【109】

氏　名（本籍）	佐久間（さくま）　優（まさる）（愛 知 県）
学 位 の 種 類	博　　士（理　　学）
学 位 記 番 号	博　甲　第　5260　号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	**Feedback Effects of First Supernovae on the Subsequent Population III Star Formation** （連続的種族Ⅲ星形成に対する初代超新星のフィードバック効果）

主　査	筑波大学教授	理学博士	中　井　直　正
副　査	筑波大学教授	理学博士	梅　村　雅　之
副　査	筑波大学准教授	博士（理学）	森　　正　夫
副　査	甲南大学准教授	博士（理学）	須　佐　　元

論 文 の 内 容 の 要 旨

本研究では、初代星の超新星爆発が周囲の星形成に対してどのような影響を及ぼすかを調べた。近年の研究により、初代星の形成過程はおおよそわかってきており、その質量は 100 太陽質量を超えるような大質量であるということが一般的な見解となっている。しかしながら、初代星形成後の星形成は、初代星からの紫外線輻射や初代星の超新星爆発からのフィードバックによって大きく影響を受けるため、その過程はより複雑になる。輻射フィードバックに関しては個々の効果とその影響が順に調べられており、徐々にその影響が解明されつつある。一方で、初代星の超新星爆発のフィードバックに関する研究は数が限られており、詳しいことはまだよくわかっていない。

初代超新星のフィードバックが近傍の高密度ガス雲に対してどのような影響を与えるかを調べるために、まずはタイムスケールの比較による解析的な計算を行った。ガスが重力収縮を続けるためにはガスの冷却が必要不可欠であるが、宇宙初期の始原ガスには現在の星形成において有効な冷却剤となる重元素がないため、H_2 が冷却剤として非常に重要な役割を果たす。また、始原ガスにおける H_2 形成は電子を触媒として行われるため、一度ガスが 10^4 K 以上に加熱されるような状況では最終的に形成される H_2 の量が多くなる。従って、衝撃波によるガスの加熱を考える際にはこの効果も考慮する必要がある。この計算においては、上述した H_2 の形成、冷却の効果と、衝撃波によるガスの吹き飛ばしの効果を考慮した。初代超新星の衝撃波が近傍の高密度ガスを加熱した後のガスの冷却、膨張、重力収縮それぞれのタイムスケールを比較することによって、このガス雲が吹き飛ばされず、冷却が十分に効き重力収縮が継続可能かどうか、つまりはガス雲において星形成の可能性があるか否かを調べた。超新星爆発のエネルギー、近傍ガス雲の質量、ガス雲の超新星からの距離によってその影響は様々だが、衝撃波加熱後のガスが、衝撃波によって吹き飛ばされず生き残ることと、十分な冷却が可能であること双方を満たすことはないことがわかった。つまり、初代超新星のフィードバックは主に周辺の星形成を抑制する方向に働くことがわかった。

解析的な計算においては衝撃波によるガスの加熱や衝撃波のガス内部での伝播、ガスの化学組成などを簡単化しているため、これらをより詳細に取り扱うためには数値計算を行う必要がある。従って、概ね同様の

設定において我々は化学反応計算と重力計算を取り入れた3次元数値流体シミュレーションを行った。このシミュレーションにおいては、重要な冷却剤としてH_2とともにHD分子も取り入れた。それは、HDはH_2よりも励起エネルギーが低いため、HDが十分に生成されると～150K以下の低温においては冷却源として重要な役割を果たすからである。衝撃波加熱がガスを高温にすることによってH_2の形成が促進されることは上で述べたが、HDはH_2をもとに形成されるため（$H_2 + D^+ \rightarrow HD + H^+$）、$H_2$が多量に形成されればそれだけ多くのHDが形成され、その効果も大きくなる。我々が行ったシミュレーションの結果、超新星爆発のエネルギーが非常に大きい（$E_{SN} = 10^{53}$ erg）ときは、衝撃波によってガス雲はハローのポテンシャル内にとどまることができず､吹き飛ばされてしまうことがわかった。これは解析的計算で得られた結果と一致する。一方で、超新星爆発のエネルギーが小さい（$E_{SN} = 10^{52}$ erg）ときは衝撃波がガスを吹き飛ばすことなく、ガス雲外縁部の密度の低い部分を回り込みガス全体を圧縮するため、衝撃波の影響はガスの中心部をさらに高密度にすることがわかった。また衝撃波加熱後に形成された多量のH_2によってガスが再び数百Kにまで冷却され、その後の星形成の可能性があることがわかった。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、初代超新星爆発が次世代星形成に与える影響を解析的計算と3次元流体シミュレーションによって調べたものである。解析的計算によって、初代超新星のフィードバックは近傍での星形成を抑制するということを示し、さらに衝撃波のガス雲との衝突や衝撃波によるガスの加熱、化学反応などを詳細に取り扱った3次元流体シミュレーションによって、初代超新星のフィードバックは近傍での星形成を抑制するという効果だけでなく、条件によっては周辺での星形成を促進する効果も持ち合わせていることを発見した。本研究は、宇宙の初代天体における星形成史の解明に重要な進展をもたらすものであり、その学術的価値は高く評価される。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。