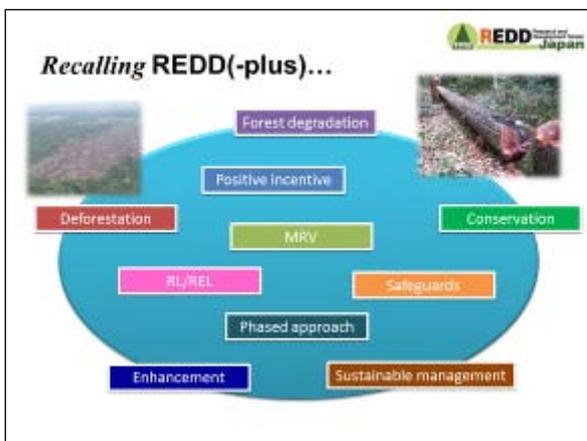


「信頼できる森林炭素モニタリングシステムを構築するために」

平田泰雅室長 (森林総合研究所 温暖化対応推進拠点)

持続可能な森林経営と REDD プラスの活動をどう関連づけるかについて、データ、情報収集の重要性という観点から講演を行う。



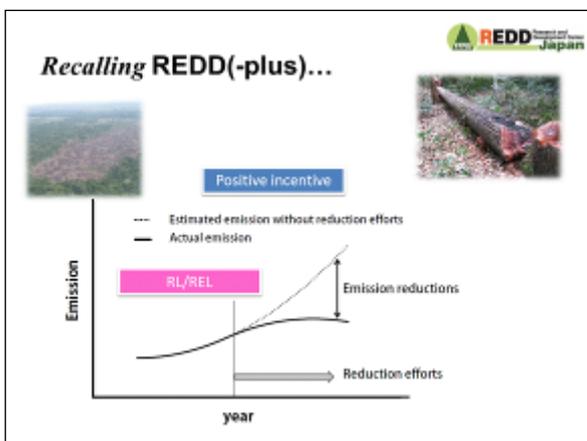
既に午前中のセッションでご紹介があったように、持続可能な森林経営と REDD プラスの活動は、理念的には同じところにあるのではないかと考える。今、REDD プラスの活動にはいろいろな分野での取り組みがなされている。REDD プラスの理念は、Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation であった。当初は forest degradation の部分も入っておらず、森林の大切さを認識し、どう維持していくかというのが議論の発端であったかと思う。従って、持続可能な森林経営と REDD プラスは、フレームワークやメカニズムは違って、背景となっている理念は共通しているといえるだろう。

そのように考えると、それを実現するために必要なデータやモニタリングの方法も、実は共通するものがあるのではないかと考える。現在、途上国がいろいろなモニタリングシステムを作る努力を開始している。REDD プラスのフェーズ 1 として、信頼できるモニタリングシステムを作っていくための努力が行われている。ただ、「信頼できる」ということは実は非

常に難しい部分で、それぞれの国の努力がないと実現できない。また森林炭素モニタリングシステムは、REDD プラスにおける炭素量を測るということである。実際に森林をモニタリングするという観点においては、持続可能な森林経営のためのモニタリングと REDD プラスのモニタリングは何ら変わるものではないと私は考えている。

REDD プラスの中では、森林減少、森林劣化、保全、増強、持続可能な経営という五つの活動が取り上げられているが、これを森林の外から見ると、二つのグループに分けられる。一つは森林減少と森林劣化で、外の人から見ると森林がなくなっていくように見えるのに対して、残りの三つ（保全、増強、持続可能な経営）は、外から見ると人が努力している活動に見える。

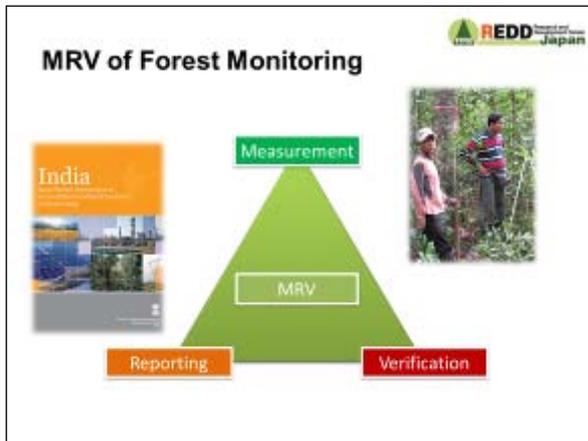
REDD プラスにおいては、この五つの活動を対象として、森林からの炭素排出を削減していくことが大きな目的になっているが、その中で、持続可能な森林経営（SFM）にはない様々な考え方が出てきている。例えば、ポジティブインセンティブ、MRV（Measurement, Reporting and Verification）、参照レベル、参照排出レベル、セーフガードなどである。これらは REDD プラスの議論の中で、持続可能な森林とはどういったものなのか、それを達成するためにどういった技術が必要なのかを考える中で生まれてきた概念である。そして、各国が準備段階から実施段階、完全実施段階といったフェーズを経ながら、二酸化炭素排出の削減を達成しようというフェーズドアプローチという考え方がある。



