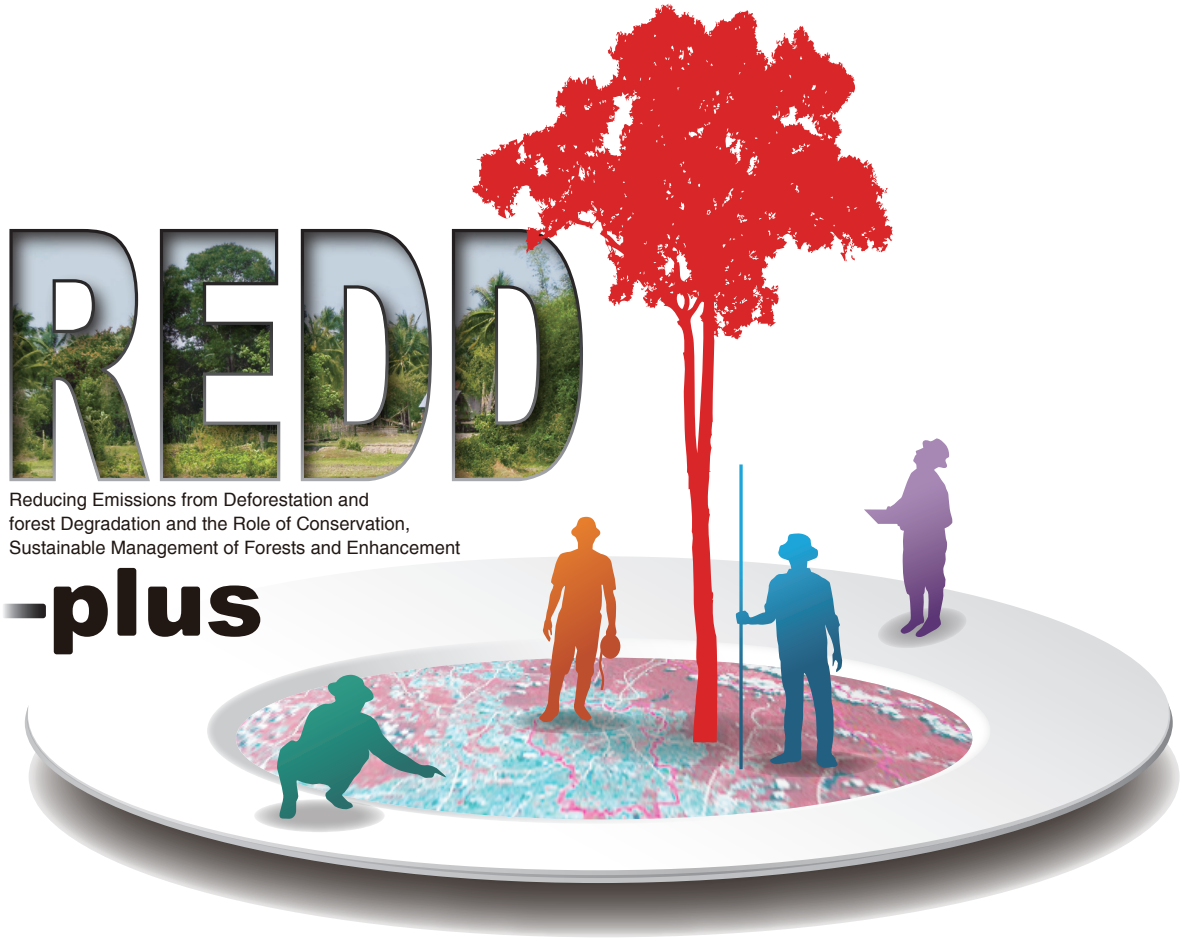
ISBN 978-4-905304-13-5



COOKBOOK

HOW TO MEASURE AND MONITOR FOREST CARBON

独立行政法人 森林総合研究所REDD研究開発センター
FFPRI REDD Research and Development Center Japan

森林総合研究所　第 3 期中期計画成果 4（森林機能発揮 -2）

はじめに

発展途上国における森林減少・森林劣化に由来する CO_2（二酸化炭素）の排出量は、人為活動による排出量全体の約 2 割を占め、化石燃料の使用に次ぐ大きな排出源となっています。このため、森林減少と森林劣化からの排出を削減するための国際的な制度として REDD プラスの構築が議論されています。当初は国連気候変動枠組条約の下で将来の温暖化緩和策の一つとして議論されていましたが、現在では二国間、多国間、民間ベース等での活動が先行的に拡がりを見せています。

REDD プラスは、途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組みによる CO_2 の排出削減、森林保全等（「プラス」活動）による CO_2 の排出防止および炭素固定による大気中の CO_2 の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるというのが基本的な考え方です。このため、排出削減量の評価には科学的なアプローチによって森林炭素の変化量をモニタリングすることが求められます。

本書は、REDD プラスに取組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目して平易に説明した技術解説書です。全体は「導入編」、「計画編」、「技術編」、「参照編」の 4 部で構成されています。「導入編」は国／準国レベルでの REDD プラスの導入に取り組む政策立案者およびそのパートナー機関、「計画編」は国／準国レベルおよびプロジェクトレベルで REDD 活動の計画に取り組む実施者、「技術編」は国／準国レベルおよびプロジェクトレベルで REDD 活動に携わる技術者を想定しています。また、「参照編」は「導入編」及び「計画編」で紹介する内容をより深く理解するために役立つ文献を紹介しています。「導入編」と「計画編」、あるいは「計画編」と「技術編」を組み合わせて読んでいたくことで、より理解を深められるように構成されています。

「導入編」、「計画編」、「技術編」では、REDD プラスに取組む上で必要となる知識や技術に関する項目を、Recipe (レシピ) という解説の単位でとりまとめました。各レシピに記述された項目はフローチャートにしたがって、さらに先のレシピあるいは参考文献へと読み進めるようになっています。また「参照編」では、実際のプロジェクトおよびプログラムを設計・実施する上で、利用者が現実的かつ実践的な対応方法を模索する際に参考となる提案や事例を示すことで、実際の現場に役立つ情報を提供することを目指しています。

本書を通して、REDD 研究開発センターが、世界各地での REDD プラスの推進に貢献できればと願っています。

2012 年 11 月

独立行政法人　森林総合研究所
REDD 研究開発センター

目　次

REDD プラス フローチャート 6

導入編 7

第 1 章　REDD プラスとは 8

Recipe - I01　REDD プラスの歴史と現在の動き 10
REDD プラスとは / 科学的背景 / 歴史的な経緯 /UNFCCC での REDD プラスの現状 /
UNFCCC 以外での取組み / 今後の課題

Recipe - I02　REDD プラスの重要な概念 14
森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義 / 対象のスケール / 参照排出レベルと参照レベル /
温室効果ガス、森林炭素蓄積および森林面積の MRV/ クレジット / フェーズドアプローチ /
セーフガード

第 2 章　森林モニタリングシステムの設計 20

Recipe - I03　森林モニタリングの計測・報告・検証（MRV） 22
MRV/ 計測 / 報告 / 検証 / 森林モニタリングのシステム設計 /
森林モニタリングの MRV において考慮すべき事項

Recipe - I04　森林モニタリングシステムの設計 26
国際的合意とルールへの準拠 / 実施国の事情や制度との整合 /
実施国の能力と持続的運用可能性 / 段階的かつ柔軟な体制の構築

計画編 29

第 3 章　REDD プラス取組みのための基礎知識 30

Recipe - P01　森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義 32
森林 / 森林減少 / 森林劣化 / プラス

Recipe - P02　フェーズドアプローチ 34
第 1 フェーズ：準備 / 準備フェーズへの支援 / 第 2 フェーズ：実施 /
第 3 フェーズ：完全実施

Recipe - P03　セーフガード 38
セーフガードとは /UNFCCC におけるセーフガードの取り扱い / 環境社会セーフガード /
セーフガードへの取組みの効果・重要性 / セーフガードの制度的課題

第 4 章　森林炭素の計測・報告・検証（MRV） 42

Recipe - P04　森林炭素の計測 44
何を測るか？ / どう測るか？

Recipe - P05　森林炭素の報告 46
報告とは / 国別報告書（ナショナル・コミュニケーション）/
国家温室効果ガス目録（インベントリ）/ 隔年更新報告書、国際的な協議と分析 /
報告に求められる要件

Recipe - P06　森林炭素の検証 50
検証とは / 検証の要求事項とプロセス / 森林分野における検証の基本的なアプローチ /
REDD プラスの検証

第 5 章　蓄積変化法によるモニタリング 54

Recipe - P07　蓄積変化法 56
蓄積変化法とは / 面積推定 / 面積変化の推定 /
単位面積当たりの炭素蓄積量推定 / 炭素蓄積量合計・変化量の推定

Recipe - P08　リモートセンシングを用いた面積推定 60
データの種類とソフトウェア / データの前処理 / クラスの定義 / グランドトゥルース /
分類手法 / 分類結果の精度検証 / 面積変化の推定

Recipe - P09　単位面積当たりの炭素蓄積推定 64
入手可能な資源 / 炭素蓄積量を直接測定する方法（固定調査プロットを用いた方法）/
炭素蓄積量を間接的に推定する方法（推定モデルを用いた方法）

Recipe - P10　固定調査プロット法を用いた方法 66
固定調査プロットの必要数と配置 / 固定調査プロットの設計と計測 /
固定調査プロットのデータ解析

Recipe - P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法 68
モデルの構築と検証 / 群落高法 / 樹冠径法 / 群落齢法 / 後方散乱係数法

Recipe - P12　吸排出量の算定 70
炭素蓄積と変化量の算定 / 算定量の不確実性

Recipe - P13　参照排出レベル・参照レベル 72
参照排出レベル・参照レベルの設定 /UNFCCC における現在の議論 / 課題の整理

技術編 75

第 6 章　REDD プラス実施における前提 76

Recipe - T01　国家森林資源調査 78
国家森林資源調査とは / 国家森林資源調査のサンプリングデザイン /
国家森林資源調査のプロットと調査 / 熱帯諸国での国家森林資源調査

Recipe - T02　何を測るか？ 80
REDD プラスの対象となりうる温室効果ガス / 森林の 5 つの炭素プール

Recipe - T03　入手可能な資源 82
リモートセンシング資源 / 現地調査資源 / 資源の継続性

Recipe - T04　自主的なクレジット認証制度 84

VER 認証制度の現状 / VCS の概要 / 今後の課題

第 7 章　リモートセンシングを用いた森林面積の推定 86

Recipe - T05　データの種類と選択 88
プラットフォーム / センサ / 空間分解能、波長分解能と時間分解能 /
現在・過去・未来 / データの選択 / ソフトウェア

Recipe - T06　雲の除去・季節性の調整 94
雲の除去 / 季節性の調整

Recipe - T07　クラスの定義 96
完全かつ排他的なクラス / 求められる分類クラス / 分類後のクラスの統合

Recipe - T08　グランドトゥルース 98
グランドトゥルースとは / グランドトゥルースの位置情報と精度 / 抽出方法 / サンプル数

Recipe - T09　分類手法 100
リモートセンシングにおける分類 / 画素単位の分類とオブジェクトベース分類

Recipe - T10　精度評価 102
判定効率表と精度の指標 / 精度評価のためのグランドトゥルース

Recipe - T11　面積変化の推定 108
2 時期それぞれの分類結果の比較 / 多時期画像の一括分類による変化抽出 /
画像比較の注意点と現在の流れ

第 8 章　固定調査プロットを用いた方法 110

Recipe - T12　固定調査プロットの必要数と配置 112
求められる精度 / 必要数の求め方 / 適切な層化

Recipe - T13　固定調査プロットでの調査設計 114
調査プロットの面積 / 調査プロットの形 / 毎木調査のための準備 / 測定精度を高める工夫

Recipe - T14　固定調査プロットのデータ解析 118
アロメトリ式とは / 対象地域に適したアロメトリ式の選択

第 9 章　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法 122

Recipe - T15　モデルの構築 124
二重抽出 / 回帰モデルによる森林炭素蓄積量の間接的推定 / 精度と費用の検討 /
森林に当てはめる際の注意点

Recipe - T16　群落高法 128
群落高とバイオマスの関係 / リモートセンシングによる群落高測定 /
群落高法の推定精度に影響を及ぼす要素

Recipe - T17　樹冠径法 130
樹冠径法とは / 樹冠径とバイオマスの関係式の導出 / 樹冠径法利用に際しての注意点

Recipe - T18　群落齢法 132
群落齢法とは / 地上調査による関係式の作成 / 群落齢法のメリット・デメリット

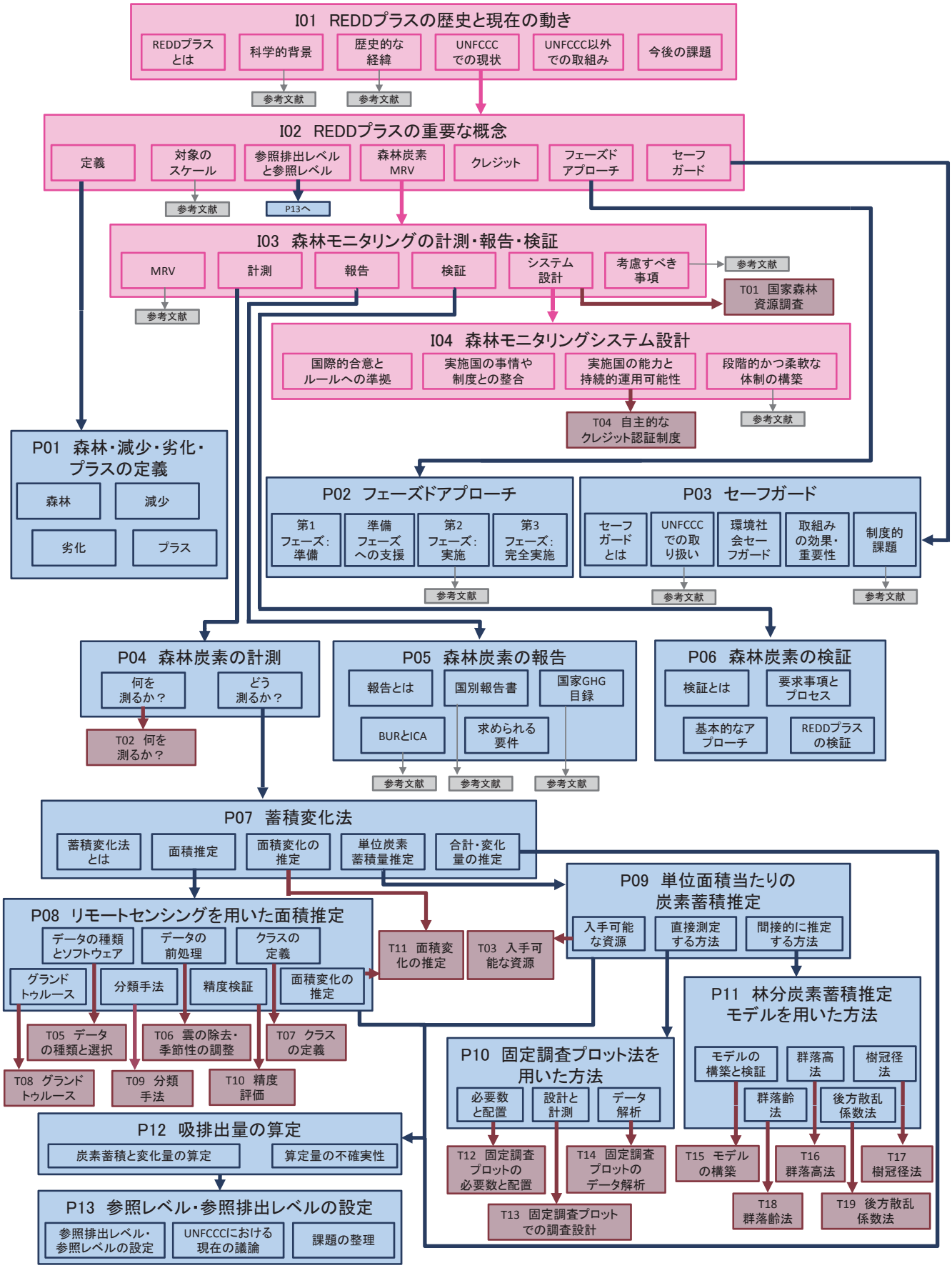
Recipe - T19　後方散乱係数法 134
後方散乱係数法とは / 現地調査による推定モデルの作成 / バイオマスの推定例 /
後方散乱係数法のメリット・デメリット

参照編 137

索　引 148

執筆者一覧 152

REDD プラス　フローチャート



導入編

1

第 1 章
REDD プラスとは

気候変動枠組条約 (UNFCCC) 第 11 回締約国会議 (COP11) において、パプアニューギニアとコスタリカから発展途上国における森林減少 (deforestation) および森林劣化 (forest degradation) からの温室効果ガスの排出削減 (REDD) が温暖化緩和策の一つとして提案された。また、COP13 においては、森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の強化のための取組みも含めることになり、これらが「プラス」と呼ばれるようになった。

本章では、UNFCCC における REDD プラスの議論の歴史的経緯、現状について述べるとともに、UNFCCC 以外での取組みを紹介する。また、REDD プラスの交渉の過程で出てきた重要な概念について解説する。

I01　REDD プラスの歴史と現在の動き
I02　REDD プラスの重要な概念

Recipe - I01

REDD プラスの歴史と現在の動き

発展途上国における森林減少・森林劣化に由来する CO_2 (二酸化炭素) の排出量は、人為活動による排出量全体の約 2 割を占め、化石燃料の使用に次ぐ大きな排出源となっている。このため、森林減少と森林劣化からの排出を削減するための国際的な制度として REDD プラスの構築が議論されている。本レシピでは、REDD プラスの科学的背景と歴史的経緯、現状を解説する。

REDD プラスとは

REDD プラスとは、森林減少・森林劣化からの排出の削減、および森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の強化の役割 (Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries) の略称である。当初は気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下での将来の温暖化緩和策に関する議題の一つを指していたが、近年では、議論が国連の枠組みにとどまらず、二国間、多国間、民間ベース等での活動が先行的に拡がるのに伴い、温暖化緩和を目的に途上国で行われる森林保全活動全般に対して広く使われている。総じて、途上国において森林減少や森林劣化の抑制等の活動を行い、それにより温室効果ガスの排出量を削減あるいは吸収量を増加させることに対して、その実績に応じて経済的なインセンティブ (クレジット、資金等) が得られるメカニズムとして理解されている。

科学的背景

途上国における森林減少・森林劣化による CO_2 の排出が全球の炭素循環に大きな影響を及ぼしていることについては、2001 年に気候変動に関する政府間パネル (IPCC) から刊行された第 3 次評価報告書 (TAR) で指摘された。また、2007 年に刊行された IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) は、1990 年代の地球上の炭素循環において、CO_2 排出量の約 8 割は化石燃料の利用とセメント生産による排出であるが、残りの 2 割は土地利用変化つまり森林減少に由来する排出であるとした [1)]。さらに、森林分野における削減ポテンシャルの 65% は熱帯地域にあり、そのうち 50%は森林減少からの排出を削減することで達成されるとしている [2)]。 また、国連食料農業機関 (FAO) は、ブラジル、インドネシア、熱帯アフリカにおいて森林減少が激しいことを示し [3)]、スターン・レビューは、森林減少の抑制は温室効果ガスを削減する上で費用対効果が高いことを強調し

INFO

1) Denman KL, Brasseur G, Chidthaisong A, Ciais P, Cox PM, Dickinson RE, Hauglustaine D, Heinze C, Holland E, Jacob D, Lohmann U, Ramachandran S, da Silva Dias PL, Wofsy SC, Zhang X (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 499-587

INFO

2) Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig E, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X (2007) Forestry. In: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 541-584

INFO

3) FAO (2006) Extent of forest resources. In: Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147: 11-36

た[4), 5)]。

IPCC 第 4 次評価報告書はさらに、途上国における森林減少・森林劣化抑制活動の効果は温暖化緩和に留まらず、生物多様性や、生産物、水資源、環境など、森林がもたらす生態系サービスの維持や向上による地域社会、住民への寄与も期待できるとし、その重要性を述べることに多くのページ数を割いた。

しかし、このように途上国における森林減少・森林劣化を抑制する必要性や意義が早くから認識されていたにもかかわらず、UNFCCC には途上国の森林減少・森林劣化の抑制を目的とした仕組みが組み込まれていない。このような科学的背景を持ちながら、REDD プラスの制度構築が進められている。

INFO

4) Stern N (2007) Identifying the costs of mitigation. In: Stern review on the economics of climate change. Cambridge University Press, 211-238

INFO

5) この指摘は土地利用変化の機会費用の評価に基づくものであり、現在の REDD プラスで求められている国内体制整備やモニタリングシステム構築に関わるコストは考慮されていない。

歴史的な経緯（I02 参照）

REDD プラスの国際的な議論は、2005 年にモントリオールで開催され UNFCCC 第 11 回締約国会議 (COP11) においてパプアニューギニアとコスタリカが、途上国における森林減少の抑制による温室効果ガスの排出削減対策 (Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action) を提案したことから始まった。この提案は科学的・技術的助言に関する補助機関 (SBSTA) の議題として採用され、Reducing emissions from deforestation in developing countries を略して REDD と通称された。SBSTA では、COP13 での報告を目指して 2 年間検討することになったが、その検討過程で多くの途上国から、森林減少だけではなく森林劣化からの排出の削減、さらには、森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の強化のための取組み (いわゆる「プラス」活動) も含めるべきであるとの主張がなされた。このような議論を踏まえ、2007 年にバリ島で開催された COP13 において、これらの取組みも含めた幅広い概念として 2013 年以降の枠組み構築に向けた検討課題として位置づけられ、REDD「プラス」と通称されるようになった。

その後さらに 2 年間の検討を経て、2009 年 COP15 でのコペンハーゲン合意は、資金メカニズムも含めた REDD プラスの枠組みの早期構築の必要性に言及した[6)]。また、REDD プラスの方法論について、最新の IPCC ガイドラインの利用、国 (または準国) レベルの森林モニタリングシステムの構築、リモートセンシングと現地調査の組み合わせによる推定手法、活動を評価するための基準である参照レベルは歴史的データや各国の事情による調整を考慮、といった合意がなされ、これが現在の技術的方法論の基礎となっている[7)]。

2010 年にカンクンで開催された COP16 では、REDD プラスの対象とする 5 つの活動や、フェーズドアプローチと呼ばれる漸進的な実施プロセス、セーフガードの考慮など、REDD プラスの基本的枠組みとなる

INFO

6) UNFCCC (2009) Decision 2/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 4-7, UNFCCC

INFO

7) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

INFO

8) UNFCCC (2010) III-C, Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, 12-14, UNFCCC

要素が示された[8] (表 I01-1)。2012 年現在、UNFCCC における REDD プラスの議論はこのカンクン合意にもとづいて実施されている。

表 I01-1　カンクン合意での REDD プラスに関わる決定事項の要点

1	締約国は団結して森林被覆及び炭素の損失を低減、停止、反転することを目的とすべきことを確認
2	途上国各国に対し、以下の活動の実施を奨励。 (a) 森林減少からの排出の削減、(b) 森林劣化からの排出の削減、(c) 森林炭素蓄積の保全、(d) 持続可能な森林経営、(e) 森林炭素蓄積の強化
3	REDD プラスの実施に関わるガイダンスとして、環境十全性と整合し森林等生態系の多面的機能に配慮、国家主権を尊重、結果ベース、持続可能な森林経営の促進等を提示
4	途上国は以下の要素の策定に取り組む。(a) 国家戦略、(b) 参照排出レベル、(c) 国家森林モニタリングシステム、(d) セーフガードのための情報システムの作成
5	REDD プラスの取組みを、国情、能力や将来性、受ける援助の程度により、第 1 フェーズ（準備段階）、第 2 フェーズ（実施段階）、第 3 フェーズ（完全実施段階）という段階で実施する
6	セーフガードについて、森林ガバナンス、先住民等の知識・権利の尊重、天然林や生物多様性の保全との整合など、促進・支援すべき 7 項目を提示した

UNFCCC での REDD プラスの現状（I02 参照）

2011 年 COP17 でのダーバン合意では、京都議定書に替わる全ての国が参加する新たな枠組みについて、2015 年までに作業を終え、2020 年から発効・実施に移すというロードマップが合意された。REDD プラスは新たな枠組みの中に位置付けられるため、2020 年からの運用を視野に、2015 年までに方法や実行のルールを固めていくことになろう。

COP17 では、REDD プラスに関して、生物多様性の保全などのセーフガードに関する情報提供システムのガイダンス、参照排出レベルと参照レベルの要件について合意に至った[9]。その他、森林減少・森林劣化の要因特定、対策の評価手法の開発、森林からの吸収・排出量の推計方法や MRV（測定、報告、検証）システムのモダリティ（全体的な流れ・大枠）、国家森林モニタリングシステム等については、検討を継続することとなった。また、途上国の森林減少・森林劣化対策等への資金と先進国の支援の枠組みについても、今後さらに検討対象となった。

INFO

9) UNFCCC (2011) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, 16-18, UNFCCC

UNFCCC 以外での取組み

UNFCCC における REDD プラスの議論は継続しているが、参加国の

合意に基づく合意に至るまでには、まだ時間がかかるだろう。しかし、森林減少・森林劣化は今まさに進んでおり、温室効果ガス排出削減のためには、REDD プラス活動を早期に実施する必要がある。そのため、UNFCCC の外でも自主的な取組みが進んでいる。

2010 年 5 月に構築された「REDD プラスパートナーシップ」は、UNFCCC から離れた立場で有志国により REDD プラスを進めようとするものである。多国間・二国間のプログラムも進められ、世界銀行の森林炭素パートナーシップ基金 (FCPF)、国連食糧農業機関 (FAO) や国連開発計画 (UNDP)、国連環境計画 (UNEP) による UN-REDD、オーストラリアによる国際森林炭素イニシアチブ (IFCI) などが代表的である。日本政府は、二国間オフセット・クレジット制度を進めることを表明しており、REDD プラスをその活動の一つとして取り入れることを検討している。

また、民間の炭素クレジット認証機関である VCS (Verified Carbon Standard) は REDD プラス活動によるクレジット化をいち早く制度化し、すでに自主的なプロジェクトレベルでの REDD プラス活動において広く用いられている（T04 参照）。

今後の課題

国家森林モニタリングシステムや MRV の要件 (I03 参照) については、科学的な視点とともに、実行可能性についても重視し、現在進められている途上国での取組みや経験を適切に反映することが求められる。

参照レベルについては、机上の議論ではなく、実例に基づいた設定方法が求められている。この時、歴史的な排出トレンドに対して、いかに各国の事情による調整を行うかは、今後の大きな議題である。

セーフガード (P03 参照) は重要な要素であるが、何をどこまで求めるかがまだ明確ではなく、適切な評価方法や報告方法が求められている。

また、REDD プラス実施国内では、UNFCCC にもとづく国 (または準国) レベルの REDD プラスの制度構築に向けた取組みと並行して、民間主導のプロジェクトレベルでの自主的な取組みが広がっている。しかしながら、これらを世界全体の REDD プラスの枠組みの中でいかに整合的に関係づけるかが今後の課題である。

Recipe - I02

REDD プラスの重要な概念

この上の Recipe は

Recipe I01　REDD プラスの歴史と現在の動き

REDD プラスにおいては、これまで UNFCCC においていろいろな観点から議論が重ねられてきており、そのメカニズムを理解する上でいくつかの重要な概念がある。本レシピでは、REDD プラスにおける重要な概念について、主に UNFCCC での議論をもとに解説する。

森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義 （P01 参照）

第 11 回締約国会議 (COP11) において、パプアニューギニアとコスタリカから森林減少 (deforestation) および森林劣化 (forest degradation) からの排出の削減 (Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action) が温暖化緩和策の一つとして提案され、科学的・技術的助言に関する補助機関 (SBSTA) の議題として採用された。また、COP13 においては、森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の強化のための取組みも含めることになり、これらの取組みも含めた幅広い活動が REDD「プラス」と通称されるようになった。このように現在では REDD と「プラス」は一つのものとして取り扱われているが、REDD が農地開発や収奪的択伐など森林の外からの人間の圧力に対する抑制活動であるのに対し、「プラス」は森林の炭素蓄積を維持または増強するための森林への直接的な活動であるという点で大きく異なるものである。

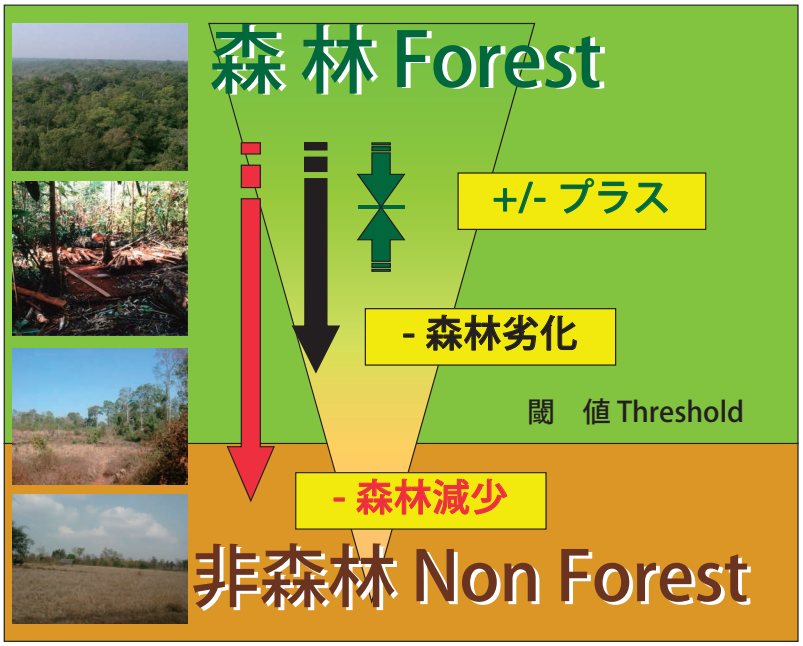


図 I02-1　森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義

IPCC のガイドラインにおいては「森林」について数値的な定義はなく、各国が定義した上で国全体、また、時系列的に一貫して同じ定義を使用することとしている。一方、国連食糧農業機関 (FAO) の世界森林資源評価 (FRA) や京都議定書では、いずれも最小面積、潜在的な最低樹高、最低林冠被覆率について基準は異なるものの数値的に定義するアプローチを採っている。京都議定書において「森林減少」は「森林」から「非森林」への直接人為的な転換であると定義される (図 I02-1)。REDD プラスの文脈における「森林減少」もこれに準ずると考えられるが、直接人為的な転換をどのように特定するか、また、「森林劣化」および「プラス」をどのように定義するかは明らかにされていない。

対象のスケール

REDD プラスを実施する場合、対象とするスケールは国レベル (national level)、準国レベル (sub-national level)、プロジェクトレベルという 3 つのレベルで考えられている。対象地域を限定した場合、その地域での森林減少・森林劣化が抑えられる代わりに、他の地域での森林減少・森林劣化が増大するといった置換 (displacement；CDM におけるリーケージと類似の概念) が生じる可能性がある。このことを防ぐため、UNFCCC では REDD プラスの対象スケールを国レベルとし、国を超えたリーケージは参加国を増やすことで対処すべきとの考え方に立っている。しかしながら、現時点では REDD への参加不参加はあくまでも当事者国の任意との考え方が主流となっており、国を超えた排出の置換の発生が懸念されている。例えば、違法伐採業者は、ある国での違法伐採取り締まりの活動が強化された場合、国境を越えて他の国で違法伐採行為を行うことが考えられる。この場合、取り締まりを強化した国で REDD が達成されるが、違法伐採の移動した国で同等の温室効果ガスの排出がなされてしまう。

REDD プラスを国レベルで実施することは理想であるが、実際にはそれぞれの国の実施能力や国の大きさにより、いきなり国レベルで実施するのが困難であることが考えられる。そこで、UNFCCC の会合において準国レベル (sub-national level) という対象スケールが提案された。ただし、準国というスケールに明確な定義はなく、国の大きさや分割の仕方により対象とする地域のサイズが大きく異なる可能性がある。また、例えば、A 州、B 州、C 州で構成される国があり、A 州と B 州という 2 つの州の準国レベルで REDD プラスの活動を実施したとする。これらの州において、A 州と B 州でそれぞれ 1 単位、2 単位の排出削減が図られ、C 州で 4 単位の排出増加があった場合、この国全体では 1 単位の排出増加にもかかわらず、準国レベルでは排出削減を達成したことになる。このため、準国レベルという対象スケールは REDD プラスを早期に実施に移すのに有効である考え方ではあるが、最終的に国レベルでの実施へ移

行するための経過措置として位置づけられている[1)]。

UNFCCC の下での REDD プラスのメカニズムがなかなか確立されない中、自主的取組みとして企業や NGO 等によりプロジェクトレベルでの自主的な活動が実施されている。REDD プラスの具体的な活動がプロジェクトレベルで実施されることにより実効性があがるのに対し、同じ国で実施されているいくつかのプロジェクトにおいて、異なるシステムで森林の炭素蓄積およびその変化が評価されており、その精度が著しく異なる可能性がある。このような国において、国レベルでの REDD プラスが完全実施された場合、精度の異なるプロジェクトレベルでの森林炭素蓄積の推定をどのように国レベルの推計に組み込んでいくかが大きな課題である。

INFO

1) Denman KL , Brasseur G et al. (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, Climate Change 2007 - The Physical Science Basis (IPCC), 499-587, Cambridge University Press.

参照排出レベルと参照レベル（P13 参照）

REDD プラスは途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組み（「REDD」活動）による CO_2 の排出削減、森林保全等（「プラス」活動）による CO_2 の排出防止および炭素固定による大気中の CO_2 の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるというのが基本的な考え方である（図 I02-2）。その際、REDD プラスのための取組みを実施しなかった場合と比較して、実際にどの程度の削減が実現したかを定量化するために、参照排出レベルおよび参照レベルを設定することになる。

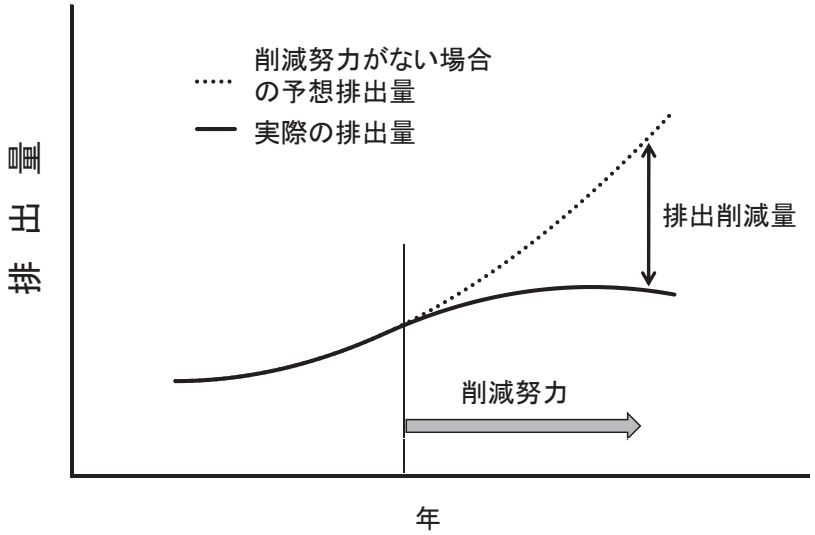


図 I02-2　排出量削減の考え方

参照排出レベルと参照レベルの違いについては、SBSTA の要請により開催された 2 回の専門家会合で議論され、国全体で設定した結果がネット排出であれば参照排出レベルと呼び、ネット吸収であれば参照レベルと呼ぶという考え方と、森林減少・森林劣化からの排出削減活動に係るものを参照排出レベルとし、「プラス」活動に係るものを参照レベルとし、場合によっては同一の国について両方を設定することもあり得る、という 2 つの意見が示された。

COP15 においては、参照排出レベルおよび参照レベルを途上国が設定する場合、歴史的データを用いて透明性を確保しながら、それぞれの国の状況に応じて設定すべきであるとされ、COP16 において、途上国の REDD プラスの対策として、国レベルあるいは経過措置として準国レベルの森林参照排出レベルあるいは森林参照レベルを設定することが盛り込まれた。しかしながら、それらの定義や設定方法については現時点では示されていない。

温室効果ガス、森林炭素蓄積および森林面積の MRV（I03 参照）

UNFCCC における京都議定書第 1 約束期間終了後の 2013 年以降の枠組みの議論においては、計測 (measurement)・報告 (reporting)・検証 (verification) (MRV) システムの重要性が強調されている。REDD プラスの実施においても森林の炭素蓄積に対する MRV を実施することが、透明性を確保する上で非常に重要となっている。特にクレジットなど経済的インセンティブを与えるためには、精度の高い MRV が求められることになる。

国レベルで森林の炭素蓄積とその変化量を精度よく計測するためには、森林モニタリングシステムが不可欠である。UNFCCC の COP15 で決定された方法論のガイダンスでは、堅固かつ透明性の高い国家森林モニタリングシステムを構築することを途上国に要請している。そのモニタリングシステムとして、温室効果ガスの収支、森林炭素蓄積および森林面積変化を、リモートセンシングと現地調査を組み合わせて計測するシステムが推奨されている。

REDD プラスの結果に対するクレジットはこの計測結果に基づき発行される。REDD プラスによる温室効果ガスの削減効果とクレジットの信頼性及び透明性を確保するためには、計測結果を報告し、その報告内容を検証するシステムが必要になる。

クレジット

「参照排出レベルと参照レベル」で述べたように、REDD プラスのメカニズムは、森林減少・森林劣化の抑制、森林保全等の活動といった途

上国の CO_2 削減努力に対して、削減実績をベースに経済的インセンティブを与える仕組みである。この経済的インセンティブの一つとして、炭素クレジットが検討されている。UNFCCC では、REDD プラスの実施について基金方式と市場メカニズム方式が提案されており、この 2 つの方式の複合型についても検討がなされている。市場メカニズムにおいては、REDD プラス実施による排出削減・吸収増進量がクレジットとして取り扱われることが想定される。

UNFCCC においては、現在も REDD プラスのメカニズムを構築中であるが、すでに企業や NGO 等により世界各地でプロジェクトレベルでの REDD プラスの取組みが開始されており、自主的炭素市場でのクレジットの取引が開始されている (T04 参照)。今後、UNFCCC の下で国レベルあるいは準国レベルでの REDD プラスが実施された場合、そこで発生するクレジットと自主的炭素市場で取引されているクレジットが異なる精度の MRV を用いている可能性があり、このような場合、どのように釣り合いをとるかが課題である。また、クレジットには、京都クレジットのように、各国の数値目標達成のためにコンプライアンス市場で扱われるものと、オフセットなどの自主的市場の下で扱われるものとがあり、将来的に REDD プラスのクレジットがどちらの性質を持つものになるのかも各ステークホルダーの大きな関心事となっている。

フェーズドアプローチ（P02 参照）

REDD プラスは実績ベースでの経済的なインセンティブの付与が基本的な考え方であり、上記の森林炭素の MRV が必要となるが、多くの途上国では歴史的データが未整備であり、また、その実施能力にも差がある。そのため、それぞれの国の現在の状況に応じて、漸進的に取組みを進めるべきとの考えから、「フェーズドアプローチ」という方法が交渉会合において提案・議論され、COP16 でのカンクン合意において再確認され合意されている。

フェーズドアプローチでは、能力開発 (capacity building)、戦略策定を行う第 1 フェーズとしての準備フェーズ (readiness)、実証活動を含む戦略の実施を行う第 2 フェーズとしての実施フェーズ (implementation)、完全な MRV の下での排出削減量に応じた経済的インセンティブを伴う活動へ移行する第 3 フェーズとしての完全実施フェーズ (full implementation) という 3 つのフェーズを経て REDD プラスを実施することが可能になる。

このアプローチでは、第 1 フェーズでは精度の高い森林炭素 MRV を途上国には求めることはできないため、完全実施の第 3 フェーズでの森林炭素 MRV の結果と同等に扱うことはできないと考えられる。そのため、第 1 フェーズでは REDD プラスの活動に対して ODA や基金等を活用することが提案されている。

セーフガード（P03 参照）

気候変動の緩和策の一つとして議論が開始された REDD プラスにおいては、森林の炭素蓄積の減少を抑制し、増大に努めることに対して経済的インセンティブが発生するという考え方が基本となる。この経済的インセンティブを得るため、先住民や地域住民に対する森林の利用制限や締め出し、天然林から成長速度の速い人工林への転換といったことが生じるおそれがある。このことは先住民や地域住民の権利を侵害し、生物多様性の喪失を招くリスクへとつながる。そこで、UNFCCC の議論においては、REDD プラス活動の効果を損なう可能性があるリスクや社会・環境等への負の影響を予防するとともに、正の影響を増大するための政策・施策が必要であるとの意見を踏まえ、これらをセーフガードとして取り扱うこととしている。

セーフガードについては、生物多様性条約締約国会合においても関心が高く、また、国際世論からも対応が求められている。そこでセーフガードを REDD プラスの活動に含めるため、COP17 において「セーフガードの情報提供システムのガイダンス」が作成された。ただし、セーフガードの実施についての具体的な方法や規定については、UNFCCC では明確化されておらず、国によって状況も異なることから、今後、セーフガードの実施に向けての具体的な基準作りが重要となる。

参考文献

赤堀聡之 (2010) 我が国の REDD+ への対応と方法論の検討状況について．国際協力銀行などによる「REDD+ セミナー」。
http://www.jbic.go.jp/ja/about/topics/2010/0908-01/100727_redd_akahori.pdf

三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング (2011) 気候変動抑制に向けた MRV（計測・報告・検証）国際枠組み構築に関する現状と課題 ～ (3) REDD プラス実施の際の MRV システムの考え方～．
MURC 政策研究レポート．
http://www.murc.jp/thinktank/rc/politics/politics_detail/27.pdf

2

第 2 章
森林モニタリング
システムの設計

森林モニタリングシステムとは、森林からの温室効果ガスの収支、森林炭素蓄積、および森林面積変化を推定するシステムであり、REDD プラスの実施に必須のものとして実施国に構築を求めている。これにより、REDD プラスによる温室効果ガス削減効果が推定され、その結果に対するクレジットが算出されるため、国際的に信任を得られ、しかも発展途上国で実施可能な方法で、できる限り正確に行われなければならない。その一方で、森林を取り巻く事情は各国により異なることから、それに合わせた柔軟で実施可能なシステムを作り上げていかなければならない。

本章では、森林モニタリングに求められる計測・報告・検証 (MRV) と、森林モニタリングシステムを設計する際に考慮すべく国際的に合意ないし議論されているいくつかの要件について解説する。

I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)
I04　森林モニタリングシステムの設計

Recipe - I03

森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

この上の Recipe は

Recipe I02　REDD プラスの重要な概念

MRV とは、計測 (Measurement)、報告 (Reporting)、検証 (Verification) の頭文字をとったものであり、気候変動の緩和のための政策の実施状況や約束の遵守状況、クレジットメカニズムの下での排出・吸収量などを客観的に評価可能とするための要件ないしはその仕組みを意味する。REDD プラスのための国レベル・準国レベルでの MRV の仕組みについては現在国際的な検討が続いているが、VCS（Verified Carbon Standard）等の民間の自主的なクレジット認証システムの下では、クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism：CDM) 等の制度設計を参考にしつつ、プロジェクトレベルでの MRV の仕組みについて一定の枠組みが示されている。本レシピでは、「計測」、「報告」、「検証」それぞれの意味を概観し、REDD プラスのための森林モニタリングの MRV に求められるであろう要件について述べる。

INFO

1) MRV は、2007 年にインドネシア・バリで開催された気候変動枠組条約 COP13 で採択されたバリ行動計画において、気候変動の緩和に関する国内・国際的行動を可視化し、行動の質を保証するために導入された概念である。緩和行動を計測 (Measurement) し、報告 (Reporting) し、それらを検証 (Verification) する仕組みの、それぞれの頭文字をとって MRV (計測・報告・検証) と略称する。例えば、コペンハーゲン合意における国別報告書 (National Communications: NCs) における計測・報告、またそれらを検証する国際評価とレビュー (International Assessment and Review: IAR) が一例である。

INFO

2) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

INFO

3) IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm

MRV

MRV の概念は、2007 年の COP13 で合意されたバリ行動計画 [1] で「計測可能 (measurable)、報告可能 (reportable) かつ検証可能 (verifiable) な温室効果ガス削減行動や約束」という形で導入された。しかしながら、MRV とは具体的に何を目的に、誰が、何に対して行うものなのか、ということについては現在も国際的な議論が続いており、結論には至っていない。REDD プラスのための森林モニタリングの MRV のモダリティ (全体的な流れ・大枠) についても 2012 年現在、科学的・技術的助言に関する補助機関 (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice：SBSTA) で検討中である。適切な MRV 設計のもとに行われる排出・吸収量のデータは、REDD プラス活動の効果を評価するときの重要な根拠となろう。

計測（P04 参照）

REDD プラスは、その活動の結果としての排出量・吸収量の増減により評価される。そのため、森林からの排出量・吸収量を「計測」する。森林モニタリングで「計測」とは、森林面積変化量および森林炭素蓄積量、人為的原因による森林からの温室効果ガスの排出量および吸収量を継続的に計測し、データを収集することを意味する [2]。すなわち、REDD プラス活動の実施者は UNFCCC の議論をふまえ、活動が行われる森林面積の変化や土地面積当たりの排出量・吸収量 [3] を繰り返し計測し (図

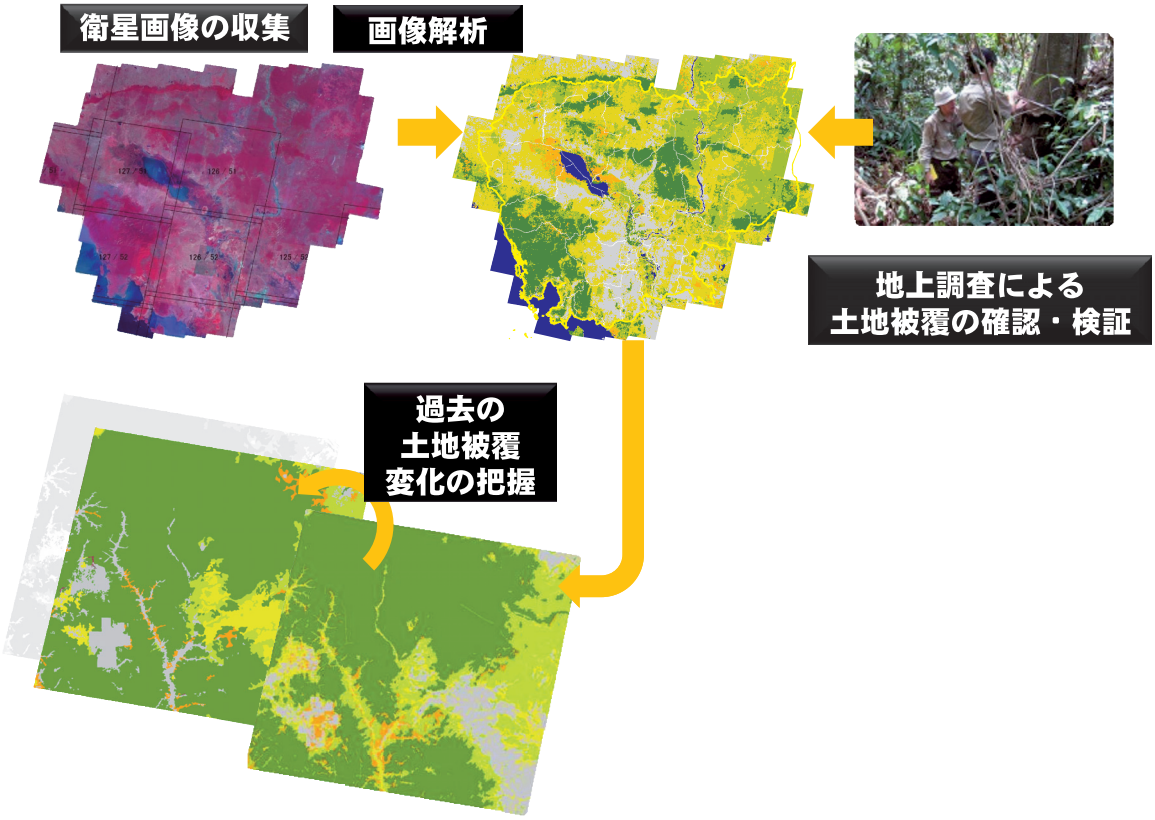


図 I03-1　森林面積の変化や土地面積当たりの排出量・吸収量の計測

I03-1)、得られたデータにもとづいて温室効果ガスの排出量・吸収量を算出する。計測結果は、実施国の可能な範囲で、透明で一貫性があり、極力正確で不確実性を減少させるものである必要がある。今後はセーフガードや森林の他の機能の「計測」も必要になる可能性がある。

報告（P05 参照）

「報告」とは、排出・吸収量の推計値やその推計方法、手順、体制、排出削減・吸収源対策の実施状況や将来予測等について、報告先となる所定の機関等に対して所定の様式や手続き等に従って情報提供を行うプロセスである。「報告」は、UNFCCC に基づき国レベルで行われる場合、クリーン開発メカニズムや各種自主的な認証スキームなどに基づきプロジェクトレベルで行われる場合など、報告対象や目的に応じて様々な形で行われる。そのいずれの場合であっても、報告書の記述は仕様にしたがっていることはもちろん、検証を行う者の関心事が全て述べられていて、追加情報の必要がないものが望まれる。UNFCCC は、同条約の締約国に国の温室効果ガスのインベントリ報告の作成を義務づけ、次の 5 つの向上を報告の要件としている：透明性 (transparency)、一貫性 (consistency) 、他国との比較可能性 (comparability)、完全性

(completeness)、正確性 (accuracy)。

REDD プラスのための報告においてもこの 5 つの要件が重要であると考えられる。途上国では既存データが乏しく、新たなデータ収集も決して容易でないので、報告の透明性がとくに重要と考えられる。

検証（P06 参照）

「検証」とは、報告された内容を客観的にチェックし、規定の要求事項が満たされていることを確認する作業である。「検証」は、「計測」の目的や対象により、要件や作業手順が異なるが、いずれの場合にも制度や枠組み全体の信頼性や公平性を担保する上で不可欠の作業となる。

特に、クリーン開発メカニズムや自主的な炭素クレジットシステムなど、経済的なインセンティブの付与やクレジットの売買を前提とした仕組みの下では、「検証」はプロジェクトにより達成された排出削減量を事後的に確認し、クレジットの取引に耐える信頼性を付与するための審査プロセスとして実施され、プロジェクト計画書に書かれている内容や方法論に沿ってプロジェクトが実施されているかどうか、第三者機関により実施することが要求されている。REDD プラスに対しても同様の要件が求められることが予想される。

森林モニタリングのシステム設計（I04 参照）

ある森林モニタリングの MRV が国際的な信認を受けてクレジットの算出などに使われるようにするためには、国際的な合意とルールに則って設計される必要がある。UNFCCC は国レベルの森林モニタリングが気候変動に関する政府間パネル (IPCC) のガイドラインに依って行われることを求めている。

一方で、REDD プラスのそれぞれの実施国により、森林ばかりでなく、それを取り巻く政治、経済、文化などの状況は様々であり、その国の事情に即したシステムの設計が必要である。特に、その国の主権、開発目標や持続的発展、貧困削減など他の政策との整合性、セーフガードの実施 (P03 参照) は守られなければならない。

さらに、実施国の能力の現状を鑑み、能力が十分でない場合にはその向上を図りながら森林モニタリングを導入していく必要がある。

このようなシステムは一時に完成するものではなく、実施環境を整えながら段階的かつ柔軟に構築されていくべきである (フェーズドアプローチ (P02 参照)、ステップワイズアプローチなど)。

森林モニタリングの MRV において考慮すべき事項

REDD プラスの関係者は、活動内容 (例えば、土地利用の変更) と、そのデータ (計測・報告)、それらの検証において、公平であること (fairness) が求められる。活動の選択やデータの計測、取りまとめ方針などの透明性が重要である。報告に透明性があり、関係者がそれぞれ正当な利益を得ていると信じられることが、関係者相互の信頼の醸成を助ける。

また、森林モニタリングの MRV のしくみ (システム) を作っても、関係者の間で目的が共有されていないと、システム、ひいては REDD プラスの本来の目的 (気候変動への対策) が果たせなくなる恐れがある。REDD プラスは安上がりな気候変動緩和策 [4] ではなく、REDD プラスによる温室効果ガスの排出削減ポテンシャルが近年報じられているほどには大きくない可能性 [5] もある。森林モニタリングの MRV の関係者は REDD プラスの効果がよく現れるよう、連携して MRV システムの最適な運用を心掛けるべきである。

INFO

4) IPCC (2007) Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 851pp.

