

〔キーワード〕 森林減少、熱帯林、PALSAR、森林分布、バイオマス

1. はじめに

熱帯雨林は一年を通じて雲が発生する熱帯地域に成立するため光学センサでは良好な観測が望めない。熱帯季節林においても火入れによる煙のため、良好な光学センサのデータを取得できないことも多い。このため熱帯林の広域解析には雲やヘイズを透過して、一年を通じて観測が可能な合成開口レーダ(SAR)の活用が望まれる。ALOS/PALSARはバイオマス解析に有利とされるLバンドを観測する多偏波合成開口レーダで、森林の解析に適した仕様を有する。多偏波型のSARは登場して日が浅いが森林解析に高いポテンシャルを有していると期待される。このため、PALSARデータによる熱帯林の解析アルゴリズムを提示することにより、熱帯林における森林減少と森林劣化のモニタリングを通じて温暖化問題に貢献することが可能になる。

2. 研究目的

プロジェクトを通しての目的は、PALSARデータを用いて森林の減少および劣化を解析する手法や指標を開発することである。インドネシアとラオスにテストサイトを設定し、1) 後方散乱係数の季節変化と経年変化の特徴、2) 分類による経年変化モニタリング、3) 地上部バイオマスの推定、および4) 森林劣化のマッピングについて検討して、PALSARデータによる森林解析の精緻化と光学センサのデータを併用した森林モニタリングの可能性について検証する。

3. 研究方法

研究対象地域はインドネシア国中央カリマンタン州とカンボジア国コンポントム州とした。

インドネシアではメガライスプロジェクトのエリア（熱帯雨林、泥炭湿地帯）を選定した。メガライスプロジェクトとは水田を造成するために1997～1999年にかけて実施された泥炭湿地林の開拓で、排水路を建設して泥炭地の乾燥化を図った。本研究ではパランカラヤ市近郊で重点的に研究を実施した。

中央カリマンタン州北西部ではまとまった農地や水田が少なく、平坦な泥炭地上に森林、灌木林、原野、湿地や河川などの冠水域などが広がる（図-1）。土地被覆に関するグランドトゥールースを行った結果、本地域では森林は高バイオマス林（図-1a）、中バイオマス林（図-1b）とその他の低バイオマスの植生に大別でき、低バイオマス地は倒木の多少によって、度重なる火災によって地表面には倒木が少ない原野ないし灌木林（図-1c）と、火災によって消失した高バイオマス林で、火災後は倒木が極めて多いエリア（図-1d）の2つに分けられる。



a. 高バイオマス林 b. 中バイオマス林 c. 原野 d. 火災跡の倒木地 e. 冠水域

図-1. インドネシア中央カリマンタンの植生の様子



a. 常緑林 b. 落葉林 c. ゴム林 d. ゴム林新植地

図-2. カンボジア国コンポントム州の植生の様子

コンポントム州には森林地帯が残されており、南西にトンレサップ湖があり、東側にメコン川が北から南へ流れている。地形は、平坦であり衛星データに与える地形の影響は無視できる。植生は、常緑林（図-2a）と落葉林（図-2b）がモザイク状に分布しており、トンレサップ湖周辺には、水田を始めとする耕作地、放牧地があり、近年はゴムのプランテーション開発（図-2c, d）が盛んに行われている。また違法伐採が問題となっている。

解析は1) PALSARデータの特性を把握し、2) 森林とその変化を解析するとともに、3) バイオマス推定の可能性を検証し、4) 森林の劣化を評価する、という項目で構成される。

本研究で利用したPALSARデータは、断りが無い限り、以下の前処理を施したデータである。高分解能の2偏波モード(FDB、オフナディア角 34.3°)で観測され、地上分解能12.5mのHH偏波（以下HH）とHV偏波（以下HV）のデータを、データの東西（レンジ）方向で電磁波の入射角の違いによって生じる歪みを補正し（スラントレンジ補正）、オルソ化した。このデータから次式によって後方散乱係数を算出して解析に利用した。

$$\sigma^0 = 10 \log_{10}(\text{DN}^2) - 83.0 \quad (1)$$

ここで、 σ^0 (単位dB) は後方散乱係数で、DNはデジタルナンバーである。

画像解析に用いたソフトウェアはImagine (ERDAS, USA) とENVI (ITT VIS, USA) で、断りが無い場合はImagineを利用した。

（1）後方散乱係数の季節変化と経年変化の特徴および変化抽出

パンカラヤ近郊の森林、農地、荒廃地を対象にPALSARデータの季節変化と経年変化を解析した。解析には2007年7月9日、2007年10月9日、2008年5月26日、2009年10月14日、2010年12月2日に観測されたFDBと2009年5月24日に観測された4偏波モード(PLR)のPALSARデータを利用し、解析に先立ち 3×3 画素の平均値フィルタを施した。2009年9月中旬頃に研究対象地で森林火災が発生し、研究対象林分の一部が燃えた。1箇所あたり100画素程度のトレーニングエリアを60箇所程度設定し、シーン間での後方散乱係数の変化を検証するとともに、差画像を作成して検出できる森林変化の特徴を検証した。

SARは観測する波長によって被覆物の見え方が変わる。Lバンド(PALSAR)は衛星搭載のSARの中では一番波長が長くて、森林解析に有利とされている。一方、Xバンド(TerraSAR-X)は一番波長が短くて物体表面の情報が得られるとされるが、それぞれの有効性は必ずしも明らかではない。このため、2008年5月26日と2009年10月14日のPALSARデータと、2008年5月24日と2010年1月13日に観測された2偏波のTerraSAR-Xデータを利用して、判読によって各データの特徴を比較し、トレ

ニングエリアを選定して散布図を描き、被覆物ごとのPALSARとTerraSAR-Xの σ^0 の特徴を検証した。その結果に基づいて両データの熱帯林解析への有効性を検討した。

HHは季節変化が大きいことから、コンポントムを観測したPALSARデータを収集して傾向を検証した。観測時期は、2008年12月28日～2010年11月18日の間で、FBD（7シーン）に加えてHHのみを観測した単偏波モード(FBS、5シーン)のデータも収集した。これらの画像について画像強調を行って、常緑林と落葉林が明瞭に判別できる画像を検討した。また2009年6月30日、2010年7月18日および2010年11月18日に取得された三時期の画像の差分を2値化し、ベクター化して森林減少地の把握を行った。

（2）土地被覆タイプ別の後方散乱係数の特性と森林分類

パラカラヤにおいて、まず、各土地被覆タイプにおいて現地でGPS単独測位が可能であった地点（各タイプで2箇所）、およびその周辺の均質な画素をPALSARデータから抽出し（70～160画素程度）、各土地被覆タイプの2偏波データの特性を把握した。次に、PALSARデータ全体を数値分類（教師なし分類：ISO-DATA法）し、ETM+データの数値分類結果と比較することで、ETM+データとの共通点・異質点を探った。なお、解析には、2007年7月頃に観測されたデータを中心に作成されたPALSARの50mオルソモザイクプロダクト（JAXA K&Cプロジェクト成果 公開中、HHとHV、64ビット処理で平均化済み）を σ^0 に変換したものを使用した。PALSAR分類図と比較する光学センサデータとしては、Landsat衛星のETM+データを利用した。なお、ETM+画像分類の意味づけはランドトゥールズデータおよびETM+画像の判読結果を参照して行い、PALSARデータ分類の意味づけはETM+分類画像を参照して行った。

二時期の σ^0 を利用することで、バイオマスの高い森林を特定しつつ、2009年に起きた大規模火災を受けた森林の場所を判定できるかどうかを調べた。解析に使用したPALSARデータは、2007年10月9日（2009年の大規模な火災より前の期首画像とみなす）と2009年10月14日（2009年の大規模な火災の後の期末画像とみなす）に観測された。前処理として、 3×3 画素の中央値処理、 5×5 画素の平均値処理、Bilinear法で50m解像度にリサンプリング、 3×3 画素の平均値処理をこの順序で行うことで、スペックルの影響を軽減した。次に、二時期の画像から、HH2007、HV2007、HH2007-HV2007、HH2009、HV2009、HH2009-HV2009の6チャンネル画像を準備し、ENVI EXのFeature extractionツールを用いてオブジェクト指向型分類（分類には、教師つき分類の一つであるサポートベクターマシンを利用）によってスタック画像を森林域・非森林域・2009年の森林火災跡地の3タイプに分類した。また、2000年のLandsatデータをベースに、2002年、2006年、2009年に起きた大規模な森林火災の跡地を判読でベクターデータ化し、最後に両者を比較分析した。

メガライズプロジェクトのエリアを対象に、森林変化の状況を把握し、PALSARデータの有効性を検証するため、Landsat MSS 1973年10月9日、ETM+ 2007年8月5日、PALSAR（JAXA K&Cプロジェクト成果） 2007年7月～8月、MOS MESSR 1990年9月12日、1991年6月27日、1994年9月21日、1995年9月14日のデータを利用して、目視判読と教師なし分類(ISODATA法)を併用して森林を分類した。

コンポントムではHHとHVについて、常緑林、落葉林地帯における σ^0 の大きさを調べた。2偏波（HH、HV）のデータとその差分（HH-HV）のデータを用いて分類を行った。分類手法は教師なし分類（ISODATA法）とオブジェクトベース分類を用いた。オブジェクトベース分類にはENVIのFeature Extraction Moduleを用い、セグメント化の後の分類には教師つき分類を用いた。教師はLandsat

データを参照して選定した。オブジェクト生成のパラメータは、結果の画像を見ながら常緑林と落葉林が区分される最大の大きさとなるように決定した。各オブジェクトの分類には、分類アルゴリズムにサポートベクターマシン法を用い、パラメータはデフォルト値とした。

