

企業間のネットワーク構造と相関関係

ATR ネットワーク情報学研究所 相馬 亘¹

日本における経済ネットワークとして、金融業を除く東証一部上場企業 1,405 社から構成される取引ネットワーク、株所有ネットワーク、それらの重なりネットワークについて議論する。そして、実証的な解析を通して、これらのネットワークがスケールフリー性とスモールワールド性の双方を併せ持つことを明らかにする。また、これらのネットワークによって拘束された下での、企業の売上高の相関についても議論する。

1 はじめに

ネットワーク科学における最近の発展は、実際のネットワークの様々な側面を明らかにした。そして、その影響を受けて、経済をネットワーク科学の立場からとらえようとする研究がなされつつある。もちろん、経済をネットワークとして捉える研究は、社会学や組織論において、古くからなされている。だが、本稿は、そのような伝統的な研究の流れに沿うのではなく、ネットワーク科学という新しい研究の流れに基づき、研究を試みるものである。

ネットワーク科学の視点から経済ネットワークを議論した研究はいくつか存在しているが（例えば、文献 [1] の参考文献を参照）、だが、これらの研究の多くは、ネットワークのトポロジーの実証研究とそのモデル化に焦点があてられたものであり、本研究のように、ネットワークに拘束された企業の相関関係に焦点をあてた研究は存在していない。

本稿は以下のように構成される。2 章では、本研究で用いるデータについて説明する。3 章では、ネットワークのトポロジーに関して簡単に議論する。そして、4 章では、ネットワークに拘束された下での、企業の売上高の相関について議論する。最後に、まとめをおこなう。

2 データ

本稿では、2004 年にまとめられた三種類のデータを用いる。それらは、取引データ、大株主データ、有価証券データである。取引データは、帝国データバンク [2] から販売されているものを用いた。このデータは、東証一部上場企業のうち、業種大分類で金融業を除く 1,405 社の主要仕入先・得意先に関するデータである。いま、物流の流れを有効グラフとして表すことにする。そうする

¹本研究は独立行政法人情報通信研究機構の研究委託「人間情報コミュニケーションの研究開発」により実施したものである。また、本研究の一部は文部科学省科学研究費基盤研究 (A)(1)15201038 の補助を受けた。本研究は、青山秀明さん、家富洋さん、池田裕一さん、海蔵寺大成さん、藤原義久さんとの共同研究に基づいている。

と、有向グラフとして取引ネットワークが得られる。このデータをすべて用いた場合に得られるネットワークは、17,302 個の点（企業）と 54,345 本の辺を含む。

本研究では、東洋経済新報社 [3] から販売されている大株主データを用いた。このデータは、上場・店頭登録企業のおのおのに対する大株主のリストを提供する。リストの長さは企業によってまちまちであるが、ほとんどの企業で、最大上位 30 位まで記載されている。いま、株主から株式会社への有向グラフとしてネットワークを表現することにする。そうすると、入次数に関しては $k_{in} \leq 30$ という制限が課せられるが、出次数に関しては制限が課せられない。このデータをすべて用いた場合に得られるネットワークは、約 4,000 個の点（企業）と約 30,000 本の辺を含む。

また、本研究で用いる有価証券データは、上場・店頭登録企業のおのおのが所有している有価証券のリストであり、金融庁による EDINET[4] から入手できる。リストの長さは企業によってまちまちであるが、平均して、固定資産に占める割合が大きい有価証券の上位 20 位くらいまでが記載されている。有価証券の中には投資ファンドなども含まれているが、それらを除外する。そして、株主から株式会社への有向グラフとしてネットワークを表現する。そうすると、今度の場合、入次数に関しては制限が課せられないが、出次数に関しては平均して $k_{out} \leq 20$ という制限が課せられる。また、このデータをすべて用いた場合に得られるネットワークのサイズは、大株主データの場合とほぼ同じである。

取引ネットワークは、上記の取引データを基にして構成される。また、株所有ネットワークは、大株主データと有価証券データの双方を用いて構成される。また、取引ネットワークと株所有ネットワークの重複する部分も抽出できる。本稿では、そのようなネットワークを単に重なりネットワークと呼ぶことにする。重なりネットワークでは、辺の向きは無視する。これらのネットワークでは、それぞれのネットワークを構成する企業はまちまちである。したがって、本稿のように、ネットワークによって拘束された企業の相関関係を、ネットワークを比較することによって議論する場合、ネットワークの構成要素をそろえることが望ましい。そこで、本稿では、取引データが入手可能な 1,405 社だけから構成されるネットワークを扱う。

