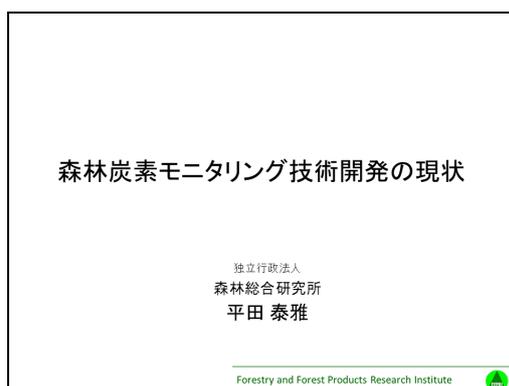


平成 23 年 10 月 14 日（金）

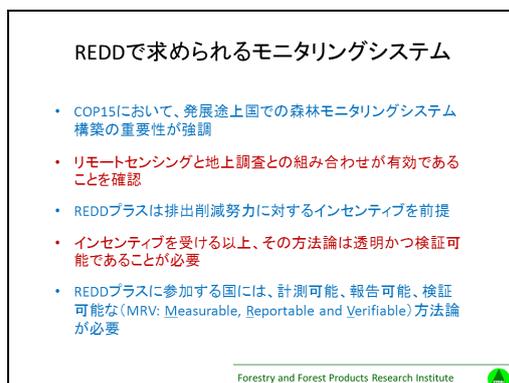
セッション 3 森林炭素モニタリングへの道筋

「森林炭素モニタリング技術開発の現状」

平田 泰雅（独立行政法人 森林総合研究所 温暖化対応推進拠点）



私は COP12 の後から REDD の交渉に参加している。REDD のモニタリングに関しては 2～3 年前に話が盛り上がり、既にある技術をどう実際に応用していくのかという段階に入ってきた。本日は、森林総合研究所がモニタリング技術開発に関して行っていることをお話しする。



リモートセンシングは確かに有力なツールではあるが、夢のようなツールではないと感じているため、COP15 でリモートセンシングと地上調査の組み合わせが有効であることが確認され、非常に喜ばしく思っている。REDD プラス参加国が何らかの利益を受ける以上、その方法論は透明かつ検証可能でなければならない。REDD に限らないが、この枠組の中では、計測可能、報告可能、検証可能であること (MRV) が求められる。特にモニタリングは、まず計測できなければいけない。我々が達成すべき炭素排出削減のためには現状のモニ

タリングが必要で、現在、技術開発が進められている。

**森林総合研究所におけるREDDプラスに向けたモニタリング手法の開発**

- **国レベルでの実証に向けた取り組み**
  - Landsat TM, ETM+/SPOT-4,5/ALOS AVNIR-2データと地上調査によるリファレンス・レベル設定 (REDD研究開発センター)
- **将来に向けた技術開発**
  - 高精度リモートセンシングによるアジア地域熱帯林計測技術の高度化 (農林水産技術会議プロ)
  - 熱帯林のREDDIにおける生物多様性保護コベネフィットの最大化に関する研究 (環境省プロ)

Forestry and Forest Products Research Institute

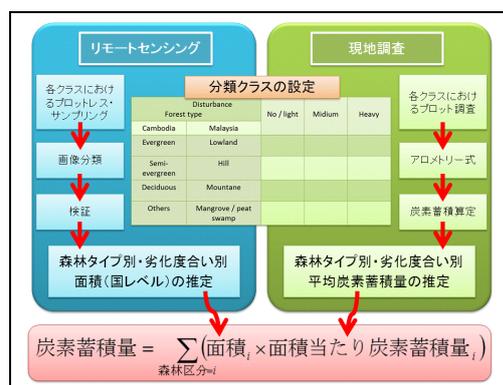
現在、森林総合研究所は、REDD プラスに向けたモニタリング手法の開発に二つの側面から取り組んでいる。一つは、国レベルでの実証に向けた取組である。UNFCCC の REDD の議論では、国レベルあるいは準国レベルの広い地域で、どう使っていけるのかが問題になる。そこで REDD 研究開発センターでは、参照レベルを求めるために、これまで脈々と続いてきた Landsat や SPOT<sup>86</sup>、ALOS などの光学センサと、地上調査による参照レベルの設定に取り組んでいる。

