



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	複雑ネットワークにおける長距離次数相関 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	藤木, 結香
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14427号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81182
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuka_Fujiki_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 藤木 結香

審査担当者 主 査 教 授 矢久保 考介
副 査 教 授 明楽 浩史
副 査 教 授 折原 宏
副 査 教 授 根本 幸児 (理学研究院)

学位論文題名

複雑ネットワークにおける長距離次数相関
(Long-range degree correlations in complex networks)

我々の身の回りに遍在する複雑系は、ネットワークとして抽象化することができる。こうした現実ネットワークの多くは強い次数不均一性を有しており、ノード対次数間の相関(次数相関)がネットワーク構造やネットワーク上のダイナミクスに強い影響を与えている。隣接ノード間の次数相関に関しては、これまでに系統的な研究が行われており、ネットワークの構造的性質やネットワーク上の諸現象と密接に関係していることが解明されている。一方、一般的な次数相関が隣接ノード間の次数相関によって完全に記述されるわけではないことは明らかであり、隣接以上に離れたノードの間の次数相関である長距離次数相関がネットワークの諸性質に強い影響を与えることが指摘されている。そのため、長距離次数相関への関心が近年急速に高まっているが、既存研究では長距離次数相関の特定の側面だけが定量化されているに過ぎないため、ネットワーク構造やダイナミクスと長距離次数相関との関係を系統的に研究することが不可能であった。そのため、複雑ネットワークにおける長距離次数相関を一般的に解析するための数学的手法を提供することは急務の課題となっていた。

本論文で著者は、一般的な長距離次数相関を記述するためのフレームワークを構築し、その枠組みの中で複雑ネットワークの長距離次数相関を解析するための数学的な手法を提案した。著者は、まず任意の長距離次数相関を記述することのできる5つの確率関数を導入した。その上で、与えられたネットワークにおける長距離次数相関の有無を判断するため、いかなるスケールにおいても次数相関が無いネットワーク(長距離無相関ネットワーク)に対する5つの確率関数の関数形を解析的に導出した。これを用いることで、与えられたネットワークに長距離次数相関が有るか否かを判別することが可能となる。さらに著者は、隣接相関の累積によって見かけ上の長距離次数相関(外因性長距離次数相関)が生じ得ることを示した。長距離次数相関とネットワーク特性の関係を理解するためには、このような外因性長距離次数相関と長距離に及ぶ直接的相関(内因性長距離次数相関)を区別しなければならない。この目的のため、隣接次数相関以外には完全にランダムな隣接相関ランダムネットワークに対する確率関数を解析的に導出している。与えられたネットワーク G に対する確率関数と、 G と同じ次数分布および同じ隣接次数相関を有する隣接相関ランダムネットワークに対する確率関数を比較することで、 G の長距離次数相関が内因性の相関か否かを判断することが可能となる。著者は、長距離次数相関の有無や外因性・内因性の程度、次数相関の種類を定量判別するための幾つもの新しい指標も提案しており、これらの指標を利用することで現実世界の

多様な複雑系を記述する多数のネットワークの大多数が内因性の長距離次数相関を有していることを明らかにしている。

本論文は全7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。第1章は序論であり、本論文の主題である複雑ネットワークにおける次数相関に関する研究の背景と現状、及び既存研究の問題点を概説している。第2章では、複雑ネットワークの構造的性質とそれらの特徴づける特徴量について説明している。第3章では、隣接次数相関がネットワーク上の諸現象に与える影響を調べた従来研究に関して詳しく説明されている。第4章では、隣接次数相関だけではネットワークの大域的構造特性を特徴づけることができないことについて詳解している。特に、スケールフリー性とフラクタル性を併せ持つネットワークに見られるハブどうしの長距離にわたる反発相関が隣接次数相関では説明され得ないことを示した著者の研究について詳しく述べられている。第5章では、本論文の主題となる長距離次数相関の一般的な定式化が行われている。長距離次数相関を特徴づける5種類の確率関数の導入と長距離無相関ネットワークに対する確率関数の導出もここで行われている。第6章では、外因性長距離次数相関と内因性次数相関とを識別する手法が提案され、長距離次数相関のより詳細な性質に関する議論が展開されている。この目的のため、隣接相関ランダムネットワークに対する確率関数が解析的に計算されている。第7章は結論であり、複雑ネットワークの長距離次数相関に関して著者が得た知見をまとめるとともに、今後の課題についても述べられている。

これを要するに著者は、我々の身の周りに遍在する複雑ネットワークが有する長距離次数相関を一般的に記述する数学的枠組みを構築し、それを用いて現実世界の複雑系を解析する新たな手法を創出したものであり、応用物理学に対し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あるものと認める。