

学位論文審査結果の概要

氏名	大野 俊明
学位論文審査委員氏名	主査 浅田秀樹
	副査 葛西真寿
	副査 仙洞田雄一
	副査 高橋信介
	副査 高橋龍一
論文題目	Gravitational bending angle of light with finite-distance corrections in stationary axisymmetric spacetimes（定常軸対称時空における光の重力レンズによる曲がり角の有限距離補正）
審査結果の概要（2,000字以内）	
<p>提出された論文は予備審査での多くの指摘事項を考慮して大幅に修正されたものであり、本審査および公聴会において発表および質疑応答がなされ、学位論文審査の結果、学位論文としての研究成果等が認められるので、合格と判断した。</p> <p>現在最も成功している重力理論である一般相対性理論では、物質またはエネルギーによって重力場が生じ、その重力は時空の歪みとして記述される。その時空の歪みによって光が曲げられる効果を「重力レンズ効果」と呼ぶ。重力レンズ効果は天体観測に用いることが可能で、その観測は「重力レンズ観測」と呼ばれる。光源天体から出た光は、観測者に届くまでに重力源となる天体(レンズ天体)が存在する場合、レンズ天体の重力によって曲げられて観測者に届く。この光の曲がり具合は光の曲がり角と呼ばれレンズ天体の構造や性質に依存しているため、曲げられた光を観測する事で直接レンズ天体の性質を調べる事が出来る。よって、光学的に不可視な天体がレンズ天体である場合でも、重力レンズ観測を用いることで直接レンズ天体の性質を観測する事が可能という特徴がある。重力レンズ観測は 1960 年代より積極的に行われ、太陽系外惑星探査や銀河の質量測定等、多方面で実績を挙げている一大研究分野である</p> <p>さまざまな重力レンズ現象を理解する上で最も重要かつ基本的な量である「重力による光の曲がり角」の再考が、本論文において行われた。特に、先行研究である Ishihara et al. [Phys. Rev. D 94, 084015 (2016)]での手法の拡張を論じている。まず、先行研究では、微分幾何における Gauss-Bonnet の定理を用いて、静的球対称かつ漸近的平坦な時空における「重力による光の曲がり角」の新しい定義を与えて、具体的に球対称なブラックホールによる曲がり角の計算が行われた。しかし、従来の方法は、光学計量とよばれるものが球対称な場合でのみ定義されるため、軸対称な場合にそのままでは適用することができなかった。一方で、天文学で登場するブラックホールは、自転する星の終状態であるため、球対称ではなく、軸対称であるカー・ブラックホールであると考えられている。</p> <p>本論文において、主に 3 つの知見が与えられた。</p>	

成果 1：従来の光学計量の拡張が行われた。この計量は、球対称でなく軸対称性を有する時空に適用可能である。そして、この一般化された光学計量に基づき、ガウス曲率および測地的曲率を用いた重力場中の光線の解析方法が論じられ、最終的に（座標系の選び方に依らないという意味で）不変な形式にて「重力による光の曲がり角」の新たな定義が与えられた。この改良された定義は、任意の定常軸対称かつ漸近的平坦な時空に適用可能と考えられる。

成果 2：成果 1 にて定義された「重力による光の曲がり角」の具体的な計算法が陽な形で示された。実際、回転しているブラックホール周りでの光の曲がり角が求められた。そして、観測者と光源が無限遠方に居る場合、文献等で知られている結果を再現することが確かめられた。次に、これらが有限距離に居る場合の補正項が指摘された。その補正項が、将来の天文観測で検出される可能性もまた論じられた。

成果 3：非自明なトポロジーを持つ時空構造としてワームホールが以前から知られており、特に、基礎物理および数理解物理の観点から盛んにその時空構造が研究されている。近年、そのワームホールが自転している場合の時空計量が Teo により指摘された。本研究で、その自転する Teo ワームホール周りでの光の曲がり角が今回の手法を用いて求められた。この成果は、Jusufi and Ovgun [Phys. Rev. D 97, 024042 (2018)] の結果を別の手法を用いて独立に再現したというだけでなく、有限距離補正を見出した点が優れている。何故なら、彼らの結果は、無限遠方の極限（つまり、観測者と光源が漸近的なユークリッド空間に居る場合）でしか成り立たない定式化に基づいているからである。

学位論文の基礎となる参考論文

(1) Toshiaki Ono, Asahi Ishihara, and Hideki Asada,

“Gravitomagnetic bending angle of light with finite-distance corrections in stationary axisymmetric spacetimes”, Phys. Rev. D 96, 104037 (2017).

(2) Toshiaki Ono, Asahi Ishihara, and Hideki Asada,

“Deflection angle of light for an observer and source at finite distance from a rotating wormhole”, Phys. Rev. D 98, 044047 (2018).