3 企業ネットワークの性質

ネットワークのトポロジーを特徴付けるために、様々な指標が考案されている（レビューとして文献 [6] を参照）が、ここでは、簡単に、次数分布、平均パス長、クラスター係数を考える。なぜならば、これらの量は、最近のネットワーク科学において基本的なものだからである。図 1 は、次数の累積分布を両対数グラフでプロットしたものである。それぞれの図は、(a) 取引ネットワーク、(b) 株所有ネットワーク、(c) 重なりネットワーク、に対応する。図で横軸は次数（degree）、縦軸は累積分布（cumulative distribution）である。また、○は出次数の分布を表し、□は入次数の分布を表す。重なりネットワークでは、辺の方向を無視するので (c) のみ+で分布を表している。図中の破線と実線はそれぞれ、べき指数 $\gamma = 2$ と $\gamma = 3$ のべき分布を表す。これらの結果から、次数分布の裾野部分は、べき指数 $\gamma = 2 \sim 3$ のべき分布で近似できることがわかる。したがって、これらのネットワークはスケールフリー性を持つ。

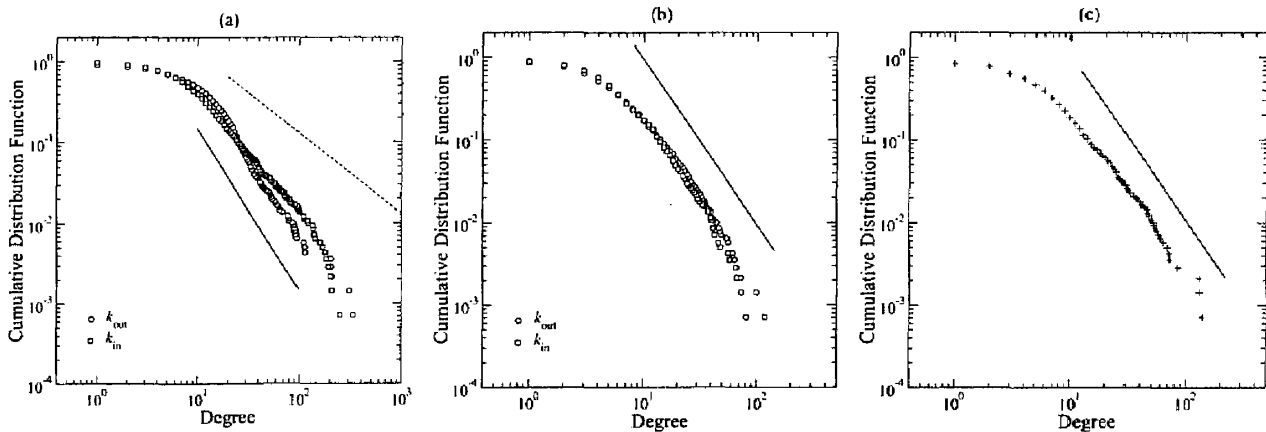


図 1: 次数の累積分布。(a) 取引ネットワーク、(b) 株所有ネットワーク、(c) 重なりネットワーク。

また、取引ネットワークの場合、平均パス長とクラスター係数はそれぞれ $L^T = 2.563$ 、 $C^T = 0.209$ であった。取引ネットワークと同じサイズのレギュラーネットワークの場合、 $L^{\text{reg.}} = 29.92$ 、 $C^{\text{reg.}} = 0.719$ である。一方、同サイズのランダムネットワークでは、 $L^{\text{rand.}} = 2.228$ 、 $C^{\text{rand.}} = 0.019$ である。したがって、 $L^T \approx L^{\text{rand.}} \ll L^{\text{reg.}}$ 、 $C^T \approx C^{\text{reg.}} \gg C^{\text{rand.}}$ である。このことは、取引ネットワークがスモールワールド性を持つことを示している。また、株所有ネットワークの場合、 $L^S = 2.563$ 、 $C^S = 0.209$ であった。今の場合、株所有ネットワークと取引ネットワークはほぼ同じサイズなので、株所有ネットワークもまたスモールワールド性を持つ。この結果は、重なりネットワークに対しても当てはまる。

4 企業ネットワークにおける相関構造

相関行列 R_{ij} は、 $R_{ij} = [\langle x_i x_j \rangle - \langle x_i \rangle \langle x_j \rangle] / \sigma_i \sigma_j$ で与えられる。ここで $\langle \cdot \rangle$ は時間平均を意味する。また、 σ_i は標準偏差である。相関行列は、グラフとしては、すべての点がすべての点とつながった完全グラフに相当する。いま、 $x_i(t)$ を直近 5 年間の i 社の売上高だとすると、対角成分以外の相関係数の分布は、図 2 (a) のようになる。また、相関係数の平均値は $\bar{R} = 0.079$ である。

