

(様式 7)

採用年度	平成 23 年度
種別	国際戦略型

先端研究拠点事業

平成 25 年度 事業実績報告書 (最終年度用)

(※本報告書は、前年度までの事業実績報告書とともに事後評価資料として使用します。

「全期間」について記入する箇所は拠点形成型の期間も含めてご記入ください)

平成 26 年 4 月 1 1 日

採用番号	21002
領域	数物系科学
分科	物理学
細目	素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理 (実験)
分科細目コード	4302
研究交流課題名 (和文)	電子・光子ビームによるストレンジネス物理 国際連携研究プラットフォームの構築
研究交流課題名 (英文)	Establishing an International Collaboration Platform for Strangeness Nuclear Physics by Electron Beams
採用期間	平成 21 年 4 月 1 日 ~ 平成 26 年 3 月 31 日 (60ヶ月)

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	東北大学大学院理学研究科
実施組織代表者 (所属・職・氏名)	研究科長・早坂忠裕
コーディネーター (所属・職・氏名)	大学院理学研究科・教授・田村裕和
協力機関数	6
参加者数	45

相手国 1

国名	米国
拠点機関名	国立ジェファーソン加速器研究施設
コーディネーター (所属・職・氏名)	ジェファーソン研究所物理部、ハンプトン大学 教授 Liguang TANG
協力機関数	3
参加者数	10

(様式7)

相手国2

国名	ドイツ
拠点機関名	マインツ大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	マインツ大学原子核研究所 所長、教授 Josef POCHODZALLA
協力機関数	1
参加者数	7

相手国3

国名	イタリア
拠点機関名	イタリア原子力機関・ローマ
コーディネーター（所属・職・氏名）	イタリア原子力機関ローマ&ジサニタ国立衛生研究所 教授 Franco GARIBALDI
協力機関数	3
参加者数	11

相手国4

国名	チェコ
拠点機関名	チェコ科学アカデミー原子核物理研究所
コーディネーター（所属・職・氏名）	原子核研究所研究員 Dr. Petr BYDZOVSKY
協力機関数	0
参加者数	3

1. 交流目標の達成状況

目標の達成状況を、A~Eのそれぞれの観点から、ポイントを絞って記載すること。

A 学術的な成果 B 持続的な協力関係の基盤構築 C 若手研究者育成における成果

D 国際的学術情報の収集整備 E 事業の波及効果

1-1 平成 25 年度研究交流目標の達成状況

① 平成 25 年度事業計画における達成目標

ストレンジネス核物理の中でも特に重要なラムダハイパー核精密分光研究を米国 JLab, ドイツマインツ大学 MAMI-C において推進する。特に発展を目指す研究課題としてハイパー核の π 中間子崩壊分光研究があげられる。また、これまでに JLab で収集した $(e,e'K^+)$ 反応を用いたハイパー核反応分光実験のデータ解析をすすめて、理論家との議論の上物理的理解を深め、軽いラムダハイパー核の構造に関して新たな知見を得ることを目的とする。さらに、JLab における ^{208}Pb 標的の使用を視野に入れた次世代実験のデザインを本プロジェクト研究者による国際共同研究として進める。

上記ハイパー核研究と並行して、東北大学電子光理学研究センター(ELPH, 旧核理研)で収集した中性 K 中間子生成過程の実験データを解析し、ストレンジネス電磁生成過程に関する知見を得る。同時にドイツ MAMI-C における電磁相互作用によるストレンジネス生成素過程に関する実験研究についてもデータ収集、データ解析の両面から共同研究を展開し、次世代実験計画を検討する。

研究ネットワークの強化および持続的協力関係基盤構築のため、平成 25 年度も 2 回の国際セミナーを予定している。一回は国際共同研究グループミーティング的性質の強い会議を米国ジェファーソン研究所(ニューポートニュース、ヴァージニア州)もしくはフロリダ国際大学(マイアミ)において開催する。もう一回は、ヨーロッパにおける拠点機関であるドイツ、イタリアの研究者の多くが介するトルコケメルにおける第四回原子核フラグメンテーション国際会議(NUFRA2013)と共同開催で行う。会議の形態については現在組織委員内で議論しているが、欧州側拠点機関の本プログラムに対応する SPHERE と日本の core-to-core の共同開催セッションを NUFRA2013 の一部として開催することを検討している。NUFRA2013 で plenary talk として発表される研究テーマと相補的にストレンジネス物理の議論を深めるために core-to-core セミナーを有効に利用する。

若手育成の観点から、上記共同研究、セミナーの実施においてはこれまで同様、博士・修士大学院生を含む若手研究者を積極的に参加させ国際環境下における若手育成を推進する。一昨年、昨年度と開催したストレンジネス核物理国際スクール(SNP school 2012 および SNP school 2013)は若手研究者の育成上極めて有効であったので、今年度も引き続き第 3 回ストレンジネス核物理国際スクールを関連機関の協力を得た上で開催し、若手研究者同士が切磋琢磨できる環境を整え、次世代を担う世界の若手原子核物理研究者育成を目指す。

国際的情報発信、情報収集のため、イタリアフィレンツェで開催される国際原子核物理会議(INPC2013)に研究者を 1 名派遣し、ハイパー核分光に関し報告し、関連する理論・実験研究者と情報交換を行う。

