

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340012

研究課題名(和文) 衛星画像データを用いた熱帯泥炭地領域抽出手法の開発

研究課題名(英文) Developing the extraction method of tropical peatland area using remote sensing data

研究代表者

島田 沢彦 (SHIMADA, Sawahiko)

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：90349811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：衛星画像データを用いた泥炭地領域の判定に資する技術として以下の成果を得た。  
 ・泥炭湿地林樹とアブラヤシ林樹の葉面分光反射解析から、アブラヤシ樹齢8-9年の葉には特異的な反射スペクトルが検出され、この特性を利用することにより分類が可能であることが示された。また、泥炭湿地林とアブラヤシを分けるための決定的な葉面分光反射特性は見られなかったものの、アブラヤシグループ(樹齢2-7年)と泥炭湿地林樹を含むグループとの分類が可能であることを示した。  
 ・マイクロ波センサ(SAR)による衛星画像を干渉させ、その地表面変動情報を抽出し、湿地林内において乾季雨季間で-4～3.8cmの変動幅を検出した。

研究成果の概要(英文)：Remote sensing is the most effective tool for peat mapping because of the difficulty in accessing peatlands. However, the upper layers of tropical peatlands are mostly hidden under forests, and it is extremely difficult to identify and map the boundaries of peatlands accurately. A highly precise detecting technique to make accurate maps of peatlands is required to evaluate the impact of destruction caused by forest fires due to the burnt surface soil and forest on peatlands, and by the drastic changes in land-use due to the recent development to transform peatlands into oil palm plantations. In this study the method was developed to classify forest into three types, i.e., oil palm trees of 8-9 year-old, tropical forest trees dominant, and 2-7 year-old oil palm trees, from the leaf surface spectral reflectance characteristics. The vertical movement of peatland surface in the range between -4 - 3.8 cm were detected from 2015 - 2016 SAR images using interferometric technique.

研究分野：リモートセンシング

 キーワード：熱帯泥炭地 泥炭地領域 DInSAR 泥炭層沈下 アブラヤシ・プランテーション ハイパースペクトル  
 葉面分光反射特性 NDSI

### 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスの吸収源であった熱帯泥炭湿地林は、近年頻発する森林火災によって現在、炭素放出源となっている。これは1995年から開始された大規模な人為的な地下水位低下による表層泥炭の乾燥化による影響が大きい。インドネシアにおいて1997年(エルニーニョによる大災害年)~2006年にわたる森林火災および泥炭層火災によって放出された二酸化炭素量は1.4~4.3 Gt ( $10^3$  t)と見積もられている(Wetland International 2006)。これは世界の年間化石燃料由来排出量(2010年)の5~15%を占める。植物が光合成を通して取り込んだ炭素は、植物遺体の一部が未分解のまま泥炭として堆積される。一方、動植物の呼吸、好気条件下での分解によりCO<sub>2</sub>、嫌気条件下(地下水位下)での分解によりメタン(CH<sub>4</sub>)が放出される。また、非常に少量ではあるが溶存態有機炭素(DOC)として地下水とともに流出する。上記炭素インプット-アウトプット収支がこれまでプラスであったため炭素吸収源としての機能を果たしてきたが、近年の急激な土地利用の変化、大火災により泥炭地が蓄積していた炭素を温室効果ガスとして大量に放出し、アウトプットが大きくインプットを上回ってしまっているのが現状である(島田2010)。

放出源となっている熱帯域における泥炭層の全蓄積炭素量は $4.41 \times 10^5$  km<sup>2</sup>の領域中に88.6 Gt(全泥炭中炭素量の18~19%)あるといわれている(Page et al. 2011)が、さまざまな不確定データが推定値の基になっている。その推定値を出すことで、多くの研究者からの引用が得られることから、これまでも多くの泥炭地面積や蓄積炭素量の見積り値が報告されてきたが、現地において精度の高い泥炭地分布図を作成する試みは、そのアクセスの悪さから進んでいないのが現状である。これまで衛星画像から目視や統計的解析法を用いて作成された泥炭地分布図は発行されてきた(RePPRoT 1985 and 1990, Wetland International 2004, Kementrian Kehutanan 2013)が、これらの泥炭地領域は一致せず、したがって算出される泥炭地面積および蓄積炭素量は異なることとなる。泥炭層における蓄積炭素量推定には、泥炭地面積、泥炭層厚、泥炭土中の炭素含有量のデータが必要となる。

