

福岡県のデジタル空中写真を対象としたランダムフォレスト法による竹林抽出

鶴崎 幸*・檜崎康二¹⁾・大川雅史¹⁾

本研究は、空中写真からピクセルベースの画像分類により、竹林を抽出することを目的とした。対象地は、福岡県八女市立花町地区内とし、2016年6月と2021年10月の2時期に撮影された空中写真を解析に供した。機械学習のひとつであるランダムフォレスト法により対象とする地域を「竹林」「森林」「その他」に分類するモデルを作成し、精度を評価した結果、全体精度は2016年6月で96%，2021年10月で91%であった。特微量の重要度から、竹林を抽出するためには、オルソ化した空中写真に51×51ピクセルの平均化フィルタ処理を施した特微量のうち、可視青色光と赤色光が重要であることが明らかとなった。2016年6月の空中写真は、竹の葉替り期に撮影した写真であったことが精度の高さに影響したと考えられた。2021年10月は、「竹林」「森林」間の誤分類が多かった。以上より、竹林の抽出には葉替り期の空中写真を利用することが適切であると結論づけた。福岡県では、5年毎に同一地域の空中写真撮影を実施しているため、これらの写真から長期にわたる竹林の分布の変化を把握できる可能性がある。

[キーワード：画像分類、ランダムフォレスト、リモートセンシング、竹林]

Determination of Bamboo Distribution in the Fukuoka Prefecture Using the Random Forest Method with Digital Aerial Photography.
TSURUSAKI Yuki, NARAZAKI Koji, OHKAWA Masafumi, (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka, 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 11 : 38 - 42 (2025)

In this study, we aimed to assess bamboo distribution via pixel-based image classification of aerial photographs. The study area was the Tachibana Town, Yame City, Fukuoka Prefecture. Aerial photographs taken in June, 2016 and October, 2021 were used for the analysis. A model was constructed to classify the images into “bamboo,” “forest,” and “others” categories using the random forest machine learning method. The overall accuracy of the model was 96% in June, 2016 and 91% in October, 2021. Feature importance analysis revealed visible blue light and red light bands from ortho-rectified aerial photographs processed with a 51×51 averaging filter as the most important features to determine bamboo distribution. The high accuracy observed in June, 2016 was possibly due to the photographs being taken during the bamboo leaf-shedding period. However, in October, 2021, many photographs in the “bamboo” and “forest” categories were misclassified. Overall, these findings suggest that aerial photographs taken during the leaf-shedding period are the most suitable to assess bamboo distribution. As the Fukuoka Prefecture conducts aerial photography of the same area every five years, long-term changes in bamboo distribution can be effectively monitored using aerial photographs.

[Keywords: bamboo, image classification, Random Forests, remote sensing]

緒 言

近年、タケノコ・竹材需要の減少により、管理を放棄された竹林いわゆる放棄竹林が増加している（佐々木2012）。さらに地下茎で増殖する竹は、周辺の農地や造林地に侵入する「侵入竹」として問題となっている（福岡県2009）。竹林の管理放棄による拡大はモウソウチク(*Phyllostachys pubescens*)を中心としたもので、竹林化により起こる様々な問題を明らかにする研究が進められている。例えば生物多様性にマイナスの影響を与えていたこと（瀬嵐ら 1989, 山口・井上 2004, 鈴木 2010）、炭素蓄積量が植林地や広葉樹林の半分以下に留まること（後藤ら 2008）、景観の悪化に対し整備を望む周辺住民が多いこと（相原・立花 2018）などが指摘された。一方篠原ら（2014）は、研究レビューの結果、モウソウチク林の拡大により洪水、渇水、表層崩壊、表面侵食のリスクを助長させる可能性は低いと結論づけるとともに、数例の研究例から推測されたものであるため、今後更なる検証の必要性を指摘している。

モウソウチク林の拡大速度は、日本各地の報告をまと

めると平均0.5～2.6m/yearであるが、気候条件や隣接する植生条件によって値は大きく異なる（篠原ら 2014）。そこで、福岡県における竹林の拡大状況を把握するためには、実際に県内地域の任意の複数時点における竹林の空間分布を把握する必要がある。

