

# ポーラリメトリックイメージングレーダ

## Polarimetric Imaging Radar

山口 芳雄                      山田 寛喜  
Yoshio Yamaguchi          Hiroyoshi Yamada  
新潟大学 工学部  
Faculty of Engineering, Niigata University

**まえがき** 地球環境計測において、航空機やShuttle, 人工衛星からのレーダリモートセンシングの果たす役割は大きい。マイクロ波は雲や雨中を透過するため、マイクロ波を使ったレーダ計測は、いつでも（昼夜を問わず）、広い領域を同時に観測する方法として最適である。ここでは、SAR (Synthetic Aperture Radar) 技術の中で、偏波情報を積極的に使うRadar Polarimetry技術と位相情報を使うInterferometry, そしてさらにそれらを融合したPolarimetric Interferometryの現状について紹介する。

### Polarimetry

レーダポーラリメトリーとは、電波のベクトル性質である「偏波」をセンシングに利用する理論と技術である。ポーラリメトリーによって、ターゲットの向き、散乱機構、テクスチャー情報が取得できる。電波が散乱体に当たると、散乱体の表面に電流が流れ、それが2次波源となって再放射がおこる。その電流分布は、散乱体の形状、向き、大きさに依存するため、散乱波の偏波状態はその散乱体に固有のものである。したがって、反射波の偏波状態は入射波のものとは一般に異なる（図1）。偏波は直観的にも理解されるように、ターゲットの傾きに敏感である。

Polarimetryでは、散乱波（反射波）からの偏波情報として、散乱行列を計測する。その偏波状態は、直交成分の振幅と位相を測定することによって得られる。例えば水平H, 垂直Vの偏波を交互に送信し、受信で2偏波（HとV）の振幅と位相を同時観測することによって、偏波状態が完全に取得できる。NASA JPLのAIR-SAR（1980年代）は世界で最初にポーラリメトリーの有効性を実証した。その後、シャトルSIR-C/X-SARに続いている。この数年間、ハードウェア的な進歩は見られるが、基本計測原理は変わっていない。近年、進歩した点はPOL-SARデータの解析と応用である。

散乱行列  $\begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix}$  が与えられた場合、以下の解析が可能である。

- 1) **Span, Each component** 各要素毎に振幅, 電力, 位相画像の生成。

$$\begin{bmatrix} |S_{HH}| & |S_{HV}| & |S_{VV}| & |S_{HH}|^2 & |S_{HV}|^2 & |S_{VV}|^2 & HH & VV \\ |S_{LR}| \end{bmatrix}$$

また、偏波基底の変換による偏波基底要素毎の情報生成

さらに、偏波に依存しない量としての  $Span[S], Det[S]$  など。

- 2) **Polarimetric Radar Channels**

Co-Pol, Cross-Pol, Matched-Pol channelなど偏波チャンネルの生成。特に、Cross-Pol channel powerは、ターゲットで新たに発生する電力成分なので、ターゲットの詳細な情報を含んでいる。

- 3) **Polarization Signature**

偏波状態を変えたときの受信電力分布図であり、そのSignature形状によりターゲットの特徴を見いだせる。

- 4) **Characteristic Polarization States**

偏波チャンネルの受信電力が極値を示す偏波状態がある。その偏波状態は、Co-Pol max, Co-Pol extremum, Co-Pol nulls, X-Pol maxs, X-Pol nulls, X-Pol saddlesで、これらの偏波状態はターゲットに固有のものである。ある散乱行列に対して、電力を最大化するCo-Pol max偏波状態を使って受信電力を再計算すれば、その散乱行列から得られる電力のEnhancementを行うこととなり、逆にnullsを使えば、消去することができる。

- 5) **Polarimetric Enhancement and Elimination**

異なる2つのターゲットに対して適切な偏波状態を選ぶことによって  $C = \frac{\text{desired power}}{\text{undesired power}}$  で定義

される電力コントラストCの最適化（最大・最小化）が可能である。この手法は、クラッタに埋もれたターゲットの検出などに非常に役立つ。

- 6) **Decomposition into 3 Fundamental Components and 3 Scattering Powers**

散乱行列を3つの基本散乱行列に分解し、基本散乱機構（1回反射, 2回反射, 円偏波発生）を推定

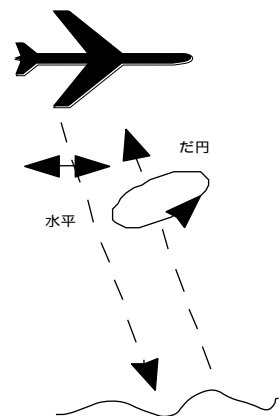


図1 反射波の偏波

TB-1-3

することができる。散乱行列の基づく手法と散乱電力に基づく分解手法がある。この分解によって、ターゲットの散乱機構が推定でき、ターゲットの分類に役立たせることができる。

