

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01884

研究課題名（和文）大規模企業間取引データを用いた企業の新陳代謝解析

研究課題名（英文）Metabolism of Inter-Firm Transactions in Complex Large Network

研究代表者

山野 泰子（Hiroko, Yamano）

東京大学・未来ビジョン研究センター・講師

研究者番号：90772674

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ネットワークを構成する要素間の動的推移と構造特性を捉える2つのノード指標を提案し、それらを企業間取引ネットワークにおけるクラスター進化の評価に適用することで、地域の産業構造と適応力に関する新たな知見を抽出した。提案指標についてはそれぞれ2本の論文誌に、クラスター進化の分析結果については国際学会プロシーディングスに研究成果を発表した。本研究の取組みを総括した研究成果を、研究成果公開促進費の助成を得て、単著の学術図書『地域ネットワーク解析：ビジネス生態系におけるつながりの構造と新陳代謝』として、単行本および電子書籍のかたちで出版した（東京大学出版会、2024年2月15日発行）。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、概念として想定されていた企業レベルの新陳代謝や、ネットワークの構造的な隙をつなぐブローカーを検証可能な形で新たに定義し、大規模な企業間取引ネットワークに適用することで企業の経済活動のダイナミクスを定量的に解析した。提案指標を用い、日本企業の新陳代謝度と存続年数の関係や、ネットワーク内で稀少なリンクをもつノードの重要性を定量的に検証したほか、提案指標がクラスター進化の予測に最も大きく寄与することを明らかにした。10年間のクラスター進化の系譜に基づいてクラスターパスの特徴を定量的に分析し、ケーススタディを行うとともに、それぞれの特徴に応じた政策的支援のあり方を提示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed two node indicators that capture dynamic transitions and structural characteristics among network components, and applied them to evaluate cluster evolution in business transaction networks to gain new insights into regional industrial structure and adaptability. The research results were published in two journals for each of the proposed indicators and in the proceedings of an international conference for the results of the cluster evolution analysis. The research results summarizing this research effort have been published as a single-authored academic book, "Regional Network Analysis; The Structure and Metabolism of Linkages in Business Ecosystems" in book and e-book form (University of Tokyo Press, February 15, 2024), with funding from the Research Results Publication Promotion Fund.

研究分野：複雑ネットワーク科学

キーワード：サプライチェーン 企業間取引ネットワーク 新陳代謝 地域クラスター 産業クラスター

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、従来日本の経済成長の大きな牽引力になってきた主導産業や牽引部門の交代をはじめとする産業の新陳代謝に着目し、その現代における有効性を検証するものである。日本経済は19世紀末以降、バブル崩壊に伴う金融危機が深刻化する1980年代終わりまで高い成長率を維持してきた。この経済成長は同質的な企業や産業の規模拡大によるものではなく、主導産業の交代をはじめとする大きな産業構造の変化を伴うものであったことが知られている。典型的には、戦前日本の経済成長を支えた主導産業は、商業・サービス業から鉱工業に交代し、戦後は牽引部門の大幅な交代を伴いながら製造業が鉱工業に取って代わっている。しかし、バブル崩壊後には日本の経済成長率は大きく低迷し、本来なら市場から退出するはずの企業が金融機関や政府の支援によって存続している問題や、開業・廃業率の低さ、すなわち市場のプレイヤーの交代を意味する新陳代謝の停滞が度々指摘されている。

産業の新陳代謝(**Industrial Metabolism**)という概念はもともと、生物が生命を維持するために不可欠な機構である新陳代謝と、経済システムの制御機構とのアナロジーに着想を得て提唱されたものである。その主眼は、直線的経済成長というよりは、有限なリソースが循環するエコシステムにおける産業や企業の生存戦略、すなわち交代を伴う系が定常的に維持される仕組みにある。高度経済成長期を経た、経済発展の成熟段階において、企業間のつながりによってつくられるエコシステムのダイナミクスと定常性の観点は一層重要になると考えられる。

