木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用(第1報) 画像解析を用いたトラフの定量化の基礎検討

山口穂高*1, 藤巻吾朗*1, 宮川成門*1, 仲村匡司*2

Development of Communication Method Presenting Wooden Visual Textures and Application for Furniture (I) Fundamental Study on Quantification of Silber Grain Using Image Analysis

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}, MIYAGAWA Naruto^{*1}, NAKAMURA Masashi^{*2}

近年は家具製品のオンライン販売が盛んになっており、木材の質感を適切に伝達する手法の開発が望まれている。本報告では、無垢の木材ならではの質感の一つであるトラフに着目し、トラフの定量化のための基礎検討として、トラフを検出しやすい画像の撮影条件と画像解析方法を検討した。その結果、トラフは材面の繊維直交方向から投光角45度の照明を当てることで検出しやすいことが確認された。また、トラフ領域を識別するために撮影画像の2値化およびオープニング処理を試みた結果、大津の手法よりもPタイル法の方が撮影条件に対してロバストであり、オープニング処理によってトラフ由来の模様を残しつつ道管などの小さな模様を除外できる可能性が得られた。最後に、得られた2値画像の粒子分析を行った結果、2値領域の面積に関する指標がトラフの定量化に対して有効であることが示唆された。

1. 緒言

経済産業省の統計¹によれば、日本の消費者向け 電子商取引市場(インターネット販売など)の規模 は、統計を開始した1998年では650億円、電子商取 引化率(EC化率)0.02%であったが、2019年には、 物販系分野に限っても、10兆515億円、EC化率6.76% と年々進展を続けている。中でも、「生活雑貨、家 具、インテリア」製品群のEC化率は23.32%と他の 製品群と比較しても高く、インテリア関連製品の 買い物の5回に1回以上は電子商取引が活用されて いると言える。また、近年はCOVID-19の影響で、 外出および人との接触の機会が制限されており、 メーカーにおいてはインターネット販売などの電 子商取引への対応が必須であると考えられる。

一方で、インターネットを利用した製品販売プ ロセスにおいては、製品の「イメージ」を伝達する 手段は主にデジタル化された写真や動画である。 ネット上の写真や動画は世界中のどこからでも閲 覧できるというメリットがある一方、製品を直接 観察する店舗での販売プロセスよりも、サイズ感

*1 試験研究部 *2 京都大学大学院農学研究科

や質感、色合いといった多種多様な「イメージ」を 伝達しきれないというデメリットがある。つまり、 実製品のイメージと端末に表示されたデジタル画 像から受ける印象が一致しないという問題が生じ ており、例えば繊維製品分野では、布の風合いを適 切に伝達するための研究が進められている^{2.3}。

また、当県の木製家具産業においては、無垢材を 高い精度で加工した高級品というブランド価値が 認知されている一方で、デジタル画像での情報伝 達が主となる販売プロセスにおいては、無垢材な らではの質感を伝達することが難しく、廉価製品 との差別化が一層困難になることが危惧される。 以上より、本研究では、無垢の木材が持つ質感を適 切に伝達する手法の開発とその手法の家具製品へ の応用を目指す。

本報告では、無垢材の質感の一つとして、家具用 材として一般に用いられるナラ材やオーク材に現 れることがある虎斑や銀杢と呼ばれる杢⁴(以下、 トラフ)に着目した(図1)⁵。トラフはまさ目面に 現れた広放射組織が軸方向要素と対比されて銀色 や黒色に見える模様であり、無垢の木材特有の視 覚的な質感の一つであると言える。このトラフを デジタル画像から定量化することが可能となれば、 トラフの見え方をデジタル画像で適切に伝達する 手法の開発や、トラフが入った材の自動選別など に応用可能であると考えた。

