社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

# ネットワーク分析手法を用いた企業間の取引関係ネットワーク分析

杉山　浩平† 　本田　治† 　大崎　博之† 　今瀬　眞†

† 大阪大学 大学院情報科学研究科
〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5
E-mail: †{k-sugi,o-honda,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし　近年、ネットワーク技術の発展により、さまざまな社会活動がネットワーク上の仮想社会 (サイバーソサイエティ) に移行しつつある。サイバーソサイエティ上の新しいサービスを実現するためには、サイバーソサイエティ上でのさまざまな商取引や流通行為が、どのような構造を取るべきかを明らかにすることが重要である。サイバーソサイエティ上で、個人や企業間の取引関係が、どのような構造を取れば良いかを知るためには、まず、現実社会において有効に機能している取引関係の構造を明らかにする必要がある。そこで本稿では、現実の企業間の取引情報をもとに、企業間の取引関係ネットワークを構築する。さらに、ソーシャルネットワークの分析に用いられている、ネットワーク分析手法を適用することにより、企業間の取引関係ネットワークがどのような構造になっているかを明らかにする。その結果、企業間の取引関係ネットワークの平均距離は約 3.36 ~ 5.36 であり、べき指数 2.06 のスケールフリー構造を持つことが分かった。また、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性は、企業の株価指標および収益財務指標と大きく関係していることが分かった。
キーワード　サイバーソサイエティ、企業間の取引関係ネットワーク、ソーシャルネットワーク、スケールフリーネットワーク

# Application of Network Analysis Techniques for Japanese Corporate Transaction Network

Kouhei SUGIYAMA†, Osamu HONDA†, Hiroyuki OHSAKI†, and Makoto IMASE†

† Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871 Japan
E-mail: †{k-sugi,o-honda,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

**Abstract**　In recent years, several social activities have been shifting to networked virtual society called *Cybersociety* because of rapid advancement of network technologies. For designing and realizing a new service in Cybersociety, it is crucial to fully investigate desired structure of commercial transactions and circulation activities among customers in Cybersociety. For this purpose, it must be fruitful to investigate the structure of business relationships among existing cooperations in real society, which are believed to be working effectively. In this paper, by utilizing a corporate information database, we first build a corporate transaction network based on dealings information among Japanese companies. We then investigate what structure the corporate transaction network has by applying several network-analysis techniques, which have been used for analyzing various social networks. Consequently, we show that the average distance of a corporate transaction network is approximately 3.36 - 5.36, and that it has scale-free property with a power-law index of 2.06. We also show that our proposed structural superiority index of a corporate transaction network is greatly related to several stock price indices and profit financial indices.
**Key words**　Cybersociety, Japanese Corporate Transaction Network, Social Network, Scale-Free Network

## 1　はじめに

近年、ネットワーク技術の発展により、さまざまな社会活動が急速にネットワーク上に移行しつつある。これにより、ネットワーク上に仮想社会 (サイバーソサイエティ) が形成されると考えられる。サイバーソサイエティ上では、さまざまな商取引や流通行為が行われると予想されるが、これらの効率性および利便性を向上できる、新しいサービスの実現が求められている。

サイバーソサイエティ上の新しいサービスを実現するためには、サイバーソサイエティ上でのさまざまな商取引や流通行為が、どのような構造を取るべきかを明らかにすることが重要で

ある。サイバーソサイエティ上での取引関係は、個人と個人、個人と企業、もしくは企業と企業など、多様な形態を取ると考えられる。

このため、サイバーソサイエティ上において、さまざまな社会活動が円滑に行われるような、個人や企業間の取引関係の構造を明らかにすることが有用であると考えられる。そのような取引関係の構造が明らかになれば、サイバーソサイエティ上で、有能な個人との取引関係を提供したり、サイバーソサイエティ上での企業の成長を予測するといった、さまざまなサービスの可能性が広がると期待できる。しかし、サイバーソサイエティ上で、どのように取引関係を構築すればよいかは、これまでほとんど明らかにされてない。

サイバーソサイエティ上で、個人や企業間の取引関係がどのような構造を取れば良いかを知るためには、まず、現実社会において有効に機能している取引関係の構造を明らかにする必要がある。例えば、現実社会における企業間の取引関係が、どのような構造を持っているかを分析することにより、サイバーソサイエティ上での個人や企業間の取引関係が取るべき構造に関して知見を得ることができると考えられる。

近年、人と人の交流によって構築されるネットワーク (ソーシャルネットワーク) に関する研究がさかんに行われている [1–3]。また、WWW のハイパーリンクや論文の共著者関係など、現実のさまざまなネットワークの構造を分析する、ネットワーク分析と呼ばれる研究もさかんに行われている [4–6]。例えば文献 [4] では、映画俳優のネットワークの特徴を明らかにしている。映画俳優のネットワークでは、任意の俳優間のネットワーク距離が小さく、ネットワークがクラスタ構造をもつことが知られている。また文献 [5] では、数学の共著者関係ネットワークの特徴を明らかにしている。数学の共著者関係ネットワークでは、一つの論文に対する共著者が 3 人程度と少なく、ネットワークがクラスタ構造を持つことが知られている。

