

令和7年1月31日

報道機関 各位

熊本大学

AIで植物細胞構造をバーチャルに染色し、
高精度に解析する新手法を確立

(ポイント)

- 深層学習によるバーチャル染色法により、明視野顕微鏡画像からラベルフリーで植物細胞の形態や状態を高精度に解析する技術を確立しました。
- 従来の蛍光染色を用いる手法に比べて、非侵襲的な細胞解析が可能であり、動画解析や高スループット解析に適しています。
- 本技術は、タバコ培養細胞やシロイヌナズナの葉表皮細胞、さらにはオオカナダモの葉緑体の動態解析などに応用され、多様な植物細胞研究における有用性を実証しました。

(概要説明)

熊本大学大学院自然科学研究部博士前期課程2年の市田まなみ大学院生、理学部4年の山道明奈大学生(当時)、大学院先端科学研究部の檜垣匠教授は、深層学習モデルを活用して植物細胞構造をバーチャルに染色する技術を確立しました。この技術により、従来必要とされていた蛍光染色を行わずに明視野顕微鏡画像のみから植物細胞構造の特異的な可視化と分析が可能になりました。

研究チームは、タバコの培養細胞を対象に、細胞膜や核などの細胞構造を深層学習モデルによってバーチャルに可視化することに成功しました。また、バーチャル染色した画像を用いて、シロイヌナズナの葉表皮細胞の形態、葉緑体の動態、細胞生死判定などの様々な解析を行い、本技術の多様な応用可能性を確認しました。特に、葉緑体の動態を時間経過観察で高精度に追跡できる点や、生細胞と

死細胞を正確に分類できる点が注目されます。

本研究の成果は、バーチャル染色法が蛍光染色の課題である光毒性や蛍光退色を克服しつつ、細胞生物学研究において非侵襲的かつ効率的な解析を可能にする新たな手法としての可能性を拓くものです。

本研究成果は令和7年1月31日、科学雑誌「Plant Molecular Biology」に掲載されました。本研究は日本学術振興会科研費、科学技術振興機構 CREST、および熊本大学国際先端科学技術研究機構 Research Cluster Digital Plant Cell Biology の支援を受けて実施されました。

(説明)

[背景]

植物細胞やその細胞内構造を顕微鏡で可視化し解析することは、植物細胞生物学の基本かつ重要な手法です。特に、蛍光イメージング技術は、細胞構造の可視化と解析に欠かせない方法として広く活用されています。蛍光色素や蛍光タンパク質を用いた染色は、細胞構造を特異的かつ詳細に可視化できる非常に有用な手法です。しかし、この方法にはいくつかの課題があります。

例えば、蛍光プローブを長時間観察すると光毒性や蛍光退色などの問題が生じてしまう場合があります。また、蛍光染色の工程や蛍光プローブ自体が細胞の生理状態に影響を与える可能性もあり、非侵襲的な解析を求める研究者にとって制約となっていました。さらに、遺伝子組換え技術を必要とする蛍光タンパク質を用いる手法では、遺伝子変異体や特定の植物種への適用が難しい場合もあります。

こうした課題を解決する手段として、近年、深層学習を活用した画像解析技術が注目されています。明視野顕微鏡画像を用いて細胞構造を蛍光標識（蛍光ラベリング）せずにラベルフリーで可視化する「バーチャル染色」技術は、蛍光染色に代わる新たなアプローチとして期待されています。この技術により、細胞を物理的に染色することなく高精度な解析が可能となり、前述した蛍光染色による悪影響を回避することができます。

[研究の内容と成果]

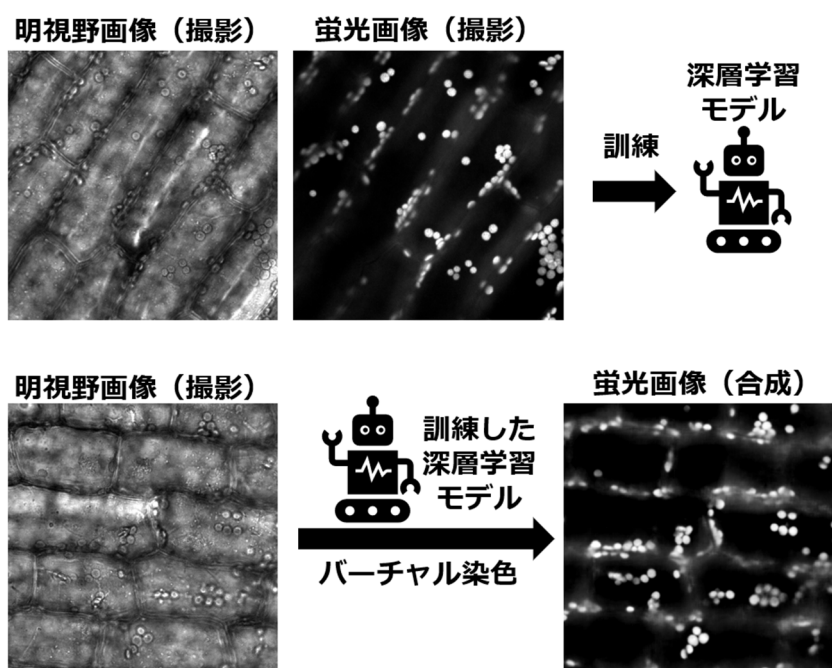
本研究では、深層学習を活用したバーチャル染色法を植物細胞の解析に応用しました。研究チームは、タバコ培養細胞の明視野顕微鏡画像を入力データとし、対応する蛍光画像を基に深層学習モデルを訓練しました。その結果、細胞膜や核などの細胞構造を高精度に再現することに成功しました。また、液胞や葉緑体といった植物特有の構造についてもバーチャル染色が可能であることを示しました (図)。

この技術を用いて、薬剤処理や遺伝子変異による細胞形態や細胞内構造の変化を定量的に評価しました。これらの結果は従来の蛍光染色法と同等の精度であり、本研究のバーチャル染色法が信頼性の高い解析手法であることが確認されました。

また、オオカナダモの葉の細胞の動画像から葉緑体をバーチャル染色し、その運動速度を計測したところ、従来の手動測定法と一致する結果が得られ、動的な細胞現象の解析にも適していることがわかりました。

さらに、タバコ培養細胞を用いた生細胞と死細胞の分類では、バーチャル染色を施した画像を基に自動分類を行ったところ、明視野顕微鏡画像を用いた自動分類よりも正確に細胞の生死を判別できることがわかりました。この結果は、細胞死や細胞状態の非侵襲的 분류において本技術が有効であることを示しています。

一連の成果から、本研究で確立したバーチャル染色法が植物細胞研究において新たな可能性を広げる手法であることが明らかになりました。



[今後の展開]

本技術は、植物細胞生物学における顕微鏡解析の新たな手法として、多様な細胞種や研究テーマへの幅広い応用が期待されます。特に、蛍光染色が困難なサンプルや動的な細胞現象の解析においても有効であり、細胞生物学や分子農学の分野において、新たな知見の創出と研究の発展が大いに促進されることが期待

されます。

(論文情報)

論文名 : Virtual staining from bright-field microscopy for label-free quantitative analysis of plant cell structures

著者 : Manami Ichita, Haruna Yamamichi, and Takumi Higaki* (*責任著者)

掲載誌 : Plant Molecular Biology

doi : 10.1007/s11103-025-01558-w

URL : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-025-01558-w>

【お問い合わせ先】

熊本大学大学院先端科学研究部

担当 : 教授 檜垣匠

電話 : 096-342-3975

e-mail : thigaki@kumamoto-u.ac.jp