(3) 森林の地上部バイオマス推定

パランカラヤにおいて、高バイオマス林と倒木の少ない低バイオマス林（原野）を対象に、 σ^0 と航空機LiDARデータから推定した地上部バイオマス（AGB：Mg ha⁻¹）の関係を調べ、 σ^0 のみによるAGB推定の可能性を検討した。解析の手順は、航空機LiDAR観測したエリア（約26km²）に含まれる地上プロット（8箇所）のAGBとLiDARデータ（1mメッシュの林冠高）から単回帰モデルを作成し、このモデルを利用して50mメッシュのAGBマップを作成した。PALSARデータを3×3ウインドウでスペックルの軽減処理した後（無処理、平均値、Lee-sigmaフィルタを比較）、50mメッシュの平均値データを作成した。最後に、LiDAR-AGBデータと各フィルタ処理済みの平均値データとの関係を、2007年7月9日、2007年10月9日、2008年5月26日の異なる三時期について調べた。両者の関係は3つの既存研究で利用された当てはめ関数、式(1)： $\sigma^0 = a_1 - \exp(-(b_1 \times \text{AGB} + c_1)) \rightarrow \text{緑色}^1$ 、式(2)： $\sigma^0 = a_2 \times \log(\text{AGB}) + b_2 \rightarrow \text{橙色}^3$ 、式(3)： $\sigma^0 = n_3 + (-17.0084 - n_3) \times \exp(-k_3 \times \text{AGB}) \rightarrow \text{紫色}^2$ （図-17参照）を当てはめてAICで評価した。

さらに、サブテーマ3から提供されたAGBデータを利用して σ^0 を用いたAGBの推定式を調整してAGBをマッピングし、問題点を検証した。

カンボジアでは雨季にあたる2009年6月30日取得のPALSARデータを利用して解析した。スペックルノイズの影響を軽減するため5×5画素のシグマフィルタを施したPALSARデータと、AGBデータを利用してカンボジアの森林の地上部バイオマスの関係を回帰分析により検証した。AGBデータは本プロジェクトで計測した以外にカンボジア森林局およびカンボジア環境省からデータ提供を受けた。

(4) 劣化指数を用いた森林モニタリング

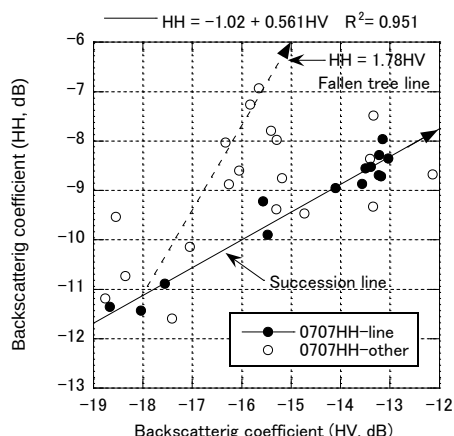


図-3. HHとHVの後方散乱係数（ σ^0 ）の関係
遷移を示すライン（実線）と倒木の影響を示すベクトルの合成で σ^0 が定まると考える。

本項目では2007年7月9日、2007年10月9日、2008年5月26日、2009年10月14日、2010年12月02日に観測されたPALSARデータに、9×9画素の平均値フィルタを適用して解析に利用した。

各プロットに対応する画素をサンプリングし、2007年7月のHHとHVの偏波について σ^0 の散布図を描いた。草地から天然林までの遷移過程に応じて σ^0 が規則的に変化すると仮定して、遷移段階を示すと考えられる画素を選び、回帰分析によってHHとHVの関係について一次式を得た（遷移によるベクトル、図-3）。

火災による倒木地では、倒木の表面で

反射した電磁波が、さらに他の倒木に反射してPALSARに戻る2回反射が生じていると考えられる。倒木のバイオマスに応じてHHとHVの σ^0 が規則的に変化すると考えて、この変化を示すベクトルを想定した（倒木によるベクトル、図-3）。前述の回帰式とベクトルを利用して、各画素について2つのベクトルの交点を求めて、HVの σ^0 の補正值とした。HVとHV'の σ^0 とAGBの関係を回帰分析して、それぞれについてAGB推定式（指数式）を調整した。HVに基づく式をオリジナルのHVに、HV'に基づく式をHV'に適用して、それぞれからAGBの分布を推定して比較するとともに、研究対象地での変化をモニタリングした。後述するがHV'から推定されるAGBは高バイオマスでは精度が低いことから、遷移段階あるいは劣化の程度を表す指標と考えたほうが適切である。

4. 結果・考察

（1）後方散乱係数の季節変化と経年変化の特徴および変化抽出

パランカラヤの場合、森林について2007年10月と同7月、2008年5月のPALSARデータ間の σ^0 を比較すると、HHとHVのいずれでも各々の間に高い相関が認められ、熱帯雨林では σ^0 の季節変化は小さいことが分かった。また、各々の関係は原点を通る傾き1の直線で表せることから、画像間の差によって経年変化を抽出できることが分かった。 σ^0 の時系列変化をみると、高AGBの森林に比べて中AGBの河畔林のほうが一貫して σ^0 が大きく、火災による倒木地では2009年10月以後 σ^0 が増大し、その傾向はHVよりHHのほうが顕著だった（図-4）。

2007年7月と10月、2008年5月と2009年5月のPALSARデータの差をとって、どのような変化が現れるかを検証した（図-5）。差画像には以下のような特徴が現れた。河川の氾濫原Iのように全ての組み合わせでHHとHVの変化の傾向が一致する被覆もあるが、氾濫原Hのように変化の傾向が不揃いな被覆もある。差画像からは森林の σ^0 が一番安定していると判断された。しかし河畔林Bでは森林Aと変化の傾向が異なり、人為的な攪乱が現れたと考えられる。また、HHとHVで変化の傾向が違っていたことが分かった。火災後Dと荒地Eでは植生は似ているが、後者は恒常的に人為攪乱が生じている場所で、2007年の7月から10月の間に大きな攪乱があった事が伺える。裸地では2007年7月以降、 σ^0 は増加傾向で、植生が繁茂してきた結果と思われる。湿地Gでは2008年5月以降に被覆の状況が変化したことが現れている。

以上の結果からPALSARデータについて以下のことが分かった。1) 森林の変化をバイオマス変化と考えるとHHよりもHVがモニタリングに向いている。2) 裸地、荒地や灌木林では土壌水分や地表の状況が影響するので、これらが σ^0 に及ぼす影響を把握しておくことが重要である。3) 熱帯雨林の季節変化は小さい。4) 森林の攪乱が σ^0 に及ぼす影響を把握しておくことが重要である。

一方、火災前（2007年10月）と火災後（2009年10月）のPALSARデータの σ^0 を比較すると以下のような特徴があった（図-6）。①火災被害地（倒木地）ではHHの σ^0 が増加した（約2～4dB）。②樹冠火の火災被害地ではHH、HVともに σ^0 はほとんど変化しなかった。③HVの場合、倒木地では σ^0 はほとんど変化しなかった。④原野火災ではHVの σ^0 が減少した。

さらにパランカラヤ地域について、HHの差画像と二時期のデータを分類した結果に基づいて森林火災域をマッピングしたところ以下のことが分かった。①差画像では火災による倒木地と同じように σ^0 が増加したエリアが生じ、倒木地だけをマッピングすることは難しい。②分類の場合、森林内で火災跡地と同じカテゴリーに分類される箇所が目立ち、フィルタリングによってオリジナルデータのノイズを除去しておくことが重要と考えられた。

