

日中韓フォーサイト事業令和元(2019)年度採択課題 中間評価資料(進捗状況報告書)

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	核子から核物質にいたる量子多体系の織りなす極限条件下の多彩な核構造		
日本側拠点機関名	国立大学法人大阪大学		
研究代表者 所属部局・職名・氏名	核物理研究センター・教授・青井考		
相手国側	国 名	拠点機関名	研究代表者 所属部局・職名・氏名
	中国	中国原子能科学研究所	Department of nuclear physics ・ Professor ・Bing Guo
	韓国	ソウル大学校	Department of Physics & Astronomy ・ Professor ・Seonho Choi

2. 研究交流目標

申請時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

※新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、申請時に予定していた共同研究の実施、セミナーの開催及び研究者交流等が困難又は延期せざるを得なかった場合、当初目的の達成に向け代替的に行った取組があれば、その成果も含めて記入してください。

○申請時の研究交流目標

原子核物理の最前線では、中性子数や陽子数を制御して天然に存在しない不安定原子核の実験が可能になり、様々な核反応を高分解で分析する技術の進展と併せて核構造の理解が大きく深化している。現在日本には世界の原子核物理分野を牽引する加速器施設が存在し、さらに数年後には中国、韓国で次世代の加速器施設が稼働を開始するなど、世界の原子核研究のなかでアジアの存在感がますます高まることは間違いない。このような好機の中で、日中韓の3カ国が強い交流をもつ仕組みを作ることの意義は極めて大きい。本事業では、核子から核物質に至る広義の原子核における特異な構造を日中韓の協力のもと、以下の3つの視点で解き明かす。

A. 極限状態下の原子核の特異な構造の解明

不安定核ビームを用いた実験研究が可能になると、中性子ハロー構造や魔法数の消滅や新魔法数の出現などの新奇な構造が主として軽い領域で見つかり、原子核研究に新しいパラダイムをもたらした。こうした特異構造は重い質量領域ではさらに多様化し、ハローと変形の相乗効果、多中性子クラスター、励起エネルギー軸に向けた殻構造進化、異なる変形状態の共存と混合など多彩な特異構造の発現が予想されている。

B. r 過程及び s 過程に関わる原子核構造の解明

我々の身の回りのあらゆる物質を構成する元素は天体における原子核反応で生成された。鉄よりも重い原子核は r 過程及び s 過程と呼ばれる中性子捕獲と β 崩壊の連鎖で合成されると考えられており、実際に、重力波により観測された中性子星合体は r -過程の存在を強く支持するものであった。こうした元素合成過程を理解するために、原子核物理からのアプローチとして、 r 過程及び s 過程に関与する原子核構造を解明する。

C. 状態方程式

核物質の状態方程式は原子核物理的な観点に加え中性子星の構造を決定するという観点での重要性を持つ。中性子星の芯部での中性子過剰物質の圧力と重力との釣り合いや、殻部において原子核が析出してできるいわゆるパスタ相の形成とその動態を理解するために、様々な環境における状態方程式を知る必要がある。

これらの重要課題に、最先端の加速器を駆使し、理論的にも *ab initio*、殻模型、平均場、クラスターなど多彩な手法で挑む。中性子過剰領域での殻構造が r 過程経路を支配しており、また、対相関やアルファ相関の変質は状態方程式に大きな影響を与えるなど、3つのテーマは互いに強く関連しており、複合的に研究を遂行する。

○目標に対する達成度

上記目標に対する2年分の計画について

(※期間延長対象課題の令和2年度事業については、延長期間終了日までの状況を踏まえること。)

