

# マイナス金利を考慮した インターバンクネットワークの安定性についてのシミュレーション

菊地 剛正<sup>\*1</sup>, 國上 真章<sup>\*1</sup>, 山田 隆志<sup>\*2</sup>, 高橋 大志<sup>\*3</sup>, 寺野 隆雄<sup>\*1</sup>

Takamasa Kikuchi<sup>\*1</sup>, Masaaki Kunigami<sup>\*1</sup>, Takashi Yamada<sup>\*2</sup>, Hiroshi Takahashi<sup>\*3</sup>, Takao Terano<sup>\*1</sup>

**Abstract:** 欧州や本邦では、金融緩和策の一環として、マイナス金利政策が採られている。当該政策は、銀行の貸出金利の低下を通じた貸出の増加・資金需要の拡大のメリットが主張される一方、超過準備へのマイナス金利適用による民間金融機関の負担増や余資運用の困難さを懸念する論調もある。本稿では、金融機関の余資運用におけるリスク投資拡大に注目する。著者らは金融機関が保有する市場性資産の価格変動による財務状況の変化を通じた連動的な破綻のエージェント・モデルを提案している。市場のマクロ的ショックを扱う当該モデルを拡張し、金融機関の余資運用にかかる意思決定を記述する。その上で、市場性資産の価格下落が生じた場合に、金融システムへどのような影響が生じるか分析を行う。

**Keyword:** システミック・リスク, マイナス金利政策, エージェント・シミュレーション, Asset Liability Management

## 1. はじめに

欧州や本邦では、金融緩和策の一環として、マイナス金利政策が採られている。当該政策は、銀行の貸出金利の低下を通じた貸出の増加・資金需要の拡大のメリットが主張される一方、超過準備へのマイナス金利適用による民間金融機関の負担増や余資運用の困難さを懸念する論調もある。金融機関の運用の観点からは、本邦の場合、国内資産の期待リターン低下を抑制すべく、一定のリスクテイクが不可避な状況にあるとされ[みずほ総研 2016]、高リスクの市場性資産や貸出へ傾倒する可能性もある。

一方、著者らは[Kikuchi et al. 2015]にて、金融機関の主体的な資金繰り行動を表現し、市場性資産の価格変動による金融機関の財務状況の悪化が内生的に拡大されて引き起こされる連動的な破綻を記述した。金融機関のALM運営(2.2)に焦点を当て、システミック・リスクの内生的メカニズムに焦点を当てたエージェント・モデルを提案した。

本稿では、金融機関の余資運用におけるリスク投資拡大に注目する。市場のマクロ的ショックを扱う当該提案モデルを拡張し、金融機関の余資運用にかかる意思決定を記述する。その上で、市場性資産の価格下落が生じた場合に、金融システムへどのような影響が生じるか、連動的破綻の増減を例に分析を行う。

## 2. 関連研究

### 2.1 金融危機後の理論研究

リーマンショック時には、市場環境の悪化を通じ、

市場性資産を保有する個別金融機関の信用力が悪化し資金調達が困難な状況となり、多くの金融機関で同時多発的に流動性リスクの問題が顕在化した[Brunnermeier 2009]。当該論点は金融機関の資金繰り行動に関するものである。また、システミック・リスクのメカニズムとして、貸借関係を通じたデフォルトの連鎖だけでなく、市場性資産の変動とポートフォリオに係る意思決定に注目する議論もある[Shin 2010]。これらは一般貸出先の倒産による個別のショックだけでなく、保有する市場性資産の価格変動を通じたマクロ的ショックが金融機関の連鎖破綻に与える影響の重要性を訴えるものである。

### 2.2 金融危機の伝播・伝染に係る研究

金融ネットワークと金融危機の連鎖的な伝播・伝染に注目した研究では、理論・実証分野において[Allen and Gale 2000]や[Freixas et al. 2000]、[Degryse and Nguyen 2007]等が挙げられる。銀行ネットワークや金融ネットワークを複雑ネットワークと捉える諸研究では、[Eisenberg and Noe 2001]や[Gai and Kapadia 2007]、[Nier et al. 2008]、[May and Arinaminpathy 2010]、[前野 et al. 2012]、更にエージェントベースモデルへ展開したものとして、[Suzuki et al. 2015]や[橋本 and 倉橋 2015]が挙げられる。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(以下、「I/B」とする)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おり破綻は所与のものとして取り扱われることが多く、個別・固有のリスク要因によるショックを想定したものであると言える。

## 3. 定義

### 3.1 破綻の態様

2.2 節で示した従来研究でフォーカスされている個別・固有のリスク要因によるショックを発端にした破綻の伝播

<sup>\*1</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻,  
〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 (メールボックス: J2-52)

<sup>\*2</sup> 山口大学国際総合科学部,  
〒753-8541 山口市吉田 1677-1

<sup>\*3</sup> 慶應義塾大学大学院経営管理研究科,  
〒223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1

を「連鎖的破綻」とする。他方、2.1 節で注目されている一般市場性のリスク要因によるショックが引き起こすマクロな破綻を「同時多発的破綻」とする。本稿では、双方を合わせた「連動的破綻」を取り扱う(Fig. 1)。

