

着任後の研究についての計画・抱負

2018年8月20日 伊藤博士

申請者は自然ニュートリノ観測と陽子崩壊探索に基づき、スーパーカミオカンデ実験(SK)、ハイパーカミオカンデ計画(HK)に従事する。特に HK に用いる高圧電源およびエレクトロニクス開発を主導的に進める。

モチベーション

素粒子標準模型は多くの実験結果の説明に成功したが、ニュートリノ質量階層性、粒子反粒子非対称性、暗黒物質などの課題を残す。陽子崩壊探索ではじまったカミオカンデ実験は太陽ニュートリノ観測の先駆者で 1987 年に超新星ニュートリノ観測に初めて成功し、ニュートリノ性質の一端($m_{\nu_e} < 20\text{eV}$, $\tau > 5 \times 10^6\text{s}$ など)を明らかにした。後継実験の SK ではニュートリノ振動を発見し、太陽ニュートリノ問題を説明した。しかし陽子崩壊は発見されていない($\tau > 10^{34}\text{yr}$)。今年タンクオープンを実施し、その後 SK-V を開始、そして来年 9 月頃からガドリニウム(Gd)を導入した SK-Gd が始動する予定である。Gd を入れる利点は、電荷遷移事象 $\bar{\nu}_e p \rightarrow e^+ n$ において生成された中性子が Gd に捕獲され遅延 γ 線(8MeV)を放出することで、反ニュートリノが同定できる点である。これによって、超新星背景ニュートリノに対するバックグラウンドを抑制し方向決定精度が改善される。さらに、後継実験として HK が計画され 2023 年に建設、測定開始が予定されている。187kton の超純水を用いて、超新星背景ニュートリノ探索、ニュートリノ振動における CP 対称性検証、物質効果の精密測定、太陽内部化学組成の解明、陽子崩壊探索($\tau > 10^{35}\text{yr}$)などの感度改善が HK のミッションである。

開発業務

HK で使用する光電子増倍管(PMT)の数は約 5 万本を予定している。これらの供給高圧電源と信号読出の配線や回路は従来の手法では実装が困難である。特に PMT とニュートリノ反応率増加のため 1 事象あたりのデータ量と頻度が膨大になり、懸念される回路による発熱や電波雑音を抑える必要がある。

HK 回路は水中に高電圧を配分するためのハブ回路をいくつか配備する計画が上っており、主研究としてハブ回路の仕様設計および性能試験を遂行する。申請者は HK 回路開発における試験環境を東京理科大に建設する。水槽中に防水された回路ユニットを沈め耐圧・発熱・雑音・漏電を試験する。PMT への雑音をより抑えた供給回路を設計し試作することを開発の目標とする。この回路に搭載する機能とし

て数 kV の自動印加、過電流安全装置、電波防止などを検討している。機能とコストを考慮して共同研究者会議で回路仕様と製造会社を決定する。5 万本の回路を一斉に操作するために、遠隔で回路ユニット情報(ID, Alive/Dead, 温度, HV, current など)を管理・制御するソフトウェア開発を進める。

運転業務

SK タンクオープンにおける業務は共同実験者として従事する。SK-V, SK-Gd が始動した際のシフト業務も遂行する。坑内作業であるため安全第一で行う。

物理解析

申請者は SK-LOWE グループに参加し解析を進めている。SK-IV, SK-V, SK-Gd データを用いて ^8B や hep 太陽ニュートリノを観測し、昼夜変動による物質効果の検証、周期解析、太陽内部構造、内部化学組成比などの解明に向けて貢献する。また、SK-Gd における新たな解析ツールの開発、HK におけるシミュレーション解析にも積極的に寄与する。

太陽ニュートリノ観測では ^8B や hep は連続的なスペクトラムをもち、SK の閾値を下げることで感度が改善される。しかし閾値付近の 4MeV 以下の検出効率などがモンテカルロ(MC)シミュレーションと一致していない。SK 検出器応答モデルを改善する必要があり、検出効率のエネルギー依存性、カット効率、位置依存性などをデータと一致させる。

SK-V, SK-Gd が開始した直後、SK-IV とデータを比較する必要がある。SK における太陽ニュートリノ観測は電子との弾性散乱 $\nu_X + e^- \rightarrow \nu_X + e^-$ ($X = e, \mu, \tau$) を見ている。そして、 ν_X と太陽の角度分布は $\cos \theta = 1$ にピークをもつが、エネルギー領域ごとに区切ると 4-4.5MeV 領域でバックグラウンドに埋もれて見えなくなっていた。また昼と夜で ν_X が観測されるまでに通過する地球の物質量が異なる。この昼夜変動を調べて、ニュートリノ振動の物質効果の検証を SK-V, SK-Gd においても実施する。

SK-Gd では 0.02% から徐々に $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$ を充填し、0.2% まで充填する予定である。申請者は SK における Gd 中性子捕獲事象同定アルゴリズム開発を主導的に進め、超新星背景ニュートリノを探索する。neural network を基にした $\nu\bar{\nu}$ likelihood を実装し分離能力を向上させる。SK-Gd が始動したら実データを使ってアルゴリズムの性能評価を実施する。また、システムを汎用化させて KS-Gd そして HK における大気ニュートリノ観測、陽子崩壊探索の解析に応用する。