A-0802-2 PALSARを用いた森林劣化の指標検出と排出量評価手法の推定に関する研究 (2) PALSARのインターフェロメトリ機能を利用した表面標高変化解析による森林劣化の評価手 法の開発

(独) 宇宙航空研究開発機構

地球観測研究センター ALOS解析研究 島田政信

平成20~22年度合計予算額:20,144千円(うち22年度予算額:7,148千円) 予算額は、間接経費を含む

[要旨]本業務は、平成20年度~22年度森林総合研究所からの委託業務である「PALSARのインタ ーフェロメトリ機能を利用した表面標高変化解析による森林劣化の評価手法の開発」として、1) SAR(合成開ロレーダ)データを用いた地殻変動解析手法を適用して泥炭層領域の地盤面高の変化 を抽出する、2)スペースシャトルで観測された標高データとPALSAR差分干渉法で得られた地形高 度を比較して森林樹高を推定する、を実施したものである。検証領域は中部カリマンタン領域(パ ランカラヤ地方)とした。平成22年度の成果として、パランカラヤ地方の70km四方の領域におい てーヘクタール当り年間13 M ton炭素のGreenhouse Gas(GHG)が放出されたこと、代表的な森林の 樹高の推定値として約15~20mが得られたことがあげられる。

[キーワード] 泥炭層、ALOS、PALSAR、干渉、樹高推定

1. はじめに

本研究は、SAR干渉処理の手法を適用して、1) 二酸化炭素の排出に関連する泥炭層の乾燥化とそ れに伴う地盤の沈降量の推定、二酸化炭素量等Greenhouse Gas(GHG)の排出量の推定、2) 森林樹 高を推定するものである。2006年1月24日に打ち上げられた陸域観測衛星(Advanced Land Observing Satellite: ALOS) はL-band 合成開口レーダー(略称PALSARという)を搭載しており、 地球環境監視に関する種々の研究に利用されている。PALSARは天候の影響を受けずに地表の映像 を得ることができる利点の為に、雲の影響を受ける熱帯域の地表や植生の観測に期待され、且つ、 使用されてきた。L-band SARには長時間離れた二枚の画像でも干渉しやすいという特徴があり、 地盤沈下量や地震に伴う地殻変動量の抽出、標高の抽出に大きな期待がかかる。宇宙航空研究開 発機構ではPALSARが有効利用を目的としてセンサの校正、干渉処理解析を進めており、これまで に様々な重要な結果を得ることができた²⁾³⁾⁵⁾⁶⁾。

1)に関して、平成20年度に、サブテーマ4(北海道大学)が設置した3カ所のサイトで、干渉SAR 手法を用いて検出した沈降量と現地データ(沈降量)が良い一致を見せることを確認した。精度 の平均値は2.18cmであり非常に良好な結果であった。2)に関して、干渉SARではアマゾンを試験 地域として山岳地帯でも樹高推定の可能性があることがわかった。しかし、事例が少ないことも あり、平成21年度は中部カリマンタンに特化して感度の有無を評価することとしたが、使用した データのほとんどが軌道間隔の短いものであり、高精度の樹高計測はなされなかった。ただ、デ ータを見直すと、中には軌道間隔が700mと樹高計測に適したデータペアがあり、平成22年度は、 新規に得られるPALSARデータと共に、過去データを見直し、沈降量の計測及び関連するGHG発生量、 森林樹高の推定をすることとした。以下で、研究内容を記述するが、これら全てを達成すること ができた。又、3年間の沈降量の計測精度として3.10cmを得た。

2. 研究目的

1) 泥炭層の沈降速度をPALSARの繰り返し干渉処理で抽出し、現地データと照合してGHGの放出 量への換算を試みる。2) 森林樹高の推定を行い、森林バイオマス量等の変化に換算できるかどう かを評価する。

