



Title	植物形態に潜む構造力学的学理の学際的探究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	金浜, 瞳也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15844号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91995
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tohya_Kanahama_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 金浜 瞳也

審査担当者 主 査 教 授 佐藤 太裕
副 査 教 授 中村 孝
副 査 教 授 佐々木 克彦
副 査 准教授 加藤 博之

学位論文題名

植物形態に潜む構造力学的学理の学際的探究

(Interdisciplinary Exploration of Structural Mechanics Principle in Plant Morphology)

人類は複雑な事象の本質を捉えるべく、代表的な因子を抽出して検討が容易な概念へと落とし込む「モデル化」を駆使し、数多の興味深い知見を獲得してきた。中でも、特に材料力学・構造力学は、人工物を対象とした力学モデルと理論の構築により、我々の生活を支える土台を築いてきた学問である。さらに近年では、人工物に対して発展してきた力学理論を用いて厳しい自然環境を生き抜く植物の智慧を紐解き、これを工学的に応用する「植物形態模倣工学」が注目されるに至っている。しかしながら、植物への力学理論の応用は、単にモノづくりに活きる工学的知見をもたらすだけのものではない。対象が人工物から植物へと移ることは、より複雑な系に対応するために、力学理論の発展に繋がる。さらに、植物の形状的特徴を抽出した力学モデルに基づく理論的アプローチは、植物に等しく作用する重力への合理的な抵抗機構をはじめとして、植物が繁栄の過程で大切にしてきた「叡知の真髄」に触れることを可能にする。本研究は、植物形態に潜む構造力学的学理を広く探究し、その知見を整理・洞察することで、植物の形態に蓄積されてきた叡智の真髄を解明することを目指すものである。

第1章は本研究の背景を示す。厳しい自然を生き抜く植物の形態は驚くほどに賢く、そして多様であるが、種を貫いて成り立つ形状則が存在する。この形状則をはじめとして、植物形態を力学的見地から広く洞察する意義を概説している。

第2章では、樹木の高さが直径の $\frac{2}{3}$ 乗に比例することを理論的に示した Greenhill の研究を中心に、植物の形状則に関する先行研究を広範に説明している。また、Greenhill の研究における問題点を定量的に説明し、さらには植物学的研究において混同されている「曲げ剛性」と「内部水分による膨圧に起因する幾何剛性」を明快にすることの必要性和、木本・草本植物の特性から推測される身体支持機構の違いに着目する意義を述べている。

第3章では、硬く重い木本植物の形態に秘められていると推測される「重量と剛性の巧妙な配分」に着目し、木本植物の力学的合理性を解明している。Greenhill のモデルでは考慮できていない、先端に向かって径を細くするテーパ形状や竹に見られる中空断面を取り入れた自重座屈理論を開発し、これらが自重座屈特性に与える影響を定量的に明らかにしている。そして、これらの知見と生態学的知見を組み合わせ、「植物はテーパ形状と中空断面のどちらを採用すべきか」という命題について、最大高さと生存戦略の観点から、高さ方向への成長におけるテーパ形状の優位性を示している。また、Greenhill の式から得られる理論上の最大高さは、実際の高さの4倍であることが知られて

いる。これについて、初期不整や地盤の固定力の不完全性を含む自重座屈理論を構築し、実際の樹木の高さが巧妙に決定されていることを解明している。さらに、本章の全ての計算モデルにおいて、自重座屈に対する最大高さが直径の $2/3$ 乗に比例することを明らかにしている。

第4章では、軽く柔らかい草本植物について、「張力を活用した剛性発現の仕組み」に着目している。草本植物では、内部水分の消失により大きくたわむ様子が観察される。これは、内部水分がもたらす膨圧により軸方向張力が生じ、曲げ剛性とは本質的に異なる「幾何剛性」により身体を支えていることを示唆する。これを踏まえ、膨圧による張力と自重を受ける片持ち梁について、膨圧を考慮した自重座屈理論を構築し、膨圧による張力が最大高さを飛躍的に向上させることを明らかにするとともに、この場合の最大高さも直径の $2/3$ 乗に比例することを示している。

第5章では、得られた形状則の総括を行うとともに、幾何剛性を考慮した最大高さの定式化における固有値の挙動から、膨圧による張力が自重による体積力を上回るとき、自重座屈の発生を回避できることを示している。そして、草本植物が自重座屈の発生を回避している可能性を指摘し、植物学分野の測定データを用いて、この仮説の妥当性を立証している。この「膨圧による軸方向張力」と「自重による体積力」を用いた自重座屈の発生規準は、分類が曖昧であった竹のような植物も含め、木本植物と草本植物を明快かつ簡潔に分類可能なものである。

第6章は結論であり、本論文の総括を示し、今後の展望および課題について述べている。

これを要するに、本研究は、重力に起因する不安定現象である「自重座屈問題」の観点から、植物の省材料で高性能な構造形態の知恵を工学の言葉で取り込み、その過程で重い柱の設計に資する座屈理論を開発しただけでなく、植物の形状則をはじめとする生態学的知見を解明したものであり、材料力学分野および構造力学分野の発展、応用性の拡張において、貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。