

PALSAR を活用したインドネシアの森林資源 モニタリング技術協力プロジェクト

田 中 康 久

1. はじめに

インドネシアは、ブラジル、コンゴ民主共和国に次ぐ世界第3位の規模の熱帯林を有し、その森林面積は、国土面積（187.8百万ha）の52.4%を占める98.5百万haである（表1）。一方、インドネシアでは、農地、オイルパームやゴムのプランテーション、鉱山開発等の目的による森林の転用、森林火災、違法伐採などにより2003年から2006年の間に毎年1.17百万ha（森林面積の約1.2%）の森林が減少した（表2）¹⁾。インドネシアの森林減少の問題は、同国の豊富な生物多様性に著しい悪影響を及ぼし、森林からのCO₂排出量が同国の排出量全体の47%と最大となる²⁾など地球環境に重大な影響を与えることとなっている。この問題に対応するためには、森林減少要因を明らかにしてその防止策をとるとともに、森林の状況を的確に把握するためのモニタリング体制を持つことが必要である。

2. インドネシア政府の森林モニタリングの現状

インドネシアでは、1980年代から米国のLANDSAT衛星データを用いて3年に1回森林モニタリングを行ない、国家森林インベントリーを作成してきた。森林モニタリングにおいては、インドネシア全土の土地被覆図を作成し、森林面積、森林減少面積などのデータを示している。土地被覆図の作成

は、林業省森林計画総局が担当し、全国17の同総局地方事務所がLANDSATデータの判読を行い所管区域の土地被覆図作成作業を行っている。土地被覆図では、現在23の土地被覆区分が採用されており、このうち森林は、乾燥林、湿地林、マングローブ林、植林地として区分されている。植林地以外の乾燥林、湿地林、マングローブ林についてはそれぞれ一次林、二次林に区分されているので、森林の区分は7つである（表3）。こうした作業の手順、利用する衛星画像の種類、衛星画像判読マニュアル、作成する地図の縮尺などは林業大臣令で定められている。土地被覆図には、「雲」という区分もある。これは、LANDSATは光学センサーで、雲に覆われている場合は地上の状況を見ることができないためである。通常、雲がある場合は、撮影時期を遡って雲のない画像を探すのであるが、それでも雲のない画像を得られない場合は「雲」としている。2008年の土地被覆図では、雲を含めた「データなし」の面積の比率は全体の1.9%であった（表1）。ただし、作業において、雲があったが雲のない画像を確認せずに前回と同じ土地被覆区分としている場合もあるように聞いている。このような事情があると、雲の比率1.9%ということをどう評価するのかについては難しいところである。

こうした森林モニタリングの結果をとりまとめたものの例が表1、表2である¹⁾。インドネシアでは、基本的に国が森林を所有しており、そうした土地は

Yasuhisa Tanaka : JICA's Technical Cooperation on Introducing PALSAR into Forest Resources Monitoring and Assessment System in Indonesia

JICA インドネシア 衛星情報を活用した森林資源管理支援プロジェクト チーフアドバイザー

表 1 インドネシアの森林面積

	一次林	二次林	植林地	森林計	森林以外	データなし	国土面積計
面積 (千 ha)	45,145.40	48,655.40	4,659.30	98,460.20	85,766.70	3,557.70	187,784.70
比率 (%)	24	25.9	2.5	52.4	45.7	1.9	100

資料: Eksekutif DATA STRATEGIS KEHUTANAN 2009 (インドネシア林業省)

表 2 インドネシアの森林減少面積

	一次林	二次林	植林地	合計
面積 (ha/年)	76,407.5	979,293.1	118,367.4	1,174,068.0

資料: 表 1 に同じ

森林地域 (Kawasan Hutan) と呼ばれ、保全林、保護林、生産林、転換林として利用区分を指定されて国により管理されている。保全林は動植物の保護、保護林は水源や土壌の保護、生産林は木材生産、転換林は宅地や農地等への転換が主たる利用である。インドネシア国内で森林が話題にされる場合、森林面積としてこの森林地域の面積があげられることが多いので、注意を要する。森林地域でも、実際に森林の状態とされている土地はその 68% の 90 百万 ha であり、これと森林地域以外で森林の状態とされている面積とを合わせてインドネシアの森林面積 98.5 百万 ha (表 1) となる。

森林減少面積については、前回のモニタリングの結果との比較により、土地被覆区分上森林から森林以外の区分に変わった土地の面積が計上されている。

3. プロジェクト実施の要請

インドネシア政府は、雲の影響がインベントリーの精度に問題をもたらしているという認識から、日本が開発した衛星リモートセンシング用センサー PALSAR (バルサー) が雲に影響されずに地上の様子を観測できることに着目し、PALSAR 技術を森林モニタリングシステムに導入することへの支援を要請した。これに応じて国際協力機構 (JICA) が 2 次にわたる事前調査を経て技術協力プロジェクト「衛星データを活用した森林資源管理支援」を開

