

# 陸域観測技術衛星 2号「だいち 2号」の観測データを用いた熱帯林伐採域の自動検出に関する検討

○立石 恵一（北海道大学）、田殿武雄（JAXA/北海道大学）、小野里雅彦（北海道大学）

## 要旨

地球温暖化の進行は、熱帯林を中心とした森林伐採が要因の一つと言われており、この対策の一つとして人工衛星による森林の広域監視が有効である。JAXA と JICA は 2016 年から「熱帯林早期警戒システム」(JJ-FAST)の運用を開始した。JJ-FAST とは、陸域観測技術衛星 2号「だいち 2号」を用いて検出した森林域変化情報を提供するシステムであるが、自動検出結果の目視確認が大きな負担となっている。本研究では機械学習を用いた検出システムの自動化を検討する。

## 1 序論

世界規模の森林減少の影響により、地球温暖化の進行や生態系の破壊などの環境問題が発生している。森林保全は国際的に重要な課題であり、これまで光学衛星による森林監視が行われてきた。しかし、光学衛星データは雲の影響を受けるため、その利用には制限がある。このため、上空が雲に覆われることの多い熱帯林の監視には、昼夜や天候の影響を受けず観測が出来る合成開口レーダ(SAR)の活用が有効である。宇宙航空研究開発機構(JAXA)が 2014 年に打ち上げた陸域観測技術衛星 2号「だいち 2号」(ALOS-2)には、フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ(PALSAR-2)が搭載されており、森林伐採の監視に大きく貢献している。しかしながら、現状の森林域変化検出システムはリリース前の目視による確認が情報提供側の負担となっている。このような課題を解決するため、全天候型のセンサである SAR を活用し、機械学習を用いて自動かつ高精度に森林域の変化情報を検出することが強く望まれている。本研究では、将来的に専門家による判読と同程度の森林変化域自動検出システムを構築するため、機械学習を用いた検出システムの自動化について検討する。

## 2 対象領域

本研究の将来的な目標は森林域の変化検出をリアルタイムで全球規模の熱帯林に適用することである。本論文ではまず南米ペルー東部のウカヤリ州(図 1(a))を対象領域とする。ペルーは南アメリカ大陸に位置し、国土の半分以上が森林で覆われている。さらに近年、高い森林減少率を記録していることから、森林の時間的変化を観察するには適した対象であるといえる。検出対象領域は、PALSAR-2 と、光学衛星ベースの伐採情報データセットである GLAD(Global Land Analysis and Discovery)[1]で共に森林域変化が確認できる領域(1° × 1°)に設定した。図 1(b)は PALSAR-2 の観測画像の一例であるが、右側の黒い部分は該当日の観測でカバーできなかった部分である。同図左上の台形の領域は森林を伐採し、畑地として利用されている区画であり、また中央上部の蛇行している黒い領域はアマゾン川の主要な支流のひとつであるウカヤリ川である。

## 3 森林変化域の自動検出システムの検討

### 3.1 PALSAR-2 による森林伐採の観測

SAR は、レーダから送信されたマイクロ波に対する対象物の散乱の強さ、すなわち、後方散乱係数と位相情報を観測する。PALSAR-2 が送受信する L バンド帯のマイクロ波は、木の枝葉などの細かい構造を一部透過し、木の幹や地表面の構造を敏感に捉える。対象物によりマイクロ波の散乱過程が異なるため、偏波による森林域の見え方の違いが厳密には判明していないのが現状である。ただし、切り倒

された木が地面に残された状態である初期段階の森林伐採では、HH 偏波の伐採箇所が明るく写り、切り倒された木が地面から取り除かれた状態である後期段階の森林伐採では HV 偏波の伐採箇所が暗く写る例が報告されている[2]。本研究では、HV 偏波において変化のわかりやすい後期段階の森林伐採を検出対象とし、正式な手続きを経て行われた計画伐採と違法伐採は区別しないものとする。

### 3.2 森林変化域検出システム

本研究で使用するデータセットは、ALOS-2/PALSAR-2 の広域観測モードで約半年間観測されたデータである。観測期間は 2016 年 3 月 31 日から 2016 年 11 月 24 日であり、観測は約 1 ヶ月半に 1 度を標準として行われている。図 2 は本研究で提案する森林変化域検出の処理手順を示す。

