

衛星リモートセンシングデータを用いたオブジェクトベース画像分析による 竹林抽出手法の検討とその精度比較

松澤翔太¹・中川恭兵¹・望月翔太¹・村上拓彦^{1*}

(平成23年7月6日受付)

要 約

比較的空間分解能の高い衛星リモートセンシングデータである SPOT5/HRG、ALOS/AVNIR-2、WorldView-2 データを用いて、オブジェクトベース画像分析による竹林抽出を検討し、それらの精度を比較した。全てのデータはセグメンテーションによりオブジェクトに分割し、その後 Nearest Neighbor 法による分類と CART モデルによる分類を実行した。その結果、SPOT 画像に対して CART モデルを用いた場合、全体精度が78.1%、竹林の Producer's Accuracy が89.5%、User's Accuracy が70.8%と最も高い分類精度を達成できた。既往の研究結果と同様に、短波長赤外域の存在が小面積の竹林抽出においても有効であるということが示された。

新大農研報, 64(1):59-65, 2011

キーワード：SPOT5/HRG、ALOS/AVNIR-2、WorldView-2、竹林抽出、オブジェクトベース画像分析

近年、西日本の里山地域で、管理放棄された竹林が周囲の耕作地や二次林、人工林へ侵入、分布拡大する現象が報告されている(Isagi and Torii, 1998；西川ら, 2005；田端, 1997；鳥居, 1997, 1998, 2003)。これらの竹林は、タケノコ栽培（モウソウチク：*Phyllostachys pubescens*）や竹材生産（マダケ：*Phyllostachys bambusoides*）のためだけではなく、農作業用の支柱、農機具・生活用品用資材、補助的な建築材等に用いるため、民家の周囲に植栽されていた（鳥居, 2003）。しかし、里山の衰退、森林所有者の高齢化や不在村化、タケノコ価格や木材価格の低迷などによって竹林の管理が行われなくなり、これに伴ってモウソウチクやマダケが隣接造林地や放置された二次林等へ侵入・拡大し、里山の植生環境は大きく変化しつつある（犬井, 2002）。

このような竹林の拡大は森林資源の劣化を引き起こし、さらには生物多様性の低下や景観の劣化をもたらす恐れがあると指摘されている（鳥居, 1998）。同様にタケの分布拡大による土壌の保水機能低下（横尾ら, 2005）やタケの隣接造林地への侵入による植栽木の枯死（Isagi and Torii, 1998）等も懸念されている。

竹林を適切に管理していくためには、分布状況を正確に把握し、その分布図が定期的に更新されることが理想である。竹林の分布を示す既存の情報としては植生図がある。しかし、わが国の代表的な植生図である環境省の現存植生図は作成に多大な時間と労力を要することや、作成主体によって精度が異なるなどの問題点が指摘されている（鎌形ら, 2006）。これまで1/50000縮尺で整備されていた環境省現存植生図は第6回自然環境保全基礎調査（1999～2004年）から1/25000縮尺へ移行した。このことにより、これまで以上に省力化が求められるようになってきているが（鎌形ら, 2006）、植生図の整備スピードが上がらないことが作成過程における大きな課題となっている。植生図の整備においては、特に判読が容易な市街地、農地、植林地などを中心として、衛星画像の利用を前提とした植生図の整備手法を導入する事により、整備の省力化や効率化、および敏速化が期待されている（中島, 2006）。

本研究で扱う竹林拡大においても、衛星画像を用いて、竹林分布を把握する研究事例が報告されている。これまでに、LANDSAT5/TM等の中分解能衛星データを用いた竹林抽出の研究が行われてきた（小泉ら, 2003；Murakami, 2006；西川ら, 2006）。その結果、短波長赤外域が竹林抽出に有効であるということが分かっている。タケノコ栽培が盛んで竹林が多く存在する地域を対象とし、広範囲の竹林抽出を目的としているため、LANDSAT5/TMデータが使用されている。しかし、空間分解能30mのLANDSAT/TMデータにおいて5ピクセル以上のまとまった竹林でないと抽出精度が低いといった問題点が指摘されている（小泉ら, 2003）。衛星リモートセンシングデータについては、より空間分解能の高い衛星データに対しても、竹林抽出の精度比較を行う必要がある。本研究では、比較的空間分解能の高いSPOT5/HRG、ALOS/AVNIR-2、WorldView-2データを用いてオブジェクトベース画像分析による竹林抽出の精度を比較したので報告する。

