はブラックホールに巻き付くように運動して、光の衣²を作りだし、そこからこぼれてきた光がドーナツ状に見えるのである。一方、中心のブラックホールは光すら吸い込んでしまうために、光の輪の中心には影が作られる。写真はまさにアインシュタインの一般相対性理論から予想されたブラックホールの姿とびつたり一致しており、この写真は銀河の中心に巨大ブ



図表2：天の川銀河の中心のブラックホール、いて座A*



図表1：M87の中心のブラックホール

両画像とも上部のリングはブラックホールの近傍（EHT撮影）、下部はブラックホールから離れた領域（EAVN撮影）

M87ではジェットが確認できたが、いて座A*では明確な証拠が得られていない。ジェットの有無およびジェットの放射機構は今後の研究課題である。

ブラックホールが存在することを、相対性理論の誕生以来100年を経て初めて視覚的に示したものである。また、図表2には、2022年にEHTが発表した天の川銀河の中心の巨大ブラックホール、いて座*A（エースター）の写真を示してある。こちらがM87と同様、ドーナツ状の構造と中心部の暗い領域が写っており、天の川銀河の中心にも巨大ブラックホールが存在することが確実にあった。

依然残る ブラックホールにまつわる謎

これらの歴史的成果の一方で、ブラックホールにまつわる謎は依然として残されている。その中でも最も興味深いものの1つが、「ジェットはどのように放出されるのか？」という問いである。ジェットとは、ブラックホールがのみ込み切れなかった物質が遠くに放出される現象であるが、ジェットがどのように加速されるのか、また、そのエネルギーの起源は何か、などがまだ謎のままである。また、ブラックホールのように重力が極めて強い世界でガスの

運動を精密に測定すると、アインシュタインの理論がどこまで正しいかをテストできるので、相対性理論の検証も今後重要な研究課題となっていくであろう。今後のこの分野の研究の進展にも大いに期待したい。

夢物語も未来の科学技術で 実現するかもしれない

最後に、遠い将来、人類がブラックホールを自由自在に操ることができる時代が来た場合に、それが有益なものとなる可能性についても一言述べておきたい。ブラックホールに物を落とすと効率良く重力エネルギーを取り出せるので、発電所として使用できる。ブラックホールに物を落とすと、静止質量の10%程度のエネルギーを取り出せる。これは核分裂（原子力発電所で使う反応）や核融合（未来の発電所である「核融合炉」で使う反応）よりも桁違いに大きい。しかも、ブラックホールに落とすべき「燃料」はなんでもよいので、地球上で不要になったゴミや放射性廃棄物を落とせば、エネルギー問題と環境問題を同時に解決できる。もちろん、ブラックホールが地

上や地球のそばにあつたら危ないので、いまのところは夢物語にすぎない。しかし、何千年或いは何万年後の科学技術によってそのようなことが可能になっている可能性もゼロではないので、未来の科学者たちに是非その実現を期待したい。



国立天文台水沢VLBI観測所
所長・教授

ほんま まれき
本間 希樹

1971年、米テキサス州生まれ、横浜育ち。東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程を修了し、博士（理学）の学位を取得。専門は超高分解能電波観測による銀河系天文学。特に銀河系の構造研究と巨大ブラックホールの研究。現在、巨大ブラックホールを事象の地平線スケールまで分解する、EHT (Event Horizon Telescope) プロジェクトに日本側の責任者として参加