

E8 Polarimetric SAR Interferometryによる森林抽出

佐藤 晃一

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学工学部

1. まえがき

近年、航空機や人工衛星などからマイクロ波を用いて地表の正確な高度情報を得る Interferometry 技術と、電波の持つベクトルの性質を用いて地形の識別、分類を行う Polarimetry の技術が盛んに利用されている。今までこれらの技術は、個々に研究が進められてきたが、最近では、これらの技術を組合せて多次元的な解析を行う Polarimetric SAR Interferometry[1][2]が注目されている。本報告では、Polarimetry SAR Interferometry により得られる coherence 画像と、2枚の偏波間位相差画像が森林領域の特徴を捉えていることを SIR-C/X-SAR 画像を用いることにより示す。また、coherence の最適化を行うことにより Interferometry で問題となるベースラインによる decorrelation と時間的な decorrelation を軽減できることを示す。

2. Polarimetric Interferometry

レーダの受信信号より形成される散乱行列 $[S]$ から coherence を求めるために、まず、散乱行列 $[S]$ と Pauli 行列 Ψ_p の積の Trace をとり、coherence ベクトルを $k = 1/2 \text{Trace}([S]\Psi_p)$ と定義する。直線偏波基底 (H: 水平, V: 垂直) の monostatic レーダの場合、 $S_{HV} = S_{VH}$ であるので、4次元ベクトルを以下のように3次元ベクトルとして表すことができる。

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{HH} + S_{VV}, S_{HH} - S_{VV}, 2S_{HV}]^T \quad (1)$$

ここで、 T は転置を表す。散乱メカニズムを表す複素ベクトル w_1, w_2 を導入し、2枚の画像の散乱係数 μ_1, μ_2 を式(2)のように定義すると、coherency 行列 $[J]$ は式(3)となる。

$$\mu_1 = w_1^* T k_1, \quad \mu_2 = w_2^* T k_2 \quad (2)$$

$$[J] = \begin{bmatrix} \mu_1 & \mu_2 \\ \mu_2^* & \mu_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1^* T [T_{11}] w_1 & w_1^* T [\Omega_{12}] w_2 \\ w_2^* T [\Omega_{12}]^* T w_1 & w_2^* T [T_{22}] w_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

但し、

$$\begin{aligned} [T_{11}] &= \langle k_1 k_1^* T \rangle \\ [T_{22}] &= \langle k_2 k_2^* T \rangle \\ [\Omega_{12}] &= \langle k_1 k_2^* T \rangle \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $*$ は複素共役を表す。

式(2)、(3)より、Interferometric phase ϕ と coherence γ は以下のように表すことができる。

$$\phi = \text{Arg}(w_1^* T [\Omega_{12}] w_2) \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{|\langle w_1^* T [\Omega_{12}] w_2 \rangle|}{\sqrt{\langle w_1^* T [T_{11}] w_1 \rangle \langle w_2^* T [T_{22}] w_2 \rangle}} \quad (6)$$

式(6)において、 w_1 と w_2 の値を変えることにより、各偏波間の coherence を得ることができる。例えば、 $w_1 = [1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}, 0]^T$, $w_2 = [1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2}, 0]^T$ とすることにより HH-VV の coherence を得ることができる(図1)。

3. coherence の最適化

Interferometric coherence の最適化問題は、式(6)を最大にする散乱メカニズム w_1, w_2 を見つけることであり、次式に置換えられる。

$$[T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T [T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] w_2 = \nu w_2 \quad (7)$$

$$[T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] [T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T w_1 = \nu w_1 \quad (8)$$

式(7)、(8)は、 w_1 と w_2 を固有関数とした 3×3 の複素固有値問題となる。この固有値は、実数であり、最適化された coherence は最も値の大きい固有値から得られる。

$$\gamma_{\max} = \sqrt{\nu_{\max}} \quad (9)$$

また、対応する散乱メカニズム w_1, w_2 は、ベースラインによる decorrelation と時間的な decorrelation を最小にするものである。

4. 解析結果および考察

解析に用いた画像は、1994年10月8、9日にロシアのブリアチアについて得られた、SAR-C/X-SAR による、L-band の SLC(Single-Look Complex) データである。画像左上には森林、中部から下部にかけて農地が広がり、下部にはセレンガ川が流れている。また、セレンガ川の周りには低植性が存在する。

