

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Solar Atmospheric Abundances in Space and Time & Lecture at Northumbria University & Hinode 18-IRIS 16 Meeting conference 2025

氏 名：石神 瞬（総合研究大学院大学／国立天文台 D3（渡航当时））

渡航先：イギリス エディンバラ・ニューカッスル・ロンドン

期 間：2025年6月15日～28日

2025年6月15日～6月27日にかけてイギリスのエディンバラ・ニューカッスル・ロンドンで研究会・学会に参加した。

本研究のテーマである太陽大気の温度は、熱源（約1600万K）に近い太陽表面（光球）よりも、より上空に位置するコロナの方が高温である（光球：6000K, コロナ：100万K以上）。このようなコロナの高温状態を説明する加熱モデルは多く提案されてきたが、加熱機構の領域依存性などの詳細は解明されていない。

（編集者注：以下の段落では内容が過度に専門的であるため、天文月報記事では詳細を大幅に割

愛している。研究結果の詳細は早川幸男基金受給者一覧にある報告書を参照されたい）

Ishigami, Hara and Oba (2024) では、18の活動領域ループの長さに沿った電子温度分布、電子密度分布を Hinode/EIS の分光観測データから導出し、加熱分布を推定した。その結果、活動領域ループでは下部に加熱が集中していることが示唆された。また、加熱分布からコロナ加熱機構を調査したところ、不定性の範囲内でリコネクション加熱モデルを許容した。さらに、より磁場の弱い静穏領域の小規模構造に Ishigami, Hara and Oba (2024) の方法を適用し、活動領域ループと加熱過程が異なるか調査したところ、短い静穏領域ループの長さに沿ってほぼ一様な加熱分布が得られた。ただしこの解析では、解析サンプル数の少なさから不定性が大きく、複数の加熱機構を許容した。仮にリコネクション加熱モデルでループが加熱される場合、周囲に他の磁気構造が少ない静穏領域に位置するループの加熱分布は、長さに沿って一様に起きるコンポーネントリコネクションによってもたらされうる。一方、周囲に他の磁気構造が多く存在する活動領域ループの加熱分布は、ループ下部における小規模磁気構造とのリコネクションと、コンポーネントリコネクションとの組み合わせによってもたらされると考えることができる。

エディンバラでは“Solar Atmospheric Abundances in Space and Time”という研究会に参加した。この研究会では太陽の元素組成を主題とし、議論が行われた。特に注目されていたのは FIP バイアス（第一イオン化ポテンシャルの低い元素の組成と高い元素の組成の比が、光球よりもコロナの方で高いという現象）である。Paola



Hinode 18-IRIS 16 meeting の会場である UCL の本館。

Testa は、FIP バイアスが活動領域の中でも中心部とその外側の領域で異なることを示した。私は、領域ごとの加熱過程の違いについて調査しているため、何がこの差を生み出しているのかについて質問した。まだ明確な原因はわかっていないようだが、ループの加熱が光球元素のコロナへの輸送に影響するため、領域ごとの加熱過程の違いが、このような FIP の違いが生む可能性があるとの回答を得た。

ニューカッスルではノーザンブリア大学で “Spectroscopic Study of Heating Distributions and Mechanisms Using Hinode/EIS” というタイトルで Ishigami et al. (2024) の結果と、現在進めている研究成果についての講演を行った。Patrick Antolin からは、ループ下部に集中した加熱によって生じる非熱平衡状態の可能性や、ループ中の温度分布とフィリングファクタの関係について指摘いただいた。これらについては詳細に検討していくなかったため、博士論文にまとめるにあたって調査する必要がある。また、Jeffrey Reep からは活動領域中心部に存在する 2 MK 以上の温度をもつ短いループ (Hot loop) の加熱スケール長はどうなっているのかという質問を受けた。以前、

3 MK 程度のプラズマに温度感度のある輝線を使い、Hot loop の電子密度分布がその長さに沿って一様な加熱分布で説明できることは確認しているが、温度分布も含めたより詳細な調査が必要であることを再認識した。

ロンドンでは “Hinode 18-IRIS 16 Meeting” に参加し、“Study of heating mechanism of quiet region loops” というタイトルで現在進めている研究成果についてポスター発表を行った。Will Barnes のモデル計算では、ループに沿った電子密度が私の結果と比較すると 1 術程度低く、興味を持っていただいた。彼の計算では長い半長のループかつ短い加熱スケール長の場合を考えており、本研究との違いに繋がっている可能性がある。

このように多くの質問・コメントをいただき、海外の研究者と意見交換できた。これらは、今後博士論文をまとめる上で大変価値のある収穫であった。

今回の渡航に際して、多大な援助をいただいた日本天文学会早川幸男基金および関係者の皆さまに厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *The DIAS-CDY workshop on Gamma-ray Loud Binaries*

氏 名：米田浩基（ユリウス・マクシミリアン大学ヴュルツブルク PD（渡航当時））

渡航先：アイルランド ダブリン

期 間：2024年10月6日～10日

本渡航の目的は、(2024年) 10月にアイルランドで開催された高エネルギー天文学の会議「The DIAS-CDY workshop on Gamma-ray Loud Binaries」にて、「X-ray and gamma-ray observations of the gamma-ray binary LS 5039」というタイト

ルで招待講演を行うことであった。この研究会は、アメリカのコロンビア大学、イェール大学、アイルランドのダブリン高等研究所の 3 機関が共同で主催しているセミナー・ワークショップシリーズの一環であり、研究会のテーマを絞ったうえで、比較的少人数の規模にすることにより、参加者間で密度の高い議論を実現するという特徴を持つ。今回は、様々な波長での観測が急速に進んでいる「中性子星やブラックホール連星からの gamma 線観測」がテーマに選ばれた。

