

課題名	A-0802 PALSARを用いた森林劣化の指標の検出と排出量評価手法の開発に関する研究
課題代表者名	清野嘉之（独立行政法人森林総合研究所植物生態研究領域）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	178,932千円（うち22年度 63,492千円） 予算額は、間接経費を含む。

研究体制

- (1) PALSARを利用した森林生態系の排出量把握手法の開発（岐阜大学）
- (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（独立行政法人宇宙航空研究開発機構）
- (3) PALSARを利用した熱帯林地の劣化過程と温室効果ガス排出量の評価手法の開発
- a. 乾性遷移系列の熱帯林地における手法開発（独立行政法人森林総合研究所）
- b. 湿性遷移系列の熱帯林地における手法開発（北海道大学）
- 研究協力機関（インドネシア国ボゴール農科大学、パランカラヤ大学、カンボジア国森林局、環境省、マレーシア国サラワク政府）

研究概要

1. はじめに

ポスト京都のアジェンダとして途上国の「森林減少・劣化による排出」の削減（REDD）が議論されている。森林面積と単位面積当たりの諸量（炭素蓄積量、ガスフラックス）を異なる時点で求め、差分をとることにより、森林の炭素蓄積量の変化や二酸化炭素排出量を推定でき、これを繰り返して森林の変化の方向を知ることができる。また、森林面積を森林タイプ等で適切に層化することにより、推定精度をあげることができる。しかし、熱帯雨林では一年を通じて雲が発生するため、光学センサでは良好な観測が望めない。季節林においても火入れによる煙のため、良好なデータを取得できないことも多い。このため熱帯林の広域解析には雲や煙を透過して、一年を通じて観測が可能な合成開口レーダ(SAR)の活用が望まれる。ALOS/PALSARはバイオマス解析に有利とされるLバンドを観測する多偏波合成開口レーダで、森林の解析に適した仕様を有する。多偏波型のSARは登場して日が浅いが、森林解析に高いポテンシャルを有していると期待される。また、排出量評価において土壌、リター、枯死木を無視できない。特に開発された泥炭湿地林の土壌からの温室効果ガスの排出量は甚大と見られ、かつ推定値には大きな不確実性がある。リモートセンシングで直接検出できず、かつ人為により値が大きく変化する炭素プールの炭素蓄積量や排出量の把握手段を高度化する必要がある。衛星観測と地上計測技術を組み合わせ、PALSARデータによる熱帯林の解析アルゴリズムを提示することにより、熱帯林における森林減少・劣化のモニタリングを通じて温暖化問題に貢献することが可能になる（図1）。PALSARの汎用性を検証する研究はこれまでになく、長所を生かした新技術の開発を行う必要がある。

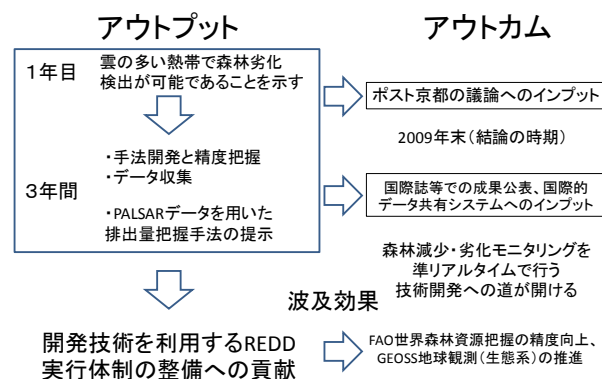


図1 本研究による地球環境政策への貢献、社会的価値の創出

2. 研究目的

プロジェクト3年間の目的は、PALSARを用いて雲の多い熱帯林で森林劣化を検出し、排出量を評価する手法を提示することである（図1）。このため、インドネシア（排水された泥炭湿地林）、カンボジア（季節林）、日本に衛星観測と地上計測を組み合わせるテストサイトを設ける。

