

# 「資産市場の価格変動と銀行間貸借ネットワークの形状が 銀行の連鎖倒産に与える影響」

## Effect of Asset Price Fluctuation and Inter-bank Lending and Borrowing Network on Chain Bankruptcy of Bank

濱脇 諒<sup>1</sup> 和泉 潔<sup>2</sup> 坂地 泰紀<sup>2</sup> 米納 弘渡<sup>2</sup>

Ryo Hamawaki<sup>1</sup>, Kiyoshi Izumi<sup>2</sup>, Hiroki Sakaji<sup>2</sup> and Hiroto Yonenoh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学工学部システム創成学科

<sup>1</sup> Department of Systems Innovation, Faculty of Engineering, The University of Tokyo

<sup>2</sup> 東京大学大学院 工学系研究科

<sup>2</sup> School of Engineering, The University of Tokyo

**Abstract:** When a company goes bankruptcy, the effect can make another company go bankruptcy. This is called chain bankruptcy. In this research, we analyzed effect of asset price and inter-bank lending and borrowing network on chain bankruptcy using agent simulation. We have two results: (1) as the rate of change in asset price is higher, the final number of bankruptcy is higher; (2) as the density of links is higher, the final number of bankruptcy is lower. These results suggest that factor causing bankruptcy is both asset price fluctuation and inter-bank lending and borrowing network.

## 1. 序論

ある企業の倒産が原因となり、その他の企業まで倒産し、ドミノ倒しのように倒産が続くことを連鎖倒産と呼ぶ。連鎖倒産のように金融機関の破綻が金融システム全体に波及するリスクのことを「システムミック・リスク」と言い、近年注目が集まっている。

システムミック・リスクに関する研究として今久保ら[1]や前野[2]の研究がある。しかし、今久保らは短期間の資金繰りに焦点を当てていて限定的であり、連鎖倒産は扱われていない。また、前野は市場性資産を介して金融ショックを与えているが、その資産市場の価格変動については触れておらず、ネットワークについても、1種類のネットワークのみで形状は変化させていない。そこで、本研究では、エージェントシミュレーションを用いて、「銀行の保有する市場性資産の価格変動」と「銀行間の貸借ネットワーク形状」を変化させた時の銀行の連鎖倒産への影響を調査した。

## 2. 手法

本モデルでは、各試行開始時に銀行を1行強制的

に倒産させ試行の終了時に銀行が何行倒産したかを数える。これにより、連鎖倒産数が多くなるのはどのような状況であるかを調査するのが本研究の目的である。先行研究として菊地ら[3]を参考にバランスシートの作成などを行う。

モデルの構成要素としては: 1. 銀行エージェントが100行; 2. 銀行間ネットワーク; 3. 市場性資産の市場の3つがある。

### 2.1. モデルの概要

各試行開始時に強制的に倒産させる銀行をスタート銀行と呼ぶ。スタート銀行は大銀行の1行とした。まず、初期設定として以下の3つを作成する: 1. 銀行間ネットワーク; 2. 各銀行のバランスシート; 3. 市場性資産市場。各ステップで銀行は以下の3つを順番に行う: 1. 外部資産の売買; 2. 市場性資産の価格更新; 3. バランスシートの更新; 4. 倒産判定。各試行は100ステップで終了する。これらをフローチャートで表したものが図1である。

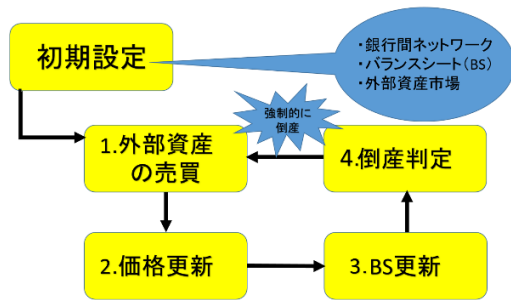


図1 1ステップのフロー

## 2.2. 銀行間ネットワーク構造

各銀行はほかの銀行と貸借関係を持っている、各銀行をノードとし、貸借関係をリンクとしたネットワークを銀行間ネットワークと呼ぶ。銀行間ネットワークは貸出借入の向きがあるので有向グラフとなる。貸出借入の向きは確率2分の1で決定する。

銀行間ネットワークの構造は国や時期によって異なるが、多くは次の3つのネットワーク構造と同じ特徴を持つ。

### 2.2.1. コアペリフェラルネットワーク

以下の手順で、ネットワークを作成する: 1. 大銀行 10 個同士を完全グラフで結合する; 2. 小銀行 90 行を 10 個のグループに分ける; 3. 大銀行 1 個と 1 小銀行グループを一对一に対応させ、大銀行と各小銀行の間にリンクを作成する; 4. 小銀行グループの中でも 4 つの小銀行を完全グラフで結合し、クラスターを形成する; 5. 最後に、各銀行は現在リンクを結んでいない銀行とランダムにリンクを結ぶ。

