

# 衛星画像を用いた 10 年間の植生変化

1190129 花井 洋昭

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年、様々な人工衛星データが無償で容易に入手できるようになった。そこで本研究では、空間分解能や観測波長帯、バンド数の異なる人工衛星を用いた土地被覆分類から 10 年間の植生変化マップを作成することを目的とした。Sentinel-2 運用期間は、Sentinel-2 を単独で用いることで精度 90.0% の土地被覆分類が得られた。2009 年度では、Landsat5 と ALOS(Advanced Land Observing Satellite) の衛星データを融合させて用いることで精度 80.0% 以上の分類結果が得られた。

次に、分類結果をもとに 2009 年度から 2018 年度の植生変化マップを作成し、10 年間の植生変化を確認した。伐採跡地では、標高によって回復した植生に違いがみられた。伐採跡地は、標高 800m 未満は常緑広葉樹、800m 以上は落葉広葉樹に回復していた。また、標高 500m では植生回復に 10 年要し、1000m では 18 年以上要することが確認できた。

**Key Words:** Sentinel-2, Landsat5, ALOS, 伐採跡地

## 1. はじめに

近年グローバルな気候変動や人工林の伐採、シカの食害などによって植生が変化している。そのため人工衛星による長期的かつ広域的な植生の変化の把握が必要である。

現在では、様々な地球観測衛星が打ち上がっており、容易に様々な衛星画像が入手できるようになった(図-1, 2)。Sentinel-2 は、2015 年より運用された欧州の地球観測光学衛星で、可視 4 バンド、近赤外 6 バンド、短波長赤外 3 バンド合計 13 バンドの観測波長帯を持つ。10m 分解能を持つため、高精度での土地被覆分類が期待できる。Landsat は、アメリカ航空宇宙局(NASA)の地球観測衛星で、1972 年から長期にわたって継続観測が行われている。主な分解能は、30m である。Landsat8 の観測波長帯は可視 4 バンド、近赤外 1 バンド、短波長赤外 3 バンドである。Landsat5 は、Landsat8 と比べて可視、短波長赤外が 1 バンド少なく、熱赤外に 1 バンド持つ。ALOS は、分解能が 10m で可視 3 バンド、近赤外 1 バンドの観測波長帯を持つ。ALOS の運用期間は 2006 年から 2011 年である。

