

【 20 】

氏名	杉 本 大 一 郎 すぎもと だい いち ろう
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 8 4 号
学位授与の日付	昭 和 39 年 12 月 22 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 原 子 核 理 学 専 攻
学位論文題目	Helium Flash in Less Massive Stars (軽い星のヘリウム・フラッシュ)
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

中心で水素を消費した星は、ヘリウムの中心核と水素を含んだ外層からなり、その中間の殻状領域で水素の燃焼が続くが、星の質量が太陽の2倍以下の場合には、中心核では電子が縮退している。ヘリウム核が成長して中心温度が 10^8 °K の近くまで上昇すると、 $3\text{He}^4 \rightarrow \text{C}^{12}$ の反応による熱の放出が始まるが、縮退電子の圧力は温度に依らないために、熱的暴走が起こることが期待される。これをヘリウム・フラッシュという。このフラッシュが星の爆発に至るほど急激なものであるかどうかは、その後の星の進化や超新星の起源に関連した重要な問題となっている。Schwarzschild と Härm (1962, 1964) は簡単な星の模型を用いて、フラッシュの際の星の構造の変化を計算したが、慣性の効果や対流による熱の輸送能率の有限性を考慮に入れなかったので、爆発が起こるかどうかの議論はできなかった。

主論文は、星の中心領域の構造を記述するのに有用な解析的な表式を見出すとともに、核反応による熱の放出、伝導と対流による熱の伝達、膨張の際の慣性の効果を考慮に入れて、ヘリウム・フラッシュにおける星の構造の熱的および力学的変化を詳細に調べ、爆発の起こる条件とその過程を定量的に論じたものである。

まず、ヘリウム中心核の構造は、その外端の境界条件にはほとんど依らないで、中心核の質量と中心における電子の縮退度だけで定められることを見出している。すなわち、中心におけるポリトロップ指数に十分近い値を持つポリトロップ指数の実効値を導入することによって、圧力や密度などの分布が解析的に表現できて、これがフラッシュの熱的、力学的過程を調べる上に極めて有用なことを示している。

ついで、縮退電子の有限の熱伝導度を考慮して、フラッシュの初期から中心に対流領域が出現して生長する過程を明らかにしている。とくに、対流による熱の輸送能率が十分大きい場合について、フラッシュの進行を追跡して中心の温度や密度などの変化を求めている。

さらに、フラッシュの際に星の膨張が十分急速であれば、慣性の効果が重要になり、これが膨張を阻止して中心温度の上昇を促進する過程を一般的に調べている。この温度上昇が核反応を促進して膨張を加速

し、慣性の効果を増大させるという正の feedback が発散する条件、すなわち、星が爆発する条件を数値的に求めている。その結果として、対流の熱輸送能率が十分良い場合には、ヘリウム核の質量が太陽の 0.7 倍以上であれば、爆発が起こるという結論を得ている。

ところで、フラッシュの最高時においては対流による熱の輸送能率が十分良いとはいえないので、対流の混合距離理論を用いて、熱の流れが阻止される過程を調べている。混合距離が有限の場合には、対流領域には断熱的溫度勾配より大きい溫度勾配が生じて、中心溫度はより高くなる。その結果、核反応による熱の放出が促進されて、溫度勾配がさらに増大するという正の feedback があることを指摘し、この feedback が発散する条件、すなわち、熱の閉じこめが起こる条件を求めている。この条件は、電子計算機を用いた結果として、混合距離と scale height との比を α 、フラッシュ直前のヘリウム核の質量を M として

$$\alpha < 0.22 (M/0.53M_{\odot})^8$$

で与えられることを見出している。さらに、熱が閉じ込められると、電子の縮退が解けた後も中心溫度は上昇を続け、遂には慣性の効果を通じて爆発に至ることを明らかにしている。

最後に、球状星団を構成する種族 II の赤色巨星は上述の過程によって爆発する可能性があり、この爆発は放出可能なエネルギー量からみても I 型超新星に対応するという予想を述べている。ただし、決定的な結論を得るためには、対流によるエネルギー輸送の完全な理論が必要であることを指摘している。

参考論文 1 は、星の構造とその進化について、基本的な物理過程に着目しながら、既存の理論を整理補充するとともに、ヘリウム燃焼、炭素燃焼、さらに、それ以後の段階に対する新しい理論を展開して観測と比較したものである。参考論文 2 と 3 は、中位質量の星の進化のヘリウム燃焼段階を詳細に検討し、それが銀河星団の HR 図において主系列の上端にある小分枝に対応することを明らかにしたものである。参考論文 4 は、種族 II の軽い星のヘリウム・フラッシュ後におけるヘリウム燃焼段階の進化を計算して、球状星団の HR 図における水平分枝に対応することを明らかにしたものである。

論文審査の結果の要旨

主論文は、小質量の星の進化のヘリウム・フラッシュの段階、すなわち、中心でヘリウム燃焼が暴走する段階における星の構造の変化を詳細に調べることによって、その進行過程の系列を明らかにするとともに、この変化が星の爆発に至るほど急激であるための条件を求めたものである。

このフラッシュにおいては、核反応による熱の放出、伝導や対流による熱の伝達、膨張による溫度の降下など熱的、力学的に複雑な過程が相互に影響し合うので、星の内部の溫度と密度の分布の時間的変化は複雑な非線型微分方程式で記述される。その一般的な解を求めることは容易でないが、著者は、星の中心領域の構造が簡単に記述できるような新しい理論をつくりあげ、独創的な解法を用いてフラッシュの進行過程を定量的に追跡することに成功している。

すなわち、まずフラッシュの開始とともに、星の中心に対流領域が出現し、これが生長しながら電子の縮退が解けていく過程を明らかにしている。ついで、対流による熱の輸送には限度があるために、ヘリウム領域の質量がある値より大きい場合には、ヘリウムの燃焼熱が中心領域に閉じこめられて溫度の上昇を

促進し、遂には膨張を阻止する慣性の効果を通じて星が爆発するに至るという結論を導いている。この結論は、ヘリウム・フラッシュの終了後の星の進化や超新星の起源についての今後の研究にとって極めて重要なものと考えられる。

以上の主論文は、これまで不明な点が多かったヘリウム・フラッシュの機構とその進行過程を明らかにすることによって、星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、著者が天体核物理学の各分野において豊富な知識と優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。