また、既往の研究では、竹林の分布域を把握するために使用されたデータは主に空中写真または衛星画像である。空中写真を用いた竹林の分布域の把握に関する研究は、人の目による判読が主である（鳥居 1998, 甲斐・辻井 2004, 西川ら 2005）一方、衛星画像を用いた場合、デジタルセンサによって得たスペクトル情報をもとにした画像分類による把握が主であった（小泉ら 2003, 西川ら 2006, 花木ら 2015, 井上ら 2024）。空中写真と衛星画像のデータ取り扱い方法が異なる理由は、空中写真が可視光域の3バンドから成り、地上解像度が数十cmと高く視認性に優れている一方、衛星画像は地上解像度が最高数m程度であるが、人の目では感知できないマルチバンドやハイパースペクトルバンドで構成され、画像分析に向くという各々の特性の違いに由来する。

近年、機械学習や深層学習の普及により、人間に代わつ

*連絡責任者（福岡県筑後農林事務所：tsurusaki-y8998@pref.fukuoka.lg.jp）受付2024年7月18日；受理2024年11月7日
1) 森林林業部

て写真的分類を行う研究が進んでおり、森林分野でも応用が期待される（鈴木・前田 2020）。しかし、これまでに衛星画像から機械学習等により竹林を抽出し、拡大状況を把握した研究事例（井上ら 2024）はあるものの、空中写真を用いた事例は国内にない。

福岡県は、公共測量として民有林部分の空中写真撮影を実施している。県内を 5 つの地域に区分し、毎年順番に撮影するため、5 年毎の時系列写真が存在する。これらの写真に機械学習による分類・抽出を適用すると、広い面積を同時に分析でき、効率的かつ継続して竹林の空間分布を把握することが可能となるだろう。

そこで本研究は、福岡県が撮影した空中写真から、画像分類により竹林を抽出することを目的とした。異なる時期に撮影した空中写真を用いて、竹林抽出に適した撮影時期及び写真から得られる特徴量を明らかにした。

材料および方法

1 対象地

本研究の対象地は、福岡県八女市とした。八女地域は全国的に「サシスギ」を中心とした優良林業地域として知られており、さらに福岡県内有数のタケノコ生産地でもある（福岡県 2024）。スギを中心とした人工林、隣接するモウソウチク林、周辺に拡がる田畠等、多様な景観で構成されており、多様な学習画像データを得ることができる地域であるため、調査地に選定した。

2 材料

解析に使用した空中写真は、福岡県により森林計画の目的で 2016 年 6 月 2 日と 2021 年 10 月 4 日の 2 時期に撮影された写真とした。いずれも地上画素寸法 30cm でデジタル撮影されており、国土基本図郭 2500（平面直角座標系）に従って 2km × 1.5km の範囲を 1 区画とした簡易オルソ写真が作成されている。本研究では、森林、竹林、その他（建築物、田畠、道路等）が写った八女市立花町下辺春地区内の図郭番号 JD411 の写真を選択、使用した（第 1 図）。

3 方法

（1） 解析全体の流れ

対象地の簡易オルソ写真から林相毎に特徴量を抽出し、林相を目的変数、特徴量を説明変数とした集団学習アルゴリズムのランダムフォレスト法（以降、RF）（Breiman 2001）により分類モデルを構築して林相区分図を作成、その精度を評価した。

（2） 特徴量算出

本研究で用いた特徴量は、合計 18 個とした（第 1 表）。空中写真を用いた樹種の判別は、色調、キメ、パターンなどの観察・比較によって行われる（中島 2006）ことから、写真を構成する 3 つのバンドである可視赤色光、緑色光、青色光（以降、R、G、B バンド）毎に、色に関する特徴量として平均化フィルタ処理、模様に関する特徴量として標準偏差フィルタ処理を施した。使用したフィルタの

サイズは、3 × 3 ピクセル（9 画素）、21 × 21 ピクセル（441 画素）、51 × 51 ピクセル（2,601 画素）の 3 種類とした。

（3） 分類モデル構築

本研究では、RF を用いてピクセルベースによる林相の分類モデルを構築した。

目的変数である分類クラスは「竹林」、「森林」、「その他」の 3 つとした。「竹林」はモウソウチクやマダケなどのタケからなる林相、「森林」はスギやヒノキ、広葉樹などの樹木からなる林相、「その他」は建物物、田畠、道路など「竹林」や「森林」に属さない相と定義した。説明変数は、18 個の特徴量（第 1 表）とした。