INFO

5) Harris NL, Brown S, Hagen SC, Saatchi SS, Petrova S, Salas W, Hansen MC, Potapov PV, Lotsch A (2012) Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. Science 336: 1573-1575

参考文献

地球環境戦略研究機関 (IGES) (2010) 測定・報告・検証 (MRV) ー気候変動次期枠組みへ向けた議論の潮流と展望ー. 地球環境戦略研究機関（IGES）

Recipe - I04

森林モニタリングシステム設計

この上の Recipe は

Recipe I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

森林モニタリングシステムとは、森林からの温室効果ガスの収支、森林炭素蓄積、および森林面積変化を推定するシステムである。REDD プラスの結果が国際的な信認を得るために、森林モニタリングは国際的な合意とルールを守らなければならない。一方、REDD プラス実施国の個別の問題に効率的に対処するために、その国の事情に即したシステム設計を支援することが必要である。このとき、実施国の能力や現時点では未確定ながらも REDD プラスのクレジットの可能性を考慮に入れて、段階的かつ柔軟にシステムの構築を行うことが重要である。

国際的合意とルールへの準拠

国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) は REDD プラスに関し、森林での温室効果ガスの収支と森林炭素および森林面積変化を推定するための根拠として最新の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) のガイダンス・ガイドラインを利用すること、そして堅固かつ透明性の高い国レベル (または準国レベル) の国家森林モニタリングシステムを構築することを途上国に求めている [1](I01 参照)。そして、(i) そのシステムはリモートセンシングと現地調査の組み合わせであり、(ii) そこから得られる推定値は透明性と一貫性があり可能な限り正確で、(iii) システム自体も透明性がありその結果は締約国会議 (COP) で合意されたレビューに適したものでなければならない。

現在最新の IPCC のガイドラインは IPCC 2006 年温室効果ガスインベントリガイドライン (2006 年 IPCC ガイドライン) である (図 I04-1)。これらは 5 巻からなり、REDD プラスは主に第 1 巻「一般的ガイドライン

INFO

1) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

図 I04-1　2006 年 IPCC 温室効果ガスインベントリガイドライン

と報告」及び第 4 巻「農業、林業、およびその他の土地利用 (AFOLU)」に関連する。

森林モニタリングの結果から REDD プラスによる温室効果ガス排出削減効果が推定されるばかりでなく、REDD プラスの効果に応じたクレジットが算出され実施国に付与されるので、森林モニタリングは上記の国際的な合意とルールを順守することが求められる。そのために、森林モニタリングシステムの設計に当たっては、計測 (Measurement、P04 参照)、報告 (Reporting、P05 参照)、検証 (Verification、P06 参照) の各要素を遺漏なく組み込まなければならない。

実施国の事情や制度との整合

実施国により、森林ばかりでなく、政治、経済、文化などの状況は様々であり、国際的合意とルールに則りながらもその国の事情に即したシステム設計が必要である。特に、その国の主権、開発目標や持続的発展、貧困削減など他の政策との整合性、セーフガードの実施 (P03 参照) は守られなければならない [2)]。

森林減少・森林劣化の要因の特定、REDD プラスに係る国家戦略または活動計画の策定、参照排出レベル・参照レベルの設定 (P13 参照) 、国家森林モニタリングシステムの構築などは実施国の責任である [1), 2)]。これらが未定の場合には策定に、既定の場合にはその実施や改善に、先進国などから支援の余地の可能性がある。とくに、参照排出レベル・参照レベルの設定にあたり、実施国が国家森林資源調査 (National Forest Inventories, NFI,T01 参照) をすでに実施している場合には、それを基にして設定できる可能性がある。一方、そのような過去の情報がない場合には、リモートセンシングデータなど入手可能な過去の情報を用いて過去にさかのぼるモニタリングを行い、必要な情報を推定しなければならない。

さらに、実施国の能力とその開発の可能性も考慮されるべきである (次節参照)。

これらは実施国の政策レベルの問題であるが、限られた資源、能力、時間の中でモニタリングシステムを構築するために実施国は重要度の高い問題から対応すべきであり、そのために先進国など支援側は実施国の事情と要求を正確に把握して支援することが不可欠である。

INFO

2) UNFCCC (2010) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/20010/7/Add.1, UNFCCC

INFO

3) Hardcastle PD, Baird D, Harden V (2008) Capability and cost assessment of the major forest nations to measure and monitor their forest carbon. LTS International Ltd.

実施国の能力と持続的運用可能性

REDD プラスの実施国となりうる発展途上国の多くは、IPCC ガイドラインが示すモニタリングのもっとも基本的かつ簡単なレベルである Tier 1 (P04 参照) すら実施する能力を現段階では持っていない [3), 4)]。Tier 1

INFO

4) Herold M (2009) An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building. GOFC-GOLD

では REDD プラスには不十分であるという見解も多く見られる。一方、見込まれるクレジットにも関連して REDD プラスへ投下可能な資源には各国に限界があり、その中で持続的に運用可能なモニタリングを行う必要がある。

実施国へ先進国等から技術の移転が奨励され、そのために適正かつ予測可能な資金面および技術面の支援が求められている中、実施国における社会基盤、組織、教育水準等に鑑み実施可能な技術を慎重に選ぶべきである。特に、政府当局の能力が質量ともに不足している場合が多い。それを補うための選択肢として地域住民のモニタリングへの組み込みも試されている[5)]。これは利害関係者参加のセーフガードの実現ともなる。

資金と REDD プラスのクレジットについて多国間交渉はいまだ不透明な部分が多く、技術的側面からも具体化できない一因となっている。これに対し、自主的な制度により取引可能なクレジット VER (Verified Emission Reduction) を発行する VER 認証制度が広がっている。これはプロジェクトレベルの認証制度だが、日本政府は二国間オフセット・クレジット制度 (BOCM) に同様の仕組みの導入を検討している (T04 参照)。なお、森林モニタリング技術の費用についてはレビューがある[6)]。

INFO

5) Danielsen F et al. (2011) At the heart of REDD+: a role for local people in monitoring forests? Conservation Letters 4(2): 158-167

INFO

6) UNFCCC (2009) Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest.degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gasemissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks, UNFCCC

段階的かつ柔軟な体制の構築

多くの実施 (予定) 国では REDD プラスの実施能力がいまだ不十分であり、また国際的な制度や資金メカニズムもいまだに確定しない中、これまでの合意事項に依って段階的かつ柔軟に REDD プラスの実施体制を整えていくことが合意されている。

一つはフェーズドアプローチで (P02 参照)、実施国の体制と能力を段階的に引き上げていくことを目指す。

もう一つはステップワイズアプローチで[7)]、参照レベル・参照排出レベル (P13 参照) を現在入手可能なデータのみで設定することから始め、データや知見の増加、合意の進展により順次精度を上げようというものである。

森林モニタリングシステム自体についても、実施国の事情に鑑み、REDD プラスの優先課題から順番に対応して拡張していくことも推奨されている[8)]。

INFO

7) UNFCCC (2011) Decision 12/CP. 17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

INFO

8) Herold M, Skutsch MM (2009) Measurement, reporting and verification for REDD+: Objectives, capacities and institutions. In: Realising REDD+ National strategy and policy options. Angelsen A et al. (eds) CIFOR, Bogor, Indonesia, 85-100

計画編

3

第 3 章
REDD プラス取組みのための基礎知識

本章では REDD プラスに取り組む場合の基本的な用語である森林減少、森林劣化、およびプラスの定義について解説する。また、気候変動枠組条約 (UNFCCC) の交渉の過程において提案された、途上国の REDD プラスの実施能力とそれぞれの国の状況に応じて段階的に REDD プラスを実施していくための「フェーズドアプローチ」という手法と、REDD プラス活動の温暖化緩和策としての効果を損なうリスクを回避するとともに、森林ガバナンス・環境・社会等への悪影響の予防と望ましい影響を増大するための「セーフガード」という考え方について解説する。

P01　森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義
P02　フェーズドアプローチ
P03　セーフガード

Recipe - P01

森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義

この上の Recipe は
Recipe I02　REDD プラスの重要な概念

REDD プラスでは森林減少・森林劣化に由来する排出削減 (REDD の部分) や、森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の強化 (プラスの部分) の実績に対して、経済的インセンティブが付与される。排出量や炭素蓄積量を算定するためには、森林や森林減少、森林劣化、プラスなどを定義する必要があるが、REDD プラスの国際交渉ではまだ定義に至っていない。しかし、森林および森林減少の定義については、気候変動枠組条約（UNFCCC）の京都議定書のマラケシュ合意 [1), 2)] による定義に準ずるものと考えられるため、それらをもとに解説する。

INFO

1) マラケシュ合意：2001 年マラケシュで開催された COP7 において、京都議定書を実施していくために必要な京都メカニズムや遵守制度などの詳細なルールが合意され、京都議定書 3 条 3 項及び 3 条 4 項の下での「森林」の定義や、京都議定書 3 条 3 項の ARD について定義が示された。

INFO

2) マラケシュ合意：
UNFCCC (2002) Decision 11/CP.7, FCCC/CP/2001/13/Add.1, UNFCCC
http://unfccc.int/methods_and_science/lulucf/items/3063.php
同暫定和訳 (地球産業文化研究所ウェブサイト)
http://www.gispri.or.jp/kankyo/unfccc/pdf/cop7_11.pdf

森林

マラケシュ合意において森林は次のように定義されている。森林とはその場所での成熟時の最低樹高が 2-5m に達する能力をもつ樹木による樹冠被覆 (もしくは同等の蓄積) が 10-30% を超える最低面積 0.05-1.0ha の土地をさす。森林はさまざまな階層と下層植生が大きな割合の被覆をもつ閉鎖林もしくは疎林により構成されうる。樹冠被覆が 10-30% にもしくは樹高が 2-5m に達していない若い天然林や植林地は、伐採のような人間活動の結果として、また自然要因により一時的に蓄積を失っていても森林への回復が期待されるところとして、森林に含まれる。世界にはさまざまなタイプの森林が存在するため、樹高、樹冠被覆率、最低面積をそれぞれの国が、上記の範囲内で選択できるようになっている。

森林減少

マラケシュ合意では、「森林減少」は森林地から非森林地への直接の人為的な転換と定義している。農業用地の開墾、地下資源の採掘、都市や集落および道路開発などのために、森林の定義を満たす要件が失われた場合に「森林減少」とみなされる。

森林劣化

森林劣化は、森林の生産物や生態系サービスを提供する能力を低下させる、森林の構造もしくは機能に悪影響をおよぼす変化を指す。排出削減にインセンティブを付与するという観点での森林劣化は、森林の炭素蓄積量の低下と考えられる。ただし森林の炭素蓄積量は、周期的におき

る自然攪乱や定期的収穫のような森林経営によっても変動する。これまでのところ森林劣化に関する公式な定義に関する国際合意はない。

プラス

REDD プラスにおける「プラス」は、森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の強化を含むことが、UNFCCC の第 13 回締約国会議 (COP13) により国際合意された。森林経営についてはマラケシュ合意では、森林に関連する (生物多様性を含む) 生態的、経済的、社会的機能を持続的な方法で満たすことを目的に、森林を管理、利用する一連の活動と定義されている。ただしこの定義は具体的なものではなく、京都議定書に参加する各国がそれぞれの森林経営の実態に即した判断により適用することとなっている。また森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の強化のそれぞれについては、国際合意にいたった定義はなく、今後の議論の進展が待たれている。

以上見てきたように、REDD プラスによる活動の成果を評価するために必要な、森林減少・森林劣化、プラスのそれぞれの定義は 2012 年 7 月現在、不完全なものである。REDD プラスの円滑な実施には、単純な定義が望ましいものの、REDD プラス実施国の状況により、異なる基準値が適用される可能性が高い。

参考文献

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthopogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

小林紀之 (2008) 温暖化と森林 地球益を守る ―世界と地域の持続可能ビジョン―. 日本林業調査会

Recipe - P02

フェーズドアプローチ

この上の Recipe は

Recipe I02　REDD プラスの重要な概念

REDD プラスは、途上国が森林減少対策等を通じ排出削減・吸収増進を図り、その成果を参照排出レベルや参照レベルに対して計測、報告、検証 (measurement, reporting and verification、MRV) し、これにインセンティブを付与することを目的とするものである。一方、各国が置かれている状況や能力は技術的にも制度的 (institutional) にもそれぞれ異なる段階にある。フェーズドアプローチは、最終的な REDD プラスの実施に向け各国が踏むべき段階を示し、準備のプロセスを明確化したものである。フェーズドアプローチという概念が初めて気候変動枠組条約 (UNFCCC) に登場したのは 2008 年 8 月の特別作業部会 (AWG) アクラ会合で開催された REDD プラスワークショップでの、REDD プラスの実施は 3 つのフェーズを経て行うべきとのパプアニューギニアの主張であり [1)]、それ以降フェーズドアプローチは REDD プラスの基本的な要素の一つとして認識されてきている。以下、現在の REDD プラスの検討の土台となっているカンクン合意 [2)] に沿って見ていくこととしたい。

INFO

1) UNFCCC (2008) FCCC/AWGLCA/2008/CRP.5, UNFCCC

INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

第 1 フェーズ：準備

カンクン合意でフェーズドアプローチに言及しているが、REDD プラスの実施に当たって、まず「国家戦略あるいは実行計画、政策及び施策の策定、及び能力開発」から始めるべしとしている (図 P02-1)。これらは、REDD プラスに限らず全ての政策課題を実施していく上での土台であり、全ての国がまずこの段階を通り適切な枠組みを策定することが必要である。

REDD プラスの国家戦略や実行計画、政策及び施策を策定するにあたっては、各国の開発目標や土地利用計画、森林計画などと一貫性のあるものとすることが大きな前提となる。これらと遊離したものを策定すれば、REDD プラス実施の段階で混乱を来すこととなり、このような事態を避けるため、関連する政府部門やステークホルダーとの政策上の調整が不可欠であろう。

カンクン合意では、REDD プラス国家戦略や行動計画を策定し実施するにあたっては、現地住民やコミュニティを含むステークホルダーの参加を確保した上で、森林減少・森林劣化のドライバー、土地使用権問題、森林ガバナンス問題、ジェンダー配慮やセーフガードに対処すべしとしている（P03 参照）。これらは、将来的に REDD プラスによる削減活動を実現する上で不可欠の要素であろう。

このような政策の策定及び将来の実施にあたっては、それを可能にする能力開発が必要である。能力開発にあたっては、どのような課題があるか、対象者は誰か、の両面を明確にすることが必要である。課題としては、MRV システム、モニタリング手法、参照レベルの設定といった技術的課題、さらには、政策立案能力、法執行能力などが考えられる。対象者については、個人としての専門家の育成と、REDD プラスに関与

する組織・ステークホルダーがそれぞれの課題に対応できるよう整備することとの両面が考えられる。組織・ステークホルダーについては、まずは政府機関が想定されるであろうが、地域住民や関連する民間セクター、コンサルタント企業、NGO、教育機関なども重要なステークホルダーであり能力開発の対象である。

なお、準備フェーズは、これを「卒業」して第 2、第 3 フェーズへ移行するということではなく、REDD プラス実施の土台として継続的に向上・刷新していくものと理解し実施していくべきものであろう (図 P02-1)。

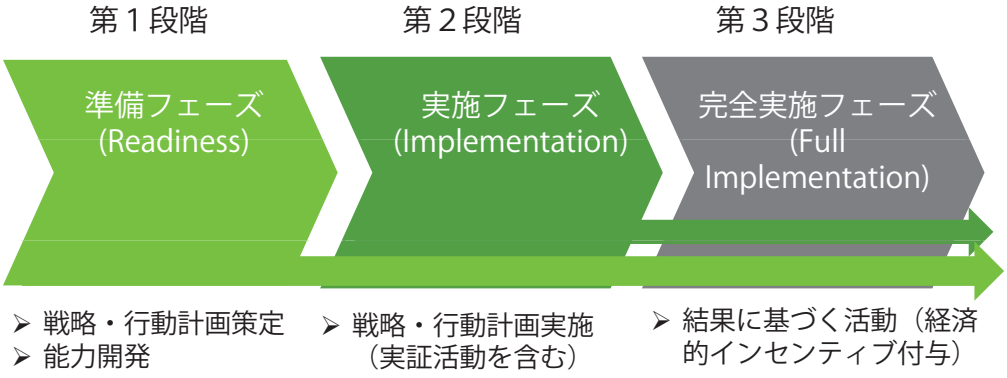


図 P02-1　フェーズドアプローチの流れ

準備フェーズへの支援

第 1 フェーズとしての準備フェーズは REDD プラス実施の土台であり、継続的に向上・刷新していくべきものであるが、各途上国がそれぞれ行うには技術的にも資金的にも大きな困難が伴う。このため、具体的な支援の枠組みとして、世界銀行 (World Bank) が実施している森林炭素パートナーシップ基金 (FCPF) の準備基金、3 つの国連機関が実施している UN-REDD プログラムなどが設置され、資金面や技術面の支援を通じて各国の準備フェーズを支援している。いくつかの国で既に REDD プラス国家戦略・実行計画が策定されており、課題ごとの年別実施スケジュール、予算、支援国・機関などが盛り込まれており、これから準備フェーズに着手しようという方々は参考にされるとよい。

この他、先進各国、関係国際機関、NGO 等が実施する技術支援プロジェクトも、REDD プラスの各要素への支援や参考となることが期待される。日本の JICA、ドイツの GIZ、米国の USAID などが二国間の技術支援プロジェクトをを通じて技術的な知見・経験を蓄積しており、これらを有効に活用すべきである。

また、先進各国は UNFCCC、京都議定書上の義務として自国の土地利

用、土地利用変化及び林業 (LULUCF) 分野の排出・吸収量について毎年インベントリ報告を行ってきているが (P05 参照)、森林における排出・吸収量を取り扱っており技術的には REDD プラスと類似であること、土地利用セクターとして特有の困難性を経験していることから、参考となるところが多いものと思われる。

第 2 フェーズ：実施

カンクン合意では上記の準備フェーズに続くものとして、「更なる能力開発、技術開発・移転、及び結果に基づく実証活動を含め、国家政策や施策、国家戦略あるいは実行計画を実施する」段階が示されている (図 P02-1)。準備フェーズで設置された土台を実行に移し、完全実施フェーズの準備を行う練習のフェーズ、と言うことができるであろう。

このフェーズでは、新しい要素として「実証活動」が盛り込まれている。この「実証活動」は UNFCCC 第 13 回締約国会議 (COP13) の「バリ行動計画」で示されたのが最初であるが [3)]、「森林減少・森林劣化からの排出を削減し、持続可能な森林経営による森林炭素蓄積の増加を目途とし、各国の事情に関連する森林減少の原因に対処するもの」とされ、その要素については同計画の ANNEX に「指標的ガイダンス」として示されている。これらの要素を反映し、最終的な「完全に計測、報告、検証される結果に基づく活動」を可能とすることを目的に実施することが期待されているものである。

第 2 段階の実施フェーズへの支援としては、世界銀行が実施している森林炭素パートナーシップ基金の炭素基金が、大きな柱の一つであろう。また、先進各国等が実施する二国間技術支援プロジェクトの中にも、「実証事業」など第 2 段階の要素を含むものが見られ、今後新たに策定・実施されることが期待される。

INFO

3) UNFCCC (2008) FCCC/CP/2007/6/Add.1, UNFCCC

第 3 フェーズ：完全実施

カンクン合意では REDD プラス実施の最終段階は、「十分に計測、報告、検証される、結果に基づく活動」であるとしている (図 P02-1)。準備フェーズ、実施フェーズの実施による知見・経験を土台にし、活動の結果として排出削減・吸収が達成され、それが十分に計測、報告、検証されて示され、これが信用に足るものとして一定のインセンティブが与えられるものと理解される。

現時点では、REDD プラス参加国のほとんどが準備フェーズないしは実施フェーズの活動を行っており、最終段階の完全実施フェーズに到達した国はゼロでなければごく少数であろう。技術、データ、組織、人的資源などでの制約以外に、対象地ごとに樹種や成長量が異なり天候の影

響も受けるなど、REDD プラスには工業、交通等他のセクターにはない困難性があり、REDD プラスの完全実施が遅れる要因になっていることも否定できない。

このような困難性に対する万能薬 (panacea) は見あたらないが、REDD プラスは準国レベルからの実施も想定されていることから、一定の地域にリソースを集中して投入し、早期の準国レベルでの実施を目指すこと、これを優良事例として他の地域に広げることで、最終的な国レベルでの完全実施を目指すことが考慮されるべきではないだろうか。国内の各ステークホルダー及び支援国・機関の間で調整が図られ、このような対応に一定レベルの同意が得られることが、このような対応の前提となろう。

Recipe - P03

セーフガード

この上の Recipe は

Recipe I02　REDD プラスの重要な概念

気候変動枠組条約 (UNFCCC) 第 16 回締約国会議 (COP16) で REDD プラス実施に際しセーフガードを促進・支援することが定められ、そのリストが示された。特に環境社会セーフガードについては、UNFCCC の枠外の世界銀行の森林炭素パートナーシップ基金 (FCPF) 事業や UN-REDD プログラムでもその対応を求めている。UNFCCC における公式な議論の場では、セーフガードの具体的内容については未確定な点が多く、世界銀行や UN-REDD プログラム、NGO 等による自主的な原則・基準・指標やガイドライン等の作成が行われている。

セーフガードとは

セーフガードとは、REDD プラス活動の温暖化緩和策としての効果を損なうリスク (別の形態・場所での温室効果ガスの排出を増加させる、あるいは、排出減少・吸収増加の効果が一時的なものに終わるなど) を回避するとともに、森林ガバナンス・環境・社会等への悪影響の予防と望ましい影響を増大するための政策・施策である。REDD プラス制度の特徴の一つとして、このセーフガードへの対応があげられる。

UNFCCC におけるセーフガードの取り扱い

COP16 では、カンクン合意で、セーフガードを促進し、支援しなければならないとされ、そのリストが示された [1] (表 P03-1)。その内容は、森林ガバナンス、社会、環境、気候の分野にわたる [2]。これらは、COP15 までは合意文書の様々なところに書かれていた留意事項をリスト化したもので、これにより REDD プラスの実施に当たって留意すべきものが明確となった。

また、途上国政府に対して、セーフガードが、いかに対処、尊重されたのかについて、情報提供するシステムの開発が要請された。さらに、途上国政府に対して、セーフガードに取り組むための国家戦略や行動計画の開発と実施時には、先住民や地域住民等の関連する利害関係者の完全で効果的な参加を確保することも要請された (表 P03-2)。

INFO

1) UNFCCC (2011) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

INFO

2) この分類は、UNFCCC によるものではなく筆者が便宜的におこなったものである。

表 P03-1　カンクン合意に示されたセーフガードリスト
（UNFCCC (2011)[1] をもとに作成）

	セーフガード	分類 *)
(a)	国家森林プログラムや関連する国際条約及び国際合意を補完し、かつ一貫性を保った活動を促進・支援すること。	森林ガバナンス
(b)	ホスト国の法令及び主権を踏まえ、透明かつ効果的な国家森林ガバナンスを促進・支援すること。	
(c)	先住民や地域住民の知見や権利、関連する国際的な義務、各国の状況や法制度を考慮し、さらに UNDRIP（先住民族の諸権利に関する国連宣言）の尊重を促進・支援すること。	社会
(d)	利害関係者（特に先住民や地域住民）の効率的な参加を支援すること。	
(e)	天然林の保全及び生物多様性保全と一貫性を保ち、天然林を転換せず、天然林及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を促進・支援すること。	環境・社会
(f)	反転（結果的に一時的に排出削減・吸収しただけ）が起こらない活動を促進・支援すること。	気候
(g)	排出の移転（Displacement）を抑制する活動を促進・支援すること。	

注 *):"分類"は, UNFCCC によるものではなく筆者が便宜的におこなったものである。

表 P03-2　カンクン合意内のセーフガード関連パラグラフ
（UNFCCC (2011)[1] をもとに作成）

パラグラフ	
69	REDD プラス活動の実施は Appendix I に合致するように行われるべきであること、そして Appendix I のパラグラフ 2 に示されたセーフガードが促進し支援されるべきことを支持する。
71(d)	(d) REDD プラス活動において、セーフガードが、いかに対処され、尊重されたのかについて情報提供するシステムの開発
72	途上国政府に対して、森林減少・劣化のドライバーや土地所有権、森林ガバナンス、ジェンダーの配慮、セーフガードの問題に取り組むための国家戦略や行動計画の策定および実施時には、先住民族や地域住民等の関連する利害関係者の十分で効果的な参加を確保することを要請する。

環境社会セーフガード

セーフガードの中でも、社会と環境に関するセーフガードは、特に注目され、様々な主体により活発な検討が行われており、総称して環境社会セーフガードと呼ばれている。

社会セーフガードについては、通常は、表 P03-1 のセーフガードリストに示されている、(c) 先住民や地域住民の知識や権利の尊重 (図 P03-1)、(d) 利害関係者の十分で効果的な参加、(e) その他の社会的（及び環境的）便益の増大の他、合意文書中に分散して記述されているジェンダーや弱者への配慮、持続的発展や貧困削減への貢献などが想定されている。

環境セーフガードについては、表 P03-1 のセーフガードリストの (e) で示されている、REDD プラス活動が天然林や生物多様性の保護・保全と一貫性を保つこと、天然林や生態系サービスの保全とその他の環境的（及び社会的）便益を促進・増大させることなどが想定されている。

ただ、UNFCCC の文書の中では、環境社会セーフガードという用語については特に定義はない。また、その内容も上記の内容を基本としつつ、各主体の考える重要事項を加味した内容となることが多い。

図 P03-1　地域住民による森林の管理
上：コミュニティ・フォレストの管理についての話し合い
下：コミュニティ・フォレスト

セーフガードへの取組みの効果・重要性

セーフガードへの取組みは、政治的リスクの減少による国内外からの投資の拡大、社会的紛争の解消による活動の円滑な実施など、REDDプラス活動実施者側にとっても様々なメリットが期待出来る。UNFCCCの枠外の自主的取組みである世界銀行の森林炭素パートナーシップ基金事業やUN-REDDプログラムにおいても、環境社会セーフガードへの取組みを必須事項としている他、将来的にREDDプラスで発生させるカーボンクレジットやカーボンオフセットの取引において、環境社会セーフガードへの対応は必須条件となる可能性が高いと考えられる。

セーフガードの制度的課題

セーフガードとしてどのような内容についてどう取り組めばよいのかについては、国や地域によって状況が異なることもあり、UNFCCCでは具体的に定められてはいない。COP17でも、「セーフガードの情報提供システムのガイダンス」が作成され、大まかな指針が示されたが[3)]、どのような内容を報告すべきかについては明らかにされなかった。そのため、特に環境社会セーフガードについては、世界銀行やUN-REDDプログラム、NGO等により、原則・基準・指標やガイドライン等の作成が個別に実施されている[4)]。今後の議論動向を注視しつつ、当面はこうした自主的な取組みを参考に個々の状況に応じて検討を進めていく必要がある。

INFO

3) UNFCCC (2012) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

INFO

4) 世界銀行が主導するものとして「Strategic Environmental and Social Assessment（SESA）」、UN-REDDプログラムが主導するものとして「UN-REDD's Social and Environmental Principles and Criteria（SEPC）」、NGO等が主導するものとして「REDD+ Social & Environmental Standard（REDD+ SES）」や「Climate, Community and Biodiversity Standard（CCBS）」等がある。

4

第 4 章
森林炭素の
計測・報告・検証 (MRV)

温暖化緩和活動には、その結果についての正しい計測 (Measurement)、報告 (Reporting)、および検証 (Verification)、いわゆる MRV が必要である。REDD プラスにおいて MRV は森林由来のあらゆる温室効果ガスの吸収量・排出量に求められ、さらには REDD プラスのルールの実施に対して適用される可能性があるが、本章ではとくに重要である CO_2 の吸収量・排出量を推定するための森林炭素の変化についての MRV について述べる。

REDD プラスはもともと国レベルで実施される仕組みとして提案されたが、対象地域を限ったプロジェクトレベルでの自主的な取組みも重要視されてきていることから、報告（R）および検証（V）ではプロジェクトレベルで特に考慮されるべき点も概観した。

P04　森林炭素の計測
P05　森林炭素の報告
P06　森林炭素の検証

Recipe - P04

森林炭素の計測

この上の Recipe は

Recipe I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

森林炭素の計測は REDD プラスの要である。森林による CO_2 (二酸化炭素) 排出量の削減・吸収量の増加は森林炭素蓄積量の変化により推定され、それをもとにクレジットが算出されることになるからである。本レシピでは、気候変動枠組条約 (UNFCCC) の決定と 2006 年気候変動に関する政府間パネル (IPCC) ガイドラインに準拠して、REDD プラスに適用される森林炭素蓄積の変化量の計測について、何を測るか、どう測るかについて概説する。

何を測るか？

REDD プラスの対象は森林である。森林の定義は UNFCCC の示した範囲の中で各国が独自に決められる (P01 参照)。排出量推定値の不確実性を低下させるために、国の事情に応じて森林をさらに細かく区分することが推奨されている。たとえば、森林のタイプや攪乱の度合いごとに区分して面積を求め異なる排出係数を当てはめられれば、森林全体で 1 つの排出係数を当てはめるよりも不確実性が下げられる可能性がある。

森林などの土地利用には管理された土地と管理されていない土地 (managed land/ unmanaged land) の区分がある。管理された土地とは、生産、生態学的、あるいは社会的機能の発揮のために人為的な影響が及んでいる土地または施業が行われている土地であり、管理されていない土地はそれ以外の土地である。REDD プラスでは保全活動も対象の活動と認められるが、具体的にどのような内容が含まれるのかは具体的な定義がまだない (P01 参照)。

ある土地利用で炭素を貯留して炭素をそこに吸収またはそこから排出する部分をプールと呼び、地上部バイオマスや地下部バイオマスなど 5 つの炭素プールが定義されている。また、CO_2 以外にも CH_4 (メタン) や N_2O (亜酸化窒素) も報告すべき温室効果ガス (GHG) となっている。完全性の原則から (I03 参照) これらはすべて評価されなければならないが、炭素プールや温室効果ガスによって影響が異なり、適用すべき Tier [1] が異なる。森林では通常、地上部・地下部バイオマスの増減による CO_2 の吸収・排出の影響が大きいが、森林のタイプや地域によってはほかの炭素プール・温室効果ガスにも高い Tier を検討する余地がある (T02 参照)。

INFO

1) Tier – 排出量推定方法の複雑さのレベル
2006 年 IPCC ガイドラインは排出量推定手法の複雑さのレベルとして Tier という言葉を用いている。Tier 1 はもっとも簡単な基本的な方法、Tier 3 はもっとも複雑かつ多くのデータが必要な方法、Tier 2 はその中間である。あるセクターからの排出量がその国にとりキーカテゴリ (そのセクターの排出量の絶対量、傾向または不確実性が顕著) である場合、Tier 2 または 3 の方法を採用することが求められている。
農業･森林･その他の土地利用 (AFOLU) では、Tier 1 は IPCC が集成した排出係数をデフォルト値として用い、デフォルト法 (gain-loss 法) により排出量を推定する。一方、高い Tier ではその国独自の排出係数を用い、デフォルト法または蓄積変化法により推定する。
REDD プラスでどの Tier を用いるかはまだ決まっていない。しかし、AFOLU の排出係数のデフォルト値は不確実性が非常に高いことから、Tier 1 は使うべきではない、あるいは AR/D CDM の conservative factors を用いて割り引くべきであるという主張もある。その一方で、多くの発展途上国は Tier 1 の推定を実施する能力も現在備えておらず (I04 参照)、能力開発も視野に入れてフェーズドアプローチ (P02 参照) などにより実現可能な方法を採用するべきであろう。

どう測るか？

UNFCCC は REDD プラスのための森林炭素蓄積の測定方法として、リモートセンシングと現地調査を組み合わせた方法を推奨している[2)]。

森林炭素蓄積の変化量の推定方法にはデフォルト法 (gain-loss method) と蓄積変化法 (stock-change method または stock difference method) (P07 参照) の 2 つがある。デフォルト法では、森林の各プールの炭素の増加量及び減少量を推定し、それらを足し合わせて全体の変化量を推定する (P04-1 式)。たとえば、バイオマスの成長による増加や枯死などによる減少、森林から他の土地利用またはその逆の転用による増減などを積算する。

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L \qquad \text{(P04-1)}$$

ここで、ΔC はその炭素プールの年間炭素蓄積変化量 (t-C/ 年)、ΔC_G は年間炭素蓄積増加量 (t-C/ 年)、ΔC_L は年間炭素減少量 (t-C/ 年) である。

これに対し、蓄積変化法では、2 時点における森林炭素蓄積量を推定し、その差により森林炭素蓄積の変化量を推定する（P04-2 式）。

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \qquad \text{(P04-2)}$$

ここで、ΔC はその炭素プールの年間炭素蓄積変化量 (t-C/ 年)、C_{t_1} は t_1 (年) における炭素蓄積量 (t-C)、C_{t_2} は t_2 (年) における炭素蓄積量 (t-C) である。ある年の炭素蓄積量は森林 (またはその細区分) の面積とその単位面積当たりの炭素蓄積量を掛けあわせたものを積算することにより求められる。

炭素蓄積の推定では、デフォルト法は Tier 1 から 3 まですべての Tier で用いることができる。一方、蓄積変化法は Tier 2 または 3 に用いられる。蓄積変化法の方が比較的大きな炭素量の増減を正確に推定できると考えられている。そこで、リモートセンシングで森林またはその細区分の面積を測定し (P08 参照)、地上での計測またはその代替手段により単位面積当たりの炭素蓄積量を推定し (P09 参照)、それらを組み合わせて蓄積変化法で森林炭素変化量を推定する。

INFO

2)UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

Recipe - P05

森林炭素の報告

この上の Recipe は

Recipe I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

「報告」とは、排出・吸収量の推計値やその推計方法、手順、体制、排出削減・吸収源対策の実施状況や将来予測等について、所定の機関等に対して所定の様式、手続き等に従って情報提供を行うプロセスである。気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下での REDD プラス活動に関する「報告」のモダリティ (全体的な流れ・大枠) については、現時点ではまだ国際的な合意が得られていない。このため、本レシピでは、国レベルの温室効果ガス (GHG) 排出・吸収量の「報告」に関する国際交渉の流れを概観するとともに、森林分野の温室効果ガス排出・吸収量の「報告」に求められる基本的な要件や留意事項について述べる。

報告とは

「報告」とは、排出・吸収量の推計値やその推計方法、手順、体制、排出削減・吸収源対策の実施状況や将来予測等について、所定の機関等に対して所定の様式や手続き等に従って情報提供を行うプロセスであり、排出削減・吸収量を比較可能とし、透明性を確保する上で非常に重要な意味を持つ。

「報告」は、UNFCCC に基づき国レベルで行われる場合、クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism：CDM) や各種の自主的認証スキームなどに基づきプロジェクトレベルで行われる場合など、様々なケースがあるが、ここでは基本的な情報として、国レベルで求められる報告について概観する。

国別報告書（ナショナル・コミュニケーション）

UNFCCC では、その第 4 条 (約束) 第一項において、全ての締約国に対し、それぞれが共通に有しているが差異のある責任等を考慮しつつ、締約国会議 (COP) が合意する比較可能な方法を用い、自国における温室効果ガスの人為的な排出・除去に関する目録 (インベントリ) を作成し、定期的に更新し、公表し、締約国会議に提供すること、また、気候変動緩和・適応のための措置について計画を作成し、実施し、公表し、定期的に更新することなどを義務づけている。

この規定に基づき、UNFCCC 第 12 条では、各国に対し、条約事務局を通じて情報提出を行う報告書の内容やタイミングについて定めている。温室効果ガス排出・吸収目録と、条約目的達成のために実施し

ている措置の概要については全ての締約国に報告が義務づけられ、附属書 I 国についてはさらに、気候変動に関する政策や措置の詳細、排出・吸収量の将来予測、途上国への支援状況等についてもその報告に盛り込むことを規定している。この情報提出は国別報告書 (National Communication：NC) と呼ばれ、UNFCCC 附属書 I 国については条約が自国に効力を生じた後 6 ヶ月以内、発展途上国については 3 年以内に最初の報告を提出し、その後の提出頻度はいずれも COP 決定に従うこととされている [1)]。

2012 年 6 月現在、UNFCCC 附属書 I 国は全ての国が 5 回目の国別報告書を提出し、6 回目の報告期限は 2014 年 1 月 1 日と定められている。一方、UNFCCC 非附属書 I 国では最初の国別報告書については 146 か国が提出しているが、2 回、3 回目はそれぞれ 74 カ国、3 カ国 [2)] となっており（図 P05-1）、提出のタイミングや報告書作成のための能力強化の必要性などについて、COP で議論が続けられている。

なお、UNFCCC 非附属書 I 国における国別報告書の作成作業を支援するため、UNFCCC からユーザーマニュアル [3)] と、より詳細な作成手順について解説したリソースガイドが公開されている。

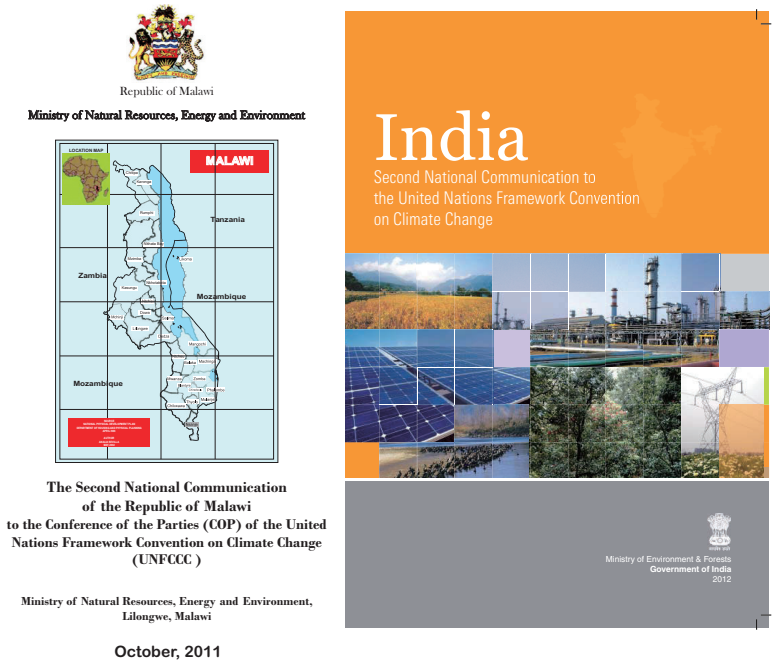


図 P05-1　国別報告書（左：マラウィ、右：インド）

国家温室効果ガス目録（インベントリ）

各国の国全体の排出・吸収量の推計値を分野別にまとめたもので、UNFCCC 非附属書 I 国については上記の国別報告書の一部として提出

INFO

1) 非附属書 I 国のナショナル・コミュニケーションの作成ガイドライン：UNFCCC (2003) Decision 17/CP.8, Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention, FCCC/CP/2002/7/Add.2 http://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf#page=2

INFO

2) 途上国各国のナショナル・コミュニケーション：http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php

INFO

3) 非附属書 I 国の国別報告書のガイドラインのユーザーマニュアル：REPORTING ON CLIMATE CHANGE user manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties http://unfccc.int/files/essential_background/application/pdf/userman_nc.pdf

する。UNFCCC 附属書 I 国については、1990 年から直近年まで（提出期限は報告年度の翌々年の 4 月 15 日）の毎年の排出・吸収量について、定量的な推計値を表形式で集計した共通報告様式（Commom Reporting Format：CRF）[4] と、その推計手法や背景、手順などについて記述した国家インベントリ報告書 (National Inventory Report：NIR) の形で毎年作成・提出し、専門家レビューチームによる審査を受ける。

温室効果ガスの排出･吸収量は、エネルギー分野、工業プロセス分野、溶剤その他製品の利用分野、農業分野、土地利用変化及び林業分野、廃棄物分野の 6 つの分野毎に推計し、森林や森林減少からの排出・吸収量については、土地利用・土地利用変化及び林業セクター (通称 LULUCF セクター) に含まれる。

推計手法は、COP で合意された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) のガイドラインに基づくこととされ、森林等土地利用分野の推計手法については、UNFCCC 非附属書 I 国は 1996 年 IPCC ガイドラインを使用すべきとされている。UNFCCC 附属書 I 国については、2003 年に出版された IPCC GPG-LULUCF (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry) を使用し、京都議定書に基づく排出削減目標を掲げている締約国については、さらに、議定書 3 条 3 項及び選択した 3 条 4 項に基づく吸収源活動に伴う排出・吸収量について、各活動の対象地の位置・面積や吸収・排出量に関する補足情報 [5] を提出し、条約に基づく目録審査と併せて専門家レビューチームによる審査を受ける。審査の結果、報告内容に不備や遺漏があった場合、各国は改善勧告を受けるが、所定の期限までに改善を行わない場合、審査専門家による「調整」が行われ、さらに、不備や遺漏のレベルが一定以上となると、京都メカニズム参加資格の停止等のペナルティが科される。

INFO

4) 先進国の LULUCF 分野の CRF：
UNFCCC (2005) Decision 14/CP.11, Tables of the common reporting format for land use, land-use change and forestry

INFO

5) 京都議定書 3 条 3 項、4 項の下での LULUCF 活動の GPG：
UNFCCC (2007) Decision 6/CMP.3, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry activities under Article 3, paragraphs 3 and 4, of the Kyoto Protocol

隔年更新報告書、国際的な協議と分析

2010 年の COP16 において、「途上国における適切な緩和行動」(Nationally Appropriate Mitigation Action：NAMA) に基づく途上国各国の緩和行動を促進するため、途上国は国別報告書を 4 年ごとに提出するとともに、インベントリ報告と緩和活動の取組み状況、先進国等からの支援の必要性や実態について記述した隔年更新報告書 (Biennial Update Report：BUR) [6] を提出し、国際的な協議と分析 (International Consultation and Analysis：ICA) のプロセスを経ることが合意された。隔年更新報告書の提出のタイミングと内容については、2011 年の COP17 で合意された隔年更新報告書のガイドラインにより定められ、途上国は 2014 年までに第 1 回の隔年更新報告書を提出し、その後 2 年に 1 度の頻度で更新すること、報告書には、直近の、もしくは最低でも、提出時点から起算して 4 年以内の年のインベントリを含み、その後の更新報告も過去 3 年以内の年の報告を含めることなどが規定されている。

INFO

6) 途上国の BUR のガイドライン：
UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 39-44, UNFCCC biennial update reporting guidelines for Parties not included in Annex I to the Convention

隔年更新報告書に含まれるインベントリ報告は、1996 年 IPCC ガイドライン、2000 年 IPCC GPG、2003 年 IPCC GPG-LULUCF に準拠し算定・報告することとされ、土地利用・土地利用変化及び林業分野については可能な限り 2003 年 IPCC GPG-LULUCF 第 3 章 Annex 3 の報告様式 [7] を使用することが奨励されている。

なお、COP17 では、国際的な協議と分析のモダリティ (全体的な流れ・大枠) とガイドライン [8] についても合意し、最初の国際的な協議と分析は提出後 6 ヶ月以内に実施すること、その経験を踏まえ、2017 年までにモダリティとガイドラインの見直しを行うことなどが定められているが、国際的な協議と分析を行う専門家チームの構成等の詳細については現在も議論が続いている。

INFO

7) GPG-LULUCF 第 3 章 Annex3 報告様式：
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reporting_Tables.pdf

INFO

8) ICA のモダリティとガイドライン：UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 56-62, Modalities and guidelines for international consultation and analysis

報告に求められる要件

REDD の計測、報告、検証 (MRV) のうち、「報告」プロセスに求められる要件については、現時点では国際的な合意が得られていないため、ここで明確に述べることはできない。国別報告書及び隔年更新報告書に含まれる報告内容やプロセスと、REDD の MRV において要求されるそれとがどのような関係となるのか、また、REDD の異なる実施レベルの活動を MRV システム全体の中でどのように整合させていくのか、といった点について、今後の議論の推移を注視する必要があろう。

しかしながら、国レベル、プロジェクトレベル、先進国、途上国いずれの場合であっても、排出・吸収量の報告に求められるのは、透明性、正確性、比較可能性、完全性、一貫性の 5 つの要素であり、森林炭素の報告にあたってこのような要素を担保するためには、いずれの場合についても、森林の定義、森林の主要な階層区分、推計手法や主要なパラメータ等主要な推計要素について明確に示すとともに、各種の報告間で一貫性を保つよう留意することが望ましいと考えられる。

また、森林等土地利用分野は他の排出セクターと異なり、各国固有の自然環境や生態系システムの複雑さに大きな影響を受ける。このような背景を加味しつつ、信頼性の高い「報告」を行うためには、排出・吸収量などの定量的な情報の提示とともに、その背景にある自然環境の特徴やそこに根ざした固有の社会的・経済的状況、推計プロセスや手法選択の理由等、定性的な情報についても明確かつ十分に記述 (documentation) することが重要である。

Recipe - P06

森林炭素の検証

この上の Recipe は

Recipe I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

排出削減・吸収量報告における「検証」とは、推計値や手法の適切性やプロセス、文書化の状況などについて、独立した視点から検査し、報告の信頼性を確保する作業である。温室効果ガス (GHG) インベントリに基づく政策効果の評価や、排出削減プロジェクトから発生するクレジットの取引において不可欠の作業であり、かつ推計値に対する検証作業は、資金や人的資源、データなどの現実的な制約の中で実施されなければならない。REDD プラスなど森林分野の検証においては、特にこのような制約が大きく、制度や仕組みの目的に即し、現実的かつ効果的な検証手法を選択することが求められる。REDD プラスの検証については現時点で合意が得られていないが、これまでの経験を参考にし、かつ REDD プラスに特有の事項を踏まえた方法が導入される可能性がある。

検証とは

「検証」の一般的な定義は、「客観的証拠を提示することによって、規定された要求事項が満たされていることを確認する作業」である。気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下での国家温室効果ガスインベントリ報告、クリーン開発メカニズム (CDM) や自主的な炭素クレジットシステムの下でのプロジェクトレベルの報告など、いずれの場合にも不可欠の作業とされるが、算定・報告の目的や枠組みにより、要件や作業手順は異なる。

UNFCCC の下での国家温室効果ガスインベントリ報告においては、検証は品質管理 (Quality Control：QC) と品質保証 (Quality Assurance：QA) の一連のプロセスの中で行われる。選択した活動量データやパラメータ、推計手法の適切性について、算定者自らあるいは第三者が他の独立したデータセットや近隣国のインベントリと比較することによって検査する。一方、クレジットの売買を前提としたクリーン開発メカニズム (CDM) や自主的な炭素クレジットシステムなどの仕組みの下では、検証はプロジェクトにより達成された排出削減量を事後的に確認し、クレジットに対して取引に耐える信頼性を付与するための審査プロセスとして実施される。プロジェクト計画書に書かれている内容や方法論に沿ってプロジェクトが実施されているかどうか、第三者機関により実施されることが要求される。

検証の要求事項とプロセス

検証を実施するに当たっては、まず、対象となる算定・報告システムが規定する検証の要求事項やプロセスを確認する必要がある。国家温室効果ガスインベントリ報告における検証の場合、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の 2006 年ガイドライン (第 1 巻 6 章　QA/QC と検証) や IPCC GPG (GPG2000 及び 2003 年 GPG-LULUCF) に基づき実施する。例えば、クリーン開発メカニズムの場合、検証のルールは締約国会議 (COP) で合意されたモダリティ (全体的な流れ・大枠)・手続きや CDM 理事会の承認したマニュアルに従う。一方、クレジットの取引を前提としたプロジェクトレベルの枠組みの場合、IPCC のガイドラインと併せ、それぞれの枠組みの定める独自のガイドラインに基づき実施する。例えば、欧州連合 (EU) の域内取引や自主的な取組みのための検証・認証基準である VCU (Verified Certification Units) では、国際標準化機構 (International Organization for Standardization : ISO) の定める国際規格である ISO14064-03 等、国際規格に準拠したガイドラインを策定している。また、クレジット取引を目的とする制度の下では、多くの場合、検証を行う第三者機関の力量を保証するため、ISO14065 に準じた認定制度を適用している。

