

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月11日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
京都大学・大学院理学研究科
[職・氏名]
教授・中家 剛
[課題番号]
JPJSBP 120209601

1. 事業名 相手国: ベトナム (振興会対応機関: VAST) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) CPの破れの探索に向けたニュートリノ振動の研究

(英文) Study of Neutrino Oscillations for CP Violation Search

3. 共同研究実施期間 令和2年4月1日 ~ 6年3月31日 (4年0ヶ月)【延長前】 令和2年4月1日 ~ 5年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Vietnam Academy of Science and Technology (VAST) , Principal
Researcher, Nguyen Hong Van Thi

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額	3,317,519 円
内訳	
1年度目執行経費	39,920 円
2年度目執行経費	1,330,099 円
3年度目執行経費	1,947,500 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	22 名
相手国側参加者等	13 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	0 (0)
2年度目	0	0	1 (1)
3年度目	5	0	1 (1)
4年度目	9	0	7 (7)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究は、日本人研究者とベトナム人研究者が協力して加速器ニュートリノ実験 T2K を実行し、ニュートリノ研究を進展させることが主目的である。T2K 実験は、J-PARC 加速器でミューオンニュートリノビームを生成し、295km 離れたスーパーカミオカンデ(SK)検出器でニュートリノ振動を測定する。世界最高強度のビーム、世界最高の感度を持つ SK 検出器、の組み合わせによりニュートリノ振動で世界最高の結果が期待されている。実験のポイントは(1)大強度ビームの生成とモニタリング、(2)高精度化のための SK 測定器とニュートリノ反応の系統誤差の改善、であった。そのために、素粒子物理学に日の浅い若手ベトナム人研究者を育成した。特に、ビーム強度の増強に必要なニュートリノビームの運用とその目であるモニタリングを、Cao 氏をリーダーとして実施した。また、Van 氏と中家は CP の破れの探索感度向上に必要な系統誤差、ニュートリノ反応によるものを削減し、シミュレーションとその物理モデルの改良を進めた。さらに、(3)これらの結果を使って大統一理論やレプトジェネシスのモデルの予言と比較し、素粒子の標準模型を超えた理論の探求を進めた。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

素粒子物理学の重要課題であるニュートリノ質量と CP(粒子・反粒子)対称性の研究を、加速器ニュートリノ振動実験 T2K で行った。T2K 実験は、ニュートリノ振動を精密に測定することで、(1)ニュートリノ質量差とニュートリノ間の混合率を決定し、(2)ニュートリノと反ニュートリノの間で CP 対称性が破れているかどうかを検証できる。ニュートリノ振動は素粒子の標準模型を超えた現象で、ニュートリノ質量とその混合を決めることで、大統一理論のモデルに重要なインプットが得られる。また、我々の宇宙は物質だけからできていて、反物質がほとんど存在しない。この物質からできた宇宙創生のシナリオを説明する理論としてレプトジェネシスが注目されており、そこでニュートリノにおける CP の破れを探ることが重要である。T2K 実験のニュートリノ振動の測定精度と CP の破れの探索感度は世界最高レベルにあり、本研究でニュートリノ研究が進展した。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

ニュートリノ研究で世界を牽引してきた日本の研究者と、素粒子の研究が発展し始めたベトナムの研究者が共同で研究することで、(1)ベトナムに素粒子実験研究の中核となるグループを育成し、(2)ベトナムの基礎科学研究全般を促進させ、(3)優秀なベトナム人研究者が日本で活躍できるようにした。本共同研究においては、ベトナムの研究者が日本の T2K 実験に参加し、T2K 実験の運用と、高度化の要である大強度ビーム開発、物理解析の改善、に貢献した。また、T2K 実験の結果と素粒子の標準模型を超えた理論の探求を進めた。日本の研究者は、ベトナムの学生や研究員の研究指導を助け、ベトナム本国での研究拠点の形成に尽力した。新たにできた研究拠点 IFIRSE センター・ニュートリノグループで、Dr. Tran Van Ngoc 氏がベトナムで最初にニュートリノ研究で博士号を取得した。Ngoc 氏は今、日本学術振興会の外国人特別研究員として京都大学でニュートリノ研究を進めている。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資

する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本研究の結果は基礎物理学の将来に大きなインパクトを与えた。ニュートリノの研究とCPの研究では、2002年、2008年、2015年に日本人研究者がノーベル物理学賞を受賞している。それらに続き、ノーベル賞クラスの研究成果が生まれることで、素粒子物理学は日本の国民(とベトナムを含むアジアの人々)に夢と自信を与えている。また、CP対称性の破れは宇宙の成り立ちを探る上で重要で、「なぜ我々の宇宙ができたのか?」、「なぜ我々が存在するのか?」、といった人類の根源的な問いに対峙する。今後発展が期待できるベトナムで、素粒子物理学(基礎科学)の新しい芽が生まれたことで、ベトナムと日本の学生と研究者の交流が活発化し、日本がアジアの中で確固たる地位を築くことにつながる。以上に加えて、素粒子の最先端科学技術の応用(インターネット、放射線計測、ビッグデータ解析、微弱光測定技術、等)は、すでに社会の隅々に行き渡り、大きな貢献をしている。本研究で開発する素粒子実験の最先端技術も、21世紀の社会生活にも大きな影響を与えると考えている。その例は、微弱光を検出する半導体光検出器や、高度な素粒子実験データの解析に活用しているAI技術であり、それらの研究を通して日本とアジアにこれから必要となる高度理系人材の育成する教育研究機関が誕生した(ベトナムのICISE研究所IFIRSEセンター・ニュートリノグループ:

<https://ifirse.icise.vn/nugroup/>)

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

本事業が主催したVietnam Neutrino School (VSON)(<https://ifirse.icise.vn/nugroup/vson/2023/index.html>)に、日本からはのべ20名近い京都大学、神戸大学、東京大学等の大学院生が参加した。ベトナム側は2020年度~2023年度でのべ50名近い学生がVietnam Neutrino Schoolに参加し、素粒子物理学とニュートリノ科学の基礎知識を取得した。素粒子物理学の教育レベルでは日本が格段に進んでいるが、ベトナム人学生は将来への期待や素粒子物理学や基礎科学へ高い研究動機を持っていた。成熟した感(安定感)のある日本人学生と、発展途上にあるエネルギッシュなベトナム人学生が混じることで、日本人学生にもアジアのリーダーとしての自覚と挑戦心が育まれた。またT2K実験には、他にも欧米の大学院生が多数参加していて、世界各国の学生と協力して研究を進めたことで、若手日本人研究者とベトナム人研究者の両方が高い国際性を身につけた。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本研究の大きな成果として、ベトナム Quy Nhon 市にできた研究センターICISE (International Center for Interdisciplinary Science and Education)内に、IFIRSE 研究所(The Institute For Interdisciplinary Research in Science and Education) ニュートリノグループが誕生したことである。初代ニュートリノグループリーダーとして、本研究メンバーの Son CAO 氏が着任した。IFIRSE 研究所は博士養成コースを備えており、ニュートリノグループからの最初の博士が Dr. Tran Van Ngoc 氏である。Dr. Tran Van Ngoc 氏は、その後、日本学術振興会の外国人特別研究員として、京都大学でニュートリノ研究を続けている。将来発展の可能性として、さらなる博士の創出、ニュートリノ・素粒子物理を超えた基礎科学者の育成が期待できる。

(7)その他(上記(2)~(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

特になし