

令和元年5月28日現在

機関番号：11301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21747

研究課題名（和文）地下研究施設国際ネットワークによる宇宙の歴史の解明

研究課題名（英文）Networking international underground laboratories for revealing the history of the universe

研究代表者

井上 邦雄（Inoue, Kunio）

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授

研究者番号：10242166

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 47,300,000円

研究成果の概要（和文）：相乗効果を生み出す技術連携の枠組みを、神岡地下から世界の地下施設に広げる活動を実施した。大型化が課題となり統合が進む暗黒物質探索では、地下素核研究の技術を携えて海外実験に合流し、大幅な性能向上を実現することとなった。また、方向感度を持つ暗黒物質探索では、神岡が世界のハブとして開発をリードしていく体制が作られた。さらに、極低放射能研究の将来技術として注目されている極低温蛍光熱量計開発においては、領域の蛍光結晶技術と韓国の低温熱量計技術を組み合わせた国際連携による開発が進んだ。共通基盤技術開発の国際協調体制が進んだことで、地下での素粒子原子核研究での将来に続くリーダーシップを発揮していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型化が課題となる稀な現象の探索や、最先端技術を組み合わせた研究では、連携によって重複した開発項目をなくすこと、優れた技術を共有できることが重要であり、研究進展における大きな相乗効果と費用対効果を生み出すことができる。この枠組みを世界に広げたことで、さらに効果を高め、競争と協力をバランス良く進めることができる。また、人材の流動性やキャリアパスにおいても世界的な連携はその機会を大いに広げた。

研究成果の概要（英文）：International collaboration among world underground laboratories has been developed aiming at the large synergies of sharing the common technologies. Concerning the search for dark matter in which international unification is occurring, Japanese team decided to join the foreign project bringing the technologies developed in this innovative area. Concerning the directional measurement of dark matter, Kamioka underground laboratory serves as a world-wide hub of its developmental efforts. As for the future innovative technology of scintillating bolometers, scintillation crystal technology in our area and bolometer technology in Korea can be combined and cooperative development has been started. These cooperative work on the basis of common technologies will secure the continuous leadership in the field of underground particle and nuclear research.

研究分野：ニュートリノ実験

キーワード：極低放射能 二重ベータ崩壊 暗黒物質 超新星ニュートリノ 地下研究

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究は、本新学術領域のスタートより1年遅れて、H27年度よりスタートした。新学術領域では、神岡での地下実験を核に宇宙の歴史を串刺しにし、世界をリードする研究を遂行していた。しかし、世界では様々な地下実験が進められており、共有化されたサービスと手厚い支援の下、急速に力を着けて来ている。このような状況下、「神岡」の有意性を更に高めることが必要であった。また同時に、これら世界との連携によって、神岡地下の研究をより活性化し、世界から神岡地下への参加を促し、これまで以上に神岡での地下素核研究を加速するチャンスでもあった。

2. 研究の目的

このような状況を鑑み、本研究は、世界の地下研究施設と連携し、共同開発を効率的に推進することを目的とする。特に、プロジェクト同士の交流に留まることなく、本領域全体と諸外国の地下施設との連携によって、重複開発を減らし、限られたマンパワーで効率的な協体制度を構築する。また、諸外国から神岡の優れたプロジェクトへの参加を促し、「神岡」そして我が国の存在感を一段と高めることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、海外から神岡地下へ、神岡から世界の地下実験施設への人的交流を主軸に、研究を展開する。

具体的には、海外の若手研究者を雇用し、海外から神岡地下実験への参加を支援する。また、世界の主要な地下実験施設（GranSasso（伊）、Boulby（英）など）へ、研究者を派遣し、新たな国際ネットワークの形成を支援する。特に、新たな国際共同研究の創出を図る。また、領域を長期的に展開・持続するためには、国際的な視点や経験を持った若手の育成が最重要である。この目的のため、海外の地下実験施設との間で若手の相互派遣、国際スクールの開催などを支援する。