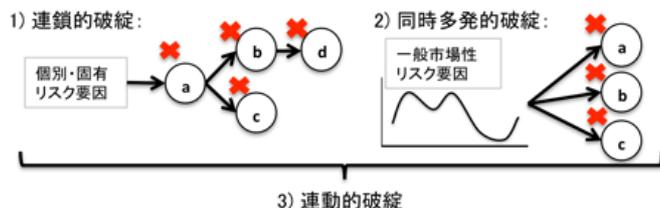


Fig. 1 破綻の態様。保有市場性資産の価格変動による個別金融機関の財務状況の悪化が引き起こす同時多発的破綻に注目。

### 3.2 ALM 運営

Asset Liability Management とは、金融機関等において、収益の極大化を目的として、金融取引に随伴する様々なリスクを適切にコントロールすることをいう[日銀 1995]。当該リスクは a)信用リスク, b)市場リスク, c)流動性リスクに分けられるが、本稿では、a)と b)が投融資行動, c)が資金繰り行動によると考える。

#### 3.2.1 投融資行動

金融機関は金融仲介機能の発現として融資・一般貸出を行っている。また、銀行や証券会社等は自己勘定取引において利益獲得目的で有価証券等の市場性資産を保有しており、これら資産がバランスシートを構成している。各資産は信用リスク及び市場リスクにさらされているが、各々を一般市場リスクと個別リスクに分ける議論[Merton 1974][Basel 1996]を参照し、提案モデルでは、投融資の対象を”市場性資産”及びそれ以外の”非市場性資産”と単純化・二分化して考えることとする。なお、本節での投資行動では、市場性資産への本源的な運用を取り扱い、後述の余資運用行動における市場性資産への投資とは区別することとする。

#### 3.2.2 資金繰り行動(平時)

金融機関では、日々の投融資行動や資金調達状況により、資金余剰・不足(資金ギャップ)が生じる。当該資金ギャップを調整する場として、短期金融市場(本邦では主にコール市場)がある。本源的な資金余剰主体(出し手)としては、年金や生保等、資金不足主体(取り手)としては、メガバンクや証券会社が挙げられ、短資会社が取引を仲介している[黒田 and 加藤 2009]。提案モデルでは、短資会社や取引レートの参照は想定せず、出し手は取り手の信用状況や自社の取引(資金供給)可能枠のみを勘案し、約定判断を行うものとする。

#### 3.2.3 資金繰り行動(緩和的環境下)

金融機関と中央銀行は 1)資金供給オペや、2)当座預金によりバランスシート上の繋がりを有するが、緩和的な金融環境下や金融危機時には、中央銀行から市中銀行への資金供給オペが拡充されるなど、中央銀行を介

した資金余剰・不足の調整が拡大した[日銀 2003] (Fig. 2)。当該事象は中央銀行がコール市場の資金仲介機能を代替しているものであると解釈できる。

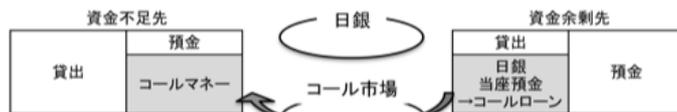


Fig. 2 (a) 平時での資金繰り行動:資金余剰先はコール市場に資金を放出,資金不足先はそこから資金調達を行う[日銀 2003]。

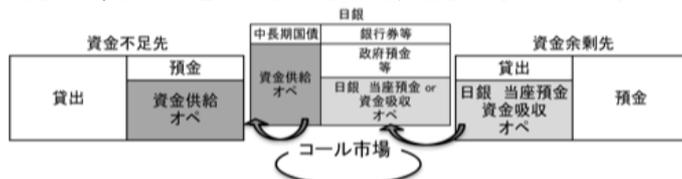


Fig. 2 (b) 緩和的環境下での資金繰り行動:資金余剰先はコール市場に資金を放出せず,日銀当預金を積み上げ。資金不足先は日銀の資金供給オペによる資金調達割合が高まる [日銀 2003]。

#### 3.2.4 余資運用行動

提案モデルでは、前述の投融資行動及び資金繰り行動を経た上で資金余剰が存在する場合、1)中央銀行の当座預金,もしくは、2)市場性資産, に対して投資決定を行うものとする。

### 3.3 各種運営制約

金融危機の再発防止に向け、銀行の健全性強化(バーゼルⅢ) やシステム上重要な金融機関への対応など幅広い分野で金融規制改革が進展している[佐原 2015]。提案モデルでは、運営制約として VaR (リスク指標)を採用し、4.6.2 節 (Table 3) で示す制約下での金融機関行動を記述する。

### 3.4 破綻メカニズム

提案モデルでは、金融機関の破綻要因を以下の三点としている: 1) 債務超過, 2) 自己資本比率の一定値以下への減少, 3) 資金繰り行動後も継続する資金調達不足。1)は、一般貸出や銀行間貸借の焦げつきが自社の資本残高で吸収出来なかった場合に対応する。当該 1)の要因は May and Arinaminpathy モデル(以下、「M-A モデル」とする)[May and Arinaminpathy 2010]で取り扱われているものと同様である。2)は例えば本邦において、国際統一基準の自己資本比率が 8%以上を要請されていることに対応するものである[FSA webpage]。3)は、短期金融市場にて自社の資金不足を埋めることが出来なかった場合(資金繰りの失敗・資金繰り破綻)を想定している。破綻要因を先行研究との対比で図式化したものが Fig. 3 である。

