

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860017

研究課題名(和文) 複雑ネットワーク解析とシミュレーションによるサプライネットワークの頑健性の検証

研究課題名(英文) An empirical study on supply network robustness based on complex network analysis and simulations

研究代表者

鬼頭 朋見 (Kito, Tomomi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50636107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：自動車産業に着目し、自動車部品を製造するサプライヤ間やサプライヤと自動車製造会社間の部品供給・調達関係サプライネットワークについて、大規模な実データを収集し、構造解析をおこなった。本研究により、部品毎に特有の技術的特徴や市場の状況、企業間の資本関係などがネットワーク構造や時間変化に反映されている事が定量的に示された。また、ネットワークの構造とその頑健性との関係性、およびサプライヤ個々の生存戦略と全体の頑健性との関係性などについても有用な示唆を得た。サプライネットワークの時系列を捉えた定量研究は過去に殆ど例がなく、本研究の成果は今後の当該分野の発展に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：This study constructed and quantitatively analyzed a large-scale dataset on supply networks comprised of automobile parts suppliers and car manufacturers. The findings include that the network structures and their temporal transitions reflect various factors, such as products' technological characteristics, market situations and firms' financial interdependencies. The analysis has also brought implications on the interdependencies between the network structures and their robustness, as well as between firms' survival strategies and the entire network's robustness. There has been to date very little quantitative research that captured supply networks' temporal transitions, and therefore this study will contribute to the future development of this field.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：複雑ネットワーク サプライネットワーク 実データ システム設計 頑健性 シミュレーション

## 1 . 研究開始当初の背景

東日本大震災によって僅か数社の自動車部品製造業者が操業停止になった際に、世界中の自動車生産が大打撃を受けた。この事からも、供給関係が織り成すサプライネットワーク世界中に広がる複雑ネットワークであることが分かり、その構造を定量的に理解する事は社会的にも重要な意味を持つ。しかしこのような研究例は未だに非常に少ない。

大規模複雑なネットワークデータから有用な知見を定量的に導出するための理論/手法体系が、複雑ネットワーク科学である。複雑ネットワーク科学は、インターネットや食物連鎖、遺伝子ネットワーク等、様々な実世界ネットワークに共通した構造上の特徴が見いだされたことで注目を集め、その後も様々な分野での実事例の分析と、数理モデルを用いた定量化の両側面から発展を遂げてきた。特に、ネットワークの成長/衰退のメカニズムの解明、外的な攻撃に対する頑健(脆弱)性と構造の関係、サブグループやコミュニティの検出等の研究は進んでおり、多くの定量指標が提案されている。これらを拡張し、サプライネットワークデータに適用する事で、

- ・ 市場の国際化や多様化に伴う、自動車部品の供給構造の時間的変遷とその要因の解明
- ・ 災害や経済状況の悪化等が引き起こすサプライマネジメントリスクの同定と、それらのシナリオ下でのネットワークの頑健性の検証および向上の方法の提案が可能になると考えられる。

## 2 . 研究の目的

本研究は、日本の製造業の競争力の源であるサプライネットワークを、大規模災害や市場変化など多様なリスクに対してより頑健で適応的なものとするを旨とし、現状の問題の理解とそれを打開する設計論の提案をおこなうものである。複雑な供給構造とそのダイナミクスを捉える大規模実データを収集し、そのデータを、主に複雑ネットワーク解析の手法を用いて定量的に分析する。さらに、様々なリスクのシナリオを想定し、実データを元に再現したネットワークに適用したシミュレーションをおこなうことで、頑健性向上のための示唆を得る。

## 3 . 研究の方法

まず、自動車産業のサプライネットワークの実データを収集する。構成企業間の資本関係など、付随情報も収集する。そのデータを元に、コンピュータ上にサプライネットワークの構造を再構築し、複雑ネットワーク理論を用いて構造解析をおこなう。特に、構造に影響を与えるファクターが何であるか、構造の時系列変化は、生態系のように持続可能性を維持するようなパターンをたどっているかなどに焦点を当てる。また、個々の企業が如

何に過酷な市場状況の中で生存しているかという点にも着目し、生存戦略シミュレーションもおこなう。

## 4 . 研究成果

本研究ではまず、実データの収集をおこなった。(株)アイアールシーが2、3年毎に発行する、自動車部品200品目の生産流通調査の資料を用い、そこからサプライヤーとアセンブラの部品の供給関係の構造を抽出した。自動車部品200品目それぞれについて、2002、2005、2008、2010、2012年の5カ年全ての情報を収集した。

さらに、構築した供給関係データベースの中に含まれる全企業について、資本関係や買収・倒産など、様々な付随データの収集をおこなった。

次に、データベースからサプライネットワーク構造を再現するシミュレータを作成した。本シミュレータを用い、まず部品毎に供給関係構造が如何に異なるかを検証した。その結果、部品毎の技術的な特徴や価格、汎用性などが、その取引構造に反映されている事が分かった。過去の従来研究ではそもそも、供給関係の実構造の時系列変化を捉えたものが殆ど存在しない上に、一般化したモデルを用いている研究事例においても、このような部品毎の差異は考慮されていなかった。よってこの発見は一つの研究成果であると言える。

