T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	知能システム科学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　理学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	田村　光太郎	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	高安　美佐子
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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、研究の背景からまとめまで全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の歴史と本研究に関連する理論の基礎をまとめた。また、本研究の目的を明らかにし、本論文の序論とした。

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 万社のデータを解析した。まず、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、売上、従業員数、取引数や成長率が他のデータに基づく既存研究と矛盾ない形で現れていることを確認した。当該データに特徴的な企業間の取引関係と取引金額データに注目し、企業間の取引関係をネットワークとして表した。特に、全取引関係の１％に記載がある本データ特有の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、従業員数や取引数などさまざまな量の関数を用いて取引金額を推定している。その結果、企業間の取引相互作用の表式を、売上のべき乗の積で決まる重力型の非線形な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して、企業間取引ネットワーク上の資金の流れを輸送現象として定式化した。提唱する輸送モデルは、ネットワーク上隣接する企業に重力型相互作用に基づいた資金の分配を行う。また、企業間取引ネットワーク内のやりとりでは表せないシステムの外部との取引を散逸や注入として記述した。この非線形輸送方程式の持つ 4 つのパラメータ最適値をデータから推定することで、企業間取引ネットワークの構造から売上の統計的性質を再現し、ネットワーク構造と売上の関係を説明した。本章では、物理学的には非平衡開放系の輸送方程式となるこの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た。

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極端な取引金額格差について注目した。本章では、取引金額が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流れのメインストリームを抽出する手法を提唱した。これによって、与えられた複雑ネットワークは、流域の範囲、中心、階層性をあらわにし、実データにおいては、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、樹状構造として抽出されることを例示した。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た。

第５章「非線形輸送の応用」では、企業間取引ネットワークが変化したときの売上の変化を推定する方法を提唱した。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、被災前後のネットワークでの推定売上の変化から、被災総額を推定した。企業の被災は直接被災、間接被災、孤立と分類でき、被災による売上の増減は全国の企業に及び、被災後に売上を増加させる企業も存在することを見出した。加えて、この被災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た。これを踏まえて、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た。これらの議論から、本モデルが被災推定に有効であると考えられるが、モデルの改善やシミュレーションの手続きなど、さらなる精度改善が必要であることを述べた。

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

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	知能システム科学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　理学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	田村　光太郎	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	高安　美佐子
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The thesis consists of six chapters.

In the first chapter we review general studies on complex network theory and fundamental theories that are important for this study. The aims and objectives of this study are presented.

In the second chapter we show the results of the data analysis. The data contain information of approximately one million Japanese firms with four million transaction relations. Annual transaction volumes are partially contained in the data. We define the interfirm trading network by transaction relations between pairs of firms and found the gravity interaction: the annual transaction volume between a pair of firms is proportional to the product of fractional powers of sales with asymmetric power exponents.

The third chapter introduces modelling of money transport on the interfirm trading network based on the gravity interaction. Adding injection and dissipation terms representing interaction with outside of the network, the master equation is derived as a set of nonlinear equations of sales at nodes in the network. The steady solution of this equation is numerically shown to be consistent with the real data implying that the sales are governed by the network structure.

In the fourth chapter we observe link weight disparity based on money flow intensity, and we introduce a general method to extract tree-like main flow structure from any complex network. This method is applied to the trading network and corresponding branch size distribution is observed to follow a power law.

In the fifth chapter we propose an application of this money flow model to estimation of sales. We evaluate change of sales in the case of natural disasters that break the trading network structure. In order to validate our method, we simulate an event of a past disaster and check its validity. Then, we apply the method to a possible future disaster and estimate its economic impact.

In the final chapter, we summarize our results and discuss possibilities for further developments.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).