これらのソーシャルネットワークに共通するのは、ネットワークの構造がランダムネットワークとは大きく異なる性質を持つということである。例えば、ネットワーク距離が小さいクラスタ構造を持つ (スモールワールド) という性質 [4] や、ノードの次数分布がべき法則に従う (スケールフリー) という性質 [7] を持つことが指摘されている。

ソーシャルネットワークが、ランダムネットワークとは異なり、スモールワールドやスケールフリーと呼ばれる性質を持つ理由についても、数多くの研究がなされている [6, 8–10] 。例えば文献 [8] では、ソーシャルネットワークの特徴を再現できる、単純なネットワーク生成モデルを提案している。このモデルの特徴は、(1) 人間関係の多い人ほど、新しく人間関係を持ちやすい、(2) 人間関係を維持するためにはコストがかかるため、一人の人間が持てる関係の数には上限がある、(3) 人間関係は時間とともに減衰する (ある程度時間が経過すれば消滅する)、というものである。

以上のように、現実に存在する、さまざまなソーシャルネットワークの構造や、ソーシャルネットワークが有する特徴を再現するモデルに関する研究は多数行われている。しかし、個人や企業間の取引関係が、ネットワークとしてとらえた時にどのような構造を持っているかについては、これまで十分に明らかにされていない。

そこで本稿では、まず、現実の企業間の取引情報をもとに、企業間の取引関係ネットワークを構築する。さらに、ソーシャルネットワークの分析に用いられている、ネットワーク分析手法を適用することにより、企業間の取引関係ネットワークがどのような構造になっているかを明らかにする。

具体的には、まず、企業情報データベース [11] より、現実の企業間の取引関係の有無に関する情報を入手し、企業間の取引関係ネットワークを構築する。その後、ノード数、リンク数、平均次数といったネットワークの基本的な特性を明らかにする。また、ネットワーク分析手法を適用することにより、企業間の取引関係ネットワークの、平均距離、クラスタリング係数、次数分布、スペクトル密度、構造的優位性を明らかにする。その結果、企業間の取引関係ネットワークの平均距離は約 3.36 ~ 5.36 であり、べき指数 2.06 のスケールフリー構造を持つことを示す。また、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性は、企業の株価指標および収益財務指標と大きく関係していることを示す。

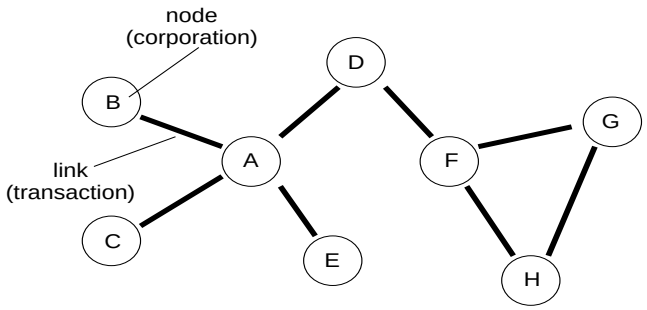

図 1　企業間の取引関係ネットワークの例

本稿の構成は以下の通りである。まず 2 章で、企業間の取引関係ネットワークを定義する。さらに、企業情報データベースから、企業間の取引関係ネットワークをどのように構築したかを説明する。3 章では、企業間の取引関係ネットワークの平均距離、クラスタリング係数、次数分布、スペクトル密度、構造的優位性を分析する。これにより、ランダムネットワークやその他のソーシャルネットワークと比較しながら、企業間の取引関係ネットワークが持つ構造を議論する。最後に、4 章で本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2　企業間の取引関係ネットワーク

本稿において、企業間の取引関係ネットワークとは、各企業間の取引関係の有無を表現したネットワークである。一般に、各企業は、商品やサービスをその他の企業と売買することによって、さまざまな商取引や流通行為を行っている。そこで、企業間の取引関係ネットワークでは、各企業をノードで表し、企業間の取引関係の有無 (商品やサービスの売買の有無) をリンクの有無で表現する。

取引関係ネットワークの例を図 1 に示す。図 1 のように、企業 A や企業 B をノード A やノード B として表現し、企業 A と企業 B 間、もしくは企業 A と企業 C 間の取引関係を、ノード A とノード B 間のリンク、もしくはノード A とノード C 間のリンクで表現する。このように、企業間の取引関係をネットワークとして表現することで、企業間の取引関係の構造を分析することが可能となる。

ここで、現実の取引関係における、ノード (企業) やリンク (企業間の取引関係の有無) の情報をどのように入手するかが問題となる。ノードの情報は、企業名一覧などから容易に入手できる。一方、リンクの情報は、各企業が公開している会社概要等に掲載されている、主要取引先一覧などの情報から入手することも考えられる。しかし、各企業の会社概要の様式は統一されておらず、また、必ずしも電子化された会社概要が公開されているとも限らないため、リンク情報の入手は容易ではない。