3. 研究方法

本解析には差分干渉処理を用いた。図1に沿って飛行するPALSARで観測した画像1と、その46日 (ALOSの場合)あるいはその整数倍の日数隔てて観測した画像2を合わせ込みし、複数のピクセル にわたって、積和演算して得られる情報(位相差)から、地形の高さを引き算することで二時期 間の地面の沈降量をえる(図2参照)。これが差分干渉処理で、数値標高データは、C-band Radar で作成したShuttle Radar Topography Mission (SRTM)を利用する。二つ目の方法は、同じく差 分干渉処理を用いるが、基準の高さとしてSRTMの標高データを考える。L-band 信号はC-band信号 よりも、電波の森林への透過が大きい為に、干渉処理結果に食い違いを生じる。この食い違いが、 L-band SARでの森林内反射点の高さと、C-band SARでの森林樹幹部の高さの差によるものと考え 樹高を推定するものである。



図1 干渉SARの座標系と観測概念図 本文中に概ねの観測原理を示したが、それ以外に誤差要 因としては二日間の気象状況が異なることによる大気遅 延の問題、電離層が異なることによる電離層遅延の問題 がある。ここでは議論しない。



図2 干渉SARの位相差計測について

4. 結果・考察

(1) テストサイトとPALSAR観測データ

テストサイトは中央カリマンタンであり、中央部は1990年以降メガライスプロジェクトの影響 を受け土地開発が進んだ。そこには泥炭層が広がっており、その沈降に伴い大量の二酸化炭素が 大気中へ排出されることが懸念されている、A0802研究チームの北大グループ(サブテーマ4)が 中部カリマンタンに設置した基準点での定期的計測から地盤沈下量が得られた。そのデータを本 方法の検証に使用する。3年間で使用した観測データ(PALSAR)一覧を以下の表1に示す。

RSP				回帰		
	Slave-Master	Slave	Master	差	B_perp(m)	
421	AB	2007/08/07	2008/02/07	4	-291.37	
	BC	2008/02/07	2008/08/09	4	233.73	
	CD	2008/08/09	2008/12/25	3	155.93	
	DE	2008/12/25	2009/08/12	5	-291.48	
	EF	2009/08/12	2009/12/28	3	104.42	
	FH	2009/12/28	2010/12/31	8	-551.29	
	FG	2009/12/28	2010/08/15	5	-125.75	シーンG不良の
	GH	2010/08/15	2010/12/31	3	-425.64	ため使用せず
422	AB	2007/07/09	2007/08/24	1	80.59	
	BC	2007/08/24	2007/10/09	1	-200.58	
	CD	2007/10/09	2008/05/26	5	-512.09	
	DE	2008/05/26	2008/08/26	2	288.96	
	EF	2008/08/26	2008/10/11	1	699.73	
	FG	2008/10/11	2008/11/26	1	10.16	
	GH	2008/11/26	2009/01/11	1	24.58	
	HJ	2009/01/11	2009/07/14	4	62.37	
	JK	2009/07/14	2009/08/29	1	77.68	
	KL	2009/08/29	2009/10/14	1	-338.62	
	LM	2009/10/14	2009/11/29	1	-140.12	
	MN	2009/11/29	2010/01/14	1	-190.37	
	NO	2010/01/14	2010/03/01	1	27.74	
	OP	2010/03/01	2010/07/17	3	-202.64	
	PQ	2010/07/17	2010/09/01	1	93.71	
	QR	2010/09/01	2010/10/17	1	-153.54	
	RS	2010/10/17	2010/12/02	1	-310.59	
423	AB	2007/07/26	2007/12/11	3	-88.60	
	BC	2007/12/11	2008/07/28	5	-117.92	
	CD	2008/07/28	2009/01/28	4	434.66	
	DE	2009/01/28	2009/06/15	3	-196.35	
	EF	2009/06/15	2009/12/16	4	-99.25	
	FG	2009/12/16	2010/06/18	4	-152.12	
	GH	2010/06/18	2010/11/03	3	-603.20	

