

平成25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＞

1 REDDプラス概論

松本 光朗
森林総合研究所 REDD研究開発センター

2 REDDプラスに係る国際的な議論の趨勢

平塚 基志
三菱UFJリサーチ&コンサルティング

3 COOKBOOKについて

宗像 和規
日本森林技術協会

4 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
日本森林技術協会

5 REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

林 真智
国立環境研究所

6 衛星データの種類と入手の際の留意点

磯野 賀瑞夫
RESTEC

7 リモートセンシングを用いた 森林面積の把握手法

鈴木 圭
日本森林技術協会

8 森林炭素モニタリングの基礎

金森 匡彦 他
日本森林技術協会

9 森林炭素量の把握

佐藤 顕信
日本森林技術協会

10 森林炭素変化量の推定

鈴木 圭
日本森林技術協会

11 今後に向けての課題

松本 光朗
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25年度 基礎講習

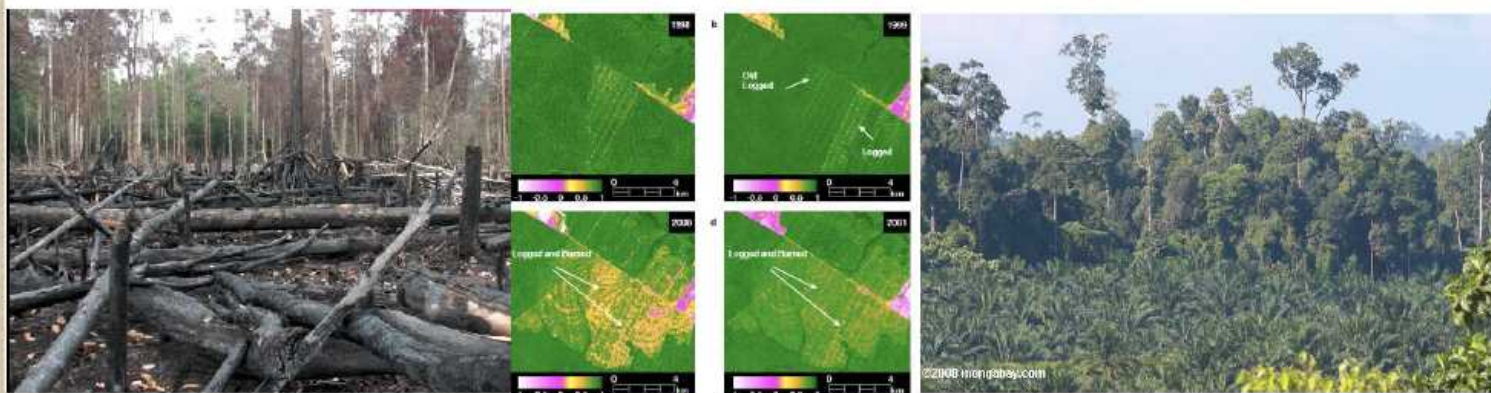
第 1 章

REDDプラス概論

(独)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
センター長





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



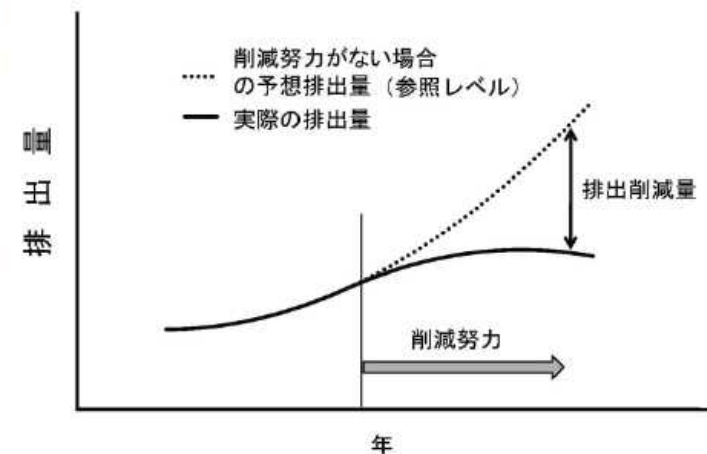


REDDプラス

- 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

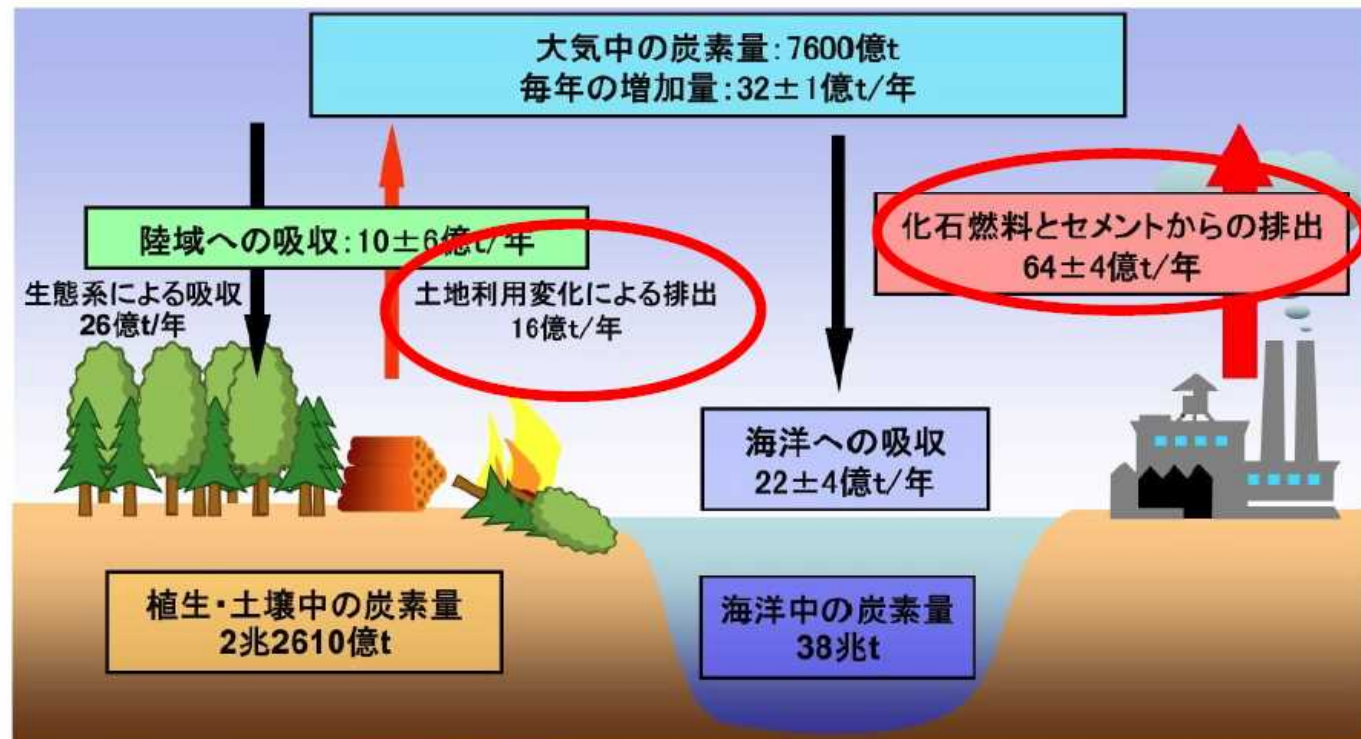




地球上の炭素の動き

- 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)



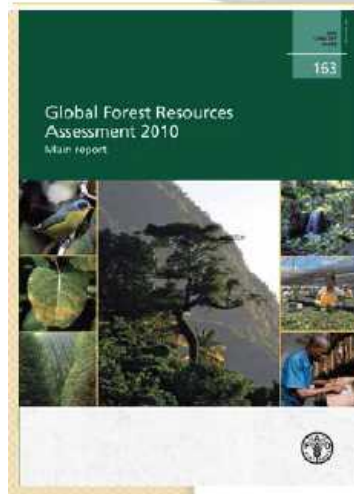
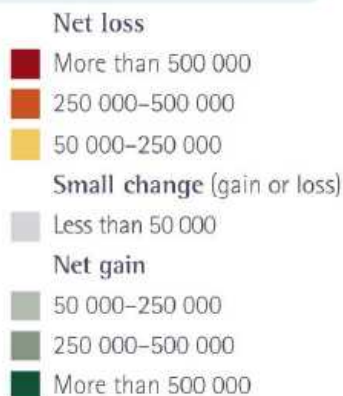
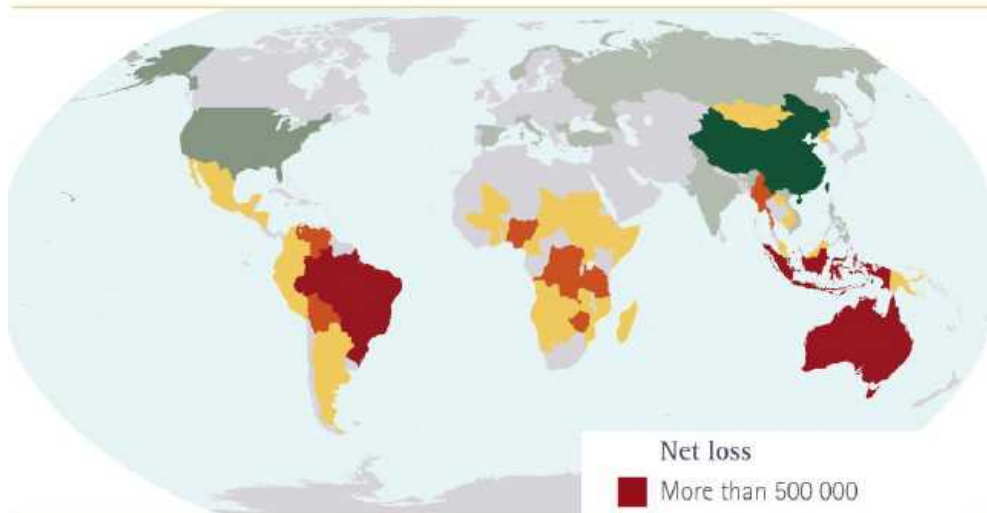
IPCC第4次評価報告書 第1作業部会表7.1より図化





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樣ではない
- 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 2. 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

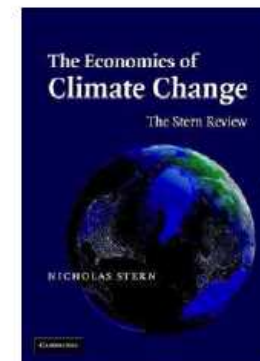


Kanninen, M. et al., Do trees grow on money? CIFOR

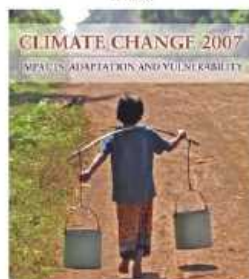


排出削減対策としての 森林減少及び森林劣化の削減

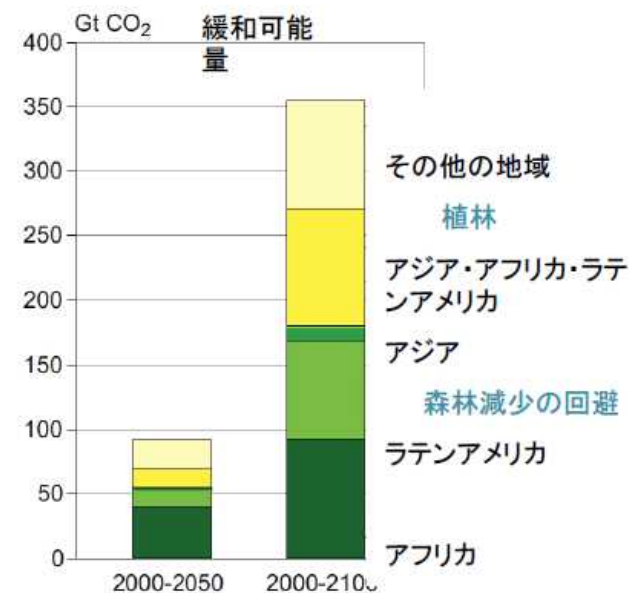
- スターン・レビュー
 - 森林減少の抑制は温室効果ガスを削減する上できわめて費用対効果が高い
- IPCC第4次報告書
 - 世界の緩和可能量の65%は熱帯地域にあり、全体の50%を森林減少及び森林劣化による排出削減によって達成できる。
- 科学的視点からは、森林減少・劣化による排出の削減の必要性が、経済的視点からはコストが他の対策よりも安くすむとの期待が増大。
- しかし、実際には制度化やモニタリングのコストが大



気候変動 2007
影響、適応と脆弱性
日本国版



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



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



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





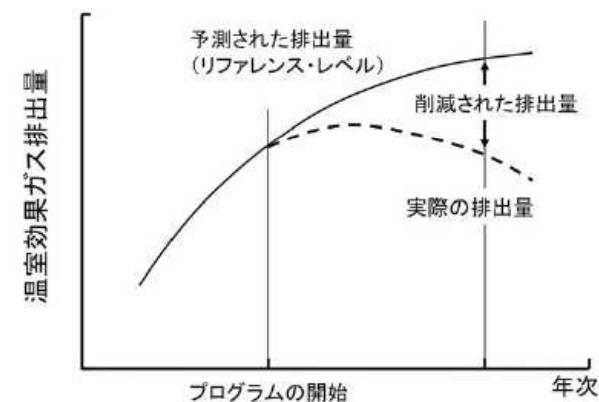
Montreal 2005

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プラスの経緯（1/2）

- 2007年のCOP13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
- COP14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
- COP15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
DEC 7-DEC 18
2009





REDDプラスの経緯（2/2）

- COP16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
- COP17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
- COP18ドーハ会合（2012年）
 - MRV、参照レベル、組織の議論をするも未合意
- COP19ワルシャワ会合（2013年）
 - MRV、参照レベル、組織について議論



DOHA 2012
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP18-CMP8



UNITED NATIONS
CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP19/CMP9
WARSAW 2013





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





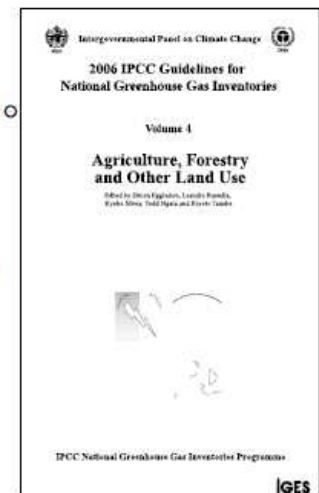
方法論

• 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」

• 方法論についての合意（COP15,2009）

- 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

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

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

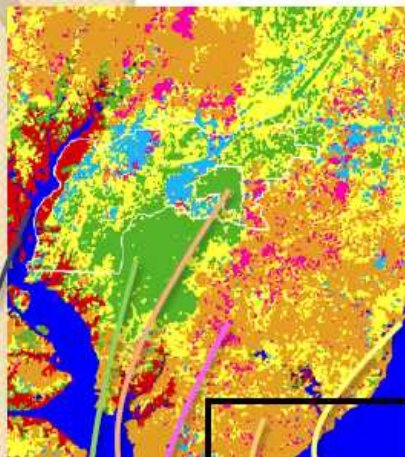
繰り返しの地上調査で観測





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
 - 代表的な式 biomass = a X^b、biomass = a X^bD^c
 - X: 胸高直径や胸高断面積等、D: 比重、a,b,c: 係数
 - Carbon density (C-t/ha) = 0.5 × ∑ b_i / sample area (ha)
 - サンプリ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、サンプリ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

= Gain by growth – 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

= (Carbon stocks_{t2} – Carbon stocks_{t1})/(t2 - t1)

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

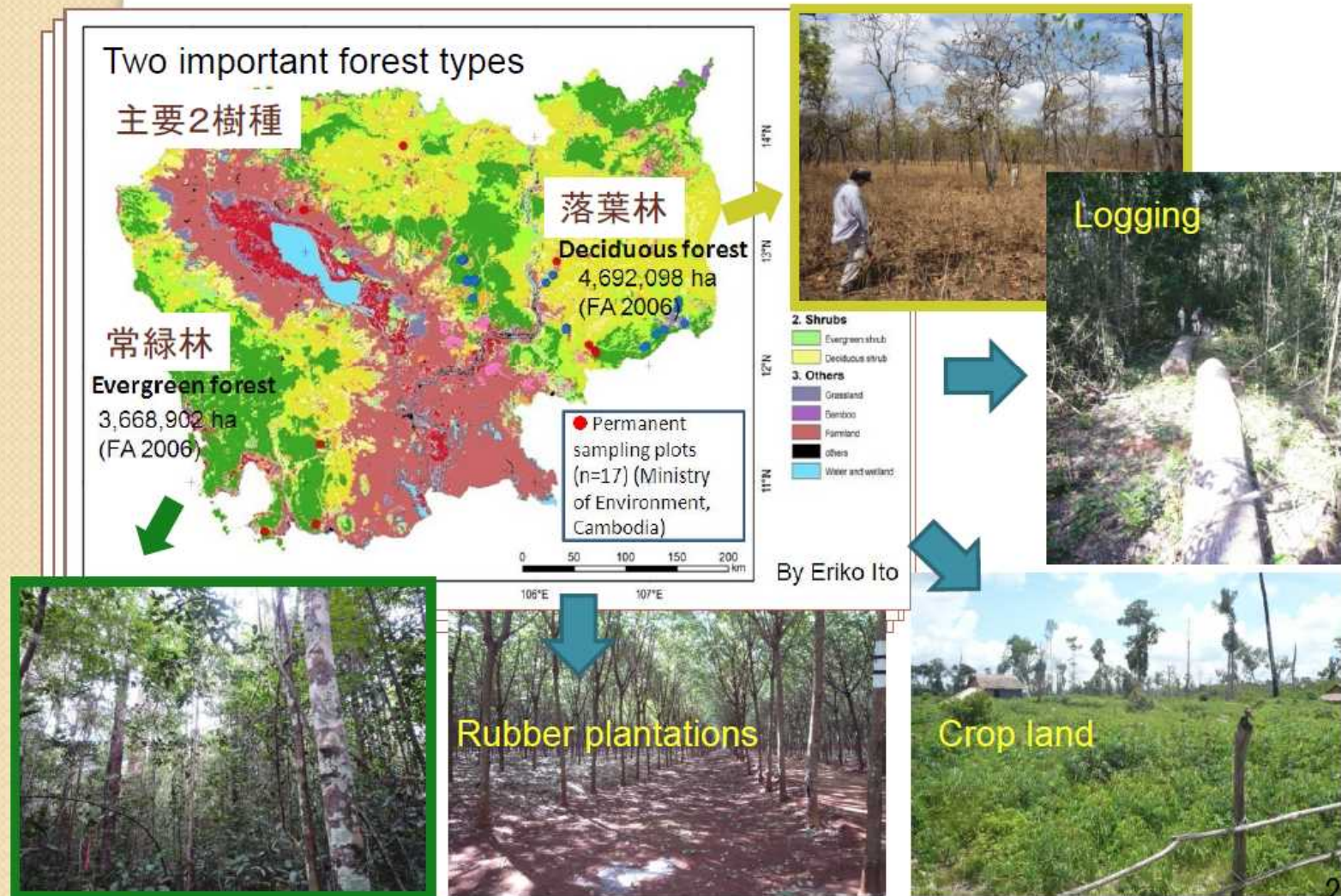
繰り返しの地上調査が必要





カンボジアでの予備的研究の結果

Results of a Preliminary Research Project in Cambodia





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）
- 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

} 今回の推定で利用

- 以下の算定式と係数を用いてバイオマスを推定

$$\text{Tree biomass} = 4.08 \times ba^{1.25} \times D^{1.33} \quad (n = 530, R^2 = 0.981, p < 0.0001)$$

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)

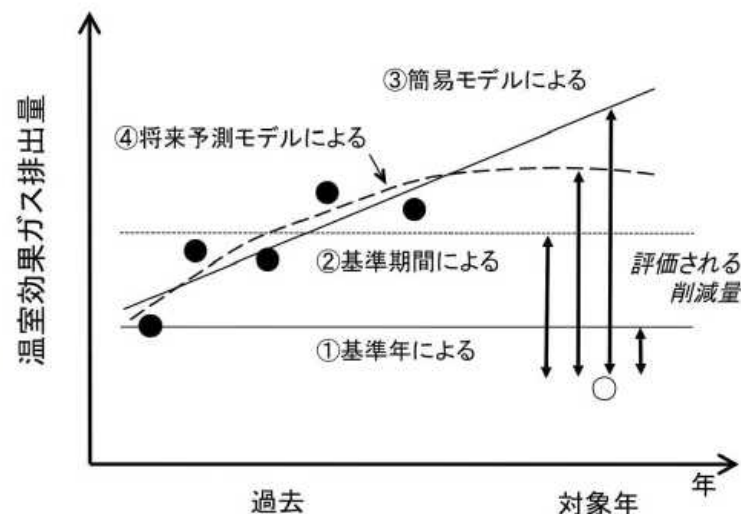




参照レベル (REL/RL)

- 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

- 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





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・ファシリティー（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行われた
- しかし、現在、実効性が失われたのが実態





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
- 日本も早くスタンダードや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





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）





二国間クレジット制度（JCM）

- COPI7において、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
- 新たな排出削減目標と新戦略を2013年11月に発表
 - 2020年において2005年比3.8%削減（うち国内森林吸収量により2.8%）
 - ACE: Actions for Cool Earth（美しい星への行動）攻めの地球温暖化外交戦略
- 排出削減を進めるため二国間クレジット制度（JCM）を開始
- JCMは、途上国への技術供与により排出削減を行うもの
- CDMに似ているが、管理を二国間が作る共同委員会（Joint Committee）が行う
 - 2013年11月現在、モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニヤ、モルジブ、ベトナム、ラオス、インドネシアが合意
- ここにREDD+を位置付ける必要





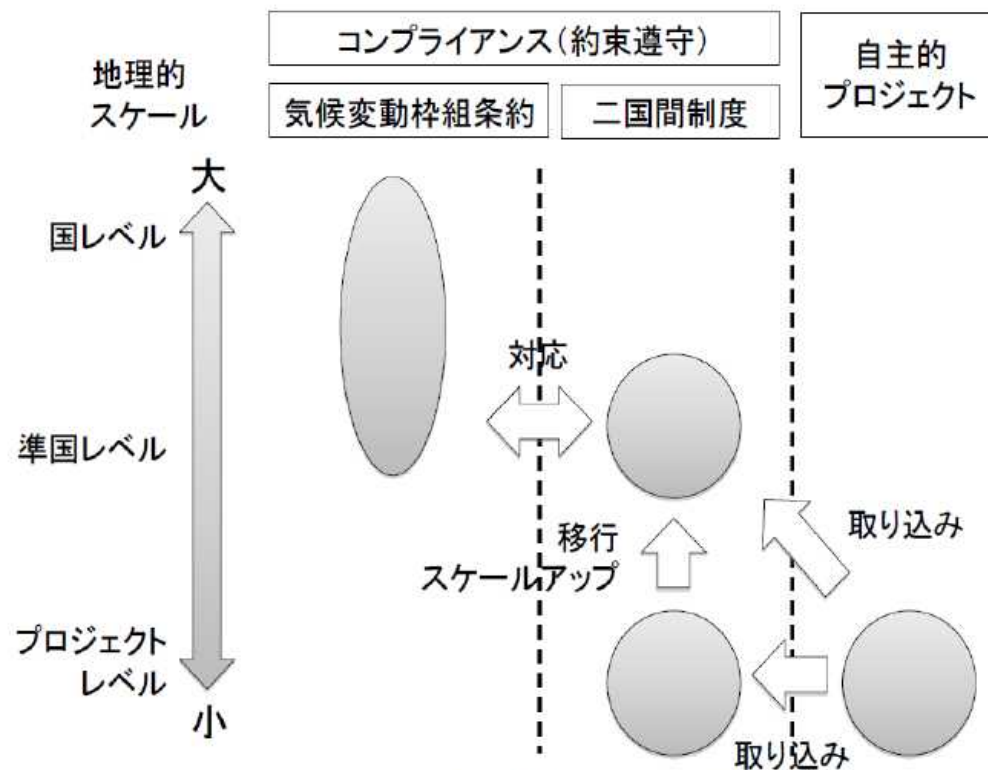
JCMにおけるREDDプラスの課題

- JCM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。





5. REDD研究開発センターの活動





森林総合研究所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



Forestry and Forest Products Research Institute
REDD Research and Development Center

Home

About us

- Overview
- Objectives and goals
- Organization

REDD Information

- Background
- International negotiations
- Status of REDD
- REDD Basics
- Trends in Major Countries

Our activities

- Introduction
- Activities in Cambodia
- Activities in Malaysia
- Activities in South America
- Taiwanese staff Workshops

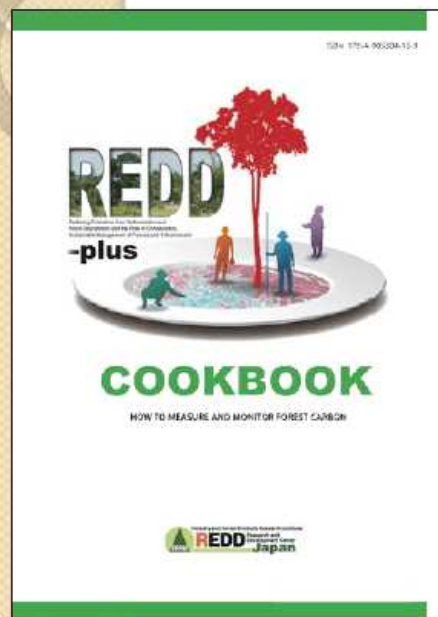
News

- 2011.01.12 [REDD+ Online registration of International Technical Seminar on REDD+ is started](#)
- 2010.10.13 [REDD+ 10th Conference of the Parties Convention on Climate Change \(COP16\), 16th Conference of the Parties of the Kyoto Protocol \(CMP6\) and results](#)
- 2010.11.10 [REDD Research and Development Center opened a new website](#)
- 2010.03.04 [REDD Research and Development Center ceremony held \(report\)](#)
- 2010.01.28 [Comparative research on REDD+ data base in Japan](#)



REDD-plus Cookbook

- REDDプラスのための技術解説書
- 日本語版、英語版、スペイン語版（暫定版）
- 森林総研Web、REDD研究開発センターのサイトからダウンロード可能



Recipe - 103

森林モニタリングの計画・報告・検証 (MRV)

このRecipeは

Recipe 103 REDDプラスの森林モニタリング

MRVとは、計測 (Measurement)、報告 (Reporting)、検証 (Verification) の略称であり、気候変動の緩和のための国際的義務の履行状況や削減の進捗状況、クレジットメカニズムの下での排出・吸収量などを信頼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プラスのための国際レベル・国家レベルでの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) 等の民間の自給型クレジット認証システムの下では、グリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism: CDM) 等の制度設計を参考にしつつ、プロジェクトレベルでのMRVの仕組みについて一定の枠組みが示されている。ここでは、「計測」、「報告」、「検証」それぞれの意味を説明し、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10月23日、パリで開催されたパリ行動計画のCDP13で採択されたパリ行動計画において、気候変動の緩和に寄与する目的で、国際的な義務の履行状況や削減の進捗状況を確認するための重要な要素である。森林モニタリング (Measurement)、報告 (Reporting)、検証 (Verification) する仕組みを、森林モニタリング計画 (MRV Plan) と呼ぶ。MRV計画は、森林モニタリングの計画、報告、検証の仕組みを定める。また、MRV計画は、森林モニタリングの計画、報告、検証の仕組みを定める。また、MRV計画は、森林モニタリングの計画、報告、検証の仕組みを定める。

MRV

MRVの概念は、2007年のCDP13で採択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計画」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検討が続いており、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は、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計画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ともに重要な情報となる。

計測 (Plan 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、森林炭素貯蔵量および森林炭素吸収量、土地利用変化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。すなわち、REDDプラス活動の実施者はUNFCCCの勧告を踏まえ、活動が行われる森林面積の変化や土地被覆変化の排出量・吸収量を算出し計測し (国103-1)、得られたデータにもとづいて温室効果ガスの排出量・吸収量を



算出する。計測結果は、気候変動の緩和に寄与する。計測で一貫性があり、報告の正確で信頼性を高めていく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」も課題になる可能性がある。

報告 (Plan 参照)

「報告」とは、排出・吸収量の推計値やその推計方法、計画、体制、排出削減・吸収削減の進捗状況や削減目標等について、報告先となる国等の機関等に対して所定の形式や手続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、グリーン開発メカニズムや自給型認証システ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異なる形で行われる。そのいずれの場合であっても、報告対象の国は正確に計測し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見られる。UNFCCCは、国等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つの向上を目指すものとしている：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)。





第2章 森林モニタリングシステムの概観

Recipe - I03

森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

この上の Recipe は

Recipe I02 REDD プラスの重要な概念

MRVとは、計測 (Measurement)、報告 (Reporting)、検証 (Verification) の頭文字をとったものであり、気候変動の緩和のための政策の実施状況や約束の遵守状況、クレジットメカニズムの下での排出・吸収量などを客観的に評価可能とするための要件ないしはその仕組みを意味する。REDD プラスのための国レベル・準国レベルでの MRV の仕組みについては現在困難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・パプア新ギニアで実施された気候変動枠組条約 COP13 で採択されたバリ行動計画¹⁾において、気候変動の緩和に関する国内・国際的行動の可視化し、行動の質を確保するために導入された概念である。緩和行動を計測 (Measurement) し、報告 (Reporting) し、それらを検証 (Verification) する仕組みの、それぞれの頭文字をとって MRV (計測・報告・検証) と略称する。例えば、コペンハーゲン合意における国別報告書 (National Communications: NCs) における計測・報告、またそれらを検証する国際評価とレビュー (International Assessment and Review: IAR) が一例である。

INFO

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

INFO

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

MRV

MRV の概念は、2007 年の COP13 で合意されたバリ行動計画¹⁾で「計測可能 (measurable)、報告可能 (reportable) かつ検証可能 (verifiable) な温室効果ガス削減行動や約束」という形で導入された。しかしながら、MRV とは具体的に何を目的に、誰が、何に対して行うものなのか、ということについては現在も国際的な議論が続いており、結論には至っていない。REDD プラスのための森林モニタリングの MRV のモダリティについても 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量の変化や土地面積当たりの排出量・吸収量を繰り返し計測し (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

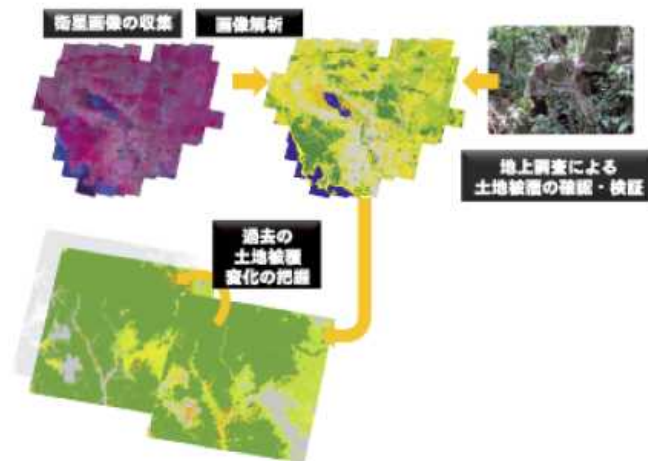


図 I03-1 森林炭素量の変化や土地面積当たりの排出量・吸収量

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、権力正確で不確実性を減少させるものである必要がある。今後はセーフガードや森林の他の機能の「計測」も必要になる可能性がある。

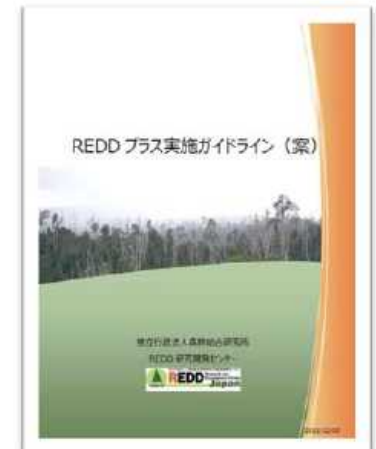
報告 (P05 参照)

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



REDDプラスガイドラインの開発

- 本文：21ページ
- 森林総研REDD研究開発センターWebにて公開
 - <http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/list-01.html>
- 目次
 - Chapter 1. はじめに
 - Chapter 2. プロジェクトへの要請事項
 - Chapter 3. 方法論への要請事項
- 記載方法
 - 求める事項に応じて「要件」,「推奨事項」,「留意点」の3段階
 - 現状では決定できない数値、選択肢は[]書き
- 特徴
 - JCMでの利用を想定
 - 運用性と信頼性のバランス
 - CDMやVCSなど認証制度のガイドラインを参考
 - 制度の進捗に併せて改訂・充実の計画
 - 現在、JCMの様式への変更、改訂を進めている



日本語版(2013.3)



英語版(2013.11)





REDDプラスのDVD

- 「REDDプラスの実現を目指して」
- 本編25分、短縮版10分
- 8カ国語
 - 日本語、英語、仏語
 - ポルトガル語、スペイン語
 - クメール語、ラオ語、
 - インドネシア語
- インターネットでも公開
 - REDDセンターのWebから
- DVDの送付要請は直接REDDセンターへ
 - E-mail: [redd-rd-center@ffpri.affrc.go.jp](mailto:red-d-center@ffpri.affrc.go.jp)





- おわり





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 2 章

REDDプラスに係る 国際的な議論の趨勢

三菱UFJリサーチ&コンサルティング
平塚基志



平成25年度REDDプラスに係る森林 技術者講習会(基礎講習) **REDDプラスに係る国際的な議論の趨勢**

平塚 基志(三菱UFJリサーチ&コンサルティング)



REDDプラスの位置付け



森林減少・劣化対策の科学的位置づけ -1

- 地球上の森林面積は約40億haであり、陸域の約30%を占めている。
- FAOの報告によると、2000～2005年の森林減少面積は、平均で約1,300万haに達しており、日本の国土面積の約1/3と同じ面積の森林が、減少したことになる。

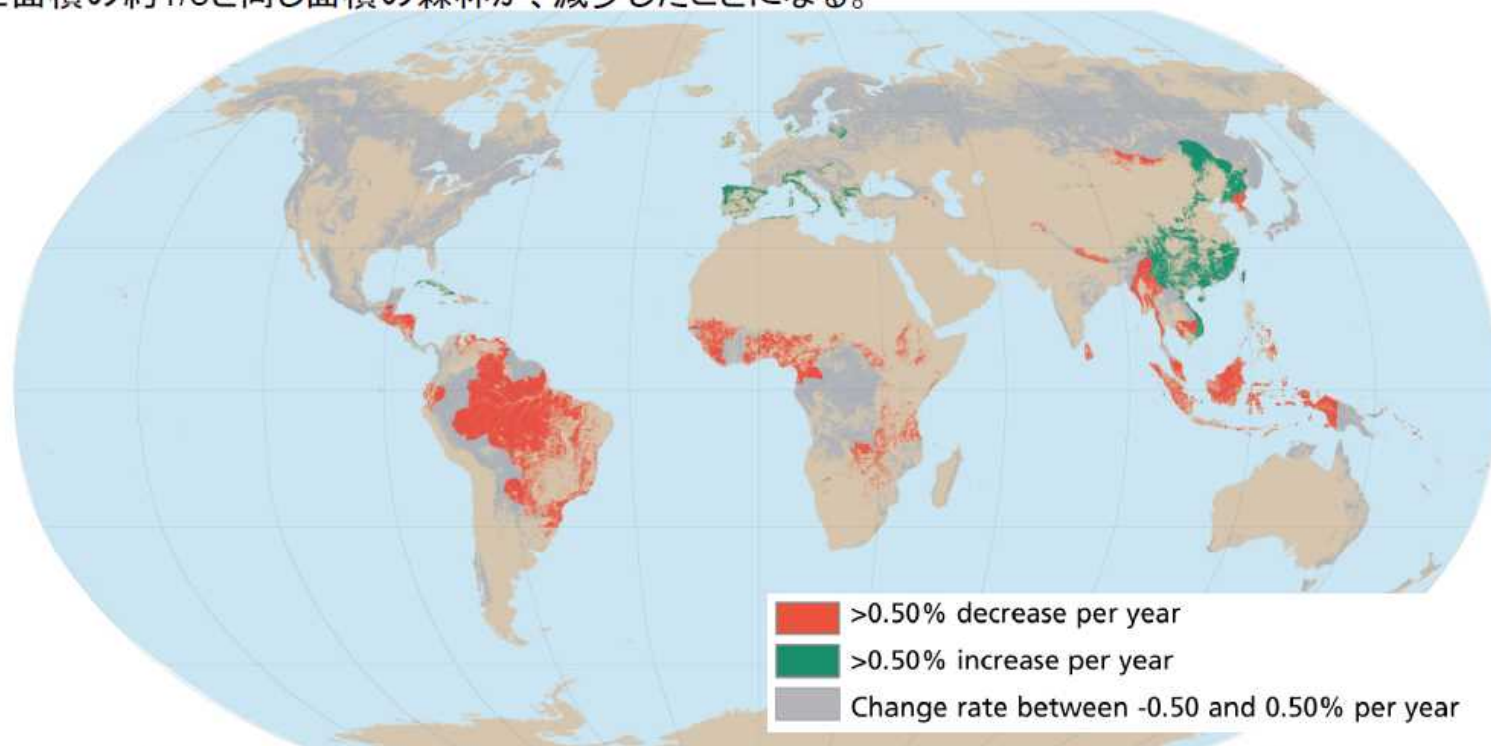


図 2000～2005年における世界の森林面積の変化(出典: FAO FRA2005)



森林減少・劣化対策の科学的位置づけ -2

- セクターごとに温室効果ガスの排出割合を見れば、化石燃料に由来する温室効果ガスが50%以上を占める。ただ、その次は森林減少・劣化による温室効果ガス排出量であり、全体の17.4%を占めている。

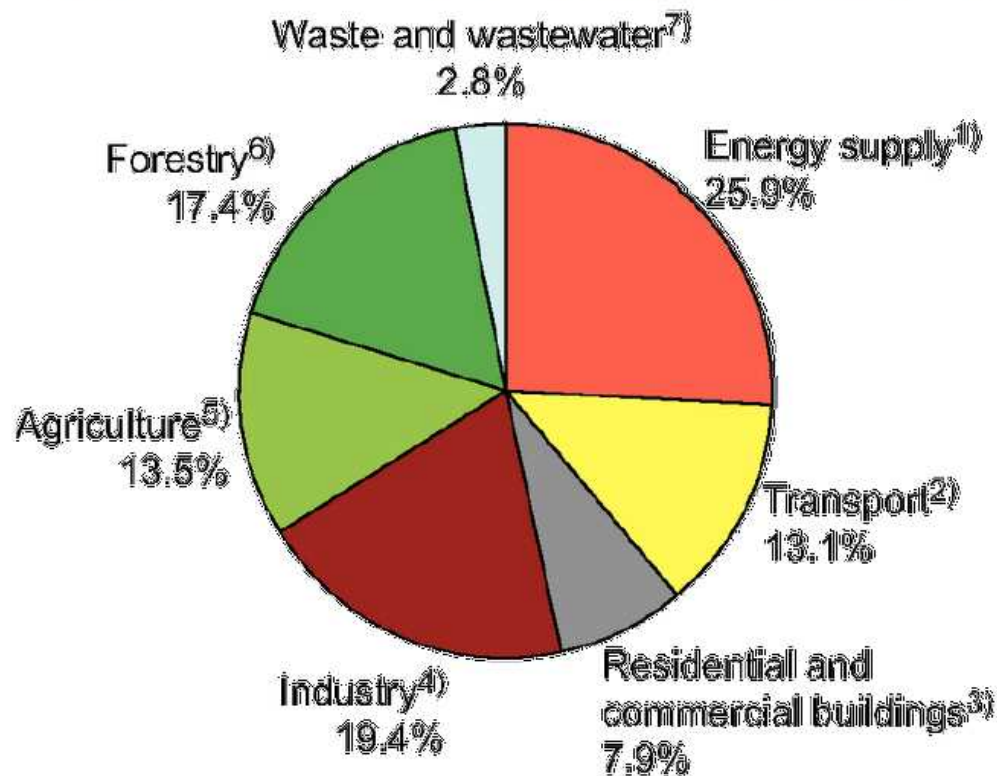


図 2004年におけるセクター別の温室効果ガス排出量(出典: IPCC AR4)



森林減少・劣化対策に期待される生物多様性保全

- コンサベーション・インターナショナルは、「地球規模での生物多様性が高いにも関わらず、破壊の危機に瀕している地域(ホットスポット)」を選定している。
- 多くが熱帯地域であり、REDDプラス実施は生物多様性の保全とも密接に関係している。

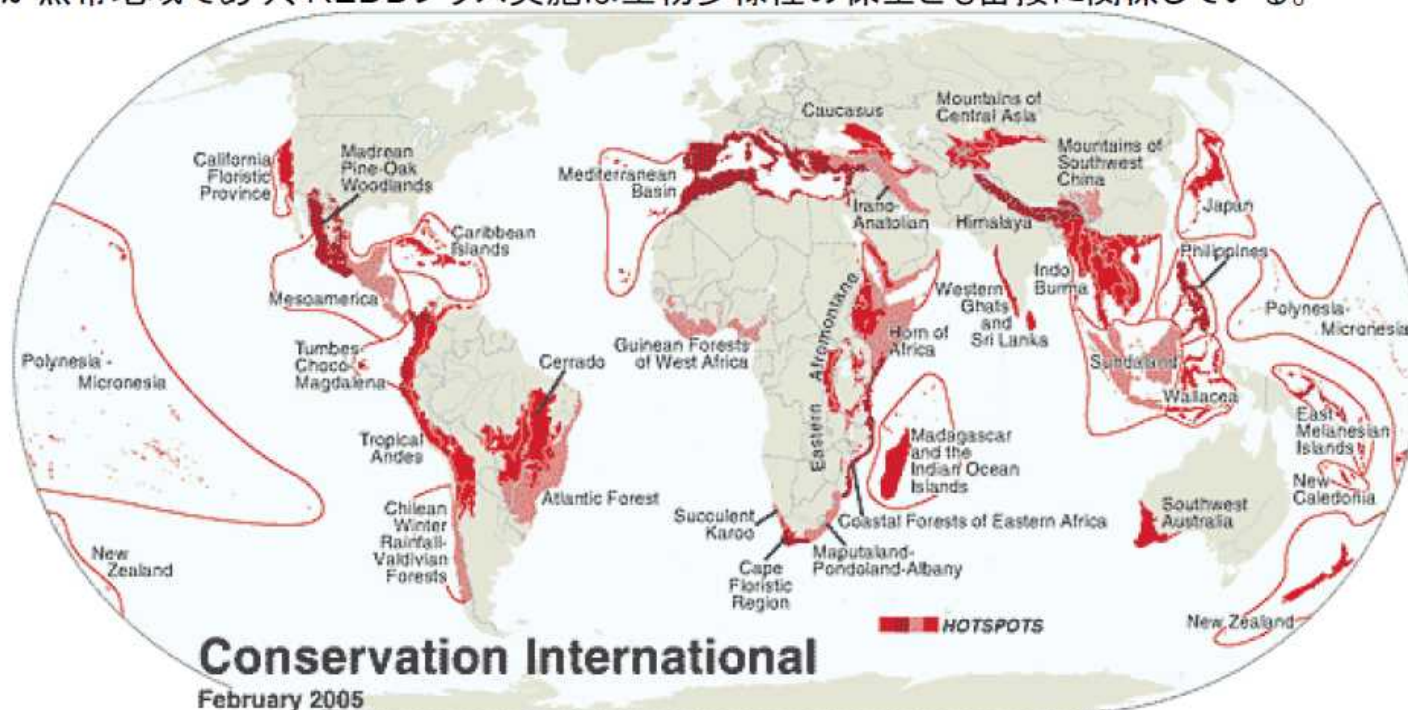


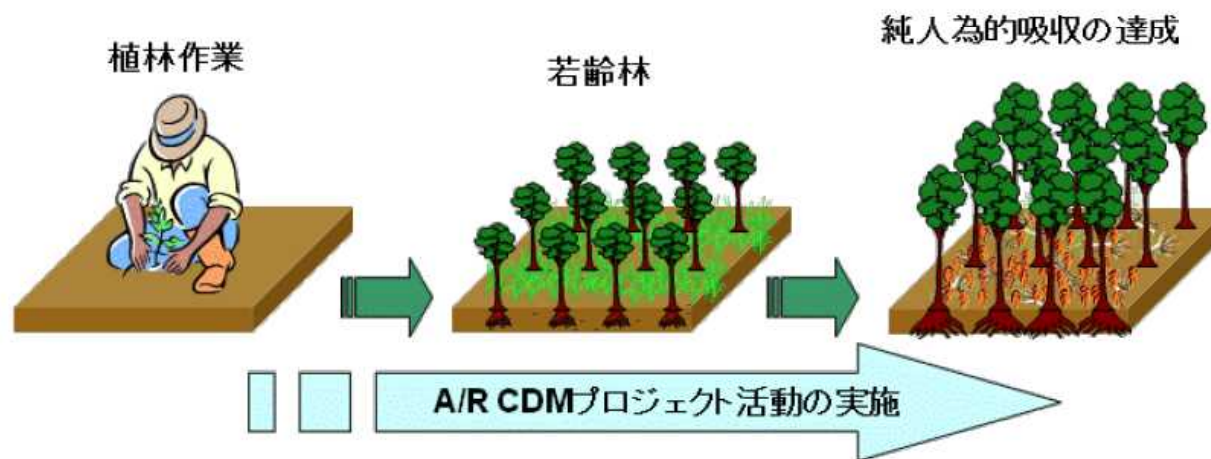
図 生物多様性ホットスポット(出典: コンサベーション・インターナショナルWebサイト)



A/R CDMとREDDプラスの違い - A/R CDMとは? -

■ A/R CDMとREDDプラスの違いは何か？

- ⇒ 非森林地から森林への土地利用変化(土地転用)分を定量化することになるが、土地利用変化のあった面積は比較的算定しやすい。
- ⇒ 植林活動は分かりやすい。植林された森林の成長量を算定するのであり、森林の成長に関する研究成果に基づくことができる。



A/R CDMでの吸収量の位置付け(非森林から森林への土地転用)



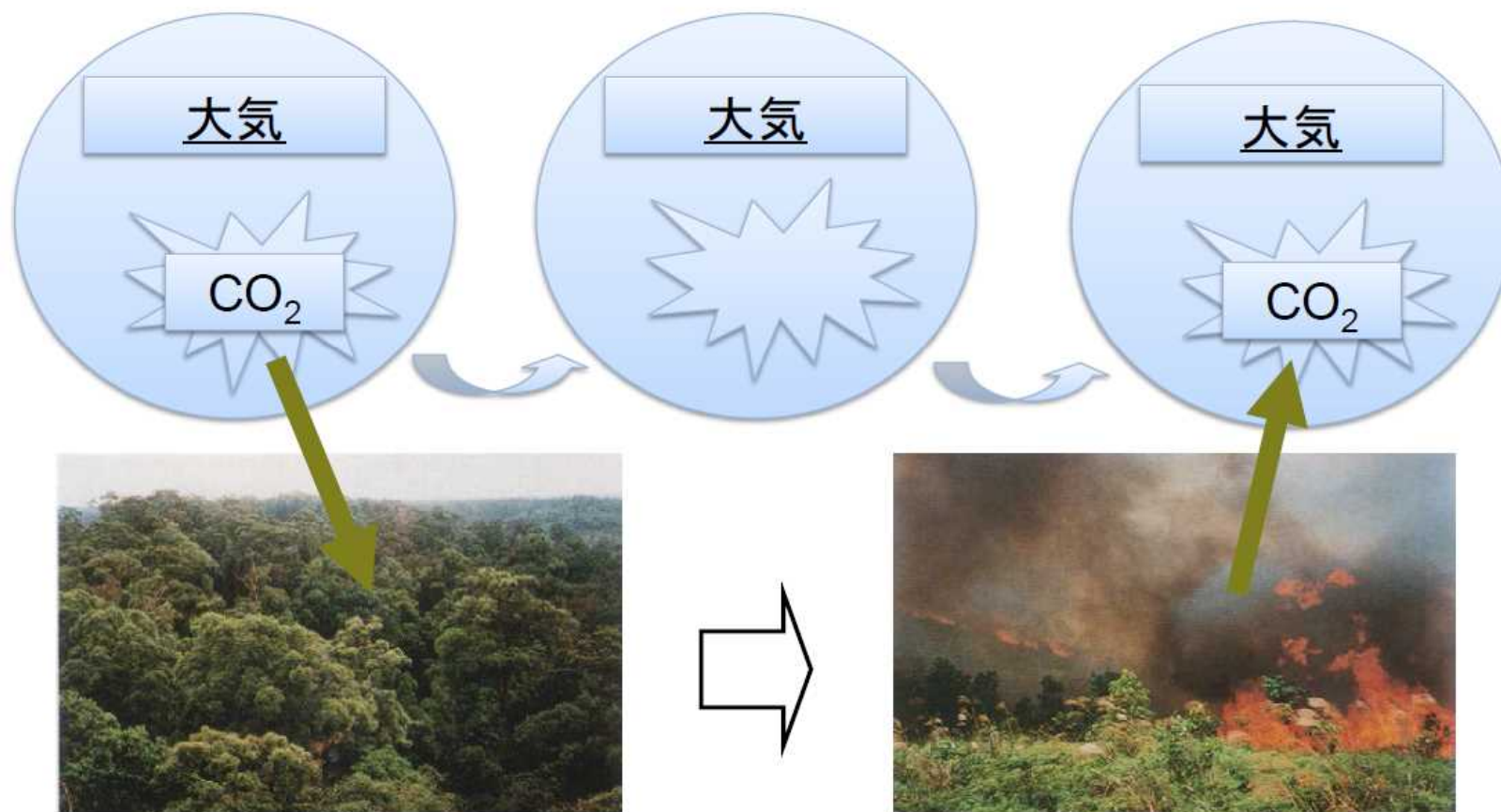
A/R CDMとREDDプラスの違い - おまけ・・・ -



出典：森川(2013)



A/R CDMとREDDプラスの違い - REDDプラスとは? -



Photos; E. Guhardja et al ed. Rainforest Ecosystems of East Kalimantan. Springer, 2000

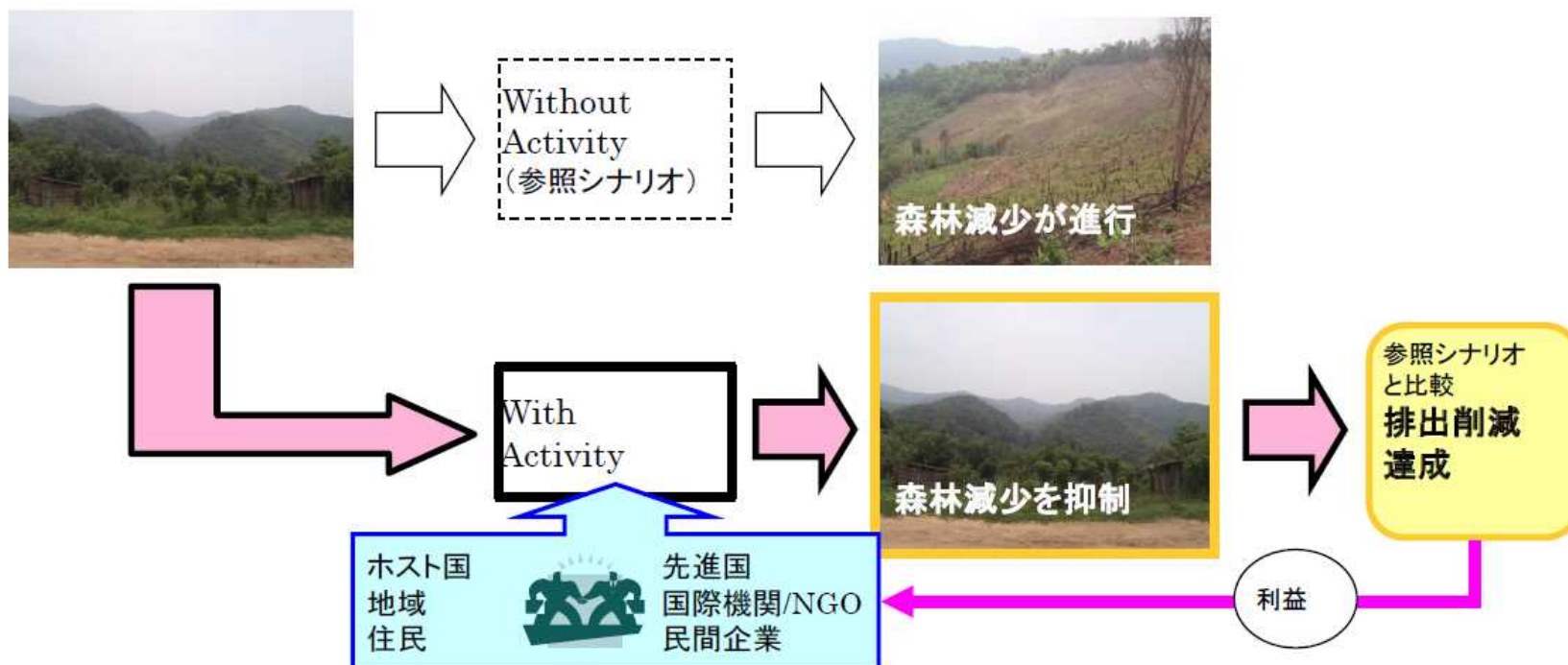


A/R CDMとREDDプラスの違い - REDDプラスとは -

REDDプラス

途上国における**森林減少・劣化を抑制**しようとする努力に対してインセンティブを付与する**気候変動緩和策**

- ①森林減少からの排出削減
- ②森林劣化からの排出削減
- ③炭素ストックの保全
- ④持続可能な森林管理
- ⑤炭素ストックの増大





UNFCCCにおけるREDDプラスの交渉



UNFCCCにおけるREDDプラス交渉

- 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。
- 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。

気候変動枠組条約 (UNFCCC)

京都議定書締約国会合 (COP/MOP)

AWG-KP

京都議定書の下での先進国の義務 (数値目標) について、2013年以降 (次期枠組) のあり方を検討する場である。先進国の吸収源活動も議題の1つ。

締約国会議 (COP)

AWG-LCA

COP13で設置された2013年以降の枠組について議論する場であり、緩和対策の1つとしてREDDプラスが挙げられている。

ADP

全ての国が参加する将来の枠組について、議定書等の法的文書を作成するためのプロセス

補助機関会合

SBSTA

科学的、技術的な事項を取り扱う常設の検討する場である。REDDに関する議題としてREDDプラス技術的課題への対処、隔年更新報告書等がある。

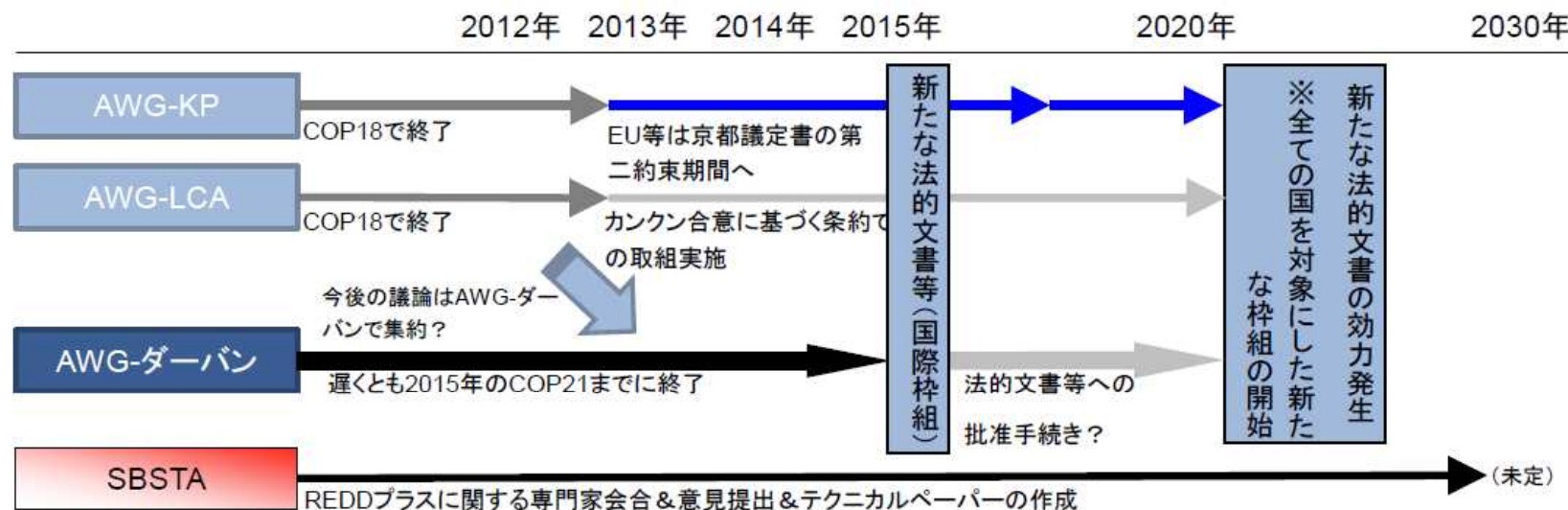
SBI

条約の実施に関する事項を取り扱う常設の会合である。議題として、予算、会議予定、各国報告の審査方法等がある

議題ごとに専門家会合等も開催



UNFCCCにおけるREDDプラス関係の交渉スケジュール



		●国別報告書(NC)の提出/隔年更新報告書(BUR)の提出	
REDDプラスのホスト国(途上国)の取組	UNFCCC対応	●SBSTAやAWG-LCAへの意見提出	※NCにはセーフガードに関する情報を提出する可能性あり ※BURは2014年12月に提出し、LULUCF分野を含めたGHGインベントリ情報を含む
	国内対応	●GHGインベントリ作成等に向けた国内体制の整備 (二国間オフセット・クレジット制度への対応も進む?)	
REDDプラスへの投資国(日本等)の取組	UNFCCC対応	●2014年以降に隔年報告書(BR)を提出(2014年は国別報告書&隔年報告書)	※BRには途上国支援について要記載。途上国から獲得見込みのクレジット量を記載する可能性もあり。少なくとも途上国との連携状況は要記載。
	国内対応	●2013年以降: 二国間オフセット・クレジット制度におけるREDDプラスを緩和対策とする見込み ※(仮)新・目標達成計画(2012年末を目処に作成?)でREDDプラス実施により獲得見込みのクレジット量を試算する可能性あり。	



UNFCCCにおけるREDDプラスの技術的課題への対処

【REL/RL】

堅牢かつ高い透明性を確保した
REL/RLの設定が求められる。

【国家森林モニタリングシステム】

国もしくは準国ベースで森林面積
や森林炭素ストック量の定量化に
あたっては、国家森林モニタリ
ングシステムの整備・運営を欠かす
ことができない。

画像解析及び地上調査で定量化
した複数時点のGHG排出量

GHG排出量

プロジェクト実施しなかった場合 = 参照レベル

※過去のトレンドに加えて、国の状況(National
Circumstances)の反映が大きな課題となっている。

GHG排出削減量・GHG吸収量

※REDDプラス活動により、「活
動による効果」をGHG排出削減
量として定量化する必要がある。

【MRVシステム】

REDDプラス活動で得られ
たGHG排出削減・吸収量
の算定には、十分なMRVシ
ステムの適用が必要になる。

プロジェクト実施によるGHG排出・吸収量
※REDDプラス実施で、GHG排出量が減少する。

【ドライバー特定】

REDDプラス実施後のGHG排出量
を試算/算定するためには、森林減
少・劣化のドライバーを特定し、そ
れらへの対処を行った際の効果を
定量化する必要がある。

過去の森林減少・劣化によりGHG排
出量の算定(トレンド解析)

過去のトレンド及びNational Circumstances
に基づきGHG排出量を推定

【セーフガード】

REDDプラス実施でGHG排出削減・吸収量を獲得でき
ても、他に負の影響がでないよう配慮する必要がある



SBSTAでのREDDプラスへの対処

SBSTA	国家森林モニタリングシステム	---->	◎ <u>COP19で採択予定。</u>
	森林減少・劣化のドライバー	---->	◎ <u>COP19で採択予定。</u>
	セーフガード	---->	◎ 提供の時期や頻度の決定案に合意。 <u>COP19で採択予定。</u>
	MRV(測定・報告・検証)	---->	○ <u>COP19で採択予定。</u>
	REL/RL(参照レベル)	---->	○ <u>COP19で採択予定。</u>
	非炭素便益	---->	△ 各国に意見提出を招請。 <u>SBSTA40で検討。</u>
	非市場型アプローチ	---->	△ 各国に意見提出を招請。 <u>SBSTA40で検討。</u>
SBSTA /SBI (IBAWG-LCA)	REDDプラス実施の支援調整	---->	△ 第1回WSを開催。SB39で検討。
	結果に基づくファイナンス	---->	△ 第1回WSを開催。COP19で決定文を採択予定。



REDDプラスへの各国ポジション

- REDDプラスについて各国は総論では賛成の立場である。ただし、個別には若干の意見齟齬がある。
- 以下は2010年の各国意見に基づく整理だが、その後の交渉で各国の歩み寄りがあり、現在は大きな意見齟齬はない。

【市場メカニズム方式】

【市場メカニズム方式を支持】
米国

【市場メカニズム方式を推奨（排除しない）】
EU、コロンビア

【複合型（複数のチャンネル推奨）】
日本、ノルウェー、豪州、インド、PNG、ツバル、メキシコ、ガイアナ、インドネシア

【基金方式を支持】
ブラジル、ボリビア、ニカラグア

【基金方式】

推奨するメカニズム方式

- ・米国は国内の自主的市場の動向も受けて、市場メカニズムを支持するポジション。
- ・EU、ノルウェー、日本等は結論を予断しない態度だったものの、複数の資金源を許容するポジション。
- ・ブラジルは国内の森林減少に十分な資金収集が可能になることから、基金方式を支持するポジション（※1）。
- ・ボリビアは市場メカニズム（世界経済）に自国の土地利用が制約されることを懸念し、市場メカニズムに強く反対のポジション。

【REDDプラスの対象を拡大】

【REDDプラス（森林経営含む）を支持】
米国、中国、インド、PNG、スリナム、ガイアナ

【REDDプラス（森林経営を含む）を推奨】
EU、ノルウェー、カナダ

【森林減少・劣化を優先】
日本、オーストラリア、ニュージーランド、ツバル、コロンビア

【森林減少に限定を支持】
ブラジル、インドネシア

【REDDプラスの活動を限定】

REDDプラスとして含める活動

- ・中国、インド、スリナム等は森林減少・劣化が既に抑制されており、森林経営（吸収）分を活動に含めないとクレジットを確保できないことから拡大を支持（※2）。
- ・ブラジルやインドネシアは自国内の森林減少が世界的に大きな割合であることから、まずは森林減少に限定すべきというポジション（※1）。

※1: 世界の森林減少はブラジル、インドネシア、コンゴ民等の上位10カ国で80%を占めている。そうした国にとっては、森林減少を中心とした取組が求められる。
※2: その場合はREDDプラス実施による資金・技術支援の公平性を確保しにくいことから、REDDプラスの対象拡大が大きな議論となった。



REDDプラスの実施方法(フェーズドアプローチによる段階的な実施)

- 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。

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

基金方式

REDDプラス実施に必要な基盤整備を進める(農村開発、土地利用計画の策定、ガバナンス構築支援、及びREDDプラスに関する普及啓発等)。小規模なパイロットプロジェクトから段階的に面的拡大を進めていく。

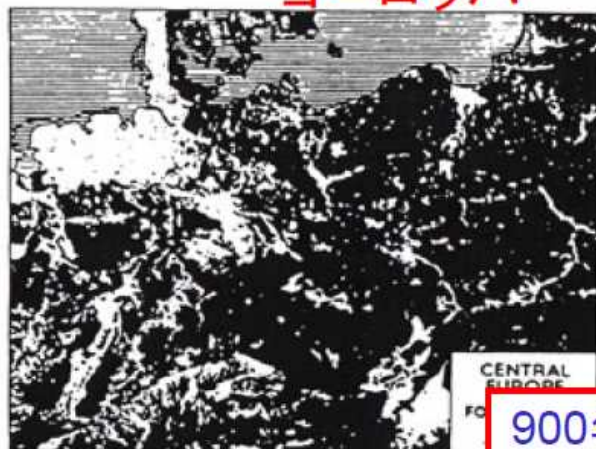
市場メカニズム方式

市場メカニズム方式に基づく取組を進めていく。



REDDプラスへの期待の裏側で...

