

大型先端検出器による核子崩壊・ニュートリノ振動実験 (ハイパーカミオカンデ計画の推進)

① ビジョンの概要

次世代の大型先端検出器を活用した核子崩壊・ニュートリノ振動実験の推進により、素粒子大統一理論へも到達するエネルギースケールの基本法則や宇宙の物質進化の謎の解明を目指す。衝突型粒子加速器による到達エネルギーを 10 桁以上と遥かに超えたスケールへのユニークなアプローチにより、アインシュタインも夢見た万物の究極理論や宇宙の進化など人類の根源的な問いにつながる研究に取り組む。

② ビジョンの内容

大統一理論の直接的な検証となる核子崩壊の探索は、エネルギーのスケールでは 10 の 25 乗 eV、大きさでは 10 の -32 乗 m のスケール、そして宇宙の開始から 10 の -36 乗秒の領域を垣間見るとを意味しており、衝突型粒子加速器による到達エネルギーを 10 桁以上と遥かに超えたスケールでの基本法則へのユニークなアプローチとなる。

一方ニュートリノ振動における C P 対称性の破れの測定は、クォークセクター以外の C P 対称性の破れを見出すことにより、“物質優勢宇宙創成の謎”、即ち宇宙において、何故我々の存在をも含む物質と反物質が同等に存在せず物質に偏っているのかという宇宙の進化の謎(図 1)を解明するという大きな学術的意義を持つ。同時にニュートリノの性質の全容解明は核子崩壊研究と合わせて、素粒子の大統一描像の解明に繋がるものと期待される。更に次世代の大型先端検出器では、超新星爆発で生成されるニュートリノや、大気や太陽から飛来するニュートリノの高統計観測により素粒子と宇宙の理解を広げるべく素粒子・天文・宇宙物理学を展開することが期待される。

③ 学術研究構想の名称

大型先端検出器による核子崩壊・ニュートリノ振動実験(ハイパーカミオカンデ計画の推進)

④ 学術研究構想の概要

ハイパーカミオカンデ計画は東京大学と高エネルギー加速器研究機構を実施中心機関とし、日本をホスト国とする世界約 20 カ国による国際協力科学事業である。2020 年の日本政府の予算措置により計画は正式に開始し、2027 年度からの観測を目指し、岐阜県飛騨市に総質量 26 万トン(有効質量 19 万トン)の大型先端検出器「ハイパーカミオカンデ」を建設中である。運転中のスーパーカミオカンデの約 8 倍の有効質量の検出器に従来の 2 倍の性能を持つ最新型光センサーを使用することで高性能検出器を実現し、運用中の J-PARC 大強度陽子加速器の増強と近中距離検出器の高度化と組み合わせて(図 2)、素粒子と宇宙に対する知見を大きく広げることを目指す。ニュートリノと関連研究分野における我が国の実績や実験技術の先導性をもとに、今後 20 年以上にわたり世界の基礎科学の発展に貢献する。また現行のスーパーカミオカンデは、ハイパーカミオカンデの安定稼働を確認できるまで運転し、本研究分野の研究・教育の継続性を確保する。

⑤ 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

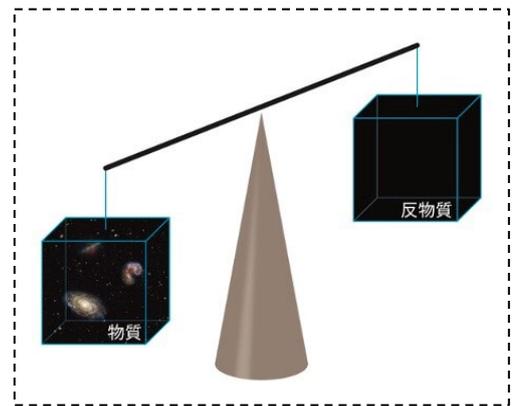


図 1 「宇宙の反物質が消えた謎」にニュートリノで迫る。

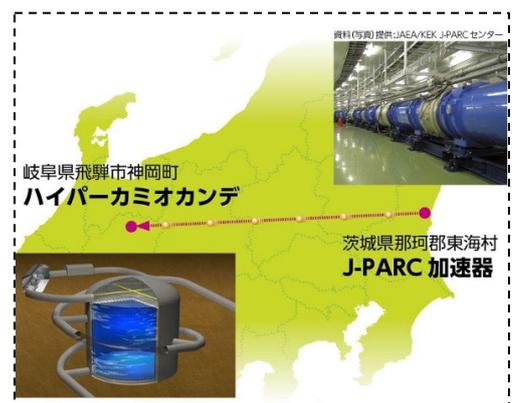


図 2 ハイパーカミオカンデ装置で、J-PARC 加速器ニュートリノビームを観測する。

CP対称性の破れの発見が可能となった。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計画である。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、もっとも単純な大統一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、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、「素粒子の大統一理論」の証拠の発見と素粒子理論の新たなパラダイムの確立を目指す。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10万個ものニュートリノ事象の観測が期待される。これにより光では捉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、天体の爆発機構の解明や、重元素合成の歴史の理解を目指す。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

現在日本と米国でCP対称性の破れの測定実験の建設が進められている。日本では、スーパーカミオカンデを凌駕するハイパーカミオカンデを建設し、J-PARCニュートリノビームの増強とあわせて、ニュートリノ研究の確実な展開を目指している。一方米国では日本の実験の5倍程度の基線長とニュートリノエネルギー、検出器質量が1/10程度の液体アルゴン検出器を用いたニュートリノ実験を計画しており、予算措置により検出器の建設が始まっている。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反面、厳しい発見競争に勝つためにはハイパーカミオカンデの一刻も早い運転開始が必要となっている。また代表的な陽子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は、その大検出器質量のためにハイパーカミオカンデのみが10の35乗年以上の感度に至る。

⑦ 社会的価値

日本におけるニュートリノ研究は、2002年(小柴昌俊東京大学特別栄誉教授)と2015年(梶田隆章東京大学特別栄誉教授)のノーベル物理学賞受賞にも象徴されるように、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。さらに地元飛騨市行政や住民には計画に対する理解と多大な支援をいただいている。本研究は素粒子の大統一理論や、宇宙になぜ反物質がないのかという、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 実施計画等について

実施計画・スケジュール 2020年 建設開始

2027年 ハイパーカミオカンデ運転開始(2046年度まで)、J-PARC1.3MW運転開始(2036年度まで)

実施機関と実施体制 東京大学と高エネルギー加速器研究機構が計画を推進している。国内の参加機関は、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、東京理科大学、横浜国立大学、慶応義塾大学であり、またアジア、ヨーロッパ、アメリカ、アフリカと世界約20カ国からの参加も予定する。

総経費 総経費約1,545億円(2020年度から7年間の建設費用と2046年度までの20年間の運転経費を含む)

そのうち日本分担分は約1,391億円と見積もられている。ハイパーカミオカンデ装置の建設経費は約673億円と見積もられており、運転と大学共同利用体制整備などに20年間で約400億円(2027年から2046年度)必要となる。J-PARCの750kWから1.3MWへの改良に約32億円、その運転経費として10年間で約400億円(2027年から2036年度)が必要となる。ただしこの運転経費は、高エネルギー加速器研究機構分(後段加速器)のみであり、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。近中距離検出器の建設経費は約40億円と見積もられており、日本は約10億円を分担する。

⑨ 連絡先

塩澤 真人(東京大学宇宙線研究所)