

SAR フルポラリメトリデータを用いた針葉樹と 広葉樹の分類手法に関する研究

A study of methods for classification of coniferous and broad-leaved trees using full polarimetric SAR data

打田欽也、細井文樹、大政謙次*

Kinya Uchida, Fumiki Hosoi and Kenji Omasa*

東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

The University of Tokyo, Graduate School of Agricultural and Life Sciences,

1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan

(2015年7月22日受付、2015年8月21日受理)

ABSTRACT

It is important to examine forest trees in each species for understanding forest status and managing them. SAR (Synthetic Aperture Radar) has been used to forest survey. SAR can obtain structural information of trees, since its wavelength is long enough to penetrate into the tree canopy and the microwave reflects at stems and other large branches. This shows possibility of SAR to classify forest vegetation into each species based on the tree structural information. In this paper we tried to classify forest trees into coniferous and broad leaved ones using a polarimetric SAR image. First, we derived a coherency matrix for each pixel from the scattering matrix of the SAR data. The image was then decomposed into powers of four scattering models, based on the elements of the coherency matrix. The images of four powers were classified into 5 classes (coniferous, broad leaved, water, field, and urban area). To exclude mismatching area between the SAR image and ground validation data, we built a mask which excludes slopes that are on the opposite side of the mountain ridge as seen from the satellite. In addition to the four-component decomposition, we applied the three-component decomposition method and H, A, α decomposition method for the classification. As a result, the values for overall accuracy were 79%, 65% and 47% and the Kappa coefficient values were 0.51, 0.3 and 0.12 for the four-component decomposition, three-component decomposition and H, A, α decomposition methods, respectively.

Key words : ALOS, Full polarimetry, SAR, Tree classification

1. はじめに

森林を樹種毎に詳しく調査することは、森林の状態を知ることや長期的な資源管理・伐採計画を立てる上で非常に重要である。こうした調査は従来、踏査によって行われてきたが、労力やコストの観点からリモートセンシングの利用に期待が高まっている。これまで、可視近赤外光の衛星画像により、森林植生を各樹種に分類する方法が開発されてきた (Kawamura et al., 2005)。樹種分類

を行うことで、各樹種の分布域やその衰退度合いなどの情報を得ることができる。可視近赤外衛星センサーに加え、電波を送信して地上の観測を行う合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar: 以下 SAR) も森林観測分野で活用されてきた (Kellndorfer et al., 2004; Perko et al., 2011)。陸域観測技術衛星 (ALOS) に搭載されている L バンド SAR (PALSAR) においては、その送信波長が約 23 cm と長い。そのため送信ビームが葉などの樹冠表面だけではなく、樹冠内部にまで到達し、枝や幹などの構

*Corresponding author : Phone: +81-3-5841-5340, Fax: +81-3-5841-8175, E-mail: aomasa@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

造情報を含む後方散乱として受信される。SARの後方散乱に含まれるような樹冠内部の構造情報は、可視近赤外センサーにより取得するのは困難であり、森林調査において有益な情報となる可能性がある。このような植生内部の構造を含んだ後方散乱をもとに、SARを用いた樹種分類の可能性も考えられる。SARには1偏波のみを送受信する単偏波モードのほかに、垂直偏波と水平偏波を送受信し、それぞれの強度と位相を観測するフルポラリメトリモードがある。フルポラリメトリモードでは全偏波の情報を受信するため、単偏波や二偏波モードと比較して、非常に多くの構造情報が含まれていると考えられる。フルポラリメトリデータから対象の構造情報を反映した後方散乱を取得し、それをもとに分類する方法として、3成分分解法や4成分分解法がある (Freeman and Durden, 1998, 1998; Yamaguchi et al., 2005, 2006)。これらの手法は主に都市、水域、植生といった明らかに性質の違うカテゴリ分けに使用されてきたが、樹種ごとの構造の違いから、植生をそれぞれの種に分類する用途には利用されてこなかった。しかし、樹種毎に異なる幹や枝の配置により、各成分の散乱強度に違いが生じることが想定され、この違いを利用することで、樹種分類が可能になるのではと考えられる。そこで、本研究ではALOS PALSARで取得した奥多摩エリアの森林のフルポラリメトリデータを使用して、森林の内部構造情報を含んだ後方散乱をもとに針葉樹と広葉樹の分類を試みたので報告する。

2. 計測対象および使用データ

研究対象地域は奥多摩（東経141度3分～141度5分、北緯38度～38度5分）の領域である。本研究で使用したSARフルポラリメトリ画像はALOS PALSARにより取得されたもので、波長はLバンド（約23cm）偏波モードはHH, HV, VH, VV、処理レベルは1.1、画像取得日は2010年2月15日である。この画像のレンジ分解能は27-29.7m、アジマス分解能は5.06mである。

検証にはJAXAの提供する、ALOSのAdvanced Visible and Near Infrared Radiometer-II (AVNIR-II)画像を用いた高解像度土地利用土地被覆図Ver.11.02 (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm)を使用した。作成日は2010年2月で、この検証データの地上分解能は約30mである。なお、本土土地被覆図において森林は常緑樹と落葉樹に分類されているが、本対象地では常緑樹の大部分がスギ、ヒノキなどの針葉樹であるため、常緑樹を針葉樹、落葉樹を広葉樹と置き換えて検

証を行った。

3. 方法

SARフルポラリメトリ画像の散乱行列[S]は以下のよう

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

ここでS_{HH}, S_{HV}, S_{VH}, S_{VV}, HH, HV, VH, VV偏波モードに対する散乱行列要素である。(1)の散乱行列から平均化Coherency行列<[T]>は以下のように導かれる。

$$\langle [T] \rangle = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle S_{HH+S_{VV}}^2 \rangle & \langle (S_{HH+S_{VV}})(S_{HH-S_{VV}})^* \rangle & \langle 2S_{HV}^*(S_{HH+S_{VV}}) \rangle \\ \langle (S_{HH-S_{VV}})(S_{HH+S_{VV}})^* \rangle & \langle S_{HH-S_{VV}}^2 \rangle & \langle 2S_{HV}^*(S_{HH-S_{VV}}) \rangle \\ \langle 2S_{HV}(S_{HH+S_{VV}})^* \rangle & \langle 2S_{HV}(S_{HH-S_{VV}})^* \rangle & \langle 4|S_{HV}|^2 \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで*は複素共役、<>は集合平均を示す。ここではS_{HV}=S_{VH}の関係を用いている。本研究で用いるSARフルポラリメトリ画像について、式(2)を用い隣接するピクセルの平均化Coherency行列を算出した。このデータに対し、J. S. Lee Sigmaフィルター処理を施してスペクトルノイズを除去した (Lee., 1983)。次にCoherency行列について、以下に示す4成分散乱モデル分解を適用した (Yamaguchi et al., 2005, 2006)。

$$\langle [T] \rangle = P_s [T_s] + P_d [T_d] + P_c \langle [T_c] \rangle + P_v \langle [T_v] \rangle \quad (3)$$

ここでP_sは表面散乱電力、P_dは2回反射散乱電力、P_vは体積散乱電力、P_cはヘリックス散乱電力に相当する。[T_s], [T_d], <[T_c>, <[T_v>はそれぞれの散乱過程の理論上のCoherency行列である。分解した4成分について、緯度経度の情報をもとに地図へ投影変換した。また、山の斜面の一部において幾何歪により検証データとの位置ずれが生じたため、その部分にマスクをかけ、解析から除外した。これらの処理を施した4成分の電力に対して、検証データをもとに教師を選択し、最尤法で教師つき分類を行った。分類したクラスは針葉樹、広葉樹、水域、都市、平地である。分類に際し、針葉樹と広葉樹については画像中のなるべく多くの個所から教師を選択し、教師データが特定の領域に偏らないように配慮した。分類結果から水域、都市、平地を除き、針葉樹、広葉樹の2クラスに対してclump処理を行い、エラーマトリックスを生成、全体精度とκ係数を算出した。さらに他の方法も検討するため、3成分分解法 (Freeman and Durden, 1998; 4成分分解法のうち、ヘリックス散乱成分を除いた成分に分解する方法) とH, A, α分解法 (Cloude and Pottier, 1996; Pottier and Lee, 2000)についても同様の処理を行い、3手法の精度を比較した。

4. 結果と考察

土地被覆図と教師つき分類の結果を Fig. 1 に、分類結果に関するエラーマトリックスを Table 1 に示す。Fig. 1(b) の 4 成分分解では、画像中央にある広葉樹群落などが比較的良好に分類されているのに対し、Fig. 1(c) の 3 成分分解では広葉樹を針葉樹に誤分類している比率が高いことが分かる。さらに Fig. 1(d) の H, A, α 分解では、樹木のほとんどが広葉樹に分類されてしまっており、針葉樹がほとんど分類できていない。Table 1 より、 P_s, P_d, P_v, P_c の 4 成分を用いた場合の Overall Accuracy (OA) は 79%、 κ 係数は 0.51 となり、今回検討した分類法の中で一番精度が高かった。ヘリックス散乱電力 P_c をのぞく P_s, P_d, P_v の 3 成分のみを使用した場合の OA および κ 係数は 65%、0.33 となり、H, A, α の 3 成分を用いた場合の OA および κ 係数は 47%、0.12 となった。

各分解法で異なる分類結果がでた理由として、以下の

ように考察する。3 成分分解では画像の各ピクセルの散乱強度を表面散乱、二回散乱、体積散乱の 3 種類の散乱過程に分解する。樹種が異なる場合、葉の量や配置の違いが表面散乱に、幹などの群落下部構造の違いが二回散乱にそれぞれ反映される可能性がある。また、幹や枝の構成や配置は体積散乱に反映される可能性がある。Fig. 1 の結果を見ると、誤分類が多かった。樹種が同じでも樹齢や生育環境によって構造にはかなりのバリエーションがあり、これらを含んだ状態で各樹種の散乱成分に関する特徴付けを行った場合、異なる樹種間でその散乱成分の特徴には明確な差がなくなってしまうものと考えられる。H, A, α 分解法については、H はエントロピーをあらわし、散乱メカニズムの複雑性を示す。A の Anisotropy は、同一の H を与える Coherency 行列の固有値の組み合わせを異なる散乱過程として区別するための指標である。 α 角は送信電波と受信電波の偏波成分比を反映しており、偏波依存性を見る指標となる。本対象

