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
（５）リモートセンシングによる植生攪乱の推定に関する研究

東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門　　准教授 竹内 渉

〈研究協力者〉 東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門　博士研究員 赤塚 慎
東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門　博士研究員 Van Ngoc An
東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門　博士研究員 Kyaw San Oo

平成20～22年度累計予算額：16,095千円（うち，平成22年度予算額：4,997千円）
予算額は，間接経費を含む.

［要旨］本サブテーマでは、1）国およびプロジェクトレベルでの土地被覆分類手法の開発、2）土地利用変化（森林減少）と森林管理（伐採・植林）の区分、3）森林火災領域の抽出、火災程度の区分、火災継続時間の推定、火災履歴図の作成を行った。ベトナム、インドネシア、ミャンマーを対象に、可視赤外センサーであるAVHRR、 VEGETATION、 MODISを用いて1982年から2010年までの土地利用変化分布図を作成し、サブグループ6の炭素循環モデルへの入力値として提供した。SAR画像であるJERS-1 SARとALOS PALSARを組み合わせて同様の土地被覆分類変化を抽出したところ、起伏の平坦な地域に関しては整合性の高い結果が得られ、可視赤外センサーと相互補完的に利用することで信頼性を高くできることが明らかになった。一方で、米国地質調査所(USGS)が公開している全球レベルのLandsatデータベースからアジア全体を網羅するデータセットを1970-2000年代まで10年おきに収集し、同地域の土地被覆解析結果と自動で比較するシステムを構築した。これにより、特にSAR画像で問題のある起伏の激しい山岳地域において、高分解能の可視画像を併用することにより土地利用変化図を高精度に作成できることが明らかとなった。また、MODISによる準実時間森林火災監視システムを拡張し、サブテーマ6の炭素収支算出に必要な、火災程度の区分、火災継続時間の推定、火災履歴図の作成アルゴリズムの開発を行い、2001-2010年の10年間にわたる全球火災発生分布図データセットを作成した。なお、本業務の実施に当たっては、関連する世界最先端の研究成果を有する欧米の協力機関、またREDDの策定に従事するアジア各国の森林関係の現業機関との連携を図った。

［キーワード］リモートセンシング、土地被覆分類、森林面積、SAR画像、可視赤外センサー

１．はじめに

世界的な森林減少・劣化の傾向は現在も継続しており、特に近年はアジア域における森林減少が大きい。グローバルなCO_2排出のうち、森林減少による排出は約20％（年60億トンCO_2）を占めている。2050年までに現状比で50％のグローバルな温室効果ガス削減を実現する長期的な対策が、サミット等で国際的に議論されはじめている中、化石燃料の消費を大幅に減らすとともに、森林減少・劣化によるCO_2排出を抑制する対策の実現が喫緊の課題となっている。森林減少・劣化が進んでいる発展途上国の国々の森林保全を進めるために、先進国が資金を拠出して温

室効果ガスの排出権取引を行う制度が検討されている。従って、森林減少・劣化の防止を温暖化対策として実施する場合には、途上国等において温暖化対策の排出削減目標が達成されたかどうかを判定する必要がある。

２．研究目的

本研究は、森林減少・劣化を国際的に監視するシステムを我が国が先駆的に提案することに向けて、アジアの地域を中心に、PALSAR等の全天候型リモートセンシング情報を活用して森林面積を定量的に把握する手法を開発するとともに、森林減少の防止活動に伴うCO_2排出削減量のアカウンティングを広域（国レベルおよびプロジェクトレベル）で実施できるシステムの開発に関する検討を行うことを目的とする。

本サブテーマで実施する内容は、衛星リモートセンシングによる植生攪乱の推定に関する研究である。植生攪乱の観測には10～20年程度の変動を毎日観測することが求められるため、Aqua/Terra MODIS、NOAA/AHVRR、SPOT/VEGETATION、MSG/SEVIRI、 MTSATなどの大陸から全球レベルでの観測が可能な可視・赤外センサーを使用する。これらの衛星データが利用可能な過去25年にわたって、1) 国およびプロジェクトレベルでの土地被覆分類手法の開発、2) 土地利用変化（森林減少）と森林管理（伐採・植林）の区分、3）森林火災領域の抽出、火災程度の区分、火災継続時間の推定、火災履歴図の作成を行う。

３．研究方法

（１）国およびプロジェクトレベルでの土地被覆分類手法の開発

まず、衛星リモートセンシングによる、国およびプロジェクトレベルでの時系列土地被覆分類手法の開発を行った。図1は衛星リモートセンシングを用いて1998年と2007年の土地被覆分類図を作成するための手順を示している。被雲の問題を克服するために、大陸から全球レベルでの観測が可能な可視・赤外センサーとマイクロ波センサーを組み合わせ、Aqua/Terra MODIS、 SPOT VEGETATION、JERS-1 SAR、ALOS PALSARを使用した。これらの衛星データが利用可能な過去10年にわたって、ベトナムを対象として国レベルでの土地被覆分類手法の開発を行った。

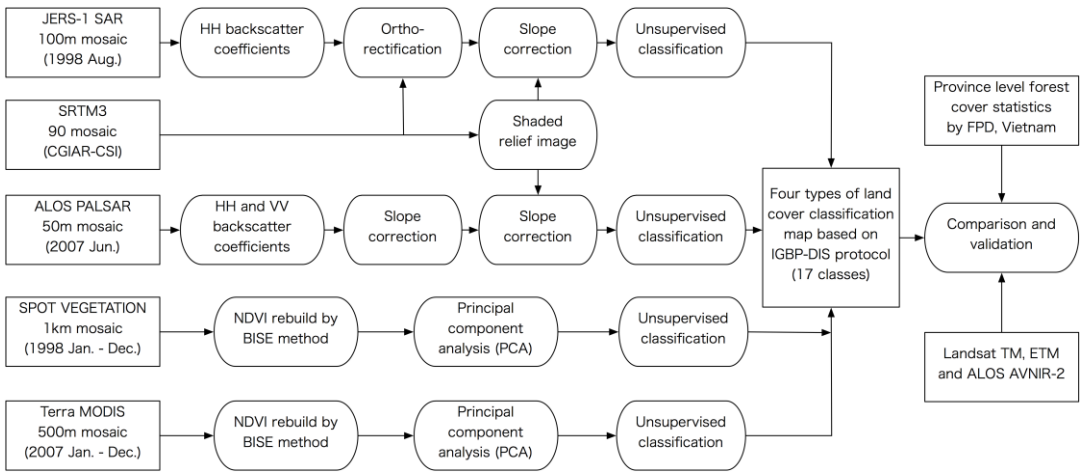


図1:可視赤外とマイクロ波センサーを併用して1998年と2007年のベトナムの土地被覆分類図を作成するための手順.

まず、JERS-1 SARとALOS PALSARのHH偏波画像から後方散乱係数を算出した。これらのモザイクデータセットはJAXAが主導する京都炭素(K&C)プロジェクトによって開発されたものである[1)]。図2に示すようにビームの照射方向が互いに逆であるため、地形効果の補正を検討する必要がある[2)]。そこで、東南アジア地域で均質に得られるデジタル標高データで最も空間分解能が高い(90m)SRTM3を用い、図1に示す方法に従ってオルソ補正(式1)ならびに地形効果補正(式2)を行った。式1においてΔpは投影中心からの地上方向の画素のずれ、hは標高、θは仰角をそれぞれ示している。式2においてiは地表面に対するビームの入射角を、σは補正前の後方散乱係数を、σ＊は補正後の後方散乱係数をそれぞれ示している。aは、起伏が平坦な地点で分母が1となる条件を満たす値として各衛星のオフナディア角に応じて求め、bは、0から9まで1刻みで変化させて最適と考えられる値を探索した。

$$\Delta p \cong \frac{h}{\tan\theta} \qquad (1)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma}{(\cos i + a)^b} \qquad (2)$$

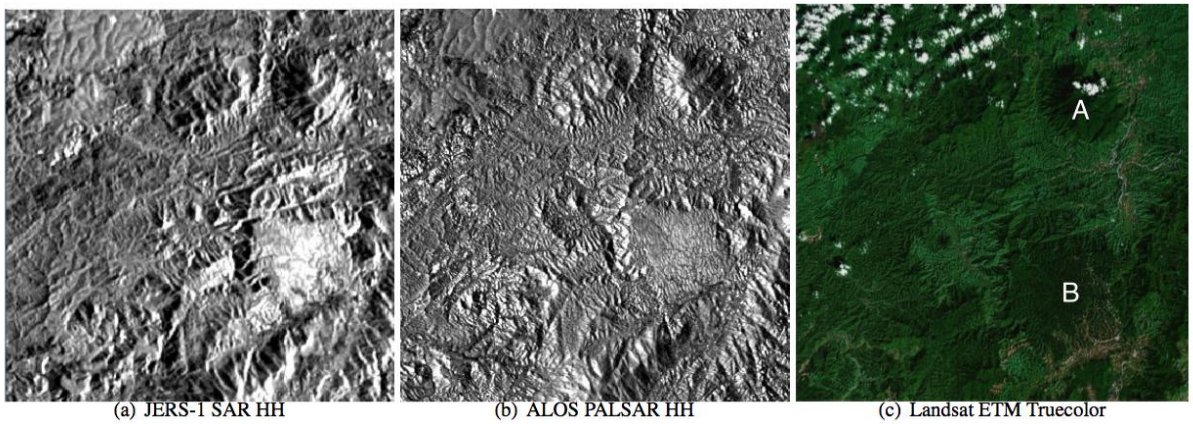


図2：ベトナム国Dak Lak県周辺(12N, 108E)40km四方のSAR画像の比較．画像が明るいほど後方散乱係数が高いことを示している．

次に、MODISとVEGETATIONのNDVIの日画像から10日間合成画像を作成し、Best Index Slope Extraction (BISE)法を用いて雲に起因するノイズをできる限り除去し、主成分分析(PCA)を施して情報量を損なわずに画像容量を削減した[3)]。

