

氏 名	井 口 英 雄
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2157 号
学位授与の日付	平成 12 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 from a Naked Singularity (裸の特異点からの重力波)

論文調査委員 (主査) 教授 佐藤文隆 教授 九後太一 教授 小玉英雄

論 文 内 容 の 要 旨

一般相対論における重要な未解決問題のひとつに天体の重力崩壊における宇宙検閲仮説がある。これは、「物理的に現実的な初期条件からは、観測可能な特異点、いわゆる裸の特異点は発生しない」という仮説であり、ブラックホール形成の根拠とされている。しかしながら、この仮説の完全な証明はまだ得られていない。証明の困難さは特殊な対称性を仮定すれば反例が容易に作られることからきている。そこで、近年、これらの反例を手がかりにしてこの仮説を証明する努力がなされている。

裸の特異点が発生する一群の反例は Lemaitre-Tolman-Bondi (LTB) 時空によって記述される球対称重力崩壊を扱ったものである。ここで球対称性は「物理的に現実的な初期条件」という意味からは特殊過ぎるものであるが、非球対称な重力崩壊を一般的に扱う方法は見出されていない。他方、非球対称重力崩壊は宇宙における重力波源の観点からも興味がある。裸の特異点に導くような曲率の非常に強い領域での時空構造の発展による重力波の放出が期待されるからである。したがって、この過程はこれまで我々が持ちえなかった知見を重力波問題にもたらすことも考えられる。

申請論文は、こうした動機のもとに、球対称で密度分布のある重力崩壊を記述する LTB 時空に対して非球対称な摂動をほどこす研究を行なったものである。裸の特異点生成に近づく際の非球対称性の効果を探るとともに、そこでの重力波放出の可能性について解析している。計算はまず、Gerlach&Sengupta により与えられている一般の球対称時空におけるゲージ不変な摂動の定式化に従って、LTB 時空における摂動量の振る舞いを支配する方程式を導出し、次ぎにこれらの式を single-null 座標を用いて数値的に積分することで行った。また結果の解釈の為に、ニュートン近似による解析からの考察も行って比較している。

申請論文で得られた結果は次のとおりである。回転運動による摂動に対応する odd-parity モードの場合、摂動量が原点でのみ発散し、コーシホライズン付近では有限にとどまるという結果を得た。この結果により、球対称時空では現れなかった曲率テンソルの要素が発散すること、すなわち、特異点の性質が変化する可能性を見出している。一方、対流的運動に対応した密度分布についての摂動を伴う even-parity モードの場合、ある摂動量がコーシホライズンにおいて発散するという結果を得た。この結果は、LTB 時空における裸の特異点の「裸さ」についての不安定性を示唆している。また、いずれの場合にも重力波により放出されるエネルギーは有限にとどまるとする結果を得た。これにより、この裸の特異点は強力な重力波源となる可能性は低いことが示された。またコーシホライズンの議論以外では、ニュートン近似による解析は、相対論的摂動での結果をほぼ再現しており、この時空での摂動量の振る舞いに対する相対論的効果が弱いことを明らかにした。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

宇宙検閲仮説は重力崩壊によってブラックホールが形成されることを保障する仮定として提案されてから 30 年近くなる。この仮説は古典的な一般相対論の特異点の諸性質についての礎とも関係する重要な仮説であり、その証明は一般相対論にお

ける未解決問題のひとつとなっている。この証明に向けてこれまでも様々なアプローチがなされたが、最近はこの仮説に対する反例とその性質についての議論が活発である。

このような中で、申請論文の動機のひとつとなっているのは裸の特異点生成における非球対称性の効果である。反例のほとんどが、球対称という特殊な重力崩壊に限られており、それを計算可能な摂動の手法により一般的状況に拡張する考察を行なったことは評価できる。

また、申請論文のもうひとつの動機となっている裸の特異点からの重力波放出の可能性についての議論は、実際に計算してみないと結果が推測でき難い問題であった。これに明快に答えを出したことは高く評価できる。

申請論文では、非一様球対称ダストのモデルである LTB 時空に対して非球対称性を摂動的に取り入れ、その摂動の振る舞いを詳細に考察した。その結果、線形摂動の範囲ではあるが、コーシーホライズンにおいてある種の摂動量が発散しており、裸の特異点が裸ではいられなくなる可能性を明らかにした。このように重力崩壊での裸の特異点生成における、その「裸さ」の非球対称な摂動に対する不安定性を指摘したのは申請者が初めてである。今後の宇宙検閲仮説に対する反例の研究において、新しい課題を提起しており、この点は高く評価される。

また、このような不安定性にもかかわらず、重力波エネルギー放出率の評価によって、予想された強い重力波のバースト的放射は起こらないことを明らかにしたことは、非常に重要な結果であり高く評価できる。これらの結果は、裸の特異点生成における非球対称性の重要性をあらためて明かにしており、宇宙検閲仮説の研究に大きな知見をもたらしている。

参考論文の非等方圧力を持った物質モデルでの球対称重力崩壊はいずれも裸の特異点生成に関するものであり、特に参考論文 1 は、LTB 時空に回転運動の効果を非摂動的に取り入れた解析になっており、申請論文と密接に関連したものである。

よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値の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、これに関した研究分野について諮問した結果、合格と認めた。