

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	エージェントシミュレーションによる金融規制・運営制約がインターバンクネットワークの連動的破綻に与える影響の分析
Title(English)	
著者(和文)	菊地剛正
Author(English)	Kikuchi Takamasa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10545号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:寺野 隆雄,新田 克己,出口 弘,高安 美佐子,小野 功
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10545号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

エージェントシミュレーションによる
金融規制・運営制約が
インターバンクネットワークの
連動的破綻に与える影響の分析

総合理工学研究科

知能システム科学専攻

菊地 剛正

概要

本研究の目的は、金融機関を取り巻く金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、金融システムの安定性に与える影響を分析することである。金融危機への対応としては、国際的な金融規制の強化や中央銀行の役割強化が挙げられるが、金融機関の行動や金融システムに与える影響に対する分析は、必ずしも十分ではないと考えるためである。ここで、本研究における「金融危機」とは、リーマン・ショックに端を発する今次の金融危機が金融機関間の各種取引チャネルを通じた影響の伝播により特徴付けられるとされていることから、金融機関の連鎖的な破綻とする。当該事象を取り扱う”Contagion”に係る諸研究では、金融機関間の資金貸借を通じたドミノ的な破綻のみならず、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻が注目されており、本研究では双方を取り扱う。また、「安定性」とは、個別金融機関の財務状況や破綻金融機関数で評価する。更に、「金融システム」とは、インターバンクネットワークの主要金融機関とする。上記の目的を達成するために、以下の問題にアプローチする：(補題) 市場性資産の価格下落により主要金融機関における破綻の連鎖は生起し得ないのか、(1) 金融規制・運営制約により補題のリスク（破綻数等）は低減されるか、(2) 中央銀行の政策によって補題のリスク（破綻数等）はどこに転化するか。方法論としては、共通資産への価格ショックを織り込んだ破綻伝播モデルを基に、資金流動性による破綻を陽に表現し、金融規制・運営制約や中央銀行の政策を扱えるよう、必要な拡張を行う。得られた結論は以下の通りである：(補題) 市場性資産の価格変動による金融機関の財務・信用状況の変化を通じた破綻の連鎖は生起する、(1) 金融規制・運営制約の組み合わせによっては、むしろ個別金融機関の破綻可能性を高める、(2) 中央銀行の政策は、先行研究で言及されているものとは別のリスクをもたらす可能性がある。

本論文は5章から構成される。その概要は次の通りである。

第1章は「序論」であり、研究の背景と目的および本論文の構成が提示される。

第2章の「先行研究と本研究の位置付け」では、金融危機に係る諸研究を概観し、金融機関の連鎖的な破綻に注目する”Contagion”についての一連の研究を説明する。金融機関を取り巻く金融規制・運営制約は、市場性資産の価格変動による財務状況の変化を取り扱うことから、自己資本比率制約やVaR制約、ROE・予算制約、バランスシート制約に注目する。中央銀行の政策としては、中央銀行による資金供給を対象とする。

第3章「研究の方法論とモデル」では、本研究で用いるモデルの説明を行う。提案モデルは、先行の金融ネットワークモデルと同様、各金融機関が単純化したバランスシートを持つ。インターバンクネットワークを通じて短期の資金貸借を行い、当該資金を通じたドミ

ノ的な破綻を扱う。また、共通資産への価格ショックを織り込んだ破綻伝播モデルのフレームワークを用い、各金融機関は外的に与えられる市場性資産の価格変動により財務状況が変化し、当該効果による破綻の可能性を表現する。加えて、資金流動性のマネジメントゲームと解釈できる先行研究の数値モデルを参考とし、資金流動性による破綻を陽に表現する。更に、各金融機関は投資行動及び資金繰り行動を行う。先行研究のモデルでは、金融規制・運営制約や中央銀行の政策を分析する仕組みが不十分であると考え、本研究では、エージェントシミュレーションの枠組みを用い、投資行動・資金繰り行動に対する直接的・間接的な制御メカニズムとして上記制約・政策を取り扱い、そのために必要な拡張を行う。

第4章「分析」では、提案モデルによるシミュレーションを行う。得られた結果は以下の通り：(1) ドミノ的な破綻を取り扱ったモデルでは起こりにくいとされていた連鎖的な破綻について、共通する資産への価格ショックを勘案し、資金流動性を取り扱った提案モデルでは、金融機関の財務・信用状況の変化による連鎖的な破綻が生じうる、(2) VaR 制約や ROE・予算制約など制約の組み合わせによっては、むしろ個別金融機関の破綻可能性を高める。また、バランスシート制約は各金融機関の破綻可能性を低下させる可能性があるものの、同時に市場性資産の総売買量も低下させる虞がある、(3) 中央銀行の資金供給は、先行研究が指摘するように、金融機関の破綻可能性を低下させる一方、インターバンクでの資金調達が低調となる。加えて、ログ分析からは、別の形のリスクとして、資金調達の中央銀行への依存や自己資本比率の低下した本来退出すべき金融機関が残存する可能性がある。

第5章「結論と課題」では、本研究の貢献と今後の課題を説明する。本研究の貢献としては、上記(1)～(3)に示されるように、各種金融規制・運営制約や中央銀行の政策が金融システムに与える影響につき、シナリオ分析を可能としたことにある。今後の課題としては、本研究では市場性資産価格を外生的に与えたが、投資行動と市場価格の連関を考慮したシミュレーションを行うことや、実体経済への影響に対する分析を行うことが挙げられる。

目 次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 今次の金融危機について	1
1.1.2 金融危機への対応(1) 金融規制・運営制約の強化	1
1.1.3 金融危機への対応(2) 中央銀行の役割強化	2
1.2 研究の動機と目的	2
1.3 問題の定義	4
1.4 本論文の構成	5
第 2 章 先行研究と本研究の位置付け	6
2.1 はじめに	6
2.2 金融危機の類型	6
2.2.1 諸研究の分類	6
2.2.2 想定する時定数	8
2.3 金融ネットワークモデル	9
2.3.1 概要	9
2.3.2 ネットワーク理論	9
2.3.3 ドミノ効果に注目する諸研究	10
2.3.4 共通資産効果に注目する諸研究	10
2.4 金融システム	11
2.4.1 一般的な定義	11
2.4.2 本研究における定義	12
2.5 金融規制・運営制約	12
2.5.1 概要	12
2.5.2 課題	13

2.5.3	本研究で取り上げる金融規制・運営制約	13
2.6	中央銀行の政策.....	14
2.6.1	概要	14
2.6.2	課題	15
2.6.3	本研究で取り上げる中央銀行の政策	15
2.7	用語の定義等.....	16
2.7.1	破綻の態様	16
2.7.2	ALM 運営	16
2.7.2.1	投資行動.....	16
2.7.2.2	資金繰り行動（平時）	17
2.7.2.3	資金繰り行動（緩和的環境下）	17
2.7.3	破綻メカニズム	18
第3章	研究の方法論とモデル	19
3.1	はじめに.....	19
3.2	分析手法.....	19
3.2.1	数理モデル	19
3.2.1.1	May-Arinaminpathy モデル	19
3.2.1.2	Bech モデル	20
3.2.2	エージェント・ベース・モデル	20
3.2.2.1	ファイナンスにおけるエージェント・ベース・モデル.....	20
3.2.2.2	Georg モデル	21
3.2.3	提案モデル	21
3.3	モデルの説明.....	22
3.3.1	概要	22
3.3.2	エージェント	24
3.3.2.1	市中金融機関	24
3.3.2.2	中央銀行.....	25
3.3.3	ネットワーク	25
3.3.3.1	インターバンクネットワーク	25
3.3.3.2	中央銀行-市中銀行間ネットワーク	25

3.3.4	金融規制・運営制約の表現	26
3.3.5	中央銀行の政策の表現	26
3.3.6	エージェントの投資行動	26
3.3.7	エージェントの資金繰り行動	28
3.3.8	破綻要因	29
3.3.9	モデルの限界・制約	30
3.4	基本的な実験パラメタ等について	32
3.4.1	基本的な実験パラメタの設定	32
3.4.2	市場性資産の価格時系列	33
3.5	モデルの評価	34
3.6	補題の検証実験	35
3.6.1	実験の目的	35
3.6.2	パラメタ設定	35
3.6.3	シミュレーション結果：全体的な傾向	35
3.6.4	ログ分析(1)：同時多発的破綻	36
3.6.5	ログ分析(2)：連鎖的破綻	36
3.6.6	現実のケースとの対応	37
3.6.7	本実験のまとめ	38
第4章	分析	39
4.1	はじめに	39
4.2	実験の構成	39
4.3	応用実験 I -a：VaR 制約及び ROE・予算制約が連動的破綻に与える影響	40
4.3.1	実験 1) モデルの挙動分析	40
4.3.2	実験 2) 制約の有無による影響分析	43
4.3.3	本実験のまとめ	46
4.4	応用実験 I -b：バランスシート制約が連動的破綻に与える影響 ..	46
4.4.1	実験 1) 金融システムの安定性	46
4.4.2	実験 2) 流動性	47

4.4.2.1 個別試行	47
4.4.2.2 全体試行	48
4.4.3 本実験のまとめ	49
4.5 応用実験Ⅱ-a：中央銀行の資金供給が連動的破綻に与える影響..	49
4.5.1 実験 1) 全体傾向の確認	49
4.5.2 実験 2) ログ分析	53
4.5.3 本実験のまとめ	57
4.6 応用実験Ⅱ-b：マイナス金利政策が連動的破綻に与える影響.....	58
4.6.1 実験 全体傾向の確認	58
4.6.2 本実験のまとめ	61
 第5章 結論と課題	 62
5.1 本研究の結論.....	62
5.2 今後の課題.....	64
 謝辞	 66
参考文献	67
業績目録	77
付録	79
1. ODD プロトコル	80
1.1 ODD プロトコルとは	80
1.2 提案モデルの ODD プロトコル	81
2. 実験パラメタの設定根拠等	89
2.1 自己資本比率規制の概要.....	89
2.2 本邦国際基準行リスト.....	90
2.3 本邦金融機関・業態別保有有価証券残高.....	91
2.4 G-SIBs 構成金融機関リスト	92

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

リーマン・ショックに端を発する今次の金融危機は、金融システムのみならず、実体経済にも多大な影響を与える結果となり、特徴的なメカニズムを探る諸研究が行われている。一方、実際の危機への対応としては、国際的な金融規制・運営制約の強化や中央銀行の役割強化などがなされているが、効果やリスクについて様々な議論があり、評価が定まっているとは言えない。各種の金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、金融機関の行動やインターバンクネットワークに与える影響に対する分析は必ずしも十分ではないと考える。

1.1.1 今次の金融危機について

リーマン・ショックに端を発する今次の金融危機は、金融システムのみならず、実体経済にも多大な影響を与える結果となった。今次の金融危機の特徴を論じた先行研究としては、以下のようなものがある。

今次の金融危機を理解するための重要な側面として、関連する研究を包括的に振り返った[大橋&服部 2012]では、(1)サブプライムローンを原資産とする証券化商品の大量組成など、組成販売ビジネスにおける情報清算インセンティブの問題、(2)格付機関のインセンティブと格付の信頼性、(3)金融機関のレバレッジ増幅の問題、(4)流動性の枯渇の問題、(5)遅行性資本移動の問題、(6)ナイトの不確実性下での市場参加者の行動の問題、を取り上げている。特に、(3)や(4)、(5)は、金融機関の行動と市場価格の連関に注目するものであり、各種金融規制・運営制約と金融機関の投融资行動の関係にフォーカスを当てたものである。また、[Allen and Carletti 2013]は、今次の金融危機について、金融機関間の各種取引チャネルを通じた影響の伝播とマーケットでの取引の減少、ひいては実体経済への波及により特徴付けられるとしている。更に、[藤井&高岡 2010] は、相関を持つエクスポージャにさらされている複数の銀行の資産価値が同時に悪化して危機に至るケースを指摘している。

以上の先行文献からは、今次の金融危機の特徴として、(a)金融機関の行動と市場価格の連関、(b)各種取引チャネルを通じた影響の伝播、(c)共通エクスポージャによる同時的な財務状況悪化、などが挙げられる。

1.1.2 金融危機への対応(1) 金融規制・運営制約の強化

金融危機への対応としては、金融機関に対する規制を強化する流れがあり、具体例としては、自己資本比率規制の強化やバーゼルⅢ（レバレッジ比率規制及び流動性規制）、シ

システム上重要な金融機関（G-SIFIs）に対処するための政策手段，などが挙げられ，金融危機の再発防止に向け，幅広い分野で金融規制改革が進展している[佐原 2015]．それらの中には，自己資本比率規制やレバレッジ比率規制，バンキング勘定の金利リスク規制等，金融機関のバランスシートサイズやリスク量を抑制する方向の規制も含まれている．金融規制改革の進展は，金融システムの安定性に寄与するとの主張がある一方，市場の流動性の低下[富安 2016]や金融機関のインセンティブの歪み[宮内 2015]を指摘する議論もある．また，規制強化に対しては，様々な規制の影響が調整されないまま累積されることにより，市場の混乱や歪みが生じ，持続的な経済成長が阻害されとの懸念も示されている[金融調査研究会 2010]．

1.1.3 金融危機への対応(2) 中央銀行の役割強化

金融危機以降，実体経済と金融市場，金融機関行動の相互連関を意識して，金融システム全体の抱えるリスクを分析するというマクロプルーデンス重視が大きな国際的潮流となっている．その中では，中央銀行の役割強化として，1)金融システムの安定性に関する分析・評価，2)金融システム安定に必要な政策の実施（「最後の貸し手」としての流動性供給），3)金融政策運営におけるマクロプルーデンスの視点の重視，等の議論がなされている．しかし，例えば，「最後の貸し手」としての流動性供給に対しては，機能不全に陥った金融システム，インターバンク市場に対し，中央銀行が資金供給等を積極的に行うことで危機の拡大を抑えることができたとの見方がある一方[Nakaso 2013]，中央銀行が資金仲介市場の役割を代替することは，中央銀行のバランスシート拡大等，別のリスクをもたらすとの意見もある[Caruana 2011]．

以上でみたように，各種金融規制・運営制約や中央銀行の政策に関しては，効果やリスクについて様々な議論があり，評価が定まっているとは言えず，金融機関の行動やインターバンクネットワークに与える影響に対する分析は必ずしも十分ではないと考える．

1.2 研究の動機と目的

前節では，今次の金融危機とその後の金融規制の強化の流れについて述べた．ここで，歴史を俯瞰してみると，大まかに，金融規制の強化と緩和は，交互に繰り返されていることがわかる．米国を例にとると，(1)1920年代の世界大恐慌とその後のグラス・スティーガル法成立後の「規制強化」期，(2)1980年代～90年代にかけて，グラム・リーチ・ブライリー法成立をピークとする「規制緩和」期，(3)前節でも取り上げた2008年のリーマン・ショック後の「規制強化」期，に大別することができよう(図 1-1)．足許では，(3)以降の潮流を行き過ぎた規制強化と捉える動きがあることや，規制緩和に好意的な米国トランプ政権が

成立するなど[鳥毛 2016], 今後, 再度規制緩和の方向へ舵が切られる可能性がある。

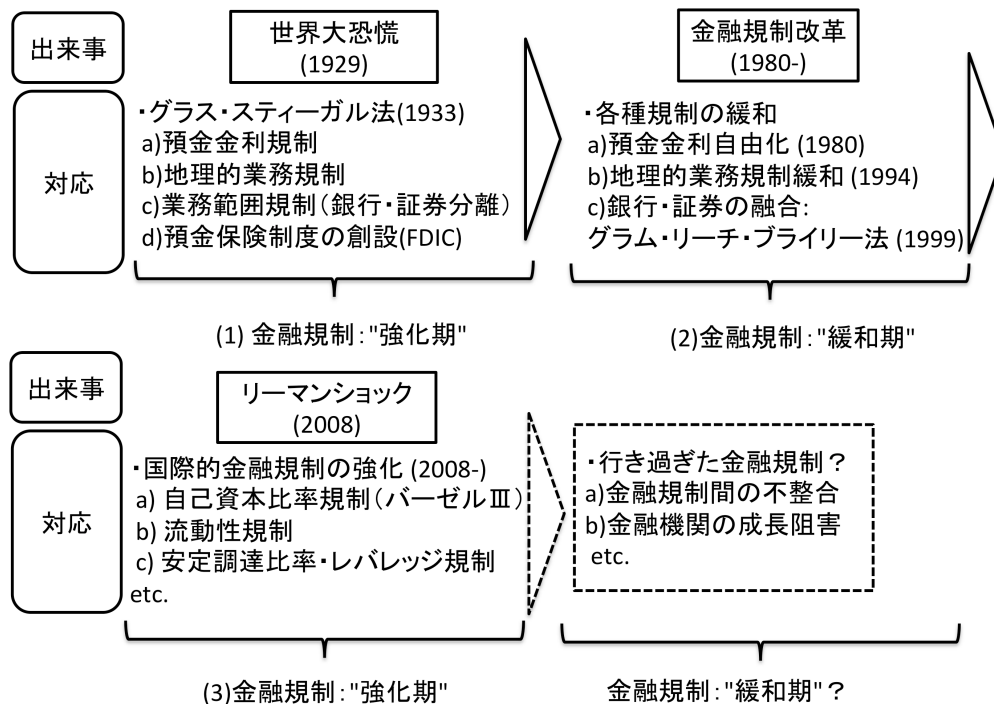


図 1-1 米国における金融規制の強化・緩和の流れ([樋口 2003], [戸田 2013], [鳥毛 2016]を基に作成)

また、金融規制の強化と緩和は、時としてそれぞれ行き過ぎたものとなりうる。例えば、大恐慌後のグラス・スティーガル法による預金金利規制は、高度経済成長を迎えた 1950-60 年代における「銀行離れ」の原因となったとする見方がある[樋口 2003]、1980 年代以降の金融規制改革へと繋がった。また、当該規制改革は、銀行と証券の業務範囲規制を撤廃することで、レバレッジの高い投資銀行型のビジネスモデルの興隆を促し[樋口 2003]、リーマン・ショックの遠因となったとも言われている。更に、リーマン・ショック後の国際金融規制の強化は、前節で概観した通り、効果やリスクについて様々な議論があり、市場の混乱や歪みを蓄積させているとする見解もある。

本研究の動機は、上述のような過度な規制の強化又は緩和を防ぐための制度設計を検討し、シナリオ分析を試みようとするものである。また、今次の金融危機への対応として行われている金融規制・運営制約の強化や中央銀行の役割の強化は、本当に金融システムの安定性向上に有効かどうかを検証しようとするものである。

以上を受けて、本研究の目的は、金融機関を取り巻く金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、インターバンクネットワークの安定性に与える影響を分析することとする(図 1-2)。

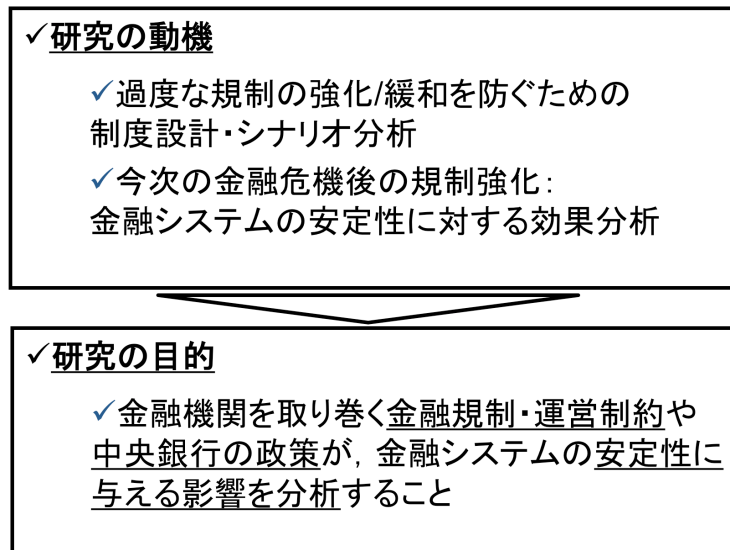


図 1-2 本研究の動機と目的

1.3 問題の定義

以上の議論を受け、本研究における問題の定義を行う（図 1-3）。本研究における「金融危機」とは、リーマン・ショックに端を発する今次の金融危機が金融機関間の各種取引チャネルを通じた影響の伝播により特徴付けられるとされていることから、金融機関の連鎖的な破綻とする。当該事象を取り扱う”Contagion”に係る諸研究では、金融機関間の資金貸借を通じたドミノ的な破綻のみならず、金融機関が共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻が注目されており、本研究では双方を取り扱う。また、「安定性」とは、個別金融機関の財務状況や破綻金融機関数で評価する。更に、「金融システム」とは、インターバンクネットワークの主要金融機関とする。これら問題の具体化については、第 2 章で詳しく述べることにする。

次に、上記の目的を達成するために、以下の問題にアプローチする：(補題) 市場性資産の価格下落により主要金融機関における破綻の連鎖は生起しえないのか、(1)金融規制・運営制約により補題のリスク（破綻数等）は低減されるか、(2)中央銀行の政策によって補題のリスク（破綻数等）はどこに転化するか。

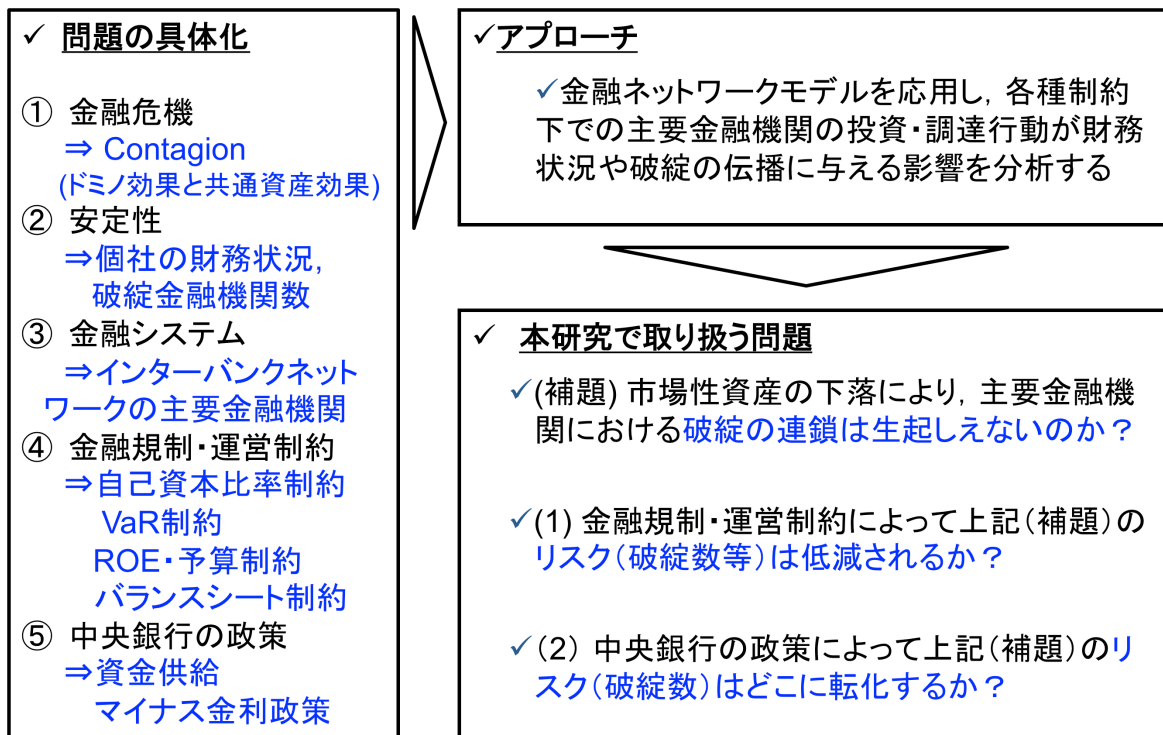


図 1-3 本研究における問題の定義

1.4 本論文の構成

第2章「先行研究と本研究の位置付け」では, 金融危機に係る諸研究を概観する. また, 本研究で取り扱う金融規制・運営制約及び中央銀行の政策の説明を行う. 第3章「研究の方法論とモデル」では, 本研究で用いるモデルの説明を行う. 第4章「分析」では, 提案モデルによるシミュレーションを行う. 第5章「結論と課題」では, 本研究の貢献と今後の課題を説明する.

