

E10 PI-SAR polarimetric 画像解析 (3)

木村 晃治

山口 芳雄

山田 寛喜

新潟大学工学部

1. まえがき 近年、郵政省通信総合研究所(CRL)、宇宙開発事業団(NASDA)は、地球環境観測レーダとして、2周波(L, X-band)航空機搭載PI-SAR (Polarimetric and Interferometric Airborne Synthetic Aperture Radar System)を開発した。このレーダは、水平・垂直偏波を用いて散乱行列を取得するPolarimetric機能と、2つのアンテナを用いて、測定対象の高度情報を得るInterferometric機能を有し、またL-bandで3.0m, X-bandで1.5mという非常に高い分解能で、画像データ(PI-SAR画像データ)を取得することが可能である。取得される高分解能な散乱行列のデータを用いることにより、種々の詳細な解析が可能である。しかしながら、PI-SAR画像データは偏波較正(Polarimetric calibration)が行われておらず、PI-SAR画像データがpolarimetric解析に役立つものとするためには、偏波較正を行う必要がある。本報告では、PI-SAR画像データに以下に示すような偏波較正法を適用した。偏波較正が良好に行われていることを示す。また、マルチルック、偏波較正処理を施した偏波画像を用いて、地上ターゲットの分類を行った。地上ターゲットが比較的高精度に分類されていることを示す。

2. 偏波較正 偏波較正法として、JPLが航空機SAR用に開発した自然ターゲットを併用する手法¹⁾を適用する。測定散乱行列[Z]と理論上の散乱行列[S]の関係式を、クロストーク δ_1 , δ_2 , ゲインインバランス f を用いて次式のように与える。

$$\begin{aligned} [Z] &= [R][S][T] \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \delta_2 \\ \delta_1 & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{VH} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \delta_1 \\ \delta_2 & f \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 1 & \delta_2 \\ \delta_1 & f \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & \delta_2/f \\ \delta_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f \end{bmatrix} \\ &= [R_x][R_c] \end{aligned} \quad (2)$$

より、クロストークとゲインインバランスを分離して考えることができる。すなわち、

$$\begin{aligned} [Z] &= [R_x][R_c][S][T_c][T_x] \\ &= [R_x][W][T_x] \end{aligned} \quad (3-1)$$

$$[W] = \begin{bmatrix} S_{HH} & f S_{VH} \\ f S_{VH} & f^2 S_{VV} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

(a)cross-talk calibration 式(3-1)より以下の式が得られる。

$$\delta_1 = \frac{\Delta P + 2P^* \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \langle Z_{VV} Z_{HH}^* \rangle}{\Delta^2 - 4 \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle^2 \langle Z_{VV} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle} \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} \delta_2 / f & \\ &= \frac{\Delta Q + 2Q^* \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle}{\Delta^2 - 4 \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle^2 \langle Z_{VV} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle} \end{aligned} \quad (4-2)$$

ただし、

$$\Delta = \langle Z_{HH} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{VV} Z_{VV}^* \rangle - \langle Z_{VH} Z_{VH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle - \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \quad (4-3)$$

$$P = \langle Z_{VH} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{VV} Z_{VV}^* \rangle - \langle Z_{VV} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{VH} Z_{VV}^* \rangle - \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \langle Z_{VV} Z_{VH}^* \rangle \quad (4-4)$$

$$Q = \langle Z_{HH} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{VH} Z_{VV}^* \rangle - \langle Z_{VH} Z_{HH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle - \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle \langle Z_{HH} Z_{VH}^* \rangle \quad (4-5)$$

式(4)を用いることによって、 δ_1 , δ_2/f が求められるが、そのためには $\langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle$ を得ることが必要となる。ここで、

$$[W] = [R_x]^{-1} [Z] [T_x]^{-1} \quad (5)$$

であり、式(5)より次式が得られる。

$$\begin{aligned} \langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle &= \langle Z_{VH} Z_{VH}^* \rangle + |\delta_1|^2 \langle Z_{HH} Z_{HH}^* \rangle \\ &\quad + |\delta_2/f|^2 \langle Z_{VV} Z_{VV}^* \rangle - \delta_1 \langle Z_{HH} Z_{VH}^* \rangle \\ &\quad - \delta_1^* \langle Z_{VH} Z_{HH}^* \rangle - (\delta_2/f) \langle Z_{VV} Z_{VH}^* \rangle \\ &\quad - (\delta_2/f)^* \langle Z_{VH} Z_{VV}^* \rangle \\ &\quad + \delta_1 (\delta_2/f)^* \langle Z_{HH} Z_{VV}^* \rangle \\ &\quad + \delta_1^* (\delta_2/f) \langle Z_{VV} Z_{HH}^* \rangle \end{aligned} \quad (6)$$

