

# 株所有ネットワークのシンプルなモデル

相 馬 巨<sup>†</sup>

日本における株所有ネットワークを実証的に分析し、株所有ネットワークのダイナミカルな成長を記述するために、シンプルな確率過程を提案する。実証的な研究から3つの点を明らかにする。これらは、(i) スケールフリー性(次数のべき分布性)、(ii) 次数と企業年齢の間にやや相関がある、(iii) 次数と企業総資産の間はかなり相関がある、である。また、企業成長のダイナミクスに基づき、ミニマルモデルとして、リセットイベントをともなった乗算的確率過程を提案する。そして、数値シミュレーションを通じて、上にあげた実証の結果がよく説明されることを示す。

## Simple Model of Shareholding Networks

WATARU SOUMA<sup>†</sup>

Shareholding networks in Japan are analyzed empirically, and a simple stochastic model is proposed to describe the dynamic growth of shareholding networks. We make three observations from empirical study: (i) Scale-free property (power law distribution of degree); (ii) little correlation between degree and the company age; (iii) strong correlation between degree and company assets. A minimal model is proposed based on the dynamics of the company growth, and constructed by a stochastic multiplicative process with reset events. It is shown through numerical simulation that our model can explain empirical findings very well.

### 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とらえる研究は、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。本稿では、日本における経済ネットワークとして、株所有ネットワークを対象とする。そして、ネットワークの次数分布を実証的に解析するとともに、その分布を再現する数理モデルを確率過程として提案する。

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先行研究としては、日本における株所有ネットワークの研究<sup>1)~6)</sup>、日本における金融機関の資金取引ネットワークの研究<sup>7)</sup>、アメリカやイタリアでの株所有ネットワークの研究<sup>8)</sup>、世界貿易ネットワークの研

究<sup>9),10)</sup>、役員兼任・派遣ネットワークの研究<sup>11),12)</sup> などがある。だが、これらの研究の多くは実証的なものであり、本稿のように、ネットワークのダイナミカルな成長を確率過程としてとらえた研究は少ない。

本稿は以下のように構成される。2章では、株主から株式会社への関係を有向グラフとして表現する。そして、出次数分布の変遷を実証的に調べる。また、出次数と企業年齢の相関、出次数と企業資産の相関についても議論する。3章では、2章の実証結果を再現するモデルとして、リセットイベントをともなった乗算的確率過程を提案する。そして、シミュレーションを通じて、このモデルの正当性について議論する。最後に、まとめを行う。

### 2. 実証的なアプローチ

この章では、1985年、1990年、1995年、2000年、2002年、2003年に存在していた株所有ネットワークを考える。本稿で用いるデータは、株式が株式市場で取引されている企業(上場企業)か、もしくは店頭市場で取引されている企業(店頭登録企業)に対する「大株主」データである<sup>13)</sup>。2000年以前のデータでは、各企業ごとに大株主上位20位までが記載されている。また、2002年と2003年のデータでは、各企業

<sup>†</sup> ATR ネットワーク情報学研究所

ATR Network Informatics Laboratories

表 1 株所有ネットワークの変化  
Table 1 Changes of shareholding networks.

年	$N$	$K$	$\gamma$
1985	2,078	23,916	1.68
1990	2,466	29,054	1.67
1995	3,006	33,860	1.72
2000	3,527	32,586	1.77
2002	3,727	30,000	1.82
2003	3,770	26,407	1.86

ごとに大株主上位 30 位までが記載されている。だが、2000 年以前のデータとの整合性をはかるために、本稿では、上位 20 位までを利用することにする。

株主の主な内訳は、上場・店頭登録企業、非上場企業（主に銀行、信託銀行、保険会社など）、会社役員、個人などとなっている。たとえば、2002 年のデータでは、株主の約 80% が企業（金融機関も含む）、約 15% が個人、約 5% が会社役員となっている。もしも、企業と株主から構成されるネットワークを研究するという立場をとるならば、会社役員と個人も扱う必要があるだろう。しかし、本稿では、会社役員と個人はデータから除去し、企業（金融機関も含む）だけから構成されるネットワークを扱うことにする。このような制限を加える理由は、ネットワークを構成するノードの属性を統一すべきだと考えるからである。本稿では、企業（金融機関も含む）の属性は、会社役員や個人のそれとは異なる考える。

ネットワークのサイズ（総ノード数） $N$  と総エッジ数  $K$  の変化は、表 1 にまとめられる。この表から、 $N$  は 1985 年から 2002 年にかけて急激に増え、最近ではその増加速度が遅くなってきていることが分かる。この要因は、上場・店頭登録企業数の増加にある。また、 $K$  は 1995 年にピークに達し、それ以降、減少していることが分かる。これは、バブル崩壊以降の不良債権処理との関係を示唆する。

## 2.1 次数分布

本稿では、株主から株式会社に向かって線を引きことによって、有向グラフとして株所有ネットワークを表現する。そして、ノードに入ってくるエッジの数を入次数と呼び、ノードから出ていくエッジの数を出次数と呼ぶことにする。ただし、先に述べたように、大株主上位 20 位までのデータを用いているため、入次

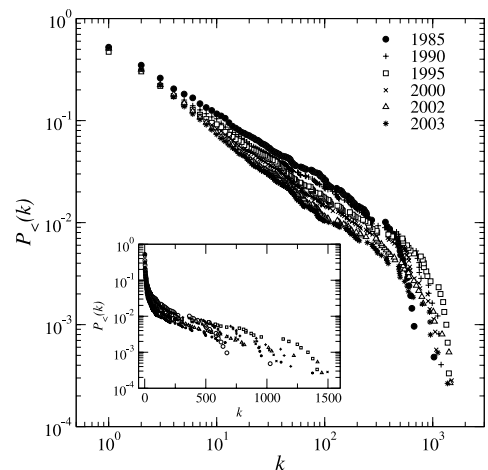


図 1 出次数分布の変化

Fig. 1 Change of outgoing degree distributions.

数には 20 という上限が課せられる。一方、出次数にはそのような上限は存在しない。したがって、以下では、出次数についてのみ議論する。また、出次数を  $k$  と表示することにする。

本稿では、上場・店頭企業に対する大株主データを使用している。したがって、株式を発行している企業と株主企業の双方が、比較的大きな企業ということになる。そのため、株所有に関してすべての情報が入手できた場合に得られるであろう真のネットワークの中で、大企業どうしのつながり部分を、ほぼとらえられていると期待できる。しかし、真のネットワークと比べて、ここでの出次数分布の定義がどのような歪みを生じさせているかは、大企業どうしのつながり以外の割合がどの程度あるかに依存する。

図 1 は、 $k$  の分布を両対数グラフで表示したものである。横軸が出次数  $k$  に対応し、縦軸が累積確率分布  $P_<(k)$  に対応する。ここで、累積確率分布とは、 $k$  以上の次数を持つノードを見いだす確率である。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、連続表記を用いると、

株主として個人や会社役員を考慮した場合は、分布形は変更を受ける。たとえば、2002 年のデータの場合、個人株主の 95% が出次数 1 なので、個人株主のほとんどが、中心性の指標からネットワークの端に存在しているノードだと解釈できる。また、役員株主の 98% が出次数 1 なので、この場合も、会社役員のほとんどが、ネットワークの端に存在しているノードだと解釈できる。したがって、株主として、個人と会社役員を考慮した場合、出次数分布で次数が少ない領域、特に  $k = 1$  の分布は大きく変わる。だが、その他の領域の変化は小さい。

不良債権処理の状況は、安定株式保有比率や持合比率の変化として確認できる。ニッセイ基礎研究所が発表している「株式持合い状況調査」における、安定株式保有比率や持合比率の変化と、ここでの  $K$  の変化が相関している。そのため、1 つの可能性として、不良債権処理と  $K$  の変化が関係しているという仮説が立てられる。

$$P_{<}(k) = \int_k^{\infty} dk' p(k'),$$

である。したがって、次数分布が指数  $\gamma$  のべき分布  $p(k) \propto k^{-\gamma}$  であったならば、

$$P_{<}(k) \propto k^{-(\gamma-1)}$$

となる。図より、各年において出次数の広い範囲にわたって、べき分布が成り立っていることが分かる。

本稿では、大株主データを用いて出次数を議論している。だが、出次数に関するその他のデータとしては、「有価証券報告書」がある。これには、企業が所有している株式が記載されている。しかし、資産に占める割合の多い方から 10 社 ~ 20 社程度が記載されているにすぎない。もしも、このデータもあわせて用いた場合、本稿の出次数分布に対する結果は修正される。そして、その場合もべき分布が成り立っているならば、べき指数は大きくなることが予想される。