### 2. 研究の目的

これまで、応募者は泥炭土中の炭素含有量の地域的特徴を明らかにし(Shimada et al. 2001)、泥炭層厚が多時期衛星画像を用いた植物季節性(フェノロジー)から推定できることを示した(島田2003, Shimada et al. 2004)。本研究においては、既存地図のような経験的手法のみでその区分課程が明らかにされない手法ではなく、衛星画像を用い分類の根拠を明らかにできるような、泥炭地領域区分法

を開発することを目的とした。近年の泥炭湿地林からアブラヤシプランテーションへの土地利用変化が著しいことから、アブラヤシ葉の分光反射スペクトル特性を泥炭湿地林樹木葉と比較することで明らかにすることも目的の一つとした。

### 3. 研究の方法

(1) アブラヤシの葉面分光反射特性を把握するため、本研究では携帯型分光放射計(英弘精機社製MS720)を用いて中部カリマンタン現地調査において取得したハイパースペクトルデータ(350~1050 nm, 3.3 nm ピッチ)からNDSI(Normalized Difference Spectral Index: 正規化差分光反射指数)を算出した。NDSIは、任意の2波長の分光反射率の差を和で正規化することにより算出される分光反射指数であり、次式で表される。

$$NDSI = (R_y - R_x) / (R_y + R_x),$$

但し、 $R_y$ ,  $R_x$ はそれぞれ波長 $x$ ,  $y$ (nm)における分光反射率である。この指標は観測条件や対象の背景効果などの誤差因子の影響を軽減する効果があり、かつ簡易に算出することが可能である。また、少数の離散バンドデータしか得られない衛星センサだけではなく、ハイパースペクトルの様な測定波長間隔の短い場合においても有効であり、近接波長を用いる場合でもその落差から、わずかな波長領域においても分光反射の特徴を表せる(井上ら2008)。

ハイパースペクトルデータは移動平均によりノイズ除去を行い、更に382 nm~1022 nmの波長範囲のみ抽出した。NDSI値は、波長ピッチ3.3 nmから33 nmに平均値で集約し、各スペクトル・サンプル190データを格納した。この190個のNDSI値を変数として、主成分分析およびクラスター分析を実行することで、アブラヤシと泥炭湿地林樹木葉面反射特性のグルーピングを試みた。葉面反射スペクトル、全部で207サンプルの統計解析処理を行った。

(2) 衛星画像を用いた泥炭地領域の抽出を筆者ら(例えば、島田2003)が行ってきた多時期光学センサ衛星画像を用いる手法を開発するため、RapidEye, GeoEye, Pleiades, WorldView2, SPOT6等の毎月の中部カリマンタンの対象モデル地域(100 km<sup>2</sup>)について、クリアな多時期シーンの取得を試みたが、雲による影響が大きく、ノイズ処理を施しても毎月データの取得が困難であることが判明したため、雲を透過するマイクロ波による手法を開発することとした。ここでは、雨季・乾季にその水文環境の違いから泥炭層が厚みを変化させ泥炭地面が上下する現象を捉えることに着目し、マイクロ波レーダ画像複数枚の差分干渉(インターフェロメトリ)技術を用い、地面の上下動を確認しその評価を基に泥炭領域を推定する手法の開発を目指す。本研究では、ALOS-2(The Advanced Land

Observing Satellite-2)に搭載された高性能マイクロ波センサPALSAR-2の高分解モードSM3(分解能 10 m, 観測幅は 70 km)を使用した。差分干渉 SAR 解析(DInSAR)画像には, 2015年 8月 27日・10月 8日(エルニーニョ年乾季), 2016年 2月 25日(雨季)の 3日間を使用した。

