

パーチェス法を用いたエージェントシミュレーションによる 金融機関の合併に関するシステミックリスクへの影響分析

加藤 秀紀^{†a)} 清 雄一^{††} 田原 康之^{††} 大須賀昭彦^{††}

Agent-Based Simulation Analysis in Use of Purchase Method on the Systemic Risk
of Merger and Acquisitions between Financial Institutions

Hidenori KATO^{†a)}, Yuichi SEI^{††}, Yasuyuki TAHARA^{††}, and Akihiko OHSUGA^{††}

あらまし リーマンショック以降、欧州を中心にインターバンクネットワーク上の金融機関のシステミックリスクに対して関心が高まっている。本研究では、金融機関の破綻の影響がインターバンクネットワークにおいてどのように伝播するかについてエージェントベースシミュレーションを用いて分析した。シミュレーションでは、(1) 市場性資産価格の下落率と (2) 有価証券に与える損害率を変化させる 2 種類のシナリオを用意し、金融機関の合併の有効性・破綻リスクのモデル化を試みた。その結果、(1) 金融機関の合併を実施した場合においても、多数行にわたる破綻のリスクは削減できない、(2) 短期間で有価証券に損害が発生した場合、長期間にわたって損害が発生する状況よりもシステミックリスクが大きくなることが明らかになった。

キーワード システミックリスク, 合併, 銀行間取引, 市場性資産価格, エージェントシミュレーション

1. ま え が き

1.1 背 景

リーマンショックや欧州危機による金融機関の資金繰り悪化により、金融機関の破綻の可能性が示唆されている。金融機関の破綻は、個別の金融機関の支払不能のリスクだけではなく、特定の市場の機能や他の金融機関への悪影響を及ぼすおそれがある。このようなリスクを“システミックリスク”と呼び、当該リスクの調査が金融機関の財政悪化が進む欧州でさかんに研究がなされている [1]~[4]。

日本においては、システミックリスク増大の脅威と人口減少という未来に備え、金融機関の合併が進みつつある。2017 年の 1 月には三重県の三重銀行と第三

銀行、3 月には三井住友フィナンシャルグループとリソナホールディングスが傘下にある関西の地銀 3 行の経営統合を行うことで基本合意した。マイナス金利の導入により金融機関の収益源である預貸金利ぎやの縮小が進み、地方銀行の再編が予想される。

1.2 本論文で取り組む課題

本論文では、昨今活発になりつつある金融機関の合併を取り上げる。インターバンクネットワーク上で合併した金融機関が破綻した場合、システミックリスクがどのように変化するかをエージェントベースシミュレーションを用いて分析する。金融機関の合併に着目したエージェントベースシミュレーションの研究として [5]~[8] がある。橋本らの研究 [6] では、バランスシートを単純に統合しているため、純資産以上の価値がある現実の金融機関の合併に対応していない。

そこで本研究では、May モデル [9] のバランスシートを日本の会社法に基づき拡張を行い、なおかつ企業合併の国際会計基準であるパーチェス法を導入する。パーチェス法を導入することにより、企業が保有している資産よりも買収額が大きい場合の合併に対応することができる。シミュレーションでは (1) 6 か月で市場性資産価格が 10%, 20%, 30%, 40% 下落する事

[†] 電気通信大学情報理工学部総合情報学科, 調布市
Faculty of Informatics and Engineering, The University
of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi,
182-8585 Japan

^{††} 電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻, 調布市
Graduate School of Informatics and Engineering, The
University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka,
Chofu-shi, 182-8585 Japan

a) E-mail: kato.hidenori@ohsuga.lab.uec.ac.jp

DOI:10.14923/transinfj.2017SAP0006

象, (2) シミュレーション開始時に各金融機関のバランスシートの有価証券項目に直接 10%, 20%, 30%, 40% の損失を与える事象の二つの観点から金融機関の合併によるシステミックリスクの検証を行う。

以下に本論文の構成を示す。まず, 2. において国内・海外で行われているシステミックリスクの関連研究について説明する。次に 3. において本論文のシミュレーションで使用するモデルについての諸概念について説明する。4. においては, 金融機関の合併を伴うエージェントシミュレーションの提案手法を説明する。5. ではシミュレーションを実施する。6. においては, 本論文の考察, 7. で今後の展望を述べる。

2. 関連研究

現在, 金融機関はインターバンクネットワークと呼ばれる金融機関のみが参加できる市場で資金調達を行っている。当該市場において金融機関が破綻した場合, 貸出を行っていた資金を回収できなくなることで深刻な影響が出るおそれがある。そのため, インターバンクネットワークでのシステミックリスクを分析し, 金融市場の安定化を図ることが重要である。

金融ネットワークと金融危機の連鎖的な伝播に注目した研究は, 金融工学を含むインターバンクネットワークを理論的に捉え実証する研究 [10]~[12] と, インターバンクネットワークを複雑ネットワークとして捉える研究 [9], [13] がある。更に, 金融機関をエージェントとして取引させシステミックリスクを調査する研究も活発に行われている。特に, エージェントベースモデルに展開したものとして, 菊地モデルや May モデルが挙げられる [5], [7]。これらの研究では, 主に貸借関係のある銀行や一般貸出先の破綻がインターバンクネットワークを通じて連鎖的に伝播する様子が分析されている。

図 1 のように, 2 次破綻により損害が被った金融機関が, 3 次破綻において破綻してしまう可能性がある。そのため他の金融機関による貸借関係により破綻がどのように伝播していくかということについて解析する必要がある。この現象を効率的に検証できるのがエージェントベースモデルである。このモデルでは, ミクロ的な個々の金融機関の貸借関係を影響を実現できる。

次に, 本研究と関連研究に違いについて説明する(表 1)。

May モデルと菊池モデルの差分は, 資産項目に与え

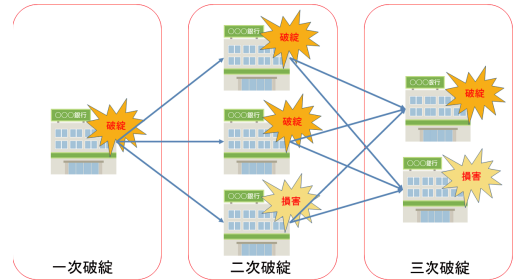


図 1 金融機関の破綻と損害の伝播

Fig. 1 How to spread the damage of financial institutions.

