



日本取引所グループ
JAPAN EXCHANGE GROUP

JPX WORKING PAPER

JPXワーキング・ペーパー

資産価格変動と銀行間ネットワークを用いた
連鎖倒産シミュレーション

濱脇 諒
和泉 潔
川久保 佐記

2019年2月14日

Vol.25

備考

JPX ワーキング・ペーパーは、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社（以下「日本取引所グループ等」という。）の役職員並びに外部研究者による調査・研究の成果を取りまとめたものであり、学会、研究機関、市場関係者他、関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図しております。なお、掲載されているペーパーの内容や意見は筆者ら個人に属し、日本取引所グループ等及び筆者らが所属する組織の公式見解を示すものではありません。

資産価格変動と銀行間ネットワークを用いた 連鎖倒産シミュレーション*

濱脇 諒[†] 和泉 潔[†] 川久保 佐記[‡]

2019年2月14日

概要

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」を変化させたときの銀行ネットワークの安定性への影響を調べた。「銀行の保有する市場性資産の価格変動」については価格の変動率が比較的小さい区間で倒産数が急増し、ある程度大きくなるとほぼ倒産数は増えなかった。「銀行間の貸借ネットワーク形状」についてはネットワーク中のリンク数が増えるに従って倒産数は減少する傾向が見られた。銀行間貸借ネットワークにおいて貸借を分散させることがネットワーク全体を安定にする可能性を示唆した。

* 本稿に示されている内容は、筆者ら個人に属し、株式会社日本取引所グループ等及び著者らが所属する組織の公式見解を示すものではありません。また、ありうべき誤りは、すべて筆者個人に属します。連絡先：濱脇 諒 (b2017hamawaki@socsim.org)

[†] 東京大学大学院工学系研究科

[‡] 株式会社大阪取引所市場企画部調査役

1 はじめに

1.1 システミックリスクと連鎖倒産

2008年に起こった、サブプライムローンを発端とする世界中を巻き込んだ金融危機も、きっかけはアメリカの住宅ローン市場の比較的小さな部門で起こった問題だった(永田裕司(2013))。また、スペインやイタリアといったヨーロッパの大国にも伝播したユーロ危機ことソブリン危機も、事の発端は格付け会社の10年物ギリシャ国債を格下げしたことによるギリシャという単一の国家の国債の急落である(羽森直子(2013))。以上のように、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「システミックリスク」と言い、金融システムの安定性を評価する研究に近年注目が集まっている。

1.2 先行研究との比較と本研究の目的

本研究では、金融システムの安定化を評価することを目的に、連鎖倒産に影響を与える要素を調べる。システミックリスクに関する先行研究には今久保圭・今久保圭(2008b)や橋本・倉橋(2017)、前野(2013)の研究がある。しかし、今久保圭・今久保圭(2008b)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。橋本・倉橋(2017)では、資金取引ネットワークの構造に着目して、破綻の連鎖を説明し、予測を行っている。しかし、バランスシートの中で市場性資産の価格は外生的に与えていて、価格変動とシステミックリスクの相互作用には触れていない。

前野(2013)では、連鎖倒産リスクが大きくなる条件をまとめている。以下に概要を示していく。

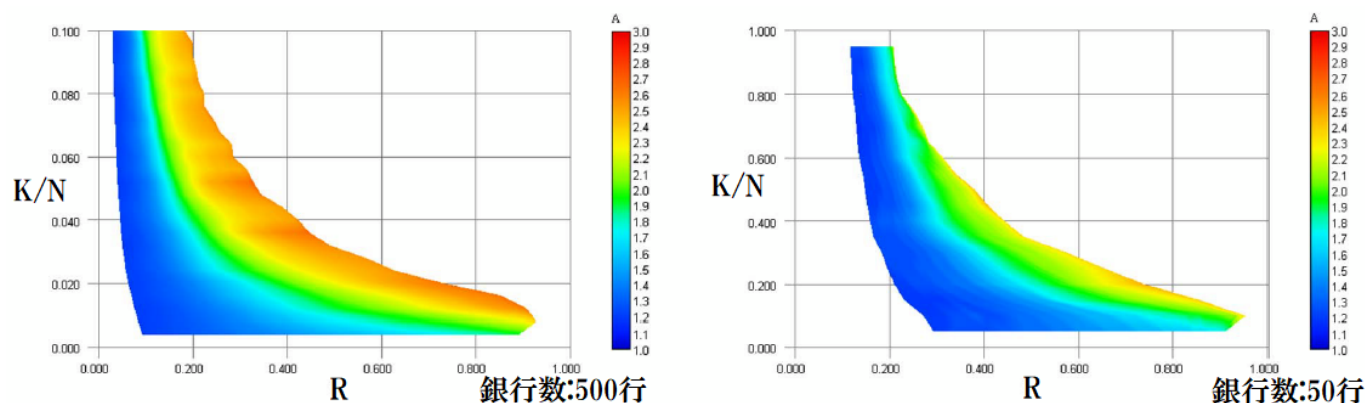


図1 銀行間ネットワークの上位行シェア R と銀行間取引数 K の関係(前野(2013)より)

図1の2つのグラフは両者とも、横軸が銀行間ネットワーク中の銀行間貸出上位5行の貸出額の和が全体に占める割合 R であり、縦軸は銀行間での貸出と借入の額が貸出額の方が多い貸出先行数の平均 K を総銀行数 N で割った貸出先行の銀行の割合 $\frac{K}{N}$ である。この R と $\frac{K}{N}$ の2つを変数とした平均倒産増幅率 $A(R, \frac{K}{N})$ を青から赤のグラデーションで表したものが図1であり、上位行が占める貸出額の割合の増加と貸出先行の銀行の割合の増加に伴い、倒産増幅率は高くなっている。また、ネットワークのサイズが大きいほど、連鎖倒産リスクも大きくなることも読み取れる。

しかし、以上の実験で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いない。また、ネットワーク形状もスケールフリーネットワークのみで変化させていない。市場性資産の価格変動は各銀行のバランスシートの変化を通して、ネットワークの安定化に大きな影響を与える(鈴木直行他(2004))。さらに、銀行間の貸借関係は期間や国ごとに異なるため、複数のネットワークの形状について調べる必要がある(今久保圭・今久保圭(2008a))。

よって、これらの要素を考慮したモデルとして、各銀行をエージェントと呼ばれる計算機のプログラムで再現した研究手法であるエージェントシミュレーションを用いて、

1. 「銀行の保有する市場性資産の価格変動」
2. 「銀行間の貸借ネットワーク形状」

の2つ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 モデル

2.1 モデルの概要

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。この時、強制的に倒産させた銀行をスタート銀行と呼ぶ。

各試行は

- Step0 初期設定
- Step1 市場性資産の売買
- Step2 市場性資産の価格の更新
- Step3 各銀行のバランスシートの更新
- Step4 倒産の判定と処理
- Step5 Step1 から Step4 の繰り返し

