

E2 Pol InSAR 画像における偏波特徴の検出

佐藤 晃一

山田 寛喜

山口 芳雄

新潟大学工学部

1. まえがき

現在、地球温暖化が深刻な問題となり、地球環境の正確な把握がますます重要視されてきている。人工衛星や航空機によるマイクロ波リモートセンシングは、この把握手段として重要な位置付けが成されている。中でも、多偏波を用いて受信観測するレーダポーラリメトリの技術と地形の正確な高度情報を得ることができる SAR インターフェロメトリの技術を組み合わせたポーラリメトリック SAR インターフェロメトリ (Pol InSAR)[1][2] は新たな技術として非常に注目されている。

本稿では、ポーラリメトリック SAR インターフェロメトリにより得られる偏波間のコヒーレンスとエントロピーについて平均化サイズ (ルック数) を変化させ、そのときの森林と平地の偏波特徴について示す。

2. ポーラリメトリックインターフェロメトリ

ポーラリメトリックインターフェロメトリでは、わずかに (ベースライン長) 離れた 2 つのアンテナにおいてポーラリメトリックデータをそれぞれ受信することで次式の散乱行列 S_i を得る。

$$S_i = \begin{bmatrix} S_i^{(HH)} & S_i^{(HV)} \\ S_i^{(VH)} & S_i^{(VV)} \end{bmatrix} \quad i = 1 \text{ or } 2 \quad (1)$$

但し、添字は直線偏波基底 (水平: H, 垂直: V) を表す。また、以下では monostatic レーダを仮定するため $S^{(HV)} = S^{(VH)}$ として扱う。各偏波間のコヒーレンスは次式で表される。

$$\gamma = \frac{\left| \langle S_1^{(mn)} S_2^{(pq)*} \rangle \right|}{\sqrt{\langle S_1^{(mn)} S_1^{(mn)*} \rangle \langle S_2^{(pq)} S_2^{(pq)*} \rangle}} \quad (2)$$

但し、 $\langle \cdot \rangle$ は複素共役、アンサンブル平均を表し、 mn はアンテナ 1 における送信と受信偏波、 pq はアンテナ 2 における送信と受信偏波をそれぞれ表す。コヒーレンスは 2 つのアンテナで得られた信号の干渉性を表し、インターフェロメトリにおいて干渉画像を評価する指標でもある。また、偏波の違いによる観測対象物の散乱の変化を干渉性の違いとして表す。

3. エントロピー

ここでは、ポーラリメトリックインターフェロメトリにおけるエントロピーを以下のように定義する。まず、式 (1) の散乱行列を式 (3) のように表す。更に 2 枚の画像の相関行列 R を式 (4) のように定義する。

$$E_i = \left[S_i^{(HH)}, S_i^{(HV)}, S_i^{(VV)} \right]^T \quad (3)$$

$$R = \langle x x^T \rangle, \quad x = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

但し、 T は転置を表す。相関行列 R の固有値を $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_6$ とし、エントロピー H を次式により定義する。

$$H = - \sum_{j=3}^3 P_j \log_3 P_j, \quad P_j = \frac{\lambda_j}{\sum_k^3 \lambda_k} \quad (5)$$

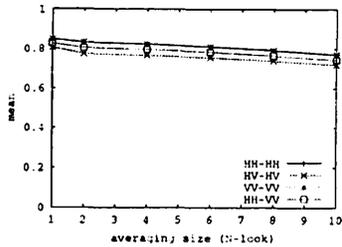
エントロピーは散乱のランダム性を表し、0 から 1 までの範囲をとる。例えば、 $H = 0$ で 1 つの散乱メカニズムが発生することを表しており、 $H = 1$ で複数の散乱メカニズムが同じ比重で発生する (完全にランダムな散乱である) ことを表している。更に、このエントロピーにはインターフェロメトリによる空間および時間デコリレーションの成分も含まれる。