始した。

本稿では、協力開始から 2 年ほどたった 2010 年 7 月時点のプロジェクトの途中の状況について報告させていただく。

4. プロジェクトの概要

プロジェクトは、2008 年 9 月 11 日からの 3 年間の期間として、インドネシア林業省に対し、PALSAR を森林資源モニタリングとアセスメントに活用する技術を移転し、林業省の森林資源モニタリング・アセスメントの能力を向上させ、より精度の高い森林資源情報が得られるようにすることを目的とする。より具体的には、土地被覆図作成において PALSAR を活用する技術を定着させることである。カウンターパート機関は、林業省森林計画総局である。その基本的な活動は次の 3 点である。

① 林業省職員が土地被覆図作成作業において、PALSAR データの判読を行なうために必要な判読マニュアルと作業手順書の作成

② 林業省職員を対象として、上記判読マニュアルと作業手順書を用いた土地被覆図作成技術の研修実施

③ PALSAR データを用いた森林の炭素量推計や統合 GIS への応用についての試行

プロジェクトの実施においては、PALSAR の研究実績があるボゴール農科大学と業務委託契約を結

表 3 現行土地被覆図における土地被覆区分

番号	区 分	内 容
1	乾燥林一次林	低地, 丘陵地, 山地の森林で過去に伐採が入っていない
2	乾燥林二次林	低地, 丘陵地, 山地の森林で過去に伐採が入っている
3	湿地林一次林	沼地, 泥炭地の森林で過去に伐採が入っていない
4	湿地林二次林	沼地, 泥炭地の森林で過去に伐採が入っている
5	マングローブ林一次林	海岸, 及び内陸に入っているマングローブ, ニッパの林で過去に伐採が入っていない
6	マングローブ林二次林	海岸及び内陸に入っているマングローブ, ニッパの林で過去に伐採が入っている
7	植林地	植え付けにより成立した森林
8	耕作地	作物が植えられた土地
9	灌木植生	過去に乾燥農耕地であったが天然の植生がまばらに存在する
10	湿地の灌木植生	泥炭地, マングローブ地域で天然の植生がまばらに存在する
11	サバンナ・草原	天然ではない植生によるサバンナで時に藪や樹木を含む
12	乾燥農地	乾燥した農地
13	藪と乾燥農地の混在	乾燥した耕作地で藪や灌木, 過去の伐採跡地が混じる
14	湿地農地	湿地の状態で行なわれるすべての耕作
15	養魚池・塩田	海岸地域での内水面養殖及び塩田
16	居住地	都市, 村落での人の居住地
17	移住者入植地	耕作地が含まれている移住者の入植地
18	裸地	火山, 砂地など植生がない土地, 火災跡地
19	鉱業用地	露天掘りによる鉱業生産地
20	ダム・湖・河川	湖, 川, ダムなどの水面
21	沼地	森林の成立していない沼地
22	雲	雲のために地上の様子が見えない地域
23	空港・港	空港, 港

資料 : LANDSAT データ判読マニュアル インドネシア林業省

び, 活動の主要部分である, 判読マニュアルと作業手順書の作成及び研修実施に日本人専門家とともに取り組んでもらっている。また, 他のインドネシア国内のリモセン専門家数名を技術アドバイザーとし

て指名し, 外部有識者からの技術的助言を随時得る体制とした。このようにローカルリソースを活用することは, プロジェクトの終了後もカウンターパート機関以外に国内に専門技術を理解した人材がある

ことにより、継続的な人材養成の基盤を持つこととなると期待している。

5. PALSAR とは

PALSAR は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が 2006 年 1 月に打ち上げた陸域観測技術衛星 ALOS（エイロス Advanced Land Observation Satellite 日本語の愛称は「だいち」）に搭載されている地表を観測するセンサーである。だいちには、PALSAR のほか、PRISM（プリズム）、AVNIR-2（アブニール 2）の 2 つの光学センサーも搭載されており、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査の 4 つを主要なミッションとしている。PALSAR（Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダー）は、地表に向けて放射したマイクロ波の反射波を観測することで地形や地質を調べるセンサーで、雲の粒子を透過する、可視光より長い波長約 23cm（振動数 1,270 Mhz）の L バンドマイクロ波を使用するので、天候、昼夜に関わらず地上の様子を観測することができる。地上分解能は、100m～10m である。

一方、これまでインドネシア林業省が利用している LANDSAT の ETM+ は、光学センサーで、可視光から短波長赤外までとらえ地上分解能 30m のカラー画像を取得し、土地被覆分類に利用されている。なお、ETM+ は、2003 年に起こった故障により画像の両端部に問題が起こり判読精度の低下を引き起こすという問題を抱えている。