最後に、ISOクラスタリング法を用いて教師なし分類を行い、目視判読、Landsat ETM、SPOT4などの高解像度画像、ベトナム森林保護局から提供された県レベルでの森林面積などを参考にし、IGBP-DISで規定された17の区分に土地被覆分類を行った[4)]。

（２）土地利用変化（森林減少）と森林管理（伐採・植林）の区分手法の開発

次に、インドネシア国カリマンタン島を対象にして、時系列土地利用変化図(森林減少)の作成を行った。図3は、可視赤外とマイクロ波を併用して1981年から2009年までの土地被覆分類図を作成するための手順を示している。手順は次のように説明される。

1）2007年のALOS PALSARモザイクデータセットに、開発した手法[1)]を用いてカリマンタン島全体の50m分解能森林分布図を作成した。

2）雲除去を施した2007年のMODISモザイクデータセットに対して年間最大NDVIを算出し、1)で得られた分類結果を教師データにして森林、非森林の線形ミクセルモデルを仮定し、500m分解能森林面積比率分布図を作成した。同様の手順を2007年から2002年まで順次適用した。

3）雲除去を施した2002年のSPOT VEGETATIONモザイクデータセットに対して年間最大NDVIを算出し、2)で得られた分類結果を教師データにして森林、非森林の線形ミクセルモデルを仮定し、1km分解能森林面積比率分布図を作成した。同様の手順を2002年から1999年まで順次適用した。

4）雲除去を施した1999年のNOAA AVHRR モザイクデータセットに対して年間最大NDVIを算出し、3)で得られた分類結果を教師データにして森林、非森林の線形ミクセルモデルを仮定し、6km分解能森林面積比率分布図を作成した。同様の手順を1999年から1981年まで順次適用した。

5）カリマンタン島を中心に撮影されたLandsat画像を用いて作成した森林分布図を、MODISを用いて作成された火災履歴図を援用することにより[5)]、1981年から2009年までの森林非森林分布図とその変化履歴をデータベース化した。

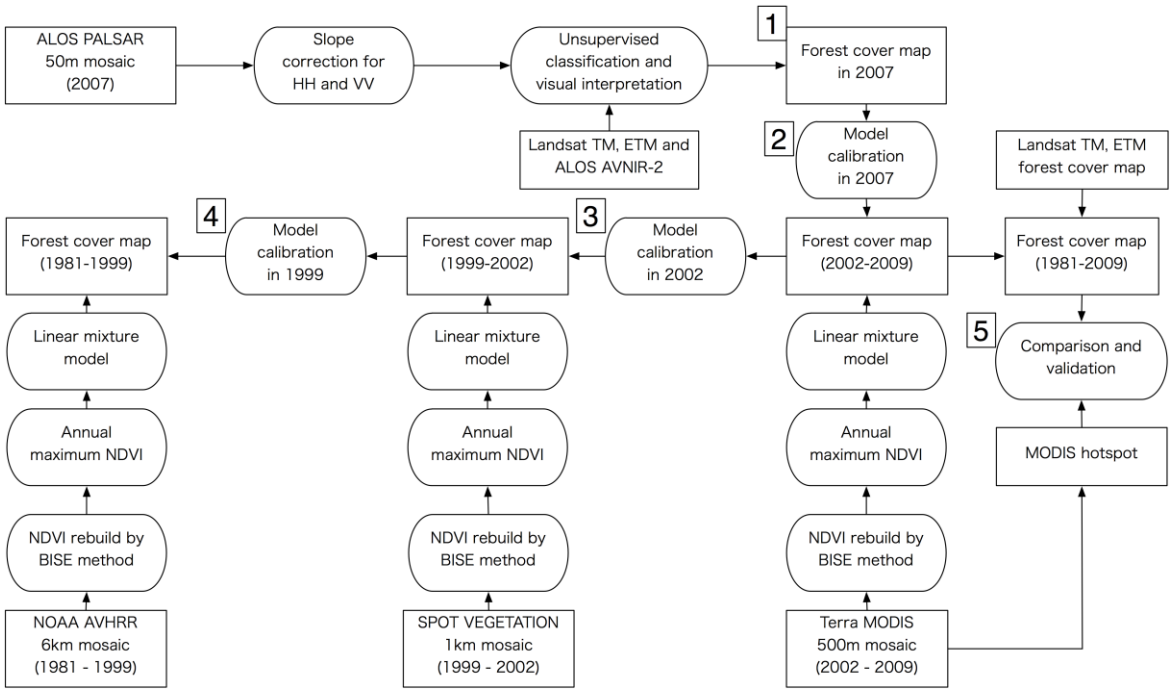


図3: 可視赤外とマイクロ波を併用して1981年から2009年までの土地被覆分類図を作成するための手順.

（３）森林火災領域の抽出、火災程度の区分、火災継続時間の推定、火災履歴図の作成

東大生研で公開しているMODIS火災プロダクトを、Anonymous FTPによるダウンロード(ftp://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/)によって2001年1月から2010年12月までの10年分を入手した。データの例として、2005年7月5日の検出結果を図4に示した。これは、各シーンの中から火災であると検出された画素を抜き出し、メタデータとして、緯度、経度、チャンネル2の反射率、チャンネル22の温度値、チャンネル31の温度値、信頼度の6つの情報をテキスト形式で提供しているものである。信頼度は0から100¥%の範囲で火災検知結果の確からしさを示したものである。火災検知アルゴリズムは、基本的にMODIS用に開発した手法およびAVHRR用に開発した手法に従い、これにアジア地域については独自のパラメータチューニングを加えたものを使用した[5)]。

20050705.FIRE.txt

LAT(deg.)	LON(deg.)	REF2(%)	T22(K)	T31(K)	CONFIDENCE(%)
31.979397	117.255943	0.265969	320.278168	295.943878	57
31.939053	117.259239	0.270117	322.583588	293.936523	73
31.936943	117.271469	0.271943	328.083862	296.270966	90
31.835857	117.318924	0.251624	321.923523	294.569916	27
31.476776	118.412544	0.270130	313.733917	294.438507	55
29.819904	112.897804	0.246956	315.107361	293.052795	26
...					

図4: MODISによる2005年7月5日の火災検知結果例.

４．結果・考察

（１）SAR画像を用いたベトナムでの時系列土地被覆分類結果

図5は、JERS-1 SAR HHのオルソ画像とSRTM陰影画像とを比較したものである。(d)に示された元画像は、(f)に示された陰影画像と比べて、明るく照っている図中央部の山の斜面がレンジ方向圧縮のため短く見える。また、標高に起因する倒れ込み誤差が生じているので、斜面の位置が一致せず、画像全体的に右方向(東方向)にしない。一方で、(e)に示されたオルソ画像は、(f)に示された陰影画像と比べて、画像の明暗の位置が一致することがわかる、簡易な補正でもレンジ方向の歪みは大きく改善される。

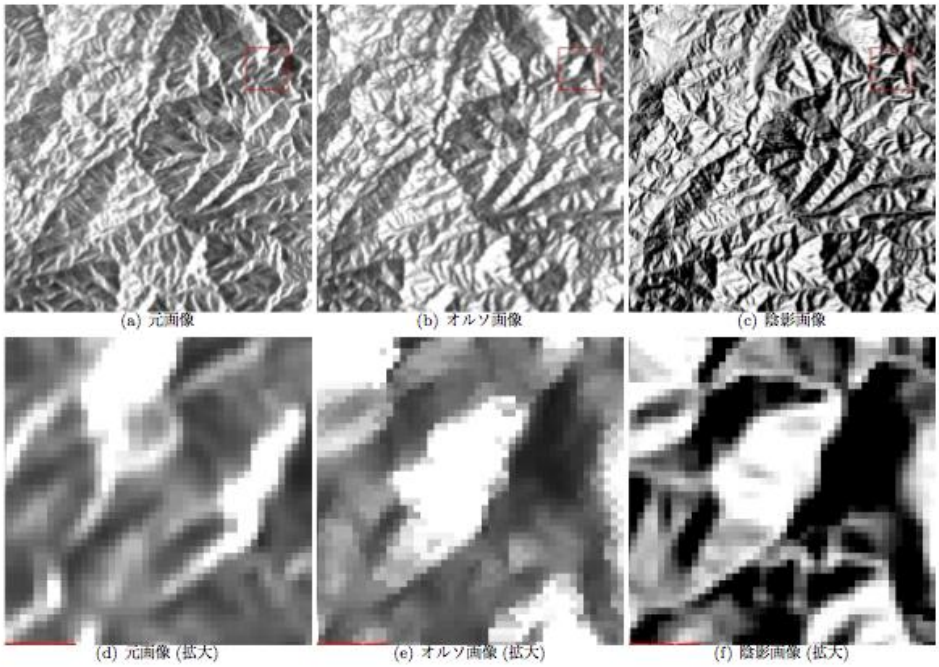


図5: JERS-1 SAR オルソ画像と陰影画像との比較. 北緯 23 度 50 分、東経 102 度 10 分を中心とした森林地帯.

