

令和7年度 東京情報大学総合研究所プロジェクト研究
研究実績報告書

1. 研究課題名

育成者権侵害の早期発見を目指した最新の画像処理技術と農学的知識の融合による
品種同定技術の基盤研究

2. 研究組織

区分	氏名	所属・職名
研究代表者	駒形 英樹	総合情報学部 総合情報学科・准教授
	杉山 立志	東京農業大学 農学部・教授
研究分担者	篠田 一馬	宇都宮大学 工学部・准教授
	乗越 亮	東京農業大学 農学部・准教授

3. 研究期間

2025年4月1日～2026年3月31日（1年計画の1年目）

4. 研究の目的

ツバキは観賞や薬用植物として国内外で利用されているが、その品種は経験則に基づいて分類されている。また、多くの品種が生まれているが、国産の品種が無許可で海外で発見されるケースがある。そこで、本研究ではツバキの分類のための特徴定量化と流出の早期発見の事前検討としての分類精度検証を目的とする。前者は形態特徴、テクスチャ特徴、および、分光と偏光の光学的特徴の解析を行った。後者は深層学習を用いた。

5. 研究報告

（1）ツバキの葉の形態特徴解析

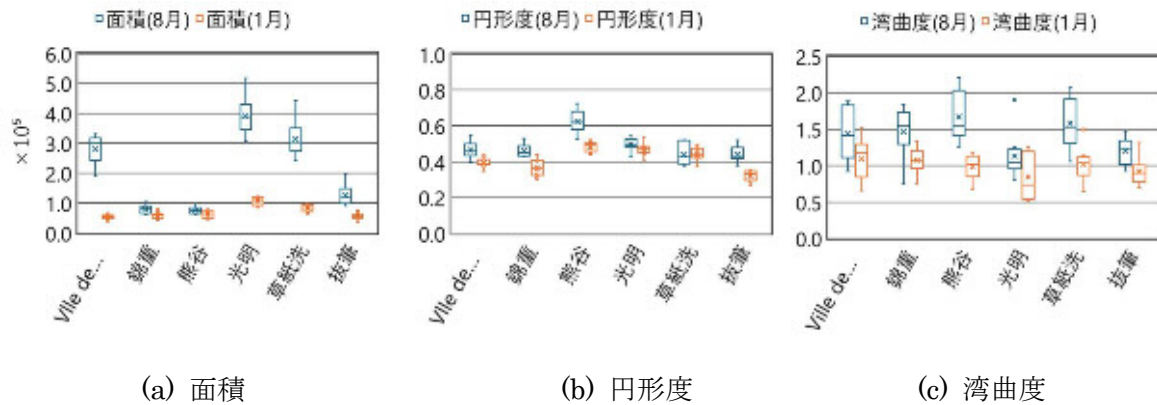


図1 形状特徴量比較結果

東京農業大学厚木キャンパスで栽培されている6種のツバキ（草紙洗、拔筆、光明、熊谷、錦重、Ville de Nantes）から、夏季（8月）と冬季（1月）に当年枝の先端から2枚目、もしくは、3枚目に位置する葉を各10枚ずつ採取し、暗室内に設置したRGBカメラ（C270n、Logicoool社）と深度センサ（D435f、Intel社）で撮影した。これらの葉は白色のLED光源を使用し、同じ条件で撮影した。

RGBカメラで撮影した画像はHSV表色系へ変換し、S成分256段階中の35で二値化を行い、輪郭追跡とラベリングで葉の面積と円形度を求めた。また、従来で使用されていない新たな試みとして、深度センサから得た深度画像の輝度256段階中150を閾値として二値化し、ラベリングなどにより欠損領域やノイズ除去を行った後に、主成分分析により、平面からのずれを湾曲度として計算した。これらのプログラムはVisual Studio 2022（C++）とOpenCV 4.7.0を用いて作成した。

それぞれの形態特徴解析の結果を図1(a)～(c)に示す。青色が8月、橙色が1月に採取した葉の解析結果を表した箱ひげ図（最大値、第3四分位、中央値、第1四分位、最小値）であり、×は平均値を表す。(c)の光明は外れ値があり、○印で示した。

図1(a)より、8月（青色）の葉の面積はVille de Nantes、光明、草紙洗が大きいグループであり、錦重と熊谷が小さいグループとなった。しかし、1月（橙色）の葉の面積は8月ほど差が出ておらず、光明を除いて区別が付きにくくなった。図1(b)の円形度では、8月は熊谷が大きい傾向が出ており、1月では拔筆が小さくなる傾向があった。図1(c)の湾曲度は8月の光明のみが小さな値、つまり、平たい傾向があった。

