

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月19日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
名古屋大学宇宙地球環境研究所
[職・氏名]
准教授・大塚雄一
[課題番号]
JPJSBP 120226504

1. 事業名 相手国: 南アフリカ (振興会対応機関: NRF) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 複数観測装置と数値モデルを用いた中緯度プラズマバブルの全球的研究

(英文) Global study of midlatitude plasma bubbles using multi-instrument observations and models

3. 共同研究実施期間 2022年4月1日 ~ 2024年3月31日 (2年0ヶ月)【延長前】 年 月 日 ~ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

South African National Space Agency (SANSA), Researcher,
Katamzi-Joseph Zama Thobeka

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		4,835,219 円
内訳	1年度目執行経費	2,355,219 円
	2年度目執行経費	2,480,000 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究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	11名
相手国側参加者等	7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	3	0	4 (4)
2年度目	2	0	2 (2)
3年度目			()

* 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: 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)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

現在、広く普及しているGPSをはじめとする全地球測位システム(Global Navigation Satellite System; GNSS)や衛星放送・通信で使われている電波は、地球の超高層大気に位置し、その大気の一部が電離した電離圏を通過する。プラズマバブルの内部には、電子密度の粗密構造(電離圏擾乱)が発生するため、プラズマバブルの内部を通る電波に障害をもたらす。プラズマバブルは、赤道で発生し、高緯度方向に拡大する。時には、プラズマバブルが中・高緯度に達することがあるが、中・高緯度にまでプラズマバブルが発達する原因は明らかにされていない。本研究では、赤道域で発生したプラズマバブルが中緯度に発達するメカニズムを解明することを目的とする。

このため、日本側研究グループは、世界中に設置された約9,000台を越えるGNSS受信機データを取得し、全電子数データベースを継続して作成した。このデータを用い、磁気嵐中に中緯度まで発達したプラズマバブルの南北両半球の同時観測を行い、プラズマバブルの生成や、プラズマバブル内部に発生する電離圏擾乱の生成・消滅に関する研究を行った。また、2022年1月15日に南太平洋トンガ沖で発生した海底火山噴火により、中緯度まで達するプラズマバブルが発生したことを明らかにするとともに、この噴火によって発生した様々な電離圏擾乱の原因を究明した。南アフリカ側研究グループは、電離圏を飛翔する人工衛星のデータを解析し、赤道域から中緯度における電離圏擾乱の統計的性質を明らかにした。

本事業により、2022年度には、南アフリカ・South African National Space Agency (SANSA)の研究者4名が来日し、名古屋大学宇宙地球環境研究所において研究打合せを行った。日本側から名古屋大学の教員1名と学生1名、京都大学の学生1名が南アフリカ・SANSAを訪問し、セミナーを開催した。2023年度には、南アフリカ・SANSAの研究者2名が来日し、名古屋大学及び情報通信研究機構でセミナーを開催した。また、名古屋大学の教員1名と学生1名が南アフリカ・SANSAを訪問した。これらの機会を通じて、共同研究を進めるとともに、研究成果を国際学会で発表した。

(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)

本事業によって作成した全電子数データベースを用いて中緯度に達するプラズマバブルを検出し、2013年3月1日に発生した磁気嵐において、プラズマバブルが磁気共役性をもって南北両半球の中緯度域まで拡大することを初めて観測的に示すことに成功した。加えて、北半球の電離圏電子密度が急速に消滅することにより、中緯度まで拡大したプラズマバブルが北半球側において消滅し、南北半球間で非対称になり得ることを示した。この結果は、磁気嵐発生に伴う東向き対流電場の赤道域への侵入がプラズマバブルの発生と発達に重要な役割を果たしていることを示唆するものである。また、成長が止まった後のプラズマバブルは、中性大気の影響を大きく受けることを明らかにした。

さらに、全電子数データに加え、気象衛星や電離圏観測用レーダーで得られたデータを解析し、2022年1月15日に南太平洋トンガ沖で発生した海底火山噴火により、対流圏を伝搬する気圧波と同期して同心円状に広がる電離圏擾乱に関する研究を進めた。その結果、オーストラリア上空の電離圏変動によって生じた電場変動が地球の磁力線に沿って日本に伝わり、日本上空の電離圏変動を引き起こしたことを明らかにした。加えて、対流圏を伝搬する気圧波によって生じた音波が電離圏下部に上方伝搬することにより、中緯度にまで達するプラズマバブルを誘起したことを明らかにした。このように、プラズマバブルの発生を直接誘起するメカニズムを示した例は極めて珍しく、プラズマバブル発生機構及び、プラズマバブルの発生予測に関して貴重な知見を得た。

(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)

これまで、日本側研究グループは、東・東南アジア域に電離圏観測網を整備してきた。一方、本事業では、南アフリカに設置された GNSS 受信機のデータを取得し、全電子数を計算することにより、南アフリカにおける全電子数変動の二次元分布を調べることを可能にした。2022 年一年間の GNSS 全電子数データを調べ、南アフリカ上空の電離圏に発生する伝搬性電離圏擾乱の特性を明らかにした。その結果、南アフリカにおいて夜間に発生する伝搬性電離圏擾乱の発生頻度は、他の地域よりも低いことを明らかにした。加えて、この特性は、地球の磁場の水平成分が南アフリカでは小さいことにより、スプラディック E 層の電子密度が小さいことが原因であることを示した。

