

平成24年度

REDDプラスに係る
森林技術者講習会
テキスト
基礎講習

第1章 REDDプラス概論

松本光朗
(独)森林総合研究所 REDD研究開発センター

第2章 国際的な議論の趨勢と二国間取引
の状況

平塚基志
三菱UFJリサーチ&コンサルティング

第3章 森林炭素モニタリングの設計と参照
レベルの要件

鈴木 圭
(一社)日本森林技術協会

第4章 森林炭素モニタリングの基礎

金森匡彦 他
(一社)日本森林技術協会

第5章 森林炭素量の把握

金森匡彦
(一社)日本森林技術協会

第6章 REDDプラスにおけるリモートセンシ
ングの役割

林 真智
(独)国立環境研究所

第7章 リモートセンシングを用いた森林面積
の把握手法

笹川裕史
(一社)日本森林技術協会

第8章 森林炭素変化量の推定

鈴木 圭
(一社)日本森林技術協会

第9章 今後に向けての課題

松本光朗
(独)森林総合研究所 REDD研究開発センター



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第1章

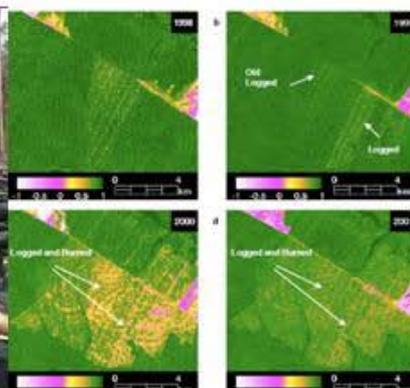
REDDプラス概論

独立行政法人 森林総合研究所
REDD研究開発センター
松本光朗





第1章 REDDプラス概論



GOFC_GOLD SourceBook

Kanninen, M. et al., CIFOR

松本光朗

(独) 森林総合研究所 REDD研究開発センター





目次

- REDD+とは何か？
- REDD+科学的背景
- REDD+の経緯
- REDD+の論点
- REDD研究開発センターの活動





I. REDD+とは何か？



REDDプラス

- REDD+ (REDD-plus)
 - 森林減少・劣化による排出削減、森林保全・持続可能な森林管理・森林炭素蓄積の増強の役割
 - 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
- REDDは森林減少・劣化による排出削減、
- +は森林保全以降の吸収の維持・増加の活動

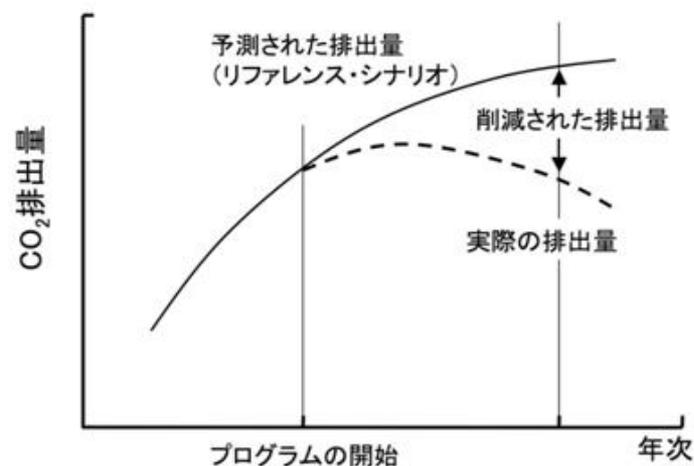


REDDプラス

- 炭素排出の20%が森林減少の削減と劣化によるもの
- 京都議定書は途上国の森林減少・劣化を削減する仕組みをもたない
- 途上国の森林減少・劣化を止める仕組みが必要
- REDD+は、森林減少・森林劣化からの排出の削減や、炭素吸収を行えば、インセンティブ（報償）が得られる仕組み
- 生物多様性の維持、地域住民のためにも有効



CIFOR「木はお金で育つか？」より引用





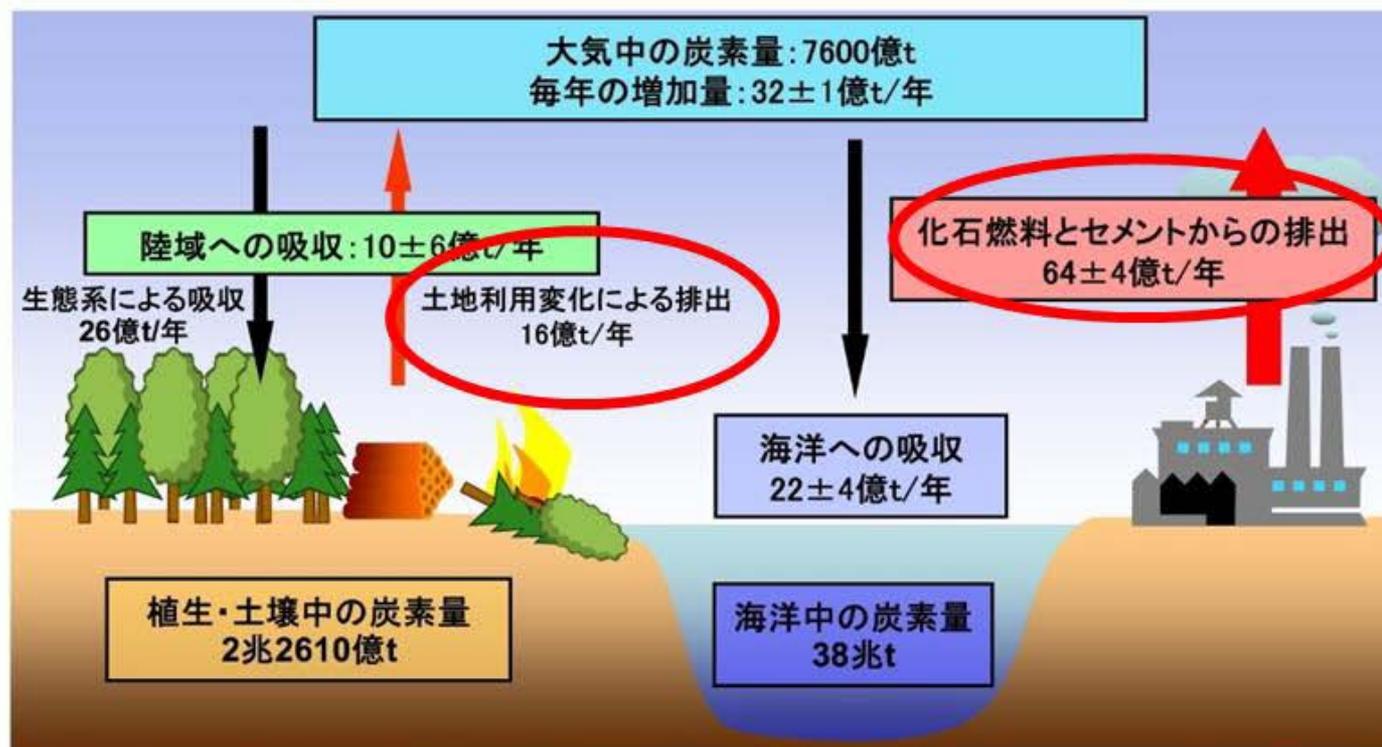
2. REDD+の科学的背景



地球上の炭素の動き

- 1990年代、化石燃料等からのCO₂排出は人間活動による総量の約80%であり、土地利用変化によるものは20%であった。

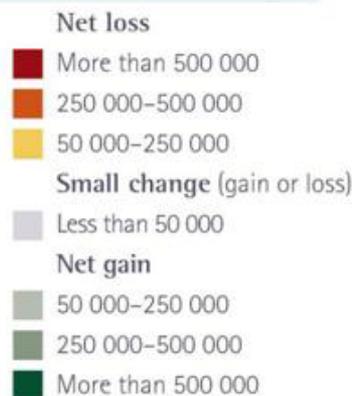
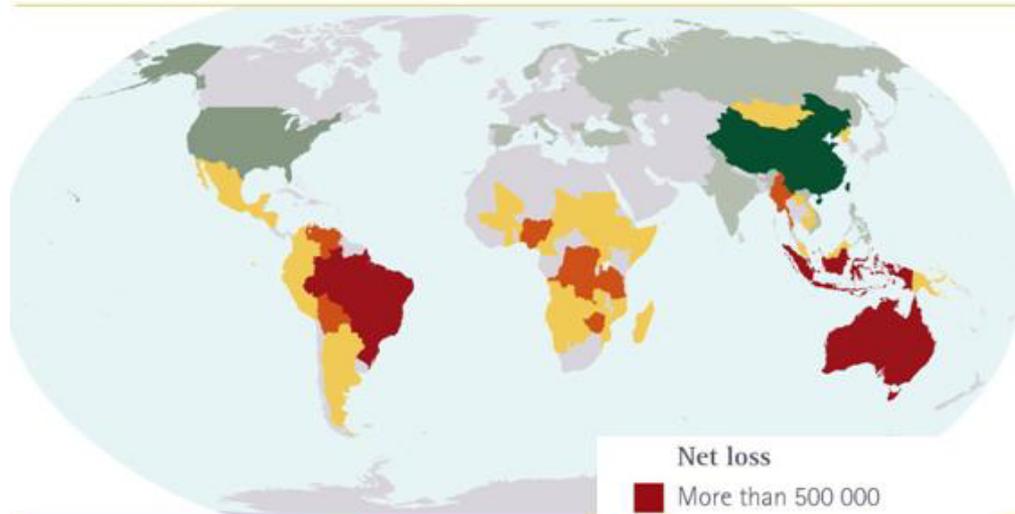
地球上の炭素循環(1990年代)



IPCC第4次評価報告書 第1作業部会表7.1より図化

世界の森林面積の変化

Net change in forest area by country, 2005–2010 (ha/year)



2005-2010年における森林面積変化率
FAO 2010年世界森林資源報告書より

- 世界の森林は520万ha/年の減少 (2005–2010)
- 森林減少は途上国に集中 (豪は森林火災による)
- ただし、途上国の森林の状態は一様ではない
- 大きな森林減少
 - ◇ ブラジル、インドネシア、2国のみで世界の60%。
- 森林減少
 - ◇ 熱帯アフリカ各国
- 安定化
 - ◇ タイ、インド、マレーシア
- 森林面積増加
 - ◇ 中国、ベトナム、チリ

Forest Cover Transition Curve

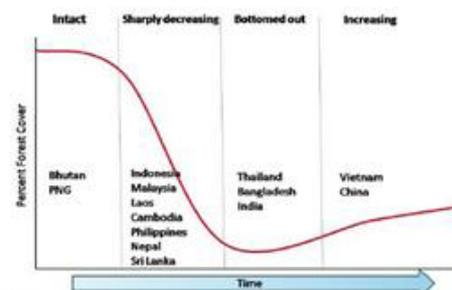


Figure 7. Diagram of the typical forest transition curve, showing relative deforestation over time within Asian countries.

森林減少が進んでいる国

FAO 2010年世界森林資源報告書

Country	Annual change 1990–2000		Country	Annual change 2000–2010	
	1 000 ha/yr	%		1 000 ha/yr	%
Brazil	-2 890	-0.51	Brazil	-2 642	-0.49
Indonesia	-1 914	-1.75	Australia	-562	-0.37
Sudan	-589	-0.80	Indonesia	-498	-0.51
Myanmar	-435	-1.17	Nigeria	-410	-3.67
Nigeria	-410	-2.68	United Republic of Tanzania	-403	-1.13
United Republic of Tanzania	-403	-1.02	Zimbabwe	-327	-1.88
Mexico	-354	-0.52	Democratic Republic of the Congo	-311	-0.20
Zimbabwe	-327	-1.58	Myanmar	-310	-0.93
Democratic Republic of the Congo	-311	-0.20	Bolivia (Plurinational State of)	-290	-0.49
Argentina	-293	-0.88	Venezuela (Bolivarian Republic of)	-288	-0.60
Total	-7 926	-0.71	Total	-6 040	-0.53



インドネシアのアブラヤシ林の開発

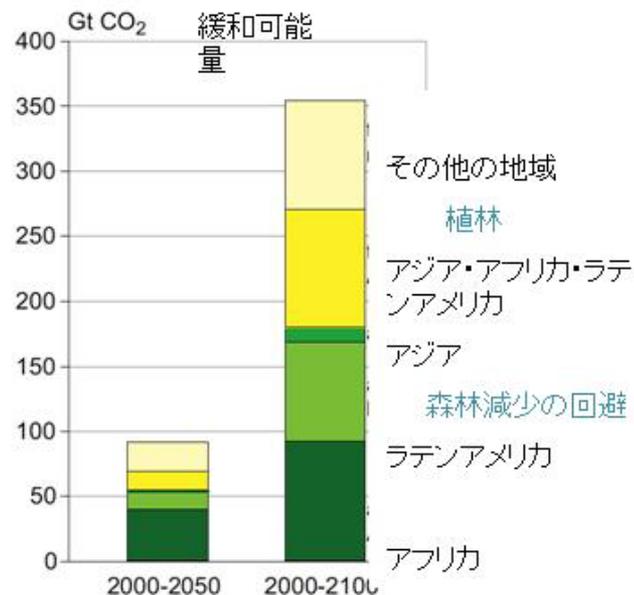
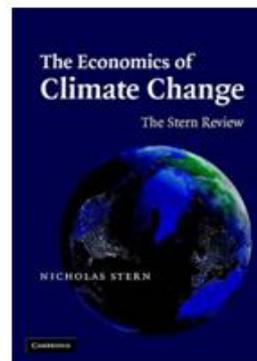


Kanninen, M. et al., Do trees grow on money?, CIFOR



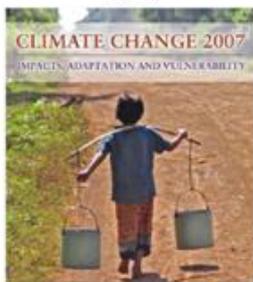
排出削減対策としての 森林減少及び森林劣化の削減

- スターン・レビュー
 - 森林減少の抑制は温室効果ガスを削減する上できわめて費用対効果が高い
- IPCC第4次報告書
 - 世界の緩和可能量の65%は熱帯地域にあり、全体の50%を森林減少及び森林劣化による排出削減によって達成できる。
- 科学的視点からは、森林減少・劣化による排出の削減の必要性が、経済的視点からはコストが他の対策よりも安くすむとの期待が増大。
- しかし、実際には制度化やモニタリングのコストが大



森林分野の緩和可能量 IPCC第4次評価報告書第3作業部会より

気候変動 2007
影響、適応と脆弱性
日本語版



気候変動に関する政府間パネルの
第4次評価報告書に対する第2作業部会の報告

排出削減ポテンシャルの比較

	総排出量 t-CO ₂ /yr	クレジット・ ポテンシャル (50%を仮定) t-CO ₂ /yr	備考
IPCC AR4 (2007)	11億	6億	2.7US\$/tCO ₂ の場合
Nancy et al. (2012)	30億	15億	
FRA2010 (2010)	29億 (18億)	15億 (9億)	掲載された炭素量から算出。カッコはバイオマスのみの場合
FRA2010 (2010) の 東南アジア	10億	5億	掲載された炭素量から算出
(参考) 日本の 総排出量 (2010)	12.6億		





3. REDD+の経緯



京都議定書

- 気候変動枠組条約（UNFCCC）第3回締約国会合（COP3、京都）にて合意
- **先進国**に温室効果ガス排出削減目標を義務化
- 1990年を基準に第1約束期間（2008-2012）において先進国で約5%の削減
 - 各国ごとに削減目標：日本6%、EU8%、米国7%（後離脱）
- 排出量／吸収量の算定、報告義務、吸収源活動
- 京都メカニズム（目標達成のための柔軟措置）
 - 共同実施：Joint Implementation
 - クリーン開発メカニズム：Clean Development Mechanism
 - 森林分野ではAR-CDM（新規植林・再植林を対象）
 - 排出量取引：Emission Trading





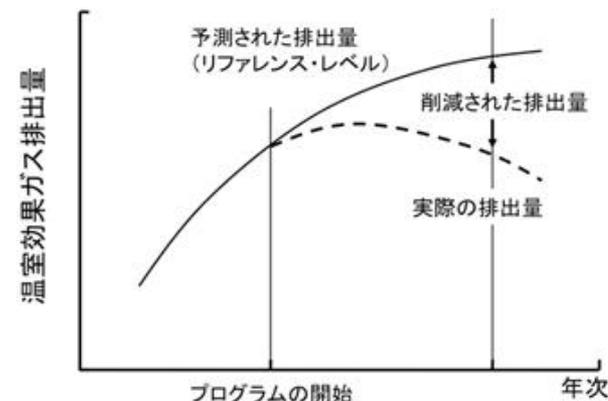
Montreal 2005

REDDプラスの始まり

- COPIIモントリオール会合(2005年)において、パプアニューギニアとコスタリカがAvoiding Deforestation (森林減少の回避)を提案

ポジティブインセンティブ

- ・市場メカニズム
- ・森林減少の削減を行い、排出削減量をクレジットする
- ・事業ではなく国を単位にクレジット化
- ・参照シナリオが重要



- その後、REDD (Reducing Emission from Deforestation in Developing countries : 森林減少・劣化による排出削減) へ。
 - 当初はREDDの2つめのDは発展途上国を表すD



REDDプラスへの経緯

- 2007年のCOPI3バリ会合
 - REDDのDDには森林減少と並列して森林劣化（Forest Degradation）と再定義
 - ・ ブラジル、インドネシア、熱帯アフリカ諸国以外の多くの途上国はこの枠組みに参加できないため
 - 「バリ行動計画」
 - ・ 森林減少・劣化による排出削減と並んで、「保全、森林の持続可能な管理、森林の炭素貯留量の増加」が明記
- COPI4ポズナン会合（2008年）
 - 合意書に保全、持続可能な森林経営、炭素増加が明記
 - このあたりからREDD+と呼ばれるようになった
 - ・ REDDだけでは森林保全政策や植林政策を進めている途上国が参加できないため
- COPI5でのコペンハーゲン合意（2009年）
 - REDD+（REDD- plusレッド・プラス）が明記
 - ・ 2012年以降の次期約束期間に向けて、途上国の森林減少・劣化による排出を抑制する仕組みとしてREDD+が議論されている。



UNITED NATIONS
CLIMATE CHANGE
CONFERENCE
POZNAN 2008
DEC 7-DEC 18
2009



REDDプラスの経緯 (2/2)

- COPI6でのカンクン合意 (2010年)
 - カンクン合意は、その中でREDDプラスの概要を示した。
 - REDD+の対象活動、途上国への要請、セーフガード
- COPI7ダーバン会合 (2011年)
 - 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
 - 森林参照レベル (参照排出レベル) のモダリティについて合意



カンクン合意（COP16, 2010）での REDDプラスに関する決定事項の要点

- 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
- 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
- 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
- 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





REDDプラスの方法論についての合意（COP15, 2009）

- 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地上調査の組み合わせによる森林炭素の推定
- 活動を評価するための基準である参照レベルは、歴史的データにもとづき、各国事情による調整を考慮





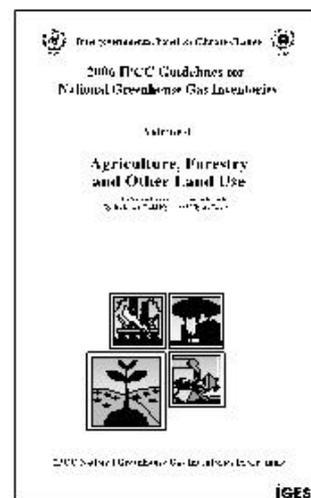
4. REDD+の論点

- (1) 方法論
- (2) 政策論



方法論

- 方法論
 - 温室効果ガス排出量の観測手法や算定方法
 - REDDプラスでは、森林炭素蓄積量変化のモニタリング手法や、排出削減量の算定手法を示す
 - 同じような言葉に「スタンダード」
- SBSTA（科学および技術の助言に関する補助機関会合）31合意(COPI5,2009)
 - 算定手法として最新のIPCCガイドラインを用いる。
 - 現状では、2006年AFOLU（Agriculture, Forestry and Other Land Use）ガイドライン
 - 堅牢で透明性を持つ森林モニタリングシステムの構築を要請
 - 炭素変化量はリモートセンシングと地上調査の組み合わせにより推定





森林の炭素の推定方法

$$\text{Carbon stocks (C-ton)} = \sum \text{Forest area}_i \text{ (ha)} \times \text{Carbon density}_i \text{ (C-ton/ha)}$$

森林減少により変化

リモートセンシングで観測

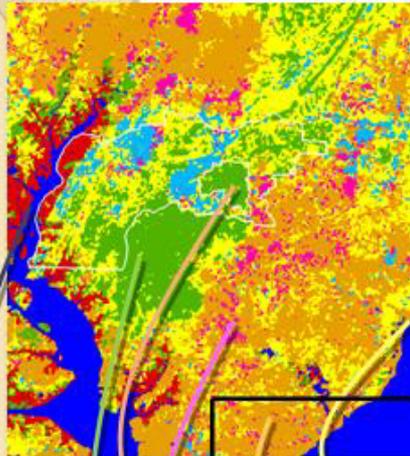
森林劣化・保全・持続
可能な森林経営・炭素
蓄積増強により変化

繰り返しの地上調査で観測



リモセンによる森林面積調査と地上調査との結合の例

Y Year



- 地上調査
 - それぞれの森林タイプのサンプルプロットにて地上部バイオマスの調査
- リモートセンシング
 - 土地利用、森林タイプ区分図を作成



	Forest type A	Forest type B	Forest type C
Undisturbed	mean AGB \pm SE	mean AGB \pm SE	mean AGB \pm SE
Disturbed	mean AGB \pm SE	mean AGB \pm SE	mean AGB \pm SE



森林炭素量推定の2つの方法

- 幹材積を用いた方法
 - Carbon density (C-t/ha) = Stem volume (m³/ha) × D × BEF × (1+RS ratio) × 0.5
 - D: 比重、BEF: 拡大係数、RS ratio: 地上部・地下部比
 - 統計や収穫表に適用しやすい
 - 国別インベントリ報告に用いている国が多い（日本も）
- アロメトリ式（相対成長式）による方法
 - biomass of a tree = a × X^b (for example)
 - Carbon density (C-t/ha) = 0.5 × ∑ b_i / sample area (ha)
 - サンプルングによる地上調査結果に適用しやすい
 - 国別インベントリ報告では、サンプルングによる森林調査を行っている国が用いている





炭素変化量の推定手法

Estimation method of carbon stock change

Default Method (Gain-Loss Method) 増加-損失法

Carbon stock changes 炭素蓄積変化

$$= \text{Gain by growth} - \text{Loss by disturbance}$$

成長による吸収 - 攪乱による排出



Not easy to estimate

蓄積変化法

簡単ではない

Stock Change Method (Stock-Difference Method)

Carbon stock changes 炭素蓄積変化

$$= (\text{Carbon stocks}_{t_2} - \text{Carbon stocks}_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

t2時の炭素蓄積 - t1時の炭素蓄積

gives feasible estimation 実行可能性が高い

requires Repeated Ground Measurement

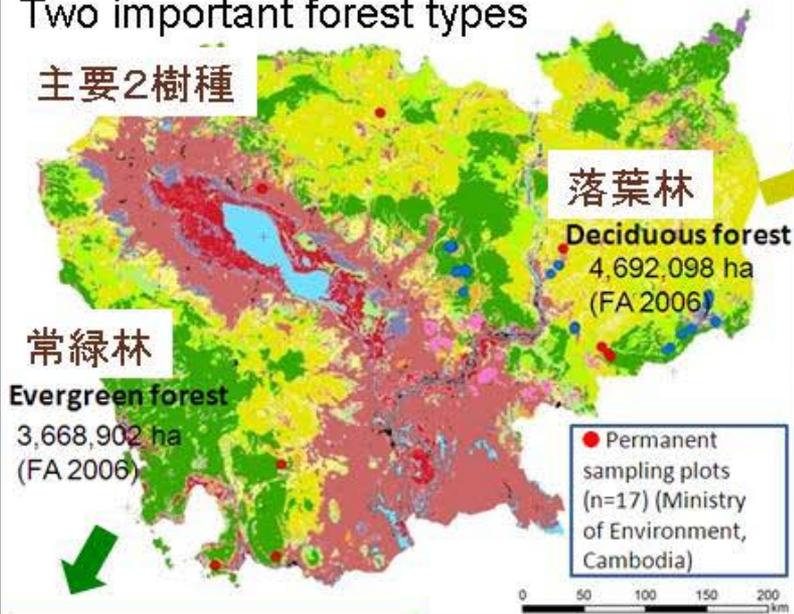
繰り返しの地上調査が必要



カンボジアでの予備的研究の結果 Results of a Preliminary Research Project in Cambodia

Two important forest types

主要2樹種



By Eriko Ito



固定プロット（PSP）データとアロメトリ式によるバイオマス量の推定

- 100点のパーマネント・サンプルプロット（PSP）
 - 85点：常緑林（混交林も含む）
 - 15点：落葉林
 - 1998（第1回測定）
 - 2000-2001（第2回測定）
 - 2010-2011（第4回測定） } 今回の推定で利用
- プロットサイズ: 50 m × 50 m (2,500 m²)
- DBH ≥ 7.5cm の林木を測定対象、DBH, 樹種を測定s
- 以下の算定式と係数を用いてバイオマスを推定
Tree biomass = $4.08 \times ba^{1.25} \times D^{1.33}$ (n = 530, R² = 0.981, p < 0.0001)
Applicable generically to tropical and subtropical trees with 1 < DBH < 133 cm.

ba: basal area (calculated from DBH), m²;

D: basic density (determined with information of tree species);

Carbon fraction: 0.5

Kiyono et al. (2011)



カンボジアの森林炭素量の推定 (暫定値)

Forest type	Forest area In 2006 ha	Averaged carbon stock In 2000-2001 Mg-C ha ⁻¹	Total carbon stock Tg-C
Evergreen forest*	3,668,902	163.8 ± 7.8	601.0 ± 28.7
Deciduous forest	4,692,098	56.2 ± 6.7	263.9 ± 31.3
Total	8,361,000		864.9 ± 42.5

* Including Semi-evergreen forest.
Carbon stocks are shown in mean ± standard error.

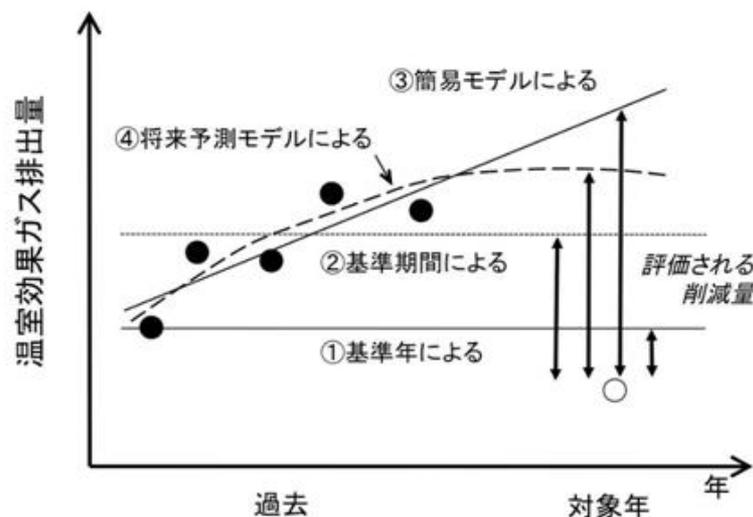
Samreth et al. (2012)



参照レベル (REL/RL)

- 評価される削減量は、参照レベルの設定方法で大きく変化する
- 設定方法は決まっておらず、異なった考え方がある
 - 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
 - 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、国内で混在するという考え方
 - 柔軟性を持たせるべきという意見が多い

代表的な参照レベルの設定方法とそれにより評価される削減量に関する概念図(松本, 2010)



政策論

● 資金

- 基金方式か市場クレジット型か
- フェーズドアプローチ（COPI6）
 - 第一段階、国際的な資金で途上国の能力開発
 - 第二段階、基金方式により限定的な支払いを実行
 - 第三段階：本格的な市場クレジット方式

● 境界

- 次期枠組みでは国境、あるいは準国とする（COPI5）
 - 準国（sub-national）レベル：将来的に国レベルとなる見込みの国のみ
- 自主的取り組みではプロジェクト境界
- プロジェクトや狭い範囲での境界では、ディスプレイメントの恐れ
 - 京都議定書ではCDM（クリーン開発メカニズム）のリーケージにあたるもの
 - 境界内の排出削減活動のために、境界外で排出が発生



政策論

- MRV（測定、報告、検証）
 - 排出削減量・吸収量の評価は、測定可能（Measurable）、報告可能（Reportable）、検証可能（Verifiable）であるべき
 - 参照レベル
 - セーフガード（生物多様性や住民の権利等、REDD+を進めることにより脅かされる恐れのある事項の危険性の排除）についても
- 国内政策
 - ガバナンスの必要性
 - 国内の制度・政策をREDD+のために新設・組替する必要
 - ・ SBSTA合意文書（UNFCCC 2009）では、森林減少・劣化の原因（drivers）の特定、並びに排出削減および吸収量増加、森林炭素量の安定化をもたらす活動の特定、を要請している。
 - システム整備・導入に係わるキャパビルが必須
 - セーフガード、特に先住民・地域住民の権利の考慮



REDD+に関する自主的活動

- 森林炭素パートナーシップ・ファシリテーター（FCPF）
 - ◇ 世界銀行（WB）
- UN-REDD
 - ◇ 食糧農業機関（FAO）、国連開発計画（UNDP）、国連環境計画（UNEP）
- Verified Carbon Standard（VCS）
 - ◇ 気候グループ、国際排出量取引協会及び持続的発展の為の世界ビジネス協議会が2007年11月に公開（VCS 2007）
 - ◇ 民間ベースでREDD+活動によるクレジット化をいち早く制度化し、自主的なプロジェクトレベルで広く活用
 - ◇ 2010年2月に、ケニアのプロジェクトについて、世界で初めてのREDDによるクレジットが発行された。
- CCBS 気候・地域社会・生物多様性プロジェクト設計（CCB）スタンダード
 - ◇ コンザベーション・インターナショナル（CI）



REDD+パートナーシップ

- REDD+の活動や資金支援を促進するため2010年5月閣僚級会合「気候と森林に関するオスロ会合」で構築された
- 次期枠組みの議論で国連ではなかなか進まないため、有志国が集まり、先進的な取り組みを進める
- ノルウェー、フランスが音頭取りで、我が国はPNGとともに共同議長国
- 外務省による環境プログラム無償「森林保全」など、REDD+に係わる取り組みが始まっている。



REDD+を進める上での課題

- 途上国では、国家森林資源調査を含め森林炭素モニタリング・システムが未整備な国が多数
- 森林炭素モニタリング・システムの導入が森林減少・劣化の抑止力となる
- UNFCCCにおいては、REDD+は新枠組みの活動と位置付けられ、そのルールは未完成
- 現状では、VCSなど、自主的市場での方法論（Standard）が利用されている
- ただし、実際にはそれらも十分に練られたものではなく、走りながら作っているという印象
- しかし、自主的とは言え、デフォルト・スタンダードになれば、UNFCCCのルールへの影響は大きい
- 日本も早く方法論を開発する必要
- 他の方法論との相互認証を保持することが要点



COPI7 (2011) ダーバン合意

- 将来の枠組みに関し、全ての国が参加する法的文書を作成する新しいプロセスである「ダーバン・プラットフォーム作業部会」を立ち上げ、遅くとも2015年中に作業を終了、2020年から発効・実施に移すことに合意
- 京都議定書の第二約束期間の設定に向けた合意を採択、日本は第二約束期間に参加しないことが明記された（日本、カナダ、ロシアの数値目標は空欄）



二国間オフセット・クレジット制度（BOCM/JCM）

- 日本政府は、京都議定書の外で排出削減活動を進めることを表明
- 「エネルギー・環境会議」を設置し、排出削減目標について2012年夏までに決定の予定だった
- 排出削減を進めるため、二国間オフセット・クレジット制度（BOCM）を進める意向
- 最近では共同クレジットメカニズムと併記し、“BOCM/JCM”と表記されている
- ここにREDD+を位置付ける必要



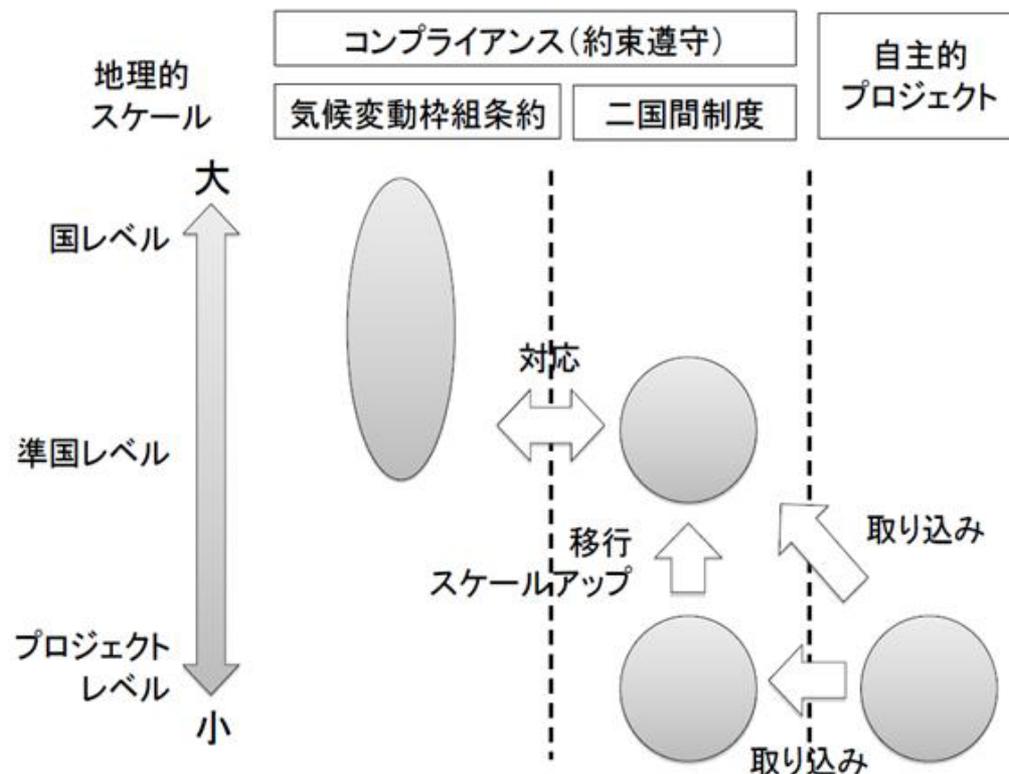


BOCM/JCMに向けての課題

- 全体の仕組み
 - REDD+を組み入れるか？
 - オフセット or クレジット？
- REDD+の仕組み
 - コンプライアンス or ボランタリー？
- 技術論
 - REDD+のガイドライン・方法論の開発
 - 参照レベルの考え方、作成方法



中長期的な方向性としての検討事項 プロジェクトベースから準国ベースへの移行



出典：松本光朗(2011) 実践から学ぶREDDプラス-国際交渉・現場と研究開発をつなぐ- 開催趣旨
平成23年度 REDD研究開発センター第1回公開セミナー

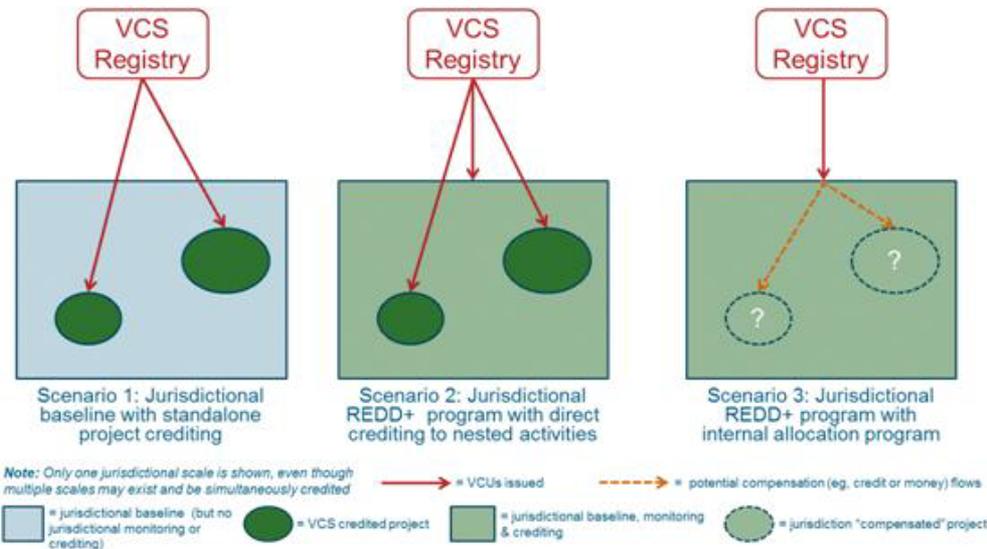
※短期的にはプロジェクトベースの取組が中心となるが、このような先行的な取組が、将来的に準国/国ベースに移行した後もREDDプラス活動として位置づけられるよう、制度面及びMRVシステム等の技術面からの準備が必要になる。



VCS

Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR)

- VCSとUNFCCCのギャップを埋めるための方法を提示
- 3つのシナリオ
 - シナリオ1：独立したベースライン
 - シナリオ2：国・準国で設定したベースラインをもとに、各プロジェクトのベースラインを設定。クレジットは国・準国とプロジェクトに分配
 - シナリオ3：国・準国でベースラインを設定し、クレジットも管理





5. REDD研究開発センターの活動



REDD研究開発センター

- 2010年7月設立
- REDD推進のための活動
 - ◇ 研究開発
 - 制度・政策(国際枠組み、国内施策)
 - モニタリング手法(カンボジア、マレーシア、パラグアイ)
 - ◇ 技術研修
 - 国内技術者の養成
 - ◇ 民間の活動への支援
 - シンポジウム開催
 - HP、文献データベース

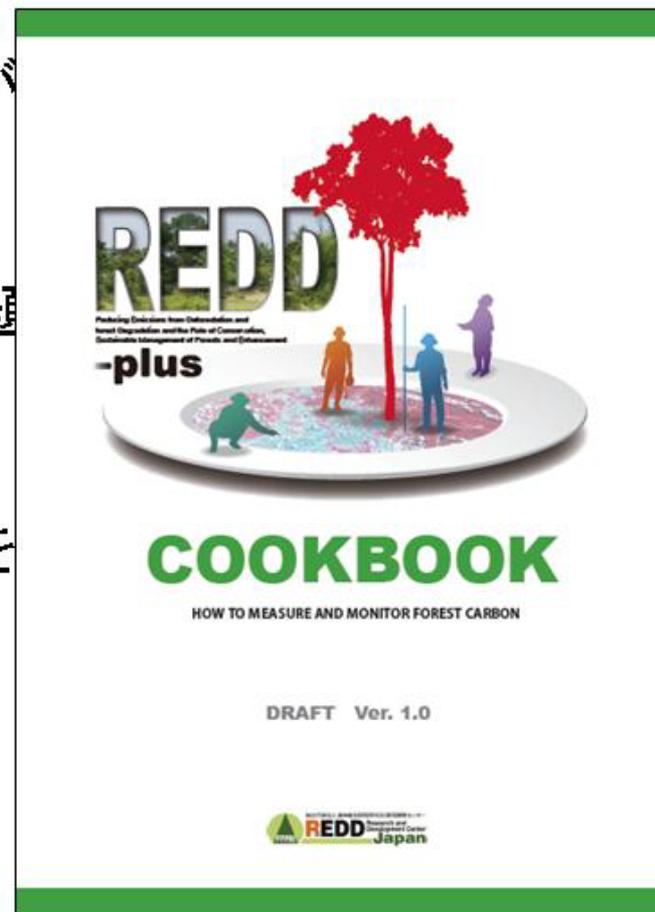


A screenshot of the website for the REDD Research and Development Center. The page features a green header with the center's name and logo. Below the header, there is a navigation menu on the left and a main content area on the right. The main content area includes a large image of a forest and several news items with dates and titles. The website is designed with a clean, professional layout.



森林総研 REDD研究開発センター 技術解説書 REDD-plus Cookbook

- 行政担当者や現地技術者が利用できる技術解説書
- REDD+に関わる技術的話題を解説
- 改訂版（日本語・英語）を年内に公開



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 プラスの概念を継承

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が示されている。ここでは、「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・パプアニューギニアで実施された気候変動枠組条約COP13で採択されたパ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、行動の質を確保する手段として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.13, 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/uglucd/gguglucd.htm>

MRV

MRVの概念は、2007年のCOP13で合意されたパリ行動計画で「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る。

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、森林炭素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炭素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

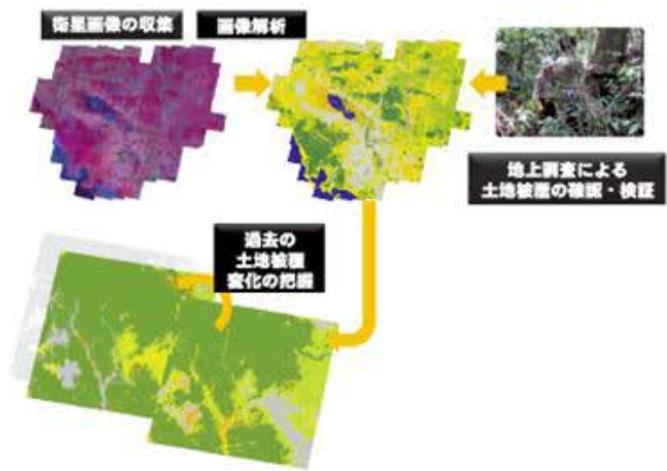


図 I03-1 森林炭素の変化や土地面積当たりの排出量・吸収量

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)。

BOCM/JCMを考慮したガイドラインの開発

- 国内ではBOCM/JCMの議論が進んでいる
- REDDプラスをその中に入れ込む必要
- UNFCCCで議論されている枠組みと、先行的な自主的プロジェクトにはギャップがある
- REDD研究開発センターでは、プロジェクトとUNFCCCの両方を考慮したガイドラインを開発中

- ポイント
 - 運用しやすい制度
 - すでに動いているプロジェクトについて、プロジェクトレベルから、UNFCCCでの国・準国レベルに持ち上げる仕組み



森林総研 REDD研究開発センター REDDプラスガイドラインの開発

- BOCM/JCMを想定
- VCS, ACR, その他クレジット認証制度のガイドラインを参考
- REDDプラスの実施にあたって、遵守すべきプロジェクトの枠組、方法論が担保すべき基本的要件等を示した
- 現時点で決められない点はポイントとして提示
- 制度の進捗に併せて改訂・充実の計画
- 23年度開発、24年度改訂作業中

REDD プラス実施ガイドライン

(案)

独立行政法人 森林総合研究
REDD 研究開発センター
2012年3月

第2章 プロジェクトへの要請事項

1. 基本要件

本ガイドラインに基づいて REDD プラスプロジェクトを実施する場合、そのプロジェクトは(1)二国間セクター・クレジットにおける規定に基づく(2)原則に、以下の基本要件を満たす必要がある。また、基本要件以外についても、本ガイドラインにおいて認めないもの、また一時的な観点から土地利用及び土地利権変化に関する影響として適切でない場合は、これを認めないこととする。

- REDD プラス実施にあたり、GHG 排出量の算定等に関するデータについては、会的に利用可能で信頼できる文書(例えば、IPCC2006年ガイドラインや各国の国家統計等)、もしくは、査証付きの科学論文等で裏付けられており、信頼性の高いデータに基づく必要がある。
- REDD プラス実施にあたっては、国境を越えてはならない。
- プロジェクト実施者と関係者に対するパートナーシップは、プロジェクト設計の間に明確である必要がある。また、各パートナーのプロジェクト実施における役割と責任を明確にした上で、REDD プラスを実施する必要がある。
- REDD プラス実施にあたっては、プロジェクト実施による環境及び社会・経済的影響を分析し、これを軽視しななければならない。その際、国際的に広く導入されている Climate Community & Biodiversity Standards (CCBS)、Forest Stewardship Council (FSC) を合わせて取得することを求めることがない。ただし、GHG 排出・吸収量を認証するその他の認証制度との二重認証については、発給されるクレジットのダブルカウント防止の観点から、認めないこととする。
- REDD プラス実施による環境影響として、天然資源の枯渇(天然資源の単一資源による一斉採掘への転換)を行うことは認められない。
- REDD プラス実施の前に設定する参照レベル(以下、参照レベル)については、[1][10](10月1日)と[2]より高い(厳密)ごとに、見直しを行うこととする。これは、[1][10](10月)を超え参照レベルの設定は、森林減少や土地利用変化について実施を踏まえていない可能性があるためである。参照レベルの見直しにより、森林減少の抑制や土地利用変化を引き起こす活動、もしくは森林管理方法の変化を確保に踏まえることとする。

【検討ポイント】

- 基本要件に記す事項については、最終的に再整理する必要がある。
- 法律の定義について、多様な国境をまたいで、どの国境までを対象にするか、全ての国境を法的に考慮しているわけではないことから、記載方法に留意する必要がある。また、国内法だけに基づく場合、ホスト国法律では法的に「あり」法律への遵守となる可能性がある。
- 法律への遵守について、プロジェクトバウンダリと参照レベルの同一もしくはほぼ同一に置きにくい可能性もあり、同じ基準ではない場合も想定される。その場合の法律の遵守をどのように捉えるかを整理する必要がある。
- 「天然資源の枯渇」の定義が曖昧であり、記載方法に留意する必要がある。代表的な国際条約等があれば、それに基づく方法がある。

² http://www.ipcc.gov/publications_and_products/
⁴ <http://www.fsc.org/>





- おわり





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第2章

国際的な議論の趨勢と 二国間取引の状況

三菱UFJリサーチ & コンサルティング
平塚基志





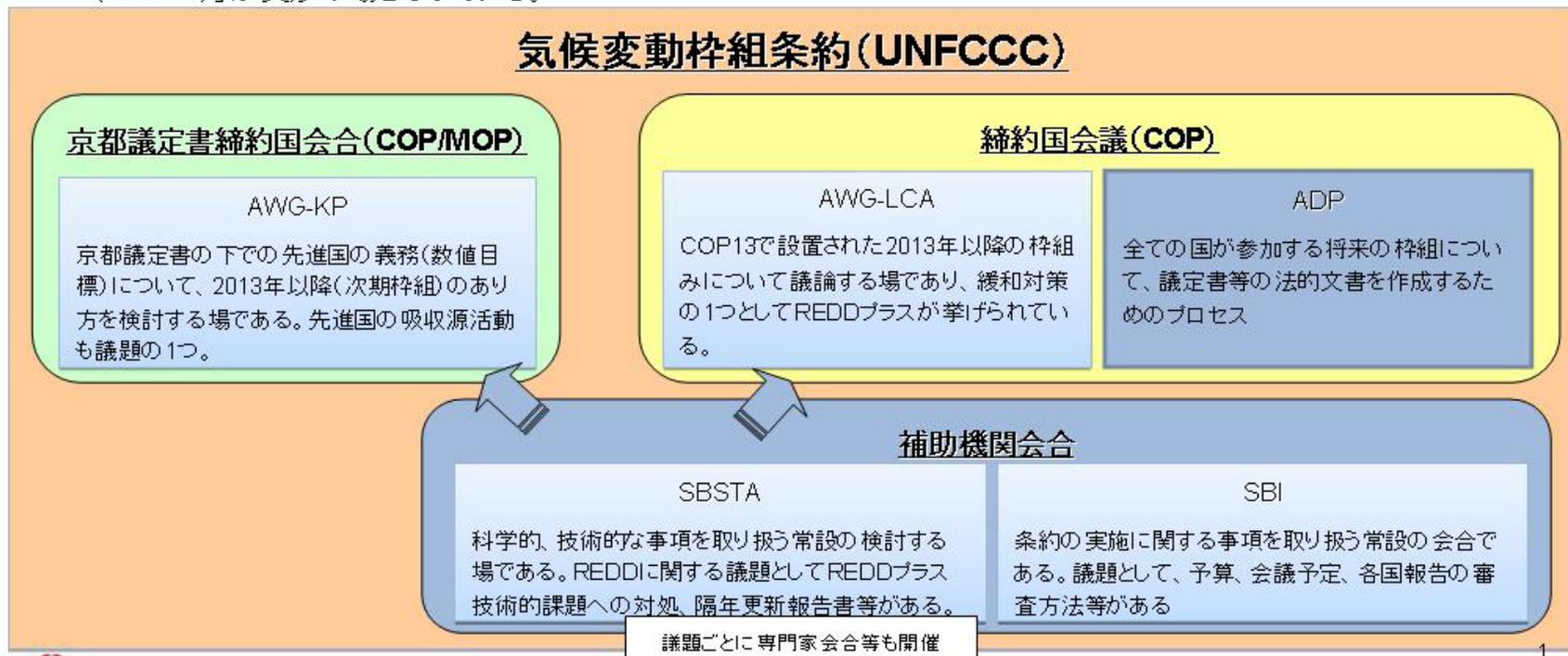
平成24年度REDDプラスに係る森林技術者講習会 国際的な議論の趨勢と二国間取引の状況

平塚 基志(三菱UFJリサーチ & コンサルティング)



UNFCCCにおける交渉の場(COP17以降)

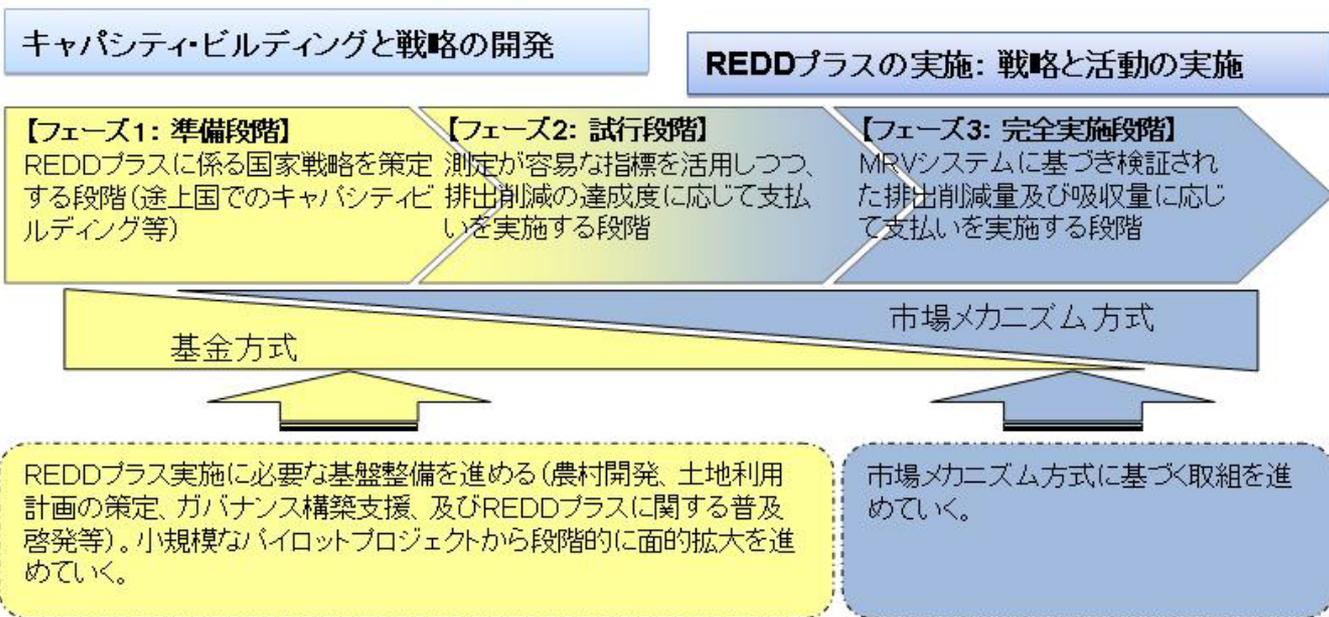
- 国連気候変動枠組条約(UNFCCC)では、条約全体の議論(AWG-KP)と、条約のうち京都議定書に限定した議論(AWG-LCA)が並行して行われてきたが、2011年末のCOP17では、新たに全ての国が参加する、活動促進のためのダーバンプラットフォームに関する特別作業部会(ADP)が設置されることとなった。
- REDDプラスの技術的課題への対処については、補助機関会合のうち「科学技術上の助言に関する補助機関(SBSTA)」が交渉の場となっている。





フェーズドアプローチの概念

- REDDプラス実施にあたっては、各途上国の能力が大きく関わる。こうした多様な途上国の状況を踏まえ、広く途上国がREDDプラスの枠組に参加可能となるよう、フェーズドアプローチが導入された。
 - 途上国の森林問題は、単に炭素ストック算定技術だけではなく、フェーズ1(準備段階)を着実に進めることが重要であることが各国の共通認識だった。
 - COP13移行にREDDプラス実施には民間資金が重要であることが認識された。民間資金でREDDプラスを進めるにあたり、一気に国ベースの取組を進めることが現実的ではなく、プロジェクトベースの取組から段階的に国レベルの取組に移行する方法が模索された。





国内におけるREDDプラスへの取組

【2013年以降の地球温暖化対策におけるREDDプラスの位置付け】

- 2013年以降の地球温暖化対策として、我が国は京都議定書の第二約束期間でGHG排出削減目標を掲げないこととなった。しかし、2020年のGHG排出削減目標の達成のため、二国間オフセット・クレジット制度(BOCM)を提案しており、REDDプラス活動についても、実施に向けて実現可能性調査が進められている。
 - COP17の結果、法的拘束力を有した次期枠組の開始が2020年以降となり、UNFCCCの下でのREDDプラス活動の本格実施は2020年以降となる見込みとなった。
 - 我が国は、独自の地球温暖化対策の枠組で、先行的にREDDプラス活動に関する制度設計を進めることにより、UNFCCCの下での制度構築へのインプットを行うとともに、先行的な活動を2020年までのGHG排出削減努力として位置づけるよう検討する必要がある。

【主だったREDDプラスへの取組状況】

- BOCMにおけるREDDプラス実施に向け、2012年度には地球環境センター(GEC)及び経済産業省で合計9件の実現可能性調査が進められている。
 - 民間事業者が主体となってREDDプラスに取り組む方法は、他の先進国では例がない。欧米各国は、民間企業と政府系組織もしくはNGOが連携してREDDプラスに取り組んでいる例が多い。
- 国際協力機構(JICA)ではラオス、カンボジア、ベトナム、インドネシア等のBOCMの連携国を中心にREDDプラスの取組を進めており、具体的なプロジェクト実施を想定した設計書(PDD)作成を進めている。
- 2010年に設置された森林総合研究所REDD研究センターでは、民間事業者やJICAが実施するREDDプラス関連事業を支援するため、とくに技術的課題への対応について検討を重ね、2011年度からREDDプラス実施ガイドラインの作成を進めている。





(参考)地球環境センター及び経済産業省の実現可能性調査事業(2012年度)

【経済産業省のFS事業】

事業の実施主体	事業の実施サイト等	位置付け
兼松	インドネシアにおけるREDD+案件発掘調査とBOCM実現可能性調査	昨年度はGECで実施
三菱総合研究所	インドネシアにおける大規模泥炭火災対策導入を通じた温室効果ガス排出削減事業実施可能性調査	昨年度から継続 (昨年度は住友商事が代表)
中外テクノス	インドネシアにおける石炭灰を活用した代替農業用地等創出による森林減少回避プロジェクト	新規
ワイ・エルビルディング	インドネシアにおけるマングローブ保護林におけるREDD+事業家に向け、前年度提案したMRV方法論の精度向上とパイロットプロジェクト稼働実証調査	2011年度から継続
丸紅	インドネシアにおけるREDD+事業性調査	2010年度から継続

出典：経済産業省Webサイト

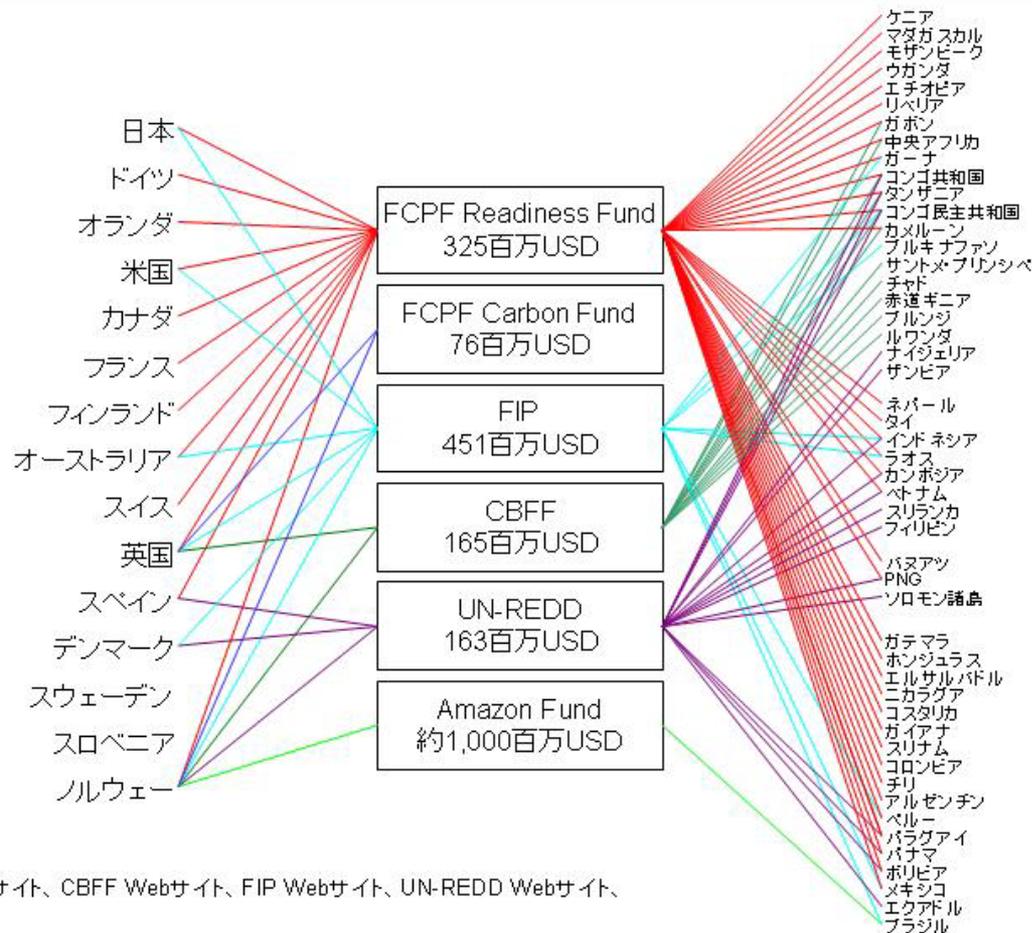
【地球環境センター(環境省)のFS事業】

事業の実施主体	事業の実施サイト等	位置付け
三菱UFJリサーチ&コンサルティング	泥炭林保全のREDD+と在来種による林業生産及び残材を用いたバイオマス発電	2011年度から継続
清水建設	泥炭の再湿潤化による分解抑制と稲作増産に基づく籾殻発電	2010年度から継続
住友林業	森林管理活動を通じたREDD+と木材産業残材に基づくバイオマス発電	2011年度から継続
コンサベーション・インターナショナル・ジャパン	熱帯低地林におけるREDD+	2011年度から継続

出典：環境省Webサイト

UNFCCCの枠組外での取組: 国際的な基金でのREDDプラスへの取組状況-1

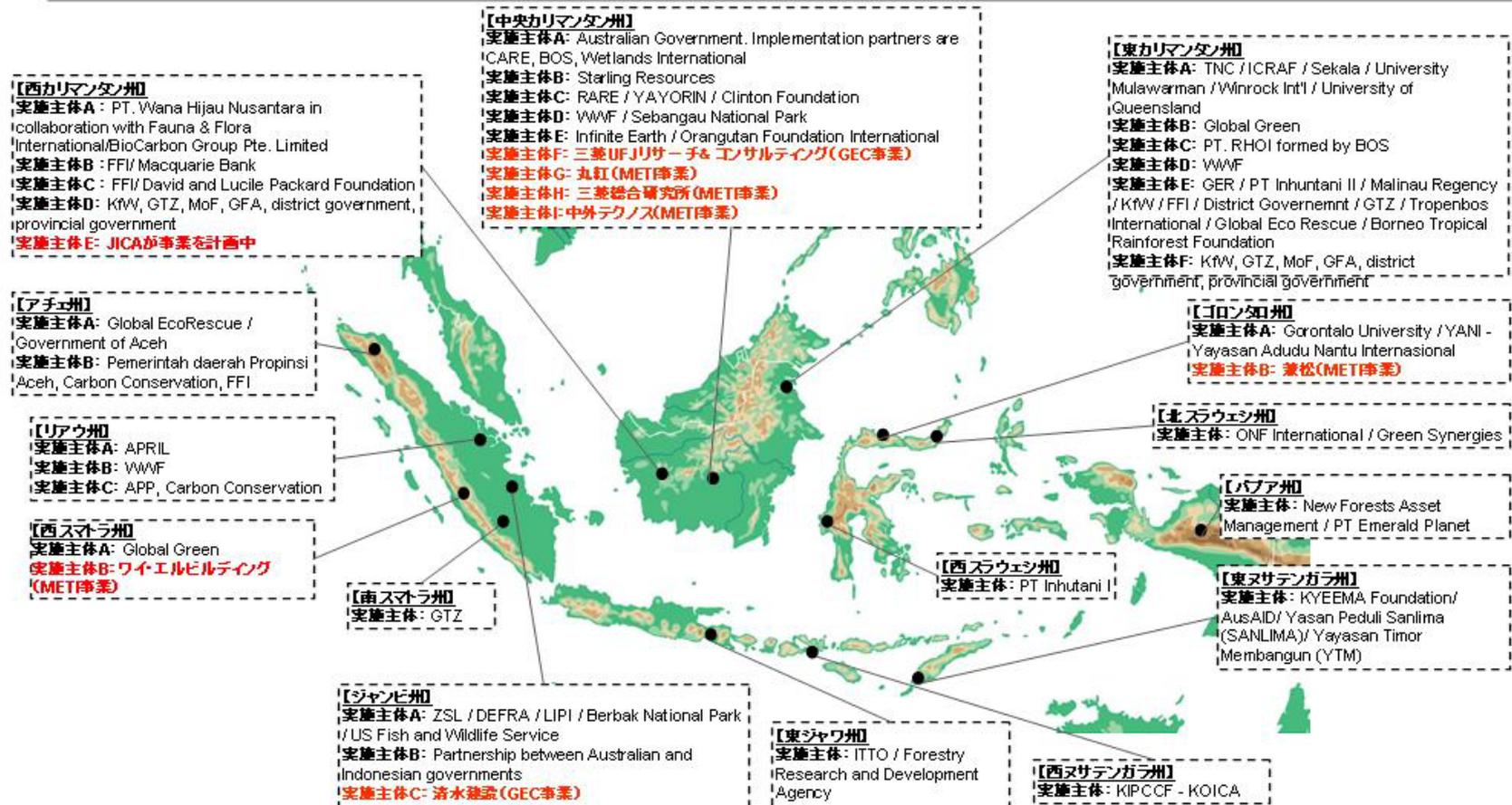
- UNFCCCの枠組外において、世界銀行等が設置した基金では、REDDプラス実施の際のReadinessフェーズへの支援が進んでいる。
- FCPF Readiness Fundでは、合計36ヵ国と広く支援が行われている。また、同じくReadinessへの支援を進めているUN-REDDの支援対象国も16ヵ国と拡大傾向にあり、FCPFと支援対象国が重複する傾向にある。
- アフリカではCBFFによる支援対象国が10ヵ国に達しており、拡大傾向にある。



出典: REDD+パートナーシップWebサイト、FCPF Webサイト、CBFF Webサイト、FIP Webサイト、UN-REDD Webサイト、Amazon Fund Webサイト



インドネシアにおけるREDDプラスDemonstration Activityの実施状況



☒ インドネシアにおけるREDDプラスDemonstration Activityの実施状況

出典: REDD-I Webサイト(2012年9月24日確認)



REDDプラス実施に向けた技術的課題

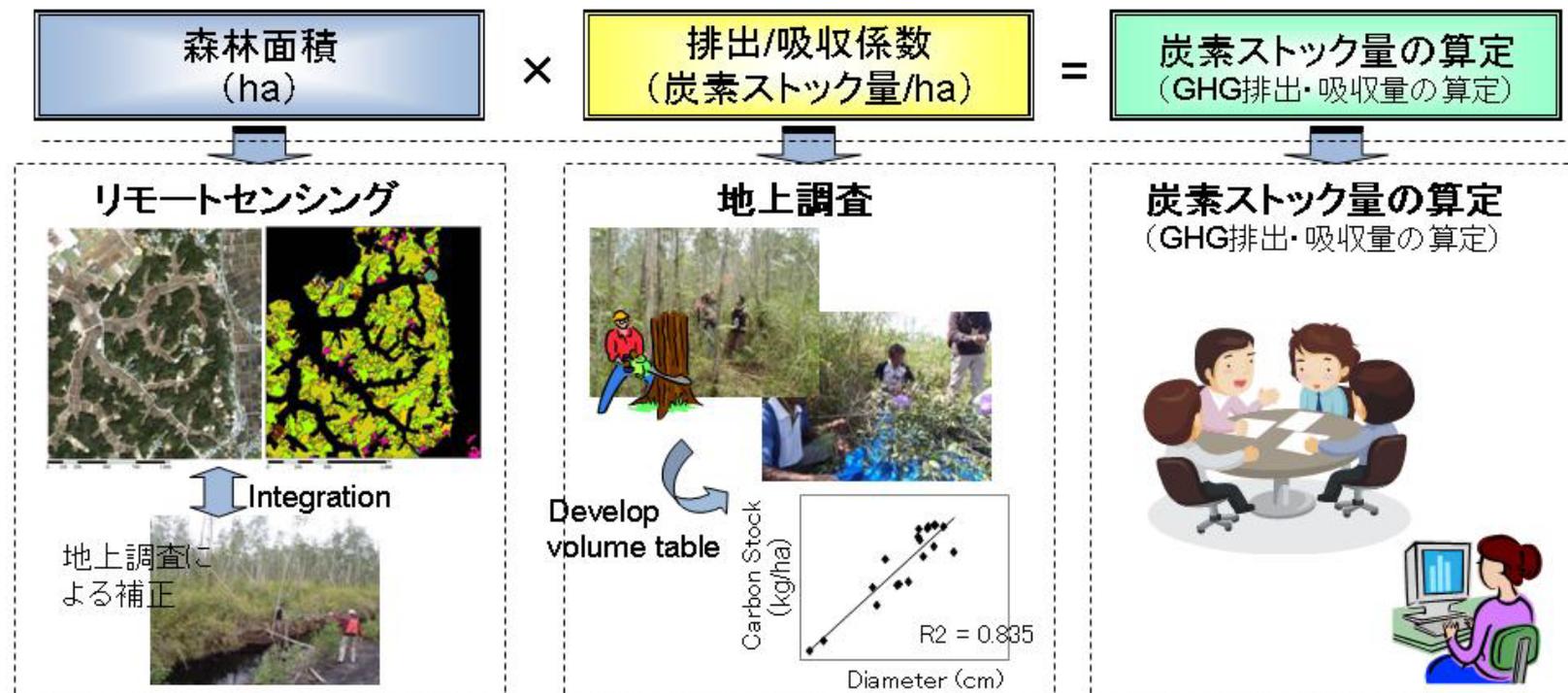
- 気候変動枠組条約（UNFCCC）では、2007年の第13回締約国会議（COP13）以降、本格的にREDDプラス実施に向けた制度設計及び技術的課題への対処方法等について議論が始まった。2009年末のCOP15では、REDDプラス実施の際の方法論ガイダンスに合意し、その後は個別課題の詳細なルール設計が進められている。
 - 現在、技術的課題への対処方針（ModalityやProcedure）の多くが、2012年末のCOP18に完了する作業項目となっており、科学上及び技術上の助言に関する補助機関（SBSTA）で作業が進められている。
 - 技術的課題は
 - 「森林減少・劣化のドライバー」
 - 「参照排出レベル/参照レベル」
 - 「森林モニタリングシステム」
 - 「セーフガード」
 - 「MRVシステム」
- の5つに区分される。





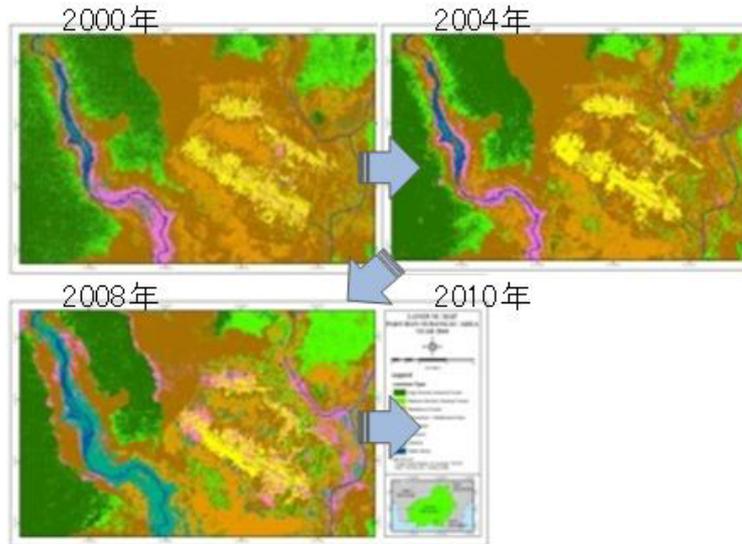
森林の炭素ストック量(GHG排出・吸収量)のモニタリング

- 森林炭素ストック量(GHG排出・吸収量)の算定にあたっては、森林面積(活動量)をリモートセンシング、排出/吸収係数(面積あたりの炭素ストック量)を現地調査で特定することとなる。
- UNFCCCの決議文書でも、「Use a combination of remote sensing and ground-based forest carbon inventory approaches (4/CP.15)」と明記されている。





森林面積(面積変化)の定量化 -リモートセンシングの導入例-



過去の**Landsat TM**に基づき、対象地の森林区分(天然生二次林等**8**区分)別に面積の推移が解析された。解析にあたっては、空中写真により補正が行われた。

出典:三菱UFJリサーチ&コンサルティング(平成23年度報告書)

Landsat TMによる森林タイプごとの面積推移例



Landsat TM

解像度: 30m
観測幅: 185km
コスト: 基本的に無料



Terra ASTER

解像度: 15m
観測幅: 60km
コスト: 0.02USD/km²

資料提供: 日本森林技術協会

衛星画像の選択で解像度は異なる。選択にあたっては、解像度とコストの両面から、森林モニタリングの継続性及びホスト国への適用性を考慮する必要がある。

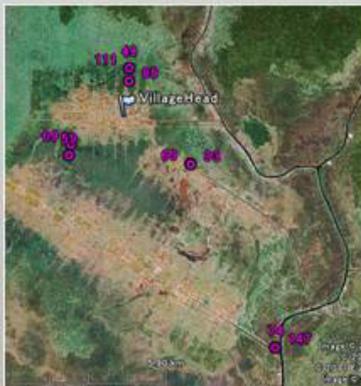
異なる衛星画像により解析結果例

森林タイプごとの単位面積あたりの炭素ストック量の定量化

【標準地法でのプロット設定】

標準地法とは、調査林分が広い場合、この中の平均的な材積をもつと思われる代表的な林分を標準地として選び、その材積を全面積に換算して林分材積を推定する方法である。標準地の選定にあたっては、あらかじめ全体の概査や空中写真等で把握しておき、現地で樹種構成、樹高、樹冠直径、粗密度など平均的な場所を決定する(出典:「林業技術ハンドブック」全林協)。

「標準的」もしくは「平均的」な林分をどのように判断するかは、調査実施者の経験に大きく依存する。このため、透明性の観点から課題がある。



空中写真の解析及び踏査の結果に基づき標準地法を適用した例。

出典: 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(平成23年度報告書)

【単純無作為抽出法でのプロット設定】

調査地域の森林(母集団)についての情報がない場合等に、全林から無作為に抽出単位をとって、これによって母集団の値を推定する方法である。大規模の調査にはほとんど用いられず、小面積の調査に用いられる(出典:「林業技術ハンドブック」全林協)。

恣意性を排除できるものの、多大な労力とコストを要するという課題がある。

【層化無作為抽出法でのプロット設定】

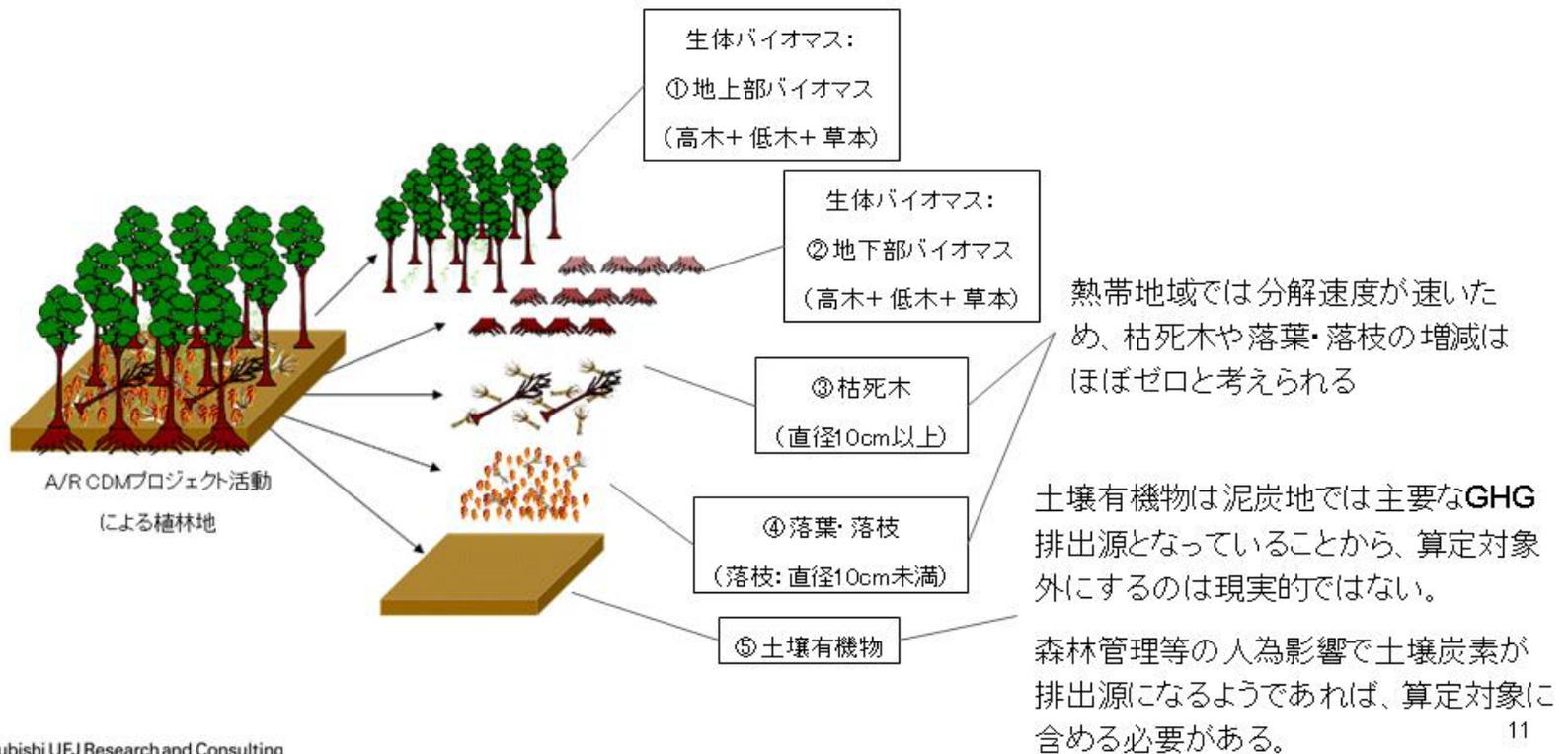
母集団について何らかの知識がある場合には、その情報を利用することが有効である。

層化無作為抽出法では母集団の単位をある特性について類似した層にグループ分けする。そして、層ごとに標本を無作為に抽出して、層の平均値を組み合わせ母集団の推定値を計算する(出典:「林業技術ハンドブック」全林協)。



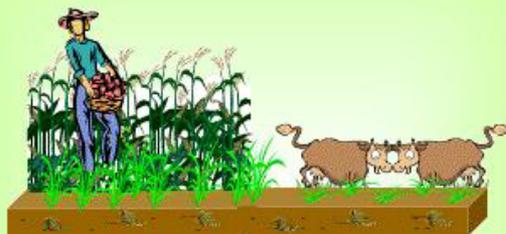
REDDプラスで算定対象となる5つの炭素プール

- 炭素蓄積量の変化を推定するのに、プロジェクト参加者は5つの炭素プール(下図)について評価しなければならない(GPG-LULUCF Chapter 2)。A/R CDMでは以下の5つの炭素プールうち、1つまたは2つ以上を考慮しないという選択ができる。ただしその場合、「その選択により期待される純人為的吸収量が増加しない」という明白で検証可能な情報の提供が必要になる。

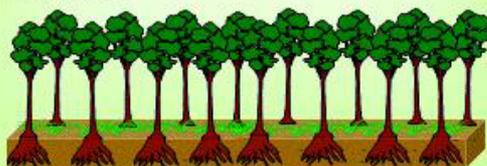


リーケージの考え方(例)

1. プロジェクト実施前、プロジェクト境界内では、農業・放牧が行われていた。



2. プロジェクト活動の植林により、現実純吸収量は増加したものの、農業・放牧の対象地域ではなくなった。



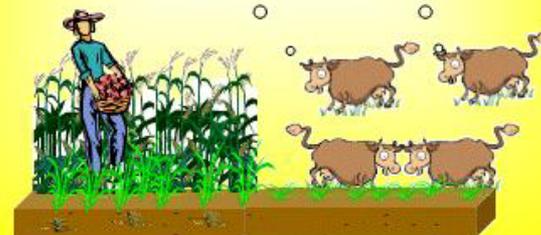
3. 農業・放牧対象地は、プロジェクト活動に起因し、プロジェクト境界外に移動した。

それに伴い、プロジェクト実施前と比べて、より多くの牛を飼育するようになり、温室効果ガス(CH₄など)の排出が増大した。この増加した分だけをリーケージとして、カウントする。

ウシ1頭あたりのCH₄排出量は80-120kg/年
[GPG LULUCF]

CH₄

CH₄



Displacement of activities sometimes bring GHG emission increase in outside of REDD plus project area.