② 平成 25 年度事業計画の達成状況 ※成果の公表状況は、別紙 1 論文リストにて作成のこと。

平成 25 年度はマインツ大学において東北大が開発した GEM トラッカーの性能評価のためのビームタイムを実施した。また、2011 年、2012 年に収集した電磁生成したハイパー核崩壊中間子分光実験のデータ解析を日本、ドイツグループが独立して進めた。定期的な TV 会議、マインツ大における議論の上、互いの解析スキームをクロスチェックし、 $^4_\Lambda\text{H}$ ハイパー核の崩壊から生じる π 中間子の精密測定に成功した。現在、論文投稿準備中である。この測定はハイパー核 π 中間子分光という新しい研究手法が極めて有用であることを証明し、今後の展開へと繋がる重要なワンステップである。また、 $^4_\Lambda\text{H}$ は 2013 年 1 月に我々が世界で初めて決定した $^7_\Lambda\text{He}$ 基底状態の束縛エネルギー(S. N. Nakamura et al., Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 012502)により注目を浴びている Λ -核子間の荷電対称性の破れと関連して極めて重要なハイパー核である。マインツ大学での研究をベースに着実に強化されている国際共同研究体制を軸に、現在 12GeV アップグレードのためシャットダウンされている米国ジェファーソン研究所の次期研究計画を欧米の研究グループと共にプロポーザルの形でまとめ JLab PAC40 に提出した。物理的意義は充分認められたものの、余りに広範囲にわたるプログラムを一度に大量に提案したため、研究プログラムの整理、優先順位の策定を研究所から求められた。現在、この目的に特化した国際レビューワークショップを計画している。東北大 ELPH においては平成 25 年末にビームが震災以降初めて復興したため、東北大が開発した中性 K 中間子スペクトロメータの復旧、新型実光子タガーの開発を急いでいる。

国際セミナーに関しては当初の予定通り、トルコケメルにおける第四回原子核フラグメンテーション国際会議(NUFRA2013, 2013 年 10 月)において第 9 回 core-to-core セミナーをヨーロッパの SPHERE プログラムと共催した。ここで本事業メンバーが NUFRA2013 国際会議の招待講義を行い(S. N. Nakamura, Challenges in research of hypernuclei)、JSPS-SPHERE が共催したセミナーでは日欧の若手研究者を中心に発表議論を行い、国際共同研究体制の強化をはかった。

(様式 7)

また 12 月には第 10 回 core-to-core セミナーを拠点国であるチェコのプラハ科学アカデミーにおいて開催した。これは当初米国ジェファーソン研究所において開く予定であった国際共同研究グループミーティング的側面を持つ会議であり、理論、実験の双方がハイパー原子核研究、ストレンジネス物理の現在と将来計画についてモデレータによるプレゼンテーションの後、自由に議論、討論を行うというスタイルで行った。イタリアのフィレンツェで行われた国際原子核物理会議(INPC2013)では、本事業メンバーがプレナリセッションにおいて招待講演を行い(S.N.Nakamura, “Strange Light Nuclei”)、本事業で達成した軽いハイパー核研究の説明を中心に、世界のハイパー核研究についてレビューを行った。

1-2 移行審査時の研究交流目標の達成状況

① 移行審査時の研究交流目標 (移行審査資料に記載した目標を転載のこと)

ストレンジネス核物理は我が国の研究者が実験理論両面から先導している 21 世紀原子核物理の最先端研究分野である。特に、KEK 12 GeV 陽子シンクロトロンにおけるハイパー核分光研究の大きな成果やいよいよ実験が開始されつつある J-PARC ハドロン実験室における多彩な実験計画の進行、さらにこれらの実験グループと我が国のすぐれた理論研究グループとの協働によって、我が国がストレンジネス核物理研究の中心にあることは広く認められてきた。しかしながら、これらの加速器施設において実施されるストレンジネス物理は π 、K 中間子ビームを主としたハドロンビームによる反応によるものであり、より高精度の実験研究が期待できる電子ビームを用いたストレンジネス生成過程およびハイパー核分光研究の推進が可能となったのは最近のことである。日本側拠点機関である東北大学原子核物理グループは、ハドロンビームによるハイパー核研究の実績をもとに、米国ジェファーソン研究所において、ハドロンビームと相補的な電子ビームによるハイパー核研究プログラムを成功裏に推進してきた。拠点形成型プログラム時点では、ストレンジネス生成およびハイパー核分光研究に必須の連続 GeV 電子ビームを供給できる加速器は事実上米国ジェファーソン研究所のみであったが、2008 年にドイツ MAMI-C 加速器が 1.5 GeV の連続電子ビームを加速に成功し、ストレンジネス物理研究が可能となったことを受けて、ジェファーソン研究所での日米伊 3 国の実験グループの共同研究に加え MAMI-C を持つ独自の MAINZ 大学グループを加えた日米欧 3 極の国際連携プラットフォームの構築を目指した。また、東北大学における電子加速器におけるストレンジネス生成過程研究の実験も新たに建設された中性 K 中間子スペクトロメータ 2 を最大限生かしたデータ収集が開始されつつある点も強みである。いずれも、拠点形成型プログラムの下に国際ネットワークを通じて世界の関連分野理論家とも協働し研究が大きく前進し、この 2 年間でストレンジネス核物理分野の国際連携プラットフォームが構築されつつある。同時に、我が国においては、J-PARC が中間子ビームを供給し、ハドロン実験室におけるストレンジネス核物理実験がスタートしつつある。国際的には、より広い展望のもとに、電子ビームおよびハドロンビームを両輪としてストレンジネス核物理実験の展開が可能な新時代が幕開けようとしている。

