

## ネットワークモチーフを用いた産業クラスタ分析

久武昌人<sup>†1</sup> 松野弘樹<sup>†2</sup> 内藤祐介<sup>†3</sup>

産業集積は、それを構成する企業の活動、すなわち企業間取引により維持、成長しており、産業クラスタを取引関係の構造から特徴づけるという観点が重要になってくる。多数の会社が織り成す取引関係はネットワークを構成する。本研究では、その結合関係を定量化するため、取引関係に対してモチーフを計測した。地域の既知のネットワーク構造と統合的にモチーフを解釈できること確認し、そして、クラスタ係数、パス長、次数等の統計量と比べて異なった観点で特徴が抽出されていることを確認した。また、トポロジの観点からの地域分類の候補として、モチーフの主成分の活用を提案する。

### Analysis of Industrial Clusters by Network Motifs

MASATO HISATAKE,<sup>†1</sup> HIROKI MATSUNO<sup>†2</sup>  
and YUSUKE NAITO<sup>†3</sup>

Characterizing industrial clusters in terms of topological patterns of company-company relation is of importance since agglomeration of industries can be generated and sustained through deal relation among companies. We analyzed local topological patterns or network motifs for seven industrial clusters in Japan. It is confirmed that motif profiles are consistent with known topology of industry clusters, indicating capability of quantifying topological feature. Comparison with other statistical measures like degree, cluster coefficient and path length is also given. Principle components extracted from a motif profile through PCA is suggested as a possible measure to classify industrial clusters from the viewpoint of network structures.

### 1. はじめに

産業集積とネットワークの関係は不可分である。経済活動は地域に関して非一様であり、産業が集積して密なクラスタを形成している現象が確認されている。この非一様性をもたらず駆動因としては、地域における地理的状況、自然資源等があげられよう。一方、第一次産業の比率は低下しており、これらの影響力は弱まる傾向にある。また、労働、資本の地域をまたがる流動性を考慮に入れると、地域の自然特性にのみ起因を求めることは無理がある。近年では、産業集積の形成要因として、企業間の相互作用、取引関係から内生的に駆動されているという側面が、相対的に増大していると考えられる。そのため、産業クラスタを特徴づけるうえで、その取引関係ネットワークの構造を評価する視点が重要になってくる<sup>1)-3)</sup>。

この過去10年は、様々な分野でのネットワークが調査・分析され、電力網、インターネットのリンク関係、細胞内におけるたんぱく質どうしの相互作用関係、俳優の共演関係、科学雑誌における引用関係等々において数理的な普遍性が見い出され、注目を集めてきた<sup>4)-6)</sup>。それらの研究で得られた知見を表すキーワードとして、スモールワールドとスケールフリーの2つがあげられる。そこで用いられるようになったクラスタ係数、平均パス長、次数分布といった統計量によるネットワーク解析は、異なるカテゴリのネットワークに共通する数理的特徴をあらわにし、日常的直感に数理解を与えたという点で成果をあげてきた。

一方、その手法に対して人々が腑に落ちない点を感じ、満足しきれないとすれば、それはネットワークという言葉の本来の意味が抜け落ちているという感覚を持つからだろう。ネットワークとはノードとノードの結線関係、トポロジを意味する語であった。たとえば、3つのノードに注目しただけでも、一方性の流れ、両方向の流れ、分岐、合流、ループ状の関係等、いくつものトポロジが考えられる。そしてそれらの構造を持った総体としてのネットワークが、全体としてある特長や機能を持つわけである。このとき、そのネットワークが機能的に働くうえで、各要素が何個の相手と関係を持っているかといった数量的なもののみが重要なのではなく、特定の結合関係が、役割を果たしていることは十分考えられる。つま

†1 独立行政法人経済産業研究所

Research Institute of Economy, Trade and Industry

†2 東京大学大学院総合文化研究科

Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

†3 株式会社人工生命研究所

Artificial Life Laboratory, Inc.

