

大学院教育支援機構（DoGS）海外渡航助成金 報告書

Outcome report

計画名 Plan	米国・JLab におけるハイパー核物理学実験の新データ収集技術の習得
氏名 Name	岩本哲平
研究科・専攻・学年 Graduate school/Division/Year level	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 修士課程 2年
渡航国 Country	アメリカ合衆国
渡航日程 Travel schedule	2024年 10月 15日 ~ 2024年 12月 1日

- ページ数に制限はありません。No limits on the number of pages
- 写真や図なども組み込んでいただいて結構です。You can include pictures or illustrations.
- 各項目について具体的に記述してください。Please fill in each item specifically.
- 日本語または英語で記載ください。Please use Japanese or English.

渡航計画の概要 Outline of the travel plan

① 目的、到達目標、得られる成果

目的 報告者の研究グループはハイパー核と呼ばれる地上に安定的に存在しない特殊な原子核を、高エネルギーに加速した粒子を用いることで人工的に生成する。このハイパー核の質量やエネルギー構造といった情報から、基本的な相互作用の一つである「強い相互作用」についての理解の深化を目指す。地球上に存在する全ての物質の原子核は陽子、中性子といった核子から構成され、核子はアップ (u)、ダウン (d) クォークの組み合わせで成る粒子として説明される。一方、これらのクォーク以外の粒子も存在する。u、d クォークの次に重いクォークはストレンジクォーク (s) であり、ハイパー核はこの s クォークを含む粒子（ハイペロン）を束縛した原子核である。ハイパー核の研究により核子-ハイペロン間に働く「強い相互作用」の情報を抽出することが可能となる。核子-ハイペロン間に働く強い相互作用は特に中性子星の内部構造の理解に重要なインプット情報となるため、重力波測定や宇宙観測による中性子星の研究の急速な発展に伴い、ハイパー核研究推進の重要性と意義が高まっている。

本研究は、米国・ジェファソン研究所 (JLab) が供給する世界最高品質の電子ビームと我々のグループが開発した高分解能磁気分光器を用いることで、世界最高分解能 (0.6 MeV 半値全幅)、世界最高確度 (0.07 MeV) でハイパー核の質量分光を行う。これにより、従来の研究では解明できなかった「荷電対称性の破れ」や「中性子星の内部におけるハイペロンパズル」といった物理問題を解決へと導くことを目指す。現在、2027年1月より施行予定である4つの実験 (JLab E12-15-008、E12-20-013、E12-24-004、E12-24-011 実験) の準備を行っている。これらの実験は同じ実験セットアップで行う実験であり、一部のデータ (E12-24-004) が申請者の博士論文の内容となる。本実験研究のデータを取得するにあたり、JLab で新たに開発されたデータ収集系 (DAQ) を導入することで、高速・高効率なデータ取得が可能となる。これにより、従来のシステムでは困難であった高統計分光を実現する。この DAQ の基本的なハードウェアは開発されているが、本研究に特化した設定最適化に伴うソフトウェア開発が不可欠である。申請者は、80名規模の国際コラボレーションの中で、特に DAQ の開発を担当する。本申請研究では、JLab において実績のある新しい DAQ を開発し、運用経験のある Camsonne 博士 (JLab 研究員)、Raydo 博士 (JLab 研究員) から DAQ 技術を習得することを目的とする。

到達目標 JLabで新たに開発されたデータ収集系(DAQ)の機能や使用方法を学ぶ。また、このシステムのハードウェアを用いた試験用データ収集環境(テストベンチ)を構築し、ハイパー核実験で使用する粒子識別用検出器(エアロゲルチェレンコフ検出器)等の性能評価を行う。

