

【 21 】

氏 名	津 田 博 つ だ ひろし
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 5 7 号
学位授与の日付	昭 和 37 年 12 月 18 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	Thermonuclear Reactions in Stars Involving Heavy Ions up to the Formation of Iron Nuclei (鉄核形成に至るまでの重いイオンを含む星の中での熱核反応)
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

星の進化に伴ってその内部では次第に重い元素が形成され、これらの元素の一部は進化の終期に外界に放出されて星間ガスと混合し、再び星に凝縮するものと考えられている。進化の初期では、水素からヘリウム、ヘリウムから炭素への核融合が星のエネルギー源であることは良く知られているが、その後に炭素から鉄にいたる元素がどのような系列の核反応によって形成されるかは定量的に十分明らかにされていない。また、これらの核反応によるエネルギー生成率を知ることは星の進化の理論を進める基礎として重要である。

主論文は、以上の元素の起源とエネルギー生成率の問題を解決するために、 C^{12} から A^{36} にいたる原子核の関係する熱核反応率を詳細に検討して、ヘリウム消費後の進化の各段階に対応すべき核燃焼の種類と生成核の存在量を求めたものである。

重要な反応は $C+C$ と $O+O$ の重イオン反応、この際に放出される陽子と α 粒子の捕獲、これに続く中性子放出と捕獲、 γ 線による α 粒子放出などであって、 $6 \times 10^8 \sim 2 \times 10^9$ K の温度の範囲にわたる熱核反応率の理論値を導いている。これらの反応率の比較から、次のような燃焼段階の分離を見出している。

最初は 6×10^8 K の温度における C^{12} の燃焼段階で、反応は $C^{12} + C^{12} \rightarrow Ne^{20} + He^4, Na^{23} + H^1$ で始まり、この He^4 と H^1 が C^{12} と O^{16} に吸収されて多岐にわたる反応の系列が続く。初期の C^{12} と O^{16} の存在比の種々の値について、反応核の濃度の時間的変化を計算して、 C^{12} の消費後に残る核は主として O^{16} , Ne^{20} , Na^{23} , Mg^{24} であることを見出している。この途中で $C^{13}(\alpha, n)O^{16}$ によって生成される中性子の数は初期の C^{12} の数の約10%にのぼり、星の物質が最初から太陽表面と同程度の鉄を含んでいる場合、鉄の原子核は1個あたり約30個の中性子を逐次的に捕獲することが可能であり、ウランにいたる重元素生成の中性子源としてきわめて有望であるという興味深い結果を得ている。

次の 1.0×10^9 K における Ne^{20} の燃焼段階では、 Ne^{20} の光分解が始まる一連の反応によって主として O^{16} , Mg^{24} , Mg^{25} , Si^{28} が形成される。 Ne^{20} の消費後は 1.2×10^9 K において O^{16} の燃焼段階が始まり、

$O^{16} + O^{16} \rightarrow Si^{28} + He^4, P^{31} + H^1$ とこれに続く反応によって主として Si^{28}, P^{31}, S^{32} が形成される。この際、 O^{16} の10%の数の中性子が放出されるが、その大部分は P^{31} などに吸収されるので、鉄より重い元素の形成には役立たない。

その後は $1.4 \sim 1.6 \times 10^9 K$ において P^{31} と S^{32} が光反応によって分解し、 Mg^{24} と Si^{28} が主として残る。つづいて $1.8 \times 10^9 K$ において Mg^{24} は (γ, α) 反応によって Ne^{20} に分解するが、この Ne^{20} は前述の Ne 燃焼ならびに O 燃焼の過程によって急速に処理されて、最終的には α 粒子の結合エネルギーが最大である Si^{28} だけが残ることになる。最後は $2.0 \times 10^9 K$ において Si^{28} が (γ, α) 反応で Mg^{24} に分解し、 Mg^{24} は上述の一連の燃焼過程で処理されるが、この際放出される α 粒子、陽子、中性子は残りの Si^{28} に吸収されて最も安定な Fe^{56} を形成する方向に核反応が進行する。これらの反応は Si^{28} の光分解に比べて遅いので、星の中心で Fe^{56} が形成される温度は $2.0 \times 10^9 K$ と考えてよいという結論を得ている。

著者はさらに、以上の各燃焼段階におけるエネルギー生成率を温度と密度の関数として求めているが、これは C 燃焼段階以後の星の内部構造を明らかにしようとする研究に必要な基礎を提供したものであるといえる。

参考論文 1, 2, 3 は超新星の爆発時の高温状態においてきわめて短時間のうちに進行した α 粒子の捕獲反応によって、 Ne^{20} から A^{36} にいたる、いわゆる $4 N$ 核が形成される過程を計算して、 $4 N$ 核の形成量が超新星爆発時の温度、密度、持続時間によってどう変わるかを調べたものである。参考論文 4 は超新星の外層部に水素がある場合、 Ca^{40} から出発した逐次的な (p, γ) 反応と β 崩壊によって、存在量が Fe^{56} の近傍に山を持つような元素の形成が可能であることを指摘したものである。

論文審査の結果の要旨

主論文は星の中心領域において水素がヘリウムに、ヘリウムが炭素と酸素に融合した後に進行すべき核反応の系列とエネルギー生成率を広範囲の温度にわたって調べることによって、鉄の形成にいたるまでには温度の順に炭素、ネオン、酸素、燐と硫黄、マグネシウム、珪素の5種の燃焼段階があることを明らかにするとともに、各燃焼段階における元素の形成量を求めたものである。これらの結果は、星の急速な進化の段階を除けば、その一生にわたる元素形成の過程を明らかにしたものであるといえる。

とくに、炭素、ネオン、酸素の燃焼段階については、反応に関与するすべての原子核の存在量の時間的変化を数値的に計算してこれまで圧倒的に多いと考えられていた Mg^{24}, Si^{28}, S^{32} などの $4 N$ 核の他に P^{31} が同程度に形成されること、また $Mg^{25}, Mg^{26}, Si^{29}, Si^{30}$ などの形成も無視できないという興味ある結果を得ている。さらに、炭素の燃焼段階において放出される中性子の量は、その逐次的な捕獲によって鉄より重い元素を形成するのに十分であるという重要な結論を導いている。各燃焼段階におけるエネルギー生成率が温度と密度の関数として求められているが、これは炭素の燃焼段階以後の星の構造と進化の理論に必要な基礎的資料として重要な意味をもっている。

以上の主論文は星の内部で炭素から鉄にいたる元素が形成される核反応過程を明らかにすることによって、天体核物理学の重要な問題とされている元素の起源と星の進化の理論の発展に有意義な貢献をなしている。なお、参考論文はいずれも天体核物理学における著者のすぐれた研究能力を示している。

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。