第2章 先行研究と本研究の位置付け

2.1 はじめに

本章では、まず、金融危機に係る諸研究を概観し、金融機関の連鎖的な破綻に注目する”Contagion”についての一連の研究を説明する。当該分野では、金融機関間の資金貸借を通じたドミノ的な破綻のみならず、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻が注目されている。次に、本研究のステークホルダーとして、金融システムとは、インターバンクネットワークの主要金融機関を対象とすることを述べる。更に、金融機関を取り巻く金融規制・運営制約は、市場性資産の価格変動による財務状況の変化を取り扱うことから、自己資本比率制約や VaR 制約、ROE・予算制約、バランスシート制約に注目する。また、中央銀行の政策としては、中央銀行による資金供給を対象とする。本章の最後に、本論文で用いる用語の定義を行う。

2.2 金融危機の類型

本節では、[Kaufman 2000]及び[Allen and Carletti 2013]を参考にし、金融危機に係る諸研究をリスクの類型の観点から分類する。[Kaufman 2000]では、Banking crises の型として、① Big shock, ② Chain Reaction, ③ Common Shock, を挙げている。また、[Allen and Carletti 2013]では、システミックリスクの原因として、① Panic, ② Banking crises, ③ Contagion, ④ Foreign exchange mismatches, を列挙している。このような議論を基に、金融危機に係る諸研究を分類したものが表 2-1 である。以下、各項目につき具体的に述べる。

2.2.1 諸研究の分類

Panic に係る研究

当該分野に係る研究は、金融危機に関するエコノミストの伝統的な見方とされている [Allen and Carletti 2013]。古典的研究としては、[Friedman and Schwarz 1963]があり、形式的モデルとしては、[Bryant 1980]や[Diamond and Dybvig 1983]が存在する。

Business Cycle に係る研究

金融危機はランダムなイベントではなく、ビジネスサイクルの自然な帰結とする立場である。”Panic”に関する研究の代替として、ファンダメンタルズに基礎を置き、先行の諸研究に比べて、米国におけるより広範な危機事例を実証した。具体的研究としては、[Gorton 1988], [Calomiris and Gorton 1991], [Calomiris and Mason 2003]などが挙げられる。

Bubble に係る研究

緩和的な金融政策による現物資産価格の高騰（バブル）後におこる価格崩壊に注目する諸研究であり、昨今の信用・クレジットの急増が重要な役割を果たすとする立場である。具体的研究としては、[Herring and Wachter 1999], [Reinhart and Rogoff 2009], [Crowe et al. 2011], [Allen and Carletti 2010]などが挙げられる。

Mispricing に係る研究

昨今の金融危機で見られた、資産価格理論が想定するファンダメンタルバリューから乖離したプライシングに注目する諸研究である。市場が不完全な場合、銀行はショックを完全にヘッジすることが出来ず、金融システムは効率的な流動性を供給するのを停止することがありうるとする立場である。具体的な研究としては、流動性の枯渇[Allen and Carletti 2013]や、フラッシュ・クラッシュ[Kirilenko et al. 2011]などが挙げられる。これに関連して、投げ売りのイベントスタディとモデルシミュレーション[Sakiyama and Yamada 2016]なども存在する。

Sovereign Default に係る研究

2011年のギリシャリシャ危機によりクローズアップされた側面であり、国債によるクレジットリスクの存在を示したものである。調査研究として、[Baltas 2013]や[大野 2012]が挙げられる。

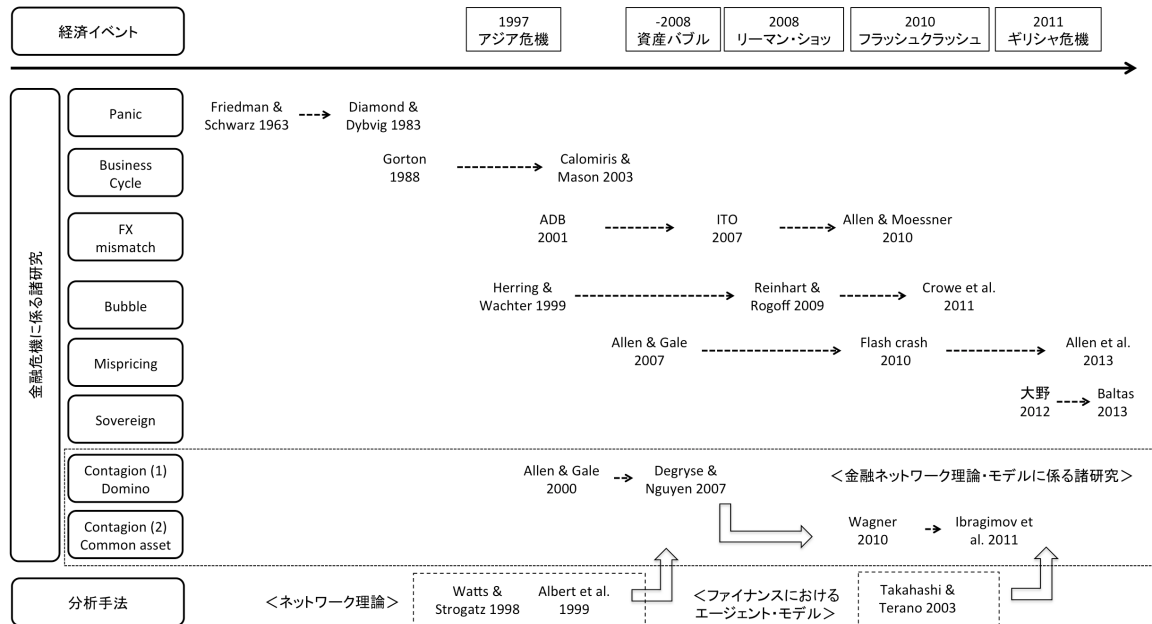
Contagion に係る研究

ひとつの金融機関の危険状態が他の機関に広がり、ひいてはシステミックな危機に繋がるとするものであり、特にリーマン・ショック後に注目された。取引チャネルを通じた金融機関の破綻の連鎖を扱うものであり、古典的な「ドミノ効果」のフォーカスするものであるといえる。先駆的な研究としては、[Allen and Gale 2000]や[Freixas et al. 2000]があり、実証研究としては、[Degryse and Nguyen 2007]、更にシミュレーション研究が存在する。一方、“Contagion”の別側面として、共通する資産を保有することで、個々の金融機関のポートフォリオの同質性が高まり、ひいてはシステミックな危機に繋がるとする諸研究も存在する。これらは「共通資産効果」フォーカスするものであり、[Wagner 2010], [Ibragimov et al. 2011], [Allen et al. 2012]などが挙げられる。ドミノ効果と共通資産効果に係る諸研究については、次節で詳述する。

その他の研究

最後に、システミックな危機をマーケットにおける参加者の思考や振る舞いの伝播として把握する研究が存在する[Hirshleifer and Teoh 2009]。当該研究は、上記”Panic”や”Mispricing”などを統合した視点と解釈できる。

表 2-1 金融危機に係る諸研究 ([Kaufman 2000], [Allen and Carletti 2013]より作成)。



2.2.2 想定する時定数

前項で分類したリスクの類型につき、それぞれが想定する時定数を大まかに整理する(表 2-2)。もちろん、全ての研究が下表の枠内に収まる訳ではないが、例えば”Mispricing”で述べたフラッシュ・クラッシュに係る研究などは、非常に短期間における対象資産の急激な価格変動を取り扱うため、(1)数秒～数時間程度として整理した。一方で、”Business cycle”や”FX mismatch”, ”Bubble”に係る諸研究は、経済のファンダメンタルズにフォーカスしたものであることから、(3) (四半期や半期等) 会計期間を隔てた状況の変化を扱うものとした。その他、”Panic”や”Contagion”に係る諸研究は、(1)と(3)の間、(2)数日～数ヶ月程度とした。 ”Contagion”に係る研究は、取引チャネルを通じた金融機関の破綻の連鎖を扱うものであり、日次の資金繰りタイミングが時定数であると解釈できる。

表 2-2 リスクの類型毎に想定される時定数

時定数	リスクの類型
(1) 数秒～数時間程度	Mispricing (例:フラッシュ・クラッシュ)
(2) 数日～数ヶ月程度	Panic, Contagion
(3) (四半期・半期等)会計期間	Business cycle, FX mismatch, Bubble

以上、本節では、金融危機に係る諸研究を概観し、リスクの種類の観点から分類を試みた。本研究では、リーマン・ショック時に見られた、各種取引チャネルを通じた金融機関の連鎖的な破綻[Allen and Carletti 2013]の問題にアプローチすることから、リスクの種類として、数日～数ヶ月程度を時定数とする”Contagion”に注目し、次節で述べる金融ネットワークモデルを取り扱うこととする。

2.3 金融ネットワークモデル

2.3.1 概要

金融ネットワークとは、各ノードを金融機関、エッジを金融取引関係として描写したネットワークをいう[藤井&高岡 2010][小林 2014]。この場合のエッジには、資金のフローや株式の持ち合い関係及び CDS の取引関係など、様々な金融取引が想定される。金融ネットワークモデルでは、銀行のバランスシートをモデル化した上で、特定のノードが破綻したときにその影響がインターバンクネットワークを通じ、どのように波及するか分析を行う。

2.3.2 ネットワーク理論

金融ネットワークモデルが興隆する背景として、2000 年前後に入って急速に進展したネットワーク理論の存在がある[小林 2014]。代表的な研究としては、「6 次の隔たり」のようなスモールワールド現象を単純なネットワークモデルで示した[Watts and Strogatz 1998]や、スケールフリー性が現れる優先的選択モデルを提示した[Barabasi and Albert 1999]が挙げられ、社会科学の多様な分野で研究が進められている。経済・金融分野においても、ネットワーク分析を用いてインターバンクネットワークの取引構造を検証した研究として、[Muller 2003]や[稲岡 et al. 2003], [Iori et al. 2008], [今久保 and 副島 2008]が存在する。

[今久保 and 副島 2008]では、日銀ネットの決済データを用いてインターバンクの資金取引ネットワークを分析している。当該研究では、1997 年 12 月と 2005 年 12 月の 2 時点についてコール資金の流れを観察しており、短資会社がハブとして仲介役を果たすスター型ネットワークから、他のさまざまな経路が存在する分散型ネットワークに変化していたことを示している。また、2005 年のネットワーク構造を検証すると、資金取引ネットワーク全体の中核を構成するサブ・ネットワークが存在していることを示している。当該中核部には、短資会社、大手行、資産管理系信託、信託銀行、大手証券会社、系統金融機関、一部大手地域銀行が含まれており、これら構成員の間ではリンクが非常に密になっており、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状態となっている、としている。

2.3.3 ドミノ効果に注目する諸研究

当該研究は、特定の金融機関の破綻が、インターバンクネットワークを通じ、どのように波及していくかに注目するものである。理論・実証研究としては、前述の[Allen and Gale 2000], [Freixas et al. 2000], [Degryse and Nguyen 2007]がある。また、シミュレーションモデルとして良く取り上げられるものに、Eisenberg-Noe モデル[Eisenberg and Noe 2001], GK モデル[Gai & Kapadia 2007], NYYA モデル[Nier, Yang, Yorulmazer & Alentorn 2008], May-Arinaminpathy モデル[May and Arinaminpathy 2010], その他, [Haldane 2011] [Upper 2011] などがある。更に、3.2.2 項で触れるエージェント・ベース・モデルに展開したものとして、[Suzuki et al. 2015]や[橋本 and 倉橋 2015], [橋本 and 倉橋 2016]が挙げられる。[橋本 and 倉橋 2015]は、May-Arinaminpathy モデルをベースに、銀行間資金取引と（公的）資金援助の問題にアプローチしている。また、[橋本 and 倉橋 2016]は、Eisenberg-Noe モデルをベースに、預金支払準備率と自己資本比率による破綻連鎖のシミュレーションを行っている。

ドミノ効果による知見の一つは、当該効果による連鎖的な破綻は、あまり生じないとするものである。前節で参照した[Kaufman 2000]では、Chain Reaction について、歴史的にあまり起きていないとしている。また、[Shin 2010]は、ドミノ効果を取り入れたモデルでは、破綻の連鎖はあまり生じないと結論付けている。

一方、リーマン・ショックに代表されるような金融危機は、銀行間貸借にフォーカスするドミノ効果だけでは描写しきれていないのではないかと指摘があり[小林 2014], 保有する共通した市場性資産の目減りによる自己資本の毀損についての重要性が指摘されている [藤井&高岡 2010] [Allen and Carletti 2013]。その観点を考慮したものが、次項で取り扱う共通資産効果に注目する諸研究である。

2.3.4 共通資産効果に注目する諸研究

当該研究は、共通のリスク要因にさらされている金融機関のポートフォリオの問題を捉えるため、複数の金融機関の資産が同時に毀損する事態を考え、その影響を分析するものである。共通リスクに起因する同時ショックを取り扱う研究としては、前述の[Wagner 2010]や[Ibragimov et al. 2011], [Allen et al. 2012]に加え、[Elsinger et al. 2006], [藤井 & 高岡 2010], [Caccioli et al. 2014], [貝塚 et al. 2016]などが挙げられる。また、エージェント・ベース・モデルに展開したものとして、[Georg 2013]がある。

共通資産効果による研究の課題としては、a) 金融ネットワークの構造の特徴（現実の取引データ等との接地）、b) 資産価格の変動を取り込み、主体の意思決定と関連付けたモデルの構築、などが挙げられている[藤井&高岡 2010]。前述の[Georg 2013]では、銀行ポートフォリオと共通資産へのショックが取り扱われており、金融機関エージェントの投資行動を

モデル化するなど、課題の一部への接近が認められる。但し、本研究の研究目的である、金融規制・運営制約を明示的に取り扱った研究はあまりないものとする。

以上、表 2-3 に金融ネットワークモデルの分類を行った。本研究では、金融機関間の資金貸借を通じたドミノ的な破綻（ドミノ効果）のみならず、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻（共通資産効果）をも取り扱うこととする。

表 2-3 金融ネットワークモデルの分類

アプローチ		理論・実証研究, Computational Model		Agent based Model	主な知見/ 研究のフォーカス
Contagion	ドミノ 効果	Allen & Gale 2000 Frexias et al. 2000 Degryse & Nguyen 2007	Eisenberg & Noe 2001 Gai & Kapadia 2007 Nier et al. 2008 May & Arinaminpathy 2010	橋本 & 倉橋 2015 Suzuki et al. 2015 André et al. 2015	・システミックリスクが生じる可能性は低い
	共通 資産 効果	Wagner 2010 Ibragimov et al. 2011 Allen et al. 2012	Elsinger et al. 2006 藤井&高岡 2010 Caccioli et al. 2014	Georg 2013	・金融規制等の明示的 取り扱いはない

2.4 金融システム

本研究で対象とするステークホルダーは、インターバンクネットワークの主要金融機関とする。本節では一般的な金融システムの定義を確認した後、本研究の対象を説明する。

2.4.1 一般的な定義

金融システムは、1) 最終的な資金の借り手である政府や家計、非金融企業(=最終的借手)、2) 最終的な資金の貸し手である家計や年金基金、保険会社、海外、3)資金の仲介を行う銀行部門、からなる。目的としては、家計など最終的貸し手の資金を、実物的な経済活動を行う企業など最終的借り手に必要な資金の調達につなげることが挙げられる。ここで、最終的貸し手は金融仲介機関を通じ、最終的借り手に対して間接的に資金を供給できる。

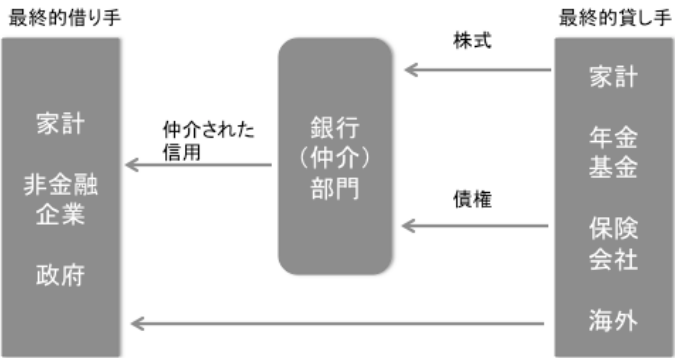


図 2-1 金融システムのステークホルダーと信用の流れ([Shin 2010]を基に作成)

2.4.2 本研究における定義

現代の金融システムの特徴としては、資金が貯蓄者から最終的借り手に到達する過程で、多くのバランスシートを通過し、金融仲介機関の連鎖が形成されることが挙げられる。リーマン・ショックに端を発する金融危機は、そういった金融仲介機関の連鎖が円滑に機能しなくなったという問題に起因するとの指摘がある[Shin 10]。従って、本研究では、金融仲介機関の連鎖、具体的にはインターバンクネットワークを分析対象とする(図 2-2 矢印(1))。

また、本研究では、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻（共通資産効果）を取り扱う。その観点から、a) 保有有価証券残高は、主要金融機関だけで過半を超える [全銀協資料 a], b) 本邦における主要金融機関はほぼ完全結合[今久保&野副 2008]である、という事実を踏まえ、インターバンクネットワークの中でも更に主要金融機関に注目することとする(図 2-2 矢印(2))。

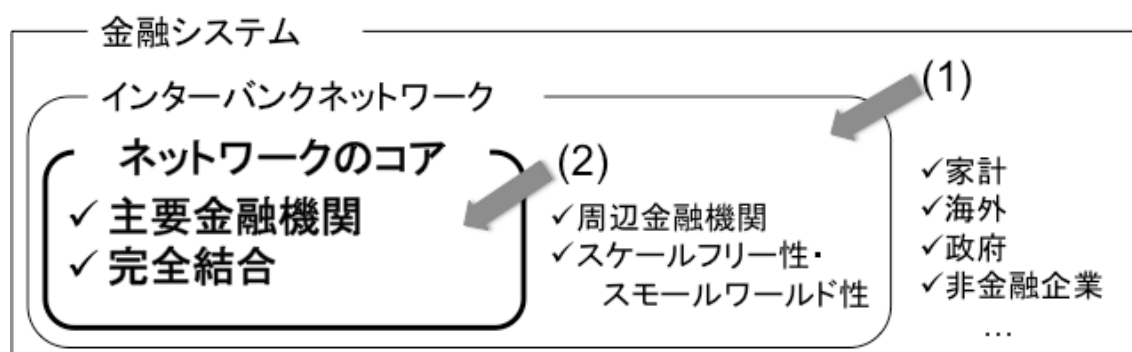


図 2-2 本研究の対象とするステークホルダー：インターバンクネットワークの主要金融機関

2.5 金融規制・運営制約

2.5.1 概要

今次の金融危機への対応としては、グローバルな金融規制改革として、G20 首脳会合ソウルサミット(2010.11)では、自己資本比率規制の強化やバーゼルⅢ（レバレッジ比率規制及び流動性規制）、同カンヌサミット(2011.11)では、システム上重要な金融機関（G-SIFIs）に対処するための政策手段が議論された。また、各国独自の規制導入の動きもあり、例えば、米国のボルカールール（銀行グループでの自己勘定取引及び PE ファンド取引を禁止、2013.12）や、英国の銀行改革法案（自己資本規制の更なる強化）、欧州の自己勘定トレーディング業務等の別法人への分離、などが挙げられる。このように、金融危機の再発防止に向け、金融機関に対して多くの規制導入がなされ/検討され、幅広い分野で金融規制改革が進展している[佐原 2015]。

バーゼル諸規制		G-SIBs	
自己資本比率規制 レバレッジ比率規制 流動性規制(LCR) トレーディング勘定の抜本的見直し(FRTB) バンキング勘定の金利リスク(IRRBB)		G-SIBsサーチャージ 総損失吸収能力(TLAC)	
		証券・市場規則	
		OTCデリバティブ・証拠金規制 シャドーバンキング・証券化・MMF	

図 2-3 主要な国際金融規制のメニュー ([佐原 2015]を基に作成)

一方で、一般的な企業運営における要請として、持続的な成長への経営改革の必要性が叫ばれている。具体的には、効率的経営の指標である ROE を重視する流れがある[伊藤 他 2014]。また、本研究の対象とする金融機関では、会計期間中における実現損益や総合損益に対して目標値が設定されていることが一般的であると考えられ、そのような予算を達成するインセンティブが存在する。

2.5.2 課題

個別規制の影響に係る諸研究では、[金融調査研究会 2010]が纏めているように、レバレッジ比率と自己資本比率規制の相互作用に係る理論研究[Kiema and Jokivuolle 2014]が、銀行間ポートフォリオの同質性を高めてしまう可能性を指摘している。また、流動性と自己資本比率との関係に係る実証研究[Distinguin et al. 2013]では、流動性の測定方法を精査する必要性を主張している。更に、確率モデルを用いたボルカールールの影響分析[Chung and Keppo 2012]では、自己勘定トレーディング禁止による銀行収益の圧迫は、株価の低下をもたらすだけでなく、バッファとなる自己資本を減少させる可能性を示唆している。

また、リーマン・ショック後の金融危機に係る理論研究では、一部金融機関の流動性ショックで発生した市場価格変動が、他の金融機関の自己資本制約に抵触し資産売却を加速させる可能性が指摘されている[Krishnamurthy 2010]。また、ROE 重視の風潮や VaR によるリスク管理が金融機関の投融資行動を規定し、バランスシートの変動幅を拡大させ、連鎖破綻の可能性を高めているとされている[Shin 2010]。

更に、上記のような個別規制の影響に留まらず、調整されない複数の規制が部分最適化し、合成の誤謬が生じることによって金融システムが却って弱体化、不安定化するおそれがある[金融調査研究会 2010]との指摘もある。

2.5.3 本研究で取り上げる金融規制・運営制約

前項で述べた金融規制に係る課題を受けて、本研究では、市場性資産要因の破綻や、金融機関のレバレッジ増幅の問題の要因となった各種金融規制を取り扱う。また、一般的な

企業運営における要請として求められている運営制約も勘案する。具体的には、本研究では、自己資本比率制約や VaR 制約、バランスシート制約、ROE・予算制約を代表的な金融規制・運営制約として取り上げることとし（図 2-4）、3.3.4 項にて、モデルにおける具体的な表現を記載する。

なお、自己資本比率は各金融機関の財務状況を表し、一般に自己資本比率が悪化すると当局監督上の措置（早期是正措置等）[金融庁資料 a]が採られるものである。また、VaR は、市場性資産の価格変動に伴い、各金融機関が保有する有価証券により発生する最大損失見積もるものであり、一般市場性リスクを表すものである。更に、バランスシート制約は、バンキング勘定の金利リスク規制等、金融機関のバランスシートサイズやリスク量を抑制する諸規制を単純化して取り扱うものである。最後に、ROE・予算は収益性や経営効率性を表す指標である。

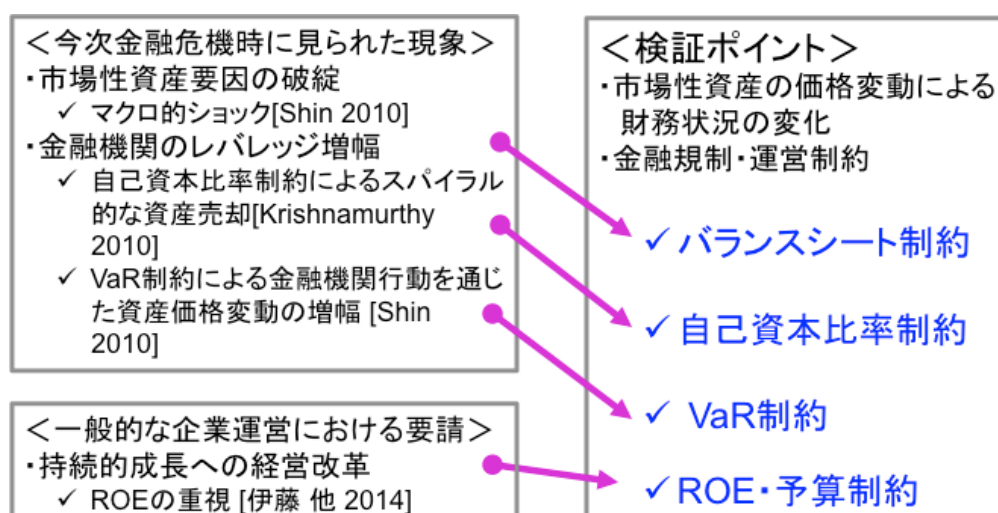


図 2-4 本研究で取り上げる金融規制・運営制約

2.6 中央銀行の政策

2.6.1 概要

金融危機以降、実体経済と金融市場、金融機関行動の相互連関を意識して、金融システム全体の抱えるリスクを分析するというマクロプルーデンス重視が大きな国際的潮流となっている[日本銀行 2011][小立 2011]。ここで、プルーデンス政策とは、金融機関の破綻防止や金融システムの安定化に向けた諸政策のことをいう。また、ミクロプルーデンスが、個々の金融機関が健全経営を行えばその集合体である金融システムは安定するため、規制・監督はそうしたミクロ・レベルの健全性実現に焦点をあてることで対応するという考え方であるのに対し、マクロプルーデンスとは、実体経済と金融市場、金融機関行動の相互連関を意識して、金融システム全体の抱えるリスクを分析し、そうした評価に基づいて

意識的な制度設計，政策対応を行っていく必要があるという考え方をいう[白川 2009]．

その中では，中央銀行の役割強化として，1)金融システムの安定性に関する分析・評価，2)金融システム安定に必要な政策の実施（「最後の貸し手」としての流動性供給），3)金融政策運営におけるマクロブルーデンスの視点の重視，等の議論がなされている（表 2-4）．

表 2-4 マクロブルーデンスの観点からの中央銀行の取り組み（[日本銀行 2011]を基に作成）

項目	具体策(抜粋)
(1) 金融システムの安定性に関する分析・評価	・金融システムの頑健性評価(マクロ・ストレステスト) ・実体経済と金融システムの時系列的な相互作用の把握 ・マクロ指標等を用いた金融不均衡の状況の把握 ・金融資本市場から観察されるリスクの把握
(2) ミクロブルーデンスに基づく調査・モニタリングとの連携	・マクロブルーデンスとミクロブルーデンスの運営面での連携強化
(3) 金融システム安定に必要な政策の実施	・最後の貸し手としての流動性の供給 (いわゆる特融4原則に基づく，担保徴求なしの資金供給を含む)
(4) 決済システムの運営とオーバーサイト	・本邦決済システムの中核をなす「日銀ネット」の提供 ・民間が運営する決済システムのモニタリング(「オーバーサイト」)
(5) 金融政策運営	・金融政策運営におけるマクロブルーデンスの視点の重視 ・金融システム面のリスクを運営方針「第二の柱」で点検

2.6.2 課題

先般の金融危機時には，機能不全に陥った金融システムやインターバンクネットワークに対し，中央銀行が積極的に資金供給を実施した．「最後の貸し手」としての流動性供給に対しては，危機の拡大を抑えることができたとの見方がある[Nakaso 2013]一方，中央銀行が資金仲介市場の役割を代替することは，中央銀行のバランスシート拡大等，別のリスクをもたらすとの意見もある[Caruana 2011]．

また，表 2-4 の金融政策運営の点では，欧州や本邦において，金融緩和策の一環として，マイナス金利政策が採られた．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．このように，マクロブルーデンス政策と金融政策の間の相互作用やどのように調和を取っていくかについては，未だ議論が十分と言えず，将来的に重要なリサーチクエッションになるとする見方がある[Galati 2012]．

2.6.3 本研究で取り上げる中央銀行の政策

本研究では，中央銀行の政策に係る課題を受けて，本研究では，最後の貸し手としての

資金供給の問題を取り扱う。また、金融政策運営の一部として、マイナス金利政策が金融機関の余資運用におけるリスク投資拡大の問題を取り扱う。

2.7 用語の定義等

2.7.1 破綻の態様

2.3.3 項で触れたドミノ効果に係る諸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を「連鎖的破綻」とする。他方、2.3.4 項で触れた共通資産効果に係る諸研究でフォーカスされている、保有する市場性資産の価格下落による個別金融機関の財務状況の悪化が引き起こす破綻を「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(図 2-5)。

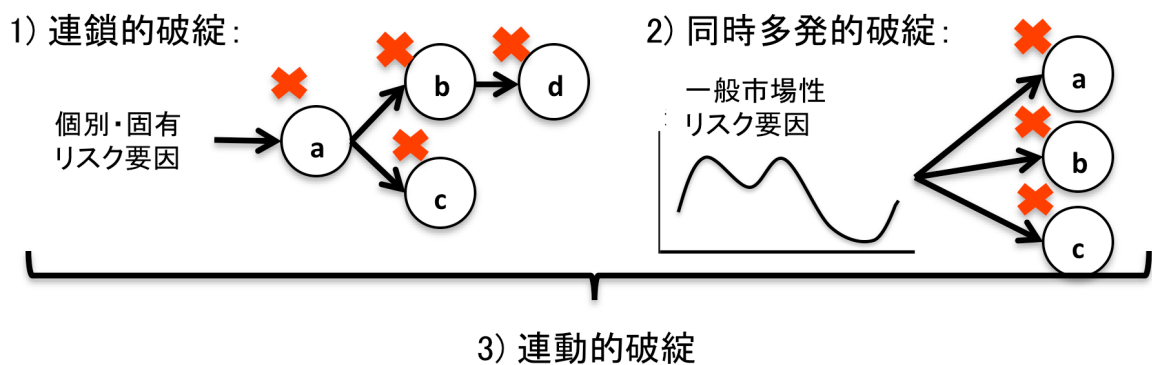


図 2-5 破綻の態様(図中の a～d は金融機関を表す)。ドミノ効果による連鎖的破綻のみならず、共通資産効果によるショックが引き起こす同時多発的破綻にも注目。

2.7.2 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[日本銀行 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、本研究では、a)と b)が投資行動、c)が資金繰り行動によると考える。

2.7.2.1 投資行動

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、これらがバランスシートの資産サイドの大きな割合を占めている。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 Committee on Banking Supervision 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、本研究では、市場性資産の価格変動を通じた金融機関の財務状況の変化に注目する観点から、投資行動にフォーカスを当て、融資行動については陽に取り扱わないものとする。

2.7.2.2 資金繰り行動（平時）

金融機関では、日々の投融资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（図 2-6 (a)）。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・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。

2.7.2.3 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[福田ほか 2003]（図 2-6 (b)）。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。

