

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：24302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06321

研究課題名(和文)画像解析・機械学習による原木の「見た目」の材質の定量的把握と強度推定

研究課題名(英文) Log physical appearance quantitatively analyzed by image analysis and its relationship with log strength properties: toward log strength estimation using machine learning model.

研究代表者

長島 啓子 (Nagashima, Keiko)

京都府立大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号：40582987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、画像解析及び機械学習により、(1)「見た目」で経験的に把握されてきた材質の定量的把握、(2)原木強度と「見た目」の材質との関係把握と原木強度の推定を目的としている。目的(1)では、木口画像から深層学習を用いて年輪情報を抽出する方法を確立し、屋内画像における有効性を示したが、屋外撮影画像の解析には課題が残された。目的(2)では年輪数が多いほど、平均年輪幅・中心から15年及び外側から15年の平均年輪幅は狭いほど強度が高くなる傾向が見られた。これらの年輪情報と強度等級グループとの関係を基に、強度グループ予測モデルを構築したところ、62.5%の適合率で強度の高い原木の抽出が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した強度推定モデルは年輪情報から強度等級が高い原木を6割の確率で推定できた。これは、強度が高い原木を100本購入したい場合、無作為では433本購入するところ、予測モデルを使用すれば160本の購入で済むこととなり、現在課題となっている適切な素材供給と効率的な素材確保が可能になることを示した。また、本研究のように年輪情報からの強度推定を試みた研究はこれまでになく、その有効性を示した本研究の学術的意義は大きい。画像解析による年輪情報の抽出には課題は残るが、今後の技術改良により画像を用いた強度推定による原木仕分けの自動化、生産性・収益性の向上に貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：By applying image processing and machine learning, this study aims to establish a method to detect wood features (ex. number of annual rings and average width of annual rings), to interpret the relationship between the wood features and wood strength, and to estimate the wood strength based on their relationships. To accurately measure the wood annual ring information by image processing, we proposed a new model combining the total variation algorithm, Hough transform and Convolutional Neural Network and showed its efficiency on indoor wood images. However, challenges remain for outdoor images. Investigating the relationship between annual ring information and wood strength, the woods became stronger as the number of annual rings became larger and the average width of annual rings, 15th rings from the center and outside became smaller. Based on this relationship, a SVM model was established and showed its efficiency on detecting strong woods with a relatively high precision (62.5%).

研究分野：森林計画学

キーワード：木口の断面画像 画像解析 年輪情報 動的ヤング率 原木の強度推定 強度等級 機械学習

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

不振の続く林業振興策の一環として、需給マッチングによる国産材の利用促進が叫ばれ、近年、特に「量」的な情報共有が促進されてきた。しかし、原木の用途や価格を左右する「質」の情報は共有されていない。これは、「質」が「見た目」から経験的に把握されていること、原木取引で重要な原木の「強度」の簡便な推定方法が確立されていないためである。画像解析・機械学習の応用により、原木の写真撮影するだけで「見た目」の材質の評価、「強度」の評価が可能になれば、原木仕分けの自動化とそれに伴う生産性・収益性の向上、「質」の提示による原木価格の差別化と新たな販路の開拓が期待される。

### 2. 研究の目的

本研究は、需要に応じた品質の原木の供給を実現するため、画像解析および機械学習により、(1)「見た目」で経験的に把握されてきた材質を定量的に把握すること、(2) 原木強度と「見た目」の材質との関係を把握し、原木強度を推定することを目的としている。目的(1)の「見た目」で経験的に把握されてきた材質の定量的に把握では、「見た目」の材質として鍵となる年輪情報の画像解析による抽出を、目的(2)の原木強度と「見た目」の材質とに基づく原木強度の推定では、強度と相関のある「見た目」の材質の把握をおこなった上で、機械学習を用いて「見た目」の材質と強度の関係に基づく強度推定モデルを構築し、その精度検証を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 「見た目」で経験的に把握されてきた材質の定量的把握

山土場において木口を円板として採取し、研究室で室内の一定の環境で写真を撮影した画像 43 枚を用いて、画像解析による年輪情報(年輪数、平均年輪幅、中心から 15 年の平均年輪幅、外側 15 年の平均年輪幅)の抽出手法をまず検討した。この時、ヤスリをかけた上で撮影をした加工画像、未加工でノイズの少ない画像、ノイズの多い画像の 3 種類に分けて解析を行った(図 1)。その上で、屋外の山土場で撮影した原木の木口の画像(図 1、スギ原木 332 本)にも応用し、必要に応じて改良をした。年輪の抽出精度は、室内撮影分は円板の実測、屋外撮影分は画像による年輪の実測値を真値として精度検証を行った。



図 1：木口の写真画像(例)