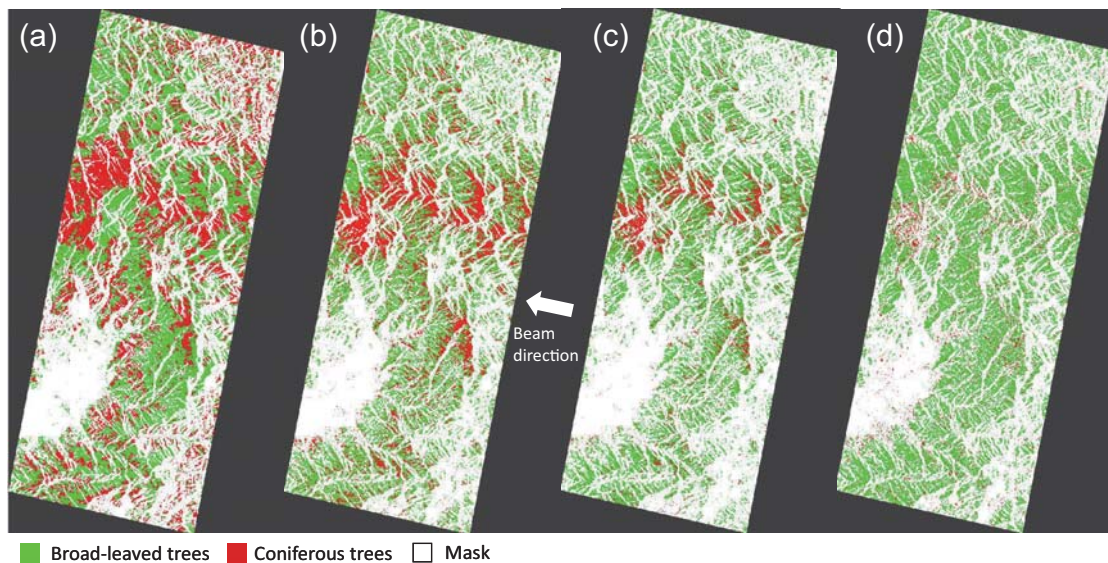


Fig. 1. Results of classification between coniferous and broad-leaved trees. (a) A validation data and results of (b) four-component, (c) three-component and (d) H, A, α decomposition. Green: Broad-leaved trees, Red: Coniferous trees, White: Mask.

Table 1. An error matrix for classification results in each decomposition method. UA: User's Accuracy, PA: Producer's Accuracy, OA: Overall Accuracy, κ : kappa coefficient.

	Four-component decomposition				Three-component decomposition				H, A, α decomposition			
	PA	UA	OA	κ	PA	UA	OA	κ	PA	UA	OA	κ
Coniferous trees	79%	91%			58%	94%			23%	87%		
Broad-leaved trees	77%	57%			88%	40%			93%	38%		
			79%	0.51			65%	0.33			47%	0.12

のような針葉樹と広葉樹の場合、樹種による幹や枝の配置の違いや葉の状態の違いなどにより、散乱の複雑性や送受信偏波比が影響を受けて H, A, α の値に違いが生じるものと考えられたが、実際には各値の平均値および分布について両樹種で差が明確でなく、クラス分けに適用できるほど十分に異なる特徴をもっていなかったものと考えられる。本方法は水域、都市部、植生といった散乱過程が大きく異なるカテゴリの分類に使用されてきたものであり、植生内の種の違いを検出するほどの分類精度は有していないものと考えられる。一方、教師つき分類を行った4成分分解データについては、ヘリックス散乱成分が加わっている。ヘリックス散乱はレンジ方向に $\lambda/4$ または $3/4 \lambda + n \lambda$ だけ離れた、垂直にねじれの位置にある二本のワイヤから生じる。森林においてこのワイヤに相当するのが樹木の枝や幹であり、実際の樹木の幹や枝の交差によりヘリックス散乱が生じると考えられる。枝や幹の交差の状況が違えばヘリックス散乱強度が異なるため、ヘリックス散乱強度の違いが針葉樹と広葉樹の幹と枝の配置構造の違いを表していると考えられる。このような幹と枝の配置について、両樹種の違いを反映するヘリックス成分を加えた4成分分解で分類精度の向上が見られたため、ヘリックス成分を生成するような針葉樹と広葉樹の幹・枝の配置パターンは両樹種間で明確に異なっていたものと考えられる。ヘリックス成分は特定の配置にある幹や枝の構造に関するものであり、その他の三成分と比較すると構造に関する一部の情報を抜きだしたものと考えられるが、樹種間での違いを比較的よくあらわしており、本研究の分類には適した成分であったものと考えられる。

その他、SAR 画像における分類の問題点について考察する。SAR ではマイクロ波ビームを斜めに照射して対象各点までの距離を計測することで、各点の距離情報は2次元画像上の位置に対応付けられ、散乱強度画像が生成される。斜め照射である性質上、起伏の大きなところではフォアショートニングが発生する。フォアショートニングとは、衛星側を向いている斜面が実際より短かつ急斜面になり、画像上の山頂位置が実際の位置より衛星側に近く表示され、また衛星側を向いていない斜面は長く緩やかに表示される現象のことを指す。本研究ではレベル 1.1 のデータの四隅に緯度経度情報を付与しただけの投影変換を行っており、こうしたフォアショートニングによる位置のずれまでは補正していない。そのため検証データである高解像度土地被覆図と、山頂や尾根、斜面が一致していない箇所が存在していた。こうした検