今回移行提案する国際戦略型プログラムは、拠点形成プログラムにおける成果、ストレンジネス核物理分野における最新の研究動向および関連する加速器施設の整備状況を見据えて、以下の 3 目標を設定して展開する。

1. 電子ビームによるストレンジネス生成過程およびハイパー核分光国際共同実験研究の推進
2. 本提案分野におけるより強い実験、理論の協働関係を強化しつつグローバルネットワークを構築
3. グローバルネットワークを構築しつつ、最大限活用してストレンジネス核物理若手研究者を養成

特に、本プログラム終了時点頃には本格化する J-PARC がストレンジネス核物理に関わる実験研究グループとも協働して、電子ビームのみならずハドロンビームによるストレンジネス核物理分野も含めた総合的ストレンジネス核物理推進を担う国際連携ネットワークを我が国の主導下に構築・展開することを構想している。

国際戦略型プログラムにおいては、拠点形成型で確立されたストレンジネス物理連携プラットフォームにおける JLab および MAMI 加速器施設における各共同実験研究プログラムを深化させるとともに、チェコ科学アカデミー原子核物理研究所を拠点機関として追加して、既に開始していた理論研究グループを含む国際ネットワークを強化する。本プログラムは電子ビーム加速器施設で実施されるストレンジネス核物理共同実験研究を中心に推進されるが、同時に我が国に世界の中心施設として建設され稼働を開始した J-PARC、ドイツ GSI で計画されているハドロン加速器におけるストレンジネス核物理研究とも連携、強力を密にし、我が国が主導する電子ビームおよびハドロンビームによるストレンジネス核物理の総合的国際ネットワーク構築に結びつける計画である。そのため、特に本プログラムのスクールは、J-PARC 研究者とも協力してストレンジネス核物理に関わる実験理論両面から世界の若手研究者の養成を目指して GSNP(Global Strangeness Nuclear Physics) School を組織することを提案している。

○目標に対する達成度とその理由

- 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】

移行審査時に目標とした以下の三項目はどれも十分に達成された。

1. 電子ビームによるストレンジネス生成素過程およびハイパー核分光国際共同実験研究の推進
東北大学が中心となりジェファーソン研究所で創始した電子線を用いたハイパー核分光研究は、その可能性を証明したジェファーソン研究所 Hall-C における我々の 3 回に渡る実験に加え、その後、イタリアグループを中心とする Hall-A コラボレーション、ドイツマインツ大学 MAMI-C 加速器において独立の研究グループが誕生し展開をみた。本プログラムにより、日本、米国、ドイツ、イタリアによる電子線を用いたハイパー核、ストレンジネス物理を推進する国際共同実験グループの共通プラットフォームが確立した。ジェファーソン研究所においては Hall-C, Hall-A で別個に研究を推進していた国際共同グループが日本、米国、イタリアグループを中心として共同で新しい実験提案を行うためのより大きな国際共同実験体制が整い、ドイツマインツ大学でも本プログラムでの共同研究をコアにして実現した東北大学理学研究科とマインツ大学物理学・数学・計算機科学部との部局間協定を元に持続的な国際共同研究体制が確立した。これに加え、チェコ科学アカデミー原子核研究所の理論的サポートを加え、日本を中心とするストレンジネス物理国際研究体勢が整った。本プログラムでは電子線を用いたストレンジネス、ハイパー核研究を行っていた東北大、米国ジェファーソン研究所、ドイツマインツ大学、イタリア INFN ローマ、チェコ科学アカデミー原子核研究所を拠点機関として研究を展開したが、それに留まらず日本の大強度陽子加速器研究施設 (J-PARC) における中間子ビームを用いたハイパー核研究グループとの密接な共同研究体制が確立した。
2. 本提案分野におけるより強い実験、理論の協働関係を強化しつつグローバルネットワークを構築
前述のようにジェファーソン研究所における 東北大を中心とする Hall-C (HKS-HES) collaboration, イタリアグループを中心とする Hall-A hypernuclear collaboration, また MAMI-C におけるドイツグループを中心とする A1 hypernuclear collaboration さらにチェコ科学アカデミー理論部は東北大をハブとして有機的に結合した。特にヨーロッパにおける本プログラムに類似した SPHERE プログラムとの連携は極めて有意義に働き、日本の JSPS-core-to-core プログラムがヨーロッパと日本+米国の連携、グローバルネットワークの構築に関して極めて重要な働きをした。
3. グローバルネットワークを構築しつつ、最大限活用してストレンジネス核物理若手研究者を養成
上記のように確立したグローバルネットワークをベースに本プログラムの下、日本において 3 回に渡り開催したストレンジネス核物理国際スクール (SNP School 2012, 2013, 2014) は欧米の若手研究者が東海 (J-PARC), 仙台 (東北大) に結集し、若手研究者の交流を著しく促進した。また、SPHERE program と共催して海外で開催した JSPS core-to-core seminar においては本プログラムメンバーの大学院生も含む日本の若手研究者が積極的に発表を行い、若手研究者の育成上、極めて重要な働きを行った。また、本プログラムのもと、若手研究者をマインツ大学、ジェファーソン研究所に比較的長期に渡り派遣、研究に従事させることが可能であったため現地において世界各国から集まった優秀な若手研究者と共同研究を通じ切磋琢磨し、海外でしか養うことができない真の国際性の獲得に寄与することが可能であった。

