

氏名	成田真二 なり た しん じ
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第286号
学位授与の日付	昭和48年5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	<b>The Radiative Energy Loss from the Shock Front</b> (衝撃波面からの放射によるエネルギー損失)
論文調査委員	(主査) 教授 林 忠四郎 教授 長谷川博一 教授 町田 茂

### 論文内容の要旨

赤色巨星の大気のような低密度のガス中で発生する衝撃波の構造は、ガスが放出、吸収する放射によって大きく影響されている。しかし、これまでの衝撃波に関する理論的研究の多くは、放射の取扱いが十分正確なものとはいえなかった。すなわち、衝撃波面の外部領域は光学的に十分厚いものと仮定し、ガスは局所熱平衡にあつて、放射は黒体放射であるとした場合の放射エネルギーの流れを計算していた。最近になって、衝撃波面の近傍領域が熱的に非平衡の状態にあることの重要性が指摘されて、電子や原子と放射との反応の素過程を追求する研究が進んできたが、放射の取扱いはまだ十分正確とはいえない状況にある。

他方、星間雲から原始星が形成される際には衝撃波が発生するものと考えられている。すなわち、ガス雲が自己の重力で収縮すると、その中心部分は次第に高密度、高温になり、その圧力で中心部分の収縮が止まって力学的平衡にある核が形成される。この核に向かって超音速で落下するガス雲は、次々と運動を止められて衝撃波を発生するが、この際、落下の運動エネルギーは散逸して、一部はガスの電離や熱のエネルギーに変わり、他の一部は放射の形で星間空間に放出される。この放射損失のエネルギーの大きさを知るとは、形成された原始星の構造やその後の進化を知る上で重要であるが、これまでの衝撃波の理論では、その定量的な見積りをすることはできなかった。

主論文は、上記のような衝撃波に対する放射の影響や放射損失の大きさを明らかにするために、水素原子を3準位（基底準位、第1励起準位、連続準位）で単純化したモデルを用いて、3準位と放射が相互作用しながら共存する場合の衝撃波の構造を数値的に調べたものである。

申請者は、衝撃波の厚さが星の大きさに比べて無視できることを考慮して、一次元定常衝撃波の場合を取扱っている。また、衝撃波面の前方では、Lyman 連続放射は吸収されるが、Balmer 連続放射は吸収されないという単純化をして、波面後方の放射の流れを Eddington 近似に従って計算している。さらに、波面後方の十分遠方の領域では、放射の正味の流れはないという境界条件をおいている。上の条件のもとに、3成分の水素原子と放射に対する運動量とエネルギーの連続の式を数値的に解くことによって、波面

の前後の領域における種々の物理量の空間的变化を求めて、次のような結果を見出している。

まず、密度が  $10^{-9} \sim 10^{-13} \text{ g/cm}^3$ 、速度が  $40 \sim 60 \text{ km/sec}$  の範囲にある水素ガスが衝撃波面に流入する場合には、流入するガスの運動エネルギーの約90%が Balmer 連続放射としてガスの運動とは逆方向に放出されるという結論を得ている。ただし、流入速度が  $30 \text{ km/sec}$  以下、またはガスの密度が  $10^{-8} \text{ g/cm}^3$  以上になると、放射損失の割合は80%以下に落ちることを見出している。上の90%という放射損失は、Skalafuris ら (1968) が同じ条件のもとに見出した20~30%という値とは非常に違っているが、申請者は、この違いは彼らが次のような不適当な仮定をおいたためであるとしている。すなわち、彼らは Balmer 連続放射が衝撃波面の後方で吸収されないという仮定をおいたために、後方に多量の放射が流れたのである。

また、申請者は、衝撃波面の後方領域における温度、電離度、種々の放射の透明度などの空間分布について次のような興味ある特徴を見出している。波面の直後の領域では、電子温度は低く、水素原子の励起や電離は十分でない。従って、後方の高温領域で放出された Lyman 連続放射は、この低温の領域でほとんど全部が吸収されるので、波面の前方には流出しない。波面よりさらに内部に入ると、電子温度と電離度が最大になる領域があり、ここでは電子と陽子の再結合による放射放出が最も活潑である。この領域は、Balmer 連続放射に対してかなり透明であることが見出されている。さらに内部に進むと、次第に電子温度は降下して電離度は小さくなり、ついには一定温度の局所熱平衡の状態に到達する。

参考論文 1, 2, 3 は、いずれも、星間ガスから生れた原始星が自己重力で収縮して静的な平衡状態に達するまでの力学的な進化を数値的に追跡したものである。原始星の中心部に衝撃波が発生し、その波面が表面近くまで伝播すると、星の光度が急激に増大するという結果が得られている。

### 論文審査の結果の要旨

星間雲の重力収縮によって原始星が形成されるとき、星間雲は超音速で落下するので、衝撃波が発生するものと考えられている。この衝撃波面に流入するガスの運動エネルギーの一部は熱エネルギーに変わるが、残りは放射として外界に放出される。この放射損失は原始星の構造をきめる上で重要であるが、これまでの衝撃波の理論では、放射が存在する場合の衝撃波の構造を正確に取り扱っていないために、放射損失の大きさを正確に知ることはできなかった。

主論文は、上の問題を解くために、水素だけからなる簡単なガスを考え、さらに水素原子の基底準位、第1励起準位、連続固有値の準位の3つだけを考えて、いわゆる3準位モデルを採用して、これらの準位相互間の衝突励起や放射励起とともにそれらの逆過程をすべて考慮した取扱いをすることによって、一般には熱平衡にないガスと放射が共存する場合の、一次元定常衝撃波の構造を明らかにしたものである。

申請者は、まず、3準位の原子と放射が相互作用している場合の流体力学の定式化を行ない、ついで、遠方での放射の流れが適当な境界条件を満たすような解を詳しい数値計算によって求めて、衝撃波の構造を見出すことに成功している。すなわち、衝撃波面の後方の領域における電子温度、原子温度、励起度、電離度、Lyman 連続放射や Balmer 連続放射などの空間分布の様子を明らかにしている。また、この結果として、赤色巨星の大気や原始星に発生する衝撃波については、流入するガスの運動エネルギーの90%近くが Balmer 連続放射として外界に放出されるという興味ある結論を得ている。

以上のように、主論文は、星の大気や原始星のような低密度のガスにおいて発生する衝撃波の構造とこの波面からの輻射によるエネルギー損失の機構を明らかにしたものとして、星の形成の理論や変光星の大気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、申請者が星の進化論やその他の宇宙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。