



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Transportation Network Optimisation during Exploratory Migration in Physarum polycephalum [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Schenz, Daniel Thorsten
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第13606号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74322
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Daniel_Thorsten_Schenz_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(生命科学) 氏 名 SCHENZ Daniel Thorsten
(ダニエル トルステン シェンツ)

審査担当者	主査	教 授 中 垣 俊 之
	副査	教 授 芳 賀 永
	副査	准教授 佐 藤 勝 彦
	副査	准教授 上 田 肇 一 (富山大学大学院理工学研究部)

学 位 論 文 題 名

Transportation Network Optimisation during Exploratory Migration in *Physarum polycephalum*
(モジホコリの探索移動中の輸送網効率化)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

輸送ネットワークは、動物の血管系、植物の維管束系、真菌類の菌糸系など様々な生物システムに見られ、体内の物質輸送や情報交換を可能にしている。このネットワークが、体の形や成長に応じてどのように形成され、またどのような機能特性を持つかは、基礎生物学的に最も重要な問題の一つである。近年、人間社会の交通網が、粘菌 *Physarum polycephalum* の変形体の作る輸送ネットワークと予想外の類似性を持つことが解明され、特にその共通の形成機構として流量強化則(流れの活発な流路は成長し、逆に流れが活発でない流路は衰退する)が浮き彫りにされ、それに基づく数理モデルによりネットワーク形成現象が再現された。これにより、粘菌をモデル生物として、生物輸送ネットワークの研究が進められるようになった。しかしながら、これまでの研究では、与えられた環境下でほぼ定常状態に落ち着いた状況を対象にしてきたが、他方、体の成長や運動によって生じる大変形を伴うような非定常状況を対象にすることは、全くできていない。

本論文は、このような現況において、粘菌がある形状の空間を自由に進展しながら体の形を大きく変える時、輸送ネットワークがどのように体形もしくは空間形状に適応して張り巡らされるかを、実験と数理モデリングを併用して研究したものである。この問題を解き明かすために、著者は独自の実験系を考案した。すなわち、粘菌がジグザグに折れ曲がった等幅通路を移動する際に、まだ見ぬ空間へと伸展しながら体のどこに、またどのように輸送管を構築するかを評価するのである。この管の経路、特に主たる管の経路を最短性（もしくは経済性）と空間の被覆性（もしくは活用性）との相反する二つの機能指標で定量評価した。この機能性評価の枠組みは独自のものであり、輸送ネットワーク問題一般に広く適用可能なものである。その評価の結果、二つの機能性が互いにトレードオフしており、輸送ネットワークは体型変化の最中にも多目的に最適化されていることが明らかになった。これは、生物輸送ネットワークの持つ動的な多目的最適化能力の実験的な証拠として注目に値する。

さらに、この動的な多目的最適化の仕組みについて、特に粘菌の問題解決法（より具体的にはアルゴリズム）についての解明を試みた。その方法論は、実験観察に基づいた数理モデリングであった。従来の流量強化則モデルの運動方程式に加えて、粘菌の伸展（移動、変形など）に関する細胞運動モデル方程式を導入し、両者のカップリングにより、動的な多目的最適化輸送ネットワークが再現されることを突き止めた。この数理モデリングでわかったことは、両者の運動の時間スケールの重要性であった。すなわち、体の伸展による変形過程に関する時間スケールが、そ

の伸展端後方で起こる管形成過程の時間スケールと比べて10倍ほど遅いことが、最適な管経路を実現する鍵であることを突き止めた。

この成果は、輸送ネットワーク全体の有する幾何学的形状に関して、外的環境に適応した可拡張性の特質と機構を初めて解明したものであり、粘菌のみならず生物輸送ネットワーク全般にわたって波及効果を期待できるものである。また、独自の研究の方法論を構築し、実験生理学、特にマクロスケールの実験と、数理モデリングという大きく異なる二つの方法論を融合させた点は、学際的な生命科学の発展が強く要請される今日の時代にあって、特に高く評価できる。

以上により、著者は、北海道大学博士（生命科学）の学位を授与される資格あるものと認める。