そこで本研究では、空間分解能や観測波長帯、バンド数の異なる人工衛星を用いた土地被覆分類から 10 年間の植生変化マップを作成することを目的とした。

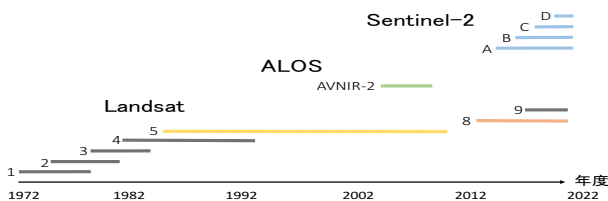


図-1 人工衛星の運用期間

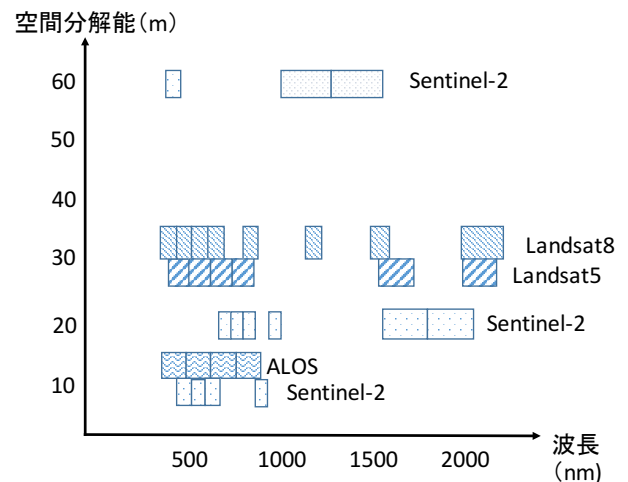


図-2 人工衛星による観測波長と空間分解能

## 2. 対象エリア・使用データ

### 2.1 対象エリア

図-3 に対象エリアの位置図を示す。

対象エリアは、高知県中部に位置する大豊町と香美市を 36.20km × 27.15km で取得した。



図-3 対象エリア

### 2.2 使用データ

表-1 に本研究で使用した人工衛星画像を示す。使用衛星画像には雲が含まれている衛星画像もある。

本研究では、2009 年から 2018 年の 10 年で 6 年度分

の人工衛星画像を 4 種類の人工衛星から取得した。植生の季節変化を考慮し、落葉開始時期、落葉期、着葉期の 3 時期を 1 年度の分類に用いた。

分類に使用したバンドを表-2 に示す。Sentinel-2 は可視 4 バンド、近赤外 6 バンド、短波長赤外 3 バンド合計 13 バンドを使用した。Landsat8 は、可視 4 バンド、近赤外 1 バンド、短波長赤外 3 バンド合計 8 バンドを使用した。Landsat5 と ALOS は分解能が 10m の ALOS の可視 3 バンドと近赤外 1 バンド、分解能 30m の Landsat5 の短波長赤外 2 バンドを融合させて合計 6 バンドを使用した。バンド数が少ない状況を補うため、Landsat5 と ALOS を融合させる場合は、6 時期の衛星画像を用いた。Landsat5 と ALOS を融合させる場合を、Landsat5&ALOS と表記する。

表-1 使用衛星画像

Sentinel-2			Landsat8			Landsat5&ALOS		
年度	時期	雲(あり:○)	年度	時期	雲(あり:○)	年度	時期	雲(あり:○)
2018	2018/5/24		2016	2016/7/19	○	2009	2006/11/23	
	2018/4/19	○		2016/4/30			2009/9/2	○
	2017/11/5			2015/10/21			2009/4/11	
2017	2017/9/26	○	2015	2015/9/19	○	2009	2009/11/23	○
	2017/4/4			2015/4/30			2009/8/23	○
	2016/11/5	○		2014/11/3	○		2009/4/7	
			2014	2014/10/18				
				2014/4/25				
				2013/11/16	○			

表-2 分類に使用したバンド

分類に用いた人工衛星		Sentinel-2	Landsat8	Landsat5&ALOS
観測波長帯	可視(バンド)	4	4	3(ALOS)
	近赤外(バンド)	6	1	1(ALOS)
	短波長赤外(バンド)	3	3	2(Landsat5)
合計使用バンド数(バンド)		13	8	6

### 3. 衛星画像の前処理

#### 3.1 幾何補正

衛星データには幾何学的な歪みが含まれており、そのままでは、地図や他の衛星データと重ねることができない。そのため、基準点を物部川流域の橋などに 6 点選定し、精度が 0.5 ピクセル以内となるように式(a)アフィン変換式<sup>1)</sup>を用いて補正した。

$$\begin{cases} x = au + bv + c \\ y = du + ev + f \end{cases} \quad (a)$$

$a, b, c, d, e, f$ : 変換係数  
 $u, v$ : 変更前座標  $x, y$ : 変更後座標

#### 3.2 輝度値の正規化

本研究では、地形・大気による影響を補正するために式(b)<sup>2)</sup>より正規化した輝度値に変換する処理を行った。

$$R_e(i) = \frac{r_e(i)}{1/N \times \sum_{i=1}^N r_e(i)} \quad (b)$$

$R_e$ : 正規化反射率  $r_e$ : 反射率  
 $N$ : 総バンド数  $i$ : バンド番号

## 4. 機械学習による土地被覆分類

### 4.1 分類手法

本研究では、土地被覆分類を SVM (Support Vector Machine) という機械学習で行った。分類項目は[落葉広葉樹]・[常緑広葉樹]・[常緑針葉樹]・[混交林]・[裸地]・[水域]の 6 項目で、分類結果を標高ごとに精度検証した。ALOS 解析研究プロジェクトで提供されている ALOS 土地被覆分類の全体精度は 78.0%<sup>3)</sup> であるため、精度が全ての地域で 80.0% を超えるまで分類を繰り返した。分類フローを図-4 に示す。