ポジティブインセンティブを与えるため参照レベル/参照排出レベルが果たしてどれぐらい信頼できるかによって、REDD プラスの成否が左右されることになる。資金を投入する以上、また、ポジティブなインセンティブを与える以上、信頼できるデータを基にして、信頼できる活動に対してのみお金が支払われる仕組みにしなければ、無尽蔵にお金の流れていってしまう危険性をはらんでいる。だからこそ、信頼できる森林炭素モニタリングシステムの構築が必要になってくるのである。

この中で考えられている森林の排出レベルや参照レベル、参照排出レベルをどうやって引いていくのか、UNFCCC の議論の中では既にかかなりの問題が解決したことになる

が、途上国の現場に出て活動していると、実際にこれを引くのは非常に難しい作業なのだということがよく分かる。



The slide, titled "MRV of Forest Monitoring" with the REDD+ Japan logo, focuses on the "Measurement" component. It contains the following text:

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

(i) Use a combination of remote sensing and ground-based forest carbon inventory approaches for estimating, as appropriate, anthropogenic forest-related greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks, forest carbon stocks and forest area changes;

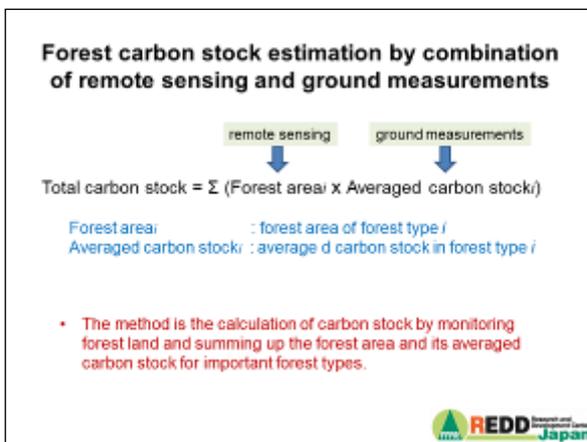
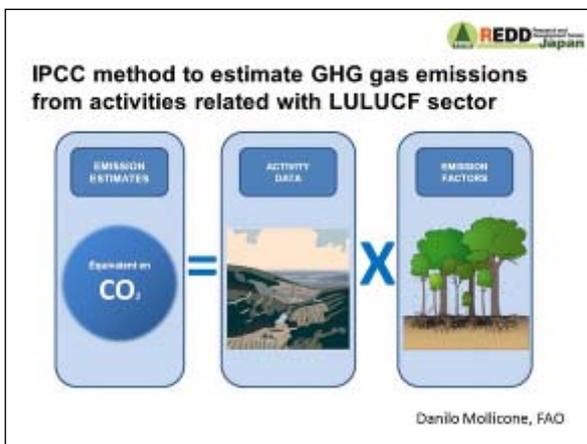
FCCC/CP/2009/11/Add.1

UNFCCCの中ではMRVが重要だと言われている。これは非常にいいシステムだと思うが、その中でも特に参照レベル、あるいは参照排出レベルを設定するためには、最初のMeasurementの部分をもっと途上国はクリアしていかなければならない。

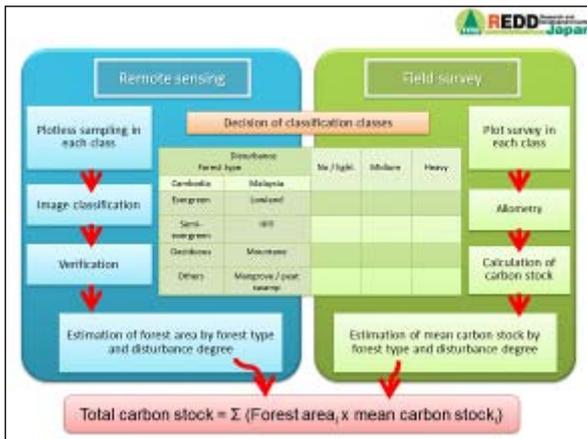
UNFCCCの決議においても、頑強で透明性の高い国家の森林モニタリングシステムを作らなければならない、それにはリモートセンシングと地上調査のインベントリを組み合わせることが適切だとされている。ただし、UNFCCCで国家レベルのモニタリングシステムが議論されている一方で、プロジェクトベースでの様々な活動も始まっている。そのため、両者のギャップをどうするのが大きな課題の一つとなっている。現在、各地の途上国において活動する中で私が感じていることは、フェーズ1において、国レベルでのモニタリングシステムを早急に構築することが先決であるということである。なぜなら、プロジェクトベースでプロジェクトごとに別々のマップが作られることの危険性が徐々に認識されてきているからである。