森林分野における検証の基本的なアプローチ

排出削減量・吸収量の推計値に対する検証は、基本的に IPCC ガイドラインに基づき行う。技術的・予算的な制約を考慮し、検証対象やアプローチに優先順位を設けて重要なものから選定すべきであるとされる。国家温室効果ガスインベントリ報告の場合、あらかじめ各サブカテゴリやガスについて、報告やインベントリ全体の中での重要性（キーカテゴリ分析の結果、政策決定にあたっての重要性など）や不確実性を評価し（P12 参照）、重要性や不確実性の高い項目を優先的に検証対象として選定する。

また、アプローチの選択にあたっては、各国・地域事情等に照らした実施可能性や適切性に基づいて判断するが、関心度合い、コスト、求められる精度、検証アプローチの計画と実施にあたっての複雑性、必要とされる専門性のレベル等も考慮する必要がある。

クリーン開発メカニズム等の検証システムにおいては、IPCC ガイドラインとの推計の整合性はもとより、IPCC ガイドラインに基づく推計方法を使用しているかどうか、適用した方法論に適合しているか、プロジェクト計画書 (Project Design Document：PDD) に書かれている内容がきちんと実施されているかどうか、といった点について一定の判断基準に従って確認が行われる。

土地利用・土地利用変化及び林業 (LULUCF) 分野の検証にあたって適用する主なアプローチとしては、①他の情報との比較、②より高い Tier の手法との全体もしくは部分的な比較、③直接観測、④リモートセンシング、⑤モデリング、の 5 つの手法が挙げられる。（2003 年 IPCC GPG-LULUCF）これらのうち、①②は独立したデータセットやパラメータが得られる限りにおいては特別な技術や知識を要さず比較的低コストで実施できる利点があり、最も代表的な手法である。一方、③④⑤については、実施手法によりコストや労力、必要とされる専門的知識のレベルが大きく異なることから、これらとの兼ね合いを考慮して採用を検討する必要がある。土地利用・土地利用変化及び林業分野の各項目に対するアプローチの適合性については、IPCC2003 年 GPG-LULUCF の表 5.7.1 (表 P06-1) に整理されている。

REDD プラスの検証

REDD プラスの検証のモダリティ (全体的な流れ・大枠) については現時点で国際的な合意が得られていないが、排出削減量・吸収量に経済的なインセンティブを付与する場合、信頼性や公平性を確保するためには検証プロセスは不可欠となるであろう。特に、クレジットの取引を前提としたプロジェクトレベルの取組みとなる場合、クリーン開発メカニズムや自主的なクレジット認証システムでの経験を参考に、第三者機関による検証システムが導入される可能性がある。

REDD プラスの場合の判断基準については現時点ではまだ定まっていない。しかしながら、今後の制度設計においては REDD プラスに特有の事項として、国レベル・準国レベル・プロジェクトレベルのどのレベルの取組みなのか、バウンダリ (プロジェクトエリア、参照エリア、リーケージベルトなど) を適切に設定しているか、ベースライン (参照レベル) の設定において森林減少・森林劣化のドライバーを適切に考慮し、適切なシナリオやデータを選択しているか、住民参加型の場合も含めモニタリングの体制がきちんと構築されているか、といった点についてさらに現場経験を踏まえた議論が必要になると見込まれる。また、森林保全活動などの排出削減活動の有効性、生物多様性などの生態系への影響や社会経済的影響、セーフガードの対応状況、といった点についても今後の議論のポイントになってくると考えられる。

表 P06-1　土地面積把握及び炭素プールと非 CO_2 温室効果ガスへの検証アプローチの適用可能性 (GPG-LULUCF　第 5 章　5.7.1 検証のアプローチより)

	アプローチ 1 他のインベントリや他の独立したデータセットとの比較	アプローチ 2 より高い Tier の適用	アプローチ 3 直接観測	アプローチ 4 リモートセンシング	アプローチ 5 モデリング
土地面積	データがあれば適切	データがあれば適切	適用不可能	適切	適用不可能
炭素プール					
地上部バイオマス	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適切（地上データが必要）	適切（回帰モデル、生態系モデル、成長モデル）
地下部バイオマス	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適切（回帰モデル、生態系モデル、成長モデル）
枯死木	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適用可能（生態系モデル、インベントリベースモデル）
リター	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適用可能（生態系モデル、インベントリベースモデル）
土壌	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適切（生態系モデル）
非 CO_2 ガス	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適切（生態系モデル）
排出係数	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適用不可能	適切（生態系モデル）
活動量／土地ベースの報告					
森林、草地、農地、その他の土地利用	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適切。特に、土地被覆／土地利用とその変化の把握。	適切。 データ集約的。 直接観測やリモートセンシングが適用できない場合の代替アプローチとして適用可能。
新規植林、再植林、森林減少、プロジェクト活動	データがあれば適切	データがあれば適切	適切（ただし集約的な投入が必要）	適切。特に、土地被覆／土地利用とその変化の把握。	非実用的

参考文献

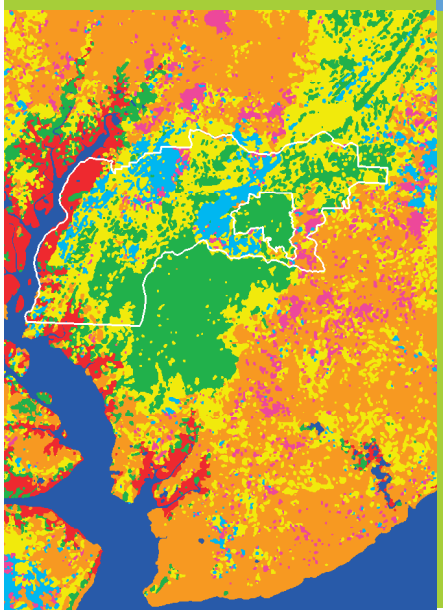
国際標準化機構 (2005) ISO9000:2005

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm

5

第 5 章
蓄積変化法による
モニタリング



蓄積変化法は「面積推定」と「単位面積当たりの炭素蓄積量推定」の 2 つの骨格から構成される。面積推定は一連のリモートセンシング手法により実行可能となる。一方、単位面積当たりの炭素蓄積量推定には大きく分けて、固定調査プロット法と林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法の 2 種類がある。本章では技術的な実行可能性が高い固定調査プロット法を重点的に解説し、さらに今後の発展が期待される 4 つの林分炭素蓄積推定モデル手法を紹介する。また推定された森林面積と単位面積あたりの炭素蓄積量の掛け合わせから、吸排出量およびその不確実性を求める手順を示し、最後に吸排出量のトレンドに基づく REDD プラスの参照レベル・参照排出レベルの設定について、現時点における課題も含めて解説する。

P07　蓄積変化法
P08　リモートセンシングを用いた面積推定
P09　単位面積当たりの炭素蓄積推定
P10　固定調査プロット法を用いた方法
P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法
P12　吸排出量の算定
P13　参照排出レベル・参照レベル

Recipe - P07

蓄積変化法

この上の Recipe は
Recipe P04　森林炭素の計測

蓄積変化法は、その名が示すように異なる時点の炭素蓄積量の変化を吸排出量とする手法であり、より広範に適用可能な算定手法と考えられる。一方でその手法は堅牢かつ透明性を持つものでなければならない。本レシピでは、蓄積変化法を構成する「森林面積変化」と「単位面積当たり炭素蓄積量」について解説をする。

蓄積変化法とは

2006 年気候変動に関する政府間パネル (IPCC) ガイドラインでは、森林のバイオマスの炭素蓄積変化量の算定方法として、デフォルト法 (成長量－損失量法 (gain-loss method)) と蓄積変化法 (stock-difference method もしくは stock-change method) という 2 つの方法を提示している [1)]。デフォルト法は成長による吸収から伐採や自然攪乱 (natural disturbance) による排出を差し引いて炭素蓄積変化量を算出する方法である。一方で、蓄積変化法は、異なる時点の炭素蓄積量の差分から変化量 (＝排出量および吸収量 (emission and removal)) を求める手法である。

デフォルト法は、伐採量や攪乱による損失量の把握する必要があるが、多くの国でそれらを把握するための正確な統計情報が得られないのが実情である。したがって、多くの国では、2 時点の炭素蓄積量の変化を排出量および吸収量とする蓄積変化法がより広範に適用可能な手法であると考えられる。

国家レベルの炭素蓄積変化量の把握にはリモートセンシングと現地調査の組み合わせが有効であることが指摘されている [2)]。以下、リモートセンシングを用いた面積推定と現地調査による単位面積当たり炭素蓄積量の求め方を説明する。

INFO

1) IPCC (2006) Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

INFO

2) UNFCCC (2009) Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action. FCCC/SBSTA/2009/L.19/Add.1

面積推定（P08 参照）

森林の炭素蓄積量を推定するためには、その面積を把握する必要がある。森林は土地利用 (land-use) のカテゴリ (categories) のひとつである [3)]。森林から他の土地利用への転換 (conversion)、あるいは他の土地利用から森林への転換も発生する。また、カテゴリおよびサブカテゴリは、気候 (climate)、土壌 (soil)、生態系 (ecological zone)、管理形態 (management systems) などにより層化 (stratification) されることがある [4)]。

INFO

3) 森林 (Forest Land) 以外には、農地 (Cropland)、草地 (Grassland)、湿地 (Wetlands)、開発地 (Settlements)、その他の土地 (Other Land) の区分がある。

INFO

4) IPCC (2006) Chapter 3: Consistent Representation of lands. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

土地利用カテゴリの面積を求める方法として、2006 年 IPCC ガイドラインでは以下の 3 つのアプローチを提供している [4)]。

- アプローチ 1: 各土地利用区分の面積増減を捕捉
- アプローチ 2: 土地利用区分相互の移動面積量を把握
- アプローチ 3: 国土の各位置における土地利用及び土地利用変化を把握

これら 3 つのアプローチは土地利用変換をどのように捉えるのかという点で異なっている。アプローチ 1 では、国内のすべての土地利用カテゴリごとの面積およびその変化を記録するが、カテゴリ間の転換（どのカテゴリからどのカテゴリへ転換したか）は考慮しない。アプローチ 2 ではカテゴリ間の転換を記録する。そして、アプローチ 3 では更にそれらの転換がどこで発生したかを地図上に位置づけて記録する [5)]。実務上は上記複数のアプローチを混合して実施することになる可能性がある。

上記 3 つのアプローチのいずれかを適用するにしても、何らかの形で土地利用に関するデータを収集する必要がある。土地利用に関して具体的なデータを収集するには大きく下記の 3 つの情報源がある [4)]。

- 他の目的で整備済みのデータベース (database prepared for other purposes)
- 標本サンプリング (collection by sampling)
- すべての土地を対象としたインベントリ (complete land inventory)

まずは既存の情報 (地図や統計情報) を活用する方法である [6)]。次にこれら既存のデータでは不十分の場合は、サンプリングによる新たなデータを取得する必要がある。サンプリングのデザインは、予備情報を用いた層化法 (auxiliary data and stratification) や系統抽出法 (systematic sampling) が用いられる [7)]。3 番目の complete inventory では、定期的な調査を通じて国全体の土地利用図が得られることになる。このような広域の地図情報は、リモートセンシングの技術により実現可能となる [8)]。

INFO

5) アプローチ 3 で求められている空間的に詳細な土地利用変換の把握のためには、対象域を格子状に、あるいは小さなポリゴンに分割して分析を実施する。これら方法については、IPCC2006 年ガイドライン第 4 巻第 3 章付録 3A.4 (Annex 3A.4) に概要が示されている [4)]。

INFO

6) たとえば国レベルで算定を考えた場合、土地利用に関して事前に利用可能な情報を確認する必要がある。土地を分類するのに適用できるデータベースとして、国レベルのデータベース (National Databases) と国際的なデータベース (International Databases) が挙げられる。後者については IPCC2006 年ガイドライン第 4 巻第 3 章に一覧が示されているが、その適用にあたっては土地利用区分の定義の違いや解像度などに注意を払う必要がある [4)]。

INFO

7) サンプリング方法については、2006 年 IPCC ガイドライン第 4 巻第 3 章付録 3A.3 (Annex 3A.3) [4)] に概要が示されている。

INFO

8) 現地調査は、リモートセンシングデータによる分類結果の検証のために必要である。

面積変化の推定 （P11 参照）

上述の方法で推定した森林面積を異なる 2 時点で比較することによって、森林面積の変化を見出すことができる。リモートセンシングデータを使うことによって面積の変化を抽出 (detect) することができるが、その方法として下記の 2 つが主に挙げられている [9)]。

INFO

9) Singh A (1989) Digital change detection techniques using remotely sensed data. Int J Rem Sens 10: 989-1003

- 2 時期それぞれの分類結果の比較
- 多時期画像の一括分類による変化抽出

前者は、異なる 2 時点の画像を別個に土地被覆分類してその分類結果を比較する方法であり、後者は新旧 2 画像を共に用いて直接変化地域を検出する方法である。手法が異なれば得られる結果も当然異なってくることから、それぞれの特性を把握して適切な手法を選択する必要がある。

INFO

10) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar C.A, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. JARQ 45(2): 233-242

INFO

11) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica 42(4): 410-419

INFO

12) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. JARQ 46(2): 187-192

単位面積当たりの炭素蓄積量推定 （P09 参照）

蓄積変化法では、単位面積当たりの炭素蓄積量を求める手法として、以下の 5 つの方法がある [10)]。

- 固定調査プロット
- 群落高などの高さ
- 樹冠径
- 群落齢
- SAR による後方散乱係数

上記方法はそれぞれに長所、短所があり、適用できる条件がそれぞれ異なるが、固定調査プロットを用いた地上調査は農地転換や択伐などの様々な土地利用に適用できる幅が広い。これまでに国家レベルで固定調査プロットを多数設定するいわゆる PSP (permanent sample plot) 法によって森林の炭素蓄積量を広域にモニタリングする取組みが行われている [11), 12)] (P10 参照)。

炭素蓄積量合計・変化量の推定 （P12 参照）

蓄積変化法では、下記の式により炭素蓄積変化量を求める [1)]。

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \qquad \text{(P07-1)}$$

ここで、ΔC はその炭素プールの年間炭素蓄積変化量 (t-C/ 年)、C_{t_1} は t_1 (年) における炭素量 (t-C) 、C_{t_2}は t_2 (年) における炭素量 (t-C) である。

また、カテゴリを森林タイプや管理形態などの違いによりサブカテゴリに分割した場合、炭素蓄積変化量は次式のようにサブカテゴリごとに変化量を求めて積算する。

$$\Delta C = \sum_{ijk} \left[\frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \right]_{ijk} \qquad \text{(P07-2)}$$

ここで、 i は気候タイプ、j は森林タイプ、k は管理形態である。

炭素蓄積量を推定するにあたって、不確実性の評価 (P12 参照) を行い、それを可能な限り低減する取組みが必要である。衛星画像を用いた面積推定の変化の場合、測定時期による異なる定義の使用やサンプリングデザインの不備などが不確実性の発生源となる [4)]。一方、炭素蓄積量推定の不確実性に関しては、たとえば固定調査プロットの場合、プロットの配置とその設置数が重要となってくる。

参考文献

加藤正人 (2010) 森林リモートセンシング 第 3 版. 日本林業調査会

Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer- Verlag

Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag

Recipe - P08

リモートセンシングを用いた面積推定

この上の Recipe は
Recipe P07　蓄積変化法

本レシピでは、リモートセンシングを用いた面積推定について説明する。まずリモートセンシングデータについて、その種類、空間分解能及び観測頻度の観点から衛星センサを分類しそれぞれについて利点と欠点を説明する。次に、リモートセンシングデータ解析に不可欠なデータの前処理について解説する。さらに面積推定に必要な分類処理について、クラスの定義の仕方、グランドトゥルースの収集法、分類手法、分類結果の検証に分けて解説する。最後にこれらの解析の結果得られる分類画像を用いた面積変化の推定法について述べる。

データの種類とソフトウェア（T05 参照）

リモートセンシングのデータは、それを取得するセンサの種類で大別される。センサには、光学センサ、合成開口レーダ (Synthetic Aparture Radar; SAR)、ライダ (Light Detection And Ranging; LiDAR) などがある。光学センサは対象物の反射光を観測するものである。光学センサは人間の感覚や目で見る風景と似ているため直感的に理解することが可能であり、土地被覆の判別に優れており、過去から現在に至るまで最も多く利用されているセンサである。

SAR はマイクロ波を地表に斜めに照射し、その反射 (後方散乱) の強度や位相、時間を記録する。SAR は雲を透過し全天候昼夜観測が可能であることから熱帯林観測への応用が期待されている。

ライダは、レーザパルス光を対象物に向けて照射し、その反射光の到達時間や強度を観測することにより、センサと対象物の距離を測定するものである。ライダから単木や林分の高さを知ることができ、林分のバイオマスを推定することが可能となる。

リモートセンシングデータに共通の仕様として、空間分解能、波長分解能と時間分解能がある。空間分解能は、地上をどれだけ細かく見ることができるかの指標であり、空中写真が数 cm から 1m 程度、人工衛星センサは 40cm から数 km までさまざまである。波長分解能は、観測できる波長範囲をいくつに分けて観測できるかの指標であり、単波長センサから多波長 (マルチスペクトラル) センサ、さらに数十以上の波長にわたるハイパースペクトラルセンサなどがある。時間分解能は観測の頻度であり、1 日から数十日と衛星の軌道やセンサの観測範囲などによりさまざまである。目的と費用などを考慮し、適切な分解能の組み合わせのリモートセンシングデータを使用すべきである。

リモートセンシングデータの解析に用いられるソフトウェアには、大気補正、地理補正といった前処理、画像演算、画像分類などの画像処理、

地図化など必要な機能が既に備えられているものから、このうち一部を行うフリーのものまで、さまざまなものがある。また、近年よく用いられるオブジェクトベース分類に専用のソフトもある。リモートセンシングを用いた森林面積推定には、画像処理ソフトだけでなく画像解析の結果を地図化するための GIS も必要である。利用目的と利用者の能力により最適なものを選ぶために、専門家や利用経験者の意見を聞く必要がある。

データの前処理（T06 参照）

リモートセンシングデータは入手段階では様々な歪みをもつため、歪みを除去するとともに、解析に適したデータに加工するために前処理を行う必要がある。前処理には、大気補正、幾何補正、地形補正などが含まれる。大気補正は、大気の影響により反射信号等が受ける影響を軽減するものであり、幾何補正は画像を地図に合うように補正するものである。地形補正は、地形の高低によって生ずる画像上の歪みを地形情報などを用いて正射影画像に変換するものである。

さらに、熱帯降雨林地帯などでは単一画像では雲なしの画像が得られないことが多く、複数画像の雲のない部分を抽出してモザイク処理を行い、雲なし画像を作成する必要がある。この際、画像ごとに太陽光の放射量が異なることに注意する必要がある。また、国レベルで森林分布図を作成する場合、取得時期の異なる画像をモザイクする必要がある。この場合、季節林地帯では、森林の季節変化、特に落葉時期の違いの影響を軽減する処理を施すこともあり、これらの処理も広義の前処理と言える。

クラスの定義（T07 参照）

分類クラスは、対象国における森林の生態学的特徴、バイオマス量および森林管理状況等を考慮し、すべての土地被覆を網羅し、それぞれのクラスが共通部分を持たない完全かつ排他的なクラスとして定義される必要がある。リモートセンシングを用いる場合、使用するリモートセンシングデータから十分な精度で分類可能であり、同時に既存の森林分類体系と矛盾しないクラスである必要がある。

グランドトゥルース（T08 参照）

リモートセンシングデータ解析のために収集される土地被覆、森林タイプ、森林バイオマス等の信頼できる参照データをグランドトゥルースと呼ぶ。これらは通常、教師データと検証データに分けられ、前者は分類処理に、後者は分類結果の評価に用いられる。これらのデータは解析

図 P08-1　グランドトゥルース調査における地理座標の確認

に恣意的な影響を与えないようにするためできる限りランダム、あるいは系統的にサンプリングする必要がある (図 P08-1)。また森林という対象の性質上、十分なサンプル数の確保が困難な場合がある。こうした場合にはアクセス困難な場所でのサンプル数が少なくなることバイアスが生じないよう考慮する必要がある。

分類手法（T09 参照）

分類とはデータをその統計的な特徴から似たもの同士に分ける処理である。分類処理は、教師なし分類と教師あり分類に分けられる。教師なし分類では、リモートセンシングデータのスペクトル情報の統計的な特徴のみを用いて分類しクラスタとしてまとめ、その後グランドトゥルースデータを用いて各クラスタにラベル付けを行う。教師あり分類では、グランドトゥルースのうち教師となるデータを用いて元のリモートセンシングデータからスペクトル特徴パターンを抽出し、それを元に統計的特徴が似ているものを集めて分類する。

また、分類はピクセルベース分類とオブジェクトベース分類に分けることもできる。ピクセルベース分類では、リモートセンシング画像のピクセル (画素) ごとに各バンドのスペクトル特徴を用いて分類するが、オブジェクトベース分類ではリモートセンシング画像を色情報や形状情報を用いてオブジェクトに分割し、そのオブジェクト内部のスペクトル情報やテクスチャ情報を用いて分類する (図 P08-2)。オブジェクトベース分類では境界線をコンピュータが自動で引いてくれることから、目視判読に近い結果を効率良く得ることができると言われている。

分類結果の精度検証（T10 参照）

分類画像の妥当性を評価するのが精度検証である。精度検証ではグラ

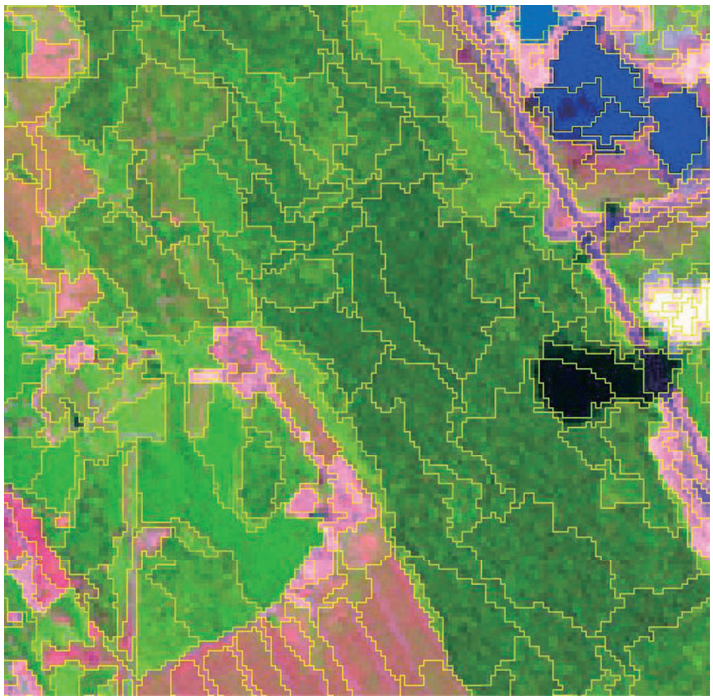


図 P08-2　Landsat 衛星画像のオブジェクトベース分類

ンド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。精度検証の指標としては、総合精度、利用者精度、作成者精度、カッパ係数などが用いられる。その際、必要とされる標本数は、クラス当たり 50 程度と言われている。判別効率表を用いてこれらの精度を評価し、必要ならば面積バイアスの修正を行う。

面積変化の推定（T11 参照）

リモートセンシングデータを用いた面積変化の推定には、2 時期の画像分類後にそれぞれを比較する方法と、2 時期あるいは多時期の画像を一括分類して土地被覆変化を直接抽出する方法がある。前者では、分類処理が独立しているため、変化していない部分での境界線が重ならず、修正が必要という問題点がある。後者では、変化しなかったクラスとクラス間の変化の全パターンを一度に解析するため結果の解釈や図化が難しいという問題点がある。

参考文献

Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW (2007) Remote Sensing and Image Interpretation, sixth edition. Wiley

McCoy RM (2005) Field Methods in Remote Sensing. Guilford Press

Alexander R, Millington AC (2000) Vegetation Mapping. Wiley

Recipe - P09

単位面積当たりの炭素蓄積推定

この上の Recipe は

Recipe P07　蓄積変化法

炭素蓄積量の推定を Tier2、Tier3 に引き上げるには、国レベルでの炭素蓄積量の情報を継続的に収集することが必要である。蓄積変化法 (stock-change method または stock difference method) に利用可能な単位面積当たりの炭素蓄積量の推定手法は複数あり、大きく分類して固定調査プロット法とモデルを用いる方法とに分けられる。本レシピでは、単位面積当たりの炭素蓄積量推定のための上記 2 つの手法について解説する。

入手可能な資源（T03 参照）

単位面積当たりの炭素蓄積量の推定 [1] には、調査対象の森林の炭素量を直接測定する方法（例えば固定調査プロット法）と、推定モデルを用いて間接的に推定する方法がある。どちらの手法を使用する場合も、調査を実施する場所の選定、調査地点数、調査・解析の担当者の技術の習得が推定値に大きく影響する。ここでは、精度よく簡便に炭素蓄積量を推定する際に有用な情報や技術を「資源」と呼ぶ。

国によっては、過去に様々なプロジェクトによって国や一部地域を対象に植生調査や森林資源調査、土壌調査などが実施されている場合があり、これらの情報は重要な資源と成り得る。例えば、森林や土壌の情報と気候区分にもとづいて、土地や森林を区分することができる。林木の直径や樹種のデータが利用できれば、それらをパラメータとして森林タイプごとの単位面積当たりの炭素蓄積量が推定できる場合がある。さらに森林減少・劣化の原因となる活動の種類が分かれば、森林変化のパターンを想定できる。このような資源は、固定調査プロット法でのプロットの設置場所やプロットの整備にも役立つ。またモデルを用いた方法では、より簡便なパラメータを収集するためのサンプリングの設計に利用できる。過去の調査に携わった組織の情報も、調査の実行体制を構築する際の資源となる。

現在までにさまざまな調査手法が提案されているが、それぞれに長所と短所があり、必要とする設備や技術の難易度、経費も異なる（表 P09-1）。手法の選定は、現地で利用や実施が可能な資源を基準におこなう。

INFO

1) 通常、いずれの手法でも、測定結果はバイオマス（t/ha）として求められるため、炭素含有率である 0.5 を乗じて炭素蓄積量 (t-C/ha) に変換する必要がある。

炭素蓄積量を直接測定する方法（固定調査プロットを用いた方法）（P10 参照）

炭素蓄積量を直接測定する方法とは、森林の中に複数の固定調査プロット（ Permanent Sample Plot : PSP ）を設置し、そこに成立する樹木の樹種・サイズ・個体数を基に炭素蓄積量を算出する方法である。こ

の方法は固定調査プロットの設置や維持の現地作業に多くの労力を要し、測定者が立ち入ることが可能な範囲でしか調査を行なうことができない。しかし、調査は手法・道具ともに簡便で、かつ精度の高いデータが得られる利点がある。

炭素蓄積量を間接的に推定する方法（推定モデルを用いた方法）（P11 参照）

人工衛星や航空写真などの画像解析から対象地域の炭素蓄積量を間接的に推定する方法が複数ある。この方法は、画像解析に必要な機材にかかる費用と解析の精度にトレードオフが生じることが多い。人工林（plantation）などのように、単位面積当たりの個体数が既知で、樹種や林齢・個体サイズが揃っている森林の場合は、林齢と炭素蓄積量の相対成長関係を利用して推定することができる。推定モデルを用いた手法には、群落高法（overstory height method）、樹冠径法（crown diameter method）、群落齢法（community age method）、後方散乱係数法（backscattering coefficient method）がある。

参考文献

Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. JARQ45(2): 233–242

表 P09-1 様々な人為活動による温室効果ガス排出量を推定する手法の比較（Kiyono et al., 2011 を改変）

推定手法	該当するレシピ	必要な要件	費用	広域でのデータ取得の難易度	技術面の困難度	各手法による人為活動別の温室効果ガス排出量推定の可能性				地元住民のモニタリング参加による推定精度向上の可能性
						農地への転換	焼畑農業の耕作期間の短縮	伐採	燃材採取	
固定試験地（PSP）	T12〜14	地上調査による測定	高	難	・プロットの代表性と秘匿性に限界	可能	可能	可能	可能	高
群落高	T16	多偏波干渉SAR	低	中	・テスト段階であり、適用例はまだ少ない	?	?	?	不可能	低
		航空機搭載LiDAR	高	難	・特になし	可能	可能	可能	不可能	低
		衛星立体視センサ	中	容易	・雲がある画像では不可 ・実施例がない	?	?	?	不可能	低
		地上調査による測定	?	困難	・実施例がない ・実施できる範囲が小さい	可能	可能	可能	不可能	高
群落齢	T17	高・中解像度の衛星画像	中	容易	・定期的に裸地になる焼畑農業などに適用可能	不可能	可能	不可能	不可能	低
樹冠径	T18	高解像度の衛星画像もしくは航空写真	高	中	・雲がある画像では不可 ・いくつかの森林タイプでは樹冠径の判読が困難	部分的に可能	不可能	部分的に可能	不可能	低
後方散乱係数	T19	Lバンドよりも波長の長いSAR	低	中	・急傾斜地では適用困難 ・高蓄積の森林では適用困難	部分的に可能	部分的に可能	不可能	不可能	低

＊この表は湿地林（泥炭林やマングローブ林）には適用できない

Recipe - P10

固定調査プロット法を用いた方法

この上の Recipe は

Recipe P09　単位面積当たりの炭素蓄積推定

森林の変化を把握する目的で、胸高直径や樹高等を数年毎に繰り返し計測するために設定される地上調査区を固定調査プロット（Permanent Sample Plot：PSP）と呼ぶ。本レシピでは、標本調査法に基づいた固定調査プロットの必要数と配置、固定調査プロットの設計と計測における留意点および固定調査プロットデータを用いた炭素蓄積量推定の方法について述べる。

固定調査プロットの必要数と配置（T12 参照）

広域 (国もしくは準国レベル) の炭素蓄積を効率よく推定するためには、標本調査法に基づいた固定調査プロットの必要数と配置を考慮する必要がある。固定調査プロットの必要数 nは、母集団が十分に大きいとき、以下の式 [1),2)] から求めることができる。

$$n \geq \left(\frac{t \cdot CV}{E}\right)^2 \qquad \text{(P10-1)}$$

ここで、E は許容誤差率（95%信頼区間の幅の二分の一を平均値で除した値）、CV は変動係数、 t は t 分布の危険率が 5%、自由度が n -1 のときの値である。この式より、E が小さいほど、また、CV が大きいほど nは多くなることがわかる。例えば、日本で 1961 年に実施された第 1 回全国森林資源調査では、E =3%、 t = 2、CV = 150%として、

$$n \geq \left(\frac{2 \times 1.5}{0.03}\right)^2 = 10000 \qquad \text{(P10-2)}$$

と計算し、必要数を 10,000 プロットと定めている。CVに関しては、森林全体もしくは森林タイプ毎に事前の情報が必要であり、予備調査や過去の経験に基づく推定が求められる。

固定調査プロットの配置については道路や集落の近くなどアクセスのよい場所に集中することのないよう、単純無作為抽出法 [3), 4)] や系統的抽出法 [3), 4)] によって偏りなく配置させる必要がある。また、より効率的に標本調査を実行するには、リモートセンシングに等よって事前に分類された森林区分毎に標本数や配置を定める層化抽出法 [3), 4)] が極めて有効である。

固定調査プロットの設計と計測（T13 参照）

固定調査プロットの設計に際しては、現地において効率的な計測が可能となるような工夫が必要である。プロットの形状については円形もし

INFO

1) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学．地球社

INFO

2) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica 42(4): 410-419

INFO

3) 大隅眞一 (1987) 森林計測学講義．養賢堂

INFO

4) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. Environ Res Let 2: 045023

くは正方形が一般的であり、大きさの異なるいくつかの区画を入れ子状に重ねて一つのプロットを構成する場合が多く、小さい樹木は小さな区画内、大きい樹木は大きな区画内で計測する[5)]。例えば、4km メッシュで日本全国に配置されている固定調査プロットは、半径が 5.64m、11.28m、17.84m と異なる 3 つの同心円を呈しており (図 P10-1)、計測の対象となる立木の最小直径は、それぞれ、1cm、5cm、18cm となっている[6)]。

固定調査プロットは数年毎に計測が繰り返されるため、プロットへの入口やプロット境界への標識の設置 (図 P10-2)、アルミタグによる樹木番号の付与や胸高位置へのマーキングが必要である[7)]。また、樹木番号等の紛失もしばしば生じるため、立木位置図を作成することも重要である。さらに、計測誤差を最小限にするための対策が必要であり、詳細な計測マニュアルの作成や調査者に対する事前の計測演習が求められる[6), 7)]。

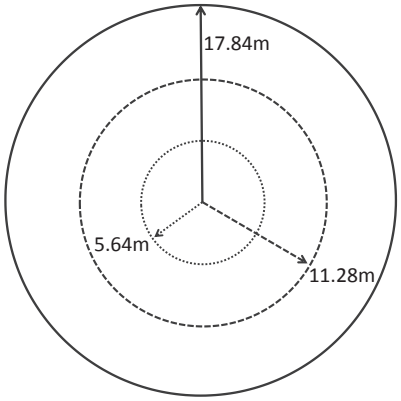


図 P10-1　4km メッシュで配置された日本の PSP におけるプロット形状

図 P10-2　カンボジアにおけるプロットへの案内標識

固定調査プロットのデータ解析（T14 参照）

樹木の炭素蓄積量は現存量（乾重量、Biomass）の 2 分の 1 として算出する[5)]。固定調査プロットの計測データから現存量を推定する方法には以下の 2 通りがある[8)]。一つは、アロメトリ式を用いる方法で、胸高直径、あるいは、胸高直径と樹高のデータをアロメトリ式に入力することで、枝・葉を含めた 1 本あたりの現存量が推定できる。このアロメトリ式はさまざまな地域や樹種（群）について作成されているが、熱帯の樹木に関しては、Brown[9)] や Chave ら[10)] によって開発された汎用式がよく用いられている。

もう一つの方法は、バイオマス拡大係数（Biomass Expansion Factor：BEF）を用いる方法である[8)]。バイオマス拡大係数は、一般的な森林調査で昔から報告されてきている幹材積（m^3）を枝・葉を含めた現存量に変換するための係数であり、幹材積に対する現存量の比率 (Mg/m^3) で表される。バイオマス拡大係数も地域や樹種（群）毎に作成されている。

INFO

5) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

INFO

6) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2009) Evaluation of data quality in Japanese National Forest Inventory. Environ Monit Assess159: 331-340

INFO

7) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2010) Effects of training for inexperienced surveyors on data quality of tree diameter and height measurements. Silva Fennica 44: 657-667

INFO

8) Brown S (2002) Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environ Pollut 116: 363-372

INFO

9) Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper 134. FAO

INFO

10) Chave J, Andalo C, Brown S, Cairos MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, KiraT, Lescure J-P, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riééa B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99

Recipe - P11

林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

この上の Recipe は

Recipe P09　単位面積当たりの炭素蓄積推定

単位面積当たりの炭素蓄積量の推定には、林木を直接測定する固定調査プロット法（P10）の他に、林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法がある。これはパラメータからモデルのよって炭素蓄積量を推定するものであり、用いるパラメータの違いから複数の手法が提唱されている。本レシピでは、推定モデルを用いる意義を述べると共に、群落高、樹冠径、群落齢、後方散乱係数の各パラメータを用いたモデルについて特徴を解説する。

INFO

1) ここで扱うモデルは主に地上部および地下部バイオマスの炭素蓄積量の推定が中心となる。枯死木やリターなどの炭素プール量の推定には、手法により向き不向きがあり、推定できる量や内容に限界が存在する。したがって、これら炭素プールを推定するためには、現地調査を組み合せるなどの調整が必要となってくる。

INFO

2) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, Breugel Mv, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. Biogeosciences 8: 1615-1629

INFO

3) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. PNAS 108: 9899-9904

INFO

4) 清野嘉之・齊藤哲・佐藤保・高橋與明・粟屋善雄 (2009) 上層高の変化から森林の炭素蓄積の変化を推定するときの課題．関東森林研究 60:151-154

モデルの構築と検証

固定調査プロット法 (P10 および T12 ～ 14 参照) は、農地転換などの土地利用変化や択伐等の撹乱による森林減少や森林劣化を把握することができ、その適用に森林・植生タイプを選ばないことから汎用性に優れている。しかし、精度の高いデータが必要な REDD プラスでは、必然的に設定するプロット数が多くなり、手間と費用が問題となる。そこで現地調査を経ずに得られるパラメータを用い、炭素蓄積量とパラメータの関係式をモデル化して間接的に推定する手法が有効な選択肢のひとつとなる [1)]。ただし、現地調査による精度検証を伴わないモデル推定値は、森林炭素の計測、報告、検証 (MRV) の観点から問題がある。目的とする推定精度を達成するために、モデル構築に必要となるデータ取得費用と標本数を考慮に入れて調査設計およびモデル選択をする必要がある（T15 参照）。

以下、群落高、樹冠径、群落齢および後方散乱係数をパラメータして用いた推定モデルについてその概要を説明する [1)]。

群落高法（Overstory height method）（T16 参照）

群落高と群落バイオマスの間で認められる比例関係 [2),3),4)] を利用して、群落高を指標に単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する手法が群落高法である。群落高情報は地上観測やリモートセンシング (航空機 LiDAR、衛星 LiDAR、多偏波干渉 SAR、衛星立体視センサ) で取得する。実行コストと広域代表性（解析の対象となる一区画の大きさ）は使用センサに依存する。群落高とバイオマスの関係式は、汎用性が高く、森林タイプや遷移系列の違いによる関係式の分離は明確ではない [3)]。上記関係式作成には、毎木調査による樹高データが必要であり、その測定精度や標本数もまた重要である。

樹冠径法（Crown diameter method）（T17 参照）

樹木個体バイオマスが樹冠径に対して指数関数的に増加する[5]関係を利用して、樹冠径情報を指標として単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する手法が樹冠径法である。樹冠径情報は空中写真や高分解能衛星画像を用いて取得する。実行コストは大きく、光学センサを用いた場合は雲の影響を受ける。大径木択伐に伴う森林劣化を検出・定量化しうる。樹冠の視認性が要件となり、大径木林や疎林に適する一方で若齢二次林やタケ林には不適である。上空から取得できる樹冠径情報は上層木のみであり、中下層木のバイオマスは別途推定する必要がある。

INFO

5) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. JARQ 45(2): 233-242

群落齢法（Community age method）（T18 参照）

群落バイオマスは群落齢に対して飽和曲線を描いて単調増加する[6]関係を利用して、群落齢情報を指標として単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する手法が群落齢法である。群落齢情報は中分解能以上の衛星データを用いて裸地の発生時期と場所をモニタリングして取得する。裸地検出の失敗は精度低下に直結し、年 1 回以上のモニタリング頻度が必要である。コストは中程度である。焼畑やゴムプランテーションなど群落の成立初期に裸地化する時期を持つ周期的な土地利用システムで有効である。焼畑休閑年数の短縮や人工林への転換に伴う炭素蓄積量変化が推定できる。

INFO

6) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Olioso A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Dounagsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. Int J Appl Earth Obs Geoinf 12(4): 287-297

後方散乱係数法（Backscattering coefficient method）（T19 参照）

合成開口レーダ (SAR, Synthetic Aperture Radar) で得られる後方散乱係数[7]（σ^0, dB）から単位面積当たりの地上部バイオマスを推定する手法が後方散乱係数法である。地上部バイオマスは後方散乱係数に対して飽和曲線を描いて単調増加する。そのため単純な推定式で中～高蓄積林分の推定は難しく経験項の導入などの工夫が必要である[8]。SAR のマイクロ波は雲を通過するため、年間を通じて雲が多い地域[9]での活用が期待される。波長の長いマイクロ波は森林解析に有利とされる。実行コストは小さく、複数シーンの比較が容易であり、広域代表性に優れている。他方、林分構造、地形、土壌水分、地表面状態、複数回反射の影響があり解析は容易ではなく、克服すべき技術的な課題も少なからず存在する。

INFO

7) 後方散乱係数σ 0 の算出式。
$\sigma 0 = 10 \log10 (<DN2>) - \alpha$
DN は画素値、<> は平均処理を示す。校正係数αはデータプロダクトに付随するヘッダーファイルより得られる。

INFO

8) Carreiras J, Vasconcelos MJ, Lucas RM (2012) Understanding the relationship between aboveground biomass and ALOS PALSAR data in the forests of Guinea-Bissau (West Africa). Remote Sens Environ 121: 426-442

INFO

9) Ju J, Roy DP (2008) The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. Rem Sens Environ 112: 1196-1211

Recipe - P12

吸排出量の算定

この上の Recipe は

Recipe P07　蓄積変化法
Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定
Recipe P09　単位面積あたりの炭素蓄積推定

本レシピでは炭素蓄積とその変化量 (吸排出量）の算定方法について述べる。また炭素クレジットの信頼性を高めるためには、吸排出量の算定値の不確実性 (Uncertainties) [1] をより小さくすることが重要である。ここでは不確実性の合成 (Method to Combine Uncertainties) [2] と、サンプルデータを用いた計算例について解説する。

炭素蓄積と変化量の算定

蓄積変化法では、森林面積 (ha) と単位面積当たりの炭素蓄積量 (t-C/ha) を積算することで炭素蓄積 (t-C) を求める。まず、森林タイプ毎の面積と単位面積当たりの炭素蓄積から、全体の炭素蓄積を式 (P12-1) により求める。

$$C_t = \sum_{i=1}^{n} (A_i \times C_i) \qquad \text{(P12-1)}$$

ここで、C_t はある時点 t における炭素蓄積合計 (t-C)、A_i は i 番目の森林タイプの占める面積 (ha)、C_i は i 番目の森林タイプがもつ単位面積当たりの炭素蓄積 (t-C/ha) である。

続いて、吸排出量を式 (P12-2) により求める。

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \qquad \text{(P12-2)}$$

ここで、ΔC は吸排出量 (t-C/ 年) 、C_{t_2}, C_{t_1} はそれぞれ時点 t_2, t_1 （ 年 ）における合計炭素蓄積 (t-C) である。

このように算出された炭素蓄積や吸排出量はモニタリングデータであると同時に、参照排出レベル・参照レベル (P13 参照) の設定にも利用される。

算定量の不確実性

ある 1 つの森林タイプの炭素蓄積の不確実性は、その面積と単位炭素蓄積の不確実性を式 (P12-3) によって合成することで算出する。

$$U_i = \sqrt{U_{Ai}^2 + U_{Ci}^2} \qquad \text{(P12-3)}$$

ここで、U_i は i 番目の森林タイプの炭素蓄積推定の不確実性 (%)、U_{Ai} は i 番目の森林タイプの面積推定の不確実性 (%)、U_{Ci} = i 番目の森

INFO

1) ここで求める平均値の不確実性とは 95%信頼区間の上限（もしくは下限）と平均値との差分を、平均値で除した比率（%）である。正規分布を仮定する場合、95%信頼区間の上限と平均値の差分は、標準偏差の 1.96 倍に相当し、不確実性 U (%) は下記の式により平均の推定値 μ と標準偏差 σ から求められる。
$U = 100 \times (1.96 \times \sigma)/\mu$

INFO

2) 不確実性の合成を行う代わりに、モンテカルロ法（Monte Carlo Method）による不確実性の評価を行うこともできる。この場合乱数を生成するソフトウェア（Microsoft Excel、R など）を利用し、シミュレーションにより計算された吸排出量の分布から 95%信頼区間を推定する。ちなみに表 P12-1 のデータを利用した場合、計算回数 10000 回で ΔC = − 622.5(t-C/ 年), $U_{\Delta C}$ = 30.9(%) となった。

林タイプの単位面積当たりの炭素蓄積推定の不確実性 (%) である。

U_i をすべての森林タイプについて求め、式 (P12-4) により合成する。

$$U_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(U_i \times M_i)^2} \Big/ \left|\sum_{i=1}^{n} M_i\right| \qquad \text{(P12-4)}$$

ここで、U_t はある時点 t (年) における炭素蓄積合計の不確実性 (%)、M_i は i 番目の森林タイプの炭素蓄積合計（$=A_i \times C_i$）(t-C) である。

最後に式 (P12-5) により時点 t_1、 t_2 の間の吸排出量の不確実性を求める。

$$U_{\Delta C} = \sqrt{(U_{t_2} \times C_{t_2})^2 + (U_{t_1} \times C_{t_1})^2} \Big/ \left|C_{t_2} - C_{t_1}\right| \qquad \text{(P12-5)}$$

ここで、$U_{\Delta C}$ は時点 t_1 、 t_2 の間の吸排出量の不確実性 (%) である。

ここで仮の調査データを用い、吸排出量とその不確実性を求めてみる。表 P12-1 に常緑林と落葉林の 2 タイプの調査データを示した。この時、吸排出量 ΔC と $U_{\Delta C}$ 不確実性はそれぞれ式 (P12-2)、式 (P12-5) に基づき以下のように求められる。

$$\Delta C = (16204 - 22440)\ /(2010 - 2000) = -623.6 \qquad \text{(t-C/ 年)}$$

$$U_{\Delta C} = \sqrt{(6.5 \times 16204)^2 + (7.2 \times 22440)^2} \Big/ |16204\ - 22440| =\ 30.9\ \%$$

表 P12-1　森林炭素蓄積と吸排出量の計算例 (斜体は計算結果)

炭素データ	Ai	U_{Ai}	Ci	U_{Ci}	$Ai \times Ci$	$\sqrt{U_{Ai}^2 + U_{Ci}^2}$	C_t	U_t
(単位)	(ha)	(%)	(t-C/ha)	(%)	(t-C)	(%)	(t-C)	(%)
常緑林 2000 年	100	6	150	8	*15000*	*10.0*	*22440*	*7.2*
落葉林 2000 年	93	4	80	7	*7440*	*8.1*		
常緑林 2010 年	88	8	120	9	*11560*	*9.5*	*16204*	*6.5*
落葉林 2010 年	68	2	83	5	*5644*	*5.4*		

参考文献

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthopogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES

Recipe - P13

参照レベル・参照排出レベル

この上の Recipe は
Recipe P12　吸排出量の算定

REDD プラスでは、REDD プラス活動の実施によりどれだけ排出削減されたかを定量化するために、参照排出レベルや参照レベルを設定して実際の排出量と比較することになる。本レシピでは、気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下に設置された科学的・技術的助言に関する補助機関会合 (SBSTA) の要請により開催された専門家会合の議論に基づき、参照排出レベル・参照レベルの設定について解説し、UNFCCC においてなされている議論と参照排出レベル・参照レベルの設定における課題を整理する。

参照排出レベル・参照レベルの設定

REDD プラスは途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組み (「REDD」活動) による CO_2 の排出削減、森林保全等 (「プラス」活動) による CO_2 の排出防止および炭素固定による大気中の CO_2 の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ (資金やクレジット) を与えるというのが基本的な考え方である。その際、REDD プラスのための取組みを実施しなかった場合と比較して、実際にどの程度の削減が実現したかを定量化するために、参照排出レベルや参照レベルを設定することになる。

参照排出レベルと参照レベルの違いについては、SBSTA の要請により開催された 2 回の専門家会合で議論され [1), 2)]、国全体で設定した結果がネット排出であれば参照排出レベルと呼び、ネット吸収であれば参照レベルと呼ぶという考え方と、森林減少・森林劣化からの排出削減活動に係るものを参照排出レベルとし、「プラス」活動に係るものを参照レベルとし、場合によっては同一の国について両方を設定することもあり得る、という 2 つの意見が示された。また、途上国各国の国家戦略および行動計画において、より多くの REDD プラス活動を漸次含めることができるようにするため、参照排出レベル・参照レベルの決定には柔軟性を持たせるようにすべきであるという意見が多くの専門家の間で共有された。

参照排出レベル・参照レベルを設定するためには、森林減少・森林劣化に関する歴史的データが必要となる。森林減少に関しては土地利用変化を伴う変化であるため、過去の時系列での衛星データを用いることにより、比較的容易に特定することが可能である。ただし、参照排出レベル・参照レベルの設定で必要になるのは森林炭素蓄積の変化であることから、伐採される前の森林の炭素蓄積量を推定する必要がある。また、森林劣化のモニタリングは、森林減少のモニタリングよりも技術的に困

INFO

1) UNFCCC (2009) FCCC/SBSTA/2009/2, UNFCCC

INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/SBSTA/2011//INF.18, UNFCCC

難を伴う。しかしながら、森林炭素蓄積の大きな減少を伴うような劣化については、リモートセンシングによるモニタリングが可能である場合が多い。このため専門家会合においては、参照排出レベル・参照レベルの設定にあたって、森林減少からの排出は必ず考慮すべきとの考えが共有された一方、森林劣化からの排出は有意でなければ必ずしもに含めなくても良いのではないかとの意見が示された。また、森林劣化の特定には、リモートセンシングだけではなく、地上ベースの炭素蓄積モニタリングや計測が必須であると考えられる。

UNFCCC における現在の議論

UNFCCC 第 15 回締約国会議 (COP15) においては、参照排出レベルおよび参照レベルを途上国が設定する場合、歴史的データを用いて透明性を確保しながら、それぞれの国の状況に応じて調整すべきであるとされた。また COP16 において、途上国の REDD プラスの対策として、国レベル（あるいは経過措置として準国レベル）の森林参照排出レベル・森林参照レベルを設定することが盛り込まれた。しかしながら、それらの定義や設定方法については現時点では示されていない。

COP17 においては、参照排出レベルと参照レベルのためのモダリティ (全体的な流れ・大枠) について議論がなされ、参照排出レベルと参照レベルは活動実施における各国の実績を評価する基準であり、CO_2 換算で表現されること、各国の温室効果ガスインベントリに含まれる森林由来の排出・吸収量と一貫性を保ちながら構築されること、参照排出レベルと参照レベルの開発には、より良いデータや改良された方法、さらに、もし適切であれば追加の炭素プールを組み込みこんでいく段階的なアプローチが有効であること、準国レベルの参照排出レベル・参照レベルは、国レベルへの移行の間、当面の対策として構築されうることなどが示された。

課題の整理

参照排出レベルや参照レベルを設定するには、歴史的データが必要になるが、歴史的データをどのような時間間隔で取得するかにより、また、どのようなモデルを用いるかにより、設定される参照排出レベルや参照レベルが大きく異なる可能性がある。より精細なモデルを用いる場合、より多くの時点でのデータが必要となる [3)]。将来予測をするためのモデルの選択と、その作成に必要となる歴史的データ取得の適切な時間間隔について十分な議論がなされることが求められる。

森林炭素のクレジット化に向けては計測、報告、検証（MRV）過程

INFO

3) 松本光朗 (2010) REDD+ の科学的背景と国際議論 . 森林科学 60：2-5

において特に精度の高いモニタリングが求められると考えられるが、一方で、歴史的データに関してはその取得に限界があり、透明性、信頼性を確保した上でどのように参照排出レベルや参照レベルを設定するか、また、各国状況に応じてどのように調整するかが、REDD プラスを成功させる上で重要な鍵となる。これらを設定するために必要となる技術やデータのレベルは途上国によりさまざまな段階にあり、また、国の状況も大きく異なることから、各国の状況に応じたキャパシティー・ビルディングが必要である。今後、途上国における実証活動の中で、参照排出レベル・参照レベルを試行的に設定し、これらの事例から問題点を整理して REDD プラスの完全実施へと移行していく必要がある。

技術編

6

第 6 章
REDD プラス実施における前提

REDD プラスを実施するにあたり、実施国で森林の分布状況や資源量のデータが整備されているのか？また、現地でどの温室効果ガスを優先的に測定するべきなのか？実施国はこれらの状況を把握し、利用可能な資源の状況に応じた炭素蓄積推定手法を選択しなければならない。

本章では、国家森林資源調査の概要、測定対象となる温室効果ガスと炭素プール、そして森林炭素蓄積量推定に利用可能な資源について解説する。加えて、国際的に取組みが広がっている自主的な制度によるクレジット活動を紹介する。

T01　国家森林資源調査
T02　何を測るか？
T03　入手可能な資源
T04　自主的なクレジット認証制度

Recipe - T01

国家森林資源調査

この上の Recipe は

Recipe I03　森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

欧米などの主要国の多くでは、国全体の森林資源量を把握するために、統一した手法で定期的に森林資源調査が行われており、これを国家森林資源調査 (National Forest Inventory、NFI) とよんでいる。ここでは、国家森林資源調査の統計学的なサンプリングデザインやプロットの形状、調査法などの概要について述べる。

国家森林資源調査とは

欧米などの主要国の多くでは、国全体の森林資源量を把握するために、統一した手法で定期的かつ継続的に森林資源調査が行われている。こういった目的の森林調査が、国家森林資源調査である [1)]。国家森林資源調査は、統計学的なサンプリングによるプロット調査に基づくものが今日では主流であり、森林の炭素吸収量の報告など、統計学的な精度つきで報告を求められる場合にも適した調査法である。

INFO

1) 西川匡英 (1994) 先進諸外国の国家森林資源調査の動向と展望．森林計画学会誌 22: 1-18.