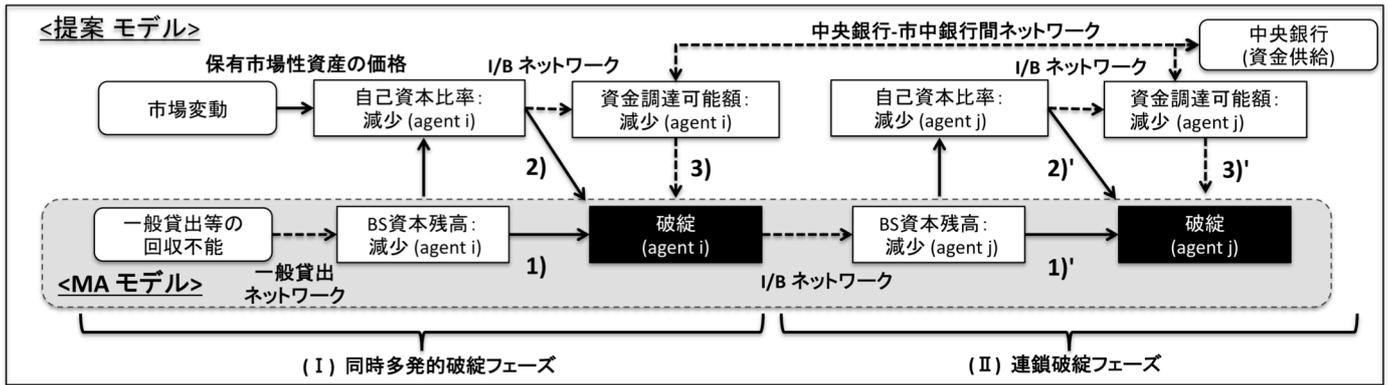


Fig. 3 提案モデルでの破綻要因：1)資本残高の減少(M-A モデルと同様)，2)自己資本比率の減少，3)資金繰りの失敗

## 4. モデル

### 4.1 概要

エージェントは市中金融機関であり、バランスシートと財務指標（自己資本比率等）を持つ。バランスシートの資産項目のうち、市場性資産は市場の価格変動を受けて時価変動する。ネットワークは、非市場性資産の取引ネットワーク及び金融機関間の短期運用・調達を行う I/B ネットワークを持つ。更に各金融機関は中央銀行と直接の繋がりを持っており、資金運用（中銀当座）・調達（中銀借入）が可能であるとする。その上で、各金融機関は ALM 運営、すなわち 1)投融資行動（資産項目の増減に係る意思決定）と 2)資金繰り行動（I/B ネットワークを通じたバランスシートの資金ギャップ調整に係る決定）を行うものとする。

著者らは、各金融機関のバランスシートの変化を通じた破綻連鎖の態様を分析対象とするため、M-A モデル[May and Arinaminpathy 2010]を基にした拡張モデルを提案している[Kikuchi et al. 2015]。当該モデルは M-A モデル同様に以下の点を扱える：

1)各金融機関は単純化したバランスシートを持ち、

I/B ネットワークを通じて短期資金の貸し借りをを行っている、

2)任意の金融機関を破綻させ、当該金融機関と貸借関係のある金融機関の資本への影響を観察する、

3)当該ショックが自己資本内で吸収できない場合は破綻となり、この繰り返しで連鎖的破綻を表現する。

一方で、

1)保有する市場性資産の価格変動を通じた金融機関の財務・信用状況（自己資本比率）の悪化、

2)I/B 市場における資金繰り環境の悪化による資金繰りショートや流動性リスクの上昇、

3)資金繰り破綻を防ぐための中央銀行の資金供給、を表現し、金融危機の内生的メカニズムに焦点を当てたエージェントベースモデルとなっている(Fig. 4)。

なお、本稿では市場性資産への余資運用行動及び価格変動が金融機関の財務状況及び資金繰りに与える影響に注視するため、非市場性資産の取引ネットワークは取り扱わない。

### 4.2 エージェント

#### 4.2.1 市中金融機関

M-A モデル同様、市中の金融機関

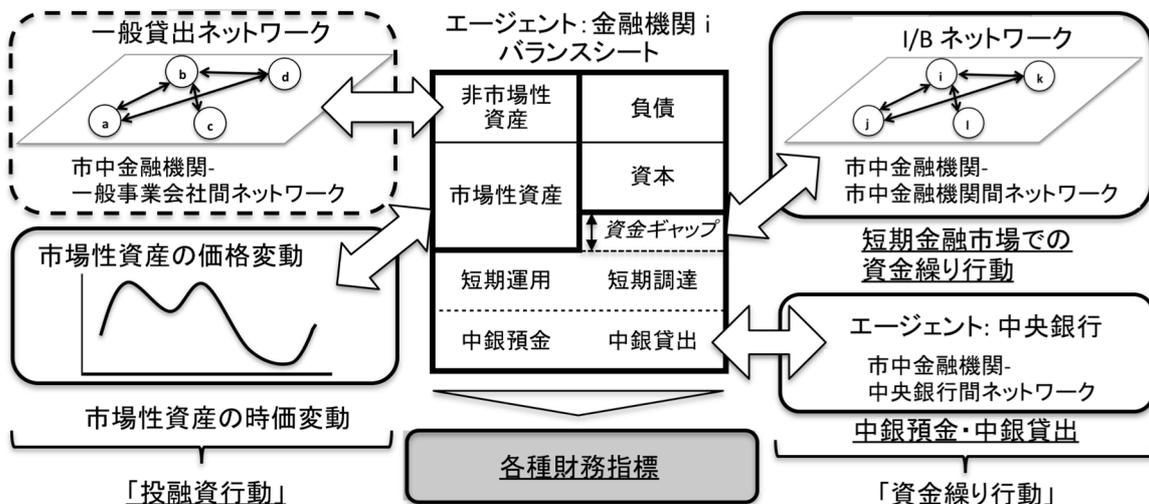


Fig. 4 概念モデル:投融資や余資運用、資金繰り行動など ALM 行動を陽に記述する。市場性資産の価格変動による財務状況の変化が連鎖的破綻に与える影響を表現している。なお、本稿では一般貸出ネットワークは取り扱わない。

