

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月10日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01217

研究課題名(和文) 企業ネットワーク全体の構造に基づいた災害・政策のリスク評価

研究課題名(英文) Evaluation of disaster risk and policy based on nation-wide supply chain

研究代表者

井上 寛康 (Inoue, Hiroyasu)

兵庫県立大学・シミュレーション学研究所・准教授

研究者番号：60418499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はサプライチェーンデータを用いて、個々の経済主体へのショックが全体にどう波及するか、コントローラビリティ論を用いたリスクの分析、の2つを主に行った。個々の経済主体へのショックについて重要な発見は、個別企業のショックでありながら、その波及の規模はべき分布になるということであった。コントローラビリティ論についての重要な発見は、産業ごとに他の産業を介して影響を及ぼすことができるかどうかの企業の割合が全く異なるということであった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では日本を網羅するサプライチェーンデータを用いて、個別企業に与えられたショックがどれぐらいのリスクを持ちうるか知る、また企業が他の企業から影響を受けるかどうかをトポロジーから求める、ということを行った。現在は金融を中心とした経済のリスクが注目されているが、特に有事の際にはサプライチェーン、すなわち実体経済の動態の方が重要である。これまでデータがなかったためにそのような研究は行えなかったが、本研究ではサプライチェーンのリスクという観点から分析を進めたことに意義がある。また本研究の発見は政策の立案にも重要な示唆を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：I mainly published two papers. They are about the idiosyncratic shock and supply-chain networks and about the controllability of supply-chain networks. The idiosyncratic shock examines how consecutive productions in firms occur when triggered by demand shocks, which can be rephrased by control of the economy or fiscal policy. We use the production-inventory model and observed data that exhaustively include a production network of Japanese firms. Mainly we found that the size of consecutive productions follows a power law. Regarding controllability, we investigate a firm production network observed exhaustively in Japan and determine which firms should be directly or indirectly controlled using the framework of controllability. We mainly obtain the following results that each industry has diverse share of firms that should be controlled directly or indirectly. The configurations of the shares in industries are different between demand and supply sides.

研究分野：ネットワーク科学

キーワード：企業 ネットワーク 災害 政策 リスク サプライチェーン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

第四期科学技術基本計画で繰り返し述べられているように、日本企業はグローバルな競争にさらされ、経営は厳しさを増している。また日本の産業競争力は改善の兆しを見せず長期的低落傾向にある。特に戦後の日本を支えてきた製造業は新たな競争の方策を見つけられず衰退が著しい。さらに同計画は東日本大震災の教訓を踏まえ、震災に対応できる産業システムの必要性も述べている。しかしながら同計画は、これら産業競争力や産業における震災の問題について、具体的に革新的な提案を欠いている側面がある。

ところで、企業の外部要因としてネットワークの重要性が近年強調されている。上記科学技術基本計画においてもやはりネットワークはキーワードとして繰り返し現れるが、施策とその評価方法について具体的に提示されているとは言い難い。具体的施策を提示する困難さは、ネットワークが持つ複雑性に由来すると言える。個々には理解可能なミクロな関係性が、想像を超えたマクロな挙動として立ち現れることによる扱いの難しさは、ミクロとマクロで経済学が切り離されていることと同様の理由による。このことを施策の観点から考えれば、政策としてある産業・地域に資金を投下したときにどのような波及効果・レバレッジが期待できるのか、あるいは震災等不測の事態での連鎖的機能不全はどのような産業・地域を重点的に考慮することで対策できるのか、といった問題となる。そしてこれら問題の背後にはネットワークが持つ複雑性がある。他の例として、リーマンショック以降特に金融の分野で強調されているマクロブルーデンスは、ネットワーク全体の振る舞いが想像を超えるものであるため、個別ではなく全体を監視する必要性を指している。ところが国内だけで百万を超える企業間の取引関係や数万社間の株式所有関係のネットワークの中に企業は存在している。このような大規模ネットワークが、全体としてどのような振る舞いをするのか把握するのは相当困難な問題である。

一方で工学においては、有向ネットワーク上でコントロールするノードを決めたときに、ネットワーク全体がコントロール可能か判定するという課題がある。このコントロールするノードというのは、上述の文脈における、政策的に影響を与えるべき企業と読み替えることが可能である。すなわち、このコントロールの概念を大規模企業ネットワークに適用することで、政策的に影響を与えるべき企業群を探ることにつながる。しかしながら、その探索空間は指数オーダー $O(2^N)$  ( $N$  はノード数) であるため、Linらのコントロールの判定は実用性がなかったといってよい。ところが最近になりコントロール理論 (Controllability theory) として、この探索のオーダーを多項式オーダー $O(N^2/L)$  ( $L$  はリンク数) に下げることが成功した。これを応用すれば、どの企業に影響を与えるべきかがネットワーク全体の構造から導かれる。