インドネシア中央カリマンタン州における REDDプラス実現可能性調査

平成23年度 地球環境センター新メカニズム実現可能性調査「インドネシア・中央カリマンタン州における
REDD+に関する新メカニズム実現可能性調査に関する新メカニズム実現可能性調査」の成果より

インドネシアにおける森林セクターでの緩和対策の位置付け

- インドネシアにおける森林減少・劣化由来のGHG排出量は、2005年には16億t-CO₂、そして2006年には20億t-CO₂と報告される等、その量は莫大な量に達しており、その対策が地球規模で重要となっている。

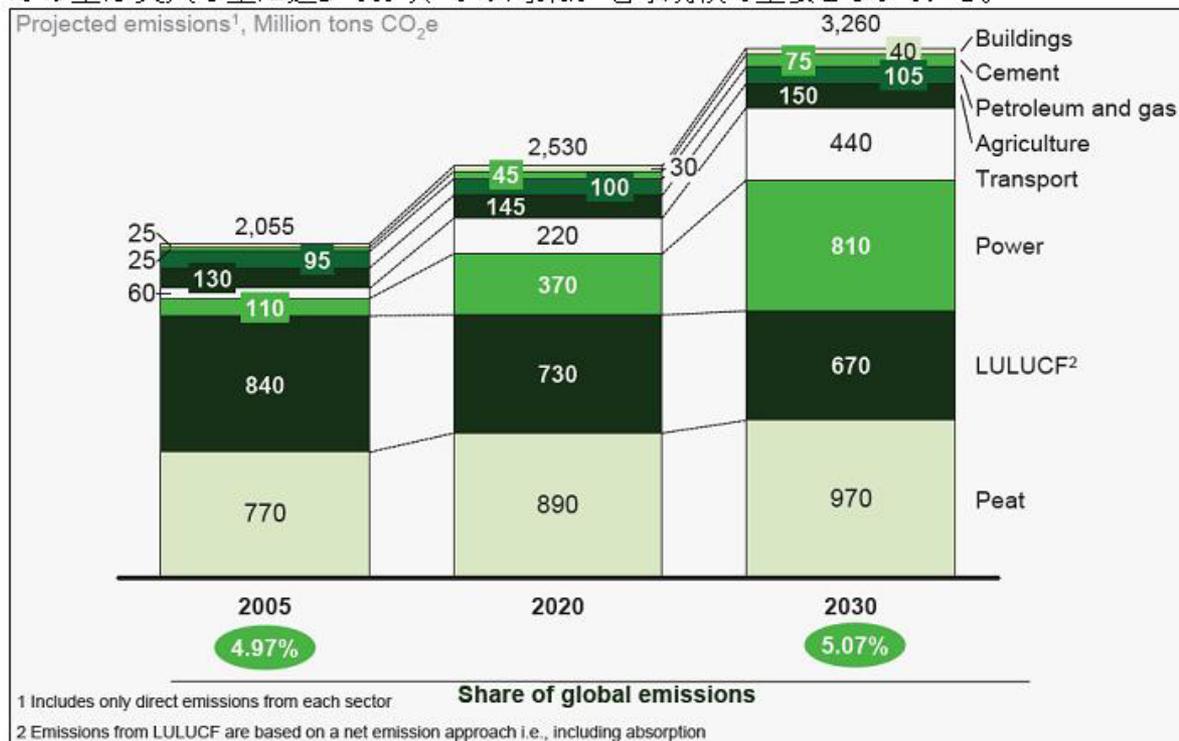
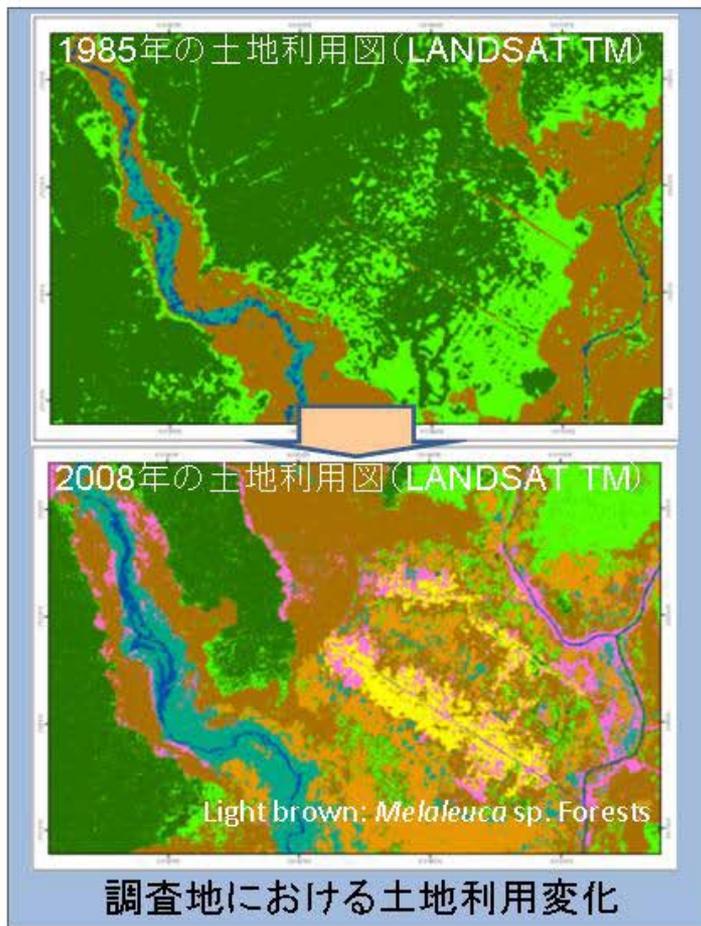


図 インドネシアにおける直近及び将来のGHG排出量予測
※森林吸収源(LULUCF及びPeat)からのGHG排出量の割合が極めて大きい



対象地における土地利用変化の概要





調査地の概要：土地利用の状況



対象地周辺の運河



泥炭林における排水路



火災後に植林地へ転換された土地



焼畑農業の実施

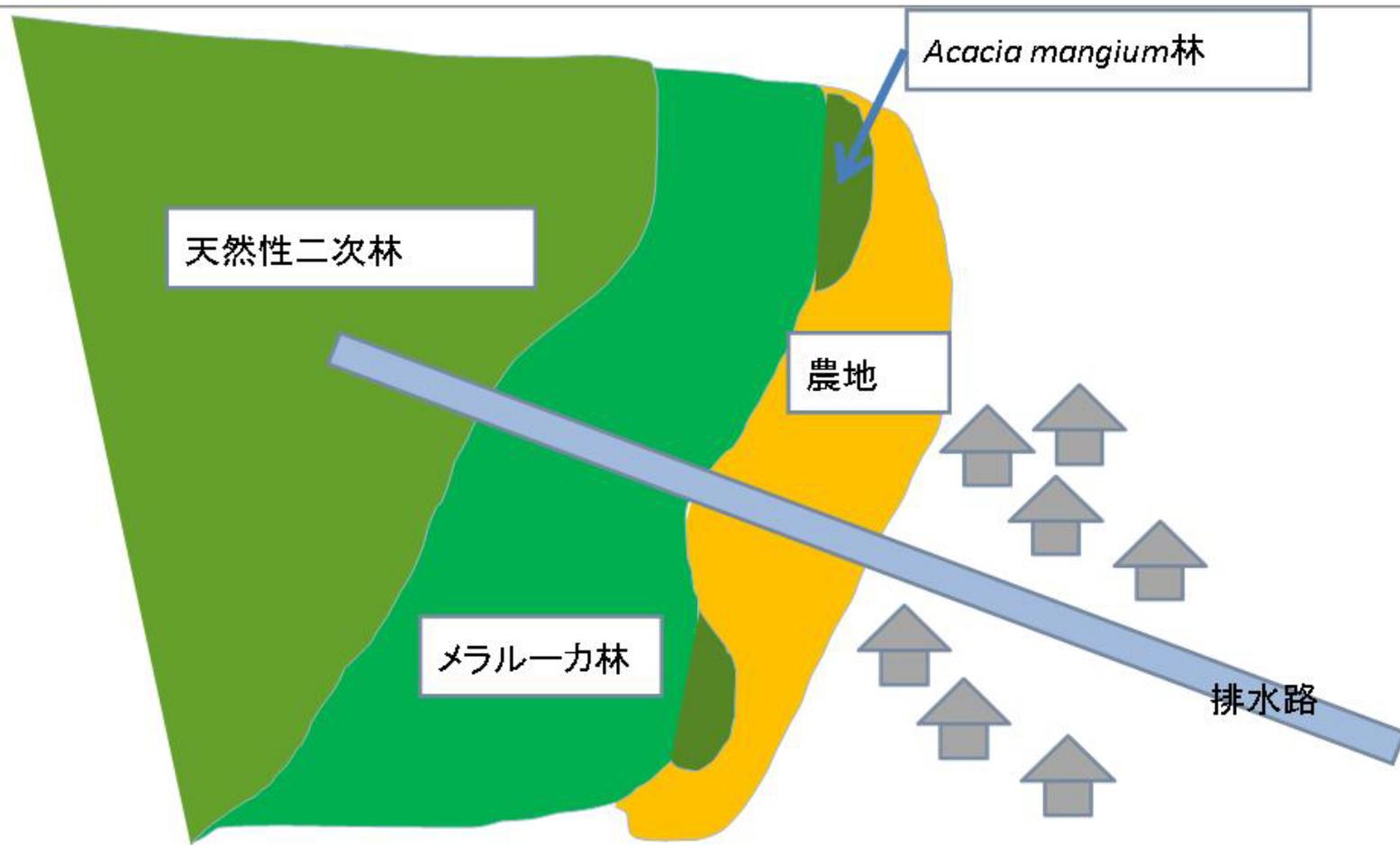


調査地の概要: 空中写真による土地利用の状況

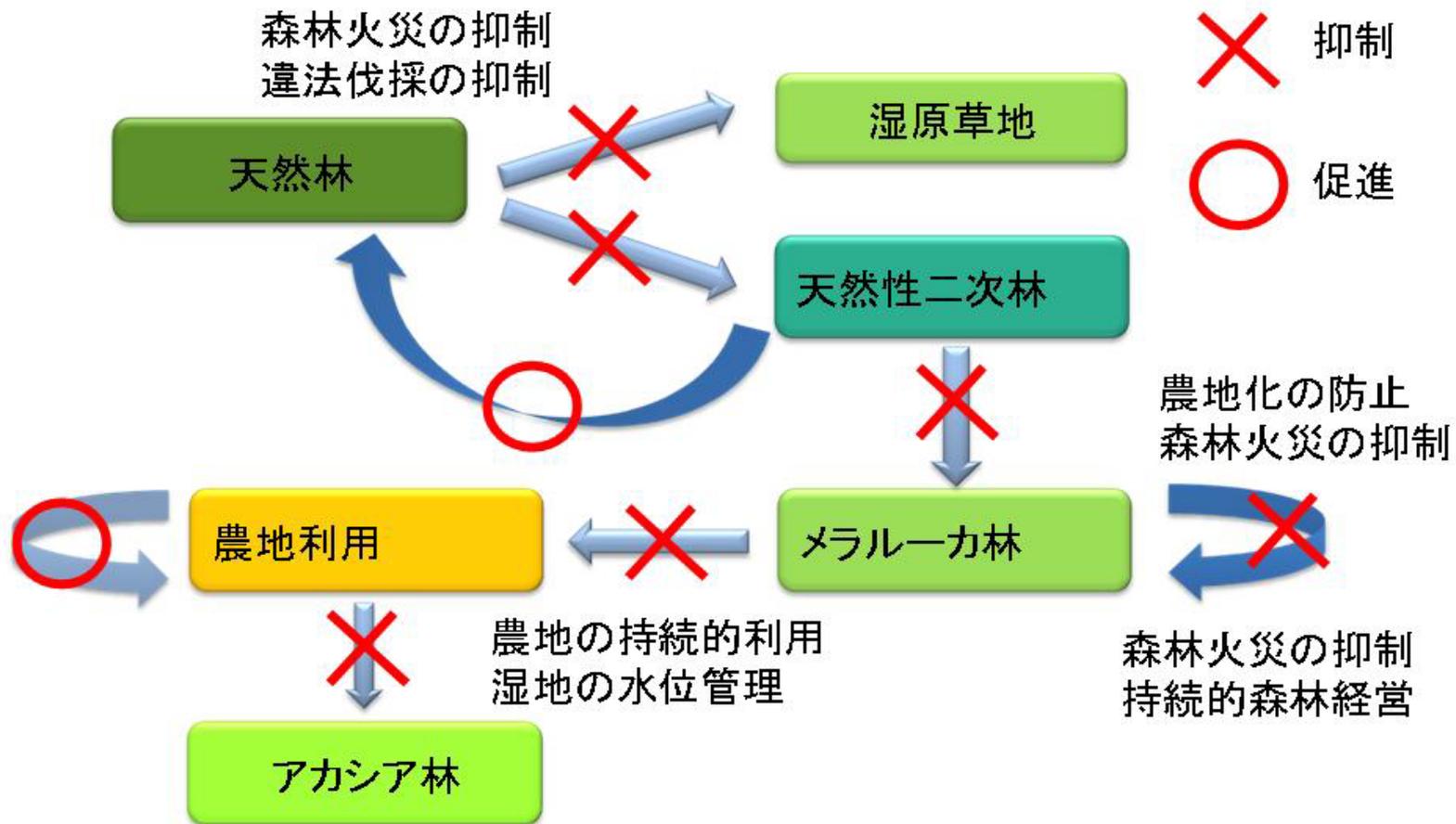




調査地における土地利用状況



実現可能性調査で想定される具体的なREDDプラス活動





社会経済調査 -住民参加型のワークショップの結果概要-

- 森林減少・劣化の要因を特定し、そうした要因に対処していくため、さらに持続可能な森林・土地管理システムを構築していくため、住民意識を把握するためにワークショップを開催した。ワークショップでは、以下の6つにグループを対象とした。

ワークショップの対象	ワークショップの対象とした理由及び想定した成果
村要職者	土地利用に関して県や郡との交渉等を含めて重要になってくると考えられた。村の状況にも精通していると考えられた。
消火隊	村の発展を阻む大きな要因への対抗手段として結成された消火隊だが、効果的に活動していない状況を把握することが重要と考えられた。
農民グループ	優良な農民グループを対象にすることで、農業に不適な土地において農業を持続させる要因把握を目的とした。
大土地所有者	土地利用に関して大きな影響力を有していることから、REDDプラス実施に際して大きな影響を受けることになると考えられた。
出稼ぎ経験者	村内での雇用創出や村外と村内での労働の違いについての意見を聞き取ることを目的とした。
女性(母親)	家庭内を切り盛りしている女性の立場/子どもを育てている視点から、土地利用や村での生活について状況把握を目的とした。





調査地におけるメラルーカ材の活用状況



加工されたメラルーカ材



貯木場に積まれたメラルーカ材



製材所でのメラルーカ材の加工



製材所でのメラルーカ材の加工



段階的なREDDプラス活動の実施(想定)

キャパシティ・ビルディングと戦略の開発

REDDプラスの実施：戦略と活動の実施

【フェーズ1：準備段階】

REDDプラスに係る国家戦略を策定する段階(途上国でのキャパシティビルディング等)

【フェーズ2：試行段階】

測定が容易な指標を活用しつつ、排出削減の達成度に応じて支払いを実施する段階

【フェーズ3：完全実施段階】

MRVシステムに基づき検証された排出削減量及び吸収量に応じて支払いを実施する段階

適切な土地利用計画の策定

大規模プランテーションの拡大防止

農業技術普及

森林火災の防止体制の整備

チェックダムでの水位上昇による湿地保全とメラルーカの搬出経路の確保

メラルーカ林の保全により、間接的に荒廃地の天然林を保全

メラルーカによる湿地帯での木材生産

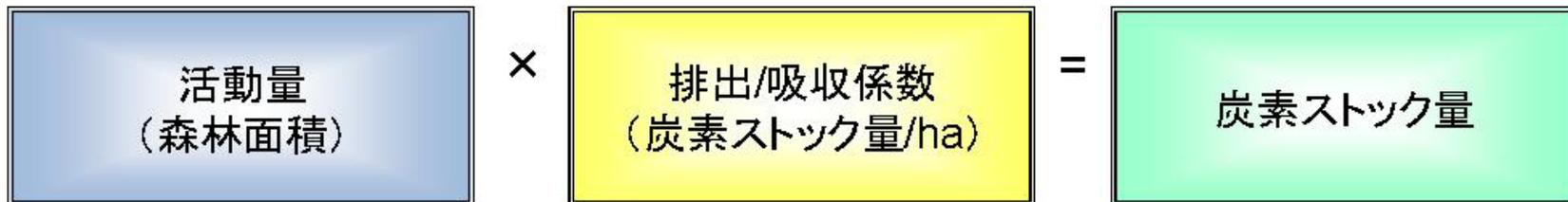
メラルーカの木材資源化と伐期延長

森林火災の防止





科学的/技術的課題への対処 -炭素ストック量のモニタリング・報告方法-



リモートセンシング & 地上調査

Integration

バイオマス調査

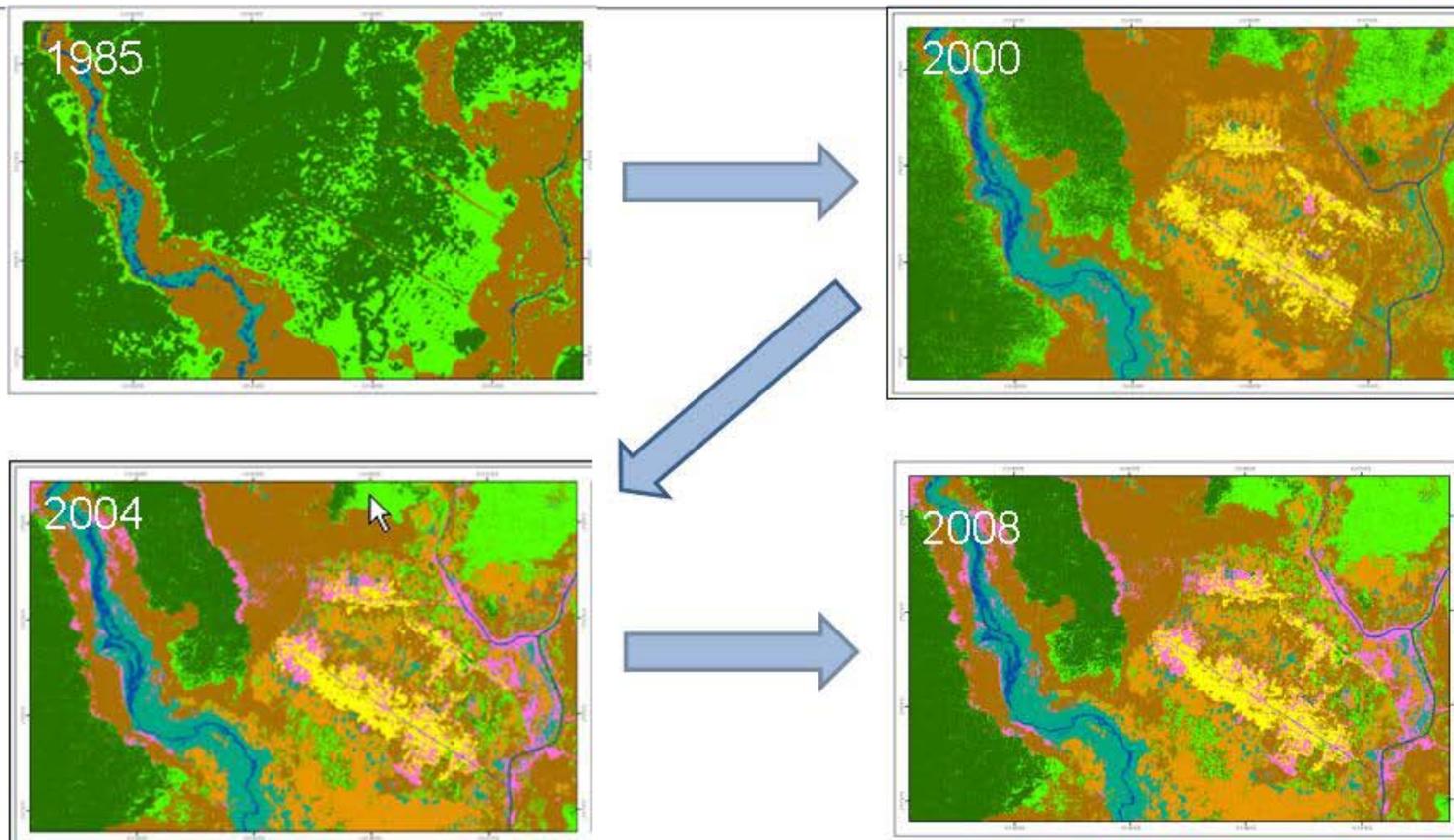
Develop volume table

炭素ストック量の算定、及びPDDドラフトの作成





科学的/技術的課題への対処 -参照レベル策定(時系列の衛星データ分析)-

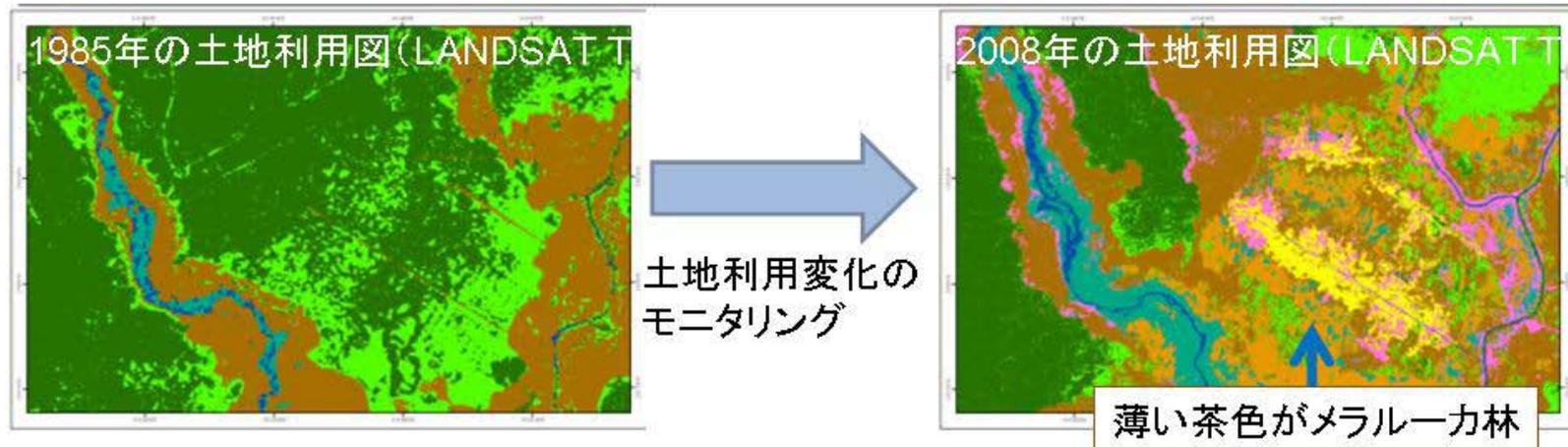


森林を階層化した後、各階層における活動量(森林面積)の分析を、リモートセンシングによる実施した。





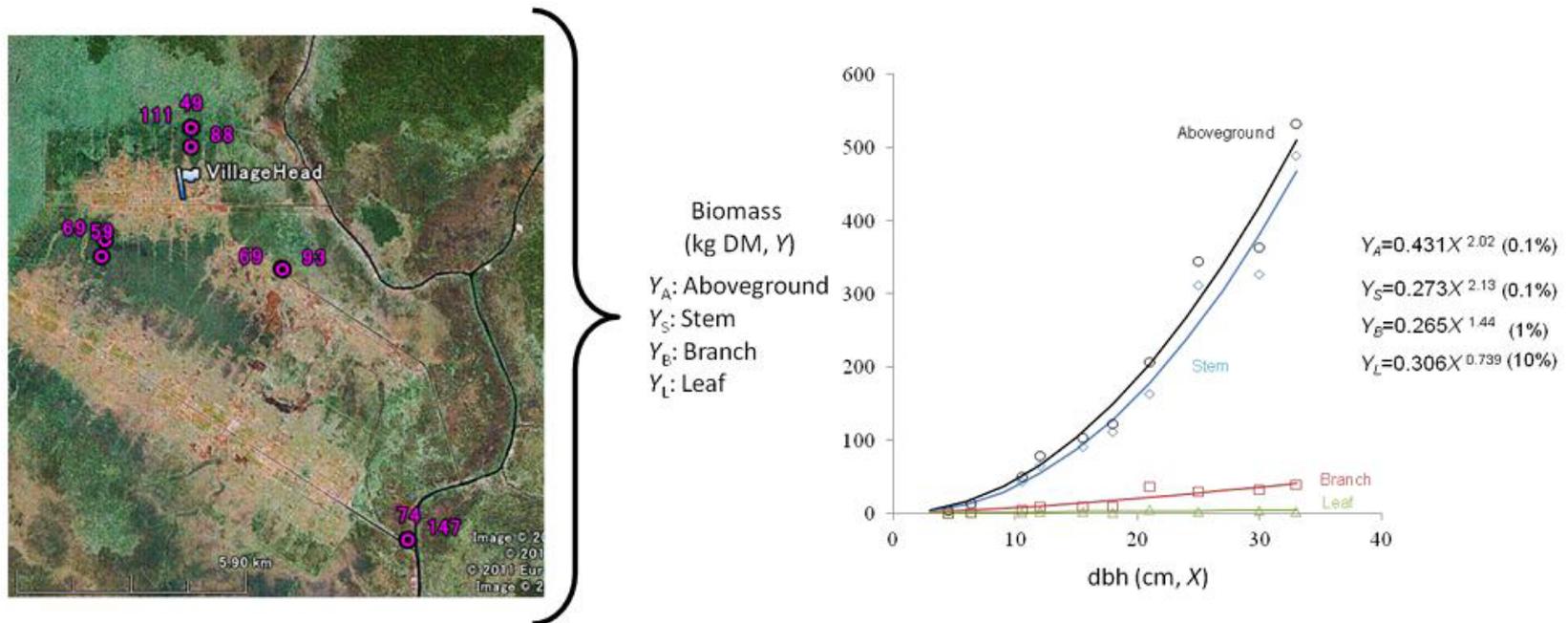
科学的/技術的課題への対処 -炭素ストック量のモニタリング-



2011年8月のヘリコプターによるRGBフォト撮影



科学的/技術的課題への対処 -メラルーカ林の炭素ストック量-



- メラルーカ林については、立木密度及び林冠の状況により3つに階層化した。各階層で合計10箇所の調査プロットを設定し(左図)、メラルーカ林における炭素ストック量を算定するための相対成長式を開発した(右図)。
- 開発した相対成長式に基づき、メラルーカ林における炭素ストック量を高い精度で算定することができた。



科学的/技術的課題への対処 -バイオマス調査の概要-



調査対象地の選定作業



伐倒選定木の抽出



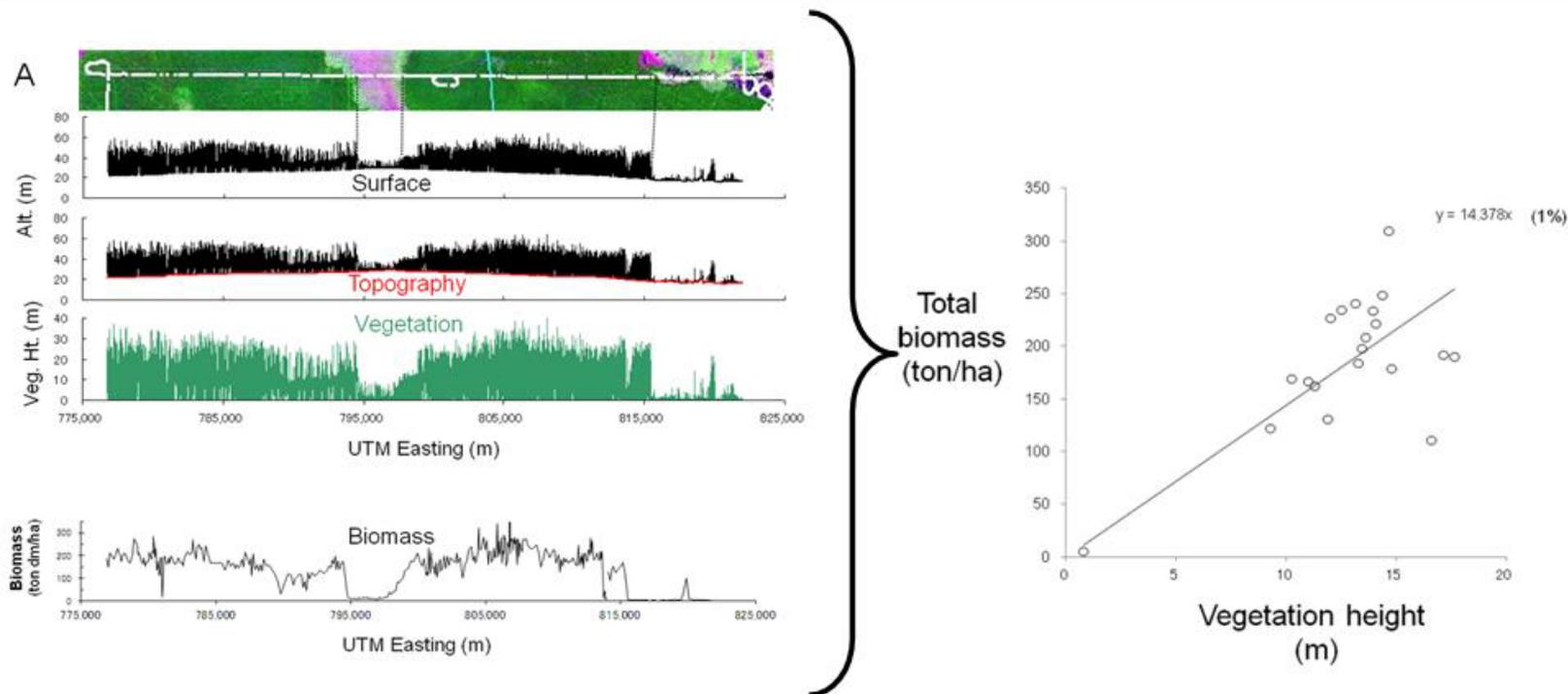
伐倒調査(葉のバイオマス算定)



調査プロットの設定



科学的/技術的課題への対処 -二次林の炭素ストック量-

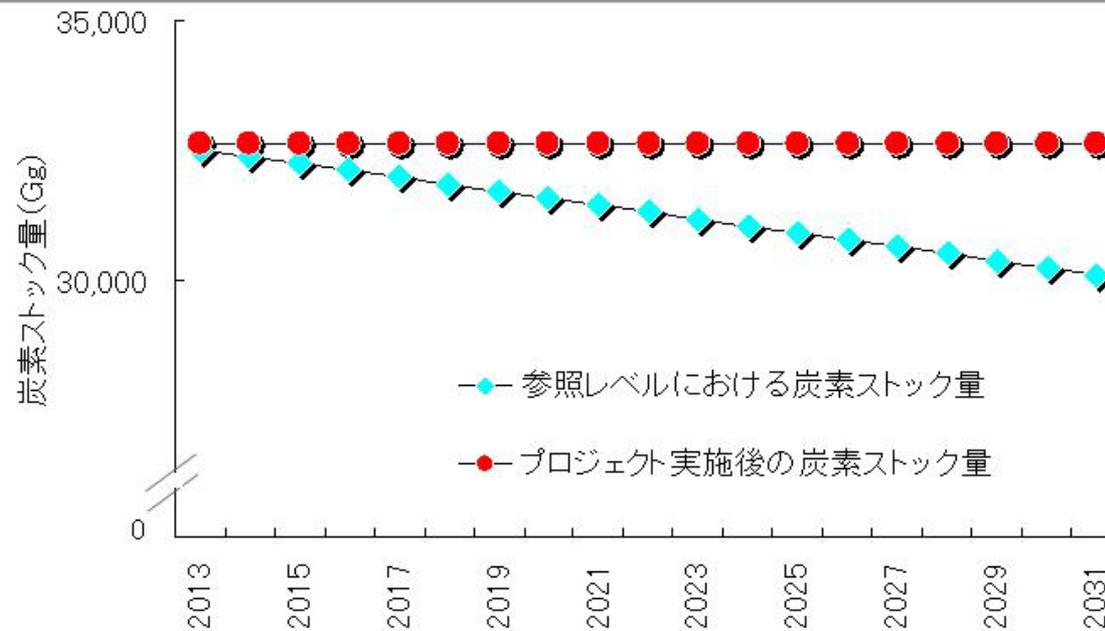


- 二次林の炭素ストック量を算定するにあたり、LiDARシステムを適用し、植生高を解析した(左図)。その後、各植生高の林分において設定した調査プロットの炭素ストック量を算定し、植生高と炭素ストック量の関係式を開発した(右図)。
- 開発した植生高と炭素ストック量の関係式に基づき、二次林の炭素ストック量を高い精度で算定することができた。





実現可能性調査の結果から算定したGHG排出削減量



- 設定した参照レベル(青)とプロジェクト実施した場合(赤)の炭素ストック量の差から、本実現可能性調査を事業化した際に見込まれるGHG排出削減量を推定した。
- その結果、プロジェクト実施後20年間で合計約9.3百万t-CO₂(年平均で約467千t-CO₂)の排出削減量になると試算された。





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第3章

森林炭素モニタリングの設計 と参照レベルの要件

一般社団法人 日本森林技術協会
鈴木 圭



内 容

1. REDDプラスの基本概念
2. 森林炭素モニタリングの全体像
3. 活動量の把握(面的変化)
4. 排出係数の把握(単位面積当たりの炭素量)
5. 参照レベルの要件



1.REDDプラスの基本概念

REDDプラスの基本概念

- REDDプラスは以下の5つの活動を含む
 - ① 森林減少による排出の削減 (Reduction of emissions from deforestation)
 - ② 森林劣化による排出の削減 (Reduction of emissions from forest degradation)
 - ③ 森林炭素蓄積の増大 (Carbon stock enhancements)
 - ④ 森林保全 (Conservation of forests)
 - ⑤ 持続可能な森林管理 (Sustainable management of forests)



REDDプラスの基本概念

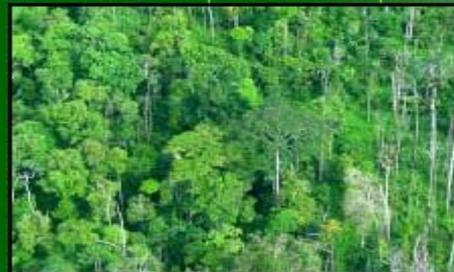
(森林減少と森林劣化)



DEFORESTATION



FOREST DEGRADATION



I (100-80%) II (80-60%) III (60-40%) IV (40-20%) V (20-0%)

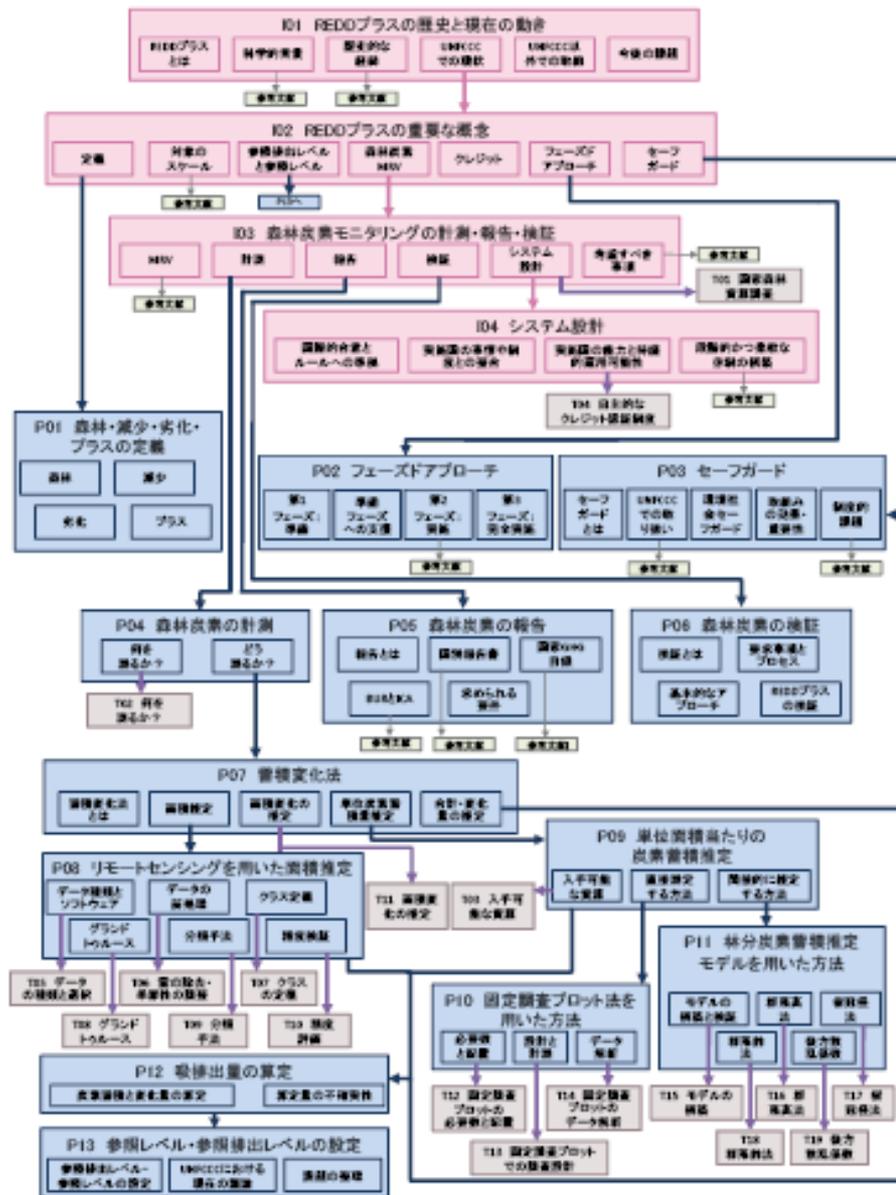
引用: Reference Emission Levels Indonesia - Ruandha Sugardiman、MRV Meeting Mexico.



2.森林炭素モニタリングの全体像



REDD+を検討する際の全体像



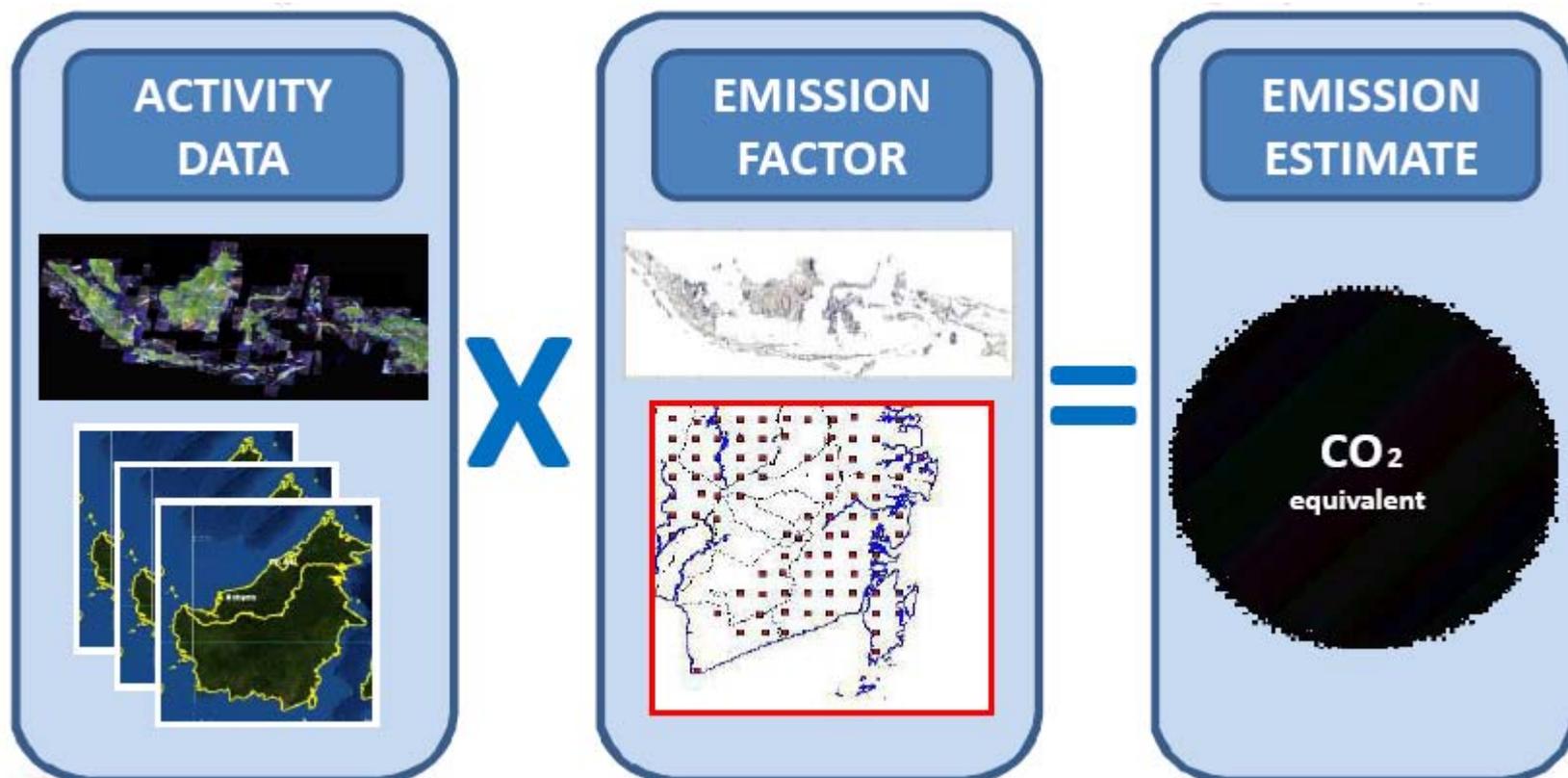
森林炭素モニタリングの要求事項

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。

1. 国際的合意とルールへの準拠
2. 実施国の事情や制度との整合
3. 実施国の能力と持続的運用可能性
4. 段階的かつ柔軟な体制の構築



森林炭素モニタリングの要求事項

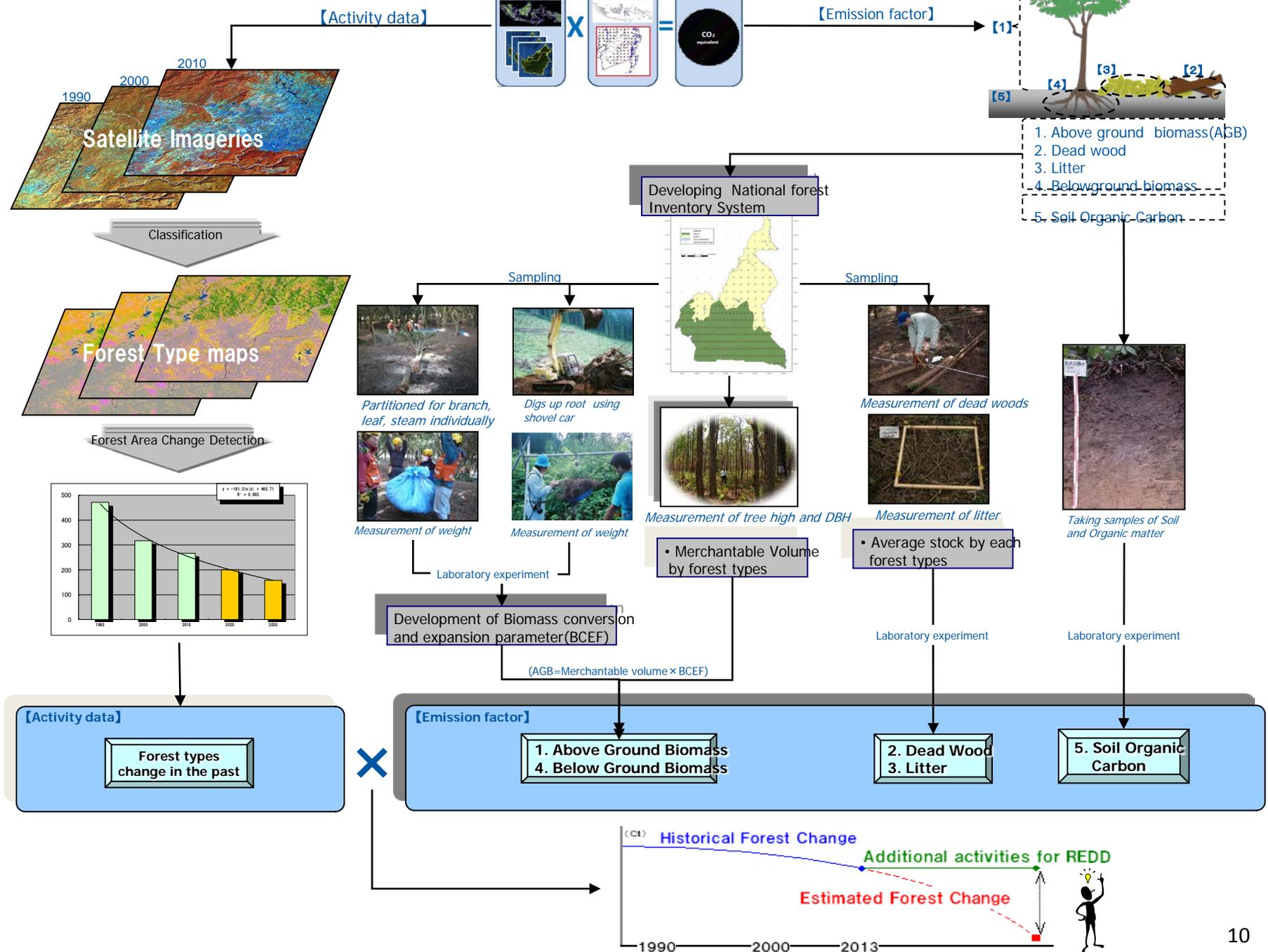


Forest area change
(unit: ha)

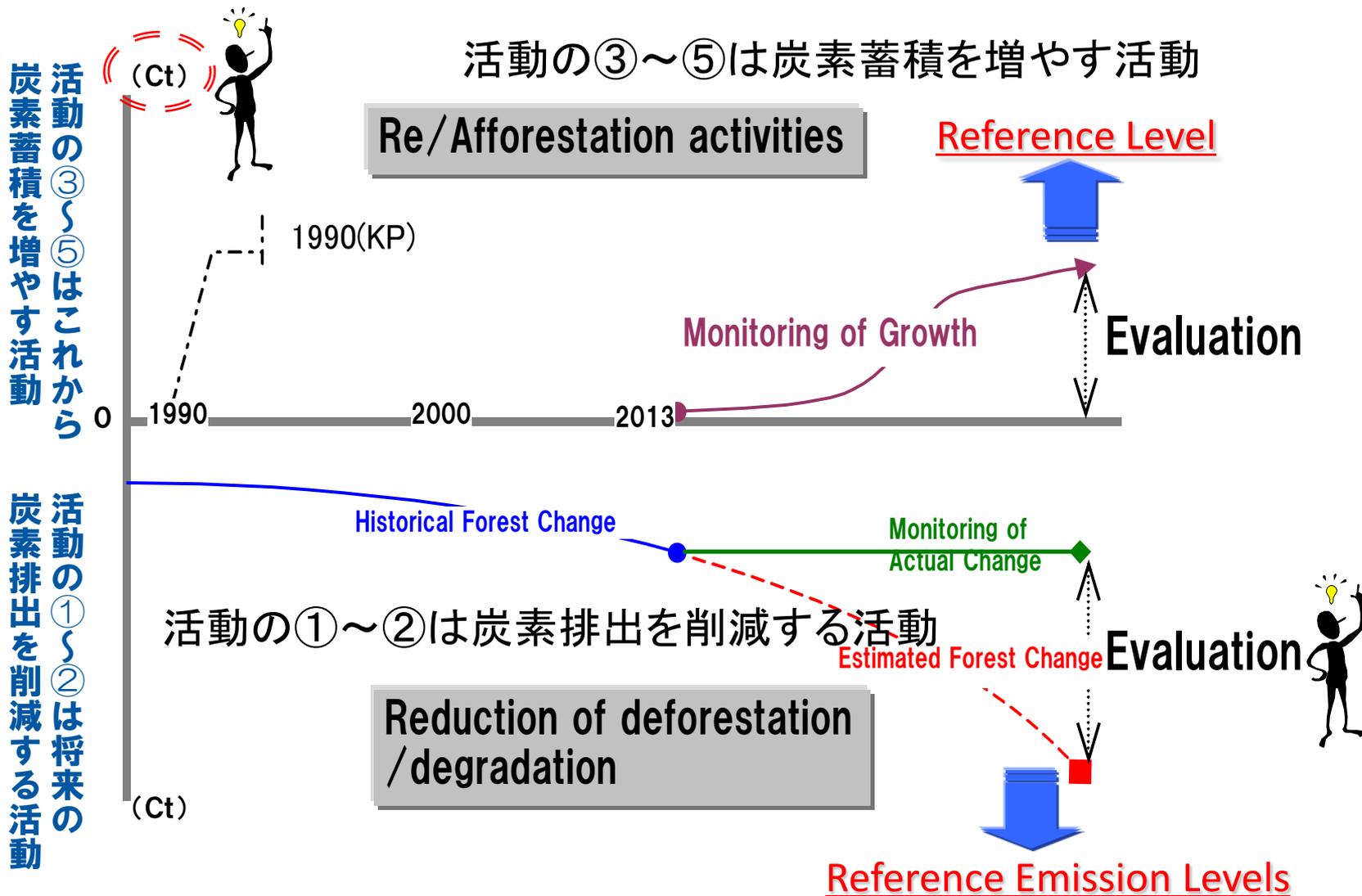
Mean carbon stock
(unit: Ct/ha)

引用: Reference Emission Levels Indonesia - Ruandha Sugardiman, MRV Meeting Mexico.

森林炭素モニタリングの全体像



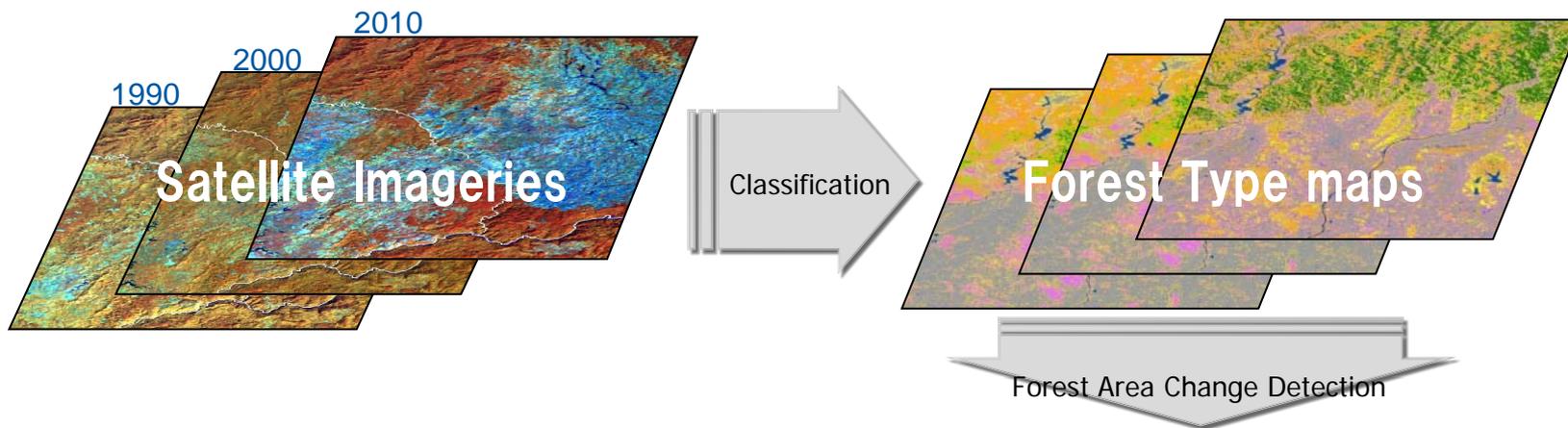
REL / RLの開発



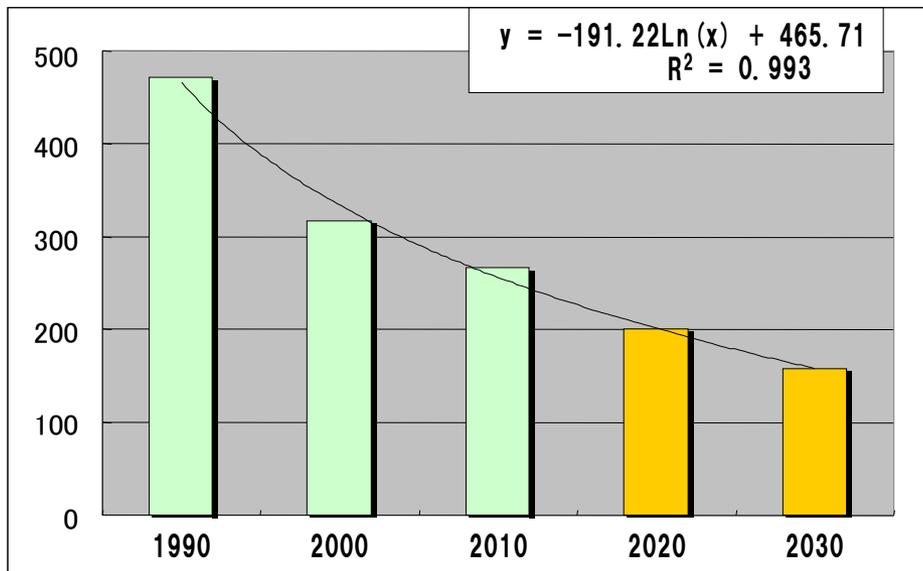


3. 活動量の把握(面的変化)

REL / RLの開発 (LandsatTMを用いた森林タイプの変化)



Forest types change in the past

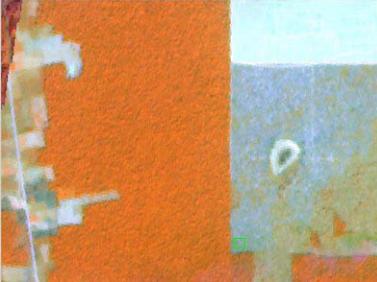
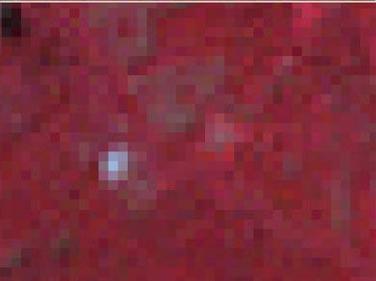


衛星の種別の利用可能時期(=いつからの時点を用いるか)

衛星 センサー名	分解能	打ち上げ 〔最初の 打ち上げ〕	利用可能な期間										
			1940	～	1970	1980	1990	2000	2010	将来			
Landsat MSS	83m～	1972/07/23											
NOAA	1100m～	1978～											
Landsat TM	30m～	1982/07/16											
SPOT4	10m～	1998/03/24											
Landsat ETM+	15m～	1999/04/15											
IKONOS	0.82m～	1999/09/24											
Terra/Aqua MODIS	250m～	1999/12/18											
Terra ASTER	15m～	1999/12/18											
QuickBird	0.61m～	2001/10/18											
SPOT5	5m～	2002/05/04											
ALOS AVNIR-2	10m～	2006/01/24											
ALOS PRISM	2.5m～	2006/01/24											
WorldView-1	0.5m～	2007/09/18											
GeoEye-1	0.41m～	2008/09/06											
WorldView-2	0.46m～	2009/10/08											
航空写真			アナログ					デジタル					

森林減少の要因とスケール

(=どの程度の地上解像度のデータを用いるか)

項目	転用の種類	要因	スケール	活動前画像	活動後画像
森林減少	大規模農業開発	大規模資本などにより森林から農地へ転用する場合。パームオイル、ゴム、コーヒーなど	1ha以上		
森林減少	中規模農地転用	住民による違法な農地転用。	1ha以下		
森林劣化	木材搾取	販売目的に違法に抜き伐りする場合	ha数本レベルで大径木中心。林冠の減少を起こす。		
森林劣化	木材搾取	住民による薪利用などのための抜き伐り	ha数本レベルで小径木中心。林冠の減少は少ない。		

森林分類図の作成における留意点

分類する森林タイプをどのように設定するか？

- ・生態学的な要素：常緑、落葉、混交、竹林など、当該国の主要な材積を構成する樹種が優占する森林(日本ではスギ、ヒノキ、カラマツ・・・)
- ・人為的な要素：極相林、2次林(人為による劣化や再生林)森林の質的な評価を加える⇒推計精度の向上
- ・技術的な要素：リモートセンシングの限界、データアーカイブの限界。光学センサーとバイオマス(質)の関係の限界。季節林の場合、複数のデータが必要になる場合がある。

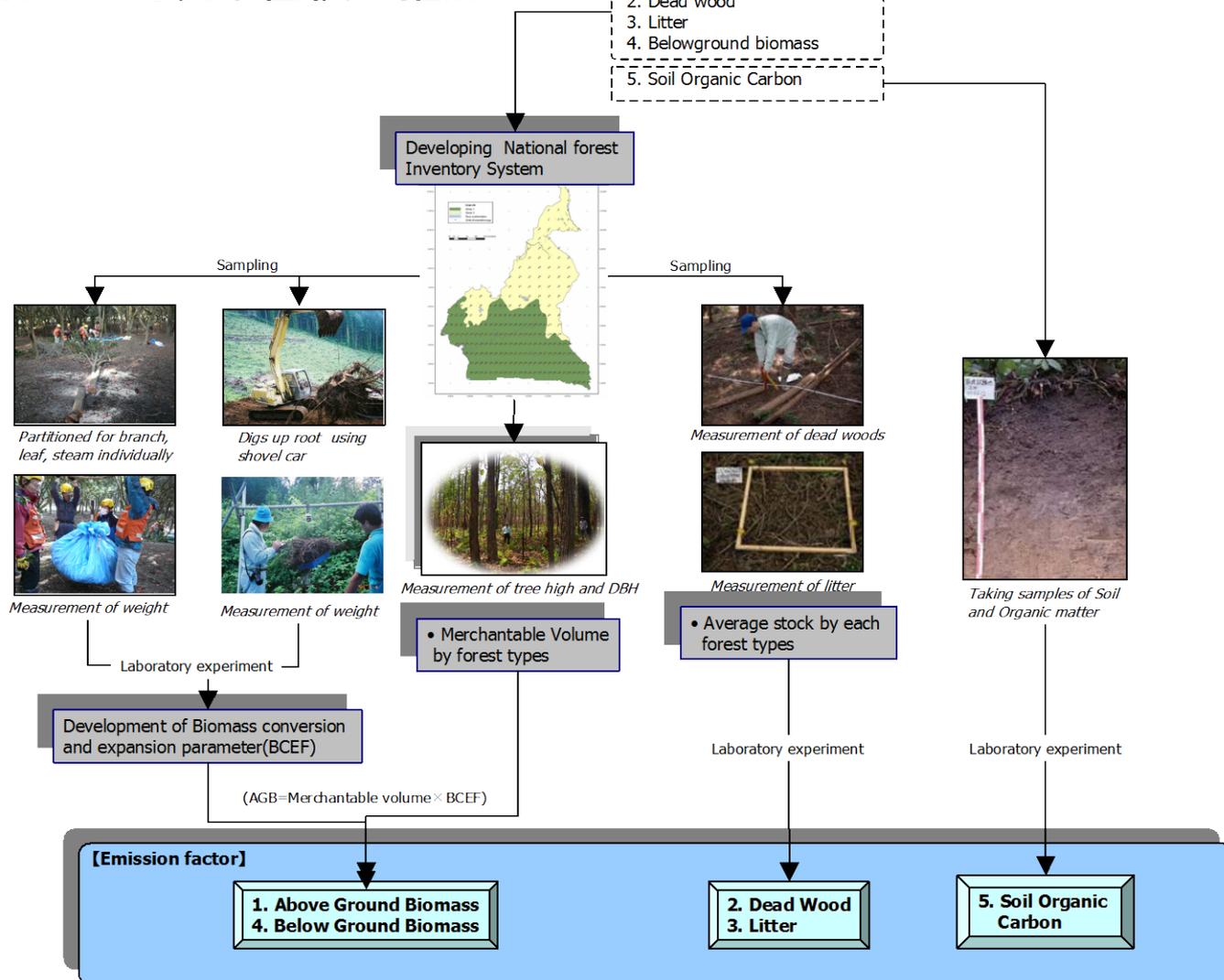
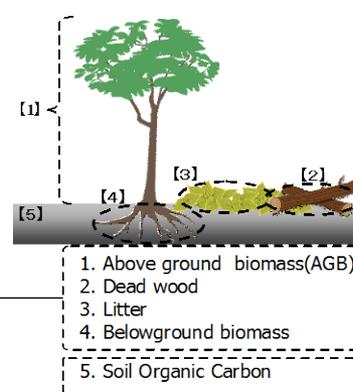
季節変化の影響

- 解析結果は植生の季節変化を受ける。
- 期首・期末の撮影時期を統一することが重要。



4. 排出係数の開発 (単位面積当たりの炭素量)

森林タイプの変化を炭素に 換算するための係数開発 (森林タイプ別の平均炭素蓄積の推計)



森林の地上計測手法の基礎

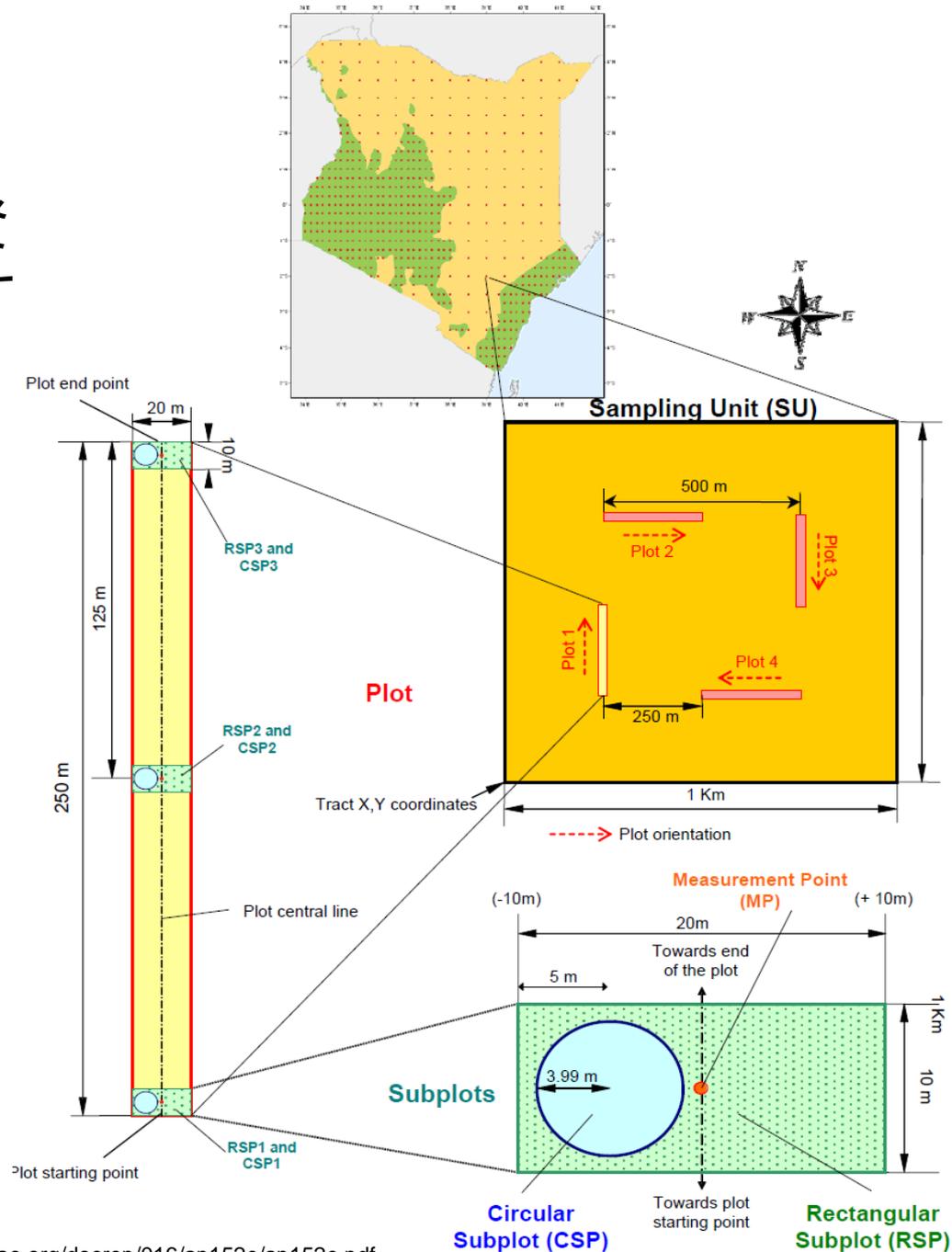
- 森林情報を収集する目的: 目的やスケールによって必要な情報も変わる
 - － 国家森林計画: 国レベルでの資源情報を収集・管理する
 - 例: 国レベルで森林タイプごとの面積や蓄積を把握する
 - － 事業体レベル (個人、会社等)
 - 林分レベル(管理単位) : 優占樹種、面積、蓄積
 - － 木材の販売:
 - 立木レベル: 蓄積、品質
 - － 生態的価値の研究や評価
 - 立木の価値以外の様々な項目 (生物多様性、希少種)

