

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

The local transactional structure based estimation
of inter-firm relationships which mediates industrial modules

神田 公平^{*1} 佐々木 一^{*2} 山野 泰子^{*2} 坂田 一郎^{*1}
Kanda Kohei Sasaki Hajime Yamano Hiroko Sakata Ichiro

^{*1}東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻

Dept. of Technology Management for Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

^{*2}東京大学政策ビジョン研究センター

Policy Alternatives Research Institute, The University of Tokyo

Inter-firm relationships formed by business transactions are the resource of companies. Especially, the relationship which enables companies to produce radical and flexible innovation is important in adjusting recent rapidly changing business market. First, we identified relationships mediating industrial modules which give companies nonredundant knowledge and information through structural analysis of large transactional network. Next, we predicted these relationships by machine learning model using the feature quantities designed from the standpoint of local companies in the network. There are three suggestions in our research. First, industries which become the basis of other industries tend to have module mediating relationships. Second, the transactions with companies which have rarer attributes are likely to mediate modules. Third, the transactions between sales-oriented buyer and procurement-oriented supplier have tendency to mediate modules. These estimations are expected to be useful to choose business partners in seeking nonredundant information or opportunities to access to new market.

1. 序論

急速な技術変化や短いプロダクトサイクル、グローバル化により激化する市場環境下では、個々の企業の単独の努力では競争優位性の獲得は困難になりつつある。取引を通じて形成される企業間関係及びそれらの集合により形成されるネットワークは企業における重要なリソースの一つであり、そのリソースを通じて企業は恩恵を受けることができる。市場の変化を受けて、特に弱い紐帯の強み [Granovetter 73] を享受できるネットワーク構造が有効であるとされている。弱い紐帯の強みとは、連結としては弱いが広域的なネットワークを持つ個人や組織は全く新たに異質な情報収集に強みを持つことができるという強みである。日本企業は、閉じた関わりを越え外部の広域的なネットワークに存在する企業と連携することで市場の変化にいち早く対応するラジカルなイノベーションを生み出す体制は不十分であるという [若林 06, Todo 16]。

本来紐帯の強弱はその紐帯が埋め込まれるネットワーク内の構造により相対的に決まる性質であり、グローバルなネットワークを俯瞰した上で判断される性質である。企業レベルでの意思決定の局面においては、ネットワーク全体においてその企業が局所的に持ちうる情報から自身の取引の紐帯の強さを推定することが必要となる。本研究では、変化する市場環境に適応する弱い紐帯のネットワークが重要という観点に基づいた上で、弱い紐帯の特性を持つ産業モジュールを媒介する取引関係を企業の視点から推定することを目的とする。

2. 手法

本研究の分析手法は、大きく三つの部分から成る。まず企業をノード、取引関係をリンクとする取引ネットワークを構築する。次に得られたネットワークをクラスタリングし強い紐帯で結びつく企業群を産業モジュールとして定義し、弱い紐帯としてモジュール間を結ぶリンクを特定する。最後に、企業の視点を踏まえてのノードペアの特徴量およびリンクの特徴量を設計

し、上記で特定したリンクをモデルから予測し、モデルにおける特徴量の重みから評価を行う。

2.1 取引ネットワークの作成

本研究において、分析対象となる取引ネットワークの構築にあたっては、日本における大手信用調査会社である株式会社東京商工リサーチ (以下、TSR と略記) により作成された 2016 年における TSR 企業情報ファイルと TSR 企業関係ファイルを用いた。企業情報ファイル内には、固有に付与された ID を持つ各企業の財務データや従業員数を始めとする企業の基本的な情報が記載されており、企業関係ファイル内には、上記の ID に対応した企業 2 社間の仕入取引、販売取引、資本関係の情報が記載されている。

