

## 日本の共同出願特許ネットワークにおける地理的特性

井上寛康  
相馬 亘  
玉田俊平太

Joint Application Networks of Japanese Patents: Analyses of Geographical Features

Hiroyasu Inoue  
Wataru Souma  
Schumpeter Tamada

**ITEC Working Paper Series**

**07-04**

**March 2007**

## 日本の共同出願特許ネットワークにおける地理的特性

同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター  
ワーキングペーパー07-04

井上寛康

同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター (ITEC)  
COE特別研究員

602-8580 京都市上京区今出川通烏丸東入

Tel: 075-251-3183 Fax: 075-251-3139

E-mail: [hirinoue@doshisha-u.jp](mailto:hirinoue@doshisha-u.jp)

相馬亘

ATR認知情報学研究所 / NiCT

研究員

E-mail: [souma@atr.jp](mailto:souma@atr.jp)

玉田俊平太

関西学院大学経営戦略研究科助教授

E-mail: [bjr05139@kwansei.ac.jp](mailto:bjr05139@kwansei.ac.jp)

キーワード：特許ネットワーク、共同出願、ネットワーク分析、  
研究開発

本文内容の専門領域：ネットワーク科学、技術経営

著者の専門領域：

井上寛康：システム科学、技術経営

相馬亘：素粒子論、経済物理学

玉田俊平太：技術経営、科学技術政策、イノベーション

要旨：

本論文は企業間の研究開発活動が、企業間のネットワークによりいかに促されるかに接近するため、日本の共同出願特許から形成される特許ネットワークの構造を検証した。企業を共同出願によりつないだこのネットワークは67,659の企業と111,860のつながりを有している。分析の結果、次のことが得られた。(1) 特許ネットワークにおいて各企業が持つつながりの数はべき分布に従う。これは多くのつながりを持つハブと呼ばれる企業が存在するスケールフリーネットワークであることを意味する。(2) 各企業の周囲の企業が持つつながりの数の平均、および企業の群れ具合などは、各企業が持つつながりの数に対してほとんど無相関である。これは階層的な構造を持たないことを意味する。(3) 東京都以外の都市は東京都の協調的生産性に及ばず、またそれら都市においてほとんど差はない。これは日本の代表的都市の群れ具合からわかる。(4) すでにつながりを多く持つ要素ほど新たなつながりを得るという単純なネットワークの成長モデルとして広く知られているBAモデルは、特許ネットワークをおおよそ再現できる。しかし、地理的特性をモデルに追加することで、特許ネットワークをさらによく再現できる。そのモデルにおいては、つながりの起点となる企業はランダムに選ばれ、すでに持っているつながりの数が多く、地理的に近い企業ほど、そのつながりの終点として選択される。以上のようにネットワーク成長のモデルが構築できることから、ネットワークが企業間の研究開発活動をいかに促すかについて、大局的に把握できることが明らかになった。

謝辞：

本研究は、文部科学省21世紀COEプログラム「技術・企業・国際競争力の総合研究」プロジェクトにおける研究成果である。本研究は、株式会社人工生命研究所取締役代表の内藤祐介氏、関西学院大学の中野勉助教授、同羽室行信助教授のご協力・コメントをいただいで進められた。また、同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター (ITEC) の山口栄一教授の研究グループ各位から貴重なコメントをいただいた。ここに感謝の意を表す。

## 1 はじめに

企業において効率的に研究開発を行うことは不可避であり、政策においてもそれをどのように促すかは重要な問題である。社会学においては、以前からネットワークがいかに関業の研究開発を促進するかについて広範な研究が行われている[10]。一般的にネットワークとは個体を表すノードと、それらをつなぐリンクの2つの要素のみからなる。これら先行研究では、扱われるノードの数は多くて1000程度である。また個々の企業の研究開発に関心があるため、ネットワークの構造がどのように各企業に影響するのかという議論が十分とはいえない。また社会学においては、研究者や開発者のような個人をノードとするネットワークの研究[7]が盛んに行われており、意義のある多くの成果を有するが、本論文のフォーカスは、企業などの組織をノードとするネットワークであるため対象とならない。

一方で、数万といった多数の要素とそれらのつながりからなるネットワークの分析が物理学の文脈で盛んに行われており[4][3]、たとえば経済物理学でもネットワーク分析は成果をあげている[13]。しかしながら企業をノードとしたネットワークにおける研究開発活動、特に本論文で扱う特許から形成されるネットワークについて、上記のような大規模なネットワークの研究はこれまでにない。

本論文では、企業間研究開発活動のダイナミクスに接近するため、日本の共同出願特許から形成されるネットワークがいかに関業間研究開発活動を促すかについて議論する。日本の特許を扱ったのは、共同出願特許が米国・欧州に比べて盛んであり、多くのデータが採取可能であるためである。

以下、2章で本論文で扱ったデータとそれから生成される特許ネットワーク全体についての基本的分析、3章で特許ネットワークの地理的な切り出しによる特徴の分析、4章で結論を述べる。

## 2 特許データとネットワーク

### 2.1 特許データによるネットワーク形成

本論文ではネットワークを構築するが、その対象となるデータは、公開特許公報および特許公報において1994年1月から2003年12月の10年間に記載された特許である。このデータに基づいてすでに構築されたデータベース (TamadaDatabase) [14]を利用した。このデータは4,998,464件の特許データを含んでいる。これら各特許の書誌から、“識別番号”、“氏名又は名称”、“住所又は居所”を抽出する。このとき、出願人(特許権者)は圧倒的多数が企業である。出願人は個人なども含むがそれらは除いた。このデータにおいては、出願人がノードとなる。そして、ある1つの特許に複数の出願人がいる場合には、それらの出願人の間にリンクがあるとす。このリンクは重複を考慮しない。すなわち何件の共同出願特許が存在してもそれらの出願人の間には同じ1つのリンクである。また、方向性を持たないリンクであり、これはグラフ理論で無向グラフと呼ばれる。以降では、このデータで構成されたネットワークを特許ネットワークと呼ぶ。