杢の質感を撮影する試みとして、加藤ら⁶は、メ イプル材を対象として、材面への入射光の方位角 を様々と変化させた写真を撮影し、波状杢の質感 を照りの移動として撮影した。この手法は、無垢の 木材表面では様々に配向した細胞由来の凹凸に起 因する反射の異方性が生じる、という特性を利用 している。よって、本研究で対象とするトラフの定 量化においても、撮影時の照明の方向が重要であ ると考えられる。また、外池ら⁷の研究において、 トラフの視覚的な特徴が詳細に調べられており、 繊維平行入射よりも繊維直交入射の方がトラフと 軸方向要素とのコントラストが大きくなり、トラ フが視認しやすいと報告されている。しかし、外池 らの研究はトラフ部分の反射特性をスポット測定 において解明したものであり、材面に現れるトラ フの定量化については言及していない。以上より、 本研究では、トラフの定量化を企図して、トラフを 検出しやすい投光角の探索と定量化のための基礎 検討を行った。

2. 実験サンプル

まさ目材として市場に流通していたホワイトオ ーク(Quercus alba)およびレッドオーク(Quercus rubra)を各10本準備し、各個体から40×40mmの試 験体を切り出した(図2)。これらの試験体にはト ラフ模様が明確に現れているものとそうでないも のの両者を含んでいた。なお、表面はプレーナ仕上 げ(マキタ、超仕上げカンナ盤)とした。また、本 研究では片方のまさ目面を表面と定義し、表面に ついてのみ、撮影や解析を行った。

3. 撮影条件の探索

3.1 撮影方法

(1) 照明条件

本研究では、照明の条件として、方位角2条件(繊 維平行方向、繊維直交方向)、投光角8条件(サン プル表面の法線に対して右側の15度から85度まで 10度刻み)を変更し、トラフの検出に適した照明条 件を検討した。図3に示すような実験装置を準備し、 方位角はサンプルの置き方を90度変えることで、 投光角は照明位置を変えることで変化させた。照 明には一般的な白色LED光源を用いた。



図1 ミズナラに現れたトラフの例5)



図2 実験サンプル (R: レッドオーク、 W: ホワイトオーク、40×40 mm)



図3 実験装置の概要

(2) 撮影の設定

撮影は外光の影響が十分に無視できる実験室内 で行った。デジタルカメラ(株式会社ニコン、D800 およびAF-S NIKKOR 28-300 3.5-5.6G) はサンプル に対して造影面が787 mmの位置で平行になるよう に設置された(図3)。カメラの焦点距離は300 mm、 露出の設定は、f/22、シャッタースピード1/3秒、 ISO200にそれぞれ設定し、24bitフルカラーのTIFF 画像を撮影した。この設定において、撮影画像の解 像度は0.0199 mm/pixelであった。また、撮影後の画 像は不要な背景をトリミングして1,800×1,800 pixel(約35.8×35.8 mm)のサイズに統一し、NTSC 変換⁸にてモノクロ化した画像を供試画像とした。

3.2 **画像解析の**方法

(1)2值化

本研究では、材面に出現したトラフを定量化す るために、トラフ領域の2値化を試みた。2値化とは、 画像を白と黒の2階調(以下、2値画像)へ変換する 処理であり、各画素値をあるしきい値を基準とし て0(黒)か1(白)へ変換する。2値化においては、 そのしきい値の決定が重要であるが、本研究では 投光角の違いや個体によって画像の明るさが異な るために、しきい値は画像ごとに可変とすること が適切だと考えられる。そこで、しきい値決定手法 として以下の2種類を採用し、その違いを検討した。 大津の手法⁹:分離度と呼ばれる指標が最大とな るしきい値を探索する手法。

Pタイル法: 2値化で分離したい領域を画像全体 に対する割合で指定する手法。本研究では25%をし きい値とした。

なお、後述する図4の通り、トラフ領域が材面の 軸方向要素に対して明るく視認されるか、暗く視 認されるかは、入射光の方位角によって異なる。そ こで本研究では、繊維平行入射条件で撮影した2値 画像は白黒反転処理を行い、全ての画像において、 トラフ領域がある場合にはその領域が黒と変換さ れていると想定した。

また、本研究で得られた材面の2値画像には、道 管の影などが粒状のノイズとして映り込んでいる ことが多かったため、事後処理としてモルフォロ ジー演算(Morphological operation)¹⁰⁾を行った。こ こでは、粒状のノイズを除去するために、収縮 (Erosion)をn回行った後に膨張(Dilation)をn回 行う、オープニング(Opening)を採用した。カー ネルサイズは3×3、処理回数nは10とした。

