HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Information Dynamics for Complex Ecosystem Prediction and Design [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	李, 杰
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14627号
Issue Date	2021-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/82426
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Jie_Li_review.pdf, 審査の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　氏名　李 杰

審査担当者　主　査　教　授　大鐘 武雄
副　査　教　授　齊藤 晋聖
副　査　教　授　坂本 雄児
副　査　Matteo Convertino （令和 3 年 3 月 31 日まで本学大学院情報科学研究院准教授）

学位論文題名

Information Dynamics for Complex Ecosystem Prediction and Design
（複雑生態系の予測・設計に関する情報ダイナミクス）

複雑ネットワーク理論は生態系要素間の関係を体系化する理論である. 複雑ネットワークを用いて生態系をモデル化する第一義は, 要素間の因果関係を導出することにある. 第 1 章では, 複雑ネットワークと因果推論に関して文献をもとに概説する. 実際の生態系で真の因果関係を推論することは難しい. 提案する OIF (Optimal Information Flow) モデルは因果的な情報フローを用いて予測や定量化を図ることを目的としている. 第 1 章の末尾では, その概要と以降の構成について述べている.

複雑生態系ネットワークについて推論する場合, 因果的な相互作用を検出することが最も重要である. CCM (Convergent Cross Mapping) はこの点において大きな進歩をもたらした. 第 2 章では提案する OIF モデルの双方向因果性に対する推論能力を検討し, CCM と比較する. 数学モデル, イワシとカタクチイワシの温度に対する観測データ, 並びに, 多数の魚類生態系のデータを用いた比較では, OIF がより正確に生息数と生息パターンを予測できることがわかった. 特に, 相互作用と予測において高い精度と少ない変動をもたらした. さらに, 要素間の相互作用数として定義される実効 α-diversity の予測精度を最大化する最適しきい値を設定することで, 予測可能な因果的ネットワーク生態系において幅広い生態系情報を得ることに成功した.

人体の微生物叢は, 極めて多種類のバクテリア間の相互作用と変動性を持つ点で複雑な生態系であると言える. 第 3 章では, 過敏性腸症候群と人体中の微生物叢の複雑性との関係を解き明かす. 新しい情報理論ネットワークモデルに基づき, 微生物を健康なグループと不健康なグループとに分類した. 相互作用の多いトップ 10 の微生物は最も有害であった. このことは, ネットワークハブであるよりも各ノードからの流出情報量の和が重要であることを示している. 健康な微生物叢は, パレート生物多様性成長率が高く, 種の交代が少なく, 種の消失が少ない特徴を持つ. 以上のように, マクロな生態系の特性評価は, 公衆衛生, 個人の特性に合わせたプレバイオティクス・ポストバイオティクス治療や, 微生物叢工学に有用であることを明らかにした.

海洋生態系の持続可能性にとって, 魚類生態系は重要な役割を持っている. 地球温暖化は魚類生

態系に対して新しい問題をもたらした. 第 4 章では, 海水温度変化と魚類群の関係について検討する. ここでは, 魚類群の解析のため, 海水温を 5 つの範囲: 10 ℃以下, 10〜15 ℃, 15〜20 ℃, 20〜25 ℃, 25 ℃以上に分け, 魚種の関係独立性を OIF モデルを用いて解析し, 海水温で異なる相互作用を再構成した. その結果, 10 ℃以下や 25 ℃以上ではあるノードにリンクが集中するスケールフリーであるのに対し, 15〜20 ℃では魚類群が局所的な持続可能性からグローバルな持続可能性に移行したことがわかった. 魚種個々においてリンク顕著性と流出情報量を検討した結果, 固有な種は流出情報量が多くリンク顕著性が高いこともわかった. これらの検討結果は海洋生態系を持続する上で科学的検討に基づく漁業方針策定に有効である.

第 5 章は本論文を総括している. 第 2 章から第 4 章までの結果は, 生態系の情報ダイナミクスに関する方法論的かつ各応用例固有の知見をもたらした. その結果, 複雑な生態系は個々のレベルで検討するだけでなく, 系全体の情報ダイナミクスについても重要であると言える. 提案した OIF モデルは, 情報ダイナミクスを理解する上で, また, 生物多様性と生息数における集団的振る舞いを予測する上で極めて有用である. また, 生態系だけでなく, 他の多くの複雑系においても利用可能であることを示している.

これを要するに, 著者は複雑生態系の予測・設計において, 情報ダイナミクスに基づく OIF モデルを新たに提案し, その有用性について明らかにした. この成果は, 生態系だけでなく, 他の多くの複雑系においても利用可能であり, 複雑系科学の分野に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 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.