

論文審査の結果の要旨

氏名 中村 航

本論文は、宇宙における Li, Be, B という軽元素の起源として、Ic 型超新星爆発によって加速された星の外層が、星周物質と相互作用して合成するというメカニズムを研究し、銀河の化学進化の初期段階において Ic 型超新星がはたす役割について研究した。論文は以下のように 6 章から構成されている。

1 章は軽元素の起源の研究の現状をまとめている。宇宙における軽元素の合成過程としては、まずビッグバン元素合成において ${}^7\text{Li}$ がつくられる。他の軽元素同位体 ${}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{B}$ は主として H, He + C, N, O という宇宙線の相互作用による破砕反応によって作られると考えられている。粒子の加速メカニズムとしては、超新星残骸での H, He の衝撃波による加速が考えられてきたが、H, He よりも C, N, O が加速されて H, He にぶつかるモデルの方が、金属欠乏星で観測されている軽元素量の傾向をよく説明できることが示されていた。

2 章と 3 章では、C, O から成る宇宙線の加速場所としての Ic 型超新星のモデルが提示されている。Ic 型超新星の親星は表面が主に C, O から構成される段階まで質量放出が進んだ Wolf-Rayet (WR) 星であると考えられているが、本論文では、銀河の化学進化の初期段階に適用するために、特に金属欠乏星の進化計算の結果得られた WR 星のモデルを使ったところに以前のモデルとの違いがある。また星周物質の存在が想定されている。爆発のエネルギー $E = 1 - 30 \times 10^{51}$ erg で発生した衝撃波によって外層が加速される過程を計算した結果、どのモデルでも軽元素合成反応を起こすのに十分なエネルギーまで外層が加速された。

4 章が本論文の主要内容である。以前の軽元素合成量の計算では、thick target 近似を用いて、加速された外層のエネルギー損失が見積もられていたが、高エネルギー粒子に対しても星周物質が "thick" とは限らない。従って、本論文では、加速された粒子が星周物質の中を通過する際に自由電子とクーロン散乱を起こす事によって失うエネルギーをモンテ・カルロ法を用いて計算した。それと同時に、加速された He, C, N, O が星周物質中の He, C, N, O と破砕反応あるいは融合反応を起こすことによって生成される Li, Be, B の量を計算して、次のような結論を得た。

超新星爆発によって加速された粒子の大部分は星の表面近くの星周物質の密度の高

い領域でエネルギーを失い、同時に軽元素合成反応も完結する。その一方で、十分高いエネルギーまで加速された粒子は、ある程度のエネルギーは失うものの高密度領域を突破することができ、その先の希薄な星周物質とはほとんど相互作用せず、軽元素合成に寄与することなく飛び去ってしまう。すなわち、軽元素合成反応に重要な役割をはたすのは、加速された He と星周物質中の C との破碎反応である。また、表面に多量の He を含む星のモデルでは、この He が加速されて星周物質中の He と融合反応を起こし、大量の Li を生成する。一方、その反応に必要なエネルギーの小ささから多量の軽元素を合成すると期待された He+N という破碎反応による Li, Be, B の合成量は、N が希薄な層にしか存在しないため、非常に限られたものとなる。

このようにして得られた軽元素合成量は、金属欠乏星 LP815-43 で観測された ${}^6\text{Li}$ および ${}^9\text{Be}$ の O に対する質量比と比較された。その結果、観測の ${}^9\text{Be}/\text{O}$ を説明するには爆発のエネルギーが $\sim 6 \times 10^{51}$ erg 程度必要で、また $\sim 2 \times 10^{52}$ erg 程度の爆発であれば観測の ${}^6\text{Li}/\text{O}$ と一致した。ただし、両方の観測結果を同時に再現することはできないという問題が未解決の問題として残された。

5章では、どのような化学組成を持つ星の爆発の場合に上記観測値を説明できるかを調べた。その結果、星の表面および星周物質が非常に He-rich かつ N-rich で爆発エネルギーの大きい場合であれば、上記 LP815-43 の ${}^6\text{Li}$ と ${}^9\text{Be}$ の観測量を同時に再現できることを見出した。モデルパラメータ依存を議論するには、さらなる金属欠乏星における Li, Be, B の観測と WR 星のモデル計算が必要である。

6章でまとめられているように、本論文は、Li, Be, B という軽元素が、Ic 型超新星爆発で加速された星の外層と星周物質との相互作用によって合成される過程を、モンテ・カルロ法を用いて初めて詳細に計算した結果を提示したもので、Ic 型超新星爆発によって、初期の銀河の化学進化に影響を及ぼし得る量の Li, Be, B が合成される事を見出した。以上、本論文は、宇宙の軽元素の起源と銀河の化学進化の初期段階における Ic 型超新星がはたす役割の理解を飛躍的に前進させたものとして高く評価できる。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。