というステップで進行する。1試行はStep1からStep4を100回繰り返す。

銀行の総数は100行とし、現在、日本国内における都市銀行等の割合は全体の銀行数の1から2割程度であるので、その内、大銀行は10個、小銀行は90個で固定とした¹⁾。ここで、大銀行は都市銀行に対応し、小銀行は都市銀行等以外の銀行に対応しているものとする。銀行間ネットワークについては、2.2節で述べる。大銀行の方が小銀行よりも銀行間ネットワークでのリンク数が多い。また、各銀行のバランスシートは、菊地剛正他(2015)を参考にして、リンク数が多いほど保有する資産も多くなるようにバランスシートを作成したので、大銀行の方が保有資産も多くなる。

¹⁾ 金融庁ホームページ www.fsa.go.jp/menkyo/menkyoj/ginkou.pdf を参照

2.2 銀行間ネットワーク

各銀行は他の銀行と貸借関係をもっている。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 50 パーセントで決定する。本モデルで使用した 3 つのネットワークについて以下に述べていく。

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 (今久保圭・今久保圭 (2008a)), 多くは次の 3 つのネットワーク構造と同じ特徴を持つ。

1. コアペリフェラルネットワーク
2. スケールフリーネットワーク
3. ランダムネットワーク

これらについて、以下に各種ネットワーク構造の概要や作成手法などを詳細に述べていく。

2.2.1 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の特徴 今久保圭・今久保圭 (2008b) の日銀ネットの決済データを用いたコール市場の取引構造の検証によると、コール市場の銀行間ネットワークは以下のような特徴を持っていた。

特徴 1 コアと周辺 (periphery) という 2 重構造

特徴 2 コア内は全員が互いにリンクしあっている完全ネットワークに近い

特徴 3 コアは周辺に対するハブになっている

特徴 4 周辺はクラスター化している

以上を考慮した概念図を図 2 に示し、このネットワーク構造をコアペリフェラルネットワークと呼ぶ。

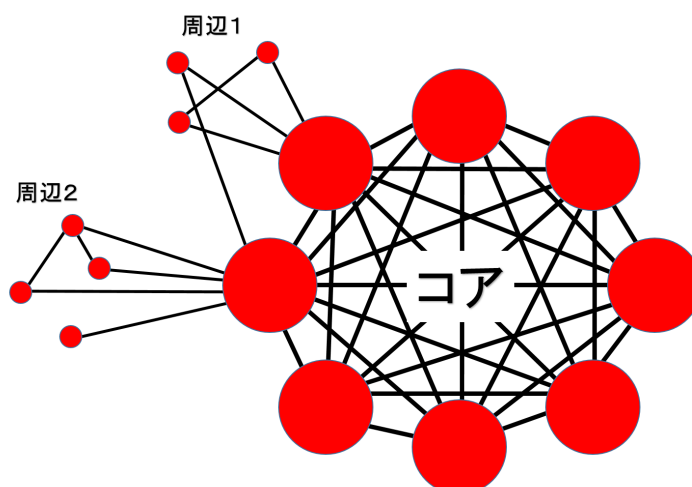


図 2 コアと周辺の二重構造

■コアペリフェラルネットワークの作成手法 以上に挙げたコアペリフェラルネットワークの特徴を再現するため以下に示した手順で、ネットワークを作成した。

Step1 大銀行 10 行同士を完全グラフで結合する。

Step2 小銀行 90 行を 10 個のグループに分ける。

Step3 大銀行 1 行と Step2 の小銀行グループ 1 個を一対一に対応させ、大銀行とグループ内の各小銀行の間にリンクを作成する。

Step4 各小銀行グループの中でも 4 つの小銀行は完全グラフで結合させ、クラスタを形成する。

Step5 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。

先述のコアペリフェラルネットワークの特徴のうち、

Step1 は、特徴 2

Step2, Step3 は、特徴 1 と 3

Step4 は特徴 4

に対応している。

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の特徴 スケールフリーネットワークは以下の重要な 2 つの特徴を持つ (増田・今野 (2005))。

ネットワークの成長

時間とともに頂点が次々にネットワークの中に追加されるというネットワークのダイナミクスを考慮している。

優先的選択

新しくネットワークに加わったノードが結合する既存のノードは既に多くのリンクを持っているノードになりやすい。

以上のような特徴から、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。この性質はスケールフリー性と呼ばれ、ウェブサイトや業界内シェア比など現実のネットワークで観測される (増田・今野 (2005))。このスケールフリーネットワークの作成の手順を次節で述べていく。

■スケールフリーネットワークの作成手法 先述のスケールフリーネットワークの特徴を再現するために以下の手順で、ネットワークを作成した。

Step1 大銀行 10 行同士を完全グラフで結合する。

Step2 1 つずつ小銀行となるノードを Step1 に追加していく。

次に、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 は式 (1) で決定した。

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

ただし、 $Link_i$ を銀行 i が持っている総リンク数、 $LinkSum$ をネットワーク中の総リンク数とする。

p_i の分母で $LinkSum$ を 2 倍しているのは銀行 A と銀行 B をつなぐ 1 本のリンクについて、 $A \rightarrow B$ と $B \rightarrow A$ と 2 重でカウントしているの、 p_i の総和が 1 になるための調整である。式 (1) が意味しているのは、リンクを多く持っている銀行ほど、追加される銀行とリンクを結ぶ確率が高くなるということである。その結果、少数のノードにリンクが集中してハブができ、スケールフリー性を実現することができる。この操作を小銀行 90 行分繰り返す。また、この式 (1) で求めた確率を用いて、リンクを結合する操作にはルーレット選択を用いた。

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。リンクの結合確率の決定には、モンテカルロ法を用いた。

本節では、モンテカルロ法で使用する確率の求め方について述べていく。

大銀行が他の銀行とリンクを作る確率を p 、小銀行が他の銀行とリンクを作る確率を q とした時、以下の二元連立方程式を解くことで p と q を求める。

$$(N - 1)p + (N_B - 1)p + N_S q = a \quad (2)$$

$$N_B p + (N - 1)q + (N_S - 1)q = b \quad (3)$$

ただし、 N はネットワーク中の総銀行数、 N_B はネットワーク中の大銀行の数、 N_S はネットワーク中の小銀行の数、 a は大銀行の持つリンク数、 b は小銀行の持つリンク数である。