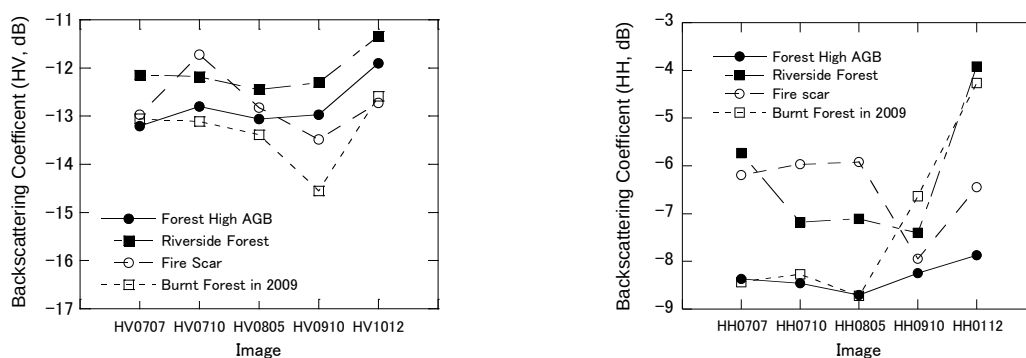


図-4. 後方散乱係数 (σ^0) の時系列変化 左: HH、右: HV

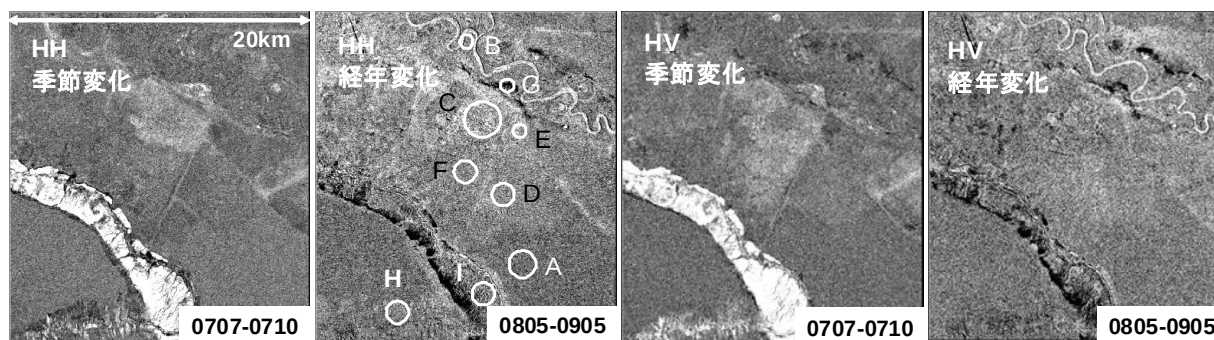


図-5. 後方散乱係数 (σ^0) の経年変化と時系列変化

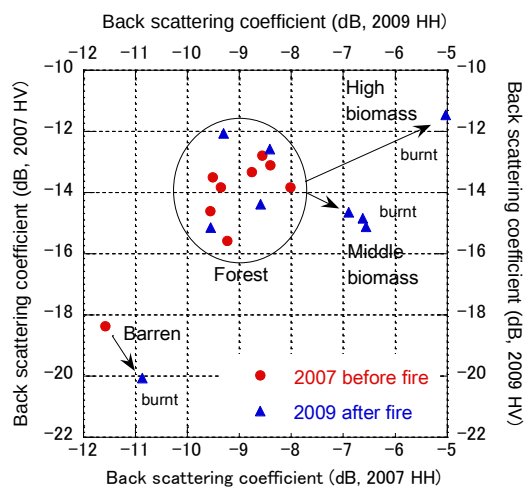
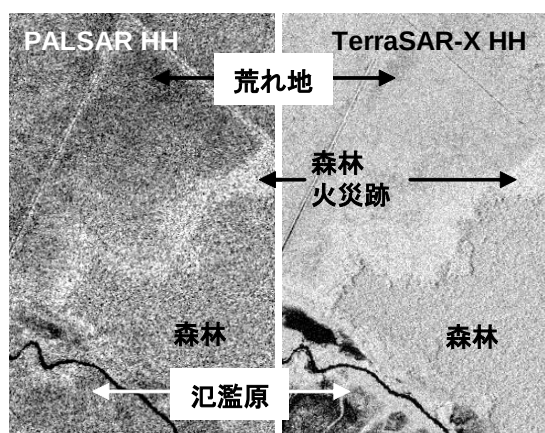


図-6. 火災による後方散乱係数の変化

異なるバンドの比較については、TerraSAR-Xの地上分解能は2.75mと高く、Xバンドの電磁波は樹冠表面で反射するとされることから、高木林の樹冠を識別できると期待したが、個々の樹冠を識別することはできなかった。一方、TerraSAR-Xでは荒れ地と森林の境界では森林がレリーフ状に浮き上がって見えたのに対して、PALSARでは後方散乱係数の大きさの違いが色調の違いとして現れた（図-7）。前者では表面で電磁波が反射されるのに対して後者では樹冠内部に達する電磁波が内部で反射を生じる。このような電磁波の反射のメカニズムの違いが見え方に影響していると推察された。HH偏波とHV偏波についてトレーニングデータの σ^0 の散布図を描くとHV偏波ではPALSARよりもTerraSAR-Xのほうがデータレンジが狭いことが分かった（図-8）。また、TerraSAR-X

では様々な陸生の植生が散布図上で団子状に集まったが、表面反射には植生のバイオマスの違いが反映されないためと考えられた。

経年変化について検証すると、火災後の倒木地でPALSAR-HHの後方散乱係数が増加するが、TerraSAR-Xではほとんど変化しなかった。また、樹冠火跡地、高バイオマス林(AGB 300Mg ha⁻¹程度)の倒木地、中バイオマス林の倒木地と荒れ地の火災跡地で後方散乱係数を比較したところ、火災後の地表の状況の違いによっていずれの波長においても σ^0 が様々な値をとり、特定の傾向は認められなかった。この結果から、従来から言われているように、Xバンドより波長の長いLバンドが植生の解析に有利であること、いずれの波長でも σ^0 の大きさは被覆の状況（表面の粗さなど）に強く影響されることが分かった。



©METI/JAXA, ©Infoterra GmbH, Distribution

図-7. 火災後のPALSARとTerraSAR-Xのデータ

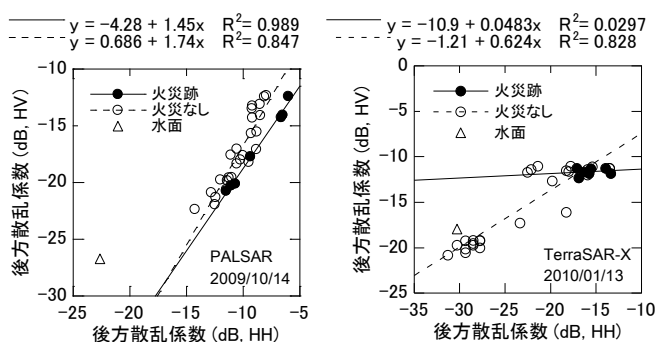


図-8. 後方散乱係数の散布図（HHとHVの比較）

コンポントムの場合、HHでは観測時期によって特に落葉林の見え方が異なっていた。これに対し、HVでは季節による見え方の違いがほとんどなかった。季節林を分類するにはHHが有効であり、森林減少等の経年変化の抽出にはHVが有効であることが明らかとなった。常緑林、落葉林の分類に有効なHHの取得時期については、9月および10月のデータにおいて、落葉林分布の境界線が明瞭に識別されること（図-9）から、この季節に観測されたデータが分類に有効と考えられる。また、落葉林内において、異なる季節変化パターンが見られた。今後、地上調査と合わせ、落葉林の成立条件などの森林環境の把握に役立つデータと考えられる。HVは季節変化を受けないため、経年変化の抽出に有効で、図-10は森林変化抽出結果を2010年11月18日取得の画像上に表示している。PALSARは同じエネルギーで観測しているため、全く同じ対象物からの σ^0 はムラがなく、森林が変化した場合は σ^0 も変化することから、差分によりが森林変化を抽出できる見込みが高い。

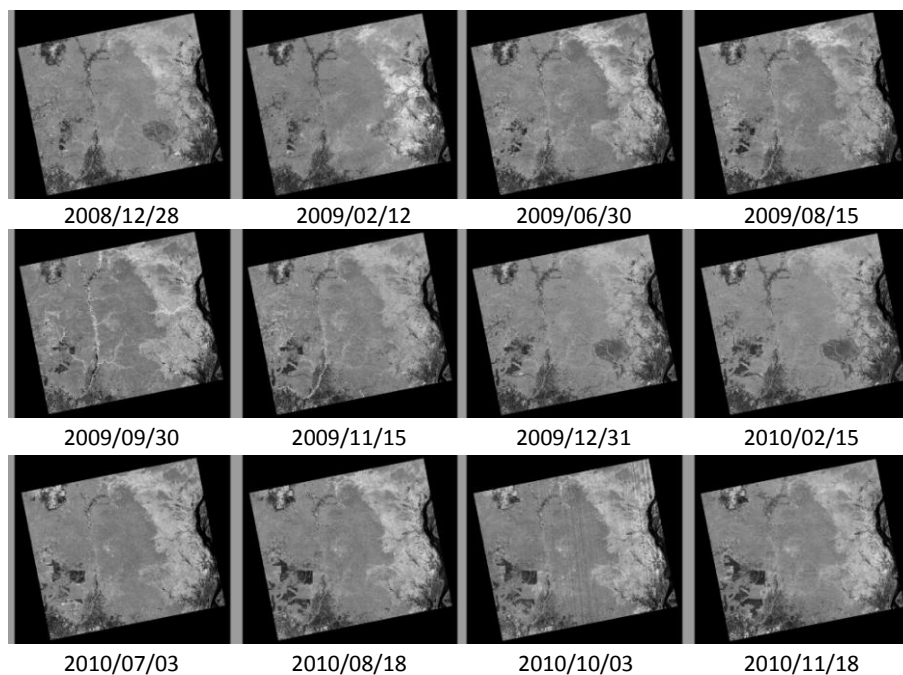


図-9. HH偏波の
季節変化

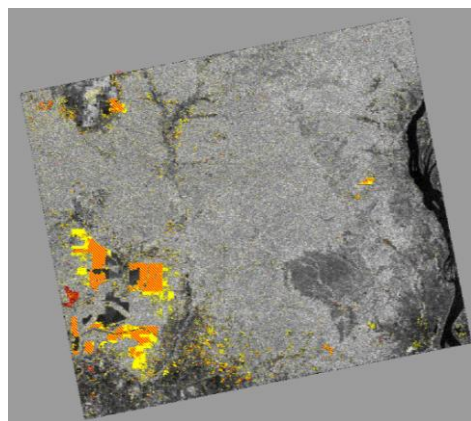


図-10. HV偏波による森林変化の抽出
赤色が2009年6月から2010年7月まで、黄色
は2010年7月から2010年11月までに森林減少

(2) 土地被覆タイプ別の後方散乱係数の特性と森林分類

パランカラヤにおいては以下の結果を得た。図-11に各土地被覆タイプの2偏波の σ^0 の散布図を示す。この散布図では、高バイオマス林と中バイオマス林の二次元分布が完全に重なっている部分があるが、それ以外の土地被覆タイプの分布はそれぞれ独立しているように見受けられる。また、特に低バイオマス林2の分布に関しては、HHに着目した場合、他の土地被覆タイプと明らかに異なる値を持つことがわかる。一方、低バイオマス林1（原野）の分布に関しては、HHでは高バイオマス林と中バイオマス林の両方を含むレンジになっているが、HVではほとんど重なっていない。また、冠水域の分布は他の土地被覆タイプとは完全に独立しているとみなすことができると考えられる。統計的検定を行った結果、高バイオマス林と中バイオマス林の σ^0 間に有意差は認められないものの、HVの場合、他のすべての土地被覆タイプ間に有意差が認められた。特に低バイオマス林に関しては、HHは低バイオマス林2（倒木が極めて多い灌木林）を捉えられる可能性がありHVは低バイオマス林1（原野）を捉えられる可能性が高いと考えられた。

