

## PALSAR データの特質把握—泥炭湿地林の事例—

高橋興明 (森林総研)・栗屋善雄 (岐阜大)・清野嘉之 (森林総研)・齋藤英樹 (森林総研九州支所)・島田政信(JAXA)・I Nengah Surati Jaya・M Buce Saleh (ボゴール農大)・Suwido H. Limin (パランカラヤ大)

要旨: REDD (途上国の森林減少に由来する排出量の削減) に貢献しうる有力な森林モニタリングツールとして ALOS 衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) が注目されている。合成開口レーダに関する多くの既存研究によれば、波長の長い L や P バンドマイクロ波の森林域からの後方散乱係数(単位: dB)は地上部バイオマス量 (AGB) と有意な相関関係を持ち、その関係は非線形 (飽和する) であることが知られている。そこで本研究では、インドネシア国中央カリマンタン州の泥炭湿地帯にある択伐跡の森林と灌木林 (原野) を対象に、PALSAR で観測された二偏波 (HH 偏波, HV 偏波) の後方散乱係数と航空機 LiDAR データから作成した「森林の空間体積」(AGB の指標とみなせる) との間に、既存知見と同様のことが確認できるかどうかを調べた。50m×50m の仮想メッシュを 10,541 枚発生させて両者の関係を調べた結果、HH 偏波では非線形の関係が認められなかったが、HV 偏波では既存知見と同様の非線形の関係が極めて明瞭に現れた。このことから、少なくとも本研究対象地域の AGB を PALSAR で推計する場合には、HH 偏波よりも HV 偏波の後方散乱係数の方がより安定的な解析を可能にする特性を有すると考えられた。

キーワード: PALSAR, LiDAR, REDD, 地上部バイオマス量, 泥炭湿地林

## I はじめに

ALOS 衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) センサは、地球地表面を降雨時や雲・煙に無関係に常時観測できる画期的な衛星センサであることから、特に国家統計値の精確性に欠ける途上国の湿潤熱帯林の地上部バイオマス量 (Above Ground Biomass: AGB) のモニタリングに大きな期待が寄せられている。PALSAR の前身である JERS-1 SAR (1991 年打ち上げ) は、PALSAR と同じLバンド仕様であったが、水平偏波送信・水平偏波受信 (HH 偏波) データのみ取得可能であった。それに比べ、PALSAR は水平偏波送信・垂直偏波受信 (HV 偏波) データも取得でき、さらには垂直偏波送信・水平、垂直偏波受信 (VH, VV 偏波) データも取得可能である (8)。PALSAR の多偏波データを利用すれば、単偏波の JERS-1 SAR に比べ、土地被覆分類や AGB 推定の精度の向上が期待される一方で、各偏波の特質をしっかりと把握しておくことも重要であると考えられる (9)。

合成開口レーダによる森林解析の既存研究で、最も多いのが AGB 推定に関する事例である。熱帯地域の森林に限らず、合成開口レーダによる森林の AGB 推定の事例をみると、波長が比較的長いLバンド (約 23.5cm) の後方散乱

係数は AGB と比較的良い相関を示すが (3,7)、波長の短い C バンド (約 5.6cm) の後方散乱係数とはほとんど相関がない (4) ようである。また、HH 偏波は樹幹と樹冠の両方のバイオマスと相関があり、VV 偏波と HV 偏波は樹冠のバイオマスと相関があるという報告がある (1)。一方、これらの既存研究に共通して言えることは、光学センサ解析で必ず起こるサチュレーション (飽和) の問題が後方散乱係数と AGB の間でも起こることである。飽和のレベルはレーダの波長の長さ、偏波の違い、林分構造の違いなどに依存する。例えば、Luckman ら (6) は L バンドデータであっても 40 Mg/ha 以上の AGB を有意に説明することができなかったと報告している。同様に、Foody ら (2) は SIR-C SAR の C バンドと L バンドの両データの偏波データを用いても 63.8~141.1 Mg/ha 以上の AGB を推定することは不可能であったと報告している。すなわち、これらの既存知見から判断されることは、後方散乱係数で AGB を推定する場合、飽和の問題は避けられないものの、飽和レベルに達するまでの AGB ならば比較的精度良く推定できる可能性があるということであろう。