国家森林資源調査について

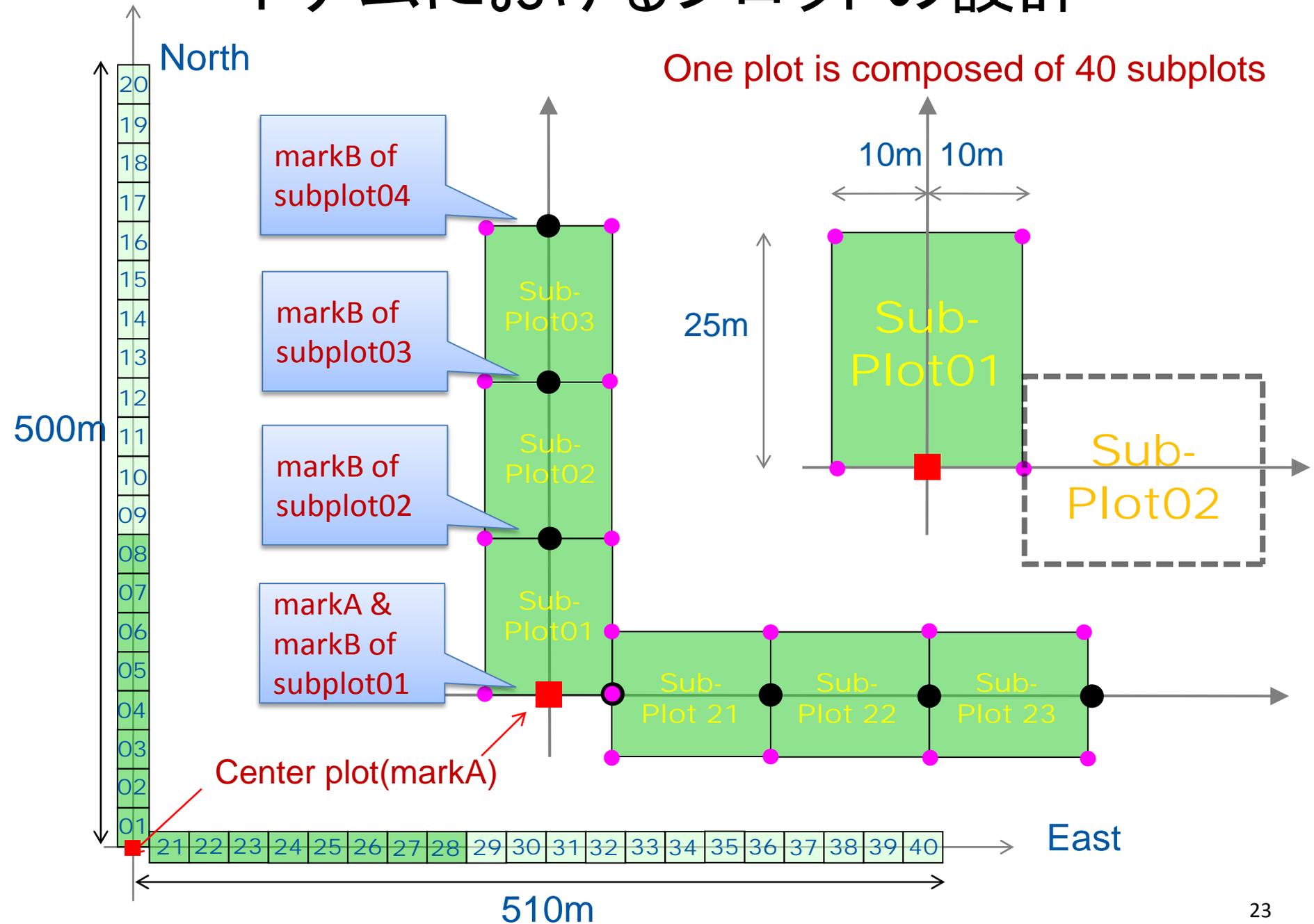
- 国家森林資源調査 (NFI: National Forest Inventory)
 - 国レベルで森林資源量を把握する調査
 - 大抵の国では何らかの形で実施されている
 - プロジェクトエリアの基礎情報として利用可能
- NFIの方法論
 - 悉皆調査と標本調査: 通常は標本調査
 - 暫定調査地と固定調査地: 時系列的なモニタリングのためには、固定調査地が有利
 - インベントリの間隔: 5～10年程度
 - 現地調査
 - プロット調査、ポイントサンプリング
 - 資源把握に必要な情報: 胸高直径、樹高
 - その他必要な項目 (森林被害、生物多様性)

FAO (2008) の方法

- 途上国における国家森林資源調査の計画実施を援助するプログラムにおける基本的な方法
- 最低でも経緯度1度単位の格子
- 格子点に1km四方のクラスター、中に4箇所の20×250kmプロット

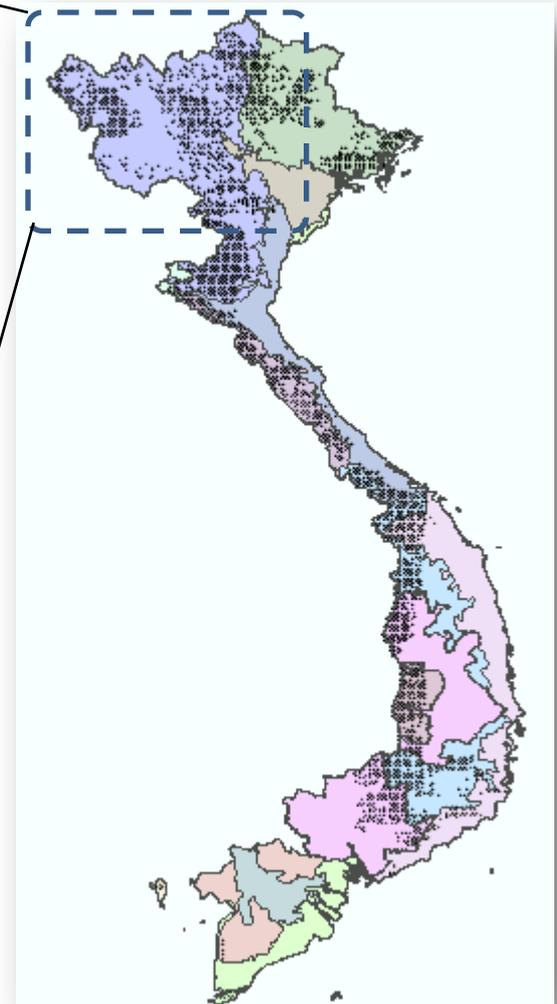
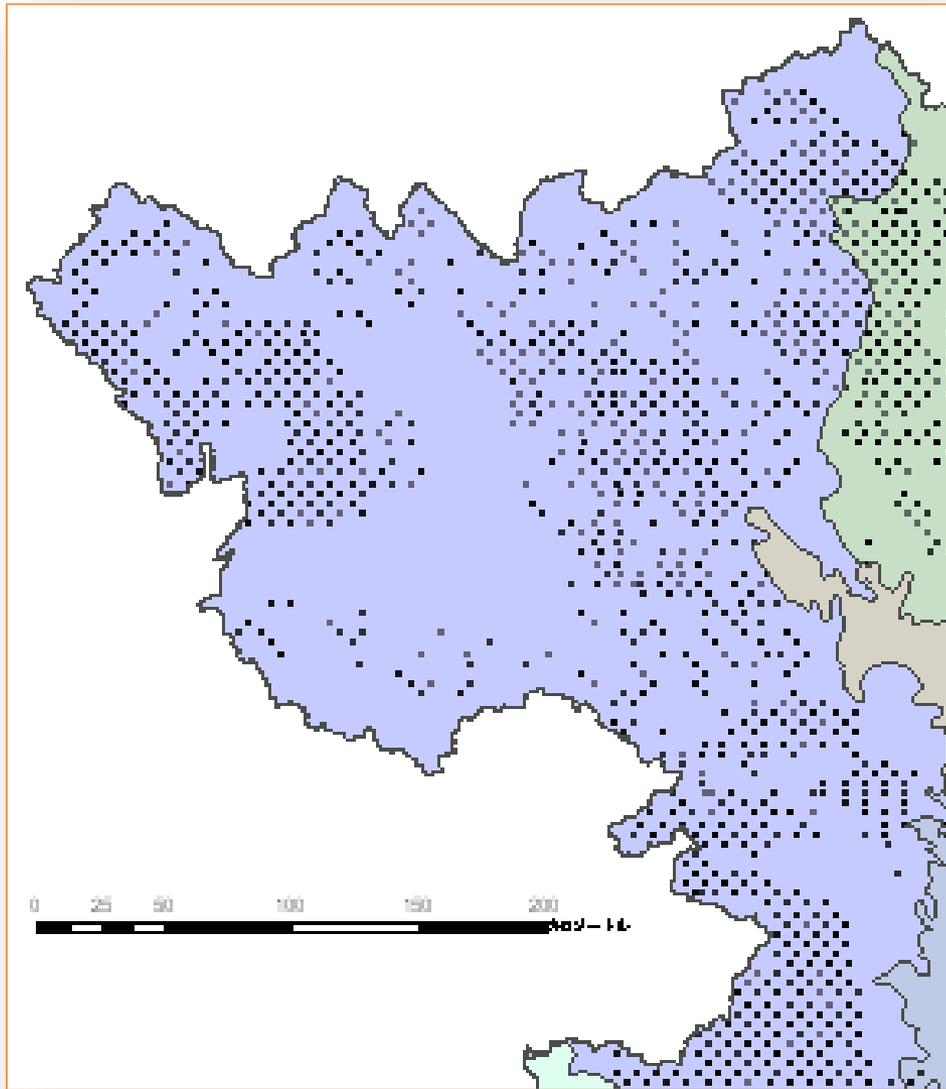


ベトナムにおけるプロットの設計





ベトナムにおけるPSPプロットの配置



ベトナム国におけるPSPの配置

調査の設計

- 精度とコストのトレードオフ
- より正確で高い精度のデータを得るためにはより多くのコストが必要
- できるだけ低いコストで高い精度のデータを得るための工夫が必要



排出係数の取り纏め

NFIから計算される地域別・樹種別平均材積(ベトナム国 国家資源調査 第3期より)

Forest types	Northwest	Northeast	Northeast	North middle centre	South middle centre	Highland	Southeast	Mekong river delta
Rich Evergreen broad-leaved forest	343.44			306.15	239.44	219.40	295.45	
Medium Evergreen broad-leaved forest	85.15	89.79		136.33	149.99	149.50	180.96	
Poor Evergreen broad-leaved forest	37.25	34.24		81.92	74.18	85.72	75.95	79.34
Restored forest	33.51	20.81		32.85	70.35	86.67	83.04	67.43
Coniferous forest		30.60		65.50	94.04	95.74	180.90	
Broad-leaved and coniferous mixed forest						106.73	179.86	
Rich Dry open forest of Dipterocarps						149.07	226.64	
Medium Dry open forest of Dipterocarps						134.97	175.62	
Poor Dry open forest of Dipterocarps						70.47	77.83	
Restored Poor Dry open forest of Dipterocarps						70.60	39.62	
Bamboo forest	35.97	30.36		83.41	52.60	60.14	63.03	
Primary forest and natural forest								
Mangrove								
Forest on rocky mountain								
Man-made forest	20.79	20.66		11.15	10.46	19.33	4.56	

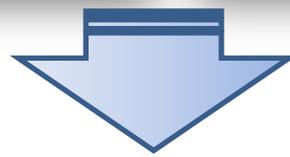


5.参照レベルの要件

参照レベル作成における留意点



90' ~ 95'													95' ~ 00'													00' ~ 05'													00' ~ 10'																			
町	支	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	町	支	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	町	支	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	町	支	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1														1					149	142						64	1														1																	
2	646	283	157	110	228			297						2	458	274	107	144	241			258						2	434	271	112	148	214			236					2	604	282	144	157	128			279									
3														3													3													3																		
4	959													4	600	295	187					320					4	479	303	130					248					4	798	299																
5	606	280	143	140				229					121	5	581	274	129	93			87	256					5	519	268	147	101				83	181	87		116	5	508	275	158	131				78	219	97		67						
6	590	272	124	98			106	191	5			209	78	6	507	271	115	83			119	151				118	88	6	505	270	119	75				283	114	29		119	83	6	516	272	135	94				96	118				165	103		
7	471	258	141	107				193	83				77	7	457	268	147	89				195	98				80	7	420	265	153	109				107	151	87			60	7	417	272	171	116				82	181	146			78			
8														8													8													8																		
9	518	281	117	74				75	173	96			77	9					290	104	65		96	99	99		88	9								75	94	88			77	9								96	122	105	4		85			
10	477	293	127	148	224			190	240				121	10	446	276	124	141	237	126	181				94		87	10	430	280	143	146	226			121	202	240			98	10	465	282	158	140	198			139	249				94			
11	546	276	154	121	185			119	205	203	200		123	11	458	278	142	141	258	85	172	127	232				84	11	448	280	143	134	247			75	164	166	268		160	198	11	502	291	182	135	153			91	199	293	292			163	
12	529	279	131	135	219			316	289				120	12	465	277	129	125	183			184	223	363			20	64	12	449	277	134	140	180			190	95	169			78	201	12	511	280	120	128	189			134	240					108
14														14													14													14																		



整備されたこれらの情報をどのようにして料理するか？



参照レベル作成における留意点

- ❑ What is/are the difference(s) between RL and REL and the associated methodological differences?
 - Recommend guidance
- ❑ Can a Party propose REL/RLs for a subset of REDD+ activity types?
 - If yes, under what conditions? (e.g. must include Deforestation)
- ❑ When is it appropriate to adjust extrapolated historical trends or estimates?
 - To address national circumstances, on a case by case basis
 - What type of information is needed to support adjustment?
- ❑ What information should be provided and in what form for the determination of REL/RL?
- ❑ What aspects of the construction of RL/RELs should allow for comparability among countries?
- ❑ How can we avoid perverse incentives through the exclusion of pools or activities?

参照レベル作成における留意点

Item to be considered

Option 1

Option 2

Method of calculation

Integrating Emission and Removal

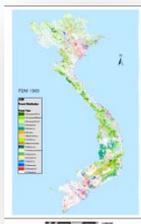
Separating Emission and Removal

Units of Aggregation

National Scale

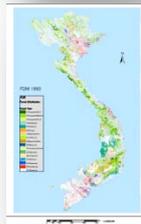
Regional Scale by Administrative Units

参照レベル作成における留意点



SR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	385	157										75
B	404	261	144	157	178	279					115	394
C	794	290										
D	506	273	138	131	78	237	51					47
E	510	272	175	79	66	188						203
F	437	272	173	138	82	188	186					73
G												
H	271	118	115	86	112	195	4	87				
SR	401	291	138	146	86	138	201					41
SR	503	291	162	173	153	151	151	109	231	262		361
SR	511	288	178	138	184	240		273				386
SR												101

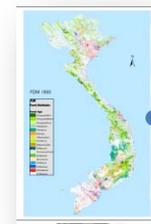
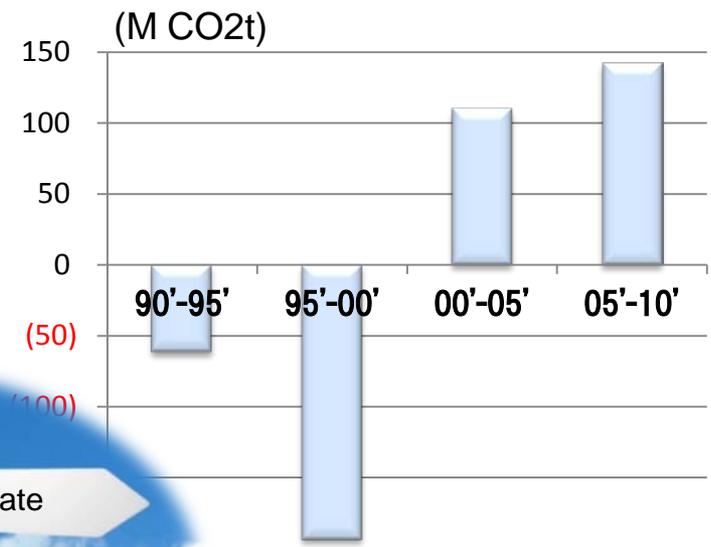
C Stock in 1990 (Ct)



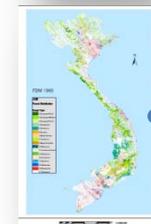
SR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	385	157										75
B	404	261	144	157	178	279						115
C	794	290										
D	506	273	138	131	78	237	51					47
E	510	272	175	79	66	188						203
F	437	272	173	138	82	188	186					73
G												
H	271	118	115	86	112	195	4	87				
SR	401	291	138	146	86	138	201					41
SR	503	291	162	173	153	151	151	109	231	262		361
SR	511	288	178	138	184	240		273				386
SR												101

C Stock in 1995 (Ct)

C Stock Change 1990 to 1995



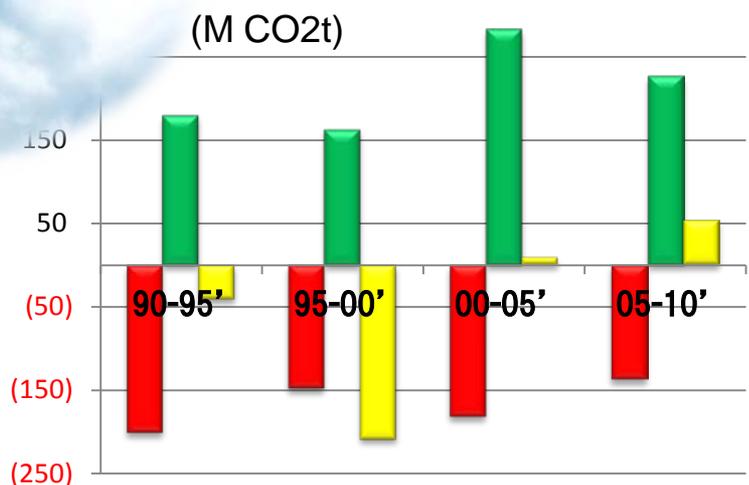
F.Type area Change 1990 to 1995 (ha)



SR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	385	157										75
B	404	261	144	157	178	279						115
C	794	290										
D	506	273	138	131	78	237	51					47
E	510	272	175	79	66	188						203
F	437	272	173	138	82	188	186					73
G												
H	271	118	115	86	112	195	4	87				
SR	401	291	138	146	86	138	201					41
SR	503	291	162	173	153	151	151	109	231	262		361
SR	511	288	178	138	184	240		273				386
SR												101

Emission Factor Change 1990 to 1995 (Ct/ha)

SR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	385	157										75
B	404	261	144	157	178	279						115
C	794	290										
D	506	273	138	131	78	237	51					47
E	510	272	175	79	66	188						203
F	437	272	173	138	82	188	186					73
G												
H	271	118	115	86	112	195	4	87				
SR	401	291	138	146	86	138	201					41
SR	503	291	162	173	153	151	151	109	231	262		361
SR	511	288	178	138	184	240		273				386
SR												101



■ Deforestation ■ Afforestation ■ Remaining Forest

REL/RLの開発(森林マトリックスの作成)

- RELとRLを分離して開発するためには、森林現況だけでなく森林変化Matrixの作成が不可欠。
- GISの機能を活用し、2時点間での森林減少・増加箇所を分離して抽出。

2000年の森林タイプ

		Year 2000																	Grand Total
		Evergreen broadleaf forest, rich forest	Evergreen broadleaf forest, medium forest	Evergreen broadleaf forest, poor forest	Evergreen broadleaf forest, rehabilitation forest	Deciduous forest	Bamboo forest	Mixed timber and bamboo forest	Coniferous forest	Mixed broadleaf and coniferous forest	Mangrove forest	Limestone forest	Plantation	Limestone area (no forest)	Bare land, shrub land, fragmented trees	Water body	Residential area	Other land	Grand Total
1990年の森林タイプ	Evergreen broadleaf forest, rich forest	23,871	8,241	6,470	1,874	100	897	1,640	0	222	0	0	23	0	2,108	5	17	2,563	48,033
	Evergreen broadleaf forest, medium forest	8,415	23,156	1,803	2,673	158	1,135	3,193	0	0	0	0	139	0	4,272	19	1,183	31,171	77,316
	Evergreen broadleaf forest, poor forest	1,184	22,034	53,630	11,500	1,054	1,003	7,417	0	8	0	0	1,460	0	11,774	223	652	28,436	140,375
	Evergreen broadleaf forest, rehabilitation forest	348	2,734	13,117	3,893	69	886	9,188	0	0	0	0	2,551	0	5,539	20	255	17,143	55,971
	Deciduous forest	74	324	718	959	47,140	0	0	0	0	0	0	0	0	5,316	45	701	14,461	69,744
	Bamboo forest	6	253	477	2,812	1	4,722	2,865	0	0	0	0	568	0	6,097	43	11	1,496	23,623
	Mixed timber and bamboo forest	357	7,373	8,990	7,321	7	3,558	30,794	0	1,939	0	0	1,330	0	6,097	43	11	4,905	71,722
	Coniferous forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mixed broadleaf and coniferous forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mangrove forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Limestone forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Plantation	0	0	47	12	0	0	0	0	0	0	0	450	0	79	1	21	365	965
	Limestone area (no forest)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bare land, shrub land, fragmented trees	204	1,089	12,322	4,987	3	6	7	14	0	131	0	2,579	0	12,940	144	803	41,610	85,490
	Water body	1	4	9	8	6	7	14	0	0	0	0	3	0	21	2,321	75	248	2,718
	Residential area	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	113	9	122	466	791
	Other land	10	626	1,728	3,561	233	940	1,182	0	25	0	0	1,478	0	9,866	484	7,798	47,116	75,098
	Grand Total		34,470	65,833	99,371	39,600	51,943	15,411	66,527	0	2,554	0	10,655	0	60,535	3,320	11,651	189,974	651,844

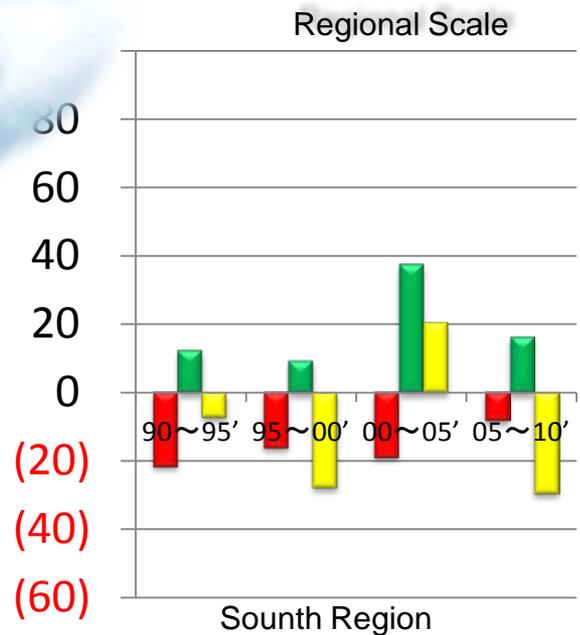
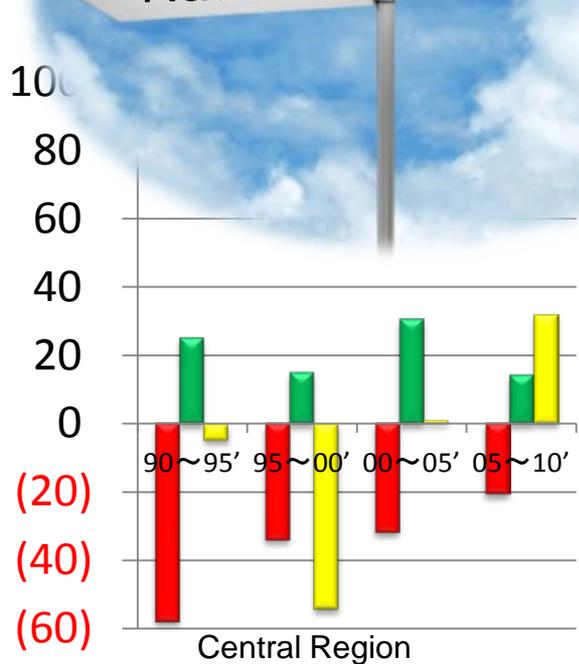
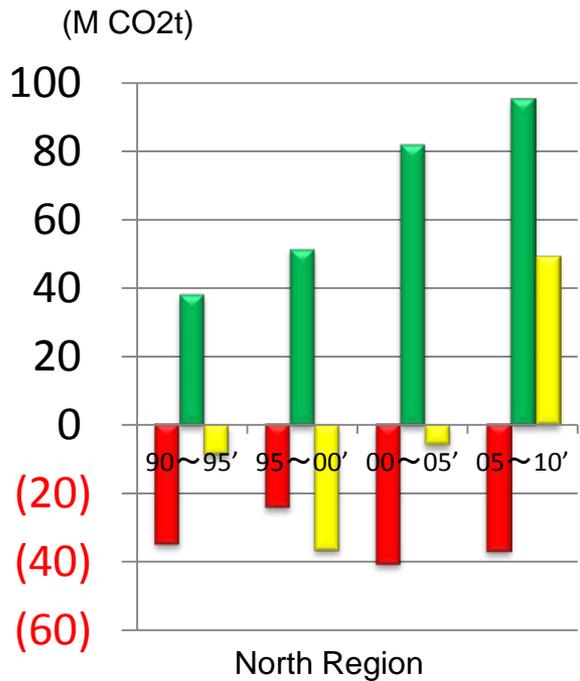
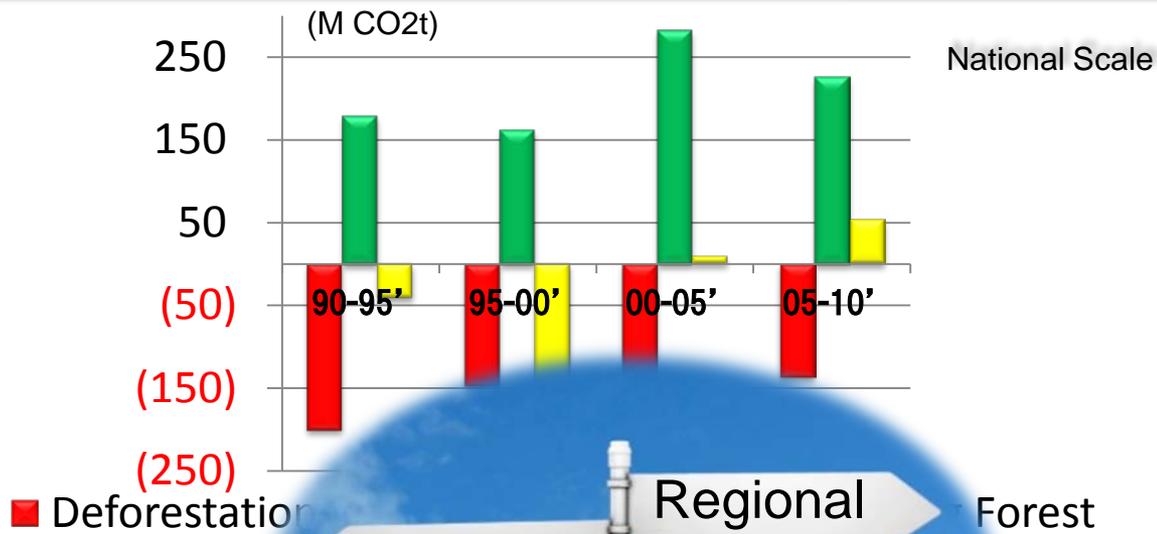
森林劣化箇所

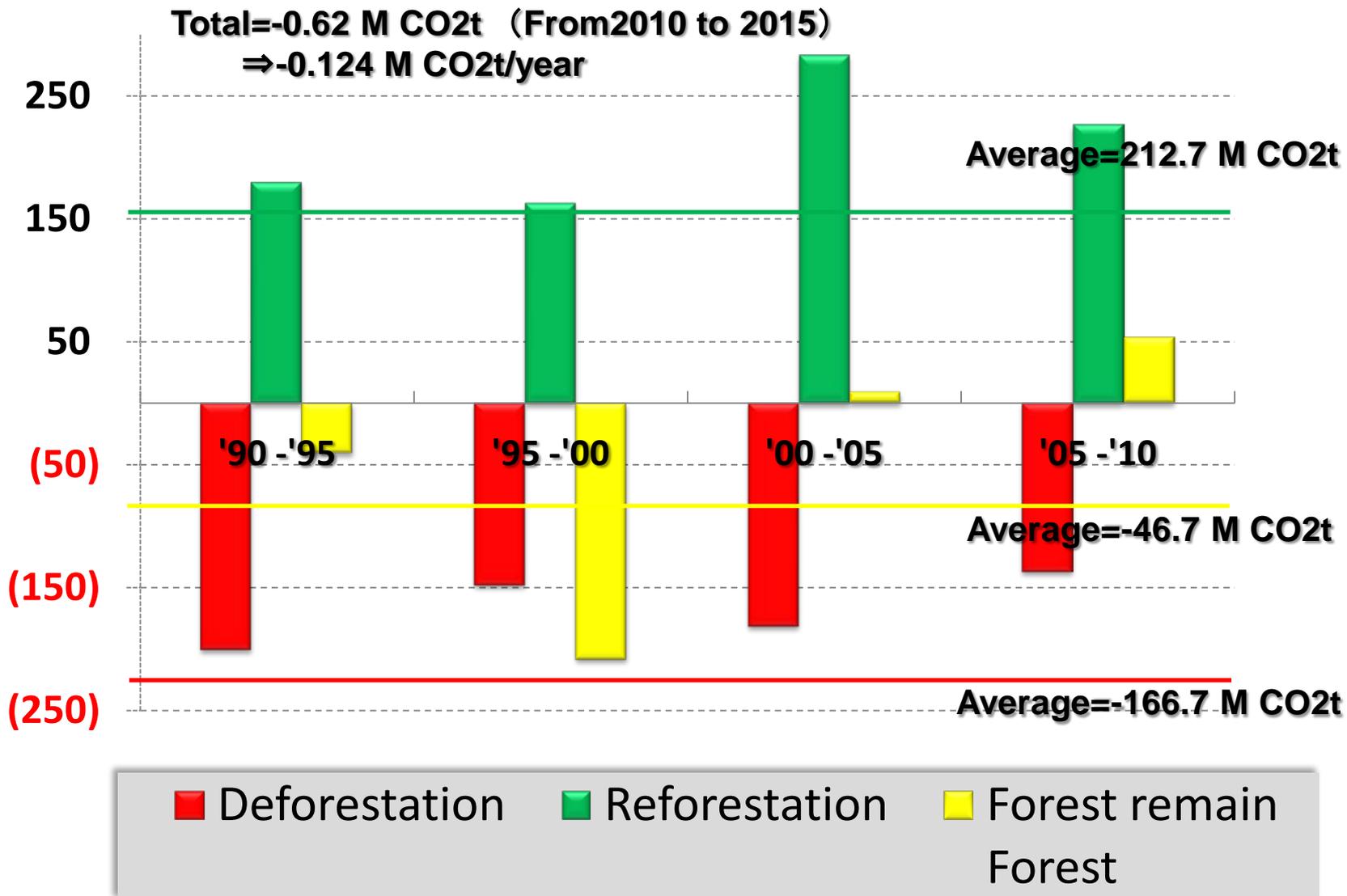
森林減少箇所

質的森林回復箇所

面的森林回復箇所

1990年の森林タイプ





森林炭素モニタリングの設計と参照レベルの要件 (まとめ)

- 森林炭素モニタリングはリモートセンシング情報と地上調査の組み合わせが基本
- リモートセンシング情報の利用は対象に応じた選択が重要
- 地上調査は国家森林資源インベントリを活用することが多い。
- 参照レベルの設計では、幾つかのオプションがある



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第4章

森林炭素モニタリングの基礎

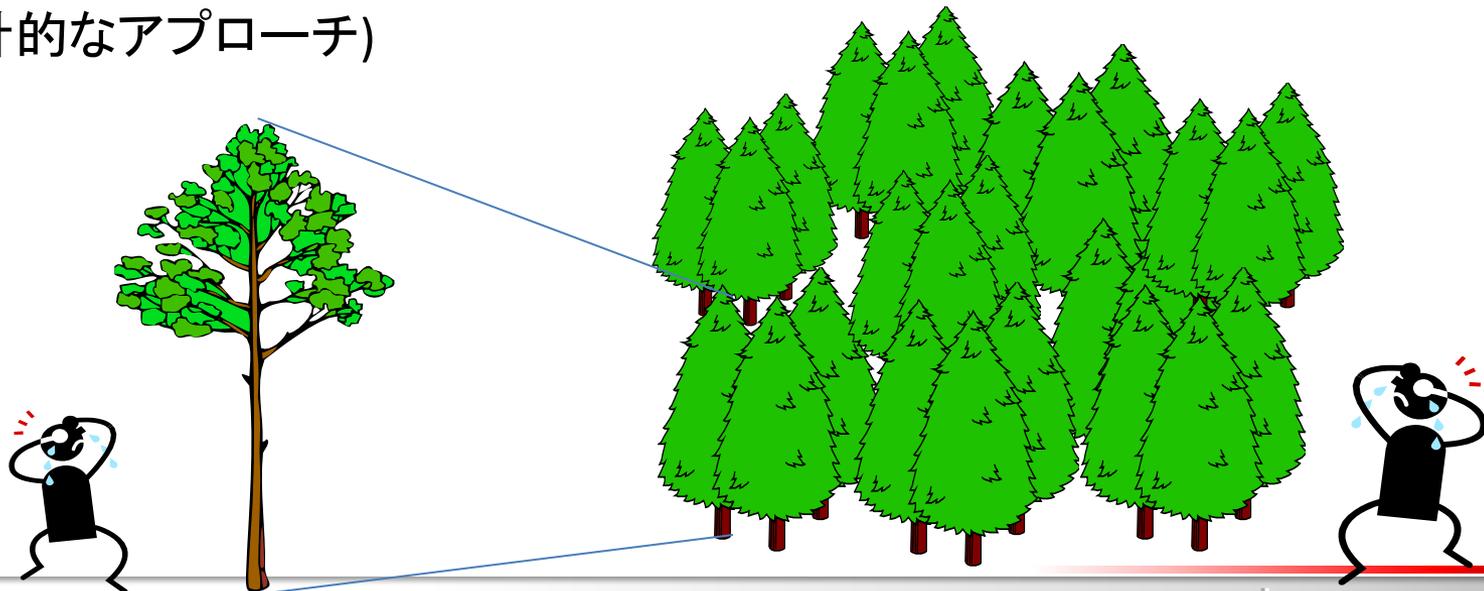
森林の地上計測手法

一般社団法人 日本森林技術協会
金森 匡彦



森林の地上計測の基礎

- 森林を計測することの困難さ
 - － 木の形状は複雑である
 - 正確に計測するのが困難 (モデル化の歴史)
 - 時間によって変化する (樹木の成長その他)
 - － 森林は様々な大きさの多くの樹木と様々な生き物によって成
立している
 - 情報を効率的に取得するためには様々な工夫が必要 (コンピュータ、
統計的なアプローチ)



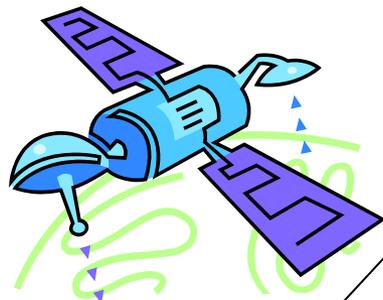
森林を計測する

測定対象として見た場合の森林の特徴

- ①形状が複雑で正確に計測するのが難しい
 - 計測方法の工夫
 - モデル化して考える必要
- ②大量に存在する
 - 統計的方法の必要(サンプリング調査)
- ③山に生えており動かすことができない
 - 測定に労力が必要(コストが掛かる)
- ④時間と共に成長する
 - 変化を知るためには繰り返し計測する必要
- ⑤高価なものではない
 - 測定に掛けられるコストに制限

森林の計測方法

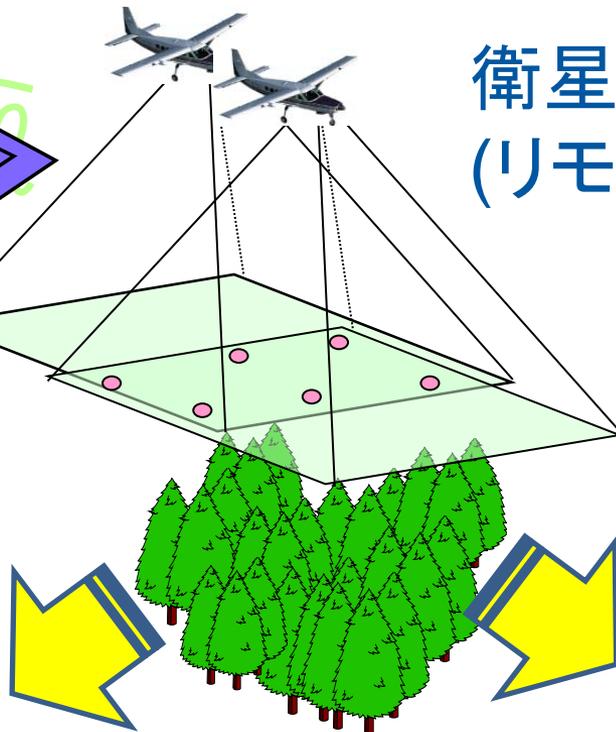
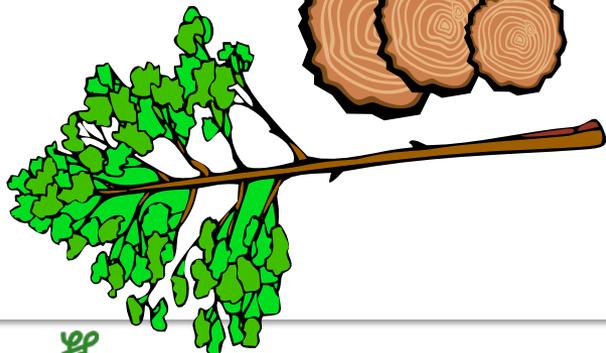
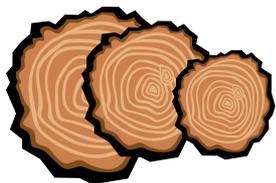
森林を計測する様々な方法



上空からの間接的な計測

衛星や空中写真
(リモートセンシング)

樹幹解析(1本の
木を正確に計測
する)→破壊的
調査



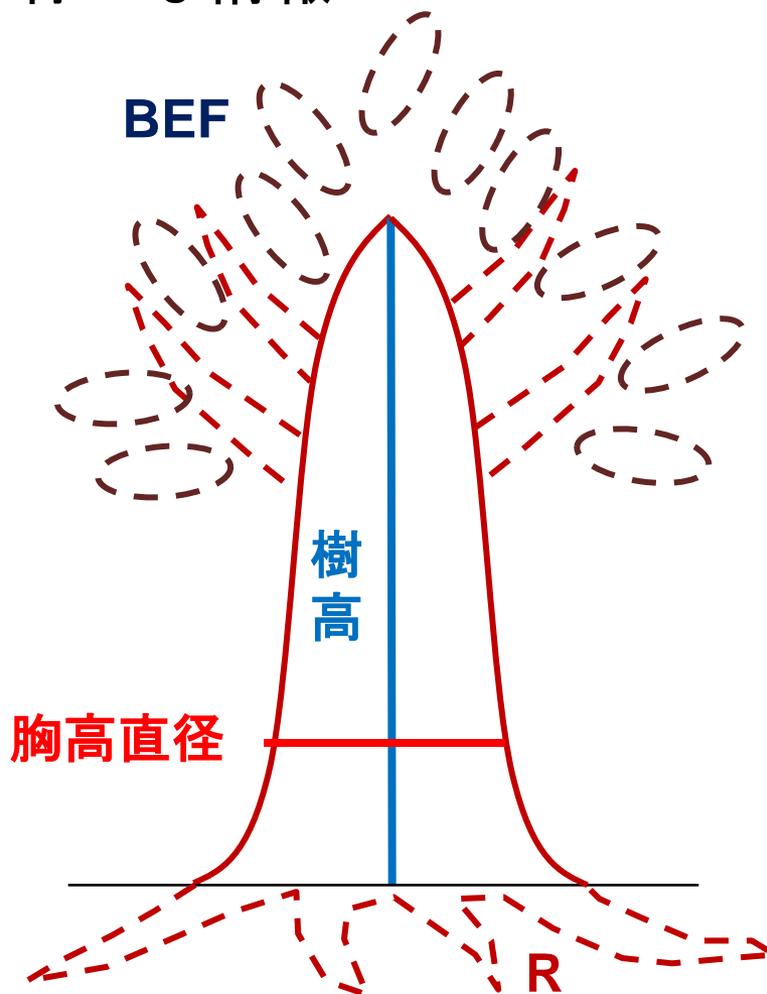
地上調査 (プロット
調査等)

地上における直
接計測 (樹木や
その他生物)



樹木をモデル化して蓄積やバイオマスを把握する

- 計測値を材積、バイオマス、炭素量に変換するために必要な様々な情報



樹幹材積

総バイオマス

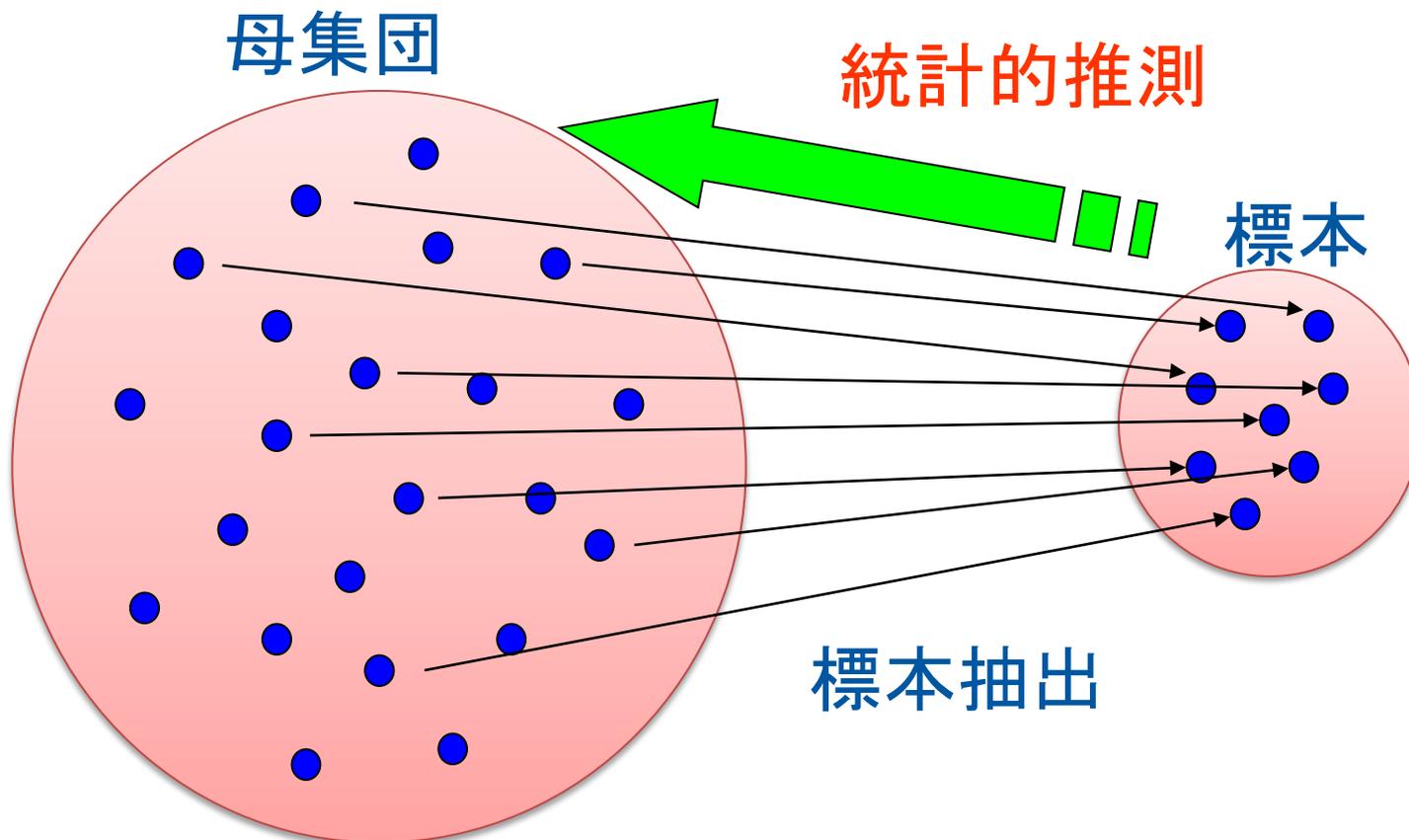
樹幹のモデル化:材積式、材積表(胸高直径、樹高を調べることにより計算)

バイオマスへの拡張:幹材積を基準として、幹以外の部分(枝・葉・根)の構成比を調べることによりバイオマス量に換算する

サンプリング調査とは？

- 統計学的なアプローチ

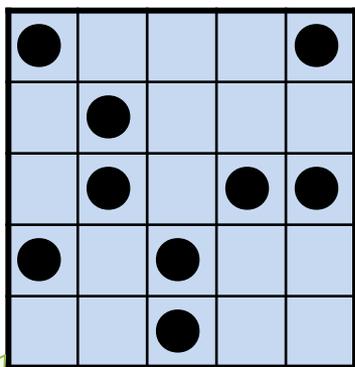
- 一般的に調べたい対象(母集団)の要素をすべて調べるのは不可能
- 統計的推測: 全体の一部を取り出す(標本抽出: サンプリング)ことにより、全体の傾向を知る



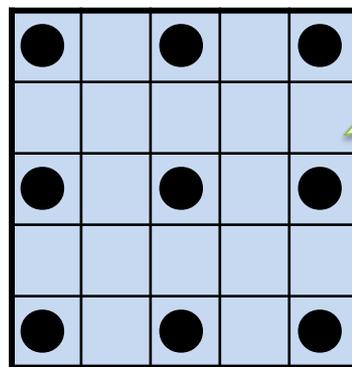
サンプリング調査の基礎

● 標本抽出の方法

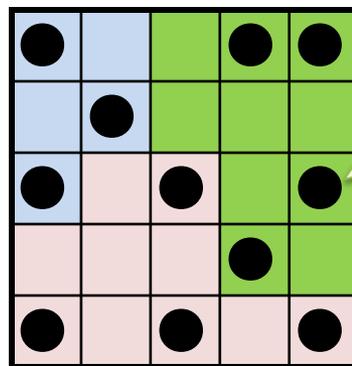
- 無作為抽出が基本、簡便化する方法として系統抽出、層化抽出法等がある



無作為: 乱数などを用い無作為に標本を抽出(基本)



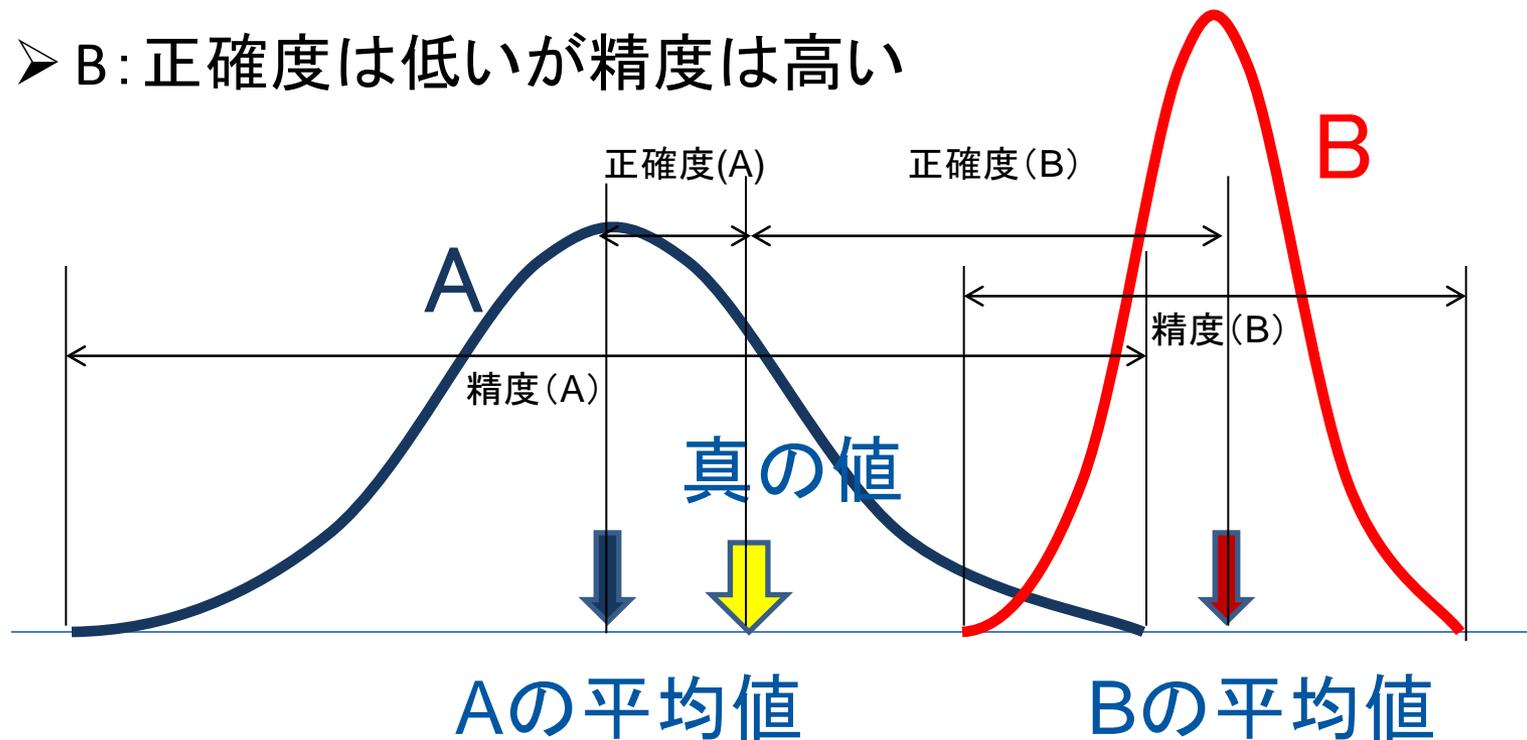
系統抽出: 一定の間隔で標本を抽出



層化抽出:
あらかじめいくつかの層に分けて抽出

調査における誤差

- 誤差
 - 測定値は必ず誤差を含む
- 正確度と精度
 - A: 正確度は高いが精度は低い
 - B: 正確度は低いが精度は高い



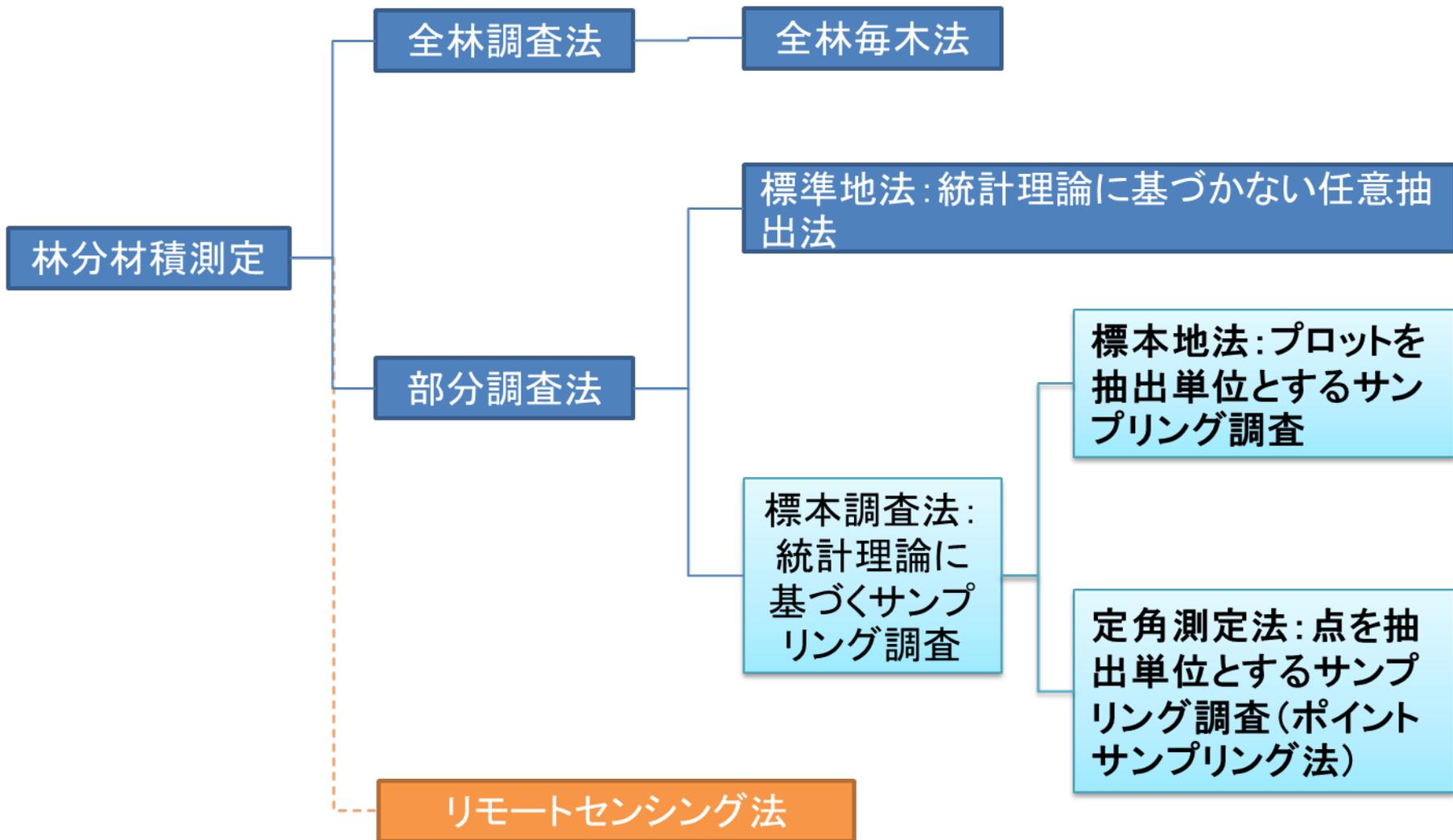
コストと精度のトレードオフ

- より正確で高い精度のデータを得るためにはより多くのコストが必要
- できるだけ低いコストで高い精度のデータを得るための工夫が必要
 - 例えば「層化」という方法を使うことにより、同じ精度でもサンプル数を少なくすることができる→調査コストの節減





林分材積測定法の分類





プロット調査

- 森林内に一定の面積の調査地(プロット)を設定し、プロット内の要素(胸高直径、樹高など)を調べる
- 調べた要素の傾向より、森林全体の傾向を推測する
- プロットの形:円形、方形等。理論上は円形が最も精度を高めることができる
- プロットが大きさ:大きいほど精度は高くなる
- プロットの配置方法は、任意によるもの(標準地法)、サンプリングによるもの(無作為抽出、系統抽出)がある

定角測定法(ポイントサンプリング)

- 森林内の1点に立ち、周辺を「一定の角度で」見回す(視準)
- 見回した角度よりも幅が広く見える木を1本とカウントする
- 見回した角度と幅がちょうど一致して見える木を0.5本とカウントする
- 見回した角度よりも幅が狭く見える木はカウントしない(0本)
- カウントした木の本数の合計と視準した角度によってあらかじめ決まる定数を掛けることによって、林分胸高断面積(の期待値)を求めることができる
- 樹高を求めることができれば材積の計算が可能

G(胸高断面積)

=k(断面積定数) * E(カウント本数)

森林調査の基礎（現地実習）

- 安全第一

- 経路の確認（地図、GPS）
- 天候
- 危険生物



- 大きな声で
 - 安全確認
 - 数値の復唱



直径を測る道具

- h: 輪尺
 - 幹が真円に近い人工林に使用
 - 直径40cm程度まで
- g: 直径巻尺
 - 裏表に通常目盛と π で割った直径目盛表示
 - 幹が不整形な場合も使用できる
 - 直径1m程度まで
- i: ノギス
 - 数cm以下の小径木に使用
 - 電子ノギスは電池蓋に注意



森林生態系多様性基礎調査事業調査マニュアルより

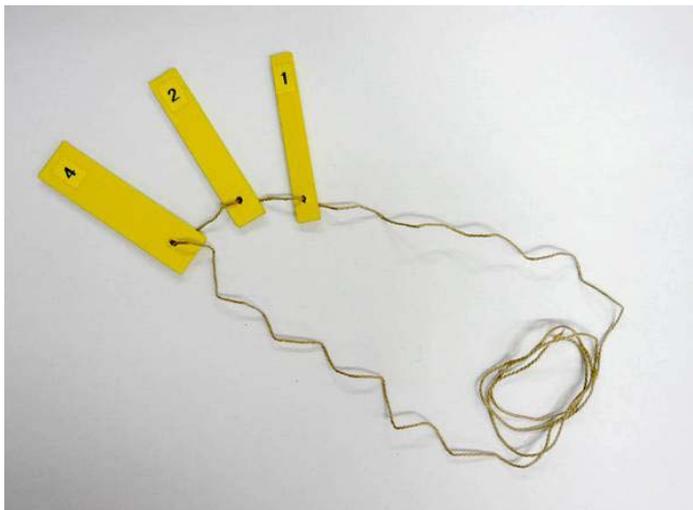
樹高を測る道具

- d: 測桿
 - 10m程度までの樹高を計測
 - 先端を伸ばし手元の目盛を読み取る
- f: ブルーメライス
 - 一定の水平距離を離れた時、根元、梢端の視認角度目盛が樹高を指す
- e: バーテックス
 - 超音波でトランスポンダーまでの距離を計測
 - トランスポンダー、梢端の視認角度により樹高を表示



森林生態系多様性基礎調査事業調査マニュアルより

ポイントサンプリングを行うための道具(各種視準器)



自作の簡易レラスコープ



シュピーゲル・レラスコープ*



プリズム*

(*forestry suppliers ホームページより)



ポイントサンプリングの理論を応用した簡易計測器(おみとおし)

スギ・ヒノキ林分材積 (m³/ha)

本数	7	8	9	10	11	12	13	14
10	140	160	180	200	220	240	260	280
12	168	192	216	240	264	288	312	336
14	196	224	252	280	308	336	364	392
16	224	256	288	320	352	384	416	448
18	252	288	324	360	396	432	468	504
20	280	320	360	400	440	480	520	560
22	308	352	396	440	484	528	572	616
24	336	384	432	480	528	576	624	672
26	364	416	468	520	572	624	676	728

(注) 目からの距離45cm、材積式：本数×樹高×2

おみとおし
—スギ・ヒノキタイプ用 (K=4)—
(社) 日本森林技術協会

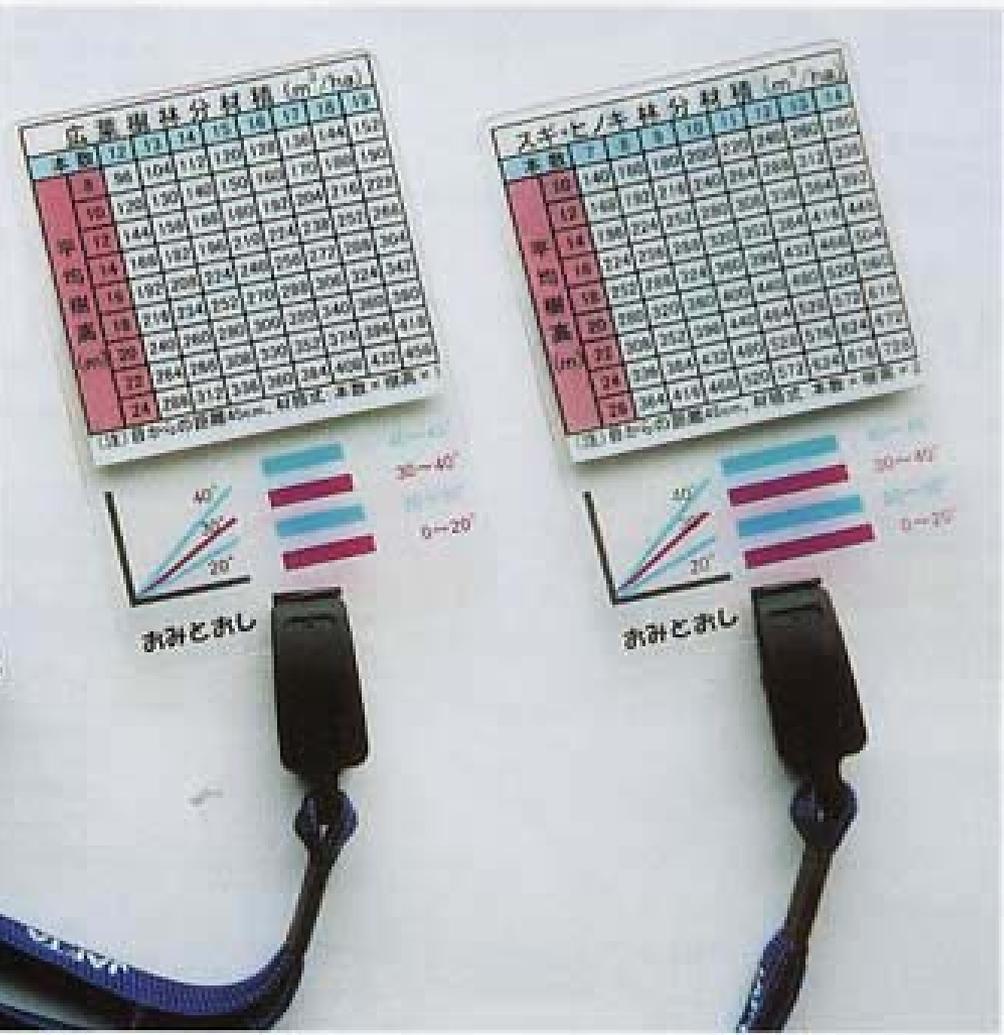
登山などの広葉樹林等で使用する際は、別途販売している「おみとおし (広葉樹タイプ 用K=2)」をご利用ください。

(参考) 広葉樹材積の目安値 (t/ha)

材積 (m ³ /ha)	100	200	300	400	500	600
針葉樹	34	68	102	136	170	204
広葉樹	57	114	171	228	285	342

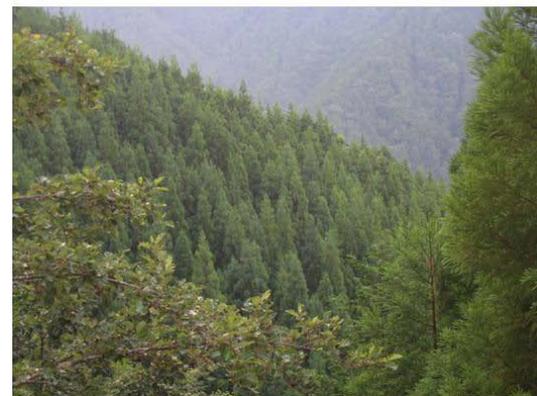
(注) 日本人一人あたりに換算した二酸化炭素の総排出量は約0.8t/人・年です。

おみとおし



地上調査項目

- 材積、バイオマスの推定に必要な情報
 - － プロット内の立木本数(本数密度)
 - － 直径
 - － 樹高
- 林分概況の把握に必要な情報
 - － 植被率(高木層、亜高木層、低木層、草本層)
 - － 林内写真、天頂写真、遠望写真
- 目的に応じて必要
 - － 枯損木、倒木
 - － 下層植生
 - － 土壌
 - － 蘚苔類、遺伝子



プロットの設定

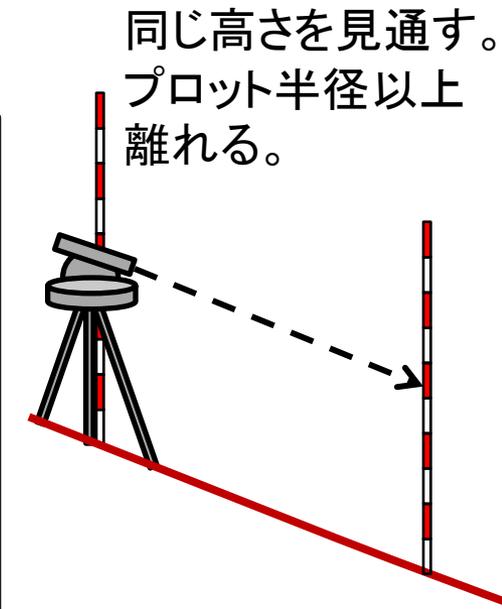
- 大きさ
 - 調査コストと精度とのバランスで決まる
 - 経験的に、林分の最高樹高がプロット内に収まる大きさ、又は上層木が20-30本程度含まれる大きさ
 - 水平投影面積が一定となるようにする
 - 等確率抽出の原則(標本の大きさは基本的に同じでなければならない)
 - 傾斜角に応じた斜距離により設定する
 - バーテックスを使って水平距離により設定可能
- 設定の条件
 - 標準地:対象林分を代表する、均一な林相・地形の位置に任意に設定
 - サンプルングで位置を指定した場合には、その限りではない。
- 形
 - 円形:中心から8方位を等距離にとる。バーテックスを利用するとよい。
 - 方形:周辺の簡易測量が必要。傾斜方向に沿った方形は調査しやすい。
- 継続調査の有無
 - 継続調査が必要な場合は杭を設置

プロット設定

- 0.1ha円形プロット設定(2班で1プロット)
 - 中心にポールを設置。
 - コンパスグラスで傾斜方位
 - バーテックスで傾斜角を計測。
 - 傾斜角に応じた斜距離を半径とする。
 - プロットロープを8方位にはる(Nを赤ロープ)。
 - 円周位置に標識テープを付す。



色	傾斜(°)	半径(m)		
		小円	中円	大円
黒	0 ~ 2	5.64	11.28	17.84
赤	3 ~ 7	5.65	11.31	17.88
黄	8 ~ 12	5.69	11.37	17.98
緑	13 ~ 17	5.74	11.48	18.15
青	18 ~ 22	5.82	11.64	18.40
黒	23 ~ 27	5.93	11.85	18.74
赤	28 ~ 32	6.06	12.13	19.17
黄	33 ~ 37	6.23	12.47	19.71
緑	38 ~ 42	6.45	12.89	20.38
青	43 ~ 47	6.71	13.42	21.22
黒	48 ~ 52	7.04	14.07	22.25



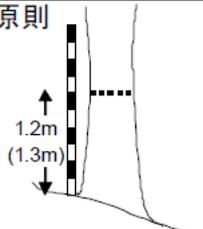
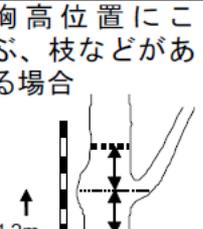
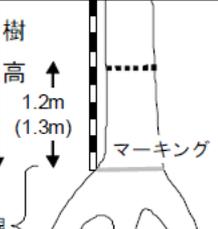
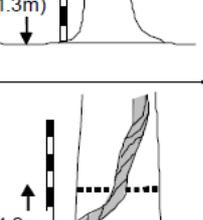
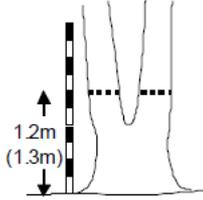
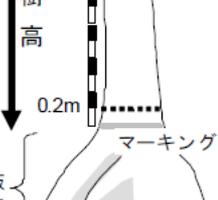
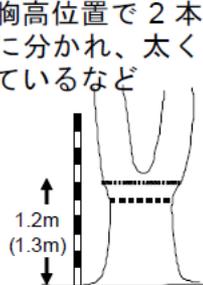
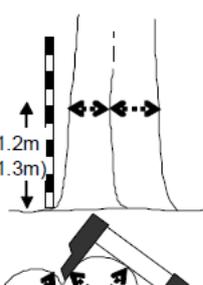
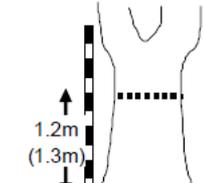
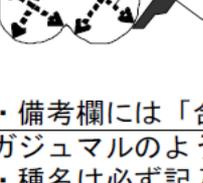
直径の測定

- 胸高直径 (Diameter at Breast Height)
 - － 胸高位置は地域により異なるので注意
 - 日本北海道 =1.3m (海外も同様)
 - 日本北海道以外 =1.2m
 - － 傾斜地の場合は、山側に立って胸高位置を決める。
 - － 継続調査の場合は、胸高位置にマーキングをすると精度が高まる。
- 直径テープがねじれていないか、幹軸に垂直であるか、裏側までよく確認する。
- 目的に応じて、最小の計測対象直径、計測単位を定めておく。
- 原則として、プロット内全ての対象立木の直径を計測する。(本数の計測にもなる。)
- 大径木が多い場合は、メジャーで周長を測り、円周率で割る。
- 板根など特殊なケースは現地の測定方法に倣う。



森林生態系多様性基礎調査

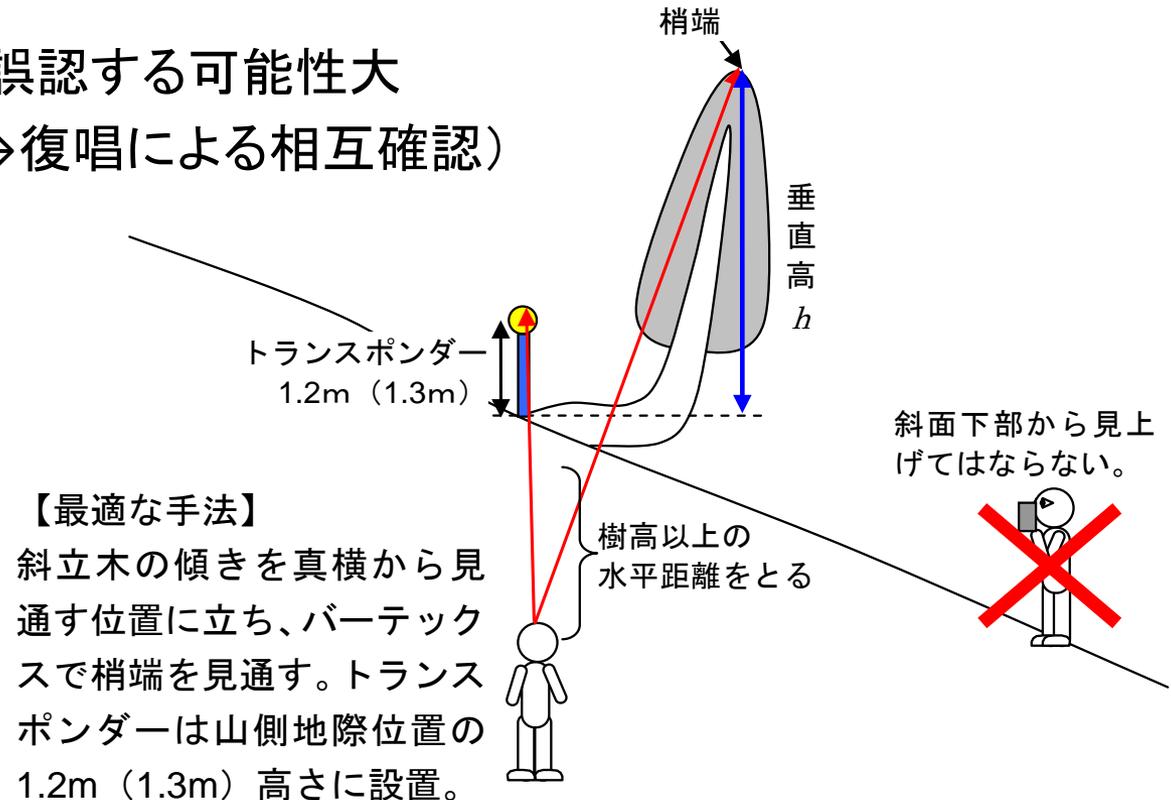
現地調査早見表より

<p>原則</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・山側の地際から、幹軸に沿って 1.2m（北海道は 1.3m）の胸高位置で測定 ・胸高位置で、幹軸に直角な面の直径を 0.1cm 単位で計測 	<p>胸高位置にこぶ、枝などがある場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・こぶなどの影響がない上下 2 箇所（胸高位置より上下に等距離）で測定し、平均値を記入する ・可能であれば、測定位置にナンバーテープなどマーキングをする ・備考欄には「こぶ上下で測定」と記入 	<p>樹高</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・岩や倒木上に成育し、根上がりしている場合（倒木などが消滅している場合も同様） ・樹幹の付け根から 1.2m（1.3m）を測定位置とする（樹高も同様）
<p>斜立している場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・斜立木の上側で、幹軸に沿って胸高位置を決める ・幹軸に直角な面の直径を測定 	<p>ツル等の着生植物が胸高位置にある場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ツル等の内側に直径巻尺を通し、測定する ・内側を通せない場合はツルにかからない部分を輪尺で 2 方向から測定する ・輪尺で測定する 2 方向は、可能な限り直交するようにする 	<p>樹幹の付け根位置および測定位置に、ナンバーテープ、スプレーなどでマーキングをする。（可能な場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・備考欄には「根上がり」と記入
<p>胸高以下で 2 本以上に分かれている</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・それぞれの胸高位置の直径を測定 ・備考欄に同一木であることを記入する 	<p>ツル等の着生植物が胸高位置にある場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ツル等の内側に直径巻尺を通し、測定する ・内側を通せない場合はツルにかからない部分を輪尺で 2 方向から測定する ・輪尺で測定する 2 方向は、可能な限り直交するようにする 	<p>樹高</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・垂熱帯地方などで板根が発達している場合、ヒルギ類の場合 ・樹幹の付け根位置（板根などの影響がなくなった位置）から 0.2m を測定位置とする（樹高も同様）
<p>胸高位置で 2 本以上に分かれ、太くなっている影響がない部分の直径を測定する</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・1 本の部分で、太くなっている影響がない部分の直径を測定する ・可能であれば、測定位置にナンバーテープなどマーキングをする 	<p>根元が個別の立木で、複数の樹幹が成長の過程で接合している場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・胸高位置で別個の樹幹が識別できる場合は、それぞれの樹幹の直径を輪尺で 2 方向から測定し、その平均値を記入する ・輪尺で測定する 2 方向は、可能な限り直交するようにする 	<p>樹幹の付け根位置および測定位置に、ナンバーテープ、スプレーなどでマーキングをする。（可能な場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・備考欄には「板根」と記入
<p>胸高より上で 2 本以上に分かれている場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・通常の立木測定と同様に、胸高位置で測定する 	<p>根元が個別の立木で、複数の樹幹が成長の過程で接合している場合</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・胸高位置で別個の樹幹が識別できる場合は、それぞれの樹幹の直径を輪尺で 2 方向から測定し、その平均値を記入する ・輪尺で測定する 2 方向は、可能な限り直交するようにする 	<p>樹高</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・タケ類（マダケ、モウソウチク、ハチク） ・地上 130cm に最も近い節間中央の直径を 0.1cm 単位で測定 ・その他のタケ、ササは下層植生調査において調査する。
<p>ガジュマルのように、個々の立木の直径を測定することが不可能な場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・種名は必ず記入する ・胸高直径、樹高は測定しなくともよい 		