り、リンクの数だけを辻褃合わせして、どのようなつながり方をしているかを無視してランダムだと仮定してしまえば、世の様々なネットワークにおける機能的振舞いは破綻してしまうだろう。ゆえに、ネットワークのトポロジを捨象せずに考察するアプローチが非常に重要になってくる。ネットワークが体现する機能と、トポロジとの関係こそが、興味深い点なのである。

結合関係を考察するために、ネットワークモチーフと呼ばれる局所構造に基づいて調査する手法が提案されている<sup>7),8)</sup>。ネットワークモチーフは、上述の問題意識に基づいて、ネットワークを結合関係から特徴づける手法で、細胞内の遺伝子転写ネットワーク、シグナル伝達系、地縁結縁に基づく社会関係、インターネットのリンク関係、各国語における単語間関係、等多様な対象に適用されており、それらのネットワークにおける相違点と類似点を浮かび上がらせてきた。

地域経済学研究においては、スケールフリーネットワーク関連の数理的指標が、現実に存する地域の差異を検知することができず、異なる地域に対して類似の値を与えてしまうということが知られている。たとえば、1つの卓越した企業と、その傘下で発展した多数の下請け企業によって特徴づけられる企業城下町と、それとは対照的に、対等な競争によって水平的な関係が成り立っていると目されている地域に対して、ネットワーク上の統計指標が類似の値を与えてしまう、といったことが起こる。そのため、この違いをネットワーク構造の点から特定し、地域を分類することができるような指標の提案が望まれている。

経済ネットワーク、特に日本における産業クラスタのネットワーク構造についての研究としては、坂田らの研究がある<sup>9),10)</sup>。ここでは、企業間取引のネットワークが、クラスタリング手法に基づいて分析されている。これはネットワークを粗視化して見る手法で、複数のモジュールへ会社をグループ分けし、それらのモジュール間での取引、モジュール内での取引を計測するという調査をしている。トポロジの観点からは、水平な対等な取引と、縦にカスケードする階層的な取引の2つのタイプの存在が指摘されている。もっとも、そのような、階層/水平の検知は、数理的手順によってではなく、取引に参加している代表的な企業名を個別的に特定して、その企業名からネットワーク関係を判断している。

このような背景の下に、本論文では、企業間取引という経済ネットワークに対して、ネットワークモチーフを計測し、その分析を行った。ネットワークモチーフの観点から、経済関係ネットワークの結合関係を数理的に特徴づけることが目的である。ネットワークモチーフは多様な対象に対して適用されてきたが、経済ネットワークに対しての応用はほとんどなされておらず、その適用が待たれていた。日本における7つの産業クラスタを対象として、

ネットワークモチーフの分析を行った。また、次数、クラスタ係数、パス長といった統計手法と比較して、モチーフを用いた手法が、ネットワークの分類において有用であることを示した。また、トポロジの観点からの地域分類の候補として、モチーフの主成分の活用を提案する。

## 2. 手 法

調査の対象資料として、企業情報ファイルを用いた。これは、2004年度の日本全国に所在する企業を対象とした個別データ、および企業間取引データである。この資料を基に、企業をノード、取引をリンクとして、ネットワークを構成した。この資料から、今回の調査では、①各企業の一意な企業ID、②所在地、③業種、④取引関係を示す2つの企業IDの組、⑤取引の売買の種別、の5つを用いている。対象とする地域は、福山、東大阪、日立(含ひたちなか市)、大田区、四国中央、豊田(含刈谷、安城)、浜松の7つである(表1)。これらは、企業城下町として知られており、データ抽出上の条件(次章で後述)について一定以上のデータ量(取引参加企業が100以上)が確保できた地域である。

ネットワークモチーフを計算する手順は以下のとおりである。ネットワークから少数個  $N$  のノードを取り出し、それらの間の結合関係をモチーフと呼ぶ。典型的には、 $N$  として3あるいは4が使用される。本論文では  $N = 3$  とした。有向グラフの場合、三体関係は、対称性を考慮すると全部で13通り存在する(図1(上))。ネットワークに存在する3個のノードをあらゆる組合せについて調べ、どの種類のモチーフがどの頻度で出現するかという分布によって、ネットワークを特徴づける。その頻度を、ランダムネットワークでの頻度と比較し、実質的な高低を評価することができる。

その際、頻度の値として純粋にトポロジの違いによる効果を抽出し、その他の要因を排除するために、次のような条件を課したうえでランダムネットワークを生成する。ランダムネットワークと実ネットワークのノードが対応しており、すべてのノードにおいて、入り次数、出次数が一致しているものとする。つまり、実ネットワークとランダムネットワークの

表1 各地域の一覧と会社数：ケースA、Bの説明は、本文の結果冒頭を見よ

Table 1 List of regions inspected and the number of companies: See the result section in the text for the explanation about case A and B.