#### (2) 原木強度と「見た目」の材質とに基づく原木強度の推定

強度と相関のある「見た目」の材質の把握

京都府立大学大枝演習林、大野演習林、福知山市、綾部市、京丹波町、南丹市の山土場やストックヤードにおいて 4m のスギ丸太合計 1560 本の木口の写真撮影を行うとともに、簡易型原木強度検査器で丸太の強度(動的ヤング率)の測定を行った。撮影された写真画像の年輪を実測し、年輪数、平均年輪幅、中心から 15 年の平均年輪幅、外側 15 年の平均年輪幅、未成熟材率、心材率を算出した。各要素の値と動的ヤング率を用いて散布図を作成するとともに、両者の関係を回帰式を用いて把握した。また原木の強度情報をもとに、原木を強度等級グループ(Low、E90、High)に分類、強度グループ別の年輪情報の箱ひげ図を作成し、クラスカルウォリス検定及び Steel-Dwass 法による多重比較を行った。

機械学習を用いた「見た目」の材質と強度の関係に基づく強度推定と精度検証

強度推定モデルは、画像解析による年輪情報を用いた場合と実測による年輪情報を用いた場合の 2 つの方法で実施した。画像解析によって抽出された年輪情報を用いた場合では、動的ヤング率から算出した強度等級の関係をもとに機械学習(Support Vector Machine: SVM、Backpropagation; BP)によるモデル構築を行い、交差検証法による精度検証を実施した。丸太の実測による年輪情報を用いた場合では、ほぼ確実に製材品の強度が E90 以上となる、原木強度 E110、E130、E150 の原木を「High」に、同じく製材品の強度が E70 以下となる、原木強度 E50、E70 の原木を「Low」とし、原木強度 E90 のデータを除いた綾部ストックヤードのデータをトレーニングデータとし、機械学習(SVM)を用いて強度グループを予測するモデルを構築した。そして、動的ヤング率が 8.8GPa 以上の原木を「High」、8.8GPa 未満の原木を「Low」として綾部ストックヤード以外のデータをテストデータとして、モデルの精度検証を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 「見た目」で経験的に把握されてきた材質の定量的把握

まず、ハフ変換によって木口の中心を決定する手法、Total variation によるノイズ除去の方法を開発し、年輪情報の抽出を行ったところ加工画像、ノイズの少ない未加工画像においては、年輪情報の抽出精度が良いことが確認されたが、ノイズの大きい未加工の画像においては課題が残った(Du et al., 2021)。このため、深層学習である Convolutional Neural Network(CNN)を用いて画像のノイズの少ない部分を確定する方法を開発し、その上で年輪情報の抽出を行った。その結果、ノイズの大きい未加工の画像において、年輪の抽出精度の向上に成功した。一方、山土場(屋外)で撮影されたスギ丸太 332 本の末口の画像に適用を行ったところ、年輪の抽出精度が低く、野外での木口画像による年輪情報の抽出には課題が残された(Zhang et al., 2021)。

##### (2) 原木強度と「見た目」の材質との関係に基づく原木強度の推定

強度と相関のある「見た目」の材質の把握

年輪情報と動的ヤング率の関係を回帰式にて把握したところ、年輪数、平均年輪幅、中心から 15 年及び外側から 15 年の平均年輪幅において有意な関係が見られ、年輪数は多いほど、平均年輪幅、中心から 15 年及び外側から 15 年の平均年輪幅は狭いほど動的ヤング率が高くなる傾向が見られた。

箱ひげ図を用いた強度グループと年輪情報との関係把握では、上記の動的ヤング率で見られたのと同様、年輪数は多いほど、平均年輪幅、中心から 15 年及び外側から 15 年の平均年輪幅は狭いほど強度が高くなる傾向が見られた(図 2)。一方、未成熟材率や心材率では、強度が高くなるに伴う変化は見られなかった。

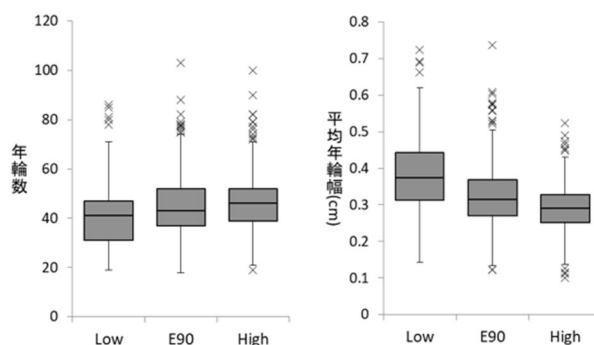


図 2: 強度グループと年輪数及び平均年輪幅の関係

##### 機械学習を用いた「見た目」の材質と強度の関係に基づく強度推定と精度検証

画像解析によって抽出された年輪情報と動的ヤング率から算出した強度等級の関係から機械学習によって構築されたモデルでは、強度等級 E90 の原木を除いた E50・E70 のグループと E110 と E130 のグループのみでモデル構築を行うと、85.31%の推定精度を得た。しかし、現場では E90 の原木が最も本数が多いことから、モデルの精度向上が期待された。