本研究では、この企業関係ファイル内のデータに基づいて各企業をノード、取引関係をリンク (本研究において資本関係の情報は扱わない) として有向ネットワークを構築する。取引関係における財・サービスの流れを、リンクの向きとして定義する。分析対象は、2016 年の中部地方を中心とする取引ネットワークである。ここで構築されるネットワークは、中部地方の県に本社を構える企業のノードを含む取引関係のリンクから構築されるネットワークを構成要素としている。

2.2 取引ネットワークのモジュール分割とモジュール間取引の特定

構築したネットワークを Louvain 法によるモジュラリティ最大化でクラスタリング [Blondel 08] することによって得られたクラスタを産業モジュールとし、弱い紐帯に相当するモジュール間取引を定義する。ネットワークのクラスタリングは、そのネットワークの構造上にて部分的に密なリンク構造を持つノードの集合を抽出することができ、クラスタリングを行うことで凝集的な取引関係が埋め込まれた部分ネットワークごとの単位にネットワークを分割できる。序論で述べた紐帯の強弱の概念に基づけば、密な部分ネットワーク内の紐帯は強い紐帯、密な部分ネットワークを結合する紐帯は弱い紐帯と捉え

ることができ、クラスタリングに基づくこのような紐帯の分類はソーシャルメディアのネットワーク分析でも用いられている [Sanz-Cruzado 18].

凝集的なネットワーク内の紐帯として議論されてきた強い紐帯は産業モジュール内部の取引関係として、冗長性のない広域的なネットワークへアクセスする紐帯として議論されてきた弱い紐帯は産業モジュール間にまたがる取引関係と読み替えることができる。

本研究においては、産業モジュール間の媒介作用を持つ取引関係については、以下の二つの視点から定義し議論を行うものとする。

1. 一次クラスタリングによって得られた産業モジュール間を結ぶ取引関係
2. 一次クラスタリングにより得られた個々の産業モジュール内にてさらにクラスタリングを行い得られたサブモジュール間を結ぶ取引関係

2.3 モジュール間取引の予測モデル

上記のクラスタリングにより得られた産業モジュール間を結ぶ橋渡しとなる取引関係を正例、それ以外のモジュール内に存在する取引関係を負例として定義し、各取引に紐づく特徴量を用いて産業モジュール間取引の予測器を作成する。予測においては、特徴量の寄与によって正例と負例の差異を明確に議論するべく、正例と負例の比が 1:1 となるように取引関係のランダムサンプリングを行い、訓練データとして全体の 70%を用い、テストデータとして残りの 30%を用いるものとする。予測に用いる分類器モデルとしてロジスティック回帰とサポートベクターマシン (以下,SVM) を用いる。これは、類似のデータセットにおいて取引先推薦を試みた先行研究 [Mori 12] でこれらの手法の有効性が確認されており、本研究への適用可能性が期待されるからである。尚、これらのモデルにおける特徴量の重みの評価を行うにあたっては、決定係数に基づく各特徴量の分散拡大要因 [Hair 14] を計算し、得られた重みの値が妥当であることを検証している。

産業モジュール間取引の予測モデルにおける特徴量の設計では、局所的な企業の視点に限定するという観点を踏まえ、取引関係のリンクが存在する 2 ノードと、それら 2 ノードの隣接ノードから構成されるサブネットワークに限定する (図 1)。

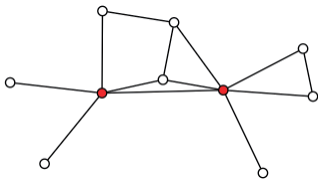


図 1: 特徴量定義に用いることのできるサブネットワーク図。中心の 2 ノードと隣接ノードからなるサブネットワーク

本研究では、全 49 個の特徴量を用いて予測を行った。ネットワークのクラスタリングはネットワーク全体の構造を考慮した末に導かれるメゾスケールな視点から導き出されるネットワーク量であり [Kajikawa 12], そのためそこから定義される産業モジュール間取引はメゾスケールな量である。このメゾスケールな量を、個々の企業が持ちうる情報という点から制約をかけた特徴量で推定することが本研究の目的である。ここでは、主要な特徴量を 2 つ説明する。