解析条件材料および方法

解析対象地

本論では新潟県佐渡市小佐渡地域20km四方のエリアを対象地とした（図1）。佐渡市は、新潟県西部に位置する周囲262.7kmの佐渡島全域を市域とする。総人口63,816人、世帯数24,969（2011年1月1日現在）、総面積は855.27km²である（佐渡市ホームページ）。佐渡市相川における年平均気温は14.5℃、年間降水量は1819.5mmである（気象庁）。北部には1,172mの金北山を主峰とする大佐渡山脈、南部には645mの大地山を主峰とする小佐渡山脈、ふたつの山脈に挟まれるように国仲平野が広がっている。豊かな土壌と気候を生かし農業・林業・水産業・工芸などが行われてきた。対象地内の小木地方ではかつて、寺泊港まで炭・木炭・マダケ等を船で運んでいた。佐渡産のタケは質が良いと需要が高かった。そのため、竹林は水稻に匹敵する収入源として大切に管理されていた。そうした経緯からこの地域には現在でも多くの竹林が存在する。

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科

* 代表著者：muratac@agr.niigata-u.ac.jp

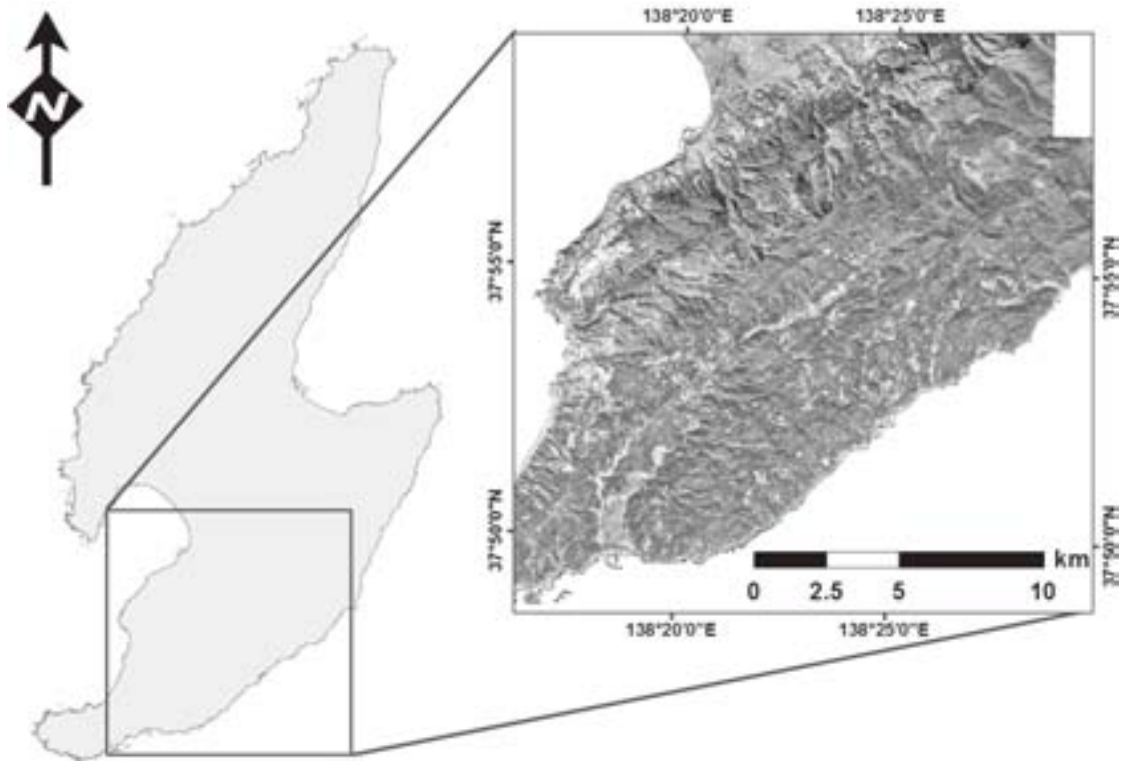


図1 解析対象地

表1 衛星画像の緒元

	WorldView-2	ALOS AVNIR-2/PRISM	SPOT5/HRG
打ち上げ	2009年10月8日	2006年1月24日	2002年5月4日
軌道高度	690km	822km	770km
パングロマトミックの波長	450-800nm	520-770nm	480-710nm
パングロマトミックの分解能	0.46-0.52m	2.5m (直下視)	5m or 2.5m
マルチスペクトルの波長	COASTAL : 400-450nm		
	BLUE : 450-510nm		
	GREEN : 510-580nm	BLUE : 420-500nm	GREEN : 500-590nm
	YELLOW : 585-625nm	GREEN : 520-600nm	RED : 610-680nm
	RED : 630-690nm	RED : 610-690nm	NIR : 780-890nm
	RED EDGE : 705-745nm	NIR : 760-890nm	SWIR : 1.58-1.75 μm
	NIR1 : 770-895nm		
	NIR2 : 860-1040nm		
マルチスペクトルの分解能	1.842-2.08m	10m (直下視)	10m
観測幅	16.4km	70km	60km
センサ1画素あたりの情報量	11bit	8bit	8bit
軌道回帰日数	3.7日 (30°オフメディア内)	46日	26日

使用データ

本論では2006年11月5日、2007年5月8日に撮影されたALOS/AVNIR-2画像、2007年6月3日に撮影されたSPOT5/HRG画像、2010年8月20日に撮影されたWorldView-2マルチスペクトル画像を使用した。衛星画像の諸元を表1に示す。SPOT5/HRG画像ではパンシャープン画像を作成した。精度検証の参照データとして2006年10～12月に撮影された、分解能0.25mの簡易オルソフォトを使用した。