#### (1) PALSAR-2 データの前処理

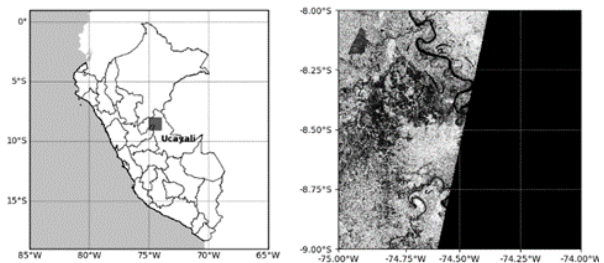
解析はまず、入力データとなる 2 時期の PALSAR-2 の HV 画像に対して森林変化検出に必要なデータの前処理を行う。具体的には、符号なし 16 ビット整数で格納された観測データ  $DN$  から後方散乱係数  $\gamma^0$  [dB] への変換や  $5 \times 5$  のメディアンフィルタによる SAR 画像特有のごま塩状のノイズ除去を行う。後方散乱係数への変換は(1)式を用いる。

$$\gamma^0 = 10 \log_{10} DN^2 + CF \quad (1)$$

ただし、 $CF$  は校正係数を示し、PALSAR-2 の場合  $-83.0$  [dB] を用いる[3]。

#### (2) 機械学習による森林変化域の抽出

森林変化域検出には Support Vector Machine(SVM)ベースの異常検知手法の一つである One-Class SVM[4]を適用する。One-Class SVM は、入力されたデータが正常クラスに入るかどうかで異常値を検出する。検出された異常値のうち、第一次観測と第二次観測を比較して後方散乱係数が上昇したピクセルを除いた領域を変化域として検出する。



(a)対象領域の位置 (b)対象領域(1° × 1°)

図 1 対象領域(ペルー、ウカヤリ州)

(a)中央の矩形部分が検出対象領域、

(b)PALSAR-2 画像(2016 年 1 月 7 日観測)

### (3) 誤検出の除去

全球森林・非森林マップ[5]により植生領域以外をマスクすることにより、元来木の生えていない場所が伐採域として検出される不整合を防ぐ処理を行う。

## 4 結果と考察

### 4.1 One-Class SVM による学習

本システムにおいて One-Class SVM を用いて学習した決定境界を図 3 に示す。2 時期の入力データが灰色の領域にプロットされた場合、異常値として判定される。異常値のうち、第一次観測に対して第二次観測の後方散乱係数が減少したピクセル（図 3 点線下部の領域）を変化域として検出する。

### 4.2 検出結果

ここでは、PALSAR-2 の HV 画像上で人間が認識できる伐採域を本システムが検出できているかを検証するため、図 1(b)の検出対象領域中の 2 地点において目視確認を行った。地点 A および地点 B における森林変化域を図 4 に示す。図 4 中の Cycle は PALSAR-2 基本観測シナリオ[6]により定められた ALOS-2 の回帰番号を示す。以下に、地点 A、地点 B の目視確認結果および考察を示す。

#### 地点 A :

地点 A では、目視確認により Cycle 53 と 56 の回帰間で森林域変化が認められた。検出結果においても、目視確認と同様の森林変化域が検出できていることが確認できる。

#### 地点 B :

地点 B では、目視確認により Cycle 53 と 56 の回帰間で森林域変化が認められた。図 4(e)の変化域は概ね良好に検出できているが、川幅の変化が検出されていることが確認できる。

## 5 結論と今後の課題

本研究では、将来的に専門家による判読と同等の森林変化域自動検出システムを構築するため、機械学習を用いた検出システムの自動化について検討した。提案する森林変化域検出システムでは、ALOS-2/PALSAR-2 の HV 画像上で視認できる複数の伐採域において良好に森林伐採が検出できることを確認した。一方、川幅の変化や後方散乱係数の季節変動により、過剰に伐採域を検出する傾向が見られた。今後の課題としては、多時期の画像を用いた季節変動を考慮したアルゴリズムの作成や HH 偏波を利用した森林変化域の早期検出などがあげられる。

### 参考文献

[1] Global Land Analysis and Discovery/Forest Alert, <http://glad.geog.umd.edu/alarm/openlayers.html>, 2018.

[2] M. Watanabe et al., Development of early-stage deforestation detection algorithm (advanced) with PALSAR-2/ScanSAR for JICA-JAXA program (JJ-FAST), IGRASS, 2017 IEEE international, 2017.