樹高の測定

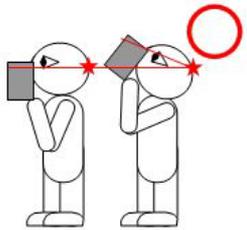
- 三角測量
 - 最新機器を使っても基本は同じ、水平距離と根元・梢端の視認角度。
 - 樹幹長を計測(垂直高ではない)
- 計測者は立木から樹高程度の水平距離をとり、できるだけ対象立木を見下ろす位置に立つ。
- 見上げの場合は梢端を誤認する可能性大
- 計測ミス(あり得ない値→復唱による相互確認)



電子機器で樹高を測定する場合の注意

- 超音波測定器（バーテックス）使用上の注意
 - － 超音波を使用するため、雨、溪流、セミなどの音で計測ができなくなる場合がある
 - － トランスポンダーの高さを確認

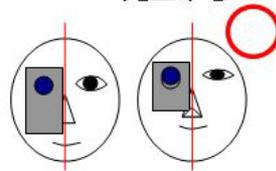
後頭部を支点★に
まっすぐ動かす



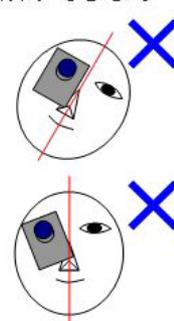
体が動いて
いる



真直ぐ上を
見上げる



覗き込むように
傾けてしまう



森林生態系多様性基礎調査ヘルプデスクHPより



- レーザー測距機使用上の注意

- － 反射板が不要の機器でも、林内では障害物に反射している可能性も高いので、必ず反射板を使用する。

ポイントサンプリング調査

- 「おみとおし」(スギ・ヒノキタイプ用)を持って、周辺を支障なく見回せるような林内の1点に立つ(ここでは任意に設定)
- 斜面の横方向を「傾斜角測定目安」を透かしながら見て、該当する傾斜角を決定
- 「おみとおし」の首ぶらさげ紐の端を目の下に当てながら紐をまっすぐ伸ばし、傾斜角に対応した測帯を透かしながら、まわりの木の胸高位置を見る。
- 見通した木の幅が測帯よりも広く見えれば、1本としてカウントする。立木と測帯がちょうど一致して見える場合には0.5本とカウントする。測帯幅よりも細く見える場合はカウントしない(0本)。
- カウントした立木の胸高直径と樹高を計測する(カウント木法)
- カウント木法: おみとおしマニュアルの方法とは異なる方法

現地調査実習

- 胸高直径
 - プロット調査では、プロット内の10cm以上の樹木を対象
 - ポイントサンプリングではカウント木を計測
 - 0.1cm単位で計測
 - 計測木の胸高位置にチョークでマーキング
- 樹高
 - 胸高直径を測定した立木すべて
 - 1m単位
- 野帳記録
 - 調査年月日、天候、調査開始時刻、調査者氏名
 - 傾斜方位、傾斜角

No	樹種	DBH(cm)	H(m)	備考

野帳係心得

- 一、大きな声で復唱する。
- 一、計測者の近くに立つ。
- すなわち、共に移動する。

現地調査のとりまとめ（プロット調査）

- データをエクセル表に入力
- 材積式の当てはめもしくは材積表
 - 林野庁計画課編 立木幹材積表 東日本編
 - 関東地方 スギ(昭和36年調製)

直径範囲 (cm)	材 積 式
4～10	$\log v = 1.753904 \log d + 1.040853 \log h - 4.172632$
12～30	$\log v = 1.849344 \log d + 1.008086 \log h - 4.219069$
32～40	$\log v = 1.944287 \log d + 0.894801 \log h - 4.211821$
42以上	$\log v = 1.600066 \log d + 1.075361 \log h - 3.921218$

- 集計した値をヘクタール当たり材積に換算する
- BEFとRにより、バイオマス量及び炭素量に換算する

現地調査のとりまとめ(ポイントサンプリング調査)

- 調査データをエクセルファイルに入力
- ある直径d(cm)の木が1本カウントされたとき、同じ直径の木がヘクタール当たり何本存在するか下記の式により求めることができる(kは断面積定数)

$$N = k \sum \frac{1}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2}$$

- 直径階別に見ると、kに応じて必然的にその直径階における本数が決定される(基準本数という)
- 直径階別カウント本数に基準本数を掛けて合計すれば、ヘクタール当たりの立木本数となる
- 材積表もしくは材積式より当てはめヘクタール当たり材積を計算する
- BEF及びRを掛けてバイオマス量及び炭素量に換算する

国家森林資源調査

- 国家森林資源調査 (NFI: National Forest Inventory)
 - 国レベルで森林資源量を把握する調査
- NFIの方法論
 - 悉皆調査と標本調査: 通常は標本調査
 - 暫定調査地と固定調査地: 時系列的なモニタリングのためには、固定調査地が有利
 - インベントリの間隔: 5～10年程度
 - 現地調査
 - プロット調査、ポイントサンプリング
 - 資源把握に必要な情報: 胸高直径、樹高
 - その他必要な項目 (森林被害、生物多様性)

海外の国家森林資源調査 (NFI)

フランスのNFI

- 調査開始: 1950年代
- 最新の調査: NFI5 (2004-2009)
- サンプルングの方法
 - Level1 (1.41km × 1.41 km) の格子点ごとに写真判読
 - Level2 (1.99km × 1.99km) の格子点を中心とした1km四方からランダムサンプルング
- 空中写真による林相図作成
 - 赤外線写真を自動区分ソフトで解析し、技術者が確認のうえ林相図を作成
 - 現地情報をタブレットPCで見ながら確認
- 写真判読プロット数: 275,000
- 現地調査プロット数: 50,000 (うち森林35,000)
 - 森林の現地調査は4重の円形プロットで実施



フランス：プロットの配置・構造

- ・5年のサイクルに対応した格子点配置
- ・4重円形プロット（円によって調査項目が変わる。）
- ・グリッドの階層構造



ドイツのNFI

- 第1回：1986～90、第2回：2000～02
- 固定調査地の再測定（間隔10年）
- 地域によってサンプリング密度が異なる
 - 3種類のサンプリング密度（×1、×2、×4）

ドイツ：プロット調査

- 150m格子のクラスター構造
- 四隅に半径25mの円形プロット
- プロット中心で「ポイントサンプリング」
- 現地調査点数：54,009（NFI2）



カナダのNFI

- 20km格子ごとに2km四方の写真判読プロット
(18,850)
- 写真格子点のうちの10%をランダムサンプリングし、
中心を現地調査する

カナダの格子点配置

- ・森林の存在しない極地方は除かれている

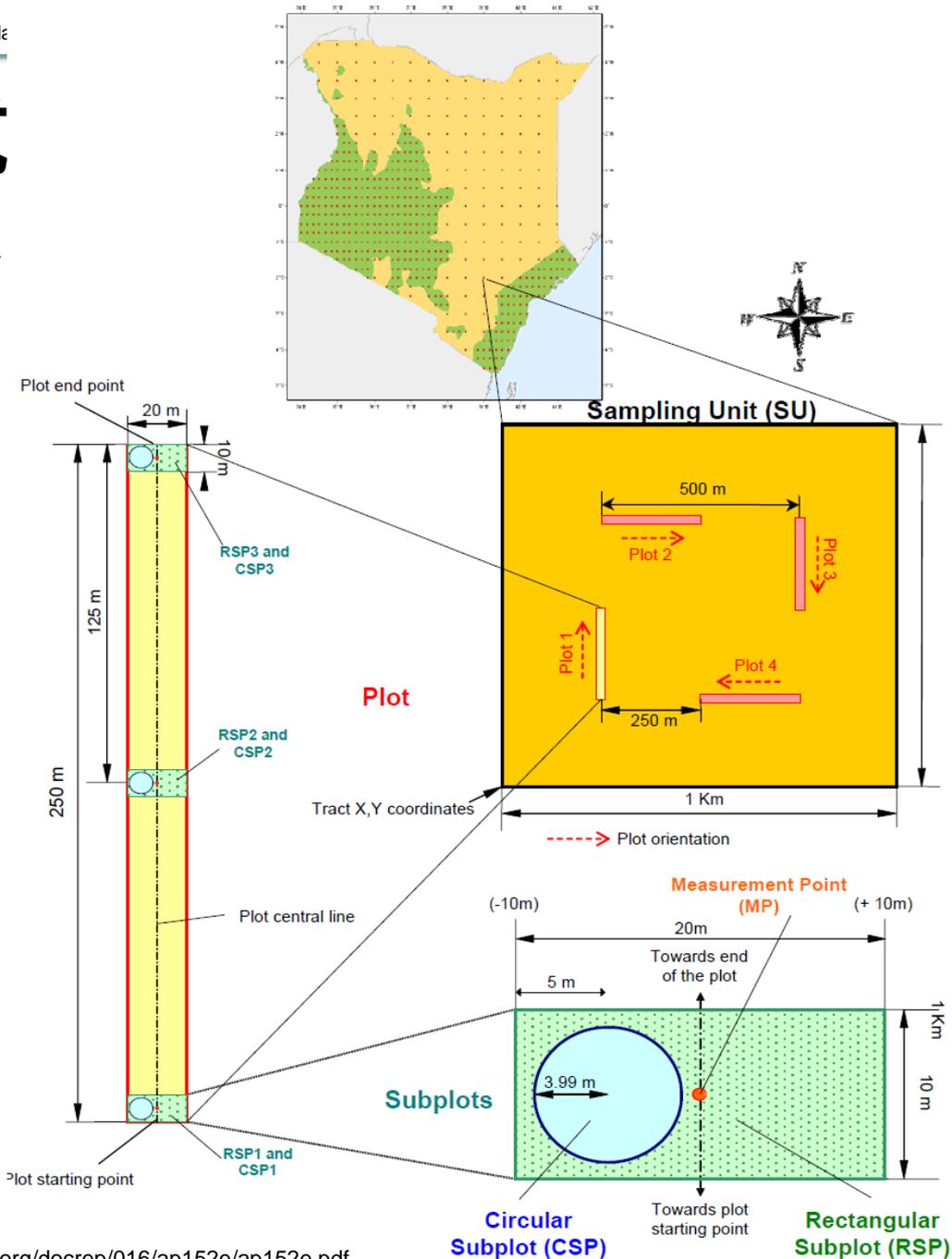


フィンランドのNFI

- 1921年～ 現在NFI11を実施中
- インベントリの間隔:5年
- 3×3km～10×10kmのサンプリング密度(6つの地域で異なる)
- クラスターサンプリングによる暫定調査地と固定調査地の組合せ調査(プロット中心点でポイントサンプリング)

FAO (2008) 方式

- 途上国における国家森林資源調査の計画実施を援助するプログラムにおける基本的な方法
- 最低でも経緯度1度単位の格子
- 格子点に1km四方のクラスター、中に4箇所20×250kmプロット



日本の国家森林資源調査

● 背景

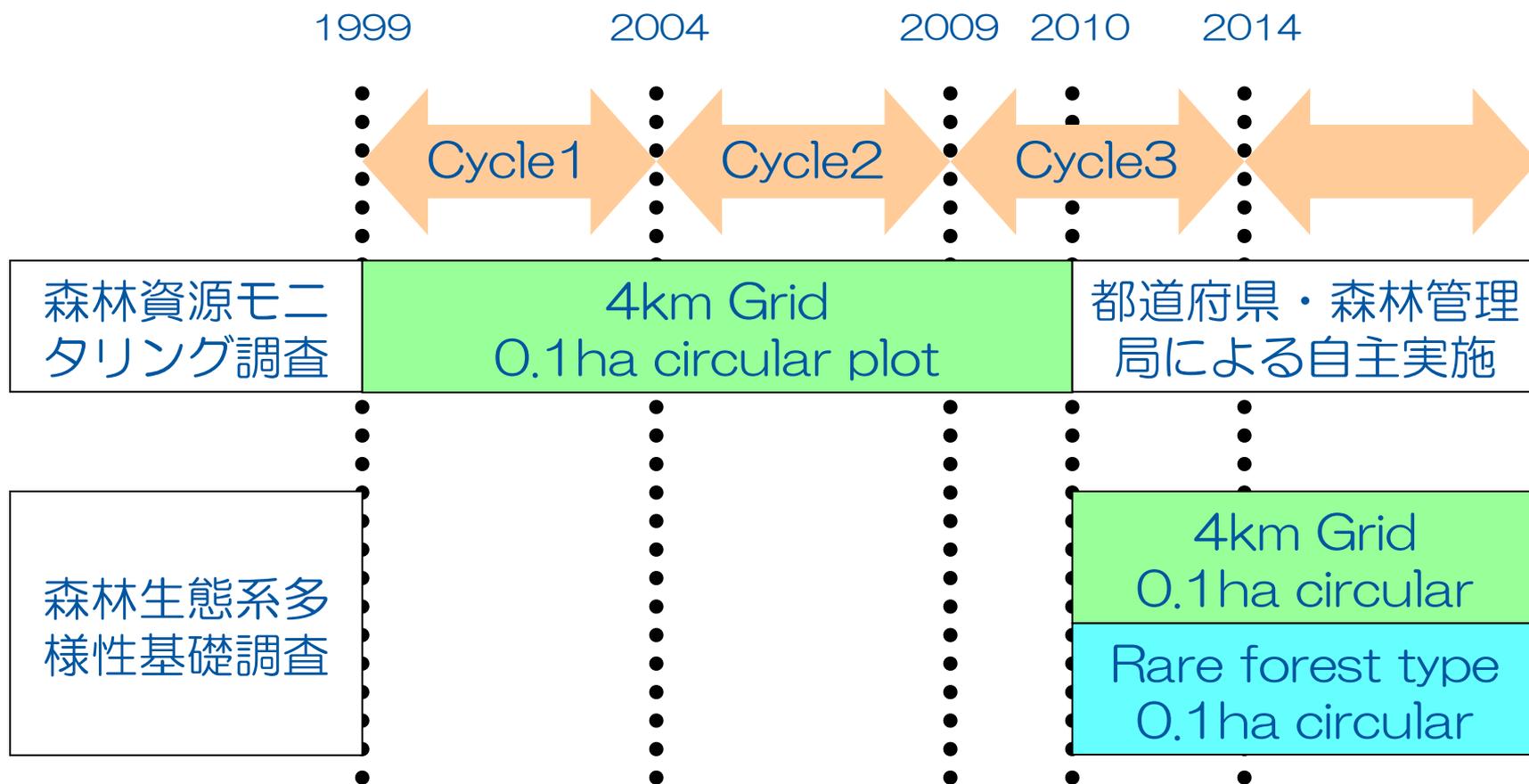
- 1992年の地球サミットにおいて、「持続可能な森林経営」について国際的合意
- 「持続可能な森林経営」に関する基準・指標作成の取組が進展（日本はモントリオール・プロセスに参加）
- 1998年の主要先進8カ国外相会議において、自国の森林の状況と持続可能な森林経営の進展状況をモニタリング・評価することを合意

● 目的

- 持続可能な森林経営の推進に資する観点から、森林の状況とその変化の動向について、全国を統一した手法に基づき把握・評価

森林生態系多様性基礎調査

- 1999年より開始(森林資源モニタリング調査)
- 現在第3期調査を実施中



森林生態系多様性基礎調査

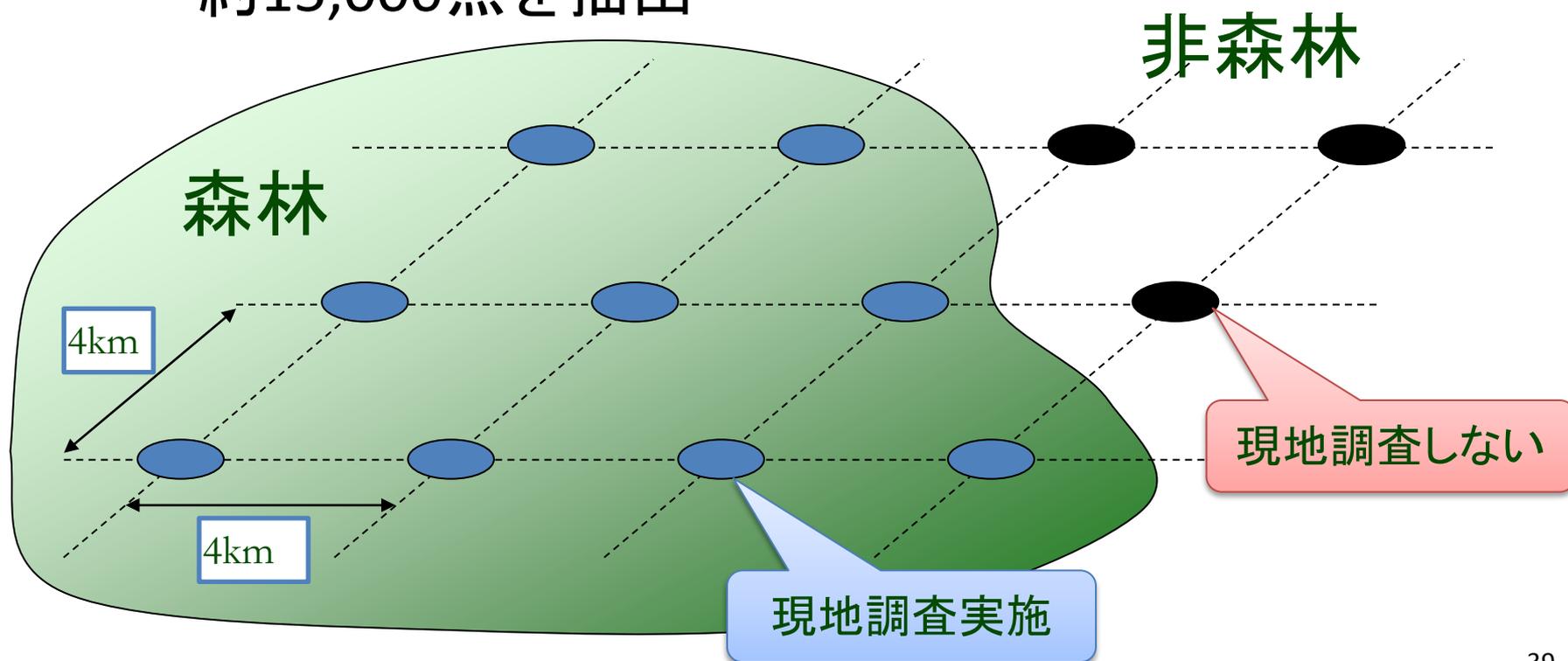
- 2010年における大きな変更
 - 調査体制の変更
 - 森林資源モニタリング調査から森林生態系多様性基礎調査へ
 - 実施主体の変更：都道府県及び森林管理局から林野庁が直接実施
 - 「コントロール調査」の導入
 - 調査マニュアルの改訂
 - 意図：調査データの精度改善、調査チームの技術の平準化と向上
 - 1期2期のデータにおける多数のエラー
 - エラーの原因：マニュアルの誤読、多数の調査チーム、チェックシステムの不在

調査の設計

- 標本調査の設計

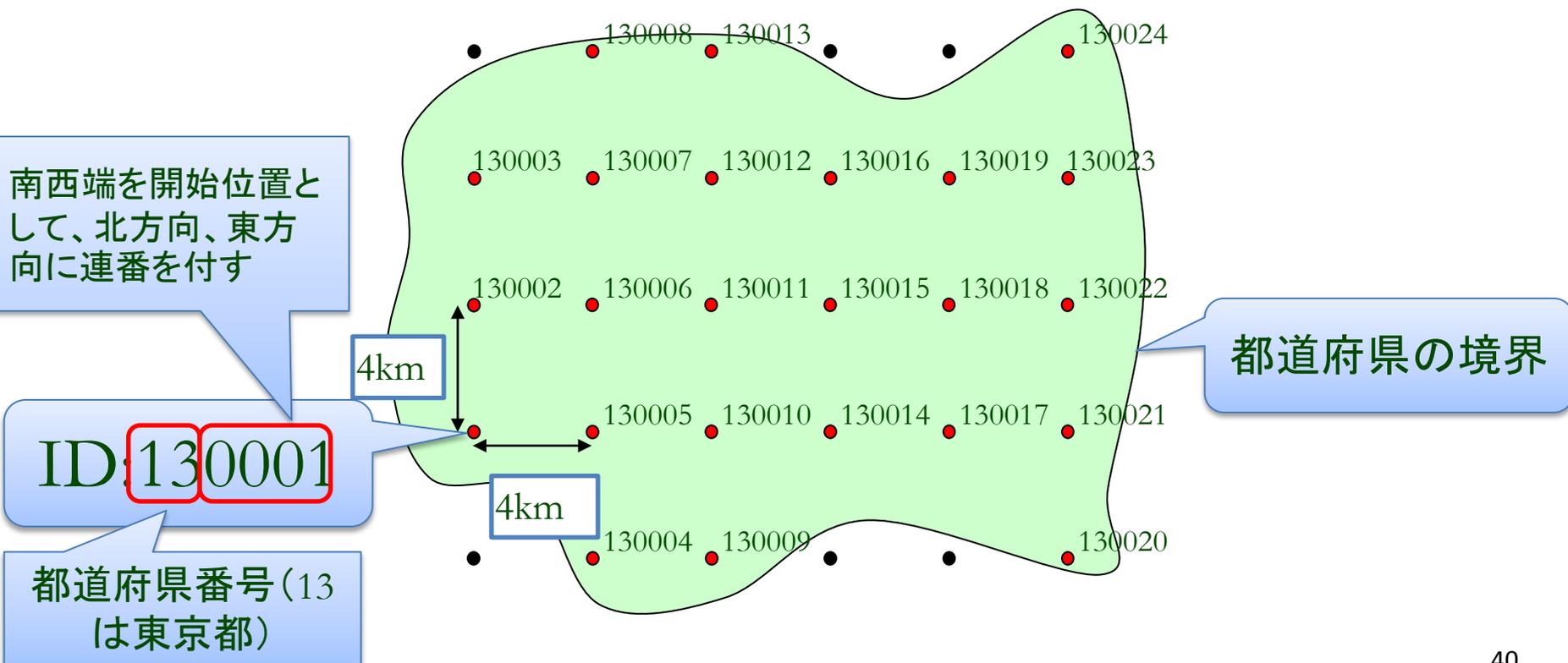
- 抽出単位: 0.1ha

- グリッドによるサンプリング: 4km x 4kmの格子点を全国に設定。全23,500点から、森林に該当する約15,000点を抽出



調査の設計

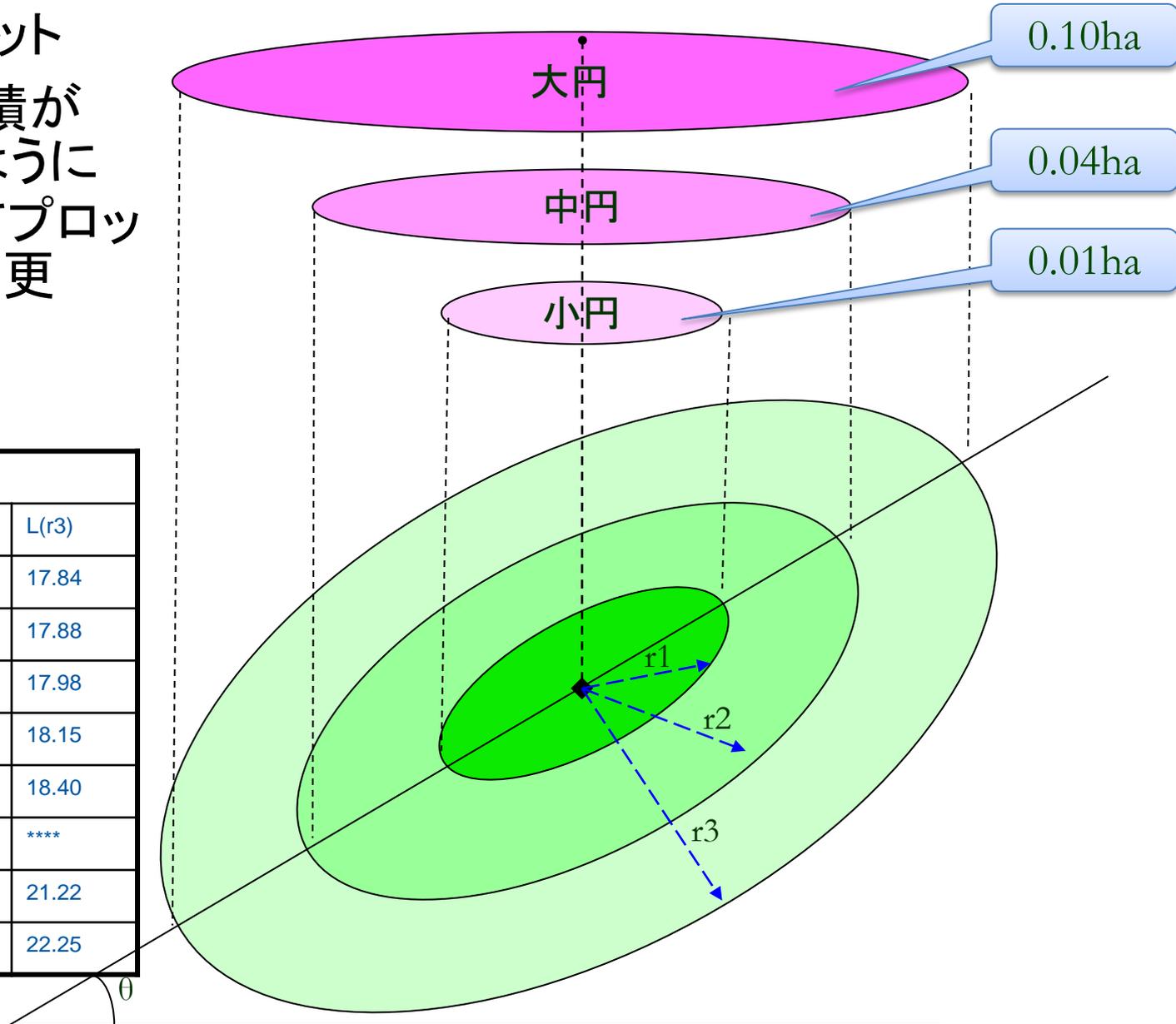
- プロットの配置
 - 固定調査プロット
 - 5年ごとに同じ調査地を再測定
 - すべてのプロットには固有のID番号が付される



プロットデザイン

- 3重円形プロット
- 水平投影面積が0.1haとなるように傾斜に応じてプロットの半径を変更

Incline (θ)	Radius		
	S(r1)	M(r2)	L(r3)
0-2	5.64	11.28	17.84
3-7	5.65	11.31	17.88
8-12	5.69	11.37	17.98
13-17	5.74	11.48	18.15
18-22	5.82	11.64	18.40
****	****	****	****
43-47	6.71	13.42	21.22
48-52	7.04	14.07	22.25





• 3重円形プロットにおける測定レベルの違い

調査項目	小円	中円	大円
立木(DBH)	1.0cm以上	5.0cm以上	18.0cm以上
伐根(直径)	5.0cm以上		18.0cm以上
倒木(中央径、長さ)	5.0cm以上	計測しない	

- 調査労力の軽減
- 倒木調査はID番号が5の倍数のプロットで実施

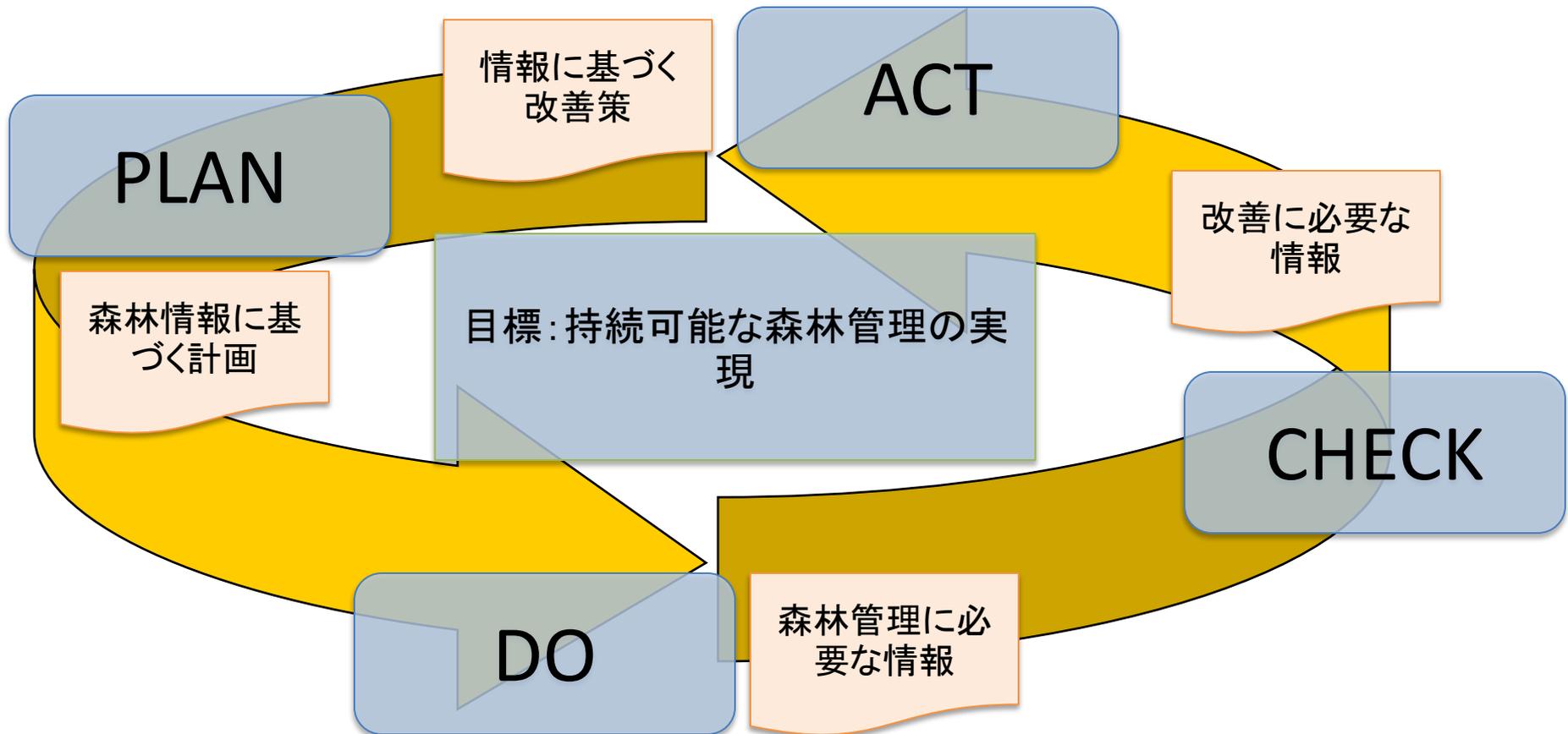
森林生態系多様性基礎調査

- 調査項目
 - － プロットへの到達経路
 - － 立木調査
 - － 伐根調査
 - － 倒木調査
 - － 下層植生調査
 - － 土壌浸食調査
 - － 概況調査



NFIにおける品質管理

- PDCAサイクルの中で品質管理を考える



コントロール調査

- 目的

- 計測誤差や傾向を確認する
- 客観的にデータの精度を確認する
- PDCAサイクルによる精度の向上 (QA/QC)
- 査察ではない(罰則はない)

- 設計

- 再測定：3%の点を抽出(110点/年)。本体調査チームが調査終了後速やかに(1月以内)コントロールチームが同一プロットを再測定。エラーの修正は行わない。
- 立会：本体調査チームとコントロールチームがともに同じ調査プロットに行き、コントロール調査チームは、本体調査チームの実施状況を確認する(正しい機器の使い方等)。問題があれば、その場で指摘、エラーの修正も行う。

調査員研修

- 目的
 - 精度の向上
 - チーム間の情報交換
 - 調査チームの技術レベルを平準化
- 内容
 - 講義：調査の目的、データ分析、コントロール調査の目的、野帳の正しい使い方等
 - 現地研修：調査道具の適切な使、効率的な実施方法のノウハウ



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

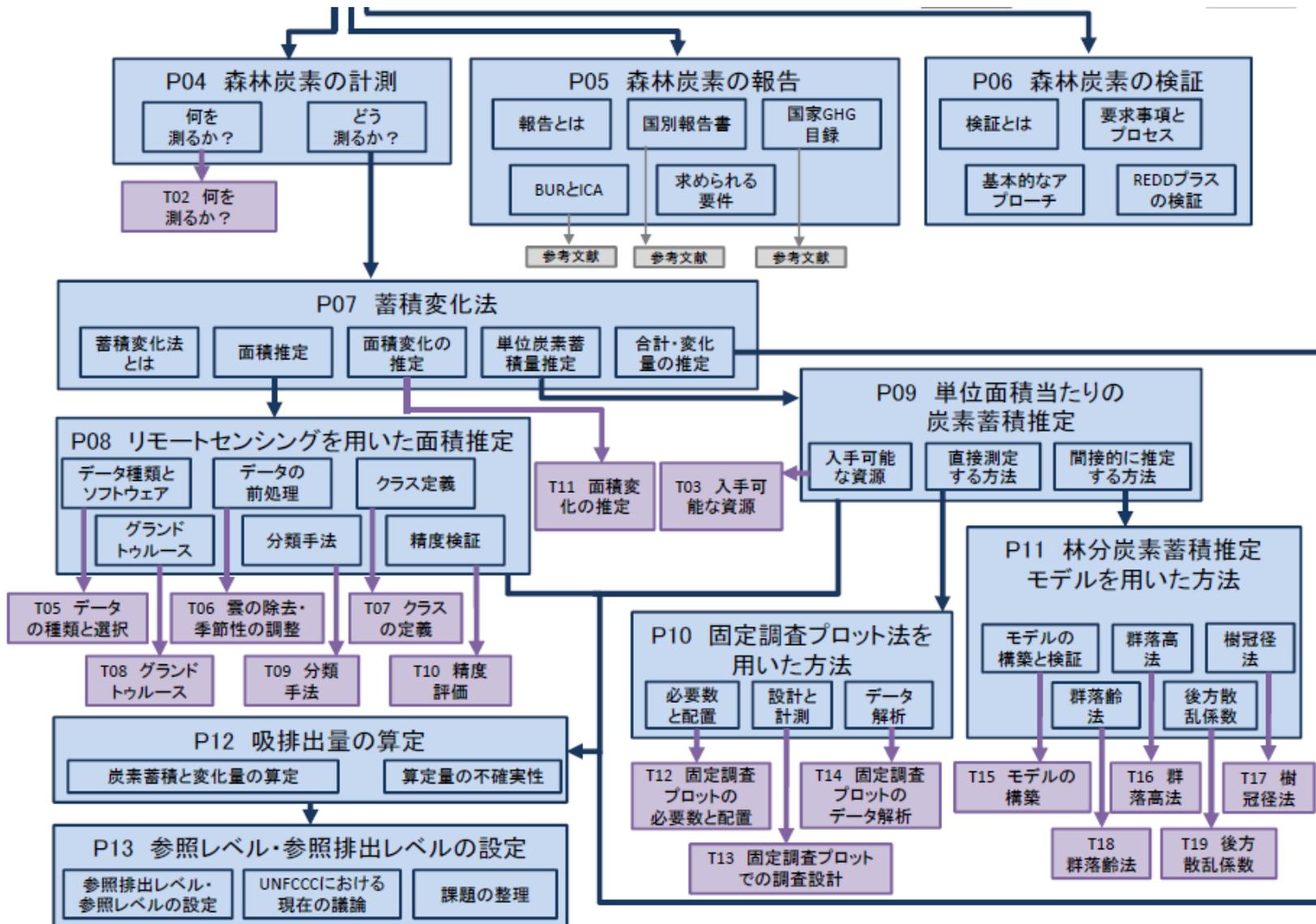
第5章

森林炭素量の把握

ベトナム国DienBien省における
バイオマス関連データの開発の事例

一般社団法人 日本森林技術協会
金森 匡彦





REDD+CookBookより



炭素蓄積変化把握の流れ

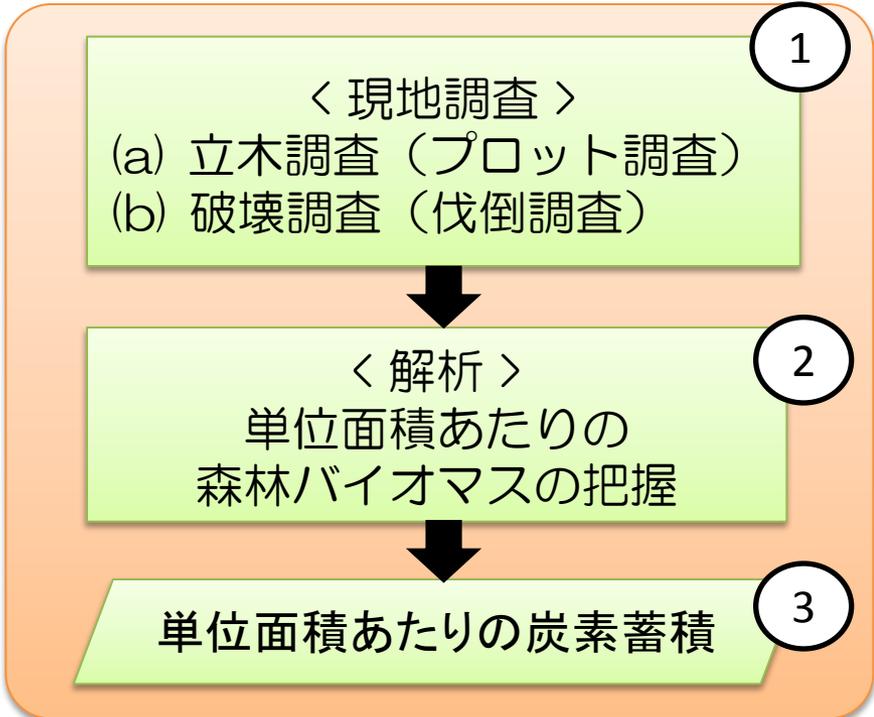
この時間の講習

各森林被覆タイプ

森林被覆の時系列変化

単位面積あたりの炭素蓄積の把握

リモートセンシングによる森林被覆の時系列変化の把握
次の講義で詳述



炭素蓄積変化の把握





森林のバイオマスとは

- バイオマス（Biomass）：生物量
一般的に生物の乾燥重量で表される
森林の場合、樹木・植物の乾燥重量
- 森林炭素蓄積量（Carbon stock）は、
森林バイオマスの約半分
植物体を構成するセルロースなどの組成による

森林バイオマス把握のための現地調査

(a) 立木調査（プロット調査）

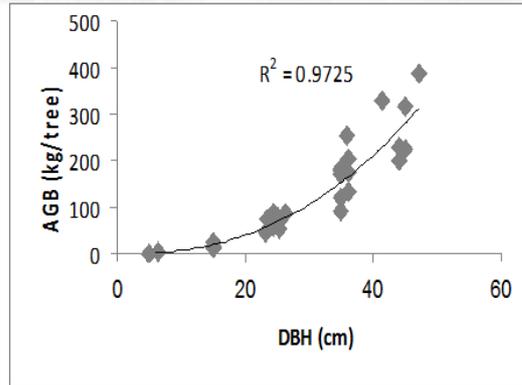
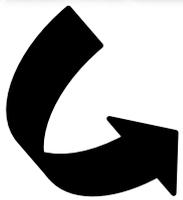
- プロット設定
※方形、円形など調査設計に沿って適宜選択
- 樹種
- 胸高直径
- 樹高



Tree ID	Species	DBH	height
A491	Quercus sp	16.5	15.0
A00	□△sp	●●	▲▲
A800	Schima sp	31.2	28.5

バイオマス算出のための立木データの収集を行う

(b) 破壊調査（伐倒調査）



アロメトリー式の開発
 $y = ax^b$

アロメトリー式(相対成長式、allometric equation)

- 個体の一部のサイズから、別の部位のサイズを推定する式



- 正確な測定が容易な部位（例：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できる

パラメータ	式	精度	データ収集の容易さ
DBHのみ	$y = aDBH^b$		
DBH ² と樹高	$y = a(DBH^2 \cdot h)^b$		
材密度 DBH ² 樹高	$y = a(\rho \cdot DBH^2 \cdot h)^b$		
yはバイオマス；DBHは胸高直径；hは樹高；ρは容積重；a、bは係数			

汎用式と樹種や地域に特化した推定式の特徴

- 地上部バイオマス（AGB：aboveground biomass）については推定式が多く提案・報告されている

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）から、個別の樹種や特定の地域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。

項目	汎用式	樹種や地域に特化した式
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。	特定の地域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地域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。



各種アロメトリー式

- 汎用式：generic model, generic equation
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

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= $173 \times ba^{0.938}$			

AGB: 地上バイオマスAboveground biomass、DBH: 胸高直径Diameter at breast height、WD: 材密度Wood density (t/m³)

- WDの値は、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。
- 種の同定が困難な場合は、熱帯ではアジア0.57、アメリカ0.60、アフリカ0.58といった基準値(Brown, 1997)を使うことができる。

REDD+CookBookより

各種アロメトリー式

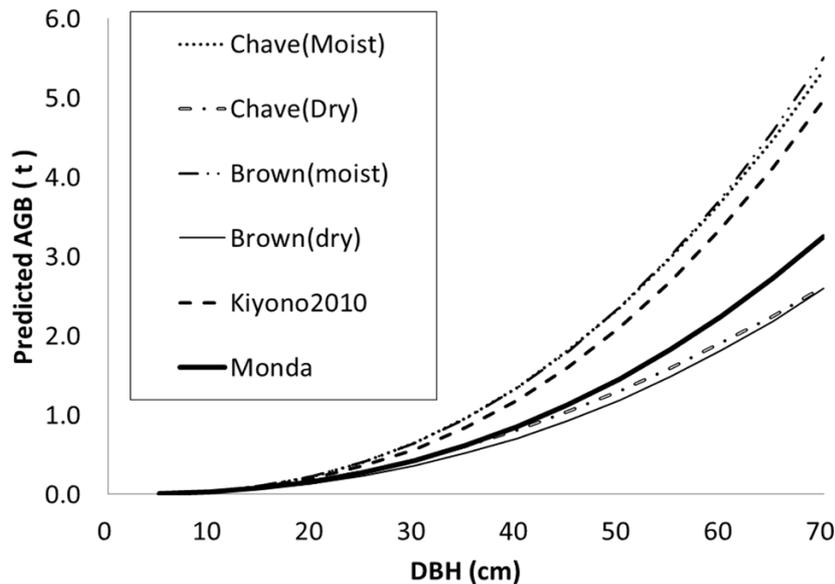
- 個別の樹種 (species-specific) や特定の地域に成立する林分のための推定式 (species-specific model, local model)

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 = $0.072 \times (D^2 H)^{0.9326}$ Branch = $0.01334 \times (D^2 H)^{1.027}$ Leaf = $0.031 \times (D^2 H)^{0.7211}$	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/m³ (ただしKiyono式はkg/cm³), DBH: cm, ba: m², D2H: DBH²(cm) × H(m)

アロメトリー式の選択



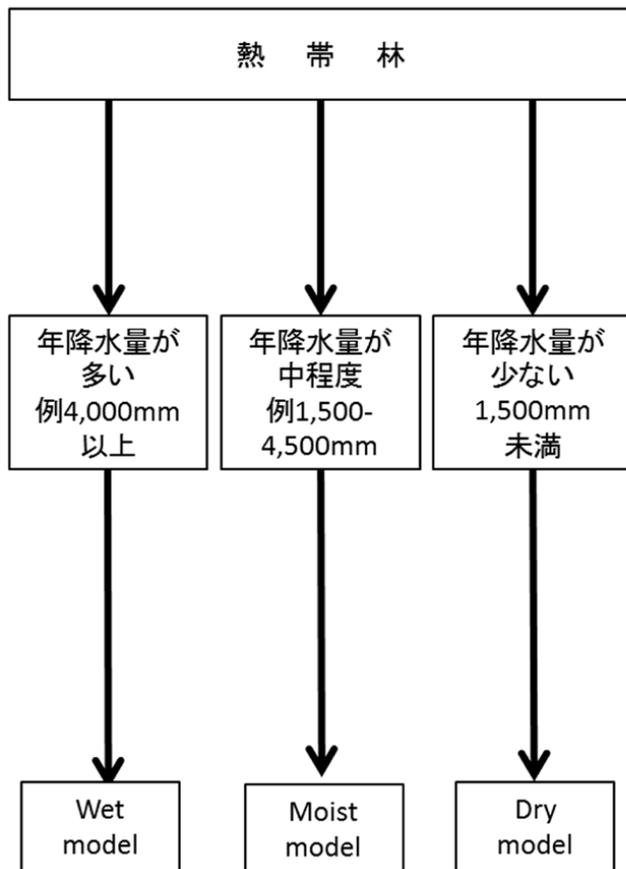
推定式による地上バイオマス（AGB: aboveground biomass）の推定値の違い

REDD+CookBookより

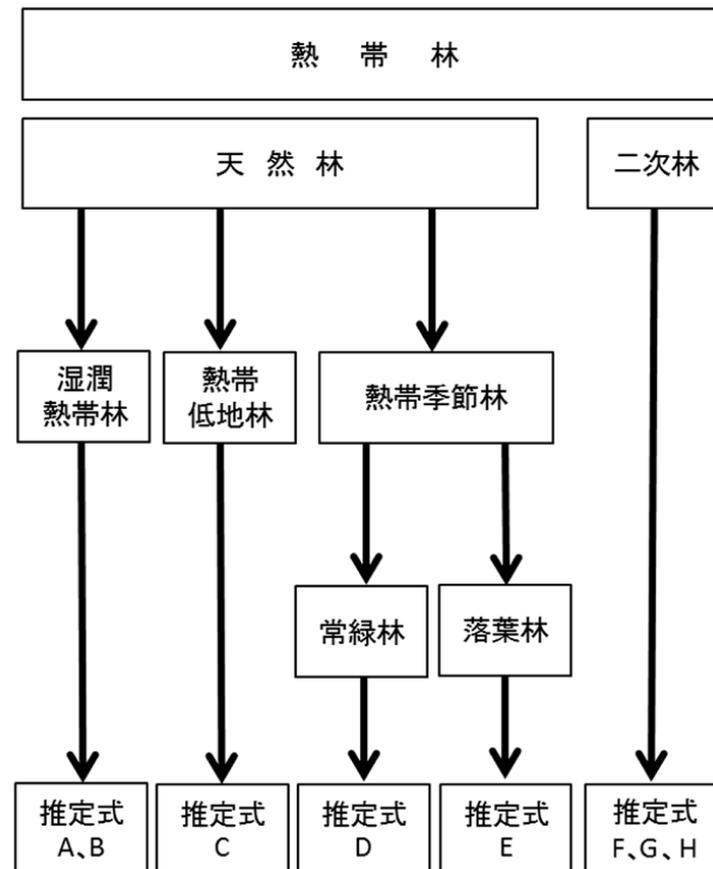
- アロメトリー式は、森林タイプ（forest type、常緑林evergreen forest や落葉林deciduous forest など）や生育地の環境によって推定結果が異なる
- 基本的に対象地域の森林タイプのものの中から選定する
- 該当するアロメトリー式が複数ある場合は、調査対象の森林での利用可能な既存文献などのバイオマス実測データや、樹木のサイズ（胸高直径、樹高）、優占樹種などの情報を推定式に当てはめ、推定誤差の大きさや傾向から判断して選定する。

アロメトリ式の選択フロー

Generic models



Local models



REDD+CookBookより

単位面積あたりのバイオマス、炭素蓄積の算出

立木調査データ（例えば
0.1畝プロットの調査データ）

Tree ID	Species	DBH
A491	Quercus sp	16.5
A〇〇	□△sp	●●
A800	Schima sp	31.2

立木ごとに
バイオマス
計算

その地域に適合した
アロメトリー式

汎用式（Brown式Wet model）の計算例
 $AGB = 21.297 - 6.953 \times DBH + 0.740 \times DBH^2$

Tree ID	Species	DBH	AGB(kg)
A491	Quercus sp	16.5	108
A〇〇	□△sp	●●	△×△
A800	Schima sp	31.2	524.7

Total

仮に0.1畝あたりのバイオマスが**5 t**であった場合
ヘクタールあたりの地上バイオマスは**“50 t”**

炭素蓄積 = $50 \times 0.5^* = 25 \text{ t/ha}$

*0.5は炭素係数（Carbon Fraction; CF）

アロメトリー式の独自開発が必要な場合

- REDDプラス対象国・地域に合う適当な式が無い場合
- Tier2、3レベルで炭素蓄積の把握を目指す場合
 - Tier：Tier1～3の3段階
 - 温室効果ガスの排出/吸収の分析のデータ要件が異なる
Tier1では要件が少なく、Tier2、3では要件が増える
 - Tier1；バイオマス計算に関して汎用式・値を使用、など
 - Tier2；国・地域に特化した計算式の使用、インベントリによるデータ収集、など
 - Tier3；国・地域に特化した計算式の使用、インベントリによるデータ収集が繰り返されていること、など
 - Tierごとにそれぞれ透明性、完全性、一貫性、比較可能性、正確性が求められる

ベトナム国ディエンビエン省でのアロメトリー式開発

VN国のバイオマス計算式およびバイオマス調査の現状

バイオマス計算式に関して

- アロメトリー式
- R-S ratio：地下バイオマスを推定する係数
- 材積式（表）：樹種、人天、地域
— 天然林は簡易な式のみ存在
- 容積密度：300種のリストあり
- バイオマス計算式の知見は、人工林では多いが、天然林では少ない

汎用式・値
使用

調査手法に関して

- 破壊調査の多くは、重機の使用を前提としている
- × 国、地域によっては重機の使用が困難
- 反面、人力は豊富に活用できる可能性

- より高いTierを目指した計算式の開発を求めている
- かつ、条件の悪い調査地であっても、簡易・安全でなおかつ正確なデータを収集できる手法が必要

このような条件の下、VN国のバイオマス調査を行った。

ディエンビエン省の概要

- ベトナム国ディエンビエン省
- ベトナム北西部、ラオス・中国と国境を接する
- 省の面積9,563 km²
- 森林率39%（森林計画上は保全林が林地の約55%、生産林が約40%）
- 省の91%が海拔500m～1,500m
- 土地の54%が傾斜30%以上
- 流域保全が重要な課題となっている

出典

ベトナム農村社会における社会経済開発のための地場産業振興に係る能力向上プロジェクト（JICA）

http://www.taybac.net.vn/taybac/dienbien_detail_jp.html

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（JICA）

<http://www.jica.go.jp/project/vietnam/004/outline/index.html>





Dien Bien province Muong Nhe district



モンニエ郡



ハノイ



● 調査地：

ディエンビエン省モンニェ郡、
モンニェ森林保護区； MuongNhe Nature Reserve (MNNR)



MNNRの林相



林分の遠景



Rich forestの林内

- 総面積169,962 ㍊ (MNNR内には、耕作地も存在)
- 天然林82,200 ㍊ (森林保護区の約48%)
- 優占樹種はシイ、カシ、ヒメツバキなど常緑広葉樹 (村落跡地にはBambooも生育)
- 天然林は蓄積ごとにPoor forest (100m³/㍊未満)、Medium forest (100~200m³/㍊)、Rich forest (200m³/㍊以上)に分けられている



Bamboo

調査方法

- 立木調査（プロット調査）

90プロット：3つの森林タイプ（Poor, Medium, Rich）にそれぞれ30プロット設置

- 森林図上で候補地点を選点定し、現地の林相を確認して最終決定
- プロットサイズは50m×50m
- 胸高直径5cm以上の立木の樹種名、胸高直径、樹高を測定

MNNR 管理事務所での調査地選定作業



- RichForestは奥山にあるため選定に慎重を期していた
- GISも使用しているが現地では紙地図で作業

プロット設定



- 現地でのプロット設定はオリエンテーリングコンパス、巻き尺などを使用
- バーテックスなどの先進測定機器は、導入されていても数が少ないため、調査チームが持ち出せない場合もある

毎木調査



- 胸高位置の幹周囲長を測定して、集計時に直径に変換
- 板根を持つ樹種のDBHを正確に測定するには脚立なども必要
- 樹高はクリノメーターなどを用いた方法で測定
(日本人スタッフが滞在した期間はバーテックスを使用)

調査実施上の問題点 1

ー 地理的要因、アクセス ー

- 車道から調査地まで最大8km離れている
- 川を遡行などで到達に2時間程度要する
- スタッフ（特に日本人技術者）の安全管理に留意

その他

- 調査以前に、入林の許諾を得ることに時間を要することがある
 - FPD ; Forest Protection Department、SubDOF ; Department of Forestの地方事務所、さらに国境地帯の場合は軍との調整が必要であった。
- 紛争などで退去勧告が出ることも念頭に置いた準備が必要
 - カウンター機関に調査を任せることも必要となる
 - 信頼できる機関をカウンターパートにできるか（ベトナムでは、FSIV ; Forest Science Institute of VietnamをCPとすることができた）



調査実施上の問題点2 － 調査地選定、立木調査 －

調査地選定

- GISはあっても最終的には紙地図での調査地選定作業となった
- 日本側が調査地選定しても諸事情で実際には行けない場合もある

立木調査

- MNNRでの調査は50×50mのプロットだったが、林相次第でプロット形状やサイズを変更する余地はある
- 調査に高精度を期すならば、日本からの機材持ち込みが不可欠

- 破壊調査（伐倒調査）

供試木30本を選定：優占樹種3種×10本

Dẻ : *Castanopsis indica* (Roxb.) A. DC.

Chẹo Tía : *Engelhardtia roxburghiana* Lindl er Wall.

Vôi Thuộc : *Schima wallichii* (DC.) Korth.

プロット調査結果を基に3樹種を決定。

- 各胸高直径階から満遍なく供試木を選定
- 樹冠投影した範囲を深さ1mまで掘り、根を露出させたうえ引倒し、抜根
- 器官（根、幹、枝、葉）に分別し、器官別の生重量測定
- 各器官の乾重測定用サンプル採取、サンプル生重量測定

根の掘り出し



- 供試木は、概ね樹冠の範囲の根を掘り出したうえ、ロープをかけて引き倒した
- 地中に残った根については、可能な限り掘り出した
- 掘り出せない根は切断面の直径を計測し、完全に掘り出した根の直径と重量の回帰式から生重量を推定した



供試木を倒した後の作業



樹幹長の測定と切断位置決定



各器官の切断
写真は樹幹と根



各器官の生重量測定



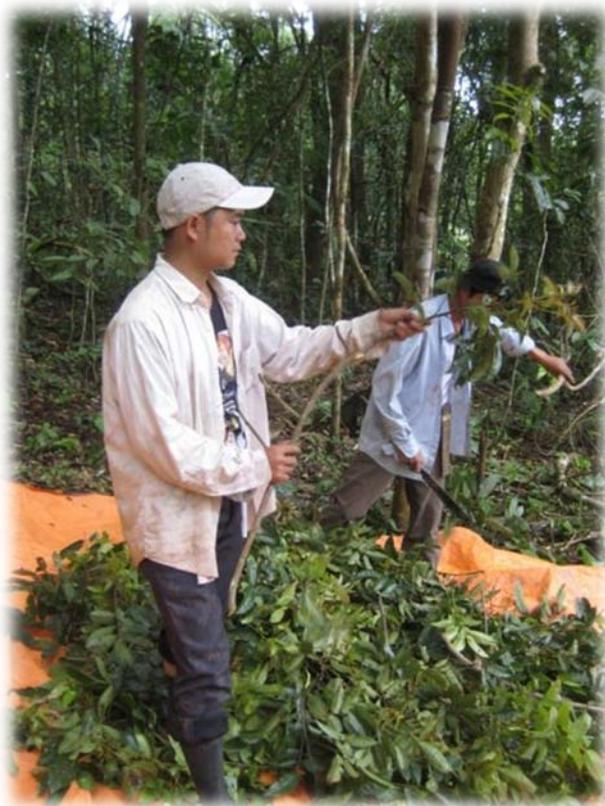
樹幹



根



各器官の生重量測定 2



葉と枝の分別作業



枝の生重量測定



樹幹のサンプル採取



サンプル採取後、サンプル生重量測定



枝および葉のサンプル採取



サンプル採取後、サンプル生重量測定



根のサンプル採取



サンプル採取後、サンプル生重量測定



供試木データの取りまとめシート

ID	Scientific name of sample trees	Sample tree size		Sample plot No.	Coordinates of sample trees		Fresh biomass of sample trees by tree organs (kg)				
		DBH (cm)	H (m)		Latitude	Longitude	Stem	Branch	Leave	Root	Total
1	<i>Schima wallichii</i>	6.5	8.4	58	230639	2469436	18.6	10.1	2.5	6.5	37.7
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11	<i>Castanopsis indica</i>										
12											
15											
13											
14											
16											
17											
18											
19											
20											
21	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>										
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											



調査実施上の問題点3

－ 伐倒調査 －

- 調査地の立地条件次第で調査の難易度が大きく変わる
- 現地作業員を確保できるか、重機搬入できるかなど確認が必要
 - － 作業員の日当支払いも予算に織り込む（チェーンソー技術者などは日当が高い）
- 調査地が車道から遠いとサンプルの運び出しが困難
- 伐倒調査においても精度を期すならば日本からの測定機材の持ち込みが必要
- 解析で外れ値発生を防ぐためにも、樹木の形状のチェックは不可欠

- ラボ作業

サンプルは順次FSIV (Forest Science Institute of Vietnam) 本部に送り、ラボで乾燥処理、乾重量測定

- ラボでサンプル生重量を再測定
- 105°Cで72~168時間乾燥し、乾重量を測定



サンプルの乾燥処理と乾重量測定



調査実施上の問題点4 — ラボ作業 —

- 乾燥作業ができるラボ（研究所や大学）などがREDDプラス対象国にあるかどうかの事前確認が必要



解析：供試木の全乾重量計算

- 全乾重量の計算 $TDW = TFW * \frac{SDW}{SFW}$

TDW：各器官の全乾重量

TFW：各器官の全生重量

SDW：各器官のサンプル乾重量

SFW：各器官のサンプル生重量

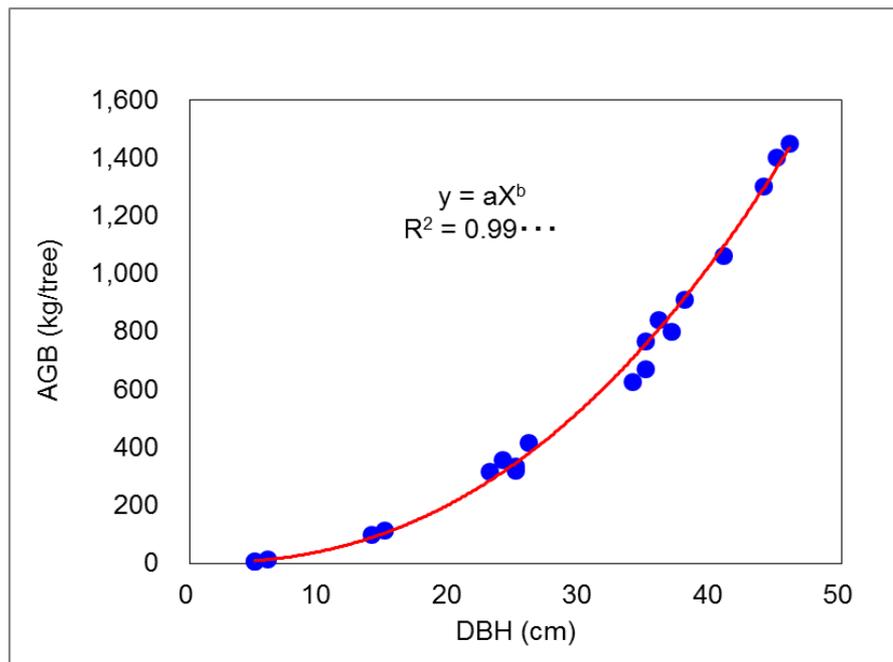
全乾重量 = バイオマス



供試木乾重量の取りまとめシート

ID	Name of sample trees	Sample tree size		Dried mass by tree organs (kg/tree)				
		DBH (cm)	H (m)	Stem	Branch	Leave	Root	Total
1	<i>Schima wallichii</i>	6.5	8.4	9.01	4.67	0.88	2.81	17.37
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11	<i>Castanopsis indica</i>							
12								
15								
13								
14								
16								
17								
18								
19								
20								
21	<i>Engelhardtia roxburghiana</i>							
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

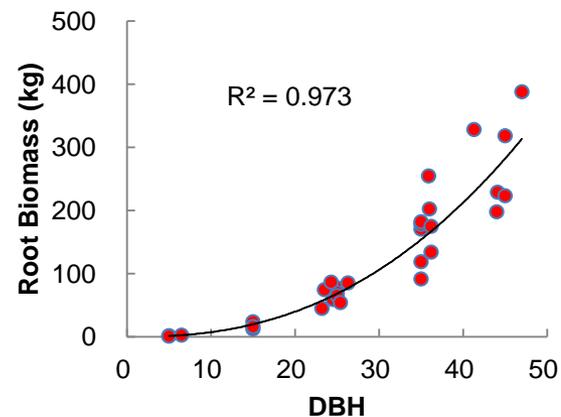
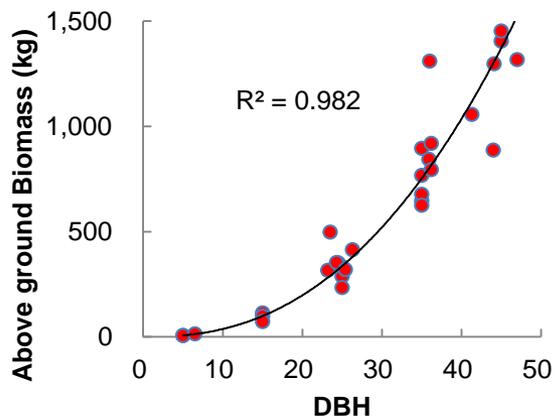
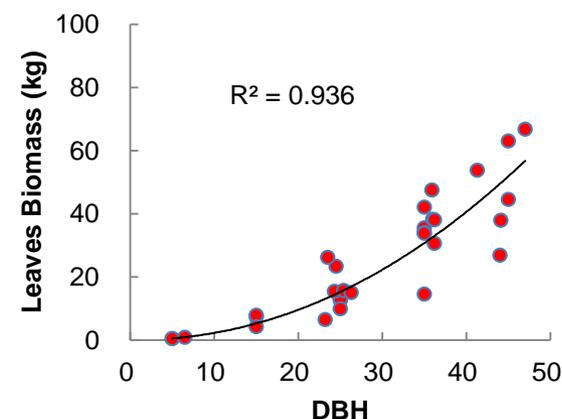
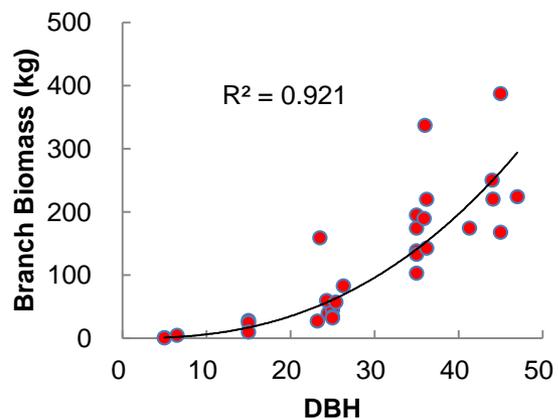
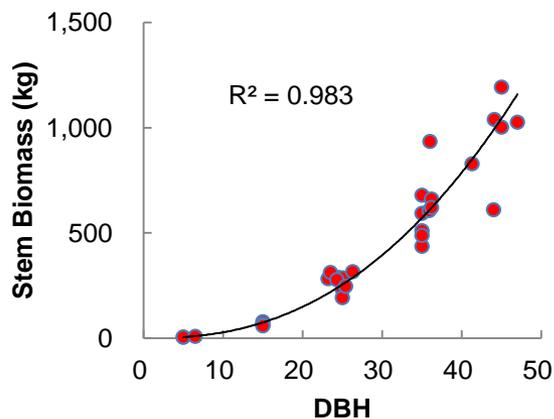
アロメトリー式（器官別回帰式）作成



- 供試木の胸高直径と各器官のバイオマスの関係を散布図に表す
 - 左の図は胸高直径をx軸に、地上バイオマスをy軸に取った場合のイメージ
 - DBH；胸高直径
 - AGB；地上バイオマス

- 散布図の近似線の式 $y = a X^b$
対数を取った場合 $\text{Ln}(y) = a \text{Ln}(X) + b$
などの回帰式が得られる
 - y ：各器官のバイオマス
 - X ：変数（DBH、DBH²、D²H など）
 - a 、 b ：係数

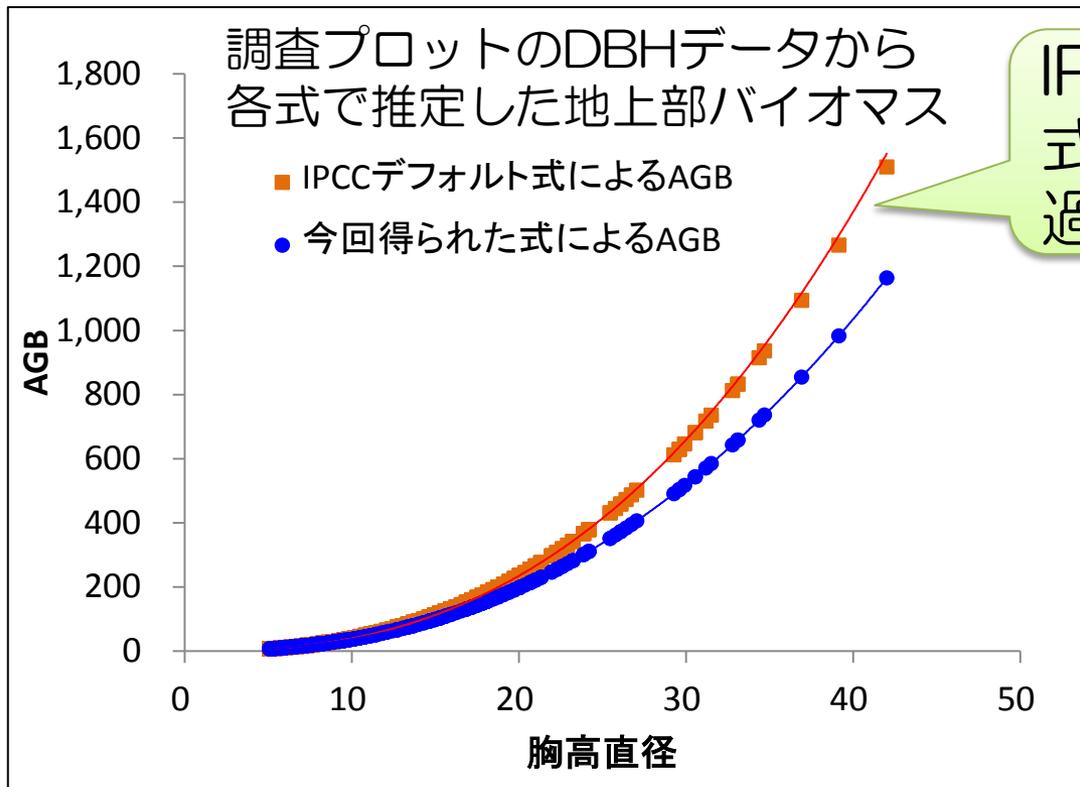
器官別の胸高直径とバイオマスの関係



これらの散布図から、器官別にアロメトリー式を作成することができる



IPCCデフォルト式と開発したアロメトリー式による地上部バイオマス (AGB) の比較



IPCCデフォルト式は、大径木ほど過大推定になる

IPCCの式: $Y = \exp[-2.289 + 2.649 * \ln(\text{DBH}) - 0.021 * (\ln(\text{DBH}))^2]$

Tropical moist hardwoods

Y = aboveground dry matter, kg (tree)⁻¹, DBH = diameter at breast height (cm), ln = natural logarithm, exp = "e raised to the power of"

毎木調査データからバイオマスを試算

- プロットごとに全立木の地上バイオマス、地下バイオマスを計算・集計し、ヘクタールあたりバイオマスに換算
- さらに炭素量を算出

プロットごとの計算結果の例

Plot No.	Wood volume m ³ /ha	Forest Type	AGB t/ha	BGB t/ha	Carbon in AGB	Carbon in BGB
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	195	medium	169	32	84.5	16.0
23	123	medium	132	25	66.0	12.5
24	225	rich	200	40	100.0	20.0
25	205	rich	182	35	91.0	17.5
26	37	poor	54	11	27.0	5.5
27	391	rich	351	70	175.5	35.0
28	53	poor	65	13	32.5	6.5
29	29	poor	46	9	23.0	4.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

MNNRにおける各森林タイプの炭素貯留量

森林タイプ	プロット数	蓄積 m ³ /ha	AGB t/ha	BGB t/ha	地上炭素 貯留量 t/ha	地下炭素 貯留量 t/ha	炭素貯留量 (地上+地下) t/ha
Poor	29	75.5	92.1	18.1	46.0	9.1	55.1
Medium	31	156.0	164.1	32.5	82.0	16.3	98.3
Rich	30	254.6	205.1	39.6	102.5	19.8	122.3

※各森林タイプの平均値を示した

まとめ

- 高い精度でバイオマス推定を行いたいならば、REDDプラス対象国・地域に特化したアロメトリー式を破壊調査によって得ることが必須
- REDDプラス対象国・地域の周辺国・周辺地域に、似たような森林タイプがあるならば、開発したアロメトリー式を適用できる可能性がある
 - e.g. ベトナムおよびインドシナ半島の常緑広葉樹林
- REDDプラス対象国・地域内であっても全く異なる森林タイプについては、別にアロメトリー式を開発する必要がある
 - e.g. Re-Growthフォレスト、バンブー



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第6章

REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター
陸域モニタリング推進室
林 真智





REDDプラスに係る森林技術者講習会（基礎講習）

REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

林 真智

(独)国立環境研究所 地球環境研究センター
陸域モニタリング推進室
hayashi.masato@nies.go.jp

[写真引用：NASAホームページ]



1. リモートセンシングとは

言葉のうえでのリモートセンシング

- 対象物に接触することなしに、離れた（remote）場所から観測する（sensing）こと。
- 人間の五感（視・聴・嗅・味・触）に例えると、視覚・聴覚・嗅覚に相当。

