

# 高精細プラズマバブルモデルと全球大気圏電離圏モデルの融合

Integration of high-resolution plasma bubble model and whole atmosphere-ionosphere model

研究代表者：横山 竜宏 (京都大学生存圏研究所)  
yokoyama@rish.kyoto-u.ac.jp

研究分担者：陣 英克 (情報通信研究機構)  
jin@nict.go.jp  
担当：全球大気圏電離圏モデル (GAIA) の開発・実行

品川 裕之 (情報通信研究機構)  
sinagawa@nict.go.jp  
担当：全球大気圏電離圏モデル (GAIA) の開発・実行

劉 鵬 (京都大学生存圏研究所)  
liu.peng.35a@st.kyoto-u.ac.jp  
担当：機械学習による電離圏擾乱現象の検出

## 研究目的 (Research Objective):

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。

## 計算手法 (Computational Aspects):

地球電離圏は弱電離プラズマ気体であり、地球磁場と中性大気との衝突の影響によりイオンと電子は異なった運動を示し、導電率に異方性を持つ。従って、イオンと電子の 2 流体を考慮する必要がある。イオンと電子の速度差から得られる電流密度の発散が 0 となる条件から電離圏内で発生する電場を求めることができる。その電場を用いてイオン速度を求め、プラズマ密度の連続の式から 1 時間ステップ後のプラズマ密

度分布を更新する。現在までに開発されてきた High-Resolution Bubble (HIRB)モデルに改良を加えることで、全経度範囲をカバーする数値モデルの作成を目標とする。正イオンとして NO<sup>+</sup>(E 領域) と O<sup>+</sup>(F 領域) の 2 種類を与える。磁気赤道を中心とするダイポール座標系を用い、磁気赤道上で高度 88-1270km、緯度方向に約 20 度の計算領域を確保する。昨年度には、計算領域を全経度域に拡張し、周期境界条件を仮定しないモデルの開発を行った。計算領域の増加により計算量・時間ともに大幅な増大が見込まれるため、計算の高速化も重要な開発課題である。

### 研究成果 (Accomplishments) :

今年度は計算機システムの更新の影響により、十分な計算時間を確保することができなかった。そこで、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。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 KDK を利用することを計画している。

### 公表状況 (Publications) :

#### (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].