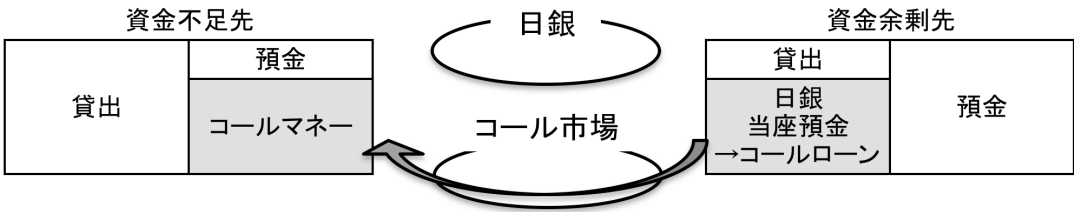


図 2-6 (a) 平時での資金繰り行動：資金余剰先はコール市場に資金を放出，資金不足先はそこから資金調達を行う[福田ほか，2003]。

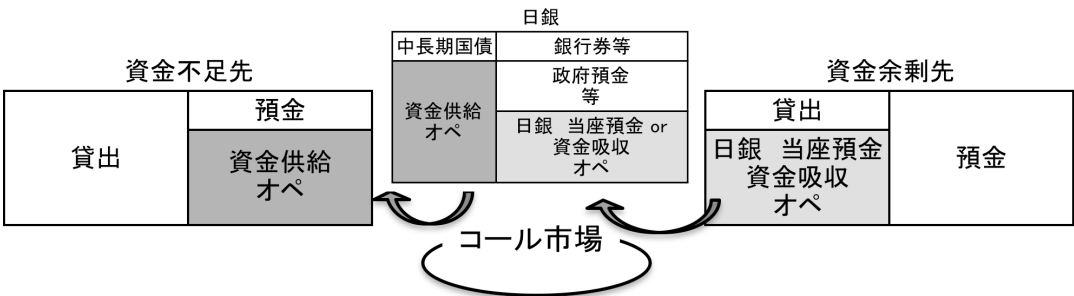


図 2-6 (b) 緩和的環境下での資金繰り行動：資金余剰先はコール市場に資金を放出せず，日銀当座預金（当預）を積み上げ，資金不足先は日銀の資金供給オペによる資金調達割合が高まる [福田ほか，2003]。

2.7.3 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、3.2.1 項で触れる May-Arinaminpathy モデル[May and Arinaminpathy 2010]や、3.2.2 節で触れる Georg モデル[Georg 2013]で取り扱われているものと同様である。但し、Georg モデルでは、銀行間貸借のみならず、預金やリスク資産の実現損益の確率的変動によっても債務超過が生じる設定となっている。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[金融庁資料 b]。3)は、3.2.1 節で触れる Bech モデル[Bech and Garratt 2012]を参考に、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）を想定した破綻メカニズムである。破綻要因を先行研究との対比で図式化したものが図 2-7 である。

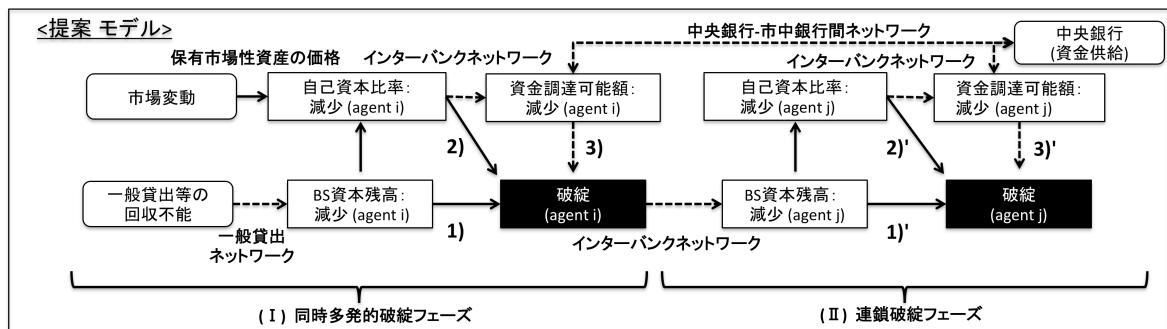


図 2-7 提案モデルにおける破綻要因：1)資本残高の減少，2)自己資本比率の減少，3)資金繰りの失敗

第3章 研究の方法論とモデル

3.1 はじめに

本章では、先行シミュレーション研究の方法論を概観した上で、提案するモデルの説明を行う。提案モデルは、共通資産への価格ショックを織り込んだ Georg [Georg2013]の破綻伝播モデルを基に、資金流動性による破綻を陽に表現し、金融規制・運営制約や中央銀行の政策を扱えるよう、必要な拡張を行うものである。また、実験に用いる基本的なパラメータや市場性資産の価格時系列の与え方について述べる。更に、本研究の補題に係る検証実験を行い、ログ分析の結果と現実のケースの対応について確認する。

3.2 分析手法

3.2.1 数理モデル

3.2.1.1 May-Arinaminpathy モデル

金融ネットワークモデルの代表的なモデルである、May-Arinaminpathy モデル[May and Arinaminpathy 2010]を以下に述べる。当該モデルは、”Contagion”のドミノ効果に注目した「ドミノモデル」の一つと解釈できる。本モデルは、図 3-1 のような単純化したバランスシートを持ち、貸借関係のある銀行や一般貸出先の破綻を外的ショックとして与える。当該損失が、インターバンクネットワークでの銀行間貸借を通じて伝播する様子を分析するものである。

ドミノモデルに係る諸研究の知見としては、[Kaufman 2000]や[Shin 2010]が指摘するように、システミックリスクが生じる可能性は低いというのが挙げられる。なお、本研究の目的である金融規制・運営制約や金融政策の影響にフォーカスしたものはあまりない。

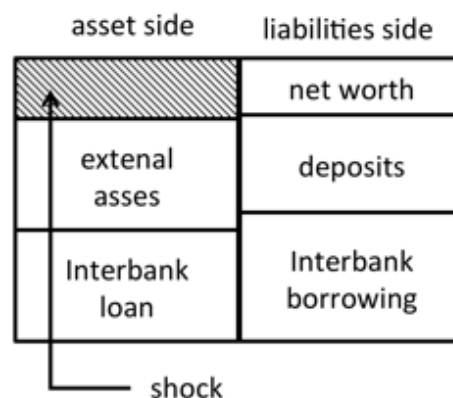


図 3-1 May-Arinaminpathy モデルのバランスシート ([May and Arinaminpathy 2010]を基に作成)

3.2.1.2 Bech モデル

インターバンクネットワークにおける支払システムが、大きいスケールのショック（オペレーショナルな問題，参加者の行動変化，等）によって，資金不足になるかを示すモデルである[Bech and Garratt 2012]．知見としては，スムーズな支払システムが壊れうる，または，支払についての協調が崩壊するか否かは，a) 与えるショックのサイズ，b) 流動性コストと支払いコストの比較感（支払コストが上がると協調は維持されない），c) 銀行システムのネットワーク構造，によるとしている．

本モデルは，「Intraday の流動性マネジメントゲーム」，つまり金融危機時における調達行動の数理モデルとしても解釈可能であると考ええる．当該モデルのアプローチは，リーマン・ショック時に生じた「流動性の枯渇」[Brunnermeier 09]の問題に接近可能であると考えられるため，提案モデルの金融機関エージェントに係る資金繰り行動をモデル化する際に参考する．

3.2.2 エージェント・ベース・モデル

3.2.2.1 ファイナンスにおけるエージェント・ベース・モデル

エージェント・ベース・モデルとは，内部状態と意思決定能力を備えた複数の主体（＝エージェント）の立場から，創発的な現象をボトムアップ的にモデル化するアプローチをいう[寺野 2004]．当該モデルを用いた「エージェントシミュレーション」により，社会や経済，組織といった人間を主体として含むような複雑適応系の分析を行おうとするものである．

従来の社会科学分野における研究では，経営学に見られる事例分析による接近か，または，経済学で使われる数理モデルを適用したアプローチが主であった．これに対し，エージェント・ベース・モデル/シミュレーションは，事例から抽出されたパラメタを使い，エージェント毎に計算していく点で，事例分析と数理モデルの中間に位置している．分析対象の記述と理論展開に加えて，プログラムの実行という点で，記述されたモデルの検証が可能となっている[寺野 2003]．

ファイナンス分野における適用事例としては，金融市場のミクロ・マクロリンクを扱った[高橋 2003]が先駆的である．ファイナンスに適用する意味としては，例えば，経済学分野で用いられる DSGE モデルを補完できる可能性が指摘されている[The Economist 2010]．エージェント・ベース・モデルは，一般均衡や効率的市場を前提としておらず，多様なエージェントの行動ルールを記述でき，エージェントの行動が直接的な相互作用で決定・変更されるという特徴がある．更にボトムアップのシミュレーションを行えるという点で，バブルやクラッシュといった均衡から外れた事象をより適切に取り扱うことができる可能性がある．

金融ネットワークモデルの諸研究においては，ドミノ効果に注目した[Suzuki et al. 2015]

や[橋本 and 倉橋 2015], [橋本 and 倉橋 2016], 共通資産効果に注目した[Georg 2013]などが存在する.

3.2.2.2 Georg モデル

本モデルは、銀行システムのネットワーク上におけるエージェント・ベース・モデルであり、“Contagion”の共通資産効果を表現したものと解釈できる[Georg 2013]. 当該モデルにおいて、銀行群は、自身のリスク及び流動性選好によって、リスク資産と無リスクの超過準備からなるポートフォリオの最適化を行い (=投資行動の表現)、資金不足主体と余剰主体 (及び中央銀行) との間で短期資金の運用と調達を行う (=資金繰り行動の表現). また、各銀行は、インターバンク貸借によって繋がっており (=ドミノ効果の表現)、家計による預金の引出しを確率論的に取り扱っている (一部マクロ経済との接合を図るもの解釈). 更に、危機の伝播に対し、中央銀行の資金供給を取り扱っている. 主な知見は以下の 3 点である.

1) 危機下において、中央銀行の介入は、インターバンクネットワークの経済的危険状態や流動性の不足状態を緩和する効果がある. 一方、中央銀行の資金供給は、インターバンクの流動性をクラウドディング・アウトする結果に導く可能性がある, 2) インターバンクネットワークのトポロジーが銀行システムの長期的安定性の分析にインパクトを与えうる, 3) インターバンクでの安定性については、(ドミノ的な) 破綻伝播よりも共通的ショックがより大きな脅威となる.

本モデルでは、投資行動を、リスク資産と無リスク資産の間のポートフォリオ調整・選好として記述しており、現実の金融機関が直面する各種金融規制・運営制約 (例えば VaR 制約や ROE・予算制約) 下での市場性資産投資を表現できているとは言い難い. また、調達行動は、資金繰りにおける相手方の財務状況・信用状況の勘案による意思決定を陽に取り扱っておらず、リーマン・ショック時にみられた流動性枯渇 [Brunnermeier 2009] やナイトの不確実性下での市場参加者の行動 [Krishnamurthy 2011] といった事象を表現できているとは言い難い. 更に、破綻パスは、a) 預金, b) リスク資産の実現損益の確率的変動, c) インターバンクでの貸借 (=ドミノモデルと同様) を通じた債務超過に限られており、金融危機時に見られる資金繰り破綻、資金流動性の問題を陽に取り扱えているとは言い難い.

3.2.3 提案モデル

提案モデルは、先行の金融ネットワークモデルと同様、各金融機関が単純化したバランスシートを持つ. インターバンクネットワークを通じて短期資金貸借を行い、当該資金を通じたドミノ的な破綻を扱う. また、共通資産への価格ショックを織り込んだ破綻伝播モデルのフレームワークを用い、各金融機関は外的に与えられる市場性資産の価格変動によ

り財務状況が変化し、当該の効果による破綻の可能性を表現する。加えて、資金流動性のマネジメントゲームと解釈できる先行研究の数値モデルを参考とし、資金流動性による破綻を陽に表現する。更に、各金融機関は投資行動及び調達行動を行う。先行研究のモデルでは、金融規制・運営制約や中央銀行の政策を分析する仕組みが不十分であると考えため、本研究では、エージェントシミュレーションの枠組みを用い、投資行動・調達行動に対する直接的・間接的な制御メカニズムとして上記制約・政策を取り扱い、そのために必要な拡張を行う。前述の研究目的に照らし、必要となる方法論上の論点・項目を列挙する：

(1) ”Contagion”の要因

本研究では、金融機関間の資金貸借を通じたドミノ的な破綻のみならず、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻にも注目する。従って、1) 保有する市場性資産のマーケット変動、及び 2) 市場性資産の投資行動を表現する。

(2) エージェント間の相互作用・破綻要因

資金流動性による破綻を陽に表現するため、貸借関係による破綻連鎖だけでなく、自己資本比率要因や資金繰り要因による破綻を勘案する。

(3) 金融規制・運営制約や中央銀行の政策の考慮

金融規制・運営制約や中央銀行の政策を分析する仕組みを組み込むため、各種規制・運営制約、中央銀行の政策下での金融機関行動や金融システムへの影響を記述する。

3.3 モデルの説明

3.3.1 概要

エージェントは市中金融機関であり、バランスシート計数と財務計数（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、市中金融機関間の短期運用・調達を行う「インターバンクネットワーク」を持つ。加えて、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（「中央銀行-市中銀行間ネットワーク」）。その上で、各金融機関は ALM 運営、すなわち 1) 投資行動（市場性資産の増減に係る意思決定）と 2) 資金繰り行動（市中金融機関又は中央銀行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。本研究では、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、Georg モデル[Georg 2013]を基にした拡張モデルを提案する。当該モデルは Georg 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、インターバンク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（ショック）を観察することができる、
- 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、この繰り返り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）の悪化を表現する、
- 2) インターバンクネットワークでの資金繰り環境の悪化による資金繰り破綻を記述する、
- 3) 金融機関の投資行動や資金繰り行動を制約する金融規制や運営制約を表現する。

といった点が異なる。このように、金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、インターバンクネットワークにおける金融機関の破綻連鎖の増幅・拡大に与える影響を分析しようとするエージェント・ベース・モデルとなっている（図3-2）。

なお、2.7.2 項でも述べた通り、本研究では市場性資産への投資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ものとしており、この点がモデルの一般性の限界となる。但し、市中金融機関の貸出の回収不能等、個別・固有要因により破綻が連鎖的に伝播する様子を表現した、いわゆる「ドミノモデル」では、システミックな危機が発生する可能性は小さいとされており[Shin 2010]、融資行動を捨象したとしても得られた結果の大筋は変わらないものとする。

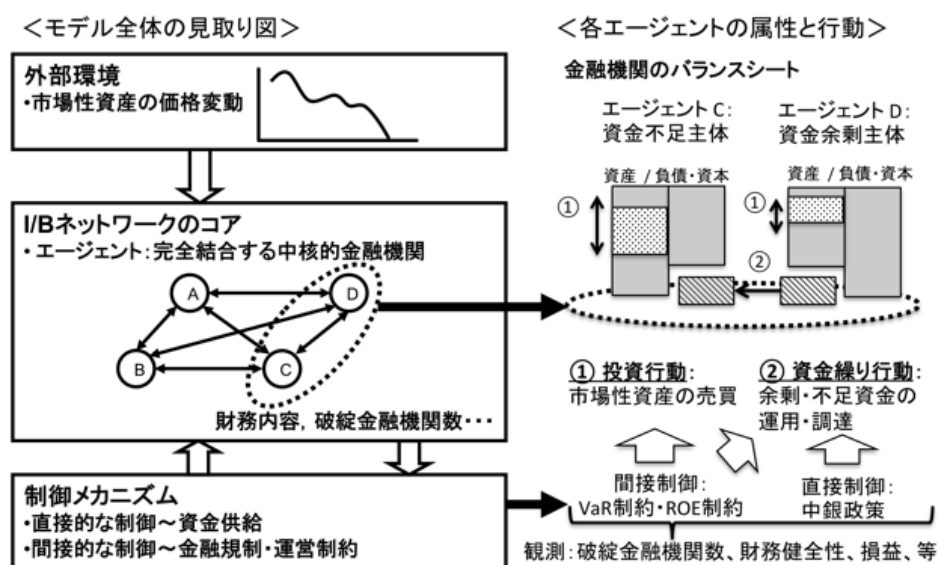


図3-2 モデルの概要

3.3.2 エージェント

3.3.2.1 市中金融機関

May-Arinaminpathy モデル同様、市中の金融機関

$$a_i(i=1, \dots, N), A=\{a_i|i=1, \dots, N\}$$

は単純化したバランスシートを持つ(表 3-1). 構成科目は, 現預金 CA_i , 市場性資産 $MA_i^{\text{簿価}}$, 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 である.

このとき, 資金ギャップは,

$$Gap_i = D_i + E_i - CA_i - nonMA_i - MA_i^{\text{簿価}}$$

と表され, 資金過不足の状態は, 出し手

$$C_{surplus} = \{a_j | Gap_j \geq 0\}$$

及び, 取り手

$$C_{shortage} = \{a_k | Gap_k < 0\}$$

と分類できる. なお, シミュレーション過程において, 取り手が出し手(又はその逆)に変化することはないものとする.

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:

$$\begin{aligned} UP_i &= MA_i^{t \text{ 時価}} - MA_i^{\text{簿価}} \\ CAR_i &= (E_i + UP_i) / (nonMA_i + MA_i^{\text{簿価}}) \\ IP_i &= \beta * MA_i^{\text{簿価}} + \gamma * nonMA_i \\ ROE_i &= IP_i / E_i \end{aligned}$$

ここで, β と γ はそれぞれ市場・非市場性資産収益率であり, $MA_i^{t \text{ 時価}} = MA_i^{\text{簿価}} / P_0 * P_t$, P_t : step t での市場性資産の市場価格である. なお, 自己資本比率の算出にあたっては, 新国際基準に準拠し, 保有する市場性資産の評価損益を組み入れることとしている. この点の議論については, 付録 2.4 節を参照のこと.

更に, 金融機関は最低要求自己資本比率($CAR\text{-demand}$)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.

表 3-1 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 $MA^{\text{簿価}}$	中銀借入 LF
中銀預金 DF	短期調達 SF
短期運用 SI	

3.3.2.2 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(表 3-2). 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.

$$DF^{CB} = \sum_j DF_j = \sum_j \text{ceil}(\text{Gap}_j * r_{DF})$$

$$LF_k = \text{floor}(DF^{CB} * \text{Gap}_k / \sum_k \text{Gap}_k)$$

$$LF^{CB} = \sum_k LF_k$$

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

$$\text{Gap}'_i = \text{Gap}_i + LF_i + SF_i - DF_i - SI_i$$

ここで、 $a_{-j} \in C^{\text{surplus}}$ 、 $a_{-k} \in C^{\text{shortage}}$ 、 $a_{-i} \in A$ であり、 $\text{ceil}(x) = \min\{x \leq n \mid n \in \mathbb{Z}\}$ 、 $\text{floor}(x) = \max\{x \geq n \mid n \in \mathbb{Z}\}$ である. なお、 $\mathbb{Z}$ は整数の集合である.

表 3-2 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}	

3.3.3 ネットワーク

3.3.3.1 インターバンクネットワーク

金融機関 a_{-i} は、自己と繋がりのある金融機関

$$W_i^{\text{Interbank}} = \{a_{-p} \mid m_{ip} = 1\}$$

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、 $M = (m_{ip})$: インターバンクネットワークの隣接行列である.

3.3.3.2 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.

3.3.4 金融規制・運営制約の表現

本モデルにおける金融規制及び運営制約は以下のように表現する．

自己資本比率制約

(意味) 自己資本比率が一定値を下回ると，市場性資産を売却するインセンティブ

(定式化) 自己資本比率 $CAR_i > \alpha(\text{const.})$ (i : agent)

VaR 制約

(意味) リスク管理の観点から，市場性資産の保有上限を規定

(定式化) $VaR_i < \text{資本残高 } E_i * \text{ 割当率 } \theta(\text{const.})$

ROE・予算制約

(意味) インカム収益増大を狙い，市場性資産を積み増すインセンティブ

(定式化) 市場性資産残高 $MA_i^{\text{簿価}} * \text{ 市場性資産収益率 } \beta(\text{const.}) > \text{ 目標予算 } y_i(\text{const.})$

3.3.5 中央銀行の政策の表現

中銀による資金供給

(意味) 資金余剰主体が中銀に積み上げる預金である中銀預金の一部を，中銀が資金不足主体へ中銀借入として供給する

(定式化) 3.3.2.2 参照．

3.3.6 エージェントの投資行動

概要

金融機関は，各種運営制約（a）自己資本比率制約，b) VaR 制約，c) ROE・予算制約），d) 自己の相場観に従い，step 毎に市場性資産への投資意思決定を行う．本稿では，a) 及び b) を絶対的な制約とした上で，d) 相場観を勘案し，c) を満たすように市場性資産の購入，売却，残高維持の意思決定を行う．ここで，当該資産残高の範囲は，

$$0 < MA_i^{\text{簿価}} \leq MA_i^{\text{簿価}} + CA_i$$

とする．なお，非市場性資産の残高は一定とし，融資行動は取り扱わない．

運営制約・相場観の定式化

各種制約及び相場観は表 3-3 のように定義する．ここで，VaR とは，金融商品のポートフォリオを，現時点からある一定の期間保有するときに，リスク・ファクターの変動により，ある一定の確率で生じ得る最大損失額のことをいう[安藤 2004]．算出方法のうち，本

論文では分散共分散法に準拠し，10 日間保有($n=10$)，99%信頼水準($\eta=2.33$)における市場性資産価格の最大損失リターンを算出し，保有する市場性資産の簿価($MA_{簿価}$)に乗じること
で，最大損失額を求めている：

$$VaR_i = MA_i * \sqrt{n} * (r_{avg} - \eta * \sigma_m)$$

また， r_{avg} 及び σ_m は P_t の日次リターン(サンプル期間： m 日)から算出する．ここで，

$$r_{avg} = \frac{1}{m} \sum P_t / P_{t-1}$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{m} \sum (P_t / P_{t-1} - r_{avg})^2}$$

である．

表 3-3 金融規制・運営制約と相場観の定式化.

項目	定式化
a) 自己資本比率制約	自己資本比率 $CAR_i >$ 最低要求自己資本比率 $CAR-demand_i$
b) VaR制約	市場性資産リスク $VaR_i <$ 資本残高 $E_i * \text{割当率 } \theta$
c) ROE・予算制約	インカム収益 $IP_i >$ 予算目標 y_i
d) 相場観	$f_i =$ 期待リターン r_{exp} - リスク回避度 λ_i + 市場リスク σ_m

投資意思決定

上述の制約を受け，フローチャートに従って購入，売却，残高維持を決定する（図 3-3）．

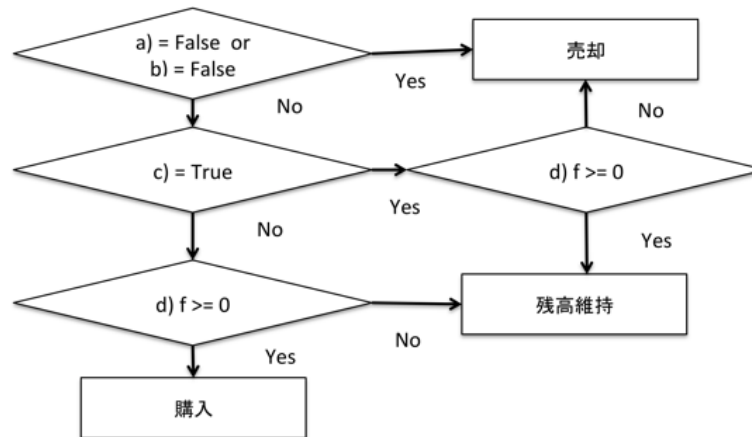


図 3-3 投資意思決定に係るフローチャート.

ここで，a)またはb)を満たさない場合は強制売却，c)を満たし d) $f < 0$ の場合も売却，c)を満たし d) $f >= 0$ の場合は残高維持，c)を満たさず d) $f < 0$ の場合も現状維持，c)を満たさず d) $f >= 0$ の場合は購入とする．なお，4.6 節で行う余資運用行動に係る実験では，相場観 f と中銀の当座預金利率 r_{depo} の大小関係を比較し，余資を市場性資産に投資するか ($f >= r_{depo}$)，中銀当座預金に預け入れるか ($f < r_{depo}$)，意思決定を行うものとする．

売買量の決定

投資意思決定において、購入又は売却が選択された場合、以下の通り売買量を決定する。

(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、差分の ι %を購入する(buy_amount)。

(売却量)： 自己資本比率制約及び VaR 制約に抵触したことによる売却の場合、各々の制約を満たすに足る分だけ市場性資産を売却する。また、ROE・予算制約に抵触したことによる売却の場合、当該予算を超える分につき、市場性資産を売却する($sell_amount$)。

実現損益の発生

売却に際しては、決定された分量だけ時価で取引が成立したものと見做し、以下の通り実現損益(CP^k)が発生する。ここで、 a_i の k 回目の売却量を $sell_amount_t^k$ とする。

$$CP_t^k = (MA_{i,t}^{\text{時価}} - MA_i^{\text{簿価}}) / MA_i^{\text{簿価}} * sell_amount_t^k$$

3.3.7 エージェントの資金繰り行動

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以下の各 step に従って行われる（具体例は図 3-4 を参照）。

(step1) 取り手 a_k が出し手 a_j へ $amount_k > 0$ の資金オーダー

$$Order(k, j, amount_k)$$

を生成する。なお、 a_k 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、 $(a_k, a_j) \in C_{surplus} \times C_{shortage}$, δ : minimum order size $\in \mathbb{Z}$,

$amount_k^j = \max(\text{ceil}(\text{Gap}_k' / \#(C_{surplus} \cap W_k^{\text{Interbank}})), \delta) \in \mathbb{Z}$ である。なお、 $\mathbb{Z}$ は整数の集合である。

(Step2) a_j は a_k 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：

$$CAR_k \geq CAR_demand_j \quad \text{and}$$

$$amount_k^j \leq \text{Gap}_j' - \sum amount_j^{\text{other done-orders}}$$

・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。

(Step1') 非約定の場合、 a_k は 1) オーダー先を他の出し手 a_q 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。

$$\text{Order}(k, j, \text{amount}_k^j) \rightarrow \text{Order}'(k, q, \text{amount}_k^q)$$

$$\text{Order}(k, j, \text{amount}_k^j) \rightarrow \text{Order}'(k, j, \text{amount}'_{k^j})$$

$$\text{Order}(k, j, \text{amount}_k^j) \rightarrow \text{Order}'(k, q, \text{amount}'_{k^q})$$

ここで, $a_q \in C_{\text{surplus}} \cap W_{\text{Interbank}}$, $\text{amount}'_k = \text{floor}(\text{amount}_k / 2) \geq \delta$ である.

(Step3) a_k が $\text{Gap}_k' \geq 0$ を満たせない場合, 破綻する.