画像の前処理

分類を行う各画像にオルソ幾何補正と地形効果補正を施した。オルソ幾何補正とは、幾何補正の過程でDEMを関連付けることによって、地形による偏移などを修正することができる補正法である。これにより、画像取得時のセンサの傾きや地形の歪みが補正され、地形図やベクタデータと重ねて様々な解析に利用することが可能となる。オルソ幾何補正の参照データとして、国土地理院が2007年に発行した数値地図25000(地図画像)を使用した。地形効果補正は、地形の起伏によって画像に生じる陰影を除去することを目的とした処理である。本研究では、二分割回帰法(Dual Partitioning Regression)(坂本ら, 2009)を用いて地形効果補正を行った。地形効果補正後、バンド演算から算出できる指数として正規化差植生指数(Normalized Difference Vegetation Index)画像等を作成し、各画像に合成した。これらの作業にはERDAS IMAGINE 9.3.2(Erdas社 アメリカ)を使用した。二時期を合成したALOS画像、SPOT画像、指数を合成したWorldView-2合成画像、オリジナルのWorldView-2画像(以下、WV2画像)の4データに対して画像分類を行った。

オブジェクトベース画像分析

オブジェクトベース画像分析とは、セグメンテーションを行い生成された空間的に隣接する比較的均質な画素のまとまり(オブジェクト)を単位に、トレーニングデータの取得や分類ルールの設定を行う画像分析手法である(Blaschke, 2010)。従来の画素単位分類では、周辺画素との関係を考慮しないため、植生区分に対応する均質な領域を括ることが困難であった(鎌形ら, 2006)。しかし、オブジェクト指向型の画像分類では人間の目視による判読と類似したオブジェクトを生成する事が可能となった。これは森林を把握するための一般的な手法であった空中写真判読による「林相区画単位」での把握手法に最も近い(平田, 2009)。竹林が単独のオブジェクトとして抽出されるように目視判読に基づき、パラメータを調節した。

本研究で行ったオブジェクトベース画像分類は、Nearest Neighbor法による分類とCART(Classification and Regression Tree)(Breiman *et al.*, 1984)モデルによる分類である。Nearest Neighbor法ではFeature Space Optimizationにより候補とした特徴量の中から最適なものを選択し、分類を行った。Feature Space Optimizationとは、各特徴量を同一の特徴空間にマッピングし、クラス間の距離が最も大きくなる組み合わせを選定する機能である(小阪ら2007)。本研究では特徴量にMean(オブジェクト内の平均値)、Standard deviation(オブジェクト内の標準偏差)、Ratio(オブジェクト内でのバンド比)、Shape Index(形状指数)、CompactnessをFeature Space Optimizationにかけ、選択された特徴量を用いて画像分類を行った。分類クラスにはアカマツ、竹林、スギ、広葉樹を設けた。これらの作業にはDefiniens Developer 7.0(Definiens社