ネットワークにおいて、リンクを辿れば到達できるノードの集まりを連結成分と呼ぶ。一般的にあるデータからネットワークを形成する際、すべてのノードが1つの連結成分に含まれているわけではない。上記の特許ネットワークにおいても、連結成分が複数形成される。含まれるノード数が最大の連結成分を最大連結成分と呼び、特にほかと区別する。これはネットワーク分析において一般的に行われる選別である。この理由は、最大連結成分がネットワーク内の大多数のノードを含み、ネットワーク全体の特徴を代表するためである。図1は、横軸を連結成分のノード数、すなわちサイズ、縦軸をサイズごとの発生頻度を示した分布のグラフである。両軸とも対数スケールである。この図からわかるように、30,000すぎに頻度1のプロットがあるが、その次のプロットは30程度以下のプロットのみである。

表1はすべてのノードからなるネットワークおよび最大連結成分の基礎的データである。すべてのノードの数は67,659であり、リンクの数は111,860ある。一方で最大連結成分には34,830ノードが含まれており、約51%のノードが最大連結成分に属している。それらの間のリンクは84,843であり、約76%のリンクが最大連結成分に属している。最大連結成分については平均パス長、最大パス長、平均クラスタ係数[15]が示されている。パス長とは、あるノードからあるノードにいくつのリンクを辿ると到達できるか、の長さのことである。平均パス長はすべてのノード間のパス長の平均であり、最大パス長はそれらのうちで最大の長さである。平均パス長が4.45というのは規模からいうと妥当か、やや大きい。すなわち、リンクの数がそれほど濃いとはいえない。ただし、これは10年のデータであるので、単純に蓄積する形で特許ネットワークを構築するのであれば、より多くの期間を対象とすることで小さくなる数である。自分の知り合いを6人介せば世界の任意の人にたどり着くという仮説を検証したミルグラムによる六次

の隔たりの実験[6]は有名であるが、これはスモールワールドと呼ばれるネットワーク構造の場合である。すなわちスモールワールドネットワークとは、任意のノードから任意のノードへとリンクを辿る際、ノードの数に対して少ないリンクを辿るだけでよいネットワークのことを指す。後述するように、特許ネットワークはスケールフリーネットワーク（極端にリンクの多いノードを持つネットワークであり、スモールワールドよりもさらに平均パス長が小さい）であるので、この平均パス長は極端に小さいはずである。その値( $l$ )はおよそノード数を $N$ とすると $l \propto \log \log N$ に従うといわれている[3]。実際、論文の共著ネットワークの研究[8]においては、ノード数56,627に対して平均パス長約4.0であった。ノード数34,830の特許ネットワークの平均パス長4.45は少し長いといえる。

クラスタ係数については後ほど詳述するが、クラスタ係数は、ネットワークの中でノードが塊を形成している確率を表す量であり、この0.31という数値は他の

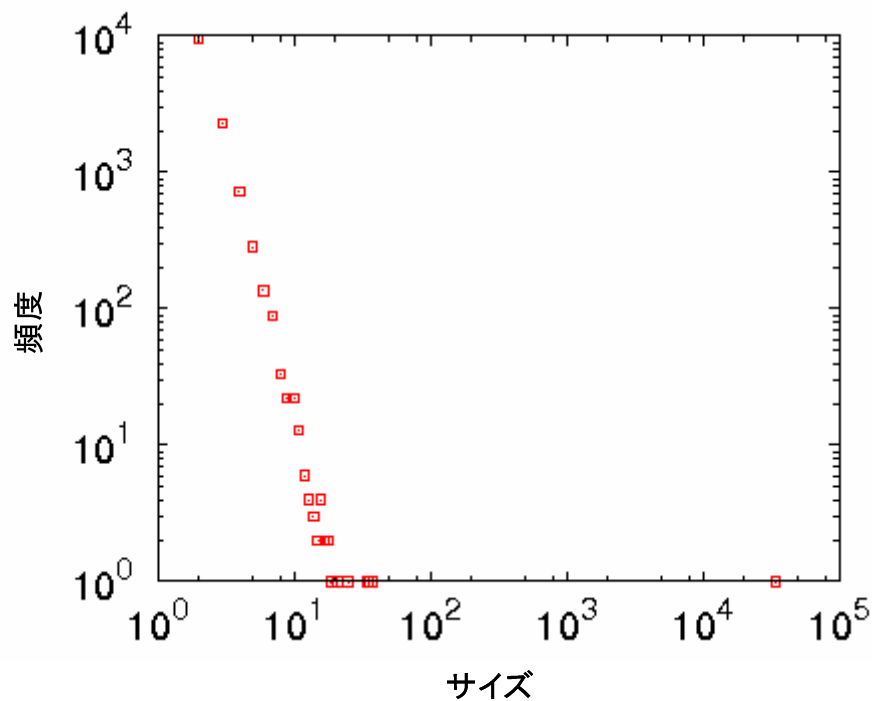


図 1: 連結成分のサイズの分布

表 1: ネットワークの基本データ

	全ノード	最大連結成分
ノード数	67,659	34,830
リンク数	111,860	84,843
平均パス長	-	4.45
最大パス長	-	18
平均クラスタ係数	-	0.31

