短 報

アラカシ林抽出技術開発に向けた Landsat データによる
分光反射特性の時系列解析岡 本 南¹・光 田 靖^{1,*}・小 田 三 保²・加 治 佐 剛³Time series analysis of characteristics of spectral reflectance for developing a
method for detecting arakashi (*Quercus glauca*) stands using Landsat images.Minami Okamoto¹, Yasushi Mitsuda^{1,*}, Miho Oda² and Tsuyoshi Kajisa³

岡本 南・光田 靖・小田三保・加治佐剛：アラカシ林抽出技術開発に向けた Landsat データによる分光反射特性の時系列解析，森林計画誌52：7～14，2018 日向備長炭の持続的生産を支援するアラカシ林抽出技術の開発に向けて，Landsat データによる分光反射特性の時系列解析を行った。宮崎県美郷町のアラカシ純林とその他広葉樹林，宮崎県綾町のアラカシ優占度が高い林分と低い林分において，アラカシの開葉期を含む時系列 Landsat データから Band 2，Band 3 および Band 4 の地表面反射率合計に対するそれぞれの地表面反射率の割合（B 比，G 比および R 比）および NDVI を算出し，比較した。ドローンをを用いた時系列写真では開葉直後のアラカシ純林において B 比の著しい減少，G 比の著しい上昇がみられたが，時系列 Landsat データを用いた解析ではそのような変化はみられず，アラカシ純林とその他広葉樹林の間に指標変化傾向の違いもみられなかったため，アラカシ林抽出に必要な情報を得ることはできなかった。

Minami Okamoto, Yasushi Mitsuda, Miho Oda and Tsuyoshi Kajisa: Time series analysis of characteristics of spectral reflectance for developing a method for detecting arakashi (*Quercus glauca*) stands using Landsat images. Jpn. J. For. Plann. 52: 7~14, 2018 The objective of this study was to investigate characteristics of spectral reflectance of arakashi (*Quercus glauca*) stands using time series Landsat images for developing a method for detecting arakashi stands for sustainable charcoal production. The ratios of surface reflectance, SR of band 2, 3, and 4 to the sum of those SRs (B-rate, G-rate and R-rate) and NDVI were calculated using Landsat images for the period from March to August. This period included the flushing season of arakashi as they shed old leaves and form new leaves. Trend analysis of time series change in those indices were performed for pure arakashi stands and evergreen broad-leaved stands occupied by other species in Misato Town, and also among densely and sparsely arakashi-dominated evergreen broad-leaved stands in Aya Town, Japan. Comparative analysis did not reveal any explicit trend differences in the time series in the indices, while Ortho-photos of arakashi pure stands developed from the aerial images using an UAV highlighted the explicit decrease in B-rate and the explicit increase in G-rate after the flushing season.

* 連絡先 (Corresponding author) E-mail: mitsuda@cc.miyazaki-u.ac.jp

1 宮崎大学農学部 (889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地)

Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen-kibanadai, Miyazaki City, Miyazaki 889-2192, Japan

2 宮崎県林業技術センター (883-1101 宮崎県東臼杵郡美郷町西郷田代1561-1)

Miyazaki Prefectural Forestry Technology Center, 1561-1 Saigo-tashiro, Misato Town, Higashi-usuki-gun, Miyazaki 883-1101, Japan

3 鹿児島大学農学部 (890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1丁目21番24号)

Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima City, Kagoshima 890-0065, Japan

I. はじめに

宮崎県北部ではアラカシを原木とした白炭（日向備長炭）の生産が盛んであり、紀州備長炭（和歌山県）、土佐備長炭（高知県）と並ぶ日本三大備長炭として知られている。宮崎県内での白炭生産量は、全国3位の404.7トン进行誇り（全国平均67.7トン）（農林水産省, 2017）、その半数以上が美郷町で生産されている。美郷町宇納間地区は白炭生産を通じて伝統的な里山利用を続けている地域のひとつであり、現在でもアラカシ低木林の里山景観が持続している（環境省, 2009）。また、江戸時代から約400年にわたって伝承されている高度な製炭技術には後世に引き継ぐべき文化的価値が見出されており、平成27年には美郷町無形文化財に登録されている（宮崎県山村・木材振興課, 2016）。このように地域の特産品である白炭の持続的生産は、地域経済の活性化だけでなく貴重な里山景観や文化の継承にも貢献している（宮崎県山村・木材振興課, 2016；上杉, 2017）。

