

森林炭素モニタリング 6つのポイント

Deeper understanding of forest carbon monitoring system under REDD-plus implementation

目次

はじめに	1
本冊子の利用の仕方	1
ポイント 1 地上調査データを価値あるものにする	2
ポイント 2 樹木だけではないモニタリング	4
ポイント 3 森林劣化を把握する	6
ポイント 4 森林変化を捉えるリモートセンシング技術	8
ポイント 5 効率的な検証が鍵	10
ポイント 6 社会と環境によりやさしいREDDプラスのために	12
さいごに	14
参考文献	15
REDD研究開発センターによる刊行物一覧	16



左上：上部熱帯林での直径測定（ペルー共和国），右上：山地林の景観（ペルー共和国）
左下：農地に転換された熱帯季節林（ミャンマー連邦共和国），熱帯季節林での調査の様子（カンボジア王国）

はじめに

2015年にフランス・パリで開催された第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）にて2020年以降の新たな法的枠組みとなる「パリ協定」が採択され、REDDプラスの実施と支援の推奨や、二国間クレジット制度(JCM)を含む市場メカニズムの活用が同協定に位置づけられました。REDDプラスは、技術的検討を終了し、実施段階への移行が進んでおり、途上国の気候変動緩和策として今後とも重要な役割を果たしていくのは明らかです。REDDプラス実施による成果は、排出削減量をどれだけ得られたかによって大きく変わってきます。そのためには、いかに排出削減量を正確に求めることができるのかが重要になってきます。

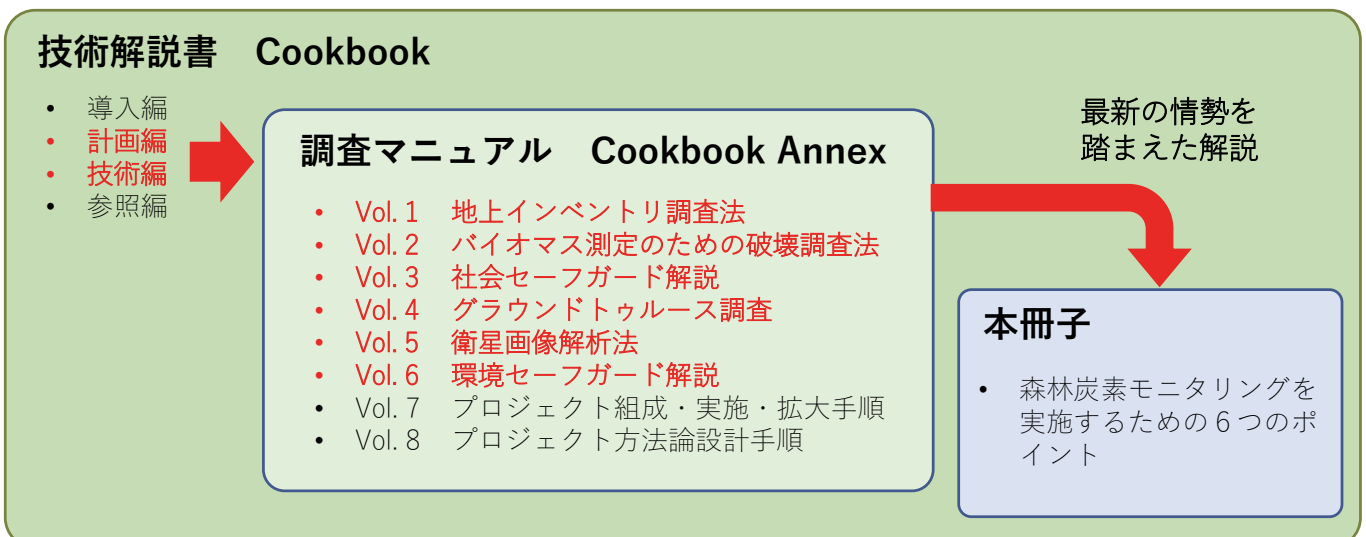
森林総合研究所REDD 研究開発センターでは、REDDプラス実施に向けて必要となる手法の開発と知見の集積を進めてきました。その過程でREDDプラスに取り組むための基礎知識や技術をまとめた技術解説書「REDD-plus Cookbook」を2012年に発行するとともに、2016年以降、調査マニュアルである「Cookbook Annex」を発行してきました。Cookbook Annexでは、主に森林炭素蓄積量やその変化量である排出量の測定手法に着目し、解説を加えています。本冊子では、Cookbook Annexでは紹介しきれなかった森林炭素モニタリング手法に関する技術的な情報について、最新の成果を踏まえて補完しています。

多くの途上国で森林減少・森林劣化が変わらず進んでいる中、本冊子を加えた技術解説書ならびに調査マニュアルが国内外でREDDプラスに取り組む方々に対して有益な情報になることを願っております。

本冊子の利用の仕方

REDDプラス事業全体に求められる事項などについては、技術解説書「REDD-plus Cookbook」にまとめられています。また、地上調査や画像判読、セーフガードの考え方など技術的な要点については、調査マニュアル「Cookbook Annex」に詳しくまとめられています。

本冊子は、プロジェクトレベルでREDDプラス事業を実施する際に必要となる森林炭素モニタリングについて、実施の際に考慮すべき6つのポイントを示しています。各ポイントでは、これら既刊のマニュアル内の関連する部分を明示するとともに、さらに理解を深めたい場合に備え、参考情報も掲載しています。



ポイント 1 地上調査データを価値あるものにする

背景

プロジェクトベースで単位面積当たりの炭素蓄積量を示す排出係数を求める場合、国とプロジェクトでの方法論の整合性を取るために、国レベルで既に定められた排出係数を用いることが想定される。それではプロジェクト独自にプロジェクトエリアの炭素蓄積量を推定するための地上調査を行う必要はないのだろうか？森林の変化やプロジェクトの効果を検証するためにも地上調査を通じた炭素蓄積量の推定は必要である。