ところで、打ち上げられて (2006 年) 日が未だ浅い ALOS 衛星搭載の PALSAR ではあるが、既にほぼ全球の陸域を観

Tomoaki TAKAHASHI, (Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Yoshio AWAYA (Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu 501-1193), Yoshiyuki KIYONO (FFPRI), Hideki SAITO (Kyushu Research Center, FFPRI), Masanobu SHIMADA (JAXA, 2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 350-8505), I NENGAH Surati Jaya, M Buce Saleh (Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, 168, Kampus IPB, Darmaga, Bogor, Indonesia), SUWIDO H. Limin (CIMTROP, University of Palangka Raya, 73112, Central Kalimantan, Palangka Raya, Indonesia) Comprehension of PALSAR data—A case study in peat swamp forests—

測した2年分の二偏波 (HH, HV) データが宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から PALSAR50m オルソモザイクプロダクト (無償) として公開されているほど、データ蓄積が豊富になってきた ([http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/kc\\_mosaic/jkc\\_mosaic.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/kc_mosaic/jkc_mosaic.htm))。すなわち全世界の熱帯林の AGB 推定に着手できるだけのデータが十分揃ってきていることから、一刻も早くそのデータ特性を調べ、その知見を AGB 推定につなげる必要がある。そこで本研究では、インドネシア国中央カリマンタン州の泥炭湿地帯にある択伐跡の森林と灌木林 (原野) を対象に、AGB 推定を念頭に置いた二偏波 PALSAR データの特質把握を行うことにした。

## II 研究対象地

研究地域はインドネシア国中央カリマンタン州にあるパランカラヤ市周辺の泥炭湿地帯 (南緯 2.3 度, 東経 114.0 度) である。本研究対象地域内では、都市域を除くとまとまった農地や水田が少なく、図-1 のような択伐跡の天然林 (過去に優勢木が択伐されたが、人為攪乱が比較的少ない高バイオマス森林) と図-2 のような灌木林 (低バイオマスの原野) が多く存在する。この地域の灌木林の多くは、1997 年、2002 年、2006 年、2009 年 (場所によっては 1 回のみあるいは 2 回、3 回と立て続けて火災が起こる) に大規模な山火事が発生した跡地にあり、その地表面は一面 1 m 以下のシダ植物に覆われている。

## III AGB の指標 (森林の空間体積) と解析データ

前述したように、本研究では特に AGB と後方散乱係数との関係に着目して解析を行う。ところで、本研究対象地域の泥炭湿地帯で二偏波 PALSAR データの特質を把握できるだけの十分な地上調査データ数を整備するのは非常に困難である。そこで、森林の林冠表面の 3 次元座標を極めて高精度になおかつ広域に計測できる航空機 LiDAR を利用して、実測の AGB に代わるデータを準備することにした。利用した航空機 LiDAR データは、2007 年 8 月に観測されたもので、計測範囲は約 28km<sup>2</sup>、その仕様は対地高度約 500m、スキャン角±30 度、フットプリント約 25cm、レーザ計測密度約 1 点/m<sup>2</sup> のデータである。地盤標高モデル (Digital Terrain Model) を作成したのち、林冠表面標高モデル (Digital Surface Model) との差分である 1m 解像度の林冠高モデル (Canopy Height Model) を作成した。この林冠高モデルの体積は、「森林の空間体積」そのものを表しており、AGB との相関が高いと考えられている。そこで本研究では、この空間体積を AGB の代わり (以後、AGB<sub>LV</sub> と呼

ぶ) として利用し、PALSAR の後方散乱係数の特質を把握する。

本研究で利用した PALSAR データは、2007 年 7 月 9 日に観測された空間解像度 12.5m のスラントレンジ補正済み・オルソ補正済みの 4 ルック処理データである。画素値はデジタルナンバー (DN) であるため、後方散乱係数 (単位: dB) に変換した。合成開口レーダの画像には、スペックル (ノイズと称されることがある) と呼ばれるコヒーレント系に特有の揺らぎが必ず存在する。このスペックルを軽減するために本研究では前処理として 3×3 window の平均 (mean) フィルタと Lee-sigma フィルタでそれぞれ処理した画像、および無処理 (raw) の画像を用意した。

