

2次元FDTDシミュレーションによる電離圏プラズマ中電波伝搬に関する研究

吉野 修二郎 [1]; 三宅 壮聡 [1]; 岡田 敏美 [2]; 石坂 圭吾 [3]
[1] 富山県大・工・情報システム; [2] 富山県大・工・電子情報; [3] 富山県大

2-dimensional FDTD simulations of plasma wave propagations in the ionosphere

Shujiro Yoshino[1]; Taketoshi Miyake[1]; Toshimi Okada[2]; Keigo Ishisaka[3]
[1] Toyama Pref. Univ.; [2] Electronics and Infomatics, Toyama Pref Univ; [3] Toyama Pref. Univ.

We developed a 2-dimensional FDTD simulation code which can treat wave propagations in magnetized plasma. Though we need to perform full particle simulations in order to recognize accurate characteristics of waves propagating in space plasma, FDTD simulations can be performed with much less computer resources than those necessary for full particle simulations, in memories as well as cpu times. Since space plasma is magnetized, it is necessary to incorporate the dielectric tensor with anisotropy and dispersibility in FDTD simulation code, in order to calculate the electromagnetic field in space plasma. In FDTD simulations, it is essential that how to realize an effective absorbing boundary. We developed PML (Perfectly Matched Layer) absorbing boundary condition with anisotropy and dispersibility, and succeeded to realize very effective absorbing boundary. In this study, we performed FDTD simulations with several types of electron density profiles in the ionosphere, ionospheric layer model and electron cloud model, and confirmed characteristics of MF wave propagations in the ionosphere.

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.

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45deg.であるため, シミュレーション領域を45deg.傾けて設定した.

ロケット実験で観測される領域を確保し, 様々な形状のモデルでシミュレーションを行った.

まず, 電離層に模した層状モデルの場合では, 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.

また, 電子雲に模した雲状モデルのシミュレーションでは, 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)が同程度であったため

電波がほとんど減衰することなく透過した.

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た.

次にスプラディックE層のように電離層が波打つ構造を持つ場合を考え, 波状の電離層をモデル化してシミュレーションを行った. 波状モデルの場合, 電離層に対して電波の入射角が様々な角度をとるために, 波源から近い領域, 遠い領域でも入射角が小さくなるときに電波が層を透過するため, 電離層上部で比較的強い電波が確認できた.