地域	ケース	福山	東大阪	日立	大田区	四国中央	豊田	浜松
会社数	A	4,092	1,590	1,470	2,084	820	2,477	4,042
	B	699	511	191	639	227	631	806

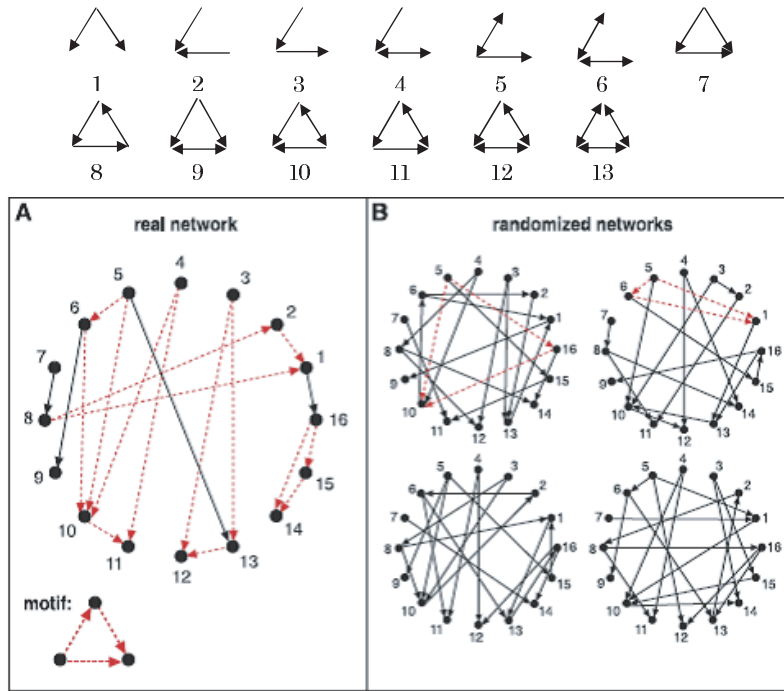


図 1 (上) モチーフ 13 種, (下) ランダムネットワークの例. Milo ら<sup>7)</sup> より転載  
 Fig. 1 (upper) Thirteen kinds of motifs (bottom) an example of random networks. From Milo, et al.<sup>7)</sup>.

間で、1つ1つのノードの特徴が同一になっている(図1(下)). ランダムネットワークと実ネットワークを比較すると、度数分布や平均度数等の統計量の観点から調べると同一のネットワークにしか見えないわけだが、トポロジに注目することで初めて違いが検出されるような性質を調べることを意味する. 各企業がどれだけの数、取引関係を持っているかという条件は保存したうえで、どの相手と取引をしているかという側面を取り出して定量化したものと考えればよい.

上記のようなランダムネットワークを多数生成し、そのアンサンブルと実ネットワークでの出現頻度の違いを見ていく. これは次の数式で定式化される.

$$Z_i = \frac{N_{real_i} - \langle N_{rand_i} \rangle}{std(N_{rand_i})} \quad (1)$$

$i$  は 13 種あるモチーフのインデックス,  $N_{real_i}$  は実ネットワークにおけるモチーフ  $i$  の出現回数,  $\langle N_{rand_i} \rangle$  はランダムネットワークにおける出現回数のアンサンブル平均,  $std(N_{rand_i})$  は、その標準偏差である. モチーフは 13 種類あるので、上記値は 13 次元のベクトルをなす. ここで長さを 1 に規格化すると、相対的な比較が可能となり便利である.

$$SP_i = \frac{Z_i}{\sqrt{\sum_i Z_i^2}} \quad (2)$$

以下、本論文では、特に断りが無い限り、モチーフと呼ぶ場合、この値 (SP: Significance profile) を指す. 本論文では、1 つの実ネットワークに対し、ランダムネットワークを 1,000 個生成して、アンサンブルとした.

### 3. 結 果

本章では、上述の 7 地域についてネットワークモチーフを調査した結果を述べる. その際、2 つの異なる条件 A, B でネットワークを構成し、それぞれについて、計算した. ケース A では、特定地域内における会社間関係が調査の対象とされる. ここでは地域をまたがった取引は考慮に入れていない. ケース B では、ケース A の条件に加えて、製造業どうしの企業間取引にデータを限定した.

