

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24310109

研究課題名(和文) サプライチェーンを設計するための情報工学手法の開発

研究課題名(英文) Information Engineering Approach for Designing Supply Chain

研究代表者

坂田 一郎 (Sakata, Ichiro)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90555682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：まず一般的な関係データの予測法として、複数の異なる種類の関係を同時に予測することで、個々の関係を独立に予測するよりも高精度で予測を行うことができる新しい関係予測手法を開発した。次に持続可能で頑健なサプライチェーンを築くために必要となる分析について、中部北陸地域のサプライチェーン構造分析を行った。さらに、農林業をベースとした再生可能資源に関するサプライチェーンに必要な頑健性と柔軟性について解析し実際に地域システムデザインを行った。研究代表者らは、本研究で得た知見をもとに、内閣官房まち・ひと・しごと創生本部の地域経済分析システム(RESAS)の構築に貢献した。

研究成果の概要(英文)：Firstly, we have developed a novel method of prediction for general relational data. By predicting different types of relations, our prediction method performs better than an existing method which tries to predict individual relations separately. Next, we have analyzed the structure of a supply chain in a region of Chubu and Hokuriku, which enables us design sustainable and robust supply chain in general. We have also analyzed robustness and flexibility for a supply chain on renewable energy industries based on agriculture and forestry in the island. Through the project, we have contributed to developing the system for analyzing regional economics, RESAS, by CABINET SECRETARIAT.

研究分野：技術経営

キーワード：政策科学 サプライチェーン 技術経営 情報システム 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の企業間に形成された密な取引構造は、組織を超えた協働や情報交換を促進し、産業の競争力の向上に寄与してきた。海外においてもシリコンバレーやオースティン等の密な企業間ネットワークが形成されている地域では、多くのイノベーションが生まれ世界的な競争力を有していることから、特定の地域に集積した企業間のネットワークである「地域クラスター」が産業政策上の重要な概念として注目されてきた。現在では、産業の競争力や持続的な発展のためには、企業間のネットワーク構造を正しく理解すること、協働のネットワークを適切に構築していくことが重要であると広く認識されている。

現在、そのような企業間ネットワークが企業の業績に与える影響は、経営学上の重要な研究課題となっており、経営学の複数のトップジャーナルに多数掲載されるようになってきた。研究代表者らは、我が国に形成されている企業間ネットワークの構造を特定する先駆的な研究を行ってきた。さらに、地理情報システムとネットワーク分析を組み合わせる手法や、多層的なネットワーク構造の分析手法といった、企業間ネットワークの構造を分析するための多様な手法の開発を行ってきた。

企業間ネットワークは我が国の経済の発展に寄与してきたと評価できる一方、東日本大震災以降、企業では、事業継続計画の策定のためのサプライチェーンの見直しが進んでいる。事業活動の継続性に影響を与える因子は、災害や事故だけではない。中小企業が企業数の99.7%、雇用の約7割を占める我が国では、後継者や運転資金の不足による企業の経営状態の悪化が、連鎖的に産業に深刻な影響を与え得る。東日本大震災の際には、中核的な中小企業の生産停止によって、被災地以外の産業のサプライチェーンにも影響が生じ、産業を支える中小企業の重要性が改めて認識された。震災以降、研究代表者らは、それまでの研究成果を活用し、石巻都市雇用圏の取引構造の分析を行ってきた。被災地域の産業の復興支援のために、取引ネットワークの結節点となる中核的な企業を特定し、他の企業への影響が大きいことから優先的に支援すべき企業の抽出を行った。この成果は2011年度の中小企業白書にも掲載されている。

事業継続計画の策定にあたっては、予期せぬ事象によるサプライチェーンの不全に備えて、代替となるサプライチェーンを設計する必要がある。また、自社の直接の取引先だけでなく、取引ネットワーク上の2社先、3社先の企業をも考慮する必要がある。

