

## 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—

高橋與明 (森林総研)・栗屋善雄 (岐阜大)・清野嘉之・佐藤保・鳥山淳平・門田有佳子 (森林総研)・齋藤英樹 (森林総研九州支所)・島田政信(JAXA)・I Nengah Surati Jaya・M Buce Saleh (ボゴール農大)・Suwido H. Limin (パランカラヤ大)

要旨: インドネシアでは、エルニーニョの発生の影響と考えられる異常乾燥により、大規模に森林火災が発生することが知られている。そのような大規模な火災跡地を面的に広域に把握するには、衛星リモートセンシング技術の利用が有効である。本研究では、ALOS 衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) の二時期 (2007年10月と2009年10月) の後方散乱係数画像を利用することで、中央カリマンタンの泥炭湿地における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特定できるかどうかを調べた。時系列の Landsat 画像を丁寧に目視判読して作成した土地被覆図と比較した結果、PALSAR 分類図は森林と森林火災跡地を比較的よく捉えられることがわかった。一方で、Landsat のような太陽を光源とする光学画像と PALSAR のような能動型マイクロ波レーダ画像では、本質的に異なる情報を有するため、森林の定義が両者の比較に重要であることが再認識された。

キーワード: PALSAR, 森林火災, 地上部バイオマス, 泥炭湿地林

## I はじめに

インドネシアでは、エルニーニョの発生の影響と考えられる異常乾燥により、大規模に森林火災が発生することが知られている。例えば早坂ら (1, 2) によれば、1982~1983年および1997~1998年に中央カリマンタンのパランカラヤ周辺で大規模な火災が発生したこと、また佐藤ら (5) によれば、同地域における地下水位変動と泥炭火災との関係を調べる研究において、2002年、2006年、2009年に大規模な火災が発生したことが報告されている。

ところで、早坂ら (2) は、火災による森林の焼失面積が'85, '87, '91, '94, '97, '98と徐々に大きくなる傾向があるとの指摘をしている一方で、山口ら (9) は1997~1998年の東カリマンタンで発生した森林火災による実際の被災面積は、「森林」をどのように定義するかにより様々に異なってくることを指摘している。本研究で対象とする地域は、上述と同じパランカラヤ周辺であり、この地域では、過去に択伐を受けた天然林 (高いバイオマス) と二次林 (再生林) と原野 (灌木林) が広く分布しているが (8)、これまでの筆者らの現地調査 (2007年から2009年の計5回)

でこれら全ての土地被覆タイプにおいて火災が起きている場所を目視で確認している。火災の発生をひとくくりの「植生域」での発生と考える場合と、異なる土地被覆タイプでの火災発生と考える場合とでは、例えば後者のほうが広域の炭素吸排出量をよりの確に算定できるはずである。Kiyonoら (3) によれば、インドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林においては、火災による森林からの炭素排出量の中で、土壌からの炭素排出量が地上部バイオマスの焼失による排出量と比較して圧倒的に多いことや、カンボジアの季節林ではその大小が逆であることが報告されている。したがって、広域にわたって異なる土地被覆タイプごとに火災が起きたか否かを把握できれば、地域レベルあるいは準国レベルでの炭素収支の推定精度を向上できる可能性が考えられる。

そのような大規模な火災跡地を面的に広域に把握するには、衛星リモートセンシング技術の利用が有効である。従来から広く利用されている光学衛星の一つである Landsat は、例えば森林火災の跡地の検出に非常に有用であ

TOMOAKI TAKAHASHI (Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), YOSHIO AWAYA (Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu 501-1193), YOSHIYUKI KIYONO, TAMOTSU SATO, JUMPEI TORIYAMA, YUKAKO MONDA, (FFPRI), HIDEKI SAITO (Kyushu Research Center, FFPRI), MASANOBU SHIMADA (JAXA, 2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 350-8505), I NENGHAH SURATI JAYA, M BUCE SALEH (Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, 168, Kampus IPB, Darmaga, Bogor, Indonesia), SUWIDO H. LIMIN (CIMTROP, University of Palangka Raya, 73112, Central Kalimantan, Palangka Raya, Indonesia)  
Detecting burnt forest area by PALSAR data—A case study in a peat swamp forest in central Kalimantan—

