

## CT 画像を用いたアリ植物の空洞の3次元可視化

明井 綜佑<sup>†</sup>      内海 ゆづ子<sup>‡</sup>      岩村雅一<sup>§</sup>      塚谷 裕一<sup>¶</sup>      黄瀬 浩一<sup>||</sup>  
 大阪府立大学<sup>†</sup>      大阪公立大学<sup>‡</sup>      大阪公立大学<sup>§</sup>      東京大学<sup>¶</sup>      大阪公立大学<sup>||</sup>

## 1 はじめに

生物は相互に複雑な関係を築きながら生態系を形成している。その中でも特異な関係を持つ生物は互いに影響を与えながら進化したと考えられ、その進化を特に共進化と呼ぶ。植物とアリの中にも共進化を果たした種類が存在し、そのような植物は特にアリ植物と呼ばれる [1]。アリ植物は、植物体内に空洞を持っており、その空洞をアリに住処として提供する。一方で、アリは肉食性が強いものも多く、攻撃力も高いことから他の昆虫はアリを避ける傾向がある。そのため、アリは他の植食性昆虫からアリ植物を防衛する役割を担っている [1]。

アリ植物はアリが快適に過ごせるように内部の空洞形状を進化させたと考えられる。そのため、空洞形状を解析することで、アリ植物の共進化の過程に関する知見を得られる可能性がある。また、空洞が形作られる時間的な経過を解析すると、植物の形態形成についての知見が得られると考えられる。そこで、本研究では、アリ植物の空洞の時系列的な形態解析を最終的な目標とし、本稿では時系列で計測可能な空洞形状の計測をする。

アリ植物の空洞形状の調査方法として、アリ植物を切断し、観察する方法が挙げられる。し

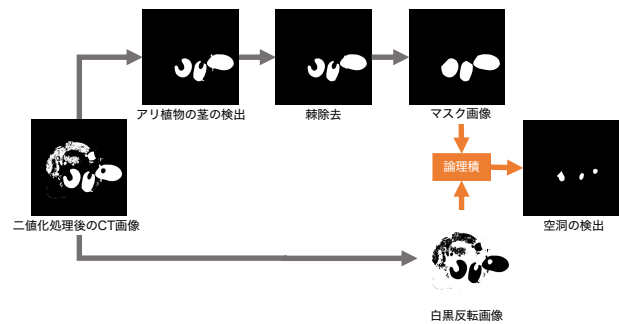


図1 CT 画像からのアリ植物の空洞検出の概要

かし、この方法は植物の破壊を伴うため、時系列での形状の変化を観察することができない。植物内部の構造を非破壊で計測した研究として、Computer Tomography (CT) を用いたものがあり、植物内部の皮、核、空隙等の内部形状の計測を実現している [2]。

そこで本研究では、アリ植物を CT により撮影し、得られた CT 画像に対して画像処理を施すことで、空洞の形状を推定する。輪郭や輪郭の曲率による閾値処理、モルフォロジー処理を組み合わせることで空洞検出に不必要な部分を除去する。そして、凸包検出により空洞部分を埋めた画像と、もとの画像との論理演算により、空洞部分を検出する。

実験の結果、アリ植物の空洞が撮影された 902 枚の CT 画像のうち、849 枚の空洞部分を正しく検出した。また、検出結果を重畳することで、空洞部分の 3 次元可視化に成功した。

## 2 CT 画像からの空洞検出手法

まず、本稿で検出する空洞を定義する。アリ植物の CT 画像の二値化画像には、アリ植物の茎内部にある空洞部分と、全てが茎の組織で覆

CT image-based 3D Visualization of ant plant cavities

<sup>†</sup> Soyu Myoi, Osaka Prefecture University

<sup>‡</sup> Yuzuko Utsumi, Osaka Metropolitan University

<sup>§</sup> Masakazu Iwamura, Osaka Metropolitan University

<sup>¶</sup> Hirokazu Tsukaya, University of Tokyo

<sup>||</sup> Koichi Kise, Osaka Metropolitan University

われていない空洞の端の部分が存在する。茎内部の空洞だけでなく、端の部分も空洞の形成に関わる重要な箇所であることから [3]、本稿では茎内部の空洞と空洞の端双方を検出する。