[3] ALOS-2/PALSAR-2 JAXA 標準プロダクトの精度評価結果 [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/calval/calval\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/calval/calval_jindex.htm).

[4] B. Schölkopf et al., "Estimating the Support of a High-Dimensional Distribution", Neural Computation Vol. 13, Issue7, Jul. 2001 p.1443-1471.

[5] 全球 PALSAR-2/PALSAR/JERS-1 モザイクおよび森林・非森林マップ [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/palsar\\_fnf/fnf\\_jindex.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/palsar_fnf/fnf_jindex.htm).

[6] PALSAR-2 基本観測シナリオ [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/palsar\\_fnf/fnf\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/palsar_fnf/fnf_jindex.htm).

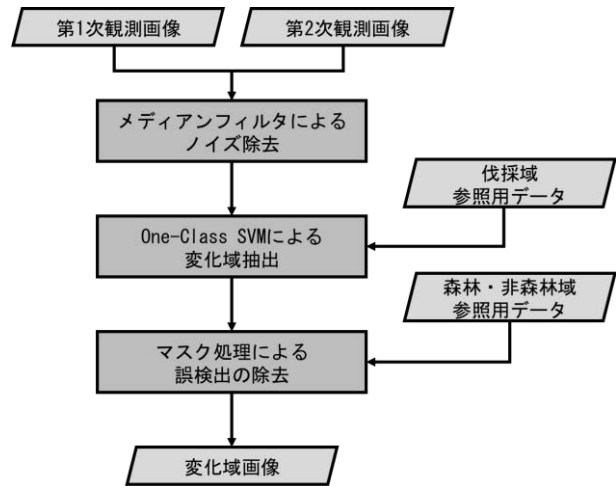


図 2 森林変化域検出システム

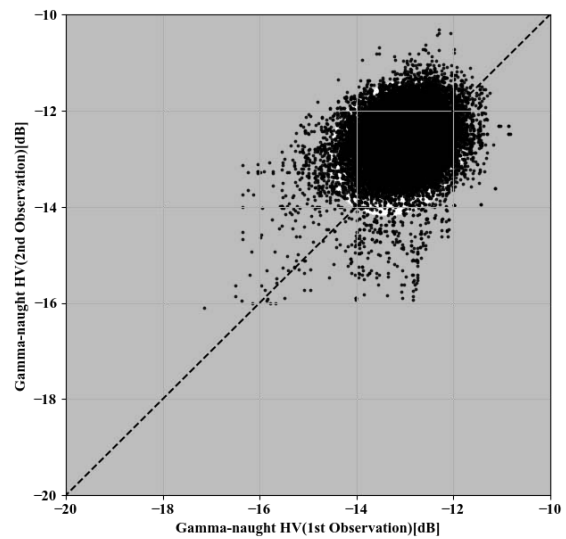


図 3 One-Class SVM の決定境界

図中白色の領域は正常値、灰色の領域は異常値  
点線上のプロットは 2 時期の後方散乱係数が等しい

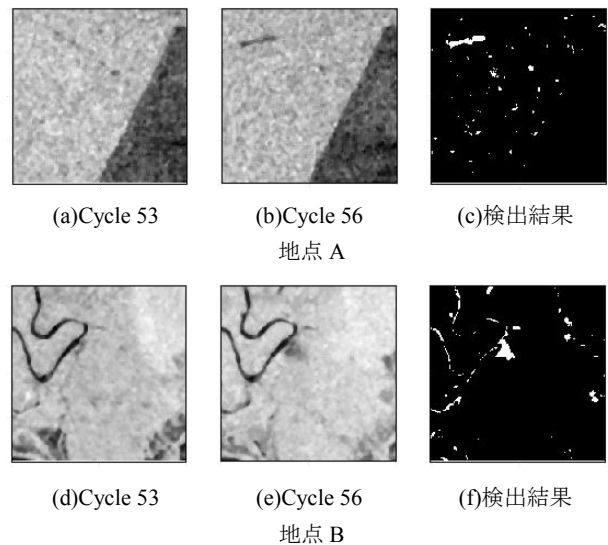


図 3 森林域の変化検出結果

(c),(f)白色ピクセルは 2 回帰間で検出された森林変化域