そこで本稿では、企業情報データベース [11] より、現実の企業間の取引関係に関する情報を入手し、企業間の取引関係ネットワークを構築した。この企業情報データベースは四半期ごとに発行されており、日本の上場企業約 3,700 社のデータが収録されている。このデータベースには、企業名、総資産、資本金、株価、設立年月日、従業員数などの基本的な情報に加えて、各

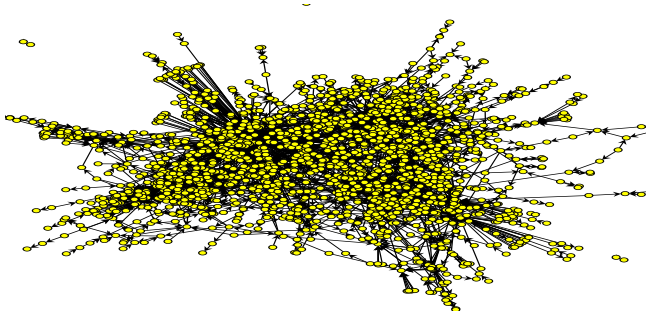

図 2　企業間の取引関係ネットワーク (2004 年第一四半期)

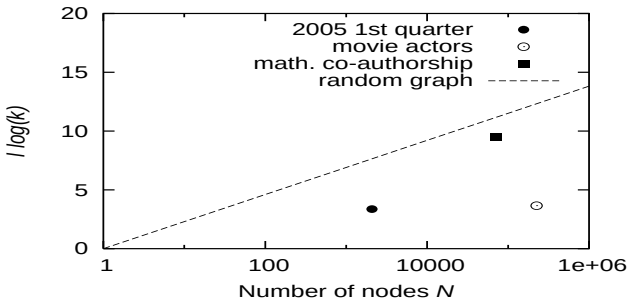


図 3　企業間の取引関係ネットワークの平均距離 (点線はランダムグラフの場合)

企業の主要取引先一覧の情報が含まれている。

この企業情報データベースにエントリが存在する各企業を、取引関係ネットワークのノードに対応させた。また、主要取引先一覧の情報より、取引関係ネットワークのリンクを生成した。なお、この企業情報データベースに含まれる主要取引先一覧の情報では、商品やサービスの売買の流れ (キャッシュフローの向き) は厳密に区別されていない。このため、取引関係ネットワークは無向グラフとして表現した。これは、企業 A の主要取引先に企業 B が含まれる (つまり、企業 A → 企業 B に取引関係が存在する) 場合、逆に、企業 B → 企業 A にも取引関係が存在すると考えられるからである。本稿では、データベース中に、他の企業との取引関係に関する情報が含まれていない企業 (リンクを持たない孤立ノード) は削除している。

なお、企業情報データベースには、各企業のすべての取引先は掲載されておらず、主な取引先のみが掲載されている。このため、本稿で構築した企業間の取引関係ネットワークでは、各企業のすべての取引関係を表現しているのではなく、各企業の主要取引関係を表現していることに注意されたい。現実には、すべての企業について、すべての取引先に関する情報を正確に入手することは非常に困難であろう。企業情報データベースに含まれる主要取引先一覧は、取引関係のうち代表的なものを表していると考えられるため、企業間の取引関係ネットワークの基本的な構造を明らかにするために有用であると考えられる。

このようにして構築した、企業間の取引関係ネットワークの例を図 2 に示す。この図は、企業情報データベース [11] の 2004 年第一四半期のデータを用いて構築したものである。この図より、企業間の取引関係ネットワークは巨大なクラスタを形成していることが分かる。なお、2004 年第一四半期から 2005 年第一四半期のデータを用いて構築した、企業間の取引関係ネットワークの基本的な特性を表 1 に示す。この表から分かるように、ノード数 $N$ は 2,066 ~ 2,099、平均次数 $\overline{k}$ は 4.52 ~ 4.58 の値を取っている。また表中には、ネットワーク距離 $\ell$ およびクラスタリング係数 $C$ の値も示しているが、これらの値の意味については 3 章で説明する。また参考のため、ノード数 $N$ および平均次数 $\overline{k}$ が等しい、ランダムネットワークのネットワーク距離 $\ell_{rand}$ およびクラスタリング係数 $C_{rand}$ もあわせて示している。表中には、映画俳優のネットワーク [4] および数学の共著者関係ネットワーク [5] の基本的な特性もあわせて示している。

## 3　ネットワーク分析

本章では、2 章で構築した、企業間の取引関係ネットワークを分析し、企業間の取引関係構造が持つ特性を明らかにする。以下では、企業間の取引関係ネットワークの構造を分析するために、ネットワーク分析手法のうち、平均距離、クラスタリング係数、次数分布、スペクトル密度、構造的優位性に着目した解析を行う。

