

銀行間と企業間の多層ネットワーク・シミュレーションによる連鎖破綻の解析

Analysis of Chain Bankruptcy
Using Multilayer Networks Simulation among Banks and Companies

濱脇 諒*¹
Ryo Hamawaki

尾崎 順一*²
Junichi Ozaki

和泉 潔*¹
Kiyoshi Izumi

島田 尚*¹
Takashi Shimada

松島 裕康*¹
Hiroyasu Matsushima

坂地 泰紀*¹
Hiroki Sakaji

*¹東京大学大学院 工学系研究科
School of Engineering, The University of Tokyo

*²東京工業大学 科学技術創成研究院
Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

Recent globalism of economic makes the effect of a certain small bankruptcy enhance internationally beyond of the area and country. So, we propose the model in which the interaction between banks and companies is focused and simulate and consider the effect of whether banks invest the funds or not to the growth of companies. In particular, by varying the width of change of the growth rate of companies according to whether they are invested, we researched the difference in the distribution of the final size of companies. The model of banks is based on actual data such as financial statement analysis edited by Japanese Bankers Association. As the results, the investment of banks did not raise the mean of growth rate but widened the disparity in size among companies. As future plans, we'd like to reproduce and analyze the cause of large chain bankruptcy using the extended model.

1. はじめに

近年の経済のグローバル化により、特定の企業や業界で起こった破綻や倒産のリスクがその業界および国を超えて国際的に影響を与えることが起きている。これらはシステミックリスクと呼ばれ、関連する研究が近年注目を浴びている[永田 13]。

システミックリスクに関わる研究として、銀行間ネットワークに着目した研究がある。今久保ら[今久保 08]では、銀行間のコール市場におけるネットワーク構造の特徴を明らかにしている。橋本ら[橋本 17]では、複数の種類のネットワークを用いて、破綻の連鎖を説明し、予測を行なっている。前野[前野 13]では、各銀行が貸借対照表を持つことで、資金貸出先の倒産による自己資本の毀損によって銀行が連鎖的に倒産していく様子を再現し、連鎖倒産リスクが高くなる条件をまとめている。また、企業についても、田村ら[田村 14]は企業間での活動に着目し企業間の発注下請け関係をリンクとしたネットワークとして見ることで、資金の流れに着目する研究を行なっている。

しかし、今久保らは銀行のネットワークについての実証研究でありシミュレーションの研究は行っていない。橋本らは銀行のみのシミュレーションであり、銀行の主業務である融資についての考慮がなされていない。前野では独自のモデルで銀行のバランスシートを作成して、現実のデータと整合性が取れるかの検証がなされていない。企業についても、田村らは銀行に触れておらず、企業のみ活動に着目して、銀行との融資関係までをモデル化したものは少ない。

そこで、本研究では、銀行と企業の活動の相互作用に着目したモデルを提案し、銀行からの投資の有無が企業の成長に与える影響についてシミュレーションした結果を考察する。

2. モデル

本モデルは、大きく分けて3つの構成要素から成る: 1. 銀行100行; 2. 企業100社; 3. 株式市場40銘柄。

銀行に関する詳細については、2.1節と2.2節、企業については2.4節、株式市場については2.3.2節の中で述べていく。

2.1 銀行間ネットワーク

銀行間ネットワークは銀行同士の貸借関係を表したものであり、各銀行をノードとし貸借関係をリンクとしている。本モデルでは、コアペリフェラルネットワークを用いて実験を行う。コアペリフェラルネットワークは実際の日本における銀行間の貸借関係で観測されたもので[今久保 08]、以下のような特徴を持つネットワークである: 1. コアと周辺という2重構造; 2. コア内は完全ネットワークに近い; 3. コアは周辺に対するハブとなっている; 4. 周辺はクラスター化している。

銀行*i*から銀行*j*への初期の貸借額 $Lend_{i,j}$ は式1を用いて算出した[前野 13]。

$$Lend_{i,j} = \frac{out_{k_i}^r \cdot in_{k_j}^r}{\sum_{i=1}^N \sum_{i \neq j} out_{k_i}^r \cdot in_{k_j}^r} L \quad (1)$$

ここで、 $out^{(in)}_{k_i}$ は銀行*i*が貸出(借入)を行っている銀行数、*N*は総銀行数、*L*は総貸出数、*r*は貸借額の偏りを表しているパラメータである。式1は自分の貸出先が多ければ多いほど、また、貸出先の借入先が多ければ多いほど貸出額が大きくなることを意味している。

2.2 貸借対照表

各銀行は資金の貸し借りや株式市場のような有価証券の管理を貸借対照表を用いて管理する。今回使用する項目は以下の7つである

(借方)	(貸方)
有価証券	自己資本
現金	預金
企業貸出	銀行間借入
銀行間貸出	

図1: 貸借対照表の項目

まず、式 1 で各銀行間の貸出と借入が決定される。

次に、全国銀行協会が公表している全国銀行財務諸表分析より、日本における銀行の貸借対照表をもとにノンパラメトリック手法であるカーネル密度法を用いて実データから有価証券、現金、自己資本、預金の割合を決定する。

2.3 銀行と企業の連携

2.3.1 銀行から企業への貸出

銀行は 1 年に一度余剰資金を企業へ貸し出す。余剰資金 *surplus* は式 2 によって決定される。

$$\begin{aligned} surplus &= \left\{ \text{現金} + \min \left(0.5 [\text{有価証券}], \frac{15.0}{85.0} [\text{現金}] \right) \right\} \\ &= -\{0.05 (0.6 [\text{預金}]) + 0.4 (0.4 [\text{預金}]) \\ &\quad + 0.3 (0.35 [\text{企業貸出}]) \} \end{aligned} \quad (2)$$

式 2 は国際決済銀行が世界の銀行に求めているバーゼル規制に基づくものであり、流動性破綻を防ぐため、最低限持つべき現金の量を表している。本モデルでは、この量の半分を 1 年に 1 度企業に貸し出すこととしている。

また、その貸出先は規模が上位 30 社の企業の中からランダムに決定される。

2.3.2 株式市場とファンダメンタル価格

本モデルには株式市場が存在し、40 種類の銘柄が各銀行によって売買されている。この売買には鳥居らのモデル [鳥居 15] を使用していて、各銀行はその銘柄の本質的な価値と値動きのトレンドを見て取引を行う。

各株式の時刻 t における価格 p_t は式 3 によって決定される。

$$p_t^i = p_{t-1}^i + \alpha(n_{b,t-1}^i - n_{s,t-1}^i) + \beta \text{growthrate}_{t-1}^i \quad (3)$$

$n_{b,t}^i$ は時刻 t に購入された株式 i の数、 $n_{s,t}^i$ は時刻 t に売却された株式 i の数、 growthrate_t^i は時刻 t における企業 i の成長率を表している。需給の差と成長率に比例して価格が変動するモデルとなっている。 α, β はそれぞれ需給の差と成長率の影響を統制する定数であり、今回は全ての実験において一定としている。

2.4 企業の成長モデル

各企業は 1 年に一度以下の分布にしたがって生成された値を成長率として規模を拡大させる。この成長率は 1 年毎の企業の規模の対数差分として定義する。企業の成長率 g の分布 $P(g)$ は坂井ら [坂井 12] によると以下の分布に従うことが知られている。

$$P(g) = \frac{2V}{\sqrt{g^2 + 2V}(|g| + \sqrt{g^2 + 2V})} \quad (4)$$

V は以上の分布の分散を表すパラメータである。以上の分布は、 $g \rightarrow 0$ 付近ではラプラス分布に従い、 $g \rightarrow \infty$ ではべき分布で近似されることを意味している。また、規模の大きな企業は分布の中央に多く、テール部分には規模の小さな企業の成長率が反映されている。

