

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

2025年 3月 28日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋 作 様

所属部局・研究科 理学研究科

職名・学年 助教

氏 名 小谷翼

助成の種類	令和6年度・在外研究助成			
研究課題名	彗星における特異な水イオン加速現象の解明			
受入機関	スウェーデン国立スペース物理研究所(Swedish Institute of Space Physics, IRF)			
渡航期間	2025年 2月 12日 ~ 2025年 3月 11日			
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()			
会計報告	交付を受けた助成金額	493,000 円		
	使用した助成金額	493,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額 (円)	
		航空運賃	233,000	
		滞在費(1万円/泊)	260,000	
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) この研究課題は数年前から行っているものですが、研究費の都合上渡航ができず、議論があまり進んでおりませんでした。頂いた支援のおかげで、現地の研究者と精力的に議論し、研究課題を大きく前進させることができました。また、現地の研究者と新たな共同研究を開始し、滞在中に論文を執筆・投稿まですることができました。今回、このような貴重な支援を頂き、大変感謝申し上げます。			

成果の概要／小谷翼

【研究背景・目的】

彗星は、主に氷や微粒子で構成される小天体である。彗星が太陽に近づくと、氷が昇華・電離し、彗星の周囲に水イオン(+電子)を中心としたプラズマが形成される。こうして形成される彗星プラズマは、太陽から飛翔してくる太陽風プラズマと相互作用する。太陽風プラズマと水イオンの相互作用の詳細は、彗星探査の難しさもあって今まで十分に理解されていなかったが、最新の探査機ロゼッタによる観測で少しずつ明らかになってきた。電離直後の水イオンは熱的な運動をするが、やがて太陽風が作り出す磁場および電場によって捕捉(ピックアップ)され、加速され始める。このピックアップによる加速は、加速方向が磁場に対して垂直方向であることが特徴であり、彗星水イオンの加速機構として最も有力であると考えられている。一方で、近年我々が取り組んだ研究で、磁場に平行方向に加速されている水イオンのイベントを発見した。この特異なイベントは、ピックアップ機構や平行方向に加速可能な既知の機構(例えば両極性拡散)では説明できず、新たな加速機構の存在を示唆している。

地球のような固有磁場を持つ惑星では磁場平行方向の加速は普遍的に生じているが、彗星は固有磁場を持たないため、そのような加速機構は期待できない。そのような状況であり得る加速機構は、磁場の非一様性に由来する電場が挙げられる(例えば磁気ミラー)。彗星周辺に形成される磁場構造(磁気圏)は、太陽風プラズマとの相互作用によって形成され、時空間的にダイナミックに変化する。そのため、非一様な磁場は容易に形成される環境であり、それによる平行加速が期待できる。

探査機の観測データのみでは磁場の非一様性の情報(磁場の曲がる方向・程度)を得ることはできないため、非一様磁場による水イオン加速を調べるためには、シミュレーションによるアプローチが必須である。今回の滞在では、シミュレーションを行うために必要な電磁場モデルの構築とシミュレーションの条件設定を行うことを目的とした。

【取り組みと成果】

渡航後まず、Yamauchi 博士と探査機ロゼッタに搭載されているイオン質量分析器のPIである Nilsson 教授とで打ち合わせを行い、シミュレーションの方向性及び実現可能性について議論した。プラズマのシミュレーションには大きく分けて、1. イオンや電子の粒子的な特徴を調べる運動論的シミュレーション(particle-in-cell や Vlasov シミュレーション)、2. プラズマの流体的特徴を調べる流体シミュレーション、3. プラズマを磁

気流体としてみなす磁気流体シミュレーション(MHD シミュレーション)、4. 自己無撞着ではないが、ある電磁場の元での粒子の軌道解析に用いられるテスト粒子計算、に分けられる。計算機資源の兼ね合いや狙っている現象の性質から、現状彗星プラズマを研究する際によく用いられている手法は、手法1と2の混合モデルもしくは手法3である。今回我々が調べたいのは、「探査機ロゼッタで観測された水イオンがどの方向からどういう経路を辿って加速されてきたのか？」である。つまり、彗星周辺全体のプラズマの振る舞いではなく、ごく少数の水イオンの振る舞いを調べたいので、混合モデルでは計算機資源のコストが大きく現実的ではない(手法3ではそもそも水イオンの挙動を調べることができない)。そのため、手法4によるテスト粒子計算が有力候補になる。一方で、少数の水イオンを調べるためにも、彗星周辺の広範囲にわたる自己無撞着な電磁場配位が必要になるが、手法4ではこれらを設定することが非常に困難である。

議論を行った結果、手法1と2で得られた自己無撞着な電磁場配位を手法4に組み込み、水イオンの運動を解析することにした。そこで、彗星プラズマのシミュレーションをおこなっている Umeå University の Gunell 博士と共同研究を開始した。その後は、シミュレーションを行うための初期条件の設定や、解析対象の選定、目標の設定などを行い、滞在中の目標を達成した。帰国後、これらの内容をもとに解析を進めている。

【謝辞】

この研究課題は数年前から行っておりますが、研究費の都合上渡航できず議論があまり進んでおりませんでした。滞在中に現地の研究者と議論することで、本研究課題を大きく前進させることができました。また、渡航した期間に現地の博士学生の公聴会(PhD defence)に参加することができました。研究内容が勉強になったのはもちろんですが、公聴会に関する制度や文化の違いを知れたのがとても良かったと感じております。

上記の取り組みに加えて、2024年5月に起きた巨大磁気嵐現象(日本各地でオーロラが見えるなど、世界規模での現象)について、現地の研究者らと新たな共同研究を開始しました。申請者が所属する地磁気世界資料解析センターでは、このような現象を調べる際に重要な地磁気指数を算出・公開しています。この指数を用いて2024年5月の巨大磁気嵐現象の解析を行い、その結果をまとめた投稿論文を執筆し、滞在中に国際誌に投稿することができました。

最後になりますが、本助成を頂いたおかげで、研究課題を前進させ、新たな共同研究を開始することができました。京都大学教育研究振興財団に心から感謝申し上げます。