ここがポイント

- プロジェクトによる、森林減少および森林劣化の削減の効果を確かめるためには、地上調査を含むモニタリングが不可欠である。
- 将来の森林参照排出レベルの改定の際に、現時点では取り扱っていないデータ（森林タイプ区分や樹木以外のバイオマス）が有用になる可能性があるため、先行して取得することは決して無駄ではない。

解説

REDDプラスの基本的な考え方は、何らかの対策を実行し、森林減少および森林劣化による温室効果ガスの排出量を抑制することであるが、その対策の効果を確かめるためには、モニタリングが不可欠である。リモートセンシング技術の進歩により、地域の森林の状態を広範囲にわたって詳細に確認することが可能となってきた。その一方で、森林を構成する樹木の情報は、地上調査でしか得られないものであり、森林劣化（ポイント3を参照）を評価する上でも欠かすことのできないものである。

ここでは、プロジェクトベースの事業においても、独自に地上調査を行うことのメリットを二つ示してみたい。

多様性の評価だけではない森林構造の情報

地上調査を実施した場合、炭素蓄積量の推定のために、胸高直径や樹高の測定に加えて、樹木種名も記録するのが良い。樹木種のデータは、単純にその場所にどのような樹木が何種類生育しているかという情報だけではなく、森林タイプの区分の指標にもなる。森林の遷移段階を知る上でも重要な情報である。

また、樹木種のデータは、炭素蓄積量の推定精度の向上にも寄与する。炭素蓄積量の推定に用いるアロメトリ式では、現在、熱帯林で広域に利用できる一般式が開発されている¹⁾。プロジェクト対象地の周辺で開発されたアロメトリ式があれば、それらの式を用いることが好ましいが、見出すのは容易ではない。従って、一般式を用いることが多くなるであろう。樹木の材密度を用いる一般式では、攪乱の影響を受けた二次林から保全がなされている成熟林まで幅広く用いることができる利点がある。これら一般式を用いる場合、樹木種ごとの材密度を求めなければならないが、対応する種の材密度のデータが無い場合や、現場での樹木種同定が十分になされていないこともある。特に後者の場合、調査に携わる者の植物同定に関する能力に大きく依存することになる。そこで可能な限り種レベルでの同定を目指す一方で、属レベルでの種同定は最低限行うようにしたい。

火災や伐採などの攪乱後に再生した森林（二次林）に優占する種群では、材密度が軽い種（ $0.3\sim 0.4\text{ g/cm}^3$ ）が多いことから、材密度を考慮した一般式の適用は炭素蓄積量の過大推定を避ける意味でも有効である

国の森林参照排出レベル（FREL）改善に結びつく情報の収集

これまでに多くの国がUNFCCC（気候変動枠組条約）に森林参照排出レベルを提出しているが、森林劣化を含んでいるものは多くない。一方で、途上国の中には、森林劣化による排出量の方が、森林減少による排出量よりも多い国もあることが報告されている²⁾。すなわち、森林劣化による排出量を抑制する重要性が増しているということである。そこで、森林劣化を評価可能なモニタリングが可能となるよう、森林タイプと森林の状態を分類軸にした層化マトリックスを作成して、地上調査用のプロットを設定することを勧めたい。このように森林劣化の把握が可能となる地上調査データの集積は、森林減少を中心に設定が進められてきた森林参照排出レベルの改善の際に有用な情報となる。

また、森林タイプが樹冠被覆度によって区分されている場合がある（インドやミャンマーなど）。図1-1はミャンマーの地上調査で用いた、簡易な樹冠被覆度把握のための測定法である。40m四方の方形区内の10m間隔の交点ごとに直上の状態を確認し、樹冠被覆度を計算するものであり、図の場合、樹木による被覆（Closedと判定）は、64%となる。森林タイプの区分には、衛星画像の判読結果との整合性が必要となるが、地上調査による樹冠被覆度のデータ集積は、分類精度の向上に大きく寄与するものとなり、森林炭素蓄積量の推定精度の向上にも繋がる点で大きな意味がある。

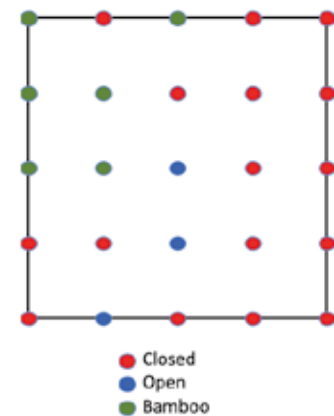


図1-1 簡易な樹冠被覆度の測定法

Annexとの関連性

- 地上調査用のプロットの設定方法ならびに測定項目については、Annex Vol. 1にて詳しい解説がなされている。
- 森林タイプによっては、既存のアロメトリ式の適用が困難な場合がある。新たにアロメトリ式を作成する場合、Annex Vol.2にて解説している破壊調査法を用いることができる。ただし、破壊調査には多大な労力と資金が必要である。

より理解を深めるために（参考情報）

【材密度のデータベース】

Zanne, Amy E. et al. (2009), Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum, Dryad, Dataset, <https://doi.org/10.5061/dryad.234>
(熱帯域の8412の分類群にわたる樹木の材密度のデータベース)

【各国から提出された森林参照排出レベル】

UNFCCC REDD+ WEBPLATFORM

<https://redd.unfccc.int/fact-sheets/forest-reference-emission-levels.html>

(各国（2019年11月時点で40か国）から提出された森林参照レベルがまとめられている)

ポイント 2 樹木だけではないモニタリング

背景

REDDプラスプロジェクトの対象地に含まれる森林タイプは様々であり、その構成種にはタケやヤシ、マングローブなどのように計測の難しい樹種が含まれることがある。これらの樹種は林分の炭素蓄積量を把握するうえで無視できない量がある場合もあるが、地上調査に手間がかかるため、それらの種の生活型を考慮した効率的な調査手法が求められる。