### 3.1　平 均 距 離

まず、企業間の取引関係ネットワークの平均距離 $\ell$ を求める。これにより、企業間の取引関係ネットワークにおいて、企業と企業がネットワーク的にどのくらいの距離を持つのか、つまり、それぞれの企業が、どの程度密接に取引関係を持っているのかを調査する。

ノード数を $N$ とすると、ネットワークの平均距離 $\ell$ は次式で定義される [12]。

$$\ell \equiv \frac{1}{N}\sum_{i \geq j} \ell_{ij} \tag{1}$$

ここで、$\ell_{ij}$ は、ノード $i$ からノード $j$ への最短経路の長さである。

ノード数 $N$、平均次数 $\overline{k}$ とすれば、ランダムネットワークの平均距離 $\ell_{rand}$ は、

$$\ell_{rand} \sim \frac{\ln N}{\ln \overline{k}} \tag{2}$$

となることが知られている [6]。このため、もし企業間の取引関係ネットワークがランダムネットワークであれば、ネットワークの平均距離は、およそ 5.07 (2005 年第一四半期の場合) となると考えられる (表 1)。企業間の取引関係ネットワークの平均距離 $\ell$ を表 1 に示す。例えば、2005 年第一四半期における取引関係ネットワークの平均距離は $\ell = 3.36$ である。

これより、企業間の取引関係ネットワークの平均距離 $\ell$ は、ランダムネットワークの平均距離 $\ell_{rand}$ と同程度であることがわかる (図 3)。また、平均距離 3.36 ~ 5.36 は、平均次数が同程度の数学の共著者関係ネットワークと比較すると、小さな値となっている (表 1)。これは、企業間の取引関係ネットワークでは、数学の共著者関係ネットワークのようなソーシャルネットワークと比較して、企業がより密接に関連していることを示唆している。

### 3.2　クラスタリング係数

次に、企業間の取引関係ネットワークが、どの程度クラスタ構造を持っているかどうかを調査する。すなわち、各企業が特定のグループを構成し、そのグループ内で閉じた取引関係を構築しているのか、もしくは、そのようなグループ構造が存在しないのかを調査する。そこで本稿では、企業間の取引関係ネットワークのクラスタリング係数を求める。

クラスタリング係数とは、ネットワークの中で、ノードがどの程度クラスタ構造を有しているかを示す指標である。具体的には、各ノード間に経路長が 3 の閉路が存在する比率であり、ネットワーク全体のクラスタリング係数 $C$ は次式で定義される。

$$C \equiv \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} C_i \tag{3}$$

表 1　企業間の取引関係ネットワークおよびソーシャルネットワークの特性

| | $N$ | $\overline{k}$ | $\ell$ | $\ell_{rand}$ | $C$ | $C_{rand}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 企業間の取引関係ネットワーク (2004 年第一四半期) | 2,096 | 4.57 | 5.36 | 5.03 | 0.076 | 0.0022 |
| 企業間の取引関係ネットワーク (2004 年第二四半期) | 2,089 | 4.56 | 5.19 | 5.04 | 0.075 | 0.0022 |
| 企業間の取引関係ネットワーク (2004 年第三四半期) | 2,099 | 4.58 | 4.02 | 5.03 | 0.073 | 0.0022 |
| 企業間の取引関係ネットワーク (2004 年第四四半期) | 2,066 | 4.55 | 3.76 | 5.04 | 0.073 | 0.0022 |
| 企業間の取引関係ネットワーク (2005 年第一四半期) | 2,078 | 4.52 | 3.36 | 5.07 | 0.072 | 0.0021 |
| 映画俳優のネットワーク [4] | 225,226 | 61 | 3.65 | 2.99 | 0.79 | 0.00027 |
| 数学の共著者関係ネットワーク [5] | 70,975 | 3.9 | 9.5 | 8.2 | 0.59 | 0.000054 |

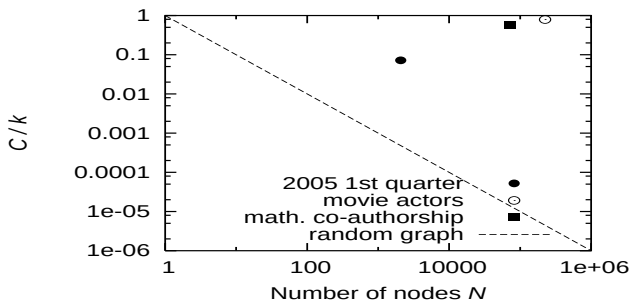


図 4　企業間の取引関係ネットワークのクラスタリング係数 (点線はランダムグラフの場合)