近年、良質な国内産白炭は飲食店などの業務用を中心に需要が高まっており、全国的に供給量が不足している。美郷町では、日向備長炭生産振興を目指し、担い手の新規参入や製炭技術の伝承を支援する取り組みが積極的に行われている（宮崎県山村・木材振興課, 2016；上杉, 2017）。日向備長炭生産のほとんどは個人生産者によって担われており（農林水産省, 2017）、個人生産者はアラカシの優占度が高い林を立木買いし伐採することで原木のアラカシ材を得ているが、美郷町ではアラカシ林の空間分布やその資源量が地域全体で把握されていないことが問題となっている。アラカシ林の空間分布を把握しているのは一部の熟練生産者のみであり、新規参入生産者は立木買いする林を外観から判断することが多く、伐採を行うとアラカシが少なく採算が合わないという事態も生じている。また、アラカシの高い萌芽力を利用することで、アラカシ林からは伐採後数十年の比較的短いサイクルで何度も原木を得ることができるが、長く利用されず放置されるとアラカシが大径化し白炭原木としての価値が低下するだけでなく、樹木の高齢化による萌芽力低下が原因となり伐採後の再利用が困難になると考えられている（日本樹木誌編集委員会, 2009；山瀬, 2012）。近年の生産者減少傾向から今後の熟練生産者の減少が予想されるため（農林水産省, 2013；2014；2015；2016；2017）、伐採時期を迎えたアラカシ林が利用されずに放置され、白炭原木生産の場として利用できなくなることが懸念される。このように、アラカシ林の空間分布やその資源量が地域全体で把握されないままであると、アラカシ材を安定的に効率よく確保することがで

きないだけでなく、アラカシの大径化および高齢化が進み、良質な白炭生産や萌芽更新サイクルによる白炭の持続的生産が継続できなくなる可能性がある。

以上のことから、アラカシ林の空間分布やその資源量を地域全体で把握する技術が求められているが、広域を対象に特定の林相を探索する場合には地上調査による手法はコストがかかりすぎて現実的ではないため、リモートセンシング技術の利用が有効であると考えられる。広域を対象に、IKONOS等の高分解能衛星画像を用いて林相区分や樹種区分を試みた研究は数多く行われているが（櫻井ら, 2009；村上ら, 2010；河邑ら, 2005）、林相区分や樹種区分を行う際には樹木の季節的变化（芽吹き時期、展葉期、紅葉・黄葉期、落葉期など）が重要な情報となるため、特に複数時期のデータ（Landsat TM, MODIS, AVHRR）を用いた研究が報告されている（栗屋ら, 1999；酒井ら, 2009；Carrao et al., 2008；Loveland et al., 2000）。航空写真やIKONOS等の高分解能衛星画像を用いた樹種分類のうちアラカシを対象にした研究では、アラカシは分類できないもしくは他樹種に誤分類された報告もあるが（瀬戸島ら, 2001；瀬戸島ら, 2005；河邑ら, 2005）、特定の二時期に撮影した航空写真におけるRGBデータや色彩の三属性であるHISデータの時系列変化を他広葉樹種と比較し、アラカシの分類に成功した報告や（瀬戸島ら, 2000）、航空機による高解像度ハイパースペクトラルデータの緑色域や近赤外域の値を他広葉樹種と比較し、アラカシの区分正答率80.7%を得た報告も存在しており（瀬戸島ら, 2006）、樹種による開花・開葉フェノロジーの違いに着目し時系列データを用いたアラカシ林抽出方法の可能性が示されている。

しかし、これらの成功事例におけるアラカシ林抽出方法には特定時期の航空写真撮影の依頼や特殊機材の使用が必要であり、大きなコストがかかる。実際の現場での利用を考えると、Landsatデータのような低コストで入手が容易なリモートセンシングデータを用いた方法であることが望ましい。Landsatデータはデータ蓄積が豊富であり、かつ無料で入手することができるため既に数多くの研究において利用されているが（例えば、妹尾ら, 1983；Colstoun et al., 2003；Pena and Brenning, 2015）、アラカシ林抽出は未だ試みられていない。