上記 1, 2, 3 のように、本プログラムの研究交流目標は十分に達成され、さらに電子ビームに留まらない国際研究体制を確立したという意味で、予想以上の成果を上げたといえる。

2. 実施状況

① 研究交流計画実施にあたる実施体制

全期間にわたる「日本側拠点機関の実施体制(拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等)」、「相手国側拠点機関との協力体制(各国の役割分担・ネットワーク構築状況等)」、「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

<日本側拠点機関の実施体制(拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等)>

東北大を中心とする電子ビームを用いたハイパー核国際共同研究グループ(HKS-HES collaboration)をベースに米国ジェファーソン研究所(JLab), ドイツマインツ大学という拠点機関を軸として、これに JLab でハイパー核実験を推進していたイタリア INFN Rome、理論的協力関係にあるチェコ原子核研究所が加わり 1)電子線を用いたハイパー核精密分光研究、2) ストレンジネス電磁生成過程の研究という共同研究を推進した。

上記、国際共同研究は東北大が中心となって創始した電子線を用いたハイパー核精密分光という研究手段が基盤になっており、東北大は本プログラム拠点機関として上記共同研究を主導的に推進した。

また大強度陽子加速器施設 J-PARC は世界最大強度の K 中間子ビームを供給できる研究機関であり、本プログラムで推進したハイパー核電磁生成と相補的な中間子ビームを用いたハイパー核分光研究の世界的コアである。東北大は J-PARC においても研究を強力に推進しているため、本プログラムの拠点機関(米国 JLab, ドイツマインツ大、イタリア INFN Rome、チェコ科学アカデミー原子核研究所)のハブ拠点としての役割と同時に J-PARC, 中間子ビームを用いたハイパー核研究へのゲートとしての役割を果たした。J-PARC(KEK/JAEA)との密接な協力体制は、本プログラムで3回に渡り実施した若手育成のためのストレンジネス核物理国際スクールを東北大主催、JAEA 先端研と共催で行い成功させる上で極めて重要であった。本国際スクールが日本のストレンジネス核物理の将来のために重要であることは他機関においても十分に認識され、東北大電子光科学研究センター、阪大核物理研究センター、理研仁科センター、ハイパフォーマンスコンピュータインフラ(HPCI 領域 5)の全面的協力を得ることができた。

<相手国側拠点機関との協力体制(各国の役割分担・ネットワーク構築状況等)>

米国ジェファーソン研究所はハイパー核電磁生成分光が可能な電子線加速器 CEBAF のホストとして、ハイパー核電磁生成分光研究の米国における拠点として中心的役割を果たした。ドイツマインツ大学もまた、近年の加速器のアップグレードにより、これまで CEBAF でのみ可能であったハイパー核電磁生成分光実験が可能な施設として、ヨーロッパにおける同研究のコアとしての役割を果たした。特にドイツのコーディネータである Pochodzalla 教授はヨーロッパにおける本プログラムに相当する SPHERE プログラムのリーダーであり、JSPS-core-to-core セミナーと SPHERE meeting の共催という形で、ヨーロッパにおけるストレンジネス研究ネットワークの構築に大きく貢献した。イタリア INFN ローマは米国ジェファーソン研究所において我々の国際共同研究グループとは別のグループを率いてハイパー核研究を行っていた経験を活かし、我々と協力してジェファーソン研究所における将来計画の構築を推進した。チェコ科学アカデミー原子核研究所はハイパー核電磁生成に関する理論的研究を日本の理論家と共同でリードし、将来実験のデザイン、収集したデータ解析において大きな役割を果たした。

上記のように本プログラムの拠点機関がそれぞれの得意とする分野でストレンジネス国際研究ネットワークの構築に貢献し、それを東北大が取りまとめる形で本プログラムの目指すネットワーク構築に成功した。

<日本側拠点機関の事務支援体制>

本プログラムの推進においては東北大国際交流科、理学研究科事務、物理学専攻事務の全面的協力の上、事業を推進した。特に国際スクールを毎年、年度末(2月後半)に実施したので、大量の海外からの学生、講師の出張手続きは混乱を極めたが、事務部門のサポートのおかげで無事、成功を収め、日本、欧米の若手研究者に加え、アジアの若手研究者も含めてストレンジネス物理の将来を担う若手研究者の育成に大きく貢献した。

② 共同研究

年度当初の交流計画をふまえ、共同研究を実施するにあたっての枠組み、活動内容、得られた成果等(国内外の拠点機関・協力機関との連携状況も、考慮すること)

(1) 平成 25 年度の状況

ストレンジネス核物理の中でも特に重要なラムダハイパー核精密分光研究を米国 JLab, ドイツマインツ大学 MAMI-C において推進した。昨年度に引き続き発展を目指す研究課題の一つとしてハイパー核の π 中間子崩壊分光研究がある。H23, 24 年度に収集したデータの詳細な解析を日本グループ、ドイツグループが独立に行い、

(様式 7)