まず、それぞれのドナーが別々の方法でマップを作ると、精度だけでなく定義から異な

っている可能性があるため、これを国レベルに組み合わせていく場合、どのように合わせればよいのかという問題が浮かび上がってくる。また、プロジェクトベースのマップを作ったとしても、これをスケールアップする際に抜けている箇所をどうするのかというバウンダリーの問題も生じる。さらに、国のリーケージだけでなく、誤ってダブルカウントしてしまう危険性もある。従って、REDD プラスがフェーズ 1 にある間に、各国は早急にモニタリングシステムを構築すべきである。有償か無償かといった国内での議論も含め、国が責任を持ってそのモニタリングのデータをそれぞれのプロジェクトに提供するシステムが今後は必要ではないかと考えている。

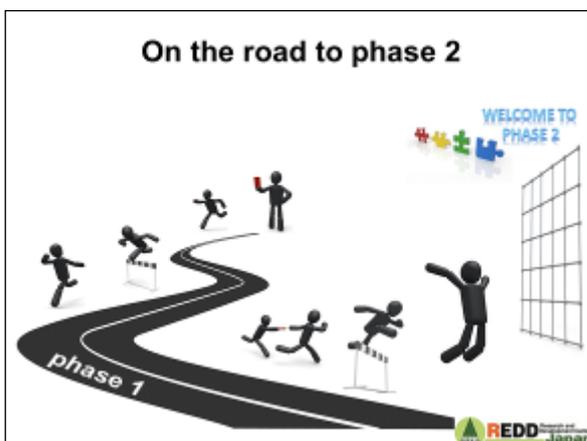


IPCC の方法で温室効果ガスの排出量を計算するときには、Activity Data（活動データ）と Emission Factors（排出係数）から計算する。これを森林に当てはめて考えると、森林タイプごとの面積と炭素蓄積の平均値を掛け算したものを全部積み上げて当該国の炭素蓄積量を求めるという方法が必要になるだろう。



リモートセンシングと地上調査を組み合わせる場合、リモートセンシングでは、国によって森林タイプが異なる上に定義も異なるため、こうしたものをきちんと分けて炭素蓄積を積算していく必要がある。また、ここで重要なのは、森林炭素のモニタリングというときには、森林面積だけでなく、その森林に炭素の蓄積が多いのかどうかといったことも本来は評価されなければならない。例えば、常緑林の中で非常に成熟した常緑林と、劣化して大木がほとんど残っていない常緑林に、同じ炭素蓄積平均値をかけて計算してよいのかという問題が生じ、森林劣化を適切に評価することができないということが起こる。

UNFCCC で、REDD プラスの文脈で森林劣化が取り扱われるようになった頃は、1本1本切られている木をリモートセンシングで見つけられるのかとか、ブラジルのように大きな国で劣化をモニターすることは現在のリモートセンシング技術では無理なのではないか、といった議論もあった。現在のところは、炭素蓄積の大小をリモートセンシングで可能なところまでクラス分けし、森林が時間とともにそれぞれのクラスをどう移動するかによって森林劣化を評価するというアプローチが必要ではないかと考えている。