ヨーロッパ

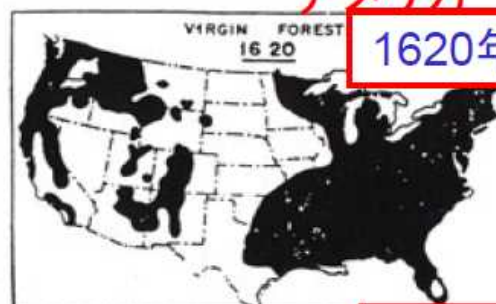


900年代

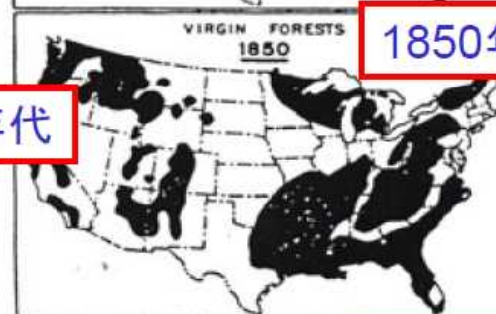


1900年代

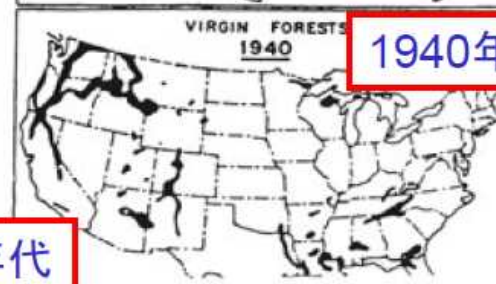
アメリカ



1620年代

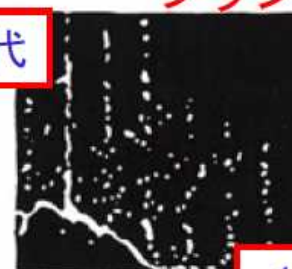


1850年代



1940年代

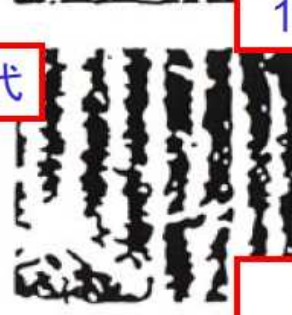
ブラジル



1973年



1976年

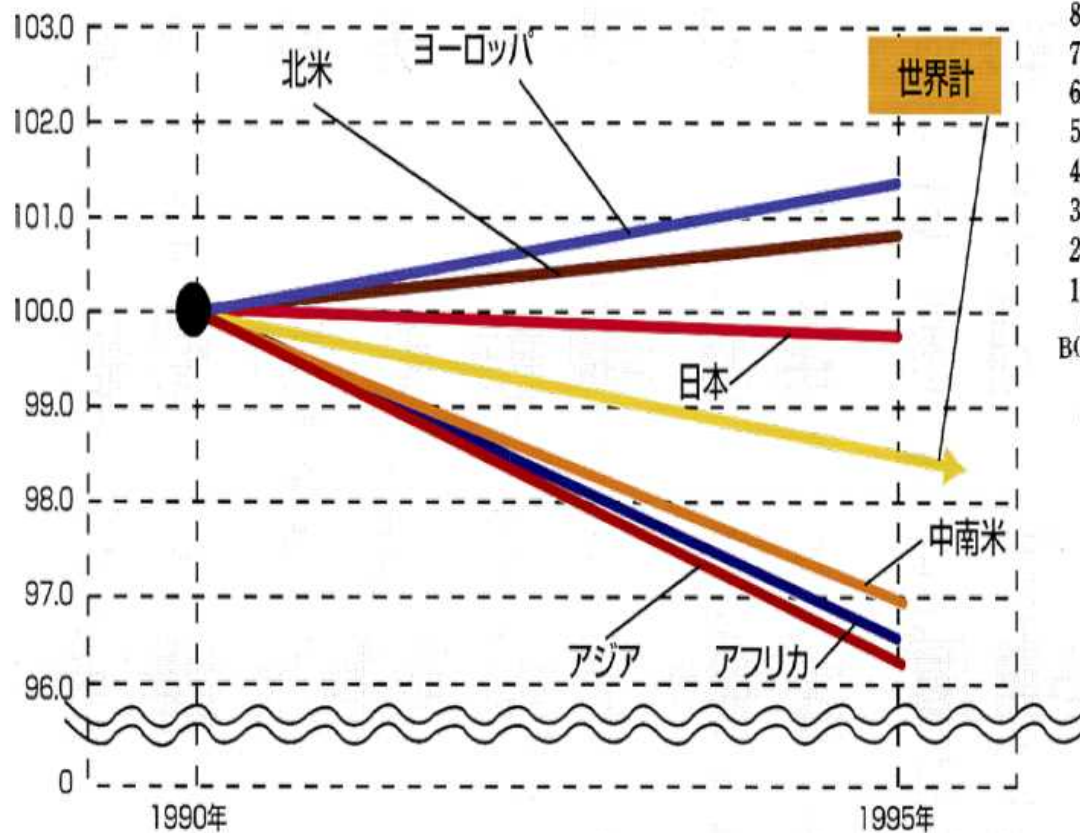


現代

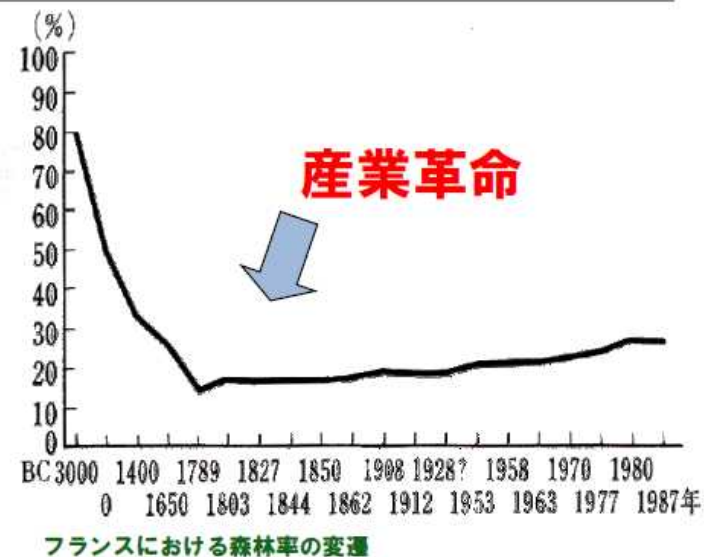
出典：森川(2013)



REDDプラスへの期待の裏側で...



1990年を基準 (100) としたときの森林の変遷



基準年をいつにするか・・・？



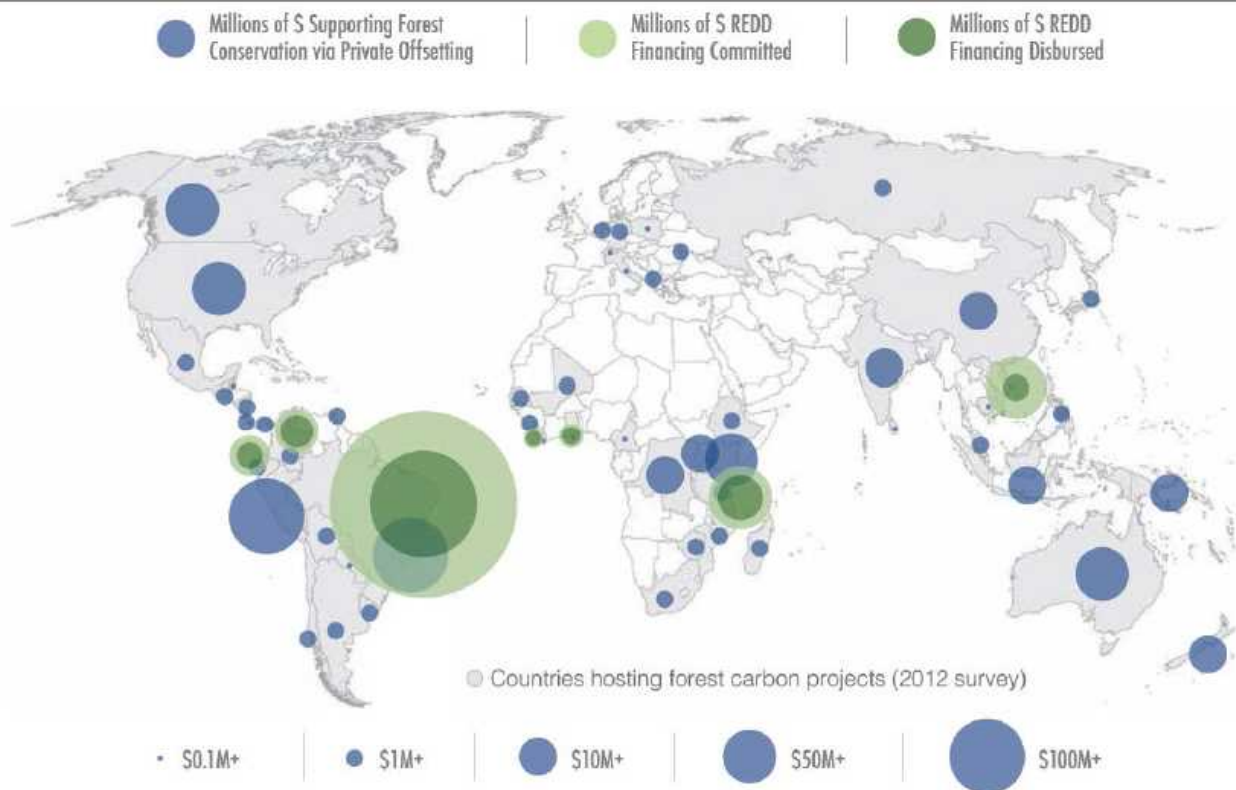
出典：森川 (2013)



UNFCCCの枠組み外におけるREDDプラス への取組



炭素市場におけるREDDプラスの状況 -1



Notes: Based on value associated with all years of "State of" forest carbon market tracking and REDD finance data sourced from reddx.forest-trends.org, as of October 2013.

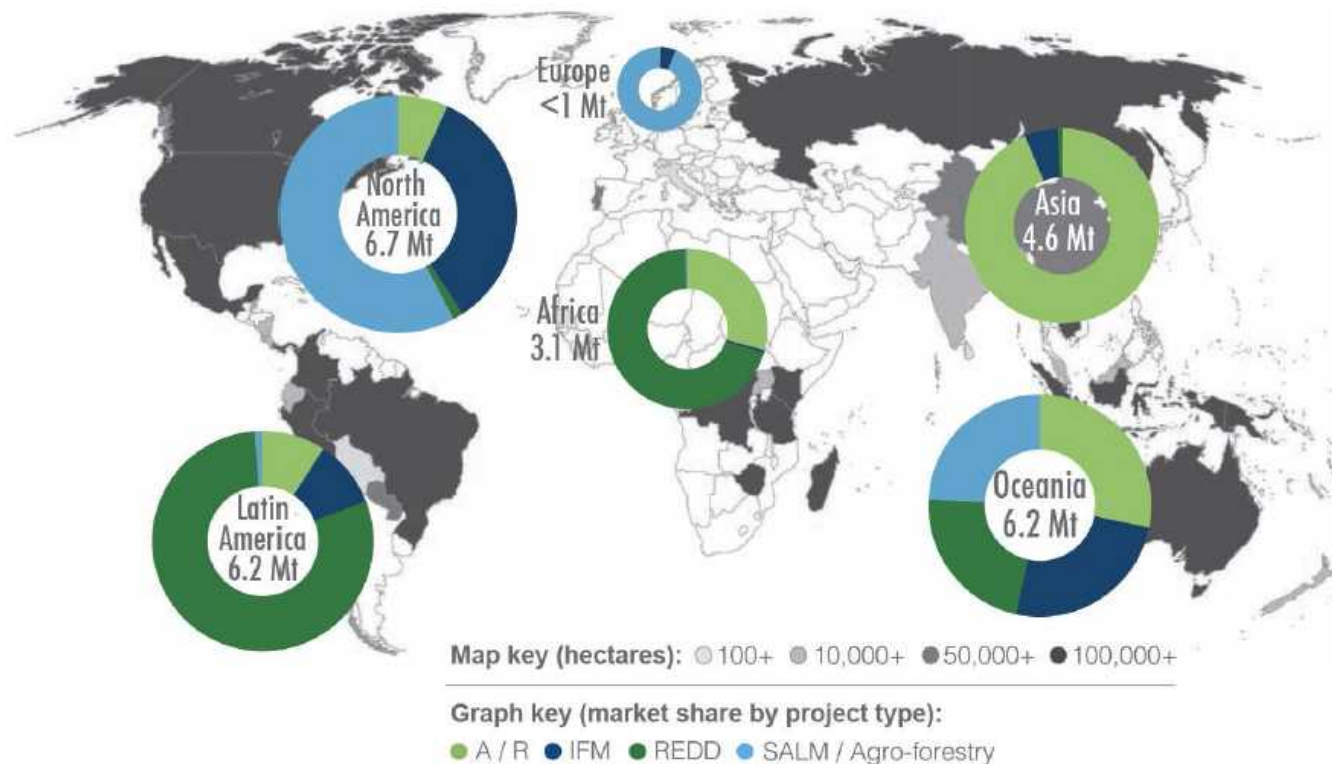
Source: Forest Trends' Ecosystem Marketplace. *State of the Forest Carbon Markets 2013*.

☒ Comparison of Project- and Country-level Forest Finance, All Years

出典: Peters-Stanley M. et al (2013)



炭素市場におけるREDDプラスの状況 -2



Notes: Based on responses associated with 26.5 million hectares of carbon project area and 27 MtCO₂e transacted.

Source: Forest Trends' Ecosystem Marketplace. *State of the Forest Carbon Markets 2013*.

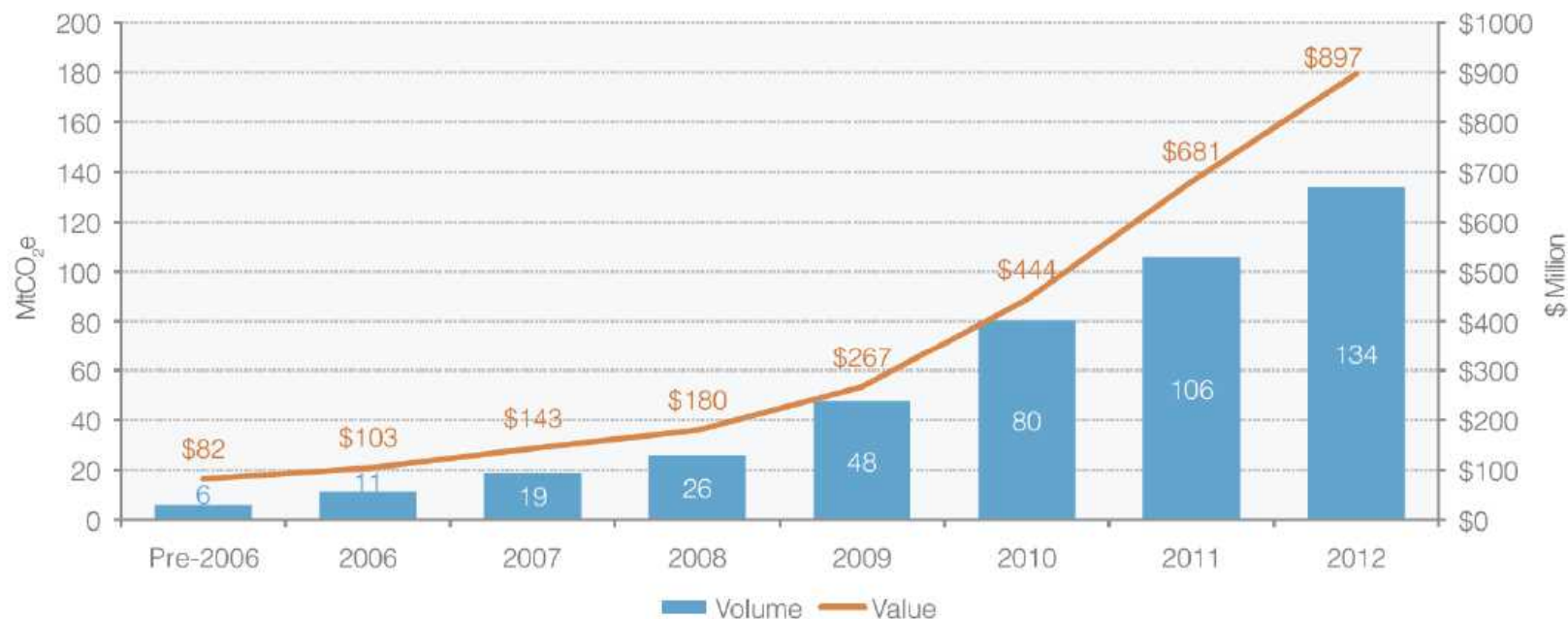
☒ Hectares Impacted by Country Location; Total Regional Transaction Volume and Share by Project Type (Total Hectares by Country and % Share)

出典: Peters-Stanley M. et al (2013)

20



炭素市場におけるREDDプラスの状況 -3



Notes: Based on data reported by 513 AFOLU projects and countless offset suppliers over eight years.

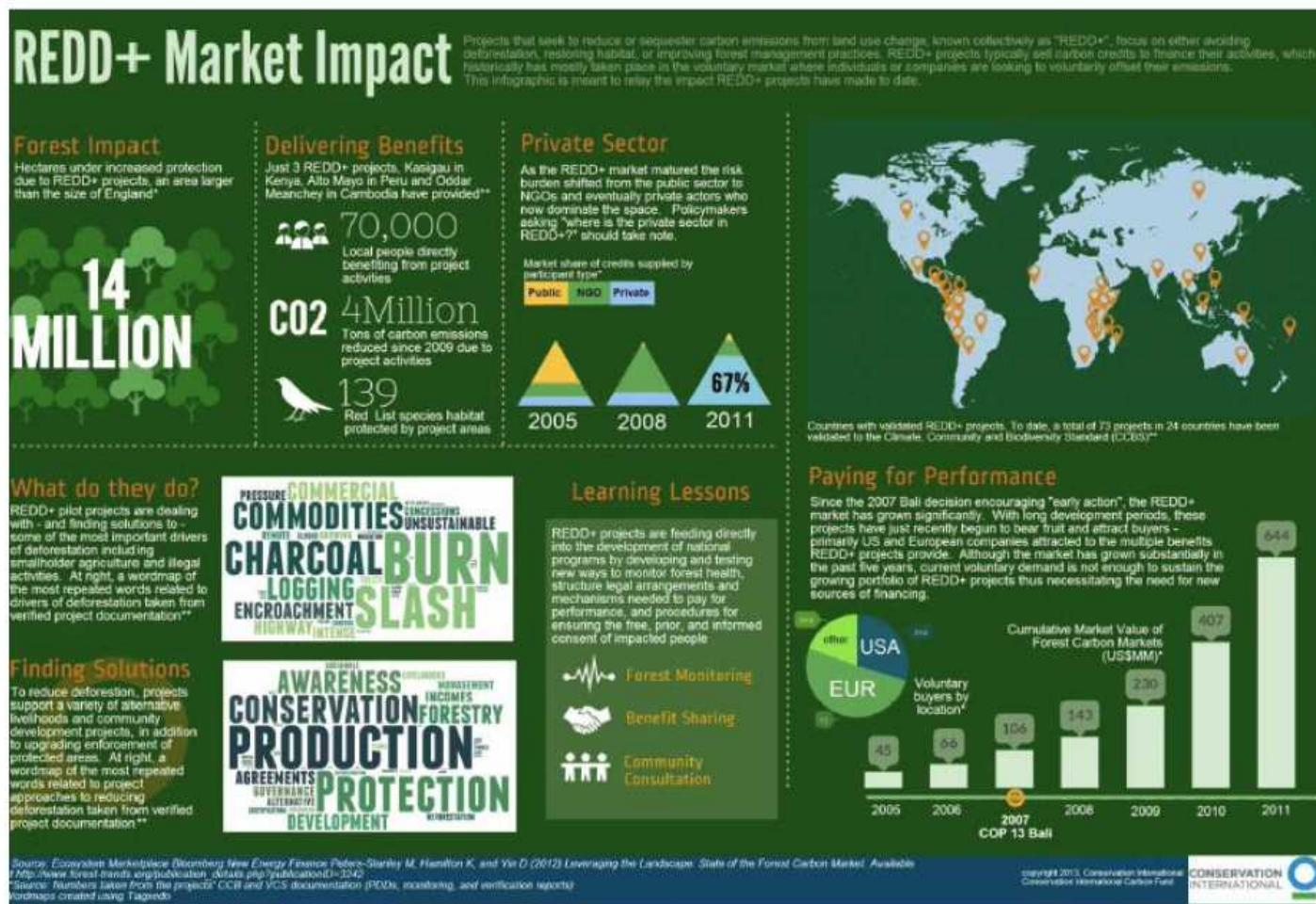
Source: Forest Trends' Ecosystem Marketplace. *State of the Forest Carbon Markets 2013*.

図 Cumulative Forestry Offset Transaction Volume and Value, All Markets

出典: Peters-Stanley M. et al (2013)



ご参考：REDDプラス実施のインパクト





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

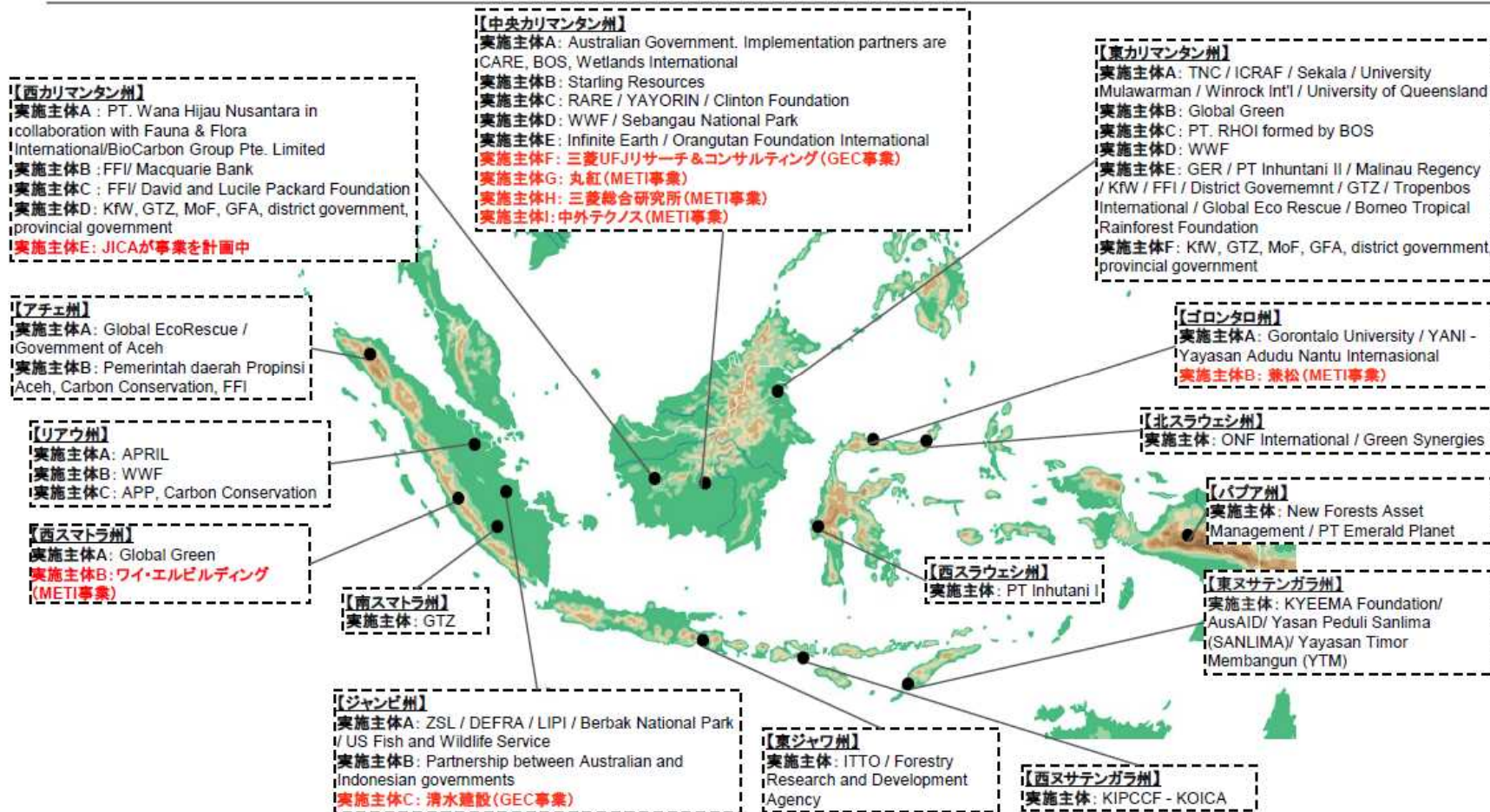


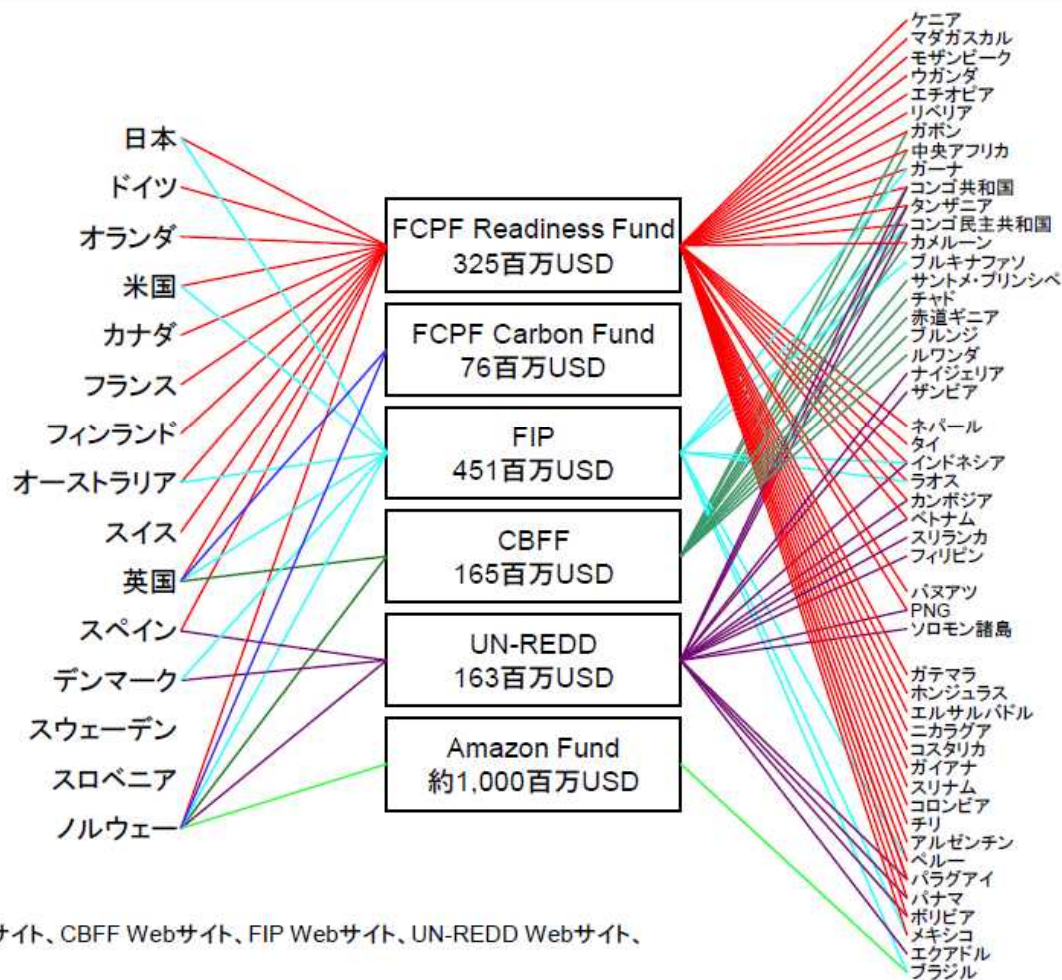
図 インドネシアにおけるREDDプラスDemonstration Activityの実施状況

出典: REDD-I Webサイト(2012年9月24日確認)



国際的な基金でのREDDプラスへの取組状況

- 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カ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カ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カ国に達しており、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



REDDプラスへの取組（俯瞰図）



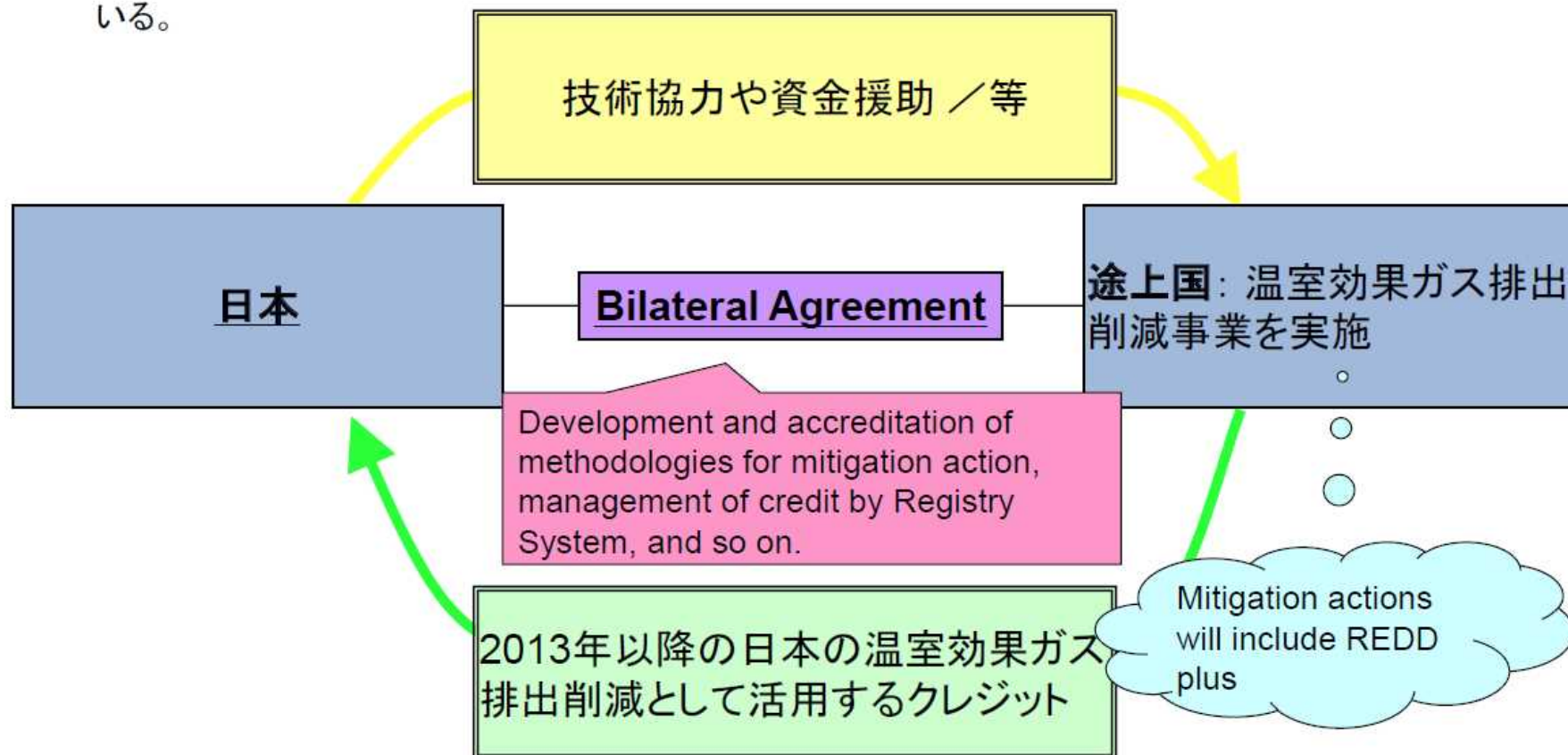


国内でのREDDプラスへの取組



二国間クレジット制度(JCM)の概要

- 日本では外務省、経済産業省、そして環境省を中心に、二国間オフセット・クレジット制度(BOCM)の活用に向けた取組が進められている。このBOCMでは、REDDプラスが緩和対策の1つとして注目されている。





2013年以降の地球温暖化対策の枠組

- 京都議定書で排出削減義務を負わないものの、UNFCCCに提出した排出削減目標(2020年には1990年比でマイナス25%)は国際公約となっている。
- この公約に向けて、JCM構築が関係省庁で進められている。





国内におけるREDDプラスへの取組 -1

【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、二国間クレジット制度(JCM)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。



国内におけるREDDプラスへの取組 -2

【主だったREDDプラスへの取組状況】

- JCM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JCM合意・署名国（及び候補国）を対象に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処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。



ご参考：経済産業省及び地球環境センター(環境省)のFS事業(2013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・ゴロンタロ州ボアレモ県の現地政府・コミュニティと共に実施するREDDプラスパイロットプロジェクト	2011年度から継続(2011年度はGECで実施)
コンサベーション・インターナショナル・ジャパン	ペルー共和国(ペルー)サンマルティン州を対象とした二国間クレジット制度(JCM)の構築のための森林の減少・劣化の防止等(REDDプラス)の実現可能性調査	新規
日本森林技術協会	ラオス国ルアンプラバン県におけるREDDプラス実現可能性調査	新規
丸紅	インドネシア・中央カリマンタン州におけるREDDプラス事業性調査	2010年度から継続
三菱総合研究所	インドネシア・中部カリマンタン州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	2011年度から継続(2011年度は住友商事が主査)
ワイ・エルビルディング	インドネシア共和国南スマトラ州保護林におけるREDDプラス事業化に向けた事業許可取得並びに実現可能なモニタリング手法の確立及び提案	2011年度から継続

出典：野村総合研究所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
住友林業	森林管理支援と生計向上によるREDDプラスと小規模バイオマス発電	2011年度から継続
三菱総合研究所	情報通信技術を活用したREDDプラス事業実施の効率化	新規

出典：地球環境センターWebサイト



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 3 章

CookBookについて

一般社団法人 日本森林技術協会
宗像 和規



CookBookとは

REDD プラスでは、途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組みによるCO₂の排出削減、森林保全等によるCO₂の排出防止および炭素固定による大気中のCO₂の削減に対して、何らかの経済的インセンティブを与えるということが基本的な考え方である。

そのため、排出削減量の評価には科学的なアプローチによって森林炭素の変化量をモニタリングすることが求められる。

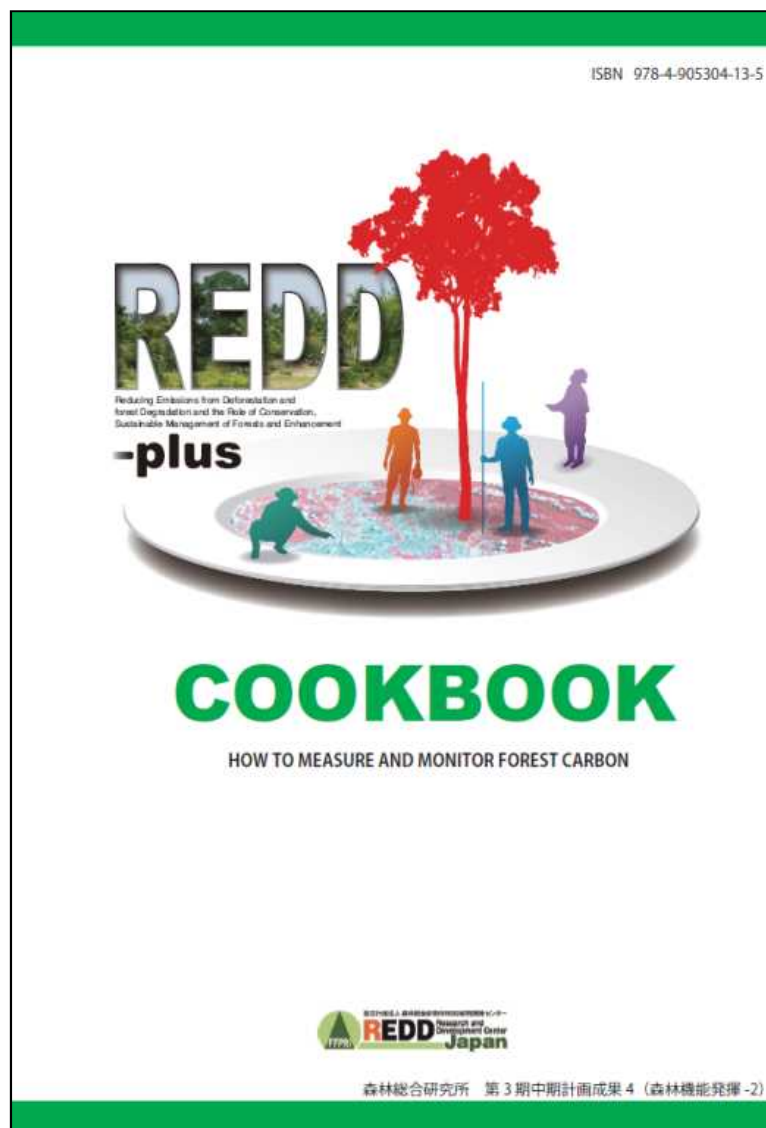


CookBook

REDD プラスに取り組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目してわかりやすく説明した技術解説書。平成23年度に(独)森林総合研究所REDD研究開発センターが作成。



CookBook外観 ～表紙～



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute
〒305-8687 茨城県つくば市の里1
編集・発行 REDD 研究開発センター
REDD Research and Development Center
TEL.029-829-8365 FAX. 029-829-8366
URL:<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/index.html>
E-mail: red-d-center@ffpri.affrc.go.jp
お問い合わせ先 REDD 研究開発センター または
編集発行係
029-829-8125, e-mail: kanikog@ffpri.affrc.go.jp

リサイクル適性の表示：紙へのリサイクル可

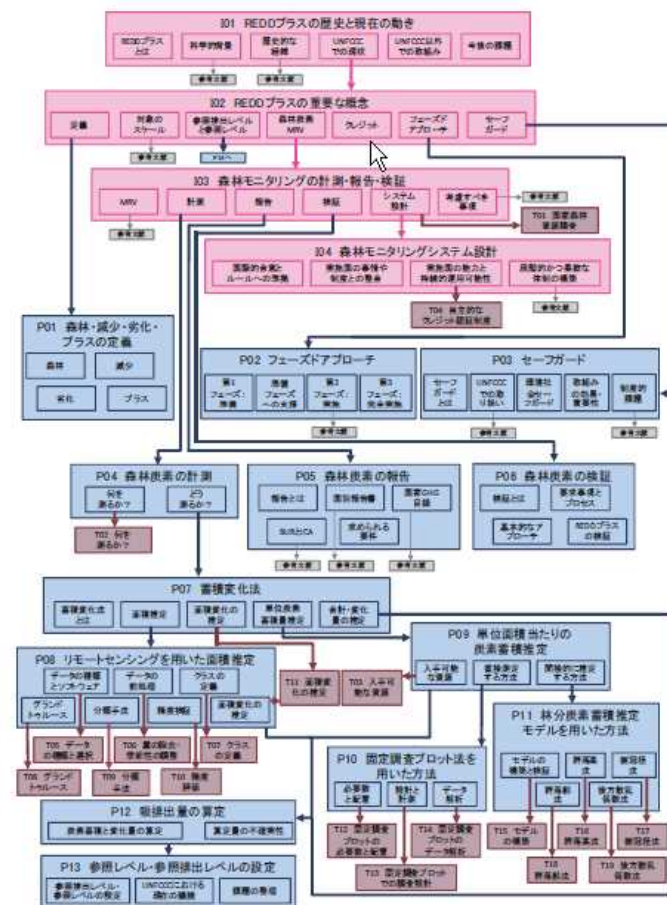


CookBook外觀 ～目次、フローチャート～

目次

REDD プラス フローチャート	6
導入編	7
第1章 REDD プラスとは	8
Recipe-101 REDD プラスの歴史と現在の動き	10
REDD プラスとは / 科学的背景 / 歴史的な経緯 / UNFCCC での REDD プラスの現状 / UNFCCC 以外での取組み / 今後の課題	
Recipe-102 REDD プラスの重要な概念	14
森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義 / 対象のスケール / 参照排出レベルと参照レベル / 温室効果ガス、森林炭素蓄積および森林面積の MRV / クレジット / フェーズドアプローチ / セーフガード	
第2章 森林モニタリングシステムの設計	20
Recipe-103 森林モニタリングの計画・報告・検証 (MRV)	22
MRV / 計画 / 報告 / 検証 / 森林モニタリングのシステム設計 / 森林モニタリングの MRV において考慮すべき事項	
Recipe-104 森林モニタリングシステムの設計	26
国際的合意とルールへの準拠 / 実施国の事情や制度との整合 / 実施国の能力と持続的運用可能性 / 段階的かつ柔軟な体制の構築	
計画編	29
第3章 REDD プラス取組みのための基礎知識	30
Recipe-P01 森林・森林減少・森林劣化・プラスの定義	32
森林 / 森林減少 / 森林劣化 / プラス	
Recipe-P02 フェーズドアプローチ	34
第1フェーズ：準備 / 準備フェーズへの支援 / 第2フェーズ：実施 / 第3フェーズ：完全実施	
Recipe-P03 セーフガード	38
セーフガードとは / UNFCCC におけるセーフガードの取り扱い / 環境社会セーフガード / セーフガードへの取組みの効果・重要性 / セーフガードの制度的課題	
第4章 森林炭素の計画・報告・検証 (MRV)	42
Recipe-P04 森林炭素の計画	44
何を測るか? / どう測るか?	

REDD プラス フローチャート





CookBook外観 ～章立て、概説～

第1章 REDD プラスとは



8

REDD-plus Cookbook

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

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

101 REDD プラスの歴史と現在の動き

102 REDD プラスの重要な概念

REDD-plus Cookbook

9



CookBook外觀 ~Recipe、項目~

第1章 REDD プラスとは

Recipe - I01

REDD プラスの歴史と現在の動き

発展途上国における森林減少・森林劣化による CO₂ (二酸化炭素) の排出量は、人為活動による排出量全体の約 2 割を占め、化石燃料の使用に次ぐ大きな排出源となっている。このため、森林減少と森林劣化からの排出を削減するための国際的な制度として REDD プラスの構築が議論されている。本レシピでは、REDD プラスの科学的背景と歴史の経緯、現状を解説する。

INFO

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

INFO

2) Nabuurs GJ, Masera O, Andriano K, Senten-Pence P, Boer R, Dutschke M, Elstiddig E, Ford-Robertson J, Frumhoff R, Karjalainen T, Kariuki O, Kurz WA, Matsumoto M, Dhyani N, Ravindranath NH, Soto-Sanchez M, Zhang X (2007) Forestry. In: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 541-584.

INFO

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

REDD プラスとは

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

科学的背景

途上国における森林減少・森林劣化による CO₂ の排出が世界の炭素循環に大きな影響を及ぼしていることについては、2001 年に気候変動に関する政府間パネル (IPCC) から刊行された第 3 次評価報告書 (TAR) で指摘された。また、2007 年に刊行された IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) は、1990 年代の地球上の炭素循環において、CO₂ 排出量の約 8 割は化石燃料の利用とセメント生産による排出であるが、残りの 2 割は土地利用変化つまり森林減少に由来する排出であるとした¹⁾。さらに、森林分野における削減ポテンシャルの 65% は熱帯地域にあり、そのうち 50% は森林減少からの排出を削減することで達成されるとしている²⁾。また、国連食料農業機関 (FAO) は、ブラジル、インドネシア、熱帯アフリカにおいて森林減少が激しいことを示し³⁾、スターン・レビューは、森林減少の抑制は温室効果ガスを削減する上で費用対効果が高いことを

Recipe I01

INFO

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

INFO

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

強調した⁴⁾。

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

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

歴史的な経緯 (I02 参照)

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

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

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

INFO

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

INFO

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

10

REDD-plus Cookbook

REDD-plus Cookbook

11



CookBook外觀 ～参照編～

第1章 REDD プラスとは

No.1	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation	国名	2011	Agarwal et al.	Annual Review of Environment and Resources
01 REDD プラスの歴史と現在の動き	REDD プラスのこれまでの動向を主に社会科学者の観点から概説したレビュー。UNFCCC においてのこれまでの REDD プラスに関する文書の経緯や REDD プラスの環境社会的影響の検証に、国際及び国家レベルのイニシアティブや市場関係、市民社会それぞれにおけるアクターの紹介。そして分析視座の異なるモニタリングの紹介及び今後の展望と、多角的な視点から REDD プラスの動向を概観するとともに、REDD プラスの導入途として一歩の足跡のあるレビューである。				
国名、出、準出、プロジェクト					
http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-042009-094308					

No.2	REDD-plus 持続性上における森林減少・劣化等による温室効果ガス排出量の削減、再植林	国名	2012	国際協力機構 (ICA)	国際森林モニタリング (ITTO)
01 REDD プラスの歴史と現在の動き	一般概念の REDD プラスへの理解と関心を高めることを目的として ICA と ITTO により作成されたブックレット。REDD プラスの背景や経緯に加え、日本からの発展途上国に関する方針や ICA 及び ITTO による REDD プラスへの取り組みや関係者間の協力を紹介している。REDD プラスについて予備知識がない方に REDD プラスの概念を紹介するのには役立つほか、国内外の REDD プラス関係者が、現在進行中の ICA 及び ITTO の REDD プラス関連のプロジェクトの概要を把握したい場合にも有効なブックレットである。				
国名、出、準出、プロジェクト					
http://www.ica.go.jp/publication/pamph/india.html					

No.3	What is the right scale for REDD? The implications of national, subnational and nested approaches	国名	2008	Angelsen et al.	CDR
02 REDD プラスの重要な概念	REDD プラスのインセンティブメカニズムを支援・実施する際の3つの異なるレベル間のアプローチ：国レベル、準国・プロジェクトレベル、ハイブリッド（メスレッド）の考え方を整理し比較分析を行っている組織。3つのアプローチのインセンティブ付与についての考え方を紹介し、主に効果性、効率性、公平性の3つの基準で評価している。各アプローチの具体的な適用事例は紹介されていないが、基本的な考え方やそれぞれの特徴を比較対照するのには最適なペーパーである。プロジェクトレベルの進捗と国家規模での課題の関連性について基礎知識を深めたい方に特に効果的。				
国名、出、準出、プロジェクト					
http://www.cdr.org/online-library/browse/view-publication/publication/2593.html					

No.4	REDD+ at project scale: Evaluation and Development Guide	国名	2010	Calmei et al.	FREM, ONR 等
02 REDD プラスの重要な概念	REDD プラスのプロジェクト実施やプロジェクトを評価するための資料。そして資金提供機関をサポートすることを目的として作成されたプロジェクト開発・評価ガイドである。REDD プラス実施の要件・制約から実施、評価および結果の評価、そして資金提供機関からの評価、さらには関係者社会やフロンティアへの利益まで、プロジェクトレベルで実施するべき主要な要件をバランスよく、かつ詳細に紹介している。要件ごとに対応プロジェクトの参考事例を紹介し、実施所で現場的な実践も示されている。プロジェクト実施や改善立案に集める一冊である。				
プロジェクト					
http://www.international.org/online/publications/313-eguide-redd-a-recipe-project-guide-evaluation-et-de-developpement.html					

参照編

No.5	Building Forest Carbon Projects: Step-by-Step Overview and Guide ¹ In: Building Forest Carbon Projects ²	国名	2011	Olander et al. 及び Ebeling & Olander (eds.)	Forest Trends
02 REDD プラスの重要な概念 03 森林炭素モニタリング MIV 04 システム設計	Forest Trends のこれまでの森林炭素に関するプロジェクトの経験に基づき、プロジェクト成功の要件を技術的、環境社会的、財務的から多角的に解説したプロジェクト実施ガイドのガイダンス集である。本シリーズは、タイトルが示す通り導入的な役割を果たす本集に加え、REDD、気候/森林、政策/制度、住民参加、法的/法的、経営・マーケティング、社会影響、生物多様性影響の8つのテーマのガイダンスで構成されている。各ガイダンスはプロジェクト実施型にとって有用なリアリティとなるであろう。これらは全て無料で入手可能である。				
プロジェクト					
http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=3555					

第2章 森林モニタリングシステムの設計

No.6	測定・報告・検証 (MRV)：気候変動削減計画への向けられたMRVの設計と実施	国名	2010	筆名	国際森林モニタリング (ITTO)
02 REDD プラスの重要な概念 03 森林炭素モニタリング MIV	MRV 全体に関するこれまでの経験の背景や経緯から、気候変動削減計画に資する望ましい MRV 制度の在り方を整理した報告書である。国際文書における MRV の経緯、現行計画と関連する機関、温室効果ガスの MRV に加え、地上気候変動や他の気候変動、気候変動等の MRV 体制について整理・分析している。これまでに適用されている様々な MRV 体制や制度の相違点を参考事例として紹介している。REDD プラスの MRV への具体的な提議はないが、気候変動削減計画における各国の MRV 体制を整理する上で有用な報告書である。				
国名、出					
http://mitriscopa.igcc.or.jp/modules/vmtools/view.php?id=3064					

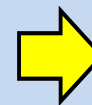
No.7	MURC 気候変動削減計画：気候変動削減計画に資するMRV (測定・報告・検証)の設計と実施に関する取組と成果。～(1) REDD プラス実施のMRV 実施の考え方～	国名	2011	筆名	三菱UFJリサーチ&コンサルティング
02 REDD プラスの重要な概念 03 森林炭素モニタリング MIV	REDD プラスを実施する際の MRV システムについての動向を整理し、今後実施すべき MRV システムの在り方を整理した報告書である。MRV システムの構築から、地上気候「レディネス」状況に応じたMRV システムの在り方、今後想定される REDD プラスの実施計画に資するMRV システムの位置づけに至るまで、10 ページという分量で簡潔にまとめている。REDD プラスにおける MRV システム構築の参考事例は紹介されていないものの、モニタリング等の国内事例の整理、後継資金の採達の適用性、更にはセーフガードといった気候変動以外の MRV についても触れ、MRV システムの多岐に渡る動向を整理して紹介している。				
国名、出、準出					
http://www.murc.jp/outline/030000_details/20					



CookBookの構成

【導入編】

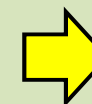
- 第1章 REDDプラスとは
- 第2章 森林モニタリングシステムの設計



国／準国レベルでの
REDD プラスの導入に
取り組む政策立案者お
よびそのパートナー機関

【計画編】

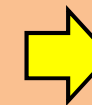
- 第3章 REDDプラス取組のための基礎知識
- 第4章 森林炭素の計測・報告・検証(MRV)
- 第5章 蓄積変化法によるモニタリング



国／準国レベルおよびプ
ロジェクトレベルでREDD
活動の計画に取り組む
実施者

【技術編】

- 第6章 REDDプラス実施における前提
- 第7章 リモートセンシングを用いた森林面積の推定
- 第8章 固定調査プロットを用いた方法
- 第9章 林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法



国／準国レベルおよびプ
ロジェクトレベルでREDD
活動に携わる技術者

【参照編】

(関連する報告書、ガイダンス、マニュアル、論文等の紹介)



CookBookの使い方 ～目次で読む～

第7章 リモートセンシングを用いた森林面積の推定	86
Recipe-T05 データの種類と選択	88
プラットフォーム/センサ/空間分解能、波長分解能と時間分解能/ 現在・過去・未来/データの選択/ソフトウェア	
Recipe-T06 雲の除去・季節性の調整	94
雲の除去/季節性の調整	
Recipe-T07 クラスの定義	96
完全かつ排他的なクラス/求められる分類クラス/分類後のクラスの統合	
Recipe-T08 グランドトゥールース	98
グランドトゥールースとは/グランドトゥールースの位置情報と精度/抽出方法/サンプル数	
Recipe-T09 分類手法	100
リモートセンシングにおける分類/画素単位の分類とオブジェクトベース分類	
Recipe-T10 精度評価	102
判定効率表と精度の指標/精度評価のためのグランドトゥールース	
Recipe-T11 面積変化の推定	108
2時期それぞれの分類結果の比較/多時期画像の一括分類による変化抽出/ 画像比較の注意点と現在の流れ	

章

Recipe

項目

☆CookBookの読み方1

目次に従い、各章に記述されたRecipeと項目を順番に読み進めていく。

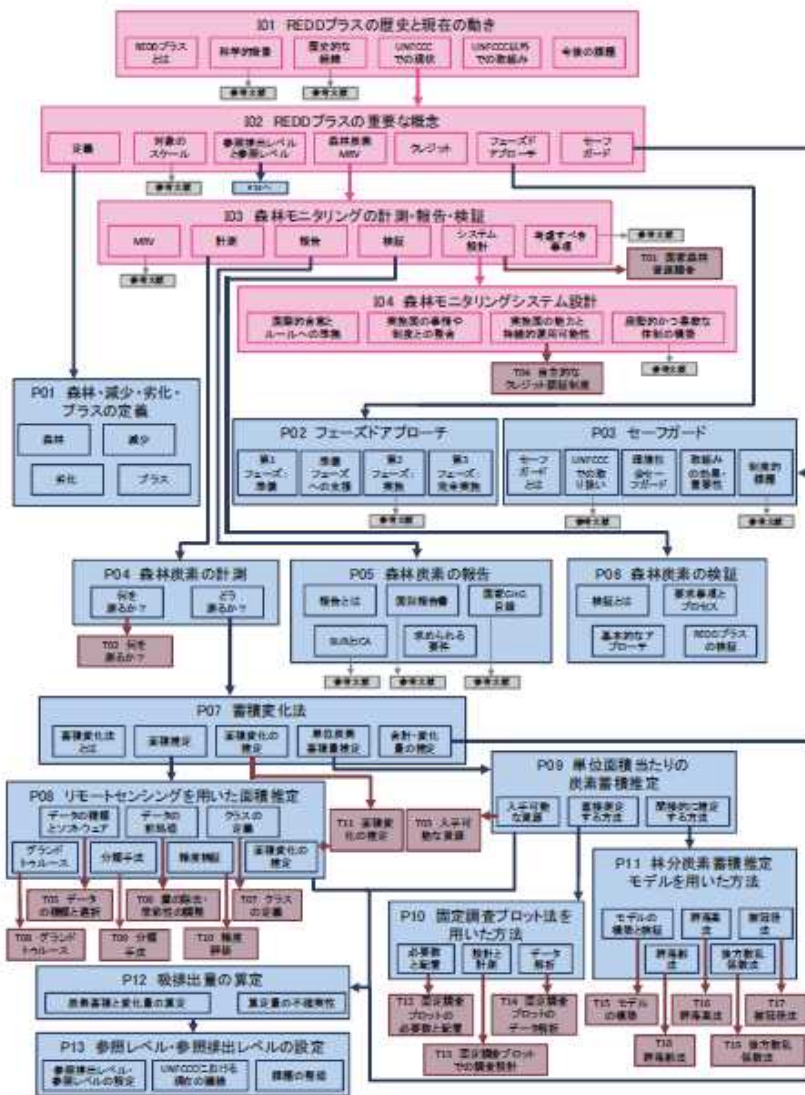
◎CookBookの由来

それぞれのRecipeに従って調理していくと、最後にREDDプラスという美味しい料理が出来上がる。だからCookBook！！



CookBookの使い方

～フローチャートで読む～



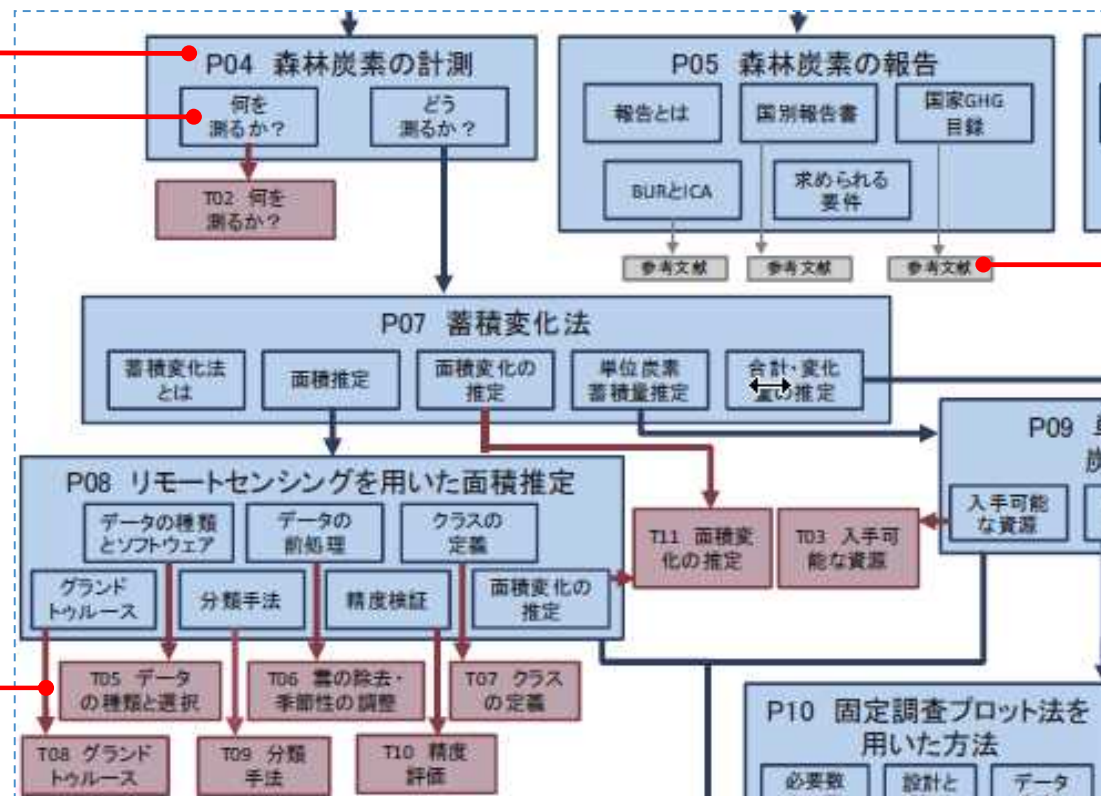
☆CookBookの読み方2

REDDプラスのフローチャートに従って、各Recipeに記述された項目を順番に読み進めていく。



CookBookの使い方 ～フローチャートで読む～

Recipeタイトル
項目



「参照編」に
参考文献あり

矢印に従って、
項目を読み進む



CookBookの使い方 ～各Recipeの見方～

Recipeタイトル

上のRecipe

フロー図上で、このRecipeの上に位置するRecipeを示す。

INFO欄

Recipeナンバー

Recipeの概要

項目

第8章 固定調査プロットを用いた方法

Recipe - T14

固定調査プロットのデータ解析

この上のRecipeは
Recipe T12 固定調査プロット法を用いた方法

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

アロメトリ式とは

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

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

INFO

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

INFO

2) 地下部バイオマスは、これまで Cairns et al.(1997) や Mokany et al.(2006) が汎用式を提案している。これらの式は独立変数 (independent variable, predictor variable) に AGB (t/ha) を使用し、推定結果も1ヘクタール当たりのバイオマス (t/ha) である。local model として熱帯季雨林の常緑林の Hozumi 氏 (Hozumi et al. 1999)、熱帯低地のフタバガキ林の Niyama 氏 (Niyama et al. 2010) などがあり、これらは個体レベルで地下部バイオマスを推定する。

図 T14-1 推定式による地上部バイオマス (AGB: aboveground biomass) の推定値の違い
推定式とその出典は図 T14-2 を参照のこと。材密度 (WD) は 0.57 (Brown, 1997) を使用している。

118 REDD-plus Cookbook



CookBookの使い方 ～参照編の見方～

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

実施レベル
の分類

更なる情報提供
(ホームページ等のアドレス)

文献の概要

関連する
Recipeと項目



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 4 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.