従来の経営学の研究では、企業間ネットワークが、企業の活動や業績に与える影響の理解に主眼が置かれてきた。しかし、それだけでは新たなサプライチェーンを設計することは困難である。本研究では、多層的なグラ

フ構造データに対する機械学習を用いて、事業継続計画の策定のためのサプライチェーン設計支援を行う手法の開発を目標として研究開発を実施する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、特定の企業や企業群に供給・販売を依存しない、頑健なサプライチェーンを設計するための情報工学的な手法の開発である。そのために、グラフ構造データに対する機械学習の手法を開発する。同手法は、既存のノード単位の学習手法に代わって、ノード群をセマンティックな情報とともにモデル化し提示する、新たな汎用的な機械学習のフレームワークとして活用できる。機械学習を用いて、膨大な企業の企業情報、技術情報、取引構造を分析し、サプライチェーンの構造をモデル化し、その有効性をフィールド調査で評価する。獲得したモデルをシステム化することで、サプライチェーン上の任意の部分が欠損した場合に、代替となる企業群や技術群の候補を自動的に抽出し、新たなサプライチェーンの設計の指針とすることが出来る。

企業がサプライチェーン上に欠損が生じた場合に取り得る方法は3つである。一つは、同様のサプライチェーンを構築し得る別の企業群を探索すること、もう一つは自社で欠損した技術やプロセスを補うこと、最後にそれら代替企業群と技術の自社導入の組み合わせである。そのためにサプライチェーンというネットワーク情報と、技術情報等のテキスト情報を組み合わせる必要がある。

その目的を達成するために、本研究では以下の点を研究項目として設定する。

- (1) 企業取引情報からのサプライチェーンの抽出;
- (2) 特許情報からの企業の技術情報の抽出;
- (3) 多層的な木カーネルを用いた機械学習手法の開発;
- (4) 潜在的な取引関係の抽出および妥当性の評価;
- (5) 事業継続計画の策定のために考慮すべき潜在的関係の優先度の判定。

本研究の特色は、サプライチェーン上の企業間の潜在的な関係の抽出をネットワークにおけるリンク予測問題と捉えることである。計算機による大規模なネットワークデータの取得と処理が可能になったことにより、ネットワーク上で欠損あるいは未観測な繋がり(リンク)を予測する手法が、近年様々な研究されている。しかし、それらの多くは、ネットワーク情報のみに基づいて予測されている。本研究では、取引構造というリンク情報だけでなく、技術情報、属性情報を組み合わせた分析、ならびにそのための多層的なデータの学習手法の開発が独創的な点である。

もう一つの特色は、グラフ構造を学習する

ために、木カーネルを用いるという点である。既存手法では、単一のノードの情報をカーネルとして用い、リンクの類似性に基づき学習を行っている。これをサプライチェーンに適用すると、取引の類似性が高い既存の系列等の取引構造の中の、単一の企業が推薦される。従って、代替となるサプライチェーンを、既存の取引構造の枠外の企業で構成することが出来ない。本研究では、単一ノードではなく、複数ノードで構成される取引の木構造というトポロジカルな情報、さらには、技術情報、属性情報をモデルの入出力の対象とする。これにより、既存の取引構造以外であっても、取引の機能的な構造が類似している企業群や技術群を推薦することが可能になる。本研究で開発する木カーネルを用いた機械学習の手法は、既存のノード単位の学習手法に代わって、ノード群をセマンティックな情報とともにモデル化し提示する新たな手法であり、ソーシャルネットワークや論文・特許情報の検索エンジンなど、セマンティックな情報を有する他のネットワークデータの活用にも適用可能である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 企業取引情報からのサプライチェーンの抽出