一方で、新たなリモートセンシングの技術開発にも取り組んでいる。農林水産省から委託を受けて実施している航空機 LiDAR やデジタル空中写真、高分解能衛星データなどを使い、現地調査に代わる技術の開発を目指すとともに、京都大学の北山先生と一緒に、生物多様性保護コベネフィットを最大化する手法と必要なモニタリングについて研究している。

Landsat TM, ETM+/SPOT-4,5/ALOS AVNIR-2データと  
地上調査によるリファレンス・レベル設定

REDD研究開発センター

Forestry and Forest Products Research Institute

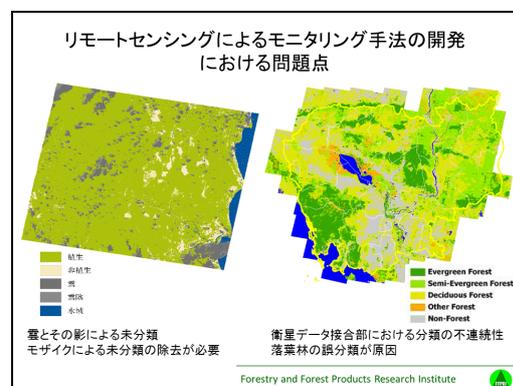
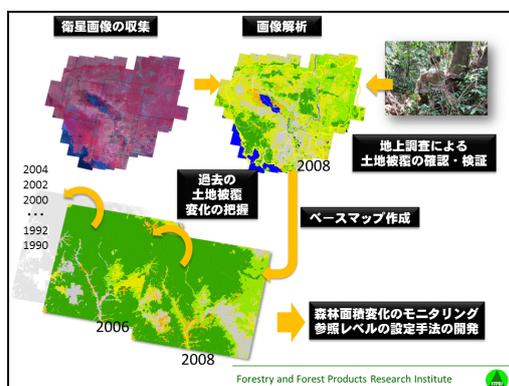


参照レベルの設定には、リモートセンシングと現地調査の組み合わせが必要である。リモートセンシングのみで炭素蓄積を精度よく推定することはなかなか難しく、また、参照

<sup>86</sup> Satellite Pour l'Observation de la Terre : フランス、ベルギー、スウェーデンが共同開発した一連のリモートセンシング衛星

レベルを求めるためには過去にさかのぼる必要があるため、リモートセンシングでは森林タイプ別や劣化度合い別の面積を推定する。また、それぞれの森林タイプや劣化度合いに合わせて、区分された森林が平均炭素蓄積を持っているのかを推定するために現地調査を行う。

まず、森林タイプ別・劣化度合い別にクラスを設定するため、リモートセンシングではプロットレス・サンプリングという方法でサンプリング調査を行っている。その後、そのデータを参照データ（教師データ）に画像分類して検証を行い、精度評価をし、それぞれの面積を求める。一方、現地調査ではアロメトリー式などを使い、プロットの炭素蓄積を推定する。「森林区分ごとの面積×面積当たりの炭素蓄積量」で炭素蓄積量を求める。