自然界のネットワークと比べると大きい値である。したがって、企業は共同出願においては比較的群れを成しているといえる。ただし、クラスタ係数が高い1つの要因に、1つの特許が2つ以上の企業のリンクを形成しうることが挙げられる。たとえば、 $n$ 個の企業による共同出願特許がある場合、これらの企業は ${}_nC_2$ 個のリンクで繋がれる。このような（グラフ理論では完全グラフと呼ばれる）強い塊はクラスタ係数が大きくなる要因となる。

## 2.2 次数分布

特許ネットワークにおける次数の分布について議論する。ここで次数とは、ノードが保有するリンクの数である。ある次数を持つノードの分布を示したものが次数分布であり、図2および図3である。横軸は次数( $k$ )であり、縦軸は累積確率分布( $P(k \leq)$ )である。ここで累積確率分布とは、 $k$ 以上の次数をもつノードが出現する確率である。多くの文献では、累積確率分布ではなく確率密度関数( $p(k)$ )を用いて次数分布を議論している。確率密度関数と累積確率分布の関係は、次数の連続性を仮定すると

$$P(k) = \int_k^{\infty} dk p(k)$$

である。図2および図3の両軸は対数スケールである。

図2はすべてのノードについての次数分布であり、図3が最大連結成分に含まれるノードについての次数分布である。次数分布が指数 $\gamma$ のべき分布であったならば、

$$p(k) \propto k^{-\gamma}$$

であることから、

$$P(k \leq) \propto k^{-(\gamma-1)}$$

となる。すなわち、図2および図3においてグラフが直線でフィットできるはずである。これらの図中の破線は、それぞれ、

$$P(k) \propto k^{-\gamma}, \gamma = 1.36$$

および

$$P(k) \propto k^{-\gamma}, \gamma = 1.33$$

である。いずれにおいても、裾野を除いてべき分布がよく成り立っている。

このように次数分布がべき分布に従うネットワークは、スケールフリーネットワークと呼ばれる[1]。1999年にBarabásiらのグループが、ノートルダム大学内のリンク構造を解析して以来、生物からWWWに至るまで、さまざまなネットワークがスケールフリーネットワークになっていることが発見されている。そのため、ネットワークがもつこのような性質の背後には、ネットワークの個別性を

越えた普遍的メカニズムが存在すると考えられている。スケールフリーであるとは直感的には、ネットワークのある部分を取り出してもまたこのようなべき分布が存在すること、すなわちフラクタル性を持つことを示すといえる。

特許ネットワーク中には、最大連結成分に含まれない $10^1$ 以下の次数の小さなノードが多数あり、かつそれらは次数が小さいほど多い。それらを取り除かれるために、最大連結成分の破線の方が緩やかな傾きとなっている。

## 2.3 次数相関

ここでは次数間の相関について議論する。ある次数 ( $k$ ) のノードと隣接しているノードの平均次数は

$$\langle k_{nn} \rangle = \sum_{k'} k' p_c(k'|k)$$

により計算される。ただし、 $p_c(k'|k)$ は次数 $k$ のノードが次数 $k'$ のノードとリンクを持つ確率である。次数の間の相関という意味では、すべてのリンクの両端のノードの次数が、どのような相関を持つか調べるべきである[9]が、その性質は極めて扱いにくいいため、ここではこの平均次数によって次数間の相関を検証する。

最大連結成分における平均次数は図4のようになる。横軸は次数 ( $k$ ) を表し、

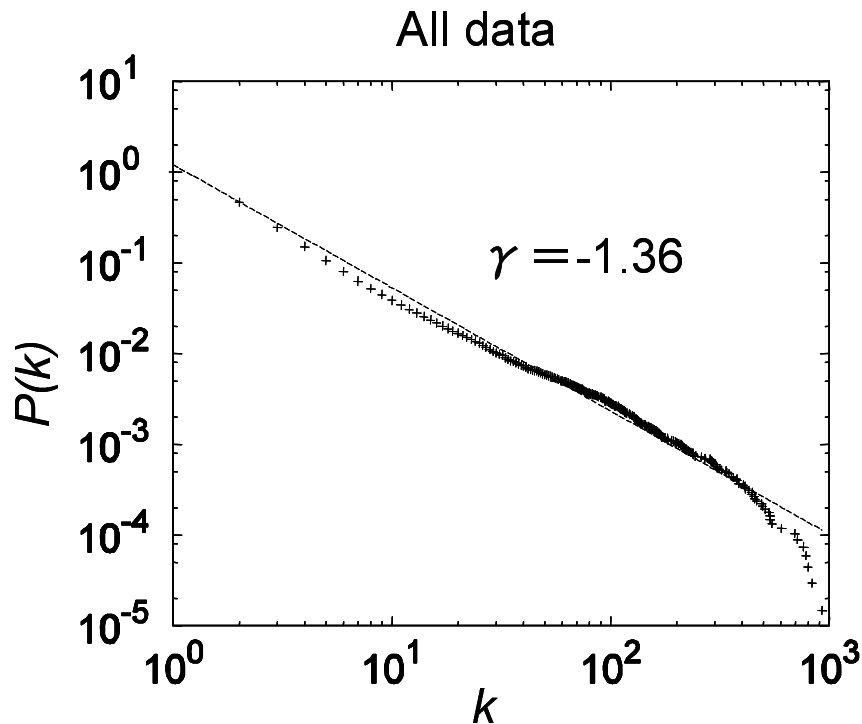


図 2: 次数分布 (全ノード)