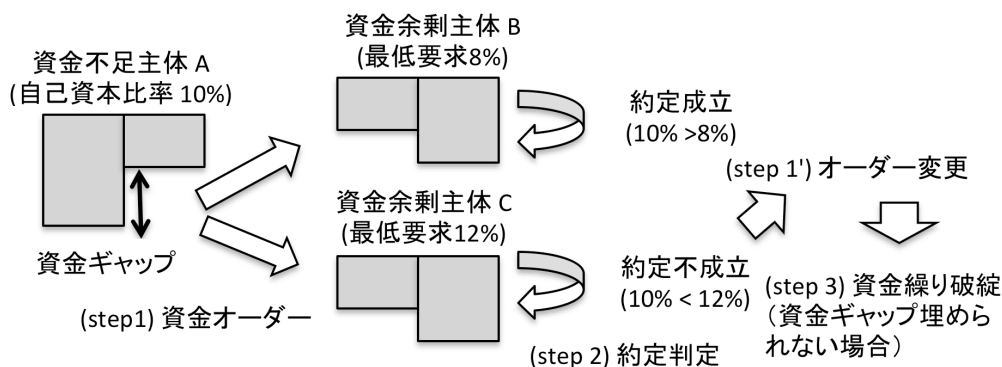


図 3-4 資金繰り行動に係る出し手と取り手の意思決定 (例)

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・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_i は同じ資金過不足状態の a_s との間で w 回を上限に, 以下のようにオーダーを生成する:

$$\text{Order}(i, s, \text{amount}_i^s) \text{ or } \text{Order}(s, i, \text{amount}_s^i)$$

出し手・取り手間の短期調達・運用:

a_j は a_k との間で w 回を上限に, 以下のようにオーダーを生成する:

$$\text{Order}(j, k, \text{amount}_j^k)$$

ここで, $\text{amount}_j^k = \text{ceil}((CA_j + MA_j^{\text{簿価}} + \text{non}MA_j) * \epsilon)$,

$w = \text{floor}((CA_j + MA_j^{\text{簿価}} + \text{non}MA_j) * \zeta / \text{amount}_j^k)$ である。

3.3.8 破綻要因

同時多発的破綻

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。

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

また、同一 step で上記要因により破綻した金融機関数を N_b とし、

$$N_b / N \geq \kappa$$

のケースを「同時多発的破綻」と定義する。

連鎖的破綻

金融機関 a_i 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_y 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。

$$E_y' = E_y - SI_y^i$$

このとき、

$$E_y' < 0 \text{ or } Gap_y' < 0 \text{ or } CAR_y < \alpha$$

となる金融機関 a_y も破綻して連鎖的破綻となる。

3.3.9 モデルの限界・制約

提案モデルの境界条件を以下の通り整理する(図 3-5)。提案モデルが取り扱える事柄は、1)外部環境として所与の市場性資産の価格時系列を受け、インターバンクネットワークの主要金融機関(コア)の財務状況が変化し、投資行動や資金繰り行動を行うこと、2)投資行動や資金繰り行動は、金融規制や運営制約、中央銀行の資金供給などにより制御されること、3)その結果は、各金融機関の財務状況や破綻金融機関数などにより観測されること(下図黒矢印部分)。他方、提案モデルが捨象した事柄は、1)インターバンクネットワークの周辺部の金融機関の存在、2)金融機関の行動が市場性資産の価格変動に与える影響、3)インターバンクネットワークが実体経済に与える相互的な影響、である(下図白抜矢印部分)。また、4)市場性資産を1つに限定している、5)融資行動を行わない、などの単純化も行っている。

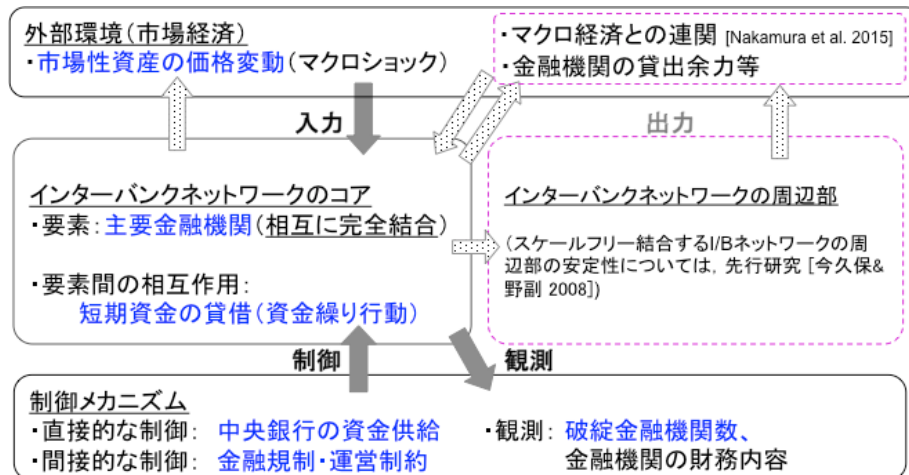


図 3-5 モデルの境界条件：取り扱える事柄（黒矢印部分）と捨象した事柄（白抜矢印部分）

以下、捨象・単純化をしたことの影響について考察する。

1) インターバンクネットワークの周辺部の金融機関の存在の捨象

周辺部の金融機関の存在は捨象することとしたが、これは本研究の目的に鑑み、2.4.2 項の議論を踏まえたものである。なお、スケールフリー結合するインターバンクネットワークの周辺部の安定性については、[今久保&野副 2008]に言及がある。

2) 金融機関の行動が市場性資産の価格変動に与える影響の捨象

金融機関エージェントの行動は、金融市場の価格変動を増大させる方向で機能すると考えられる。このことは、ファンダメンタルバリューにおいては見られないボラティリティの挙動が生じることを見出した先行研究[高橋 and 寺野 2002; Takahashi and Terano 2003; Takahashi 2013]からも想定される。この場合、市場資産の上昇時には、金融機関の総合損益や自己資本比率にポジティブなフィードバックがかかると推測される。

一方、多少の価格下落を契機として、自己資本比率下落と価格下落のスパイラルが発生し、最終的には今回のシミュレーションで得られる知見を強化する（連動的破綻が起こりやすくなる）結果になると思われる。この点に関しては、考察に留まることがモデルの限界である。

3) インターバンクネットワークが実体経済に与える相互的な影響

[Suzuki et al. 2015] は破綻の伝播モデルとマクロ経済の連関についてアプローチしている。本研究でも、実体経済に与える相互的な影響を対象とすることで、リーマン・ショックなどに代表される金融危機がインターバンクネットワークから実体経済へ波及する様子をシミュレーションできるようになるものと考えられるが、研究目的から、まずは2.4.2 項で議論した対象（インターバンクネットワークの主要金融機関）を分析する。

4) 市場性資産を1つに限定したこと

提案モデルは銀行勘定を想定したものとなっている。市場性資産は国債や社債等、金利感応的なものが多く、金利リスクのコントロールに関心があるとされている[日銀 1995]。そのため、評価損益の増減は金利水準の変化により粗くではあるが見積もれると考えられる。また、本実験で想定する大幅相場下落時は、市場性資産の資産間相関が高くなる（＝「全資産売り」のような）状況も散見されるため[日本銀行 2013]、この点からも、市場性資産を1つに限定したことはモデル上の限界となるものの、得られる結果の大筋は変わらないものとする。

5) 融資行動を行わないとしたことについて

相場大幅下落時には、市中金融機関の貸出回収不能等、個別・固有要因により、更なる市中金融機関の財務状況悪化が見込まれる。しかし、当該個別・固有要因により破綻が連鎖的に伝播する様子を表現した、いわゆる「ドミノモデル」では、システミックな危機が発生する可能性は小さいとされている[Shin 2010]。

実験結果に対しては、連動的破綻数の多寡という点では一定の影響があると想定されるものの、融資行動を捨象したとしても得られた結果の大筋は変わらないものとする。

3.4 基本的な実験パラメタ等について

3.4.1 基本的な実験パラメタの設定

シミュレーションに用いるエージェントモデルの基本的なパラメタを表 3-4(a)に示す。後ほど行う実験では、パラメタ設定が当該基本パラメタと異なる箇所のみ言及する。

なお、金融機関数は 20 社(#1～#20, 出し手と取り手が各々 10 社)とした。本シミュレーションでは、主要行間における連動的破綻についての研究を目的とするところから、a) 本邦銀行の保有有価証券残高は都市銀行及び信託銀行計 9 行で過半数を占めること[全銀協 2015 a], b) 本邦で保有有価証券の評価損益が自己資本比率に影響する国際基準行は 16 行であること[全銀協 2015 b], c) 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 社であること[FSB 2016], を勘案し、当該ネットワークサイズとした。この点、a)～c)については、付録の 2.2 節～2.4 節に詳細のリスト等を掲載している。

また、インターバンクネットワークは完全グラフとした。[今久保 and 副島 2008]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繋がっているとされているためである。なお、本シミュレーションでは、上記のような主要金融機関・中核的ネットワークを対象としているため、ネットワーク全体への一般化については今後の課題としたい。

加えて、最低要求自己資本比率を 0-3%とした。資金の出し手が取り手に求める自己資本比率の水準を国際統一基準(8%)としたケースよりも更に緩やかな条件でも連動的破綻が起こりうることを示すものである。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：

$$(\text{資金ギャップ調整}) = \Sigma(\text{non}MA_i + MA_i^{\text{簿価}}) * \mu / \# C_{\text{surplus}}$$

更に、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、 α : 0%, β : 1.2%, γ : 1.0%, δ : 1, ε : 1%, ζ : 5%, η : 2.33, θ : 50%,

$i: 10\%$, $\kappa: 10\%$, $\mu: 10\%$, $n: 10(\text{days})$, $m: 16(\text{days})$ とした。パラメタの設定根拠としては、1) モデルの挙動確認で実際に破綻を起こすようなパラメタ、2) 市場の実測値を参考として設定されたパラメタ又は定義より導かれたパラメタ、がある(表3-4(b))。1)については、実験において連動破綻を生じるパラメタの設定値が現実的な範囲から逸脱していないかどうかを確認した上で定めている。

表 3-4 (a) シミュレーションに用いるパラメタセット。

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 $W^{interbank}$	完全グラフ
現預金 CA	10-25, 一様分布(int)
非市場性資産 $nonMA$	100, 一定値(int)
市場性資産 MA	20-50, 一様分布(int)
資金ギャップ 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 $CAR-demand$	0%-3%, 一様分布(double)
リスク回避度 λ	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_{DF}	0% (コール市場), 30% (緩和的環境)

表3-4 (b) モデルパラメータの設定根拠。

記号	内容・パラメタ名	数値	根拠等
α	自己資本比率水準	0%	定義 (マイナス水準)
β	市場性資産収益率	1.2%	市場実測(各国10年債水準*1)
γ	非市場性資産収益率	1.0%	市場実測(貸出約定平均金利*2)
δ	最低オーダー量	1	予備実験
ε	その他短期調達・運用オーダー量	1%	予備実験
ζ	その他短期調達・運用割合	5%	予備実験
η	99%信頼水準	2.33	定義(VaR 99%信頼水準)
θ	割当率	50%	予備実験
ι	分散投資割合	10%	予備実験
κ	同時多発的破綻の定義	10%	定義(複数社: $N * \iota$)
μ	資金ギャップ調整	10%	市場実測(取り手・出し手平残*3)

*1) 本邦10年債: 0.270%, 米国10年債: 2.269%, 独国10年債: 0.629%(2015.12末基準), *2) 貸出約定平均金利(国内銀行総合)新規: 0.927%, ストック: 1.110% (出所: 「貸出約定平均金利の推移 2015年12月分」, 日銀), *3) (出所: コール市場の貸し手と借り手(2008年7月)平均残高[黒田・加藤 2009]から算出)

3.4.2 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。なお、価格変動は、ドリフト項と幾

何ブラウン運動の項からなる確率微分方程式として記述されることを用いている．これは，金融工学や数理ファイナンスの分野では標準的なモデルとして用いられているものであり[森平 1996]，本稿ではこの確率微分方程式を差分化させて計算機実験を行った：

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

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[%]， 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， $\Delta t=1/250$, $T=125$ (銀行勘定の予算・決算期間である 6 ヶ月を想定)とした．また，足許の各国 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，10 万回の試行を行い，最終 step の市場性資産価格で降順ソートを行い，1)25,000 位(以下，「小幅上昇ケース」とする)，2)100,000 位(以下，「大幅下落ケース」とする)の価格時系列を採用する(図 3-6)．

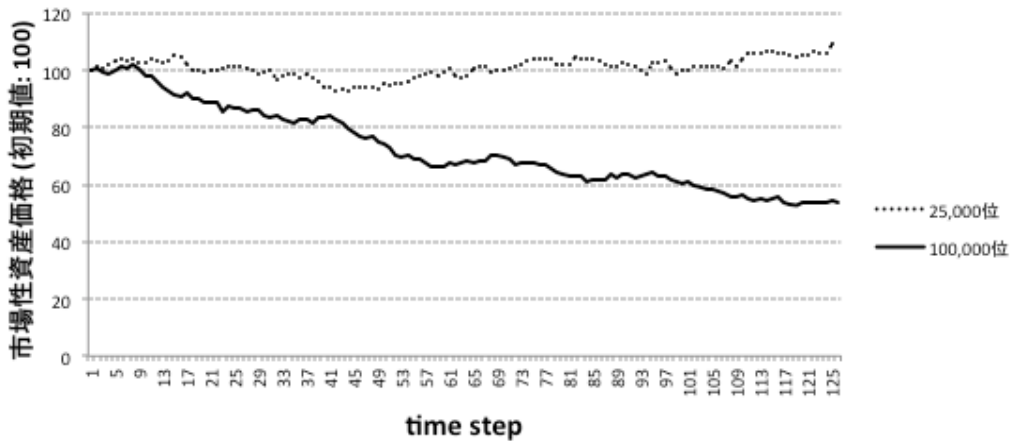


図 3-6 本シミュレーションで採用した市場性資産の価格時系列．小幅上昇ケース(25,000 位)と大幅下落ケース(100,000 位)を採用．

3.5 モデルの評価

本研究では，各種金融規制・運営制約や中央銀行の政策が金融システムの安定性に与える影響を分析する．ここで，金融システムの安定性を表すマクロ指標として，1) 破綻金融機関数 (=残存金融機関数)，2) 各金融機関の総合損益の総計，を採用する．ここで，総合損益(TP_i)を以下の通り定義する：

$$TP_i = UP_i + IP_i + \sum_k CP_i^k$$

また，市場性資産の流動性に係るマクロ指標としては，[富安 2016]を参照し，各金融機関の市場性資産の売買量を採用し，以下のように総売買量として定義する：

$$Gross_amount_t = \sum_i buy_amount_t^i + \sum_i |sell_amount_t^i|$$

3.6 補題の検証実験

3.6.1 実験の目的

本実験では、1.3 節で定義した補題（「市場性資産の下落により、主要金融機関における破綻の連鎖は生じえないのか？」）についての検証を行う。投資行動は行わない、最も基本的なケースを想定し、次項で述べる小規模なネットワークにおいて、連動的破綻が生じるか確認を行う（図 3-7）。

✓ 本研究で取り扱う問題	<実験目的>
✓(補題) 市場性資産の下落により、主要金融機関における破綻の連鎖は生じえないのか？	基本実験
✓(1) 金融規制・運営制約によって上記(補題)のリスク(破綻数等)は低減されるか？	① 投資行動は行わない最も基本的なケース ② 小規模なネットワークにおいて、連動的破綻が生じるか検証する
✓(2) 中央銀行の政策によって上記(補題)のリスク(破綻数)はどこに転化するか？	※連動的破綻： 同時多発的破綻及び連鎖的破綻

図 3-7 本実験の目的：1.3 節で定義した補題の検証を行う。

3.6.2 パラメタ設定

当該シミュレーションに用いたパラメタ設定は下表の通りである：

表 3-5 基本実験におけるパラメタ設定

パラメタ名	Value
金融機関数 N	10 (出し手: 5, 取り手: 5)
資金ギャップ Gap	絶対値が資産の8-10%, 一様分布(int)
自己資本比率 CAR	19-22%, 一様分布(double)
最低要求自己資本比率 $CAR-demand$	4-8%, 一様分布(double)
積上比率 r_{DF}	0%

3.6.3 シミュレーション結果：全体的な傾向

ランダムシードを 10 回変えて行ったシミュレーションの結果を示す。図 3-8 は各試行における残存金融機関数の推移を示したものである。

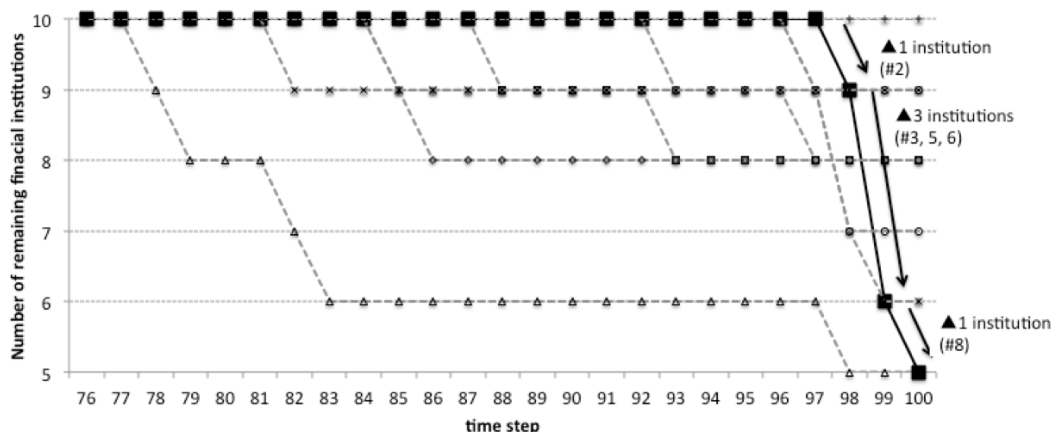


図 3-8 10 試行における残存金融機関数の推移（横軸：step 数，縦軸：残存金融機関数，76step 以降）。実線で示した”試行 5”に注目。98step で金融機関#2 が破綻，その後 99step で連鎖的な破綻が生じている。

ここで，実線で示された”試行 5”の結果に注目する。当該試行では，98step 目に 1 社(金融機関#2)が破綻し，99step 目に 3 社が連鎖的に破綻し（金融機関#3, 5, 6），100stepm 目に更に 1 社(金融機関#8)が破綻する結果となった。次節では，98step 目で破綻した金融機関#2 に注目する。

3.6.4 ログ分析(1)：同時多発的破綻

市場性資産の下落に伴う金融機関#2 の自己資本比率と調達可能な資金余剰主体数を示したものが図 3-9 である。自己資本比率の減少に伴い，調達可能な余剰主体数は減少し，98step 目では，1 社を残すのみとなった。当該 step では，調達可能額が+8 に対して，#2 の資金ギャップが -11 となり，#2 は破綻となった。

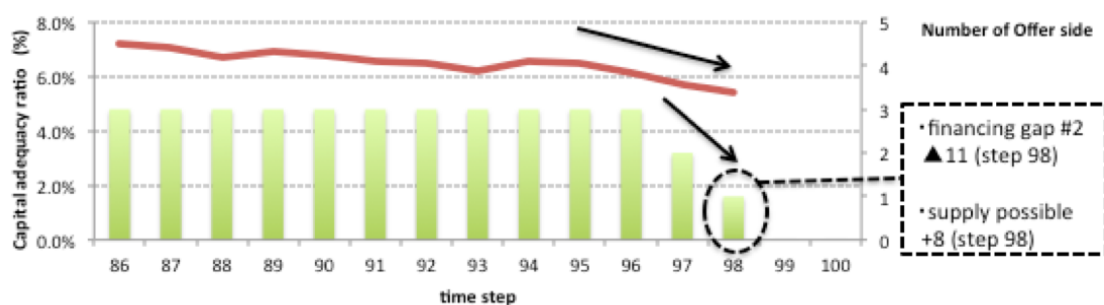


図 3-9 98step における金融機関#2 の破綻：資金繰り要因によるもの。#2 の自己資本比率(with line) と#2 が調達可能な資金余剰主体数(with bar).自己資本比率の減少に伴い，調達可能な余剰主体数は減少。98step で調達可能額が+8 に対して，#2 の資金ギャップが -11 となり，#2 は破綻となった。

3.6.5 ログ分析(2)：連鎖的破綻

99step 目では，前 step での金融機関#2 の破綻を受け，初めに#6 の破綻が生じている。図

3-10 は、#6 の自己資本比率(with line) と資産残高 (with bar)の推移を表したものである。#2 の破綻に伴い、#6 の#2 に対する短期運用は回収不可能となった。そのため、#6 は当該短期運用を資本残高からキャンセルアウトする必要が生じ、自己資本比率がマイナスとなり、破綻することとなった。この#6 の破綻を発端に、#3, #5 も資金繰り破綻となり、99 step 目では連鎖的破綻が観測された。

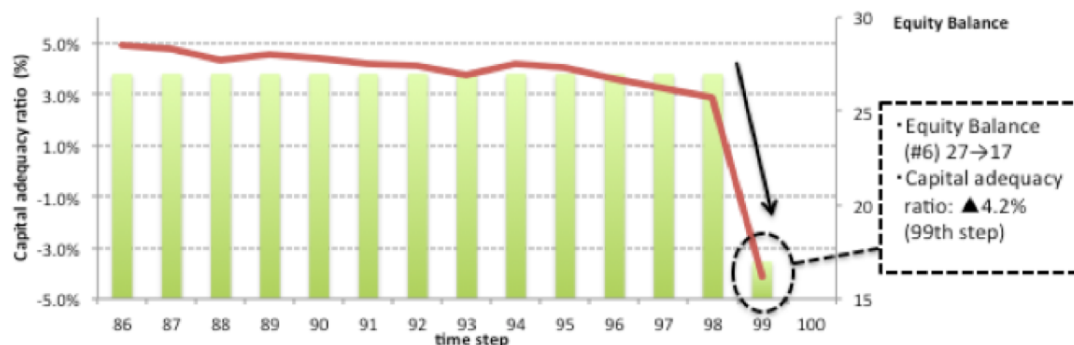


図 3-10 99step における金融機関#6 の破綻:自己資本比率要因によるもの。#6 の自己資本比率(with line) と資産残高 (with bar). 前 step での金融機関#2 の破綻により、#6 の#2 に対する短期運用は回収不可能となった。そのため、#6 は当該短期運用を資本残高からキャンセルアウトし、自己資本比率はマイナスとなり、破綻となった。

3.6.6 現実のケースとの対応

ログ分析を通じたシミュレーション結果と現実の現象との一致性については以下の通りである：

(1) 資金繰り要因による金融機関破綻

提案モデルでは、金融機関の財務状況悪化（自己資本比率低下）を通じた資金繰り失敗による破綻が観測された。これは、リーマン・ブラザーズ破綻後、金融機関がお互いの財務状況について相互不信に陥り、短期金融市場にて、資金が枯渇や大幅なリスク・プレミアムを付した取引が行われた事例[林 2010]に対応する。

また、リーマン・ショックにて、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、資金調達が困難な状況となり、多くの金融機関で流動性リスクが顕在化したとする先行文献[Brunnermeier 2009]とも整合的な結果であると考えられる。

(2) 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・信用状況の悪化による破綻の連鎖

提案モデルでは、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・信用状況の悪化による破綻の連鎖が観測された。これは、貸借関係がなくとも金融機関の保有する市場性資産により連鎖破綻が起きうるとする先行研究[Shin 2010]と対応するものと考えられる。

3.6.7 本実験のまとめ

以下、本実験のまとめを行う。2.3.3 項で述べた通り、ドミノ効果を取り扱った先行研究では、破綻の連鎖は起こりにくいとされていた。また、実際のリーマン・ショック時にも、大規模な破綻の連鎖は観測されなかった。本実験では、[Georg 2013]のモデル・フレームワークを用い、実証研究や実測値を用いたパラメタを設定し、シミュレーションを行った。その結果、3.6.3 項から 3.6.5 項で示した通り、市場性資産の下落により、同時多発的破綻と連鎖的破綻が生じており、主要金融機関における連動的連鎖が生起しうることが示された(1.3 節で設定した補題の反証)。当該シミュレーション結果については、リーマン・ショック時にみられた現実の現象との一致も確認された。

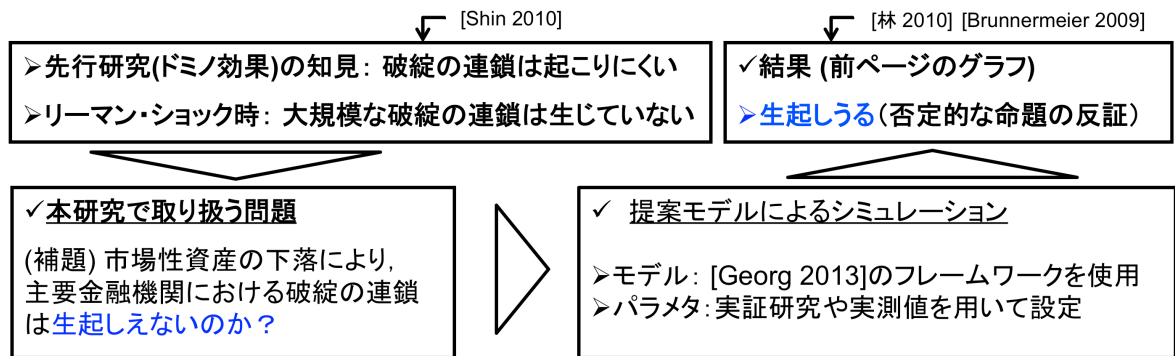


図 3-11 補題の検証実験の結果：ドミノ効果を扱うモデルでは起こりにくいとされた、連動的破綻が生じる様子を確認した。

第4章 分析

4.1 はじめに

本章では、前章で提案したモデルを用い、金融機関を取り巻く金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、インターバンクネットワークの安定性に与える影響を分析する。

4.2 実験の構成

実験の構成は以下の通りである（図 4-1）。1.3 節で設定した、本研究で取り扱う問題(1)「金融規制・運営制約によってリスク（破綻数等）は低減されるか？」に対する実験を応用実験 I -a, I -b で行う。また、(2)「中央銀行の政策によってリスク（破綻数等）はどこに転化するか？」に対する実験を応用実験 II -a, II -b で行う。

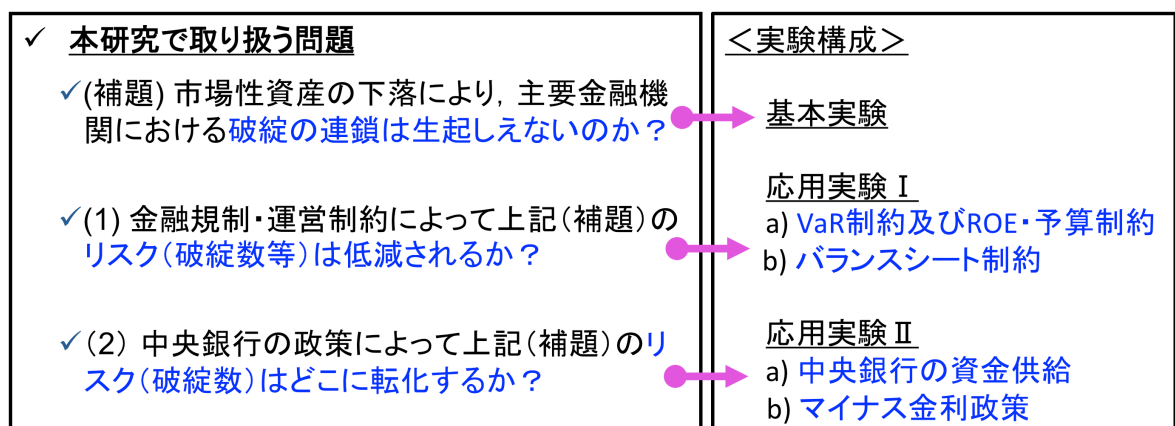


図 4-1 応用実験の構成：1.3 節で設定した問題(1)(2)に対する検証を行う。

詳細については、以下の通りである：

(1) 応用実験 I -a：VaR 制約及び ROE・予算制約が連動的破綻に与える影響

- ・操作変数：金融規制・運営制約 a) VaR 制約及び ROE・予算制約有, b) 同制約無
- ・市場性資産の価格時系列：

実験 1) モデルの挙動確認：大幅下落ケース

実験 2) 運営制約の有無による影響分析：①大幅下落ケース、②小幅上昇ケース

- ・最低要求自己資本比率 *CAR-demand*: 0-4%, 一様分布(double)

