

## E 4 方位分解能内に含まれるターゲットの散乱行列の解析

小林 弘晃      山口 芳雄      山田 寛喜

新潟大学工学部

### 1. まえがき

電波の持つベクトルの性質を最大限に利用するポーラリメトリ機能を持つ合成開口レーダ(SAR)を用いることによって得られる散乱行列を基にしたレーダ画像により、地球環境を把握しようとするマイクロ波リモートセンシングがある。このレーダ画像は、実際には多くのピクセルで構成されている。ここで1ピクセルに注目してみると、基本的なターゲットが単一に存在するのではなく、植生域などに代表されるように、複雑に複数のターゲットが距離、方位方向に存在している。このような地形では、そのターゲットの散乱特性が完全に把握できていないため、画像解析において不明な点が存在してしまう。しかし、このときの合成散乱行列が各ターゲットの散乱行列の和で表されることが分かっている。そこで本稿では、基礎的研究として方位分解能内に含まれるターゲットに注目し、その合成散乱行列が式の上で評価できないか、FD-TD法<sup>[1]</sup>を用いて理論解析を行い、確認を行った結果を示す。

### 2. 散乱行列と偏波受信電力

Polarimetricレーダを用いたとき取得されるデータは反射係数を要素とした $2 \times 2$ の複素行列であり散乱行列と呼ばれ、ターゲットの情報を含んでいる。レーダからの送信波の偏波状態を $E^i$ 、散乱行列を $[S]$ とすると、受信波の偏波状態 $E^r$ は次のようになる。

$$E^r = \sqrt{\sigma} [S] E^i \quad (1)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$[S]$  : 相対散乱行列

ここで、添字は直線偏波基底(水平H, 垂直V)を表し、monostaticなレーダ( $S_{HV} = S_{VH}$ )を仮定している。また、 $\sigma$ はRCS(後方散乱断面積)と呼ばれターゲットの全反射電力を表す量である。この時、偏波受信電力は、次のように表現できる。

$$P = |E^r|^2 \sqrt{\sigma} [S] E^i \quad (3)$$

送受信アンテナの偏波状態が同じ偏波チャネル(Co-Polチャネル)の時、 $E_r = E_i$ となる。偏波受信電力を各送受信偏波状態ごとにプロットした図を偏波シグネチャと呼ぶ。

### 3. 3成分分解法

monostaticレーダにおける散乱行列は、(4)に示すように3つの基本となるターゲットの散乱行列<sphere(plate), diplane, helix>の和に分解することができる。これらの成分比( $C_i$ )を求めることで、ターゲットの特徴を調べることが可能となる。

$$[S] = e^{i\phi} \left\{ e^{i\theta} K_s [S]_{sphere} + K_d [S]_{diplane} + K_h [S]_{helix} \right\}$$

$$C_i = \frac{K_i}{K_s + K_d + K_h} \quad (i = s, d, h) \quad (4)$$

### 4. FD-TD法解析モデル<sup>[2]</sup>

方位分解能内に含まれる複数ターゲットの散乱特性を確認するためにFD-TD法を用いて理論解析を行った。今回は、基礎的研究として2つの異なるターゲット(plate, linear-target)を方位方向に配置して解析を行っている。図1に解析空間、図2にターゲット配置、表1にターゲットサイズを示す。図2においてdはターゲットの相対距離を表す。格子サイズは $10 \lambda \times 10 \lambda \times 10 \lambda$ 、格子間隔3.0mm、単位時間ステップ5.7psに設定した。計算を行う際、解析境界をMurの2次吸収境界条件とし、散乱波のみが存在する解析領域に対し遠方境界変換を行うことにより散乱行列の要素を得ている。

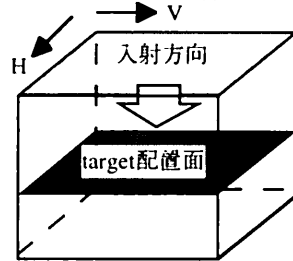


図1. 解析空間

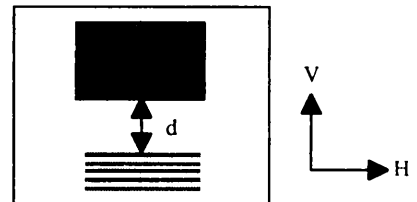


図2. ターゲット配置

表1. ターゲットサイズ

plate	$3.5 \lambda \times 3.7 \lambda$
linear-target	$2.0 \lambda \times 2.0 \lambda$