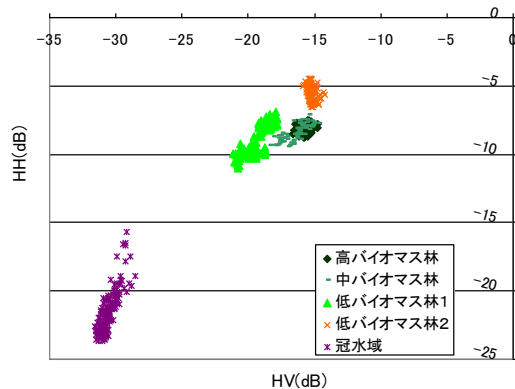
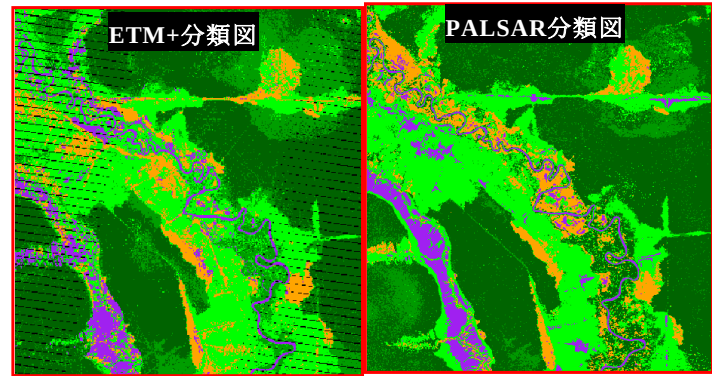
図-11. 土地被覆タイプ別の後方散乱係数(σ^0)

図-12. Landsat分類図（左）とPALSAR分類図

図-12にETM+とPALSARの分類画像を示す。ETM+とPALSARセンサは捉える物理量の種類が各々異なるため単純には両者を比較できないが、ETM+分類画像とPALSAR分類画像はおおむね類似していることがわかる（一致率は92%）。すなわち、LバンドPALSARデータの特徴（主にバイオマスの大小を捉えていると考えてよい）に合致した土地被覆タイプを設定することで、光学センサデータ解析と類似した情報を抽出することができる可能性が示唆された。しかしながら、2偏波の σ^0 のみを利用した数値分類では、例えば土壌表面が冠水していると考えられる森林（主に河川沿い）や低バイオマス林2（火災跡倒木地、図-11, 12で橙色に見える箇所）では、両者の σ^0 に差がほとんどないため、 σ^0 のみの数値分類では区分が困難である。このため、 σ^0 による土地被覆分類やバイオマス推定の精度を向上させるためには、 σ^0 に補正を加えることや、あるいは光学センサなどの付加情報を利用する必要があると考えられた。

図-13にLandsat判読図およびPALSAR分類図を示す。また、表-1に両図の各土地被覆の面積と火災による森林の焼失割合を示す。図-13および表-1からは、森林火災跡地の場所や面積は比較的近いと判断できる。一方で、森林面積と森林火災跡地面積に関して、PALSAR分類図のほうがLandsat判読図よりもやや大きな面積を示していることがわかる。この原因としては①判読による誤差、②自動分類による誤差、③データの性質の違い、④観測日の違いによる火災跡地の広がり具合や場所の違いなどが挙げられる。これらの中で、最も大きな要因は、③であると考えられる。なぜならば、バイオマスの高い二次林が存在すれば、みかけの森林面積が増えてしまうことになり、さらに、そのような二次林で火災があった場合、森林火災とほとんど同じ σ^0 の値を持つと考えられるからである。後述する図-17に示されているように、 σ^0 を用いてバイオマスの高中低を明確に区分することは難しいが、バイオマスの比較的高い森林が火災に遭った場合に、PALSARの期首・期末画像を利用することでその場所を比較的精度良く特定できる可能性が考えられた。

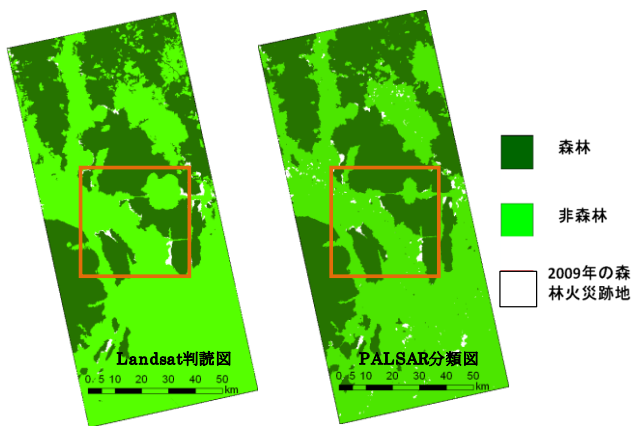


図-13. テストエリア（40km×40kmの四角）周辺のLandsat判読図とPALSAR分類図

表-1. Landsat判読図およびPALSAR分類図の各土地被覆の面積と火災による森林の焼失割合

	森林 (千ha)	非森林 (千ha)	森林火災 (千ha)	森林の焼 失割合 (%)
2002年 判読図	379.3	515.1	32.4	7.9
2006年 判読図	365.9	547.5	13.4	3.5
2009年 判読図	357.6	560.6	8.6	2.4
2009年 分類図	380.8	533.3	12.7	3.2

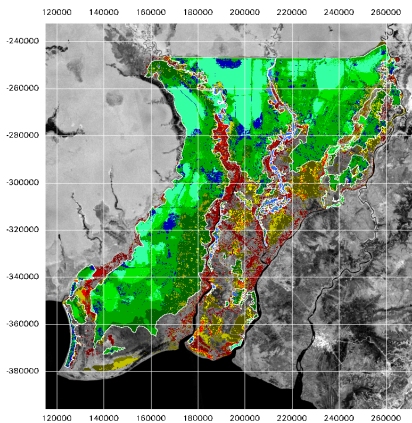


図-14. メガラISPプロジェクトのエリアでの1973年～2007年までの森林変化

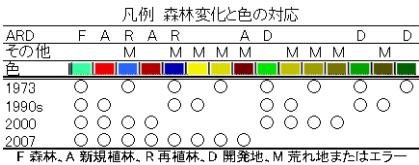


表-2. 森林面積の経年変化

	1973	1990s	2000	2007
メガライズ対象面積	10635.6			
森林面積 (km ²)	6284.2	5779.4	3294.9	3285.4
森林率 (%)	59.1	54.3	31.0	30.9
1973年森林域の変化				
森林面積 (km ²)	6284.2	4332.9	2166.7	1292.5
面積率 (%)	100.0	68.9	34.5	20.6
減少速度(km ²)/年		97.6	309.5	124.9

四時期のデータの森林分類の結果に基づいて、メガライズプロジェクト計画域内について森林面積の変化を検証すると（図-14、表-2）、以下の事が明らかになった。①1973年当時は約6300km²（森林率59.1%）だった森林が2007年には半分近い3300km²（同30.9%）に減った。②1973年当時の森林（高バイオマス林）に着目すると、2007年には約20%しか残っていない。③1990年代前半から2000年にかけての減少速度が他の期間より大きく、1年間に300km²もの森林が消失したことになり、1997年に発生した大火災の影響と考えられた、④2000年以降は森林の減少は少なく、火災と再生を繰り返していると考えられた。⑤PALSARデータで森林域を分類することは可能と考えられた。このように、メガライズプロジェクトのエリアでは、森林の減少速度は低下しているが、質の劣化が続いていると判断された。

コンポントムについては以下の結果を得た。常緑林と落葉林に対する各偏波の後方散乱特性に

については、HVではバイオマスを反映した σ^0 であったが、HHでは落葉林の方が常緑林よりも高い σ^0 を示した(図-15)。一般にSARデータの σ^0 は森林における体積散乱のためバイオマスとともに σ^0 が増大した後、飽和することが知られている。常緑林は樹冠が閉鎖した密な森林で樹高は30-40mに達するのに対して、落葉林は疎林で樹高は20mに満たない森林がほとんどである。このためPALSARの σ^0 は常緑林では高く、落葉林では低い値を示すと予想されたが、結果は逆で、この傾向は雨季に取得されたデータにおいて顕著であった。この理由としては、落葉林が葉を着けたことの他に、落葉林で強い二回反射が生じていると考えられる。