画像解析はOpenCVライブラリを利用した自作 のPythonプログラムにて実行した。



図4 撮影画像と処理後の例 (*繊維平行入射の2値画像は白黒反転処理を適用)

(2) トラフ領域の合否判定

得られた2値化画像がトラフ領域を反映してい るかどうかを判断するために、澤田らの手法¹¹⁾を参 考に、以下の手順によって教師画像を作成した。ま ず、各サンプルにおいて、繊維平行入射・投光角45 度条件と繊維直交入射・投光角45度条件の画像を タブレット端末(Microsoft, Surface Pro)と画像処理 ソフト(Adobe, PhotoShop CC)を利用して等倍で表 示する。その後、木材の基礎的な知識を有する実験 者が、画像処理ソフトのレイヤー機能を用いて、ト ラフだと思われる部分を電子ペンで黒色に塗りつ ぶした。最後に、背景が白、塗りつぶしたトラフ領 域が黒の画像を出力し、教師2値画像とした。

トラフ領域の合否判定は、サンプルの2値画像と 教師2値画像とで同じ座標同士の値を比較するこ と行った。また、その合否の混同行列の結果から見 落としの少なさを表す再現率(Recall)、誤検出の 少なさを表す適合率(Precision)、その両者を加味 したF値(F-measure)を画像全体で算出した¹²⁾。

3.3 結果と考察

照明条件を変更しながら撮影した画像の一例を 図4に示す。また、各画像を2値化した結果も合わせ て示す。サンプルのモノクロ画像に着目すると、繊 維平行入射ではトラフ領域が軸方向要素と対比し て明るく撮影され、繊維直交入射では、その反対に、 トラフ領域が暗く映っていることが観察される。 これは、増田ら13)の木材表面における光反射の模式 図から説明することができる。細胞の軸方向と平 行な入射光は正反射成分の割合が大きくなるため に、正反射方向から観察した場合は極端に明るく、 それ以外の方向から観察した場合は暗く視認され る。また、細胞の軸方向と直交する入射光は散乱反 射する割合が増え、どの方向から観察しても同じ ような明るさで視認される。つまり、軸方向要素と トラフ模様である広放射組織では細胞の配列方向 が直交しているために、上記の軸方向と入射光の 方向による反射特性の違いが組み合わさり、繊維 平行方向に照らされた材面ではトラフ領域が明る く視認され、繊維直交方向に照らされた材面では トラフ領域が暗く視認されることとなる。

また、2値画像のOpening処理前後を比べると、処 理前は孔圏付近の陰影が黒領域として多く残って いるが、これらがオープニング処理によってある 程度消失していることが確認できる。しかし、トラ フが明確に表れていない画像においては、黒領域 の面積が大きく、Opening処理で消し切れていない ものもあった。本研究ではOpening処理のパラメー タをカーネルサイズ3×3、繰り返し回数10回とし



図5 トラフ領域検出の合否判定 (平均値、n=20)

たが、画像の解像度や対象樹種において孔圏の幅 はまちまちであるために、これらのパラメータの 最適化は今後の課題である。

続いて、合否判定の各指標について20サンプル の平均値を求めたグラフを図5に示す。

まず、大津の手法の結果に着目すると、繊維平行 入射条件の各結果および繊維直交入射条件・投光 角75度以上の結果において、Recallが高く、Precision が低い。これは、トラフ領域の誤検出が多いことを 示す。これらの条件を図4で確認すると、いずれも、 画像全体が暗く映っていることが確認できる。大 津の手法はヒストグラム形状の分離度を判断基準 としてしきい値を自動で判別する手法であるため に、分離後の明暗の領域の割合は動的となる。した がって、そもそも画像全体に暗い領域が多い画像 では、多くの領域が黒色化され、結果的にトラフ領 域の誤検出が増えたと考えられる。一方で、Pタイ ル法はもともとの画像内の明暗の割合にかかわら ず、指定の割合(本研究では25%)で相対的に暗い 領域を黒色化する。そのため、繊維直交入射と繊維 平行入射の各値の変化傾向に大きな違いは見られ なかった。このことから、大津の手法を様々な照明 条件で撮影された画像に対して一概に用いること