式 (2) の左辺は大銀行のリンク数の期待値を表しており、これが大銀行の持つリンク数 a となればよい。左辺の各項が持つ意味は次のようになる。

式 (2) 左辺第 1 項: 自分を除く他の全ての銀行と確率 p でリンクを結ぶ期待値

式 (2) 左辺第 2 項: 自分以外の大銀行に確率 p でリンクを結ばれる期待値

式 (2) 左辺第 3 項: 小銀行に確率 q でリンクを結ばれる期待値

以上は、式 (3) についても、小銀行の場合で同様の意味を持つ。

2.3 市場性資産

■市場の概要 各銀行は株式などの市場性資産を保有し、時刻 t での資産価格 p_t は次の式で決まる。

$$p_t = p_{t-1} + \alpha p_{t-1} \frac{(n_{b,t-1} - n_{s,t-1})}{N} \quad (4)$$

ただし、 p_t は時刻 t での価格、 $n_{b,t}$ 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 は総市場性資産数、 α は価格変動係数である。

ここで、価格変動係数 $\alpha = 0$ 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った。

■銀行エージェントの売買アルゴリズム 売買アルゴリズムは鳥居拓馬他 (2015) の局所トレーダに基づいて作成した。

市場性資産の価格について理論価格を式 (5) で表される確率過程で外生的に与えられるとした。

$$p_t^{s*} = p_{t-1}^{s*} + \mu_{s*} p_{t-1}^{s*} + \sigma_{s*} p_{t-1}^{s*} \Delta W_{t-1}^{s*} \quad (5)$$

ここで、 p_t^{s*} は時刻 t での理論価格、 μ_{s*} は理論価格の平均、 σ_{s*} は理論価格の標準偏差、 ΔW_t^{s*} はウィーナー過程である。

局所トレーダーは次の 3 つの項の合成で期待リターンを決定する。

3 つの項を式 (6) のように加重平均をとることで、期待リターンを求める。

$$\hat{r}_t^{i,s} = \frac{1}{w_F^i + w_C^i + w_N^i} (w_F^i F_t^{i,s} + w_C^i C_t^{i,s} + w_N^i N_t^{i,s}) \quad (6)$$

ここで、 w_F^i, w_C^i, w_N^i はそれぞれファンダメンタル項、テクニカル項、ノイズ項への重みである。各項の重みは各銀行ごとに乱数で決定するため、銀行がそれぞれ異なる取引戦略を持つことを実現している。ここまでで求めた $\hat{r}_t^{i,s}$ を用いて式 (7) より時刻 $t + \tau^i$ の期待価格 $\hat{p}_{t+\tau^i}^{i,s}$ を求める。

$$\hat{p}_{t+\tau^i}^{i,s} = p_t^s \exp(\hat{r}_t^{i,s} \tau^i) \quad (7)$$

1. ファンダメンタル項

理論価格と市場価格の乖離に基づいて予測する。

$$F_t^{i,s} = \frac{1}{\tau^{s*}} \ln \left(\frac{p_t^{s*}}{p_t^s} \right) \quad (8)$$

ここで、 $F_t^{i,s}$ は銀行 i の銘柄 s に関するファンダメンタル項、 p_t^{s*} は時刻 t での理論価格、 p_t^s は時刻 t での市場価格、 τ^{s*} は平均回帰速度 (市場価格が理論価格から乖離した際に理論価格の値に戻る速度) である。

2. テクニカル項

前ステップの市場価格のトレンドに基づいて予測する。

$$C_t^{i,s} = \frac{1}{\tau^i} \sum_{j=1}^{\tau^i} \ln \frac{p_{t-j}^s}{p_{t-j-1}^s} \quad (9)$$

ここで、 $C_t^{i,s}$ は銀行 i の銘柄 s に関するテクニカル項、 τ^i は市場価格を取得する過去の期間、 p_t^s は時刻 t での市場価格である。

3. ノイズ項

銀行 i , 銘柄 s の時刻 t におけるノイズ項 $N_t^{i,s}$ は, 平均 0, 分散 $(\sigma_\epsilon)^2$ の正規分布に従う.

式 (7) で求めた期待価格 $\hat{p}_{t+\tau}^{i,s}$ と現在の市場価格 p_t^s を比較し,

1. $\hat{p}_{t+\tau}^{i,s} > p_t^s$ ならば買い注文
2. $\hat{p}_{t+\tau}^{i,s} < p_t^s$ ならば売り注文

を出す. 以上のアルゴリズムで各銀行エージェントは取引を行う.