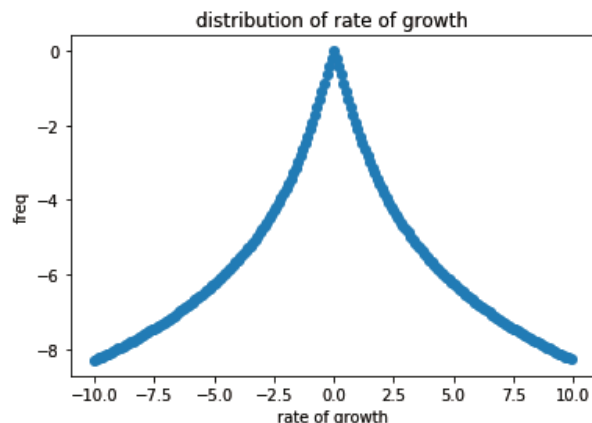


図 2: 企業の成長率の分布

3. シミュレーション

3.1 実験の目的

各企業の規模に焦点を当てる。

一般に、企業は設備拡張や新規事業開発のために銀行から融資を受け資金を調達する。この投資による影響として、銀行の主業務の 1 つである融資が企業の成長にどのような作用をするのかを調べ、モデルの妥当性を検証する。

3.2 実験の詳細

シミュレーションは図 3 のフローに従って行われる。

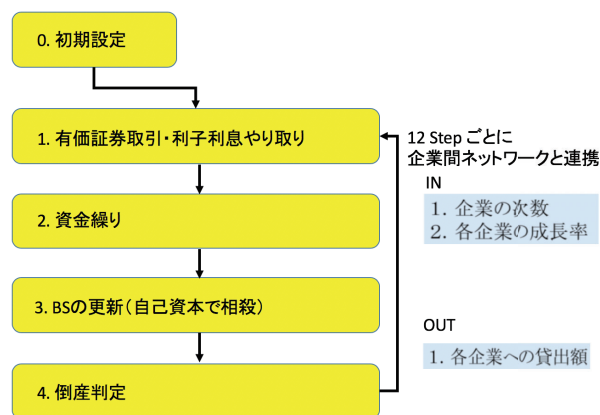


図 3: 貸借対照表の項目

図で示されるフローを 1 ステップとし、これを 12 ステップ繰り返す。12 ステップ終了後に前述のアルゴリズムにしたがって、各銀行は企業へ貸し出す額を決定する。その貸出額を受け取って各企業の成長率が決定され、成長率から企業の規模が求められる。以上の行動を 1 セットとして本シミュレーションでは 10 セット行う。

10 セット終了後の企業の規模の分布について以下の 3 パターンの成長率の決定方法で実験し比較を行う。

成長率は 2.4 節で述べた確率分布から取得するが、平均 0 の両側何% の範囲で乱数が動くかを変化させる。

1. 両側 20%

2. 企業の規模 *size* に反比例する値 $width = \frac{1}{2\sqrt{size}}$

3. パターン 2. に投資の額に応じた係数を加算した値

企業の投資の 1 つである設備投資は一般に、供給力の増大が期待される一方で、在庫リスクの拡大や市場の効率性が損なわれる可能性がある [比佐 07]。これをモデルに組み込むため、パターン 3. の投資の額に応じた係数は、小規模の投資の時 5%, 大規模の投資の時 7.5% とし、投資の規模が大きくなるにつれて、不安定な成長となるモデルとした。

各実験を 30 試行ずつ行い、最終的な企業の規模の初期値からの成長率を調べた。また、それぞれのパターンの成長率の分布について、正規分布と言えるかどうかを調べる Shapiro-Wilk 検定を行った。

3.3 実験結果

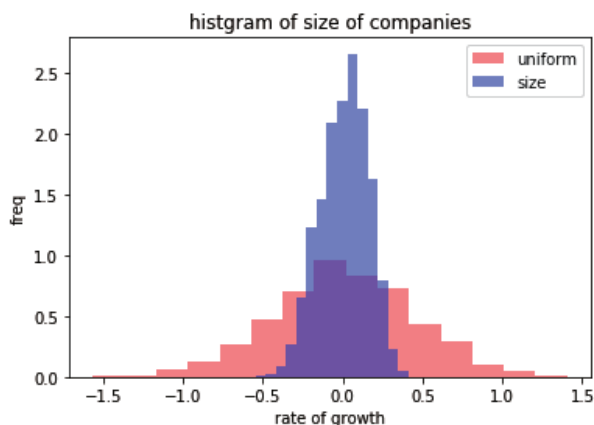


図 4: 成長率の頻度分布の比較その 1

図 4 は、パターン 1(uniform) の時とパターン 2(size) の時の最終的な成長率の頻度分布を正規化したものである。パターン 1 では成長率が -1.0 から 1.0 の範囲で正規分布の様な分布で広がっているのに対し、パターン 2 では 0 付近の値に集中する結果となった。

