

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月20日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]
名古屋大学・宇宙地球環境研究所
[職・氏名]
教授・三好由純
[課題番号]
JPJSBP1 20192504

1. 事業名 相手国: チェコ (振興会対応機関: CAS)との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 複数人工衛星および地上観測にもとづく宇宙空間電磁波現象の研究

(英文) Investigation of electromagnetic wave phenomena using multipoint spacecraft and ground-based measurements

3. 共同研究全実施期間 2019年4月1日 ~ 2022年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Czech Academy of Science, Head of Department/Professor,
Ondrej Santolik

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額	2,020,414 円
内訳	
1年度目執行経費	1,746,430 円
2年度目執行経費	273,984 円
3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究全実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	21名
相手国側参加者等	18名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	6	0	4(4)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	0	0(0)
4年度目			(0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:本委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。
受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

本事業では、日本 JAXA/あらせ衛星、米国 NASA/Van Allen Probes 衛星、欧州 ESA/Cluster 衛星を中心に、日本および海外の科学衛星のプラズマ波動データを解析することにより、宇宙空間のプラズマ波動の動態を解明するとともに、プラズマ波動と宇宙放射線（放射線帯の高エネルギー電子）の相互作用を理解することを目的としている。また、日本及び欧州に設置された VLF 帯の電波観測による雷起源の空電および Tweek の多点観測にもとづく雷起源電波の理解も目的としている。

本経費の支援により、2019 年度にチェコ共和国の研究者 4 名を日本に招聘し、名古屋大学での共同研究ならびに金沢大学において国際ワークショップを共同開催し、本計画の日本側およびチェコ共和国側の参加者、ならびに多くの日本人研究者が研究発表を行った。また、あらせ衛星と Van Allen Probes 衛星の同時観測、および地上観測の VLF データとの比較を進め、ホイッスラーモード波動の伝搬に関する議論を行った。また、2019 年度後半には、本経費の支援も含めて、日本側から 6 名の研究者がチェコ科学アカデミーを訪問し、プラズマ波動・空電に関するワークショップで発表を行うとともに、チェコ共和国側の研究者とホイッスラーモード波動、EMIC（電磁イオンサイクロトロン）波動、Equatorial Noise 波動、雷起源の電波についての議論を行った。ホイッスラーモード波動については、あらせ衛星と Van Allen Probes 衛星のデータの比較検討を行った。EMIC 波動については、周波数スペクトルに見られる周波数上昇および下降に関する動態に関して、理論的に観点から背景磁場の形状との関係性の議論を進めた。また、地上観測における IPDP との比較検討も実施した。

2020 年度、および 2021 年度は、コロナ禍の渡航および入国制限のために、先方への訪問および受け入れを行うことはできなかったが、電子メール等を活用した研究活動を継続した。また、コロナの状況が緩和したタイミングにおいて、2021 年度には、本経費によって、日本側メンバーによる研究議論を実施した。

一連の研究活動は、28 編の国際学術誌に論文として報告されるとともに、国内外のワークショップや学会における講演として報告されるなどの大きな成果につながるとともに、両国の研究者の緊密かつ持続的なパートナーシップが形成された。さらに、若手研究者を含めて本計画の日本およびチェコの研究グループメンバーが複数の学術賞の受賞対象となるなど、本計画による成果は学術コミュニティからも高い評価を得ている。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

本事業においては、日本の「あらせ」衛星、米国 Van Allen Probes 衛星、欧州 Cluster 衛星といった、現在、ジオスペースを探査している複数の科学衛星のデータ、特にプラズマ波動のデータについて相互の比較を行った。本事業の共同研究を通して「あらせ」衛星と Van Allen Probes 衛星が、1 秒以下の時間差で同じ形態の雷起源ホイッスラーやコーラスをとらえたイベントを抽出し、これらの波動の伝搬や成長に係る詳細な解析を共同で実施した。このような宇宙空間のプラズマ波動の詳細な伝搬についてはこれまで行われたことがなく、本結果はプラズマ波動の基本的な性質の解明につながる独自の成果である[Colpits et al., 2020, Santolik et al., 2021, Miyoshi et al., 2022]。このプラズマ波動の動態は、宇宙空間に存在する放射線（放射線帯の高エネルギー電子）の量の増減に大きな役割を果たすため、本共同研究によってプラズマ波動の基本的な性質を解明する手がかりを得たことは、学術的価値がきわめて高いものである。また、複数の衛星による電磁イオンサイクロトロン波動（EMIC）の研究や[Miyoshi et al., 2019, Shoji et al., 2020, Matsuda et al., 2021]、EMIC 波動による宇宙の放射線（高エネルギー電子）の消失に関する共同研究[Hendry et al., 2020]も実施した。さらに、日本およびチェコ（欧州）で実施している雷起源の空電や Tweek に関する比較研究も行い、日本周辺の雷起源

電波と、地中海付近の雷起源電波の違いといった雷が持つ地域性の違いに注目した研究も実施した。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

日本およびチェコ共和国の研究グループは、それぞれ宇宙空間のプラズマ波動の研究について長い歴史を持っており、科学衛星の観測するデータの解析を行ってきた。今回、それぞれの異なる科学衛星のデータを比較、またそれらを組み合わせた総合解析を共同研究として実現し、プラズマ波動の基本的な性質である伝搬や成長に関する実証的な研究を進めることができたことは、本事業の大きな成果である。

