

招待講演

イベント・ホライズン・テレスコープによる ブラックホールシャドウ初撮影

秦 和弘 (国立天文台 水沢 VLBI 観測所)

First-ever image of the black hole shadow with the Event Horizon Telescope

Kazuhiro Hada (Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ)

要旨

「ブラックホールシャドウの撮影に初成功」2019年4月に一枚の写真とともに、こんなニュースが世界中を駆けめぐった。国際プロジェクト「イベント・ホライズン・テレスコープ (通称 EHT)」は 5500 万光年彼方にある M87 銀河を観測し、その中心に存在するブラックホールの姿を史上初めて画像に収めました。この観測は何がどうすごかったのか。本講演では EHT プロジェクトの概要、写真からわかるブラックホールの性質、そして今後の展望などについて紹介する。

Abstract

The Event Horizon Telescope (EHT) has succeeded in taking a picture of the shadow of the supermassive black hole in the core of an elliptical galaxy M87. Here we summarize the results of the EHT observations as well as a future direction of this research field.

1. 背景

ブラックホールは強い重力により光さえ脱出できない暗黒の天体としてよく知られる。宇宙に詳しくない人でもその名を一度は聞いたことがあるだろう。もともと 1915~16 年にアインシュタインの一般相対性理論に基づきその存在が予言され、1970 年頃にエクス線望遠鏡によって宇宙からブラックホール起源と思しき信号が初めて検出されて以来、ブラックホールは天文学における重要な研究対象となっている。今ではほぼすべての銀河の中心には巨大なブラックホールが存在すると考えられている。しかしブラックホールが「光さえ脱出できない暗黒の天体」であることを人類は未だ実際の画像として捉えたことはなかった。そのため天文学者にとってもブラックホールは未だ謎多き存在であり、その本当の姿を実際に画像に収めることは、天文学・物理学における長年の夢だったのである。

ブラックホール撮影はなぜ難しいのか？ 勿論ブラックホール自体が輝かないというものもあるのだが、多くの場合その周りには超高温に輝くガスがあり、それが中心のブラックホールを影絵のような要領で浮かび上がらせる。この「影」のことを天文学者は「ブラックホールシャドウ」と呼び、このシャドウが撮影できればブラックホール存在の決定的証拠となる (図 1)。しかしブラックホールシャドウは、見かけの大きさが小さすぎるのである。地球から最も大きく観測しやすいと期待されるターゲットですら、シャドウの見かけの大きさは約 40 マ

マイクロ秒角程度しかない。これは月の視直径のわずか約 5000 万分の 1 であり、地球から月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途方もない視力が必要だったのである。



図 1：スーパーコンピュータによるブラックホールシャドウの理論シミュレーション（塩川穂高氏提供）

2. イベントホライズンテレスコープ

そこで人類初のブラックホールシャドウ撮影を目指すプロジェクトとして始まったのが、イベント・ホライズン・テレスコープ、通称 EHT である（図 2）。EHT は世界の 13 研究機関を中心に、200 名超の研究者からなる国際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る。EHT は波長の短いミリ波帯（波長 1.3mm）において、世界各地の電波望遠鏡を繋いで VLBI 観測を行うことで、仮想的に地球直径に匹敵する口径の電波望遠鏡と等価な解像度を実現する。これにより約 20 マイクロ秒角、視力に換算すると約 300 万という解像度を達成する。これはハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡の 1000 倍以上という、あらゆる天文観測装置の中で圧倒的なものである。

EHT プロジェクトには国内外の研究機関に所属する日本人研究者 22 名（国内 14 名、国外 8 名）が含まれている。筆者を含む日本人研究者は ALMA 及び JCMT の望遠鏡運用、観測立案、画像解析、理論シミュレーション、そしてプロジェクトマネージメントに至る多岐の側面において大きな役割を担ってきた。

EHT の主要ターゲットは大きく 2 天体ある。1 つは天の川銀河の中心にある射手座 A スター、もう 1 つは楕円銀河 M87(図 3 左上)である。これらはいずれも見かけのブラックホールシャドウのサイズが全天で最も大きく、EHT を使えばその姿を捉えることができると期待されていた。今回初期成果として報告するのは M87 の結果である。



