

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分

平成29年4月22日現在

研究課題名（和文） **中性子同時計測を用いた超新星ニュートリノ観測**

研究課題名（英文） **Observation of supernova neutrinos with  
neutron tagging**

課題番号：26000003

研究代表者

**中畑 雅行** (NAKAHATA MASAYUKI)

東京大学・宇宙線研究所・教授



研究の概要:本研究ではスーパーカミオカンデの50,000トンの純水にガドリニウムを溶解し、反電子ニュートリノが陽子と反応した際に生成する中性子を同時計測することによって、反電子ニュートリノ反応による事象を同定する。それにより、宇宙の初めから起きてきた超新星爆発からのニュートリノ（超新星背景ニュートリノ）を捉えることを目指す。また、我々の銀河で超新星爆発が起きた場合には、反電子ニュートリノ事象と電子散乱事象とを識別することにより、高い精度で超新星の方向を決定することができる。

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ニュートリノ、超新星爆発

### 1. 研究開始当初の背景

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。

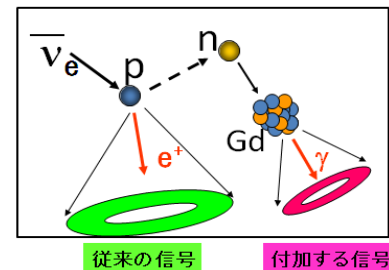
### 2. 研究の目的

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。

### 3. 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。

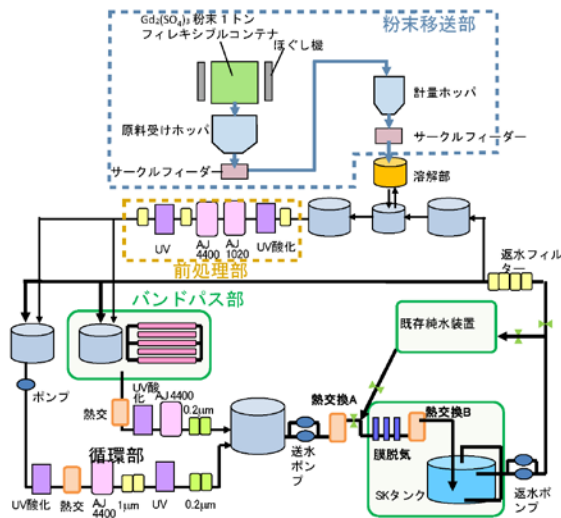
本研究では右図のように、反電子ニュートリノが反応した際の陽電子と



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。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。また、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が、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。

#### 4. これまでの成果

研究を進めるにあたっては、(1)  $Gd_2(SO_4)_3$  粉末を移送し溶解する装置、(2) 約 1% の高濃度で溶解した  $Gd_2(SO_4)_3$  を前処理して純化する装置、(3) SKタンクからの返水と高濃度の  $Gd_2(SO_4)_3$  とを混合し目的の濃度にしてそれを循環させる装置、を建設するとともに、(4) Gd 導入前にはSKタンクの水を抜き Gd 溶解水が環境に漏れないように止水補強工事を行うこと、(5) 実際にGdを溶解してデータ収集を行うこと、をおこなう必要がある。これまでの研究により、(1) から(3)までのステップが完了し、現在は(4)のための準備を進めている。下図に全体のフロー図と建設された装置の全体写真を示す。



Gd 溶解装置はフレキシブルコンテナによって供給される  $Gd_2(SO_4)_3$  をほぐし、ホッパで送り出した後、キャピテーションポンプによって溶解する。Gd 水-前処理装置では、有機不純物を取り除くために UV 酸化ランプによって光分解し、今回の研究のために特別に開発された陰イオン交換樹脂である AJ4400 (Gd タイプ) 樹脂によって取り除く。AJ4400 は SRN のバックグラウンドとなるウランも取り除くことができる。また、太陽ニュートリノ観測などスーパーカミオカンデにおける他の物理に対するバックグラウンドとなるラジウム起源のバックグラウンドを取り除いた

めに新たに開発された陽イオン交換樹脂 AJ1020 (Gd タイプ)、バクテリア除去のための UV 殺菌灯、微粒子不純物除去のための  $3\mu m$ 、 $1\mu m$ 、 $0.2\mu m$  フィルターも前処理装置に組み込まれている。Gd 水-循環装置は、UV 酸化、AJ4400 (Gd)、 $1\mu m$  フィルター、UV 殺菌灯、 $0.2\mu m$  フィルターを通して SK の水を 120ton/hour で循環純化する。

#### 5. 今後の計画

SK タンクの止水補強工事を平成 30 年度に予定しており、その後徐々に  $Gd_2(SO_4)_3$  を溶解していく。Gd は中性子捕獲断面積が大きいので、0.02% の  $Gd_2(SO_4)_3$  でも約 50% の捕獲効率を有する。まずはこの濃度で観測を開始する予定である。もし、超新星爆発の際の反電子ニュートリノ温度が比較的高めであれば、年間数事象の反電子ニュートリノ反応が期待できる。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- (1) "The Super-Kamiokande Gadolinium Project", H. Sekiya et al., Proceedings of Science (ICHEP2016), 982 (2016).
- (2) "The SuperK-gadolinium project", L. Labarga et al., Proceedings of Science (HQL2016), 7 (2016).
- (3) "Recent Results from Super-Kamiokande", Proceedings of Science (XVI International Workshop on Neutrino Telescopes), M. Nakahata, session II, 009-1-10, March 2-6, 2015.
- (4) "LowE neutrino in SK", H. Sekiya et al., proceedings of XIV International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics, Sep. 7-11, Torino, Italy, 2015.
- (5) "GADZOOKS!: Status and physics potential", P. Fernandez et al., proceedings of The 34th International Cosmic Ray Conference (ICRC2015), Hague, Netherland, July 30 - Aug. 6, 2015.
- (6) "Prospects for supernova neutrino detection", Takaaki Mori, Proceedings of neutrino Oscillation Workshop 2014 (NOW2014), Otranto, Lecce, Italy, Sep. 7-15, 2014.
- (7) "Supernovae Neutrino detectors", proceedings of Very High Energy Phenomena in the Universe, M. Nakahata, Quy Nhon, Vietnam, Aug. 3-9, 2014.

ホームページ等

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/~nakahata/tokusui/index.html>