

## 【特別推進研究】

### 理工系（数物系科学）



#### 研究課題名 中性子同時計測を用いた超新星ニュートリノ観測

東京大学・宇宙線研究所・教授 **なかはた まさゆき**  
**中畑 雅行**

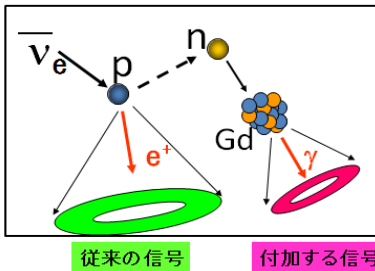
研究課題番号：26000003 研究者番号：70192672  
研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理  
キーワード：宇宙線（実験）

#### 【研究の背景・目的】

超新星爆発は、大質量星がその一生の最後におこす現象であり、鉄の中心核が重力崩壊して中性子星やブラックホールになることをきっかけとしておこると考えられている。その際に莫大なエネルギーが約10秒間という短い時間の間に発生し、そのほとんどのエネルギーがニュートリノによって星から放出される。実際、カミオカンデは超新星 SN1987A の爆発においてそうしたニュートリノを捉え、超新星爆発の基本的なシナリオが正しいことを示した。しかし、捉えられたニュートリノの数は高々10事象程度であり、爆発の詳細まで探ることはできなかった。また、これはあくまで「ひとつ」の星の超新星爆発であり、爆発機構を詳しく探るためにはたくさんの超新星爆発事象を対象とした研究が必要である。宇宙には $10^{20}$ 個の恒星があり、そのうちの0.3%、つまり約 $10^{17}$ 個の星は超新星爆発をおこしてきた。それにとまなうニュートリノ（超新星背景ニュートリノ(Supernova Relic Neutrino(SRN))) が宇宙に満ちていると考えられる。本研究ではまだ未発見のSRNの観測を目指す。また、超新星爆発が我々の銀河で起きた場合には、その星の方向をニュートリノによって正確に捉え、光学観測者へと発信することを目指す。ベテルギウスなどの超近傍星爆発においては、その爆発を事前に予知することを目指す。

#### 【研究の方法】

超新星爆発に際してはすべての種類のニュートリノが放出されるが、もっとも観測しやすいのは反電子ニュートリノである。反電子ニュートリノは陽子と反応し、陽電子と中性子を放出する。本研究では左図のように、反電子ニュートリノが反応した際の陽電子と中性子を同時計測することによって超新星爆発からのニュートリノを捉える。我々に降り注ぐ反電子



ニュートリノのうち、10-30メガ電子ボルトの範囲はSRNが支配的であると予想されている。しかし、このエネルギー範囲では多数の太陽ニュートリノや宇宙線による核破砕物事象などがあるため、反電子ニュートリノの観測のためには中性子の同時計測が必要となる。SRNは非常に強度が弱いので、観測装置のサイズはスーパーカミオカンデ（SK）のような

非常に大きい実験装置を必要とする。本研究ではSKにガドリニウムという物質を溶かし、中性子の同時計測を行う予定である。ガドリニウムは中性子を捕獲する断面積が非常に大きく、かつ捕獲した後にエネルギーが高いガンマ線を放出するため、SKで捉えることができる。

我々の銀河で超新星爆発が起きた場合には数千事象の反電子ニュートリノ反応と数百事象の電子散乱事象が予想される。電子散乱事象は方向性を保持しているため、中性子の反同時計測によって電子散乱事象を選び出し、星の方向決定精度を向上させる。ベテルギウスなどの超近傍星においては爆発直前のケイ素燃焼過程からの反電子ニュートリノを使って爆発を予知する。

#### 【期待される成果と意義】

本研究が実現されれば、SRNの世界初観測となる。その観測によって大質量星の歴史を探ることができる。また、数多くの超新星爆発を平均化したニュートリノエネルギースペクトルを得ることができる。我々の銀河における超新星爆発においては、その方向の情報をいち早く世界の光学観測に向けて発信することが極めて重要である。超新星が光学的に輝きだすのは衝撃波が星の表面まで到達してからであり、ニュートリノの信号から数時間から1日の時間が経過してからである。いち早く超新星の方向を発信できれば、輝き始めるその瞬間から光学観測を始めることができる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ "GADZOOKS! Anti-neutrino spectroscopy with large water Cherenkov detectors", J. F. Beacom, M. R. Vagins, Phys.Rev.Lett. 93 (2004) 171101.
- ・ "Supernova Relic Neutrino Search at Super-Kamiokande", Super-Kamiokande Collaboration (K. Bays et al.), Phys.Rev. D85 (2012) 052007.

#### 【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度 453,400千円

#### 【ホームページ等】

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/~nakahata/tokusui>  
[nakahata@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:nakahata@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp)