

**立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）**  
**大学院生研究**  
**2012年度研究成果報告書**

<b>研究科名</b>	立教大学大学院	理学	研究科	物理学	専攻
<b>研究代表者</b>	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻 ・博士課程後期課程2年		塚本直樹 印		
<b>指導教員</b>	所属・職名		氏名		
	理学部物理学科・准教授		原田知広 印		
<b>自然・人文・社会の別</b>	自然 ・ 人文 ・ 社会		<b>個人・共同の別</b>	個人 ・ 共同 2名	
<b>研究課題名</b>	重力理論を用いた天体の研究				
<b>研究組織</b>	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	立教大学・理学研究科・物理学専攻・博士課程後期課程2年		塚本直樹		
	立教大学・理学研究科・物理学専攻・博士課程前期課程4年		矢嶋耕治		
<b>研究期間</b>	2012年度				
<b>研究経費</b>	500千円（実績額又は執行額）				

**研究の概要**（200～300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。）

一般相対性理論を含めて、古今東西様々な重力理論が提案されて、現在もいくつかの重力理論が生き残っているが、いずれの重力理論が最終的に生き残るか、あるいはすべての重力理論が死んでしまうにせよ、今まで一度も実験的に検証されていない強重力場の現象による重力理論の検証が本質的に重要であると考えられる。

本研究では、重力レンズを用いて、星やブラックホールやワームホールや簡単な銀河モデルやそのほかのエキゾチックな天体などの判別可能性とそれぞれの天体もしくは時空のもつ質量、電荷、喉の半径などのパラメータを決定する方法を研究した。アインシュタインリングと相対論的なアインシュタインリングを用いる方法と符号付き増光率の和を用いる二通りの方法を提案した。

キーワード（研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。）

[ 一般相対性理論 ] [ 強重力場 ] [ コンパクト天体 ]

## 研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

重力理論を専門としない一般的な研究者の間では、重力理論として一般相対性理論が正統な古典重力理論として信じられており、一般相対性理論が予言するブラックホールの実在性も広く信じられている。

しかしながら、重力理論を専門的に研究する特殊な人々は一般相対性理論を唯一の信頼できる古典重力理論だとは考えていないし、ブラックホールを直接観測することは、ブラックホールの定義から不可能だと考えている。一般相対性理論を含めて、古今東西様々な重力理論が提案されて、現在もいくつかの重力理論が生き残っているが、いずれかの重力理論が最終的に生き残るか、あるいはすべての重力理論が死んでしまうかのいずれの場合にせよ、今まで一度も実験的に行われていない強重力場の現象による重力理論の検証が本質的に重要であると考えられる。

一般的に、天体としてのブラックホールは帯電していない、あるいはほぼ中性に近いと考えられている。しかし、ブラックホールがおかれているような強い磁場を考慮にいれた状況や素早く回転しているような状況や重力崩壊した直後あるいは動的な進化の最中など様々な状況下で、ブラックホールがどの程度の電荷を持つことが許されるのかは、実際にはよくわからない。ブラックホールや星などの天体を持つ電荷や回転などのパラメータの不定性は天体の観測による重力理論の検証に対して悪影響を与えるとともに、一般相対性理論やそれ以外の、例えば  $f(R)$  重力理論などが、重力理論が未決定なことに由来する不定性は天体の持つパラメータの決定に系統的な誤差を与えうる。よって、重力理論の理解を深めるとともに天体の持つパラメータを決定する方法を研究しておくことは意義深いと思われる。

本研究では、重力レンズを用いて、星やブラックホールやワームホールや簡単な銀河モデルやそのほかのエキゾチックな天体などの判別可能性とそれぞれの天体もしくは時空のもつ質量、電荷、喉の半径などのパラメータを決定する方法を研究した。アインシュタインリングと相対論的なアインシュタインリングを用いる方法と二重像の符号付き増光率の和を用いる二通りの方法を提案した。