国家森林資源調査のサンプリングデザイン

統計学的なサンプリングとするために、多くの国では、国土に 0.5 ～ 20km 間隔の格子をかけ、その格子点または一定のルールに従って離れた地点を基準点として、プロットやプロット群（クラスタ）を配置している (図 T01-1)。プロットは森林でない地点にも落ちるので、空中写真や踏査などによりプロットが森林であるかないかを調べれば、森林面積を推定できる。

プロットの形状やクラスタを用いるかどうかは、各国の森林環境などの相違を反映して、多様なものとなっている [2)]。フランスなどの西南

INFO

2) 家原敏郎 (2012) 欧州等各国の国家森林資源調査の特徴．サンプリングデザインの比較 . 関東森林研究 63(1): 23-26.

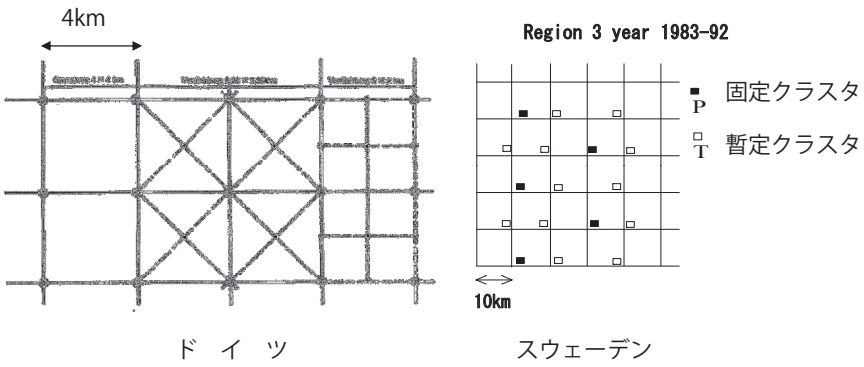


図 T01-1　国家森林資源調査におけるサンプリングのための格子の例

ヨーロッパや日本は、クラスタを用いない単一プロット方式をとっている (図 T01-2) [3]。ドイツなどヨーロッパ中央部では、150 ～ 500m 離して 4 つのプロットを正方形状に配置する小型のクラスタ、北欧では 10 個あまりのプロットを、一辺 1000m を越えるような長方形上に配置する大型のクラスタが用いられている [3]。また、アメリカ合衆国のように正三角形や、ブラジルのように十字型のクラスタを用いる国もある。

クラスタを適用する利点は、林内での移動が容易な場合、短時間で多くのプロットデータを測定することができることである。他方、クラスタ内のプロット間には、統計学的な独立性が保証されていないので統計処理が複雑となる。

INFO

3) 家原敏郎・岡裕泰・松本光朗・宮部秀一・安部和子 (2005) フランス，ドイツ，スウェーデンの国家森林資源調査システムと京都議定書への利用 . 日本林学会関東支部論文集 56：7-10

国家森林資源調査のプロットと調査

森林の蓄積はプロットでの立木測定により推計する。プロットの形状は、円形プロットとする国が多いが、中国、ブラジル、ニュージーランドの天然林では方形としている。円形プロットは 2 重から 4 重の同心円とし、内側ほど直径の小さい立木まで測定している国が多い。例えばフランスでは、半径 6m 及び 9m、15m の 3 重円形プロットが用いられ、それぞれ胸高直径 7cm、20cm、37cm 以上の立木の直径を測定する。樹高測定は手間がかかるので、通常一部の立木を選び測定する。生物多様性などのニーズに対応して、下層植生、倒木、根株、土壌等の測定や記載も行われる。

熱帯諸国での国家森林資源調査

熱帯諸国では、森林へのアクセスや技術的な問題から、欧米のような国家森林資源調査が普及しているとは言い難い。ここでは、2005 年から新しい国家森林資源調査を開始したブラジルの事例を述べる [4]。ブラジルでは、国土に約 20km 間隔の格子をかぶせ、格子点で 4 つの 20m × 50m の長方形プロットを十文字に配置し、胸高直径 10cm 以上の立木の計測を行っている。プロット内には、10m × 10m および 5m × 5m の小径木や実生用のサブプロットもある。

INFO

4) Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (Eds.) (2010) National Forest Inventories: Pathwag for Common Reporting. Springer-Verlag

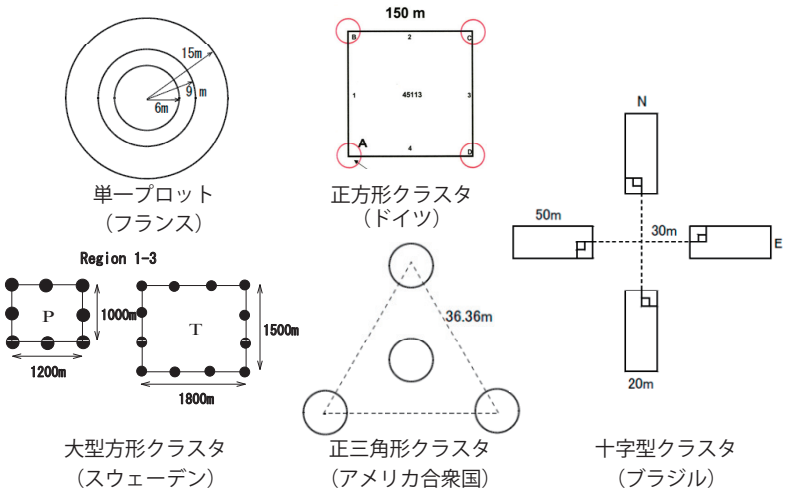


図 T01-2　国家森林資源調査におけるプロットの配置様式

Recipe - T02

何を測るか？

この上の Recipe は

Recipe P04　森林炭素の計測

温室効果ガスのモニタリングを効率よく実施するためには、計測対象を明確にすることが重要である。本レシピでは、REDD プラスでの測定の対象となりうる温室効果ガス (二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素) と、5 つの炭素プール (地上部バイオマス、地下部バイオマス、枯死木、リター、土壌) について述べる。

INFO

1) 一つの判断基準としては、試算した総排出量に対して 25 %以上の寄与があればその計測項目を実施するのが望ましい。さらに計測項目の寄与の合計が、総排出量の 95 %以上となればなおよい。一般に、モニタリングの対象となる優先順位の高い測定項目はキーカテゴリー (Key Category) と呼ばれる。

INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Hirai K, Saito H, Toriyama J, Monda Y, Awaya Y, Shimada M, Inoue T, Hatano R, Sophal C, Samreth V, Sum T, Kanzaki M, Limin SH, Jaya INS (2011) Important subcategory of greenhouse gas emissions from degraded forestland: CO_2 emissions from biomass in a seasonal forest in Cambodia and soil organic matter in a peat swamp forest in Indonesia. 関東森林研究 62: 167-170

REDD プラスの対象となりうる温室効果ガス

REDD プラスでは、CO_2 (二酸化炭素)、CH_4 (メタン)、N_2O (亜酸化窒素) の 3 つの温室効果ガスがモニタリングの対象となりうる。森林生態系のタイプに関わらず、第一に CO_2 の計測が求められる。続いて、森林が火災の影響を受ける地域では CH_4 と N_2O の計測が必要かもしれないし、泥炭湿地林が多く分布する地域では CH_4 の計測が必要となる可能性がある。CH_4 と N_2O を含む計測項目の実施は、他の計測項目の排出量も含めた総排出量に対し、それぞれの項目が寄与する程度により判断される [1)]。図 T02-1 は気候変動に関する政府間パネル (IPCC) のデフォルト値や独自の観測値を用いた、総排出量に対する各計測項目の寄与の試算例である [2)]。

一方、計測の実施が必要と判断されても、実施そのものが困難な場合もある。主なモニタリング手法として、CO_2 を対象とした蓄積変化法 (stock-change method または stock difference method) と、CH_4 と N_2O を対象としたフラックス法の 2 種類が挙げられる。しかしフラックス法は分析機器（ガスクロマトグラフィー）の導入とスタッフの訓練に多くの時間とコストを要する。観測頻度も通常 2 ～ 4 週間に 1 回程

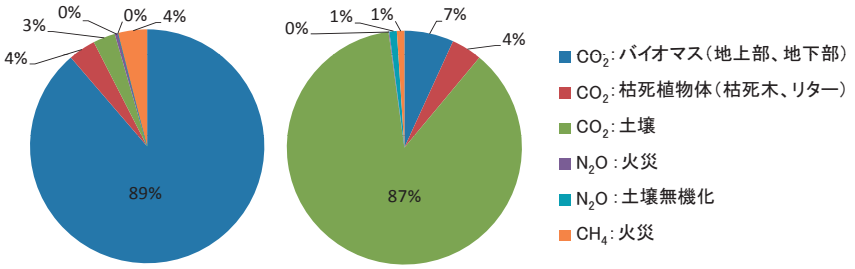


図 T02-1　総排出量に対する各計測項目の寄与の試算 [2)]
左）熱帯季節林（合計 425 t-CO_2/ha/10yr）、
右）泥炭湿地林（排水有：合計 878 t-CO_2/ha/10yr）

度と高く、その都度スタッフが現地で作業する必要がある。モニタリングコストを抑える為には、すでに大学や研究機関等がプロジェクトエリアでフラックス法を行っている場合はその値を採用し、それが得られない場合は IPCC のデフォルト排出係数を利用することも検討すべきである [3)]。本レシピでは多くのプロジェクトで実行可能性の高い蓄積変化法にトピックを絞り、フラックス法については参考文献 [4), 5)] を紹介するに留める (図 T02-2)。

図 T02-2　フラックス法による温室効果ガスの計測 [5)]
A）密閉容器（チャンバー）の設置、B）シリンダーによるガスの吸引、C）真空ガラス瓶へのガスの注入・保管

森林の 5 つの炭素プール

蓄積変化法では、森林生態系を 5 つの炭素プールとみなす [6)]。すなわち地上部バイオマス、地下部バイオマス、枯死木、リター、土壌の 5 プールである。ここでも各プールの寄与が重要となる。図 T02-1 の熱帯季節林の例では地上部および地下部バイオマス由来の CO_2 の寄与が大きく、これを（デフォルト排出係数の利用ではなく）独自に計測することで総排出量の推定精度向上に貢献できる。一方、図 T02-1 の泥炭湿地林では土壌（泥炭）由来の CO_2 がより重要となる。レシピ P10、P11 では、地上部および地下部バイオマスを対象とした蓄積変化法を解説しているが、枯死植物体・土壌を対象とした場合も、単位面積当たりの炭素蓄積量 (t-C/ha) を求め、面積 (ha) とを掛け合わせる方式は共通である。したがって最初から枯死植物体、土壌の計測に取りかかるのではなく、蓄積変化法について理解した後、測定項目の寄与 (優先順位) に応じて計測の検討を行うことが望ましい。

INFO

3) 排出係数データベースは以下の URL から参照可能である。 http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php

INFO

4) 土壌環境分析法編集委員会 (1997) 土壌環境分析法 . 博友社

INFO

5) Sakata T, Ishizuka S, Takahashi M (2004) A method for measuring fluxes of greenhouse gases from forest soils. Bulletin of FFPRI 392: 259-265

INFO

6) 蓄積変化法では、最終的に求めた炭素プールの変化量 (t-C/ha/ 年) を 44/12 倍して CO_2 の変化量 (t-CO_2/ha/ 年) に変換する。

参考文献

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

Recipe - T03

入手可能な資源

この上の Recipe は
Recipe P09　単位面積当たりの炭素蓄積推定

REDD プラスで求められる森林炭素量の把握では、対象国の森林資源データやバイオマス推定モデルが必要となる。対象国においてそれらのデータやモデルの整備状況を調査し、入手可能な資源の状況に応じた手法を選択しなければならない。

リモートセンシング資源

リモートセンシング技術は地上解像度や波長分解能の高度化、センサの多様化といった発展の途を歩んできた。光学系センサで言えば高解像度衛星は 50cm 程度の地上解像度を持ち、個別の樹冠が観測できる能力を有する。単位面積当たりの価格は地上解像度に比例して高くなる傾向にある。一方、レーダ技術を用いたリモートセンシングは雲を透過して観測ができるという利点から熱帯地域での森林観測において注目されている。レーダ情報を森林分野で活用する課題は地形の影響を受けやすいことや高蓄積の地上部バイオマスの観測には適していない点が挙げられる。地形補正や幾何補正については技術開発が進み以前よりも高い精度が得られるようになった。

このようにリモートセンシング技術はそれぞれに得失を持っている。そのため技術の適用に際しては対象地域の面積規模や自然条件などを考慮した組み合わせが重要な鍵となる（T05 参照）。

現地調査資源

単位面積当たりの森林炭素蓄積量を算出するには、その国でバイオマス推定式が開発されているか、国家森林資源調査 (NFI) (T01 参照) のデータが整備されているかなどの、情報を入手する必要がある。REDD プラス実施国で利用可能なバイオマス推定式や国家森林資源調査データが整備されている場合は、それらを用いることで森林炭素蓄積量の算出を行うことができる。

REDD プラス実施国において、国家森林資源調査が行われていない場合、そのシステムまたはデータ収集のための固定調査プロットでの調査を設計し、構築する必要がある (P10 および T12 ～ 14 参照)。また森林のバイオマスや炭素蓄積量を算出する統計モデルが無い REDD プラス実施国においては、その国に適合したモデルを開発する必要がある (P11 および T15 ～ 19 参照)。

資源の継続性

REDD プラスでは、過去の森林炭素蓄積量の変化から将来における排出量の予測をおこなう。この将来予測値と実際の森林炭素蓄積量の差がREDD プラスによる経済的インセンティブ付与の基礎となるため、過去のトレンドの把握と将来のモニタリングの結果は比較可能なものである必要がある。森林炭素蓄積量の把握手法を選択する際には、将来にわたり継続可能なものであるか技術面及びコスト面での評価が重要になる。なおリモートセンシングによる森林面積変化の把握では、手法の一貫性、信頼性が第三者レビューの基礎となる。いろいろなものを組み合わせすぎると、一貫性や信頼性が落ちるので、そこに気をつけなければならない。

Recipe - T04

自主的なクレジット認証制度

この上の Recipe は

Recipe i04　森林モニタリングシステムの設計

気候変動枠組条約 (UNFCCC) や京都議定書から離れ、排出削減・吸収活動を評価し、取引可能なクレジット (VER) を発効する、自主的な認証制度が広がっている。その中でも VCS (Verified Carbon Standard) は REDD プラスを含む森林セクターの活動を対象とし、すでに自主的なプロジェクトにおいて採用されている。

VER 認証制度の現状

京都議定書は京都メカニズムにおいて排出量の取引を認めており、クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism：CDM) によるクレジットはその代表的なものである。この場合、得られたクレジットは CER (Certified Emission Reduction) と呼ばれている。一方、それ以外の自主的な制度によるクレジットは、VER (Verified Emission Reduction) と呼ばれる。

CER は UNFCCC や京都議定書の削減目標の約束達成 (コンプライアンス) に利用可能であるが、VER はそれには用いることができず、自主的な約束達成や企業の社会的責任 (Corporate Social Responsibility：CSR) を果たす活動において利用されるのが一般的である。日本国内では、J-VER が広く認知されており、森林による吸収量もクレジットの対象となっている。

REDD プラスにおいては、まだ UNFCCC において制度が構築されていないものの、先行的な自主的プロジェクトが各国で進んでいる。現状では、利用できる認証制度は自主的な制度のみであり、その中でも VCS は多くのプロジェクトにより採用されている。

VCS の概要

VCS は自主的な取組みのための検証・認証基準であり、同名の民間団体は 2005 年に設立された。発行されるクレジット (Verified Carbon Units：VCU) により、市場メカニズムを介して排出削減活動を促進することを目的としている。最近では、REDD プラス関係のクレジットを約束達成に利用できる仕組みとして、JNR (Jurisdictional and Nested REDD plus) の構築を進めている。

VCS の構造は、制度全体の実施規則である「VCS 標準」(VCS Standard [1]) が基礎となり、その下に個別分野の必要事項や実施手続きを示した「要件」(Requirements) が位置付けられている。REDD プラスに関しては、農業、森林、その他の土地利用要件 (Agriculture, Forestry and

INFO

1) VCS (2012) VCS Standard v 3.3
http://v-c-s.org/program-documents

Other Land Use (AFOLU) Requirements [2)]）に含まれる。さらにその下に、対象とするプロジェクトに応じた詳細な方法が示された「方法論（Methodologies）」が位置付けられる。

REDD プラスに関係する方法論としては、表 T04-1 に示したものがすでに承認されている。方法論の開発は簡単なものではないが、すでに登録されている方法論を利用することで実行を容易にすることができる。文献 [3)] は、その方法論の選択という視点からプロジェクト形成を解説している。

INFO

2) VCS (2012) AFOLU Requirements v 3.3
http://v-c-s.org/program-documents

INFO

3) Shoch D, Eaton J, Settelmyer S (2011) Project Developer's Guidebook to VCS REDD Methodologies. Conservation International
http://www.conservation.org/about/centers_programs/carbon_fund/Pages/resources.aspx

今後の課題

先行的な取組みとして、自主的な REDD プラスのプロジェクトが進んでおり、その多くが VCS を採用している。しかし、UNFCCC の REDD プラス制度は、国・準国レベルの取組みを対象としており、VER 認証制度が対象とする個別プロジェクトを対象としていない。このままだと、森林保全活動として意義深い先行プロジェクトが UNFCCC の REDD プラスと切り離されてしまう恐れがあり、これらをいかに関連づけるかが課題となる。

日本政府は、温暖化対策として二国間オフセット・クレジット制度 (Bilateral Offset Credit Mechanism：BOCM) を進めることを表明している。そこに REDD プラスを取り入れることが検討され、そのガイドラインや方法論の開発が進められている。このとき、上記の課題を考慮した検討が求められる。

表 T04-1　VCS で承認された REDD プラスの方法論

方法論番号	REDD プラスの活動タイプ	対象地	
		対象地域	対象森林
VM0003	森林管理の改善（伐期の延長）	全世界	・FSC 認証取得林 / 取得予定林 ・管理された泥炭林は対象外
VM0004	計画された森林減少の抑制	東南アジア、熱帯地域	・熱帯泥炭林 ・居住地を含んではならない
VM0005	森林管理の改善（生産性の向上）	熱帯地域	・天然常緑熱帯雨林 ・原則として泥炭地を含まない
VM0006	モザイク状の森林減少・劣化の抑制	全世界	・全森林
VM0009	モザイク状の森林減少・劣化の抑制	（土壌を対象に含む場合は）熱帯・半乾燥熱帯地域	・有機質土壌もしくは泥炭土壌は対象外 ・法的に伐採活動が許可されている土地は対象外
VM0010	森林管理の改善（伐採林から保護林への転換）	全世界	・湿地及び泥炭地は対象外
VM0011	森林管理の改善（伐採林から保護林への転換）	熱帯地域	・常緑熱帯雨林、落葉湿潤林、熱帯乾燥林、熱帯高地森林 ・択伐が法的に許可されている森林
VM0012	森林管理の改善（伐採林から保護林への転換）	温帯・亜寒帯地域	・個人所有の私有林 ・管理された泥炭林は対象外
VM0015	計画外の森林減少の抑制	全世界	・泥炭が成長する湿地林は対象外

参考文献

VCS ホームページ、http://v-c-s.org/
J-VER ホームページ、http://www.j-ver.go.jp/

7

第７章
リモートセンシングを用いた森林面積の推定

REDD プラスにおける森林炭素の計測、報告、検証 (MRV) を実施する場合、まず必要になるのが国レベルでの森林炭素蓄積の推定である。国連気候変動枠組条約（UNFCCC）では、国レベルでの森林炭素蓄積推定について、リモートセンシングと現地調査の組み合わせによる手法を推奨している。このうちリモートセンシングに期待されていることの一つが、森林面積とその変化を明らかにすることである。本章では、リモートセンシングの基礎とそれにより森林タイプごとの面積を求めるために必要な知識と技術について解説する。なお、森林の単位面積当たりの炭素蓄積量を現地調査にリモートセンシングを加えて推定する方法も提案されており、それらについては第 9 章で解説する。

T05　データの種類と選択
T06　雲の除去・季節性の調整
T07　クラスの定義
T08　グランドトゥルース
T09　分類手法
T10　精度評価
T11　面積変化の推定

Recipe - T05

データの種類と選択

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

リモートセンシング画像データを利用して森林面積や森林タイプ、森林劣化の程度を把握するためには、目的や対象地域、範囲の大小に応じて適切なセンサを選択する必要がある。本レシピでは、選択にあたって知っておくべき基本的な事項について概説するとともに、主要な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格を一覧表にまとめた。

プラットフォーム

人工衛星や航空機などのような、センサを搭載して観測を行う「場」がプラットフォームである。常時地球観測を行っている最も地球から遠いプラットフォームは静止気象衛星であり赤道上空およそ 35,800km の定位置に静止しているが、地球観測衛星と呼ばれているプラットフォームは 450 ～ 1,000km 上空の円軌道を周回し定期的に同一地点を観測する。進行方向と直角に斜め観測機能 (ポインティング機能) のあるセンサであれば、回帰日数より短い時間間隔で観測（再帰観測）することができる。航空機は観測目的に応じて、地表から数百～数千 m 上空を飛ぶ回転翼機 (ヘリコプタ)、数百～ 20,000m 上空を飛ぶ固定翼機 (プロペラ機やジェット機) などが選択される。さらに地表近くからの観測が必要な場合は、係留気球、ラジコン機、UAV (無人航空機)、チェリーピッカ、人間などが使用される。

さまざまな高度のプラットフォームがあるのは、地表に近ければ詳細な観測ができるが一度に広範囲を見渡すことができず、地表から遠ければ一度に広範囲を観測することができるが詳細には難しいというトレードオフがあるため、観測目的に応じて適切に選ぶことが必要だからである。人工衛星以外のプラットフォームを使った観測は発注に応じて行われるため、目的に応じた観測を行うことが可能であるが、観測ごとに観測面積や所要時間に応じた費用が発生する。

センサ

対象物から反射または放射された電磁波を観測するデバイスがセンサである。大別すると、受動的方式 (passive sensor) と能動的方式 (active sensor) がある。受動的方式の代表的なセンサはアナログ／ディジタルカメラで、対象物に反射された太陽光や照明光 (観測波長帯によっては対象物から放射された電磁波) を観測するものである。地球観測で用い

られる光学センサの原理も同様である。一方能動的方式センサは、センサから対象物に向けて電磁波を照射し、その反射を観測するものである。気象レーダや光波測距儀が代表的であるが、地球観測では合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) やライダ (LiDAR: Light Detection And Ranging) が用いられる。

光学センサは可視から赤外の光の強さを、ひとつ以上の波長帯に分けて観測する。可視光 (波長およそ 0.4 ～ 0.7 μm) と、近赤外 (同 0.7 ～ 1.3 μ m) から短波長赤外 (同 1.3 ～ 3 μ m) までの反射赤外光、中間赤外（同 3～8 μ m）から熱赤外 (同 8～14 μ m) までの放射光を観測範囲とする。センサにより地上分解能や波長分解能、時間分解能が異なるが、最近は高分解能化が進み、より詳細な観測が可能になっている。人工衛星から航空機、人間による手持ちまで、各種のプラットフォームで使用される。光学センサで観測したデータは、白黒濃淡や RGB カラー合成で可視化すると人間の感覚や目で見る風景と似ているため直感的に理解することが可能であることや、多波長で観測した分光反射特性（スペクトルパターン）の違いやテクスチャを利用した土地被覆の判別が可能なことなど多くの利点があり、過去から現在に至るまで最も多く利用されているセンサである。一方、観測対象地の上空に雲がかかっていると地表の状況を把握できないこと、大量のヘイズや塵などがあるとそれがノイズとなること、夜間には太陽がなく可視反射赤外波長帯の観測ができないことなどの欠点がある。

SAR は、マイクロ波 (波長およそ 7 ～ 1,000mm) の電磁波パルスをセンサから地表に斜めに照射し、その反射（後方散乱）の強度や位相、時間を記録する。センサによっては偏波を観測することが可能である。観測対象物の形や大きさ、分布、密度、誘電特性により反射マイクロ波が変化することを利用して、対象物の同定を行うことができる。人工衛星と航空機に搭載され使用される。マイクロ波の波長帯により対象物からのマイクロ波後方散乱特性は異なっている。L バンド (波長およそ 150 ～ 300mm) や P バンド (同 300 ～ 1,000mm) を使って森林を観測した場合は、地表や樹冠表面からの反射 (表面散乱)、樹冠内部の葉による反射（体積散乱）と、体積散乱や地表での反射波が幹や樹冠にあたってセンサに戻るダブルバウンスの 3 成分の寄与が大きいことがわかっており (図 T05-1)、これを利用して森林の状態 (樹種タイプやバイオマスなど) を把握する研究が進んでいる。また、同一地域の複数 (時期) の観測データの干渉解析を利用した地表面高 (変化) 計測を森林に応用する研究も行われている。SAR は能動的方式のうえにマイクロ波の波長帯によっては雲を透過し全天候昼夜観測が可能という利点があることから、特に熱帯林観測への応用が期待されている。しかし、人間の眼で感じることのできないマイクロ波観測のため人間の直感では全く理解できない画像となること、複雑な後方散乱メカニズムが完全にはわかっていないこと、斜め観測という原理に由来する画像の歪みや観測不能点の存在といった欠点がある。

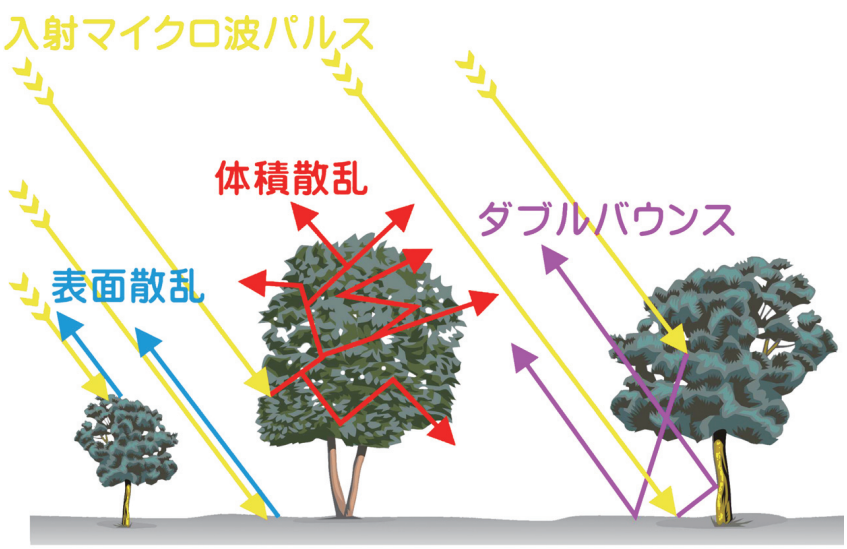


図 T05-1　森林における SAR 後方散乱の 3 成分

LiDAR は、数十～数百 kHz の頻度でレーザパルス光を対象物に向けて照射し、その反射光の到達時間 (や強度) を観測することにより、センサと対象物の距離を測定するものである。航空機搭載型 LiDAR の場合は、進行方向と直角にセンサ直下両側数十度の範囲にレーザパルスが連続的に照射され、センサの位置や傾きなどは慣性計測装置 (IMU) [1] により精密に測定されるため、面的に地表の高さを測定することが可能となる。高頻度で低飛行速度でレーザパルスを照射するほど、高分解能で地表面高が測定できる。森林を対象とした場合、レーザ光は樹冠表面だけでなく樹冠内部の葉や地表に到達し反射する。照射されたレーザパルスのうち最初にセンサに戻ってきたパルス (ファーストパルス) からは樹冠表面高を示す DSM (digital surface model) を作成することができ、最後のパルス (ラストパルス) からは地面高を示す DTM (digital terrain model) を作成できるので、DSM から DTM を引き算するとディジタル樹冠モデル (DCM：digital crown model) が得られ、単木や林分の高さを知ることができる (図 T05-2)。この情報を利用すれば、林分のバイオマスを推定することが可能となる。また、ファーストパルスとラストパルスの間の反射パルスは樹冠内部や下層植生の反射であるため、これらを用いることにより森林の 3 次元構造を詳細に知ることが可能である。高分解能のデータを得るためには低空 (低速) で飛行する必要があるが、山岳地帯ではこれが難しく広範囲の観測を行うためには時間 (費用) がかかること、センサと地面の間に雲や霧があると観測できないこと、観測データ量が膨大になり処理が難しいことなどの欠点がある。

INFO

1) 慣性計測装置 (IMU)：全地球航法衛星システム (GNSS) と慣性航法装置を組み合わせた精密な位置・姿勢計測装置。GNSS は、合衆国の GPS や欧州の GALILEO、ロシアの GLONASS、中国の北斗 Compass などの総称。

空間分解能、波長分解能と時間分解能

センサの性能は、空間分解能 (どれくらい細かいものまでに見分けられるか)、波長分解能 (どれくらいの波長範囲をいくつに分けて観測できるか) と時間分解能 (どれくらいの頻度で同一地域を観測できるか) で定義することができる。観測の対象、内容と規模 (面積) により、適切なセンサを選択する必要がある。空間分解能は、空中写真が数 cm から 1m 程度、人工衛星センサは 40cm から数 km まで、時間分解能は 1 日から数十日、波長分解能は 1 バンドから数百バンドまでさまざまで

ある。

単木単位の情報を得たい場合は空間分解能数 m 以下の高解像度画像が必要であるが、対象面積が広くなればデータ量が膨大になりデータ処理が難しい。また、空間分解能が高くなると一度に観測できる面積が小さくなるため、広範囲を短期間で観測することが難しくなる。林分単位であれば十数〜数十 m の中解像度画像でも十分なことが多いが、林分の違いや劣化の程度を正確に知るためには波長分解能が高いことが必要である。他方、森林／非森林の土地被覆判別を行うのが目的であれば、波長分解能は低くても可視と近赤外の波長帯が含まれていれば十分なことが多い。

時間分解能について、森林を対象とした場合それほど高い必要はないと思われがちだが、衛星搭載光学センサの場合は、センサ性能の時間分解能ではなく実際に地表データが取得できる時間間隔を考えるべきである。雲がかかって上空から地表が見えないことの多い熱帯地方やモンスーン地方では、観測対象地域が広範囲になるほど 1 回の観測で全域をカバーすることが難しくなるため、時期の近い複数回の観測結果をモザイクすることが必要となる。したがって、時間分解能の高いセンサが有利である。斜め観測や複数衛星による観測ができれば、時間分解能は高くなる。

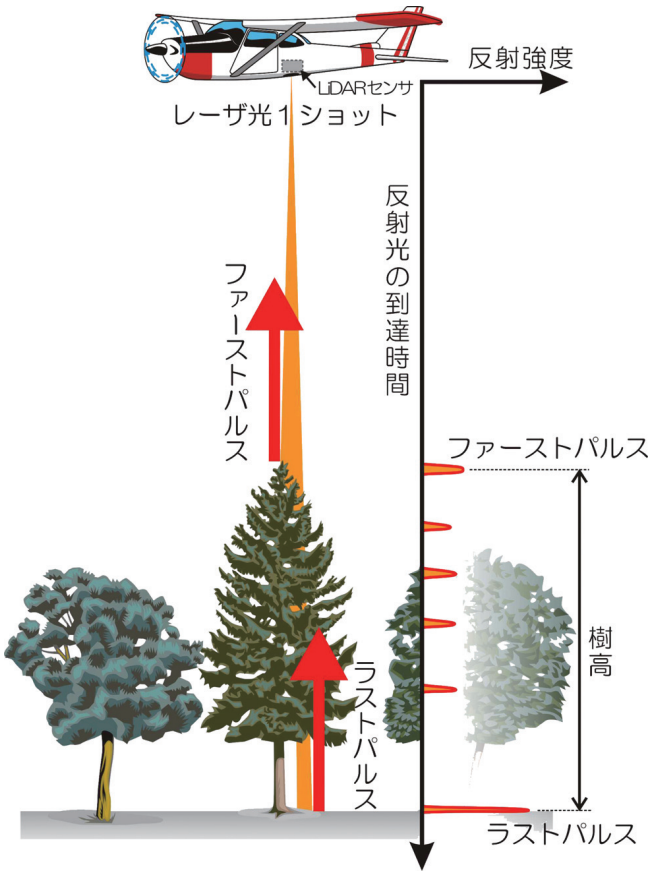


図 T05-2　LiDAR によるデータ取得の概念

現在・過去・未来

アーカイブされたリモートセンシング画像は、過去を旅するタイムマシンと言うことができる。広範囲の地表面が以前どのようになっていたかを日時を含めて正確に知ることのできるデータソースは、リモートセンシング画像以外には存在しない。世界初の地球観測衛星 Landsat1 号に搭載された MSS センサを利用すれば 1970 年代までさかのぼることが可能な地域がある。しかし当然、過去になればなるほどセンサの性能は低下し、選択可能なセンサの種類や画像の数が少なくなったり地域によっては存在しない場合があることに注意する必要がある。それぞれのセンサで撮影された画像データは、アーカイブデータとして撮影機関やアーカイブセンターに蓄積されており、最近は多くのセンサで Web による検索や注文・入手が可能となっている。

一方、未来の画像データについては、高解像度衛星や一部の衛星セン

サでは注文撮影という形で撮影予約をすることができるようになっている。通常の画像価格に加えて注文撮影費用が必要となることが多いが優先的に撮影されるので、将来の撮影計画が決まっている場合には利用を検討するとよい。

データの選択

代表的な光学衛星センサを、これまで述べてきた項目について表 T05-1 にまとめた。Landsat 衛星画像は、合衆国地質調査所 (USGS) の所有するアーカイブデータに関しては表中の Web サイトから無料でダウンロードが可能である。また、landsat.org ホームページ (http://landsat.org) でも、オルソ補正した画像の一部を無料でダウンロードすることができる。しかし、USGS アーカイブに全ての Landsat 画像が集められているわけではなく、各国の受信局で独自に受信した画像はそれぞれのデータ配布機関 Web サイト等で検索する必要があり、このデータは有料である。また、GeoEye 社や DigitalGlobe 社、SpotImage 社などの民間会社の衛星画像は地元の代理店から購入する必要があり、それぞれ価格が異なる。

ソフトウェア

リモートセンシング画像データのディジタル画像処理は、表示やカラー合成などの簡単な処理であれば一般のフォトレタッチソフトウェアで可能な場合もあるが、高度な解析処理や GIS データを利用するのであれば、専用のリモートセンシング画像解析ソフトウェアが必要である。最近はフリーウェアやオープンソースのソフトウェアで市販ソフトウェアと機能的に遜色ないものが増えてきた。ソフトウェア選択の際に価格が制約要因となることが多いと思われるが、それ以外に重要視すべきものとして、サポート体制、バグフィックスなどのアップデート頻度、ユーザコミュニティの有無、トレーニングの充実度などがある。身近に同じソフトウェアを利用している人がいて、何でもすぐに質問しあえることが最もよい環境であることは事実である。

表 T05-1　代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格

衛星	センサ	打ち上げ年	運用終了年	地上解像度	観測幅（km）	斜め観測	観測波長帯（括弧内はバンド数）	高度(km)	回帰日数(日)	再帰観測(日)	注文撮影	フルシーン価格(円)	単価（円/km2）	センサ開発・運用	コメント
Landsat 1-3	MSS	1972	1983	68×83m	185	×	可視(2)、近赤外(2)	915	18	18	×	40,740※	1.3	合衆国（NASA）	※合衆国USGSアーカイブLandsatデータは無料で公開（http://glovis.usgs.gov/、http://earthexplorer.usgs.gov/）
Landsat 4-5	MSS	1982	1995*	68×83m	185	×	可視(2)、近赤外(2)	705	16	16	×	40,740※	1.3	合衆国（NASA）	*2012年に一部観測再開
	TM	1982	運用中*	30m（バンド6: 120m）	185	×	可視(3)、近赤外(1)、中間赤外(2)、熱赤外(1)				×	88,200※	2.8		*2011年より休止中
Landsat 7	ETM+	1999	運用中*	30m（バンド6: 60m、バンド8: 15m）	183	×	可視(3)、近赤外(1)、中間赤外(2)、熱赤外(1)、可視～近赤外(1)	705	16	16	×	88,200※	2.8	合衆国（NASA）	*2003年よりSLC-off
EO 1	ALI-Pan, MS	2000	運用中	MS: 30m Pan: 10m	37	×	Pan: 可視(1) MS: 可視(4)、近赤外(3)、中間赤外(3)	705	16	16		0	0	合衆国（NASA）	http://eo1.usgs.gov/　より無料ダウンロード可
	Hyperion			30m	7.5	×	可視～中間赤外(220)			16					
EOS-Terra/ EOS-Aqua	MODIS	1999	運用中	250m/500m/ 1km	2,330	×	250m:　可視(1)、近赤外(1) 500m: 可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(2) 1km: 可視(7)、近赤外（5）、中間赤外(9)、熱赤外（8）	705	16	16		0	0	合衆国（NASA）	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/ より無料ダウンロード可
SPOT 1-3	HRV-XS, P	1986	1993	XS: 20m P: 10m	60	○	XS: 可視～近赤外(1) P: 可視(1)	822	26	3.7	×	294,000*	8.2	フランス（Spot Image社）	*XSとPは同価格、SPOTシーン-レベル2A価格
SPOT4	HRVIR-X, M	1998	運用中	X: 20m P: 10m	60	○	X: 可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(1) M: 可視(1)	822	26	3.7	○	294,000*	8.2	フランス（Spot Image社）	*XSとPは同価格、SPOTシーン-レベル2A価格
SPOT 5	HRG-X, P	2002	運用中	X: 10/20m P: 5/2.5m	60	○	X: 可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(1) P: 可視(1)	822	26	2-3	○	521,850*	145.0	フランス（Spot Image社）	*10m解像度Xと5m解像度Pは同価格、SPOTシーン-レベル2A価格
SPOT 4-5	VEGETATION	1998	運用中	1.15km	2,250	×	可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(1)	822	26	1	×	0	0	フランス（Spot Image社）	http://free.vgt.vito.be/　より無料ダウンロード可
Pléiades	Pan/ Multi	2011	運用中	Pan: 0.7m Multi: 2.8m	20	○	Pan: 可視～近赤外(1) Multi: 可視(3)、近赤外(1)	694	26	1	○	*		フランス（Spot Image社）	*価格未定？
IRS 1A,1B	LISS-I, II	1988	2003	I: 73m II: 36.5m	I: 185 II: 37	×	可視(3)、近赤外(1)	904	22	22	×	?		インド（ISRO）	
IRS 1C,1D	LISS-III	1995	2010	23.4/73m	100	○	可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(1)	817	24	3	×	128.100*	6.5	インド（ISRO）	*2001年4月以降取得 LISS3-140価格
	Pan			0.9km	1,500	×	可視(2)				×	128,100*	26.1		*2001年4月以降取得 PAN-70価格
IRS-P2	LISS-II	1994	1997	32×37m	131	○	可視(3)、赤外(1)	817	24	5	×			インド（ISRO）	
IRS-P6 (Resourcesat 1)	LISS-III, IV	2003	運用中	III: 23.5m IV: 5.8m	III: 140 IV: 23	○	III: 可視(2)、近赤外(1)、中間赤外(1) IV: 可視(2)、近赤外(1)	817	24	5		270,000*	13.8	インド（ISRO）	*EuroMapにおけるEUR建て、LISS-III Multi 140×140kmの価格、1EUR＝100円として計算
MOS 1,1b	MESSR	1987	1996	50m	100	×	可視(2)、近赤外(2)	909	17	17	×	2,310	0.3	日本（NASDA)*	*現JAXA
ALOS	AVNIR-2	2006	2011	10m	70	○	可視(3)、近赤外(1)	692	46		×	26,250*	5.4	日本（JAXA）	*利用用途A(内部利用目的）標準処理データ価格
	PRISM			2.5m	35	前後	可視～近赤外(1)			46	×	26,250*	21.4		
EOS-Terra	ASTER-VNIR, SWIR, TIR	1999	運用中	VNIR: 15m SWIR: 30m TIR: 90m	60	○	VNIR: 可視(2)、近赤外(1) SWIR: 中間赤外(6) TIR: 熱赤外(5)	705	16		○	10,290*	2.9	日本（ERSDAC）	*レベル1B価格
IKONOS 1	Pan/ Multi	1999	運用中	Pan: 1m Multi: 4m	11	○	Pan: 可視～近赤外(1) Multi: 可視(3)、近赤外(1)	681	11	1.6	○	-	4,500*	合衆国（GeoEye社）	*Ｇｅｏ製品Pan+Multiセット価格、最小注文面積25km2
QuickBird	Pan/ Multi	2001	運用中	Pan: 0.61m Multi: 2.5m	16.5	○	Pan: 可視～近赤外(1) Multi: 可視(3)、近赤外(1)	450	20	1～3.5	○	-	3400*	合衆国（Digital Globe社）	*標準画像Pan・4バンドMultiバンドル価格、最小注文面積25km2
GeoEye 1	Pan/ Multi	2008	運用中	Pan: 0.41m Multi: 1.65m	15.2	○	Pan: 可視～近赤外(1) Multi: 可視(3)、近赤外(1)	684	11	3	○	-	9,000*	合衆国（GeoEye社）	*Ｇｅｏ製品Pan+Multiセット価格、最小注文面積25km2
WorldView 1	Pan	2007	運用中	0.5～0.59m	17.6	○	可視～近赤外(1)	496		1.7	○	-	2,800*	合衆国（Digital Globe社）	*標準画像価格、最小注文面積25km2
WorldView 2	Pan/ Multi	2009	運用中	Pan: 0.46m Multi: 1.84m	20	○	Pan: 可視(1) Multi: 可視(5)、近赤外(3)	770		1.1	○	-	6,400*	合衆国（Digital Globe社）	*標準画像Pan・8バンドMultiバンドル価格、最小注文面積25km2
RapidEye 1-5*	Multi	2008	運用中	6.5m（リサンプリング後5m）	77	○	可視(3)、近赤外(2)	630	5.5	1	○	-	220**	ドイツ（RapidEye社）	*5機同時打ち上げ **最小注文面積500km2
THEOS	Pan/ Multi	2008	運用中	Pan: 2m Multi: 15m	Pan: 22 Multi: 90	○	Pan: 可視～近赤外(1) Multi: 可視(3)、近赤外(1)	822	26	2		75,000*	Pan: 155.0 Multi: 9.3	タイ（GISTDA）	*PanとMultiは同価格、撮影後6ヶ月未満は100,000円
NOAA 6-19*	AVHRR	1979	運用中	1.1km	2,800	×	可視(1)、近赤外(1)、中間赤外(2)、熱赤外(2)	814	0.5	0.5	×	0	0	合衆国（NOAA）	*気象観測衛星

（データ価格は主として日本での販売価格、2012 年 7 月現在）

Recipe - T06

雲の除去・季節性の調整

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

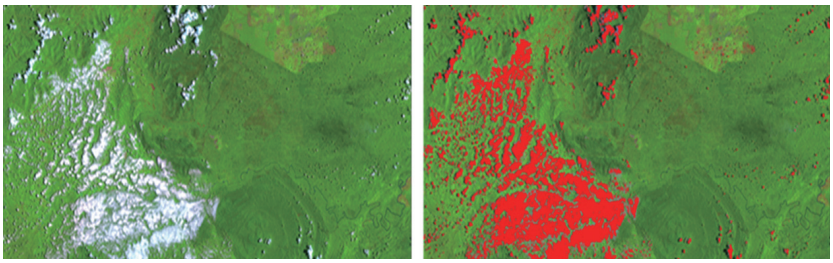
広域にわたる熱帯林を光学衛星画像で観測する際に、しばしば障害となる問題が 2 つある。一つはほとんどいつもどこかにかかる雲であり、もう一つは広域を多くの画像を用いて観測する際の観測時期の違いと植生の季節的変化である。本レシピでは複数の画像を用いて雲を取り除きモザイクする方法と、季節性を調整する方法を概説する。

雲の除去

光学センサデータでは、雲やヘイズ (もや) およびそれらの影があるとその部分の土地被覆が見えないため、面積推定をする際の障害となる。熱帯諸国、とりわけ熱帯降雨林地帯では、全く雲のない画像を取得できる場合は少ない。このような場合、目標とする時期の前後に取得された画像から雲のない部分を抽出して重ね合わせるモザイク処理を行い、雲のない画像を作成する。こうした一連の処理を雲取り処理と言う。この処理では、まず雲、ヘイズ及びそれらの影を認識・抽出してマスク画像を作成する (図 T06-1)。この際、最も正確な方法は人間が目視判読により雲、ヘイズ及びそれらの影等を認識し、手作業でマスクを作成することであるが、これには非常に時間がかかる。雲やそれらの影を自動で認識し抽出するアルゴリズムも開発されている (たとえば [1])。自動認識のみでは不十分な場合、自動認識と目視による手作業を組み合わせることが必要である。これらの処理により多時期の画像から雲のない部分を抽出し、それらを重ね合わせてモザイク処理することで雲なし画像を作成する（図 T06-2)。雲なし画像を用いた解析を行う場合、元の画像ごとに太陽高度、方位、あるいは地上の植生等の状況が異なることに注意する必要がある。

INFO

1) Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock (2012) Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote sensing of Environment 118: 83-94



処理前　　処理後

図 T06-1　雲抽出の例

Landsat7 ETM+ 画像 (マレーシア)。画像上で目視判読により雲の輝度の閾値を調整して抽出した。

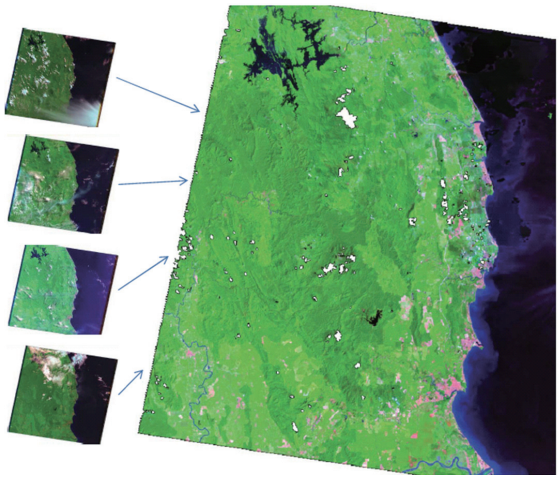


図 T06-2　雲なしのモザイク画像
Landsat7 ETM+ 画像 (マレーシア)。INFO[1] により雲を除去してモザイクした。白い部分はすべての画像で雲がかかり除去しきれなかった部分である。

季節性の調整

国レベルなどの広域での面積推定を行う際、衛星画像 1 シーンでは国全体をカバーできない場合には、複数のシーンをつなぎ合わせなければならない。これらのシーンで画像が同一の時期に取得できるとは限らない。落葉樹林では、林冠に着葉と落葉の季節性が見られるため、同一の林分も異なる時期に取得された画像では異なった土地被覆・森林タイプに見える可能性がある。例えば、熱帯季節林では雨季には着葉しているため森林と正しく判別されるが、乾季には落葉するため下層植生によっては、草地あるいは裸地と誤判別されてしまう場合がある。また、隣り合ったシーンの取得時期が異なるためにシーンのつなぎ目に不自然な不連続が生じることもある。この問題を回避するためには、まず取得日の季節のほぼ同じ画像のみを収集すべきである。しかし、これが難しいことも多く、その場合には季節性の影響を調整してから分類を行うか、またはシーンごとに分類した結果をつなぎ合わせる必要がある。

