



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

御中

令和 8 年 7 月 15 日

岡 山 大 学

スーパーカミオカンデ国際共同研究グループ

スーパーカミオカンデが超新星背景ニュートリノの兆候を捉える

— 宇宙の歴史に刻まれた「かすかなささやき」の手がかり —

◆発表のポイント

- ・ 本研究成果は、2026 年 6 月 25 日にアメリカ・カリフォルニア大学アーバイン校で開催された NEUTRINO 国際会議 2026 において発表されました。
- ・ スーパーカミオカンデ (Super-Kamiokande) 国際共同研究グループ*1 は、超新星背景ニュートリノ (Diffuse Supernova Neutrino Background, DSNB) *3 の兆候 (2.6 σ 、99.5%信頼水準) を世界で初めて捉えました。
- ・ 岡山大学の研究グループもこの成果導出に中心的な役割を果たしました。

スーパーカミオカンデ (Super-Kamiokande) 国際共同研究グループ*1 は、純水運転期間 (2008 年～2020 年のうち 3349 日) とガドリニウム*2 導入期間 (2020 年～現在のうち 1653 日) を合わせた約 5000 日分の観測データの詳細解析により、超新星背景ニュートリノ (Diffuse Supernova Neutrino Background, DSNB) *3 の兆候 (2.6 σ 、99.5%信頼水準) を世界で初めて捉えました。超新星背景ニュートリノは、宇宙の歴史上すべての重力崩壊型超新星爆発*4 に由来するニュートリノの総和であり、岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域の小汐由介研究教授のグループもその直接検出を目指し、これまで協力して研究を重ねてきました。本成果は、宇宙の星形成の歴史や元素合成の理解を深める重要な手がかりをつかんだと言えます。

◆研究者からのひとこと

研究室で長年追い求めてきたニュートリノです。検出が極めて難しく、見果てぬ夢かとも諦めかけたこともありましたが、これまで研究室に所属したスタッフ・学生の努力、共同研究者との緊密な協力により、このような良い成果を上げることができました。今後もさらに研究を進め、「発見」と言える確定的な信号の検出を目指します。



小汐研究教授



PRESS RELEASE

■発表内容

<現状>

重力崩壊型超新星爆発は、大質量星の進化の最終段階で起こる爆発現象であり、莫大なエネルギーをニュートリノとして放出します。この爆発は、ニュートリノに加え、星の内部で生成された元素を宇宙空間にばらまき、私たち自身や、身の回りに存在する炭素や酸素、シリコンや鉄などを生み出す源であると考えられています。

初期宇宙から現在に至るまでの、すべての重力崩壊型超新星爆発から放出されたニュートリノが宇宙空間に蓄積したものが「超新星背景ニュートリノ」です。しかし、はるか遠方から飛来するニュートリノは拡散してしまい、その信号は非常に微弱であり、これまでは検出が困難でした。

超新星背景ニュートリノを捉えることは、宇宙の元素合成史や星形成の歴史を定量的に解明し、理論モデルを検証する決定的な観測手段となります。この観測に挑むことは、まさに宇宙の歴史に刻まれた超新星爆発の「かすかなささやき」に耳を澄ますことにほかなりません。

スーパーカミオカンデの前身であるカミオカンデでは、単一の超新星からのニュートリノ直接観測（SN 1987A）を成し遂げましたが、はるか遠方からの蓄積である超新星背景ニュートリノの検出は、スーパーカミオカンデにとっても長年の課題でした。

<研究成果の内容>

スーパーカミオカンデは、岐阜県飛騨市神岡町の地下 1000m に設置された 5 万トンの純水タンクと約 13,000 本の光電子増倍管を用いて、ニュートリノが水と相互作用した際に生じるチェレンコフ光を捉えます。

本研究では、純水運転期間（2008 年～2020 年のうち 3349 日）とガドリニウム導入期間（2020 年～現在のうち 1653 日）を合わせた合計約 5000 日分のデータを解析しました。ガドリニウム導入により、中性子捕獲による超新星ニュートリノ信号の同定精度が向上し、バックグラウンド除去の効率が大幅に改善されました。

解析では、ニュートリノエネルギー 13.3～81.3 MeV の領域において、バックグラウンド（主に大気ニュートリノ事象や宇宙線によって誘起される水中の酸素原子核の破碎事象）を精密に除去した後、統計的に有意な超過信号を確認しました。

