
 論 文

衛星画像を用いた伐採地の抽出手法の開発

山口 雄也¹⁾・石川 大太郎^{1,2)}・内原 浩之³⁾・芦原 誠一³⁾・片平 祐介¹⁾・徳岡 杜香¹⁾・石黒 悦爾⁴⁾

Study on the development of identification method of cutting area in forest by satellite image

YAMAGUCHI Yuya¹⁾, ISHIKAWA Daitaro^{1,2)}, UCHIHARA Hiroyuki³⁾, ASHIHARA Seiichi³⁾, KATAHIRA Yusuke¹⁾, TOKUOKA Morika¹⁾ and ISHIGURO Etsuji⁴⁾¹⁾ 農学部生物環境学科学学生 (Fac. Agriculture (Student))²⁾ 日本学術振興会特別研究員 (JSPS Research Fellow)³⁾ 農学部附属演習林 (University Forest)⁴⁾ 農学部生物環境学科 (Fac. Agriculture)¹⁻⁴⁾ 1-21-24 Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890-0065¹⁾ corresponding author

Received Nov 30, 2010 / Accepted Feb 8, 2011

Abstract

This research was carried out for identification of cutting area in forest using remote sensing, especially Landsat/TM and ALOS/AVNIR-2 data. Non-vegetation area and the others were able to be separated with high accuracy when threshold was determined by value of $NDVI \leq 0.51$. The index (I) of the identification of cutting area was developed.

Finally, the value of $I_{(Landsat)} \geq 16$ and the value of $I_{(ALOS)} \geq 0$ were effective for the identification of cutting areas in the forest. The results suggested that the identification of cutting areas using satellite data is an effective technique for forestry management.

Key words : cutting area, Normalized Differential Vegetation Index(NDVI), Image analysis, Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2

キーワード : 伐採地, 正規化植生指数(NDVI), 画像解析, Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2

1. はじめに

国産材価格の低迷に加え、木材需要の低下により木材生産から得られる収入が大幅に減少しており、森林所有者、特に小規模な面積に対して林業に従事している生産者の意欲が減衰している。このような森林所有者は、森林を伐採するものの木材生産で十分な収益が得られず再造林費が出ない、今後十分な収益が期待できないことから後継者がいないなどの理由で、伐採地に再造林を行わずにそのまま放置してしまうケースが多く見受けられるようになってい

る^{1), 2)}。再造林が放棄されることにより、山地に覆われている我

が国において土砂災害を最小限に食い止める土砂流出防止機能や生物多様性保全機能、年間を通じて「緑のダム」として安定的に水を供給する水源涵養機能など森林の有する諸機能が低下することが懸念されている。森林の状態は我々の生活に密接に関連しているため、森林の機能低下を防ぐ努力が必要であり、森林を適正に管理することが重要となる。しかし、人的な管理には、多くの時間と労力がかかる場合が多く、さらに管理区域も限られてしまうなどの問題点が生じる。

これらのことから栗屋³⁾、村上⁴⁾は衛星データを用いた「伐採地抽出」に対する研究事例を報告している。それらの研究事例をもとに大田ら⁵⁾が報告している手法は、リモー

トセンシング学会実利用委員会により伐採地抽出のための奨励技術として提唱されている⁶⁾。本手法は、1970年代から、地上の植生変動等を観測しているLandsat/TM(Thematic Mapper)画像を用いることで提案されている。Landsat/TMデータを用いることにより、過去に行われた伐採箇所の確認や現状把握が可能になり、植生の有効性や生態系保持の指針を議論することが可能になると考えられる。

さらに、2006年1月純国産型の衛星として、ALOSが打ち上げられた。ALOSは、可視・近赤外域のデータを取得するAVNIR-2とPRISMの2種類のセンサを持っているが、このうちALOS/AVNIR-2は時間分解能の点ではLandsatより劣るものの、地上分解能が10m程度と優れていること、バンド1～バンド4までの波長領域はLandsatとほぼ一致していることや取得時にジオリファレンス済みのデータが提供されることから、林業等の生産現場での利用推進が期待されている衛星である。

