

令和 3年 12月 12日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 202080387

氏 名 河村 天陽

(氏名は必ず自署すること)

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

- 1 派遣先: 都市名 ダラム (国名 英国)
- 2 研究課題名 (和文) : 高時間分解能X線分光観測で探るブラックホール天体の光度変動の起源
- 3 派遣期間: 令和 3年 8月 27日 ~ 令和 3年 12月 2日 (98日間)
- 4 受入機関名・部局名: ダラム大学

5 派遣先で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

ハード状態のブラックホール連星は、ベキ乗則に従うエネルギースペクトルに加え、ミリ秒から数100秒にわたるX線光度の激しい時間変動(rmsで約20%)で特徴付けられるが、この短時間変動の発生機構は未解明である。ハード状態では、活動銀河核や中性子星などと同様にジェットが観測されるため、短時間変動の発生機構をはじめ、ハード状態における降着流の性質を明らかにすることは、ブラックホール連星の枠組みを超え、多様な宇宙現象を理解するうえで重要である。

ハード状態における短時間変動は、非周期的な変動(broad-band noise)と準周期振動(QPO)から構成され、またその特徴は、X線アウトバーストの時間発展に伴って変化する。派遣先では、非周期的な変動モデルの改良を行った。このモデルは、磁気回転不安定性による質量降着率のゆらぎが、物質の角運動量損失過程で外側から内側に伝播するという物理的描像(propagating fluctuations model)をもとにしており、私が独自で開発を進めてきたものである。NICERによるブラックホール連星MAXI J1820+070の観測データを解析し、モデルの問題点、改善点を洗い出した。また、Insight HXMTの観測データを利用することにより、これまで調査が困難であった数10 keVから200 keVの高エネルギー帯の短時間変動特性にも着目し、より包括的にモデルを評価した。以前は独自の開発環境でモデルを用いたデータ解析を行っていたが、今後の開発および解析の利便性の向上のため、X線天文分野で普及しているデータ解析ソフトウェアXSPECにモデルを組み込み、開発コードをGitHubに公開した。

QPOの研究も本格的に開始した。Lense-Thirring効果により高温降着流が一体となって歳差運動を行う(solid body precession)という、現在有力視されているQPOの発生機構が、観測されるQPOのエネルギー依存性を再現できるか検証するために、モデルの開発を進めた。

また、派遣期間中にMNRAS誌に投稿中の論文の査読の結果を受けとったため、追加の解析および原稿の修正を行い、再投稿を行った。

6 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

派遣期間中に再投稿を行った論文は、現在査読中である。2022年3月に開催される日本天文学会春季年会、同時期にKavli IPMUにて開催予定のフレアと降着流に関するワークショップおよび、大阪市立大学で開催されるブラックホール磁気圏研究会で、本派遣での研究に基づいた発表を計画している。

今後の研究では、非周期的な時間変動モデルの改良とQPOモデルの開発を引き続き進めることを計画している。

非周期的な時間変動モデルでは、これまで高温降着流のX線放射として二種類の逆コンプトン放射成分を仮定してきたが、降着流の理論モデルのなかには、X線放射のスペクトルが各半径(ブラックホールからの距離)で異なり、より細かく階層化されていると予測しているものがある。この描像は、現在の我々のモデルが抱える問題点を解決する可能性があり、今後調査を行う。この調査は、提唱される理論モデルを、時間変動の観点から評価するという役割も持つ。理論モデルを開発する研究グループとは既に議論をしており、データ共有や結果の解釈の相談など、協力的に研究を進める体制が整っている。

QPOモデルでは引き続き、高温降着流が一体となって歳差運動を行うという状況下で、QPOのエネルギー依存性を計算するコードの開発を計画している。高温降着流の歳差運動は、理論的に予測があり、相対論的磁気流体シミュレーションでも再現される点で、QPOの発生機構として有力視されているが、観測データとの整合性の観点では十分に評価されていない。実際、ジェットの出発点の歳差運動など異なるQPOの発生機構も提唱されており決着していない。今後、モデルを開発し、観測データのフィッティングを行うことで、高温降着流の歳差運動のシナリオを評価する予定である。

非周期的な時間変動、QPOのいずれにおいても、広いエネルギー帯域(0.5-200 keV)を対象とする。数10 keVから200 keVのエネルギー範囲は、最近運用を開始したInsight HXMTを用いることで、はじめて詳細な短時間変動探査が可能となった領域であり、今後の研究はこの点においても独自性を有する。

7 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本プログラムにより、実際に共同研究者の所属機関であるダラム大学を訪問したことで、毎日のように自由闊達な議論を交わすことができ、円滑に研究を進めることができた。渡航以前も、毎週ミーティングを行うことでコミュニケーションをとっていたが、やはり対面でのコミュニケーションには勝らないと感じた。ホワイトボードを活用して議論を行うのが受入研究者の研究スタイルであり、この形の議論は対面であるからこそ実現した。本プログラムを通じて経験した、対話的で情熱に満ちた研究は、とても新鮮でやりがいのあるものだった。また、私の研究は派遣国の英国で盛んであり、派遣中、受入研究者以外にも様々な研究者と議論を行う機会に恵まれた。派遣先のダラム大学で毎週行われているセミナーの発表者に割り当ててもらい、研究発表をすることもできた。

今回はじめて、海外の研究機関に三か月もの期間にわたって滞在することができ、海外の研究の雰囲気味わうことができた。ダラム大学には実に様々な国から学生、研究者が集っており、特に海外の修士課程、博士課程の学生、ポスドクの方との交流は、自らの視野を広げる貴重な経験となった。研究に対する姿勢や将来のキャリアについて意見を交わし、自らを見つめ直すことができた。平日午前11時に行われる研究棟全体でのコーヒー休憩では、学生から教授までが立場にとらわれることなく、なにげない会話や研究の話が気軽にできる空間があり、楽しむことができた。休日には観光やスポーツ観戦、ハイキングなどで英国の文化に触れ、充実した英国での暮らしを送ることができた。また、海外の学生と共同生活をしたことで、お互いの文化を共有し交流を深めた。博士課程在学時にこのような素晴らしい経験ができたことをとても幸運に感じている。

海外での研究の経験は、日本での教育や研究を見直すことにもつながった。もっとも痛感したのは英語でのコミュニケーションである。私は海外で研究を行ううえで最低限求められる英語力は習得しているが、その不十分さは常に意識させられた。ダラム大学には特にヨーロッパの各国から学生が集っていたが、ほぼすべての学生が私よりたくみに英語を使いこなしていた。自身の研究のアピールにおいても、海外の人々との親密な交流においても、すらすらと会話できるレベルの英語力は実際問題必須である。こういったことは、実際に経験しないと実感として湧きづらいものである。日本の学生が積極的に海外に挑戦できるような環境づくりは、今後ますます重要になってくると感じた。