

Title	Gravitational waves from a particle orbiting a Kerr black hole
Author(s)	藤田, 龍一
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46488
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	藤 田 龍 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 20054 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	Gravitational waves from a particle orbiting a Kerr black hole (カーブラックホールを周回する粒子から放出される重力波)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 高 原 文 郎 (副査) 教 授 高 杉 英 一 助 教 授 藤 田 裕 助 教 授 林 田 清 京 都 大 学 教 授 佐 々 木 節

論 文 内 容 の 要 旨

ブラックホール摂動法を用いて、回転する巨大ブラックホールを周回するテスト粒子から放出される重力波を評価した。このような質量比の大きな連星系から放出される重力波は、2014 年に稼動すると期待される宇宙空間レーザー干渉型重力波検出器 LISA の主要標的のひとつである。本研究の目的は、LISA 観測データの解析に効率的に適用できる理論波形を計算する事である。

ブラックホール摂動法の基本方程式は Teukolsky 方程式である。本研究では、Teukolsky 方程式の Green 関数を構築するのに必要な斉次解を、Mano、Suzuki、Takasugi (MST) らの方法を用いて数値的に計算した。彼らの手法を用いた過去の研究では、解析的な重力波の評価をするにとどまっていたが、数値的に重力波を評価するのにも有用であることが分かった。

MST の方法で最も重要な問題は、再規格化角運動量とよばれるパラメータを決定する事である。再規格化角運動量は、連分数方程式の解である。過去の研究では、再規格化角運動量は実数であると仮定されていた。しかし、もし実数であると仮定すると、重力波の振動数がある臨界値よりも低い場合でしか再規格化角運動量が存在しないことが分かった。MST の方法では、再規格化角運動量の存在を仮定している。そのため、もしも再規格化角運動量が存在しない場合は、重力波を評価できなくなるため LISA データ解析に適用できず、大変深刻な問題である。これを解決するため、重力波振動数が臨界値を超えた場合の再規格化角運動量の性質について詳しく調べた。その結果、再規格化角運動量の定義を複素数に拡張すると、重力波の振動数が臨界値を超えた場合でも、再規格化角運動量が存在することが分かった。そこで、複素数の再規格化角運動量の存在を確認するため、MST の方法を用いて重力波の評価を行い、数値積分法によって得られる結果と比較したところ、矛盾のない結果を得た。したがって、再規格化角運動量の定義域を複素数にまで拡張すれば、MST の方法は LISA データ解析で重要な重力波振動数が大きい場合(周回天体の軌道離心率が大きい場合など)でも適用できると分かった。

しかも、MST の方法で得られた Teukolsky 方程式の解の収束性は非常によい事も分かった。我々の数値計算で得られた精度は、倍精度計算で 13-14 桁の精度であり、計算機の精度近くまで重力波を評価できる事が分かった。この精度は、LISA データ解析に適用するのに十分な精度であり、我々の重力波評価法は将来の重力波観測に大変有用

である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、回転する巨大ブラックホールとそれを周回するコンパクト星からなる連星系からの重力波放出を、Mano、Suzuki、Takasugi (MST) らによるブラックホールの摂動方程式の解法を用いて、詳しく解析したものである。このような連星系は、2014年打ち上げ予定の宇宙空間重力波検出器 LISA の主要な標的のひとつであり、そこからの重力波の精密測定によって、強い重力場における一般相対論の検証やブラックホール時空の幾何学の直接検証が可能になると期待されている。

MST の方法では、再規格化角運動量とよばれる方程式のパラメータを決定する事が最も重要であることが知られている。過去の解析的研究では、再規格化角運動量は実数であると仮定されていた。しかし、本論文は再規格化角運動量の性質について詳しく調べた結果、重力波の振動数が大きくなると再規格化角運動量が複素数となること、その際の実数部分が半整数であることを明らかにした。そして、この結果を使って重力波放出の計算を実行し、重力波の高振動数成分が大きい場合にも、従来の数値積分法よりも精度良くかつ効率的に重力波を評価できることを示した。

本論文の結果は、LISA の重力波データの解析に必要な高精度の理論波形の系統的・効率的計算手法の開発に重要な寄与をするものであり、その意義は大きい。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。