実測データによる年輪情報と強度等級グループ(Low、High)の関係から構築したモデルでは、全体精度が 64.1%、High のサンプルの内、High と予測されたものの割合である再現率は 88.1%、High であると予測されたもの内、実際に High であった割合である適合率は 62.5%となった。無作為に原木を抽出した場合に High の原木が含まれる確率は 23.1%であることを踏まえると、High の原木抽出確率は向上しており、年輪情報からの強度推定の有効性を示すことができたと言える。

##### (3) 本研究の学術的意義や社会的意義

国産材の利用促進のためには、需要に応じた品質の原木供給が必要である。しかし、需要側が強度等級をもとに製材品等を発注するケースが増える中、製材工場では原木の品質が不揃いで歩留まりが悪いため、必要量の 3 倍を購入しており、需要に応じた品質の原木の供給ができていないのが現状である。本研究では年輪情報から動的ヤング率が 8.8GPa 以上の強度等級が高い原木を 6 割の確率で推定できることを明らかにした。これは、強度が High である原木を 100 本購入したい場合、無作為では 433 本購入しなければならないが、予測モデルを使用すれば 160 本の購入で済むことを示している。つまり、これまでの非効率的な原木流通に、強度情報を提供することで、適切な素材供給と効率的な素材確保が実現できる可能性を示したといえる。さらに、高品質な原木の価格の差別化や新たな用途や販路の開拓にもつながる可能性を秘めており、その社会的意義は大きい。また、本研究のように年輪情報からの強度推定を試みた研究はこれまでになく、その有効性を示した本研究の学術的意義は大きいと言える。

画像解析による年輪情報の抽出には課題は残るが、技術が構築されれば、写真画像を用いた強度推定による原木仕分けの自動化、生産性・収益性の向上に貢献すると期待される。

##### < 引用文献 >

- Du W., Xi Y., Harada K., Zhang Y., Nagashima K., Qiao Z. (2021) Improved Hough Transform and Total Variation Algorithms for Features Extraction of Wood. Forests 12(4):466
- Zhang Y., Nagashima K., Du W. (2021) Detection of Wood Features Extraction Region using Convolutional Neural Network. ACIT 2021: Proceedings of the The 8th International Virtual Conference on Applied Computing & Information Technology: 136-141.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yumei Zhang, Keiko Nagashima, Weiwei Du	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection of Wood Features Extraction Region using Convolutional Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACIT 2021: Proceedings of the The 8th International Virtual Conference on Applied Computing & Information Technology	6. 最初と最後の頁 136-141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3468081.3471136	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Du Weiwei, Xi Yarui, Harada Kiichi, Zhang Yumei, Nagashima Keiko, Qiao Zhiwei	4. 巻 12
2. 論文標題 Improved Hough Transform and Total Variation Algorithms for Features Extraction of Wood	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f12040466	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yumei Zhang, Keiko Nagashima, Weiwei Du
2. 発表標題 Detection of Wood Features Extraction Region using Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The 8th ACIS International Virtual Conference on Applied Computing & Information Technology (ACIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山浩久, 石浦扶比等, 神代圭輔, 長島啓子, 古田裕三, 淵上佑樹
2. 発表標題 京都府産木材の利用拡大に向けた流通段階におけるICT技術の活用 - 木材検収及び原木段階での強度等級予測システムの現場への導入に向けた検討 -
3. 学会等名 日本木材加工技術協会 第39回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張玉梅, 植田小晴, 長島啓子, 神代圭輔, 杜偉薇
2. 発表標題 機会学習を用いた原木強度の推定
3. 学会等名 令和3年度電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山浩久, 石浦扶比等, 神代圭輔, 長島啓子, 古田裕三, 淵上佑樹
2. 発表標題 京都府産木材の利用拡大に向けた流通段階におけるICT技術の活用 - 木材検収アプリ及び強度推定アプリの現場実証 -
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田小晴, 神代圭輔, 長島啓子
2. 発表標題 スギの木口画像から得られる情報を用いた原木強度の推定
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田小晴, 長島啓子
2. 発表標題 スギ原木の木口から得られる情報と強度の関係
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田喜一, 席 雅睿, 長島啓子, 杜 偉薇
2. 発表標題 画像解析を用いた原木の年輪幅の抽出とその精度
3. 学会等名 令和元年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田喜一, 神代圭輔, Weiwei Du, 長島啓子
2. 発表標題 木口画像から読み取る年輪情報と強度の関係
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	杜 偉薇  (Du Weiwei)  (00512790)	京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・准教授   (14303)	
研究分担者	神代 圭輔  (Kojiro Keisuke)  (00548448)	京都府立大学・生命環境科学研究科・准教授   (24302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------