

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:

地球電離圏において、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。

研究成果:

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り、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。従来の HIRB モデルでは経度方向のグリッドは 0.01 度間隔で 341 点を取っていた。これを 1 度間隔で 360 点取ることにした。これにより、計算に必要なメモリ量はほぼ同等なままで地球1周 360 度を計算範囲とすることができる。経度方向の境界条件は、HIRB モデルでは周期境界条件を仮定していた。しかし、この改良により周期境界条件は仮定ではなくなり、現実の境界条件に即したものとなった。この通常解像度領域に加えて、日没付近を高解像度領域として経度方向に 0.05 度とした。また、両者を接続させるための遷移領域を確保した。それぞれの領域でのグリッド間隔とグリッド数は Fig.1 のようになる。これからも分かるように、経度方向のグリッド数は HIRB モデルと比べると 4 倍以上になっているため計算量が大きく増える。開発モデルとしては、従来の HIRB モデルの計算メソッドを全経度に拡大しても不整合が起きないかを確かめることが重要であるので、磁力線に垂直な方向と平行な方向のグリッド数を減らし、垂直な方向は 851 点から 240 点へ、平行な方向は 501 点から 251 点へと減らした。これにより、トータルの計算量としてはほぼ同じ量になった。準平衡状態のプラズマ密度に対して、高解像度領域の中心に波長 2.4 度(約 240 km)、振幅約 100 km の高度変調を与え、プラズマバブルの成長を再現した。今回の結果と、従来の HIRB による結果を比較したところ、全経度範囲を計算領域としながらも、数 10km スケールのプラズマバブルが電離圏上部にまで発達する様子が再現されていることを確認できた。

経度方向のグリッドについて	グリッド間隔	グリッド数	経度範囲
HIRBモデル	0.01度	341点	3.41度
開発モデル			
高解像度領域	0.05度	1200点	60度
通常解像度領域	1度	236点	236度
遷移領域	単調変化	64点	64度
		計1532点	

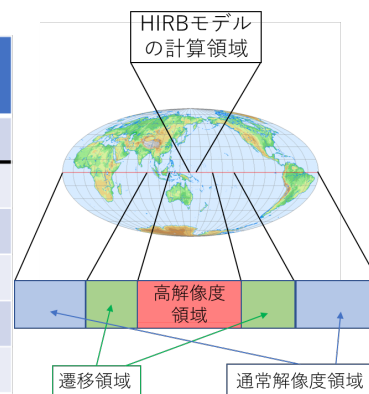


Fig.1 マルチスケール数値モデルのグリッド配置

公表状況:

(論文)

1. Tulasi Ram, S., K. K. Ajith, T. Yokoyama, M. Yamamoto, K. Hozumi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, and G. Li, Dilatory and downward development of 3-meter scale irregularities in the Funnel-like region of a rapidly rising equatorial plasma bubble, *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL087256, doi:10.1029/2020GL087256, 2020.

(口頭)

1. Yokoyama, T., H. Shinagawa, and Y. Otsuka, Effect of equatorial plasma bubbles on midlatitude region, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 [Virtual: July 2020] (Poster).
2. 横山 竜宏, 古元 泰地, 電離圏擾乱の研究に資するマルチスケール数値シミュレーションの開発, STE シミュレーション研究会・KDK シンポジウム合同研究会 [Virtual: 2021年3月] (Oral).
3. 横山 竜宏, 高精細プラズマバブルモデルの現在と今後の展望, 2020年度 ISEE 研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」 [Virtual: 2021年3月] (Invited, Oral).
4. 横山 竜宏, 古元 泰地, 高精細プラズマバブルモデルと GAIA モデルの結合に向けたマルチスケール数値モデルの開発, GAIA 研究会 [Virtual: 2021年3月] (Invited, Oral).
5. 横山 竜宏, 品川 裕之, 陣 英克, 大塚 雄一, 赤道プラズマバブルの急速な発達と中緯度帯への影響, 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [Virtual: 2020年11月] (Oral).
6. 古元 泰地, 横山 竜宏, GAIA モデルとの結合に向けた赤道プラズマバブルシミュレーションの改良, 第14回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム [Virtual: 2020年9月] (Oral).
7. 古元 泰地, 横山 竜宏, GAIA モデルとの結合に向けた赤道プラズマバブルシミュレーションの改良, 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 [Virtual: 2020年11月] (Oral).