ここがポイント

- 効率的にサンプリングすることで全数調査と同程度の精度でバイオマス量の推定が可能となり、調査時間も大幅に縮減できる。
- タケについては、同種であればサイズ構造が一様であるため、ひとつの樹種につき30本程度の直径を計測することでそのサイトの平均的なバイオマス量を算出し、残りは本数を数え総数を乗じることで総バイオマス量を推定できる。

解説

森林の減少や劣化を把握するためには地上調査によるモニタリングが必要不可欠である。一方で、地上調査の対象には、計測が困難な樹種（例えばタケ、ヤシ、マングローブ）なども含まれることが多くあり、調査時間やコストが増長してしまう。また、これらの森林タイプについても森林と定義する国が多く、対象区での森林減少・劣化の指標種となることが多い。ここでは、タケを事例として省力的な調査手法について示す。

サンプリングによるタケのバイオマス量推定

森林総合研究所が調査したミャンマーでの対象地（Paung Laung保護林）における森林被覆には、樹木だけではなくタケが多く含まれ、これまでに地上調査を行った約7割のプロットにおいてタケが出現した。これらの調査地では1プロットあたり3,600本/haのタケが調査対象となり、最大約16,000本/haのタケが対象となった。熱帯地域において開発されているタケのアロメトリ式は、直径や断面積に係数を乗じることでバイオマス量が算定されることが多いが^{1,2,3}、タケは密に繁茂するため、全桿を対象とするタケの直径計測によって、他の木本種の測定も含めた調査時間が長くなり、コスト増につながる。

一方で、タケは樹木とは異なり、毎年肥大成長を行わないため、群落単位で比較的均質なサイズ構造をしている。そのため、1つのプロットに出現する全てのタケの直径を計測するのではなく、種ごとに何本かの直径を計測し、各種の1本あたりの平均バイオマス量をアロメトリ式から推定し、その総本数を乗じて総バイオマス量を推定することが可能となる。精度良くタケをサンプリングする手法を検討した結果、1つの樹種につき30本の直径を測定し、残りは本数のみ数えることで、全桿を計測した場合とサンプリングによって全体を推定した場合の総バイオマス量の誤差は1割未満となり、調査の省力化を図ることが可能であることが明らかとなった。

直径を計測するタケのサンプリング方法と省力時間

熱帯地域でのタケは株立ちで点在することが多く、株に多くのタケが密生する。直径を計測するタケはできるだけ全体を見渡し平均的なサイズの桿を選ぶことでバイオマス推定精度が保たれる。計測本数の目安は30本であるが、多ければ多いほど推定精度は向上するため、選桿に自信が無い場合はさらに追加的に計測すると良い。株内部は特に計測が困難であるため、計測のしやすい桿を選択的に計測することができる。

対象地において、直径計測時間と竹桿本数カウント時間を測り、どの程度調査時間が縮減できるか試算した（図2-1）。その結果、概ね竹桿1,000本につき約6.7人・時の調査時間が省力可能であることが明らかとなった。調査時間はコストに直結するため、プロジェクトによる排出係数（単位面積当たりの炭素蓄積量）を算定するのに有用な情報となる。

以上のように、種の生活型を上手に利用しサンプリングすることで、計測の困難な地上調査対象種について精度良く炭素蓄積量を計測することが可能となり、調査時間とコストの短縮が可能となる。

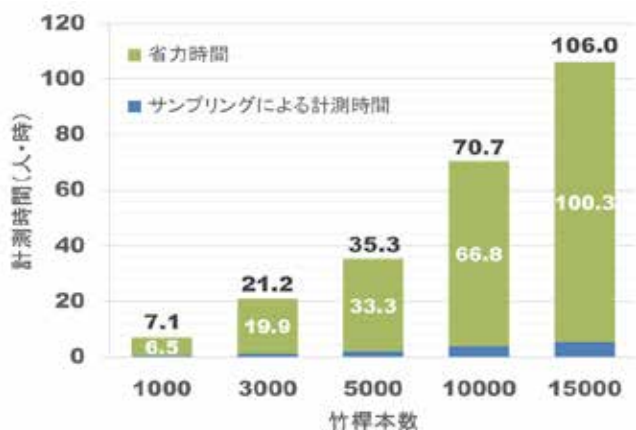


図2-1 効率的なサンプリング計測による計測時間と竹桿本数の関係

図中の黒字は全桿を計測した時間、白抜きはサンプリング計測によって省力できた時間を示す

Annexとの関連性

- 地上調査用のプロットの設定方法ならびに測定項目については、Annex Vol. 1にて詳しい解説がなされている。
- 森林タイプによっては、アロメトリ式が開発されていない場合がある。新たにアロメトリ式を作成する場合、Annex Vol.2にて解説している破壊調査法を用いることができる。ただし、破壊調査には多大な労力と資金が必要である。

より理解を深めるために（参考情報）

【タケの上手なサンプリング方法】

Kitahara, F., Sato, T., Win, B.N., Takao, G., Win, T.T., Maung, K.W. and Latt, H. (2019) Examination of bamboo measurement method for biomass estimation in the Paung Laung Reserve Forest, Myanmar. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* 41(1): 32–39.