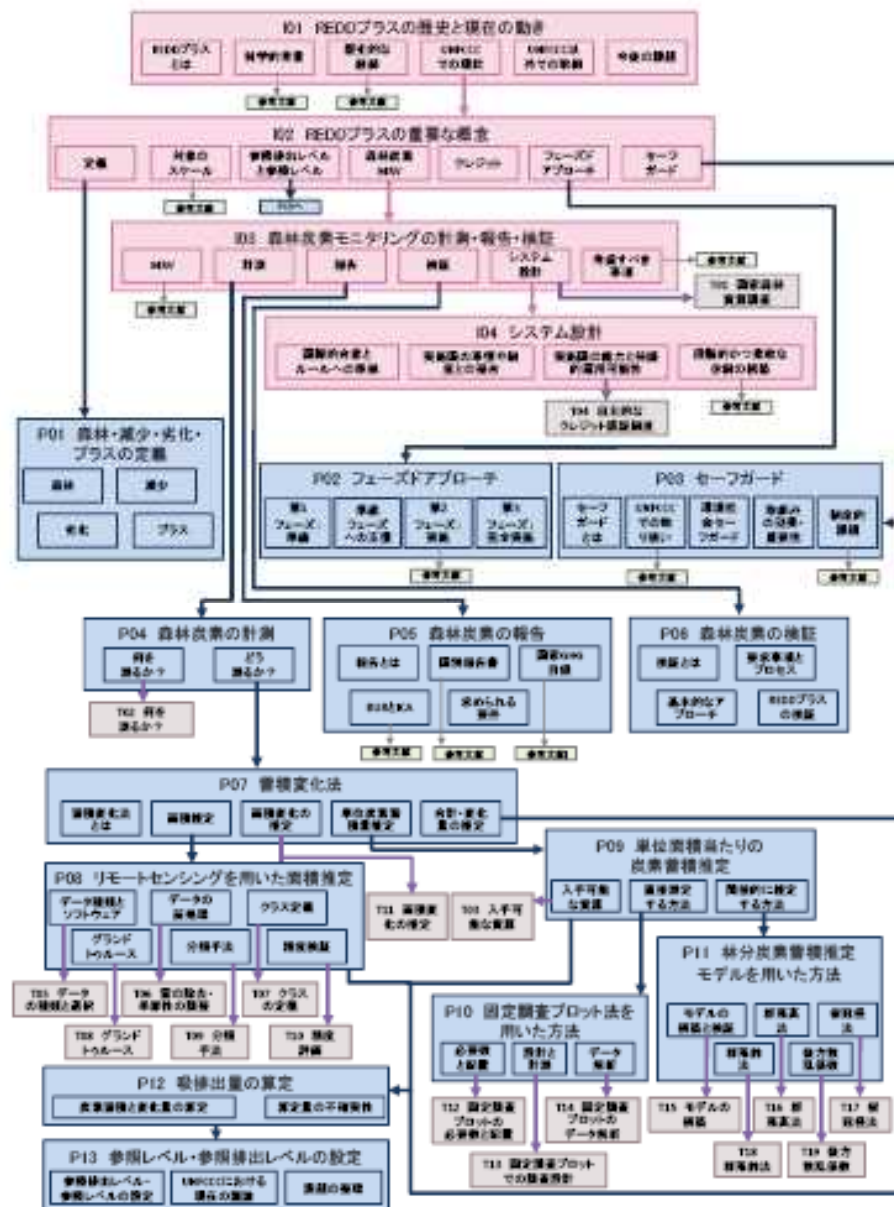


2. 森林炭素モニタリングの全体像



REDDプラスを検討 する際の全体像

REDD+CookBook





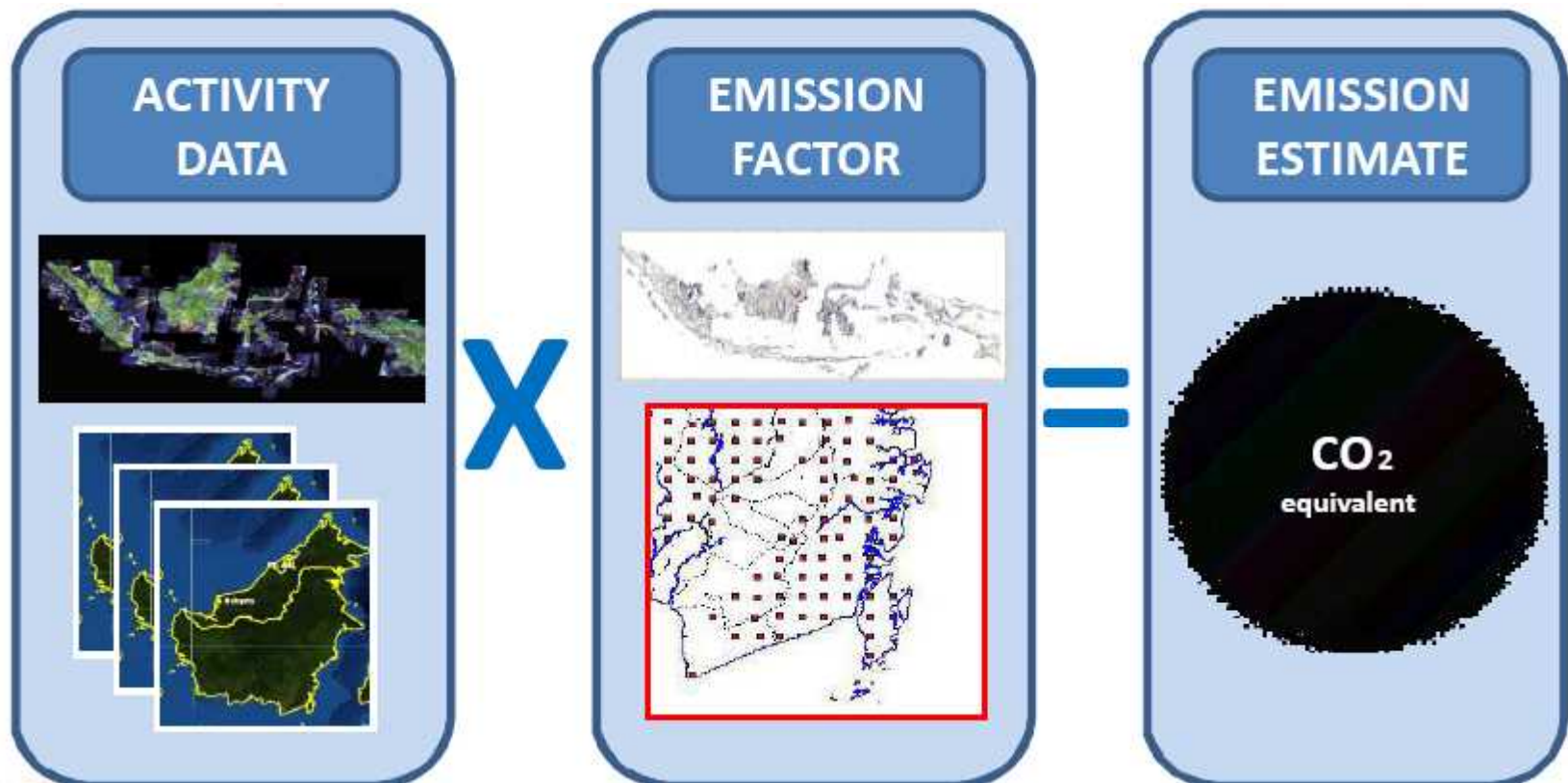
森林炭素モニタリングの要求事項

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

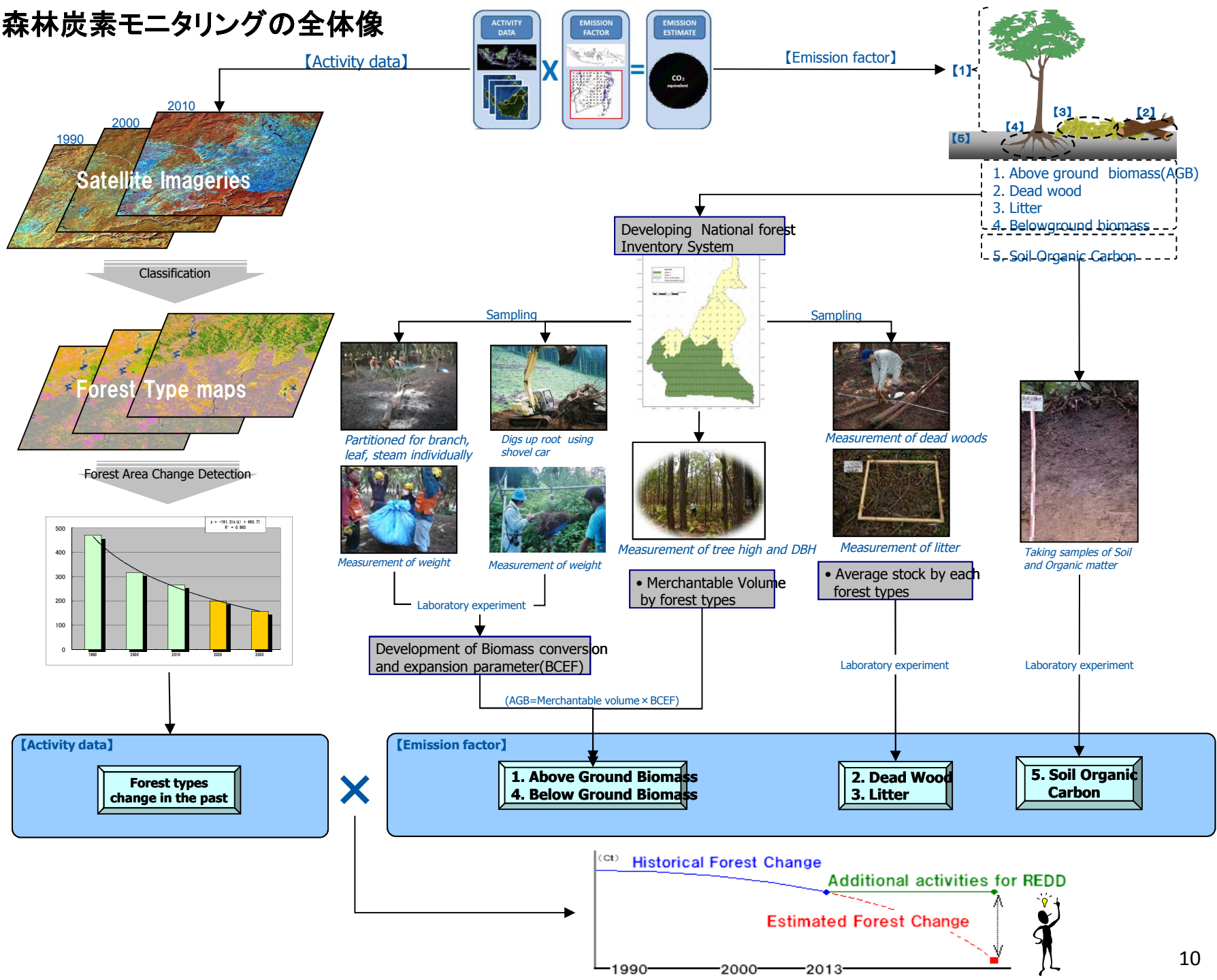


Forest area change
(unit: ha)

Mean carbon stock
(unit: Ct/ha)

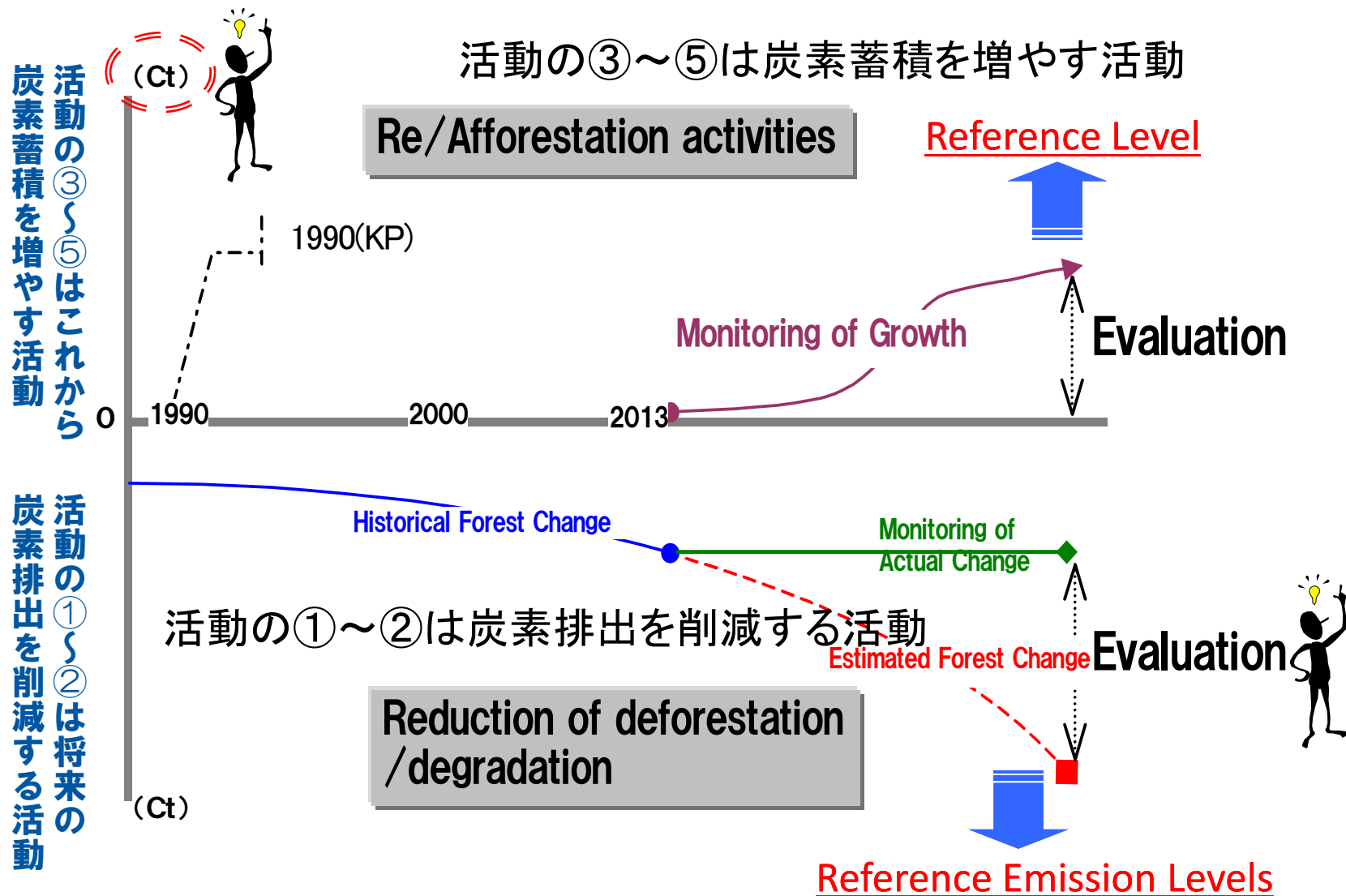
引用: Reference Emission Levels Indonesia - Ruandha Sugardiman, MRV Meeting Mexico.

森林炭素モニタリングの全体像





REL / RLの開発

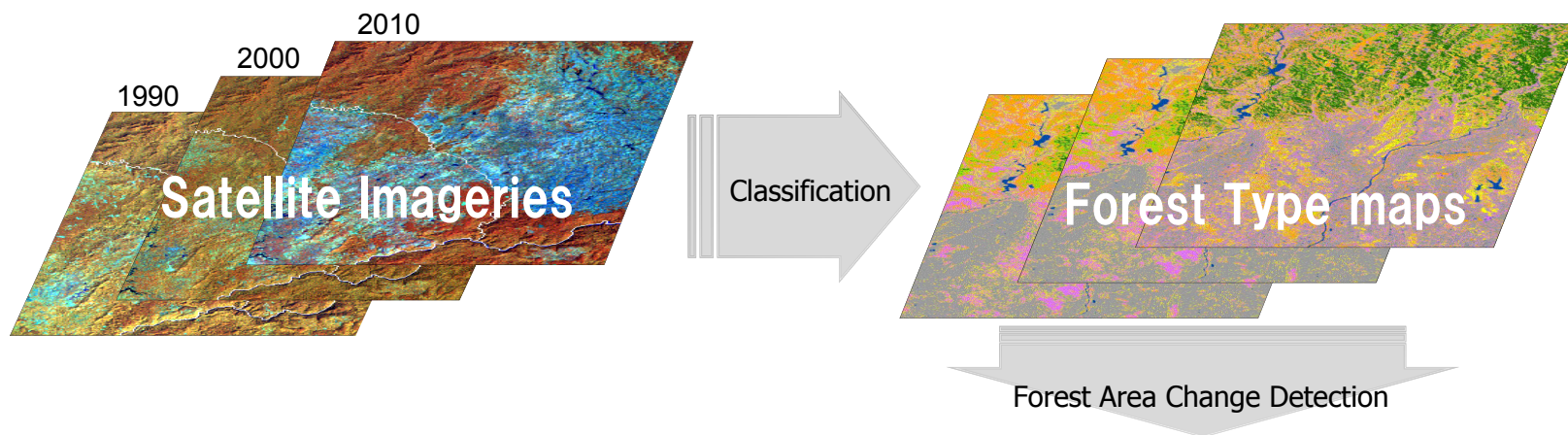




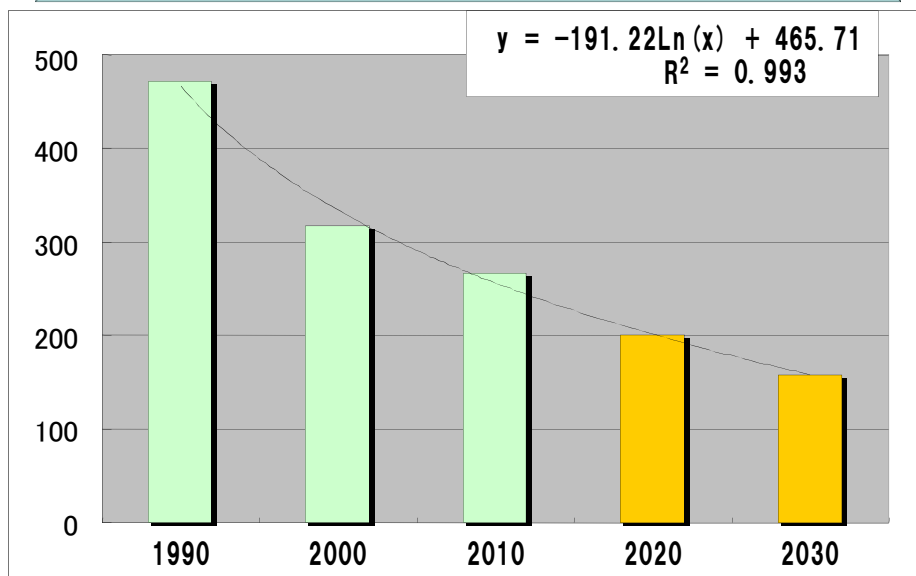
3. 活動量の把握（面的変化）



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)

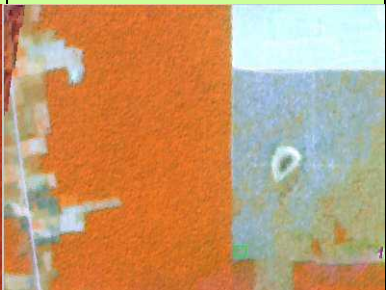
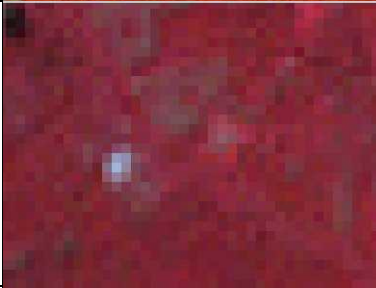
衛星 センサー名	分解能	打ち上げ 〔最初の 打ち上げ〕	利用可能な期間							
			1940	～	1970	1980	1990	2000	2010	将来
Landsat MSS	83m～	1972/07/23								
NOAA	1100m～	1978～								
Landsat TM	30m～	1982/07/16								
SPOT4	10m～	1998/03/24								
Landsat ETM+	15m～	1999/04/15								
IKONOS	0.82m～	1999/09/24								
Terra/Aqua MODIS	250m～	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。



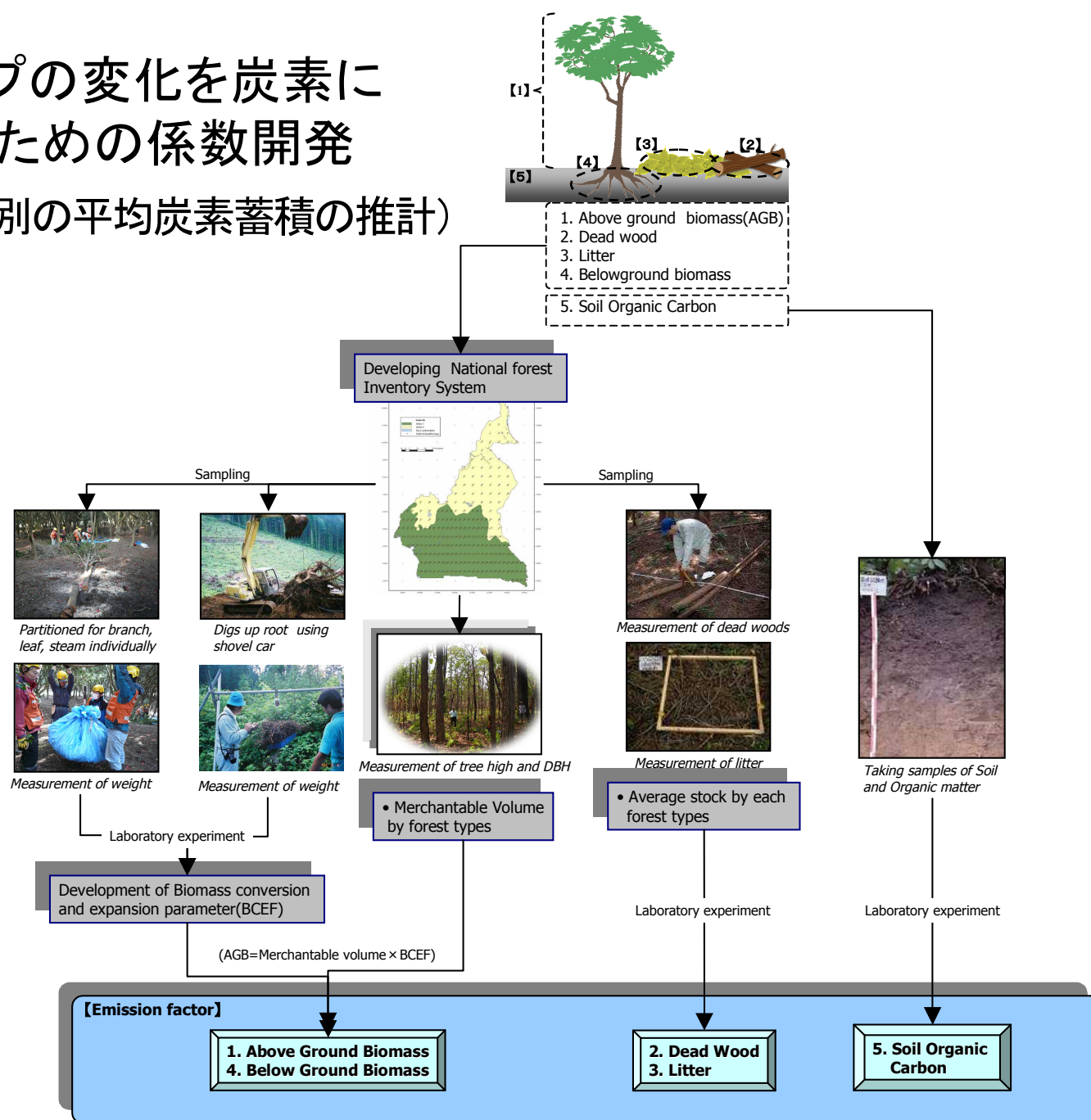
季節変化の影響

- 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）

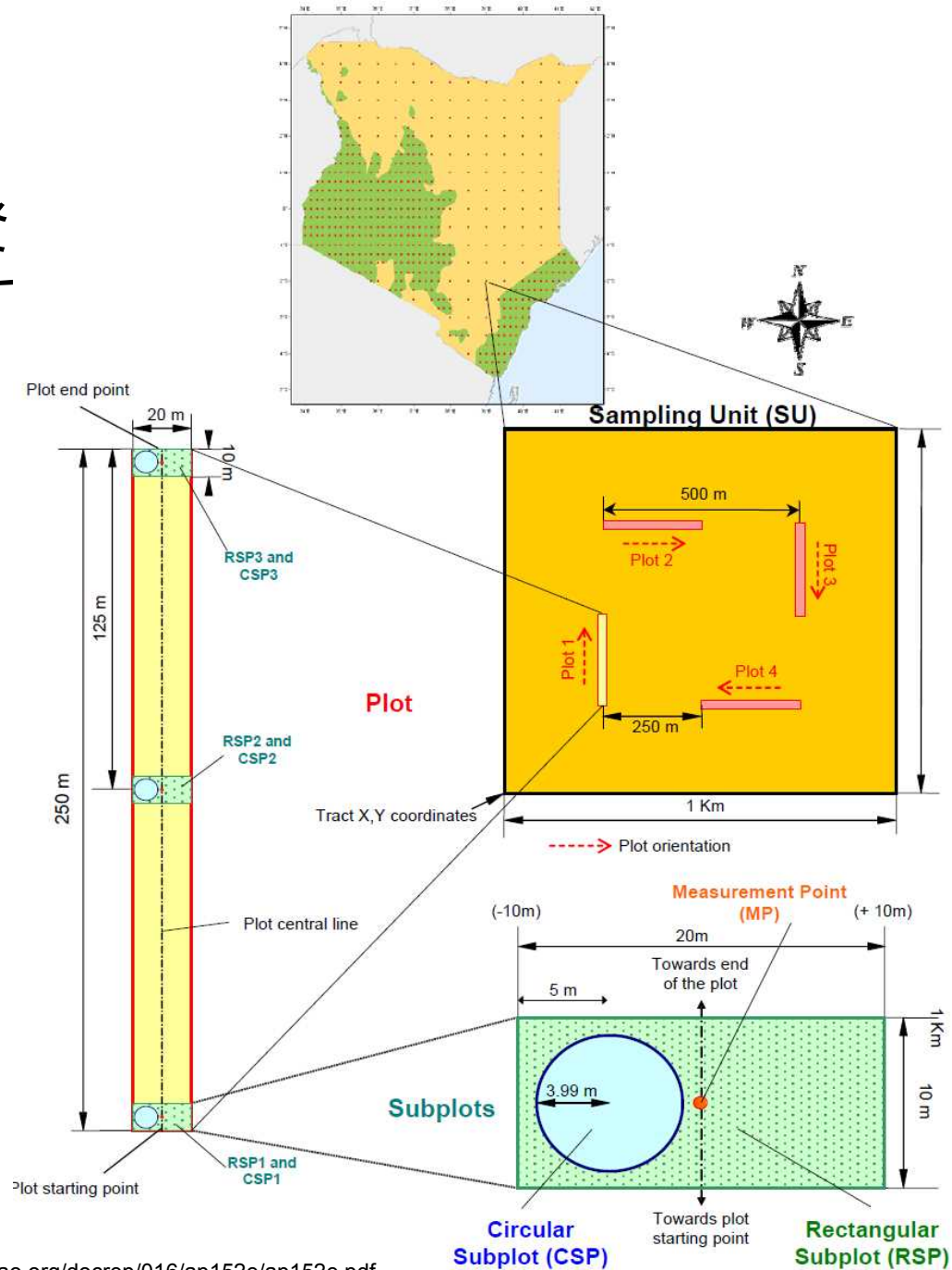


国家森林資源調査について

- 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）

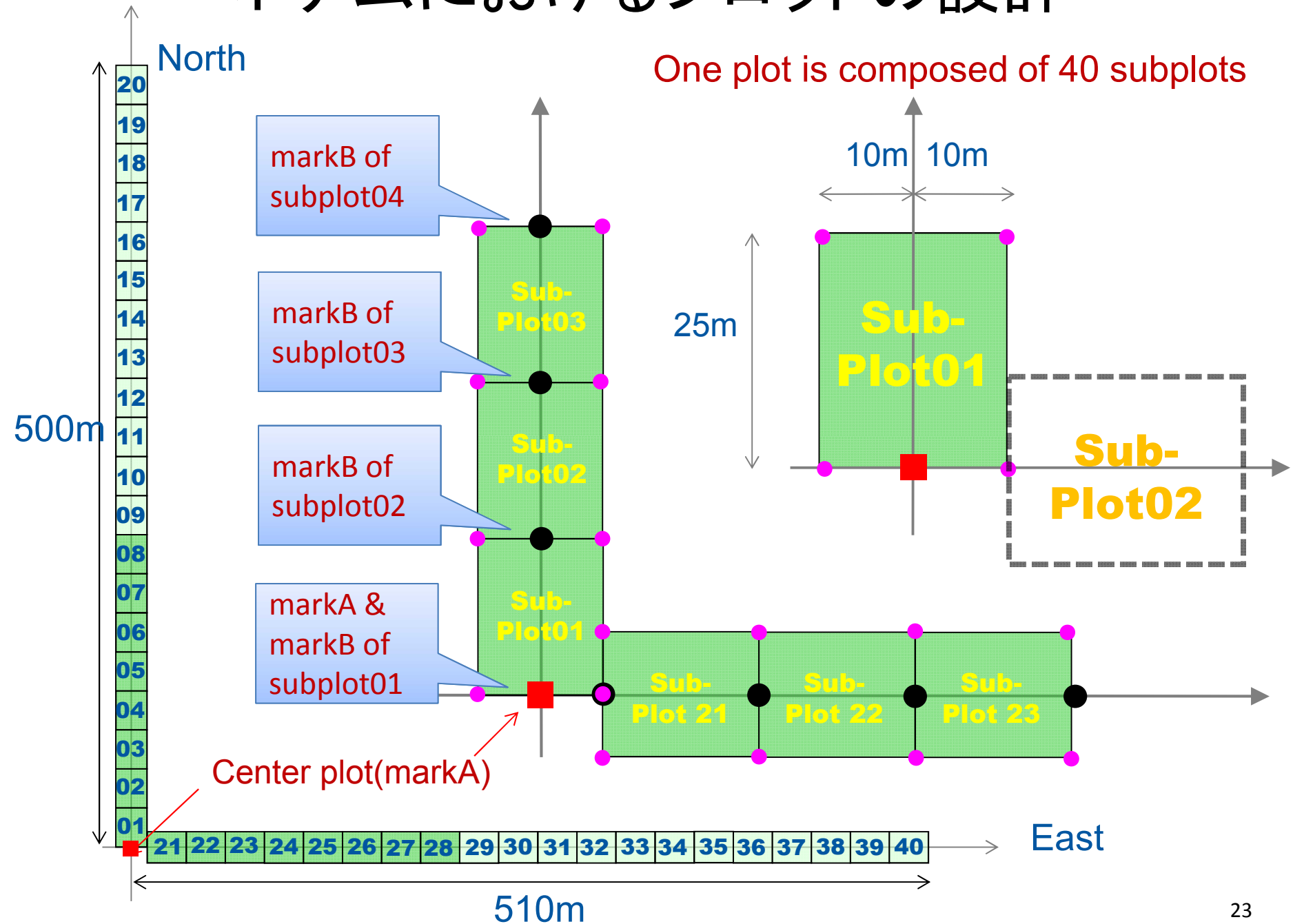
FAO(2008)の方法

- 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



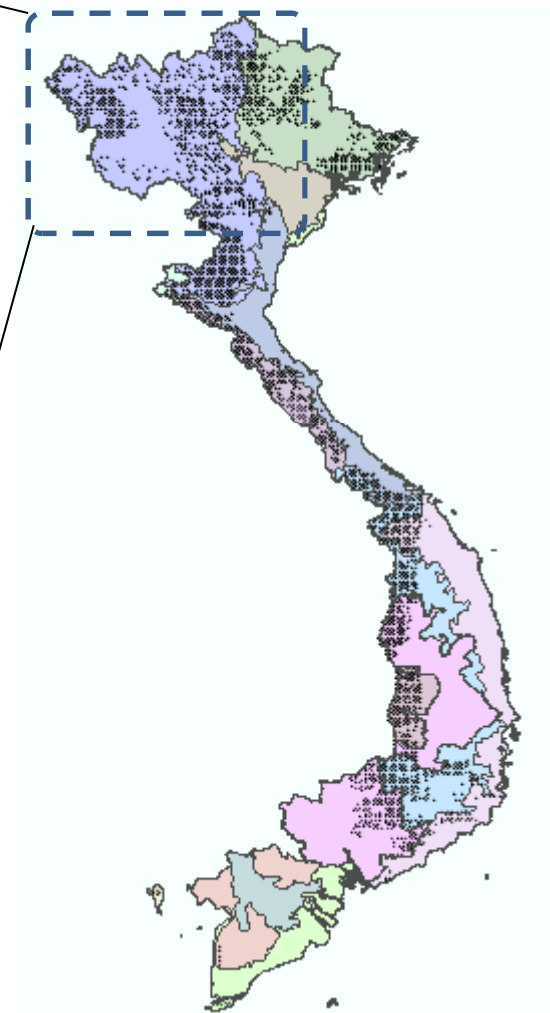
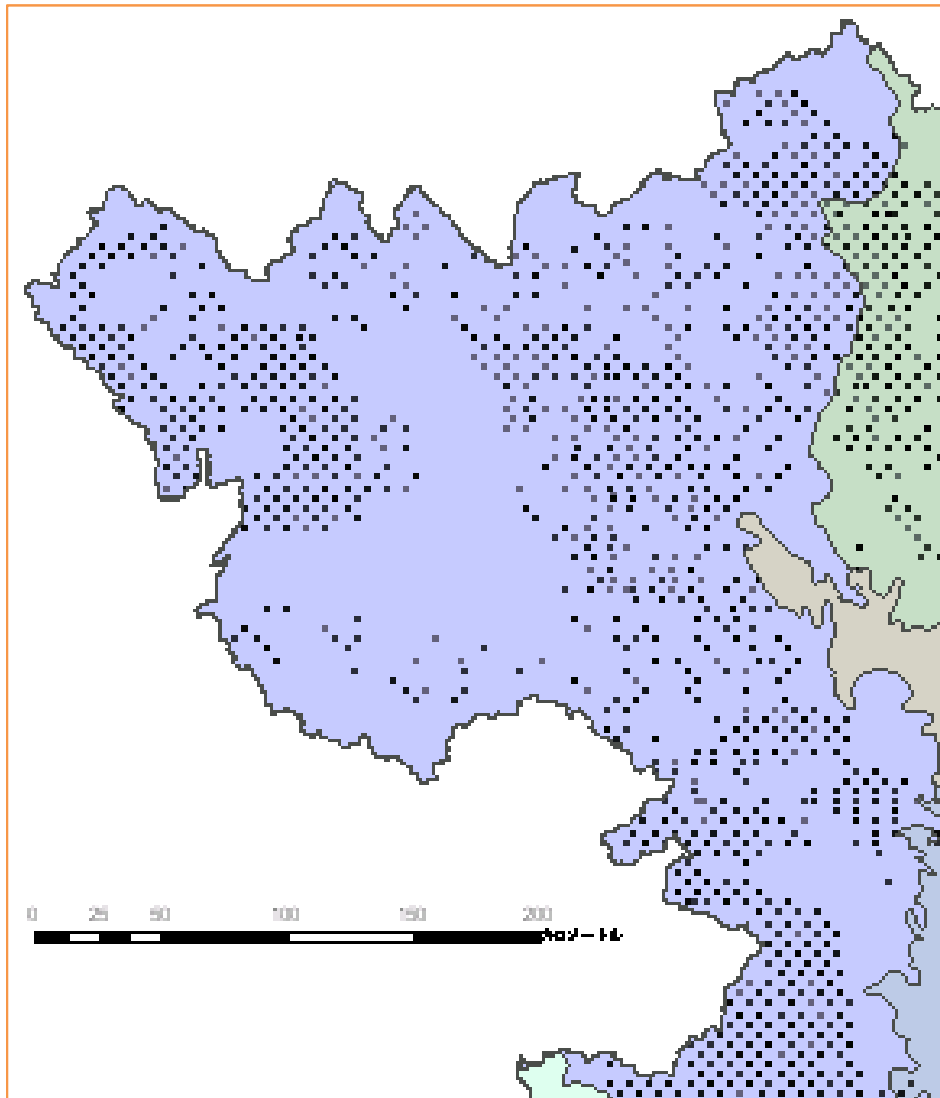
ベトナムにおけるプロットの設計

One plot is composed of 40 subplots





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'

W1	W2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1													
2	646	283	157	110	228		297						
3													
4	959												
5	606	283	143	140			329						121
6	560	272	124	98		106	191	5			209	78	
7	471	258	141	107			193	83					77
8		113	97										
9	518	261	117	74		25	173	96					77
10	477	263	127	148	224	189	240						121
11	546	276	154	121	185	119	205	203	200				123
12	529	279	131	135	219		316	289					120
14													

95'~00'

W1	W2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				149	147								64
2	489	274	107	144	241		258						
3													68
4	660	295	187				330						
5	581	274	138	93			87	256					77
6	587	271	115	83		119	151				116	86	
7	457	268	147	99			195	98					90
8													
9		260	104	65		96	99	90					88
10	446	276	124	141	237	126	181		94				87
11	459	278	142	141	255	85	172	127	233				84
12	465	277	129	126	183		184	223	363		20	64	
14													

00'~05'

W1	W2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		319	163	157							99		
2	434	271	112	148	214		236						
3										99			
4	472	300	130				249	82					
5	519	269	142	101		83	181	82			116	83	
6	505	270	119	75		283	114	29			116	83	
7	428	285	153	109		107	151	87					60
8													
9	250	118	88		75	95	86						77
10	435	280	143	146	226	121	202	340					88
11	448	280	143	134	257	75	154	166	268		150	195	
12	449	277	134	140	180		190	96	169		78	201	
14										89		124	

00'~10'

W1	W2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				181	157								75
2	604	282	144	157	178			279					104
3											115		
4	788	299											67
5	508	275	158	131			78	219	92				103
6	516	272	135	84		66	118					165	103
7	417	272	171	116		82	181	146					70
8													
9	271	110	115		86	122		105	4				85
10	465	282	158	148	196	138	249						94
11	502	291	162	135	153	91	199	253	292				163
12	511	280	120	128	189	104	240		271				106
14													102



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

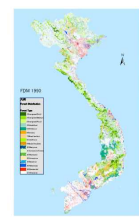
Units of
Aggregation

National Scale

Regional Scale by
Administrative Units



参照レベル作成における留意点

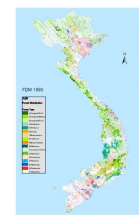


国	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
国	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
都	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
道	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
府	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
県	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
市	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
町	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
村	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

C Stock
in 1990
(Ct)

C Stock
in 1995
(Ct)

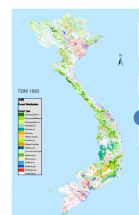
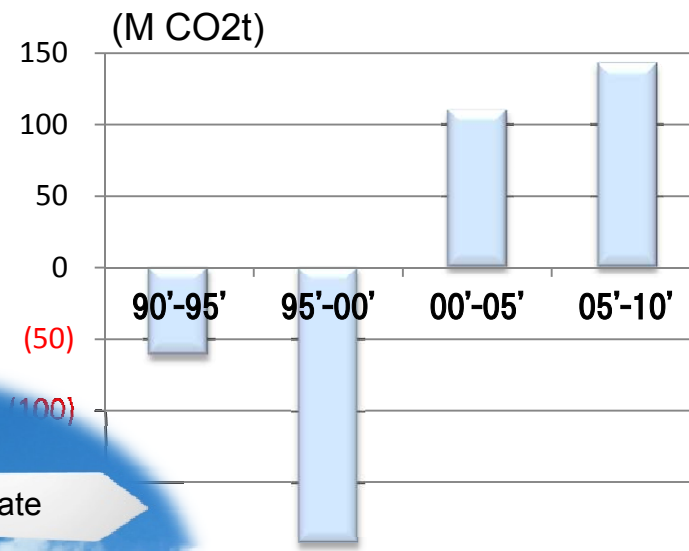
C Stock Change
1990 to 1995



国	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
国	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
都	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
道	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
府	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
県	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
市	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
町	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
村	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Separate

Integrate



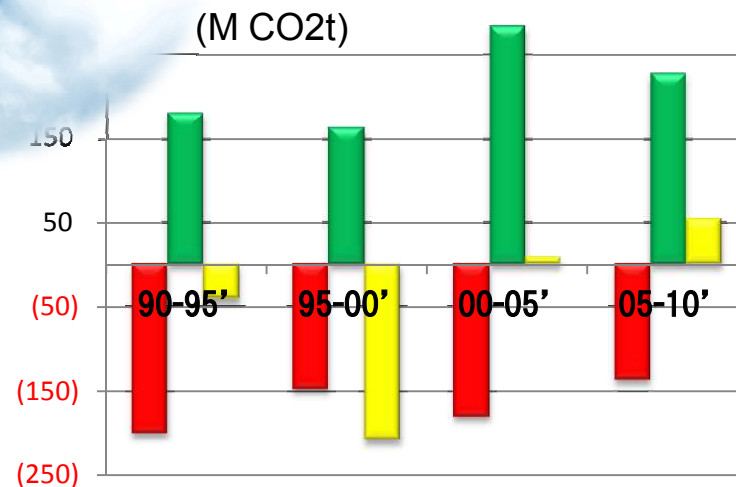
F.Type area
Change
1990 to 1995
(ha)



国	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
国	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
都	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
道	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
府	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
県	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
市	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
町	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
村	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Emission
Factor
Change
1990 to 1995
(Ct/ha)

国	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
国	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
都	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
道	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
府	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
県	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
市	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
町	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
村	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



■ 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																		
		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	
Y e a r 1 9 9 0	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	28,435	140,375	
	Evergreen broadleaf forest, rehabilitation forest	348	2,734	13,117	3,893	69	886	9,188	0	0	0	0	2,554	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	3,865	0	0	0	0	0	568	0	3,094	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	3,094	43	11	4,906	71,722	
	Coniferous forest	0	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	0
	Mangrove forest	0	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	0
	Plantation	0	0	47	12	0	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	0
	Bare land, shrub land, fragmented trees	204	1,089	12,322	4,987	3	408	0	0	131	0	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	2,718
Residential area	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	113	9	122	466	791	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	75,098	
Grand Total		34,470	65,833	99,371	39,600	51,943	15,411	66,527	0	2,554	0	0	10,655	0	60,535	3,320	11,651	189,974	651,844	651,844

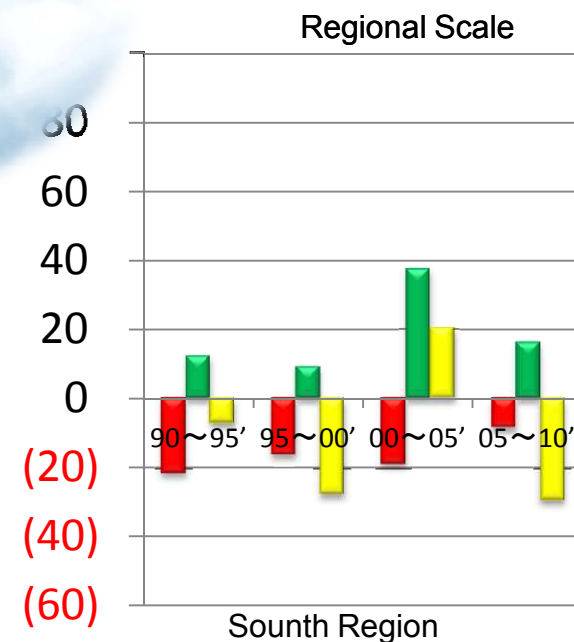
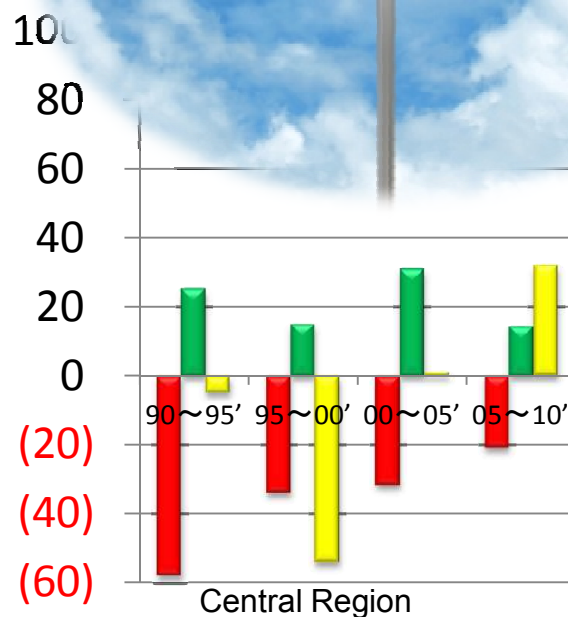
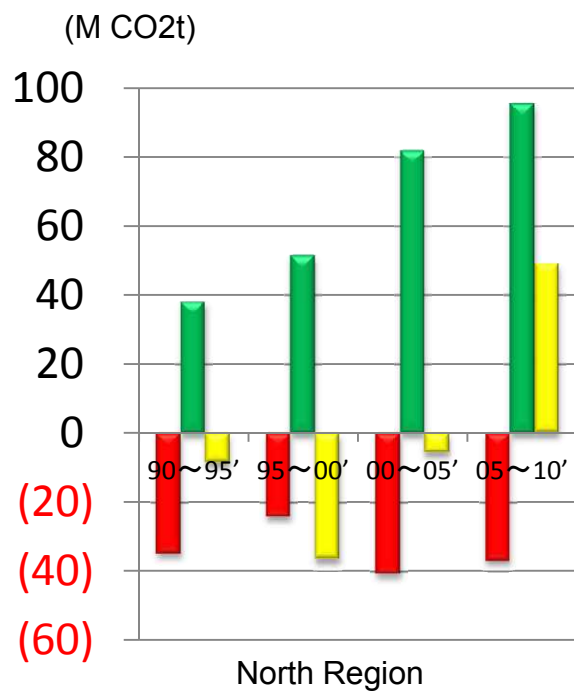
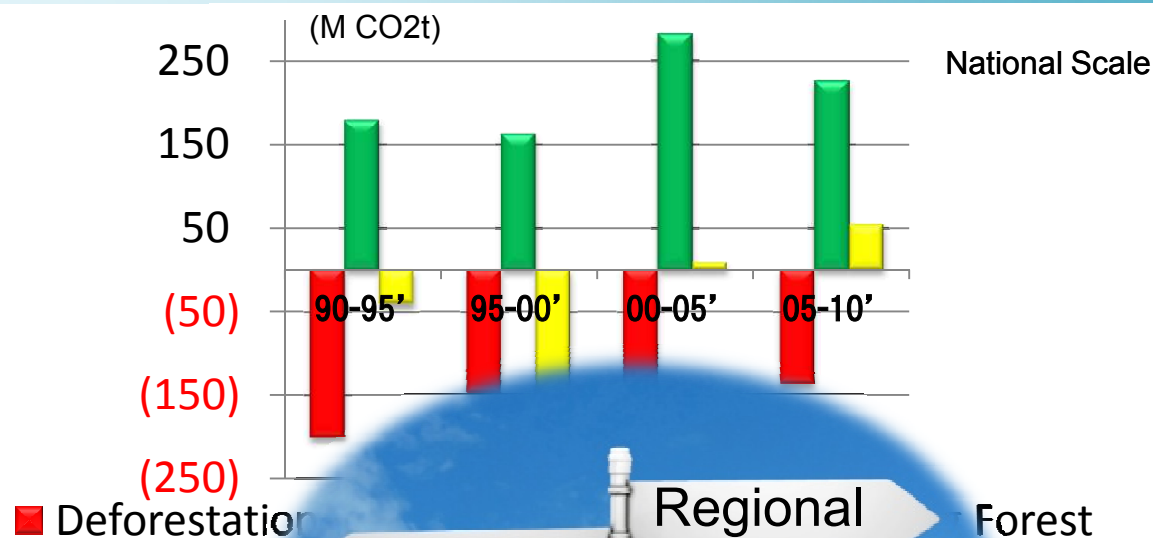
森林劣化箇所

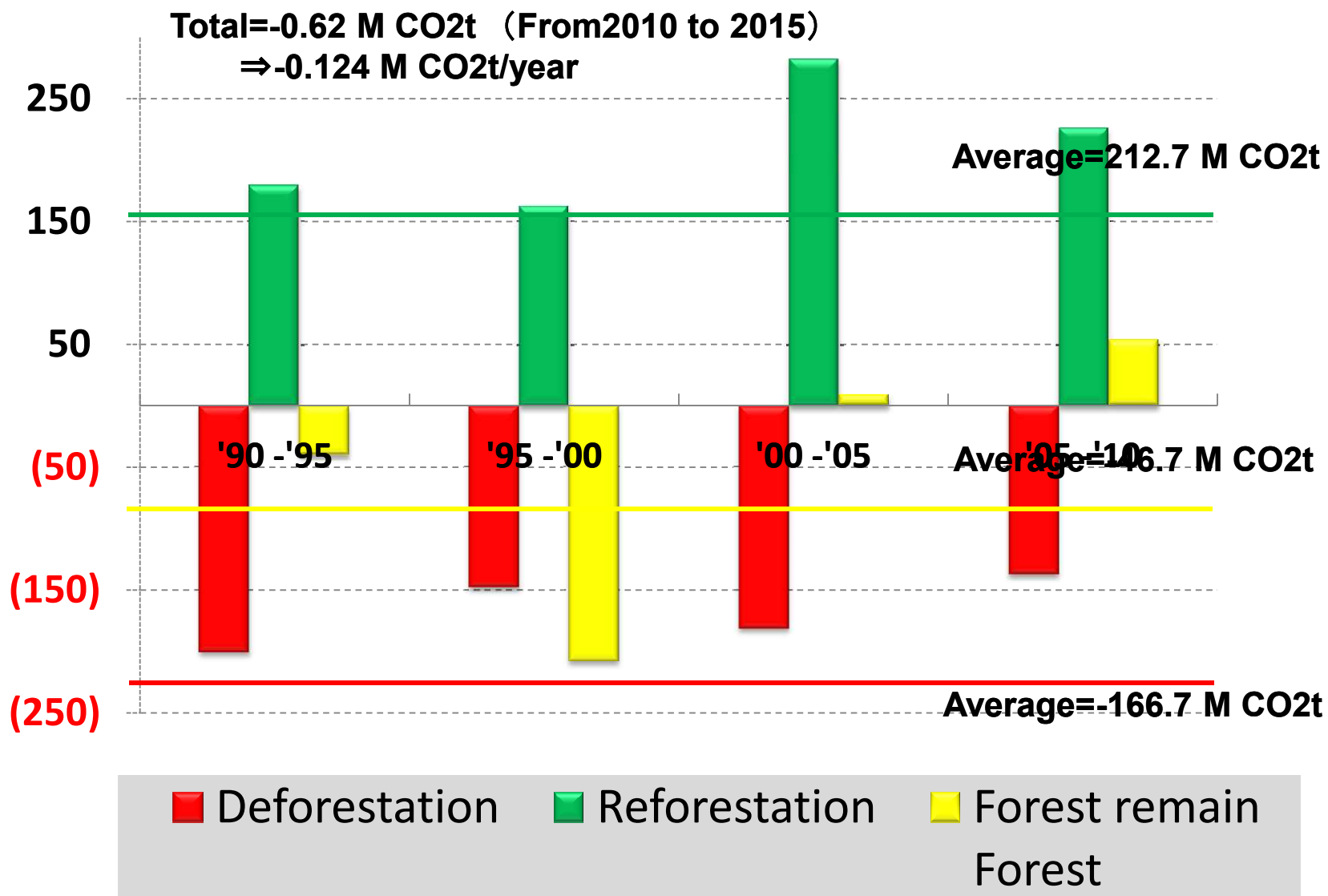
森林減少箇所

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25年度 基礎講習

第 5 章

REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

(独)国立環境研究所 地球環境研究センター
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）。**

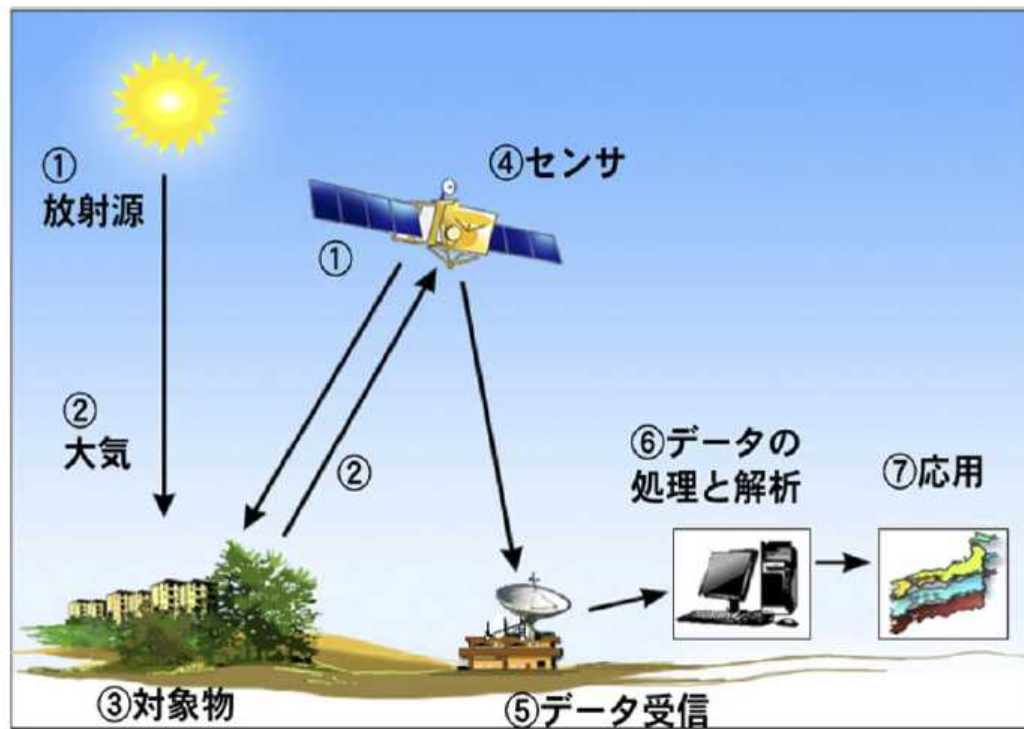
広義のリモートセンシング

- ☐ 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

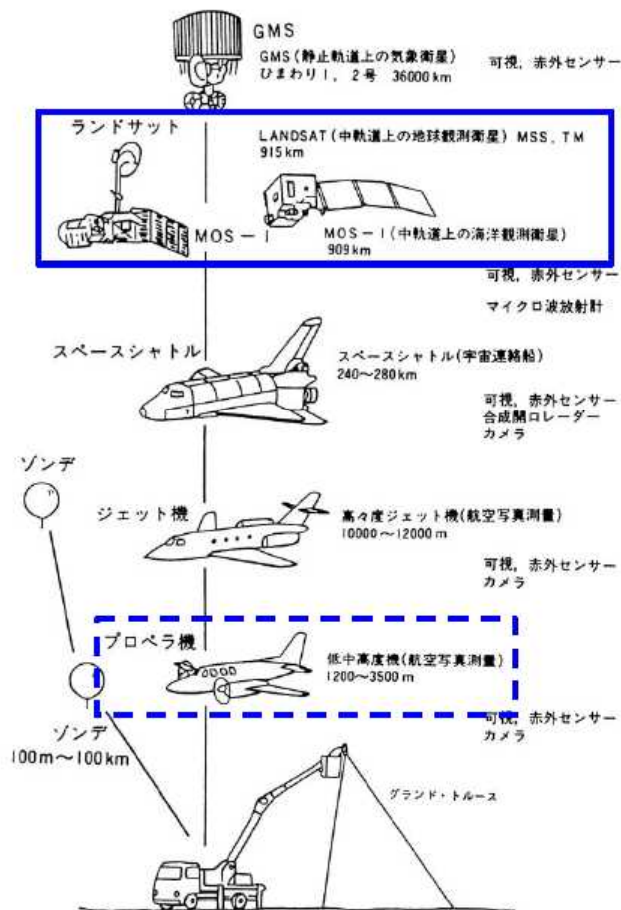


[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- 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



[図引用：図解リモートセンシング]

高度

観測範囲

空間分解能

高

広

粗

低

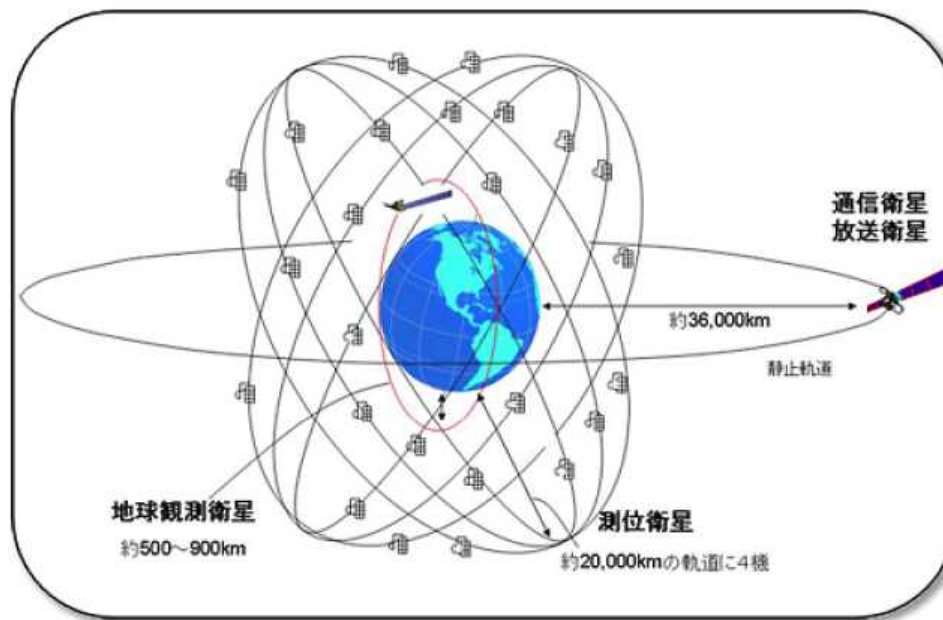
狭

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



3. 衛星軌道



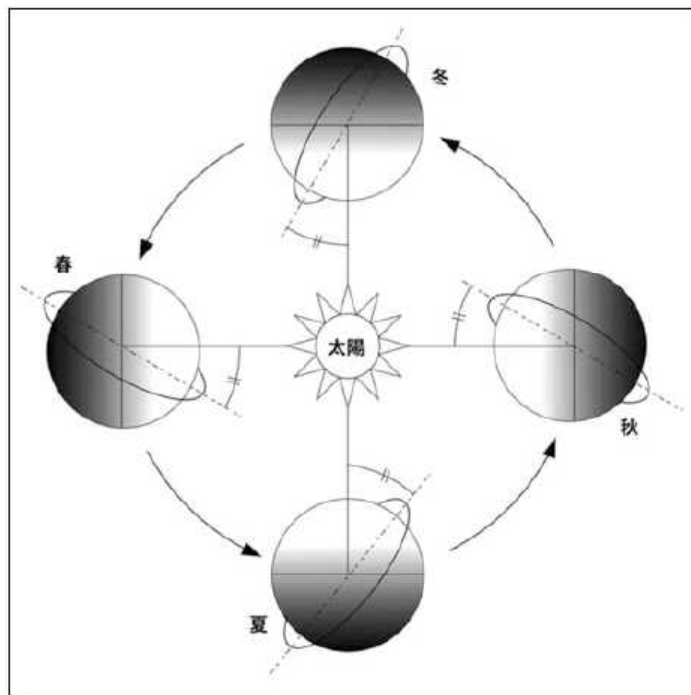
[図引用：RESTECホームページ]

- ☐ 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。

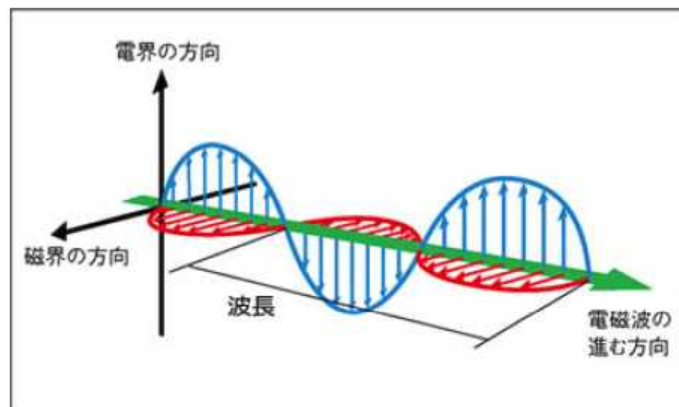
□ **準回帰軌道** = 数日後に地表面から見て元と同じ位置を通る軌道。Landsat（4号以降）の回帰日数は16日。

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。

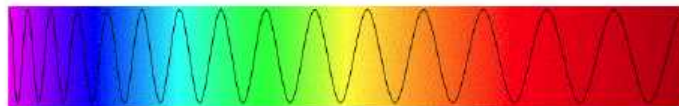


4. 電磁波

電磁波とは



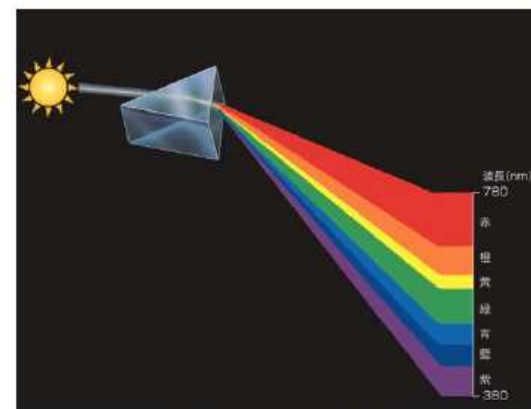
[図引用：文部科学省ホームページ]



[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。

波長に応じた太陽光の分離



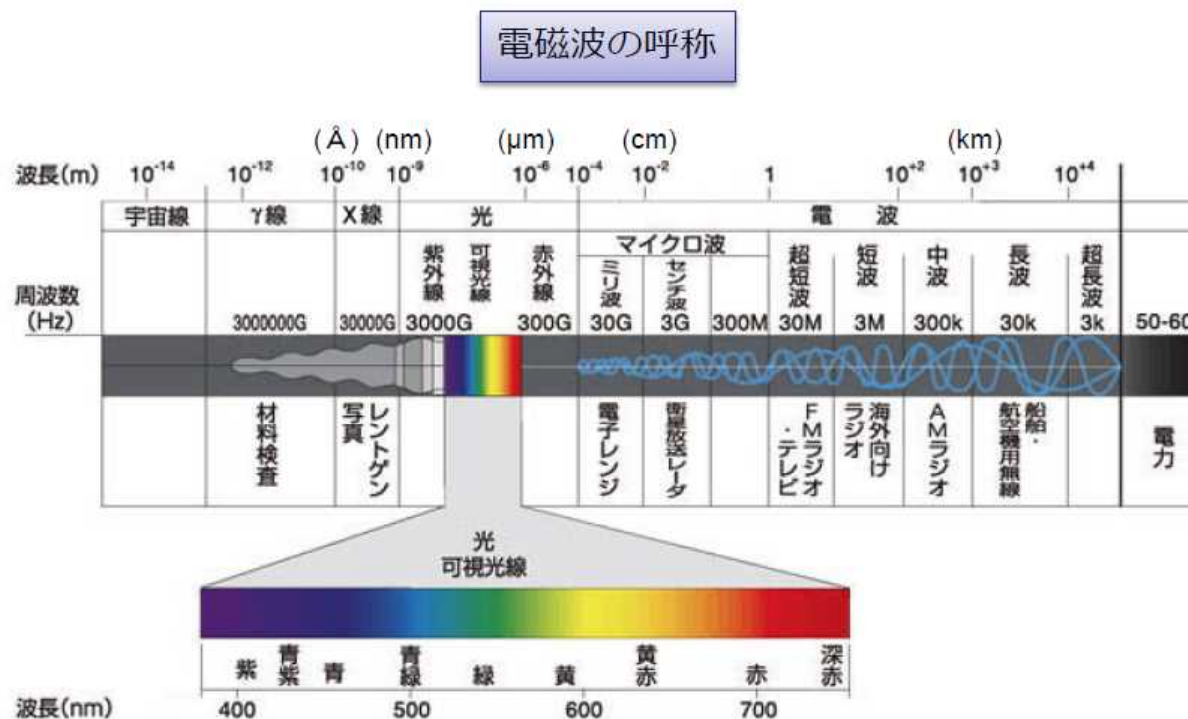
[図引用：高嶋技研ホームページ]



[写真引用：映画『夢』ポスター]



4. 電磁波



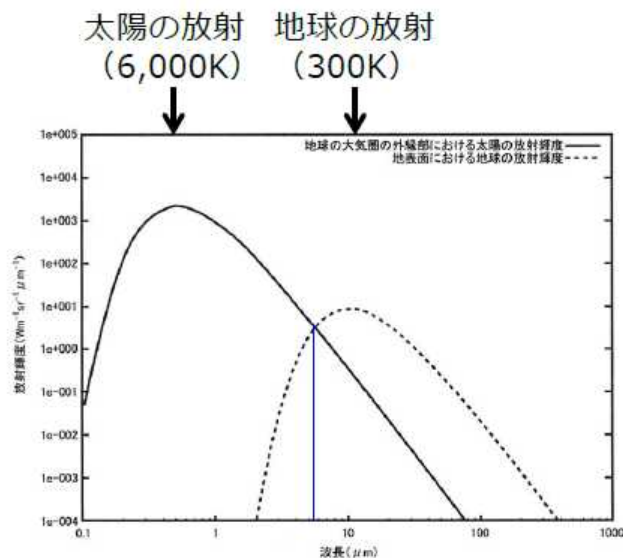
[図引用：スガツネ工業ホームページ(一部改変)]

- 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。



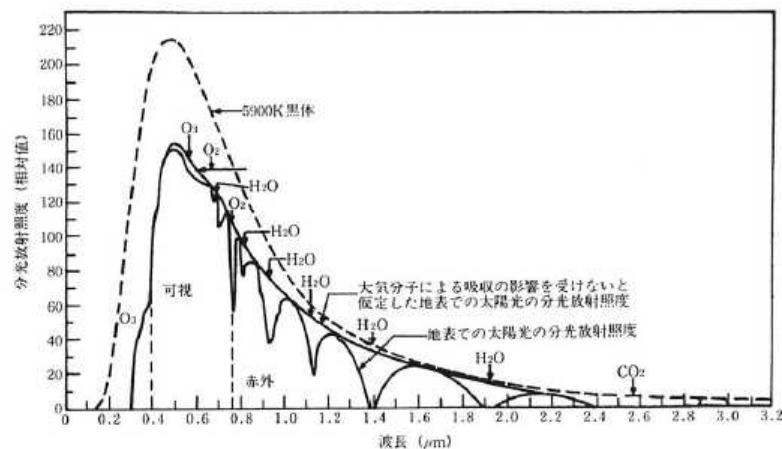
4. 電磁波

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

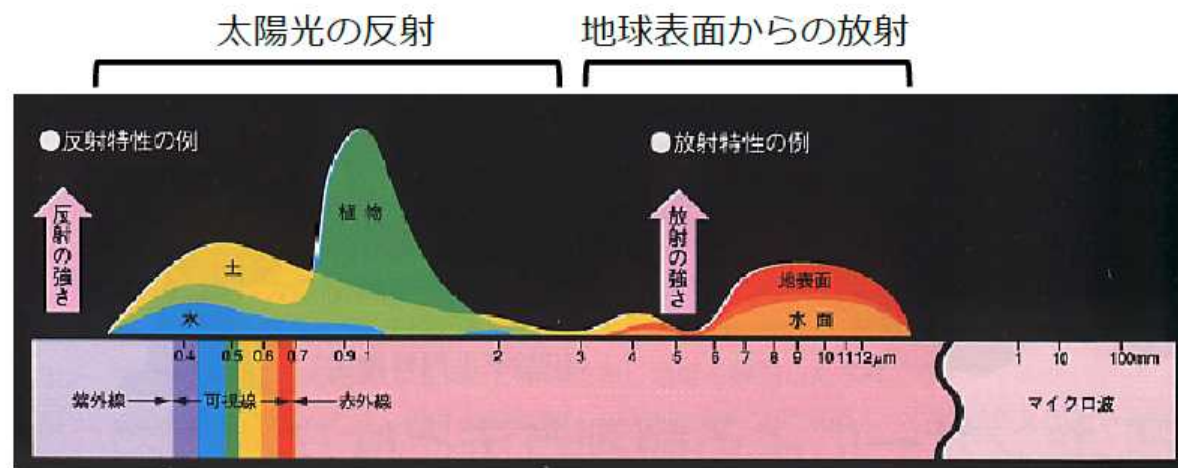


[図引用：図解リモートセンシング]

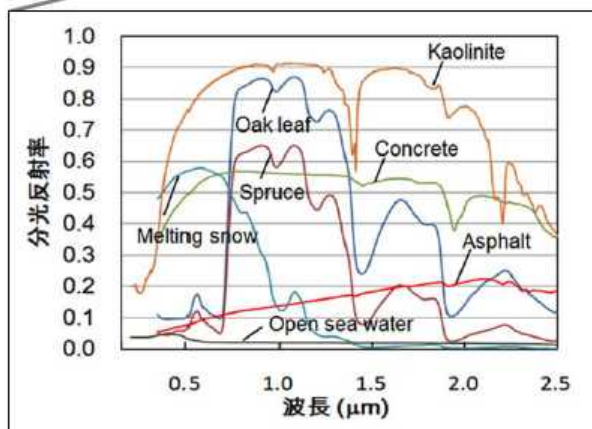
- スペクトル = 波長によって光の強さが変化する様子。
- プランクの法則 = 物体から放射される光のスペクトルは物体の温度に依存する。
- 太陽放射は約 $0.5\mu\text{m}$ 、地球放射は約 $10\mu\text{m}$ にピーク。各々が卓越する波長の境は約 $3\mu\text{m}$ 。
- 太陽光が地表面に到達するまでに、地球大気による吸収・散乱の影響を受ける。



5. スペクトル特性



[図引用：RESTECホームページ]



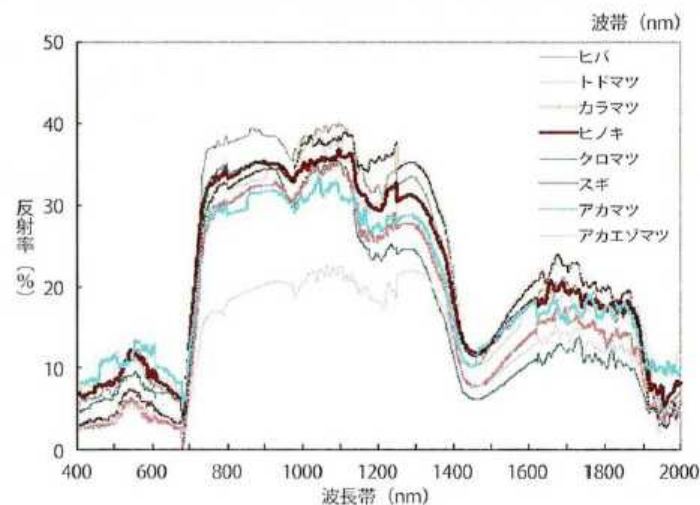
[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- ☐ 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）。

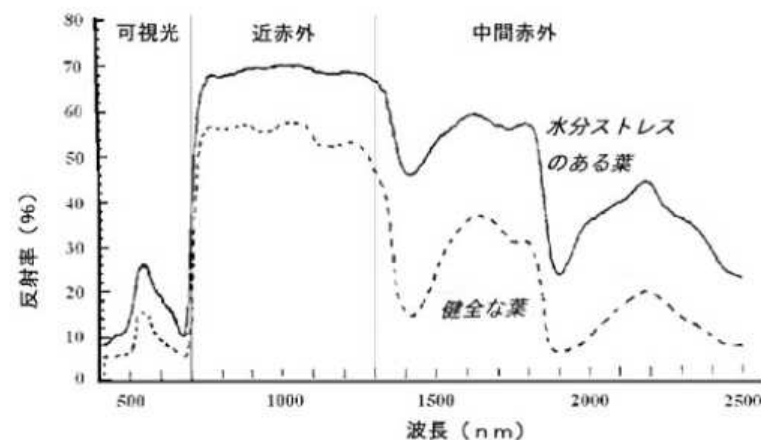


5. スペクトル特性

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]

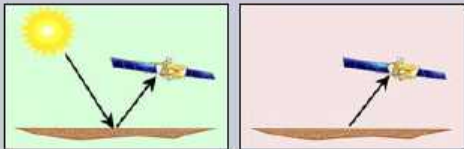
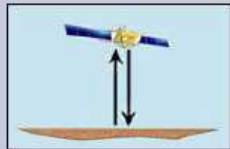


[図引用：森林総合研究所ホームページ]

