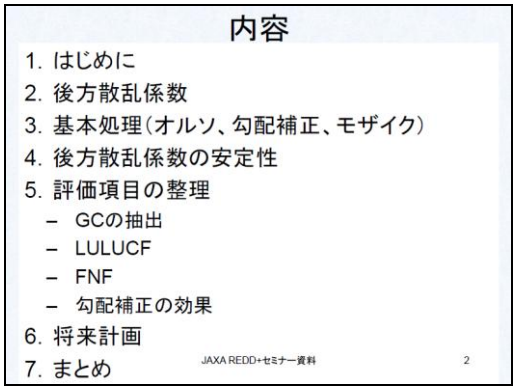
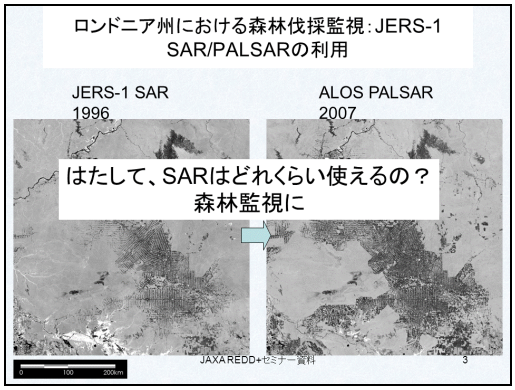
「ALOS/PALSAR による森林減少抽出について」

島田　政信（宇宙航空研究開発機構　地球観測研究センター　研究領域総括）

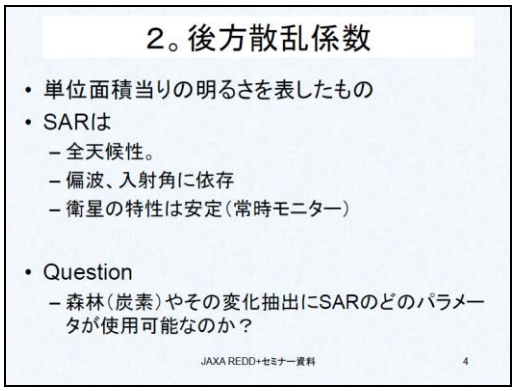




JERS-1[109]という昔の衛星が 1990 年代に上がって撮れた画像と、ALOS が上がって撮れた画像を比較すると、大きな変化がある。伐採で有名なロンドニア州を JERS-1 で撮ると、1 年たつと暗いところが非常に増えてきた。暗いところだけをトラッキングしていけば森林の減少を追い掛けることができるのではないかという期待があったが、もちろんこの中には合成開口レーダが雲の影響を受けない、連続処理ができる、計算機の性能向上に伴って比較的効果的な処理ができる､位置合わせも簡単にできるということが背景にあるだろう。

果たして合成開口レーダは森林の監視にどれぐらい使えるのか。確かに白黒なので、人間の目には分かりにくいという素直な質問も出てくると思う。

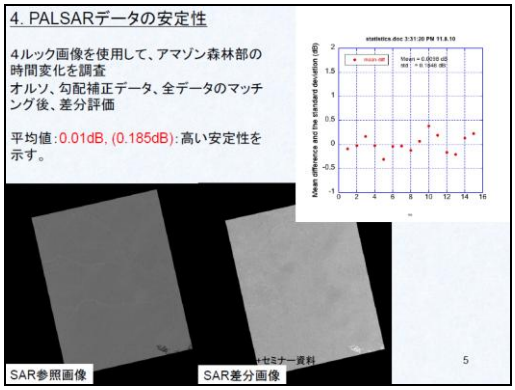
[109] Japanese Earth Resource Satellite-1



先ほど紹介した白黒の画像は、後方散乱係数という単位面積当たりの明るさを表したものだが、果たして SAR の情報はそれだけだろうか。今、確実に言えそうなのは、後方散乱係数あるいは明るさをうまく使っていくことが森林監視のための一つのキーワードだということだ。

SAR は確かに全天候性で、夜でも撮れる。ただ、見え方が偏波（波の振動の向き）や小さい入射角、あるいは大きな入射角から見た場合に依存する。また、確かに 1990 年代の衛星は一部不安定なところもあったが、毎回 46 日おき、あるいは半年おきに観測頻度で森林を観測したデータの変化を見て、森林のモニターに使えると言えるほどの安定性を持っているのかなど、幾つかの疑問が出てくる。

森林（炭素）やその変化抽出に SAR のどのパラメーターが使用可能なのかという大きな疑問があるだろうが、全部に対してはとても答えられない。ALOS が取ってきた過去 5 年間、あるいは JERS-1 のデータを組み合わせて、どのあたりまで使えるのかをここ 1～2 年かけて調べていきたいというのが我々の大きなアプローチである。

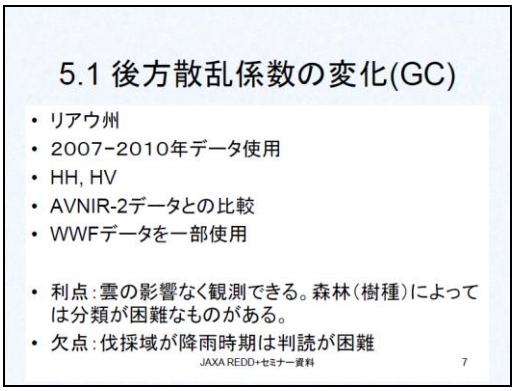


PALSAR データの安定性の一例として、最近は森林伐採が多いので難しいが、アマゾンの中の森林伐採がなさそうなところを目視で選んだ代表的な画像を示した。そのデータが過

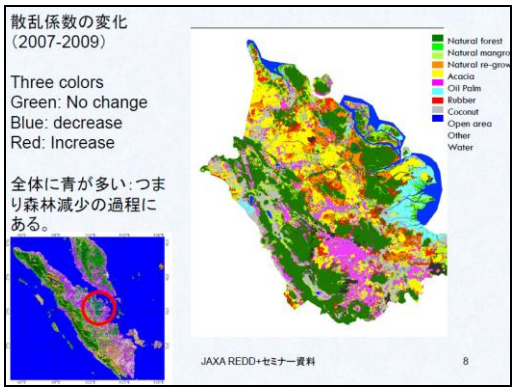
去5年間に16回あった。4ルック処理というと大体20m分解能だが、そのデータを全部集めてオルソ変換と勾配補正を行い、全データのマッチングをした。時間軸に刀を差し込むと、同じピクセルの位置がくし刺し状になってくるデータである。2006年の頭に、そのデータのゼロを基準にして横軸に等間隔で取ったものの平均値が約0.01dBだった。標準偏差は0.185dBである。森林は5～6dB、もしかしたら10dBぐらいの大きな変化をする。0.185dBというと、その大体20分の1という非常に小さな変化が、森林伐採のなかった画像については言えた。

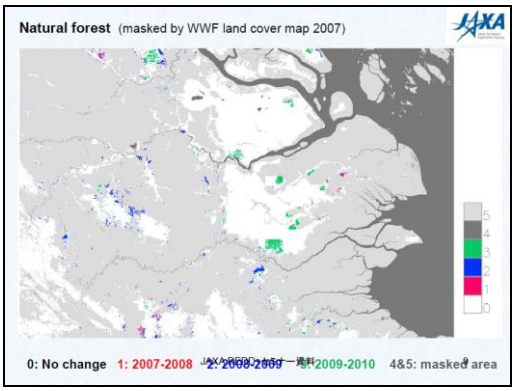
レーダ自身は毎回モニタリングできる機能を持っているので、それとも非常に付合している。レーダは十分安定性が高く、しかるべき補正をすることにより、森林の状況モニターに使えるのではないか。

このような安定性の高いレーダを森林管理やREDDプラス、MRVなどにどう使ったらいいのかを調べているところだ。



GC（gamma-naught change）とは、散乱係数のチェンジである。ターゲット領域はスマトラのマラッカ海峡の近くにあるリアウ州で、2007～2010年のデータ、HHとHVという異なる偏波、AVNIR-2 データとの比較を行った。我々には現場データがあまりないので、光学センサを使って逐一見ていく。それからSigma0、Gamma0の変化を見て比較している。雲の影響なく観測できるが、森林によっては分類が困難なものもあり、降雨時期には伐採域の判読が困難である。特に雨が降ったときは、double bounce で少し明るく見えてしまうのだ。

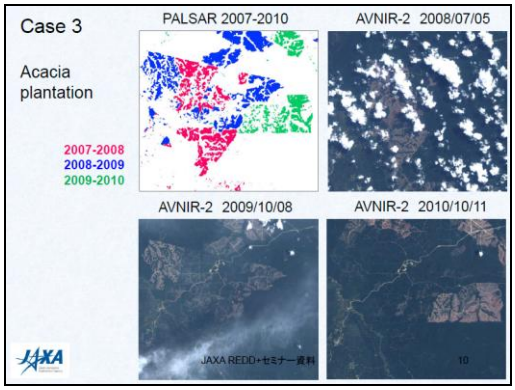




リアウ州のモザイクを作り、2007～2009 年の後方散乱係数の差分を取った。場所は、マラッカ海峡近く、約 200km 四方の範囲である。すると、全体的に散乱係数が下がっている領域が多い。アマゾンの例から、SAR は非常に安定しており、後方散乱係数を使って評価できると言えるため、その中において散乱係数が減っているということは、やはり表面のバイオマスに対応するカバレッジが減ってきていることを示していると考えられる。

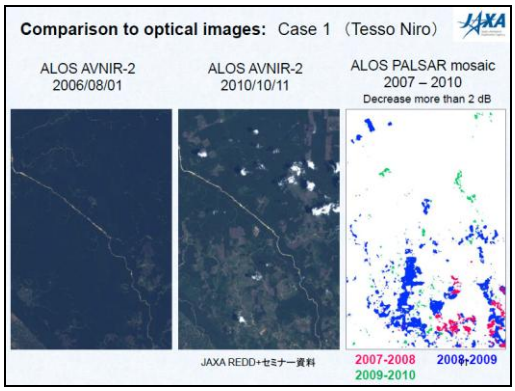
WWF から頂いた 2009 年の分類画像を見ると、natural forest からアカシアまで、一様に散乱係数が下がっている領域が分布している。今後の検証が必要だが、散乱係数を追い掛けることにより、森林の減少の度合いが分かる可能性があるのではないかと思っている。

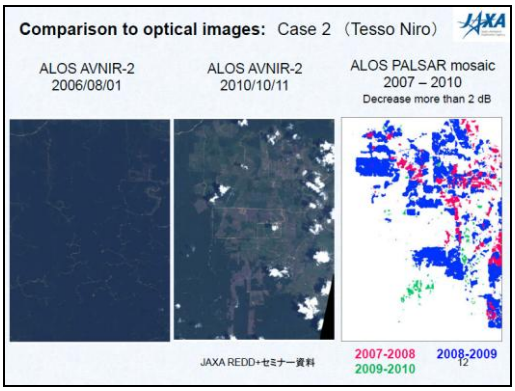
もう少し拡大率を上げて、2007 年の WWF の Land Cover と比較した。場所はリアウ州のもう少し海辺寄りのところで、森林の変化を見ると、時間とともに変化が起こっていると十分言える。雲の影響もないので、散乱係数の変化をかけるだけでも森林の減少の度合いを追い掛けることができるのではないか。



チームメンバーの本岡君が、光学センサ AVNIR-2 の同じ時期のデータを持ってきて、そこの SAR のケースの変化と AVNIR-2 の変化を確認している。アカシアのプランテーション

の変化を見ると、やはり雲の影響は多いのだが、2008 年の画像では伐採されて場所も、2009～2010 年ではきれいに見えている。従って、散乱係数の変化を追い掛けるだけで、雲の影響のない森林の変化をとらえることができていると言えるのではないか。





また、Tesso Nilo という natural forest の生えているところに対しても、同じように行っている。やはり光学センサは頼りになるので、検証のために、2006 年の AVNIR-2 と 2010 年の AVNIR-2 を使ったところ、大きな変化が見受けられた。それを年度ごとの細かい分類画像に仕上げていったのが、Gamma0 の変化のトラッキングである。

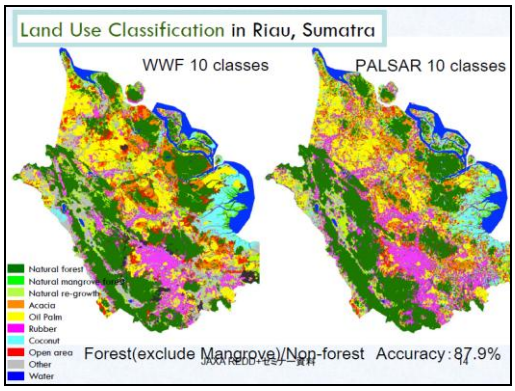
別の Tesso Nilo の例も、やはり細かい分類ができる。これも一つのプロダクトになり得るということで、モザイクデータの作成と同時に、今、1 年度おきのデータを作っているが、46 日おき、3 カ月おきのデータもこの手法を使うことによって十分できると考えている。

もう一つは、LULUCF の分類手法の開発だ。変化チェンジだけではなく、樹種の分類についても当然考えなければならない。分類ごとに代表的なエミッションファクターが出てく

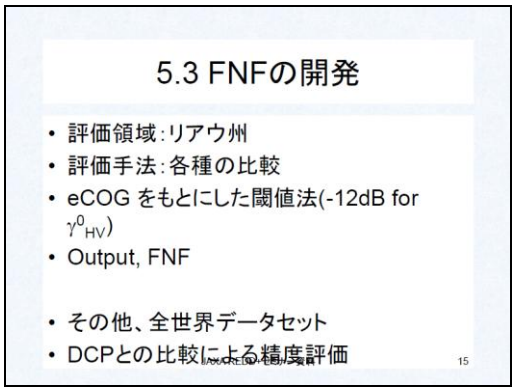
れば、それに掛け算することにより炭素収支が出てくるので、一つのアプローチとしてLULUCF の分類を考えている。

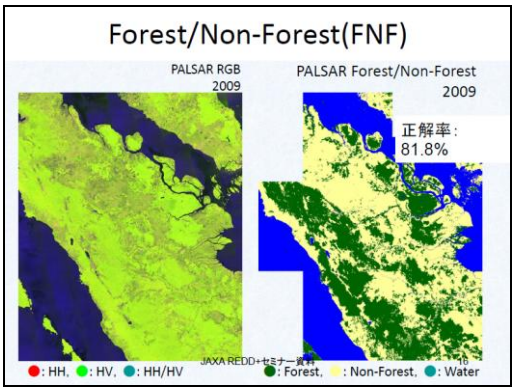
Support Vector Machine (SVM) という最近流行している手法、eCognition のセグメンテーションをベースにして、Minimum Distance Method (MDM) という最小距離法を使ったもの、それから eCognition をベースにしてセグメンテーションベースの Bayesian Method を使った方法、それから SubSpace Method を使った方法がある。現場のデータは WWF の結果に依存しているが、その結果を比較している。

結論から言うと、SubSpace Method、Support Vector Machine、eCognition という順位でよいということで、SubSpace Method では Forest/Non-Forest をすると 88%という数値が出てきた。



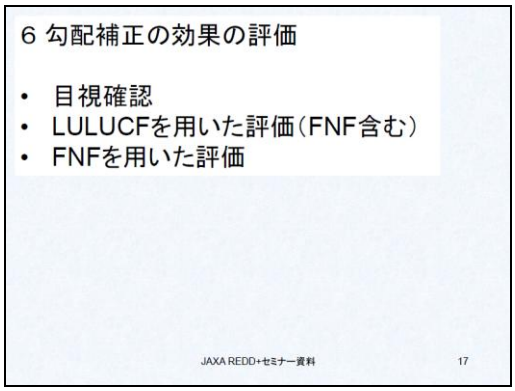
SubSpace Method による、左図が正解、右図が推定結果である。10 種類の分類に対して、データを HH と HV、4 年間のデータシリーズ、それらのコリレーションなど、使えるだけいろいろなデータを全部使い込む。それを教師付き分類で分類することにより、左の 10 分類の答えに対して、右の 10 分類の答えが出てくる。全自動でやっていくので、人間は最初に教え込み、あとは計算機のパワーを信じて時間をかけて待つだけである。すると、Forest/Non-Forest で大体 88%合っているという結果だった。それ以外の例では、一番悪いもので 80%、Support Vector Machine で 85%ぐらいであった。わずかな差かもしれないが、方法による違いが見えてきたと考えている。

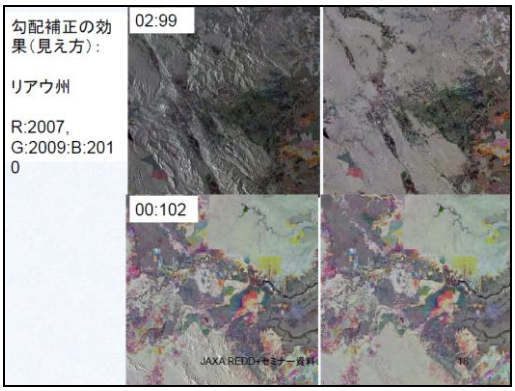




先ほどの Gamma0 を使った分類だが、単純に Forest/Non-Forest ということで閾値を付けて分ける手法も可能である。その方が時間もかからず、単純だろう。これも同じようにリアウ州を使って、－12dB で比較している。

結果は、PALSAR RGB のデータに対して大体 82%で、さほど時間はかからない。ただし、時間をかけた SubSpace Method に比べれば、正解率は 6%ほど落ちる。そのように手法の優劣の区別がついてきた。

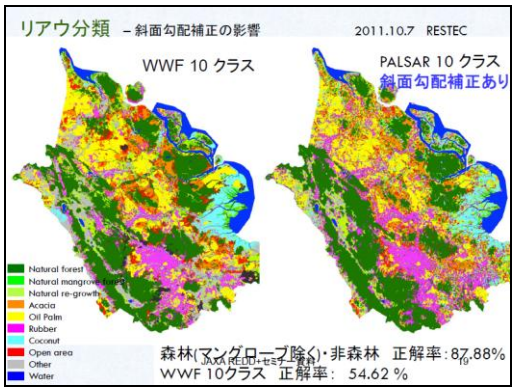


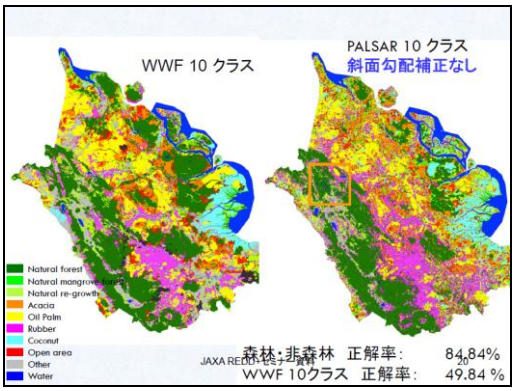


勾配補正は非常に重要だと思っている。斜めに観測することにより、表面の面積が伸びたり縮んだりして、反射係数が変わってくるので、それをいかに減少させるかということで、DSM をうまく使い込むことが重要になる。

勾配補正をしていない合成開口レーダのリアウ州のデータで、大体 1000m の高さがある。3 時期のデータ合成なので、森林の変化があればカラフルに見えてくるが、山岳地帯はでこぼこしている。それに対して勾配補正した結果、比較的フラットなので分類がうまくいきそうだという期待感を与えてくれる。もう少しなだらかなところでは、やはりでこぼこ

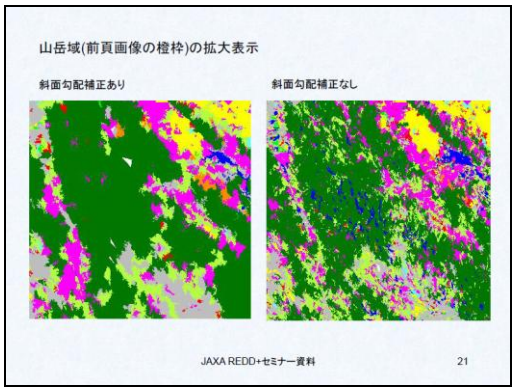
は消えてくる。

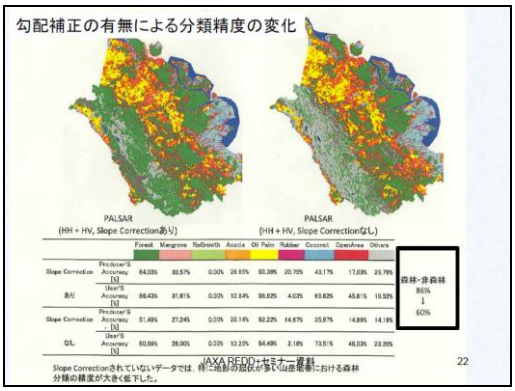




分類エンジンにかければどうだろうということだが、SubSpace Method を使い、斜面勾配補正したデータを使った場合は正解率が 88%だった。

勾配補正をしないと約 85%で、4%ぐらい落ちる。これは恐らく分類エンジンが優秀で、でこぼこがあっても正しく解釈するように持っていっているのではないかと考えている。

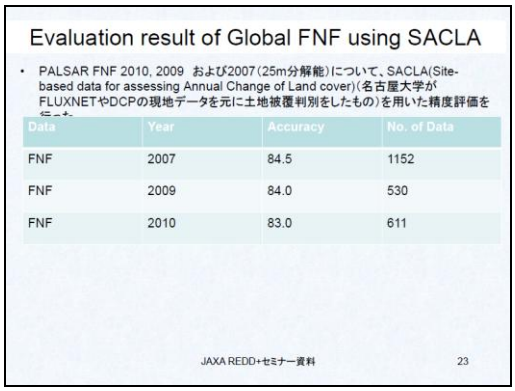


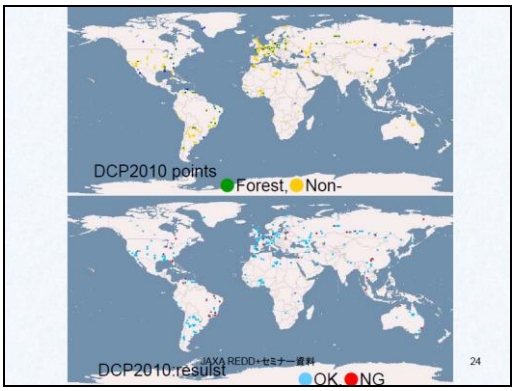


ただ、数パーセントなのだが勾配地を拡大すると、大きな違いがある。斜面勾配ありを使って分類した場合と、勾配補正をしない場合を比べると、やはり結果がばらばらしている。やはり数パーセントとは言いながらも、勾配補正は必須のキーワードである。

FNF[110]を単純に閾値でやった場合、86%ほどあったところが 60%に下がってしまう。20%の違いは大きいので、やはり勾配補正は非常に大きなキーワードである。

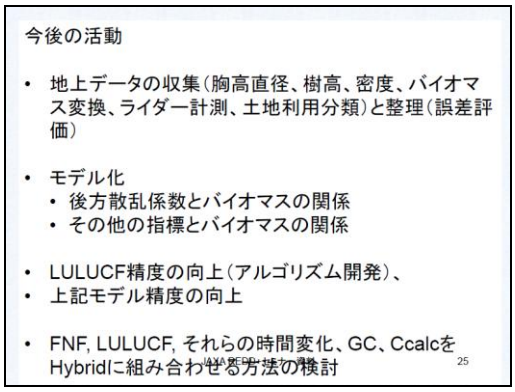
[110] Forest/Non-Forest



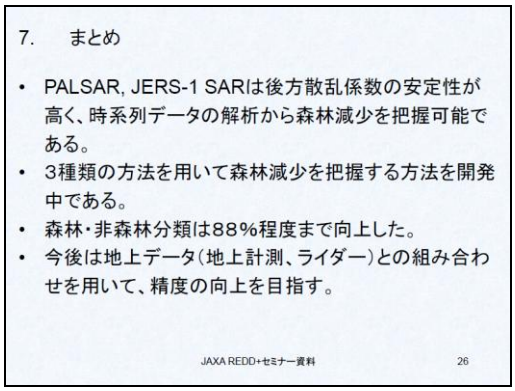


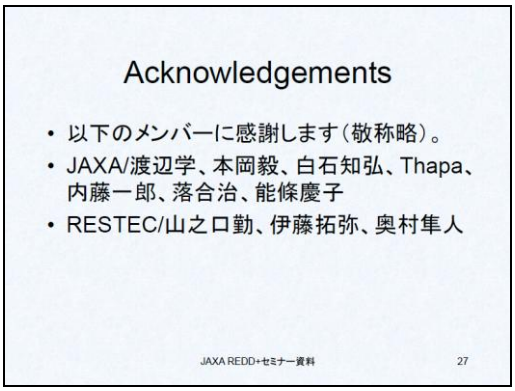
我々の中では、炭素量を使った評価を行っている。今作ったグローバルな FNF の評価はどれぐらいかということだが、地上でデータを集めることは難しい。それでも、名古屋大学と協力してデータを集めると、年間 1000 点から、少ないときでも 500 点ぐらい集まってくる。

そういうデータを使って FNF の精度を評価すると、83～84%になる。ただ、森林の現場データはあまり多くないと感じているので、今後は特に森林に関して、全球的なプロダクトの精度を向上させていきたいと思っている。



今後の活動として、スライド 7 ページの「MRV (案)」の白いところは、やはり重点的にやっていかなければならない。地上データの収集やそのデータの整理、あるいはモデル化、後方散乱係数とバイオマスの関係、その他の指標 (Polarimetry あるいは Interferometry) とバイオマスの関係、それからアルゴリズムの開発があると同時に、カーボンを一つの方法で見つけるのは相当難しい。得られる情報を全部ハイブリッドに組み合わせる方法の検討が必要になる。





PALSAR、JERS-1 SAR は後方散乱係数の安定性が高く、時系列データの解析から森林減少を把握できる可能性がある。そして、3 種類の方法を用いて森林減少を把握する方法を開発中である。また、森林・非森林分類は一番いいもので 88%まで精度が向上している。今後は、地上データと組み合わせて、精度の向上をさらに目指していきたい。

質疑応答

(Q1：林野庁　田中)　リアウ州の精度の披露で、WWF10 クラスを正解とされて、それに対して 88%程度の accuracy level が得られたという話だったが、その場合に WWF10 クラスの現場との精度は 100%と理解していいのだろうか。

(島田)　WWF のデータは、実は 2 年間のデータを使っていることが分かった。やはり Landsat がベースになっているのだが、2009 年と言いながらも 2008 年のデータも入っているので、100%とは言えないのではないか。ただ、現状においてはそれしか頼るものがないので、100%ではないかもしれないが、それを解にして評価した。

(Q2：森林総合研究所　塚田)　WWF の方は地上のデータに基づいて作られたということだが、Land Cover から Land Use への読み替えはどのような形でやっているのか。特にその後の更新を伴う皆伐と、deforestation との違いはどのように分類されたのか。

(島田)　答えに対してどれぐらい合うように差を分類できるかというアプローチを取っているため、Land Use なのか Land Cover なのかまでは認識していないというのが現状だ。