ケース A, B に対する結果が、図 2 に示されている. いずれのケース、地域においもモチーフ 7 番において、ピークが存在し、著しい特徴である. これについては、後述する. ケース A と B では、ケース A においては、地域による値の差異が小さくなっている. これについては、様々な産業を含んだデータによって値が平均化された効果と、そしてケース A ではデータ件数  $n$  が多いぶん分散  $\sqrt{n}$  の比率が減るためと考えられる. 以下、本論文では、地域の特徴づけ、分類という目的から、産業を特定したケース B を考察の対象として議論を進める.

#### 3.1 簡素なモチーフと取引構造の対応

モチーフのトポロジについて、会社関係の観点からの解釈が可能であるか見てみよう. 図 2 ケース B では豊田が、モチーフ 1, 4, 6 で最低値, 2, 3, 9, 11 で最大値をとっており、強い特徴を持っているので、例として説明しやすい. モチーフ 1, 2, 3 は、構造が(構成リンク数の少なさという観点で)最も簡素であるので、モチーフが持つ経済的機能を理解するうえで、最初に説明を試みるべき対象である. モチーフ 1 は複数の顧客への販売を意味する.

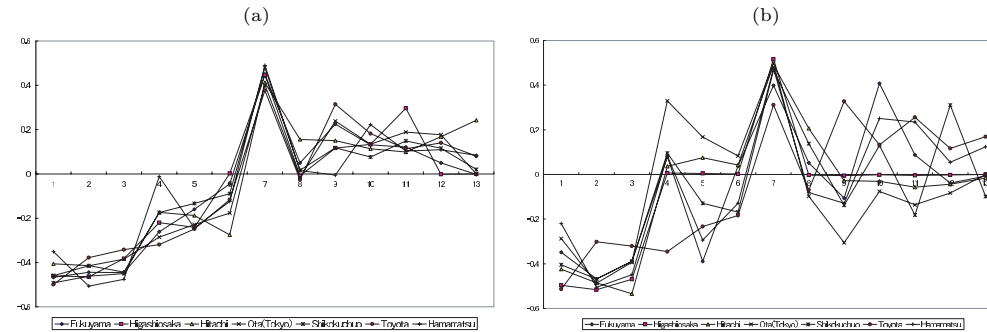


図 2 モチーフプロファイル (SP): (a) ケース A, (b) ケース B  
 Fig. 2 Motif profiles for each region: (a) case A, (b) case B.

モチーフ 1 が高いことは、販売者は複数の顧客を持ち、単一の顧客の影響に縛られる度合いが少ないと考えられる。モチーフ 2 は、モチーフ 1 の逆であり、複数の相手からの購入を意味する。モチーフ 3 は、売買がつながってカスケードした取引関係である。これらのモチーフの経済的含意を、豊田のデータに対して適用すると、豊田では販売会社（下請け企業）に対して顧客の拘束力が強く、特定企業への買取引の集中が見られ、また線的な取引関係の頻度が高い。これは企業城下町である豊田に対する日常的直感ともよく合致し、これらのイメージに対して、数理的なサポートが得られたことを意味する。また、モチーフがネットワークの結合関係、経済上の機能をとらえるうえで有用であることも同時に示唆される。

### 3.2 頻発するモチーフについて

いずれの地域においもモチーフ 7 番において、ピークが存在し、著しい特徴をなしていた。モチーフ 7 でピークを持つプロファイルは、経済以外でも様々な事例で確認されており (Milo ら<sup>8)</sup>)、今回経済ネットワークでもその構造が普遍的に見られることが確認された。モチーフ 7 番は、ノード A が B, C に対して出力し、ノード B も C に対して出力するという関係である。これは、入出力流の最上流に位置する A は、最下流である C に対し直接出力する一方で、B を経由した間接的な出力も行うという、フィードフォワード型のネットワークである。モチーフ 7 番の頻度が卓越する原因として、Milo らでは、次のような説明を与えている。リンクを通して何らかの意味でのシグナルが伝達するという状況を考える。そして、最下流ノード C が論理和をとる回路であると想定し、また、ネットワークの入出力の流れには、その直接性/間接性に応じて時間差があると考えられる。そうすると、モチーフ