$a_i (i=1, \dots, N), A=\{a_i | i=1, \dots, N\}$   
 は単純化したバランスシートを持つ(Table 1). 構成科目は, 現預金  $CA_i$ , 市場性資産  $MA_i$ , 非市場性資産  $nonMA_i$ , 負債  $D_i$ , 資本  $E_i$ , 中銀預金  $DF_i$ , 中銀借入  $LF_i$ , 短期運用  $SI_i$ , 短期調達  $SF_i$  がある.

このとき, 資金ギャップは,

$$Gap_i = D_i + E_i - CA_i - nonMA_i - MA_i$$

と表され, これにより, 出し手

$$C_{surplus} = \{a_i | Gap_i \geq 0\}$$

及び, 取り手

$$C_{shortage} = \{a_i | Gap_i < 0\}$$

と分類できる. なお, 各金融機関の出し手, 取り手のステータスに変更がないものとする.

次に, 評価損益( $UP_i$ )と自己資本比率( $CAR_i$ ), インカム収益( $IP_i$ ),  $ROE_i$ を以下のように定義する:

$$UP_i = MA_i^{t_{時価}} - MA_i^{簿価}$$

$$CAR_i = (E_i + UP_i + \sum CP_i) / (nonMA_i + MA_i)$$

$$IP_i = \beta * MA_i + \gamma * nonMA_i$$

$$ROE_i = IP_i / E_i$$

ここで,  $\beta$ と $\gamma$ はそれぞれ市場・非市場性資産収益率であり,  $MA_i^{t_{時価}} = MA_i^{簿価} / P_0 * P_t$ ,  $P_t$ : step  $t$ での市場性資産の市場価格である. なお,  $CP_i$ は余資運用による実現損益であり, 4.6.5節で定義する.

更に, 金融機関は最低要求自己資本比率( $CAR$ -demand)を持つ. これは取り手が出し手に資金供給をオーダーした場合に, 出し手が取り手に要求する自己資本比率の最低水準であり, 運営制約でも参照する.

Table 1 市中金融機関の持つバランスシート項目

借方	貸方
現預金 CA	負債 D
非市場性資産 nonMA	資本 E
市場性資産 MA	中銀借入 LF
中銀預金 DF	短期調達 SF
短期運用 SI	

#### 4.2.2 中央銀行

提案モデルでは, 中央銀行  $CB$  も単純化したバランスシートを持つ(Table 2). 構成科目は, 中銀借入  $LF^{CB}$ , 中銀預金  $DF^{CB}$ , 余剰金  $SU^{CB}$  である.

また, 中銀預金は出し手の資金余剰の  $r_{DF}\%$ が積み上げられるものとする(以降, 「積上比率」). 更に, 市中金融機関への資金供給は, 中銀預金を上限として, 取り手の資金ギャップ加重を以てなされる.

$$DF^{CB} = \sum_i DF_i = \sum_i \text{ceil}(Gap_i * r_{DF})$$

$$LF_j = \text{floor}(DF^{CB} * Gap_j / \sum_j Gap_j)$$

$$LF^{CB} = \sum_j LF_j$$

$$SU^{CB} = DF^{CB} - LF^{CB}$$

$$Gap'_k = Gap_k + LF_k + SF_k - DF_k - SI_k$$

ここで,  $a_i \in C_{surplus}$ ,  $a_j \in C_{shortage}$ ,  $a_k \in A$  であり,

$\text{ceil}(x) = \min\{x \leq n | n \in \mathbb{Z}\}$ ,  $\text{floor}(x) = \max\{x \geq n | n \in \mathbb{Z}\}$  である.

Table 2 中央銀行の持つバランスシート項目

借方	貸方
中銀借入 $LF^{CB}$	中銀預金 $DF^{CB}$
余剰金 $SU^{CB}$	

#### 4.3 ネットワーク

##### 4.3.1 I/B ネットワーク

金融機関  $a_i$ は, 自己と繋がりのある金融機関

$$W_i^{Interbank} = \{a_j | m_{ij} = 1\},$$

との間で短期運用・調達を行い, 資金ギャップを解消しようとする. ここで,  $M=(m_{ij})$ : I/B ネットワークの隣接行列である.

##### 4.3.2 中央銀行-市中銀行間ネットワーク

金融機関  $a_i$ は, 中央銀行  $CB$  と一対一のネットワークを持つ.

#### 4.4 資金繰り行動

##### 4.4.1 出し手と取り手の意思決定

出し手から取り手への本源的な資金供給は:

(Step1) 取り手  $a_j$ が出し手  $a_i$ へ  $amount_{ij} > 0$  の資金オーダー

$$Order(i, j, amount_{ij})$$

を生成する. なお,  $a_i$ はインターバンクネットワークに繋がる出し手全てに対し, 自己の資金ギャップ分を均等に分割してオーダーを行う.