いま、 n リンク相関行列を

$$R_{ij}^{K(n)} = \begin{cases} R_{ij} & i \text{ と } j \text{ が } n \text{ リンクでつながっている場合} \\ \text{null} & \text{そうでない場合} \end{cases},$$

で定義する。ここで、 $K \in \{T, S, TnS\}$ において、 T は取引ネットワーク、 S は株所有ネットワーク、 TnS は重なりネットワークを表す。本稿では、ネットワークは静的だと考える。もしも、 $x_i(t)$ を直近 5 年間の i 社の売上高だとすると、 $R_{ij}^{TnS(1)}$ の分布は、図 2 (b) のようになる。図 2 (a)、(b) を比較してわかることは、重なりネットワークでは、強い正の相関が大きくなっていることである。また、相関係数の平均値は $\overline{R^{TnS(1)}} = 0.244$ である。

また、時系列の長さや、 n の値を変化させた場合の結果は、図 2 (c) である。図では、横軸が時系列の長さ、縦軸が相関係数の平均値の値である。図で、 $+$ は $\bar{R}$ 、 $\bullet$ は $\overline{R^{T(1)}}$ 、 $\blacksquare$ は $\overline{R^{S(1)}}$ 、 $\blacktriangle$

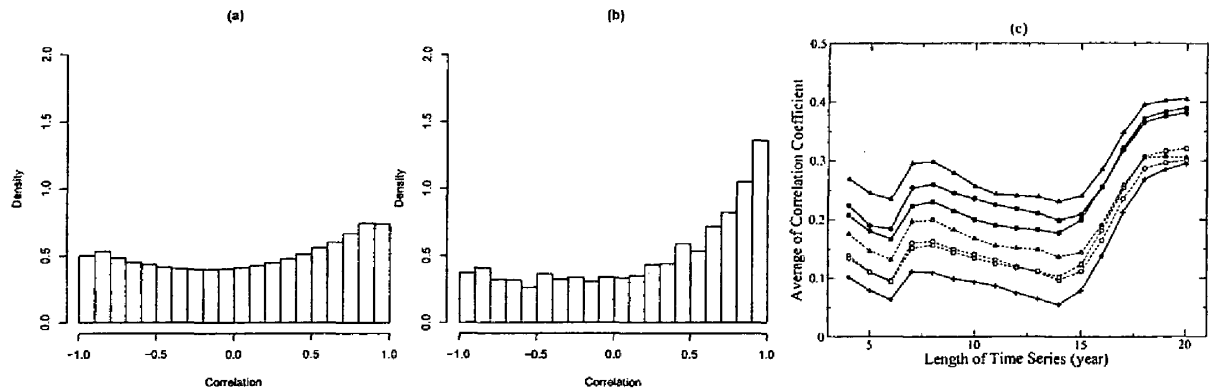


図 2: (a) 売上高の相関行列における相関係数の分布、(b) 重なりネットワークにおける 1 リンク相関行列の相関係数の分布、(c) 相関係数の平均値の変化。

は $\overline{R^{TNS(1)}}$ である。また、○は $\overline{R^{T(2)}}$ 、□は $\overline{R^{S(2)}}$ 、△は $\overline{R^{TNS(2)}}$ である。図より、1 リンク相関の場合、重なりネットワークでの相関が一番強いことがわかる。これは、2 リンク相関の場合も当てはまる。また、1 リンク相関よりも 2 リンク相関の方が、すべてのネットワークにおいて小さくなっている。

5 おわりに

本稿では、取引ネットワーク、株所有ネットワーク、重なりネットワークがスケールフリー性とスモールワールド性の双方を併せ持つことを明らかにした。また、ネットワークに拘束された下での企業の売上高の相関について議論した。研究会では、倒産確率の相関についても説明したが、本稿では紙数の都合上割愛した。詳しくは、文献 [7] を参照されたい。

参考文献

- [1] W. Souma, et.al., Practical Fruits of Econophysics, Springer, Tokyo, (2005), 307.
- [2] 帝国データバンク, URL: <http://www.tdb.co.jp/>.
- [3] 東洋経済新報社, URL: <http://www.toyokeizai.co.jp/>.
- [4] EDINET, URL: <http://info.edinet.go.jp/EdiHtml/main.htm>.
- [5] 白田 佳子、企業倒産予知モデル、中央経済社 (2003).
- [6] L. da F. Costa, et.al., arXiv:cond-mat/0505185.
- [7] W. Souma, et.al., Correlation in business networks, to be published in Physica A.