る(6)。しかしながら、光学センサ画像の場合、雲が多い湿潤の熱帯域においては自動分類が困難な画像が多く、年によっては目視判読すら困難な画像ばかりの地域もある。一方、衛星搭載の合成開口レーダ(SAR)は、雲を透過できるマイクロ波で地表面観測が可能であり、例えば Siegertら(7)は、CバンドのERS-2 SARが火災跡地検出に威力を発揮することを示している。Cバンドよりも波長の長いLバンドSAR(例えばALOS衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ:PALSAR)の火災跡地検出能力を評価した事例はこれまでにほとんどないが、Lバンドの特徴として、後方散乱係数(単位: dB)の飽和レベルに差はあれ、地上部バイオマス量が40(Mg/ha)程度以下の森林(すなわち再生初期の二次林や原野)とそれより高いバイオマスの森林とを区別できる可能性があり(4)、さらに、バイオマスの高い森林で起きた火災の跡地の後方散乱係数は特徴的な値を示すことが報告されている(8)。それゆえ、火災前と火災後の二時期のPALSARの後方散乱係数を利用することで、例えばバイオマスの高い森林域とそのような森林の中で火災を受けた場所を同時に特定できる可能性がある。そこで本研究では、2009年にパラカラヤ周辺で起きた大規模火災('07, '08年は火災の規模が小さい(5))のうち、バイオマスの高い森林が火災を受けた場所をPALSAR画像からの確に検出できるか否かを調べることを目的とした。

## II 研究対象地

研究地域はインドネシア国中央カリマンタン州にあるパラカラヤ市周辺の泥炭湿地帯(南緯2.3度、東経114.0度)である。本研究対象地域内では、図-1のような択伐跡の天然林(過去に優勢木が択伐されたが、人為攪乱が比較的少ない高バイオマス森林)と図-2のような灌木林(低バイオマスの原野)が多く存在し、その中間ステージとして図-3のような二次林も存在している。この地域の灌木林の多くは先述した年で起きた大規模な火災(場所によっては1回のみあるいは2回、3回と立て続けて火災が起こる)が発生した場所であり、その地表面は高さ1m程度のシダ植物に一面覆われている。

本研究では、森林とはもともとバイオマスが高い森林(先述の天然林)と定義し、また非森林(域)とは火災を受けたことによってバイオマスが減少した森林(以後、本研究では「劣化した森林」と称す)や、度重なる火災によって森林がほぼ完全に原野化してしまった地域(以後、本研究では「原野」と称す)、農地、オイルパーム、湿地、河川沿いの低木林(藪やゴム林)、さらに都市や住宅地や河川、をまとめたものを指すことにする。すなわち、本研究での

非森林域とは、バイオマスが低い地域を表すといえる。

## III PALSAR 画像の分類

本研究で利用したPALSAR画像は、2007年10月9日(以後、2009年の大規模な火災より前の期首画像とみなす)と2009年10月14日(以後、2009年の大規模な火災の後の期末画像とみなす)に観測された空間解像度12.5mのストラットレンジ補正済み・オルソ補正済みの4ルック処理の二偏波後方散乱係数画像である。合成開口レーダの振幅画像には、スペckル(ノイズと称されることがある)と呼ばれるコヒーレント系に特有の揺らぎが必ず存在するため、試行錯誤の結果、前処理として3×3 windowのメディアンフィルタ処理および5×5 windowの平均値フィルタ処理をし、その後バイリニア法で50m解像度にリサンプリングし、その後再び3×3 windowの平均値フィルタ処理をすることで、スペckルの影響を軽減した。

二時期の画像から、HH2007, HV2007, HH2007-HV2007, HH2009, HV2009, HH2009-HV2009の6次元のスタック画像を準備し、ENVI EXのFeature extraction ツールを用いてオブジェクトベースによるサポートベクターマシン(SVM)によってスタック画像を森林域、非森林域、2009年の森林火災(正確には期首から期末までに起きた森林火災)の跡地の3タイプに分類した。なお、オブジェクトの生成と結合に用いたパラメータの決定およびSVMの教師データの選定は、試行錯誤により主観的に決定した。

## IV 判読による Landsat 画像からの森林火災跡地抽出

雲がほとんど写っていない2000年7月16日のLandsat画像(Level 1T)を他の全ての画像の基準画像として用い、目視判読によって森林と非森林のポリゴンをGISで作成した。本研究で用いた全てのLandsat画像から判断した結果、森林が火災を受けた場合、その場所は例えば1年後の画像からも容易に判読できた。劣化した森林や原野が火災を受けた場合、その火災後の林床の(主にシダ類の)植被率の回復は3、4ヶ月ほどで著しく進んでいることが時系列画像から推察されたため、火災後3、4ヶ月以降のLandsat画像では、原野火災が起きたか否かはほぼ判読不可能であることがわかった。このため本研究では、毎年8月~10月頃(乾期後半)に主に集中して起きる火災の中で、翌年の2月頃(雨期中期)から8月頃までに観測された画像ならば、「森林火災」はある程度判読可能とみなすことができると考え、'02, '06, '09の各年度の乾期の森林火災を2003年2月15日、2007年7月4日、2010年4月7日にそれぞれ観測された雲量が比較的少ないLandsat画像から目視によって判読し、各年度の森林火災のポリゴンを作成した。た