ドイツ)、R 2.10.0を使用した。

精度検証

精度検証には現地調査データと簡易オルソフォトを使用した。分類精度評価には判定効率表とKappa係数を用いた。Kappa係数は、Cohenの一致係数とも呼ばれ、無作為な割り当てをどれだけ回避しているかを示すものである。全体精度と同様に値が高いほど精度が高いことを意味するが、全体精度と異なり、列の総和、行の総和を考慮しているため、より包括的な表現を実現している(村上, 2010)。簡易オルソフォト上に総計700点のランダムポイントを発生させ、その各点において、簡易オルソフォトを用いて目視で林相判読を行ったものを精度検証用データとした。ALOS、SPOT画像はこのデータで精度検証を行った。WV2画像は撮影範囲が狭く、対象地全域をカバーしていないため(図2)、別の精度検証用データを作成した。総計300点のランダムポイントを発生させ、簡易オルソフォトを用いて目視で林相判読を行った。WV2画像では水田を除去しきれなかったため、精度検証のクラスに水田を設けた。



図2 WorldView-2画像の取得範囲(枠で囲われた範囲が解析対象地)

結果および考察

表2に各分類結果の全体精度、Kappa係数、竹林のProducer's Accuracy、User's Accuracyを示した。ALOS画像の分類精度が最も低く、SPOT画像の分類精度が最も高かった。短波長赤外域を有していないALOS画像で分類精度が低かったこと、SPOT画像を分類する際に短波長赤外域に関する特徴量が多く選出されたことから、SPOT画像において高い分類精度が示されたのは短波長赤外域の存在によるものだと考えられる。短波長赤外域を有していない衛星画像においては多次元の特徴量を用いて分類を行った方が高い精度を示したが、逆に短波長赤外域を有しているSPOT画像では多次元の特徴量を用いることで特徴量選択が阻害され、分類精度が低下した。このことからFeature Space Optimizationの特徴量選択だけでは、最適組み合わせを選択できない可能性があり、バンド間相関を考慮した特徴量選択が必要であると考えられる。

全ての分類結果において、広葉樹等が竹林に誤分類されてしまったため分類精度が低下した。WV2画像において広葉樹が

誤分類された箇所を図3に示す。これは小面積の竹林に焦点を当てているため、生成したオブジェクトのサイズが小さく、樹冠の影が大部分を占めるオブジェクトが生じてしまう等、不必要に微小領域のオブジェクトが出現し、誤分類を引き起こしたためである。全ての分類結果において、海岸線沿いや道路脇の植生が竹林に誤分類されていた。これは、オブジェクト生成時に道路を含むオブジェクトが生成されてしまい、オブジェクト内の標準偏差や平均に影響を与え、竹林のクラスに類似した値を示したためだと考えられる。道路脇は短波長赤外域の反射が高いために、SPOT画像では特に道路脇の植生が竹林に誤分類されていた。最も分類精度が高かったSPOT画像に対してCARTモデルを用いた分類結果(図4)は、やや竹林が多く、まとめて抽出されたように感じられるものの、概ね目視による植生判読に近い結果が得られた。CARTモデルを用いた分類において分類精度が高かったのは、分岐の際に用いられる特徴量が最も分岐しやすく、単一であるため、バンド間相関の影響を軽減できたためであると考えられる。

表2 各分類結果のOverall Accuracy、Kappa係数、竹林のProducer's Accuracy、User's Accuracy

画像	手法	OA (%)	Kappa 係数	竹林の PA (%)	竹林の UA (%)
ALOS 画像	NN 法	40.1	0.16	46.4	11.5
	CART モデル	-	-	-	-
SPOT 画像	NN 法	70.2	0.50	91.1	32.3
	CART モデル	78.1	0.62	89.5	70.8
WorldView-2 合成画像	NN 法	62.9	0.47	76.5	25.0
	CART モデル	59.6	0.43	87.5	25.0
WorldView-2 画像	NN 法	59.6	0.43	57.9	14.7
	CART モデル	53.5	0.38	66.7	17.0