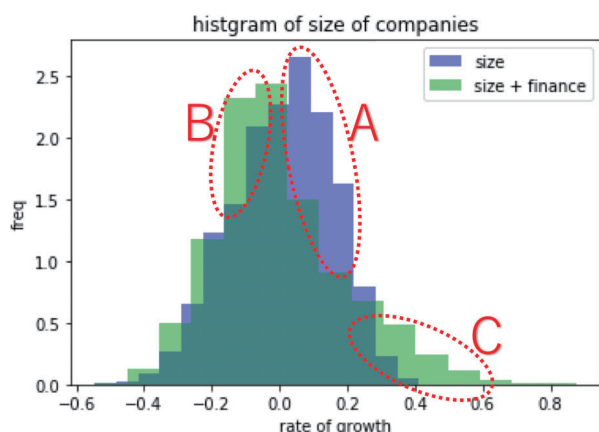


図 5: 成長率の頻度分布の比較その 2

図 5 は、パターン 2(size) の時とパターン 3(size + finance) の時の最終的な成長率の頻度分布を正規化したものである。パターン 2 よりもパターン 3 の方が最頻値が負の方向に移動していることが見て取れる。平均値もパターン 2 の時が 0.0078 、パターン 3 の時が 0.0025 であり、若干ではあるが減少していた。

次に、各パターンについて Shapiro-Wilk 検定の結果を示す。それぞれの p 値は表 3.3 のとおりであった。

表 1: 各パターンにおける Shapiro-Wilk 検定の p 値

	パターン 1	パターン 2	パターン 3
p 値	0.282	1.51×10^{-15}	8.3×10^{-32}

4. 考察

4.1 パターン 1 と 2 の比較

まず、パターン 1 の時とパターン 2 の時の差異について考察を行う。本モデルでは成長率を各年の規模の対数差分としているため、 n 年の成長率を g_n とすると、10 年目の各企業の規模 $size_{10}$ は以下の様に表される。

$$size_{10} = size_0 e^{g_1} e^{g_2} \dots e^{g_{10}} = size_0 e^{\sum_{k=1}^{10} g_k} \quad (5)$$

さらに、パターン 1 においては g_k は図 2 の中心から両側 20% の同じ分布から成長率を取得している。よって、中心極限定理より式 5 の指数部分は正規分布に従うことが示され、シミュレーションの結果も表 3.3 より、Shapiro-Wilk 検定の p 値が 0.05 より大きくなっており、正規分布であるという帰無仮説は棄却されず、整合的な結果となっている。

一方で、パターン 2 の時は企業の規模の初期値を 100 としたため、大抵の企業が安定的な成長しかせず、大きく成長するものや急速に規模が縮小する様なものが現れず、 $g = 0$ の周辺に集中してしまったということが言える。Shapiro-Wilk 検定の p 値も 0.05 より小さくなり、正規分布であるという帰無仮説は棄却される。

4.2 パターン 2 と 3 の比較

次に、パターン 2 の時とパターン 3 の時について考察を行う。パターン 3 もパターン 2 と同様に企業の規模が成長率に影響を与えるモデルであるので、 $g = 0$ の周辺に成長率が集中していることが言え、また、Shapiro-Wilk 検定より正規分布であるという帰無仮説も棄却される。

しかし、図 5 を見るとパターン 2 とパターン 3 の分布に差異を確認することができる。それは赤い点線で囲まれた 3 つのエリアである。パターン 2 では観測されるエリア A の分布がパターン 3 ではエリア B とエリア C に移動している。この部分が投資による率への成長率への影響と考え、考察を行う。

4.1 節で行なった考察をもとに考えると、エリア A にあった企業は規模が大きく安定的な成長をしていた企業である。本モデルでは、銀行が余剰資金を投資している企業は規模の上位 30 社としたため、エリア A の企業も投資対象になりうる。