一つ目は、Burt の制約指標 [Burt 92] を、本研究に合わせ再定義した特徴量である。Burt は、ネットワーク内のあるノードにおける構造的空隙を評価する際に、制約指標を導入した。これによると、ノード u の制約指標は、

$$C_u = \sum_v C_{uv} = \sum_v (p_{uv} + \sum_{w \neq u, w \neq v} p_{uw} p_{wv})^2 \quad (1)$$

であり、 p_{uv} はネットワーク内におけるノード u のすべての関わりのうち、ノード v に対する関わりが占める割合を示しており、

$$p_{uv} = \frac{z_{uv}}{\sum_w z_{uw}} \quad (2)$$

によって表される。ここで、 z_{uv} はリンク (u, v) の結びつきの強さである。今回の、取引ネットワークの定義においては、リンクに重みの情報はないため、 $p_{uv} = 1/k_u$ と定義する。これは、ノード u の他のノードへの関わりは均一であると仮定したものである。Burt の定義のように、式 (1) の和をとったノードの値としてではなく、特徴量として着目する取引関係 (u, v) に対し、 C_{uv} と C_{vu} の値を用いる。この指標は、個々のノードの次数が低くなるほど (関わる相手が固定的になるほど)、低くなる指標であり、また、共通の取引先の存在が増えることによってその間接的な制約が伝播するとして制約が増大するように設計された指標である。

二つ目は、仕入先業種 (または都道府県) 相対割合および販売先業種 (または都道府県) 相対割合である。産業モジュール間をつなぐ役割を持つ取引関係は、一般的な取引関係と比べて希少な存在であることが期待される。ここでは、その希少さの度合いを割合によって表し、反映した特徴量を独自に設計する。仕入取引や販売取引における企業の業種ペア (あるいは都道府県のペア) の組み合わせが、その取引を行う企業の取引の総数の中でどの程度の割合を占めているかを示す指標であり、例として、企業 u の仕入先業種 l に対する相対割合 R_{ul} は、

$$R_{ul} = \frac{\text{企業 } u \text{ の業種 } l \text{ に対する仕入取引数}}{\text{企業 } u \text{ の仕入先総業種数}} \quad (3)$$

により定義される。同様の定義を、販売先業種、および仕入先都道府県、販売先都道府県について用い、特徴量とする。業種については、TSR 業種コードの業種中分類と業種細分類についてそれぞれ特徴量を計算する。

3. 結果

3.1 取引ネットワークの作成

2.1 にて述べた手法に従い 2016 年度のデータから中部地方における企業間取引ネットワークを構築した。その結果、構築されたネットワークにおける企業数と取引数を表 1 に示す。約 38 万企業、120 万取引からなるネットワークが構築された。

表 1: 中部地方取引ネットワークの概要

項目	データ数
企業数	383682
域内企業	199164
域外企業	150365
所属地域不明の企業	34153
取引数	1206671
域内企業間取引	628493
域外企業を含む企業間取引	504205
所属地域不明企業を含む企業間取引	73973

3.2 取引ネットワークのモジュール分割とモジュール間取引の特定

本研究では、この主要モジュールをさらにクラスタリングし、弱い紐帯の特性を持つ産業モジュール間取引を特定した。今回の定義のもとでは、387333 取引が正例、682844 取引が負例となった。約 36.2%の取引が弱い紐帯の特性を持つ企業間関係に相当すると言える。これは平均値であり、業種によっても弱い紐帯の持ちやすさは異なる。図 3 に取引数が 2000 以上存在した各業種の仕入取引に占める産業モジュール間仕入取引の割合が上位 20 であった業種を示す。傾向として、機械器具や工業系素材の製造に関する業種が上位にあり、36.2%よりも高い割合を示している。この傾向は、モジュール間販売取引に関しても見られ、この結果から、機械器具や工業系素材など、産業の基盤を担う業種は弱い紐帯を備えやすいことが言える。