図6は、地形効果補正パラメタの違いによる後方散乱係数の変化を示している。あたりは一様な森林で覆われており、データセットの作成期間内10年間で大規模な森林伐採が行われていない。図6-(a)では、画素番号40から43(領域A)、60から70(領域B)、85から90(領域C)にかけての地域は、東向きの斜面に相当し、地形効果補正を行わないと前後の画素よりも後方散乱係数が大きく明るく見えている。同様にして図6-(b)では、画素番号18から28(領域D)、35から40(領域E)、70から85(領域F)にかけての地域は西向きの斜面に相当する。JERS-1 SARとALOS PALSARとにおいて、foreshorteningが起こる画素番号が互いにずれていることを利用すると、最適なパラメタは、JERS-1 SARがb=3、ALOS PALSARがb=8であることが目視によって判定された。

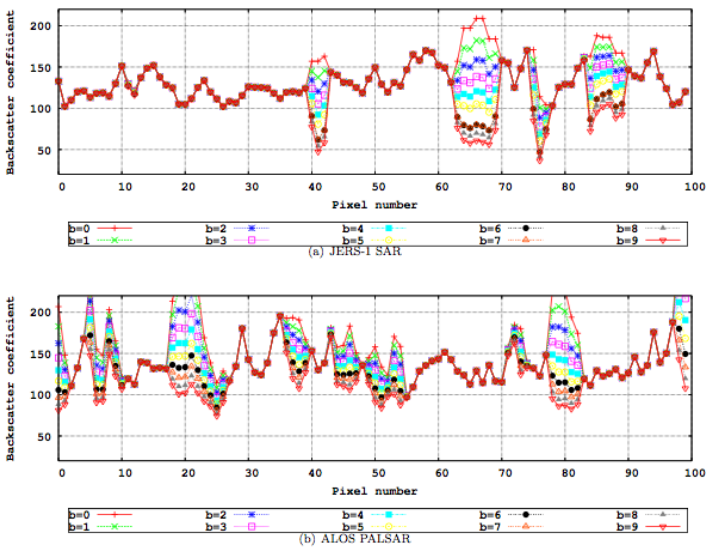
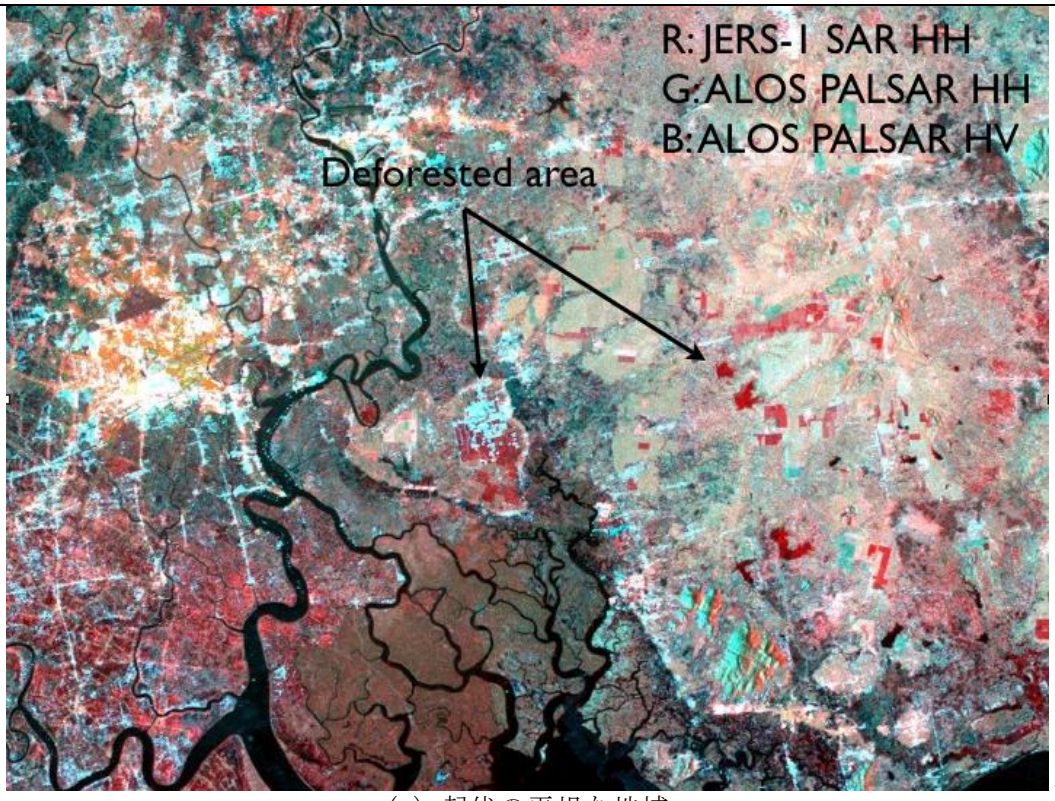
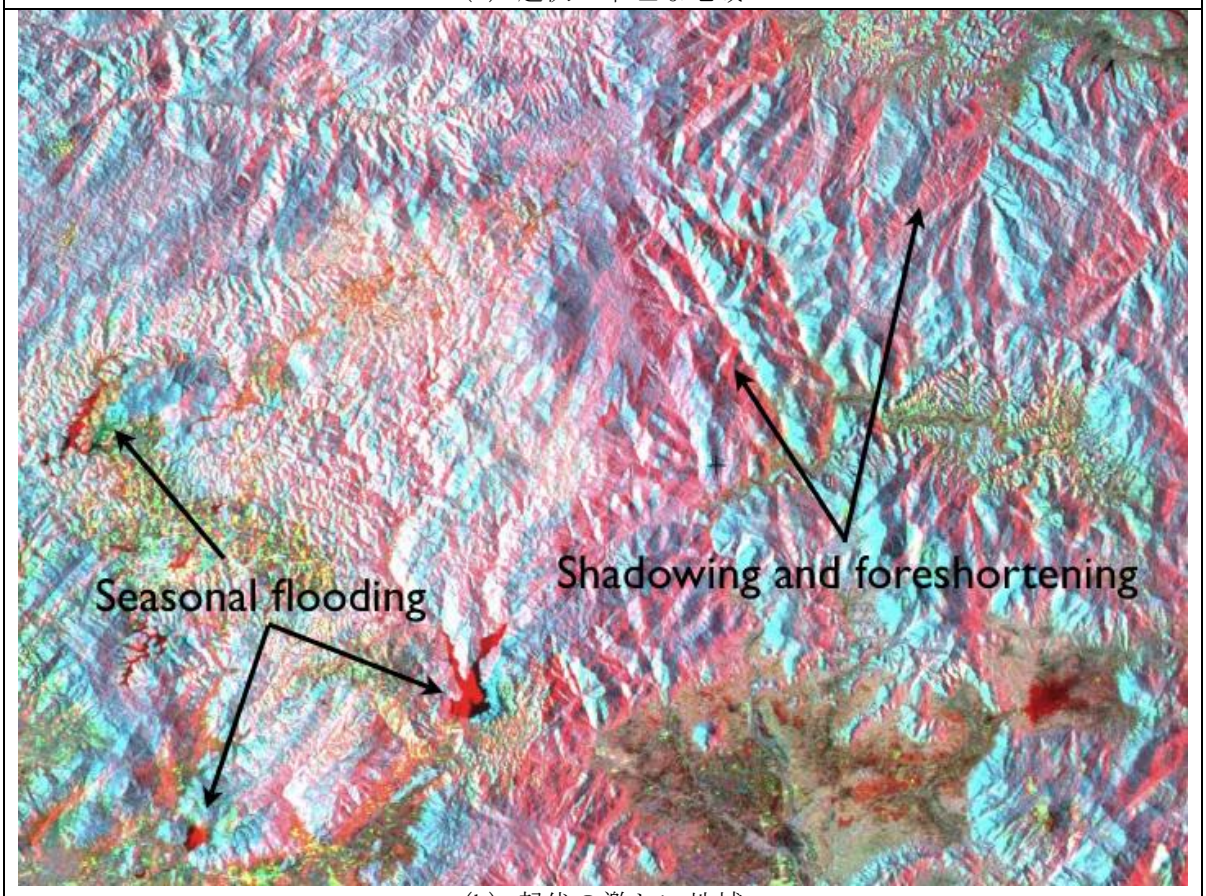


図6: 地形効果補正パラメタの違いによる後方散乱係数の変化.



(a) 起伏の平坦な地域



(b) 起伏の激しい地域

図7: SAR画像を組み合わせた1998年から2007年の土地被覆分類変化抽出結果.

