

E4 三成分散乱モデルによるPolarimetric SARの画像分類について

村瀬 誠 山口 芳雄 山田 寛喜
新潟大学工学部

1. まえがき

合成開口レーダ (SAR) のデータ解析において偏波情報を最大限に有効利用するポーラリメトリの技術が注目されている。本稿では、ポーラリメトリックSARから得られるデータから実際に三つの簡単な散乱モデル (表面散乱, 二回反射, 体積散乱) に分解する手法[1]を用いて偏波に対する処理を行い, この結果に対して地形を海域, 自然地形, 市街地の3クラスに分けて最尤法を用いた分類を施し各偏波成分の振幅成分の場合と比較し, その有効性を示す。

2. 三成分散乱モデルによる分解法 [1]

ポーラリメトリックSARから得られるデータは, Mueller行列の形となる。今回用いる三成分散乱モデルによるターゲット分解法は, このMueller行列から得られる散乱行列に対して用いる分解法である。この散乱行列は, 次式に示す送信波から散乱波への変換行列と解釈できる。

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

ここで, 添字は直線偏波基底 (水平 H, 垂直 V) を表し, E' は送信, E は受信を表す。また, レーダから地上までの距離が十分離れている場合は, $S_{HV} = S_{VH}$ と考える。この散乱行列から, 次に示す関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned} |S_{HH}|^2 &= f_s |\beta|^2 + f_d |\alpha|^2 + f_v \\ |S_{VV}|^2 &= f_s + f_d + f_v \\ S_{HH} S_{VV}^* &= f_s \beta + f_d \alpha + f_v \\ |S_{HV}|^2 &= f_v / 3 \\ S_{HH} S_{HV}^* &= S_{HV} S_{VV}^* = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

但し, * は複素共役, f_s, f_d, f_v は表面散乱, 二回反射, 体積散乱の成分を表す。また, α, β は二回反射, 表面散乱のそれぞれの成分から得られる係数である。この式 (2) のHVの項は, 表面散乱, 二回反射の係数を表す f_s, f_d は含まないので f_v はHVの項から直接求められ式 (2) は次式に変形される。

$$\begin{aligned} |S_{HH}|^2 &= f_s |\beta|^2 + f_d |\alpha|^2 \\ |S_{VV}|^2 &= f_s + f_d \\ S_{HH} S_{VV}^* &= f_s \beta + f_d \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

この時, 表面散乱, 二回反射に対しては式 (4), (5) の条件式を与えることによって f_s, f_d を求める。

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{Re} \left\{ S_{HH} S_{VV}^* \right\} > 0 \\ \alpha = -1 \end{aligned} \right\} (4) \quad \left. \begin{aligned} \operatorname{Re} \left\{ S_{HH} S_{VV}^* \right\} < 0 \\ \beta = 1 \end{aligned} \right\} (5)$$

式 (2) - (5) より f_s, f_d, f_v の係数を求め次式に対して散乱の寄与の割合を推定する。

$$\begin{aligned} P_s &= f_s (1 + |\beta|^2) \\ P_d &= f_s (1 + |\alpha|^2) \\ P_v &= 8 f_v / 3 \end{aligned} \quad (6)$$

この式 (6) より P_s, P_d, P_v の係数が表面散乱, 二回反射, 体積散乱の散乱寄与の割合となる。これらの係数による画像が図2 (a) - (c) (白いほど値が大きい) である。

3. 最尤法を用いた分類

最尤法とは, 未知の画素データから既に求められた分類クラスとの尤度 (式7) を求め, 画素データが尤度が最大となるクラスに属する分類法である。

$$G(k) = -\log |V_k| - (X - X_k)^T V_k (X - X_k) \quad (7)$$

但し,

$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_N]^T$: 未知の画素の特徴ベクトル

V_k : K番目のクラスの共分散行列

X_k : K番目のクラスの平均特徴ベクトル

である。特徴ベクトルを形成する過程で, 上記に述べた表面散乱, 二回反射, 体積散乱をベクトル要素として選ぶことができる。

4. 分類結果及び考察

分類に用いた画像は, NASA/JPLがLバンド航空

機搭載システム AIRSARによって得られた画像である。画像解析を行った領域は, 700×900ピクセルのゴールデンパーク, ゴールデンゲートブリッジを含むサンフランシスコである。図1は, AIRSARから得られたTOTAL POWERの画像である。