得られる成果 本渡航研究で構築する試験用データ収集系環境（テストベンチ）は、ハイパー核実験において用いるすべての粒子検出器の性能試験・確認のための基本インフラとして継続的に使用することができる。また、テストベンチに実装した DAQ は、ハイパー核実験の DAQ の初期コードとしての重要な役割も果たす。VTP (VXS Trigger Processor) と呼ばれる FPGA (Field-Programmable Array) が実装されたモジュールを用いてデータ取得条件（トリガー）をソフトウェアで制御する技術を習得する。これにより、ハイパー核実験で求められる粒子検出器の信号を複雑に処理した上でのトリガーを実現することができる。

成果 Outcome

米国・JLab における実験ステージ棟 (ESB) において Camsonne 博士、Raydo 博士の協力のもと DAQ の構築を行った。DAQ の構築と併せて、実際のハイパー核分光実験に使用する粒子検出器を使用した。図 1 にセットアップした粒子検出器の写真を示す。粒子飛行時間測定用のプラスチックシンチレーション検出器 (SC1—3)、エアロゲルチェレンコフ検出器 (AC) を並べた。SC1—3 は荷電粒子が通過した際に信号を出力するため、これらの信号がほぼ同時刻に回路に到達したことを要求することで、AC に宇宙線 (μ^- 粒子) が通過したと考えることができる。

検出器の信号はすべてフラッシュ ADC (FADC-250) へ入力され、VXS バスを通して VTP (図 2) に送られる。FPGA に実装されたトリガー論理を通してトリガーが生成される。本渡航ではトリガー論理の実装についても習得できた。さらには、検出器の信号入力がない場合でも仮想的な信号入力を用いたシミュレーションも可能であり、このシミュレーションのコーディングと使用方法を Camsonne 博士、Raydo 博士から学ぶことができた。これは、ハイパー核実験における DAQ・トリガーの挙動を試験する上で極めて重要な技術となる。

本渡航では研究面だけでなく文化的な学びや海外での交友関係の構築といった点でもとても有意義なものであった。ThanksgivingではCamsonne 博士のご自宅に招待していただき、ご家族と一緒にお食事をさせていただいた。研究所の宿舎の共有キッチンでは自炊中に居合わせた学生とも友人となり、アメリカ式の味付けを教えてもらった。公私ともに実りの多い海外渡航となり、報告者の学生生活でかけがえのない経験となった。

今後の展望 Prospects for the future

今回の渡航で得られた技術を用いて 2027 年に予定されるハイパー核分光実験に使用する DAQ の開発を進める。今回セットアップした DAQ テストベンチは、粒子検出器の試験に用いることができる。研究グループ内で開発中の粒子検出器の（飛行時間検出器、粒子識別検出器、粒子飛跡検出器）の試験にも尽力していきたい。データ解析ソフトウェアの開発や実験シミュレーション等にも積極的に取り組み、実験研究の実現に取り組む中で自身の研究力の向上を図りたい。

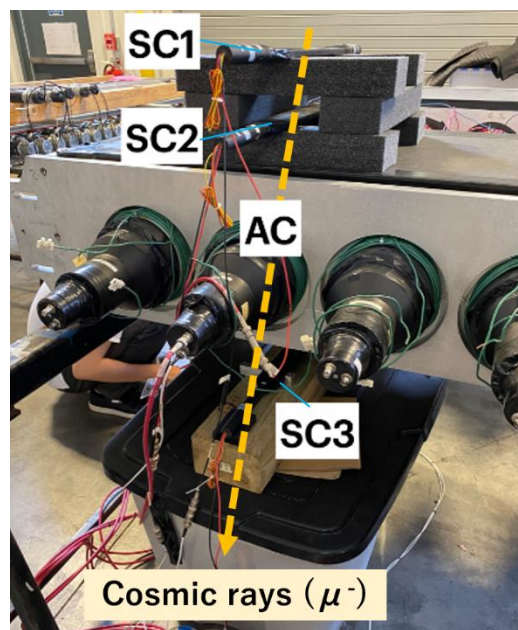


図 1 宇宙線を用いた試験のためにセットアップした粒子検出器の写真。



図 2 FPGA が搭載された VTP モジュールの写真