ここで,  $(a_i, a_j) \in C_{surplus} \times C_{shortage}$ ,

$\delta$ : minimum order size  $\in \mathbb{Z}$ ,  $amount_{ij} =$

$\max(\text{ceil}(Gap_i / \#(C_{surplus} \cap W_i^{Interbank})), \delta) \in \mathbb{Z}$  である.

(Step2)  $a_j$ は  $a_i$ の財務状況及び自己の資金供給可能額をチェックし, 約定・非約定の判断を行う.

・約定条件:

$$CAR_i \geq CAR\text{-demand}_i \text{ and}$$

$$amount_{ij} \leq Gap_i - \sum amount_{j \text{ other done-orders}}$$

・非約定条件:

上記以外

ここで,  $a_j$ が既に約定した取引を  $amount_{j \text{ other done-orders}}$  とする.

(Step3) 非約定の場合, 1)オーダー先を他の出し手  $a_k$ に変更すること, 2)オーダー  $amount$  を減らすこと, の片方または双方を行うことができる.

$$Order(i, j, amount_{ij}) \rightarrow Order'(i, k, amount_{ik})$$

$$Order(i, j, amount_{ij}) \rightarrow Order'(i, j, amount'_{ij})$$

$$Order(i, j, amount_{ij}) \rightarrow Order'(i, k, amount'_{ik})$$

ここで,  $k \in C_{surplus} \cap W_i^{Interbank}$ ,  $amount'_{ij} = \text{floor}(amount_{ij} / 2) \geq \delta$  である.

(Step3)  $a_j$ が  $Gap'_j \geq 0$  を満たせない場合, 破綻する.

#### 4.4.2 その他短期調達・運用

短期資金調達・運用では両建て取引が行われている現実を鑑み[黒田 and 加藤 2009], 出し手・取り手以外にも, 取り手・取り手間や出し手・出し手間, 取り手・出し手間においても, バランスシート残高の一定割合を上限として, 短期調達・運用を行う。

取り手・取り手, 出し手・出し手間の短期調達・運用:

$a_{-j}$  は同ステータスの  $a_{-j}$  との間で 1 回を上限に, 以下のようにオーダーを生成する:

Order (i, j, amount<sup>i</sup>) or Order (j, i, amount<sup>j</sup>)

出し手・取り手間の短期調達・運用:

$a_{-j}$  は  $a_{-j}$  との間で 1 回を上限に, 以下のようにオーダーを生成する:

Order (i, j, amount<sup>i</sup>)

ここで,  $amount_i = \text{ceil}((CA_i + MA_i^{\text{簿価}} + \text{non}MA_i) * \epsilon)$ ,  $l = \text{floor}((CA_i + MA_i^{\text{簿価}} + \text{non}MA_i) * \zeta / amount_i)$  である。

#### 4.5 投資行動

本稿では, 金融機関の余資運用におけるリスク投資拡大の問題にアプローチするため, 本源的投資に係る投資行動は取り扱わないものとする。つまり, 本項では資産項目の増減に係る意思決定を行わず, 市場性資産の残高は一定とする。

#### 4.6 余資運用行動

##### 4.6.1 概要

4.4 節を経て資金ギャップが正となっている出し手金融機関  $a_{-i} \in C_{\text{surplus}}$  の余資を  $SU_i$  とする。 $a_{-i}$  は, step 毎に VaR 制約及び自己の資産選好に従い, 市場性資産または中銀預金への投資意思決定を行う。本稿では, VaR 制約を絶対的な制約とした上で, 選好を勘案し市場性資産購入の意思決定を行う。

##### 4.6.2 運営制約・選好の定式化

各種制約及び選好は Table 3 のように定義する。

$$VaR_i = MA_i^{\text{簿価}} * \sqrt{n_{\text{days}}} * (r_{\text{avg}} - \eta * \sigma_m)$$

ここで,  $r_{\text{avg}}$  及び  $\sigma_m$  は  $P_t$  の日次リターン(サンプル期間:  $m_{\text{days}}$  日)から算出する。

Table 3 運営制約と選好

項目	定式化
a) VaR制約	市場性資産リスク $VaR_i < \text{資本残高} E_i * \text{割当率} (MA_i / (MA_i + \text{non}MA_i))$
b) 市場性資産選好	$f_{M-A} = \text{期待利率 } r_{\text{exp}} - \text{リスク回避度 } \lambda_i * \text{市場リスク } \sigma_m$
c) 当座預金選好	$f_{\text{depo}} = \text{当座預金利率 } r_{\text{depo}}$

##### 4.6.3 投資決定

上述の制約を受け, 各金融機関は市場性資産に対する選好  $f_{M-A}$  及び当座預金に対する選好  $f_{\text{depo}}$  の大きさを比較し, 余資を市場性資産に投資するか ( $f_{M-A} \geq f_{\text{depo}}$ ), 中銀当座預金に預け入れるか ( $f_{M-A} < f_{\text{depo}}$ ) 意思決定を行う。

#### 4.6.4 市場性資産購入量の決定

前節にて市場性資産の購入が選択された場合, 以下の通り購入量を決定する。

**購入量:** VaR 制約の上限から算出される市場性資産残高と現状の保有市場性資産残高を比較し, 差分を購入可能量  $buyable_t^i$  とする。その上で, 余資の  $\theta\%$  を上限に売買量  $buyamount_t^i$  を決定する。

$$buyamount_t^i = \min(buyable_t^i, SU_i * \theta)$$

#### 4.6.5 実現損益の発生

余資運用による市場性資産はステップ毎にポジションがクリアされ, 都度実現損益が発生するものとする。ステップ  $t$  での実現損益 ( $CP_t^i$ ) は以下の通り:

$$CP_t^i = buyamount_t^{i-1} * \left( \frac{P_t^{i-1}}{P_t^{i-2}} - 1 \right) \quad (t \geq 2)$$

