

衛星画像は本当に熱帯林管理に使えるのか？

—CIFOR/Japan プロジェクト「多様な森林生態系ベネフィット
の持続的利用に関する研究」の紹介

鷹 尾 元

1. はじめに

今日、持続的森林管理はかつてとは比較できないほど多角的で複雑な概念となった¹⁾。それに従い、持続的森林管理の観測すべき項目も多様となった（例えば、基準・指標²⁾）。ところが、質量共に増大する概念と観測の要求に森林管理者の能力はついていけない³⁾。持続的に観測を行うためには、金も技術も要する専門家による観測よりも、地元住民による日常の環境の観察のほうが優れているとも考えられている⁴⁾。そして、専門家による観測のひとつにリモートセンシングがある。

確かに、リモートセンシングにはその処理過程でも解釈でも特殊な技術が必要とされてきた。しかも、期待されている情報が必ずしも得られるわけではない⁵⁾。しかし、広い森林を一度に見渡せる方法は他にはない。持続的森林管理に欠かせない森林景観のモニタリングに、どうしたら空からの眼をうまく取り込むことができるのだろうか。

国際林業研究センター（CIFOR）と日本政府は新たな CIFOR/Japan プロジェクト（外務省使途指定研究）「多様な森林生態系ベネフィットの持続的利用に関する研究」を 2006 年から 3 年間の予定で開始した。そして、私はその責任者として昨 2006 年 7 月に CIFOR に着任した。本プロジェクトでは、持続的森林管理を行う上で観測は不可欠な要素であると位置づけ、中でもリモートセンシングを用いた森林管理単位レベルでの観測を持続的森林管理に活用できるようにする手法の開発を目的とする。

Gen Takao : Is Satellite Imagery Really Useful for the Sustainable Forest Management? An Overview on the New CIFOR/Japan Project “Sustainable Utilization of Diverse Forest Environmental Benefits”

国際林業研究センター（CIFOR） 研究員

CIFOR は世界、特に熱帯諸国において、森林の持続的利用を達成すると共に森林に生計を依存する地域住民の生活向上・貧困軽減を目指す国際研究機関である。おりしも、CIFOR では 2006 年に約 10 年ぶりとなる外部評価が行われ、さらに所長が交代して、現在新たな体制で組織戦略の見直しが進められている。

本稿ではまず CIFOR の沿革と現状について紹介し、次に本プロジェクトの計画概要を紹介する。

2. CIFOR の沿革と現状

CIFOR (Center for International Forestry Research) は、1993 年に設立された国際農業研究協議グループ (Consultative Group of International Agricultural Research, CGIAR) 傘下唯一の森林研究機関である。インドネシアのボゴール市に本部をおき、3 つの研究プログラム (林産物による生活向上研究プログラム、森林の公益的環境機能と持続的な森林管理研究プログラム、森林ガバナンス研究プログラム) と 4 つの地域研究センター (カメルーン、ジンバブエ、ブルキナファソ、ブラジル) を持つ。国際研究員約 50 名を含む研究員約 90 名と、管理・支援部門約 70 名を合わせ、合計約 160 名の職員を擁する。その任務は「発展途上国、特に熱帯地域の住民の福祉の達成に貢献する。そのために、森林・林業にかかる協同型の戦略・応用研究を行い、新たな技術や方法の適切な移転をはかる」ことである。そのために、他の CGIAR センターをはじめとする研究機関、大学、NGO、民間企業、国および地方政府などと連携し、広く熱帯・亜熱帯地域で研究を展開している (詳しくは倉光⁶⁾を参照)。

CIFOR では 2005-06 年に第 2 回研究運営外部評価 (EPMR-2) が行われた⁷⁾。これは職員と理事会から独立した第三者評価委員会による CIFOR の総合的な評価である。ここでは CIFOR のそれまでの活動が以下のように高く評価された。すなわち、CIFOR は貧困対策を中心に掲げた世界で唯一の森林研究機関として、森林の管理と利用のためのよりよい意思決定に資する政策問題に焦点をあてた研究を行ってきた。そして、他の機関とよく連携して、研究の質を向上させ、成果が政策決定過程に影響を与えることに成功してきた。特に、国際的な森林政策決定に影響を与えるパートナーシップでは大きな成功を収めた。POLEX¹ に代表される CIFOR の情報発信戦略は CGIAR の中の模範とされ