δ_1 , δ_2/f を求める手順としては、以下の通りである。

step1) 式(6)において、 $\delta_1 = 0$, $\delta_2/f = 0$ として $\langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle$ を求める。

step2) step1で得られる $\langle W_{VH} W_{VH}^* \rangle$ を式(4)に代入して、 δ_1 , δ_2/f を求める。

step3) δ_1 , δ_2/f が収束するまで、式(6)の演算結果の式(4)への代入、式(4)の演算結果の式(6)への代入を繰り返す。

(b)relative phase and amplitude calibration plate (trihedral)を較正用ターゲットとして用いた場合について考える。plateでは以下の式が成り立つ。

$$S_{HH} = S_{VV} \quad (7)$$

式(3-2), (7)より f は次式のように表される。

$$f = \sqrt{\frac{W_{VV}}{W_{HH}}} \quad (8)$$

3. 解析結果および考察 解析に使用した原画像データ(データ取得日時1999年2月23日, データ番号L2301-00)は、新潟大学を含む領域(L-band 1024×1024ピクセル)である。大学周辺のサイトマップを図1に示す。大学周辺には、建造物が集中しており、大学のはずれには海、農地が広がっており、海岸沿いに植生が密集している。また、新川が大学付近を流れている。このことから、分類クラスは水域、農地、植生、住宅地の4つのクラスに設定した。

最初に偏波較正結果を示す。クロストークの推定には、方向依存性が無く、ライク偏波、クロス偏波

間で相関が無いターゲットである海域より、4×4マルチルック処理を施した16個の5×5ピクセル領域を抽出し用いた。ゲインインバランスの推定には、plateに近い散乱特性を示すと考えられる農地領域より、4×4マルチルック処理を施した16個の5×5ピクセル領域を抽出し用いた。偏波較正が適切に行われているかを判断するため、農地領域よりゲインインバランスの推定のために抽出された領域とは別に、4×4マルチルック処理を施した16個の5×5ピクセル領域を抽出し、偏波シグネチャ、クロストーク、ゲインインバランスの変化を調べた。偏波シグネチャを図2に、クロストーク、ゲインインバランスの変化を表1に示す。図2を見ると、偏波較正後の偏波シグネチャはplateに近い散乱特性を示しており、また表1を見ると、クロストーク、ゲインインバランスとも改善が認められる。従って、偏波較正が良好に行われていることがわかる。

次に地上ターゲットの分類を行う。ターゲット分類²⁾に用いた画像データは、スペックルによる影響を軽減するために4×4マルチルック処理を施した直線、円偏波成分画像、3成分画像である。また用いた

分類手法は教師付き最尤法であり、標本値として各分類クラスより16個の5×5ピクセルのトレーニングエリアを抽出した。分類精度表を表2に示す。表2より、いずれの画像を用いた場合も各クラス領域で多少の誤分類は見受けられるが、Totalの分類精度は80%を超えており、高精度でターゲットの分類が行われていることがわかる。

新たに得られる解析結果は、当日に発表する。

謝辞 この研究を進めるにあたり、貴重なPI-SAR画像データを提供して頂いたCRL, NASDAに深く感謝致します。また、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] J. van Zyl, "Calibration of polarimetric radar images using only image parameters and trihedral corner reflector responses," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 28, pp. 337-348, May 1990.
- [2] T. Nagai, et al, "Use of Multi-polarimetric Enhanced Images in SIR-C/X-SAR Land-Cover Classification," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E-B, 1997.

表1. クロストーク、ゲインインバランスの変化

	$e = VV / HH $	$\gamma = VH / HH $
偏波較正前	7.64 [dB]	-24.36 [dB]
偏波較正後	0.43 [dB]	-27.40 [dB]

表2. 分類精度表

(a) 直線偏波成分画像

	水域	農地	植生	住宅地
水域	96.08	3.53	0.39	0.00
農地	0.17	77.70	16.73	5.40
植生	0.00	14.87	83.53	1.60
住宅地	0.00	2.41	20.27	77.32

Total=84.27%

(b) 円偏波成分画像

	水域	農地	植生	住宅地
水域	97.13	2.72	0.16	0.00
農地	0.23	77.99	16.21	5.57
植生	0.00	22.31	76.89	0.80
住宅地	0.00	2.37	18.39	79.24

Total=84.70%

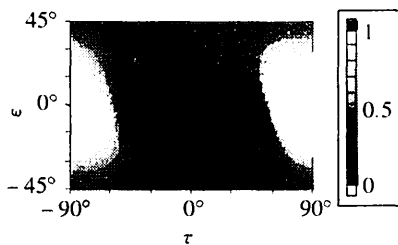
(c) 3成分画像

	水域	農地	植生	住宅地
水域	96.31	3.57	0.12	0.00
農地	0.40	80.40	13.57	5.63
植生	0.00	34.40	63.21	2.39
住宅地	0.00	3.96	20.23	75.81

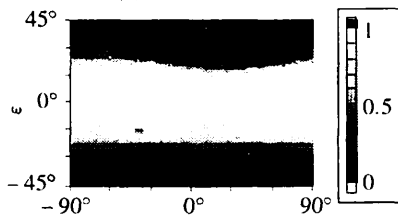
Total=82.46%



図1. サイトマップ(新潟大学周辺)



(a) 偏波較正前



(b) 偏波較正後

図2. 農地領域における偏波シグネチャ