一般的な意味でのリモートセンシング

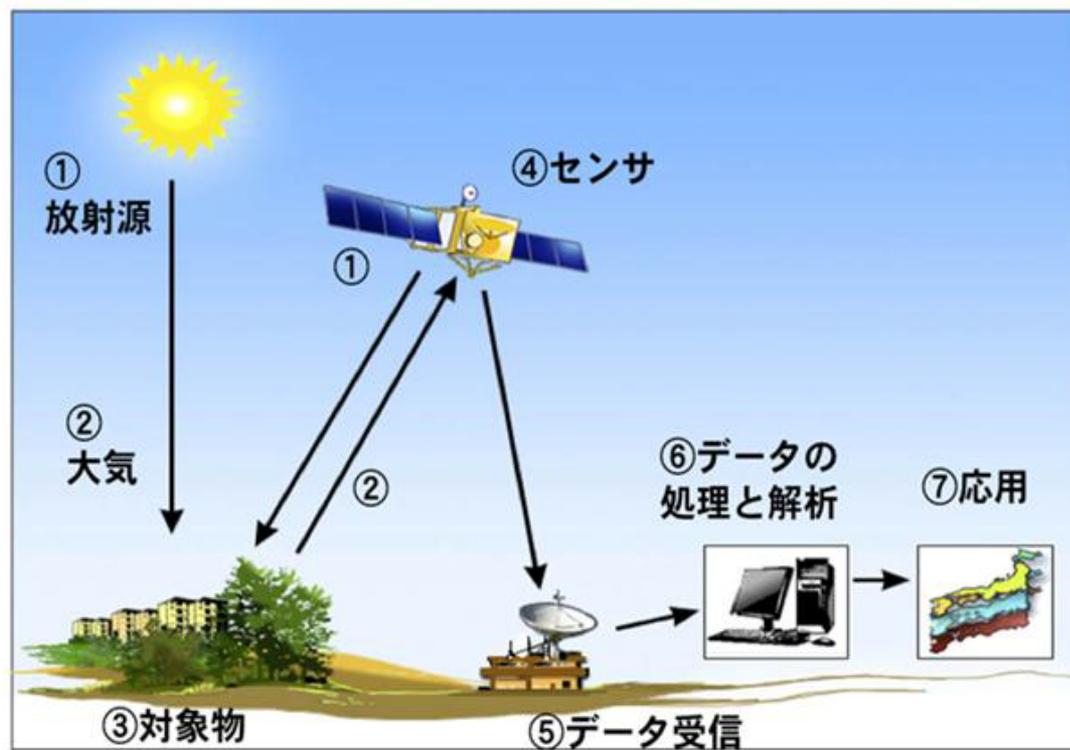
- 人間の五感に例えると、視覚に相当する技術。
- 上空から地球表面あるいは大気を観測し、知りたい情報を得る技術（あるいは科学）。

広義のリモートセンシング

- 地上の観測装置で離れた位置の地上または大気を観測することも含める。
- 人間の五感に例えると聴覚に相当する技術も含める。
- 月、惑星を対象とした観測技術も含める。

[文引用：基礎からわかるリモートセンシング（一部改変）]

1. リモートセンシングとは

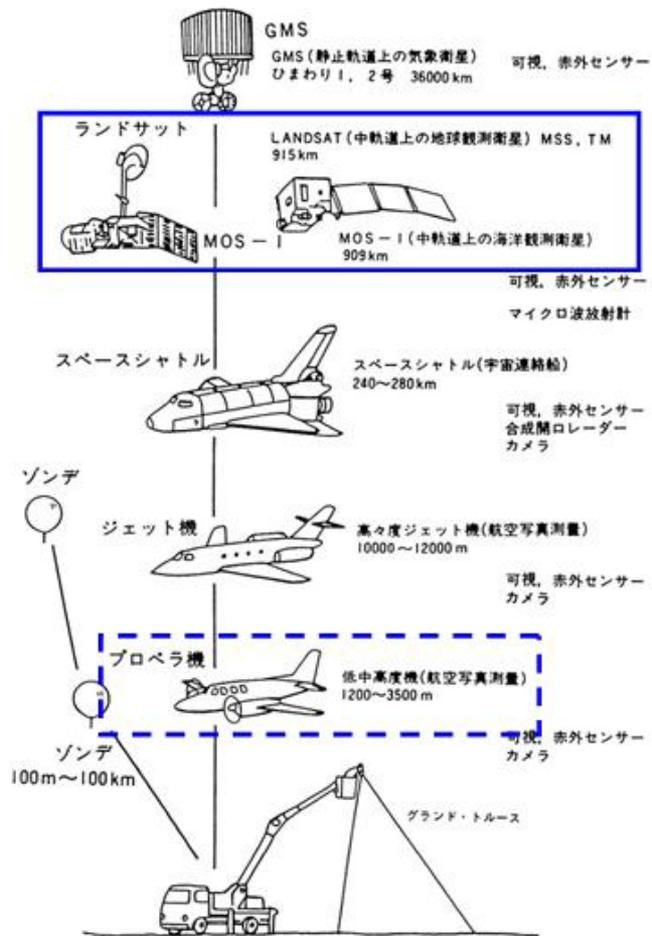


[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- ① 放射源 = 太陽・地球（自然の放射源）、レーダ等の送信機（人工の放射源）。
- ② 大気 = 大気による吸収・散乱・放射の影響を受ける。
- ③ 対象物 = 対象物から上空に向かう電磁波は対象物の特性によって決まる（対象物の情報を含んでいる）。



2. プラットフォーム



高度

観測範囲

空間分解能

高

広

粗



低

狭

細



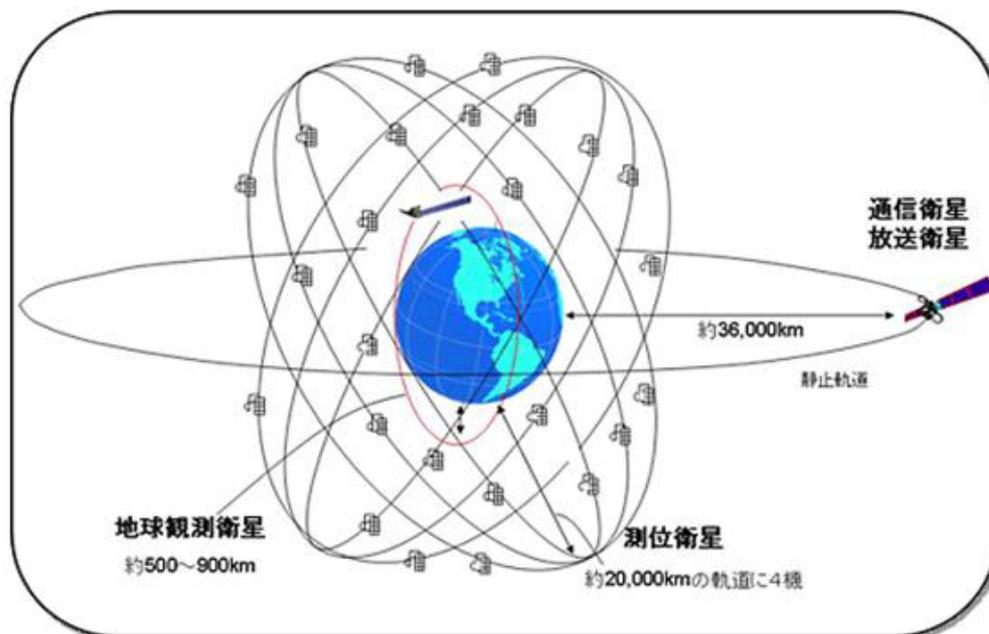
REDDプラスにおける利用が想定されるプラットフォーム

[図引用：図解リモートセンシング]





3. 衛星軌道



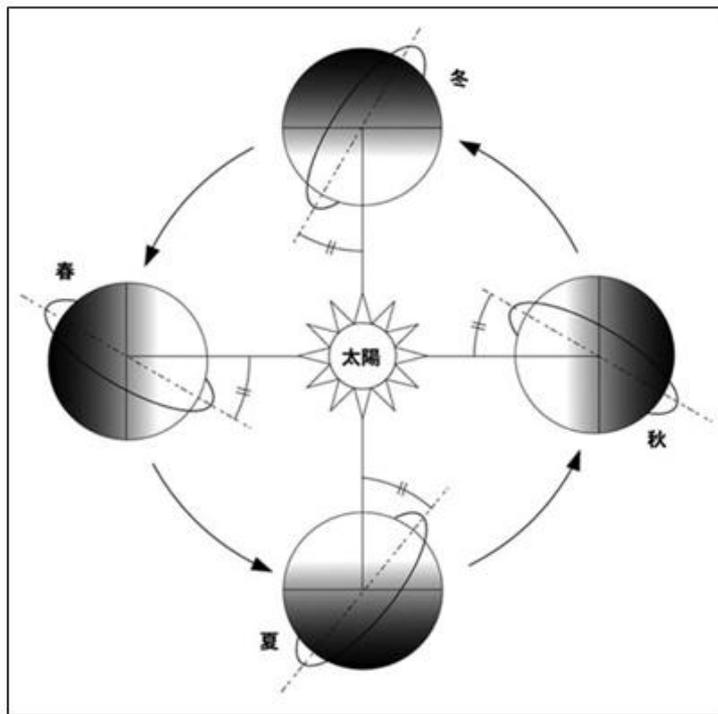
[図引用：RESTECホームページ]

- ❖ **静止軌道** = 地球の自転と同じ速度で衛星が飛行できる軌道。赤道上空約36,000kmにあり、通信・放送・気象などの衛星に利用される。
- ❖ **極軌道** = 南北両極のほぼ上空を通過し、赤道にほぼ直交する軌道。全球を観測できるため、多くの地球観測衛星に利用される。



3. 衛星軌道

太陽同期軌道



[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- ❖ **太陽同期軌道** = 観測地域の太陽方位角が一定（地方平均太陽時が一定）となる軌道。水蒸気の影響を低減するため、午前の軌道を探ることが多い。太陽光の当る向きが一定となり、画像同士の比較がしやすくなる。
- ❖ **準回帰軌道** = 数日後に地表面から見て元と同じ位置を通る軌道。Landsat（4号以降）の回帰日数は16日。

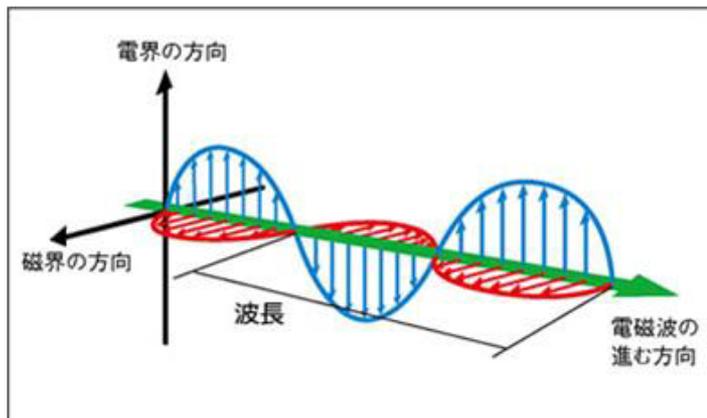
多くの地球観測衛星は、太陽同期軌道と準回帰軌道を組み合わせた極軌道を利用。





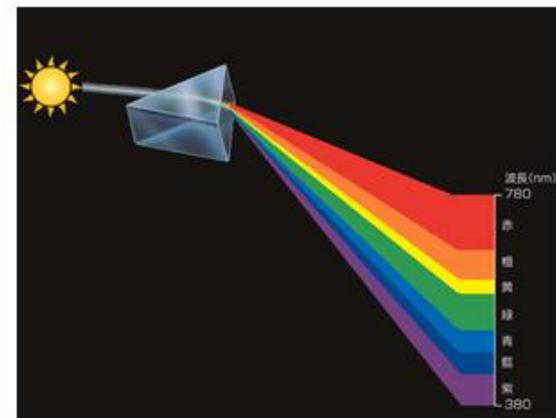
4. 電磁波

電磁波とは

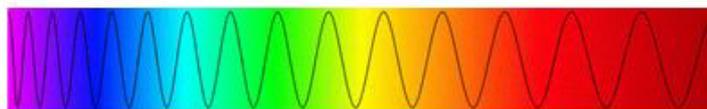


[図引用：文部科学省ホームページ]

波長に応じた太陽光の分離



[図引用：高嶋技研ホームページ]



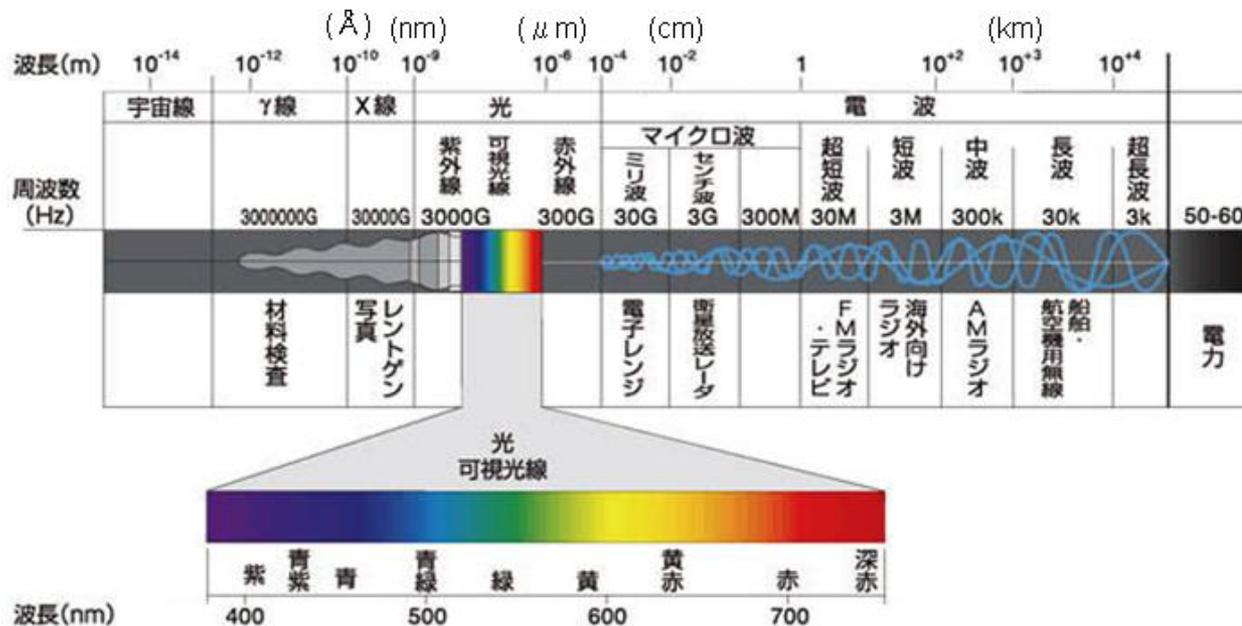
[図引用：広島大学ホームページ]

- ❖ 電界(電場)と磁界(磁場)が相互に作用しながら空間を伝播する波。



4. 電磁波

電磁波の呼称



[図引用：スガツネ工業ホームページ(一部改変)]

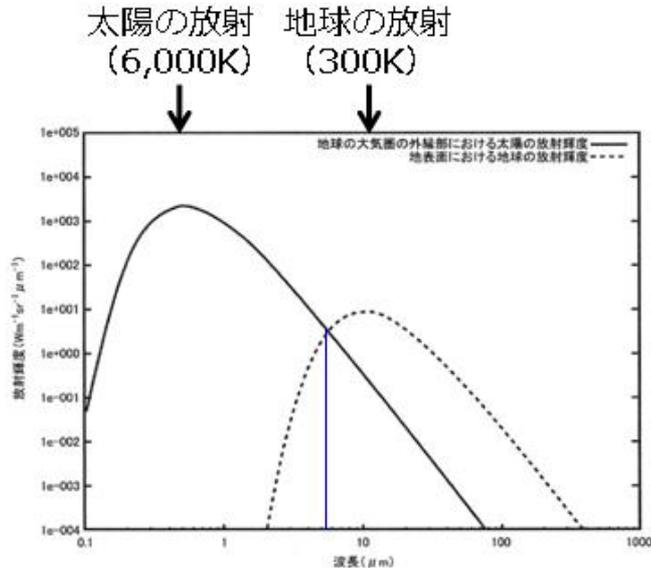
- ❖ リモートセンシングに用いられるのは、光（紫外線、可視光線、赤外線）とマイクロ波。
- ❖ 赤外線には「近赤外－中間赤外－遠赤外」と「短波長赤外－中波長赤外－長波長赤外」という2つの区分があるが、リモートセンシング分野では混合して用いることが多い。





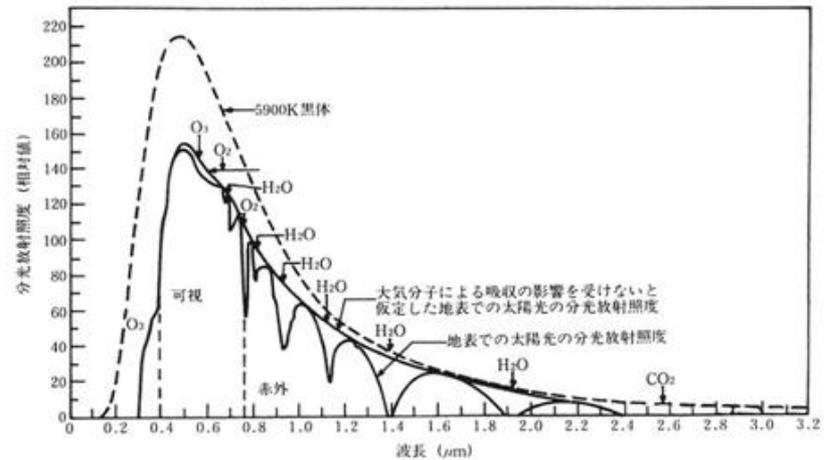
4. 電磁波

太陽と地球の放射



[図引用：はじめてのリモートセンシング]

大気による太陽光の散乱・吸収



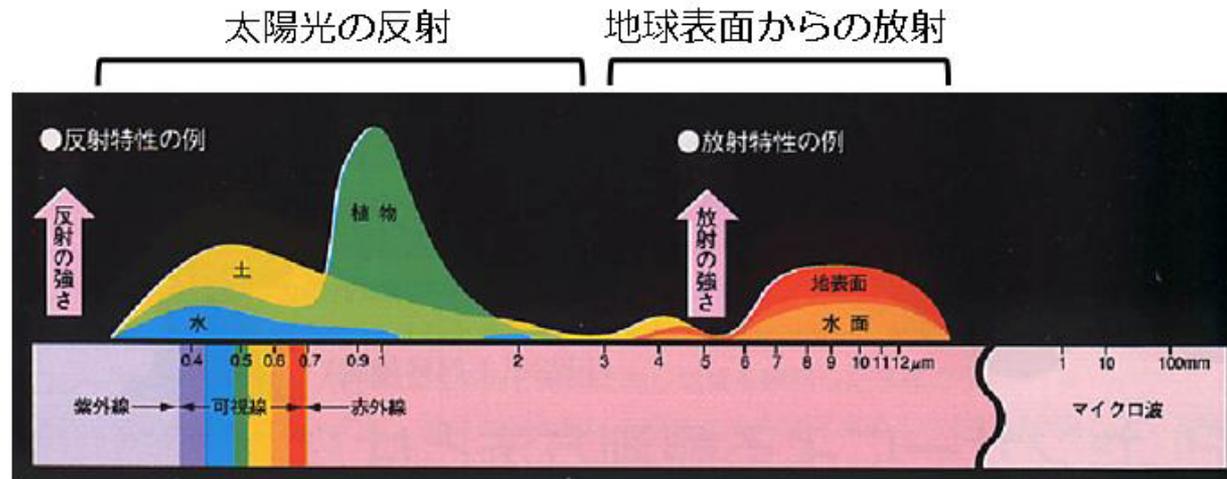
[図引用：図解リモートセンシング]

- ❖ スペクトル = 波長によって光の強さが変化する様子。
- ❖ プランクの法則 = 物体から放射される光のスペクトルは物体の温度に依存する。
- ❖ 太陽放射は約0.5 μm 、地球放射は約10 μm にピーク。各々が卓越する波長の境は約3 μm 。
- ❖ 太陽光が地表面に到達するまでに、地球大気による吸収・散乱の影響を受ける。

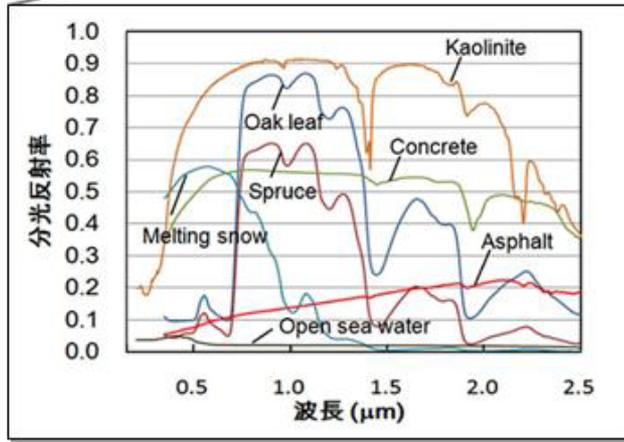




5. スペクトル特性



[図引用：RESTECホームページ]



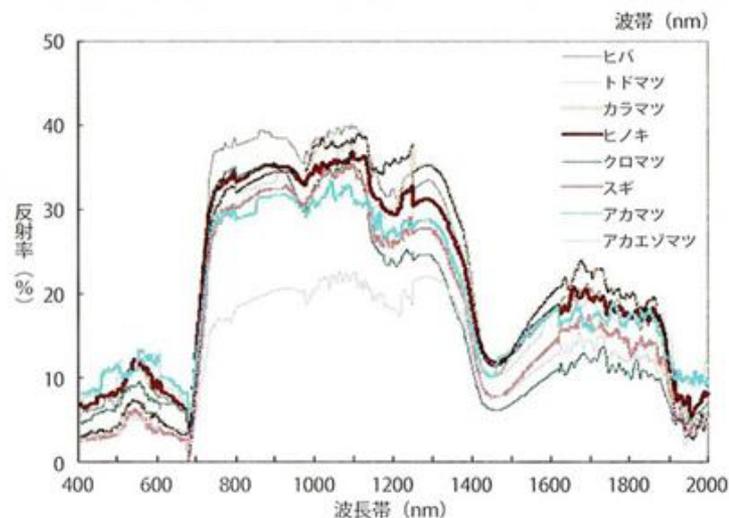
[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- Kaolinite = 陶磁器やセメントに用いられる粘土質鉱物。
- Oak = ナラ・カシ (広葉樹)。
- Spruce = トウヒ (常緑針葉樹)。

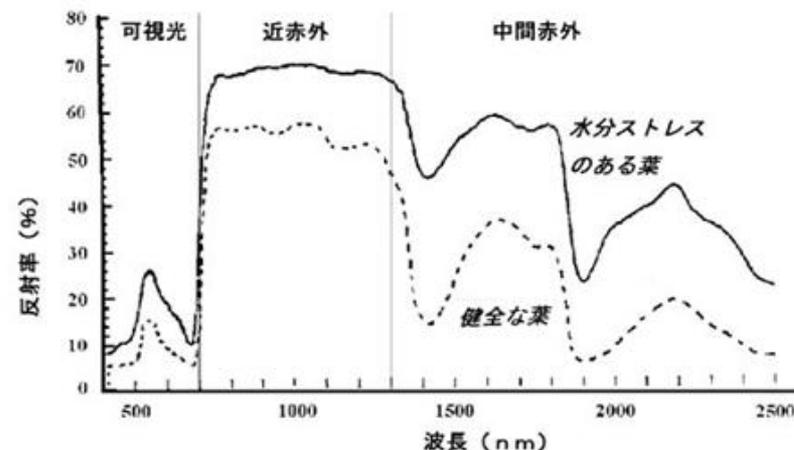


5. スペクトル特性

樹木（葉）のスペクトル



[図引用：森林リモートセンシング第3版]

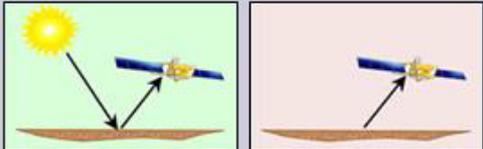
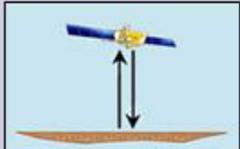
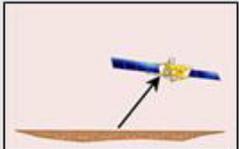
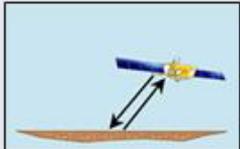


[図引用：森林総合研究所ホームページ]

- ❖ クロロフィル（葉緑素）の吸収が大きい青・赤領域の反射率は低く、吸収がやや小さい緑領域の反射率はやや高い。近赤外の反射率は全般的に高い。
- ❖ スペクトル特性は樹種により異なる他、病虫害、温度や水ストレスの影響や生長に伴っても変化する。
- ❖ 近赤外の特定の波長帯における反射率の低下は、水による吸収の影響。



6. センサ分類

	受動型	能動型
光学	<p>光学画像センサ スペクトロメータ</p> 	<p>ライダー (LiDAR)</p> 
マイクロ波	<p>マイクロ波放射計</p> 	<p>合成開口レーダ マイクロ波高度計 降雨レーダ</p> 

[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

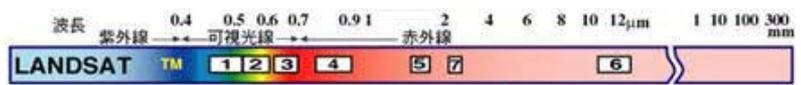
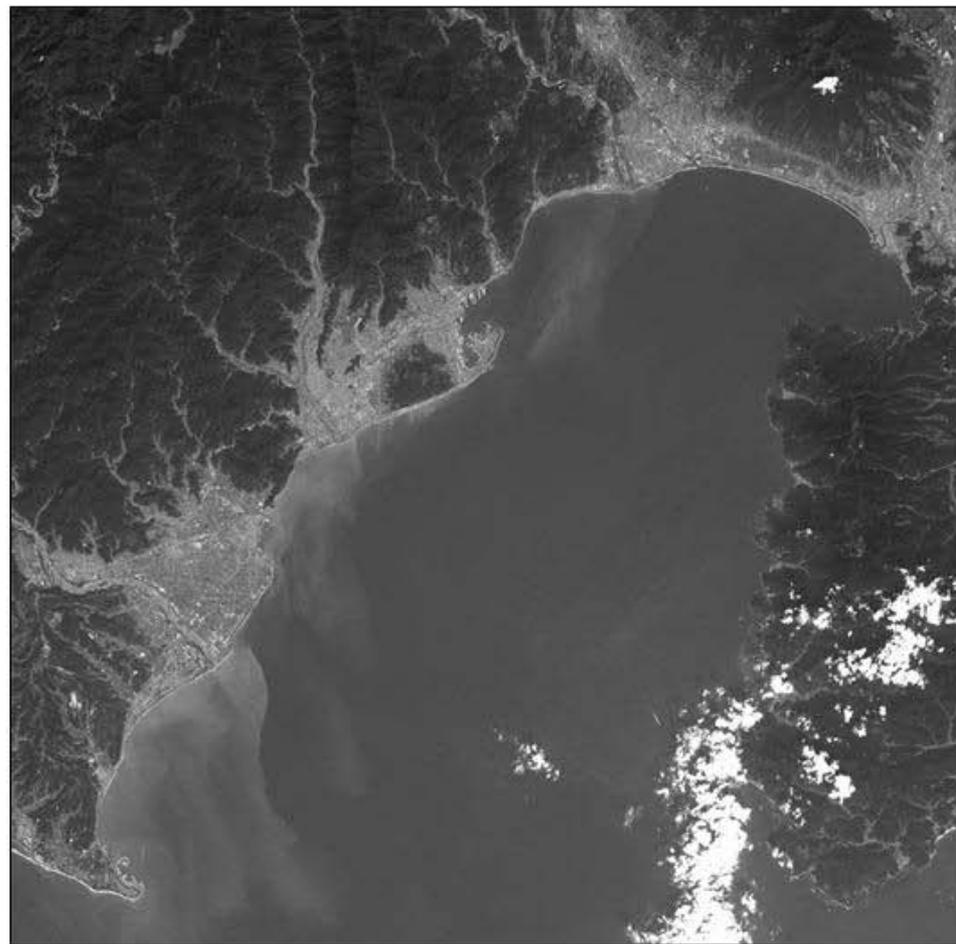
- ❖ REDDプラスにおける利用が想定されるのは、主に『光学画像センサ』と『合成開口レーダ』。



7. 波長帯別に見た画像

バンド1
0.45 - 0.52 μm (青)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

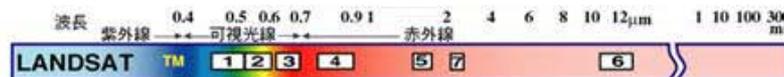
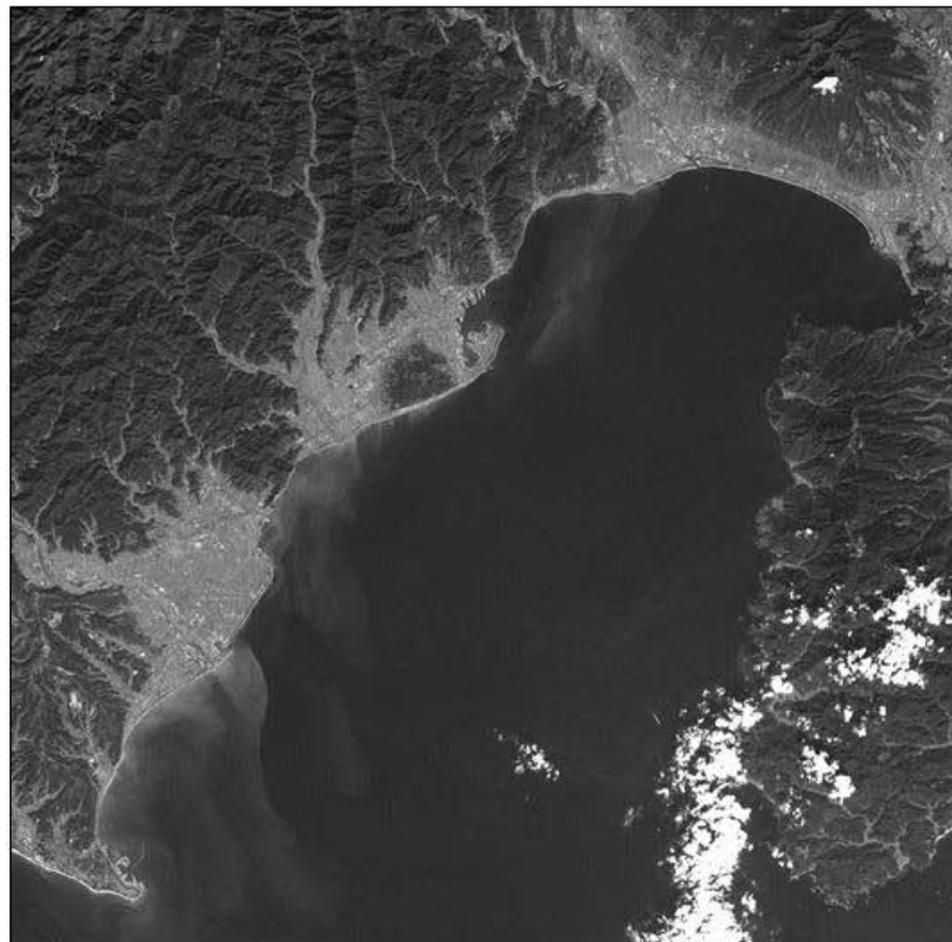




7. 波長帯別に見た画像

バンド2
0.52 - 0.60 μm (緑)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

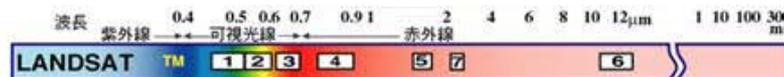
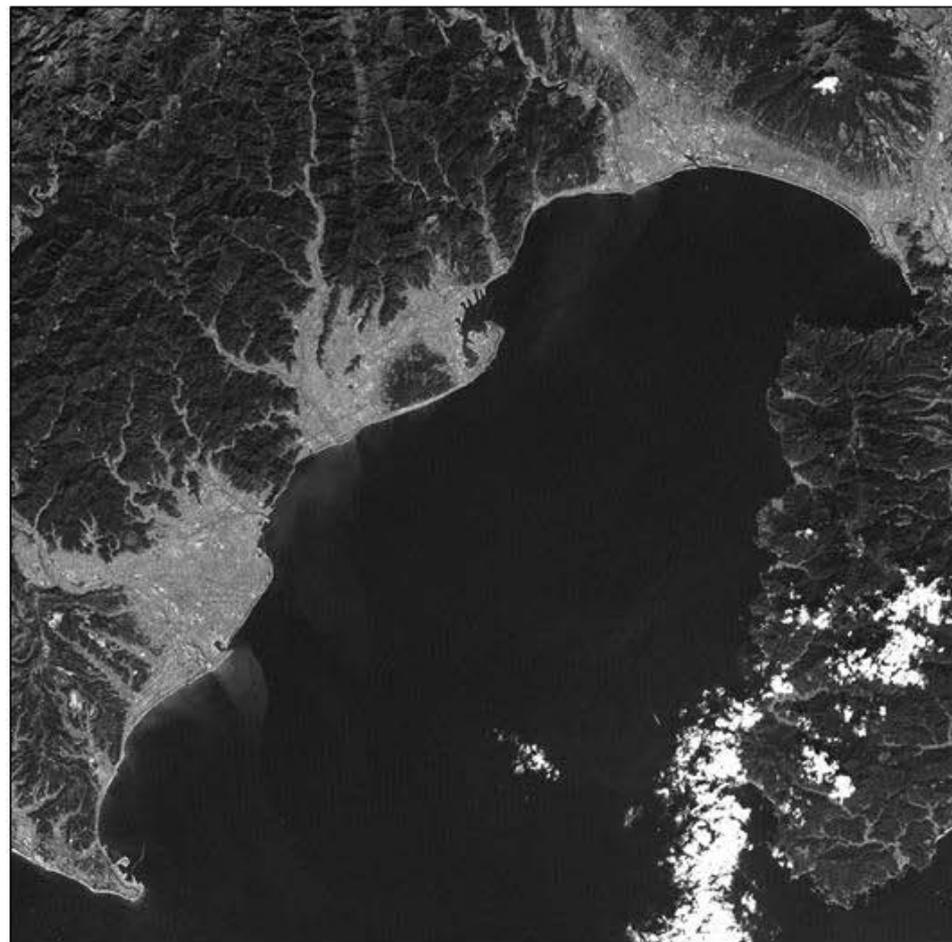




7. 波長帯別に見た画像

バンド3
0.63 - 0.69 μm (赤)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

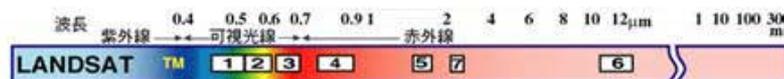
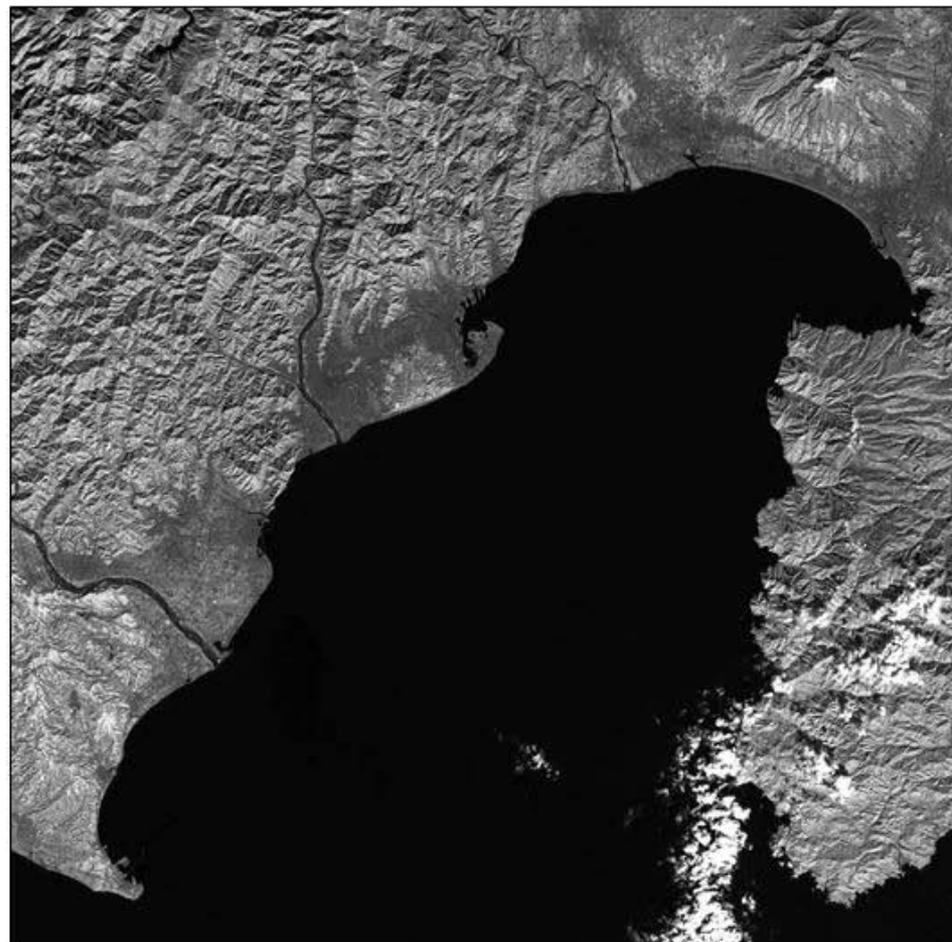




7. 波長帯別に見た画像

バンド4
0.76 - 0.90 μm (近赤外)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

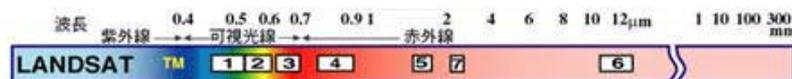




7. 波長帯別に見た画像

バンド5
1.55 - 1.75 μm
(短波長赤外)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

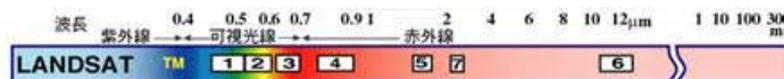




7. 波長帯別に見た画像

バンド7
2.08 - 2.35 μm
(短波長赤外)

Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺

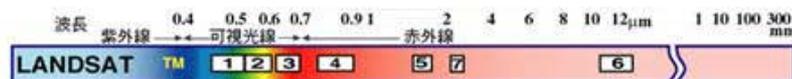
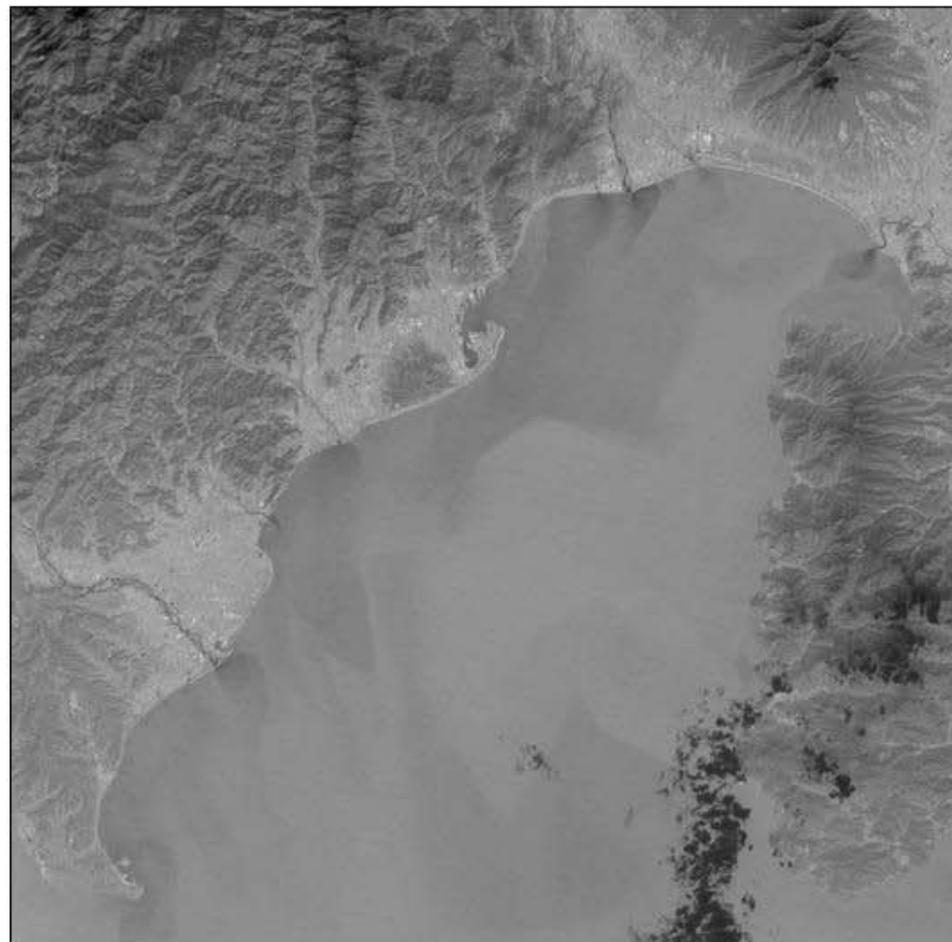




7. 波長帯別に見た画像

バンド6
10.40 - 12.50 μm
(遠赤外/熱赤外)

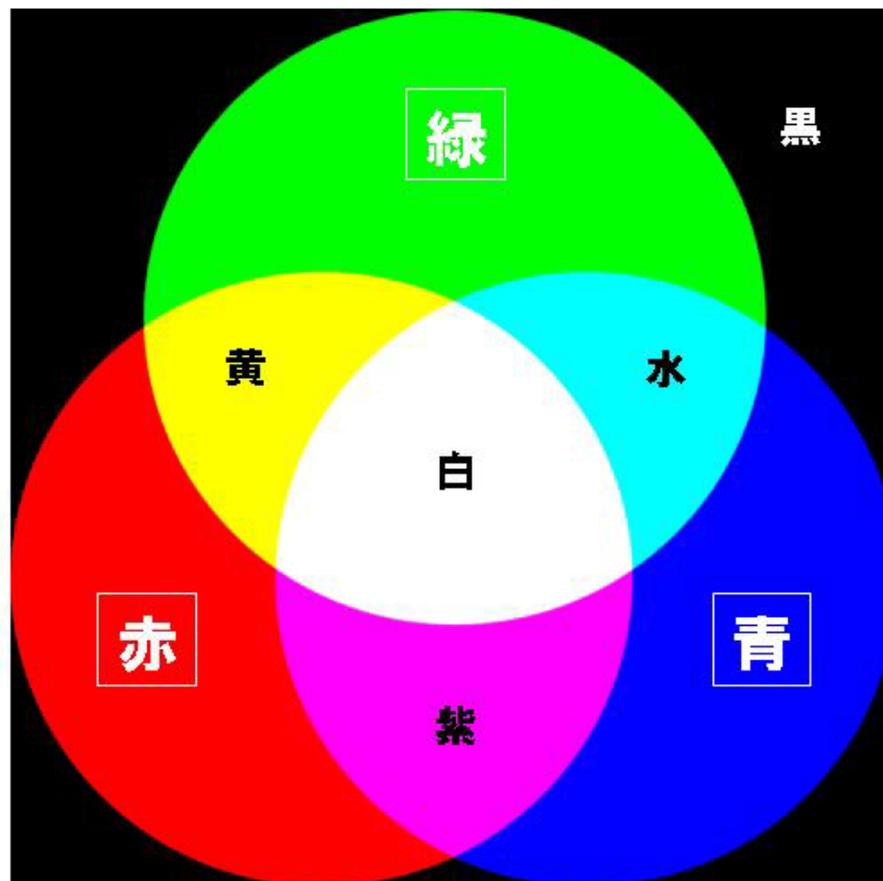
Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺





8. カラー合成画像

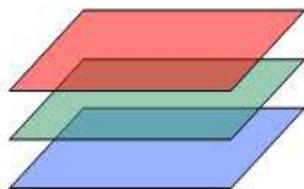
光の三原色による加法混色



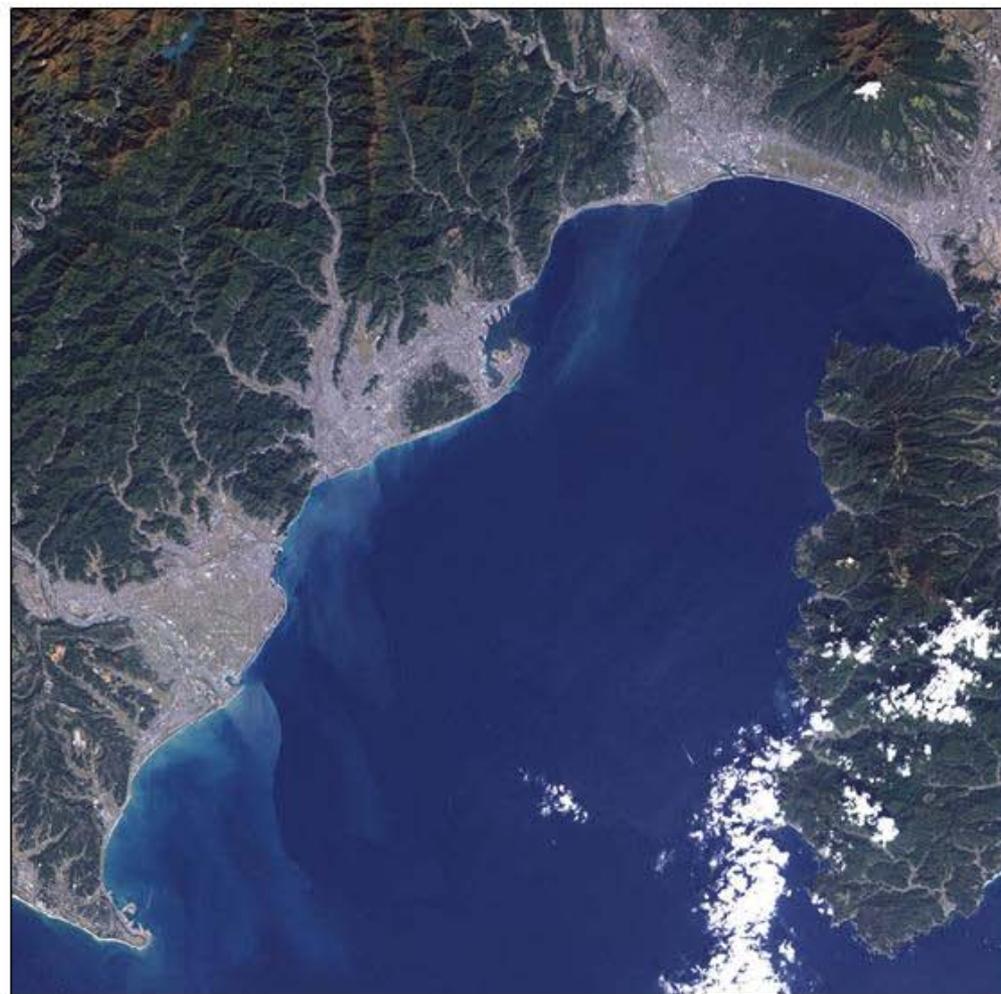


8. カラー合成画像

トゥルーカラー画像



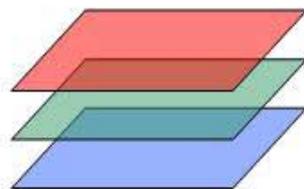
赤 = バンド3 (赤)
緑 = バンド2 (緑)
青 = バンド1 (青)





8. カラー合成画像

フォールスカラー画像



赤 = バンド4 (近赤外)
緑 = バンド3 (赤)
青 = バンド2 (緑)



9. 植生指標

正規化植生指標画像

- ❖ 赤・近赤外の2バンドの差を両者の和で除した Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) が、植物の量や被覆率等に関する指標として利用される。

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$





10. 光学センサの性能

性能を規定する主な諸元

- 空間分解能 = どれくらい細かい物まで識別できるか（1画素のサイズ）。
- 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（バンド数）。
- 時間分解能 = どれくらいの時間間隔で観測できるか（回帰日数）。

[文引用：森林リモートセンシング第3版]

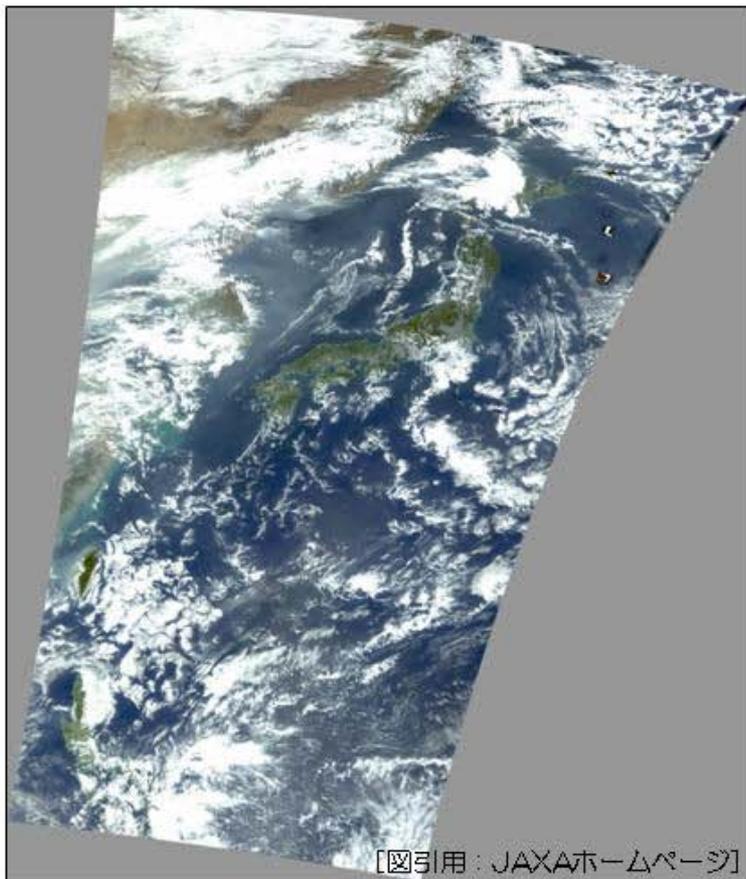
センサ選択時に考慮する点

- 上記性能のすべてが優れているセンサはないため、目的に応じて選択する。
- 特に空間分解能と時間分解能とが両立したセンサを実現することは困難で、基本的に両者はトレードオフの関係にある。
- 他にも、ポインティング機能やアーカイブの豊富さ、費用等も考慮する。



11. 観測幅と空間分解能

観測幅の比較



[図引用：JAXAホームページ]

MODIS : 2,330 km

Landsat : 185 km

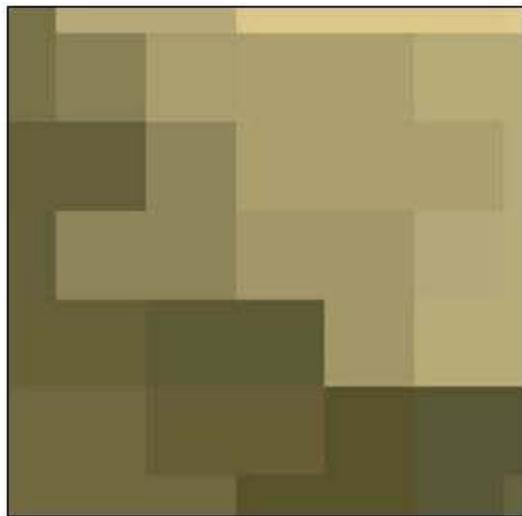
IKONOS : 11 km





11. 観測幅と空間分解能

空間分解能の比較



MODIS : 500 m



Landsat : 30 m



[図引用：日本スペースイメージング
ホームページ]

IKONOS : 4 m

※ 3 km四方の範囲を比較して表示。



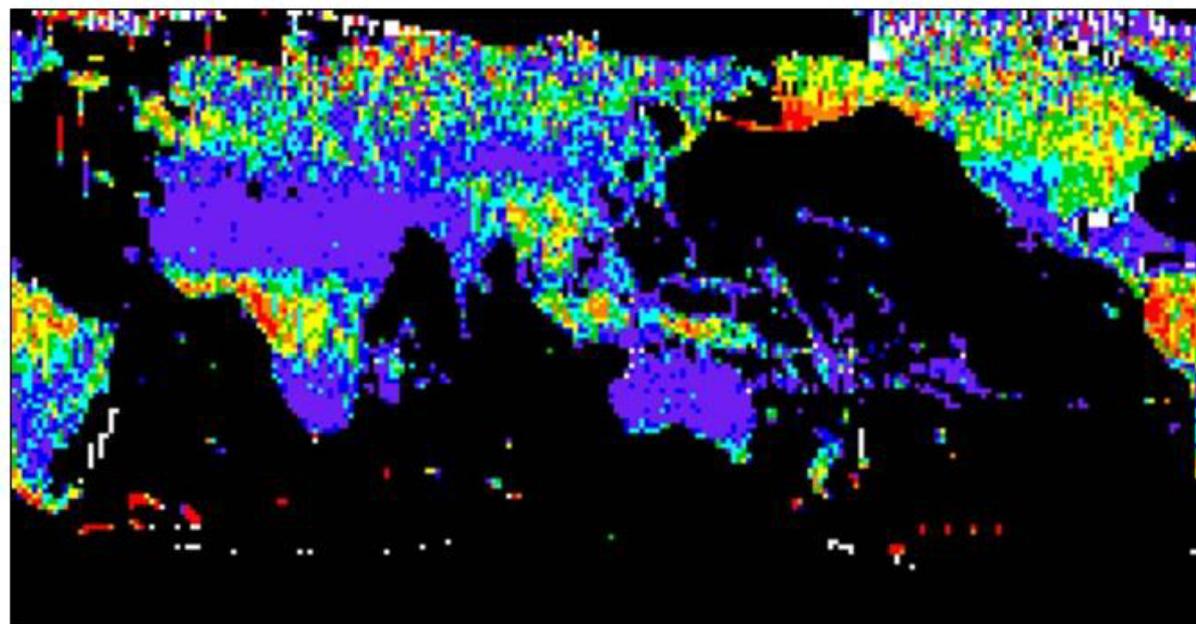
12. 雲被覆

Ju & Roy (2008)の報告

- ❖ Landsat-7が2002年に撮影した画像の雲量から、シーン毎の平均雲被覆率を算定。
- ❖ 平均雲被覆率の全球平均は0.35。熱帯雨林地域で高く、砂漠や乾燥地域で低い。

2002年の平均雲被覆率

紫	: 0~0.2
濃青	: 0.2~0.3
薄青	: 0.3~0.4
緑	: 0.4~0.5
黄	: 0.5~0.6
橙	: 0.6~0.7
赤	: 0.7~1.0



[図引用: Ju&Roy, 2008]



13. 合成開口レーダ

- ❖ 合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar; SAR）はマイクロ波を利用する能動型センサで、雲を透過して観測でき、夜間でも観測できる。

光学センサ画像

Landsat-5/TM 1992年4月23日



SAR画像

JERS-1/SAR 1992年4月23日

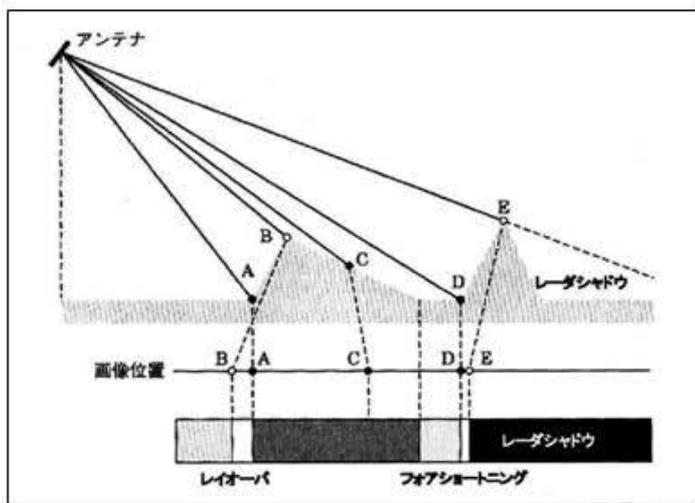


[図引用：JAXAホームページ]

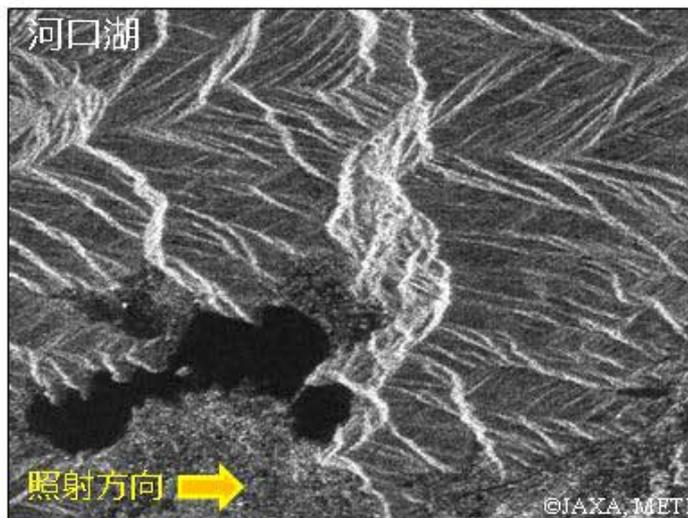
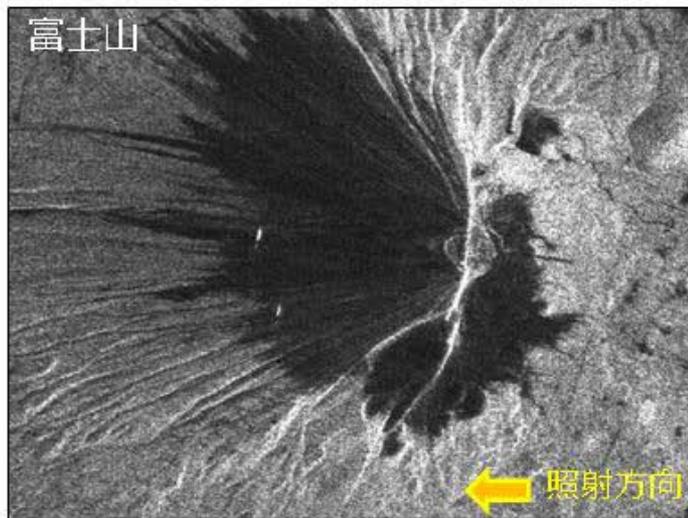


13. 合成開口レーダ

SAR画像における地形効果



「農業リモートセンシングハンドブック(大内2004に加筆)より転載」



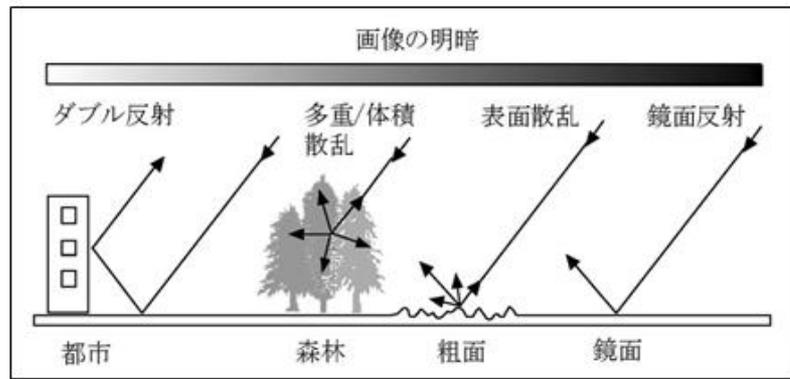
「リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎」 大内和夫著 東京電機大学出版局 2004
 「農業リモートセンシング・ハンドブック」秋山・石塚・小川・岡本・斎藤・内田編著 システム農学会 2007



13. 合成開口レーダ

SAR画像の特徴

- ❖ 地表面で**後方散乱**されたマイクロ波を観測している。
- ❖ ごま塩状のノイズである**スペックル**が画像全体に現れる。



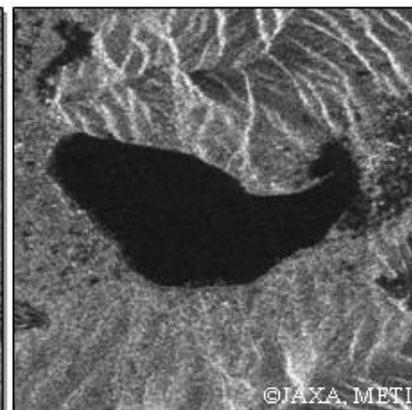
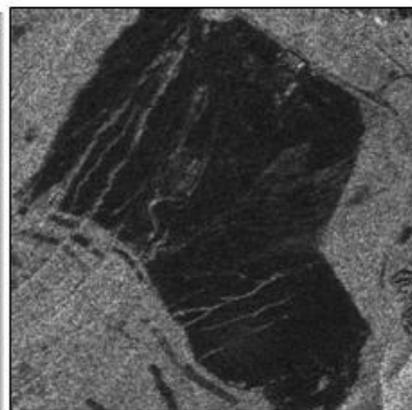
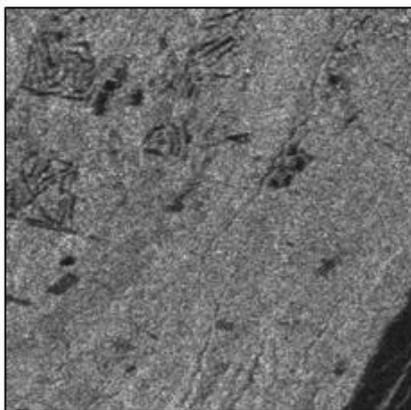
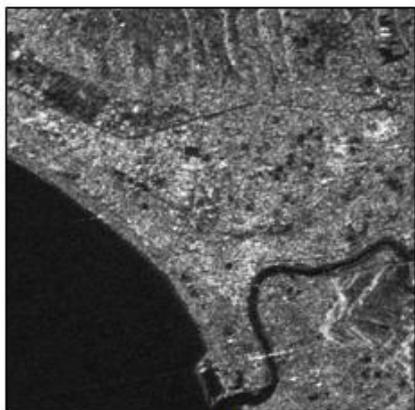
[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

市街地
(沼津市)

森林
(富士北麓)

草地
(北富士演習場)

水面
(山中湖)



©JAXA, METI

照射方向

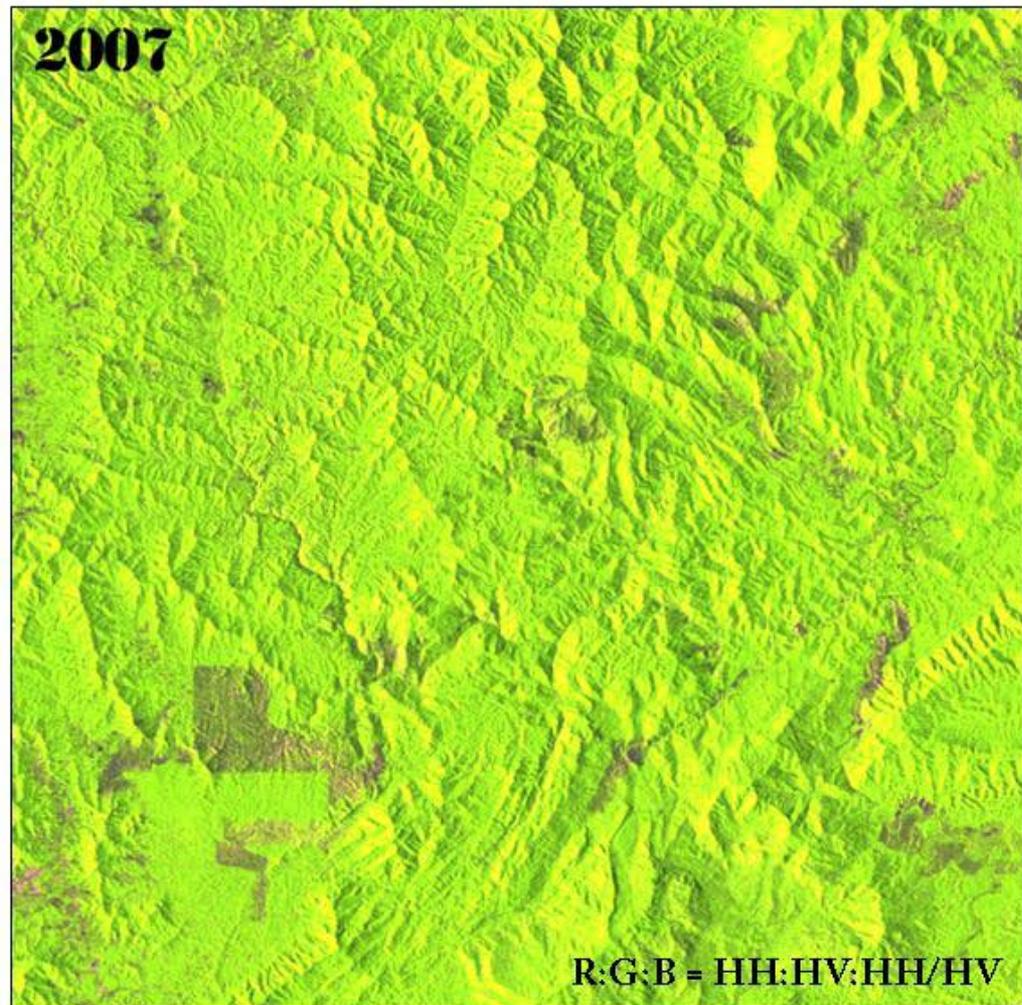




13. 合成開口レーダ

偏波画像の利用

- ❖ マイクロ波の電界の振動方向を偏波と呼ぶ。
- ❖ ALOS/PALSARは送受信それぞれで水平(H)・垂直(V)の偏波を切り替えられるため、4種類の偏波画像を観測。
- ❖ 偏波画像をカラー合成することで、森林・非森林を区別できる。



[図引用：JAXAホームページ (©JAXA, MET)]

14. 代表的な衛星

Landsat (アメリカ)

初めての本格的な地球観測衛星で、その後の衛星の設計に大きな影響を与えた。豊富なデータアーカイブの多くを無料で利用できる。

- 運用年 = 1号 1972～1978年
 :
 5号 1984年～
 7号 1999年～
- 軌道要素 = 高度 約705km
 回帰日数 16日



[図引用：NASAホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
ETM+	可視・近赤外	4	30 m	185 km
	短波長赤外	2		
	遠赤外	1	60 m	
	可視～近赤外 (パンクロマティック)	1	15 m	

※ 軌道要素とセンサは7号について記載。

14. 代表的な衛星

SPOT (フランス)

1986年以降、継続的にデータを取得。Landsatに比較して高い空間分解能の画像が得られ、ポインティング機能を有するという差異がある。

- 運用年 = 1号 1986～1990年
 ⋮
 5号 2002年～
 6号 2012年～
- 軌道要素 = 高度 約832km
 回帰日数 26日



[図引用：CNESホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
HRG	可視～短波長赤外	4	10 m	60 km
	可視(パンクロマティック)	1	5 m	
HRS	可視(ステレオ画像)	1	10 m	120 km
VGT	可視～短波長赤外	4	1.15 km	2,250 km

※ センサは5号について記載。



14. 代表的な衛星

ALOS (日本)

国産の地球観測衛星で、愛称は『だいち』。光学センサとSARの両方を搭載する大型衛星。比較的安価にデータを入手可能。

- 運用年 = 2006～2011年
- 軌道要素 = 高度 約692km
回帰日数 46日



[図引用：JAXAホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
AVNIR-2	可視・近赤外	4	10 m	70 km
PRISM	可視～近赤外 (パナクロマティック/ ステレオ画像)	1	2.5 m	35/70 km
PALSAR	マイクロ波	1	10 m	70 km
			100 m	250-350km





14. 代表的な衛星

Terra (アメリカ)

NASAの地球観測システム (EOS) 最初の大型衛星で、5つのセンサを搭載。別名『EOS AM-1』。Aqua (EOS PM-1) に同種のセンサを搭載。安価もしくは無料でデータを入手可能

- 運用年 = 1999年～
- 軌道要素 = 高度 約705km
回帰日数 16日



[図引用：NASAホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
ASTER	可視・近赤外	3	15 m	60 km
	短波長赤外	6	30 m	
	遠赤外	5	90 m	
MODIS	可視・近赤外	2	250 m	2,330 km
	可視～短波長赤外	5	500 m	
	可視～遠赤外	29	1,000 m	

※ 他に3つのセンサを搭載。MODISは同種のセンサがAquaにも搭載。



14. 代表的な衛星

IKONOS (アメリカ)

スペースイメージング社の商業衛星で、高解像度の画像を撮影できる。他にもQuickBird等の高解像度商業衛星がある。

- 運用年 = 1999年～
- 軌道要素 = 高度 約680km
回帰日数 11日
- センサ



[図引用：SatNewsホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
—	可視・近赤外	4	4 m	11 km
	可視～近赤外 (パンクロマティック)	1	1 m	



15. 計画中の衛星

LDCM (Landsat Data Continuity Mission)

Landsatの観測データの継続性を引き継ぐための衛星(Landsat-8)。軌道はLandsat-7と同じで、OLIとTIRSの2つのセンサを搭載。2013年2月に打ち上げ予定。



[図引用：NASAホームページ]

SPOT-6, 7

SPOT-5に較べて空間分解能の高い光学センサを搭載。2基のPléiades衛星と位相をずらして同じ軌道に投入することで、観測頻度を向上。7号は2014年に打ち上げ予定。



[図引用：Astriumホームページ]

ALOS-2, 3

ALOSに搭載されたPALSARとAVNIR-2に較べて性能を向上したセンサを、それぞれALOS-2とALOS-3に搭載。それぞれ2013年と2016年以降に打ち上げ予定。



[図引用：JAXAホームページ]



16. 衛星データの入手先・価格

衛星	入手先	価格（税別）
Landsat	USGSホームページ等	無料
	リモート・センシング技術センター(RESTEC)	84,000円
SPOT	東京スポットイマージュ	497,000円 (10mカラー/5m白黒)
ALOS	リモート・センシング技術センター(RESTEC) パスコ	25,000円
	宇宙システム開発利用推進機構	20,000円 (PALSARのみ)
Terra	ASTER：宇宙システム開発利用推進機構	9,800円
	MODIS：USGSホームページ等 (JAXA、東京大学ホームページ)	無料
IKONOS	日本スペースイメージング	3,000円 (1km ² あたり)

※ 価格は処理レベルにより異なるため、最も廉価な製品の価格を示す。

17. 無料のLandsatデータ

- ❖ アメリカ地質調査所（USGS）ホームページ

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

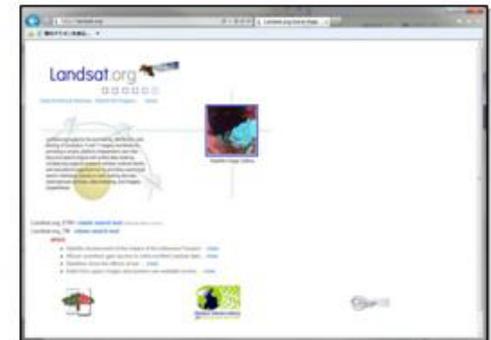
Earth Explorerのページからダウンロードできる。データのアーカイブが豊富。



- ❖ Landsat.orgホームページ

<http://landsat.org/>

オルソ幾何補正した画像をダウンロードできるが、シーン毎に1970・1990・2000年代の3枚の画像のみ。



- ❖ メリーランド大学ホームページ

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

GLCF（Global Land Cover Facility）のページからダウンロードできる。





18. 解析用ソフトウェア

画像解析ソフトウェア

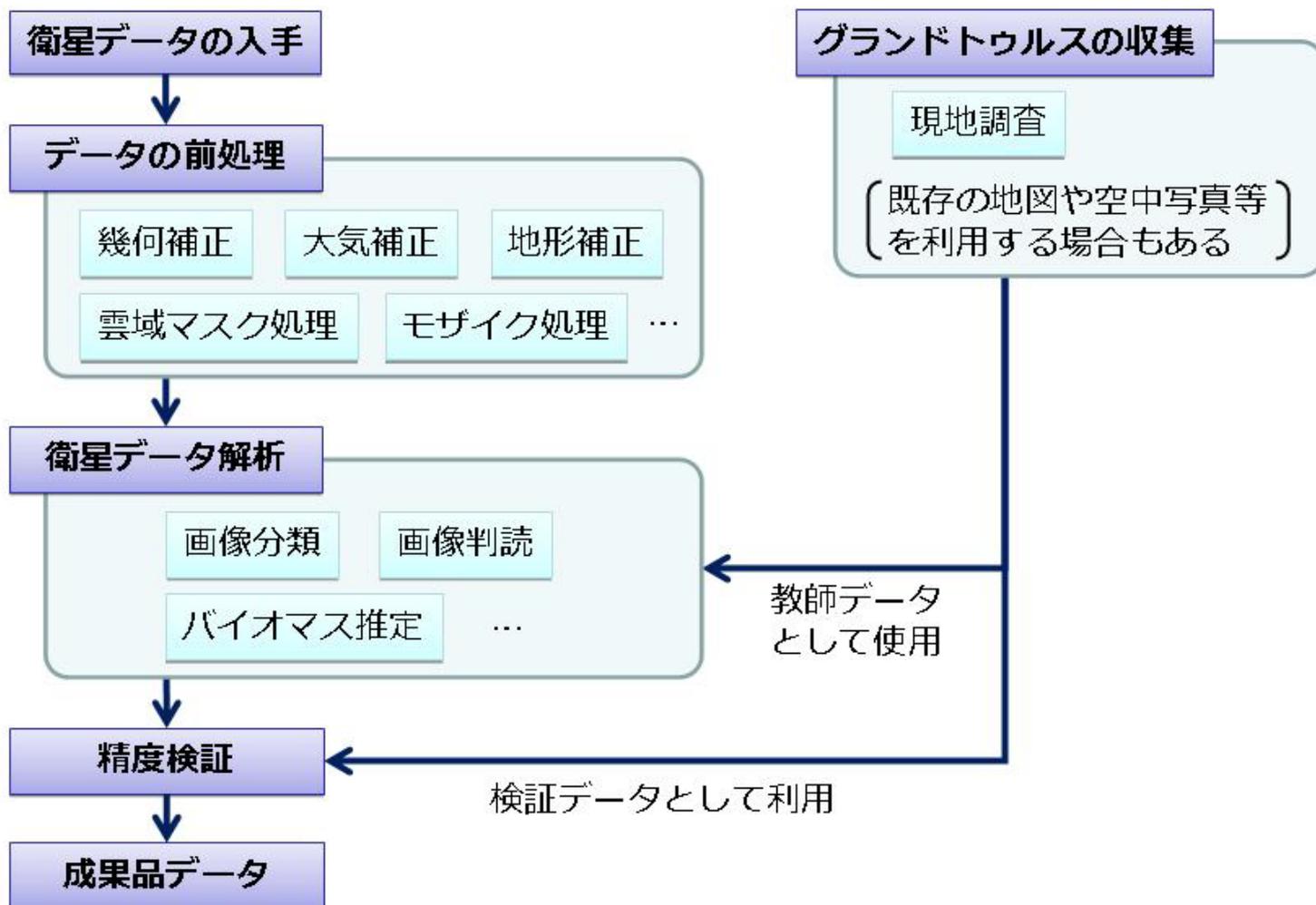
- ERDAS Imagine : 代表的ソフト
- ENVI/IDL : 代表的ソフト
- PCI : 代表的ソフト
- TNTmips : 比較的low価格
- eCognition : オブジェクトベース分類

GISソフトウェア

- ArcGIS : 代表的ソフト
- GRASS : Linux用フリーソフト



19. 一般的な解析手順





20. リモートセンシングの特徴

リモートセンシングの長所

- 広域性・瞬時性 = 広い範囲をほぼ同時に観測できる（均質なデータを広範囲で取得できる）。
- 反復性 = 一定の周期で繰り返し同じ場所を観測できる（人間活動や自然現象の経時変化を調査できる）。
- 非接触性 = 現地に行かなくても対象地域を観測できる（山岳地や紛争等の立入ることが難しい地域も調査できる）。

[文引用：はじめてのリモートセンシング（一部改変）]

リモートセンシングの短所

- 電磁波を媒介して対象物の情報を得るため、電磁波に影響を及ぼさない対象物の特性は直接的には観測できない（例えば、海中の温度や地中の鉱物は直接的には観測できない）。

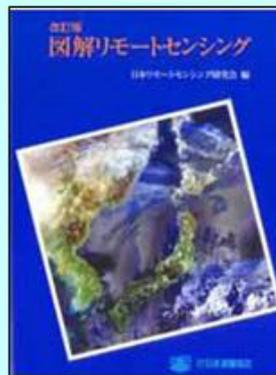
[文引用：基礎からわかるリモートセンシング]



21. もっと勉強するには

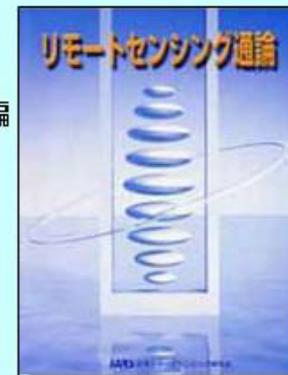
図解リモートセンシング

日本リモートセンシング研究会 編
2004年発行
3,600円



リモートセンシング通論

日本リモートセンシング研究会 編
2000年発行
3,675円



基礎からわかる リモートセンシング

日本リモートセンシング学会 編
2011年発行
3,675円



森林リモートセンシング 第3版

加藤正人 編
2010年発行
3,000円





第7章

リモートセンシングを用いた 森林面積の把握手法

一般社団法人 日本森林技術協会
笹川 裕史

森林－非森林変化のモニタリング

(出典:GOFC-GOLD / COP17)

SOURCEBOOK

COP 17 version 1



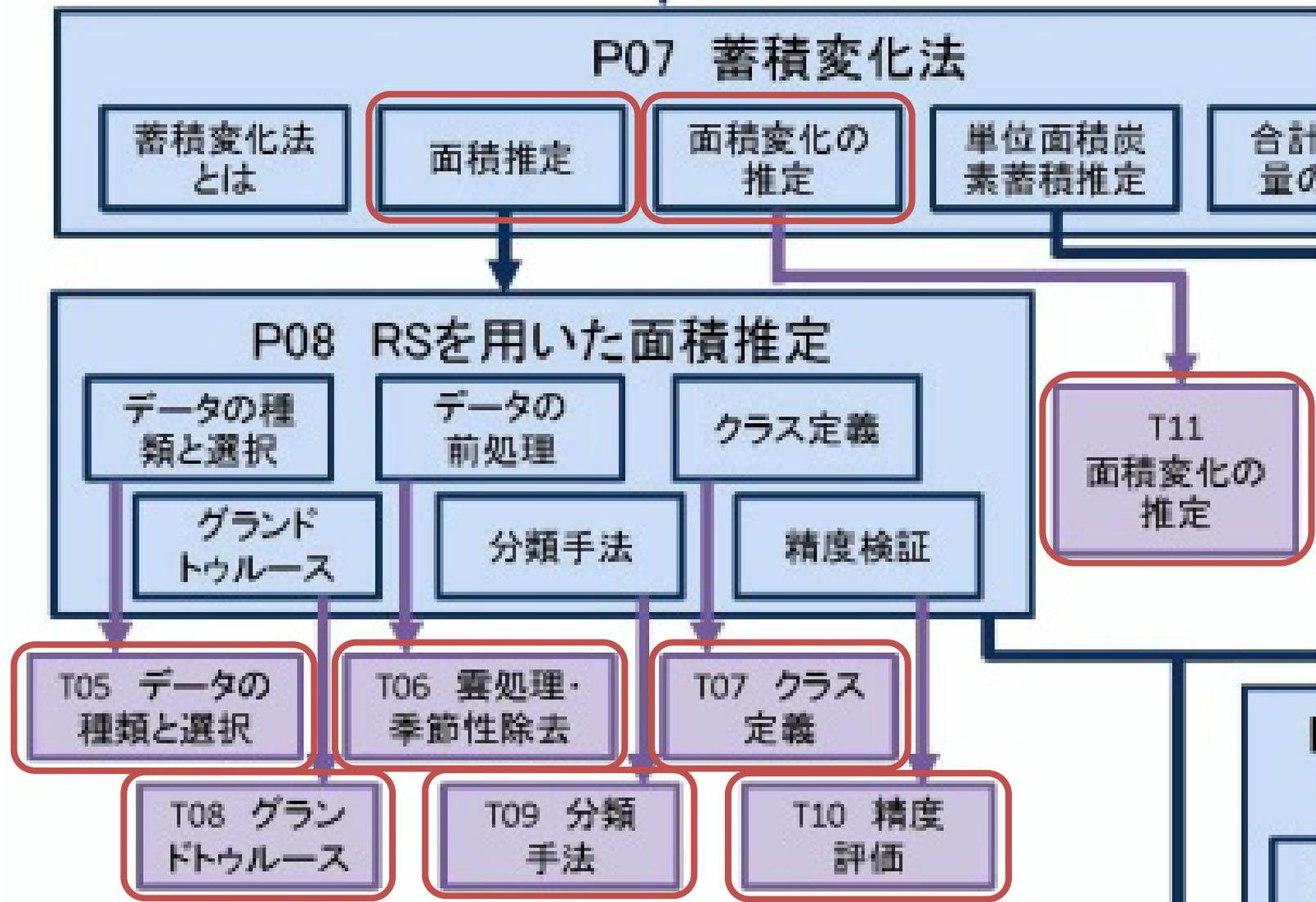
A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation

GOFC-GOLD

Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics

GOFC-GOLDホームページ <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>

Cookbookの該当レシピ



モニタリングアプローチの選択と実施

2.1.2.4 Selection and implementation of a monitoring approach - deforestation

モニタリングアプローチの選択と実施－森林減少

- Step1: Selection of the forest definition
森林の定義
- Step2: Designation of forest area for acquiring satellite data
衛星データを必要とする森林域
- Step3: Selection of satellite imagery and coverage
衛星画像と対象範囲の選択
- Step4: Decisions for sampling versus wall to wall coverage
サンプリングvs全域の決定
- Step5: Process and analyze the satellite data
衛星データの処理と解析
- Step6: Accuracy assessment
精度検証

2.1.2.5 Monitoring of increases in forest area – forestation

森林回復のモニタリング



Step1: Selection of the forest definition

森林の定義

Table 1.2.1. Existing frameworks for the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector under the UNFCCC and the Kyoto Protocol.