¹ POLEX (森林政策エキスパートメーリングリスト) は CIFOR の無料サービスとして 1997 年 7 月に開始された。注目された森林研究の成果概要が月に 1, 2 回配信される。日本語版もある。http://www.cifor.cgiar.org/publications/polex/

る。また、アフリカなどの乾燥地帯での活動を強化した事も、高く評価される。

一方で、研究戦略の設定と運用、組織と研究体制などについて改善が勧告されると共に、重点的に取り組むべき研究分野として既存のものを含め以下の項目が示された：貧困撲滅、グローバリゼーション、地球環境問題としての水問題、気候変動とその影響、発展途上国の森林研究機関との協同。

CIFOR は EPMP-2 のすべての勧告に対処することを表明し、その後新たに着任した Frances Seymour 所長の下、1996 年に設定された組織戦略の見直しを、職員同士の頻繁な議論を通じて現在行っている。新たな戦略は 2008 年 4 月の理事会にはかられて発表される予定である。

CIFOR/Japan プロジェクトは日本政府（外務省）拠出金による使途指定研究であり、CIFOR と外務省、林野庁および（独）森林総合研究所の密接な連携により行われてきた。これまで「荒廃熱帯林生態系の修復（1996-99 年）」、「荒廃熱帯林生態系の修復フェーズ 2（2001-05 年）」が実施され、今回の「多様な森林生態系ベネフィットの持続的利用に関する研究」が 2006 年に開始された。

3. CIFOR/Japan プロジェクトの背景

森林減少が熱帯で止まらない⁸⁾。このような傾向をできる限り早く食い止め、持続的な森林管理を達成しなければならない。森林管理とは森林とそれを取り巻く景観に対する人間の働きかけであり、いかなる管理とも同様に、現状の評価、計画立案、実行、結果の評価、計画の見直し、実行、評価、…、というサイクルで行われる（図 1）⁹⁾。したがって、管理を成功させるためには正しい計画立案が必要であり、そのためにはその森林景観を正しく評価できなければならない。森林管理計画は多段階の階層構造をとり、大きく分けて戦略レベル、戦術レベル、作業レベルの三つのスケールに分けられる^{1,5,10)}。戦略レベルは地域や国家などの高いレベルでの機能の指標値の数値達成計画であり、統計値の積み上げや大規模な標本調査などにより評価される。戦術レベルは森林管理単位での施業配置の計画であり、すべての小班や林分など景観構成要素の位置とその機能の状態が評価される。作業レベルは個別の施業実施計画である。したがって、戦術レベルが持続的森林管理を実施する基本の単位である。

今日、持続的森林管理とは、森林生態系の多面的な機能とそこから得られる便益（ベネフィット）を維持して森林とそれに依存する人々の生活を共存させる複雑な概念である¹⁾。「持続的森林管理のための基準・指標」は森林の多面的な機能をいくつかの側面に分類し、持続的森林管理のために何を観測すべきか

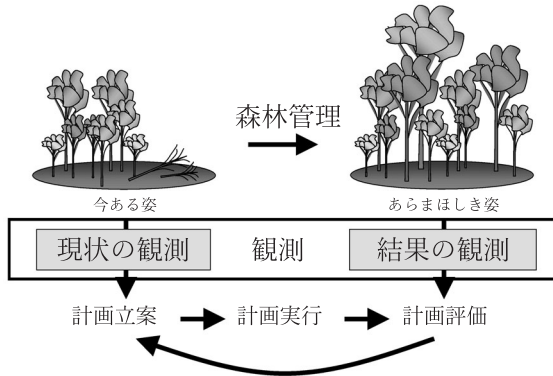


図 1 森林管理と計画，そして調査の関係

いかなる森林管理も，現状の評価，計画立案，実行，結果の評価，計画の見直し，実行，評価，…，というサイクルで行われる。したがって，現在どのような状況にあるかを定期的に観測し続けることが不可欠である。リモートセンシングは観測の一手段である。