表1 使用データー覧

(2) 地盤沈下

PALSARは2006年10月23日の運用開始以降、継続してデータを取得している。データ量は、これ までに199.5万シーンに達しており、地球全陸域をカバーするのに必要なシーン数が84000シーン であることから、地球14回分の観測がなされたことになる。検証サイトのある中央カリマンタン (RSP422)を計測したのは、2007年の観測以降、合計26回の観測を重ねる。干渉SARの感度を左右 する軌道間距離は、2008年6^{~7}月の軌道面修正時期を挟んでも、1km以内に分布しており、地表面 の類似性さえ保存されれば良好な干渉が期待される。地殻変動の時間的変化を抽出するには、1) 連続する二時期の位相差を細かく求め、必要な期間分だけ積算する方法(尺取り虫方式:仮称) と、2)最も古い時期を基準として二つの時期の位相差を求め、その時間変化と基準点の位相差変 化を評価する方法の二種類ある。前者は、位相量は小さいが、二種類の位相量の品質は良好であ る。一方、後者は、干渉度は時間間隔が広がるにつれて劣化がすすむが、大きな位相差まで検出 する可能性がある。また、大きすぎる場合には位相差が半波長を超えることがあり、その場合に はアンラップという特殊な方法で位相量を連続量に変換する必要がある。

解析は、2007年7月9日の画像を基準画像として、それ以降は順次尺取り虫式に主従データをか えながら合計17種類の干渉解析を実施した。(試験的に方法2も使用したが、時間間隔が3ヶ月を 越えると思いのほか干渉度の劣化し、処理に使用できなかった)差分干渉画像は地形の変化が非 常に緩やかな為に、どれをとっても非常に類似である。なお、位相計算には5x5の領域の平均値を 当てた。軌道間隔は24m~699mに分布して概して良好である。中には、位相量が衛星進行方向やレ ンジ方向に大きく(そして緩やかに)変化するものも見られたが、これは、夜間の電離層密度の 短時間的な減少(電離層の影響でプラズマバブルとも考えられる¹⁾)が災いしている可能性が高 く、解析から外した。

解析結果の代表的な例を図3に示す。これは、2008年5月26日と2007年7月9日の間で発生した変 動図をグーグルアースに重ねたものである。黄緑色は変動量がゼロを、紫色は観測されてないと ころを、その他はグーグルアース画像を表す。PALSARの観測幅は70kmである。本観測は夜間に行 われ、衛星は画像右下から左上にそって飛行する。変化図をみると、概ね緑色、つまり変化が微 小であることがわかる。ただ、そのなかにあっても、河川下流部において円形、ため池的な色の 変化領域が目立っており、池全体の変化、例えば数位の変化が予測される。テスト領域を取り出 したのが図4である。



図3 テストサイト近郊の変化概要図(2008年5月26日-2007年7月9日)と図4 地上基準点の設置 場所の変化パターン(拡大図)

17種類の画像ペアから、テストサイトにおける変化量を抽出し、サブグループ4(井上准教授) から提供された地盤沈下量と比較した。これを図5に示す。当該のテストサイトでは、2001年から 継続して沈降量が計測されており、農場(KV)>森林(FT)>再生林(RF)の順に沈降量が大きい。 ただ、平成21年6月に森林火災が発生し、RFサイトでは約20センチ表層が焼けた(と報告された)。 当初、表層の焼却が対応する散乱体を消去し、全く干渉しないことが懸念されたが、干渉性が十 分保持されることが確認された。これは、泥炭層を電波が一部透過し、散乱した信号同士が干渉 したものと思われる。PALSARの画像から沈降量を計算し、観測を開始した2007年7月9日で、地上 基準点の値に合致するように位相量を調整した後、17ペアの計測した沈降量を合わせてプロット したのが図5であり、PALSARが計測した値と基準点の値が非常に良い一致をみる。両者の一致量は、 KVが2.31cm、RFが3.97cm、FTが2、45cm(火災前)、3.40cm(火災後)である(表2参照)(ここ でいう一致量とは、地上データの沈降量を時間の関数として最小二乗近似し、それとデータとの 平均二乗距離をいう)。RF点に関しては、昨年の火災の為に約25cm沈降した状況が把握できる。 以下の評価は、この2点を除去した。

次に、年間平均沈降量としてInSAR結果を面的に平均したものが表3である。2010年だけの計算 結果であるが、概ね2cm程度の沈降をすることがわかる。RFだけは負値になっており、これは隆起 を示している。山火事後の地面復帰の状況が観測されたものと思われる。



