

論文

木口画像を用いた丸太個体識別における疑似マーカの有効性評価^{*1}佐保田万智子^{*2,3}・加治佐剛^{*2}・寺岡行雄^{*2}

佐保田万智子・加治佐剛・寺岡行雄：木口画像を用いた丸太個体識別における疑似マーカの有効性評価 九州森林研究 74：13－17, 2021 木材の合法性や持続可能性を証明する木材産地証明が求められるようになってきている。しかし QR コードや RFID を用いた従来手法はコストが高いことが課題である。そこで、丸太の個体識別に、節等の生物学的特徴を模した疑似マーカを用いて特徴量抽出する手法の有効性を評価した。その結果、疑似マーカを用いた手法は、疑似マーカを用いない場合と比較し、等価エラー率（EER）において 7.8 ポイント高い精度を達成した。また、AUC を用いた個体識別精度の比較においても、疑似マーカを用いた手法が一番高い精度を達成した。今後、節等の模様が正確に識別できるようになることで、節等の生物学的特徴が個体識別の特徴量として利用できる可能性があることが示唆された。

キーワード：丸太個体識別、森林認証、木材産地証明、間伐材証明、画像認識

Sahoda, M., Kajisa, T. and Teraoka, Y. : Evaluation of the effectiveness of biometric log recognition using digital log end images with pseudo-marker. *Kyushu J. For. Res.* 74: 13 – 17, 2021 It has been necessary for proof of origin of wood that proves the legality and sustainability of wood. However, the problem with conventional methods using QR codes and RFID is that they take high cost. Thus, the objectives of this study were evaluation of the effectiveness of biometric log recognition using digital log end images with pseudo-marker. As a result, the accuracy of the equal error rate (EER) using the method with the pseudo marker was 7.8 points higher than the case without the pseudo marker. Also, in the comparison of individual identification accuracy using AUC, the method using pseudo markers achieved the highest accuracy. Our data suggested that biological features such as wood knots may be used as feature quantities for individual identification if automatic detection of wood knots becomes possible.

Key words : Individual identification, Forest certification, Proof of origin of timber, Proof of thinned wood, Image recognition

I. はじめに

日本の木材輸出は 2013 年以降増加傾向にあり (3)、それに伴い木材の合法性や持続可能性を証明する木材産地証明が求められるようになってきている (2)。木材産地証明により、盗伐や違法伐採の抑制や、木質バイオマスの間伐材証明も可能となり、持続可能な林業経営が促進されることが考えられる。従来、森林認証取得や木材産地証明には、QR コードや RFID タグを利用した手法が用いられてきたが、タグの装着作業や製材過程での貼り直しなど、作業の煩雑化やコスト増加など課題が多いことがわかっている (5)。その解決のため、丸太木口画像を個体識別に利用する手法を提案する。丸太木口の特徴量として木口の輪郭、年輪、髄、心材と辺材の境界、節の位置や形状、向きといった各木口が持つ生物学的特徴や丸太採材時にハーベスタが噴射するスプレー模様 (以下、スプレーマーキング) (写真-1) のような人為的に塗布される特徴があり、それらを自動抽出し個体識別に利用することを想定している。しかし、現状それらの模様は個体差が大きく膨大なパターンがあると考えられ、正確に自動抽出するには膨大な教師データが必要であるため、未だ実現できていない。比較的少ないデータで自動抽出しやすい木口の輪郭と髄を特徴量とし、相関係数を識別指標とした個体識別では、識別指標を示す AUC で

0.92 の精度を達成している (4)。本論文では、節やスプレー

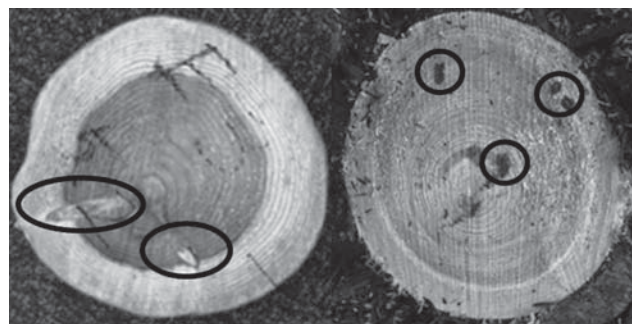


写真-1. 丸太木口の節およびスプレーマーキング

マーキングの代わりに疑似マーカを画像上に添付し、疑似マーカが個体識別の精度向上に寄与するかを明らかにした。

II. 研究方法

以下に示す流れにより疑似マーカを添付した丸太木口画像を用いた個体識別を行い、疑似マーカの有効性を明らかにした。

1. 画像の前処理

実験に使用した画像は、鹿児島大学の高隈演習林内土場の桎檜

^{*1} Sahoda, M., Kajisa, T. and Teraoka, Y. : Evaluation of the effectiveness of biometric log recognition using digital log end images with pseudo-marker.