☐ 研究交流目標は十分に達成された。

☐ 研究交流目標は概ね達成された。

☐ 研究交流目標はある程度達成された。

☒ 研究交流目標はほとんど達成されなかった。

【理由】

本事業は国際交流を前提とし研究を推進することを目的としている。原子核物理の実験研究は大型の施設である加速器を用いるという特徴があり、研究者は各国の特徴ある加速器施設に赴き、他ではできない研究を策定し実施する。理論研究者も加速器施設周辺で実験研究者と共に研究計画を策定し、また、生み出される最新の結果をもとに理論研究を行う。日本は世界を牽引する加速器施設がすでに稼働しており、中国、韓国では新しい大型の施設が完成間近で、研究計画を策定し、実験の準備を進める段階にある。その意味で日中韓の交流を推進する本事業はまことに時宜を得ており、期待が大きく、実際、多くの研究者がさまざまな研究計画を提案している。しかしながら、残念なことに、本事業開始直後から新型コロナウイルス感染症拡大の影響で国際交流が実質的に不可能になった。

テレビ会議等を通じ実施した最低限の共同研究は満足のものではなく、当初計画した研究交流目標はほとんど達成されなかった。

3. これまでの研究交流活動の進捗状況

※新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、申請時に予定していた共同研究の実施、セミナーの開催及び研究者交流等が困難又は延期せざるを得なかった場合、代替的に行った取組があれば、その内容及び成果も含めて記入してください。

(1) 令和3年7月末までの研究交流活動(期間延長対象課題の令和2年度事業は延長期間終了日までの状況を含む)について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。

※各年度における派遣及び受入実績については、「中間評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

中韓との実際の行き来をとまなう共同研究は初年度のキックオフミーティングを除いて全く実施できなかった。代替的にオンライン会議による交流を実施したが、成果は限られた。特に実験研究は実験者が加速器施設に赴かなければ本格的な研究参画は難しい。オンラインでシフトを取るなどの工夫はしたがそれでは想定していた深い共同研究は実現できるものではない。

本事業が2019年に発足すると、その直後の12月に、本事業と同時に開始した「原子核と元素の存在限界到達に向けた反応ダイナミクスの研究」との合同でキックオフミーティングを実施し、両事業の展望を日中韓の研究者で議論した。「原子核と元素の存在限界到達に向けた反応ダイナミクスの研究」との共同の全体会合は年次的に開催することとし、実際に、令和3年度までオンラインとはいえ継続して開催し、全体での情報共有と今後の展望について議論をしている。その議論の中で、大型の検出器を共同で開発するための枠組みが出来つつある。

具体的な研究の進捗の概要について、「申請時の研究交流目標」で設定した3つの研究テーマごとに示す。

A. 極限状態下の原子核の特異な構造の解明

中性子超過剰核や超重核など、極限状態下における特徴的な構造を解明することを目指している。これまでの三年間で、日中韓の高分解能ガンマ線検出器を日本に持ち込み、ガンマ線核分光研究をおこなった。理研 RI ビームファクトリーでは、中国(IMP)および韓国(IFS)のゲルマニウム検出器を欧州および米国の検出器と組み合わせ、中性子過剰原子核の核構造を解明するキャンペーン実験(HiCARI)を実施した。日本原子力研究機構タンデム加速器施設では、中国(IMP)の検出器を使用し、アインスタニウム標的による核構造研究をおこなった。

その他の研究計画は単独の国でできる準備もしくはオンライン会議での計画策定を行った。

B. r 過程及び s 過程に関わる原子核構造の解明

中性子星合体などで進行すると考えられているr過程核元素合成に関与する原子核の核構造を包括的に理論モデル化し、核質量、中性子捕獲および β 崩壊率を理論的に予想し、r過程の理解を深めることを目的とした「A3LIB」プロジェクトを開始した。この研究は、中性子過剰核の核構造と核反応の両方の理解が不可欠であり、「原子核と元素の存在限界到達に向けた反応ダイナミクスの研究」との共同研究プロジェクトとしている。

C. 状態方程式

アクティブ標的を開発し、安定核ビームおよび不安定核ビームを用いた逆運動学質量欠損分光を行う実験についての準備をすすめている。状態方程式は原子核物理分野の重要課題の一つであり、日中韓の各加速器施設で実験計画の策定が行われている。上にも述べたように、加速器施設毎にエネルギーや核種などの違いがある一方で、実験技術としては共通化できる点も多い。加速器施設の多様性を活かした上で、各グループの専門性を共有し、多角的な研究を目指す。