ポイント 3 森林劣化を把握する

背景

現在、森林劣化による温室効果ガス排出量が森林減少による量よりも多い国が少なからずあるという報告がある¹⁾。また、伐採などで一旦森林劣化が進んだ場所は森林減少に移行しやすいともいわれている²⁾。REDDプラスの実施をより現実的なものにするためには、森林劣化を把握する事が重要である。しかし、森林減少が森林面積の変化で計測できるのに対して、森林劣化はわずかな樹冠被覆や森林構造の変化をとらえなければならず計測が困難である。

ここがポイント

- 樹冠被覆が同程度でも、森林劣化が進んだ森林とそうでない森林とでは樹木種組成が大きく異なる場合があるため、地上調査における樹木種の組成情報の取得が森林劣化を評価するために重要である。
- 標高差が大きな地域では、森林タイプ自体が変化することで森林劣化でなくとも炭素蓄積量や樹木種組成が変化するので注意が必要である。
- REDDプラスの活動を通じて、炭素蓄積量評価と生物多様性保全を両立できる。

解説

REDDプラスにおいて森林劣化を把握する場合にも、森林減少を把握する場合と同様に炭素蓄積量の変化を測定することが基本となる。対象地域の規模が小さく、地域内でひとつの森林タイプのみを想定できる場合には、単純に炭素蓄積量の変化を森林劣化の指標として考えることができる。このため、国・準国レベルよりもプロジェクトベースの事業の方が森林劣化の把握を実施しやすい側面もあるかもしれない。ただし、リモートセンシング技術による森林劣化の広域評価では、炭素蓄積量の変化を樹冠被覆のわずかな変化としてとらえなければならず、森林減少のみの評価よりも技術的なハードルが高い。しかし、森林劣化の計測自体が困難でも、REDDプラス活動を通じた地域の樹木種データは、地域の生物多様性保全や森林生態系の管理指針等に貢献する重要なデータとなり得る。

以下では、プロジェクトベースの事業において森林劣化評価を行う際に留意すべき点を地上調査の観点から解説する。

森林劣化の基本指標は炭素蓄積量の変化だが、樹木種組成も重要

REDDプラス活動は森林の機能を活用した温室効果ガス排出削減の取り組みであり、森林劣化の把握においても炭素蓄積量の変化を計測することが基本となる。森林劣化の計測は、主としてリモートセンシング技術（ポイント4を参照）を用いて樹冠被覆のわずかな変化を計測することと地上調査に基づく炭素蓄積量推定によって実現される（ポイント1を参照）。しかし、樹冠被覆が同程度でも、森林劣化が進んだ森林はそうでない森林とくらべて樹木種組成が異なる場合も多い。これは、森林劣化が進んだ森林では伐採や火災などの攪乱に依存した樹種（先駆種またはパイオニア種、東南アジアでは*Macaranga*属、南米では*Cecropia*属など）の優占度が高くなることによる。このため、森林劣化評価を念頭においた地上調査では、樹木の直径や樹高といったサイズのデータだけでなく樹木種の情報を記録することが重要である（写真3-1）。ただし、同じ属でも種によっては原生林の林内に生育するものもあるため、属レベルを基本としつつ、可能な限り種レベルの同定が望ましい（ポイント1を参照）。

標高差の大きい地域では注意が必要

森林劣化の評価において、山岳地域など対象地域内の標高差が大きい場合には炭素蓄積量と樹木種組成の扱いに注意が必要である。森林の現存量（炭素蓄積量）は標高が高くなるにつれて減少するのが一般的である（図3-1）。また、異なる標高域で樹木種の分布も異なるため、樹木種組成や森林タイプも標高とともに変化する。このため、対象地域の森林の炭素蓄積量や樹木種組成の違いが森林劣化によるものか標高差によるものかの区別が困難になる。このような場合には、地域の樹木種組成や森林タイプの垂直分布情報などにもとづいて、複数の標高帯に区分けする方法が考えられる³⁾。同一の標高帯であれば、森林タイプも同じであるとみなし、炭素蓄積量や樹木種組成の変化を森林劣化の指標ととらえることが可能である^{4),5)}。

REDDプラスと生物多様性保全

先に述べたように、森林劣化の計測は技術的に困難なため、当面は森林減少の計測にのみ限定して実施されることも多いであろう。しかし、森林劣化の計測が困難であっても、REDDプラス活動は地上調査による対象地域の樹種組成データの蓄積と活用を通じて生物多様性保全に貢献し得る。マレーシア・サバ州では、木材生産林における持続可能な森林管理を通じた森林炭素蓄積量の増強と生物多様性保全の両立の実践に取り組んでいる⁶⁾。REDDプラス活動が生物多様性に負の影響を及ぼさないように配慮することがREDDプラスの制度的な枠組みのひとつとして組み込まれておりこれを環境セーフガードとよぶ（ポイント6を参照）。



写真3-1 調査プロット内の測定木を樹種同定する様子（上）と先駆種の *Cecropia*（ペルー）。

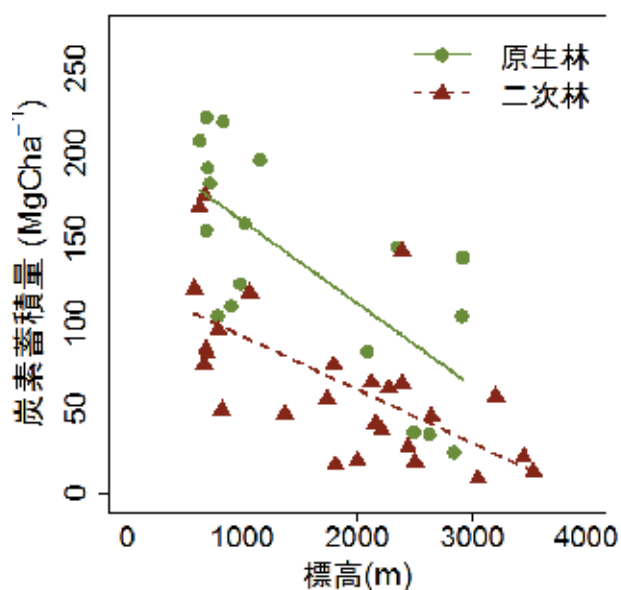


図3-1 標高と炭素蓄積量の関係の変化 (Miyamoto et al. ³⁾を改変)。炭素蓄積量は、樹木の地上部と地下部（根）における炭素蓄積量の合計

Annexとの関連性

- 炭素蓄積量推定および樹木種同定を含む地上調査の方法については、Annex Vol. 1にて詳しい解説がなされている。
- REDDプラスの活動と生物多様性保全との関係についてはAnnex Vol. 6にて関連する解説がなされている。