6. PALSAR の利用の現状

PALSAR を用いては、森林減少や劣化の状況評価、洪水や地震、火山噴火等の災害発生時の緊急観測などの取組が行なわれているが、災害緊急観測を除いては、未だ多くが研究・実証の段階であるといえる。継続的な地表観測の例としては、日本の海上保安庁がオホーツク海の海水の分布状況を船舶に提供し海難防止に役立っている。また、ブラジルでは、PALSAR 画像により違法伐採箇所を見出して警察が摘発する取組を行っており、JAXA と JICA が

協力している。当プロジェクトにより、インドネシア林業省が PALSAR を用いて恒常的に森林のモニタリングを行なうシステムを構築することができると、それは世界初のものとなることと思われる。このため当プロジェクトの取組は大変チャレンジングなものと認識している。

7. これまでの成果

(1) 判読マニュアルと作業手順書の作成

衛星データを活用した森林モニタリングはコンピュータ画面の前に座っているだけでできるものではない。重要なのは現地調査である。現地調査の前に、衛星データをソフトで処理して色付けした調査対象地の図を作成する。

使用する PALSAR データは、JAXA により幾何補正されて提供された 50m 分解能のデータである。生の画像データは、地球が球面であることや表面が平らではないこと、センサーが観測する角度などにより歪みを内包している。こうした歪みを除去することを幾何補正と呼ぶ。この作業は専用のソフト上で画像データと参照用の地理座標データとを対応付けることにより行なわれる。幾何補正作業をインドネシアの担当者にさせる必要はないと判断しており、プロジェクトでは、こうした歪みが除去され、平面の図面に当てはめることができる形となった画像データを用いる。

こうして作成した図及び LANDSAT データによる同様の図と現地の状況とを比較し、PALSAR の図に表れた色の違いが現地の土地被覆の状況の違いを表しているのか、LANDSAT の図と比較してどのような違いがあるのか、といった点について検討した。現地調査の対象地は、インドネシアの多様な植生を網羅するために、ジャワ、スマトラ、カリマンタン、バリ、パプアの主要な島をすべてカバーした 8ヶ所とした。この結果把握した PALSAR が表現する土地被覆のパターンを基に、土地被覆区分ごとに判読キーを作成した。判読キーとは、各土地被覆が画像上でどのような色調や模様で見えるかを説明するものである。図 1 に乾燥林の判読キーの例を

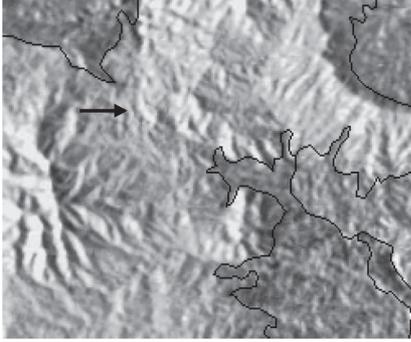
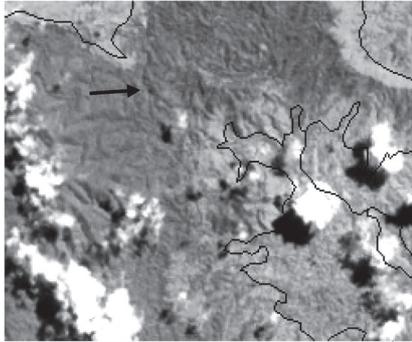
Tipe Penutupan Lahan : Hutan Lahan Kering	
Definisi : Seluruh kenampakan hutan di lahan kering	
Contoh Cuplikan Citra Palsar dan Foto Lapangan	
Resolusi 50 m - Skala 1 : 150.000	Kombinasi: HH-HV-HH/HV (1-2-4)
1.	
	
<i>Resolusi 50 m</i>	<i>Landsat 5-4-3</i>

図 1 判読キーの例 (乾燥林)

示した。左は PALSAR 50m 分解能からの画像、右は同じ場所の LANDSAT からの画像である。線で囲まれている部分は異なる土地被覆を表しており、矢印がある部分は乾燥林を表している。判読キーでは、このほか、地上で撮影した写真、色調、模様、パターンについての説明などの情報も掲載している。判読キーをとりまとめたものが判読マニュアルである。2009 年度の作業の結果、PALSAR による判読の可否、土地被覆区分の必要性等を踏まえ、17 の土地被覆区分とする判読マニュアルの案を作成した。この案では、一次林、二次林を衛星データで区別できないことからこれをやめる、森林を乾燥林、湿地林、季節林、マングローブ林、植林地の 5 区分とする等の修正を現行のものに加えた。もちろん、LANDSAT による区分に存在した「雲」は存在しない。