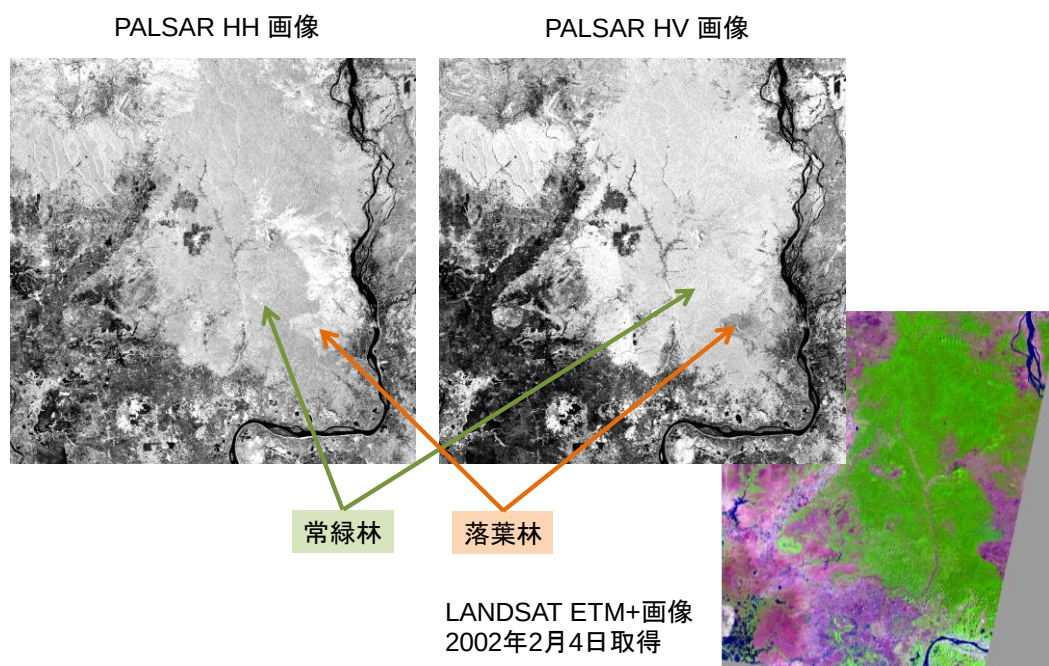


図-15. PALSARデータの偏波による植生の見え方の違い

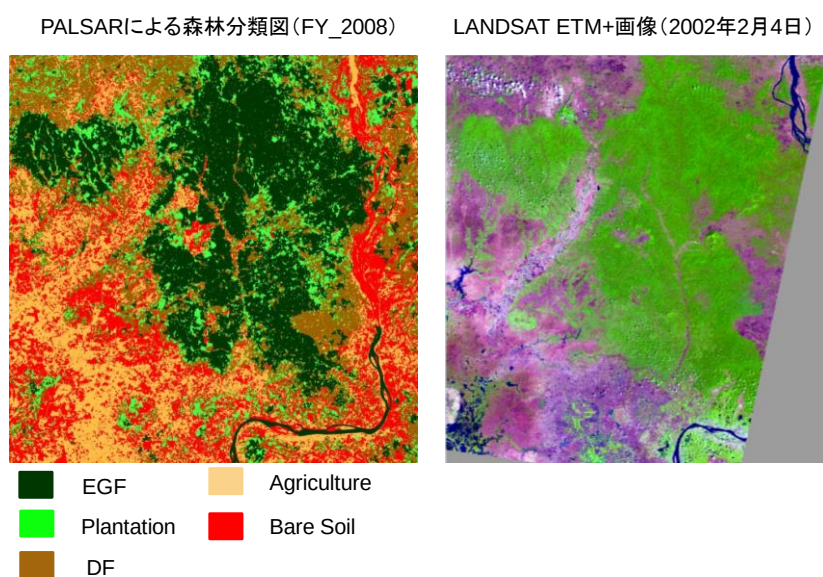


図-16. オブジェクトベース分類による分類結果

PALSARデータのISODATA法による教師なし分類とオブジェクトベース分類による分類結果は、いずれの場合にも常緑林と落葉林が分けられたが、その他の土地被覆との誤分類も多く、さらに検討が必要である。分類手法に関しては、ISODATA法を用いた場合に分類結果にスペックルノイズの影響が残っていた。図-16にオブジェクトベース分類による分類結果を示す。教師つき分類の教師はセグメンテーション処理によって生成されたオブジェクト単位で選択し、分類のための統計量はこのオブジェクト単位で計算される。このためオブジェクトベース分類では、スペックルノイズの影響が見られなかった。この手法では、オブジェクトを生成する際のパラメータを試行錯誤によって決定するので、現地の土地被覆の状況を把握しておく必要がある。また分類の際には、教師（トレーニングエリア）を選定する必要がある。このため、今後、分類精度を向上させるためには、既存の地図や衛星データ等から得られる土地被覆情報を整理し、上記の作業を系統的に実行できるようにする必要がある。

（３）森林の地上部バイオマス推定

パランカラヤについては、図-17（2007年10月9日データの結果）に示すように、AICを基準に当てはめ関数を評価した場合、HHでは漸近線の定数項（ a_1 ）を持つ式(1)が、HVでは頭打ちをしない式(2)がそれぞれ最も当てはまりが良かった。HVでは多くの既存知見と同様に、非線形の密接な関係が極めて明瞭に現れたが、HHには認められなかった。これらの結果は三時期全てに共通していた。また、フィルタの種類や有無はほとんど関係しなかったが、これは50mメッシュ内で平均した際に、スペックルの影響がかなり低減した可能性がある。さらに三時期全てにおいてHHでは約20Mg ha⁻¹から σ^0 がほぼ横ばいになるのに対し、HVでは約40Mg ha⁻¹以降でも σ^0 が緩やかに上昇していた。本サイト内では、少なくとも解析に使用した季節の3画像ではマイクロ波の二回散乱や鏡面反射の影響が顕著に異なることはないと推察された（HHは若干あった）。本研究サイトの事例では、HHよりもHVの σ^0 のほうが安定してAGBを推定できる特質を有すると考えられる。

パランカラヤの場合、地上プロットデータに基づいてAGBと σ^0 の関係について検証すると、HHとHVで明らかに異なる傾向が現れた（図-18）。HHの場合、低AGBの灌木林で明らかに σ^0 が大きいグループ2が現れた（図-18a）。2つのグループが生じた原因は明確ではないが、林床に倒木が散乱しているグループ2と林床に倒木が無いグループに分かれたと推察される。一方、HVの場合はグループ2の σ^0 はグループ1に近い（図-18b）。

