HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of a system for evaluating Paeonia suffruticosa pollen viability using deep learning techniques [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	ZHANG, Mengwei
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16079号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93479
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	ZHANG_Mengwei_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏 名 ZHANG Mengwei

審査委員　主査 教授 星野 洋一郎
副査 教授 後藤 貴文
副査 准教授 中村 剛

学 位 論 文 題 名

Development of a system for evaluating *Paeonia suffruticosa* pollen viability using deep learning techniques
（深層学習を用いた*Paeonia suffruticosa*の花粉稔性の評価システムの開発）

花粉の稔性は作物の豊凶や野生植物の種子形成および繁殖などに関係する。花粉はサイズが小さく、外観から稔性を評価することが難しい。花粉稔性の程度を知ることは植物の結実を評価する上で極めて重要で、農業や生態学など幅広い分野で必要とされている。これまで、花粉染色による花粉の充実度の評価や人工培地を用いた花粉発芽の試験などの稔性を評価する手法が多数開発されてきた。近年では、花粉発芽率を算出することで比較的正確に稔性を評価できることから、花粉発芽培地を用いた花粉管伸長を観察する手法がよく用いられている。以上の現況を踏まえ、本博士論文では、人工培地による花粉発芽の実験系を用いた深層学習による花粉管の認識と花粉管長の自動算出技術のモデル化が図られ、ハイスループットな花粉稔性の評価システムの開発に取り組んだ成果が述べられている。

研究材料には、ボタン（*Paeonia suffruticosa*）が用いられた。ボタンは観賞用の花木として人気が高く、交配によって多数の品種が作出されている。交配の成否を左右する花粉稔性の評価系が求められており、人工培地を用いた花粉発芽の実験系がすでに整備されている。この花粉発芽の実験系を用いた深層学習による花粉稔性の評価システムの開発が本博士論文の骨子である。

最初の実験では、人工培地中で発芽した花粉について、花粉管を目印に自動認識させるモデルの開発を行った。培地に入れた花粉粒の集団を撮影した顕微鏡写真を用いて、花粉粒と花粉管を認識させるプログラムをMask R-CNNモデルに基づいて構築した。さらに、花粉管をスケルトン化することにより花粉管を単純化した画像に変換させて花粉管の長さを自動測定させることに成功した。従前、自動認識が難しかった花粉管が交差した状態のものの認識について、花粉管を合成的に交差させた画像を準備してトレーニングデータセットに追加することで正確な花粉管の認識モデルを確立することができた。このモデルは他の植物種でも応用可能なことを検証しており、双子葉植物のペチュニアと単子葉植物のギボウシでも機能する汎用性の高いものである。

次に、花粉が吸水するプロセスに着目し、培地中における花粉の形態変化から発芽能力を推定するモデルの構築を試みた。この実験には、既存の物体検出モデルYou Only Look Once（YOLO）v7を用いた。顕微鏡観察により取得した培地中の花粉の画像データの蓄積か

ら、画像データ上で算出した花粉面積 14 μm^2 以上の花粉は発芽するが、12 μm^2 以下の花粉は発芽しないことがわかった。相関分析では、画像データ上の花粉面積と花粉発芽率には強い関係がみられた。また、花粉画像のアスペクト比（花粉が円形に近いかどうか）とグレースケールに変換した明度について、花粉発芽率と弱い相関があることが示された。これら花粉面積、アスペクト比および明度の指標は、花粉の吸水と直接関係しており、花粉発芽能力を推定する上で妥当なものと考えられた。これらの特性を用いて、YOLOv7により花粉の吸水程度をリアルタイムで解析することで、花粉発芽能力を推定することが可能となった。

本研究により、花粉稔性の評価に深層学習を利用する道筋を開いた。特に、花粉発芽と花粉管長を自動化するシステムは先駆的な進歩であり、極めて新規性が高いものである。また、他種への応用を念頭おいたシステムの開発を進めており、汎用性の高いモデルを開発したことは、当該分野に大きな成果をもたらすものである。作物育種の分野はもとより、作物生産、野生植物の生殖パターンの解析などその応用範囲は広く、植物科学に深層学習を取り入れて学際領域を開拓した意義は大きい。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに充分な資格を有するものと判定した。