

| | |
|---------|--|
| 氏名 | 佐藤通 |
| | さとう とおる |
| 学位の種類 | 理学博士 |
| 学位記番号 | 理博第 343 号 |
| 学位授与の日付 | 昭和 49 年 11 月 25 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 | Heat Balance State of the Interstellar Gas —Dependences on the Amount of Cooling-and Heating-Agencies (星間ガスの熱的均衡状態——冷却および加熱量への依存性) |
| 論文調査委員 | (主査) 教授 林 忠四郎 教授 長谷川博一 教授 王垣良三 |

論 文 内 容 の 要 旨

恒星の形成の研究にとって、その母体である星間ガスの物理的状态を知ることは不可欠の課題である。わが銀河の星間ガスの熱的均衡状態、すなわちガスの加熱と冷却が平衡している状態については、この10年間の理論的研究によって、ガスは約 10^2 °K と約 10^4 °K の2つの温度においてのみ熱的に安定に存在することがわかってきた。観測的には、前者は中性水素からなる星間雲、後者は水素が電離した稀薄な媒質に対応するものと考えられていて、これは星間ガスの2相モデルと呼ばれている。ただし、このモデルは、冷却剤としての重元素の存在量と加熱源としての低エネルギー宇宙線強度として現在の銀河の値を採用したものであって、銀河の進化を考える場合には条件を拡張して考察する必要がある。主論文は次の3つの拡張された条件のもとでの2相モデルの妥当性を調べたものである。すなわち、(1)重元素量と宇宙線強度を可変なパラメーターとし、(2)重元素が全然存在しないで水素分子が冷却剤である場合を考察し、(3)これまでは 2×10^4 °K 以下に限定されていた温度範囲を 10^8 °K まで拡張して調べている。

主論文はまず、ガスの加熱機構として低エネルギー宇宙線による原子の電離を考え、冷却機構として H, He, C, O, Ne, Mg, Si, S などの原子やイオンの電子やH原子との衝突励起による輻射放出を考え、これらの加熱と冷却の均衡ならびに電離と再結合の均衡が同時に成立っているような定常状態にあるガスの温度、密度、圧力、電離度との関係を $30 \sim 10^8$ °K の温度範囲にわたって求めている。その結果として、温度と密度の関係が重元素量や宇宙線強度にどのように依存するかについて、次のような興味ある結論を導いている。すなわち、温度を指定したときの密度は約 10^4 °K 以下の温度範囲では重元素量に反比例的に反比例し、 10^4 °K 以上の温度では重元素量にほとんど依存しない。また、密度は宇宙線強度に対しては正確に比例している。

次に、上に求めた熱的均衡状態にあるガスの熱的不安定性を、これまで知られている3つのモード (condensation mode, thermal mode, wave mode) について詳しく調べている。その結果、重元素量ならびに宇宙線強度の値の大小にかかわらず、 10^4 °K の近傍および 300 °K 以下という二つの温度領域だけ

でガスは安定であること、すなわち、2相モデルとしての星間ガスの特徴は、現在の銀河に限定されるところなく、銀河の進化のほぼ全期間を通じて存在することを明らかにしている。

さらに申請者は、重元素と宇宙線がともに存在しなかったと思われる銀河のごく初期について、加熱源としては乱流の散逸、冷却剤としては水素分子だけを考慮して、ガスの熱的均衡状態を求め、その安定性を調べている。その結果、水素分子の存在量が水素原子の存在量の 10^{-3} 倍以上の場合には、安定な2相が存在することを見出している。

ついで申請者は、星間ガスが実際に熱的均衡状態にあるかどうかを吟味するために、最初は非均衡状態にあったガスが、均衡状態に達するまでの時間を調べて、これが十分に短いことを確認している。さらに、ガスが均衡状態の不安定な相にある場合に、これが安定な2相のどれかに十分早く移行するかどうかを判定するために、熱的不安定性の成長時間を調べている。すなわち、自己重力をもったガスに小さいゆらぎを与えた場合について、ゆらぎの波長と振動数の間の分散関係を導いて、次の結論を得ている。不安定性の成長時間は、自由落下時間、音波伝播時間、冷却時間という3つの時間尺度の結合として表現されるが、宇宙線強度が極端に小さくないかぎり、重元素量と波長に関係なく十分に短いことを見出している。

最後に申請者は、星間ガスの2つの安定相の温度と密度に大きな差があることから、高温の相から低温の相への相転移が起こることが星の形成の引き金として重要であることを指摘し、このような相転移は例えば宇宙線強度の永年変化によって誘導されることを示している。さらに、この変化と星の形成とは負のfeedbackとして連結していて、銀河内における2つの安定相のガスの質量比や星の形成率などが絶えず自己調節をしているという予想を述べている。

参考論文は、銀河におけるガスから星の形成、星の進化による重元素形成とその外界への放出などの過程を通じて、銀河のガスの総量とガスに含まれる重元素量が時間的にどのように変化するかを調べたものである。

論文審査の結果の要旨

わが銀河の星間ガスの温度は、宇宙線やX線などによる加熱と、熱的衝突によって励起された原子イオンの放出する輻射損失との釣合によって定まっているものと考えられている。このような熱的均衡状態にあるガスの密度と温度の関係、ならびにこれらの状態が熱的に安定であるかどうかという問題はこれまで多くの人によって調べられた。その結果として、星間ガスの熱的均衡状態は比較的高温、低密度ならびに比較的低温、高密度の2つの安定相をもち、その中間は不安定相であることが明らかになっている。この2つの安定相はそれぞれ星間雲とこれを取り囲む稀薄なガスに対応するものと考えられている。以上の2相モデルは現在の銀河の星間ガスに対するものであるが、加熱源としての宇宙線強度や冷却剤としての重元素の存在量は銀河の進化に伴って大きく変化したものと考えられるので、2相モデルが銀河の初期から現在までの全期間にわたって成立するかどうかは明らかでない。

主論文は、宇宙線強度と重元素量が現在の値と大きく異なった一般の場合について、また最高 10^8 Kに及ぶ広い温度範囲について、熱的均衡状態にある星間ガスの密度と温度の関係を求めて、その熱的安定性

を詳細に調べたものであって、その結果として以下に述べるような数多くの新しい結論を見出している。

まず、 $2 \times 10^4 \text{ K}$ 以上の温度では安定相は全然存在しないこと、温度が 10^4 K の近傍と 300 K 以下の領域だけに安定相が存在することを明らかにしている。同時に、 10^4 K 以下の温度では、温度を指定したときの均衡状態の密度は、宇宙線強度に比例し、重元素量にほぼ反比例することを見出している。ついで、一般に熱的不均衡の状態にあったガスが均衡状態に達するまでの時間は、宇宙線強度が極端に小さくない限り、銀河の年齢に比べて十分短いこと、また不安定相にあるガスが安定相に移行する時間も十分短いことを確かめている。申請者はさらに、銀河のごく初期には重元素が存在しなかったものと考えられるので、重元素の代りに水素分子が冷却剤である場合の熱的均衡状態を調べ、水素分子の存在量が水素原子の存在量の 10^{-3} 倍以上の場合には、やはり安定な 2 相が存在す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、銀河の初期から現在にいたる星間ガスの熱的均衡状態とその安定性を明らかにしたのものとして、銀河の進化や星の形成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宇宙物理学や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。