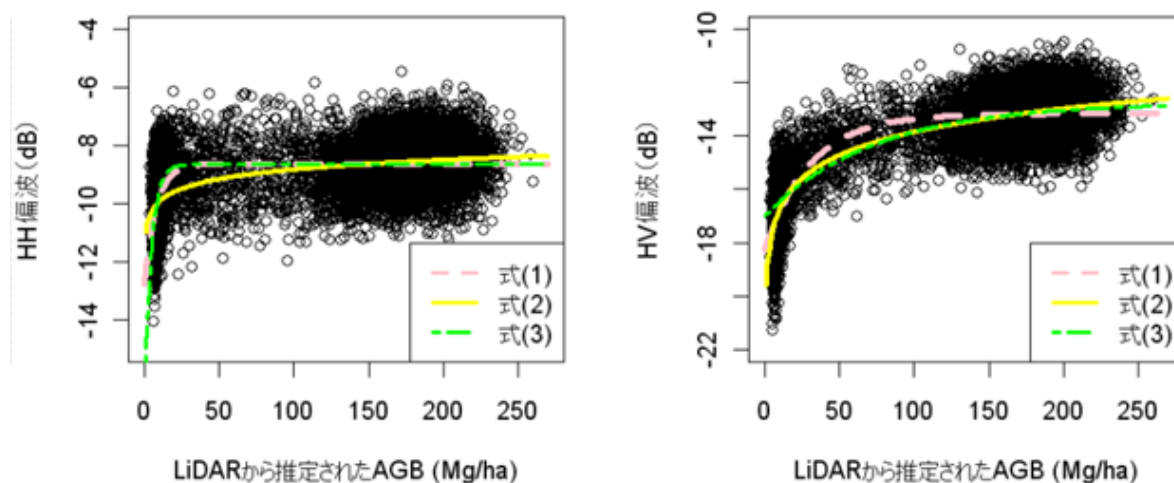


図-17. 後方散乱係数（ σ^0 ）とLiDARから推定した地上部バイオマス（AGB）の関係

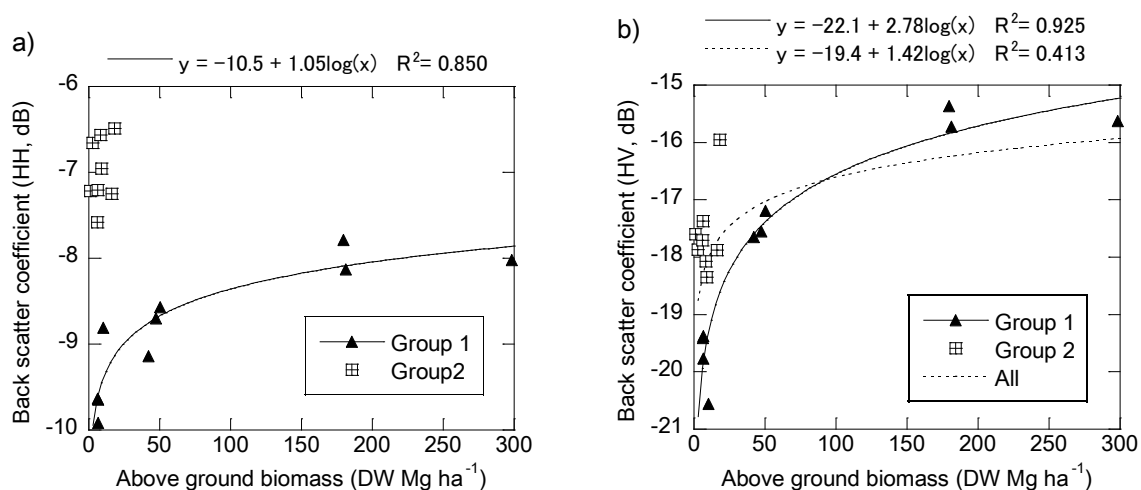


図-18. 地上部バイオマス (AGB) と後方散乱係数 (σ^0) の関係 (森林プロット) a) HH、b) HV

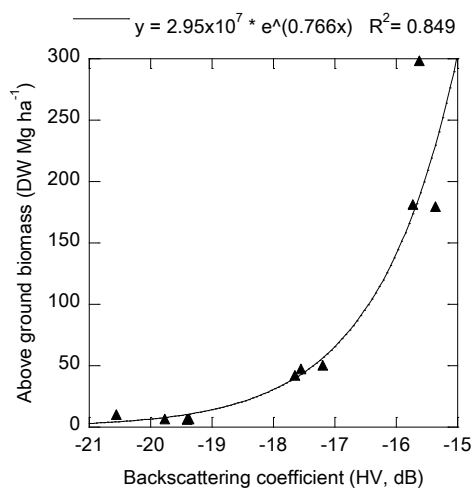


図-19. 地上部現存量の推定式

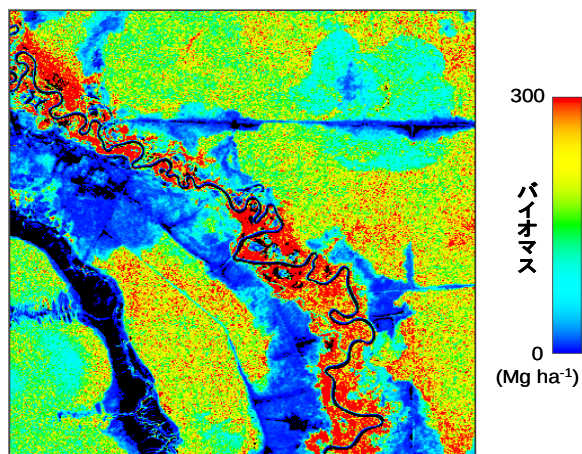


図-20. 地上部現存量の推定結果

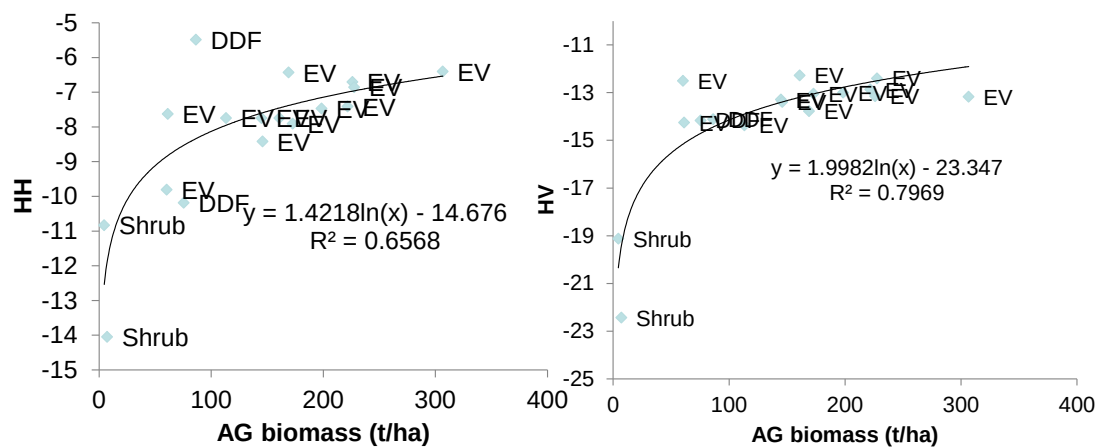


図-21. 後方散乱係数と地上部バイオマス (AGB) の関係 (カンボジア)

EV : 常緑林、DDF : 乾燥フタバガキ林、Shrub : 低木林

グループ 1 の AGB と HV の σ^0 の関係を示す (3) 式に基づいて AGB をマッピングした (図-19)。

$$\text{AGB} = 2.95 \times 10^7 \times e^{(0.766\text{HV})} \quad R^2 = 0.849 \quad (2)$$

ここで、AGB は地上部現存量 (Mg ha^{-1})、HV は HV の σ^0 (dB) である。AGB の小さい河畔林や火災による倒木地で、AGB が過大に推定されることが分かった (図-20)。また、式 (2) は σ^0 が大きい場合に発散するため、高 AGB の森林では推定精度が低く、PALSAR データで熱帯林のバイオマスを精度良くマッピングすることは難しいことが分かった。

カンボジアでは低 AGB から高 AGB まで回帰式の適合は良く、HV を用いた推定式では $R^2 = 0.80$ が得られた。しかし 100 Mg ha^{-1} のプロット数が少ないことから、実際の AGB 推定には注意が必要である。またの特性を見ると HV の方が高 AGB に対して飽和しにくく、HH よりも AGB 推定に適していることが示された (図-21)。この傾向はパラナカラヤの場合 (図-17, 18) に似ている。また Landsat データとの比較でも HV データとバイオマスの間には相関があることが伺えた。

(4) 劣化指数を用いた森林モニタリング

2 回反射の影響は HV よりも HH に明瞭に現れる。このため HV のほうが扱いやすく、AGB の推定にも有効とされる²⁾。しかし、HV にも 2 回反射は影響し (図-18b)、先に述べたように、HV を用いて AGB を推定しても、倒木地や河畔林で実際よりも AGB が過大に推定される (図-24)。一方、HV を補正した HV' (図-22) では、河畔林や倒木地で 2 回反射の影響が軽減されて σ^0 が小さくなり、AGB の推定値を地上観測の値に近づけることができた (図-23, 25)。

しかし、PALSAR の HV の σ^0 は AGB が 100 Mg ha^{-1} (乾重) 程度を超えると飽和するが、HV' でも同じだった。このため、HV' を利用した AGB の推定値は、高バイオマス林分で精度が低い。このような理由から、HV' で推定した AGB はバイオマスを表すというよりは、森林の遷移段階を表す指標と考えたほうが良い。

HV について 5 シーンを比較すると、泥炭地の水位が一番高い 2010 年 12 月の例で σ^0 が大きく、2 回反射の影響が顕著で、水位が低い 2009 年 10 月よりも 1~2 dB 大きかった (図-4 右)。河畔林は高 AGB の森林よりバイオマスが小さいが σ^0 は大きく (図-4 右)、この原因は 2 回反射と考えられた。これに対して HV' を用いると、2010 年では湿地林で AGB が過大に推定されるが、湛水地や火災跡地での推定値が大幅に改善された (図-23, 24, 25)。

研究対象地では、研究期間中に火災以外には顕著な森林や荒廃地の変化がなかったことと、上の理由から、高 AGB の森林では AGB はほとんど変化していないと期待される。しかしながら、2010 年のデータでは AGB は著しく過大に推定された (図-24)。このように、AGB の推定値を過度に信頼することは出来ず、森林の劣化段階に応じて、AGB の推定値を 3~4 段階程度に分類することが適切と考えられた。なお、PALSAR データは空間変動が大きいいため、AGB 推定値の空間パターンはシーンごとに細かく変化したことを補足する。

オリジナルの HV を利用して推定した AGB (図-24) について検討すると、HV の場合は河川沿いの森林と火災跡地で AGB の推定値が大きい。地上調査の結果では高バイオマス林の AGB は 300 MG ha^{-1} であること、河畔林や火災跡地では立木の AGB はさらに小さく、半分以下と考えられることから、過大推定であることは確実である。また、泥炭地の水位が高かった 2010 年 12 月の場合、他のシーンよりも AGB が大きく推定されていて、地面に溜まった水によって生じた 2 回反射が σ^0 に影響した

ことが伺われる。図-24にも示されているように、他のシーンでは高バイオマス林のAGBは同程度の値で現れており、常緑林の σ^0 は大局的には比較的安定していると判断される。

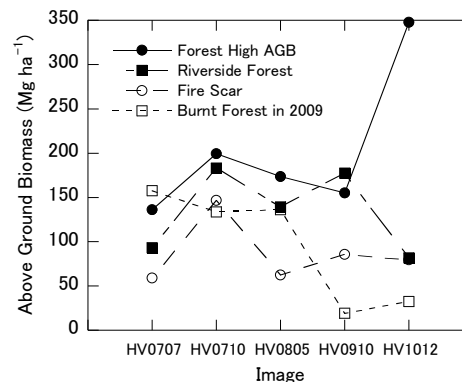
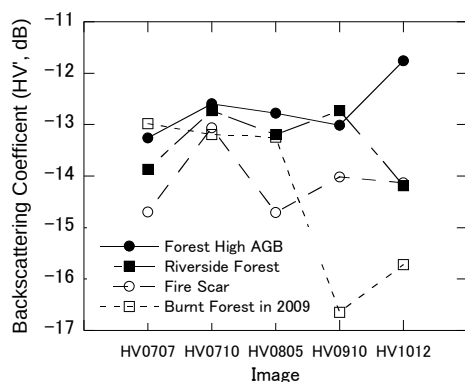


図-22. 補正した後方散乱係数HV' (σ^0) 図-23. HV' で推定した地上部バイオマス (AGB)

一方、補正済みのHV'を利用して推定したAGB（図-25）について検討すると、河畔林や火災跡地でのAGBの推定値は小さくなっており、改善されたと考えられる。しかしながら2010年12月の場合については、先に述べたように高バイオマス林のAGBが高めに現れており、完全に2回反射の影響を除くことはできなかった。今後、この問題について検証する必要があるが、この地域でのAGBが350Mg ha⁻¹を超えることは少ないと考えられること、上述したように高バイオマス林では高精度のAGB推定は期待できないことから、推定値が350Mg ha⁻¹を超える部分は350Mg ha⁻¹と見なすことが適切かもしれない。