#### 4. 研究成果

(1) 主成分分析の結果(図 1), アブラヤシ樹齢 8-9 年の葉面反射率が明らかに異なる傾向を持つことが明らかとなった。

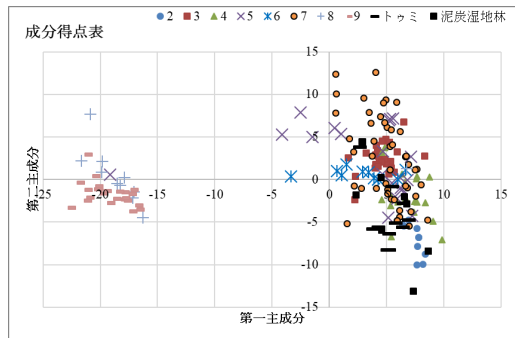


図 1. NDSI による第 1 主成分-第 2 主成分の得点プロット。アブラヤシ樹齢 8-9 年葉面反射率が明らかに異なる傾向を持つ。

また, クラスター分析(ウォード法)による分類により, 上記主成分分析で明らかに傾向の異なるアブラヤシ樹齢 8-9 年が有意に異なるクラスターとして分類された(クラス 3)他, 2 クラスに分類され, 計 3 クラスの分類(クラス 1, クラス 2)が確認された。このクラスは近赤外, 赤, 緑, 青の波長領域の反射に特徴があることが示唆された。

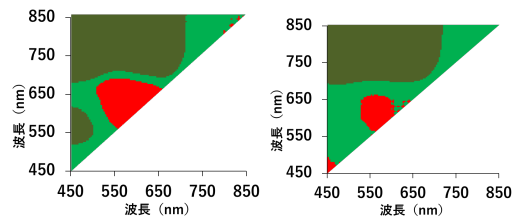


図 2. クラス 1(左)およびクラス 2(右)の平均 NDSI マップ。

クラス 1 とクラス 2 の平均 NDSI マップを図 2 に記す。この 2 マップにおいて違いが顕著に見られる NDSI 波長域ペア(x, y)は (722, 665), (712, 452), (668, 555), (558, 452)であり, 全ての NDSI 波長域ペアにおいて, クラス 1 とクラス 2 間に有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

(2) DInSAR 解析を, SARscape5.2 を用いて行い, 図 3 ~ 図 5 の結果を得た。これにより, 湿地林内において乾季雨季間で -4 ~ 3.8cm の変動幅を検出した。ただし, 現地観測地点(図 3-5 中の  $P_1 \sim P_3$ )における一致精度が低いことから, 基準点設定や画像選択(今回は夜撮影画像)を考慮するなどの課題が残る。

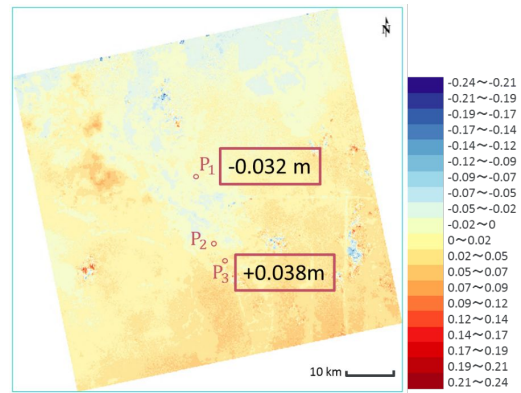


図 3. DInSAR 解析による変動マップ(2015/08/27 × 2015/10/08)。

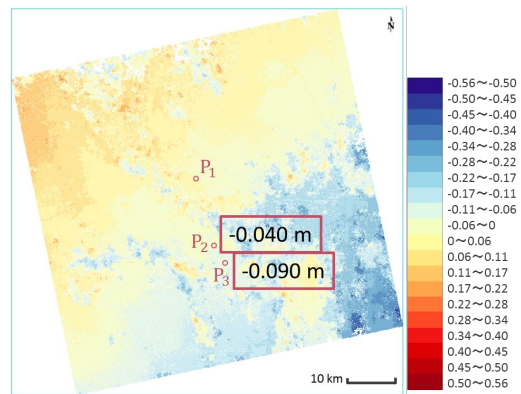


図 4. DInSAR 解析による変動マップ(2015/10/08 × 2016/02/25)

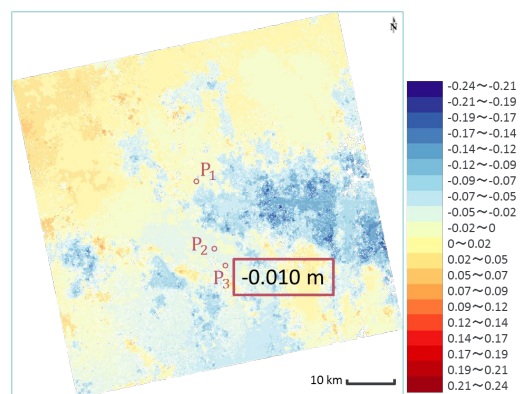


図 5. DInSAR 解析による変動マップ(2015/08/27 × 2016/02/25)