#### 4.7 破綻の影響

##### 4.7.1 個別破綻

自己資本比率が閾値以下となった場合, または, 資金ギャップを埋められなかった場合, 資金繰りに失敗したとして, 当該金融機関  $a_i$  は破綻となる。

$$CAR_i < \alpha \text{ or } Gap_i < 0$$

##### 4.7.2 連鎖的破綻

金融機関  $a_{-j}$  が破綻した場合, 当該金融機関に対し短期運用していた金融機関  $a_{-j}$  は当該運用分につき焦げ付きが発生したと見做し, 自己の資本とキャンセルアウトするものとする。

$$E_j^i = E_j - SI_j^i$$

このとき,

$$E_j^i < 0 \text{ or } Gap_j^i < 0 \text{ or } CAR_j < \alpha$$

となる金融機関  $a_{-j}$  も破綻して連鎖的破綻となる。

#### 4.8 評価

本稿では, 当座預金利率  $r_{\text{depo}}$  を変化させた場合に, 各金融機関の余資運用行動の変化を通じた金融システムへの影響を評価する。具体的には, モデルのマクロ指標として, 残存金融機関数(破綻金融機関数)を採用する。

#### 5. モデルの挙動分析

本シミュレーションでは 4.6.2 節で述べた運営制約及び選好に従う余資運用行動を取る個別試行を実施する。当座預金利率  $r_{\text{depo}}$  を操作変数とし, 連鎖的破綻に与える影響につき, モデルの全体傾向の確認を行った(5.3 節)。

##### 5.1 市場性資産の価格時系列

シミュレーションで用いる市場性資産の市場価格時系列は, 次の確率差分方程式[Luenberger 1997]に従うと仮定し以下の通り与える:

$$P_{t,j} = P_{t-1,j} + r_f P_{t-1,j} \Delta t + \sigma P_{t-1,j} \epsilon \sqrt{\Delta t}$$

ここで、 $t$ :time step( $t = -m + 1, \dots, 0, 1, \dots, T$ ),  $j$ :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( $P_0=100$  となるよう調整),  $r_f$ :リスクフリーレート[%],  $\sigma$ :ボラティリティ[%],  $\tilde{\varepsilon} \sim N(0,1)$ である. 今回は,  $1 \text{ step} = 1 \text{ day} = 1/250 \text{ year}$  と考え,  $\Delta t=1/250$ ,  $T=125$ (銀行勘定の予算・決算期間である 6 ヶ月を想定)とした. また, 各国の長期国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, 10 万回の試行を行い, 最終 step の市場性資産価格が最低の価格時系列を採用する (Fig. 5).

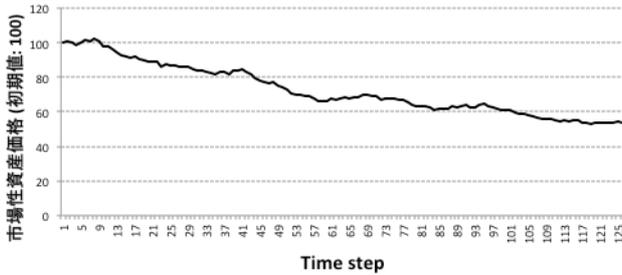


Fig. 5 本シミュレーションで採用した市場性資産の価格時系列. 10 万回の試行を実施, 最低価格となった価格時系列を採用した.

## 5.2 共通設定

シミュレーションに用いるエージェントモデルのパラメタを Table 4 に示す. 金融機関数は 20 社(#1~#20, 出し手と取り手が各々 10 社), I/B ネットワークは完全グラフとした. 資金ギャップは, 出し手総額が取り手総額を上回ることから, 出し手につき以下の調整を行った:

$$(\text{資金ギャップ調整}) = \sum (\text{nonMA} + \text{MA}) * \iota / \# C^{\text{surplus}}$$

また, 表外のバランスシート項目については, 所与の自己資本比率から資本を設定した. 負債は資金ギャップを勘案し, 貸方・借方が一致するよう逆算して求めた. その上で, 短期運用・調達を設定した. ここで,  $\alpha: 0\%$ ,  $\beta: 1.2\%$ ,  $\gamma: 1.0\%$ ,  $\delta: 1$ ,  $\varepsilon: 1\%$ ,  $\zeta: 5\%$ ,  $\eta: 2.33$ ,  $\theta: 50\%$ ,  $\iota: 10\%$ ,  $n_{\text{days}}: 10$ ,  $m_{\text{days}}: 16$ ,  $r_{\text{exp}}: 1.0\%$  とした.

Table 4 シミュレーションに用いたパラメタセット.

パラメタ名	値
金融機関数 $N$	20 (出し手: 10, 取り手: 10)
インターバンクネットワーク $W^{\text{interbank}}$	完全グラフ
現預金 $CA$	10-25, 一様分布(int)
非市場性資産 $\text{nonMA}$	100, 一定値(int)
市場性資産 $MA$	20-50, 一様分布(int)
資金ギャップ $\text{Gap}$	絶対値が資産の 5-10%, 一様分布(int)
自己資本比率 $CAR$	12%-22%, 一様分布(double)
最低要求自己資本比率 $CAR\text{-demand}$	0%-3%, 一様分布(double)
リスク回避度 $\lambda$	0.0-1.0, 一様分布(double)
予算目標 $y$	1.5-2.0, 一様分布(double)
積上比率 $r_{\text{DF}}$	30% (緩和的環境)

## 5.3 実験: 全体傾向の確認

Table 4 のパラメタセットにて, 当座預金利率  $r_{\text{depo}}$  を +1.0%, 0.0%, -1.0% とした全 3 ケースについて, 各 4,000 回の試行を行った.