そこで本研究では、Landsat 8 OLI（Operational Land Imager：イメージングマルチスペクトル放射計）を用いた低コストで汎用性の高いアラカシ林抽出技術の開発に向けて、アラカシ林やその他広葉樹林において時系列Landsatデータによる分光反射特性の時系列解析を行い、アラカシ林抽出に必要な情報を得ること

を目的とする。

Ⅱ. 対象地および使用データ

本研究は、宮崎県東臼杵郡美郷町および宮崎県東諸県郡綾町において行った。美郷町にはコジイ、クヌギなどの複数樹種で構成される広葉樹林の他に、白炭生産に利用されてきたアラカシの純林が分布しており、綾町にはイチイガシ、アラカシ、タブノキなどが林冠を構成する照葉樹天然林が日本最大規模で残されている（林野庁，2012）。データには Landsat 8 OLI の地表面反射率（SR）を使用し、美郷町上空が雲に覆われていない2016年における春から夏の4シーンおよび綾町上空が雲に覆われていない2013年～2016年における春から夏の7シーンを、年次は考慮せず日付順に並べ使用した（表-1）。

また、アラカシ林抽出の有効な要因になると考えられるアラカシ樹冠の季節的な色調変化の確認を行うため、ドローンによる撮影を行った。撮影は現地の白炭生産者からの情報をもとに、アラカシの新葉展開前と展開直後に2回実施した（2017年4月16日および4月30日）。撮影にはPhantom2に搭載したGoPro HERO3+を使用し、対象のアラカシ純林上空を一定の高度を保ちオーバーラップとサイドラップが生じるように飛行させながら、2秒に1枚の間隔で写真を撮影した。撮影した複数のカラーデジタル画像から PhotoScan（Agisoft 社）を用いて各時期のオルソ画像（解像度6cm）を作成した。また、平成25年に撮影された航空写真のオルソ画像（宮崎県提供）を用いて、各時期のオルソ画像に地理座標を与えた。

Ⅲ. 方 法

本研究では、アラカシ林抽出に有効な特徴としてアラカシ樹冠の季節的な色調変化に着目し、まず樹冠の色調が大きく変化すると考えられる新葉展開前後で、アラカシ樹冠がどのような色調変化を示すかをドローン空撮による高解像度オルソ画像を用いて確認した。

次に、アラカシ純林とその他の樹種が優占する広葉樹林における Landsat 画像から得た分光反射特性を表す指標（分光指標）の時系列変化を比較した。さらに、純林以外のアラカシ優占度が高い広葉樹林抽出の可能性を検討するために、アラカシ優占度の異なる広葉樹林における Landsat 画像から得た分光指標の時系列変化を比較した。

1. 高解像度オルソ画像を用いたアラカシ樹冠の色調変化の評価

美郷町のアラカシ純林において新葉展開前後にドローン空撮を行い、新葉展開によるアラカシ樹冠の色調変化を評価した。撮影したデジタル画像から二枚のオルソ画像を作製し、アラカシ純林部分合計1,100m²（10m×10m ピクセルを11か所）を抜き出した。抜き出したそれぞれのオルソ画像に対して、小野ら（2015）を参考に RGB の SR を用いて、見た目の色調を示す指標として R 比（ $R/(R+G+B)$ ）、G 比（ $G/(R+G+B)$ ）、B 比（ $B/(R+G+B)$ ）を算出し、新葉展開前後で比較した。

2. Landsat 画像を用いたアラカシ純林とその他広葉樹林の比較

美郷町のアラカシ純林とその他の樹種が優占する広葉樹林において、Landsat 画像から得た分光指標の時系列変化を比較した。現地踏査および航空写真オルソ画像を用いて、最小で Landsat 8 OLI の3、4ピクセル（1ピクセル30m×30m）にかかるサイズのアラカシ純林およびその他の樹種が優占する広葉樹林を13林分ずつ選び、それぞれの対象林相が大部分を占めるピクセルを解析対象とした。アラカシ純林の場合、対象ピクセル内にアラカシ純林以外が多少含まれるピクセルもあったが、本研究が想定している現場利用ではそのようなミクセルも避けられないと考えられたため、アラカシ純林が大部分を占めるピクセルも解析に使用した。対象ピクセルにおいて、Band 2（波長帯450–515nm）、Band 3（波長帯525–600nm）、Band 4（波長帯630–680nm）、Band 5（波長帯845–885nm）における SR を

