

大型先端検出器による核子崩壊・ニュートリノ振動実験

① 計画の概要

本研究計画は、J-PARC からの大強度・高品質ニュートリノビームを用い、神岡にスーパーカミオカンデに代わる 100 万トン級超大型水チェレンコフ検出器ハイパーカミオカンデを建設し、ニュートリノにおける CP 対称性（粒子・反粒子対称性）の破れを探索する。さらに、ハイパーカミオカンデを活用し、素粒子の大統一理論に迫る陽子崩壊の発見を目指す。また、ニュートリノ反応の研究、大気ニュートリノ観測、宇宙ニュートリノ観測、ニュートリノ天文学を総合的に展開する。素粒子物理学の新たな展開と、原子核物理学、宇宙物理学、天文学に新たな知見をもたらすことを目指す。

ハイパーカミオカンデは岐阜県飛騨市神岡町の地下に 100 万トン級の空洞を掘削して約 10 万本の光センサーを内部に設置した水槽を建設し、地下水から作られる超純水を満たすことにより、ニュートリノ反応や核子崩壊から生じる荷電粒子のチェレンコフ光イメージを検出する。J-PARC では加速器・ビームラインのオーバー MW に向けた改良を行い、安定して長期に 1MW 程度の強度で運転する。

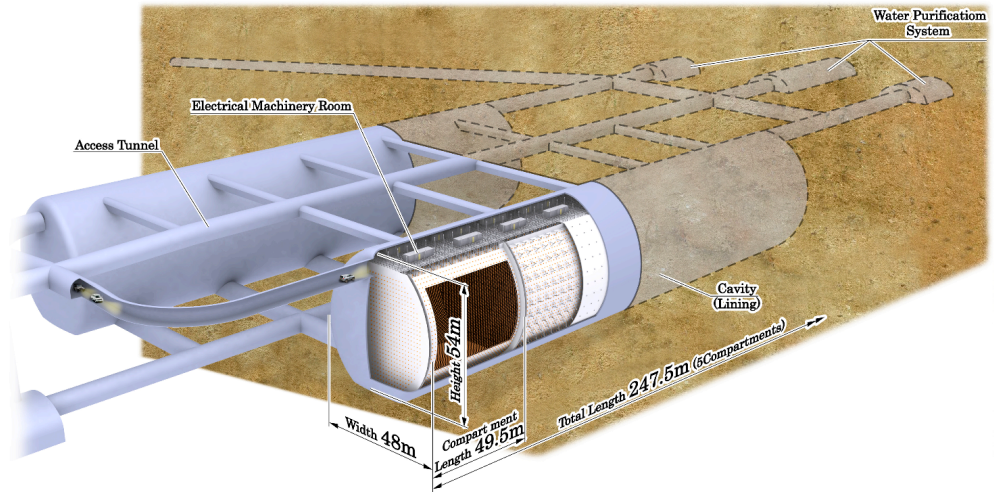


図 1、ハイパーカミオカンデ概念図

② 学術的な意義

J-PARC で進行中の T2K ニュートリノ振動実験で電子ニュートリノへの振動が発見されたため、J-PARC 大強度高品質ニュートリノビームとハイパーカミオカンデを組み合わせれば、世界に先駆けてニュートリノの CP 対称性の破れの発見が可能となり、基礎物理学の金字塔となる。また大統計大気ニュートリノもあわせて、CP 対称性、質量階層性、混合角等三世代ニュートリノの質量・混合の総合研究を行い、世界を主導する次世代ニュートリノ実験を実現する。クォークと大きく異なるニュートリノの性質を明らかにし、未解明の素粒子混合や質量生成機構の理解につなげたい。さらにニュートリノに満ちた宇宙の進化論に対する理解を深める。

核子（陽子と中性子）崩壊の探索は、スーパーカミオカンデにより日本が世界を主導しており、核子の寿命が 10 の 33 乗から 34 乗年以上であることがわかってきた。この結果は、もともと単純な理論予想の範囲に突入したことを意味し、いつ陽子崩壊現象を発見してもおかしくないところまで来たことを示す。ハイパーカミオカンデの実現により、さらなる長寿命領域が探索可能となり、代表的な崩壊モードである陽子から陽電子と中性パイ中間子への崩壊モードに関して 10 の 35 乗年以上の感度に至る。この探索により「素粒子と力の大統一」の証拠の発見を目指し、また大統一理論仮説の検証を行う。