縦軸は平均次数 ( $\langle k_{nn} \rangle$ ) を表している。いずれも対数スケールである。図4においては次数100を超えてからやや負の相関が見られるものの、全体としてほと

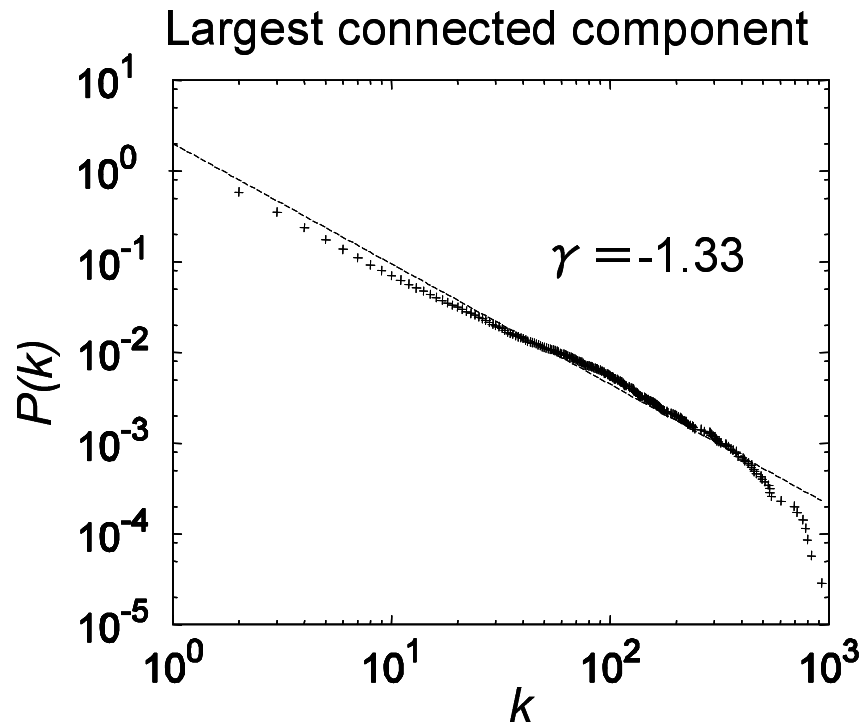


図 3: 次数分布 (最大連結成分)

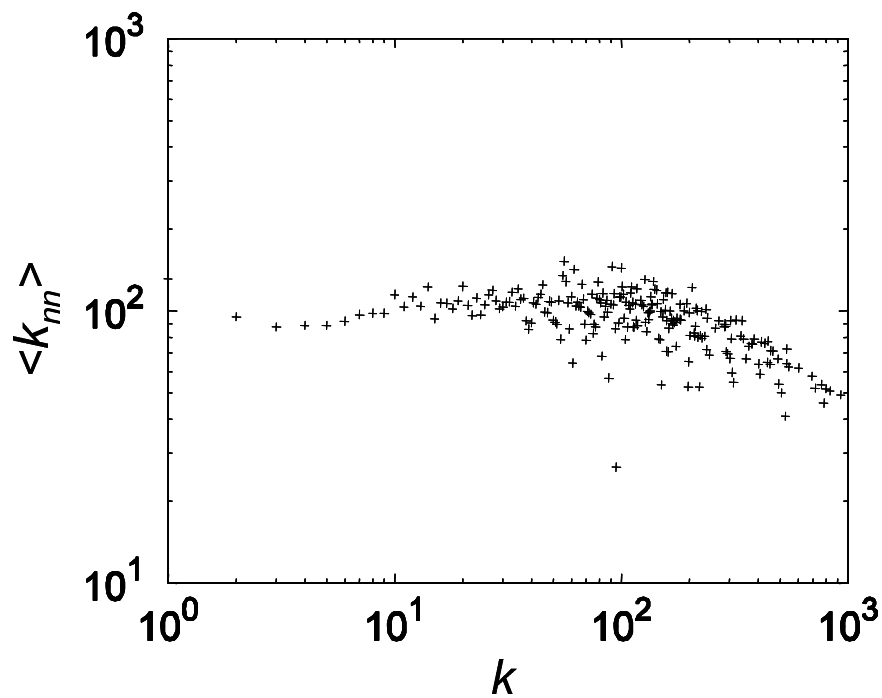


図 4: 平均次数  $\langle k_{nn} \rangle$

んど無相関である。

一方で、他のネットワーク、例えばproteinネットワーク[5]、Shareholdingネットワーク[12]、インターネットのネットワーク[9]などは、その次数相関の大部分において負の相関を持っており、この特許ネットワークとは異なっている。また、BAモデルにより形成されるネットワークは次数無相関である[9]。BAモデルとはスケールフリーネットワークを再現するために考え出された単純なモデルである[2]。正確には、Barabási-Albertモデルと呼ばれている。このモデルはネットワークの「成長 (growth)」と「優先的結合 (preferential attachment)」のみからなる。具体的には、あるリンクが加わるといとき、その起点のノードはランダムであるが、終点には次数が高いノードが選ばれるというものである。このBAモデルと次数相関が近いということは、特許ネットワークもまたこのBAモデルと同様のメカニズムに従う可能性を示唆している。特許ネットワークの形成モデルに関する考察は3章で再び行う。