### 2.2.2. スケールフリーネットワーク

スケールフリーネットワークにおいて、各ノードのリンク数には偏りがあり、リンクを多く持つ少数のハブとリンクが少ない多数のノードに大別される。この性質をスケールフリー性と言い、ウェブサイトや論文引用数など現実のネットワークで観測される[4]。このスケールフリーネットワークの作成の手順を以下に述べていく。

1. 大銀行 10 行を完全グラフで結合する; 2. このネットワークに 1 つずつ小銀行となるノードを追加していくことでネットワークを形成する。ノードを追加していく過程について説明する。

追加する銀行は一定数のリンクを持っている。これを既存のネットワークにつないでいくが、銀行  $i$  につながる確率  $p_i$  は以下の式で決定する。

$$p_i = \frac{Link_i}{2 * LinkSum} \quad (1)$$

$Link_i$  は銀行  $i$  が持っている総リンク数、 $LinkSum$  はネットワーク中の総リンク数を表している。

### 2.2.3. ランダムネットワーク

ランダムネットワークのリンクの結び方はコアペリフェラルネットワークやスケールフリーネットワークのように恣意的に決めるのではなく、ランダムに決める。この際、モンテカルロ法を用いる。

## 2.3. 市場性資産

各銀行は株式などの市場性資産を保有し、時刻  $t$  の資産価格  $p_t$  は(2)式で決まる。

$$p_t = p_{t-1} + \alpha * p_{t-1} \frac{(n_{b,t-1} - n_{s,t-1})}{N} \quad (2)$$

$p_t$  は時刻  $t$  の価格、 $n_{b,t}$  は時刻  $t$  に購入された市場性資産の数、 $n_{s,t}$  は時刻  $t$  に売却された市場性資産の数、 $N$  は総株数、 $\alpha$  は価格変動係数である。ここで、 $\alpha = 0$  とした時には、 $p_t = p_{t-1}$  が成り立つので、いかなる  $t$  においても価格は固定になる。市場性資産は 1 種類でシミュレーションを行う。

## 2.4. 倒産の判定と処理

倒産の判定には、(3)式で算出した自己資本比率を用いる。

$$CAR_t = \frac{NetWorth_t}{VaR * StockNum_t} \quad (3)$$

$CAR_t$  は時刻  $t$  での自己資本比率、 $NetWorth_t$  は時刻  $t$  での自己資本、 $StockNum_t$  は時刻  $t$  での持ち株数を表している。 $VaR$  はバリュアットリスクのことで、該当株式がもつリスクを定量的に表したものである。つまり、分母が意味しているのは該当株式のリスクと株数の積であり、保有する市場性資産の全リスクということになる。よって、自己資本比率増加が起こる事象としては以下の2つが挙げられる: 1. 自己資本の増加; 2. 持ち株数の減少。この自己資本比率の値が 0.04 を下回った時、各銀行は倒産となる。倒産の処理については次節で述べる。

### 2.4.1. 倒産の処理

銀行が倒産した時、倒産した銀行に貸出を行っていた銀行はその額を回収することができなくなり、一方倒産した銀行から借入を行っていた銀行は返済する義務がなくなる。市場性資産は市場に売り出さず、倒産しても株式は保有し続けるが、株式の売買には参加できないものとする。

## 3. 結果

本研究では、各パラメータセットについて 100 行シミュレーションを行い、その平均をとった。

パラメータについて: 1. 市場性資産による影響; 2. ネットワークの形状による影響の 2 つに分けて、次節以降記していく。

### 3.1. 市場性資産による影響

市場性資産の価格を決定する式(2)の価格変動係数  $\alpha$  をパラメータとする。 $\alpha$  を: 1. 0; 2. 0.25; 3. 0.5; 4. 1.0; 5. 1.5 の5通りで変化させ、実験を行った。結果を図2に示す。

