

天の川銀河中心の ブラックホール Sgr A* の撮影：総括と意義



秋山



本間



松下

秋山和徳¹・本間希樹²・松下聡樹³

〈¹マサチューセッツ工科大学 ヘイスタック観測所 99 Millstone Rd, Westford, MA 01886, USA〉

〈²国立天文台 水沢 VLBI 観測所 〒023-0861 岩手県奥州市水沢星が丘町 2-12〉

〈³中央研究院 天文及天文物理研究所 〒10617 台北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院／台灣大學天文數學館 11 樓〉

e-mail: ¹kakiyama@mit.edu, ²mareki.honma@nao.ac.jp, ³satoki@asiaa.sinica.edu.tw

2019年のM87*に続き、Event Horizon Telescopeによって初めて天の川銀河中心の巨大ブラックホール Sgr A* のシャドウが撮影された。この速報では簡潔にその観測結果と意義を報告したい。

1. はじめに

2022年5月12日、Event Horizon Telescope (EHT) にとって二つ目のターゲットである私たちの住む天の川銀河の中心の巨大ブラックホール Sagittarius A* (Sgr A*; いて座A*) の画像が公開された(図1)。本成果は日本を含む世界同時の記者会見にて発表され、Astrophysical Journal Lettersに6つの論文として報告された[1]。史上初のブラックホールシャドウの撮影として2019年に発表された楕円銀河M87中心の巨大ブラッ

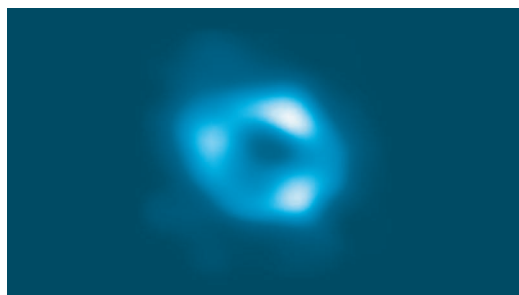


図1 Event Horizon Telescopeによって撮影された天の川銀河中心の巨大ブラックホール Sgr A* の観測波長 1.3 mm (周波数 230 GHz) 帯の画像。

クホールM87*と同様に、Sgr A*の画像は私たちのブラックホール(#OurBlackHole)のハッシュタグとともに世界中のニュースやSNSを賑わせ、人々がブラックホールの画像に興味津々な事を改めて示すこととなった。なぜこの2天体目の画像が重要なのか、本記事ではその疑問に答えたい。

2. Sgr A* における二つの主要な課題

今回のSgr A*のデータは前回のM87*と同じ2017年4月に観測したものである。なぜM87*の結果から今回の発表までさらに3年もかかったのか、これはSgr A*特有の二つの課題のためである。

まずSgr A*は400万太陽質量と、一般的に数100万から数10億太陽質量とされる巨大ブラックホールとしては軽くて小さい。その大きさは水星の軌道よりも小さく、数分から数時間のスケールで周囲のガスはブラックホールの周りを運動し、天体の姿は刻々と変動していく。これは地球回転を利用して様々な天体構造の情報を一晩かけて取得する電波干渉計観測には大きな課題となる。

さらに銀河系中心に潜むSgr A*を撮影するためには天の川銀河の様々な星間物質を通して観測

することになる。Sgr A*への視線上には星間プラズマの乱流が存在し、Sgr A*からの電波を散乱し、陽炎のように画像をピンぼけさせることが知られている。こちらは強い効果ではないが、天体の構造を測定するうえで課題となる。

これら二つの課題を解決し天体構造を明らかにするために、多くの手法がEHTの研究者らにより開発され、膨大な検証の後にSgr A*の解析に用いられた。EHTや観測・データ解析の詳細は前回M87*の速報[2]やその後の詳説記事[3, 4]、そして本記事に続く三本の速報記事を参照してほしい。

3. 結果とその意義、今後の展望

今回我々から最も近い巨大ブラックホールの画像が得られた(図1)。画像やデータ解析からSgr A*は直径 51.8 ± 2.3 マイクロ秒角のリング構造を有していることが示された。さらに数多くの一般相対論的磁気流体力学(GRMHD)シミュレーションを使ったブラックホール画像ライブラリーとの比較から、Sgr A*は400万太陽質量のブラックホールであることと矛盾ないことが示された。

Sgr A*においてもブラックホールの強重力場により、その影(シャドウ)とそれを縁取るリング状の放射領域が現れることが確認された。Sgr A*の質量はM87*のわずか1,600分の1であり、三桁も質量の異なるブラックホールで一般相対性理論の予言通りのリング構造が普遍的に出現することが初めて確認されたことは重要な結果である。

多くの天文月報の読者はご存じとは思いますが、2020年のノーベル物理学賞は天の川銀河中心のブラックホール候補天体の発見であった。しかし、当時の受賞理由を詳細に見ると、「天の川銀河中心にある超巨大質量を持つコンパクトな天体の発見」と書かれており、「ブラックホールの発見」とは書かれていない。この研究は星の軌道に基づき質量を計算しており、星の軌道が最も近くなる場所がブラックホールの半径の約1,000倍以上だったため、ブラックホールとは断言できなかつ

たのである。その一方、今回の我々の画像はブラックホールのサイズを測定しており、400万太陽質量がこのサイズの中にあることを初めて証明した。つまり、我々は初めてこの天の川銀河中心にある天体をブラックホールだと視覚的に証明したのである。

一方ですべてが既存の理論の「予言通り」だったわけではなく、新たな課題や謎も浮上した。1974年の発見以来一度もジェットが明確に検出されていないSgr A*に対して、今回「最有力」と判定されたGRMHDモデルはM87*と同様の強力なジェットを発生させうるものであった。そして最有力とされたモデルも含めて我々のGRMHDのモデルのほぼすべてがEHTの観測で見られた時間変動を説明することができなかった。どちらも新たな物理過程の導入など降着流の理論研究における今後の課題を観測から明確に示すものである。

M87*に加えてSgr A*の撮影に成功した今、次の大きな目標はより詳しい観測データを積み上げてこの2天体の姿を動画化することである。ブラックホール周囲の降着流やジェットなど時間変動の激しいダイナミックな世界を動画にすることができれば、ブラックホールへのガス降着やジェット生成機構の理解が劇的に進むとともに、一般相対性理論のより高精度な検証が可能になるだろう。このような動画撮影を目指して、EHTの2022年の観測では2017年に比べて3局を加えた9カ所11台の望遠鏡で観測が行われており、またさらなる将来の拡張を見据えたnext generation EHTの検討も進む[3]。今後ともEHTによるブラックホール研究の進展に大いに期待して欲しい。

参考文献

- [1] EHT Collaboration, et al., 2022, ApJ, 930, L12-L17 (Paper I-VI)
- [2] 松下聡樹他, 2019, 天文月報, 112, 444
- [3] 秋山和徳, 2021, 天文月報, 114, 184
- [4] 本間希樹, 2021, 天文月報, 114, 761