超過信号の有意性は 2.6σ （99.5%信頼水準）であり、偶然の変動では説明できないものの、確定段階（ 5σ 以上）には達していないため、現時点では「兆候」と位置づけられます。推定されるフラックスは約 $3.6 +1.6/-1.5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、いくつかの理論モデルの予測範囲（例えば Horiuchi+09、6 MeV モデルでは $2.1 \sim 3.9 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ）と矛盾しません。

<社会的な意義>

今回の兆候検出は、超新星背景ニュートリノの存在を実験的に示す初めての成果です。ただし、現時点では 2.6σ の統計的有意性であり、確定的な検出にはさらなるデータの蓄積と解析の改善が必要です。今後もスーパーカミオカンデでの観測を継続するとともに、後継検出器であるハイパーカミオカンデとの連携により、さらなる感度向上も期待されます。



PRESS RELEASE

また、本結果は、宇宙の星形成率や元素合成モデルに強い制約を与えると期待されます。特に、中性子星やブラックホールの形成過程や宇宙の化学進化の理解への貢献が見込まれています。

今回の結果について、スーパーカミオカンデ実験代表者の関谷洋之 東京大学宇宙線研究所准教授は、以下のようにコメントしています。「超新星背景ニュートリノの兆候を世界で初めて捉えたことは、スーパーカミオカンデ計画開始時からの悲願であり、大変意義深い成果です。ただし、現時点では 2.6σ の統計的有意性であり、確定的な検出には、さらなるデータ蓄積および解析の改善が不可欠です。今後もスーパーカミオカンデでの観測を継続し、確定的な検出へとつなげていく所存です。本結果が、宇宙の星形成史や元素合成、さらには中性子星・ブラックホールの形成過程の解明につながることを期待しています。」

<本研究における岡山大学の関わり>

岡山大学環境生命自然科学学域の小汐由介研究教授は、スーパーカミオカンデにおけるガドリニウム実験が2015年に本プロジェクトが正式に承認されて以来、責任者としてガドリニウムの導入、検出器の較正および安定運用に大きく貢献しました。また2020年開始のガドリニウム導入期間の解析手法の確立を当時の研究室所属学生（原田将之氏・現東京大学特任助教）と進め、初期データを用いた研究成果[1]により、当該学生は「日本物理学会若手奨励賞」を受賞しました。この時に開発された手法は今回のデータ解析でも用いられ、原田氏は解析チームリーダーとして本研究成果の導出を主導しました。

他にも大気ニュートリノバックグラウンドの精密解析[2]や、ガドリニウムによる中性子捕獲モデルの改良[3]など、研究室メンバーが第一著者の論文も複数あり、これらの長年に渡る地道な研究が、今回の成果につながりました。今後もスーパーカミオカンデのデータ解析に加え、未だ精密には測定されていない残されたバックグラウンドを理解するため、当研究室が主導する CERN（欧州原子核研究機構）^{*5} や理化学研究所での実験も計画されています。

[1] Search for astrophysical electron antineutrinos in Super-Kamiokande with 0.01wt% gadolinium-loaded water, M. Harada et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), *The Astrophysical Journal Letters*, 951:L27 (2023), DOI: 10.3847/2041-8213/acdc9e