その結果を付き合わせることで、 ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ 基底状態を崩壊 π 中間子分光により世界で初めて測定することに成功した。また、JLab で収集した $(e, e' K^+)$ 反応を用いたハイパー核反応分光実験のデータ解析をすすめ、理論家との議論の上、物理的理解を深めた。H24 年度は ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ に関して ΛN 相互作用に関する荷電対称性の破れに関して大きな知見を得ることに成功したが、これに関連する ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ に関してはほぼ最終的な束縛エネルギースペクトラムを得ることに成功し、本プログラムメンバーが韓国で開催された国際会議 The 3rd Korea-Japan workshop on nuclear hadron physics at J-PARC において発表した。さらに、本事業により確立した国際ネットワーク上において、解析手法の発展を目指し、電子ビームによる研究がまだ確立していない中重ラムダハイパー核である ${}^{52}_{\Lambda}\text{V}$ ハイパー核の質量スペクトラムを、まだ改善の余地はあるが得ることに成功し、より重いハイパー核研究への先鞭をつけた。また、もう一つの研究テーマであるストレンジネス電磁生成反応に関しては東北大電子光科学センター(ELPH)においてこれまでに収集したデータを元に、ジェファーソン研究所のデータと合わせて K^+ , K^0 電磁生成過程に関する研究を推進した。東北大電子光はこれまで東日本大震災によりビームが止まっていたが、その復興と同時により良い光子標的化装置を導入するためにマインツ大学で行ったビームテストの結果を考慮の上、光子標識化装置の開発を進めた。

(2) 全期間にわたる状況

電子ビームを用いたハイパー核研究を米国ジェファーソン研究所(JLab)およびマインツ大学 MAMI-C において展開した。JLab において東北大学が中心となり開発した HKS, HES スペクトロメータを用いて収集したデータから ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ ハイパー核の基底状態の束縛エネルギーを初めて決定することに成功した(S. N. Nakamura, Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 012502)。 ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ の測定により質量数 7 のハイパー核アイソ三重項の実験結果が揃うことになり、精密理論計算との比較から ΛN 相互作用の荷電対称性に関して新たな知見が得られた。このことが、電子ビームを用いた ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ の精密分光、J-PARC における ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ハイパー核のガンマ線分光という新たな研究のトリガーを引き、理論のさらなる研究の推進を促した。

また、世界最高精度である $\sim 500\text{keV}$ (FWHM) の分解能で ${}^{12}_{\Lambda}\text{B}$ ハイパー核反応分光に成功した。さらに、 ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ ハイパー核の最終解析を進めているが、このハイパー核も ΛN 相互作用の荷電対称性に関して重要な情報を与えると期待されている。東北大学、米国を中心とする国際共同研究ネットワークが電子ビームを用いた Λ ハイパー核研究を創始、確立、発展させてきたといえる。東北大—ジェファーソン研究所間でこれまで 10 年以上に渡り培ってきた国際共同研究体制が本プログラムにおいてストレンジネス物理の国際ネットワークのフレームワークへと発展、確立した。このフレームワークの下、ジェファーソン研究所においてハイパー核研究を推進してきたイタリアを中心とする国際共同研究グループと協力して次期実験のデザインを進めている。

また、本プログラムで強力な研究協力体制を築き上げたマインツ大学とは MAMI-C 加速器において電磁生成したハイパー核の崩壊 π 中間子分光というこれまでに前例のない新しい研究手段を共同で創始した。H23, 24 年に実施したパイロット実験では ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ 原子核のピークの観測に成功し、本研究手段の潜在的な能力を証明した。

この崩壊 π 中間子分光実験は元々、ジェファーソン研究所に実験提案していたものであるが、本プログラムで確立した国際ネットワークのおかげで、ジェファーソン研究所の CEBAF 加速器が 12 GeV アップグレードのため、シャットダウンになっている間であってもマインツ大学において研究を進めることが可能になり、国際ネットワークが極めて有効に働いたと言える。

本プログラムで達成したこれらの研究成果は JLab, MAMI-C, ELPJ-Tohoku で今後、さらなる発展が期待されると同時に、今後本格化する J-PARC における大強度中間子ビームを用いたハイパー核研究と相補的な役割を果たすと期待できる。

(様式 7)

③セミナー

(1) 全期間において実施したセミナー件数

	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度
国内開催	0 回	0 回	1 回	1 回	1 回
海外開催	2 回	2 回	2 回	2 回	2 回
合計	2 回	2 回	3 回	3 回	3 回

(2) 平成 25 年度セミナー実施状況

- ・研究交流計画におけるセミナーの位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、セミナーが果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な実施状況及び成果については、別紙2にて作成のこと

平成 25 年度は 2 回の JSPS セミナーをトルコ、およびチェコで開催し、1 回の JSPS 国際スクールを東海、仙台において主催した。トルコの会議 (S25-1) はヨーロッパにおける本プログラムと同種のプログラムである SHPERE network と共同で JSPS セミナーを国際会議 NUFRA2013 の一部として開催した。ストレンジネス物理の近年の成果を核破砕現象をキーワードとして実験、理論の両面から議論した。本プログラムで推進している崩壊 π 中間子分光はまさにハイパー核の破砕現象から生じるハイパーフラグメントの弱崩壊に関するものであり、本国際会議の中心テーマの一つであった。また、本プログラムメンバーである中村が他分野の研究者、学生に向けてハイパー核分光に関する講義を行った。JSPS セミナーとしては若手研究者にできるだけ発表の機会を与え、研究推進と同時に若手育成にも大きく貢献した。

