

【 25 】

| | |
|---------|--|
| 氏 名 | 原 哲 也 |
| | はら てつ や |
| 学位の種類 | 理 学 博 士 |
| 学位記番号 | 理 博 第 337 号 |
| 学位授与の日付 | 昭 和 49 年 7 月 23 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 | Energy Extraction in Weyl Space-time (Weyl 時空におけるエネルギーの取り出し) |

論文調査委員 (主 査) 教授 林 忠四郎 教授 田 中 正 教授 長谷川博一

論 文 内 容 の 要 旨

ここ10年の間に、一般相対論の効果が重要な役割を演じていると考えられる天体現象が数多く発見されてきた。例えば、パルサーは回転している中性子星の放出する輻射であり、またX線星のあるものにはブラック・ホールが存在するものと推定されている。さらに1969年に Weber が重力波を検出したという報告もあって、ブラック・ホールの近傍を回っている粒子の重力的な結合エネルギーやブラック・ホールに向って落下する粒子の放出する重力波のエネルギーを知ることは、最近の重要な課題になっている。これまでのところ、これらの課題に関する解答は、球対称のブラック・ホールのまわりの時空 (Einstein 方程式の Schwarzschild の解) およびその回転と考えられる Kerr の解の時空の場合に限られていて、球対称からずれた時空についてはまだ十分研究されていない。

主論文は、Weyl (1917) が見出した軸対称で静的な場合の Einstein 方程式の真空解 (Weyl の metric という) を取りあげて、質量の4重極能率をもつブラック・ホールのまわりに円運動をしている粒子の結合エネルギーおよび落下する粒子の放出する重力波のエネルギーを計算したものである。

一般に、Weyl の時空の種類は無数に対在するが、申請者はまず、そのなかで最も簡単な3種を取り出して、その metric の性質と相互の関連性について考察している。この3種の metric とは、それぞれ偏長楕円座標、円座標、偏平楕円座標で記述されるもので、その各々は一定質量をもつブラック・ホールの4重極能率 Q の値によって指定されている。すなわち、上記の3種はそれぞれ、 $Q = -\infty \sim 1/3$, $1/3$, $1/3 \sim \infty$ に対応していて、 Q の値を連続的に変えることによって、棒状から平板状に至るブラック・ホールのまわりの時空を記述している。とくに、 $Q = 0$ の場合が Schwarzschild の metric と一致すべきことから、申請者は Weyl metric の座標系と遠方の観測者の用いる球座標系との関連をつけている。

以上の考察をした上で、申請者は Weyl 時空における質点の運動方程式を定式化して、赤道面上の光の経路と円運動を行なう粒子の結合エネルギーを求めている。この結合エネルギーについては、 Q の各々に対して、粒子の角運動量がいろいろな値をもつ場合について計算して、最大の結合エネルギーを求めて

いる。その結果によると、 $Q > -1$ に対しては最大の結合エネルギーは粒子の静止質量に等しく、 $Q < -1$ の場合には静止質量の数%の程度である。

ついで申請者は、運動する粒子の重力波放出の公式を用いて、粒子がブラック・ホールに向かって赤道面に沿って落下する場合と極軸に沿って落下する場合の二つについて、放出される重力波のエネルギーを計算している。その結果によると、前者の場合には、 $-4(\sqrt{5}-1)/3(9-4\sqrt{5}) < Q < 4(\sqrt{5}+1)/3(9+4\sqrt{5})$ の範囲にある Q に対しては放出される重力波のエネルギーは有限であるが、この範囲外の Q に対しては無限大になる。他方、後者の場合には、重力波のエネルギーは Q の値が小さくなるとともに増大し、 $Q < -16/27$ では無限大になることを見出している。

最後に申請者は、放出される重力波の振動数のスペクトルについて考察している。その結果として、赤道面に沿って落下するとき放出エネルギーが発散する場合には、そのスペクトルは平坦であることを見出している。

参考論文は、回転しているガス雲の自己重力による力学的な収縮過程を調べたもので、最初は球状であったものが、角運動量保存による遠心力の効果によって、球状から次第にずれて、中心部が円盤状になって行く様子を数値計算によって追跡している。

論文審査の結果の要旨

質量の十分大きい恒星が核燃料を完全に消費した後の進化については、密度の上昇にともなって一般相対論の効果が増大するために、星は重力平衡の状態に落ちつくことなしに限りなく収縮するものと考えられている。このように高度に収縮した星、いわゆるブラック・ホールの外部の空間は大きく弯曲していて、この強い重力場のなかの粒子の運動やその重力波放出の様子を明らかにすることは最近の一般相対論の重要な問題になっている。この問題は、球対称の星の外部の Schwarzschild 時空、ならびにこの回転の加わった Kerr 時空については解かれているが、球対称からずれた時空についてはまだ明らかになっていない。

主論文は、Weyl が見出した Einstein 方程式の軸対称で静的な解を取りあげて、4重極能率をもつブラック・ホールのまわりを回転している粒子の運動の様子を明らかにし、またブラックホールに向かって落下する粒子が放出する重力波のエネルギーを計算したものである。Weyl の時空には、Schwarzschild や Kerr の時空とはちがって、いわゆる裸の特異点が存在するので、この特異点の近傍における粒子の運動を明らかにしたものといえる。

申請者はまず、Weyl 時空における一般相対論的な Hamilton-Jacobi の方程式を定式化し、これを解くことによって赤道面における光の経路と粒子の運動の様子を明らかにしている。とくに、円運動を行なう粒子について、角運動量とエネルギーとの関係を計算して、粒子がもつことのできる最大の結合エネルギーを求めている。その結果として、4重極能率が負のある値より小さい場合には、最大の結合エネルギーが静止質量のエネルギーに等しいという興味ある結論を得ている。

ついで申請者は、粒子が特異点に向かって落下するときに放出する重力波のエネルギーを、粒子が赤道面の半径に沿って落下する場合とこれに垂直な極軸に沿って落下する場合の二つについて計算して、種々の

新しい結論を得ている。申請者はさらに計算を進めて、放出される重力波の振動数スペクトルを求めている。

以上のように、主論文は、Weyl の非球対称時空における粒子の軌道運動のエネルギーやその放出する重力波のエネルギーの値を明らかにしたものとして、一般相対論的な天体物理学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、申請者が恒星や銀河の進化について、豊富な知識とすぐ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あるものと認める。