## 2.4 クラスタ係数

ここではクラスタ係数について議論する。2.1節で触れたように、クラスタ係数はネットワークの中でノードが塊をつくっている確率を表す量である。いま、ノード*i*の次数が $k_i$ だとすると、それらのノードをつなぐ可能なリンクの数は、それらの組み合わせから、

$$k_i C_2 = \frac{k_i(k_i - 1)}{2}$$

である。実際にこれらのすべてが実現されているわけではなく、実現されている数を $e_i$ とすると、ノード*i*のクラスタ係数 $C_i$ は、可能な数との比、すなわち

$$C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

で定義される。2.1節の表1で示されたクラスタ係数は、このクラスタ係数のすべてのノードについての平均 ( $\bar{C}$ ) であり、

$$\bar{C} = \left( \sum_i C_i \right) / n$$

で計算される。ただし $n$ はすべてのノードの数である。

図5は最大連結成分における次数-クラスタ係数の散布図である。横軸は次数 ( $k$ ) を表し、縦軸はクラスタ係数 ( $C_i$ ) を表している。いずれも対数スケールである。

一見すると、負の相関があるように見えるが、これは正しくない。なぜなら、図5の左下および右上は、値として存在不可能であり、プロットが存在しないためである。したがって、これはほとんど相関がないと見るべきである。他のネットワークにおいては、強い負の相関を示しており、そのようなネットワークは階

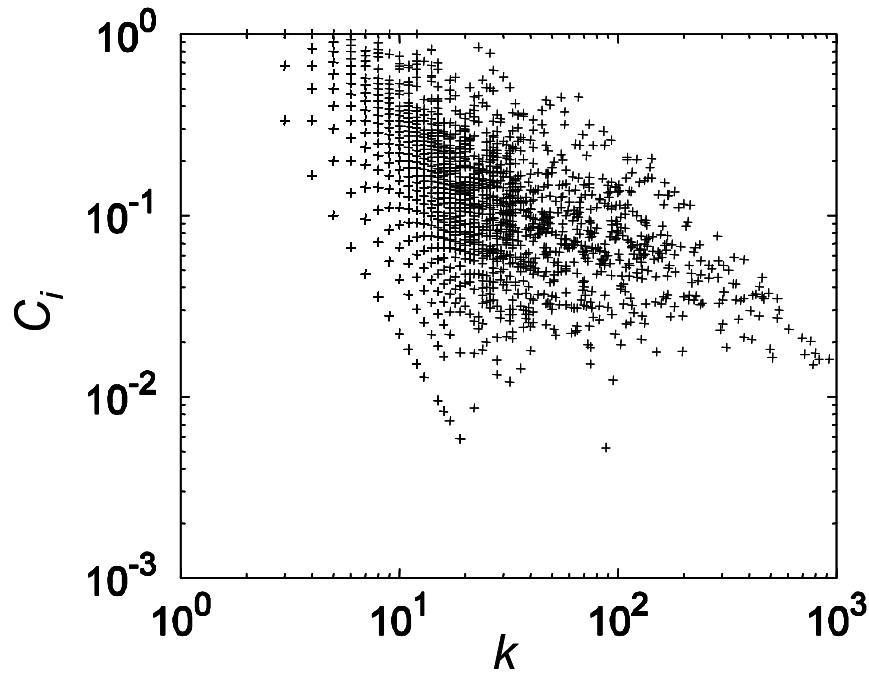


図 5: クラスタ係数

層的な構造を持つとされている[11]。特許ネットワークとほぼ同様のクラスタ係数のパターンを示すのは、同じく会社をノードとした、会社間の株所有ネットワーク[12]がある。強い負の相関が見られないため、特許ネットワークに階層性があるとはいえない。

本章では、特許のデータからどのようにネットワークが構成されるか、そして、特許ネットワークはどのような特性を持つかについて、基本的なネットワーク分析を行い検証した。しかしながら、次数相関およびクラスタ係数の相関の検証からわかるように、既存のネットワークとはパターンが異なっているため、これらの分析からネットワークの構造を知ることはできないといえる。次章においては、ネットワークの構造の把握に向け、地理的な特徴にフォーカスし議論する。

### 3 特許ネットワークの地理的特性

会社が地理的に存在する場所によってネットワークを切り出し、その部分的ネットワークの持つ傾向をここでは議論する。ここで選んだのは東京都23区（以下単に東京都）、横浜市、浜松市、新潟市、名古屋市、京都市、大阪市、広島市の8つの都市である。これらの8つの都市を選んだ理由は、まず社会的かつ経済的コミュニティから形成されるネットワーク分析の先行研究において浜松市、新潟市、京都市、広島市が選ばれている[16]ためである。この先行研究に合わせたのは、比較を行うためである。このように異質のネットワークでも比較可能