図5 17ペアの時系変化。中部カリマンタンの3テストサイトに設置した地上基準点と差分干渉SAR の結果を重ねたものである。SARの変化量は*cos*(入射角)で補正したものである。また、RF2は森 林火災後の再計測値であり、火災前と比べて沈降量が減少している(沈降の速度が鈍っている)。

	124	化阵里 少 快 些 怕 木		
	KV	FT	RF (火災前)	RF(火災後)
現地観測	2.18	0.25	0.18	0.94
InSAR計測	2.31	3.97	2.45	3.40

表2 沈降量の検証結果 (cm)

注) RFについては森林火災(2009年10月)以前と以降を分けて計算している。InSARの平均二乗誤 差として3.10cmを得る。

表3 年間平均沈降量についての整理

	KV	FT	RF		
年間平均沈降量(cm)	2.74	2.07	- 2.25		

注)2009/11/29~2010/12/02までの368日間での累計沈降量

(3) 広域的な解析と沈降量について

200km四方の領域について平均的な変動量を抽出した(約11パスの平均)。繰り返し干渉SARに は地面高の時間変化の他に、大気遅延量の変化と電離層遅延量の変化が含まれており(近年は電 離層の活動度が向上しており、電離層に沿っての位相変動が非常に大きくなってきた。)、抽出 精度を向上するためにはデータを平均化する(スタッキング)必要がある。

1) 平均沈降速度

平均沈降速度は沈降量割る沈降時間で求まる。画像は複数時期にまたがり、平均時間の計算は 困難である。一例として、以下の式で平均観測時間差を計算する。

$$T_{a} = \frac{1}{N} \bigotimes_{i=0}^{N-1} \left(t_{m,i} - t_{s,i} \right)$$
(1)

ここに、T_aは平均観測時間差、T_{mi}はマスター画像の観測日、T_{si}は対応する従画像の観測部である。 この平均時間間隔は観測パス毎に異なり、421、423では255.56日、422は79.5日である。

2) 広域沈降量マップの試作

RSP422の沈降量は平均時間間隔が狭い為に、RSP421やRSP423に比べて変化量が少ない。そこで1 年間の変化とする為に、変動量をアンラップし、平均観測時間で規格化した。この過程で、パス 毎に基準点(不動点)を見いだし、そこでの変化をゼロとして3パス合成した。このようにして求 めた一年間当りの沈降量マップを図6に示す。基準点は、RSP422の端に設定した。カラーバーは虹 を使用した。図7は、モザイク画像(振幅画像)である。このように、200km四方にわたっての年 間の平均的な沈降量が可視化できる。



図6 RSP422 (真ん中のパス) 基準点(橋) で変化がないとして沈降量を再計算した結果



図7 振幅画像のモザイク画像。

(4) 小領域におけるより詳しい解析

1)年間平均速度マップの作成

図6のモザイク画像は、電離層の影響を受けていることと、パス間の接続による誤差が累積した 可能性があるので、比較的これらの影響を受けていないと思われる中心領域(70km四方)に限定 して、地盤の沈降量と対応するGHG排出量を計算する。図8が2007年から2010年までの6シーンの沈 降量の平均したものである(スタッキング)。地殻変動量は、軌道精度に左右される。ALOSの軌 道決定精度は40cm(標準偏差)であるが、要求される沈降量の精度は1~2cmであり、本来は地上 基準点を用いた軌道修正が(再計算)が必要である。軌道を修正する変わりに、得られた変化量 を橋でゼロ変位に調整する。(その前に、二時期の変化量を計算した後、アンラップ処理をして 連続量に直した後、二時期の差で割り算して、更に365日を乗算して、年間当りの沈降量に変換す る。最後に、得られたデータ全てを使用して、スタッキングされたデータの平均的な沈降量を求 める。これが、図8である。図右上には、全データのヒストグラムを表示するが、平均値がゼロよ り小さいこと、3cmを示すことがわかる。これより、画像の大部分で沈降していることがわかる。 ただ興味深いのは、スタッキングした後も図8が何かしら地形に対応した特徴を残していることで ある。これは、場所毎の沈降がランダム的ではなく定常的におこっていることを意味しており、 本方法の妥当性を裏付ける。