は難しいが、Pタイル法は照明条件に対してロバス トなトラフ検出が可能になると考えられる。一方 で、本研究では25%点をしきい値に用いたが、この パラメータの最適化は課題として残る。また、本研 究の撮影条件では、サンプルサイズが小さいため に、図4の2値画像のように画像内の照明の不均一 さ(シェーディング)は無視できるレベルであった が、サンプルサイズや撮影装置によっては、シェー ディングの影響を低減できる局所的な2値化手法 を検討する必要もあると考えられる。

続いて、Pタイル法の結果に着目して、入射角の 方向の違いを考察する。まず、繊維直交入射条件で は、投光角45度においてF-measureの値がピークを 示しており、投光角45度がトラフの検出に最も優 れている投光条件であると言える。また、45度より も小さな投光角ではRecallが高くなる傾向があり、 45度よりも大きな投光角ではPrecisionが高くなる 傾向がある。つまり、できるだけトラフ領域を見落 としたくない場合は、投光角を45度よりも小さく する方がよく、できるだけトラフ領域のみを抽出 したい場合は投光角を45度よりも大きくする方が よいと言える。繊維平行入射条件のF-measureは、全 体的に繊維直交条件に劣るが、投光角65度におい てピークを示した。これは、外池らが先行研究"で 示した、繊維平行入射ではトラフを視認しにくい が、投光角が鈍角になるとトラフ領域がやや明る く見えるとの考察と対応する。以上の結果より、ト ラフを検出するための照明条件としては、繊維直 交入射条件の投光角45度が最も良いと考えられた。

4. トラフの定量化の基礎検討

4.1 解析方法

前章の実験により得られた、繊維直交入射・投光 角45度条件の撮影画像を用いて、トラフの定量化 の基礎的検討を行った。なお、ここでは上記条件で 撮影された画像をPタイル法(25%)で2値化し、 Opening(カーネルサイズ 3×3 、n=10)を行った画 像20枚を用いた(図6)。

本報告では、トラフの定量化の基礎的な検討と して、黒色化された領域の面積や数を求める粒子 分析を行った。ここで、トラフの模様を粒子として 考えた場合、一つ一つの粒子のサイズが大きく、か つ、大量に入っているほどトラフ模様が豊富な材 であると仮定できる。そこで、粒子分析では黒色領 域の最大面積と平均面積を画像ごとに算出した。

画像解析は前章と同様にOpenCVライブラリを 利用した自作のPythonプログラムにて実行した。



図6 トラフの定量化に用いた2値画像 (繊維直交入射・投光角45度条件にて撮影、Pタ イル法およびOpening処理を適用、教師画像作成時 にトラフ領域を塗ったサンプルを太線で囲った)

4.2 結果と考察

図7に黒色領域の最大面積と平均面積を軸とし て各サンプルをプロットした結果を示す。この結 果より、トラフが現れている画像は両値の上位側 に集まる傾向があり、粒子分析の面積に関係する パラメータを用いることで、トラフの定量化がで きる可能性が示唆された。しかし、R-fのように広 放射組織がトラフ様ではなく斑点状に濃く表れて いるサンプルが両値の上位側にあったり、W-aおよ びW-dのようにトラフが現れていてもうまく2値化 されていなかったりと、最大面積および平均面積 のみではトラフが出現しているサンプルを完全に は分離できなかった。以下に、これらの課題を解決 する方法を考察する。

まず、典型的なトラフ模様とは、軸方向の木目模 様と直交するように広放射組織が織りなす模様で あると考えられる。つまり、よりトラフらしい模様 とは、円形に近い模様ではなく、繊維直交方向に長 軸を持つ帯状の模様であると考えられる。したが って、本研究で用いた粒子の面積に関するパラメ ータのみでなく、方向と寸法の情報を考慮するこ とが有効であると考えられる。

また、W-aとW-dの繊維直交入射・投光角45度条件の撮影画像と投光角を反転させた-45度条件の撮影画像を図8に示す。この図のように、今回の撮影手法でトラフ領域の2値化がうまくいかなかった

