

A-017

# 実環境数値モデルとFDTD並列計算による大規模電磁波シミュレーション

## Large-Scale EM Wave Simulation by Realistic Numerical Model Using FDTD Parallel Computation

園田 潤<sup>†</sup> 及川 貴瑛<sup>†</sup> 小山田 拓司<sup>†</sup> 金澤 靖<sup>‡</sup> 佐藤 源之<sup>§</sup>  
 Jun Sonoda Takaaki Oikawa Takuji Oyamada Yasushi Kanazawa Motoyuki Sato

### 1. まえがき

近年、携帯電話、無線LAN、GPS、ETCなど電波を使用した様々なデバイスは、我々の生活に欠かせないものになっている。このような電波デバイスは、今後も増加することが予想されるため、電波の局所集中による人体への影響や周囲の機械の誤作動など、電波環境の悪化が懸念され問題視されている。この問題を解決するためにFDTD(Finite-Difference Time-Domain)法による電磁波シミュレーションが盛んに行われているが、これまでの研究では簡易モデルを用いたシミュレーションがほとんどであり[1][2][3]、解析精度に問題があった。

一方、落雷による人的および電気設備などへの被害が増大しており、社会問題となっている。落雷により生じる雷放電電磁界を事前に検出できれば落雷対策に反映できるため、これまでにFDTD法による雷放電電磁界の解析が盛んに行われている。しかしながら、2次元山岳モデルによる解析[4]、大地を平面とした3次元解析[5]、ビル1棟のみによる3次元解析[6]など、実際の地形を考慮した実環境シミュレーションが行われておらず、現実的な解析結果が得られていなかった。

以上のように、屋内外において電磁波の伝搬散乱を実環境モデルで解析できれば、既存の電波デバイスの最適設計や新規電波デバイスの創出等に有効である。そこで本研究では、より現実に近い解析を行うために、(1)ステレオカメラによる室内環境数値モデルの構築と、(2)国土地理院の等高線図による地形数値モデルの構築を行い、(3)実際に構築した実環境モデルを用いてFDTD並列計算により電磁波シミュレーションを行う。

### 2. FDTD法のための実環境数値モデル構築

#### 2.1 FDTD法の基本原理

FDTD法は、マクスウェルの方程式を空間および時間の2次精度中心差分で差分方程式に変換し、時間毎に解析空間内の電磁界を計算する手法である。簡易なアルゴリズムと時間領域の解析ができることが特長である。

FDTD法では、解析領域を格子状(セル)に分割し、各セル上に電磁界の各成分を配置する。例えば、電界 $E_x$ は $E_x(i + \frac{1}{2}, j, k)$ 、磁界 $H_x$ は $H_x(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2})$ のように互いに1/2セルずれた点に配置する。時間についても同様に、電界と磁界は $E^n, H^{n+\frac{1}{2}}$ のように1/2時間ずれた時間で定義される。このように、空間および時間で電磁界を定義し、2次精度の中心差分によりマクスウェルの方程式を差分方程式に変換し、電磁界の各成分を時間ステップ毎に全解析領域で計算していく。

#### 2.2 ステレオカメラによる屋内実環境数値モデルの構築

本研究では、ステレオカメラを用いた3次元計測により得られた3次元座標をもとに、FDTD法の数値モデルを構築する。本手法では任意方向に置かれた物体にも対応するために、物体の内外判定に平面の方程式を用いる。

数値モデル構築の手順は、(1)物体の特徴点座標を入力し、(2)特徴点の座標をもとに物体を構成するすべての面の方程式を求める。(3)算出した面の方程式に不等号を組み合わせることで物体の内部を表す条件式を作成し、(4)物体の内部に位置するセルにその物体の電気定数 $\epsilon, \mu, \sigma$ を与える。

