

樹皮ウォッチングのすすめ

杉山 淳司^{1,2*}

An encouragement of bark watching

Junji Sugiyama^{1,2*}

概要

コルクガシから収穫されるワインの熟成に欠かせないボトル栓や、伝統建築の屋根材として利用される檜皮、樺細工に利用されるサクラの樹皮などは、日常見ることのできる樹皮利用の典型な例である。一方植物体においては、樹皮は強い紫外線や乾燥から樹体を守るという大切な役割をはたしている。そういう機能は共通でも、見た目は、平滑なものから、クロマツのような亀甲模様、ケヤキやアキニレのようにうろこ状に剥げ落ちるもの、その他、縦に裂けるもの、横縞状のものなど様々である。この多様性は、葉の特徴と同様に、ツリーウォッチングには欠かせないものである。そんな樹皮を楽しみながら、樹皮に潜む面白い特徴について樺細工を例に解説する。

1. 樹皮のいろいろ

さて読者の方々は見分けることができるであろうか？京都御所やその周辺に植栽された樹木の一部を図1に示す。上から一段目が、左から右の順にアラカシ、アカマツ、ハルニレ、イチイガシ、イチョウ、二段目がイヌマキ、イロハモミジ、カリン、ケヤキ、コメツガ、三段目段目がクロガネモチ、クロマツ、クスノキ、モミ、サクラ、そして最後の4段目がサルスベリ、シリブカガシ、スズカケノキ、トチノキ、ユリノキである。アカマツ、クロマツ、カリン、サルスベリ、スズカケノキなどは特徴が際立っているので、容易に区別ができるであろう。葉っぱと同様に、樹皮にも樹種特性があり、特徴や見分け方を整理しておく、山歩きや町歩き（街路樹巡り）も楽しさを増すであろう。昨今流行りの人工知能を利用して、撮影した1400枚の樹皮の画像をコンピューターに学習させて、樹種を特定するモデルを作成したのが図2である。なんと識別率は94%となった。携帯端末で樹皮の写真を撮ると樹木名の候補がでてくるようなアプリも早晚現れるだろうが、まずはその多様性を目で見て楽しめるのがいいだろう。

さて、図1に戻って観察を続けると、樹皮には様々なテクスチャーがあり、オーソドックスな縦縞模様に始まり、アカマツ（最上段左から2番目）、クロマツ（3段目左から2番目）のような亀甲状のものや、スズカケノキ（最下段左から3番目）やケヤキ（2段目左から4番目）のような鱗状のものがよく目につくであろう。一方、サクラは、3段目左から5番目に示したように横巻きである。樹皮は本来、樹木が肥大生長するにつれ水平方向に引っ張られる。最終的には、樹体より剥離して土壌に戻るようデザインされているのであろうから、縦割れや鱗状は理解できるとして、なぜ横に巻いているのか、以前から疑問に思っていた。まさに、樹幹がはち切れそうなTシャツを着ているかのごとくである。そこに、サクラ樹皮の優れた物理的な特性が隠れていたのである。

2020年6月30日受理。

¹〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所 バイオマス形態情報分野。

(²現 〒606-8224 京都市左京区北白川追分町 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 樹木細胞学分野。)