申請者らが開発を行っているネットワーク分析の手法をもとに、企業取引情報からサプライチェーンの情報を抽出するアルゴリズムを開発しその妥当性を評価する。データは研究代表者が保有している帝国データバンクの企業取引情報を用いる。既に関東甲信越地方の製造業を中心に、全国18地域・産業における数十万社の企業の属性情報ならびに取引情報を保有しており、電機・機械、農業・食品など多様な地域、産業の分析を行ってきた。本研究では、これまでは対象としてこなかった、中京地域等の自動車産業を対象に加える。自動車産業は裾野が広く新たな企業間連携が強く期待されているものの、系列を超えた新たな結びつきが強いとはいえない。自動車産業を分析対象に加え他産業との比較を行うことで、産業構造や企業間連携に関する新たな知見が得られることが期待できる。また、我々の従来のネットワーク分析の手法では、企業間の取引関係の方向性を考慮しない無向グラフを用いている。仕入先、販売先という方向性を考慮した有向グラフの分析に手法を拡張し、任意の企業を中心とする最小木を抽出する。これにより、サプライチェーン中の企業の構造的な位置を同定する。各企業の業種や規模等の属性情報や、他の研究項目で獲得される技術情報と合わせることで、任意の企業のサプライチェーンにおける構造的な位置を、属性情報ならびに技術情報と対応させることが可能となる。

#### (2) 特許情報からの企業の技術情報の抽出 出願特許情報に対し、自然言語処理を行う

ことで、各企業の技術情報の抽出を行う。技術情報の抽出にあたっては、一般語の除去や語の多義性が課題となる。申請者らは社会ネットワーク分析により語が使用されている文脈をモデル化することで重要な語句を精度よく自動抽出する手法を開発している。例えば、実装という語は情報技術においてはプログラミングを指すが、電子デバイスにおいてはプリント基板上へのアセンブリの技術を指す。このような多義性を各企業の取引構造や産業分類を考慮することで解決する。

また、サプライチェーンの構築支援のための特許情報の分析においては、出願国の情報も重要であると考えられる。特許の出願国数は当該技術の重要性ならびに企業の海外進出の意思を反映していると思われる。これらの要素は各企業の提携先の探索における重要な要素である。特許情報は取得できるデータ量の多さ、収録している出願国の範囲から、Thomson Reuter社のThomson Innovationを利用する予定である。

#### (3) 多元的な木カーネルを用いた機械学習手法の開発

申請者らの機械学習の手法を発展させ、企業の有するサプライチェーンの情報、技術情報に加え、属性情報を加味した多元的なグラフ構造を有するデータに対し、木カーネルを適用し機械学習を行う手法を開発する。既に、機械学習を用いたビジネスパートナーの推薦システムの開発を行っているが、そこで用いている学習手法は単一の企業の情報、ならびに直接の取引先の情報のみであり、サプライチェーンを考慮できていない。また、木カーネルを用いた機械学習の手法のサプライチェーンへの適用、ならびに多元的なデータの活用はなされていない。

新たなサプライチェーンの設計にあたっては、サプライチェーン上のA社を直接代替可能な企業は存在しないとしても、数社の技術や保有しているプロセスを組み合わせることで用いることができれば、A社を代替できる可能性が高い。そのような分析を可能とするために、サプライチェーンの情報を木カーネルとして組み込んだ機械学習の手法を開発する。また、既存の木カーネルはサプライチェーンのネットワーク構造のように特定の情報を入力の対象としているため、それを、企業の属性情報、技術情報を合わせてモデル化できるように拡充する。これにより、サプライチェーン中の企業間の関係性だけでなく、所在地、従業員数、業種、製品・サービスといった属性情報や、各企業の技術情報も考慮した、サプライチェーンの構築支援という目的に則したリンク予測手法を提案する。

#### (4) 潜在的な取引関係の抽出および妥当性の評価

抽出を行った各企業が有するサプライチェーンの構造的な情報、技術情報や、属性情報

を入力情報とし、多角的な木カーネルを用いた機械学習を行うことで、潜在的な取引関係のモデル化を行う。開発したモデルを用い、各企業の有するサプライチェーンの部分を代替し得る企業、企業群、企業や企業群と技術の組み合わせを推薦するシステムの開発を行う。