本稿での空洞検出手法の概要を図 1 に示す。まず、CT 画像の前景を画素値 1、背景を画素値 0 となるよう二値化処理をする。次に、二値化画像からアリ植物の茎を検出する。CT 画像中には、アリ植物の茎以外にも葉や培土があり、これらは空洞検出の精度を低下させる。アリ植物の茎の輪郭はなめらかで大きさが一定であることから、輪郭の長さや輪郭の曲率の閾値処理をしてアリ植物の茎のみを検出する。続いて、茎にある棘を除去する。棘の除去にはモルフォロジー処理を用いる。そして、茎の各領域の空洞を塗りつぶしたマスク画像を作成する。Watershed アルゴリズムを適用して個々の茎の領域を分割したのち、各茎領域の凸包を求め、それらをマスクとした画像を作成する。最後に、白黒反転させた二値化画像とマスク画像との論理積を計算し、空洞部分を検出する。

### 3 実験

アリ植物を撮影した CT 画像 1,097 枚を用いた。画像の解像度は  $2,864 \times 2,864$  pixels であり、各 CT 画像の間隔と画素の一辺の長さは  $37.4 \mu\text{m}$  に相当する。

輪郭を用いた茎の検出では、1,097 枚の画像にある 61,890 個の輪郭のうち、3,818 個の輪郭をアリ植物の茎と判別した。輪郭の曲率による検出により、3,818 個の領域から 3,128 個の輪郭をアリ植物の茎とした。空洞検出の精度について、画像単位で目視により空洞部分が検出できているかを判断した。その結果、アリ植物の空洞が撮影された 902 枚の画像のうち、849 枚で空洞部分を正しく検出できた。

図 2 に、検出結果を重畳して空洞部分の 3 次元可視化をした結果を示す。空洞を概ね復元できたが、一部で空洞の検出に失敗している。

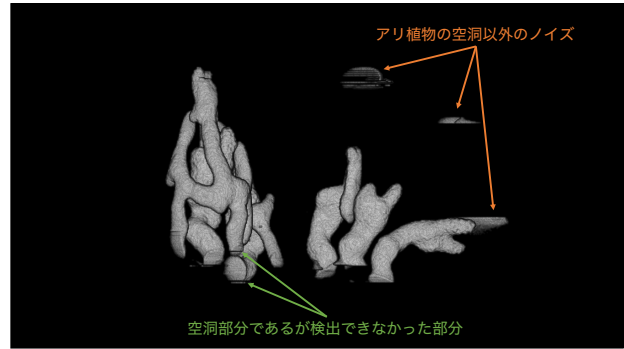


図 2 検出したアリ植物の空洞の 3 次元可視化

図 2 の橙色の矢印が示す部位は、空洞でない箇所が誤検出されたために発生した。また、緑色の矢印が示す部分では、空洞が検出できなかった。これらの失敗は、アリ植物の茎の検出の閾値処理の誤検出や検出漏れにより起きたと考えられる。よって、アリ植物の茎の検出方法の改善が必要である。

### 4 まとめ

本稿では、非破壊にアリ植物の空洞の 3 次元形状を解析することを目的とし、アリ植物の CT 画像から空洞を検出する手法を提案した。実験の結果、提案手法を用いることで CT 画像から空洞を検出し、3 次元可視化に成功した。

### 参考文献

- [1] Andrew James Beattie. *The Evolutionary Ecology of Ant - Plant Mutualisms*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [2] W. Liu et al. High-throughput phenotyping of morphological seed and fruit characteristics using x-ray computed tomography. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 11, No. 601475, 2020.
- [3] H. Tsukaya et al. Cavity and entrance pore development in ant plant hypocotyls. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 14, No. 1234650, 2023.