* E-mail: sugiyama.junji.6m@kyoto-u.ac.jp



図1：樹皮の色々。樹種は本文参照。

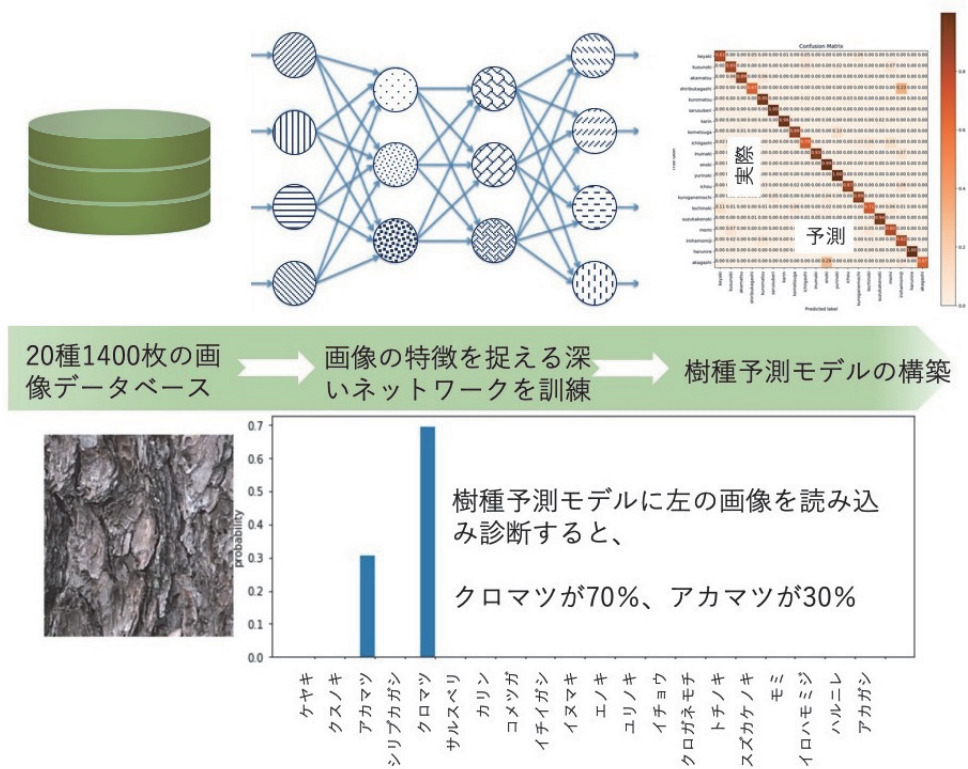


図2：AIを利用した樹皮画像による樹種識別のフロー。深層学習のモデルはVGG16¹⁾。

2. サクラの樹皮

樺細工とは日本の伝統的な木工芸品であり、秋田の角館の名産品としても知られている。カバと呼ばれる光沢のある樹皮は、実はサクラ属の樹皮である。茶筒、小箱、煙草入れの表面や、あるいは曲げわっぱの接着部を縫い綴じる紐として利用されている。サクラ属の樹皮は、図3の左図に示すように、コルク形成層が活発に活動する梅雨時期に、容易に剥ぎ取ることが可能である。薄いものはまさにフィルムと呼ぶにふさわしい、硬質で均一なもので、光源にかざすと半透明で独特のワインカラーを呈する。現在も利用されるサクラ樹皮利用の起源は少なくとも弥生時代に遡るといわれる。



図3：宇治構内植栽のソメイヨシノの若い枝。梅雨時期に採取して、コルク形成層の外側にある外樹皮を剥離したところ（左図）とその樹皮の光透過性（右図）

2.1 古代に始まる利用²⁾

サクラの樹皮は、古代人にとっても、強靱で水に強く、紐として利用価値が高いと考えられ、利用されてきた。北陸地方を代表する弥生時代の集落遺跡として、古くから知られる八日市地方（じかた）遺跡（石川県小松市日の出町）の調査では、多くの木製品が出土しており、特に農耕具、漁撈具、食事具、武器、服飾具などの生活全般に及ぶ内容をもつことに加え、未製品が多いことから、その製作工程や技術系譜を考えるうえで、全国でも特筆すべき価値があるとされる。樹皮は全て紐として利用され、特に未製品のものの調査から、サクラ樹皮の収穫は概ね直径8から20数センチの小径の幹あるいは枝材であろうと推定されている。

2.2 サクラ樹皮の引張性能と組織構造³⁾

さて、極端な応力状態にある樹皮には、どのような構造特性がみられるだろうか。試料にオオヤマザクラ（*Cerasus sargentii*）の樹皮を用い、ダンベル状の小片を押し抜いて引張試験を行った。図4がその結果である。気乾状態の試験片は、100%から300%の驚異的な伸びを示した一方で、一度絶乾したのちに試験直前までデシケータに保管した試験片は降伏ののち直に破断した。また気乾状態における含水率は約5%で、密度は1.12、ヤング率は0.9~1.6GP、破壊靱性値は50MJ³であった。特に靱性特性は、昨今盛んに研究されるナノセルロース複合体の5~10倍大きい値を示した。

