

SIR-C の L バンドデータを用いた 散乱特性による分類の評価

1 P - 2

星 仰[†] 山田 貴浩[†] 藤田 正晴[‡]
[†]茨城大学 [‡]郵政省通信総合研究所

1 はじめに

合成開口レーダにおいて、偏波に関する情報を用いたポーラリメトリ技術の活用性が研究されており、J. J. van Zyl によりターゲットの散乱機構に基づく分類アルゴリズムが提案されている [1]。本稿では、そのアルゴリズムを SIR-C のデータに適用し、分類結果の評価に偏波シグネチャを導入する。

2 原理

2.1 散乱行列とミューラー行列

物体による電磁波の散乱について、入射波と受信波とは次の関係がある [2]。

$$\begin{pmatrix} E_h \\ E_v \end{pmatrix}_{sc} = \frac{e^{-jkR}}{\sqrt{4\pi R}} \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_h \\ E_v \end{pmatrix}_{ill} \quad (1)$$

ここで、 E_h, E_v は電界ベクトルの水平・垂直成分であり、添字の *ill, sc* はそれぞれ入射波・反射波を示す。また k は波数、 R は散乱体とアンテナとの間の距離を表す。2つの電界ベクトルを関係付ける $[S]$ は散乱行列と呼ばれる複素行列で、物体の散乱特性を完全に記述するものである。

一方、電磁波の偏波は図1に示すような偏波楕円によって表現される。この楕円は電界ベクトル (図中 E) の先端が描く軌跡で、形状は楕円方位角 ψ と楕円率角 χ で規定され、サイズは総合電力を表す。

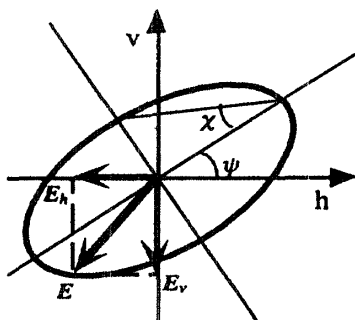


図1 偏波楕円

通常、電磁波は式 (1) のように電界ベクトルを用いて表現されるが、偏波に着目する場合、慣例としてストークスパラメータと呼ばれる4つの量 S_0, S_1, S_2, S_3 が用いられる。これらを4元のベクトルに

したものがストークスベクトル G で、偏波楕円の要素を用いて

$$G = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_0 \cos 2\psi \cos 2\chi \\ S_0 \sin 2\psi \cos 2\chi \\ S_0 \sin 2\chi \end{pmatrix} \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、 S_0 は総合電力を示す。また、入射波と散乱波のストークスベクトルの間には、

$$G_{sc} = \frac{1}{4\pi R^2} [M] G_{ill} \quad (3)$$

の関係がある。この行列 $[M]$ はミューラー行列と呼ばれる 4×4 の実数行列で、物体の散乱特性を示す。

2.2 分類のアルゴリズム

図1に示す偏波楕円のパラメータの性質から、散乱体は一般に次の3つのタイプに分類される。

- タイプ1 電磁波を奇数回反射するもの
- タイプ2 電磁波を偶数回反射するもの
- タイプ3 電磁波を拡散的に反射するもの

各タイプへの分類に散乱行列の要素を積の形で用いる手法が J. J. van Zyl によって提案されている。散乱行列の各要素をそれぞれ $S_{hh}, S_{hv}, S_{vh}, S_{vv}$ とすると、各タイプへの分類の基準は次のようになる。

- タイプ1への分類基準
 $\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle$ が正で $\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle > \langle |S_{hv}|^2 \rangle$ のとき、 $\langle |S_{hh}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle, \langle |S_{vv}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle$
- タイプ2への分類基準
 $\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle$ が負で $|\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle| > \langle |S_{hv}|^2 \rangle$ のとき、 $\langle |S_{hh}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle, \langle |S_{vv}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle$
- タイプ3への分類基準
 $\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle$ が0に近く $|\langle \Re(S_{hh}S_{vv}^*) \rangle| > \langle |S_{hv}|^2 \rangle$ のとき、 $\langle |S_{hh}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle, \langle |S_{vv}| \rangle > \langle |S_{hv}| \rangle$

ここで、 \Re は複素量の実部、 $*$ は複素共役、 $\langle \cdot \rangle$ は期待値をそれぞれ表す。これらの基準を満たさないものについてはタイプ外として分類される。

2.3 偏波シグネチャ

画像上で均質とみなすことができる領域から一区画を切り出し、その領域内の全てのピクセルに対するミューラー行列を平均化したものを $[M]$ とすると、それは領域内のスペckルを平滑化したものとなり、後方散乱係数と次式で結びつけられる [3]。

Estimation of the classification by scattering properties using SIR-C L-band data