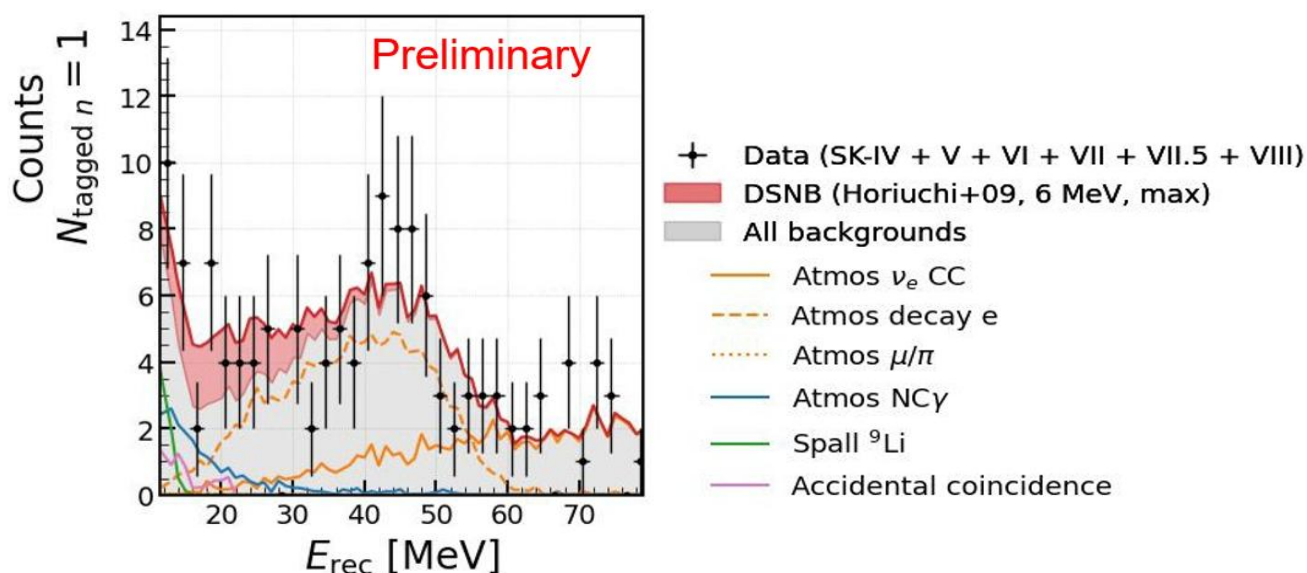
[2] Measurement of the neutrino-oxygen neutral-current quasielastic cross section using atmospheric neutrinos in the SK-Gd experiment, S. Sakai et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), *Phys. Rev. D* 109, L011101 (2023), DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.109.L011101>

[3] Modification on Thermal Motion in Geant4 for Neutron Capture Simulation in Gadolinium Loaded Water, Y. Hino et al. *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2025, 013C01, DOI: <https://doi.org/10.1093/ptep/ptae193>

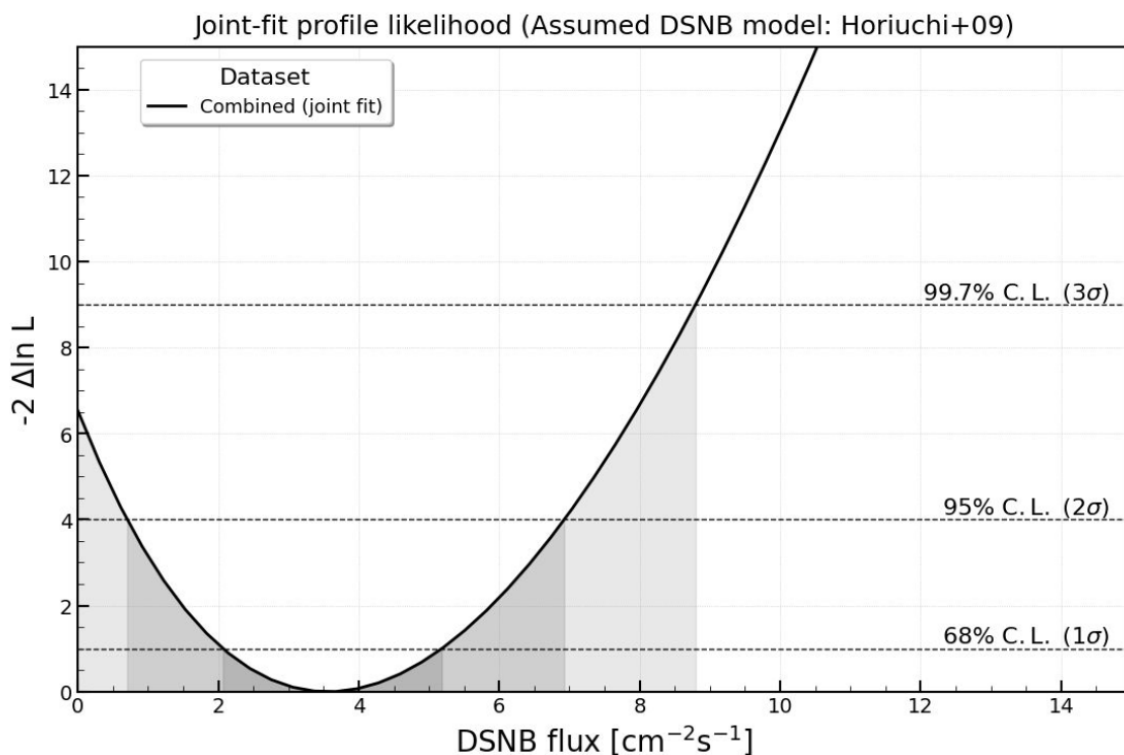


PRESS RELEASE

<観測データと解析結果>



超新星背景ニュートリノイベントの候補となるチェレンコフ角度が 42 度に近い中性子数が 1 のイベントのエネルギー分布。赤い領域が観測された超新星背景ニュートリノの成分を示す。