(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)

プラズマバブル内部に発生する電子密度の粗密構造によって GNSS 電波は影響を受けるため、GNSS の測位に誤差が生じる。本事業において、プラズマバブル内部の電子密度変動の大きさと、GNSS 測位誤差の大きさの関係を明らかにした。また、中緯度において発生する電離圏擾乱と GNSS 測位誤差の季節・地方時変化を明らかにし、日本では夏季夜間に電離圏擾乱による測位誤差が大きくなることを統計的に示した。また、GNSS 相対測位において、測位の基線方向と、電離圏擾乱の構造と関係を調べ、基線が電離圏擾乱の構造と直交する方向にある場合に誤差が大きくなることを示した。これらの研究成果は、今後ますます高精度化し、重要な位置情報の活用に対して有用な知見を与える。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

本事業において、2023 年 3 月に、名古屋大学理学研究科の学生 1 名と京都大学情報学研究科の学生 1 名が、日本側研究代表者と共に、相手機関である南アフリカ・SANSa を訪問し、SANSa の学生と研究の進め方に関する意見交換を行った。名古屋大学の学生は、2023 年 3 月に学位を取得後、名古屋大学宇宙地球環境研究所の特任助教となり、2024 年 4 月からは、学術振興会特別研究員として京都大学生存圏研究所に所属し、自身の研究を発展させている。京都大学の学生も、2023 年 3 月に学位を取得後、04 年 4 月から名古屋大学宇宙地球環境研究所の研究員となり、本研究代表らと共同研究を行い、GNSS 全電子数データを用いた 3 次元トモグラフィ法を開発し、電離圏擾乱の研究を継続・発展させている。2024 年 3 月には、名古屋大学理学研究科の学生 1 名が南アフリカ・SANSa を訪問した。当学生にとって、本出張が初めての国外への旅行であったが、SANSa の研究者が参加するセミナーにおいて、自身の研究を発表する機会を得た。2023 年 8 月に、SANSa の大学院生を招へいする予定であったが、体調不良のため実現しなかった。

2024 年 3 月には、南アフリカ SANSa のヘルマナスにある研究所の近くの高校(Qhayiya Secondary School)を本事業の両国の代表者である大塚雄一と Katamzi-Joseph Zama Thobeka、及び名古屋大学理学研究科の学生 1 名が訪問し、大塚と Zama Thobeka がそれぞれの研究や、所属する研究機関の研究、研究者になるために必要なことなどを高校生に講演した。また、大塚が所属する名古屋大学宇宙地球環境研究所が取り組んでいる国際共同研究の枠組みについて紹介した。南アフリカでは、多くの生徒に対して講演を行うために必要なプロジェクターやスクリーンなどの設備が整っていない学校も多くあるため、それら必要な設備を備え付けた車を SANSa が用意している、という現状を知ることができた。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

GNSS 全電子数データから電離圏電子密度の空間三次元構造を求めるとモグラフィ法を新たに開発した。こ

の手法を多数の受信機が運用されている日本のデータに適用することにより、電離圏擾乱の成因によってその三次元構造が異なることを示すことができた。従来の電離圏観測では、電離圏電の三次元構造を観測することは難しかったが、今後、多数の GNSS 受信機データが使用可能になることにより、これまで得られなかった電離圏電子密度の三次元構造が明らかにされることが期待される。日本では、従来から用いられてきた国土地理院 GNSS 観測網データに加え、民間企業が整備・取得している GNSS 観測データを活用することにより、稠密な観測が可能になる。今後、GNSS 観測を行っている民間企業との協力も重要になると考える。

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

本事業で得られた研究成果に対し、以下の受賞があった。

- Earth, Planets and Space 誌 Highlighted Papers 2023

(<https://earth-planets-space.springeropen.com/highlighted-papers>)

Atsuki Shinbori, Yuichi Otsuka, Takuya Sori, Michi Nishioka, Perwitasari Septi, Takuo Tsuda, Nozomu Nishitani, Atsushi Kumamoto, Fuminori Tsuchiya, Shoya Matsuda, Yoshiya Kasahara, Ayako Matsuoka, Satoko Nakamura, Yoshizumi Miyoshi and Iku Shinohara, New aspects of the upper atmospheric disturbances caused by the explosive eruption of the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano. Earth Planets Space 75, 175 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01930-4>

- Earth, Planets and Space 誌 Highlighted Papers 2022

(<https://earth-planets-space.springeropen.com/highlighted-papers>)

Atsuki Shinbori, Yuichi Otsuka, Takuya Sori, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, Takuo Tsuda and Nozomu Nishitani, Electromagnetic conjugacy of ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption as seen in GNSS-TEC and SuperDARN Hokkaido pair of radars observations. Earth Planets Space 74, 106 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01665-8>

- 2023 年 SGEPS 論文賞 (<https://www.sgepss.org/awards/sopa.html>)

Atsuki Shinbori, Yuichi Otsuka, Takuya Sori, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, Takuo Tsuda and Nozomu Nishitani, Electromagnetic conjugacy of ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption as seen in GNSS-TEC and SuperDARN Hokkaido pair of radars observations. Earth Planets Space 74, 106 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01665-8>