Takashi Hoshi[†], Takahiro Yamada[†], and Masaharu Fujita[‡]
[†]Ibaraki University, [‡]Communication Research Laboratory

$$\sigma^0(\psi_i, \chi_i, \psi_j, \chi_j) = C \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\psi_i \cos 2\chi_i \\ \sin 2\psi_i \cos 2\chi_i \\ \sin 2\chi_i \end{pmatrix} [\bar{M}] \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\psi_j \cos 2\chi_j \\ \sin 2\psi_j \cos 2\chi_j \\ \sin 2\chi_j \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、 ψ_i, χ_i は受信側、 ψ_j, χ_j は送信側の楕円方位角および楕円率である。 C は定数で、 σ^0 の絶対値を求める場合に校正が必要になる。式(4)に示される関数を偏波シグネチャと呼び、その偏波依存性を視覚的に表したものが偏波シグネチャ図である。典型的な偏波シグネチャ図の例を図2に示す[4]。ここで(a)は3面コーナリフレクタ、(b)は2面コーナリフレクタ、(c)は森林に対するものである。

3 分類結果と評価

2.2節で述べた分類アルゴリズムを北海道サロベツ原野のSIR-Cデータに適用した結果を表1に示す。領域内のほとんどのターゲットがタイプ1に分類された。観測当時この領域は一面雪で覆われており、わずかに粗い表面が大半を占めていたことが原因と考えられる。また、各タイプに分類されたピクセルに対する平均ミューラー行列を算出し、式(4)から求めた偏波シグネチャ図を図3に示す。(a)はタイプ1、(b)はタイプ2、(c)はタイプ3に分類された領域に対するものである。自然のターゲットのため、理想的な散乱体に比べて形状がにぶっているものの、図2に示した典型的な偏波シグネチャ図に類似していることが分かる。

4 おわりに

J. J. van Zylによって提案された分類アルゴリズムをSIR-CのLバンドデータに適用し、その分類結果に偏波シグネチャを導入した。偏波シグネチャ図から、分類結果が後方散乱係数とどのような関わりを持っているのかが視覚的に分かりやすくなるといえる。この結果を用いて適当な χ, ψ から偏波合成を行うことにより、特定の散乱機構を有するターゲットを抽出する際に役立つと思われる。今後は波長の相違により分類結果や偏波シグネチャに及ぼす影響が現れるかを調査して行く必要がある。

参考文献

[1] J. J. van Zyl, "Unsupervised Classification of Scattering Behavior Using Radar Polarimetry Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol.22, No.1, pp.36-45, 1989.
 [2] 井口 義朗 他, "合成開口レーダ," (財)資源観測センター, 1992.

[3] J. J. van Zyl, H. A. Zebker, and C. Elachi, "Imaging radar polarization signatures: Theory and observation," *Radio Science*, vol.22, No.4, pp.529-543, 1987.
 [4] H. A. Zebker and J. J. van Zyl, "Imaging Radar Polarimetry: A Review," *Proc. IEEE*, vol.79, No.11, pp.1583-1606, 1991.

表1 分類の結果

| 散乱タイプ | 分類された割合 [%] |
|-------|-------------|
| タイプ1 | 88.67 |
| タイプ2 | 1.203 |
| タイプ3 | 7.709 |
| タイプ外 | 2.416 |

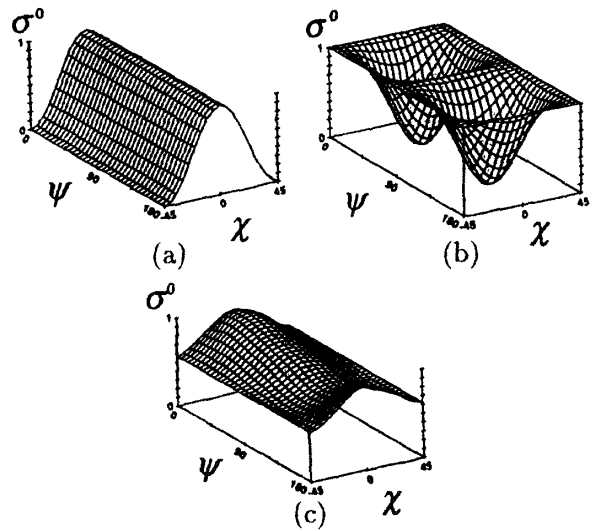


図2 典型的な偏波シグネチャ図(平行偏波)

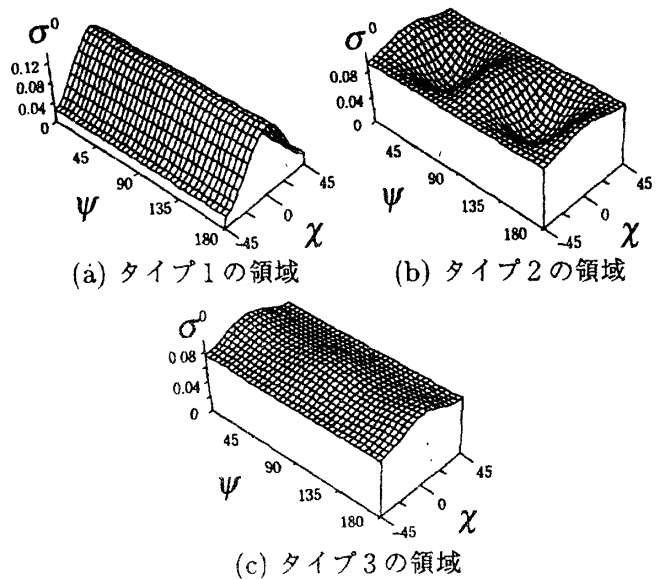


図3 Study Areaに対するタイプ1, 2, 3の偏波シグネチャ図(平行偏波)