いま、図 1 において、べき分布形を保ったまま、その傾き、つまり指数  $\gamma$  を小さくしたとする。これは、直感的には、 $k = 1$  のところを固定したまま、分布の裾野部分をつまんで右方向に水平に引っ張ることに相当する。ここで、右方向に水平に引っ張ったことは、 $k$  の大きさの格差が広がり、寡占状態が生じたことに対応する。したがって、エッジの寡占状態が生じると指数  $\gamma$  の値は小さくなり、それが解消されると大きい値になる。 $\gamma$  の変化は表 1 にまとめられる。この表から、1985 年から 1990 年にかけて、わずかだが  $\gamma$  の値が小さくなっていることが分かる。そして、それ以降では、 $\gamma$  の値は一貫して増加している。このことより、平成バブルのピークに向かうにつれて株所有も寡占状態になり、その後、解消されたためだという仮説が立てられる。

---

全国証券取引所協議会から発表されている「株式分布状況調査」によると、全発行株式における金融機関の保有割合は、バブルピークの 1990 年にかけて急激に上昇し、枚数ベース・金額ベースの統計の双方において約 45% に達した。そして、バブル崩壊以降では減少に転じ、2003 年では約 30% になっている。また、事業法人の場合は、枚数ベースの統計では、1975 年以降ほぼ 25% 前後で推移している。そして、金額ベースでは、1975 年からバブルピークにかけて約 30% だったものから、2003 年の 20% にまで減少している。個人の場合は、枚数ベースの統計では、1985 年以降ほぼ 25% 前後で推移している。そして、金額ベースでは、1985 年以降ほぼ 20% で推移している。また、残りの部分を外国人投資家が占めていて、バブル崩壊以降、急激に増加している。以上のように、バブル期では、金融機関による株式保有の寡占が生じたと考えられる。したがって、株式保有割合の変化と、本稿で実証された出次数分布の変化の双方から、この仮説が立てられる。

また、イタリアやアメリカの株式市場に上場している企業の株所有ネットワークに対しても、次数分布が調べられている<sup>8)</sup>。そして、これらの国々でも日本と同様に、次数分布がべき分布に従っていることが明らかにされている。たとえば、2002 年のイタリア証券取引所 (Milano Italia Borsa; MIB) 上場企業の場合は  $\gamma_{\text{MIB}} = 1.97$ 、2000 年のニューヨーク証券取引所 (New York Stock Exchange; NYSE) 上場企業の場合は  $\gamma_{\text{NYSE}} = 1.37$ 、2000 年のナスダック証券取引所 (National Association of Security Dealers Automated Quotations; NASDAQ) 上場企業の場合は  $\gamma_{\text{NASDAQ}} = 1.22$  であることが報告されている。また、これらのべき指数の値は、表 1 の結果と大きく違っていない。したがって、べき指数の値は国や時代に依存するものの、出次数分布がべき分布に従うことには、普遍性があると期待できる。

図 1 内の小さな図は、 $k$  の分布を片対数グラフで表示したものである。この図から、裾野部分の分布は、近似的に直線でフィットできることが分かる。つまり、 $k$  の分布の裾野部分は、指数分布に従っていると考えられる。この部分は、主に金融機関によって構成されている。一方、べき分布に従っている領域は、95% 以上の割合で非金融機関が占めている。したがって、金融機関と非金融機関では、ネットワークの成長において、異なるメカニズムが働いていると考えられる (指数分布が生じる原因に興味を持たれた方は、文献 4) ~ 6) を参照)。