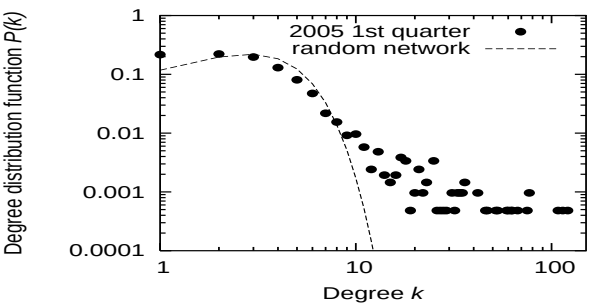


図 5　企業間の取引関係ネットワークの次数分布 (点線はランダムグラフの場合)

ここで、$C_i$ はノード $i$ のクラスタリング係数であり、次式で与えられる。

$$C_i \equiv \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \tag{4}$$

上式において、$k_i$ はノード $i$ の次数である。$E_i$ は、ノード $i$ から、ノード $i$ が隣接している $k_i$ 個のノードを介して、再びノード $i$ に戻る経路の総数である。

ノード数 $N$、平均次数 $\overline{k}$ とすれば、ランダムネットワークのクラスタリング係数 $C_{rand}$ は、

$$C_{rand} = \frac{\overline{k}}{N} \tag{5}$$

となることが知られている [6]。このため、もし企業間の取引関係ネットワークがランダムネットワークであれば、ネットワークのクラスタリング係数は、およそ $C = 0.0021$ (2005 年第一四半期の場合) となると考えられる (表 1)。企業間の取引関係ネットワークのクラスタリング係数 $C$ を表 1 に示す。例えば、2005 年第一四半期における取引関係ネットワークのクラスタリング係数は $C = 0.072$ である。

これより、企業間の取引関係ネットワークのクラスタリング係数 $C$ は、ランダムネットワークのクラスタリング係数 $C_{rand}$ よりも一桁ほど大きいことが分かる (図 4)。これは、企業間の取引関係ネットワークでは、ランダムネットワークと比較すれば、企業がよりグループ構造を有していることを意味している。しかし、映画俳優のネットワークや数学の共著者関係ネットワークといった、その他のソーシャルネットワークと比較すれば、クラスタリング係数の値はそれほど大きくはない (表 1)。これはつまり、企業間の取引関係ネットワークは、その他のソーシャルネットワークと比較して、よりグループ構造を持たない (特定の企業集団で閉じたネットワークを構成しない) 傾向があることを意味している。

### 3.3　次 数 分 布

次に、企業間の取引関係ネットワークの次数分布に着目する。つまり、企業間の取引関係ネットワーク中のノード (企業) が持つ取引関係数の偏りを調査する。これにより、企業間の取引関係ネットワークには (その他の企業と大量の取引関係を有する) ハブとなる企業が存在するかどうか、また、ネットワークがスケールフリー構造を持つかどうかを明らかにする。

ノードの次数分布は、ノードの次数分布関数 $P(k)$ によって決定される。ここで $P(k)$ は、ネットワーク中のノードをランダムに選択した場合、そのノードの次数が $k$ である確率である。

ノード数 $N$ が大きい時、平均次数 $\overline{k}$ であるランダムネットワークの次数分布関数 $P(k)$ は、近似的に次式のポアソン分布に従うことが知られている [6]。

$$P(k) \simeq e^{-\overline{k}}\frac{\overline{k}^k}{k!} \tag{6}$$

一方、現実のソーシャルネットワークの多くは、ランダムネットワークとは異なり、スケールフリー構造を持つことが報告されている [13]。つまり、次数分布関数 $P(k)$ の裾野部分が、次式のようなべき乗則に従うことが報告されている。

$$P(k) \sim k^{-\gamma} \tag{7}$$

ここで、$\gamma$ は定数であり、「べき指数」と呼ばれる。これまで報告されているスケールフリーネットワークの多くは、べき指数 $\gamma$ が 2.0 ~ 3.4 の値を取ることが知られている [6]。

企業間の取引関係ネットワークの次数分布 (2005 年第一四半期の場合) を図 5 に示す。図 5 では、ノードの次数 $k$ を変化させた時の、次数分布関数 $P(k)$ の推定値をプロットしている。この図より、まず、企業間の取引関係ネットワークの次数分布は、ランダムネットワークのポアソン分布とは大きく異なっていることが分かる。また、次数分布関数 $P(k)$ の裾野部分がべき乗則に従っていることが分かる。例えば、企業間の取引関係ネットワークでは、平均次数 $\overline{k}$ が 4.52 ~ 4.58 であるにもかかわらず、次数が 100 以上 (つまり、取引関係数が 100 以上) のハブとなる企業が少数ながらも存在していることが分かる。回帰直線によってべき指数 $\gamma$ を推定した結果、$\gamma = 2.06$ であった。これより、企業間の取引関係ネットワークはスケールフリー構造を持つことが分かる。

