

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01909

研究課題名(和文) マントル地球ニュートリノ観測を目指した海洋底ニュートリノ検出器開発

研究課題名(英文) Development of Ocean Bottom Detector for mantle geo-neutrino measurement

研究代表者

渡辺 寛子 (Watanabe, Hiroko)

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教

研究者番号：70633527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：地球内放射性物質起源の地球ニュートリノの観測は、地球の根本的な謎に関わる地球内放射性物質の全量を直接観測することができる革新的な手段である。マントル事象直接観測という大型研究への発展を目指し、海洋底ニュートリノ検出器開発と分野形成を目的とした。海洋底という高圧・低温の特殊環境で稼働する検出器要素の開発、検出器シミュレーションによる検出器デザインと感度見積もり、プロトタイプ検出器の制作に成果を挙げ、アイデアが議論され始めて以来15年を経ての具体的な進展となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球内放射性物質由来のニュートリノ「地球ニュートリノ」の観測は、2005年の世界初観測以来、現在でも世界最高精度で観測を継続している日本発の分野横断的研究である。本研究は現代検出器の抱える問題点に着目し、それを克服する「海洋底ニュートリノ検出器」の実現に向け、技術開発や分野形成を行なった。これまでに無い研究分野の融合によりタイムリーに将来の大型研究実現のための具体的な成果を挙げ、現在・将来に渡って本研究分野を主導するための重要な進展となった。

研究成果の概要(英文)：Observation of geoneutrinos originating from the Earth's radioactive materials is an innovative tool to directly observe the total amount of radioactive elements in the Earth, which is related to the fundamental mysteries of the Earth. Toward the development of large-scale research into direct observation of the mantle geoneutrinos, we aimed to develop technology of an ocean-bottom neutrino detector and enhance an interdisciplinary research area. The development of detector elements that can operate in the special high-pressure and low-temperature environment of the ocean floor, detector design and sensitivity estimates based on detector simulations, and the production of a prototype detector have resulted in concrete progress in the 15 years since the idea was first discussed.

研究分野：ニュートリノ実験

キーワード：地球ニュートリノ 地球内放射化熱 海洋底検出器

1. 研究開始当初の背景

地球内放射性物質を起源とする反ニュートリノ「地球ニュートリノ」は、地球の熱収支や熱進化といった地球の根本的な謎に関わる地球内放射性物質量を直接観測することができる唯一の手段である。地球ニュートリノ観測による地球の理解は、2005年にKamLAND実験によって世界初観測が成し遂げられて以降、現在でも安定的に世界最高感度で観測を続けている日本発の世界を牽引する研究分野である。研究開始時まで地球ニュートリノ観測により地球化学組成モデルに制限を与えたが、大陸上での観測は約70%もの寄与が地殻由来であることに加え、地殻の寄与の予想モデルの不定性が大きいことにより、より深いマントルの有益な情報を得ることは難しいという難点を抱えていた。

地殻が薄くより単純な海洋での観測は、マントルの地球化学組成という地球深部の革新的知見を得られ、「ニュートリノ地球科学」の現代検出器の不可能を突破するブレイクスルーとなる。このアイデア自体は2005年頃からハワイの物理学者によって提唱され、ハワイ大とMakai Ocean Engineeringによる共同研究によって具体的な検出器デザインが行われた。10-50ktという巨大なLS検出器を海洋底に設置する案で、検出器デザインや検出器要素の開発が行われた。その後地球ニュートリノ観測精度の向上により海洋底地球ニュートリノ検出器の重要性は格段に浸透していたが、検出器の具体化については15年近く何も行われていなかった。

2. 研究の目的

地球は46億年前の形成時から保持する「原始の熱」と地球内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。熱バランスは？地球の寿命は？未だこの根本的な問いの解を持たない。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、地球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。

本研究は「マントルの地球化学組成決定」という核心的な問題解決に向け、これまでに蓄積された素粒子物理学・地球科学、更には必要不可欠である海洋工学の実績を集結することで他に類を見ない盤石な体制を整え、世界に先駆けて大型研究実現に向けた研究開発を行うことを目的とした。「OBD (Ocean Bottom Detector)」プロジェクトとし、working groupを構成して研究を遂行する。