チェコで開催した会議 (S25-2) は電子ビームを用いたラムダハイパー核分光実験をジェファーソン研究所のデータの最新解析結果、マインツ大学で推進している崩壊 π 中間子分光実験の最新解析結果を発表、これらの結果について実験、理論の両側面からブレインストーム的に議論を行った。これらの結果、および J-PARC において推進しつつある実験を踏まえ、ジェファーソン研究所における次世代実験のデザインを国際共同研究体制のもとスタートした。

日本において開催した JSPS ストレンジネス核物理国際スクール (SNP School 2014) はこれまでに SNP School 2012, 2013 と成功裏に開催した国際スクールの 3 回目として前半を J-PARC の位置する原子力開発機構東海キャンパス、後半を仙台の東北大学萩ホールにおいて開催した。講義はストレンジネス物理を軸にハドロン物理を含む広い分野における世界一流の講師陣により行われ、拠点国から派遣された若手研究者、日本・アジアの若手研究者が講義を聴き学ぶと同時に各自の研究成果を口頭、もしくはポスターで発表し切磋琢磨した。口頭、ポスター発表の最優秀賞として、本プログラム開始時のコーディネータである故橋本教授の名前を冠した橋本賞を授与し、若手研究者をエンカレッジした。参加者達から寄せられた感想でも極めて満足度の高いスクールであったとの意見が多数であり、未来のストレンジネス核物理を担うリーダーがここから育つと期待できる。

④研究者交流

- ・研究交流計画における研究者交流の位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
- ・交流目標達成に向け、研究者交流が果たした貢献を、具体的に述べること

(1) 平成 25 年度実施状況

イタリアフィレンツェで開催された国際核物理会議 (INPC2013) に本プログラムメンバー (中村) が invited plenary talk として招かれ、Strange Light Nuclei というタイトルで、本プログラムの成果である ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ ハイパー核、および関連する軽いハイパー核に関する近年の研究成果についてレビューを行った。この際、本プログラム拠点リーダーおよび、ストレンジネス物理に関する研究者と情報交換、国際研究ネットワーク強化のための方策を議論した。

また、別の本プログラムメンバー (神田) が韓国で開催された IEEE NSS2013 国際会議において、本プログラムの下、マインツ大においてテストビームタイムを実施した結果を下に開発中の ELPH-Tohoku 光子標識化装置に関して発表、関連する専門家から情報収集を行った。

(様式7)

(2) 全期間にわたる実施状況概要

研究者交流経費を用いることにより拠点国以外において開催された海外の会議、アメリカ物理学会核物理分科会(Anaheim)、素粒子原子核国際会議(PANIC11, Boston), IEEE NSS2013 等において助教、大学院生といった若手研究者が本プログラムで達成した研究成果を発表する機会を与えることができ、若手研究者育成に役立てた。これにより英語による研究者との議論能力、発表技術の向上が期待でき、これが本プログラム下における共同研究、セミナーにおいてより深いレベルでの議論を可能にした。

若手研究者育成と同時に、本プログラムコーディネータ、シニアメンバーが PANIC11, GRC, Tours2012, INPC2013 等において招待講演を行うことができ、本プログラムの活動を世界に広く発信、また原子核、素粒子研究分野における各方面の有力なリーダーと意見交換を行った。これによりプログラムを円滑に推進することができるようになった。

(様式 7)

3. 研究交流活動の成果

全期間の交流を通じての成果を、「国際学術交流拠点の形成」「成果の学術的価値」及び「若手人材育成への貢献」の観点から記入してください。また、活動成果の「情報集約性」「社会貢献性」がある場合には記入してください。

3-1. 国際学術交流拠点の形成

ジェファーソン研究所 Hall-C 実験室で東北大が中心となり進めていたハイパー核電子線分光に関する国際研究グループ HKS-HES collaboration とジェファーソン研究所 Hall-A で独立に研究を進めていたイタリアグループを中心とする研究グループが本プログラムにより共同で将来計画を練り、プロポーザルを作成するようになった。これによりお互いが持つ実験装置、実験技術の良いところ取りが可能になりジェファーソン研究所における将来計画が最適化された。また、ジェファーソン研究所における国際共同体制に、近年加速器のアップグレードにより電子ビームを用いたハイパー核研究が可能になったマインツ大学を中心とするドイツグループが加わり、さらに崩壊 π 中間子分光実験を東北大—マインツ大学の部局間協定をベースにマインツ大学でもハイパー核研究が本格化した。日米—イタリア—ドイツという実験グループのネットワークが有機的に接続し、これに元々強力な日本の理論グループ、チェコの理論グループが加わることにより、ストレンジネス物理研究ネットワークが本 JSPS core-to-core program とヨーロッパ SPHERE プログラムを軸として構成された。これに日本で世界で最も強力な K 中間子ビームが使用可能な J-PARC における実験グループ、中国、韓国の実験グループが加わり、電子ビームに限定されないより広範囲の「ストレンジネス核物理ネットワーク」が形成された。

3-2. 成果の学術的価値

本プログラムで達成されたジェファーソン研究所における世界で最初の ${}^7_{\Lambda}\text{He}$ の精密測定がラムダ粒子—核子間相互作用の荷電対称性の破れ(CSB)、というテーマの研究を世界中で活性化させた。