重力レンズ効果は、一般相対性理論の応用として最も汎用性が高い現象の一つであり、宇宙物理学や宇宙論において、とても便利な道具である。長い間、重力レンズ効果は主に弱重力場についての研究がなされてきた。特に、ソース天体とレンズ天体と観測者が一直線上にあるとき、ソース天体から放たれた光がレンズ天体による時空のゆがみの効果で、(アインシュタインリングと呼ばれる) 光の輪として観測され得ることが一般相対性理論によって予言されている。

一方、21世紀に入ってから、強重力場の重力レンズ効果も熱心に研究されている。球対称静的な真空解であるシュバルツシルト時空での強重力場での重力レンズ効果として、お互いに分離できない無限個のアインシュタインリングができることが知られている。この強重力場特有のアインシュタインリングは、(弱重力場によって作られるアインシュタインリングと区別するために、) 相対論的なアインシュタインリングと呼ばれている。

一般相対性理論はワームホールなどの自明でないトポロジーを持つ解を許すことが知られており、球対称静的なワームホール解の一つとしてエリス時空が知られている。エリス時空でもシュバルツシルト時空と同様にアインシュタインリングができることが知られている。

**研究成果の概要 つづき**

まず、アインシュタインリングと相対論的アインシュタインリングの大きさで、レンズ天体がブラックホールかワームホールかを区別することができるかどうかを調べた。

シュバルツシルトブラックホールとエリスワームホールはそれぞれ一つのパラメータを持っているので、そのパラメータが分かっていなければ、天体間の距離が与えられていても、一つのアインシュタインリングを観測するだけでは、それがシュバルツシルトブラックホールによって作られたものなのか、それともエリスワームホールによって作られたものなのかを判断することはできない。

エリスワームホールとシュバルツシルトブラックホールのそれぞれの場合について、アインシュタインリングと相対論的アインシュタインリングの半径の関係式を近似的に求めた。この半径の関係式はワームホールとブラックホールの場合で異なっているので、アインシュタインリングと相対論的アインシュタインリングを観測することで、ワームホールとブラックホールが区別できることを示した。

また、重力レンズによって作られる二重像の符号付きの増光率の和について研究した。観測者から見て、光源とレンズ天体がほぼ直線上に並ぶとき、符号付きの増光率の和によって、レンズ天体を区別できることを示した。この方法によっても、エリスワームホールとブラックホールや星や単純な銀河モデルなどの質量を持つ天体が区別できることを示した。

さらに、ブラックホールの持つ電荷は相対論的アインシュタインリングの半径と二重像の符号付き増光率の和を変えるが、光度曲線は変えないことが分かった。つまり、ブラックホール電荷を決定するには、マイクロレンズは使えず、二重像を分離して観測するか、強重力場がつくる相対論的像を観測する必要があることもわかった。

**研究発表** (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

**①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)**

**査読付き論文**

[1] Naoki Tsukamoto, Tomohiro Harada and Kohji Yajima, 「Can we distinguish between black holes and wormholes by their Einstein-ring systems?」, Phys. Rev. D 86, 2012, 104062.

[2] Naoki Tsukamoto and Tomohiro Harada, 「Signed magnification sums for general spherical lenses」, Phys. Rev. D87, 2013, 024024.

**②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)**

該当なし。

**③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)**

該当なし。

**④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)**

**国際会議における発表**

[1] Naoki Tsukamoto, Tomohiro Harada and Kohji Yajima “Research of the celestial objects by the gravitational lensing”, RESCEU Symposium on General Relativity and Gravitation (JGRG22), 12-16 Nov 2012, Tokyo University, Tokyo, Japan

**国内研究会における発表**

[1] 塚本直樹、原田知広、柳哲文、矢嶋耕治、「重力レンズを用いた天体の研究」, 『第14回特異点研究会』、大阪経済法科大学、2013年1月