7 番は、上流ノード A が継続してシグナルを伝達するときのみ、下流ノード C にシグナルが生まれる。そのため、ノイズに対して安定な回路を作るうえでの基本ブロックとなる。この考えは、細胞におけるシグナル伝達系といった生物学領域を念頭にいたものである。一方、会社間取引について考察する場合、上記のような説明はあてはまりにくく、別種の理由を考えなければならない。

取引ネットワークにおいては、モチーフ 7 番は、会社 A が B, C に対して販売し、会社 B も C に対して販売するという関係である。モチーフ 7 番を構成する会社を個別に確認してみると、たとえば典型例として、A 塗装会社、B 内装部品会社、C 自動車製造会社等がある。これは一例であるが、A 部品製造会社、B 中間製品製造会社、C より最終製品に近い製造会社といった会社によって取り結ばれる関係であることが予測される、そのような 3 社関係の多さが、モチーフ 7 番におけるピークとして現れているのではないかと考えられる。

### 3.3 他の統計指標との比較

次に、平均次数、平均パス長、平均クラスタ係数といった基礎的情報を算出し、それらによって産業クラスタがどの程度、評価、分類されうかを見ておく。ケース A, B について、これらの値を算出した結果が、表 2 である。ケース A と B を比較すると、全般的な傾向として、ケース A では、次数が高く、パス長が低い。これは、ケース A の方が緩い制約条件のため、多くの取引関係が存在しやすいう予想どおりのものである。豊田は例外で、ちょうど逆の傾向を示している。ケース A で全産業を含めると、結合が希薄化するため、豊田では製造業に地域産業が集中していることが見てとれる。

表 2 各地域のクラスタ係数, 次数, パス長: 各地域の平均値をケース A, B それぞれについて示している. 取引間関係を地域内や製造業どうしに制限しているため, 各ネットワークは, 連結しているとは限らない. パス長を計算する際は, 連結した部分グラフで最大ノード数のものを対象とした. その際, 括弧内左に, 部分グラフノード数, 右が全ノード数を付記した

Table 2 Cluster coefficient, degree and path length in each region: The average values are shown for case A and B. Nodes in any network are not fully connected because we restrict our data to the relations within a given region. To calculate average path length, the largest connected set of nodes is chosen. The size of the connected sub-network used for calculation and the size of the original network are shown in blanket, the former in the left, the latter in the right.

地域	ケース	福山	東大阪	日立	大田区	四国中央	豊田	浜松
クラスタ係数	A	0.0671	0.0457	0.0708	0.0826	0.1370	0.1315	0.0664
	B	0.0758	0.0425	0.1028	0.0266	0.1340	0.2820	0.1157
次数	A	4.97	1.93	3.66	2.04	7.15	4.27	4.26
	B	2.78	1.61	2.90	1.76	4.88	4.75	3.74
パス長	A	6.136 (3,998/4,092)	9.839 (904/1,590)	6.350 (1,353/1,470)	6.203 (1,356/2,084)	3.565 (798/820)	7.590 (2,358/2,477)	4.476 (3,803/4,042)
	B	8.424 (610/699)	6.644 (67/511)	3.847 (160/191)	7.232 (307/639)	4.812 (215/227)	3.167 (581/631)	4.448 (634/806)

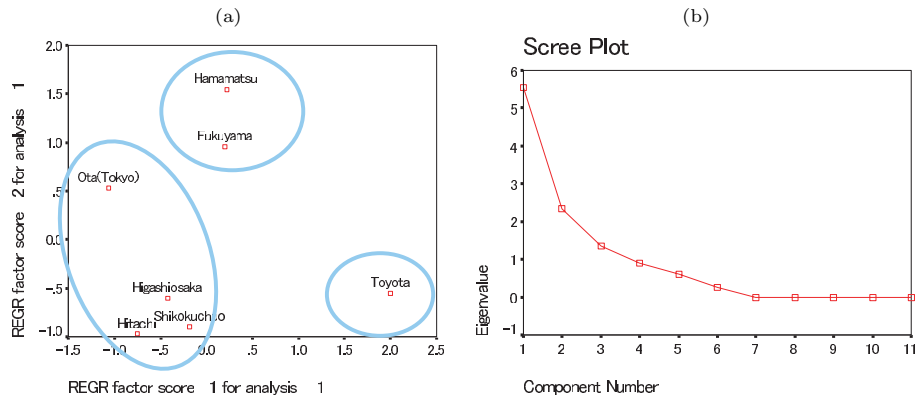


図 3 (a) モチーフを主成分分析し, 第 2 成分までを图示 (b) 各成分の固有値  
Fig. 3 (a) The first two principle components for network motifs, (b) eigen value of each component.