## 2.2 出次数と企業成長の相関

ネットワークの成長を記述する多くのモデルでは、ノードやエッジの性質の変化について考えていない。しかし、経済の場合、特に企業をノードとする場合は、貸借対照表や損益計算書を通じて、企業 (ノード) を多くの指標で特徴づけることができる。また、経済の場合は、企業成長のダイナミクスに基づいて、株所有ネットワークの成長も議論される必要があると考えられる。この節では、このような立場から、企業を特徴づける量として企業年齢と企業資産を採りあげ、実証的に解析する。また、これらの量と出次数の相関についても議論する。

### 2.2.1 出次数と企業の年齢

本稿では、企業年齢を、設立日から 2002 年 3 月までで定義し、その単位を月とする。そして、2002

---

ここで、2002 年 3 月を用いているのは、その時点の企業財務データのみしか、手元にないからである。したがって、以下の解析は、それぞれの年の企業財務データを入手した後に、それぞれの年に対して検証する必要がある。

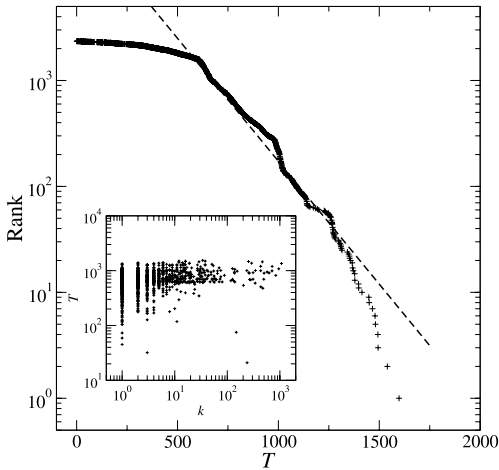


図 2 2002 年時点での企業年齢の分布  
Fig. 2 Distribution of company age in 2002.

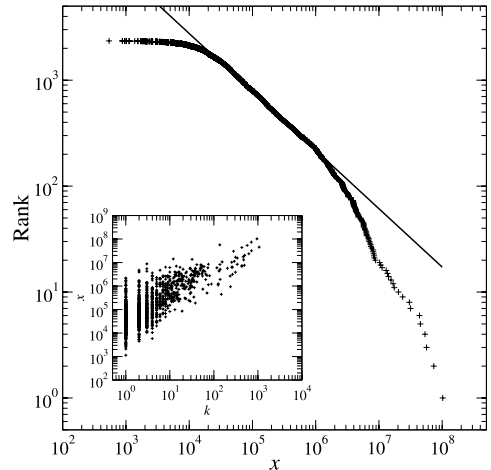


図 3 2002 年時点での企業資産の分布  
Fig. 3 Distribution of company asset in 2002.

年 3 月に存在していた上場企業の年齢の順位分布を解析すると、図 2 を得る。この図は、横軸に企業年齢  $T$  をとり、縦軸に順位 (rank) をとって、片対数グラフで表示したものである。図中の破線は指数分布によってフィットした結果である。この図から、企業年齢の分布は、近似的に指数分布にしたがっていることが分かる。また、企業の年齢は企業の寿命と関係していると考えられる。たとえば、経済物理学からのアプローチとしては、文献 14)、15) が、倒産した企業の寿命を実証的に研究し、その分布が指数分布に従っていることを明らかにしている。

図 2 の中の小さな図は、2002 年 3 月に存在していた上場企業の出次数  $k$  と年齢  $T$  の相関を、両対数グラフでプロットしたものである。この図から、 $k$  と  $T$  は無相関または弱相関であることが分かる。実際、Kendall の順位相関係数  $\tau$  を計算すると  $\tau = 0.203$  となり、やや相関があることを、定量的に確認できる。

2.2.2 出次数と企業の総資産

図 3 は 2002 年 3 月に存在していた上場企業の総資産  $x$  の順位分布を、両対数グラフでプロットしたものである。この図では、横軸に  $x$  をとり、縦軸に順位 (rank) をとっている。図中の実線はベキ指数  $\alpha = 1.6$  のベキ分布  $p(x) \propto x^{-\alpha}$  によってフィットした結果である。この図から、企業の総資産の分布は近似的にベキ分布に従っていることが分かる。ここでは、2002 年 3 月に上場していた企業についてのみ考えている。そのため、ある総資産以上の企業をすべて含んでいるといった網羅性が欠けている。文献 14)、15) は、網羅性をふまえて、企業資産の分布が議論されている。そして、その結果には、図 3 にみられるような分布の