について概念を整理したものである²⁾。世界各地の森林タイプと対象とするスケール（国家レベルか，森林管理単位レベルか）に合わせて基準・指標のさまざまなセットが提案されている。しかし，具体的に何を測るのか，何をもって持続的森林管理が達成されたとするのか，など，実行上解決すべき課題も多い³⁾。また，森林管理単位レベル，つまり戦術レベルでは，複雑かつ多様化した指標を現場の森林管理者が業務能力の範囲内で迅速かつ簡単に観測できなければ使えない^{2,3)}。

衛星画像や空中写真などリモートセンシング技術はこれまでも広域的な森林の観測に広く用いられてきた。リモートセンシング技術を用いれば，地上からでは到達が困難な地点でも同時かつ広域で観測が可能だからである。基準・指標のうち例えば景観レベルでの生物多様性¹¹⁾や，森林の炭素吸収機能¹²⁾など，広域での森林の分布に関係する指標はリモートセンシング技術により観測されることが期待されている。熱帯林地域でも，土地利用とその変化，火災延焼地の発見，違法伐採の発見，バイオマス，生物多様性など，森林と景観にかかる様々な指標を様々な場所と状況において衛星画像を用いて観測する研究事例が重ねられてきた。

研究事例では成功してきた衛星画像による観測だが，森林管理計画に十分活用されてきたとはいいいがたい^{5,10)}。戦略レベルでは FRA⁸⁾ や国家森林資源調査

などで既に実用化の例もある。戦術レベルでも森林火災や皆伐など森林の大きな攪乱の発見では威力を発揮している。しかし、戦術レベルでの森林景観の分布やその機能の推定については、期待されたほどには実用化されていない。その原因として、技術的な専門性、コスト、リモートセンシングでは直接観測できない機能を経験的に推定したためにある地域で得られた結果を他の地域へ外挿するのが困難であること、実用性よりも科学的厳密性に重点をおいた研究開発が繰り返されてきたことなどが考えられる。これらの手法は専門的で通常の森林管理者や住民には手におえないものである⁴⁾。特に、空と陸から同時に観測してその経験的な関係から地図を作る客観的なスケールアップの手法は「衛星画像を使って現地に行かずに森林の情報を知るためには、まず現地に行って調べなければならない」というジレンマとなり、コスト面でも動機面でも、研究成果を実際の森林管理に適用することの妨げとなってきた。

これらの問題を解決するためには、リモートセンシングを森林管理者や住民に使える情報とすることと、リモートセンシングによる観測はリモートセンシングで直接観測可能なパターンに限ることが必要である。前者について、もし森林管理者や地元住民が直接画像を判読して土地被覆の知識を画像に重ね合わせられたら、彼らの知識は衛星画像での土地被覆分類に役立つ¹³⁾ばかりでなく、専門家による解析結果の受け入れではなく自ら判読することで継続的なモニタリングへの動機⁴⁾にもなりうる。後者について、光学センサーで実際に観測しているのは地表面あるいは林冠面¹⁴⁾の状態だから、衛星画像の解析としてまず土地被覆分類を行い、その他の指標（例えば、生物多様性やバイオマス）はその解釈により試みる。以上のように、本プロジェクトでは「出かける前に見る地図を衛星画像で作る」ことを目指す。つまり、「私はこの森林（土地利用）を既に知っている。だから同じように見えるあの森林もそうに違いない」という姿勢で現地の森林景観をよく知る人々と共に衛星画像や地図などの情報を解釈し土地被覆区分図を作成する手順を模索する。そのために、現地の管理者や住民の経験をどのように衛星画像とすり合わせていくか、判読しやすく解析に適した衛星画像の（前）処理とはどのようなものか、既往の事例を参考にして整理し検証する。そして、それにより得られた土地被覆分類図、さらにはそこから経験的に推定されるその他の指標とその変化が、地上測定と、あるいは客観的な衛星画像解析結果とどれだけ異なるかを評価する。

