

2026年5月27日

報道機関 各位

AIで自然界を超す新たな微細構造の生成に成功 「ありうる」植物の表面構造を生成、撥水性など新素材の創造へ

【本研究のポイント】

- ・限られた現生生物のみを手本とする従来の生物模倣技術^{注1)}と異なり、「ありうる」植物種の微細構造を生成する手法を提案した。
- ・より優れた機能構造を生成するために、現生種にはない新しい特徴を持つ「ありうる」植物種の葉表面の微細構造を生成した。
- ・「ありうる」植物種の生成には、現生種データよりも多様な新規構造を生成する必要があり、学習データには現生種データに加え性質の異なるチューリング・パターンを加えた。
- ・異なる性質を持つ二つのデータ群から、安定して学習・生成する新たな生成アプローチを開発し、現生植物にはない特徴を持つ「ありうる」植物の微細構造の生成に成功した。
- ・本手法の応用により、撥水性や付着性、流体抵抗低減など機能に応じた構造の逆設計への展開が期待される。

【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の星野 隆行 教授の研究グループは、深層生成モデル^{注2)}を用いて「ありうる」植物種の微細構造を生成する新たな深層生成手法を開発し、現生種にはない特徴を持つ「ありうる」植物の新規構造を生成することに成功しました。

本研究では、異なる性質を持つパターンに対して安定した学習・生成を実現するために、ノイズ除去拡散確率モデルにおける「交互デノイズ」という生成アルゴリズムを開発しました。この手法を用いて、反応拡散モデル^{注3)}によって生成される構造と現生植物の葉の表面構造を訓練データとして組み込み、現生植物にはない特徴を持った新たな表面構造データを生成することに成功しました。この技術を応用することで、現生種だけでなく過去にあり得た絶滅種の形質や未来に存在しうる派生種の形質を手本とする新しい生物模倣技術に発展し、より有用な構造を発見する技術として期待されます。

本研究成果は、2026年4月28日付の学術雑誌『Japanese Journal of Applied Physics』電子版に掲載されました。

【研究背景と内容】

生物模倣技術は、生物が持つ優れた形質や構造を模倣・応用することで、工学的な課題を解決する手法として注目されています。しかし進化論の観点では、現存する生物(現生種)は、あくまで現在の環境に適応して生き残った結果であり、利用できる形態は限られています。さらに、古生物学的な知見からは、過去にはより多様な形態が存在していた可能性も示唆されており、現生種のみ依存した設計手法では、より優れた構造を見逃している可能性があります。そのため、「ありうる」生物の形質を生成し、形質多様性を拡張することで、新たな構造を探索することが重要な課題となっています。

こうした課題に対し、本研究では、深層生成モデルの一種であるノイズ除去拡散確率モデル(DDPM)に着目しました。DDPM はデータの特徴を学習し、新たなパターンを生成できる強力な手法ですが、基本的には学習したデータの特徴分布範囲内に制約されるという課題があります。そこで本研究では、この制約を超えるために、生物の形態形成を説明する数理モデルである反応拡散モデルを組み合わせた新しい手法を開発しました。その結果、植物の葉表面に見られる微細構造を対象として、現生種データの範囲を超えた新たな特徴を持つ「ありうる」生物の表面構造の生成に成功し、形質多様性の拡張を実現しました。

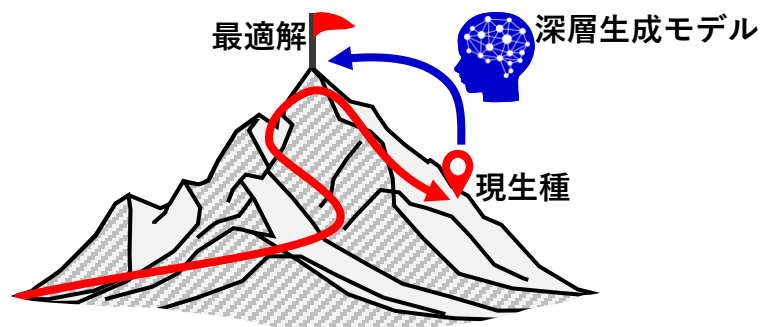


図1 新たな生物模倣技術の概要。進化論によれば、生物の進化は変化する環境下での淘汰の結果であり、工学的な適応度地形における現生種は必ずしも頂上(最適解)とは限らない。本研究では、現生種が持つ情報からありうる生物の形質を生成することでより優れた構造を探索することを目指している。

本研究では形質多様性の拡張を可能にするため、DDPMに交互デノイズ手法を導入したAD-DDPMを開発しました。現生植物データと反応拡散データのような異なる性質を持った多峰性のあるデータセットに足して、単純に混合したデータを学習した場合、多峰性のある特徴分布の乖離(かいり)により学習の不安定化やモード崩壊が生じることが知られています。そこで、この問題に対応するためAD-DDPMでは、各データセットにラベルを付与し、デノイズ過程において条件を切り替えながら学習・生成を行う手法を開発しました。具体的には、生成過程においてデノイズ条件を途中で切り替えることで、異なる

分布に由来する特徴を段階的に融合することが可能になりました。これにより、それぞれの特徴を保持したまま、両者の中間および外挿的な特徴を持つパターン生成が可能となりました。

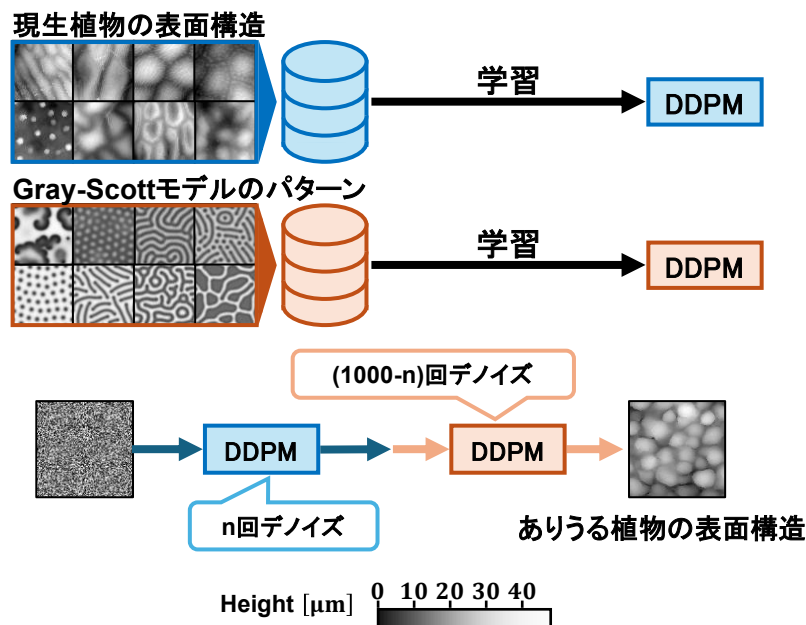


図2 開発した AD-DDPM の概要図。ノイズ除去拡散確率モデル(DDPM)は学習段階では、植物の葉の表面構造と反応拡散モデルによるパターンを区別しながらそれぞれの特徴を学習する。生成段階では、ノイズを取り除く過程で学習対象を切り替えることで、異なる特徴を組み合わせた新しい表面構造を生成する。

生成された「ありうる」植物種の構造データは、Inception v3 から抽出した特徴分布に基づき、学習データセットと比較して評価しました。その結果、現生植物の表面構造や反応拡散モデルによる模様の特徴分布の範囲外に位置しており、新たな特徴を持つ表面構造であることが確認されました。また、Cassie-Baxter モデルを用いて構造に由来する撥水性を評価したところ、高い撥水性の特徴を示す新規構造も確認されました。