以上のことから、本研究では、リモートセンシング手法を用いた森林管理手法の提案を目的として、前述した伐採地抽出手法をLandsat/TMとALOS/AVNIR-2画像に適用し、高隈演習林における伐採地の抽出を試みた。

2. 材料及び方法

2-1 対象領域

演習林内は、地形により37の林班に分類され、さらに各林班は樹種や植付年度により数十の小班で構成されている。そのうち、表1に示す林小班にて行われた伐採の抽出を目的とした。

2-2 供試データ

1993年8月12日と1995年8月2日のLandsat/TM (path-low: 112-38)と、2006年8月8日と2008年3月28日のALOS/AVNIR-2 (path-low: 130-31)を解析に用いた。各衛星の諸元を表2に示す。Landsat/TMとALOS/AVNIR-2の相違点としては、Landsat/TMが近赤外までの4バンドのほかに、熱赤外バンドを含む計7つのバンドを持っていること、地上分解能の点で、AVNIR-2の方が優れていることと観測周期がALOSの場合46日と長い点が挙げられる。

表1. 森林管理簿による伐採記録の概要

林班	小班	伐採時期	伐採面積(ha)
24	は2	1993年11月～1994年1月	4.55
23	わ1	1994年11月～1995年1月	3.99
5	へ	2006年8月	0.02
6	つ	2007年11月	0.40
17	り	2008年10～12月	1.82

2-3 伐採地抽出手法

2-3-1 Landsat/TMデータを用いる場合

大田らが⁷⁾が報告し、リモートセンシング学会実利用委員会にて提唱されている伐採地抽出手法を図1に示す。

まず、伐採前後の2時期の画像について、正規化植生指標(Normalized Differential Vegetation Index, 以下NDVI)を個々に作成する。NDVIは、非破壊的にバイオマス量や、森林の活性度を示す指標として、近年広く用いられている^{7), 8)}。NDVIは次式で示される。

$$NDVI = (R_{Band4} - R_{Band3}) / (R_{Band4} + R_{Band3}) \quad (1)$$

ここで、 R_{Band4} と R_{Band3} は、衛星に取得される近赤外領域と赤領域の放射輝度である。NDVIの基本概念として、植生量=クロロフィル量の変化が念頭にある。すなわち植生が

表2. Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2の諸元

項目	諸元(Landsat)	諸元(ALOS)
軌道	太陽同期軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	705.00km	691.65km
傾斜角	98.2度	98.16度
帰日数	16日	46日
観測波長帯	Band1:420-520nm	Band1:420-500nm
	Band2:520-600nm	Band2:520-600nm
	Band3:630-690nm	Band3:610-690nm
	Band4:760-900nm	Band4:760-890nm
	Band5:1,550-1,750nm	
	Band6:10,400-12,500nm	
	Band7:2,080-2,350nm	
地上分解能	30m	10m
観測幅	185km	70km