○セミナー

	令和元年度	令和2年度 (期間延長対象課題は終了日まで)	令和3年度4～7月末 (令和3年度事業として上記期間に実施したもの)
国内開催	2回	2回	0回
海外開催	1回	1回	0回
合計	3回	3回	0回

【概要】

本事業が発足した2019年12月に、本事業と同時に開始した「原子核と元素の存在限界到達に向けた反応ダイナミクスの研究」との合同でキックオフミーティングを実施し、本事業の展望を日中韓の研究者で議論した。「原子核と元素の存在限界到達に向けた反応ダイナミクスの研究」との共同の全体会合は年次的に開催することとした。年次大会では、各グループの研究の進展について全体で情報共有し、今後の展望について議論をしている。日中韓の研究代表者合計6名で本事業の運営計画や研究会の実施について議論している。

日本および中国で定期的にスクールを開催しているが、スクールはリモート開催が比較的うまく機能しており、多くの学生が参加している。ただし、学生間の交流には限りがある。

○研究者交流

【概要】

新型コロナウイルス蔓延のため、キックオフミーティングを除いて、対面の国際交流は実施できていない。

(2) (1)の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、以下の観点から記入してください。

○世界的水準の研究交流拠点の構築状況

・日本側拠点機関及び相手国拠点機関の交流によってえられた、世界的水準の国際研究交流拠点となりうるような学術的価値の高い成果

新型コロナウイルス蔓延のため、対面の国際交流はほとんど実施できておらず、当初の計画は実現できていない。

そうした困難な状況の中、検出器に関する共同研究は比較的進展している。

まず、共同研究の項目でも記したように、中韓のガンマ線検出器を日本の加速器施設に持ち込み、他ではできないユニークな実験を実施した。このこと自体大きな成果であるが、今後も、共同で大型の検出器を開発運営していくことの重要性が再認識され議論が始まっている。このような必要性和有効性はガンマ線検出器に限ったことではなく、アクティブ標的や、散乱粒子検出器などで共同開発をする計画が年次の全体会合で議論されている。

・研究交流活動の成果から発生した波及効果

○若手研究者育成への貢献

・若手研究者が身につけるべき能力・資質等の向上に資する育成プログラムの実施及びその効果
本事業では以下の三本柱で若手の教育を推進していく。

1. 外国人研究者との交流
2. スクールの開催
3. 国際会議への派遣

まず外国人研究者との交流においては、原子核の実験研究は加速器という大型の施設を利用するため、自ずと比較的大きな規模の国際共同研究チームとなる。若手研究者がそうしたグループの中に身を置き、最先端の研究を実施することは若手研究者の育成にも大きく資することになるが、本事業を実施期間中にはそれがほとんど叶っていない。

その一方で、本事業で当初より計画していた日本および中国でのサマースクールはオンライン開催が比較的うまく機能した。参加への敷居が下がったという点ではむしろ、有利に働いたとすら言える。日本で実施したサマースクールは、東京大学原子核科学研究センターが2002年より開催をしてきたものを2019年より共催という形で実施した。比較的歴史の長いスクールであり世界のトップクラスの講師陣による講義には高い教育効果がある。本事業が共催することで、中韓からの学生の積極的な参加が促される効果があった。

スクールの重要な目的の一つは、学生同士の交流にある。セッション中に各国の同世代の若手の存在を知り、さらに懇親会や場合によってはソーシャルイベントなどで築いた友人関係は一生の財産である。オンライン開催ではこの面が弱く、意識して学生間の交流を促すプログラムを計画したものの、やはり対面での交流には遠く及ばない結果であった。

・日本と交流相手国における次世代の中核を担う若手研究者の研究ネットワーク構築状況

上で述べたような厳しい状況でも若手研究者はネットワークを構築する努力が見られたが、結果は限定的であったことは否めない。本年度以降は新型コロナウイルス感染症が収束し、国際交流も徐々に以前の水準に戻っていくことを期待してる。その暁には国際共同実験や理論を含む対面の議論、国際会議などで、若手研究ネットワーク構築を意識した試みを推進していきたい。