PALSARと光学センサのデータを組み合わせ、森林の分布を把握する手法を開発し、また、PALSARの機能を利用して地上部バイオマスや泥炭の地盤高の時系列変化や森林高を把握する手法を開発する。地上調査ではバイオマスや森林高を計測するとともに、森林高の低下と生態系からの排出量の関係、泥炭地盤高の変化と温室効果ガス排出量との関係を明らかにする。また、季節林と排水された泥炭湿地林で生態系炭素蓄積量と温室効果ガスフラックスのインベントリデータを収集し分析する。

これにより、森林劣化にともなう温室効果ガスの排出量のポテンシャルの推定が可能になるので、排出量全体の推定精度の向上のために優先的にデータを取得すべき炭素プールや温室効果ガスの排出経路を明らかにする。また、衛星観測と地上調査を組み合わせた森林のモニタリング手法を示し、PALSARにより計測可能な森林変化を特定する。そして、地上計測における排出量評価の標準誤差を求め、全体の誤差（推定の不確実性）を軽減する方策を示す。

3. 研究の方法

(1) PALSARを利用した森林生態系の排出量把握手法の開発

PALSARで観測される後方散乱係数 (σ^0) を利用して、森林分布やバイオマス量を把握する手法の開発を目指し、テストサイト（インドネシア国中央カリマンタン州パラカラヤ近郊、カンボジア国コンポントム州）を対象に、PALSARデータの特徴を把握し、森林とその変化を解析するとともにバイオマス推定の可能性を検証し、森林の劣化を評価した。インドネシアでは2007年7月9日、2007年10月9日、2008年5月26日、2009年10月14日、2010年12月2日に観測されたPALSARデータを利用し、森林、農地、荒廃地を対象にPALSARデータの季節変化と経年変化を解析した。2009年9月中旬頃に森林火災が発生した。二時期の σ^0 を利用することで、バイオマスの高い森林を特定しつつ、2009年に起きた大規模火災を受けた森林の場所を判定できるかどうかを調べた。インドネシアで高バイオマス林と倒木の少ない低バイオマス林を対象に、 σ^0 と航空機LiDARデータから推定した地上部バイオマス (AGB: Mg ha^{-1}) の関係を調べ、 σ^0 のみによるAGB推定の可能性を検討した。カンボジアでは雨季のデータを利用して解析した。劣化の評価については、草地から天然林までの遷移段階を示すと考えられる画素を選び、回帰分析によって σ^0 のHH偏波とHV偏波の関係について一次式を求め、火災地の倒木に考慮した補正を行った。

(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

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とともに、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ため、インドネシアのテストサイトを中心に、差分干渉処理を用いた解析を行った。泥炭地盤高変化についてはPALSARの画像1と、その46日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。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）を用いた。70km四方の土地の泥炭の平均沈降速度を求め、地上調査データを利用して温室効果ガス（GHG）の排出量に換算した。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。森林高については、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。

(3) PALSARを利用した熱帯林地の劣化過程と温室効果ガス排出量の評価手法の開発

a. 乾性遷移系列の熱帯林地における手法開発

季節林の手法開発を進めるとともに、A-0802の成果全体をとりまとめるため、データサブテーマ1、2、3 bと連携し、カンボジアとインドネシアのテストサイトを中心に長期調査プロットを利用してバイオマス・群落高データを整備し、それらをPALSARデータと結びつけるときの課題を分析した。インドネシアのサイトでは泥炭火災が発生したことから、火災による森林劣化様式の解明の観点からもデータを収集した。カンボジアでは対象地域を国に拡大してバイオマス・土壌・枯死木の計測を行い、季節林の生態系炭素蓄積量のマッピング手法の開発に取り組み、カンボジアで入手可能な情報にもとづいた国レベルの分布図を作成した。また、A-0802で収集した劣化林の面積や炭素蓄積量や温室効果ガスフラックスのインベントリデータを集計する手法を工夫し、季節林と排水された泥炭湿地林の劣化にともなう温室効果ガスの排出可能量を推定し、誤差を算出した。

b. 湿性遷移系列の熱帯林地における手法開発

インドネシアのテストサイトを含む、湿性遷移系列の熱帯泥炭湿地林およびその改変地を対象に、熱帯泥炭地の様々な土地利用における長期の地盤沈下挙動、温室効果ガス発生量とその制御要因、泥炭の酸化分解と温室効果ガスの関係を明らかにし、泥炭沈下量に占める酸化分解の寄与率を検討した。また、極めて大きな温室効果を有しかつオゾン層破壊因子である N_2O について、その放出源となりうる熱帯泥炭土壌の土壌微生物相の特徴を、 N_2O 放出細菌の分布と N_2O 生成ポテンシャルの面から培養法を用いて検討した。