だし、基準年（本研究では 2000 年）で森林域と判断されても、過去に火災を受けたことが全くないかは判断できない（火災後に植生が順調に回復して、森林域の DN 値と区別がつかなくなった場合）。また、基準年での非森林域において、その後順調に植生が回復した地域があるが、本研究では非森林域のまま扱うことにする。

以上の規則に従って、森林域、非森林域（2002 年と 2006 年の森林火災跡地もこれに含まれる）、2009 年の森林火災の跡地の 3 タイプの判読図を準備した。最後に、PALSAR の自動分類図の妥当性を Landsat 判読図を用いて 3 タイプの面積割合で評価し、さらに両図の特色や問題点などを整理した。

## V 結果と考察

表-1 に Landsat 判読図および PALSAR 分類図の各土地被覆の面積と、森林火災による森林の焼失割合を示した。まずこの表から、本研究対象地域の森林の焼失面積は 2002 年の 7.9% が 3 カ年の中で最も大きく、徐々に減少してきていることがわかる。冒頭で述べたように、早坂ら（2）は 80 年代の半ばから 90 年代後半にかけて森林の焼失面積が年々増加している報告しているが、本研究では基準年の 2000 年以降の大規模火災のインパクトは減少傾向にあるようである。しかし、本研究で作成した Landsat 判読図は原野火災や二次林火災などの非森林域における火災を無視しているため、火災そのものの面積は表-1 の数値よりも当然大きく、ここでは示すことはできないが、実際、各年の Landsat 画像の非森林域における火災跡地面積は大きいことが容易に読み取れたのも事実である。山口ら（9）の指摘の通り、森林の定義をどう決めるかで火災に焼失面積はかなり変わってくることに留意しなければならない。

図-3 および図-4 にはそれぞれ Landsat 判読図および PALSAR 分類図の一部を示した。黒色、白色、灰色メッシュ、はそれぞれ森林、非森林、2009 年の森林火災跡地を示している。この二つの図および表-1 からは、森林火災跡地の場所や面積は比較的近いと判断できる。一方で、森林面積と森林火災跡地面積に関して、PALSAR 分類図のほうが Landsat 判読図よりもやや大きな面積を示していることがわかる。この原因は、次のことが考えられる。

- 1) 判読による誤差
- 2) 自動分類による誤差
- 3) データの性質の違い（光学画像（太陽光の反射率）  
v.s. レーダ画像（マイクロ波の散乱））
- 4) 観測日の違いによる、火災跡地の広がり具合や場所の違い

これらの中で、最も大きな要因は、上記 3) であると考

えられる。なぜならば、例えば LUCKMAN ら（4）はバイオマスが 40 Mg/ha を超えると L バンド HH 偏波の後方散乱係数が飽和することを報告しているが、実際、本研究対象地域の中には 50 Mg/ha 程度の二次林が存在したため、そのような二次林と森林（≒天然林）との区別がつかなくなるおそれが高い。すなわち、バイオマスの高い二次林が存在すれば、みかけの森林面積が増えてしまうことになり、さらに、そのような二次林で火災があった場合、森林火災とほとんど同じ後方散乱係数を示すことも容易に理解できる。これらのことからわかるように、やはり森林の定義が極めて重要であるといえる。

## VI おわりに

今後は、森林の定義を変えた Landsat 判読図を作成し、PALSAR 分類図の妥当性をより詳細に評価していく。なお、本研究は地球環境研究総合推進費（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（A-0802））および文部科学省科学研究費補助金（No. 22780155）で実行された。