#### 2.3 等高線図による屋外数値モデルの構築

国土地理院が公開している等高線図からFDTD法の地形数値モデルを構築する。以下に構築の手順を示す。

(1)解析対象とする等高線図とその領域内の最高点を入力し、(2)最高点から下降方向に各等高線の標高を決定する。このとき、頂が複数ある場合、すなわち頂上から下降したときに下降方向にない等高線が存在する場合は、一時的に等高線の標高判定から除外する。それ以外の等高線の標高決定を終えた後、除外していた等高線の標高を決定する。各地点の標高は、頂の標高と、頂とその等高線との間に存在する等高線の本数などから算出できる。(3)決定した等高線の標高をもとに、等高線以外の空間の標高を補間により求める。(4)すべての地点の標高をもとに各セルに電気定数 $\epsilon, \mu, \sigma$ を与える。

### 3. 実環境数値モデルを用いたFDTD並列計算による電磁波シミュレーション

#### 3.1 解析環境

波長に比べ大規模な領域の電磁波伝搬を解析するために、ここでは、Intel Xeon プロセッサ 2基と32GBのメモリを搭載したマルチコアPC(MacPro MA970J/A)を用いる。並列化はMPI(mpich-1.2.7)で実装する。

#### 3.2 オフィス環境における電波伝搬散乱解析

2.2節で示した手順により、実際のオフィス環境として研究室の数値モデルを構築する。モデル化する研究室の大きさは、 $x=4.5\text{ m}, y=4.5\text{ m}, z=3.0\text{ m}$ とし、室内にはPCなどの直方体の物体が25個、テーブル7個、イス5個、棚2個などが存在する。ここでは空間は真空とし、室内の物体の電気定数はすべて $\epsilon_r=3.0, \sigma=10^{-2}\text{ S/m}$ とした。図1にセルサイズを0.01mとして構築したFDTD法の数値モデルを示す。図1より、本手法によりFDTD法の数値モデルが構築できることを確認した。

図1の数値モデルを用いてFDTD法による電波伝搬散乱解析を行う。解析空間は $4.5 \times 4.5 \times 3.0\text{ m}$ とし、上下面と側面に10セル分の厚さのコンクリート壁を設けた。