図8 年間沈降量のマップ。橋を基準とする。右上に、沈降量の分布関数を示す。平均値が109.12 であること(数値255が11.8cmに対応する)、つまり、- 3.00cm/年の沈降速度であることがわか る。

2) 地上データについて

サブグルーク4(北海道大学)では、沈降量の計測と同期して、農地、森林、再生林の3カ所で

GHG発生量を計測している。表4が計測値であり、場所毎に大きな違いがある。

	泥炭沈下	火災沈下	泥炭分解CO2		火災焼失 CO2	泥炭分解/ 泥炭沈下	火災焼失/ 火災沈下
	cm/y	cm	kgC/ha/y	(SD)	kgC/ha	kgC/ha/c m	kgC/ha/cm
森林	3.54	0	14476	4765	0	4085	-
再生林	0.78	20.5	8710	6121	284130	11238	13860
晨地	1.86	0	23915	14887	0	12824	-
	2001-2009	2009/8-10	2002/3-2009/12; 2009 年火災時は測定なし		BD(Mg/m3) = 0.22; C(g/kg)= 620		

表4 場所毎のGHG発生量

注) サブグループ4(波多野、井上による) からの情報であり、分類毎にGHGの発生量が異なる。

3) 土地利用分類

土地利用毎に違うGHG発生量を利用する為に、解析画像を土地利用分類する必要がある。様々な 土地利用分類ソフトウェアが市販、公開されている。ここでは簡易的な分類方法として最短距離 法を採用し、内作アルゴリズム(SAR処理ソフトの一環としてSIGMA-SARを使用⁴⁾)を使用した。 最短距離法とは、あらかじめ教師を選び、そこの平均値、標準偏差、テクスチャーを計算し、最 後にピクセル毎に3項目の二乗量が最少になるものを分類カテゴリとする方法である。この結果得 られた土地利用分類図を図9(右)に示す。図9(左)には分類前の色合成画像を示す。HHをR、HV をGBに割り当て、ヒストグラム調整をすることで見やすい画像にしたものである。本来は、この 程度に土地利用分類されることが望ましいが、本検討においては、図9(右)を以降の解析に使用 した。

2007年7月9日画像の分類



図9 SAR色合成画像(左)、土地利用分類画像(右)緑は森林、ピンクは農地を表す。

4) GHG発生量の計算

GHG発生量は以下で計算できる。

$$GHG = i a \{b(x, y)\} \times V(x, y) da$$
⁽²⁾

ここに、a()は年間単位cm当りの沈降に対するGHG発生量で土地利用分類(b)に依存する、Vは単位面積当り、単位年当りの沈降量、daは面積要素である。

この式を使用してGHGを計算すると、70km四方で13.0 M Ton-C/年、21.2 Ton-C/haの計算値を 得た。本結果は、干渉SARを用いた世界最初のものである。

(5) 樹高計測

平成21年度作業に引き続き、2008年10月11日と2008年8月26日のRSP422を用い樹高計測の感度を 再評価した。図10-aが振幅画像、図10-bが干渉度、図10-cが干渉SARより求めた樹高、図10-dがSRTM から同じ座標系に表示した高さ情報、図10-eが差分干渉から求めた樹高情報である。干渉処理結 果に含まれる電離層の空間変動に伴う影響を近似関数として求め、それを取り除く処置をしたの







図10 (a)振幅画像(2008年10月11日)、(b) 干渉度(2008年10月11日と2008年8月26日の干 渉度)、(c)干渉SARから出した標高(高さ)、 (d)STRMの標高情報(参照)、(e)差分干渉法 でのSRTMを基準にした樹高

