

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:

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ことが明らかとなった。今年度は、主に計算アルゴリズム、特にポアソン方程式を解いて分極電場を求める部分の連立方程式の解法アルゴリズムについて検討を行った。メインの計算アルゴリズムは、これまでに様々な検討を行った結果、BiCG(双共役勾配法)と呼ばれるアルゴリズムから派生した BiCGstar と名付けられたアルゴリズムを使用している[Fujino and Murakami, 2013]。一方、行列の条件数を改善するための前処理については、近似逆行列をノイマン級数で構成する手法を用いている。ここで、ノイマン級数による逆行列の近似は

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots$$

と表される。この多項式の項数を多く取るほど逆行列の精度が高くなるため反復回数の減少が期待される一方、1反復当たりの計算量が増加するため、ある最適な項数が存在すると考えられる。Fig.1 にノイマン級数の項数に対する反復回数と実行時間の推移を示す。項数が少ない間は反復回数と実行時間ともに急激に減少するが、反復回数の減少効果は徐々に鈍化し、実行時間は項数 50 付近から増加に転じる。前処理を行わない場合に比べて実行時間は約 1/2 に減少しており、この前処理を導入することで大幅な実行速度の向上が見込まれる。今後は、昨年度に開発した全経度域をカバーするモデルに本前処理手法を導入し、全球モデル GAIA との結合に向けた開発を継続して実施する予定である。

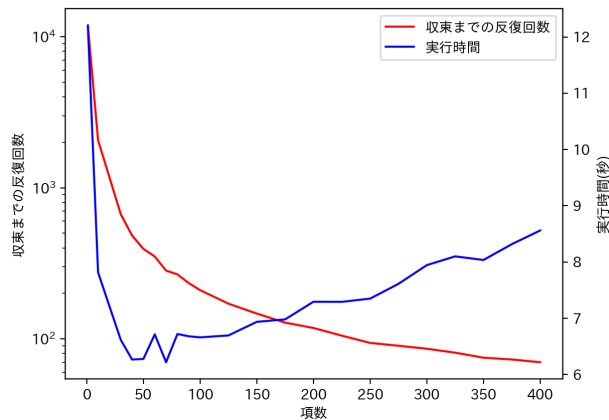


Fig.1 前処理のための近似逆行列を構成するノイマン級数の項数と、反復解法の反復回数と実行時間の関係

公表状況 (Publications) :

(論文)

1. Shinagawa, H., C. Tao, H. Jin, Y. Miyoshi, and H. Fujiwara, Numerical prediction of sporadic E layer occurrence using GAIA, *Earth, Planets and Space*, 73:28, doi:10.1186/s40623-020-01330-y, 2021.

(口頭)

1. Yokoyama, T., and T. Komoto, Development of Multi-scale Numerical Simulation Model for the Study on Ionospheric Disturbances, Asia Oceania Geosciences Society 18th Annual Meeting [Virtual: August 2021].
2. 横山 竜宏, 杉野 創, 高木 理絵子, 劉 鵬, 山本 衛, 赤道大気レーダーで観測されたプラズマバブルと150km エコーの長期統計解析, 第15回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム [Virtual: 2021年9月].
3. 横山 竜宏, 高木 理絵子, 山本 衛, 穂積 コンニャナット, 埜 千尋, 品川 裕之, 赤道大気レーダーを用いた金環日食時の電離圏 E 領域不規則構造の研究, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会 [Virtual: 2021 年 6 月].
4. 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, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会 [Virtual: 2021 年 6 月].
5. 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].
6. 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).
7. 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).