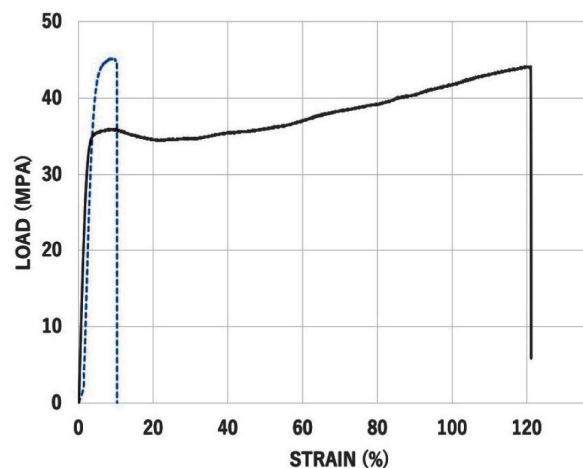


図4：サクラ樹皮の応力ひずみ曲線。実線は気乾状態のもの、点線はオーブンドライ後のもの。

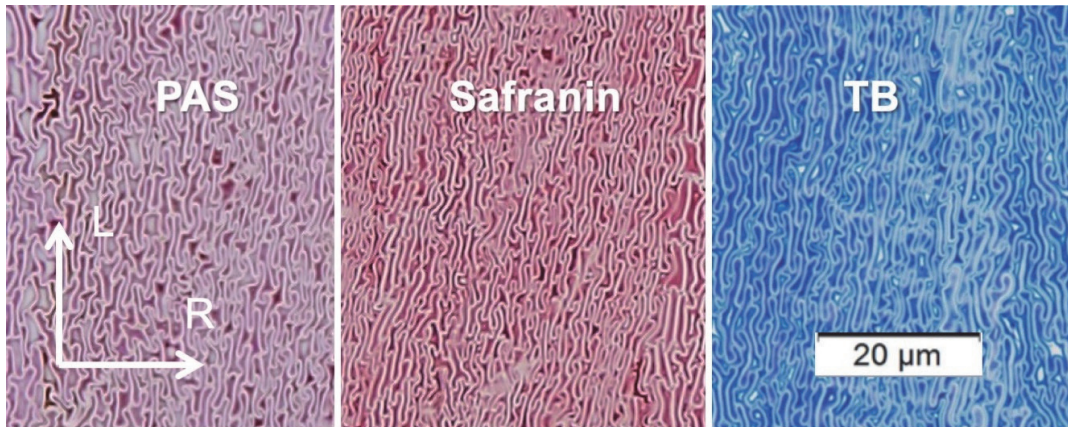


図 5：樹皮の放射断面（柾目に相当）。 左より、PAS 染色法、サフラニン染色法、トルイジンブルー染色法による。

ロバート・フックが初めて顕微鏡で観察したことでも知られる、所謂コルクガシの樹皮（ワインの栓の原料）の構成成分は、コルク細胞とよばれる比較的直方体に近い多面体である。一方、サクラの樹皮を構成するコルク細胞は、細胞の長軸が水平方向に極めて長く、放射方向に扁平なリボン状であった。また、細胞は樹木の外側ほど放射方向に圧縮され、接線方向には伸ばされたような形状となっていた。

その柾目面切片の光学顕微鏡写真が図 5 であり、観察される断面はコルク細胞の長軸に対して垂直な面である。糖質、リグニン、セルロースに選択的な染色を施しても、細胞壁は同様に二層に染め分けられた。すなわち、どの染色剤にも染められない外層とすべてに染色される内層の二つである。

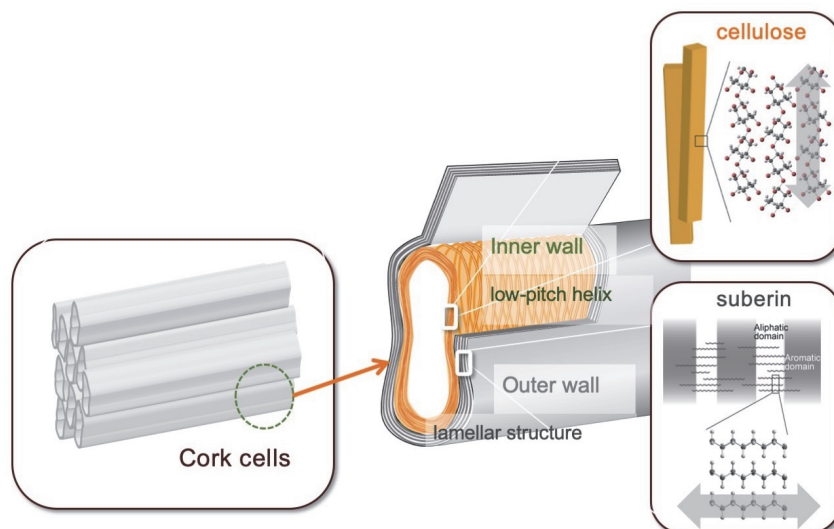


図 6：サクラ樹皮の層階状構造。木化層とスベリン層の二層からなる細胞壁を形成し、内層では水平方向にバネのようにセルロースマイクロフィブリルが螺旋を巻き、外層では細胞表面に垂直方向にスベリンの脂肪族鎖が並ぶ、という立体構造が明らかとなった。

偏光顕微鏡で観察すると、二層共に複屈折を示した。そこで鋭敏色検板を挿入して相加・相減を調べたところ、外層は屈折率楕円体の主軸方向が細胞の内側から外側に向いているのに対して、内層は層に対して平行に向いていることが明らかとなった。以上の相加・相減現象と電子顕微鏡による微細構造の観察結果を合わせると、次のように結論できた。まず、内層は通常の木材と同様にセルロースを骨格物質とする木化壁であり、外層はスベリンからなる。外層においては、スベリンの脂肪族領域と芳香族領域が交互に層状構造をなし、脂肪族領域の分子鎖が細胞壁に対して垂直に配向している。その模式図を図6に示した。