Land Use, Land Use Change and Forestry		
UNFCCC (2003 GPG and 2006 GL-AFOLU)	Kyoto	Kyoto-Flexibility
<p>Six land use classes and conversion between them:</p> <p>Forest land Cropland Grassland Wetlands Settlements Other Land</p>	<p>Article 3.3 Afforestation, Reforestation, Deforestation</p> <p>Article 3.4 Cropland management Grazing land management Forest management Revegetation</p>	<p>CDM Afforestation Reforestation</p>
<p>Deforestation= forest land converted to another land category</p>	<p>Controlled by the Rules and Modalities (including Definitions) included in COP/MOP Decisions (for a full set of, see www.unfccc.int)</p>	



- Step2: Designation of forest area for acquiring satellite data
衛星データを必要とする森林域
- ✓ 国土のすべての森林を含むこと
- ✓ 現存している全森林は、評価期間中すべての森林変化をモニタリングすること



Step3: Selection of satellite imagery and coverage 衛星画像と適用範囲

✓ Cookbook Recipe T05参照

✓ プラットフォーム・センサ・空間分解能・波長分解能・時間分解能・現在/過去/未来・ソフトウェア

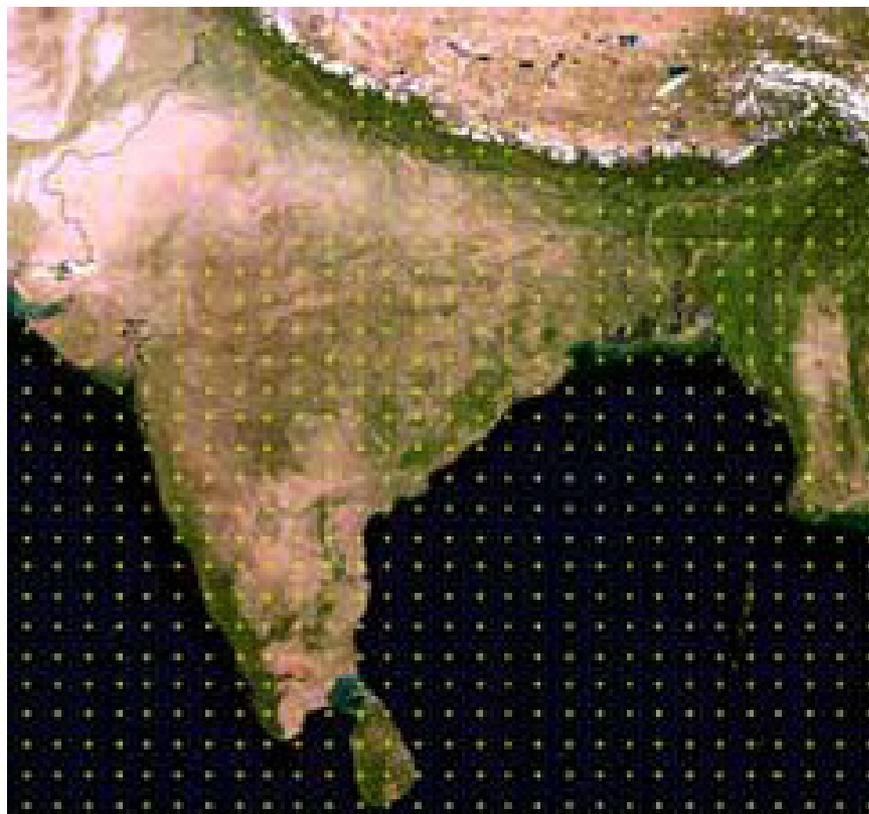
表 T05-1 代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格

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/km ²)	センサ開発・運用	コメント
Landsat 1-3	MSS	1972	1983	68 × 83cm	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 × 83cm	185	×	可視 (2)、近赤外 (2)	705	16	16	×	40,740 ※	1.3	合衆国 (NASA)	*2012 年に 1 部観測再開
	TM	1982	運転中*	30cm (バンド 6:120cm)	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	運転中*	30cm (バンド 6:60cm、バンド 8:15cm)	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	運転中	MS: 30cm Pan: 10cm	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)								
EOS-Terra/ EOS-Aqua	MODIS	1999	運転中	250m/500m/ 1km	2330	×	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

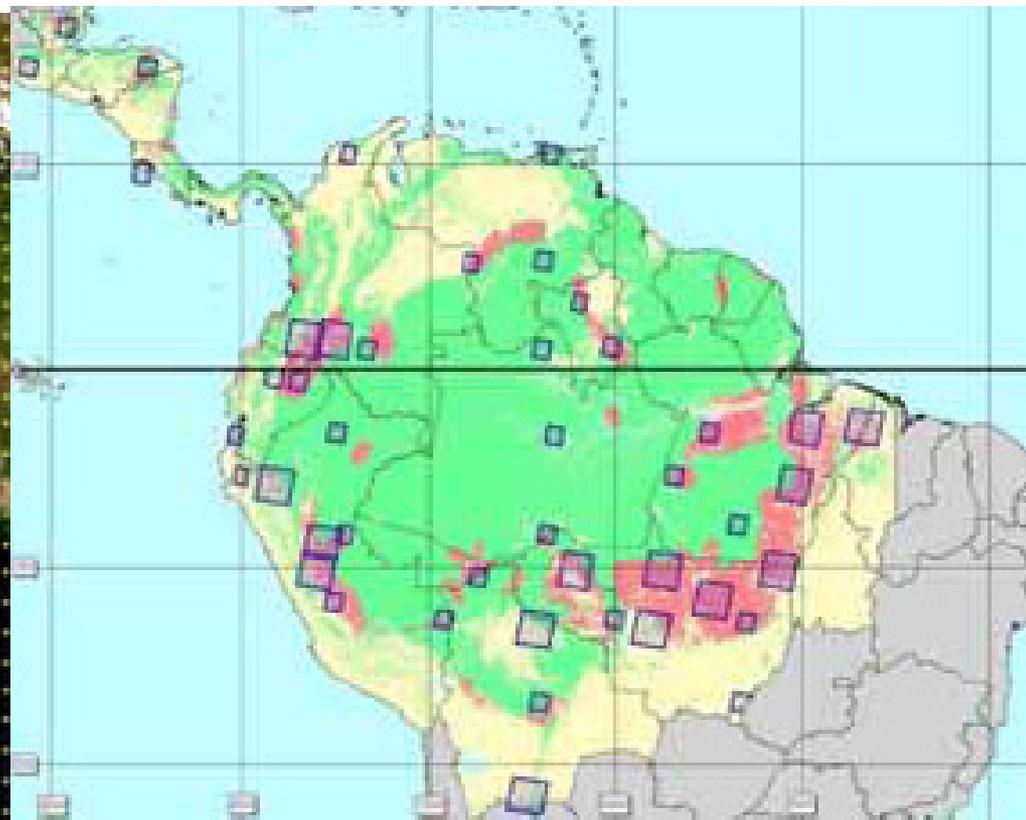
Step4: Decisions for sampling versus wall to wall coverage

サンプリングvs全域の決定

Example of systematic sampling



Example of stratified sampling



GOFC-GOLDホームページ <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>

データの選択 (Recipe T05)

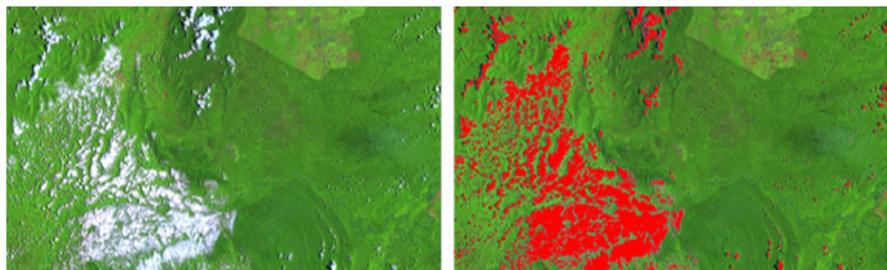
The screenshot shows the EarthExplorer interface with the following details:

- Search Criteria Summary:**
 - Entity ID: ETP124R52_5T19901230
 - Acquisition Date: 30-DEC-90
 - Path: 124
 - Row: 52
- Search Results:**
 - Displaying 1 - 1 of 1
 - Buttons: First, Previous, Next, Last
 - Submit Standing Request button
- Map:** A world map with a red pin on the island of Sumatra, Indonesia.
- Navigation:** Search Criteria, Data Sets, Additional Criteria, Results tabs.
- Footer:** Accessibility, FOIA, Privacy, Policies and Notices, Google Maps API Disclaimer, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, URL: http://earthexplorer.usgs.gov, Page Contact Information: its@usgs.gov, USA.gov logo, TAKE PRIDE IN AMERICA logo.



雲の除去・季節性の調整データの選択 (Recipe T06)

・ 雲の除去



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。

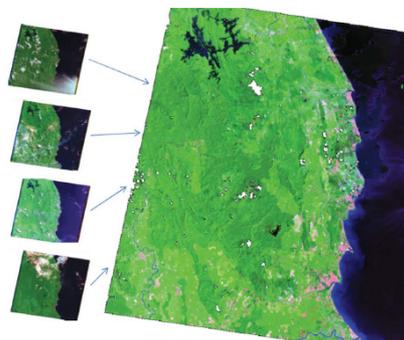
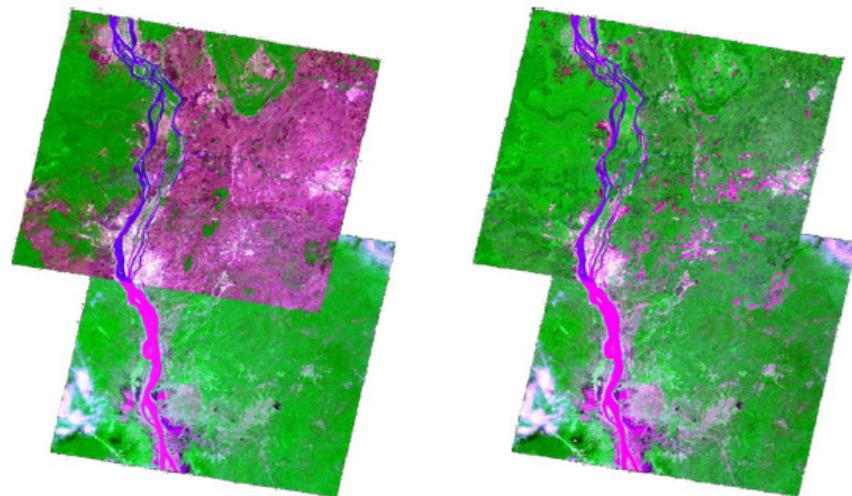


図 T06-2 雲なしのモザイク画像

Landsat7 ETM+ 画像 (マレーシア)。INFO¹⁾ 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なり除去しきれなかった部分である。

REDD+CookBookより

・ 季節性の影響



処理前

処理後

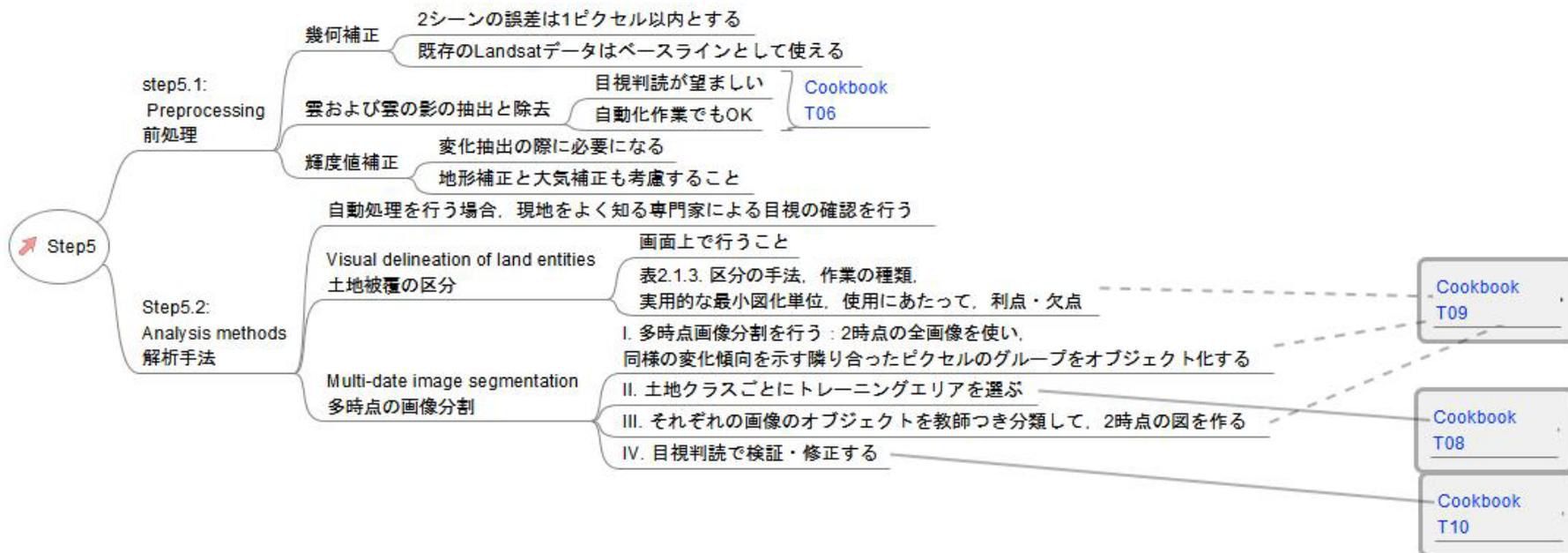
季節変化の影響の除去の例 (Langner, 未発表)

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

Step5: Proccess and analyze the satellite data

衛星データの処理と解析





クラスの定義 (T07)

- 完全かつ排他的なクラス

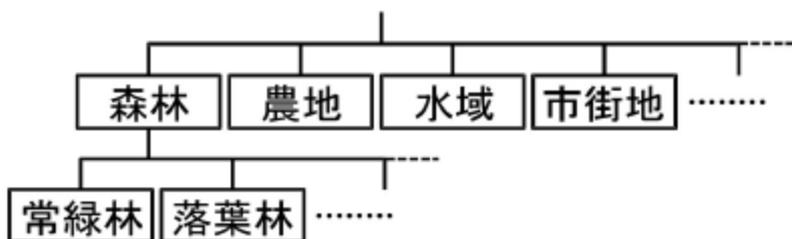


図 T07-1 クラスの階層構造

REDD+CookBookより

- 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。

- 分類後のクラスの統合

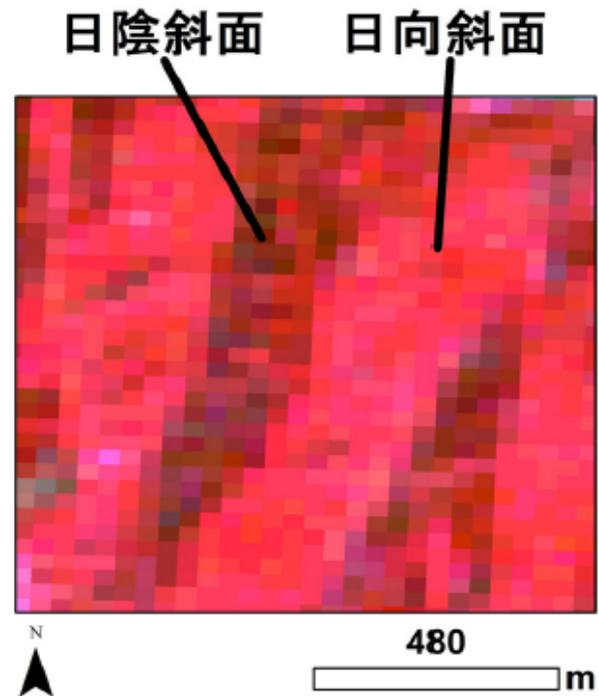


図 T07-2 日向斜面と日陰斜面の森

REDD+CookBookより

分類手法 (T09)

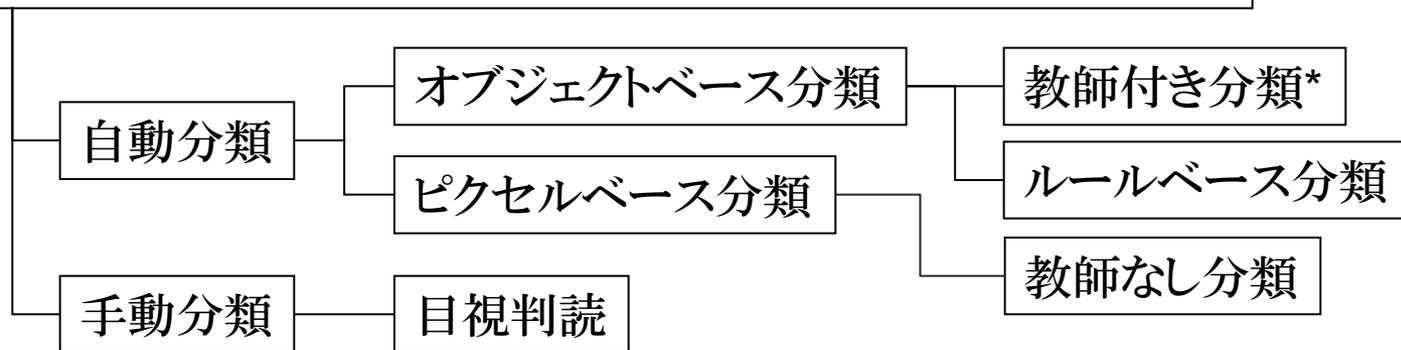
Table 2.1.3. Main analysis methods for moderate resolution (~ 30 m) imagery.

Method for delineation	Method for class labeling	Practical minimum mapping unit	Principles for use	Advantages / limitations
Dot interpretation (dots sample)	Visual interpretation	< 0.1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation 	<ul style="list-style-type: none"> - closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 - 10 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise 	<ul style="list-style-type: none"> - difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise 	<ul style="list-style-type: none"> - difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable 	<ul style="list-style-type: none"> - more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable 	<ul style="list-style-type: none"> - more reproducible than visual delineation



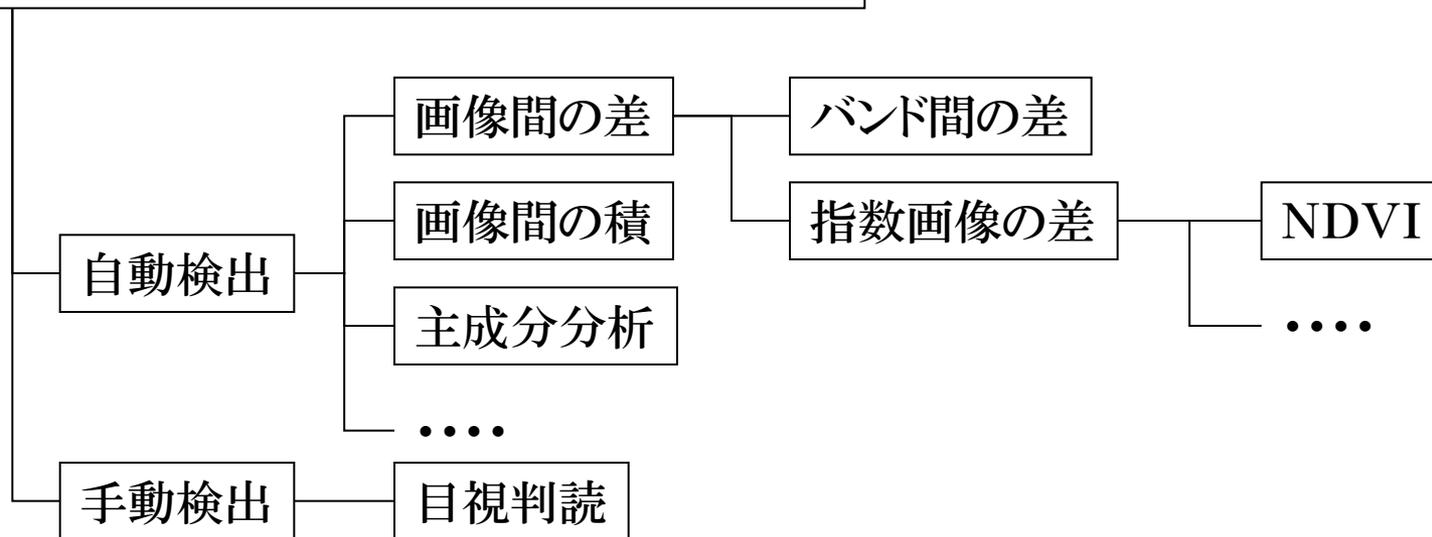
変化抽出技術の分類

[1] 各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成して差分をとる方法



*:ピクセルベース分類でも

[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法

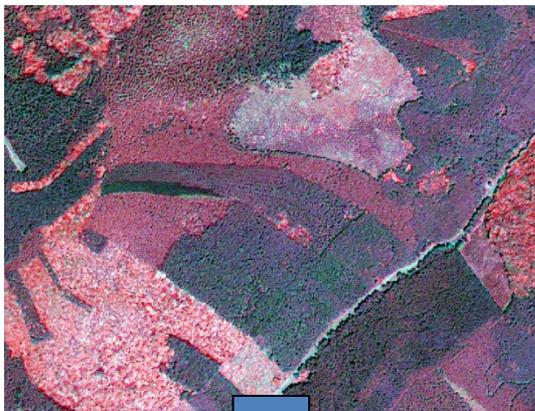


画像分類手法の比較

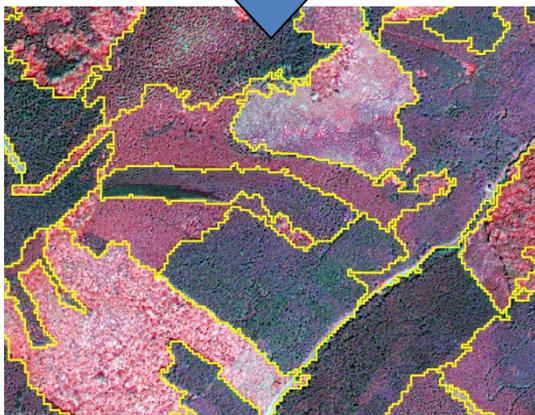
手法	長所	短所
自動分類 - オブジェクトベース分類	高分解能の衛星画像の分類に適しているため、詳細な分類図を得られる	分類のためのパラメータ設定が複雑
自動分類 - ピクセルベース分類	作業者の技術力によらず、比較的均質な成果を得られる	高分解能の衛星画像の分類には適さない
手動分類 - 目視判読	分類精度が高い	経験にもとづく技術力が必要であり、また作業量が多くなる

オブジェクトベース分類

[1] 分類図を作成する方法

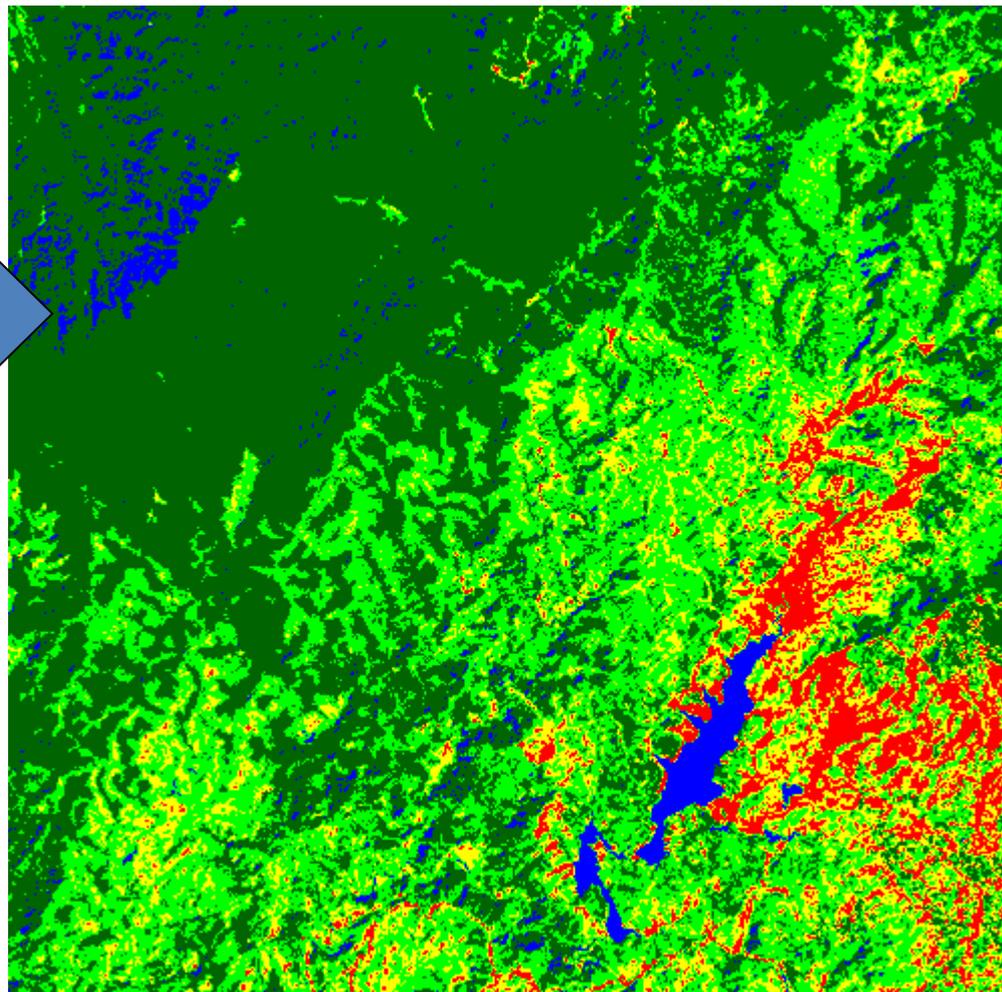
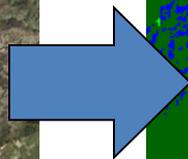
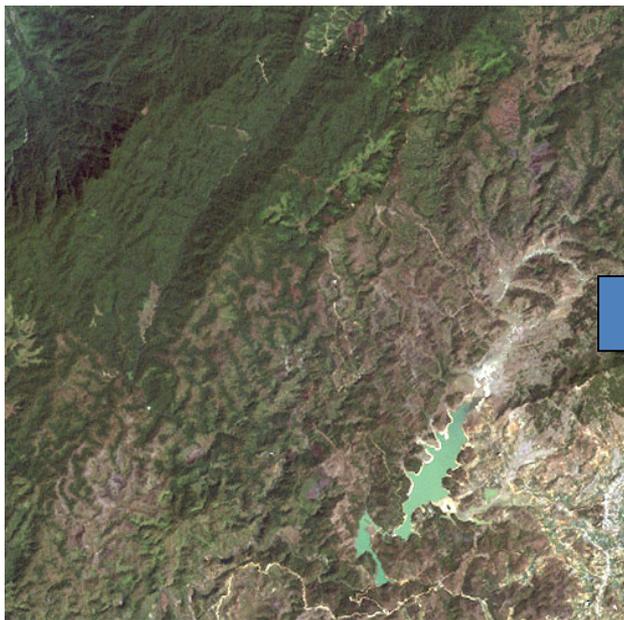


セグメンテーションと呼ばれる処理により、
スペクトル情報や形状情報に基づいたオ
ブジェクト(ピクセルの集合)が生成される



ピクセルベース分類

[1] 分類図を作成する方法

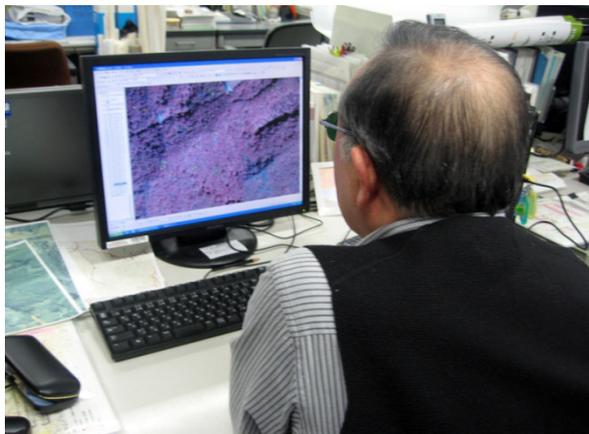


類似したスペクトル情報を持つピクセルをまとめることにより分類する。空間分解能の低い衛星画像の分類に適す



目視判読

[1] 分類図を作成する方法



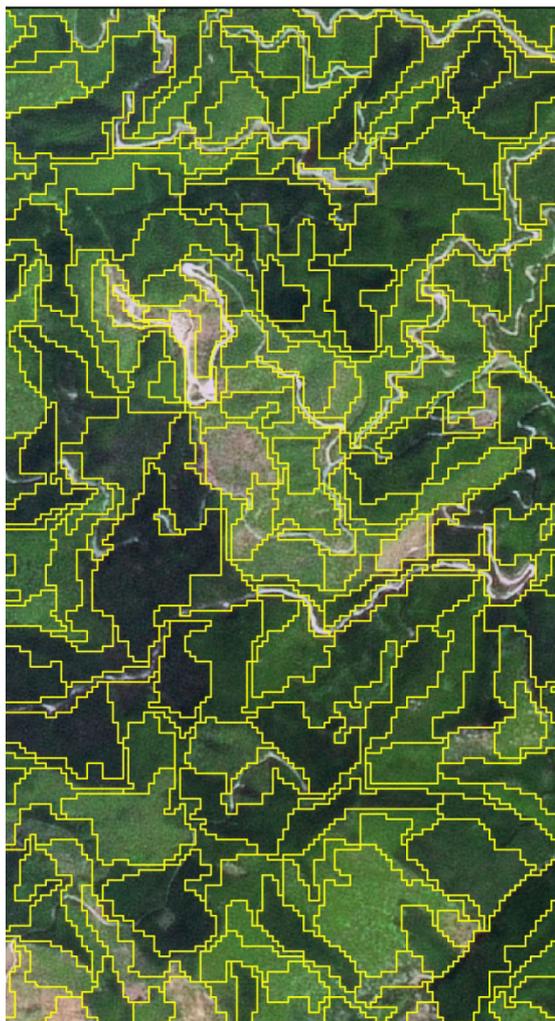
対象物の持つ『色調』『形状』『大きさ』
『きめ』『模様』などを手がかりにした作
業者の判断により分類する



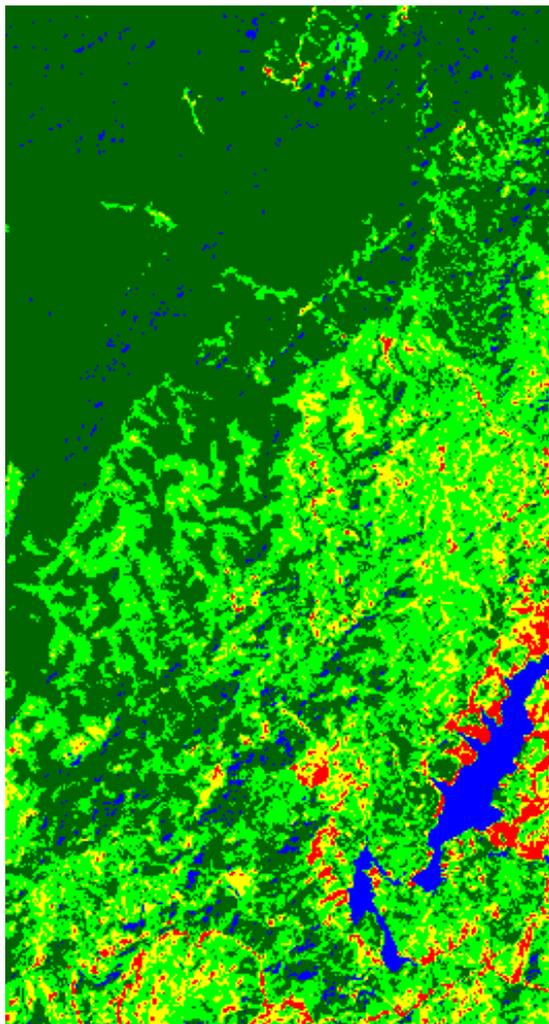
3つの分類方法の比較

[1] 分類図を作成する方法

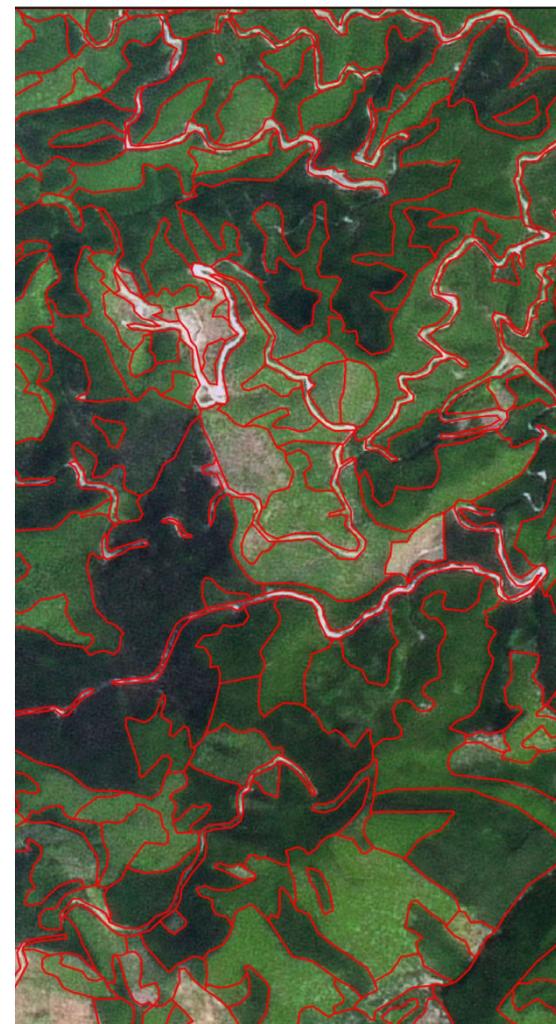
オブジェクトベース分類



ピクセルベース分類



目視判読





オブジェクト分類に対応したソフトウェア

ソフトウェア	開発社
eCognition	Trimble
Feature Analyst for ArcGIS	Overwatch Systems
ENVI EX	EXELIS
Picasso	(株) つくばアグリサイエンス

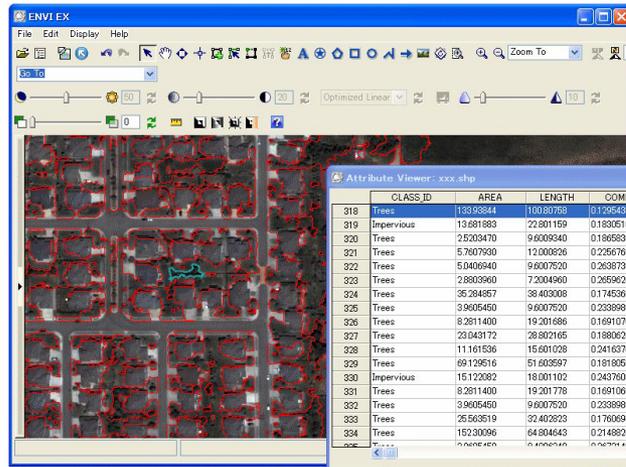
Feature Analyst for ArcGIS

建物抽出



<属性の自動付与>

ENVI EX



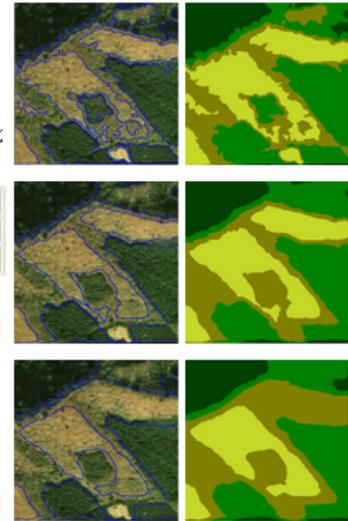
ESRIジャパンHPより

Picasso

マルチモード
閾値を3段階に設定して並列処理もできます。同時に3つの結果を比較・出力できます。



3つの結果を連続でムービー再生できます。



(株) つくばアグリサイエンスHPより

eCognitionの画像分割の仕組み

- Segmentation: 隣接画素との均質性を基に画素をグループ化
 - 色調や形から算出した異質性 (Heterogeneity) の指標を用いて、分割是非を判断する。

異質性(f)は色調(**Color**)と形状(**Shape**)の合計(2.1式)。

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * h_{shape} \quad (2.1)$$

h_{color} と h_{shape} は w によって重み付けされ合計が1となる。

$$h_{shape} = w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \quad (2.2)$$

形状(**Shape**)は**Smoothness**と**Compactness**の2因子の合計(2.1式)。

(2.1式)に(2.2式)を代入すると次式を得る。

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * \{ w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \} \quad (2.3)$$

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - 色調の異質性 (h_{color}): 輝度値分散の総和とみなす。

$$h = \sum_c w_c * \sigma_c \quad (2.4)$$

σ : レイヤーCのポリゴン内輝度値の分散

w : そのレイヤーCの重み付けした値

SegmentationではObject1とObject2を統合する場合、それぞれの標準偏差を合計し、統合後のObjectの標準偏差との差をとる。これにレイヤーの重み付けを乗算した値が h_{color} である(2.5式)。

$$h_{\text{color}} = \sum_c w_c (n_{\text{Merge}} * \sigma_c^{\text{Merge}} - (n_{\text{Obj1}} * \sigma_c^{\text{Obj1}} + n_{\text{Obj2}} * \sigma_c^{\text{Obj2}})) \quad (2.5)$$

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性(Heterogeneity)の算出
 - 形状の異質性(h_{smooth}): 周長と短辺の比によって形状を評価する。

$$h = \frac{l}{b} \quad (2.6)$$

l : ポリゴンの周長、 b : ポリゴンの短辺

Object1とObject2を統合する場合、(2.6式)から個々に算出した h の値を合計し、統合後のObjectの h との差をとった値が h_{smooth} である(2.7式)。

$$h_{\text{smooth}} = n_{\text{Merge}} * \frac{l_{\text{Merge}}}{b_{\text{Merge}}} - \left(n_{\text{Obj1}} * \frac{l_{\text{Obj1}}}{b_{\text{Obj1}}} + n_{\text{Obj2}} * \frac{l_{\text{Obj2}}}{b_{\text{Obj2}}} \right) \quad (2.7)$$

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - 形の異質性 (h_{cmpct}): 周長と画素数の平方根の比によって形状を評価する。

$$h = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

l : ポリゴンの周長、 n : ポリゴン内の画素数

Object1とObject2を統合する場合、(2.8式)から個々に算出した h の値を合計し、統合後のObjectの h との差をとった値が h_{cmpct} である(2.9式)。

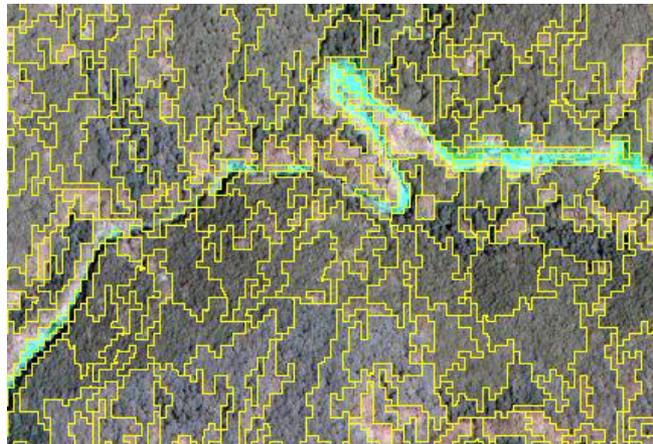
$$h_{\text{cmpct}} = n_{\text{Merge}} * \frac{l_{\text{Merge}}}{\sqrt{n_{\text{Merge}}}} - \left(n_{\text{Obj1}} * \frac{l_{\text{Obj1}}}{\sqrt{n_{\text{Obj1}}}} + n_{\text{Obj2}} * \frac{l_{\text{Obj2}}}{\sqrt{n_{\text{Obj2}}}} \right) \quad (2.9)$$

eCognitionの画像分割の仕組み

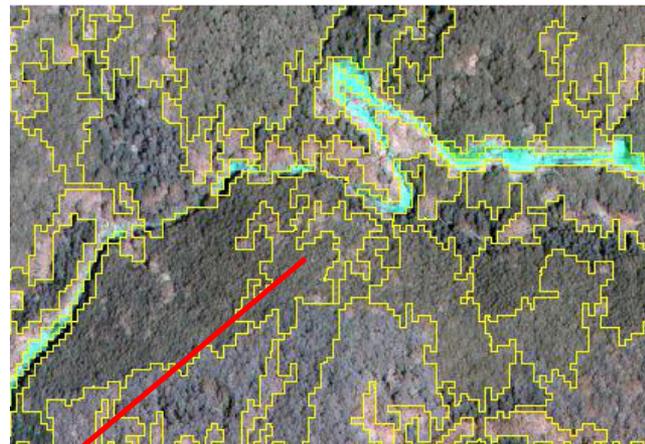
- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - (2.5式)、(2.7式)、(2.9式)によって算出された h_{color} 、 h_{smooth} 、 h_{cmpct} の3因子を(2.3式)に代入することで異質性(f)が求められる。
- Segmentation処理では異質性(f)は**Scale parameter**として設定する。
 - 値を小さくすると異質性の許容範囲が狭まり画像をより細かく分割するにとどまる結果となり、大きくすると粗い分割結果となる。そのほかに先に述べた3つの因子の重み付けや、Segmentation処理時に使用する各レイヤー(例えばRed、Blue、Nirなど)の重み付けによりSegmentation結果は左右される。

異なるScale parameterによる区画線

SP=50

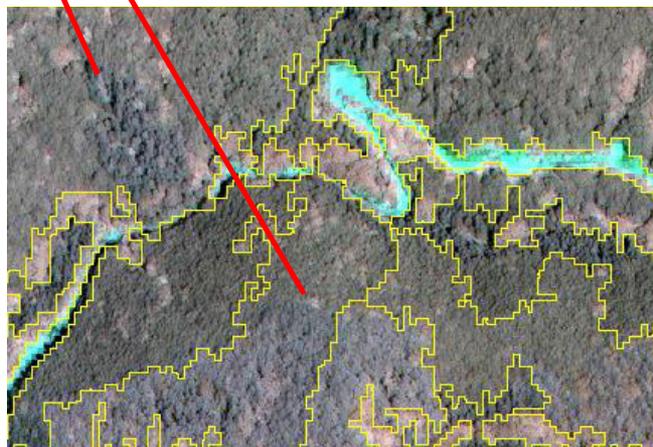


SP=100



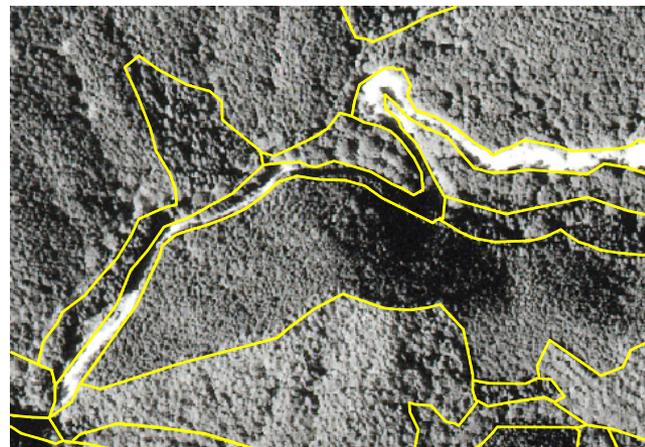
区画されて
いない

SP=200



まだ細かいが必要
な区画はされている

空中写真の目視判読(正)



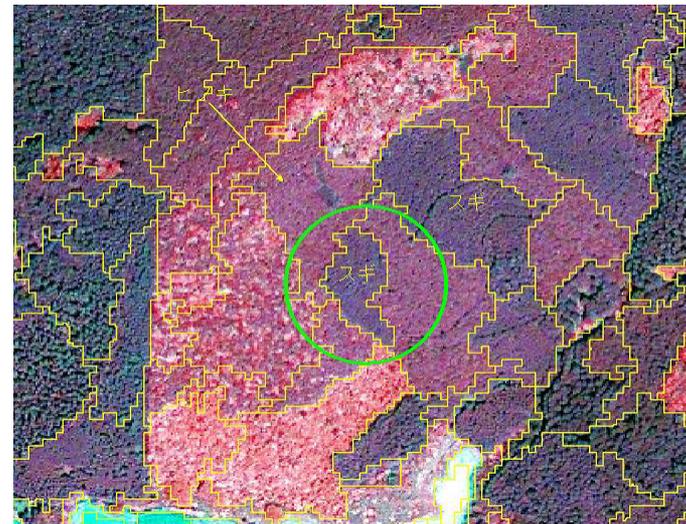
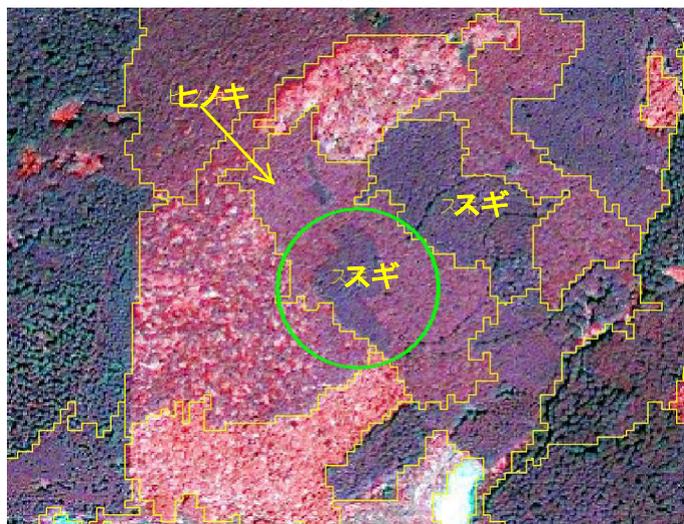
異なる林相における区画線

SP=80

SP=30

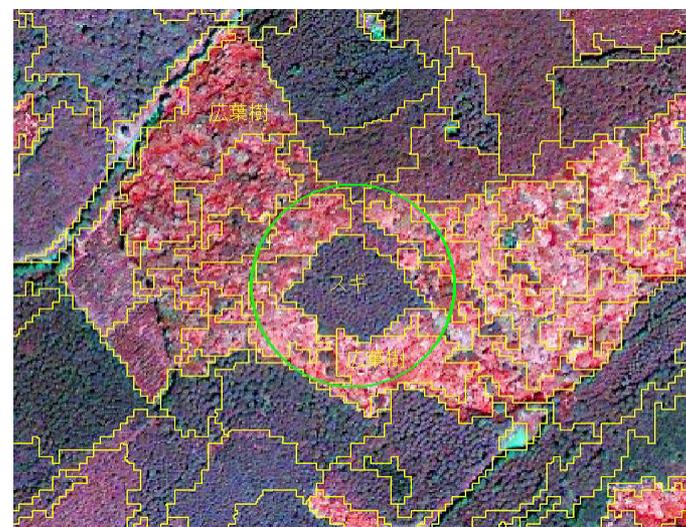
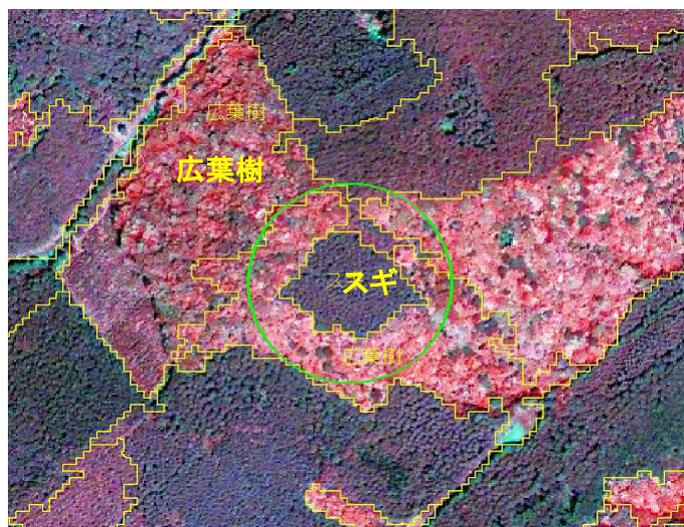
スギとヒノキ

異質性が低い
のでSP80では
区分されない。



スギと広葉樹

異質性が高い
のでSP80でも
区分される。

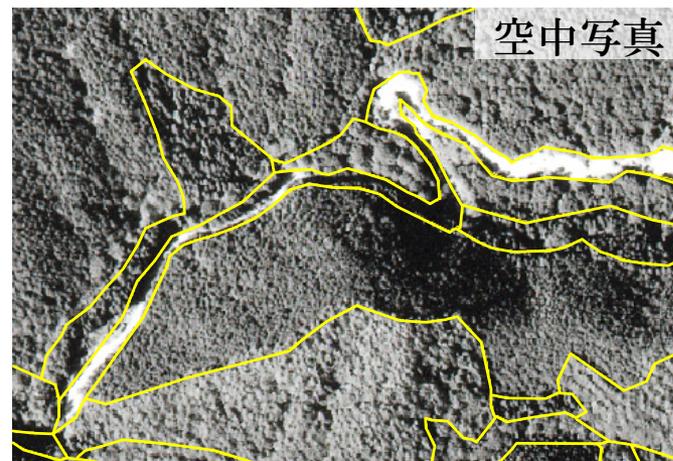
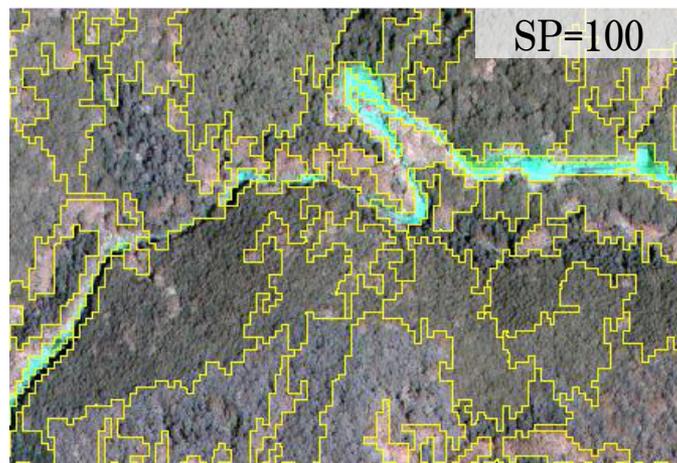


異なる衛星における区画線

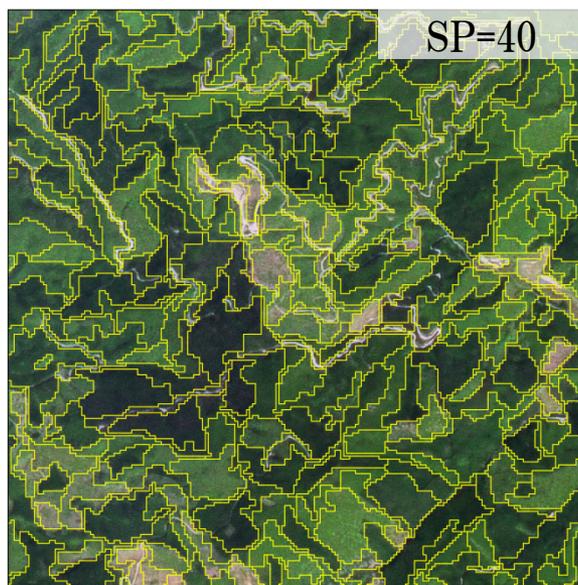
eCognition

目視判読

IKONOS



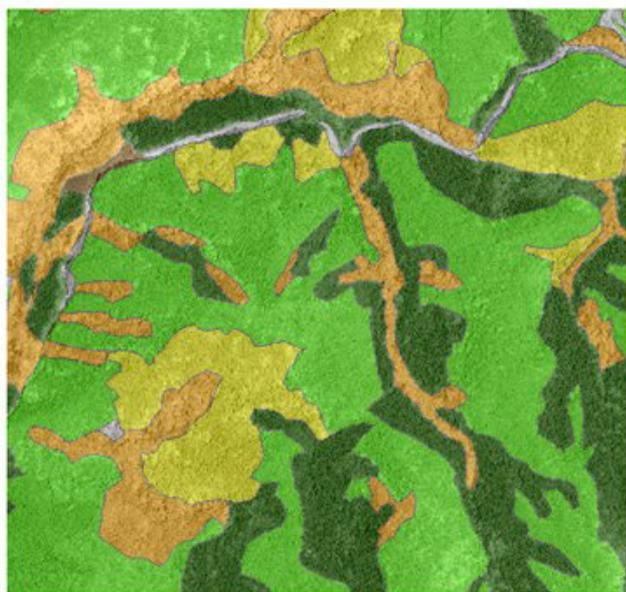
SPOT5



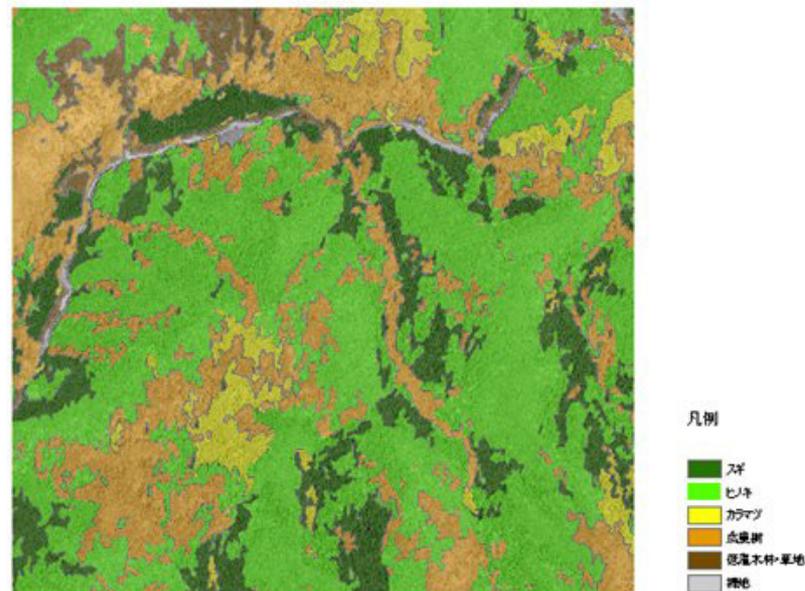
eCognitionの区画分類の仕組み

- 区画内の画素値から算出した統計量に基づき、区画を分類
 - 各バンドごと、およびバンド間演算(NDVIなど)の平均、標準偏差、最大最小など

空中写真 - 目視判読

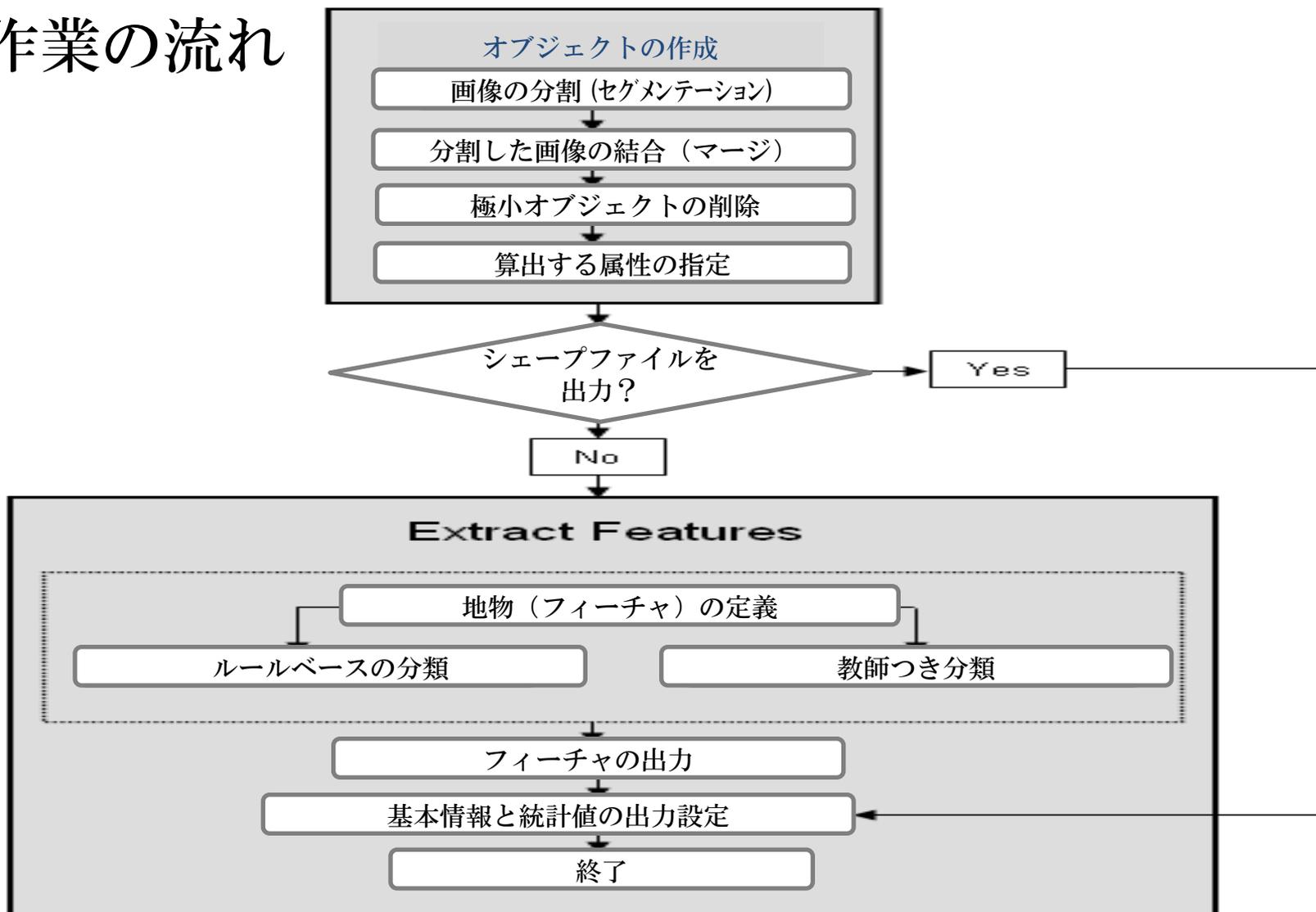


IKONOS - eCognition



ENVI EXの画像分割の仕組み

作業の流れ

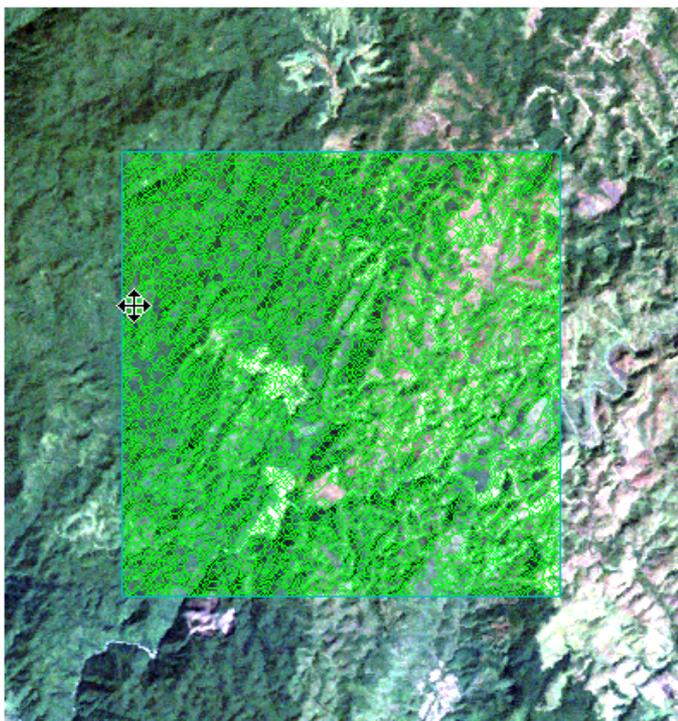


ENVI EXの画像分割の仕組み

- セグメンテーション

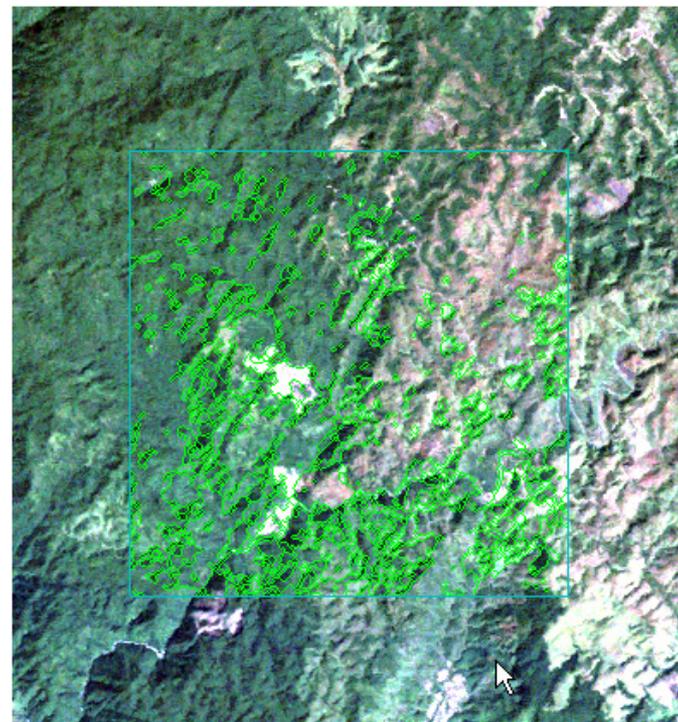
- 明るさ、テクスチャ、色などの数値が似ている近隣ピクセルをグループ化し、画像を分割

Scale Level 20



境界を作りたいところに線がある

Scale Level 60



土地利用の境界に線がない箇所が多い

ENVI EXの画像分割の仕組み

- マージ

- スペクトルおよび空間的情報を組あわせ、隣接部分を融合するアルゴリズム。隣接するRegion iとjが下式から得られる閾値より小さくなる場合、融合

$$t_{i,j} = \frac{\frac{|O_i| \cdot |O_j|}{|O_i| + |O_j|} \cdot \|u_i - u_j\|^2}{\text{length}(\partial(O_i, O_j))}$$

O_i : 画像のRegion i

$|O_i|$: Region iの面積

u_i : Region iの平均値

u_j : Region jの平均値

$\|u_i - u_j\|$: Region iとRegion j のスペクトル値のユークリッド

$\text{Length}(\partial(O_i, O_j))$: O_i と O_j のcommon 境界の長さ

リモートセンシングデータを用いた 土地利被覆区分の時系列解析の流れ

前処理

幾何補正
大気補正
地形補正

単時点の分類

オブジェクト分類
ピクセル分類
目視判読

時系列解析

分類結果の差によるもの
2時点の画像間の変化を
直接検出する方法

変化抽出技術の特徴(1)