表 1 関連研究と本研究の違い

Table 1 Differences between related research and this research.

	Mayら[8]	菊池ら[10]	橋本ら[11]	本研究
合併の有無	無	無	有	有
のれんの有無	無	無	無	有
ネットワーク構造	Erdos-Renyi ネットワーク	完全グラフ	スケールフリーネットワーク	完全グラフ
エージェントシミュレーションの導入	無	有	有	有
資産への損害の与え方	対外資産項目に初期値と比べ, 1step で20%の損失を付与	市場性資産項目に初期値と比べ, 半年間で40%の損失を付与	毎月銀行間融資項目に10%に損失を付与	(1)有価証券項目に半年間に及ぶ資産の損失を初期値と比べ, 10%, 20%, 30%, 40% (2)有価証券項目に1stepで初期値と比べ, 10%, 20%, 30%, 40%の損失を付与

る損害の発生方法である。菊地モデルでは, 資産項目の市場性資産がシミュレーションの step が進むごとに損失が拡大していく。一方で, May モデルは資産項目の対外資産に一つの step で大きな損失が生じさせている。菊地モデルでは, 長期的な資産の損失を計測するのに適しているのに対し, May モデルは短期的な資産の損失を計測するのに適している。

本研究と同様に金融機関の合併を導入した研究として [6] がある。[6] と本研究の差分としては, (1) インターバンクネットワークのグラフ構造, (2) バランスシートにのれんの導入したことが挙げられる。

本研究は, May モデル [9] のバランスシートを拡張することで国際会計基準のパーチェス法によるのれんを導入する。のれんを導入することにより, 企業が保有している資産よりも買収額が大きい場合の合併に対応できる。また, 菊地モデル [5] と同様にバランスシートを保有した金融機関を実装した。金融機関が合併し, 市場性資産価格が下落した場合のシステミックリスクの計測を行う。May モデルと同様に有価証券が多くての損害を被るケースについても実験を実施し, システミックリスクを分析する。

3. 背景説明

本章では、本研究で提案するバランスシートによるエージェントベースモデルで取り扱う諸概念を説明する。

3.1 バランスシート

バランスシートは、企業が一定の期間において所有する全ての資産と負債、及び資本を表示した一覧表である [14]。バランスシートにより、企業の財政状況や資金の調達源泉という側面を見ることができる。今回のモデルでは May モデル [9] をもとにして金融機関のバランスシートを作成する。既存研究と異なる点は、バランスシートにパーチェス法による「のれん」の項目を設けたことである。企業が合併する際に、ブランドやノウハウという無形固定資産が発生する [14]。のれんを導入しない場合、無形固定資産分の収益を加算することができないため、企業の合併を正しく評価できない。そこで本研究では、金融機関の合併の際にのれんを用いた合併を導入する。また、本研究ではバランスシートの配列法に流動性配列法を用いた。本研究で使用したバランスシートを図 2 に示す。

3.1.1 借方

まず、借方のモデル化について述べる。平成 21 年に公布された法務省法令第 7 号「会社法施行規則、会社計算規則等の一部を改正する省令」の第百三十九条 [15] によると、バランスシートの資産の部は流動資産、固定資産、繰延資産の三つに分類される。

流動資産とは、1 年以内に回収可能あるいは現金化される資産を指す。流動資産は主に、当座資産、棚卸資産、その他流動資産に大別され、現金や預金、売買

目的有価証券、販売活動をするための商製品がこれに該当する [14]。

本研究では、菊地モデル [5] と同様に市場性資産価格の影響を導入するため、有価証券項目を導入した。有価証券は、株式と債券に大きく分けられ、債権は更に国債・地方債・社債に分けられる。金融機関は、機関投資家として、多くの有価証券を保有し、運用を行っている。本研究では、各金融機関の有価証券は単一の市場価格時系列に従うと仮定する。

コールローンについては、インターバンクネットワークにおいて他の金融機関と貸借する金額を表す。金融機関は企業や個人に長期に貸し出しを行っており、預金の払い戻しなど短期の資金が不足することがある。そのため、資金余剰の金融機関からインターバンクネットワークを通して短期間で返済する資金を借り入れることがある。この借入金のことをコールローンと呼ぶ。当該項目は、銀行が四半期ごとに公開するバランスシートにおいて流動資産項目に表示されているものである。

固定資産は、建物や機械という具体的な形態をもつ有形固定資産と、特許権、商標権、のれんといった実体のないものを指す有形固定資産を総称したものである。

本研究では、合併した際に発生する無形固定資産分の収益を「のれん」として別項目で設定した。既存研究のモデルで金融機関の合併を実施した場合、無形固定資産分の収益をシミュレーションに反映できないため、資産額が減少し破綻を誘発してしまうおそれがある。のれんを実装することにより、現実に即した会計基準で合併を実施できるとともに、無形固定資産分の収益を計上した。繰延資産は、会社が支出する費用で、その支出効果が 1 年以上に及ぶものを指す。社債発行費や開発費は、数期間にわたる費用として取り扱うために、繰延資産として計上される。ただし、繰延資産を計上する企業は少ない。また、これらの企業に占める繰延資産の構成比は、大半が 0-2% であるため本研究では考慮しない。

3.1.2 貸方

次に、貸方のモデル化について述べる。本研究では、金融機関の負債の部を負債、純資産の部を純資産に分類した。これは平成 21 年に公布された法務省法令第 7 号「会社法施行規則、会社計算規則等の一部を改正する省令」の第百四十条と第百四十一条に基づいている [15]。[15] では、負債の部を流動負債と固定負債に分

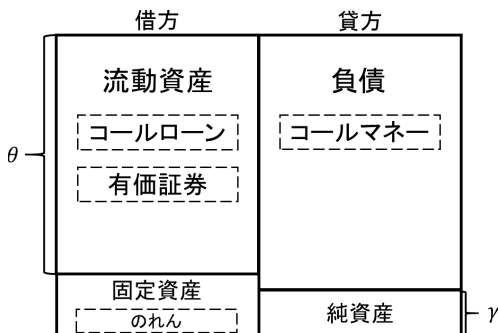


図 2 のれんを考慮した金融機関のバランスシート

Fig. 2 Balance sheet of financial institutions including goodwill.