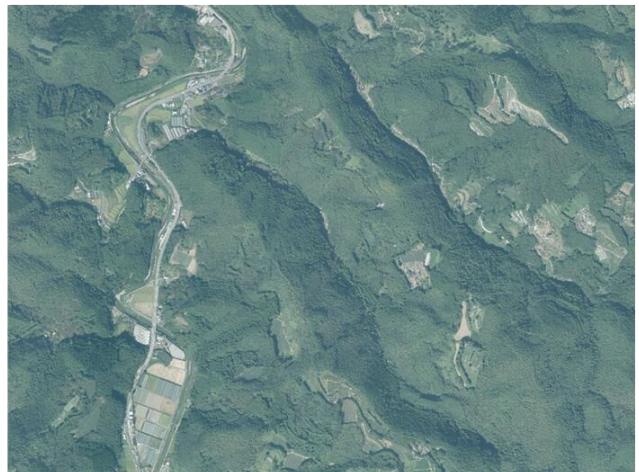
解析用データセットを作成するため、3 つの分類クラスに特徴量を対応させる必要があった。そこで、撮影年毎に 3 つの分類クラスからなる林相区分図を目視で作成し、各林相（クラス）内に 10,000 点のランダム点群を発生させ、各点の位置と一致するピクセルの特徴量を抽出することにより、解析用データセットを作成した。

このデータセットを無作為に半数ずつ学習データセットと参照データセットの二つに分けた。学習データセットはモデル構築に、参照データセットは後述する精度評価に使用した。

(a) 2016 年



(b) 2021 年



第 1 図 解析対象の空中写真

学習データセットを用いて、RFによる林相の分類モデルを構築した。モデルのチューニングは、10分割交差検定により行い、その結果得たパラメータを利用した。また、モデルにおける重要な特微量を明らかにするため、特微量の重要度を算出した。重要度は、対象とする特微量をモデルに入れた場合と入れない場合の分類精度の差から計算される指標で(Kuhn 2019)、0から100までの値をとり、100に近づくほど重要であることを示す(井上ら2024)。

構築した分類モデルを用いて、対象地全体の林相区分図を作成した後、ゴマ塩(salt-and-pepper)ノイズを除去するため、 5×5 ピクセル(25画素)の最頻値フィルタ処理を行い、林相区分図を完成させた。

なお、RF分類モデルの構築、重要度の算出、分類モデルを用いた林相区分図の作成にはR ver.4.22(R Core Team 2022)およびR上のパッケージcaret(Kuhn 2023)およびrandomForest(Liaw and Wiener 2002)パッケージを用いた。

(4) 精度評価

精度評価のための評価データには、前述の参照データセットを使用した。つまり、分類モデルによる林相区分図の妥当性を評価するため、筆者が判読した林相を真として精度評価を行った。

精度評価の指標には全体精度、PA (producer's accuracy)、UA (user's accuracy)を用いた。PAは各クラスの評価データのうち、どの程度がモデルによる分類結果と一致したかを表し、UAはモデルによる分類結果のうち、どの程度が評価データと一致したかを表す(志水 2020)。

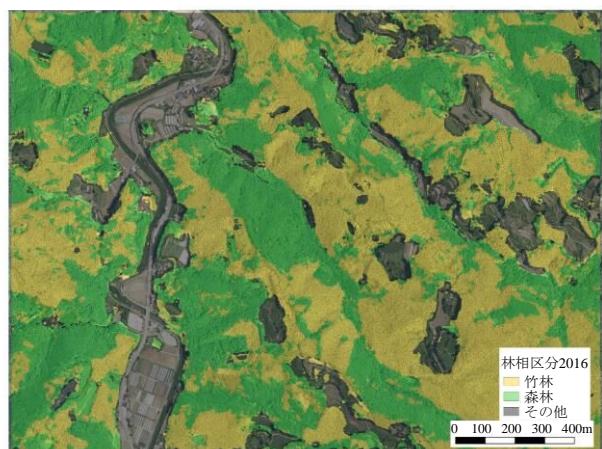
結果

空中写真から分類した各年の林相区分図を第2図に示した。分類に用いた特微量の重要度は、2016年および2021年撮影空中写真的いずれもB.51mean, R.51meanの順で、これら 51×51 ピクセルの平均化フィルタ処理により算出した色に関する特微量の重要度は80以上と高かった(第3図)。3番目以降の重要な特微量には、2016年および2021年撮影空中写真的いずれにも模様に関する特微量であるB.21sdとR.51sdが含まれた(第3図)。また、Gバンドに