2.3 引張試験と微細構造変化の実時間測定²⁾

引張試験時には、合成高分子の冷延伸にみられるネッキング⁴⁾が観察された。それが試験片の全長に及ぶと同時に破断が生じることから、ネッキング状態における微細構造変化を調べることとした。そのために、引張試験下のサンプルをX線散乱ならびに回折実験に供して分析した。図7に示す実時間測定の網掛け部分には、図のサンプルの右端から左側に進展するネッキング領域がちょうどX線ビームに照射されたときのセルロースマイクロフィブリルの配向角度が変化を明確に示している。言い換えれば、サクラ樹皮が伸びるときに、マイクロフィブリルの螺旋が、あたかもバネが伸びるようにして解けていることが確認された。この機構は冷延伸とは大きく異なるものであり、サクラ樹皮に固有のものと考えてよいであろう。

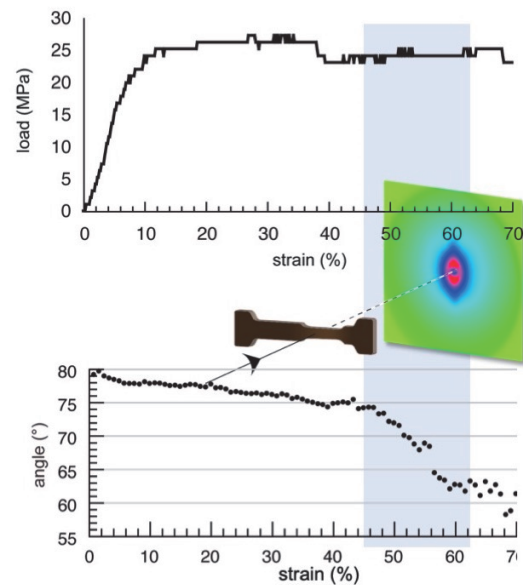


図7：放射光X線を用いた引張り試験時における微細構造変化の実時間解析。上図は応力-ひずみ曲線、下図はマイクロフィブリル傾角（細胞長軸とフィブリルの配向方向とのなす角度）-ひずみ曲線。

3. おわりに

以上述べてきたサクラ樹皮の驚異的な伸び（靱性：破壊に対する抵抗力）は、この素材を、我々が長きにわたり、紐として利用してきた理由の一つに他ならない。美しさと同時に、素晴らしい引張特性が際立つ素材と言える。さらに興味深いことは、乾燥することによって、その特性を失うことであろう。このことは死細胞の集合体である樹皮が、非生物的な環境因子、すなわち引張力と水分を利用して、「剥離して土に戻る」という物質循環を可能としたものであり、樹皮に共通の自己崩壊のメカニズムと言えるだろう。

謝辞

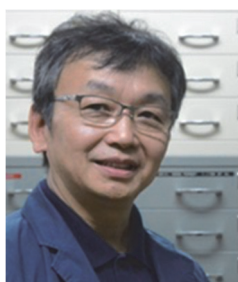
本研究は、考古学を専攻する浦蓉子氏（当時京都大学文学研究科大学院生）が持ち込んだサクラの樹皮を引っ張ったことに端を発する。実験初日は驚異的な伸びを示したのに対し、1週間後の再検証では直ちに破断した。原因を調べたところ、含水率が大いに影響していることを知り、研究として立ち上げた次第である。以降、小林加代子博士、木村聡博士に参加いただき、一つの成果としてまとめることができた。この場を借りて感謝申し上げる。

また、本研究の一部は、生存圏データベース（材鑑調査室）全国共同利用研究として支援を受けた。

参考文献

- 1) Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv:1409.1556, 2014
- 2) 浦蓉子「第XI章 樹皮製品」『八日市地方遺跡Ⅱ-小松駅東土地区画整理事業に係る埋蔵文化財発掘調査報告書, 第4部木器編』小松市教育委員会 pp.253-264, 2014
- 3) Kobayashi K, Ura Y, Kimura S, Sugiyama J. Outstanding toughness of cherry bark achieved by helical spring structure of rigid cellulose fiber combined with flexible layers of lipid polymers. *Advanced Materials*:30(6), 1705315, 2018
- 4) Ashby MF, Jones DRH, Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design. Pergamon. London, 1986

著者プロフィール



杉山 淳司 (Junji Sugiyama)

＜略歴＞ 1983年京都大学農学部卒業／1987年東京大学農学部助手／1989 東京大学農学博士／1993年京都大学木質科学研究所助教授／2006年同大学生存圏研究所教授／2020年同大学大学院農学研究科教授、現在に至る。＜研究テーマと抱負＞樹木細胞の多様性。複雑さの中から何が引き出せるか、新しい見方を学びつつ検討してみたい。