表-1 使用した Landsat 8 OLI データ

	美里町	DOY	綾町	DOY
	2016年3月4日	63	2016年3月4日	63
	2016年4月5日	95	2016年3月20日	79
	2016年5月23日	143	2013年4月13日	102
観測日	2016年8月11日	223	2014年5月2日	121
			2015年5月21日	140
			2015年8月9日	220
			2016年8月11日	223

用いて、見た目の色調を示す指標としてR比 ($\text{Band 4} / (\text{Band 4} + \text{Band 3} + \text{Band 2})$), G比 ($\text{Band 3} / (\text{Band 4} + \text{Band 3} + \text{Band 2})$), B比 ($\text{Band 2} / (\text{Band 4} + \text{Band 3} + \text{Band 2})$) を、植生活性度を示す指標として正規化植生指数 (NDVI, $(\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4})$) を4シーン分算出した。春から夏にかけての4シーンにおけるこれらの指標変化を、アラカシの純林とその他の樹種が優占する広葉樹林で比較した。

3. Landsat 画像を用いたアラカシ優占度の異なる広葉樹林の比較

綾町のアラカシ優占度の異なる広葉樹林において、Landsat 画像から得た分光指標の時系列変化を比較した。綾町国有林内の9林分において国有林内の広葉樹林9か所に20m×20mのプロットを設置し、樹高1.2m以上の木本植物を対象に毎木調査を行った。毎木調査の結果から、各プロットのアラカシの積算優占度 (SDR, $(\text{相対密度} + \text{相対被度}) / 2$) を求め、各プロットの中心が位置する Landsat 8 OLI ピクセルにおいて、同様に R 比, G 比, B 比, NDVI を7シーン分算出した。春から夏にかけての7シーンにおけるこれらの指標変化を、アラカシ SDR とともに比較した。

IV. 結 果

1. 高解像度オルソ画像を用いたアラカシ樹冠の色調変化の評価

ドローンで撮影した、新葉展開前後におけるアラカシ純林の高解像度オルソ画像を図-1に示す。画像からアラカシの樹冠は新葉展開前には暗い緑色を示し、新葉が展開すると明るい黄緑色を示すことが目視により確認できた。アラカシ純林における新葉展開前後の R 比, G 比, B 比差分 (展開後－展開前) を図-2に示す。新葉展開前後で R 比に大きな変化はみられず、G 比は展開前より展開後に高く、B 比は展開前より展開後に低かった。

図-1 ドローンで撮影した新葉展開前後のアラカシ純林
(a)新葉展開前 (2017年4月16日) (b)新葉展開後 (2017年4月30日)

図-2 アラカシ純林における新葉展開前後の R 比, G 比, B 比差分
中央線が中央値, 矩形が50%区間, 上下の横線が95%区間を示す。

2. Landsat 画像を用いたアラカシ純林とその他の広葉樹林の比較

アラカシ純林およびその他の樹種が優占する広葉樹林における分光指標の春から夏にかけての時系列変化を図-3に示す。全体的に R 比は春から夏にかけて低下していく傾向がみられ、G 比と NDVI は3月から5月にかけて上昇しその後あまり変化しない傾向がみられた。B 比は4月にいったん低下しその後上昇する傾向がみられた。いくつかの林分においては全体の傾向と異なる変化を示したが、アラカシ純林とその他の樹種が優占する広葉樹林の間に、R 比, G 比, B 比, NDVI の時系列変化における傾向の違いはみられなかった。

3. Landsat 画像を用いたアラカシ優占度の異なる広葉樹林の比較

アラカシ優占度の異なる広葉樹林における毎木調査の結果から得られた各プロットのアラカシ SDR を図-4に示す。9つのプロットはアラカシ SDR が0.14～0.43%と比較的高い4プロット (plot 1, 2, 7, 9) と、0～0.01%と低い5プロット (plot 3, 4, 5, 6, 8) に分けることができた。各プロットにおける春から夏にかけての分光指標の時系列変化を図-5に示す。全体的に R 比は3月から5月にかけて低下していく傾