### 3.4　スペクトル密度

次に、企業間の取引関係ネットワークのスペクトル密度に着目する。これにより、企業間の取引関係ネットワークのトポロジがどのような特性を持っているかを明らかにする。

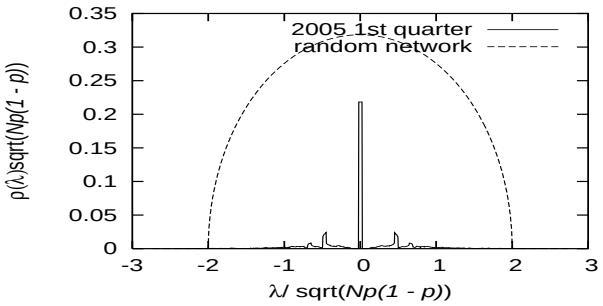


図 6　企業間の取引関係ネットワークのスペクトル密度 (点線はランダムグラフの場合)

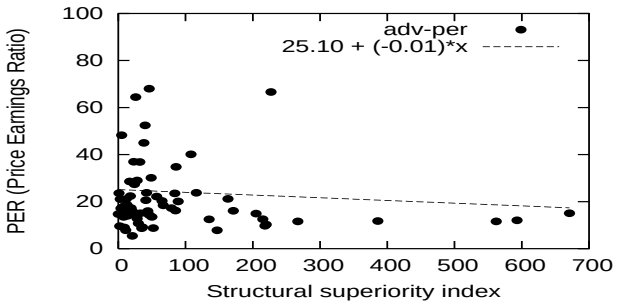


図 7　企業の構造的優位性と株価収益率 (PER) の関係 ($\alpha = 0$)

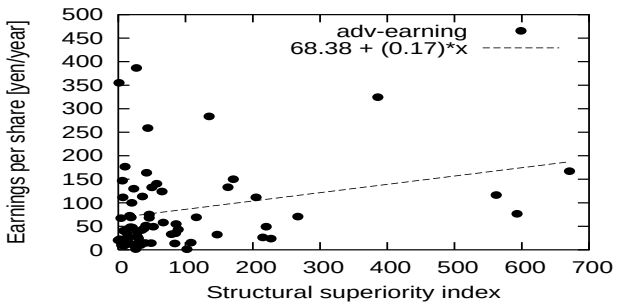


図 8　企業の構造的優位性と一株利益の関係 ($\alpha = 0$)

スペクトル密度は、ネットワークのトポロジ構造を解析するために用いられる指標である [14]。まず、ノード数が $N$ であるネットワークの接続行列を $\mathbf{A}$ とする。つまり、$\mathbf{A}$ は $N \times N$ の正方行列であり、行列の各要素 $a_{ij}$ は、ノード $i$ およびノード $j$ 間にリンクが存在すれば $a_{ij} = a_{ji} = 1$ となり、リンクが存在しなければ $a_{ij} = a_{ji} = 0$ となる。接続行列 $\mathbf{A}$ の固有値を $\lambda_i$ $(1 \leq i \leq N)$ とすれば、スペクトル密度 $\rho(k)$ は次式で定義される [6]。

$$\rho(\lambda) \equiv \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \delta(\lambda - \lambda_j) \tag{8}$$

ノード数 $N$、平均次数 $\overline{k}$ の時、ランダムネットワークのスペクトル密度 $\rho(k)$ は、次式で与えられることが知られている [6]。

$$\rho(\lambda) = \begin{cases} \frac{\sqrt{4Np(1-p)-\lambda^2}}{2\pi Np(1-p)} & \text{if } |\lambda| < 2\sqrt{Np(1-p)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{9}$$

企業間の取引関係ネットワークのスペクトル密度 (2005 年第一四半期の場合) を図 6 に示す。図 6 は、$\lambda$ を変化させた時のスペクトル密度 $\rho(\lambda)$ を示している。この図より、企業間の取引関係ネットワークのスペクトル密度は、ランダムネットワークのスペクトル密度と大きく異なっていることが分かる。$\lambda = 0$ において大きなピークが存在し、また $\lambda = 1$ において小さなピークが存在するが、その他の領域では非常に小さな値を取っている。

### 3.5　構造的優位性

文献 [15] では、産業をノードとし、産業間の取引関係をリンクとした、産業間の取引関係ネットワークにおいて、「構造的優位性」と呼ばれる指標を定義している。構造的優位性とは、産業間の取引関係ネットワークにおいて、ある産業が、その他の産業と比較して (ネットワーク構造的に) どの程度有利な位置にいるかを示すものである。日本の産業連関表 [16] のデータをもとに、産業間の取引関係ネットワークを構築し、構造的優位性と、各産業が得ている利益との関係を調査している。その結果、構造的優位性の高い産業は、低い産業と比較して、より利益を得る傾向があることを示している。

本稿では、文献 [15] で提案されている構造的優位性の考え方を応用し、企業間の取引関係ネットワークにおいて、各企業の構造的優位性を示す指標を提案する。さらに、企業間の取引関係ネットワークから求まる構造的優位性と、企業の株価指標や収益財務指標との関係を明らかにする。具体的には、株価指標として、株価収益率 (PER)、配当利回り、一株利益を用いる。また、収益財務指標として、株主資本利益率 (ROE)、総資本利益率 (ROA)、時価総額を用いる。

