

氏 名	たか はし ろう た 高 橋 芳 太
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2870 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Exploring Black Hole Spacetime and Baryonic Dark Matters by Gravitational Lensing (重力レンズで探るブラックホール時空とバリオン的ダークマター)
論文調査委員	(主 査) 教 授 嶺 重 慎 教 授 中 村 卓 史 教 授 小 山 勝 二

論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、重力レンズをうまく使ってブラックホールの回転や電荷、バリオン的ダークマターの正体に関する情報を、近未来の観測データをもとに得る方法を考え、計算によってその有効性を示した。

次世代の電波及びX線のスペース干渉計により、銀河中心の巨大ブラックホールが直接分解される可能性が指摘されている。そのみかけの大きさ（シュバルツシルド半径）はわずか数十ミリ秒角であるが、干渉計技術の進展により、その角度が分解されるというのである。すると、銀河中心ブラックホールは、ブラックホール降着流中で生成される放射の影として観測される。

ブラックホールの直接観測は、強重力場における一般相対性理論の検証・ブラックホールの実存性の確認につながるなど、それ自体でも大変興味深いのであるが、その先にも豊富なサイエンスが存在する。例えば、定常ブラックホールの物理量（質量・スピン・電荷）の決定である。ブラックホールのスピンなどの測定方法は、過去に複数提案されているが、方法自体が現実的でなかったり仮定が多いなどの理由のため、コンセンサスが得られているとは言い難い。一方で、ブラックホールの影を直接観測する方法は、ブラックホール近傍までガスが分布する限りモデル依存性が弱く、重要なブラックホールの物理量の測定方法となりうる。

申請者はまず、ブラックホールが光学的に薄い降着流中に存在する場合や、光学的に厚く幾何学的に薄い降着円盤中に存在する場合でも、ブラックホールのスピンをブラックホールの影から決定することが可能であることを、世界で初めて見いだした。これは、ブラックホールの影が、ブラックホールの回転による時空引きずり効果のために、中心からずれることを用いる。申請者は、ブラックホール中心と影の中心の間の間隔と、ブラックホールスピンの関係を丁寧に計算して求め、観測からスピンを得る手法を定式化した。

次に申請者は、同じくブラックホールの影を使って、ブラックホールの電荷も測定できることを示した。一般に、同じ質量でも、ブラックホールの電荷が大きいほど影の大きさは小さくなるが、回転がある場合の影の形は、微妙に電荷がある場合にずれてくることを、申請者は計算により定量的に示した。こうして、天体までの距離が測定されている場合には、ブラックホールの質量・スピン・電荷・観測者と回転軸の間の角度を一般的には縮退なく求めることができる。また距離が不明の場合には、ブラックホールの影の輪郭からブラックホールのスピン・電荷・観測者と回転軸の間の角度を一般的には縮退なく求めることができることを申請者は示したのである。

一方で、将来の電波・赤外線・可視光での位置天文衛星により、マイクロレンズ効果によるレンズ像の位置変化が観測されると期待されている。従来の研究において、光重心の軌道から、レンズ天体の質量と相対的な横断速度などが縮退なく決定されるということが明らかにされた。しかし、質量だけからでは、同質量の異なる種類の天体を区別できない。これらの縮退を解くには、例えばレンズ天体の密度（または、質量とサイズ）がわかればよい。

申請者は、この点に注目し、レンズ天体による重力レンズ像の掩蔽を考慮し、レンズ像の位置の光重心の軌道を計算した。

その結果、例えば、レンズ天体としてのコンパクト天体が観測者から銀河中心まで程度の距離に存在する場合には、レンズ天体の質量・サイズなどを縮退なく求めることができることを示した。

論文審査の結果の要旨

一般相対性理論の弱い重力場における証明は、連星系パルサーの公転周期の減少によりなされたが、強い重力場における証明は未だなされていない。これにはいくつかの理由があるが、そのひとつは、強い重力場の働く領域を観測的に分解しきれていないことがある。その意味で、現在計画中ではあるが、次世代の電波及びX線のスペース干渉計や位置天文衛星は重要である。どのような新しいサイエンスがそこから拓けるかを申請者は検討した。

まず申請者は、スペース干渉計により、銀河中心の巨大ブラックホールが直接分解される可能性があることに注目した。申請者は、ブラックホールがつくる、いわゆるブラックホールの影の形や大きさの情報から、ブラックホールの回転や電荷の情報を、また、マイクロレンズ現象に伴う像の位置変化からダークマターの正体を探ろうという、野心的なプロジェクトの一環であり、その意義は高く認められる。

ブラックホールのスピンの測定方法としては、鉄輝線プロファイルの解析等、現時点で可能なものも含めいくつか提案されているが、モデル依存性が強いものがほとんどである。そこで一躍脚光を浴びているのが、ブラックホールの影を直接観測するという方法である。放射を出すガスがブラックホール近傍までまんべんなく分布するという仮定は必要だが、それを認める限り、ガス分布の詳細にはあまりよらずに、ブラックホールのパラメータを求めることができる。この点に注目し、一般的にブラックホールのスピンや電荷量を求めることができることを例証した点に申請者の独創がある。

申請者はまず、ブラックホールが放射ガスに埋もれている場合に期待されるブラックホールの影を、ガス球（あるいはガス降着流）が光学的に薄い場合と厚い場合に分けて計算をした。そして、それぞれの場合に期待されるブラックホールの影の形、大きさ、位置を丁寧に計算し、そこから、かなり一般的な状況で、ブラックホールの回転やその回転軸の傾き、および電荷の情報を引き出すことができることを見いだした。一連の計算結果は、次世代スペース干渉計が稼働して観測データが得られたときに、その解釈において重要な指針を与えるものと期待できる。もっとも、よほどの空間分解能がないかぎり、提唱された方法はそのままでは使えない。像の位置の絶対的なシフトを正確に測定する方法など、現実には即した場合の計算を進めることは将来の課題となろう。こういった弱点はあるものの、新しい可能性を出したことにはインパクトが十分あると認められる。

次いで申請者は、将来の位置天文衛星に注目した。これらにより、マイクロレンズ効果によるレンズ像の位置変化が決定できれば、レンズ像の光重心の軌道から、レンズ天体の質量と相対的な横断速度などが縮退なく決定されることはわかっている。申請者は、この考え方を一歩進め、レンズ天体が有限の大きさをもっている場合に、レンズ天体が起こす重力レンズ像の掩蔽からレンズ天体の大きさを特定できないかと考え、いろいろな場合の光重心軌道を計算した。その結果、銀河中心近傍のコンパクト天体がレンズ天体となる場合には、その質量とサイズを縮退なく求めることができることを示した。

この意義は大きい。なぜなら、レンズ天体の源の正体（例えば、恒星なのか、もっとコンパクトな天体なのか）を区別できるからである。

申請者による、これら一連の仕事は、超強重力場における物理過程という、天文学の中心課題の一つに大きな指針を与えるもので、実用にはまだ幾多のステップが必要とはいえ、その内容は高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。