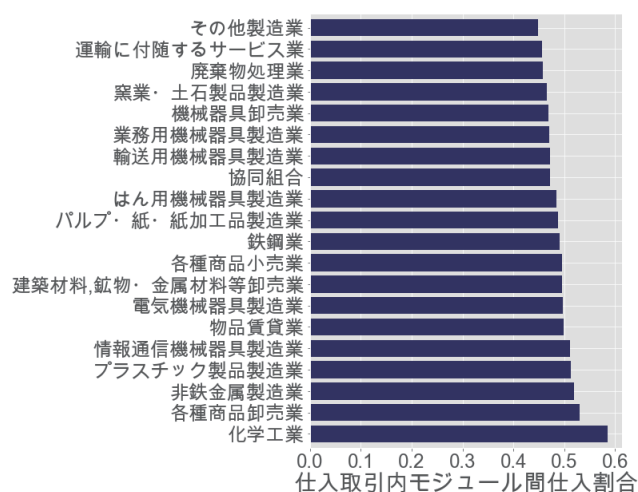


図 2: 業種毎モジュール間販売取引割合上位 20 業種

3.3 産業モジュール間取引の予測モデルによる予測

表 2 にロジスティック回帰、SVM に基づく予測モデルのモジュール間取引の精度を示す。ここでの予測は、3.2 で得られた 387333 取引の正例のうち、欠損の無いデータである 246353 取引について行っている。本来ネットワーク全体を俯瞰しなければわからないモジュール間取引を、局所的な取引構造に基づく特徴量からであっても、f 値 0.744 程度で予測ができていることがわかる。いずれのモデルも似通った精度ではあるが、特徴量の重みは若干異なっていることが観察された。このことは、似通った精度であっても、この精度を実現する分類の実態は両者異なる可能性があることを示す。以降の考察では、両者の予測器に共通で見られた寄与の高い特徴量の特性を中心に弱い紐帯が備える特性を企業の視点から議論する。

表 2: 予測モデルの精度の評価

	ロジスティック回帰	SVM
accuracy	0.738	0.737
precision	0.726	0.724
recall	0.763	0.766
f 値	0.744	0.744

4. 考察

4.1 得られた結果を通して

産業モジュール間を媒介する取引を持ちやすい業種の傾向として、工業系素材系、機械器具系製造を中心とする製造業および卸売業が見られた。これらの業種は産業の基盤に関わる業種という特徴を持つと言える。この系統の業種が、弱い紐帯の特性を持つ取引関係を持ちやすいことの解釈としては、その業種特性として、様々な属性や形態を持つ企業と関わることできるためと考えられる。産業における基盤的な役割を發揮し、産業における上流工程に位置するこれらの企業は、様々な属性の企業と関わるができるという点において、ネットワークの構造的には、様々な属性の企業とのやりとりを通じた冗長性のない情報が集積しやすい位置に存在しており、弱い紐帯の強みを發揮しやすい環境にあると言える。企業活動においてこれらの業種との関わりを見直すことは、冗長性のない情報の獲得において優位に立てる可能性があると言える。

次に特徴量の重みからの解釈について説明する。

まず、今回のモデルにおいては、Burt の制約指標の特徴量の寄与が負でかつその絶対値が全ての特徴量の中で最大となる結果であった。この特徴量の寄与が高いことは、取引先の絶対数が多い企業の持つ取引はモジュール間取引となりやすく、また、それらの企業が持つ取引関係のうちでも、共通の取引先が存在しない企業との取引が弱い紐帯を形成しやすいことを示している。このような取引は、産業の基盤を担うような業種の取引にも反映されていると解釈できる。機械器具系や素材系のような、産業の基盤を担う商材を扱う業種に関しては、その取引先が多岐に渡ることになる。それらの多岐に渡る多様な取引先の間には、業種の性質の隔たりが存在し、相互な取引関係は発生しにくくなるものと考えられる。