ポイント 4 森林変化を捉えるリモートセンシング技術

背景

プロジェクトベースでの活動を正しく評価するためには、活動期間における森林の変化を正確に捉える必要がある。REDDプラスを実施している国では森林参照排出レベルを定めるために森林マップが作成されるが、作成頻度が低いことからプロジェクトの活動範囲内における森林変化を的確に評価できない。またサンプリングによって土地被覆変化量を求めている国もあり、こうした国ではプロジェクト独自に森林変化を求める必要がある。

ここがポイント

- プロジェクトで、広域での森林減少及び森林劣化の抑制による排出量削減の効果を確かめるためには、リモートセンシングによるモニタリングが不可欠である。
- プロジェクトの実施期間における効果を適切に評価するためにはプロジェクト独自に森林変化を求める必要がある。国全体を面的にマッピングしていない国ではプロジェクト独自に森林変化を求める必要がある。

解説

REDDプラスにおいて温室効果ガス排出量を算出する上で森林面積は重要な変数であり、またその変化を捉えることは、森林減少を直接に計測することでもある。広域に分布する森林の変化を捉えるためには衛星画像などを用いたリモートセンシング技術が有効である。実際、これまでの途上国における森林分布図の作成には、Landsat衛星をはじめとする衛星画像を用いたリモートセンシング技術が活用されてきた。

ここでは、プロジェクトベースでの森林モニタリングに重要となる森林変化を捉えるためのリモートセンシング技術について解説する。

利用する衛星データ

現在、光学衛星では、Landsatシリーズ（空間分解能30m）やSentinel-2（空間分解能10m）と言った中分解能衛星画像が無償で利用できることから途上国の森林マップ作成には広く用いられている。これらの衛星は、マルチスペクトル情報を利用したデジタル解析により自動的に森林分類図を作成できるほか、目視による判読作業によっても森林分布図が作成されている。

プロジェクトレベルでの森林のモニタリングのために高額な高解像度衛星データを利用することは現実的ではない。しかし、高解像度画像を用いることにより、中分解能衛星画像では捉えることができない地物や土地利用が判読できるため教師データの取得や解析結果の検証のために部分的に用いることは地上での調査を省力化できるため有効である。

合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar) は能動型センサであることから夜間も観測でき、またレーダ波は雲を透過するため天候に関係なくデータを取得できる。特にL-band SARデータは樹木の幹からの体積散乱を観測するため森林変化の抽出に適している。地形の起伏の大きい場所での利用は制限されるが定期的な観測が可能であることから森林変化を捉えるのに有効なセンサである。

解析の方法

衛星画像を利用した森林分布図の作成は、主に人が目視により判読を行う方法とコンピュータによる自動分類の2つの手法が用いられている。実際、多くの途上国では目視による画像判読により森林分布図が作成されている。過去には、印刷した画像にトレーシングペーパーを被せてペンでなぞるなどして判読していた。現在はコンピュータ上に衛星画像を表示し、その都度、バンドの組み合わせを変更し、過去の土地被覆や空中写真などを参照しながら判読を行っている。

コンピュータによる自動分類は、従来ピクセルベースで各バンドの画素値を統計的手法により分類していたが、画像を予めオブジェクトと呼ばれる領域に分割してから分類するオブジェクトベース分類も用いられている（図4-1）。オブジェクトベース分類はピクセルベースでの分類より目視判読に近い結果が得られるという利点がある。

また近年では、分類手法として統計的な手法だけでなく、サポートベクターマシン、ランダムフォレスト、深層学習などの機械学習の手法が取り入れられている。

いずれの手法を用いるにしても適切な教師データが必要であり、その精度評価のための検証データが重要である。このため、リモートセンシング技術の活用にはグラントゥールス調査も重要である。

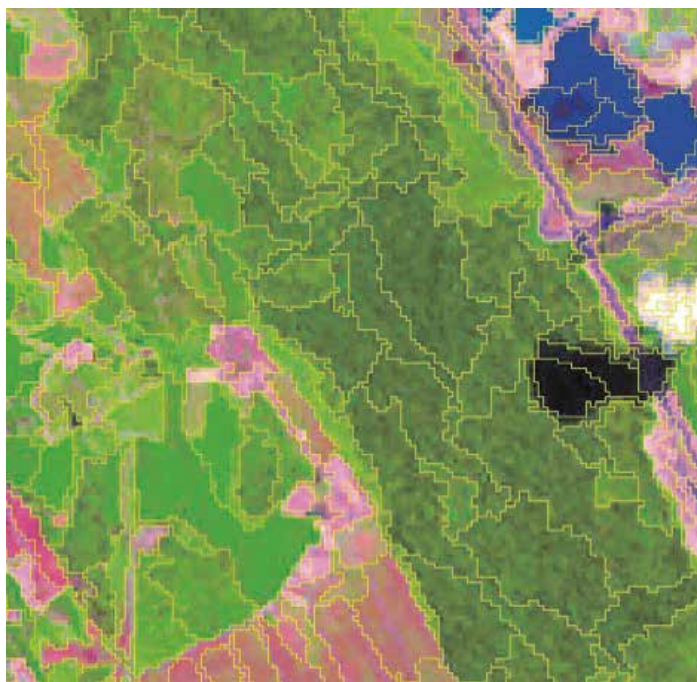


図4-1 Landsat画像のオブジェクトベース分類の例

Annexとの関連性

- リモートセンシングを用いた面積推定全般についての解説は、REDD-plus Cookbookの「Recipe - P08 リモートセンシングを用いた面積推定」に詳しい解説がなされている。
- リモートセンシングを用いた森林面積の推定に必要な衛星画像解析については、Annex Vol. 5に詳しい解説がなされている。
- 衛星画像の解析に必要なグラントゥールスデータを取得するための調査法についてはAnnex Vol. 4に詳しい解説がなされている。