図-3 美郷町の広葉樹林における (a)R比, (b)G比, (c)B比, (d)NDVI の時系列変化
四角が平均値, 上下の横線が標準偏差を示す。

図-4 綾町広葉樹林調査プロットにおけるアラカシの積算優占度 (SDR)

向がみられ、G比は3月から5月にかけて上昇しその後低下する傾向がみられた。B比は3月から5月にかけて低下し、その後上昇する傾向がみられた。NDVIは3月から5月にかけて上昇しその後あまり変化しない傾向がみられた。しかし、アラカシ SDR の高い4プロットと低い5プロットとの間に、R比、G比、B比、NDVIの時系列変化における傾向の違いはみられなかった。

V. 考 察

新葉展開前後の高解像度オルソ画像を用いてアラカシ樹冠の色調変化を定量的に示すことができたが、時系列 Landsat データを用いた解析では、アラカシ純林とその他の樹種が優占する広葉樹林の間で分光指標の変化傾向の違いはみられなかった。アラカシの優占度が異なる広葉樹林においても同様に、アラカシ SDR が高いプロットと低いプロットとの間に分光指標の時系列変化における傾向の違いはみられず、アラカシ林の抽出に必要な情報を得ることはできなかった。原因として、使用した Landsat 8 OLI のデータ時期および解像度が考えられる。Landsat 8 の撮影周期は16日であり、かつ九州太平洋側における雲量20%以下のデータ取得率は通年で7%未満、一年のうちデータ取得率の高い時期でも20%未満である(秋山・川村, 2003)。データ取得率が高いとされる新葉展開期間でさえも、本研究において十分な数のデータを得ることができず、新葉展開直後数日間の色調変化をとらえられない可能性が示唆され、Landsat データ利用の限界が確認された。また、綾町での解析においては年次における気象条件の違いやそれに伴う新葉展開期間の違いを考慮せず、データを使用したことも一因であると考えられる。

図-5 綾町の広葉樹林における (a)R比, (b)G比, (c)B比, (d)NDVIの時系列変化
丸が平均値, 上下の横線が標準偏差を示す。

ドローン空撮による高解像度オルソ画像を用いた解析では、アラカシ純林部分に10m×10mのピクセルを任意に設置したためピクセル内すべてがアラカシ樹冠で占められていたが、解像度30mのLandsat 8 OLIを用いた場合、アラカシ純林とした対象ピクセルには隣接した農地やその他広葉樹林を含むミクセルが存在することが平成25年撮影の航空写真オルソ画像から確認された。隣接農地の土の茶色など、アラカシ以外の色調の影響を受けたことで、高解像度オルソ画像でみられたアラカシの色調変化がLandsat データからは確認できなかったと考えられる。アラカシ優占度が異なる広葉樹林においても、アラカシ優占度の違いを評価することは困難であった。空間解像度が30mであるLandsat データを扱う際にミクセルは大きな問題となるが (Irons et al., 1985)、本研究で対象とした美郷町のアラカシ純林のいくつかはミクセルであると判断された。また、綾町で対象とした常緑広葉樹林はアラカシを含む様々な樹種で構成される林分であり、樹種別の分光反射特性に着目した解析においてはミクセルであるといえる。白炭生産のためのアラカシ林抽出という実用技術を目指した場合、ミクセル状態であってもアラカシ純林やアラカシ優占度の高い林分を抽出することが求められるが、今回の解析においては、30m

解像度のミクセルではアラカシの分光反射特性をとらえられない可能性が示唆された。このように解像度の面からも、実用的なアラカシ林抽出技術の開発におけるLandsat データ利用の限界が確認された。

