

## E2 森林モデルを用いた Pol-InSAR 基礎実験

岡田 裕樹

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学工学部

### 1. まえがき

近年、様々な環境問題が発生している中でもとりわけ化石燃料の消費による地球温暖化が深刻な問題となっている。そこで現在、人工衛星や航空機などから電磁波を用いて地球環境の観測を行うマイクロ波リモートセンシングの研究が進められているが、その中でも Polarimetric SAR Interferometry による森林の特徴推定は森林のバイオマス量の推定のためにも、最も注目されている研究分野の1つである。

本研究では森林モデルを用いた実験を行い、コヒーレンスモデルによる森林モデルの散乱中心の推定に対してマルチルックサイズによる影響について検討した。

### 2. コヒーレンス

コヒーレンスとは二つのアンテナによって得られる受信信号の干渉性を表すものであり、monostatic レーダの場合コヒーレンシベクトル  $k_i$  は次のように定義される。

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

$i = 1 \text{ or } 2$

また、式(1)により、二つの軌道において観測されたデータの複素コヒーレンス  $\gamma$  は次式で与えられる [1]。

$$\gamma = \frac{\langle w_1^* T [\Omega_{12}] w_2 \rangle}{\sqrt{\langle w_1^* T [T_{11}] w_1 \rangle \langle w_2^* T [T_{22}] w_2 \rangle}} \quad (2)$$

但し、 $T$  は転置、 $*$  は複素共役、 $\langle \rangle$  はアンサンブル平均、 $w$  は散乱メカニズムを表す。また、 $[T_{11}]$ 、 $[T_{22}]$ 、 $[\Omega_{12}]$  はそれぞれ次式で定義される。

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

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

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

また、コヒーレンスを最適化するという事は、式(2)を最大にする散乱メカニズム  $w_1$ 、 $w_2$  を見つけるという問題になり、次式に置き換えられる。

$$[T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T [T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] w_2 = \nu w_2 \quad (6)$$

$$[T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] [T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* T w_1 = \nu w_1 \quad (7)$$

式(6)、(7)の固有値は実数であり、最適化されたコヒーレンス  $\gamma_{\max}$  は最大固有値から得ることができる。

$$\gamma_{\max} = \sqrt{\nu_{\max}} \quad (8)$$

### 3. 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冠を透過し、地面からの反射成分を含むような場合、式(2)の複素コヒーレンス  $\gamma$  は次式のようにモデル化される。

$$\tilde{\gamma}(w) = \exp(j\phi_0) \frac{\tilde{\gamma}_V + m(w)}{1 + m(w)} \quad (9)$$

但し、 $\phi_0$ : 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である。式(9)は、各コヒーレンスが  $w$  の変化に対して、複素平面上において直線的に変化することを表している。

### 4. 実験

この実験は電波暗室内で行った。そのときの実験状況を図1に示す。マスターアンテナの高さを170cm、スレーブアンテナの高さを173cmとし、入射角は森林モデル領域の中心で45deg.としてある。設定パラメータは表1に示す。また、図2のように針金を用いて作成したターゲットを発泡スチロール上に90cm×90cmの領域に配置したものを森林モデル領域としている。ターゲットの下部はアジマス、レンジ方向に対して水平、垂直にし地表面での散乱モデル、上部はランダムな向きとし樹冠での散乱モデルとしてある。

表1. 設定パラメータ

中心周波数	10 [GHz]
周波数帯域幅	2 [GHz]
送受信偏波	HH, HV, VV
アベレージング	16 [回]
測定ポイント	201
走査点数(間隔)	128 (1 [cm])
入射角 ( $\theta$ )	45 [deg.]