3. 研究の方法

素粒子の一種であるニュートリノは電氣的に中性で極端に軽く高い透過性を持つ為、その検出には巨大で静かな検出器が必須である。海洋でのニュートリノ観測は、宇宙線ミュオン起源バックグラウンドを海水によって遮蔽すること必要であり、大陸上の検出器とは全く異なった高圧・低温の実験環境で、陸上から隔絶された地での安定運転が要求される。本研究は、以下の方法で研究開発を行う。

(1) 大型化を見据えたプロトタイプ検出器の開発

これまでにアイデアとして議論されていた海洋底検出器について、積み上げられた各研究分野の知見と既存の設備を最大限に利用し、実験やシミュレーションに基づいた研究開発や、実際の検出器制作を行い、招待の大型化への確実な進捗とする。

- ① 将来の大型検出器の要求性能の見積もりと検出器デザイン
- ② 各検出器要素の海洋底環境に最適化した開発
- ③ プロトタイプ検出器の開発

(2) 大型検出器実現に向けた学際的コミュニティ形成

地球科学の異分野との連携の模索や地球化学・地球物理学・地震学・地球惑星科学・生命科学といった多岐に渡る研究分野への波及効果の見積もりを行なう。

4. 研究成果

本研究期間は世界的な新型コロナウイルスの蔓延に伴い、当初の計画通りに研究を遂行できない時期が長期化したものの、以下の具体的成果を挙げた。

(1) 大型化を見据えたプロトタイプ検出器の開発

① 将来の大型検出器の要求性能の見積もりと検出器デザイン

本研究で構築された検出器シミュレーションツールにより、マントル地球ニュートリノ観測を現実的な観測期間で行うのに必要な最小の検出器サイズは1.5kt程度であり、宇宙線ミュオンを遮蔽するため4km程度の海洋底に設置する必要があることが求められた。1.5kt OBD検出器のデザイン案を図1に示す。中心には、直径12m・高さ14mの亚克力タンクに保持されたニュートリノ反応のターゲットである1.5kt液体シンチレーター(LS: Liquid Scintillator)領域があり、発光物質を含まない3mのバッファ

オイル層を挟み、約 3200 本の耐圧シールドを備えた光電子増倍管 (PMT) がステンレスタンクの内側に埋め尽くされている。海水自体を宇宙線ミュオンを検出に使うという斬新なアイデアを取り込むことにより、検出器の構造や運転の大幅な簡略化を実現した。PMT 自体やその耐圧シールド、LS、アクリルタンクに含まれる放射性不純物の崩壊による放射性バックグラウンド、宇宙線ミュオン由来の核破碎反応バックグラウンド、原子炉ニュートリノバックグラウンドをそれぞれ見積もり、各検出器要素の開発にインプットパラメータを与えるとともに、検出感度の見積もりを行なった。大型検出器の設置場所の第一候補地であるハワイ沖を仮定した、予想イベント数を表 1 に示す。地球ニュートリノ信号 8.23 事象のうち、マントル起源は 6.17 事象、対してバックグラウンドは全エネルギー領域で 9.93 事象と求められた。予想エネルギースペクトルを図 2 に示す。これらのシミュレーション結果を用い、地球科学分野のスタンダードな地球内放射性物質質量を予想した場合、マントル地球ニュートリノの予測感度を求めたところ、一般に「evidence」となる 3σ を超える信頼度の観測が 3 年間で実現することがわかった。この結果は海洋底地球ニュートリノ観測のアイデアが議論されて以来の初の詳細な観測事象の見積もり結果である。

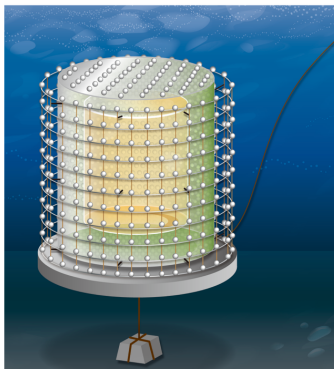


図 1 1.5 kt OBD の検出器案

表 1 1.5 kt OBD の検出器での 1 年観測の予想イベント数 (ハワイ沖を仮定)

	信号			バックグラウンド					合計
	^{238}U	^{232}Th	合計	原子炉 $\bar{\nu}_e$	アクシデンタル	(α, n)	核破碎反応	高速中性子	
全領域 (<8.5MeV)	6.59	1.64	8.23	4.13	1.92	3.88	0	<2.42	9.93
地球 $\bar{\nu}_e$ 領域 (<2.6MeV)				1.53	1.90	2.96		<0.58	6.39