本研究におけるLandsat データを用いた時系列解析では、アラカシ純林およびアラカシの優占度が高い林分を抽出するために必要な情報を得ることができなかった。Landsat データを用いた既往の研究では、伐採地の抽出や林分材積の推定、果樹園の樹種分類に成功しているが (村上ら, 2006; Kajisa et al., 2008; Pena and Brenning, 2015)、一方で解像度の問題から個体レベルでの樹種・樹高などの情報は得られなかったという失敗報告もある (Johansen and Phinn, 2006)。今後、広域的な森林資源の把握に有効とされるLandsat データを活用していくためには、どのような手法、どのような用途で利用可能であるかを研究事例の積み重ねによって明らかにすることが必要である。樹種区分に関しても、なぜその事例が成功または失敗したのかを因果関係とともに理解することが必要とされており (Fassnacht et al., 2016)、本研究は失敗事例ではあるが、そのような研究蓄積に貢献するものであるといえる。

本研究では、Landsat 8 OLIにおけるデータ取得率

の低さおよび解像度の低さが障害となったため、それらを補うデータを利用したアラカシ林抽出方法の検討が必要である。具体的には、Landsat データおよび特定時期の高解像度データを組み合わせて使用する方法や、Landsat データおよび地形データを組み合わせて使用する方法などが挙げられる。既往の研究を参考にすると、前者には広域から多時期の Landsat データを用いて常緑広葉樹林を抽出し（例えば、栗屋・田中, 1999; Tanaka ら, 2012）、ドローン空撮による高解像度画像からアラカシ林を抽出する方法（Lisein et al., 2015）が考えられる。また後者には、多時期の Landsat データを用いて抽出した常緑広葉樹林から、アラカシはカシ類のなかでは乾燥や貧栄養に耐えうる種であり未発達な岩盤土壌にもよく出現するとの知見を参考に（日本樹木誌編集委員会, 2009）、立地条件によってアラカシ林を抽出する方法が考えられる。現在美郷町では、さらなるアラカシ材の安定供給を目指しアラカシの植林による純林造成も検討されているほか（上杉, 2017）、生産地を現在中心となっている県北部から県内全域に拡大する意向もみられる。このような状況や、原木として好まれる小径の若いアラカシは上空からだけでは探索しにくい可能性を考慮すると、アラカシが生育しやすい立地条件を明らかにすることが、今後のアラカシ林抽出技術の開発や白炭生産振興への貢献につながると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、奥井製炭所の奥井氏夫妻、日向農業協同組合に情報提供をしていただきました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 秋山侃・川村健介（2003）Landsat 5 号の快晴データ取得率に関する農林業分野からの一考察．写真測量とリモートセンシング．42(3), 29-34.
- 栗屋善雄・田中伸彦（1999）冷温帯森林の反射スペクトルの季節変化の特徴：ランドサット TM データを利用した解析．写真測量とリモートセンシング．38(4), 35-46.
- Carrão, H., Gonçalves, P., Caetano, M. (2008) Contribution of multispectral and multitemporal information from MODIS images to land cover classification. *Remote Sens. Environ.* 112(3), 986-997.
- Colstoun, E. C. B. D., Story, M. H., Thompson, C., Comisso, K., Smith, T. G., Irons, J. R. (2003)

