

ブラックホール“シャドウ”の撮影

国立天文台 水沢 VLBI 観測所 特任研究員 田崎 文得

1. はじめに

2019年4月10日、ブラックホールの撮影に成功したというニュースが世界を駆け巡りました。撮影されたのは、おとめ座にある橢円銀河 M87 の中心に位置する巨大ブラックホールであり、その質量は太陽の65億倍にもなります。史上初めて撮影されたブラックホールの画像は、科学者のみならず一般市民にも大きな衝撃をもたらしました。しかしながら、この画像に何が写っているのかを正しく理解している人は多くありません。本稿では、我々イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)プロジェクトが何を捉えたのかを説明するとともに、成果発表までの道のりや、今後の研究展開についても述べていきます。

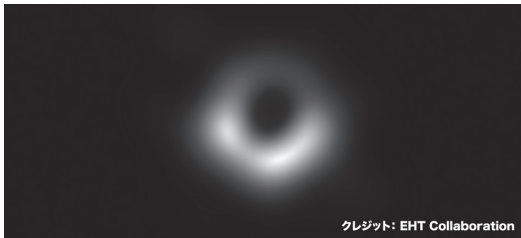


図1 EHTで撮影されたM87巨大ブラックホール。

2. ブラックホールとは？

ブラックホールと聞くと、宇宙空間にぽっかり空いた黒い穴をイメージするかもしれませんが、実は穴ではなく天体です。ごく狭い領域の内側に大きな質量を持つことで、周囲にとっても強い重力を及ぼしています。あまりにも重力が強いために、事象の地平面という境界領域が存在し、一旦その中に入ってしまうと、光さえも抜け出すことができません。そのため『黒い』天体となるわけです。私たちは光が目に入ることで物を見るので、光が出てこないブラックホール自体は決して見ることはできません。

ブラックホールの理論的な予言は、およそ100年前、アインシュタインによる一般相対性理論の提唱

(1915年)に遡ります。1916年にシュバルツシルトが、一般相対性理論の基本となるアインシュタイン方程式の解の一つを見つけ、中心に質点を持ち、事象の地平面よりも内側からは全く情報が出てこないという、ブラックホールの概念を発見しました。

また観測的には、1971年に小田稔らによって、はくちょう座X-1がブラックホール候補天体であるとされたのを皮切りに、点状で星のように見える天体クエーサーが中心に巨大ブラックホールを抱えていると解釈されるなど、ブラックホール存在の証拠が見つかり始めました。現在知られているブラックホールは、その質量から主に2種類に分類されていて、それは太陽の5倍から15倍程度の質量を持つ恒星質量ブラックホールと、太陽の100万倍から100億倍程度の質量を持つ巨大ブラックホールです。恒星質量ブラックホールは、恒星の中でも特に質量の大きな天体(太陽質量の20倍以上)が超新星爆発を起こした時に残った中心核だと考えられています。一方で、巨大ブラックホールの形成機構は未だに謎に包まれたままです。

3. 見えないブラックホールを見た？

強い重力のために、光さえも出てこず、目には見えない天体であるブラックホール。これを撮影したとはどういうことでしょうか。厳密に言うと、EHTが捉えたのはブラックホールそのものではなく、ブラックホール“シャドウ”なのです。

ブラックホールの強い重力によって時空が歪んでいるため、周囲のガスから放射される光子は、軌道が曲げられてしまいます。ブラックホールから遠い場所では、光子の軌道はわずかに曲げられ、遠方まで飛んでいきます。一方で、ブラックホールに近い場所では、光子の軌道が大きくブラックホールの方へと曲げられ、そのまま事象の地平面の内側へと吸い込まれてしまいます。その中間に、光子がブラックホールを周回できる軌道があり、光子球と呼ばれます。光子球のサイズは事象の地平面よりも1.5倍

大きくなります(無回転ブラックホールの場合)。光子球にある光子の軌道は不安定で、ちょっとした揺らぎで外へ飛び出したり、内側に吸い込まれたりします。地球から見て光子球の裏側で球殻から離れた光子が、ブラックホールの重力によって軌道を曲げられ、たまたま地球へ飛んできた場合に、光子球を観測することができるわけです(図2破線)。ここで重要なのは、私たちが観測することができるのは、光子が望遠鏡に入射した方向であって、光子が放射された場所ではない、ということです。地球に届く光子は、光子球のサイズよりも膨らんだ軌道を取るため、地球から見た光子球は、実際のサイズよりも大きく、事象の地平面と比べて2.5倍の大きさのリング(光子リング)として観測されます(無回転ブラックホールの場合)。



図2 無回転ブラックホールの事象の地平面と光子球の概念図(左)と観測した時に見える光子リング(右)。それぞれの大きさの比をほぼ正確に表している。

今回、EHTが捉えたドーナツ状の構造は、この光子リングです。その内側の黒い領域をブラックホールシャドウと呼び、これこそがブラックホールの強い重力によって光の軌道が大きく曲げられている証拠なのです。ブラックホール自体は、事象の地平面で囲まれた領域で定義されますが、そのサイズは今回観測された光子リングの40%にあたります(無回転ブラックホールの場合)。

4. 撮影成功までの道のりと今後

EHTは史上初めてブラックホールシャドウの撮影に成功しましたが、それまで撮影が実現しなかった原因は、見た目の大きさが非常に小さく、どんな望遠鏡の視力であっても見るができなかったことにあります。全天で最も見た目のサイズが大きいブラックホール(天の川銀河の中心にあるいて座AスターとM87の中心ブラックホール)でも、月面にあるテニスボールと同程度の小ささです。EHTは

世界各地6カ所(チリ、スペイン、ハワイ、メキシコ、アリゾナ、南極)にある8つの電波望遠鏡を組み合わせることで、地球サイズの仮想的な望遠鏡を構築し、視力300万(月の上のゴルフボールを見分けられる視力)を実現しました。2009年頃から観測実験を始め、2017年にはアルマ望遠鏡を含む本観測、その後のデータ較正や画像化を経て、2019年に10年越しでようやく研究成果を報告することができました。世界中の研究者200名超がこのプロジェクトに携わり、全員で協力した結果です。



図3 EHT Collaboration Meetingの集合写真(2018年11月、オランダ、ラドバウド大学にて。クレジット:EHT Collaboration)

このブラックホールシャドウの画像によって、強い重力で時空が大きく歪められている現場を、初めて目にすることができました。これは、アインシュタイン以来の100年にもわたる科学者の悲願の達成であると同時に、ブラックホール研究の新時代の幕開けでもあります。今後、EHTは観測網をさらに発展させて、より高解像・高画質な画像でブラックホール研究を推進します。また、今回は静止画でしたが、今後は動画を撮影することで、ブラックホール周辺の理解を深めることを目指します。ブラックホール研究はまだまだ始まったばかりです。

参考文献

- 1) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L1 (2019)
- 2) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L2 (2019)
- 3) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L3 (2019)
- 4) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L4 (2019)
- 5) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L5 (2019)
- 6) The Event Horizon Telescope Collaboration, The Astrophysical Journal Letters, 875, L6 (2019)