

## 研究計画

2018年12月7日 伊藤博士

東京大学宇宙線研究所における特任研究員に着任した後、スーパーカミオカンデ実験(以降、SK)とハイパーカミオカンデ計画(以降、HK)の宇宙線ニュートリノ観測において、装置開発における基礎研究および物理解析を遂行する。申請者は主に、(1)ラドン由来バックグラウンドに関する研究を進め、(2)SKタンクオープン後の検出器性能評価を行い、(3)そして太陽ニュートリノ観測に関連する研究を推進する。

### (1) ラドン由来バックグラウンド(BG)に関する研究

太陽ニュートリノ観測における主なBGはラドンである。例えば、ラドン孫核の $^{214}\text{Bi}$ が $\beta$ 崩壊で生じる最大3 MeVの $e^-$ は水中でチェレンコフ放射する。申請者が着任する年度はSK検出器改修作業の後にデータ取得しているSK-Vと、反ニュートリノ事象識別可能なSK-Gdの立ち上げが重なっている。そのため、SK検出器改修作業後、水中ラドン濃度が作業前と比べて増加していないか確認する必要がある。

申請者は、SK-VおよびSK-Gdにおける水中ラドン濃度を調査する。千葉大在学時と神戸大学在籍時にバックグラウンド調査として、ラドン測定をしてきた経験があるため、申請者の興味のある対象である。この経験を活かし是非取り組みたいと考えている。

HK検出器開発において、バックグラウンドを抑制するために、放射能不純物が少ない素材を採用する必要がある。申請者は神戸大学で、検出器部材に含まれる放射性不純物濃度を検査するために、表面アルファ線分析装置を開発してきた。

申請者は、着任1年目前半でこの分析装置の感度を $10^{-4}$  alpha/cm<sup>2</sup>/hrに改善させ(ppbレベルに相当)、1年目後半から任期の間、素材の放射性不純物濃度を検査してHK建設のための部材決定に貢献する。さらに、建設中に素材のサンプリング検査を実施することで、検出器性能の不純物レベル一様性を保証することができる。これらのデータは放射能データベースに記録され、このサイトの運営・開発経験がある申請者が引き続き管理する。また、本装置のBG studyにおいて、 $\mu$ -PICの実装基盤に含まれるU/Thがラドン源となっていることが判明している。low- $\alpha$   $\mu$ -PICの下層絶縁体は従来 $\mu$ -PICと同じ素材を使用しているためラドン源になりうる。ICRRフェローに採用された場合、補助研究費を使用して、新素材を用いてさらに放射能不純物の少ないUltra-low- $\alpha$   $\mu$ -PICの開発を進め、感度を $10^{-5}$  alpha/cm<sup>2</sup>/hr (sub ppbレベルに相当)へ改善する。

### (2) SK 検出器性能評価

申請者は、検出器改修の後、SK-VおよびSK-Gdで正常に検出器が動作しているか性能評価を実施する。特に、Ni/Cf線源を用いてエネルギーと再構成位置のキャリブレーションをはじめ、太陽ニュートリノ観測におけるエネルギー・ス

ベクトラム、角度分布、イベントレートを SK-IV と比較して統計的差異が見られないか検証する。

### (3) 太陽ニュートリノに関連した研究

SK-Gd では  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  を徐々に 0.02% まで充填し、最終目標としては 0.2% まで充填される予定である。 $\bar{\nu}_e p \rightarrow e^+ n$  事象で生成された中性子が Gd に捕獲され遅延  $\gamma$  (最大 8 MeV) を放射することから  $\bar{\nu}_e$  事象を識別することができる (中性子タグ)。太陽からの反ニュートリノ観測は、 $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$  振動の一つの探索チャンネルである。この振動はスピン・フレーバー磁気モーメント遷移  $\nu_e^L \rightarrow \bar{\nu}_\mu^R$  と従来の  $\bar{\nu}_\mu^R \rightarrow \bar{\nu}_e^R$  振動を組み合わせた hybrid model で予言されている。もしこの振動が発見された場合、Lorentz 不変の破れを示唆し、標準模型を超える新物理の寄与を観測したことになる。今までの報告では、1997 年に SK は solar  $\bar{\nu}_e$  の流量  $\Phi_{\bar{\nu}} < 9 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (95%CL) ( $E_{\bar{\nu}} > 8.3 \text{ MeV}$ ) の制限をつけ [1]、2003 年に KamLAND は  $\Phi_{\bar{\nu}} < 3.8 \times 10^{-3} \Phi(^8\text{B})$  (95%CL) の制限をつけた [2]。ここで、 $^8\text{B}$  の流量は  $\Phi(^8\text{B}) \sim 2.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  [3] である。

申請者は、着任 1 年目 (SK-Gd が開始する前) に SK-V までのデータを使って solar  $\bar{\nu}_e$  探索における制限をつける。SK における太陽ニュートリノ観測では  $\nu_X e^- \rightarrow \nu_X e^-$  ( $X = e, \mu, \tau$ ),  $\nu_e n \rightarrow e^- p$  を見ている。前者は弾性散乱であるため角度分解能もち太陽の角度分布は  $\cos\theta_{\text{sun}} = 1$  にピークをもつ。後者は角度分解能を持たないため、 $\cos\theta_{\text{sun}}$  分布は一様である。 $\bar{\nu}_e$  事象も方向感度を持たないため、solar  $\bar{\nu}_e$  のデータ選択条件には  $-1 < \cos\theta_{\text{sun}} < 0$  を適用する。Calibration データを用いて、SK-V までのデータの系統的不確定性を見積もる。太陽標準模型によるニュートリノ流量と hybrid model による  $\bar{\nu}_e$  振動割合を計算し、得られたデータが全て solar  $\bar{\nu}_e$  と仮定して solar  $\bar{\nu}_e$  の流量を導く。決定した流量から HK で予想される solar  $\bar{\nu}_e$  の感度を見積もる。

申請者は、SK-Gd で solar  $\bar{\nu}_e$  を探索する。中性子タグで  $\bar{\nu}_e$  事象を選択できることから、太陽角度分布によるカット条件は必要なくなる。 $\bar{\nu}_e$  事象頻度の季節変動が観測されれば solar  $\bar{\nu}_e$  の強い証拠が得られる。solar  $\bar{\nu}_e$  流量の予想値は超新星背景ニュートリノと同等か若干多い程度なため、2~3 年の任期で見込みに至らない可能性がある。その場合でも、本研究は世界最大水チェレンコフ検出器で  $\bar{\nu}_e$  事象選別して最初に solar  $\bar{\nu}_e$  流量に制限をつけることができ有意義である。SK-Gd の予定が順調に進めば Gd 濃度は 0.02% で安定運転する。この濃度は  $\bar{\nu}_e$  事象検出効率 50% を示し、申請者は濃度増加したときの solar  $\bar{\nu}_e$  の感度を見積もる。

### Reference

- [1] Phys. Lett. B 413 (1997) 378.
- [2] Phys. Rev. D 68 033015 (2013).
- [3] Phys. Rev. C 84 035084 (2011).