類しているが、本研究では1年以上の負債を考慮しないため、あわせて負債と定義した。コールマネーについては、インターバンクネットワークにおいて他の金融機関と貸借するために必要な金額を表す。

コールローンは他の金融機関から借り入れているものを示すが、コールマネーは他の金融機関に貸し出している資金を示す項目である。当該項目は、銀行が四半期ごとに公開するバランスシートにおいて流動資産項目に表示されているものである。また、純資産の部は株主資本、評価・換算差額等、新株予約権に分類しているが、本研究では、株式について取り扱わないため、あわせて純資産と定義した。純資産は、企業が保有する返済不要の資金のことである。

3.2 金融機関の合併

合併とは、二つ以上の会社が合体して一つの会社になる企業結合の一形態を指す。合併の種類は吸収合併と新設合併の二つが存在する。

吸収合併とは、合併当事会社のうち一方が存続し、他方が解散し存続会社に吸収され消滅する形態をいう。この場合における存続会社のことを合併会社といい、吸収されて消滅する会社を被合併会社という。

一方、新設合併とは、合併当事会社の全てが解散し消滅して、新たに会社を設立する形態をいう。この場合における新設会社を合併会社といい、解散し消滅する会社を被合併会社という。いずれの形態においても、消滅会社は解散し、資産及び負債は吸収会社または新設会社に包括的に引き継がれる。大多数の金融機関が吸収合併を実施するため、本研究では吸収合併のみ扱う。

3.3 合併の会計処理

合併には「取得」と「持ち分の結合」という異なる経済的実体を有するものが存在し、それぞれの実態に対応する適切な会計処理を適用する必要がある。まず「取得」に対しては、ある企業が他の企業の支配を獲得することになるという経済的実態を重視し、パッチェス法により会計処理することになる。一方、いずれの結合当事企業も他の結合当事企業に対する支配を獲得したと合理的に判断できない「持分の結合」に対しては、持分プーリング法により会計処理することが考えられる。しかし、「持分の結合」と判定されるためには、厳格な3要件の全てをみたさなければならない[14]。

「持ち分の結合」の条件を満たす企業結合はまれであり、国際的な会計基準では持分プーリング法が既に廃止されている。そのため本研究は、企業結合を「取

得」とみなしてパッチェス法で処理する。

パッチェス法は、被合併企業から受け入れる資産及び負債の取得原価を、対価として交付する現金及び株式等のとき価（公正価値）とする方法である[14]。パッチェス法で会計処理を実施した場合、親会社の投資勘定と、それに対応する子会社資本勘定が一致しないことが多く相殺できない場合が多い。その場合、投資消去差額として発生する差額を「のれん」として計上するものである。

4. 提案手法

4.1 概要

金融機関に見立てたエージェントは、各々バランスシートを保有している。

バランスシートの資産項目のうち、有価証券は菊池モデルと同様に単一の確率差分方程式に従うと仮定する。市場性資産価格が初期値より40%下落した場合、バランスシートの有価証券項目は初期値より40%減少する。市場性資産価格の推移とともに有価証券項目の全体の金額も推移していく。有価証券項目に損害を与えた場合は、シミュレーション開始時の1stepで、有価証券項目に40%の損害が生じる。一方で、市場性資産価格下落率が40%の場合、125step後に有価証券項目が初期値より40%の損害が生じている。バランスシートは資産と負債が同額となり均衡とならなければならないため、有価証券項目の減少額と同じ金額の純資産が減少しバランスシートの均衡を保つ。各金融機関は各stepごとにバランスシートを更新し、純資産の値が負となった場合を破綻とする。

任意の金融機関が破綻した場合、インターバンクネットワークにおいて取引のある金融機関は損失を被る。この損失は、破綻した金融機関のコールローンを取引のある金融機関で等分した値である。この損失を純資産で補えなかった場合、金融機関の破綻が連鎖的に発生する。

合併を実施する実験では、シミュレーション開始時に1回のみ、30行のインターバンクネットワークの中から任意の二つの金融機関をランダムに選出し合併させる。資本規模の大きい金融機関が資本規模の小さい金融機関に対して吸収合併を実施する。

本研究は、市場性資産価格の下落や有価証券の損失により任意の金融機関が破綻した場合、当該金融機関と貸借関係のある金融機関への影響を分析することが主な目的である。

表 2 金融機関 a_i のバランスシートの項目
Table 2 Balance sheet item of financial institution a_i .

構成項目	記号
流動資産	CA_i
コールローン	B_i
コールマネー	I_i
有価証券	S_i
固定資産	FA_i
のれん	NR_i
負債	D_i
純資産	NW_i

4.2 エージェント

金融機関は財務諸表をもとにシミュレーションに必要な部分を抽出し、単純化したバランスシートを保有する。構成項目は以下の表 2 のようになっている。

金融機関 a_i の総資産の A_i には、流動資産 CA_i と固定資産 FA_i が含まれる。流動資産 CA_i の中には、他の金融機関と貸借している金額を示すコールローン B_i と市場性資産の価格変動を受ける有価証券 S_i が含まれる。固定資産の中には、金融機関が合併したときのみ資産を正しく評価するためにのれん NR_i が存在する。総資産 A_i 、流動資産 CA_i 、固定資産 FA_i とすると、

$$A_i = CA_i + FA_i \quad (1)$$

の関係が成り立つ。

次に、金融機関 a_i の貸方項目について説明する。金融機関 i の総資本の L_i には、負債 D_i と純資産 NW_i が含まれる。負債の中には、他の金融機関と貸借している金額を示すコールマネー I_i が含まれる。