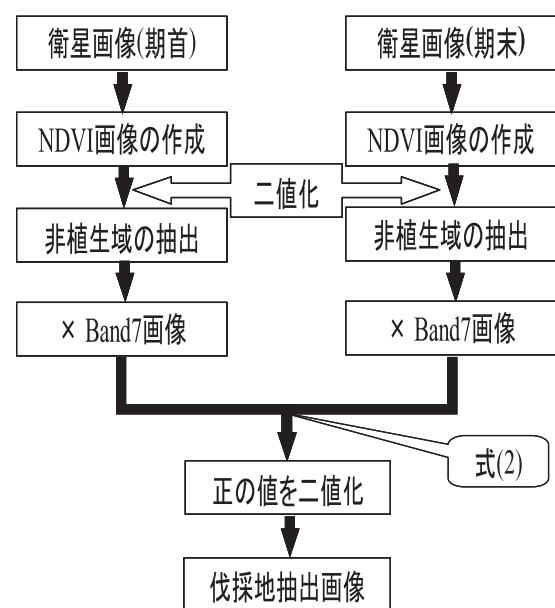


図1. Landsat/TM画像を用いた伐採地抽出手法の概要^{1)・3)}

豊富にあり、クロロフィル量が多い場合、バンド3の吸収量が増え、反射が減少する。その結果NDVI値は、通常0.6～0.9付近の正の値をとる。

一方土壌では、クロロフィルの吸収は見込めないため、NDVI値は植生より小さくなる。また、人工建造物等の非植生地域に関しても、当然含有成分の変化などはないため、NDVI値は0に近い値をとる。本研究では、以上のような土地被覆毎のNDVI値の差異をもとに、植生領域と非植生領域の分離を行った。今回は伐採地(非植生)の抽出を目的としているので、任意の閾値を決定し、植生域として抽出された部分のNDVI値を0、非植生域として抽出された部分のNDVI値を1として二値化を施した。

ここで、Landsat/TMデータのBand7は、表1のように2,080～2,350nmの短波長赤外域を観測している。この付近の波長帯も先に述べたように、枯草や裸地と植生間で反射率の差異がみられる。そこで、抽出能力をより向上させるため、二値化を行ったNDVI画像にBand7の値をかけ合わせた。

最後に、Band7を乗じた二時期の画像の差分画像を作成した。式を以下に示す。

$$I_{(\text{Landsat})} = \text{Band7}_{(1)} \times \text{NDVI}_{(1)(0,1)} - \text{Band7}_{(2)} \times \text{NDVI}_{(2)(0,1)} \quad (2)$$

ここで、①は期末画像(1995年8月2日)、②は期首画像(1993年8月12日)をそれぞれ示す。NDVI_(0,1)は二値化済みのNDVI画像を示す。(2)式より $I_{(\text{Landsat})}$ の正の値を目視で任意の閾値を決定することで二値化し伐採地を抽出した。

2-3-2 ALOS/AVNIR-2データを用いた場合

ALOS/AVNIR-2データを用いた場合の処理のフローチャートを図2に示す。ALOS/AVNIR-2は、表2のように、4つのバンドのみで運用されているので、2-3-1節で述べた、Landsat/TMの場合とNDVI画像作成までは、同様であるが、式(2)を用いる行程が省略される。ALOS/AVNIR-2を用いた場合の伐採地 $I_{(\text{ALOS})}$ は2時期のNDVI値の差異として以下の式で定義した。

$$I_{(\text{ALOS})} = \text{NDVI}_{(1)} - \text{NDVI}_{(2)} \quad (3)$$

(2)式と同様に①は期末画像、②は期首画像をそれぞれ示す。また、ALOS/AVNIR-2を用いた手法では、最終的にNDVI値の差分をとるため、2-3-1節で植生域と非植生域を分けるために用いたマスク処理を行った。マスク処理は、任意の閾値によって分類された基準画像に元データをかけあわせる手法である。今回の解析には、基準画像として、2-3-1節と同じNDVI値(0.51)を閾値として二値化されたデータを用い供試画像とかけあわせた。最終的に植生域は0と

し、非植生域はNDVI値を保持した画像を使用することとした。

2-4 画像解析の前処理

画像解析には、ERDAS Imagine ver.8.7 (ERDAS.co)を用いた。供試画像は、前処理として、地上基準点(Ground Control Point, 以下GCP)を35point 設置し位置補正を行った。位置補正は、二時期の画像のGCPの乗平均平方根誤差(RMSE)が0.001画素以下となるように行った。