各ケースの残存金融機関数につき, 5 step 毎の箱ひげ図を表したものが Fig. 6 である. 当座預金利率が下がるにつれ, 残存数のばらつきが大きく, 残存

数の少ない範囲にもより多く分布している傾向が見て取れる. なお, 最終ステップでの平均残存数は, 当座預金利率が +1.0% の場合が 17.0 社, 当座預金利率が 0.0% の場合が 13.7 社, 当座預金利率が -1.0% の場合が 12.3 社となっている. 当座預金利率が下がるにつれ, 余資運用先として市場性資産が選好されやすくなり, 市場感応度が高まることで破綻数が増えていることが分かる.

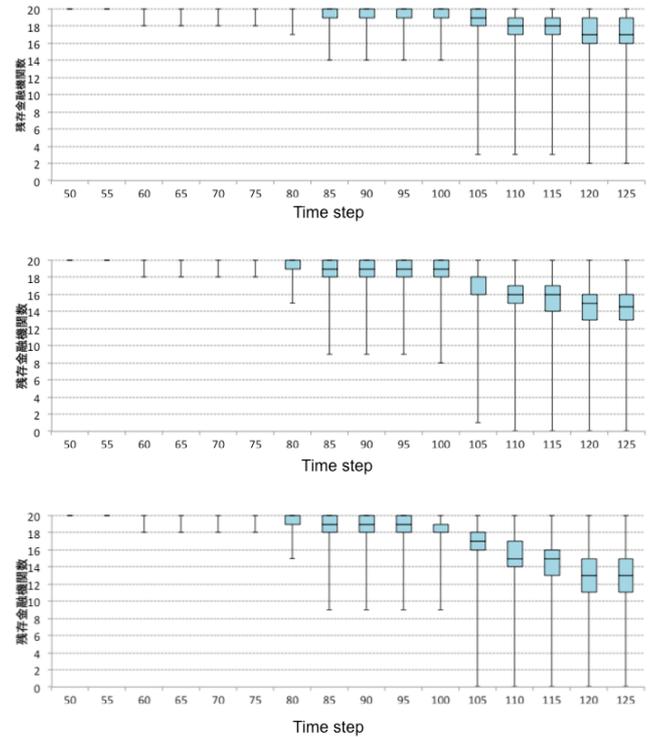


Fig. 6 5 step 毎の残存金融機関数の箱ひげ図 (上図が当座預金利率 +1.0%, 中段が 0.0%, 下図が -1.0% の場合). 箱ひげは最大値, 第三分位点, 中央値, 第一分位点, 最小値を示す. 利率が下がるに連れて残存数のばらつきが大きく, 残存数の少ない範囲にもより多く分布していることが分かる. なお, 50 step 未満は破綻が生じていなかったため省略した.

また, 100, 125 step 目での残存金融機関数の相対度数分布を示したものが Fig. 7 (a), (b) である. 100 step 目では当座預金利率が +1% の場合 1 社も破綻しないケース, 0.0% 及び -1.0% の場合 1 社破綻のケースがピークとなった. 125 step 目では, 当座預金利率が 1.0% の場合は 20 社中 18 社残存するケース, それ以外の場合は 20 社中 15 社残存するが最多となっており, それぞれピークが残存金融機関数減少方向に遷移している. また, 当座預金利率が -1.0% のケースでは, 全社破綻という結果もピークを形成, 100 step 目での分布と比べ, 明確な双峰型の分布となった.

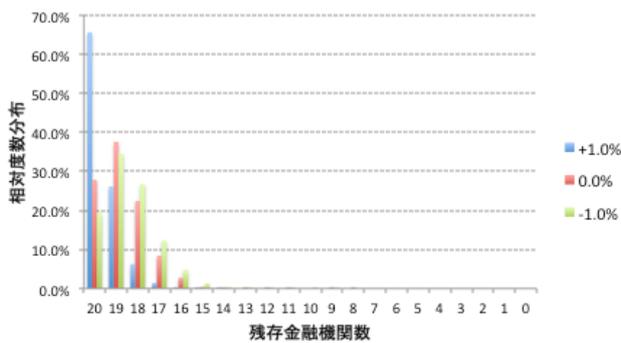


Fig. 7 (a) 100 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 当座預金比率が 1.0% の場合は 1 社も破綻しないケース(残存 20 社), それ以外の場合は 1 社破綻のケース(残存 19 社)が最多となっている。