流動資産比率 θ を使用すると

$$CA_i = \theta A_i = \frac{\theta}{1-\theta} FA_i \quad (2)$$

の関係が成り立つ。

式 (1) より、総資産 A_i は流動資産 CA_i と固定資産 FA_i の合算であり、バランスシートは借方と貸方が一致するため、 $A_i = L_i$ という関係が成り立つ。総資本 L_i と純資産比率 γ より純資産 NW_i が判明する。

次に、合併の処理について説明する。合併の処理を行う際は、インターバンクネットワークで取引を開始する前に、任意の二つの金融機関をインターバンクネットワークからランダムに選出し合併させる。金融機関の選出後に、二つの金融機関の総資産を足し合わせた金額に、0-1 の一様分布の乱数を掛け、金融機関買収額を決定する。通常の企業合併では、被買収側の

総資産をもとにのれん額を算出する。本研究でこの手法を用いた理由は、(1) 企業買収額が被買収側の純資産額よりも大きく、買収側の流動資産額より小さくなるように設定するため、(2) モデルを簡素化するためである。

次に、流動資産額の大きい金融機関の方が流動資産額が小さい金融機関に対して吸収合併の実施が可能か確認を行う。吸収合併をするために必要な金融機関買収額とのれん額は以下のように定義する。

まず、流動資産が金融機関買収額 BP_i を上回っていないことを確かめる。

$$CA_i > BP_i \quad (3)$$

吸収合併ができない場合、ランダムに二つの金融機関を選定する作業からやり直す。

吸収合併が確定した場合、のれん額を決定する。吸収合併先 j とすると

$$NR_i = BP_i - NW_j \quad (4)$$

となる。最後に、のれん額を考慮しバランスシートを作成する。

4.3 ネットワーク

菊池モデルと同様に、金融機関 a_i とつながりがある金融機関の集合は以下の式で表される。

$$W_i^{Interbank} = \{a_j | m_{ij} = 1\} \quad (5)$$

4.4 市場性資産の価格時系列

シミュレーションで用いる有価証券の価格は、菊池モデルと同様に次の確率差分方程式に従うと仮定する。価格変動として、1step 前の原資産価格に次の二つの値を足しあわせた価格を次の step の市場性資産価格とした [16]。一つ目は、原資産価格の確定的な変動を表すドリフト項である。二つ目は、標準正規分布からの無作為標本と株価の不確実性を表すためにブラウン運動を行う比率を仮定した幾何ブラウン運動からなる項である。これは、有価証券を含む派生証券の分野の価格決定で多く用いられている [17]。

$$P_{t,j} = P_{t-1,j} + r_f P_{t-1,j} \Delta t + \sigma P_{t-1,j} \tilde{\varepsilon} \sqrt{\Delta t} \quad (6)$$

ここで、t:time step (t=0,...,125), j:試行回数, $P_{t,j}$:j 回目の試行の step t における市場性資産価格, r_f :リスクフリーレート [%], σ :ボラティリティ [%], $\tilde{\varepsilon} \sim N(0,1)$ である。今回は、1 step = 1 day = 1/250 year と考え、 $\Delta t = 1/250, T = 125$ (銀行勘定の予

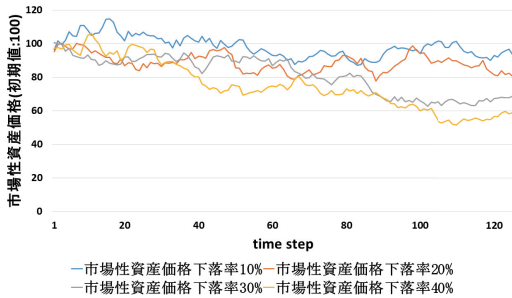


図3 市場性資産価格の推移
Fig.3 Behavior of market value asset price.

算・決算機関である6か月を想定)とした。直近の各国10年債利回り水準や株式市場の状況を勘案し、 $r_f = 2\%$, $\sigma = 25\%$ とする。その上で、1000回の試行を行う。この中で、図3で示したように、10%下落するケース、20%下落するケース、30%下落するケース、40%下落するケースの価格時系列を採用する。

4.5 共通設定

エージェントベースシミュレーションで用いるパラメタを説明する。グローバルなシステム上重要な銀行(G-SIBs)として追加的資本賦課を求められている金融機関は30社[18]であるため、インターバンクネットワークの金融機関数は30社とした。インターバンクネットワークは完全グラフとした。[19]によると、本邦において中核的ネットワークを構成する金融機関同士は、緻密なネットワークでつながっているとされているためである。

パラメタは、 $FA_i: 2-8$ (一様分布) $\theta: 95\%$, $\gamma: 5-7\%$ (一様分布)とした。また、総資産に対する有価証券比率14%、総資産に対するコールローンの比率5%、総資本に対するコールマネーの比率5%とした。パラメタの設定根拠は、全国銀行協会の全国銀行財務諸表分析[20]において総資産が10兆円以上の都市銀行、地方銀行7行に対して調査した結果に基づくものである。各金融機関に対して、総資産に対する有価証券比率、総資産に対する流動資産比率、総資本に対する純資産比率を求めたところ、それぞれ12-16%、92-98%、4-8%の値をとることが分かった。コールローン、コールマネーについては、調査した7行の中で一番保有比率が高かった金融機関の5%の値を採用した。

5. シミュレーション

本研究では、Mayモデル[9]を拡張し、パーチェス

法によるのれんを導入した金融機関の合併を実施した。シミュレーションのシナリオとして、(1)市場性資産価格下落率が最終stepにおいて初期価格よりも10%、20%、30%、40%下落した場合、(2)シミュレーション開始時に各金融機関のバランスシートの有価証券項目に直接10%、20%、30%、40%の損失を与えた場合に分けて破綻金融機関数を比較した。なお、シミュレーションにあたって100回試行を行った。