次に、仕入先 (販売先) 都道府県相対割合や仕入先 (販売先) 業種相対割合の特徴量の重みは負となったことについて説明する。これはより希少な業種や希少な地域の企業との取引がモジュール間を媒介する取引となりやすいことを示していると言える。業種については、業種細分類よりも業種中分類で定義された特徴量の方が重みの絶対値が大きくなる傾向がある。これは、類似した業種の中での希少さではなく、より大きな視点からの性質の異なる業種の中での希少さが重要であり、属性の希少さが弱い紐帯の特定に際して重要な要因であるという主張を強める結果となっている。

最後に、販売側企業の出次数密度が負、仕入側企業の出次数密度は正の重みを持っている傾向が見られたことについて説明する。販売側企業の出次数密度の重みが負であることは、販売側企業の出次数が出次数に対して高くなっており仕入志向の企業であること、仕入側企業の出次数密度の重みが正であることは、仕入側企業の出次数が入次数に対して高くなっており販売志向であることを示す。このことは、仕入志向のサプライヤーの販売する商材を仕入れる販売志向のバイヤーは、異なる産業モジュールに属す可能性が高まることを示している。実際のデータ内において産業モジュール間を媒介する仕入志向のサプライヤーと販売志向のバイヤーのペアが見られた代表的な例として、自動車の完成車メーカーとその販売を担うディーラーの取引関係が挙げられる。これらは、同じ企業グループに属しながらも、製造と販売という役割を分担して、異なる企業形態を取って一連の業務を遂行している。直観的には、同じ企業系列に属すグループは同一の産業モジュールに属すと期待されるが、これらは、ネットワークの構造的には異なるモジュールに属しやすい傾向があると言える。ネットワーク構造が知識の拡

散において機能するとする [Todo 16] ならば, 同じ企業グループ内の関係であるから冗長性の低い情報が循環していると判断するのは早計である可能性があることが示されたと言える。

4.2 専門家の評価

本研究の実験結果及び考察を, 2019 年 1 月 10 日に経済産業省地域経済産業グループ地域活性化企画官(地域未来投資担当)兼地域未来投資促進チームを中心とする経済産業省職員 5 名に対し発表を行った。そして, 政策立案者という観点からみた本研究の有用性について評価を受けた。発表を通じて, 本研究の想定する大局的な取引ネットワーク内における企業の局所的な視点からの弱い紐帯の特定は非常に現実の経営環境に即した点において評価できるとの評価を受けた。現実の企業は, 本研究で扱うようなデータを入手することも利用することも困難な状況が多い。限られたリソースで意思決定を行わなければならない実際の企業環境を想定した局所的な視点は, 本研究のように大量のデータ分析が可能となる状況においては通常大局的な情報にのみ注力しがちになることで失われやすい視点であるという。その視点を失うことなく, 直感にも沿う納得感のある結果が出ていることが本研究の評価すべき点であるという評価を得た。また, 本研究の今後の発展について, 中部地方を超えたより広い範囲のネットワークの影響による外部性を考慮することでより普遍的な結果が得られるのではないかという指摘を得た。中部地方の取引ネットワークは製造業が主体となっており, 今回得られた機械器具系の及び工業的素材関連の業種が産業モジュール間取引を担いやすいと言う結果は製造業に偏った地域であるがゆえであるという可能性がある。ここにおいて, 他の業種が顕著な地域においては通用しない可能性があるとの指摘を得た。さらに地域間の取引ネットワーク構造の差が存在するとすれば, それらを見ることもより議論を発展させる上で重要な知見となる可能性があるということであった。