このとき、Landsat/TM画像、ALOS/AVNIR-2画像とも画像のカラーを基準として行った。

また、衛星のセンサのあるピクセル(x, y)に入射する放射輝度は、飯倉ら^{9), 10)}によれば、直接対象物から反射されたエネルギー以外に、大気中で散乱され対象物に到達し、センサに検出されるもの、後方散乱し、対象物に到達しセンサに検出されるものと大気に散乱されるか、後方散乱によって対象物に到達せず直接センサに検出されるものが考えられる。本研究では、対象物に到達せずセンサに検出された2つのエネルギーをオフセット(解析に必要とされるデータ以外にセンサに検出された誤差成分)とみなし、画像の各バンドの輝度値(画像の各ピクセルに検出されたデジタルナンバー、0-255までの整数値)の最小値を差し引くことで大気補正を行った。ここで、通常輝度値は、衛星毎に6sシュミレーションモデル¹¹⁾を用いて放射輝度値に変換してから上述の処理をするが、今回は、Landsat/TMとALOS/AVNIR-2の2種類の衛星を用いること、正確な6sモデルのためのデータが取得できなかったことから、画像輝度値をそのまま解析に用いることとした。

衛星画像は、撮影日時等によって地形の影響を大きく受けるため、地形補正を行う必要がある。地形補正法として

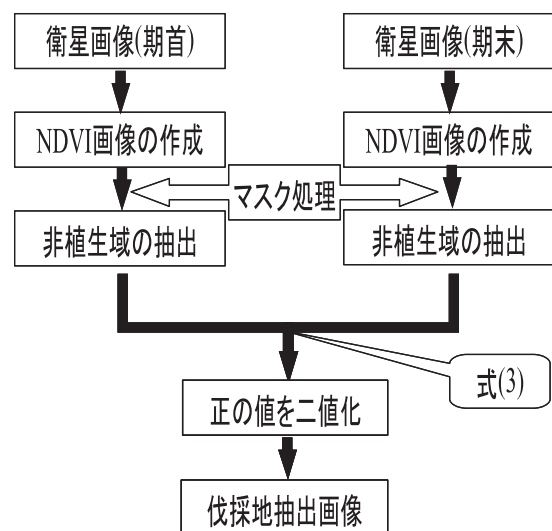


図2. ALOS/AVNIR-2画像を用いた伐採地抽出手法の概要

は、飯倉¹²⁾などによるコサイン法が一般的であるが、コサイン補正を行うために数値標高データ (DEM) が必要であり、さらに正確な幾何補正を加えなければならない。

そこで、今回は、小野ら¹³⁾が提案している衛星のバンド和の平均値を算出し画像を正規化する手法を用いて地形補正を行った。本研究に用いた地形補正式は以下のとおりである。

$$R_{(i)} = \frac{r_{(i)}}{\frac{1}{\alpha} \sum_{j=1}^{\alpha} r_{(j)}} \quad (4)$$

すなわち、

$$R_{(i)} = \frac{r_{(i)}}{\frac{1}{\alpha} (r_{(1)} + r_{(2)} + r_{(3)} + \dots + r_{(a)})} \quad (5)$$

ここで、 α は各衛星のバンド数 (Landsat の場合、バンド 6 は熱赤外バンドであるため解析には用いず、 $\alpha = 6$ 、ALOS/AVNIR-2 の場合 $\alpha = 4$)、 $R_{(i)}$ は補正後のバンド i の輝度値、 $r_{(i)}$ は供試画像のバンド i の輝度値、 $r_{(j)}$ は Landsat の場合、バンド 1 ~ バンド 7 (バンド 6 を除く) の輝度値、ALOS/AVNIR-2 の場合、バンド 1 ~ バンド 4 までの輝度値を示す。小野ら¹³⁾は、6 s シミュレーションモデルを用いて見かけの反射率を算出することで計算を行っているが、本研究では、衛星画像の各バンドの輝度値をそのまま式 (4) に投入することとし、 $R_{(i)}$ を用いて 2-3 節に記載した手法に適用した。

2-5 抽出結果の精度検証

精度検証は、作成した画像の画素数をそれぞれ面積に換算し、表 2 に示した伐採箇所について、森林管理簿 (2008 年 4 月 25 日) に記載されている伐採面積と比較することでを行った。

3. 結果及び考察

3-1 非植生域の抽出

式 (1) によって作成した ALOS/AVNIR-2 画像の 2006 年 8 月 8 日の NDVI 画像とカラー画像を図 3 a, b に示す。NDVI 値が高い (白に近い) ほど植生が多く、低い (黒に近い) ほど植生が少ないあるいは非植生であることを示す。

非植生域の閾値を種々に検討した結果、NDVI 値 ≤ 0.51 の場合が非植生域の抽出に有効であった。非植生域抽出画像を図 4 に示す。輝度値が低い箇所が非植生域である。図 3 のカラー画像と比較して、雲や海域等が非植生域として抽出されていることが目視で判断できる。精度検証のため、NDVI 値 = 0.51 を閾値として植生域、非植生域を分離し、森林管理簿と比較した結果、実際の植生面積が 2991.2ha だっ

たのに対し、画像から推定した植生面積は 2914.8ha とある程度よく一致していることが確かめられた。このことから、非植生域は、NDVI 値 ≤ 0.51 とすることで最もよく抽出されることが確認された。

3-2 伐採地の抽出と精度検証

任意の閾値を検討した中で、 $I_{(Landsat)} \geq 16$ としたものと $I_{(ALOS)}$

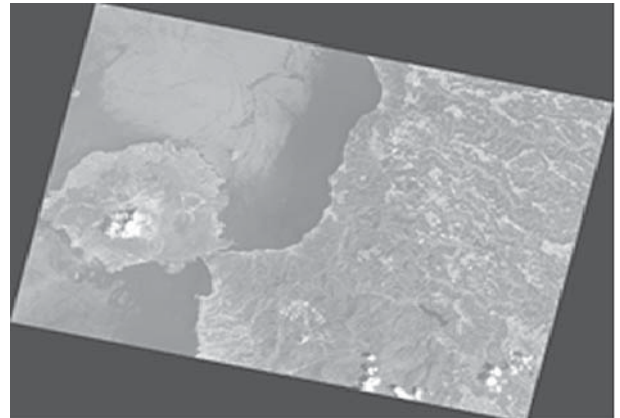


図 3 a. ALOS/AVNIR-2 のカラー画像の一例 (2006 年 8 月 8 日)

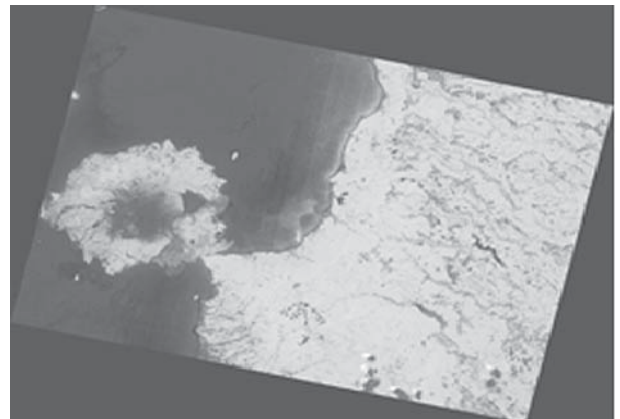


図 3 b. ALOS/AVNIR-2 画像を用いた NDVI 画像の一例 (2006 年 8 月 8 日)

$$\ast \text{NDVI} = (R_{\text{band4}} - R_{\text{band3}}) / (R_{\text{band4}} + R_{\text{band3}})$$