(2) ツバキの葉のテクスチャ特徴解析

(1)と同じ6種の夏季（8月）と冬季（1月）のツバキの葉を使用し、14種のHaralickテクスチャ特徴量と5種のRun-lengthテクスチャ特徴を計算した。これらのうち、Haralick特徴のEntropy（EPY）とRun-length特徴のShort Run Emphasis（SRE）の特徴解析結果を図2に示す。EPYは輝度やテクスチャ（模様）の多様性を表し、SREは画像の高周波成分を表す。結果は(1)と同様、8月を青色、1月を橙色で色分けし、箱ひげ図で示した。

8月の結果では光明と草紙洗がどちらの特徴量でも同様の傾向を示していたが、他は個々に異なる傾向を示すことが多かった。しかし、1月では光明を除く5種が同様の傾向を示しており、テクスチャ特徴のみで区別をすることが困難であることを示唆した結果となった。

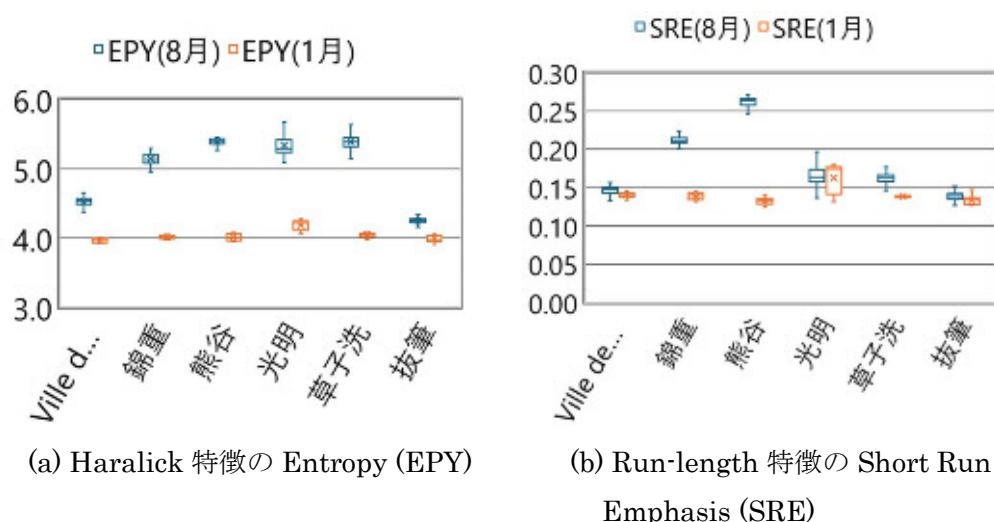


図2 テクスチャ特徴量比較結果

ツバキは落葉樹ではないが、夏と冬で性質が変わる。(1)と(2)の結果から、夏季(8月)と冬季(1月)で葉の特徴が大きく変わるため、分類器を作る際は季節の要素を取り入れて分類する必要があることが示された。

(3) 深層学習を用いたツバキの葉の分類精度の検証

(1)に加え、ツバキ園外で採取した熊谷を含めた、7種の夏季(8月)のツバキの葉を使用し(熊谷2と明記)、(1)と同様、深度センサ(D435f、Intel社)で取得した深度画像を用いて、最新の深層学習法YOLO-v10で画像分類が可能か調査した。学習にあたり、各品種8枚を学習用、2枚を評価用と区別した。次に、これらを手動でアノテーション(分類分けと座標指定)し、YOLO-v10の機能により自動でデータ拡張(輝度変化や回転操作等)を行った。その後、YOLO-v10により学習をし、生成された学習モデルを使用して評価画像で精度検証を行った。

検証の結果、7種の分類精度Accuracyは98%となった。内訳の混同行列は表1であり、背景と誤認した例を除いては、Ville de Nantesと草紙洗の誤認が1例あるだけであった。なお、データ拡張により、どれにも該当しない背景クラスが生成されており、背景と拔筆の誤認が数例あった。

(1)で実施した湾曲度は同じ深度画像を用いたにも関わらず、品種間の差がほとんど見られなかった。しかし、本結果は非常に高精度で分類が可能であったため、湾曲度以外の他の3次元特徴に差があるといえる。例えば、葉の縁の波打ち具合などが考えられる。

今後は縁の形態特徴の定量化を検討するとともに、実施途中の冬季(1月)の深度画像の分類精度の検証、および、RGB画像を使用した分類精度の検証を行う予定である。

(4) ツバキの葉の光学的解析

(1) と同じ 6 種の夏季 (8 月) と冬季 (1 月) のツバキの葉を 10 枚ずつ使用し、分光測定 (一点測定) と分光撮影 (面測定)、および、偏光測定 (面測定) を実施した。

表 1 Yolo-v10 による予測結果 (混同行列)