2 章では、企業間の取引関係ネットワークを、無向グラフとして表現した。構造的優位性を求めるために、以下では企業間の取引関係ネットワークを有向グラフとして表現する。これは、どの企業が、どの企業を主要取引先と考えているか (逆に言えば、どの企業が、どの企業によって主要取引先と考えられているか) によって構造的優位性を決定するためである。すなわち、企業 A が企業 B を主要取引先と考えており、企業 B が企業 A を主要取引先と考えていない場合、企業 B は企業 A よりも優位な立場にあると考えられるからである。

そこで、企業間の取引関係ネットワークにおけるリンクの定義を変更する。企業 A の主要取引先に企業 B が含まれる (つまり、企業 A → 企業 B に取引関係が存在する) 場合、企業 A → 企業 B のリンクが存在すると定義する。

この時、企業間の取引関係ネットワークにおける、企業 $i$ の構造的優位性 $C_i$ は次式で定義される。

$$C_i \equiv \sum_{j \neq i} \zeta_{ji} \frac{C'_j}{\left(k_j^O\right)^\alpha} \tag{10}$$

ただし、$C'_j$ は企業 $j$ の構造的優位性の近似値であり、

$$C'_j \equiv \sum_{k \neq j} \zeta_{kj} \frac{k_k^I}{k_k^{O\,\alpha}} \tag{11}$$

と定義される。ここで、$k_i^I$ はノード $i$ の入次数、$k_i^O$ はノード $i$ の出次数であり、$\alpha$ はパラメータ $(0 \leqq \alpha \leqq 1)$ である。また、$\zeta_{ij}$ は、ノード $i$ からノード $j$ にリンクが存在する場合は 1 となり、それ以外の場合は 0 となる。

式 (10) は、$k_j^I$ が大きいほど、つまり、(企業 $i$ を主要取引先と考えている) 企業 $j$ が他の多くの企業によって主要取引先と考えられているほど、構造的優位性が高くなることを意味している。また、式 (10) は、$k_j^O$ が小さいほど、つまり、(企業 $i$ を主要取引先と考えている) 企業 $j$ の主要取引先の数が少ないほど、 構造的優位性が高くなることを意味している。

$\alpha = 0$ とした時の、各企業の構造優位性と株価収益率 (PER)、株利益、株主資本利益率 (ROE)、総資本利益率 (ROA)、時価総額との関係を、図 7 から図 11 にそれぞれ示す。図中には、最小 2 乗法による回帰直線もあわせて示している。

まず、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性と、企

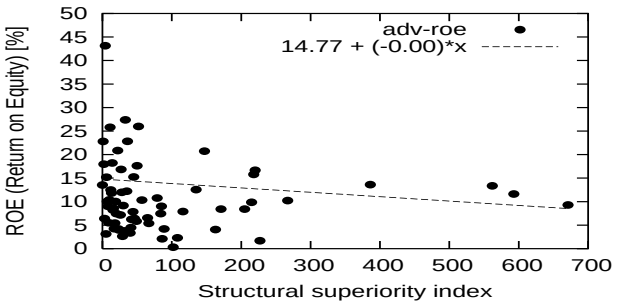


図 9　企業の構造的優位性と株主資本利益率 (ROE) の関係 ($\alpha = 0$)

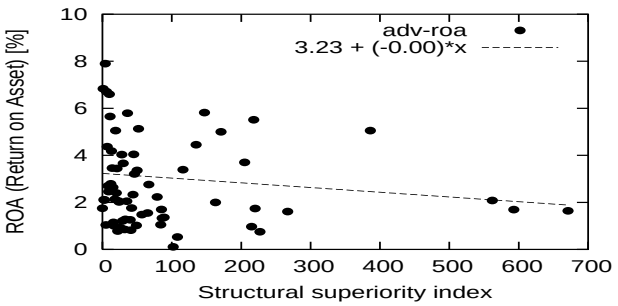


図 10　企業の構造的優位性と総資本収益率 (ROA) の関係 ($\alpha = 0$)

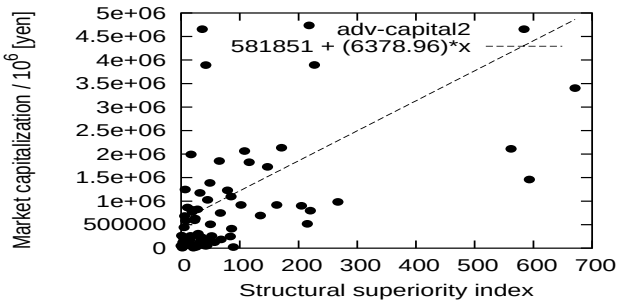


図 11　企業の構造的優位性と時価総額の関係 ($\alpha = 0$)