^{*2} 鹿児島大学農学部 Fac.Agric., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan

^{*3} 日本ユニシス株式会社 総合技術研究所 Technology Research and Development Center, Nihon Unisys, Ltd., Tokyo 135-8560, Japan

み画像である。スマートフォンのカメラを用いて丸太木口画像を朝と昼に時間間隔をあけて撮影した 97 個体の画像を使用した。原則として、すべての個体を朝と昼 1 度ずつ撮影したが、いくつかの個体については、撮影回数を増やしている。よって、各個体に対して 2 から 4 枚の画像が存在する。

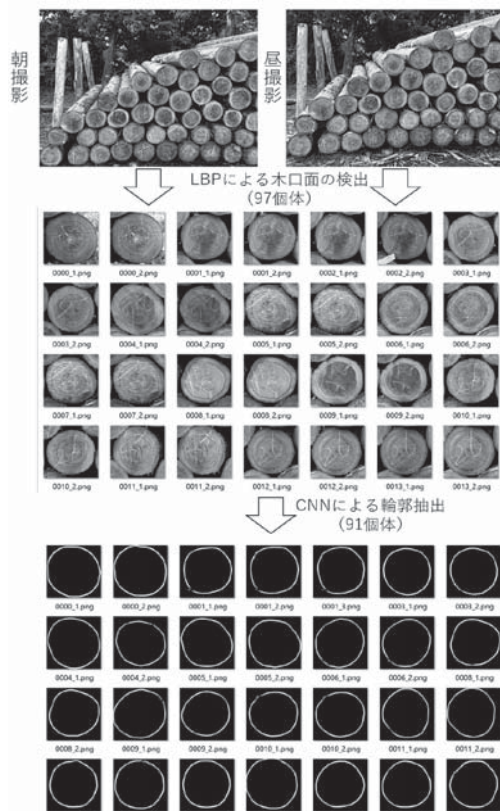


図-1. 木口輪郭抽出プロセス

まず、撮影した画像から木口面のみを物体検出により切り出した。物体検出には、画像の特徴量分類の一手法である LPB による丸太木口抽出プログラム (I) を利用した。さらに、切り出した木口画像から輪郭の抽出を行った (図-1)。輪郭の抽出には、木口画像とその輪郭画像それぞれ 3035 枚を教師データとし畳み込みニューラルネットワーク (CNN) により学習させた後、自動検出を行った。学習に利用した 3035 枚の木口画像は、深層学習による丸太個体識別において実装した丸太木口検出ニューラルネットワーク (4) により検出されたものを利用した。輪郭画像は手動で輪郭を 3035 枚の木口画像に対して描画し作成した。その結果、97 個体のうち、輪郭が正しく検出できた 91 個体を対象とした。91 個体のうち、朝昼 1 枚ずつ計 2 枚抽出できたものが 86 個体、朝昼で合わせて 3 枚抽出できたものが 2 個体、4 枚抽出できたものが 3 個体であったため、以上を合計すると使用する画像数は 190 枚 (2 枚 × 86 個体 + 3 枚 × 2 個体 + 4 枚 × 3 個体 = 合計 190 枚) となった。

次に、画像の回転補正を行った。木口面は円形に近い形状であるため、画像同士を比較する際、丸太が回転している可能性がある。そこで、髓から輪郭まで引いた直線の距離が一番短い輪郭上の点を比較する画像間で位置を合わせるよう画像を回転補正した。

髓の位置は目視にて検出した。

さらに、輪郭のサイズ調整を行う。撮影距離によって、切り出した輪郭のサイズが異なった場合、照合時に合致しないことが予想されるため、画像の高さと幅に輪郭の大きさを合わせるように輪郭を拡大した (図-2)。画像サイズは縦横とも 100 px とした。