物流面から見た企業間および顧客をつなぐネットワークであるサプライチェーンの研究では、変動が大きく競争的なビジネス環境において強連結・凝集的なネットワークは硬直化しやすく、柔軟で変化に機敏に反応するネットワークに比べて機能不全を起こしやすいことが指摘されている。企業間コミュニケーションの充実や地方政府による支援といった産業集積の優位性が行き過ぎると、イノベーションには障害となる社会経済的なロックイン状態に陥るとの指摘もある。ロックイン回避には、企業の新陳代謝に着目した動態解析に加え、ネットワークの構造的空隙を埋め、新たな情報をもたらす弱いつながりに着目した構造解析も重要である。企業間取引ネットワークの研究では、媒介性の高い企業がネットワークの構造的空隙を埋め、スモール・ワールド性を高めることがわかっている。本研究ではこうした構造解析と動態解析を組み合わせることで、ビジネスエコシステムにおける企業の役割や環境変動への応答を検証する。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、サプライチェーンを地域における企業間取引のネットワークと捉え、ネットワーク科学の手法を用いて取引関係における個々の企業のミクロな振る舞いを計測すること、それがマクロな企業間ネットワークの構造や動態とどのような関係にあるかを知る手がかりを示すことである。ネットワークは点(ノード)とそれらをつなぐ線(リンク)で構成されるが、サプライチェーンにおけるノードは企業、リンクは企業間の取引関係である。本研究では、ネットワークを構成するノードやリンクの動的推移と構造特性を捉える2つの指標を提案し、それらを実際の企業間取引ネットワークにおける企業やクラスター(取引関係が密な企業群)の評価に適用する枠組みを構築することで、柔軟なサプライチェーン戦略を実現する上でヒントとなる新たな知見を抽出する。サプライチェーンを構成するひとつひとつのリンク、すなわち企業間の取引関係は、各企業がよりよいパフォーマンスを出すために、その時々々の経営戦略や市場条件に応じて多くの選択肢の中から慎重に選ばれ、維持あるいは再構築された結果である。しかし、個々の企業の選択が、互いにつながり合った企業間ネットワーク全体の中でどのような意味を持つかを知ることは難しい。そこで本研究では、ネットワークにおけるメソスケールの部分構造であるクラスターに着目し、分析指標の設計に取り入れた。これにより、直接取引がある1次取引先だけでなく、より高次にわたる取引関係を含むネットワーク内で、企業が占める位置や役割について把握することを目的としている。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3つのアプローチで企業間取引データを用いたネットワーク分析を行った。

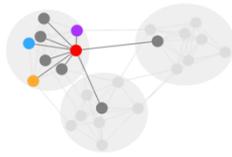
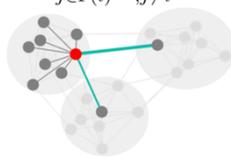
(1) ネットワーク中のミクロな動的推移を解析する指標を提案した。具体的には、対象企業が取引先の増減や入替により取引先企業の構成を変化させた度合いを各企業の新陳代謝度として設計し、これを東北地方、中部地方、九州地方の企業間取引の実データに適用することで、企業間相互作用のダイナミクスを定量的に解析した。指標の評価値を産業別、地域別に比較し、その特徴を考察した。また、データセット内の取引関係に基づいて設計した企業の存続年数と新陳代謝度との関係について、統計的検定を行った。

(2) ネットワークの静的構造に基づいた新たなノード指標を提案した。既存指標では、クラスター間をつなぐノードの検出は可能であるが、当該ノードがつかないクラスター間の位置関係が考慮されていない。本研究では、クラスター間の関連度を表すCRJCを重みとして取り入

れた新たなノード指標 PW を提案し、条件を変えて生成した複数のベンチマークネットワークを用いて、提案指標の妥当性を検証した。同指標を企業間取引ネットワークに適用し、より遠くに位置する異質性の高いクラスターをつなぐ企業を特定した。

(3) 上記で提案した2つのノード指標を、東北地方の企業間取引ネットワークに適用し、クラスターの進化イベントへの寄与を分析した。動的ネットワークにおいて、ミクロなノードのポジション価値が、マクロなクラスターの動態にどのように影響するかを明らかにすることは、これまでの手法では困難であった。本研究では、提案指標 PW を含む6つのネットワーク中心性指標を用いて、クラスター継承度の予測を行い、予測に寄与する指標の重要度を比較した。さらに、クラスター進化の系譜を表す独自のクラスター進化マップを用いることで、2007年から2016年までの10年間における典型的なクラスターパスを抽出した。提案指標の新陳代謝度とPW指標に加え、クラスターを構成する企業の売上高、産業分類や地域分布といった8つの指標の推移と、クラスター進化イベントの出現傾向を比較することで、それぞれのクラスターパスが持つ特徴を分析した。

本研究における提案指標の定義と位置付けをまとめた図を以下に示す。

	動態解析	構造解析
企業	<p><b>提案指標①：新陳代謝度</b> 対象企業が取引先の増減や入替により取引先構成を変化させた度合い</p> $Metabolism = 1 - \frac{1}{n} \sum_{y=y_1}^{y_n} \frac{ T_y \cap T_{y+1} }{ T_y \cup T_{y+1} }$ 	<p><b>提案指標②：PW指標</b> 対象企業の取引関係からもたらされる情報の稀少性</p> $PW_i = -P_i \log \sum_{j \in \Gamma(i)^{LC}, j \neq i} \frac{CRJC(c_i, c_j)}{L + \delta}$ 
企業群	<p><b>指標：クラスター継承度</b> 連続する2年に存在するクラスターから構成したクラスターペアにおける企業群の類似度</p>	$Q_y^j = \arg \max_{G_y^j \in G_y} \left\{ \frac{G_{y-1}^i \cap G_y^j}{\max(G_{y-1}^i, G_y^j)} \right\}$