図1を見ると、森林領域が明らかに、他の領域より coherence の値が低く、分離されて現れていることがわかる(白は値が高く、黒は低い)。一般に L-Band における散乱は、HH が樹間、幹などと相互作用が小さいため、減衰も小さく地表面で反射するのに対し、VV では逆に相互作用により減衰が大きくなるため、HH の散乱が VV より大きいとされている。このように、森林領

域の偏波の違いによる散乱の変化を相関の違いとして表している。また、この画像は体積散乱と表面散乱の影響の強さを表しているとも考えられる。川においても同様に coherence の値が低くなっているが、これは2枚の画像データが異なる日時に観測されているため、川のような時間的に変化するところでは偏波とは無関係に相関が低くなるためである。図2の位相差画像においても、森林領域が他の領域に比べ値が大きく、区別されている。この位相差は、森林領域における浸透の深さの違いを表している。一方、図3と図4のヒストグラムからわかるように、coherence の最適化を行うことにより、ベースラインや時間的な decorrelation を減少させ、coherence を高められたことがわかる。また、ここで得られる散乱メカニズム w_1 , w_2 は、それぞれの散乱中心に対応している。従って、これにより得られる位相差は、図2と類似の結果となるが、実際に散乱中心の差を表しており、森林の canopy にモデルに対応する位相差となる。この結果については当日発表する。

5. まとめ

本報告では、Polarimetric SAR Interferometry を SIR-C/X-SAR データに適用した。これにより、HH-VV の coherence 画像と位相差画像で見た場合、森林領域の特徴を捉えた画像が得られることを示した。また、coherence の最適化を行うことにより、coherence を高められることを示した。この研究の一部は科研費による。

参考文献

- [1] K. P. Papathanassiou, POLARIMETRIC SAR INTERFEROMETRY, Ph.D. Thesis, Technical University Graz, Austria, 1999.
- [2] S. R. Cloude, K. P. Papathanassiou, "Polarimetric SAR Interferometry," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 36, pp. 1551-1565, Sept. 1998.



図1. HH-VV の coherence 画像

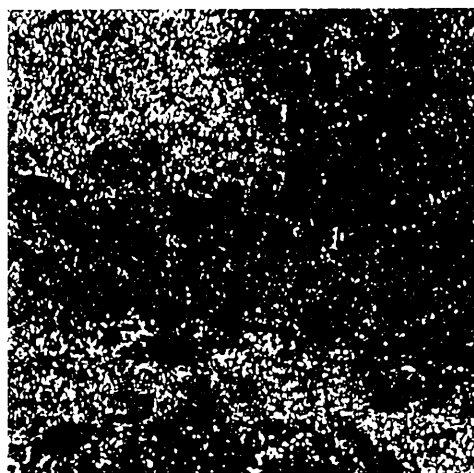


図2. HH-HH と VV-VV の位相差画像

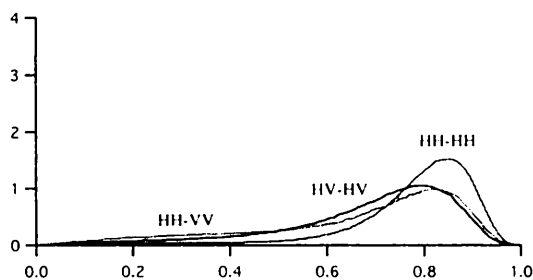


図3. 最適化前の coherence ヒストグラム

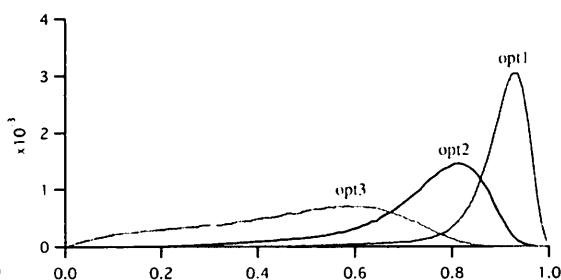


図4. 最適化された coherence ヒストグラム