■理論価格と市場価格の関係 理論価格と市場価格の推移の一例を図3に示す。

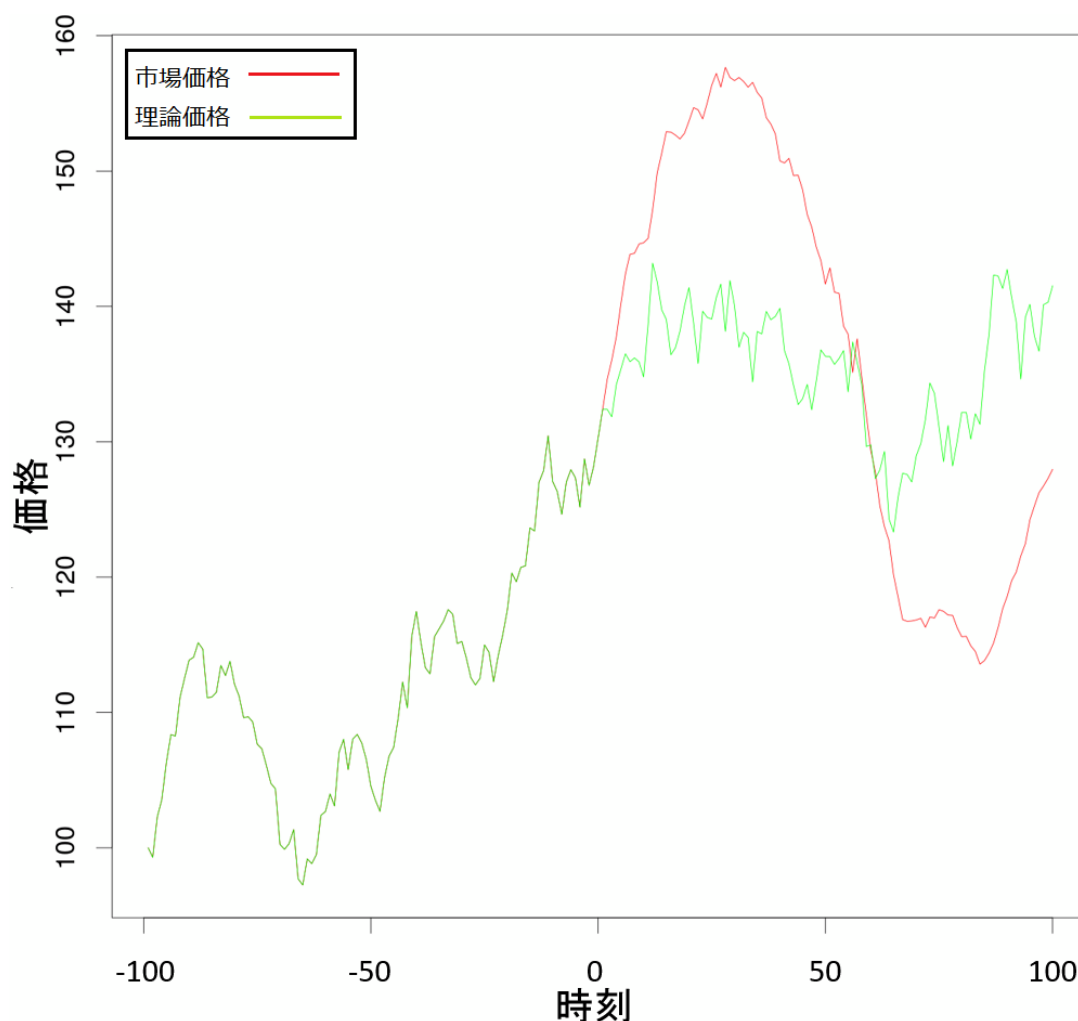


図3 理論価格と市場価格の一例

図3において、緑の線が理論価格を表し、赤の線が市場価格を表している。

シミュレーションは0ステップから始めるが、0ステップで銀行エージェントはテクニカル項を求めするために、過去100ステップ分のデータを取得しなければならないので、-100ステップから0ステップ分の理論価格を与えている。

以上で述べてきた通り、市場価格は式(4)、理論価格は式(5)で求めるため、それぞれ別の定義式から求まる。しかし、0ステップ以降を見ると、市場価格がある程度理論価格から外れると理論価格に近づいていてその値には関連があるように見える。

これは銀行エージェントの行動アルゴリズムのファンダメンタル項に起因する。ファンダメンタル項を求める式(8)では、市場価格が理論価格よりも高ければ売り注文を、低ければ買い注文を出しやすいようになっている。売り注文が多くなると式(4)より市場価格は下落し、理論価格に近づく。また、買い注文が多くなると市場価格は上昇するためこちらも理論価格に近づく。よって、市場価格と理論価格が乖離した時には、その値が近づく方向に変動するといえる。

2.4 銀行の倒産

■倒産の判定 倒産の判定には、式 (10) で算出した自己資本比率を用いた。

$$CAR_t = \frac{NetWorth_t}{VaR * AssetNum_t} \quad (10)$$

ここで、 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、 $AssetNum_t$ は時刻 t での持ち資産数である。

VaR はバリュアットリスクのことで、該当市場性資産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市場性資産のリスクと市場性資産数の積であり、保有する市場性資産の全リスクということになる。

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。0.04 という数字はバーゼル合意で定められた健全な銀行経営に必要な最低限の自己資本比率に基づいたものである (矢瀬敏彦他 (2008))。

■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。市場性資産についてはシミュレーションの簡易化のために市場に売り出さず、銀行の破綻処理は考慮しない。つまり、各銀行は倒産しても市場性資産は保有し続けるが、市場性資産の売買には参加できないものとする。

3 シミュレーションと結果・考察

1.2 節で述べたように本研究では、エージェントシミュレーションを用いて、

1. 「銀行の保有する市場性資産の価格変動」
2. 「銀行間の貸借ネットワーク形状」

の 2 つを変化させた時の銀行の連鎖倒産への影響を調査した。各パラメータセットについて 100 試行シミュレーションを行い、最終的な倒産数の平均をとった。以下にその結果を示していく。

3.1 市場性資産の価格変動による影響

市場性資産による連鎖倒産への影響を見るために、市場性資産の価格を決定する 4 式の価格変動係数 α をパラメータとした。 α の値は表 1 の 5 通りを調べた。