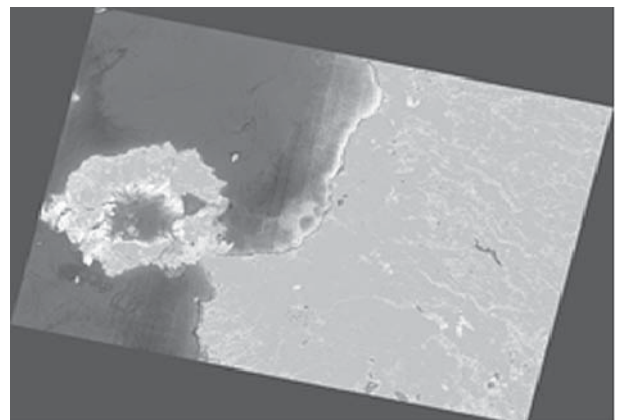


図 4. 非植生域抽出画像 (NDVI 値 ≤ 0.51 を抽出)

≥0とした場合の伐採地抽出画像の一例を図5, 6にそれぞれ示す。ここで、画像内で輝度値が高い(白に近い)箇所が伐採地として抽出された箇所である。検証として、森林管理簿の面積と比較した結果を表3に示す。Landsat/TMを用いた手法では、図5に示した、閾値を $I_{(Landsat)} \geq 16$ としたものが最も精度よく推定できることが示された。しかし、24林班においては、実際の伐採面積を大きく下回る結果しか得られなかった。ALOS/AVNIR-2を用いた場合、閾値を $I(ALOS) \geq 0$ とした場合、6林班はほぼ同様の面積を、5林班においても実際の面積に対して+0.04haと精度よく推定が可能となった。

Landsat/TM画像を用いた場合の24林班において伐採地が

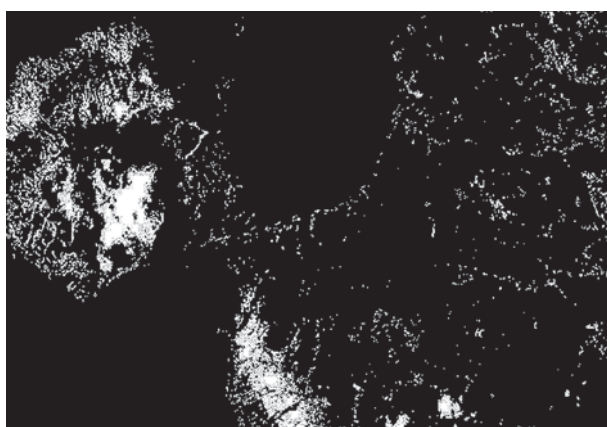


図5. Landsat/TM画像を用いた伐採地抽出画像(差分画像の輝度値 ≥ 16 を抽出)

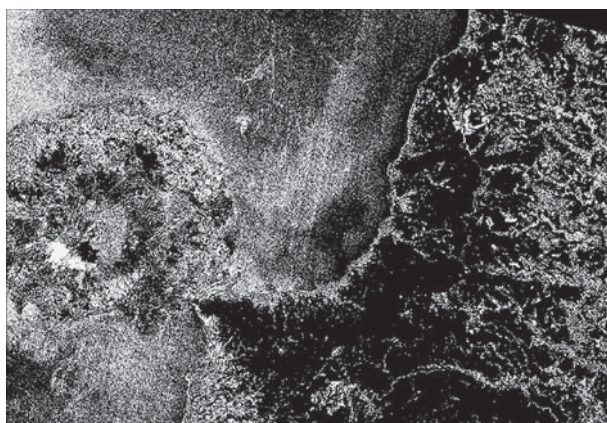


図6. ALOS/AVNIR-2画像を用いた伐採地抽出画像(差分画像の輝度値 ≥ 0 を抽出)

表3. Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2の伐採地抽出結果

衛星 対象林班	Landsat/TM		ALOS/AVNIR-2	
	23林班	24林班	5林班	6林班
抽出ピクセル数(pixels)	45	3	6	40
抽出面積(ha)	4.05	0.27	0.06	0.40
伐採面積(ha)	3.99	4.55	0.02	0.40
抽出閾値	16		0	