日本、チェコにおける理論グループによる CSB の議論、マインツ、ジェファーソン研究所における崩壊 π 中間子分光による ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ ハイパー核の精密分光研究、J-PARC における ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ のガンマ線分光実験と本プログラムで確立したストレンジネス研究ネットワーク上で世界中での研究が進んでいる。さらに ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ 、 ${}^{12}_{\Lambda}\text{B}$ 、 ${}^{52}_{\Lambda}\text{V}$ ハイパー核の電子線を用いたハイパー核精密分光の結果も得られつつあり、これから本格始動が予定されている J-PARC における中間子ビームを用いたハイパー核研究、ジェファーソン研究所における次期計画、マインツ大学における崩壊 π 中間子分光学の発展とこれからも本プログラムで確立したネットワークを通し、次々と学術的成果が続くと期待できる。

3-3. 若手人材育成への貢献

本プログラムにより海外における会議で研究成果を発表する経験を積むことのできた若手研究者は海外における英語による議論、発表の能力を伸ばすことができた。この成果をベースに本ネットワークを通じて展開される国際共同研究の中で海外の若手研究者と共同研究を進め、切磋琢磨することにより日本のストレンジネス物理の将来を担うリーダーを育てることに成功した。

また、3回に渡って開催したストレンジネス国際スクール(SNP School 2012, 2013, 2014)は国内外の高い評判を得ることになり、日米欧の若手研究者ネットワークの強化のみならず、アジアの学生との関係強化も可能にした。韓国、中国のアジアの学生は J-PARC における研究に参加し、日本の研究者を媒介して本プログラムの下、欧米の研究者との連携を深めることができた。

3-4. 情報集約性

現在、東北大学は定期的な TV 会議をジェファーソン研究所、マインツ大学と持っている。これは本プログラム終了後も続く予定であり、本ネットワークにより確立した日米欧のネットワーク上に最新のストレンジネス物理の研究情報が共有されるフレームワークが構築されたことを意味する。

3-5. 社会貢献性

本プログラムの研究成果の一部はオープンキャンパスや、日本物理学会東北支部の活動を通して高校への出前授業などで、一般の人間にも還元されている。

(様式7)

4. 経費の執行状況

4-1. 平成25年度の状況

事業実施状況との関連(研究者の交流数や、セミナー等会合の開催状況などと、経費の関連を、具体的に示すこと)

平成25年度は本プログラムにおける研究活動の米ジェファーソン研究所に研究者をのべ4人(34人・日)派遣することによりハイパー核電磁生成分光研究のデータ解析、次世代実験のデザインを行った。それに加えドイツではマインツ MAMI-Cにおけるビームタイムのため、のべ6名(202人・日)と比較的長期、大勢の研究者を派遣して、ハイパー核崩壊 π 中間子分光およびストレンジネス電磁生成素過程の研究を進めた。米国ジェファーソン研究所、マインツ大におけるハイパー核研究は全体の予算の40%弱、素過程の研究に25%程度を費やした。ハイパー核研究を推進する過程で、韓国におけるJ-PARCにおける物理を議論する国際会議を core-to-core プログラムとして共催し、J-PARC における研究成果に留まらず、本プログラムで推進したジェファーソン研究所、マインツ大学における研究成果を発表議論した。この会議には約120万円を使い、12名を派遣した。

上記、共同研究とは別に、Core-to-core セミナーとして二度の国際会議を開催した。トルコにおいてNUFRA2013 国際会議の一部を JSPS-core-to-core および SPHERE プログラム共催という形で行い、本予算の300万円強を使い8名の研究者を派遣し、口頭発表、議論を行った。米国、ドイツ、イタリアは一部、マッチングファンドのサポートにより米国より1名、ドイツより13名、イタリアより10名が参加した。NUFRA2013 国際会議はトルコ、セルカック大学の原子核研究者が主催したが、一部を本事業セミナーとして実施することにより日本の JSPS core-to-core プログラム(本事業)、ヨーロッパの SPHERE ネットワークにより大勢の参加者が旅費の補助を受け参加することが可能になり、広い分野の研究者が一同に介し、議論が可能になった。

また、チェコにおいて行った core-to-core セミナーは電子ビームを用いたハイパー核、ストレンジネス研究者のコラボレーションミーティング的性質を持った会議で、口頭発表よりもその後の議論に重点を置いた会議とした。本事業からは約200万円をつかい7名の研究者を派遣した。拠点国のチェコはマッチングファンドを用いて会場の準備、チェコ国内の参加者をサポートした。ドイツ、イタリアからはマッチングファンドを用いてそれぞれ1名ずつが参加した。

本事業で主催した国際スクール SNP School 2014 には国内から40名、米国6名(1名は相手側マッチングファンドにより来日)、ドイツ1名(相手側マッチングファンドにより来日)、チェコ3名(3名は相手側マッチングファンドにより来日)それにその他の国から23名が参加した。本事業からは、スクール参加者の旅費に270万円、会場費等に約85万円を投じて、前半3日をJ-PARCのある東海、原子力開発機構、後半3日を仙台の東北大学萩ホールにおいて開催した。12名の米国、ドイツ、オーストリア、日本からの講師によるのべ22コマの講義に加えて、参加若手研究者による口頭発表、ポスターセッション、J-PARC, ELPH-Tohoku の見学を実施し、総勢73名の参加者を迎えて大成功を収めた。