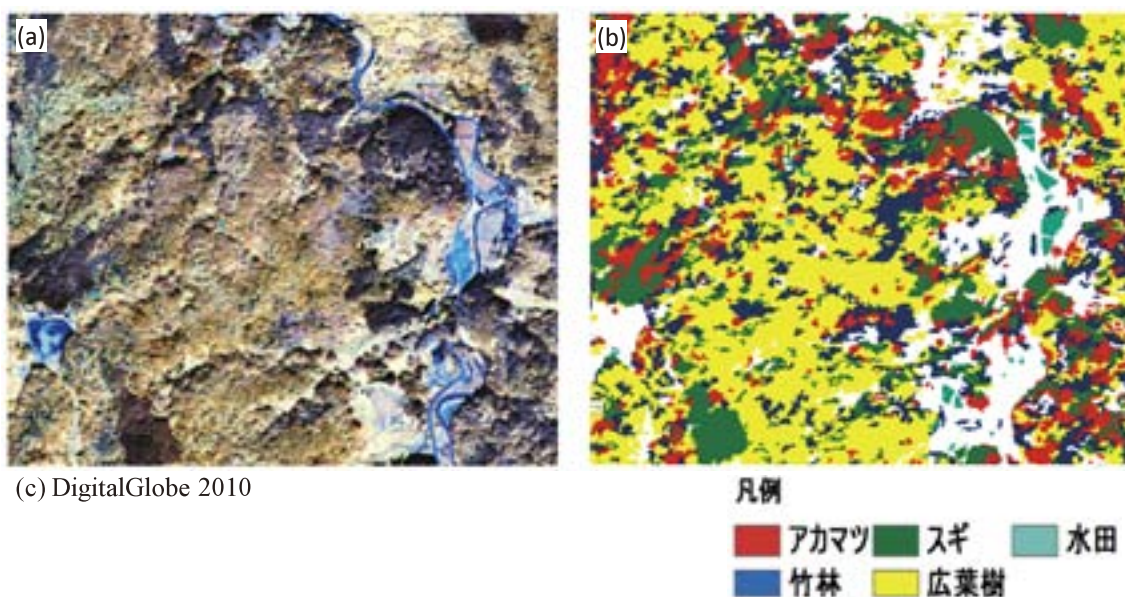
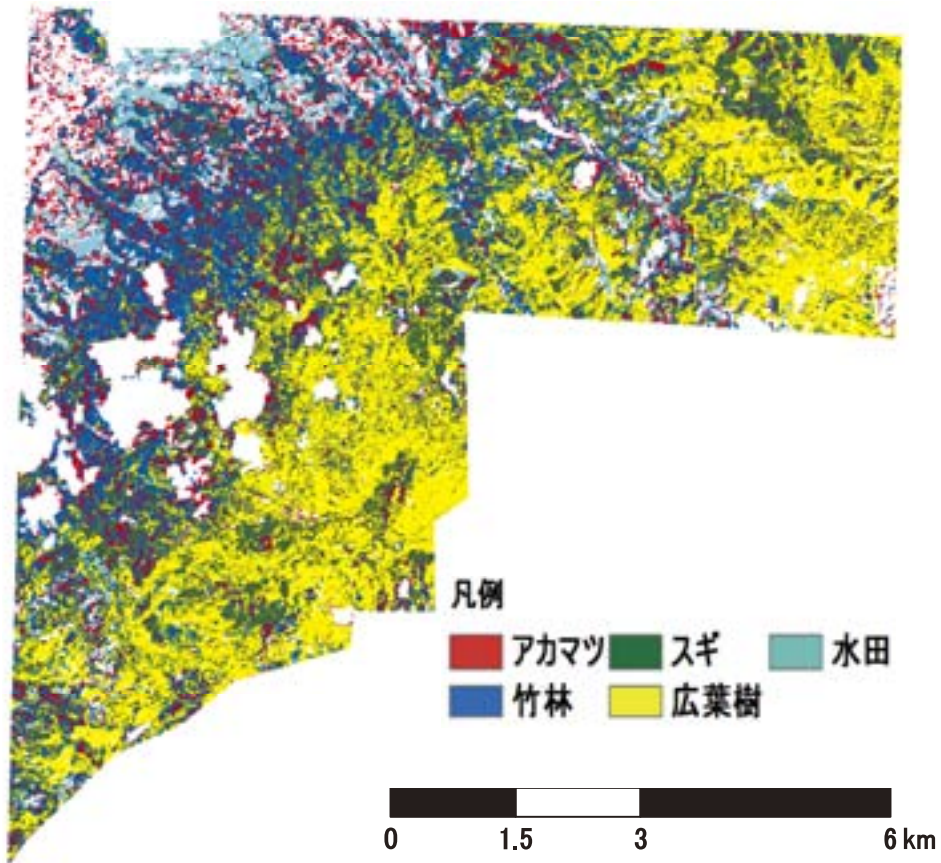