図2：イベント・ホライズン・テレスコープの観測局配置図(画像クレジット：NRAO/AUI/NSF)。

3. 観測結果

我々は2017年4月に、世界6箇所8台の電波望遠鏡(図2)を用いてM87のEHT観測を実施した。約2年近くに及ぶ慎重なデータ較正・画像復元プロセスを経て最終的に得られた画像が図3下である。M87中心核の画像からリング状の構造がはっきりと検出された。リングと中心の暗い部分のコントラスト比は10対1以上あり、中心部が有意に暗い。各観測日の画像いずれでも同じようなリング構造が得られることも確認した。そして画像を詳しく分析したところ、リングの直径はおよそ42マイクロ秒角(実際の大きさにすると約1000億km)と決定された。このリング直径は中心ブラックホールの質量に比例することから、M87ブラックホールの質量が太陽の65億倍であることも同時に明らかになった。これまでの研究では、M87ブラックホールの質量が太陽の35億倍か62億倍かと議論されていたが、今回の結果から重い方の質量とよく一致した。また、理論シミュレーションとの比較から、リングの南北の明るさの非対称性も含め、ブラックホール近傍のガスが回転しながら電波を放射しているという描像と合致した。以上のような慎重な考察に基づき、我々はこれがブラックホールシャドウを初めて捉えたものと結論づけたのである。

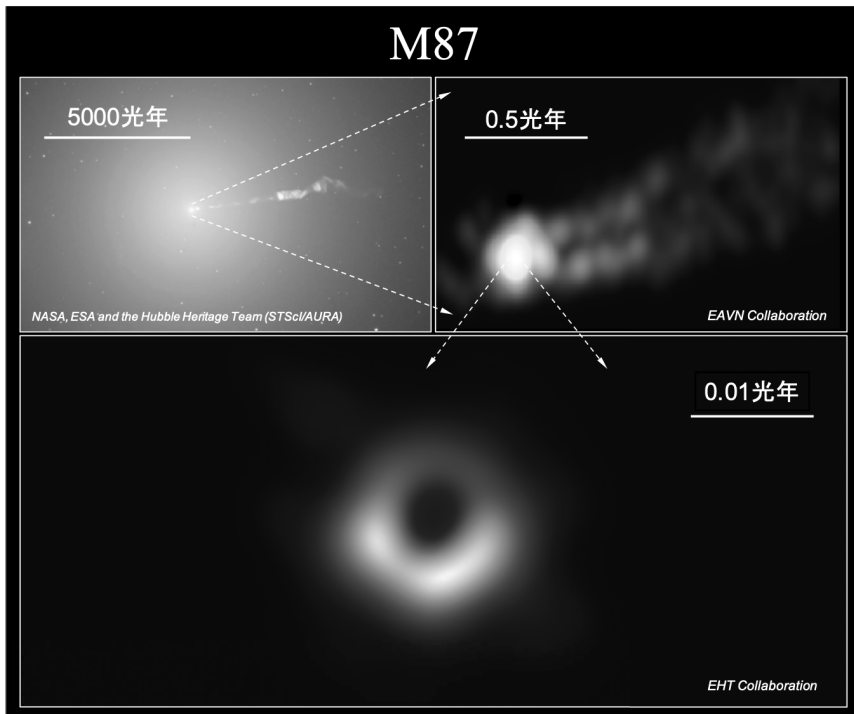


図3：M87 を様々なスケールで観測した画像。ハッブル宇宙望遠鏡、東アジア VLBI 観測網 (EAVN)、EHT で観測したもの (画像クレジット：NASA, ESA and the Hubble Heritage Team)STScI/AURA (左上), EAVN Collaboration (右上), EHT Collaboration (下))