また、汎用部品などのオープンな市場では、その構造変化は自然界の生態系のそれに似ている事が分かった。本研究では、生態学で議論されているネステッドネスと呼ばれる生物多様性を維持する系の持続性を測る指標を導入した。オープンな市場ではこのネステッドネスの値が高く、また値が上昇する方向に構造が変化し、安定する傾向が見られた。一方で、現在まだ競争・淘汰の過程にある市場では、このネステッドネスの値が変動している事も分かった。いずれは安定に到達するということが示唆される。

しかしながら一方で、このようにサプライネットワークを生態系のような捉え方で測るのは安直であるという示唆も得られた。供給関係は、企業間の資本関係に基づいて決められている事も多いようであり、すなわち本来の構造としては不安定でも、その他の事情により関係性が「安定」状態になっているケースが多々見られた。また、このような傾向は特定の部品に関して見られた。よって、部品特性とこれらの要因の間にも相関がある事が分かった。

これを踏まえ、様々なリスクを想定した。例えば需要低下による市場収縮の場合、汎用部品のような市場においては、ほぼ構造に影響がないことが示唆された。一方で競争の激しい市場では、淘汰が進み生存出来る企業がより限られる事になる。

一方で、ある部品が消滅したりしても、殆

どの企業は複数の製品を製造しており、生存し得る事が分かった。しかしながら倒産した企業もあり、これらの企業は競争の激しい製品のみを専門に作っていたことが分かった。

この事から、供給関係とサプライヤ個々の生存戦略の関連性が伺える。これを踏まえて本研究では、さらにサプライヤの新規参入戦略に関するシミュレーションをおこなった。これにより、サプライヤが新たな製品市場に参入する場合に、どのような関係性を構築すれば自身が生存しやすくなり、かつ慧全体としても持続し得るのかについての示唆を得た。

まとめると、本研究により、部品毎に特有の技術的特徴や市場の状況、企業間の資本関係などがネットワーク構造や時間変化に反映されている事が定量的に示された。また、ネットワークの構造とその頑健性との関係性、およびサプライヤ個々の生存戦略と全体の頑健性の関係性などについても有用な示唆を得た。

サプライネットワークの時系列を捉えた定量研究は過去に殆ど例がなく、本研究の成果は今後の当該分野の発展に貢献するものである。研究代表者は、すでに別のサプライネットワークのデータを収集・解析しており、これらと今後合わせることで、さらに包括的な分析が可能になるとも考えている。

また、頑健性の概念自体は様々な分野で現在注目されている。本研究で収集した詳細なデータを利用して、新たな頑健性の指標を設計することで、他の分野にも適用可能な新たな概念の創出に寄与する可能性もある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) **鬼頭朋見**:『実世界サプライチェーンの構造的頑健性: 複雑ネットワーク・アプローチ』情報処理学会論文誌「数理モデル化と問題解決」, Vol.6, No.2, pp.174-181, 2014. (査読あり)
- (2) **Tomomi Kito**, Kanji Ueda: “The implication of automobile parts supply network structures: a complex network approach,” CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2014 (to appear in August, DOI: 10.1016/j.cirp.2014.03.119). (査読あり)
- (3) **Tomomi Kito**, Alexandra Brintrup, Steve New, Felix Reed-Tsochas: “The structure of the Toyota supply network: an empirical analysis,” Organization Science (under review), 2014. (<http://ssrn.com/abstract=2412512>) (査読あり)

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) **Tomomi Kito** and Kanji Ueda: “The implication of automobile parts supply network structures: a complex network approach,” The 64<sup>th</sup> CIRP General Assembly, Nantes, France, 24<sup>th</sup> -27<sup>th</sup> August 2014 (accepted). (査読あり)
- (2) **Tomomi Kito** and Steve New: “The emergence of structural heterogeneity: an empirical analysis of auto-parts supply networks in Japan,” The 21<sup>st</sup> EurOMA Conference, Palermo, Italy, 22<sup>nd</sup>-24<sup>th</sup> June 2014 (accepted). (査読あり)
- (3) **鬼頭朋見**:『実世界サプライネットワークのレジリエンス: 複雑ネットワーク・アプローチ』日本マーケティングサイエンス学会マーケティング・ダイナミクス研究部会, 東京, 2014年1月23日. (招待講演)
- (4) Steve New, Felix Reed-Tsochas, **Tomomi Kito** and Alexandra Brintrup: “Connecting to resources: analogies between dark networks and industrial systems,” The Annual Cambridge International Manufacturing Symposium, Cambridge, UK, 19<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> September 2013. (査読あり)
- (5) Kanji Ueda, **Tomomi Kito**: “System theory-based approach for sustainable value creation,” UK-Japan Industrial Sustainability Workshop, The British Embassy, Tokyo, 19<sup>th</sup> July 2013. (招待講演)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鬼頭 朋見 (Kito Tomomi)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：50636107

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：