

PRESS RELEASE (2023/07/21)

## 葉脈の多様性と規則性を「かたち」の数理解析により発見

多様な輸送網のデジタル化, 定量化, 構造探索に期待

### ポイント

- 1 植物個体内の水や光合成産物の輸送に重要な役割を果たす葉脈の「かたち」の多様性と規則性を明らかにすることは植物科学の重要課題の一つ。
- 2 葉脈を輸送ネットワークとして定量化するための手法を新たに開発。これにより葉脈の多様性と規則性をデータに基づき特定。
- 3 今後の網状のネットワーク構造を対象とした多様な分野での解析基盤となることが期待。

### 概要

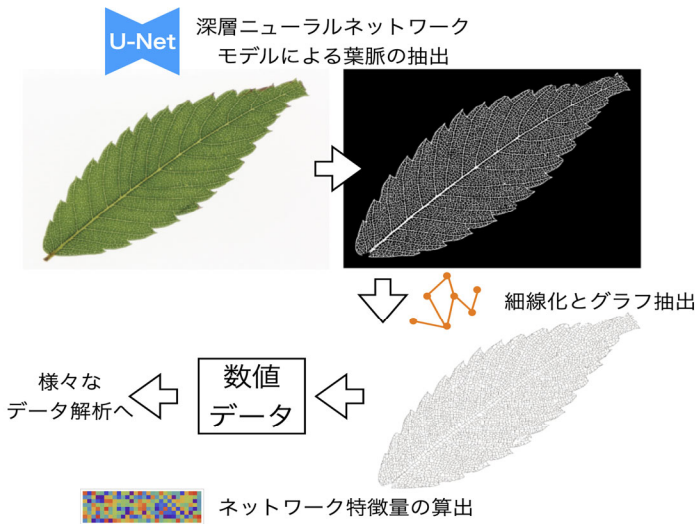
植物の葉脈は水や光合成産物の輸送に関わるネットワーク状の構造です。この葉脈の「かたち」は、透水性や蒸散効率、食害などの損傷に対する耐性（ロバスト性）など様々な機能的な要請により規則的でありながらも多様なパターンを示します。しかし、これまでの研究では、長さ、直径、分岐角度などの単純な計測値に基づく評価がほとんどでした。そのため葉脈を輸送ネットワークとして捉え定量的に評価するためのフェノタイピング（表現型計測）（※1）手法が求められています。

本研究では、画像解析と深層学習、形態測定を組み合わせることで階層的で複雑な葉脈の「かたち」を特徴づける簡便かつ高効率なフェノタイピング手法を開発し（参考図）、葉脈の「かたち」の多様性と規則性を定量的なデータ解析により発見しました。

九州大学大学院システム生命科学府一貫制博士課程2年の岩政公平氏、理学研究院の野下浩司助教らの研究グループは、5種479枚の葉標本と国立科学博物館葉脈標本データベースに含まれる5属328枚の染色標本を対象に、開発したフェノタイピング手法を用いた定量的な評価により、葉脈の「かたち」のデータが1次元的な分布を示し、その分布に沿ってツリー状からループ状へと遷移するという多様性と規則性を特定することに成功しました。また、この分布パターンは先行研究で理論的に予測された輸送効率、形成効率、損傷に対するロバスト性のいずれかを改善しようと葉脈の「かたち」を変化させると、それ以外のいずれかもしくは両方が低下するパレート最適（※2）に対応する可能性が高いことを見出しました。

本研究のアプローチは、発生生物学や医療画像解析はもちろん、バイオミメティクス、ジェネラティブデザイン、マイクロ流体工学など、ユビキタスな網状のネットワーク構造を対象とした様々な分野で同様の解析のための基盤となることが期待されます。例えば、特定の人造物に求められる機能要請からトレードオフに基づいて最適なデザインが提案できるなどが考えられます。

本研究成果は米国の雑誌「PLOS Computational Biology」に2023年7月21日(金)午前4時(日本時間)に掲載されました。



### 参考図：葉脈フェノタイプング法

画像から葉脈のみを抽出し、無向グラフ(※3)に変換し、ネットワーク特徴量を計算することで、数値データに変換する。階層的なネットワーク構造をもつ葉脈構造の統計的な解析や様々なオミクスデータ(※4)との関連解析などが可能になる。

#### 研究者からひとこと：

ネットワークや分岐構造は植物に限らずユビキタスに観察されます。今回の研究では、葉脈のネットワーク構造深層学習や画像解析を活用した「かたち」の数理解析により、その多様性と規則性を見出しました。この成果をもとに、双子葉植物全般や全球的なパターン、葉脈以外のネットワーク構造への展開を目指します。(野下浩司助教)

#### 【用語解説】

##### (※1) フェノタイプング

生物の表現型(フェノタイプ)を定性的・定量的に計測・評価するための方法論や技術のこと。本研究では、葉脈全体のネットワーク構造を数値データへ変換するプロセスを指す。

##### (※2) パレート最適

複数の目的関数にトレードオフがあり、ある目的関数を改善すると他の目的関数が悪化してしまう状態の集合のこと。ここでは輸送効率、形成効率、損傷に対するロバスト性のいずれかを改善しようと葉脈の「かたち」を変化させると、それ以外のいずれかもしくは両方が低下する葉脈の「かたち」の集合に相当する。

##### (※3) 無向グラフ

ノード(頂点)の集合とそれらの間の関係性を示すエッジ(辺)の集合からなるグラフのうち、エッジに向きの無いもの。

##### (※4) オミクスデータ

ここではゲノミクスやトランスクリプトミクス、プロテオミクスなどの網羅的な生命情報に基づく研究で得られるデータのこと。

**【謝辞】**

本研究は JST 未来社会創造事業 (JPMJMI20G6), JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2021), JSPS 科研費 (JP20H01381, JP21K14947, JP22H04727)、BRAIN ムーンショット型研究開発事業 (JPJ009237) の助成を受けたものです。

**【論文情報】**

掲載誌：PLOS Computational Biology

タイトル：Network feature-based phenotyping of leaf venation robustly reconstructs the latent space

著者名：Kohei Iwamasa, Koji Noshita

DOI：10.1371/journal.pcbi.1010581

**【お問合せ先】**

<研究に関すること>

九州大学 大学院理学研究院 助教 野下 浩司 (ノシタ コウジ)

TEL：092-802-4316

Mail：noshita@morphometrics.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL：03-5214-8404 FAX：03-5214-8432

Mail：jstkoho@jst.go.jp

<JST 事業に関すること>

科学技術振興機構 未来創造研究開発推進部

小泉 輝武 (コイズミ テルタケ)

TEL：03-6272-4004 FAX：03-6268-9412

Mail：kaikaku\_mirai@jst.go.jp