

# カラマツの年輪を AI で検出する

技術部 製品開発グループ 橋本 裕之

## ■はじめに

カラマツ製材品の強度は年輪幅と密接な関係にあり、年輪幅が狭いほど強度が高い傾向にあることが示されています<sup>1)</sup>。この知見は、原木の木口面から年輪幅を正確に計測できれば、加工前の段階でその原木の強度を予測できる可能性を示唆しています。原木の段階で年輪から強度を予測できれば、強度に応じた適切な用途への利用、歩留まりの向上、ひいては木材資源の有効活用に繋がると考えられます。

本報告では、カラマツ原木の木口面画像から、年輪を自動で検出する技術を開発しましたので紹介します。

## ■年輪の検出方法1 - ルールベースによる方法-

ルールベースによる方法とは、あらかじめ人が決めたルールによって画像の特徴を分析し対象を識別する方法です。ここではまず、**図1**のように、高精細な全体画像を基に、髄を中心として角度 $\theta$ 、半径 $R$ の位置で長方形を切り取り横長の画像を考えます。このような切り取り方をすると、**図2(a)**のように年輪は概ね縦方向に向きます。ここから年輪検出の処理が始まります。

晩材と早材では色合いや明るさが異なるので縞模様に見えます。このような場合にはルールベースでは白黒画像に変換してから特徴量を数値に置き換える計算をします。



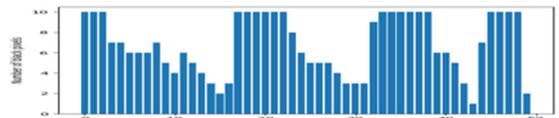
図1 カラマツの木口面



(a) 切り取り画像



(b) 二値化画像



(c) 黒色のヒストグラム



(d) 年輪の認識結果

図2 ルールベースでの処理内容

図2にルールベースの場合の画像処理の内容を示します。(a)は切り取ったカラー画像です。(b)は、白黒に変換した画像です。そして、(c)が、(b)の黒色の数のヒストグラムで、白黒画像の黒い点の数をカウントした棒グラフです。ヒストグラムの横軸は画像の横方向の位置で、縦軸は黒点の数です。白黒画像の縦の幅が10ピクセルなので、縦軸の最大は10ピクセルとします。(d)は、(c)において、棒グラフの高さが最大の10ピクセルある位置のみ上から下まで黒線で結んだ図です。これで長方形に切り取られた範囲での年輪を検出したことになります。この白黒画像を元の位置に戻し、木口面全体について繰り返すことで年輪を検出することが出来ます。

ただし、ルールベースによる画像認識処理は、原木表面の状態に起因する画像劣化の影響を受けやすいです。具体的には、表面の汚れや割れ、あるいは撮影時

のハレーションなどが認められる場合、白黒画像への変換処理における閾(しきい)値の設定が困難となり、結果として画像全体が黒または白に偏ってしまうことがあります。このような状態に陥ると、年輪の境界が不明瞭となり、その結果検出精度を著しく低下させてしまいます。

## ■年輪の検出方法2

### - インスタンスセグメンテーションによる方法 -

次に、AIを活用した年輪の認識技術について解説します。まず、画像を集めてアノテーションを行います。アノテーションとは、図3(b)のように検出したい物体を折れ線で囲みラベルを付ける作業のことを指します。



(a) オリジナル画像 (b) アノテーション例

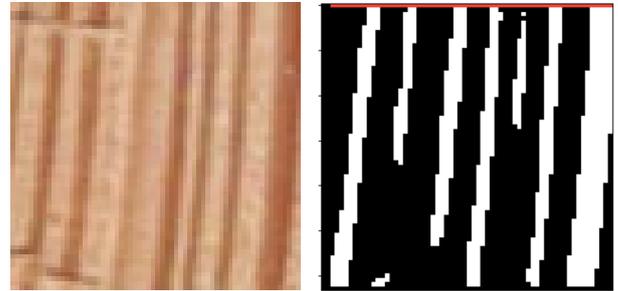
図3 年輪のアノテーション例

(a)はアノテーション前のオリジナル画像です。ルールベースでの方法と同じように元の全体画像から長方形領域を切り取っています。これは、一般的にAIを用いた画像認識では、小さな物体、特に年輪のように微細な構造物は、特徴量が強調されず余計な色によるノイズの影響により、検出精度が低下する懸念があるためです。木口面画像全体(例えば直径40cm)にAIモデルを適用した場合、年輪のような細く微小な物体(例えば幅3mmの晩材)が見逃される可能性があります。そのため、本研究では、ルールベースによる手法と同様に、長方形領域を切り出した画像をAIモデルへの入力データとして用いることで、年輪領域に焦点を絞り込み、認識精度の低下を抑制するアプローチを採用しました。(b)はアノテーションの例です。割れが見えますが構わず囲みます。これによって割れによる影響が少ない検出が可能になります。