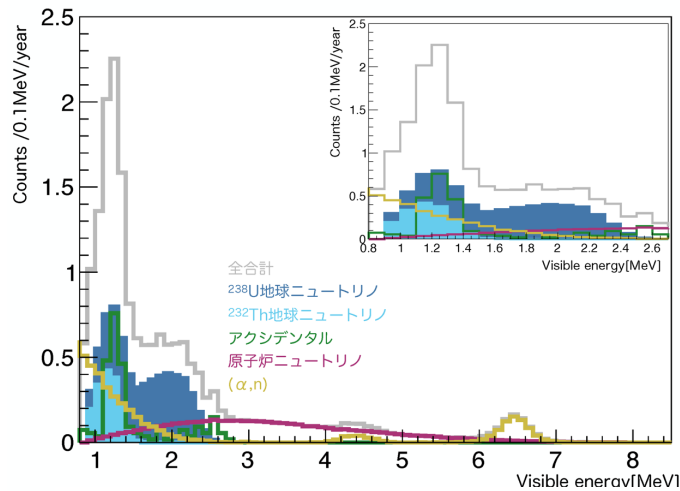


図 2 1.5 kt OBD の予想観測エネルギースペクトル

② 各検出器要素の海洋底環境に最適化した開発

4km の深海に検出器を設置すると、40MPa の高圧、2-4℃の低温と、既存の実験環境とは全く異なる。海洋実験に経験とノウハウを持つ海洋工学の研究者とともに、将来の大型化を見据えた検出器の開発要素の洗い出しとその開発を行なった。

- 海底環境下での LS の性能評価と構成物質の最適化 : 温度コントロールを行いながら LS の発光量を測定する装置を製作した (図 3)。ステンレス製パイプの両端にフランジを取り付け 200ml 程度の LS を密閉保持する領域を設け、一方を光が透過する石英のビューポートとし PMT を石英越しに設置して発光量を測定した。ステンレス製パイプの周囲に水冷チラーからのチューブを巻き付け $4.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ で温度をモニターしつつコントロールした。従来の LS より引火点が高くより安全な LS の構成物質であるリニアアルキルベンゼン (LAB) と発光物質である PPO を混合した LS の低温下での発光量測定し、KamLAND 実験で用いている LS と比較すると共に、PPO 濃度の最適化を行った。 ^{137}Cs を放射線源として用い、近傍に置いた NaI を取り付けた PMT でも観測した後方散乱イベントを選択的に観測することで、 γ 線による LS 中での発光を低バックグラウンドで観測する方法を用いた。図 4 に 20°C と 4°C 時の

LAB-LS の PPO 濃度による発光量の変化を 20°C時の KamLAND-LS の発光量と共に示す。この結果により、海底を模した 4°Cでは LAB-LS は 20°Cに比べて 7%程度高い発光量を持ち、PPO 濃度は 3.0g/L 以降は発光量に変化が少ないことから 3.0g/L 程度が最適であることがわかった。

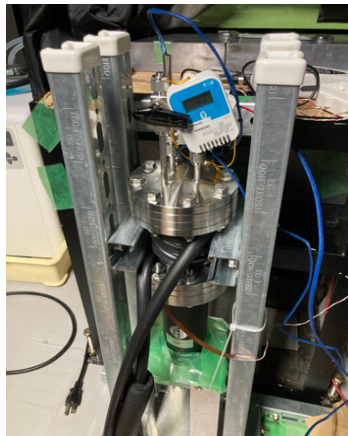


図 3: 低温下での発光量測定装置

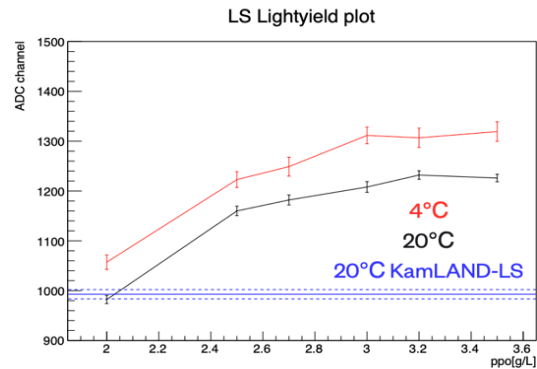


図 4: LAB-LS(赤・黒)の PPO 濃度による発光量の変化と KamLAND-LS(青)との比較

- LS の透過率測定：分光光度計を用い、低温状態の透過率へ与える影響を測定した。測定サンプルは 4°Cに設定したインキュベーターに数時間保管し十分に温度を一定化させ、分光光度計のサンプル置き場も保冷剤を入れて温度を低下させることによって測定時の温度上昇を防いだ。測定結果を図 5 に示す。4°Cと 20°Cの時の透過率はエラーの範囲で一致しており、温度低下の影響はほとんど無いことを確認した。