5.1 実験(1) 市場性資産価格下落率と有価証券損害率を変化させた場合の影響分析

市場性資産価格下落率と有価証券損害率を変化させた場合の影響分析を実施した。シミュレーションにあたって100回の試行を実施した。

表3より、最終stepにおいて市場性資産価格下落率が10%、20%、30%、40%の場合、金融機関の合併を行った方が平均破綻数が小さい。標準偏差については、市場性資産価格下落率が30%のとき、パーチェス法を導入した方が大きくなった。一方で、市場性資産価格下落率が10%、20%、40%の場合、パーチェス法を導入しない場合の方が小さい値となっている。

表4の場合も同様に、最終stepにおいて市場性資産価格下落率が10%、20%、30%、40%の場合、金融機関の合併を行った方が平均破綻数が小さい。標準偏差については、有価証券の損害率が10%のとき、パーチェス法を導入した方が大きくなった。一方で、市場性資産価格下落率が20%、30%、40%の場合、パーチェス法を導入しない場合の方が小さい値となっている。

図4、5より、市場性資産価格率が10%の場合、1社も破綻しないケースが最多となっていることが分かる。市場性資産価格下落率が上昇するにつれて、金融機関破綻数の分布の最頻値は減少していく。パーチェス法を導入する前は、市場性資産価格下落率が10%、20%、30%、40%場合、最頻値はそれぞれ0社、0社、1社、3社となっているが、導入後は、0社、1社、1社、1社となった。また、表3より標準偏差においても、市場性資産価格の下落率が10%、20%の場合、パーチェス法を導入した方が、導入しない場合に比べて標準偏差がかなり小さい値をとっている。そのため、残存金融機関の分布の裾がパーチェス法導入前に比べ短くなっている。一方で、市場性資産価格の下落率が30%、40%の場合、パーチェス法導入前後で標準偏差に大きな差異はない。

次に、有価証券に直接損害を与えた場合の結果を見ていく。図6、7より、有価証券に直接損害を与えた

表 3 市場全体の金融機関の市場性資産価格下落率における平均破綻数の変化。上段は平均破綻数，下段括弧内は標準偏差。

Table 3 The average number of bankruptcy of financial institutions by changing marketable asset price rate in the interbank network. The upper row shows the average number of failures, the lower row shows the standard deviation.

パラメータ (最終stepにおける市場性 資産価格の下落率)	パーチェス法 導入前	パーチェス法 導入後
平均破綻数(10%)	0.57 (0.77)	0.40 (0.57)
平均破綻数(20%)	1.04 (1.05)	0.81 (0.77)
平均破綻数(30%)	1.44 (1.19)	1.32 (1.21)
平均破綻数(40%)	2.20 (1.30)	1.88 (1.27)

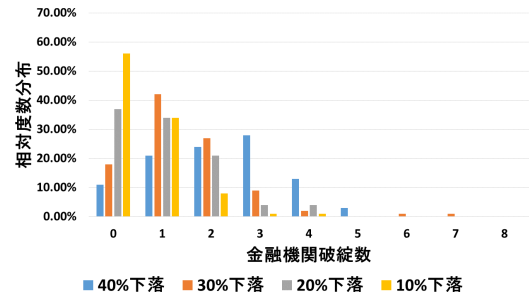


図 4 市場性資産価格下落率を変化させた場合におけるパーチェス法導入前の最終 step における金融機関破綻数の分布

Fig. 4 Distribution of the number of remaining financial institutions by changing marketable asset price declining rate before purchase method's introduction.

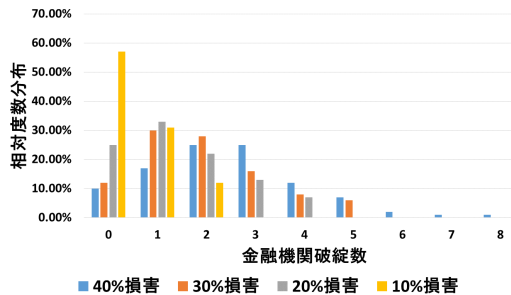


図 6 有価証券に直接損害を与えた場合におけるパーチェス法導入前の最終 step における金融機関破綻数の分布

Fig. 6 Distribution of the number of remaining financial institutions by damaging securities declining rate before purchase method's introduction.

表 4 市場全体の金融機関の有価証券に直接損失を与えた場合における平均破綻数の変化。上段は平均破綻数，下段括弧内は標準偏差。

Table 4 The average number of bankruptcy of financial institutions by damaging securities in the interbank network. The upper row shows the average number of failures, the lower row shows the standard deviation.

パラメータ (有価証券に与えた損害率)	パーチェス法 導入前	パーチェス法 導入後
平均破綻数(10%)	0.55 (0.70)	0.49 (0.72)
平均破綻数(20%)	1.44 (1.20)	1.21 (0.99)
平均破綻数(30%)	1.96 (1.35)	1.61 (1.13)
平均破綻数(40%)	2.52 (1.62)	2.49 (1.27)

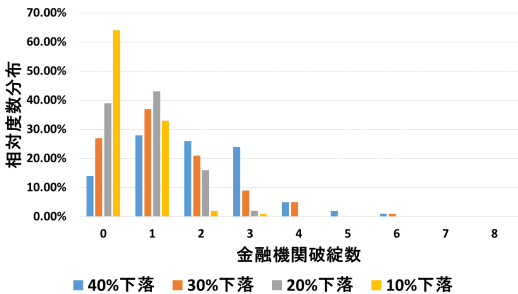


図 5 市場性資産価格下落率を変化させた場合におけるパーチェス法導入後の最終 step における金融機関破綻数の分布

Fig. 5 Distribution of the number of remaining financial institutions by changing marketable asset price rate declining rate after purchase method's introduction.

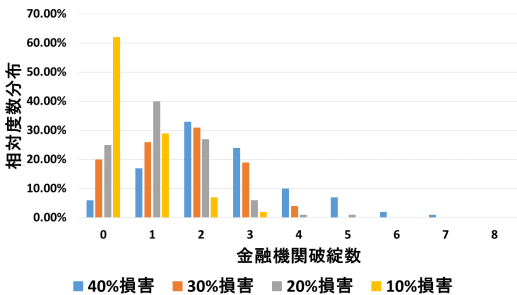


図 7 有価証券に直接損害を与えた場合におけるパーチェス法導入後の最終 step における金融機関破綻数の分布

Fig. 7 Distribution of the number of remaining financial institutions by damaging securities declining rate after purchase method's introduction.