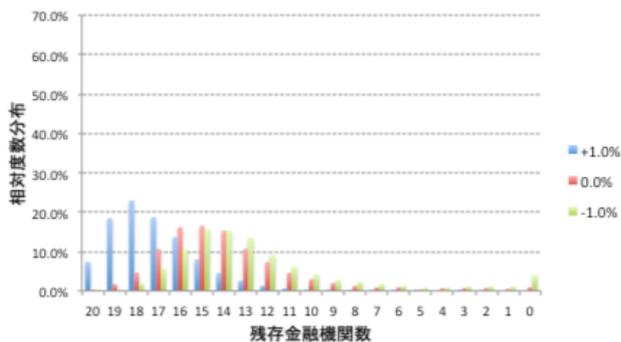


Fig. 7 (b) 125 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 当座預金比率が 1.0% の場合は 20 社中 18 社残存するケース, それ以外の場合は 20 社中 15 社残存するが最多となっている。また, 当座預金利率が -1.0% のケースでは, 全社破綻(残存 0 社) という結果もピークを形成し, (a) と比べて明確な双峰型の分布を形成している。

## 6. おわりに

本稿では, 金融機関の余資運用におけるリスク投資拡大に注目し, 市場のマクロ的ショックを扱う当該提案モデルを拡張し, 金融機関の余資運用にかかる意思決定を記述した。その上で, 市場性資産の価格下落が生じた場合に, 金融システムへどのような影響が生じるか分析を行った。

多数回試行による結果からは, 当座預金利率が下がるにつれ, 平均残存金融機関数が減少し, ばらつきも大きくなっている様子が見て取れた。当座預金利率が引き下げられ, 相対的に市場性資産への選好が高まるにつれ, 各金融機関の市場感応度が高まり, 金融システムの脆弱性が強まる可能性が示された。

## 文 献

[みずほ総研 2016] 日銀マイナス金利政策の評価 -欧州からの示唆と金融機関, 実体経済への影響-, みずほ総合研究所調査本部, 2016.  
 [Kikuchi et al. 2015] Takamasa Kikuchi, Hiroshi Takahashi, and Takao Terano, "The Propagation of Bankruptcies of Financial Institutions — an Agent Model

of Financing Behavior and Asset Price Fluctuations", AESCS2015 Proceedings, 2015.  
 [Brunnermeier 2009] Brunnermeier, Markus. K., and Lasse H. Pedersen, "Market Liquidity and Funding Liquidity", Review of Financial Studies Vol. 22, No. 6, pp. 2201-2238, 2009.  
 [Shin 2010] Hyun Song Shin, "Risk and Liquidity", first edition, Oxford University Press, 2010. (ヒュン・ソン・シン: リスクと流動性, 大橋和彦・服部正純訳, 東洋経済新報社, 2015.)  
 [Allen and Gale 2000] Allen, F. and D. Gale, "Financial Contagion", Journal of Political Economy, Vol. 108, Issue 1, pp. 1-33, 2000.  
 [Freixas et al. 2000] Freixas, X., B. Parigi and J. C. Rochet, "Systemic Risk, Interbank Relations, and Liquidity Provision by the Central Bank", Journal of Money, Credit, and Banking, Vol. 32, No. 3, pp. 611-638, 2000.  
 [Degryse and Nguyen 2007] Degryse, H. and G. Nguyen, "Interbank Exposure: An Empirical Examination of Contagion Risk in the Belgian Banking System", International Journal of Central Banking, Vol. 3, No. 2, pp. 123-171, 2007.  
 [Eisenberg and Noe 2001] Eisenberg, L, Noe, H.: "Systemic Risk in Financial Systems", Management Science, Vol. 47, No. 2, pp. 236-249, 2001.  
 [Gai & Kapadia 2010] Gai, P and Kapadia, S.: "Contagion in Financial Networks", Bank of England, Working Paper No. 383, 2010.  
 [Nier et al. 2007] Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., and Alentorn, A.: "Network models and financial stability", Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 31, No. 6, pp. 2033-2060, 2007.  
 [May and Arinaminpathy 2010] May, R., and Arinaminpathy, N.: "Systemic risk : the dynamics of model banking system", J. R. soc. Interface, Vol. 7, No. 46, pp. 823-838, 2010.  
 [前野 et al. 2012] 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, 2012.  
 [Suzuki et al. 2015] Yoshito Suzuki, Akira Namatame, and Yuji Aruka, "Agent-based Modeling of Economic Volatility and Risk Propagation on Evolving Networks", Proceedings of the 18th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems, Vol. 1, pp. 463-478, 2015.  
 [橋本 and 倉橋 2015] 橋本守人, 倉橋節也: "資金取引ネットワークにおけるシステムリスク指標の効果分析", 合同エージェンツワークショップ&シンポジウム2015, 2015.  
 [日銀 1995] 金融機関ALMの現状と課題, 日本銀行月報, 9月号, 1995.  
 [Merton 1974] Merton, Robert C., "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates", The Journal of Finance, Vol. 29, No. 2, pp. 449-470, 1974.  
 [Basel 1996] Amendment to the capital accord to incorporate market risks, Basel Committee on Banking Supervision, 1996.  
 [黒田 and 加藤 2009] 黒田啓征, 加藤出: 東京マネー・マーケット[第7版], 東短リサーチ株式会社(編), 有斐閣, 2009.  
 [日銀 2003] 福田英司 他: "マーケット・レビュー 2002年度の金融調整", 日本銀行金融市場局, 2003.  
 [佐原 2015] 佐原雄次郎: 国際的な金融規制改革の動向(9訂版), みずほ総合研究所, 2015.  
 [FSA webpage] バーゼル3(国際合意)の概要, 財務省. [http://www.fsa.go.jp/policy/basel\\_ii/basel3.pdf](http://www.fsa.go.jp/policy/basel_ii/basel3.pdf)  
 [Luenberger 1997] David G. Luenberger, "Investment Science", Oxford University Press, New York, 1997.