ギャップはなく、広い範囲にわたってベキ分布が成り立つことが明らかにされている。したがって、現在では、企業資産の分布はベキ分布に従っていると一般的に考えられている。

図 3 内の小さな図は、2002 年 3 月に存在していた上場企業の出次数  $k$  と総資産  $x$  の相関を、両対数グラフでプロットしたものである。この図から、 $k$  と  $x$  は強相関であることが分かる。実際、Kendall の順位相関係数  $\tau$  を計算すると  $\tau = 0.530$  となり、かなり相関があることを、定量的に確認できる。

3. 株所有ネットワークのシンプルなモデル

現在までに、スケールフリーネットワークを作り出す多くのモデルが提案されてきた<sup>16)~18)</sup>。しかし、それらの多くは、ノードの特性を反映したものではなかった。一方、経済学や経済物理学では、企業サイズのベキ分布性を説明する、多くのモデルが提案されてきた。そのようなモデルの 1 つとして、リセットイベントをともなった乗算的確率過程がある<sup>19)</sup>。以下では、このモデルに基づいて、企業資産分布、企業年齢分布、出次数分布、出次数と企業資産の相関、出次数と企業年齢の相関について考えていく。

いま、時刻  $t$  の  $i$  番目の変数を  $x_i(t)$  と記すことにする。ここで、 $i$  は個々を区別する指標で、 $i = 1 \sim N$  である。 $N$  が総数である。また、初期条件  $x_i(0)$  は確率密度関数  $p_0(x_i(0))$  に従っているとするとする。リセットイベントをともなった乗算的確率過程は、以下のように定義される。各々の時間ステップで、 $x_i(t)$  は確率  $q$  で  $x_i(0)$  にリセットされる。そして、リセットイベントが発生しなかった場合は、確率密度関数  $p(a_i(t))$

に従う確率変数  $a_i(t)$  が  $x_i(t)$  に掛けられ、乗算的確率過程として発展する。つまり、

$$x_i(t+1) = \begin{cases} x_i(0) & \text{確率 } q, \\ a_i(t)x_i(t) & \text{確率 } 1-q. \end{cases} \quad (1)$$

ここで、式 (1) の  $x_i(t)$  を企業資産と見なす。つまり、企業は確率  $q$  で倒産に至り、確率  $1-q$  で乗算的確率過程として企業資産が発展すると考える。以下では、企業数を  $N = 50,000$  で一定に保ち、初期条件を  $x_i(0) = 1$  とする。つまり、倒産した企業  $i$  は、初期資産  $x_i(0) = 1$  の新たな企業  $i$  と入れ替わると考え、全体の企業数を一定に保つことにする。また、1970年から1997年の間の、日本企業におけるデフォルト率（債務不履行率）が0.2%から1.7%だったので、倒産確率を  $q = 0.005$  とする。そして、 $a_i(t)$  は  $a_i(t) \in [0.5, 1.5]$  のようなランダム変数とする。だが、実際には、企業サイズの成長率分布は、このように単純な一様分布には従わない<sup>15)</sup>。また、このモデルでは、初期資産の分布形  $p_0(x_i(0))$ 、成長率の分布形  $p(a_i(t))$ 、倒産確率  $q$ 、によってベキ指数の値は変更を受ける。だが、定常分布としてベキ分布が再現されることは、これらの任意性によらない<sup>19)</sup>。したがって、本稿のように、株所有ネットワークとしてシンプルなモデルを議論する場合には、 $p_0(x_i(0))$  や  $p(a_i(t))$  の詳細については考慮しないことにする。

シミュレーション結果の収束性は、図4にまとめられる。この図は、横軸に企業資産  $x$  をとり、縦軸に順位 (rank) をとって、両対数グラフで表示したものである。この図より、時間ステップが  $t = 200$  付近で、ほぼ定常分布になっていることが分かる。また、裾野部分はベキ分布に従っている。実際に最小自乗法を用いてベキ分布でフィットすると、指数は  $\alpha = 2.10$  となっている。この値は、図3の場合よりも、少し大きくなっている。