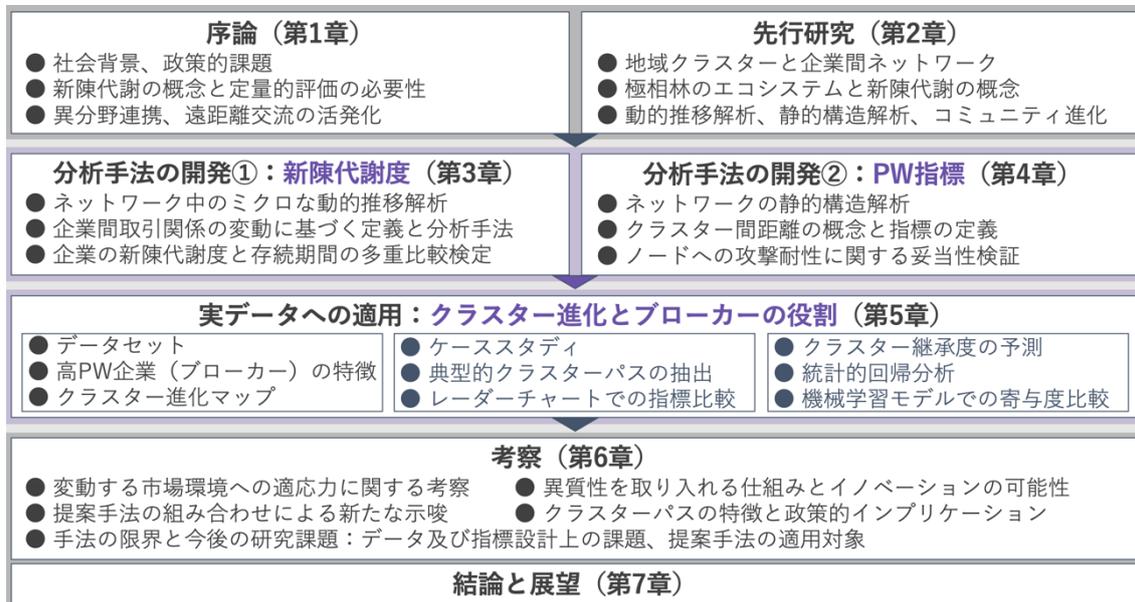
#### 4. 研究成果

(1) 新陳代謝度の分位点別企業群間で多重比較検定を行った結果、新陳代謝度が0.1程度である企業群の平均存続年数が、統計的に有意に長いという知見が得られている。取引先企業が硬直化している企業や、逆に取引関係の変動が極端に大きい企業の存続年数は短く、ビジネス市場での存続が困難になること、中間の新陳代謝度をもつ企業が生存競争において優位であることが明らかになった。

(2) ネットワーク中のノードへの攻撃耐性に関する検証実験では、ネットワークの構造的な特徴を捉える8つノード指標の中で、提案指標PWが、稀少かつ重要なリンクを持つノードの検出において最も優れていることが明らかになっている。ブローカー企業と名付けたPW値の高い企業には、隣接する取引先企業が少ない、順位の移り変わりが大きい、クラスター間の移動性が高いという3つの特徴があることが特定されており、クラスターに稀少な情報をもたらすことで、ネットワーク全体に多様性をもたらす役割を果たしていることが示唆されている。PW指標は、コネクター・ハブのコネクター指標に替わるものとして東京大学地域未来社会連携研究機構のシンポジウム、国土交通省半島振興研究会、経済産業省地域経済産業グループ「スマートかつ地域経済社会の実現に向けた研究会」の議論においても活用された。

(3) クラスター継承度の予測においては、6つのネットワーク中心性指標の中で提案指標PWが最も予測への寄与が大きいことが判明した。負の回帰係数を持つことから、ブローカー企業がクラスター進化を触媒する方向に寄与している可能性が高いと言える。さらに、クラスター進化マップの分析により、地域や産業のクラスター毎に進化の系譜が大きく異なることが判明した。東北地方における10年間の企業間取引ネットワークを対象にした分析では、①地域多様性を持つ定常クラスター、②ローカルハブを中心とした地域クラスター、③ブローカー企業が局在する小規模アジャイルクラスターといった、特徴の大きく異なるクラスターパスが検出されている。①については域外取引・ニッチプレイヤーへの投資、②は城主企業モニタリング・知的対流の創出、③は知識係留強化・異業種マッチングなど、クラスターパス毎に最適な政策的支援のあり方は異なることが推察される。データから特徴を明らかにし、それぞれのクラスターパスの固有性やクラスター間の相互関係を踏まえた施策を検討していくことの重要性が明らかになっている。