図-2. 輪郭の拡大とサイズ調整

2. 疑似マーカーの添付

1. で作成した輪郭画像に個体毎に大きさや位置をランダムに設定した疑似マーカーを添付した。疑似マーカーは長方形とし、1 辺が最小 1 px、最大 21 px の間の値をランダムにとるように設定した。また、同一個体には同一の特徴を付加する必要があるため、同一の位置、サイズの疑似マーカーを添付した。その際、疑似マーカーのサイズや位置による結果の偏りを無くするため、1 個体につき 100 パターンの疑似マーカーをランダムに添付することにした。図-3 は疑似マーカーの添付の一例を表したものである。4 つの丸太輪郭画像の下に表記したものは、個体番号 (上 4 桁) および撮影時刻の違いを示す枝番 (下 1 桁) を付加したファイル名と、ランダムに添付した疑似マーカーのサイズである。0003_1.png と 0003_2.png の画像は撮影時刻の異なる同一個体画像であり、同一のサイズの疑似マーカーを同一の位置に添付している。0010_1.png と 0010_2.png の画像についても同様である。

3. 照合

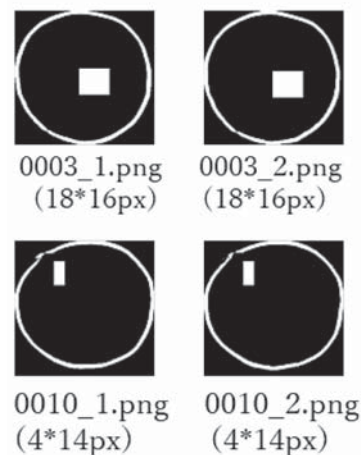


図-3. 疑似マーカーの付与

画像の照合には、画像データの一致度を評価する指標である正規化相互相関 (1) (以下、 R_{ZNCC} を ZNCC と表す) を用いて評価を行った。 $I(i,j)$ と $T(i,j)$ は比較画像の輝度値を示す。 i と j は画像の座標を示す。画像の幅を M_{px} 、高さを N_{px} とする。また、 I および T は比較画像のそれぞれ平均輝度値を示す。

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} ((I(i,j) - \bar{I})(T(i,j) - \bar{T}))}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - \bar{I})^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (T(i,j) - \bar{T})^2}} \dots (1)$$

ZNCC は、画像のパターンマッチングに利用される手法であり、0 から 1 の値をとり、1 に近づくほど類似度が高いと評価できる。この評価手法を用いて、それぞれ 190 枚の画像について同一個体および別個体について値を算出した。同一個体間の照合は総当たりとし、11000 パターン（(86 個体 + 3 × 2 個体 + 6 × 3 個体）× 100 パターン）を比較した。別個体の照合は、1 画像につき比較画像は別個体画像 1 枚とし、19000 パターン（190 枚 × 100 パターン）比較した。また、疑似マーカー無の場合（輪郭のみ）についても算出した。疑似マーカーが無い場合の同一個体間の比較は 110 パターン、別個体間の比較は 190 パターンとした。

4. 評価方法

3. で算出した ZNCC の値を用いて、以下の 3 つの評価手法にて個体識別精度を評価した。

一つ目の評価方法として、ROC 曲線を用いた AUC による評価を行った。縦軸に TPR (True Positive Rate) 横軸に FPR (False Positive Rate) をとる ROC 曲線を用いて、疑似マーカー有の場合と無の場合の識別精度を評価した。ROC 曲線とは 2 次元グラフに検査の性能を表したものである。TPR とは同一個体を正しく同一個体であると識別できた率であり、FPR は別個体にもかかわらず、同一個体であると誤った識別を行った率である。算出した ZNCC に対して、閾値を複数設定することで、閾値毎に算出される TPR と FPR の値をプロットしてできる曲線が ROC 曲線となる。この ROC 曲線の下側の部分の面積の大きさが AUC であり、1 に近いほど識別精度が高いことになる。この ROC 曲線を、疑似マーカー有の場合と無の場合を比較することで、識別精度に差があるかどうかを評価できる。また、髄から輪郭までの距離 360 度分の配列を特徴量とする丸太木口の個体識別手法 (4) についても、AUC による識別精度を算出しているため精度比較をすることとした。

