

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	複雑ネットワーク上の非線形輸送の解析とモデル化
Title(English)	
著者(和文)	田村光太郎
Author(English)	Koutarou Tamura
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10101号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高安 美佐子,樺島 祥介,寺野 隆雄,小野 功,瀧ノ上 正浩
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10101号, Conferred date:2016/3/26, 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	田村 光太郎		
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	審査員	瀧ノ上 正浩	准教授
	審査員	樺島 祥介	教授			
		寺野 隆雄	教授			
		小野 功	准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「複雑ネットワーク上の非線形輸送の解析とモデル化」と題し、全6章から構成される。

第1章「複雑ネットワーク科学の背景」では、複雑ネットワーク科学の研究背景、および、本研究の目的を明らかにしている。

第2章「企業データと企業間取引ネットワークの構成」では、本論文で用いる日本企業約100万社のデータを解説している。当該データが日本企業のおよそ8割を収集していること、また、記載されている売上、従業員数、取引数や成長率の分布が他のデータに基づく既存研究と矛盾がないことを述べている。企業（ノード）間の取引関係（リンク）を有向グラフとして表し、複雑ネットワーク構造を特徴づける次数と企業の財務諸量の関係性を調べている。特に、全取引関係のうち、1%のみ計測されている取引金額のデータに注目し、企業間の取引ネットワーク構造や、取引に関わる企業の売上、従業員数などの関数として取引金額を推定している。その結果、企業間の取引金額は、仕入れ企業、販売企業のそれぞれの売上のべき乗の積で決まる重力型の非線形相互作用の式で近似できることを見出している。

第3章「非線形輸送モデルの提唱と理論解析」では、前章の非線形相互作用をもとに、企業間取引ネットワーク上の資金の流れの輸送モデルを導入している。このモデルでは、それぞれの企業において、他の企業に出て行く資金の量と、他の企業から入ってくる資金の量を取引ネットワーク上の非線形相互作用によって推定し、さらに、ネットワークの外部への資金の流出と外部からの流入を考慮し、その非線形輸送の定常状態を想定している。また、この非線形輸送方程式の持つ4つのパラメータの最適値をデータから推定している。そのパラメータを用いた輸送方程式を、企業間取引ネットワークの構造上で解くことによって、その定常解として、各ノードの売上が得られると述べている。その結果得られた売上の定常分布が、実際のデータの売上分布と良い精度で一致しており、各ノードの売上も精度良く推定できていると述べている。これによりネットワーク構造と輸送方程式だけから、各ノードの売上が求まると説明している。また、この非線形輸送方程式をユークリッド空間上での拡散方程式に連続体近似することで、線形な拡散現象に近い輸送となるパラメータ範囲があることを示している。

第4章「有向ネットワークのメインストリームの抽出」では、前述の重力型の相互作用がもたらす1つのノードから出るリンク間の取引金額に極端な格差がある点に注目している。典型的なノードに対しては、1本のリンクの取引金額が全体の8割を占め、その他のリンクは、小さな取引額になっていると述べている。本章では、1つのノードから出ている複数のリンクのうち、取引金額が最も大きいリンクをメインストリームと定義し、ノードからの出リンクのうち最も入次数の大きいノードにつながるリンクを残し、他のリンクは除去するという操作で、複雑ネットワーク上のメインストリーム構造を抽出する手法を提案している。これによって、与えられたループを含む複雑ネットワークから、樹状構造を抽出することが可能となり、あるノードへの流域の範囲やノードの階層性の特徴が抽出できると述べている。実データにこの手法を適用すると、製品を製造するための一連のプロセスに関わる企業群が抽出できることを例示している。また、企業間取引ネットワーク構造と抽出した構造の差異を極値分布理論により解析的に結びつけ、仮想的なネットワークモデルに基づき、この理論の妥当性を検証している。

第5章「非線形輸送の応用」では、企業間取引ネットワークの構造が変化したときの売上の変化を推定する方法を提案している。事例として、東日本大震災に注目し、被災した企業をネットワーク上から取り除いたものを被災後の企業間取引ネットワークとして定義し、被災前後のそれぞれのネットワークで輸送方程式をもちいて推定した売上の変化から、被災総額を推定している。企業の被災は直接被災、間接被災、孤立と分類できると述べ、被災による売上の増減は、全国の企業に及び、被災後に売上を減少させる企業のみでなく、増加させる企業も存在することを見出している。加えて、この被災前後においてシミュレーションの売上変動が大きい企業に関しては、実際の売上変動の増減と有意に相関を持っていることをフィッシャーの正確確率検定を用いて示している。また、もう一つの事例として都市型水害の被災シミュレーションを行い、都心の被災による売上の変動と波及について議論している。これらの結果から、災害の経

済被害の推定に、本輸送モデルがある程度有効である可能性を示しているが、さらなる検証が必要であると付け加えている。

第6章「まとめと今後の展望」では、本研究を総括するとともに、今後の研究の展望を述べている。

以上を要するに、本論文では、複雑ネットワーク科学の視点から企業間取引ネットワークの構造に注目し、データから観測された相互作用をもとに非線形輸送モデルを構築し、その数理的な特性を解析している。本研究で得られた知見は、複雑ネットワーク構造上での非線形輸送の問題として、他の物理現象などへの発展性が期待でき、理学における貢献が大きい。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として、十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。