### 2. 研究の目的

本研究は、ネットワーク全体の構造から影響を与えるべき企業群を求めることで、政策立案や不測の事態への対応に資するものである。本研究では日本企業の網羅的取引データ、株式所有データを主に用いる。

経済政策への貢献として、企業ネットワーク全体の振る舞いに影響を与えるには、どのような特徴を持つ企業に影響を与えるべきかを明らかにする。具体的には産業別、地域別、規模別、ネットワーク上のトポロジカルな特徴等、数多くの企業の属性と影響を与えるべき企業との間の関係性を明らかにする。

危機管理政策への貢献として、企業あるいは企業間の関係が消失したときに、影響を与えるべき企業群は変化するのか、あるいはどのような企業あるいは関係を優先的に復旧すべきかを明らかにする。この課題に対しては仮想的なシナリオに基づいてシミュレーションを行うことでアプローチする。またこの課題においては被災企業のデータを用いて実証的な検討も行う。

経営戦略への貢献として、他の企業との関係性を変更することへの評価をネットワーク全体の構造から明らかにする。企業が対外的な関係を変える場合の波及効果については重要性が認識されながらもこれまでほとんど実証がされてこなかった。

上述の研究課題は個別のネットワークを評価することでも可能であるが、ノードである企業が消失する場合はいずれのネットワークにも影響を与えるため、複数のネットワークを考慮した総合的なリスクを測る手法を確立する。

### 3. 研究の方法

#### 1. ネットワークデータベース構築

本研究では、大規模な関係性データをもとにネットワークを構築し、影響を与えるべき企業を算出することを基本的なアプローチとする。本研究で扱う大規模データは主に企業間の取引データおよび株式所有データである。前者は異なる年度 (2006, 2011, 2012, 2013 年) で収集されている。それぞれ約 100 万の企業と約 500 万の取引関係が含まれている。提供元は東京商工リサーチである。後者についても異なる年度 (1985 ~ 2006 年) で収集されたものである。それぞれ約 4 万の企業と約 30 万の株所有関係が含まれている。提供元は東洋経済新報社である。これらをもとにネットワークを構築する。これらのネットワークには先行研究があり、前者の次数分布はべき分布、後者はべき関数と指数関数を組み合わせたような次数分布をしていることがわかっており、正規分布等の一般的な分布を仮定した分析手法が適用できないことを示している。

## 2. Controllability の計算

構築された複数のネットワークそれぞれに対して影響を与えるべき企業群を計算 (Controllability の計算) する。ところで GitHub には、オープンソースで公開されているプログラムとして netctrl がある。Controllability に関する先行研究は主にこのプログラムを利用している。影響を与えるべきノード群は一意に決まるものではないが、この netctrl はそのうちの一例を示すに過ぎない。一方で本研究では、Controllability theory の原著者である Y. Liu が研究協力者である。影響を与えるべきノード群をより包括的に把握することにより、ノードおよびリンクの特性をより高度に得るプログラムを Liu が提供する。その具体的な特性とは、ノードについては、影響を与えるべきノード群への選定されやすさ、あるいはそのノードの消失がネットワーク全体に与える影響などであり、リンクについては、その消失がネットワーク全体に与える影響などである。これらは前述の netctrl プログラムでは計算できない内容である。また現在もなお発展中である Controllability theory について、継続的な助言を Liu が本研究に与えることも期待できる。

続いて、包括的に把握された影響を与えるべきノード群が、企業の属性とどのような関係にあるのか分析を行う。ここでは1つの手法として回帰分析を用いる。表1はその結果の例である。ここでは、取引関係のネットワークから、連結した小規模なパイロットデータを作成した。このデータを上述の独自のプログラムに与え、その結果と企業の属性との間で回帰分析を行った。被説明変数は、その企業が取り除かれた場合に影響を与えるべき企業がより必要となるか (不安定さを増すか) のダミー、説明変数は産業、固定効果として企業のサイズ、地理的な位置をとっている。この結果からわかるのは、不測の事態により企業が消失した場合、どの産業の企業の消失が政策的な負担となるか (コントロールの負荷を上げるのか) を表している。結果から、特に鉱業の影響が大きいこと、また医療福祉業、保険業、教育業などの消費者向け産業は、政策的に即座に痛手とならないことがこの分析から明らかになっている。このような分析を広範かつ精緻に行う予定である。

## 4. 研究成果

Based on the above objective and research plans, I mainly published two papers. One paper is about the idiosyncratic shock and supply-chain networks. The other is about the controllability of supply-chain networks. Both studies are in line with the objective and plans.