観測結果の統計的解釈の図 本観測結果はフラックスが無いとすると 99.5%の確率で否定される。またフラックスが $3.6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で有った場合にもっともよく説明ができる。



PRESS RELEASE

■研究資金

本研究は、以下の科研費の支援を受けて実施しました。

- 基盤研究(S) (一般) JP25H00396 (2025～2029 年度)
「スーパーカミオカンデにおける世界初の超新星背景ニュートリノ観測への挑戦」
- 学術変革領域研究(A) (一般) JP25H02187 (2025～2026 年度)
「超新星背景ニュートリノの発見に向けた酸素原子核破碎事象の研究」
- 基盤研究(A) (一般) JP20H00162 (2020～2024 年度)
「超大型水チェレンコフ測定器で挑む超新星背景ニュートリノの発見と宇宙の進化の解明」

■補足・用語説明

*1 スーパーカミオカンデ

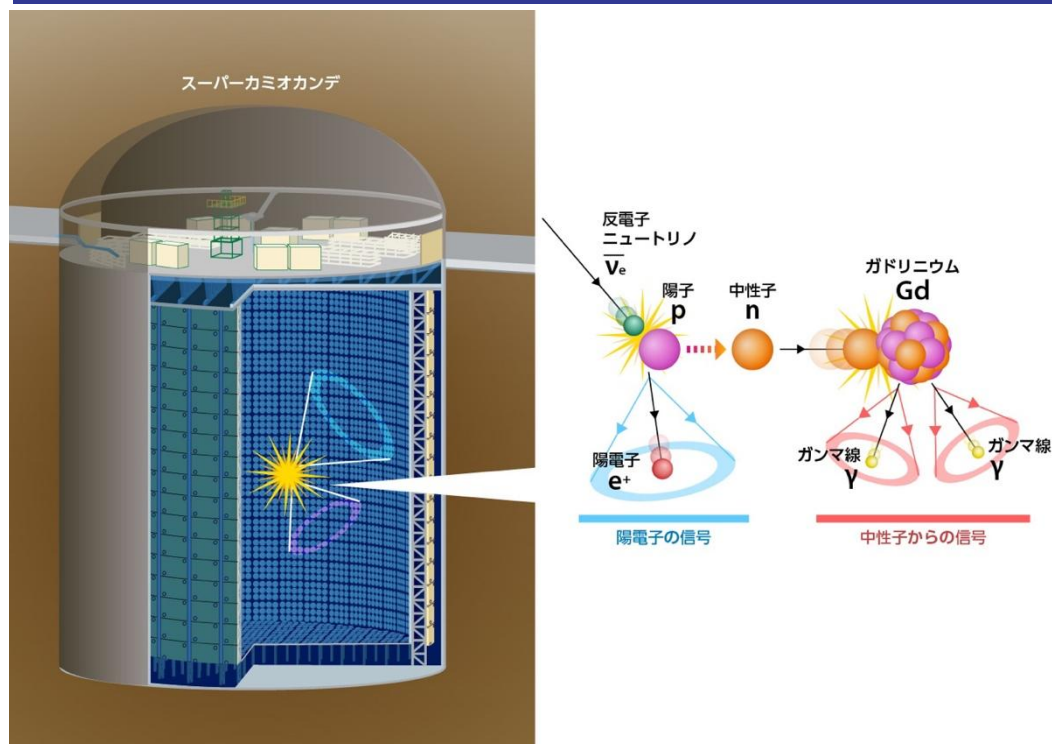
スーパーカミオカンデは、1996 年 4 月に観測を開始した世界最大の地下ニュートリノ観測装置です。岐阜県飛騨市神岡町の地下 1000m に設置されており、ニュートリノの観測研究や陽子崩壊現象の探索などを行っています。スーパーカミオカンデ国際共同研究グループは、東京大学宇宙線研究所を実施責任機関とし、日本、アメリカ、韓国、中国、ポーランド、スペイン、カナダ、イギリス、イタリア、フランス、ベトナムの約 60 の大学や研究機関から約 250 名が参加する国際共同研究です。

