

高分解能合成開口レーダのクロス偏波画像に見られるテクスチャを利用した針葉樹林バイオマス計測

高分解能合成開口レーダの クロス偏波画像に見られる テクスチャを利用した針葉樹林の バイオマス計測

大内 和夫¹ 岩切 泰利¹ 王 海鵬²

- 1 防衛大学校 電気情報学群 情報工学科
- 2 復旦大学 Key Laboratory of Wave Scattering and Remote Sensing

要旨

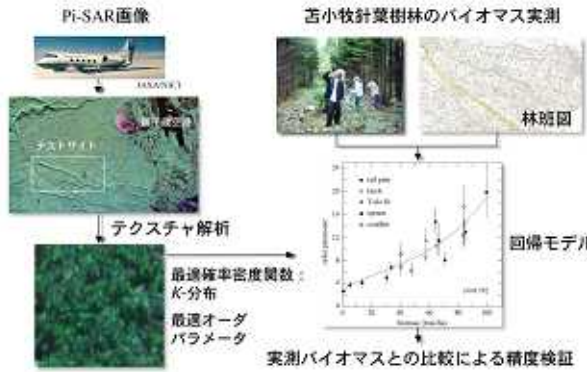
本研究の目的は、高分解能ボラリメトリック合成開口レーダ画像のテクスチャ情報から針葉樹林の森林バイオマスを計測する新しい手法を開発することである。

北海道苫小牧にある森林のバイオマスを現地で計測し、航空機搭載Pi-SARのLバンド画像と比較したところ、画像振幅のテクスチャは非ガウス統計の確率密度関数であるK-分布にしたがい、クロス偏波データがK-分布のオーダーパラメータと強い相関関係があることが判明した[1]。新たに現地計測したバイオマスと回帰モデルから算出したバイオマスとの比較から、回帰モデルの計測精度を検証し、計測精度約86%という結果が得られた[2]。

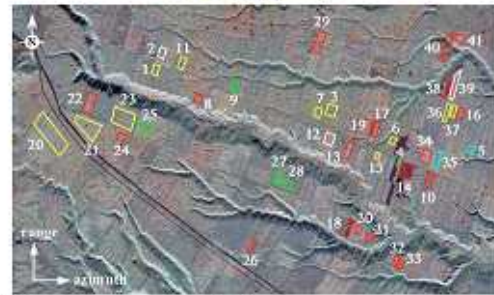
本手法の特徴は、レーダ断面積(RCS)と実測バイオマスとの回帰関係を利用する従来の方法[3][4][5]とくらべて、計測上限飽和バイオマス値が大きいこと、厳密なラジオメトリック補正を必要としないことである。

本研究で提案しているテクスチャを利用する手法と、従来の手法を組み合わせることにより、高精度の針葉樹林バイオマス計測が可能であると考えられる。

K-分布回帰モデル作成の手順

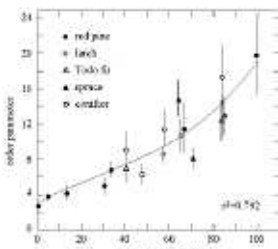


Pi-SARデータ



苫小牧森林のPi-SAR偏波合成画像(赤: HHL, 緑: HV, 青: VV)とテストサイト林班(白: エノマツ 赤: アカイエノマツ 緑: カラマツ 青: トドマツ)。林班1-19は回帰モデル導出に利用し、林班20-41はモデルの計測精度の検証に利用。

HV-偏波振幅のゆらぎとバイオマスの相関関係



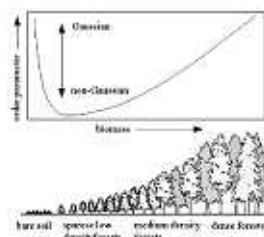
Akaike 基準 [6] から、データに最適な確率密度関数は、K-分布、次いでワイブル分布 [7] であることが分かった。さらに、HV-偏波画像振幅とK-分布のオーダーパラメータには左図のように強い相関関係があることが判明した。従来のRCSをベースとしたL-バンド回帰モデル [4] の計測上限は約40 t/haであるが、本モデルの上限は80 t/haを超えると考えられる。

K-distribution

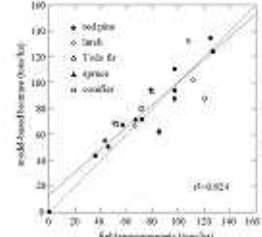
$$P(A) = \frac{A}{\Gamma(v)} \left(\frac{v}{A}\right)^{v-1} \mathcal{K}_{v-1} \left(2A \left(\frac{v}{A}\right)^{1/v}\right)$$

Γ : Gamma function
 \mathcal{K}_{v-1} : modified Bessel function of order $v-1$
 v : order parameter
 $\langle I \rangle$: mean intensity