画像へのアノテーションの次は学習を行います。学習のソフトウェアには YOLACT<sup>2)</sup>を用いてインスタンスセグメンテーション(輪郭を持った領域を検知するAI手法)による学習を行いました。使用したコン

ピュータには GPU (NVIDIA Geforce RTX3080) が搭載されており、学習に要した時間はおよそ10時間でした。

次に、学習で得られたモデルを用いて、検出の閾値が30%の場合の検出試験を行いました。結果の例を図4に示します。



(a) 検出前 (b) 検出後(白黒画像)

図4 検出前後の画像

(a)は入力画像であるカラマツ原木の木口面の一部を拡大した画像であり、線状の年輪模様が確認できます。(b)は、(a)に対して YOLACT によるインスタンスセグメンテーションを適用した結果の白黒画像です。晩材部の模様が概ね白色領域として抽出され、個々の年輪が検出されている様子がわかります。しかしながら、検出された領域が連続的ではなく、途切れている箇所が散見されます。これは、YOLACT によるインスタンスセグメンテーション処理において、入力画像(図4(a))における年輪の境界線が必ずしも明瞭ではないことや、学習に使用した枚数が不足していたためと考えられます。

### ■年輪の検出方法3 - SAHI による方法 -

上記のように、AIによる画像認識では100%の正解を望むことは不可能なので、本研究では、さらに SAHI (Slicing Aided Hyper Inference: 画像を細分割する高精度推論)<sup>3)</sup>という手法を応用した年輪の検出方法<sup>4)</sup>を適用してみたのでご紹介します。

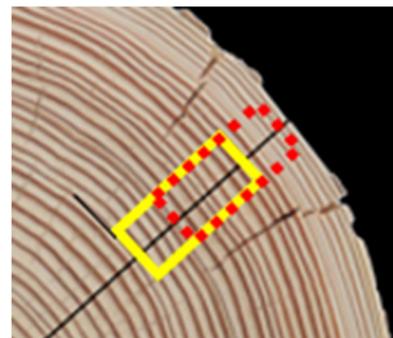


図5 重複させて切出す様子

まず、図1と同じように長方形を切出しますが、図5の破線の長方形のように、毎回の切出し領域を重複させて切り取り、推論後に合成することで、同じ場所が複数回にわたって推論する機会が得られ、検出されやすくなることを狙っています。この様子を図6に示します。

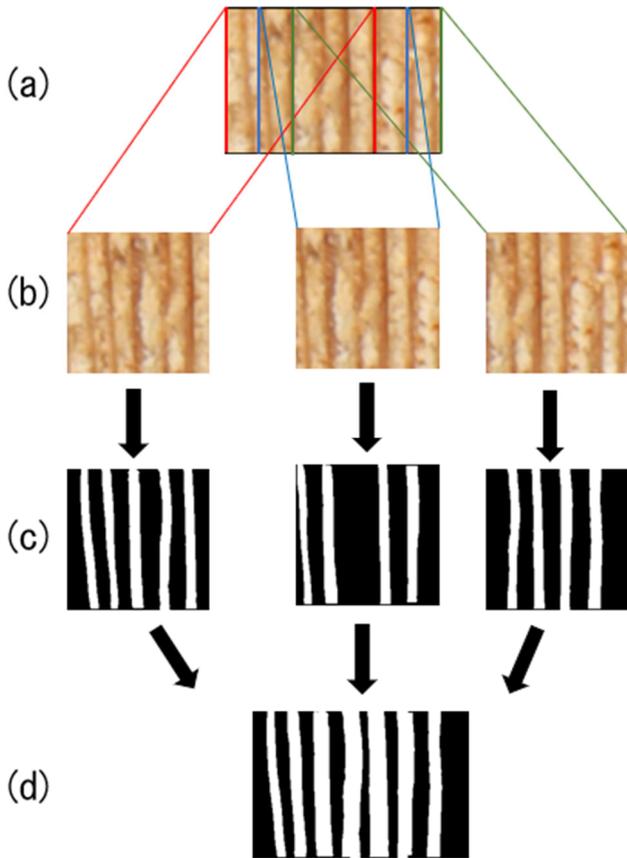
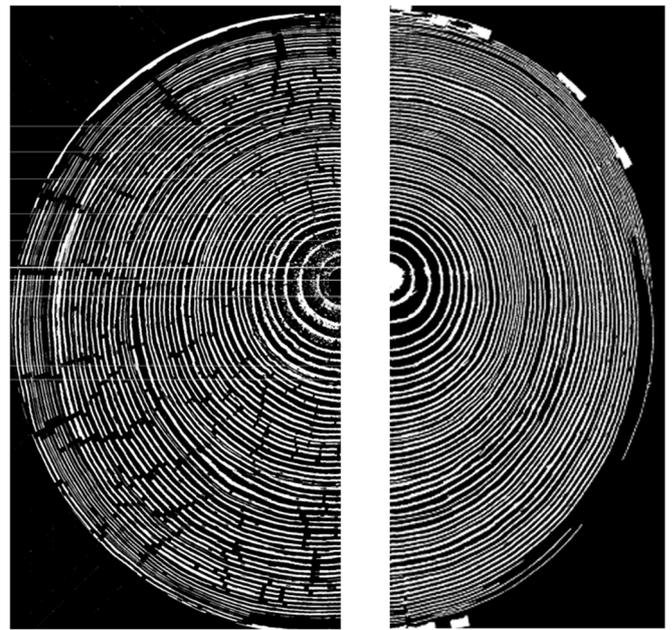