- National Park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and a decision tree classifier. *Remote Sens. Environ.* 85(3), 316-327.
- Fassnacht, F. E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L. T., Straubf, C., Ghosh, A. (2016) Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 186, 64-87.
- Irons, J. R., Markham, B. L., Nelson, R. F., Toll, D. L., Williams, D. L., Latty, R. S., Stauffer, M. L. (1985) The effects of spatial resolution on the classification of Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sens.* 6(8), 1385-1403.
- Johansen, K. and Phinn, S. (2006) Mapping Structural Parameters and Species Composition of Riparian Vegetation Using IKONOS and Landsat ETM+ Data in Australian Tropical Savannas. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 72(1), 71-80.
- 河邑眞・辻野和彦・辻子裕二（2005）森林の樹種に関する高分解能衛星画像特性の分析．写真測量とリモートセンシング．44(2), 54-67.
- Kajisa, T., Murakami, T., Mizoue, N., Kitahara, F., Yoshida, S. (2008) Estimation of stand volumes using the k-nearest neighbors method in Kyushu, Japan. *J. For. Res.* 13(4), 249-254.
- 環境省（2009）里地里山保全活動 事例・文献データベース 国内事例検索．<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/satonavi/initiative/kokunai/pdf/623.pdf>（2018年1月25日利用）
- Lisein, J., Michez, A., Claessens, H., Lejeune, P. (2015) Discrimination of Deciduous Tree Species from Time Series of Unmanned Aerial System Imagery. *PLoS One.* 10(11).
- Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z., Yang, L., Merchant, J. W. (2000) Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.* 21(6-7), 1303-1330.
- 宮崎県山村・木材振興課（2016）宮崎県産備長炭の生産振興について．林業みやざき．544, 10-11.
- 村上拓彦・太田徹志・溝上展也・吉田茂二郎（2006）時系列リモートセンシングデータから得られた森林変化点の抽出精度 — 再造林放棄地実態把握を目指して —．九州森林研究．59, 285-288.
- 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. 写真測量とリモートセンシング. 49 (3), 159-165.
- 日本樹木誌編集委員会 (2009) 日本樹木誌1, 61-72.
- 農林水産省 (2013) 平成23年特用林産基礎資料. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20110&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001056658> (2018年5月8日利用)
- 農林水産省 (2014) 平成24年特用林産基礎資料. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20120&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001063554> (2018年5月8日利用)
- 農林水産省 (2015) 平成25年特用林産基礎資料. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20130&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001063500> (2018年5月8日利用)
- 農林水産省 (2016) 平成26年特用林産基礎資料. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20140&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001082275> (2018年5月8日利用)
- 農林水産省 (2017) 平成27年特用林産基礎資料. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001172683> (2018年1月25日利用)
- 小野朗子・林田佐智子・小野厚夫 (2015) デジタルカメラを用いた落葉針葉樹カラマツ林の植生解析. 写真測量とリモートセンシング. 54(1), 20-31.
- Peña, M. A. and Brenning, A. (2015) Assessing fruit-tree crop classification from Landsat-8 time series for the Maipo Valley, Chile. Remote Sens. Environ. 171, 234-244.
- 林野庁 (2012) 特集 綾ユネスコエコパーク誕生. 林野. 65, 4-7.
- 酒井徹・栗屋善雄・高橋與明・家原敏郎・松本光朗 (2009) 土地被覆分類の精度に影響を及ぼす大気地形補正と多時期データの利用. 日本リモートセンシング学会誌. 29(4), 567-578.
- 櫻井聖悟・伊藤達夫・田中和博 (2009) 高分解能衛星データを用いたオブジェクトベース林相区分における地形情報の利用. 日林誌. 91(1), 1-8.
- 妹尾俊夫・岩浪英二・田中總太郎・杉村俊郎 (1983) 比演算を施した2季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分. 日本リモートセンシング学会誌. 3(3), 55-64.
- 瀬戸島政博・赤松幸生・福井裕子・重松敏則・朝廣和夫・児玉滋彦 (2000) 春季の時系列カラー航空写真データからみた里山林の代表的な常緑広葉樹の色調変化. ランドスケープ研究. 64(5), 801-804.
- 瀬戸島政博・赤松幸生・今井靖晃・重松敏則・朝廣和夫・児玉滋彦 (2001) カラー航空写真上の季節の色調変化からみた里山構成樹種の識別に関する研究. ランドスケープ研究. 65(5), 679-684.
- 瀬戸島政博・今井靖晃・船橋学・勝木俊雄 (2005) 航空データ上の色調変化および落葉推移に基づく混交林の代表的な樹種の区分. ランドスケープ研究. 68(5), 931-936.
- 瀬戸島政博・今井靖晃・船橋学・河合雅己・勝木俊雄 (2006) 航空機から観測した多波長帯データを用いた里山の代表的な樹種区分に関する検討. ランドスケープ研究. 69(5), 677-682.
- Tanaka, S., Takahashi, T., Saito, H., Awaya, Y., Iehara, T., Matsumoto, M., Sakai, T. (2012) Simple Method for Land-Cover Mapping by Combining Multi-Temporal Landsat ETM+ Images and Systematically Sampled Ground Truth Data: A Case Study in Japan. J. For. Plann. 18(1), 77-85.
- 上杉貴敬 (2017) 「宇納間備長炭」の製炭技術の伝承. 山林. 1596, 11-15.
- 山瀬敬太郎 (2012) 暖温帯域での高齢化した里山構成種7種の萌芽能力. 日緑工誌38(1), 109-114. (2018年1月25日受付)
(2018年5月21日受理)