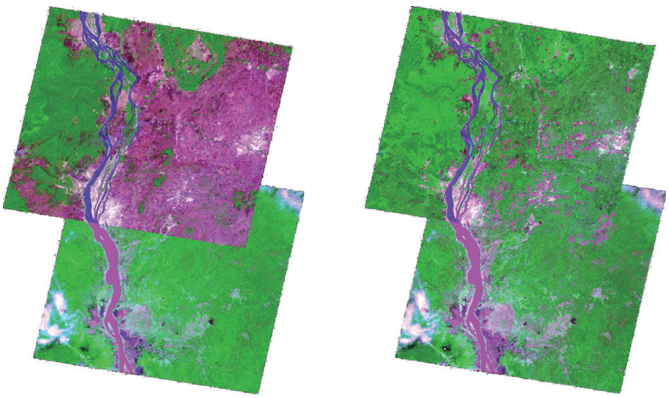
季節性の影響を調整する場合、衛星画像のオーバーラップの部分の不変の植生や事前に既知の土地被覆の輝度の違いを比較しヒストグラムマッチングなどにより調整できる [2), 3)]。図 T06-3 は季節変化の影響を調整処理前と処理後の画像の一例である。

INFO

2) David P. Roya, Junchang Ju, Philip Lewis, Crystal Schaaf, Feng Gao, Matt Hansen, Erik Lindquist (2008) Multi-temporal MODIS–Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data, Remote Sensing of Environment, 112: 3112-3130

INFO

3) 高木幹雄、下田陽久 (2004) 新編画像解析ハンドブック、東京大学出版会



処理前　　処理後

図 T06-3　季節変化の影響の除去の例 (Langner, 未発表)
SPOT4 HRVIR 画像 (カンボジア)。上部の画像は既に乾季の最中だったために落葉樹林では落葉が進みピンクに見えるが、季節性を調整することにより落葉前の反射を復元でき、不自然な画像のつなぎ目も減少した。
© CNES2007, Distribution Astrium Services/ Tokyo Spot Image

Recipe - T07

クラスの定義

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

リモートセンシングデータによる土地被覆分類により森林面積を推定するには、森林や農地、都市域といった土地被覆分類に用いるクラスを定義する必要がある。本レシピではクラスを定義する際に前提となる、完全かつ排他的なクラスについて説明する。その後、クラス設定の際に、考慮すべきことや分類精度の向上のために検討すべきことについて述べる。

完全かつ排他的なクラス

クラスを定義する上で、まず重要なのは、完全かつ相互排他的 (exhaustive and mutually exclusive) なクラスを定義することである。ここで完全とは、分類する領域全体が漏れなく、いずれかのクラスに必ず振り分けられるようクラスを定義することを意味する。完全であるためには、関心のある対象だけでなく関心のない対象もクラスに設定する必要がある。また、相互排他的とは、2 つ以上のクラスに、同時に振り分けられることがないことを意味する。すなわち、各クラスに重複が生じないよう定義する必要がある。例えば、森林と常緑林の 2 つのクラスは、両者が同時に起こり得ることから、両者を同時に定義することはできない。

完全かつ相互排他的なクラスを定義する際には、クラスの階層構造を意識すると良い。分類に用いるクラスは、森林や農地、都市域のように、比較的大雑把なくくりの場合も有れば、森林の中を常緑林、落葉林のように、より詳細に分類する場合もある [1)]。大雑把なクラスが上位に存在し、大雑把なクラスを分割する形で下位に詳細なクラスが存在するという、階層構造を意識することで、クラス間の重複や漏れをなくすことができる (図 T07-1)。

INFO

1) 村上拓彦 (2007) 画像処理 (Ⅲ) 変換、分類 (改訂森林リモートセンシング – 基礎から応用まで -. 加藤正人編 , 日本林業調査会). 133-143

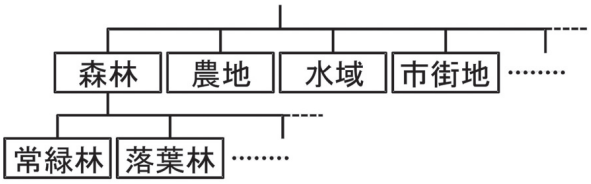


図 T07-1　クラスの階層構造

求められる分類クラス

ユーザーが求める分類項目と、リモートセンシングから実際に分類可能なクラスが必ずしも一致するわけではない [2)]。分類不可能なクラスに

INFO

2) Campbell JB (2006) Image classification In: Introduction to Remote Sensing Fourth Edition. Guilford Press, 324-366

ついてはリモートセンシングで分類可能なクラスに統合する必要がある。クラスを統合する際には、既存の分類体系と矛盾が生じないように、十分留意する必要がある。

また、使用しているリモートセンシングデータの種類や分類手法を変更することで、ユーザーが求める通りの分類が可能となる場合もある。例えば、空間分解能がより高いデータを用いることで、より詳細なクラスでの分類が可能となることも考えられる。また、落葉林などは、画像の撮影時期によって見え方が大きく異なる。そのため、異なる撮影時期の画像を利用することで、分類が可能となる場合も有り得る。クラスを定義する際には、データや分類手法の選択についても同時に検討する必要があろう。

分類後のクラスの統合

ユーザーの求める分類項目の幾つかが、リモートセンシングでは分類が難しかったため、分類精度が低くなる場合がある。こういった場合、分類後に複数のクラスを統合し同一クラスとして取り扱うことで、精度を上げることができる[3)]。ただし、統合したクラスが既存の分類体系と矛盾しないことが前提である。

同一のクラスに分類したいが、地形などの要因により、画像上で明らかに異なり、リモートセンシングによる分類では同一クラスへの分類が難しい場合もある。例えば日向斜面と日陰斜面の森林などがこれに相当する (図 T07-2)。こういった場合は、日向斜面と日陰斜面の森林を別々のクラスとして分類を行い、後から森林クラスに統合することで分類の精度を上げることができる。

INFO

3) Cihlar J, Ly H, Xiao Q (1996) Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments. Remo Sens Enbiron 58: 36-51

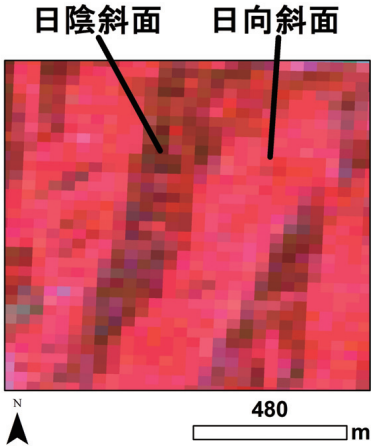


図 T07-2　日向斜面と日陰斜面の森林

参考文献

Franklin SE (2001) Remote Sensing for Sustainable Forest Management. Lewis Publishers

Recipe - T08

グランドトゥルース

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

グランドトゥルースとは対象物の地上における実態の情報をさし、リモートセンシングデータを用いた土地被覆分類や分類結果の検証などに必要である。グランドトゥルースを衛星画像と結びつけるためには、地上の実態を表す情報だけでなく位置にも精度が要求される。解析結果を統計的に堅固なものとするために、グランドトゥルースは統計的に偏りがないように十分な数が抽出されなければならない。

グランドトゥルースとは

リモートセンシングデータと観測対象物との対応関係を明らかにするために観測・測定・収集した地上の実態に関する情報をグランドトゥルース (ground truth) という。リモートセンシングデータを用いた土地被覆分類において必要となるグランドトゥルースには、教師付き分類における教師データや分類精度検証のための検証データがある。現地調査が難しい場合、より高分解能の衛星画像や空中写真の判読、既存の地図情報などで代用することもグランドトゥルースに含まれる。

グランドトゥルースの位置情報と精度

グランドトゥルースの位置情報を現地で取得する方法には GPS や既存の地図情報の活用、空中写真や画像の判読などがある。GPS を使う場合、精度が林冠下では開けた場所よりも低下することに留意するべきであり、状況によっては上記の方法を組み合わせて位置を特定する。相対測位や測位結果のアベレージングなど、GPS の位置精度を高める方法もある。必要となる位置精度は用いるリモートセンシングデータの空間解像度によって異なり、とくにオブジェクトベース分類では複数のセグメントに跨らないことに留意が必要である。

森林は季節や年により植生の状態が変動することも考慮する必要がある。これは、植生指数を扱う場合や熱帯季節林などの季節変化の大きい森林を扱う場合にとりわけ重要となる。

位置情報とともに撮影方位を記録できる GPS カメラは、グランドトゥルースの現場状況を記録するのに便利な道具である。

INFO

1) Jones HG, Vaughan RA (2010) Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications. Oxford University Press

INFO

2) Jensen JR (2005) Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (Third edition). Prentice Hall

抽出方法

グランドトゥルースは統計的に適切に抽出される必要がある。抽出方法には単純無作為抽出、層化抽出、系統的抽出など様々なものがあり、

それぞれ長所と短所がある[1), 2)]（図 T08-1、表 T08-1）。統計的な妥当性を確保しつつ実行性を高めるために層化抽出は有効な方法のひとつである。ここで、層ごとの抽出率を一定にすると面積により抽出数の差が過大になりやすいため、面積に応じて抽出率を変えて層ごとの抽出数を一定にする方が頑健な結果を得やすい[3)]。また、層化抽出と環境傾度に沿ったトランセクト抽出を組み合わせてアクセスにかかるコストを小さくする方法もある[4)]。

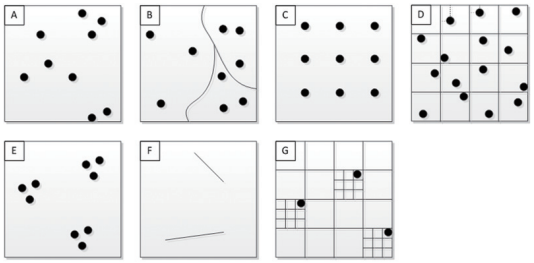


図 T08-1　抽出方法　A~G は表 T08-1 に対応

サンプル数

教師付き分類の教師データとして必要なクラス毎のサンプル数は、用いる説明変数の数（例えばバンド数）の 10 倍以上といわれている[1),2)]。例えば説明変数が 6 つの場合、クラス毎に最低 60 は必要となる。均質性が低いクラスほど多くのサンプル数が必要となる。

分類結果の精度検証に必要となるクラス毎のサンプル数は、統計学的妥当性と実用性のバランスの観点から、50 程度以上が望ましいといわれている[2), 5)]。

なお、教師データのグランドトゥルースと検証用のグランドトゥルースにはそれぞれ別のものを用いなければならない。教師データとして用いたものを再度検証に用いると、実際の精度よりも高めに評価されるからである。

参考文献

McCoy RM (2004) Field Methods in Remote Sensing. Guilford Press

INFO

3) Hirzel AH, Guisan A (2002) Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. Ecol Model 157: 331-341

INFO

4) Wessels KJ, Jaarsveld AS, Grimbeek JD, Van Der Linde MJ (1998) An evaluation of the gradsect biological survey method. Biodivers Conserv 7: 1093-1121

INFO

5) Congalton RG, Green K (1998) Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. CRC Press

表 T08-1　抽出方法ごとの長所と短所 (INFO[1)] をもとに青字部分を加筆して作成)

No	抽出方法	長　所	短　所
A	単純無作為 (simple random)	・統計学的に望ましい ・バイアスが入りにくい	・アクセスの悪い場所が含まれやすいなど実行上の問題多い ・小面積だが重要な対象物のサンプル数を十分に確保できない ・対象地全体にサンプルが散らばりにくい
B	層化無作為 (stratified random)	・小面積の対象物についても抽出数を確保できる ・現実的に最も有効である場合が多い	・アクセスの悪い場所が含まれやすいなど実行上の問題が残る ・層化のために対象地を覆う主題図が予め必要となる
C	系統的 (systematic (regular))	・サンプリングが容易 ・対象地全体を均質に覆うことができる	・観測対象の隠れた周期性（尾根と谷等）とサンプリング間隔が重なることがある ・線状の対象物を捉えにくい ・対象物の面積によって、過小または過大なサンプルサイズとなる ・系統的なサンプリング地点の配置や向きが、最初に選択した点に依存する
D	系統的非整列 (systematic unaligned)	・サンプリングが容易 ・対象地全体を均質に覆うことができる ・グリッド毎に無作為性を確保できる	・線状の対象物を捉えにくい ・対象物の面積によって、過小または過大なサンプルサイズとなる
E	集落 (cluster)	・現地調査におけるアクセスコストが小さい ・集落抽出と層化無作為抽出をうまく組み合わせることで統計的妥当性と実行可能性の最適なバランスをとりうる[2)]	・空間的自己相関の影響を受けやすい
F	トランセクト (transect)	・現地調査におけるアクセスコストが小さい ・既知の環境傾度（標高など）を活用できる	・トランセクトの抽出しかたによるバイアスが生じる ・対象地を面的に覆いにくい
G	多段 (multistage)	・抽出のコストや時間を小さくできる ・集落抽出に比べて一般に抽出誤差が少ない ・解像度の異なる衛星画像に合わせて段階的に抽出できる	・単純無作為抽出や層化無作為抽出よりも抽出誤差が大きくなりやすい

Recipe - T09

分類手法

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

リモートセンシングデータを用いて精度の高い土地被覆図を作成するためには分類手法の選択についても注意を払う必要がある。分類には様々な手法が利用されるが、それらは教師データの有無によって教師付き分類と教師なし分類に大別される。また、近年は従来の画素単位の分類に加え、オブジェクトを最少単位とした分類も行われている。本レシピではリモートセンシングデータの解析で利用される分類手法についてその概略を述べる。

リモートセンシングにおける分類

リモートセンシングデータにおける各バンドの画素値などの特徴量を用い、各画素に対して区分したい土地被覆クラスのいずれかを割り当てることを土地被覆分類とよぶ。土地被覆分類では様々な統計手法が利用されるが、それらの手法は教師データ（分類したいクラスとその特徴量を一組にした教師となるデータ）を用いるか否かによって教師付き分類 (supervised classification) と教師なし分類 (unsupervised classification) に大別される。

教師付き分類の場合、クラスを識別するためのモデル (分類器 ; classifier) が教師データによって構築され、このモデルを用いて未知の画素に対してひとつのクラスが割り当てられる。リモートセンシングデータの教師付き分類手法としては最尤法がよく利用されいる。教師なし分類ではリモートセンシングデータのみから画素の類似度が求められ、すべての画素がクラスタと呼ばれる類似した集合に分割 (クラスタリング) される。解析によって得られたクラスタにはいずれのクラスも割り当てられていないため (図 T09-1)、解析者が結果を解釈して対応するクラスを割り当てる必要がある。結果の解釈は、より分解能の高い衛星データや空中写真の判読によって行われることが多い。教師なし分類の代表的な手法には ISODATA があげられる。上記の代表的な手法のほか、自己組織化マップや分類木、ニューラルネットワークなどさまざまな手法が分類に利用されている。

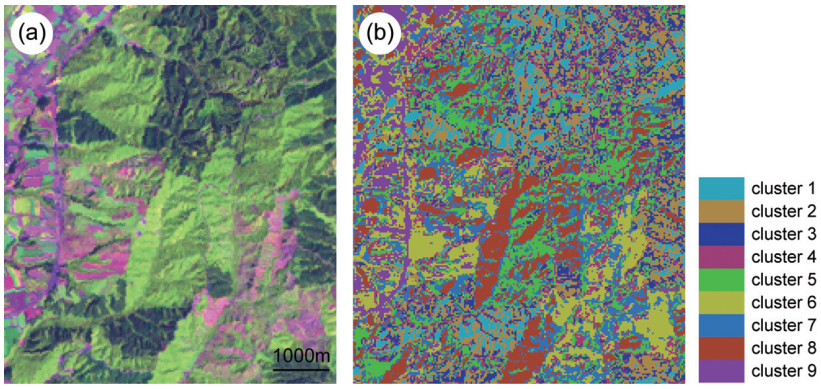


図 T09-1　ISODATA 法によるクラスタリング結果

(a) オリジナルの Landsat ETM+ データと (b) クラスタ数を 9 と設定した時の結果

画素単位の分類とオブジェクトベース分類

森林域において、中空間分解能の衛星データ (例えば 30m×30m) の画素は、ひとつ以上の樹冠の様々な部分 (太陽光が当たる部分，自己被陰によって太陽光が当たらない部分) からの反射によって構成されている。ところが 1 画素の観測範囲が樹冠より小さくなる高分解能の衛星データでは、それぞれの場所からの反射が個別に画素を構成し、同一の対象を観測した画素であっても様々な値をもつようになる。このような場合、従来用いられてきた画素を最少単位とした分類ではクラス内分散が過大となり、適切な分類結果を得ることが困難となる。この問題を回避するため、空間的に隣接した画素を類似した特徴量を持つグループにまとめ (領域分割 ; segmentation)、このグループを最少単位として分類を行うオブジェクトベース分類と呼ばれるアプローチがとられるようになってきた [1)]。

オブジェクトベース分類では、画素単位の分類で特徴量として用いられる画素値がオブジェクト内の平均値を算出するのに利用されるほか、画素値の分散やテクスチャ、オブジェクトの形状など、領域分割によって得られるさまざまな特徴量も分類に利用される。また、領域分割を行うことにより、作成される土地被覆図にごま塩状の微小領域が生じにくいことも利点である。上記のような利点を持つことからオブジェクトベース分類は中空間分解能衛星データに対しても有効であり、FAO による世界森林資源評価 2010 (FRA2010) のリモートセンシング資源調査 (Remote Sensing Survey) ではオブジェクトベース分類が利用された [2)]。

オブジェクトベース分類を行う際には、領域分割のパラメータ設定よって異なる分割結果が得られるため (図 T09-2)、最適値を設定するための試行錯誤が必要となる。なお、パラメータは使用するデータに固有のものであり、データごとに適切な値を設定しなければならない [3), 4)]。パラメータの設定においては対象地の平均的なパッチサイズや最小地図単位 (minimum mapping unit; MMU) などを考慮する必要がある。

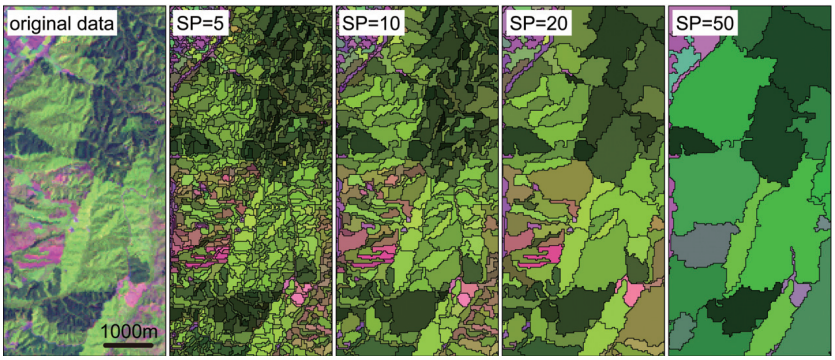


図 T09-2　オリジナルの Landsat ETM+ データと
スケールパラメータ (SP) を変化させた時の領域分割結果

INFO

1) 平田泰雅（2009）高分解能衛星データの森林モニタリングへの利用．日林誌 91: 136-146

INFO

2) FAO, JRC, SDSU, UCL (2009) The 2010 Global Forest Resources Assessment Remote Sensing Survey: an outline of the objectives, data, methods and approach. Forest Resources Assessment Working Paper 155. FAO with FRA RSS partners

INFO

3) スケールパラメータとは、主に出力されるオブジェクトのサイズに影響するパラメータである。

INFO

4) 村上拓彦・大西紀子・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎 (2010) 林相区分を目的としたオブジェクトベース画像解析における最適なセグメンテーションの検討．写測とリモセン 49: 159-165

参考文献

日本リモートセンシング学会 (2011) 基礎からわかるリモートセンシング．理工図書

高木幹雄・下田陽久監修 (2004) 新編　画像解析ハンドブック．東京大学出版

Recipe - T10

精度評価

この上の Recipe は

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

画像分類による地図の土地被覆が現実の土地被覆と完全に一致することは実際にはほとんど起こらない。そのような誤りを含む地図を利用するためにはその分類結果の精度やバイアスを知る必要があり、地図の作成者は精度を明らかにしなければならない。ここでは、判別効率表を用いた画像分類の精度評価の原理と方法を示し、さらに誤りから生じる面積推定値のバイアスを修正してより正しい面積推定値を算出する方法を示す。判別効率表自体の推定精度が分類結果の精度評価を大きく左右するので、正しい方法を用いなければならない。

判別効率表と精度の指標

地上での現実のクラス (参照クラス) と、画像分類による地図のクラス (分類クラス) がある地点で一致していれば、その地点は正しく分類されたことになる。一方、それらのクラスが異なれば、その地点は誤って分類されたことになる (図 T10-1)。

ある画像を r 個のクラスに分類した時、その画像の中で分類クラスが $i\,(1 \le i \le r)$、参照クラスが $j\,(1 \le j \le r)$ となった面積（＝画素数 × 1 画素の面積）N_{ij}を要素とする $r \times r$ の行列ができる。これを用いて判別効率表（error matrix）を作成し (表 T10-1)、その地図の精度の評価をさまざまな方法で行う。このとき、対角成分は $N_{jj}(1 \le j \le r)$ クラス j に正しく分類された面積である。また、$N_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{r} N_{ij}$ は地図上で分類クラスiに分類された面積、$N_{\cdot j} = \sum_{i=1}^{r} N_{ij}$は実際の参照クラスが j である面積、$N = \sum_{j=1}^{r}\sum_{i=1}^{r} N_{ij}$ は地図の総面積である。

<u>総合精度（overall accuracy）</u> A：地図全体の精度、正しく分類された面積の比率である。1 ならば現実の土地被覆に完全に一致、0 ならば全く異なっていることを示す。おおよそA ≥0.85 を分類の目標として設定していることが多い。

$$A = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{r} N_{jj} \qquad \text{(T10-1)}$$

<u>利用者精度（user's accuracy）</u> au_i：分類クラスiに分類された面積のう

ち参照クラスが正しくiだったものの割合。$1-au_i$ はコミッションエラー (commission error) と呼ばれる。

$$au_i = N_{ii} \,/\, N_{i\cdot} \qquad \text{(T10-2)}$$

<u>作成者精度（producer's accuracy）</u> ap_j ：参照クラスjの面積のうち正しく分類クラスjに分類されたものの割合。$1-ap_j$はオミッションエラー (omission error) と呼ばれる。

$$ap_j = N_{jj} \,/\, N_{\cdot j} \qquad \text{(T10-3)}$$

kappa 係数 k ：偶然の一致の影響を考慮した、全体の精度を表すよりよい指標とされる。総合精度と同様に [0,1] を取り、高い値ほどよい。

$$\kappa = \frac{N\sum_{i=1}^{r} N_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(N_{i\cdot}N_{\cdot i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(N_{i\cdot}N_{\cdot i})} \qquad \text{(T10-4)}$$

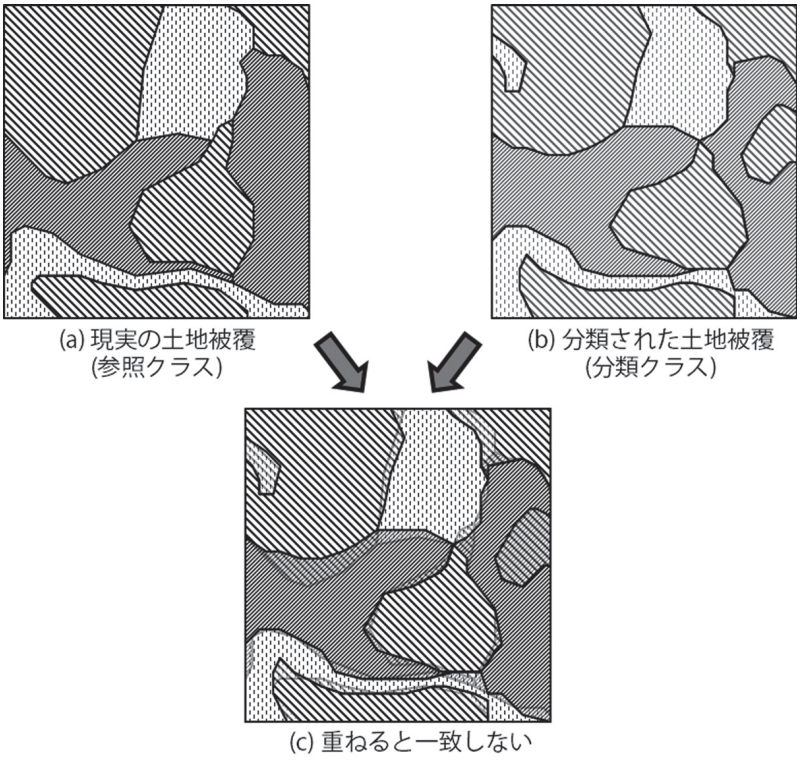


図 T10-1　現実の世界と衛星画像から分類された地図の土地被覆

実際には (a) は知りえず (b) しか得られないので、サンプル (グランドトゥルース) を地図上で抽出して (a) と (b) を比較し、地図の精度とバイアスを推定しなければならない。

表 T10-1　判別効率表 (画像全域 (母集団) の場合)

		参照項目					
		1	…	j	…	r	小計
分類項目	1	N_{11}	…	N_{1j}	…	N_{1r}	$N_{1\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	i	N_{i1}		⋱		N_{ir}	$N_{i\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	r	N_{r1}	…	N_{rj}	…	N_{rr}	$N_{r\cdot}$
	小計	$N_{\cdot 1}$	…	$N_{\cdot j}$	…	$N_{\cdot r}$	N

精度評価のためのグランドトゥルース

前節では地図上のすべての地点で参照クラスが明らかであったので、完全な判別効率表を求められた。しかし、実際にはすべての地点の参照クラスは明らかではない (明らかならリモートセンシングは不要である)。そこで、精度検証のためのグランドトゥルース (T08 参照) を収集して、判別効率表とさまざまな精度を推定しなければならない。推定を正しくかつ効率よく行うためには、グランドトゥルースの調査を正しく設計し、それに応じた正しい評価法を用いなければならない。

精度評価のためのグランドトゥルースの抽出方法には単純無作為抽出と層化抽出の 2 つの方法がある。単純無作為抽出では、分類結果によらず無作為にグランドトゥルースを抽出するので、クラスごとの抽出確率が実際の面積比に比例すると期待される。国家森林資源調査など大規模な系統抽出も代用可能である。サンプル数が少ない場合、面積比の小さなクラスに大きな誤差が生じる可能性がある。

一方、層化抽出では、分類クラスごとに任意にサンプル数を割り振って、分類クラスごとに無作為に抽出する。調査資源を効率的に配置できるため、リモートセンシングプロジェクトではこのようにサンプルを抽出することが多い。

表 T10-2　判別効率表 (単純無作為抽出標本の場合)

		参照項目						
		1	…	j	…	r	小計	
分類項目	1	n_{11}	…	n_{1j}	…	n_{1r}	$n_{1\cdot}$	$N_{1\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	i	n_{i1}		⋱		n_{ir}	$n_{i\cdot}$	$N_{i\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	r	n_{r1}	…	n_{rj}	…	n_{rr}	$n_{r\cdot}$	$N_{r\cdot}$
	小計	$n_{\cdot 1}$	…	$n_{\cdot j}$	…	$n_{\cdot r}$	n	
		$\hat{N}_{\cdot 1}$	…	$\hat{N}_{\cdot j}$	…	$\hat{N}_{\cdot r}$		N

表 T10-3　判別効率表 (層化抽出標本の場合)

		参照項目						
		1	…	j	…	r	小計	
分類項目	1	n_{11}	…	n_{1j}	…	n_{1r}	$n_{1\cdot}$	$N_{1\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	i	n_{i1}		⋱		n_{ir}	$n_{i\cdot}$	$N_{i\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	r	n_{r1}	…	n_{rj}	…	n_{rr}	$n_{r\cdot}$	$N_{r\cdot}$
		$\widehat{N}_{\cdot 1}$	…	$\widehat{N}_{\cdot j}$	…	$\widehat{N}_{\cdot r}$		N

単純無作為抽出と層化抽出の場合の判別効率表を表 T10-2 および表 T10-3 にそれぞれ示す。

分類クラスiがで参照クラスがjのサンプル数n_{ij}をとする。前節と同様に、$n_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{r} n_{ij}$、$n_{\cdot j} = \sum_{i=1}^{r} n_{ij}$、$n = \sum_{j=1}^{r}\sum_{i=1}^{r} n_{ij}$である。単純無作為抽出の場合には全サンプル数$n$が、層化抽出の場合には分類クラスごとのサンプル数$n_{i\cdot}$が予め決められる。

地上での現実のクラスの面積は、分類クラスごとの面積$N_{i\cdot}$ではなく、参照クラスごとの面積$N_{\cdot j}$である。しかし、分類結果の地図より$N_{i\cdot}$および地図の総面積Nは既知だが、現実の$N_{\cdot j}$は未知なので、その推定値$\widehat{N}_{\cdot j}$を求める必要がある。

分類クラスiの地図中の面積比をπ_iとして、分類クラスiかつ参照クラスjの面積比推定値$\hat{p}_{ij}$は次のように求められる。

$$\pi_i = N_{i\cdot}/N \qquad \text{(T10-5)}$$

$$\hat{p}_{ij} = \pi_i n_{ij}/n_{i\cdot} \qquad \text{(T10-6)}$$

そして、参照クラスの面積と精度の推定値およびそれらの標準誤差（SE）は以下のように求められる。なお、[SRS]を付したのは単純無作為抽出の場合の計算式、[SS] を付したのは層化抽出の場合の計算式、とくに印のないものは両方の抽出方法に共通のものである。

参照クラスのj面積[1)]：

$$\widehat{N}_{\cdot j} = N\sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ij} \qquad \text{(T10-7)}$$

$$SE(\widehat{N}_{\cdot j}) = N\left\{\sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ij}(\pi_i - \hat{p}_{ij}) / (\pi_i n)\right\}^{1/2} \quad \text{[SRS]} \qquad \text{(T10-8)}$$

INFO

1) Card DH (1982) Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy. Photo Engin Rem Sens 48: 431-439

$$SE(\hat{N}_{.j}) = N\left\{\sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ij}(\pi_i - \hat{p}_{ij}) / n_{i.}\right\}^{1/2} \quad [SS] \qquad (T10\text{-}9)$$

総合精度 1)：

$$\hat{A} = \sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ii} \qquad (T10\text{-}10)$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{\sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ii}(\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i n)\right\}^{1/2} \quad [SRS] \qquad (T10\text{-}11)$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{\sum_{i=1}^{r}\hat{p}_{ii}(\pi_i - \hat{p}_{ii}) / n_{i.}\right\}^{1/2} \quad [SS] \qquad (T10\text{-}12)$$

利用者精度 1)：

$$\widehat{au}_i = n_{ii} / n_{i.} \qquad (T10\text{-}13)$$

$$SE(\widehat{au}_i) = \{\hat{p}_{ii}(\eth_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^3 n)\}^{1/2} \quad [SRS] \qquad (T10\text{-}14)$$

$$SE(\widehat{au}_i) = \{\hat{p}_{ii}(\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^2 n_{i.})\}^{1/2} \quad [SS] \qquad (T10\text{-}15)$$

作成者精度 1)：

$$\widehat{ap}_j = \frac{N_{j.}}{\hat{N}_{.j}}\frac{n_{jj}}{n_{j.}} = \frac{N_{j.}}{\hat{N}_{.j}}\widehat{au}_j \qquad (T10\text{-}16)$$

$$SE(\widehat{ap}_j) = \left\{\hat{p}_{jj}\left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N}\right)^{-4}\left[\hat{p}_{jj}\sum_{i\neq j}^{r}\frac{\hat{p}_{ij}(\pi_i - \hat{p}_{ij})}{\pi_i n} + (\pi_j - \hat{p}_{jj})\left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N} - \hat{p}_{jj}\right)^2 / (\pi_j n)\right]\right\}^{1/2}$$

[SRS]　(T10-17)

$$SE(\widehat{ap}_j) = \left\{\hat{p}_{jj}\left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N}\right)^{-4}\left[\hat{p}_{jj}\sum_{i\neq j}^{r}\frac{\hat{p}_{ij}(\pi_i - \hat{p}_{ij})}{n_{i.}} + (\pi_j - \hat{p}_{jj})\left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N} - \hat{p}_{jj}\right)^2 / n_{j.}\right]\right\}^{1/2}$$

[SS]　(T10-18)

khat（kappa 係数の推定値）2), 3), 4), 5)：

$$\hat{\kappa} = \frac{n\sum_{i=1}^{r} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k} n_{i.}n_{.i}}{n^2 - \sum_{j=1}^{k} n_{i.}n_{.i}} \quad [SRS] \qquad (T10\text{-}19)$$

INFO

2) Congalton RG, Green K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Press

INFO

3) ここで $\theta_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{r} n_{ii}$、

$\theta_2 = \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{r} n_{i.}n_{.i}$、

$\theta_3 = \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{r} n_{ii}(n_{i.} + n_{.i})$、

$\theta_4 = \frac{1}{n^3}\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} n_{ij}(n_{i.} + n_{.j})^2$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{\frac{1}{n}\left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4}\right]\right\}^{1/2}$$

[SRS]　(T10-20)

$$\hat{\kappa} = \frac{N\hat{D}-\hat{G}}{N^2-\hat{G}} \quad \text{[SS]} \qquad \text{(T10-21)}$$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{\sum_{i=1}^{r} N_{i\cdot}^2(1-f_i)\,\hat{V}_i \Big/ n_{i\cdot}\right\}^{1/2} \quad \text{[SS]} \qquad \text{(T10-22)}$$

これらの推定値から分類結果の比較ができる。例えば、異なる 2 つの分類結果の *khat* 値をそれぞれ$\hat{\kappa}_1$と$\hat{\kappa}_2$とすると、帰無仮説 $H_0: \kappa_1 - \kappa_2 = 0$ は、正規分布を仮定した検定統計量

$$Z = \frac{|\hat{\kappa}_1 - \hat{\kappa}_2|}{\sqrt{var(\hat{\kappa}_1) + var(\hat{\kappa}_2)}}$$ が、 $Z \geq Z_{\alpha/2}$ となるとき棄却される。

ここで、$Z_{\alpha/2}$ は有意水準 100(1- α)% での境界値で、α が 0.05、0.01 のときそれぞれ 1.96、2.58 である。

サンプル数は分類クラスあたり 50 点以上、対象面積が広い場合 (例えば数十万 ha) やクラス数が多い場合 (例えば 12 クラス以上) の場合には 75 点以上必要であると、経験的に言われている [2)]。なお、分類の教師データとして用いたグランドトゥルースを精度評価に再度用いると精度を過大に評価する傾向があるため、独立したサンプルを用いなければならない。

INFO

4) Stehman SV(1996) Estimating the Kappa Coefficient and its Variance under Stratified Random Sampling. Photo Engin Rem Sens 62: 401-407

INFO

5) ここで $\hat{D} = \sum_{i=1}^{r} \frac{N_{i\cdot}}{n_{i\cdot}}$、

$= \sum_{i=1}^{r} N_{i\cdot}\hat{N}_{\cdot i}$ 、 $= \frac{n_{i\cdot}}{N_{i\cdot}}$ 、

$\hat{V}_i = \frac{u_i^2 - n_{i\cdot}\bar{u}_i^2}{n_{i\cdot} - 1}$、

$\bar{u}_i = 1/n_{i\cdot}\left\{n_{ii}\left[\frac{N}{N^2-\hat{G}}\right] + \frac{N(\hat{D}-N)}{(N^2-\hat{G})^2}\sum_{j\neq i} n_{ij}N_{j\cdot}\right\}$ 、

$\bar{u}_i = 1/n_{i\cdot}\left\{n_{ii}\left[\frac{N}{N^2-\hat{G}}\right] + \frac{N(\hat{D}-N)}{(N^2-\hat{G})^2}\sum_{j\neq i} n_{ij}N_{j\cdot}\right\}$

Recipe - T11

面積変化の推定

この上の Recipe は

Recipe P07　蓄積変化法

Recipe P08　リモートセンシングを用いた面積推定

本レシピでは、多時期の画像を用いて森林変化面積を推定するアプローチの概要とその諸問題について述べる。1 時期の画像ではその時点での森林被覆を把握するにとどまるが、森林の変化に注目する場合、2 時点以上の画像が必要となる。2 時点以上の画像を使用する場合には、(1) それぞれの画像を分類し、その分類結果を比較して変化を把握するアプローチと、(2) 複数の画像を一括して分類し、変化を把握するアプローチとがある。

2 時期それぞれの分類結果の比較

2 時期の画像をそれぞれ分類した結果の比較による変化抽出の特徴としては、それぞれの画像を分類するため、表 T11-1 に示すようなクロス集計表を作成することができる。これによって変化前・変化後の土地被覆がわかり、どのような要因でその変化が起きたのかを理解する手がかりとなる。その一方で、土地被覆間の境界部分において実際には土地被覆の変化が起こっていないにもかかわらず、変化と見なす場合がある (図 T11-1)。

表 T11-1　面積変化のクロス集計表

	2000 年の 土地被覆			
1990 年の土地被覆	森林	非森林	水域	総計
森林	606.9	90.5	0.0	697.4
非森林	47.9	169.3	0.8	21.8
水域	0.0	9.6	12.2	218.0
総計	654.8	269.3	13.0	937.1

多時期画像の一括分類による変化抽出

多時期画像を一括して分類する方法には、各時期の画像間で演算を行って（たいていの場合、差分画像を作成して）分類する方法と、多時期の画像を単一のマルチレイヤー画像にまとめて分類を行う方法（図 T11-2）がある。

時系列の画像を一括して分類して変化抽出する特徴としては、変化のみに着目した教師データのサンプリングを行うと、変化前後の土地被覆、つまり、どの土地被覆がどのように変化したのかを把握することができ

INFO

1) Dai X, Khorram S (1998) The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. IEEE Trans Geosci Rem Sens 36: 1566-1577

ない。一方で、変化前後の土地被覆を考慮したサンプリングを行うと、必要となる教師サンプル数が増えてしまう。また使用する複数の画像の観測時期が異なる場合には、生物季節的な輝度の変化や地形による影響を変化として捉えてしまう場合がある。

画像比較の注意点の現在の流れ

変化の把握には 2 時点以上の画像を使用するため、それぞれの画像の幾何補正の精度が要求される。変化抽出誤差を 10%未満にするためには 0.2 ピクセル未満の位置精度が必要とされる [1)]。ただし、GOFC-GOLD では、2 つの画像の相対誤差が 1 ピクセル未満としている [2)]。

以上、2 つの面積変化の推定について概観したが、近年ではオブジェクトベースのアプローチ (T09 参照) が用いられるようになってきている。FAO による世界森林資源評価 2010 (FRA2010) のリモートセンシング資源調査 (Remote Sensing Survey) では、オブジェクトベースの方法が用いられ、多時期を合成せずに、それぞれの年の画像 (単画像) の分類結果をもとに森林変化を把握している [3)]。一方で、GOFC-GOLD では、多時期のマルチレイヤー画像を用いてオブジェクト作成 (画像セグメンテーション [4)]) を行った後、それぞれの画像をもとに画像分類を行って、森林変化を決定している [2)]。

INFO

2) GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation.
http://www.gofcgold.wur.nl/redd/

INFO

3) FAO et al. (2009) The 2010 Global Forest Resources Assessment Remote Sensing Survey: an outline of the objectives, data, methods and approach.
http://www.fao.org/docrep/012/k7023e/k7023e00.pdf

INFO

4) 画像セグメンテーション (image segmentation) とは、空間的に隣接しており、かつスペクトル的に同質なピクセル群で画像を分割する作業

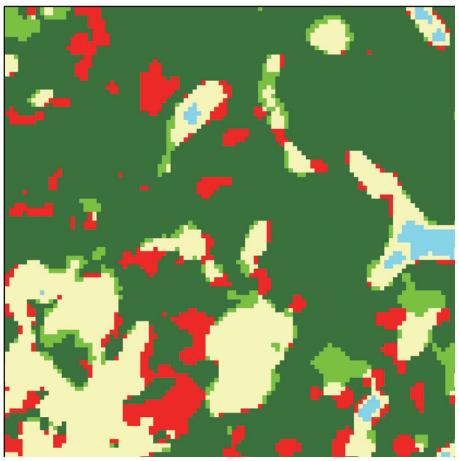


図 T11-1　2 時期それぞれの分類による変化抽出
緑：森林、黄：非森林、水色：水域、黄緑：非森林→森林、赤：森林→非森林、境界部分が変化として抽出されている。

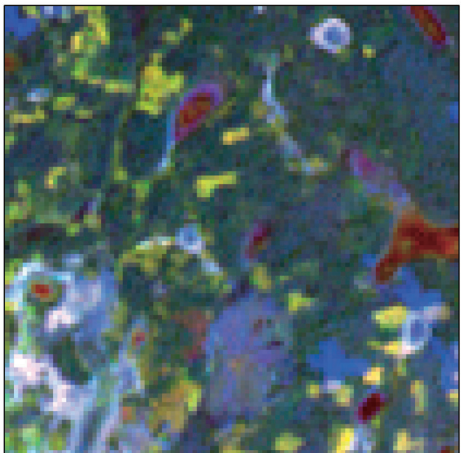


図 T11-2　2 時期の画像を併せた単一のマルチレイヤー画像
R：変化後画像バンド 3、G：変化後画像バンド 5、B：変化前画像バンド 5。森林→非森林への変化は黄色に、非森林→森林の変化は青く表示されている。

参考文献

Campbell JB (2007) Introduction to Remote Sensing. Guilford Press

8

第 8 章
固定調査プロットを用いた方法

固定調査プロット (Permanent Sample Plot：PSP) の利用は、最も伝統的かつ直接的な森林炭素蓄積の測定手法である。固定調査プロット法ではデザイン、現地調査、データ解析という３つのステップが存在する。本章ではまず、どれだけのプロットをどのように配置すべきかといった、固定調査プロット法のデザインについて解説する。続いてプロットの面積や形状の決定、さらに現地調査において役に立つ個別の技術について紹介する。最後に毎木調査データから単位面積あたりの炭素蓄積量を計算する際に注意すべき点、特に計算結果に大きな影響を与えるアロメトリ式の選択について解説する。

T12　国定調査プロットの必要数と配置
T13　国定調査プロットでの調査設計
T14　国定調査プロットのデータ解析

Recipe - T12

固定調査プロットの必要数と配置

この上の Recipe は
Recipe P10　固定調査プロットを用いた方法

広域 (国もしくは準国レベル) での炭素蓄積推定を効率よく行うためには、適切な森林区分に基づく層化抽出法が有効である。本レシピでは、求められる推定精度、層化抽出法による固定調査プロットの必要数の求め方および適切な層化のためのマトリックス化について解説する。

求められる精度

標本調査法において、求められる推定精度、すなわち、許容誤差 E は、母集団が十分に大いとき、以下の式で表される [1)]。

$$E = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \qquad \text{(T12-1)}$$

ここで、 t は t 分布の危険率が 5%で自由度が n -1 のときの値、s は標準偏差、n はサンプル数である。誤差 E を平均値で除した誤差率（%）で表現されることも多い。この式より、サンプル数 nを増加させると誤差 E が小さくなることがわかるが、一方で調査に要する経費も増加するため、費用対効果を考慮した適切な許容誤差を設定する必要がある。熱帯林における許容誤差率は、これまでの経験から、10%以下にすべきとされている [2)]。

また、上記の式からわかるように、もし標準偏差s が小さくなれば、誤差 E も小さくなる、あるいは、サンプル数n を少なくさせることができ、より効率的な推定が可能となる。この標準偏差 s を小さくさせることを可能にするのが、以下に示す層化抽出法である [3), 4)]。

必要数の求め方

広域の森林を対象とした場合、針葉樹林もしくは広葉樹林、常緑林もしくは落葉林といった異なる森林タイプが含まれる。また、同じ森林タイプでも、撹乱の度合いや発達段階の違いによって森林の状態はさまざまである。このような場合は、森林のタイプや状態がより均質ないくつかの層に区分して、層ごとに固定調査プロットの必要数や配置を考慮する層化抽出法が極めて有効である。

層化抽出法において、 L 個に層化されるとすると、固定調査プロットの必要数n は以下の式で表される [5)]。

INFO

1) Avery TE, Burkhart HE (eds.) (1994) Forest measurements, Fourth edition. McGraw-Hill

INFO

2) Brown S (2002) Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. Phil Trans R Soc Lond A 360: 1669-1683

INFO

3) 大隅眞一 (1987) 森林計測学講義. 養賢堂

INFO

4) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

INFO

5) UNFCCC "Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities" http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf

$$n = \left(\frac{t}{E}\right)^2 \left[\sum_{h=1}^{L} W_h s_h \sqrt{C_h}\right]\left[\sum_{h=1}^{L} W_h s_h / \sqrt{C_h}\right] \qquad \text{(T12-2)}$$

ここで、母集団全体および各層の標本抽出単位数を N および N_h とすると、$W_h = N_h/N$、t は t 分布の危険率が 5%で自由度が n- Lのときの値、s_hは各層の標準偏差、C_hは各層のプロット当りの調査費用である。そして、各層に割り当てられるサンプル数は n_h 以下の式で計算される[6]。

$$n_h = n \frac{W_h s_h / \sqrt{C_h}}{\sum_{h=1}^{L} W_h s_h / \sqrt{C_h}} \qquad \text{(T12-3)}$$

なお、費用の情報がない場合は C_h =1 として算出し、標本抽出率 n / Nが 5%以上で母集団を有限とみなす場合には上記で求めた n を以下の式に代入した補正値 n_a として固定調査プロットの必要数を求める[7]。

$$n_a = \frac{Nn}{N+n} \qquad \text{(T12-4)}$$

適切な層化

層化抽出法を用いる目的は、推定精度を高めること、あるいは、サンプル数 n を減少させること[4] にあるが、そのためには、母集団全体の変動 s と比較して、各層内の変動s_hをできるだけ小さくするように層化する必要がある。その層化に際して有効な手段が図T12-1 に示す“層化マトリックス”[8] を作成することである。このマトリックスは森林タイプと森林の状態の 2 つの軸で構成されており、マトリックスを構築するためには炭素蓄積の空間的な変動がどのような要因 (例えば、標高、土壌型、土地利用歴など) と関連があるかを事前に理解しておくことが重要である[8]。また、この層化マトリックスは森林タイプ毎の森林劣化 (forest degradation) の定量化にも有効である。

森林の状態
Forest Condition →

森林タイプ
Forest type ↓

	成熟林 Mature	伐採林 Logged	二次林（若齢） Secondary（young）	二次林（壮齢） Secondary（medium）
常緑林 Evergreen				
落葉林 Deciduous				
混交林 Mixed				

図 T12-1　森林タイプと森林の状態で区分した層化マトリックス
（Gibbs ら[8] を一部改変）

INFO

6) 層化抽出法による固定調査プロットの必要数を実際に計算できるエクセルシート "Winrock Terrestrial Sampling Calculater" が以下に公開されている。
http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock_Sampling_Calculator.xls

INFO

7) Wenger KF (ed.) (1984) Forestry handbook, 2nd edition. John Wiley and Sons

INFO

8) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. Environ. Res. Lett. 2: 045023

Recipe - T13

固定調査プロットでの調査設計

この上の Recipe は

Recipe P10　固定調査プロットを用いた方法

固定調査プロットは、その名が示すように個々のプロットが長期にわたって計測できる条件が整っていなければならない。本レシピでは固定調査プロットのプロット設計のために求められる要件と、その精度向上に必要な計測上のテクニックについて述べる。

調査プロットの面積

個々の調査プロットの面積が大きくなれば測定する木の数が多くなり、時間と費用がかかる。一方で面積が小さければ時間と費用は少なくて済むが、炭素蓄積量の推定誤差が大きくなるという問題が出てくる。実施国で過去に実施された国家森林資源調査 (National Forest Inventory) [1] や森林構造 (forest structure) に関する研究事例などを参考にしてプロット面積を考える必要がある。おおまかな目安としては 0.1 ～ 0.5ha の大きさを用いる場合が多い。

INFO

1) 先進国の事例が中心ではあるが Tomppo ら (2010) により各国の国家森林資源調査の方法論を含めた概要がまとめられている。

調査プロットの形

調査プロットの形は、円形と方形の大きく 2 つに分類できる (図 T13-1)。それぞれ設定や利用にあたって長所と短所が存在する。たとえばプロットの存在を明確にするために杭 (stake) を設置する必要がある。杭の設置は円形プロットの場合、中心点だけで済むが、プロット境界付近での樹木個体が測定対象であるか否かを判定するのは難しい。一方で方形プロットは少なくとも四隅に杭を設置する手間が必要であるが、境界は直線となるので測定対象木の見極めは容易となる。また、再測の際も方形の場合、杭が 4 つあるので位置を確定しやすい利点がある。

杭の打設に当っては、土砂の移動や動物などによるイタズラなどで抜け落ちてしまわないように可能な限り深く打ち込むのが望ましい。また、火災などの撹乱がある場合、杭はコンクリートなどの耐火性のある素材にすることが望ましい (図 T13-2)。一方であまり高価な素材を使用すると盗難に遭う危険があり、現地担当者と協議して素材選定を進める方が良い。なお、プロッ

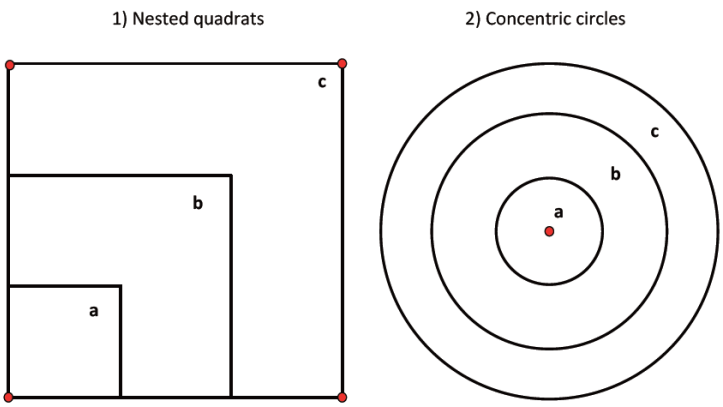


図 T13-1　プロットの形状

1: 入れ子状の方形プロット、2: 同心円状の円形プロットたとえば測定対象サイズは、a 枠で DBH5cm 以上、b 枠で 10cm 以上、c 枠で 20cm 以上とすることで効率化が図れる

