

配信先：文部科学記者会、科学記者会、
熊本県内報道機関

【情報解禁時間】

令和3年9月21日（火）午後1時



令和3年9月21日

報道機関 各位

熊本大学

AI を活用した植物細胞形状の追跡計測技術の開発

（ポイント）

- 従来、高価な顕微鏡装置が必要だった葉の表皮細胞の形状変化の追跡計測を低コストかつ高精度に実現する新技術を開発しました。
- 本技術は、葉の表面に金属インクを塗布し、比較的安価な金属顕微鏡で撮影された画像をAIによって自動認識して形状を測るものです。
- 本技術の普及によって、植物細胞の形づくりの仕組みの解明や、その特徴的な形状を活かした応用研究が飛躍的に進むことが期待されます。

（概要説明）

熊本大学大学院自然科学教育部修士課程1年の菊川琴美大学院生と国際先端科学技術研究機構の檜垣匠准教授を中心とした研究グループは、葉の表面を構成する表皮細胞の形状変化を低コストかつ高精度に追跡計測する新技術を開発しました。

双子葉植物の葉の表皮細胞の多くは、成長に伴って単純なレンガ型から複雑なジグソーパズル型に変形することが知られています。この特徴的なジグソーパズル型への細胞形状変化は基礎生物学分野のみならず、人工構造物のデザインなどの応用研究分野においても注目されています。細胞形状変化を研究するにあたり、細胞を経時的に追跡して形の変化を計測する技術は基本的かつ重要な技術です。これまで、葉の表皮細胞の形状変化を追跡計測するためには特殊な技法や高価な顕微鏡装置が必要でした。

今回、研究グループは金属インクを葉の表面に塗布することで比較的安価な金属顕微鏡でも細胞の形状を明瞭に可視化できることを見出しました。さらに、顕微鏡画像から細胞を自動認識して形を計測するAIシステムを開発しました。本技術の普及により、植物細胞の形づくりの仕組みに関する理解が飛躍的に進むことが期待されます。

本研究は令和3年9月21日午後1時（日本時間）にオンライン科学雑誌「Frontiers in Plant Science」に掲載されます。本研究は文部科学省科学研究費助成事業（新学術領域研究「植物構造オプト」）の支援を受けて実施したものです。

(説明)

[背景]

多くの双子葉植物の葉の表皮細胞は、成長に伴って単純なレンガ型から複雑なジグソーパズル型に変形することが知られています(図1)。このジグソーパズル型の細胞は植物細胞の形づくりの仕組みを理解するための格好の材料として盛んに研究されています。また近年、その特徴的な形状を人工構造物に応用する試みもなされており、学際的な研究対象として注目を浴びています(参考文献:「植物の葉表皮細胞のジグソーパターンの木造継ぎ手への直接的応用に関する基礎的研究」生産研究 72: 257-259, 2020)。

葉の表皮細胞の形状変化を観察する方法として、これまで主にふたつの方法がありました。ひとつはスンプ法と呼ばれるもので、液体絆創膏などで葉の表面のレプリカをとり、その構造を観察する方法です。もうひとつは、蛍光標識法と呼ばれるもので、細胞の輪郭を蛍光色素や蛍光タンパク質で標識し、その蛍光を検出して観察する方法です(図1)。どちらも優れた方法ですが、前者にはレプリカを取るたびに葉に接触ダメージが生じてしまうことや、後者には高価な顕微鏡装置が必要になることなどの問題がありました。

[研究の内容と成果]

今回、熊本大学大学院自然科学教育部修士課程1年の菊川琴美大学院生と国際先端科学技術研究機構の檜垣匠准教授を中心とした研究グループは、東北大学多元物質科学研究所の渡辺明准教授との共同研究により、上述の既存手法に比べて低コストで表皮細胞形状の変化を観察できる手法を開発しました。

まず、研究グループは金属インク*1を葉の表面に塗布することで比較的安価な金属顕微鏡*2でも細胞の輪郭を明瞭に観察できることを見出しました(図2)。本手法は、上述のスンプ法や蛍光標識法に比べて簡便な操作のみで済むだけでなく、さまざまな植物種(本研究では、シロイヌナズナ・ダイコン・ニンジン・ペチュニア・キンギョソウなどで実証)にも適用できることが確認されました。本研究では、銀ナノ粒子を溶かした銀インクを用いており、高濃度の銀インクを塗ってしまうと葉の成長を阻害してしまいましたが、ある一定の濃度にするると葉の成長にほとんど影響を与えずに細胞を観察できることがわかりました。さらに研究グループは、AIを活用することで顕微鏡画像から細胞の形を高精度に認識して計測するシステムの開発に成功しました(図3)。既存手法のひとつである蛍光標識法で確立された画像認識手法と本システムの精度を比較したところ、本システムは既存の解析法に比肩する高い精度を実現できることがわかりました。また、本システムの有用性は、細胞形態に重要な役割を果たす遺伝子が欠損した植物の解析からも実証されました。

