

地球ニュートリノ観測が切り拓く新しい地球未来像

① ビジョンの概要

「地球の内部はどのようなのか。」という根本的かつ深淵な謎に解を与えることができる地球ニュートリノ観測は、これまでの地球像をより明確化する新しいツールとして実績を挙げている。地球ニュートリノ観測のみならず、「地球深部理解」という共通の科学的興味や技術を持つ研究分野間にこれまでに無い連携関係を紡ぎ、未知の変革をもたらす知見を見出す新たな科学分野の創出へとつなげることができる。

② ビジョンの内容

地球ニュートリノ観測で地球内部を理解する新研究分野は「ニュートリノ地球科学」と呼ばれ、素粒子物理・地球科学の分野横断的研究分野として発展してきた。これまで日本の KamLAND 実験とイタリアの Borexino 実験(2021年終了)のみで観測実績があり、観測精度は地球科学的知見を得られるレベルに到達しているものの、地殻成分の寄与と不定性が大きいという課題を抱えている。大陸検出器の不可能を克服するアイディアである「海洋底ニュートリノ観測機 (OBD:Ocean Bottom Detector)」は、マントルを知るという共通の科学的興味のもと、素粒子物理・地球科学・海洋工学、更にはマントル掘削や海底生命圏の理解といった新たなつながりにより積み上げられた知見や技術を結びつけ、未知の変革をもたらす知見を見出す新たな研究分野の創出が期待できる。OBD を一つのツールとし、「海洋底」「地球深部理解」を研究対象とし科学的興味を共にする研究分野の共発展が可能である。地球の未解明の謎に解を与え、その成果を多分野に波及させることで、惑星としての地球システムの持続可能性や生命居住可能性に中・長期的な尺度を与えることができる。その価値を一般社会に発信・啓発することで、基礎科学に立脚した人類の幸福度向上にも貢献できる。

③ 学術研究構想の名称

地球ニュートリノ観測が切り拓く新しい地球未来像

④ 学術研究構想の概要

地球の化学組成はその直接観測や大局的理解の困難さ故に未解決の謎が多い。特にウラン・トリウム・カリウムといった放射性物質は崩壊時に発生する熱が地震・火山活動、マントル対流や地磁気の形成といった様々な地球活動の駆動力になる重要な物質であるが、その量と分布はこの2世紀にも渡る地球科学分野の根本的な謎である。提案者らは、より深く謎の多いマントル起源地球ニュートリノ直接観測を次の目標に掲げ、2019年にOBDの実現に向けて研究を開始した。本提案は、地球内部の謎に解を与える事による新たな知見が新価値の創造の起爆剤となりうることを見据え、これまで個別に発展してきた研究分野の垣根を超え「新しい地球未来像」の創造へと繋がる新学問分野の創出を目指している。

⑤ 学術的な意義

* 提案の背景

地球内放射性物質の崩壊時に熱と共に発生する「地球ニュートリノ」は、KamLAND 実験で2005年に世界初観測され、地球の理解方法に変革をもたらした。現在でも安定的に世界最高精度観測を継続している日本発の世界を牽引する研究分野であり、近年では現在の地球の説明に仮定すべき放射性物質量の限定に成功した。ニュートリノ地球科学の有用性はこの15年余りで十分浸透している。

観測精度向上の一方で、現存する大陸上の検出器の抱える不可避の問題点も露呈した。地球の最外層の地殻は全体積の1%ながら全量の約半分の放射性物質が存在する。30-40km厚の大陸地殻上の検出器では、地殻起源地球ニュートリノ量が70%を占め、観測値を地球科学的知見に焼き直す地球ニュートリノ流量モデルの不定性が大きい(20-50%)ことも相まって、未解明のマントルの有益な情報を得ることは困難である。そこで、平均3kmと薄く構造もシンプルな海洋地殻上に検出器を設置し、70%にも及ぶマントル起源地球ニュートリノを直接観測することに着眼し(図1)、2019年にOBDプロジェクトを立ち上げた。海洋という特性を生かし可動式検出器を複数点に設置し地球深部の不均一をも観測できる唯一の実験で、現代検出器の不可能を突破するブレークスルーとなる。

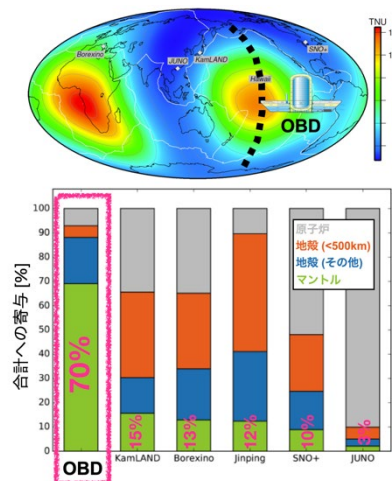


図1 マントル地球ニュートリノマップ(上)と各実験地点でのニュートリノ流量比(下)

観測精度向上の一方で、現存する大陸上の検出器の抱える不可避の問題点も露呈した。地球の最外層の地殻は全体積の1%ながら全量の約半分の放射性物質が存在する。30-40km厚の大陸地殻上の検出器では、地殻起源地球ニュートリノ量が70%を占め、観測値を地球科学的知見に焼き直す地球ニュートリノ流量モデルの不定性が大きい(20-50%)ことも相まって、未解明のマントルの有益な情報を得ることは困難である。そこで、平均3kmと薄く構造もシンプルな海洋地殻上に検出器を設置し、70%にも及ぶマントル起源地球ニュートリノを直接観測することに着眼し(図1)、2019年にOBDプロジェクトを立ち上げた。海洋という特性を生かし可動式検出器を複数点に設置し地球深部の不均一をも観測できる唯一の実験で、現代検出器の不可能を突破するブレークスルーとなる。