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

[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

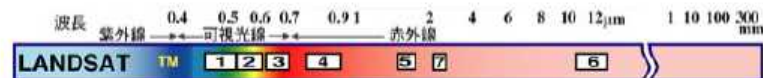
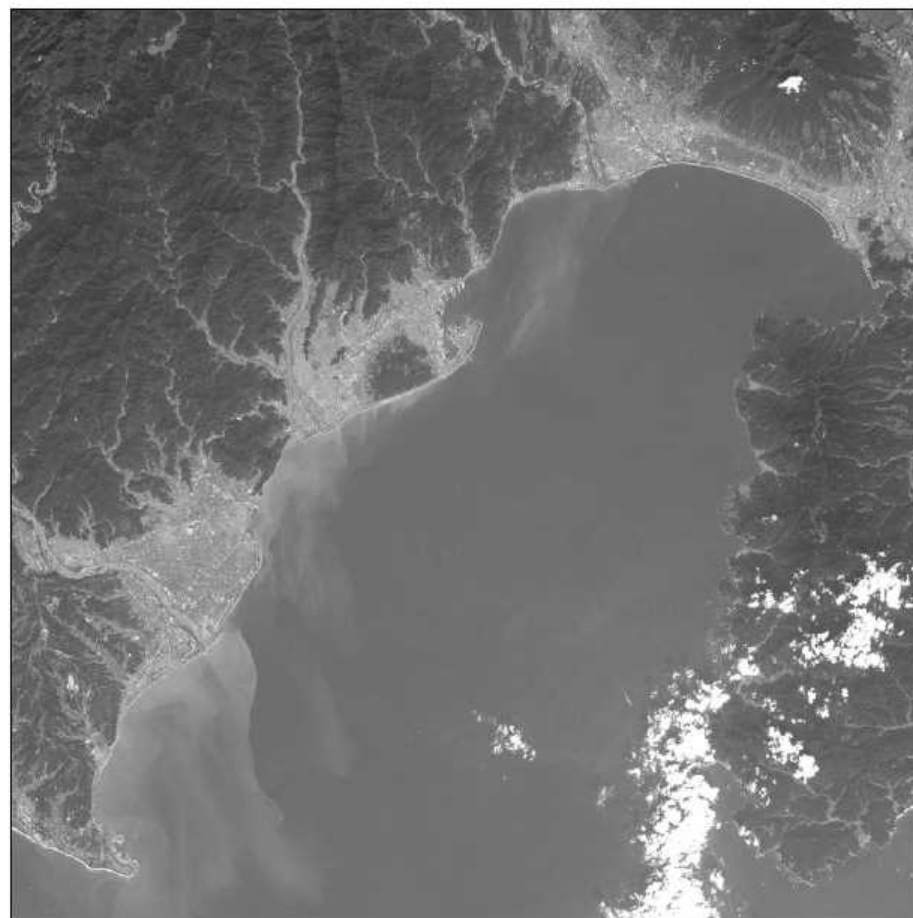
- REDDプラスにおける利用が想定されるのは、主に『光学画像センサ』と『合成開口レーダ』。



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

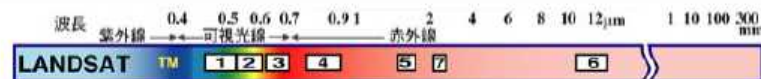
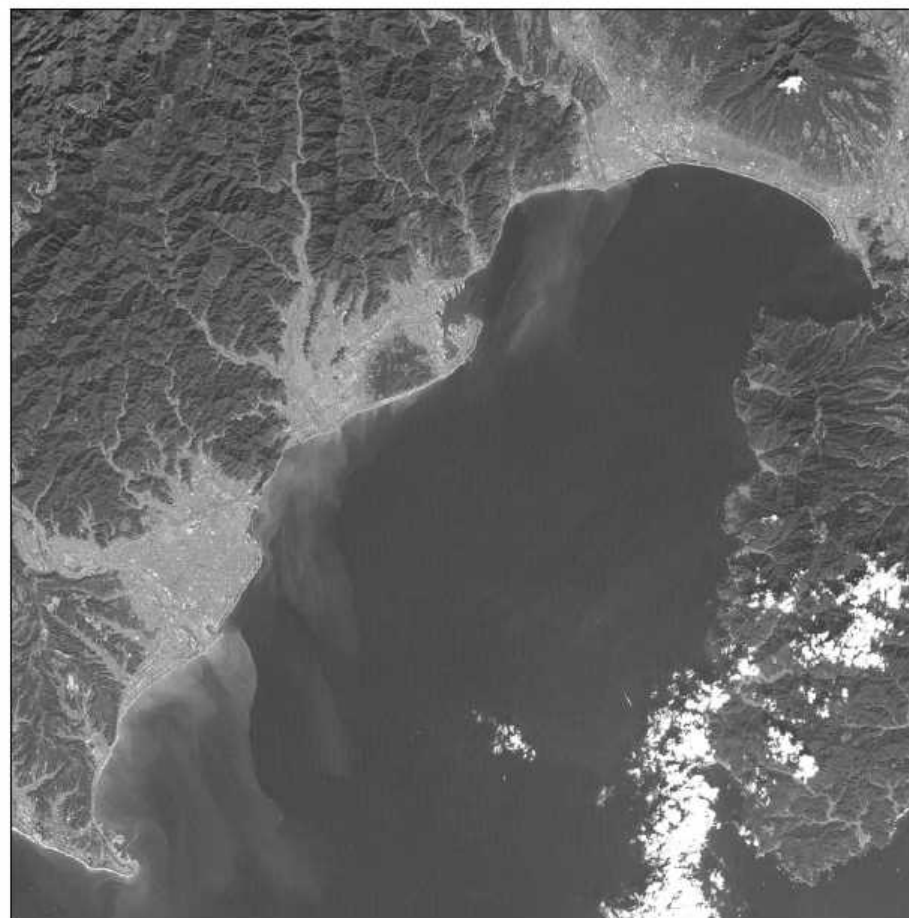




7. 波長帯別に見た画像

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

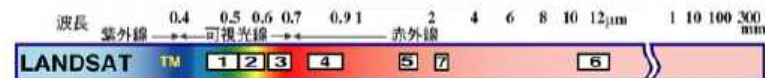
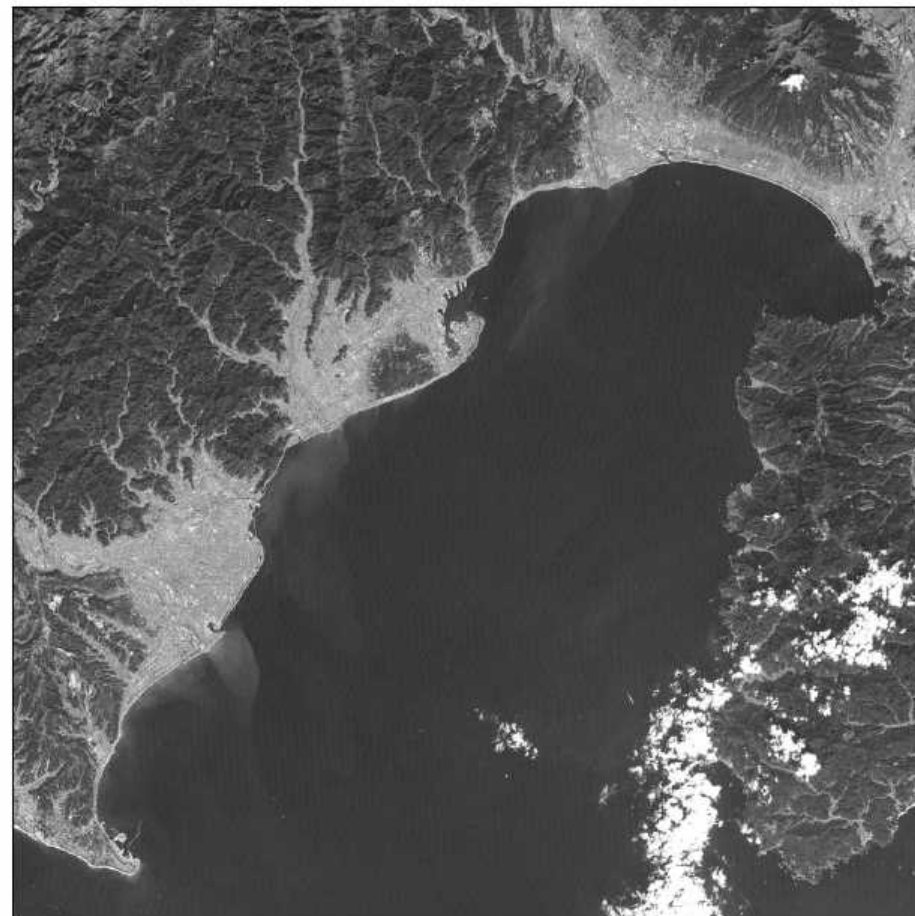




7. 波長帯別に見た画像

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

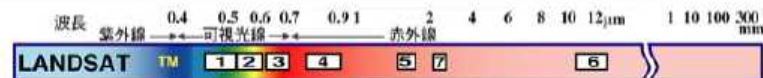
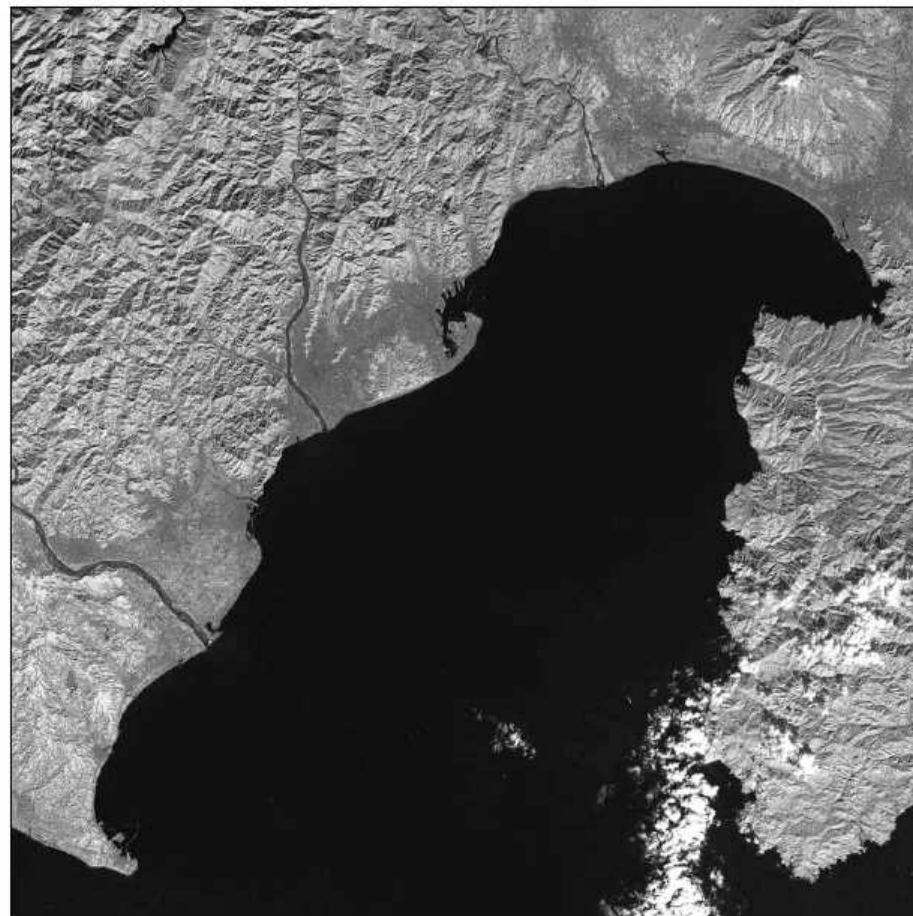




7. 波長帯別に見た画像

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

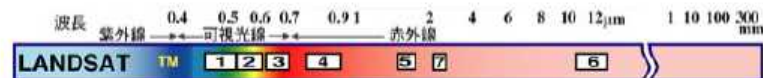




7. 波長帯別に見た画像

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

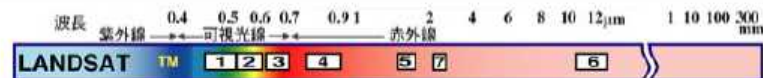




7. 波長帯別に見た画像

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

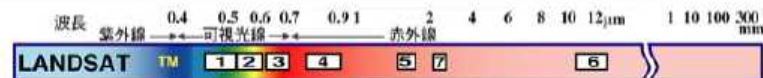
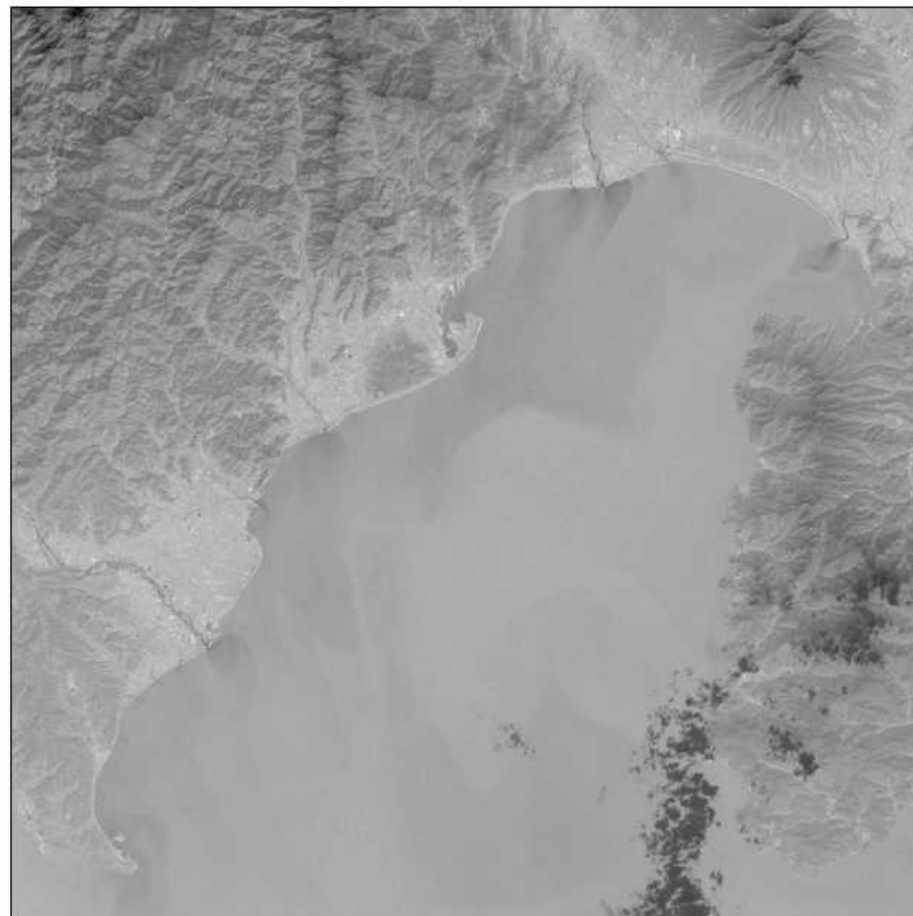




7. 波長帯別に見た画像

バンド6
10.40 - 12.50 μm
(遠赤外/熱赤外)

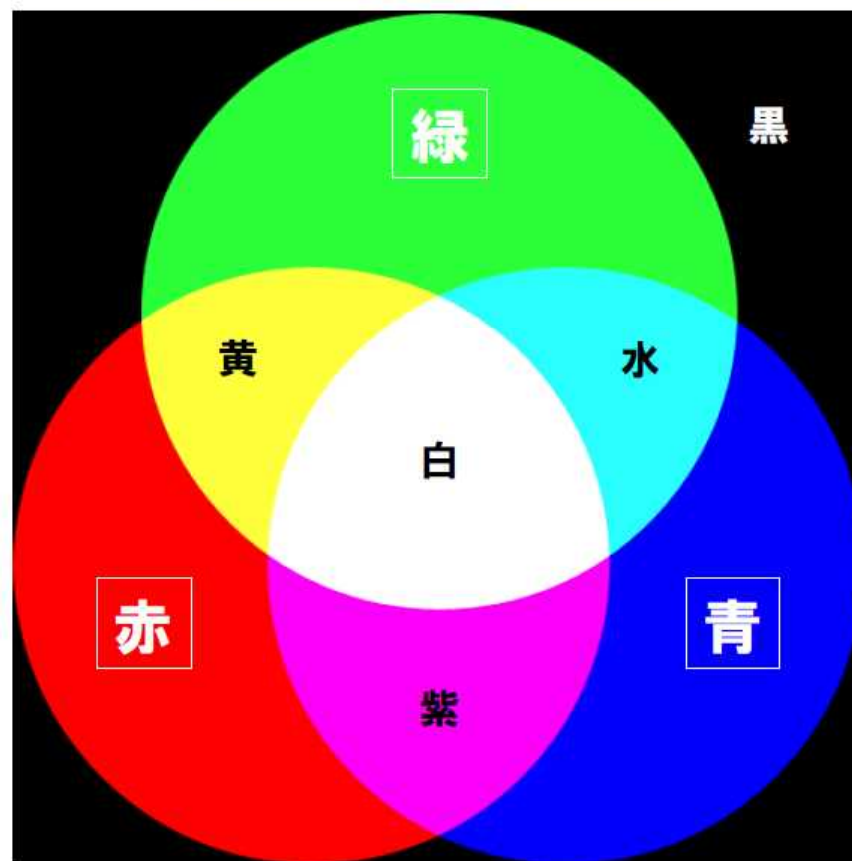
Landsat-7/ETM+
1999/11/13撮影
静岡県駿河湾周辺





8. カラー合成画像

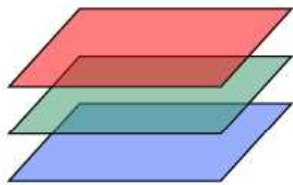
光の三原色による加法混色





8. カラー合成画像

フォールスカラー画像



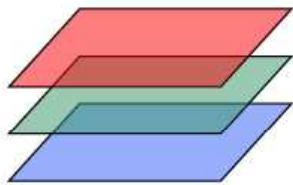
赤 = バンド4 (近赤外)
緑 = バンド3 (赤)
青 = バンド2 (緑)





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]

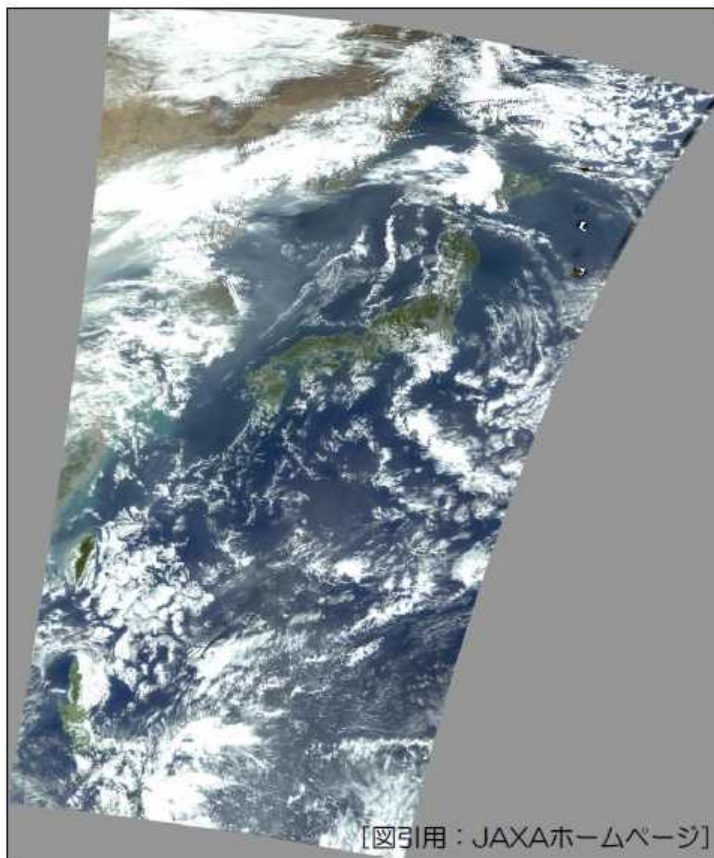
センサ選択時に考慮する点

- ☐ 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



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

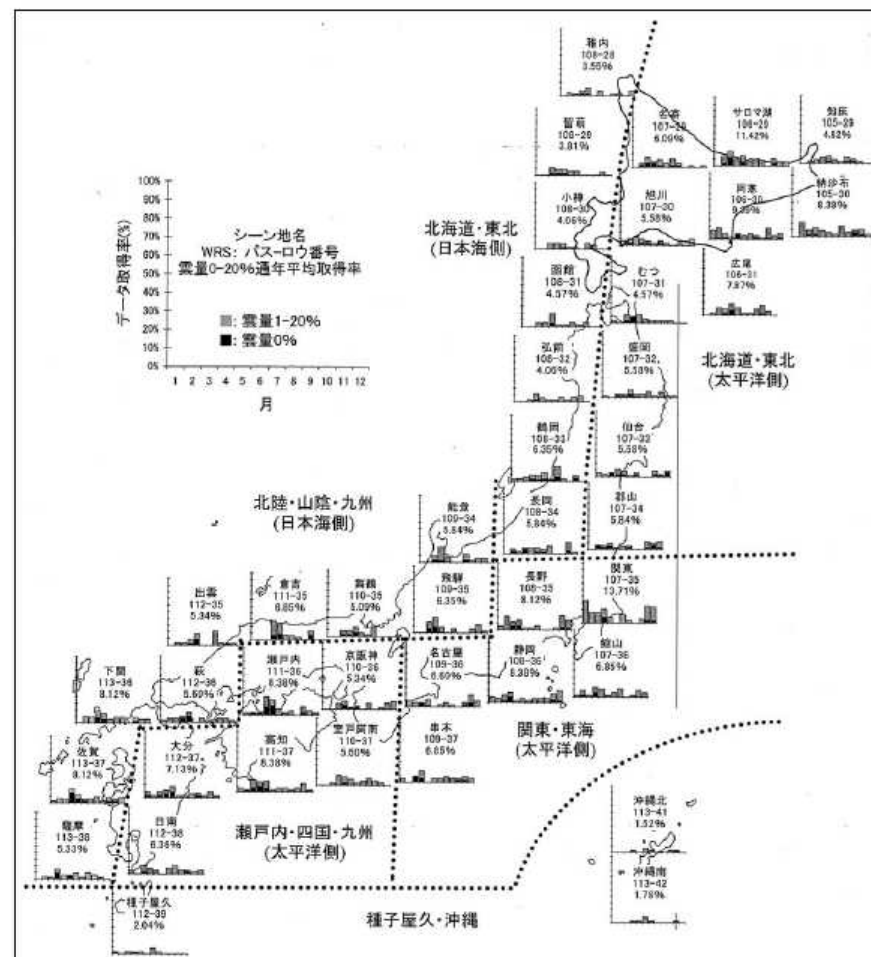
※ 3 km四方の範囲を比較して表示。



12. 雲被覆

秋山&川村(2003)の報告

- Landsat-5が17年間に撮影した画像の雲量を調べた所、快晴の画像（雲量20%以下）が撮影される確率は国内平均で6.17%。
- Landsat-5の回帰日数は16日であるため、平均256日に1度しか快晴の画像は得られない。
- 快晴画像が得られる確率が高いのは関東（13.71%）、低いのは沖縄北（1.52%）。



〔図引用：秋山&川村, 2003〕



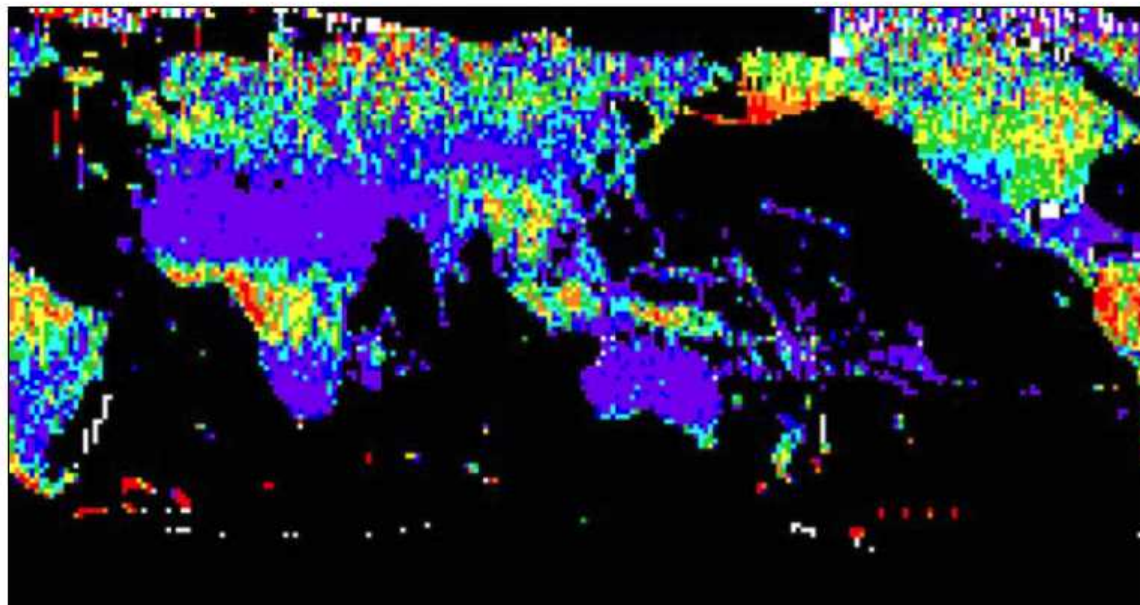
12. 雲被覆

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

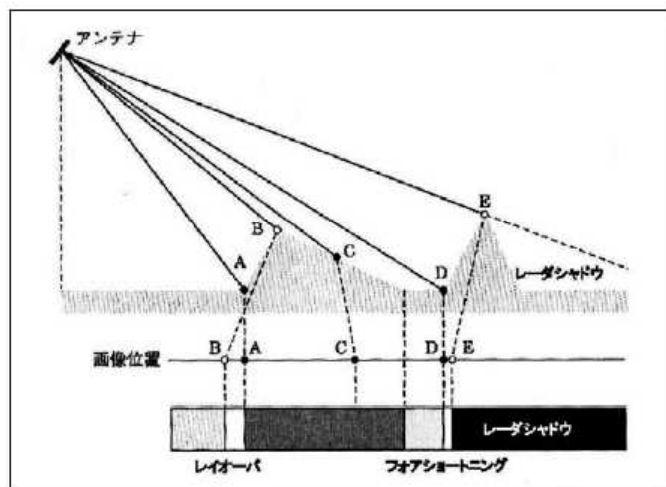


[図引用：JAXAホームページ]

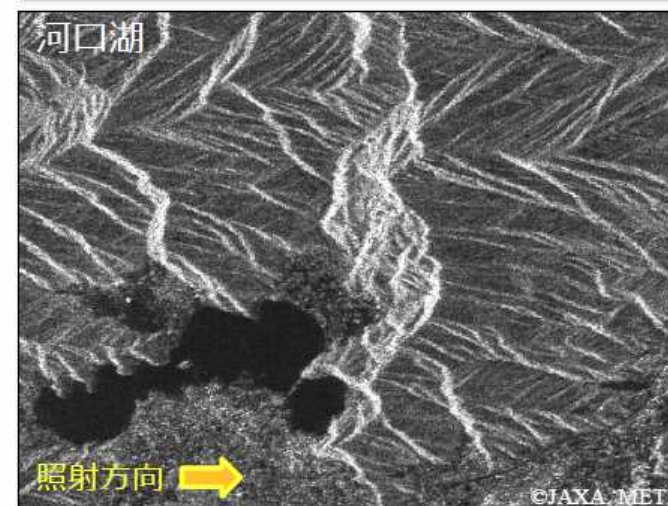
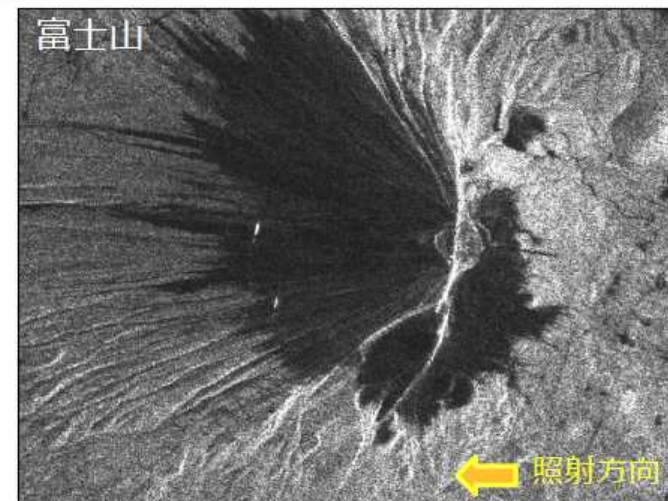


13. 合成開口レーダ

SAR画像における地形効果



[図引用：農業リモートセンシングハンドブック]

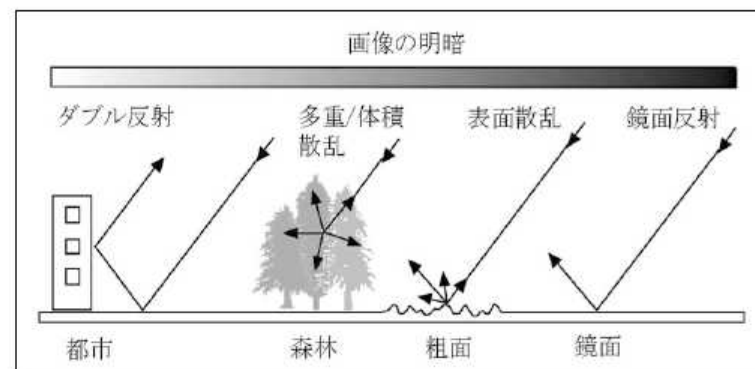




13. 合成開口レーダ

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。

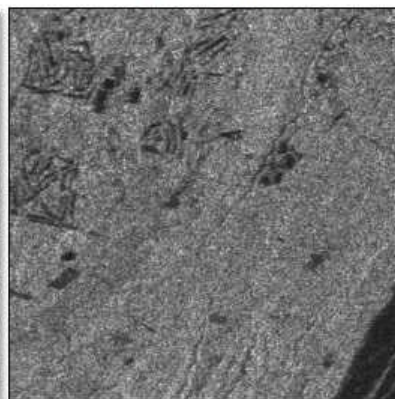


【図引用：基礎からわかるリモートセンシング】

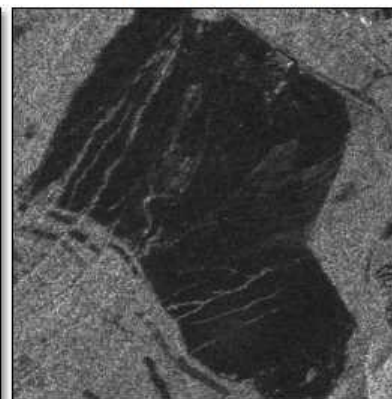
市街地
(沼津市)



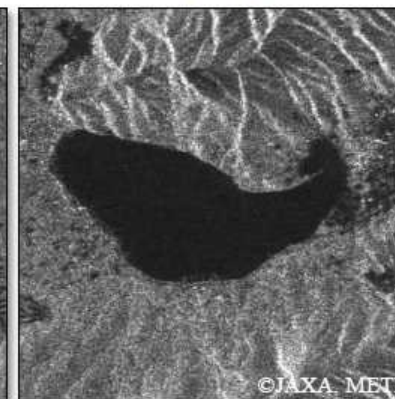
森林
(富士北麓)



草地
(北富士演習場)



水面
(山中湖)



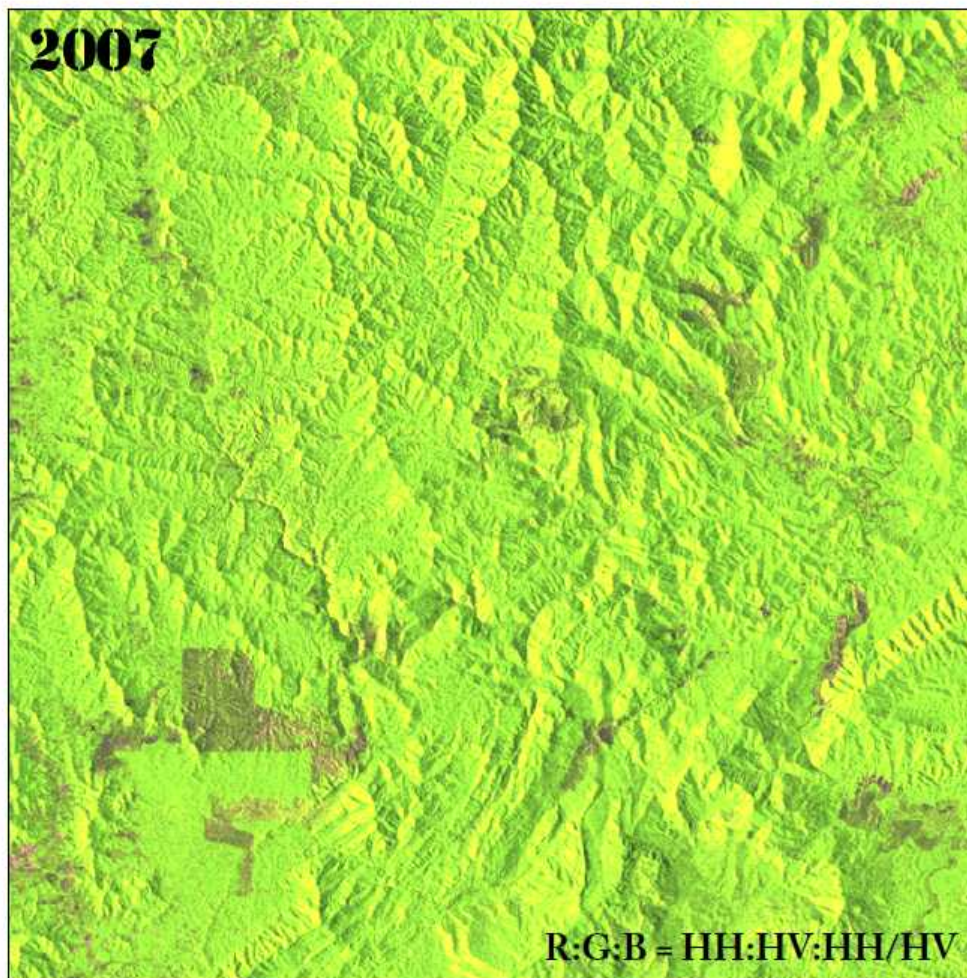
照射方向 →



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, METI)]



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

⋮

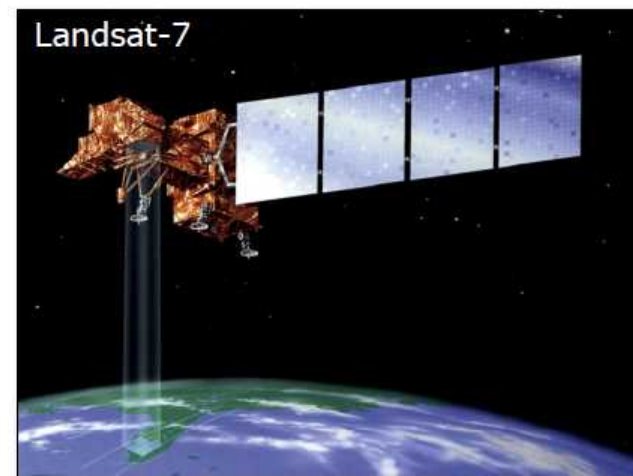
7号 1999年～

8号 2013年～

□ 軌道要素 = 高度 約705km
回帰日数 16日

□ センサ

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	



[図引用：NASAホームページ]

※ 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

□ センサ

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。



[図引用：CNESホームページ]



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入手可能

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

☐ センサ

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。



[図引用：NASAホームページ]



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入手可能

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

☐ センサ

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。



[図引用：NASAホームページ]



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

SPOT-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。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年度と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
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：NASA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

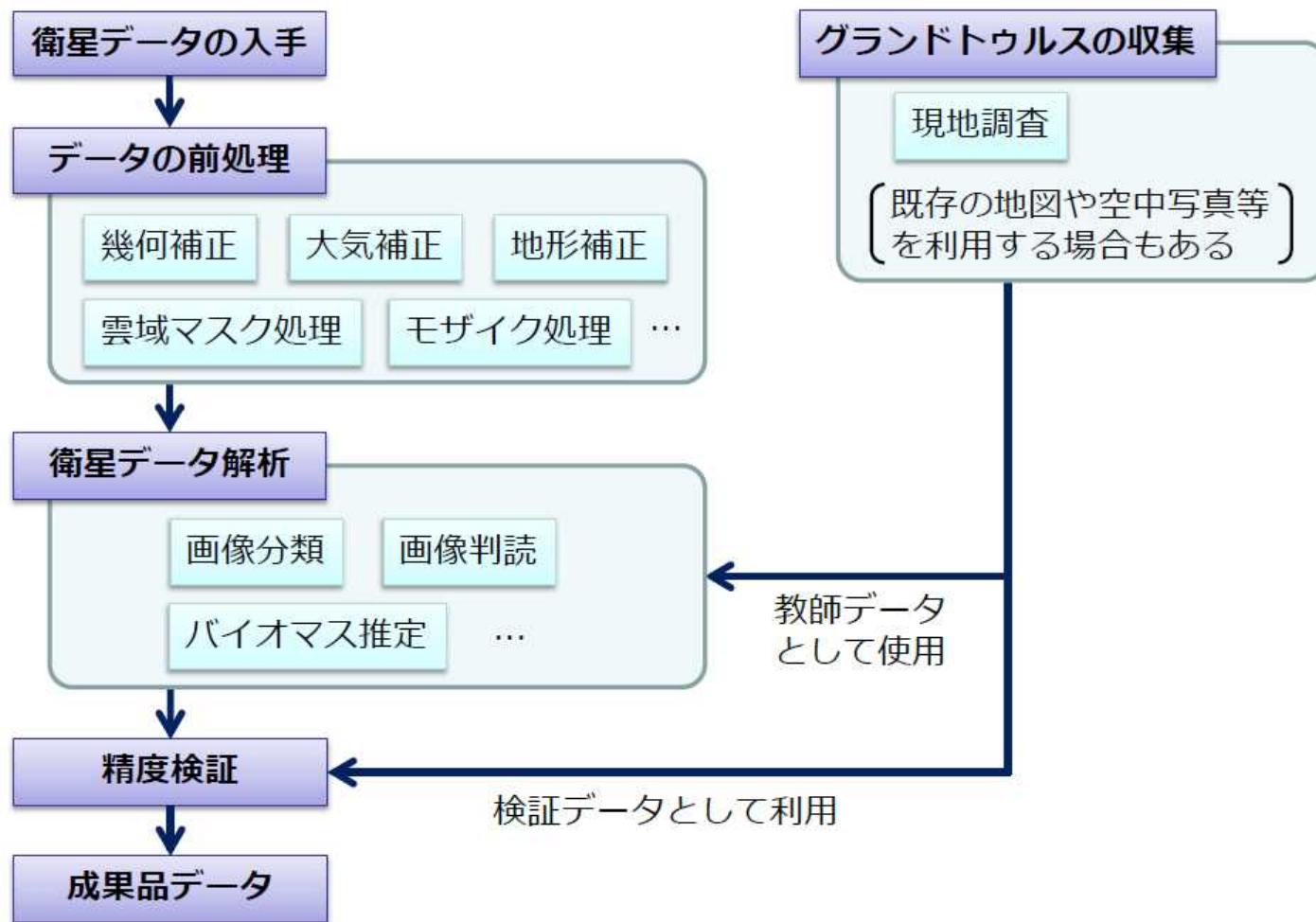
- ☐ ERDAS Imagine : 代表的ソフト
- ☐ ENVI/IDL : 代表的ソフト
- ☐ PCI : 代表的ソフト
- ☐ TNTmips : 比較的低価格
- ☐ eCognition : オブジェクトベース分類

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

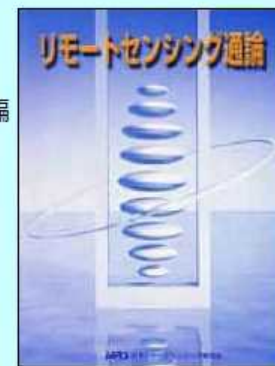
図解リモートセンシング

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



平成25年度 REDDプラスに係る森林技術者講習会（基礎講習）

衛星データの種類と 入手の際の留意点



一般財団法人 リモート・センシング技術センター
REMOTE SENSING TECHNOLOGY CENTER OF JAPAN

衛星データの種類と入手の際の留意点

講師：磯野 賀瑞夫

ISONO Kazuo

(一般財団法人 リモート・センシング技術センター)

目次 Contents

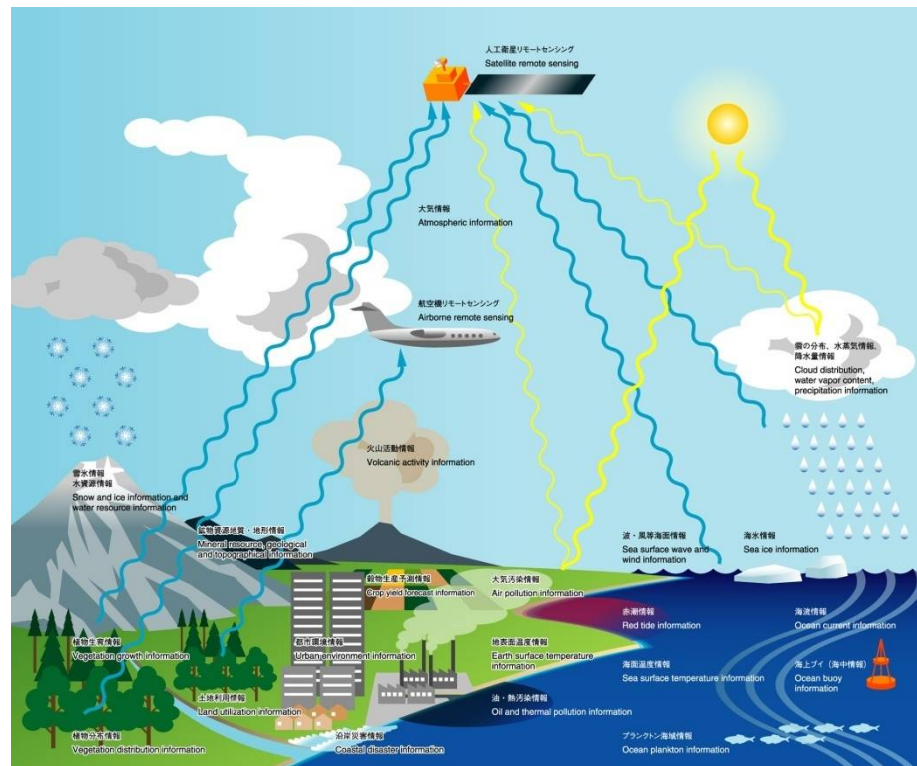
1. 衛星データの概要
2. 撮影の条件
3. 撮影と処理の流れ
4. データ形式と加工サービス
5. いろいろな衛星と搭載センサ

1. 衛星データの概要

- ・ 衛星リモートセンシングとは
- ・ リモートセンシングにおける電磁波の種類
- ・ 地表対象物の太陽光分光反射特性
- ・ センサが見ている各波長帯の特徴
- ・ 解像度による見え方の違い

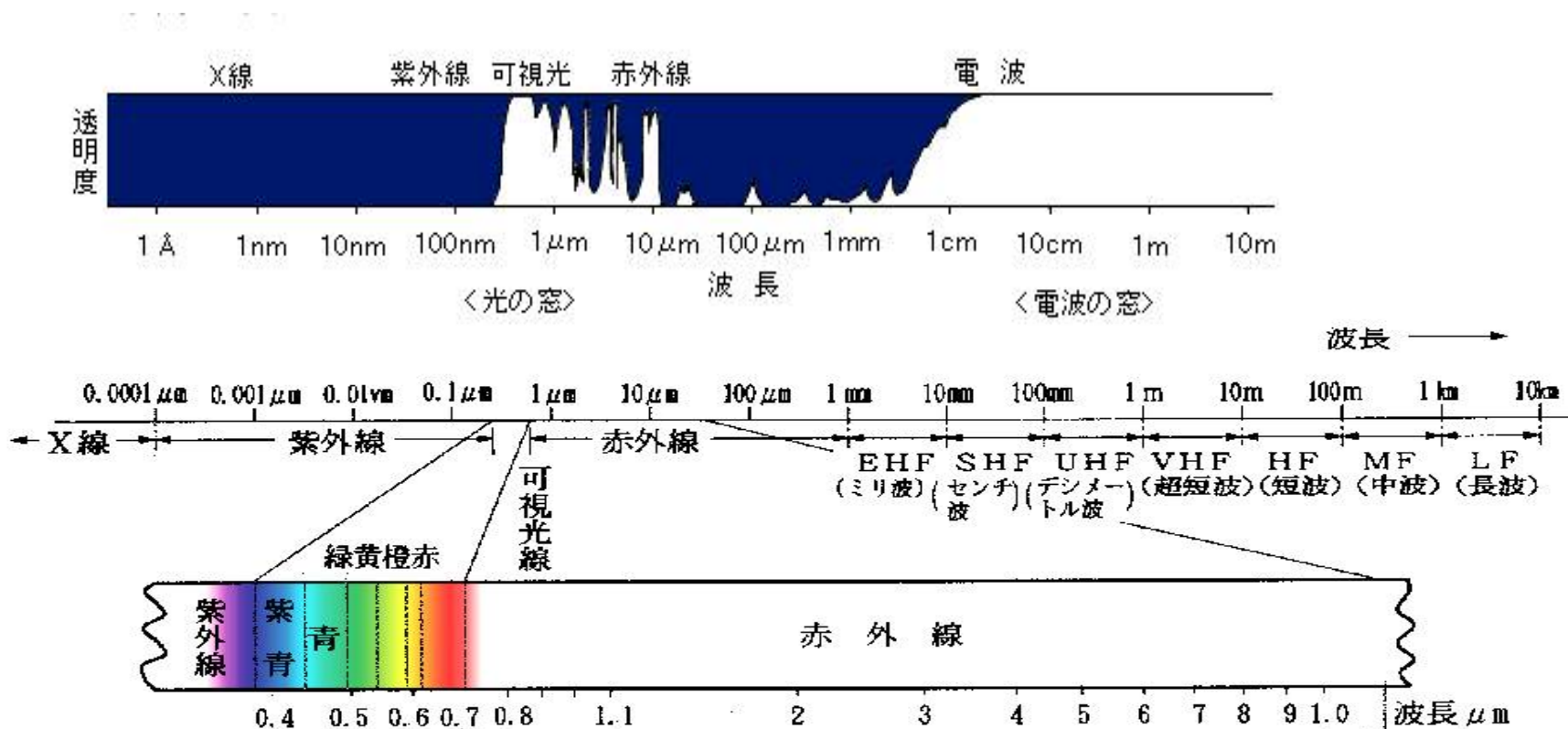
衛星リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、直接手を触れないで、対象物や現象に関する情報を収集し、対象物や現象の識別、分類、判読および分析を行う技術である。



収集される情報は、対象物から反射または放射される電磁波に関する情報である。

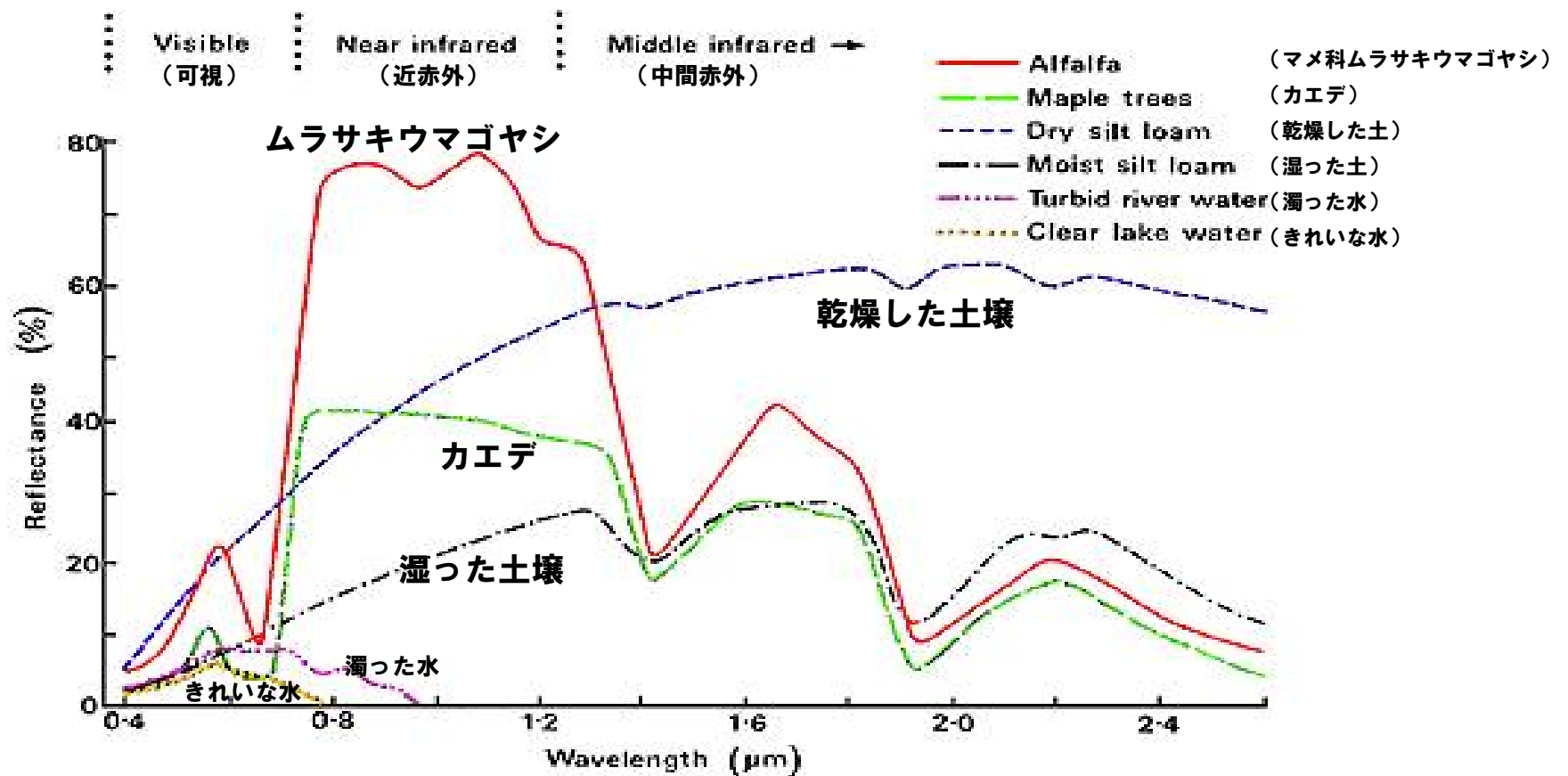
リモートセンシングにおける電磁波の種類



リモートセンシングでは、電磁波を複数個の波長帯域に分けて、その電磁エネルギーを収集する方式がとられる。

地表対象物の太陽光分光反射特性

『すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、ことごとく異なる電磁波の反射または放射の特性を有する』



<参考資料>

ムラサキウマゴヤシ牧草地帯



Alfalfa (マメ科・学名: *Medicago sativa*)

日本語ではムラサキウマゴヤシと呼ばれる。
マメ科の多年草の牧草、西南アジア原産、
欧州、アフリカ北部、西アジアに分布世界で
広く栽培され重要な牧草のひとつ。

楓 (かえで)

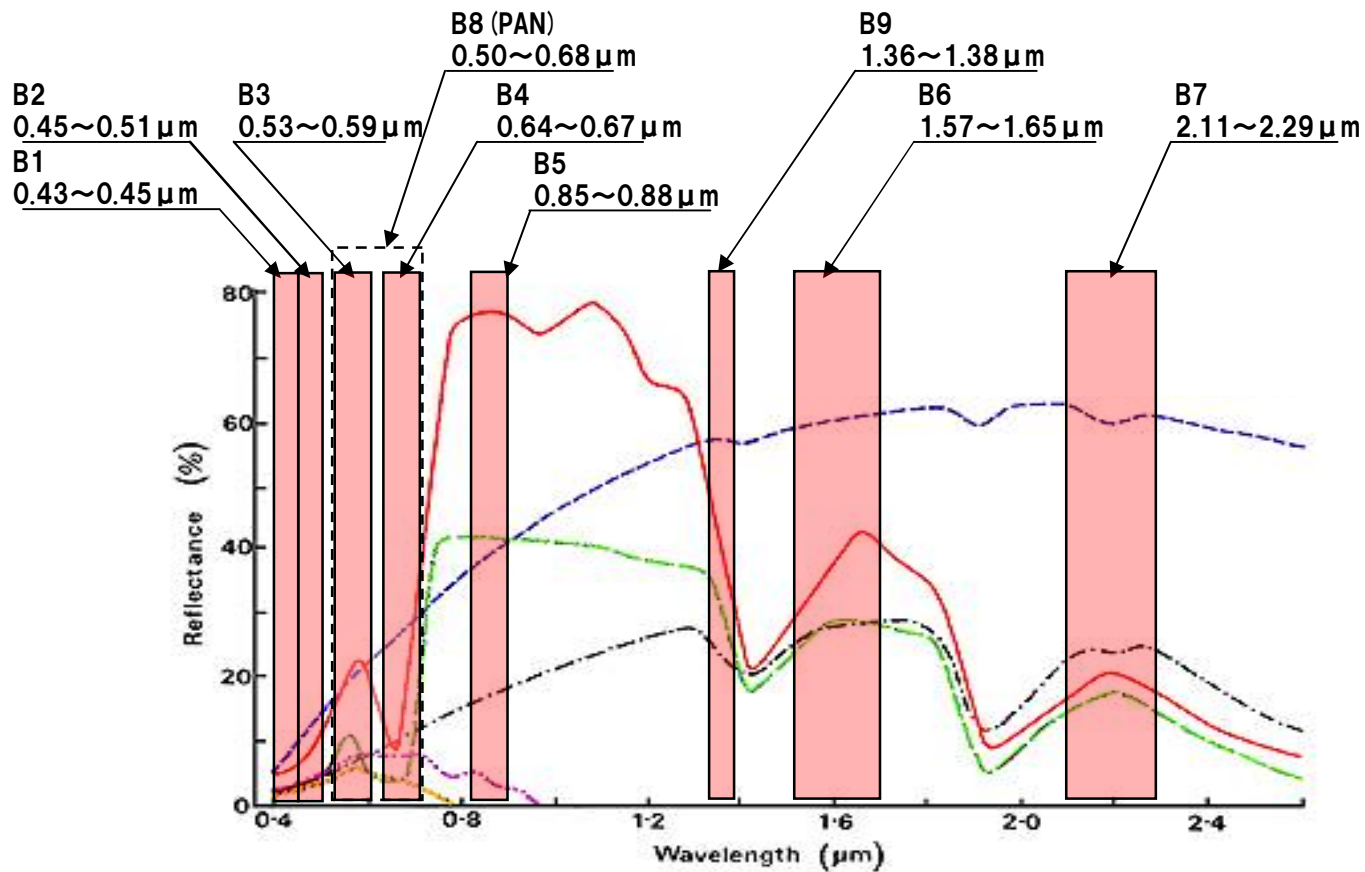


Maple tree (カエデ科・学名 *Acer palmatum*)

Acer : カエデ属 palmatum : 掌 (手のひら) 状の意、「かえで」「もみじ」とも呼ぶ。

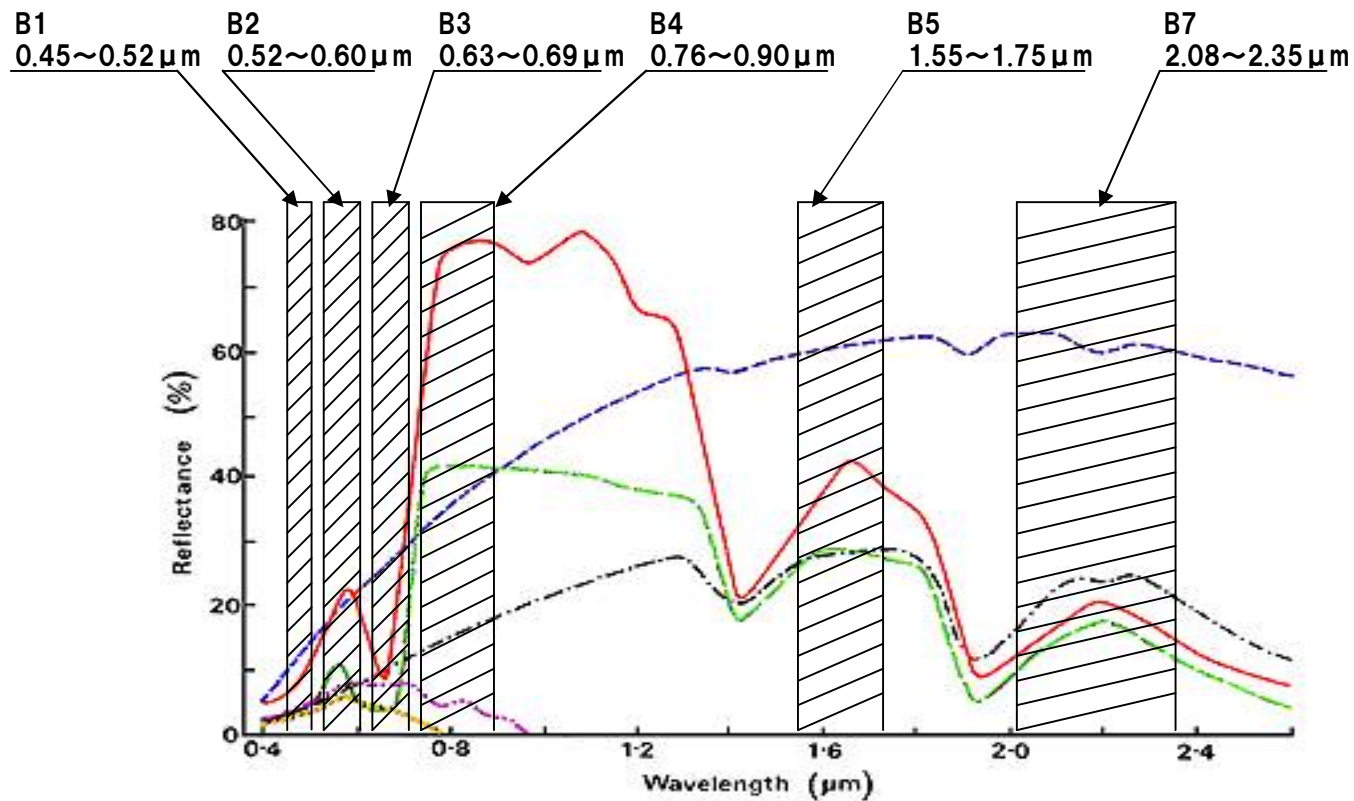
センサが見ている各波長帯の特徴

多くの観測波長帯（バンド）を持ち、現在活躍しているLandsat8/OLIセンサを例にして、各種対象物の分光反射特性と観測バンドの配置を示す。



センサが見ている各波長帯の特徴

OLIセンサの前身であり、広く活躍していたLandsat/TMセンサの画像を例にして、各観測バンドの画像の特徴を見てみよう。



センサが見ている各波長帯の特徴

Landsat/TMの観測バンドと主な応用分野を下表に示す。

バンド	波長帯 (μm)	主な応用分野
1	0.45～0.52	・ 沿岸水のマッピング ・ 土壌と植物の区別 ・ 落葉樹と針葉樹の区別
2	0.52～0.60	・ 植物の活性度
3	0.63～0.69	・ 植物の種類を決定するためのクロロフィル吸収
4	0.76～0.90	・ バイオマス調査 ・ 水塊分布
5	1.55～1.75	・ 植物水分測定 ・ 雪と雲の区分
6	10.4～12.5	・ 植物のヒートストレス測定 ・ 温度のマッピング
7	2.08～2.35	・ 露出している地表熱水鉱床や鉱石資源探査

バイオマス・・・植物や植物性プランクトンが光合成によって生産する有機物の量

Landsat衛星データ（TM センサ）の画像例

観測地域の説明

画像は、静岡県の駿河湾に流れ込む富士川流域
（1992年4月23日）のものです



衛星画像の見方

バンド毎の画像

各バンドの画像はそれぞれの観測値（反射強度、または放射強度）を、全てグレースケール（白黒）で表示します。1画素あたりの情報量を0～255（8bit）階調のレベルでとらえ、バンドごとにとらえたデータを使用して解析を行います。

階調数とは



1ビット ($2^1=2$)

2ビット ($2^2=4$)

3ビット ($2^3=8$)

濃淡の一般的な解釈

- ・ 画像では、強く反射したところほど白く映ります。
- ・ 可視域の画像では、市街地や乾燥した裸地など可視域の光を強く反射するものは、明るく（白っぽく）見え、逆に森林や水域など反射が弱いものは、暗く（黒っぽく）見えます。

Landsat TM センサの各バンドごとの画像

バンド 1 (0.45~0.52 μm)



バンド1は青色から緑色にわたる波長帯。山岳部はクロロフィルの吸収、濁水の反射が見える

バンド 2 (0.52~0.60 μm)



バンド2は緑色から黄色にわたる波長帯、水域と陸域の区別がバンド1よりも明確

バンド 3 (0.63~0.69 μm)



バンド3は、赤色の波長帯、水域と陸域は更にはっきりする。植物域が黒くはっきりわかる

バンド 4 (0.76~0.90 μm)



バンド4は、植物の反射が強い波長帯、山岳域が白く見える。川や海は黒く反射が無い

バンド 5 (1.55~1.75 μm)



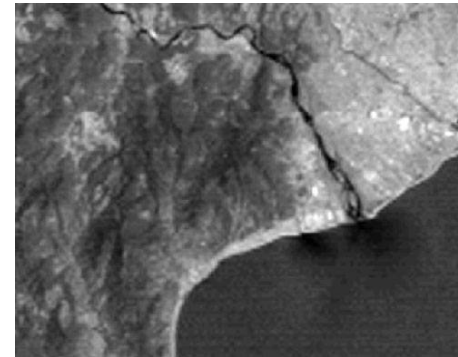
バンド5は植物や土壌の反射が強い波長帯。水分が多く含まれていると暗く、水分が少ないと明るい

バンド 7 (2.08~2.35 μm)



バンド7は植物の反射が土壌に比較し弱い分バンド5に比べ山岳域が暗く見える

バンド 6 (10.4~12.5 μm)

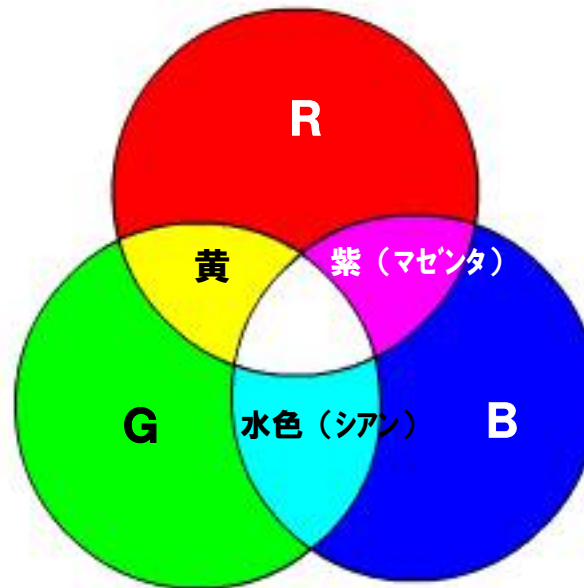


熱赤外域の画像では、低い温度ほど暗く、高い温度になるに従って明るく映る。水温も検出できる

画像の合成

人間に見える全ての色はR（赤）、G（緑）、B（青）の3色を混ぜ合わせる
ことによって表示することが出来ます（光の3原色）。

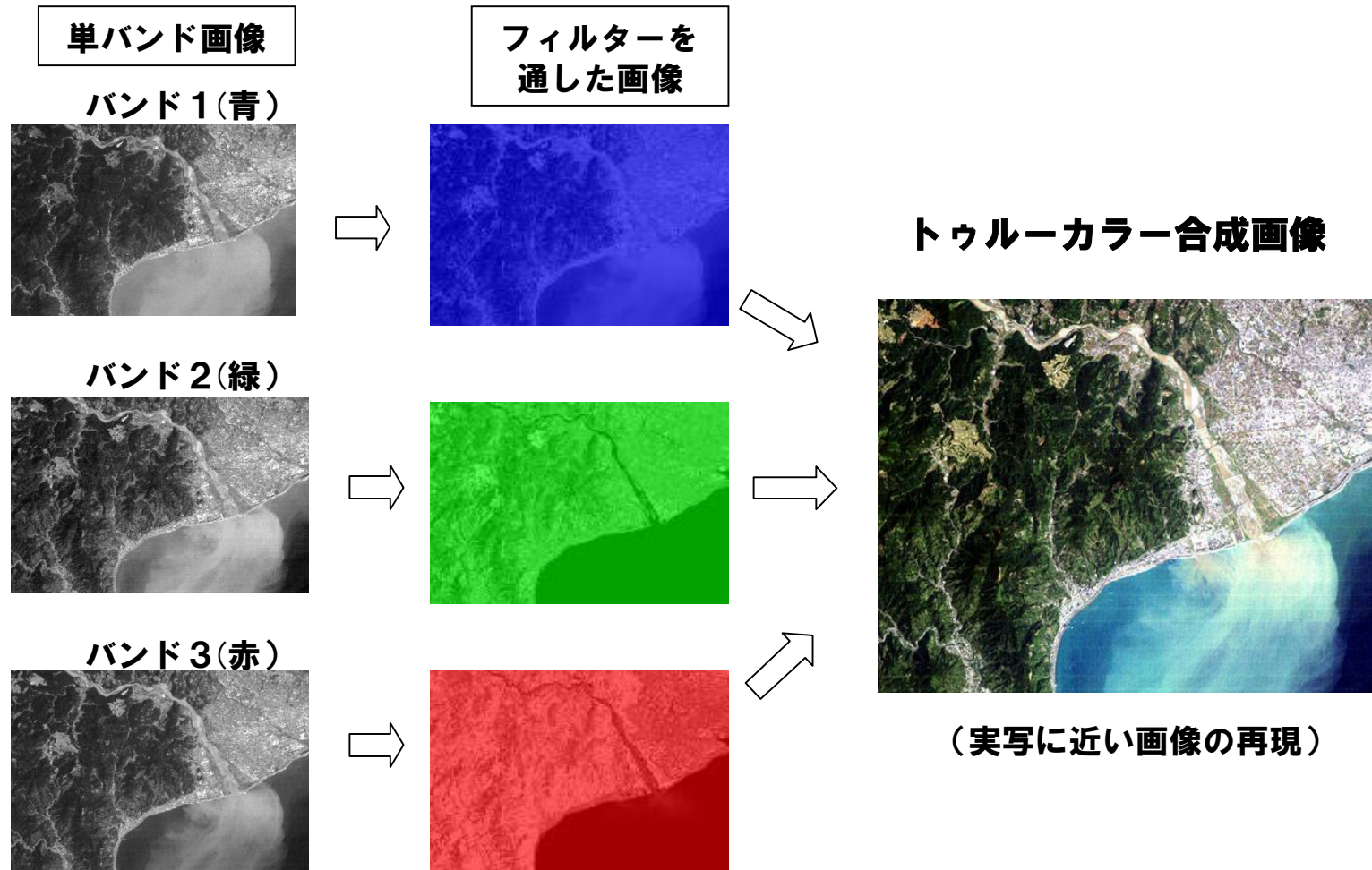
バンド1の画像に青のフィルターを通したものと、バンド2に緑のフィルター
を通したもの、バンド3に赤のフィルターを通したもの、この3つを合成する
ことにより実写に近い画像を再現することが出来ます。