4. 結果及び考察

(1) PALSARを利用した森林生態系の排出量把握手法の開発

σ^0 には季節ごとの植生や湿地の水位の変化が影響し、HVよりもHHが影響を受けやすく、水面などで生じる2回反射が原因と考えられた。森林減少は2時期の σ^0 の差分や、分類結果の比較によって把握できたが、森林減少に似た変化があること、劣化した森林と他の被覆を区分しにくいことが解析精度を下げる要因だった。Landsat/ETM画像と σ^0 画像の両分類図を比較すると、5項目の土地被覆分類の場合、93%が一致した。光学センサとPALSARでは観測波長の電磁波の性質が異なるため、分類結果を詳細に比較することは難しいが、森林破壊のモニタリングが可能と考えられた。インドネシア国中央カリマンタンを解析した結果、1973年から2007年までに森林が48%減少していることが分かり、PALSARの有用性を確認できた。バイオマスとの関係を解析すると遷移初期から成熟林へとバイオマスが増加するにつれて σ^0 も増大するが、次第に頭打ちとなって約 100 Mg ha^{-1} 以上では飽和する傾向が認められたため、成熟林のバイオマスの推定精度はかなり悪いことが分かった。HHに比べてHVは飽和レベルが高く、2回反射に影響されにくいことからHVの方がバイオマス推定に適している。HHを利用してHVへの2回反射の影響の補正法を開発し、補正済みHVを利用してバイオマスを推定したところ、成熟林の推定精度は良くないものの、疎な湿地林や倒木地での2回反射の影響を大幅に軽減して解析が可能になったことが特筆される。解析結果は劣化段階を表すと考えられ、この結果、様々なシーンを比較して森林の劣化段階をマッピングできる目途がついた。

(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

中央カリマンタンのテストサイトでは、植生や土地利用の異なる3か所で2001年より継続して地盤沈下量を計測しており、沈下量は農地、森林（老齢段階）、山火再生林（林分成立段階）の順に大きい。観測開始（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のち、PALSAR画像から17種類の沈下量を計算して比較したところ、両者の差（誤差といえる）は干渉SARで検出した沈降量（平均 2.54 cm y^{-1} ）とサブテマ3 bによる3サイトの地上観測の結果とは非常に良く一致した（図2）。2009年6月に泥炭火災が発生し、一部のサイトでは泥炭地盤が約 20 cm 下がった様子もよく捉えられており、火災があっても干渉性が十分保持されることが分かった。