[今後の展開]

これまで特殊な技法や高価な顕微鏡装置を必要としていた葉表皮細胞の追跡計測が、本研究によって安価かつ簡便に行えるようになりました。本手法の普及により、植物細胞のジグソーパズル型の形づくりに関する基礎研究や応用研究が加速することが期待されます。

また、本研究では、AI技術の活用によって簡便な可視化手法でも高精度な細胞計測が可能であることが明らかになりました。今後も本研究グループはAIを活用した生物画像解析システムの開発を通して当該研究領域の発展に貢献してまいります。

[用語解説]

***1 金属インク**：金属のナノ粒子を溶かした溶液のこと。主に工学分野で使用され、生物学分野ではなじみの薄い材料であった。なお、本研究では銀ナノ粒子が溶かされた銀インクが用いられた。

***2 金属顕微鏡**：対物レンズ側から光を照射し、試料から反射された光を検出して観察する顕微鏡。蛍光標識法で一般的に用いられる共焦点レーザー顕微鏡に比べて安価である。

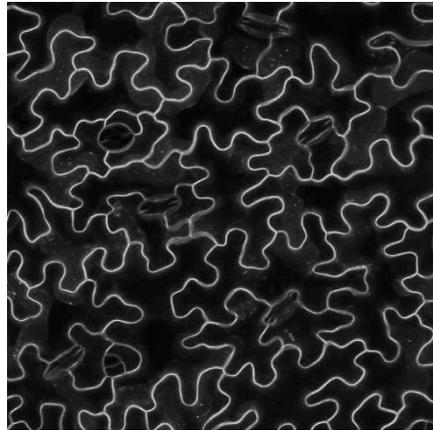
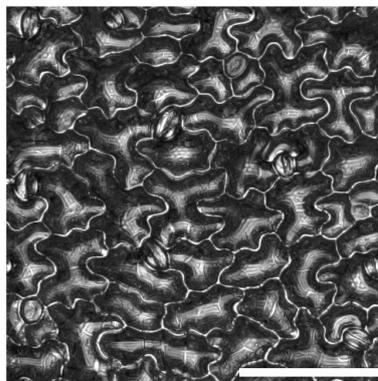


図1. 蛍光標識法により可視化された葉表皮細胞のジグソーパズル型形状。

細胞の輪郭を蛍光タンパク質により標識し、共焦点レーザー顕微鏡という高価な顕微鏡装置を用いて観察した例。ジグソーパズル型の細胞が噛み合って葉の表面が構成されていることがわかる。