4. 研究成果

若手外国人の雇用、招聘では、岡山大学にて4名の若手研究者を雇用した。さらに、R.Dhir氏は、本研究での研究期間中に、原子核反応計算の手法の一つであるHauser-Feshbach法を酸素・炭素の崩壊過程に応用する開発に成功し、また超新星ニュートリノ検出に関する原子核反応でのガンマ線生成について業績により、インドSRM大学のテニュア准教授へと昇進した。これが契機となって、2017年にSRM大学と岡山大学との部局間協定が締結された。この他4名の外国人若手研究者を雇用し、日本における地下素核研究を推進した。また、4名の外国人研究留学生を受け入れ、3名は修士号相当を取得、1名は就学を継続中である。このように、若手外国人を神岡地下に呼び込むことで、若手の育成と国際的ネットワークの拡大を行った。

国際ネットワークの構築と新たな国際共同研究の創出では、本研究によって、以下の大きな進展があり、「世界に打って出る」「世界を呼び込む」「世界と連携する」研究が大きく進展した。

- 方向に感度をもった暗黒物質探索実験において、国際ネットワーク CYGNUS コラボレーションがスタート（H28年）した。
CYGNUSは50名中20名が日本人で占められ、中核的存在として活躍している。参加する地下研究施設は、神岡施設（日）、Boulby地下実験施設（英）、フラスカティ研究所（伊）等である。さらに、シェフィールド大（英）、LPSC研究所（仏）、CERN（スイス）、ジンピン地下実験施設（中）などと協力して、国際共同で検出器試験を行うことが決定された。英国が検出器本体、日本が試験チャンバー、配管・検出器搭載用プレートを準備し、神岡地下は方向感度を持つ装置開発での世界のハブとなる。
- 原子核乾板をもちいた暗黒物質探索実験 NEWSdm コラボレーションがスタート（H28年）した。GranSasso研究所（伊）にて予備的実験が認められ、名古屋大、ナポリ大を中核に実験装置の設置等を推進した。
- 欧州を中核とする国際共同実験グループ XENON コラボレーションとの間で MOU を締結し、キセノンを用いた暗黒物質探索実験 XENONnT へ日本グループが参加することが決定した（H29年）。

- AMoRE 実験（韓）との検出器共同開発
超高分解能の極低温熱量計にシンチレーション結晶を導入する蛍光熱量計を、韓国 AMoRE 実験と共同で開発している。本検出器は、二重ベータ崩壊核を含むフッ化カルシウム結晶を用いており、将来の二重ベータ崩壊探索の推進に向け、粒子識別能力、検出器特性の評価などを行い、設計改善を行っている。この検出器は、低質量の暗黒物質探索に適用可能な技術でもあるため、二重ベータ崩壊と暗黒物質の双方を目的とした連携を開始しており、新たな国際共同研究等への萌芽となりつつある。
- 韓国 CUP との極低バックグラウンド技術、検出器開発の交流
韓国 CUP との間で、低バックグラウンド技術に関して継続的な情報交換を行うことを確認した。その成果の1つとして、韓国標準科学研究院 (KRISS) との共同で、極低バックグラウンドの低エネルギー較正線源を開発した。韓国では、地下実験施設の拡充を図っており、この国際協力を進めることで意見が一致している。
- 国際的な天体観測網への参加
2015 年、重力波観測とニュートリノ観測が連携して、マルチメッセンジャー観測を行うことに関して MOU を締結した。2015 年は、重力波が初観測された年でもあり、ニュートリノと重力波という天文学の上で新たな2つチャンネルが国際的に協力して天体観測を実施することとなり、新しい天文学への展開が期待される。
- 極低放射能研究用電子基板の開発
マサチューセッツ大学と共同で電子回路の共同開発を推進した。極低バックグラウンド研究では、暗黒物質や二重ベータ崩壊ニュートリノの様に極々稀な事象から、超新星爆発のニュートリノの様に短時間に多数の事象をカバーする必要がある等、電子回路に対し厳しい要求がある。国際共同開発によって、これを領域全般に普及させることは大きな波及効果となるため、今後もこの共同開発を継続する。
- その他基礎的な共同研究等
ハワイ大学と共同で光電子増倍管性能向上の試験を実施した。KamLAND や Super-Kamiokande の改修など大規模な研究展開の場面では、海外から神岡地下への国際的な貢献を支援し、国際ネットワーク強化につなげた。