5. 解析結果と考察

plate, linear-target<sup>11</sup>それぞれの偏波シグネチャを図3に示す(白が最も強く、黒が弱い)。解析結果から得られた散乱行列を基に偏波シグネチャを求めると図4(a)のようになり、3成分分解を行った結果は表2(a)になる。次に、散乱特性を式の上で評価する。方位方向に置かれたターゲットに対して散乱特性は、各ターゲットにおける合成散乱行列の和で表されると考えると、理論的に導かれる式は、

$$[S] = \sqrt{\sigma_{plate}} [S]_{plate} + \sqrt{\sigma_{linear-target}} [S]_{linear-target} \quad (5)$$

$$\sigma_{plate} = 4 \pi \left( \frac{plate\ area}{\lambda} \right)^2 \quad (6)$$

$$\sigma_{linear-target} = 4 \pi \left( \frac{linear-target\ area}{\lambda} \right)^2 \quad (7)$$

となる。ただし、 $\lambda$ は解析で用いる波長、target areaは解析で用いたパラメータ(表1)を用いる。この合成散乱行列を基に偏波シグネチャを描くと図4(b)のようになり、3成分分解を行った結果は表2(b)になる。また、図4と表2をそれぞれ比較してみると、ほとんど等しい結果となっていて、方位方向に置かれたターゲットに対しての散乱特性は、plate, linear-targetの散乱特性の合成であることが分かる。これより式の上で方位方向に置かれたターゲットの散乱特性を評価することができる。

さらに、ターゲット間の距離の違いによる散乱特性の変化を調べるために、図2においてdを変化させて解析を行った結果を表3に示す。ただし、この場合dを変化させてもターゲットは方位分解能内に含まれているとする。この結果を見ると全て同じであることが分かる。これより、方位分解能内にターゲットが含まれているときに限り散乱特性は、ターゲットの配置に影響されないことが分かる。このことは、合成散乱行列式に距離に関する項が含まれていない限り、影響しないという事と一致する。

6. まとめ

本稿では、方位分解能内に含まれたターゲットに対してFD-TD法で理論解析を行い、その結果より散乱特性は各ターゲットの合成散乱行列で表されることを示した。これより実際の地形に近い、方位方向、距離方向と拡張した場合の散乱体のモデル化を行うことができ、画像解析におけるターゲット分類を精度良くできる可能性があると考えられる。

本研究の一部は、文科省科研費によるものである。

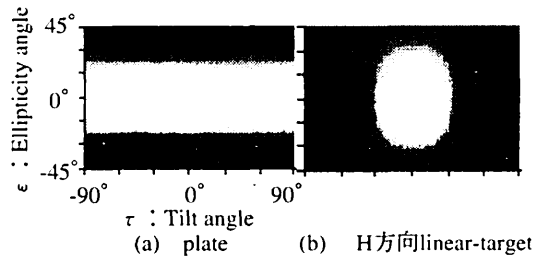


図3 偏波シグネチャ

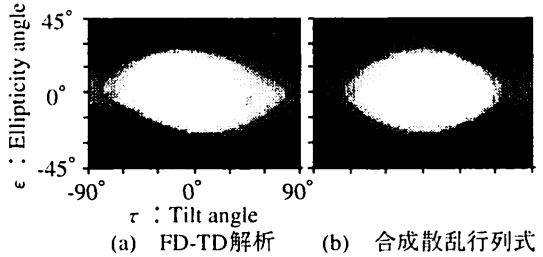


図4 偏波シグネチャ

表2 3成分比

	plate	diplane	helix
FD-TD解析	0.83	0.17	0.00
合成散乱行列	0.82	0.18	0.00

表3 3成分比

	plate	diplane	helix
d=0	0.83	0.17	0.00
d=1 λ	0.83	0.17	0.00
d=2 λ	0.83	0.17	0.00

参考文献

[1]北山健志, 高柳雄二, 山口芳雄, 山田寛喜, “平行平板ターゲットによるPolarimetric Calibration,” 電子情報通信学会論文誌B-II, vol. J 81-B-II, no.10, pp. 914-921, Oct. 1998.

[2]A.Taflove, Computational Electromagnetics The Finite-Difference Time-Domain Method, Second Edition, Artech House, Norwood, MA, 2000.