が昨年度との違いである。補正関数は、差分干渉情報(図10-eの元画像)を平滑化したあとレン ジ、アジマスの連続関数で近似して位相情報(高さ情報と変化情報)から引き算したものである。 図10-cと図10-dが類似することがわかる。従って、干渉SARとしては地表高の抽出機能を有すると 考えられる。図10-a:HH偏波の振幅画像であり、森林はグレーに、川は暗く、川の周りの土地は やや明るく、耕作地は暗く見える。これまでの研究からHH偏波は干渉処理には有効であるが、HV 偏波ほどには有効でないことが報告されている。この理由として、1)HH偏波は電波の森林に対す る透過性がHVに比べて高く、二回散乱する可能性が高い。特に、垂直構造物の多い河川では水面 と二回散乱が生じ明るい。2)森林伐採地では、残留する倒木が明るく散乱させ(二重散乱)、「伐 採地=暗い」とは言い切れない。3)一方、HV偏波は二重散乱しないことから、伐採地の抽出に適 する。森林バイオマス量とも良い相関を持つ。図10-b:干渉度は二時期の電波の類似性を表わし たものである(0が全く類似していないことを、1が完全に類似していることを表す)。0に近いも のとして、1)密集した森林(電波が透過しにくいが、それでも地面まで到達したわずかな信号が 干渉する)、変化の激しい地表(例えば農作地の刈り取り前後では干渉度(類似度)が下がる)。 一方1に近いものとしては、薄い植生に覆われたものがある。本図で暗いところは、森林と判断で きる可能性が高い。図10-c:地形情報である。この図より図10-dのSTRMのDEMと比較すると両者は よく類似することがわかる。また、2000年のSRTMにくらべて暗い箇所がやや増えているところか ら、森林減少が見られる(画像の右上)。図10-e:差分干渉図でありで、樹高に対応したもので ある。全体にのっぺりしているのは、2000年との差では樹高差が無いか少ないことを表している。 この事例の軌道間隔は700mであり、樹高推定には良好な距離である。

次に、図10中の線Aに沿って樹高の計算したものを図11に示す。左が提案方法で計算した標高(樹高)、右はSRTMの標高である。約5mの誤差はあるものの、概ね良好と言える。本解析では、沈降 量の抽出を第一義に考えた為に、軌道間隔の小さいものを主とPALSARデータを集めたが、軌道間 隔700m程度を集めればこのような結果が得られる可能性が高かった。



図11 Aに沿っての樹高断面、左はInSARの計算結果、右はSRTMのデータ。縦軸の単位はkm

このペア以外の処理結果を図12に示す。残念ながらここまで良好な事例は見つからなかった。その理由としては、軌道間隔が短かったこと(約80m)。地表面が降雨等の為に短期間でも変化したこ

とが考えられる。



図12 他の事例での干渉SARによる干渉データ。左から、干渉度、DEM、高度変化。2007年7月9日 - 2007年8月24日

5. 本研究により得られた成果

本研究では、差分干渉SAR技術を用いて中部カリマンタンの泥炭層の地盤沈降量を計測した。地上に設置した3カ所の基準点との比較で、その誤差は3.10 cmであることがわかり(3年間のデータ評価として)、泥炭層の沈下量の広域的な計測が干渉SARによって可能であることが実証された。 2種類のSAR干渉処理法を用いて、1)泥炭層の地盤沈下速度と地盤沈下箇所の検出、2)森林樹高を推定した。泥炭層の沈降速度は、平均値として2.54 cm/yearを検出し、地上データと概ね一致することを確認した。GHGの発生量を推定し、一年間当り13 M ton炭素が中央カリマンタン(バランカラヤを中心とした70km四方の領域)から大気中に放出された可能性のあることがわかった。 軌道間距離が700mと比較的大きなPALSARデータペアを使用して森林樹高を抽出した。樹高は15~ 20mと真値に比較して5m程度の誤差で得ることができた。平成20~21年度は比較的軌道間距離の小さいペアを中心に干渉処理を実施してきたが、樹高推定に関しては700m以上のペアを使用することでこの問題は解決される可能性が高いことがわかった。

(1)科学的意義

森林減少に伴い大気中に放出される炭素量の年ごとの変化を把握することが可能となり、地球 温暖化に関連する炭素量循環のうち陸域起源の炭素排出量を定量的に把握できる可能性が高い。 本年の成果は、森林・非森林の混在する泥炭層の沈降量を空間的分布として定量的に求めたこと と、関連するGHG量を世界初の試みとして抽出した意義は大きい。

(2)環境政策への貢献

近年の地球温暖化に関連する森林減少、劣化が、世界的に、年ごとにどのように進行している のかを把握することができる。REDD等に関する日本の発言力や貢献を高めることができる。(M. Shimada, "The Advanced Land Observing Satellite (ALOS) and JAXA Plan for follow-on missions," GEOSS-AP 会合での発表@東京研究交流センター2008年4月15日)