証データと実際の解析データの位置ずれがある状態では、正しい分類精度検証が難しくなる。これを解消する方法としてDEM (Digital Elevation Model) による地形補正があるが、このような地形補正にはピクセル間の補間が必要になる。フルポラリメトリ画像の各画素には散乱強度だけでなく、位相情報も含まれており、位相も含めた複素表現の散乱特性を補間することは困難であり、また本研究ではその位相情報が重要な位置づけであるため、地形補正は導入できなかった。本研究では地形の影響をなるべく少なく分類精度の検証を行うため、フォアショートニングの生じている斜面を限定するマスクを作成し、教師および検証エリアにはなるべく起伏が少なくフォアショートニングが発生していないような、土地被覆図と SAR データの斜面が一致した地域を選択した。樹木が繁茂している領域は地形変化が激しい山間部などが多く、今後は地形補正も含めた分類手法の検討が必要になるものと思われる。

5. おわりに

本研究では L-band SAR フルポラリメトリデータに複数のカテゴリ分類手法を適用し、広葉樹と針葉樹の分類可能性について検証した。得られた分類結果について高解像度土地被覆図との比較により分類精度を算出したところ、 H, A, α 分解法では $OA=47\%$, $\kappa=0.12$ と分類精度が低く、3成分分解法では $OA=65\%$, $\kappa=0.33$ 、4成分分解法でもっとも精度よく $OA=79\%$, $\kappa=0.51$ で針葉樹と広葉樹を分類できた。3成分分解における散乱成分は葉の量や群落下部及び群落内構造といった樹種の構造に関する豊富な情報を含んでいるが、各樹種間の違いは十分に表してはいなかった。このようなベースとなる散乱成分に加え、ヘリックス散乱成分のような特定の枝や幹の並び方といった、樹種間での差がよくあらわれる成分を加えることで、分類精度が向上することが示された。本研究の方法は対象の構造情報を含む散乱成分から樹種分類を行うものだが、得られた散乱成分から各樹種の詳細な構造情報を引き出せる可能性がある。こうした構造情報は可視・近赤外センサーからは得ることが難しい有益な情報である。今後はさらなる分類精度向上を図るとともに、散乱成分から各樹種のより詳細な構造情報（例えば枝や幹のサイズや空間配置、葉面積密度、器官別バイオマス等）を引き出すために、対象の構造と散乱メカニズムの関係の解明や、新しい散乱成分への分解法の検討が必要であると考えられる。

引用文献

- Cloude, S. R. and Pottier, E., 1996: A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **34**, 498-518.
- Freeman, A. and Durden, S., 1998: A Three-component scattering model for Polarimetric SAR data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **36**, 963-973.
- Kawamura, M., Tsujino, K. and Tsujiko, Y., 2005: Analysis of characteristics of high resolution satellite imagery about forest species. *Journal of the Japanese society of photogrammetry and remote sensing*, **44**, 82-90.
- Kellndorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J. A., Hunsaker, C., Vonad, J. and Clutter, M., 2004: Vegetation height estimation from shuttle radar topography mission and national elevation datasets. *Remote Sens. Environ.*, **93**, 339-358.
- Lee, J. S. 1983: Digital Image smoothing and the sigma filter. *Comput. Vision. Graph.*, **24**, 255-269.
- Perko, R., Raggam, H., Deutscher, J., Gutjahr, K. and Schardt, M. 2011: Forest assessment using high resolution SAR data in X-band. *Remote sensing*, **3**, 792-815.
- Pottier, E. and Lee, J. S., 2000: Application of the H/A/alpha Polarimetric Decomposition Theorem for Unsupervised Classification of Fully Polarimetric SAR Data Based on the Wishart Distribution. *Proc. EUSAR 2000*, 335-340.
- Yamaguchi, Y., 2007: *Basics and application of radar polarimetry*. IEICE, Tokyo, pp. 182 (山口芳雄、レーダポラリメトリの基礎と応用. 電子情報通信学会, 東京, pp.182).
- Yamaguchi, Y., Moriyama, T. and Ishido, M. 2005: Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **43**, 1699-1706.
- Yamaguchi, Y., Yajima, Y. and Yamada, H. 2006: A four-component decomposition of POLSAR images based on the coherency matrix. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Lett.*, **3**, 292-296.