	長所	短所
[1] 各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成して差分をとる方法	作成した分類図から炭素量への換算が比較的容易	分類結果に誤差が多く、2時点の比較が困難になる
[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法	変化のある箇所を検出精度は比較的高い	炭素量への換算が困難 2時点の画像の幾何補正が正確になされていない

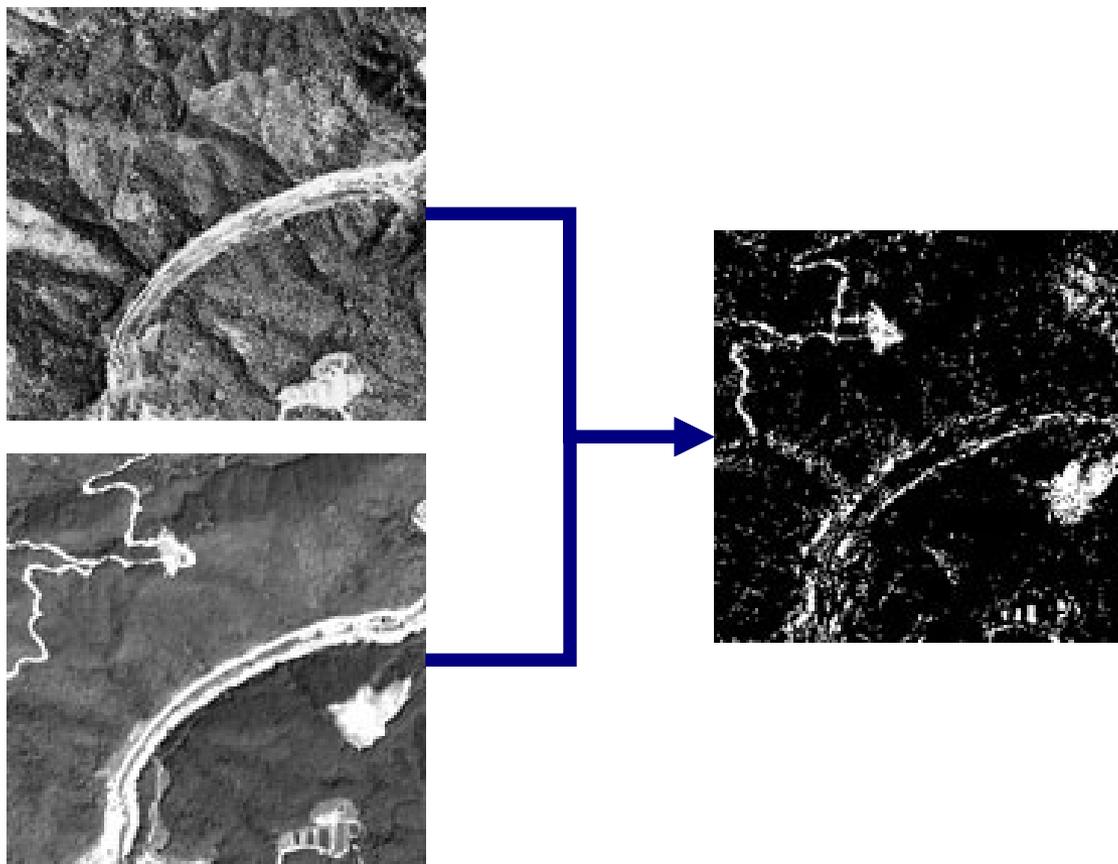
変化抽出技術の特徴(2)

『各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法』の各分類手法

	長所	短所
自動分類 - オブジェクトベース分類	高分解能の衛星画像の分類に適しているため、詳細な分類図を得られる 均質な森林タイプごとにまとまりを形成できる	分類のためのパラメータ設定が複雑
自動分類 - ピクセルベース分類	作業者の技術力によらず、比較的均質な成果を得られる	高分解能の衛星画像の分類には適さない ノイズが含まれる
手動分類 - 目視判読	分類精度が高い	経験にもとづく技術力が必要であり、また作業量が多くなる

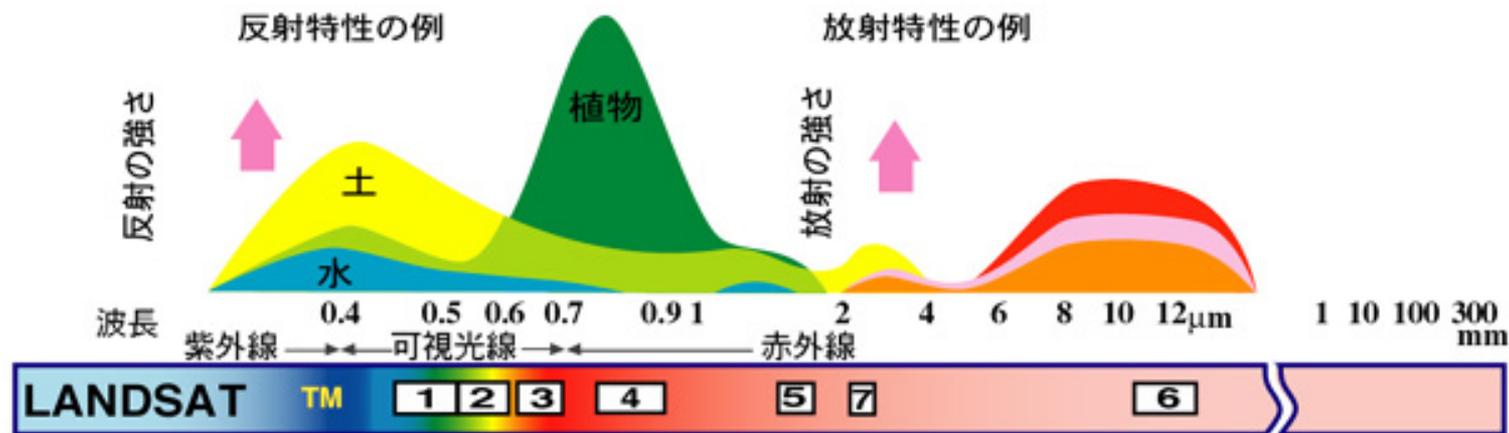
変化抽出技術の特徴(3)

- 『2時点の画像間の変化を直接検出する方法』には様々な手法がある。
- 代表的な手法としては『バンド間の差』『NDVI画像の差』『主成分分析』など。
- 一般的に、分類図を作成して差分をとる方法より高い精度で変化を抽出できる。



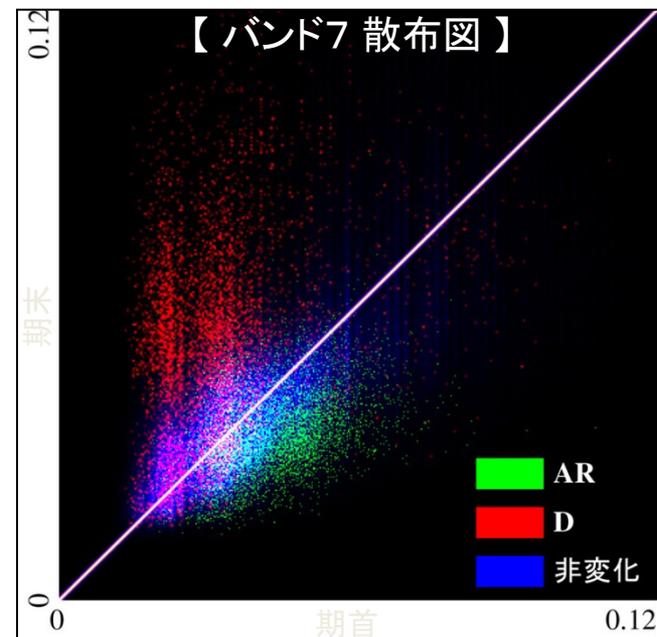
バンド間の差分による検出

[2] 変化を検出する方法



RESTECホームページより引用

- ▶各バンドは地表面の様々な特徴をとらえている。
- ▶森林の変化検出にはLANDSATバンド7(短波長赤外線)がよく用いられる。
- ▶一般的に、植林による変化より伐採による変化のほうが検出しやすい。

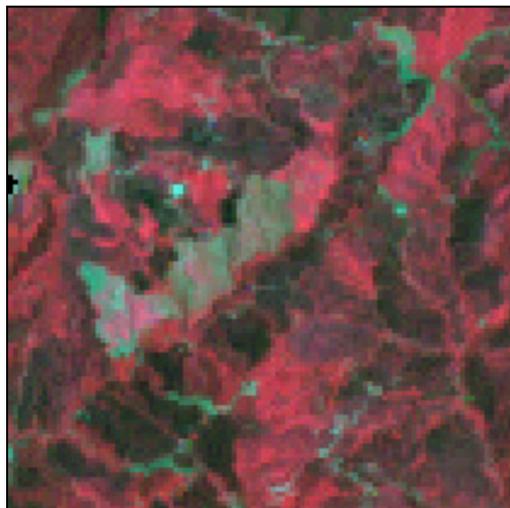




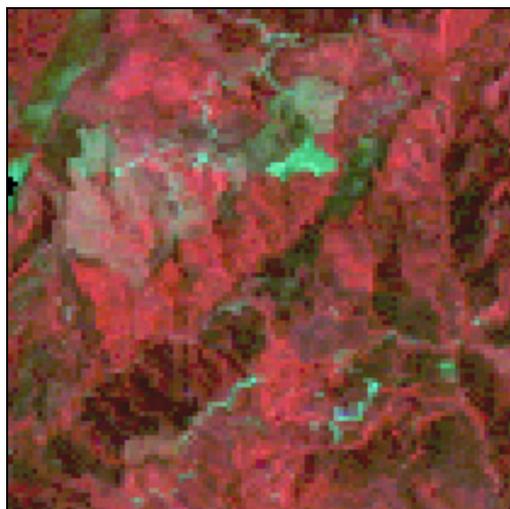
バンド間の差分による検出

[2] 変化を検出する方法

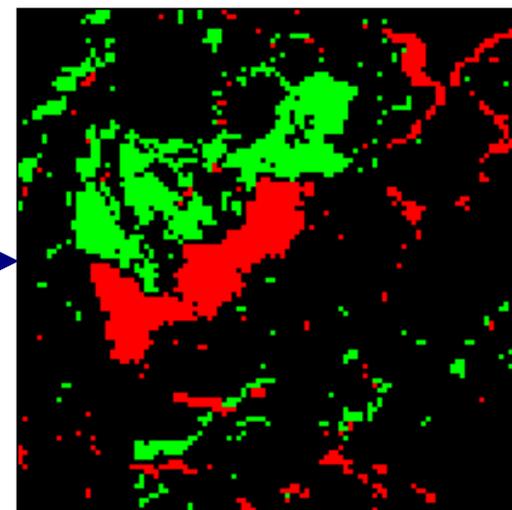
期首画像
LANDSA 1992年



期首画像
LANDSA 2002年



バンド7差分画像
(緑: 植林、赤: 伐採)

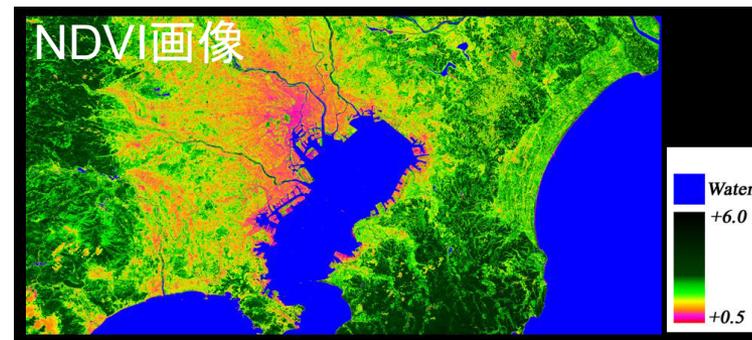
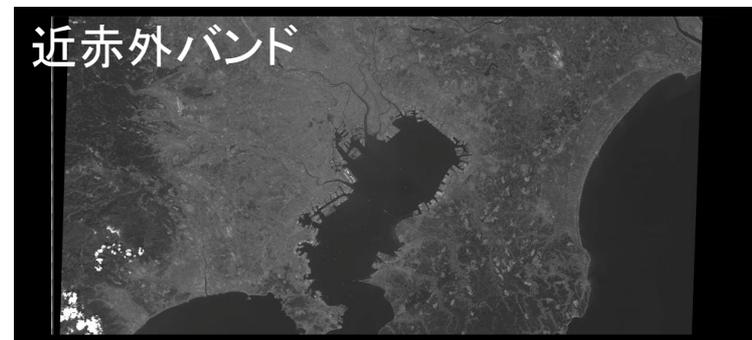
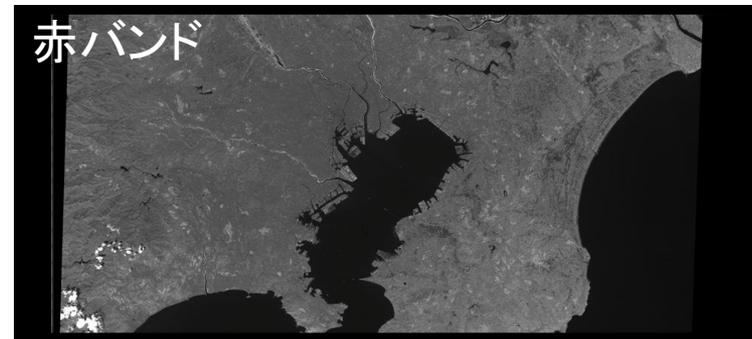
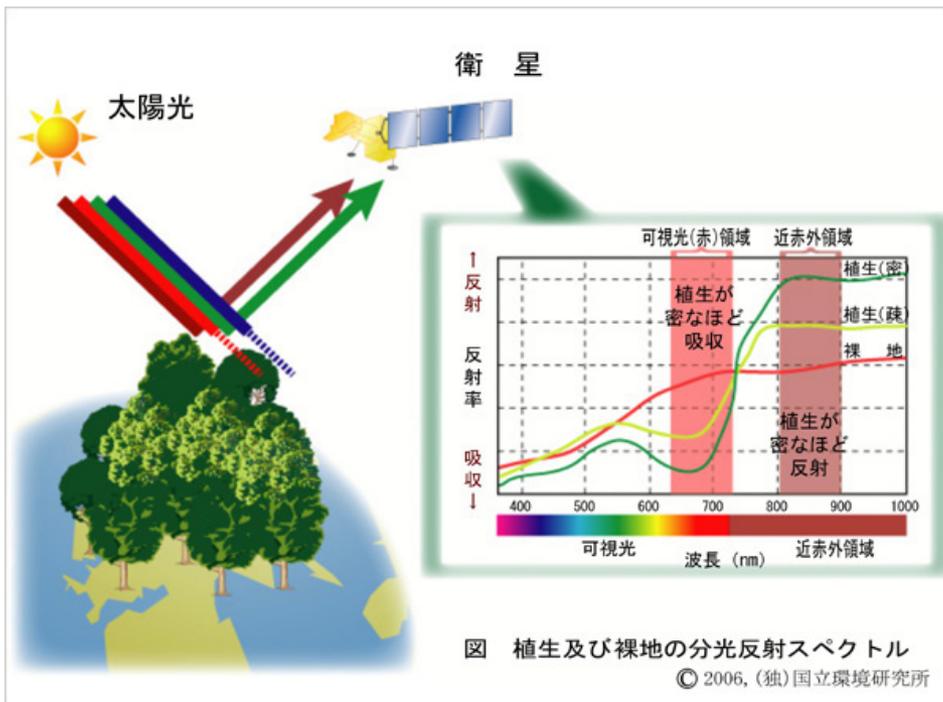


NDVI画像の差分による検出

NDVI: 正規化植生指標

$$NDVI = \frac{[NIR] - [R]}{[NIR] + [R]}$$

[NIR: 近赤外バンド
R: 赤バンド]



グランドトウルース (T08)

- 抽出方法
 - 表T08-1
- 参照クラスごとのサンプル数
 - 説明変数の10倍
- 野帳

Carnet de l'inventaire

N° d'identification de la parcelle		Date		Nom du groupe							
Informations de base	Personnes effectuant l'inventaire	(Carnet de l'inventaire)		(Vertex)							
	Coordonnées du Parking	(Hauteur de l'arbre)		(Transpondeur)							
	Heure de départ	:		Heure d'arrivée							
	: :										
※Système des coordonnées géographiques : WGS84											
Info parcelle	Coordonnées du centre de la parcelle	Lat	N	°	'	."	Long	E	°	'	."
	Direction du talus	Noter la direction de la basse partie du talus avec 8 directions et "Non" pour un terrain plat.				Angle du talus		Degré (nombre entier)			
Photo	①Paysage	②Zenith	③Nord	④Est	⑤Sud	⑥Ouest	⑦Vue d'ensemble 2	⑧Vue d'ensemble 2			
Autre	Sous-bois	Dense / Moyen / Rare			Erosion du sol	Oui / Non		Insectes et maladies	Oui / Non		
	Remarque										
Croquis											

Step6:Accuracy assessment

精度検証

- 不確実性評価のキーとなる要因について
(森林タイプ面積、炭素蓄積量の推定)
 - ✓ 計測、測定によるエラー(人為的な要因)
 - ✓ データのキャリブレーション(調整)に起因するエラー
 - ✓ モデリングによるエラー
(現象を説明しきれないモデルを作成してしまうこと)
 - ✓ サンプルングによるエラー
(不適切なサンプルング間隔の設計)
 - ✓ 不適切な分類項目や定義に起因するエラー
(→カウントもれ、ダブルカウント)

Step6:Accuracy assessment

精度検証

• 森林タイプ面積の不確実性について

(単時点の地図評価)

- アクティビティーデータとしてリモセン由来の森林タイプ面積を使用する場合
 - 分類(classification)エラーや、判読者によるバイアスが含まれる。
 - パラメータのチューニングによるバイアスの修正(恣意性が含まれる。)
 - どの程度の恣意性が含まれるか評価することが重要
- 高精度なリファレンスデータが入手できる場合
 - 統計的にしっかりしたデータ(層化サンプリング、システマティック…)
 - オリジナルデータをこれらのデータでキャリブレート(調整)する。
 - IPCC GPG 5章にいくつか方法論のリコメンデーション有り

(複数年度の地図の経年変化評価)

- アクティビティーデータとしてリモセン由来の森林タイプ面積を使用する場合
 - 土地利用・被覆面積の量的な不確実性の評価ができるような工夫が必要
 - 主題となる分類項目(森林タイプ)に着目した精度計測、信頼区間算定
 - 既存の統計情報やバイアスを数値化したものでキャリブレーションする等

Step6:Accuracy assessment

精度検証

- 衛星画像データに関するエラーの要因、考慮事項について

(考慮する事項)

- ✓衛星画像データの質、特徴(空間情報、スペクトラル情報、撮影周期、雨季、乾季のようなフェノロジー的な要素・・・)
- ✓衛星画像入手時には、センサーの処理レベルに応じて地理的な位置精度や画質のチェック
- ✓異なるセンサー間でのデータの取扱い
- ✓幾何補正(地理的な歪みの取除き)、大気補正等
- ✓主題図作成の基準(土地分類カテゴリーや最小作図単位など)
- ✓画像判読の手順(分類アルゴリズム、目視判読基準など)
- ✓地図作成後の処理(後処理・・・ベクタ/ラスタ変換、0値の取扱いなど)
- ✓精度評価のためのレファレンスデータの入手(グランドトゥース、キャリブレーション用データなど)
- ✓地図作成時には、主題図作成の統一かつ透明性のある基準に従って専門家による適切な判読、モニタリングが為されるべき。→「Consistent mapping」
 - 判読キーなどの文書化が必須(統一性、透明性)
 - トレーニングデータの取得方法、検査方法の手順化(統一性、透明性)
 - 雲や雲陰などのNo dataの取扱い、処理方法も手順化する必要有り。

精度評価の計算方法 (T10)

判別効率表と精度の指標

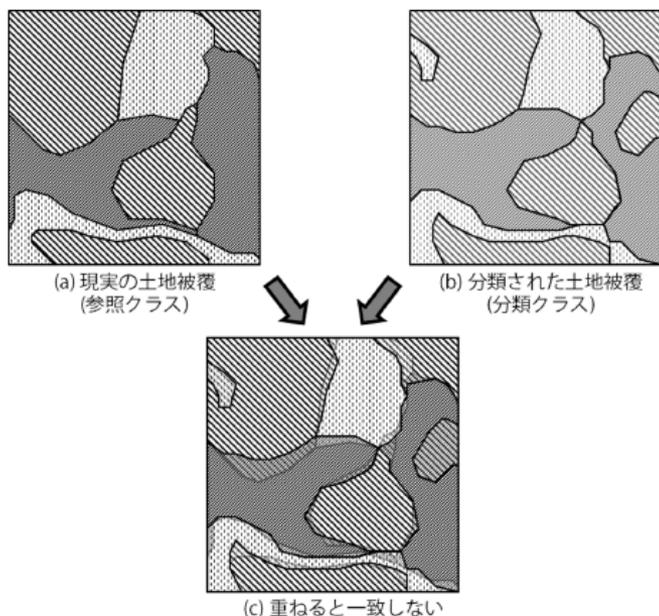


図 T10-1 現実の世界と衛星画像から分類された地図の土地被覆

実際には (a) は知りえず (b) しか得られないので、サンプル(グランドトゥールース)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				小計	
		1	...	j	...		r
分類項目	1	N_{11}	...	N_{1j}	...	N_{1r}	$N_{1.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	i	N_{i1}		⋮		N_{ir}	$N_{i.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	r	N_{r1}	...	N_{rj}	...	N_{rr}	$N_{r.}$
小計		$N_{.1}$...	$N_{.j}$...	$N_{.r}$	N

2.1.2.5 Monitoring of increases in forest area – forestation 森林回復のモニタリング

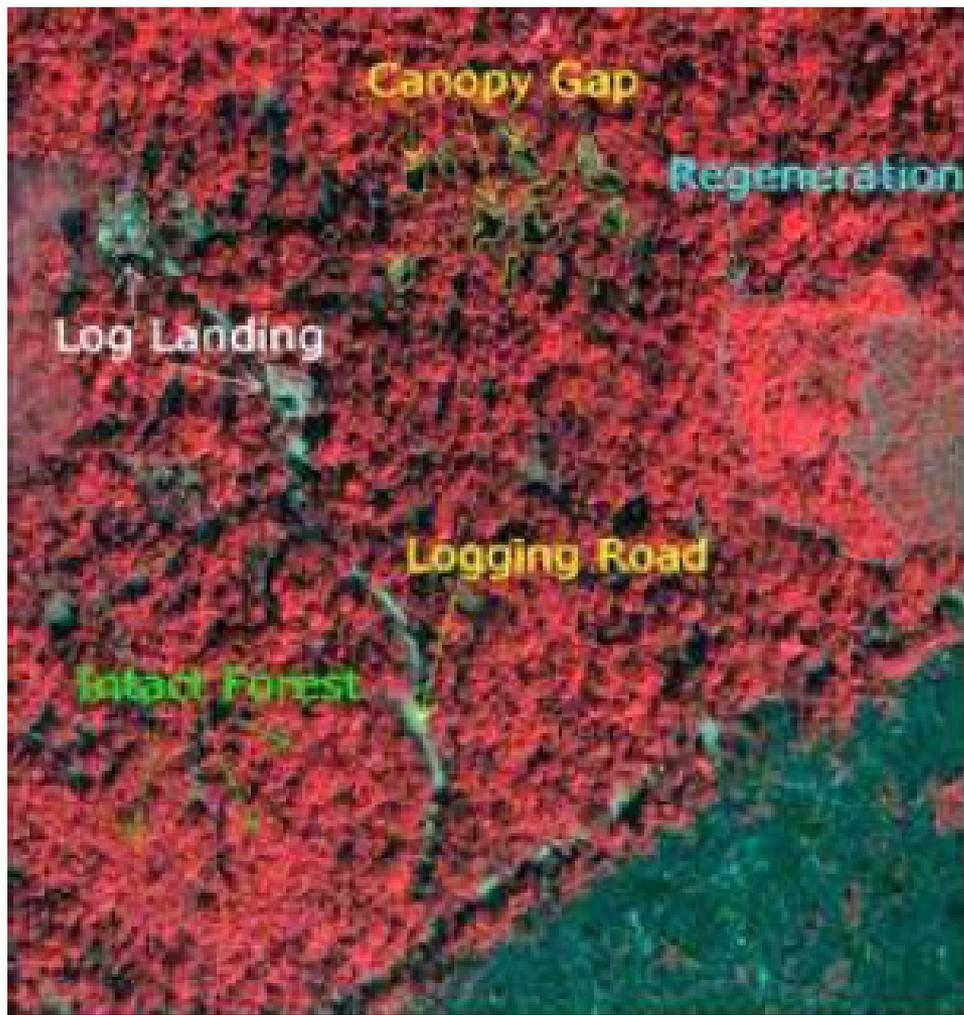
- 森林の回復スピードは遅いので、森林減少よりも見つけにくい
- スタンダードな手法はない
- 樹冠疎密度で推定などが考えられる

森林内での変化モニタリング

- **2.2.1 Direct approach to monitor selective logging**
択伐モニタリングの直接的アプローチ
 - Step1: Define the spatial resolution
 - Step2: Enhance the image
 - Step3: Select the mapping feature and methods
- **2.2.2 Indirect approach to monitor forest degradation**
森林劣化モニタリングへの非直接的アプローチ

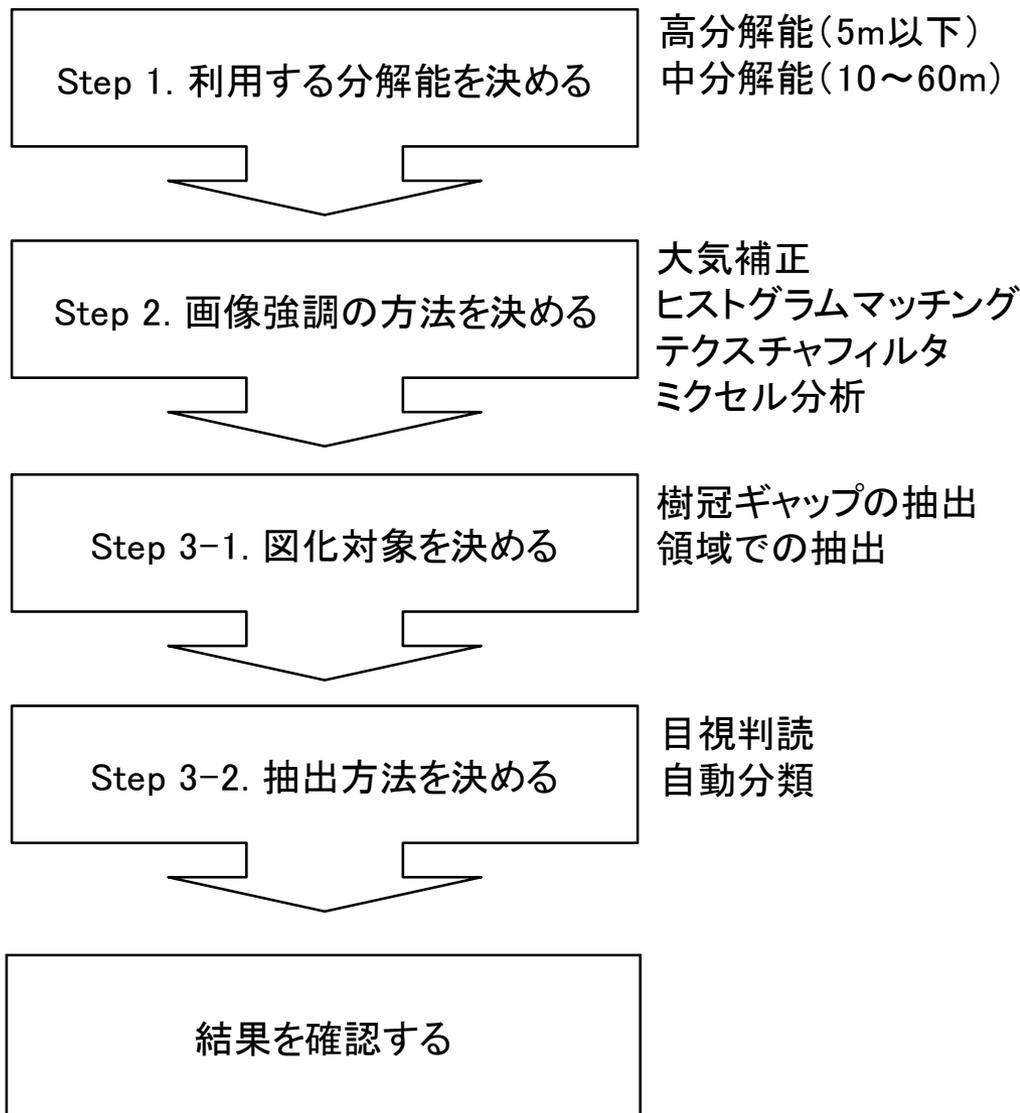
2.2.1 Direct approach to monitor selective logging 択伐モニタリングの直接的アプローチ

Figure 2.2.1. Very high resolution Ikonos image showing common features in selectively logged forests in the Eastern Brazilian Amazon.



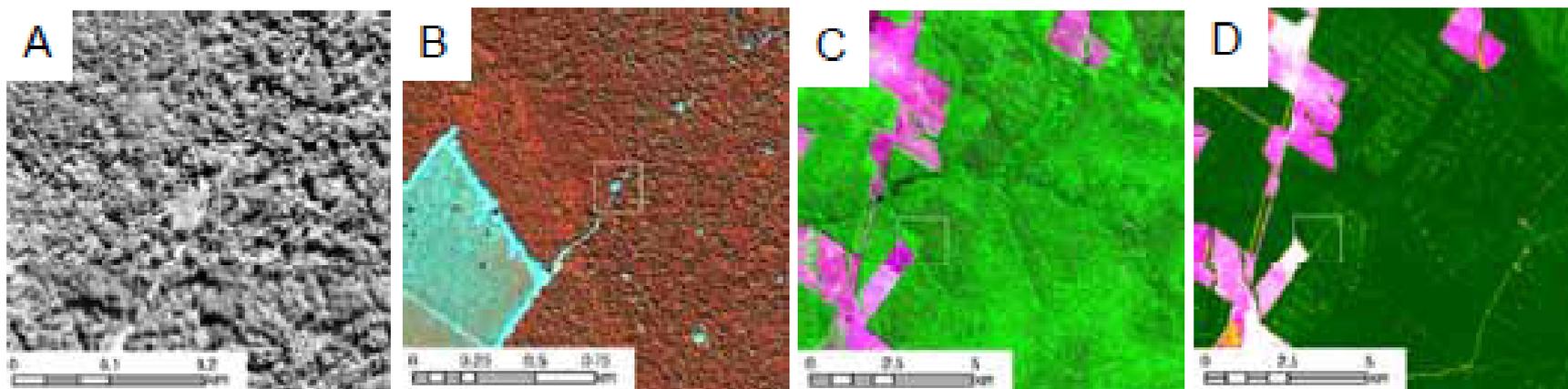
- 様々な土地被覆の状態で見えるので、択伐地域の抽出は難しい
- 高分解能衛星の利用が必要

択伐モニタリングの直接的アプローチのステップ



Step1: Define the spatial resolution 利用する分解能を決める

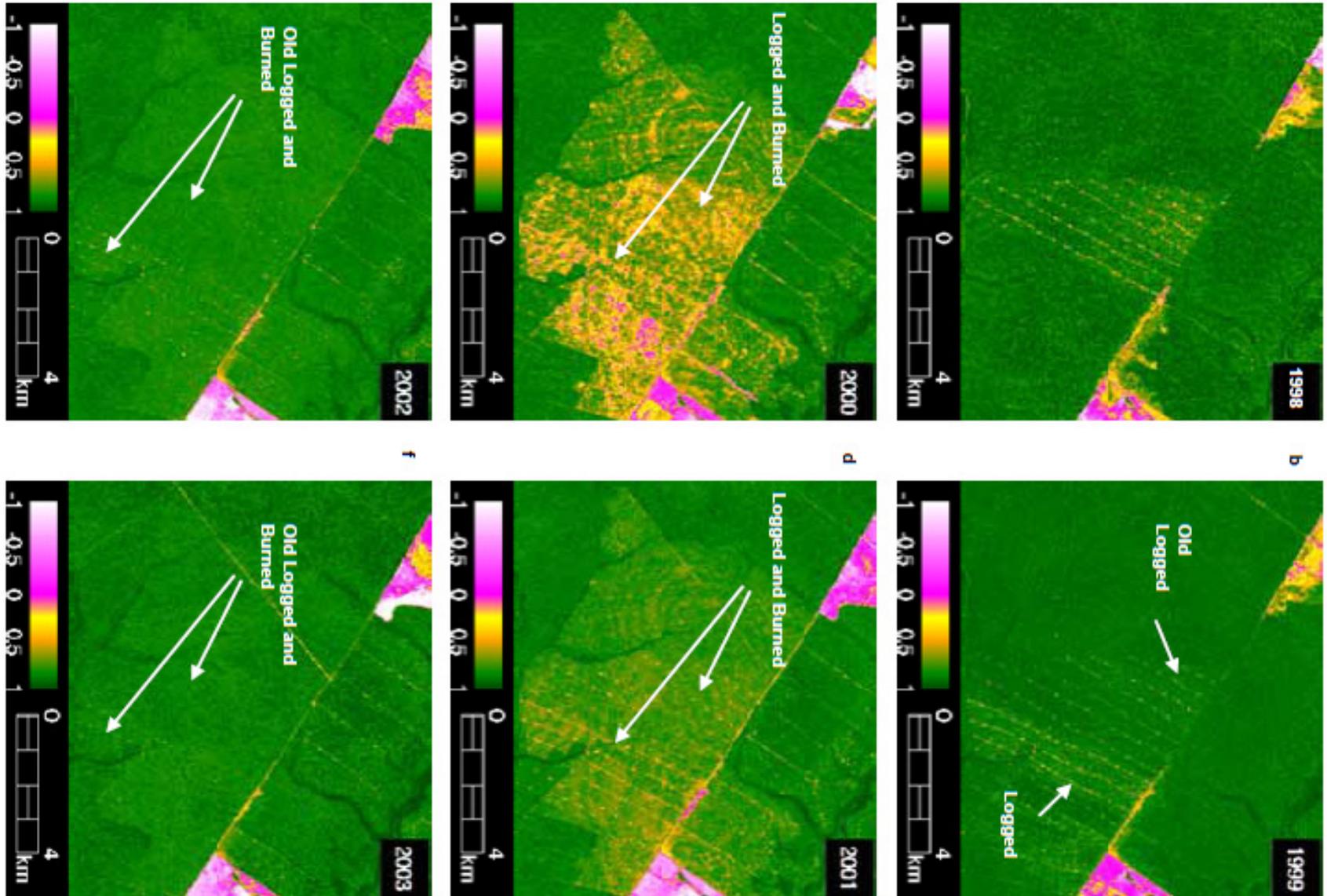
Figure 2.2.2. Unplanned logged forest in Sinop, Mato Grosso, Brazilian Amazon in: (A) Ikonos panchromatic image (1 meter pixel); (B) Ikonos multi-spectral and panchromatic fusion (4 meter pixel); (C) Landsat TM5 multi-spectral (R5, G4, B3; 30 meter pixel); and (D) Normalized Difference Fraction Index (NDFI) image (sub-pixel within 30 m). These images were acquired in August 2001.



GOFC-GOLDホームページ <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>



Step2: Enhance the image 画像強調の方法を決める





Step3: Select the mapping feature and methods 解析手法の選択

- 森林劣化の程度は?
- 解析対象領域の広さは?
- 解析手法は?

Mapping Approach	Sensor	Spatial Extent	Objective	Advantages	Disadvantages
Visual Interpretation	Landsat TMS	Local and Brazilian Amazon	Map integrated logging area and canopy damage of burned forest	Does not require sophisticated image processing techniques	Labor intensive for large areas and may be user biased to define the boundaries of the degraded forest.
Detection of Logging Landings + Harvesting Buffer	Landsat TMS and ETM+	Local	Map integrated logging area	Relatively simple to implement and satisfactorily estimate the area	Harvesting buffers varies across the landscape and does not reproduce the actual shape of the logged area
Decision Tree	SPOT 4	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	Simple and intuitive binary classification rules, defined automatically based on statistical methods	It has not been tested in very large areas and classification rules may vary across the landscape
Change Detection	Landsat TMS and ETM+	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	Enhances forest canopy damaged areas.	Requires two pairs of radiometrically calibrated images and does not separate natural and anthropogenic forest changes
Image Segmentation	Landsat TMS	Local	Map integrated logged area	Relatively simple to implement	Not been tested in very large areas. segmentation rules may vary across the landscape
Textural Filters	Landsat TMS and ETM+	Brazilian Amazon	Map forest canopy damage associated	Relatively simple to implement	
CLAS ²⁰	Landsat TMS and ETM+	Three states of the Brazilian Amazon (PA, MT and AC)	Map total logging area (canopy damage, clearings and undamaged forest)	Fully automated and standardized to very large areas.	Requires very high computation power, and pairs of images to detect forest change associated with logging. Requires additional image types for atmospheric correction (MODIS)
CLASlite ²¹	Landsat TM, ETM+ ASTER, ALI, SPOT MODIS,	Regional, anywhere that imagery exists	Rapid mapping of deforestation and degradation at sub-national scales	Fully automated, uses a standard computer, requires no expertise	Creates basic forest cover maps but does not do final classification of land uses
NDFI+CCA ²²	Landsat TMS and ETM+	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	enhances forest canopy damaged areas.	It has not been tested in very large areas and does not separate logging from burning

2.2.2 Indirect approach to monitor forest degradation

森林劣化モニタリングへの非直接的アプローチ

⇒ Intact Forest (自然林) の抽出

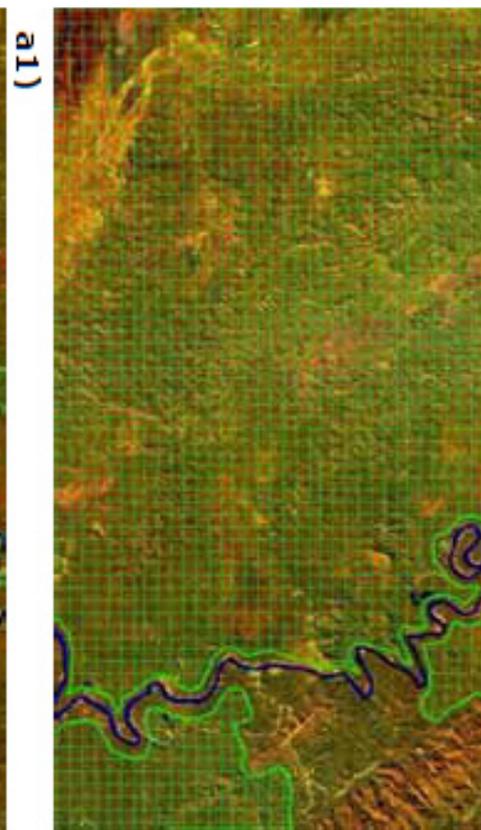
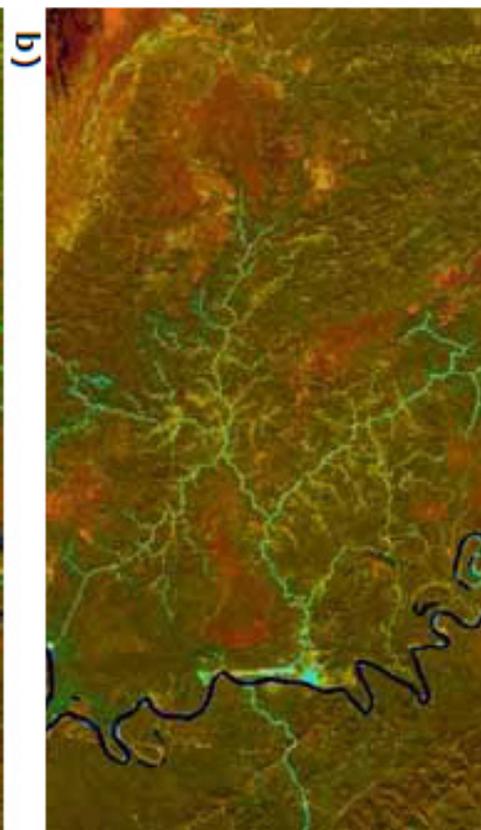
- Positive approach
 - 画像解析でIntact Forest自体を抽出
- Negative approach
 1. GISデータなどで人為改変地域および周辺地域を除く
 2. 目視判読でFine Shapingする



Forest degradation assessment in Pappua New Guinea

2002

1988



GOFC-GOLDホームページ <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>

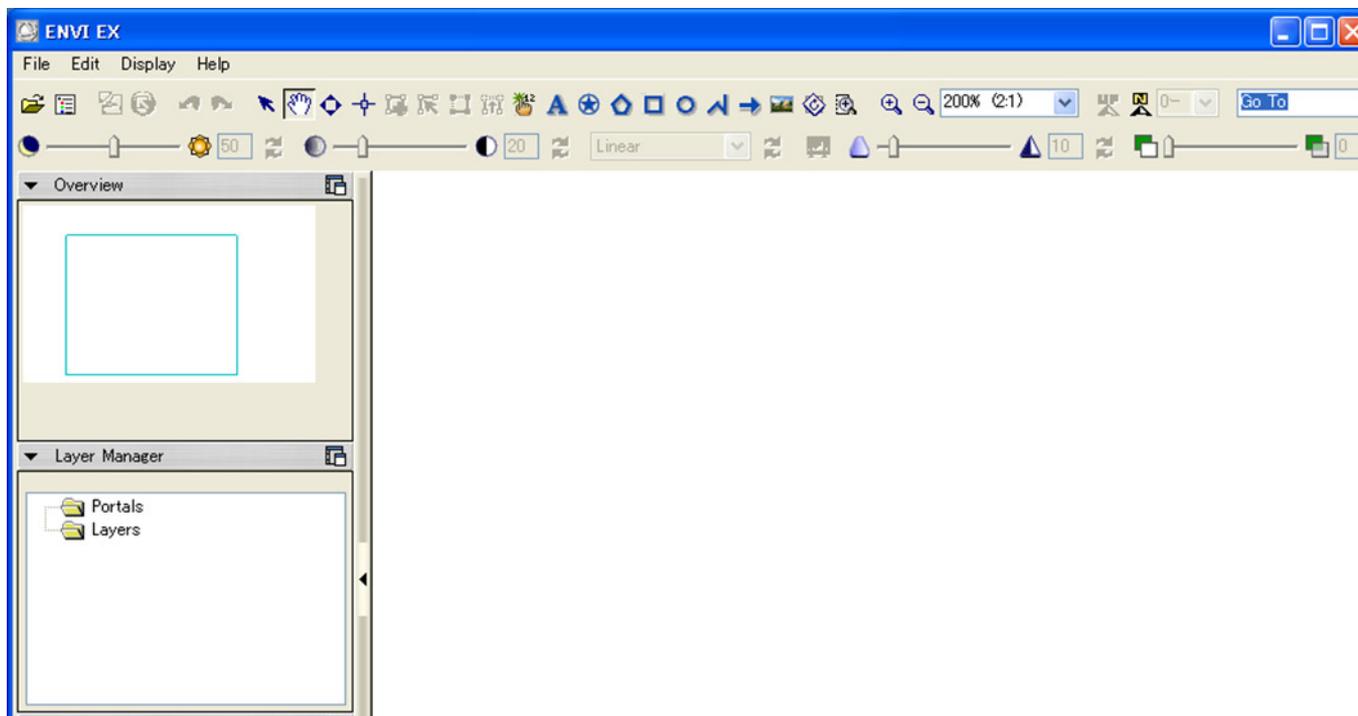


オブジェクト分類 ENVI EX 基本操作マニュアル

ENVI EXの操作

- ENVI ZOOMの起動 -

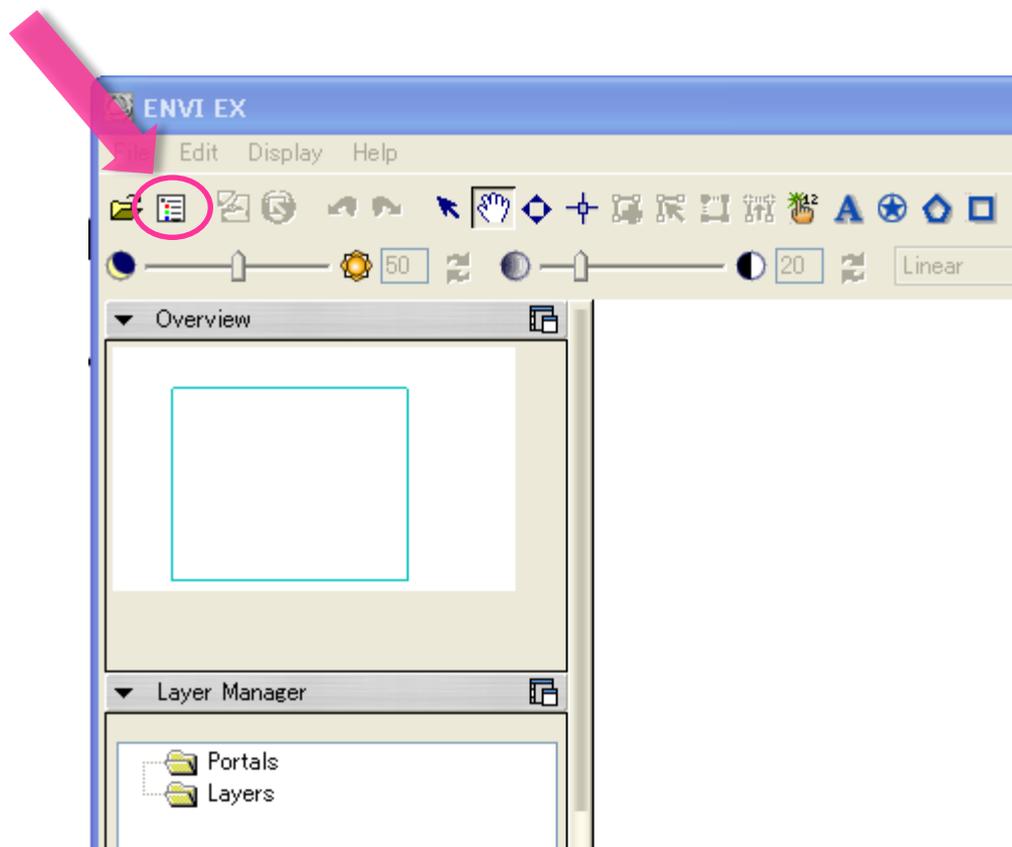
- デスクトップのENVI ZOOMアイコンをクリック
- メインダイアログが起動します



ENVI EXの操作

- ファイルを開く -

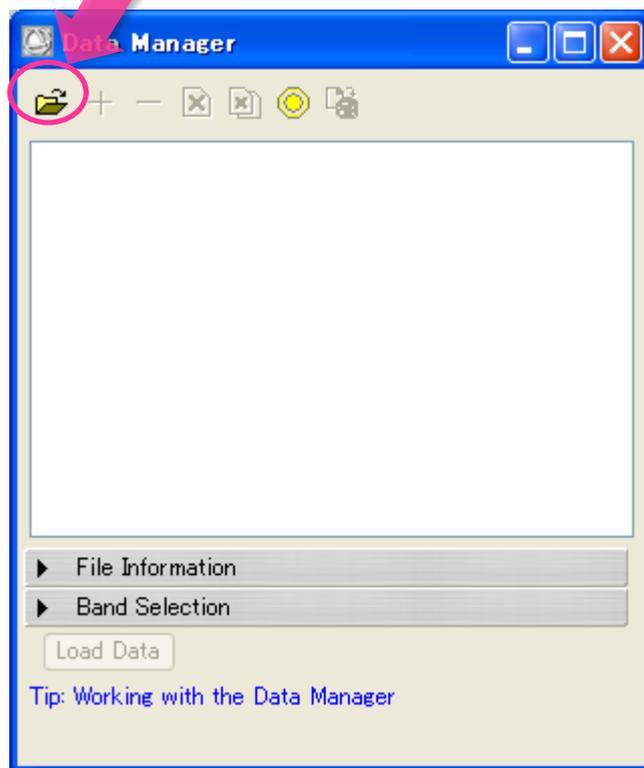
- Data Managerを起動します



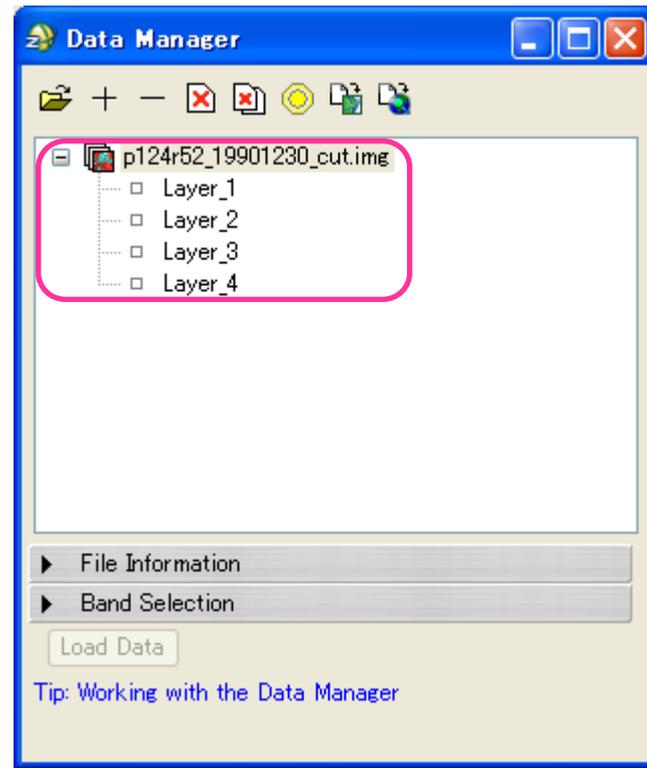
ENVI EXの操作

- ファイルを開く -

1. Data Manager ダイアログの
ファイルマークをクリック



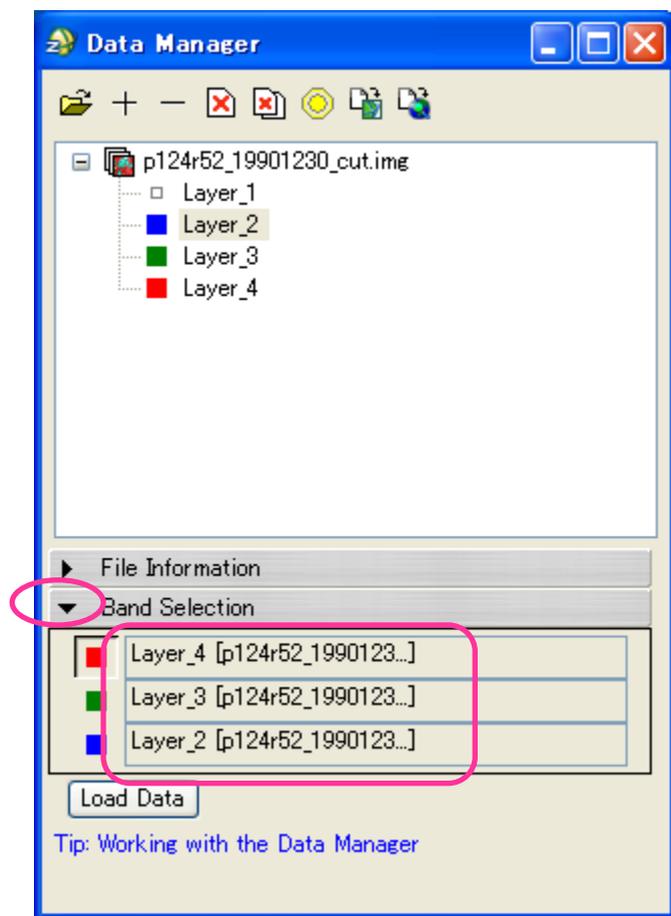
2. ファイルを選択すると、Data
Managerダイアログにファイル名、
バンドが表示されます。また、
ENVI EXメインウインドウに画像が表
示されます。



ENVI EXの操作

- ファイルを開く -

3. Band Selectionをクリックし、カラー合成の配色を決める



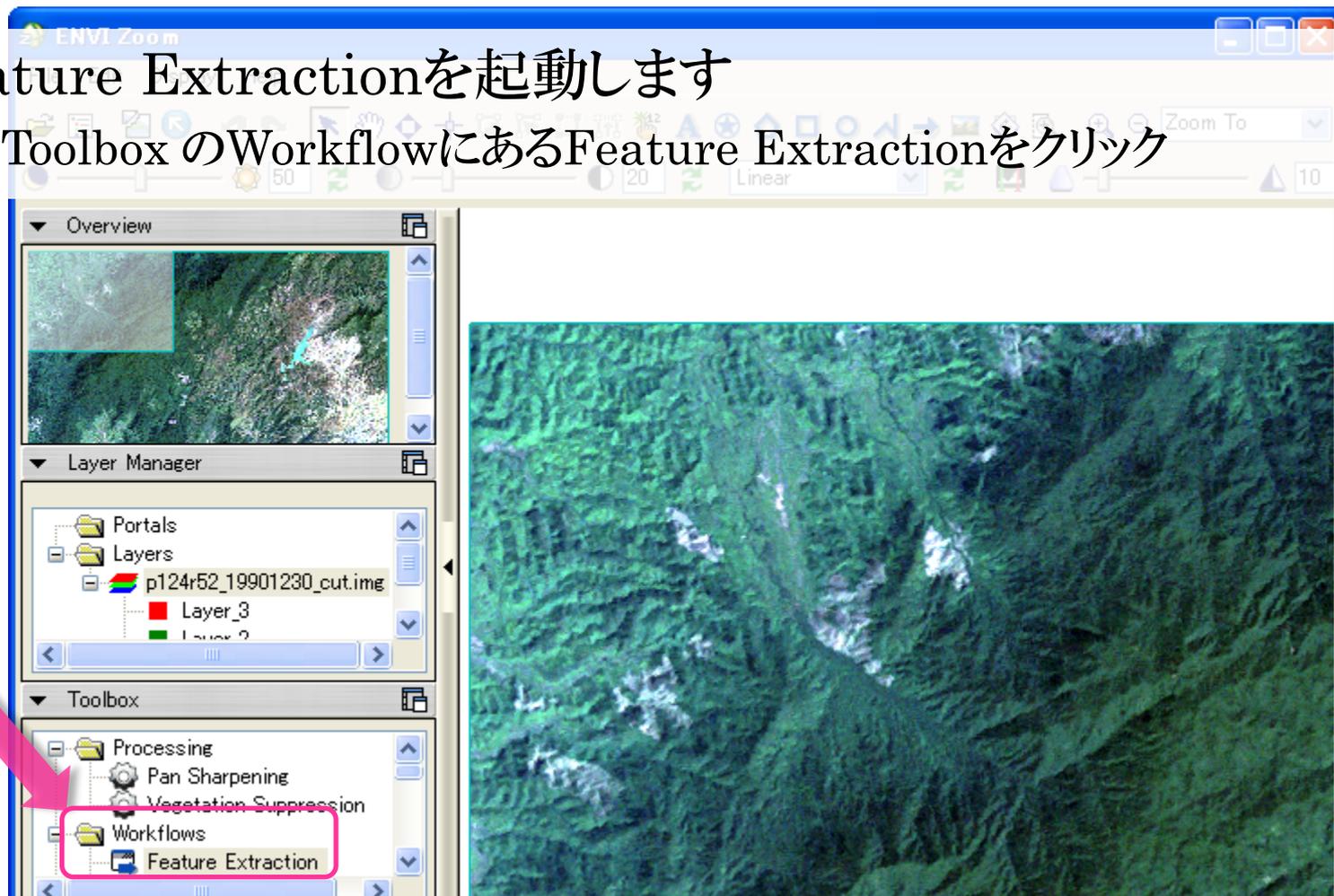
今回は、フォールスカラー合成で表示。
色の割り当ては以下の通り

- 赤色に近赤外領域のLayer4
- 緑色に赤領域のLayer3
- 青色に緑領域のLayer2

ENVI EXの操作

- オブジェクト分類 -

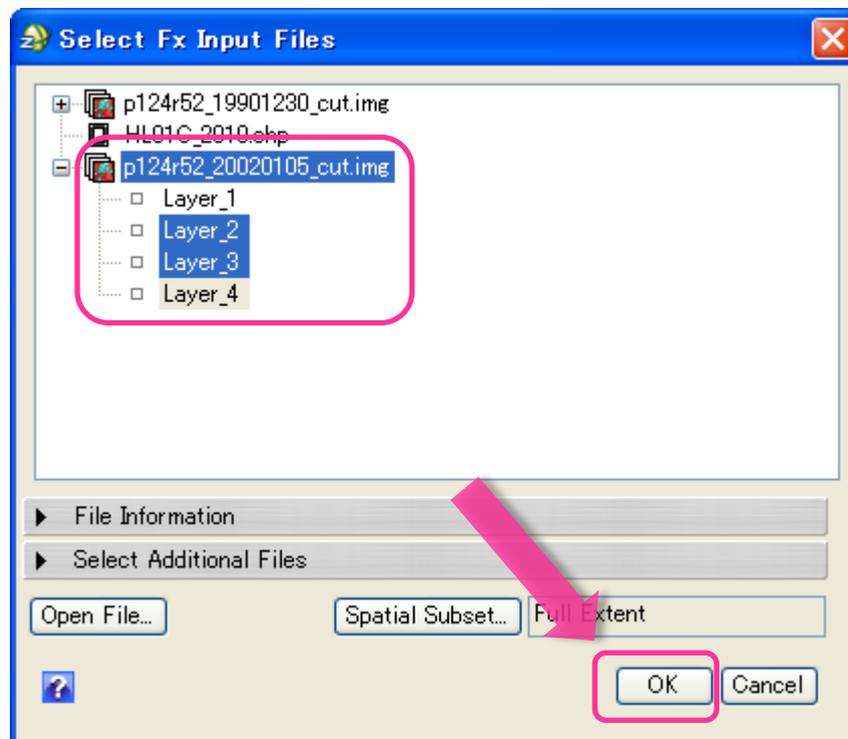
- Feature Extractionを起動します
 - Toolbox のWorkflowにあるFeature Extractionをクリック



ENVI EXの操作

- オブジェクト分類 -

- Select Fx Input Filesダイアログが立ち上がります
 - ・ ファイル名を確認し, OKボタンをクリック

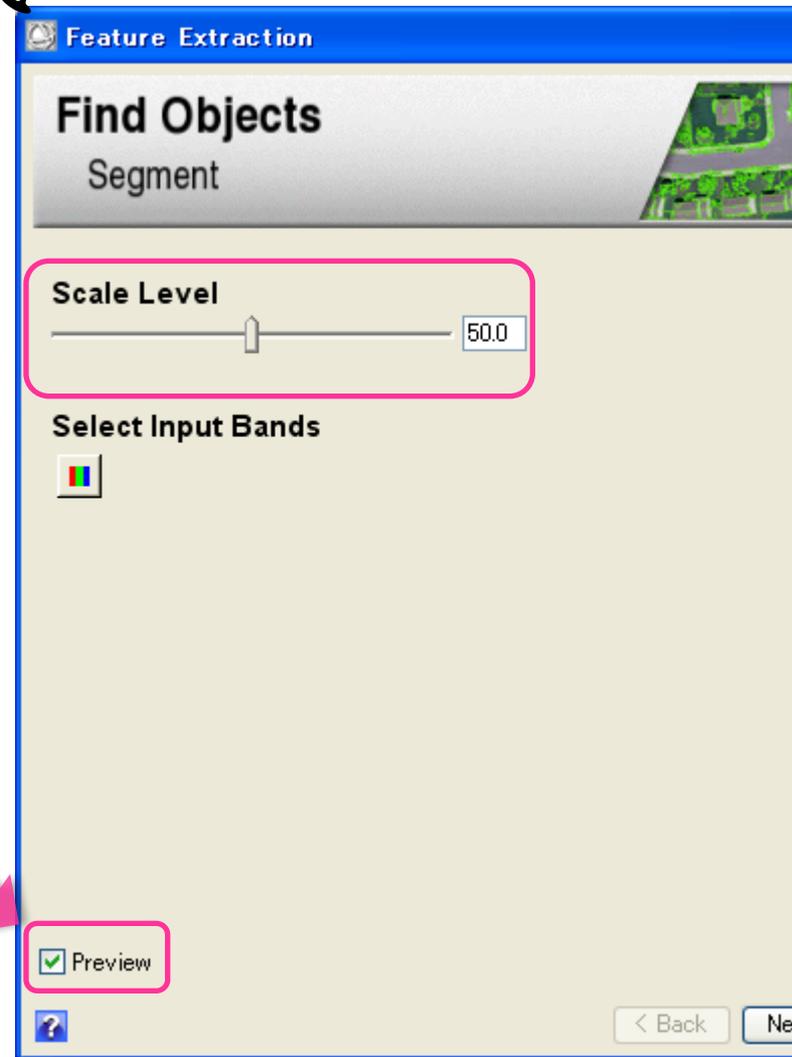


ENVI EXの操作

- オブジェクトの作成 -

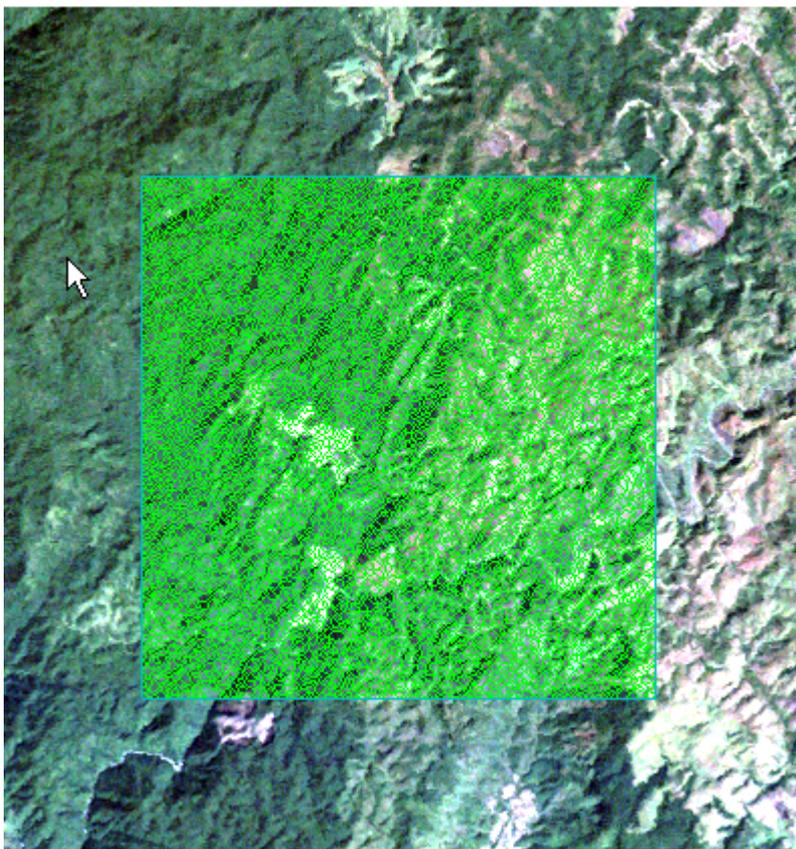
ステップ① Segment(断片化)

- Scale Levelを調整します
- Previewにチェックを入れてください
- Scale Levelを決めたらNextボタンを押してください



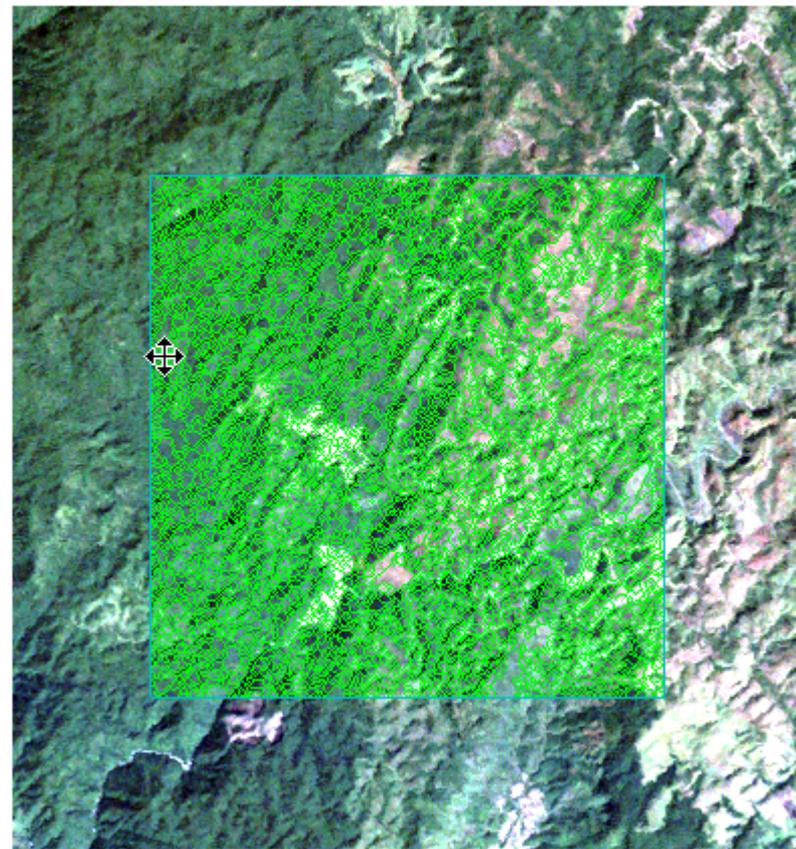
ENVI EXの操作 Segmentation

Scale Level 0



土地被覆タイプの境界を作りたいところにセグメントの線はあるが、かなり細かい

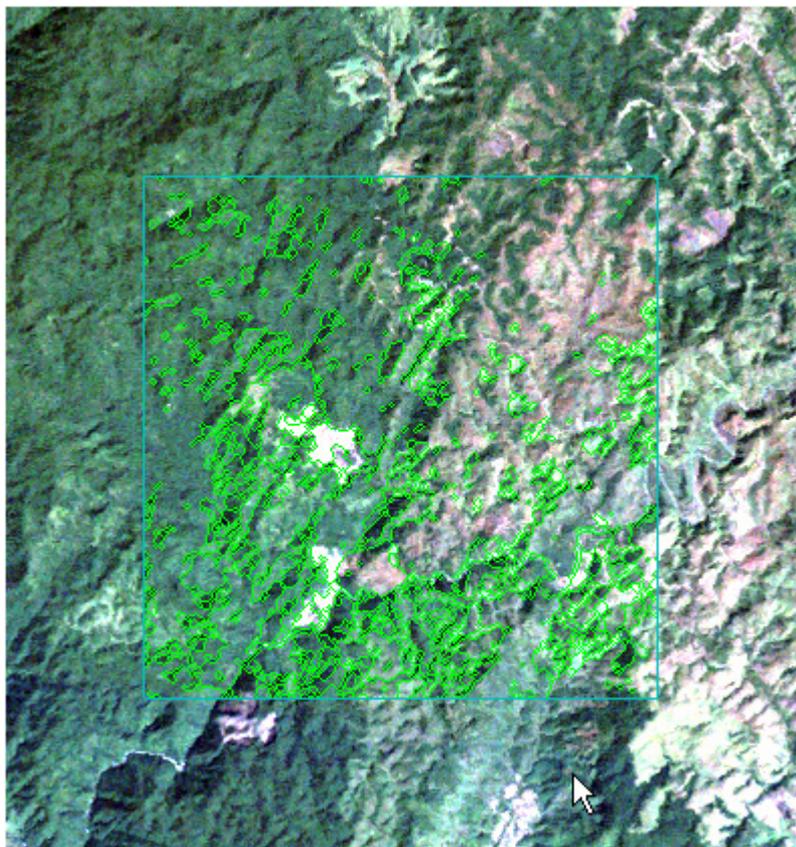
Scale Level 20



境界を作りたいところに線がある

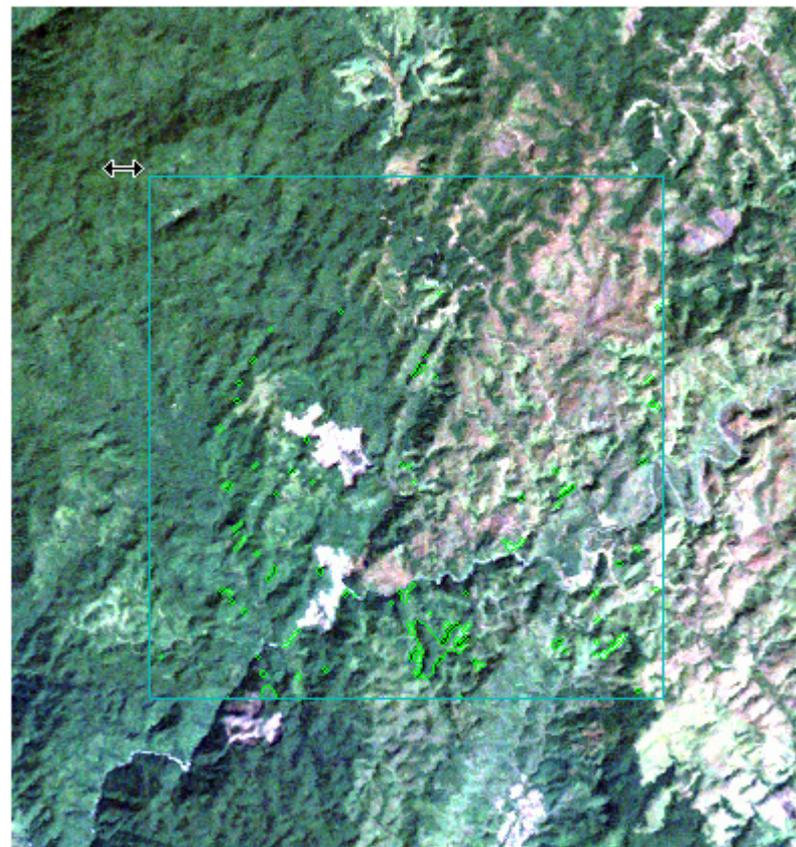
ENVI EXの操作 Segmentation

Scale Level 60



土地利用の境界に線がない箇所が多い

Scale Level 90



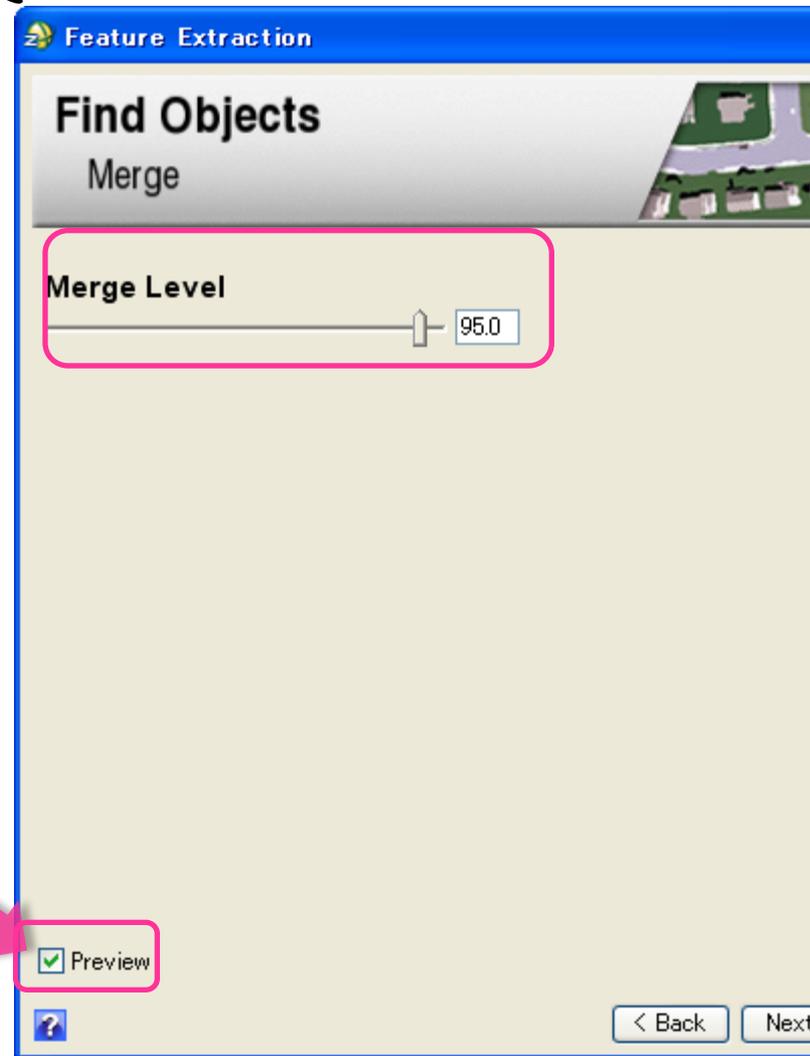
明らかにセグメントが少ない

ENVI EXの操作

- オブジェクトの作成 -

- ステップ②Merge(結合)