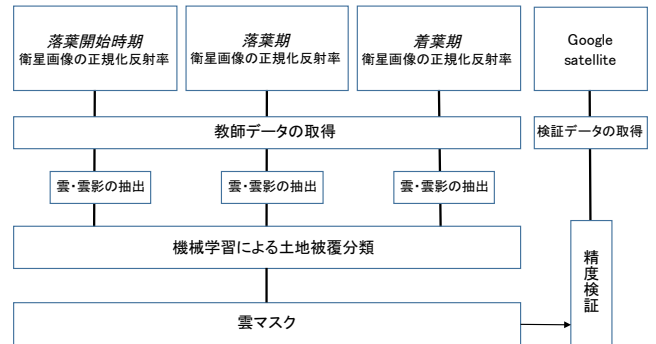


図-4 分類フロー

### 4.2 教師データ

機械学習で分類する際には、基準となる各分類項目における代表的な統計量を求めなければならない。その統計量のことを教師データと呼ぶ。垂直的分布による植生の分布パターンを考慮するために、三嶺(2000m)、松尾峠(1000m)、大倉山(500m)、佐岡(200m)の 4 つの地域で教師データを取得した。また、教師データは、分類に用いる衛星画像の雲がないピクセルで取得した。分類に用いた教師データピクセル数を表-3 に示す。

教師データの取得は、Sentinel-2 の 2018 年度衛星データを R・G・B にバンド 5・6・7 をカラー合成させ、落葉開始時期・落葉期・着葉期の 3 時期の色の変化から目視で行った。このとき教師データは、植生の境界より 3 ピクセル以上内側から取得した。また、裸地は伐採によって植生が大きく変化するため、2009 年度、2018 年度共に裸地のピクセルを、教師データとして取得した。2018 年度以外の分類に用いる教師データも、2018 年度の画像にて、設置した位置座標を用いて取得した。

表-3 分類に用いた教師データピクセル数

地名	物部川流域				合計教師データ数 (ピクセル数)	
	三嶺	松尾峠	大倉山	佐岡		
標高(m)	2000	1000	500	200		
分類項目	落葉広葉樹	200	500	0	0	700
	常緑広葉樹	0	0	500	500	1000
	常緑針葉樹	200	500	500	500	1700
	混交林	200	500	0	0	700
	裸地	200				200
	水域	200				200

### 4.3 パラメータ設定

SVM では誤分類をどの程度許容するかを決めるコストパラメータ C と、識別境界の複雑さを決める RBF カーネルのパラメータ  $\gamma$  を設定する必要がある。本研究では、分割数を任意に決めることのできる層化 k 分割交差検証を用いたグリッドサーチで、最適なパラメータを決定した。k の値は分割間の精度のばらつきが十分に小さくなった 5 に設定した。表-4 に各衛星のパラメータを示す。

表-4 各衛星のパラメータ

人工衛星	Sentinel-2	Landsat8	Landsat5 & ALOS
機械学習手法	サポートベクターマシン (SVM)		
パラメータ設定手法	層化k分割交差検証を用いたグリッドサーチ		
kernel	RBF	RBF	RBF
C	100	100	100
gamma	0.01	0.1	0.1

### 4.4 雲マスク

土地被覆分類を行う際に雲・雲影の部分は、6つの分類項目に正確に分類されない。そのため、雲のある衛星画像の雲と雲影を抽出し、分類結果に雲マスクとして重ねる。雲・雲影の抽出手法は、雲のある衛星画像からそれぞれ雲・雲影を 200 ピクセルずつ教師データとして取得した。土地被覆分類を行うために、6項目で取得した教師データの分類項目を[雲・雲影以外]とし、雲・雲影の教師データと合わせた。合計 4900 ピクセルの教師データを使用して1つの衛星画像ごとに SVM で [雲]・[雲影]・[雲・雲影以外]の3分類させた。雲・雲影として抽出された部分を雲マスクとして分類結果に重ねた。

### 4.5 分類結果

分類は Sentinel-2 で 2 年度分, Landsat8 で 3 年度分, Landsat5 & ALOS で 1 年度, 合計で 6 年度分の分類結果が得られた。2018 年度と 2009 年度の 2 年度分の分類結果を図-5 に示す。2009 年から 2018 年にかけて、混交林が減り、山頂部で裸地が増えた様子が確認できた。