表 1 価格変動係数 α の値

α	0	0.25	0.5	1.0	2.0
----------	---	------	-----	-----	-----

また、この時使用したネットワークはコアペリフェラルネットワークであり、大銀行のリンク数が 30 本、小銀行のリンク数が 10 本とした。

結果を図4に示す。

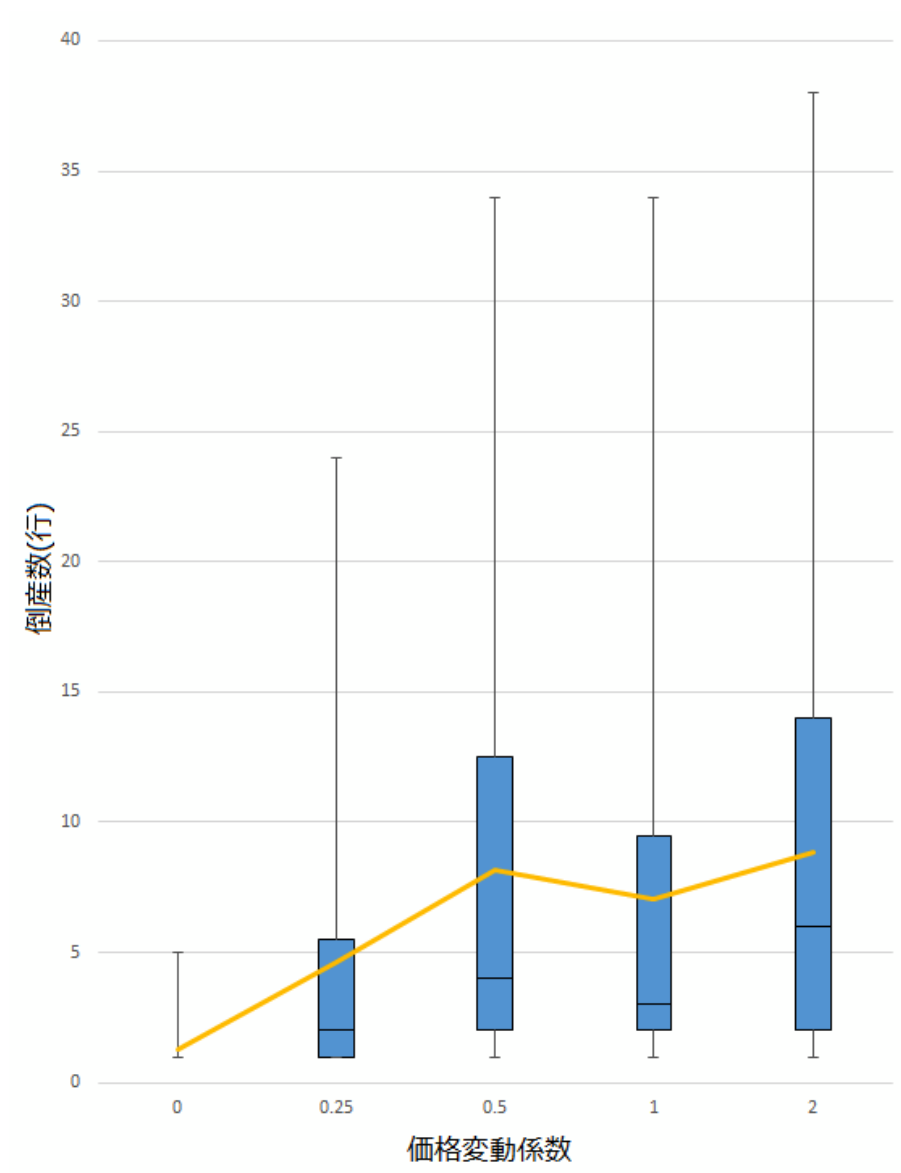


図4 価格変動係数と最終的な倒産数の関係

図4は、箱ひげ図と呼ばれる図であり、バーの上端と下端がそれぞれ最大値、最小値、青色の箱の上端と中央の線、下端がそれぞれ第3四分位点、中央値、第1四分位点を表している。また黄色の折れ線グラフはそれぞれの平均値を結んだものである。以降に示す図も同様の記法を使用している。

図4より、価格変動係数の増加に伴い、最終的な倒産数は増加した。

以下に、考察を述べていく。

図4において、 $\alpha = 0$ の場合と $\alpha = 1.0, 2.0$ の場合を比較すると、価格変動が銀行のリスクを増大し、最終的な倒産数が増大した。特に、 α が0から0.5の区間で急激に倒産数が増えていることがグラフから読み取れる。しかし、 $\alpha = 0.5$ の時から $\alpha = 2.0$ の区間の値同士で比べると、平均倒産数に大きな違いは見られない。これは α が一定以上になると市場性資産を一定以上保有している銀行はほぼ倒産し、それ以上 α 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。

3.2 銀行間貸借ネットワーク形状による影響

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。

■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変動させるのは、2.2.1 節の Step5 「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」における、ランダムにリンクを結ぶ本数とした。

ランダムに結ぶ本数を調整し、Step4 までで結んでいたリンク数と合わせて、大銀行、小銀行のリンク数がそれぞれ以下の表 2 のようになるようにした。

表 2 コアペリフェラルネットワークにおけるパラメータの値

大銀行	20 本	30 本	50 本	
小銀行	5 本	8 本	10 本	20 本

この大銀行で 3 通り、小銀行で 4 通りを図 3 のように総当たりで 12 パターン調べる。

表 3 コアペリフェラルネットワークにおけるパラメータのパターン

	大銀行	小銀行		大銀行	小銀行
パターン 1	20 本	5 本	パターン 7	20 本	10 本
パターン 2	30 本	5 本	パターン 8	30 本	10 本
パターン 3	50 本	5 本	パターン 9	50 本	10 本
パターン 4	20 本	8 本	パターン 10	20 本	20 本
パターン 5	30 本	8 本	パターン 11	30 本	20 本
パターン 6	50 本	8 本	パターン 12	50 本	20 本

実験結果を図 5 と図 6 に示す。

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。図 5 の小銀行のリンク数が 10 本と 20 本の時、すなわち表 3 のパターン 7,8,9 とパターン 10,11,12 の時の挙動については、考察で述べる。

■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変動させるのは、2.2.2 節の Step2 「1 つずつ小銀行となるノードを Step1 に追加していく」における、追加されるノードが持つリンク数とした。

