

2022 年度名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト 成果報告書

赤道プラズマバブルの生成機構解明と発生予測に向けた研究

研究代表者：横山 竜宏（京都大学生存圏研究所）

研究目的:

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。特に、下層大気で励起された大気重力波は、電離圏高度で大きな振幅を持つため、電離圏の変動に重要な役割を果たすと考えられている。また、局所的なプラズマ密度の不規則構造を伴う電離圏擾乱が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動(シンチレーション)が生じるため、GPS 等による電子航法に障害を及ぼすことが知られている。このような電離圏擾乱の発生機構を解明し、発生を事前に予測することが、科学・実用の両面から求められている。本研究では、特に深刻な障害の原因となる赤道スプレッド F (プラズマバブル) の生成機構解明と発生予測を目指し、低緯度電離圏数値モデルを用いたプラズマバブル生成に関する研究を実施する。全球の大気圏電離圏結合モデルである GAIA モデルに高分解能のプラズマバブルモデルを階層的に結合させ、現実的な背景の条件においてプラズマバブルの発生条件について検討を行う。

研究成果:

1. 様々な条件におけるプラズマバブルの発生を確認するために、背景電場と初期密度変動の振幅を変化させて多数のシミュレーションを実行した。また、背景電場の時間変化を考慮して、プラズマバブルが発生する日没時刻前後の様子を再現し、条件設定によってプラズマバブルの発生の有無が制御されるかどうかの確認を行った。背景電場や初期変動の振幅が小さい場合であっても、数時間シミュレーションを継続するとプラズマバブルが電離圏上部にまで成長することが確認されたが、実際の電離圏ではそのような条件が数時間継続することは考えづらく、背景電場が東向きから西向きに変化したタイミングで成長が止まることが想定される。
2. 全球大気圏電離圏結合モデル GAIA の高解像度化を目的として、まず電離圏モデル部分とダイナモ電場計算部分の高解像度化に着手した。プラズマバブルを再現するためにどの程度までの高解像度化が必要か、計算資源の面からどの程度まで高解像度化が可能か、の両面から検討を進めているところである。
3. これまでの赤道大気レーダーと MU レーダーによる長期間の観測データを解析

し、現象の発生傾向について観測面から整理した。赤道大気レーダーで実施された 2001 年から 2020 年までの電離圏観測結果から、プラズマバブルの太陽活動依存性や季節依存性が明確に示され、今後のシミュレーション研究との比較に有用であると考えられる。また、長期間のデータの解析のために、機械学習による現象の自動検出モデルの開発を進めている。大量データの学習にもスーパーコンピュータを利用することを計画している。既に観測結果の画像から現象の有無を自動的に抽出する機械学習モデルは開発済みであり、今後は統計解析に機械学習モデルを導入することが期待できる。

公表状況:

(論文)

1. Yokoyama, T., R. Takagi, and M. Yamamoto, Solar and geomagnetic activity dependence of 150-km echoes observed by the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia, *Earth, Planets and Space*, **74**, 113, doi:10.1186/s40623-022-01675-6, 2022.
2. Liu, P., T. Yokoyama, W. Fu, and M. Yamamoto, Statistical analysis of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Japan based on deep learning instance segmentation, *Space Weather*, **20**, e2022SW003151. doi:10.1029/2022SW003151, 2022.

(口頭)

1. 横山 竜宏, 高木 理絵子, 山本 衛, 赤道大気レーダーで観測された 150km エコーの太陽・地磁気活動依存性, 第 152 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [相模原: 2022 年 11 月].
2. 横山 竜宏, 高木 理絵子, 山本 衛, 赤道大気レーダーで観測された 150km エコーの太陽・地磁気活動依存性, 第 15 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム [Virtual: 2022 年 9 月].
3. 横山 竜宏, 増田 秀人, 劉 鵬, 山本 衛, MU レーダー観測とイオノゾンデ自動読み取りシステムを用いた電子密度の長期統計解析, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会 [千葉市/Hybrid: 2022 年 6 月].
4. 横山 竜宏, 石井 達也, 湯谷 樹生, 山本 衛, MU レーダーと赤道大気レーダーによる電離圏イレギュラリティ観測の長期統計解析, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会 [千葉市/Hybrid: 2022 年 5 月].