- 6. 引用文献
- M. Shimada, Y. Muraki, and Y. Otsuka: Proc. IGARSS2008, Boston July 6-11(2008)
 "Discovery of anomalous stripes over the Amazon by the PALSAR onboard ALOS satellite"
- 2) M. Shimada: J. Geodetic Society of Japan, 56, 1, 13-39 (2010) "On the ALOS/PALSAR operational and interferometric aspects in Japanese"
- M. Shimada, T. Tadono, and A. Rosenqvist: P. IEEE, 98, 5, 780-799 (2010) "Advanced Land Observing Satellite (ALOS) and Monitoring Global Environmental Change"
- 4) M. Shimada: Adv. Space Res. 23, 8, 1477-1486 (1999) "Verification processor for SAR calibration and interferometry"
- 5) M. Shimada: J. Geodetic Society of Japan, 45, 4, 327-346 (1999) "Correction of the Satellite 's State Vector and the Atmospheric Excess Path Delay in the SAR Interferometry - An Application to Surface Deformation Detection (in Japanese)"
- M. Shimada, O. Isoguchi, T. Tadono, and K. Isono: IEEE Trans. GRS, 47, 12, 3915-3932 (2009) "PALSAR Radiometric and Geometric Calibration"
- 7. 国際共同研究等の状況

WWFインドネシアと泥炭地の地盤沈下に関するデータ収集等の共同作業を実施中である。特に、2009年4月1、2日のWWFをはじめとする研究機関との意見交換、4月3~5日のスマトラ島、リアウ州、 西スマトラ州の森林伐採状況、泥炭地の現地調査を実施して今後の共同研究、現地情報、衛星情 報共有に関する打ち合わせを実施した。また、2010年8月31~9月1日に、JICAの短期専門員として、 インドネシアジャカルタのインドネシア森林省との森林監視に関する意見交換さらにはボゴール 農家大学で講演、同年11月3日には、ボゴール大学でのワークショップに参加、研究成果を発表し た。

- 8. 研究成果の発表状況
- (1) 誌上発表
 - 2) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M. B. Saleh:
 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、47:195-196(2009)

「大規模な泥炭湿地林破壊―メガライスプロジェクトの10年後」

2) T. Takahashi, Y. Awaya, Y. Kiyono, H. Saito, HL. Suwido, M. Shimada, I. Nengah SJ,
 M. Buce S, S. Nishimura, T. Sato and J. Toriyama : Proceedings of the international conference of Forestsat2010. 61-64(2010)

" The relationship between dual polarization PALSAR data and forest biomass in a peat swamp forest affected by drainage canals in central Kalimantan"

3) 粟屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、佐藤保、鳥山淳平、門田有佳子、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M Buce S:日本リモートセンシング学会学術講演会論文集(in press) 「PALSARデータを利用した泥炭湿地林のモニタリング―中央カリマンタンの事例」

(2) 口頭発表(学会等)

 M. Shimada: GEOSS-AP meeting, Tokyo. Japan, 2008 "The advanced Land Observing Satellite (ALOS) and JAXA Plan for follow-on missions"

2) M. Shimada, T. Inoue, R. Hatano, Y. Awaya, Y. Kiyono: Proc. IGARSS2010, Hawaii (2010) "Estimation of CO2 emission from the peat land of central Kalimantan using the PALSAR Interferometry"

3) M. Shimada, T. Inoue, R. Hatano, Y. Awaya, and Y. Kiyono: PALSAR Symposium in Bogor, Indonesia (2010) "Measurement of the Peat land subsidence and the related GHG emissions using the L-band differential SAR interferometry"

4) M. Shimada, T. Inoue, R. Hatano, Y. Awaya, and Y. Kiyono: Makuhari. Japan (2011) "Measurement of the Peat land subsidence and the related GHG emissions using the L-band differential SAR interferometry"

- (3)出願特許特に記載すべき事項はない。
- (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い。
- (5) マスコミ等への公表・報道等 特に記載すべき事項はない。
- (6)その他
- 特に記載すべき事項はない。