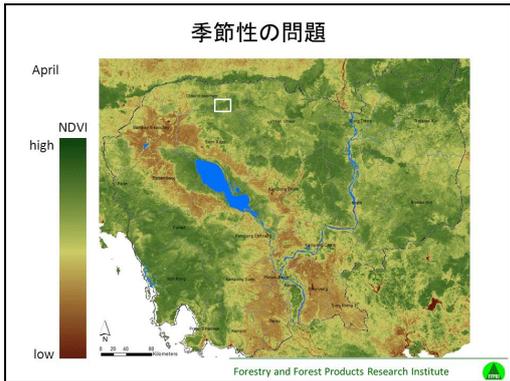
我々は今、国レベルあるいは準国レベルで行うため、カンボジアを全国レベルで、マレーシアは半島部分を、さらに本年度からはパラグアイを対象に画像の収集解析を行っている。地上調査で土地被覆の確認・検証を行ってベースマップを作り、1990年までさかのぼり、参照レベルの設定に適切なモニタリングのインターバルを調べている。どのくらいのインターバルをとるかで将来予測の精度とコストが左右されるため、検証を行っているのである。

避けられないのは、雲の影響と季節性の問題である。特に熱帯季節林では落葉林が誤分類の原因になる。

リモートセンシングによるモニタリング手法の開発  
取り組むべき課題

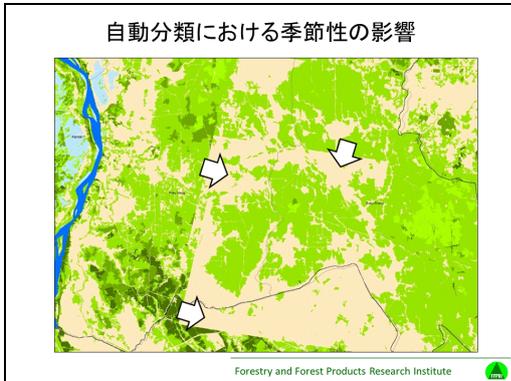
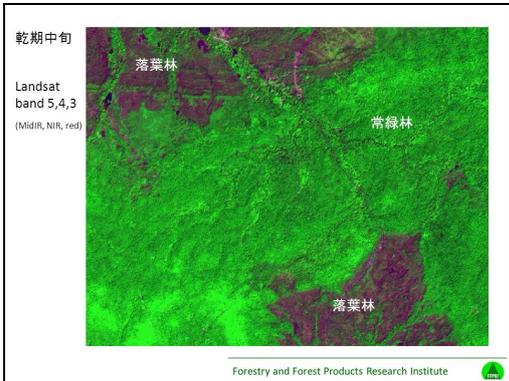
- 熱帯雨林(半島マレーシア)
  - 雲の影響を避けるためのモザイク・分類手法の開発
- 熱帯季節林(カンボジア)
  - 乾季の進行状況を加味した落葉林の分類精度の向上
- 東南アジアと異なる森林タイプ(疎林)と土地利用パターン(パラグアイ)
  - 疎林地帯での分類手法の検討

Forestry and Forest Products Research Institute



そのため、マレーシアでは雲の影響を避けるための分類手法を開発した。熱帯季節林では乾期の進行状況を加味した落葉林の分類精度の向上を図っている。また、パラグアイでは、リモートセンシングが得意としない、樹冠が十分に地面を覆っていない疎林地帯の分類手法を検討しようと考えている。

カンボジアで見られる季節の変化を植生指数で見た。10月から乾期が進行していくにつれ、葉の付き具合が変わってくる。



乾期の進行に伴う落葉林の変化の問題を解決するために、研究サイドから取り組んでいる。

実際に昨年行った分類結果では、乾期の進行度合いによって明らかに衛星画像に影響があるので、季節性の問題に取り組んでいる。

**季節性の問題の解決に向けた手法の開発**

**目的: 季節の影響の除去**  
 すべての衛星画像の標準化  
 → 衛星画像の自動分類  
 → REDD モニタリングの一貫性

**手法: 2段階アプローチ**

1. MODISデータによる季節性の分析
  - 土地被覆タイプごとの反射特性の時間的変動
  - MODISバンドごとの標準化係数の開発
2. 衛星画像への標準化係数の適用
  - MODISとSPOT 4/5のバンドの回帰分析

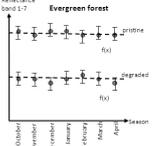
Forestry and Forest Products Research Institute 