(2) 研修の実施

作成した PALSAR データ判読マニュアル案を用いて土地被覆図を作成する作業手順の案を作成した。また、これらの使い方を実際に土地被覆図作成作業に携わる技術者に指導するための研修カリキュラムを作成し、これに沿った技術研修を 2010 年 2

月にインドネシアで実施した。また、政策決定者コースと技術者コースとを用意して日本で研修を行い、衛星リモートセンシングの政策への応用、衛星画像処理方法等について学ぶ機会を設けた。技術者コース参加者は、インドネシアで行なった研修においてリーダー的役割を果たした。

8. 今後の取組と課題

今後は次の取組を行う予定である。

- 1) PALSAR データ判読マニュアル及び土地被覆図作成作業手順書の完成
- 2) 研修カリキュラムと研修教材の完成
- 3) 集合研修及び OJT の実施
- 4) 炭素量推計や統合 GIS への応用についての試行
- 5) 関連する林業省の規程の改訂

特に重要なのは、判読マニュアルにおける土地被覆区分である。森林面積の推移を追うことを主目的とするのであれば、森林かそうでないかを区分できればよいとの判断があり、単純な区分とすることにより精度を上げることもなると思われる。一方で森林計画総局としては、流域管理に活用するため

に森林以外の農地等の分布も把握しておきたいとしている。本年は、昨年度作成したマニュアル案について、現地で検証し、その結果を生かして改訂していくこととしているが、土地被覆区分について、関係者が十分議論を尽くして決定していかなければならないと考えている。

また、PALSARには、斜面の影響で土地被覆の状況が判別しにくくなるという特性がある。このため、JAXAでは斜面補正による改善方法が検討されている。また、斜面については光学センサーで対応するという考え方もある。今後斜面の影響の取り扱いについて決定していく必要がある。

森林の定義については、森林法及び森林インベントリー基準規則において、「樹木を主とするひとつのエコシステム」と定義されており、衛星リモセンを用いたモニタリングであることを前提とした定義とすることが必要である。

炭素量推計については、気候変動枠組み条約の協議の中で検討されているREDD（途上国の森林減少・劣化からの排出削減）の動きもあって最も注目されている部分である。これまでの検討の結果、PALSARはバイオマスの量を反映する性質があることはわかってきているが、森林のバイオマス量を把握できるといえる段階にはなっていない。当プロジェクトでは、PALSARにより把握したタイプ別の森林面積と地上調査で得られているバイオマス量データとから炭素量を推計するという、どちらかといえば伝統的な手法を用いて炭素量推計を試行しようと考えている。また、2010年11月にインドネシアで森林総合研究所、ボゴール農科大学、国際林業研究センター（CIFOR）及び当プロジェクトの共催による国際セミナーを開催し、他の東南アジアの参加者も交えて森林炭素量推計などPALSARによる森林モニタリングの最近の状況について情報共有する機会を持つこととしている。

REDDにおいては、森林のCO₂吸収排出量の推移のモニタリングが大きな課題であり、衛星リモ

トセンシングの活用が期待されている、このため、ただでさえ少ないPALSARによる森林モニタリングについての知見のある専門家が非常に多忙となっており、プロジェクトの短期専門家の確保にたいへん苦勞している。さらに、インドネシア国内では、REDDの取組が活発になっており、モニタリングを担当するプロジェクトのカウンターパートも非常に多忙となっている。このため、カウンターパートとプロジェクトの活動をともにこなす時間を捻出することについて困難さが増しつつある。

プロジェクトの終了後、インドネシア側が自立的にその成果を運用できるようにすることが必要である。このため、LANDSATを用いた森林モニタリングに関する現行の林業省の規程をPALSARを用いたものとして使えるよう改訂することをプロジェクトの活動計画に含めている。また、データを継続的に入手する枠組みが必要となることから、適切な時期を見て林業省がJAXAと相談を開始するよう助言している。

信頼性のあるデータは政策の基礎である。当プロジェクトの結果として得られるデータを用いて、森林減少や劣化、違法伐採や森林火災の状況などがよりの確に把握され、持続可能な森林管理を実現する上で適切な政策を推進することができるようになることが期待される。

〔引用文献〕 1) DEPARTEMEN KEHUTANAN (2009) Eksekutif DATA STRATEGIS KEHUTANAN 2009
2) Ministry of Environment, Government of Republic of Indonesia (2009) Indonesia's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change

〔参考文献〕 独立行政法人国際協力機構（2008）インドネシア国衛星情報を活用した森林資源管理支援事前調査報告書。村上拓彦（2007）改訂森林リモートセンシング，加藤正人編著。独立行政法人宇宙航空研究開発機構ホームページ http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_j.html