4. 解析結果および考察

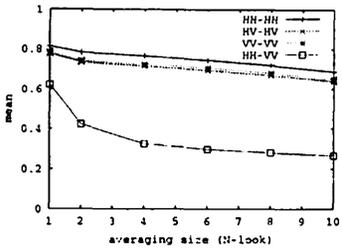
解析に用いた画像は、1994 年 10 月 8, 9 日にロシアのブリアチアについて得られた、SAR-C/X-SAR による、Lバンドの SLC (Single-Look Complex) データである (図 1)。画像左下には森林、中部から上部にかけて平地が広がり、上部にはセレンガ川が流れている。また、セレンガ川の周りには低植性が存在する。解析では森林と平地領域から 100×100 (アジマス × レンジ) ピクセルを抽出し (図 1 参照)、平均化サイズ (N ルックの移動平均) を変化させたときのコヒーレンスとエントロピーの平均値と標準偏差を求めた (図 2~5)。平地においては各偏波成分のコヒーレンスがほぼ等しいのに対し、森林領域では HH-VV のコヒーレンス (平



図 1. 抽出領域



(a) 平地領域



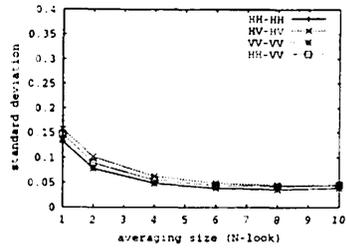
(b) 森林領域

図 2. 平均化サイズ vs コヒーレンスの平均値

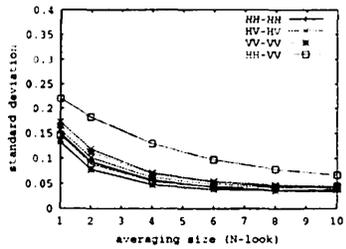
均値)が他のものに比べ明らかに低いことがわかる(図2)。これは、森林においてHHとVVでは樹間、幹などの相互作用の大きさが異なり、散乱に違いがあるためである。平地ではHH-HHとVV-VVのコヒーレンスが同じであったのに対し、森林領域では異なることからわかる。また、HVの後方散乱(SNR)がHH, VVに比べ低いため、HV-HVのコヒーレンスはHH-HH, VV-VVのコヒーレンスに比べ低いことがわかる。エントロピーにおいても平地と森林に明らかに違いがある。平地では比較的単純な散乱であるためエントロピーが低いが、森林では複雑な散乱メカニズムをもつためエントロピーが高い。更に、図2, 4からエントロピーとHH-VVのコヒーレンスの平均値では負の相関がある。また、SAR画像の電力は一般に指数分布に従うが、図2~5の平均化サイズと平均値、標準偏差のグラフからポーラリメトリックインターフェロメトリのコヒーレンスとエントロピーも指数分布に従っていると考えられる。

5. まとめ

本稿では、SIR-C/X-SAR データにポーラリメトリックインターフェロメトリを適用し、偏波間のコヒーレンスとエントロピーを平均化サイズを変えて評価した。これにより、HH-VVのコヒーレンスとエントロピーが森林と平地を区別する上で有効であり、更にこれらは負の相関を有していることを示した。



(a) 平地領域



(b) 森林領域

図 3. 平均化サイズ vs コヒーレンスの標準偏差

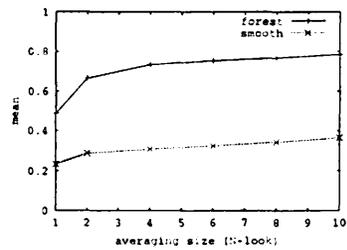


図 4. 平均化サイズ vs エントロピーの平均値

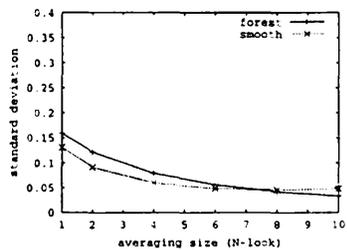


図 5. 平均化サイズ vs エントロピーの標準偏差

参考文献

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