**Step 1: MODISによる季節変動の評価**

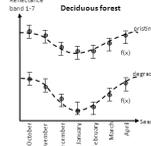
**土地被覆クラスごとの各バンドのDNの変動の解析**

- 各バンドの平均値
- 各バンドの標準偏差

Reflectance band 1-7  
**Evergreen forest**



Reflectance band 1-7  
**Deciduous forest**



**→ 導き出された関数の分析**

- 土地被覆タイプごと
- 森林劣化の段階ごと

Forestry and Forest Products Research Institute 

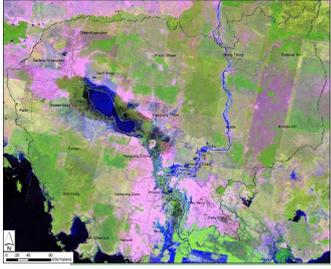
季節性の問題を解決するため、MODIS<sup>87</sup>データにより季節の進行性を分析し、それを基に標準化係数を求め、それを適用して分類をかけるという2段階のアプローチを取っている。

常緑林はそれほど変わらないが、季節林では季節によって大きく変わるという結果が得られた。この変化の度合いを、それぞれ観測された衛星に割り当てていく。

**Step 2: 衛星画像の標準化**

**土地被覆タイプごとの反射DN値に対する関数の適用**

- 光学センサによる衛星画像からの自動分類を可能にする
- 結果の評価 (分類正誤判定表、全体精度)



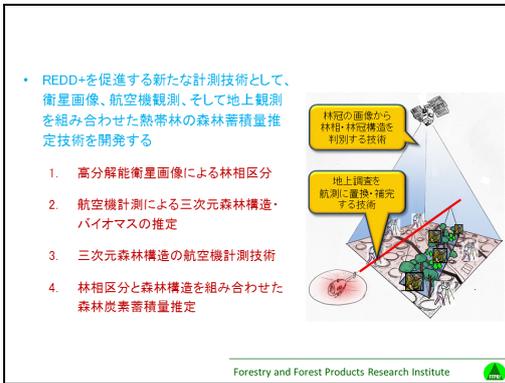
Forestry and Forest Products Research Institute 

最終的に衛星画像を標準化することにより、分類精度を向上させる。これは季節林では避けて通れない問題なので、なるべく早くに解決していこうと考えている。

<sup>87</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: 中分解能撮像分光放射計。NASAの地球観測衛星 Terra/Aqua に搭載されている。



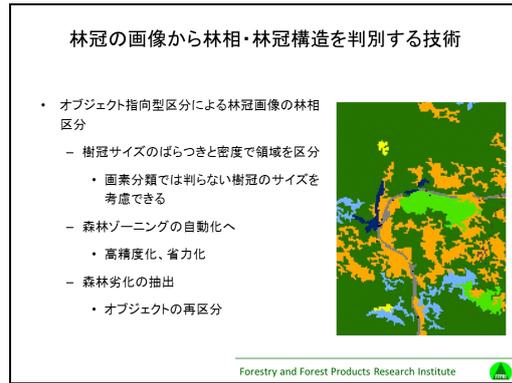
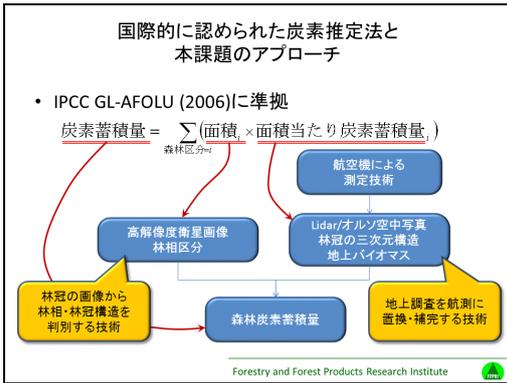
農林水産技術会議<sup>88</sup>から委託を受けて実施しているプロジェクトは、将来を見据えた技術開発していこうと考えている。