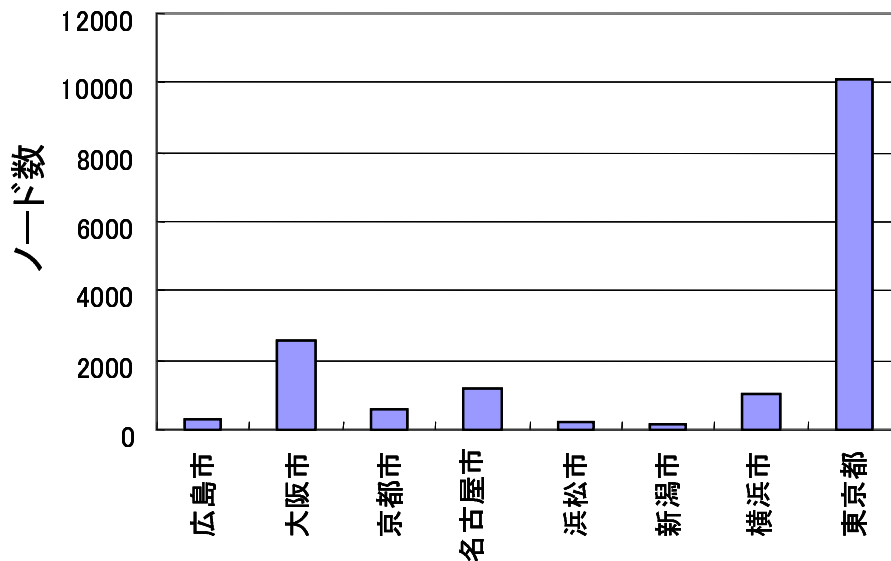


図 6: ノードの分布

性があるのはネットワーク分析の強みといえる。次に、残りの東京都、横浜市、名古屋市、大阪市については、大都市であるために選んでいる。これらは、上述の先行研究ではノード数が大きすぎるためにカバーできていない都市である。一方で、本研究はこのような大都市でもすべてのノードについて網羅的に把握できることが大きな特徴である。

### 3.1 クラスタ係数による協調的生産性の分析

各都市に分布しているノード数を示したものが図6である。縦軸は各都市に属するノード数を示す。これらの切り出しは、最大連結成分に対して行われている。本章の以降の分析についても同様である。図6からわかるように、東京都がノード数において突出しており、大阪市、名古屋市、横浜市が続いている。

各都市に属しているノードの平均次数を示したものが図7である。縦軸は各都市のノードにおける平均次数を表す。図6からわかるように、東京都と大阪市が平均次数において突出しており、7前後である。また、他の都市はほぼ同じであり、4前後である。

各都市に属しているノードの平均クラスタ係数を示したものが図8である。縦軸は各都市のノードにおける平均クラスタ係数を表す。このクラスタ係数の算出においては、最大連結成分から切り出された各都市のノード間のリンクのみが取り出されている。これにより、その都市内部の塊の程度を得ることができる。図8からわかるように、東京都が平均クラスタにおいて突出しており、また、横浜市が特に低く、他の都市はほぼ同じである。

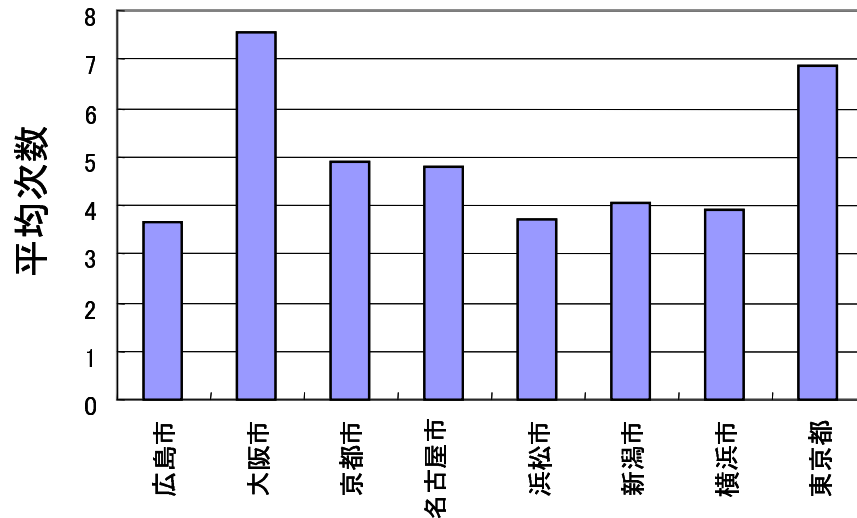


図 7: 平均次数

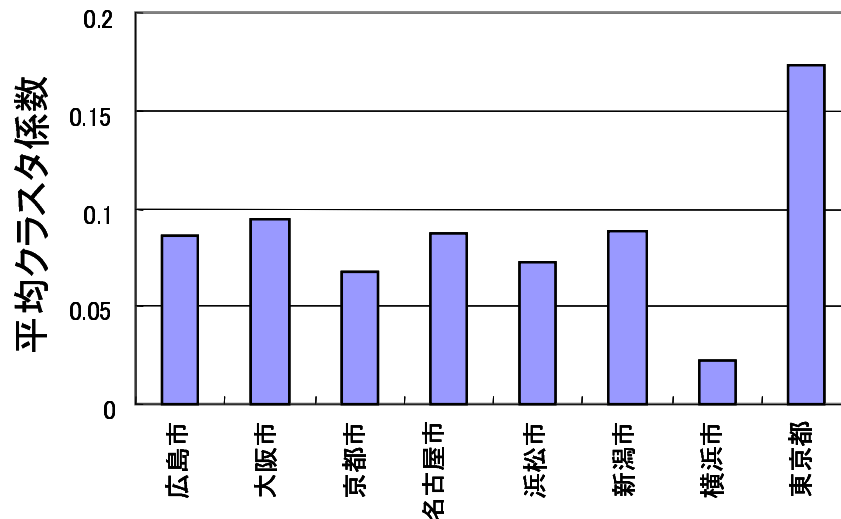


図 8: 平均クラスタ係数

図8の結果は、地理的に集積することで協調的生産性を得ているのは東京都が飛びぬけており、あとの都市は東京都に及ばないことを示す。横浜市を除く都市においては企業が集積し、協調的生産性があるかのように扱われることが多いが、実態はこのようにどこも同程度であり、東京都に及ばないことがわかる。