超新星爆発に際しては、例えば我々の銀河中心での爆発においては約 20 万個ものニュートリノ事象数の観測が期待される。これにより光ではとらえることができない中心核爆発の時々刻々の変化を捉えることができ、中性子星／ブラックホール誕生の瞬間を捉えることができる。また、多数の超新星背景ニュートリノ（宇宙初めからの超新星爆発ニュートリノ）が年間 50 事象程度観測されることが期待され、過去の超新星爆発の歴史の理解を目指す。

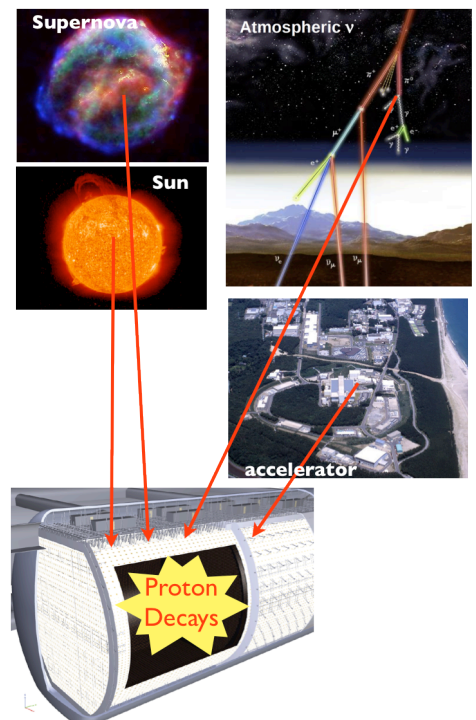


図 2、加速器（J-PARC）・大気・超新星爆発・太陽ニュートリノや陽子崩壊など豊富な観測対象を持つ。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本、米国、ヨーロッパ、三極でCP対称性の破れの測定実験の実現可能性が追求されている。日本は、“宇宙の物質優勢の謎”に直結するCPの研究を主題に進めており、米国とヨーロッパではその国土の大きさを利用した超長基線(1,000km以上)と液体アルゴン検出器を用いたニュートリノ実験からの、ニュートリノ質量構造の決定を主軸に進めている。ニュートリノ研究の発展には両方のアプローチが必要で、相互に情報を共有し、協力して研究計画を進めている。我が国は過去30年に亘り水チェレンコフ検出器を用いて世界のニュートリノ研究を主導してきており、またJ-PARC加速器施設を保有するため、本研究は国際協力の中で日本が主導すべき必然性がある。現在、日本を含む三極において、自地域内の建設候補地選択や独自の検出器デザイン、機器の基礎開発が行われている。また、液体アルゴン測定器に関しては、欧米での実験計画とも協力して開発研究を続ける。

④ 所要経費

ハイパーカミオカンデ

建設費 800億円

運転経費等 30億円/年、15年間

J-PARC

運転経費等 40億円/年、15年間

ただし、日本原子力機構分の運転経費(前段加速器)は計上していない

前置検出器

建設費 約30億円

⑤ 年次計画

平成27～50年度

(具体的な計画)

平成27年度:基礎開発・地質調査を行い、検出器の詳細設計を行う。

平成28年度:検出器の建設(所要7年)を開始する。

平成35年度:実験を開始する。

平成35～50年度:ニュートリノCP測定・陽子崩壊探索を行い主要な結果をまとめる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

ハイパーカミオカンデの設計と建設を東京大学宇宙線研究所が中心となり推進する。J-PARC加速器の大強度運転、ニュートリノビーム生成、前置ニュートリノ測定器の建設は高エネルギー加速器研究機構が中心となり推進する。これに加え、次の国内の研究機関が本研究計画に参加する。東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構、東京大学、京都大学、東北大学、名古屋大学、神戸大学、大阪市立大学、東京工業大学、宮城教育大学、岡山大学など。また海外(カナダ、スペイン、スイス、ロシア、英国、米国等)からの参加も予定されている。

⑦ 社会的価値

日本におけるニュートリノ研究は、小柴昌俊東京大学特別栄誉教授のノーベル賞受賞にも象徴されるように、超新星爆発ニュートリノ観測、ニュートリノ質量の発見、太陽ニュートリノ問題の解決、地球反ニュートリノの発見、3世代間ニュートリノ混合の確立、と世界第一級の成果をあげてきており、国民による認知度は高い。本研究は未だ謎につつまれた素粒子の大統一理論の解明や、宇宙になぜ反物質がないのかという謎に迫ることを目的としており、人類の知的好奇心に訴える問題に挑戦する。世界最大のニュートリノ検出器や大強度加速器の開発には、世界最先端の技術を必要とする。高感度光センサーや大規模地下空洞の開発・建設等、経済・産業界への波及も期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

塩澤 真人(東京大学・宇宙線研究所) masato@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp