

A-0801 グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究

(2) 時系列SAR解析による森林減少・森林劣化抽出に関する研究

独立行政法人宇宙航空研究開発機構

地球観測研究センター

島田政信

<研究協力者> 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター

磯口治

平成20～22年度累計予算額：20,300千円（うち、平成22年度予算額：6,300千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] L-band SAR(PALSAR)を用いた上記研究を平成20年度から平成22年度の3年間にわたって実施し、1) 森林減少解析の為にPALSARデータセットの作成とサブグループ1への提供、2) L-band 航空機搭載合成開口レーダ（以下、Pi-SAR-L）の傾斜補正画像を用いた森林バイオマスと後方散乱係数の関係の導出、3) 傾斜補正画像を用いたインドネシアにおける森林劣化の抽出の準備解析を行った。テストサイトとして、1)はカリマンタン島内とシベリアの一部を、2)は苫小牧サイトを用い、3)は中央カリマンタンを用いた。特に、1)のサイトについては毎年度約50シーンの勾配補正済みデータセットを作成した。苫小牧サイトは、地上データがサブテーマ4により収集されており、PALSARと感度の良いPi-SAR-Lも併用してL-band SARと森林バイオマスの関係、勾配補正の感度、偏波依存性等を調べた。その結果、1)勾配補正はSARが地表形状から受ける変動を効果的に補正できること、2)苫小牧ではバイオマス量が60トン/Ha当たりで後方散乱係数が飽和すること、3)後方散乱係数は、HH>VV>HVの順に大きいこと、4)台風による倒木、間伐により後方散乱係数は減少することがわかった。これらは、常識的な結果であるが、本研究により定量的な結果を得ることができ今後の森林研究にL-Band SARが効果的に使用できることが確認された。

[キーワード] ALOS、PALSAR、森林減少、バイオマス、Pi-SAR-L

1. はじめに

平成20年度からの3年間の研究として、ALOS-PALSARやPi-SAR-L等L-band SARと森林のバイオマス量の関係の導出、森林伐採地検出感度の有無について実データを用いた評価を行った。初年度は、レーダ散乱と森林・非森林の見え方、特にブラジルを例にとり定性的な検討を行った。平成21年度は、地上データが豊富に揃い、かつ、PALSARよりも高分解能のPi-SAR-Lのデータの整った苫小牧のテストサイトに焦点を絞り、森林バイオマスとレーダ散乱の関係の導出と勾配補正の効果についての検討を進めた。その結果、バイオマスとPi-SAR-L/PALSARの散乱特性をつかむことができた。しかしながら、結果についてはややばらつきが大きいという難点とPALSARは苫小牧のテストサイトを扱うには分解能が大きすぎるという難点が見られた。最終年度は、この結果をより明瞭なものとするために、Pi-SAR-Lを用いた苫小牧データの再解析に焦点を絞った。留意点としては、データの平均取り方と異常点の除去である（急峻な勾配を含む箇所は平均から除外した。また、平均個数は40m程度の四方に広げデータのばらつきを下げた）。

従って、平成22年度の作業内容として、以下の2項目を設定した。

- (1) 森林減少解析の為にPALSARデータセットの作成：カリマンタンの森林減少解析の為に、テストサイト近辺を勾配補正したデータセットを作成する（ただし、このデータセット作成に関わる技術は宇宙航空研究開発機構(JAXA)がすでに取得した画像処理技術を使用する。なお、サイトについてはサブチーム1がシベリアを希望した為にシベリアサイトに変更した）。
- (2) PALSARの傾斜補正画像を用いた森林評価：山岳地帯のSAR画像が地形勾配の影響を受け、後方散乱係数が変動し、高精度の分類には勾配補正が必要なことが以前から各種論じられてきた。平成21年度は、地形勾配を補正した後方散乱係数を用いて、この補正を苫小牧でPALSAR/Pi-SAR-Lを用いて実施した。平成22年度は、さらに、別途開発した散乱係数（ガンマノート、 γ -naught、 γ^0 ）を導入して再解析を実施し、バイオマス量と後方散乱係数の関係、台風による森林倒壊との関係、間伐との関係、雪との関係、について解析を行った。

前後するが、近年の研究で天候や昼夜の別無く観測できるL-band合成開口レーダデータが森林情報と高い相関を持つことが明らかになり、森林域では大きな後方散乱係数（-7.5dB）を維持すること¹⁾、森林伐採後は後方散乱係数が-10dB以下に小さくなること、観測機器であるPALSARが高精度のラジオメトリック観測精度と幾何学的精度を併せ持つこと^{2)、3)}、さらには、JAXAは2002年からALOS/PALSARを用いた森林観測研究プロジェクトを実施し各種成果を出してきたこと⁴⁾等が本研究に関係したものであり、森林に関する情報を多く提供する。平成20年度はカリマンタンサイトに対する1994年からのL-band SAR信号の時系列変化を調査し、森林の減少状況を定性的に評価した。

2. 研究目的

1) PALSARの時系列データを用いて森林減少を抽出すること。2) 勾配補正を行ったSAR画像の反射強度の変化から森林減少を抽出すること。3) さらには森林の時間的な変化がPALSARデータを用いて把握できるかどうかを調べることを掲げた。

3. 研究方法

(1) 森林減少解析の為にPALSARデータセットの作成

本研究課題内で設定された領域について、JERS-1 SARのデータセットと2006年からのPALSAR観測データを処理し、チーム内に提供する。2006年以降、夏期はPALSARのFine Beam Dual (FBD) (HH+HV)で、雨期はFBS (HH) でデータを取得しており、可能な限り同一偏波情報での時間変化を表示する。

(2) Pi-SAR-Lの傾斜補正画像を用いた森林評価

Pi-SAR-L画像（振幅情報）の明るさが観測対象物の勾配によって変わることがこれまでの研究で知られており、補正の効果および勾配補正後方散乱係数とバイオマスの関係を抽出し、それを評価した。評価場所は、北海道苫小牧を用いた。

(3) L-band SAR画像の時系列変化

JERS-1 SARとALOS/PALSARを用いて1994年からの時系列変化のモニターを行い、森林減少がSARによりどのように見えるかを定性的に評価した。

4. 結果・考察

(1) 森林減少解析の為のPALSARデータセットの作成

作成地域、作成方法、処理パラメータ等を以下にまとめる。また、表1に使用したデータ一覧（平成22年度分）を示す。平成22年度分の処理総数は49シーンを数えた。また、図1にテストエリアを示す。図2にエリア毎の時系列データを示す。

作成地域 シベリア領域（計49シーン）

2006年 1エリア（3シーン）

2007年 4エリア（23シーン）

2008年 4エリア（23シーン）

作成方法 処理ソフト

再生、オルソ処理： SIGMA-SAR(2010年1月19日01版)

モザイク処理： SIGMA-MOSAIC(2010年2月2日01版)

処理パラメータ

スペーシング： 12.5m

斜面勾配補正： あり

リサンプリング法： バイリニア

参照DEM： SRTM-3

地図投影： 等緯度経度図法

画像の向き： Geo-code

表1： 処理したデータリスト一覧.

No.	Date of acquisition	FBS/FBD	Scene ID	Path
1	2007/6/29	FBD	ALPSRP076091140	508
2	2007/7/11	FBD	ALPSRP077841130	506
3	2007/7/11	FBD	ALPSRP077841140	506
4	2007/7/16	FBD	ALPSRP078571140	509
5	2007/8/2	FBD	ALPSRP081051120	510
6	2007/8/2	FBD	ALPSRP081051130	510
7	2007/8/2	FBD	ALPSRP081051140	510
8	2008/7/1	FBD	ALPSRP129771140	508
9	2008/7/13	FBD	ALPSRP131521130	506
10	2008/7/13	FBD	ALPSRP131521140	506
11	2008/7/18	FBD	ALPSRP132251140	509
12	2008/8/4	FBD	ALPSRP134731120	510
13	2008/8/4	FBD	ALPSRP134731130	510
14	2008/8/4	FBD	ALPSRP134731140	510
15	2008/8/16	FBD	ALPSRP136481140	508
16	2009/7/16	FBD	ALPSRP185201130	506
17	2009/7/16	FBD	ALPSRP185201140	506
18	2009/7/21	FBD	ALPSRP185931140	509
19	2009/7/21	FBD	ALPSRP185931120	509
20	2009/7/21	FBD	ALPSRP185931130	509
21	2009/8/7	FBD	ALPSRP188411120	510
22	2009/8/7	FBD	ALPSRP188411130	510
23	2009/8/7	FBD	ALPSRP188411140	510
24	2009/8/19	FBD	ALPSRP190161120	508
25	2009/8/19	FBD	ALPSRP190161130	508
26	2009/8/19	FBD	ALPSRP190161140	508

No.	Date of acquisition	Path/Row	Scene ID
1	1995/5/27	187/203	JISAR19950527M08120202187203
2	1995/8/23	187/203	JISAR19950823M08129003187203
3	1996/8/9	187/203	JISAR19960809M08164202187203
4	1996/9/22	187/203	JISAR19960922M08168605187203
5	1995/5/27	187/204	JISAR19950527M08120202187204
6	1995/8/23	187/204	JISAR19950823M08129003187204
7	1996/8/9	187/201	JISAR19960809M08164202187204
8	1996/9/22	187/204	JISAR19960922M08168605187204
9	1995/5/27	187/205	JISAR19950527M08120202187205
10	1995/8/23	187/205	JISAR19950823M08129003187205
11	1996/8/9	187/205	JISAR19960809M08164202187205
12	1996/9/22	187/205	JISAR19960922M08168605187205
13	1996/6/28	189/203	JISAR19960628M08160001189203
14	1996/8/11	189/203	JISAR19960811M08164402189203
15	1996/6/28	189/204	JISAR19960628M08160001189204
16	1996/8/11	189/204	JISAR19960811M08164402189204
17	1996/6/28	189/205	JISAR19960628M08160001189205
18	1996/8/11	189/205	JISAR19960811M08164402189205
19	1995/5/31	191/203	JISAR19950531M01120602191203
20	1996/9/26	191/203	JISAR19960926M08169004191203
21	1995/5/31	191/204	JISAR19950531M01120602191204
22	1996/9/26	191/204	JISAR19960926M08169004191204
23	1995/5/31	191/205	JISAR19950531M01120602191205
24	1996/9/26	191/205	JISAR19960926M08169004191205

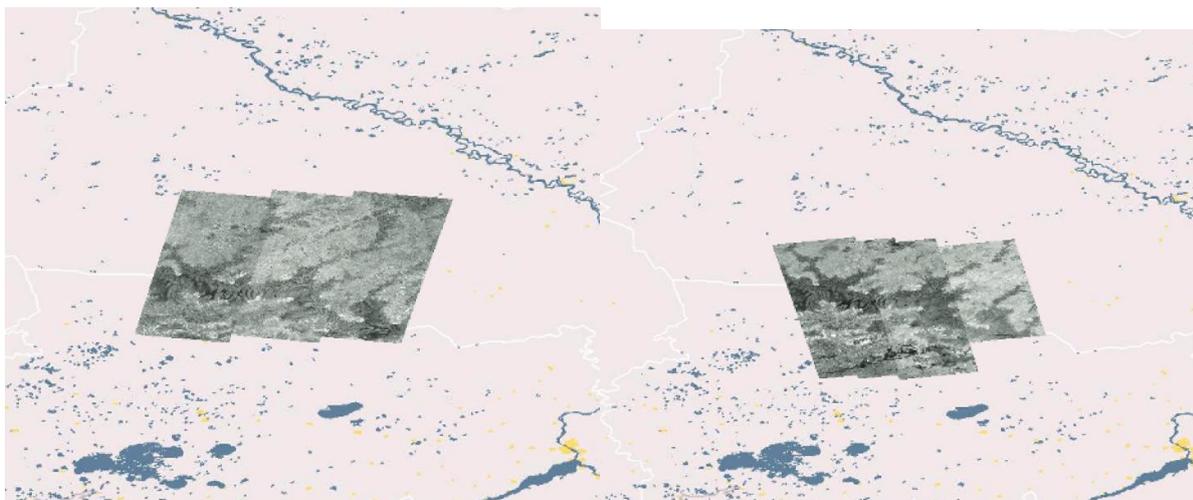


図1： シベリア内のJERS-1 SAR画像、右はPALSARデータ。

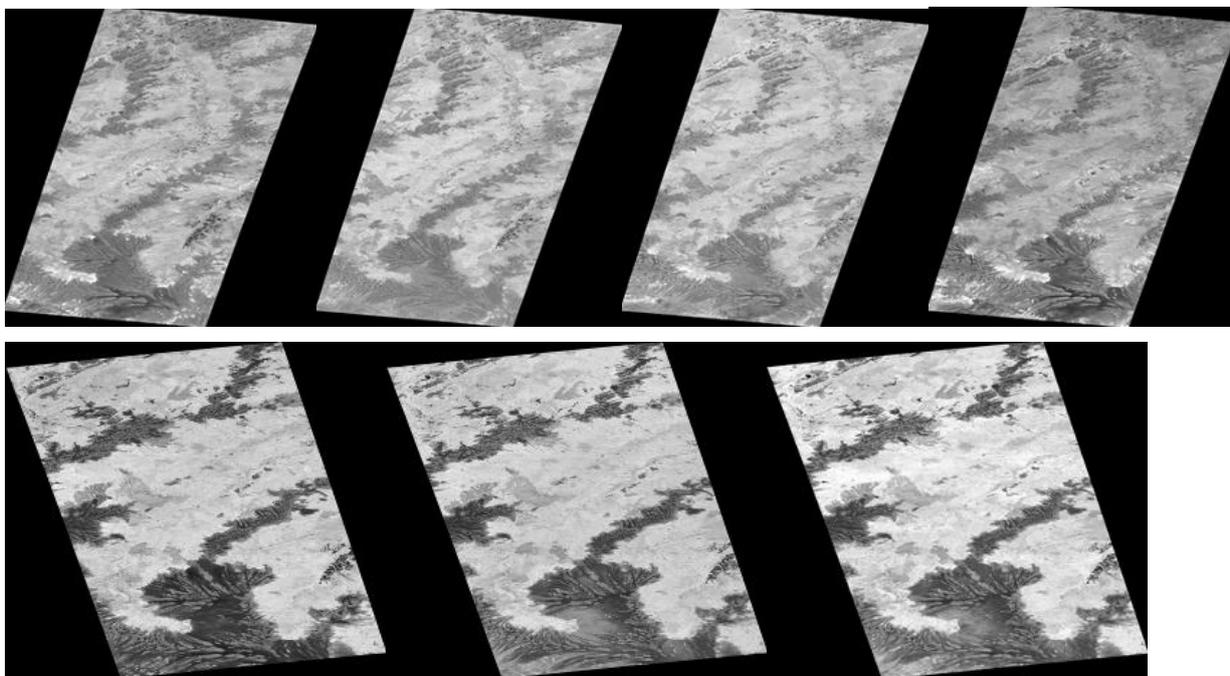
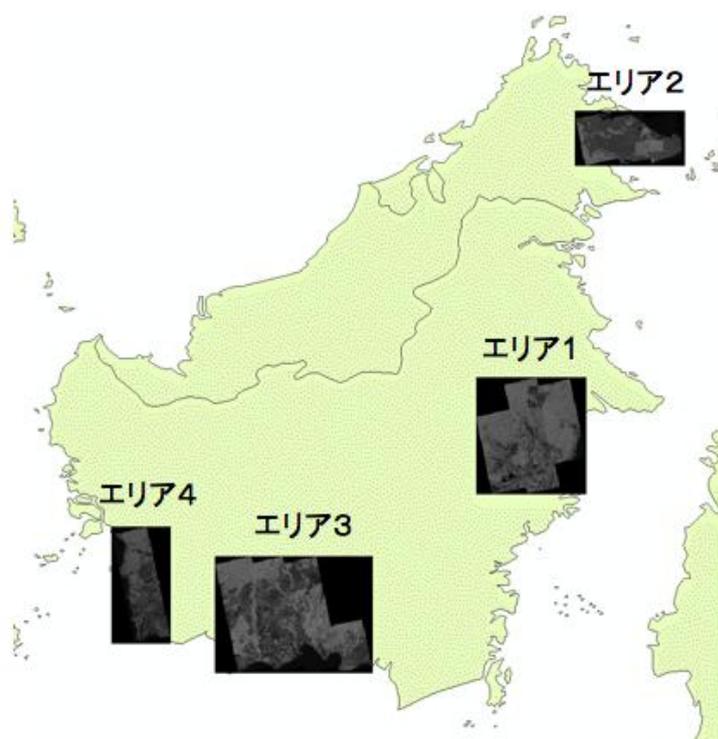


図2： 本処理で作成した領域の画像例を示したもの。上段がJERS-1 SARを、下段がPALSARを表す。

本データセットは、全て勾配補正済みのデータであり、全体にのっぺりとした画像である。これは、Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)の標高データから計算した勾配情報を用いて、地形の影響を除去する効果が現れたものである。森林減少の検出能力は偏波に依存し、HHよりもHVが高い。エリア1内で2007から2008年に伐採領域が増加したこと、エリア2で伐採領域が増加したこと、エリア3では逆に森林が増加したこと、エリア4でも森林が増加したことが予測された。併せて、2010年の画像作成範囲を図3に示す。

データセット作成場所

2007年



5

図3: カリマンタン島内の画像作成領域（例として2007年だけを表示する．）全部で49シーン分を処理に使用した．

（2）Pi-SAR-Lの傾斜補正画像を用いた森林評価

Pi-SAR-Lを利用して解析を実施した。

評価項目、1) バイオマス量と後方散乱係数の関係

使用センサー：Pi-SAR-L

対称領域：苫小牧国有林（1196—1198林班）

使用データ：以下の表2参照、昨年に比べて観測時期を2002年11月7日から2005年2月13日まで、合計6パスのデータを使用した。

後方散乱係数：gamma-naught

評価パラメータ：散乱係数とバイオマスの関係、台風被害による後方散乱係数の変化、間伐による変化の有無

表2 使用したPi-SARデータ一覧

観測日	データ番号	飛行方向	使用した現地データ	備考
2002/11/7	L06409	西→東	DW(2003)	
2003/8/20	L06910	西→東	同上	間伐前、FY21解析に使用したときのデータ
2004/2/8	L07410	西→東		
2004/8/3	L07906	西→東	DW(2004thin)	間伐後、FY21解析に使用したデータ
2004/11/3	L08104	西→東	DW(TYP)	台風襲来後
2005/2/13	L08808	西→東	同上	

注1) データ番号とはPi-SAR-Lの各々の観測に対して一意に付加される番号である。観測時間は観測サイトの大きさに依存し、本件では概ね5分間くらいである。飛行はほとんどが西から東に向かう。理由は飛行機が気流に乗って飛ぶときの安定性は高いからである。

注2) 本データは本受託研究で取得したものでなくてJAXA自身の予算で、自身の目的で取得したデータである。

後方散乱係数は(1)で定義されるように単位面積、単位立体角当りに散乱するエネルギーを等方向に散乱するエネルギー量で規格化したものであり、SAR画像では規格化後方散乱係数として扱われる。しかしながら、図4に示すようにSAR特有の地形の影響を強く受ける（利点としては地形認識に効果的であることがあげられる）。これは、後方散乱係数を算出するときの面積が地球形状をモデル化した準拋楕円体上にあると仮定したことによって生じる誤差である（地形効果）。そこで、地形の効果を補正する（勾配補正）と同時にgamma-naught（散乱面積を衛星と直交する面で定義）に変換した情報を散乱係数として定義し、上に書いた解析を行う。

$$S^0 \circ \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{4\rho R^2 \langle E \times E^* \rangle_{scatter}}{A \langle E \times E^* \rangle_{input}} \quad (1)$$

$$g^0 \circ \frac{S^0 \cos \gamma}{\cos q_{local} \sin q_{inci}} \quad (2)$$

$$\cos \gamma = \mathbf{n}_f \times \mathbf{n}_l \quad (3)$$

ここに、 g^0 はgamma-naught、 S^0 はsigma-naught、 q_{local} は局所入射角、 q_{inci} は準拋楕円体であるGRS80上で定義された入射角、 γ は局所垂直ベクトル（ \mathbf{n}_f ）とレーダ視線方向に垂直で（衛星、地球中心、ターゲットを含む面内にある）ベクトル（ \mathbf{n}_l ）で張られる角度である（⁵⁾・⁶⁾参照）。

平成21年度の解析では、1)散乱係数として勾配補正済みのsigma-naughtを使用し、2)バイオマスとの関連性の導出において多少とも大きな勾配地も評価点に含めたが（その為に、データのばらつきが大きくなったと考察するが）、今年度は、1)散乱係数として勾配補正後のgamma-naughtを使用し、更に、平均処理では大きく勾配が変化する点は処理から外した。その違いを、以下の2種類の図とグラフで確認する。図4はPi-SAR-Lの画像で苫小牧の試験サイトを含む画像を表示したものである。左から、勾配未補正画像、勾配補正sigma-naught画像（ただし昨年の指標である勾配補正済みのsigma-naughtを使用したもの）、勾配補正したgamma-naught画像（今年の指標を使用したもの）を示す。国土地理院発行の25000分の一の地形図からリサンプリングした10m分解能

のDEMを使用して地形補正を行った。右に行くに従って勾配補正の効果が確認できる。しかしながら、Pi-SAR-Lが取得する時刻の精度が十分でないことと、DEMの精度が十分でないことのために完全な地形補正には難がある。図4内でX-Yに沿ってサンプリングした散乱係数をグラフ化したものが図5である。レンジ毎のばらつきの大きさを図より確認できるが、 γ^0 が一番小さいばらつきを示すことから地形の効果をより効果的に表現できるものと考えられる。

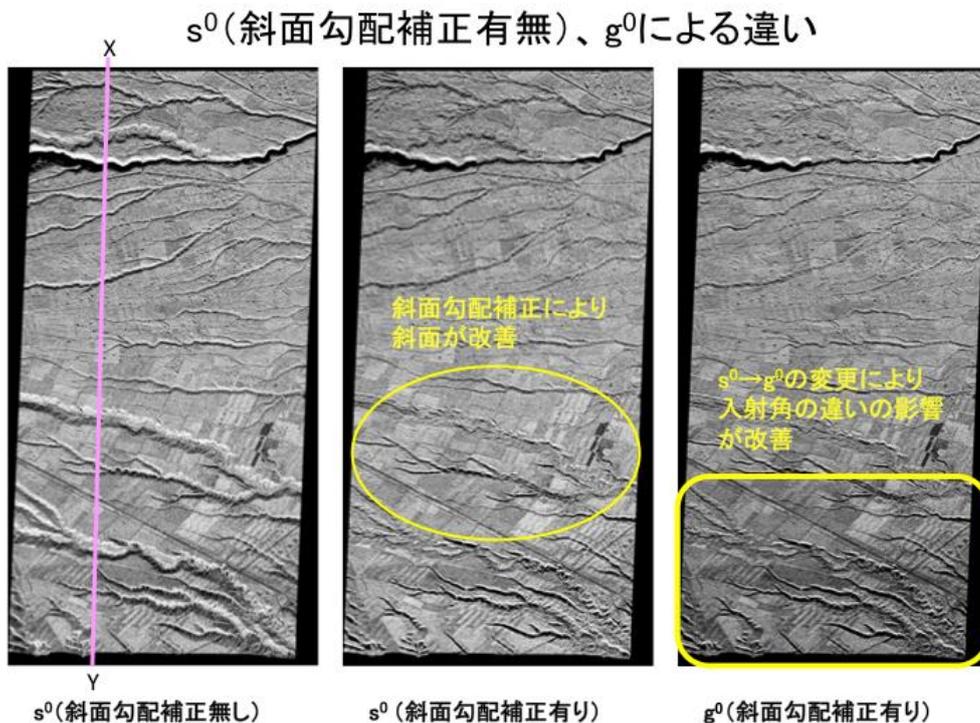


図4: 苫小牧試験サイトのPi-SAR-L画像. 左から, σ^0 (勾配補正なし), σ^0 (勾配補正あり), γ^0 (勾配補正あり).

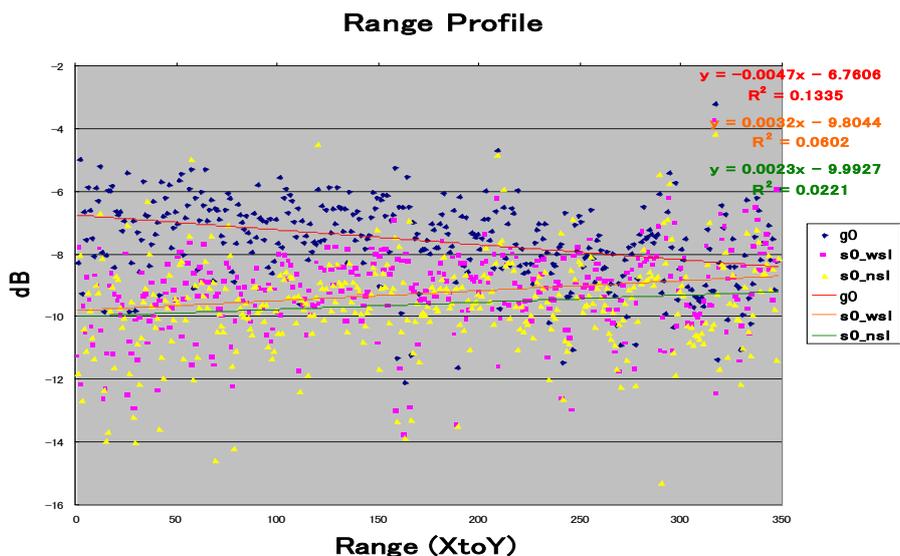


図5: レンジ方向にデータを描いたものであり, γ^0 (青) がばらつきが最も小さいことがわかる.

評価領域の林班は図6に示すように一部を除きほぼ平坦地形にある。特に、DEMから作ったSAR疑似画像から一部を除き平坦地であることがわかる。ただ、青でかこった評価領域内にも2、3カ所勾配地形が判断できる。本来、gamma-naughtは勾配補正が可能な散乱係数であるが、影響を避ける為以下の計算において、勾配地形は除外した。

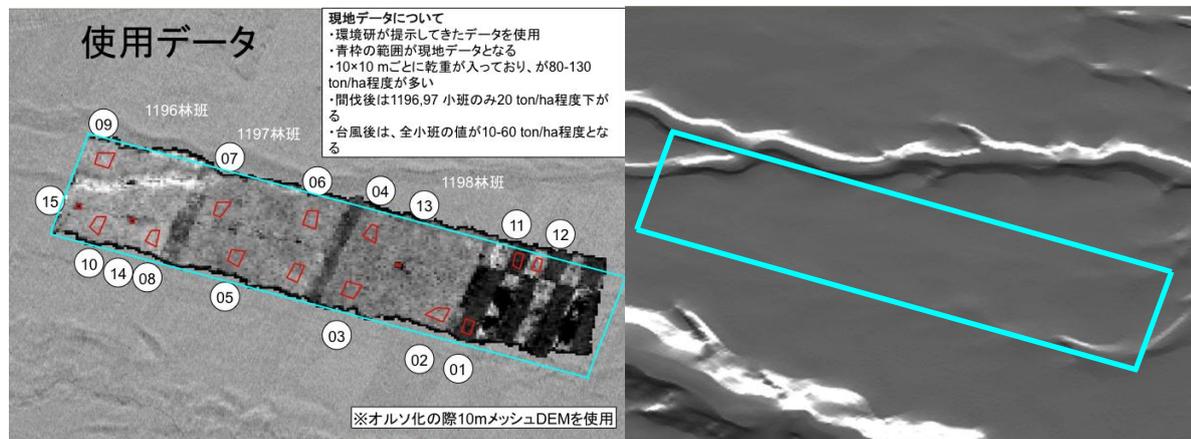


図6: Pi-SAR-L画像とバイオマスを計測した点の表示 (左), DEMから計算した疑似SAR画像 (右) .

この解析では以下の4項目について解析を行う。1) γ^0 と σ^0 の比較、2) 冬季データの特性、3) 間伐データの特性、4) 台風倒木の効果

参考までに、昨年度解析結果の一部を図7に再表示する。バイオマスと散乱係数に関連性は認められるが、明瞭な関係があるとは言い難い。この理由として、後方散乱係数の平均値の計算時、勾配の急な箇所を含めた、サンプル数が少なかった等の要因が考えられる。

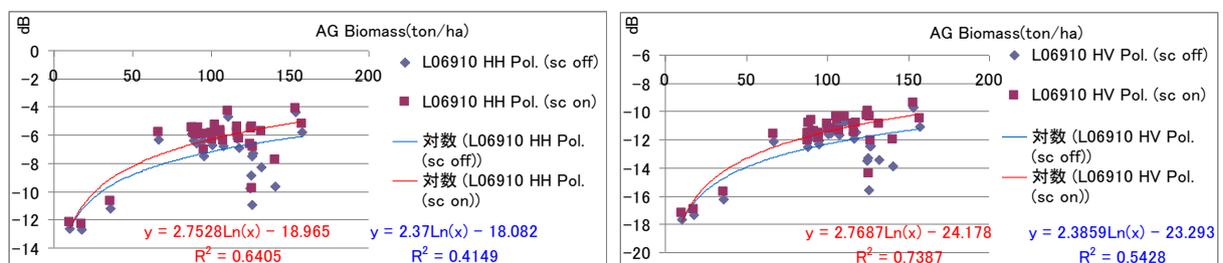


図7: HH偏波とバイオマスの関係 (左), HV偏波とバイオマスの関係 (右) .

1) γ^0 と σ^0 の比較

これに対して、台風の影響前の3種類の画像 (2002/11/7、2003/8/20、2004/8/3) を統合して、且つ、散乱係数としてgamma-naughtを新規に採用して表示し直したのが、図8 (左) である。参考までに、sigma-naughtを右に表示する。この図より、バイオマスと後方散乱係数に強い相関関係が認められる。また、HH, VV, HVの順に散乱係数は並ぶことがわかる。Gamma-naughtとsigma-naughtは0.5デシベル程度の違いが見られるが、これはcos(入射角)の違いである。バイオマス量が60トン程度で飽和することがわかる。飽和量に関して偏波間の違いは無い。別論文等によると、ライク偏波 (HH, VV) よりもクロス偏波 (HV) の方がバイオマスの増加とともに後方散乱係数の増加する傾向にあると記述されることが多いが、苦小牧に関してはそのような傾向は見られなかった。この理由は不明であるが、諸外国の樹種の違いによる可能性がある⁷⁾。本データは3期のデータを

統計処理したもので、当初Pi-SAR-Lの特性の不安定性を不安視したが、結果を見るとその限りではない。かなり安定なデータといえる。その理由は、本データは毎回苫小牧サイトにコーナー反射鏡を設置してデータの校正を実施したからである。校正方法、その結果については⁸⁻¹⁰⁾を参考のこと。

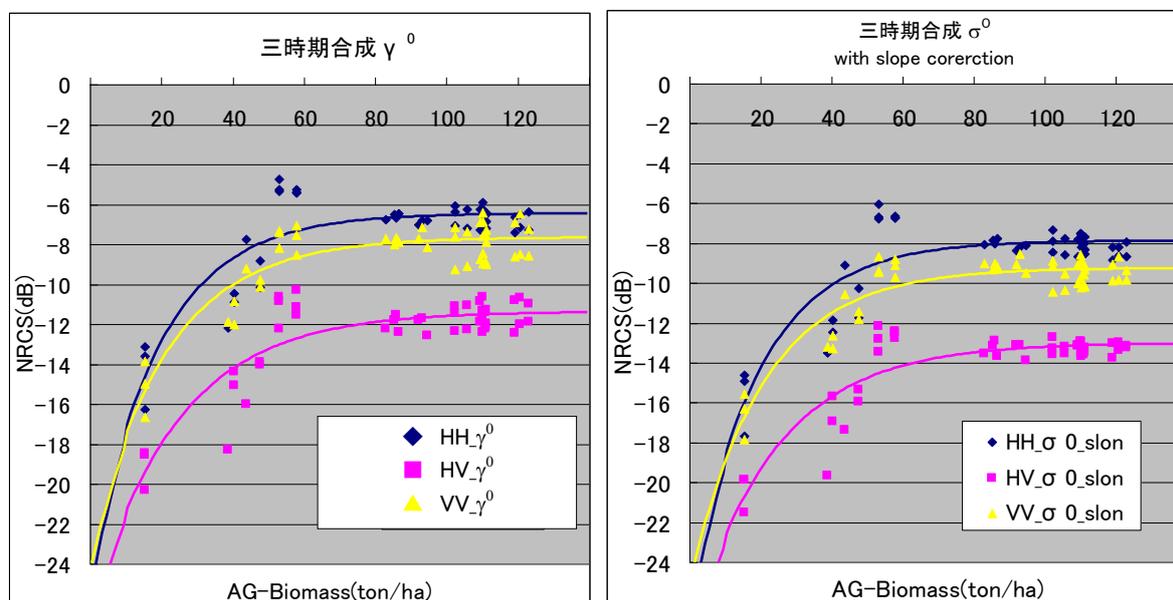


図8: 後方散乱係数とバイオマスの比較.

2) 冬季データの散乱特性

冬季データ(2004/2/8)を用いて降雪により後方散乱係数がどのように変化するかを調べた(図9参照)。図8と比較すると、全体に散乱係数が小さくなるのがわかる。その大きさは約2.5デシベルである。降雪と散乱係数の減少については過去の研究に多く見られるが、減少量はほぼ同じである。減少の理由は、L-band信号の積雪による吸収である。図8と比較して、いくつかの特徴を読むことができる。

a) 減少量は概ね2.5デシベルである。

b) 積雪が無いときには飽和が60トン近くで生じていたが、本例では飽和が見られない。60トン近辺での後方散乱係数の減少量大きい。本例だけでは結論を導くことはできないが、積雪の状態に左右される可能性がある。(本例は、観測の為に当地を訪れた。森林は等しく降雪していたが、どちらかという森林が多くないところの方が降雪量は多くあった記憶がある。逆に森林のあるところは(あるいはバイオマスの高そうな木立では)根元近くが冠雪しているだけで森林部(樹幹部)には雪が無かったように思う)、雪が無く減衰量が小さかったのかもしれない。

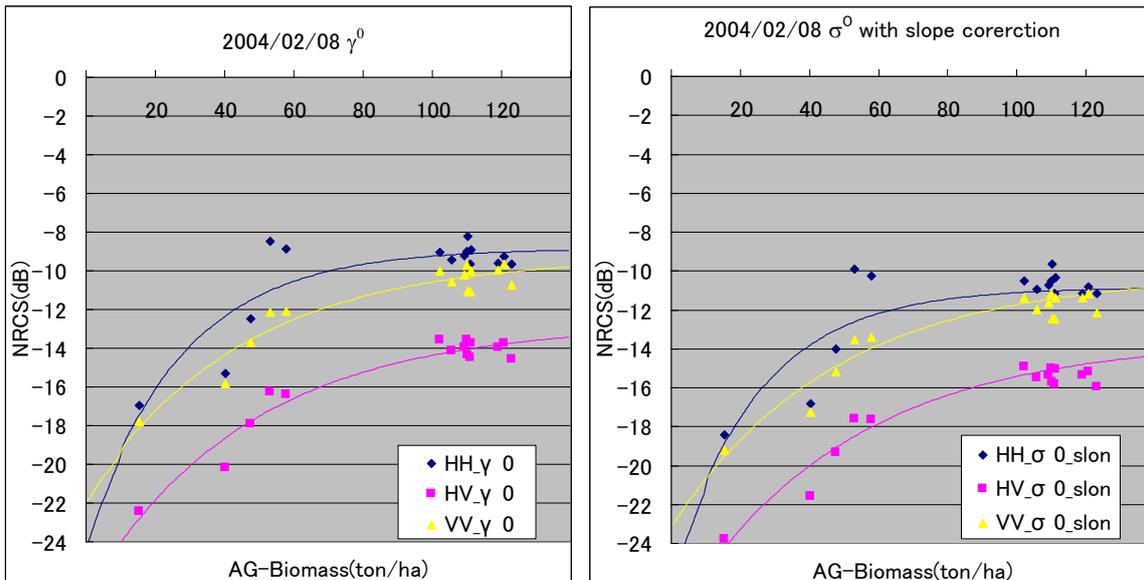


図9： 降雪データのバイオマスと散乱係数の関係。

3) 間伐データの特性

間伐後データ (2004/8/3) を用いて間伐により後方散乱係数がどのように変化するかを調べた (図10参照)。図8と比較すると、全体に散乱係数が小さく (約1デシベル) なることがわかる。偏波毎の変化の大きさを図11に示す。【間伐後平均値-間伐前平均値】の差分平均を取ると、以下の数値となる。単位は、デシベルである。

HH: -0.161, HV: -0.895, VV: -0.732

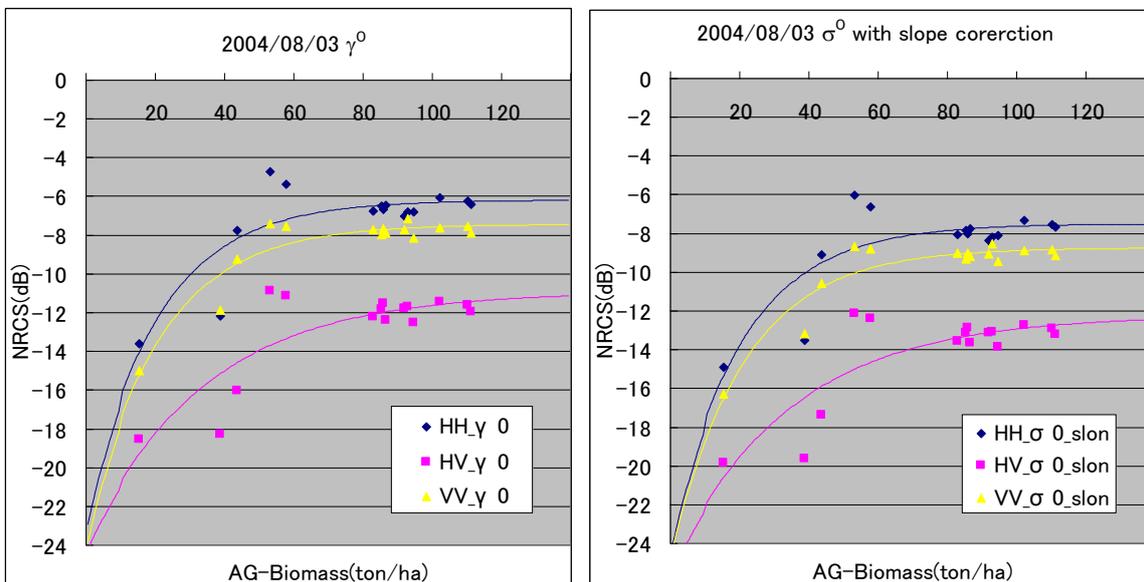


図10： 間伐直後の散乱係数とバイオマスの関係。

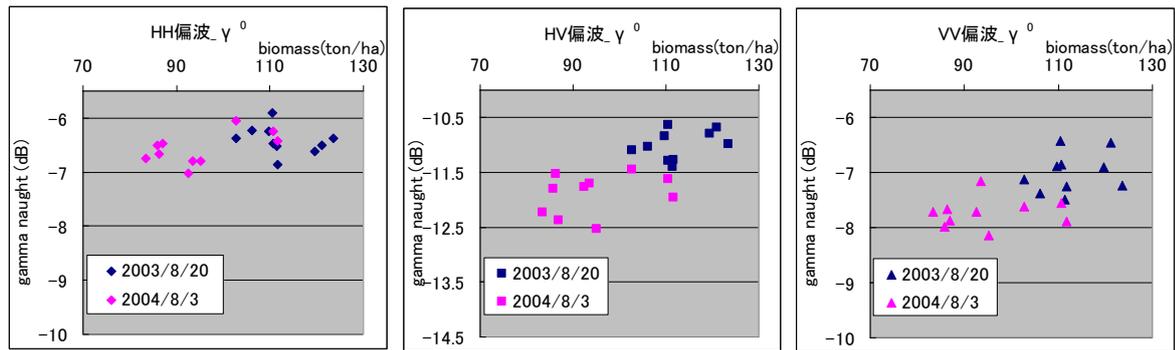


図11: 間伐前（青：2003/8/20）と間伐後（桃：2004/8/3）の γ^0 の比較である。

図11の方が、微小な変化がわかるように表示してあるのでこちらの図を用いて説明する。図11の左から右へ、HH、HV、VVでの間伐前後での散乱係数の変化を示したものである。いずれも、青が間伐前、ピンクが間伐後のデータである。どれも間伐により後方散乱係数が減少しているが、中でもHV、VVが大きく、それぞれ、1デシベル（dB）、0.6デシベルを数える。一方、HHも減少はしているものの、さほど大きくない。0.2デシベル程度である。この理由として以下が考えられる。森林からの後方散乱として、体積散乱、二回散乱が主要要素であるが、間伐により体積散乱が減少したことから、元来、体積散乱のみを検出するHVの減少量が一番大きく、二番目に体積散乱と二回散乱が大きいVVが、最後に二回散乱を多く含むHHの減少量は小さかったものと思われる。

4) 台風倒木の効果

台風倒木の効果として、台風後である2004/11/3の後方散乱係数とバイオマスと比較したグラフを作成した。図12、図13にそれぞれ台風後の γ -naughtと σ -naught vs. biomass特性を示す。図12と図8を比較すると、グラフが全体に左に寄ったような印象を受ける。飽和量は20トンであり、図8に比べておおよそ3分の1である。

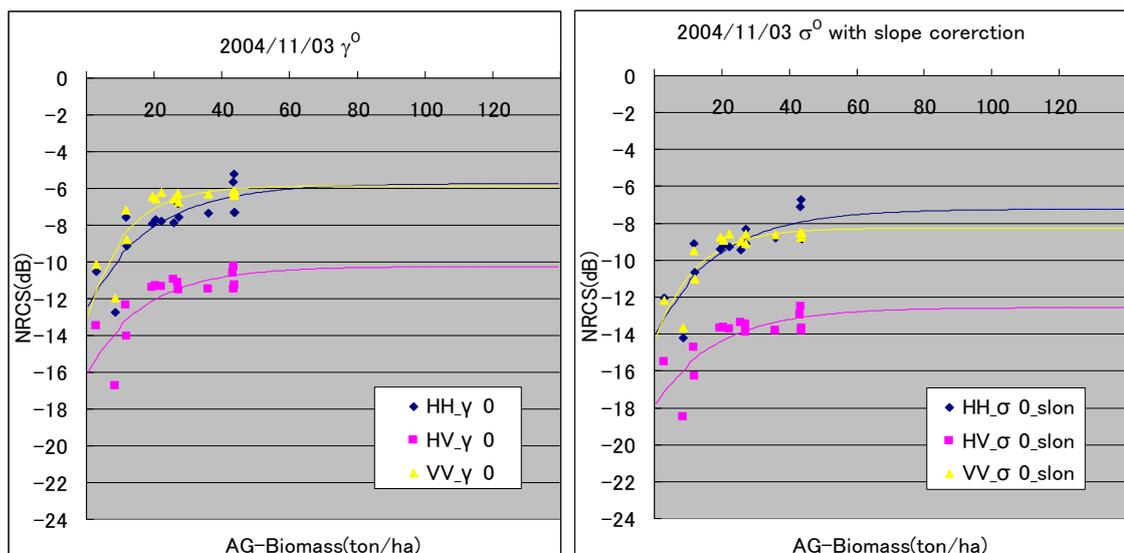


図12: 台風後のバイオマス量と散乱係数の関係。

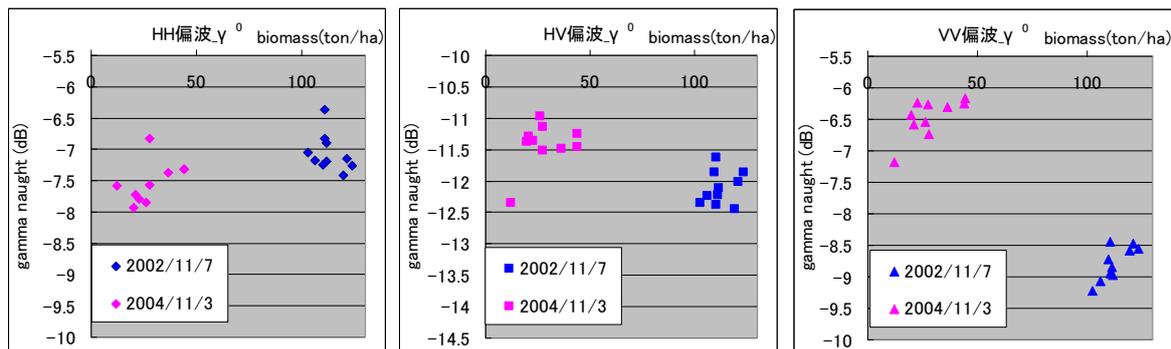


図13 台風前（青：2002/11/7）と台風後（桃：2004/11/3）の γ^0 の比較.

図13 は台風前後での後方散乱係数の変化を示すが、HHは減少したのに対して、HVとVVが逆に増加している。この理由は、正しくは数値計算を待つ必要があるが、倒壊した樹木の方向とPi-SAR-Lの飛行方向の関係によるものと考えられる。HHではわずかに後方散乱係数が下がり、VVでは、大きく上がる傾向が見られた。しかしながら、HVでは、環境研は後方散乱係数が下がるという結果を報告したことに対して、本解析では後方散乱係数がやや上がる傾向が見られた。

【台風後平均値-台風前平均値】の差分をとると以下の数値となる。単位はデシベル。

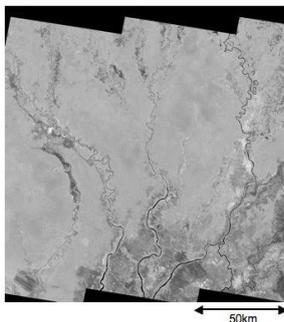
HH: -0.470 , HV: 0.693, VV: 2.315

森林／非森林分類：対象地域一帯は森林地域であるため、2時期の変化を確認したが、1196～1198林班では有意な変化は見られなかった。また、バイオマス量と後方散乱係数の関係の評価では、2003年8月20日観測データでは、HH、HV、VV偏波ともに、斜面勾配補正を行ったデータの方が、斜面勾配補正なしよりも高い相関係数（R2値）で近似できた。2004年8月3日観測データでは、斜面勾配補正あり／なしともにHH、HV、VV偏波ともにばらつきが大きかった。

1. Central Kalimantan

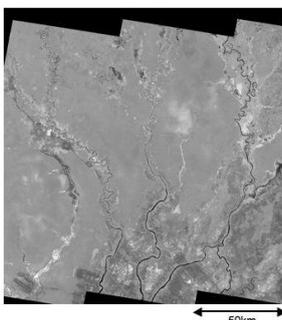
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(1/17)

JERS-1/SAR (Sept., 1994)



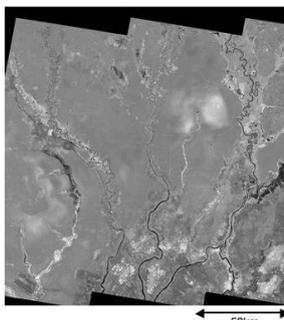
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(2/17)

JERS-1/SAR (Sept., 1996)



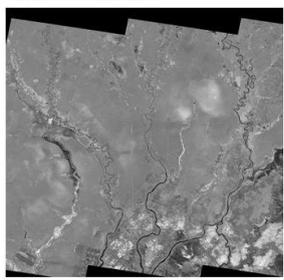
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(3/17)

JERS-1/SAR (Nov., 1996)



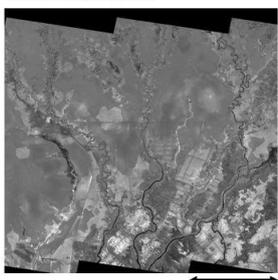
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(4/17)

JERS-1/SAR (Feb., 1997)



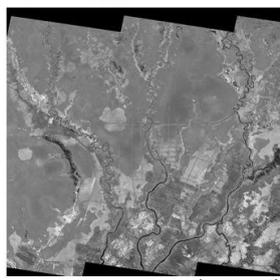
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(5/17)

JERS-1/SAR (Jan., 1998)



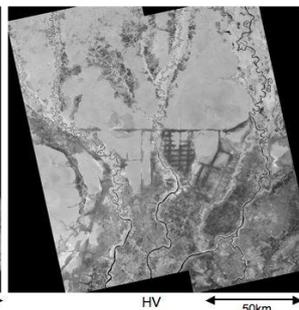
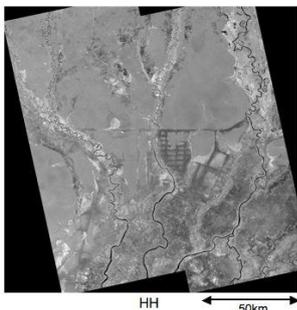
1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(6/17)

JERS-1/SAR (July, 1998)

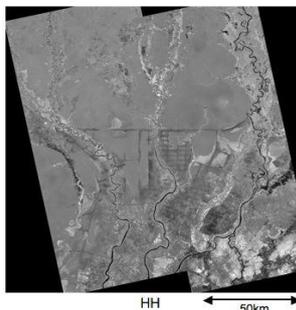


1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(12/17)

PALSAR FBD (Sept., 2007)

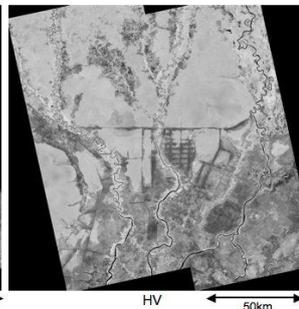
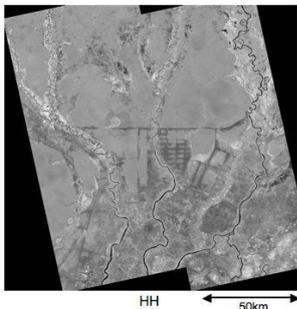


PALSAR FBS (Feb., 2008)



1. 1 JERS-1/SARおよびPALSARの年月別画像(17/17)

PALSAR FBD (Sept., 2008)



PALSAR FBS (Nov., 2008)

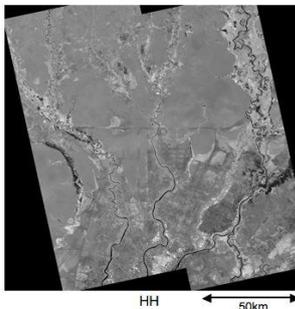


図14：中央カリマンタンの1994年からの時系列変化.

(3)L-band SAR画像の時系列変化

森林減少、劣化領域の抽出アルゴリズムの開発のために、まずはデータを注意深く眺めることから始めた。図14に、1994年～2008年の画像を示す（各画像上部に観測日が記載されている）。これらは、チーム内で20年度に作成することが決定された中央カリマンタンのJERS-1 SARからALOS/PALSARの約17年間にわたっての画像の時間変化を示したものである。もちろん、PALSARには2種類の主たる観測モードがあり、1)FBSと2)FBDであり、FBDを選択したときには単にHH偏波だけでなく、HV偏波の画像を得ることができる。

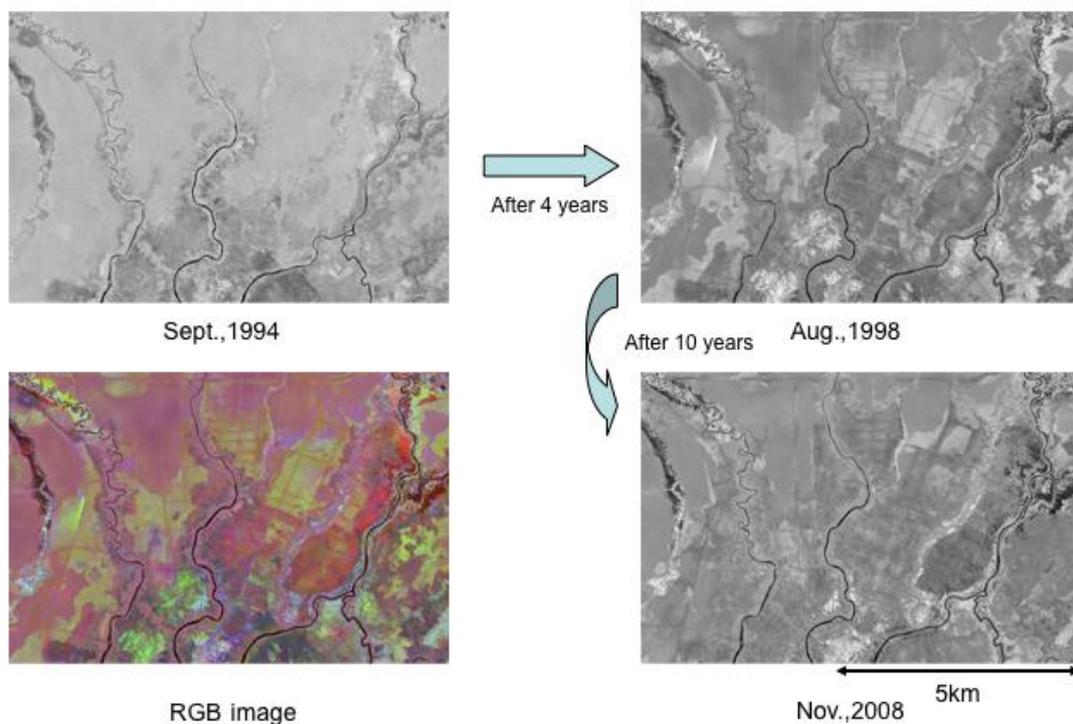


図15：評価領域 中央カリマンタンの評価領域。

このような時系列画像から、以下のことがわかる。

1. 1994年にはさほど開発が進行していなかったが、1995年あたりから開発が急速に進んできた。
2. 特に伐採のためか、画像が暗く見えることが多い。
3. HH画像よりもHV画像の方が変化の感度が高く見受けられる。

確かに濃淡だけでも、森林伐採の進行をより手軽にみる事が可能であるが、さらに表現の自由度を高めるために色付け表現を試みる（図15参照）。HH画像を用いて、1994、1998、2008年の各画像を色合成すると、1994、1998、2008年で、当該地域は大きく様変わりし、2008年にはほ

とんどの森林が消失したことが明らかとなった。さらに、HH画像及びHV画像での同様な解析を試みると、HHよりもHVの方がダイナミックで、わかりやすい。特に、テストサイトの北の場所の違いを容易に認識でき、HVの方が遥かに容易に現地の特徴物を抽出できる。これらによって、伐採地と思われる部分のより細かい年次変化が抽出できた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

森林の樹冠部を透過する割合の高いL-band信号を用いる合成開口レーダによる2000年初頭からの苫小牧森林観測データを再解析することで、近年問題が顕在化してきた森林バイオマス量と後方散乱係数の関連性を評価することができた。特に、バイオマス量の明確な苫小牧のテストサイトを用いて勾配補正を行った後方散乱係数との関係明確化はレーダによるバイオマス量計測の可能性を示唆するとともに、苫小牧では60トンが計測限界であることが明確になった。ただし、この飽和量は諸外国で行われる研究と類似性と非類似性を併せ持っている。例えば、初期のバイオマス研究では、アマゾン¹¹⁾で80トンが飽和量と報告された。一方、近年のオーストラリアにおける研究⁷⁾では200トン近くに増えた。この理由として、アマゾンや本研究では樹木の湿度が関係している可能性がある。湿度が増えることで、樹幹部を構成する葉の反射係数が増加し、電波の樹木下部への透過量が減少する。その結果、バイオマスを多く含む樹幹部からの散乱は減少する。つまり、樹幹部が大きくなったとしても散乱係数は変化しないこととなる。一方、オーストラリアのように乾燥した森林では（あるいは、乾期にデータをそろえた場合）、葉の散乱係数は小さくなり、電波の透過量が増える。樹幹部のバイオマス量は木々においては支配的であり、バイオマスと散乱係数が対応することとなる。つまり、飽和量が上昇することとなる。このような基礎的な情報を収集することができ、レーダ散乱と植生バイオマス量の関連性についての明確な関係性を得ることができたことは意義深い。

(2) 環境政策への貢献

陸域起源の二酸化炭素排出に関する定量的な情報として森林減少量とバイオマス変化に対する基礎データを取得することができ、将来的には政策への反映が可能である。

6. 引用文献

- 1) Shimada, M. (2005) Long-term stability of L-band normalized radar cross section of Amazon rainforest using the JERS-1 SAR, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 31(1), 132-137.
- 2) Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., Higuchi, R. & Isono, K. (2007) PALSAR CALIBRATION AND VALIDATION, *The Journal of Space Technology and Science*, 23(1), 36-42.
- 3) Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T. & Isono, K. (2009) PALSAR Radiometric and Geometric Calibration, *IEEE Trans. GRS*, 47(12), pp. 3915-3932.
- 4) 島田政信、磯口治、プリーサン・ラクティワン、ロンジェペ・ニコラ、「ALOSPALSARによる森林状況監視」、進学技法 ICICE Technical Report SANE2009-39(2009-6), pp.139-146, 2009.
- 5) Shimada, M. (2010) Ortho-rectification and Slope Correction of SAR Data Using DEM and Its Accuracy Evaluation, *IEEE JSTAR special issue on Kyoto and Carbon Initiative*, 3(4), pp.

657-671.

- 6) Shimada, M. & Otaki, T. (2010) Generating Continent-scale High-quality SAR Mosaic Datasets: Application to PALSAR Data for Global Monitoring, ” IEEE JSTARS Special Issue on Kyoto and Carbon Initiative, 3(4), pp.637-656.
- 7) Lucas, R., Armston, J., Fairfax, R., Fensham, R., Accad, A., Carreiras, J., Kelly, J., Bunting, P., Clewley, D., Bray, S., Metcalfe, D., Dwyer, J., Bowen, M., Eyre, T., Laidlaw, M. & Shimada, M. (2010) An Evaluation of the ALOS PALSAR L-Band Backscatter – Above Ground Biomass Relationship Queensland, Australia: Impacts of Surface Moisture Condition and Vegetation Structure, IEEE JSTAR special issue on Kyoto and Carbon Initiative, 3(4), pp. 576-593.
- 8) Shimada, M., Tadono, T. & Watanabe, M. (2004) Calibration of the L-band Pi-SAR – 2004 (in Japanese), Proc. 36th Conf. Remote Sensing Society of Japan, pp.49-50, Chiba University, Japan.
- 9) Shimada, M., Tadono, T., Isoguchi, O. & Uratsuka, K. (2003) Five-Year Stability of L-band PI-SAR Calibration, Proc. of IEICE 2003, Sendai, Japan.
- 10) Shimada, M., Tadono, T. & Watanabe, M. (2003) Updated calibration result of the L-band Pi-SAR (in Japanese), Proc. 35th Conf. the Remote Sensing Society of Japan, pp.121-122, Nagaoka, Japan.
- 11) A, Luckman, J. Baker, M. Honzak, & R. Lucas, (1998) Tropical Forest Biomass Density Estimation Using JERS-1 SAR: Seasonal Variation, Confidence Limits, and Application to Image Mosaics, Remote Sensing Environment, 63, 126-139.

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はなし。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

特に記載すべき事項はなし

(2) 口頭発表

特に記載すべき事項はなし

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はなし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はなし

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はなし

(6) その他

特に記載すべき事項はなし