5. 結論

変化の激しい市場環境においては, 冗長性のない情報獲得を可能にし, 市場の変化への素早い対応を可能にする弱い紐帯の強みは重要である。相対的に決まるネットワークの紐帯の強弱は本来グローバルな視点からネットワークを俯瞰しなければ判断できない。企業がこれらの紐帯の強弱に関する情報を活用し競争優位性を得ていくには, 限られた局所的な視点からの情報だけで上で自身の持つ取引関係の紐帯の強弱を推定することが重要である。本研究においては, 議論が不足している個別の企業の取引関係という視点から予測モデルを構築, 推定しその特性を議論した。産業モジュールを媒介する企業間関係について大きく三つの示唆が得られた。一つ目は, 産業の基盤を担う業種の取引はモジュールを媒介する可能性が高いこと, 二つ目は, 地域や業種といった, より希少な属性を持つ相手との取引関係は産業モジュールを媒介しやすいこと, 三つ目は仕入志向のサプライヤーと販売志向のバイヤーの取引関係は産業モジュールを媒介しやすいことである。これらの特性が得られたことは, 冗長性の少ない情報の獲得や新しい市場へのアクセスを期待した取引先や買収先, 共同開発先などの選定に有用であると期待される。

本研究の今後の展望として, 二つの方向性が考えられる。一つは, 別次元のデータを用いての拡張である。企業の特許の共著関係や引用関係に関するデータなどを, 本研究での取引データと合わせて考えることで, 新たな企業属性の定義などが可能になるであろう。もう一つは, 本研究で用いた分析手法の精緻化である。本研究では, ネットワークのクラスタリングに基づ

き凝集的な取引関係内の企業の集合を産業モジュールと定義, それらを媒介する取引関係を弱い紐帯の性質を持つ取引関係であるとして分析を進めた。実際には, 紐帯の強さは連続的に変化する値である。紐帯の強さをより定量的に反映した指標による議論が必要である。さらには, 今回の取引関係のネットワークには, 取引関係の有無だけでリンクを定義しており, Granovetter[Granovetter 73] や Burt[Burt 92] のようにリンクの重みに関しては議論ができていない。実際の取引関係には取引額や取引頻度, 取引の重要度などの要素が存在し, それらを予測に合わせて利用することは, 厳密な意味での弱い紐帯を特定するにあたっては重要な議論である。

謝辞

本研究は, (株) 東京商工リサーチが保有する企業情報データと企業相関データを用い実施した。ここに, 感謝の意を表する。

参考文献

- [Granovetter 73] Granovetter, M. S.: The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, vol. 78, no. 6, pp. 1360-1380, (1973).
- [若林 06] 若林直樹: 日本企業のネットワークと信頼企業間関係の新しい経済社会学的分析, 有斐閣, (2006).
- [Todo 16] Todo, Y., Matous, P., and Inoue, H.: The strength of long ties and the weakness of strong ties: Knowledge diffusion through supply chain networks. *Research Policy*, vol. 45, pp. 1890-1906, (2016).
- [Blondel 08] Blondel, V. D., Guillaume, J. -L., Lambiotte R., and Lefebvre, E.: Fast unfolding of communities in large networks. *J. Stat. Mech.*, P10008, (2008).
- [Sanz-Cruzado 18] Sanz-Cruzado, J., and Castells, P.: Enhancing structural diversity in social networks by recommending weak ties. In *Proceedings of the 12th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys '18)*, pp. 233-241, (2018).
- [Mori 12] Mori, J., Kajikawa, Y., Kashima, H., and Sakata I.: Machine learning approach for finding business partners and building reciprocal relationships. *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 12, pp. 10402-10407, (2012).
- [Hair 14] Hair Jr., J. F., Black, W. C., Babin, B. J., and Anderson, R. E.: *Multivariate Data Analysis* (7th ed.), Pearson, (2014).
- [Kajikawa 12] Kajikawa, Y., Takeda, Y., I. Sakata, and Matsushima, K.: Multiscale analysis of interfirm networks in regional clusters. *Technovation*, vol. 30, pp. 168-180, (2012).
- [Burt 92] Burt, R. S.: *Structural holes: The Structure of Competition.*, Harvard University Press, (1992).