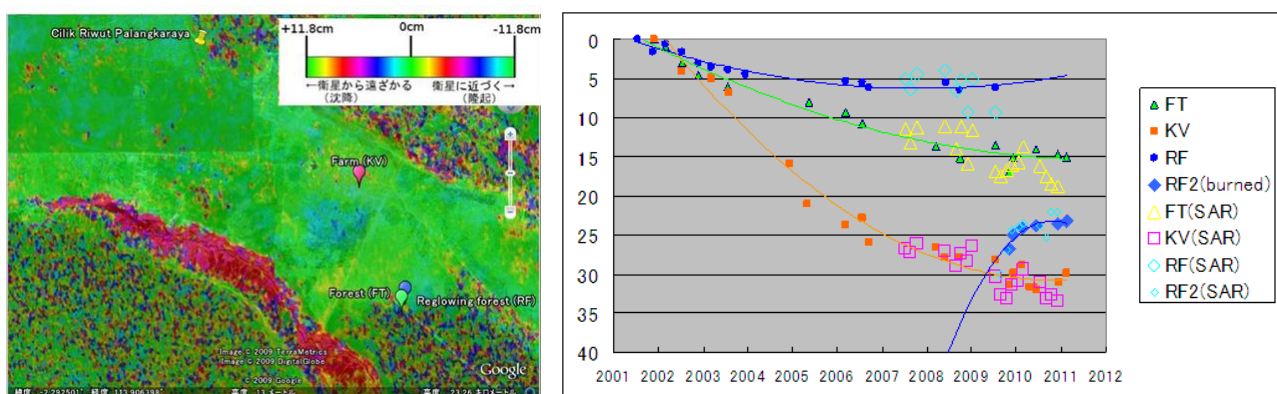


図2 インドネシア・中央カリマンタンの泥炭地盤高変化量（PALSARは2007年7月9日以降）

（左 テストサイト内の地上基準点設置場所付近、右 17種類の画像ペアの組み合わせから求めたテストサイトにおける変化量（サブテマ2）とGPSの変化量（同3b）との比較図。FT:森林、KV:農地、RF:山火再生林。RF2: 火災にあったRF。いずれの森林も農地も排水影響を受けている。SARの変化量は \cos （入射角）で補正している。

温室効果ガスの広域把握については、中央カリマンタン州パラカラヤ近郊の70 km四方の土地について年間沈降量のマップを作成し、平均的な沈降速度を抽出した。これを泥炭分解による沈降と見なし、サブテマ3 bの計測値を用いて土地利用の違い（森林、非森林）を考慮して CO_2 排出量を試算したところ、 $13.0 \text{ メガトンC y}^{-1}$ 、 $21.2 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ という計算値を得た。これは干渉SARを用いた温室効果ガス排出量の世界最初の推定結果である。なお、ここでは温室効果ガス排出のうち泥

炭分解によるCO₂排出量のみを計算している。

森林高については2008年10月11日と2008年8月26日の画像ペアを用いて差分干渉法で老齢林の森林高を求めたところ15～20 mという結果が得られた。地上調査による森林高は20 m前後であることから、概ね良好な結果が得られたと言える。しかし、他の画像ペアについては、はっきりした傾向がなく、良い結果は得られなかった。うまくいった例では軌道間距離が700 mと比較的大きく、他は小さかった（約80 m）ことが成否に関係していると考えられる。また、地表面が降雨などのために短期間でも変化していたことも不成功の理由になると考えられる。

（3） PALSARを利用した熱帯林地の劣化過程と温室効果ガス排出量の評価手法の開発

a. 乾性遷移系列の熱帯林地における手法開発

森林被覆タイプ別土地面積と長期調査プロットデータから国レベルの森林の炭素蓄積量を一定精度でモニタリングする手法や、伐採等による森林高の低下からバイオマス減少を推定するときの汎用式の課題を明らかにした。カンボジアでは森林タイプとリンクさせながらバイオマス・土壌・枯死木を国内各地で計測し、カンボジアで入手可能な衛星観測や地質図、既存調査プロットの情報も利用して、季節林の生態系炭素蓄積量を推定する手法を開発し、国レベルの炭素蓄積量の分布図を作成した。また、劣化林の炭素蓄積や温室効果ガスのインベントリデータを収集・分析して、カンボジアの季節林とインドネシアの排水された泥炭湿地林の劣化にともなう温室効果ガスの排出可能量を推定し、乾性遷移系列の熱帯林ではバイオマスからのCO₂排出、排水された泥炭湿地林では泥炭からのCO₂排出が最も影響の大きい温室効果ガスの排出形態であり（図3）、森林劣化にともなう排出量増加の推定値の精度向上のためには、これらのデータを優先的に取得すべきであることを明らかにした。森林劣化による排出量を評価するときのリモートセンシングと地上調査技術の組み合わせを比較・分析し、雲の多い熱帯を対象に森林劣化による温室効果ガス排出量をモニタリングするには、PALSARで森林面積を計測し、影響の大きい排出経路についてPALSARと地上計測かそれに代わる高解像度の航空機観測とを併用して把握するのが良いことを示した。

