

## E 2 電波暗室における Polarimetric SAR Interferometry 基礎実験

岡田 武幸

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学工学部

### 1. まえがき

現在、地球環境の変動を広域にわたって観測する手段として、マイクロ波リモートセンシングの技術が非常に注目されている。その中の一つの手法として、偏波を用いて地表面の情報を取得し、地表面の識別や分類を行うレーダポーラリメトリ (Radar Polarimetry) と位置が異なる二つのアンテナを用いて地表面の高度を算出するインターフェロメトリ (Interferometry) の特徴を組み合わせた Polarimetric SAR Interferometry という手法がある。現在、この手法を用いた森林解析に関する研究が進められており、森林の高さを測定することにより、森林バイオマスの体積などの情報を得ることが可能となる。そこで本研究では、電波暗室内において森林モデルを模擬したモデル実験を行い、コヒーレンス解析の妥当性を検証している。

### 2. コヒーレンス

コヒーレンスとは二つのアンテナから得られる信号の干渉性を表し、このコヒーレンスの位相からターゲットの高さを測定することができる。送受信一体型のレーダを仮定した場合、コヒーレンスベクトル  $k$  は次のように定義される。

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

また、コヒーレンス  $\gamma$  は式 (1) により次式のように与えられる [1]。

$$\gamma = \frac{\langle \omega_1^T [\Omega_{12}] \omega_2 \rangle}{\sqrt{\langle \omega_1^T [T_{11}] \omega_1 \rangle \langle \omega_2^T [T_{22}] \omega_2 \rangle}} \quad (2)$$

ただし、 $T$  は転置、 $*$  は複素共役、 $\langle \cdot \rangle$  はアンサンブル平均、 $\omega$  は散乱メカニズムを表す。 $[T_{11}]$ 、 $[T_{22}]$ 、 $[\Omega_{12}]$  はそれぞれ次式のように定義される。

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

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

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

最適化されたコヒーレンスは、次式の複素固有値問題を解くことによって求められる [1]。

$$[T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* [T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] \omega_2 = \nu \omega_2 \quad (6)$$

$$[T_{11}]^{-1} [\Omega_{12}] [T_{22}]^{-1} [\Omega_{12}]^* \omega_1 = \nu \omega_1 \quad (7)$$

この固有値の平方根が最適化コヒーレンスの値となる。

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

また、森林領域ではコヒーレンス  $\tilde{\gamma}$  の式は次のように表される [2]。

$$\tilde{\gamma}(\omega) = \exp(i\phi_0) \left[ \frac{\tilde{\gamma}_v + m(\omega)}{1 + m(\omega)} \right] \quad (9)$$

ここで  $\phi_0$  は地表面に関する位相、 $\tilde{\gamma}_v$  は体積成分に関する複素数コヒーレンス、 $m$  は地面と体積成分の振幅比を表す。この式は得られるコヒーレンスが複素平面上において  $\tilde{\gamma}_v$  を通る直線上にのることを示す。

### 3. 実験

実験は電波暗室内で行った。側面から見た実験状況を図 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 として測定を行った。実験パラメータを表 1 に示す。

ターゲットには発泡スチロール上に金属棒を多数配置したものを二枚用いた二層モデルを使用している。上層には水平方向 (アジマス方向) に金属棒を配置して地面の層のモデルとし、下層には垂直方向 (レンジ方向) に金属棒を配置して非常に薄い樹冠の層のモデルとしている。

表 1. 設定パラメータ

システム	ネットワークアナライザ
アンテナ	X-band ホーンアンテナ
中心周波数	10 [GHz]
周波数帯域幅	2 [GHz]
送受信偏波	HH, HV, VV
アベレーシング	16 [回]
測定ポイント	201
走査点数 (走査間隔)	128 (1 [cm])

