TITLE:

Post-Newtonian expansion of gravitational waves from a particle in slightly eccentric orbit around a rotating black hole(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Tagoshi, Hideyuki

CITATION:

Tagoshi, Hideyuki. Post-Newtonian expansion of gravitational waves from a particle in slightly eccentric orbit around a rotating black hole. 京都大学, 1995, 博士(理学)

ISSUE DATE:

1995-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3099593>

RIGHT:

氏 名	田 越 秀 行
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 1602 号
学位授与の日付	平 成 7 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 第 二 専 攻
学位論文題目	Post-Newtonian expansion of gravitational waves from a particle in slightly eccentric orbit around a rotating black hole (回転するブラックホールのまわりの小さな離心率のある楕円軌道を運動する粒子からの重力波のポストニュートニアン展開)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 文 隆 教 授 益 川 敏 英 教 授 九 後 太 一

論 文 内 容 の 要 旨

一般相対論のアインシュタイン方程式によると、光速で伝播する重力波の存在が予言される。この重力波をレーザー干渉計により検出しようという計画が世界各地で進みつつある。その中でもアメリカの LIGO 計画とフランス、イタリアの VIRGO 計画が既に進行しつつあり、日本などにおいても観測計画が議論されている。そして、21 世紀の初頭には重力波の検出が現実のものになると期待されている。建設されるレーザー干渉計検出器のノイズ特性からして目標となる重力波源としてはブラックホールや中性子星を含む連星系での合体が最も有望とされている。

この重力波検出においては、期待される重力波の振幅が非常に小さいために、ノイズを含んだ信号の中から重力波を認識するのが難しい。現在の計画では、重力波の理論的な波形と実際のノイズを含んだ信号との相関を取り、その相関の強弱により重力波の存在を確認し、また、重力波源を特徴づけるパラメータを決定するデータ解析の方式が考えられている。このために連星合体時の重力波の波形を正確に理論で計算することが、データ解析の上からも、重要となる。重力波の波形を非常に正確に計算することによって、合体過程に関わる物理パラメータの系統誤差を小さくすることができないのである。このため、十分な精度でこの重力波波形を計算することが重要な課題になっている。申請論文は、このような動機に基づいて、コンパクト連星の合体に伴う重力波波形を正確に計算する系統的な近似法を論じたものである。

具体的には一つの星が回転するブラックホールであり、もう一方の星の質量はブラックホールの質量に比べて十分に小さいというテスト粒子の近似において考察する。この場合、テスト粒子の運動はブラックホール背景時空に摂動を与える源とみなすことができ、この摂動重力場は球関数などを用いて解析的に与えられているので、この中から重力波成分を特定することによって解析的に重力波放出の計算が実行できる。この手法自体は確立されているものであるが、何桁にもわたって正確な理論値を計算するという試み

はなされたことはなかった。申請者は重力波検出上の課題に応えるという新たな動機のもとに post-Newtonian 近似の展開で系統的に正確さを増していく計算のアルゴリズムを開発し、種々のケースについて計算を実行したものである。

特に申請論文においてはテスト粒子の軌道が赤道面上の円軌道から少しはずれた楕円的な軌道を運動する際に放出される重力波をはじめて post-Newton 近似の高次の展開まで計算し、結果の解析をおこなった。それによると、データ解析で想定されている状況では重力波の波形に与える影響を調べ、観測する周波数帯での連星の初期の離心率がある程度大きいときには離心率が無視できなくなることを示した。また、粒子の離心率がどのように重力波の放出によって変化するかを調べ、円軌道は安定であると結論付けた。また、連星系の合体において離心率が無視できなくなるような天文学的な状況が実際にも存在するという点についても論じた。以上の結果は、この分野の研究に新たな知見を与えるものである。また、この論文が取った方法と結果は、今後連星系のより一般の質量の場合の計算を行なう際の重要な足掛かりを与えるものである。

論文審査の結果の要旨

レーザー干渉計による連星の合体に伴う重力波の検出実験は、重力波の存在の確認や中性子星やブラックホールといった強い重力場での現象をとうしての重力理論の直接的検証になるばかりでなく、中性子星の状態方程式についての制限を与える可能性や、宇宙論的パラメーターの制限などの天文学的な応用が考えられており、天文学の最後のフロンティアとみなされている。

連星合体過程での重力波放出の概要は合体は数値シミュレーションなどによって明らかにされているが、それによると連星が合体前に純定常軌道で数千回も回転するようなフェーズと合体後のブラックホールの固有振動のフェーズに大別される。そして合体前の純定常フェーズが、重力波検出の技術的観点から、もっとも注目されている。申請者が行なっている計算はこの純定常軌道のフェーズの場合についてであり、また重力波検出におけるデータ解析に用いるテンプレートの計算用という動機を持ってなされている。

最終目標は連星質量比が有限の場合の重力波放出を含む運動方程式を post-Newton 近似の展開で導出することである。申請論文でなされていることは質量比が無限小のテスト粒子近似での計算ではあるが、これは有限比での運動方程式の検算用として重要な役割を失ったものであり、最終目標への大きな前進である。

申請者はこのような状況の中で、テスト粒子の場合ではあるが、post-Newton 近似の展開を世界で最高の高次までの表式をあたえる計算をした。現在のところ、ここまで高次の post-Newton 近似を各次数までは厳密に求める方法は申請者がおこなっている方法しかなく、従ってその計算は高く評価できる。

申請論文は中心星を回転のある Kerr ブラックホールとし、その周りを運動する粒子の軌道は赤道面上の円軌道から少しずれた楕円的な軌道を考えて放出される重力波を計算した。これまでの計算ではテスト粒子の軌道は円軌道であるとされているが、天文学的には離心率が重要になる状況が多いから、申請論文において新しく採り入れられたパラメーターは今後重要な意味をもつと考えられ、高く評価できるものであ

る。

参考論文 1 から 3 はいずれもブラックホールの周りをテスト粒子が円運動する時に放出される重力波の post-Newton 近似によって求めたものであり、申請論文と密接な関係がある。特に参考論文 1 は回転のないブラックホールの周りを粒子が円運動するときに放出される重力波を非常に精度で数値計算し、高次の post-Newton 近似のオーダーまでの適合近似式を計算したものである。この論文は、この分野の研究に一つのブレイクスルーをもたらした論文であり、高く評価できる。

また参考論文 4 はブラックホールの周りを粒子が楕円運動する時に放出される重力波の相対論的波形を求めたものであり、申請論文と密接な関係がある。参考論文 5 は遠方のクェーサーが手前の銀河に隠される効果と宇宙論的なパラメーターとの関係を論じたものであり、宇宙論的な応用において申請論文と密接な関係がある。

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られるものである。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。