また開発したシステムを用いて、モデルの妥当性の評価を行う。得られた結果をランキングとして表し、ユーザーである企業から評価を受けることで、モデルが推測した結果の妥当性を評価する。評価にあたっては、開発した技術を、我々が既に開発を行い公開している、提携先や取引先の探索支援システム「SMEET」

([http://www.ipr-ctr.t.u-tokyo.ac.jp/smeet\\_dev/](http://www.ipr-ctr.t.u-tokyo.ac.jp/smeet_dev/)) に実装し、サプライチェーンの代替可能性に関する評価を可能なユーザーインターフェースを準備する。また、Web インターフェースからの入力では捉えきれない定性的な評価結果などをヒアリング調査により補完する。Web インターフェースに依る評価、ならびにヒアリング調査にあたっては、既に協力関係にある中小企業庁や全国イノベーション推進機関ネットワーク、各地域の産学連携機関等と連携し、協力企業を募りながら実施する。

#### (5) 事業継続計画の策定のために考慮すべき潜在的関係の優先度の判定

各企業の有するサプライチェーンの部分を代替し得る企業等を精度よく推測することは、そのサプライチェーンの当該部分の重要性を保証しない。そこで、企業へのヒアリング調査により、事業継続計画を策定する上で優先的に検討すべきサプライチェーンの部分の特徴を収集、分析し、考慮すべき要素をモデルに組み込み、その結果を「SMEET」等のアプリケーションのインターフェースの表示等に反映させる。

#### 4. 研究成果

初年度の成果として、まず、抽出を行った各企業が有するサプライチェーンの構造的な情報、技術情報や属性情報を入力情報とし、開発を行った機械学習手法を用いた分析を行うことで、潜在的な取引関係のモデル化を行った。次に、開発したシステムを用いて、モデルの妥当性の予備的な評価を行った。得られた結果をランキングとして表し、ユーザーである企業から評価を受けることで、モデルが推測した結果の妥当性を評価する。評価にあたっては、我々が既に開発を行い公開している提携先や取引先の検索支援システム「SMEET」に実装し、サプライチェーンの代替可能性に関する評価を可能なユーザーインターフェースを準備した。また、ウェブインタフェースからの入力では捉えきれない定性的な評価結果などをヒアリング調査により補完する体制を構築した。

ウェブインタフェースによる評価、ならび

にヒアリング調査にあたっては、既に協力関係にある中小企業庁や全国イノベーション推進機関ネットワーク、各地域の産学連携機関と連携し、協力企業を募り評価体制を構築した。さらに事業継続計画の策定のために考慮すべき潜在的関係の優先度の判定を行った。具体的には、企業へのヒアリング調査により、事業継続計画を策定する上で優先的に検討すべきサプライチェーンの部分の特徴を収集、分析し、考慮すべき要素をモデルに組み込んだ。

企業間の関係には単なる取引の有無だけでなく、互惠性のある取引など、様々な種類の関係が成立しうる。平成 25 年度以降の成果として、まず、一般的な関係データの予測法として、複数の異なる種類の関係を同時に予測することで、個々の関係を独立に予測するよりも高精度で予測を行うことができる新しい関係予測手法を開発した。Web 等からの企業データの収集は多くの場合完全な自動化は困難で、人手による煩雑な作業を伴う。これを効率的に行うためにクラウドソーシングを利用して企業データを収集することが有効である。我々は、クラウドソーシングを用いたデータ収集に際し、できるだけ少ない作業で高い品質を担保する能動機械学習手法を開発した。