つまり、リモートセンシングを適用するこれまでのアプローチが未知の土地を空と陸から系統的に偵察するものだったのに対し、本プロジェクトのは既知

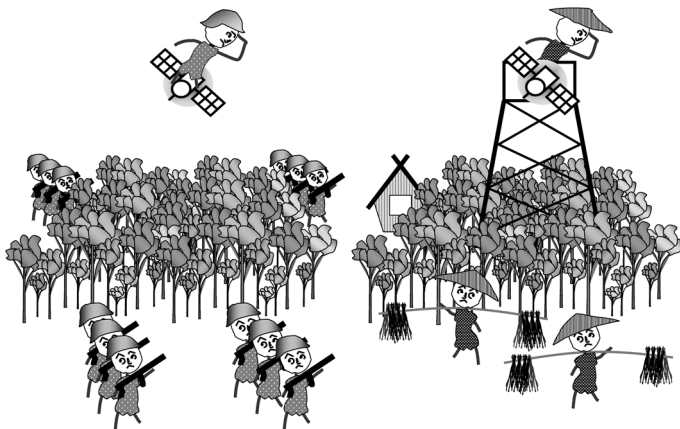


図 2 (a)

図 2 (b)

図 2 衛星画像による森林景観観測の模式図

図 2 (a) 従来の観測：対象となる森林景観はまったく未知である。したがって、無知な状態から最も効率よく情報が集められるように空と陸との観測を設計し、同時に観測を行う。そこを知る人がいるかどうかは関係なく、その知識も利用されない。いわば、敵地の偵察である。

図 2 (b) 本プロジェクトで行う観測：対象となる森林景観をよく知る人たちがいて、彼らは何がどこにあるかを地上でも画像上でも示すことができる。この景観の周辺はさほどこと違いはないだろうから、行ったことがなくても大体見当はつく。それら景観ごとの知識を集めれば、ある程度の広さで土地利用や被覆の予想がつく。

の土地に火の見櫓のような新たな視点を導入して関係者による監視を支援すると共に地域全体の監視に役立てようというものである（図 2）。

この方法はこれまでのようないわゆる客観的な方法に代わるものではない¹³⁾。しかし、専門家による客観的な方法が困難な場所では、まずは眺めて主観的に判断せざるを得ない。その上で興味を引く地域があれば、そこに改めて資源を集中して客観的な測定をすればよい。

本プロジェクトでは、次の 3 点の作業仮説を検証する。

1) 地元関係者らによる高分解能衛星画像の判読が周囲の土地被覆分布を観測する際に地上調査に代わる参照知識となりうると共に、周囲の土地被覆分布に関する彼らの直感的理解を助けうる。

現地の人々の知識だけを用いた衛星画像判読のみで評価された土地被覆や森林のタイプ（遷移段階、樹種、林冠被覆など）はどれだけ実際の状態を反映し

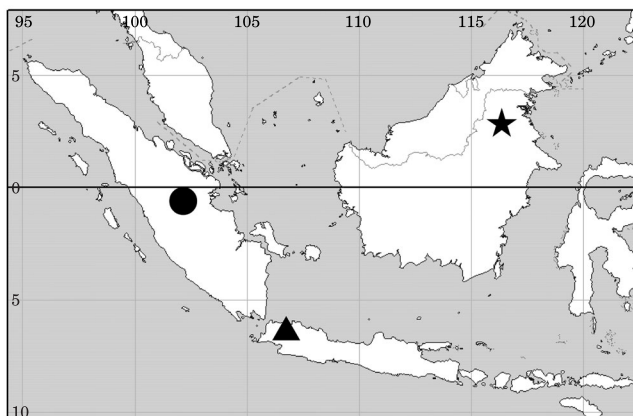


図 3 研究対象地（候補）

▲：グヌンハリムンサラック国立公園，●：ブンゴ，★：マリナウ

ているか，それは実際に行ったことのある地点と衛星画像上で見ただけの地点とでは異なるか，あるいは人や画像の状態により異なるのか，被験者による判読結果をもとにした現地調査により明らかにする。また，より判読しやすい方法はあるか，判読により認知する世界は広がるか，被験者への判読の指導と聞き取りのなかで明らかにする。

2) 地域に関わらず標準的な前処理を施した衛星画像と，地元関係者らによる知識を重ね合わせることで，森林景観の土地被覆や森林タイプの分布をある程度正確に推定できる。