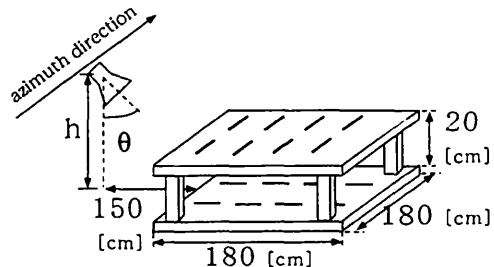


図 1. 実験状況

### 4. 実験結果、考察

測定データに合成開口処理を施した後、ターゲットの中心付近における算出された各偏波間のコヒーレン

ス画像を図2, 3, 4に示す。グラフの横軸はアンテナからターゲットの距離方向、縦軸はアンテナの走査方向となっている。ターゲットの中心付近におけるコヒーレンスを複素平面上にプロットしたものを図5に示す。ただし、opt1, opt2, opt3は最適化コヒーレンスを大きい順に割り振ったものである。また、解析したコヒーレンスの値は $5 \times 5$ pixelでマルチルックしたものである。これより、hh-hh偏波とvv-vv偏波のコヒーレンスが高くなっていることがわかる。複素コヒーレンスの値は、最適化コヒーレンスopt1, opt2とhh-hh偏波、vv-vv偏波によるコヒーレンスがほぼ一致する傾向があることがわかる。また、各コヒーレンスはほぼ直線上の値となっている。hh-hh偏波とvv-vv偏波の位相差から算出された高さ画像を図6に示す。高さはターゲットの中心付近でほぼ20cmとなっているが、 $\pm 10$ cm程度の誤差があることがわかる。

5. まとめ

本稿では二層ターゲットを用いて実験を行い、Polarimetric SAR Interferometryにおけるコヒーレンスについて解析を行った。ターゲット中心のコヒーレンスはほぼ理想的な値であったが、マルチルック数を変化させた場合についても検討しなければならない。また、高さの誤差についても検討が必要である。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, S. R. Cloude, "Polarimetric SAR Interferometry", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 36, No. 5, pp. 1551-1565, Sept, 1998.
- [2] K. P. Papathanassiou, S. R. Cloude, "Vegetation and ground parameter estimation using polarimetric interferometry part 1/2", Proc. of ESA CEOS SAR Workshop, Toulouse, France, Oct. 1999.

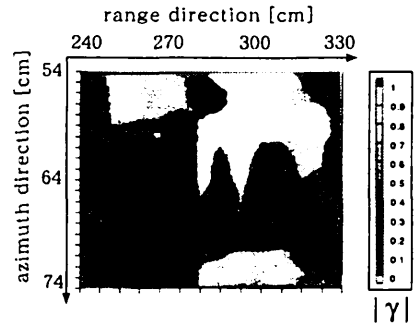


図3. コヒーレンス画像 (hv-hv 偏波)

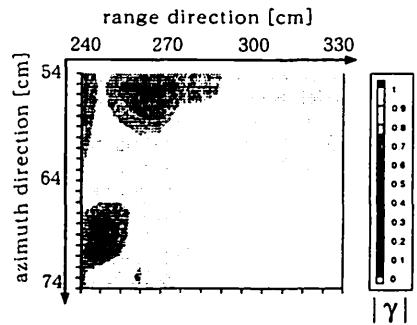


図4. コヒーレンス画像 (vv-vv 偏波)

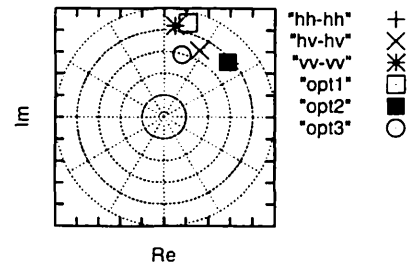


図5. コヒーレンス

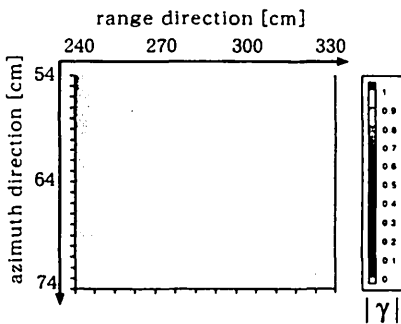


図2. コヒーレンス画像 (hh-hh 偏波)

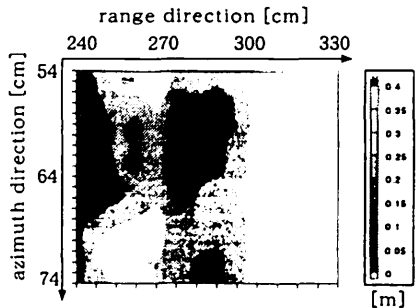


図6. 高さ画像