過少に抽出されてしまった理由として、実際伐採が行われた時期と衛星データ取得時期の乖離が挙げられる。伐採は、1993年11月頃から1994年の1月に行われており、衛星データは、1995年の8月のものであるため、この間に下層の植生が生育してしまい、伐採地であった場所が少なくなったものと考えられる。

このことから、本手法による伐採地抽出は、期末画像を伐採地抽出後1年以内とする必要があると考えられる。

Landsat/TMを用いない場合、Band7による精度の向上は望めないが、本研究においてALOS/AVNIR-2画像もかなり精度の高い推定結果を得た。ALOS/AVNIR-2を用いた手法はNDVIの差分であるので、直接2時期でのバイオマスの変化を示している¹⁴⁾。NDVIはまた2時期間での水分状態に反応することも報告されているため¹⁵⁾、伐採前後において周囲の森林の水分状態が大きく変化しなければ、ALOS/AVNIR-2による伐採地の抽出もLandsat/TMの場合と同様に利用可能であることが示された。

さらに、ALOS/AVNIR-2を用いる場合の注意点として、NDVIデータは土地の起伏、すなわち地形の影響を強く受けることが報告されている^{12), 15)}。今回の結果では、小野ら¹³⁾の地形補正のみでも対処可能であったが、他の時期(特に太陽高度が低い冬季等)を解析に用いざるを得ない場合、より詳細な地形補正¹⁶⁾を行う必要があると考えられる。

4. ま と め

近年林業の衰退により、放棄される森林が増加している。また、伐採後の再生林が行われず、森林の持つ多様な機能の低下が問題となっている。これらのことから適切な森林管理は今後より重要性を増すと考えられる。しかし、管理には多大な時間や労力がかかることが多く、広域的に容易な森林管理手法の構築が必要であると考えられる。

以上のことから、本研究では、森林の機能維持を最終目的に、Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2の2種類の衛星画像を用いて、近年伐採が行われた地域の抽出を試みた。

本研究にて用いた手法では、Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2ともある程度の精度で伐採地の抽出が可能であった。このことから、リモートセンシング手法による広域な伐採地の把握が可能であると考えられる。

しかし、Landsat/TMデータにおいて、伐採時期とデータ取得時期が1年程度離れていると抽出が困難になることが確かめられた。衛星画像は天候の影響を受けやすいが、精度の高い推定のために、できるだけ伐採直後のデータを入力する必要があると考えられる。

ALOS/AVNIR-2は、検証に用いた5, 6林班とも+0.04ha

程度の誤差で抽出が可能であったので、Landsat/TMより有効であることが示されている。

ALOS/AVNIR-2画像は、通常の衛星画像解析に必要な幾何補正等の専門的な処理を行わずにデータの解析が可能であり、分解能も10mとよいことから、大気・地形の影響を抑制することで実用的に非常に有効であると考えられる。

問題点として、ALOS/AVNIR-2は観測周期が長いこと、天候によっては最適な時期でのデータ取得が困難なこと、衛星の打ち上げが2006年であるため、それ以前に生じた伐採地の抽出ができないことなどが挙げられる。伐採地抽出による森林管理の省力化や森林の多機能性維持のため、各衛星の特性を活かしたデータの有効利用が望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、アジア航測(株)の齊藤和也氏にはリモートセンシングの実利用委員長としての立場より問題点の提起をしていただき、長崎大学工学部の森山雅雄准教授には画像解析、伐採地抽出手法の解釈等において多くのご助言を頂いた。また、農学部生物環境学科環境情報システム学研究室の学生の皆さんには、画像解析等のお手伝いを頂いた。