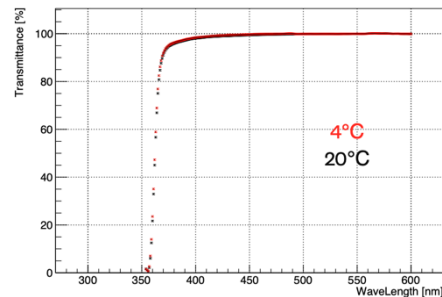


図 5: 低温下での透過率測定結果

- 極低放射性物質量の PMT 球形シールドの開発：シミュレーションを用いたバックグラウンド評価により、PMT の耐水圧シールドの低放射性物質化が必須であることが判明した。一般的に海洋実験で用いられているガラス球シールドは、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K といった地球ニュートリノ観測にとってバックグラウンドとなる放射性物質が多く含まれている。本研究では、ガラス球の低放射性物質化と、アクリルによる球形シールド作成の 2 つの方法によって目的達成を目指した。
 - ガラス球の低放射性物質化: ガラス球シールドの製作に実績のある業者とともに、放射性物質源となる成分の同定やより低放射性物質量の成分選定を行い、溶融してガラスサンプル製作を行った。製作したガラスサンプルを ICP-MS によって微量分析を行い、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K の含有量を測定した。結果を表に示す。成分選定の改善による低放射性物質のガラスは通常ガラスに比べて放射性物質量の低減が見られたが、溶融前後のサンプルを分析することで、溶融作業時に多くの放射性物質が混入していることがわかった。原料の溶融時に使用している坩堝は多くの放射性物質を含んでいることが分かり、坩堝から放射性物質が供給されていた。そこで、坩堝表面にプラチナ (Pt) コーティングを行い、溶融時の放射性物質の混入を低減することを考えた。分析結果から、製作時の放射性物質の供給を抑え、通常ガラスに比べて放射性物質量が 1-2 桁低いガラスの製作に成功した。本研究によりシミュレーションで求められた含有放射性物質量の上限を下回る結果を得られ、本研究の要請に耐えうる海洋実験で長きに渡って実績のあるガラスによる球形シールドの開発に成功した。

表 2: ガラスに含有する放射性物量の分析結果

サンプル名	^{238}U [g/g]	^{232}Th [g/g]	^{40}K [g/g]
通常ガラス	5.7×10^{-7}	9.8×10^{-7}	6.2×10^{-8}
低放射性物質ガラス	2.8×10^{-8}	3.4×10^{-8}	1.6×10^{-8}
Pt コーティング	1.4×10^{-8}	$< 5.0 \times 10^{-9}$	3.4×10^{-9}

- アクリル製 PMT 球形シールドの開発: ガラスに比べて更に 2 桁-3 桁ほど低い放射性物質質量であるアクリルで球形シールドを製作し、その使用可能性を確かめた。直径 15cm 程度の小型アクリル球を製作し、JAMSTEC にある高水圧実験装置を用いて実際に 40MPa の高圧をかけて強度のテストを行った。直径 15cm の厚さ (10mm・15mm) と半球同士の嵌め込み方法 (ねじ式・凹凸式) を変えて 4 種のアクリル球を製作した。結果は 4 種とも 40MPa には耐えきれずに破壊された (図 6 上)。アクリルの素材としての耐圧強度は 73-120MPa である事から 40MPa では破壊されないと予想していたが、予想に反する結果を得た。アクリル球の構造計算を行い破壊された原因を調査した。計算の結果、アクリルの半球同士の接続部分である赤道の内側に応力が集中することがわかり、素材の耐圧強度を超える圧力がかかる事がわかった (図 6 下)。デザインの変更も検討されたが応力集中を分散させることが難しく、アクリルでの耐水圧シールドの製作は断念せざるを得ない結果となった。

