

資金取引ネットワークモデルに基づく金融機関の経営統合影響分析

Management integration impact analysis of financial institutions based on fund transaction network model

橋本 守人 倉橋 節也
Morito Hashimoto Setsuya Kurahashi

筑波大学
University of Tsukuba.

Systemic risk that propagates through financial systems causes insolvency or failure of particular financial institutions such as Bankruptcy of Lehman Brothers or European debt crisis. Although many researchers have challenged to find the propagation mechanism of the crisis in the inter-bank network, it is not clear completely yet. This research proposes new agent-based modeling method of systemic risk. This model uses simple balance sheet and some regulations. This model considers liquidity effects on Inter-bank network, but independents of network topology. Using this model, this research validates the effect of systemic risk in case of consolidation or merging of banks. The purpose of this research is to find a suggestion to help systemic risk reduce by reviewing and simulating several cases of defaults in financial institutions.

1. はじめに

2016年6月発行の国際通貨基金(IMF)の金融システムレポートでは、EUにおけるドイツ銀行のシステムリスクの危険性が発表された。レポートの中では、世界的システムリスクを抱える28の銀行のリスク度合いが実名入りでしめされたため、大いに議論を呼んだが、本リスクの算定にはシステムリスクのシミュレーションが使われている[1][2]。EUを中心とするシステムリスクの研究は、近年数が増えてきており、数理モデル、実データを使った実証研究、さらには、本研究のようなエージェントベースドモデルを使ったもの等、研究テーマとして充実してきている。

一方、金融機関の状況を鑑みると、バーゼルIIIへの規制対応の方向性が見えてきたところで、新たなTLAC(Total Loss Absorbing Capacity)の枠組みが検討され、さらなる規制対応が求められることになる。また、金融機関を取り巻く環境は、IT技術の進化による決済の24時間対応、仮想通貨(ビットコイン)、フィンテック(FinTech)による新しいビジネス等、新たな変化が起こっている。システムリスクが高まれば、それに備えて金融機関への規制の強化、預金保険の責任準備金の積み上げ、金融機関統合の推進等、進める必要がある。本研究では、流動性資金を考慮したシンプルなバランスシートによるエージェントベースドモデルを提案する。また、2017年2月16日の日本銀行黒田総裁のコメント[16]にもあるように、特に日本では金融機関の合併・統合により収益力を強化する動きがあるため、合併・統合による金融機関の破綻の連鎖の影響を検証する。

2. 提案方法

本章では、本研究で提案するバランスシートによるエージェントベースドモデルを説明する。

2.1 バランスシートのモデル化

本研究では、Eisenberg-noe[6]によるバランスシートモデルを拡張し、エージェントベースドモデルに適用している。採用した連絡先: 連絡先: 筑波大学経営システム科学企業科学専攻システムズマネジメントコース

〒112-0012 東京都文京区大塚3-29-1

E-mail: hasimoto@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

バランスシートと其中で表している勘定を(図1)に示す。

→ (in) liabilities	(out) assets →
capital	lending
deposits	illiquidity asset
retained profit	liquidity
IB borrowing	IB loans

図1: バランスシート。

● liabilities : 負債

- capital : 自己資本
- deposits : 預金
- retained profit : 内部留保利益
- IB borrowing : 銀行間借入

● assets : 資産

- lending : 融資(住宅ローン、個人・企業ローン等)
- illiquidity asset : 非流動性資産(社債等)
- liquidity : 流動性資産(現金等)
- IB loans : 銀行間融資

本バランスシートの勘定は、以下の(1)式のようにバランスする。

$$\text{capital} + \text{deposits} + \text{retained profit} + \text{IB borrowing} = \text{lending} + \text{illiquidity asset} + \text{liquidity} + \text{IB loans} \quad (1)$$

2.2 預金支払準備率と自己資本比率の考慮

本研究では、バランスシートにおいて預金支払準備率 (Reserve Ratio) と自己資本比率 (Capital Adequacy Ratio) を考慮する。まず、預金支払準備率は、中央銀行において流動性資産を預金に対して保有する比率であり、発展途上国では高い比率が求められる。その比率を表す式を、(2) 式に表す。

$$ReserveRatio = \frac{liquidity}{deposits} \quad (2)$$

次に、自己資本比率は金融機関のシステミックなリスクに対する影響度に応じて設定される比率であるが、その比率を表す式を、(3)

$$CapitalAdequacyRatio = \frac{capital + retainedprofit}{RiskWeightedAssets} \quad (3)$$

Risk Weighted Assets は、以下の (表. 1) から算出する。

表 1: Risk Weighted Assets の重みづけ。

<i>liquidity</i> (流動性資産)	0%
<i>lending : Mortgage</i> (融資 : 住宅ローン)	50%
<i>lending : Loans</i> (融資 : 個人・企業ローン)	100%
<i>IBloans</i> (銀行間融資)	20%