<sup>†</sup>仙台高等専門学校, Sendai National College of Technology

<sup>‡</sup>豊橋技術科学大学, Toyohashi University of Technology

<sup>§</sup>東北大学, Tohoku University

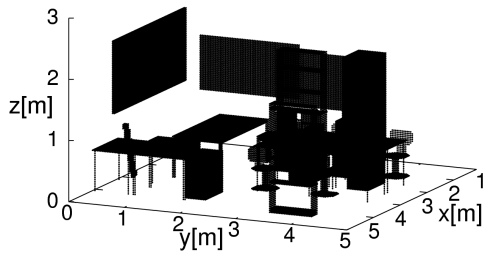


図 1: オフィス環境の数値モデル構築例

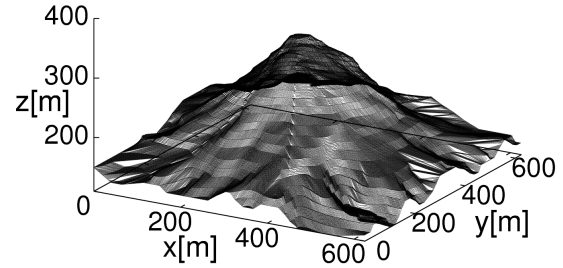


図 3: 山岳部の数値モデル構築例

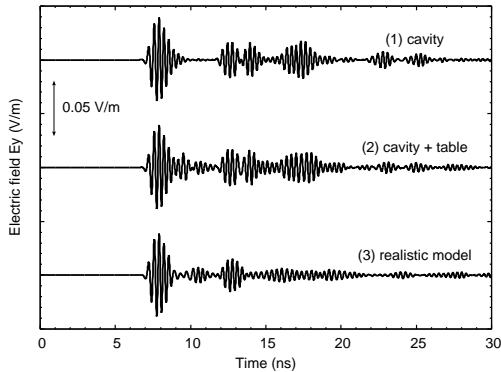


図 2: 数値モデルの精度による観測波形の相違

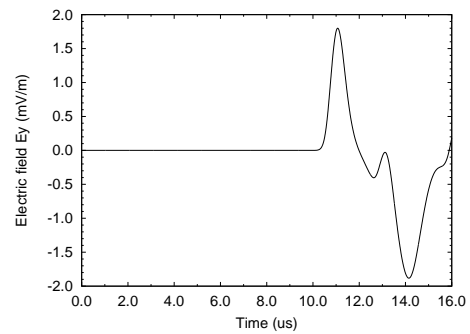


図 4: 山岳部における電磁波の伝搬散乱

セルサイズは  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01 \text{ m}$ ,  $\Delta t = 10^{-11} \text{ s}$  とした。壁には  $\epsilon_r = 6.0$ ,  $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$ , 室内の物体には  $\epsilon_r = 3.0$ ,  $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$  を与え, (1) 空間内に物体が存在しないとき, (2) テーブルのみモデル化したとき, (3) すべての物体をモデル化したときの 3 条件で解析を行った。

図 2 に図 1 の数値モデルを用いて FDTD 法により解析した結果を示す。図 2 は, 波源を (2.0, 4.0, 1.8) に設置した場合の, 波源から  $x$  方向に 2.0 m 離れた観測点における電界  $E_y$  の波形である。図 2 より, 室内モデルの精度により解析結果に違いが生じていることがわかる。例えば, 9ns 付近の電界  $E_y$  を見てみると, (1) モデルを使用しなかった場合の  $E_y$  は 0.015 V/m であるのに対し, (2) テーブルのみと (3) すべての物体をモデル化した場合では, テーブルや PC などによる反射波のためそれぞれ 0.02 V/m, 0.01 V/m が得られている。今回の解析から, 数値モデルの精度を上げるにより, 解析した電磁界応答も現実になることを確認した。

### 3.3 山岳部における電波伝搬散乱解析

2.3 節に示した手順により, 等高線図から FDTD 法の数値モデルを構築し, 実際の地形による電波伝搬散乱解析を行う。図 3 に国土地理院 2 万 5 千分 1 地形図 (仙台西南部) のうち  $625 \times 625 \text{ m}$  の領域を抽出して構築した地形数値モデルを示す。主要都市部の数値地図が国土地理院より販売されているので, 5m メッシュ (標高) 仙台版との比較により構築した図 3 の数値モデルの精度を評価した結果, 標高の平均誤差は 1.3 % であり, 数値モデルは精度よく構築できることを確認した。

構築した図 3 の地形数値モデルを用いて FDTD 法による電波伝搬散乱解析を行う。解析領域の大きさは  $625 \times 625 \times 625 \text{ m}$  であり, セルサイズは  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1.25 \text{ m}$ , 時間ステップは  $\Delta t = 10^{-11} \text{ s}$  とし, 大地に  $\epsilon_r = 6.0$ ,  $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$  を与えた。解析結果を図 4 に示す。図 4 は, 波源を (100, 294, 200) に設置したときの波源から  $x$  方向に 300 m 離れた観測点における電界  $E_z$  である。図 4 の結果から, 実際の地形数値モデルを使用することで, より現実的な電波伝搬散乱特性が得られることを確認した。

## 4. むすび

本研究では, 実環境モデルを用いた FDTD 並列計算による電磁波シミュレーションを行った。構築した室内数値モデルと地形数値モデルを用いて, 実際の環境下での電波伝搬散乱解析を行い, 実環境モデルを用いることにより現実的な解析結果が得られることを示した。今後は, 様々な環境下での検証や実験との比較, GPU などによる高速化, 解析結果の可視化等を行う予定である。

謝辞 立石科学技術振興財団研究助成, 電気事業連合会パワーアカデミー萌芽研究, 科研費 (22760284) の支援を受けた。

### 参考文献

- [1] 安孫子他, 信学論 B, 2007.
- [2] C.P.Lim et al., IEEE Trans. AP., 2006.
- [3] M. Thiel and K. Sarabandi, IEEE Trans. AP., 2009.
- [4] 本間他, 電学会放電研資 ED-01-220, 2001
- [5] 大久保他, 信学論 B, 2005.
- [6] Y. Baba et al., IEEE Trans. EMC, 2007.