

2024 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:

プラズマバブル発生の日々変動の原因を明らかにするために、背景の条件を少しずつ変化させたシミュレーションを多数実行し、プラズマバブル発生への寄与が大きいパラメータの調査を行った。具体的には、東西方向の電場の振幅と時間変化、初期状態における電離圏高度、電離圏下部に与える初期変動の振幅等を変化させ、プラズマバブル発生の有無の閾値を理解することを試みた。また、それぞれの条件の下で、プラズマバブルの要因と考えられている Rayleigh-Taylor 不安定の線形成長率を計算し、プラズマバブル発生の有無と成長率の値との比較を行った。電離圏高度が上昇している場合には成長率が高くなり、シミュレーションを進めた結果、活発なプラズマバブルが成長したことが示された。

図1に、電離圏E領域の電子密度を変化させた場合のプラズマバブルの成長と線形成長率の高度分布を示す。磁力線に沿って積分した線形成長率は、 $\Sigma F / (\Sigma E + \Sigma F)$ のファクターが掛かるため、E領域の密度が増加すると成長率は減少する。実際、E領域の密度を3倍とした場合の結果と比較すると、プラズマバブルは2時間以内に高高度まで成長する様子は見られなかった。一方、線形成長率の値の差は $0.001s^{-1}$ 程度であり、僅かな成長率の

差が大きな違いをもたらすことが明らかとなった。プラズマバブル発生の日々変動の差はわずかな成長率の差によってもたらされている可能性があることが示された。

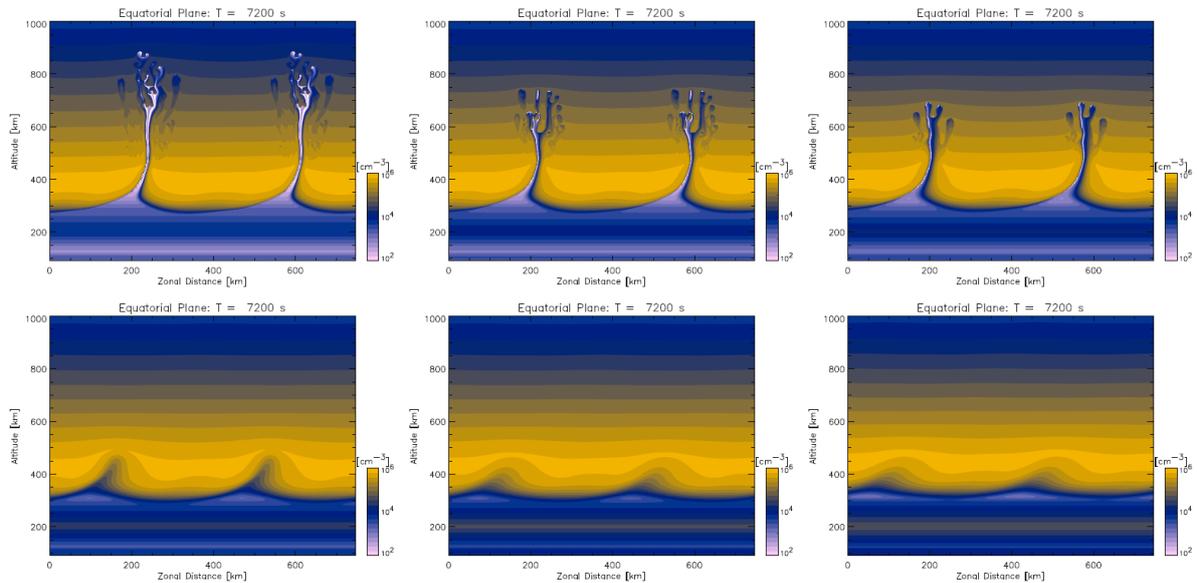


図 1: E 領域の電子密度を変化させた場合のプラズマバブルの成長。

公表状況:

(論文)

1. Yokoyama, T., Simulation study of the impacts of E-region density on the growth of equatorial plasma bubbles, *Front. Astron. Space Sci.*, 11, 1502618, doi:10.3389/fspas.2024.1502618, 2024.

(口頭)

1. Yokoyama, T., and T. Yutani, Simulation of Day-to-day Variability of Equatorial Plasma Bubbles Under Various Background Conditions, Asia Oceania Geosciences Society 21th Annual Meeting [Pyeongchang, South Korea: June 2024] (Invited).
2. Liu, P., T. Yokoyama, and M. Yamamoto, Spatiotemporal Sequence Prediction of Global Ionospheric Total Electron Content Map Based on Machine Learning, Committee on Space Research 45th COSPAR Scientific Assembly [Busan, South Korea: July 2024].
3. Yokoyama, T., T. Yutani, Simulation of Day-to-day Variability of Equatorial Plasma Bubbles Under Various Background Conditions, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 [千葉市/Hybrid: 2024 年 5 月]
4. 采山 裕紀, 横山 竜宏, 劉 鵬, イオノゾンデ観測を用いた機械学習によるスプラディック E 層の統計解析と発生予測, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会 [立川市: 2024 年 11 月].
5. 劉 鵬, 横山 竜宏, 惣宇利 卓弥, 山本 衛, Multimodal Fusion Towards Machine Reasoning for Spatiotemporal Predictive Learning of Ionospheric Total Electron Content, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会 [立川市: 2024 年 11 月].
6. 劉 鵬, 横山 竜宏, 山本 衛, 機械学習を用いた地球電離圏の全電子数マップの時空間系列予測, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 [千葉市/Hybrid: 2024 年 5 月].