

論文審査の結果の要旨

氏名 富永望

本論文は、重力崩壊型超新星爆発の輻射輸送計算、流体力学計算、元素合成計算に基づいて、超新星爆発とガンマ線バーストの爆発メカニズムを広範に考察し、その爆発で合成される重元素の組成パターンを金属欠乏星の観測と比較することで、宇宙初期の化学進化を考察するための方法を具体的に提案した最初の研究である。

本論文は8章から成る。第1章では、宇宙初期の物質未混合の時代の化学進化と、超新星爆発やガンマ線バーストの性質について、これまでの観測結果が概説されている。特に、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ の金属欠乏星の重元素組成パターンは個々の超新星において合成された元素の組成パターンを反映していることが述べられ、また、超新星の爆発メカニズムは光度曲線やスペクトルの観測に基づいて個別にその性質が明らかにされている現状が述べられている。その中であって、未だ確実ではない重力崩壊型超新星の性質を明らかにするためには、爆発モデルを光度曲線とスペクトルの観測から更に制限し、それによる重元素組成パターンの予想を金属欠乏星の観測で検証することが必要であるという観点にたって、本研究の動機づけを行っている。

第2章では、本論文で用いた輻射輸送、流体力学、元素合成の数値計算の手法が説明されている。特に、第5章と第6章で用いている2次元相対論的流体計算コードは論文提出者が自ら作成したもので、付録にそのテスト計算結果が収められ、解析解と一致することが確認されている。

第3章では、最近観測された数例の超新星爆発とガンマ線バーストの光度曲線とスペクトルから、その超新星の質量と爆発エネルギーを求めている。ここでは、特に、ガンマ線バーストと類似の爆発現象でありながら、主にX線でエネルギーを放射するX線フラッシュに着目し、XRF030723に付随する超新星は低質量($15 - 25 M_{\odot}$)で、その爆発は低エネルギー($E < 10^{52}$ エルグ)であったことを見出している。これは、X線フラッシュとガンマ線バーストの違いは親星の質量が異なるためであることを示唆した世界で初めての結果である。

第4章では、第3章や先行研究によって明らかにされた現在の超新星の質量や爆発エネルギーの範囲を念頭に置いて、質量 $13 - 50 M_{\odot}$ で爆発エネルギーが $1 - 40 \times 10^{51}$ エルグをもつ第一世代星について、その超新星爆発の1次元流体力学計算と元素合成計算を行っている。ここでは、中心領域への質量降着に、非球対称効果である物質混合を取り入れたモデル(mixing-fallback model)を用いて超新星から放出される元素組成を計算し、金属欠乏星に見られる元素組成パターンの違いは超新星の質量と爆発エネルギーの違いを反映していることを明らかにしている。

第5章では、単に質量降着モデルに非球対称効果を取り入れるのではなく、実際に第一

世代星のジェット状超新星爆発の2次元流体力学計算と元素合成計算を行い、超新星から放出される元素組成とジェットの性質との関係を調べている。その結果、ジェットのエネルギー放出率が重要なパラメータであり、エネルギー放出率が小さくなると、放出される鉄の量は少なくなり、炭素に対する鉄の組成比 $[C/Fe]$ が大きくなることを見出している。また、金属欠乏星と比較して、ジェットのエネルギー放出率が小さくなるにつれ、EMP 星 ($-4 < [Fe/H] < -3$)、CEMP 星 (EMP かつ $[C/Fe] > +1$)、HMP 星 ($-6 < [Fe/H] < -5$ かつ $[C/Fe] \sim +4$) の重元素組成パターンが順に再現されることを見出している。

第6章では、これまでに近傍のガンマ線バーストは爆発エネルギーの大きい極超新星 (GRB-HNe) と同起源であることが明らかにされていたが、2006年に GRB060505 と GRB060614 という超新星成分が付随しない近傍のガンマ線バースト (noSN-GRBs) が発見されたことを述べ、この超新星成分の明るさの上限値から ^{56}Ni の質量を $M(^{56}\text{Ni}) < 10^{-3} M_{\odot}$ と見積もっている。この Ni 質量の上限値は CEMP 星や HMP 星に対応するジェット状超新星爆発モデルと矛盾がないことから、ガンマ線バーストと金属欠乏星は同様なジェット状超新星爆発を起源とすると考えられ、ジェットのエネルギー放出率が大きい超新星爆発は GRB-HNe や EMP 星の起源であり、エネルギー放出率の小さい超新星爆発は noSN-GRBs や CEMP 星や HMP 星の起源であることを提案している。

第7章では本研究で得た結果が要約されており、第8章では結論と今後の研究の展望が述べられている。

以上、本論文は、輻射輸送計算を用いて超新星爆発とガンマ線バーストの性質を明らかにし、それらの結果と関連させた流体力学計算と元素合成計算に基づいて、金属欠乏星の元素組成パターンから第一世代星の起源や宇宙初期の化学進化を解明するための新しい方法を築いた先駆的研究として高く評価できる。

なお、本論文の一部は野本憲一、梅田秀之、前田啓一、田中雅臣、岩本信之、鈴木知治、Elena Pian、Paolo A. Mazzali、Jinsong Deng、Jens Hjorth 及び Johan P. U. Fynbo との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値計算及び解析、検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、審査員全員一致で博士 (理学) の学位を授与できると認める。