The idiosyncratic shock examines how consecutive productions in firms occur when triggered by demand shocks, which can be rephrased by control of the economy or fiscal policy. We use the production-inventory model and observed data that exhaustively include a production network of Japanese firms. We obtain the following results. (1) The size of consecutive productions follows a power law. (2) The mean sizes of consecutive productions for industries are diverse; however, their standard deviations are sufficiently large that the difference in the mean become less important. (3) We compare the simulation with an input-output table and with the actual policies; they are compatible.

The finding of the contraollability of supply-chain networks is the following. Since government fiscal policy stimulates firms and is expected to produce spillover effects, it is important to know the effects on the economy. The government's approach can be rephrased as control of the economy, because governments have ideal states of the economy, and they want to lead it to the states. Here, we investigate a firm production network observed exhaustively in Japan and determine which firms should be directly or indirectly controlled using the framework of controllability. We can classify firms into three different types: (a) firms that should be directly controlled; (b) firms that should be indirectly controlled; and (c) neither of them. Since there is a direction (supplier and client) in the production network, we can consider controls of two different directions: the demand and supply sides. We obtain the following results: (1) each industry has diverse share of firms that should be controlled directly or indirectly. The configurations of the shares in industries are different between demand and supply sides; (2) advancement of industries that are divided into primary industries or other advanced industries do not show apparent difference in controllability; and (3) if we clip a network in descending order of capital size, we do not lose the control effect for both demand and supply sides.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

H. Inoue, K. Nakajima, and Y.U. Saito, Localization of knowledge-creating establishments. Japan and the World Economy, 43, 23-29, 2017.

H. Inoue and E. Yamaguchi: ``Evaluation of Small Business Innovation Research Programs

in Japan'', SAGE Open, Volume 7, Issue 1, pp. 1-9, 2017.

H. Inoue: ``Controllability Analyses on Nation-wide Firm Networks'', Evolutionary and Institutional Economics Review, 14(2), pp. 335-349 (2017).

H. Inoue, ``Analyses of Aggregate Fluctuation of Firm Network Based on Self-Organized Criticality Model'', Evolutionary and Institutional Economics Review, pp 1-14, 2016.

Y. Todo, P. Matous, H. Inoue, ``The strength of long ties and the weakness of strong ties: Knowledge diffusion through supply chain networks'', Research Policy, Vol. 45, No. 9, pp. 1890-1906, 2016.

H. Inoue: ``Evidence for a Creative Dilemma Posed by Repeated Collaborations'', PLoS ONE 10(9): e0137418. doi:10.1371/journal.pone.0137418, 2015.

[学会発表](計5件)

H. Iyetomi, T. Iino, Y. Kichikawa, and H. Inoue: ``Interfirm Transaction Relationship as a Directed Network'', The 21th annual conference of Japan Association for Evolutionary Economics, Kyoto, 2017/3/25-26.

A. Chakraborty, H. Krichene, H. Inoue, and Y. Fujiwara: ``Characterization of the community structure in a large scale production network in Japan'', The 21th annual conference of Japan Association for Evolutionary Economics, Kyoto, 2017/3/25-26.

H. Krichene, A. Chakraborty, H. Inoue, and Y. Fujiwara: ``Business cycles' correlation and systemic risk of the Japanese supplier-customer network'', The 21th annual conference of Japan Association for Evolutionary Economics, Kyoto, 2017/3/25-26.

H. Inoue, ``Indirect Effect of Firm's Shutdown:Simulation on Exhaustive Supply-Chain Data'', NetSci-X 2017, Tel-Aviv, 2017/1/15-18.

Y. Todo, P. Matous, H. Inoue, ``The strength of long ties and the weakness of strong ties: Knowledge diffusion through supply chain networks'', Big Data in Economics, Science and Technology 2016, Bali, 2016/6/20-22.

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：齊藤 有希子

ローマ字氏名：Yukiko Saito

所属研究機関名：早稲田大学

部局名：政治経済学術院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50543815

研究分担者氏名：中島 賢太郎

ローマ字氏名：Kentaro Nakajima

所属研究機関名：一橋大学

部局名：大学院経営管理研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：60507698

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：飯野 隆史

ローマ字氏名：Takashi Iino

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。