## 引用文献

- （1）早坂洋史・高橋英紀・USUP, A. (2004) インドネシア・カリマンタン島の降雨傾向と森林火災. 日本建築学会 (2004 年 7 月) 北海道支部報告集 77: 133-136.
- （2）早坂洋史・高橋英紀・USUP, A. (2004) インドネシア・カリマンタン島の気象と森林火災. 日本建築学会大会 (2004 年 8 月) 学術講演概集 343-344.
- （3）KIYONO, Y., SAITO, S., TAKAHASHI, T., HIRAI, K., SAITO, H., SATO, T., TORIYAMA, J., MONDA., Y., AWAYA, Y., SHIMADA, M., INOUE, T., HATANO, R., SOPHAL, C., VANNA, S., SUM, T., KANZAKI, M., SUWIDO, H. L., and JAYA, N., S. (印刷中) 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. 関東森林研究 62
- （4）LUCKMAN, A., BAKER, J.R., KUPPLICH, T.M., YANASSE, C.C.F., and FRERY, A.C., (1997) A study of the relationship between radar backscatter and regenerating forest biomass for space borne SAR instrument. Rem. Sens. Environ. 60: 1-13.
- （5）佐藤 空・井上 京・石倉 究・波多野隆介・平野高司・高橋英紀・DARUNG, U.・JAYA, A.・SUWIDO, H. L. (2010) インドネシア中部カリマンタン州の熱帯泥炭地における地下水位変動と泥炭火災. 日本湿地学会 6 月大会講演要旨([HTTP://WWW.J-WETLANDS.JP/ DOWN LOAD/](http://www.j-wetlands.jp/download/))

2010/06/SATO2010.PDF)

(6) SHEN, C., LIEW, S. C., and KWOH, L. K. (2001) Spatial and temporal pattern of forest/plantation fires in Riau province, Sumatra from 1998 to 2000. Proc. ACRS 2001 - 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore. 1: 520-525.

(7) SIEGERT, F., and RUECKER, G. (2000) Use of multitemporal ERS-2 SAR images for identification of burned scars in south-east Asian tropical rainforest. Int. J. Rem. Sens. 21:



図-1. 択伐跡の天然林

831-837.

(8) 高橋與明・粟屋善雄・清野嘉之・齋藤英樹・島田政信・JAYA, N. S. ・SALEH, M. B. ・SUWIDO, H. L. (2009) 50m 解像度の PALSAR データの土地被覆判読性. 関東森林研究 60: 65-68.

(9) 山口綱士・露木聡 (2001) リモートセンシングと GIS を利用したインドネシア東カリマンタン森林火災の被害報告. 東京大学農学部演習林報告 106: 17-48.



図-2. 灌木林 (原野)



図-3. 二次林 (再生林)

表-1. Landsat 判読図および PALSAR 分類図の各土地被覆の面積と火災による森林の焼失割合

|               | 森林<br>(千 ha) | 非森林<br>(千 ha) | 森林火災<br>(千 ha) | 森林の焼失<br>割合(%) |
|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| 2002 年<br>判読図 | 379.3        | 515.1         | 32.4           | 7.9            |
| 2006 年<br>判読図 | 365.9        | 547.5         | 13.4           | 3.5            |
| 2009 年<br>判読図 | 357.6        | 560.6         | 8.6            | 2.4            |
| 2009 年<br>分類図 | 380.8        | 533.3         | 12.7           | 3.2            |

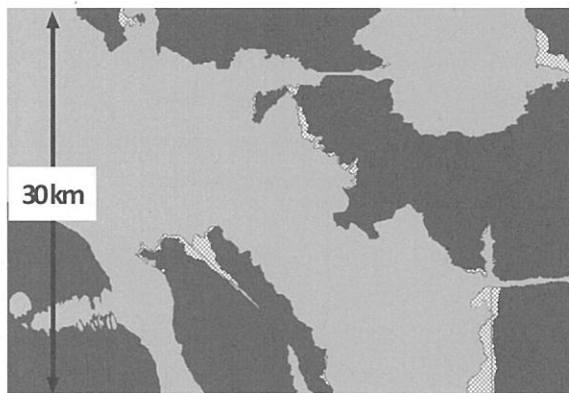


図-4. Landsat 判読図

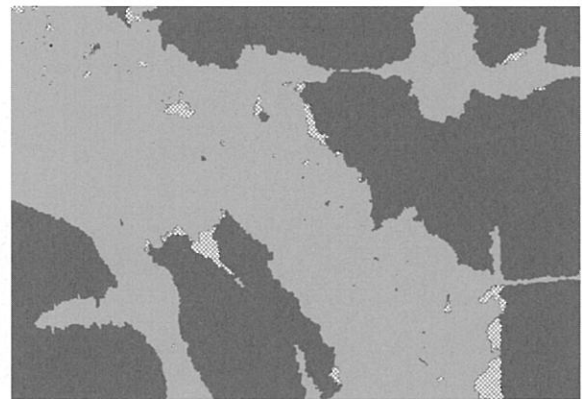


図-5. PALSAR 分類図