## IV 解析方法

PALSAR データの画素サイズは 12.5m であるが、周囲 8 近傍でスペックル軽減をしていることや一画素内の AGB<sub>LV</sub> のバラツキなどを考慮すると、12.5m のままで偏波の特質を解析することは適切とはいえない。そこで本研究では、PALSAR50m オルソモザイクプロダクトの有用性の検証の意味も含め、50m メッシュで解析を行うことにした。具体的には、AGB<sub>LV</sub> 画像 (図-3) と後方散乱係数画像 (図-4) の上に 50m メッシュ (合計 10,541 枚) をオーバーレイし、各メッシュ内の平均値を算出し、両画像の相関を調べた。

## V 結果と考察

図-5 に AGB<sub>LV</sub> と (HH<sub>raw</sub>, HV<sub>raw</sub>), (HH<sub>mean</sub>, HV<sub>mean</sub>), (HH<sub>Lee-sigma</sub>, HV<sub>Lee-sigma</sub>) との関係を示す。フィルタ処理の種類や有無にかかわらず、各偏波と AGB<sub>LV</sub> との関係は同じ傾向が現れた。すなわち、HH 偏波では AGB<sub>LV</sub> と非線形の関係が認められなかったが、HV 偏波では多くの既存知見と同様に、非線形の (飽和する) 関係が極めて明瞭に現れた。回帰式の決定係数で判断すると、ごくわずかではあるがフィルタ処理を施した方が無処理よりも AGB の説明力が高くなっているが、50m メッシュ内の平均値でものを見る場合にはそのような前処理は不要であるのかもしれない。

既存研究では L バンドの HH 偏波では実測の AGB 40Mg/ha 程度で飽和するが (6)、HV では実測の AGB 100Mg/ha 程度で飽和する (5) ことが知られている。これらの知見と本研究結果を総合的に判断すれば、少なくとも本研究対象地域の実測の AGB を PALSAR で推計する場合には、HH 偏波よりも HV 偏波の後方散乱係数の方がより安

定的になおかつより広いレンジの AGB の推定を可能にする特質を有すると考えられる。ところで、 $AGB_{LV}$  と HH 偏波の間に非線形の強い有意な相関関係が認められたことは、逆に言えば  $AGB_{LV}$  が現実の AGB を適切に表現しうる極めて有効な指標であること示唆しているとも考えられる。今後は、特に図-3 の HV 偏波回帰式の残差が何故、何が原因で、生じているのかを分析する必要がある。その理由が明らかとなれば、その知見は PALSAR データによる AGB 推定の精度向上につながるのかもしれない。

本研究では 50m メッシュで解析を行ったが、本研究の結果は、PALSAR50m オルソモザイクプロダクト (64 ルック処理で平均化されている) は全球の AGB 推定に有効利用できる可能性が十分あることを示したとも考えられる。その際、HV 偏波を主体とした AGB 推定のモデルリングが特に有効であることが既存研究および本研究結果から予想される。

## VI おわりに

本研究は AGB 推定を念頭に置いた二偏波 PALSAR データの特質把握に関する基礎的な分析を行った。今後は本研究の知見をもとに、インドネシア国土の AGB 推定を行う予定である。なお、本研究は地球環境研究総合推進費 (PALSAR を用いた森林劣化の指標の検出と排出量評価手法の開発に関する研究(B-082)) で実行された。

## 引用文献

(1) BEAUDOIN, A., LE TOAN, T., GOZEN, S., NEZRY, E., LOPES, A., MOUGIN, E., HSU, C.C., HAN, H.C., KONG, J.A., and SHIN, R.T. (1994) Retrieval of forest biomass from SAR data. *Int. J. Rem. Sens.* 15: 2777-2796.

(2) FOODY G.M., GREEN, R.M., LUCAS, R.M., CURRAN, P.J., HONZAK, M., and DO AMARAL, I. (1997) Observations on the relationship between SIR-C radar backscatter and biomass of regenerating tropical rain forests. *Int. J. Rem. Sens.* 18: 687-694.