次に、地形効果補正を施したのちSAR画像を組み合わせ、R:G:B=JERS-1 SAR HH:ALOS PALSAR HH:ALOS PALSAR HVのカラー合成画像を作成した。図7はSAR画像を組み合わせた1998年から2007年の土地被覆分類変化抽出結果を示している。図7-(a)に示すように、起伏の平坦な地域では、森林伐採された地点が正しく検出されている様子がよくわかる。一方で、図7-(b)に示すように、起伏の激しい地域では、地形効果補正を施した後のちでも、shadowingやforeshorteningが起こっており、検出誤差の大きな原因となることがわかる。また、モザイク画像の元画像の取得時期が異なるため、田畑への引水や洪水など土地被覆が季節によって大きく異なることも注意すべき事項である。

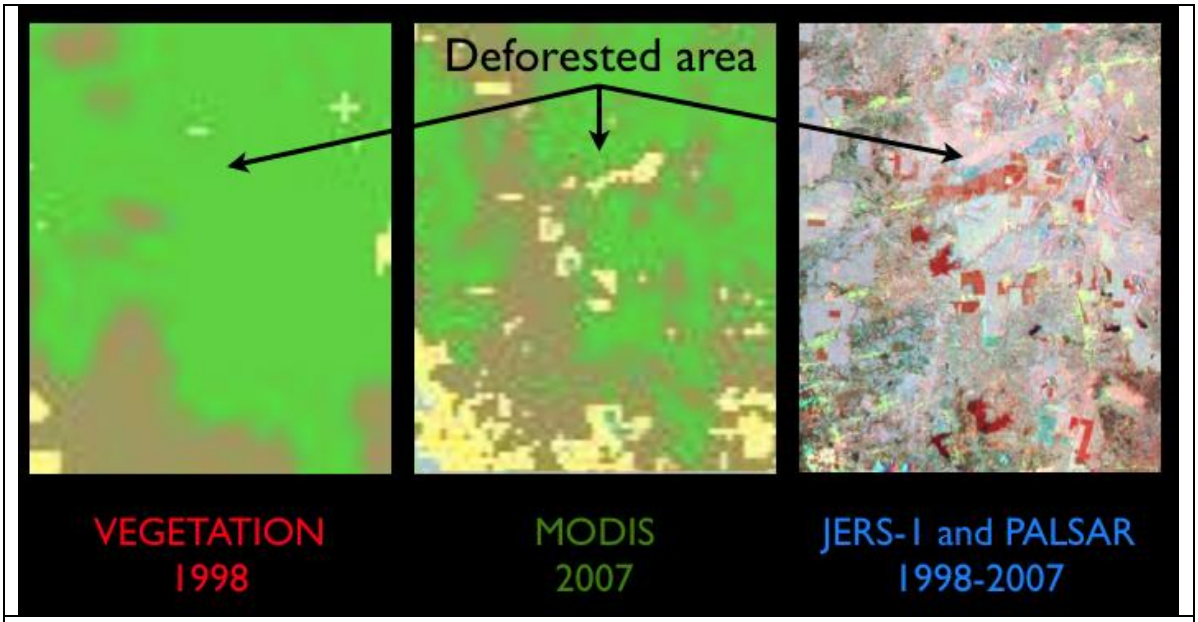


図8: 可視画像(VEGETATIONとMODIS)とSAR画像(JERS-1とPALSAR)による1998年から2007年の土地被覆分類変化抽出結果の比較.

図8は、可視画像(VEGETATIONとMODIS)とSAR画像(JERS-1とPALSAR)による1998年から2007年の土地被覆分類変化抽出結果の比較したものである。図中央の2007年のMODIS画像では1998年のVEGETATION画像で森林と判定された地域が農地に転用されていると抽出された。図右のSAR画像による抽出結果はこれと整合する結果が得られた。起伏が平坦な地域では、空間分解能が100mのSAR画像を補助的に用いることにより、可視画像から得られた土地被覆分類結果の信頼性を高めることが可能であることが明らかとなった。

図9は、VEGETATIONとMODISから求めた1998年から2007年の土地被覆分類結果を示している。得られた土地被覆結果全体を俯瞰すると、おおむね良好な結果が得られているとベトナム森林保護局の専門官によって判読された。衛星から得られた森林面積を、ベトナム森林保護局が報告している県レベルでの森林面積と比較したものを図10に示した。VEGETATIONとMODISのいずれについても衛星による推定結果は過大評価になる傾向を示している。これは、VEGETATIONの空間分解能1kmは、実際に起こっている土地被覆の改変と比較して大きく、細かな土地被覆の変化が抽出されていることに起因すると考えられる。

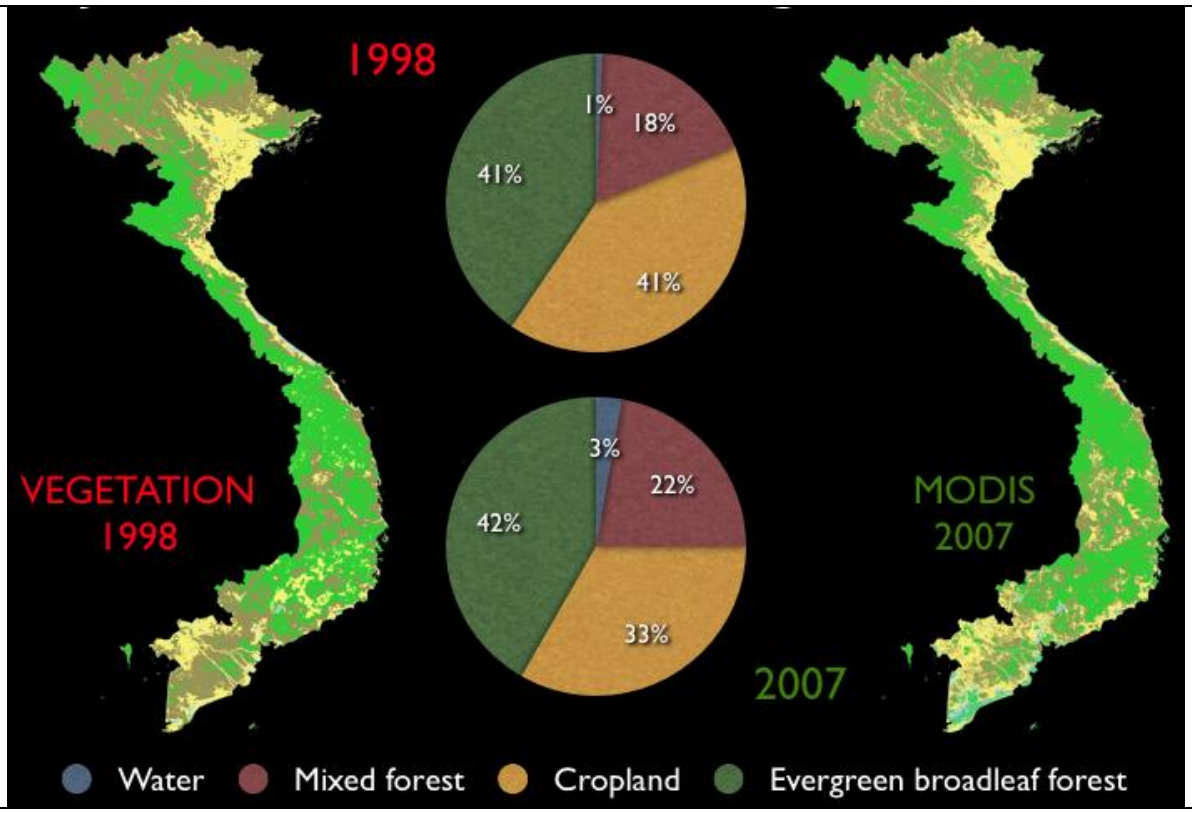


図9: VEGETATIONとMODISから得られた1998年から2007年の土地被覆分類結果.

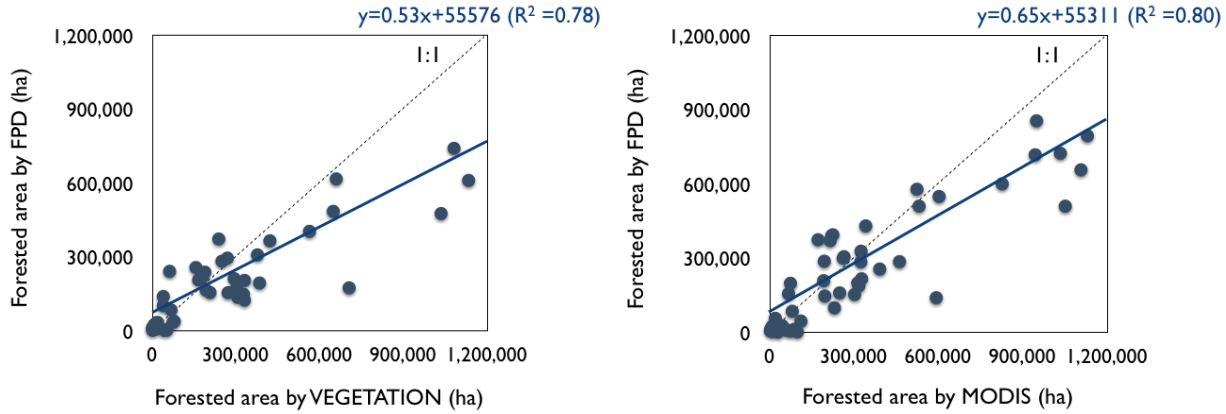


図10: 衛星から得られた森林面積とベトナム森林保護局報告の県レベルでの森林面積との比較.