これら 3 つの統計量と, モチーフの値を比較していこう. モチーフは 13 次元と高次元であり, 直接の比較はできないため, まず 3 つの統計量と, モチーフをそれぞれ主成分分析して低次元へ射影する. そうすることで, モチーフの観点から, そして他の 3 つの統計量の観点から, 産業クラスタがどのように配置されるかを見ることができる.

表 3 モチーフ間の相関. p 値 5%以下のペアについて相関を示した.

Table 3 Correlation between a pair of motifs. Correlation coefficients between pairs of motifs. Those which are less than 5% in p value are shown.

pair of motifs	2-4	2-7	2-9	4-9	5-10	6-12	11-13
correl.	-0.796	-0.917	0.803	-0.991	-0.963	-0.851	0.912
p value	0.032	0.004	0.03	0.000	0.001	0.015	0.004

モチーフの第 1 成分, 第 2 成分にプロットしたのが図 3 (a) である. この 2 次元上での各地域の配置は, モチーフの観点から地域を類似性, 相違性を示したものと考えられる. 図 3 (b) は, 分散行列の固有値, すなわち各成分の説明力を示している. 図 6 によると, 第 5, 6 成分といった後続の成分に至るまで説明力が残存している. ここで, モチーフ間の相関係数を調べると, 表 3 のようになる. モチーフ間に, 依存性があることが見てとれる.

上記に得られた平均次数, 平均パス長, 平均クラスタ係数のデータに対して, 主成分分析を実施した結果が図 4 (a) であり, (b) は軸の説明力を表す. 図 4 (a) のプロットは, モチーフに対する主成分分析の結果のプロットとは配置が大きく異なっており, それぞれ違う観点から産業クラスターを特徴づけていることが分かる. また, (b) によると, 第 1 成分が説明力のほとんどを占めており, 平均次数, 平均パス長, 平均クラスタ係数の 3 つの指標は, 次元が一次元に近くなっていることが示唆される. そこで, これら 3 指標の間の相関係数を調べた (表 4). これら 3 指標の間に強い相関が認められ, やはり次元が落ちていることを裏

84 ネットワークモチーフを用いた産業クラスタ分析

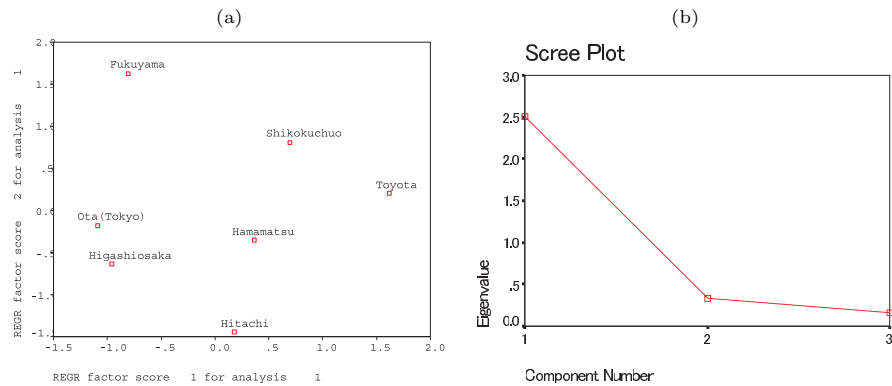


図 4 (a) 度数, クラスタ係数, パス長を主成分分析し, 第 2 成分までを图示. (b) 各成分の固有値  
Fig. 4 (a) the first two principle components for the three quantities, degree, cluster coefficient and path length, (b) eigen value of each component.

表 4 度数, クラスタ係数, パス長の相関

Table 4 Correlation among degree, cluster coefficient and path length.

pairs	cluster-degree	cluster-path	degree-path
correl.	0.830	-0.745	-0.678
p value	0.021	0.055	0.094

づける. 結合関係というより, 結合の疎密の程度に近い情報となっている恐れがあり, ネットワークのトポロジを知るという我々の目的からはずれずる.