以上の皆さんにこの場を借りて改めて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤孝吉：林業経営の後継とその課題 - 教育の現場から考える - , 林業経済研究, 55(1), pp.109-114, 2009.
- 2) 粟生裕美子・光田靖・村上拓彦・吉田茂二郎・今田盛生：GISを用いた再造林放棄地の立地条件の解明, 九州森林研究, 55, pp.38-41, 2002.
- 3) 粟屋善雄：森林資源調査—リモートセンシングによる伐採地解析, 日本リモートセンシング学会誌, 10(3), pp.377-387, 1990.
- 4) 村上拓彦・小泉透：広域空間スケールで捉えた伐採地の出現動向とシカによる新植地被害分布, 九州森林研究, 56, pp.101-104, 2003.
- 5) 大田徹志・村上拓彦・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎：LANDSAT/TMデータの差画像を用いた森林伐採地抽出方法の検討, 58, pp.135-138, 2005.
- 6) 齊藤和也(リモートセンシング学会実利用委員会委員長)：私信
- 7) 星直弥・龍原哲・阿部信行：Landsat TMデータを用いた落葉広葉樹天然林における葉面積指数の推定, 日本林学会誌, 83(4), pp.315-321, 2001.
- 8) 小林秀樹：針葉樹における分光反射率と葉面積数の関

係：森林の三次元構造とクランピングの影響, 日本リモートセンシング学会誌, 28(4), pp.350-356, 2008.

- 9) 飯倉善和：第6回 可視・近赤外域の衛星画像の特質と補正, 日本リモートセンシング学会誌, 28(5), pp.455-460, 2008.
- 10) S.Sandmeier and K. I. Itten: A physically based model to correct atmospheric and illumination effects in optical satellite data of rugged terrain, *IEEE Transaction on geoscience and remote sensing*, 35(3), pp.708-717, 1997.
- 11) E. Vermote: Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6s, an overview, *IEEE, Transaction on geoscience and remote sensing*, 35(3), pp.675-686, 1997.
- 12) 飯倉善和・横山隆三：ランドサットTM画像の大気および地形の補正, 日本リモートセンシング学会誌, 19(1), pp. 2-16, 1999.
- 13) 小野明子・藤原昇・小野厚夫：Landsat/TMスペクトル値の正規化による地形効果と大気効果の抑制, 日本リモートセンシング学会誌, 22(3), pp.318-327, 2002.
- 14) K. Muramatsu, S. Furumi, L. Chen, Y. Xiong and M. Daigo: Estimating and validating the Net Primary Production of vegetation using ADEOS-II/GLI global mosaic and 250-m spatial resolution data, *Jpn. J. Remote Sensing*, 29(1), pp.114-123, 2008.
- 15) 石川大太郎・湯田健之・関岡信一・肥山浩樹・石黒悦爾：分光反射特性を利用した斜面崩壊地の予測 - 樹冠の水分変動による土壌水分変動域の抽出事例 -, 農業気象, 64(2), 61-68, 2008.
- 16) 坂本健二・中山大地・松山洋：太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法の提案, 日本リモートセンシング学会誌, 29(3), 471-484, 2009.

要 旨

近年増加している伐採された後放棄されたままになっている箇所への再造林等の森林管理の指針を構築することを目的として、リモートセンシング手法による伐採地抽出を試みた。衛星データとしてLandsat/TMとALOS/AVNIR-2の2種類のセンサによって取得されたデータを用いた解析を行った結果、伐採地の抽出のために必要な非植生域の抽出では、Landsat/TM, ALOS/AVNIR-2画像ともに閾値をNDVI ≤ 0.51 とした場合もっとも精度よく抽出された。伐採地抽出画像では、Landsat/TMの場合閾値を $I_{(Landsat)} \geq 16$, ALOS/AVNIR-2の場合閾値を $I_{(ALOS)} \geq 0$ とした場合最も抽出の精度が高かった。以上の結果から、衛星による伐採地の把握が可能となり、異なった時期のデータを用いて検証を行うことで森林管理に有効な指針となることが示唆された。