(3) KURVONEN, L., PULLIAINEN, J., and HALLIKAINEN, M. (1999) Retrieval of biomass in boreal forests from multitemporal ERS-1 and JERS-1 SAR data. *IEEE Trans. Geo. Rem. Sen.* 37: 198-205.

(4) LE TOAN, T., BEAUDOIN, A., and GUYON, D. (1992) Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Trans. Geo. Rem. Sen.* 30: 403-411.

(5) LUCAS, R.M., CRONIN, N., LEE, A., MOGHADDAM, M., WITTE, C., and TICKLE, P. (2006) Empirical relationships between AIRSAR backscatter and LiDAR-derived forest biomass, Queensland, Australia. *Remote Sens. Environ.*, 100:407-425.

(6) LUCKMAN, A., BAKER, J., KUPLICH, T., YANASSE, C., and FRERY, A. (1997) A study of the relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. *Remote Sens. Environ.*, 60:1-13.

(7) SADER, S.A. (1987) Forest biomass, canopy structure, and species composition relationships with multipolarization L-band synthetic aperture radar data. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 53: 193-202.

(8) 島田政信・渡辺学・森山敏文・田殿武雄・南澤舞・樋口理子(2007) PALSAR のラジオメトリック校正および幾何学補正. *日本リモートセンシング学会誌*, 27(4), 308-328

(9) 高橋與明・栗屋善雄・清野嘉之・齋藤英樹・島田政信, I NENGAH SURATI JAYA, M BUCE SALEH, SUWIDO H. LIMIN, (2009) 50m 解像度の PALSAR データの土地被覆判読性. *関東森林研究*, 60, 65-68.



図-1. 択伐跡の天然林



図-2. 灌木林 (原野)