(2) 応用実験 I -b：バランスシート制約が連動的破綻に与える影響

- ・操作変数：市場性資産のパラメタ発生レンジにつき制限を加えないケース(a)バランスシ

ート制約なし：市場性資産 MA 20-60, 現預金 CA 10-40), 加えるケース (b) バランスシート制約あり：市場性資産 MA 20-30, 現預金 CA 10-20)

- ・市場性資産の価格時系列：

実験 モデルの挙動確認：大幅下落ケース

(3) 応用実験 II-a：中央銀行の資金供給が連動的破綻に与える影響

- ・操作変数：中央銀行による資金供給 a)無(積上比率:0%), b)有(同:30%)
- ・市場性資産の価格時系列：

実験 モデルの挙動確認：大幅下落ケース

(4) 応用実験 II-b：マイナス金利政策が連動的破綻に与える影響

- ・操作変数：中央銀行による資金供給 a)無(積上比率 r_{DF} :0%), b)有(同:30%)
- ・市場性資産の価格時系列：

実験 モデルの挙動確認：大幅下落ケース

4.3 応用実験 I-a：VaR 制約及び ROE・予算制約が連動的破綻に与える影響

4.3.1 実験 1) モデルの挙動分析

個別試行・VaR 制約及び ROE・予算制約有のケース

価格時系列として大幅下落ケースを採用し，VaR+ROE 制約を課した上で，表 3-4(a)で示したパラメタを 1 セット発生させてシミュレーションを実施した．残存金融機関数をプロットしたものが図 4-2 である．最終 step における残存金融機関数は，全 20 社中 6 社となっている．103 step 目では 2 社の同時多発的破綻が，105 step 目では 10 社が絡む連鎖的破綻が生じている．次節では，当該連鎖的破綻の発端となった金融機関#14 の投資行動と財務状況を確認する．対比のために，非破綻金融機関#3 についても同様の確認を行う．

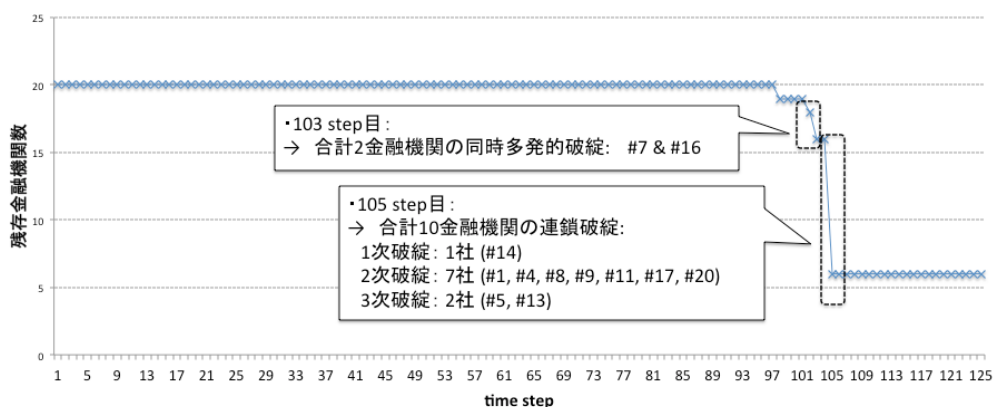


図 4-2 VaR 制約及び ROE・予算制約を課した個別試行における残存金融機関数の推移．103 step 目には

2社の同時多発的破綻、105 step 目には10社の連鎖的破綻が生じている。

金融機関#14の投資行動と財務状況

ここでは、シミュレーションで得られた典型的なログデータについての分析を行う[寺野2010]。特定ログデータの分析はエージェントシミュレーションにおいてモデル構造を識別する上での一般的な手法であるとされている[Grimm et al. 2005] [Grimm et al. 2006] [Grimm et al. 2010]。分析対象のログにおいて破綻した金融機関#14の市場性資産の残高と自己資本比率の推移を示したものが図4-3である。

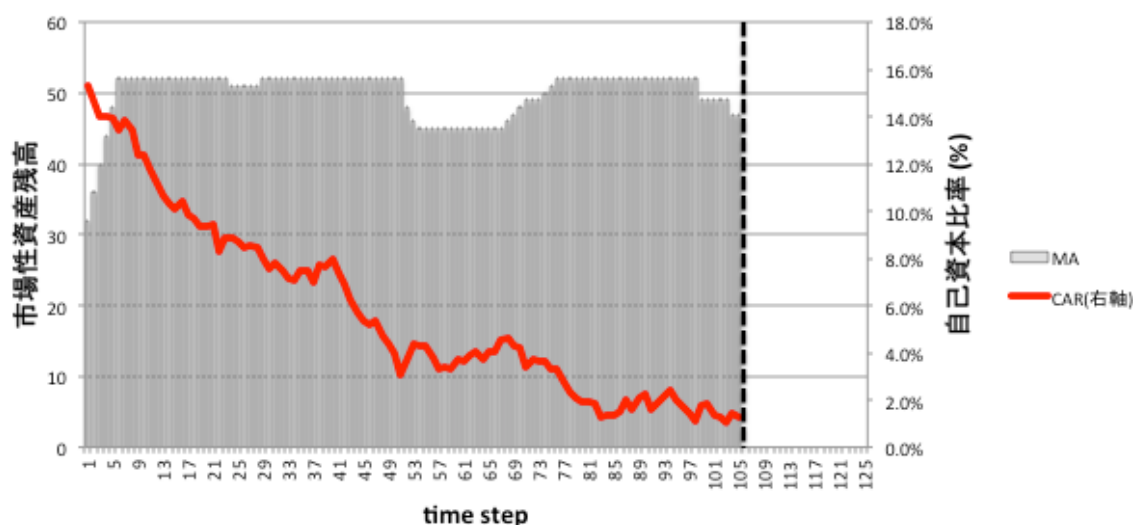


図 4-3 破綻金融機関#14の市場性資産の残高(MA)と自己資本比率(CAR, 右軸)の推移. 当初市場性資産を積み増し, その後も高い水準を維持している. 一方, 自己資本比率は相場下落を受けて漸減, 0%に近接し, 105 step 目で資金ギャップを埋めることができず, 破綻となった。

金融機関#14はROE・予算制約から市場性資産を積み増す意思決定に傾きがちとなり, スタート時から60%以上残高を増加させた. 相場下落及びボラティリティ増加によるVaR増大から, 一時VaR制約に抵触し, 残高を減少させたが, その後も高い水準を維持した. その結果, 市場価格変動への感応度が高まり, 市場価格下落に伴い自己資本比率は漸減した. 当該金融機関は取り手であり, 105 step 目で資金ギャップを埋めることに失敗し, 破綻となった。

当該破綻を契機に, 金融機関#14と資金繰り上の関係のあった他金融機関に対する焦げ付きが発生し, 自己資本比率の低下から, 1)資金繰り環境の悪化, 2)自己資本比率制約自体への抵触, により, 表4-1のような2次的, 3次的な連鎖破綻が生じた。

表 4-1 105 step における連鎖破綻の状況

破綻要因	破綻の回数		
	一次	二次	三次
資金繰り要因	#14	#1, #4, #8, #11, #17, #20	#5, #13
自己資本比率要因	-	#9	-

なお、市場性資産の残高推移は、1)金融機関固有のパラメタである目標予算 y やリスク回避度 λ を通じた金融機関の投資意思決定、及び、2)各バランスシート項目の多寡(初期値)により変化する。但し、本実験において、予算目標はインカム収益の水準より高めで発生させており、予算達成のため、各金融機関は市場性資産を積み増すインセンティブがかかりやすい設定としている。これは、現実においても、予算は努力目標として、過去実績や現在の水準より高めに設定される傾向にあることを表したものである。

金融機関#3 の投資行動と財務状況

破綻しなかった金融機関#3 の市場性資産の残高と自己資本比率の推移を示したものが図 4-4 である。

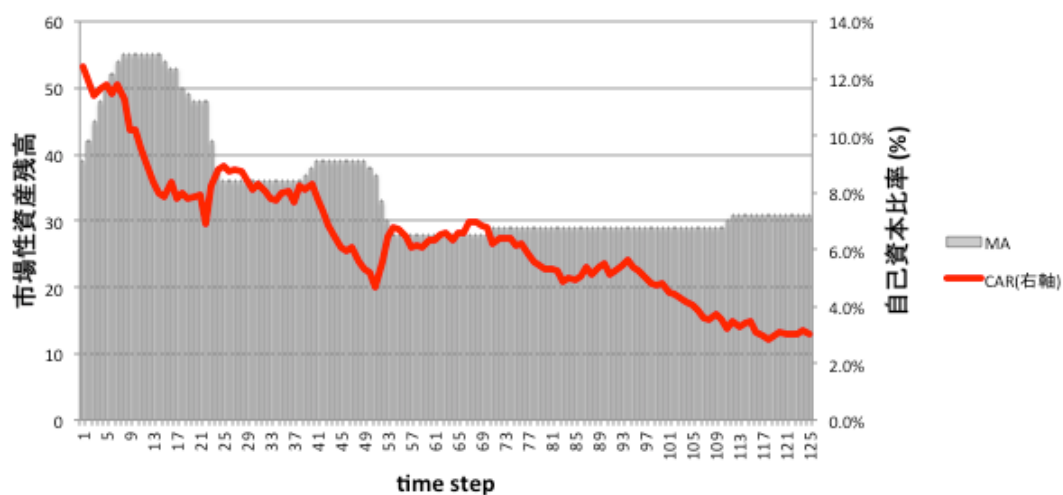


図 4-4 非破綻金融機関#3 の市場性資産の残高(MA)と自己資本比率(CAR, 右軸)の推移. 市場性資産への追加投資は限定的であり、相場下落を受けても自己資本比率の減少は抑えられ、最終的に残存した。

金融機関#3 はスタート時こそ ROE・予算制約から市場性資産を積み増す意思決定となったが、残高の増加幅は 30%台と、前節のケースに比べ限定的だった。その後は市場性資産価格のボラティリティ増大を受け、VaR 制約に抵触することが多くなり、残高水準は相対的に低く抑えられたままとなり、市場価格の下落に対しても自己資本比率を維持する結果

となった(最終的に 3.0%).

4.3.2 実験 2) 制約の有無による影響分析

個別試行・制約なしのケース

前項のケースにて、VaR 制約及び ROE・予算制約が無く、市場性資産への追加投資を行わなかった場合のシミュレーション結果を示す。a) 制約有，b) 制約無，双方の場合の残存金融機関数をプロットしたものが図 4-5 であり，金融機関#14 の自己資本比率の推移を示したものが図 4-6 である。

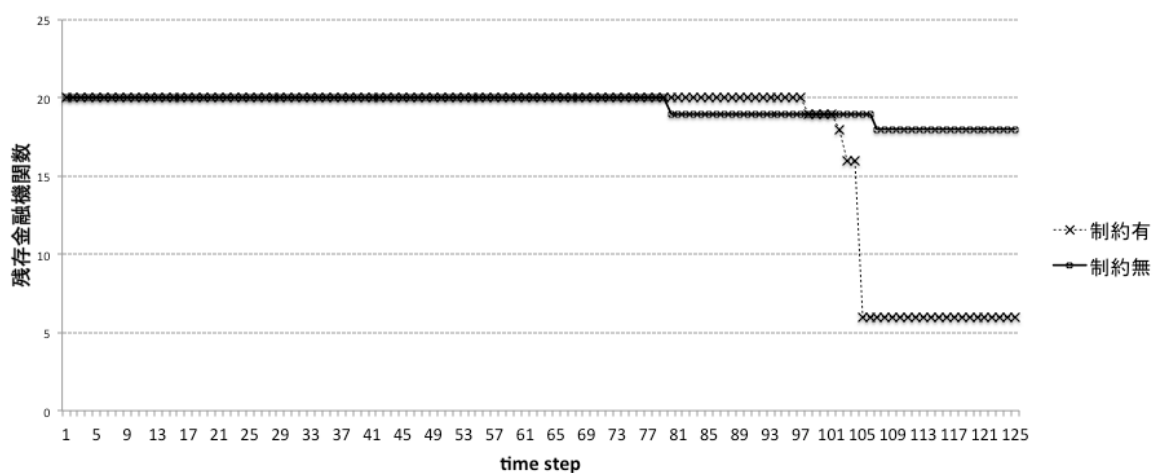


図 4-5 a) 制約有，b) 制約無，それぞれの場合の残存金融機関数の推移（a) VaR+ROE 制約は前掲通り）。後者の場合，破綻金融機関数が抑制されていることが分かる。

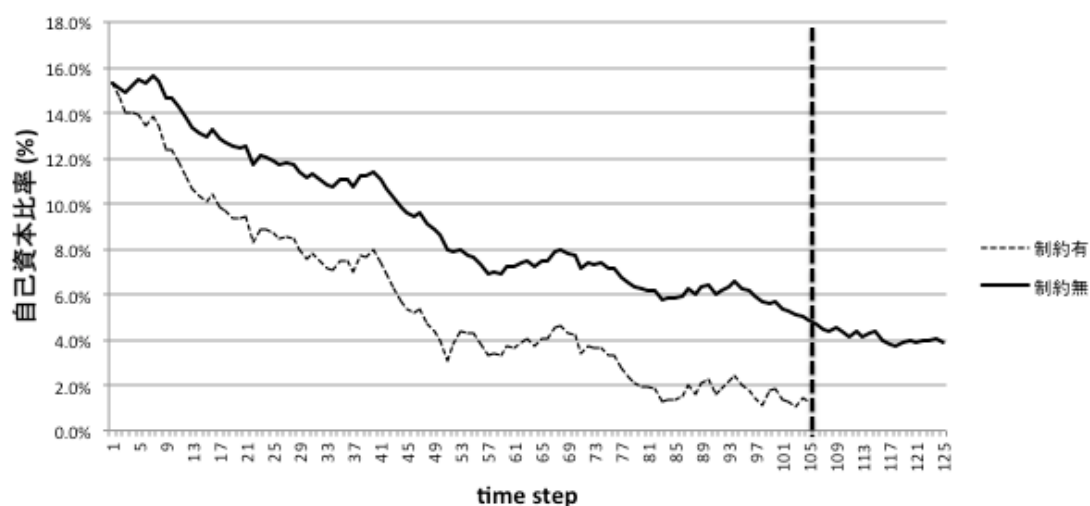


図 4-6 金融機関#14 につき，a)制約有，及び，b)制約無の場合の自己資本比率の推移（a) 制約有は前掲通り）。後者の場合，市場性資産残高の積み増しがなされず，市場変動に対する感応度が抑えられ，相場下落を受けても自己資本比率の減少は限定的となり，最終的に破綻せず残存する可能性が示された。

制約なしの場合、当初の市場性資産の残高を維持することで、市場変動に対する感応度は高まらず、相場下落を受けても自己資本比率の減少は限定的となった（最終的に 3.9%）。本ケースでは、各種運営制約が想定される有用性を発揮せず、反対に金融機関の破綻可能性を高める結果となった。

多数回試行の結果

価格時系列 2 パターン（小幅上昇ケース、大幅下落ケース）及び運営制約 2 パターン（a）制約有、b）制約無）の組み合わせ全 4 パターンにつき、パラメタを各 100 回発生させてシミュレーションを実施した。総合損益と残存金融機関数、同時多発的破綻の回数を纏めたものが表 4-2 である。

表 4-2 各ケースにおける総合損益と残存金融機関数、同時多発的破綻の回数。①から④において、上段は平均、下段括弧内は標準偏差。

① 総合損益(最大収益)

価格時系列	制約条件	
	a) 制約有	b) 制約無
1) 上昇ケース	124.8 (4.5)	97.8 (4.3)
2) 下落ケース	53.1 (1.4)	42.7 (1.2)

② 総合損益(最大損失)

価格時系列	制約条件	
	a) 制約有	b) 制約無
1) 上昇ケース	-49.5 (2.7)	-21.5 (2.3)
2) 下落ケース	-315.6 (20.9)	-289.2 (15.6)

③ 総合損益(最終step時点)

価格時系列	制約条件	
	a) 制約有	b) 制約無
1) 上昇ケース	124.8 (4.5)	97.8 (4.3)
2) 下落ケース	-308.6 (20.1)	-284.8 (15.6)

④ 残存金融機関数(最終step時点)

価格時系列	制約条件	
	a) 制約有	b) 制約無
1) 上昇ケース	20 (0)	20 (0)
2) 下落ケース	13.8 (5.8)	15.3 (4.3)

⑤ 同時多発的破綻の回数(破綻社数ごと, 下落ケースのみ)

破綻数	制約条件	
	a) 制約有	b) 制約無
2	35	23
3	10	8
4	2	0

価格時系列が上昇する場合については、a)制約有のケースの方が、期間中で最大収益となる総合損益や最終 step 時点での総合損益において優位となっている。他方、価格時系列が大幅下落する場合については、b)制約なしのケースの方が、期間中で最大損失となる総合損益や最終 step 時点における総合損益、残存金融機関数、同時多発的破綻の回数において優位となっていることが分かる。このことから、適切な運営制約は市場環境に依存的であると解釈できる。また、残存金融機関数や同時多発的破綻の回数の比較から、a)制約有の場合、市場性資産の価格が大幅に下落した際には、市中金融機関からなるインターバンクネットワークの脆弱性を高める可能性がある。これは、前項でも示されたように、市場性資産残高の積み増しにより、各金融機関の市場価格変動に対する感応度が高まり、自己資本比率の低下を通じて資金繰り環境が悪化したためである。

4.3.3 本実験のまとめ

個別試行のログ分析からは、VaR 制約及び ROE・予算制約が課された場合、ROE・予算制約により市場性資産の残高を拡大する方向で意思決定を行う金融機関もあり、当該金融機関は市場変動に対する感応度が高まることで、破綻に至るケースがあった。これはバランスシートの増幅が破綻の可能性を高めるといった先行研究[Krishnamurthy 2010]とも整合的であると考えられる。また、当該破綻ケースにつき、VaR 制約及び ROE・予算制約が無かった場合のシミュレーションを参照すると、市場変動に対する感応度が抑えられることで破綻が回避されるケースがあった。本シミュレーションで用いたような資産価格下落局面では、各種制約につき当初期待された有用性は必ずしも発揮されず、制約の組み合わせによっては、むしろ破綻可能性が高まる結果が示された。

多数回試行の結果からは、市場性資産の価格時系列を 1) 小幅上昇ケース、2) 大幅下落ケースに分けて総合損益や破綻金融機関数、同時多発的破綻の回数を評価したところ、適切な運営制約は市場環境に依存적であることが分かった。また、残存金融機関数や同時多発的破綻の回数の比較から、VaR 制約及び ROE・予算制約を課した場合、市場性資産の価格が大幅に下落した際には、インターバンクネットワークの脆弱性を高める可能性が示された。

4.4 応用実験 I -b : バランスシート制約が連動的破綻に与える影響

4.4.1 実験 1) 金融システムの安定性

ここでは、a) バランスシート制約無、及び b) バランスシート制約有、の 2 パターンにつき、パラメタを各 100 回発生させてシミュレーションを実施した。システムの安定性を表す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図 4-7(a)(b)である。バランスシート制約無の方が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、最終ステップでの平均残存数は、バランスシート制約無の場合が 12.8 社、バランスシート制約有の場合が 19.7 社となっており、バランスシート制約有の方が、破綻金融機関数が抑えられている。この点、バランスシート制約を課すことによって、金融システムの安定性を高めうることを示された。

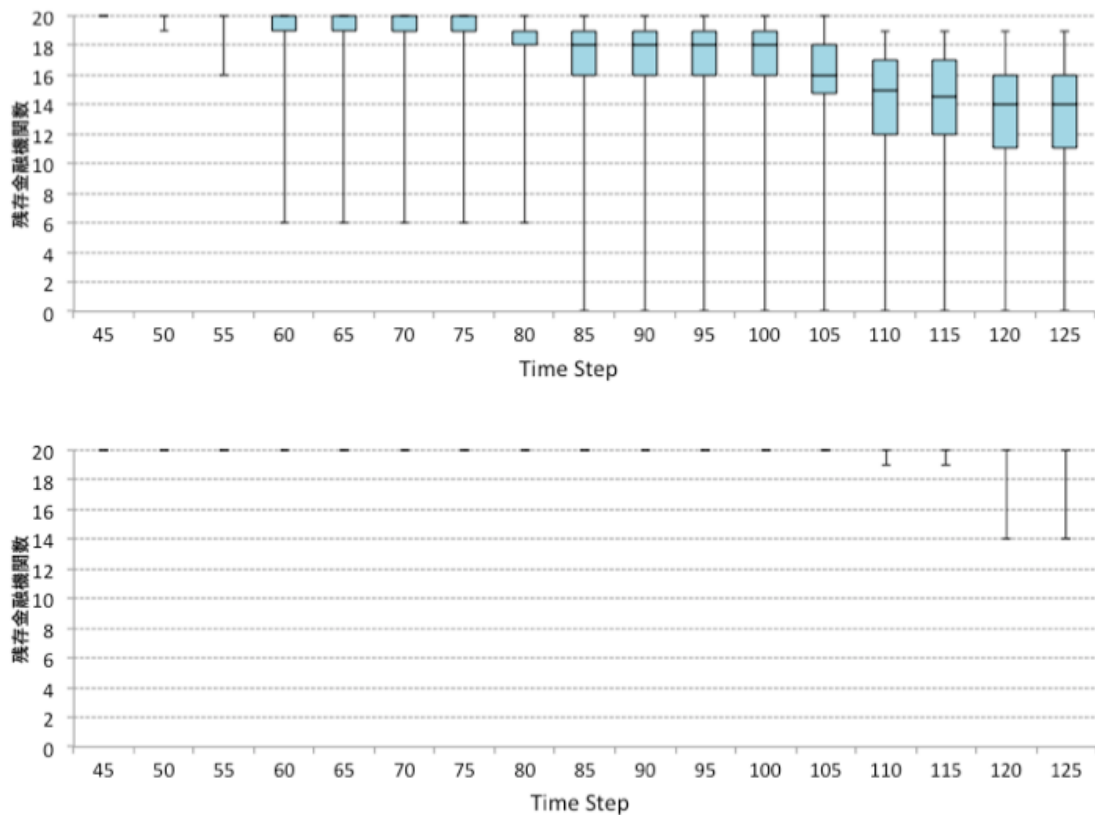


図 4-7 残存金融機関数の箱ひげ図 (5 step 毎, 上図(a)がバランスシート制約無, 下図(b)がバランスシート制約有の場合). 箱ひげは最大値, 第三分位点, 中央値, 第一分位点, 最小値を示す. バランスシート制約無の方が残存数のばらつきが大きく, 残存数の少ない範囲にもより多く分布していることが分かる. なお, 45 step 未満は破綻が生じていなかったため省略した.

4.4.2 実験 2) 流動性

4.4.2.1 個別試行

バランスシート制約無・有の各ケースにつき, 市場性資産の流動性に与える影響を確認する. 前項と同様, 同一の初期パラメタセットを用い, 対応する 1 サンプル試行について結果の比較を行った. バランスシート制約無, 及びバランスシート制約有, の 2 パターンにつき, 流動性のマクロ指標である市場性資産の総売買量 **Gross amount** の推移を示したのが図 4-8(a)(b)である. 各ケース共通する傾向としては, 各金融機関とも, 1)当初は ROE・予算制約から市場性資産を積み増す意思決定に傾きがちとなり, スタート時から主に購入量を増加させた, 2)その後, 相場下落及びボラティリティ増加による VaR 増大から, 一時 VaR 制約に抵触するなどして売却量が増える状況も散見された, ことが挙げられる. 一方で, 最終 step 時における総売買量の合計値は, バランスシート制約無の場合が 1,326 に対し, バランスシート制約有の場合が 480 となっており, 後者のケースの方が限定的となっていることが分かる.



図 4-8 市場性資産の総売買量の推移(上図(a)がバランスシート制約無, 下図(b)がバランスシート制約有の場合)。当初は ROE・予算制約から市場性資産を積み増す意思決定に傾きがちとなり,主に購入量が増加。その後は,相場下落及びボラティリティ増加による VaR 増大から,一時 VaR 制約に抵触するなどして売却量が増える状況も散見。一方,最終 step までの総売買量の合計値は,バランスシート制約有の場合が限定的となった。

4.4.2.2 全体試行

次に, バランスシート制約無, 及びバランスシート制約有, の 2 パターンにつき, パラメタを各 100 回発生させてシミュレーションを実施した結果が以下の表 4-3 である。

表 4-3 市場性資産の総売買量の平均値と標準偏差. 個別試行と同様, 最終 step での総売買量は, バランスシート制約有の場合が制約無の場合に比べ限定的となり, 約 4 割程度に留まった.

統計量	ケース	
	バランスシート制約無	バランスシート制約有
平均	1,217.5	442.1
標準偏差	202.2	49.3

最終 step での総売買量の合計値は, 個別試行同様, バランスシート制約ありの場合がバランスシート制約なしの場合に比べ限定的となり, 約 4 割程度に留まった. この点, バランスシート制約を課すことにより, 各金融機関の売買行動は抑制的となり, 市場性資産の流動性は低下する可能性が示された.

4.4.3 本実験のまとめ

金融システムの安定性に係る全体傾向では, バランスシート制約有の方が, 破綻金融機関数が抑えられており, バランスシート制約を課すことによって, 金融システムの安定性を高めうることを示された.

一方, 市場性資産の流動性に係る個別試行及び全体試行では, バランスシート制約有の場合が, バランスシート制約無の場合に比べ, 総売買量に関して限定的となった. バランスシート制約を課すことにより市場性資産の流動性は低下する可能性が示された.

以上の結果は, 規制強化の流れは金融機関の安定性を高めたという評価がある一方, 市場の流動性を低下させた懸念があるという先行研究[富安 2016]とも整合的であると考えられる.

4.5 応用実験 II-a : 中央銀行の資金供給が連動的破綻に与える影響

4.5.1 実験 1) 全体傾向の確認

1) 中銀の資金供給を想定しない本来的なコール市場をシミュレーションするケース(積上比率: 0%, 以降「中銀なし」), 2)緩和的金融環境をシミュレーションするケース(積上比率: 30%, 以降「中銀あり」)の 2 ケースについて, 各 4,000 回の試行を行った.

残存金融機関数

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図 4-9(a)(b)である. 中銀なしの方が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, 最終ステップでの平均残存数は, 中銀なしの場合が 12.2 社, ありの場合が 16.0 社となっており, 中銀ありの場合の方が, 破綻金融機関数が抑えられている.

