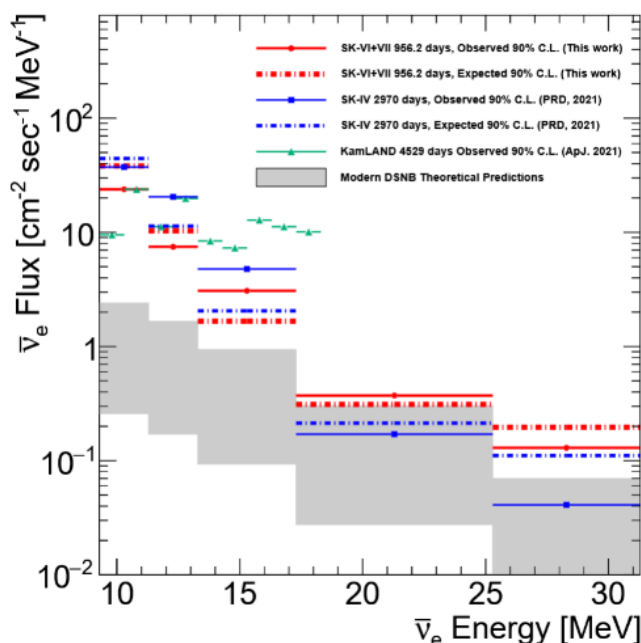


令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：スーパーカミオカンデを用いた宇宙素粒子研究 英文：Astroparticle physics using the Super-Kamiokande detector
研究代表者 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設・准教授・関谷洋之 参加研究者 以下の大学・研究機関から総勢 225 名 (2026 年 3 月) KEK、神戸大学、京都大学、岡山大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、東海大学、宮城教育大学、岐阜大学、横浜国立大学、東京理科大学、静岡福祉大学、慶應大学、日本大学、大阪電気通信大学、ボストン大学、カリフォルニア州立大学、デューク大学、ストーニーブルック大学、カリフォルニア大学アーバイン校/デービス校、ハワイ大学、ミネソタ大学、ソウル大学校、全南大学校、光州科学技術院、成均館大学、National Center for Nuclear Research、ワルシャワ大学、シレジア大、BC 工科大学、トライアンフ研究所、トロント大学、ウィニペグ大学、ブリティッシュコロンビア大学、清華大学、マドリード自治大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン、キングスカレッジロンドン大学、リバプール大学、オックスフォード大学、シェフィールド大学、ラザフォード・アップルトン・ラボラトリー、ウォーリック大学、グラスゴー大学、INFN パドバ大学、INFN ナポリ大学、INFN ローマ支部、INFN バリ支部、エコールポリテクニック、ベトナム IFIRSE
研究成果概要 SK-Gd では、すでに 1000 日を超えるデータ収集が進んでおり、そのうち 956 日分のデータを用いた超新星背景ニュートリノ (DSNB) 探索結果を更新した。本解析では、中性カレント (NC) 反応由来のバックグラウンド (BG) 事象が多く含まれていた 24 MeV 以下のエネルギー領域において、ガンマ線事象と陽電子事象のヒットパターンの違いを利用した新たな事象選別手法を導入した。その結果、NC 反応由来の BG 事象を 10% 以下に低減することに成功した。DSNB の直接観測には至らなかったものの、図に示すように、主要な探索領域である 10-20 MeV において、これ



までで最も厳しい上限値と最高感度を更新した。現在は、機械学習を用いたさらなるBG削減手法の開発も継続している。

超新星ニュートリノバーストのオンライン監視・警報システムである SNWatch を運用し、警報発出条件の最適化を継続的に進めている。統計的に有意な数の逆ベータ崩壊 (IBD) 事象が観測された場合には、超新星ニュートリノの観測情報を自動的に発信できる体制を確立した。処理は約 1.5 分以内に完了し、方向情報を含む警報を発信することが可能である。また、SNWatch により、大・小マゼラン星雲を含む 70 kpc 以内で発生する超新星ニュートリノバーストについては、ほぼ確実に検出可能であることを確認した。これらの自動警報は、突発天体现象の情報共有を目的とした国際ネットワークである NASA 運用の GCN や、国際天文学連合 (IAU) が運用する TNS (Transient Name Server) を通じて配信されている。さらに 2025 年 9 月からは、NASA GCN チームとの協力により、ストリーミング配信基盤 Kafka を用いた GCN Kafka 配信が整備された。これにより、従来の GCN 配信で課題であった約 1 分程度の遅延が解消され、事実上リアルタイムでの警報伝達が実現した。

核子崩壊探索では、特に $n \rightarrow \nu K^0$ モードの解析において、 $K_S^0 \rightarrow 2\pi^0$ および $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の崩壊チャネルを対象とし、全不変質量 (total invariant mass) の分布を大気ニュートリノバックグラウンドのモンテカルロシミュレーションと比較検証した。計 6,511 日分の全純水データ (0.41 Mton-year) を用いた解析の結果、統計的に有意な信号は確認されず、寿命の下限として $\tau > 7.8 \times 10^{32}$ 年を達成した。さらに、 $n \rightarrow \mu^+ \mu^- \nu$ や $n \rightarrow e^+ e^- \nu$ といった複数レプトンを伴う中性子崩壊モードについても、2025 年に速報値を相次いで更新し、いずれも世界最高水準の制限値を維持している。現在は、中性子信号を用いたバックグラウンド低減や選択条件の最適化を進めており、探索感度のさらなる向上が期待される。