（２） MODIS、VEGETATION、AVHRRを用いた森林分布図作成結果

図11は、カリマンタン島北西部(2.9N, 112.0E)における、MODIS、VEGETATION、AVHRRを用いた森林分布図作成結果の例を示している。図の明るい部分は森林を暗い部分は非森林を示している。図右下の2007年のPALSARを用いた分類結果をもとにMODISの森林分布図を作成した結果、空間的に対応の取れた結果が得られた。同様にして2002年まで作成し、図左下のVEGETATIONと比べると、目視判読の結果妥当な結果が得られた。同様にしてVEGETATIONを用いて1999年まで作成した結果は、図右上のLandsatによる分類結果とも整合性がある。これを順次繰り返すことによりAVHRRを用いて1981年までさかのぼることができる。1999年まではVEGETATIONの1km画像が利用できるが、それ以前のAVHRRは6kmモザイクデータセットしか得られなかったため、サブピクセルレベルでの解析を行ったとはいえ、推定精度に疑問が残る。これを克服するには、USGSによって公開されている1992、1996年度の1km AVHRRモザイクデータセットを加えて解析を行うこと、1980年代も利用可能なLandsatデータを用いてデータベースを拡充することが考えられる。

本研究では、図12に示すように、Landsat、PALSAR、JERS-1 SARを用いたカリマンタン島の森林変化データベースを用意して作業を行った(http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~akats/FCMS/)。

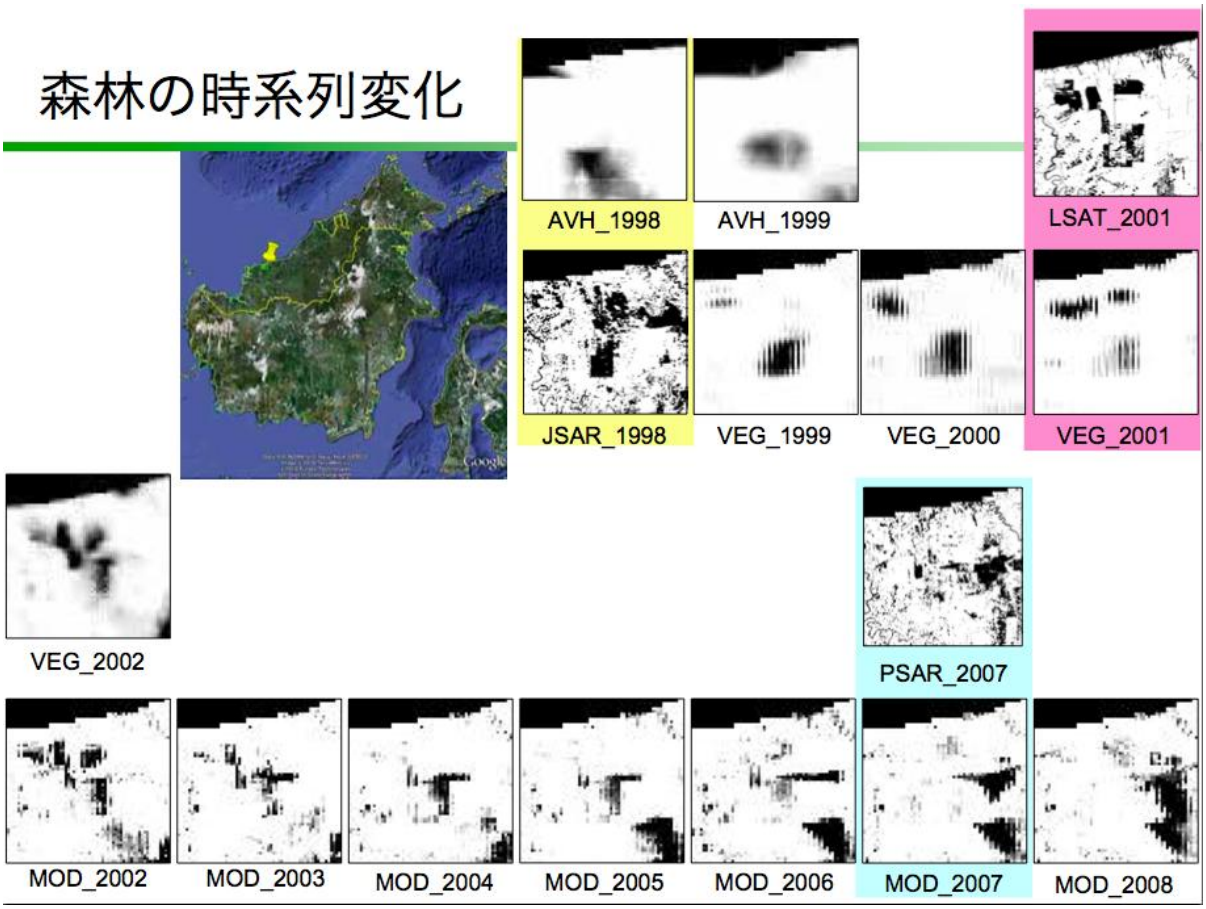


図11: カリマンタン島北西部(2.9N, 112.0E)における、MODIS、 VEGETATION、 AVHRRを用いた森林分布図作成結果.

図13は、MODISから作成された東南アジア全域の土地被覆分類図 (2001-2010年、250m分解能、IGBP 17クラス)を示している。このように、全アジアにおいて森林分布図作成が完了している。

カリマンタンと同様に、Landsat、 ALOS AVNIR2を中心に、分解能の高い可視赤外センサを用いた検証を今後も続ける必要がある。また、これらの分類図は、ベトナム、インドネシア、ミャンマーの森林局を通じて技術提供を行う準備がなされており、FAOが算出している森林分布図や統計データとの比較検討を継続的に行う予定である。

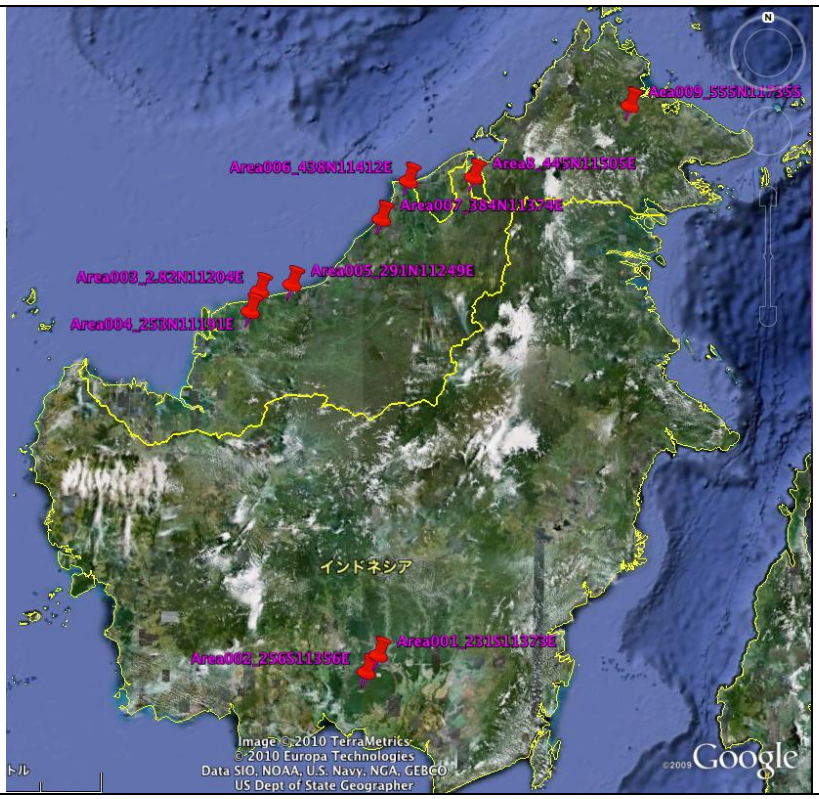


図12: Landsat、PALSAR、 JERS-1 SARを用いたカリマンタン島の森林変化データベース. (http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~akats/FCMS/)

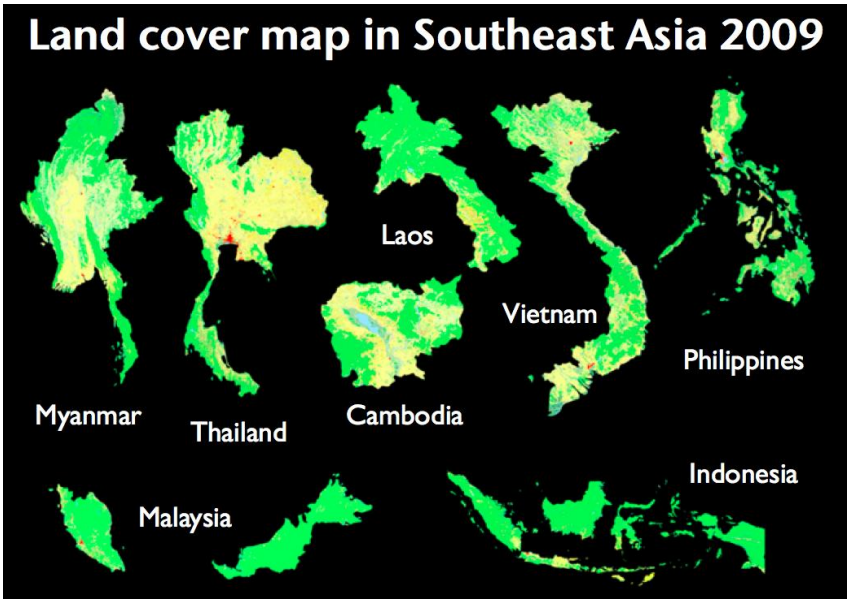


図13: MODISから作成された東南アジア全域の土地被覆分類図 (2001-2010年、 250m分解能、IGBP 17クラス).