調べるリンク数の値を表 4 に示す。

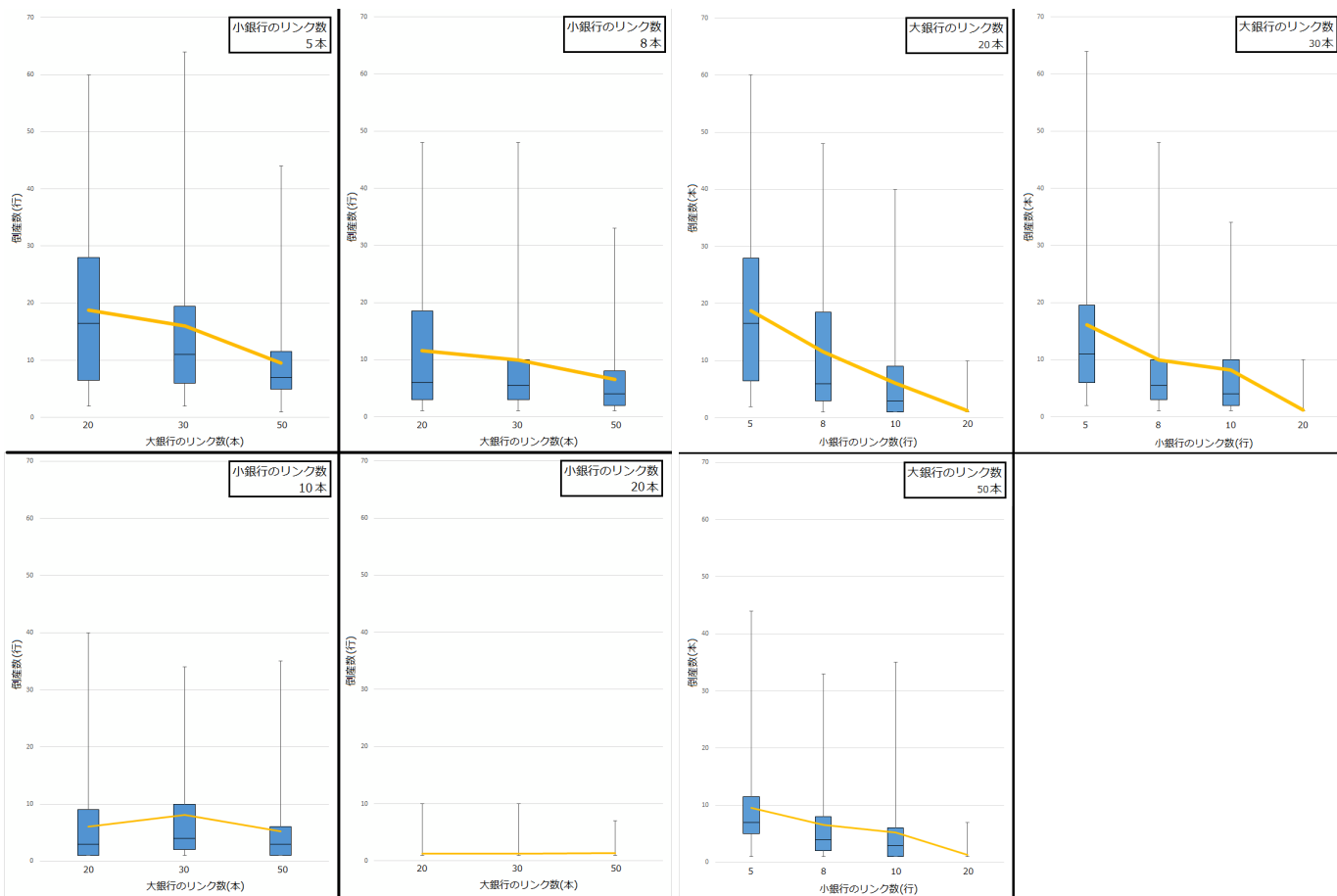


図5 コアペリフェラルネットワークにおける大銀行のリンク数と最終的な連鎖倒産数の関係

図6 コアペリフェラルネットワークにおける小銀行のリンク数と最終的な連鎖倒産数の関係

表4 スケールフリーネットワークにおけるパラメータのパターン

リンク数	2	3	5	8	10
------	---	---	---	---	----

結果を図7に示す。

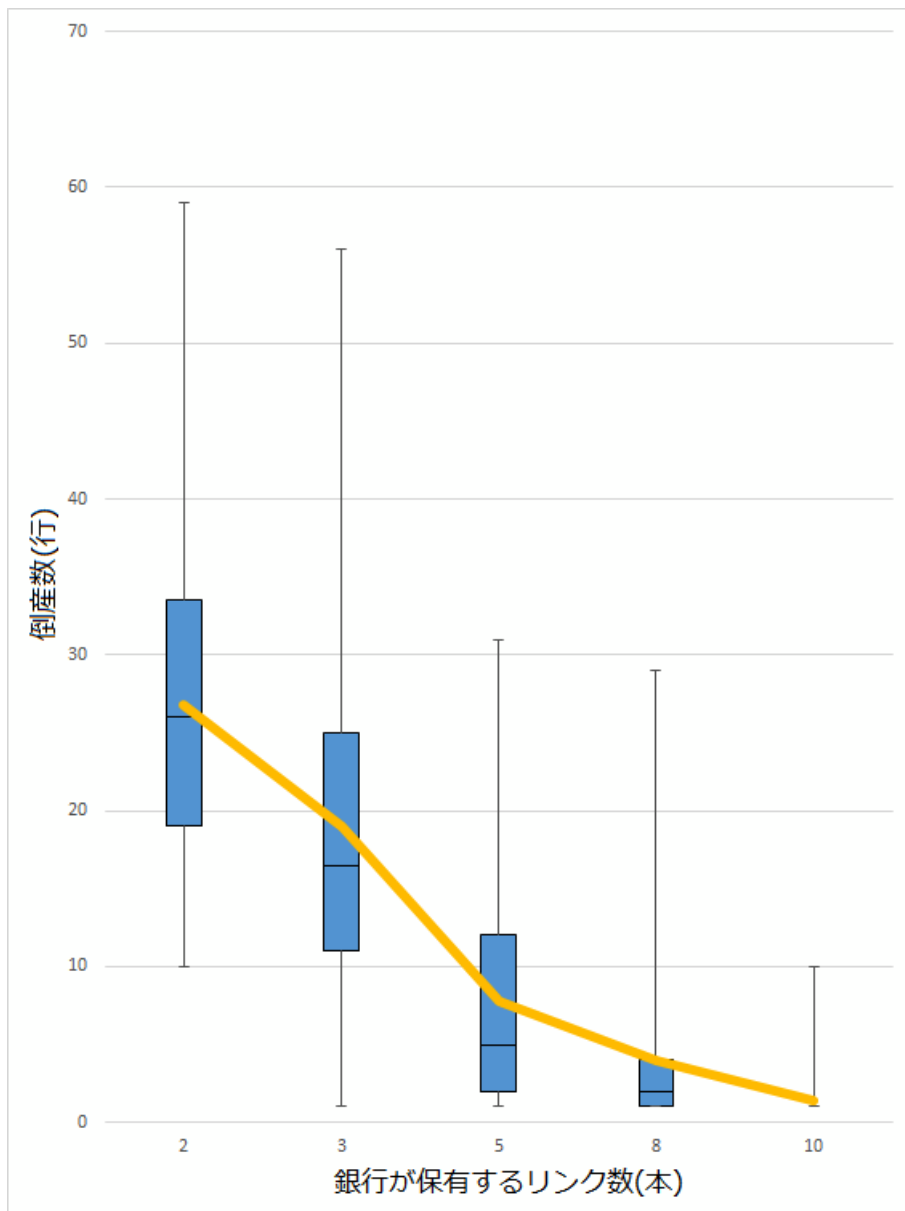


図7 スケールフリーネットワークにおけるリンク数と最終的な連鎖倒産数の関係

追加されるノードが持つリンク数，すなわちネットワーク全体のリンク数が増加するにつれて，最終的な倒産数は単調に減少した。

■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をパラメータとした。ランダムネットワークをもちいて調べる目的は，リンク数を増やした時の最終的な連鎖倒産数の大まかな挙動を知るためなので，表5の4通りを調べる。