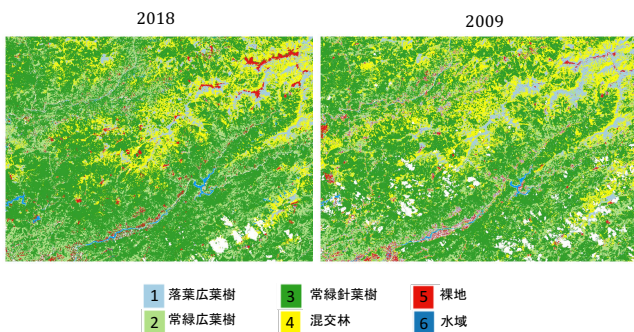


図-5 分類結果

### 4.6 精度検証

検証データの取得は, Google satellite にて目視で

取得した。また、検証データは教師データと独立した点とし、標高ごとに三嶺・松尾峠・大倉山・佐岡で各分類 50 ピクセル取得し、精度検証を行った。

2018 年度の松尾峠での精度検証結果を表-5 に示し、各年度での全体精度を表-6 に示す。

標高 1000m 付近での松尾峠では、植生が入り組んでおり、他の地域と比べて精度は低くなった(表-5)。また、Landsat8 は分解能が 30m のため、混交林や植生の境界部分で精度が低くなり、全体精度も低くなった。Landsat5 & ALOS を用いて分類することで、分類精度は上がった。

表-5 松尾峠(2018 年度)での精度検証結果

Sentinel-2 2018年(松尾峠)	分類結果						Producer's accuracy(%)
	落葉広葉樹	常緑広葉樹	常緑針葉樹	混交林	裸地	合計	
落葉広葉樹	36	2	0	12	0	50	72
常緑広葉樹	0	0	0	0	0	0	0
常緑針葉樹	0	0	49	1	0	50	98
混交林	2	0	1	47	0	50	94
裸地	0	0	0	0	0	0	0
合計	38	2	50	60	0	150	
User's accuracy(%)	94.7	0	98	78.3	0		88

表-6 各年度の標高別の全体精度結果

人工衛星	Sentinel-2		Landsat			Landsat5 & ALOS	
	2018	2017	2016	2015	2014	2009	
分類年度	三嶺	94	95.3	79.3	80.4	82	86.7
	松尾峠	88	87.3	78	80.7	80.7	82
	大倉山	99	99	81	81	85	89
	佐岡	98	98	82	84.8	83	88
全体精度(%)							

## 5. 植生変化マップの作成

### 5.1 境界マスク

6 年度分の分類結果を得たが、Landsat8 のみを使用した分類結果の分解能は 30m である。そこで植生変化マップは、10m 分解能で分類結果が得られている 2018 年度・2017 年度・2009 年度の 3 年度を用いた。そこでまず、[3 年度で変化]・[2018 年度から変化]・[2017 年度から変化]・[3 年度で変化]・[2017 年度だけ変化]の 5 パターンで植生変化パターン図を作成した。

各衛星画像は、幾何補正を行ったが、衛星画像のピクセル位置は画像取得時ごとにわずかなズレが生じている。そのズレが植生変化として表れるため、植生の境界付近は、誤差が発生する。

今回は、植生の境界の位置ズレを考慮し、マスク処理を行った。植生変化パターン図を縦 3 ピクセル、横 3 ピクセルずつで区切り、9 ピクセル内に、[3 年度で変化なし]のピクセルがいつ含まれるかで境界マスクを考えた。今回は、9 ピクセル内に [3 年度で変化なし] のピクセルが 6 ピクセル以下の時を境界とみなした。また、[3 年度で変化した] と [2017 年度だけ変化した] も境界とした。



## 5.2 植生変化マップによる変化抽出

[3年度で変化なし]・[2018年度から変化]・[2017年度から変化]の3パターンに雲マスク・境界マスク処理をし、植生変化マップを作成した(図-6)。植生変化マップから植生が変化している様子が確認できた。例えば、大豊町立川の周辺では混交林から常緑針葉樹に変化していることが判った。また、松尾峠周辺では、人工林が伐採され裸地になった様子もみられた。

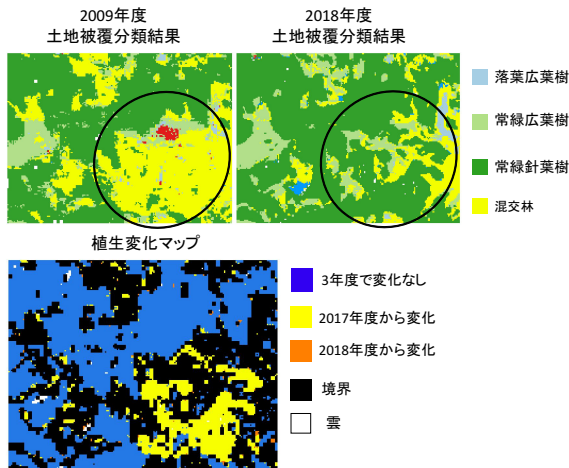


図-6 大豊町立川における植生変化マップ

## 6. 植生変化マップを利用した植生回復の状況

### 6.1 伐採跡地の抽出

まず、伐採跡地の抽出を行った。抽出方法は 2009 年の分類が裸地で、2018 年度の分類で植生が回復している部分を抽出した。そこから目視で伐採跡地を 20 箇所抽出した。抽出した伐採跡地を図-7 に示す。