	予測結果							
	Ville..	錦重	熊谷	熊谷 2	光明	草紙洗	抜筆	背景
真値	Ville..	58				1		1
	錦重		64					
	熊谷			68				
	熊谷 2				55			
	光明					75		
	草紙洗						84	
	抜筆							125 2
	背景			1			4	

分光測定では、分光測定器 USB2000+ (Ocean Optics 社) と光源 HL-2000 (Ocean Optics 社) を用い、葉の中心付近 約 20 mm 四方の 450~900 nm (可視から近赤外) の反射スペクトルを葉の表と裏で測定した。分光撮影では液晶チューナブルフィルタ (VariSpec、CRi 社) を装着した分光撮影システムと Grasshopper3 カメラ (FLIR 社、型番 GS3-U3-51S5M-C) を使用し、照明 XC-100AF (Seric 社) を 2 基使用して、葉の中央付近の約 20 mm 四方の 420~720 nm の可視域波長を、表面および裏面の双方で各 3 枚ずつ測定した。偏光測定では、照明 Pantone 3 Light Booth (P3D65840、Pantone 社、Daylight モード使用) を上方から葉面に照射し、0°、45°、90°、135° の直線偏光画像を偏光カメラ TRI050S1-QC (LUCID 社) で取得した。得られた 4 方向偏光画像から、偏光特性の指標として偏光度 (Degree of Linear Polarization: DoLP) および、水平・垂直偏光成分に基づく偏光度 (s1) を算出した。なお、比較対象として、スキャナー (Canon 社製 MF741Cdw) を用いた RGB 値も取得した。

実験の結果、分光撮影や偏光測定では有意な差は出なかったものの、分光測定において、品種間の区別がある程度可能である結果が見られた。特に、冬季 (1 月) の葉では RGB 値のみでの分類はほぼ不可能であったが、分光測定では草紙洗などで短波長および長波長域に差が見られた。

そこで、本結果を用いて人工ニューラルネットワーク ([Conv, ReLU, BatchNorm]×3、Dropout、k-fold(8:2)、データ拡張あり) で分類精度を評価したところ、夏季表面の正解率は 54%、裏面は 69%、冬季は両面とも 75%となった。さらに、冬季は両面を組み合わせることによって、84%の正解率が得られた。

(5) 考察とまとめ

本研究ではツバキの分類のための特徴定量化と流出の早期発見の事前検討としての分類精度検証を目的とし、(1) ツバキの葉の形態特徴解析、(2) ツバキの葉のテクスチャ特徴解析、(3) 深層学習を用いたツバキの葉の分類精度の検証、(4) ツバキの葉の光学的解析を行った。(1) は従来から用いられている面積と円形度の算出を RGB 画像から行うとともに、新たに深度画像から算出した湾曲度を使用した。(2) は RGB 画像から得られた Haralick と Run-length 特徴を使用し模様の定量化を行った。(4) では分光測定（一点測定）と分光撮影（面測定）、および、偏光測定（面測定）を実施した。

その結果、いずれも夏季と冬季で異なる特徴となることを確認し、新たな知見となった。また、(1) 形態特徴と (2) テクスチャ特徴は夏季の葉において品種間の差が出ており、(4) のうち分光測定では冬季の葉において品種間の差が出た。しかしながら、(1) の湾曲度、および、(4) の分光撮影や偏光測定では有意な差は出なかった。これらの結果から、品種分類に有用な特徴を見極める際の新たな知見となった。

また、(3) では最新の深層学習法である Yolo-v10 を用いて夏季の深度画像のみで分類精度を評価したところ、98%の精度で分類することが可能であった。従って、深層学習法を直接用いるだけでも高精度な分類が可能であることが示唆されるとともに、(1) で提案した湾曲度以外の他の 3 次元特徴に大きな差があることが示唆された。3 次元特徴として、例えば、葉の縁の波打ち具合などが考えられる。

今後は葉の縁の形態特徴の定量化を検討するとともに、実施途中の冬季（1 月）の深度画像の分類精度の検証、および、RGB 画像を使用した分類精度の検証を行う予定である。

なお、本研究と並行して、共同研究先の東京農業大学ではツバキの葉のゲノム DNA の抽出と Single Nucleotide Polymorphism (SNPs) 解析が進行中である。品種分類の確定にはこれらの結果が必要であるが、これらは迅速な解析、および、大量のデータ解析には向かないため、スクリーニングとしての画像解析は依然として必要不可欠である。

6. 成果の公表

- 1) 駒形英樹, 大導寺輝, 菱木郁弥, 野崎陸斗, 柳澤怜也, 河野義広, 篠田一馬, 乗越亮, 杉山立志, “ツバキの葉の形状特徴の定量化とテクスチャ解析”, 画像電子学会第 315 回研究会, 斜里町, 2026. 2. 26.