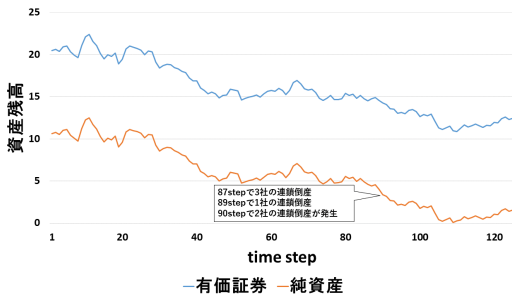


図 8 連鎖倒産が発生するケースの金融機関の有価証券と純資産の残高の推移，市場性資産価格下落率 40%，87step 目で 3 社の連鎖倒産，89step 目で 1 社の倒産，90step 目で 2 社の破綻を被ったケース

Fig. 8 Changes in the balance of securities and net assets of financial institutions in case of chain collapse, Marketable asset price decline rate 40%, case of three bankruptcy in 87th step, one bankruptcy in 89step, two cases broke down in 90th step.

割合が 10% の場合，1 社も破綻しないケースが最多となっていることが分かる．有価証券に直接損害を与えた割合が上昇するにつれて，金融機関倒産数の分布の最頻値は減少していく．パーチェス法導入前有価証券に直接損害を与えた割合が 10%，20%，30%，40% の場合，最頻値はそれぞれ 0 社，1 社，1 社，3 社となっているが，導入後は，0 社，1 社，1 社，2 社となった．また，表 4 より標準偏差においても，有価証券に直接損害を与えた割合が 20%，30%，40% の場合，パーチェス法を導入した方が，導入しない場合に比べて標準偏差がかなり小さい値をとっている．そのため，残存金融機関の分布の裾がパーチェス法導入前に比べ短くなっている．一方で，有価証券に直接損害を与えた割合が 10% の場合，パーチェス法導入前後で標準偏差に大きな差異はない．

次に，連鎖破綻が起きたケースと起きなかったケースでミクロなエージェント状態の時間発展をサンプル分析を通して比較する．

図 8 は連鎖倒産が発生するケースで倒産しなかった金融機関の有価証券と純資産の残高推移を示している．市場性資産価格の下落とともに，純資産の残高が減少している．他の金融機関の倒産により発生するコールローンの負債により，純資産が減少している．

図 9 は連鎖倒産が発生しないケースで倒産しなかった金融機関の有価証券と純資産の残高推移を示している．市場性資産価格の下落とともに，純資産の残高が減少している．他の金融機関の倒産が発生しなかった

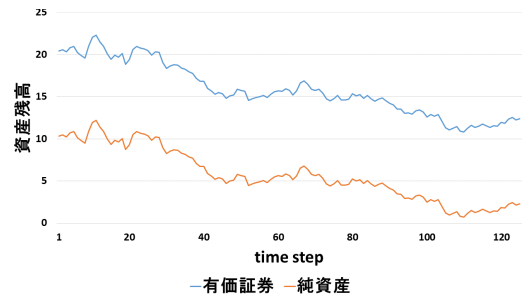


図 9 連鎖倒産が発生しないケースの金融機関の有価証券と純資産の残高の推移，市場性資産価格下落率 40%

Fig. 9 An example of changes in the balance of securities and net assets of financial institutions when bankruptcy didn't occur, Marketable asset price decline rate 40%.

表 5 合併を実施した金融機関の市場性資産価格下落率と有価証券損害率による平均破綻数の変化

Table 5 Change in average number of failures due to market institution's asset price decline rate of financial institutions and loss on security securities.

パラメータ (最終stepにおける 有価証券項目の損害率)	市場性資産価格 の下落率を変化 させた場合	有価証券に直接 損害を与えた場合
平均破綻数(10%)	0.05	0.09
平均破綻数(20%)	0.07	0.12
平均破綻数(30%)	0.19	0.29
平均破綻数(40%)	0.21	0.43

ため，純資産の損失は市場性資産価格による損失のみである．

5.2 (2) 合併を実施した金融機関の平均破綻数の影響分析

合併を実施した金融機関の平均破綻数を計測するために，追加実験を実施した．シミュレーションにあたって 100 回の試行を実施した．

表 5 は，合併した金融機関の平均破綻数を示している．表 5 より，市場性資産価格下落率が 10%，20%，30% の場合，平均破綻数がそれぞれ 0.05，0.07，0.19 となり，合併した金融機関はほとんど倒産しないことが分かる．しかし，市場性資産価格下落率が 40% の場合，平均破綻数は 0.21 となり，金融機関が合併し純資産が増加した場合でも倒産してしまうケースが多い．

有価証券に損害を与える場合でも同様である．有価証券損害率が 10%，20% の場合，平均破綻数がそれぞれ 0.09，0.12 となり，合併した金融機関は倒産しない

ケースの方が多い。しかし、有価証券損害率が30%、40%の場合、平均破綻数はそれぞれ0.29、0.43となり、金融機関が合併し純資産が増加した場合でも損失を補いきれないケースが多く、倒産してしまうことが多い。

以上の結果より、市場性資産価格下落率が30%以下、有価証券損害率が20%以下の場合、平均破綻数が0.20以下となり、100回のシミュレーションにおいて、合併した金融機関が倒産するケースが20回以下となる。

6. 考 察

実験により得られた結果について考察していく。まず、パーチェス法を用いた金融機関の合併を導入したことについて考察する。表3、4から、パーチェス法によるのれんを導入したことにより、金融機関の平均破綻数が減少したことが分かる。平均破綻数の標準偏差についても、市場性資産価格下落率が30%、有価証券に与える損害率が10%の場合を除き、パーチェス法導入後の方が小さい値をとった。[6]では、金融機関の合併により平均破綻連鎖数の変化がなかったが、本研究ではのれんを導入したことで、固定資産が増加し、金融機関の平均破綻数が減少した。