上記の方法論の開発に加え、持続可能で頑健なサプライチェーンを築くために必要となる分析を具体的な地域に特化した形で検討を進めた。具体的には、中部北陸地域におけるサプライチェーンの構造分析を行い、各県ごとの産業集積ならびに、複数の県を跨ったサプライチェーンの比較分析を行い、取引関係と地理的近接性の関係性に見られる産業や業種ごとの違いを考察した。加えて、企業の実務家への情報の提供を通じて、広域のサプライチェーンを設計するための課題や指針について検討を行った。また、地域としては離島として閉じた系である種子島をとりあげ、農林業をベースとした再生可能資源に関するサプライチェーンに必要な頑健性と柔軟性について解析し、実際に島嶼地域のシステムデザインを行った。さらに、実際のサプライチェーンを構成するプレイヤーとの対話を進めながら持続性・頑健性・柔軟性を考慮した設計における要件定義を行った。

研究代表者らは、本研究で得た知見をもとに、内閣官房まち・ひと・しごと創生本部の地域経済分析システム (RESAS) の構築に貢献した。また、同本部創生基本方針検討チーム (金融・産業 WG) 委員を委託され、本研究をもとにした知見の提供を行っている。

また、2015 年 2 月には、本研究で得られた成果をもとに、International Workshop on Business Ecosystem and Supply Chain Management を開催し、本領域における国内外の研究者と SMEET のサプライチェーンマネジメントへの応用可能性や留意点について議

論ならびに意見交換を行った。ワークショップでは特に、企業のオープンイノベーションへの対応や、海外展開支援の可能性について有益な知見が得られ、本研究プロジェクト終了後も国際共同研究への展開について継続的に意見交換を行っていくこととした。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計5件)

則のぞみ、ダヌシカ ポレガラ、鹿島久嗣、接続行列埋め込みに基づく複数種類の多項関係の予測、人工知能学会論文誌、査読有、30巻、2015、pp. 459-465

菊池康紀、持続可能性を考慮したプロセス評価のアクティビティモデルとデータモデル、化学工学論文集、査読無、2014

I. Sakata and H. Sasaki, Bibliometric analysis of international collaboration in wind and solar energy, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Vo.1, No.3, 2013, pp. 187-198

I. Sakata, H. Sasaki, H. Nakamura and Y. Kajikawa, Maps of international research collaboration in clean energy, Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 7, 2013, pp. 480-490

Hiroto Saigo, Hisashi Kashima, and Koji Tsuda, Fast Iterative Mining using Sparsity-inducing loss functions, IEICE Transaction on Information and Systems, E-96-D(8), 2013, pp. 1766-1773

### 〔学会発表〕(計4件)

梶川裕矢、ネットワークでみる地域経済(招待講演)、金沢大学イノベーションシンポジウム2015、2015年2月日、石川県金沢市

Toshihiro Watanabe and Hisashi Kashima, A Label Completion Approach to Crowd Approximation, The 21<sup>st</sup> International Conference on Neural Information Processing (ICONIP), 2014年11月4日, Sarawak, Malaysia

菊池康紀、エネルギーシステムにおけるシナリオ分析と統合化学(招待講演)、化学工学会46回秋季大会、2014年9月17日-2014年9月19日、福岡県博多市

Y. Kudo, I. Sakata, Y. Kajikawa, and

K. Hashimoto, Relational analysis between R&D project characteristics and diversity of results, 22<sup>nd</sup> International conference for management of Technology, 2013年4月14日-2013年4月18日, Porto Alegre, Brazil

### 〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等  
RESAS(地域経済分析システム)  
<https://resas.go.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

坂田 一郎(SAKATA, Ichiro)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：90555682

### (2)研究分担者

鹿島 久嗣(KASHIMA, Hisashi)  
京都大学・大学院情報学研究所・教授  
研究者番号：80545583

梶川 裕矢(KAJIKAWA, Yuya)  
東京工業大学・大学院イノベーションマネジメント研究科・准教授  
研究者番号：70401148

森 純一郎(MORI, Junichiro)  
東京大学・大学院工学系研究科・特任講師  
研究者番号：30508924

菊池 康紀(KIKUCHI, Yasunori)  
東京大学・総括プロジェクト機構・特任講師  
研究者番号：70545649