

## E9 POLSAR 画像データを用いた地表面の傾斜角推定

佐藤 正人

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渡り把握する手段として、マイクロ波リモートセンシングの技術が注目されている。この技術で得られた POLSAR 画像データに関し様々な解析を行うことで、地表の分類や植生の調査などといった事が可能になる。本研究では POLSAR データ内に地表面の傾斜角の情報が含まれていることに着目し、干渉 SAR を用いることなくそれを推定する手法の基礎的検討を行っている。

### 2. 偏波と散乱行列

物体に対しアンテナからある偏波を送信すると、受信される偏波は一般には送信波とは異なったものとなる。受信アンテナで取得されたデータは、反射係数を要素とした  $2 \times 2$  の複素行列であり、散乱行列と呼ばれ、物体の偏波散乱情報を含んだものとなる。レーダからの送信波の偏波状態を  $\mathbf{E}^t$ 、受信される前方散乱波を  $\mathbf{E}^r$  散乱行列を  $[S]$  とすると、式 (1) のように定義される。

$$\begin{bmatrix} E_H^r \\ E_V^r \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} E_H^t \\ E_V^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H^t \\ E_V^t \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、偏波受信電力は次のように表される。

$$P = |\mathbf{E}^{rT} [S] \mathbf{E}^t|^2 \quad (2)$$

この偏波受信電力を視覚的に見るために、各送受信偏波状態ごとにプロットした図を偏波受信電力図という。

### 3. 傾斜した地表面に対する入射

傾斜した地表面に対する偏波の入射を想定する。地表面の傾斜角と偏波の傾き角 (orientation angle) の間には密接な関係があり、その関係を利用する。推定の対象であるアジマス方向に関する地表面の傾斜角  $\gamma$  と、偏波の傾き角  $\tau$  との関係は次の式で表される。

$$\tan \tau = \frac{\tan \gamma}{-\tan \omega \cos \phi + \sin \phi} \quad (3)$$

$\omega$  はレンジ方向に関する地表面の傾斜角、 $\phi$  はレーダ入射角を表す。

### 4. 偏波受信電力図を用いた推定法

偏波情報の中の orientation angle を抽出する方法として、まず偏波受信電力図を利用する。図 1, 2 は異なった地点の森林領域 A (アジマス方向に約  $30^\circ$  傾斜) と森林領域 B (アジマス方向に約  $-30^\circ$  傾斜) の偏波受信電力図を二次元でそれぞれ表したものである。この例のように、傾斜の異なった場所における偏波受信電力図の Co-pol Max (偏波受信電力図の最大値) は、orientation angle 方向にシフトするという性質を示す。そこで異なる地点において偏波受信電力図を作成、Co-pol Max の位置を測定し、その orientation angle 方向に関するずれを地表面の傾斜角として推定する。

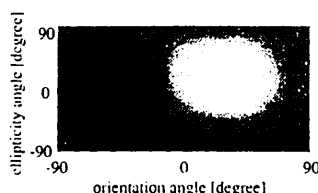


図 1. 森林領域 A ( $\gamma = 30^\circ$ ) における偏波受信電力図

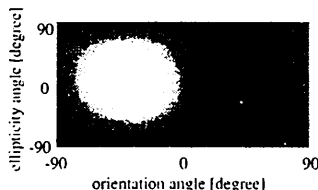


図 2. 森林領域 B ( $\gamma = -30^\circ$ ) における偏波受信電力図

### 5. 円偏波基底を用いた推定法

次に、円偏波基底を利用することによって orientation angle を推定する方法を導入する。円偏波基底を利用することで、直線偏波基底における散乱行列の各偏波成分により、orientation angle は次の式から計算される。

$$\tau = [\tan^{-1} A + \pi] / 4 \quad (4)$$

$$A = \left( \frac{-4\text{Re}(\langle (S_{HH} - S_{VV}) S_{HV}^* \rangle)}{-\langle |S_{HH} - S_{VV}|^2 \rangle + 4\langle |S_{HV}|^2 \rangle} \right) \quad (5)$$

ここで、 $\langle \rangle$  はアンサンブル平均を表す。4 の手法とは異なり、この場合は図 1, 2 のような図を用いることなく直接に推定が可能となる。

## 6. 解析画像

解析に用いる画像データは、図3に示した2000年4月6日に観測された有珠山西部のL-BandのPi-SAR画像データ(1200×1200)であり、温泉街、洞爺湖、森林などを含む。解析領域としては、アジマス方向に適当な傾斜を持つことと、大部分が森林で覆われているため均質な散乱特性を示すであろうことから、図3の白枠で囲んだ左下の1000×800の領域を選択した。

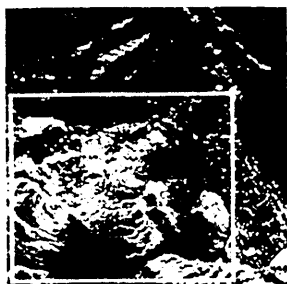


図3. 解析画像

## 7. 解析結果

図4に比較の対象としてDEM(Digital Elevation MAP)から計算した解析領域におけるアジマス方向の傾斜角による画像を示す。図5に偏波受信電力図を用いた手法によるアジマス傾斜角の推定値の画像を示す。解析領域は大部分が森林であり、二回反射の寄与を含んでいるため、HHの位置( $\tau = 0^\circ$ )からのシフトを推定値とした。傾斜角が正から負に切り替わる尾根の部分が確認でき、全体として傾斜の傾向がDEMによるものと一致している。図6には円偏波基底を用いた手法によるアジマス傾斜角の推定値の画像を示す。図5と比較したところ誤差の大きい領域が共通していることが確認できる。ただし図6では、図5では低めに推定されていた部分も図6ではDEMに近い値を示しており、円偏波を基底を用いた手法の方が良好な結果となっている。

以上のことから、両手法ともに orientation angle のずれは推定可能だが、円偏波を用いた手法の方が偏波受信電力図を用いた手法の方に比べ、高い精度で地表面の傾斜角を推定できることがわかる。

## 8. まとめ

本稿では POLSAR 画像データを用いた地表面の傾斜角の推定という解析手法について検討を行った。その結果、偏波の orientation angle が地表面の傾斜角と深い関係があること、またその推定法としては、円偏波を用いた手法が有効であること

を示した。なお、この研究の一部は文部省科研費によるものである。

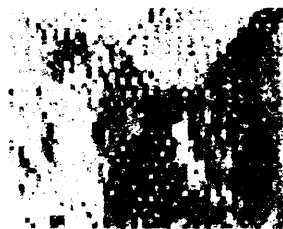


図4. DEMによるアジマス傾斜角



図5. 偏波受信電力図を用いた手法によるアジマス傾斜角



図6. 円偏波基底を用いた手法によるアジマス傾斜角

## 参考文献

- [1] J. S. Lee, D. L. Schuler and T. L. Ainsworth, "Polarimetric SAR data compensation for terrain azimuth slope variation," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 38, no. 11, pp. 2153-2163, Sept. 2000.
- [2] D. L. Schuler, J. S. Lee and G. De Grandi, "Measurement of topography using polarimetric SAR images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, pp. 1266-1277, Sept. 1996.
- [3] J. S. Lee, et al., "On the Estimation of Radar Polarization Orientation Shifts Induced by Terrain Slopes," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 40, pp. 30-41, Jan. 2002.