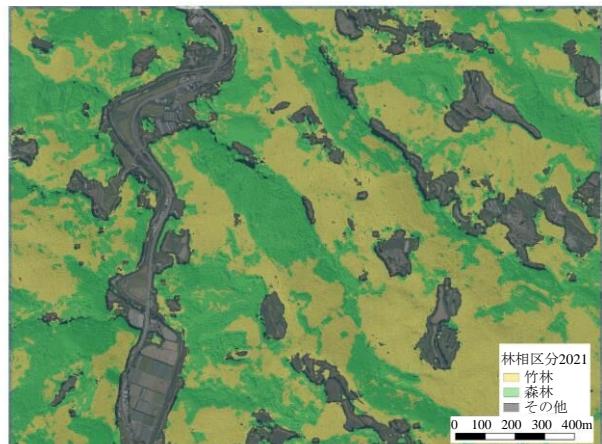
関する特微量で、重要度が高いものはなかった。

精度評価の結果を第2表に示した。2016年撮影空中写真的全体精度は96%、PAは最小95%、最大98%、UAは最小96%、最大97%であった。2021年撮影空中写真的全体精度は91%、PAは最小88%、最大98%、UAは最小88%、最大98%であった。「竹林」および「森林」の精度は撮影年により異なり、PAが88%から96%、UAが88%

(a) 2016年



(b) 2021年



第2図 分類結果

第1表 分類に使用した特微量

| バンド_フィルタサイズ | 特微量 | |
|--------------|---------------|----------------|
| | 平均化フィルタ処理(略称) | 標準偏差フィルタ処理(略称) |
| R_3×3 ピクセル | R.3mean | R.3sd |
| G_3×3 ピクセル | G.3mean | G.3sd |
| B_3×3 ピクセル | B.3mean | B.3sd |
| R_21×21 ピクセル | R.21mean | R.21sd |
| G_21×21 ピクセル | G.21mean | G.21sd |
| B_21×21 ピクセル | B.21mean | B.21sd |
| R_51×51 ピクセル | R.51mean | R.51sd |
| G_51×51 ピクセル | G.51mean | G.51sd |
| B_51×51 ピクセル | B.51mean | B.51sd |

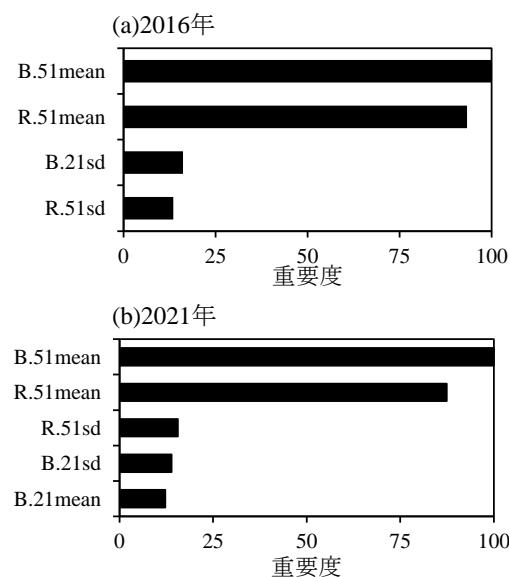
から 97%であった一方、「その他」の精度は PA が 98%, UA が 96%から 98%とほぼ変わらなかった。