【参考】

相手国側との経費分担の状況(※様式3(四半期交流状況報告書)に記載の、相手国側マッチングファンドにより来日した人数についても触れること)

4-2. 全期間にわたる状況

(1) 執行額(単位:千円)

	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度
国内旅費	1,446	894	3,755	5,810	5,008
外国旅費	12,837	8,742	11,790	11,394	12,305
物品費	1,045	4,159	6,696	4,980	4,517
謝金	0	122	952	779	67
その他の経費	29	130	162	1,937	2,103
外国旅費・謝金に係る消費税	643	450	645	0	0

(様式7)

合計	1,600	14,497	24,000	24,900	24,000
----	-------	--------	--------	--------	--------

(2) 本事業経費による派遣／受入人数 (相手国側マッチングファンドによる受入は含まない)

	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度
派遣人数 (人)	26	25	30	31	40
受入人数 (人)	0	0	19	15	18

5. 全期間における問題点・反省点

(事業全体の実施体制上において、課題、問題となったものや、反省点等があれば示すこと)

物品購入費、謝金、その他が全体の30%、スクール経費が全体の15%という枠を守るのに苦労して、変更願等で学振、東北大事務にご迷惑をおかけした。

ただし、物品購入費、謝金、その他もある程度、年度末になって予算残金が1パーセントの精度で正確に確定しないと30%枠に調整することが難しいのも事実である。

年度末の円滑な事務手続きのため、早めに予算執行を心がけようとはしたが、国際スクールを2月後半に設定し、海外からの参加者の旅費等をサポートするにぎりぎりまで旅費が確定せず、予算の有効利用と枠内の予算調整で苦労した。一度日程を決めてしまうと翌年も時期を変えにくくなるが、今後、別の事業で国際スクールを計画するときには年度末は避けるようにしたい(ただし、2月は欧米の研究者にとっては比較的時間に余裕がある時期であり、日本側の都合が必ずしも相手国の都合と一致するとは限らない)。

本事業が国際研究拠点形成、発展を目的とするため、物品費制限があるのは理解できるが、数パーセントでの調整は事前協議の上、予め許していただけると予算の使い勝手が良いのではないかと思う。

また、消費税の扱いについて、東北大学では平成24年度から大学で別途、消費税を負担してくれることになり事務手続きが大幅に簡素化した。本事業経費から消費税を払う必要があったそれ以前は海外出張時にも国内旅費と外国旅費を分け、消費税をそれぞれ別途考慮する必要があり、予算執行を見積もる上で非常に苦労した。本事業では1000万円単位で海外旅費が生じるため、その消費税も50万円以上とかなりの割合を占める。数パーセントの精度で旅費、物品購入の枠を調整する必要がある本事業では予算の執行、取り扱いを煩雑にする。東北大のように別予算で消費税は大学が負担するとか学振で負担する等をして、研究者が外国旅費・謝金に拘わる消費税を気にしなくても良いシステムになると良いと思う。

次項で記す今後の展望と絡むが、JSPS core-to-core program は2+3年で完全に終了してしまうが、ヨーロッパ SPHERE network を始めとする相手国側のマッチングファンドは今後も長期間、継続する。せっかく日本側が主導的に展開、確立した国際共同研究ネットワークであるが、日本側で継続する予算の獲得に失敗すると主導権を相手国拠点到に渡さざるを得ない。予算規模が小さくなくても構わないので今後も継続して最低限の研究ネットワークを継続する予算措置がなされた上で、新しい展開を目指した別大型予算の獲得を目指すようにしないとせっかく拠点が形成、国際戦略上大きな成果を上げても一過性のものになる。是非とも最低限の拠点の活動を維持できる予算措置があることが望ましい。

6. 今後の展望

東北大学理学研究科と米国ジェファーソン研究所は本事業で確立した国際研究ネットワークをベースにH25年に新たな研究覚え書き(MOU)を締結し、電子ビームを用いたハイパー核に関する共同研究体制の今後の継続を約した。

また、東北大学理学研究科とH24年にマインツ大学物理学・数学・計算機科学部との部局間協定を締結し、今後も継続した研究、教育ネットワークを維持する。

本事業で確立した国際研究ネットワークをベースにジェファーソン研究所における次世代実験、マインツ大学における崩壊 π 中間子分光のさらなる展開を目指し、今から本格稼働するJ-PARCの中間子ビームを駆使したハイパー核研究との相補的發展を目指す。

ジェファーソン研究所、マインツ大で既に取得したデータ解析から新しい研究成果が出つつあり、世界的にも注目を浴びており、既に得たデータによる今後短期間の本分野のさらなる発展は間違いない。しかし、本事業の内容の直接的継続に繋がる平成26年度の科研費等の競争的資金を獲得できていないため、研究者、学生の海外派遣、国際スクール開催等に関してはかなりのインパクトがあり、本事業の下行っていたような活発な海外交流は長期的視点では難しくなることが予想される。民間助成金等も視野に入れた今後の競争的資金の獲得をめざし、本事業で確立した日本の主導的立場をどのようにこれまで通り維持するかが重要な課題である。

国際スクールに関しては非常な成功を収め、業界としてもフルにサポートしてくれているので KEK 等の共同利用研究所への協力のもと別の形で継続するように努めたい。