

Title	Formulation for the hydrodynamics in the 2.5 post-Newtonian approximation of general relativity
Author(s)	浅田, 秀樹
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3128820
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	あさ だ ひで き 浅 田 秀 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 2 9 2 0 号
学位授与年月日	平成 9 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Formulation for the hydrodynamics in the 2.5 post-Newtonian approximation of general relativity (一般相対論におけるポスト・ニュートン近似を用いた, 2.5PN オーダーまでの流体力学に対する定式化)
論文審査委員	(主査) 教授 池内 了 (副査) 教授 佐々木 節 教授 高杉 英一 助教授 北本 俊二 京都大学教授 中村 卓史

論 文 内 容 の 要 旨

LIGO, VIRGO, TAMA 等のキロメートルサイズのレーザー干渉型重力波検出器が, 現在建設中である。検出可能な重力波源として, コンパクト連星の合体, 超新星爆発, そして初期宇宙での相転移, などが考えられている。例えば, コンパクト連星からの重力波によって, 強い重力場中での重力理論の検証をはじめ, コンパクトオブジェクトに関する多くの情報が得られる事が期待される。その為, こうしたコンパクト連星の合体に至る進化を理論的に理解する事は大変重要である。ここでは, 特に, 近接連星中性子星に着目する。

連星中性子星の公転速度 (v) は光速 (c) より小さいので, アインシュタイン方程式を (v/c) で展開して, ニュートンの運動方程式に一般相対論的效果を取り入れる扱いが可能である。これは, ポストニュートン近似と呼ばれる。連星中性子星の合体は, 「数値相対論」と呼ばれる手法で $(3+1)$ 形式を用いて扱われるので, 合体前の近接連星中性子星の進化を調べる際にも同じ形式を用いるのが好ましい。従って, $(3+1)$ 形式を用いてポスト・ニュートン近似を行なった。シフト・ベクトルを決めるために, トランスバース・ゲージ条件を採用した。一方, かなり広いクラスのスライス条件 (時間座標の取り方) に対して適用可能な形にした。そして, $(v/c)^5$ オーダーの補正 (2.5 PN), すなわち重力波放出の反作用までを含む流体の方程式を与えた。特に, $(v/c)^4$ のオーダー (2 PN) で現れるテンソル・ポテンシャルを, ニュートン重力と同様の方法で計算できる事を示した。こうして, ここで与えた $(3+1)$ 形式でのポスト・ニュートン近似は, 様々なスライス条件を用いて数値計算を行なう際に有効であり, 完全な数値相対論で扱われる連星中性子星の合体計算の初期条件を与えるのに役立つ。

2 PN オーダーでの一様回転する非軸対称な流体の平衡形状を得る為の定式化も行なった。結果として, 29個のポアソン方程式を解く必要があるが, その源項は, 物体の外側では, $O(r^{-4})$ で早く減衰する。こうして, 通常の数値計算で現れる境界値問題としてこれらのポアソン方程式を正確に解くことが出来る。更に, 逐次計算の収束性を良くするために, 角速度に関する陽な形の展開を行なった。この定式化は, 合体前の連星中性子星やヤコビ楕円体のような非軸対称な一様回転する平衡形状を求める際に, 非常に有効である。

論文審査の結果の要旨

本研究は、一般相対性理論における重力場方程式および流体方程式のポスト・ニュートン近似において、その4次の項までの重力場方程式、重力波放出の反作用を含めた5次までの流体方程式を正確に計算したもので、これまで高々2次のオーダーまでしか計算されなかった重力場方程式の近似を高めることに成功した。画期的な成果は、重力ポテンシャルが物質が存在する場所のみで決定できることを示した点で、博士（理学）の学位論文として十分価値があるものと認める。