図1. TOTAL POWER イメージ。

図2 (a) (表面散乱) を見ると海域に対して比較的強い反射が起こっている。しかし、これとは対照的に図2 (c) (体積散乱) を見ると海域に対する反射が弱い。このことから、Lバンドの波長(24.0cm)に対しては海域は表面散乱の成分が大きいことが分かる。また、図2 (b) (二回反射) から、市街地からの反射が強くなっている。更に図2 (c) より自然地形に対する反射が強くなっていることが分かる。

次に、最尤法を用いた分類処理には、三成分散乱モデルによって得られた3枚の画像を用いた。分類結果を図3に示す。クラスの濃淡が分類結果に対応している。また、表1-3に判別効率表を示す。ここには、比較の為に従来から用いられているHH, HV, VV偏波の振幅と図1に示したTOTAL POWERの結果についても示す。判別効率表の見方は、縦に正しいクラスである参照クラスを並べ横に分類されたクラスを並べたものであり対角要素が正しく分類された確率となる。

表1から三成分散乱モデルによって得られた分類は、偏波の振幅や、TOTAL POWERに比べて良好な結果が得られている。特に、海域に対しては誤分類が少なく、複雑な散乱過程を示す自然地形、市街地は、偏波、TOTAL POWERの判別効率が悪いのに対して比較的高精度な分類結果を示していることが分かる。

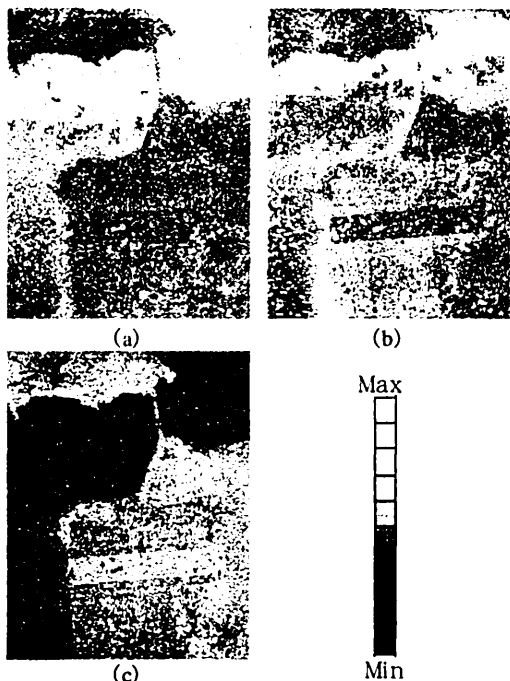


図2. 三成分散乱モデルによる分解イメージ。
(a) 表面散乱, (b) 二回反射, (c) 体積散乱



海域 自然地形 市街地

図3. 分類結果.

表1. 三成分散乱モデルによる判別効率表.

クラス	海域	自然地形	市街地
海域	92.518	0.674	6.808
自然地形	8.117	58.106	33.777
市街地	9.864	39.677	50.459

Total = 70.875

表2. 偏波による判別効率表.

クラス	海域	自然地形	市街地
海域	94.792	0.171	5.038
自然地域	33.571	46.984	19.445
市街地	23.962	41.162	34.876

Total = 64.199

表3. Total Powerによる判別効率表.

クラス	海域	自然地形	市街地
海域	77.562	14.452	7.986
自然地形	41.296	46.506	12.198
市街地	22.817	53.161	24.022

Total = 52.527

5. まとめ

本稿では、AIRSARによるサンフランシスコのデータに三成分散乱モデルによる分解法を適用して処理を行い、その結果に最尤法を用いて画像分類を行い、判別効率表によって従来使用されている偏波やTOTAL POWERに比べて良好結果が得られることを示した。なお、この研究の一部は、文部省科研費によるものである。

参考文献

- [1] A. Freeman, S. L. Durden, "A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 36, pp. 963-973, May 1998.