

令和 4 年 3 月 18 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 202180244

氏 名 天野 雄輝

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 ハイデルベルク (国名 ドイツ)
2. 研究課題名 (和文) : 地上プラズマ実験による超新星残骸の X 線精密分光の開拓
3. 派遣期間: 令和 3 年 10 月 10 日 ~ 令和 4 年 2 月 20 日 (134 日間)
4. 派遣先機関名・部局名: マックスプランク核物理学研究所
5. 派遣先機関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)

2022 年度打ち上げ予定の X 線観測衛星 XRISM により、従来よりも 1 桁以上優れたエネルギー分解能による宇宙 X 線精密分光観測が可能になる。これにより超新星残骸の観測から、親星の合成した重元素組成比、イオンの運動や電離状態の高精度測定を通じ、例えば超新星爆発モデルの制限など多くの重要問題に迫ることができる。しかし、現状は解析に使用する放射モデルの輝線放射に関する原子データ（遷移確率や断面積など）の実験的データが不十分であり、近似的な理論計算をもとにした放射モデルと観測データとの食い違いも指摘されている。

そこで、本研究ではエネルギーを制御可能な単色エネルギーの電子ビームにより、任意の価数のイオンを生成し、原子データを測定可能な Electron Beam Ion Trap (EBIT) をマックスプランク核物理学研究所 (MPIK) と共同で開発し、実際に EBIT を用いた実験も行った。具体的には (1) 天文学への応用のために小型で持ち運び可能かつ特殊な電子銃を持つ EBIT の開発、(2) 新たに開発した EBIT による Ni イオンの二電子性再結合の測定実験、(3) MPIK の所有する既存の EBIT を利用した放射光施設での実験、の 3 つの内容で実験を行った。(1) に関しては当初の予定通りに開発と装置の立ち上げが完了し、現在は日本への輸送手続き中である。来年度の 4 月上旬に EBIT は JAXA 宇宙研に導入される予定であり、現在は日本での立ち上げと長期稼働の準備を行っている。(2) に関しては、EBIT 内部にニッケロセン粉末を注入し、Ni の二電子性再結合による X 線イベントの検出に成功した。得られたデータにより、新しい EBIT の性能評価などを行っている。(3) に関しては、イタリアの elettra にて放射光施設を用いた実験を行い、リチウム様程度の電離状態の酸素の K 殻輝線の検出に成功した。

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)

新しい EBIT の開発とニッケルを用いた実験に関しては、すでに本年度の日本天文学会の春季年会で、私が口頭発表を行った。開発した EBIT は日本に到着次第、日本での立ち上げを行い、ニッケル実験の追加実験など EBIT 単体で行える実験を継続的に行う予定である。また、Spring-8 の放射光設備を用いた実験も計画している。Spring-8 では、(1) アルゴン様程度の電離状態の鉄族元素のイオンの L 殻遷移輝線の波長や遷移確率、(2) アルゴン様から炭素様の鉄族元素の内殻電離による K 殻輝線などを網羅的に測定する予定である。これらの輝線は 0.1-数 keV の電子と L 殻に電子を残す鉄族イオンが共存している超新星残骸プラズマでよく観測され、鉄族元素の組成比決定に重要な輝線である。しかし放射モデルとの不一致や原子データの不足が問題である。これらの物理過程に関する原子データの測定を行う予定である。また、これらの原子データはデータベースとして公開し、XRISM 打ち上げ以降の X 線精密分光に活用する。

ニッケル実験に関しては EBIT の日本での立ち上げが済み次第すぐに追加実験を日本で行う予定である。二電子性再結合の測定実験では電子ビームエネルギーを変化させ、各電子ビームエネルギーごとの X 線を検出する必要がある。この際、電子ビームエネルギーに応じて、イオンの価数分布が変化してしまうことが問題となる。イオンの価数の分布をスキャンの間ほぼ一定に保つためには電子ビームのエネルギーを高速で変化させる必要がある。今後はこれを可能にするファンクションジェネレーターを組み込むなどの実験系のアップグレードを行う。また、この結果は今後論文化する予定である。

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)

本プログラムに採用していただいたおかげで、たくさんの貴重な研究成果や経験、知識を得ることができた。特に私とは専門の異なるグループで研究を行えたことは非常に大きな成果につながった。本研究は彼らの持つ専門知識や独自技術なしには達成し得ないものだった。天文学の分野にいる私が彼らの持つ装置の運用開発技術を身につけられたことが大きな成果だった。また、今回の渡航を通じて、彼らと今後長期的に協力関係を築けたこともよかった。上述した Spring-8 実験などで、共同研究を続けていく予定である。

専門の異なる研究者たちの元で実験や議論を行えたことは個人的にも本当に良い刺激になった。彼らの専門である原子物理は私が研究対象としてきた宇宙プラズマからの X 線放射を理解する上で基礎となる学問である。したがって分野は異なるものの共通する部分も多く存在する。彼らの持つ知識やアイデアは今後の私の研究で大いに役立つものだと感じた。また、彼らの行う実験の中にも宇宙物理への応用を意図したものは少なくないため、彼らの宇宙への関心も高く、非常に熱心に私の話を聞いてくれたことは今後の大きなモチベーションにつながった。

本渡航中では、多くの時間を現地の学生やスタッフとの実験作業に割けたことも良い経験になった。リアルタイムでコミュニケーションをとりながら実験を行ったため、英語で迅速かつ正確にコミュニケーションをとる必要があった。緊張感を感じる場面も多かったが、非常に良いトレーニングになった。彼らの前向きで熱心な研究姿勢はいつも私に刺激を与えてくれたし、優しく友好的な人柄に励まされた。

このような大変な状況の中にもかかわらず、このような貴重な機会を与えていただいた、本プログラムには本当に感謝している。