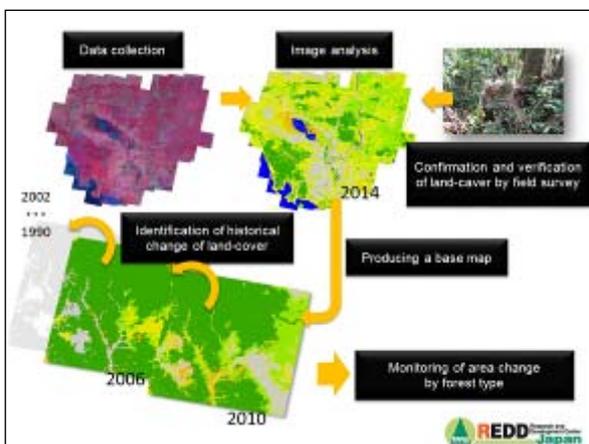
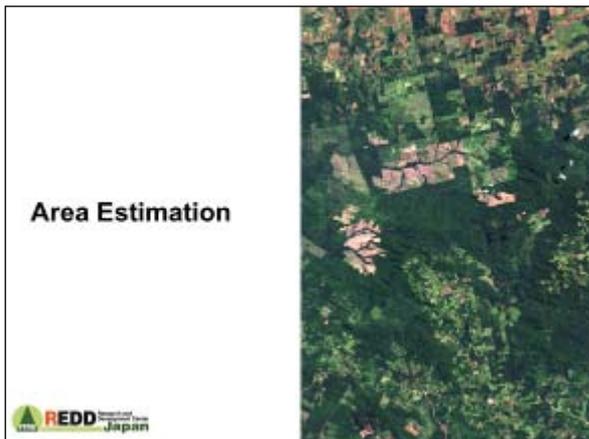


以上のようなモニタリング手法の必要性については、各国で共通理解がされてきているようである。ただ、フェーズ1といわれる準備段階においても、スタートラインに立ったば

かりの国や、まだスタートを切っていない国もあれば、既にフェーズ2にいつでも移行できる国もあり、それぞれ違った段階にあってその差が拡大しているような実感を持っている。従って、各国が同時に REDD プラスのメカニズムをスタートさせることは難しく、どのようにスタートさせていくべきなのかが今後の大きな論点の一つになると言える。



冒頭で信頼できる森林炭素モニタリングシステムについて触れたが、実際には以前からいろいろなドナーに支えられて森林地図を作製してきた国も多い。しかしながら、例えば1990年代に作られたものは、現在のようにコンピューターで画面を拡大してどこが森林なのかという確認ができないため、プリントアウトされた衛星画像の上をなぞりながら森林地図が作製してされていたという歴史がある。また、現在ではセミオートマティック（半自動化）で十分森林を分類していける技術が確立されているが、そのような技術がなかった時代には、森林の場所を人の目で確認して判読する作業によって地図が作製されていた。この判読技術は、現在も信頼性の高い地図作製のためには重要な技術であるのだが、技術トレーニングを受け始めた頃と、現場経験を積みノウハウを蓄積した現在では、その技術に大きな差が生じてきている。従って、過去のデータをそのまま参照レベルや参照排出レベルの設定に適用することはできない。非常に大きな精度差が出る中でそのような設定をすることは、結果として信頼できるクレジットを発生させることが出来なくなる危険性をはらんでいる。



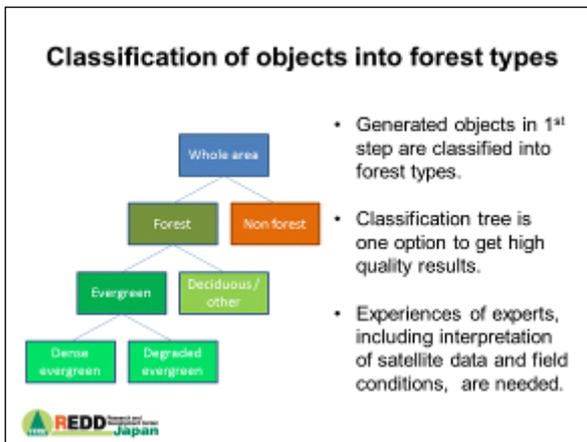
リモートセンシングによる面積の推定に当たり、われわれが現在提案している方法としては、まず、現在あるデータを使いながら、森林のタイプおよび炭素の蓄積のクラスを分ける方法である。昨年からはランドサット8号¹というアメリカの画像が無料の衛星が打ち上がったので、多くの途上国においてもデータの取得が進むことが考えられる。先日の調査では、REDD研究開発センター²の活動対象国の一つであるカンボジアにおいても、1月だけで国全体をほとんど雲なしでカバーできるデータが入手可能であり、衛星データを入手するのに非常に良い状況になってきていた。

このように、現在のデータを森林の状況を分類し、森林の炭素蓄積のマップを作製する。そのために必要な地上調査を、Google Earth³のようなより解像度の高いもので判読して検証すると同時に、フィールドに行って地上の状態を確認するというダブルチェックにより精度を高めていくことが可能である。ここで信頼できるベースマップができたところで、そのデータを基に過去にさかのぼっていくという方法を使うことで、比較的精度の安定した、信頼できるデータセットを構築できると考えている。

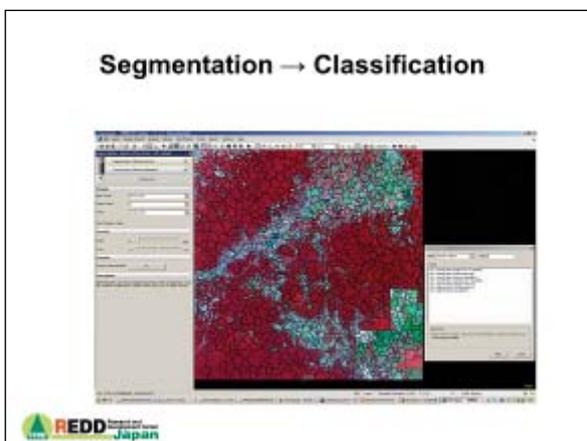
¹ アメリカ地質調査所が運用する地球観測衛星：http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4071

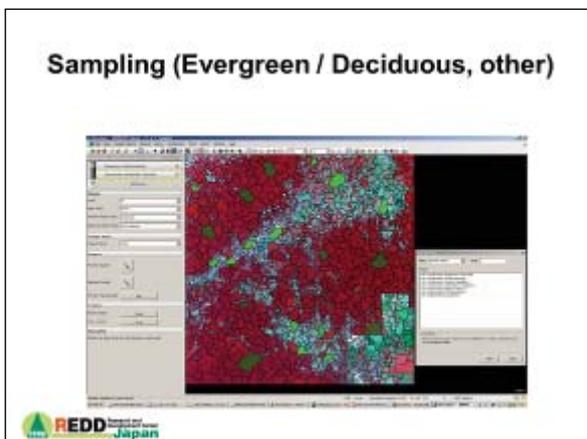
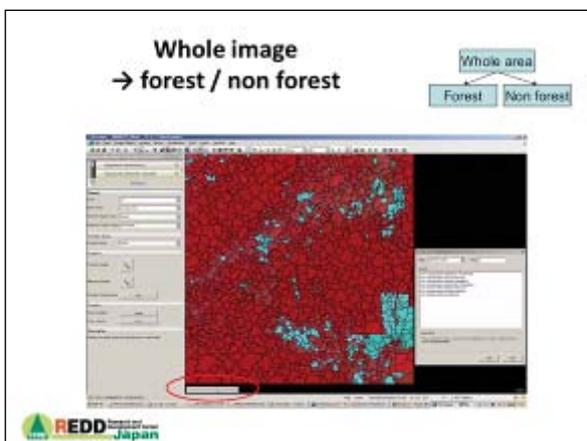
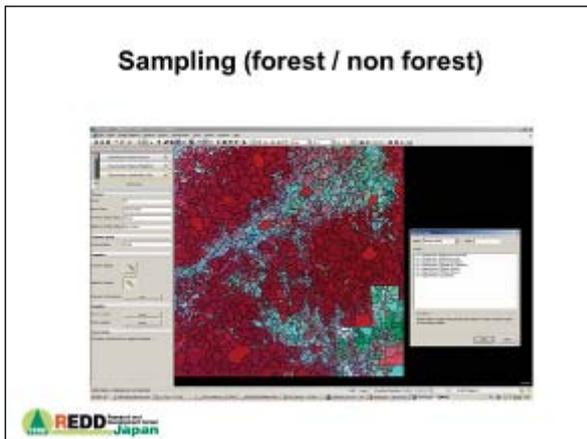
² <http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rc/ja/>