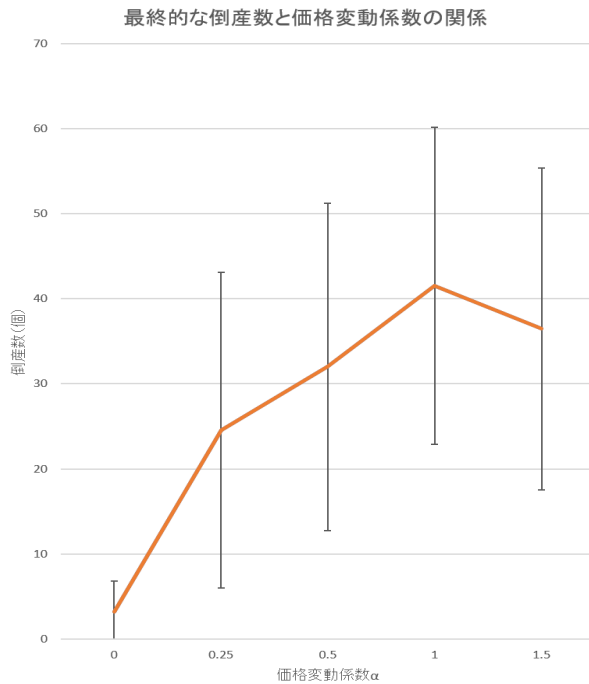


図2 最終的な倒産数と価格変動係数の関係  
 価格変動係数の増加に伴い、最終的な倒産数も増加した。

### 3.2. ネットワークの形状による影響

各ネットワーク構造についてパラメータと結果を記していく。

#### 3.2.1. コアペリフェラルネットワーク

コアペリフェラルネットワークでは恣意的な構造を作成した後、最終的にランダムにつなぐリンク数をパラメータとした。恣意的な構造のリンク数も合わせたリンク数を、大銀行で以下の3通り: 1. 20本; 2. 30本; 3. 50本、小銀行で以下の4通り: 1. 5本; 2. 8本; 3. 10本; 4. 20本となるようにパラメータを設定し、それぞれの組み合わせ  $3 \times 4 = 12$  通りについて、実験を行った。結果を図3に示す。

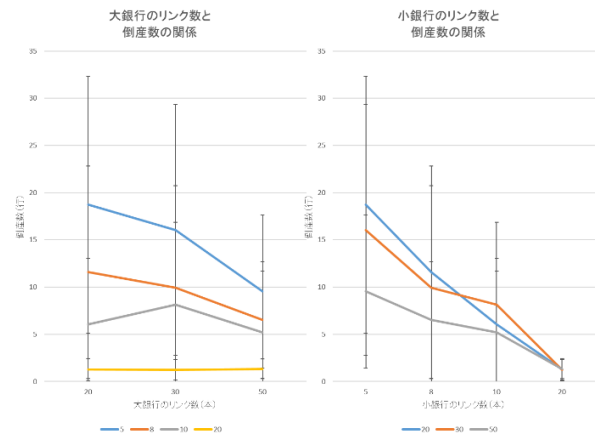


図3 コアペリフェラルネットワークにおけるリンク数と最終的な倒産数の関係  
 一部を除き、リンク数が増加するにつれて、平均倒産数は減少した。

#### 3.2.2. スケールフリーネットワーク

スケールフリーネットワークでは、追加する銀行が持っているリンク数をパラメータとして設定する。リンク数は以下の5種類である: 1. 2本; 2. 3本; 3. 5本; 4. 8本; 5. 10本。結果を図4に示す。

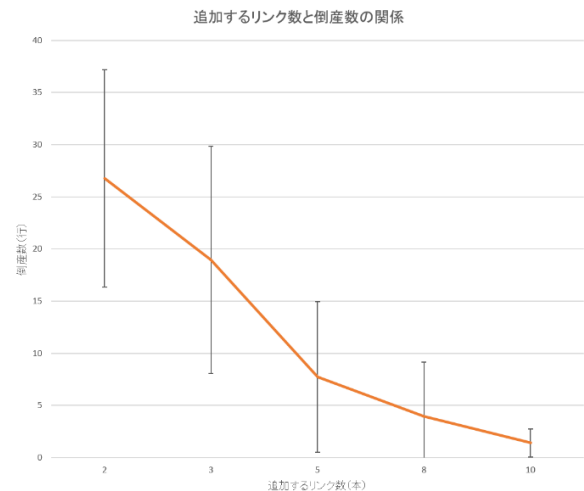


図4 スケールフリーネットワークにおけるリンク数と最終的な倒産数の関係  
 コアペリフェラルネットワークと同様に、リンク数が増えるにつれて、倒産数は減少した。

#### 3.2.3. ランダムネットワーク

ランダムネットワークでは大銀行と小銀行のリンク数の組み合わせを以下の4通りで実験した: 1. 6本と3本; 2. 10本と5本; 3. 20本と10本; 4. 50本と20本。結果を図5に示す。