2.3 エージェントベースモデルによる実装

本研究では、エージェントベースによるモデル化を行った。モデルは、時系列に、月毎にバランスシートを更新する。毎月、IB loans の 1/10 が満期を迎え、自己資本比率 (CAR) の規定値 (本研究では 10%) を維持できていれば再融資、できなければ融資を行わず自己資本 (capital) および内部留保利益 (retained profit) を減少させ自己資本比率を維持しようとするが、このとき自己資本 (capital) もしくは内部留保利益 (retained profit) が減少し、自己資本がマイナスになった場合はデフォルトとする。また、銀行間借入 (IB borrowing) と、銀行間融資 (IB lending) は、毎月同額を借入または融資するとし、変動しないこととする。

ここで、ある月にひとつの金融機関において住宅ローン等の融資が回収できなくなり、金融機関の破綻が発生したとする。このとき、この破綻銀行に融資している銀行の銀行間融資 (IB loans) が 100% 消滅し、この損失を自己資本 (capital) および内部留保利益 (retained profit) で吸収し、自己資本比率 (CAR) が維持できれば存続するが、マイナスになった場合はデフォルトする。ここで、存続した場合でも、次月以降自己資本比率の規定値を満たすことが必要になる。

2.4 金融機関の規模別のバランスシートモデル

Chen, Liu, Yao [3] のモデルでは、ドイツの銀行の 2011 EBA stress report を元に検証を行っているが、銀行間信用と共通資産保有に起因する破綻の連鎖について数理モデルを作成し、シミュレーションを行っている。この研究のバランスシートの勘定としては、総資産 (Total Asset)、自己資本 (Capital)、ドイツ内の銀行間エクスポージャー (Domestic Interbank EAD) を用いている。本研究では、規模別にそれらの数値を採用し、Chen, Liu, Yao [3] のモデルで規定していないそれ以外の勘定について、預金支払準備率と自己資本比率を考慮して作成した。また、バランスシートのタイプとしては、メガバンク、中規模銀行、小規模銀行の 3 タイプを考慮し、ネットワークモデルにおける各エージェントの次数 (degree) の数によって、各ノードがタイ

プ分けされるモデルとした。その時のバランスシートを (表. 2) に示す。ここで、次数はメガバンクは 30 以上、中規模銀行は 6 から 29、小規模銀行は 5 以下としており、規模による各勘定の差異はドイツの銀行の 2011 EBA stress report の各勘定を、銀行の規模別に分析して定義した。

3. 検証結果

本章では、本研究で実施したエージェントベースモデルによる検証結果を説明する。

3.1 破綻連鎖数の検証

本研究では、1 回に張る辺の数 (m) を 3 とした 100 ノードのスケールフリーネットワークを 10 個作成し、金融機関の資金取引ネットワークモデルとした。そのネットワークにおいて 100 個のノードは金融機関を表すが、そのノードのうち一つの金融機関で破綻が発生した場合を想定し、その時の金融機関の破綻の連鎖を測定した。また、そのときの破綻連鎖数の多いノード上位 3 ケースについての結果を (表. 3) に示す。ネットワーク毎の平均破綻数及び最大破綻連鎖数は比較的差異が大きく、ネットワーク特性に依存しやすい結果が観測できた。このなかで、破綻連鎖数上位 3 位に入ったノードはすべて、小規模銀行 (次数 5 以下) であった。

表 3: スケールフリーネットワークによる破綻連鎖数の検証結果。() 内はノード番号を指す。

	平均破綻連鎖数	破綻連鎖数 Top3
1	3.94	17(93), 15(70, 73)
2	6.12	17(98), 13(54, 64, 73, 78, 83)
3	7.48	17(75,87), 15(64, 82, 86)
4	4.35	15(80), 12(74, 76)
5	7.11	21(93), 19(94), 17(92)
6	4.98	16(98), 14(97), 13(69)
7	3.4	9(76), 8(41, 92)
8	3.12	9(78), 8(79, 85, 91, 92)
9	7.74	18(75, 78, 95)
10	3.26	9(42, 73) 8(53, 77, 99)
平均値	5.15	

3.2 金融機関の合併・統合による破綻連鎖数の変化の検証

本研究の主課題である金融機関の合併・統合による破綻連鎖数の変化を検証する。合併・統合にあたっては、最も破綻連鎖数の多い金融機関ノードをその次に破綻連鎖数の多い金融機関ノードに統合し、金融機関のリンクは維持するモデルとした。ここで、バランスシートの各勘定は、それぞれ合算することとし、資産、負債の部分とも合計した値にしている。このような前提で検証した結果を (表. 4) に示す。この中で破綻連鎖数上位 3 位に入ったノードもすべて小規模銀行 (次数 5 以下) であった。

3.3 検証結果の評価

平均破綻連鎖数の平均値を比較すると、金融機関を合併・統合前 5.15 に対して、合併・統合後が 5.11 と合併・統合した場合の方が若干少なくなっているが、これは金融機関を表すノード数が 1% 少なくなっていることを考慮すると合併・統合効果は表れていないといえる。また、合併・統合後の破綻連鎖数 Top3 のノード番号を見ると、どのネットワークでも合併・統合前の

表 2: メガバンク, 中規模銀行, 小規模銀行のバランスシートモデル.