光の3原色

カラー合成

異なるスペクトル画像に光の3原色を指定し、色を再現することをカラー合成と言う。トゥルーカラー、フォールスカラー、ナチュラルカラーのカラー合成画像 (Color Composite Image) ができます。



カラー合成 –バンドの組み合わせ例–

ナチュラルカラー合成画像

—植生が緑色に強調—



バンド3 を赤
バンド4 を緑
バンド2 を青

フォールスカラー合成画像

—植生が赤色に強調—



バンド4 を赤
バンド3 を緑
バンド2 を青

短波長赤外カラー合成画像

—都市域内、植物域内の区分が
より詳しく表示—



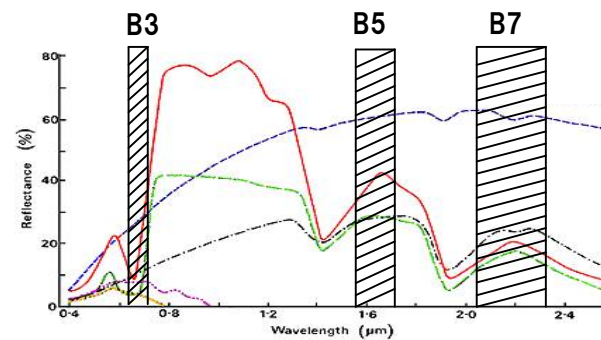
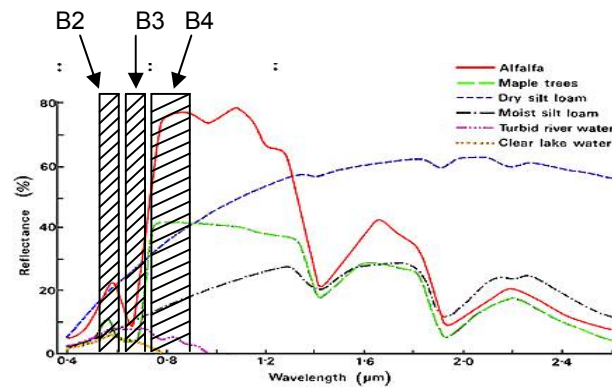
バンド7を赤
バンド5を緑
バンド3を青

熱赤外線カラー合成画像

—温度が高いところを赤で強調—

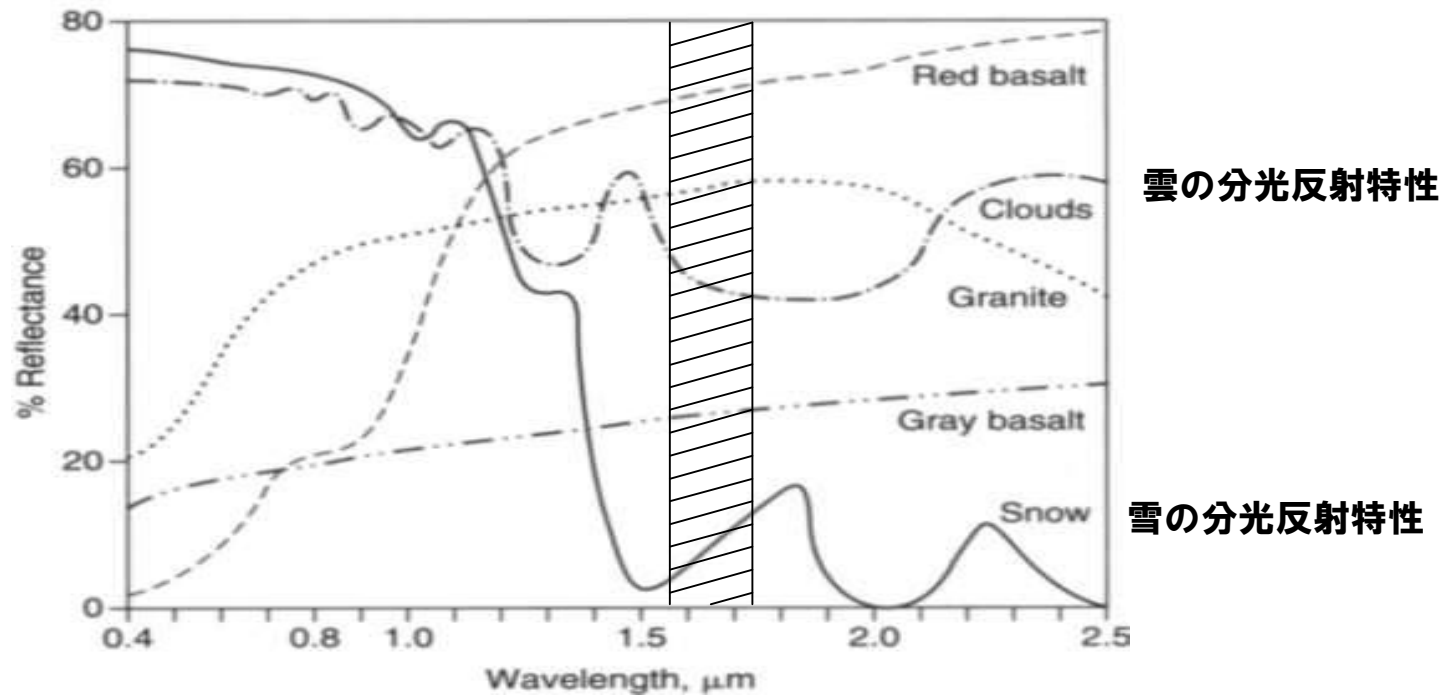


バンド6を赤
バンド4を緑
バンド2を青



中間赤外波長帯の特徴

中間赤外バンド 5 (1.55~1.75 μm) による雲と雪の識別



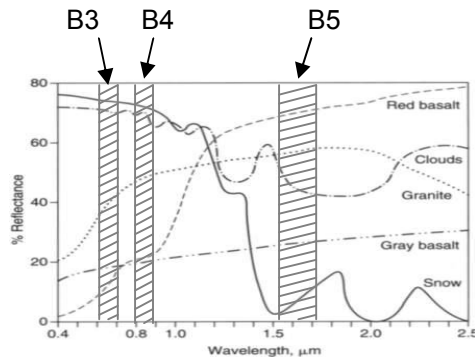
中間赤外域の雲と雪の分光反射特性

1.6 μm 帯を利用した雲と雪の識別

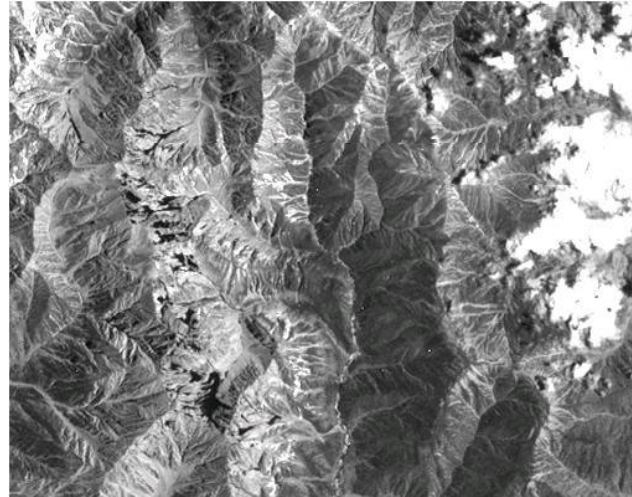


RGB=321 実写に近い画像

可視バンドのみを用いたカラー合成では、積雪と雲とが同じような白っぽい色で表示されてしまい、ほとんど区別ができません。



バンドと色配置



中間赤外バンド5画像

(1.55~1.75 μm)

バンド5では雪は黒く
雲は左図のように白く
反射して見えます



RGB=543

バンド5を赤色、
バンド4を緑色、
バンド3を青色
雲は可視・近赤外バンド
の画像と同じように白っ
ぽく表示されていますが、
西側の尾根の積雪は水色
(青色+緑色)で示され
ています

衛星データ提供：JAXA

解像度（分解能）による見え方の違い

10cm分解能画像: 一つ一つの車について説明ができます
25cm分解能画像: 車の種類について識別が可能です
50cm分解能画像: 車の種類についてどうにか識別ができる程度です
1m分解能画像: 車であることは判るが、車の種類までは判りません

10 cm分解能写真



25 cm分解能写真



50 cm分解能写真



1m分解能写真



(出展; FAS IMINT 101-Introduction to Image Intelligence home page より)

解像度（分解能）による見え方の違い

- 1.0m分解能画像:どんな種類の建物であるか判ります。車であることが判ります。
2.5m分解能画像:どんな種類の建物かどうか判ります。何か在ることは判るが車であることは判りません。
5.0m分解能画像:その物が建物であることは判るがどんな種類の建物かは判りません。車の検出は出来ません。
10.0m分解能画像:大きな建物の検出がどうにか出来ます。車の検出は出来ません。

1.0m分解能画像



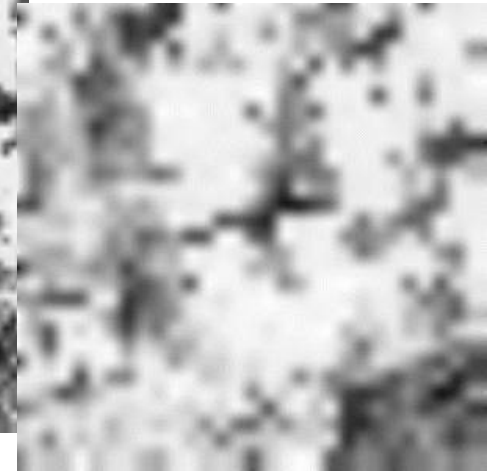
2.5m分解能画像



5.0m分解能画像

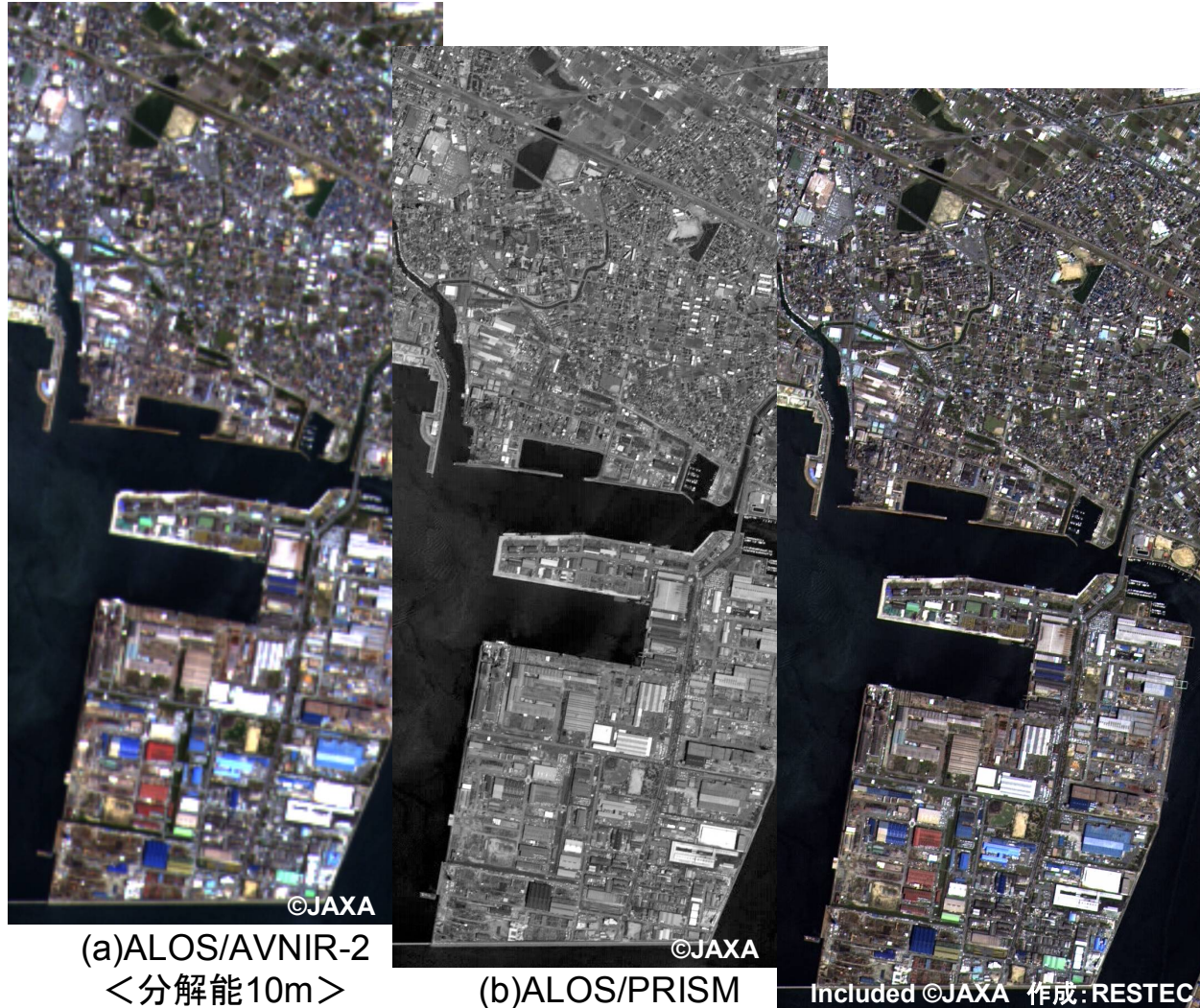


10.0m分解能画像



(出展:FAS IMINT 101-Introduction to Image Intelligence home page より)

カラーによる見え方の違い (パンシャープン加工処理画像)



(a)ALOS/AVNIR-2
＜分解能10m＞

(b)ALOS/PRISM
＜分解能2.5m＞

(c)パンシャープン画像
＜分解能2.5m＞

高分解能のパンクロマティック画像と、それより分解能は劣るがカラー情報を持つマルチバンドの画像の両者を合成して、高分解能かつカラーの画像を作成することをパンシャープン処理と呼びます。

(a)は10mカラーのALOS/AVNIR-2画像、(b)は2.5mパンクロマティックのALOS/PRISM画像で、この二つの画像から合成してできたのが、(c)の2.5mカラーのパンシャープン画像です。

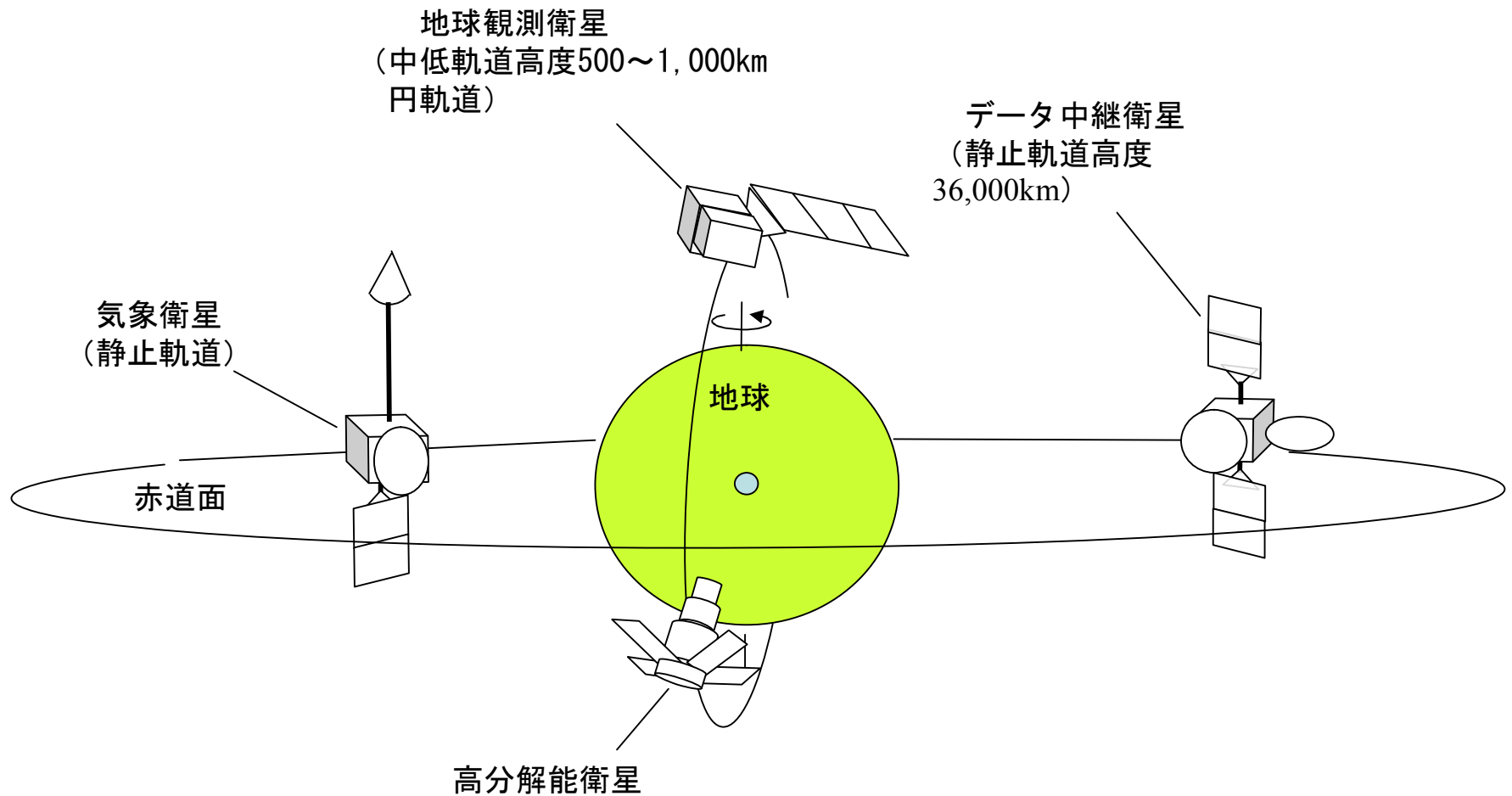
まとめ①

- 見たいもの、知りたい現象の特徴を整理し、以下の条件を決める
 - ・分光反射特性
 - ・解像度（分解能）

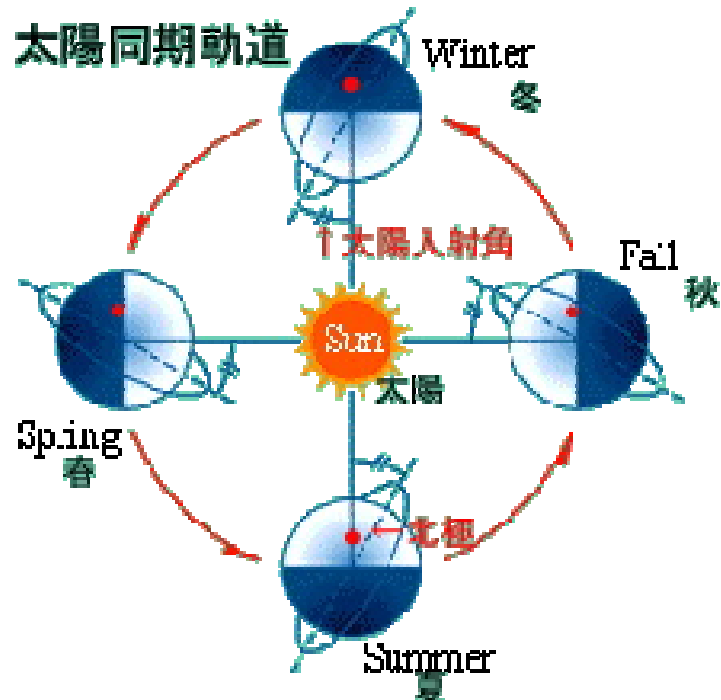
2. 撮影の条件

- 地球観測衛星の主な軌道
- 太陽同期軌道とは
- 軌道と観測幅と撮影の頻度
- ポインティング機能と撮影頻度

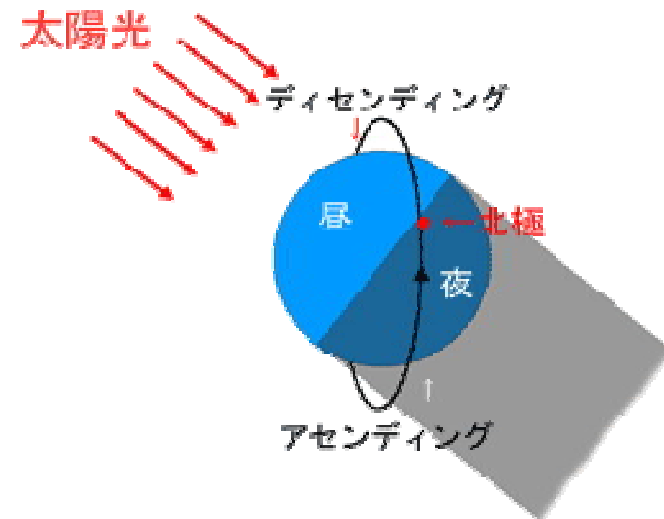
地球観測衛星の主な軌道



太陽同期軌道とは

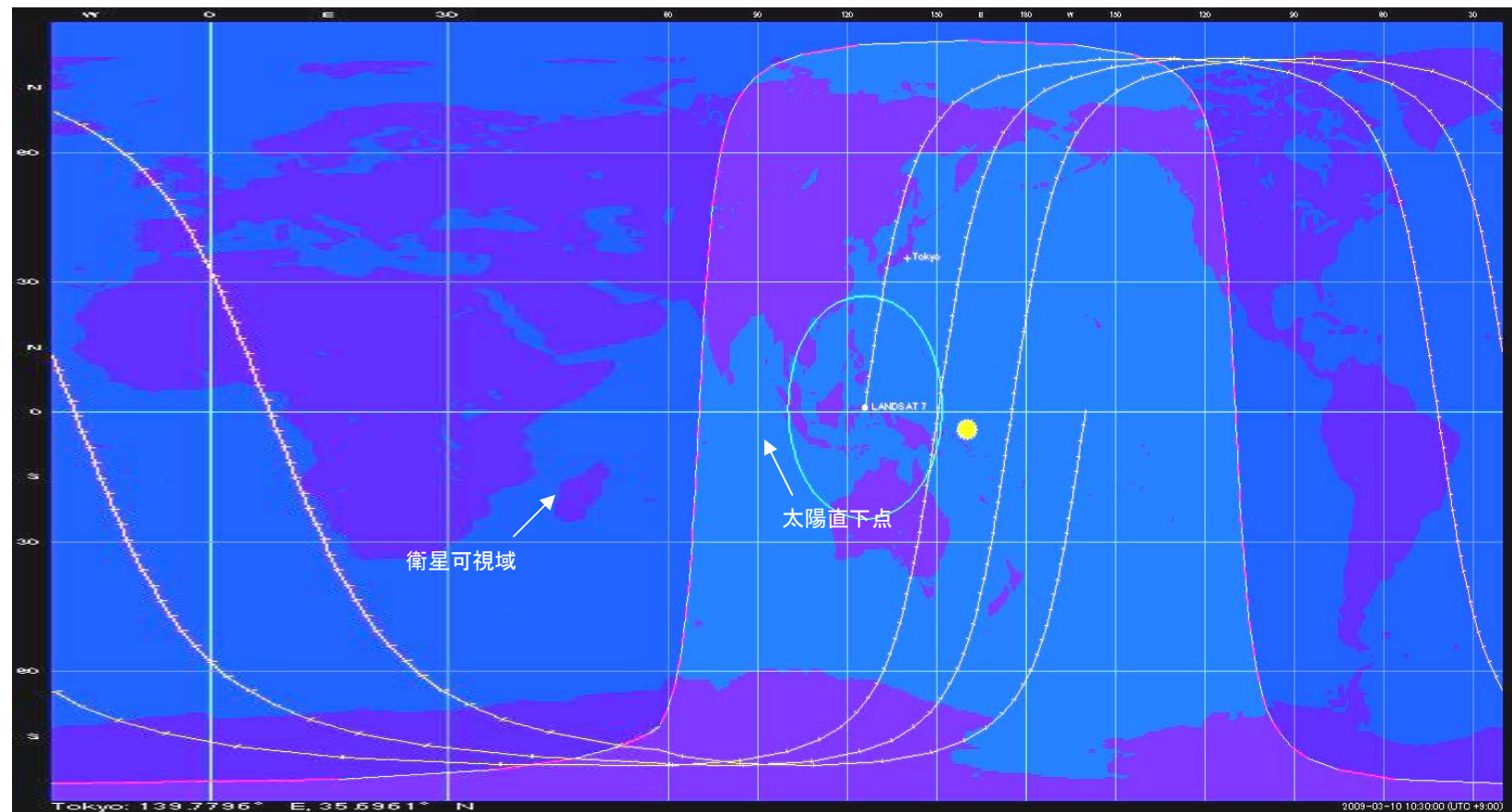


「太陽同期軌道」とは、衛星の軌道面と太陽方向がつねに一定になる軌道。つまり、衛星の軌道面の1日あたりの回転角が地球の公転周期（1日あたりの回転角）に等しい軌道。



北から南に向かう時に撮れるディセンディングの画像は、多くの場合、観測対象地域が昼であり太陽の反射があり多くの情報が得られるので、ディセンディングの画像が多く利用されています。

Landsat 7の地表面軌跡



———— 夜間 ———— ⇄ ———— 昼間 ———— ⇄ ———— 夜間 ————

Landsat 7 軌道データ

2009.03.10

現地時間10:30

軌道高度: 704.837km

軌道傾斜角: 98.195°

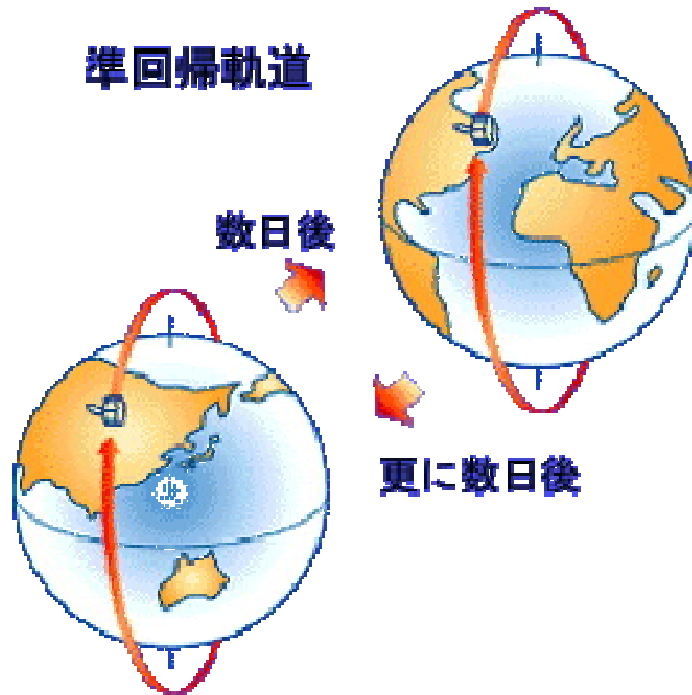
周期: 98.82分

Landsat 7の地表面軌跡

(2009. 03. 10 現地時間10時30分)

データソース: [Orbitron]より

回帰軌道・準回帰軌道

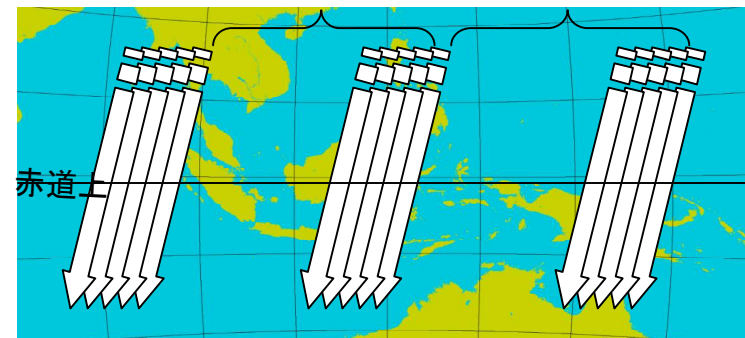


「回帰軌道」の衛星は、その日のうちにもとの場所の上空にもどる。

「準回帰軌道」は、数日後に同じ場所の上空に衛星がもどる。



回帰軌道の衛星パス
(毎日同じ軌道上を通過)



準回帰軌道の衛星パス
(左図は18日回帰の5日目)

衛星通過 (パス) イメージ

準回帰にすることによって、地球全体をすきまなく観測することが可能。

観測衛星の軌道パラメータ

衛 星		JERS-1	ADEOS	ADEOS-II	ALOS
軌道種類		太陽同期準回帰	太陽同期準回帰	太陽同期準回帰	太陽同期準回帰
周回数/1日	周/日	15-1/44	14+11/41	14+1/4	14+27/46
回帰日数	日	44	41	4	46
軌道高度	Km	568	796.75	802.92	691.65
軌道傾斜角	度	97.67	98.5	98.62	98.16
周期	分	96	100.92	101	約98.7
1回帰あたり周回数	周	659	585	57	671
隣接軌道間隔（赤道上）	Km	60	68	703	60
観測幅(センサ名)	Km	75 (OPS)	80(AVNIR)	1,600(GLI)	70(PRISM)

1回帰あたり周回数（周）＝周回数（周/日）×回帰日数（日）

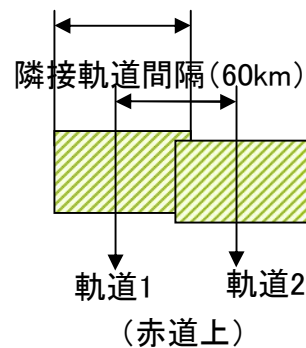
隣接軌道間隔（赤道上）＝地球の円周長さ（赤道上）／1回帰あたり周回数

軌道と観測幅と観測頻度

JERS-1



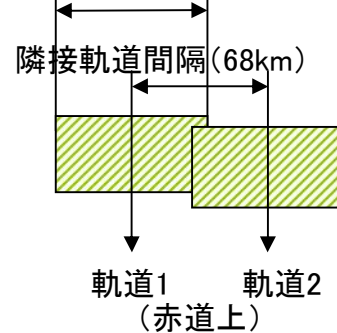
OPS 観測幅 (75km)



ADEOS



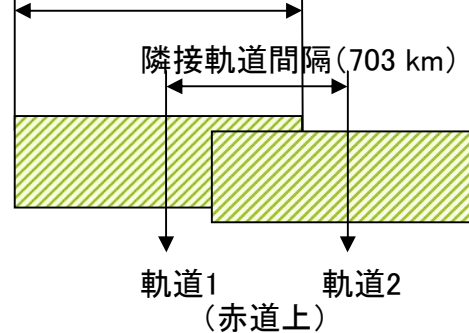
AVNIR 観測幅 (80km)



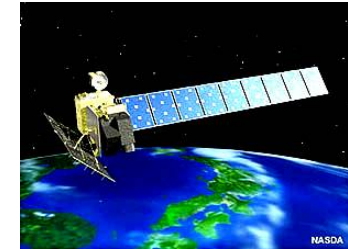
ADEOS-II



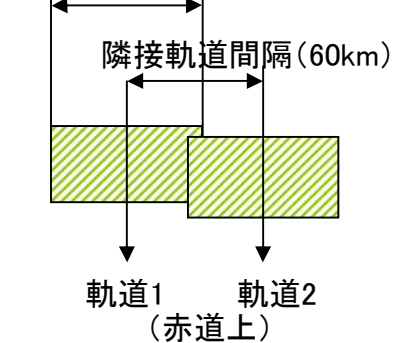
GLI 観測幅 (1600km)



ALOS



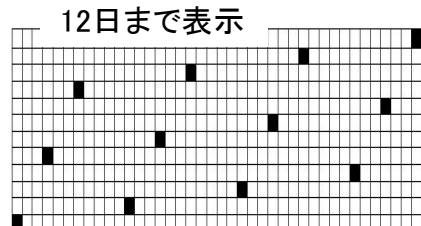
PRISM 観測幅 (70km)



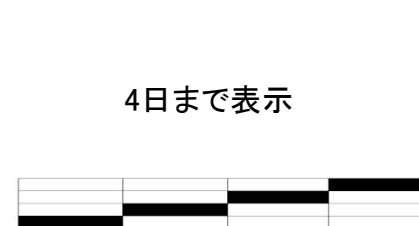
観測パターン



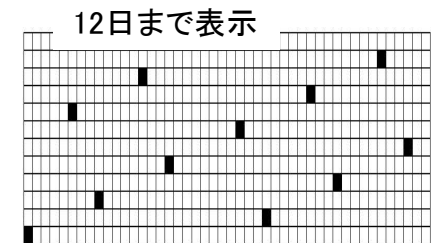
回帰日数: 44日
西側に1コマずつ移動
659周回で元に戻る



回帰日数: 41日
東側に11コマとびで移動
585周回で元に戻る



回帰日数: 4日
東側に1コマずつ移動
57周回で元に戻る



回帰日数: 46日
東側に27コマとびで移動
671周回で元に戻る

ポインティング機能と撮影頻度 - IKONOS衛星

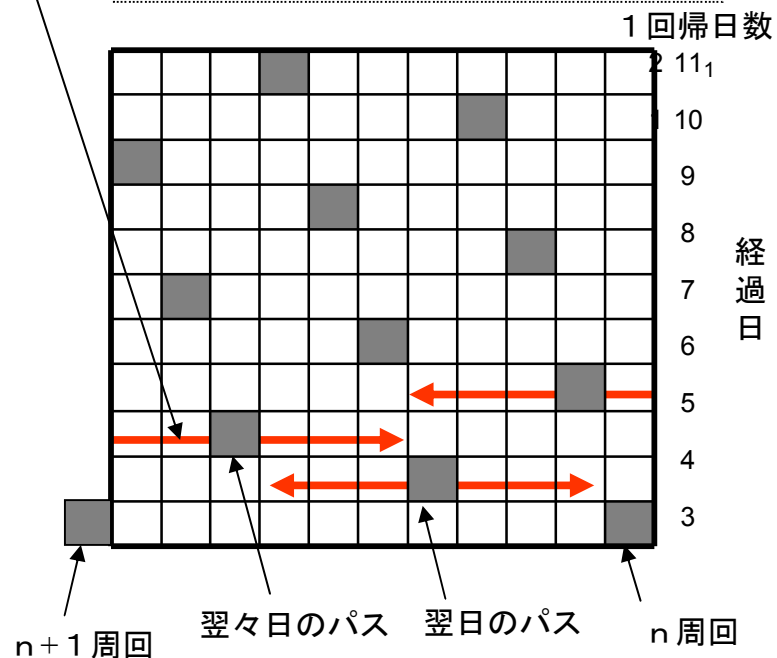
IKONOS 衛星の軌道通過順序



出典：「JSI ホームページ 受信エリア資料」より

ポインティングによる
観測可能域

衛星高度：680km
軌道傾斜角：98.12°
周期：98.4分
周回数/1日：14.63
回帰日数：11日
ポインティング：通常<45°
再撮像日数：1~3日
隣接軌道間距離（赤道上）：約250km



IKONOS 衛星の観測パターン

まとめ②

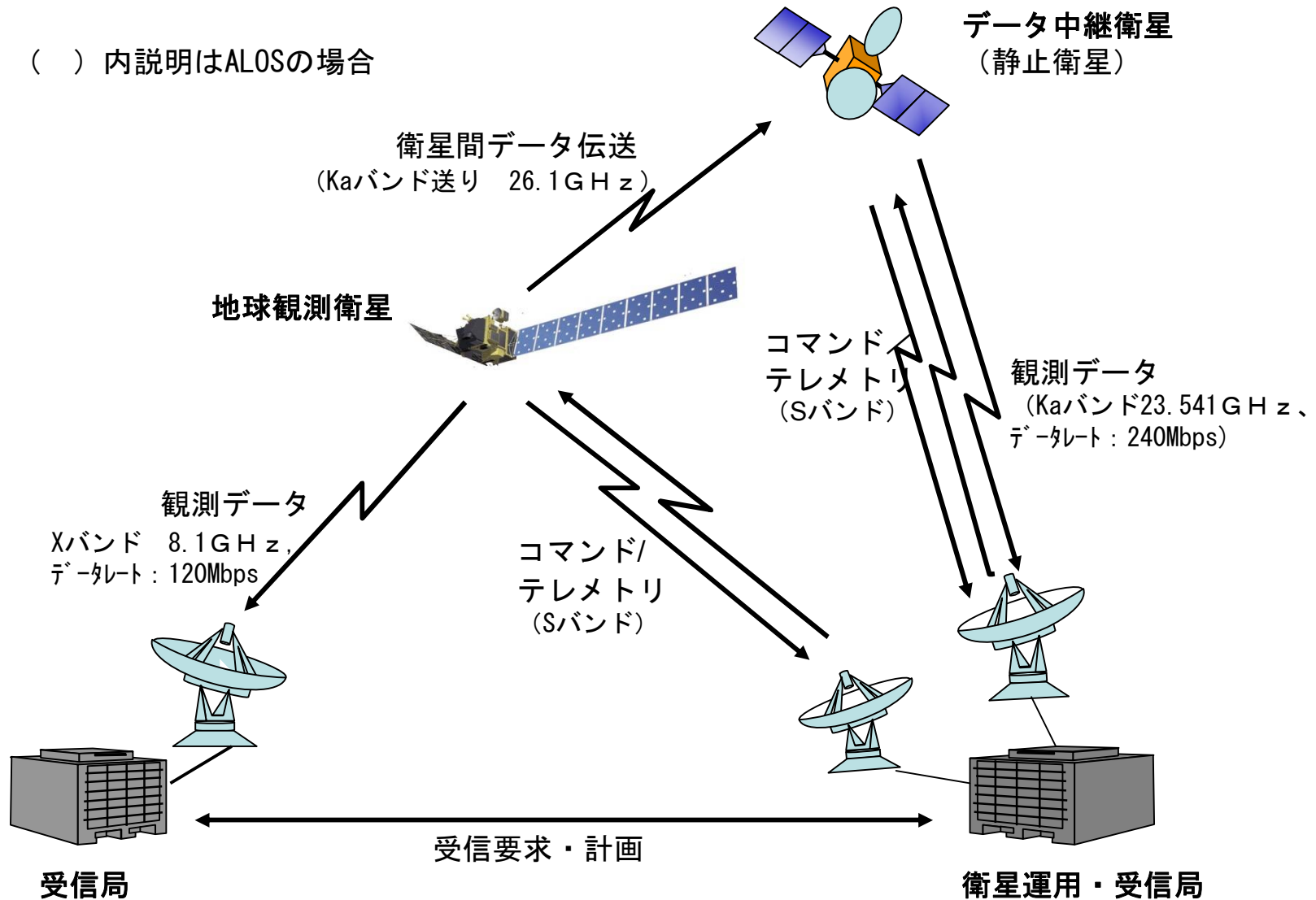
- 見たいもの、知りたい現象の特徴を整理し、以下の条件を決める
 - ・ いつ撮影されたデータが良いのか（時間、季節）
 - ・ 撮影の頻度
 - ・ 既存撮影／新規撮影

3. 撮影と処理の流れ

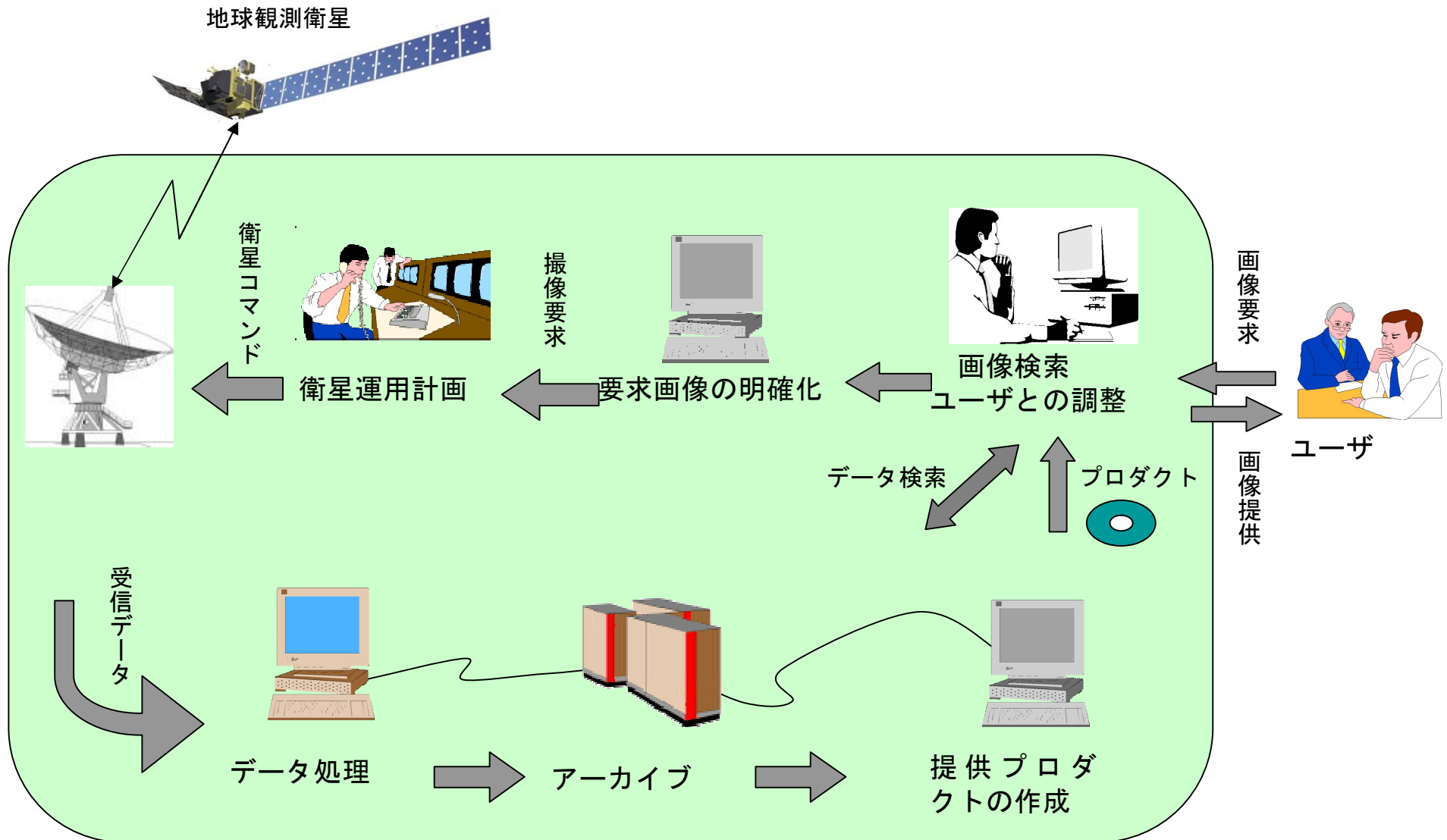
- ・ 衛星観測システムの概要
- ・ 衛星地上システムの運用概要
- ・ データ処理の概要
- ・ データの処理レベル

衛星観測システムの概要

() 内説明はALOSの場合



衛星地上システムの運用概念



データ処理の概要

(1) 衛星から送信されるデータ

- ・ センサから出力されるデータ-----観測データ、補助情報、同期コード

(2) データ処理の目的

- ・ 受信データの同期と並べ替え、ハンドリング単位（シーン）への分類
- ・ 画像に含まれる歪等の除去

幾何学的な歪

- 衛星の移動による効果
- 地球の自転の効果
- センサの素子配列
- 観測時の衛星センサの位置、姿勢、振動、熱歪等

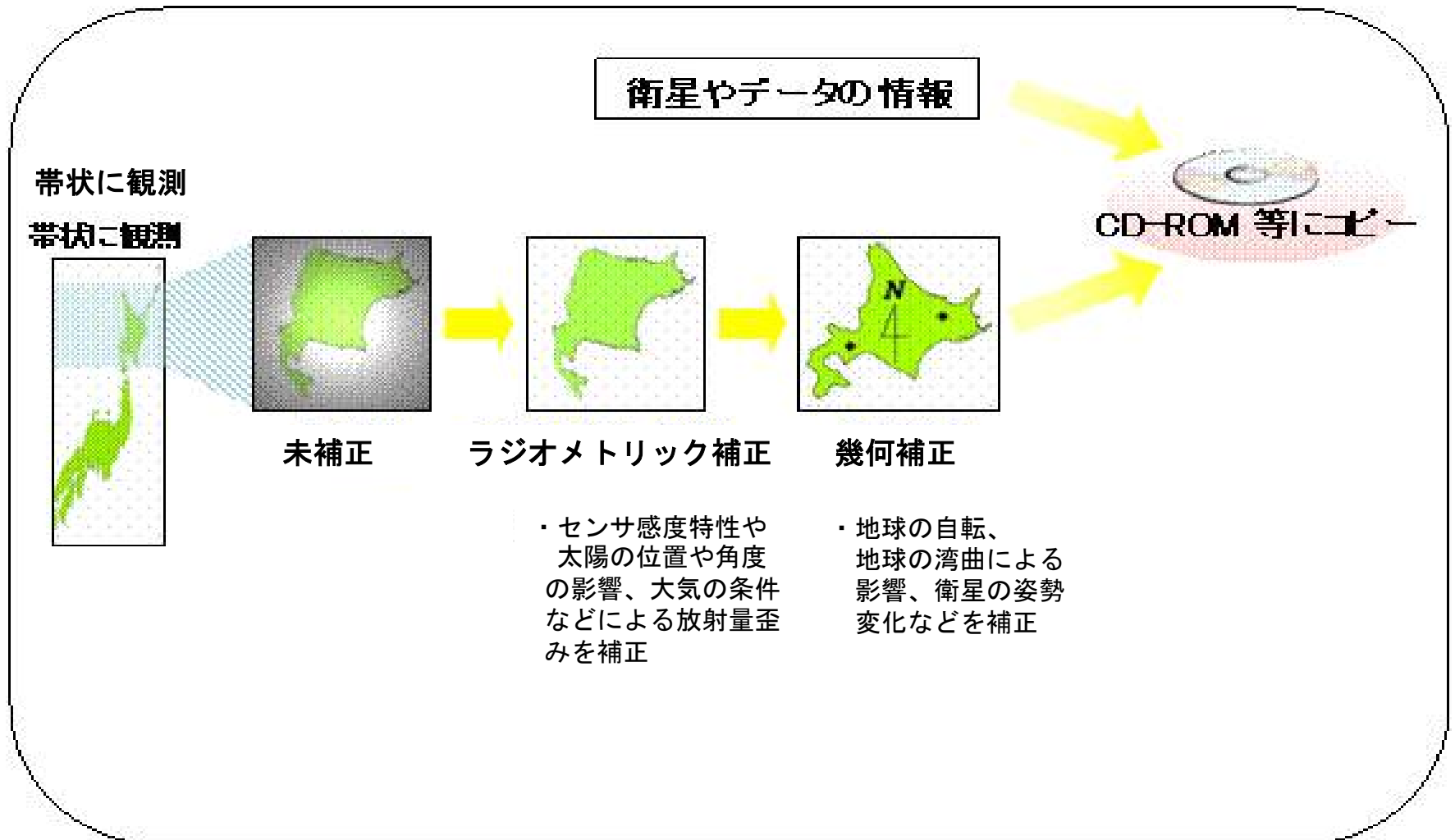
ラジオメトリックな歪

- センサ感度特性（経年変化を含む）
- 太陽の位置、角度の影響
- 大気の補正

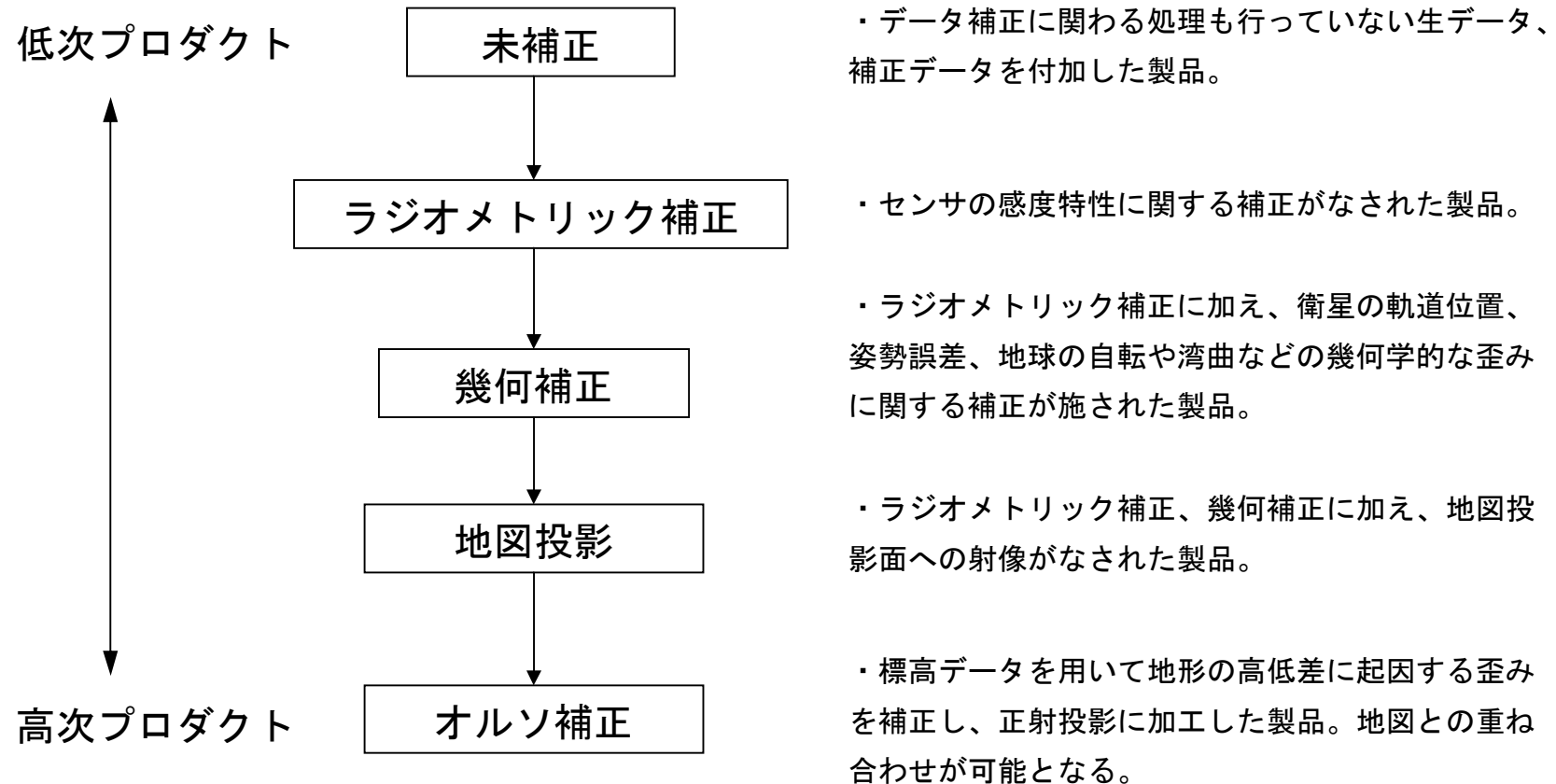
衛星の画像データを利用するためには、衛星の画像と地上の位置との対応を正しく対応づけるために幾何補正が重要となる。

- ・ 提供フォーマットの編集

データ処理の概要



データの処理レベル



処理レベルの一般的な定義としては、未補正製品がレベル0、ラジオメトリック補正製品がレベル1、さらに幾何補正された製品がレベル2と呼ばれている。センサ及び衛星により定義が異なるので注意が必要である。

まとめ③

- データ撮影・処理の流れを知り、以下の点に留意する
 - ・ いつデータが手に入るのか
 - ・ 求めている加工内容と“処理レベル”が合っているか

4. データ形式と加工サービス

- ・ 主なデータ形式
- ・ 幾何学的な歪みの補正（オルソ補正）
- ・ カラー高分解能処理（パンシャープン処理）

主なデータ形式（フォーマット）

フォーマット	特徴	採用衛星/センサ
CEOS	CEOS（committee on Earth Observation Satellites：地球観測衛星委員会）で標準化されたフォーマット。バンドごとにファイルが分割される「CEOS-BSQ」と、複数のバンドが多重化された「CEOS-BIL」とがある。 従来の多くの中分解能衛星データに採用されている。	• LANDSAT (TM, MSS) • JERS (SAR, OPT) • ADEOS (AVNIR) • ALOS (PALSAR, PRISM, AVNIR2) • SPOT (HRV)
HDF	Hierarchical Data Format の略、多様なコンピュータ環境で容易にデータの相互交換を行えるようにイリノイ大学のNCSA（National Center for Supercomputing Applications）で開発されたフォーマット。複数のバンドが一つのファイルにまとめられているため、画像表示/解析するためには専用のソフトが必要となる。 グローバルデータを中心に利用されている。	• ADEOS (OCTS) • ADEOS-II (GLI, AMSAR) • LANDSAT (ETM⁺)
Geo TIFF	通常のTIFF（Tagged Image File Format：Aldus社及びMicrosoft社によって開発された）にリモートセンシング用の情報を付加したフォーマット。専用ソフトが無くても一般的な画像ビューア等で開くことが可能。	• IKONOS • QuickBird • ALOS • WorldView-2

幾何学的な歪みの補正（オルソ補正）

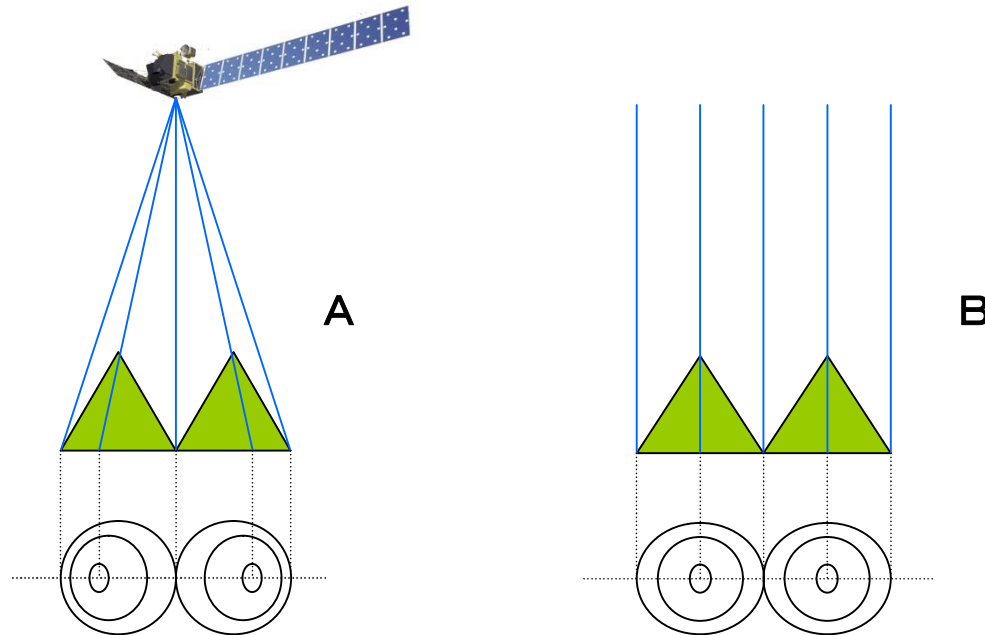
地形の高低差に起因する歪の補正処理をした画像のこと。中心投影である画像を真上からの平行投影（正射投影）に変換したもので、オルソ画像（Orthorectified Image）と言う。

A： 実際に地球観測衛星で地上を観測した場合のイメージイラスト

（中心点がずれてしまい衛星より遠い方に倒れこんだ形に歪む）

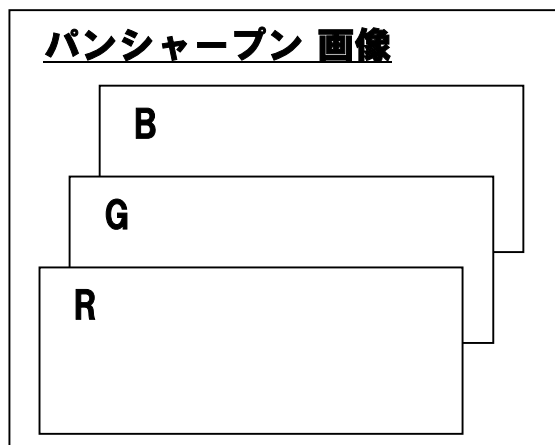
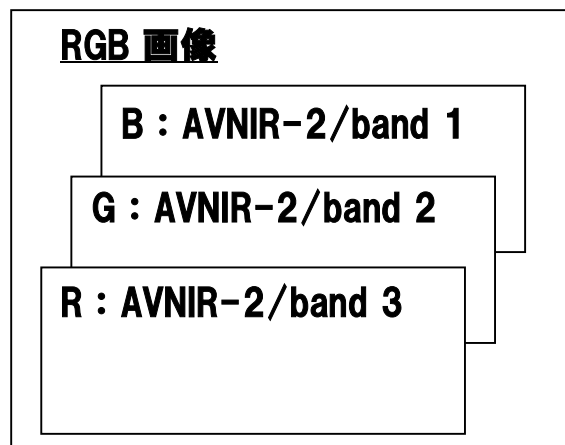
B： 地図と同じ表現のオルソ画像（正射投影図）イラスト

Aの画像の歪みをBのような正射投影に補正することをオルソ補正処理と言う



オルソ補正処理の概念

カラー高分解能処理（パンシャープン処理）



Hue : 色相（色あい）

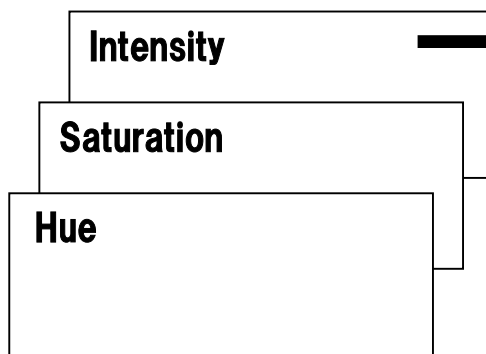
Saturation: : 彩度（鮮やかさ）

Intensity : 明度（明るさ）

マルチスペクトルデータをHSIの各要素に分解し、分解したうちのI成分をモノクロデータに置き換え、再度RGBに合成することでパンシャープン処理を行います。

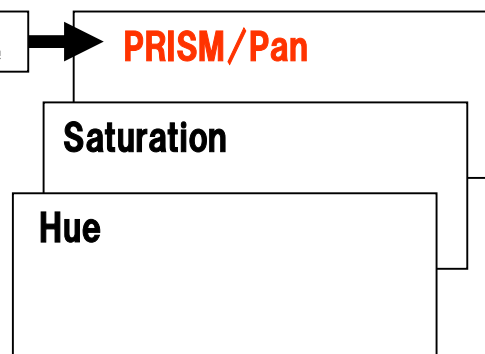


HSI要素に分解



交換

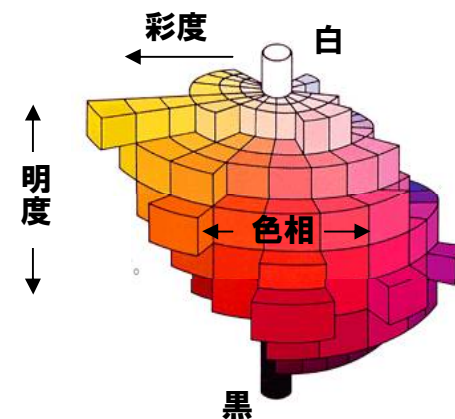
PRISM/Pan



RGBに合成

HSI変換の手順

（ALOS AVNIR-2データとPRISMデータの例）



色立体図出典<http://konicaminolta.jp/instruments/colorknowledge>

色立体の例

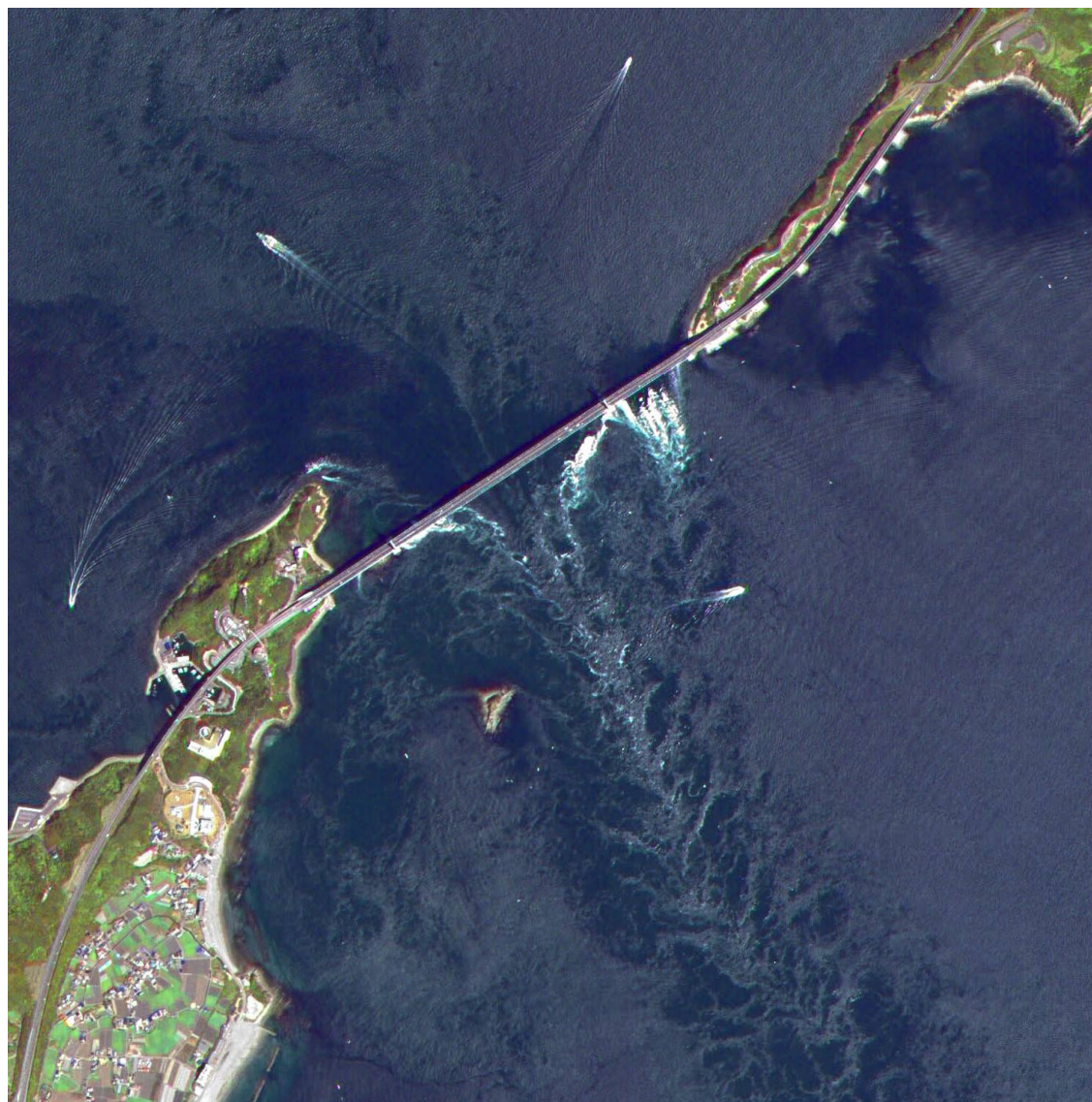
（彩度の段階が色相と明度ごとに異なる）

A V N IR-2 トゥルーカラー合成画像 (RGB=321)



データ提供：JAXA

A V N IR-2 と P R I S M の合成画像（パンシャープン処理画像）



データ提供：JAXA

まとめ④

- どのように使うかを決めて、以下の条件を決める
 - ・衛星データの形式（データフォーマット）
 - ・追加加工サービスの必要性

5. いろいろな衛星と搭載センサ

衛星とその画像を紹介

- 地球観測衛星

ALOS (PRISM, AVNIR-2, PALSAR)

- 商業用高分解能衛星

IKONOS、QuickBird、OrbView3

いろいろな衛星と搭載されているセンサの概要

日本で打上げ・運用されてきた主な地球観測衛星には以下のような衛星・センサがあります。2013年にも新規衛星の打上げが予定されており、データ蓄積の継続が期待されます。