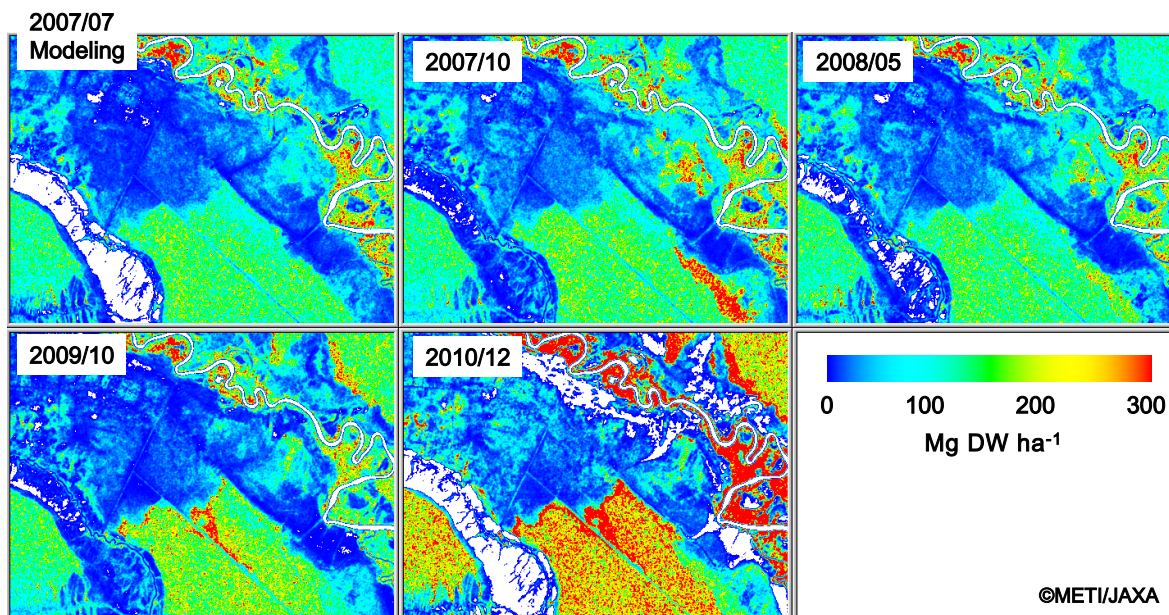


図-24. 地上部バイオマス (AGB) の推定値 (オリジナルHV利用)

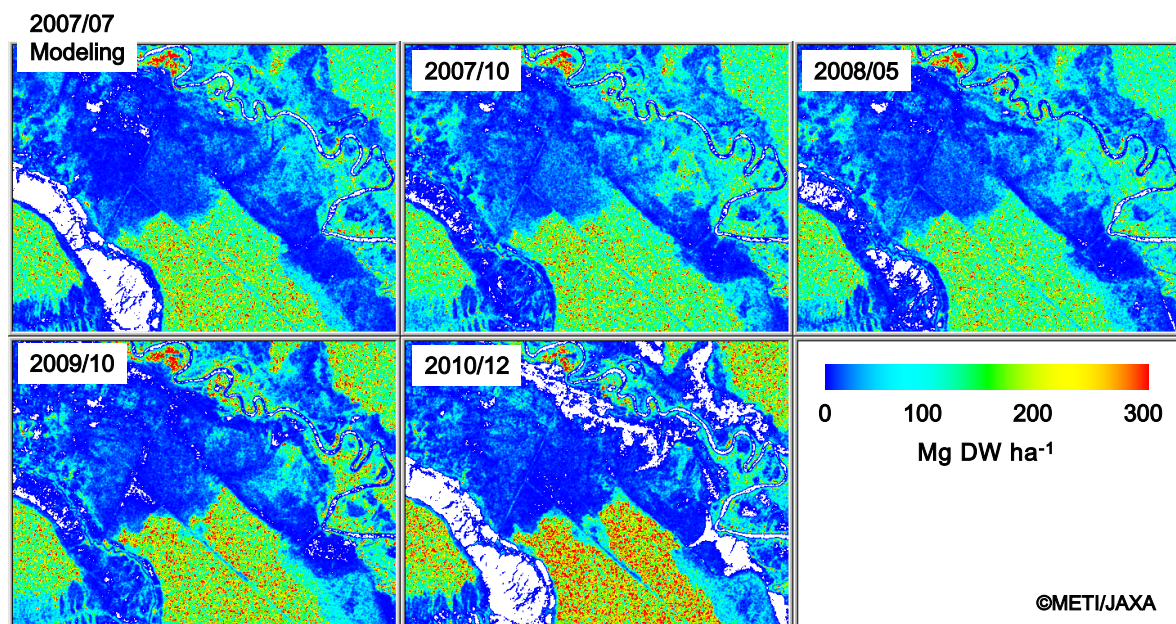


図-25. 地上部バイオマスの推定結果（補正済みHV'利用）

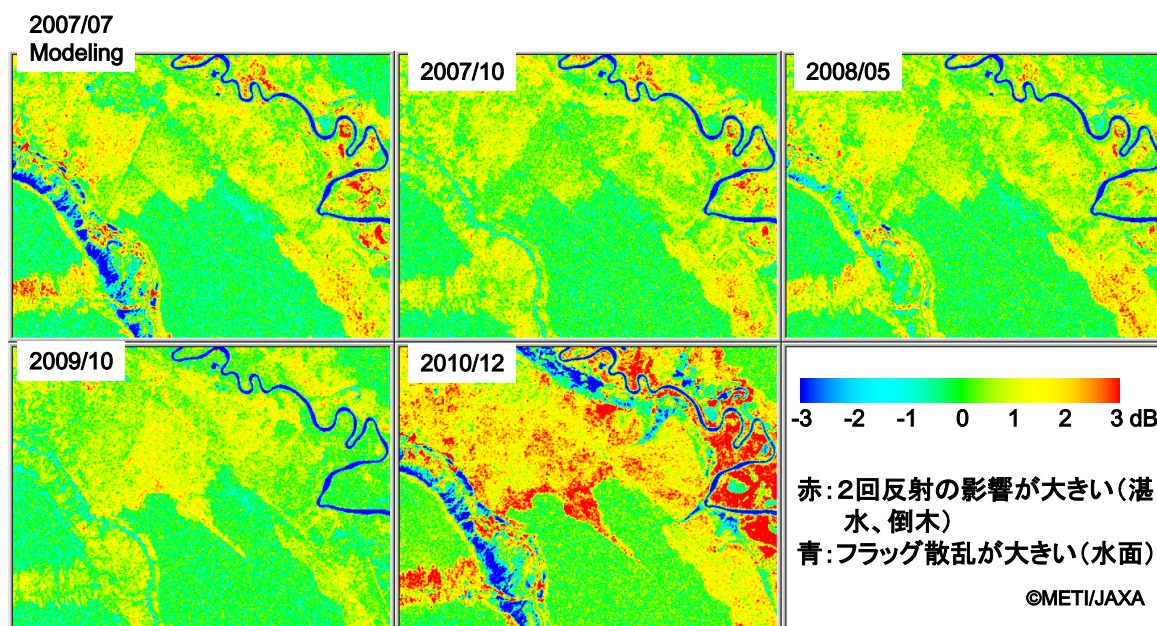


図-26. HVの補正量の変化（攪乱が生じていると考えられる地域）

AGBの推定にあたっては2007年7月のデータで構築したモデルを全てのシーンに適用したが、PALSARが安定していることと熱帯雨林では σ^0 の季節変化がわずかなことから、ひとつのモデルを他のシーンに適用して、AGBをモニタリングできることが分かった。他方、光学センサの場合、センサのゲインの変化や大気の影響、そして植生の季節変化があるために、同じモデルを季節の違うシーンに適用することは難しい。このようにPALSARでは複数シーンの比較が容易であるという、大きなメリットを確認することができた。

ところで、HVの補正量の大きさ（図-26）は2回反射の影響の強さを反映していると考えられる

が、これは森林の樹冠の攪乱の大きさを示す可能性がある。湛水状況によって補正量が変わることから、1シーンのみで攪乱の大きさを判断することは難しい。しかし、複数シーンを比較することで、シーン中の相対的な攪乱の大きさを判断する資料として利用できる可能性がある。2010年12月の場合、2009年10月に生じた森林火災の跡地でHVの補正量が大きく、多数の倒木と地表水が強い2回反射を生じたことが伺える。

以上のようにPALSARデータを利用することで、雲に影響されずに短い周期で森林の変化をモニタリングできることが明らかになった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

従来、光学センサのデータでは雲に阻まれて熱帯林の解析は困難だったが、雲を透過して地表を観測できるPALSARのデータによって、森林域をマッピングできる可能性が明らかになった。これは2偏波観測においては森林が他の土地被覆に対してユニークな反射・散乱特性を有していることを示している。残念ながら都市や他の被覆と誤認する場合もあるので、森林をマッピングする場合にマスキングなどの対処が必要になるが、森林マッピングに向けて期待できる見通しを得た。一方、これまでJERS-1のSAR（HH偏波）ではバイオマス推定は困難だったが、後方散乱係数（ σ^0 ）とバイオマスの関係について、本研究によってHH偏波とHV偏波で異なる特徴を示すことを明らかにし、さらに、HH偏波では地表に散乱する倒木などの林床の状況が電磁波の反射・散乱に強く影響している可能性を指摘した。より具体的には、①HH偏波では森林や林床の構造の影響が現れ、森林タイプ分類や倒木地のマッピングに有効であるが、バイオマス推定にはこの特徴が不利に働く。②HV偏波ではバイオマスとの関係がHH偏波よりも明瞭であり、約40Mg ha⁻¹以上でも少しずつ σ^0 が増加する。このことは高いバイオマス推定精度を達成することは難しいが、バイオマスを基準として森林を大雑把にゾーニングできる可能性を示唆している。③火災の期首・期末の画像が揃えば、バイオマスの高い森林が火災に遭った場所を検出できる可能性が高い、といったPALSARデータの特性が明らかとなった。また、HH偏波とHV偏波の関係に基づいて林床が後方散乱係数に及ぼす成分を推定してHV偏波を補正する考え方は従来にない画期的なもので、これによって広域でのバイオマス（地上部現存量）の推定精度を大幅に向上できるバイオマス推定法を開発した。以上、本研究によって、森林伐採後の被覆の状況と成林過程をPALSARでモニタリングできる可能性が高いことが示され、さらに森林資源把握及び森林生態系研究にPALSARの利用が有効であることが示された。今後のPALSARによる森林研究の発展に重要な知見を提供できたといえよう。一方、常緑林と落葉林が共存する熱帯季節林において、森林タイプ进行分类することは生態学的に重要である。また、森林バイオマス量を推定する場合、森林タイプごとの面積を求めて森林タイプ別に定数を割り当てる方法(Tier-2)があるが、森林タイプ別の面積を推定できれば全国の森林バイオマス量を推定する際に極めて有益である。また、HH偏波では落葉林の季節変化に応じた後方散乱の違いを検証し、分類に最適な季節があることを示すとともに、常緑林と落葉林の森林分布図の作成が可能であることを示した。今後、HH偏波における σ^0 の変化と、地上で冠水状況やフェノロジーと比較を行うことにより、落葉林の生態学的研究に寄与する知見を得ることができると思われる。