業の株価指標との関係に注目する。図 7 より、企業の構造的優位性と株価収益率 (PER) の間には、弱い負の相関があることが分かる。一方、図 8 より、企業の構造的優位性と一株利益の間に、比較的強い正の相関があることが分かる。このように、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性は、企業の株価指標と大きく関係していることが分かる。

次に、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性と、企業の収益財務指標との関係に注目する。図 9 および図 10 より、企業の構造的優位性と株主資本利益率 (ROE) および総資本利益率 (ROA) の間には弱い負の相関があることが分かる。一方、図 11 より、企業の構造的優位性と時価総額には、強い相関があることが分かる。このように、企業間の取引関係ネットワークの構造的優位性は、企業の収益財務指標と大きく関係していることが分かる。

## 4　まとめと今後の課題

本稿では、現実の企業間の取引情報をもとに、企業間の取引関係ネットワークを構築した。さらに、ネットワーク分析手法を適用することにより、企業間の取引関係ネットワークの、平均距離、クラスタリング係数、次数分布、スペクトル密度、構造的優位性を明らかにした。その結果、企業間の取引関係のネットワークでは、(1) 平均距離が 3.36 ~ 5.36 であり、他のソーシャルネットワークと比較して、ノードがより密接に関連していること、(2) クラスタリング係数が約 0.07 であり、他のソーシャルネットワークと比較して、ノードがあまりグループ構造を持たない傾向があること、(3) 次数分布の裾野部分がべき指数 2.06 のべき乗則に従うこと、すなわちスケールフリー構造を持つこと、(4) スペクトル密度が $\lambda = 1$ で小さなピークを持つが、その他の領域では非常に小さな値を取ること、(5) 構造的優位性が企業の株価指標および収益財務指標と大きく関係すること、などが分かった。

今後の課題として、企業間の取引関係ネットワークの構造を再現できる、ネットワーク生成モデルの構築が挙げられる。また、本研究で得られた、現実の企業間の取引関係ネットワークに関する知見を元に、サイバーソサイエティにおける商取引や流通行為の効率性および利便性を向上できる、新しいサービスの実現が挙げられる。

## 謝　　辞

本研究を実施するにあたり、有意義な議論をしていただいた、日本電信電話株式会社 NTT 情報流通プラットフォーム研究所の松田和浩氏、村山純一氏、石塚美加氏に感謝いたします。また、企業の取引関係ネットワークの構築にあたり、企業情報データベースの利用を快諾して下さった日本経済新聞社に感謝いたします。

## 文　　献

[1] G. F. Davis, M. Yoo, and W. E. Baker, "The small world of the american corporate elite, 1982-2001," *Strategic Organization*, vol. 1, pp. 301–326, Aug. 2003.

[2] E. Holger, M. Lutz-Ingo, and B. Stefan, "Scale-free topology of e-mail networks," *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)*, vol. 66, pp. 1–4, Sept. 2002.

[3] M. Granovetter, "The strength of weak ties:a network theory revisited," *Sociological Theory*, vol. 1, pp. 201–233, Sept. 1983.

[4] D. J. Watts and S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," *Nature (London)*, vol. 393, pp. 440–442, Oct. 1998.

[5] A.-L. Barabasi, H.Jeong, Z. Neda, E. Ravasz, A. Schubert, and T. Viesek, "Evolution of the social network of scientific collaborations," *PHYSICA A*, vol. 311, pp. 590–614, Jan. 2002.

[6] R. Albert and A.-L. Barabasi, "Statistical mechanics of complex networks," *Reviews of Modern Physics*, vol. 74, June 2002.

[7] A.-L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, pp. 509–512, Oct. 1999.

[8] M. Jin, M. Girvan, and M. E. J. Newman, "The structure of growing social networks," *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)*, vol. 64, pp. 381–399, Oct. 2001.

[9] S. N. Dorogovtsev, J. F. F. Mendes, and A. N. Samukhin, "Structure of growing networks with preferential linking," *Physical Review Letters*, vol. 85, pp. 4633–4636, Nov. 2000.

[10] M. E. J. Newman, "The structure and function of complex networks," *SIAM Review*, vol. 45, pp. 167–256, Mar. 2003.

[11] 日本経済新聞社, "CD-ROM 日経会社情報 2005 新春号," Dec. 2004.

[12] W. S. Lovejoy and C. H. Loch, "Minimal and maximal characteristic path lengths in connected sociomatrices," *Social Networks*, vol. 25, no. 4, pp. 333–347, 2003.

[13] S. H. Storogatz, "Exploring complex networks," *Nature*, vol. 410, pp. 268–276, Mar. 2001.

[14] I. J. Farkas, I. Derenyi, A.-L. Barabasi, and T. Vicsek, "Spectra of real-world graphs: beyond the semicircle law," *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)*, vol. 64, pp. 1–12, Aug. 2001.

[15] 安田 雪, ネットワーク分析 — 何が行為を決定するか. 新曜社, Feb. 1992.

[16] 全国統計協会連合会, "産業連関表." available at `http://www.stat.go.jp/data/io/`.