表5 ランダムネットワークにおけるパラメータのパターン

	大銀行	小銀行		大銀行	小銀行
パターン1	6本	3本	パターン3	20本	10本
パターン2	10本	5本	パターン4	50本	20本

実験結果を図8に示す。

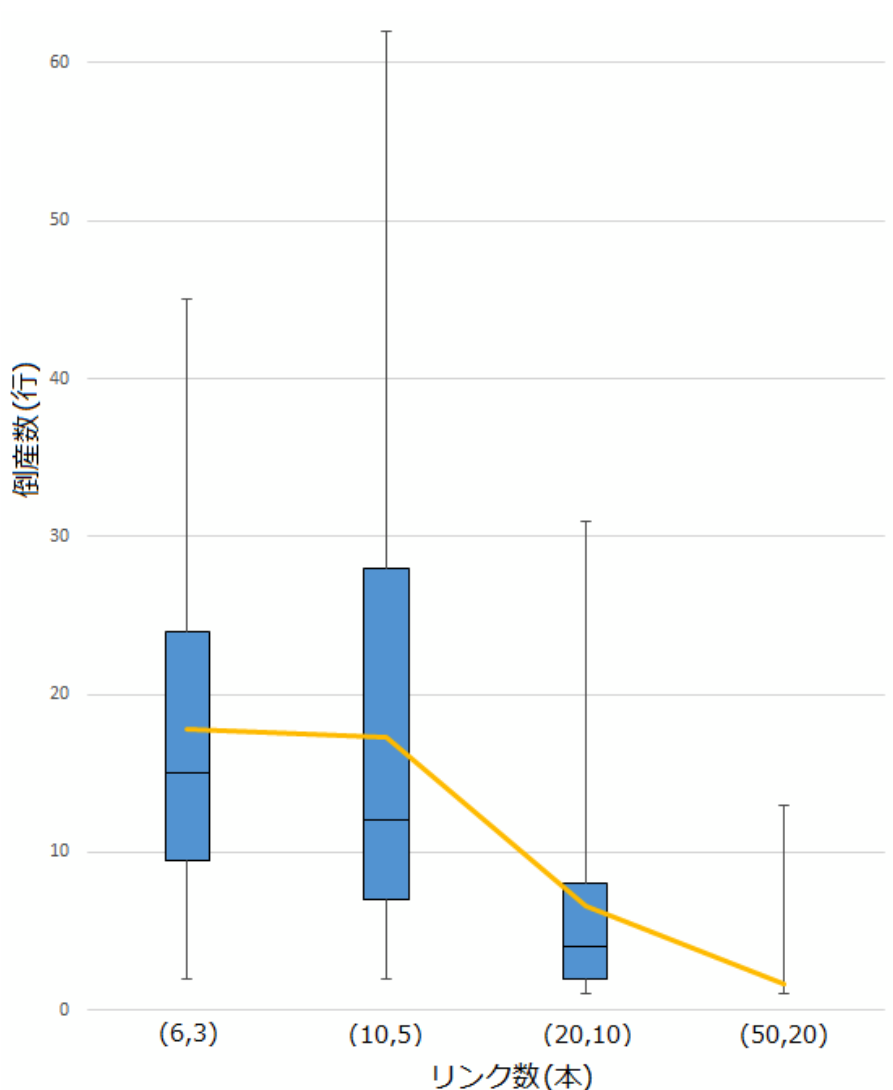


図8 ランダムネットワークにおけるリンク数と最終的な連鎖倒産数の関係

図8より、リンク数が増加するにつれて、最終的な倒産数が減少することが分かった。

以下に、考察を述べていく。

ランダムネットワークとスケールフリーネットワークでは、リンク数が増大するにつれて、最終的な倒産数は減少した。

まず初めに、全体的に見られたリンク数が増えるほど最終的な倒産数が減少する、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、各銀行が保有する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²⁾。ここで、具体的にある銀行Xについて、

²⁾ 厳密には総資産のうち銀行*i*から*j*への貸出額については、*i*と*j*のリンク数の積に応じて配分しているため、リンク数が変わると多少割合自体は変化するが、貸出行数が倍になっても貸出額が倍になるのではなく、それぞれの貸出額が約半分になって、銀行*i*の貸出額はほぼ変わらない。

I 保有するリンク数が3本と少ない場合

II 保有するリンク数が20本と多い場合

の2パターンを考える。今、銀行Xの貸出額は図9の緑のバーのようになっている。緑のバーの長さが貸出額に対応していて、パターンI、パターンII、どちらの場合も同じくらいの貸し出しを行っている様子を表している。緑のバーは分割されていて、各ブロックが1つの銀行に対して貸出している額に対応している。

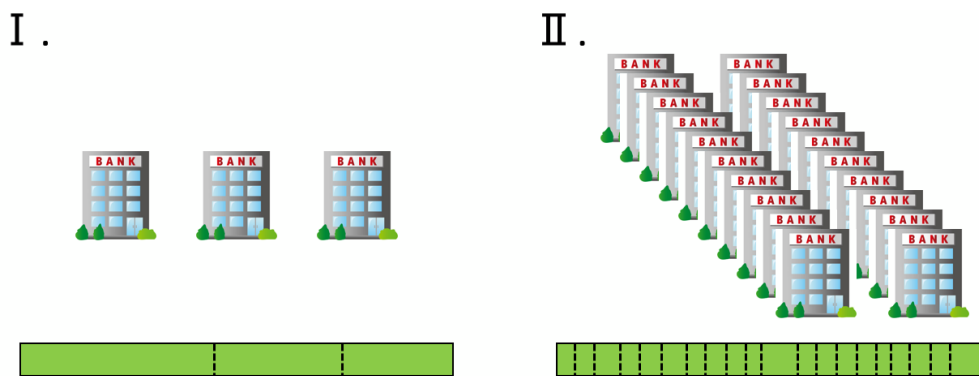


図9 銀行Xの貸出額のイメージ

次に、図10のように、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時、パターンIとパターンIIとでは回収不能になる額が異なり、パターンIの方がより多くなるということが分かる。

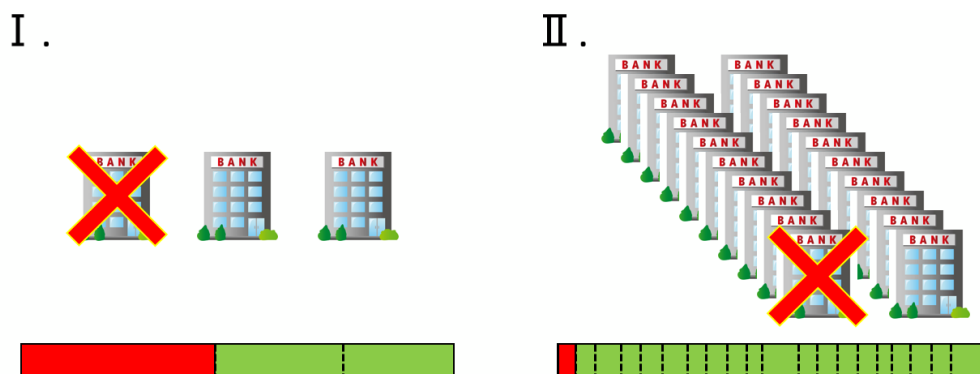


図10 貸出先が1行倒産した時の銀行Xの貸出額のイメージ

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り。これがリンク数が少ない時の方が最終的な倒産数が増加するという結果の原因だと考えられる。

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。

次に、全体的に見られたリンク数が増えるほど最終的な倒産数が減少する、という結果の一方で、コアペリフェラルネットワークの結果の一部では、単調減少しない部分があった。

単調減少しなかった部分にあたる図 5 の小銀行のリンク数が 10 本と 20 本の時、すなわち表 3 のパターン 7,8,9 とパターン 10,11,12 の時の挙動について考察していく。