（３）火災履歴と植生回復観測

図14は、カリマンタン島中央部のパランカラヤ市(2.6S, 114.2E)付近の火災地の森林の年次植生回復の観測結果である。2002年9月と2003年9月に大規模な火災が発生したことがMODISによって検知された。 健全な森林は年間最大NDVIの値が1999年から2008年にわたって0.75であるのに対し、火災が起こった地域ではNDVIの値が0.32まで落ち込み、1年におよそ0.2の割合で植生が回復していく様子が確認できる。2008年には植生指数はほぼ火災前の水準にまで回復したことが確認できる。図15は、2001年から2010年までのアジア太平洋地域の森林火災分布図（1km、 日画像)。図中の色の明るい地点は火災が検知された地域を示している。このデータベースは全球で利用可能となっており、森林分布図を他の地域で作成することにより、カリマンタンと同様な植生回復観測を行うことが可能である。

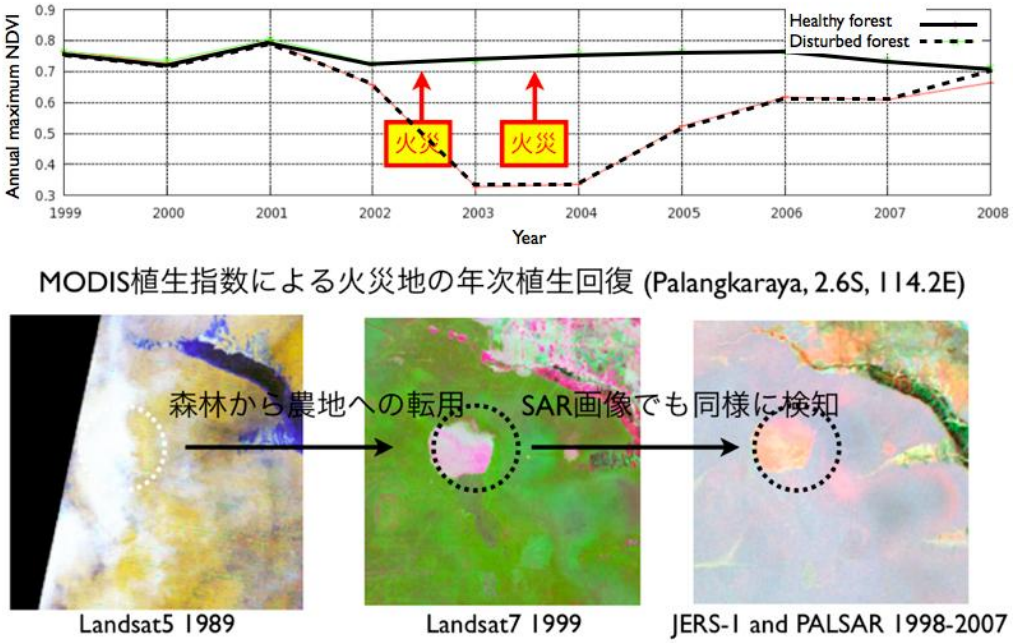
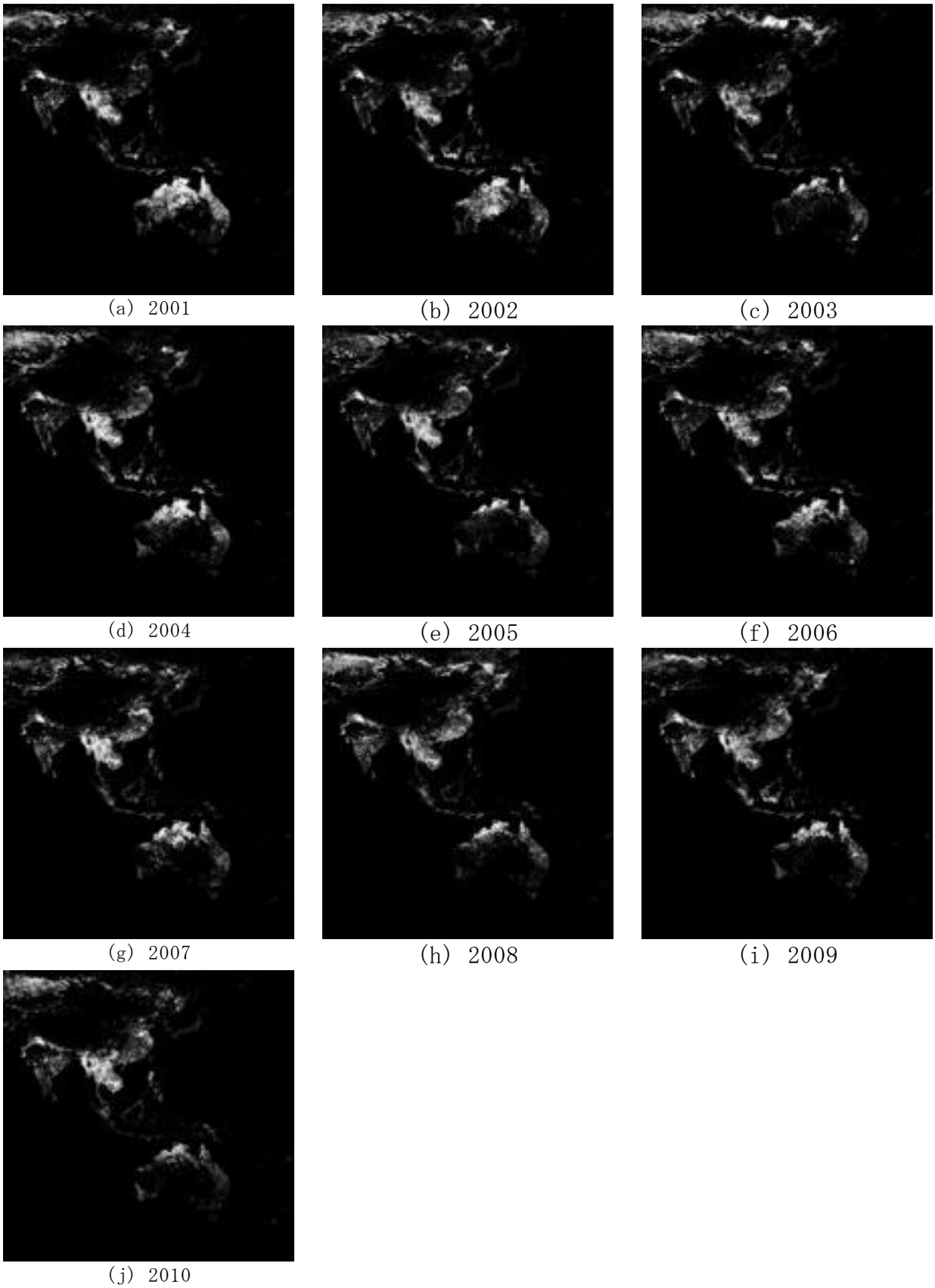


図14: カリマンタン島中央部のパランカラヤ市(2.6S, 114.2E)付近の火災地の森林の年次植生回復の観測結果.



(a) 2001　(b) 2002　(c) 2003

(d) 2004　(e) 2005　(f) 2006

(g) 2007　(h) 2008　(i) 2009

(j) 2010

図15: 2001年から2010年までのアジア太平洋地域の森林火災分布図（1km、日画像）. 図中の色の明るい地点は火災が検知された地域を示している.