図3 広葉樹林分で起こった誤分類(a) WorldView-2画像 (b)画像分類結果

全ての結果において竹林の User's Accuracy が低い値を示しているのは竹林の精度検証用のポイント数が少なかったためだと考えられる。これはランダムにポイントを発生させたため総面積の少ない竹林には少数のポイントしか落ちなかったためである。今後はクラスの面積に応じた重みをポイントにもたせる等の検討が必要である。

本研究では、SPOT 画像に対して CART モデルを用いた分類を行った結果が最も高い分類精度を達成できた (表 3)。このことから既往の研究結果と同様に、短波長赤外域の存在が小面積の竹林抽出においても有効であるということが示された。また、小サイズのオブジェクトは誤分類を引き起こしやすい事が明らかになった。同一カテゴリに属する空間が小領域に分割



(c) DigitalGlobe 2010

図 4 WorldView-2合成画像 CART モデルによる分類結果

表 3. SPOT 画像 CART モデルによる分類による分類結果の効率判定表

分類クラス	参照クラス (グラウンド・トゥルース)				計	User's Accuracy (%)
	アカマツ	竹林	スギ	広葉樹		
アカマツ	29	4	65	10	108	26.9
竹林	4	34	1	9	48	70.8
スギ	1	0	27	1	29	93.1
広葉樹	5	0	2	273	280	97.5
計	39	38	95	293	465	
Producer's Accuracy (%)	74.4	89.5	28.4	93.2		
						全体精度 0.78
						Kappa 係数 0.62

されてしまうことで、他のクラスに誤分類されてしまう事態が発生し、これが分類精度を下げてしまう事が知られている(村上2010)。本研究においてもこれらに起因した分類精度の低下が生じているため、林相を単位とするような大きなオブジェクトを生成し、分類を行ってからオブジェクトサイズを竹林に合わせ小さくして分類する等のオブジェクトに大小の階層性を持たせることにより、より高い分類精度が実現できるのではないかと予想する。

謝辞

WorldView-2 データは日立ソフト衛星画像研究公募によって日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社(現在、日立ソリューションズ株式会社)を通して Digital Globe 社から試験研究用として提供していただいたものである。