ポイント 5 効率的な検証が鍵

背景

広域にひろがるREDDプラスプロジェクトエリアで森林変化を捉えるためにはリモートセンシング技術の利用が有効である。リモートセンシング技術を用いることで効率的に森林分布図や森林変化を作成することが可能であるが、その信頼性については精度検証を行う必要がある。そこで必要となるのが検証データであり、これを効率的に収集することがリモートセンシング技術利用において重要である。

ここがポイント

- 衛星画像から得られた森林分布図や森林変化には、精度検証が必要である。
- 精度検証には、システムティック、あるいはランダムに収集された検証データを利用する必要がある。

解説

リモートセンシング技術で作成された森林分布図や森林変化図を利用して、プロジェクトで実行された森林減少および森林劣化対策の評価を行うためには、リモートセンシング技術で作成された結果の妥当性を示す必要がある。それが精度検証である。精度検証は、一般的にグラントゥルースから得られる検証データを用いて判別効率表を作成して行う。ここでは、プロジェクトベースで実行可能な効率的な検証データ収集法について解説する。

コレクトアース (Collect Earth) の利用

精度検証の際には恣意性を排除するため、リモートセンシング技術を活用して作成された森林分布図、森林変化図の範囲の中からシステムティックあるいはランダムに検証地点を選定する必要がある。FAOでは、この作業を効率的に行うためにCollect Earthというツールを提供している (<http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>)。Collect Earthを利用することで、任意の大きさのシステムティックな格子点上の土地被覆／土地利用をGoogle Earthの高解像度画像やBing mapおよびGoogle Earth Engineの画像から判読することができる。土地被覆／土地利用などの判読項目は、同じくFAOが提供するCollectというツールを用いることで設定することができる。

グラントゥルース調査

Collect Earthを用いることでGoogle Earth画像などを判読し検証データを得ることができるが、その判読精度についても検証する必要がある。このため判読した地点に、実際に行ってグラントゥルース調査を行い、Collect Earthでの判読結果を確認する必要がある。また森林劣化の程度を評価するためにバイオマス調査が必要になる場合がある。この際のグラントゥルース調査については、Annex Vol. 4で詳しい解説がなされている。これらのグラントゥルース調査を実行することで、アクセス可能な範囲ではあるがシステムティックに選定された地上調査による検証データを得ることができる。

判読ノート

Collect Earthでの判読結果、判読画像、および地上調査の現地写真、土地被覆／土地利用情報、森林タイプ、森林地上部バイオマス量をまとめることにより、Collect Earthでの判読の参考となる判読ノートを作成することができる（図5-1）。またGoogle Earth Engineを用いることで地上調査時点のLandsat画像などの収集も容易となっており、こうした画像をまとめることでLandsat画像のための判読ノート作成も可能である。

1 2	Location	Date	Plot ID	UTM		Interpretation		Photos Direction				Google Earth	Satellite image
				X	Y	Google Earth	Field	North	East	South	West		
3	Stung Treang	15-12-2016	7155	614990	1533000	EF	DF						
4	Stung Treang	15-12-2016	7741	617987	1523099	EF	SE						
5	Stung Treang	15-12-2016	7937	621005	1521003	EF	SE						
6	Stung Treang	15-12-2016	8318	593996	1515002	DF	EF						
7	Stung Treang	15-12-2016	8715	614996	1508995	Secondary forest	DF						
8	Stung Treang	15-12-2016	8905	600002	1506003	DF	DF						
9	Stung Treang	15-12-2016	8910	615001	1506002	DF	DF						

図5-1 判読ノートの一例

Annexとの関連性

- 検証システムに必要なグランドトゥルース調査については、Annex Vol. 4に詳しい解説がなされている。

より理解を深めるために（参考情報）

【FAO, Open Foris Collect Earth 1.1.1 User Manual】

http://openforis.org/fileadmin/user_upload/Collect_Earth_Tutorials/Collect_Earth_User_Manual_20150618_highres_full.pdf (2019年12月6日)

【FAO, Open Foris Collect Handbook】

http://www.openforis.org/fileadmin/docs/collect/OF_Collect_MANUAL_October_2019.pdf (2019年12月6日)

ポイント 6 社会と環境によりやさしいREDDプラスのために

背景

発展途上国の森林は生物多様性の宝庫であると共に、地域の人々の生活や文化と密接な関わりを持っている。森林が有する炭素以外の多様な価値をREDDプラスが保全し増強していけるよう、セーフガードと呼ばれる様々な配慮事項が定められている。

ここがポイント

- セーフガードは国際的に合意された7項目のことを主に指すが、プロジェクトにおける具体的な配慮事項は参加するスキームや実施国が個別に定める要件に従う必要がある。
- プロジェクトを実施するにあたっては、特に先住民族および地域社会の人々の知識・権利の尊重と効果的な参加（社会セーフガード）と、生物多様性や生態系サービス、社会・環境的便益の保全と増強（環境セーフガード）が求められる。これらはプロジェクトの成否を左右するだけでなく、付加価値を創出する機会でもある。

解説

REDDプラスにおけるセーフガードとは、気候変動緩和策としての効果を損なう事態や、社会や環境へ負の影響を与えるような活動を回避することなどを目的とした様々な配慮事項の総称である。実施国は、国連気候変動枠組条約の第16回締約国会議（COP16）において合意された7つの項目（表6-1）について対処・配慮することが求められている。また、各国はセーフガード情報提供システム（Safeguard Information System; SIS）を用いて、その取組状況を開示することとなっている。