4. 考察, まとめ

本論文では, 産業クラスタとして 7 つの都市を対象とし, 企業間取引におけるネットワーク構造を把握するため, ネットワークモチーフを用いて解析した. データは, 地域内における製造業どうしの取引関係を対象とした. この結果, まずモチーフ 1, 2, 3 といった簡素なパターンに着目すると, それらの値が, 地域での取引構造とうまく対応していることが, 豊田を例として確認された. そのため, ネットワークの結合関係, 経済上の機能を考えるうえで有用であることが示唆された.

また, モチーフについての結果をを, 度数, パス長, クラスタ係数といった指標と比較, 評価した. その際, 度数等の統計量と, モチーフに対してそれぞれ, 主成分分析を行った.

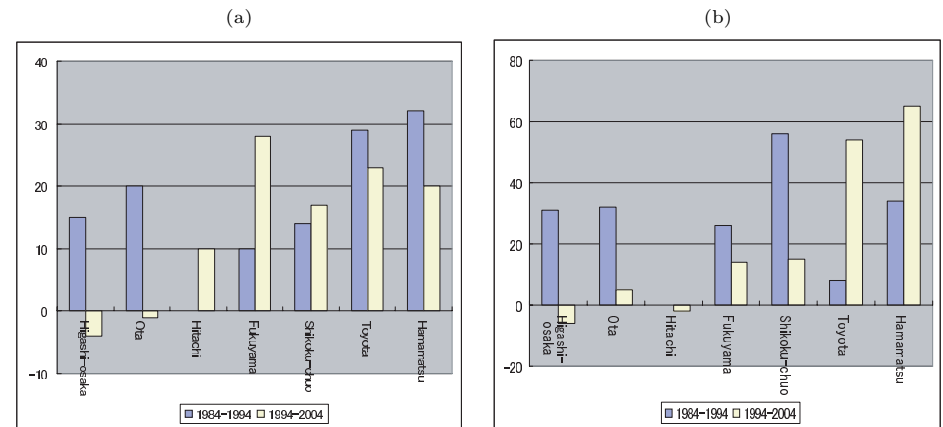


図 5 (a) 出荷高の成長率. (b) 付加価値の成長率  
Fig. 5 (a) growth rate of output per capita growth in each region, (b) growth rate of value-added per capita in each region.

度数, パス長, クラスタ係数の結果は, これらの量が低次元化が起っており, 対象とした取引ネットワークに関する限りは, リンク密度に近い意味を持つものであった. 一方, モチーフでは, それら 3 つの統計量とは異なる定量化が行われていることが, 主成分分析からも確認できる. 総じて, モチーフは, トポロジの情報を伝えていることが分かる.

モチーフに対する主成分分析の結果は, トポロジの類似性, 相違性の観点から, 地域が配置されている. したがって, この配置を地域の分類指標として使用する, といった利用法が考えられる. ではモチーフによる地域評価に対して, 現実のデータからのサポート・裏づけは得られるだろうか. そこで, モチーフの結果と, 実際の地域のマクロデータとの間に何らかの対応があるかを, 確認してみる. たとえば, モチーフによって, 地域の経済発展といった事象を説明することが可能であろうか. 各地域のマクロ経済情報<sup>12)</sup>に基づき, 各企業の資本金あたりの出荷高の地域平均を求め, 前の期間との変化率を示したのが図 5(a)である. 同様に, 各企業の資本金あたりの付加価値 (出荷高 - 原材料費) の地域平均の変化率が図 5(b)に記載されている. 両者とも地域の経済成長を知るうえで参考となる値である. いずれも東大阪, 大田区の成長率が低く, 一方, 豊田, 浜松が高い成長率を示している.

ここで, モチーフに対する主成分分析の結果を振り返ると, 豊田, 浜松の第 1 成分が高く, 一方で, 大田区, 日立, 東大阪が, 低い値を示していた. これは, 経済成長率のマクロ



データと一致する。地域内の取引関係のネットワーク構造のみに注目したモチーフという手法が、経済成長率といった事象と関連しているというのは非自明なことであり、興味深い。地域の経済成長率に対しては、その地域に産業分布が大きく影響していると考えられる。もし産業ごとに特徴的なモチーフプロファイルが異なっていれば、上記の相関関係は、地域が成長産業をどの程度の割合で含んでいるかを反映して生じていると予想される。