引用文献

- Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **65**: 2-16.
- 日浦啓全・有川崇・ドゥラ ドゥルガ バハドゥール. 2004. 都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にともなう土砂災害危険性. *日本地すべり学会誌* **41**: 1-12.
- 平田泰雅. 2009. 高分解能衛星データの森林モニタリングへの利用. *日林誌* **91**: 136-146.
- 林加奈子・山田俊弘. 2008. 竹林の分布拡大は地形条件に影響されるのか? *保全生態学研究* **13**: 55-64.
- Isagi, Y. and Torii, A. 1998. Range expansion and its mechanisms in a naturalized bamboo species, *Phyllostachys pubescens*, in Japan. *Journal of Sustainable Forestry* **6**: 127-141.
- 犬井正. 2002. *里山と人の履歴*. 新思索社. 東京. pp.274-287.
- 片野田逸郎. 2003. 蒲生町西浦地域における竹林拡大の実態. *九州森林研究* **56**: 82-87.
- 鎌形哲稔・原慶太郎・森大・赤松幸生・李雲慶・星野義延. 2006. 高分解能データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案. *写測とリモセン* **45**: 43-49.
- 小阪尚子・秋山侃・蔡斌・小島利治. 2007. 高分解能衛星画像のテクスチャ特徴量とスペクトル特徴量を用いたオブジェクト指向型林分タイプ分類. *写測とリモセン* **46**: 27-36.
- 小泉圭吾・谷本親伯・朴春澤. 2003. LANDSAT5号を用いた竹林の抽出手法に関する研究. *写測とリモセン* **42**: 42-51.
- 村上拓彦・藤井秀亮・今田盛生. 1998. ランドサット TM データにおける地形による影響の補正方法の比較. 九州大学宮崎演習林内のスギ林分を対象として. *九大演報* **78**: 13-28.
- 村上拓彦. 2002. SPOT/HRV データから森林タイプ別に求めた Minnaert 定数. *写測とリモセン* **41**: 47-55.
- Murakami, T. 2006. How is short-wave infrared(SWIR) useful to discrimination and classification of forest type in warm temperate region? *Journal of Forest Planning* **12**: 81-85.
- 村上拓彦・大西紀子・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎. 2010. 林相区分を目的としたオブジェクトベース画像解析における最適なセグメンテーションの検討. *写測とリモセン* **49**: 159-165.
- 村上拓彦. 2010. 第11章 分類. pp. 177-189. 加藤正人編著, *森林リモートセンシング第3版*. 日本林業調査会. 東京
- 西川僚子・村上拓彦・吉田茂二郎・光田 靖・長島啓子・溝上展也. 2005. 隣接する土地被覆別にみた竹林分布変化の特徴. *日林誌* **87**: 402-409.
- 西川僚子・村上拓彦・大槻恭一・木村玲二・溝上展也・吉田茂二郎. 2006. リモートセンシングデータおよび地上観測データからみた竹林の分光反射特性の季節変動. *日林誌* **88**: 473-481.
- 長澤良太. 2006. デジタル植生図の技術的課題. *景観生態学* **11**: 15-25.
- 大西紀子・村上拓彦・吉田茂二郎. 2004. IKONOS データを用いた屋久島南部の林相区分 - object ベースと pixel ベースの分類比較 -. *九州森林研究* **57**: 200-202.
- 坂本健二・中山大地・松山洋. 2009. 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. *日本リモセン誌* **29**: 471-484.
- 田端英雄. 1997. *里山の自然*. 保育社. 東京. pp. 114-117.
- 津留宏介・峰島貞治・古本秀明・馬河紘子. 2008. *CAD/CG/GIS ユーザーのための航空・衛星写真画像ハンドブック*. 古今書院. pp. 86-87.
- 竹内渉・安岡善文. 2003. 衛星データを用いた正規化植生・土壌・水指数の開発. *写測とリモセン* **43**: 7-19.
- 鳥居厚志. 1997. 京都府南部地域における竹林の分布拡大. *日本生態学会誌* **47**: 31-41.
- 鳥居厚志. 1998. 空中写真を用いた竹林の分布拡大速度の推定 - 滋賀県八幡山および京都府男山における事例 -. *日本生態学会誌* **48**: 37-47.
- 鳥居厚志. 2003. 周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林. *日本緑化工学会誌* **28**: 412-41.
- 横尾謙一郎・酒井正治・今矢明宏. 2005. ヒノキ人工林に侵入した竹が林分構造と土壌に与える影響. *九州森林研究* **58**: 195-198.

Examination and Accuracy Assessment in the Extraction of Bamboo Stands by Object-based Image Analysis Using Remotely Sensed Data

Shota MATSUZAWA¹, Kyohei NAKAGAWA¹, Shota MOCHIZUKI¹ and Takuhiko MURAKAMI^{1*}

(Received July 6, 2011)

Summary

In this study, using SPOT5/HRG, ALOS/AVNIR-2, and WorldView-2 data, which are remotely sensed data with relatively highly spatial resolution, the detection of bamboo forests by object-based image analysis was considered, and their accuracies were assessed. All the data were divided into objects through segmentation, and classification with the Nearest Neighbor method or CART model was performed. In the results, the classification with CART model applied to SPOT/HRG imagery achieved the highest classification accuracy: overall accuracy was 78.1%, producer's and user's accuracy in bamboo stand was 89.5% and 70.8%, respectively. The shortwave infrared wavelength mainly contributed to detecting small bamboo stands as previous research has mentioned.

Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 64(1):59-65, 2011

Key words : SPOT5/HRG, ALOS/AVNIR-2, WorldView-2, bamboo forests, object-based image analysis

¹ Graduate School of Science & Technology, Niigata University

* Corresponding author: muratac@agr.niigata-u.ac.jp