中性子星やブラックホールが恒星と連星系を組むと、コンパクト天体の極限環境が恒星風と相互作用し、相対論的エネルギー・スケールでの宇宙線加速現象が引き起こされる。その最新の観測結果や理論的解釈を共有することで、コンパクト星連星での宇宙線加速の天体物理を解き明かそうというのが研究会の趣旨である。

私は、本ワークショップにおいて、ガンマ線連星に関する観測的研究についてレビューを行った。ガンマ線連星とは、コンパクト天体とOB星からなる大質量X線連星系のサブクラスであり、2000年代からGeV・TeVガンマ線天体観測の発展とともに見つかってきた。ガンマ線で非常に明るい天体である。これまで観測されたスペクトルから、電子がわずか数秒でTeVエネルギーまで加速されていることがわかつており、非常に効率的な粒子加速物理が行っていることがわかつている。このような効率的な粒子加速は、宇宙線の標準加速機構として知られるフェルミ加速では説明が困難であり、電磁気学的な加速限界に迫るような新しい宇宙線加速現象を我々は観測している可能性が高い。

講演では、これまで進めてきた、X線・ガンマ線衛星を用いた銀河系で最も明るいガンマ線連星「LS 5039」について、これまでの観測結果をまとめて報告した。まず、10年以上の観測データを蓄積したFermi衛星と硬X線NuSTAR衛星を組み合わせて得ることのできた、X線からTeVガンマ線の広域スペクトルを紹介した。数GeV付近に軌道運動に同期しない放射成分があり、パルサー磁気圏からの放射と定性的に性質が一致することや、MeVからsubGeV帯域にかけて、理論モデルで説明がついていない放射成分があることを議論した。また、軟X線観測装置NICERを用いたX線時間変動解析や、すざく・NuSTAR衛星の硬X線データを用いたパルス探索の結果を紹介し、この天体に含まれるコンパクト天体がパルサーである間接証拠が得られつつあることを示し

た。最後に、私が現在従事している次世代MeVガンマ線衛星COSIについても紹介し、COSIを使ったガンマ線連星の観測計画についても紹介した。ガンマ線連星は、MeVガンマ線にピークを持つ天体が多く、他の参加者の発表でもこの点が指摘されており、COSIなどのMeVガンマ線での将来観測を中心として質問やフィードバックを得ることができた。

ワークショップ中では、参加者と様々な議論を行うことができた。特に、ワークショップ全体を通して、大きな議論になっていたのが、マイクロクエーサーからの高エネルギー・ガンマ線の観測結果である。SS433からのTeVガンマ線の検出をきっかけとして、マイクロクエーサーからのガンマ線観測が近年進んでいる。なかでも、LHAASOによる、PeVエネルギーまでカットオフを伴わずに伸びるガンマ線観測の結果は、銀河系内最高エネルギー宇宙線を生み出す天体としてマイクロクエーサーが有力であることを一目で示すものであり、非常に驚きであった。これらを皮切りに、系内でガンマ線で明るい天体のTeVガンマ線の観測が活発になっており、ガンマ線連星の追観測も進められている。TeVガンマ線望遠鏡HESSのメンバーであるJonathan Mackeyと議論を行うことができ、HESSチームで進められようとしているLS 5039のデータ解析について、共同研究を進める方針を立てることができた。また、私が今年観測時間を得ることができたガンマ線連星PSRB1259-63に関するデータ解析について、この天体の専門家であるMasha Chernyakovaと相談することができたり、また、ガンマ線連星の放射モデリングの専門家で共同研究者であるValenti Bosch-RamonやDmitry Khangulyanらとも研究のアイデアについて議論を交わすことができた。

「連星系からのガンマ線放射」にテーマを絞っているため、ワークショップ全体を通じて、分野の近い研究者と交流を行うことができたことも大きな収穫であった。また、これまでの観測や理論

モデルだけでなく、今後のガンマ線観測の将来性などについて、この分野の大家である Felix Aharonian から、深い示唆の伴う意見をもらうことができ、より広い視野で今後の研究を考えるうえで貴重な視点を得ることができたように思う。

結びに、本渡航を支援していただいた早川幸男基金と、その関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。当時のポジションでは、私自身が自由に使える予算がなく、従事しているプロジェクトと趣

旨の異なるワークショップだったので、他からの資金援助を模索していました。一方で、この研究会は、コンパクト星連星のガンマ線観測の専門家が一堂に会するため、自身の研究を周知し、今後の研究のアイデア・方向性を議論することができる絶好の機会だと考えていました。支援をいただくことができ、このような貴重な機会を逃すことなく参加を実現することができ、心から感謝しております。重ねてお礼を申し上げます。

Hayakawa Satio Fund

早川幸男基金とは

「早川幸男基金」は、日本天文学会元理事長・故早川幸男氏のご遺志に基づき、ご遺族から日本天文学会に寄付された750万円を創設基金として、1993年に設けられました。若手天文学研究者の海外学術研究援助を目的としています。

毎年4回（3, 6, 9, 12月の10日が締め切り）募集を行い、一年に総額600万円程度の渡航費の援助を行っています。渡航期間は、締め切り月の翌月の1日から3ヶ月後の月末までが対象となります（例えば、3月10日締め切りの場合、4月1日から6月30日まで）、前回の募集に間に合わず渡航した場合、納得する事情説明がある場合には、その直後の回の締め切りに応募することができます。

当基金は現在も寄付金によって継続され、毎年多くの若手天文学研究者の海外研究活動を支えています。この基金を活用し、ぜひ、世界に向け研究活動の幅を広げてください。詳しくはホームページをご覧ください。

早川幸男基金ホームページ

https://www.asj.or.jp/jp/activities/expenses/hayakawa_fund/