表6-1 7つのセーフガード項目（1/CP.16 附録I 第2条；森林総合研究所仮訳）

項目	分類 ^{注1}
(a) 国家森林プログラムや関連する国際条約を補完し、または一貫性を保った活動	森林ガバナンス
(b) 実施国の法令および主権を踏まえた、透明かつ効果的な国家森林ガバナンス構造	
(c) 関連する国際的な義務、各国の事情や法制度を踏まえ、 UNDRIP （先住民族の権利に関する国連宣言）を国連総会が採択したことに留意した、先住民族や地域社会の人々の知識や権利の尊重	社会
(d) 本決定の第70条および72条に参照される活動 ^{注2} における、関連するステークホルダー、特に先住民族や地域社会の人々の全面的で効果的な参加	環境・社会
(e) 天然林の保全および生物多様性保全と一貫性を保ち、天然林を転換せず、天然林および生態系サービスの保護・保全に関するインセンティブを付与し、さらに社会・環境的便益の増強となるような行動	
(f) 反転リスクに対処する活動	
(g) 排出の移転を抑制する活動	気候

^{注1}表の分類は森林総合研究所による

^{注2}森林減少からの排出の削減、森林劣化からの排出の削減、森林の炭素蓄積の保全、森林の持続可能な管理、森林の炭素蓄積の増強の5つの活動を指す

REDDプラスには様々なスキームが存在するが、そのほぼ全てにおいて、国際合意である上述の7項目を基礎としながら、国際開発事業や環境認証等で適用される社会・環境基準を踏まえたセーフガード要件が設定されている。二国間クレジット制度（JCM）では、日本政府と相手国政府との間で定められる「セーフガード促進・支援ガイドライン」がこれに該当する。

ここでは、プロジェクトにおけるセーフガードへの対処の中核をなす社会セーフガードと環境セーフガードについて解説する。

社会セーフガード

セーフガード7項目のうち、先住民族および地域社会の人々の知識や権利を尊重すること（項目c）、彼らを含めた全てのステークホルダーの参加を促進すること（項目d）、さらに社会的便益を増強すること（項目e）の3項目は、しばしば「社会セーフガード」と呼ばれる。発展途上国の森林地域には、森林と密接な関わりをもつ先住民族をはじめとした地域住民が居住しており、彼らの権利や知識、便益を損なうような活動を行わないよう十分に配慮する必要がある。さらに全面的で効果的な参加を促進することで、彼らの意見を森林管理に直接反映できるようにすることが期待されている。先住民族の法的な権利が明確ではない国・地域では、慣習的権利や伝統的な意思決定手段などを十分に尊重する必要がある。また、プロジェクト地域の人々を対象とした「自由意志による、事前の、十分な情報に基づく同意（FPIC）」を得ることが必須とされており、不服申立て制度と合わせて、脆弱な立場に置かれやすい人々の手続き的権利を保障する手段として位置づけられている。REDDプラスが潜在的に提供できる社会的便益は多岐に渡るが、主なアプローチとして、機会の提供（仕事や収入、教育）、セキュリティの向上（土地や資源に係る権利、生態系サービスなど）、権限の移譲（土地利用に関わる意思決定への参加や社会資本の整備）が挙げられる¹⁾。

環境セーフガード

環境セーフガード（項目e）では、生物多様性および生態系サービス等の環境的便益の保全と増強を謳っている。特に天然林を植林地や農地などに転換せず保全することが強調されている点と、上述の社会的便益と環境的便益がセットで述べられている点が特徴である。REDDプラスがもたらす炭素以外のこれらの便益（非炭素便益または相乗便益）は早くから着目されており、プロジェクトの付加価値を創出する機会でもある。REDDプラスが生物多様性や生態系サービスの保全に貢献していることを示すためには、対象地域の中で保全上重要な場所を特定し、その保全に役立つように活動を設計し、モニタリングする必要がある。社会的・環境的便益を増強する場合は、対象の便益とその受益者を特定し、利益配分の公平性を心がけるなど、社会セーフガードについても同時に十分に配慮する必要がある。こうした社会的・環境的便益は途中からプロジェクトに組み込むよりも、設計当初から活動の中に位置づけた方が効率も効果も高いことが指摘されている²⁾。

Annexとの関連性

- 社会セーフガードについては、Annex Vol. 3にて詳しい解説がなされている。
- 環境セーフガードについては、Annex Vol. 6にて詳しい解説がなされている。
- 二国間クレジット制度（JCM）に対応したセーフガードのチェックリストについては、Annex Vol. 7にて詳しい解説がなされている。

より理解を深めるために（参考情報）

【セーフガードガイドブックおよび事例集】

「REDD+のためのセーフガードガイドブック」

「REDD+のためのセーフガード事例集 2015」

http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/safeguard/index_ja.html

（「ガイドブック」ではセーフガード全体がより詳しく解説され、「事例集」では先行プロジェクトの取り組みが紹介されている）

【プロジェクトレベルの基準・指標】

CCBスタンダード（気候・地域社会・生物多様性プロジェクト設計スタンダード）

<http://www.climate-standards.org/>

（プロジェクトを対象としたセーフガードの認証制度で、セーフガードに関する具体的な基準・指標や評価ツールなど、認証を取得しない場合でも参考になる資料が提供されている）

より長期のモニタリングを目指して

プロジェクトの成果は、対策で得られた排出削減量によって評価される。したがって、プロジェクト対象地の森林炭素蓄積量を如何に正確にモニタリングできるかが重要となってくる。加えて、そのモニタリングが測定精度を低減させずに、長期間に渡って持続できるかも重要である。それでは、長期にわたる森林炭素モニタリング体制はどのようにして構築できるのでしょうか？

ポイントは二つある。一つは地元住民参加型のモニタリング方法を確立することである。もう一つはそれらモニタリングの測定を可能とする知識と経験を地元住民にトレーニングを通じて付与することである。

この二つのポイントは、切り離すことのできない関係にある。例えば、地元住民による森林炭素蓄積量の計測を実施した場合、問題となるのはその測定精度であろう。これまでにいくつかの地元住民参加型の森林炭素蓄積量測定のための計測が実施されているが、適切なトレーニングを受けた地元住民の計測データからは高精度な基準を満たす結果が得られることが報告されている¹⁾。地元住民が森林の多面的機能の意義を理解し、森林の保全がコミュニティにもたらすメリットを共有できれば、REDDプラスに対する理解もより深まることが期待できる。

地元住民の能力向上のためには、トレーニングが必要であるが、それを実施するトレーナーの存在も重要である。Cookbook Annexは、現場での使用を想定して作成された調査マニュアルなので、トレーナーが地元住民に調査のための訓練をする際にぜひ活用していただきたい。



地元住民に国家森林資源調査（NFI）への理解を求め
るポスター（2015年3月撮影 ペルー共和国）



Cookbook Annexを用いた地元技術者へのトレーニングの様子（2017年1月撮影 インド）

【ポイント1】

- 1) Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WBC, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martínez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Pélissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G (2014) Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20: 3177-3190.
- 2) Pearson, T. R. H., Brown, S., Murray, L., and Sidman, G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12(1): 3.