上記に加え、国際スクールの開催と、評価の高い研究者を招聘することで、若手支援と国際共同研究の拡大を行った。2015 年には国際ニュートリノスクール (NuSTEC-15) を岡山大学と共同開催した。講師陣は外国人 10 名、日本人 3 名、参加者は 42 名 (海外 30 名、国内 12 名) で、国際色豊かな充実したスクールと好評で、このスクールの講師が滞在後に共同研究を希望し、学生の相互派遣の計画をすすめる運びになる等、大きな成功となった。この他 6 名の著名な講師を迎えての講義、共同研究などを推進した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

1. K. Hagiwara 他 ” Gamma-ray spectrum from thermal neutron capture on gadolinium-157, PTEP 2019, 023D01, pp29, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptz002>, 査読有
2. Ali Ajmi 他, ” Analysis of Gd(n, gamma) reaction with 155, 157 and natural Gd targets taken with JPARC-ANNRI and development of Gd(n, gamma) decay model for Gd-doped neutron/neutrino detectors”, PoS (ICHEP 2018)120, 4pp., 査読無
3. P.K.Das 他, ” Measurement of the relative intensities of the discrete γ rays

from the thermal neutron capture reaction $^{155,157}\text{Gd}(n, \gamma)$ using ANNRI detector (JPARC)”, PoS (KMI 2017) 045, 4pages, 査読無

4. K.Hagiwara 他, Comparison of γ production data from thermal neutron capture on gadolinium with the Monte Carlo simulation, PoS (KMI2017) 035, 6pages, 査読無
5. I.Ou 他, Measurement of γ -rays from giant resonances of ^{16}O and ^{12}C with application to supernova neutrino detection, JPS Conf. Proc. 12, 010048-1-7 (2016) [7pages], DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.12.010048>, 査読無
6. A.Ankowski 他, Improving the accuracy of neutrino energy reconstruction in charged-current quasielastic scattering off nuclear targets, Physical Review, D91 (2015) 033005-1-11, DOI: 10.1103/PhysRevD.91.033005, 査読有

[その他]

ホームページ等

領域のホームページ: <http://www.lowbg.org/ugnd>

本国際支援班の活動による学位論文など

- M. S. Reen, “Study of hadronic and electromagnetic decays of giant resonances in ^{12}C using $(p, p'\gamma)$ reaction”, 2019年3月岡山大学自然科学研究科 Ph.D.
- I. Ou, “Study of gamma rays emitted from giant resonances of ^{12}C and ^{16}O ”, 2017年9月岡山大学自然科学研究科 Ph.D.
- P. K. Das, “Measurement of the relative intensities of the discrete γ rays from the thermal neutron capture reaction $^{155,157}\text{Gd}(n, \gamma)$ using ANNRI detector (JPARC)”, 2017年9月、岡山大学自然科学研究科 Ph.D.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 岸本 康宏

ローマ字氏名: Yasuhiro Kishimoto

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 宇宙線研究所

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 30374911

研究分担者氏名: 作田 誠

ローマ字氏名: Makoto Sakuda

所属研究機関名: 岡山大学

部局名: 自然科学研究科

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 40178596

研究分担者氏名: 身内 賢太郎

ローマ字氏名: Kentaro Miuchi

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: 理学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁) : 80362440

(2)研究協力者

研究協力者氏名 : 岸本 忠史

ローマ字氏名 : Tadafumi Kishimoto

研究協力者氏名 : 石徹白 晃司

ローマ字氏名 : Koji Ishidoshiro

研究協力者氏名 : 竹内 康雄

ローマ字氏名 : Yasuo Takeuchi

研究協力者氏名 : 柳田 勉

ローマ字氏名 : Tsutomu Yanagida

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。