判読結果を用いた土地被覆や森林のタイプの区分に適した衛星画像の標準的な前処理と解析手法の方法を検討する。このために，衛星画像取得の日時や条件に影響されずに，判読で得られた土地被覆や森林のタイプが統計的に分離可能となるような各種の指標化画像やその組み合わせを検討する。

3) 得られた土地被覆・森林タイプ分布と地元の経験（あるいは地上調査）によりいくつかの景観レベルの指標値を推定できる。さらに，これまでに集積された衛星画像を重ね合わせて解析することにより，森林景観の変化，森林の劣化の発生地および発生の危険地点を推測しうる。

土地被覆・森林タイプから局地的に推定しうる指標を明らかにする。さらに，過去からこれまでに集積された衛星画像を用いて土地被覆や他の指標の変化を追跡することにより，判読と画像解析の組み合わせだけからでも森林景観

の変化（森林減少）や森林劣化の発生危険地点を推測して、管理上の注意を喚起しうることを示す。

本プロジェクトは異なる開発段階にある森林景観に設定した複数の研究対象地の比較により実施される。研究対象地として想定しているのは現在すべてインドネシア国内である。本プロジェクトの成果は最終的に汎熱帯で広く適用されることを目指すが、汎熱帯では気候も社会経済状況も多様なので、同一国内で森林の開発状況が大きく異なる地点を選定した。具体的には、ハリムン国立公園（ジャワ島・西ジャワ州）、ブンゴ（スマトラ島・ジャンビ州）マリナウ（ボルネオ島・東カリマンタン州）を想定している（図3）。これらは順に、既に森林が寸断され土地利用がほぼ固定したパッチ状の森林景観、農地等への土地利用変換が進む開発の前線、いまだに開拓が進まず今後の森林減少が危惧される森林に相当する¹⁵⁾。ハリムンでは JICA グヌンハリムンサラック国立公園管理計画プロジェクトが進行し、住民参加型の管理計画により違法開拓を抑制する試みが行われている。ブンゴでは世界アグロフォレストリーセンター（ICRAF）東南アジア支所（CIFOR 構内にある）がこれまで景観変化を追跡調査しており、CIFOR と ICRAF 共同事業「生物多様性プラットフォーム」の対象地の一つとして複数の共同研究が実施されつつある。マリナウでは CIFOR が 1990 年代からの多面的景観評価（MLA）プロジェクトで地域住民にとっての森林の利用を明らかにしており、さらに ITTO によるプロジェクトや林業公社による森林生態の長期計測も行われている。以上のように、異なる開発段階にありかつ既往の調査研究事例が豊富な地域を対象とすることで、効率的な研究推進と現場への適用という互惠的で実りの多い研究となることが期待される。

期待される成果は、衛星画像判読支援ツールおよび地元関係者の衛星画像への興味と理解の向上、衛星画像の直感的理解の科学的裏づけ、森林管理現場での衛星画像利用指針の提示である。これらの成果は、森林管理に携わる森林官、地域開発に関わる行政組織や援助機関、NGO、地域住民等に広く利用されることが期待される。また、森林研究者が研究対象地を最初に概観する方法としても利用が期待される。このように、発展途上国におけるより広い受益者に科学技術の普及を図るために、多くの場所で多くのパートナーと共同で研究を行うために、CIFOR は最適な場である。

なお、本プロジェクトはアジア森林パートナーシップ（AFP）のワークプラ

ンとして 2006 年の第 6 回会合で提案され、AFP を通じた成果の普及とパートナーへの貢献も予定されている。AFP はアジア地域の持続可能な森林経営の促進に向けて、政府、国際機関、民間団体・企業、そして市民グループなどの幅広い関係者が自発的に協力するために 2002 年に発足したパートナーシッププロジェクトで、2006 年 7 月現在、17 カ国、8 国際機関、9 市民社会組織がパートナーとして参画している¹⁶⁾。本プロジェクトが提供する手法は、AFP の重点課題である違法伐採対策、森林火災予防、荒廃地の復旧のそれぞれに対し、どこでどのような活動を実施すれば良いのかという、基本的な情報を得てパートナー間で共有することを助けるものと期待されている。

