

## E 3 Pol InSAR データにおける森林解析手法の検証

浅田 龍

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学工学部

## 1. まえがき

近年の爆発的な人工増加や科学技術の目覚ましい発展は、地球に存在するあらゆる生物の存在そのものを脅かしかねない様々な環境問題を発生させている。とりわけ化石燃料の消費から発生する二酸化炭素をはじめ、メタンや亜酸化窒素などでも温室効果ガスの増加により、地球温暖化は深刻な問題となり始めている。このため現在では、マイクロ波リモートセンシングによる森林領域の正確な把握が期待されており、中でも Polarimetric SAR Interferometry による森林の特徴推定は最も注目されている研究分野の一つである。本報告では Polarimetric SAR Interferometry による森林特徴推定の中でコヒーレンスモデルを用いた手法に着目した。このコヒーレンスモデルを森林に適用すると森林における樹間(キャノピー)や高度が推定できる。しかし、このコヒーレンスモデルを用いた詳細な解析結果はまだ報告されていない。そこで実際に森林にコヒーレンスモデルを適用できるかどうかを検討したのでそれについて示す。

## 2. コヒーレンス

レーダの受信信号より形成される散乱行列  $[S]$  からコヒーレンスと位相差を求めるためにまず散乱行列  $[S]$  と Pauli 行列  $\Psi_p$  の積のトレースから、コヒーレンスベクトルを  $k = 1/2\text{Trace}([S]\Psi_p)$  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せれる。

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

二つの画像においては、偏波散乱係数  $\mu_1, \mu_2$  を以下のように定義し、偏波を考慮した一般化コヒーレンス行列  $[J]$  を次のように表すことができる。

$$\mu_1 = w_1^T k_1, \quad \mu_2 = w_2^T k_2 \quad (1)$$

$$[J] = \left\langle \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_1^* & \mu_2^* \end{bmatrix} \right\rangle = \begin{bmatrix} w_1^T T_{11} w_1 & w_1^T \Omega_{12} w_2 \\ w_2^T \Omega_{12}^T w_1 & w_2^T T_{22} w_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、

$$[T_{11}] = \langle k_1 k_1^T \rangle \quad (3)$$

$$[T_{22}] = \langle k_2 k_2^T \rangle \quad (4)$$

$$[\Omega_{12}] = \langle k_1 k_2^T \rangle \quad (5)$$

上式より、コヒーレンス  $\gamma$  とインターフェロメトリック位相  $\phi_i$  は次のように表すことができる。

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

$$\phi_i = \arg(w_1^T k_1 k_2^T w_2) = \arg(w_1^T [\Omega_{12}] w_2) \quad (7)$$

## 3. コヒーレンスの最適化

コヒーレンスの最適化問題は、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、次式に置き換えられる。

$$[T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T_{11}^{-1} [\Omega_{12}] w_2 = \nu w_2 \quad (8)$$

$$[T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] [T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T_{11} w_1 = \nu w_1 \quad (9)$$

式(8), (9)は  $w_1$  と  $w_2$  を固有関数とした  $3 \times 3$  の複素固有問題となる。この固有値は、実数であり最適化されたコヒーレンスは最も値の大きな固有値から得られる。

$$\gamma_{max} = \sqrt{\nu_{max}} \quad (10)$$

## 4. コヒーレンスモデル

Lバンドのように森林領域においてマイクロ波が樹間を透過し、地面からの反射成分を含むような場合、式(6)の複素コヒーレンス  $\tilde{\gamma}$  は次式のように表される。

$$\tilde{\gamma}(w) = \frac{\exp(j\phi_0) \tilde{\gamma}_V + m(w)}{1 + m(w)} \quad (11)$$

但し、 $w$ : 散乱メカニズム、 $\exp(j\phi_0)$ : 地表面に関する位相、 $\tilde{\gamma}_V$ : 体積成分(植生層)に関する複素コヒーレンス、 $m$ : 地面と体積成分の振幅比を表す。式(11)は、各コヒーレンスが複素平面において直線上にのることを示している。この式は理想的な場合、 $m=0$ ではキャノピー成分のコヒーレンス、 $m=\infty$ の極限においては地表面成分のみのコヒーレンスを表す。

