

|           |                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名       | ひき だ わたる<br>正 田 渉                                                                                         |
| 学位(専攻分野)  | 博 士 (理 学)                                                                                                 |
| 学 位 記 番 号 | 理 博 第 2988 号                                                                                              |
| 学位授与の日付   | 平 成 18 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    | Gravitational Radiation and Reaction in an Extreme Mass Ratio<br>Binary System<br>(質量比の大きな連星系での重力波と輻射反作用) |
| 論文調査委員    | (主 査)<br>教 授 佐 々 木 節    教 授 中 村 卓 史    教 授 畑 浩 之                                                          |

### 論 文 内 容 の 要 旨

宇宙での重力波観測プロジェクトの一つである LISA の最も期待される重力波源に、大質量ブラックホールに太陽質量程度のコンパクト天体が捕捉された場合の連星系（質量比の大きな連星系）がある。申請論文は、重力波検出に必要なこの系でのコンパクト天体の軌道、特に輻射反作用力を考慮したコンパクト天体の運動の研究である。

この系は、ブラックホールの周りを質点が運動する系でよくモデル化される。さらに、二つの質量比を微小量として摂動展開する解析法、ブラックホール摂動論を用いた解析が適切である。摂動の最低次では、質点は背景時空の測地線上を運動する。そして、回転している（カー）ブラックホール時空上の測地線は、3つの運動の積分（エネルギー、角運動量、カーター定数）で特徴づけられる。これにさらに軌道の位相情報を与えると、ある時刻における位置が確定する。

摂動の次の次数では、3つの積分定数は時間的に変動する。それらの変化率は、自己力を計算することで得られる。その際用いられる近似として、断熱近似（長時間平均）がある。この近似を用いると、積分定数の永年の進化が十分な精度で追えることが知られていた。しかし、自己力の影響は積分定数の振動的時間変動も生み、それが軌道位相の変化率に影響を与える。しかし、その影響の定量的な評価はこれまでなされていなかった。

申請論文では自己力の系統的な計算法の開発とともに、その結果を用いて軌道進化の方程式を立て、断熱近似を用いた場合、用いない場合それぞれに関して詳細な解析がなされている。

断熱近似を用いた場合には、近年、カーター定数の変化率まで計算できる方法が提案されたが、実際に計算するには非常に困難な定式化しか存在しなかった。申請論文では、より簡単な定式化に成功し、実際に一般軌道でのカーター定数の変化率が求められている。

一方、断熱近似を用いない場合には、球対称（シュバルツシルド）ブラックホールに関してさえ、特殊な軌道を除いて未だ定式化がなされていない。申請論文では、スカラー粒子、球対称ブラックホール時空という制限つきではあるが、一般軌道の場合にも適応できる定式化と、実際に振動部分も含めた自己力の計算がなされた。

また、その結果に基づいて断熱近似の妥当性を評価し、LISA の期待している質量比の大きな連星系が持つ質量の範囲内では、断熱近似を用いた自己力の計算で十分な精度が得られることを示した。これは、将来の重力波天文学にとって重要な結果である。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

質量比の大きな連星系での自己力の計算に関する論文は数多くあったが、一般の軌道で実際求まっているものはなかった。特に断熱近似を用いない場合には、球対称ブラックホールに関してさえ定式化がなされていなかった。申請論文では、より一般的な軌道に適応できる定式化に成功し、系統的な研究を行っている。2014年頃に稼動する予定の宇宙干渉計 LISA での重力波検出に必要不可欠なものであり、時宜を得た研究として評価できる。

申請論文では、まず断熱近似を用いた自己力の計算を実際の軌道に関して解析的な計算を行っている。その結果、系統的に系のエネルギー、書く運動量、カーター定数の永年進化が追えるようになった。この方法は、数値的な計算にも適用できる定式化であり、今後の応用範囲も広いことが予想される。

断熱近似を用いない自己力の計算では、世界に先駆けて離心率がゼロでない軌道に対する具体的計算に成功している。この研究により、自己力による最内安定円軌道半径のずれの解析が可能となった。

また、上述の計算結果を利用して自己力を考慮した軌道の進化を追い、断熱近似の適用範囲を定量的に明らかにした。これは、近い将来実際に重力波検出が可能になった際に、そのデータ解析において膨大になると危惧されている理論テンプレートの数を大幅に減らしたり、検出感度を増加させたりすることに大きく貢献する結果である。

以上の理由により、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。

また、主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口頭試問した結果、合格と認めた。