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

本研究では、国レベルでの土地被覆分類手法の開発、土地利用変化（森林減少）の区分を行った。ベトナム全土を対象に、可視赤外センサーであるVEGETATIONとMODISを用いて土地被覆分類図を作成し、ベトナム森林保護局が報告している県レベルでの森林面積と比較した結果、衛星による推定結果は過大評価傾向にあることが明らかになった。SAR画像であるJERS-1 SARとALOS PALSARを組み合わせて同様の土地被覆分類変化を抽出したところ、起伏の平坦な地域に関しては整合性の高い結果が得られ、可視赤外センサーと相互補完的に利用することで信頼性を高くできることが明らかになった。一方で、起伏の激しい地域では、デジタル標高モデルを利用した地形効果補正を施しても十分な地形効果補正処理が行われなかったため、利用に際しては注意が必要であることも示唆された。本研究で開発した土地被覆分類変化抽出手法は実務利用が可能なレベルまで達しており、1982-2010年のほぼ30年間のデータが東南アジア全域にわたって整備された。また、火災履歴図は2001-2010年までデータが全球にわたって整備された。森林分布図と火災履歴図とを補助的に利用し、サブテーマ6が実施する炭素循環モデルに投入することにより、炭素動態の動態が明らかとなるものと期待される。

（２）環境政策への貢献

本研究によって開発された土地被覆分類手法は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と文部科学省が主催するアジア太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)を通じて、ベトナム森林保護局(ベトナム国におけるREDD国連代表組織)、ラオス国リモートセンシング研究センターおよび森林局、ミャンマー森林局へと実務利用するための技術移転がなされた。

６．引用文献

1) Rosenqvist, A., Shimada, M., Chapman, B., McDonald, K., De Grandi, G., Jonsson, H., Williams, C., Rauste, Y., Nilsson, M., Sango, D. & Matsumoto, M.(2004) An overview of the JERS-1 SAR Global Boreal Forest Mapping (GBFM) project. Proc. IGARSS 2003 Anchorage, AK, p.1033-1035.

2) Henderson, F. M., & Lewis, A. J. (1998) Manual of remote sensing, volume 2, principles and applications of imaging radar, p.208-219.

3) Viovy, N. C., Arino, O. C. & Belward, A. S. (1992) The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducting noise in NDVI time-series. International Journal of Remote Sensing, 13(81), p.1585-1590.

4) Loveland, T. R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, J, Yang, L.& Merchant, J.W.(2000) Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 21(6/7): p.1303-1330.

5) Watanabe, M., Shimada, M., Ouchi, K., Wang, H. & Matsuoka, M.(2006) Forest monitoring with PALSAR data. Asian Journal of Geoinformatics, 6(4).

6)

７．国際共同研究等の状況

国際的衛星ネットワークを用いた火災観測と検証システムに関する国際共同研究（図16）について、各国との研究の進捗状況の詳細を下記に記す。

（１）衛星リモートセンシングを用いた環境・災害監視技術移転

Lal Samarakoon所長、アジア工科大学院　リモートセンシング研究センター（GIC）

タイ王国のアジア工科大学院は、1997年より10年間にわたり、東京大学生産技術研究所所有の気象衛星NOAA AVHRRおよびAqua/Terra MODISのアンテナを維持管理し、周辺地域における環境・災害衛星リモートセンシングの情報発信基地となっている。受信されたデータは毎晩インターネット回線を通じて東京まで転送され、処理、保存、配布の一連のシステムが自動で行われている。

これらの研究活動に加えて、カンボジア、ラオス、ベトナム、マレーシア、インドネシアといった周辺国の実務者に対して、初級から上級までの出前講義・トレーニングを月に10回程度の割合で積極的に行っている。周辺地域で最も優秀な学生が国際的に集うアジア工科大学院を卒業した後に、東京大学生産技術研究所にて学位を取得した学生は多数存在する。また、東京大学生産技術研究所からも国際協力機構(JICA)を通じておよそ20年間にわたり複数の教員が専門家として派遣され、講義や技術支援を行っている。

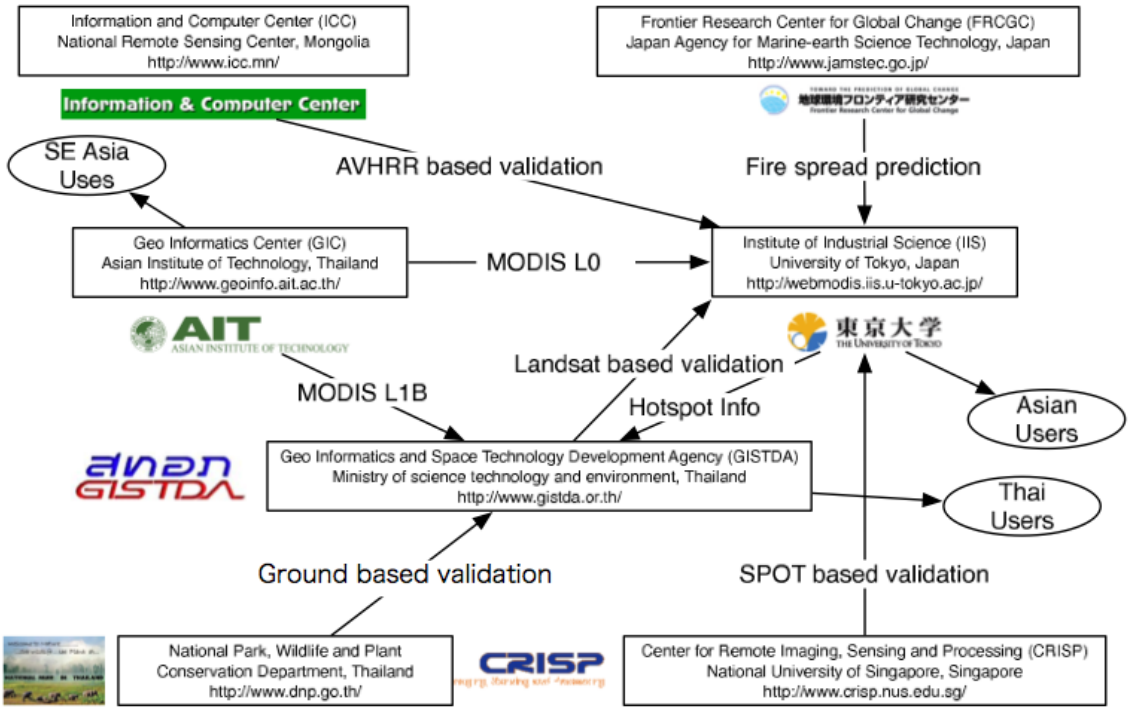


図16: 国際的衛星ネットワークを用いた火災観測と検証システム.

（２）衛星リモートセンシングを用いた大気環境計測手法の開発

Liew Soo Chin主席研究員、国立シンガポール大学　リモートセンシング研究センター（CRISP）

シンガポール大学は、気象衛星NOAA AVHRR、 Aqua/Terra MODIS、 商用超高解像度衛星IKONOS、マイクロ波センサーRADARSATなど多彩な衛星を受信できる20m級のアンテナを所有しており、アジア随一の規模を誇る。シンガポールには宇宙開発機関が存在しないため、 CRISPが国の地球観測センター的な役割も同時に果たし、衛星データ処理業務遂行に専念するスタッフが20名程度常駐

している。国の手厚い保護を受けながらも、国の機関としての性格を有するが故の高い責任感あるいは業務遂行能力が所員に浸透している。これらの施設で受信された一部の衛星データを通じた業務連携は、2006年の9月に東京大学生産技術研究所の安岡善文教授とCRISPのKhow所長との間で口頭による合意が行われている。

世界的に見て研究活動のレベルは非常に高く、地理的関係から水質観測あるいは森林火災観測における実用研究には定評がある。また周辺国であるマレーシア、インドネシアとの国際連携活動も活発で、同国の気象庁やリモートセンシング研究センターを通じて、情報提供や技術移転を行っている。これまで東京大学生産技術研究所にて学位を取得した学生はいないが、バンコクでアジア工科大学院と合同で開催したシンポジウムや30年の歴史を誇るアジア最大のリモートセンシング会議などを通じて、シニア、若手の研究者との交流は盛んである。

（３）衛星リモートセンシングを用いた森林管理に関する技術移転

Ha Cong Tuan局長、農業開発省　森林保護局、Dr. Nguyen Dinh Duong所長、ベトナム科学院地理研究所、Dr. Doan Minh Chung副所長、ベトナム科学院宇宙技術研究所、Dr. Nguyen Xuan Lam所長、自然環境省リモートセンシングセンター

ベトナムの農業開発省森林保護局は、2007年よりMODISを受信し森林火災の監視に利用している。東京大学生産技術研究所は、ベトナム国内の森林管理業務全般に衛星リモートセンシングを活用する技術指導を行っている。宇宙航空研究開発機構(JAXA)と文部科学省の主導するアジア太平洋地域宇宙機関会合(APRSAF)において、この事業がプロトタイピングとして認められ、正式にSAFE(Space applications for environment)として発足した。

（４）衛星リモートセンシング画像の雲除去手法の開発

Louis Gonzalez 主任研究員、リール大学

フランスのリール大学では、大気環境のリモートセンシングと画像処理の研究を行っている。NASAの旗艦衛星であるAqua/Terra MODISデータ処理の事実上の世界標準となっているHDFLookや大気補正コード6Sなどはこの大学で作られている。東京大学生産技術研究所とは、2006年以来、特に雲除去手法の開発に共同で取り組んでおり、年に数回程度の相互訪問をするなど交流の輪を広げつつある。

