

鉱物試料に残されたニュートリノの痕跡による銀河系内 超新星発生史の探索可能性

九州大学理学府 物理学専攻 粒子系理論物理学研究室

山崎 眞尋

指導教員：中里 健一郎 准教授

概要

太陽質量の 8 倍以上の質量を持つ星は、一生の最期に重力崩壊して超新星爆発を起こし、その残骸として中性子星を形成する。その過程では大量のニュートリノが放出され、解放された重力エネルギーのほとんどを持ち去る。近年、Paleodetector と呼ばれる鉱物試料を用いて過去に銀河系内の超新星から放出されたニュートリノを検出する手法が提案された。地球に飛来した超新星ニュートリノが鉱物試料中の原子核とコヒーレント散乱すると、反跳した原子核は飛跡を形成する。この飛跡を読みとることができれば、過去に発生した超新星を知ることができる可能性がある。先行研究では銀河系内の超新星から放出されたニュートリノに対する Paleodetector の感度が評価されていた。

先行研究の見積もりでは超新星から放出されるニュートリノについて、単一の解析的なスペクトルが仮定されていたが、超新星ニュートリノのスペクトルは核物質の状態方程式に依存することが知られている。そこで、本研究では現実的な状態方程式に基づく超新星の数値計算から得られたニュートリノスペクトルを仮定し、超新星ニュートリノに対する Paleodetector の感度を評価した。また、超新星ニュートリノのスペクトルは中性子星の質量にも依存する。観測から、典型的な質量を持つものだけでなく、比較的重い中性子星も発見されているため、本研究ではその多様性を考慮した。さらに、重力崩壊した天体には超新星爆発に失敗し、ブラックホールを形成するものが存在する。その場合にもニュートリノは放出されるため、本研究ではブラックホール形成からのニュートリノも考慮に入れ、超新星ニュートリノに対する Paleodetector の感度の見積もりを行った。

過去に発生した超新星は Snowball Earth と呼ばれる全球凍結現象の引き金となった可能性が指摘されている。そこで、本研究では Snowball Earth の時代に地球近傍に若い星団が存在し、その内部で多くの超新星爆発が発生したと仮定して、Paleodetector による超新星の突発的増加の検出可能性を評価した。その結果、地球から 10 pc の距離で超新星がほぼ同時に数十個発生していたとすると、それに伴い放出された超新星ニュートリノを検出可能であるという結果を得た。中性子星が形成される際、放出されるニュートリノの全エネルギーは中性子星の束縛エネルギーに対応する。そのため、中性子星の半径が小さい状態方程式ではニュートリノが多数放出され、超新星ニュートリノの検出可能性が高くなることがわかった。また、重い中性子星の寄与を考慮すると、典型的な中性子星と比較してニュートリノが多数放出されるため、超新星ニュートリノの検出可能性が高くなるという結果が得られた。一方ブラックホールが形成される場合、それに伴うニュートリノの寄与によって、超新星ニュートリノの検出可能性が高くなるという結果が得られた。また、その際に形成される原始中性子星の最大質量は状態方程式によって決まり、放出されるニュートリノの量はその最大質量に依存する。原始中性子星の最大質量が大きければ、重力崩壊した星がブラックホールを形成するまでの時間が長く、多くのニュートリノが放出される。そのため、原始中性子星の最大質量が大きくなる状態方程式を仮定すると、超新星ニュートリノの検出可能性が高くなるという結果が得られた。