（２）環境政策への貢献

本研究で得られた結果は、PALSARにより熱帯域の平坦な地形における森林分布のマッピングが可能なことを示しており、REDDなどの森林減少回避への活用や炭素収支評価の有効な手段のひとつになると期待される。

特定の季節に取得されたPALSARデータを用いることより、常緑林と落葉林を区別した分類画像が作成可能であることが示された。これにより年1回の頻度で森林被覆図を作成可能であり、これは、森林タイプごとに森林バイオマス量を推定し、国レベルの森林バイオマス量を推定するのに有効である。これらの技術は、REDD等の実施に当たり、森林モニタリングを行う上で重要な技術である。

6. 引用文献

1) H. Balzter, L. Skinner, A. Luckman and R. Brooke : Remote Sensing Environment, 84, 184-191 (2003)

“Estimation of tree growth in a conifer plantation over 19 years from multi-satellite L-band SAR”

2) RM. Lucas, N. Cronin, A. Lee, M. Moghaddam, C. Witte and P. Tickle : Remote Sensing Environment, 100, 407-425 (2006)

“Empirical relationships between AIRSAR backscatter and LiDAR-derived forest biomass, Queensland, Australia”

3) JR. Santos, CC. Freitas, LS. Araujo, LV. Dutra, JC. Mura, FF. Gama, LS. Soler and SJS. Sant’ Anna : Remote Sensing Environment, 87, 482-493 (2003)

“Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest”

7. 国際共同研究等の状況

インドネシアでの研究については、パランカラヤ大学とはSuwido博士の協力の下、グランドトゥルースデータを取得した。グランドトゥルースデータとして、広域の土地被覆に関する情報（座標とその土地被覆タイプ）とサンプリング調査による30m×40mの矩形プロット内の毎木調査データを完備し、前者は土地被覆分類に、後者は地上部バイオマス推定にそれぞれ利用した。一方、インドネシアボゴール農科大学とは、森林総合研究所との間でMOUを結び、I Nengah博士とPALSARデータ解析を進めた。森林総研側がパランカラヤ周辺で集中的に研究を実施したのに対して、ボゴール農大側はインドネシア国土全体を対象としてPALSARの有効性を検証した。研究成果の報告についてはそれぞれの機関が母国語で公表した。また、平成21年11月および平成22年10月に、両機関が主催の国際シンポジウムをインドネシアボゴールで開催し、研究成果を公表した。

カンボジアでは、カンボジア政府森林局と共同研究に関するMOUを締結し、共同でサンプリング調査プロットの設定、毎木調査等の調査、研究を行い、年度末にはプノンペンにおいてワークショップを開催し、研究成果の共有及び研究計画の打ち合わせ等を行って来た。また平成22年にインドネシアのボゴールで開催された国際シンポジウムでは、カンボジア側カウンターパートも研究成果の発表を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 関東森林研究、60, 69-72 (2009)

「PALSARデータを用いた土地被覆の判読ー東日本の事例ー」

- 2) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、60, 65-68 (2009)

「50m解像度のPALSARデータの土地被覆判読性」

- 3) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 中部森林研究、58, 155-158 (2010)

「泥炭湿地におけるPALSAR後方散乱係数の季節変化と経年変化ーインドネシア・パランカラヤにおける事例ー」

- 4) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、61, 65-68 (2010)

「PALSARデータの特質把握ー泥炭湿地林の事例ー」

- 5) 栗屋善雄、福田夏子、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 中部森林研究、59, 97-98 (2011)

「熱帯林におけるXバンドとLバンドのSARの後方散乱係数の比較ーインドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例ー」

- 6) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、島山淳平、門田有佳子、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、62, 83-86 (2011)

「PALSARデータによる森林火災跡地の検出ーインドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例ー」

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、47:195-196 (2009)

「大規模な泥炭湿地林破壊ーメガライズプロジェクトの10年後」

- 2) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, HL. Suwido, M. Shimada, I. Nengah SJ, M. Buce S, S. Nishimura, T. Sato and J. Toriyama : Proceedings of the international conference of Forestsat2010. 61-64 (2010)

” The relationship between dual polarization PALSAR data and forest biomass in a peat swamp forest affected by drainage canals in central Kalimantan”

- 3) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、佐藤保、島山淳平、門田有佳子、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M Buce S : 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集 (in press)

「PALSARデータを利用した泥炭湿地林のモニタリングー中央カリマンタンの事例」

(2) 口頭発表 (学会等)

1) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 第60回日本森林学会関東支部会 (2008)

「50m解像度のPALSARデータの判読性ーETM+データとの比較ー」

2) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 第120回日本森林学会大会 (2009)

「異なる土地被覆タイプにおけるPALSARデータ特性」

3) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 第61回日本森林学会関東支部会 (2009)

「50m解像度のPALSARデータの判読性ーETM+データとの比較ー」

4) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, T. Sato, J. Toriyama, M. Shimada, I Nengah SJ, M. B. Saleh and HL. Suwido : Workshop on exploring the use of ALOS PALSAR for forest resource management, Bogor. Indonesia, 2009

“Potential of PALSAR sensor for monitoring forests in central Kalimantan”

5) H. Saito, T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, T. Sato, J. Toriyama, M. Shimada and S. Chann : Workshop on exploring the use of ALOS PALSAR for forest resource management, Bogor. Indonesia, 2009

“Tropical seasonal forest monitoring using PALSAR data”

6) 栗屋善雄、高橋與明、齋藤英樹、島田政信、清野嘉之、HL. Suwido、I Nengah SJ、M. B. Saleh : 第121回日本森林学会大会 (2010)

「PALSARデータを用いた森林火災被害の解析」

7) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I Nengah SJ、M. B. Saleh : システム農学会2010年度春季大会 (2010)

「インドネシア中央カリマンタンで何が起きているか？」

8) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 第121回日本森林学会大会 (2010)

「PALSARおよび航空機LiDARによる森林バイオマス解析」

9) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、鳥山淳平、門田有佳子、齋藤英樹、島田政信、I Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 第62回日本森林学会関東支部会 (2010)

「PALSARデータによる森林火災跡地の検出ーインドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例ー」

10) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, HL. Suwido, M. Shimada, I Nengah SJ, M. B. Saleh, S. Nishimura, T. Sato and J. Toriyama : International conference of Forestsat2010, Lugo. Spain, 2010

“The relationship between dual polarization PALSAR data and forest biomass in a peat swamp forest affected by drainage canals in central Kalimantan”

11) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, T. Sato, J. Toriyama, Y. Monda, M. Shimada, HL. Suwido, I Nengah SJ and M. B. Saleh : International Workshop: Forest Dynamics and Carbon Monitoring in Forest Ecosystems in East Asia~Findings from Forest Dynamics Network~,

Tokyo. Japan, 2010

” Forest monitoring by PALSAR in Indonesia and Cambodia”

12) Y. Awaya, T. Takahashi, Y. Kiyono, H. Saito, T. Satoh, J. Toriyama, M. Shimada, I Nengah SJ, M. B. Saleh and HL. Suwido : International Symposium on Forest Monitoring Methodologies for Addressing Climate Change Using ALOS PALSAR, Bogor. Indonesia, 2010

”Forest area change since 1973 in Mega Rice area, Central Kalimantan Indonesia: Ananalysis using optical and PALSAR imagery”

13) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, T. Sato, J. Toriyama, Y. Monda, M. Shimada, I Nengah SJ, M. B. Saleh and HL. Suwido : International Symposium On Forest Monitoring Methodologies For Addressing Climate Change Using ALOS PALSAR, Bogor. Indonesia, 2010

“Forest monitoring using backscattering coefficients of PALSAR in a peat swamp forest of central Kalimantan”

14) H. Saito, T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, T. Sato, J. Toriyama, M. Shimada and S. Chann : International Symposium On Forest Monitoring Methodologies For Addressing Climate Change Using ALOS PALSAR, Bogor. Indonesia, 2010

“Relationship between PALSAR backscattering and above ground biomass in tropical seasonal forest in Cambodia”

15) I Nengah SJ, R. Galih, SP. Edwine, M. B. Saleh, Y. Kiyono, Y. Awaya, T. Takahashi and BP. Lilik : International Symposium On Forest Monitoring Methodologies For Addressing Climate Change Using ALOS PALSAR, Bogor. Indonesia, 2010

”Evaluating the use of medium resolution of ALOS PALSAR data for classifying forest cover in Kalimantan”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。