

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	複雑ネットワークの成長モデルの構築とその応用
Title(English)	
著者(和文)	三浦航
Author(English)	Wataru Miura
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9419号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高安 美佐子,小野 功,樺島 祥介,出口 弘,寺野 隆雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9419号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	三浦 航	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	高安 美佐子	准教授	寺野 隆雄	教授
	審査員	小野 功	准教授		
		榊島 祥介	教授		
出口 弘		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「複雑ネットワークの成長モデルの構築とその応用」と題し、全五章から構成されている。

第一章「序論」では、複雑ネットワークの優先的成長モデル、および、以下でのモデル構築に必要な凝集現象の既存研究を概観し、本研究における研究手法の特徴を述べている。また、本研究の目的が、既存の成長モデルを含む、凝集現象と非線形な優先的接続に基づいた複雑ネットワークの一般的成長モデルの構築と、その応用として、企業間取引ネットワークのデータとの整合性について議論することであると述べている。

第二章「ノードの凝集を考慮した一般的成長モデルの構築」では、まず、ノードの生成・消滅・凝集を考慮し、非線形な優先的接続の効果を取り入れた一般的な複雑ネットワークの成長モデルを構築している。本章では、モデルを特徴付けるパラメータに関する説明を行い、優先的接続が線形な場合に焦点を当てて述べている。次に、本研究のモデルと既存の成長モデルとの対応関係について述べている。さらに、本章で導入した一般的成長モデルは、既存の成長モデルを包含しており、パラメータを調整させることで、既存モデルの統計的性質が再現できることを示している。本章で構築した成長モデルは様々なパラメータを含んでいるが、複数のパラメータの組み合わせについて、マスター方程式を導出して理論的・数值的に解き、また、シミュレーション結果と理論解が一致することを確認することにより、各パラメータの性質を明らかにしている。

第三章「ノードの凝集を考慮した非線形な優先的成長モデル」では、前章で構築した一般的成長モデルにおいて、優先的接続が非線形な場合について解析している。まず、エアロゾルなどの凝集現象の既存研究について俯瞰し、ゾルゲル転移が起こる数理的条件を確認している。次に、前章で導入した非線形な優先的成長モデルのシミュレーションを行い、優先的接続の指数を変化させることで、この指数が 1 より大きくなる場合には、複雑ネットワーク上の特定のノードにリンクが集中するゾルゲル転移が起こることを確認している。さらに、モデルのマスター方程式からゾルゲル転移が起こる条件式について求め、優先的接続の非線形性とゾルゲル転移の関係性について明らかにしている。凝集効果だけではなく、系への注入効果によってもゾルゲル転移が起こりうることを指摘している。

第四章「複雑ネットワークの成長モデルの応用」では、前章までに構築し、統計的性質を定量的に明らかにしてきた成長モデルを、現実のネットワークに応用することを試みている。応用対象のネットワークとして企業間取引ネットワークを挙げ、まず、企業間取引ネットワークの既存研究について概観している。次に、データ解析に用いるデータの説明を行い、企業間取引ネットワークを構築した後に、ネットワークの次数として取引相手数の分布、ノードの寿命としての企業の年齢分布、次数と年齢の非線形な関係、優先的接続性などを詳細に分析している。その上で、本研究の成長モデルが、パラメータを調整することで、こうした企業間取引ネットワークの基本的な統計量を概ね再現できることを示している。さらに、現実のネットワークにおいて、2 リンク構造の特徴を抽出する HITS アルゴリズムの解析を行い、オーソリティ・ハブ度の非対称性を観測している。共引用行列と書誌結合行列の性質を分析することにより、この非対称性が、建設業の大企業とその下請けに当たる企業との非対称な取引関係性に起因していることを明らかにしている。また、建設業だけに限定すると優先的接続も非線形であることを確認している。観測された建設業の統計的性質からモデルのパラメータを推定し、さらに、成長モデルに入次と出次の非対称性を導入することで、2 リンク構造の特徴であるオーソリティ・ハブ度の分布も再現できることを確認している。

第五章「結論」では、本論文の研究成果を要約し、今後の展望を述べている。

以上を要するに、本論文は、まず、既存の複雑ネットワークの成長モデルに、新たに凝集の効果と非線形な優先的接続を組み込むことにより、既存の成長モデルを特殊な場合として含む一般的な成長モデルを構築している。次に、非線形な優先的接続の効果により、モデルがゾルゲル転移を起こすことを確認し、マスター方程式の数理的考察から、この転移が既存の凝集現象とは異なるベキ指数を持ちうることを確認している。さらに、この成長モデルを現実のネットワークに適用し、現実のネットワークの特性と矛盾しないような、一般性の高い数理モデルであることを確認し、その過程で企業間の取引関係に関する研究に新しい視点を切り拓いている。本論文は、数理モデルの構築、データ解析、統計的な特性の発見など、自然科学の研究手法に基づいた研究であり、理學上貢献するところが大きい。よって、博士(理学)の学位論文として十分な価値があると認められる。