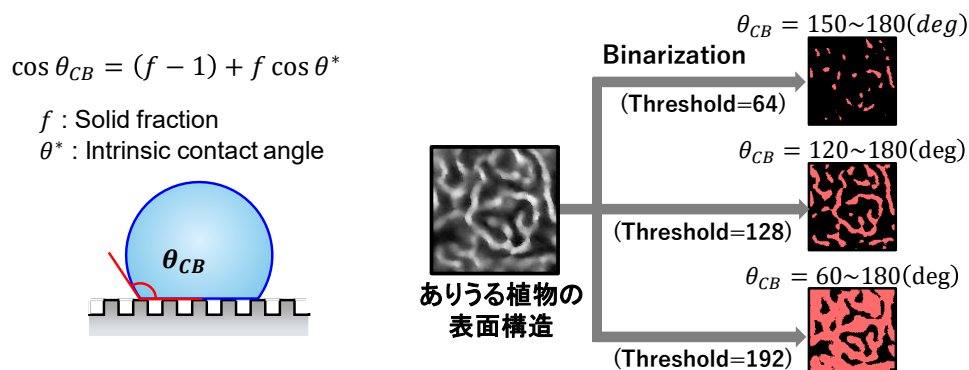


図 3 生成された新規構造データの撥水性評価の概要。生成された「ありうる」植物の表面構造の撥水性を Cassie-Baxter モデルを用いて評価した。接触面積比が小さい場合には高撥水性を示す可能性がある。

【成果の意義】

本成果は、現生種に依存していた従来の生物模倣技術に対し、コンピュータ上で形質多様性そのものを拡張できる新たな設計手法を示したものです。従来は、現生種が持つ形態に基づく設計に限られ、探索可能な構造の範囲には制約がありました。本研究では、深層生成モデルに反応拡散モデルを組み合わせることでデータ分布を拡張し、既存構造の再現や補間を超えて、新たな設計空間の探索を可能にしました。これにより、自然界に存在する構造の模倣にとどまらず、存在した可能性のある形態や未発見の機能を持つ構造の設計が可能になります。さらに本技術を応用することで、撥水性や付着性、流体抵抗低減など、機能に応じた表面構造の逆設計への展開が期待されます。今後、有用な微細構造の探索・設計などへの発展が期待されます。

【用語説明】

注1) 生物模倣技術:

生物が進化の過程で獲得してきた構造などの形質が持つ優れた特性を模倣することで、複雑な逆問題を解くことなく工学的な問題を解決する手法のこと。植物の表面構造はこれまでに生物模倣技術で模倣されてきており、ハスの葉やバラの花の高撥水性がヨーグルトの蓋や太陽光パネルに応用されている。

注2) 深層生成モデル:

生成 AI の核心技術であり、多層のニューラルネットワークを用いてデータセットを学習し、その背後にある潜在的な確率分布を捉えることで、学習した分布に基づいて新たなデータを生成するモデルの総称。代表的なモデルとして、変分オートエンコーダ (VAE) や敵対的生成ネットワーク (GAN)、ノイズ除去拡散確率モデル (DDPM) などが挙げられる。

注3) 反応拡散モデル:

空間に分布する複数の物質の濃度が、物質同士の局所的な化学反応と、空間内に広がる拡散という二つのプロセスによって時間的・空間的に変化する様子を数理的に表現したモデル。ゼブラフィッシュの縞模様や指紋など、生物表面に見られるパターン形成を説明するモデルとして知られている。

【論文情報】

雑誌名: Japanese Journal of Applied Physics

論文タイトル: Expanding morphological diversity of plant surface microstructures using deep generative model and reaction-diffusion model for bioinspiration

著者: Tomoya Akimoto(名古屋大学)、Hisataka Maruyama(名古屋大学)、Takayuki Hoshino(名古屋大学)

DOI:10.35848/1347-4065/ae5aad

URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.35848/1347-4065/ae5aad>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。



東海国立大学機構 HP <https://www.therso.ac.jp/>