ここで、投資を受けた時企業は高いリターンを得られるかもしれない一方で、規模が縮小してしまうかもしれないリスクを負う様なモデルとしたため、エリア A にいた企業が成長を遂げることができ、エリア B に移動したものと規模が縮小しエリア C に移ったものの 2 つに分かれたことが図 5 からうかがえる。

そこで、パターン 2 とパターン 3 の平均値を比較してみると、パターン 2 の方が若干大きくなったものの最終的な企業の規模に変換するとパターン 2 の時が 100.8 に対し、パターン 3 の時が 100.3 となり、大差はなかったことがわかる。つまり、本モデルでは銀行の企業への投資は企業の集合全体での成長率の平均には影響を与えないが、企業の成長率の分布には影響を与え、企業間での格差が広がる方向に作用するという結果となった。

5. まとめと将来の展望

5.1 まとめ

本研究では、銀行と企業の相互作用について研究を行うためのモデルの提案とそれを用いた実験を行った。

モデルとしては、銀行間ネットワークの作成に日本のコール市場に見られた特徴を反映したコアペリフェラルネットワークを用い、各銀行の貸借対照表は全国銀行協会の全国銀行財務諸表分析の分布をもとに作成し、データ・ドリブン志向のモデルを構築した。

また、このモデルを使った実験では銀行から企業への投資が企業の成長率にどのような影響を与えるかについて、シミュレーションを行った。その結果、銀行の投資は企業の成長率に対して、全体の平均を上げ成長を促すという効果は得られなかったが、企業間の格差を拡大させるという結果となった。具体的には、投資を受けて成長できた企業とそうでなかった企業の2群に分布が分かれた様子が確認された。

5.2 将来の展望

将来の展望としては、今回時間依存しない確率モデルで成長率をおいた企業側の部分のモデルについて、銀行間ネットワークと同様にエージェントベースのシミュレーションに拡張する。各企業をノードとし、企業同士の活動をリンクとしたネットワークを作り、企業同士の相互作用も考慮することが狙いとなっている。これにより、ある企業への銀行の投資がその企業とつながっている企業への好影響をもたらし、投資の影響が伝播していく様子や反対に、投資していた企業の倒産が銀行の倒産を招き、大きな連鎖倒産を引き起こしてしまうといったシステミックリスクが生じるメカニズムを再現し分析できる。

参考文献

- [永田 13] 永田 裕司：システミック・リスクと金融の脆弱性，福岡大学商学論叢，Vol. 57, No. 3-4, pp. 253-272 (2013)
- [橋本 17] 橋本 守人，倉橋 節也：資金取引ネットワークモデルに基づく連鎖破綻リスク分析，人工知能学会論文誌，Vol. 32, No. 5, pp. B-H21.1 (2017)
- [今久保 08] 今久保 圭，副島 豊：コール市場の資金取引ネットワーク，金融研究，Vol. 27, No. 2, pp. 47-100 (2008)
- [坂井 12] 坂井 功治，渡辺 努：企業成長率分布の統計的性質と含意，経済学論集，Vol. 78, No. 3, pp. 2-13 (2012)
- [前野 13] 前野 義晴：金融システムを安定化する最適な投融資ポートフォリオと銀行間ネットワーク，人工知能学会 金融情報学研究会 (2013)
- [鳥居 15] 鳥居 拓馬，中川 勇樹，和泉 潔：複数資産人工市場を用いた裁定取引によるショック伝搬の分析，人工知能学会全国大会論文集 2015 年度人工知能学会全国大会 (第 29 回) 論文集，pp. 1J4OS13a2-1J4OS13a2 一般社団法人 人工知能学会 (2015)
- [田村 14] 田村 光太郎，高安 美佐子：企業間取引ネットワーク上でのお金の流れのモデル化とシミュレーション，シミュレーション，Vol. 33, No. 4, pp. 262-268 (2014)
- [比佐 07] 比佐 章一：日本企業における設備投資行動の不安定性とその決定要因-横並び行動の検証と所有構造の影響，日本経済研究，No. 57, pp. 1-22 (2007)