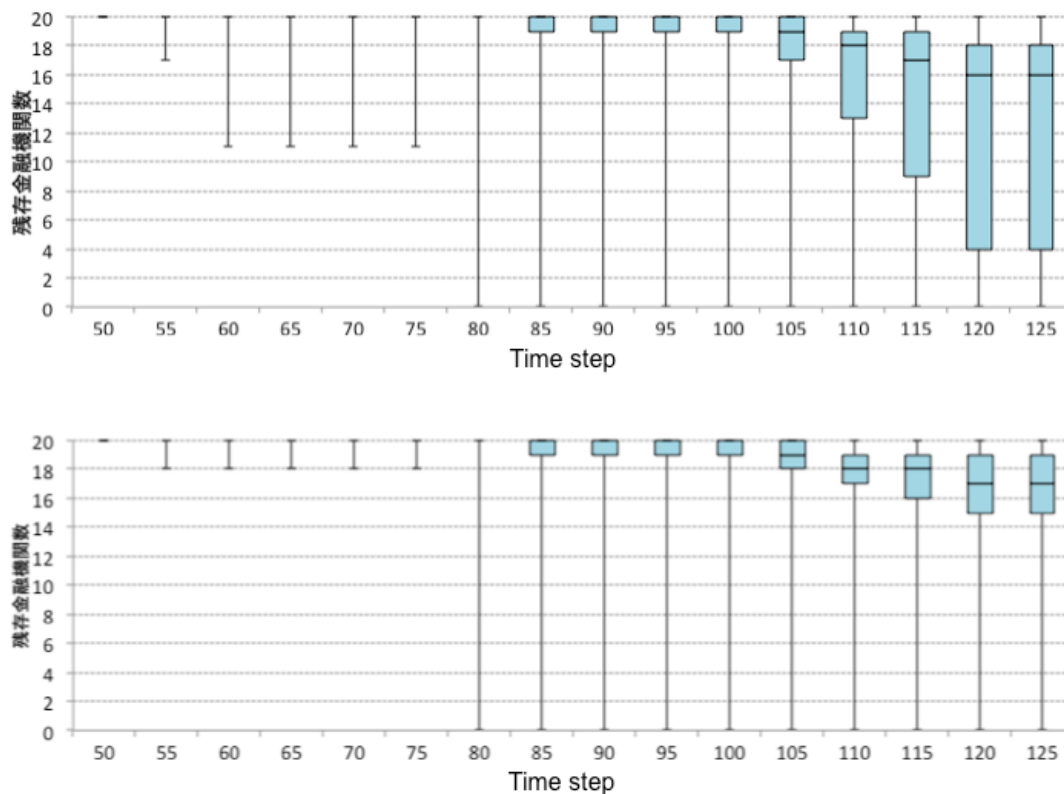


図 4-9 5 step 毎の残存金融機関数の箱ひげ図（上図(a)が中銀なし，下図(b)が中銀ありの場合）．箱ひげは最大値，第三分位点，中央値，第一分位点，最小値を示す．中銀なしの方が残存数のばらつきが大きく，残存数の少ない範囲にもより多く分布していることが分かる．なお， 50 step 未満は破綻が生じていなかったため省略した．

また，100, 125 step 目での残存金融機関数の分布を示したものが図 4-10，図 4-11 である．100 step 目では双方で 1 社も破綻しない結果が最多となっているものの，中銀なしのケースで全社破綻となったものもわずかながら見られる．125 step 目では，20 社中 18 社が残存する結果が最多となっている一方，中銀なしのケースでは，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．

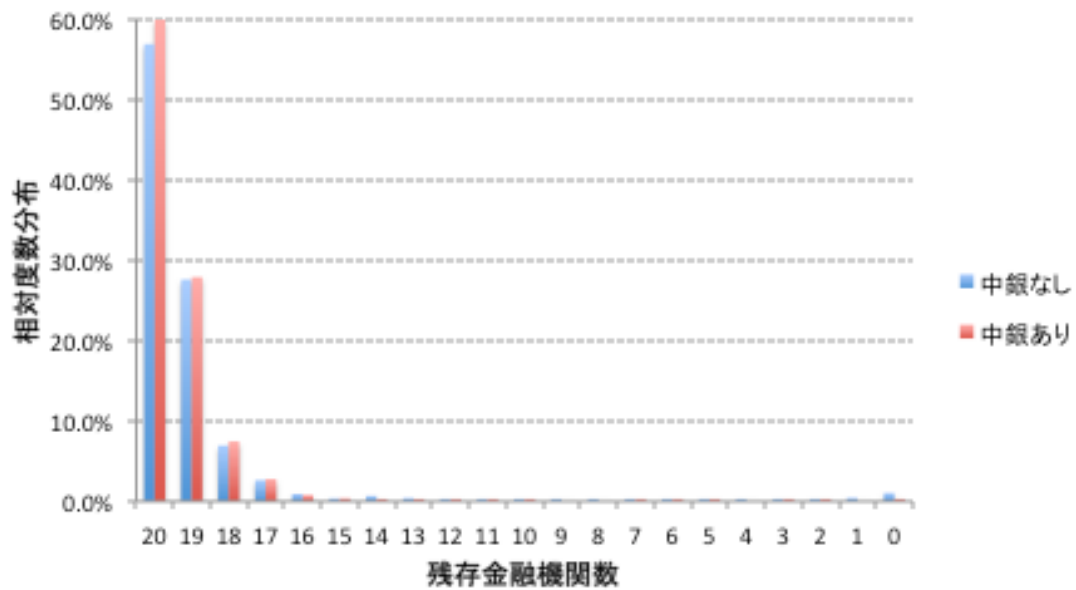


図 4-10 100 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 双方とも 1 社も破綻しない (残存 20 社) 結果が最多であるものの, 全社破綻 (残存 0 社) に至までの長いテールを持つ分布となっている.

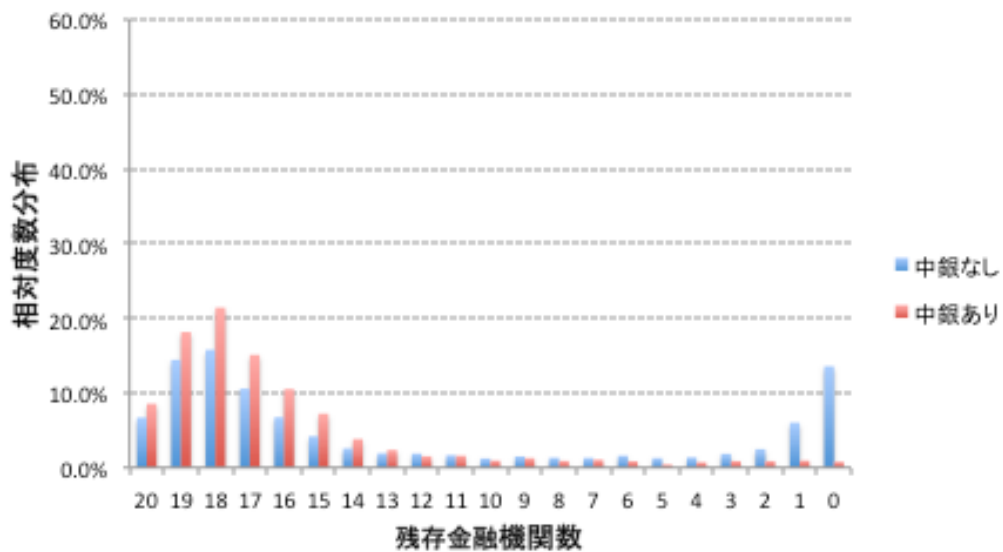


図 4-11 125 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 双方とも 20 社中 18 社残存する結果が最多であるものの, 中銀なしのケースでは, 全社破綻 (残存 0 社) という結果もピークを形成し, (b)と比べて明確な双峰型の分布を形成している.

次に, 最終ステップにおける破綻総数と要因の割合を図 4-12 に示す. 破綻総数が抑えられているものの, 破綻要因の割合は特段差異が認められない.

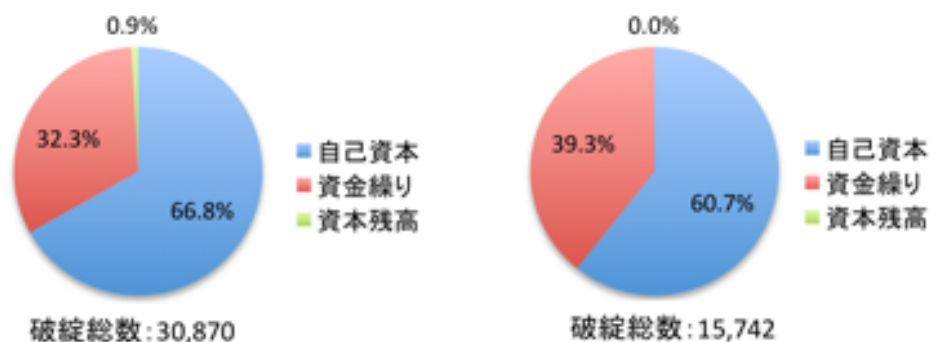


図 4-12 最終ステップにおける破綻総数とその要因別割合（左：中銀なし，右：中銀あり）。自己資本比率要因と資金繰り要因が太宗を占めるが，比率に特段の差異は認められない。

一方，一次破綻の総数とその要因別割合を示したものが図 4-13 である。ここでは，中銀ありの場合，一次破綻の総数が抑えられている。また，資金繰り要因による破綻割合が減少し，自己資本比率要因との割合が逆転している様子が見て取れる。

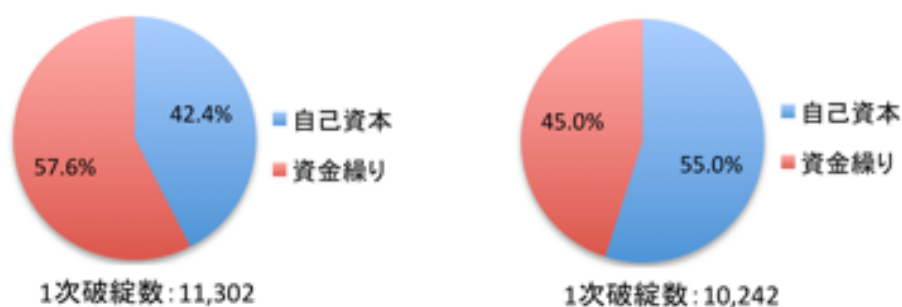


図 4-13 一次破綻における破綻総数とその要因別割合（左：中銀なし，右：中銀あり）。中銀ありの場合，破綻総数が抑えられており，資金繰り要因の割合が減少している。

ステップ毎の連動的破綻数

各ケースのステップ毎の連動的破綻数をプロットしたものが図 4-14 である。中銀ありの場合，単体の破綻が起こる度数は増えるものの（図中(1)），多数の連動的破綻の度数は抑えられるため（図中(2)），連動的破綻の総数は抑えられていることが分かる。以上，中央銀行の資金供給は，資金繰り破綻を減少させることで連動的な破綻を抑制しうることが示された(図 4-11, 4-13)。なお，中銀ありの場合に多数の連動的破綻の度数が抑えられるメカニズムについては，次節でログ分析を行う。

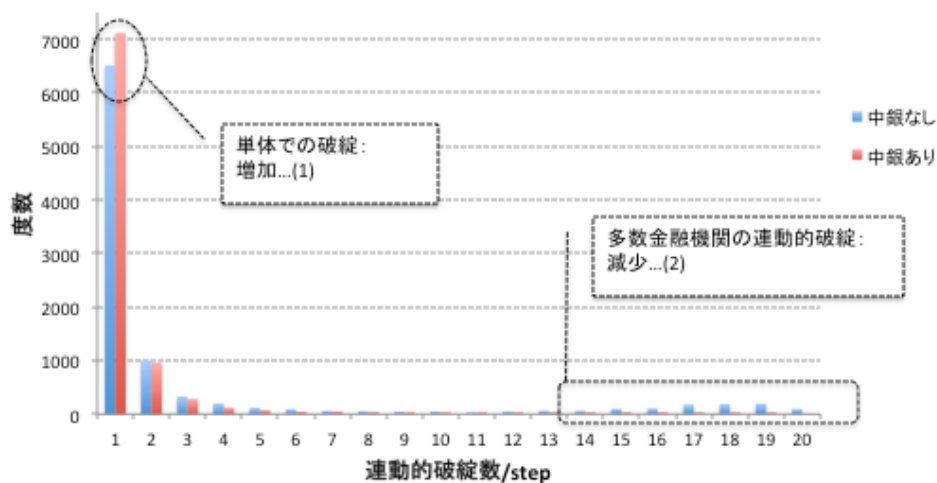


図 4-14 各ケースにおけるステップ毎の連動的破綻数の度数. 中銀ありの場合, 単体の破綻が起こる度数は増えるものの (図中(1)), 多数の連動的破綻の度数は抑えられており (図中(2)), 連動的破綻の総数は抑えられている.

4.5.2 実験 2) ログ分析

中銀あり・なしの場合の破綻態様の違いを観察するため, 同一の初期パラメタセットを 100 パターン発生させ, 結果の比較を行った. 対応するパラメタセットでの残存金融機関数の差の度数を示したものが図 4-15 である. 残存金融機関数が変わらない(差が 0 となっている)ものが 50 回とピークになっている一方, 中銀ありが中銀なしの場合を大きく上回っているケースが見られる(10 社以上の差となったものが 24 ケースあった). 以後, 中銀ありの場合, 19 社が残存したにもかかわらず, 中銀なしの場合, 2 社しか残存しなかった試行番号 11 に注目し, ログ分析を進める.



図 4-15 同一の初期パラメタセットで中銀あり・なしの比較シミュレーションを行い, 対応ケースにつき残存金融機関数の差を度数化した(全 100 回試行). 以後, 中銀ありとなしの差が大きいケース(試行#11)を例にログ分析を進める.

試行#11 での step 毎の破綻数

試行#11 での残存金融機関数の差は 17 社であるが、その差は 111 step での 16 社の連動的破綻と 112 step での 1 社の単体破綻による(表 4-4)。以降、中銀なし・ありの場合で、当該 111 step での連動的破綻が生じた・生じなかった理由を探る。

表 4-4 試行#11 での step 毎の破綻数。同一の初期パラメタにも関わらず、中銀なしの場合は 111 step で多数の連動的破綻が生じた。

中銀供給	step数			破綻数・計	残存数
	110	111	112		
なし	1	16	1	18	2
あり	1	—	—	1	19

連動的破綻の態様

step 111 では、金融機関#1 と#7 の一次的な同時多発的破綻を端緒に合計 16 社の連動的破綻が生じている。まずは、破綻ステップに至るまでの当該金融機関の ALM 行動、特に投資行動に注目する。次に一次破綻が生じた様子を確認する。最後に、二次破綻以降の展開を観察する。

① 破綻前の投資行動及び財務状況

金融機関#1, #7 双方とも、ROE・予算制約から市場性資産を積み増す意思決定に傾きがちとなり、スタート時からそれぞれ 100%, 40%以上残高を増加させた。相場下落及びボラティリティ増加による VaR 増大から、一時 VaR 制約に抵触し、残高を減少させたが、その後も高い水準を維持した。その結果、市場価格変動への感応度が高まり、市場価格下落に伴い自己資本比率は漸減した。111 step 開始時で、自己資本比率はそれぞれ 1.1%, 1.0%程度となっていた。このような自己資本比率の低下は、予算必達から市場性資産を積み増す意思決定に傾きがちであり、市況の急速な悪化に対応できなかったことによりもたらされたものと解釈できる。

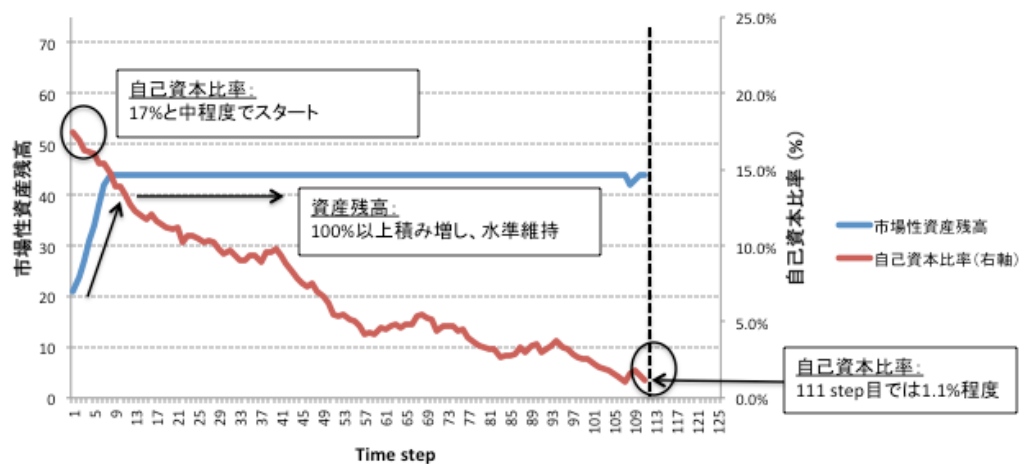


図 4-16 (a) 一次破綻した金融機関#1 の市場性資産の残高と自己資本比率(右軸)の推移。リスク回避度が低く、市場性資産を 100%以上積み増し、その後も水準を維持している。一方、初期自己資本比率は中程度であったが、市場性資産残高増加による価格感応度の増大と相場下落を受けて漸減し、111step 開始時点で 1.1%程度となっている。

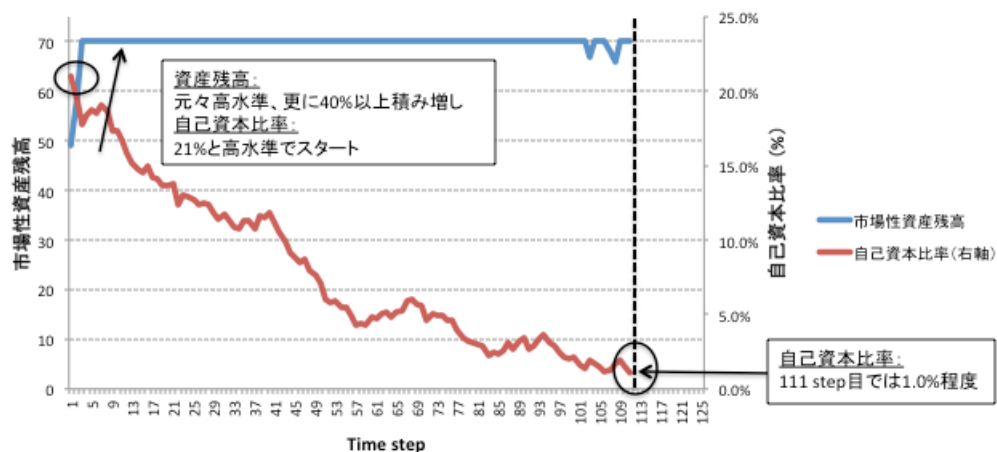


図 4-16 (b) 一次破綻した金融機関#7 の市場性資産の残高と自己資本比率(右軸)の推移。市場性資産残高は元々高水準であり、更に 40%以上積み増し、その後も高水準を維持している。一方、初期自己資本比率も高かったが、大量に保有する市場性資産による価格感応度の増大と相場下落を受けて漸減し、111step 開始時点で 1.0%程度となっている。

② 一次破綻の生起

金融機関#1, #7 は取り手のため、取り手・出し手間の資金繰りを行う。ここで、このケースにおける出し手の最低要求自己資本比率を纏めたものが表 4-5 である。出し手#3 は既に破綻しているため、#1 及び#7 が資金調達可能な先は金融機関#2 及び#11 しか存在しないことが分かる。中銀なしの場合、他の取り手との資金調達の競合等もあり、資金ギャップを埋めることが出来ず、破綻することとなった(表 4-6 (a))。一方、中銀ありの場合、中銀による資金供給が存在するため、資金繰りに成功した(表 4-6 (b))。但し、資金繰りに成功した中銀ありのケースでは、#1 及び#7 における資金調達額の 8 割以上が中央銀行からなされていることに注意を要する (#1: 中銀供給額/資金不足額比率=13/16, #7: 同比率=24/30)。

表 4-5 本ケースでの出し手の金融機関番号と最低要求自己資本比率. 111 step での取り手#1 と#7 の自己資本比率はそれぞれ 1.1%, 1.0%であり, 調達可能な出し手金融機関は#2, #11 のみであることが分かる. なお, 出し手#3 は既に前 step で破綻している.

出し手金融機関#	最低要求自己資本比率	#1, #7調達可否
3	0.3%	否 (110 step目で既に破綻)
2	0.3%	可
11	0.8%	可
9	1.4%	否
18	1.7%	否
4	2.0%	否
19	2.2%	否
16	2.6%	否
15	2.7%	否
8	3.0%	否

表 4-6(a) 中銀なしのケース: 資金繰り失敗. 取り手#1, #7 は資金不足額(それぞれ 14, 24)を出し手#2, #11 から調達しようと試みたが, 他の取り手との競合や出し手の供給可能上限もあり, 最終的に資金ギャップを埋めることが出来ず(それぞれ-6, -9), 破綻となった.

取り手金融機関#	a) 資金不足量	b) 資金調達量		a)+b)
		#2	#11	
#1	-14	2	6	-6
#7	-24	9	6	-9

表 4-6 (b) 中銀ありのケース: 資金繰り成功. 取り手#1, #7 は資金不足額(それぞれ 16, 30)につき, まずは中銀から調達 (それぞれ 13, 24). 残りにつき, 出し手#2, #11 から調達し (それぞれ 3, 6), 資金ギャップが埋まり, 資金繰り成功となった. 但し, 資金調達額の 8 割以上が中央銀行からなされている.

取り手金融機関#	a) 資金不足量	b) 資金調達量			a)+b)
		中銀	#2	#11	
#1	-16	13	3	-	0
#7	-30	24	3	3	0

③ 二次破綻以降の展開

#1 及び#7 の同時多発的破綻を受け, 資金繰り上の関係のあった他金融機関に対する焦げ付きが発生した. 自己資本比率の低下から, 1)資金繰り環境の悪化, 2)自己資本比率制約自体への抵触, により連鎖的破綻が発生し, 表 4-7 のような連動的破綻が生じた.

表 4-7 111 step における連動破綻の状況。2 社の同時多発的破綻を端緒に、最終的に九次の破綻、16 社の連動的破綻が観測された。

破綻の次数	破綻要因	
	資金繰り	自己資本比率
1	#1, #7	—
2	—	#2, #11
3	—	#4
4	—	#9
5	—	#12, #18
6	—	#6, #8, #14
7	—	#5, #13
8	—	#10, #17
9	—	#15

このログ分析からは、中銀なしの場合には多数の連動的破綻が起こる一方、中銀ありの場合には中央銀行の資金供給により破綻が回避されるケースがあることが示された。但し、その場合でも、1)一時的に自己資本比率が低位で推移し、本来的には市場から退出すべき金融機関が残存してしまうリスクや、2)金融機関の資金調達に中央銀行へ依存するリスク、が内包されていると言える。

4.5.3 本実験のまとめ

インプリケーションと現実の事例の対応関係

(1) 中央銀行の資金供給は、資金繰り破綻を減少させることで連動的な破綻を抑制しうる (図 4-11, 4-13)

世界金融危機発生後の政策対応では、短期金融市場の流動性の著しい低下に対し、FRB や ECB が積極的に資金供給を行うことで一定の効果があつたとする見方がある[林 2010]。更に、中央銀行の「最後の貸し手」(Lender of Last Resort)機能がある程度有効な手段であつたとの解釈[Nakaso 2013]もあり、本シミュレーションの結果はそのような事例と整合的である。

(2) 本来市場から退出すべき金融機関が残存するリスク

世界金融危機発生後の事例からは、危機後の回復期においても、金融機関のバランスシート及び決算が二極化すること指摘されており[林 2010]、本来市場から退出すべき金融機関が残存することで、破綻懸念が払拭されないなど、様々なリスクが継続することが考えられる。

(3) 金融機関の資金調達が中央銀行へ依存するリスク

中央銀行のバランスシート拡大[Caruana 2011]や、中央銀行の資金供給に依存した市中金融機関の調達構造[福田ほか 2003]など、緩和的金融環境がもたらす諸リスクに係る議論と整合的であると考えられる。また、リーマン・ショック後の一時期、欧米においては、中央銀行が唯一の資金の出し手であったとの事例[林 2010]とも一致する。

結果のまとめ

多数回試行による結果からは、中央銀行の資金供給は、二次的な資金繰り破綻を減少させることで連動的破綻の総数を抑制しうるということが分かった。これは[Georg 2013]の指摘と整合的である。

一方で、個別試行のログ分析からは、中央銀行の資金供給により、連動的破綻が抑制されたケースにおいても、1)金融機関の資金調達が中央銀行へ依存するリスクや、2)本来市場から退出すべき金融機関が残存するリスク、が存在することが示された。

4.6 応用実験Ⅱ-b：マイナス金利政策が連動的破綻に与える影響

4.6.1 実験 全体傾向の確認

本実験では、3.3.6 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。中銀の当座預金利率 r_{depo} を操作変数とし、連動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。

積上比率 r_{DF} 30%としたパラメタセットにて、当座預金利率 r_{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図 4-17(a)(b)(c)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。

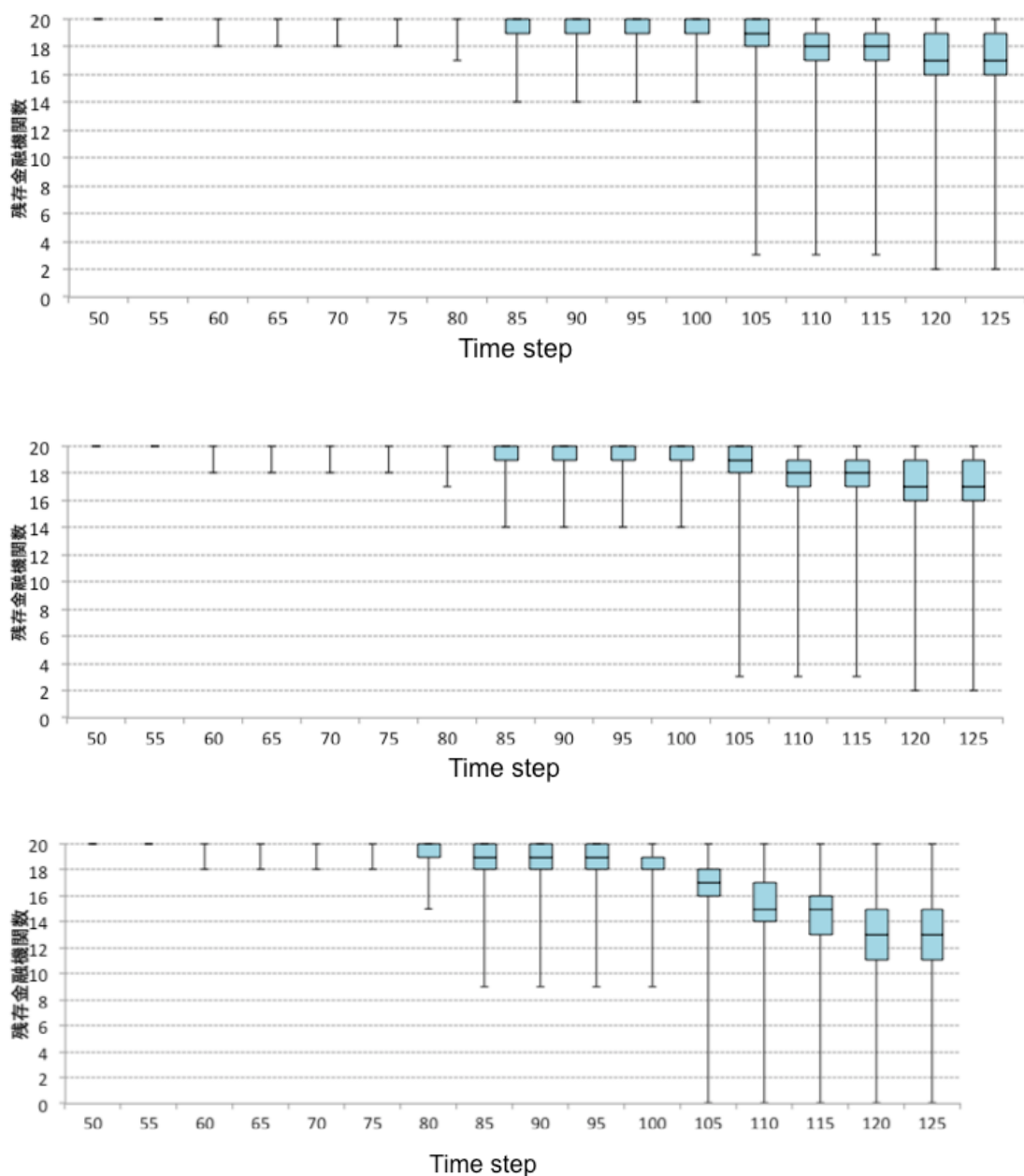


図 4-17 5 step 毎の残存金融機関数の箱ひげ図 (上図(a)が当座預金利率+1.0%, 中段(b)が 0.0%, 下図(c)が-1.0%の場合). 箱ひげは最大値, 第三分位点, 中央値, 第一分位点, 最小値を示す. 利率が下がるに連れて残存数のばらつきが大きく, 残存数の少ない範囲にもより多く分布していることが分かる. なお, 50 step 未満は破綻が生じていなかったため省略した.