REDD プラスを促進するために実際に必要なのは、各国の森林資源の管理手法である。森林資源をきちんと管理していくためには、国家森林資源調査 (NFI<sup>89</sup>) が重要になるのだが、必ずしも人が調査に入れるところばかりではないので、高分解能衛星画像による森林タイプの林相区分技術、航空機計測による三次元森林構造とバイオマスの推定技術、三次元森林構造の航空機計測技術、林相区分と森林構造を組み合わせた森林炭素蓄積推定技術など、人に代わる技術の開発を目指している。

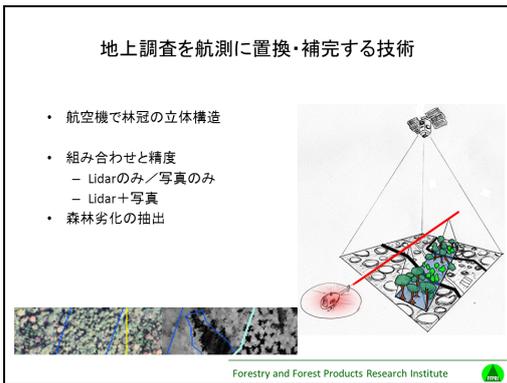
<sup>88</sup> <http://www.s.affrc.go.jp/>

<sup>89</sup> National Forestry Inventory

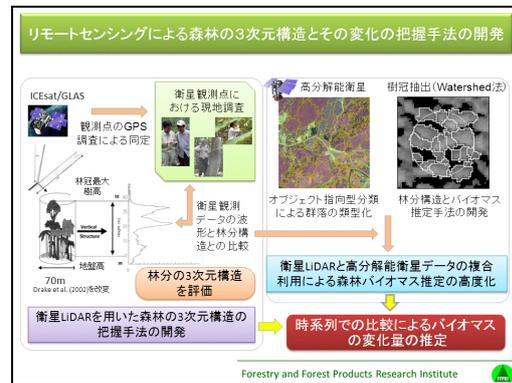
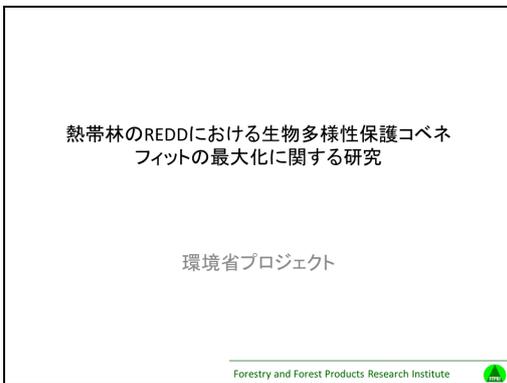


面積は衛星データから、面積当たりの炭素蓄積量はLiDARあるいはデジタル空中写真からのオルソデータを使って出そうと考えている。同時に林冠の情報を高精度で得られるので、劣化の度合いや管理の仕方など、特にモニター後の部分にうまく結び付けていきたい。