次に森林以外のコヒーレンスモデルの理論状態について示す。平地は面が水平である場合、散乱中心が少ないので、分布状況としては各コヒーレンスの値が似通っていて、かつ全てのコヒーレンスが原点を通る直線となる。市街地においては市街地を形成する建物というのがそのほとんどが人工のもので、建物によって高さ、材質、形状は大きく異なる。ゆえに具体的なコヒーレンスモデルというのは存在せず、分布状況もランダムな形が予想される。森林におけるコヒーレンスが複素平面上において直線上に乗り、かつ平地、市街地の観測結果が森林の結果と異なる場合、森林におけるコヒーレンスモデルの妥当性が検証されたこととなる。

5. 解析結果及び考察

今回解析に用いた画像は、1990年7月22日にドイツのOberfaffenhofenで得られたE-SARによるL-Bandのデータである。(アペレーシングサイズは5×5ルック)今回解析を行ったエリアを図1に示す。図1でareal, 2, 3はそれぞれ森林, 平地, 市街地の解析エリアを表しており、各々の解析結果を図2, 3, 4に示す。解析結果を見ると、森林の解析結果は各コヒーレンス値がほぼ直線上に乗っていることがわかる。これは先に述べたコヒーレンスモデルの森林の理論に等しい。平地における解析結果を見ると、各コヒーレンス値は非常に似かよっていて、原点を通る直線上に乗っている。この解析結果も平地の理論に等しい。また各コヒーレンスの大きさが全て1に近いことからこのエリアは非常に水平であることもわかる。市街地においては、分布状況に規則性が見られずランダムな値を示している。この結果は森林、平地の双方の解析結果と分布状況は大きく異なり、コヒーレンスの分布の違いは明らかである。

6. まとめ

本報告では、コヒーレンスモデルを森林とその他の地域に適用し、解析を行った。森林と他の地域のコヒーレンスの分布状況が明らかになり、実際に森林にコヒーレンスモデルを適用してよいことがわかった。今後はこのコヒーレンスモデルを森林に用いて、実際に森林の高さなどを求めていく。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] K. P. Papathanassiou and S. R. Cloude, "Single-baseline polarimetric SAR interferometry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 39, no. 11, pp. 2352-2363, Nov. 2001.
- [2] K. P. Papathanassiou and S. R. Cloude, "Single-baseline polarimetric SAR interferometry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 39, no. 11, pp. 2352-2363, Nov. 2001.

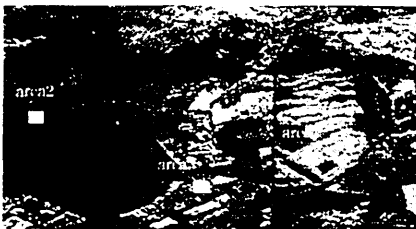


図1. 解析エリア

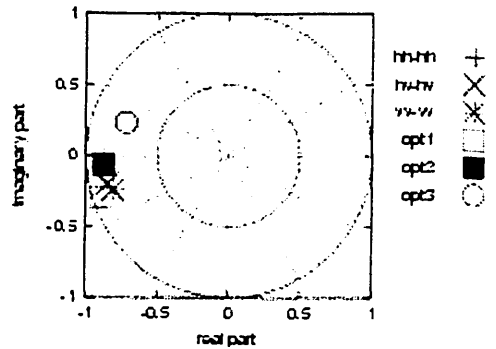


図2. 森林のコヒーレンス

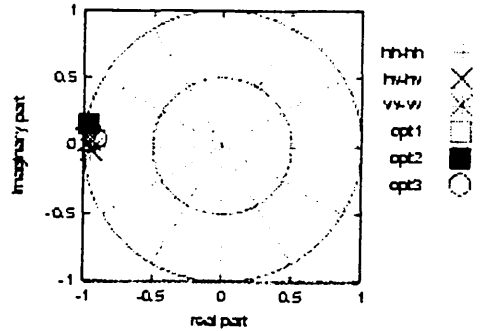


図3. 平地のコヒーレンス

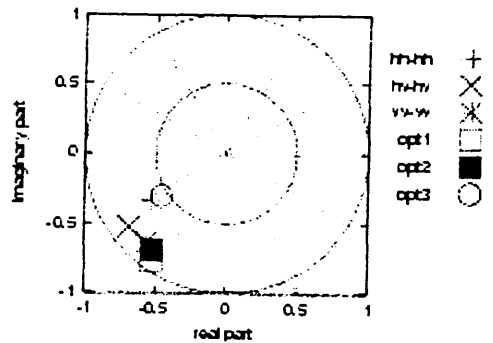


図4. 市街地のコヒーレンス