ト設定の際、レーザ距離計やコンパスなどを使用して測量することになるが、距離は斜距離ではなく水平距離を用いるようにする。炭素蓄積量の推定は単位面積あたりで行うので、水平距離を用いてプロットの面積を求めておくことが重要である[2)]。

各プロットで起点となる杭を定めて（円形プロットの場合、中心点）、GPS を用いてその点の位置情報を確定して記録するようにする。この情報はリモートセンシングによる画像解析のためだけではなく、再測の時のプロット再訪に不可欠である。

INFO

2) その他、確認しておくと良い情報として、現地および周辺の撹乱の履歴がある。たとえば、地元住民による薪や燃材採集のための伐採の有無や、択伐の履歴などである。また、周辺がゴム林やアブラヤシ林などに転換されているかなどの土地利用に関する情報も重要である。

毎木調査のための準備

長期にわたるモニタリングを想定した場合、毎木調査の測定者の違いによる測定誤差を最小限にするための計測マニュアルの作成と現場への徹底した普及が重要である。また、現地での継続的な調査実施を考えた場合、現地で入手可能な道具の使用を優先的に考えるべきである。

REDD プラスにおける毎木調査 (tree census) の主たる目的は、炭素蓄積量推定のためであり、アロメトリ式 (T14 参照) による計算に必要な胸高直径、樹高 (必要に応じて)、種名のデータを取得しなければならない[3)]。そのために最低限、1 チームあたり直径や樹高など測定を担当する者と記録を担当する者の 2 名の確保が必要である。また、種同定ができる技術者の確保も重要である。

次に測定対象とする植物であるが、基本的にある一定の基準を超えた生立木 (living trees) とし (ただしツル性植物は除く)、その基準をたとえば胸高直径 10cm 以上と設定する。また、タケやヤシなどを毎木調査に含めている場合もあるが、これら測定対象とするか判断の難しい種 (marginal species with pseudo-woody stems) は現地での重要性などから対象とするか否かを判断する。

図 T13-2　撹乱への耐性がある杭の事例（コンクリート製）

INFO

3) 植物体 (plant biomass) の炭素蓄積以外にも枯死木や土壌などの炭素プールがあり、これらの把握も重要である。本レシピではその測定法を割愛したが、Ravindranath& Ostwald (2008) の成書ならびに T02 に方法論が示されているので参照されたい。

測定精度を高める工夫

調査プロット内の林分構造を正確に把握するためには、枠内の全生立木を測定すれば良いが、時間と手間を考えれば非現実的である。入れ子構造 (nest structure) (円形の場合、同心円) にすることで調査の時間と手間を節約できる (図 13-1)。たとえば図 13-1 に示した方形区プロットでは、大きさの異なる 3 つの枠 (a ～ c) があり、枠ごとに測定対象とする胸高直径のサイズを変えることによって省力化を図っている。

具体的な測定の手順は以下の通りである。

- 対象木の位置記録
- 個体番号の確定 (タグをつける)
- 胸高直径の測定
- 測定位置のマーキング
- 種同定

- 樹高測定 (必要な場合)
- その他特記事項の記録

まず、最初にするべきことは、測定対象となる木がプロットのどの位置にあるかを記録することである。測る順路を決めておく。図 T13-3 に示したようにプロット内を方形区 (sub-quadrat) に細分化してコード番号を付けることにより、樹木個体位置の記録が容易かつ明確になる。また、測定の順番も起点となる杭から反時計回りに移動するなど工夫すれば番号の並び方に規則性ができるので、再測時に消失した個体を把握しやすい。

測定対象とした個体はすべて独自の番号 (unique number) を割り振る必要がある。市販のアルミタグ [4] などを用いて測定した個体ごとに番号を付ける。また、何らかの原因（人によるイタズラも含む）でタグが無くなってしまうこともあることから、個体番号をペンキで幹に直接書き込むか、あるいは上述のコード化した方形区の情報を用いて大まかな位置を記録しておくと二回目以降の測定で手間がかからない。

直径は通常、地面から高さ 1.3m のところで計測する。各個体の直径を測る前に必ず測定位置の状態を確認する。具体的には、瘤 (swelling) があった場合はその場所を避けた位置で測定し、ツル (climber) が巻き付いている場合、可能な限りツルを外した状態で測定する。このような状況になった場合、野帳の備考欄 (remarks) に「ツル抜きで測定」(measured without climber) や「瘤のため、測定位置変更」(change measuring position due to swelling) などの注訳を忘れずに書き留めるようにする [5]。また、直径の測定は必ず斜面上側から行うようにし、次回の計測のために測定位置をペンキなどでマーキングする (図 T13-4)。

板根 (buttress) の場合も測定位置の決定に注意を要する。板根の影響がなくなったところから 50cm 上のところを測定場所にするという決まりを徹底する (図 T13-5)。測定にはハシゴ (ladder) が必要なため手間がかかるが、この測定をいい加減にすると現存量推定とその後の測定結果に誤差が生じて、結果的には使えないデータとなるので、きちんとした対応が必要である。

胸高直径の測定のための道具についても注意が必要である。たとえば輪尺 (caliper) を使用する場合は、一回の測定だけではなく、必ず直交する二方向で計測を行い、その平均値を使用する。巻尺 (tape measure) を使用した場合、胸高周囲長 (girth of breast height：GBH) と胸高直径 (diameter

INFO

4) たとえば、Forestry Suppliers で Racetrack-Shaped Aluminum Tags として販売されている。

INFO

5) 胸高直径の測定位置については、複数幹や倒伏した幹の場合などで対応が異なってくる。具体的な例示は、Condit (1998) や Ravindranath& Ostwald (2008) の成書に示されているので参照されたい。

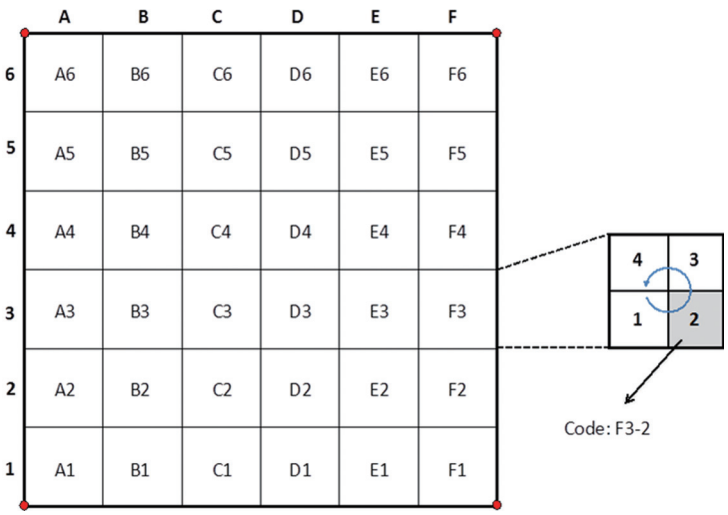


図 T13-3　プロットの区画例
たとえば図右の灰色部分の方形区のコードは F3-2 となる

of breast height：DBH) が混在する可能性がある。記録する場合、どちらの値なのか随時確認する必要がある。なお、調査実施にあたっては、使用する用具を統一し、巻尺とノギス、あるいは直径巻尺 (diameter tape) とふつうの巻尺を混在して使わないようにする。

熱帯林の場合、梢端が見えづらいことから樹高の測定は困難な場合が多い。したがって、全個体の樹高を測定するのではなく、サイズ構造を考慮に入れたサンプリングによる測定を行い、胸高直径－樹高曲線から未測定木の樹高を計算すると良い。樹高と一口に言っても一部の技術者は採材できる高さ (commercial height) を想定している場合もあり、事前に定義の確認が必要である。

種同定 (species identifying) については、現地での植物種同定が可能な人材の有無が鍵となってくる。現地調査である程度の種の絞込みも可能ではあるが、標本 (specimen) を持ち帰って植物の専門家 (botanist) に同定してもらうか、あるいは後日専門家自身にプロットを訪れてもらい同定作業を進める方が精度は高くなる。

図 T13-4　直径の測定位置を明確にしている事例（インドネシア）

図 T13-5　板根の発達した個体での直径計測
点線で示した部分が高さ 1.3m であるが、この位置で計測するのではなく、板根の影響がなくなった実線の位置で計測する必要がある

参考文献

自然環境研究センター (2010) モニタリングサイト 1000 森林・草原調査コアサイト設定、毎木調査マニュアル．環境省生物多様性センター http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/tree_ver2.pdf

森林立地調査法編集委員会 (2010) 森林立地調査法 . 博友社

Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag

Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag

Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (2010) National Forest Inventories. Springer-Verlag

Recipe - T14

固定調査プロットのデータ解析

この上の Recipe は

Recipe P10　固定調査プロットを用いた方法

森林炭素蓄積量 (carbon stock) は、森林のバイオマス (biomass) の半分と言われている。そこで森林炭素蓄積量を算出する際には、まずアロメトリ式等を用いて森林バイオマスを推定する。本レシピでは、T12､T13 で説明された固定調査プロットから得た毎木調査データを用いたアロメトリ式によるバイオマス推定 (biomass estimation) について述べる。

アロメトリ式とは

樹木には相対的に成長する部位があり、個体の一部のサイズから、別の部位のサイズを推定することができる。この関係を数式に表したものがアロメトリ式 (相対成長式：allomertic equation) であり、正確な測定が容易な部位 (たとえば胸高直径) のサイズから、個体の樹高やバイオマスなど測定の困難な情報を推定することができる。

アロメトリ式は植物の成長特性を反映しているため、森林タイプ (forest type) や生育地の環境によって推定結果が大きく異なる (図 T14-1)。したがって対象地域の環境条件や森林タイプ (たとえば常緑林 evergreen forest や落葉林 deciduous forest など) に合ったアロメトリ式を選ぶことが重要である [1)]。現在は地上部バイオマス (AGB: aboveground biomass) の推定式が多く提案・報告されているが、地下部バイオマス (BGB: belowground biomass) に関する知見も集まりつつある [2)]。

INFO

1) この他にも必要に応じて生育地や遷移系列を基準とした分類 (たとえば低地林 lowland forest、山地林 montane forest、灌木林 shrubland、二次林 secondary forest など) を考慮に入れてアロメトリ式を選定する。

INFO

2) 地下部バイオマスは、これまで Cairns et al.(1997) や Mokany et al.(2006) が汎用式を提案している。これらの式は独立変数 (independent variable, predictor variable) に AGB (t/ha) を使用し、推定結果も 1 ヘクタール当たりのバイオマス (t/ha) である。local model として熱帯季節林の常緑林の Hozumi 式 (Hozumi et al. 1969)、熱帯低地のフタバガキ林の Niiyama 式 (Niiyama et al. 2010) などがあり、これらは個体レベルで地下部バイオマスを推定する。

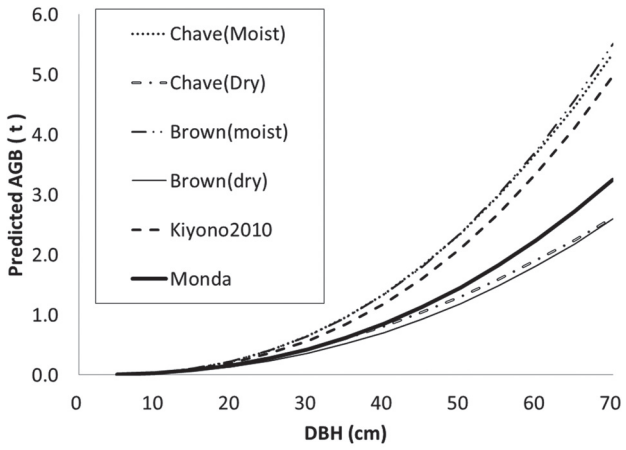


図 T14-1　推定式による地上部バイオマス (AGB: aboveground biomass) の推定値の違い

推定式とその出典は図 T14-2 を参照のこと。材密度 (WD) は 0.57 (Brown, 1997) を使用している

対象地域に適したアロメトリ式の選択

推定式の選択は、対象地域の環境や森林タイプと合致したものの中から、現地で継続的に測定可能な調査項目 (T13 を参照) を用いた推定式を選ぶ (図 T14-2) [3]。現在では、世界中の樹木のデータを用いて森林タイプごとに考案された推定式 (汎用式：generic model, generic equation) [4] から、個別の樹種 (species-specific) や特定の景観 (landscape) に成立する林分のための推定式 (species-specific model, local model) まで様々なものが提案されており、それぞれに長所と短所がある (表 T14-1)。

アロメトリ式は、基本的に対象地域の森林タイプのものの中から選定する。該当するアロメトリ式が複数ある場合は、調査対象の森林での利用可能な既存文献などのバイオマス実測データや、樹木のサイズ（たとえば胸高直径、樹高）、優占樹種 (dominant species) などの情報を推定式に当てはめ、推定誤差 (estimation error) の大きさや傾向から判断して選定する。推定誤差と胸高直径の間に相関 (correlation) がある場合は、対象地域の森林と推定式が想定する相対成長関係 (allometric relationship) が異なることを意味する。この場合は誤差が過大推定 (overestimate)・過小推定 (underestimate) のいずれにせよ、大径木ほど大きな誤差が生じる。そのため適当な式が無い場合は、調査地域で実際にバイオマスを測定し、適切なアロメトリ式を作成することが望ましい。一方で、推定誤差と胸高直径に相関は見られないが、誤差のばらつきが大きい場合は、対象地域の中にタイプの異なる森林が混在していることが予想される。この場合は、樹種や立地条件を基に森林タイプの分類の見直しと、必要あれば細分化を検討する。また特定の樹種のみ推定誤差が大きい場合は、生活史 (life history) の異なる種 (たとえば下層木など) や、特異な形状比で一般的な樹木の相対成長関係とは異なる樹木 (たとえばバオバブなど) であることが予想される。森林内で、それらの樹種の存在度 (abundance) が大きく、森林バイオマスに対して大きな影響が出る場合は、別途推定式を当てはめることが望ましい。そうでなければ、対費用効果も考えた上で、やむを得ない誤差として特別な考慮をしなくてもよい。

実際に固定調査プロットデータからバイオマスを推定し、国レベル (national level) の森林バイオマスと炭素蓄積量を推定した事例は、カンボジア [5] や PNG [6] がある。なお、アロメトリ式から求められるバイオマスは乾燥重量である。炭素蓄積量への変換は、バイオマスに 0.5 を乗じて求めることになる。

人工林 (plantation) の場合は、林分内の樹

INFO

3) 推定式には、独立変数として材密度 (Wood density; WD：t/m^3) を含むものが多い。推定式の中で用いられる材密度は、幹の単位体積当たりの質量を示す係数である。これに毎木調査から得た胸高直径などから計算された体積をかけ合わせることで、バイオマスを推定する。推定式によっては WD の単位が kg/m^3 の場合があるので注意する。材密度は、IPCC (2003, 2006) やさまざまな研究論文の中で、種レベル、あるいは属レベルの値が示されている。熱帯林では、種の同定が困難な場合が多い。その場合は、Brown (1997) が示している基準値 (default value; 熱帯の場合はアジア 0.57、アメリカ 0.60、アフリカ 0.58) を使用することもできる。また、論文によっては幹以外の部位の材密度について研究しているものもあるため、利用する前に十分確認する。

INFO

4) 代表的な汎用式には、Brown（1997）や Chave et al.(2005) の提案する推定式がある。Brown 式は、独立変数として胸高断面積 (ba: basal area:cm^2)、Chave 式は、WD と DBH、あるいは WD、DBH、H を用いている。両式とも個体レベルで地上部バイオマスを推定する。

表 T14-1　汎用式 (generic model, generic equation) と特定の樹種や景観のための推定式（local model）の特徴

項目	汎用式	特定の樹種や景観のための式
式の基となるデータ	森林タイプ別に世界中から集められたデータ。	特定の景観や樹種から集められたデータ。
適用可能な地域	森林タイプが同じであれば適用可能。比較的広範囲な地域で適用できる。	式の基となるデータと同じ景観や樹種のみ適用可能。適用できる地域は限定的。
推定誤差	適用できる森林であれば、小~中程度の誤差が出る。	適用できる森林であれば、誤差は非常に小さい。そうでなければ誤差は大きい。
誤差が大きい場合の対処	個体サイズを反映する係数を増やすことで、ある程度の改善ができる（たとえば胸高直径と樹高を反映した式を使用する）	調査対象の地域に不適な場合は使用しない。

INFO

5) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. JARQ 46(2): 187-192

INFO

6) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica. 42(4): 410-419

INFO

7) バイオマス拡大係数は、幹の体積（幹材積ともいう）を枝・葉・根を含めた樹木全体の体積にするための係数で、樹木の種類・林齢によって異なる。

種・林齢 (forest age)・管理状態 (forest management) が一定であることから、林分内の樹木のサイズや成長が一定と仮定でき、バイオマス拡大係数（Biomass Expansion Factor：BEF）[7] を利用することもできる。バイオマス拡大係数を用いた炭素蓄積量の計算式は以下の通りである。

$$C=[V \times WD \times BEF] \times (1+R) \times CF$$

ここで、C は単位面積あたりの炭素蓄積量 (t-C/ha)、V は林分材積 (m^3/ha)、WD は材密度 (t/m^3)、BEF はバイオマス拡大係数、R は地上部に対する地下部の比率、CF は炭素含有率である。

参考文献

Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111: 1–11

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

Mokany K, Raison R, Prokushkin A (2006) Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. Global Change Biology 12: 84–96

Niiyama K, Kajimoto T, Matsuura Y, Yamashita T, Matsuo N, Yashiro Y, Ripin A, Kassim AR, Noor NS (2010) Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest reserve, Peninsular Malaysia. J Trop Ecol 26: 271–284

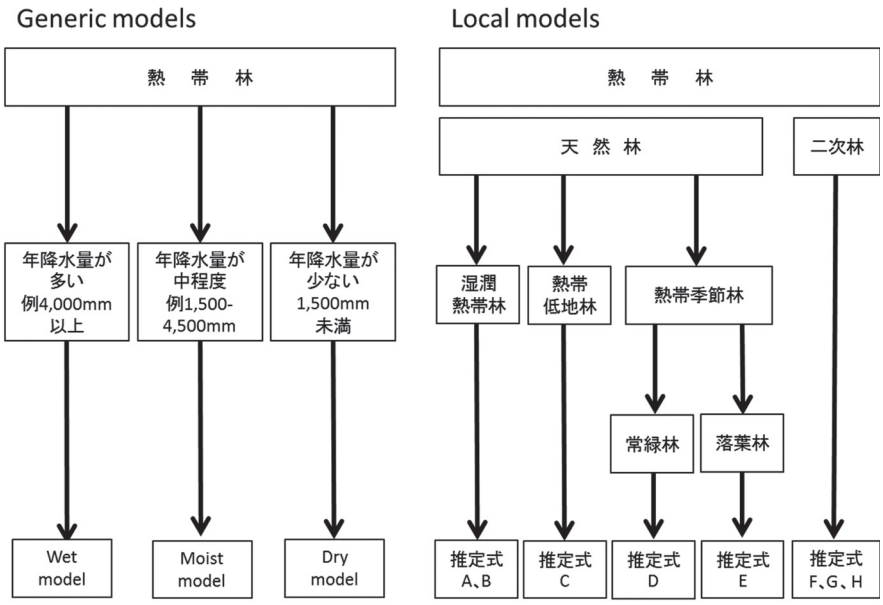


図 T14-2　アロメトリ式の推定フロー

Generic models	モデルタイプ	バイオマス推定式	推奨する気象条件など		
Brown式	Wet model	$AGB=21.297 - 6.953 \times DBH + 0.740 \times DBH^2$	4,000mm以上	乾季無し	
	Moist model	$AGB=\exp(-2.134 + 2.530 \times \ln(DBH))$	1,500−4,500mm	乾季無しor短い乾季	
	Dry model	$AGB=\exp(-1.996 + 2.32 \times \ln(DBH))$	1,500mm未満	数か月の乾季	
Chave式*	Wet model	$AGB=WD \times \exp(-1.302 + 1.980 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	3,500mm以上	乾季無し	多雨低地林
	Moist model	$AGB=WD \times \exp(-1.562 + 2.148 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	1,500−3,500mm	5ヵ月未満	低地林
	Dry model	$AGB=WD \times \exp(-0.730 + 1.784 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	1,500mm未満	5ヵ月以上	厳しい乾季がある
Kiyono式	Moist model	$Stem=2.69 \times ba^{1.29} \times WD^{1.35}$			
	Moist model	$Branch=0.217 \times ba^{1.26} \times WD^{1.48}$			
	Moist model	$Leaf=173 \times ba^{0.938}$			

Local models	モデルタイプ	バイオマス推定式	推奨する気象条件など（カッコ内はデータを収集した地域）
Yamakura式	推定式A	$AGB=\exp(-2.30+3.62 \times \ln(DBH))$	熱帯雨林（ボルネオ）
Chambers式	推定式B	$AGB=\exp(-2.010+2.55 \times \ln(DBH))$	（中央アマゾン）
Dojomo式	推定式C	$AGB=\exp(-2.05+2.33 \times \ln(DBH))$	熱帯低地林（アフリカ）
Hozumi式	推定式D	$Stem=0.072 \times (D^2H)^{0.9326}$ $Branch=0.01334 \times (D^2H)^{1.027}$ $Leaf=0.031 \times (D^2H)^{0.7211}$	熱帯季節林の常緑林（カンボジア）
Monda式	推定式E	$AGB=0.3510 \times DBH^{2.3855} \times WD^{1.7827}$	熱帯季節林の落葉林（インドシナ地域）
Kenzo式	推定式F	$AGB=0.0829 \times DBH^{2.43}$	二次林（マレーシア・サラワク）
Ketterings式	推定式G	$AGB=\exp(-2.75+2.59 \times \ln(DBH))$	混交二次林（インドネシア・スマトラ）
Hashimoto式	推定式H	$AGB=\exp(-2.51+2.44 \times \ln(DBH))$	熱帯先駆種が優先する二次林（インドネシア・東カリマンタン）

*Chave モデルは、このほかに独立変数として DBH、H、WD を含む式もタイプごとに提案している。
それぞれの単位：バイオマス (AGB、Stem、Branch、Leaf) :kg/tree, WD:t/m^3(ただし Kiyono 式は kg/cm^3), DBH:cm, ba:m^2, D^{2}H:DBh^2(cm)×H(m)

図 T14-2 のアロメトリ式の測定フローの出典

Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a primer. FAO Forestry paper No.134. FAO, Rome

Chambers JQ, Santos J, Ribeiro RJ, Higuchi N (2001) Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. Forest Ecology and Management. 152: 73-84

Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Réra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia. 145: 87-99

Dojomo AN, Knohla A, Gravenhorstb G (2010) Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass currenrt annual increment of a moist tropical forest. Forest Ecology and Management. 261: 1448-1459

Hashimoto T , Tange T , M asumori M , Y agi H , Sasaki S , K ojima K (2004) Allometric equations for pioneer tree species and estimation of the aboveground biomass of a tropical secondary forest in East Kalimantan. TROPICS. 14(1) 123-130

Hozumi K, Yoda K, Kokawa S, Kira T (1969) Producing ecology of tropical rain forests is southwestern Cambodia I. Plant biomass. NATURE AND LIFE IN SOUTHEAST ASIA.VI. 1-51

Kenzo T, Ichie T, Hattori D, Itioka T, Handa C, Ohkubo T, Kendawang JJ, Nakamura M, Sakaguchi M, Takahashi N, Okamoto M, Tanaka-Oda A, Sakurai K, Ninomiya I (2009) Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. Journal of Tropical Ecology. 25: 371-386

Ketterings QM, Coe R, Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA (2001) Reducing uncertainty in the use of allmetric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management. 146: 199-209

Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Ito E, Araki M, Matsumoto M (2010) Carbon stock estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia. JARQ. 44(1): 81-92

Yamakura T, Hagihara A, Sukardjo S, Ogawa H (1987) Tree form in a mixed Dipterocarp forest in Indonesian Borneo. Ecological

図 T14-2　アロメトリ式の推定フロー（続き）

9

第 9 章
林分炭素蓄積推定モデルを用いた手法

単位面積当たりの炭素蓄積量の推定には、前章で扱った固定調査プロット法の他に林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法がある。すなわち、パラメータからモデルによって炭素蓄積量を推定する手法である。モデルの適用を考える上で推定精度の評価は重要であることから、本章では、まずその評価手法を費用計算と合わせて解説する。次に群落高、樹冠径、群落齢、後方散乱係数を用いた方法の４つを解説する。これら手法は適用できる限界や推定精度に違いがあることから、手法選択のための基礎情報としてそれぞれの特性を解説する。

T15　モデルの構築
T16　群落高法
T17　樹冠径法
T18　群落齢法
T19　後方散乱係数法

Recipe - T15

モデルの構築

この上の Recipe は

Recipe P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

単位面積当たりの森林炭素蓄積量を、固定調査プロット法により直接推定する代わりに、森林炭素蓄積量と関係があり、より簡単に計測できるパラメータを用いて間接的に求めた方が効率的かもしれない。この場合、パラメータと森林炭素蓄積量の統計的関係をモデル化し、その費用と精度を考慮して、パラメータの計測と森林炭素蓄積量の直接計測の最適な組み合わせを設計する必要がある。これは二重抽出 (double sampling) と呼ばれる調査法である。ここでは、本章 T16 ～ T19 のようにモデルにより間接的に森林炭素蓄積量を推定する手法のための統計的推定の枠組みとして、二重抽出による推定と費用を考慮した設計の概要を説明し、森林での調査のための注意点を述べる。

二重抽出

固定調査プロット法 (P10、第 8 章参照) は単位面積当たりの森林炭素蓄積量の平均値と散らばりを複数のサンプル地点におけるプロット調査のみから推定する。しかし、森林は広く、アクセスが難しく、現地調査には時間と費用がかかる。また、社会資本の未整備や治安上の問題などから森林に到達不可能な場合もある。そのため、固定調査プロット法をこれから速やかに実施するのは困難な国もある。そこで、森林炭素蓄積量と関係があり容易に計測できる、あるいは現地に到達しなくても計測できるパラメータを用い、森林炭素蓄積量とパラメータとの関係をモデル化して間接的に推定することを考える。これは、「二重抽出 (double sampling)」などと呼ばれる技術である。

二重抽出では、2 段階の計測を行う。第 1 段ではあまり正確ではないが簡便で費用があまりかからない計測をサンプルで行う。森林炭素蓄積量を直接計測できないので、それと統計的関係のある計測可能なパラメータを計測する。たとえば、群落高法 (T16 参照)、樹冠径法 (T17 参照)、群落齢法 (T18 参照)、後方散乱係数法 (T19 参照) などの方法である。第 2 段では正確だが費用がかかる計測を、第 1 段のサンプルの一部で行う。ここでは、正確な計測とは森林のプロット毎木調査 [1] である。

たとえ T16 ～ T19 のような方法が利用可能であっても、精度とコストの面で必ず固定調査プロット法に優るとは限らない。優劣を評価するには予めそれぞれの精度と費用の推定が必要である。それらが既往の事例から得られない場合には、既往の知見や小規模の予備実験から見積もる必要がある。

INFO

1) 西沢正久 (1959) 森林測定法 . 地球出版

回帰モデルによる森林炭素蓄積量の間接的推定

母集団から大きさ n_1 の第 1 段の標本を抽出し、容易に計測できるパラメータ x（たとえば群落高）のみを測定する。第 2 段の標本は大きさ $n_2(< n_1)$ の小標本を第 1 段の標本から再抽出し、現地調査による森林炭素蓄積量 y を測定する（つまり、プロット毎木調査による測定を行う）。x と y とに線形関係があるとき、母集団の y の平均値 $\bar{Y}$ の推定量は $\bar{y}_{tr}$ 以下のように求められる。

$$\bar{y}_{tr} = \bar{y}_2 + b(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \qquad \text{(T15-1)}$$

ここで、$\bar{x}_1$、$\bar{x}_2$ はそれぞれ第 1 段、第 2 段による x の平均値、$\bar{y}_2$ は第 2 段の標本に y よるの平均値、b は x から y への回帰係数で $b = \widehat{cov}(x,y)/\widehat{var}(x)$ である（$\widehat{cov}(x,y)$ は x と y の共分散、$\widehat{var}(x)$ は x の分散であり、$\widehat{var}(x)$ は第 1 段の標本のものを使う方がよい）。

このとき、$\bar{y}_{tr}$ の分散 $\widehat{var}(\bar{y}_{tr})$ は以下のように近似される。

$$\widehat{var}(\bar{y}_{tr}) \cong \frac{\widehat{var}(y)\left(1-\hat{\rho}_{xy}^2\right)}{n_2} + \frac{\widehat{var}(y)\hat{\rho}_{xy}^2}{n_1} \qquad \text{(T15-2)}$$

ここで、$\widehat{var}(y)$ は y の分散、$\hat{\rho}_{xy}^2$ は x と y の決定係数であり、$\hat{\rho}_{xy}^2 = \widehat{cov}(x,y)^2/\left(\widehat{var}(x)\widehat{var}(y)\right)$ である。

精度と費用の検討 [1)]

森林炭素蓄積量の推定精度は、標本ごとの測定の分散が大きいほど低く、一方標本数が多いほど高くなる。そして、標本数が多くなるほど計測の費用は増大する。そこで、限られた費用の中で精度を最高にするための最適な第 1 段と第 2 段の組み合わせを推定できる。また、固定調査プロット法とモデルによる推定法で、あるいは異なるモデル同士で、同じ精度に達するために必要な費用を算出して比較することにより、あるモデルを採用することが費用面から適切であるかどうかが判断できる。

1 標本当たりの費用が第 1 段の標本（x を測定）の場合は c_1、第 2 段の標本（y を測定）の場合はと $c_2(c_2 > c_1)$ して、全体の費用 c は次のように表される。

$$c = n_1 c_1 + n_2 c_2 \qquad \text{(T15-3)}$$

二重抽出による推定の場合、c_1 および c_2 が所与で、c が一定とすると、

式 T15-2 を最小化する n_1' と n_2'、およびそのときの分散は $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})$ 以下の通りである。

$$n_1' = \frac{c}{c_1 + c_2\sqrt{\dfrac{c_1\left(1-\hat{\rho}_{xy}^2\right)}{c_2\hat{\rho}_{xy}^2}}}, \qquad n_2' = \frac{c}{c_1\sqrt{\dfrac{c_2\hat{\rho}_{xy}^2}{c_1\left(1-\hat{\rho}_{xy}^2\right)}} + c_2} \tag{T15-4}$$

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) = \widehat{var}(y)\frac{\left(\sqrt{c_2\left(1-\hat{\rho}_{xy}^2\right)} + \sqrt{c_1\hat{\rho}_{xy}^2}\right)^2}{c} \tag{T15-5}$$

一方、二重抽出でなく無作為単純抽出 (固定調査プロット法) だった場合、 $n_1 = 0$ なので $n_2 = c\ /\ c_2$ となり、その時の分散 $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{\mathrm{PSP}}$ は以下の通りである。

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{\mathrm{PSP}} = \widehat{var}(y)\frac{c_2}{c} \tag{T15-6}$$

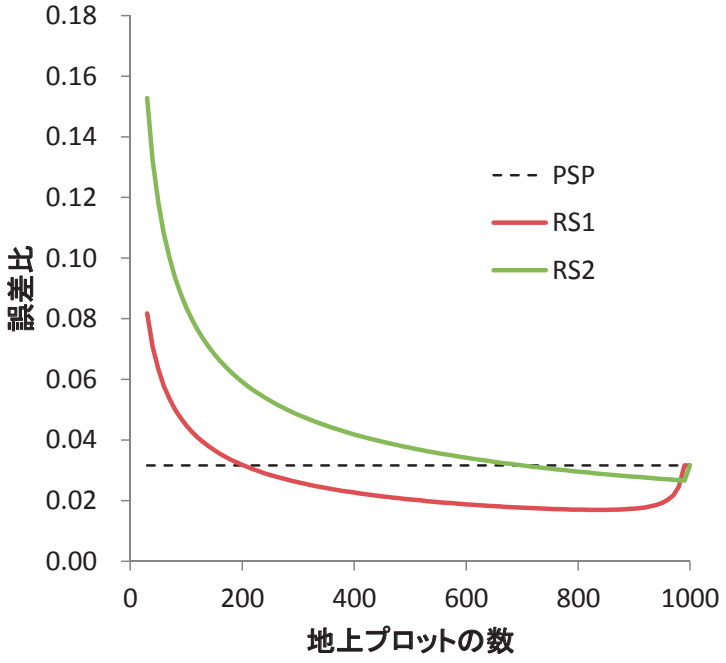


図 T15-1　二重抽出による誤差の変化

固定調査プロットのみ (PSP) で得られる誤差に対するリモートセンシングによる二重抽出 (RS1、RS2 の 2 つのシナリオ) の誤差の変化を示す。架空のデータとして、全体の費用 c を 1 千万円、PSP1 点あたりの費用 c_2 を 1 万円とする。RS1 の場合は c_1 を 100 円、$\hat{\rho}_{xy}^2$ を 0.8 とし、RS2 の場合は c_1 を 1 円、$\hat{\rho}_{xy}^2$ を 0.3 とする。縦軸は PSP1 点当たりの誤差に対する全体の誤差の比である。PSP の取りうる最大のプロット数は 1000 点であり、その場合の誤差比が点線で表されている。

$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) < \widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{\mathrm{PSP}}$ となれば同じ費用cの元で二重抽出の方が精度がよくなるわけである。したがって、$\hat{\rho}_{xy}^2$ が明らかなとき、

$$\frac{c_2}{c_1} > \frac{\left(1+\sqrt{1-\hat{\rho}_{xy}^2}\right)^2}{\hat{\rho}_{xy}^2} \qquad \text{(T15-7)}$$

ならばモデルによる推定法を取るべきである。また、c_1 および c_2 が所与のとき、

$$\hat{\rho}_{xy}^2 > \frac{4c_1c_2}{(c_1+c_2)^2} \qquad \text{(T15-8)}$$

とならなければ、そのモデルによる推定法を取るべきではない。

図 T15-1 に、固定調査プロットのみ (PSP) で得られる誤差に対するリモートセンシングによる二重抽出 (RS1、RS2 の 2 つのシナリオ) の誤差の変化を示す。二重抽出により誤差が減少するものの、$\hat{\rho}_{xy}^2$ が小さいと減少幅は少ないことがわかる。

森林に当てはめる際の注意点

実際の森林、とくに不均質な天然生林においては、ρ_{xy}^2 は大きくならず、0.4 程度となることも珍しくない。逆に、0.9 以上となることはほとんどありえず、そのような値が出た場合にはかえって不適当な変数変換や不適切な標本の混入など、モデルの異常を疑うべきである [2)]。

また、リモートセンシングによるパラメータ測定には、観測条件など様々な因子がお互いに関係しながら複雑な影響を与えており、その結果推定値が不安定になることもある。

以上のようなモデルの性質から、モデルの構造は極力単純にし、前節の精度と費用の基準に見合うかどうかを事前に判断してから実施することが求められる。

INFO

2) Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer-Verlag

Recipe - T16

群落高法

この上の Recipe は

Recipe P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

群落高とバイオマスの間で認められる比例関係を利用して、群落高を指標に単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する手法が群落高法 (overstory height method) である。群落高法は撹乱を受けた林分から成熟した林分まで幅広い範囲のバイオマス量に適用できる。本レシピでは群落高法の概要と課題、またリモートセンシングを利用した群落高の求め方について述べる。

INFO

1) 群落高 (林分高とも表される) の定義は複数存在する。針葉樹人工林などの同齢一斉林の場合、算術平均が用いられることもあるが、天然林などの異齢林では林冠層を構成する個体の平均や加重平均などが用いられる。群落高とバイオマスの関係式を作成する際には、どのような樹高測定をしているのか事前によく検討する必要がある。

INFO

2) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, BreugelMv, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. Biogeosciences 8: 1615-1629

INFO

3) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. PNAS 108: 9899-9904

INFO

4) たとえば INFO 3) の文献の場合、GLAS のデータの他に MODIS、SRTM、マイクロ波散乱計 (QSCAT) のデータを加えて、最大エントロピー法を用いたモデルによって群落高を推定している。しかし、MODIS や QSCAT の解像度が高くないことから、1km^2 メッシュでの推定値となっている。

群落高とバイオマスの関係

これまでに群落高 [1] とバイオマスの間にべき乗の関係 (図 T16-1) が成り立つことが報告されている [2], [3]。この関係を利用し、ある区画ごとに求めた群落高から単位面積当たりの炭素蓄積量を求める手法が群落高法である。

具体例を挙げると、パナマのバロコロラド島では、航空機 LiDAR により 30m ～ 100 m四方の区画内の群落高 (ここでは中央値を使用) を測定し、群落高と地上部バイオマスの関係式を用いて島全体の炭素蓄積量を推定している [2]。一方、衛星 LiDAR を用いた解析事例では、胸高断面積で重み付けした平均を群落高として用いて、全球レベルの熱帯林の炭素蓄積量を 1km^2 の解像度で推定している [3]。このようにリモートセンシング技術を用いて群落高を把握することができれば、群落高法は炭素蓄積量を広域に推定可能する手法の選択肢となる。

リモートセンシングによる群落高測定

リモートセンシングによる群落高推定の手法として航空機 LiDAR、衛星 LiDAR、立体視ステレオ画像が挙げられる。

航空機 LiDAR (Light Detection And Ranging) で作成した樹冠表面高を示す DSM (Digital Surface Model) から地面のみの数値標高モデル (DEM, Digital Elevation Model) との差分を取ることにより群落高を推定できる。航空機 LiDAR は計測コストが高額で、調査地域外への外挿が難しい欠点があるが、幅広い炭素蓄積の林分に適用できる。

衛星 LiDAR には、地球観測衛星 ICESat (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite) に搭載された GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) がある。GLAS の観測は約 170m の間隔が開くため離散的なデータ取得になることから、複数の衛星データを用いたモデルにより群落高を面的に推定する [4]。

高分解能衛星画像[5]や空中写真によるステレオペア画像から地表面の立体視画像を作成し三次元情報を得るすることができる。その画像を利用して群落高情報を抽出できると期待されている。

群落高法の推定精度に影響を及ぼす要素

全球レベルで群落高を用いて熱帯林の炭素蓄積量を推定した事例では、様々な森林タイプで得られた固定調査プロットデータを用いて群落高とバイオマスの関係式を作成しているが、森林タイプの違いによる関係式の分離は認められなかった[6]。他の研究事例でも森林タイプの違い（乾燥林や泥炭湿地林など）や遷移系列の違い (二次林や成熟林) による関係式の分離は明確ではないことが示されている[1), 7]。一方で、タケ林で求めた群落高とバイオマスの関係は、森林で作成した関係式とは異なっており[7]、独自の関係式作成が必要である。

群落高法の炭素蓄積量の推定精度向上は、いかに多くの固定調査プロットのデータを用いて群落高とバイオマスの関係式を作成するかが鍵となってくる。すなわち十分な現地調査データがない場合、仮に群落高法を用いて炭素蓄積量を推定しても十分な精度が得られない可能性があることに留意しなければならない。また、リモートセンシングデータの解像度も推定精度に影響を及ぼす。衛星 LiDAR で得られる 1km^2 メッシュの推定値の場合、全球レベルの森林炭素蓄積量の分布状況をおおまかに比較検討する際には向いているが、国レベルでの森林減少の把握は困難な場合が多いと想定される。

バイオマス計算のためのアロメトリ式の選定も重要である。仮に解析対象地で新たなアロメトリ式が公表された場合、その式を用いて新たに関係式を作成する必要がある。

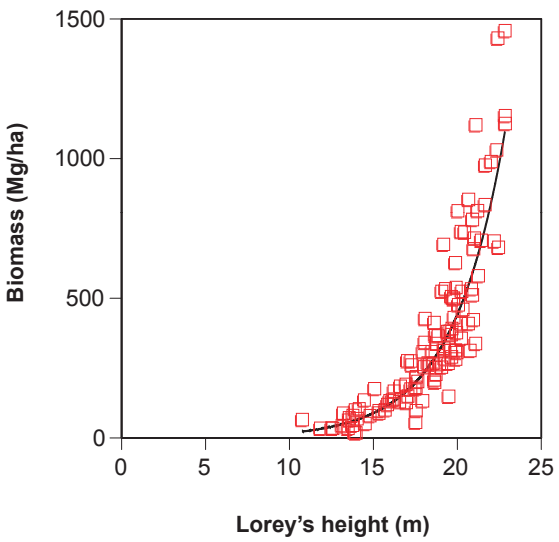


図 T16-1　胸高断面積により重み付けした平均樹高 (Lorey's height) とバイオマスの関係

INFO

5) 陸域観測技術衛星だいち (ALOS) に搭載されたパンクロマチック立体視センサ（PRISM）は同一地点を直下、前・後方視の 3 方向からほぼ同時に観測できる (2011 年 4 月に運用終了)。また、Worldview、IKONOS などの高分解能衛星画像は注文により任意の地点のステレオペア画像を取得できる。

INFO

6) 上記 INFO 3) の文献では、大陸（東南アジア、南アメリカ、アフリカ）の違いにより関係式の分離が認められた。しかし、同一大陸内では森林タイプによる関係式の分離は認められなかった。

INFO

7) 清野嘉之・齊藤哲・佐藤保・高橋與明・粟屋善雄 (2009) 上層高の変化から森林の炭素蓄積の変化を推定するときの課題．関東森林研究 60: 151-154

Recipe - T17

樹冠径法

この上の Recipe は

Recipe P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

樹冠径法では、空中写真や高分解能衛星データから計測可能な樹冠径情報を用いて単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する。樹木個体バイオマスは樹冠サイズ (樹冠径・樹冠面積) に応じて増加する。単位面積あたりの炭素蓄積量を推定するには、単木ごとの樹冠径計測に基づく樹木個体バイオマスの推定量を足し合わせて求めることも考えられるが、多層構造を持つ林分では中下層木の樹冠を直接観測することはできない。そこで、計測可能な上層木の樹冠サイズから中下層木を含む全体の単位面積当たりの炭素蓄積量を推定する手法が提案されている。樹冠の視認性が要件となり、大径木林や疎林に適する一方で若齢二次林やタケ林には不適である。

INFO

1) 本稿では、樹冠サイズ (樹冠径や樹冠面積を含む) の意味を樹冠径で総称させて樹冠径法として記述する。

INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochial Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. JARQ 45(2): 233–242

INFO

3) その他、色情報の利用可能性、撮影時期、高さ情報から階層構造や隣り合う樹冠の識別を容易にするステレオペア画像の利用の可否などに左右される。

INFO

4) Broadbent EN, Asner GP, Marielos Peña-Claros, Palace M, Soriano M (2008) Spatial partitioning of biomass and biodiversity in a lowland Bolivian forest: Linking field and remote sensing measurement. For Ecol Manage 255: 2602-2616

樹冠径法とは [1)]

樹木個体バイオマスは樹冠サイズ (樹冠径・樹冠面積) に応じて増加する [2)] (図 T17-1)。上層に位置する樹木個体の樹冠径は高い地上分解能で撮影された空中写真や衛星画像を用いて計測することが可能である (図 T17-2)。計測可能な樹冠径は、使用するリモートセンシング画像の地上分解能などにより異なる [3)]。

樹冠径法では樹冠径情報を指標として炭素蓄積量を推定する。計測可能な樹冠は上層に位置する樹冠である。上層木に全体ないし部分的に被覆されている中下層木や、若齢二次林などで樹冠サイズが小さい場合には、直接的に樹冠径を計測することはできない。対処法として、上層木の樹冠径から、直接見えない中下層木を含んだ形で全体の炭素蓄積量を推定する式が提案されている [4), 5)]。また、大きな樹冠を持つ上層に位置する樹木の抜き伐りによる持ち出し量は、抜き伐り前後の画像を用いて検知し [6)]、抜き伐り前の画像を用いて樹冠計測を行うことで直接的に推

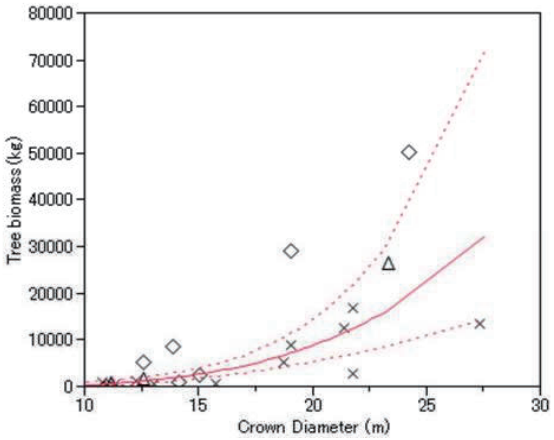


図 T17-b　樹冠径と単木バイオマスの関係
(Kiyono et al.[2)] より作図)
(◇ : インドネシア (カリマンタン)、
△ : カンボジア、× : インドネシア (ジャワ))

定することが可能である。

樹冠径とバイオマスの関係式の導出

林内で樹冠径を計測することは容易ではない。このため、実践上は使用するリモートセンシング画像上で計測される樹冠径とバイオマスとの関係式を導き出すことが望ましい。森林タイプごとに一般に樹高曲線は異なるため、樹冠径とバイオマスの関係式も森林タイプごとに導出することが望ましい。階層構造もまた林分の遷移段階を含む森林タイプによって異なると考えられ、森林タイプに依存しない汎用式の利用が可能と考えられる場合を除けば、樹冠径法を適用する場合には事前に森林タイプの区分が必要となる。自然枯死量も固定調査プロット（PSP）での長期観測データなどから別途推定する必要がある。

樹冠径法利用に際しての注意点

樹冠径法は、大径木林や疎林に適し、若齢二次林や竹林には不適である。樹木の樹冠は立体構造を持ち、樹冠径を計測する場合には、ステレオペア画像を用いた 3 次元計測や精密なオルソ幾何補正を施した画像を用いて実施することが望ましい [7)]。

大径木の樹冠は、落雷や風雨の影響で損傷している場合がある。この場合バイオマスは過小推定となる。他方、連なった複数の樹冠を 1 つの樹冠とする誤認 (過大推定) や、逆に、 1 つの樹冠を構成する各枝を複数の樹木と誤認するケース（過小推定）がある。これらが推定の誤差要因となる [8)]。自然枯死と単木的な抜き伐りの識別は困難であるが、周辺状況からの推察が可能である [9)]。ただし、中下層での薪炭材の採取などは樹冠径法で検知することは出来ない。

樹冠径法は、高解像度リモートセンシングデータを使用するため、計測コストは大きくなりやすい。他方、地上アクセスの困難な箇所での計測や多点での計測により炭素蓄積量の空間的な差を把握することが出来るメリットがある。

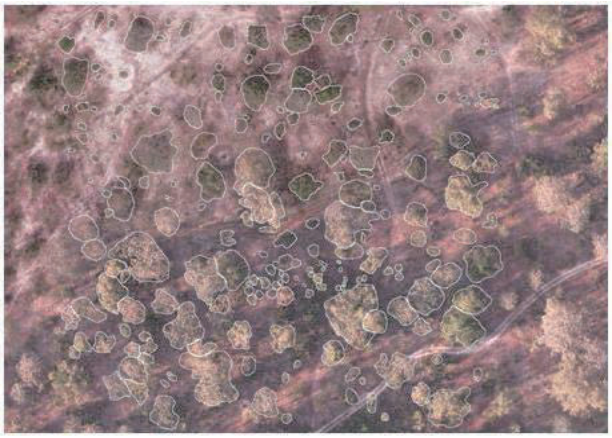


図 T17-2　デジタル空中写真の実体視計測による樹冠ポリゴンの抽出
（カンボジア、コンポントム州、乾燥フタバガキ林）

INFO

5) 上層木バイオマスの全体に占める割合は一般に大きい。また、上層木の樹冠径は林分の発達段階を表わす指標でもある。

INFO

6) 択伐の事例であるが、例えば、Win RN, Suzuki R, Takeda S (2012) Remote sensing analysis of forest damage by selection logging in the Kabaung Reserved Forest, Bago Mountains, Myanmar. J For Res 17: 121-128

INFO

7) 商用の高分解能衛星の多くが、画像の取得機会を向上させるためポインティング機能を持ち、斜め観測を実施している。この場合、画像上で樹冠は大きく倒れ込み、精密な DEM(地形情報) を用いて地形に関するオルソ幾何補正を実施しても樹冠そのものを完全にオルソ幾何補正することは不可能で、樹冠径の計測には適さない。次善策は、空中写真であれば出来るだけ直下に映った画像上にて樹冠径を計測すること、衛星画像であればポインティング角が小さい画像を利用することである。

INFO

8) その他、材積密度もバイオマス推定に影響するが、リモートセンシング画像を用いて詳細に樹種を識別することは現状では技術的に困難と考えられ、材積密度を一定値とするか森林タイプ別に仮定するなどの単純化が必要と考えられる。

INFO

9) 抜き伐りは、伐採の局所集中や簡易な木材搬出路の痕跡などによって捉えられる場合がある。

Recipe - T18

群落齢法

この上の Recipe は

Recipe P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

収穫後に更地から植生回復を経て、一定期間後に再び更地に戻るといった土地利用の場合、群落齢が炭素蓄積量を推定する際のひとつの指標と成りうる。本レシピでは炭素蓄積量推定のための群落齢法 (community age method) について、その概要と適用の限界について述べる。

群落齢法とは

焼畑 (slash-and-burn) 農業や人工林などでは、収穫後に更地 (clear land) になる状況が発生し、その後、植物の再生や植栽などにより徐々に植生が回復して収穫前の状態に近づいてゆく。このような周期的な作業を伴う土地利用形態では、群落齢 [1] を指標として炭素蓄積量を推定することが可能である。

また、群落齢ごとの面積は、時系列の衛星画像 (time-series satellite images) を用いて求めることができる [2] ことから、単位面積当たりの炭素蓄積量を乗ずることによって対象地域の炭素蓄積量を求めることができる [3]。加えて、焼畑農業の休閑期間短縮による森林劣化や、森林がゴムやアブラヤシなど永年性作物の農地に転換されるときの炭素蓄積量の変化の推定に利用可能である [3]。

地上調査による関係式の作成

焼畑農業の収穫後の経過年数（休閑年数）と炭素蓄積量の関係は、ラオス北部 [4] やベトナム北部 [5] で解析事例があり、ごく初期に高い増加を見せるものの、その後の蓄積の増加は頭打ちになるという時系列の傾向が示されている（図 T18-1）。

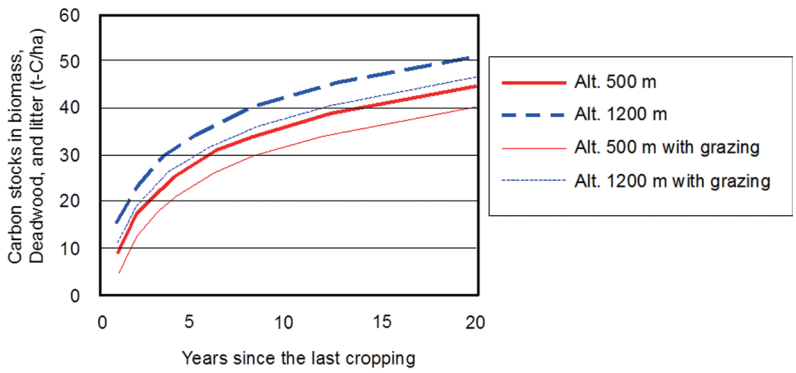


図 T18-1　休閑年数と炭素蓄積量の関係 (清野ら (2008) [3] を一部改変)

INFO

1) 焼畑農業では、収穫後の年数、すなわち休閑年数を指標として使用する。

INFO

2) Inoue Y, Qi J, Olioso A, Kiyono Y, Ochiai Y, Horie T, Asai H, Saito K, Shiraiwa T, Douangsavanh L (2007) Traceability of slash-and-burn land-use history using optical satellite sensor imagery: a basis for chrono-sequential assessment of ecosystem carbon stock in Laos. Int J Rem Sens 28: 5641-5648

INFO

3) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Olios, A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Dounagsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. Int J Appl Earth Obs Geoinf 12: 287-297

INFO

4) 清野嘉之・千葉幸弘・浅井英利・白岩立彦・井上吉雄 (2008) ラオス北部山岳地の焼畑休閑林の生長と乾季の日の出前の湿度．関東森林研究 59: 153-156

群落齢法により炭素蓄積量を推定するためには、現地調査にて異なる群落齢ごとに炭素蓄積量を把握して関係式を作成する必要がある。すなわち対象地に調査用の区画も設けて、放棄直後の草本が主体の場合は坪刈り (cutting method) [6), 7), 8)] などの刈取りによる重量を測定して炭素蓄積量に変換する。木本が定着した段階では、通常の毎木調査 (tree census) により炭素蓄積量を求める。

焼畑耕作の放棄後の植生回復は、加えられた撹乱や標高などの環境要因によって異なることがある。例えば、ラオス北部の焼畑耕作放棄後の炭素蓄積量の回復は、休閑地 (fallow land) の時に家畜による採食圧 (grazing) の有無や標高 (低地と山地) の違いにより異なっていた [2)]（図 T18-1）。この事例からも明らかのように、地上調査においては対象地域の休閑地の利用形態や標高分布なども考慮に入れて、情報を収集するとともに、関係式に必要なパラメータを取り入れる工夫も必要である。

群落齢法のメリット・デメリット

この手法が適用できるのは、土地の管理が地元集落によってなされており、予想外の植生変化が生じにくい場合である。すなわち一定期間の周期により土地利用が循環してモザイク状の配置がなされている状況である (図 T18-2)。このような条件が整った場合、地上データの取得は比較的容易に実行できると考えられる。重要なのは更地になった土地の位置情報を漏らさずに把握することであり、そのためには少なくとも年に一度は土地利用の状況をモニタリングする必要がある。

一方で、広域 (国もしくは準国レベル) での群落齢法の適用を考えた場合、耕作放棄後の利用形態の違い (休閑地での家畜の放牧を許可するか否かなど) や人工林の植栽樹種の違いなどを考慮して、関係式を複数作成する必要があろう。また、対象地内の伐採や薪の採集による排出量は、群落齢法で把握することは不可能である。伐採や薪の採取が顕著な場合、それらの量を個別に把握するなどの別途調査が必要である。

図 T18-2　ラオス北部のモザイク状に配置された放棄後の年数が異なる焼畑跡地 (撮影：古家直行氏)

INFO

5) Do TV, Osawa A, Thang NT (2010) Recovery process of a mountain forest after shifting cultivation in Northwestern Vietnam. For. Ecol. Manage. 259: 1650-1659

INFO

6) ある一定の区画 (たとえば 1m^2 の面積) 内に生育している草本を根元から刈取り、乾燥重量を定量する方法。主に草地での現存量調査で用いられている手法である。測定手法や必要な機材については、INFO 7）を参照のこと

INFO

7) 岡本智伸 (2004) 現存量 (草地科学実験・調査法 . 日本草地学会編 , 全国農村教育協会) .191-194

INFO

8) Mannetje L.’ t (2000) Measuring biomass of grassland vegetation. In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. Mannetje L.’ t, Jones RM (ed.) CABI Publishing Univ Press, Cambridge, 151-177

参考文献

森林立地調査法編集委員会（2010）森林立地調査法 . 博友社

Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag

Recipe - T19

後方散乱係数法

この上の Recipe は

Recipe P11　林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法

人工衛星に搭載された合成開口レーダ (SAR) は、雲を透過して地表を観測できる。また、SAR で観測される後方散乱係数 [1] は地上部バイオマスと相関があり、高バイオマスでは飽和するが約 100t/ha 以下のバイオマスを良く表す。このため、後方散乱係数とバイオマスの関係をモデル化すれば、熱帯での大規模な攪乱の後や、焼畑放棄地の回復などの遷移の初期過程で、広域の炭素蓄積量を推定するひとつの方法と成りうる。本レシピでは後方散乱係数法 (Backscattering coefficient method) について、その概要と適用の限界について述べる。

INFO

1) 後方散乱係数には受信されたディジタルナンバーを変換した値 (sigma-naught) や、さらに地形補正により入射角依存性を補正した値 (gamma-naught) などがある [2]。

INFO

2) Shimada M (2010) Ortho-rectification and slope correction of SAR data using DEM and its accuracy evaluation. IEEE J Select Topic Appl Earth Obs Remo Sens 3(4): 657-671

INFO

3) Lucas RM, Cronin N, Lee A, Moghaddam M, Witte C, Tickle P (2006) Empirical relationships between AIRSAR backscatter and LiDAR-derived forest biomass, Queensland, Australia. Rem Sens Environ 100: 407-425

INFO

4) Roy J, Saugier B, Mooney, HA (2001) Terrestrial Global Productivity. Academic Press.