考 察

分類モデルにより作成した林相区分図の全体精度は、2016 年および 2021 年撮影空中写真的いずれも 90%以上と高かった。しかし、竹林の抽出精度について、2016 年撮影分は PA, UA の順に 95%, 97%と高かった一方、2021 年撮影分は PA, UA の順に 88%, 89%と 90%を下回った。2016 年撮影分よりも 2021 年撮影分の方が精度の低かった理由は、竹林と森林間の誤分類が多かったため(第 2 表)であり、これには写真を撮影した季節が影響したと考えられる。野中 (1985, 1995) は、福岡県八女市内(当時、八女郡黒木町)でモウソウチクの葉替りを調査した結果、3月下旬～6月中旬にかけて黄葉～落葉～新葉展開したことを報告した。本研究で使用した空中写真は、2016 年分が 6 月 2 日に撮影されたため、竹の葉替り期であり、竹林は周囲の森林よりも黄色味を帯びていた一方、2021 年分は 10 月に撮影されたため、竹林と周囲の森林との色の違いが小さかった(第 1 図)。空中写真から林相区分をするには、色に関する特微量の重要度が高いため(第 3 図)、葉替り期で周辺林分との色が異なった写真である 2016 年撮影分の精度が高かったと考えられる。

色に関する特微量の中で、本研究では B.51mean, R.51mean の 2 つが特に重要な結果を得た。可視光赤色域(R バンド)が竹林の抽出に有効なことは衛星画像を用いた研究でも報告されており、6 月頃にかけて竹林の R バンドの反射率は、他の森林タイプより高くなることが指摘されている(西川ら 2006, 谷垣ら 2011, 井上ら 2024)。また、R.51mean に加え B.51mean の重要度が高かったことは、空中写真が R・G・B バンドを組み合わせて色を表現するため、既往の研究で重要とされた R バンドに加え B バンドも分類に使用したことでのバリエーションが増え、より精度の高い分類に寄与したと考えられる。

色に関する特微量を算出するために使用したフィルタ



第 3 図 特微量の重要度

1) 重要度 10 以上の特微量を示した

サイズについては、51×51 ピクセルが有効であった(第 3 図)。本研究は、竹林を抽出することが目的であり、竹林は空中写真上にまとまりのあるパッチとして出現する(第 1 図)。今回使用したフィルタの中で、51×51 ピクセル(=実際のスケールでは 16×16m に相当)が、このパッチを最も上手く反映できたフィルタであったと考える。ただし、フィルタサイズは、抽出したい竹林の下限面積や、実際に分布する竹林パッチのサイズ等によっても変化する可能性があるため、最適なフィルタサイズについては、地域や目的に応じて検討する必要があるだろう。

以上をまとめると、本研究は、福岡県が撮影した空中写真から画像分類により竹林を抽出するためには色に関する特微量が重要で、葉替り期に撮影した写真を利用するが適切であった。作成した分類モデルは、空中写真画像を入力すると「竹林」、「森林」、「その他」の 3 つの分類結果が得られることから、モデルを作成できれば自動で「竹林」を把握することが可能となる。ただし、2016 年、

第 2 表 評価データ分類結果

(a) 2016 年

| | 分類クラス | | | 計 | PA |
|-------|-------|-------|-------|-------------|-----------|
| | 竹林 | 森林 | その他 | | |
| 評価データ | 竹林 | 4,852 | 158 | 81 | 5,091 95% |
| | 森林 | 112 | 4,796 | 98 | 5,006 96% |
| | その他 | 31 | 54 | 4,765 | 4,850 98% |
| 計 | | | 4,995 | 5,008 4,944 | OA= 96% |
| UA | | | 97% | 96% 96% | |

(b) 2021 年

| | 分類クラス | | | 計 | PA |
|-------|-------|-------|-------|-------------|-----------|
| | 竹林 | 森林 | その他 | | |
| 評価データ | 竹林 | 4,392 | 531 | 32 | 4,955 89% |
| | 森林 | 558 | 4,355 | 53 | 4,966 88% |
| | その他 | 48 | 51 | 4,877 | 4,976 98% |
| 計 | | | 4,998 | 4,937 4,962 | OA= 91% |
| UA | | | 88% | 88% 98% | |