非ガウス統計の原因とモデルの精度評価

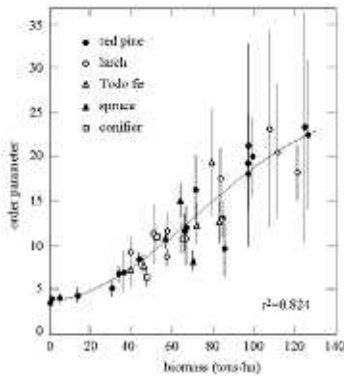


木の多い粗面では、SAR 画像振幅はスペckル画像となりガウス統計のレーリー分布に従うが、まばらな低樹木があると非ガウス統計となり、密度の高い森林では樹冠からの後方散乱が増加し、統計的に極端な画像となるため再度ガウス統計に近づく。



K-分布テクスチャモデルによるバイオマス(縦軸)と林班20-41の実測バイオマス(横軸)との比較。実線は両者の関係を示す回帰直線、破線は理想的な1:1の直線。各林班のバイオマス計測精度は約86%である。

全データを使ったテクスチャ回帰モデル



左図は、現地計測した全てのデータを使って更新した回帰モデルである。

大きなオーダパラメータになるにつれて計測精度が低下するのは、画像探査のゆらぎがガウス統計のレーリー分布に近づくためである。

テクスチャ回帰モデルによる実際のバイオマスの計測限界は、従来のRCSをベースとした手法の約40 ton/haを大きく上回る

約 100 ton/ha

前後であると考えられる。

更新回帰モデルによるバイオマス計測



上図は実測全バイオマスデータを使って更新したテクスチャ回帰モデルから算出した苫小牧森林テスト領域のバイオマス図である。このモデルを使うことにより少なくとも北海道全域の針葉樹林のバイオマスの計測が可能であると考える。

光学系データとSARデータの融合



本研究では、Pi-SAR L-バンドデータ以外にも、同時に収集された X-バンドデータ、そして時期は異なるが、QuikBird や IKONOS などの高分解能光学系データなどがある。上左の画像は、QuikBird データから算出した4月の落葉時期のNDVI画像で、落葉樹と常緑樹の違いがよく現れている。これらのデータと SAR データとの融合により、より高精度での森林計測が可能になると考えられる。

結論と今後の計画

本研究では、北海道苫小牧の針葉樹林をテストサイトとして、航空機搭載 Pi-SAR による森林情報抽出に関する実験を行い、以下の結果を得た。

1. L-バンドクロス偏波振幅画像のテクスチャが K-分布に良く一致する。
2. K-分布のオーダパラメータと実測バイオマスには強い相関関係がある。
3. 両者の相関関係を示す回帰曲線を導出し、オーダパラメータから針葉樹林のバイオマスを算出する経験モデルを作成した。
4. 導出した回帰モデルから算出したバイオマスと新しく現地で計測したバイオマスと比較し、回帰モデルによる計測精度約 86% であることが判明した。
5. さらに、全実測データを使って回帰モデルを更新し、例としてテストサイト領域のバイオスマップを作成した。
6. 本研究で開発したテクスチャをベースとした回帰モデルの特徴は、従来の L-バンド RCS を使った回帰モデルの計測限界 (約 40 ton/ha) を大きく上回る約 100 ton/ha 前後のバイオマス計測が可能であると考えられる。
7. 今後の展開としては、短期目標として、X-バンド画像のテクスチャ解析と光学系データと SAR データの融合があり、中期目標としては、異なる入射角と視野外のテクスチャ依存性の検討があげられる。

参考文献

- [1] H. Wang, K. Ouchi, M. Watanabe, M. Shimada, T. Tadano, A. Rosenqvist, S. A. Ronshoo, M. Matsuoka, T. Moriyama, and S. Uetani. "In search of the statistical properties of high-resolution polarimetric SAR data for the measurements of forest biomass beyond the RCS saturation limit." *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol.3, no.4, pp.495-499, 2006.
- [2] H. Wang and K. Ouchi. "Accuracy of the K -Distribution Regression Model for Forest Biomass Estimation by High-Resolution Polarimetric SAR: Comparison of Model Estimation and Field Data." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.46, no.4, April 2008 (in press).
- [3] M. C. Dobson, F. T. Ulaby, T. Le Toan, A. Braudoin, E. S. Kasischke, and N. Christensen. "Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.30, pp.412-418, 1992.
- [4] M. L. Imhoff. "Radar backscatter and biomass saturation: Ramifications for global biomass inventory." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.33, pp.511-518, 1995.
- [5] A. Braudoin, T. Le Toan, S. Gou, E. Nezry, A. Lopes, E. Mougin, C. C. Hu, H. C. Han, J. A. Long, and R. T. Shin. "Retrieval of forest biomass from SAR data." *Int. J. Remote Sens.*, vol.15, pp.2777-2796, 1994.
- [6] H. Akaike. "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle." in B. N. Petrov and F. Csaki Eds. *The 2nd Int. Symp. Info. Theory*. Budapest, Hungary, pp.267-281, 1973.
- [7] S. Sayama and M. Sekine. "Weibull, log-Weibull and K-distributed ground clutter modeling analyzed by AIC." *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol.37, pp.1108-1113, 2001.