4. 成果の意義・課題・今後の展望

ブラックホールはアインシュタインの一般相対性理論が予言する究極的な天体だ。そのブラックホールが作るシャドウを捉えたことは極限まで歪んだ時空構造の視覚的証拠であり、強い重力場における一般相対性理論の電磁波による直接検証が初めて可能になったことを意味する。また天文学的には、宇宙で最も明るく輝く高エネルギー天体であり、銀河や星の形成・進化に大きな影響を及ぼしたとされる「活動銀河中心核」の正体が巨大ブラックホールであるということを決定的にした。一般相対性理論・活動銀河中心核はいずれも 20 世紀初頭に提唱・発見されて以来 100 年以上の長きに渡る問いであり、今回の成果は物理学・天文学史に大きなインパクトを残すものとなる。

一方で今回の観測では新たな課題も見つかった。これまで長い波長を用いた VLBI 観測で撮影されてきた M87 画像では中心部から右上に伸びる強力なジェットが見られるが、(図 3 右上)。今回の EHT 画像では中心のブラックホールとリング状の放射のみが際立って検出されており、ジェットとのつながりがはっきりとは解決しなかった。ブラックホールの強い重力を振り切りどのようにしてジェットが生成されるのか、この謎はブラックホール研究における残された最重要課題といえよう。

今回の成果は「直接撮像によるブラックホール天文学」の幕開けを意味する。EHTは更に高画質・高解像度なブラックホール画像取得を目指し、望遠鏡ネットワークの拡張やより波長の短い電波を用いた観測の準備を進めている(図4左上)。またモニター観測によるブラックホールの動画撮影や、偏光を用いた観測を行い、ブラックホール周辺のガスの運動や磁力線構造をより詳しく探査していく。

一方噴出するジェットとの関連を明らかにするためには、EHTに加えて波長の長いVLBIによる相補的な観測が必要不可欠である。そこで日本・東アジア独自の取り組みとして、我々は主に7mm・13mm帯で稼働する東アジアVLBIネットワーク(EAVN; 図4右上)を用いてM87ジェットを集中的にモニターし、EHTによるブラックホール画像と組み合わせた分析を進めている。これらの観測データを日本が長年培ってきたジェットの理論研究や、最先端のシミュレーション研究(図4左下・右下)と比較することで、ブラックホールジェット生成機構の究極的解明を目指す。



図4：2018年以降にEHTに参加する観測局(左上、クレジット:NRAO/AUI/NSF)、東アジアVLBI観測網(EAVN:右上、クレジット:Reto Stöckli, NASA Earth Observatory)、天文シミュレーションプロジェクトのスーパーコンピュータアテルイII(左下)、シミュレーションによるジェット(右下、クレジット:一般相対論的輻射輸送計算:川島 朋尚(国立天文台),一般相対論的磁気流体シミュレーション:中村雅徳(台湾中央研究院))

5. 記者発表後の反響

我々は2019年4月10日に今回の成果を発表したわけだが、その後の世の中の反響は正直我々の予想を遥かに上回るものだった。新聞・ネット・テレビ報道はもちろんのこと、本間氏を中心にEHTメンバーが様々なメディアに出演したり、様々な場所から講演会の依頼が

あるなど、子どもからお年寄りまでブラックホールの画像はまたたく間に拡散した。更に水沢では「ブラックホール顔はめパネル」なるものを所員で製作し、本間氏の顔をはめて twitter に投稿したところ、「いいね」は1万2千を超え、インプレッション数は175万を上回った（実はその後、8月の水沢一般公開日では「超巨大ブラックホール体はめパネル」なるものまで製作した（図5））。また最近ではブラックホールをモチーフにしたグッズや食品も発売されている。ここまでくると、単なる科学成果にとどまらず、大きな社会的関心というか、ある種のエンターテインメントとして捉えられているのかもしれない。

いずれにしろ、今回の成果はこれまで科学や宇宙に興味のなかった人まで巻き込むことができたという点で、天文普及の観点においても大変良い意味を持つ結果になったのではないかと思う。これをきっかけに科学や理科・宇宙に興味を持つ人がより一層増えてくれると、我々としても大変うれしい限りである。



図5：水沢 VLBI 観測所構内に設置された、超巨大ブラックホール体だしパネル。8月の水沢一般公開日にてお披露目（1日限定）。後ろには通常のブラックホール顔はめパネルもある（こちらは常時設置）。