二つ目の評価方法として、EER (等価エラー率) を使用した。別個体を同一個体と誤識別する率である FPR と同一個体にもかかわらず別個体と誤識別する率である FNR (False Negative Rate) が同じになるように閾値を設定したときのエラー率を EER (Equal error rate : 等価エラー率) と呼ぶ。疑似マーカー有の場合と無の場合で、EER に差が出るか否かを評価した。

三つ目の評価手法として、疑似マーカー有の場合と無の場合について、ZNCC の代表値の比較を行った。

Ⅲ. 結果と考察

1. ROC 曲線を用いた AUC による評価結果

図-4 は、0 から 1 まで 0.1 の間隔で閾値を設定し判定した場合の TPR と FPR の関係性を示す ROC 曲線である。疑似マーカー有の場合と疑似マーカー無の場合、そして、髄から輪郭までの距離の配列を特徴量とする手法 (4) それぞれの結果を示す。

疑似マーカー有の場合 (AUC=0.97) の方が疑似マーカー無

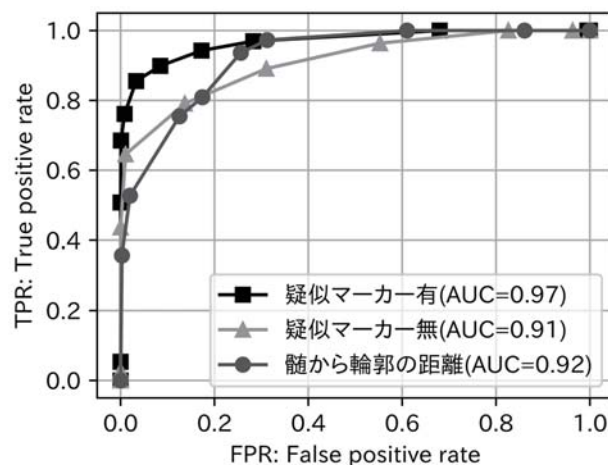


図-4. AUC による個体識別精度の比較

の場合 (AUC=0.91) 及び髄から輪郭の距離を特徴量比較に用いた場合 (AUC=0.92) のいずれよりも高い識別精度を達成した。

2. EER による評価結果

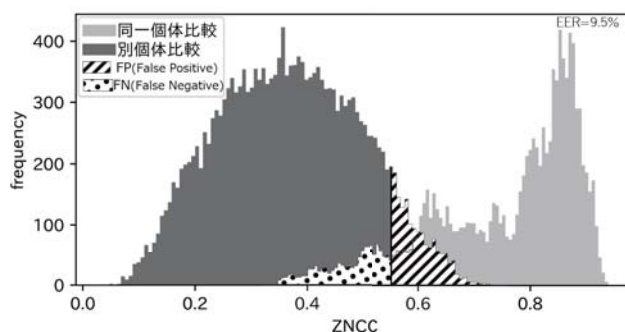


図-5. 同一個体と別個体を比較した場合のヒストグラム (疑似マーカー有)

図-5 は、疑似マーカーを添付した場合の ZNCC の値を階級としたヒストグラムである。同一個体を比較した場合 (淡灰色) と別個体比較を行った場合 (濃灰色) のヒストグラムを示す。ZNCC の閾値を境界として斜線部が FP (False Positive)、ドット部が FN (False Negative) の発生件数を示している。閾値を 0.543 と設定するとき、11000 件の同一個体比較を行ったうち、誤認識した件数 (FN) は 1050 件であり FNR は 9.5 %であった。同様に 19000 件の別個体比較を行ったうち、誤認識件数 (FP) は 1811 件であり、FPR は同じく 9.5 %であり、このことから、EER は 9.5 % という結果となった。対して、図-6 は、疑似マーカー無の場合の ZNCC の値を階級としたヒストグラムである。図-5 同様、同一個体を比較した場合のヒストグラムと別個体比較を行った場合のヒストグラムを示す。閾値を 0.583 と設定すると、110 件の同一個体比較を行ったうち、誤認識件数 (FN) は 19 件であり FNR は 17.3 %となった。190 件の別個体比較を行ったうち、誤認識件数 (FP) は 33 件となり、FPR は 17.3 %となった。このことから、疑似マーカー無の場合の EER は 17.3 %となり、疑似マーカー有の方が、疑似マーカー無の場合と比較し、7.8 ポイント高い識別精度を達成した。

