



今月のことば

Words of the Month

ブラックホールを観る

日本弁理士会副会長

津田 理

皆さんは、ブラックホールをご存知でしょうか？

ブラックホールは、銀河の中心などに存在すると考えられている重力が極めて強い天体である。ブラックホールの存在は、アインシュタインの一般相対性理論からも予測されており、理論的には、ブラックホールの周りでは非常に強い重力によって空間さえも歪められ、ある半径（シュヴァルツシルト半径）より内側では光ですら外側に脱出することができないと考えられている。その半径を持つ球面は「事象の地平面（シュヴァルツシルト面）」と呼ばれ、事象の地平面の輪郭は「ブラックホールシャドウ」と呼ばれる。ブラックホールからは光でさえ抜け出すことができない。そのため、ブラックホールを光で直接的に観測することはできないと考えられている。

それでは、ブラックホールを観測することはできないのだろうか？

ブラックホールを間接的に観測する一つの方法として、X線をを用いる方法がある。

ブラックホールの周りの宇宙空間にはガスや塵が存在する。そのガスや塵が、ブラックホールからの強い重力によって引き付けられてブラックホールに落ち込むときに、ブラックホールの周りに円盤（降着円盤と呼ばれる）が形成される。降着円盤を構成するガスは、ブラックホールに落ち込むときに $10^6 \sim 10^8 \text{K}$ という高温になり、その高温のガスからはX線などの電磁波が放出される。したがって、ブラックホールからの光を観測することは不可能であっても、ブラックホールの周りに形成される降着円盤から放出されるX線を観測することは可能である。

X線望遠鏡を用いて、降着円盤から放出されるX線のスペクトルを観測すると、ある波長（ある

原子の励起エネルギーに相当する波長）で吸収構造がみられる。これは、降着円盤から放出されるX線によって高温のガスが励起された（励起によってエネルギーが失われた）ためであると考えられる。励起エネルギーはガスの材料が何であるかによって固有の値をとる。したがって、この励起エネルギーを正確に測定することができれば、ブラックホールの周りにどのようなガスが存在するのかを知ることができる。

さらに、高空間分解能を有するX線望遠鏡を用いて吸収構造の空間分布を観測すると、降着円盤の一方の側（例えば、観測者から向かって右側）ではその波長が高波長側にシフト（赤方偏移）しており、降着円盤のもう一方の側（例えば、観測者から向かって左側）ではその波長が短波長側にシフト（青方偏移）している現象が観測される。これは、降着円盤のガスが、ブラックホールの周りを回転している（回転しながらブラックホールに落ち込んでいる）ためであると考えられる。ドップラーシフトによる波長の偏移量は、速度に依存する。したがって、このシフト量（波長の偏移量）を正確に測定することができれば、ガスがどのくらいの速度でブラックホールの周りを回転しているのかを知ることができ、その回転速度からブラックホールの質量を推定することができる。

ブラックホールを間接的に観測する他の方法として、電波を使う方法がある。

今年、「イベント・ホライズン・テレスコープ」で、おとめ座銀河団にあるM87という楕円銀河の中心にあるブラックホールの撮影（正確には、ブラックホールシャドウの撮影）に成功したというニュースが発表されたことは、まだ記憶に新しいと思う。イベント・ホライズン・テレスコープは、地球上の8か所の電波望遠鏡を同期させるこ

とで、地球サイズの仮想的な巨大電波望遠鏡をつくりあげるプロジェクトである。



「クレジット：Event Horizon Telescope Collaboration」
M87の中心にあるブラックホールシャドウ
(イベント・ホライズン・テレスコープのHPから引用)

M87の中心にあるブラックホールは、非常に大きな質量をもちながら、地球からの距離が近いため、地球から観測した場合の見かけの大きさが大きく、絶好の観測対象であったと言われている。しかし、ブラックホールは、巨大ブラックホールといわれるものでも、銀河団や銀河はもちろん通常の恒星に比べても、非常に小さくコンパクトな天体である。したがって、ブラックホールを観測するためには、高い空間分解能が必要とされる。

望遠鏡の空間分解能は、その望遠鏡の口径に比例する。そのため以前は、高い空間分解能を得るために、世界各地で大口径の電波望遠鏡がつくられていた(2016年に中国で建設された500m球面電波望遠鏡が、現在、世界最大の口径をもつ電波望遠鏡である)。

ところがその後、干渉計の技術を用いて、離れた場所にある複数の電波望遠鏡を使って観測を行う超長基線干渉計(VLBI)が登場する。例えば、10km離れた地点に設けられた2つの電波干渉計を用いると、口径が10kmの電波望遠鏡を使って観測した場合と同程度の空間分解能が得られる。

その口径を地球の直径と同程度にまで拡大したのが、上述のイベント・ホライズン・テレスコープである。つまり、地球の直径と同程度の口径を

もつ巨大電波望遠鏡をつくりあげ、ブラックホールシャドウの撮影に成功したのである。

ブラックホールの大きさはその質量に比例し、ブラックホールの質量が大きいくほどブラックホールシャドウも大きくなると言われている。したがって、ブラックホールシャドウの大きさを測定することができれば、そのブラックホールの大きさや質量を推定することができる。

今回、イベント・ホライズン・テレスコープのプロジェクトが成功したが、現在、電波望遠鏡を搭載した人工衛星を宇宙に打ち上げて、地球の直径の3倍の口径をもつ超巨大電波望遠鏡をつくるプロジェクト(VSOP)が進行中である。

上述の方法以外にも、ブラックホールを間接的に観測する方法は種々存在するし、これまでにない全く新しい方法が開発されることも十分にあり得る。今後、ブラックホールについて、これまで知られていなかった事実が、次々と明らかにされていくであろう。

ブラックホールは、その中心部を光で直接観測することはできない。しかし、上述したように、ブラックホールの周辺で起こる現象を様々な方法で観測することは可能であり、その観測結果を分析することにより、ブラックホールがどのような天体であるのかを知ることができる。

我々弁理士を取り巻く世界でも、様々な問題が起きている。日本弁理士会の副会長になってまだ半年も経っていないし、私自身の能力不足もあると思うが、その問題の中心部は観えないことが多いように思う。しかし、ブラックホールと同様、その周辺で起こる現象をきちんと観ることによって、今どのような問題が起きているのかを知ることが可能ではないだろうか。

何か問題が起きたとき、その問題を表面的に観ようとするのではなく、その問題の周辺で起きていることにも目を向けて、本当はどのような問題が起きているのかをきちんと知ることを心掛けて、副会長の残りの任期を全うしようと思う。