7) Anisotropy Coefficients

植物や自然地形などに比べて、人工物には偏波依存性の強いものが多い。そこで、偏波依存性の強い物体と弱い物体を識別するのに、下記のように散乱行列から得られる不変量を使ったAnisotropy 係数がある。この量はかなりRobustな測定でも適用可能である。

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad \mu = \frac{1 - \rho_{22}}{1 + \rho_{22}}, \quad \frac{|\mu| - 1}{|\mu| + 1}, \quad \frac{|\rho_{11}|^2 - |\rho_{22}|^2}{|\rho_{11}|^2 + |\rho_{22}|^2}$$

8) Polarimetric Entropy H and Angle  $\alpha$

コヒーレンスペクトル  $k_p = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{HH} + S_{VV} \\ S_{HH} - S_{VV} \\ 2S_{HV} \end{bmatrix}$  をもとに、行列  $k_p k_p^{*T} = [U] \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} [U]^{*T}$  を作り、

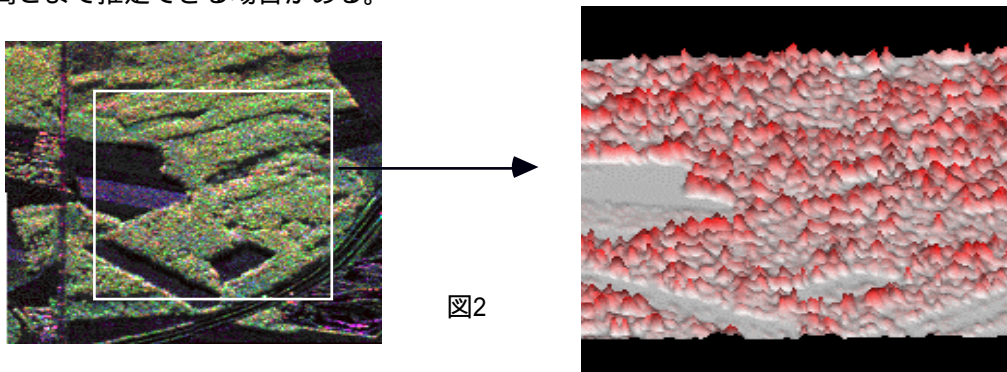
その固有値を使って、以下のようにEntropy Hと角度  $\alpha$  を定義する。

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}, \quad H = -\sum_{i=1}^3 P_i \log_2 P_i, \quad \alpha = \arctan \left( \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \right)$$

このPolarimetricエントロピーは散乱過程の複雑さを表しており、角度は偏波依存性を表す。2つのパラメータを組み合わせることにより、強力な分類が可能となる。

Interferometry

Interferometryでは、2つの受信アンテナ位置の違いによる位相差を利用してSAR画像の位相差mapを作成する。それを地上の高さ情報に変換し、3次元空間情報を生成する。したがって、3次元の地図を作製することが可能である。1つの受信アンテナしか搭載できない衛星では、Repeat-Passによるデータ方法がとられている。偏波間のコヒーレンスを最適化した上で、固有値解析を行い、その位相差を利用すると図2のように森林の高さまで推定できる場合がある。



全偏波合成画像 (DLR提供)      Polarimetric Interferometry による森林の散乱中心位相差画像

あとがき

偏波はターゲットの傾きに敏感で、2次元イメージングに適している。Interferometryは3次元情報を提供する。1つの偏波では、その偏波成分での情報しか得られない。ターゲットの詳しい散乱機構と高さの情報を得るためには、PolarimetryとInterferometryが必要になってくる。そのため、今後は両者を融合したPolarimetric Interferometry技術が重要になってくるであろう。現在、CRL/NASDAが開発した航空機搭載Pi-SARが飛行を行っており、世界最先端の高分解Polarimetric SAR画像(L- & X-band)とInterferometric画像(X-band)が得られている。2004年には日本のALOS-PALSARの打ち上げが予定されており、Polarimetric機能を有しているため、Repeat-PassによるPolarimetric Interferometryが可能になると期待される。さらに、ターゲットと電波の相互作用を考えた場合、できる限り広い周波数帯での情報取得が望ましい。その意味で、Wideband Polarimetric SAR Interferometryに向かって研究が進むと考えられる。

参考文献

[1] R.A. Reyerson ed., *Manual of Remote Sensing*, Ch.5, *Polarimetry in Radar Remote Sensing: Basic and Applied Concepts*, 3rd Ed., John Willey & Sons, New York, 1998  
 [2] 山口芳雄, *ポーラリメトリックレーダ入門コース*, アンテナ・伝搬における設計解析手法WS-21, 2001  
 [3] S. R. Cloude and K. Papathanassiou, "Polarimetric SAR interferometry," *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, vol.36, pp.1551-1565, 1998  
 [4] W. -M. Boerner, Y. Yamaguchi, "Extra wideband polarimetry, interferometry and polarimetric interferometry in synthetic aperture remote sensing," *IEICE Trans. Commun.* vol.EB-83, no.9, Sept. 2000