衛星名	主なセンサ	運用期間	高度	回帰 日数	分解能	観測幅
MOS-1, 1b	MESSR 可視近赤外放射計	1987.2 ～ 1996.4	909km	17日	50m	100 km
	VTIR 可視熱赤外放射計				900m(V)、2700m(IR)	1500 km
	MSR マイクロ波放射計				32km(23.8GHz), 23km(31.4GHz)	370 km
JERS-1	SAR 合成開口レーダ(Lバンド)	1992.9 ～ 1998.10	568km	44日	18m	75 km
	VNIR 可視近赤外放射計				18.3m x 24.2m	75 km
	SWIR 短波長赤外放射計				18.3m x 24.2m	75 km
ADEOS	AVNIR 高性能可視近赤外放射計	1996.8 ～ 1997.6	797 km	41日	16m(Multi) 8m(Pan)	80 km
	OCTS 海色海温走査放射計				700m	1400km
	(ILAS,IMG,NSCAT,TOMS,POLDER)					
ADEOS-2	AMSR 高性能マイクロ波放射計	2002.12 ～ 2003.10	803km	4日	5-50km	1600km
	GLI グローバルイメジャー				250m, 1km	1600km
	(IRAS-II, POLDER, SeaWinds)					
ALOS	PRISM パンクロマチック立体視センサ	2006.1 ～ 2011.5	692km	46日	2.5m	35km、70 km
	AVNIR-2 高性能可視近赤外放射計2				10m	70 km
	PALSAR フェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ				10m 100m	70 km 250～350 km
ALOS-2	PALSAR-2 フェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ	2013	628km	14日	1-3m 3-10m 100m	25km 50-70km 350km

利用対象衛星・センサ概要

世界各国で打上げ・運用されている主な地球観測衛星には以下のような衛星・センサがあります。国毎に特色があり、データ利用者は単独または複数の衛星データを利用して、目的の情報を解析・抽出することとなります。

国名	衛星名	打上年月	センサ	分解能	観測幅
米国	IKONOS	1999.9	Pan, Multi (4)	0.82m, 3.28m	11.3km
	GeoEye-1	2008.9	Pan, Multi (4)	0.41m, 1.64m	15.2km
	GeoEye-2	2012末	Pan, Multi (4)		
	QuickBird	2001.10	Pan, Multi (4)	0.65m, 2.62m	18.0km
	WorldView-1	2007.9	Pan	0.5m	17.6km
	WorldView-2	2009.10	Pan, Multi (8)	0.46m, 1.85m	16.4km
	WorldView-3	2014	Pan, Multi (8), SWIR (8)	0.31m, 1.24m 3.7m	13.2km
	LDCM	2013.1	Pan, Multi (8), Thermal (2)	15m, 30m, 100m	185km
タイ	THEOS	2008.10	Pan, Multi (4)	2m, 15m	22km, 90km
カナダ	RADARSAT-2	2007.12	RADAR (C)	3m - 100m	20km - 500km
欧州	ENVISAT	2002.3～ 2012.5	RADAR (C)	30m - 100m	56 - 100km
イタリア	COSMO-SkyMed1～4	2007.6～ 2010.11	RADAR (X)	1m - 100m	10km - 200km
ドイツ	TerraSAR-X, TanDEM-X TerraSAR-X2	2007.6, 2010.6 2013	RADAR (X)	1m - 16m	10km - 100km
	RapidEye (5機)	2008.8	Multi (5)	6.5m	80km
フランス	SPOT-5 SPOT-6,7	2002.5 2012, 2013	Pan, Multi (4)	2.5m-5m, 10m-20m 1.5m, 6m	60km
	PLEIADES-1 PLEIADES-2	2011.12 2013	Pan, Multi (4)	0.7m, 2.8m	20km

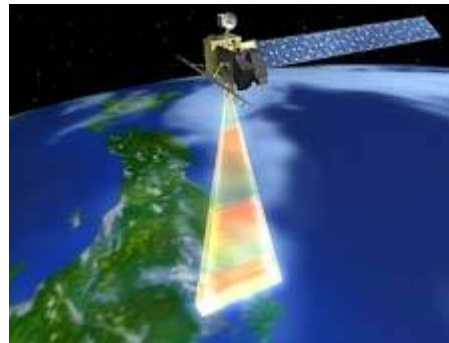
陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)

- 災害監視、地図作成、地域観測、資源探査
- 2006年1月24日打上げ
- 2011年5月12日に運用停止



PRISM

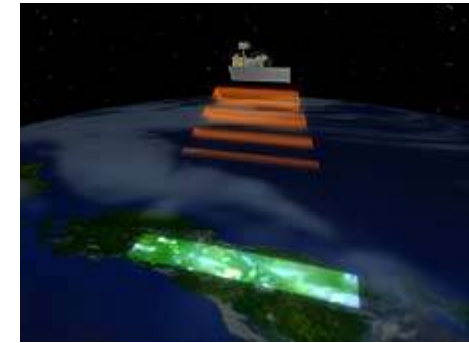
PRISMは、**2.5m**(35km四方)という高分解能で地表のデータを観測することを目的に設計されており、人間が見ることのできる波長の光を3方向から観測することで、地形の凹凸を標高データという形で取得することができます。



AVNIR-2

AVNIR-2は、青、緑、赤の3色と近赤外領域の計4種類の波長で観測することで、多目的なカラー画像(**10m**分解能:70km四方)を作成することが可能です。

また、災害時などには衛星直下以外の領域を観測可能なようにポイントング機能を持っています。



PALSAR

PALSARは、衛星から発射した電波の反射を受信することで観測するセンサであるため、観測する領域の天候・昼夜に関係なくデータを取得可能です(**10m**分解能他:70km四方)。

また、観測範囲や分解能が可変であり、用途に応じた柔軟な観測が可能です。

高分解能・光学センサ-ALOS PRISM

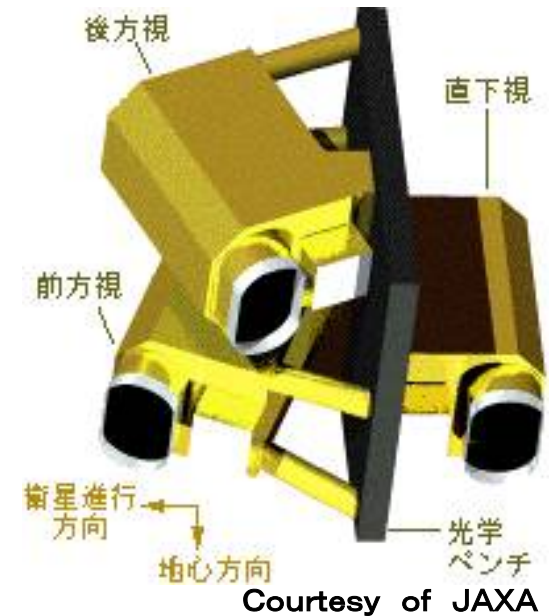


パנקロマチック立体視センサ
(PRISM)が観測した静岡県清水港



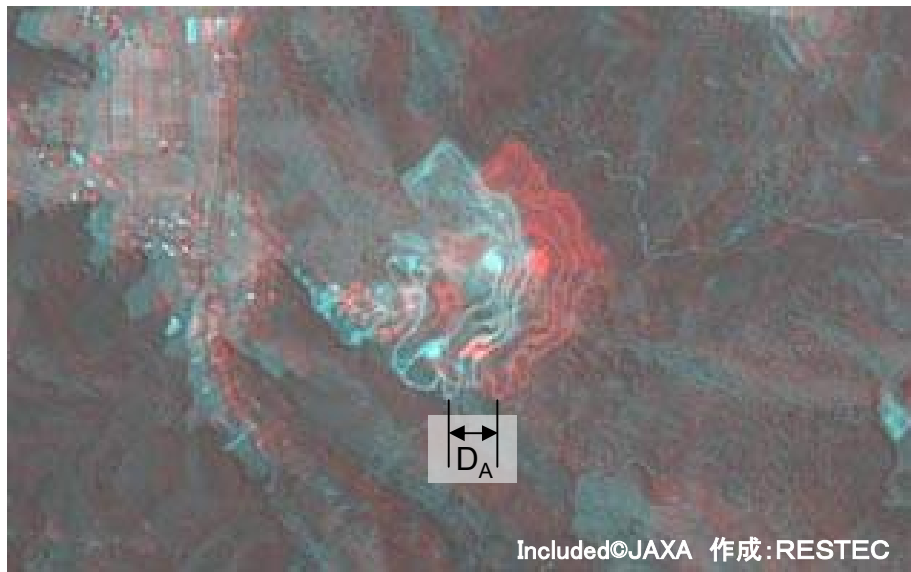
静岡県清水港(左図枠内部分拡大)

ALOS PRISMの概要

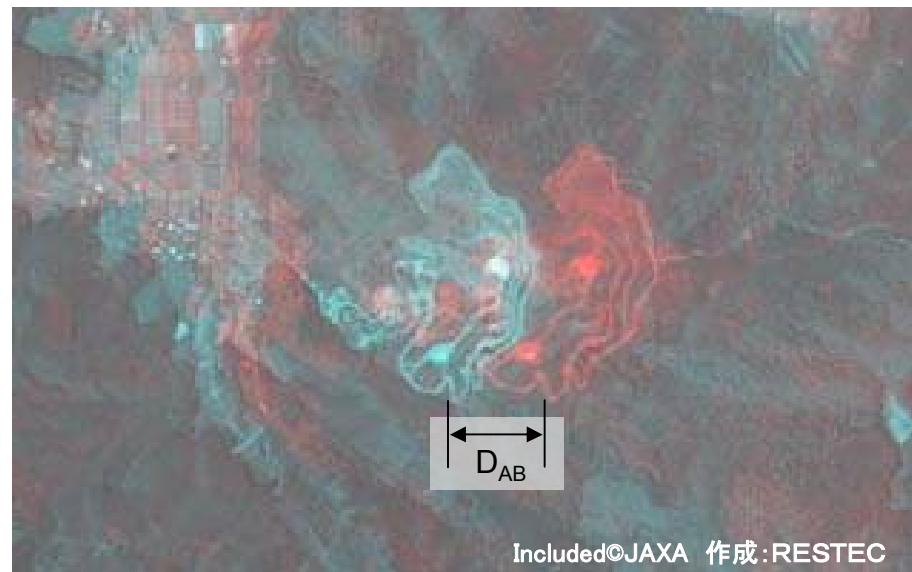


観測波長帯: $0.52-0.77 \mu\text{m}$
視方向 : 3(前方・直下・後方)
ベースハイト比: 1.0(前方視+後方視)
地表分解能 : 2.5m
観測幅 : 70km(直下視のみ)
35km(3方向同時視)
ポインティング : $\pm 1.5\text{deg}$ (cross track)

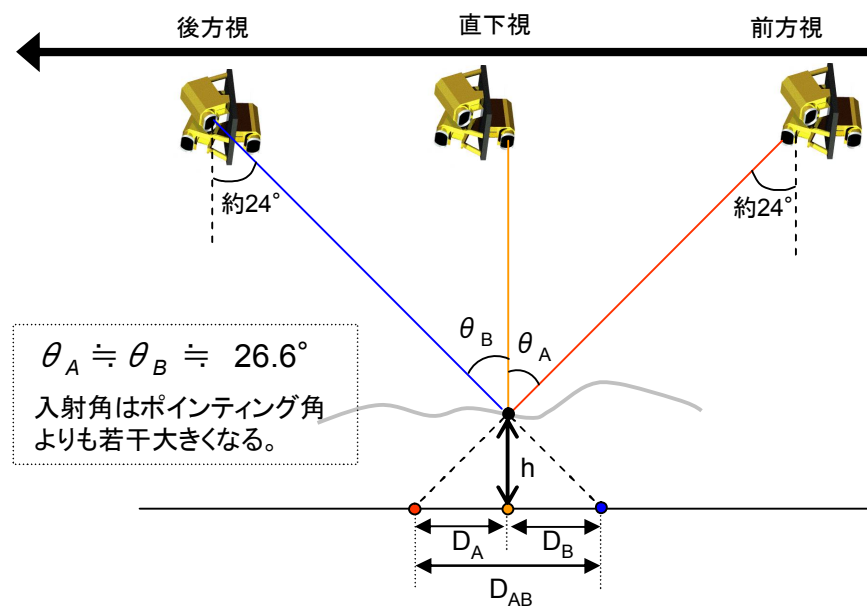
出典:「JAXAホームページ」より



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:直下視, シアン:前方視) 2006.05.05

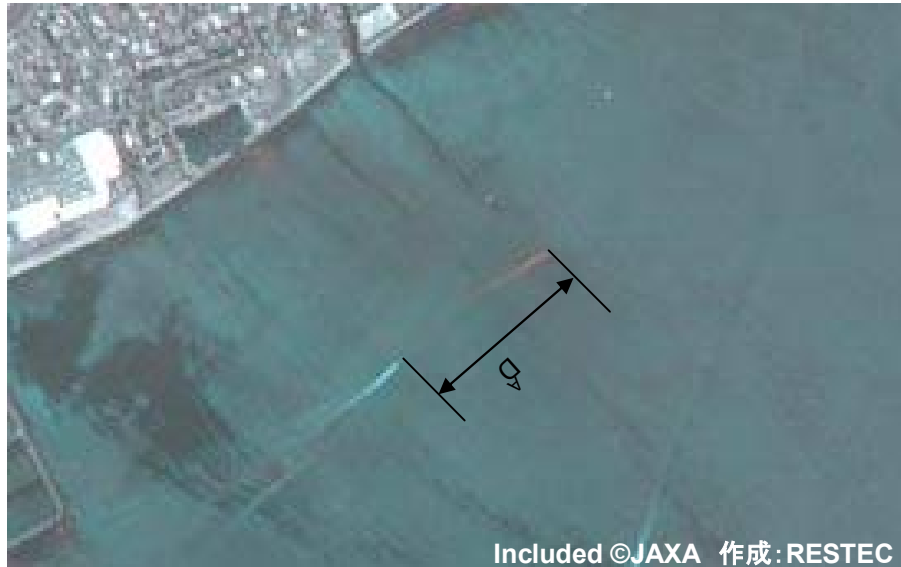


PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:後方視, シアン:前方視) 2006.05.05



前方視と直下視の場合: $h = h_0 + D_A / \tan \theta_A$

前方視と後方視の場合: $h = h_0 + D_{AB} / (\tan \theta_A + \tan \theta_B)$



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:直下視, シアン:前方視) 2006.05.05



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:後方視, シアン:前方視) 2006.05.05

PRISMの3つの方向からの観測が一定の時間差でおこなわれるため、2つの画像における移動体の位置の違いからその速度を概算することができます。

とくに、同じ高さを移動する船などの場合は、その高さを基準として画像を重ね合わせることで視差の影響を考慮することなく、速度を計算することが可能となります。

ここでは、PRISMのステレオデータを用いて移動する船の速度を概算します。速度は2つの画像における移動体の位置の差をD、2つの画像が観測された時間差をTとすると、下記のような式で表されます(添え字のAは前方視と直下視の場合、Bは前方視と後方視の場合)。

前方視と直下視の場合: $V = D_A / T_A$

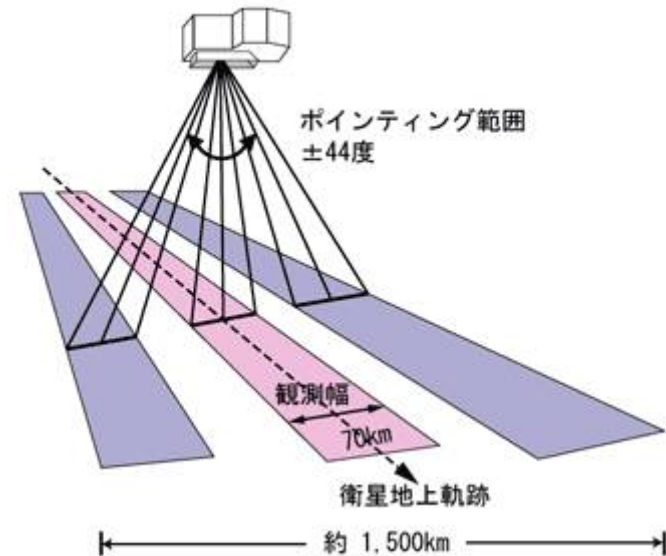
前方視と後方視の場合: $V = D_B / T_B$

マルチスペクトル放射計：ALOS AVNIR-2



「だいち」(ALOS)に搭載した AVNIR-2で観測したインドネシアメラピ火山、噴煙が明瞭に見え、火口から山体に火山灰が広がる様子が見えます

Advanced Visible and Near Infrared Radiometer -2
(高性能可視近赤外放射計2型) の概要



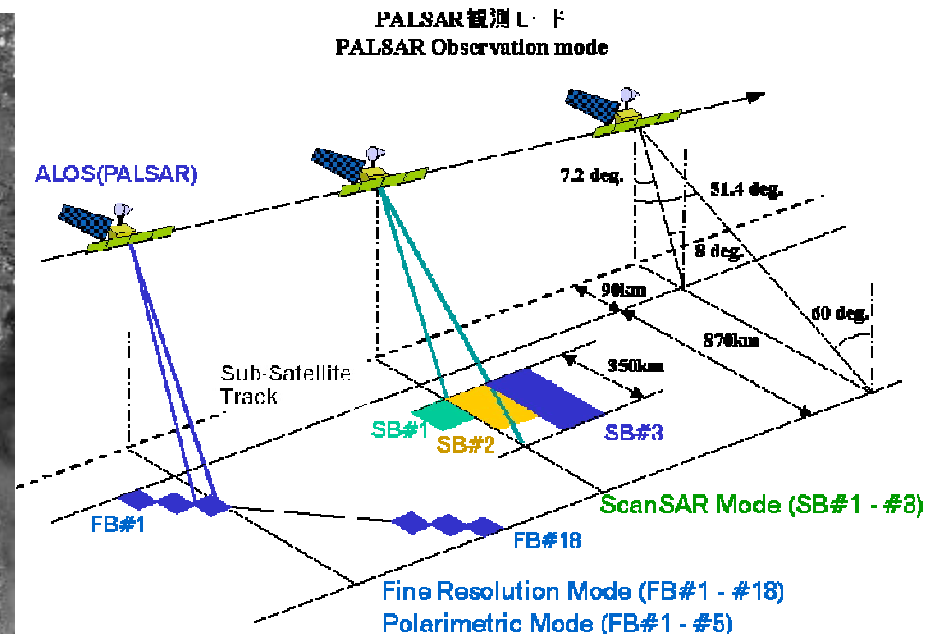
観測波長帯	Band 1: 0.42～0.50 μm
	Band 2: 0.52～0.60 μm
	Band 3: 0.61～0.69 μm
	Band 4: 0.76～0.89 μm
地上分解能	10m(直下視)
観測幅	70km(直下)
ポインティング角	±44° (クロストラック方向)

出典:「JAXAホームページ」より

合成開口レーダ：ALOS PALSAR



2006年7月4、佐渡を含む新潟市を「だいち」(ALOS)に搭載したフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)の広域観測モードで観測した画像の一部を示したものです



PALSAR 主要性能

項目	高分解能モード	広域観測モード
周波数帯	L-band (1.2GHz 帯)	
分解能	10m (2ルック) 20m (4ルック)	100m
観測幅	70km	250～350km
オフナディア角	18～48度	

出典:「JAXAホームページ」より

商業用高分解能衛星画像

1994年、米国政府の規制緩和により、偵察衛星技術を民生用に転用した商用観測衛星事業が認められた。1999年9月に民生用では世界初の1 m (最高82 cm)解像度を実現した「IKONOS」衛星が打ち上げられた。

- IKONOS
- QUICKBIRD

民生用では初の1 m解像度を実現したIKONOS



打上げ：1999年9月

重量：720 kg

高度：680 km、軌道傾斜角：98.1°

観測幅：11.3 km

観測バンド：

multispectral

Blue :0.45~0.52 μm

Green :0.52~0.60

Red :0.63~0.69

NIR :0.76~0.90

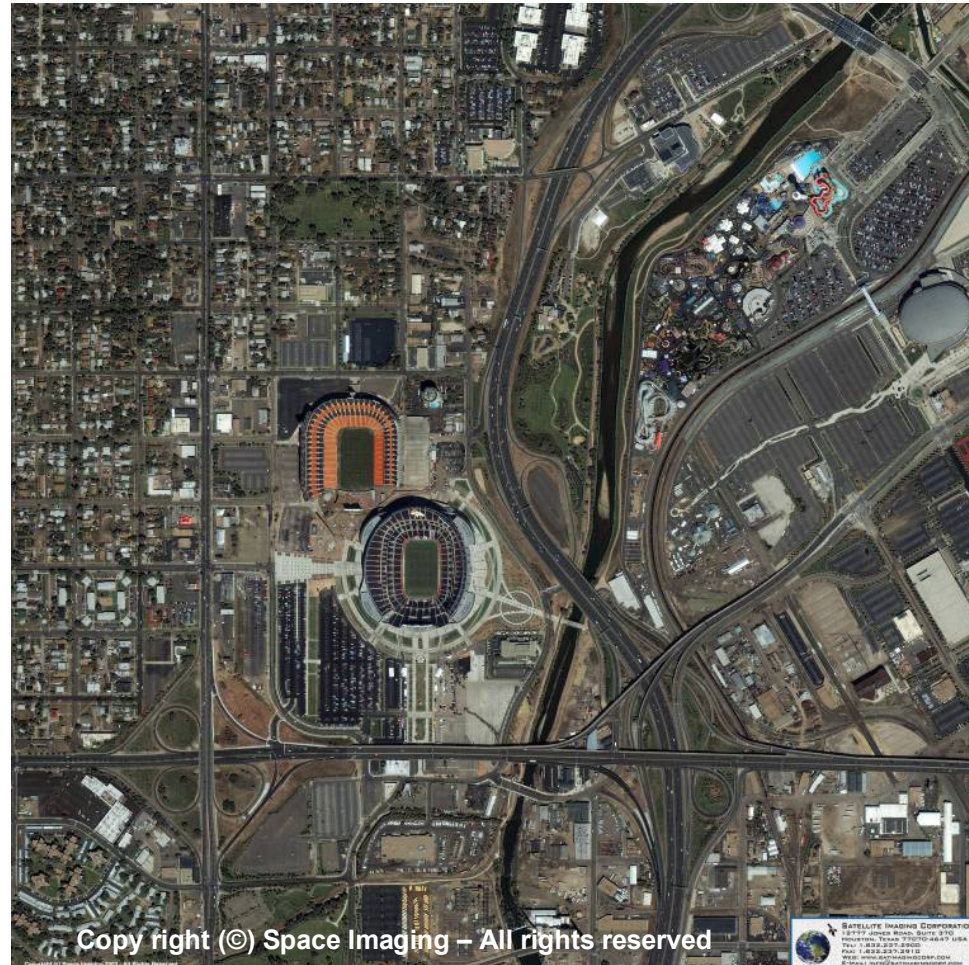
Panchromatic :0.45~0.92

分解能（パンクロ）：0.82m（直下）、
1m（26° Off-Nadir）

ポインティング：60°、通常は<45°

再撮像日数：3日

運用会社：米国 GeoEye社



Natural Color, Denver Colorado USA

「IKONOS Satellite Imagery Gallery」より

QuickBird



打上げ：2001年10月

重量：950 kg

高度：450 km、軌道傾斜角：98°

観測幅：16.5 km

観測バンド：

multispectral

Blue :0.45~0.52 μm

Green :0.52~0.60

Red :0.63~0.69

NIR :0.76~0.90

Panchromatic :0.45~0.92

分解能（パンクロ）：0.61m（直下）

ポインティング能力：±30°（前後、左右）

再撮像日数：1~3.5日

運用会社：デジタルグローブ



Royal Grand Palace in Bangkok

Image Courtesy of Digital Globe

まとめ⑤

- 衛星センサの特徴を知り、利用目的にあったものを選択する
 - ・衛星センサの選拓

製作・編集 一般財団法人リモート・センシング技術センター

無断複製・転載を禁ず



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

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
鈴木 圭



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

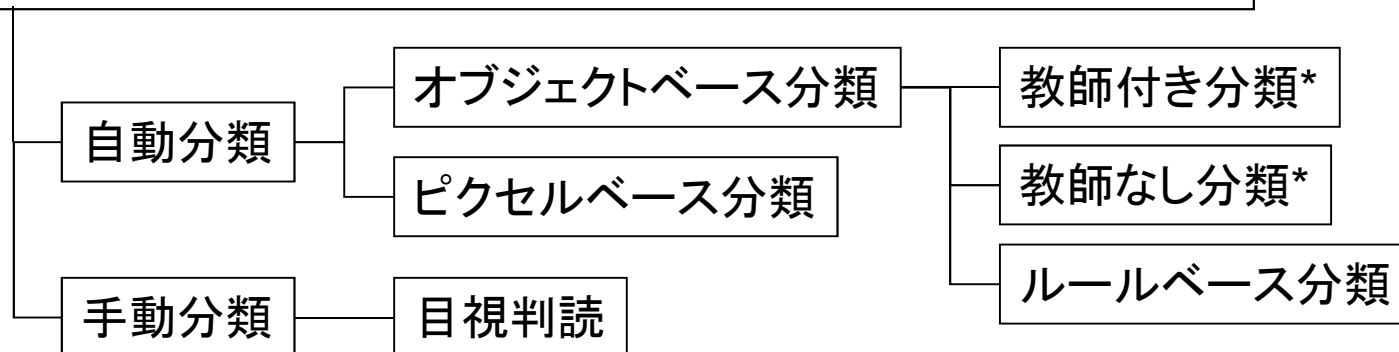
時系列解析

- ・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



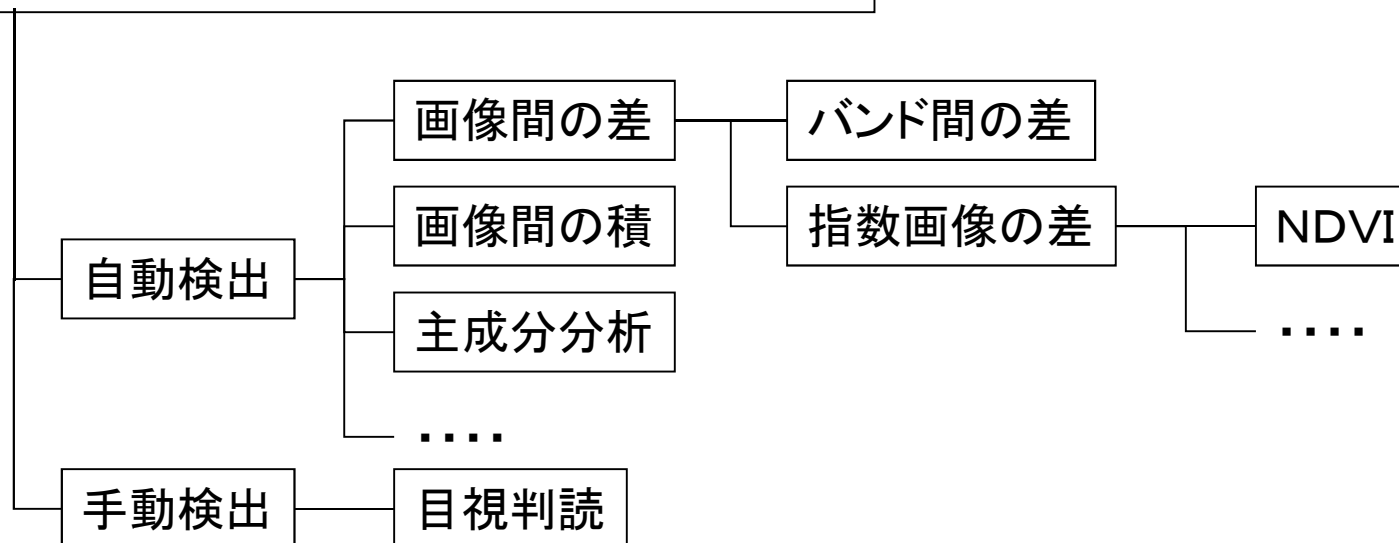
変化抽出技術の分類

[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





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	分類精度が高くないと、変化がない箇所を誤抽出する可能性がある
[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法	変化のある箇所の検出精度は比較的高い	炭素量への換算が困難



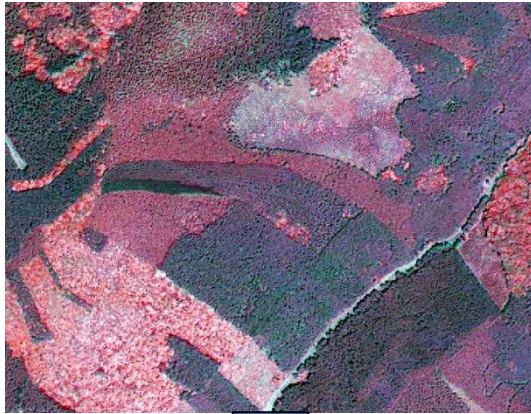
変化抽出技術の特徴(2)

『[1]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

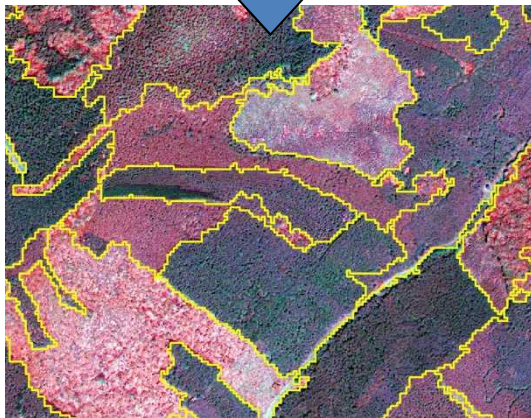
	長所	短所
自動分類 - オブジェクトベース分類	高分解能の衛星画像の分類に適しているため、詳細な分類図を得られる	分類のためのパラメータ設定が複雑
自動分類 - ピクセルベース分類	作業者の技術力によらず、比較的均質な成果を得られる	高分解能の衛星画像の分類には適さない
手動分類 - 目視判読	分類精度が高い	経験にもとづく技術力が必要であり、また作業量が多くなる



[1]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 オブジェクトベース分類

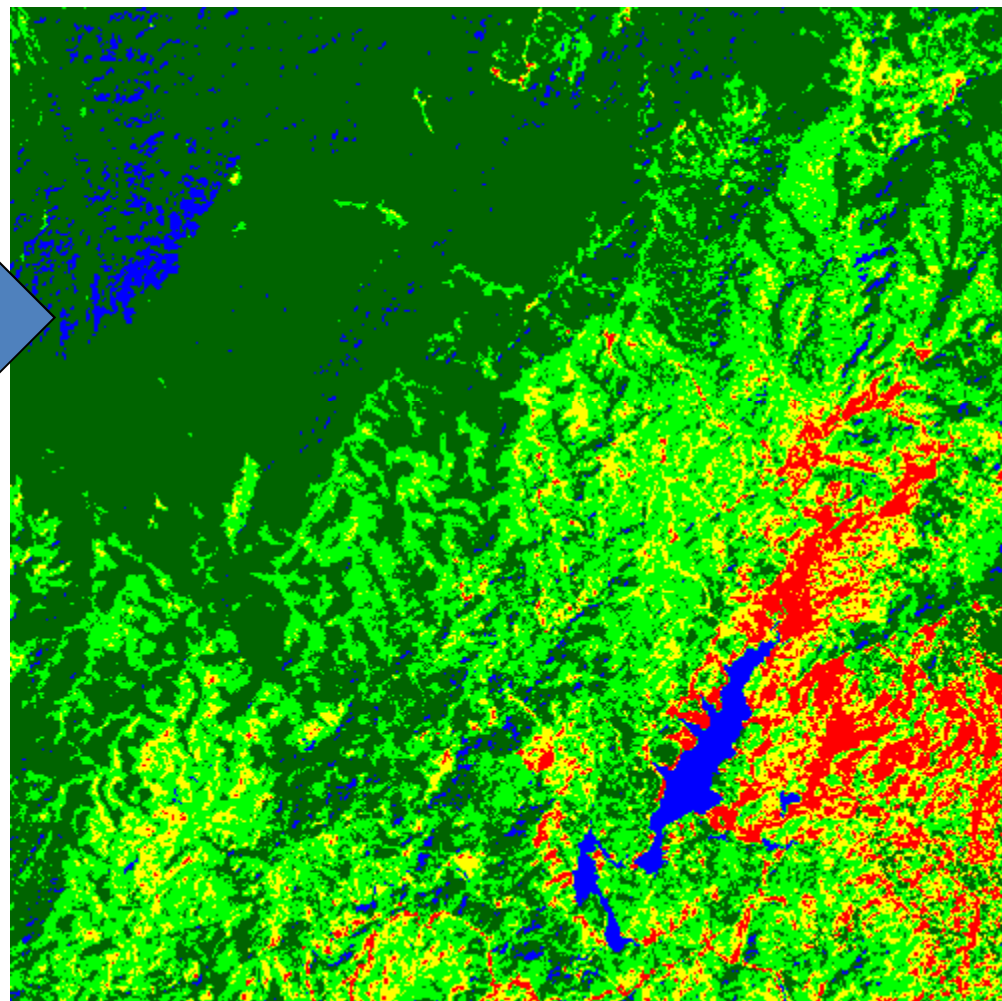
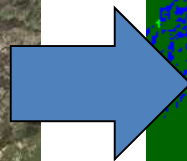


セグメンテーションと呼ばれる処理により、
スペクトル情報や形状情報に基づいたオ
ブジェクト(ピクセルの集合)が生成される





[1]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 ピクセルベース分類



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



[1]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 目視判読



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





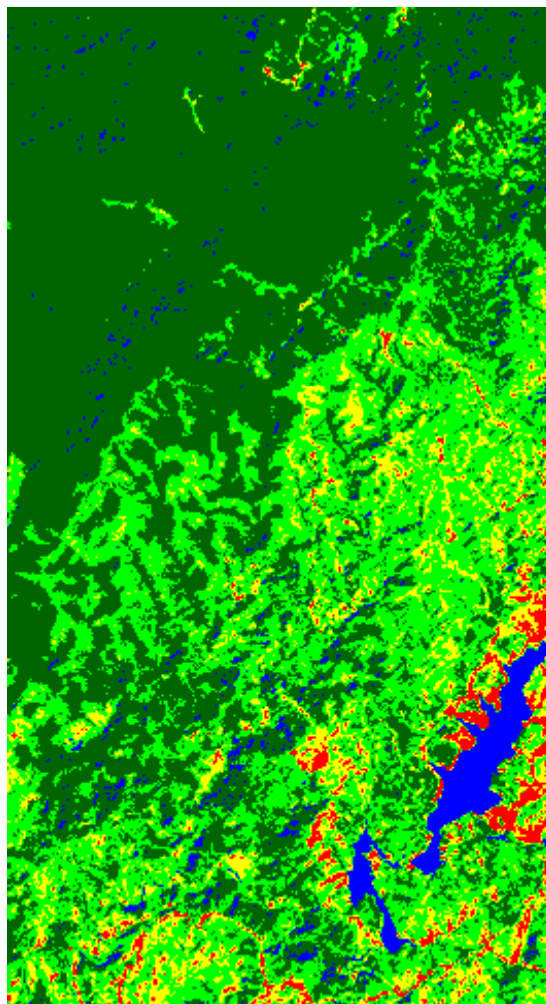
[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法

3つの分類方法の比較

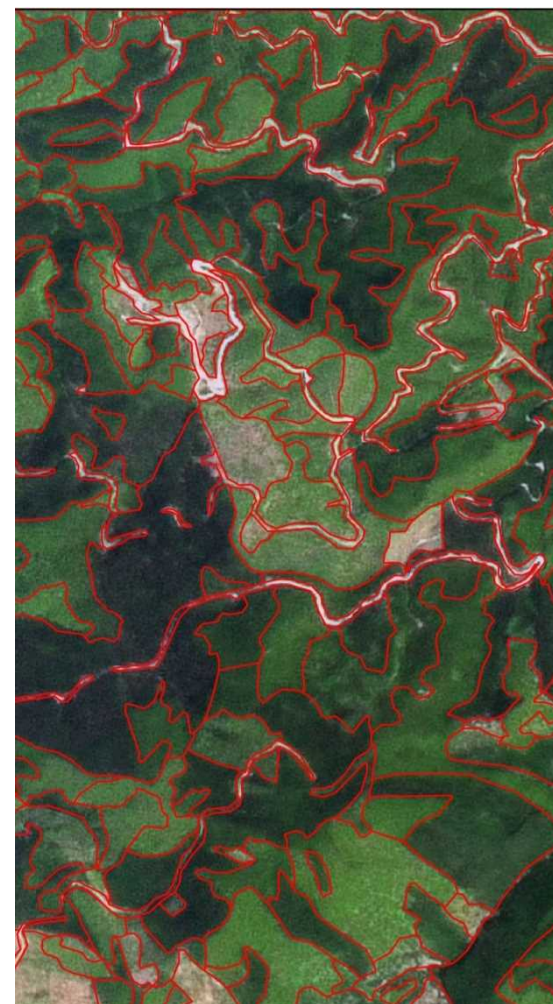
オブジェクトベース分類



ピクセルベース分類

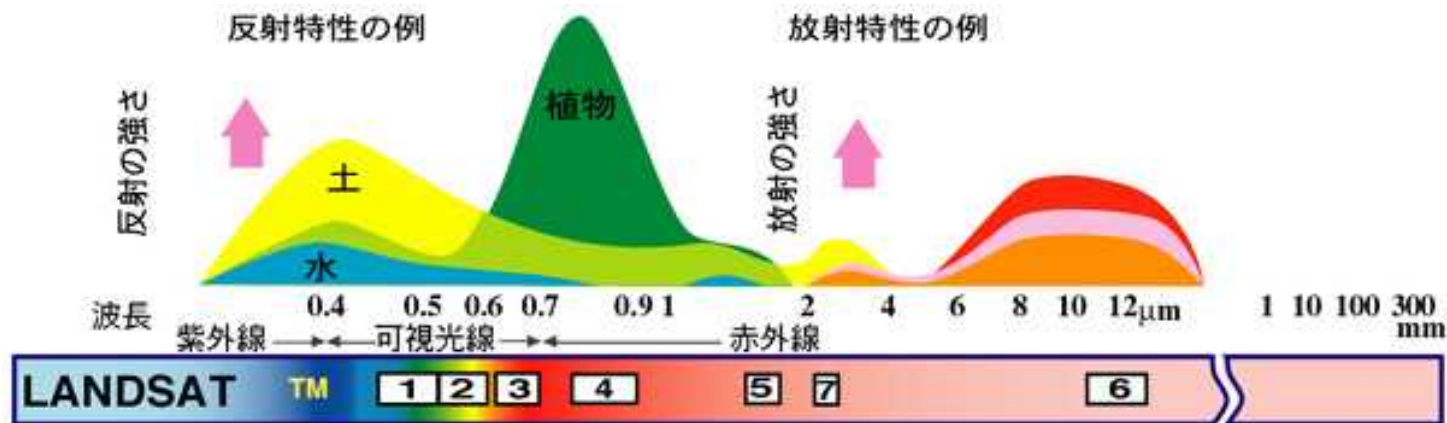


目視判読



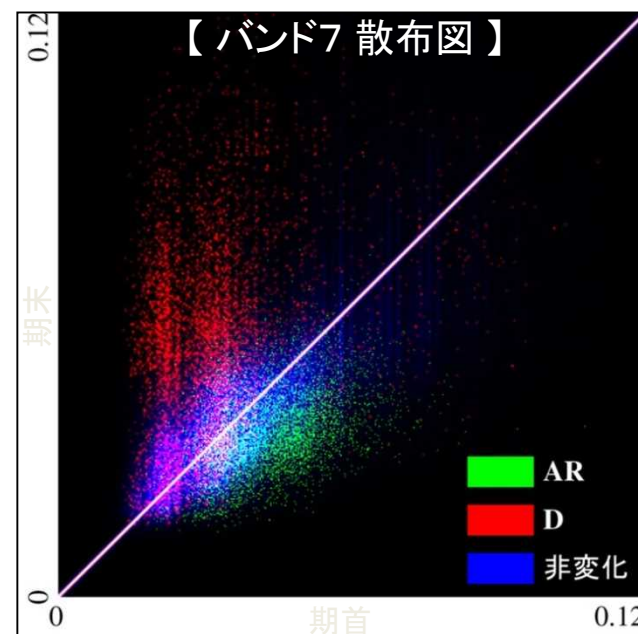


[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出



- ・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。

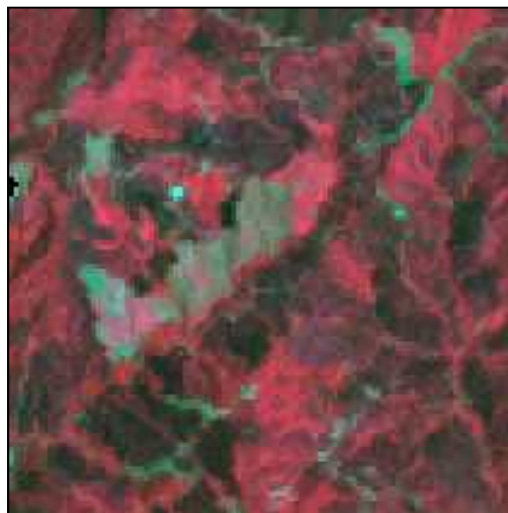
RESTECホームページより引用



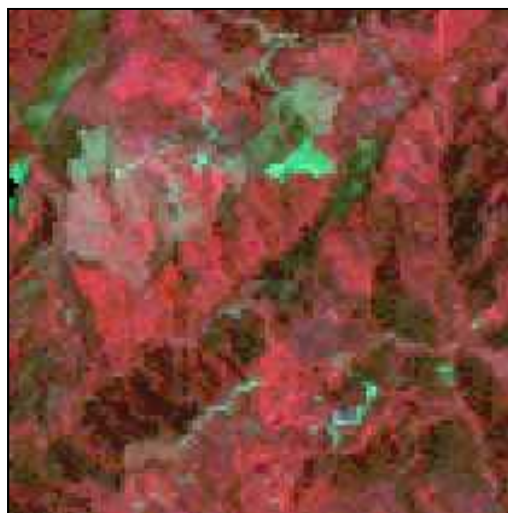


[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出

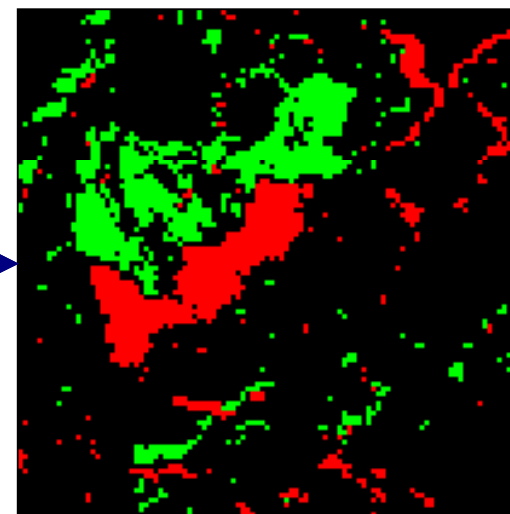
期首画像
LANDSA 1992年



期首画像
LANDSA 2002年



バンド7差分画像
(緑: 植林、赤: 伐採)





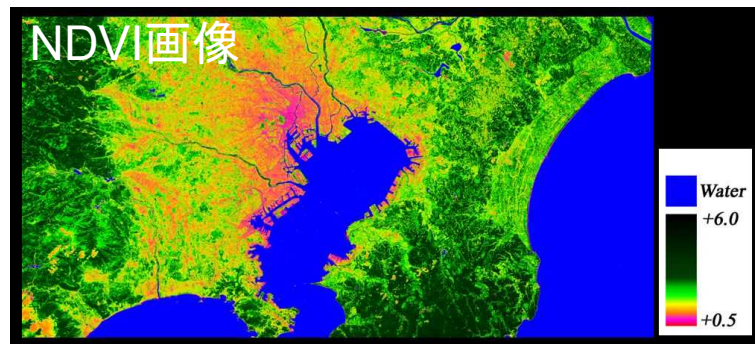
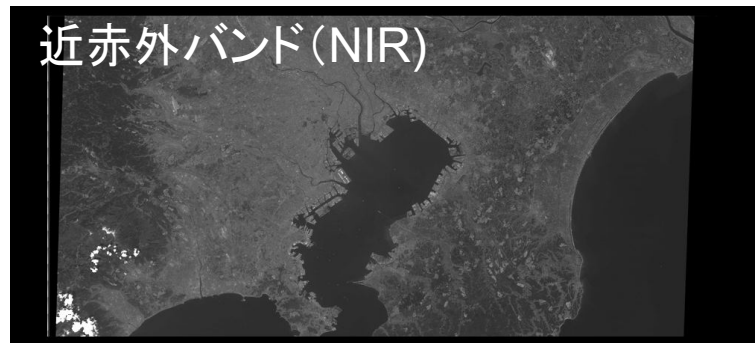
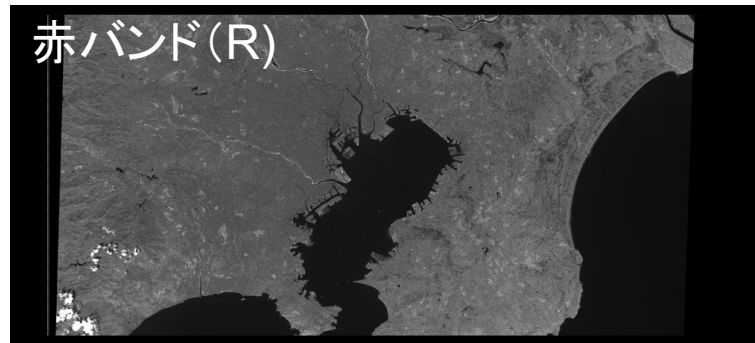
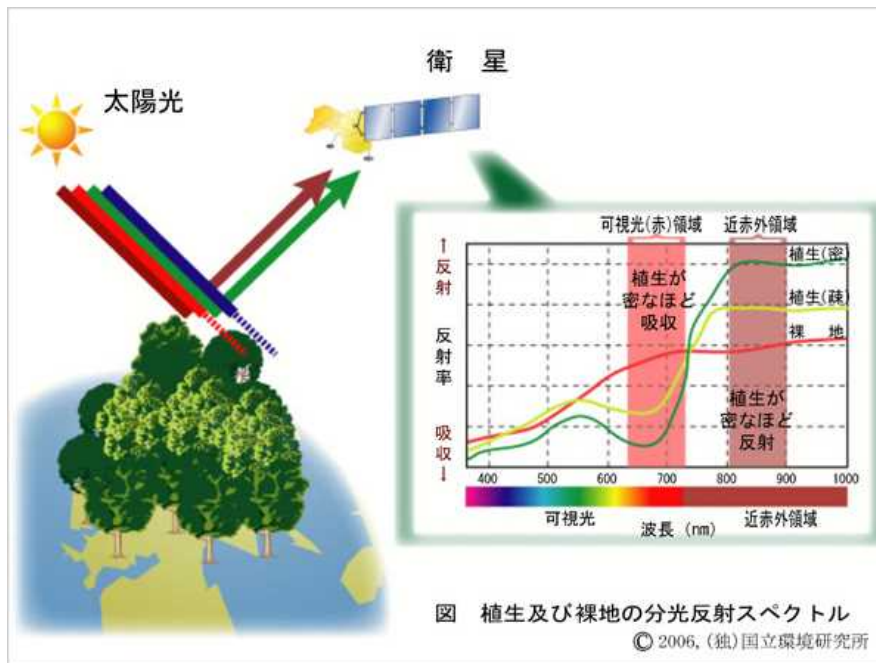
[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法

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)





[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 NDVI画像の見え方(例)

● 赤バンド(R)



● 近赤外バンド(NIR)



正規化植生指標

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$





画像解析ソフトの紹介

オブジェクト分類に対応した主なソフトウェア

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

オブジェクト分類に対応したソフトウェアの特徴としては、Segmentation処理を行うことにより画像分類をおこなう機能を持っている。

Segmentation ?



画像解析ソフトの紹介

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。

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



画像解析ソフトの紹介

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)。

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



画像解析ソフトの紹介

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)。

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



画像解析ソフトの紹介

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

Object 1とObject 2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)

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



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

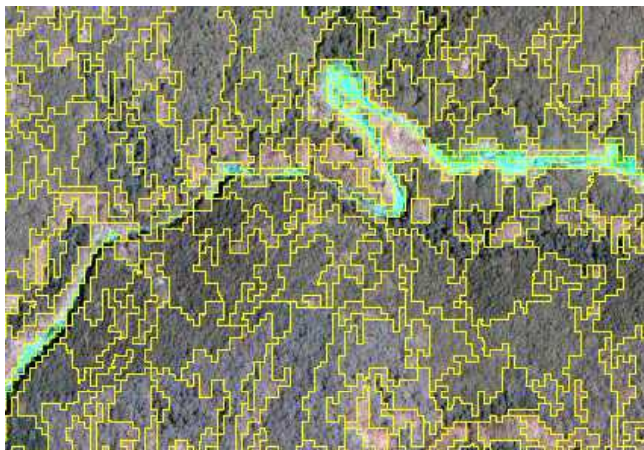
- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - (2.5式)、(2.7式)、(2.9式)によって算出された h_{color} 、 h_{smooth} 、 h_{cmpct} の3因子を(2.3式)に代入することで異質性(f)が求められる。
- Segmentation処理では異質性(f)は**Scale parameter**として設定する。
 - 値を小さくすると異質性の許容範囲が狭まり画像をより細かく分割するにとどまる結果となり、大きくすると粗い分割結果となる。そのほかに先に述べた3つの因子の重み付けや、Segmentation処理時に使用する各レイヤー(例えばRed、Blue、Nir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



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み(異なるScale parameterによる区画線)

SP=50



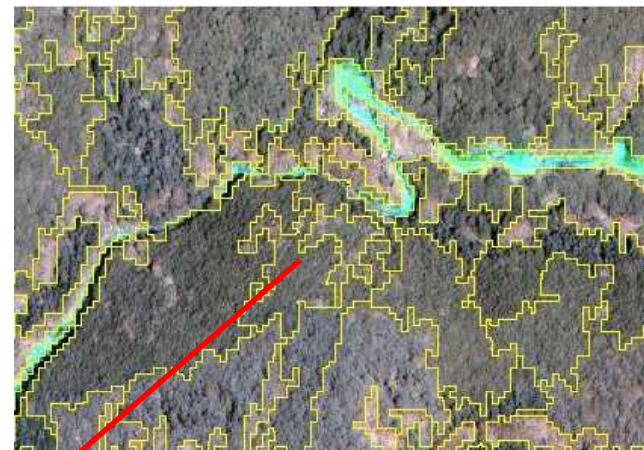
区画されて
いない

SP=200

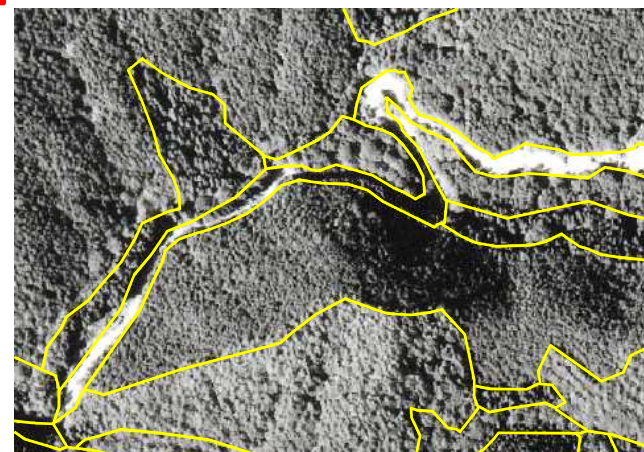


まだ細かいが必要な
区画はされている

SP=100



空中写真の目視判読(正)





画像解析ソフトの紹介

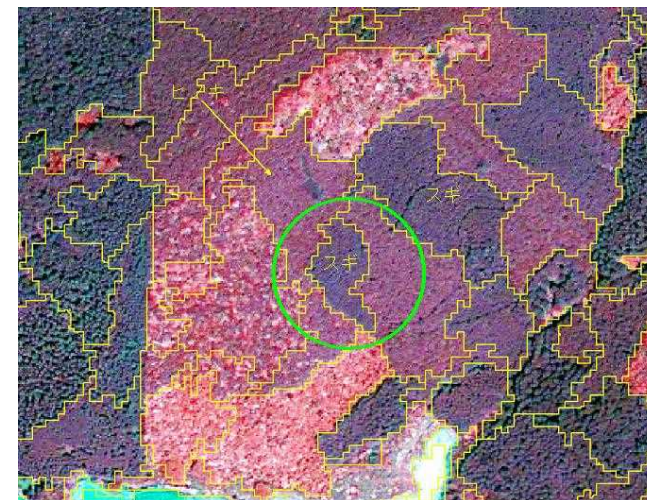
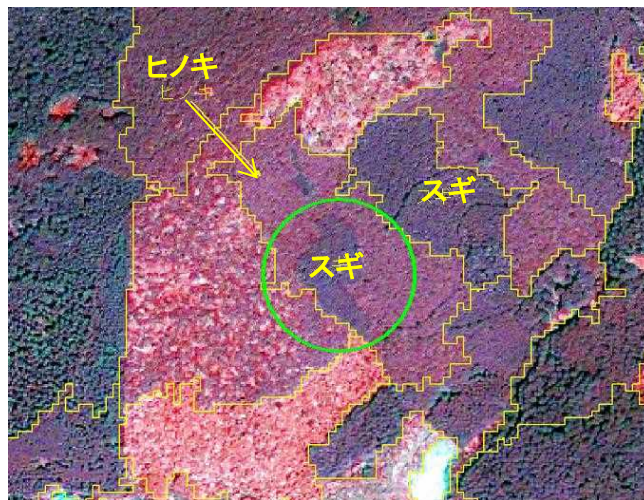
eCognitionの画像分割の仕組み(異なる林相における区画線)

SP=80

SP=30

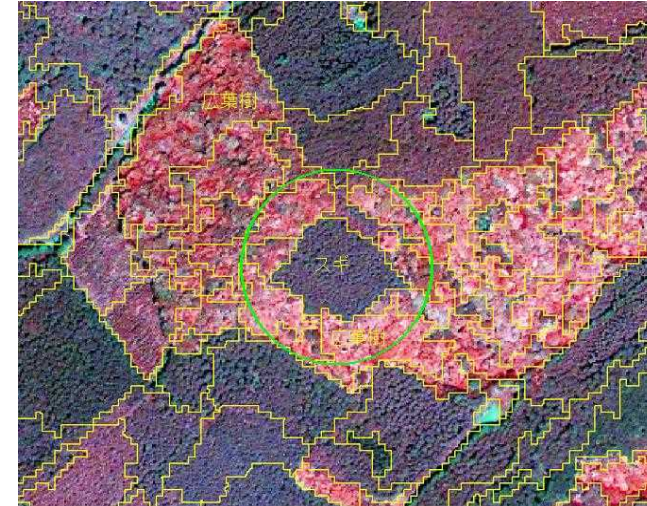
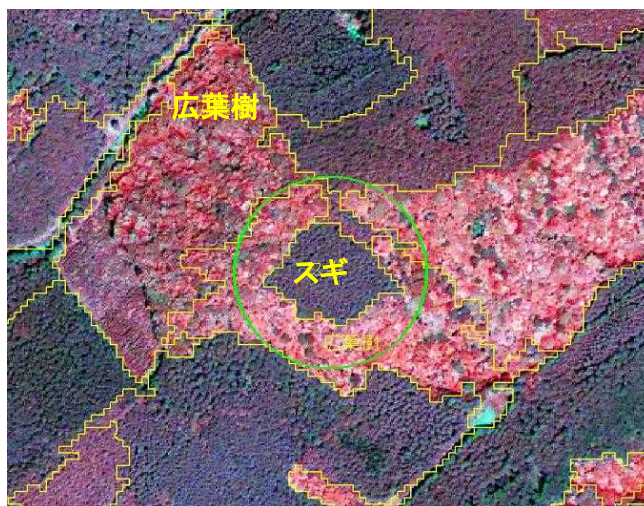
スギとヒノキ

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。





画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み(画像分類結果の比較)

空中写真 - 目視判読



IKONOS - eCognition



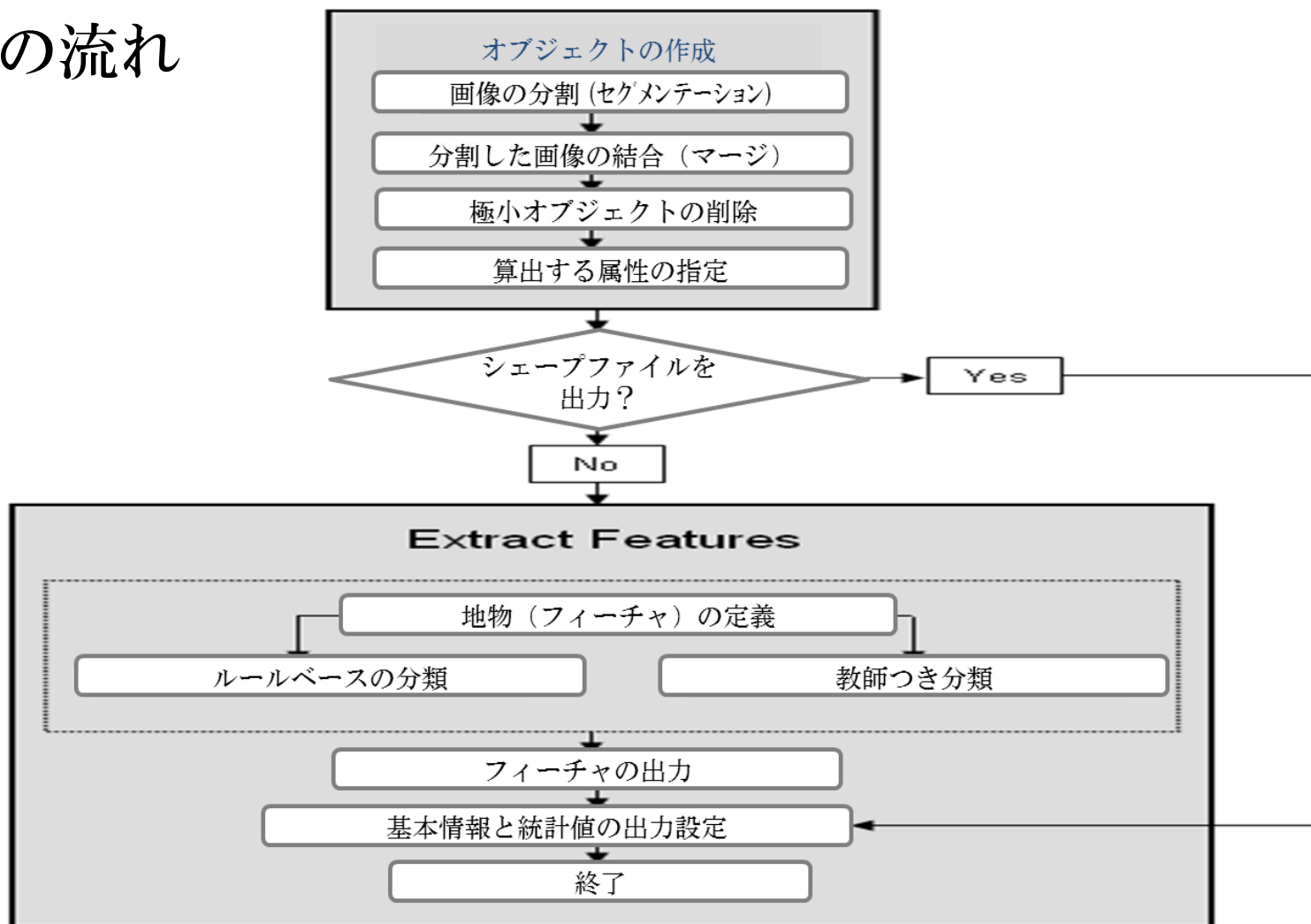
平成14年度森林資源モニタリング調査データ地理解析事業(リモートセンシング資源解析事業)報告書より



画像解析ソフトの紹介

ENVI EXの画像分割の仕組み

- 作業の流れ





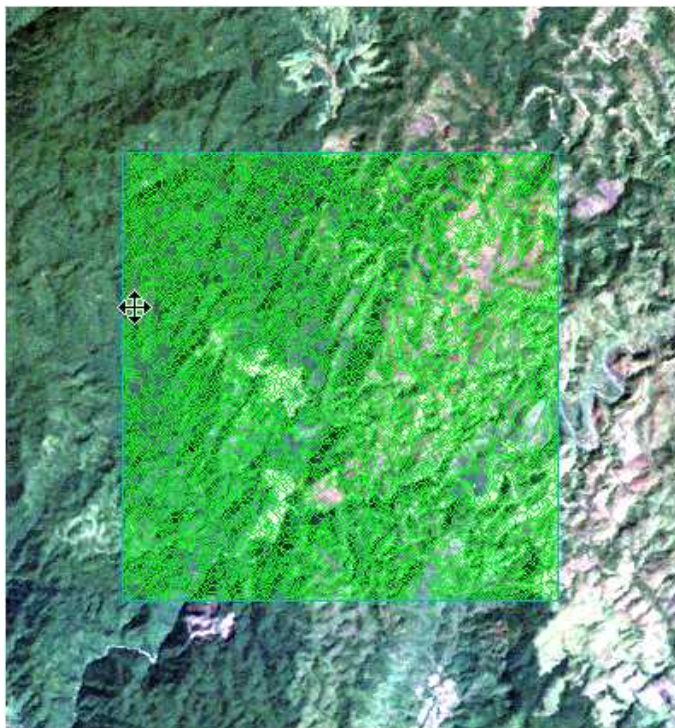
画像解析ソフトの紹介

ENVI EXの画像分割の仕組み

- Segmentation

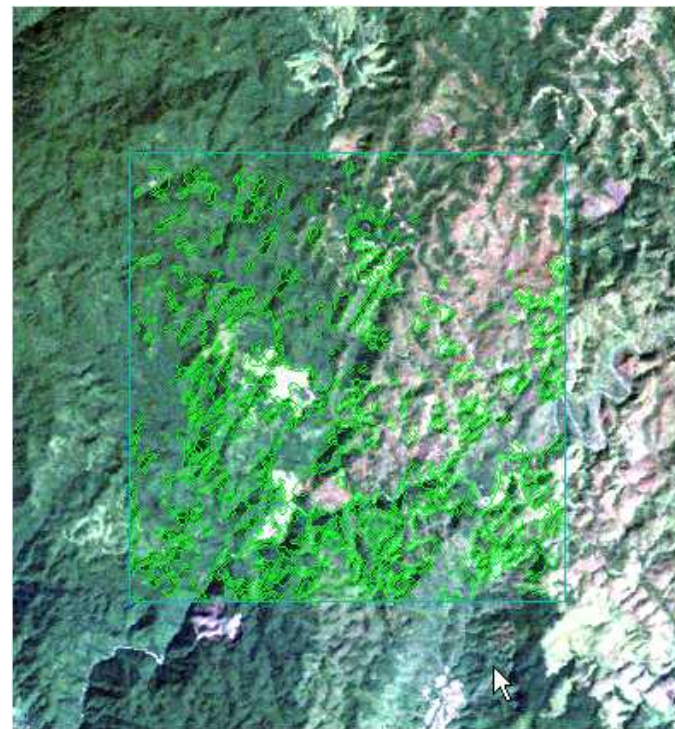
明るさ、テクスチャ、色などの数値が似ている近隣ピクセルをScale Levelを設定することでグループ化し、画像を分割する。

Scale Level 20



境界を作りたいところに線がある

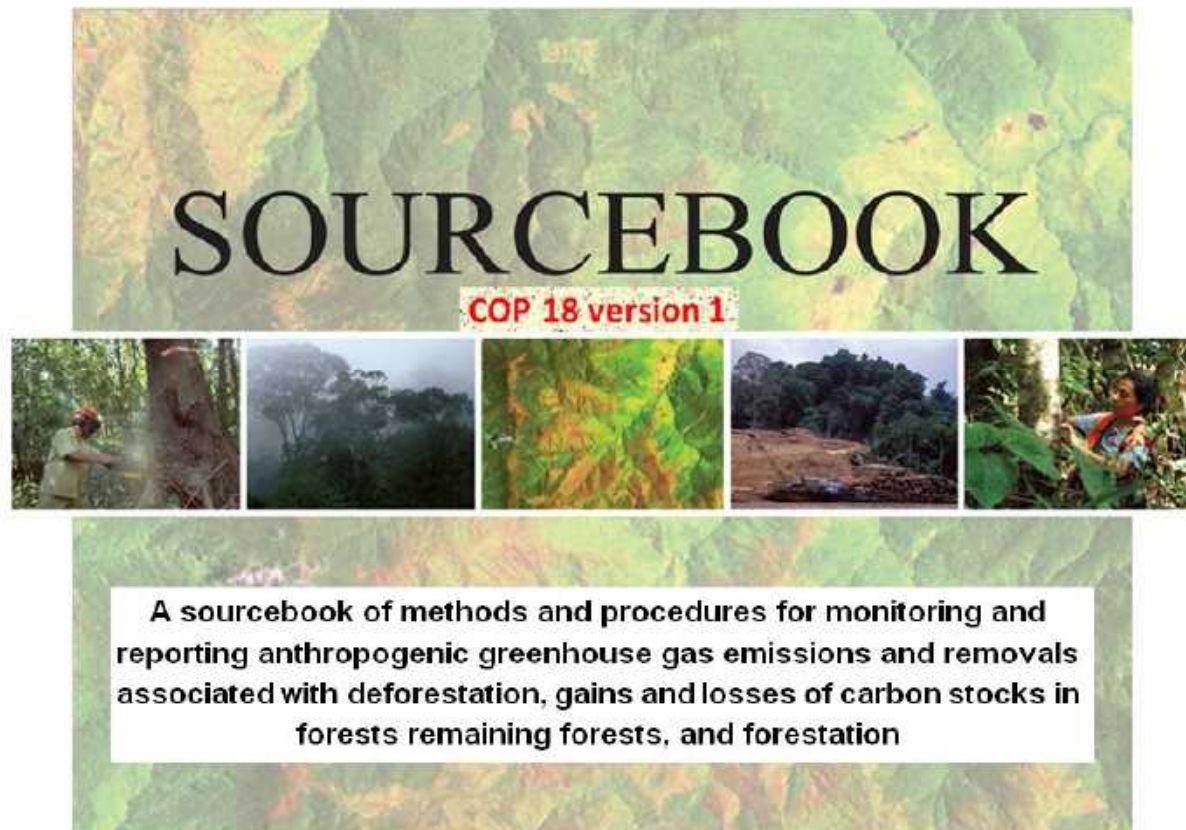
Scale Level 60



土地利用の境界に線がない箇所が多い



森林－非森林変化のモニタリング (GOFC-GOLD / COP18)



GOFC-GOLD 
Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics

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



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
森林の定義の選択
- 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
衛星画像と適用範囲
- 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

森林の定義の選択

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

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



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（対象エリア）のすべての森林を含める必要がある。
- 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必要がある。



Step3: Selection of satellite imagery and coverage

衛星画像と適用範囲

・光学センサーの 解像度と利用状況

Table 2.1.1. Utility of optical sensors at multiple resolutions for deforestation monitoring.