次に、市場性資産価格下落率について考察をする。本研究の実験では、市場性資産価格下落率の増加により金融機関の破綻数が増加した。表3より、パーチェス法導入前で市場性資産価格下落率が10%の場合、破綻数が0.57であったのに対し、市場性資産価格の下落率が40%の場合、平均破綻数が2.20となった。金融機関の破綻要因の一つとして、自己資本比率の悪化が挙げられる。市場性資産価格が急落し他の金融機関が破綻した場合、他の金融機関と取引があったコールローンを純資産で補填する行動を行うため、純資産が減少し支払い不能となり破綻に至っている。

金融機関の合併により、平均破綻数が減少することは表3、4より確認できたが、システミックリスクの大幅な低下にはつながっていない。図4-図7より、全体の試行数に対して5行以上の金融機関が破綻した確率は、パーチェス法導入前後でほとんど変化していない。図4より、パーチェス法導入前の市場性資産価格下落率が30%、40%の場合、全体の試行数に対して5行以上の金融機関が破綻する確率はそれぞれ2%、3%であった。パーチェス法導入後であっても、図5より、パーチェス法導入後の市場性資産価格下落率が30%、40%の場合、全体の試行数に対して5行以上の金融機

関が破綻する確率はそれぞれ1%、3%となり多数の金融機関が破綻する現象を防げない。

これは有価証券項目に直接損害を与えた場合も同様である。図6より、パーチェス法導入前の有価証券に直接損害を与えた割合が30%、40%の場合、全体の試行数に対して5行以上の金融機関が破綻する確率はそれぞれ6%、11%であった。パーチェス法導入後であっても、図7より、パーチェス法導入後の有価証券に直接損害を与えた割合が30%、40%の場合、全体の試行数に対して5行以上の金融機関が破綻する確率はそれぞれ1%、9%となり多数の金融機関が破綻する現象を防げない。

また、表5より、市場性資産価格下落率が40%以上、有価証券損害率が30%以上の場合、合併した金融機関が100回のシミュレーションにおいて20回以上倒産することが明らかになった。この結果より、市場性資産価格が大幅に下落した場合や、有価証券に大きな損害が発生した場合は、金融機関の純資産で負債を賄うことが出来ず、破綻することが明らかになった。

多数行による破綻を防ぐためには、自己資本比率による規制を強化し、破綻が発生しにくい環境を整備していくことが重要だと考えられる。現在、日本ではバーゼルIIIによる自己資本比率規制の段階的引き上げを実施している[21]が、マイナス金利導入により収益が悪化し地銀の金融再編が急速に進み始めているため、早急に規制強化を実施し金融機関の合併による債務状況悪化を未然防止する必要がある。

次に、市場性資産価格の下落により有価証券項目に損害を与えた場合と、シミュレーション開始時点で有価証券項目に損害を与えた場合における金融機関破綻数の変化について考察する。表3、4よりパーチェス法導入後で市場性資産価格下落率20%、30%、40%の場合、平均破綻数はそれぞれ0.81、1.31、1.88だが、有価証券項目に20%、30%、40%の損害を与えた場合、平均破綻数はそれぞれ1.21、1.61、2.49となり破綻数が増大している。リーマンショックの事象と同様の短期間で市場性資産価格の大幅下落が発生した場合、金融機関が合併し資本増強を行っていた場合でも破綻する確率が少なからずある。現在地方銀行による再編が加速しつつあるが、金融機関の合併により既存の自己資本規制が遵守されなかった場合、多くの金融機関を巻き込む破綻が発生する可能性がある。そのためバーゼルIIIによる合意を、都市銀行だけでなく地方銀行においても積極的に取り入れ、インターバンクネット

ワークにおけるシステミックリスクの低減に努めるべきである。

最後に、金融機関のミクロな結果について考察する。各金融機関のミクロの分析を実施した結果、インターバンクネットワーク内の他の金融機関の倒産よりも市場性資産価格の下落による純資産の減損が大きいことが分かった。また、総資本に占める純資産比率が他の金融機関より少ない場合、他の金融機関が倒産した際に純資産額が0となり倒産するケースもあった。図8で取り上げた金融機関は、総資本に占める純資産比率が7.00%となっており、インターバンクネットワークで他の金融機関より総資本に占める純資産比率が高い。そのため、連鎖倒産が発生した場合でも、コールローンの負債を純資産で賄い、倒産を免れた。

本研究より得られた知見としては、他の金融機関が破綻し、コールローンを回収できなくなった場合でも、総資本に占める純資産比率を高めておくことで連鎖倒産を防ぐことが重要である。

7. む す び

本研究では、パーチェス法を用いた金融機関の合併が実施できるようにのれんを導入したバランスシートを提案した。シミュレーションに関しては、各金融機関が保有する有価証券項目に対して(1)市場性資産価格の下落率を変化させる場合、(2)有価証券項目に直接損失を与える場合の2種類の実験を行った。二つの実験において、有価証券項目に損失が発生した場合、金融機関の合併により平均破綻数が減少することが明らかにされた。一方で、5行以上の金融機関が破綻するケースについては金融機関の合併後も一定数存在することがシミュレーション結果により分かった。金融機関の合併はシステミックリスクの根本的な解決にはならず、自己資本比率の規制を含むバーゼル規制を各金融機関が遵守することで安定したインターバンクネットワークの維持が実現できるという知見を得た。

今後の展望としては、インターバンクネットワークについての妥当性の検証が挙げられる。本研究では30行の金融市場ネットワークを用いてるが、関連研究ではErdos-Renyiネットワーク[9]、10行の大銀行と90行の小銀行からなるネットワーク[8]など様々なモデルがある。国債市場においてはコア・ペリフェリーネットワークを用いたシステミックリスクの分析[22]も行われている。これらの研究では、結果が市場のグラフに依存することが多い[6]ため、妥当性の検証を

行う必要がある。そのためには、銀行間市場のグラフを複数用意し、実験を実施することで検証を行うことが今後の課題である。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP16K12411、JP17H04705の助成を受けたものです。