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図 4-18 (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。

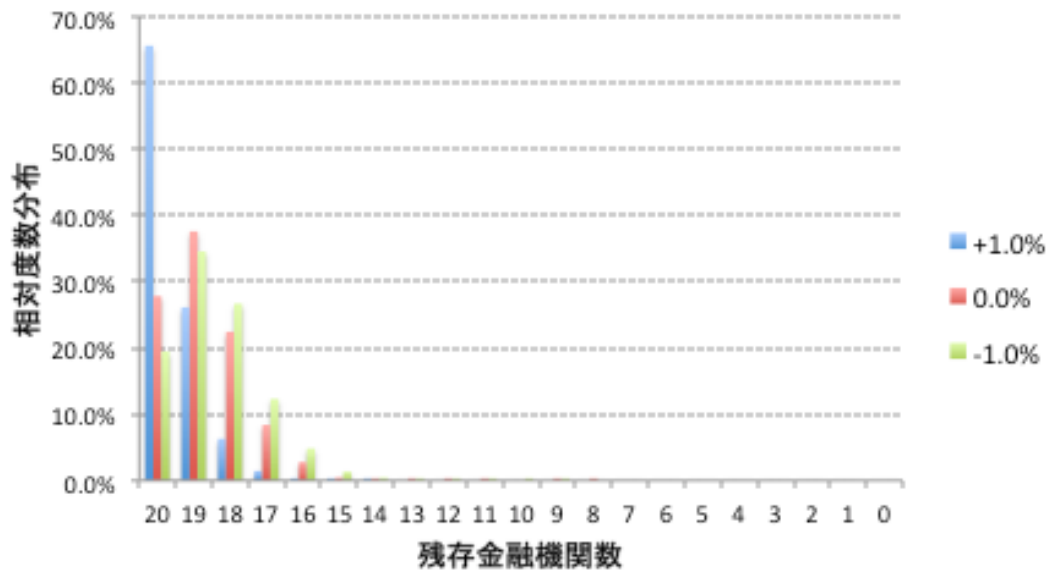


図 4-18(a) 100 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 当座預金比率が 1.0%の場合は 1 社も破綻しないケース (残存 20 社), それ以外の場合は 1 社破綻のケース(残存 19 社)が最多となっている。

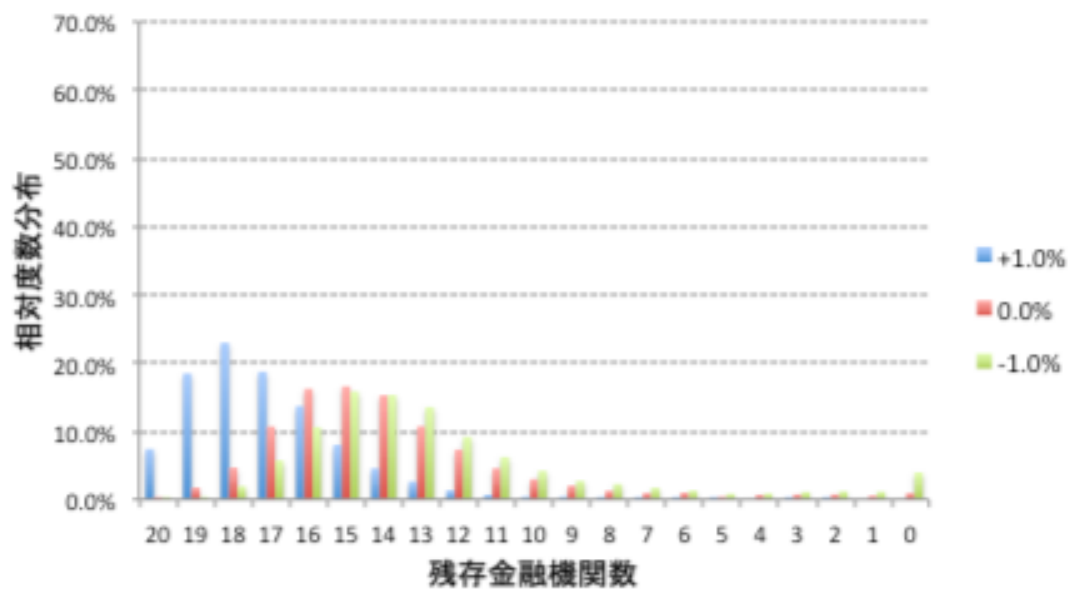


図 4-18 (b) 125 step 目での残存金融機関数の分布(各 4,000 試行). 当座預金比率が 1.0%の場合は 20 社中 18 社残存するケース, それ以外の場合は 20 社中 15 社残存するが最多となっている. また, 当座預金利率が-1.0%のケースでは、全社破綻 (残存 0 社) という結果もピークを形成し, (a)と比べて明確な双峰型の分布を形成している。

4.6.2 本実験のまとめ

本稿では、金融機関の余資運用における意思決定に注目し、シミュレーションを行った。市場性資産の価格下落が生じた場合に、金融システムの安定性に対し、どのような影響が生じるか分析を実施した。

多数回試行による結果からは、中銀の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、金融システム全体の脆弱性が高まる可能性が示された。

第5章 結論と課題

5.1 本研究の結論

本研究の目的は、金融機関を取り巻く金融規制・運営制約や中央銀行の政策が、金融システムの安定性に与える影響を分析することであった。当該目的を達成するために、以下の問題にアプローチした：(補題) 市場性資産の価格下落により主要金融機関における破綻の連鎖は生じえないのか、(1)金融規制・運営制約により補題のリスク（破綻数等）は低減されるか、(2)中央銀行の政策によって補題のリスク（破綻数等）はどこに転化するか。方法論としては、共通資産への価格ショックを織り込んだ破綻伝播モデルを基に、資金流動性による破綻を陽に表現し、金融規制・運営制約や中央銀行の政策を扱えるよう、必要な拡張を行った。当該モデルを用いた分析の結論は以下の通りである：

(1) 金融規制が連動的破綻に与える影響の分析

応用実験 I -a では、VaR 制約や ROE・予算制約等の影響を確認した。資産価格下落局面では、各種制約につき当初期待された有用性は必ずしも発揮されず、制約の組み合わせによっては、むしろ個別金融機関の破綻可能性を高める可能性が示された。また、適切な運営制約は市場環境に依存的であり、制約を課した場合、市場性資産の価格が大幅に下落した際には、インターバンクネットワークの脆弱性を高める可能性が示された。

また、応用実験 I -b では、バランスシート制約は各金融機関の破綻可能性を低下させる可能性があるものの、同時に市場性資産の総売買量も低下させる虞があることが示された。

(2) 中央銀行の政策が連動的破綻に与える影響の分析

応用実験 II -a では、中銀資金供給、LLR の影響を確認した。中央銀行の資金供給は、Georg が指摘するように[Georg 2013]、金融機関の破綻可能性を低下させる一方、インターバンクでの資金調達が低調となった。一方、ログ分析からは、別の形のリスクとして、資金調達の中央銀行への依存や自己資本比率の低下した本来退出すべき金融機関が残存する可能性が示された。

また、応用実験 II -b では、マイナス金利政策などにより、中銀の当座預金利率が引き下げられ、金融機関の余資運用において、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。

以上、本研究の結論を示したものが、図 5-1 である。

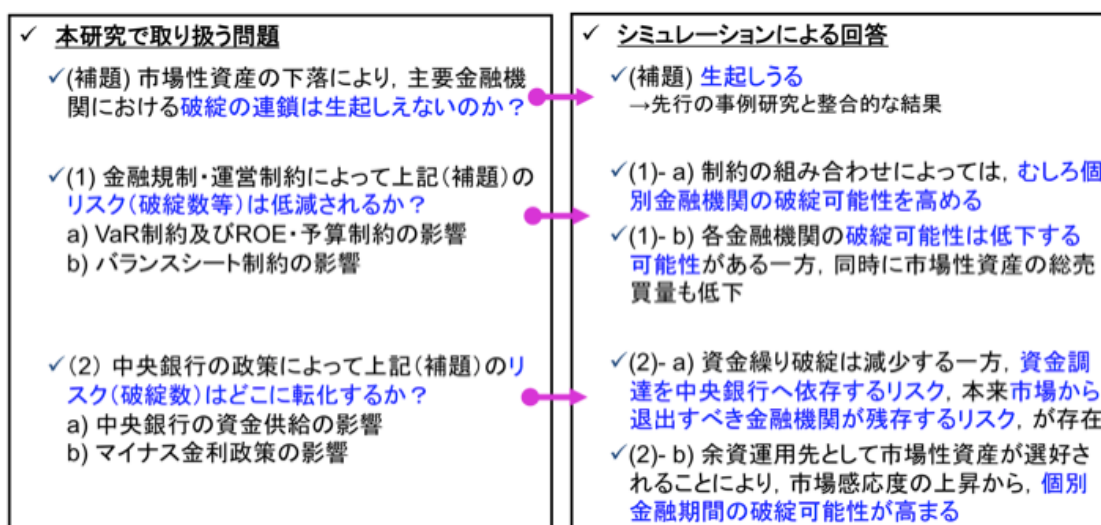


図 5-1 本研究の結論：本研究での問題とシミュレーションによる回答

上記結論を受け、本研究の貢献は以下の通りである(図 5-2)。本研究のフレームワークにより接近可能な事柄としては、まず、金融危機に係る「あり得た」シナリオの分析を行うことが挙げられる。提案モデルでは、金融規制・運営制約や中央銀行の政策と、それに対応する金融機関の主体的な行動（ALM 運営：投資行動及び資金繰り行動）を表現した。その上で、当該モデルを用いたシミュレーションを多数回実施することにより、規制・運営制約が金融システムの安定性に与える影響を分析した。実際の過去事例と対比することで、金融危機時に「あり得た」可能性につき、シナリオ分析を行うことができると考える。また、エージェントシミュレーションならではのアプローチとして、ログ分析を通じた危機のメカニズムの分析が挙げられる。金融機関エージェントの行動履歴をトレースすることで、規制・運営制約に応じて金融機関エージェントがどのように行動を変容させ、それがマクロの危機を生じさせたのかといった、危機の発生メカニズムの分析が可能であると考えられる。

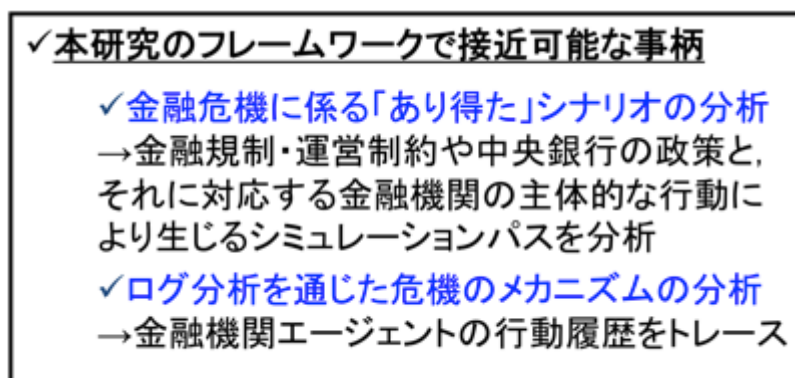


図 5-2 本研究の貢献：本研究のフレームワークで接近可能な事柄

5.2 今後の課題

今後の課題は以下の通りである。まず、提案モデルが捨象・単純化した事柄の拡張が考えられる。この点では、(1) 金融機関の行動が市場性資産の価格変動に与える影響、(2) インターバンクネットワークが実体経済に与える相互的な影響、(3) インターバンクネットワークの周辺部の金融機関の存在、(4) 複数の市場性資産、を考慮することが挙げられる。最後に、(5) 提案モデルの応用可能性について述べる。

(1) エージェントの行動から市場性資産価格へのフィードバック

提案モデルにおける市場性資産価格は、確率過程で外生的に決定され、エージェントの行動が金融価格に影響を与えることは考慮していない。金融機関エージェントの行動から市場へのフィードバックを勘案した場合には、連動的破綻が起きやすくなるものと思われる。このことから本研究での知見に大きな変更はもたらさないと考えるが、これらフィードバックの影響の具体的検証は今後の課題とする。

(2) 融資行動や実体経済への影響

提案モデルは、保有市場性資産の価格変動による財務状況の悪化を通じた金融機関の破綻を扱うものであり、融資行動や実体経済への影響は陽に取り扱っていない。但し、個別・固有の融資等により破綻が連鎖的に伝播する様子を表現した、いわゆる「ドミノモデル」では、システミックな危機が発生する可能性は小さいとされている[Shin 2010]

このことから、融資行動を捨象したとしても、本研究で得られた結果の大筋は変わらないものとするが、実体経済への影響に対する分析は今後の課題とする。

(3) インターバンクネットワークの周辺部の金融機関の存在

本研究では、共通して保有する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻（共通資産効果）を取り扱うという観点から、a) 保有有価証券残高は、主要金融機関だけで過半を超える [全銀協資料]、b) 本邦における主要金融機関はほぼ完全結合[今久保&野副 2008]である、という事実を踏まえ、インターバンクネットワークの主要金融機関を研究対象とした。但し、上記(2)の融資行動や実体経済への影響を勘案するなど、モデルの記述範囲をより大域的にした場合、インターバンクネットワークの周辺部分の金融機関の挙動も勘案することが考えうる。

(4) 複数の市場性資産

提案モデルでは、保有する市場性資産を 1 種類とする単純化を行った。これは、銀行勘

定を想定し、当該勘定の特徴（市場性資産は国債や社債等、金利感応的なものが多く、金利リスクのコントロールに関心がある）とされている[日銀 1995]）を勘案したものである。そのため、評価損益の増減は金利水準の変化により粗くではあるが見積もれると考えられるものの、現実には、金融機関毎に投資先は異なる。リスク・リターンの異なる複数の市場性資産を勘案することで、より実際に接地したシミュレーションを行うことができると考えられるが、この点に関しては今後の課題とする。

（5）提案モデルの応用可能性について

提案モデルを応用し、各社の自己資本比率など公表されている情報を勘案し、より現実の状況に即したシミュレーションを行った上で、足許の経済・金融状況が連鎖的な破綻を生じられるような状況に比べて、どの程度「健全」かを判断する指標を作成することが可能ではないかと考える。このような提案モデルの応用可能性の検討は、今後の課題とする。

謝辞

本論文の作成にあたり，多くの方々からご支援，ご助言をいただきましたこと，まずはこの場をお借りして御礼申し上げます．

東京工業大学大学院の寺野隆雄教授には，指導教官として，研究テーマの絞り込みから論文作成，学会発表など，多岐に亘るご指導を賜りました．様々な場面での的確なアドバイスを頂いたお陰で，研究生活を送ることができました．東京工業大学大学院・寺野研究室の國上真章特別研究員には，毎週のゼミを通じて，研究を進めていく過程で多数の有益な助言を頂き，研究を導いて下さったことに深く感謝申し上げます．

慶應義塾大学の高橋大志教授には，定期的にミーティングの機会を与えていただき，研究のグランドデザインを作成するにあたり，多大なるご支援を頂きました．山口大学の山田隆志准教授には研究の進め方に留まらず，投稿論文の推敲や先行文献の調査などにもご協力をして頂きました．改めて両先生には深く御礼申し上げます．

2007 年の東京工業大学大学院入学以来，修士修了から博士課程入学までの間も含め，約 10 年に亘って，東京工業大学大学院・寺野研究室のメンバー各位には大変お世話になりました．様々なバックボーンを持つ皆様と，研究や日々の仕事内容などについて対話させて頂くことは，大変勉強になりました．また，寺野研究室の山口ひとみさんには，事務手続き等，様々なご協力を頂きました．これからも，寺野研究室のメンバーや OB，OG からなるコミュニティがますます発展していくことを願っております．

最後に，博士課程での経験を基に，今後も研究や日常業務を通じて，研鑽を続けていく所存です．この研究活動を支えて下さった全ての皆様に，改めて感謝いたします．

※各氏の所属，職責は 2016 年 12 月時点の表記となっております．

参考文献

[大橋&服部 2012] 大橋和彦, 服部正純, “金融危機、金融市場、金融仲介機能に関する研究の潮流:危機がもたらした視点・力点の変化の整理”, 金融研究, 日本銀行金融研究所, 2012.

[Allen and Carletti 2013] Allen, F. and Carletti, E., “What Is Systemic Risk? ”, Journal of Money, Credit and Banking, Supplement to Vol. 45, No. 1, 2013.

[藤井&高岡 2010] 藤井真理子, 高岡慎, ”金融システムの構造と伝染効果-ネットワーク・アプローチ-”, 財務省財務総合政策研究所フィナンシャル・レビュー, 平成 22 年第 3 号, 2010.

[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.

[富安 2016] 富安弘毅, “規制によるコスト増と流動性の低下について”, 証券アナリストジャーナル, Vol. 54, No.2, pp.35-46, 2016.

[宮内 2015] 宮内惇至, “金融危機とバーゼル規制の経済学 リスク管理から見る金融システム”, 勁草書房, 2015.

[金融調査研究会 2010] 金融規制の新展開 ―金融危機後のグローバルな金融規制改革の実体経済・金融市場への影響分析―, 『金融調査研究会報告書(46)』, 金融調査研究会, 2010.

[Nakaso 2013] Nakaso, H., “Financial Crisis and Central Banks’ “Lender of Last Resort” Function”, Remarks at the Executive Forum Hosed by the World Bank “Impact of the financial crises on central bank functions”, 2013.

[Caruana 2011] Caruana, J., “Why central bank balance sheets matter”, Keynote address at the Bank of Thailand-BIS conference , 2011.

[樋口 2003] 樋口修, “米国における金融・資本市場改革の展開”, レファレンス, 53(12), pp.47-62, 2003.

[戸田 2013] 戸田壯一, “金融危機と金融制度改革-元 FDIC 議長アイザックの著書を手がかりに-”, エコノミア, Vol.64, No.1, pp.13-28, 2013.

[鳥毛 2016] 鳥毛拓馬, “トランプ氏の金融規制に対する考え方 ドッド・フランク法は廃止されるのか”, 大和総研レポート, 2016.

http://www.dir.co.jp/research/report/law-research/securities/20161115_011406.pdf

(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[Kaufman 2000] Kaufman, G., G., “Banking and Currency Crises and Systemic Risk: A Taxonomy and Review”, Financial Markets, Institutions & Instruments, V. 9, No. 2, 2000.

[Friedman and Schwarz 1963] Friedman, M., and Schwartz, A., ” Monetary History of the United States”, Princeton, NJ: Princeton University Press.

[Bryant 1980] Bryant, J., “A Model of Reserves, Bank Runs, and Deposit Insurance.” Journal of Banking and Finance, 4, 1980.

[Diamond and Dybvig 1983] Diamond, D. and Dybvig, P., “Bank Runs, Deposit Insurance, and Liquidity.” Journal of Political Economy, 91, 1983.

[Gorton 1988] Gorton, G., “Banking Panics and Business Cycles.” Oxford Economic Papers, 40, 1988.

[Calomiris and Gorton 1991] Calomiris, C. and Gorton, G., “The Origins of Banking Panics, Models, Facts, and Bank Regulation.” In Financial Markets and Financial Crises, edited by R. Glenn Hubbard, pp. 109–73. Chicago: University of Chicago Press, 1991.

[Calomiris and Mason 2003] Calomiris, C. and Mason, J., “Fundamentals, Panics and Bank Distress during the Depression.” American Economic Review, 93, 2003.

[Herring and Wachter 1999] Herring, R. and Wachter. S., “Real Estate Booms and Banking Busts: An International Perspective.” Wharton Financial Institutions Center Working Paper 99–27, 1999.

[Reinhart and Rogoff 2009] Reinhart, C. and Rogoff, K., “This Time Is Different: Eight Centuries of Financial Folly”, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2009.

[Crowe et al. 2011] Crowe, C., Giovanni D., A., Igan, D. and Rabanal, P., “How to Deal with Real Estate Booms: Lessons from Country Experiences”, IMF Working Paper 11/91, 2011.

[Allen and Carletti 2010] Allen, F. and Carletti, E., “An Overview of the Crisis: Causes, Consequences and Solutions”, *International Review of Finance*, 10, 1–27, 2010.

[Kirilenko et al. 2011] Kirilenko, A., Albert S., K., Samadi, M. and Tuzun, T., “The Flash Crash: The Impact of High Frequency Trading on an Electronic Market”, *SSRN Electronic Journal*, 2011.

[Sakiyama and Yamada 2016] Sakiyama, T. and Yamada, T., “Market Liquidity and Systemic Risk in Government Bond Markets: A Network Analysis and Agent-Based Model Approach”, *IMES Discussion paper series No.2016-E-13*, 2016.

[Baltas 2013] N., C., Baltas, “The Greek Financial Crisis and the Outlook of the Greek Economy“, *ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS AND BUSINESS, WORKING PAPER SERIES* 19–2013.

[大野 2012] 大野早苗, “欧州ソブリン危機-ソブリン・リスクと金融セクターのデフォルト・リスクの波及効果について-”, 財務省財務総合政策研究所「フィナンシャル・レビュー」平成 24 年第 3 号（通巻第 110 号）, 2012.

[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.

[Wagner 2010] Wagner, W., “Diversification at Financial Institutions and Systemic Crises”, *Journal of Financial Intermediation*, 19, 333–54, 2010.

[Ibragimov et al. 2011] Ibragimov, R., Dwight J. and Johan W., “Diversification Disasters”, *Journal of Financial Economics*, 99, 333–48, 2011.

[Allen et al. 2012] Allen, F., Babus, A. and Carletti, A., “Asset Commonality, Debt Maturity and Systemic Risk”, *Journal of Financial Economics*, 104, 519–34, 2012.

[Hirshleifer and Teoh 2009] Hirshleifer, D. and Teoh, S., H., “Thought and Behavior Contagion in Capital Markets”, *Handbook of Financial Markets: Dynamics and Evolution*, 2008.

[小林 2014] 小林照義, “金融ネットワーク・モデルとネットワーク理論 : 現状と課題”, *国民経済雑誌*, 210, 6, 91-101, 2014.

[Watts and Strogatz 1998] Watts, D. J., and Strogatz, S. H., “Collective dynamics of ‘small-world’ networks”, *Nature* 393, 440-442, 1998.

[Barabasi and Albert 1999] Barabasi, A.-L., and Albert, R., “Emergence of scaling in random networks”, *Science* 286, 509-512, 1999.

[Muller 2003] Müller, J., “Two Approaches to Assess Contagion in the Interbank Market,” mimeo, 2003.

[稲岡 et al. 2003] 稲岡 創, 二宮拓人, 谷口 健, 清水季子, 高安秀樹, “金融機関の資金取引ネットワーク”, 金融市場局ワーキングペーパー 2003-J-2, 日本銀行金融市場局, 2003.

[Iori et al. 2008] Iori, G., G. de Masi, O. Precup, G. Gabbi, and G. Caldarelli, “A Network Analysis of the Italian Overnight Money Market”, *Journal of Economics and Dynamics & Control*, 32, 2008, pp. 259–278, 2008.

[今久保 and 副島 2008] 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, 2008.

[Eisenberg and Noe 2001] Eisenberg, L. and Noe, H., “Systemic Risk in Financial Systems”, Management Science, Vol. 47, No. 2, pp. 236-249, 2001.

[Gai & Kapadia 2007] Gai, P. and Kapadia, S., ”Contagion in Financial Networks”, Bank of England, Working Paper No. 383, 2010.

[Nier, Yang, Yorulmazer & Alentorn 2008] 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.

[Haldane 2011] A. G. Haldane, R. M. May, “Systemic risk in banking ecosystems”, Nature Vol. 469, pp. 351-355 (2011).

[Upper 2011] C. Upper, “Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets”, Journal of Financial Stability Vol. 7, pp. 111-125, 2011.

[Suzuki et al. 2015] Suzuki, Y., Namatame, A. and Aruka, Y., “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ミックリスク指標の効果分析”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2015, 2015.

[橋本 and 倉橋 2016] 橋本守人, 倉橋節也, ” インターバンクネットワークによる資産損失の伝播”, 人工知能学会 第 5 回 経営課題に AI を! ビジネス・インフォマティクス研究会, 2016.

[Shin 2010] Shin, H., S., “ 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.)

[Caccioli et al. 2014] Caccioli, F., Shrestha, M., Moore, C. and Farmer, J., D., “Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios”, Journal of Banking & Finance, Vol.46, pp.233-245, 2014.

[Elsinger et al. 2006] Elsinger, H., A. Lehar and M. Summer, “Risk Assessment for Banking Systems,” Management Science Vol. 52 No. 9, pp.1302-1314, 2006.

[貝塚 et al. 2016] 貝原俊也，藤井信忠，國領大介，橋本祐真: “資金の取引関係と共通アセットに着目した金融機関のシステミックリスク解析”,2016.

[Georg 2013] Georg, C., P., "The Effect of Interbank Network Structure on Contagion and Common Shocks", Journal of Banking and Finance 37(7), 2013.

[全銀協資料 a] 全銀協 全国銀行財務諸表分析 平成 26 年度決算・全国銀行総合財務諸表（業態別） <http://www.zenginkyo.or.jp/abstract/stats/year2-02/account2014-terminal/>
(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[伊藤 他 2014] 伊藤邦雄ほか：「持続的成長への競争力とインセンティブ～企業と投資家の望ましい関係構築～」プロジェクト（伊藤レポート）最終報告書，経済産業省，2014.

[Kiema and Jokivuolle 2014] Kiema, I. and E. Jokivuolle, “Does a leverage ratio requirement increase bank stability? ”, Journal of Banking and Finance 39, 240-254, 2014.

[Distinguin et al. 2013] Distinguin, I., C. Roulet, and A. Tarazi, “Bank regulatory capital and liquidity: Evidence from US and European publicly traded banks”, Journal of Banking and Finance 37, 3295-3317, 2013.