また、図4内の小さな図は、 $t = 1,000$  での企業年齢の順位分布である。この図は、横軸に企業年齢  $T$  をとり、縦軸に順位 (rank) をとり、片対数グラフで表示したものである。この図より、我々のモデルは、企業年齢の指数分布性を説明できることが分かる。

企業は資産の一部を株式として所有する。実際は、株式投資金額が資産に占める割合は、企業によって様々である。また、株式投資金額をどのように分割して、どれだけの企業の株を所有するのかといったことも、企業によって様々である。だが、ここでは、企業資産  $x_i(t)$  を、一様にランダムな変数  $r_i \in [1, 5]$  で割ることによって、出次数を  $k_i(t) \equiv x_i(t)/r_i$  で定義する。

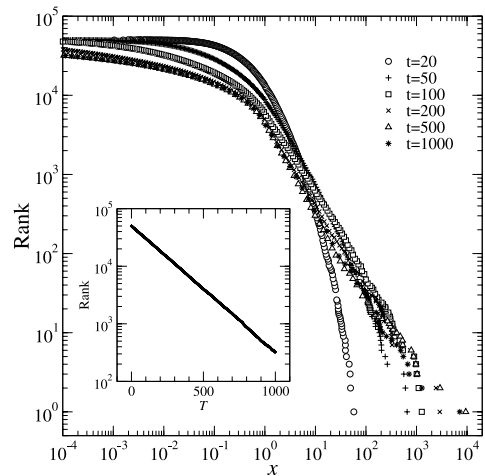


図4 資産分布に対するシミュレーションの収束性と企業年齢分布  
Fig. 4 Convergence of simulation for asset distribution and company age.

図5は、いくつかのシミュレーション結果として、 $t = 1,000$  での出次数  $k_i(t)$  の分布を表示したものである。この図は、横軸に出次数  $k$  をとり、縦軸に順位 (rank) をとって両対数グラフで表示したものである。この図から、出次数の分布は広い範囲にわたって、ほぼ同じ値の指数を持つベキ分布に従っていることが分かる。また、最小自乗法を用いてベキ指数を解析すると、 $\gamma = 2.05$  という結果が得られる。この値は、表1の結果より、少し大きくなっている。

図5内の右上の小さな図は、 $t = 1,000$  での出次数と企業年齢の相関として、典型的な結果を表示したものである。この図は、横軸に出次数  $k$  をとり、縦軸に企業年齢  $T$  をとって、両対数グラフで表示したものである。この図から、 $k$  と  $T$  は無相関または弱相関であることが分かる。実際、Kendall の順位相関係数  $\tau$  を計算すると  $\tau = 0.210$  となり、やや相関があることが、定量的に確認できる。この結果は、図2において実証的に示した結果と、ほぼ一致している。

図5内の左下の小さな図は、 $t = 1,000$  での出次数と企業資産の相関として、典型的な結果を表示したものである。この図は、横軸に出次数  $k$  をとり、縦軸に企業資産  $x$  をとって両対数グラフで表示したものである。この図から、 $k$  と  $x$  は強相関であることが分かる。実際、Kendall の順位相関係数  $\tau$  を計算すると  $\tau = 0.60$  となり、かなり相関があることが、定量的に確認できる。この結果は、図2において実証的に示した結果と比較して、 $\tau$  の値が少し大きくなっている。