3. 代表値の比較

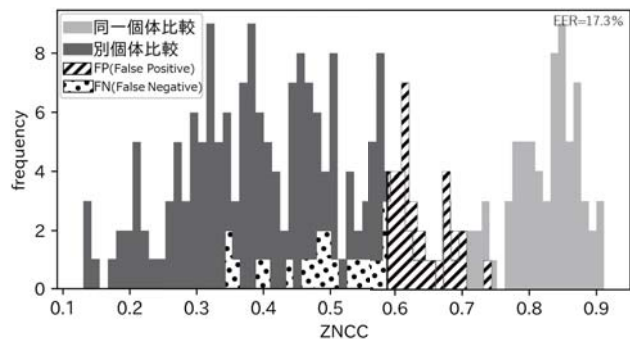


図-6. 同一個体と別個体を比較した場合のヒストグラム（疑似マーカー無）

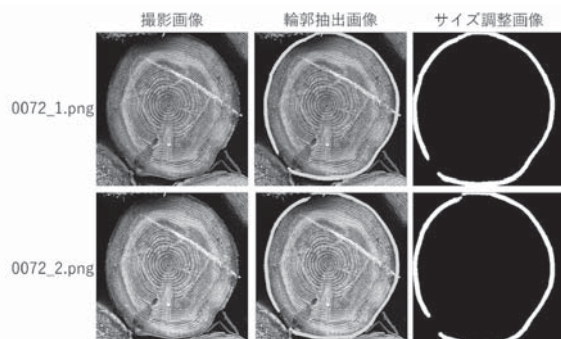


図-7. 同一個体比較において ZNCC が最も高かった個体

次に、代表値を比較した結果を示す（表-1）。疑似マーカー有の場合、無の場合、いずれも、同一個体比較、別個体比較共に、正規性、等分散性がないことを確認した。そこで、マン・ホイットニーのU検定を行ったところ、疑似マーカー有の場合、無の場合のいずれも、p値が0.01以下となり、同一個体比較、別個

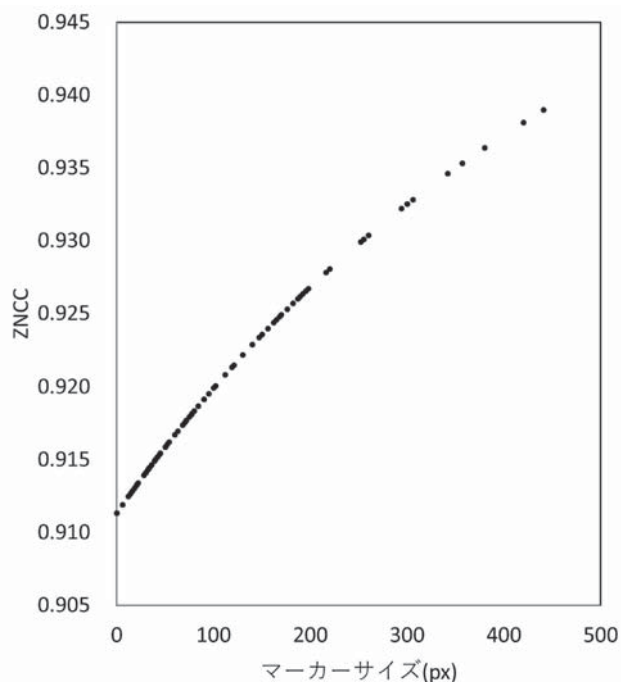


図-8. マーカーサイズと ZNCC の関係

表-1. 同一個体と別個体における ZNCC の代表値の差の検定

	p値(疑似マーカー有)	p値(疑似マーカー無)
シャピロ・ウィルク検定（正規性の検定）	0.000 ($p < 0.05$, 正規分布に従わない)	0.000 ($p < 0.05$, 正規分布に従わない)
ルビーン検定（等分散性の検定）	0.000 ($p < 0.05$, 正規分布に従わない)	0.046 ($p < 0.05$, 正規分布に従わない)
Mann-Whitney (マンホイットニー) の U 検定	0.000 ($p < 0.01$, 95% CI [0.39 - 0.40])	0.000 ($p < 0.01$, 95% CI [0.27 - 0.34])