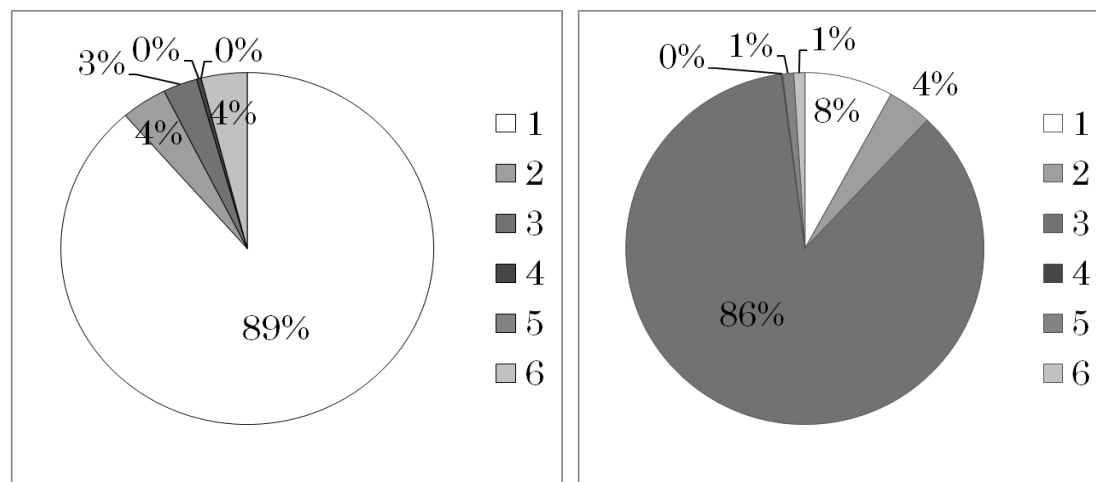


図3 森林劣化による温室効果ガスの排出可能量の割合
(左：乾性遷移系列の季節林、右：排水された泥炭湿地林)

1: バイオマスからのCO₂排出、2: 枯死木からのCO₂排出、3: 土壌有機物からのCO₂排出、4: バイオマス燃焼によるN₂O排出、5: 土壌有機物の無機化によるN₂O排出、6: バイオマス燃焼によるCH₄排出

b. 湿性遷移系列の熱帯林地における手法開発

地盤沈下速度は、農地KV 3.3cm・y⁻¹、排水影響のある森林FT 1.6cm・y⁻¹、森林火災跡地RF 2.5cm・y⁻¹であった（RFは火災消失量を含む）。2009年の乾季には森林火災跡地（RF）で泥炭火災が発生し、表層泥炭の消失のため地盤が約20cm低下した。地盤沈下は地下水位低下が大きい年・地点ほど大きいことが明確に示された。

CO₂、N₂O、CH₄排出は地下水位に最も影響を受けていた。2002年以降のデータを解析した結果、CO₂排出は、地下水位80cmで最大となった。水位0cmで30 MgCO₂ ha⁻¹ y⁻¹、水位50cmで70 MgCO₂ ha⁻¹ y⁻¹、水位80cmで100 MgCO₂ ha⁻¹ y⁻¹の放出量を示した。地下水位とN₂O排出は正の相関関係、CH₄排出とは負の相関関係があった。年間N₂O排出は年間CO₂排出に対して指数関数で回帰された。温暖化ポテンシャルにCH₄排出の寄与は無視できた。温暖化ポテンシャルへのN₂O排出の寄与は、地下水位の低下に伴って大きくなり、80 cmで最大15%を示した。

リアウの熱帯泥炭アカシア植林地プランテーションで採取した N_2O 放出細菌 *Burkholderia thailandensis* 近縁の112-CB-20B株についてゲノムシーケンスを行ったところ。熱帯泥炭生 N_2O 産生細菌は*nos*遺伝子そのものをもたず、一連の硝酸呼吸にともなう脱窒反応の最終産物は N_2O となること、pHに対する硝酸呼吸の応答性が高く、攪乱泥炭土壤に灰分や窒素分が供給されると硝酸呼吸能が高まることが強く示唆された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