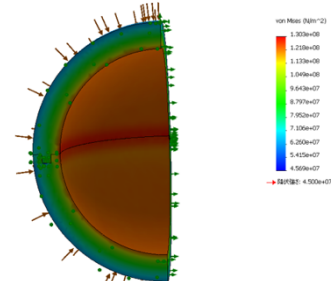


図 6:アクリル球の加圧結果(上)と構造計算結果(下)

これらの結果より、ガラス製の耐圧シールドがより適切であることがわかった。業者とともに大型化や大量生産方法を議論している。

- ③ プロトタイプ検出器の開発
これまでの研究成果を集約し、小型プロトタイプ検出器のデザインと制作に着手した (図 7)。安全対策のため最外層にステンレス外層を設け、内部に位置の固定と保持の為にフレームを設置した上で、30L のステンレス LS タンクとその両側に光電子増倍管を設置するデザインとした。現在はガラスシールド内に光電子増倍管と高電圧供給・データ取得の回路を内包させた、データ取得システムを構築中である。JAMSTEC の初島海底観測所に設置し、世界初の LS 検出器の海洋底での観測を行う。

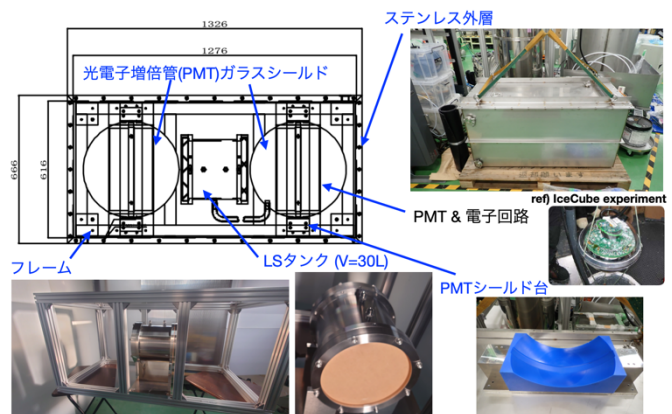


図 7:プロトタイプ検出器デザインと開発状況

- (3) 大型検出器実現に向けた学際的コミュニティ形成

「海洋底」「地球深部理解」といった科学的興味を共にする異なる研究分野の未開の接続性を創出する分野形成を推進した。2022 年度は東北大学知のフォーラムが支援する Thematic Program 2022 「[Frontier of Understanding Earth's Interior and Dynamics](#)」にオーガナイザーとして研究代表者のプログラムが採択され、一年を通して OBD プロジェクトに関連する世界的研究者の長期滞在や国際シンポジウムシリーズの開催、一般向けイベントの開催の支援を受け、新たな学際的分野の構築を推進した。一連の成果は [1] として出版され、国内のみならず国際的に分野形成を牽引している。本研究の成果は 3 編の論文出版、30 件の学会発表 (内、国際学会招待講演 10 件) を行い、活発な成果発信が行われた。学際的コミュニティの成熟とともに大型プロジェクト実現を目指す。

<引用文献>

- [1] H. Watanabe, N. Abe, W. F. McDonough, T. Omata, Y. Yamada 「Frontier of understanding Earth's dynamics」 [Perspectives of Earth and Space Scientists, 4, e2023CN000210, 2023 年](#)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Taichi Sakai	4. 巻 -
2. 論文標題 Study of Ocean Bottom Detector(OBD) for observation of geo-neutrinos from the mantle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 XIX International Workshop on Neutrino Telescopes, online. Zenodo.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.5046560	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sakai T., Inoue K., Watanabejg H., McDonough W.F., Abe N., Araki E., Kasaya T., Kyo M., Sakurai N., Uek K., Yoshida H.	4. 巻 2156
2. 論文標題 Study of Ocean Bottom Detector for observation of geo-neutrino from the mantle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012144 - 012144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2156/1/012144	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Watanabe Hiroko, Abe Natsue, Araki Eiichiro, Araki Takuto, Inoue Kunio, Kasaya Takafumi, Kyo Masanori, McDonough William F., Sakai Taichi, Sakurai Noriaki, Ueki Kenta, Yoshida Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Ocean Bottom Detector: frontier of technology for understanding the mantle by geoneutrinos	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE Underwater Technology (UT), Tokyo, Japan, 2023	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/UT49729.2023.10103417	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Watanabe Hiroko, Abe Natsue, McDonough William F., Omata Tamano, Yamada Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Frontier of Understanding Earth's Dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Perspectives of Earth and Space Scientists	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023CN000210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 22件）