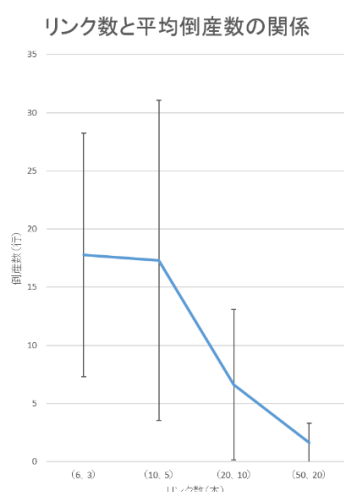


図5 ランダムネットワークにおける  
 リンク数と最終的な倒産数の関係

こちらリンク数が増えるにつれて、最終的な倒産数は減少した。

## 4. 考察

結果と同様に: 1. 市場性資産による影響; 2. ネットワークの形状による影響の2つに分けて、次節以降に記し、最後にまとめと将来の展望を述べる。

### 4.1. 市場性資産による影響

図2において、 $\alpha = 0$ の場合と $\alpha = 1$ や1.5の場合を比較すると、価格変動が銀行のリスクを増大し倒産数が増大した。しかし、 $\alpha = 1$ と1.5のときを比べると、倒産数に大きな違いは見られない。 $\alpha$ が一定以上になると外部資産を一定以上持っている銀行はほぼ潰れ、それ以上 $\alpha$ を増やしても倒産数はそれ以上増加しないためだと考えられる。

### 4.2. ネットワークの形状による影響

#### 4.2.1. コアペリフェラルネットワークの結果

図3において、小銀行のリンク数が10本や20本と多くなった時は大銀行のリンク数を増やしてもほとんど倒産数に変化がなかった。これはある程度小銀行と小銀行のリンク数が増えた時、大銀行と小銀行のリンク数の本数は倒産数に影響を与えないことを示唆している。

#### 4.2.2. リンク数と倒産数の関係

この節では、3つのネットワーク構造に共通して見られたリンク数が増えるほど最終的な倒産数が増加する、という結果についてその理由を考察する。

本モデルでは、各銀行が保有する資産の総額は乱数を用いて一定の範囲のある値とした。よって、リンク数の大小によらず、各銀行の貸出額はほぼ同じ

くらいの額になる。ここで、具体的に銀行Xの持つリンク数が3本と少ない場合(I)、リンク数が20本と多い場合(II)を考える。今、銀行Xの貸出額は図6の緑のように分割されていて、各ブロックが1つの銀行に対して貸出している額に相当する。

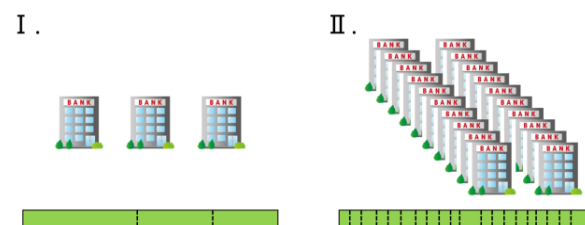


図6 銀行Xの貸出額のイメージ

次に、この銀行Xとリンクでつながった銀行のうち1行が倒産した場合を考えると、IとIIでは回収不能になる額が異なり、Iの方がより多くなるということが分かる。よって、他の銀行とのリンク数が少ないと、その数少ない取引先が倒産した時に大きなダメージを受けてしまうということが分かる。この結果から、銀行は同程度の額の貸出を行う際、なるべく多くの銀行に少額の貸出を行うべきだということが示唆される。

### 4.3. まとめと将来の展望

以上より、得られた結論は: 1. 市場性資産の価格の変動率が高いほど最終的な倒産数も増加する; 2. リンク密度が高いほど最終的な倒産数は減少する、の2つであった。

将来の展望としては: 1. 銀行間ネットワークの大きさを今回100行としたが、規模を変えるとどうなるか; 2. 倒産数の平均で議論したが、倒産した銀行の総資産額から被害総額を求める; 3. 銀行間ネットワークと企業ネットワークを結合する、の3つを考えている。

## 参考文献

- [1] 今久保 圭, 副島 豊: コール市場の資金取引ネットワーク, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, No.08-J-16(2008)
- [2] 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, SIG-FIN, Vol. 10, No. 8 (2013)
- [3] 菊地 剛正, 高橋 大志, 寺野 隆雄: エージェントシミュレーションを用いた金融規制と金融機関の投資行動が破綻伝播に与える影響の分析, 経営情報学会2015年秋季全国研究発表大会要旨集, pp. 251-254 (2015)
- [4] 増田 直紀, 今野紀雄: 複雑ネットワークの科学, 産業図書(2005)