光学センサデータでは雲に阻まれて熱帯林の解析は困難であるが、本研究は、伐採や火事に遭った森林の状況や成林過程をPALSARでモニタリングできる可能性が高く、常緑林と落葉林の分類も可能で、森林資源把握及び森林生態系研究にPALSARの利用が有効であることを明らかにした。HH偏波とHV偏波の関係にもとづいて林床が後方散乱係数に及ぼす成分を推定しHV偏波を補正する考え方は画期的なもので、これによって広域でのバイオマス推定精度の大幅な向上が可能である。また、開発された泥炭湿地からの温室効果ガス排出量が甚大であることが指摘されているが、森林と非森林が混在する泥炭地の地盤沈降量を空間的分布としてPALSARデータで定量的に把握し、地上調査で得られた排出係数を利用して温室効果ガスの排出量に換算したことは、世界初の試みであり意義が大きい。地上調査による沈下量の長期モニタリングを通じて、熱帯泥炭地が経常的に沈下し続けていること、泥炭火災が発生すると急激な地盤低下を生じること、地盤沈下量やガスのフラックス(CO_2 、 N_2O 、 CH_4)が地下水位に強く規定されていることを明らかにした。また、分子生物学的手法により、熱帯泥炭土壤における N_2O 排出の主原因をつかむことができた。得られたデータを総合し、劣化が進む乾性遷移系列の熱帯林ではバイオマスからの CO_2 排出、排水された泥炭湿地林では泥炭からの CO_2 排出が最も影響の大きい温室効果ガスの排出形態であり、森林劣化にともなう排出量増加の推定値の精度向上のためには、これらのデータを優先的に取得すべきであることを明らかにした。また、熱帯林の劣化過程を広域でモニタリングするにはリモートセンシングと地上計測技術の組み合わせが必須で、雲の多い熱帯を対象に森林劣化による温室効果ガス排出量をモニタリングするには、PALSARで森林面積を計測し、影響の大きい排出をPALSARと地上計測等を併用して把握するのが現実的であることを示した。これらは、森林のインベントリ情報が限られている途上国において、広域の森林を対象に、温室効果ガス排出量の信頼できるデータを効率的に収集するときの科学的な判断材料として役立つ。このように本研究は、PALSARを利用した森林研究の発展に重要な情報を提供した。

(2) 環境政策への貢献

本課題はにより熱帯林観測へのPALSARの利用・実用化の道が開けた。PALSARによる計測を含め、リモートセンシングと地上調査を組み合わせる森林の炭素蓄積量をモニタリングする諸手法の長短を明らかにした成果情報は、環境省の情報交換会やUNFCCC事務局に提供され、林野庁の国際セミナーやGEOSS-APなど国内外の研究集会で公表され、学術誌でも公表されて、REDDを始めとする熱帯林減少・劣化の国内外の議論に貢献している（例えば、カンボジア国森林局が一部を翻訳してニュースレターに紹介）。また、推定式や係数の一部はIPCCの排出係数データベースに収録され、林野庁やJICAの海外技術協力事業で活用されている。リモートセンシングと地上調査を組み合わせる森林の炭素蓄積量をモニタリングする手法をカンボジア国に適用した成果は、同国が作成したREDDプラスロードマップで利用され、同国の政策に貢献している。また、土壌・枯死有機物調査の英文マニュアルはカンボジアやインドネシアの研究協力者に利用され、そのREDD実施能力の向上に貢献している。

6. 研究者略歴

課題代表者：清野嘉之

1955年生まれ、東京大学大学院農学研究科修了、農学博士、現在、森林総合研究所・植物生態研究領域長

研究参画者

(1) : 清野嘉之 (同上)