特に、日本の「あらせ」衛星のプラズマ波動・電波観測の中核メンバーと、米国 Van Allen Probes 衛星、欧州 Cluster 衛星のプラズマ波動・電波観測の中核メンバーが密接な議論を実施することによって、ジオスペースのプラズマ波動・電波現象に関する科学的な議論のみならず、複数の科学衛星データの相互比較にもとづく較正の実施を通じたデータの品質向上を実現し、今後、世界の研究者がこれらの衛星データを解析する際に基本となる成果を得た点も特筆すべき点である。このような相互比較にもとづく較正は、これまでの科学衛星において組織的に実施されたことはなく、本事業によるユニークな成果であるといえる。さらに、双方の研究グループが独自に開発してきた解析手法やシミュレーション手法について詳細に議論する機会を持ち、それぞれの特徴ある解析を相互に活用する場となったことも、本事業の成果である。

一連の研究活動は、日本-チェコ側による複数の共著論文として報告されるとともに[Miyoshi et al., 2019, 2022, Hendry et al., 2020, Santolik et al., 2021, Hanzelka et al., 2020, 2021, Martinez-Calderson et al., 2021]、日本側の研究グループの科学成果拡大にもつながり、多くの研究論文が報告された。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

現在、人類の活動領域が、宇宙空間へと広がりつつあり、宇宙機の運用や有人活動が活発に行われている。宇宙空間のプラズマ波動は、宇宙放射線（放射線帯の高エネルギー電子）環境を大きく変化させるため、宇宙のプラズマ波動の基本的な性質を理解することは、宇宙環境を理解し、その変動を予測するために重要な知見となる。

本事業においては、日本およびチェコ共和国のプラズマ波動の研究でそれぞれ長い実績を持つ研究者が共同研究する体制を構築し、相互の訪問をはじめとした密な共同研究を実施してきた。そして、現在、宇宙空間で運用されている多点の人工衛星データの解析を共同で行い、波動の伝搬や成長といった宇宙のプラズマ波動に係る基本的な性質についてきわめてユニークな成果を得た。このような知見は、宇宙のプラズマ波動の消長の理解にとって鍵となるものである。また、共同研究の中では、宇宙のプラズマ波動によって、宇宙放射線（放射線帯の高エネルギー電子）が散乱される現象についても共同研究を進めた。このように本事業による共同研究の成果は、人類が宇宙空間を安全に理解するための基本的な知見に貢献するものである。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

本事業による共同研究では、日本側、チェコ側ともに若手博士研究者、大学院生が多く参加し、共同研究やワークショップでの講演を実施した。本事業を通して、双方の国の若手研究者の交流が進み、将来の人材交流の礎が築かれことは成果の一つと考えられる。また、若手研究者が、将来、相手国の研究機関で研究活動を行うことを検討することや、日本側の大学院生がチェコの大学での学位取得の機会を検討することも行われた。これは、宇宙科学分野における日本とチェコの間の人材交流の促進につながっていく流れであり、本事業の成果と考えられる。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どの様な発展の可能性が認められるか)

本事業では、コロナ禍のため、研究者の訪問や派遣が初年度しか実施することができなかったが、その後

の2年度において、インターネットを活用しながらチェコの宇宙科学の研究者と密接な交流の機会を継続し、双方のチームが一体となって研究を進め、科学成果を発出する体制が築かれた。実際に、本研究からいくつもの共同による研究課題が提案され、現在も研究活動が進められている。さらに、今後、本グループメンバーは、今後、日本と欧州が共同で打ち上げる木星探査機 JUICE において、国際共同チームとしてプラズマ波動・電波観測を担っており、日本側、チェコ共和国側ともに、本事業によって培われた相互の緊密な理解と信頼にもとづく共同研究の体制が、今後のジオスペース、さらには惑星におけるプラズマ波動、電波さらには宇宙空間の研究を大きく発展させることにきわめて有効であると考えている。

日本およびチェコ共和国側の議論によって、本事業が終了した後もこのような共同研究体制を継続しさらに発展させていくことが合意されている。今後、各機関の運営費交付金や、本事業への提案も含めて、相互の研究機関の訪問や合同ワークショップを継続的に開催できる体制を作り、両国の共同研究体制をさらに強固に発展させ、研究成果のさらなる創出につなげていきたいと考えている。実際、研究代表者が所属する名古屋大学宇宙地球環境研究所（共同利用・共同研究拠点）が実施する共同研究の枠組みで、チェコ側の研究代表者の Santolik 教授が 2022 年度に来日することが計画されている。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記述してください)

例: 大学間協定の締結、他事業への展開、受賞、産業財産権の出願・取得など

受賞状況

- ・三好由純: 第 37 回井上學術賞
- ・松田昇也: EPS Young Researcher Award
国際電波科学連合若手科学者賞
- ・小路真史: AOGS Kamide-lecture Award
- ・栗田 怜: 国際電波科学連合若手科学者賞
- ・ Mirek Hanzelka : 国際電波科学連合若手科学者賞
国際電波科学連合学生発表賞
VERSIM 国際会議ポスターアワード

特許出願

- ・北原理弘、三好由純:
短時間フーリエ変換を利用した信号の精密較正アルゴリズム(出願 2020-206843)