後方散乱係数法とは

SAR は電磁波を地表に発し、地表で反射・散乱された電磁波を受信するセンサである。受信された電磁波は所定の処理を経て、後方散乱係数と呼ばれる値に変換される [2]。長い波長（L バンド、約 23cm）では、後方散乱係数とバイオマスとの相関が高いが、100t/ha 程度で値が飽和する [3]。熱帯の成熟した森林では地上部バイオマスが 200t/ha を越えて 400 ～ 500t/ha に及ぶ例が報告されている [4]。このため、成熟林のバイオマスを推定することは難しいが、大規模な攪乱、焼畑や人工林などで、更地から植生が回復する初期の過程では、バイオマスとその変化を広域でマッピングできる。他方、後方散乱係数は山地の斜面では歪むため補正が必要だが [2]、十分に精度の高い補正データを得ることは難しい。

現地調査による推定モデルの作成

バイオマスが増加すると後方散乱係数は急増するが、順次頭打ちとなって飽和レベルに達し、両者の関係を指数関数などで近似できる [3]（図 T19-1）。また、クロス偏波（HV, VH）に比べて、ライク偏波（HH, VV）では飽和レベルが低いことが知られている [3]。両者の関係式（モデル）は、地上のバイオマス調査の結果と、調査地での後方散乱係数を解析して作成され、バイオマス（炭素蓄積量）の推定に利用される。精度の高いバイオマス推定を行うには、様々なバイオマスの林分を調査し、調査データのバイオマスのレンジを極力広げることが重要で、とくに低バイオマス林分のデータが不可欠である。森林タイプにより関係式が異なる可能性があるが、閉鎖した熱帯雨林では後方散乱係数の季節変化が小さいことから、推定モデルを複数のシーンに適用して、バイオマスをモニタリ

ングできる見込みがある。

バイオマスの推定例

図 T19-2 は中央カリマンタンの泥炭湿地林についてのバイオマス推定例である。この地域の自然林では、バイオマスは約 300 t/ha に達し、後方散乱係数が飽和する。湿地林のように林床に水が在る場合、SAR が

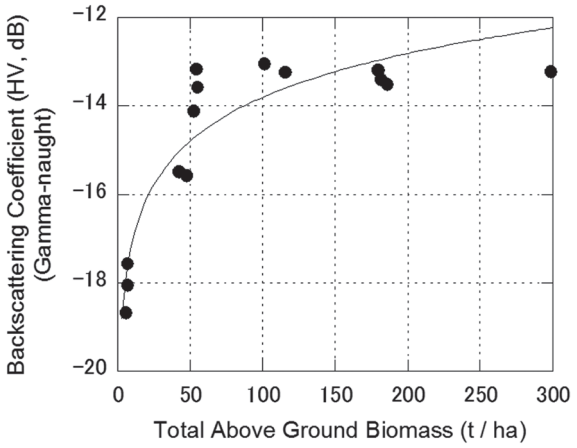


図 T19-1　後方散乱係数とバイオマスの関係

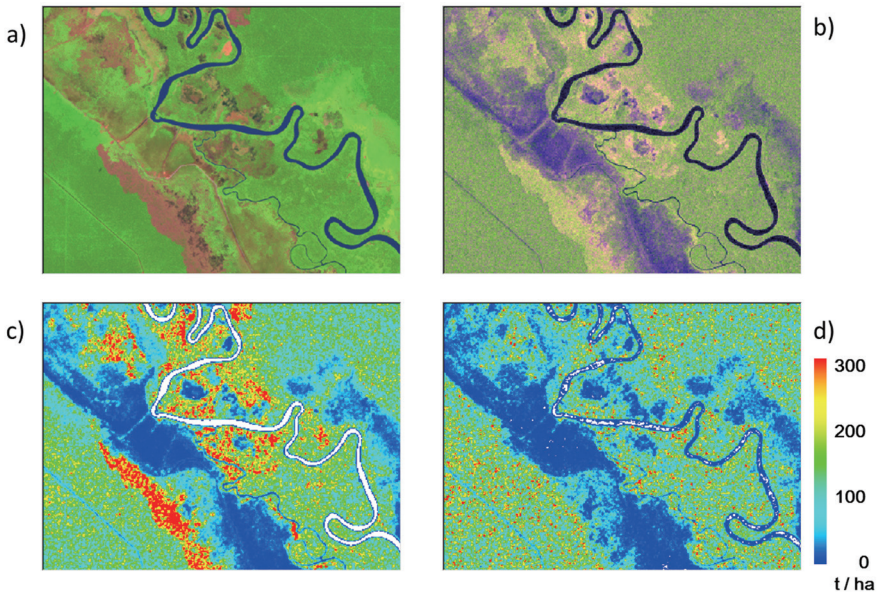


図 T19-2　後方散乱係数法によるバイオマスの推定結果

a) LANDSAT/ETM+ 画像　2007 年 8 月、b) ALOS/PALSAR 画像　2007 年 10 月、c) 炭素蓄積量の推定図、d) 二回反射の影響を軽減した炭素蓄積量の推定結果。ETM+ と PALSAR のデータで緑の部分が森林、PALSAR でベージュの部分は火災跡地や疎な湿地林である。後者では 2 回反射のためにバイオマスは過大に推定されるが (c)、影響を軽減できる (d)。

発した電磁波は、疎林では水面で反射し、次いで幹などで反射して SAR に戻ってくる。これを 2 回反射と呼ぶが、森林のバイオマスの割に非常に強い電磁波が戻ってくることから、バイオマスを過大推定する要因である。倒木地でも同様の現象が生じるが、本事例では、この影響を軽減させてバイオマスを推定している[5)]（図 T19-2）。

INFO

5) 粟屋善雄・高橋與明・清野嘉之・齋藤英樹・島田政信・佐藤保・鳥山淳平・門田有佳子・Limin SH・Jaya INS・Saleh MB (2011) PALSAR データを利用した泥炭湿地林のモニタリング―中央カリマンタンの事例．日本リモートセンシング学会第 50 回学術講演会論文集 , 97-98

後方散乱係数法のメリット・デメリット

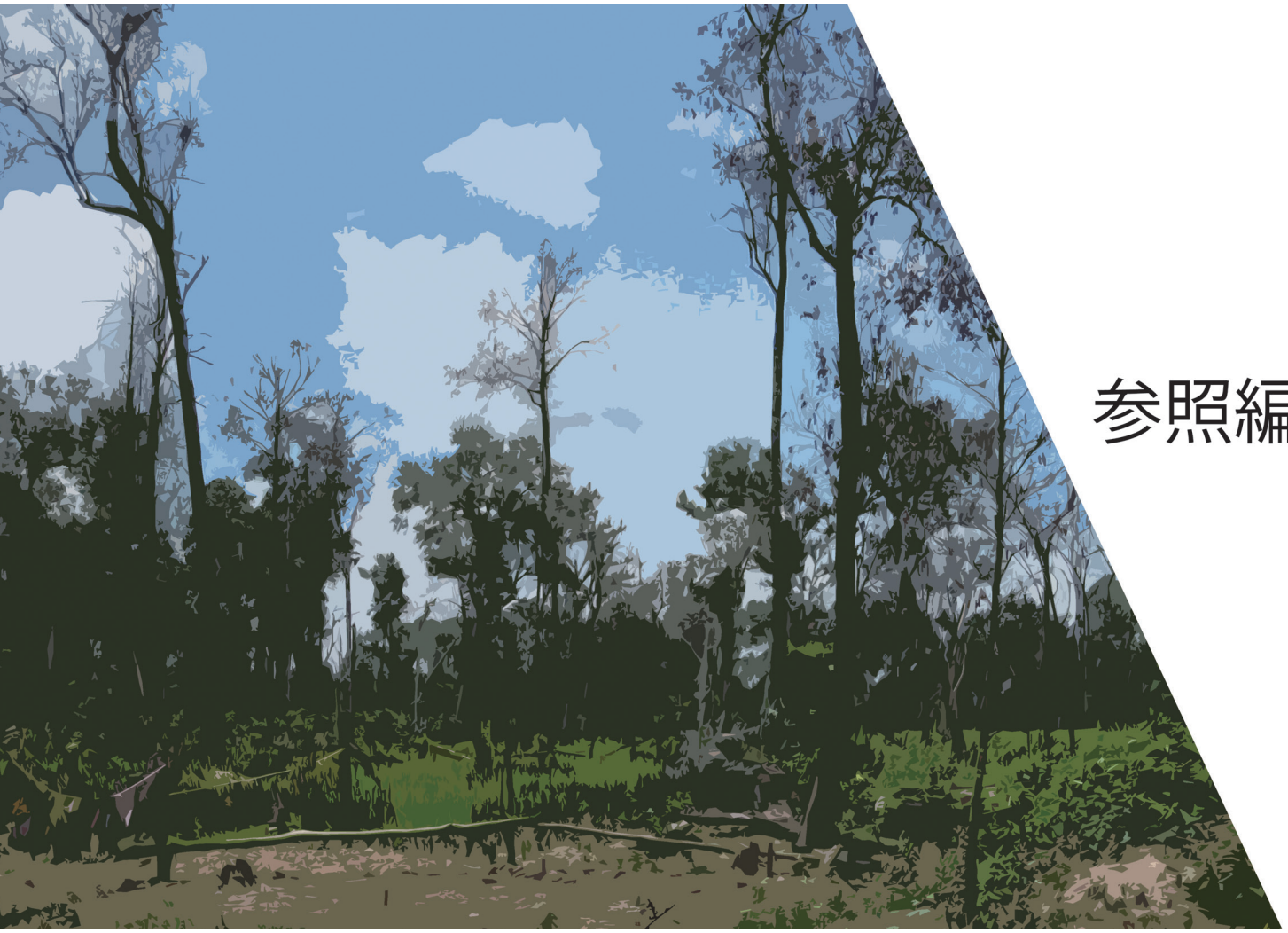
L バンドの SAR は雲を透過して地表を観測できるため、年間を通じて雲の多い地域でもデータの取得が可能であり、森林破壊が大きな問題となっている熱帯雨林でも、後方散乱係数法の活用が期待される。しかし、低バイオマスでは炭素蓄積量を精度良く推定できるが、高バイオマスの森林では推定精度が悪く、信頼性に欠ける。このため、遷移初期の炭素蓄積量推定か、皆伐地のモニタリングに用途が限られる。

SAR データにはスペックルノイズと呼ばれる、不規則に発生する過大なノイズがある。このノイズのために、画素単位でバイオマスを判定できず、局所的な平均値などを利用してノイズを軽減するため、地上解像度を劣化させることになる。

また、現時点では山岳地での地形補正の精度が十分ではなく、中～急斜面に成立した森林に後方散乱係数法を適用できない。斜度が 10 ～ 15 度を超えるあたりから、バイオマスの推定精度が下がると考えたほうが良さそうである。地形補正の精度が低いのは、地形補正に用いる標高データの精度が低い場合があることと、補正モデルが樹冠面での散乱の状況を再現し切れていないためと考えられる。今後、精度が改善される見込みはあるが、急斜面でのバイオマス推定に利用可能なレベルに達するかは予想しがたい。

参考文献

大内和夫 (2004) リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎．東京電機大学出版局



参照編

この参照編は、下記の Cookbook 利用者を想定し、本編の「導入編」及び「計画編」（第 1 章〜第 5 章）で紹介した各レシピの内容をより深く理解するために役立つ文献（報告書、ガイダンス、マニュアル、論文等）を紹介する。更に、実際のプロジェクト及びプログラムを設計・実施する上で、利用者が現実的かつ実践的な対応方法を模索する際に参考となる提案や事例を紹介している文献も取り上げている。

想定される主な利用者

- ✓ 国／準国レベルでの REDD プラスに取り組む政策立案者やそのパートナー機関の担当者
- ✓ プロジェクトレベルで REDD プラス活動に取り組む事業責任者
- ✓ 森林炭素計測以外の REDD プラスの要素についてより詳しく知りたい方

参考文献情報の読み方

<table>
<tr><th>通し番号</th><th>タイトル</th><th>言語</th><th>発行年</th><th>筆頭著者名</th><th>関連機関</th></tr>
<tr><td>関連レシピ分類
※1</td><td colspan="5" rowspan="2">概要：
＜文献の目的、要点、取り扱う項目の網羅性、詳細さ、現実的な提案や参考事例の有無、そして有用性等の観点から文献を紹介＞</td></tr>
<tr><td>実施レベル分類
※2</td></tr>
<tr><td colspan="6">オリジナル文献の入手先リンク</td></tr>
</table>

参考文献は、以下のフォーマットを用いて紹介されている。

※ 1「関連レシピ分類」とは、本編で紹介されたレシピ区分に沿った分類である。

※ 2「実施レベル分類」は、国際、国、準国、プロジェクトレベルという、実施レベル別に求められる知識を把握したい場合に有効である。

更なる提供情報

特定のレシピ内容についてより詳しく知りたい読者は、REDD 研究開発センターが作成した参考文献データベースから、関連する参考文献を把握できる。あわせてご利用頂きたい。

http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/list-01.html

第 1 章　REDD プラスとは

No.1	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation	英語	2011	Agrawal et al.	Annual Review of Environment and Resources
I01 REDD プラスの歴史と現在の動き 国際、国、準国、プロジェクト	REDD プラスのこれまでの動向を主に社会科学的な観点から総括したレビュー。UNFCCC においてのこれまでの REDD プラスに関する交渉の経緯や REDD プラスの環境社会的側面の説明の後に、国際及び国家レベルのイニシアティブや市場関連、市民社会それぞれにおけるアクターの紹介、そして分野横断的な炭素モニタリングの紹介及び今後の課題と、多角的な視点から REDD プラスの動向を端的にまとめている。REDD プラスの導入編として一読の価値のあるレビューである。				
http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-042009-094508					

No.2	REDD-plus 開発途上国における森林減少・劣化等による温室効果ガス排出量の削減　改訂版	英語 日本語	2012	国際協力機構(JICA) 国際熱帯木材機関(ITTO)
I01 REDD プラスの歴史と現在の動き 国際、国、準国、プロジェクト	一般読者の REDD プラスへの理解と関心を高めることを目的として JICA と ITTO により作成されたブックレット。REDD プラスの背景や概要に加え、日本政府の気候変動に関する方針や JICA 及び ITTO による REDD プラスへの取り組みを網羅的かつ端的に紹介している。REDD プラスについて予備知識がない方に REDD プラスの概念を紹介するのに役立つほか、国内外の REDD プラス関係者が、現在進行中の JICA 及び ITTO の REDD プラス関連のプロジェクトの概要を把握したい場合にも有効なブックレットである。			
http://www.jica.go.jp/publication/pamph/index.html				

No.3	What is the right scale for REDD? The implications of national, subnational and nested approaches	英語 ベトナム語	2008	Angelsen et al.	CIFOR
I02 REDD プラスの重要な概念 国、準国、プロジェクト	REDD プラスのインセンティブメカニズムを支援・実施する際の 3 つ実施レベル別のアプローチ；国レベル、準国・プロジェクトレベル、ハイブリッド（ネステッド）の考え方を整理し比較分析を行っている短報。3 つのアプローチのインセンティブ付与についての考え方を紹介し、主に効果性、効率性、公平性の 3 つの基準で評価している。各アプローチの具体的な適用事例は紹介されていないが、基本的な考え方やそれぞれの特徴を短時間で理解するのに最適のペーパーである。プロジェクトレベルの活動と国家規模での活動の関連性について基礎知識を固めたい方に特にお薦めする。				
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2595.html					

No.4	REDD+ at project scale: Evaluation and Development Guide	英語 仏語	2010	Calmel et al.	FFEM, ONFI 等
I02 REDD プラスの重要な概念 プロジェクト	REDD プラスのプロジェクト実施者やプロジェクトを評価する投資家、そして資金提供機関をサポートすることを目的として作成されたプロジェクト開発・評価ガイドである。REDD プラス活動の選択・設計から実施、法的および組織的な問題、そして経済･金融的側面からの評価、更には環境社会セーフガードへの対応まで、プロジェクトレベルで対処するべき主な要件をバランスよく、かつ詳細に紹介している。要件ごとに既存プロジェクトの参考事例を紹介し、具体的で現実的な提言もされている。プロジェクト実施者や政策立案者に薦める一冊である。				
http://www.onfinternational.org/					

No.5	Building Forest Carbon Projects: Step-by-Step Overview and Guide[1] In: Building Forest Carbon Projects[2]	英語	2011	1) Olander et al. 2) Ebeling & Olander (eds.)	Forest Trends
I02 REDD プラスの重要な概念 I03 森林炭素モニタリング MRV I04 システム設計 プロジェクト	Forest Trends のこれまでの森林炭素に関するプロジェクトの経験に基づき、プロジェクト成功の要件を技術面、環境社会面、財務面から多角的に解説したプロジェクト実施者向けのガイダンス集である。本シリーズは、タイトルが示す通り導入的な役割を果たす本書に加え、REDD、新規/再植林、炭素蓄積評価、住民参加、法的側面、経営・マーケティング、社会影響、生物多様性影響の 8 つのテーマのガイダンスで構成されている。各ガイダンスはプロジェクト実施者にとって有用なリファレンス本となるであろう。これらは全て無料で入手可能である。				
http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555					

第 2 章　森林モニタリングシステムの設計

No.6	測定・報告・検証（MRV）：気候変動次期枠組みへ向けた議論の潮流と展望	日本語	2010	複数名	財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES)
I02 REDD プラスの重要な概念 I03 森林炭素モニタリング MRV 国際、国	MRV 全体に関するこれまでの議論の背景や経緯から、気候変動緩和に資する望ましい MRV 制度の在り方を模索した報告書である。国際交渉における MRV の経緯、現行枠組みと関連する議論、温室効果ガスの MRV に加え、途上国支援や他の国際条約、国際機関等の MRV 体制について整理・分析している。これまでに運用されている様々な MRV 体制や類似の制度を参考事例として紹介している。REDD プラスの MRV への具体的な提案はないが、気候変動枠組条約における各国の MRV 体制を理解する上で有用な報告書である。				
http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=3064					

No.7	MURC 政策研究レポート 気候変動抑制に向けた MRV (測定・報告・検証)の国際枠組み構築に関する現状と課題 ～(3) REDD プラス実施の際の MRV 実施の際の考え方～	日本語	2011	平塚ら	三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング
I02 REDD プラスの重要な概念 I03 森林炭素モニタリング MRV 国際、国、準国	REDD プラスを実施する際の MRV システムについての論点を整理し、今後構築すべき MRV システムの在り方を提言した報告書である。MRV システムの意義から、途上国の「レディネス」状況に応じた同システムの在り方、今後想定される REDD プラスの実施枠組みに応じた同システムの位置づけに至るまで、10 ページという分量で端的にまとめている。REDD プラスにおける MRV システム構築の参考事例は紹介されていないものの、モニタリング等の国内体制の整備、援助資金の使途の透明性、更にはセーフガードといった炭素以外の MRV についても触れ、MRV システムの多岐に渡る論点を簡明に紹介している。				
http://www.murc.jp/thinktank/rc/report/politics					

No.8	Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks… Technical paper (FCCC/TP/2009/1)	英語	2009	UNFCCC 事務局
I02 REDD プラスの重要な概念 I03 森林炭素モニタリング MRV 国	この UNFCCC 事務局による報告書は、REDD プラスにおける温室効果ガスのモニタリングシステム開発及び運用に必要な要素、段階、コストについての概要を示したものである。途上国の現在の能力とシステム運用に求められる能力の整理、開発ステップ別や国の面積の広さ別のコスト試算、精度とコストの関係性、そして国別のコスト試算などが示されている。また、インドの国家森林モニタリングシステム開発の事例や、詳細なコスト分析を行っている複数の文献を紹介しているなど、途上国の REDD プラスの国家モニタリングシステム開発担当者や本分野に関心のある方にとっては、導入的な役割を果たす有用な報告書である。			
http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?priref=600005151				

No.9	An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building	英語	2009	Herold	GOFC-GOLD Project Office
I03 森林炭素モニタリング MRV 国際、国	99 ヶ国の非付属書 I 国を対象に、森林面積変化と炭素蓄積のモニタリングシステムを始動させるために、短期的に必要とされる能力開発分野を特定することを目的とした報告書である。99 ヶ国の能力状況と総合的な提言を読むことによって、途上国における森林炭素モニタリングの現状と課題を大まかに把握できる。また、その中の 30 ヶ国については、国別の能力の現状と能力開発への提言がなされている。プロジェクト実施者が関心をもつ対象国毎に、国家レベルの森林炭素モニタリングシステムの概要を把握するのに有用な一冊である。				
http://unfccc.int/					

No.10	Estimating the cost of building capacity in rainforest nations to allow them to participate in a global REDD mechanism	英語	2008	Hoare et al.	Chatham House
I04 システム設計 国際、国	25 カ国の熱帯雨林諸国について、森林減少・劣化の抑制を実施するまでに必要な「レディネス」活動に要する費用を計算した報告書である。REDD 戦略策定、参照レベル及びインベントリ開発、土地利用計画策定、法改正及び施行、制度改革等に必要なコストについて実際の複数のプロジェクトのコストを基に、幅をもって試算している。巻末にはそれらプロジェクトのリストが添付されている。政策立案者やドナーが各活動の費用を考える際の参考資料として、また実際の事例を検索する際の事例リストとしても活用できる。				
http://www.illegallogging.info/item_single.php?it_id=744&it=document					

No.11	A stepwise framework for developing REDD+ reference levels. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	英語	2012	Herold et al.	CIFOR
I04 システム設計 (P13 参照レベル・参照排出レベル) 国、準国、プロジェクト	CIFOR 出版物 "Analysing REDD+ Challenges and choices"のこの一章は、参照レベル設定を考える際に必要なステップワイズ・アプローチについて詳しく紹介している。参照レベルの設定において、技術レベルが異なる 3 つのステップについて紹介し、不確実性の課題とその対処方法について概説している。ステップ 2 に相当する重回帰分析を用いた森林減少ドライバーの予測例（ブラジル、インドネシア、ベトナム）も紹介している。また付録として BOX16.3 では REDD プラスを理解する上で重要かつ混同し易い用語（3 Phases, 3 Approaches, 3 Tiers, 3 Steps）の整理がされており便利である。				
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html					

No.12	What is needed to make REDD+ work on the ground? Lessons learned from pilot forest carbon initiatives	英、西、葡、仏、中	2010	Harvey et al.	Conservation International
I04 システム設計 プロジェクト	REDD プラスプロジェクトが、温室効果ガスを削減し、かつ、生物多様性保全や社会的コベネフィッツを提供するための重要な要素をまとめた報告書である。これらは 12 件の森林炭素プロジェクト（REDD+5 件、AR/CDM7 件）の初期の経験に基づく。プロジェクト成功の鍵として 5 つの項目：1) 現場のパートナーシップと能力開発；2) 確固とした技術的かつ科学的分析に基づく活動；3) プロジェクト開発に必要な十分な資金；4) プロジェクト設計と実施における利害関係者の確かなる参画；5)政府からの全面的支援の獲得を挙げている。12 のプロジェクトの設計・実施について要約し、得られた教訓や、気候、生物多様性、そして社会的便益を確保するための提言を提示している。フィージビリティ調査の実施時に読んでおきたい一冊である。				
http://www.conservation.org/publications/Pages/REDD_lessons_learned.aspx					

No.13	Legal Frameworks for REDD : Design and Implementation at the National Level	英語	2009	Costenbader(ed.)	IUCN
I04 システム設計 P03 セーフガード 国、準国、プロジェクト	REDD の法的枠組みに関する情報を整理した報告書。土地所有権や使用権等の諸権利、利益分配、追加性や永続性など、REDD において国家レベルで対応が求められる法的要件を整理し、提言をまとめた報告書。付録として、各要件のチェックリストや、参考事例として、地理的条件や森林面積、森林減少率等の違いに考慮し選出した 4 カ国（ブラジル、カメルーン、ガイアナ、PNG）の REDD に係る法的枠組みの現状が紹介されている。政策立案に関わる実務者や、ホスト国の法的枠組みのチェックポイントを把握したいプロジェクト実施者等に有用である。				
http://www.iucn.org/					

第 3 章　REDD プラス取組みのための基礎知識

No.14	The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions	英語	2010	Putz & Redford	Biotropica Vol 42 Issue 1
P01 森林・減少・劣化・プラスの定義 国際、国	「森林」という用語の歴史的経緯を紐解き、この用語が社会科学、自然科学においてどのように用いられてきたかを網羅的かつ詳細に議論した総説。UNFCCC や FAO での「森林」の定義、そして REDD プラスにも言及しながら熱帯地域における「森林減少」及び「森林劣化」の定義付けについても議論している。REDD プラスに用いられる定義についての事実確認や現在用いられているこれら定義の課題についても詳しく確認できる。REDD プラスの交渉官や REDD プラスに関心のある研究者にお勧めの論文である。				
http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x/abstract					

No.15	Global and national REDD+ architecture Linking institutions and actions. In: Realising REDD+ National strategy and policy options	英、西仏、インドネシア	2009	Wertz-Kanounnikoff & Angelsen	CIFOR
P01 森林・減少・劣化・プラスの定義 国際	CIFOR 発行の"Realising REDD+ National strategy and policy options"の一章である。定義の問題に特化した章ではないが、「REDD プラス」の「プラス」の部分について議論している。もともと「RED」から始まった議論が「プラス」まで発展した経緯や「プラス」の考え方まで、端的に解説している。なお、同書の第 1 章 2 ページ Box1.1 にも REDD プラスの定義について概説している。REDD プラスをこれから学ぶ方や REDD プラスの定義に関するこれまでの議論を確認したい方にとって有用な一章である。				
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2871.html					

No.16	a. REDD+ Institutional Options Assessment (Chapter 2) b. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report (Chapter 2)	a.英語 b.英語	a. 2009 b. 2009	a. Streck et al. b. Angelsen et al.	Merdian Institute
P02 フェーズド・アプローチ 国際、国	フェーズド・アプローチに関する二つの解説書(a. b.)を紹介する。a.の第 2 章はフェーズド・アプローチの 3 つのフェーズの考え方を要約している。特に Table 2.1 は、フェーズ毎に求められる活動、資金、業績指標、MRV 能力等について具体的項目を紹介しており、各フェーズの要件を概観するのに有用である。b.の第 2 章では、フェーズド・アプローチと資金オプションの関連性について詳細に解説している。フェーズ毎に資金支援が必要とされる項目の説明や、資金拠出方法のオプションに関する提案がなされている。フェーズド・アプローチの基礎知識をおさえたい読者は両章を合わせて読むと効果的である。				
http://www.redd-oar.org/rl.html					

No.17	REDD+ safeguards in national policy discourse and pilot projects. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	英語	2012	Jagger et al.	CIFOR
P03 セーフガード 国際、国、準国、プロジェクト	国際、国家、プロジェクトそれぞれの実施レベルごとに、環境・社会セーフガード対策の動向を紹介し今後の課題を提示している CIFOR 出版物 "Analysing REDD+ Challenges and choices"の一章。主にブラジル、カメルーン、インドネシア、タンザニア、ベトナムのセーフガード対策について、複数のパイロット事業の現状やマスメディアで取り上げられ易いトピックといった観点から分析している。セーフガード議論の概要や現状について、また国際合意で具体的要件が定まっていない中、まず講じておくべきポイントを整理されたい方に有用な読み物である。				
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html					

No.18	Safeguarding and enhancing the ecosystem-derived benefits of REDD+ Multiple Benefits Series 2	英語	2010	Miles et al.	UNEP-WCMC, UN-REDD Programme
P03 セーフガード 国、準国	REDD プラス国家プログラム策定において、生態系サービスや生物多様性に対するセーフガードの適用方法や、生態系が提供する複数の便益を増強させるためのオプションを提示した文書である。REDD プラスの 5 つの概念（減少、劣化、持続可能な森林経営、保全、増強）毎に、生態系サービスや便益を増強させリスクを緩和するための考え方や手法をバランスよく解説し、多くの利用可能なツールを紹介している。REDD プラスにおける生態系サービスや生物多様性への配慮についての考え方を整理する際に有効であり、プログラム策定者向けの書である。				
http://www.unep-wcmc.org/multiple-benefits-series-2_629.html					

No.19	Multiple Benefits Series 5 & 6 a. Ecosystem services and biodiversity from new and restored forests: tool development b. Methods for assessing and monitoring change in …	a.英語 b.英語	a. 2010 b. 2010	a. Miles et al. b. Doswald et al.	UNEP-WCMC, UN-REDD Programme
P03 セーフガード 国、準国 プロジェクト	新規/再植林と森林修復のプロジェクト/プログラムにおける環境セーフガードの対処に有用な二つの姉妹報告書を紹介する。a.は植林や森林修復活動による生物多様性、水の供給、土壌保全、非木材林産物への影響を予測するために有用な知見を「スコアーカード」という視覚的に分かりやすい図を用いて提供し、その根拠となる豊富な論文を紹介している。b.は、上記の影響のモニタリング・評価システムを設計するための要件や手順を端的に説明し、同システム設計に必要な手法や複数のガイダンスを紹介している。新規/再植林と森林修復による予期せぬ環境影響を避けるための基本的なアプローチについて、基礎知識を得たい方は両方を合わせて読むと効果的である。				
http://www.un-redd.org/MultipleBenefitsPublications/tabid/5954/Default.aspx					

No.20	Climate Change & the Role of Forests A Trainer's Manual	英語等	2010	Stone et al.	Conservation International
P03 セーフガード プロジェクト	気候変動の科学的根拠、森林炭素循環、気候変動政策、生態系サービスへの支払い（PES）そして REDD プラスについて、地域住民の知識を普及し、深めるための一連の教材である。本教材の主な目的は、気候変動と REDD プラスに関連する情報を地域住民や他の利害関係者に効果的に伝達することのできる人材を育成することである。人材育成方法のデザインやファシリテーション技能を紹介し、育成ツールキットとして絵入りのカードやポスター、育成活動の行い方を掲載している。本教材は 7 言語（英、西、仏、インドネシア、マダガスカル、クメール、中国語）に翻訳され、12 ヶ国で利用されている。本教材は非営利組織に無償提供している。				
http://www.conservation.org/publications/Pages/climate_change_and_the_role_of_forests.aspx （希望者は上記リンクから指定メールアドレスへ本マニュアルの送付を申請する必要がある）					

第 4 章　森林炭素の MRV

No.21	Emissions factors. Converting land use change to CO_2 estimates. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	英語	2012	Verchot et al.	CIFOR
P04 森林炭素の計測 国、準国、プロジェクト	CIFOR 出版物 "Analysing REDD+ Challenges and choices"のこの一章は、REDD プラスの森林炭素の計測に必要な基礎知識と、途上国の能力や入手可能な情報の現状及び課題を紹介している。Cookbook では概要説明に留めたデフォルト法(Gain-loss 法)の詳しい解説(泥炭地へのアプローチを含む)や、Tier 1 アプローチを解説している。また、入手可能な排出係数の現状や改善の可能性、地域住民による炭素モニタリングと国家レベルのモニタリングの統合の可能性にも触れるなど、森林炭素計測の議論項目を網羅的に説明している。Cookbook の内容以外の森林炭素計測に関する知識を効率よく把握されたい方にお勧めの章である。				
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html					

No.22	a. Reporting on Climate Change Use manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties b. UNFCCC Resource Guide For Preparing The National Communications of Non-Annex I Parties. Module 3 National greenhouse Gas Inventories	英語 仏語 西語	a. 2003 b. 2009	UNFCCC 事務局
P05 森林炭素の報告 国際、国	本マニュアル(a.)は、非附属書 I 国が現在入手可能な情報に基づき国別報告書(NC)を作成できるよう支援する目的で開発された。NC で求められる報告内容を漏れなく記載するために、気候変動枠組条約の条文を参照しながら具体的解説や助言を掲載している。また、より詳しい解説のために別冊 4 編から成るリソース・ガイダンスが提供されている。第 3 編(b.)は、森林炭素を含む国家 GHG 目録(インベントリ)を作成するための手引きとなっている。REDD プラスについては、締約国会議で交渉中のため、報告の内容や方法自体が定まっていないが、本書を読むことで「国家レベルの報告」という作業工程がどのようなものかイメージすることができる。			
http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/guidelines_and_user_manual/items/2607.php				

No.23	IPCC Inventory Software	英語	2012	The IPCC　Task Force on National Greenhouse Gas Inventories
P05 森林炭素の報告 国際、国	本ソフトウェアは、UNFCCC へ提出する国別報告書(NC)（本編 P05 参照）に添付される国家 GHG 目録（インベントリ）作成を支援するために開発された。2006 年発行の改定 IPCC ガイドラインの Tier 1 および Tier 2 方法論に沿った構成になっている。Tier 1 実施のためのデフォルトデータが既に組み込まれているため、利用者は入力済のデータを用いた報告のシミュレーションを体験できる。また、本ソフトフェアの利用方法を解説したユーザーマニュアルも同サイトからダウンロードできる。REDD プラスについては、報告の内容や方法は具体的に定まっていないが、報告に必要となるであろうインベントリの作成工程をイメージしたい方には有用なソフトフェアである。			
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html				

No.24	8. Verification and Issuance. In: Building Forest Carbon Projects. Step-by-Step Overview and Guide	英語	2011	Olander & Ebeling	Forest Trends
P06 森林炭素の検証 プロジェクト	プロジェクトレベルの吸排出量の検証とクレジット発行について概要を解説している（本書は本参照編の No.5 で紹介した“Building Forest Carbon Projects”シリーズの一つ）。 UNFCCC にて REDD プラスの検証モダリティが合意されていない中、本章はプロジェクトレベルの温室効果ガス削減量の検証作業の基本的手順、検証に要する費用の幅、そして初回の検証の実施時期の重要性について VCS と CDM を例に挙げ紹介している。また、クレジット発行と検証の関連性についても触れている。プロジェクトレベルでの REDD プラスの検証モダリティに関する情報を整理されたい方に有用な文書である。				
http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555					

No.25	Remote sensing and image interpretation Sixth Edition	英語	2007	Lillesand et al.	John Wiley & Sons, Inc.
P08 リモートセンシングを用いた面積推定 国、準国 プロジェクト	本書は 1979 年の初版出版以降 5 回の改訂が行われた、リモートセンシングと画像解釈を学ぶための世界的に有名な教科書の一つである。地理空間情報を取り扱う様々な分野の実務者のための参照本となるよう構成されている。リモートセンシング全般の教科書であるため、森林生態系に特化した解説は少ないが、Cookbook 本編の計画編 P08 及び技術編第 7 章で紹介したデータの種類・選択、データ前処理、クラス定義、分類手法、精度検証など、リモートセンシングに共通する知識や技術を詳しく知りたい方に有用である。				
書籍販売　ISBN 978-0-470-05245-7					

No.26	Field Methods in Remote Sensing	英語	2005	MaCoy	Guilford Press
P08 リモートセンシングを用いた面積推定 国、準国、 プロジェクト	リモートセンシング技術を適用する際に必要な地上データの取得(グランドトゥルース)についての解説書である。地上データ取得のための計画策定、サンプリング手法、GPS を用いた地点特定の手順や、様々な測定手法などについて詳細に解説している。特に植生情報や、様々な地表の特性を特定し測定するための手法を紹介し、地上調査に有用な記録用紙のひな形を添付している点は、REDD プラスに必要な地上データを取得する際に大いに参考となる。リモートセンシングの基礎知識はあるものの、フィールド調査の機会の少ない計画担当者や現地調査担当者にお勧めの一冊である。				
書籍販売　ISBN 978-1593850791					

No.27	森林リモートセンシング　第 3 版 －基礎から応用まで－	日本語	2010	加藤正人 編著	日本林業調査会
P04 森林炭素の計測 P07 蓄積変化法 P08 リモートセンシングを用いた面積推定 P11 林分炭素蓄積推定モデル 国、準国、 プロジェクト	主に森林・林業技術者や森林科学を専攻する学生を対象としたリモートセンシングに関する技術普及のための日本語の教科書である。本書は大きく基礎、画像処理、応用の 3 区分に分かれており、合わせて約 400 ページの充実した内容となっている。Cookbook 本編で紹介する植生型別の面積推定や林分炭素蓄積推定モデルに必要なリモートセンシングの技術についても詳しく紹介している。また、インドネシアでの伐採地や森林火災の特定事例など、熱帯林におけるリモートセンシングの活用事例を簡潔に紹介している。プロジェクト実施者が森林リモートセンシング技術の原理、有効性、課題を正しく理解するために有用な一冊である。				
書籍販売　ISBN 978-4889651980					

No.28	Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects	英語	2008	Ravindranath et al.	Springer
P04－P10 国、準国、プロジェクト	本書は、これまで複数の IPCC ガイドライン作成に携わった筆者がまとめた、炭素インベントリ作成のための実用書である。Cookbook の P04 から P10 で説明した項目について、より詳細に説明している。特に、Cookbook 本編では詳しく触れなかった地下部バイオマス、枯死木、リター、土壌の炭素プールについての測定方法も解説している。炭素インベントリの計画担当者や現地調査の担当者は Cookbook と合わせ、計画作成の際に参照できるよう手元に置いておきたい一冊である。				
書籍販売　ISBN 978-1-4020-6546-0					

No.29	Tropical Forest Census Plots	英語	1998	Condit	Springer-Verlag
P10 固定調査プロット法を用いた方法 国、準国、プロジェクト	本書は、熱帯林の大規模な生態調査プロットの設定手法を詳細に説明した実用書である。Cookbook で紹介した固定調査プロット法に関して、現地調査とデータベース構築の方法論や、想定される様々な課題への対処法、更には調査のスケジューリングや要する労力まで、プロット設定のための要件を網羅的に説明している。具体的事例として、パナマの大規模プロットの他、世界各地 11 カ所の大規模プロットで用いられた手法を紹介している。プロット設置に関わる計画立案者や現地調査担当者にとって参考になる一冊である。				
書籍販売　ISBN 978-3-540-64144-5					

No.30	Winrock Terrestrial Sampling Calculator	英語	2007	Walker et al.	Winrock International
P10 固定調査プロット法を用いた方法 T12 固定調査プロットの必要数と配置 国、準国 プロジェクト	本ツールは、Cookbook で紹介した層化抽出法（レシピ T12）に基づき、森林区分毎に必要な固定調査プロットの設置数を算出するツールである。エクセルシートを用いており、森林区分（層）毎に、当該森林区分の面積、単位炭素蓄積量とその標準偏差、プロットサイズ、当該森林区分にプロットを設置するために必要なコスト（旅費、機材費、分析費など）を、それぞれ緑色のセルに入力すると、必要なプロット数と設置コストの試算結果が表示される。固定調査プロットの設置数とそのコストについて、短時間で見当を付けることができるツールである。				
http://www.winrock.org/					

No.31	森林立地調査法―森の環境を測る（改訂版）	日本語	2010	森林立地調査法編集委員会編	博友社
P10 固定調査プロット法を用いた方法 国、準国、プロジェクト	Cookbook で紹介した固定調査プロット法に必要な現地調査の手法（毎木調査法やバイオマス測定方法等）が説明されている。Cookbook で図を用いて詳しく説明している固定調査プロットの設計と計測方法（レシピ T13）について、本書では更に、調査に用いる測定器具の名前や使い方も説明されており、P10・T13 の補足的な読み物として有用である。REDD プラス対象国に多い熱帯林に特化した内容ではないが、日本語で書かれた数少ない森林とその立地環境調査に関する解説書である。本書は日本人の現地調査担当者にとって重宝する一冊である。				
書籍販売　ISBN 978-4826802178					

No.32	2.7 Estimation of Uncertainties. In: A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation	英語	2011	GOFC-GOLD	GOFC-GOLD Project Office
P12 吸排出量の算定 国、準国、プロジェクト	"GOFC-GOLD Sourcebook"のこの一章は、面積及び炭素蓄積量算定値の不確実性を算出する方法を詳しく紹介している。「不確実性」という概念についての説明から始まり、対象面積と単位炭素蓄積量の不確実性を求める際の要件、双方の不確実性を合成する手法、そして不確実性の報告方法を、図表を用いて分かりやすく解説している。また更に詳しく知りたい読者のために、関連する参考文献を章末で紹介している。Cookbook で紹介した内容についてより詳しく知りたい方は勿論、「不確実性」や「不確実性の合成」といった、基礎的な概念について学びたい方に好適な一章である。				
http://www.gofcgold.wur.nl/redd/					

No.33	Guidelines for REDD+ Reference Levels: Principles and Recommendations	英語	2011	Angelsen et al.	Meridian Institute, The Gov. of Norway
P13 参照レベル・参照排出レベルの設定 国、準国、プロジェクト	UNFCCC の下で参照レベルを設定するための 20 ページから成るガイドラインである。参照レベル設定のための関連活動データや排出係数を選択する手順、および分析手法を紹介し、国情を考慮した調整や準国レベルでの参照レベルについて、基本的な考え方と考慮すべき点を提示している。付録としてブラジルとガイアナにおける参照レベル設定開発事例と、締約国のために参照レベルに関する情報提供用のサブミッション作成ガイドラインを掲載するなど、政策立案者向けに実用的な情報も提供している。国家スケールでの参照レベル設定について理論と実施例を広く把握されたい方にお薦めの解説書である。				
http://www.forestcarbonportal.com/resource/guidelinesreddreferencelevelsprinciplesandrecommendations					

索　引

AFOLU　I04, P04, T04
CDM　I02, I03, P04, P05, P06, T04
CER（Certified Emission Reduction）　T04
CO_2排出量　I01
COP13　I01, I02, I03, P01, P02
COP15　I01, I02, P03, P13
COP16　I01, I02, P03, P05, P13
COP17　I01, I02, P03, P05, P13
DSM　T05, T16
DTM　T05
FAO　I01, I02, T09, T11
GOFC-GOLD　T11
GPG　P05, P06
GPS　T05, T08, T13
GPS カメラ　T08
IPCC　I01, I02, I03, I04, P04, P05, P06, P07
T02, T14
IPCC ガイドライン　I01, I04, P05, P06, P07
J-VER　T04
Landsat　P08, T05, T06, T09, T19
LiDAR　P08, P11, T05, T16
LULUCF　P02, P05, P06
MRV　I01, I02, I03, P02, P05, P11, P13
NFI　I04, T01, T03
REDD プラス　I01, I02, I03, I04, P01, P02, P03
P04, P05, P06, P11, P13, T02
T03, T04, T13
SAR　P07, P08, P11, T05, T19
SBSTA　I01, I02, I03, P13
UN-REDD　I01, P02, P03
VCS（Verified Carbon Standard）　I01, I03
T04
VCU（Verified Certification Units）　P06, T04
VER（Verified Emission Reduction）　I04, T04

アブラヤシ　T13
アロメトリ式　P10, T13, T14, T16
一貫性（consistency）　I03, I04, P05
違法伐採　I02
インベントリ　I03, I04, P02, P05, P06, P07, P13
衛星 LiDAR　P11, T16
衛星立体視センサ　P11
オブジェクトベース　T11
オブジェクトベース分類　P08, T08, T09
温室効果ガス（GHG）　I01, I02, I03, I04
P03, P04, P05, P06, P13, T02
温暖化緩和策　I01, I02, P03
カッパ係数　P08
環境セーフガード　P03
環境社会セーフガード　P03
完全性（completeness）　I03, P04, P05
幾何補正　P08, T03, T11, T17
気候変動枠組条約（UNFCCC）　I01, I02, I03
I04, P01, P02
P03, P04, P05
P06, P13, T04
気候変動に関する政府間パネル　I01, I04
P04, T02
季節性　T06
吸収増進　I02, P02
胸高周囲長　T13
胸高断面積　T14, T16
胸高直径　P10, T01, T13, T14
教師あり分類　P08
教師付き分類　T08, T09