本研究を遂行するにあたり、研究の機会と議論・研鑽の場を提供して頂き、御指導頂いた国立情報学研究所/東京大学 本位田真一教授をはじめ、活発な議論と貴重な御意見を頂いた研究グループの皆様へ感謝致します。

文 献

- [1] V. Acharya, R. Engle, and M. Richardson, "Capital shortfall: A new approach to ranking and regulating systemic risks," *American Economic Review*, vol.102, no.3, pp.59–64, 2012.
- [2] A. Dias, P. Campos, and P. Garrido, "An agent based propagation model of bank failures," *Advances in Artificial Economics*, pp.119–130, 2015.
- [3] L. Eisenberg and T.H. Noe, "Systemic risk in financial systems," *Management Science*, vol.47, no.2, pp.236–249, 2001.
- [4] P. Gai and S. Kapadia, "Contagion in financial networks," *Proc. Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol.466, no.2120, pp.2401–2423, 2010.
- [5] 菊地剛正, 國上真章, 山田隆志, 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が金融機関の連動的な破綻に与える影響の分析," *人工知能学会論文誌*, vol.31, no.6, pp.AG-G1–11, Nov. 2016.
- [6] 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金融機関の経営統合影響分析," 2017年度人工知能学会全国大会(第31回), 2N4-OS-31b-3, May 2017.
- [7] 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-H21.1–9, Sept. 2017.
- [8] 米納弘渡, 曾根泰平, 和泉 潔, "エージェント・シミュレーションによる銀行間ネットワーク安定化策の分析," 2017年度人工知能学会全国大会(第31回), 2D4-OS-19b-2, May 2017.
- [9] R. May and N. Arinaminpathy, "Systemic risk: The dynamics of model banking system," *J.R. Soc. Interface*, vol.7, no.46, pp.823–838, 2010.
- [10] F. Allen and D. Gale, "Financial contagion," *J. Political Economy*, vol.108, no.1, pp.1–33, 2000.
- [11] X. Freixas, B. Parigi, and J.C. Rochet, "Systemic risk, interbank relations, and liquidity provision by the central Bank," *J. Money, Credit, and Banking*, vol.32, no.3, pp.611–638, 2000.
- [12] H. Degryse and G. Nguyen, "Interbank exposures: an empirical examination of contagion risk in the Belgian banking system," *Int. J. Central Banking*, vol.3, no.2, pp.123–171, 2007.

- [13] 前野義晴, 森永 聡, 松島宏和, 天谷健一, “銀行ネットワークの破綻リスク,” 人工知能学会論文誌, vol.27, no.6, pp.338-346, Oct. 2012.
- [14] 齋藤静樹, 財務会計 [第 6 版], pp.11-24, 有斐閣, 東京, 2014.
- [15] 法務省, “会社計算規則,” http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=418M60000010013&openerCode=1
- [16] D.G. Luenberger, “Invest Science,” Proc. Oxford University Press, NewYork, pp.296-318, 1997.
- [17] 森平爽一郎, “モンテカルロ法によるオプション価格決定,” オペレーションズリサーチ, vol.41, pp.614-619, 1996.
- [18] FINANCIAL STABILITY BOARD, “2015 update of list of global systemically important banks (G-SIBs),” <http://www.fsb.org/wp-content/uploads/2015-update-of-list-of-global-systemically-important-banks-G-SIBs.pdf>
- [19] 今久保主, 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, Oct. 2008.
- [20] “金銀協 全国銀行財務諸表分析 平成 28 年度決算・全国銀行総合財務諸表,” <https://www.zenginkyo.or.jp/stats/year2-02/account2016-terminal/>
- [21] 金融庁, “自己資本比率規制等について,” <http://www.fsa.go.jp/policy/basel.ii/>
- [22] T. Sakiyama and T. Yamada, “Market liquidity and systemic risk in government bond markets: A network analysis and agent-based model approach,” IMES Discussion Papers, no.2016-E-13, Dec. 2016.
(平成 29 年 12 月 11 日受付, 30 年 3 月 24 日再受付, 6 月 1 日早期公開)



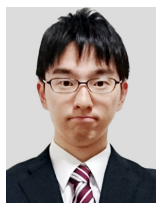
田原 康之

1966 年生。1991 年東京大学大学院理学系研究科数学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。1993～1996 年情報処理振興事業協会に出向。1996～1997 年英国 City 大学客員研究員。1997～1998 年英国 Imperial College 客員研究員。2003 年国立情報学研究所着任。2008 年より電気通信大学准教授。博士(情報科学)(早稲田大学)。エージェント技術, 及びソフトウェア工学などの研究に従事。情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会会員。



大須賀昭彦 (正員)

1958 年生。1981 年上智大学理工学部数学科卒。同年(株)東芝入社。同社研究開発センター, ソフトウェア技術センター等に所属。1985～1989 年(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)出向。2007 年より電気通信大学。現在, 同大学大学院情報理工学研究科教授。2017 年より同大学大学院情報システム学研究科研究科長併任。2012 年より国立情報学研究所客員教授兼任。工学博士(早稲田大学)。情報処理学会フェロー。ソフトウェア工学, エージェント, 人工知能の研究に従事。1986 年度及び 2016 年度情報処理学会論文賞, 2013 年度人工知能学会研究会優秀賞, 2014 年度同学会功労賞受賞。IEEE Computer Society Japan Chapter Chair, 人工知能学会理事, 日本ソフトウェア科学会理事, 同学会監事等を歴任。情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 電気学会, IEEE Computer Society 各会員。



加藤 秀紀

1996 年生。電気通信大学情報理工学部総合情報学科在学中。金融分野における社会シミュレーションの研究に従事。



清 雄一 (正員)

1981 年生。2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士後期課程修了。同年(株)三菱総合研究所入社。同社情報技術研究センター, 金融ソリューション本部等に所属。2013 年電気通信大学。現在, 同大学大学院情報理工学研究科助教。博士(情報理工学)。エージェント, ソフトウェア工学, プライバシ保護技術等の研究に従事。2016 年度土木学会水工学論文賞, 情報処理学会論文賞受賞。情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE Computer Society 各会員。