(4) 新陳代謝度と PW 指標については 2 本の論文誌に、クラスター進化マップの分析結果については国際学会プロシーディングスにそれぞれ研究成果を発表した。本研究の取組みを総括した研究成果を、単著の学術図書『地域ネットワーク解析：ビジネス生態系におけるつながりの構造と新陳代謝』として東京大学出版会より、単行本および電子書籍のかたちで出版した（2024 年 2 月 15 日発行）。同書の紹介や解説記事は、東京大学未来ビジョン研究センターと、東京大学地域未来社会連携研究機構のウェブサイトそれぞれ掲載している。同書は日本学術振興会の研究成果公開促進費の助成を受けたものであり、その構成は下図に示す通りである。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamano Hiroko, Sakata Ichiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Roles of Brokers and Clusters in the Inter-firm Network Dynamics: Evolution Map Perspective	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PICMET53225.2022.9882636	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Hiroto, Ochi Masanao, Sasaki Hajime, Yamano Hiroko, Sakata Ichiro	4. 巻 1
2. 論文標題 A Study on the Dynamism of Clusters Using Transaction Network between Companies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PICMET53225.2022.9882749	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 水野貴之, 山野泰子	4. 巻 38(2)
2. 論文標題 特集巻頭言「ネットワークとグラフとの出会い」にあたって	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 99-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山野泰子, 岡本洋, 坂田一郎	4. 巻 38(2)
2. 論文標題 特集「ネットワークとグラフとの出会い」企業ネットワークの動的メソスコピック構造	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 117-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamano Hiroko, Asatani Kimitaka, Sakata Ichiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluating Nodes of Latent Mediators in Heterogeneous Communities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-64548-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamano Hiroko, Sakata Ichiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Supply chain dynamics beyond optimization: Metabolism of regional inter-firm networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e16104 ~ e16104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2023.e16104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Hiroko Yamano, Ichiro Sakata
2. 発表標題 Role of Brokers and Clusters in the Inter-firm Network Dynamics: Evolution Map Perspective
3. 学会等名 2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirotto Suzuki, Masanao Ochi, Hajime Sasaki, Hiroko Yamano, Ichiro Sakata
2. 発表標題 A Study on the Dynamism of Clusters Using Transaction Network between Companies
3. 学会等名 2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 メタエンジニアリング研究所 研究会
2. 発表標題 地域ネットワーク解析：ビジネス生態系におけるつながりの構造と新陳代謝
3. 学会等名 メタエンジニアリング研究所 研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroko Yamano, Kimitaka Asatani, Ichiro Sakata
2. 発表標題 Evaluating Nodes of Latent Mediators in Heterogeneous Communities
3. 学会等名 Complex Networks (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroko Yamano, Ichiro Sakata
2. 発表標題 Latent Pattern Extraction and Factorization of Firm Bankruptcies and Metabolism in Japan
3. 学会等名 Proceedings of 2019 Portland International Conference Management of Engineering and Technology (PICMET) on. IEEE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山野泰子, 坂田一郎
2. 発表標題 異質なコミュニティをつなぐノードの評価指標
3. 学会等名 WebDB Forum
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田公平, 佐々木一, 山野泰子, 坂田一郎
2. 発表標題 産業モジュール媒介性を持つ企業間関係の局所的取引構造に基づく推定
3. 学会等名 第32回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山野泰子
2. 発表標題 地域ネットワーク解析：ビジネス生態系におけるつながりの構造と新陳代謝
3. 学会等名 JIMS分析的マーケティング研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hiroshi Okamoto, Hiroko Yamano, Ichiro Sakata
2. 発表標題 Higher-order dependencies between nodes in complex networks
3. 学会等名 International School and Conference on Network Science (NetSci 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山野 泰子	4. 発行年 2024年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 272
3. 書名 地域ネットワーク解析：ビジネス生態系におけるつながりの構造と新陳代謝	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学 地域未来社会連携研究機構：参画教員紹介 山野 泰子 講師（著書の内容解説）  
<https://frs.c.u-tokyo.ac.jp/20240604/2200/>

東京大学 未来ビジョン研究センターの研究者による主な著書（著書の概要紹介）  
<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/publications-top/>

山野泰子助教、坂田一郎教授らの論文がScientific Reportsに掲載されました  
<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/news/7054/>

Research paper published at Scientific Reports  
<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/en/news/4708/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------