教師データ P08, T08, T09, T10, T11
教師なし分類 P08, T09
京都議定書 I01, I02, P01, P02, P05, T04
空間分解能 P08, T05, T07, T09
国レベル（National level） I02, I03, I04
P02, P05, P06, P07, P08, P09, P10
P13 T04, T06, T12, T14, T16, T18
雲取り処理 T06
雲なし画像 P08, T06
雲の影響 P11
クラス P08, T07, T08, T09, T10
クラスタ P08, T01, T09
グランドトゥルース P08, T08, T10
クリーン開発メカニズム I03, P05, P06, T04
クレジット I01, I02, I03, I04, P03, P04
P06, P12, P13, T04
クレジットメカニズム I03
クロス偏波 T19
群落高 P07, P11, T15, T16
群落高法 P09, P11, T15, T16
群落齢 P07, P11, T18
群落齢法 P09, P11, T15, T18
計測 I02, I03, I04, P02, P04, P05, P10, P11
P13, T02, T13, T15, T17
計測・報告・検証 I03, I04, P02, P05, P11, P13
検証 I02, I03, P02, P06
P11, T04, T08
検証データ P08, T08
現地調査 I01, I02, I04, P04, P07, P11
T08, T13, T15, T16, T18, T19
光学衛星センサ T05
光学センサ P08, P11, T05, T06
航空機 LiDAR P11, T16
合成開口レーダ（SAR） P08, P11
T05, T19
後方散乱係数 P07, P09, P11, T15, T19
国際標準化機構（ISO） P06
国連開発計画（UNDP） I01
国連環境計画（UNEP） I01
国連食糧農業機関（FAO） I01
国家インベントリ報告書（NIR） P05
国家温室効果ガスインベントリ報告 P06
国家温室効果ガス目録（インベントリ） P05
国家森林モニタリングシステム I01, I02, I04
国家森林資源調査（NFI） I04, T01
T03, T10, T13
固定調査プロット（PSP） P07, P09, P10, P11
T03, T12, T13, T14, T15, T16, T17
コペンハーゲン合意 I01, I03
ゴム P11, T13, T18
作成者精度 P08, T10
参照排出レベル I01, I02, I04, P02, P12, P13
参照レベル I01, I02, I04, P02, P06, P12, P13
サンプリングデザイン P07, T01
時間分解能 P08, T05
時系列 I02, P13, T11, T18
持続可能な森林経営 I01, I02, P01, P02
社会セーフガード P03
社会的責任（CSR） T04
樹冠径 P07, P11, T17
樹冠径法 P09, P11, T15, T17
樹 (林) 冠被覆 I02, P01
樹高曲線 T13, T17
準国レベル（sub-national level） I02, I03, I04
P02, P06, P10, P13, T04, T12, T18
森林計画 P02

森林減少 I01, I02, I04, P01, P02
P05, P06, P09, P11, P13, T16
森林タイプ P07, P08, P09, P10, P11, P12
T05, T06, T12, T14, T16, T17, T19
森林炭素パートナーシップ基金（FCPF）
I01, P02, P03
森林保全 I01, I02, P01, P06, P13, T04
森林面積推定 P08
森林面積変化 I02, I03, I04, P07, T03
森林モニタリング I01, I02, I03, I04
森林劣化 I01, I02, I04, P01, P02
P06, P11, P13, T05, T12, T18
推定モデル P09, P11, T03, T19
正確性（accuracy） I03, P05
精度検証 P08, P11, T08, T10
生物多様性 I01, I02, P01, P03, P06, T01
セーフガード I01, I02, I03, I04, P02, P03, P06
世界森林資源評価（FRA） I02, T09, T11
センサ P08, P11, T03, T05, T19
層化抽出 P10, T08, T10, T12
総合精度 P08, T10
ソフトウェア P08, P12, T05
第３次評価報告書(TAR) I01
第４次評価報告書(AR4) I01
大気補正 P08
タケ P11, T13, T16, T17
多偏波干渉SAR P11
炭素クレジット I01, I02, I03, P06, P12
炭素蓄積 I01, I02, I03, I04, P01, P02, P04
P07, P09, P10, P11, P12, P13
T02, T03,T12, T13, T14, T15
T16, T17, T18, T19
地下部バイオマス P04, P11, T02, T14, T19
蓄積変化法 P04, P07, P09, P12, T02
地形補正 P08, T03, T19
地上部バイオマス P04, P11, T02, T14, T19
地表面状態 P11
締約国会議（COP） I01, I02, I04, P01
P02, P03, P05, P13
デフォルト法 P04, P07
透明性（transparency） I02, I03, I04
P05, P07, P13
土地被覆 P07, P08, T05, T06
T07, T08, T09, T10, T11
土地利用 I01, I03, I04, P02, P04, P05, P06
P07, P11, P13, T04, T12, T13, T18
二国間オフセット・クレジット制度
I01, I04, T04
二重抽出（double sampling） T15
ノイズ T05, T19
能力開発 I02, P02, P04
バイオマス拡大係数 P10, T14
排出削減 I01, I02, I03, I04, P01
P02, P05, P06, P13, T04
排出増加 I02
波長分解能 P08, T03, T05
パラメータ P05, P06, P09, P11
T09, T15, T18
板根 T13
比較可能性（comparability） I03, P05
ピクセル（画素） P08, T11
フェーズドアプローチ I01, I02, I03, I04
P02, P04
不確実性 I03, P04, P06, P07, P12
複数回反射 P11
フラックス法 T02

プラットフォーム T05
プロジェクトレベル I01, I02, I03
I04, P05, P06
ヘイズ T05, T06
マイクロ波 P08, P11, T05
毎木調査 P11, T13, T14, T15, T18
マラケシュ合意 P01
マルチレイヤー画像 T11
面積推定 P07, P08, P12, T06, T10
面積変化 I02, I03, I04, P07, P08, T03, T11
モダリティ I01, I03, P05, P06, P13
焼畑 P11, T18, T19
ヤシ T13
ライク偏波 T19
リモートセンシング I01, I02, I04, P04, P06
P07, P08, P10, P11, P13
T03, T05, T07, T09, T10
T11, T13, T15, T16, T17
リモートセンシングデータ I04, P07, P08, T07
T08, T09, T16, T17
利用者精度 P08, T10
林分炭素蓄積推定モデル P11
レーザパルス P08, T05

執筆者一覧

相川真一 [1]	参照編
赤堀聡之 [5]	Recipe P02
粟屋善雄 [2]	Recipe T19
家原敏郎 [1]	Recipe T01
伊藤江利子 [1]	Recipe P11, T16
江原　誠 [1]	Recipe P03, 参照編
太田徹志 [3]	Recipe T07
加治佐剛 [3]	Recipe T11
河原崎里子 [1]	参照編
齋藤英樹 [1]	Recipe P08, T06
佐藤顕信 [6]	Recipe T03
佐藤　保 [1]	Recipe P07, T13, T18
鈴木　圭 [6]	Recipe T03
清野嘉之 [1]	Recipe I03
鷹尾　元 [1]	Recipe I04, P04, T10, T15
田中真哉 [1]	Recipe T09
塚田直子 [1]	Recipe P05, P06
露木　聡 [4]	Recipe T05
藤間　剛 [1]	Recipe P01, T03, 参照編
鳥山淳平 [1]	Recipe P12, T02
百村帝彦 [3]	Recipe P03
平田泰雅 [1]	Recipe I02, P13
古家直行 [1]	Recipe T17
松浦俊也 [1]	Recipe T08
松本光朗 [1]	Recipe I01, T04
溝上展也 [3]	Recipe P10, T12
門田有佳子 [1]	Recipe P09, T14
横田康裕 [1]	Recipe P03

1) 独立行政法人　森林総合研究所
2) 国立大学法人　岐阜大学
3) 国立大学法人　九州大学
4) 国立大学法人　東京大学
5) 農林水産省　林野庁
6) 社団法人　日本森林技術協会

企画・構成

平田泰雅・鷹尾　元・佐藤　保・鳥山淳平

編　集

荒木　誠・平田泰雅・鷹尾　元・佐藤　保・鳥山淳平・塚田直子・福見智美

本書の引用記載

平田泰雅・鷹尾元・佐藤保・鳥山淳平　編（2012）REDD-plus Cookbook.
（独）森林総合研究所 REDD 研究開発センター ,152pp.
ISBN　978-4-905304-13-5

以下のウェブサイトからダウンロードできます。
http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/cookbook.html

2013.12

独立行政法人　森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute
〒 305-8687　茨城県つくば市松の里 1
編集・発行　REDD 研究開発センター
REDD Research and Development Center
TEL: 029-829-8365　FAX: 029-829-8366
URL: http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/index.html
E-mail: redd-rd-center@ffpri.affrc.go.jp
お問い合わせ先 REDD 研究開発センター　または
編集刊行係
029-829-8125, e-mail: kanko@ffpri.affrc.go.jp

リサイクル適性の表示：紙へのリサイクル可

事業事前評価表

国際協力機構 地球環境部 自然環境第二チーム

１．案件名

国　名： コンゴ民主共和国

案件名：国家森林モニタリングシステム運用・REDD+パイロットプロジェクト
Project for Operationalization of the National Forest Monitoring System and REDD+ Pilot

２．事業の背景と必要性

（1）当該国における森林保全分野の現状と課題

コンゴ河流域はアマゾンに次ぎ世界で2番目に大きな熱帯雨林地域であり、当該地域の森林保全は本地域のみならず、地球規模の課題でもある。コンゴ民主共和国（以下、「コンゴ民国」）は、コンゴ河流域諸国の中でも最大の森林面積（1億5千万ha[1]、世界の森林の約4%）を有している。しかしながら、違法伐採を含む商業伐採や鉱山開発等により、年間約31万ha以上の森林が失われていると言われている[2]。そのため、コンゴ民国政府は、2011年に「環境・森林・水・生物多様性国家プログラム（PNEFEB)」に基づき、木材企業や地域住民の協力を得て参加型森林管理を推進している。

気候変動対策の観点からは、コンゴ民国は、2010年7月に我が国も拠出している世界銀行の「森林炭素パートナーシップ基金（FCPF)」の枠組の下、アフリカ初の「REDD準備計画（R-PP)」を完成し、2012年にUNREDDの支援による「国家REDD+戦略」と同戦略の実施のための「投資計画」を策定する等、ドナー等からの支援により、森林保全を通じた気候変動対策を進めている。なお、コンゴ民国の国家REDD+戦略 投資計画の実施に必要な経費は10.4億ドルと見積もられ、そのうち、2億ドルが中央アフリカ森林イニシアティブ（CAFI）基金、6千万ドルが世界銀行の森林投資計画（FIP）基金、その他を二国間協力等による支援を通じ実施していくこととしているが、必要な資金は未だ不十分である。

国連気候変動枠組条約(UNFCCC)のワルシャワ・フレームワークにおいて、REDD+の実施には国全体の森林資源等を把握・管理するための「国家森林モニタリングシステム(National Forest Monitoring System: NFMS)」が必要とされているが、コンゴ民国は、森林管理の基礎情報となる森林インベントリーを1970～80年代にカナダの協力を得て約2千万haを整備して以降、更新しておらず、大半が紛失している。この状況を踏まえ、2010年に日本国政府は環境プログラム無償資金協力を実施し、コンゴ民国北西部に位置する旧バンドゥンドゥ州（現在は、クウィル州を含む3州に分化）含む3州に対し、衛星画像データや地上調査用の車両を含む機材を供与した。また、JICAは、2012年に、開発計画調査型技術協力「持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」（本要請案件の前身案件）を開始し、旧バンドゥンドゥ州において、NFMSの基礎となる森林地図作成や地上調査の実施、森林参照排出レベル（FREL）の開発等を行っている（2017年12月末終了予定)。これまでの我が国及び他ドナーからの支援により、環境持続開発省（MEDD）及

[1] Global Forest Resources Assessments (FAO, 2015)
[2] Global Forest Resources Assessments (FAO, 2015)

び関係機関がREDD+の実施や、持続可能な森林管理を促進するための能力が強化されつつある。しかしながら、広大な国土を有し、未だ人員や予算が極めて限られるMEDDや地方行政機関が、国際基準を満たすREDD+の実施や、REDD+も通じた森林管理を持続的に行っていく上では、政策面、技術面、人材育成面でのさらなる支援が求められている。

このような状況を踏まえ、MEDDはJICAに対し、旧バンドゥンドゥ州での成果に基づくNFMS構築・運用と、同州から分化した3州のうちの一つであるクウィル州をパイロットサイトとした、森林減少・劣化抑制のためのREDD+事業試行のための技術協力の要請を行った。なお、本要請案件では、同じくNFMS構築のための支援を行っているFAOと連携し、UNFCCCの要件を満たす堅牢かつ透明性の高いNFMSを構築することが求められている。

また、コンゴ民国においては、REDD+準備フェーズがほぼ終了し、実施フェーズに移行しつつある。FCPFによるマインドンベ・プログラム（マインドンベ州を対象とした準国レベルのREDD+プログラム）の排出削減プログラム文書（ER-PD）が2016年に承認され、今後炭素基金による実施が予定されている。また、CAFIでは、クウィル州を含む8州を対象に森林減少・劣化抑制のための「統合プログラム」が計画されている等、排出量削減を目指すREDD+活動が本格的に実施されつつある。なお、JICAは、本案件成果のスケールアップを目的に、CAFIの「クウィル州統合プログラム」（400万ドル）の公募に応募し、当該資金を得ている。

（2）当該国における森林保全分野の政策と本事業の位置づけ

REDD+実施の要件であるNFMSの構築や森林減少・劣化抑制のためのREDD+事業モデル構築を行う本事業は、コンゴ民国の「環境・森林・水及び生物多様性国家プログラム」の実施に資する。また、コンゴ民国は、2015年8月に、UNFCCCに約束草案を提出し、農業、森林、エネルギー分野において、2021年から2030年の間に2000年比で17%の排出削減を行うこととしている。本事業は、同約束草案で定められている「森林減少・劣化からの排出削減プロセスの実施（REDD+）」に直接貢献するものである。

（3）森林保全に対する我が国及びJICAの開発協力方針と実績

我が国は、対コンゴ民国別援助方針（2017年4月）において、「国家再建に向けた平和の定着及び経済社会発展への支援」を大目標に支援を行っている。重点分野のひとつに環境保全が位置づけられており、森林炭素量のMRV（測定、報告、検証）実施体制や温室効果ガス排出量算定値策定能力の強化等、REDD+実現に向けた支援を行っていくこととしている。

2010年以降、「森林保全計画」（環境プログラム無償、2010年）、「持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」（開発計画調査型技プロ、2012～2017年）、環境保全関連課題別研修（通年）を実施している。

（4）他の援助機関の対応

2010年以降、FCPFによるREDD準備計画策定、UNREDDによる国家REDD+戦略及び投資計画の策定、世界銀行支援によるマインドンベ・プログラムを含む複数の国際機関や二国間ドナー等がREDD+に関する支援を行っている。2016年より、ノルウェー等が拠出するCAFI基金による国家REDD+戦略投資計画の実施プログラムが開始しており、2017年1月から、FAOがCAFI「コンゴ民国における国家森林モニタリングシステム（NFMS）の最終化及び実施プログラム」を実施している。

３．事業概要

（1）事業目的

本案件は、①コンゴ民国の国家森林モニタリングシステム（NFMS）の運用、及び②クウィル州を対象とした森林減少･劣化抑制を行うための州(準国)レベルの REDD+パイロット事業の実施により、MEDD 及びクウィル州の REDD+を通じた持続可能な森林管理のための能力強化を図り、もって、コンゴ民国における NFMS の運用による REDD+及び持続的森林管理の実施と、クウィル州における REDD+事業を含む森林減少・劣化に対する取組の推進に寄与するものである。

また、スーパーゴールは、国レベルでの REDD+実施及びクウィル州における森林減少・劣化対策が促進されることにより、コンゴ民国の目標である 2030 年以降の 63.5%の森林被覆率が維持され、最終的には、コンゴ民国が目指すグリーン成長（貧困削減、温室効果ガス（GHG）削減、持続的開発）へ寄与することである。

（2）プロジェクトサイト／対象地域名：キンシャサ及びクウィル州

（3）本事業の受益者（ターゲットグループ）

環境持続開発省（MEDD）の持続開発局（DDD）と関係局、及びクウィル地方政府（州／県／区）

（4）事業スケジュール（協力期間）： 2019 年 1 月～2024 年 1 月（5 年間、60 か月）

（5）総事業費（日本側）：JICA 資金 7.5 億円及び CAFI 資金 4 百万ドル（約 4.4 億円）

（6）相手国側実施機関： MEDD

（7）投入（インプット）

1)日本側

- 専門家派遣：短期専門家（総括、NFMS、REDD+パイロット活動、業務調整、その他）
- 供与機材：車両、バイク、マウンテンバイク、その他活動に必要な資機材
- 本邦研修

2)コンゴ民国側

- C/P 人材の配置：プロジェクト・ダイレクター（DDD 局長）、テクニカル・ダイレクター（森林インベントリー管理局（DIAF）、園芸植林局（DHR）、森林管理局（DGF）各局長）、プロジェクト・マネジャー（DDD 気候変動課長）、州プロジェクト・ダイレクター（MEDD クウィル州調整官）、州プロジェクト・マネジャー（州プロジェクト・ダイレクターの指名する者）
- 執務スペース及び設備（キンシャサ及びクウィル州での執務室）
- プロジェクト活動費

（8）環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1）環境に対する影響/用地取得・住民移転

① カテゴリ分類：C

② カテゴリ分類の根拠：「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」（2010 年 4 月公布）上、環境への望ましくない影響は最小限であると判断される。

③ 環境許認可： 必要なし

④ 汚染対策： 特に大きな懸念はない

⑤ 自然環境面： 特に大きな懸念はない
⑥ 社会環境面： 特に大きな懸念はない
⑦ その他・モニタリング： 特に大きな懸念はない

2）ジェンダー平等推進・平和構築・貧困削減： 特に大きな懸念はないが、森林資源の利用上、一般的に男性の方が経済的により優位にあることから、事業開始後、先方政府とジェンダーに配慮した取組みについて協議を行う。
3）その他： 本事業を通じて森林保全の促進が期待されるため、気候変動対策（緩和）に資する。

（9）関連する援助活動
1）我が国の援助活動
＜広域案件＞
①「コンゴ盆地における持続可能な熱帯雨林経営と生物多様性保全のための能力強化計画」（ITTO 連携無償、2012 年）
②「COMIFAC 諸国における生物多様性保全・利用及び気候変動対策プロジェクト」（技プロ、2015～2018 年）
③「南部アフリカ地域持続可能な森林資源管理・保全プロジェクト」（技プロ、2015～2020 年）

2）他ドナー等の援助活動
① 世銀 FCPF 支援によるマインドンベ・プログラム
※森林地図作成等の方法論の共通化の促進を目指す
② FAO による CAFI 資金「コンゴ民国における国家森林モニタリングシステム（NFMS）の最終化及び実施プログラム」（10 百万ドル、2017 年～2022 年）
※成果 1 を連携して実施。CAFI 資金により NFMS 構築・運用の一連プロセスを支援する FAO に対し、JICA は旧バンドゥンドゥ州で開発した森林モニタリング手法や人材育成の成果を基に、ワルシャワ・フレームワークで規定される、「当該国にとって適切、かつ、透明性があり堅牢な NFMS」とするための支援を行う。これには、「JICA-JAXA 熱帯林早期警戒システム（JJ-FAST）」の NFMS への統合（NFMS のモニタリング機能の強化）を含む。

③ この他、キサンガニ大学、Wildlife Conservation Society (WCS)、WWF、Central African Satellite Forest Observatory (OSFAC)等も REDD+関連事業（MRV や REDD+パイロット事業等）を実施。
※ 成果 1 及び 2 で可能な連携・調整を行う（森林モニタリングや REDD+事業における方法論の統一化や、グッドプラクティスの共有等。）

４．協力の枠組み

（1）協力概要

1）上位目標と指標

コンゴ民国における国家森林モニタリングシステム（NFMS）の運用によるREDD+及び持続可能な森林管理の実施と、クウィル州におけるREDD+事業を含む森林減少・劣化に対する取組が促進される。

＜指標＞

① NFMS文書の改訂版の作成

② 国連気候変動枠組条約（UNFCCC）への森林参照排出レベル（FREL）の提出

③ クウィル州におけるREDD+を含む森林減少・劣化対策事業の実施箇所（パイロットサイト以外のXヶ所以上）

2）プロジェクト目標と指標

REDD+事業実施を通じた持続可能な森林管理のための環境持続開発省（MEDD）およびクウィル州関係者の能力が強化される。

＜指標＞

① NFMS文書の政府による公式化（UNFCCCへの提出等）

② クウィル州REDD+事業ガイドラインの策定

③ 対象とする森林減少要因（焼畑等）による森林減少レベルの定期的なモニタリングの実施（X回/Y年以上）

3）成果

成果1. 国家森林モニタリングシステム（NFMS）の構築および改善を通じ、NFMSが運用可能となる。

成果2. クウィル州において、持続可能な森林管理のためのREDD+事業が試行される。

５．前提条件・外部条件

（1）前提条件

CAFI による継続的な資金の拠出（FAO の NFMS プログラム及び JICA のクウィル州 REDD+統合プログラム）

（2）外部条件（リスクコントロール）

（上位目標達成のための外部条件）森林管理及び REDD+政策にかかる政府の方針・体制に大きな変更が発生しない。

（プロジェクト目標達成のための外部条件）関係機関間の協力が維持される。

（成果達成のための外部条件）現地での活動が妨げられるほどの治安の悪化がないこと。

６．評価結果

本事業は、コンゴ民国の開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、また計画の適切性が認められることから、実施の意義は高い。

７．過去の類似案件の教訓と本事業への活用

(1)　類似案件の評価結果及び(2) 本事業への教訓

- 「テーマ別評価 評価結果の横断分析 自然環境保全分野における実践的なナレッジ教訓の抽出」(2014年、JICA) には、自然環境保全への住民の「動機づけ」に関する教訓として、住民が保全活動へ参画するための動機付け（インセンティブ）の重要性と、短期的インセンティブ等を通じて、長期的な保全活動への参加を得る工夫の必要性が記載されている。本案件では、特に将来のREDD+成果払いによる利益配分を視野に入れたモデル化事業について、実際の成果払いまで数年かかり、また、成果払いが得られない場合も想定しうることから、代替の生計向上手段の導入等を行い、住民の動機付けを十分行う。
- 上記報告書で示唆するターゲットグループの選定と基準の教訓では、住民に対する事業目的や住民の役割等の事前説明による共通理解の醸成の必要性や、住民グループの中核的な役割を担う人材の活用が示唆されている。これを踏まえ、本案件では、不要な期待感を高めることを避けるため、REDD+スキームの説明を行うかは慎重に検討する必要があるが、事業の目的やターゲットグループの設定基準の明確化、現地での住民との仲介機能の担う人材の活用等、現地の文化や習慣等に注意を払い業務を行う。

８．今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる主な指標

4. (1)のとおり。

(2) 今後の評価計画

事業開始 3 ヶ月　ベースライン調査

事業終了 3 年度　事後評価

事業事前評価表

国際協力機構 地球環境部 自然環境第二チーム

１．案件名

国　名：　モザンビーク共和国

案件名：　（和名）持続可能な森林管理・REDD+プロジェクト

（英名）Project for Sustainable Forest Management and REDD+

２．事業の背景と必要性

(1) 当該国における森林・気候変動対策セクターの開発実績（現状）と課題

モザンビークでは、国土の約 48%にあたる約 38 百万 ha を森林が占めているが、毎年 22 万 ha、0.58%の森林が消失している。森林減少の主な理由には、鉱山開発、過度の焼畑利用及び薪炭材採取、農地転用、違法伐採、森林火災などが挙げられ、根本的な要因として、農村部の住民の森林資源への依存度の高さと森林行政のガバナンスの弱さがあると考えられる。

モザンビークにおける森林減少は、年間約 12 百万トンの CO2 排出量にも匹敵すると言われ、2012 年以降、世界銀行（以下、「世銀」）の森林炭素パートナーシップ基金（FCPF）REDD[1]準備計画が進められるなど、国際機関やドナー機関の支援を得て、REDD+[2]の取組を進めている。また、2015 年 10 月に国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）事務局に提出された温室効果ガス（GHG）削減の自主的に決定する約束（Nationally Determined Contributions：NDC）においては、2020 年から 2030 年までの期間に 76.5 百万トン CO2 の GHG 削減を目標としており、気候変動緩和策のひとつとして REDD+が位置づけられている。さらに、モザンビーク政府は REDD+を活用して持続的な経済発展と森林保全の両立の実現を目指し、2016 年に REDD+国家戦略を策定している。

我が国においても、2010 年以降、モザンビーク政府の REDD+を通じた森林保全への取組を、政策アドバイザーの派遣、機材供与、技術協力、人材育成といった形で支援している。2013 年からは、「REDD+モニタリングのための持続可能な森林資源情報プラットフォーム整備プロジェクト」（開発計画調査型技術協力）を開始し、適切な森林モニタリングを実施することによる REDD+の促進に向けた森林資源情報プラットフォームの整備や、ガザ州及びカーボデルガド州における森林被覆図作成、森林参照レベル(FRL)の設定などに関する支援を行ってきた。これらの我が国を含む国際社会による支援を通じて、土地・環境・農村開発省（MITADER）の持続可能な森林管理や REDD+を促進するための能力が強化されつつある。しかしながら、広大な国土を有し、人員や予算が極めて限られる MITADER や地方行政機関が、国際基準を満たす REDD+の実施や、REDD+を通じた森林管理を持続的に行っていく上では、政策面、技術面、人材育成面でさらなる支援が求められている。このため、モザンビーク政府は、持続可能な森林管理及び森林保全と NDC 目標の達成を目的に、「REDD+モニタリング

[1] 途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減

[2] 途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減、森林炭素ストックの保全及び持続可能な森林経営ならびに森林炭素ストックの向上

のための持続可能な森林資源情報プラットフォーム整備プロジェクト」で整備中の「森林資源情報プラットフォーム」の発展・活用による国レベルの森林モニタリングシステム(NFMS)の構築及び運用と、準国（州）レベルでの森林減少抑制の取組に関する協力を日本政府に要請した。

(2) 当該国における森林・気候変動対策セクターの開発政策と本事業の位置づけ

モザンビークの森林管理関連政策には、1999 年に制定された森林・野生動物法があり、今般、気候変動対策への対応や違法伐採対策など森林保全の強化を図るため、新たに森林法の制定が検討されている。2016 年 9 月時点の新森林法（案）では、地理情報システム（GIS）情報も活用した森林管理運営、森林財産としての森林保護区の設定目的の明文化、10 年毎の全国森林インベントリの実施の義務化や、州及び郡の森林インベントリの実施、森林計画制度の創設と、全国から地方レベルまでの森林計画の策定などを通じた森林管理の促進が規定される方向である。

2016 年に閣議決定された国家 REDD+戦略においては、戦略目標として、持続可能な農業技術の促進、保全地域のシステム強化と所得創出による保全事業、森林コンセッション（開発権）制度及びコミュニティ管理の促進、森林ガバナンスの強化などによる持続可能な森林管理、劣化森林の復旧と森林造成等が定められている。

本事業の実施は、これら森林保全や気候変動対策に関するモザンビーク政府の政策に直接的に貢献するものである。

(3) 森林・気候変動対策セクターに対する我が国及び JICA の開発協力方針と実績

我が国の「対モザンビーク共和国　国別援助方針（現開発協力方針）」(2013 年 3 月）は、「潜在力を活かした持続可能な経済成長の推進と貧困削減」であり、重点支援分野のひとつである環境・気候変動対策においては、森林資源の持続的な管理のための実施機関の能力強化や REDD+に資する森林資源管理モニタリング体制の構築を支援することとしており、本案件の実施は、本方針に合致するものである。

(4) 他の援助機関の対応

モザンビークにおいては、世銀やフランス開発庁（Afd）など多くの機関が森林保全や気候変動対策の取組を支援している。特に、気候変動・REDD+の実施にあたっては、我が国も主要資金拠出国であり、世銀が運営する森林カーボンパートナーシップ基金（FPCF）による REDD+準備フェーズ及び森林投資プログラム（FIP）による実施段階の支援が行われている。援助機関等による主要なプログラムは、3.(9)の 2)に記載のとおり。

３．事業概要

(1) 事業目的（協力プログラムにおける位置づけを含む）

本事業は、モザンビークにおける国家森林モニタリングシステム(NFMS)の運用と、カーボデルガド州における REDD+を含む持続可能な森林管理のための州政府の計画プロセスの推

進と、それに基づく持続可能な森林管理及びREDD+パイロット活動の試行を図るものである。これによって、モザンビークにおいてNFMSの運用によるREDD+及び持続可能な森林管理の実施と、カーボデルガド州におけるREDD+事業も通じた持続可能な森林管理の促進に寄与するものである。

(2) プロジェクトサイト／対象地域名：
対象地域は、成果1（国家森林モニタリングシステムの運用化）については全国、成果2（州政府の計画プロセスの推進）及び成果3（州、地域組織、地域住民の能力強化）はカーボデルガド州である。なお、パイロットサイト実施対象郡（1～2郡程度）は、プロジェクト開始後に、フィールド調査、関係者へのコンサルテーション、予算等を勘案して決定する。

(3) 本事業の受益者（ターゲットグループ）： MITADER及びカーボデルガド州及びカーボデルガド州のパイロット地域住民（プロジェクト開始後に特定する）

(4) 事業スケジュール（協力期間）： 5ヵ年（2019年3月～2024年3月）

(5) 総事業費（日本側）： 約4.8億円

(6) 相手国側実施機関： 中央レベルでは、土地・環境・農村開発省（MITADER）が実施機関であり、同省内の森林総局（DINAF）が責任部署として、他の部署等と調整しつつ実施する。カーボデルガド州では、州土地・環境･農村開発局である。

(7) 投入（インプット）
1) 日本側：（合計：75M/M程度）
①JICA 専門家派遣（短期専門家）：総括/森林・気候変動政策、REDD+/資金動員、森林モニタリング（リモートセンシング）、森林モニタリング（インベントリ）、地方森林管理計画・実施、森林管理/REDD+パイロット、業務管理/森林管理/セーフガード、その他の専門家及びローカル専門家
②本邦研修受入
③機材供与：車輌、オートバイ、マウンテンバイク、コンピュータ、GPS機器及びその他必要な資機材
④現地活動経費の一部負担
2) モザンビーク側：
①カウンターパート（C/P）の配置： プロジェクト・ダイレクター、プロジェクト・マネージャー、フィールド・ダイレクター、フィールド・マネージャー、中央レベルのC/P、州レベルのC/P
②施設の提供：JICA専門家用執務室など
③ローカル経費の負担：事務及び活動経費

(8) 環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1) 環境に対する影響/用地取得・住民移転

① カテゴリ分類（A,B,C を記載）: C

② カテゴリ分類の根拠：

本事業は、持続可能な森林管理や REDD+推進に必要な国家森林モニタリングシステム（NFMS)の運用化を図り、森林管理のための州政府の計画プロセスを推進し、州政府や地域住民等の持続可能な森林管理及び REDD+に関するパイロット活動実施能力強化を図るものであり、用地取得や住民移転、施設建設などは行わない予定であることから、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」（2010 年 4 月公布）上、環境への望ましくない影響は最小限であると判断される。

③ 環境許認可： 特に必要としない。

④ 汚染対策： 特に必要としない。

⑤ 自然環境面： より良い森林管理・保全に寄与することが期待される。

⑥ 社会環境面： 特に悪影響を与える活動は含まれない。

⑦ その他・モニタリング： 特になし。

2) ジェンダー平等推進・平和構築・貧困削減： 森林資源の利用上、一般的に男性の方が経済的により優位にあることから、事業開始後、ジェンダーの視点に立った活動を含めるべく先方政府と協議を行う。

3) その他： 本事業は、気候変動対策（緩和策）に資する事業に位置付けられる。

(9) 関連する援助活動

1) 我が国の援助活動

＜広域案件＞

① 南部アフリカ地域持続可能な森林資源管理・保全プロジェクト（技プロ、2015～2020 年）

＜モザンビーク案件＞

② 森林保全計画 （環境プログラム無償、2010～2018 年）

③ 森林管理能力強化アドバイザー（個別専門家、2010～2017 年）

④ REDD+モニタリングのための持続可能な森林資源情報プラットフォーム整備プロジェクト（開発計画調査型技プロ、2013～2018 年）

⑤ 環境保全関連課題別研修（通年）

2) 他ドナー等の援助活動

(1) 世銀 FCPF 準備資金及び追加資金支援（2014～2018 年、8.8 百万ドル）: 国家 REDD+戦略策定、森林ガバナンスの強化、全国の FREL/FRL、8 州の森林インベントリ実施等

(2) 世銀 Conservation Area for Bio-Diversity Development Project （2015～2018 年、46 百万ドル）: キリンバス国立公園（カーボデルガド州）及びジレ国立公園（ザンベ

ジア州）における保護区管理

(3) FAO National Forest Monitoring and Information System for a transparent and truthful REDD-plus （2014～2017 年、5 百万ドル）: 全国レベルの森林モニタリングツールの開発や人材育成

(4) FAO Payment for Ecosystem Services to Support Forest Conservation and Sustainable Livelihoods（2014～2019 年、15 百万ドル）: ザンベジア州 ジレ国立公園における生態系サービスへの支払い（PES）を通じた生物多様性保全及び気候変動緩和策

その他、AfD、世界自然保護基金（WWF）、国際環境研究所（IIED）など、多くの機関が森林保全及び REDD+に関する取組を支援している。

４．協力の枠組み

(1) 協力概要

1) 上位目標と指標

モザンビークにおいて国家森林モニタリングシステム（NFMS）の運用による REDD+及び持続可能な森林管理の実施と、カーボデルガド州における REDD+事業も通じた持続可能な森林管理(SFM)が促進される。

指標：

① NFMS の継続的な運用を示す文書が作成される（NFMS 文書の改訂版や隔年更新報告書(BUR[3])等 UNFCCC に報告する公式文書等におけるアップデートされた NFMS 運用に関する記載等）

② カーボデルガド州のパイロットサイト以外の X 箇所以上において、REDD+を含む森林減少・劣化対策事業が実施されている

2) プロジェクト目標と指標

土地・環境・農村開発省（MITADER）及びカーボデルガド州政府の持続可能な森林管理及び REDD+を実施するための能力が強化される。

指標：

以下の指標は、プロジェクト終了時までに達成されることが期待される。

① NFMS が公式化される（NFMS 文書の作成と UNFCCC への提出や、隔年更新報告書(BUR)の技術添付文書などにおける NFMS に関する記載等）

② カーボデルガド州における対象とする森林減少要因（焼畑等）による森林減少レベルの定期的なモニタリングが実施される（2 年に 1 回等）

3) 成果

[3] 国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に加盟している開発途上国が、2 年に 1 回の頻度で UNFCCC の下での締約国会議に提出しなければならない報告書

成果１： 国家森林モニタリングシステム（NFMS)が、REDD+と持続可能な森林管理のために運用されている。
成果２： REDD+を含む持続可能な森林管理のための州政府の計画プロセスが推進される。
成果３： カーボデルガド州政府、関連地域組織及び地域住民において、持続可能な森林管理及びREDD+に関するパイロット活動が試行される。

５．前提条件・外部条件

(1) 前提条件
（無し）
(2) 外部条件（リスクコントロール）
1) プロジェクト目標達成のための外部条件
・ プロジェクト活動が、本プロジェクトに参加する組織間の有効な調整･協働の下で実施される。
・ 地域組織及び地域住民がREDD+パイロット活動実施について良く理解し、協働する。
2) 上位目標達成のための外部条件
・ 森林・REDD+政策に関わる政府組織に大きな改編が行われない。

６．評価結果

本事業は、モザンビークの森林管理及びREDD+の取り組みに関する政策とニーズ、日本の開発協力政策と十分に合致しており、また計画の適切性が認められることから、実施の意義は高い。

７．過去の類似案件の教訓と本事業への活用

(1) 類似案件の評価結果
ベトナム国北西部水源地域における持続可能な森林管理プロジェクト(2010年～2015年)の終了時評価の教訓には以下の点が示されている(本事業に活用可能と考えられる事項を抜粋)。
①ビジョンと戦略の共有：プロジェクト開始時には、関係者間で明確なビジョンと戦略を共有して活動を実施することが重要である。特に、「REDD+の促進」が十分に理解、共有されなければならない。
②政策・法律の把握：プロジェクトの実施段階では、土地や森林管理に関連する政策と法律の進捗を把握し、活動を実施する際には必要に応じて反映・活用されるべきである。
③ドライバー分析：プロジェクトの初期段階では、森林保全と管理に影響を与える原因(ドライバー）分析を行い、森林保全と管理に資する生計向上策を含めた対策を特定することが必要である。
④生計向上支援：プロジェクトによる村民への支援は、森林から直接的な利益を得られる活動に焦点をあてる。森林に関係ない生計向上活動の導入は、地域の状況や費用･効果、住民の能力に合わせて選択すべきである。

また、住民への生計向上支援については、2014 年に当機構が実施した「テーマ別評価 評価結果の横断分析自然環境保全分野における実践的なナレッジ教訓の抽出」において、下記の結果も得られている。

自然環境保全への住民の「動機づけ」: 住民参加型アプローチを自然環境保全へ適用する際に、特に対象地域の住民の保全への関心が低い場合、もしくは関心はあっても、積極的な関与を促すことが難しい場合には、短期的インセンティブなどを通じて、長期的な保全活動への住民参加の促進を工夫する。ただし、その持続性については十分留意が必要となる。

(2) 本事業への教訓

①ビジョンと戦略の共有：本プロジェクトは開発計画調査型技術協力「REDD+モニタリングのための持続可能な森林資源情報プラットフォーム整備プロジェクト (2013 年～2018 年)」の後継プロジェクトとなる。先行プロジェクトでは情報プラットフォームの整備を中心に協力を行ったが、今回のプロジェクトでは先行で整備したプラットフォームを活用しつつ持続可能な森林管理や REDD+の実施能力を向上させることを目的としており、このような目的や実施方法についてプロジェクト開始時に、本関係者に説明し、十分に理解を得た上でプロジェクト活動を進める。

②政策・法律への成果の反映：モザンビーク政府は森林法の改定を進めており、プロジェクトにおいてはこのような法律の改定をはじめとする森林管理及び REDD+に関する政策・計画の進捗状況を継続的に把握しつつ、本プロジェクトの成果を関連政策・計画に反映させていく。

③ドライバー分析及び生計向上支援：本プロジェクトでは自然資源管理計画作成及び対策の試行といったパイロット活動を実施する予定であり、実施に当たっては森林減少の原因の特定、持続可能な森林管理に資する生計向上策の特定、森林から直接的な利益を得られる活動に焦点を当てるといった点を十分に勘案する。なお、本プロジェクトは将来の REDD+成果払による利益分配を視野に入れたモデル化事業であるが、実際の成果払まで数年かかり、また、成果払が得られない場合も想定しうることから、住民の森林保全の動機づけのためにも生計向上支援を十分行う。

８．今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる主な指標

4. (1)のとおり。

(2) 今後の評価計画

事業終了 3 年度： 事後評価の実施

以上

年2回刊　Vol.4
2023年9月特別号

F-REDD 2 Newsletter

The Project for Enhancing Sustainable Forest Management in Collaboration with REDD+ Programs and REDD+ Funds (F-REDD 2)
Feb 2022 - Jan 2027

ラオス国効果的なREDD+資金活用に向けた持続的森林管理能力強化プロジェクト（F-REDD 2）
本プロジェクトはREDD+成果支払いの獲得、および同資金による事業実施を支援しつつ、ラオス森林セクターの今後の優先課題である森林戦略2035の実施体制の強化及びREDD+関連活動のさらなる推進・強化を通じて、ラオスにおける持続的森林管理の能力強化することを目的としています。

森林モニタリング特集：ラオスの森林モニタリング強化のための「県森林減少早期モニタリングシステム」を紹介します！

■　森林モニタリングシステムの役割と目的

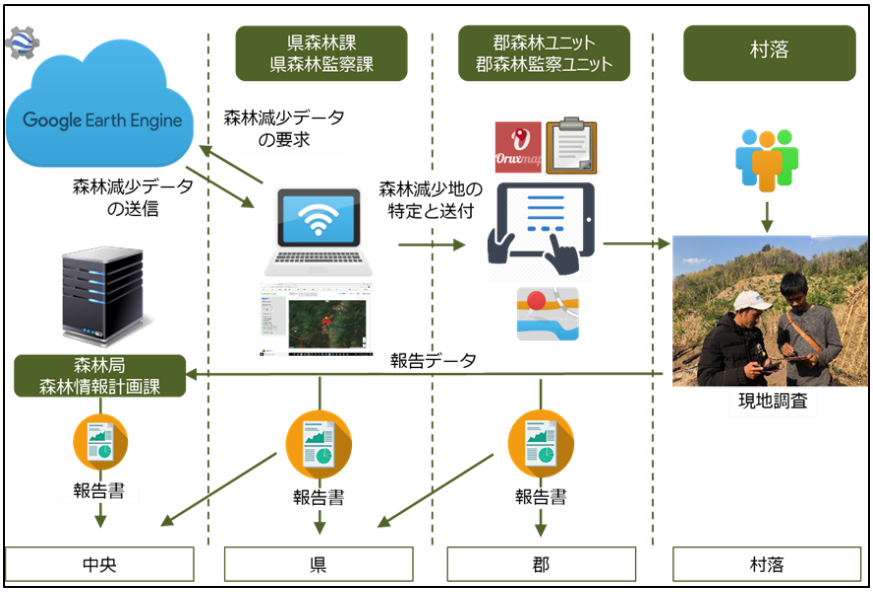
ラオス政府は森林率70％の達成をめざし、森林の保全や回復に向けて様々な取り組みを進めています。しかし商品作物栽培や牧畜の拡大、その他の開発事業などにより、保全すべき森林が伐開され、農地などに転用されるケースが散見されます。このような森林減少を抑制するためには、保全すべき森林を対象としたモニタリングを強化する必要がありますが、森林モニタリングに向けた体制や手法が十分整備されていないという課題があります。このような背景から、ラオスでは、様々な開発パートナーの支援を受けて、森林モニタリングの強化を図っています。JICA・F-REDD 2プロジェクトでは、衛星情報に基づく準リアルタイムの土地利用変化の監視と、現地踏査を組み合わせた、森林モニタリングツール「県森林減少早期モニタリングシステム（PDMS）」を開発し、地方県への導入を進めています。

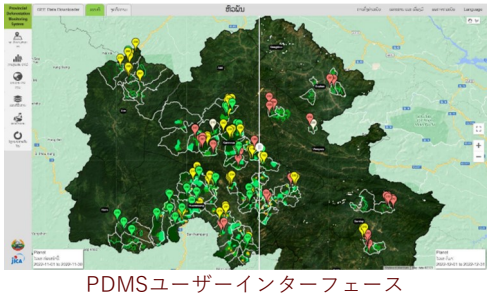
■　PDMSによるモニタリングの対象

PDMSは、ラオス全県のすべての森林保全対象地で利用でき、現在は、主に国や県が指定している国立公園や保全林、保安林、生産林を対象とした森林モニタリングに活用されています。またPDMSは、モニタリング対象の森林で発生した0.2ヘクタール以上の森林減少地を検出するように設計しています。

■ PDMSの概要

PDMSを用いた森林モニタリングは、主に３つのステップに分かれています。





PDMSユーザーインターフェース

GEEによって抽出された森林減少地（赤色）

① 衛星画像解析により森林減少地を特定する（担当：県森林官）

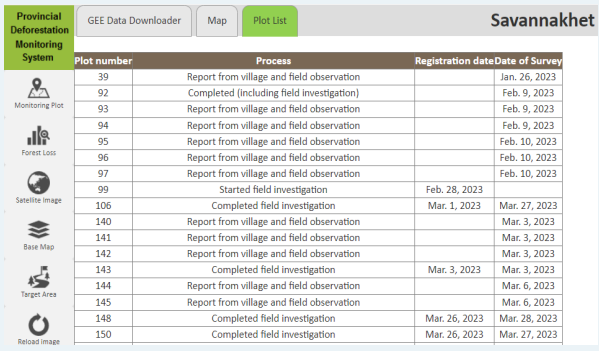
Google Earth Engineというクラウドベースの地理空間分析プラットフォームにおいて、衛星画像（Sentinel-2 MSI Level-2A：地上分解能10m、回帰日数5日）から機械学習スクリプトを用いて半自動的に、0.2ヘクタール以上の森林減少地を検出します。さらに高解像度の衛星画像（NICFI Planet月次画像）を用いて、保全対象の森林エリアで森林減少が発生しているかどうかを個別に目視で検証します。このプロセスで森林減少地点を特定した上で、その地点データを、郡森林官のメールアカウントに送付します。これらの作業は、県森林官が行い、ノートパソコンのWebアプリケーション上で実行可能です。

② 森林減少地を踏査し現況を確認する（担当：郡森林官）

県森林官から送付された森林減少地点データを受領した郡森林官は、タブレット端末上の地図アプリでその減少地を表示し、森林減少が発生した村に向かいます。さらに村人と共に森林減少地点を確認した上で、タブレット端末上（あるいはスマートフォン）の調査票アプリを用いて、調査日時、森林減少発生地点、転用目的、面積など、必要なデータを入力します。またその際に、必要に応じて、違反者に対して伐採をやめるように勧告するなどの指導を行います。

③ 森林減少モニタリングの結果を取りまとめ、報告する

現地で記録されたデータは、中央政府のサーバーに半自動的に送信され、保管されます。関係部局は必要に応じてこれらの情報を集計し、報告書を作成します。



Provincial Deforestation Monitoring System | GEE Data Downloader | Map | Plot List | Savannakhet

Monitoring Plot | Forest Loss | Satellite Image | Base Map | Target Area | Reload Image

Plot number	Process	Registration date	Date of Survey
39	Report from village and field observation		Jan. 26, 2023
92	Completed (including field investigation)		Feb. 9, 2023
93	Report from village and field observation		Feb. 9, 2023
94	Report from village and field observation		Feb. 9, 2023
95	Report from village and field observation		Feb. 10, 2023
96	Report from village and field observation		Feb. 10, 2023
97	Report from village and field observation		Feb. 10, 2023
99	Started field investigation	Feb. 28, 2023	
106	Completed field investigation	Mar. 1, 2023	Mar. 27, 2023
140	Report from village and field observation		Mar. 3, 2023
141	Report from village and field observation		Mar. 3, 2023
142	Report from village and field observation		Mar. 3, 2023
143	Completed field investigation	Mar. 3, 2023	Mar. 3, 2023
144	Report from village and field observation		Mar. 6, 2023
145	Report from village and field observation		Mar. 6, 2023
148	Completed field investigation	Mar. 26, 2023	Mar. 28, 2023
150	Completed field investigation	Mar. 26, 2023	Mar. 27, 2023

■ PDMSの主要な利点

PDMSは、今までの森林モニタリングの方法を劇的に変化させる画期的なツールとして評価されています。

- ユーザーからの声 -

「以前は、モニタリングは村人からの通報があった時にのみ行われており、違法な森林伐採の実態を知ることは非常に困難でした。PDMSは森林伐採地をより正確に特定するのに役立っています。」(ルアンプラバン県森林官)

「PDMSはスマートフォンをつかって、標準化された調査票に沿って必要な情報を記録し、いままでより簡単に調査結果を報告することができます！」(ウドムサイ県・郡森林官)

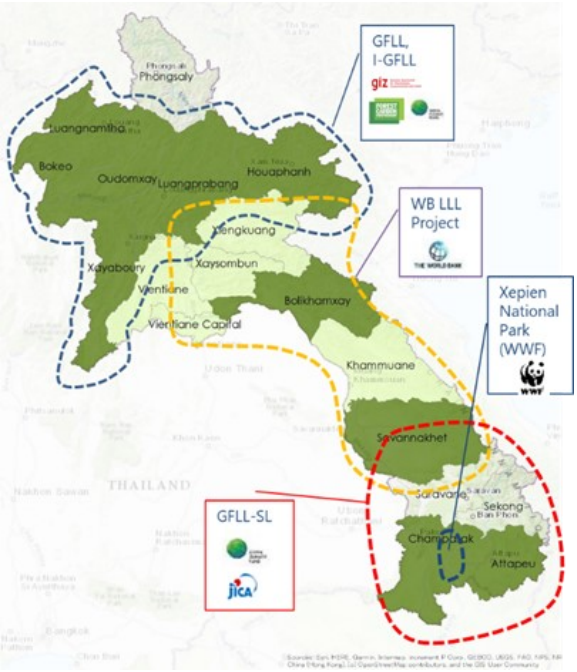
「PDMSをつかって、村の保全林で発生した農地の開墾を特定することができました。また 違反者には行政指導を行い、規則に従って罰金を徴収しました。罰金は村の基金に貯められ、村の森林パトロール活動に使われることになりました。」(ウドムサイ県森林官)

■ PDMSの成果と進捗状況

PDMSは、2019年より、ラオス北部のルアンプラバン県とウドムサイ県で導入を開始しました。その後、森林モニタリングに有効なツールとして、PDMSを採用する県が拡大しつつあります。他ドナーとの協力の下、2023年6月時点で、ラオス全18県中10県がPDMSを利用した森林モニタリングを実施しています。また、2024年のPDMSの導入にむけて、LLLプロジェクト（世界銀行）との対象地域であるビエンチャン県、サイソンブン県、シェンクワン県、カムアン県で、PDMS導入研修を予定しています。

PDMS対象地	協調ドナー
ラオス北部 ルアンプラバン県、フアパン県、サヤブリ県、ウドムサイ県、ボケオ県、ルアンナムター県	I-GFLL（GCF/GIZ） GFLL（世界銀行 FCPF排出削減プログラム）
ラオス中部 ボリカムサイ県、サバナケット県	LLL（世界銀行） F-REDD 2 (JICA)
ラオス南部 セピエン国立公園 (チャンパサック県・アタプー県)	FORREDD（WWF）

(2023年6月時点)



■ 今後の展開

F-REDD　2はPDMS技術マニュアルも作成して、各県へのPDMS導入研修を支援し、また、研修実施後も、PDMSを用いた森林モニタリングを定着させるために、各ドナーと協力しながら、技術的なフォローアップも支援しています。
また、PDMSをより使い勝手のよい森林モニタリングツールとして活用してもらうために、ユーザーの要望を踏まえたシステムの改良・改善に取り組みつつ、ドローン導入による森林モニタリング業務の効率化や、モニタリング報告書の出力方法の改善、調査結果の「見える化」に向けたダッシュボードの作成などに取り組む予定です。

Contact

F-REDD 2/DOF Office
Kouvieng Street, Sisaket Village,
Chanthabouli District,
Vientiane Capital, Laos
Tel & Fax: 021(22)2536
F-REDD 2/FIPD Office
Phontong Swath Village, House No.
386, Unit 44, Chanthabouly District,
Vientiane, Laos

Ministry of Agriculture and Forestry

Japan International Cooperation Agency

Website

Facebook