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Geoneutrinos
3. 学会等名 Neutrino 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector
3. 学会等名 Nu Tools Workshop for Applied Anti-neutrino Technology Community (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Simulation Study of Ocean Bottom Detector for observation of geoneutrinos from the mantle
3. 学会等名 Neutrino 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Study of Ocean Bottom Detector for observation of geo-neutrinos from mantle
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector
3. 学会等名 Snowmass 2021: Solar and Geoneutrino Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発
3. 学会等名 第7回超新星ニュートリノ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Neutrino Geoscience: measuring the Earth's neutrino flux and constraining its compositions
3. 学会等名 Caltech Physics Colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Study of Ocean Bottom Detector for observation of geo-neutrinos from mantle
3. 学会等名 XIX International Workshop on Neutrino Telescopes (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発3
3. 学会等名 第76回日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Neutrino Geoscience: measuring the Earth's neutrino flux and constraining its compositions
3. 学会等名 University of Hawaii Physics and Astronomy Colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector: measuring the Earth's neutrino flux in the sea
3. 学会等名 Pacific Array Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Study of Ocean Bottom Detector(OBD) for observation of geo-neutrinos from the mantle
3. 学会等名 Pacific Array Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Study of Ocean Bottom Detector for observation of geo-neutrinos from mantle
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Understanding the Earth's Interior and Dynamics: Interdisciplinary Approach
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 Study of Ocean Bottom Detector for observation of geo-neutrinos from mantle
3. 学会等名 TAUP2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発4
3. 学会等名 日本物理学会2021秋季大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Neutrino Geoscience: measuring the Earth's neutrino flux and constraining its compositions
3. 学会等名 Colloquium at Institute for Basic Science（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Neutrino Geoscience: current and future prospects
3. 学会等名 核-マントルの相互作用と共進化 令和3年度研究集会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発
3. 学会等名 核-マントルの相互作用と共進化 令和3年度研究集会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井汰一
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発5
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 海洋底ニュートリノ観測による地球深部理解への挑戦
3. 学会等名 令和4年度 第2回海を拓く現場計測研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector: frontier of technology for understanding the Mantle by geoneutrinos
3. 学会等名 Frontier of Understanding Earth's Interior and Dynamics（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 地球内部熱量を知る新しい目 "海洋底ニュートリノ観測"
3. 学会等名 第95回海洋技術連絡会講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木拓登
2. 発表標題 マントル地球ニュートリノ直接観測に向けた海洋底反ニュートリノ検出器の研究開発 6: 小型プロトタイプ検出器開発
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿部なつ江
2. 発表標題 Frontiers of sampling the mantle by drilling to the Moho
3. 学会等名 Frontier of Understanding Earth's Interior and Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木英一郎
2. 発表標題 Distributed seafloor sensor network: DONET and beyond
3. 学会等名 Workshop, Cutting Edge Technology for Understanding the Earth (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡辺寛子
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector: frontier of technology for understanding the mantle by geoneutrinos
3. 学会等名 Underwater Technology 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡辺 寛子
2. 発表標題 地球ニュートリノ観測による地球内熱生成量の解明
3. 学会等名 第24回守田科学研究奨励賞授賞式（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井 汰一
2. 発表標題 Ocean Bottom Detector : new under-development anti-neutrino detector for direct observation of mantle geo-neutrino
3. 学会等名 Goldschmidt 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 渡辺 寛子, Willian F. McDonough, 阿部 なつ江 他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 海洋出版株式会社	5. 総ページ数 151
3. 書名 海洋科学掘削によるマントル到達への挑戦 -地球最大のフロンティアに挑む	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	上木 賢太 (Kenta Ueki) (40646353)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・副主任研究員 (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒木 英一郎 (Araki Eiichiro) (60359130)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震津波予測研究開発センター)・グループリーダー (82706)	
研究分担者	許 正憲 (Kyo Masanori) (70359123)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海資源生産技術開発プロジェクトチーム・プロジェクト長代理 (82706)	
研究分担者	阿部 なつ江 (Abe Natsue) (80302933)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・主任研究員 (82706)	
研究分担者	笠谷 貴史 (Kasaya Takafumi) (90373456)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(海底資源センター)・グループリーダー (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関