* 学術的重要性・期待されるブレークスルーと研究成果及び様々な効果

地球は 46 億年前の形成時からの「原始の熱」と放射性物質の崩壊による「放射化熱」のハイブリッドで駆動し、現在でも 46 兆ワットものエネルギーを内部から放出している。このエネルギーが地球の海洋・大気を生み出し、マントル対流による大陸移動を起こし、地磁気の形成・維持によって太陽からの放射線を防いできたが、その熱源分布や分配量はわからない。特に地球体積の 8 割のマントル内放射化熱量の予想は 3.5～32 兆ワットと約 10 倍も異なり、化学組成や対流方法といった根本的な事すら未解明である。OBD はこれらの重要量に実測値を与え、人類の 2 世紀にも渡る謎に決着をつけることができる。地球研究に放射化熱量の既知化という視点の転換をもたらし、地球化学組成や太陽系内での惑星形成史の理解に新たな実測制限を与える発展を実現する。マントルを既知とすることで、大陸検出機には場所依存の大きい地殻の観測という新たな視点を生み、推定に用いた地震波観測や捕獲岩分析にフィードバックをかけられる革新的研究である。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

稼働中・建設中・計画中の実験は全て大陸検出器である。海洋底実験のアイディアは 2005 年にハワイ大の物理学者によって提唱されたが実現には至らず、提案者が 2019 年に海洋研究の日本の拠点である海洋開発研究機構(JAMSTEC)と共に研究に着手することで、15 年来の進捗となった。ニュートリノ実験のノウハウの蓄積と海洋研究の知見や既存実験施設を活用することで着実な成果を挙げており、本提案が世界を牽引している。

⑦ 社会的価値

我々の住む地球の誕生史や現在の地球の継続性について解を得ることは、人々の知的好奇心を満たし知り得たことによる安心感をもたらす。現在の地球の生命居住可能性を維持するには、人々のどのような行動が必要なのかを現実のものとして考え対策することにつながり、サステナブルな世界の実現の一助となると考える。本提案の実現により地球理解の世界を一変し、現在想像しうる研究手段以外の方法の誕生といった未知の変革をもたらすことにつながる。日本発の学際的分野の現在・将来に渡る主導は教育・人材育成、基礎科学への理解増進に繋がり社会的価値がある。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール: 2 年程度で、海底環境で稼働する検出機要素の開発の継続、東北大学と JAMSTEC の既存施設を利用した海底環境テスト、1.5kt 検出機(図 2)のデザイン、実験実現に向けたコミュニティー形成の継続を行う。その後 3 年を 1.5kt 検出機の全検出機構成要素の

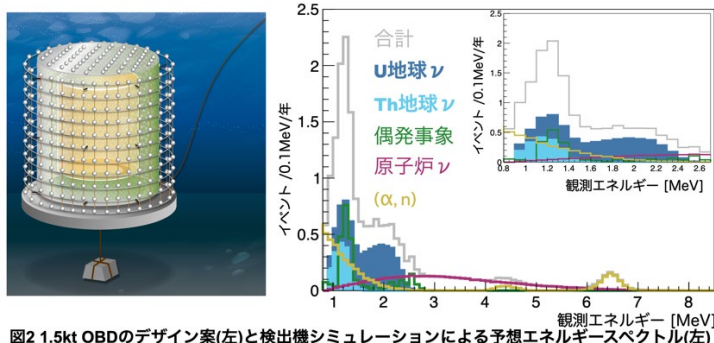


図2 1.5kt OBDのデザイン案(左)と検出機シミュレーションによる予想エネルギースペクトル(右)

デザイン、海洋底への設置・運用・回収方法の確立、検出機設置場所の決定、観測の科学的知見と波及効果、検出感度見積もりの高信頼度化に費やす。成果と技術開発を充実させ、8年後の 1.5kt 検出機の建設、10年後の観測開始を予定する。3年程度の観測期間でマントル地球ニュートリノを優位に測定可能である。

実施機関と実施体制: 提案者の所属する東北大学ニュートリノ科学研究センターと JAMSTEC は 2019 年 7 月にキックオフミーティングを開催して以降共同研究を行っており、本提案でも両機関が実施の中心となる。2002 年より KamLAND 実験を主導している東北大学は 20 年に渡って培われた大型検出器のデザイン、建築、運転、データ解析など、多岐に渡るノウハウの蓄積は国内外共に他に類を見ない。JAMSTEC は日本の海洋研究の拠点で豊富な技術の蓄積や既存施設を有し、マントル掘削を目指した「ちきゅう」を 20 年に渡って運用し、国際的に科学掘削を主導している。日本近郊の海底地震観測網「DONET」等、運転中の海底実験も多岐に渡る。10 年といったタイムスケールでの実現で、科学的興味やインフラ共有の両方の点において共進化を望める。

総経費 47 億円

所要経費 1.5kt OBD 建設費 30 億円(ミューオン同定用海中 PMT アレイ、耐圧シールド付き PMT、円柱状ステンレスタンク・アクリルタンク、バッファーオイル・液体シンチレーター)、検出器の海洋底への設置 2 億円、海底での電力・通信設備 5 億円、運搬船の検出器のための改築 5 億円

運営費 検出器運転経費 5 億円

⑨ 連絡先

渡辺 寛子(東北大学ニュートリノ科学研究センター)