一方で図7の結果では、ノードが保持するリンクの数において、大阪市が東京都と同程度に高いことを示しているが、図8のように内部の平均クラスタ係数において小さな値となっている。直感的には、リンクの数が多いのであるから、平均クラスタ係数も高いように思われる。しかし、大阪市のノードは大阪市以外のノードと多くのリンクを保持しているため、このように平均クラスタ係数が小さくなっている。

また、企業間の社会的ネットワークを分析した先行研究においては、京都市、広島市、浜松市のクラスタ係数が新潟市と比べて高いことが示されている[16]が、研究開発活動の実現度としての特許ネットワークにおいては、そのような差が現れていない。これらネットワーク間で、差が生まれる理由については今後検討する必要がある。

## 3.2 リンクの傾向とネットワークのモデル

本節では、特許ネットワークがどのようなルールに従って構築されるのか、そのモデルを検討する。2.2節において、スケールフリー性および次数無相関性から、特許ネットワークがBAモデルに近いことを示唆した。BAモデルとはネットワークの「成長 (growth)」と「優先的結合 (preferential attachment)」のみからなる単純なモデルであった。

このBAモデルが特許ネットワークのモデルとなりうるか検討する。今、特許ネットワークにおけるリンクをすべて除き、(地理的情報を備えた)ノードだけがあるとする。その上で、BAモデルによる「成長」と「優先的結合」を行ってできあがるネットワークは、確かにスケールフリー性および次数無相関性は再現されるものの、特許ネットワークとは異なる構造を持つ。まず、平均次数が都市によってばらつくことが再現できない。これは、すべてのノードに平等にリンクが生成される機会があるためである。次に、都市における平均クラスタ係数が非常に低くなる。これはあるノードが起点となってリンクを張る際に、日本中にあるすべてのノードを候補とするためである。全国のすべてのノードを対象として張られたリンクが、3つのノードによる三角形を形成する確率は全ノード分の1である。この確率から、平均クラスタ係数が特許ネットワークよりかなり小さな値となることは明らかである。

ここまでの考察はBAモデルの検証に基づいているが、直感的に考えても近くにあるノードをわざわざ無視して、遠くのノードとリンクを張ることは考えにくい。すなわち、BAモデルには特許ネットワークの地理的な特性を再現できない。

ここでは、新たなモデルの提案に向け、特許ネットワークの地理的特性をさらに考察する。そこで、都市の内部へのリンクはどのような傾向にあるのかを調べる。すなわち、都市内のノードはその次数に関係なく、内部へのリンクを持っているのかいなかを調べる。

ある都市に存在するノードが、その都市内のノードとどれだけリンクを持っているかの割合、内部リンク比率 ( $r_k$ ) を  $r_k = k_{inside}/k$  と定義する。ただし、 $k$  は次数であり、 $k_{inside}$  はそのノードと同じ都市内のノードとのリンク数である。上記  $r_k$  を次数  $k$  ごとに平均したものを  $\bar{r}_k$  とする。

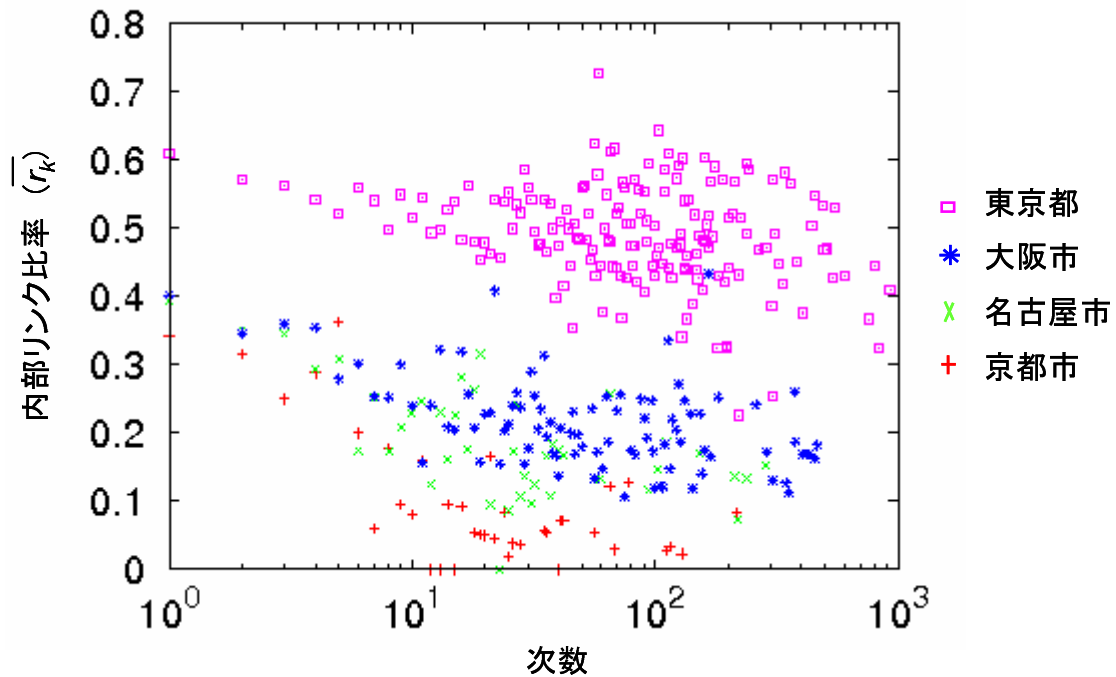


図 9: 内部リンク比率

度数 ( $k$ ) と内部リンク比率 ( $\bar{r}_k$ ) の散布図が図9である。縦軸が平均内部リンク比率であり、横軸が度数である。横軸は対数スケールである。図9によると、3.1節の都市ごとの平均クラスタ係数において考察したように、東京都とそれ以外では内部リンク比率に大きな差がある。しかしながら都市間で共通する特徴は、度数に対して内部リンク比率が負の相関を示していることである。これはBAモデルでは再現されない特徴でもある。BAモデルではこれは無相関となる。