Sensor & resolution	Examples of current sensors	Minimum mapping unit (change)	Cost	Utility for monitoring
Coarse (250-1000 m)	SPOT-VGT (1998-) Terra-MODIS (2000-) Envisat-MERIS (2004 - 2012) VIIRS (2012-)	~ 100 ha ~ 10-20 ha	Low or free	Consistent pan-tropical annual monitoring to identify large clearings and locate "hotspots" for further analysis with mid resolution
Medium (10-60 m)	Landsat TM or TM+, Terra-ASTER IRS AWiFs or LISS III CBERS HRCCD DMC SPOT HRV ALOS AVNIR-2	0.5 - 5 ha	Landsat & CBERS are free; for others: <\$0.001/km ² for historical data \$0.02/km ² to \$0.5/km ² for recent data	Primary tool to map deforestation and estimate area change
Fine (<5 m)	RapidEye IKONOS QuickBird GeoEye WorldView Pleiades Aerial photos	< 0.1 ha	High to very high \$2 -30 /km ²	Validation of results from coarser resolution analysis, and training of algorithms



Step3: Selection of satellite imagery and coverage

衛星画像と適用範囲

・中解像度光学 センサの利用現況

Table 2.1.2. Present availability of optical mid-resolution (10-60 m) sensors.

Nation	Satellite & sensor	Resolution & coverage	Cost for data acquisition (archive ¹⁷)	Feature
USA	Landsat-7 ETM+	30 m 60×180 km ²	All data archived at USGS are free	On April 2003 the failure of the scan line corrector resulted in data gaps outside of the central portion of images, seriously compromising data quality
USA/ Japan	Terra ASTER	15 m 60×60 km ²	60 US\$/scene 0.02 US\$/km ²	Data is acquired on request and is not routinely collected for all areas
India	IRS-P2 LISS-III & AWIFS	23.5 & 56 m		After an experimental phase, AWIFS images can be acquired on a routine basis.
China/ Brazil	CBERS-2 HRCCD	20 m	Free in Brazil and potentially for other developing countries	Experimental; Brazil uses on-demand images to bolster their coverage.
Algeria/ China/ Nigeria/ Turkey/ UK	DMC	22 - 32 m 160×660 km ²	3000 €/scene 0.03 €/km ²	Commercial; Brazil uses alongside Landsat data
France	SPOT-5 HRVIR	10-20 m 60×60 km ²	2000 €/scene 0.5 €/km ²	Commercial Indonesia & Thailand used alongside Landsat data



【資料】代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格 (REDD-plus Cook Book)

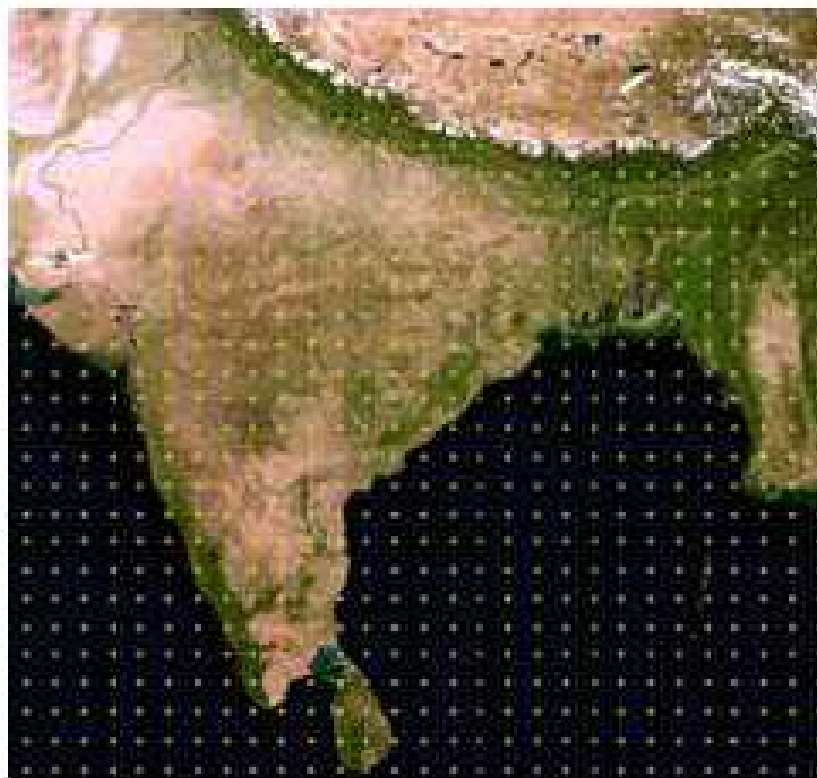
表 T05-1 代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格

衛星	センサ	打ち上げ年	運用開始年	地上解像度	観測幅 (km)	観測 頻度	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 (日)	往文撮影	フルシーン価格 (円)	帯域 (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://glvis.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 回観測再開
	TM	1982	運用中*	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	運用中*	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	運用中	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			30cm	7.5	×	可視 ~ 中間赤外 (220)			16					
EOS-Terra/ EOS-Aqua	MODIS	1999	運用中	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
SPOT 1-3	HRV-XS,P	1986	1993	X: 20m P: 10m	60	○	XS: 可視 (2)、近赤 (1) P: 可視 (1)	822	26	3.7	×	294,000*	8.2	フランス (Spot Image 社)**	*XS と P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格 ** 現 Astrium 社
SPOT 4	HRVIR-X,M	1998	運用中	X: 20m P: 10m	60	○	X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1) M: 可視 (1)	822	26	3.7	○	294,000*	8.2	フランス (Astrium 社)	*XS と P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格
SPOT 5	HRG-X,P	2002	運用中	X: 10/20m P: 5/2.5m	60	○	X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1) M: 可視 (1)	822	26	2-3	○	521,850*	145.0	フランス (Astrium 社)	*10m 解像度 X と 5m 解像度 P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格



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



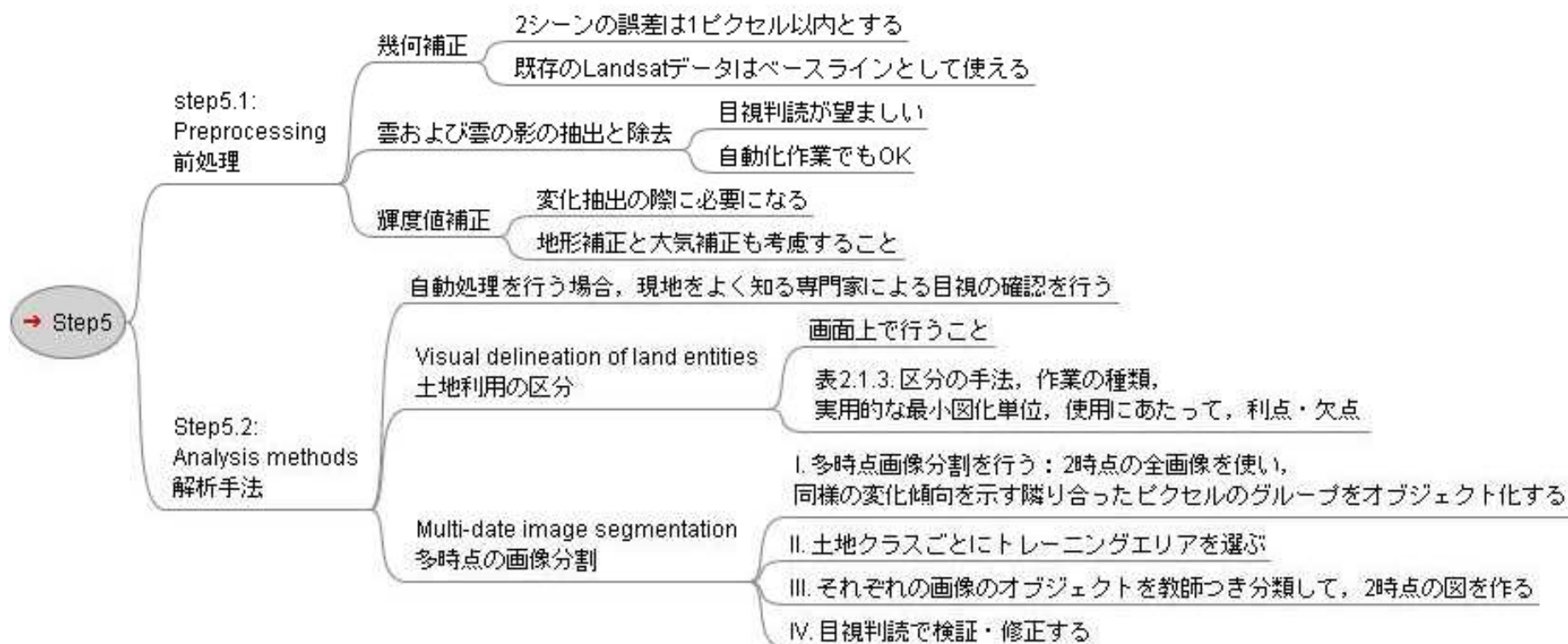
Example of stratified sampling





Step5: Proccess and analyze the satellite data

衛星データの処理と解析





○解像度に応じた適切な区分(解析)手法

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	- multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation	- closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 - 10 ha	- multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts	- easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	- interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable	- more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable	- more reproducible than visual delineation



○解像度に応じた適切な区分(解析)手法

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	- multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation	- closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 - 10 ha	- multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts	- easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	- interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable	- more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable	- more reproducible than visual delineation



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)
- ・サンプリングによるエラー
(不適切なサンプリング間隔の設計)
- ・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、システムティック...)
 - 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(グラントルース、キャリブレーション用データなど)
- ・ 地図作成時には、主題図作成の統一的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。



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

2.2.2.1 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
利用する空間分解能
- Step2: Enhance the image
画像強調の方法
- Step3: Select the mapping feature and methods
マッピング(図化)機能と方法の選択

2.2.2.2 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



2.2.2.1 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.



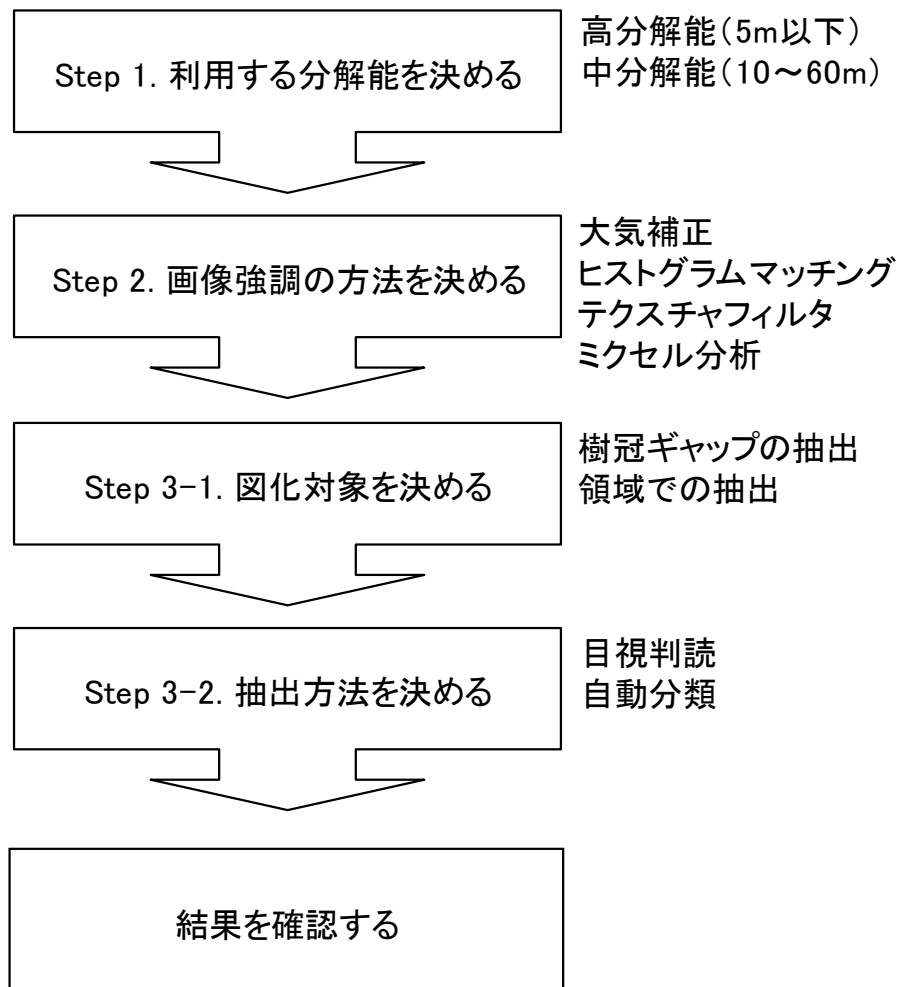
(image size: 11 km x 11 km)

- 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



2.2.2.1 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 利用する空間分解能

Figure 2.2.2. True color Landsat (left) and RapidEye (right) scenes acquired on 22 May 2009 within an unplanned selectively logged peat swamp forest in Central Kalimantan on Borneo.

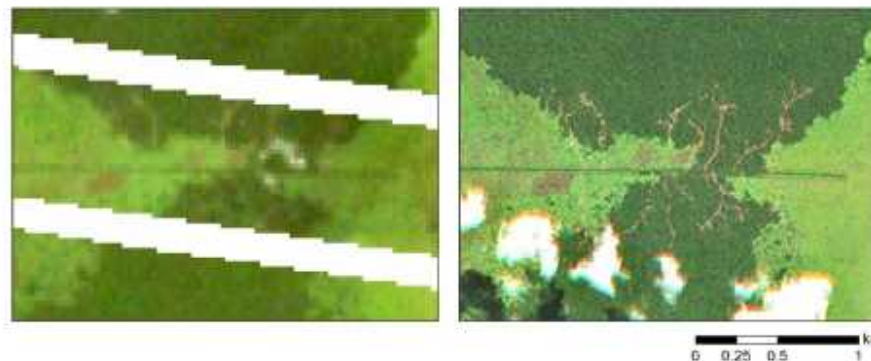
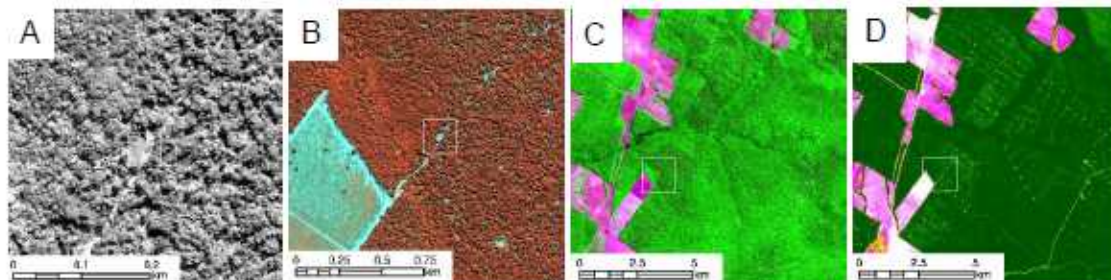


Figure 2.2.3. Unplanned logged forest in Sinop, Mato Grosso, Brazilian Amazon in: (A) IKONOS panchromatic image (1 meter pixel); (B) IKONOS multi-spectral and panchromatic fusion (4 meter pixel); (C) Landsat multi-spectral (R5, G4, B3; 30 meter pixel); and (D) Normalized Difference Fraction Index image (sub-pixel within 30 m). These images were acquired in August 2001.





Step2: Enhance the image

画像強調の方法

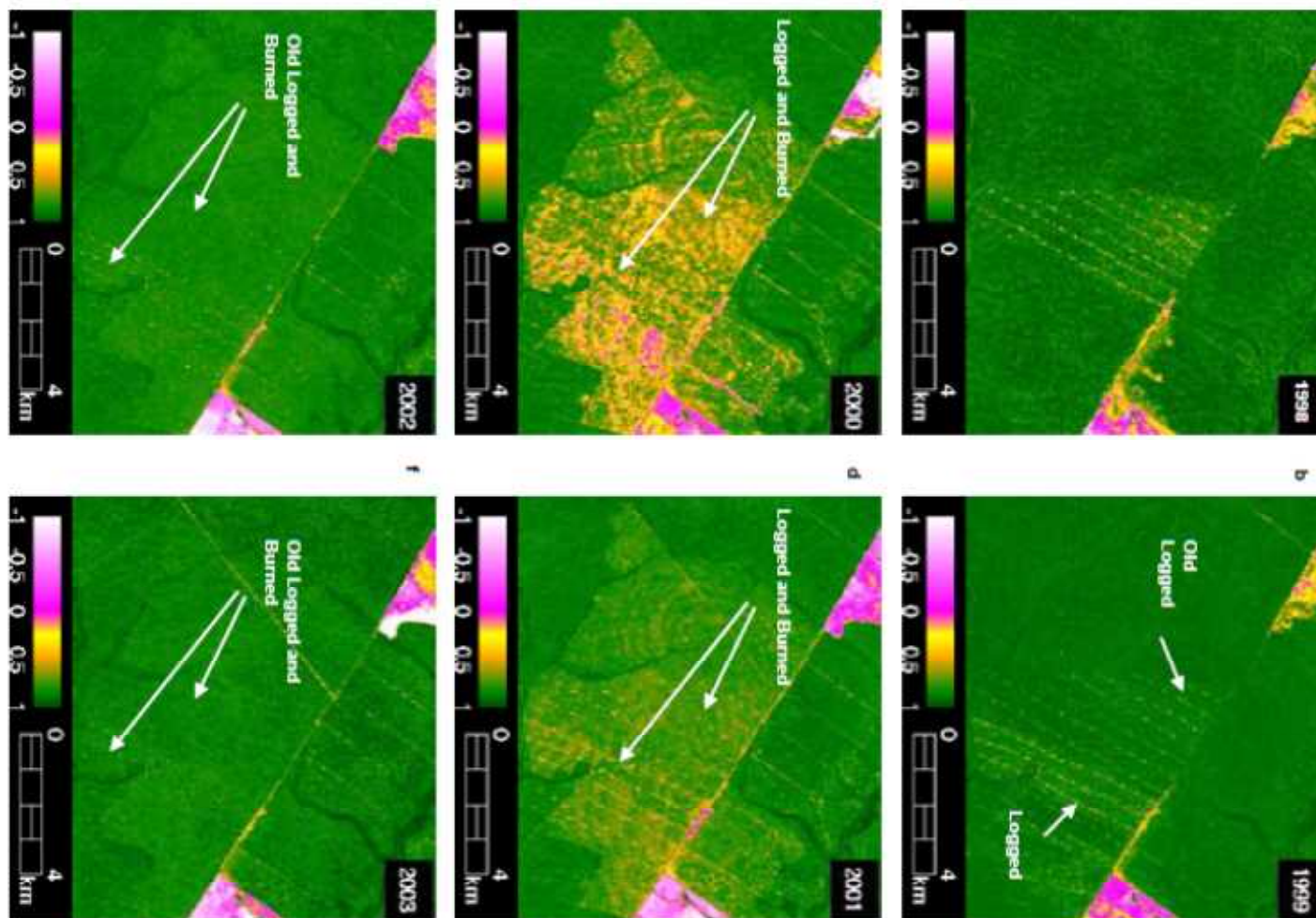


Figure 2.2.6. Forest degradation annual change due to selective logging and logging and burning in Sinop region, Mato Grosso State, Brazil.



Step3: Select the mapping feature and methods

マッピング(図化)機能と方法の選択

Table 2.2.1. Remote sensing methods tested and validated to map forest degradation caused by selective logging and burning in the Brazilian Amazon.

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	Very difficult to interpret and to validate; confused with forest structure
CLAS ²⁰	Landsat TMS and ETM+, MODIS	Brazilian Amazon, Peruvian Amazon, Indonesia, Global	Map total logging area (canopy damage, clearings and undamaged forest)	Fully automated and standardized to very large areas.	Requires high computation power and pairs of images to detect forest change associated with logging.
CLASlite ²¹	Landsat TM, ETM+, ASTER, ALI, SPOT4, SPOT5, MODIS	Regional to national	Rapid mapping of deforestation and degradation	Highly automated, uses a standard computer, requires little expertise	Not available for Apple Macintosh computers
CLAS-BURN ²²	Landsat TM, ETM+	Regional to national	Rapid mapping of sub-canopy fire burn scars	Uniquely sensitive to burn scars, and not logging	Requires testing outside of the Amazon basin
NDFI+CCA ²³	Landsat TMS and ETM+	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	enhances forest canopy damaged areas.	It does not separate logging from burning
Spatial mixture analysis	RapidEye	Local	map forest degradation associated with small scale selective logging	High temporal resolution allows monitoring of unplanned small scale selective logging despite fast regrowth	not fully automated

- 森林劣化の程度は?
- 解析対象領域の広さは?
- 解析手法は?



2.2.2.2 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

自然林 (Intact Forest) の抽出

- Positive approach
 - 画像解析で自然林 (Intact Forest) 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。



リモートセンシングを用いた森林面積の推定 (出典:REDD-plus COOKBOOK)



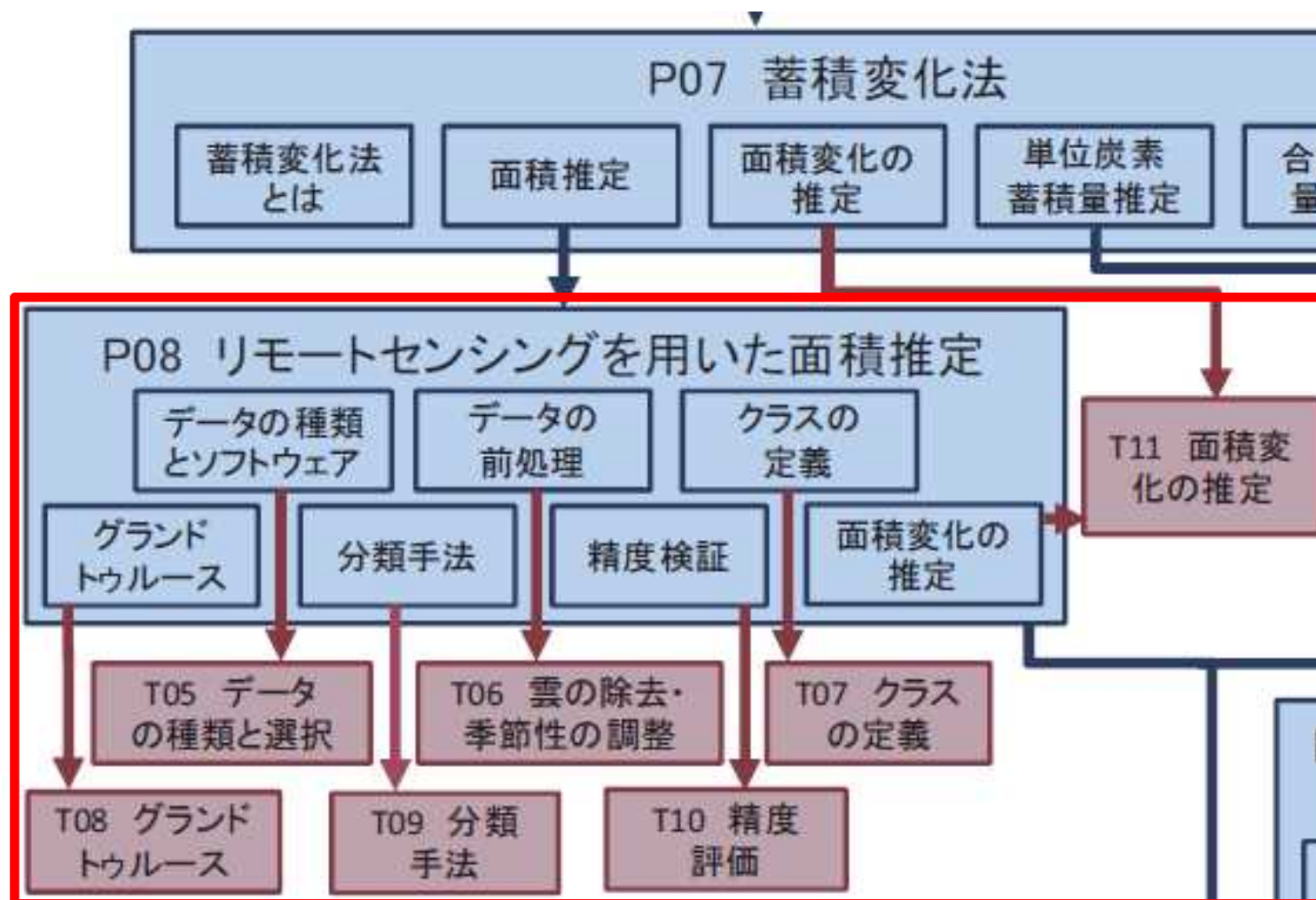


COOKBOOKの該当目次

第7章 リモートセンシングを用いた森林面積の推定	86
Recipe - T05 データの種類と選択	88
プラットフォーム / センサ / 空間分解能、波長分解能と時間分解能 / 現在・過去・未来 / データの選択 / ソフトウェア	
Recipe - T06 雲の除去・季節性の調整	94
雲の除去 / 季節性の調整	
Recipe - T07 クラスの定義	96
完全かつ排他的なクラス / 求められる分類クラス / 分類後のクラスの統合	
Recipe - T08 グランドトゥールース	98
グランドトゥールースとは / グランドトゥールースの位置情報と精度 / 抽出方法 / サンプル数	
Recipe - T09 分類手法	100
リモートセンシングにおける分類 / 画素単位の分類とオブジェクトベース分類	
Recipe - T10 精度評価	102
判定効率表と精度の指標 / 精度評価のためのグランドトゥールース	
Recipe - T11 面積変化の推定	108
2 時期それぞれの分類結果の比較 / 多時期画像の一括分類による変化抽出 / 画像比較の注意点と現在の流れ	



COOKBOOKの該当レシピ



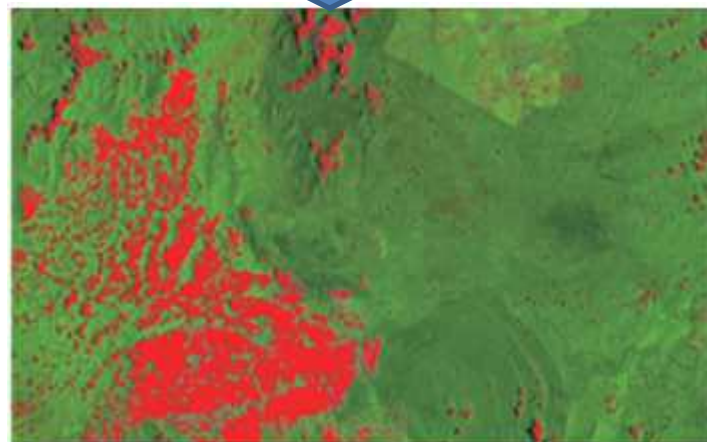


雲の除去(Recipe-T06)

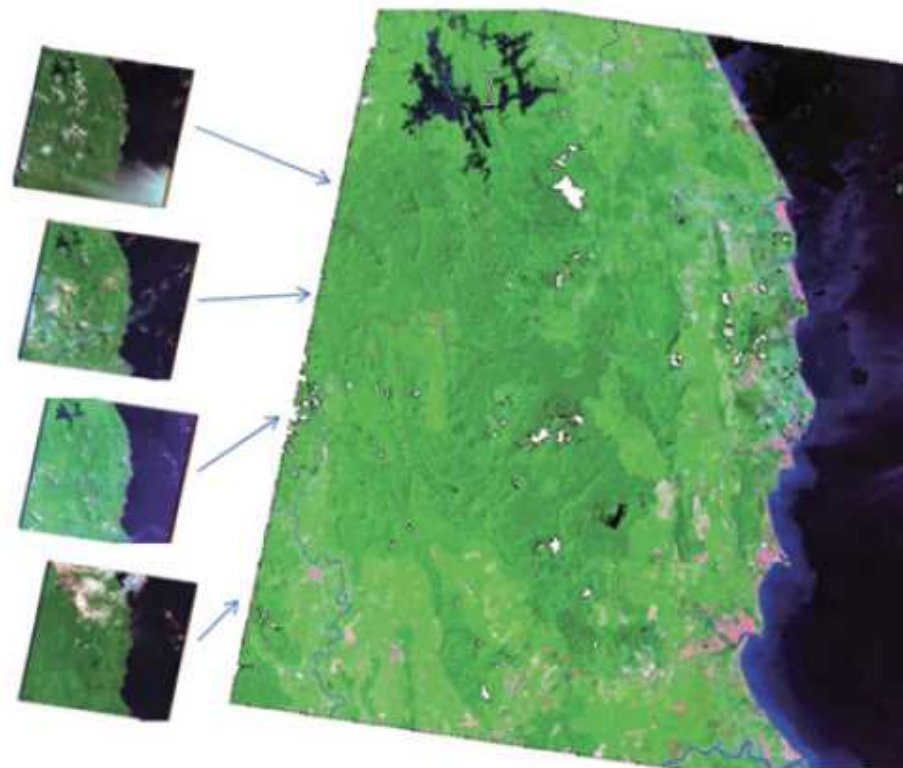
処理前



処理後



雲、ヘイズ(もや)及びそれらの影の抽出



前後の時期の画像から雲のない部分を抽出し、モザイク処理



季節性の調整 (Recipe-T06)

- ・熱帯落葉樹林では、着葉期と落葉期があることから、同季節の画像を収集することが基本となる。
- ・同季節の画像の入手が困難な場合は、季節性の影響を画像処理で調整してから分類するなどの処理が必要となる。

処理前



処理後



季節変化の影響の除去の例



グランドトゥールース(Recipe-T08)

グランドトゥールース:リモートセンシングデータと観測対象物(森林)との対応関係を明らかにするために観測・測定・収集した地上の実態に関する情報。現地調査が難しい場合は、より高分解能の衛星画像や空中写真の判読で代用する場合もある。

グランドトゥールースの位置情報:現地調査で取得する際には、GPSや既存の地図情報、空中写真の画像判読などを利用する。

グランドトゥールースの抽出方法:抽出方法は単純無作為抽出、層化抽出、系統的抽出など様々、統計的に適切に抽出する必要がある。

サンプル数:教師つき分類の教師データ(分類に用いるデータ)として必要なクラスごとのサンプル数は、用いる説明変数の10倍(例えばバンド数)といわれている。また、精度検証に用いるサンプルは、分類に用いるデータと異なるサンプルである必要があり、クラス毎に60か所は必要といわれる。



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

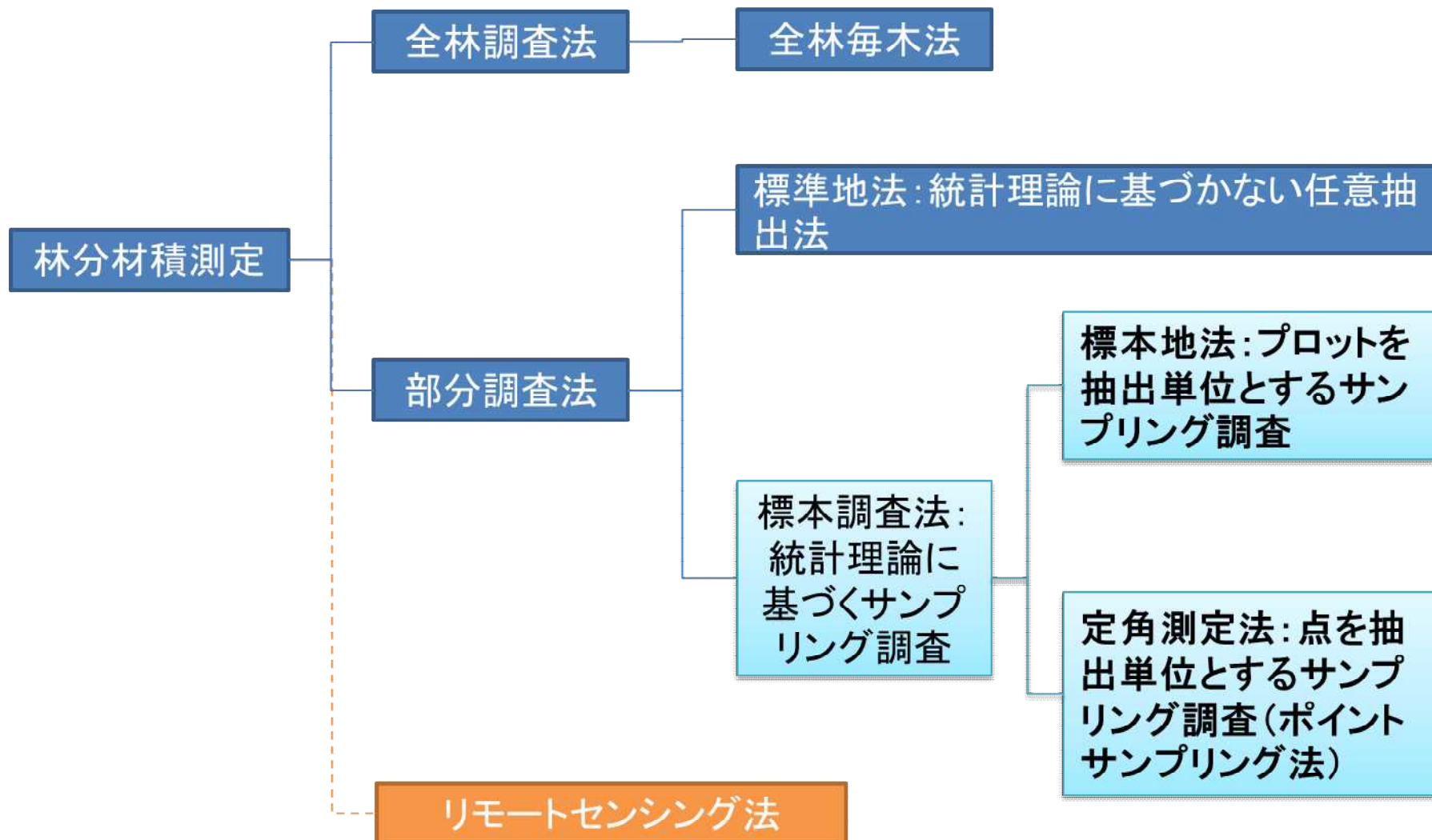
第 8 章 (1)

地上調査の準備

一般社団法人日本森林技術協会
金森 匡彦



森林の材積(≒炭素量)を測定する方法





標本地法と定角測定法

- 標本地法

- 森林における科学的な調査の基本
- 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
- 調査地は統計的な方法に基づき選定される(無作為抽出法、系統抽出法)
- 調べた要素の集計結果より、森林全体の傾向(材積やバイオマスなど)を推測する(統計的推定)



定角測定法（ポイントサンプリング法）

• 定角測定法

- 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**）
- 視準した角度によってあらかじめ決まる定数（断面積定数）をカウント本数に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
- 断面積に形数を掛けたり樹高の別途計測により材積推定

G（胸高断面積）

=k（断面積定数）＊E（カウント本数）



現地調査で最も大切なこと(リスク管理)

- 安全管理
 - 装備、KYチェック
 - 経路の確認(地図、GPS)
 - 天候
 - 危険生物
- 確実な実施
 - 声による確認
 - 数値の復唱





直径を測る道具

- h: 輪尺
 - ノギスを大型にしたもの
 - 幹が真円に近い針葉樹人工林で使用
 - 電子輪尺もあり
- 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



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

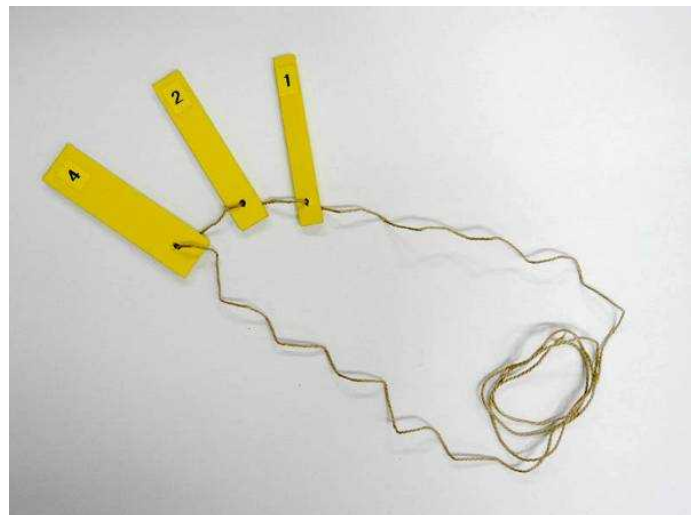
- d: 測桿
 - 10m程度までの樹高を計測
 - 先端を伸ばし手元の目盛を読み取る
- f: ブルーメライス
 - 一定の水平距離を離れた時、根元、梢端の視認角度目盛が樹高を指す
- e: バーテックス
 - 超音波で距離を計測
 - 計測距離と角度センサーにより樹高を算出



森林生態系多様性基礎調査事業調査マニュアルより



定角測定法を行うための道具(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)

C



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)
 - 胸高直径
 - 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





調査プロットの設定

- 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。プロットロープや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(中心杭、補助杭)



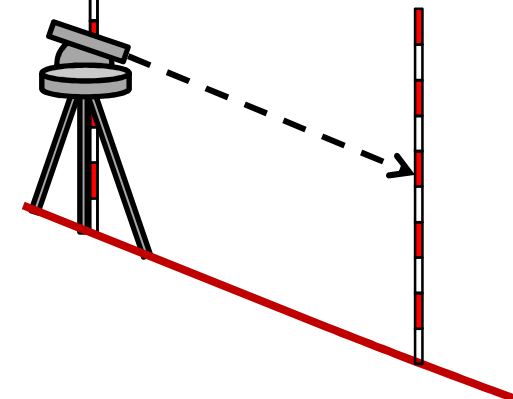
プロット設定

- 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。
 - コンパスグラス等で傾斜方位
 - バーテックス等で傾斜角を計測。
 - 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

同じ高さを見通す。
プロット半径以上
離れる。





直径の測定

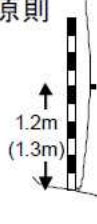
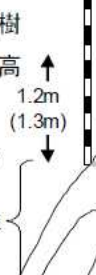
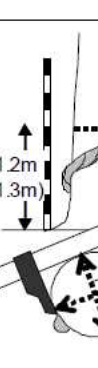
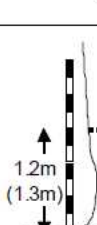
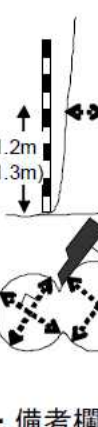
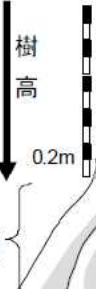
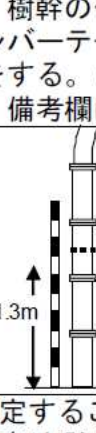
- 胸高直径(DBH)
 - 胸高位置は地域により違う
 - 北海道 =1.3m (海外は基本的に1.3m)
 - 北海道以外 =1.2m
 - 目的に応じて、最小の計測対象直径、計測単位を定めておく(目標精度と労力(=コスト))
 - 原則として、プロット内全ての対象立木の直径を計測する(本数の計測にもなる)
- 測り方のルール
 - ルールを決めることによって、測定値のばらつきを抑えることができる(誰が測っても同じ)
 - 傾斜地では、山側から胸高位置を決める
 - 樹木の形状は様々
 - 胸高位置の枝分かれ、こぶなどがある際等の対応をあらかじめ決めておくことで誤差が少なくなる
- 正確な計測のコツ
 - 胸高位置が適切か、直径テープのたるみやねじれがないか、つるの上から計測していないか等、よく確認する
 - 記録者や近くにいる者が目配りすることも重要





森林生態系多様性基礎調査

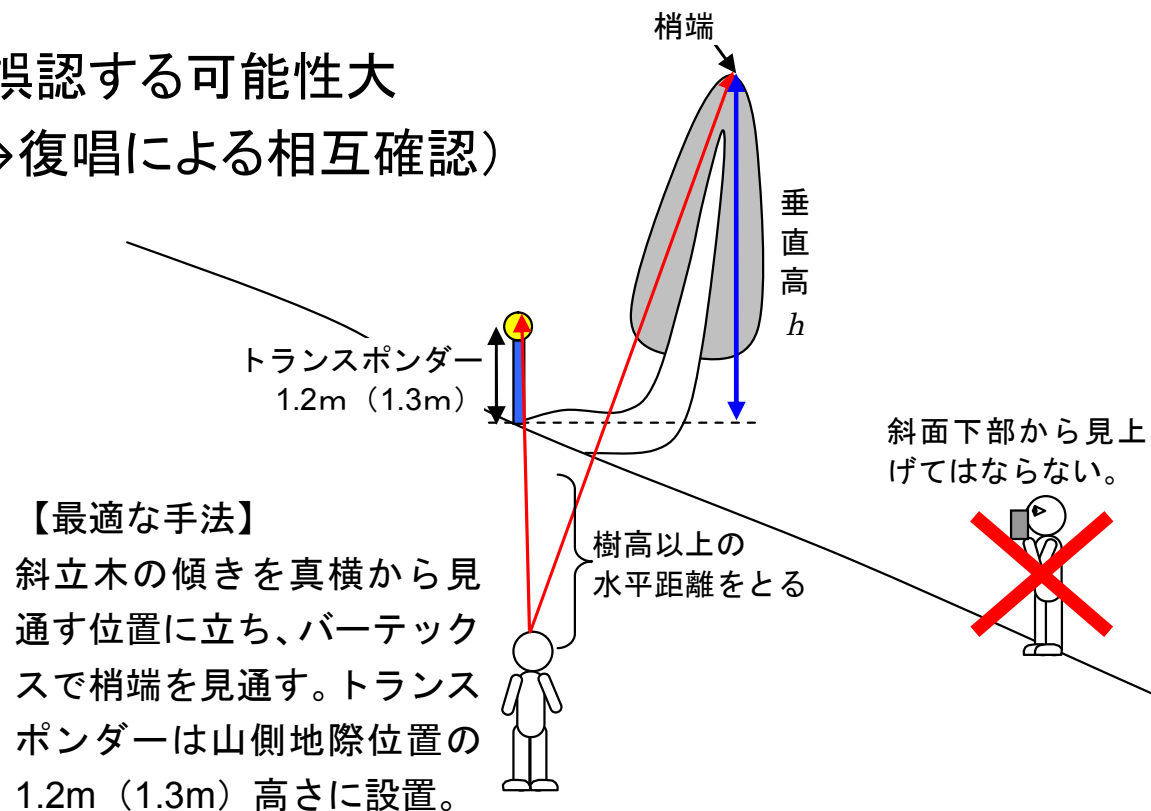
現地調査早見表より

原則  ・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	胸高位置にこぶ、枝などがある場合  ・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	樹高  根 マーキング ・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）
斜立している場合  ・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	ツル等の着生植物が胸高位置にある場合  ツル ・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	・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） ・備考欄には「根上がり」と記入
胸高以下で 2 本以上に分かれている  ・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	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  ・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 ・備考欄には「合体」と記入	樹高  板根 マーキング ・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かった位置）から 0.2m を測定位置とする（樹高も同様）
胸高位置で 2 本以上に分かれ、太くなっているなど  ・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	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 ・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） ・備考欄には「板根」と記入 樹高  1.3m ・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。



樹高の測定

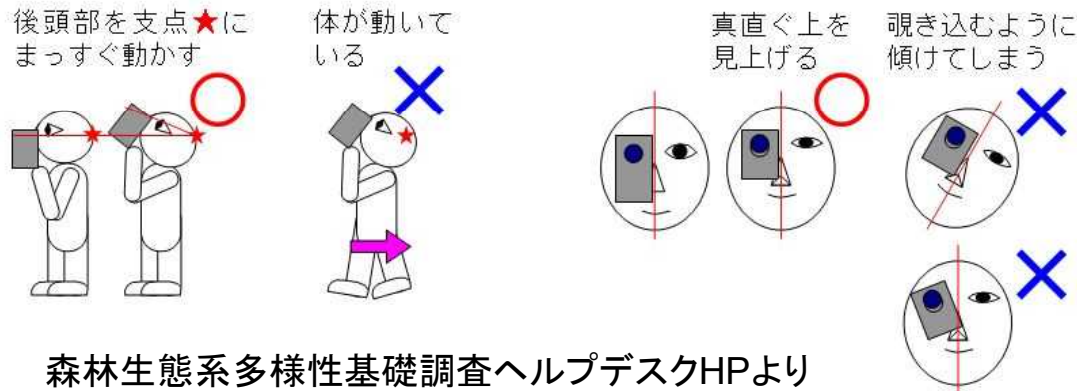
- 三角測量
 - 最新機器を使っても基本は同じ、水平距離と根元・梢端の視認角度。
 - 樹幹長を計測(垂直高ではない)
- 計測者は立木から樹高程度の水平距離をとり、できるだけ対象立木を見下ろす位置に立つ。
- 見上げの場合は梢端を誤認する可能性大
- 計測ミス(あり得ない値→復唱による相互確認)





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（→予備に器械式測高器を準備）
 - トランスポンダーの設定を確認（SETUP）

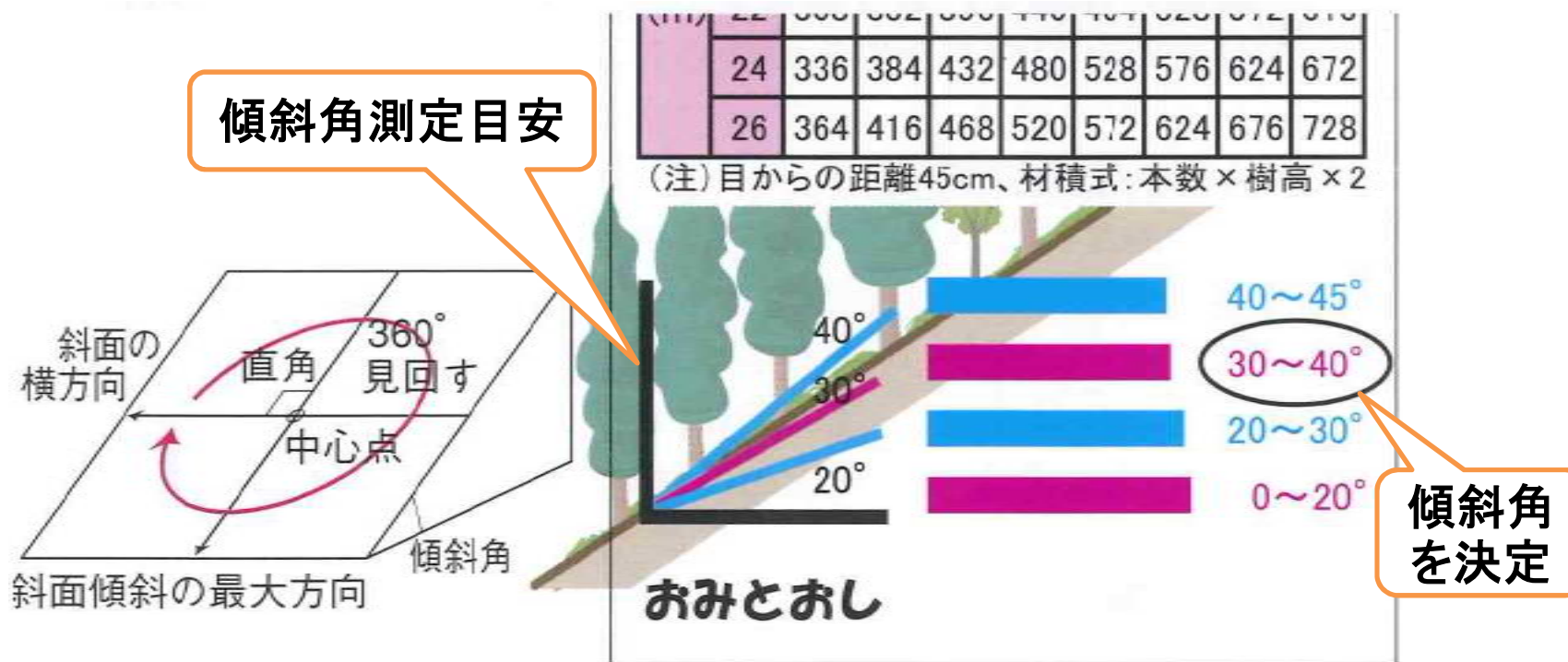


- レーザー測距機使用上の注意
 - 反射板が不要の機器でも、林内では障害物に反射している可能性も高いので、必ず反射板を使用する。



「おみとおし」を使用した定角測定法の実施

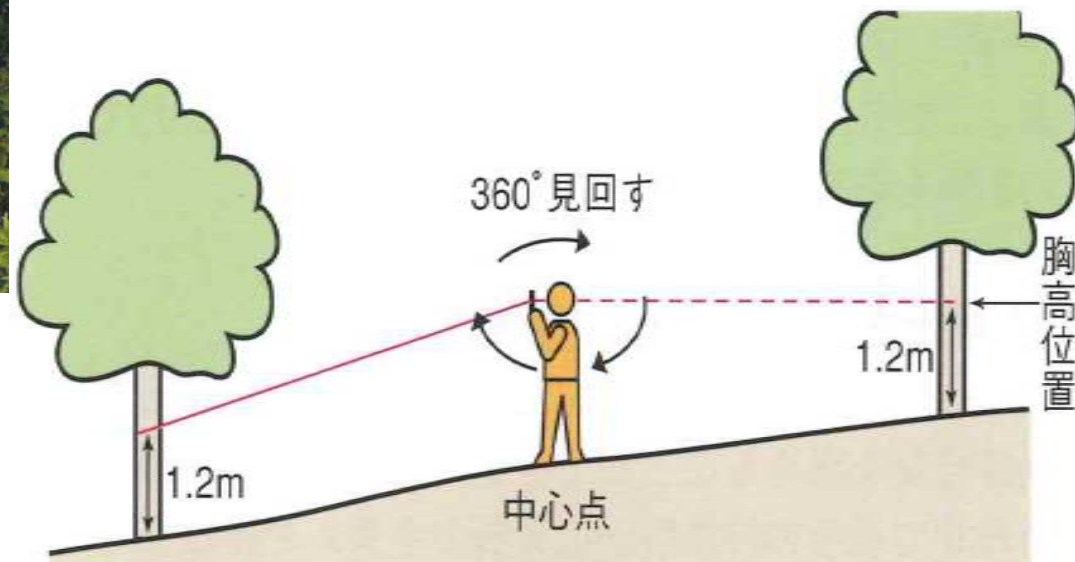
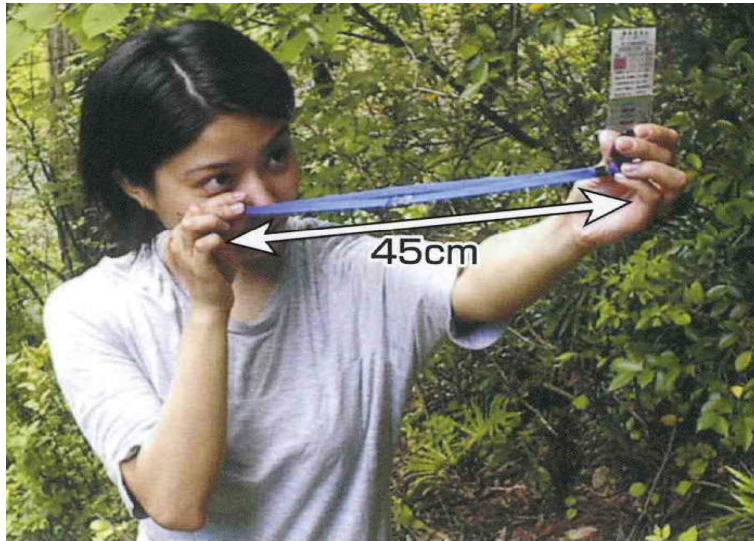
- 「おみとおし」(スギ・ヒノキタイプ用)を持って、周辺を支障なく見回せるような林内の1点に立つ(今回は任意に設定)
- 斜面の横方向を「傾斜角測定目安」を透かしながら見て、該当する傾斜角を決定





「おみとおし」を使用した定角測定法の実施

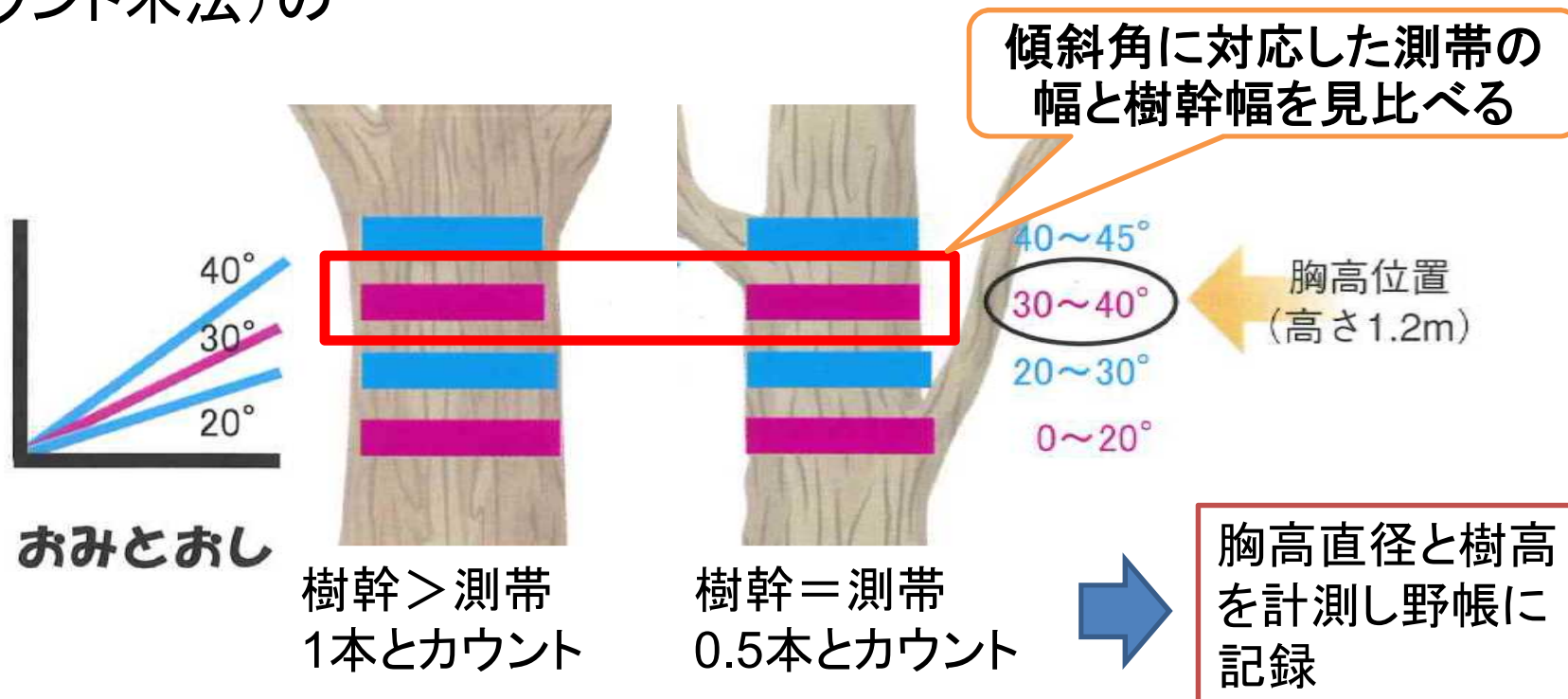
- 「おみとおし」の首ぶらさげ紐の端を目の下に当てながら紐をまっすぐ伸ばし、傾斜角に対応した測帯を透かしながら、まわりの木の胸高位置を見る。





「おみとおし」を使用した定角測定法の実施

- 見通した樹幹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し、野帳に記録する(カウント木法)の





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 8 章 (2)

地上炭素モニタリングの基礎

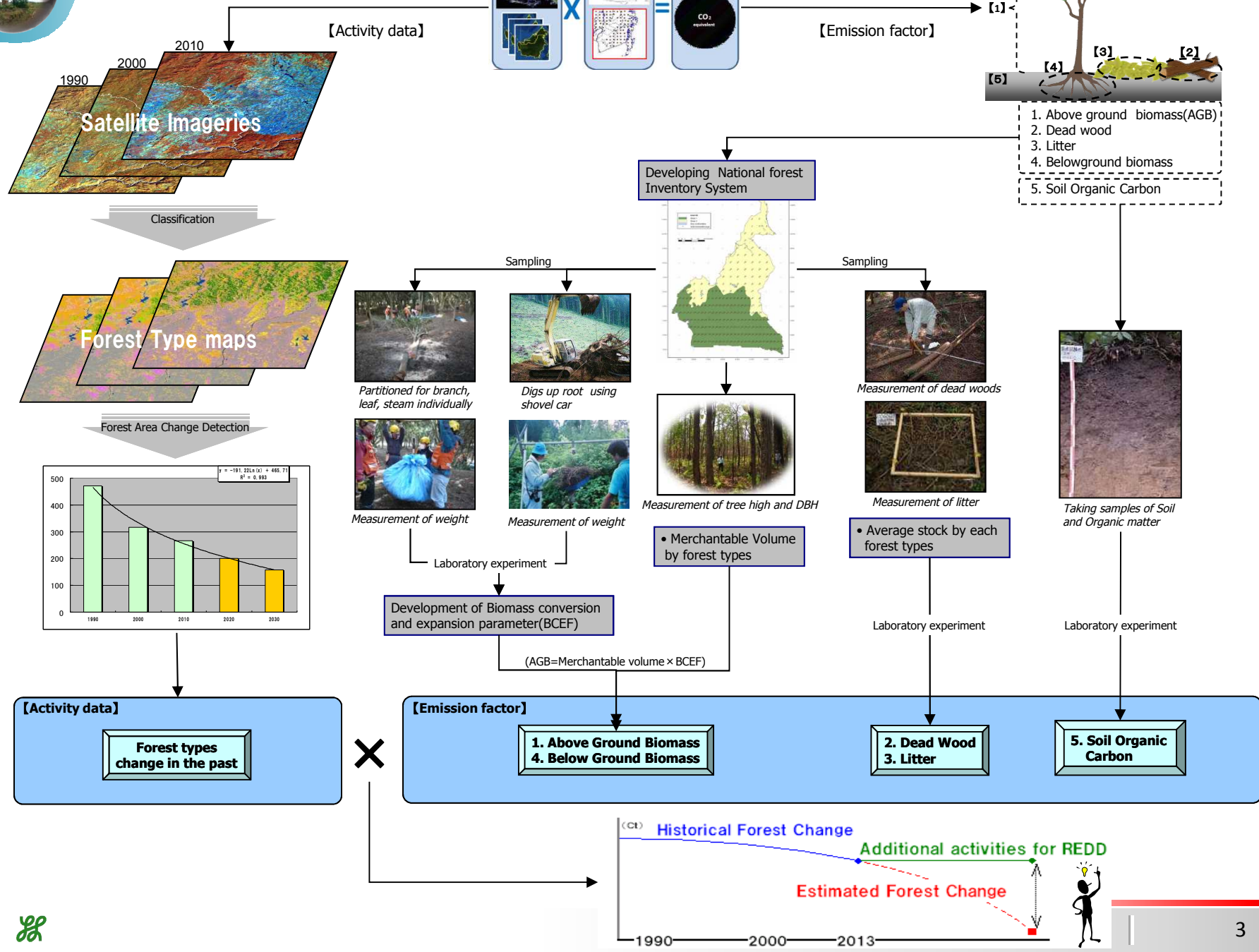
地上プロット調査と解析

一般社団法人日本森林技術協会
金森 匡彦



REDD+における地上調査の目的

- 森林における炭素量の計算
 - 単位面積あたり炭素量＝
 - ①地上部（樹幹＋枝葉）
 - ＋②枯死木及び③リター（落葉・落枝）
 - ＋④地下部（根）
 - ＋⑤土壌炭素量
- より信頼性の高い炭素量を推計するためには
 - 森林タイプ（地域・樹種）や生育段階等をできるだけ細かく区分し、
 - それぞれの推計に必要なパラメータのため、地上計測値をできるだけ多く集める必要
 - 継続的なモニタリングも必要





森林計測の本質的な困難さ

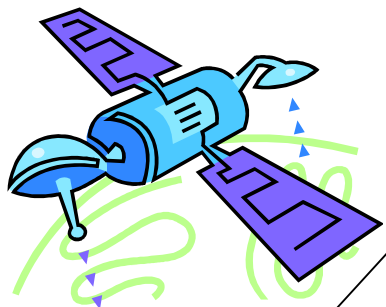
測定対象として見た場合の森林の特徴

- 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約



森林計測のアプローチ

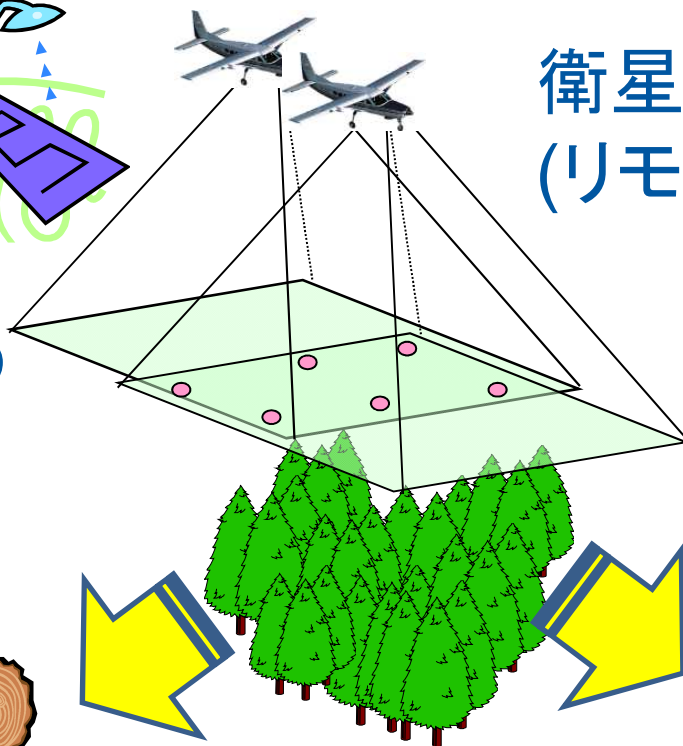
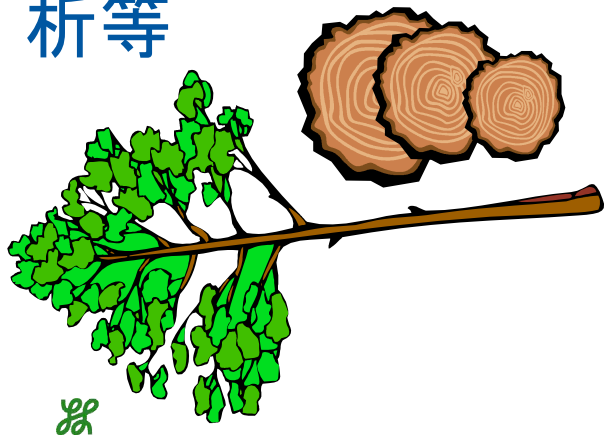
森林を計測する様々な方法



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)