[Chung and Keppo 2012] Chung, S. and J. Keppo, “The impact of Volcker rule on bank profits and default probabilities”, Unpublished manuscript (SSRN 2167773), 2012.

[Krishnamurthy 2010] Krishnamurthy, A., “Amplification Mechanisms in Liquidity Crises”, American Economic Journal: Macroeconomics, Vol. 2, No. 3, pp. 1-30, 2010.

[日本銀行 2011] “日本銀行のマクロプラードンス面での取組み”, 日本銀行公表資料, 2011.

[小立 2011] 小立 敬, “マクロプラードンス体制の構築に向けた取組み”, 金融庁金融研究センター, DP 2011-1, 2011.

[白川 2009] 白川 方明, “現代の金融政策—理論と実際”, 日本経済新聞出版社, 2008.

[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-, みずほ総研, 2016.

<https://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/urgency/report160210.pdf>

(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[Galati 2012] Galati, G., “MACROPRUDENTIAL POLICY – A LITERATURE REVIEW”, Journal of Economic Surveys (2013) Vol. 27, No. 5, pp. 846–878, 2012.

[日本銀行 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 Committee on Banking Supervision 1996] Amendment to the capital accord to incorporate market risks, Basel Committee on Banking Supervision, 1996.

[黒田・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.

[福田ほか 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 年.

[金融庁資料 a] 早期是正措置の概念図, 金融庁.

<http://www.fsa.go.jp/common/paper/23/zentai/03.pdf>

(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[金融庁資料 b] バーゼル 3(国際合意)の概要, 金融庁.

http://www.fsa.go.jp/policy/basel_ii/basel3.pdf

(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[Bech and Garratt 2012] Bech, M., L. and Garratt, R., J., “Illiquidity in the Interbank Payment System Following Wide-Scale Disruptions”, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 44, No. 5, 2012.

[Brunnermeier 09] Brunnermeier, M., K. and Lasse H. P., “Market Liquidity and Funding Liquidity”, Review of Financial Studies Vol. 22, No. 6, pp. 2201-2238, 2009.

[寺野 2003] 寺野隆雄, “エージェントベースモデリング : KISS 原理を超えて”, 人工知能学会誌, Vol.18, No.6, pp.710-715, 2003.

[寺野 2004] 寺野隆雄, “エージェント・ベース・モデリング : その楽しさと難しさ”, 計測と制御, Vol.43, No.12, pp.927-931, 2004.

[高橋 2003] 高橋大志, 寺野隆雄, “エージェントモデルによる金融市場のミクロマクロ構造の分析 : リスクマネジメントと資産価格変動”, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J86-D-I, No.8, pp.618-628, 2003.

[The Economist 2010] “Agents of change”, The Economist web page

<http://www.economist.com/node/16636121>

(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[安藤 2004] 安藤美孝, “ヒストリカル法によるバリュエーション・アット・リスクの計測 : 市場価格変動の非正常性への実務的対応”, 金融研究, 2004.

[高橋 and 寺野 2002] 高橋大志, 寺野隆雄, “エージェントシミュレーションによる GARCH モデルと Prospect 理論の関連性の分析”, シミュレーション, 21, 2, 2002.

[Takahashi and Terano 2003] Hiroshi TAKAHASHI and Takao TERANO, “Agent-Based Approach to Investors’ Behavior and Asset Price Fluctuations in Financial Markets”, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, no.3, Vol.6, 2003.

[Takahashi 2013] Hiroshi Takahashi, “Analyzing the influence of value at risk on financial markets through agent-based modeling”, International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems, No.4, vol.17, pp.257-266, 2013.

[日本銀行 2013] 小林俊, 中山興, ”日銀レビュー リスク資産間のクロス・アセット相関の高まり”, 日本銀行金融市場局, 2013.

[全銀協 b] 全銀協 全国銀行財務諸表分析 平成 26 年度決算・銀行別諸比率表
<http://www.zenginkyo.or.jp/abstract/stats/year2-02/account2014-terminal/>
(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[FSB 2016] FSB 2016 list of global systemically important banks(G-SIBs)
<http://www.fsb.org/wp-content/uploads/2016-list-of-global-systemically-important-banks-G-SIBs.pdf>
(2017 年 2 月 10 日アクセス)

[Luenberger 1997] Luenberger,D., G., “Investment Science”, Oxford University Press, New York, 1997.

[森平 1996] 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.

[林 2010] 林伴子, “世界金融・経済危機における各国の政策とその効果”, 内閣府経済社会総合研究所, 2010 年.

[寺野 2010] 寺野隆雄, “なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か”, 横幹, 4(2), 56-62, 2010.

[Grimm et al. 2005] V. Grimm, E. Revilla, U. Berger, F. Jeltsch, W. M. Mooij, S. F. Railsback, H.

Thulke, J. Weiner, T. Wiegand, and D. L. DeAngelis, “Pattern-Oriented Modeling of Agent- Based Complex Systems: Lessons from Ecology”, *Science*, Vol.310, No.5750, pp. 987-991, 2005.

[Grimm et al. 2006] Volker Grimm, Uta Berger, Finn Bastiansen, Sigrunn Eliassen, Vincent Ginot, Jarl Giske, John Goss-Custard, Tamara Grand, Simone K. Heinz, Geir Huse, Andreas Huth, Jane U. Jepsen, Christian Jørgensen, Wolf M. Mooij, Birgit Muller, Guy Pe’er, Cyril Piou, Steven F. Railsback, Andrew M. Robbins, Martha M. Robbins, Eva Rossmanith, Nadja Ruger, Espen Strand, Sami Souissi, Richard A. Stillman, Rune Vabø, Ute Visser, Donald L. DeAngelis, “A standard protocol for describing individual-based and agent-based models”, *Ecological Modelling*, pp.115–126, 2006.

[Grimm et al. 2010] V. Grimm, E. Revilla, U. Berger, D. L. DeAngelis, J. Gary Polhill, Jarl Giske, Steven F. Railsback, “The ODD protocol: A review and first update”, *Ecological Modelling*, 221, pp.2760–2768, 2010.

業績目録

(1) 学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文(全て査読あり)

- [1] 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”, 人工知能学会誌「エージェント技術とその応用」, Vol.31, No.6, 2016.
- [2] 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中央銀行の資金供給が金融機関の連動的な破綻に与える影響の分析”, 経営情報学会誌, Vol.25, No.3, 2016.

(2) 国際会議における発表(口頭発表, 査読あり)

- [3] Takamasa Kikuchi, Hiroshi Takahashi, Takao Terano: “The Propagation of Bankruptcies of Financial Institutions — an Agent Model of Financing Behavior and Asset Price Fluctuations”, The 9th International Workshop on Agent-based Approach in Economic and Social Complex Systems, 2015.
- [4] Takamasa Kikuchi, Masaaki Kunigami, Takashi Yamada, Hiroshi Takahashi, Takao Terano: “Analysis of the Influences of Central Bank Financing on Operative Collapses of Financial Institutions using Agent-based Simulation”, IEEE The 40th Annual International Computers, Software & Applications Conference, the 3rd International workshop on Social Services through Human and Artificial Agent Models, 2016.
- [5] Takamasa Kikuchi, Masaaki Kunigami, Takashi Yamada, Hiroshi Takahashi and Takao Terano: “Considering Negative Interest Rate Simulation of the Stability of the Interbank Network”, Social Simulation Conference 2016, 2016.

(3) 国内学会・シンポジウム等における発表（全て査読無し）

<口頭発表>

- [6] 菊地剛正, 山田隆志, 高橋大志, 寺野隆雄: “金融機関の ALM 運営を考慮した破綻伝播のエージェントモデル”, 人工知能学会 第3回 経営課題に AI を! ビジネス・インフォマティクス研究会, 2015.
- [7] 菊地剛正, 國上真章, 山田隆志, 高橋大志, 寺野隆雄: “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”，人工知能学会 第4回 経営課題にAIを！ビジネス・インフォマティクス研究会, 2016.

[8] 菊地剛正, 國上真章, 山田隆志, 高橋大志, 寺野 隆雄: “金融規制が金融システムの安定性や金融機関行動に与える影響についてのシミュレーション”, 人工知能学会 第5回 経営課題にAIを！ビジネス・インフォマティクス研究会, 2016.

<ポスター発表>

[9] 菊地剛正, 高橋大志, 寺野隆雄: “金融機関の破綻伝播に関する考察 -資産価格変動と資金繰り行動を考慮したエージェントモデル-”, 第9回社会システム部会研究会, 2015.

[10] 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, 2015.

(4) 寄稿

・経営情報学会 2015 年秋季全国研究発表大会 受賞研究者紹介: “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”, 経営情報学会誌, Vol.25, No.1, 2016.

(5) 受賞歴

・経営情報学会 学生優秀発表賞 (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 2015 年秋季全国研究発表大会, 2015.

以上

付録

付録には, 本モデルの ODD プロトコル及び実験パラメタの設定の根拠として使用したデータ等を掲載する.

- 1. ODD プロトコル
 - 1.1 ODD プロトコルとは
 - 1.2 提案モデルの ODD プロトコル
- 2. 実験パラメタの設定根拠等
 - 2.1 自己資本比率規制の概要
 - 2.2 本邦国際基準行リスト
 - 2.3 本邦金融機関別保有有価証券残高
 - 2.4 G-SIBs 構成金融機関リスト

1. ODD プロトコル

1.1 ODD プロトコルとは

ODD(Overview, Design concepts and Details)プロトコルとは, Grimm らによって提案された, エージェント・ベース・モデルの標準化手法である[Grimm et al. 2006; Grimm et al. 2010]. 当該手法に基づくことにより, モデルの記述の厳密性を担保することが可能であるとされている. 下表に, ODD プロトコルの構成を示す.

図 ODD プロトコルの構成 ([Grimm et al. 2010]を基に作成)

要素	説明
Overview	
Purpose 目的	・モデルの目的
Entities, state variables, and scales エンティティ, 状態変数, スケール	・モデルに含まれるエンティティ(エージェント)と特徴付けられる変数や特性
Process overview and scheduling プロセス, スケジューリング	・シミュレーションのプロセス(エージェントがどういった順番に何をやるのか)
Design concepts	
Basic principles 基本原則	・モデルの基本コンセプト, 理論, 仮説, それらの関係性
Emergence 創発	・エージェントの適応的な特性や行動により生じる(マクロな)結果
Adaptation 適応	・エージェント自身や環境の変化に反応して意思決定し行動を変更するルール
Objectives 目標・対象	・エージェントが追求する成功の定義, 目標の測定
Learning 学習	・エージェントが経験を通じて特性を変化させる方法
Prediction 予測	・エージェント自身や環境の将来の状態に対する考え方
Sensing 感知	・意思決定において参照する内部及び外部の状態変数
Interaction 相互作用	・エージェント間の直接・間接の相互作用
Stochasticity 偶然性	・モデル上のプロセスにおいてランダムな前提がおかれている箇所
Collectives 集団	・エージェントが形成している, 所属している集合
Observation 観察	・検証や分析のためにモデル(シミュレーション)から得られるデータ
Detail	
Initialization 初期化	・モデルの初期状態
Input data インプットデータ	・モデルに対する外的なデータソース等からの入力
Submodels サブモデル	・「プロセス, スケジューリング」におけるサブモデル

1.2 提案モデルの ODD プロトコル

本編 3.3 節では、主に金融システムにおける機能面からモデルを記述したが、本節では、ODD プロトコルに従い、提案モデルを記述する。

表 提案モデルの ODD プロトコル

項目		本モデル
Overview	Purpose	・金融規制・運営制約や中央銀行の政策による インターバンクネットワークの安定性への影響を分析すること
	Entities	＜エージェント＞ ・(市中)金融機関, 中央銀行 ＜(外部)環境＞ ・市場性資産の価格
	State variables	・市場性資産の価格(サブモデルの出力・状態) ・バランスシート計数, 財務計数(ミクロ変数), 破綻金融機関数, 売買量(マクロ変数)
	Process overview	・初期化/市場性資産価格の更新/バランスシート計数, 財務計数の更新/ 投資行動の意思決定/資金繰り行動の意思決定/連鎖的な破綻のループ
Design concepts	Design concepts	・後述の11項目
Detail	Initialization	・各金融機関の財務特性及びリスク選好(投資・調達時)
	Input data	・市場性資産の価格
	Submodels	・市場性資産の価格: 確率微分方程式により外部的に決定

次頁から、まずは始めに、Overview 及び Detail について記載した後、別の表を用いて、Design concepts を纏める。

Overviews

• Purpose

本研究の目的は、金融規制・運営制約や中央銀行の政策によるインターバンクネットワークの安定性への影響を分析することである。

• Entities

提案モデルのエンティティは、エージェントとして、市中金融機関及び中央銀行を取り扱う。また、(外部)環境として、市場性資産の価格が与えられるものとする。

• State variables

提案モデルの状態変数としては、サブモデルの状態・出力として、市場性資産の価格が存在する。また、ミクロの変数として、a)各市中金融機関及び中央銀行のバランスシート計数、b)各市中金融機関の財務計数が存在する。更に、マクロの変数として、c)破綻金融機関数と d)個別金融機関の総合損益の総計、e)各市中金融機関の市場性資産の総売買数量、がある。

• Process overviews

提案モデルのプロセス・スケジューリングは以下の要素からなる：

1) 初期化

シミュレーション開始時に、各市中金融機関のバランスシート計数及び投資意思決定時・資金繰り意思決定時のリスク特性の決定を行う。

以降、2)～6)は **Time Step** で繰り返し実行される。

2) 市場性資産価格の更新

サブモデルで計算した市場性資産の価格が外部的に与えられる。

3) バランスシート計数・財務計数の更新

2)を受けて、各市中金融機関のバランスシート計数が変化し、財務計数が更新される。一部財務計数が閾値にヒットする場合、当該市中金融機関は破綻したものと見做す。

4) 投資行動の意思決定

3)を受けて、各市中金融機関は、今 **Time Step** での市場性資産の売買に係る意思決定を

行う。

5) 資金繰り行動の意思決定

4)を受け、今 **Time Step** における各市中金融機関のバランスシートが変化し、財務計数が更新される。資金の過不足（要調達額、要運用額）が決定され、市中金融機関間、又は、市中金融機関と中央銀行の間で資金繰りに係る意思決定を行う。資金の不足を解消できなかった市中金融機関は破綻したものと見做し、当該金融機関と資金的な繋がりがあった他市中金融機関のバランスシート計数に影響を与える（下記 6）へ移行）。

6) 連鎖的な破綻のループ

5)で破綻した市中金融機関は、資金的な繋がりがあった他の市中金融機関のバランスシート計数に影響を与えるが、当該影響が、影響を受けた側の市中金融機関の資本内で吸収できる場合、破綻の連載は生じないものとする。吸収できない場合、当該市中金融機関は（連鎖）破綻したものと見做し、再度、資金的繋がりのある市中金融機関のバランスシート計数に影響を与える。

Details

• Initialization

初期化としては、シミュレーション開始時に、各市中金融機関のバランスシート計数及び投資意思決定時・資金繰り意思決定時のリスク特性の決定を行う。

• Input data

インプットデータとしては、サブモデルで計算した市場性資産の価格変動が与えられる。当該価格変動を受け、各市中金融機関の財務計数が変化し、その影響で、投資意思決定や資金繰り意思決定に変化が生じる。

• Submodels

市場性資産の価格変動は、サブモデルとして、確率微分方程式を差分化し、計算機実験により決定している。

Design concepts

下表の通り，Design concepts を纏めた．個別項目については次頁から詳述する．

表 提案モデルのデザインコンセプト

項目	本モデル	備考
Basic principles	＜背景となる理論＞ ・Contagionメカニズム：金融ネットワーク理論 ・金融機関の投資行動：ポートフォリオ運用（リスク・無リスク資産間） ・金融機関の資金繰り行動：流動性マネジメントゲーム	先行研究：[May and Arinaminpathy 2010] 等 エージェントモデル：[Georg 2013] 数理モデル：[Bech et al. 2012]
	＜モデル化の前提＞ ・市場性資産価格：外部的に算出，投資行動からのフィードバックなし ・インターバンクネットワークの主要金融機関にフォーカス ・マクロ経済との連関を捨象	
	＜モデルの拡張点＞ ・資金流動性による破綻の表現 ・金融規制・運営制約，中央銀行の各種政策を導入	理論研究：[Brunnermeier 2009] 等の考慮 今日的な運営制約等の考慮
	Emergence	・破綻の連鎖（Contagion）
Adaptation	・投資行動：予算・ROE制約，自己資本比率制約，VaR制約 ・資金繰り行動：カウンターパーティの信用状況	
Objectives	・ゴーイングコンサーン（1）ROE・予算の達成，2）各種運営制約の遵守	
Learning	・なし	
Prediction	・投資行動：市場性資産のリスク・リターン，自己のリスク選好で決定	相場観： $f_i = r_m - \sigma_m \lambda_i$ （ i : エージェント）
Sensing	・投資行動：インカム収益，自己資本比率，VaR，市場性資産リスク・リターン	
	・資金繰り行動：資金ギャップ，自己資本比率，最低要求自己資本比率	
Stochasticity	・初期設定における各金融機関の財務特性及びリスク選好（投資・調達時）	財務特性：バランスシート計数，財務計数
Interaction	・資金繰り行動：短期資金の調達・運用	
	・中央銀行の資金供給：中央銀行と（市中）金融機関の資金供給・調達	
Collectives	・インターバンクネットワークの主要金融機関	一国のインターバンク市場を対象
	・中央銀行	
Observation	・ミクロ：（市中）金融機関・中央銀行のBS計数，財務計数	
	・マクロ：破綻金融機関数，同時多発的破綻・連鎖的破綻	

- Basic principles

基本原則は以下の 3 つの観点で考える：

<背景となる理論>

① "Contagion"メカニズム

本編 2.2 節及び 2.3 節で議論した通り，提案モデルは，金融危機に係るリスクの類型として，"Contagion"に注目し，更に当該リスクを表現する金融ネットワークモデルに立脚している．先行研究としては，[May and Arinaminpathy 2010] 等が挙げられる．

② 金融機関の投資行動

本編 2.7.2 項で述べた通り，提案モデルは，金融機関の ALM 運営の一側面として，銀行勘定を想定した投資行動を行う．当該投資行動は，一般的なファイナンス分野でも取り扱われるリスク資産と無リスク資産の間のポートフォリオ運用の問題を単純化したものと解釈できる．このような金融機関の投資行動を取り入れた金融ネットワークモデルに係る研究としては，エージェントシミュレーションを用いた[Georg 2013]があり，当該研究のフレームワークを参照することとする．

③ 金融機関の資金繰り行動

本編 2.7.2 項で述べた通り，提案モデルは，金融機関の ALM 運営の一側面として，インターバンク市場における短期資金の運用・調達（＝資金繰り行動）を行う．このような資金繰り行動を考慮した先行研究としては，Bech らによる数理モデル[Bech and Garratt 2012]があり，当該研究を参考に，資金流動性の問題にアプローチできるよう，モデル化を行うこととする．

<モデル化の前提>

① 市場性資産価格の外的決定

提案モデルでは，市場性資産価格は外的的に算出されるものとしている．このため，本来的には想定される，金融機関の投資行動を通じた市場性資産価格へのフィードバックは勘案されていない．

② インターバンクネットワークの主要金融機関へのフォーカス

提案モデルでは，対象とするエンティティについて，インターバンクネットワークの主要金融機関にフォーカスしている．2.4.2 項でも議論した通り，本研究では，共通して保有

する市場性資産への価格ショックによる同時的な破綻（共通資産効果）を取り扱う．その観点から，a) 保有有価証券残高は，主要金融機関だけで過半を超える [全銀協資料]，b) 本邦における主要金融機関はほぼ完全結合[今久保&野副 2008]である，という事実を踏まえ，インターバンクネットワークの中でも主要金融機関を対象としている．

③ マクロ経済との連関の捨象

提案モデルでは，マクロ経済とインターバンクネットワークの相互連関を捨象している．実体経済に与える相互的な影響を対象とすることで，リーマン・ショックなどに代表される金融危機がインターバンクネットワークから実体経済へ波及する様子をシミュレーションできるようになるものと考えられるが，研究目的から，まずは 2.4.2 項で議論した対象であるインターバンクネットワークの主要金融機関を分析する．

<モデルの拡張点>

① 資金流動性の勘案

本研究では，上記[Georg 2013]による，共通資産への価格ショックを織り込んだ破綻伝播モデルのフレームワークを用い，各金融機関は外的に与えられる市場性資産の価格変動により財務状況が変化し，当該の効果による破綻の可能性を表現する．その上で，資金流動性のマネジメントゲームと解釈できる先行研究の Bech らの数理モデル[Bech and Garratt 2012]を参考とし，資金流動性による破綻を陽に表現する．

② 金融規制・運営制約，中央銀行の政策の勘案

本研究では，本研究では，エージェントシミュレーションの枠組みを用い，投資行動・調達行動に対する直接的・間接的な制御メカニズムとして上記制約・政策を取り扱い，そのために必要な拡張を行う．

・ Emergence

提案モデルのシミュレーションにより，創発するマクロな現象は，インターバンクネットワークを構成する市中金融機関の連鎖的な破綻である．

・ Adaptation

市中金融機関は，以下の行動につき適応を行う．

① 投資行動

エージェント自身に課されている予算・ROE 制約，自身の自己資本比率制約，VaR 制約

により、投資意思決定（市場性資産を購入する、売却する、残高を維持する）の変更を行う。

② 資金繰り行動

資金を貸し付けようとする先の市中金融機関の自己資本比率の状況に応じて、資金繰り意思決定（短期資金を貸し付けるか否か）の変更を行う。

・ Objectives

提案モデルにおけるエージェントの目的・目標は、a)予算・ROE を達成し、b)各種金融規制を遵守した上で、事業継続をすること（=破綻しないこと）である。

・ Learning

提案モデルにおける市中金融機関及び中央銀行は、学習メカニズムを有しない。

・ Prediction

提案モデルにおける市中金融機関は、市場性資産の価格変動から計算されるリスク及びリターンと、自身のリスク選好を考慮し、市場に対する「相場観」を持つ。当該相場観を参照し、投資意思決定が行われる。

・ Sensing

提案モデルにおける市中金融機関は、各行動において、以下の項目を感知する。

① 投資行動

インカム収益、自己資本比率、VaR、市場性資産のリスク・リターン

② 資金繰り行動

資金ギャップ、貸出先の自己資本比率、自身の最低要求自己資本比率

・ Stochasticity

提案モデルにおいて、ランダムな前提が置かれている箇所は、シミュレーションの初期化の時点で、各市中金融機関のバランスシート計数、財務計数、リスク選好を決定するプロセスである。

・ Interaction

提案モデルにおけるエージェント間の相互作用は以下の2点である。

- ① 市中金融機関間の資金繰り行動
- ② 市中金融機関と中央銀行の間の資金供給・調達

・ Collectives

提案モデルのエージェントは，市中金融機関と中央銀行かならなり，インターバンクネットワークを形成している．

・ Observation

提案モデルにて観測可能なデータは，以下の通りである．

- ① ミクロの変数
 - a) 各市中金融機関及び中央銀行のバランスシート計数
 - b) 各市中金融機関の財務計数
- ② マクロの変数
 - c) 破綻金融機関数
 - d) 個別金融機関の総合損益の総計
 - e) 各市中金融機関の市場性資産の総売買数量

2. 実験パラメタの設定根拠等

2.1 自己資本比率規制の概要

提案モデルで表現した自己資本比率規制については、金融庁資料「バーゼル 3（国際合意）の概要」に準拠し、以下の通り前提を置いている。自己資本比率規制は、海外営業拠点（海外支店又は海外現地法人）を有する預金取扱金融機関が従う a)新国際統一基準（2013 年 3 月期から適用）と、海外営業拠点を有さない預金取扱金融機関が従う b)新国内基準（2014 年 3 月期から適用）に分かれる（下図参照）。本研究では、本編 2.4.2 項で議論した通り、インターバンクネットワークの中でも更に主要金融機関に注目することから、自己資本比率の計算においては、a)新国際統一基準を想定したモデル化を行うこととした。

a) 新国際統一基準(バーゼル3, 2013年3月期から適用)

- 自己資本比率 = (普通株式等Tier1 + その他Tier1 + Tier2) / リスク・アセット $\geq 8\%$
- **その他有価証券の評価差額**を含むその他包括利益は普通株式等Tier1に**算入**
- 本研究では当該基準を簡略化して採用

b) 新国内基準(2014年3月期から適用)

- 自己資本比率 = コア資本 / リスク・アセット $\geq 4\%$
- **その他有価証券の評価差額**はコア資本に**算入せず**

※ リスク・アセット

➤ 掛け目の例

- ・日本国債, 地方債, 現金等: 0%
- ・政府関係機関等: 10%
- ・抵当権付住宅ローン: 35%
- ・中小企業・個人: 75%
- ・事業法人: 格付に応じ, 20%~100% (大宗は100%)

図 自己資本比率規制の概要（金融庁資料「バーゼル 3（国際合意）の概要」から作成）

2.2 本邦国際基準行リスト

本邦において国際統一基準に従う銀行のリストは以下の通りである(平成 26 年度基準).

表 本邦国際基準行リスト (銀行別諸比率表 (平成 26 年度) [全銀協 b]より作成)

銀行名
みずほ
三菱東京UFJ
三井住友
群馬
千葉
横浜
八十二
静岡
滋賀
中国
山口
伊予
名古屋
三菱UFJ信託
みずほ信託
三井住友信託

*銀行配列は統一金融機関番号順による

*銀行別諸比率表(平成26年度)[全銀協]より作成

2.3 本邦金融機関・業態別保有有価証券残高

本邦における金融機関の業態別有価証券保有残高を示したのが下図である。業態別の有価証券保有残高は、都市銀行及び信託銀行（計 9 行）で全国銀行（計 116 行）の過半数（下図の基準断面である平成 27 年 3 月を参照すると 60%超）を占めることが分かる。

貸借対照表(平成27年3月31日現在)						(単位：百万円)	
業態別	A 全国銀行	B 都市銀行	C 地方銀行	D 地方銀行Ⅱ	E 信託銀行		
有 価 証 券	257,375,052	130,184,264	82,258,852	17,235,291	24,798,565		
						B+E=	154,982,829
						(B+E)/ A=	60.2%

図 本邦金融機関 業態別 有価証券保有残高（全国銀行総合財務諸表（平成 26 年度）[全銀協 a]より作成）

2.4 G-SIBs 構成金融機関リスト

FSB が公表している G-SIBs のリストを以下に示す。2016 年 11 月断面では、グローバルに 30 社がリストアップされている。なお、Bucket の括弧内は追加資本賦課バッファである。

表 G-SIBs リスト(as of date: Nov. 2016)

Bucket	G-SIBs
5 (3.5%)	(Empty)
4 (2.5%)	Citigroup JP Morgan Chase
3 (2.0%)	Bank of America BNP Paribas Deutsche Bank HSBC
2 (1.5%)	Barclays Credit Suisse Goldman Sachs Industrial and Commercial Bank of China Limited Mitsubishi UFJ FG Wells Fargo
1 (1.0%)	Agricultural Bank of China Bank of China Bank of New York Mellon China Construction Bank Groupe BPCE Groupe Credit Agricole ING Bank Mizuho FG Morgan Stanley Nordea Royal Bank of Scotland Santander Societe Generale Standard Chartered State Street Sumitomo Mitsui FG UBS Unicredit Group