4. おわりに

本稿では CIFOR の概要と新しく開始された CIFOR/Japan プロジェクトの実行計画を紹介した。森林管理の現場、特に貧困撲滅の対象となるような地域で衛星画像を活用することは、利用者の教育、データ購入や解析の費用などの面で構造的に困難が多いのは確かである。これらの問題は一度に解決できるものではない。しかし、これまでに積み上げられてきた研究成果を整理し、誰もが自分達の森林の状態とその広がりを衛星画像により把握できること、そのことがより広い地域でのモニタリングの精度をあげ、総合的な森林土地利用計画策定の一助となることを目指している。

CIFOR で活動する日本人は現在少ない。昨年度に CIFOR に在籍した日本人は長期では私を含め 2 名、短期のインターンが 1 名の計 3 名だけである。数年前には短長期あわせ 5～10 名ほどの日本人が活動していた。CIFOR では随時職員の公募があるほか、インターンの受け入れも行っている。国際農林水産業研究センター（JIRCAS）は国際共同研究人材育成推進事業として CGIAR 機関へ大学院生やポスドクなどのインターンの派遣を行っている（残念ながら本年度は既に締め切られた）。インドネシアはじめ、アフリカ、南米に拠点を置く森林専門の国際研究機関は日本人にも均しく門戸を開いている。より多くの日本人に国際研究機関の空気に触れる機会を持っていただきたいと考えている。

CIFOR/Japan プロジェクトを含め CIFOR に関してさらに情報が必要な方は、筆者に電子メールでお問い合わせ下さい。メールアドレスは g.takao@cgiar.org です。

〔参考文献〕 1) Davis, L.S. ら (2001) Forest management : to sustain ecological,

economic, and social values. Boston, McGraw-Hill, 804 pp. 2) Stork, N.E. ら (1997). Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management : Conservation of Biodiversity. WORKING PAPER NO. 17. Bogor, CIFOR. 3) Sheil, D. ら (2004) Ecological criteria and indicators for tropical forest landscapes : Challenges in the search for progress. *Ecology and Society* 9 (1). 4) Danielsen, F. ら (2005) Monitoring matters : examining the potential of locally-based approaches. *Biodiversity and Conservation* 14 (11) : 2507-2542. 5) Holmgren, P., Thuresson, T. (1998) Satellite remote sensing for forestry planning - a review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13 : 90-110. 6) 倉光宏明 (2004) 国際林業研究センター : 地域から世界レベルの貧困削減と持続的森林経営に向けて. 日本熱帯生態学会ニューズレター (57) : 5-9. 7) CGIAR (2006). Report of the Second External Program and Management Review (EPMR) of the Center for International Forestry Research (CIFOR). http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/CIFOR_EPMR2005report.pdf. 8) FAO (2001). Global Forest Resources Assessment 2000. FAO Forestry Paper 140. Rome, FAO. 9) 平田種男 (1983) 林業経営原論. 東京, 地球社, 158pp. 10) Franklin, S.E. (2001) Remote sensing for sustainable forest management. Boca Raton, Lewis Publishers, 407 pp. 11) Foody, G.M. (2003) Remote sensing of tropical forest environments : towards the monitoring of environmental resources for sustainable development. *International Journal of Remote Sensing* 24 (20) : 4035-4046. 12) Lu, D.S. (2006) The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27 (7) : 1297-1328. 13) Naidoo, R., Hill, K. (2006) Emergence of indigenous vegetation classifications through integration of traditional ecological knowledge and remote sensing analyses. *Environmental Management* 38 (3) : 377-387. 14) Aguilar-Amuchastegui, N., Henebry, G.M. (2006) Monitoring sustainability in tropical forests : How changes in canopy, spatial pattern, can indicate forest stands for biodiversity surveys. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3 (3) : 329-333. 15) Chomitz, K.M. (2006). At loggerheads? : agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests. World Bank Policy Research Report. Washington DC, World Bank : 284. 16) 藤間 剛 (2006) アジア森林パートナーシップ (AFP) における違法伐採対策のための合法性基準. 熱帯林業 64 : 2-8.