

カムランド 2

1. 計画タイトル 極低放射能環境でのニュートリノ研究
2. 問い合わせ先 井上邦雄、東北大学 RCNS、inoue@awa.tohoku.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
東北大学ニュートリノ科学研究センター長
4. 計画規模 **大型** 中型 A・中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況 いずれにも採択
6. 実施時期 -2024 : 準備期間、2025-2026: 建設期間、2027-2036...: 観測
7. 必要経費および予算プロファイル
 - 準備期間(-2024年)23億円(濃縮キセノン200kg 4億円、高量子効率PMT 5億円、高性能電子回路 3億円、クリーンルーム整備 3億円、純空気製造装置 1億円、純化装置高度化 5億円、集光ミラー 1億円、バルーン 1億円)
 - 建設期間(2025-26年)17億円(工事 1億円、高量子効率PMT 5億円、高光収率液体シンチレータ 11億円)
 - 観測期間(2027-2036)人件費、運転経費等 3.8億円(内自己資金3億円、国外0.3億円)×10年
 - 建設費合計40億円(内国外4億円)、運転経費3.8億円(内国外0.3億円)×10年
8. 計画の概要

カムランド実験は、MeV 領域でのニュートリノ観測や稀な現象の研究で世界屈指の性能を誇り、現在はニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊 ($0\nu 2\beta$) の探索や自身が開拓したニュートリノ地球科学で分野の中核として世界をリードしている。しかし20年に及ぶ運転で光センサーの劣化が顕著となり、これらの分野を継続的に発展させるには装置の改修が不可欠である。そこで、カムランドのエネルギー分解能を大幅に高める刷新をすることで、 $0\nu 2\beta$ 探索においてニュートリノ質量の逆階層構造をカバーする20meVまで感度を高め、複数の理論予測も検証する。さらに、地球ニュートリノ観測におけるU・Th系列分離能を高め、原子炉ニュートリノが少ない特別な状況や大陸プレートの端に位置する地理的特徴を生かした地球ニュートリノ観測で、地球の形成・ダイナミクスを理解を深めるニュートリノ地球科学を強力に推進する。汎用性を意識した高性能化や、極低放射能環境の拡充・共同利用化で、地下宇宙素粒子研究分野の発展に広く寄与する。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

ニュートリノ質量の発見により、ニュートリノのマヨラナ性の検証が重要課題となっている。現在唯一現実的な検証方法が $0\nu 2\beta$ の探索であり、 $0\nu 2\beta$ の発見は「宇宙物質優勢の謎」、「軽いニュートリノ質量の謎」の解明につながると考えられている。多数の $0\nu 2\beta$ 探索実験の中、極低放射能を実現したニュートリノ観測装置カムランドを活用したカムランド禅実験は、常に世界をリードし着実に探索感度を高めてきており、極低放射能環境での宇宙素粒子研究の中核として機能している。本高感度化は複数の理論モデルをカバーし、逆階層領域を初めてカバーすることで本質的な研究の進

カムランド 2

展をもたらす。

また、カムランドは「ニュートリノ地球科学」の開拓に加え分野の中心として唯一稼働を続けており、最も確実かつ着実な観測として継続的な発展が期待されている。地球ニュートリノ観測時にバックグラウンドとなる原子炉ニュートリノは、国内の原子炉の大半が停止していることで小さく抑えられており、地球ニュートリノ観測精度はモデル精度を凌駕するレベルに達している。また、海外の原子炉ニュートリノを観測する超長基線ニュートリノ振動研究も可能である。本計画での高エネルギー分解能化では、地球内部の組成比などのさらに踏み込んだ研究展開が可能になる。

さらに天体のマルチメッセンジャー観測の重要性の観点では、ICECUBE やハイパーカミオカンデの観測を補う低エネルギーのニュートリノ観測を得意としており、近傍超新星前兆ニュートリノ観測を可能にするなど、ニュートリノにおける多波長観測体制としても継続的な運転は不可欠である。

また、2027年のハイパーカミオカンデ稼働後は、より深く低放射能環境である現行神岡地下空間の中核大型実験をカムランドが引き継ぐこととなり、そのアクティビティの継続は、その他の萌芽的研究や小型実験の活動環境保持にも直結する。コンソーシアム構築などによって地下宇宙素粒子研究分野を幅広く発展させることができる。

10. 実施内容

高量子効率PMT、集光ミラー、高光収率液体シンチレータ、高性能電子回路を導入し、約5倍の光収集量による高エネルギー分解能・高バックグラウンド識別能力を獲得する（カムランド2）。これにより、 $0\nu 2\beta$ 探索のみならず特徴的なエネルギースペクトルを持った地球ニュートリノの観測精度も大幅に向上させる。また、スーパークリーン環境整備、上部導入口の拡大、吊り下げ機構設置、外水槽の機器設置スペース構築などの汎用化によって、多様な極低放射能宇宙素粒子研究に対応し、コミュニティ全体の発展に貢献する。

本計画は東北大学ニュートリノ科学研究センターが中核機関となり、日米を中心とした国際協働で推進する。これまでも、新学術領域「地下素核」「地下宇宙」、大阪大学核物理研究センターとの連携協定、東京大学宇宙線研究所との連携協定などを通して、カムランド付帯の地下空間やカムランド自身を共同利用に活用してきており、共同利用での十分な活動実績を有する。

11. 現在までの準備状況

カムランドは2002年以降観測を継続しており、国際共同研究体制は整い、地下空間や筐体、蒸留装置や純水装置などの流用できる設備が既に整っている。高エネルギー分解能化のための技術開発は完了しており、一部先取りして、新型の高性能電子回路のプロトタイプを製作し性能テストも進めている。また、共同利用を想定した地下クリーンルーム構築のための地下空間の整備も開始した。CRCでの「最優先で推進すべき計画」として認められているほか、マスタープラン2014, 2017, 2020にも継続的に採択されており、予算が確保できしだい本格的に計画を進めることができる。