伐採時期は、Landsat5 の原画像をもとに目視で判断し、植生回復は分類結果から得た。

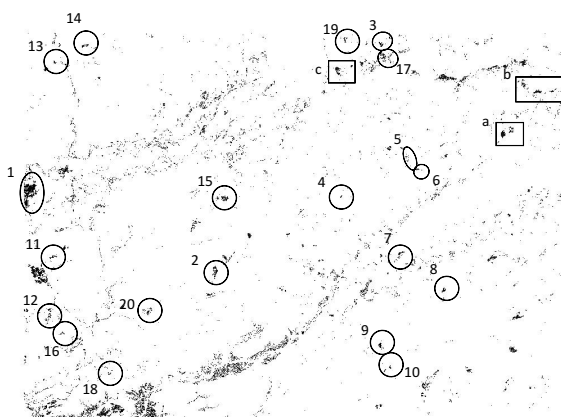


図-7 伐採跡地

### 6.2 伐採跡地の地理的特徴

伐採跡地の植生回復状況の特性を知るために、国土数値情報から標高・平均傾斜角度・土壌・地質・年降

水量・年平均気温・年平均全天日射量の属性を付与した。

植生回復状況と平均傾斜角度・土壌・年降水量・年平均全天日射量の目立った相関は確認できなかった。しかし、標高・回復後植生・森林回復期間・地質を散布図で表すと、標高と回復状況で相関がみられた(図-8)。標高 800m 付近で回復した植生に違いがあることが判った。また、標高が高くなるにつれて森林回復に時間を要する。標高が 800m を超え、10 年未満で森林回復した 3 箇所の伐採地は、いずれも表面地質が千枚岩であった。

一方、22 年以上たっても植生の回復が見られない伐採跡地もいくつかみられた。それらの伐採跡地は図-7 の a, b, c で、いずれも標高 1000m を超える山岳部にある。

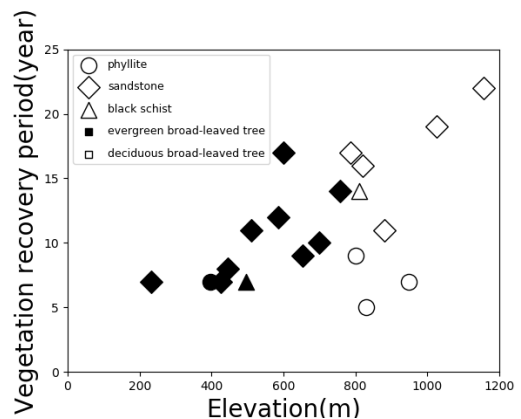


図-8 標高と植生回復状況

## 7. 考察

今回、特徴の異なる複数の衛星を用いて機械学習により土地被覆分類を試みた。その結果、Sentinel-2 による土地被覆分類は 90.0% の精度が得られた。Landsat5&ALOS を使用した分類も Sentinel-2 には劣るが 80.0% 以上の精度が得られた。Sentinel-2 の運用期間外の分類は、Landsat5&ALOS を用いて行うことで、10 年間の植生変化マップを作成した。雲の抽出は、教師データを用いた機械学習で行った。今後は、雲抽出を自動化を行うために、熱赤外バンドの輝度値で雲を抽出する必要がある。

伐採跡地での植生回復状況について、標高と森林回復期間の回帰分析を行った。標高 500m では、植生回復に 10 年要し、標高 1000m では回復されない箇所もあり、回復したとしても 18 年要していることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 高木方隆 国土を測る技術の基礎
- 2) 鈴木滉一 衛星画像を用いた中山間地域の土地被覆変化抽出 2017 年度
- 3) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター・筑波大学との共同研究 高解像度土地利用土地被覆図の作成