金属インク塗布あり



金属インク塗布なし

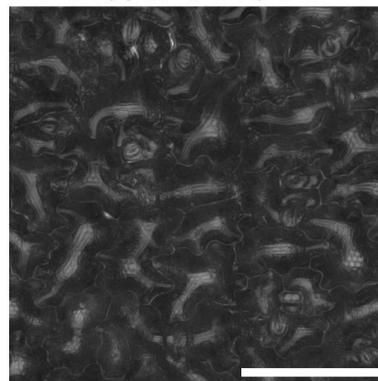


図2. 金属インク塗布による葉表皮細胞形状の可視化。

金属インクを塗布することで比較的安価な金属顕微鏡でも葉表皮細胞の輪郭を明瞭に観察することができた。スケールバー:100 マイクロメートル。

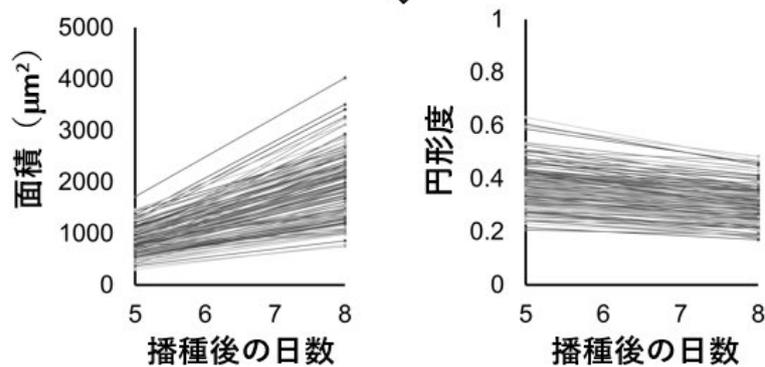
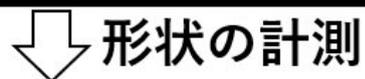
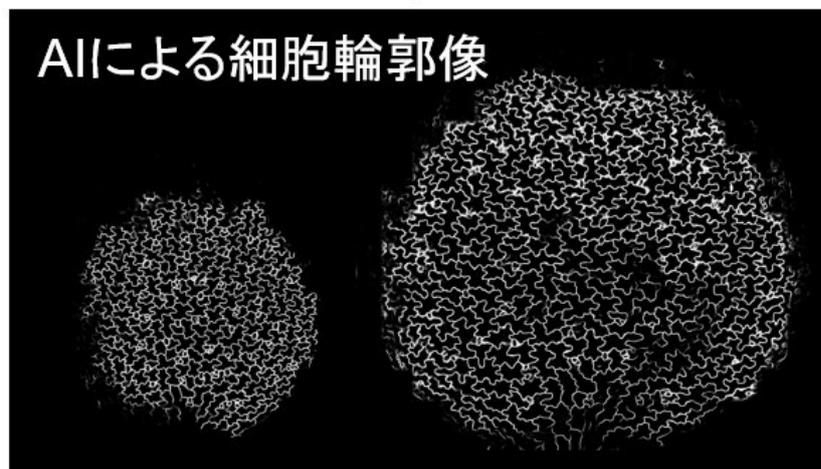
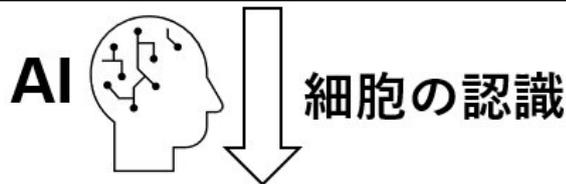
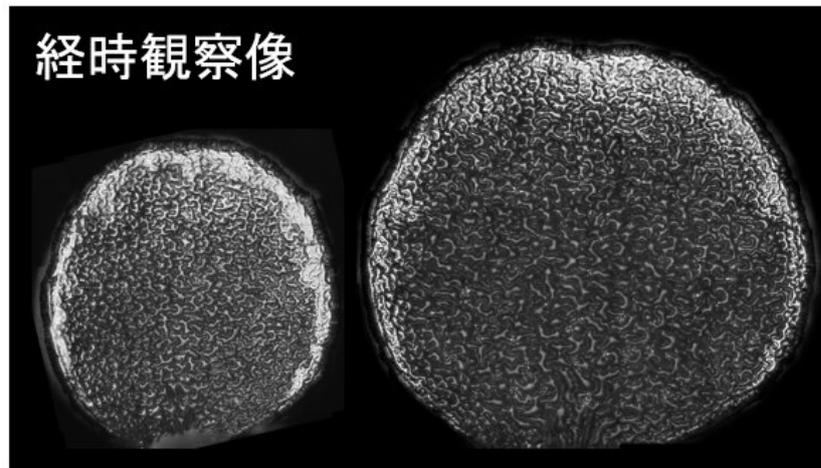


図3. AIを活用した葉表皮細胞の自動認識・計測システム.

顕微鏡画像から自動的に細胞を認識し、形状を計測するシステムを構築した。これにより、金属インク塗布した葉の顕微鏡画像から自動的に細胞形状の変化を計測できるようになった。ここでは細胞の面積が増加し(左下)、円形度が減少した(右下)例を示す。円形度は円さを表す指標で、成長に伴って細胞が単純な形から複雑なジグソーパズル型に変形したことがわかる。

(論文情報)

論文名 : Metal-nano-ink coating for monitoring and quantification of cotyledon epidermal cell morphogenesis.

著者 : Kotomi Kikukawa, Kazuki Yoshimura, Akira Watanabe, Takumi Higaki*
(*責任著者)

掲載誌 : Frontiers in Plant Science

doi : 10.3389/fpls.2021.745980

URL : <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.745980>

【お問い合わせ先】

熊本大学国際先端科学技術研究機構
(IROAST)

担当 : 准教授 檜垣匠

電話 : 096-342-3975

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