【ポイント2】

- 1) Chan, N., Takeda, S., Suzuki, R. and Yamamoto, S. (2016) Assessment of biomass recovery and soil carbon storage of fallow forests after swidden cultivation in the Bago Mountains, Myanmar. *New Forests* 47(4): 565-585.
- 2) Kiyono, Y., Ochiai, Y., Chiba, Y., Asai, H., Saito, K., Shiraiwa, T., Horie, T., Songnoukhai, V., Navongxai V. and Inoue, Y (2007) Predicting chronosequential changes in carbon stocks of pachymorph bamboo communities in slash-and-burn agricultural fallow, northern Lao People's Democratic Republic. *Journal of Forest Research* 12(5): 371-383.
- 3) Singh, A.N. and Singh, J.S. (1999) Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. *Forest Ecology and Management* 119(1-3):195-207.

【ポイント3】

- 1) Pearson, T. R. H., Brown, S., Murray, L., and Sidman, G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management* 12(1): 3.
- 2) Asner, G.P., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M., Knapp, D.E. and Silva, J.N.M. (2006). Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America* 103(34): 12947-12950.
- 3) Miyamoto, K., Sato, T., Arana Olivos, E.A., Clostre Orellana, G. and Rohner Stornaiuolo, C.M. (2018). Variation in tree community composition and carbon stock under natural and human disturbances in Andean forests, Peru. *Forests* 9(7): 390.
- 4) Imai, N., Tanaka, A., Samejima, H., Sugau J. B., Pereira, J. T., Titin, J., Kurniawan, Y. and Kitayama, K. (2014). Tree community composition as an indicator in biodiversity monitoring of REDD. *Forest ecology and Management* 313: 169-179.
- 5) Ioki, K., Tsuyuki, S., Hirata, Y., Phua M.-H., Wong, W. V. C., Ling, Z.-Y., Johari, S. A., Korom A., James, D., Saito, H. and Takao, G. (2016) Evaluation of the similarity in tree community composition in a tropical rainforest using airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment* 173: 304-313.
- 6) Kitayama, K. (2013) *Co-benefits of sustainable forestry: Ecological studies of a certified Bornean rain forest*. Springer. 161pp.

【ポイント6】

- 1) Lawlor K., Madeira E., Blockhus J. and Ganz, D. (2013) Community Participation and Benefits in REDD+: A Review of Initial Outcomes and Lessons. *Forests* 4: 296-318.
- 2) Panfil, S.N. and Harvey, C.A.(2014) REDD+ and Biodiversity Conservation: Approaches, Experiences and Opportunities for Improved Outcomes. USAID-supported Forest Carbon, Markets and Communities (FCMC) Program. Washington, DC, USA.

【さいごに】

- 1) スケープンス ヘンリー・山ノ下 麻木乃・藤崎 泰治 (2012). REDD+のためのコミュニティ主体の森林モニタリング：現場から得られた教訓と考察. IGESポリシーブリーフ No.22.

REDD研究開発センターによる刊行物一覧

技術解説書REDD-plus COOKBOOK

- REDD-plus COOKBOOK - How to Measure and Monitor Forest Carbon - 【日本語版】
REDD-plus COOKBOOK - How to Measure and Monitor Forest Carbon - 【英語版】
REDD-plus LIBRO DE RECETAS – Cómo Medir y Monitorear el Carbono en los Bosques- 【スペイン語版】
REDD-plus COOKBOOK – Comment mesurer et suivre le carbone forestier- 【フランス語版】

URL: http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/index_ja.html

REDD-plus COOKBOOK Annex

- 調査マニュアルVol. 1 地上インベントリ調査法
調査マニュアルVol. 2 バイオマス測定のための破壊調査法
調査マニュアルVol. 3 社会セーフガード解説
調査マニュアルVol. 4 グラントゥールス調査法
調査マニュアルVol. 5 リモートセンシングを用いた面積推定のための衛星画像解析法
調査マニュアルVol. 6 環境セーフガード解説
調査マニュアルVol. 7 プロジェクト組成・実施・拡大手順 一排出削減努力が適切な評価を受けるために一
調査マニュアルVol. 8 排出削減量モニタリングのためのプロジェクト方法論設計手順

英語版はVol. 1から6まで発行 スペイン語版は Vol. 1から2まで発行

URL: http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook_annex/index_ja.html

セーフガード・ガイドブック/事例集

- REDD+のためのセーフガード・ガイドブック
REDD+のためのセーフガード事例集2015
REDD+ Safeguard Approaches 2014 (英語版事例集)

URL: http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/safeguard/index_ja.html

執筆者

ポイント1	佐藤 保
ポイント2	北原文章
ポイント3	宮本和樹
ポイント4	齋藤英樹
ポイント5	齋藤英樹
ポイント6	古川拓哉・江原 誠
さいごに	佐藤 保



森林総合研究所は、森林・林業・木材産業等の幅広い研究を通して、国連の持続的な開発目標（SDGs）の達成に積極的に貢献しています。



発行日
発行
本書の引用記載

令和2年2月28日
国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD 研究開発センター
森林総合研究所 REDD研究開発センター (2020) 森林炭素モニタリング 6つ
のポイント. 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD研
究開発センター, 17pp.