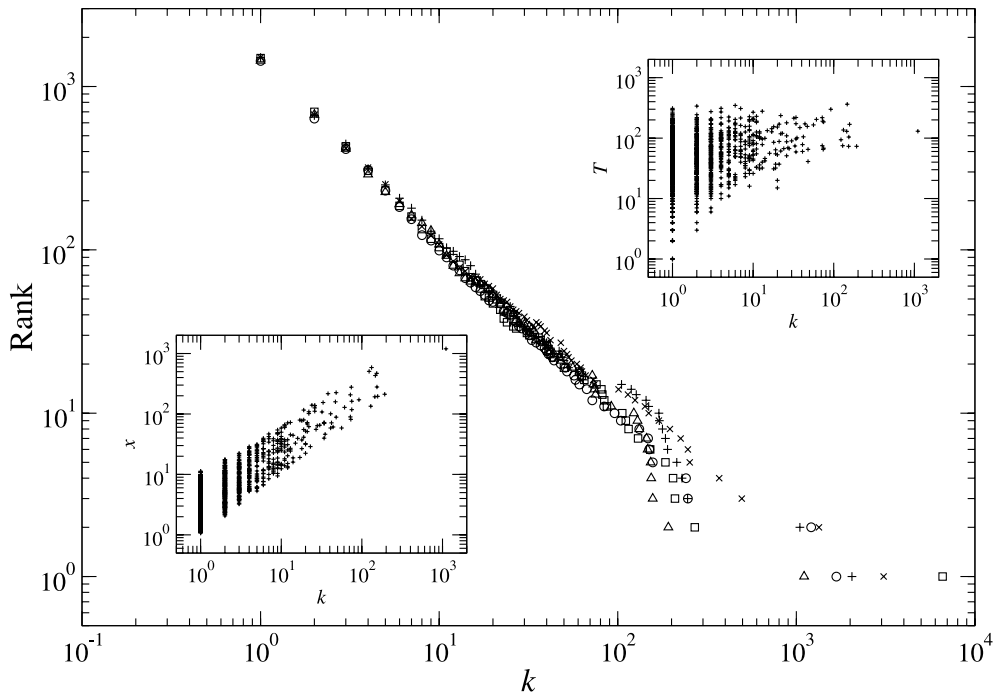


図5 出次数分布に対するシミュレーション結果，出次数と企業年齢の相関，出次数と企業資産の相関

Fig. 5 Simulation results for outgoing degree distribution, correlation between outgoing degree and company age, and correlation between outgoing degree and company asset.

#### 4. おわりに

本稿では，株主から株式会社への関係を有向グラフとして表現した．そして，実証的な研究の立場から，日本における株所有ネットワークが持つ3つの特徴を明らかにした．これらは，(i) スケールフリー性（出次数のべき分布），(ii) 出次数と企業年齢の間にやや相関がある，(iii) 出次数と企業総資産の間にかなり相関がある，であった．

また，これらの特徴を再現するモデルとして，リセットイベントをともなった乗算的確率過程を提案した．リセットイベントとして企業の倒産を想定し，その確率として，1970年から1997年の平均デフォルト率を用いた．また，その他のパラメータやパラメータの分布関数には，実証的な裏付けは行わなかった．だが，シミュレーション結果は，企業年齢や企業資産の分布の定性的な振舞いを再現するにとどまらず，本稿で実証的に明らかにした上記3点も再現している．

残された課題としては，企業資産を出次数に変換する部分である．本稿では，企業資産  $x_i(t)$  を，一様にランダムな変数  $r_i \in [1, 5)$  で割ることによって，出次数を  $k_i(t) \equiv x_i(t)/r_i$  で定義した．だが，この部分の

メカニズムは，有価証券明細書などのデータを実証的に解析することによって，ある程度，解明できると考えられる．また，金融機関などでは，株所有に対する制限が法的に定められているので，そのような制限がネットワーク生成のダイナミクスに与える影響などについても議論できると考えられる．

本稿のモデルは，出次数分布，企業年齢分布，企業資産分布とそれらの間の相関を説明するものである．そのため，現段階では，ノードどうしがつながるルールを与えてはいない．したがって，次のステップとして，ノードどうしが株所有によってつながるメカニズムを組み込む必要がある．そして，文献3)で議論されているような，クラスタ係数，次数相関，ネットワークスペクトルの特性を再現できるかどうか，議論する必要がある．

また，本稿では，資本主義において，企業と株主の関係が持つ意味や果たす役割についてまったく考慮していない．そのため，組織論，経済学的なインプリケーションを得るには至っていない．したがって，この研究が社会に対して還元できる内容は少ないかもしれない．だが，このような欠点は，最近のネットワーク科学の研究全体がかかえている問題でもある．ネッ