高分解能衛星からは、オブジェクト指向型区分による林冠情報で林相を区分し、森林のゾーニングの自動化を図るとともに、森林劣化をうまく抽出しようと考えている。

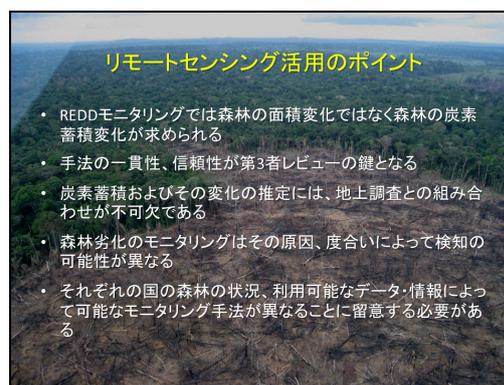
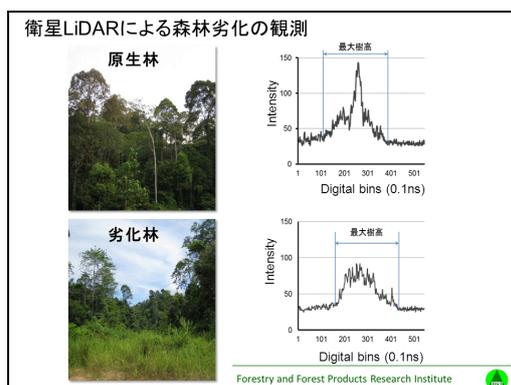


また、LiDARやLiDAR+デジタル空中写真で立体構造が分かることから、森林構造を抽出しようと考えている。



最後に、環境省から委託を受けて実施している生物多様性に配慮した熱帯林の管理を目指したプロジェクトを紹介する。生物多様性の部分を京都大学が、森林の三次元構造の把握を森林総合研究所が担当している。

我々は衛星 LiDAR と高分解能衛星を使っている。現在、アメリカが打ち上げた衛星 LiDAR は既に故障して観測を停止しており、次の衛星 LiDAR の打ち上げが NASA で予定されている。現在、我が国でも国際宇宙ステーションにプロポーザルを出して、LiDAR のグループが載せようと努力しているが、将来、幾つかの衛星 LiDAR が打ち上がるので、このような技術を開発しようと考えている。衛星からは、林冠層全体やその下の構造をトータルで把握できる。これを面的に広げなければいけないので、高分解能衛星データを使うことになる。



劣化した林ほど、衛星 LiDAR では中層、下層などいろいろなところが観測され、原生林と比べると横に伸びた波形になる。

リモートセンシング活用のポイントとして、過去4年間 REDD の交渉に加わって感じたことを述べる。REDD のモニタリングでは森林の面積変化ではなく、森林の炭素蓄積変化が求められる。これは非常に重要なポイントである。リモートセンシングはどうしても面的なものに対する観測が得意なので、ここに注意しなければいけない。また、手法の一貫性や信頼性が第三者レビューの鍵となる。いろいろなものを組み合わせすぎると、一貫性や信頼性が落ちるので、そこに気を付けなければいけない。

また、炭素蓄積およびその変化の推定には、地上調査との組み合わせが不可欠である。やはり地上調査のデータがないと、正確な炭素蓄積は行えない。それから、森林劣化のモニタリングは原因や度合いによって検知の可能性が異なることを非常に注意していなけれ

ばいけない。ある劣化のタイプは比較的見つけやすいが、あるタイプは見つけにくいということがある。また、各国の森林の状況や利用可能なデータ・情報によって、可能なモニタリング手法が異なってくる可能性を十分に認識していなければいけない。

## 質疑応答

(Q1: WWF 栗野) 現地調査に代わる部分の研究だが、これは当面 NFI がいないために、RL もしくは REL を引けるようにする技術を提供するという、短期的な施策として考えているのか。それとも、これによって長期的にも地上調査をしなくても済むようになることを考えて行われているのか。

(平田) 世銀の資金提供を受け、ラオスなどはまさにこうした技術で地上調査に代わって調査を実施しようとしており、ある程度のコストがかけられている。また、レディネスで資金が入ってきたところがアフリカに何カ国かあるが、かなり高精度で計測できる技術なので、資金さえあれば NFI に代わって RL を引くために十分に活用できる。ただし、将来どの国でも使っていけるようにするには、コスト削減を考えなければいけない。例えば飛行機の高度を上げると精度は落ちるが、観測面積は広がるのでコストは安くなる。そうした側面も含めて、将来どのように実用化に持っていけるか、研究を推進している。