(2) 1) : 粟屋善雄

1958年生まれ、新潟大学農学部卒業、現在、岐阜大学 流域圏科学研究センター・教授

2) : 島田政信

1955年生まれ、京都大学大学院工学研究科修了、現在、宇宙航空研究開発機構・上席研究員

3) : 井上 京

1960年生まれ、北海道大学大学院農学研究科修了、現在、北海道大学大学院農学研究院・准教授

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 関東森林研究、60, 69-72 (2009)
「PALSARデータを用いた土地被覆の判読－東日本の事例－」
- 2) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、60, 65-68 (2009)
「50m解像度のPALSARデータの土地被覆判読性」
- 3) 栗屋善雄、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 中部森林研究、58, 155-158 (2010)
「泥炭湿地におけるPALSAR後方散乱係数の季節変化と経年変化－インドネシア・パランカラヤにおける事例－」
- 4) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、61, 65-68 (2010)
「PALSARデータの特質把握－泥炭湿地林の事例－」
- 5) M. Takahashi, S. Ishizuka, S. Ugawa, Y. Sakai, H. Sakai, K. Ono, S. Hashimoto, Y. Matsuura, and K. Morisada : Soil Sci Plant Nutr, 56, 19-30 (2010)
“Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan’s forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils”
- 6) J. Toriyama, S. Ohta, Y. Ohnuki, M. Araki, M. Kanzaki, S. Det, S. Lim, S. Pol, and P. Pith : Pedologist, 54, 2-10 (2010)
- 7) “Physicochemical characteristics of plinthic and non-plinthic soils in dry deciduous forests on the east bank of Mekong, Cambodia” J. Toriyama, Ohta S, Ohnuki Y, Araki M, Kanzaki M, Det S, Lim S, Pol S, and Pith P. : Pedologist, 54, 2-10 (2010)
“Physicochemical characteristics of plinthic and non-plinthic soils in dry deciduous forests on the east bank of Mekong, Cambodia”
- 8) 栗屋善雄、福田夏子、高橋與明、清野嘉之、齋藤英樹、島田政信、HL. Suwido、I. Nengah SJ、M. B. Saleh : 中部森林研究、59, 97-98 (2011)
「熱帯林におけるXバンドとLバンドのSARの後方散乱係数の比較－インドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例－」
- 9) 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、鳥山淳平、門田有佳子、齋藤英樹、島田政信、I. Nengah SJ、M. B. Saleh、HL. Suwido : 関東森林研究、62, 83-86 (2011)
「PALSARデータによる森林火災跡地の検出－インドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例－」
- 10) 鳥山淳平、平井敬三、清野嘉之、チャン・ソファル、ケスナン・ペロ、神崎護、齋藤英樹、高橋正通 : 関東森林研究、62 (in press) (2011)
「カンボジアの林齢の異なるゴム林における炭素蓄積」
- 11) Y. Kiyono, S. Saito, T. Takahashi, J. Toriyama, Y. Awaya, H. Asai, N. Furuya, Y. Ochiai, Y. Inoue, T. Sato, C. Sophal, P. Sam, B. Tith, E. Ito, C. A. Siregar, and M. Matsumoto : JARQ, 45, 2, 233-242 (2011)
“Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention”
- 12) Y. Kiyono, S. Saito, T. Takahashi, K. Hirai, H. Saito, T. Sato, J. Toriyama, Y. Monda, Y. Awaya, M. Shimada, T. Inoue, R. Hatano, C. Sophal, V. Samreth, T. Sum, M. Kanzaki, Limin I SH, and I Nengah SJ : Kanto Journal of Forestry, 62, 167-170 (2011)
“Important subcategory of greenhouse gas emissions from degraded forestland: CO2 emissions from biomass in a seasonal forest in Cambodia and soil organic matter in a peat swamp forest in Indonesia”
- 13) Y. Monda, S. Saito, J. Toriyama, T. Takahashi, T. Sato, Y. Kiyono, and T. Sum : Kanto Journal of Forestry 62, 163-166 (2011)
“Validation of allometric equations used for estimating aboveground biomass in Indochina”
- 14) S. Nishimura, T. Yoneda, S. Fujii, E. Mukhtar, M. Kanzaki, and S. Ohta : J Trop. Ecol, 27, 107-110 (2011)

“Sprouting traits of Fagaceae species in a hill dipterocarp forest, Ulu Gadut, West Sumatra”

15) J. Toriyama, S. Ohta, M. Araki, K. Kosugi, T. Nobuhiro, N. Kabeya, A. Shimizu, K. Tamai, M. Kanzaki, and C. Sophal : Hydrological processes (in press)

“Soil pore characteristics of evergreen and deciduous forests of the tropical monsoon region in Cambodia”