図6 画像を細分割する高精度推論

(a)は、元の画像です。(b)は、重複しながら切取った画像です。(c)は、切取った各画像の推論結果で白が晩材です。(c)の中央の画像の中ほどに1本の検出漏れがあります。(d)は、各推論結果を合成した図です。検出漏れが補完されている様子が伺えます。

■木口面全体の年輪の検出結果

各切り出した画像を合成しながら木口全体に渡って再構成した結果を図7に示します。(a)はルールベースによる結果です。木口面は、カンナとサンドペーパーで仕上げたので、汚れがなく綺麗な表面のため全体的に検出が可能でした。しかし、割れの影響が現れています。(b)は、AIによる結果です。割れの影響なく年輪を検出することができています。



(a) ルールベースによる結果 (b) AIによる結果

図7 年輪の検出結果

■年輪の検出技術の応用例

木口面の画像解析によって年輪を自動で検出することができると、年輪数を高精度に計測できます。また、年輪情報に基づいて未成熟材領域、アテ材の有無や集成材・正角材の性能を予測できる可能性も示唆されます。図8は、検出された年輪の間隔を可視化したものです。図中、白に近いほど年輪の間隔が狭くなるように色分けしています。年輪幅と木材性能の相関に着目すれば、この原木から採取できる製材品の性能を加工する前に予測し運搬・製材工程の最適化とコスト削減が期待されます。

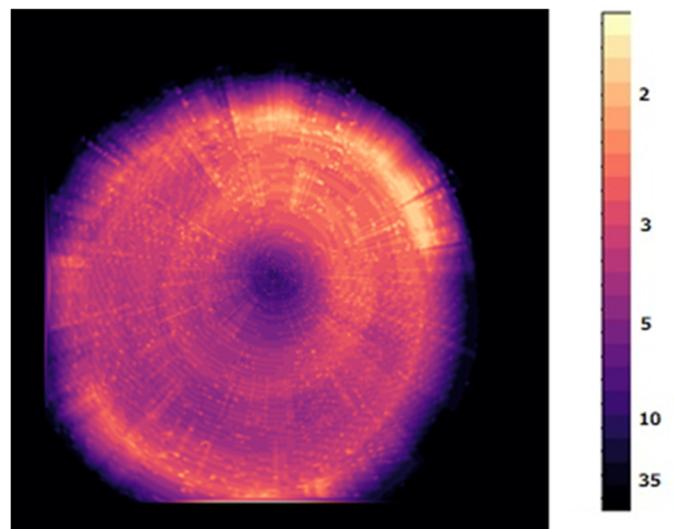


図8 年輪幅の可視化

[mm]



図9 雪が付着した原木



図10 泥が付着した原木



図11 腐食により変色した原木

### ■今後の課題

本研究では年輪が明瞭に見える画像で解析行いました。ここでは、明瞭な年輪画像を用いた解析に焦点を当てましたが、実現現場では伐採現場や製材工場の土場における原木は雪（図9）、泥（図10）、腐食による変色（図11）など、様々なノイズ要因により年輪検出が困難となる場合があります。したがって、今後はこれらの実環境下での検出精度を高めるため、ルールベース、画像認識AI、さらには生成AIといった多様な技術を組み合わせ、様々なノイズ要因に強い年輪検出技術を確立する必要があります。特に、生成AIの活用は、データ拡張やノイズ除去の面で新たな可能性を拓くと考えられます

### ■おわりに

本稿では、カラマツ原木の木口面年輪検出技術として、ルールベースと画像認識AIという2つのアプローチ、そしてその応用例を紹介しました。AIの技術の発展は目覚ましいものの、単一の手法で全ての年輪パターンに対応することは困難です。しかし、本研究で示したように、それぞれの技術が持つ特徴を理解し、適切に組み合わせることで、より高精度な年輪検出が可能となります。今後は、検出精度の向上はもちろん、本技術を製材プロセス全体へ統合し、歩留まり向上、コスト削減、ひいては林業・木材産業のDX推進に貢献できるよう技術開発に取り組む予定です。

### ■参考文献

- 1) Miroslav:BioResources, biores.15.3, p 5402-5416,(2021).
- 2) Daniel:Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, p9157-9166,(2019).
- 3) Fatih:IEEE International Conference on Image Processing(ICIP),(2022) .
- 4) Osama: Computers and Structures, 275-106912, p 2233-2242,(2023).