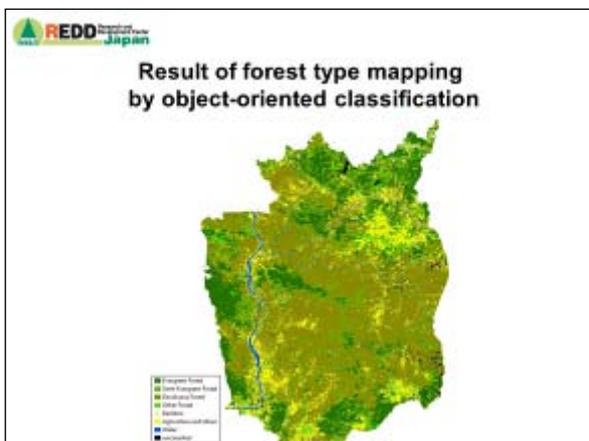
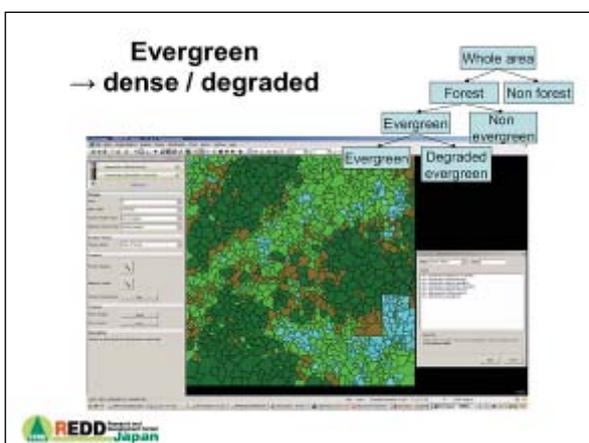
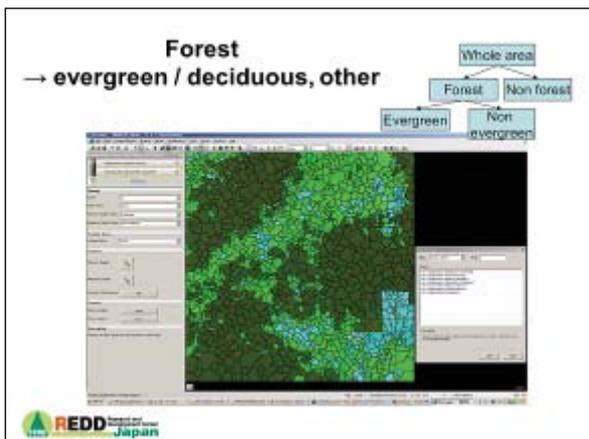
³ <http://www.google.com/earth/>



特に、現在では、半自動的に森林を分類する技術も高まってきている。この技術では、例えば森林と非森林、また、森林の中を常緑林と落葉林あるいはその他の林というように階層的に分けていくことによって分類精度を高めることが可能だが、こういった技術を用いるべきなのかは国によって異なる。森林タイプや森林の利用形態の違いによる適切な技術の選択は、これまでのいろいろなドナーの経験や衛星画像解析の経験に基づいて行われていくべきだろう。

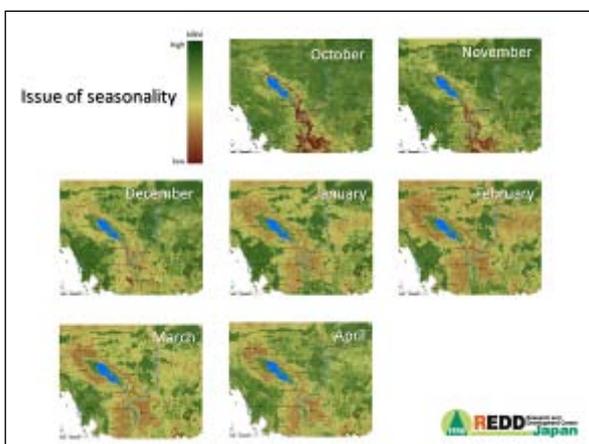






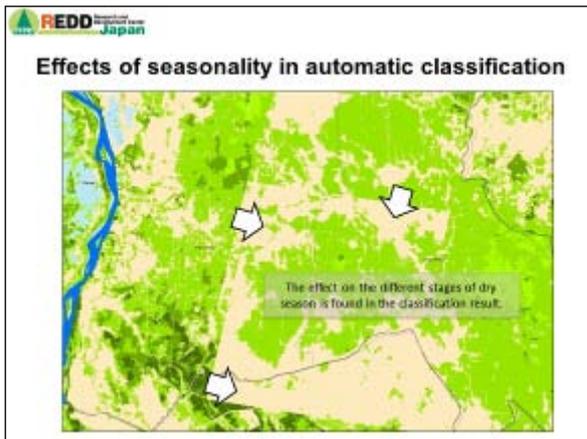
具体例として、初めに人工衛星を分割し、そこからサンプリングして森林と非森林を分ける。さらに、その森林の中を常緑林と落葉林あるいはその他の林と分けるという一連の作業を繰り返していくことによって、最終的に森林タイプのマッピングができるのである。

こういったすぐにでも行政データに使えるようなオブジェクトベースの分類技術が続々と開発されており、やや高めのソフトから無料のものまで出回っている。これらは REDD プラスのモニタリング活動に十分利用可能であると考ええる。

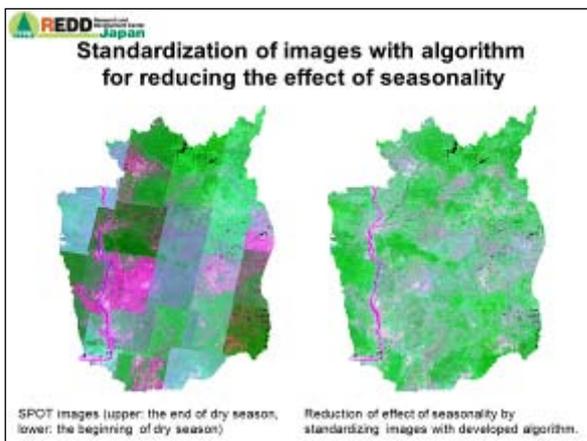


REDD 研究開発センターは現在、カンボジア、マレーシア、パラグアイの 3 カ国において REDD プラスのためのモニタリングシステムについての方法論の開発にあたっている。カンボジアでは、季節の影響を受けやすい熱帯季節林を対象としている。マレーシアでは熱帯雨林の雲の影響が出やすい地域で活動を行っている。今日ご紹介しないが、パラグアイでは半乾燥地域におけるなかなかアジアでは見られないような土地利用形態や森林タイプを対象に活動を行ってきた。

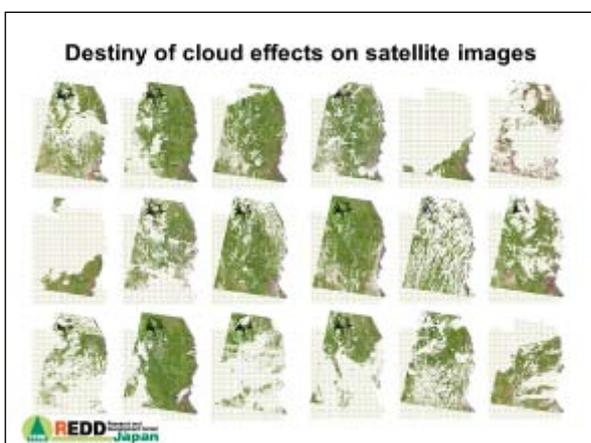
上記のスライドは、10 月から 11 月、12 月、1 月、2 月、3 月、4 月と乾期が進んでいった様子を表している。10 月はほぼ雨期の終わりで、遅い年にはまだ雨期が少し残っている場合もあるが概ね 11 月から乾期が始まる。12 月、1 月、2 月と次第に乾期が進んでいくにつれて、土地被覆の状態も非常に変わってくるのが分かる。このように、乾期によって土地の被覆状態が異なる地域では、時期の違った衛星データを使って自動的に分類しようとしても、どうしてもこの季節の影響が出てしまうのである。



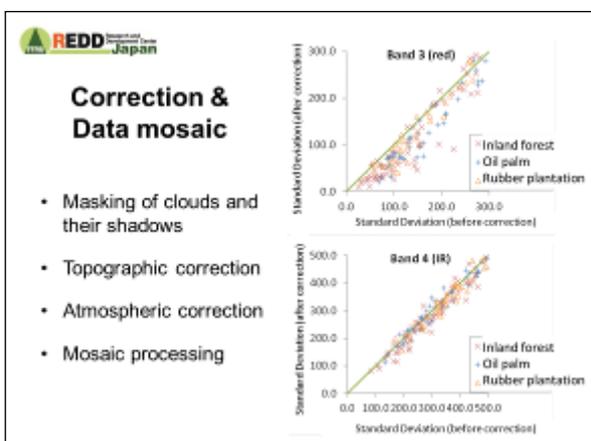
この図は分類が間違っている例を非常にクリアに示しているが、衛星画像の切れ目がくっきりと見える。また、乾期が進んだデータでは、葉が落ちてしまっていて分類が難しいという影響が出てしまっている。



左側の衛星画像は、いろいろな時期のデータを使って、カンボジアの四つの県をモザイクで表したものである。紫色の箇所は乾期が進んだ時期のデータ、濃い緑色の箇所は雨期が終わってすぐのデータの集まりである。このようにいろいろな段階にあるデータをそのまま使ってしまうと、信頼できる森林炭素モニタリングをすることは難しいことがご理解頂けよう。そこで、REDD 研究開発センターでは、季節の影響をなるべく軽減したデータでマップを作製する方法の開発を行ってきた。現在では、右側の画像に見えるような季節の影響を軽減する方法論を既に確立し、オープンにしている。