（５）衛星リモートセンシングを用いた森林分布図作成に関する研究

Sangkhane Thiangthammavong局長，大統領府 水資源環境管理局　リモートセンシングセンター

ラオスのリモートセンシングセンターは2008年に発足したばかりで、東南アジアでは最もリモートセンシング技術の復旧の遅れている国である。国土のおよそ半分を占める森林は、メコン川の水資源管理にとって国際的に非常に重要視されている。ラオス政府、JAXAと共同でリモートセンシングを用いた国内の森林分布図作成に関する合意がなされ、2009年度中に関連する技術移転を行う予定である。

（６）大学でのリモートセンシング講義

Mafizur Rahman教授、バングラデシュ工科大学(BUET)、バングラデシュ

バングラデシュ工科大学は、バングラデシュで最も優秀な学生の集う大学である。東京大学生

産技術研究所とは、都市基盤安全工学国際研究センター(ICUS)がリエゾンオフォスを持ち、教授をはじめとする20名程度のスタッフが東京大学で学位を取得し教鞭をとっている。一方で、南アジアでは最もリモートセンシング技術の復旧の遅れている国である。2008年より始まった学術交流のなかで、Mafizur Rahman教授をカウンターパートに東京大学大学院において英語で行われているリモートセンシング関連の講義をもとに、BUETでもリモートセンシング関連の講義を開始するためのカリキュラム改変の動きが始まった。

８．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

1) 竹内渉（2008） “宇宙からの森林火災の監視．計測と制御，47(12)” 1037-1040.
2) Takeuchi, W. & Matsumura, Y. (2008) “Evaluation of wildfire duration time over Asia using MTSAT and MODIS” Asian Journal of Geoinformatics, 8(3), 13-17.
3) Bagan, H., Takeuchi, W., Yamagata, Y., Wang, X. & Yasuoka Y. (2009) “Extended averaged learning subspace method for hyperspectral data classification” Sensors, (9), 4247-4271.
4) 竹内 渉（2010）“森林火災（東南アジア)” 森林リモートセンシング 第３版（加藤正人編集)，日本林業調査会（J-FIC)，(分担執筆)
5) Takeuchi, W. (2010) “Investigation of cloud coverage over Asia with NOAA AVHRR time series” Asian Journal of Geoinformatics, 10(4), 47-52.
6) Bagan, H., Takeuchi, W., Kinoshita, T., Bao, Y. & YamagataY. (2010) “Land cover classification and change analysis in the Horqin sandy land from 1975 to 2007” IEEE J. selected topics in Applied Earth Observations and Remote Sens., 3(2).
7) Yamagata, Y., Takeuchi, W., Bagan, H., Ito, A. & Adachi, M. (2010) “Forest Carbon Mapping using Remotely Sensed Disturbance History in Borneo” Earthzine, published on-line, September 21.

<その他誌上発表（査読なし）>

1) 竹内渉（2008）地球の表情，雲の下で起こる森林伐採．「人間会議」冬，宣伝会議，3-4.
2) 竹内渉（2010）海外における環境・災害リモートセンシングの動向．測量，3-8，2010年3月号
3) 竹内渉（2011）民間との協働支援に向けた大学の役割．測量，3-8，2011年3月号

（２）口頭発表（学会等）

1) Takeuchi, W., Akatsuka,S. & Yusuke Matsumura “Near-real time wildfire monitoring with MODIS, AVHRR and MTSAT” 1st Joint Project Team Meeting (JPTM) for Sentinel Asia step 2, Kobe, Japan, 2008年6月.
2) 松村祐輔、竹内渉、沢田治雄、安岡善文、「MTSAT と MODIS を併用したアジア大規模林野火災の延焼時間推定」 日本写真測量学会 平成20年度年次学術講演会、横浜市、2008年6月.
3) Bagan,H., Takeuchi,W., Aosier, B., Kaneko,M., Wang,X. & Yasuoka,Y. “Extended subspace

method for remote sensing image classification”, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2008 (IGARSS),Boston, USA, 2008年6月.

4) Oyoshi,K., Takeuchi, W. & Tamura,M. “Land surface monitoring with Japanese geostationary satellite” 29th Asian conference on remote sensing (ACRS), Colombo, Sri Lanka, 2008年11月.
5) Takeuchi, W., Rakwatin, P., Shimada, M. & Sawada,H., “Investigating the performance of JERS-1 SAR and ALOS PALSAR mosaics for forest cover mapping in Vietnam”, 29th Asian conference on remote sensing (ACRS): Colombo, Sri Lanka, 2008年11月.
6) 赤塚慎、竹内渉, 永野嗣人、Lal Samarakoon、「国際的な移転・流通性に着目した衛星データ処理トレーニングパッケージの開発」日本写真測量学会 平成20年度秋季学術講演会、仙台市、2008年11月.
7) Takeuchi, W., Rakwatin, P., Shimada, M., Sawada, H. & Nagano, T. “Investigating the performance of JERS-1 SAR and ALOS PALSAR mosaics for forest cover mapping in Vietnam” 15th Asia Pacific Region Space Agency forum (APRSAF), Hanoi, Vietnam, 2008年12月.
8) Minh, N. H., Hai, N. T., Tuan, T. A., Dat, D. N., Takeuchi, W., Akatsuka S. & Nagano, T. “Forest cover mapping in Vietnam” 15th Asia Pacific Region Space Agency forum (APRSAF), Hanoi, Vietnam, 2008年12月.
9) Akatsuka, S., Takeuchi, W., Rakwatin, P. & Sawada, H. “Evaluation of slope correction effects on ALOS PALSAR mosaic data set in forest mapping in Indonesia and Malaysia”(best paper award). 30th Asian conference on remote sensing (ACRS): Beijing, China, 2009年10月.
10) Takeuchi, W., Nagano, T. & Samarakoon L. “Web-based data service and capacity building toward space applications for environment (SAFE)” 28th Asia Pacific Area Network meeting (APAN), Kuala Lumpur, Malaysia,2009年7月.
11) Takeuchi, W., An, V. N., Akatsuka, S., Sobue, S., Nagano, T. & Samarakoon, L. “Space applications for forest resources monitoring and management in Southeast Asia” (invited talk) 15th CEReS international symposium on remote sensing, Chiba, Japan,2009年12月.
12) 竹内渉、赤塚慎、Preesan Rakwatin、 島田政信「森林分布図作成精度向上を目指した SAR 画像の地形効果補正の評価」 第18回生研フォーラム：広域の環境・災害リスク情報の収集と利用、東京都、2009年3月.
13) 赤塚慎、竹内渉、 Preesan Rakwatin、 沢田治雄「SARモザイクデータセットの地形効果補正の評価」日本写真測量学会 平成21年度年次学術講演会、横浜市、2009年6月.
14) Hasi Bagan、竹内渉、山形与志樹「Horqin砂地の1975-2007年間の土地被覆変化」日本写真測量学会 平成21年度年次学術講演会、横浜市、2009年6月.
15) 赤塚慎、 竹内渉「モザイクデータセットを用いたカリマンタン島の森林・非森林マップの作成」日本リモートセンシング学会 第47回学術講演会、名古屋、2009/11/27.
16) Takeuchi, W., An, V. N., Akatsuka, S., Sobue, S., Nagano, T. & Samarakoon, L. “Achievement report of forest cover mapping in Vietnam as a SAFE prototype” 16th Asia Pacific Region Space Agency forum (APRSAF), Bangkok, Thailand, 2010年1月.

17) 竹内渉、赤塚慎、An Ngoc Van、 祖父江真一、永野嗣人、Lal Samarakoon「階層的分類手法を用いたアジアの森林分布図作成ソフトウェアの開発」 第19回生研フォーラム：広域の環境・災害リスク情報の収集と利用、東京都、2010年3月.
18) Takeuchi, W., Bagan, H. & Yamagata, Y. “Spatio-temporal patterns of continuous forest cover in Kalimantan from 1982-2009” 31st Asian conference on remote sensing (ACRS): Hanoi, Vietnam, 2010年11月.
19) An, V. N. & Takeuchi, W. “Development of GPS photos database for land user and land cover applications” 31st Asian conference on remote sensing (ACRS), Hanoi, Vietnam, 2010年11月.
20) An, V. N., Takeuchi, W. & Oo,K.S. “Development of GPS Photos Database for land cover monitoring”2nd international conference on science and engineering (ICSE), Yangon, Myanmar, 2010年12月.
21) Oo, K. S., Takeuchi, W. & An, V. N. “Land cover Classification for Sustainable Forest Management Using Satellite Images” 2nd international conference on science and engineering (ICSE), Yangon, Myanmar, 2010年12月.
22) Takeuchi, W., An, V. N. & Oo, K. S., “Utilization of geo-spatial technologies for forest resources and agriculture monitoring” (special invited talk) 2nd international conference on science and engineering (ICSE), Yangon, Myanmar, 2010年12月.
23) Oo, K. S., Takeuchi, W. & An, V. N. “Verification of Generated MODIS IGBP Land Cover using Inland Waterbody before Field Collection: Myanmar Case Study” 第20回生研フォーラム「広域の環境・災害リスク情報の収集と利用」、東京都、2011年3月.

（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

1) 東京新聞（2010年12月27日，Web版，サイエンスリポート）

（６）その他

1) 平成20年度 日本リモートセンシング学会奨励賞(論文賞)（竹内渉）
2) 平成21年度 アジアリモートセンシング学会(ACRS) 優秀発表賞（赤塚慎）