#### < 引用文献 >

- Page SE, Rieley JO and Banks CJ (2011) Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, **17**: 798-818.
- RePPProT (1985-1989) Land systems and land suitability series at 1:250,000 scale, Accompanying Maps of Review, Central Kalimantan, Irian Jaya, East whti South Kalimantan, West Kalimantan, Sumatra, Sulawesi, Maluku with Nusa Tenggara, and

Jawa with Bali. Regional Physical Planning Programme for Transmigration. UK Overseas Development Administration and Directorate Bina Program. Jakarta, Ministry of Transmigration Programme for Transmigration.

RePPProT (1990) The land resources of Indonesia: a national overview. The regional physical planning programme for transmigration. UK Overseas Development Administration and Directorate Bina Program, Ministry of Transmigration, Jakarta.

Shimada S, Takahashi H, Haraguchi A, Kaneko M (2001) The carbon content characteristics of tropical peats in central Kalimantan, Indonesia: estimating their spatial variability in density. *Biogeochemistry* 53(3):249-267

Shimada S (2003) Estimation of peat thickness of peat swamp forests in Central Kalimantan, Indonesia using multi-temporal satellite data. *J Jpn Peat Soc* 2(1):26-33.

Shimada S, Takahashi H, Kaneko M, Toyoda H (2004) Predicting peat layer mass using remote sensing data in Central Kalimantan, Indonesia. In: Mihara M, Yamaji E (eds) Participatory strategy for soil and water conservation, institute of environment rehabilitation and conservation. Soubun Co., Ltd, Japan, pp 193-196

Wetland International (2003-2006) Maps of area of peatland distribution and carbon content in Sumatra (Wahyunto SR and Subagjo H 2003), in Kalimantan (Wahyunto et al. 2004), and in Papua (Wahyunto et al. 2006). Wetland International - Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada (WHC).

Kementrian Kehutanan (2011-2013) Peta Moratorium Rev. 1-5 Indeks Peta Indikatif Penundaan Izin adalah Peta Lampiran SURAT KEPUTUSAN MENTERI KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA. Skala 1:250.000, Ministry of Forestry, Indonesia (<http://webgis.dephut.go.id/>)

井上吉雄・ギャッシュディン ミア・境谷栄治・中野憲司・川村健介 (2008) ハイパースペクトル計測に基づく正規化分光反射指数 NDSI マップおよび波長選択型 PLS による植物・生態系変数の評価, *日本リモートセンシング学会誌* 28(4): 317-330.

島田沢彦 2010 「熱帯泥炭地のリモートセンシングを用いたモニタリングと評価(インドネシア)」食と農と資源(中村・豊田編) 2章 2.1, pp. 74-81, 共立出版 .

5 . 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

1) 荻野高嶺・関山絢子・島田沢彦「インドネシアにおけるアブラヤシ葉面分光反射特性

の抽出」第23回生研フォーラム, 2015/3/3~3/4, 東京大学生産技術研究所(東京都・目黒区)

2) Oginno T, Shimada S, Sekiyama A and Toyoda H, Spectral Characteristics of oil palm leaves using spectroradiometer in Indonesia, 15<sup>th</sup> International Peat Congress, Abstract p. 280, 15 Aug - 19 Aug 2016, (Kuching, Malaysia).

[図書](計4件)

1) Shimada S, Takahashi H and Osaki M (2016) Carbon stock estimate, In Ch. 23, Tropical Peatland Ecosystems (Eds. Osaki and Tsuji), pp. 353-365, Springer.

2) Shimada S, Takada M and Takahashi H (2016) Peat mapping, In Ch. 31, Tropical Peatland Ecosystems (Eds. Osaki and Tsuji), pp.455-467, Springer.

3) Takada M, Shimada S, and Takahashi H (2016) Tropical Peat Formation, In Ch. 8, Tropical Peatland Ecosystems (Eds. Osaki and Tsuji), pp.127-135, Springer.

4) 島田沢彦 (2017) 「北方と熱帯の泥炭」湿地の科学と暮らし - 北のウェットランド大全 (矢部・山田・牛山監修) 4章, pp. 北海道大学出版会

#### 6 . 研究組織

研究代表者：島田 沢彦

(SHIMADA sawahiko)

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：90349811