体比較の ZNCC の代表値に有意差が認められた。

4. 個別の個体比較例

最後に、個別の個体比較結果を報告する。同一個体間の比較で、ZNCC の値が最も高かった事例と低かった事例について述べる。まず、同一個体間比較において、最も ZNCC の値が高かった事例は、個体番号 0072 を比較した場合であった（図-7）。

個体番号 0072 の同一個体間比較において、疑似マーカー有の場合と無の場合いずれも ZNCC の値が全個体の中で最も高かった。疑似マーカー有の場合、ZNCC の値はマーカーのサイズによって 0.912 から 0.939 の値をとった。一方、疑似マーカー無の場合でも、0.911 という高い値を得た。このことから、個体番号 0072 は疑似マーカーを添付する以前に輪郭の一致度が高く、ZNCC の値が高いことがわかった。また、疑似マーカーを添付することでより値が高くなり、識別に有利になることがわかった。

また、個体番号 0072 について疑似マーカーのサイズと ZNCC の関係を図に示したものが図-8である。これにより、疑似マーカーのサイズと ZNCC は比例関係にあり、マーカーのサイズを大きくすることで ZNCC の値が高くなることがわかった。

一方で、同一個体にもかかわらず、ZNCC の値が最も低い事例についても報告する。同一個体間比較において、最も ZNCC の値が低かった事例は、個体番号 0064 を比較した場合であった（図-9）。

疑似マーカーを添付した場合としない場合いずれも ZNCC の値が低く、疑似マーカー添付した場合、ZNCC の値はマーカーのサイズと位置によって 0.347 から 0.519 の値をとった。一方、疑似マーカー無の場合でも、0.342 であった。このことから、マーカーを添付する以前に輪郭の一致度が低く、ZNCC が低いこ

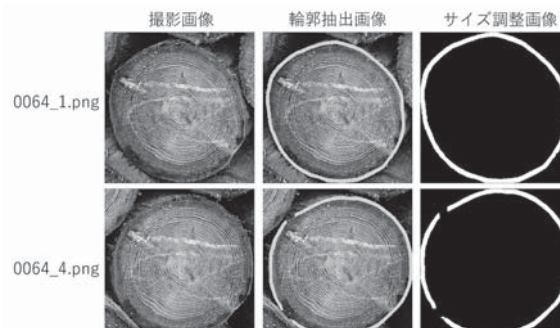


図-9. 同一個体比較において ZNCC が最も低かった個体

とが分かった。そのため、抽出する輪郭形状の誤差を最小にする方法を検討する必要があることが考えられた。

5. まとめ

本稿では、丸太木口が本来持っている木口の形状や、模様などの特徴を模した疑似マーカーを個体識別に活かし、余計なコストをかけずに、丸太の個体識別を行う方法を検証した。その結果、疑似マーカーを添付することで、添付しない場合と比較し、高い個体識別精度を達成した。これにより、今後、スプレーマーキングや節が正確に自動検知できるようになることで、スプレーマーキングや節が個体識別の特徴量として利用できる可能性があることがわかった。

一方で、課題も二点残った。一点目は、最適なマーカーのサイズが不明確であるということである。マーカーのサイズを大きくすることでZNCCの値が向上し、同一個体間の識別精度が向上することが示唆されたが、同時に別個体に対してもZNCCの値が増加し精度が低下する可能性がある。マーカーの最適サイズについては検証が必要である。

二点目は、同一個体間の特徴量の差異を最小にする方法の検討である。撮影の角度や照度の違いによる画像の特徴検出の差分を如何に少なくするかが課題であると考えられた。

引用文献

- (1) 福永寛之 (2014) 九州森林研究 67:15-20
- (2) Norman M・Saunders J (2017) URL: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2017/08/doc_5634.pdf (2020年10月27日利用)
- (3) 林野庁 (2018) 森林・林業白書, 144 pp, 財団法人農林統計協会, 東京
- (4) 細金万智子ほか (2020) 日本森林学会大会発表データベース 131:252
- (5) 添原洋平ほか (2015) 日本建築学会技術報告集 21 (49): 1143-1146

(2020年11月9日受付; 2020年12月24日受理)