

## 2次元FDTDシミュレーションを用いたスποラディックE層空間構造推定

### Estimation of spatial structure of Es layer with 2-dimensional FDTD simulations

三宅 壮聡<sup>1\*</sup>, 五十川慎太郎<sup>1</sup>, 岡田敏美<sup>1</sup>, 石坂 圭吾<sup>1</sup>

Taketoshi Miyake<sup>1\*</sup>, Shintaro Isokawa<sup>1</sup>, Toshimi Okada<sup>1</sup>, Keigo Ishisaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>富山県立大学

<sup>1</sup>Toyama Prefectural University

電離圏には窒素, 酸素などが電離して生じた電離気体(プラズマ)粒子が存在するため, 電離圏中を伝搬する電波はその影響を受けて反射・屈折する. 電離圏中の電波伝搬特性を解明することは, 安定した通信を確保するために必要不可欠である. しかし, 電離層D, E層のような電離圏下部領域の空間構造は未だに良くわかっていない. 電離圏電子密度の解析手法として, ロケットによる直接観測, レーダによる観測, シミュレーション(Full-wave法やFDTD法)などがある. 本研究では2次元FDTD法を用いたシミュレーションを行い, 電離圏の空間構造が電波伝搬特性に与える影響について解析を行う. その解析結果より, ロケット観測で得られる電波強度の高度分布から電離圏空間構造を推定できる可能性を検討する.

電離圏中の波動伝搬を扱うシミュレーションの手法のうち, Full-wave法では平面的な構造を仮定するため, 電子雲などの2次元・3次元的な構造を持つ電子密度分布の解析を行うことはできない. 一方, FDTDシミュレーションでは自由な空間構造の解析が可能である. 本研究では電離圏下部領域における特徴的な空間構造としてスποラディックE層とFAIを想定している. 単純化と高速化のために空間変化を2次元に限定し, プラズマを扱うことのできる2次元FDTDコードを開発し, これを用いて2次元FDTDシミュレーションを行った.

電離圏モデルとして, 層状, 円形電子雲, 楕円電子雲モデルの3種類を仮定し, 電離圏の空間構造が電波伝搬特性に与える影響を調べた. さらに実際に行われている電離圏ロケット観測を想定して, シミュレーション結果から電波の磁界強度高度分布を求め, 電離圏モデルが異なる場合の磁界強度高度分布を比較し, その特徴から逆に電離圏空間構造の推測を行えるかについて検証を行った. 層状モデルでは電離層上空で高度が上昇するにしたがって磁界強度が単調減少するのだが, 円形電子雲, 楕円電子雲モデルでは電子雲中で磁界強度は減少した後, 電子雲上空で再び磁界強度が増加するという違いが現れた. この磁界強度の上昇は電子雲の大きさに対応しているため, 磁界強度高度分布からスποラディックE層の空間構造スケールを推定することが可能である. これらの結果を元に, 電波発信源の位置や発信周波数を変化させてシミュレーションを実行して, その影響の現れ方の違いからスποラディックE層に代表される電離圏空間構造の正確な推定が可能か検証する.

キーワード:スποラディックE層, FDTDシミュレーション, 電子密度分布, プラズマ波動

Keywords: Sporadic E layer, FDTD simulation, electron density profile, plasma wave