一方、マレーシアでは雲の影響が非常に強く出てしまう。これは半島マレーシアの衛星データの事例だが、ほぼ衛星データがない状態であるか、雲に覆われて撮られていない、あるいは撮られていても筋状もしくはうろこ雲状の雲の影響でデータがないという状況にある地域だ。



こういった地域では、マスクをかけるという、雲あるいは影を切り抜き、その部分を

データから省くという作業をする。同時に地形の補正、大気の補正をして、さらに日付の近いデータを積み重ねていくことによって、雲や影で切り抜かれた部分を補っていく方法がとられる。



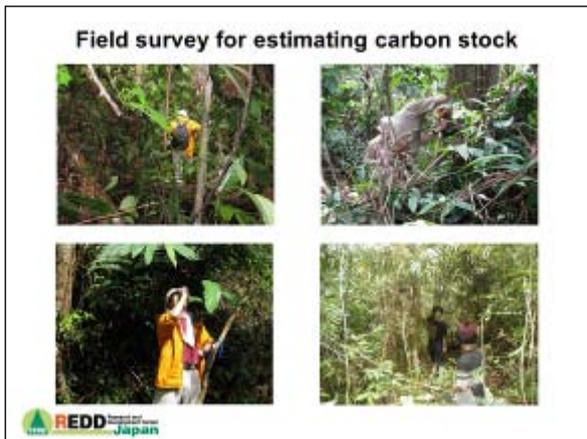
それ以外にも、モデルを使った方法や幾つかの仮定を使った方法がある。これは REDD 研究開発センターの職員が開発した方法で、雲のある部分を他のデータから仮定を置いて埋めていった例である。2000年と2010年のデータを用い、雲のない状態で、かつ森林のどこが変化したのかが明確なデータになっている。

Two types of data from field survey

- For area estimation
 - Training data for image classification
 - Verification data for the result of classification
- For estimation of carbon stock per unit area as emission factor
 - Tree census data



REDD Japan



森林面積の推定以外に、もう一つ、エミッションファクターとしての単位面積当たりの炭素蓄積を推定するための調査が必要になってくる。国によってはこれをNFI⁴（国家森林資源調査）で置き換えようという取り組みも考えられているが、NFIが完全に国全体で実施された例は、ごくわずかでしかない。

こうした調査は、設計段階とフィールド調査段階でのギャップがある。デスクワークでは統計的なことを考えながら調査設計をしていくわけだが、実際にフィールドに出ると、このボルネオ調査の事例のように、藪を踏み分けてトゲのある植物でひっかき傷を作りながら困難な調査をすることになる。



その他にいろいろな国で調査をしていて気が付いたのが、例えばパラグアイでは、所有権の問題や道路状況によって森林に入ることができないといった事態が発生した。プランテーションを作るときに一度は切り開いた箇所には衛星画像上では道が見えているものの、その後の雨で道が崩れ、実際には入っていけないこともあった。そもそも雨のひどい時期には調査は不可能である。また、地形によっては川を渡ることができなかつたり、急な斜面になっているため登っていくことができなかつたりする。身の危険について言えば、危

⁴ National Forest Inventory

険な動物や植物、昆虫などがいるほかに、違法伐採者が危険で調査ができないことが大きい。カンボジア調査の事例では、上図右下の写真のように銃を所持した警備員を付けて調査に行くこともあった。



また、今年1月23日の調査では、森林の中にたくさんの地雷が残っている場所があり、思ったような森林調査ができなかった。

こういった中でどう統計的に信頼できるデータを取得していけばよいのだろうか。特に地上調査の設計については、FAOなどの国際機関も途上国でのモニタリングに対してのさまざまな知見をすでに持っているが、一つはリモートセンシングの技術を使った層化部分でのサンプル採集の方法を検討していく必要がある。

Publication of REDD-plus Cookbook

- Hands-on manual on REDD-plus for policymakers, government officials and practitioners
- Based on the UNFCCC decisions and the IPCC guidelines/guidance
- English, Japanese and Spanish
- 151 pages with 36 units of items
- National/subnational level
- Reference guide

The slide also features a small image of the 'REDD-plus Cookbook' cover, which includes the title and a graphic of a tree and people.



最後に、われわれはこれらの知見をまとめて「REDD-plus Cookbook⁵」という冊子を作成し、配布している。現在、英語版、日本語版、スペイン語版があり、2014年の春過ぎにはカンボジア向けのクメール語版を作る予定としている。

⁵ http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rc/ja/reference/cookbook/REDD-plusCookBook_20131213.pdf