破壊調査(1本の
木を正確に計測
する)→樹幹解
析等



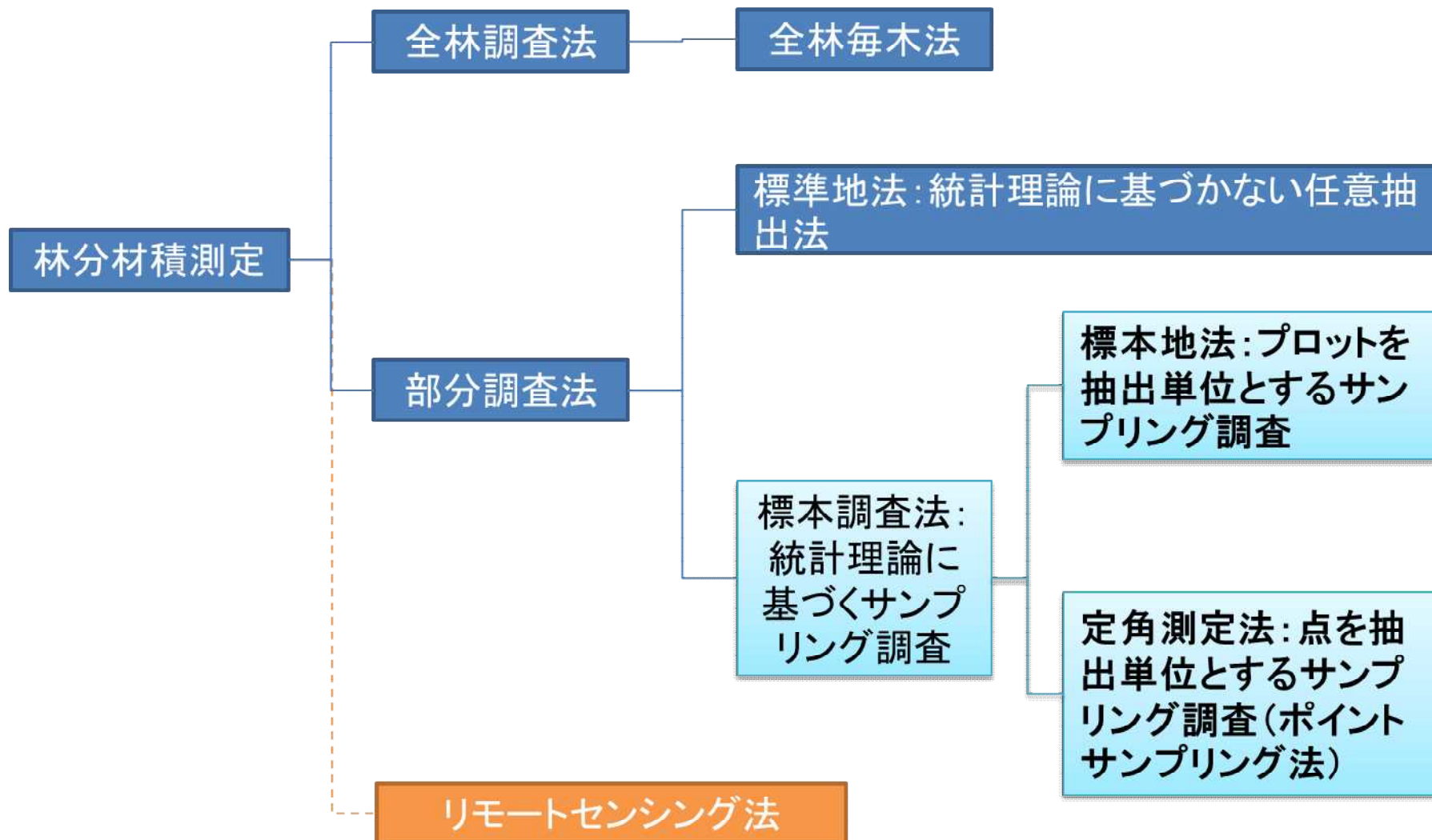
地上調査 (プロット
調査等)

地上における直
接計測 (樹木や
その他生物)





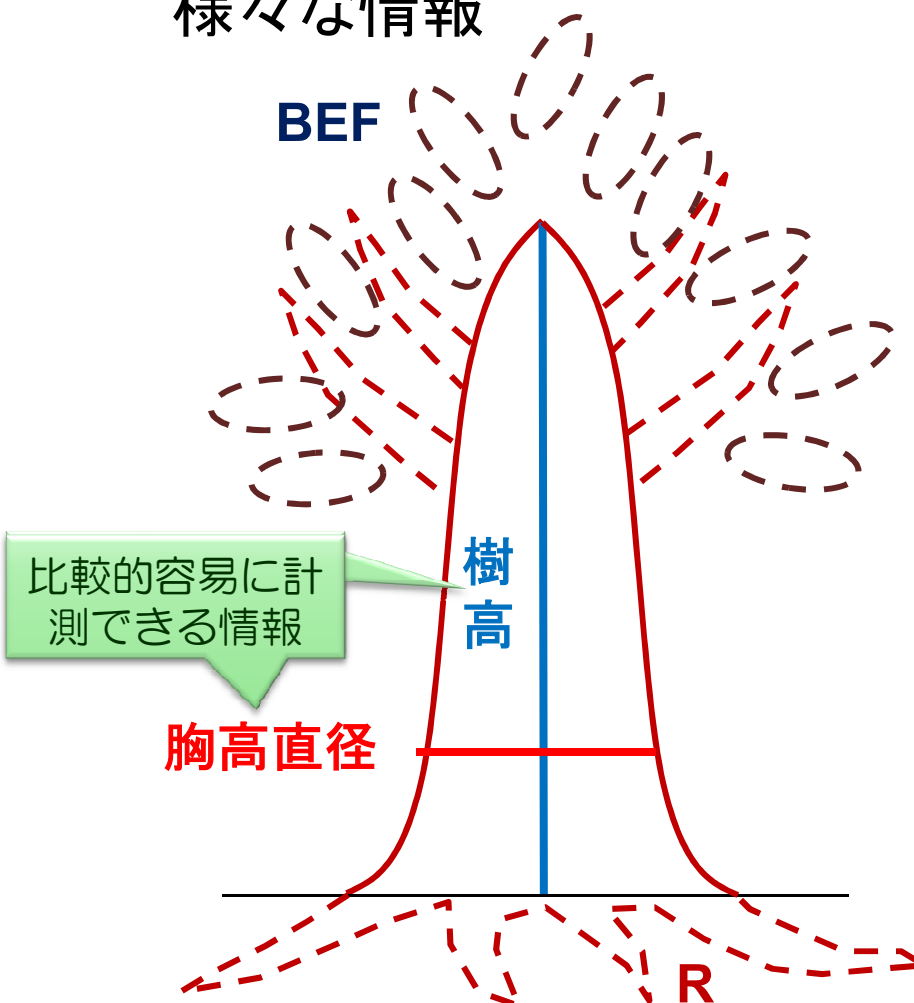
林分材積測定法の分類





樹木をモデル化して材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

＜幹材積からの変換＞

樹幹のモデル化: 既存の材積式、材積表を利用(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

＜計測値からの直接変換＞

アロメトリー式(相対生長式)

胸高直径等から直接バイオマス量や炭素量に変換する



調査結果のバイオマス・炭素量への変換 1

• 幹材積から変換するアプローチ

ー 直径や樹高から樹幹材積への変換(材積表(式))

- 複雑な形状をした現実の立木の幹を単純な幾何学的モデルで近似し、材積を計算する。
- 材積 = $f(\text{直径}, \text{樹高}, \text{幹形}) \rightarrow \text{材積表(材積式)}$
- (地域、樹種別に) 胸高直径、樹高等と立木材積の関係を示した表(式)。
- 一変数(胸高直径のみ)、二変数(胸高直径と樹高)

ー 樹幹から他の部分への拡張

• バイオマス拡大係数(BEF)

ー 幹重量とそれ以外の地上部分(枝、葉)を含めた全体のバイオマス重量との比(樹種別、成育段階別)

ー 例: スギ1.23、ヒノキ1.24、アカマツ1.23、ブナ1.32(いずれも林齢20年以上)

• 地下／地上バイオマス比(R)

ー 地下部(根)の総バイオマスと地上の総バイオマスの比

ー 例: スギ0.25、ヒノキ0.26、アカマツ0.27、ブナ0.25

ー 重さへの変換(バイオマス量へ)

• 材密度(容積密度)

ー 幹の比重(単位材積当たりの重さ)。

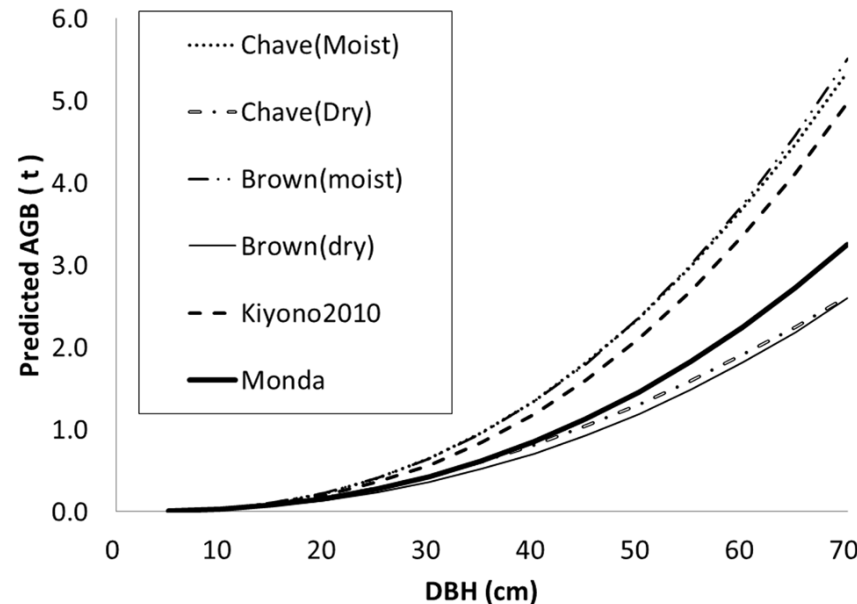
ー 例: スギ0.314、ヒノキ0.407、アカマツ0.416、ブナ0.573



調査結果のバイオマス・炭素量への変換 2

•アロメトリー式による直接推定

- 生物の個体の部分の大きさと他の部分の大きさの間には関係がある。
相対生長関係(アロメトリ)
- 個体の計測しやすい一部(胸高直径など)を調べることにより、実測が困難な部分(樹木全体のバイオマス量など)を推定
- 汎用式と個別の樹種・森林タイプ別に調整された式がある





調査結果のバイオマス・炭素量への変換3

•単位面積当たり炭素量C(t-C/ha)への変換

ー樹幹材積とバイオマス拡大係数を用いる場合

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

V:樹幹材積(m³/ha)、WD:材密度(t/m³)、BEF:バイオマス拡大係数、
R:地上部に対する地下部の比率、CF:炭素含有率(t-C/m³)

ーアロメトリー式から直接バイオマス量を求める場合

$$C = \text{総バイオマス量} * CF$$

ー炭素含有率CFは0.5が一般的に用いられる



実習：現地調査のとりまとめ（標本地法）

- 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



実習：現地調査のとりまとめ（定角測定法）

- 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



国レベルでの地上調査(NFI)

- 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: 主流は標本調査
 - サンプルングした標本を地上調査する
 - 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)



NFIの設計

- NFIの3つのフェーズ
 - 企画段階：目標設定、資料収集、概略設計
 - 計画段階：予備調査、実施計画、実行体制整備
 - 実行・管理段階：調査実施、調査の進行管理、調査の精度管理、調査データの利活用
- 事前準備が非常に重要
 - 企画段階及び予備調査により明らかに
 - 精度目標と実施可能性のトレードオフ
 - 不足している情報（材積やバイオマスのパラメータ）がある場合は別途調査企画する必要がある



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

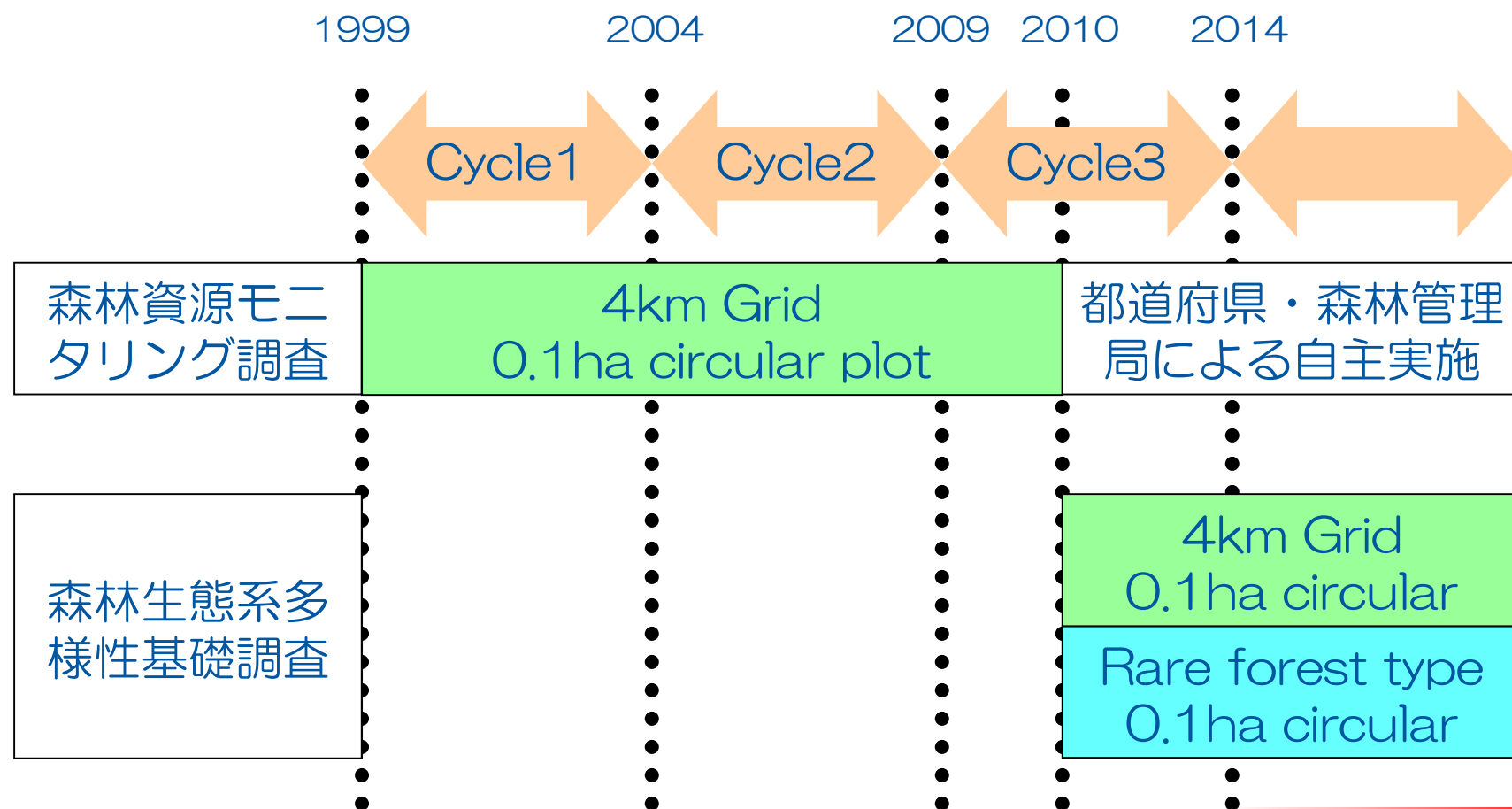
- 目的

- 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

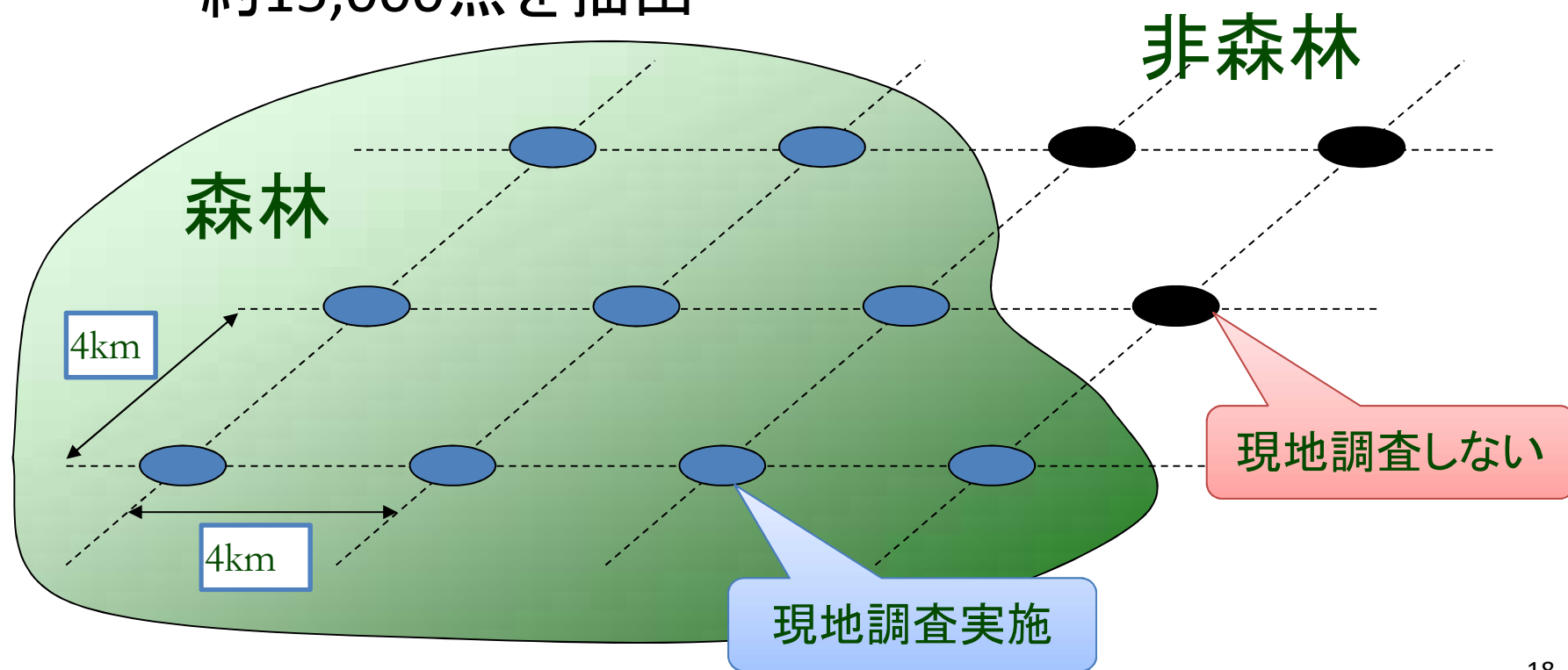


調査の設計

- 標本調査の設計

- 抽出単位: 0.1ha

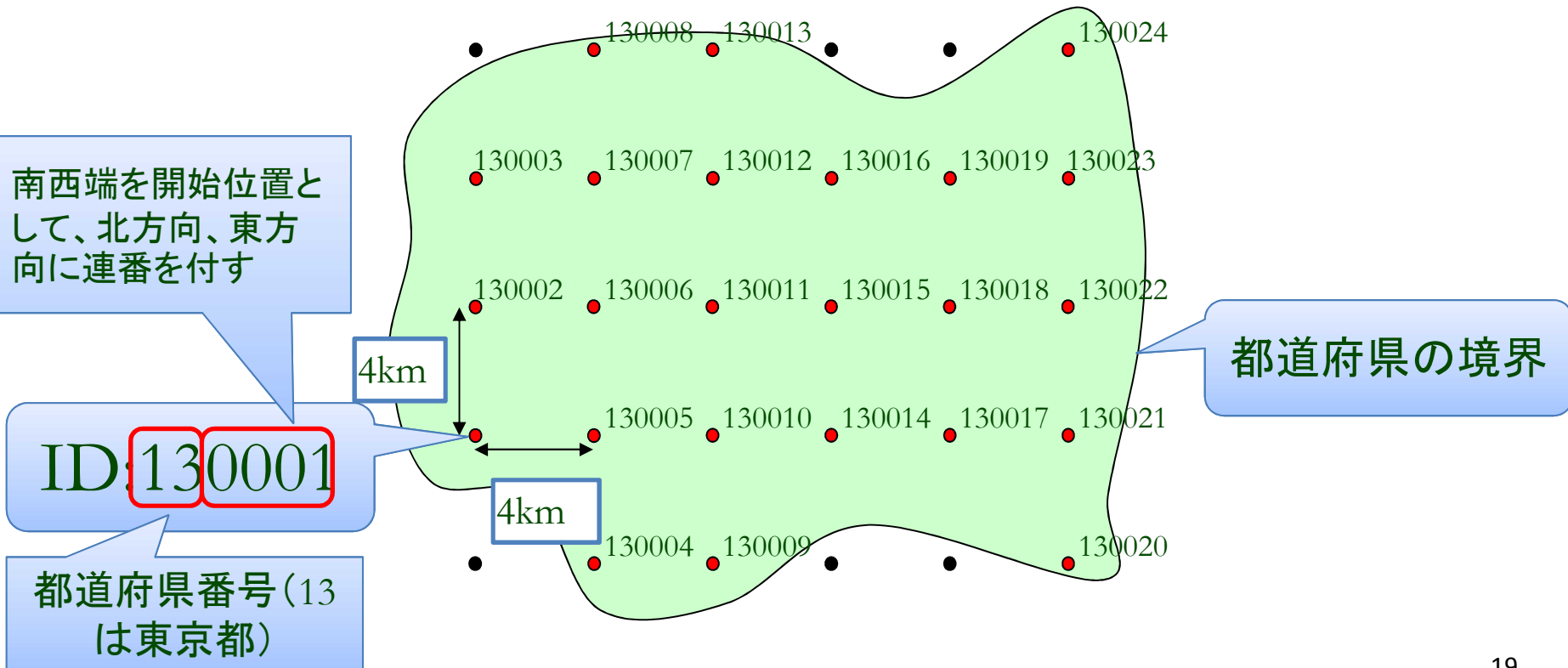
- グリッドによるサンプリング: 4km x 4kmの格子点を全国に設定。全23,500点から、森林に該当する約15,000点を抽出





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

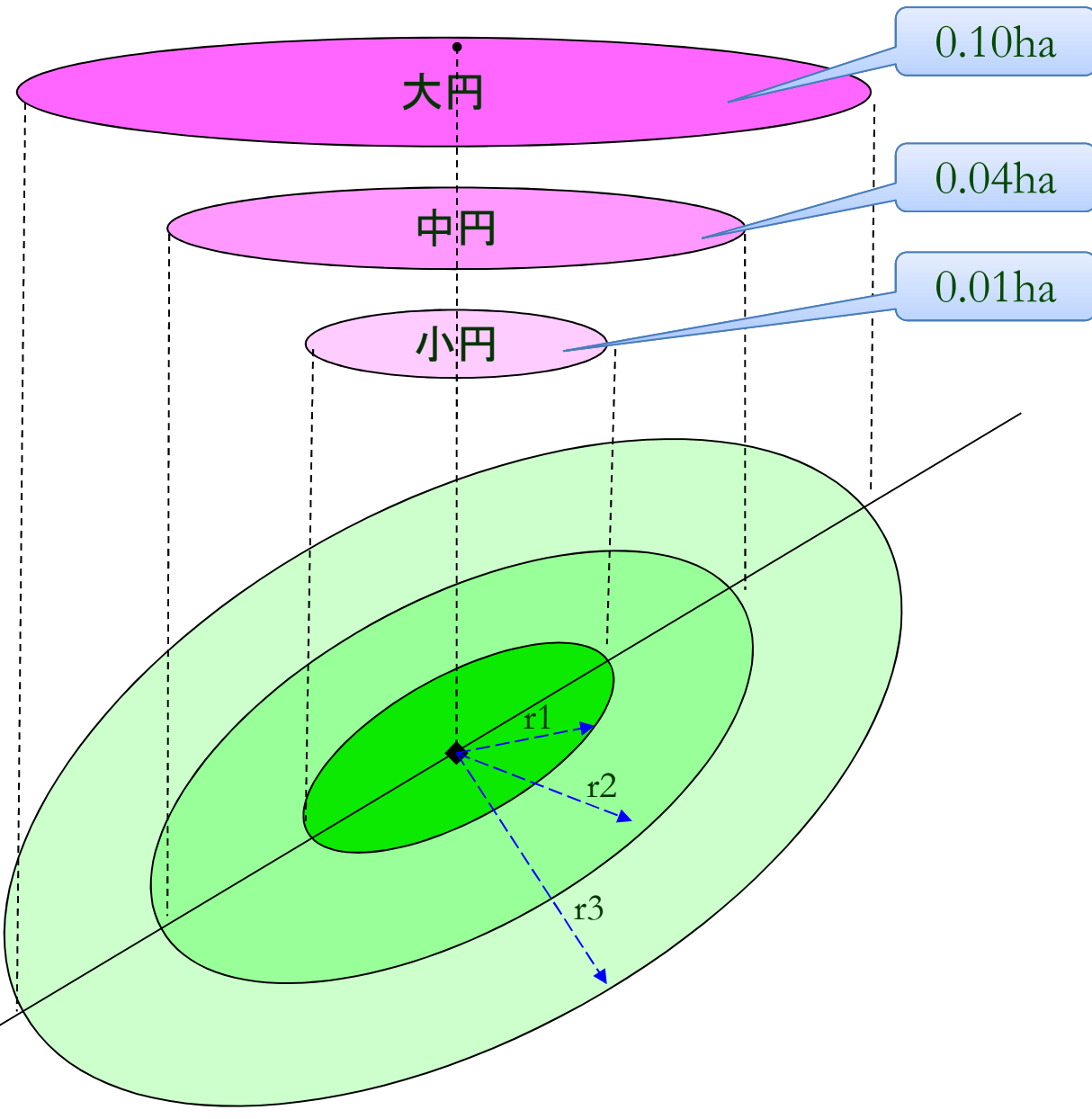


プロットデザイン

- 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	Radius		
(θ)	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

θ





• 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の調査項目

- 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





REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

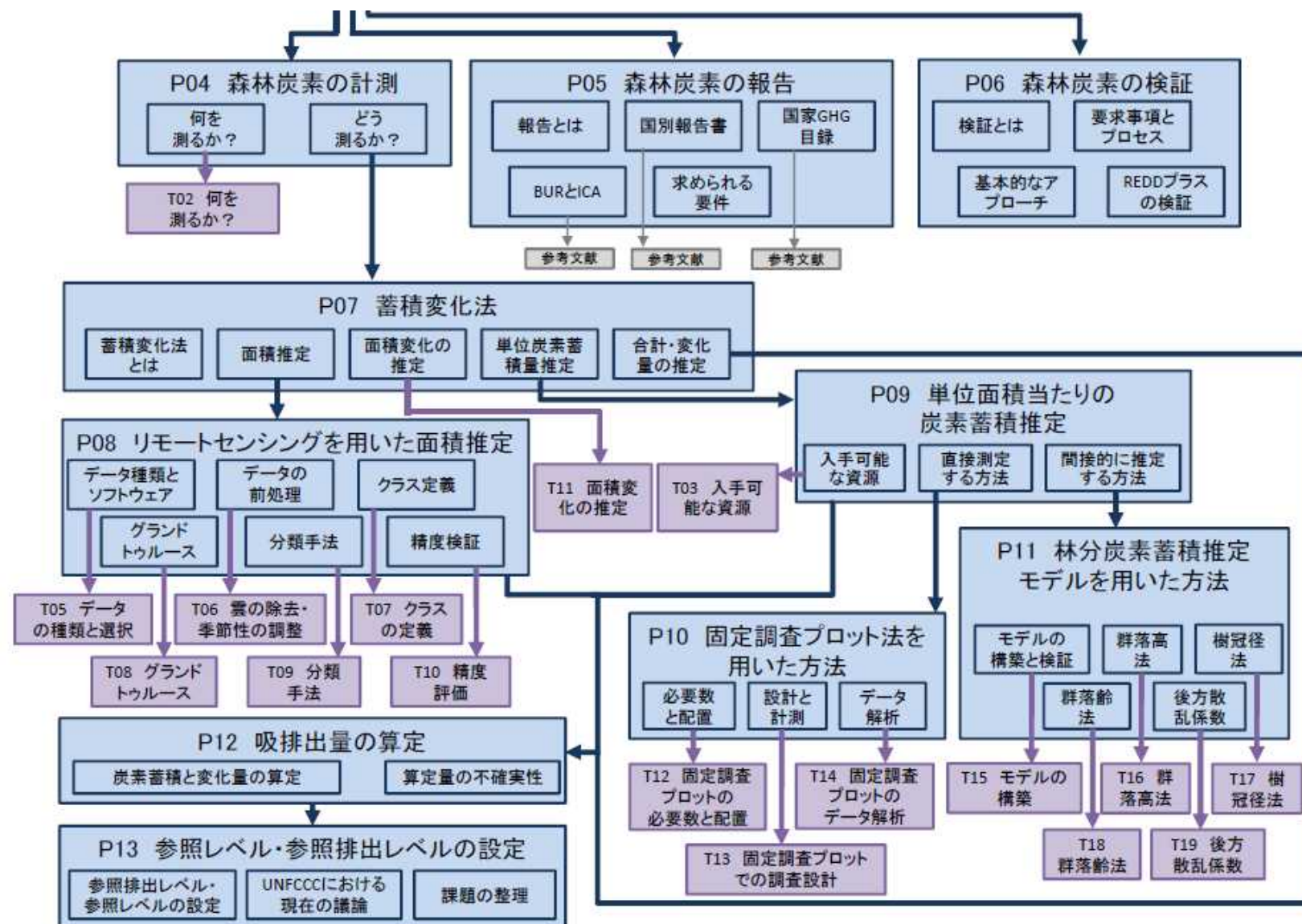
平成25年度 基礎講習

第 9 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
佐藤 顕信





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

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

単位面積あたりの炭素蓄積の把握

①
〈現地調査〉

- (a) 標準地調査（プロット調査）
- (b) 破壊調査（伐倒調査）

②
〈解析〉

単位面積あたりの
森林バイオマスの把握

③
単位面積あたりの炭素蓄積

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. 標準地調査（プロット調査）

- 現地の森林の優占樹種、直径階分布、立木密度などを把握する。
- 標準地調査結果を基に破壊調査供試木選定を行う。
 - 各直径階から満遍なく供試木を選定する。
 - 調査対象の森林のバイオマスに占める割合の高い樹種、出現頻度の高い樹種を供試木とする。

- プロット設定
※方形、円形など適宜選択
- 樹種
- 胸高直径
- 樹高

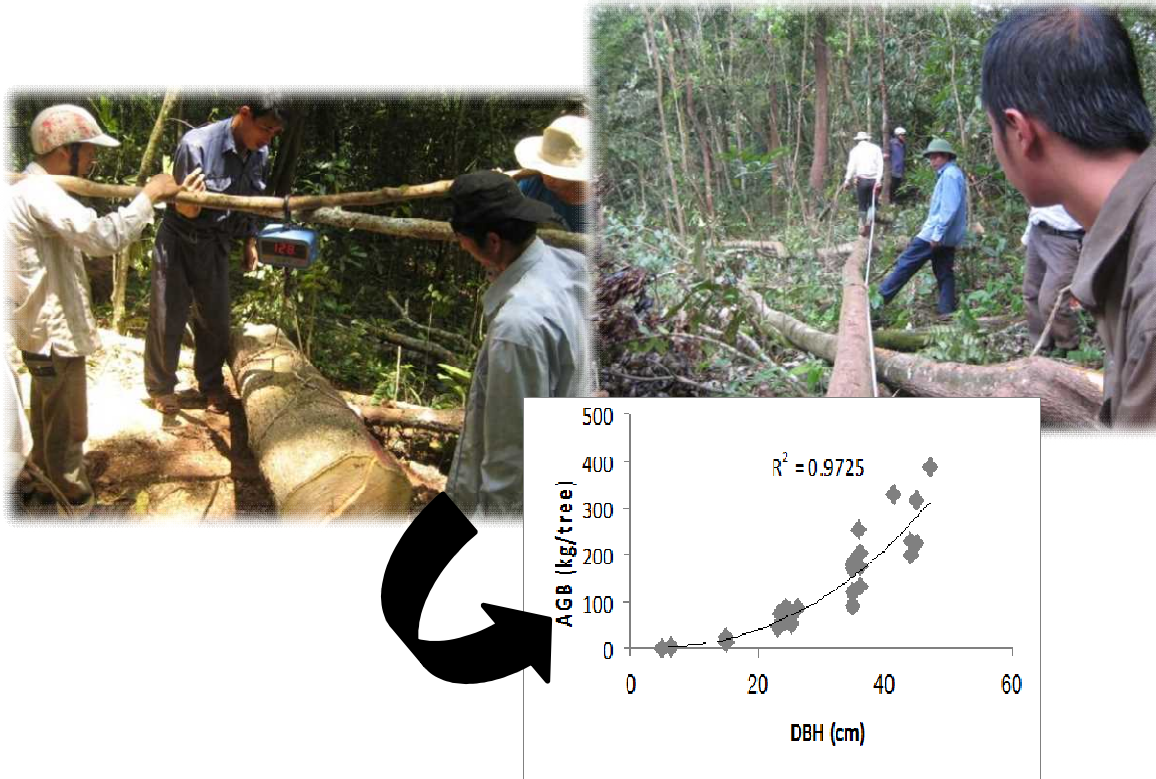


Tree ID	Species	DBH	height
A491	Quercus sp	16.5	15.0
A〇〇	□△sp	●●	▲▲
A800	Schima sp	31.2	28.5



b. 破壊調査（伐倒調査）

- 供試木の生重量を計測
- 乾燥試験を経て供試木の乾燥重量を推定



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	$y = aDBH^b$	低  高	易  難
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 brest 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）

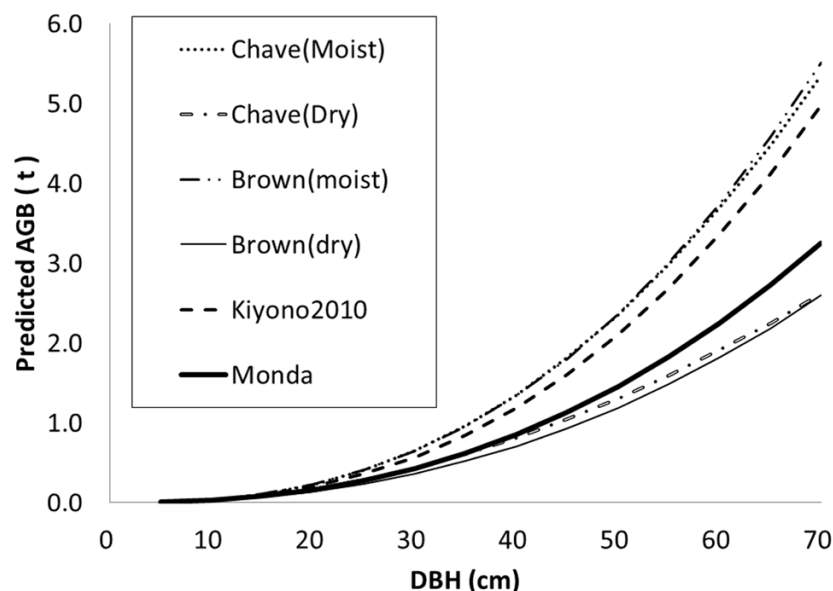
Local models	モデルタイプ	バイオマス推定式	推奨する気象条件など(カッコ内はデータを収集した地域)
Yamakura式	推定式A	$AGB = \exp(-2.30 + 3.62 \times \ln(DBH))$	熱帯雨林(ボルネオ)
Chambers式	推定式B	$AGB = \exp(-2.010 + 2.55 \times \ln(DBH))$	(中央アマゾン)
Dojomo式	推定式C	$AGB = \exp(-2.05 + 2.33 \times \ln(DBH))$	熱帯低地林(アフリカ)
Hozumi式	推定式D	$Stem = 0.072 \times (D^2 H)^{0.9326}$ $Branch = 0.01334 \times (D^2 H)^{1.027}$ $Leaf = 0.031 \times (D^2 H)^{0.7211}$	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

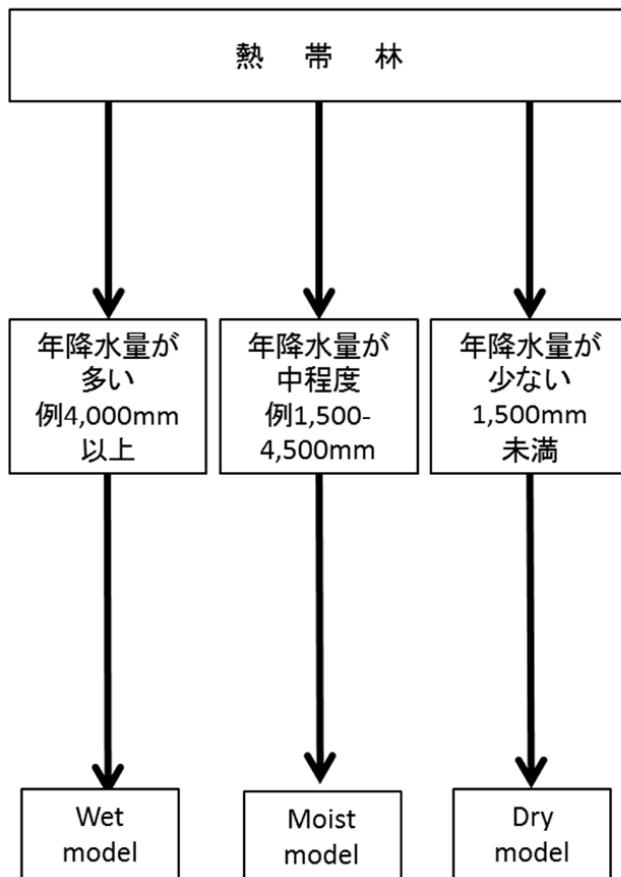
REDD+CookBookより

- 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。

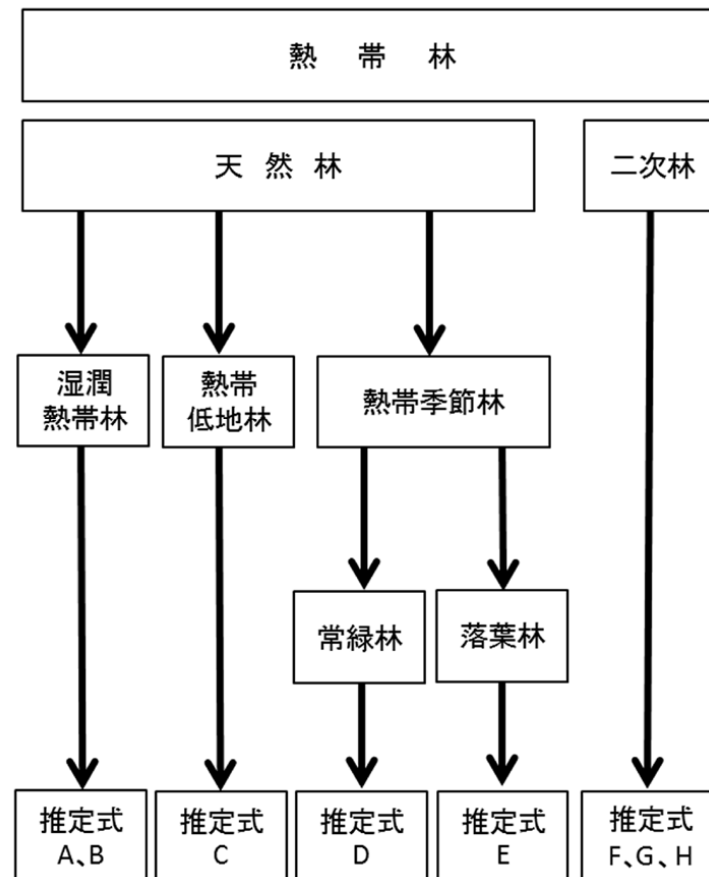


アロメトリ式の選択フロー

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 × 0.5* = 25 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ケース

- 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。

ベトナムには、特化したアロメトリー式は無かった。



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 ㍔ (MNNR内には、耕作地も存在)。
- 天然林82,200 ㍔ (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 ($100\text{m}^3/\text{㍔}$ 未満)、Medium forest ($100\sim200\text{m}^3/\text{㍔}$)、Rich forest ($200\text{m}^3/\text{㍔}$ 以上)に分けられている。



Bamboo



調査方法

● 標準地調査（プロット調査）

プロットをMNNRの森林の90箇所を設置。

- － 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以上の立木を対象。
- － 樹種同定。
- － 胸高直径計測。
- － 樹高計測。



MNNR 管理事務所での調査地選定作業



- 奥山にある森林のプロット選定は慎重を期していた。
- GISも使用しているが現地では紙地図で作業。



標準地調査のプロット設定



- 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
- バータ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



標準地調査の立木調査



- 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.

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

- 標準地調査結果を基に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人力で引倒し、抜根した。
- 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。（急峻な地形のため重機を持ち込めなかった。）
- 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。
 - － 重機の搬入が困難。根の掘り起こしなどを人力に頼らざるを得なくなる。
 - － 調査地が車道から遠いとサンプルの運び出しが困難。
 - － 調査員の安全確保が難しくなる。
- 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。
 - － 調査対象地域の森林の樹木サイズにもよるが、最大1000kg、2000kgに対応する秤を準備する必要がある。（現地入手が困難。）



- 乾燥試験（ラボでの作業）

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℃で72～168時間乾燥。
- サンプルの乾重量を測定。





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 ー ラボ作業 ー

- 乾燥作業ができるラボ（研究所や大学）などが、調査を行う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

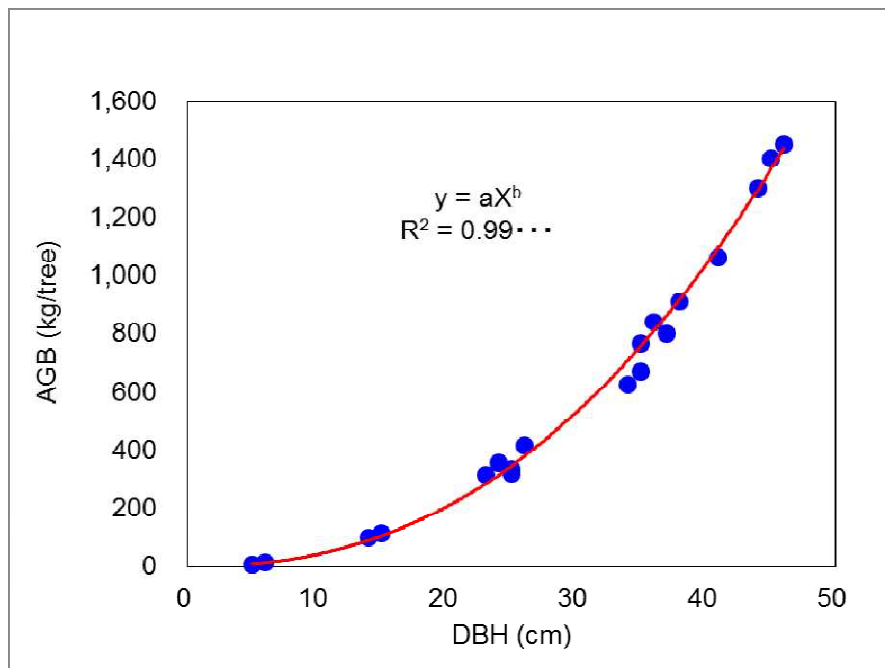


供試木乾重量の取りまとめシート

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と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 $y = a X^b$

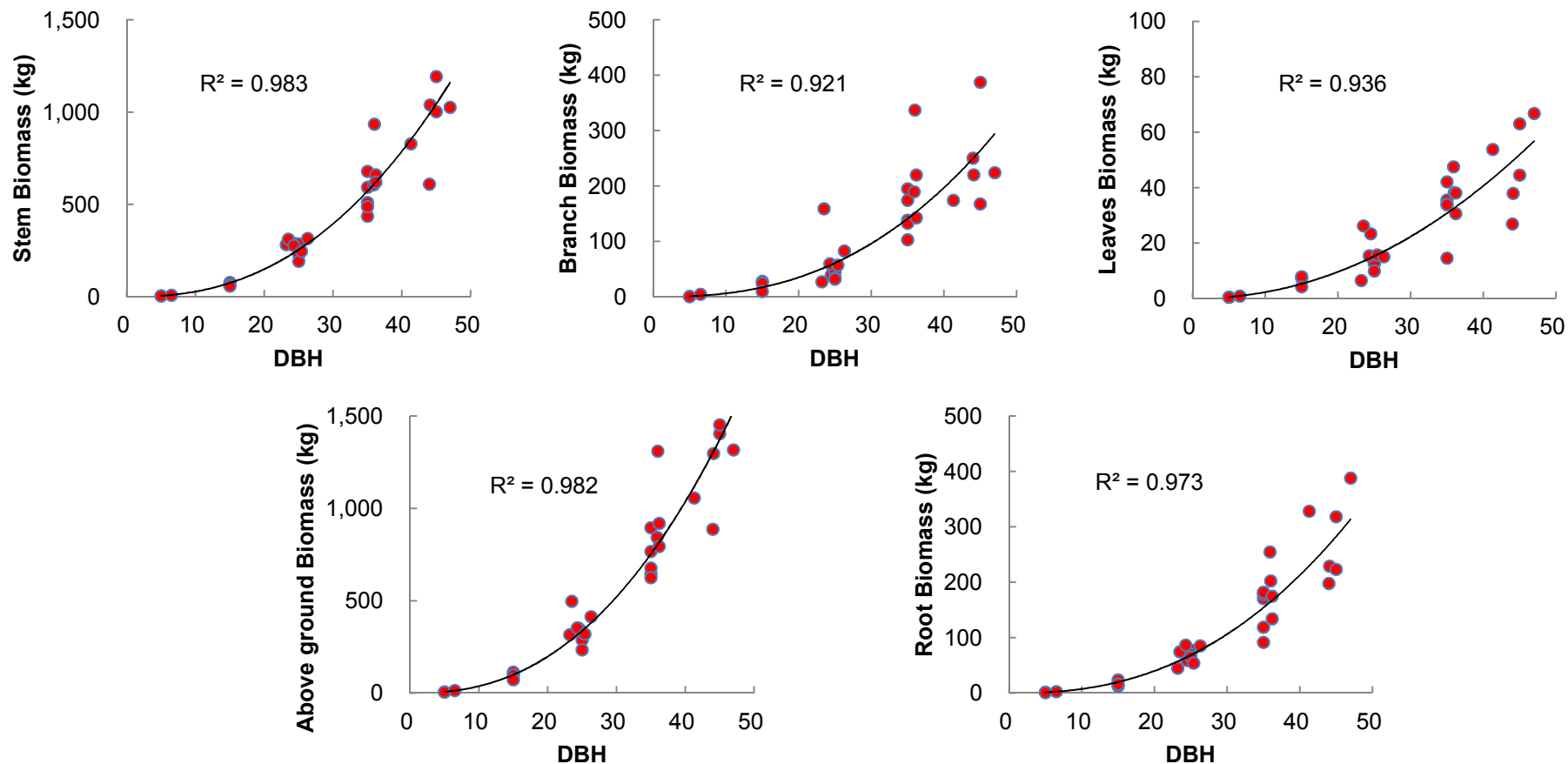
対数を取った場合 $\ln(y) = a \ln(X) + b$

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



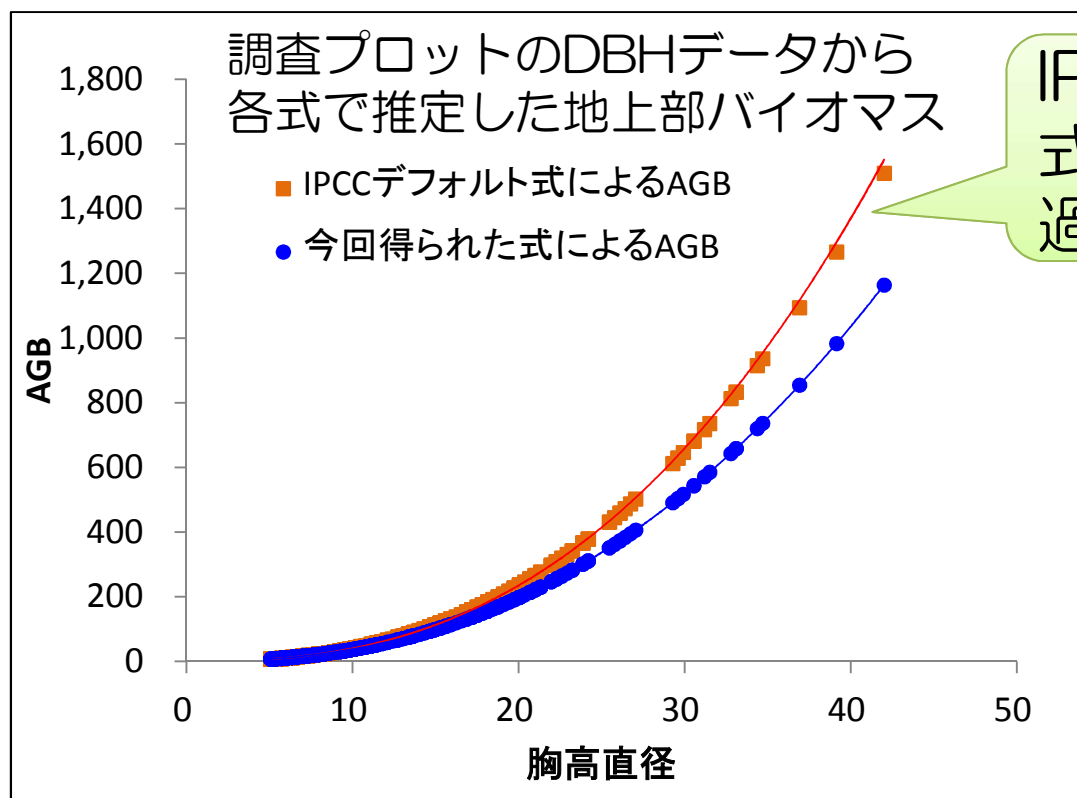
器官別の胸高直径とバイオマスの関係



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

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（90箇所の標準地のデータから計算）

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



ベトナムでのバイオマス調査のまとめ

- ベトナム国の国・地域（北部地域）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できた。
- 得られたアロメトリー式は、デフォルト式よりもコンサバティブなバイオマス推定が出来る。
- 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。
 - 例えば、ベトナム国内およびインドシナ半島の常緑広葉樹林など。
（ただし、林分構成など精査し、優占樹種などが一致するか判断する必要がある。）
 - 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、乾性フタバガキなど、それぞれの森林に合わせたアロメトリー式が必要。



バイオマス調査実施上の留意点

- 調査を行う森林は、国有林？ コンセッション会社の社有林？
 - 許諾申請先。
 - 伐採許可が得られるまでの期間。
 - 森林所有者がコンセッション会社の場合、樹木の買取交渉。
 - ベトナムでは国有林で、なおかつ国立の研究機関との共同作業であったため、この点はスムーズであった。
- 重機、トラック、大型チェーンソーの手配
 - 重機の搬入が可能な場所で調査を行えるのであれば、重機を使うに越したことはない。
 - 林業会社と協力出来れば、重機などの確保がし易い。
 - レンタル料の交渉が必要。
 - チェーンソーは、地元住民が持っていることもある。
- 調査の作業のための人員の確保
 - 重機やチェーンソーのオペレーター、トラックの運転手など。
 - 地元民ワーカーの雇用。
 - 各オペレーター、ワーカーへの賃金。（専門の技術者は賃金も高くなる。）
- 地域コミュニティへの配慮
 - コミュニティーの長老、リーダーへ調査の説明すること。
 - コミュニティーの禁忌に触れないか確認すること。

など



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 10 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

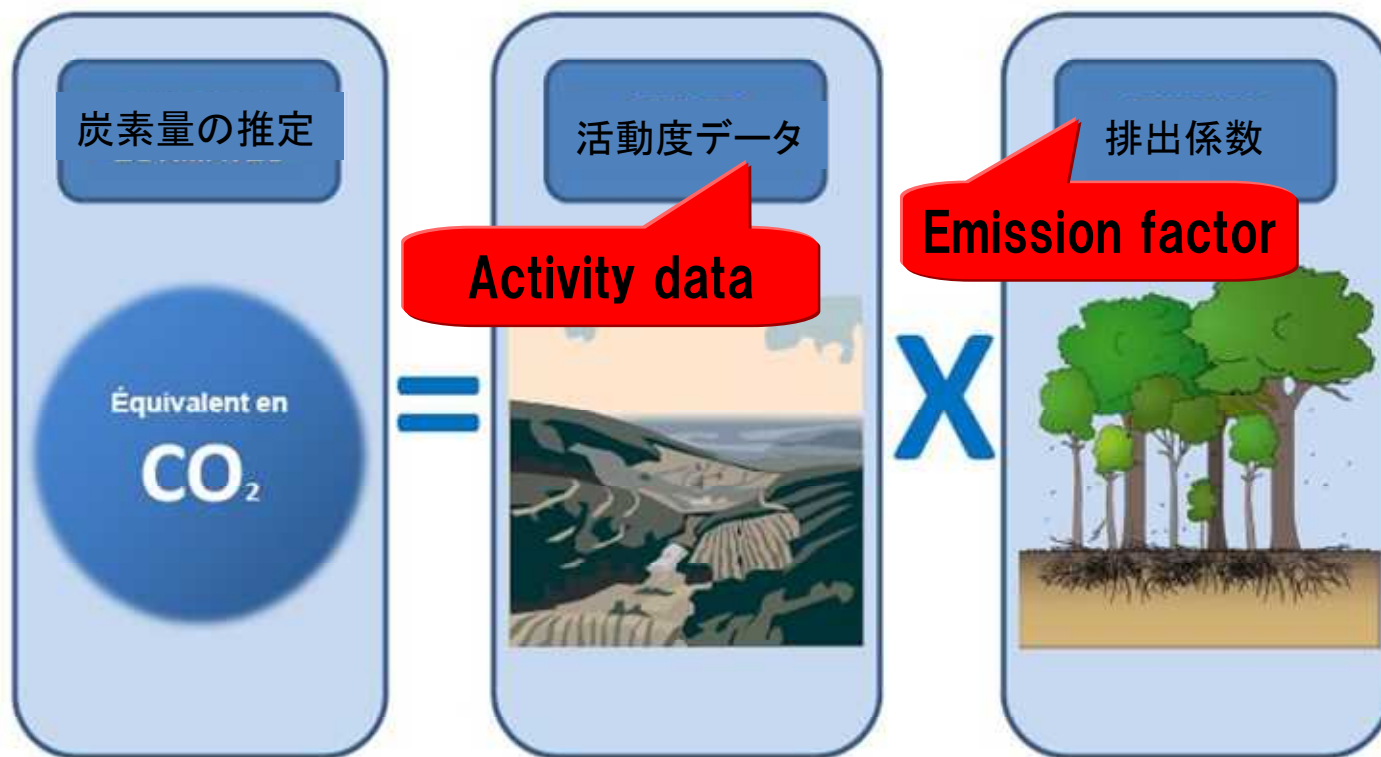
※きめ細かな排出係数の適用により、不確実性の低減に貢献

- ・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)

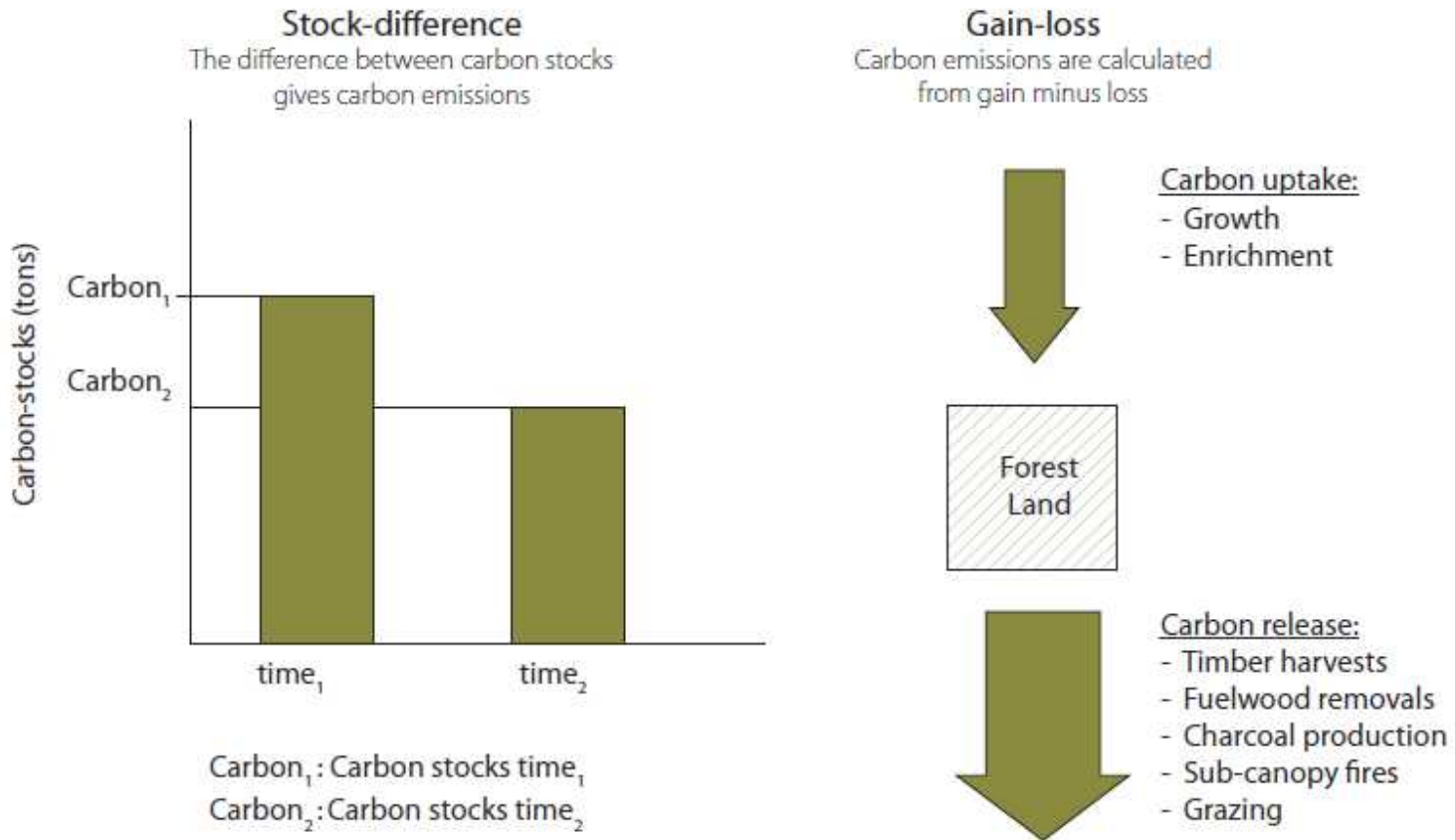


図 IPCCで紹介されている2つの森林炭素変化量の推定手法

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 常緑林				
	100 落葉樹林				
	0 非森林				
		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)

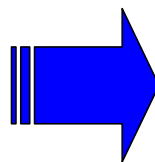
蓄積変化法

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)				
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	常緑林			
100	落葉樹林			
0	非森林			
期末・T2 (Ct)				
期首・T1 (Ct)	炭素変化量 (Ct)	常緑林	落葉樹林	非森林
2時点の炭素変化量	常緑林	0	0	0
	落葉樹林	0	0	0
	非森林	0	0	0
				-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25年度 基礎講習

第 11 章

今後に向けての課題

(独)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
- JCM
- 日本の新戦略
- COP19でのREDDプラス関連の合意
- 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）



二国間クレジット制度 (JCM: Joint Crediting Mechanism)

- COP17において、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
- 新たな排出削減目標と新戦略を2013年11月に発表
- 2020年において2005年比3.8%削減(うち国内森林吸収量により2.8%)
- ACE: Actions for Cool Earth(美しい星への行動)攻めの地球温暖化外交戦略
- 排出削減を進めるため二国間クレジット制度(JCM)を開始
- JCMは、途上国への技術供与により排出削減を行うもの
- CDMに似ているが、管理を二国間が作る共同委員会(Joint Committee)が行う
- 2013年11月現在、モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニヤ、モルジブ、ベトナム、ラオス、インドネシアが合意
- ここにREDD+を位置付ける必要





新たな排出削減目標(2013.11.15)

• 新目標

- 2020年までの温暖化ガス排出量を05年比で3.8%削減する
- うち、約2.8%分は森林による吸収

• 内容

- 原子力発電所を再稼働しないことを前提。1990年比では3%増
- 今後、原子力を含むエネルギー政策の決定後、削減目標の修正を検討
- 原発3基を稼働すれば、1%ほど削減。2020年時点で原発30基あまりの稼働を仮定すれば、削減幅は10%程度拡大する計算

• 反応

- 鳩山25%削減目標から大幅に目標を下げ、世界からは極めて大きな批判
- 今後の日本の発言力に影響も
- 国内産業界からは歓迎

主要国の温暖化ガス削減目標						
は各国が示した目標		 日本	 米国	 欧州連合 (EU)	 中国	 インド
		排出量全体で削減			単位GDPで削減	
削減目標	2005年比	3.8%減	17%減	13%または24%減	40～45%減	20～25%減
	1990年比	3%増	3%減	20%または30%減	—	—
GDP当たりの排出量(2010年、1ドル当たり)		0.25	0.41	0.26 (ドイツ)	1.83	1.30

• 分析

- 無茶な鳩山25%と比較すれば、どんな削減目標も批判される
- 一旦ここで現実的な数値を見せておき、来年9月の気候サミットで安倍首相が野心的な目標を示すのではないかな

ACE(エース):「Actions for Cool Earth(美しい星への行動)」 攻めの地球温暖化外交戦略

概要

理念

- 気候システムの温暖化については、疑う余地がない。(IPCC 第5次評価報告書)
- クールアース50から6年。日本は、「美しい星」実現のため、東日本大震災及び原発事故を乗り越えつつ**技術革新及び普及**の先頭に立ち、**国際的なパートナーシップ**を強化し、**国際社会をリード**する。
- 「**2050年世界半減、先進国80%削減**」の目標実現に向け、**今こそ具体的なアクションが必要**。日本は「エース」として、その努力の先頭に立つ。

イノベーション:革新的な技術開発は、この目標実現に不可欠。日本は技術のブレークスルーの先頭に立つ。

➢ 技術の創造(革新的な技術開発の促進)

- ✓ 2020年度までの国地方の基礎的財政収支黒字化を前提としつつ、官民併せ5年で1100億ドルの投資を目指す。
- ✓ 改訂された環境エネルギー技術革新計画を着実に実行し、これらの技術が世界中で開発・普及されることにより、2050年世界半減に必要な量の約8割の削減が可能。
(CCS(CO2回収・貯留技術)、革新的構造材料、人工光合成、途上国ニーズに応える技術開発)
- ✓ イノベーション加速のため世界の産学官トップによる、いわば「エネルギー・環境技術版ダボス会議」を毎年開催。

アプリケーション:日本の誇る低炭素技術を展開し、温暖化対策と経済成長を同時実現。

➢ 技術の普及 → 直ちに確実な排出削減を実現

- ✓ 3年間で二国間オフセット・クレジット制度(JCM)の署名国倍増を目指し、協議を加速するとともに、JBICやNEXIと連携したJCM特別金融スキーム(JSF)の創設、JICA等の支援プロジェクトと連携しつつ排出削減を行うプロジェクトを支援するための基金の設置等によりプロジェクト形成を支援する。
- ✓ 技術の国際普及に向けた基盤づくり(例:LEDや蓄熱窓等のエネルギー効率性の評価手法を戦略的に国際標準化)

➢ 世界最先端の温室効果ガス観測の新衛星の2017年度打ち上げを目指す。

- ✓ アジアを中心に国別・大都市別の排出量を測定し、削減対策案を提案。対策効果の検証・評価を行う。

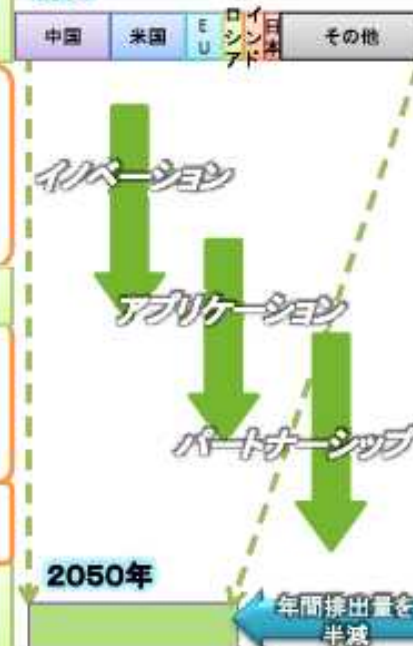
パートナーシップ:脆弱国を支援し、日本と途上国のWin-Win関係を構築、技術展開と技術革新の基礎を作る。さらに、気候変動における国際議論に積極的に関与する。

➢ 官民合わせた途上国支援で2013年からの3年間に計1兆6000億円

(約160億ドル。公的資金は約130億ドルで、先進国に期待される3年計約350億ドルの1/3を日本が担う)

- ✓ 脆弱国への防災支援の重点化(災害復旧スタンバイ借款、優先条件等、円借款の新制度も活用)。
- ✓ 公的金融手段を活用し、気候変動分野への民間資金の大幅な増大を促す。
- 国際枠組みの構築に向けた議論を日本がリード

現状



**美しい星(Cool Earth)
の実現に技術で貢献**



COP19でのREDDプラス関連の合意(概要)

- 国家森林モニタリングシステムのモダリティー
 - 先進国からの資金および技術の支援が必要
 - NFMSは透明で期間を通して一貫性を持ち、MRVのために適切データや情報を提供しなければならない
- 森林減少・劣化の原因への対応
 - 原因は様々であり、その追及が対策に必要
- MRVのモダリティー
 - 排出削減／吸収量推定で使われるデータや情報は、参照レベルとともに、透明で期間を通して一貫性を持つものでなければならない
 - UNFCCCからの専門家チームが技術的分析(technical analysis)を行う
 - Annexにガイドラインを提示
- 参照排出レベル／参照レベルの提出のガイドラインと手続き
 - 技術的評価(technical assessment)を受ける
 - Annexにガイドラインと手続きを提示
- セーフガード
 - 途上国は、実施期間を通じたセーフガードの対処に係る情報の要約を準備しなければならない



REDD+の見通し(私見も含めて)

• 世界的な見通し

- COP19でREDD+が進み、条約でのREDD+の推進に一步近づいた
- 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 → JCM

• 日本の見通し

- JCMを進めており、そこにREDD+を位置付ける必要
- ただし、JCMの財源となる環境税はエネルギー特会に限定され、今のところREDD+には利用できない
- JCMでREDD+が取り上げられることを想定して、制度・ガイドライン・方法論を開発・提案する必要 → 「REDD+ガイドライン」
- JICA、民間を巻き込んだオールジャパンで取り組む必要
- その成果を踏まえて次期枠組みでのREDD+のルール化に貢献
- 安倍首相が挑戦的な新目標を提示すれば、それを達成するオプションにREDD+が取り上げられる可能性が広がる
- 並行して、自主的であっても民間企業の取り込みを進める必要



一緒に頑張りましょう。