- Previewにチェックを入れてください
- Merge Levelを調整してください
- Merge Levelを決めたらNextボタンを押してください

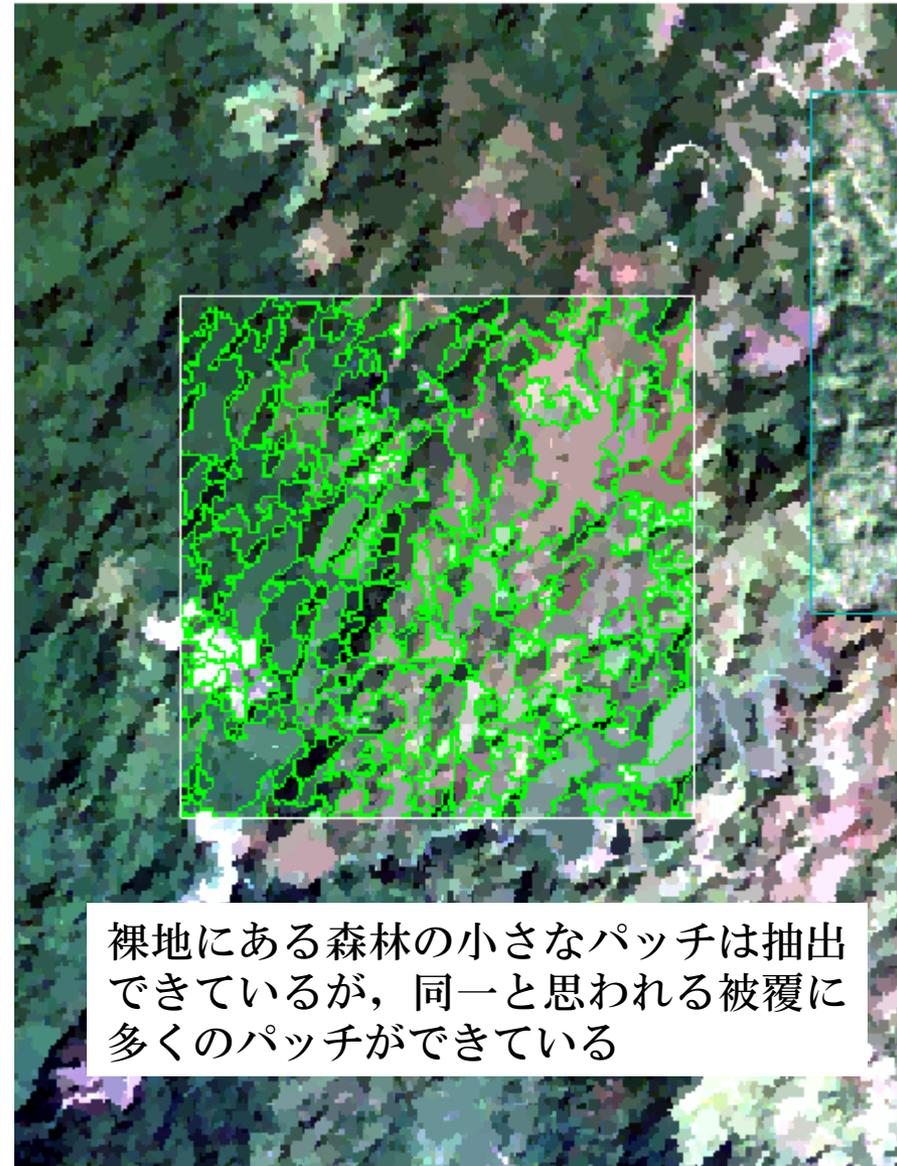


ENVI EXの操作 Merge

Merge Level 95



Scale Level 85



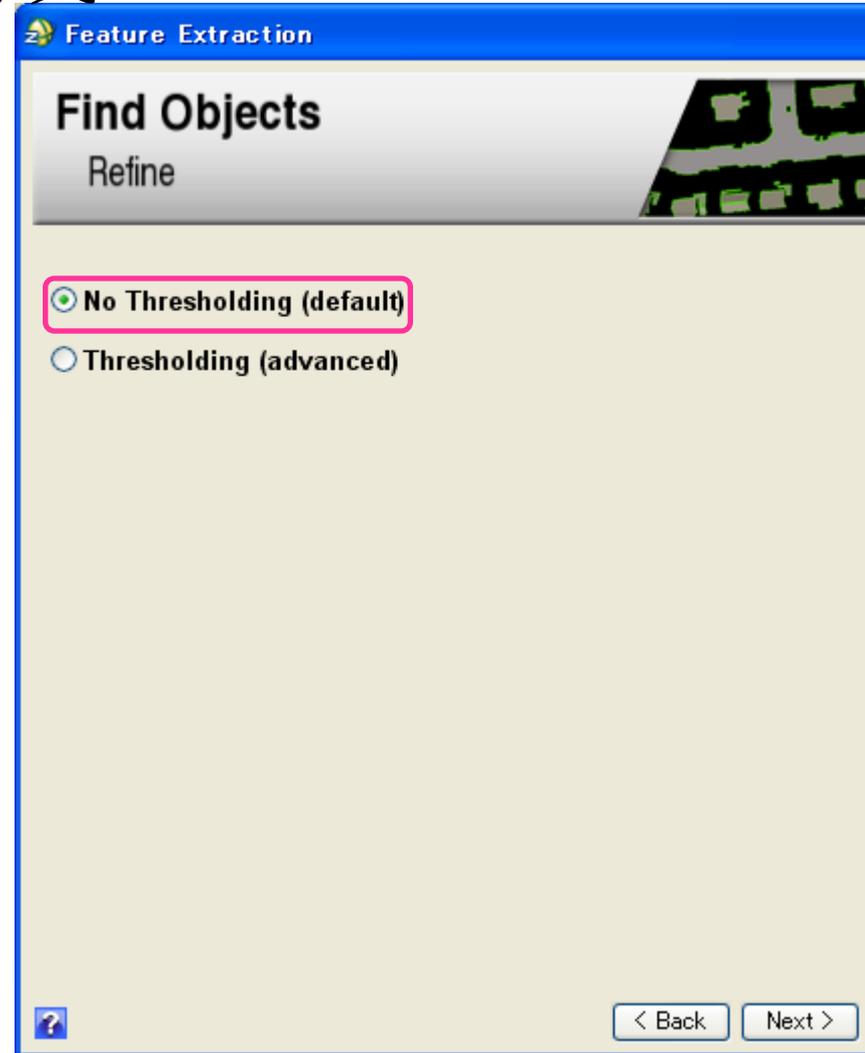
ENVI EXの操作

- オブジェクトの作成 -

- ステップ③

Threshold 閾値の設定

- No Tresholding(default)を
チェック
- ある数値範囲のオブジェクトを抽出する際には、この閾値化ツールを利用すると便利
 - Thresholding(advaned)
Thresholdsの数値を、画像を見ながら調整
 - Thresholdsの数値を決めたら、
Nextボタンをクリック

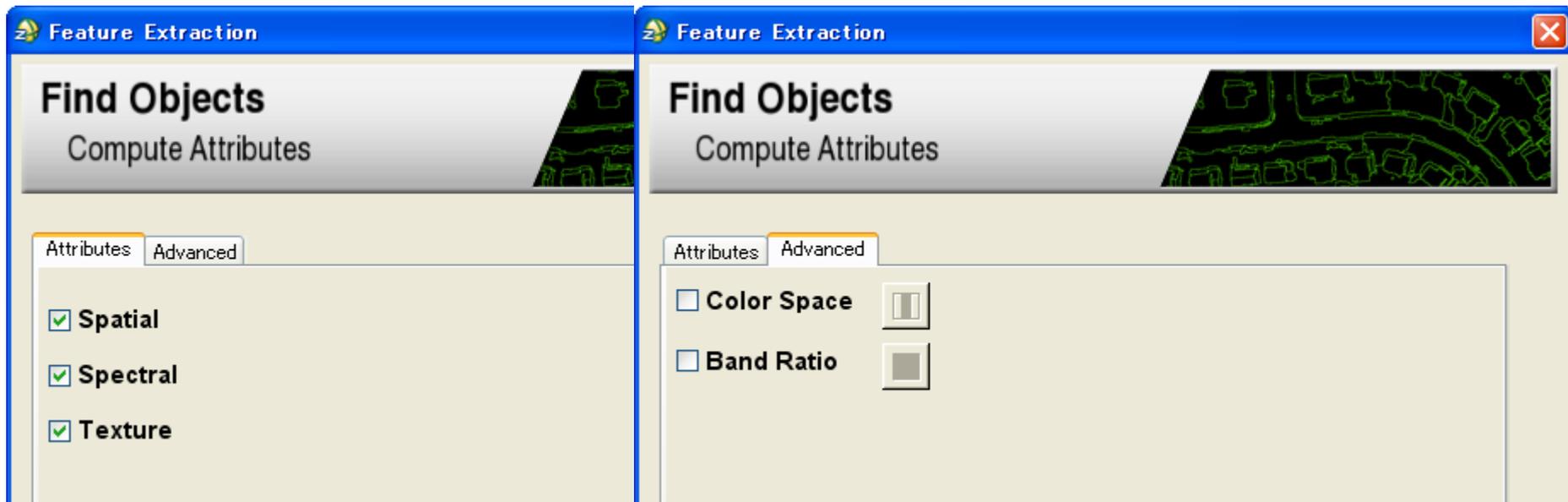


ENVI EXの操作

- オブジェクトの作成 -

- ステップ① Compute Attribute

- Attributes
 - Spatial, Spectral, Textureにチェック
- Advanced
 - Color Space, Band Ratio 今回はなし

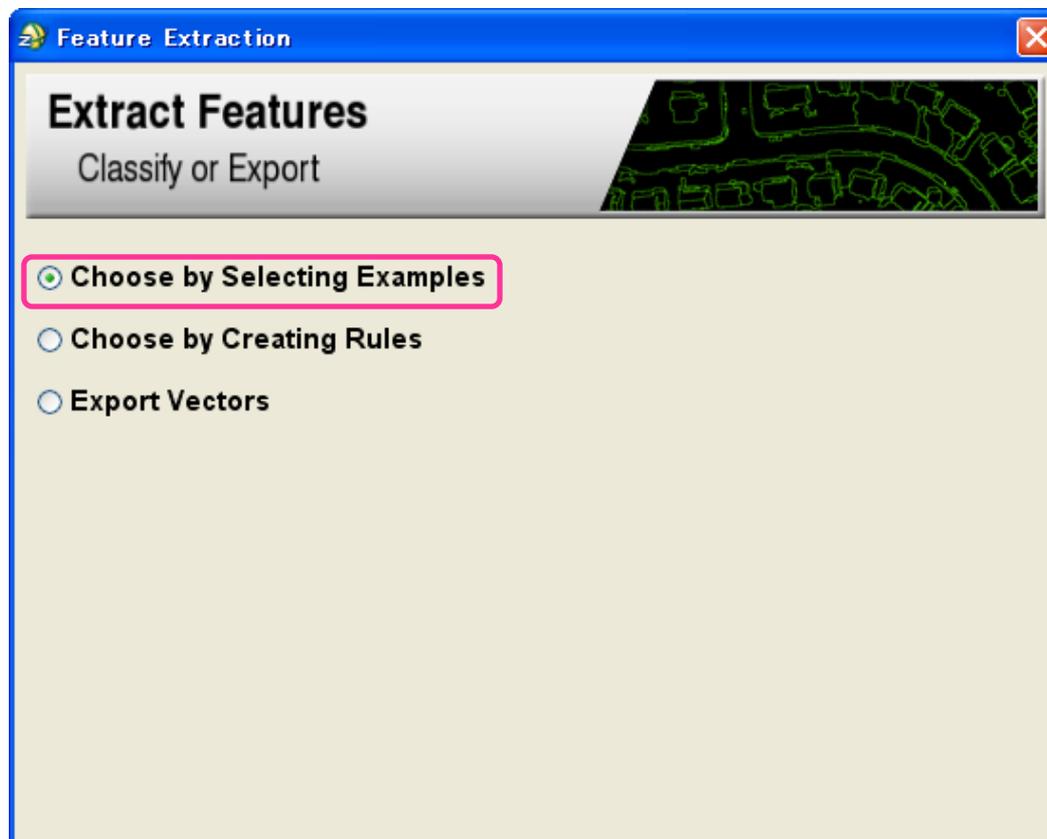


ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ステップ②分類

- Choose by Selection Examplesをクリック

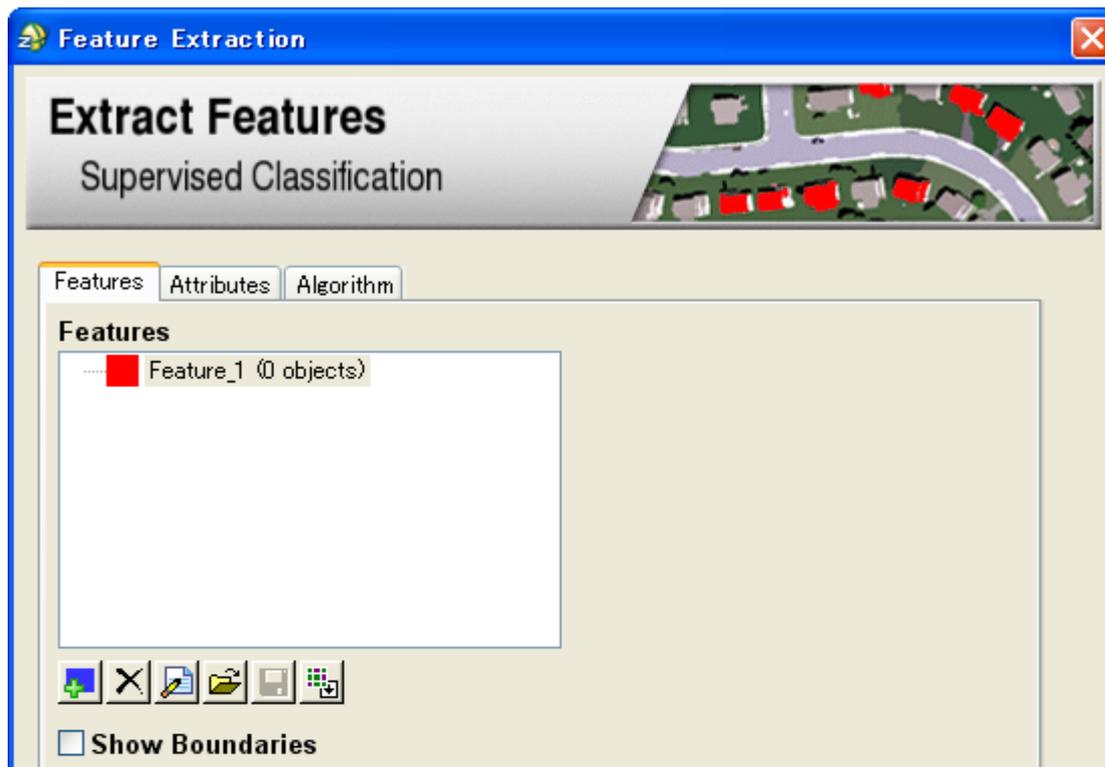


ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ステップ③教師付データの選択

- 作成されたオブジェクトがどの土地利用に該当するかを判読してカテゴリに分けます。また、名前を付けます。

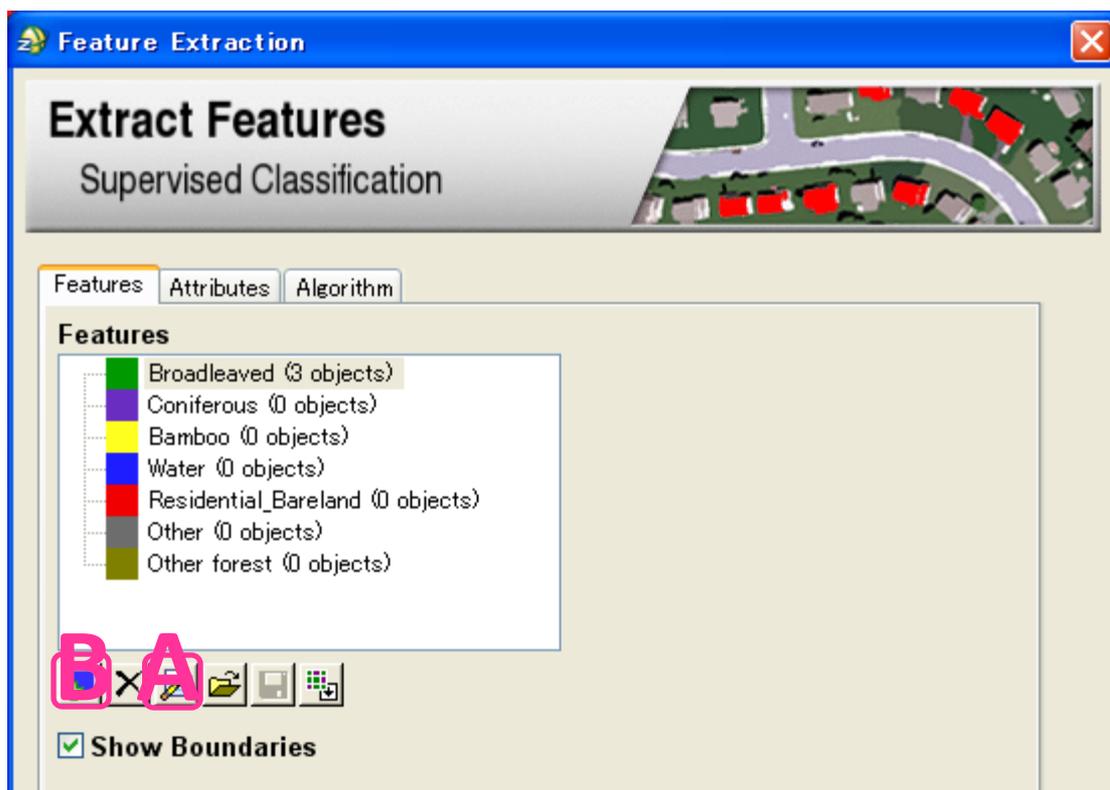


ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ステップ③教師付データの選択

- 各フィーチャに名前を付ける場合は、Feature properties アイコン→**A**
- フィーチャを追加する場合は、Add featureアイコンをクリック→**B**

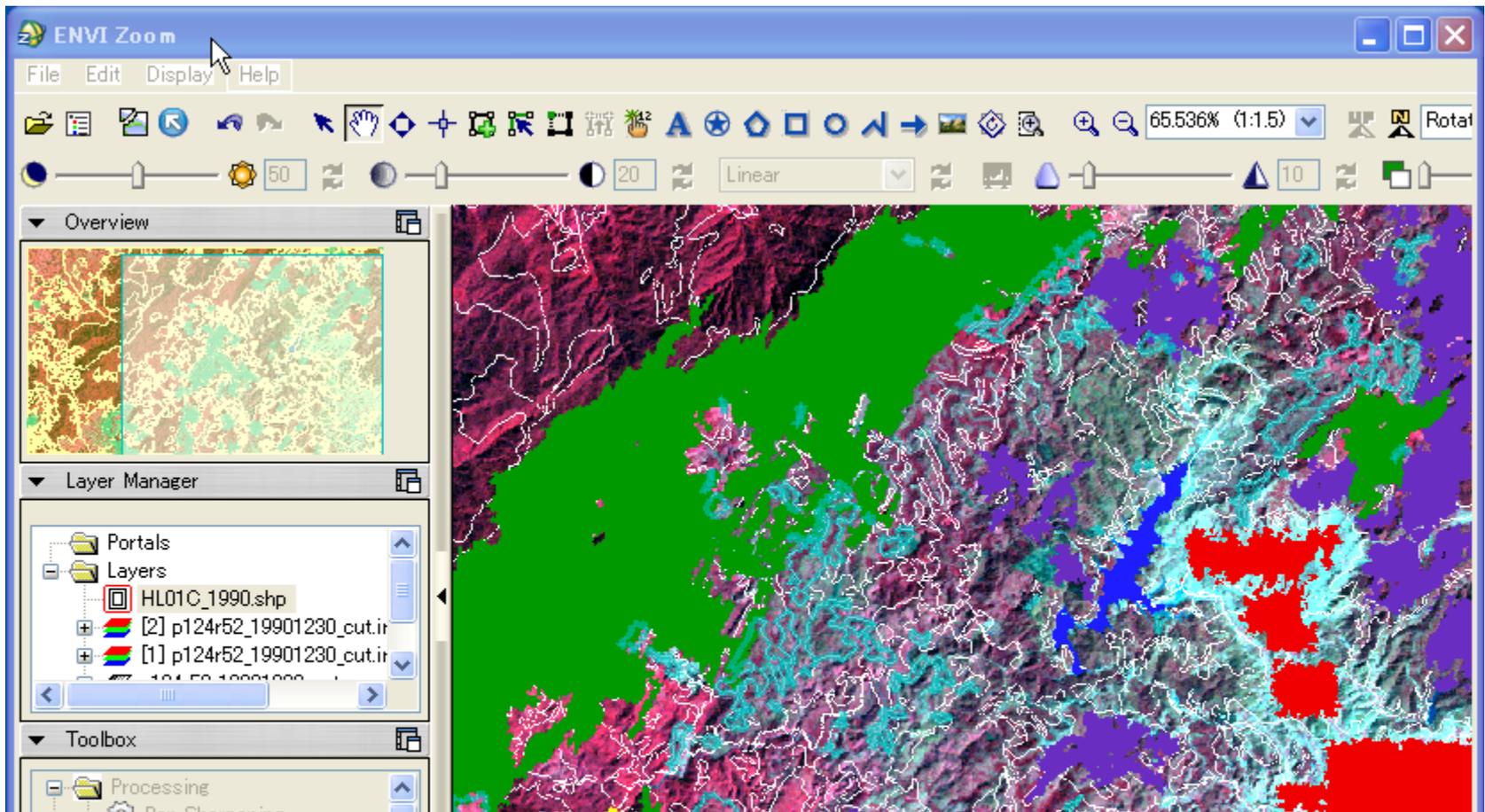


ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ステップ③教師付データの選択

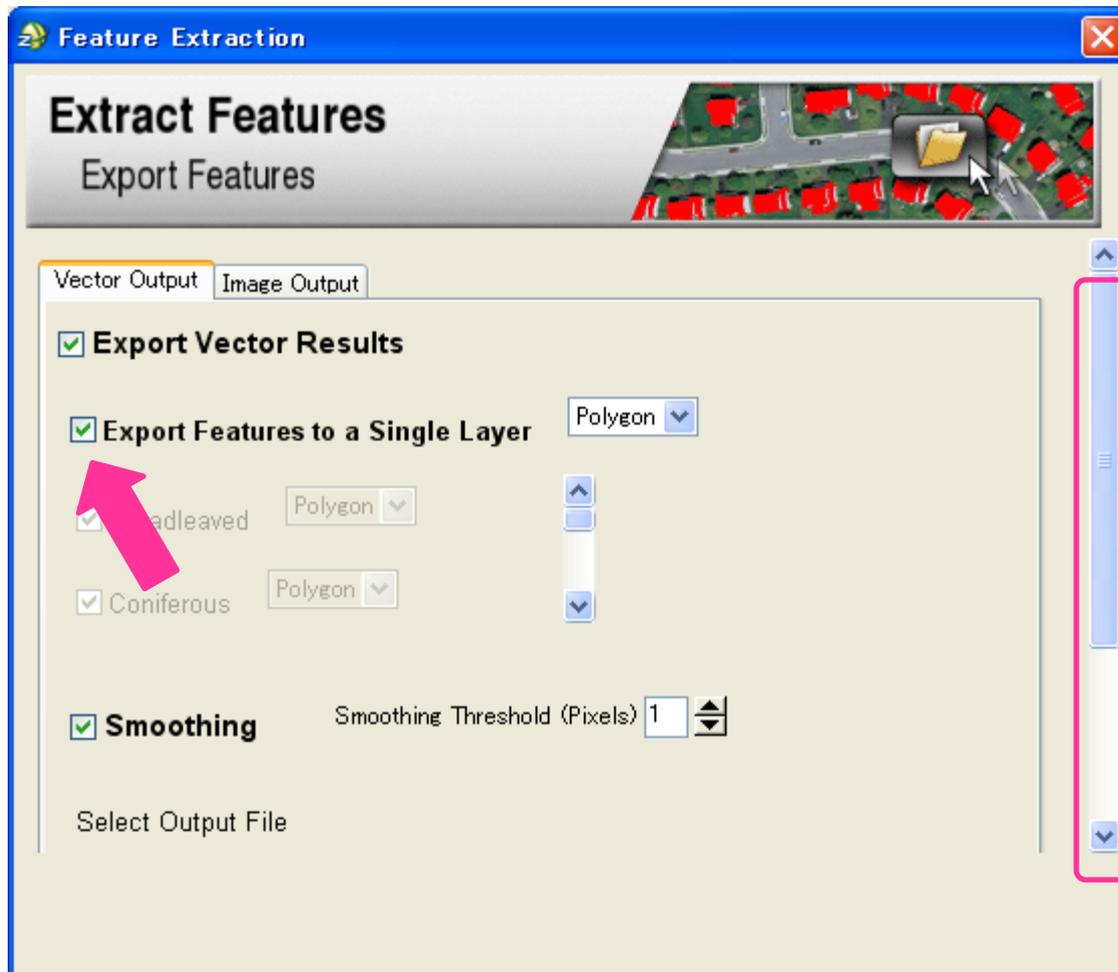
- 各土地被覆タイプを選択した状態で、ENVI zoom画面をクリックしていくと教師データが追加されます



ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ベクターデータの出力 Export Features to a Single Layerをクリック

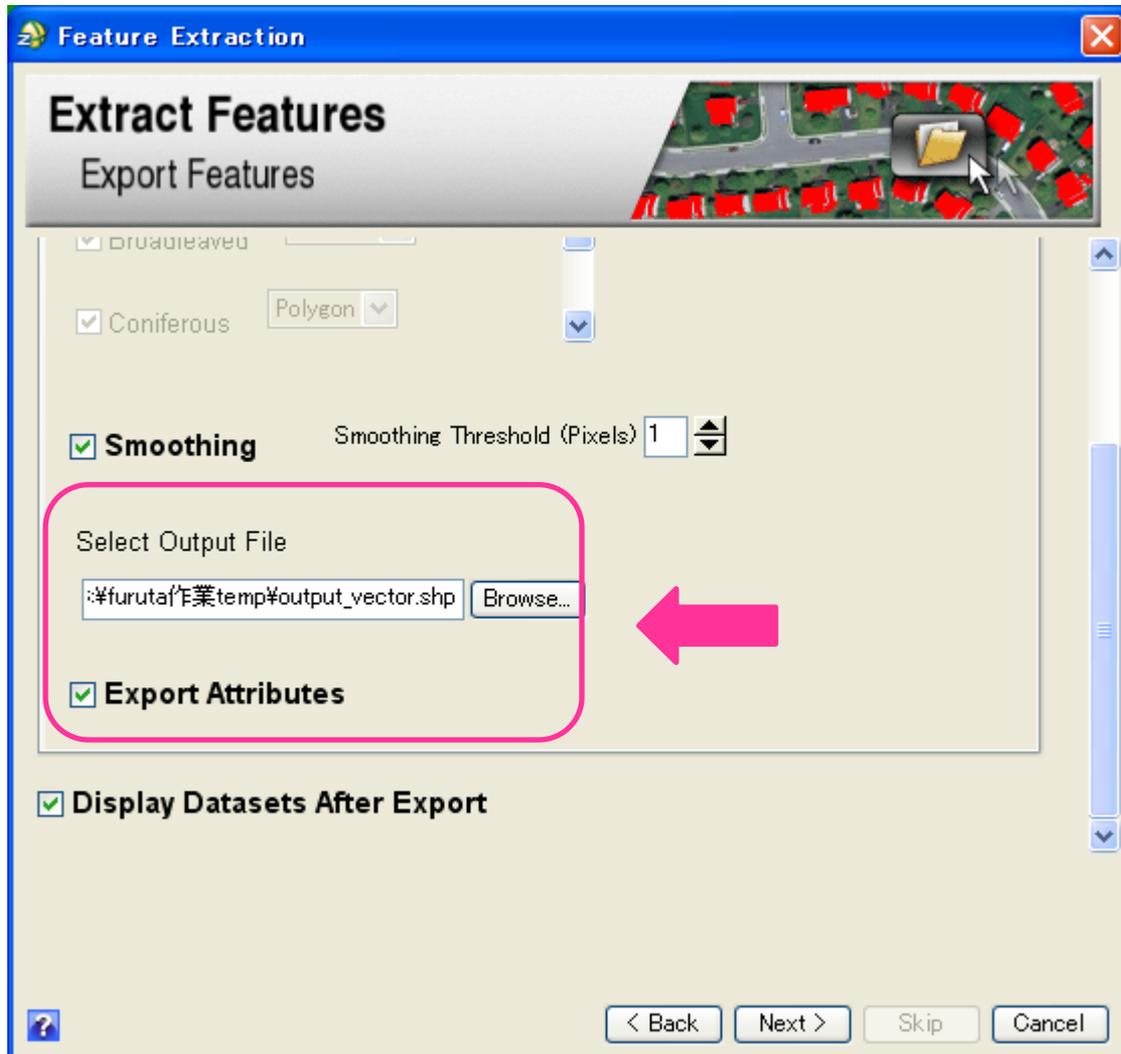


スクロールバーを下げると、
Browseボタンあり
ファイルの保存場所を指定

ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

- ベクターデータの出力



•Select Output FileのBrowseボタンをクリックし、ファイルを保存する場所を指定します。

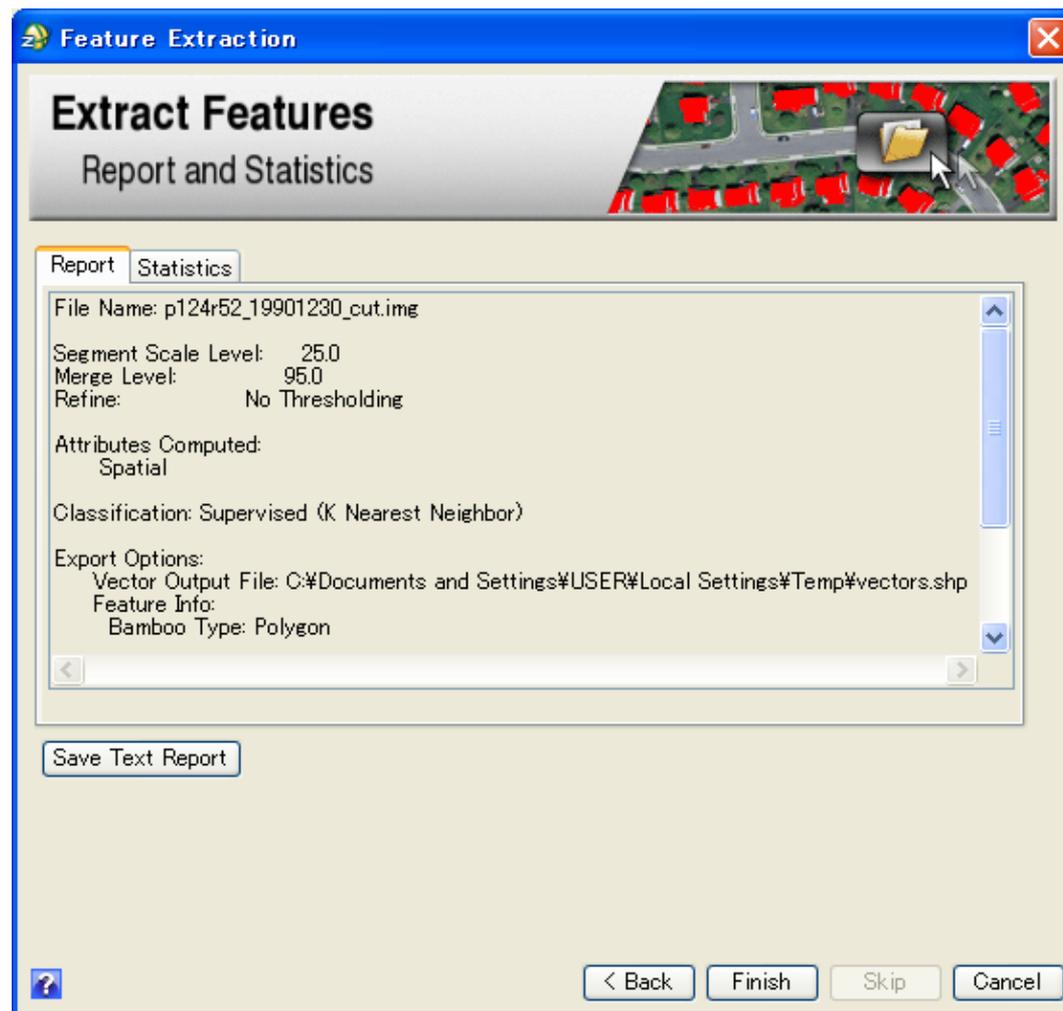
•Export Attributesにチェックを入れると、Attributesのデータ表が作成されます

ENVI EXの操作

- フィーチャの抽出 -

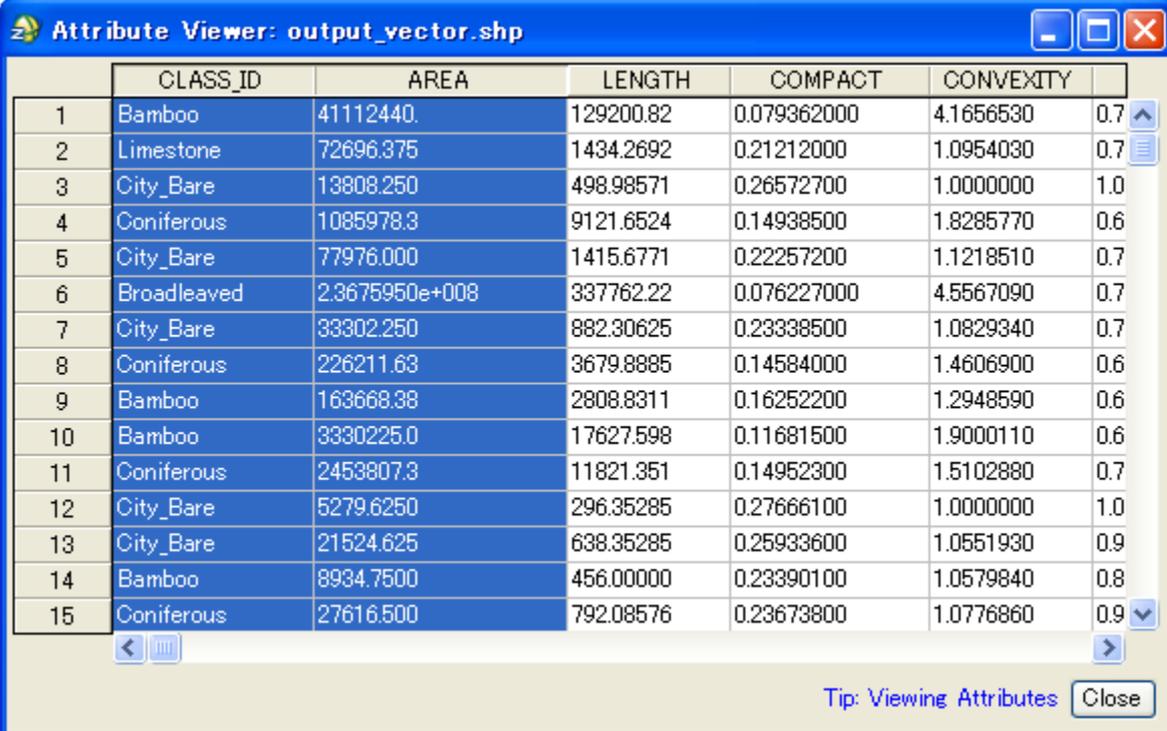
- Reportを保存

- 基本情報
- Statistics



ENVI EXの操作 確認

- ENVI ZOOMで作成したベクターを表示
 - 下のような表が作成されます



Attribute Viewer: output_vector.shp

	CLASS_ID	AREA	LENGTH	COMPACT	CONVEXITY	
1	Bamboo	41112440.	129200.82	0.079362000	4.1656530	0.7
2	Limestone	72696.375	1434.2692	0.21212000	1.0954030	0.7
3	City_Bare	13808.250	498.98571	0.26572700	1.0000000	1.0
4	Coniferous	1085978.3	9121.6524	0.14938500	1.8285770	0.6
5	City_Bare	77976.000	1415.6771	0.22257200	1.1218510	0.7
6	Broadleaved	2.3675950e+008	337762.22	0.076227000	4.5567090	0.7
7	City_Bare	33302.250	882.30625	0.23338500	1.0829340	0.7
8	Coniferous	226211.63	3679.8885	0.14584000	1.4606900	0.6
9	Bamboo	163668.38	2808.8311	0.16252200	1.2948590	0.6
10	Bamboo	3330225.0	17627.598	0.11681500	1.9000110	0.6
11	Coniferous	2453807.3	11821.351	0.14952300	1.5102880	0.7
12	City_Bare	5279.6250	296.35285	0.27666100	1.0000000	1.0
13	City_Bare	21524.625	638.35285	0.25933600	1.0551930	0.9
14	Bamboo	8934.7500	456.00000	0.23390100	1.0579840	0.8
15	Coniferous	27616.500	792.08576	0.23673800	1.0776860	0.9

Tip: Viewing Attributes Close



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第7章

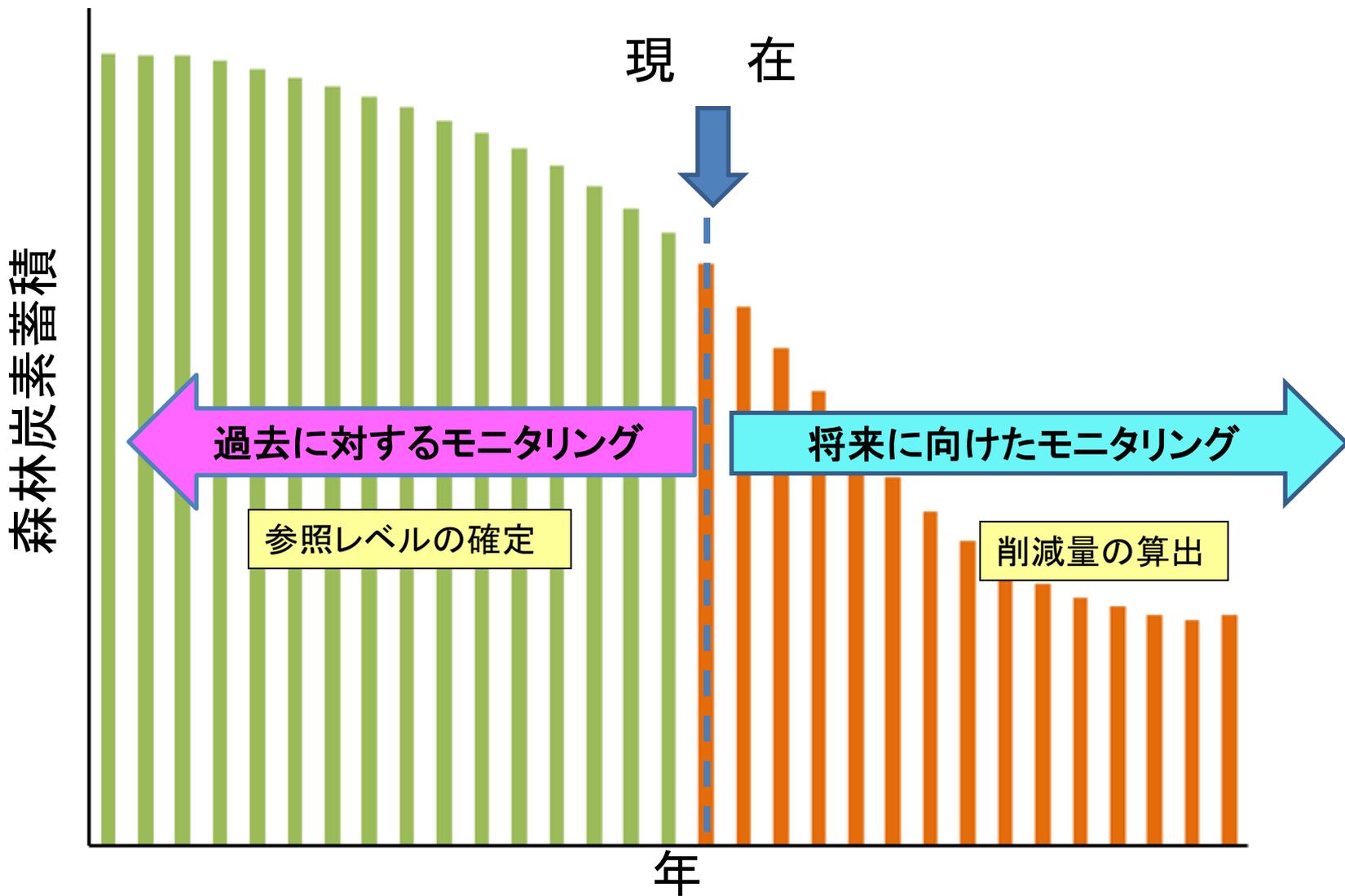
追加資料 REDD+における リモートセンシングの役割

一般社団法人 日本森林技術協会
笹川 裕史





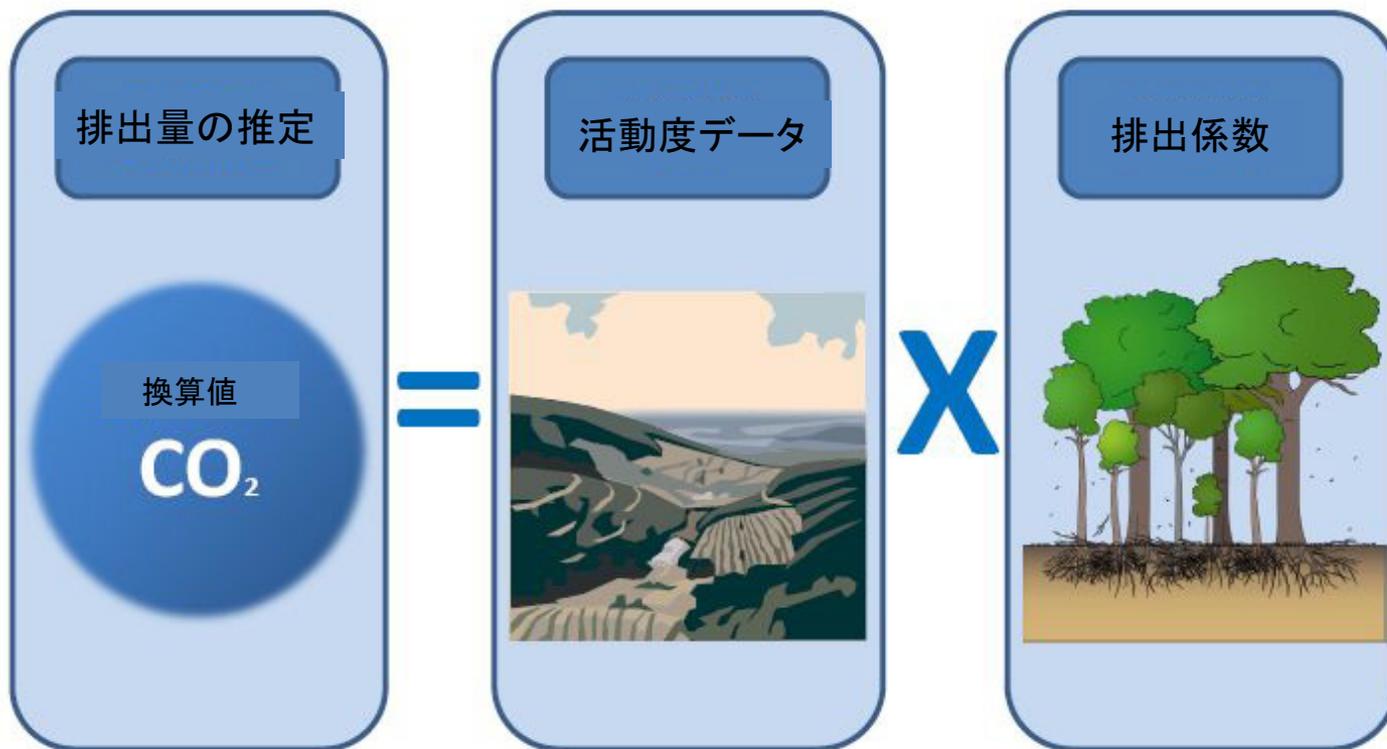
REDDで求められる2つのモニタリング





土地利用に関連した活動からの温暖化ガス排出量を評価する

IPCCの基本的な計算式



UNFCCCのもとでモニタリングシステムは、森林面積及びその変化だけでなく、炭素蓄積量及びその変化までのデータを提供する。

Danilo Mollicone, FAO



講義の内容

1. RSに関する国際議論のポイント
2. Sourcebookの利活用

UNFCCC専門家会合における議論

方法、ツールおよびデータ

- IPCCガイドラインは、森林劣化からの排出と炭素蓄積変化を推定し、モニタリングするための方法論を提供。これらの方法論は各国の異なる状況の下でも適用可能。
- 全ての国々が同じ基盤の上で参加出来るように、いくつかの基本セットのガイダンスの開発が必要。
- リモートセンシングと地上データの利用のバランスが必要。これらの組み合わせは、Tier 2あるいはTier 3のアプローチと関連。

算定方法のTier構造

Tier	算定方法	活動量データ	排出・吸収係数
Tier 1	デフォルト方法	解像度の低いデータ ➢ 全国的または国際的なデータを使用	デフォルト値
Tier 2	デフォルト方法 (Tier 1と同じ)	解像度の高いデータ ➢ 各国固有の気候帯別または土地利用システム別データを使用	解像度の高い各国固有データ ➢ 各国固有の気候帯または土地利用システム別のデータ ➢ 寄与度の低いカテゴリーではデフォルト値を使用してもよい
Tier 3	各国固有の方法 ➢ モデルや統計測定システムなどを使用	解像度の高いデータ ➢ グリッドやポリゴンに分割されたデータを使用 (GISの活用など)	解像度の高い各国固有データ ➢ グリッドやポリゴンに分割されたデータを使用 (GISの活用など)

- 森林劣化は地上部バイオマスプールの喪失に加えて、他の4つの炭素プール(土壌、リター、枯死木、地下部バイオマス)の炭素蓄積の喪失に繋がる。これらの喪失はリモートセンシングのみでは捉えることが出来ない。これらのギャップを埋めるため地上データが必要。

- UNFCCC Decision 4/CP.15

REDD+に関する森林減少及び森林劣化からの排出削減に関する活動の方法論上のガイドライン

条項 1

締結した途上国に対する要請; Decision 2/CP.13、パラグラフ7及び11に提示された方法論問題に関して実施される作業に基づいて、以下のガイドラインを、Decision 2/CP.13に関する活動のために考慮に入れること。締約国会議におけるさらなる関連事項の決定、とりわけ、測定と報告に関連した事項を事前に判断しないように。

Decision 4/CP.15

Methodological guidance for activities relating to 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

Article 1

*Requests developing country Parties, on the basis of work conducted on the methodological issues set out in decision 2/CP.13, paragraphs 7 and 11, to take the following guidance into account for activities relating to decision 2/CP.13, and without prejudging any further relevant decisions of the Conference of the Parties, in particular those relating to **measurement and reporting**:*

条項 1(d)

それぞれの国の環境と能力に応じて、強固で透明性の高い国家森林資源モニタリングシステム、及びもし適切であれば、国家モニタリングシステムの一部としての準国レベルのシステムを、構築すること：

- (i) 適宜、人類起源の森林に関する温暖化ガスの排出、並びに吸収源、森林炭素の蓄積及び森林面積の変化による排除を評価するための、リモートセンシング及び地上観測に基づく炭素インベントリーによるアプローチを活用する；
- (ii) それぞれの国の能力と許容量を考慮し、透明で一貫した、そして可能な限り正確な、並びに不確実性を減少させた、見積もりを提供すること；
- (iii) それらは、透明で、その結果は締約国会議によって合意された評価に利用可能で適切であること；

• Article 1 (d):

To establish, according to national circumstances and capabilities, robust and transparent national forest monitoring systems and, if appropriate, sub-national systems as part of national monitoring systems that:

- (i) Use a combination of remote sensing and ground-based forest carbon inventory approaches for estimating, as appropriate, anthropogenic forest-related greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks, forest carbon stocks and forest area changes;
- (ii) Provide estimates that are transparent, consistent, as far as possible accurate, and that reduce uncertainties, taking into account national capabilities and capacities;
- (iii) Are transparent and their results are available and suitable for review as agreed by the Conference of the Parties;

- IPCC表示:国は、その国土における全ての関連した土地面積の特徴付けと算定を、一貫してしかも可能な限り透明に行うべきである。データは、土地利用面積の歴史的トレンドに反映するべきである。

IPCC2003 LULUCFガイドラインは次の3つのアプローチを提示している。

アプローチ1: 基本的な土地利用データ

アプローチ2: 土地利用と土地利用変化の調査

アプローチ3: 地理学的に明白な土地利用データ

ほとんど全ての途上国では、土地利用面積の歴史的トレンドの評価に利用可能な国家森林資源インベントリーが存在しない。20年ほど遡る時間枠を持ち、一貫し、かつ透明性の高いアプローチにおいて、国土を代表する唯一の方法は、アプローチ3に従うことを容認する衛星リモセンによるデータを活用することにある。従って国家森林資源インベントリーは活動度データを評価するために直接的に利用されることはないであろう。

IPCC indication: Countries should characterize and account for all relevant land areas in a country consistently and as transparently as possible. Data should reflect the historical trends in land-use area.

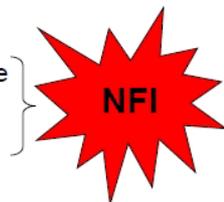
IPCC 2003 LULUCF Guidance suggests three Approaches*:



Approach 1: Basic land-use data

Approach 2: Survey of land use and land-use change

Approach 3: Geographically explicit land use data



In almost all the developing countries there are no NFIs that could be used to assess historical trends in land-use area, the only way to represent land in a consistently and transparently approach with a time frame of 20 years backward is the use of satellite remote sensing data which allows to follow the Approach 3. Thus NFI will not be directly used to assess activity data.

Danilo Mollicone, FAO

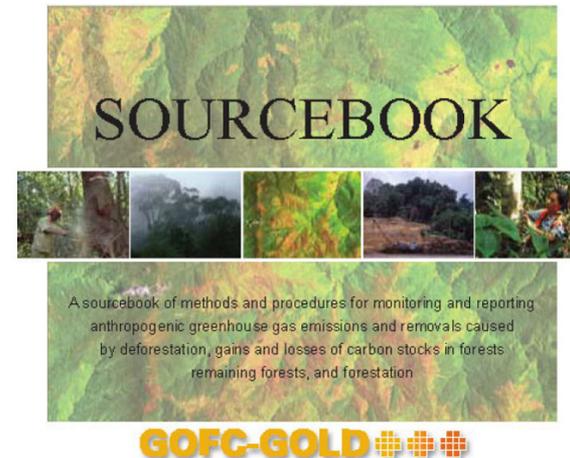


講義の内容

1. RSに関する国際議論のポイント
2. Sourcebookの利活用

GOFC-GOLD REDD Sourcebook

- 地球陸域観測システム（GTOS）の技術パネルである「森林と土地被覆の動態の国際観測」（GOFC-GOLD, www.fao.org/gtos/gofc-gold/）のREDD特別作業部会の成果
- 国家レベルでの森林減少と森林劣化による森林被覆における変化からの炭素の総排出量を計測するための現時点での技術的な能力ふさわしいモニタリングの枠組みを定義するための起点
- COP13において初版
- 第2版は東京ワークショップ（2008年6月）、第3版は2009年7月
- 最終版はCOP17版
- IPCCの手法を解釈
- MRVに着目
- キャパビルの章の強化





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第8章

森林炭素変化の推定

一般社団法人 日本森林技術協会
鈴木 圭





1. 森林炭素変化量の推定



森林炭素の計測

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、本章では、UNFCCCの決定とIPCC2006年ガイドラインに準拠し、以下の点にフォーカスする。

(1) 何を測るか？

- ・森林の地上部・地下部バイオマス(ほか)

(2) どう測るか？

- ・デフォルト法 (Gain-loss method)
- ・蓄積変化法 (Stock-change/difference method)



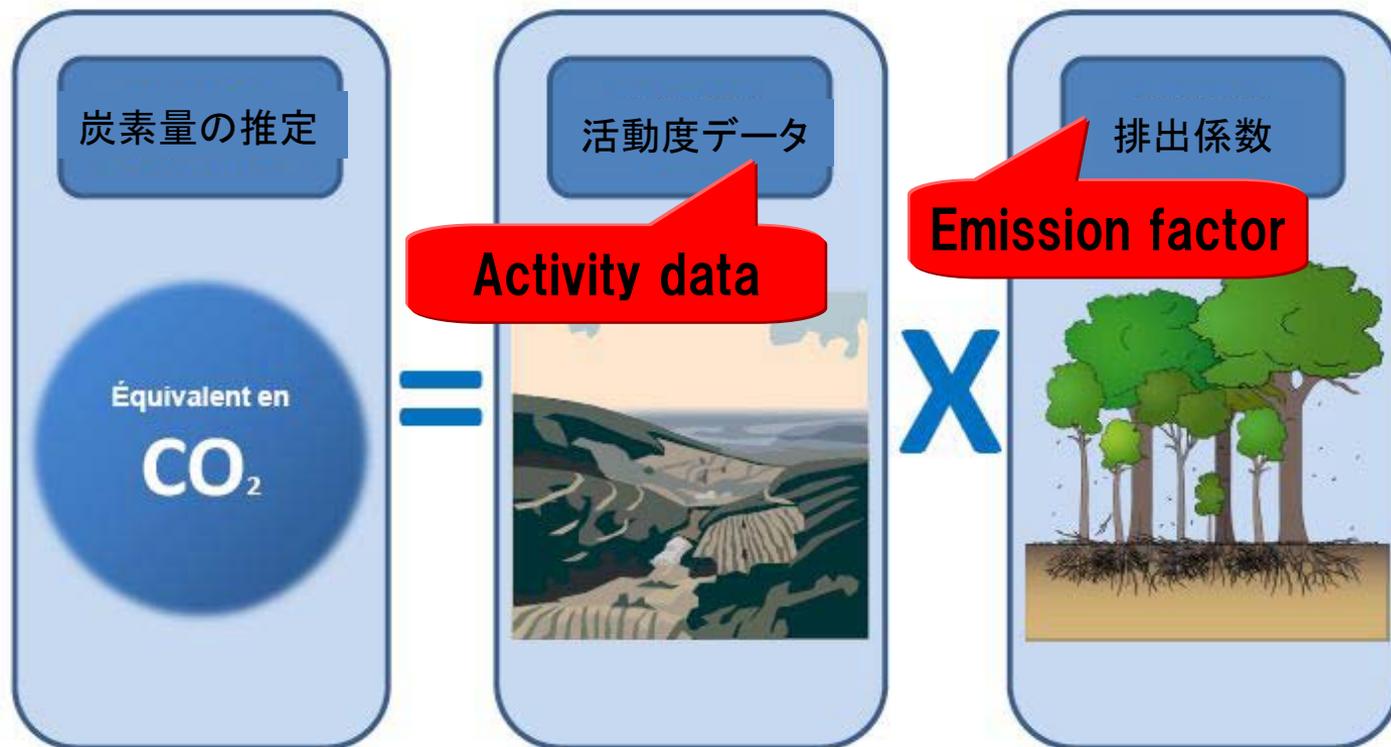
(1) 何を測るか？

REDDプラスの対象は森林

- ・森林の定義は、UNFCCCの示した範囲内で各国が独自に決めることができる。
 - 国情に応じて、森林タイプを細かく区分することが推奨される
 - ※きめ細かな排出係数の適用により、不確実性の低減に貢献
- ・5つの炭素プール(地上部／地下部バイオマス)
 - 国情に応じて、適用すべきTierの検討が必要



(2) どう測るか？



Danilo Mollicone, FAO 引用

(2) どう測るか？(方法論)

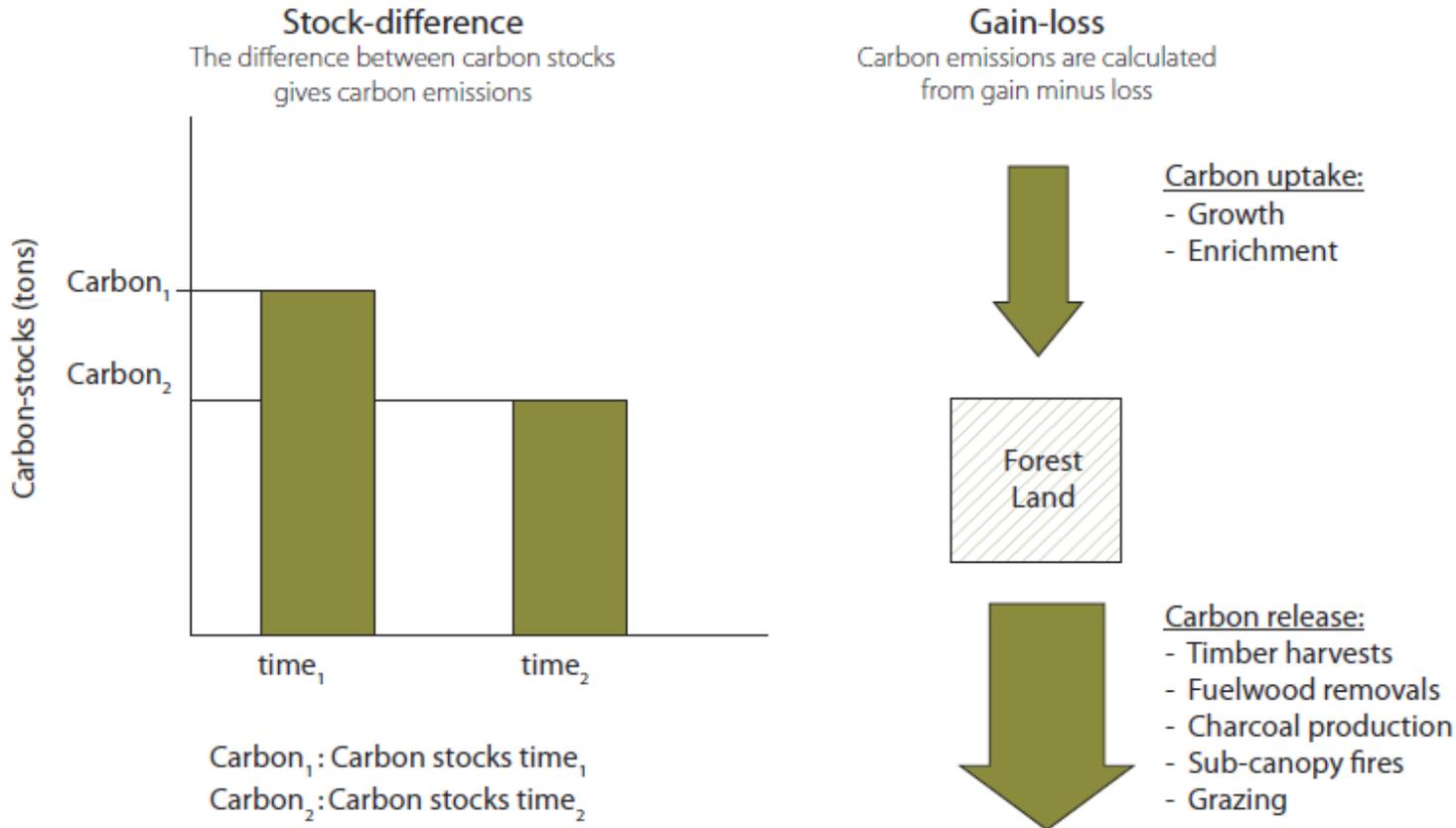


図 IPCCで紹介されている2つの森林炭素変化量の推定手法

左側の手法が、**蓄積変化法**

右側の手法が、**デフォルト法**

(参考)

・蓄積変化法

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

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。

・デフォルト法

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

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。



2. 実習

実習1：事例解析

蓄積変化法とデフォルト法を対比し両手法の違いを把握する。

実習2：グループ討議

実習1の二つの手法の違いをグループ討議し、メリットやデメリットを整理する。



実習1：事例解析

(蓄積変化法とデフォルト法を対比し両手法の違いを把握する。)

(実習1 事例解析)

蓄積変化法

面積 (ha)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	30	10
落葉樹林	50	70
非森林	20	20

炭素密度 (Ct/ha)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	200	220
落葉樹林	100	80
非森林	0	0

炭素量 (Ct)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	6,000	2,200
落葉樹林	5,000	5,600
非森林	0	0
合計	11,000	7,800

総蓄積変化 $T2-T1$ **-3,200** (Ct)

(事例の前提条件)

期首から期末にかけて以下の森林変化が発生すると仮定

1. 期首の常緑林30haのうち、
 - 1) 期末に10haが落葉樹林に変化
 - 2) 期末に10haが非森林に変化
 - 3) 期末に10ha分は非変化
2. 期首の非森林20haのうち、
 - 1) 期末に10haが落葉樹林に変化
 - 2) 期末に10ha分は非変化
3. 平均炭素密度(排出係数)は2時点間で異なるものを適用する

(前提条件をもとに、表を穴埋め)

デフォルト法 (Gain – Loss method)

		期末・T2 面積 (ha)			
期首・T1 面積 (ha)	面積 (ha)	常緑林	落葉樹林	非森林	
	常緑林				
	落葉樹林				
	非森林				
		期末・T2 (Ct/ha)			
期首・T1 (Ct/ha)	炭素密度 (Ct/ha)	常緑林	落葉樹林	非森林	
	200				
	100				
	0				
		期末・T2 (Ct)			
期首・T1 (Ct)	炭素変化量 (Ct)	常緑林	落葉樹林	非森林	
	常緑林	0	0	0	
	落葉樹林	0	0	0	
	非森林	0	0	0	
2時点の 炭素変化量					
※マトリックスからゲインとロスを抽出して解析					-3.200 (Ct)



(二つの手法を比較し、違いを把握する)

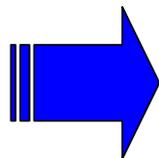
蓄積変化法

面積 (ha)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	30	10
落葉樹林	50	70
非森林	20	20

炭素密度 (Ct/ha)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	200	220
落葉樹林	100	80
非森林	0	0

炭素量 (Ct)	期首 (T1)	期末 (T2)
常緑林	6,000	2,200
落葉樹林	5,000	5,600
非森林	0	0
合計	11,000	7,800

総蓄積変化 T2-T1 **-3,200 (Ct)**



デフォルト法 (Gain – Loss method)

		期末・T2 面積 (ha)			
		面積 (ha)	常緑林	落葉樹林	非森林
期首・T1 面積 (ha)	常緑林				
	落葉樹林				
	非森林				
		期末・T2 (Ct/ha) 220 80 0			
		炭素密度 (Ct/ha)	常緑林	落葉樹林	非森林
期首・T1 (Ct/ha)	200	常緑林			
	100	落葉樹林			
	0	非森林			
		期末・T2 (Ct)			
		炭素変化量 (Ct)	常緑林	落葉樹林	非森林
期首・T1 (Ct)	常緑林	0	0	0	0
	落葉樹林	0	0	0	0
	非森林	0	0	0	0
2時点の 炭素変化量					
					-3,200 (Ct)



実習2: グループ討議

(実習1の二つの手法の違いをグループ討議し、
メリットやデメリットを整理する)



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

第9章

今後に向けての課題

独立行政法人 森林総合研究所
REDD研究開発センター
松本光朗





今後に向けての課題

- ダーバン合意
- BOCM/JCM
- REDD+の見通し



COP17(2011)ダーバン合意

- 将来の枠組みに関し、全ての国が参加する法的文書を作成する新しいプロセスである「ダーバン・プラットフォーム作業部会」を立ち上げ、遅くとも2015年中に作業を終了、2020年から発効・実施に移すことに合意
- 京都議定書の第二約束期間の設定に向けた合意を採択、日本は第二約束期間に参加しないことが明記された（日本、カナダ、ロシアの数値目標は空欄）

二国間オフセット・クレジット制度 (BOCM/JCM)

- 日本政府は、京都議定書の外で排出削減活動を進めることを表明
- 排出削減を進めるため、二国間オフセット・クレジット制度 (BOCM)を進める意向
- 最近では共同クレジットメカニズムと併記し、“BOCM/JCM”と表記されている
- ここにREDD+を位置付ける必要



エネルギー環境会議

- 政府は、エネルギーシステムのゆがみや脆弱性を是正し、安全・安定供給・効率・環境などの要請に対応した、短期・中期・長期からなる革新的エネルギー・環境戦略の策定を行う目的で、エネルギー・環境会議を設置
- 2012年9月14日に「革新的エネルギー・環境戦略」を策定
- ただし、政府の取扱いが不明
- 選挙後の新政権では独自方針を作成することになるだろう
- 「革新的エネルギー・環境戦略」の概要
 - 原発に依存しない社会の実現に向けた3つの原則
 - 1. 40年運転制限を厳格に適用
 - 2. 規制委員会の安全確認を得たもののみ再稼動
 - 3. 原発の新設・増設は行わない
 - 2030年代に原発稼働ゼロを可能とするよう、グリーンエネルギーを中心にあらゆる政策
 - 資源を投入。その第一歩として、政府は本年末までに「グリーン政策大綱」をまとめる。
 - 排出削減目標
 - 2030年に概ね2割減
 - 2020年に5～9%減(1990年度比)

BOCM/JCMに向けての課題

- 全体の仕組み
 - REDD+を組み入れるか？
 - オフセット or クレジット？
- REDD+の仕組み
 - コンプライアンス or ボランタリー？
- 技術論
 - REDD+のガイドライン・方法論の開発
 - 参照レベルの考え方、作成方法

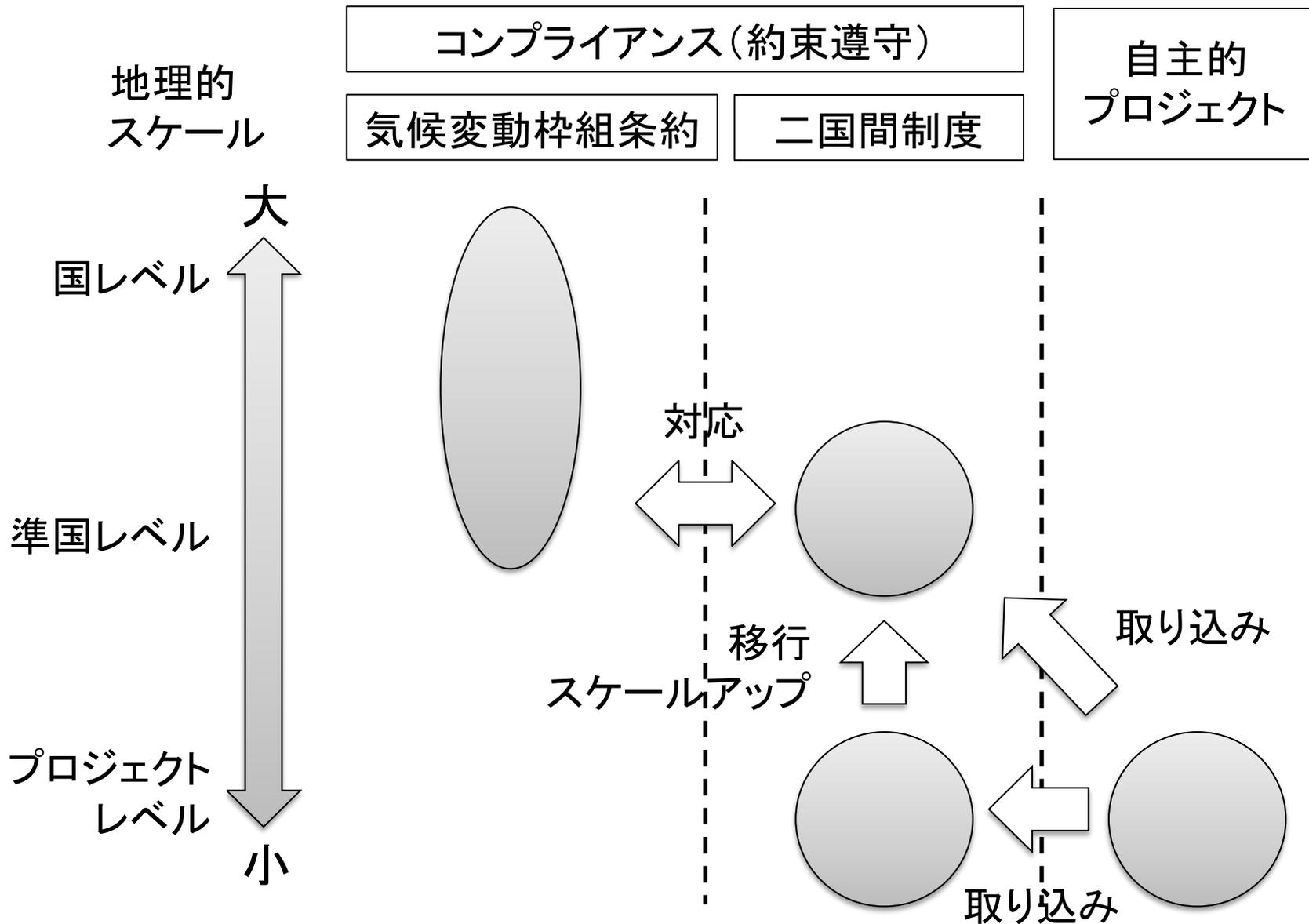
REDD+の見通し(私見も含めて)

- 世界的な見通し
 - REDD+の議論はこれまで京都議定書次期約束期間をメドに議論されてきたが、ダーバン合意により2020年からの枠組みの下で取り扱われるという認識が広がった
 - しかし、いち早い取り組みが求められる
 - 条約での議論とは並行し、自主的な取り組みがさらに加速
 - 現状では、自主的REDD+と条約REDD+の関係はあいまい
 - 自主的な取り組みが、条約のルールに反映されることを考えると、日本も戦略的に進める必要
- 日本の見通し
 - BOCM/JCMでの温暖化対策推進が議論されている
 - ただし、選挙後の新政権での取扱いは不明
 - いずれにせよ、日本の取り組みの中にREDD+を取り込む必要
 - REDD+の制度とガイドライン・方法論を構築する必要
 - オールジャパンで取り組み、日本の方法を広げる必要
 - そのとき、自主的REDD+と条約REDD+を関係づける必要
 - それを持って次期枠組みでのREDD+のルール化に貢献



REDD研究開発センターが開発している ガイドラインのポイント

- コンプライアンスへの移行・スケールアップ
 - 将来的に自主的プロジェクトからコンプライアンスへ移行を見越した枠組み
- 対象とする活動
 - 条約定義の5活動に相当する活動
- 参照レベル
 - スケールアップする場合の整合性と透明性・精度と労力・コストのバランスを考慮
- リーケージ
 - 算定対象とするも、労力・コストを考慮した方法。スケールアップ時の整合性
- 算定方法・モニタリング方法
 - リモートセンシングと地上調査の組み合わせ。スケールアップ時の整合性
- 追加性・非永続性
 - インセンティブの阻害とならない、労力・コストを考慮した方法
- セーフガード
- 審査期間の短期化
- 自主的な枠組みとの相互認証



24年度のREDD研究開発センターの活動

- 研究・開発
 - カンボジア、マレーシア、パラグアイでのMRV手法の開発
- 技術解説書 (REDD Cook Book) の開発
 - 個別技術の解説書 (日英)
 - 毎年改訂
- イベント
 - REDDプラス国際セミナー
 - 2012年2月7・8日 (木・金)
 - 早稲田大学 国際会議場 (井深大記念ホール)
 - COP18サイドイベント
 - 2012年11月28日
 - 南アフリカ・ダーバン
- 森林技術者講習 応用講習
 - プロジェクト設計書 (PDD) の作成実習
 - 平成24年1月23日 (水) - 25日 (金)
 - 高度・実践的なモニタリング手法の検討
 - 平成24年12月19日 (水) - 21日 (金)
- 広報・情報提供
 - Web
 - メールマガジン
 - DVD作成



一緒に頑張りましょう。