サンプルは、同じ投光角度の繊維直交方向の照明 であっても、樹心側からの投光か否かで、トラフ領 域の明暗が反転するサンプルであることが分かっ た。また、そのトラフ領域の形状は、木目模様に直 交するという典型的な形状ではなく、斜めや縦方 向である。これらの模様も捕捉するためには、本報 告のような、1方向の照明で撮影した画像のみでな く、多方向からの照明条件で撮影した画像情報を 統合して解析する手法が有効だと考えられる。



図8 繊維直交方向の照明を反転させた際に見え が異なるサンプルの例(投光角45度にて撮影。図 6および図7に用いた画像は左列)

5. まとめ

本研究では、トラフ模様の定量化を企図して、写真情報からトラフを検出するための撮影条件の検

討と定量化のための基礎検討を行った。その結果、 以下の知見を得た。

- トラフ領域の見え方は照明の入射方向が重要 であり、繊維直交方向から照明を照らした場 合はトラフ領域が軸方向要素に対して暗く視 認され、繊維平行方向から照明を照らした場 合はその逆であった。
- 撮影画像を2値化してトラフ領域の抽出を試みた結果、大津の手法よりもPタイル法(25%)の方が様々な照明条件に対してロバストであると考えられた。
- 得られた2値画像にオープニング処理を施す ことにより、よりトラフ領域のみを残した2値 画像を得ることができた。
- 材面に対して正面から撮影する場合は、繊維 直交方向から投光角45度にて照明する条件が 最もトラフを検出しやすいと考えられた。
- トラフを定量化するためには、得られた2値画 像に粒子分析を行い、黒色領域の最大面積や 平均面積を参考とすることが有効であること が示唆された。

一方で、取り組むべき課題も明らかとなった。ま ず、2値化手法において、Pタイル法のしきい値やオ ープニング処理の各パラメータを撮影画像のサイ ズや樹種に応じて最適化していく必要がある。ま た、現状の手法ではトラフ領域を完全には分離で きないサンプルもあったため、粒子分析において 形状や方向のパラメータを用いる手法や照明方向 を変更した複数画像をもとにした解析手法を検討 することが有効であると考えられた。

参考文献

- 経済産業省:電子商取引実態調査, https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/statistics/o utlook/ie_outlook.html, (2021年2月参照).
- 金井博幸,丸弘樹: 視覚的風合いの計測と評価,繊維学会誌, 75(6), pp.325-331, 2019.
- 石川 智治, 佐藤 昂, 松本 好史, 佐々木 和也, 清水 裕子, 阿山 みよし: 布地画像と実物の 質感認識に関する基礎的研究, 日本感性工学 会論文誌, 10(4), pp.497-504, 2010.
- 4) 貴島恒夫:もく(杢,もく目,紋理). "木材工 学辞典",日本材料学会木質材料部門委員会編, 工業出版,東京,pp.631,1982.
- 5) 森林総合研究所:日本産木材データベース, ミズナラ (Quercus crispula Blume), TWTwNo: 1195,

https://db.ffpri.go.jp/WoodDB/JWDB/home.php, (2021年2月参照).

- 加藤茉里子,仲村匡司,ヴァイオリン杢の光 反射特性と誘目性の関係,木材学会誌,62(6), pp.284-292,2016.
- 外池知靖, 大越誠, 古田裕三, 藤原裕子, 虎斑の現れたミズナラ材表面の視覚特性, 材料, 60(4), pp.288-292, 2011.
- 小寺宏嘩:カラー画像の色変換. "新編色彩科 学ハンドブック第3版",日本色彩学会編,東 京大学出版会,東京,2011, pp.944-961.
- 9) Nobuyuki Otsu: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), pp.62-66, 1979.
- 10) 小枝正直, 上田悦子, 中村恭之: OpenCV によ る画像処理入門 改訂第 2 版, 講談社, 東京, 2017.
- 11) 澤田豊, 松本朗子, 藤井義久: パターン認識に よるラジアータパイン材における青変部位の 自動認識, 木材学会誌, 61(4), pp.274-279, 2015.
- 12) 中村恭之, 上田悦子, 小枝正直: OpenCV によるコンピュータビジョン・機械学習入門, 講談 社, 東京, 2017.
- 13) 増田稔: 1.視感覚と木材. "木材と感性", 材料, 46(7), pp.845-850, 1997.