### 5. 実験結果、考察

測定データに合成開口処理を施し、算出された各偏波成分のコヒーレンス、最適化を行ったコヒーレンスを複素平面上にプロットしたものを図3、4、5、6に示す。マルチルックサイズはそれぞれ5×5、31×31、5×31、31×5ピクセル(レンジ×アジマス)としてある。まず、図3を見ると各コヒーレンスは直線状に変化しており、コヒーレンスモデルが成り立っていることがわかる。しかし、図4のようにマルチルックサイズを大きくすると各コヒーレンスの値は低下し、コヒーレンスモデルは乱れることがわかる。ここで、図5のようにマルチルックサイズをアジマス方向に大きく取った場合では各コヒーレンスは直線状に変化しており、コヒーレンスモデルが成り立っている。また、図6のようにレンジ方向にマルチルックサイズを大きく取った場合では各

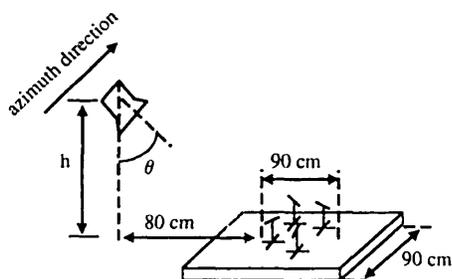


図 1. 実験状況

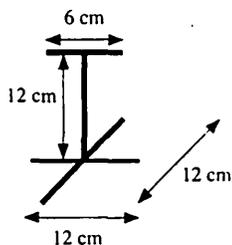


図 2. ターゲット

コヒーレンスは乱れていることがわかる。これはレンジ方向にピクセル数を多く取るということによりニアレンジとファーレンジの入射角の差が広がり、入射角の変化が無視できなくなるためであると考えられる。

## 6. まとめ

本稿では森林モデルを用いて実験を行い、Polarimetric SAR Interferometry によるコヒーレンスについて、マルチルックサイズによる影響を検討した。それにより、レンジ方向における入射角の変化の影響は大きく、マルチルックサイズの取り方によって森林モデルの散乱中心推定が困難になることが確認できた。したがって、マルチルックサイズを大きくする場合にはレンジ方向よりもアジマス方向にピクセル数を多くとったほうが良いと言える。また、今後はこの入射角の変化を補正する手法の検討も必要である。なお、この研究の一部は、文部科学省科研費によるものである。

## 参考文献

- [1] K. P. Papathanassiou and S. R. Cloude, "Polarimetric SAR interferometry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 36, no. 5, pp. 1551-1565, Sept. 1998.
- [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.

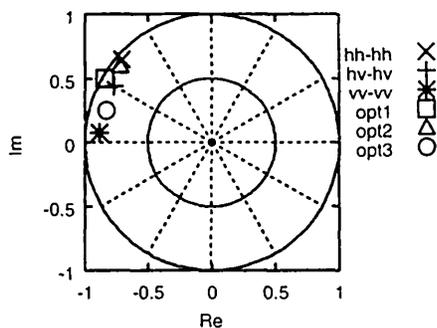


図 3. 5×5 ピクセル

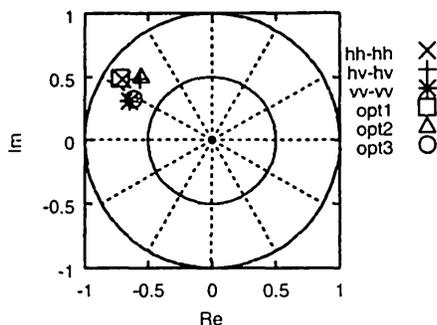


図 4. 31×31 ピクセル

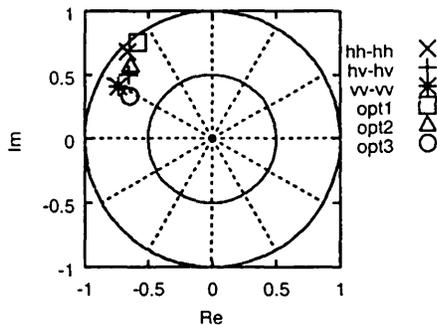


図 5. 5×31 ピクセル

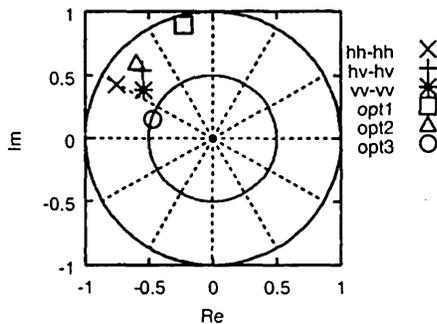


図 6. 31×5 ピクセル