

F5 有限平板上の誘電体柱群からの偏波散乱特性について

林 圭¹ 佐藤 亮一² 山口 芳雄³ 山田 寛喜³
 新潟大学大学院自然科学研究科¹ 新潟大学教育人間科学部² 新潟大学工学部³

1. まえがき

地球環境を把握するための手段として、マイクロ波リモートセンシングが利用されている。人工衛星や航空機に搭載されたポーラリメトリック合成開口レーダ(POL-SAR)を用いることにより、地表面の散乱行列を取得することができるが、この散乱行列は散乱体の形状により特徴的な値を示すことが知られており、地表面分類の分野において散乱体の特徴ある局所的な形状が偏波情報を含む散乱行列に及ぼす影響を調べることが重要となってきた。市街地の識別においては、建築物と路面が垂直に交わる2面リフレクタ構造からの散乱界が、散乱行列に強く影響することが報告されている[1]。一方、森林地帯の識別にはLバンド(1.2GHz帯)による解析が有効とされるが、この周波数帯において、森林地帯の局所的な散乱体である木々からの散乱特性を詳細に調査した例は少ない。

本稿では、地表面に存在する複数の木々による散乱問題を、有限誘電体平板上の四角柱群により近似モデル化し、その偏波散乱特性を解析している。

2. レーダポーラリメトリ

ポーラリメトリックレーダはターゲットの反射係数を要素とする散乱行列を取得する。散乱行列はターゲットの偏波情報を含む 2×2 の複素行列であり、次式で表される。

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、式中の添字は直線偏波基底(H:水平, V:垂直)を表す。以下では送受信アンテナ位置が同じmonostatic radarを仮定しているため、 $S_{HV} = S_{VH}$ とする。

偏波散乱特性を評価するために、例えばCo-Pol ratioと偏波シグネチャが用いられる。Co-Pol ratioは次式で定義される。

$$\rho = \frac{S_{VV}}{S_{HH}} = |\rho|e^{j\phi} \quad (2)$$

但し、 $|\rho|$ は S_{HH} と S_{VV} の振幅比、 ϕ は S_{HH} と S_{VV} の位相差である。また、レーダで受信される電力(偏波受信電力)は次式で表される。

$$P = \frac{1}{2} g_t^T K g_t \quad (3)$$

ここで、 g_t は送信アンテナにおける偏波状態を表すStokesベクトルである。KはKenmough行列を

表し、散乱行列Sの要素を用いて表現できる 4×4 の実数行列である。式(3)は送受信偏波状態が等しいCo-Polチャンネルの偏波受信電力である。この電力を送受信偏波の組み合わせごとにプロットしたものを偏波シグネチャという。

3. 解析モデル

本稿では解析領域に平面電磁波(ガウスパルス)が入射した場合について、FDTD法[2]を用いて解析する。本稿で用いたガウスパルスは次式で表される。

$$p(\tau) = \begin{cases} e^{-\alpha(\tau-\beta)^2} & (0 \leq \tau \leq 2\beta) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (4)$$

ガウスパルスのパラメータは

$$|E| = 1000, \alpha = (4/\beta)^2, \beta = 96 \quad (5)$$

である。

本稿では図1に示すように散乱体を配置した。解析領域は自由空間とし、入射方向は $-z$ 軸方向、2面コーナリフレクタの折り目に対して平行な方向(x軸方向)を水平(H)方向とする。ターゲットの水平方向(x軸方向)の中心は、解析領域の水平方向の座標軸(x軸)の中心と一致させてあり、散乱体を傾けることにより入射角を各面に対して 45° となるようにしている。

解析領域は $250 \times 250 \times 250$ セル、セルサイズは $1 \times 1 \times 1$ cmである。単位時間ステップは $\Delta t = 1.92578 \times 10^{-11}$ [sec]、吸収境界条件はMurの2次吸収境界条件を用いた。なお、散乱体を傾けることにより入射角を各面に対して 45° となるようにしている。散乱体は図1(b)のような有限平板上に存在する4本の四角柱を考え、平板部分および四角柱部分の複素比誘電率を、それぞれ $\epsilon_{r1} = 7.0 - j0.1$ および $\epsilon_{r2} = 2.0 - j0.07$ (1.2GHz)とする。なお、図中の寸法はcmで表示している。

