

【 72 】

氏名	佐藤文隆
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第135号
学位授与の日付	昭和41年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	<b>General Relativistic Instability of the Supermassive Stars</b> (超大質量星の一般相対論的不安定性)
論文調査委員	(主査) 教授 林 忠四郎 教授 湯川秀樹 教授 小林 稔

論 文 内 容 の 要 旨

ラジオ銀河の持つ巨大なエネルギーの源を説明するための仮説として、Hoyle と Fowler は太陽の  $10^8$  倍の程度の質量を持った星の存在を考えている。このような大質量の星が進化の一生の間に放出する重力エネルギーと原子核エネルギーの量は、星の安定な重力平衡の状態がどのような高温の段階まで続くかということに依存する。一般に星の平衡状態の安定性は重力の法則と星を構成する物質の熱力学的な性質とによって定められるが、超大質量星の場合には、一般相対性理論に基づいた重力理論を用いる必要がある。また、輻射圧がガス圧よりはるかに大きいために高温状態については電子対の生成を考慮する必要がある。

主論文は、上の一般相対論的な効果と電子対生成の効果が大質量星の不安定性をどのようにひきおこすかという問題を、いろんな質量の星について、また極めて広い範囲の温度と密度について理論的に調べたものである。

まず、球対称の物質分布に対する一般相対論のエネルギー式から出発して、重力が比較的弱くて Newton 理論からのずれが小さいという近似のもとに、星の重力的な結合エネルギーに対する変分の方法を用いて不安定性の条件を導いている。この条件は、Chandrasekhar が同じ近似のもとに時間を含んだ Einstein 方程式から直接に導いた式と一致することを確かめている。その結果によれば、星を構成するガスの断熱変化の指数  $\gamma$  の平均値が  $4/3 + KGM/Rc^2$  より小さいとき星は不安定である。ここに、 $G$  は重力定数、 $M$  と  $R$  は星の質量と半径、 $c$  は光速、 $K$  は星の構造に依存する 1 の程度の数値である。上の  $KGM/Rc^2$  の項は、Newton 理論では無視される一般相対論的な効果であって、星の質量が大きいほど、また収縮が進むほど不安定性が現われやすいことを示している。

ついで、上の不安定性の条件を大質量星に適用するために、広範囲の温度と密度について電子対の生成を考慮した場合のガスの  $\gamma$  の値を数値的に計算し、どのような温度と密度の領域で  $\gamma$  の値が  $4/3$  より小さくなるかを明らかにしている。さらに、大質量星の平衡状態の構造は近似的に指数 3 のポリトロップで表

わされることを用いて、星のとりうる中心温度と中心密度の間の関係をいろんな質量について求めている。以上の結果を用いて、一定質量の星が重力平衡の状態を保ちながら収縮して行くときに不安定になる段階の中心温度、中心密度、星の半径などの数値を見出している。

以上の結論として、星の質量の大小によって不安定性の原因が異なることを明らかにしている。すなわち、質量が太陽の  $4 \times 10^4$  倍以上の場合は一般相対論的效果が電子対生成の効果よりも早期の段階で利いて星が不安定になるのに対して、小質量の場合には一般相対論的效果が利く以前に電子対生成のために  $\gamma$  の値が  $4/3$  より小さくなるのが不安定性の原因となっている。さらに、質量が太陽の数十倍より以下の星では、電子対生成よりもむしろ原子核  $\text{Fe}^{56}$  の  $\text{He}^4$  と中性子への分解によって不安定性がおこることに注意している。

最後に、星の中心温度が十分低い場合には、重力エネルギーの放出にくらべて表面からの輻射損失が大きすぎるために、星はやはり重力平衡の状態にありえないことを注意している。前述の一般相対論的不安定性が現われる中心温度は星の質量に逆比例していて、太陽質量の  $10^9$  倍の星では  $2 \times 10^{10}$  K の程度である。この温度は水素の燃焼がおこる温度よりはるかに低いから、星が表面から放出するエネルギーは重力収縮のエネルギーで補給され、しかも収縮の速さは自由落下に近いものでなければならないことになる。以上から、太陽質量の  $10^9$  倍以上の星は、その一生を通じて重力平衡の状態にありえないという結論を導いている。

参考論文 1 は、高エネルギー粒子を含んだガスの熱力学的な考察によって、ラジオ銀河や超新星などの宇宙線の加速領域から、どのようなエネルギー・スペクトルを持った宇宙線粒子が放出されるかという機構を論じたものである。参考論文 2 と 3 は、参考論文 1 の内容をさらに発展させるとともに、その結果をとくに超新星の場合に適用して、超新星の爆発の結果として生じた星雲内において高エネルギー粒子のひきおこす諸現象を調べたものである。参考論文 4 は、宇宙線粒子の加速機構についての一般理論を系統的に展開し、とくに電波源として知られている諸天体における加速過程を詳細に論じたものである。

## 論文審査の結果の要旨

主論文は、一般相対性理論の効果が無視できない場合について、球対称の星の重力平衡の状態が安定であるための一般的な条件を導くとともに、極めて広い範囲の温度と密度におけるガスの熱力学的な性質を調べることによって、太陽の  $10^2$  倍から  $10^9$  倍にわたる大質量の星が安定であるような中心温度と中心密度の範囲を明らかにしたものである。

まず、一般相対論の場の方程式をそのまま取り扱うことは困難であるので、星の重力的な結合エネルギーに対する変分の方法と Post-Newtonian の近似を用いて、極めて見透しのよい形の不安定性の条件を導くことに成功している。ついで、密度は  $10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup> から  $10^8$  g/cm<sup>3</sup>、温度は  $10^4$  K から  $10^{10}$  K という広範囲の状態についてガスの性質を調べ、とくに輻射と電子対が共存する場合の断熱変化の指数を詳しく計算している。以上の結果をもとにして、一定質量の星が重力平衡の状態を保ちながら収縮して行く際に不安定性が現われる段階の中心温度と中心密度の値を見出している。これより、不安定性の原因には一般相対論の効果と電子対生成の効果との二種があるが、太陽質量の  $4 \times 10^4$  倍を境にして、大質量の星で

は一般相対論的な不安定性の効果が電子対生成の効果より先に現われるのに対して、小質量の星では逆の場合になっているという重要な結論を導いている。さらには、十分低い温度の領域では、表面からのエネルギー損失がその補給に比べて速いために、星は重力平衡の状態をとり得ないことを示し、とくに太陽質量の  $10^9$  倍以上の星では安定な平衡状態が全然存在しないという興味ある結果を得ている。

以上の主論文は、これまで不明の点が多かった大質量星の不安定性の機構を明らかにしたものとして、星や銀河の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、申請者が宇宙線物理学と天体核物理学の広い分野にわたって豊富な知識とすぐれた研究能力を持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。