この結果から推測される特許ネットワーク生成モデルは以下のようになる。

リンクの起点となるノードはランダムに選ばれる。そしてそのリンクの終点となるノードは、

- 度数が多いものほど
- 地理的に近いものほど

選択される。

このモデルは、BAモデルの特性を持ち、かつ度数が大きくなるにつれて他の都市へのリンクが増えるネットワークが再現できる。

研究開発活動における従来のネットワーク研究が、それぞれのリンクの詳細に着目することと比較して、本論文ではそのような詳細を捨象することで、背後にあるネットワーク生成のメカニズムは単純であることを明らかにした。

## 4 結論

本論文は企業間の研究開発活動が、企業間のネットワークによりいかに促されるかに接近するため、日本の共同出願特許から形成される特許ネットワークの構造を検証した。その結果は以下のようにまとめられる。(1) 特許ネットワークの次数はべき分布に従う。すなわちスケールフリーネットワークである。(2) 平均次数およびクラスタ係数は次数とほとんど無相関である。(3) 日本の代表的都市のクラスタ係数の分析により、東京都以外の都市は東京都の協調的生産性に及ばず、またそれら都市においてほとんど差はない。(4) BAモデルは特許ネットワークをおおよそ再現できる。しかしながら、特許ネットワークは地理的特性を強く示しているため、BAモデルに条件を追加することで特許ネットワークを再現できる。そのモデルにおいては、リンクの起点となるノードはランダムに選ばれ、次数が多く、地理的に近いノードほど、そのリンクの終点として選択される。

以上のようにネットワーク成長のモデルが構築できることから、ネットワークによって企業間の研究開発活動がいかに促されるかについて、大局的に把握できることが明らかになった。

本論文の内容をより精査するポイントは多くある。たとえば、業種ごとのネットワーク、あるいは日本において典型的な“系列”ごとのネットワークや、それらの系列間のネットワークの様子、ネットワークの時系列の変化について調べることにより、より多くの発見が可能と思われる。

一方で俯瞰的に眺めると本論文においては、組織をノードとし、特許の共同出願をリンクとするネットワークを対象としているが、Powell[10]が指摘するように、そのような企業間のネットワークは元来、個人のネットワークや企業のアライアンスのネットワークと相互作用を起こした結果として生まれているはずであり、これら重層化したネットワークに踏み込まなければならない。また、そのような解析の過程においては、研究開発活動の出力を特許だけ絞ることも問題がある。なぜならば、企業においてはすべての成果を公にすることは限らないためである。このような重層化したネットワークとそのネットワークが生み出す成果の捉え方は、今後の研究課題である。

## 参考文献

- [1] R. Albert, H. Jeong, and A.L. Barabási. Diameter of the world wide web. *Nature*, Vol. 401, pp. 130–131, 1999.
- [2] A.L. Barabási and R. Albert. Emergence of scaling in random networks. *Science*, Vol. 286, pp. 509–512, 1999.



- [3] A.L. Barabási and Z.N. Oltvai. Network biology: Understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews Genetics*, Vol. 5, pp. 101–113, 2004.
- [4] S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, and D.U. Hwang. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, Vol. 424, pp. 175–308, 2006.
- [5] S. Maslov and K. Sneppen. Specificity and stability in topology of protein networks. *Science*, Vol. 296, No. 5569, pp. 910–913, 2002.
- [6] S. Milgram. The small world problem. *Psychology Today*, Vol. 2, pp. 60–67, 1967.
- [7] M. Newman. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, Vol. 45, pp. 167–256, 2003.
- [8] M.E.J. Newman. Scientific collaboration networks: I. network construction and fundamental results. *Physical Review E*, Vol. 64, No. 016131, 2001.
- [9] R. Pastor-Satorras, A. Vázquez, and A. Vespignani. Dynamical and correlation properties of the internet. *Physical Review Letters*, Vol. 87, No. 25, 2001. 258701.
- [10] W.W. Powell and S. Grodal. *The Oxford Handbook of Innovation*, chapter 3, pp. 56–85. Oxford University Press, 2006.
- [11] E. Ravasz, A.L. Somera, D.A. Mongru, Z.N. Oltvai, and A.L. Barabási. Hierarchical organization of modularity in metabolic networks. *Science*, Vol. 297, pp. 1551–1555, 2002.
- [12] W. Souma, Y. Fujiwara, and H. Aoyama. *The complex networks of Economics Interactions - Essays in Agent-based Economics and Econophysics*, chapter 2, pp. 79–92. Springer, 2006.
- [13] H. Takayasu, editor. *Practical Fruits of Econophysics*. Springer, 2006.
- [14] S. Tamada, N. Yusuke, F. Kodama, K. Gemba, and J. Suzuki. Significant difference of dependence upon scientific knowledge among different technologies. *Scientometrics*, Vol. 68, No. 2, pp. 289–302, 2006.
- [15] D.J. Watts and S.H. Strogatz. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, Vol. 393, pp. 440–442, 1998.
- [16] 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最適な地域ネットワークとは - スモールワールド・ネットワークの視点による4地域クラスターの比較分析. *一橋ビジネスレビュー*, Vol. 53, No. 3, pp. 181–195, 2005.