したがって、将来の研究課題として、業種を製造業以外に対しても、モチーフを算出し、産業に特有のネットワーク構造を分析する、ということも興味深い。産業個固有の取引関係パターンがあれば、各産業に固有な特徴、機能が、ネットワークの結合関係に反映されていることになり、機能とトポロジの関係の理解に資するだろう。

また、地域による産業分布の違いからくる影響度を指し引いたうえで、モチーフの影響度が残っていることが定量的に示せれば、より直接的にモチーフが地域経済活動へ影響を及ぼしていることを示したことになるだろう。筆者らのグループは、現在この課題に取り組み中であり、近い将来成果を出したいと考えている。また、対象地域数を増やすことで、議論の妥当性を上げるとことも望まれ、そこから新たな知見の可能性もある。

### 参 考 文 献

- 1) Fujita, M. and Hisatake, M.: The Transformation of Regional Economic System in Japan and East Asian Analysis from the perspective of a new spatial economics, *Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI) Discussion Paper*, 98-DOJ-93 (1998).
- 2) Fujita, M., Krugman, P. and Venables, A.: *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, MIT (1999).
- 3) 久武昌人, 原藤省吾: 産業の地理的集中について, Ministry of Economy, Trade and Industry, *Research and Analysis Division, Research Reprt*, No.02-04 (2002).
- 4) Watts, D.J. and Strogatz, S.H.: Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature*, Vol.393, pp.440-442 (1998).
- 5) Barabasi, A.-L. and Albert, R.: Emergence of Scaling in Random Networks, *Science*, Vol.286, pp.509-512 (1999).
- 6) Jeong, H., Mason, S., Barabasi, A. and Oltvai, Z.: Lethality and Centrality in Protein Networks, *Nature*, Vol.411, pp.41-42 (2001).
- 7) Milo, R., Shen-Orr, S., Itzkovitz, S., Kashtan, N., Chklovskii, D. and Alon, U.: Network Motifs: Simple Building Blocks of Complex Networks, *Science*, Vol.298, pp.824-827 (2002).
- 8) Milo, R., Itzkovitz, S., Kashtan, N., Levitt, R., Shen-Orr, S., Ayzenshtat, I.,

Sheffer, M. and Alon, U.: Superfamilies of Evolved and Designed Net-works, *Science*, Vol.303, pp.1538-1542 (2004).

- 9) 坂田一郎, 梶川裕矢, 武田善行, 柴田尚樹, 橋本正洋, 松島克守: 地域クラスター・ネットワークの構造分析, *Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI) Discussion Paper*, 06-J-055 (2006).
- 10) 坂田一郎, 柴田尚樹, 小島拓也, 梶川裕矢, 松島克守: 地域経済圏の成長にとっての最適な地域ネットワークとは, *一橋ビジネスレビュー*, Vol.53, No.3, pp.182-195 (2005).
- 11) TSR Database Service: 株式会社東京商工リサーチ (2004).
- 12) 平成 17 年工業統計表「市区町村編」(1984-2005), 経済産業省産業政策局調査統計部 (2006).

(平成 20 年 1 月 11 日受付)

(平成 20 年 5 月 16 日採録)



久武 昌人

昭和 57 年東京大学経済学部卒業, 同年大蔵省入省。平成 11 年京都大学経済研究所助教授, 平成 15 年経済産業研究所上席研究員, 平成 18 年経済産業省経済産業政策局参事官。地域経済学, 産業集積, 地域公共政策, 企業のイノベーションと多様性に関する研究に従事。



松野 弘樹

昭和 48 年生。平成 9 年早稲田大学理工学部卒業, 同年株式会社 SAP ジャパン入社。平成 15 年東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了, 現在同大学院博士課程在学中。原始生命の抽象モデルの計算機実験に従事。細胞構造の自発運動の数理モデルに取り組む。日本物理学会, 日本生物物理学会各会員。



内藤 祐介

昭和 29 年生。昭和 55 年電気通信大学大学院修士課程修了，同年株式会社日立製作所入社。ほか 2 社を経て，平成 6 年株式会社人工生命研究所設立。現在，同社代表取締役。平成 13 年東京大学大学院工学系研究科博士課程単位満了退学。人工知能および人工生命応用研究としてイノベーション研究，タンパク質構造予測，ロボット開発等に従事。人工知能学会，日本ソフトウェア科学会，電子情報通信学会，計測自動制御学会，日本神経回路学会各会員。

---