

氏 名	前 田 恵 一 まえ だ けい いち
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 619 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 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	Gravitational Collapse of Charged Dust Shell and Maximal Slicing Condition (荷電ダスト殻の重力崩壊と極大切断条件)
論文調査委員	(主 査) 教 授 林 忠四郎 教 授 町 田 茂 教 授 田 中 正

論 文 内 容 の 要 旨

星の重力崩壊によるブラックホールの形成過程，とくに放出される重力波のエネルギーや最終的な時空構造などを明らかにするためには，Einstein 方程式を時間発展の形式で解くことが必要になる。このために，Einstein 方程式を初期値方程式と運動方程式とに分離した（3 + 1）次元形式の方程式を数値的に解くことが試みられている。その際，計算によって覆うことができる時空の範囲は，時間座標をどのように選ぶかという座標条件によってきまるので，良い座標条件の選定が重要な問題の一つとなっている。さて，ブラックホール形成の計算が覆うべき時空の範囲としては，星の中心付近では事象の地平線の内部が含まれること，また星の遠方では重力波が通過して時空がほぼ定常になっているような領域まで時間が進むことが必要である。このような時空範囲を覆う可能性をもつものとして提案された座標条件の一つに極大切断条件がある。これは，時刻一定の3次元超曲面の群で時空を分割する際に，これらの超曲面をその固有体積が極大になるように選ぶという条件である。これはまた，超曲面の固有体積要素が面の法線に沿って不変であるという条件になっている。この条件を Estabrook ら (1973) は真空中の Schwarzschild ブラックホールについて調べ，また Smarr ら (1977) は真空中での2つのブラックホールの衝突の計算にこの条件を採用して，ともに良い座標条件であることを見出している。

主論文は，この極大切断条件が物質を含む時空においても良い座標条件であるかどうかを見るために，球対称荷電ダスト殻の重力崩壊をとり上げ，この条件の定める3次元極大超曲面の時間変化を解析的に調べることによって，この条件が十分に有効な座標条件になっていることを明らかにしたものである。このダスト殻の重力崩壊の解析的な解は Israel ら (1967) によって見出されていて，殻の内部は Minkowski 時空，外部はいわゆる Reissner-Nordström 時空であること，また重力崩壊の様子は荷電 e と重力質量と静止質量の比 a の2つの初期パラメーターの値に依存することが知られている。申請者は，殻の内外の時空を連結するような3次元極大超曲面の表式を積分形で求めることに成功したのである。

申請者はまず，荷電が零の簡単な場合（ $e = 0$ ， $a = 0.95$ ）について超曲面の具体的な表式を求めて，

超曲面が次のような時間変化を示すことを明らかにしている。(1)中心を含めた殻の近傍の領域では、重力崩壊が進んで殻の外部に事象の地平線が出現し、さらに殻の半径が減少して事象の地平線の半径の約 0.7 倍になる時刻まで時間が進む。この時刻の近くでは、時間の進みは急激に減少して時空の特異点を避けるような振舞いを示す。(2)十分遠方の領域では、無限大の時刻まで時間を進めることができる。すなわち、時間が十分に経過して時空が定常になっているような領域を超曲面群によって覆うことができる。

次に申請者は、電荷の効果を見るために、 e が 0 , $0.5 G^{1/2}m$, $0.9 G^{1/2}m$ (G は重力定数, m は殻の重力質量) の 3 つの値をもち、 a が種々の値をとる場合について、極大超局面群が覆うことのできる時空の範囲を調べて、次の結果を得ている。(1)真空中の Reissner-Nordström ブラックホールの場合に比べて、荷電ダスト殻の重力崩壊の場合はより広範囲の時空領域を覆うことができる。(2) a がどの値をもつ場合にも、特異点に近づくことを避けながら必要な時空領域を覆うことができる。(3)電荷が十分大きい場合には、地平線の内部において殻の収縮が膨張に転ずる時期があるが、このような相対論的效果が極度に強い時空領域までを覆うことはできない。

申請者は、荷重ダスト殻の重力崩壊に関する以上の結果から、真空に限ることなく物質が存在する時空においても、極大切断条件は良い座標条件になっていて、一般のブラックホール形成過程の計算に際して、星の中心付近と遠方の両方の領域を広く覆うことができる有効な条件であることが期待できることを結論している。

参考論文 1 は、回転または帯電しているブラックホールにスピノル粒子の波が入射したときの反射波の強度を計算して、この場合はスカラー粒子入射の場合と異なって、反射波の増幅現象が起らないことを見出したものである。参考論文 2 は、強い電場においては荷電粒子と電場の相互作用によって真空が不安定となって粒子対が生成されるという Schiff-Snyder-Weinberg 効果と同様の現象が、回転星の内部においては、星の回転と粒子の角運動量との間の L-S 相互作用によって起こることを見出したものである。

参考論文 3～7 は、いずれも主論文に関連した星の相対論的重力崩壊に関するものである。参考論文 3 は、非球対称の重力崩壊の数値計算の例を示したものである。参考論文 4 は、軸対称の回転が含まれる場合について、従来とは異なった新しい定式化を見出し、これによると回転の効果を電磁場の効果と同じものとして取扱うことができることを示したものである。参考論文 5 は、重力崩壊の数値計算にとって基本となる定式化と初期値方程式の解法とを示したものである。参考論文 6 は、一様密度・微小回転ダスト球について、初期値方程式の解析的な解を求めたものである。参考論文 7 は、参考論文 4 の結果をもとにして、重力崩壊におけるみかけの地平線の位置を求める新しい手法を見出したものである。

論文審査の結果の要旨

星の重力崩壊における重力波放出とブラックホール形成の過程を明らかにするためには、Einstein 方程式を時間発展の形式に書き直して解くことが必要であるが、その際に星の中心と遠方の時空の両方を広く覆うことができるような時間座標を選ぶことが重要な課題の一つとなる。このような良い座標条件の一つとして、固有体積が極大であるような 3 次元超曲面群によって時空を切断するという、いわゆる極大切断条件が提案されている。この極大超曲面群が具体的にどの範囲の時空を覆うかという問題は、これまで

真空の時空については調べられていたが、物質を含んだ時空の場合を明らかにされていない。

主論文は、物質が存在する場合の極大切断条件の有効性を見るために、解析的な解が知られている球対称荷電ダスト殻の重力崩壊を取り上げ、殻の内外を連結する3次元極大超曲面の具体的な表式を求めることによって、これらの超曲面によって覆うことのできる時空の範囲をはじめて明らかにしたものである。この殻の重力崩壊は重力質量と静止質量の比と荷電の大きさという2つのパラメーターで記述されるが、申請者は、これらのパラメーターが任意の値をもち、また事象の地平線が存在するような一般の場合について、極大超曲面の方程式を解析的に解くことによって、超曲面の時間変化の様子を明らかにすることに成功している。すなわち、殻の収縮が進むと殻の外側に事象の地平線が出現し、さらに殻の半径が減少して地平線の半径の約0.7倍になるまでは極大超曲面による時間的な追跡が可能であること、またこのとき星の遠方領域では、時空が定常になるような無限大の時刻まで時間が進んでいることを明らかにしている。

以上の主論文は、物質が存在する時空においても、極大切断条件に従った時間座標の選定が十分に有効であることを示したものとして、星の一般相対論的な進化の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、申請者が一般相対論と素粒子論の広い分野にわたって豊富な知識と優れた研究能力をもっていることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。