1) 各表の合計点数が 15,000 点より少ないのは、欠損値を除去した点数のためである

2) OA(Overall Accuracy)は、全体精度を示す

2021年で特徴量の重要度が異なった(第3図)ことから、モデルは撮影時期毎に作成する必要がある。

今後は、抽出した「竹林」を時系列比較することにより、拡大エリアを抽出することができるのか、可能であればどの程度のスケールであれば抽出できるのかを明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究では、RF分類モデルの構築にあたり、九州大学農学研究院の太田徹志准教授にご指導いただいた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 相原隆貴・立花 敏 (2018) 竹林の荒廃・拡大に対する周辺住民の認識・評価—茨城県つくば市茎崎地区を事例に—. 森林計画学会誌 51 : 37-46.
- Breiman (2001) Random forests. Machine Learning 45 : 5-32.
- 福岡県 (2009) 竹林オーナー制度の手引き. 福岡県森林林業技術センター, 福岡, <https://www.farc.pref.fukuoka.jp/ffrec/fukyu/chikurinowner.pdf> (2024年6月27日閲覧)
- 福岡県 (2024) 筑後・矢部川地域森林計画(計画期間 自令和6年4月1日 至 令和16年3月31日).
- 後藤誠二朗・巳 曜那・河合洋人・張 福平・賈 書剛・西條好廸・秋山 侃 (2008) 放棄竹林生態系の現存量ならびに炭素貯留量の推定に関する研究. システム農学 24 : 243-252.
- 花木なるみ・村松加奈子・落合史生・曾山典子・醍醐元正・田殿武雄 (2015) ALOS/AVNIR-2 多時期データを用いた奈良県・京都府南部における竹林の抽出. 日本リモートセンシング学会誌 35 : 77-87.
- 井上修吾・太田徹志・溝上展也 (2024) 衛星コンステレーションを用いた竹林分布把握における最適撮影時期の探索. 森林計画誌 54 : 45-51.
- 甲斐重貴・辻井美香 (2004) GISを用いた九州南部地域の里山における竹林拡大の時系列的変化の要因の検討. 宮崎大学農学部研究報告 50 : 73-83.
- 小泉圭吾・谷本親伯・朴春澤 (2003) LANDSAT5号TMデータ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.
- Kuhn, M. (2019) The caret Package. <https://topepo.github.io/caret> (cited 15 August 2024)
- Kuhn, M. (2023) caret: Classification and Regression Training
- Liaw, A., Wiener, M. (2002) Classification and regression by randomForest. R News 2, 18-22.
- 中島 巖 (2006) 林業実務必携(第三版). 3.7 林況の判読. 朝倉書店, 東京, p.82-86.
- 西川遼子・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.
- 西川遼子・村上拓彦・大槻恭一・溝上展也・吉田茂二郎 (2006) 衛星データおよび地上測定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.
- 野中重之 (1985) モウソウチクの竹齢と葉替り. 日林九支研論集 38 : 303-304.
- 野中重之 (1995) 竹の生理に関する研究(IX) モウソウチク親竹の葉替り及び経年と発筍. 日林九支研論集 48 : 217-218.
- R Core Team (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/> (cited 15 August 2024)
- 佐々木重行 (2012) 放置竹林, 侵入竹林およびヒノキ林の土壤特性. 福岡県森林研報 13 : 37-44.
- 瀬嵐哲央・丸真喜子・大森美紀・西井武秀 (1989) 竹林群落の構造と遷移の特性—雑木林の竹林化—. 金沢大学教育学部紀要 38 : 25-40.
- 志水克人・太田徹志・溝上展也 (2020) 時系列 Landsat 画像を用いた九州本島における毎年の伐採推定. 日林誌 102 : 15-23.
- 篠原慶規・久米朋宣・市橋隆自・小松 光・大槻恭一 (2014) モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響—総合的理義に向けて—. 日林誌 96 : 351-361.
- 鈴木久美子・前田佳子 (2020) 航空機観測データを用いた深層学習による樹種の把握. 日本リモートセンシング学会誌 40 : 38-41.
- 鈴木重雄 (2010) 竹林は植物の多様性が低いのか?. 森林科学 58 : 11-14.
- 谷垣悠介・原田一平・関山絢子・原慶太郎 (2011) ALOS/AVNIR-2 を用いたマダケ林とモウソウチク林及び常緑樹林の分光反射特性の季節変動解析. 写測とリモセン 50 : 361-366.
- 鳥居厚志 (1998) 空中写真を用いた竹林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.
- 山口 修・井上升二 (2004) モウソウチクを主とするケ類の里山林への侵入と照葉樹林への参入. 兵庫教育大学研究紀要 24 : 81-94.