これらは言い換えると、小銀行のリンク数が 10 本や 20 本と多い時は、大銀行のリンク数を変動させても、連鎖倒産数は大きく変化しないということである。

一方で、図 6 を見てみると、大銀行のリンク数が 50 本と多い時でも、小銀行のリンク数を増やしていくと、最終的な倒産数は減少している。

ここで、リンクには以下の 3 種類がある。

1. 大銀行—大銀行のリンク
2. 大銀行—小銀行のリンク
3. 小銀行—小銀行のリンク

本モデルでは、大銀行同士は完全グラフで結合しているため 1. のリンクは増加しない。そのため、大銀行のリンク数を増やした時に増えるのは 2. のタイプのリンクで、小銀行のリンク数を増やしたときに増えるのは 2. か 3. のタイプのリンクである。

以上をまとめて考えると、コアペリフェラルネットワークにおいて、ネットワーク中の総リンク数が多い時、2. のタイプのリンクが増えても最終的な倒産数に影響はないが、3. のタイプのリンクが増えると、最終的な倒産数がより少ない安定したネットワークになるということが言える。

4 まとめと今後の展望

4.1 まとめ

本研究では、銀行の保有する市場性資産の価格決定における価格変動係数を変化させた時と、銀行間の貸借ネットワーク形状を 3 種類のネットワークを用いてリンク数を変化させた時の銀行の連鎖倒産への影響を調査した。

結論は以下の通りである。

1. 価格の変動が激しくなるにつれて、最終的な倒産数は増加した。
2. ネットワーク中のリンク数が増加するにつれて、最終的な倒産数は減少した。

1. については価格変動係数が 0 から 0.5 の区間では倒産が急増しているのに対し、0.5 以上になると、ほぼ倒産数は増えず横ばいになることも分かった。

2. については、得られた結果から各銀行は同額の貸出を行う場合、少額に分割して多数の銀行に貸出を行うことで、ネットワーク全体としてのリスクを減らすことができると分かった。また、一部リンク数を増やした時に倒産数が減少しないパラメータセットもあったが、これらの結果から、大銀行—小銀行のリンクではなく小銀行—小銀行のリンクがネットワークのリスク分散に影響を与えているのではないかと考察が得られた。

4.2 今後の展望

今後の展望としては銀行間貸借ネットワークと企業間取引ネットワークの結合を考えている。今回研究対象とした銀行のネットワークに別の層として企業間取引ネットワークを組み込むことにより、銀行から企業への融資や株式市場を通じた市場性資産の価格の変動を考えることができる。「銀行」「企業」「市場」の3つを融合したフレームワークを作成することにより、1つの企業の活動や破綻が経済システム全体に与える影響をシミュレーションで観察できることを期待している。

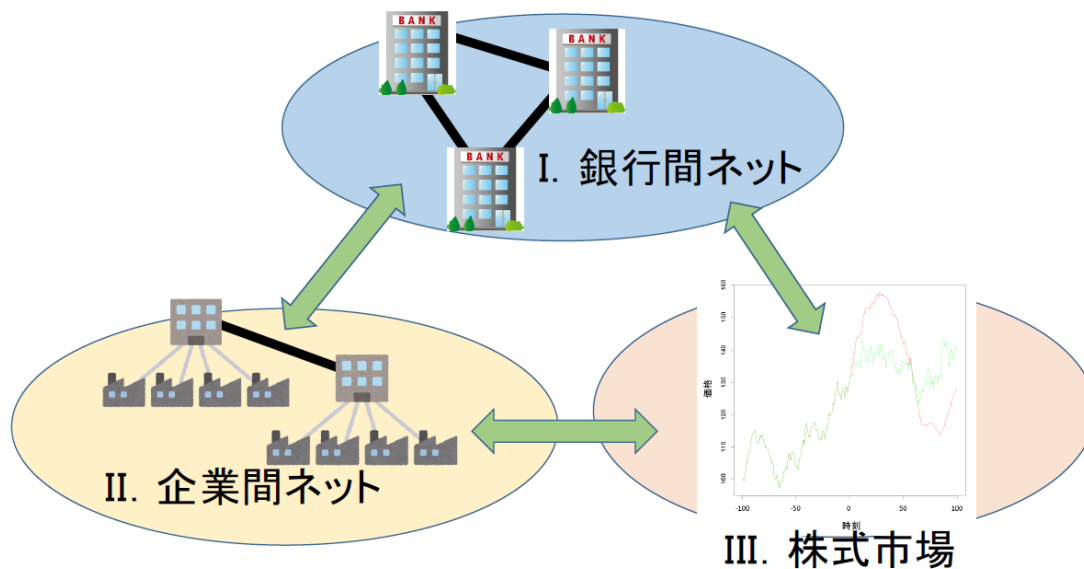


図 11 企業間取引ネットワークとの結合のイメージ図

参考文献

- 羽森直子 (2013) 「ユーロ危機の原因」, 『流通科学大学論集. 経済・情報・政策編』, 第 22 卷, 第 1 号, 99–123 頁.
- 永田裕司 (2013) 「システミック・リスクと金融の脆弱性」, 『福岡大学商学論叢』, 第 57 卷, 第 3-4 号, 253–272 頁.
- 菊地剛正・高橋大志・寺野隆雄 (2015) 「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」, 『経営情報学会全国研究発表大会要旨集 2015 年秋季全国研究発表大会』, 251–254 頁, 一般社団法人 経営情報学会.
- 橋本守人・倉橋節也 (2017) 「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』, 第 32 卷, 第 5 号, B-H21 1-9 頁.
- 今久保圭・副島豊 (2008a) 「コール市場のマイクロストラクチャー」, 『金融研究』, 第 27 卷, 第 2 号, 101–132 頁.
- (2008b) 「コール市場の資金取引ネットワーク」, 『金融研究』, 第 27 卷, 第 2 号, 47–100 頁.
- 前野義晴 (2013) 「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.
- 増田直紀・今野紀雄 (2005) 『複雑ネットワークの科学』, 産業図書.
- 鳥居拓馬・中川勇樹・和泉潔 (2015) 「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』, 第 29 卷, 1–4 頁.
- 矢瀬敏彦他 (2008) 「日本の銀行における裁量的会計行動の分析: BIS 規制導入以降の銀行の行動」, 『オイコノミカ』, 第 45 卷, 第 2 号, 65–88 頁.
- 鈴木直行・古市峰子・森毅 (2004) 「負債に関する会計基準を巡る国際的な動向と今後の検討課題」, 『金融研究』, 第 23 卷, 第 2 号, 23–47 頁.