

# 7-4 2次元FDTD法を用いた電離層プラズマ中における電波伝搬に関する研究

電磁波工学研究室

0312077 吉野 修二郎

## 1. はじめに

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プラズマ粒子の影響を受ける。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。その解析手法として、ロケットによる直接観測、レーダーによる観測、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、電離圏中の電波伝搬特性を解析する。

## 2. FDTD 法による電波伝搬検証

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 1 次元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。本研究では様々な電子密度分布を仮定し、FDTD シミュレーションを行う。広大な領域のシミュレーションを行うため、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 コードを開発した。シミュレーション上の制約のため、磁場方向は  $z$  方向に限定される。実際に鹿児島で行われたロケット実験の磁場傾角が約  $45^\circ$  であるため、シミュレーション領域を  $45^\circ$  傾けて設定した。

## 3. シミュレーション結果

シミュレーションモデルとして、厚さ 280m の密度の高い電離層モデルを仮定した場合と、厚さ 400m、幅 600m の電子雲モデルを仮定した場合を仮定した。どちらのモデルも最大電子密度は  $2.65 \times 10^{10} \text{m}^{-3}$  であり、図 1 と図 2 は 873kHz の電波を放射後 500 $\mu\text{sec}$  の電界分布を示している。電離層モデルの場合、波源に近い領域では入射角が小さいため電波が透過し、波源から遠い領域は入射角が大きくなるため電波は透過しなくなる。しかし波源に近い領域から透過した電波が回折によって回り込むため、波源から遠い領域でも電離層上部に比較的強い電波が観測されることがわかる。一方電子雲モデルの場合、入射角が小さく、電子雲の

大きさに対して電波の波長（約 340m）が同程度であるため電波がほとんど減衰することなく透過している。さらに回折波も強く、電子雲外部では電波強度が強いことが確認できる。

## 4. まとめと今後の課題

本研究では電離圏プラズマ中における電波伝搬特性について、2 次元 FDTD シミュレーションを用いて検証を行った。その結果、これまでの Full-wave 法による解析では再現できなかった入射角の変化や回折波の影響を確認することができた。今後はより現実に近いシミュレーションを行い、ロケット実験データとの定量的な比較により電離圏の詳細な解析を進めていく。

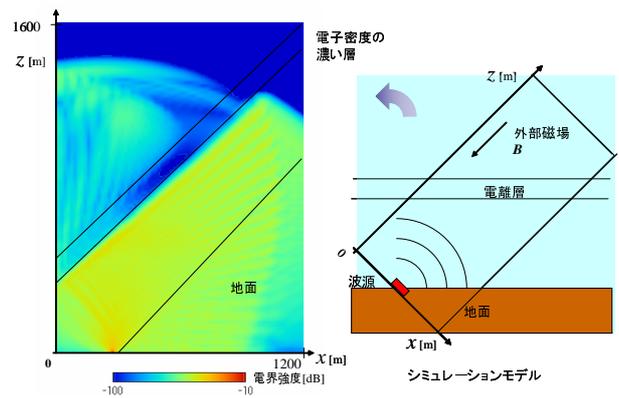


図 1: 電離層モデル

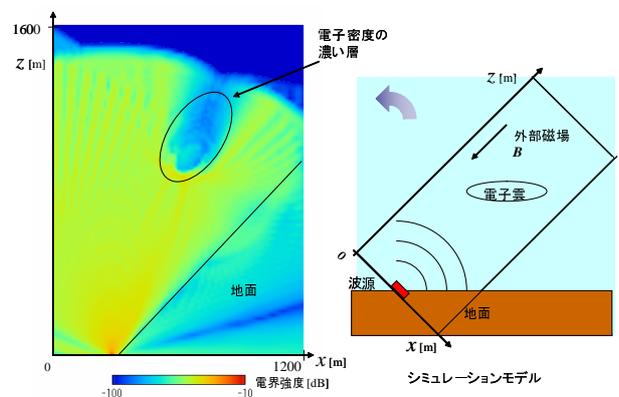


図 2: 電子雲モデル