*2 ガドリニウム

ガドリニウム (Gd) は原子番号 64 の元素であり、希土類元素(レアアース)の一種です。ガドリニウムは、全元素のなかで中性子を捕獲する能力が非常に高い元素です。そのため、スーパーカミオカンデの水に加えると、超新星爆発ニュートリノのうち、反電子ニュートリノが水と反応した時に生じる中性子をガドリニウムが捕獲して新たな信号が出るため、他のノイズ事象と区別できるようになります。2020 年と 2022 年にスーパーカミオカンデの水にガドリニウムを加え、データ取得を続けていました。



PRESS RELEASE



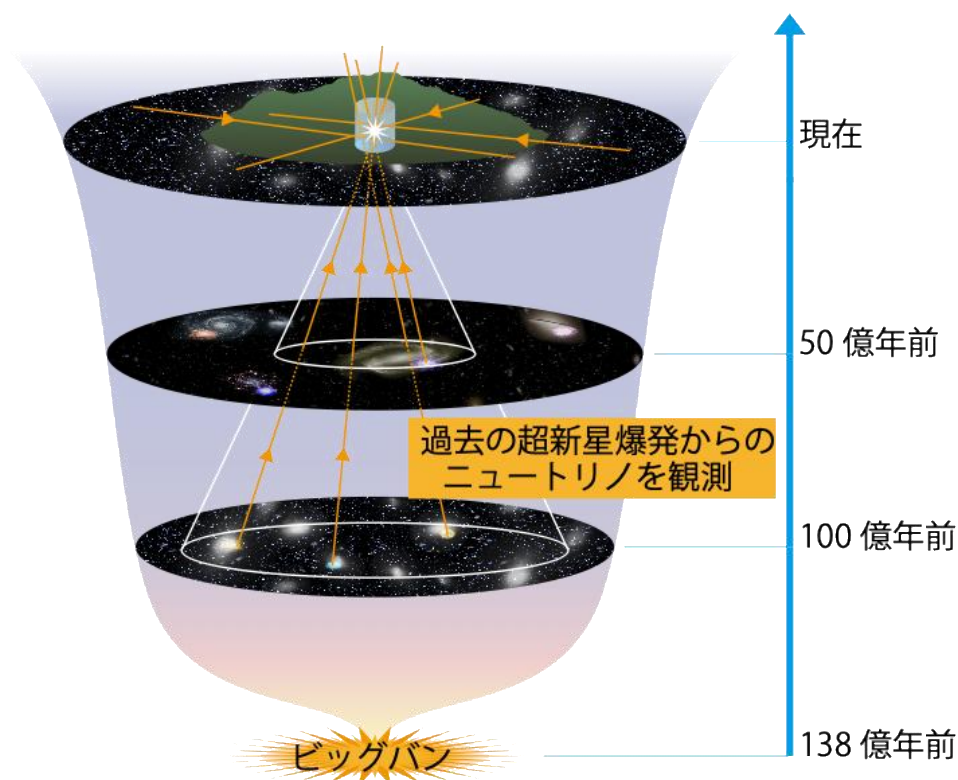
ガドリニウムを加えることにより、反電子ニュートリノからの信号を区別して検出できるようになります。

*3 超新星背景ニュートリノ (Diffuse Supernova Neutrino Background, DSNB)

宇宙全体では、毎秒数回の頻度で超新星爆発が起きており、宇宙が生まれてから現在まで、超新星爆発から放出されたニュートリノは宇宙に拡散され、蓄積されることになります。そのニュートリノを「超新星背景ニュートリノ」と呼びます。



PRESS RELEASE



*4 重力崩壊型超新星爆発

太陽の約 8 倍以上の重い星が寿命の終わりに起こす大爆発です。核融合が止まると重力で中心が急激に潰れ、超高密度の中性子星やブラックホールが生まれます。その反動で外側の層が吹き飛び、宇宙に大量の物質とエネルギーを放出します。これにより重い元素も作られ、宇宙の進化に重要な役割を果たします。

*5 CERN（欧州原子核研究機構）

スイスとフランスの国境に跨る世界最大の素粒子物理学研究所です。巨大な衝突型加速器を用いて宇宙の成り立ちを解明する基礎科学研究を行っており、2012 年の「ヒッグス粒子」の発見や、インターネット（WWW）の開発などの実績を持っています。本研究室では、CERN の加速器から得られるビームを用いた国際共同実験「NA61/SHINE」に参加しており、大気ニュートリノ生成メカニズムの精密化を目指した実験を行っています。

<お問い合わせ>

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域
研究教授 小汐 由介