4. 数値計算結果および検討

図2に遠方における後方散乱界の時間応答の数値計算結果を示す。図中のHHは水平偏波入射、VVは垂直偏波入射に対するCo-Pol界である。図2(a)が誘電体柱モデル(モデル1)の結果である。比較のため、誘電体2面コーナリフレクタ(モデル2、図1(c))に対する計算結果も図2(b)に示す。両モデルを比較すると、水平偏波ではほぼ同様のピーク値を示しているのに対し、垂直偏波ではモデル2のピーク値に対してモデル1のピーク値が

小さくなっている様子が観測される。垂直偏波に関しては、片面が四角柱で構成されるモデル1のリフレクタ部分の面積が、モデル2に対して小さいことにより、2回反射して入射方向に戻る散乱(反射)量が減少したためであると考えられる。水平偏波に関しては前述したリフレクタ部分の面積の減少の影響をほとんど受けていないと考えられる。水平偏波ではモデル1、モデル2共にリフレクタのサイズが小さいため、エッジからの散乱の寄与が大きくなり、それぞれのモデルの特徴が観測できないと考えられる。

図3に各モデルの1.2GHzにおける偏波シグネチャを示す。

5. まとめ

本稿では遠方界の時間応答のみについて議論したが、発表においては散乱体のサイズや誘電率の変化に対する偏波散乱特性についても示す予定である。

謝辞

この研究の一部は、文部科学省科研費によるものである。

参考文献

- [1] 小林弘晃, 山口芳雄, 山田寛喜, “2面コーナリフレクタからの偏波散乱特性,” 信学技報, SANE2003-13, pp.35-40, May 2003.
- [2] A.TAflöv, S.C.Hagness, Computational Electrodynamics - The Finite-Difference Time-Domain Method, Artech House, 2000.

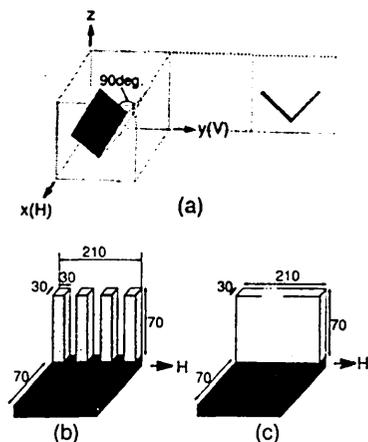


図1. 問題の構成図

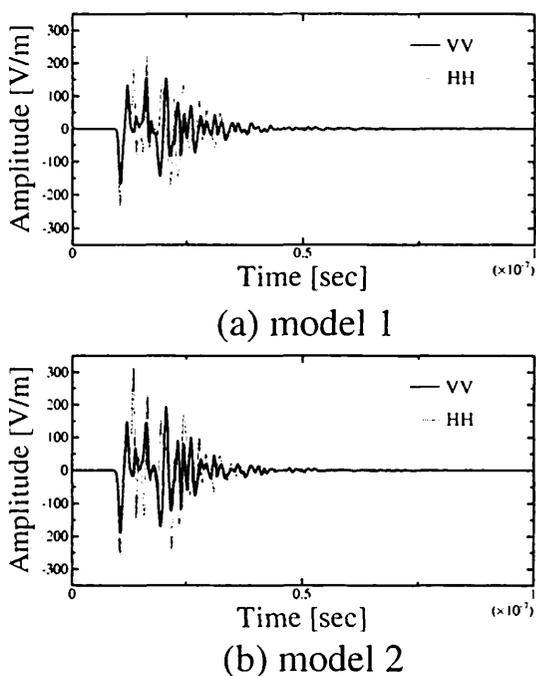


図2. 遠方散乱界の時間応答

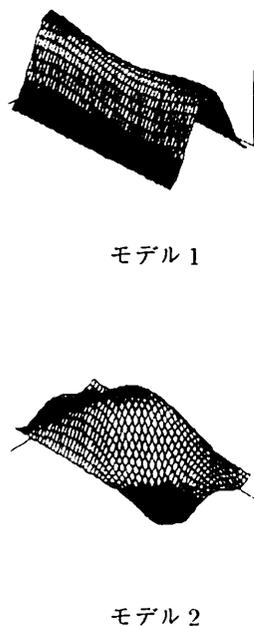


図3. 偏波シグネチャ