トワーク科学が単なる流行で終わらないためには、この問題を克服する必要がある。

謝辞 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。

### 参 考 文 献

- 1) Souma, W., Fujiwara, Y. and Aoyama, H.: Complex networks and economics, *Physica A*, Vol.324, pp.396–401 (2003).
- 2) Souma, W., Fujiwara, Y. and Aoyama, H.: Random matrix approach to shareholding networks, *Physica A*, Vol.344, pp.73–76 (2004).
- 3) Souma, W., Fujiwara, Y. and Aoyama, H.: Heterogeneous economic networks, *The Complex Networks of Economic Interactions: Essays in Agent-Based Economics and Econophysics (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol.567)*, Nmamtame, A., et al. (Eds.), Springer-Verlag, Tokyo (2006). (to appear). arXiv:physics/0502005.
- 4) Souma, W., Fujiwara, Y. and Aoyama, H.: Shareholding networks in Japan, *Science of Complex Networks: From Biology to the Internet and WWW CNET2004 (API Conference Proceedings, Vol.776)*, Mendes, J.F.F., et al. (Eds.), pp.298–307, Melville, New York (2005).
- 5) Souma, W., Fujiwara, Y. and Aoyama, H.: Change of ownership networks in Japan, *Practical Fruits of Econophysics: Proceedings of The Third Nikkei Econophysics Symposium*, Takayasu, H. (Ed.), pp.307–311, Springer-Verlag, Tokyo (2005).
- 6) 相馬 亘: 経済における複雑系ネットワーク—日本の経済ネットワークは特殊か?, *人工知能学会誌*, Vol.20, No.3, pp.289–295 (2005).
- 7) 稲岡 創ほか: 金融機関の資金取引ネットワーク, *日本銀行金融市場局ワーキングペーパーシリーズ*, 2003-J-2 (2003).
- 8) Garlaschelli, D., et al.: The scale-free topology of market investments, *Physica A*, Vol.350, pp.491–499 (2005).
- 9) Li, X., Jin, Y.Y. and Chen, G.: Complexity and synchronization of the World trade Web, *Physica A*, Vol.328, pp.287–296 (2003).
- 10) Li, X., Jin, Y.Y. and Chen, G.: On the topology of the world exchange arrangements web, *Physica A*, Vol.343, pp.573–582 (2004).
- 11) Battiston, S., Bonabeau, E. and Weisbuch, G.: Decision making dynamics in corporate boards, *Physica A*, Vol.322, pp.567–582 (2003).
- 12) Davis, G., Yoo, M. and Baker, W.E.: The small world of the American corporate elite, 1982–2001, *Strategic Organization*, Vol.3, pp.301–326 (2003).
- 13) 東洋経済新報社: 「大株主」データ。
- 14) Fujiwara, Y.: Zipf law in firms bankruptcy, *Physica A*, Vol.337, pp.219–230 (2004).
- 15) Fujiwara, Y., et al.: Gibrat and Pareto-Zipf revisited with European firms, *Physica A*, Vol.344, pp.112–116 (2004).
- 16) Albert, R. and Barabási, A.L.: Statistical mechanics of complex networks, *Rev. Mod. Phys.*, Vol.74, pp.47–97 (2002).
- 17) Dorogovtsev, S.N. and Mendes, J.F.F.: *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*, Oxford University Press, Oxford (2003).
- 18) Newman, M.E.J.: The structure and function of complex networks, *SIAM Rev.*, Vol.45, pp.167–256 (2003).
- 19) Manrubia, S.C. and Zanette, D.H.: Stochastic multiplicative processes with reset events, *Phys. Rev. E*, Vol.59, pp.4945–4948 (1999).

(平成 17 年 5 月 25 日受付)

(平成 18 年 1 月 6 日採録)



相馬 亘 (正会員)

昭和 40 年生。平成 8 年金沢大学大学院自然科学研究科物質科学専攻博士課程修了。素粒子論の研究に従事。平成 13 年株式会社国際電気通信基礎技術研究所研究員。経済物理学、ネットワーク科学の研究に従事。理学博士。日本物理学会、日本シミュレーション学会各会員。