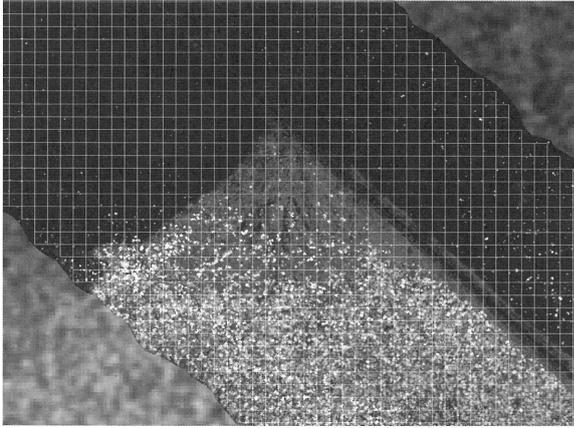


図-3. AGB<sub>LV</sub>画像と50mメッシュ

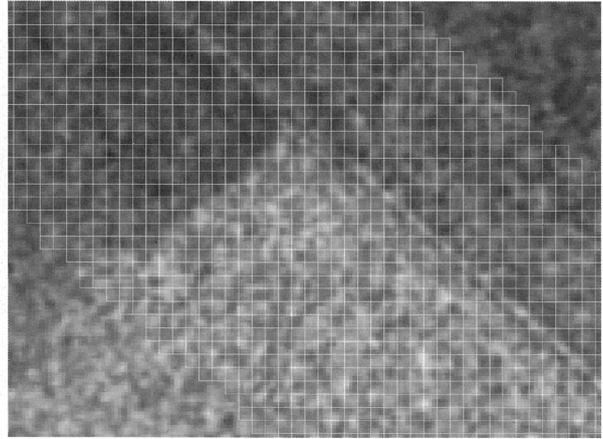


図-4. HV<sub>mean</sub>画像と50mメッシュ

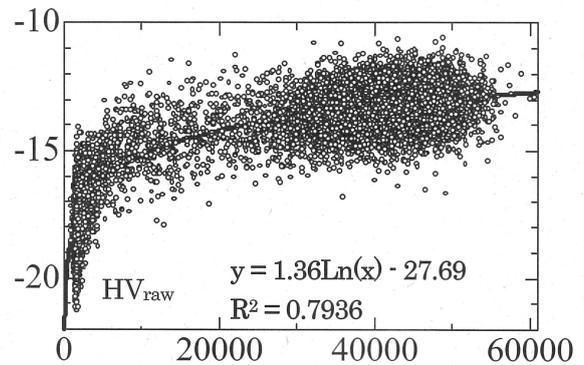
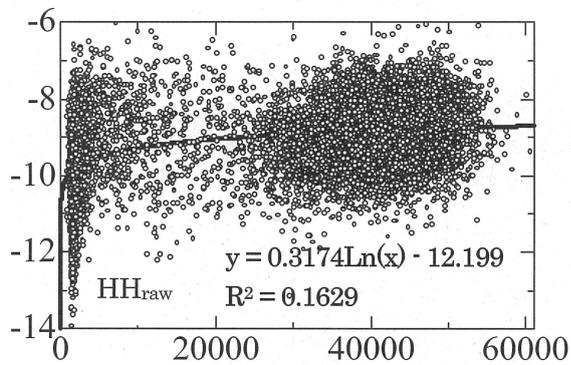
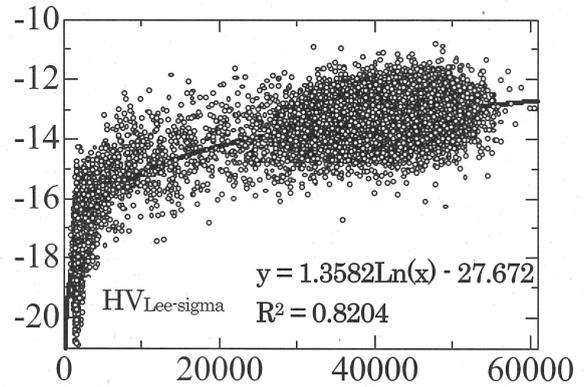
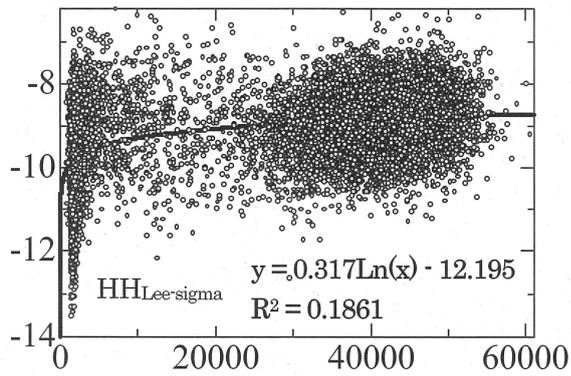
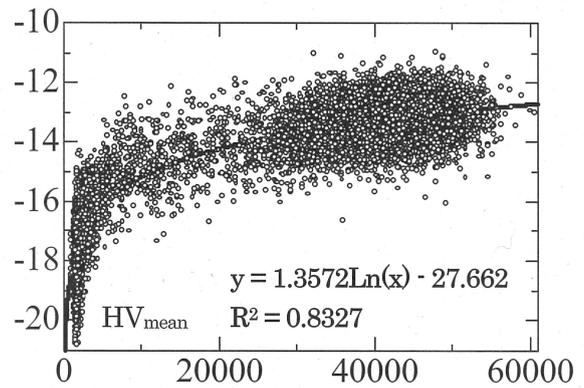
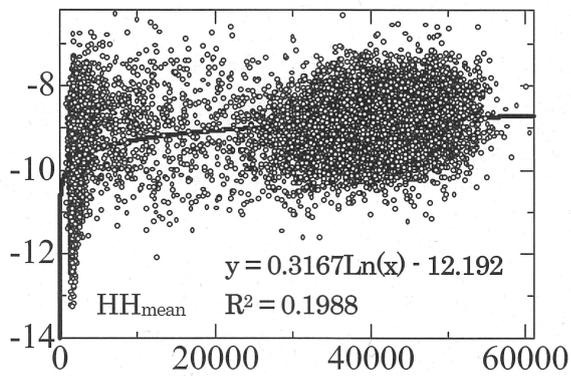


図-5. 50mメッシュの各偏波の後方散乱係数(dB)とAGB<sub>LV</sub>(森林の空間体積,m<sup>3</sup>)との関係