Bank Type	capital	deposits	retained profit	IB borrowing	total liabilities	lending	liquidity	illiquidity asset	IB loans	total assets	E/A	CAR	RR
Mega	60000	1930000	0	10000	2000000	380000.0	304000.0	1216000.0	100000	2000000	5.00%	15.00%	15.75%
Middle class bank	10000	282500	0	7500	300000	45000.0	36000.0	144000.0	75000	300000	25.00%	16.67%	12.74%
Small class bank	3000	95000	0	2000	100000	16000.0	12800.0	51200.0	20000	100000	20.00%	15.00%	13.47%

表 4: 金融機関の合併・統合を考慮した破綻連鎖数の検証結果.()内はノード番号を指す.

	平均破綻連鎖数	破綻連鎖数 Top3	合併・統合したノード (from -> to)	破綻連鎖の減少率
1	3.85	19(70), 15(73), 13(44)	93->70	97.66%
2	6.09	21(54), 13(64, 73, 78, 83)	98->54	99.51%
3	7.44	23(87), 15(64, 82, 86)	75->87	99.52%
4	4.32	20(74), 12(76), 11(55)	80->74	99.38%
5	7.00	22(94), 17(92), 16(64)	93->94	98.45%
6	4.97	24(97), 13(69), 12(73)	98->97	99.78%
7	3.40	14(41), 8(92), 7(60, 64, 70, 77, 79, 87)	76->41	100.12%
8	3.13	15(79), 8(85, 91, 92)	78->79	100.35%
9	7.68	22(78), 18(95), 17(55, 93, 97)	75->78	99.17%
10	3.25	5(41, 62, 72, 73, 96)	42->73	99.75%
平均値	5.11			99.30%

破綻連鎖数を足し合わせた値よりは少なくなっているが、全てのケースで合併・統合したノードが最上位に来ている。これは、統合によりバランスシートの資産、負債の数値が合算されたにもかかわらず、財務的には効果が表れていないことを示しており、資産および負債を合算しているため、自己資本比率が改善しないことが原因であると考えられる。しかし、実務的には、合併・統合後に支店の統廃合や固定資産の整理等を行うことによって、財務的にも改善させることが一般的であると考えられる。

次に、破綻連鎖が起こるノードの特性を分析すると、金融機関ノードの次数が関係していることが考えられる。1番目のネットワークでの金融機関ノードの次数と、その金融機関ノードが破綻したときの破綻連鎖数の散布図を(図. 2)に示す。



図 2: 金融機関ノードの次数と破綻連鎖数の散布図. 上が統合・合併前, 下が統合合併後. 縦軸が金融機関ノードの次数, 横軸が平均破綻連鎖数.

(図. 2) から、次数が大きいノードについては破綻の連鎖が起こらず、破綻の連鎖が大きくなっているノードは次数の小さいノードであることが分かる。これは破綻するノードに接続するノードの次数が大きければ、破綻のショックを複数の金融

機関ノードの自己資本で分散して吸収できるが、接続するノードの次数が小さい場合は、自己資本で吸収しなければならないショックが大きくなり吸収しきれない状態になることを示唆している。合併・統合前の破綻連鎖数の合算した値よりも、合併・統合後の破綻連鎖数が少なくなっているのは、分散して破綻のショックを吸収できることが理由であると考えられる。

4. むすび

本研究では、銀行間取引についてバランスシートによるシンプルなエージェントベースモデルを提案し、自己資本比率と預金支払準備率による平衡制約を用いて、破綻の連鎖を説明した。本研究の成果として、以下の3点があげられる。

- 自己資本比率と預金支払準備率による平衡制約を考慮したバランスシートモデルによるエージェントベースモデルを構築した。
- 金融機関の資金取引ネットワークによるエージェントベースモデルを使って、金融機関の合併・統合による破綻の連鎖への影響を明らかにした。
- 金融機関が合併・統合することによる破綻連鎖数への影響を、資金取引ネットワークの次数の変化で説明した。

また、本研究では、次数の少ないノード(小規模銀行)において破綻の連鎖が多くなる傾向を示し、メガバンクを想定したノードでは破綻の連鎖が発生しなかった。しかし、この点は破綻の連鎖リスクだけを考慮した検証結果であるため、経済全体への影響を検証する目的で全金融機関のバランスシートの勘定を合算した数値も測定した。その結果を(図. ??)に示す。この結果は、小規模銀行5行破綻時のバランスシートの収縮よりも、メガバンク1行による収縮の方が2倍ほど大きいことを示している(小規模銀行5行で1136, メガバンク1行で2000)。これは、メガバンク1行の破綻を吸収するための自己資本の減少が、金融機関全体に拡散し、経済全体に影響を与えることを示している。本モデルのバランスシート設定では、メガバンク

の破綻を自己資本で吸収できたが、吸収できず小規模銀行が連鎖破綻した場合、いわゆるドミノ倒しのような大規模連鎖破綻が発生することが予想される。

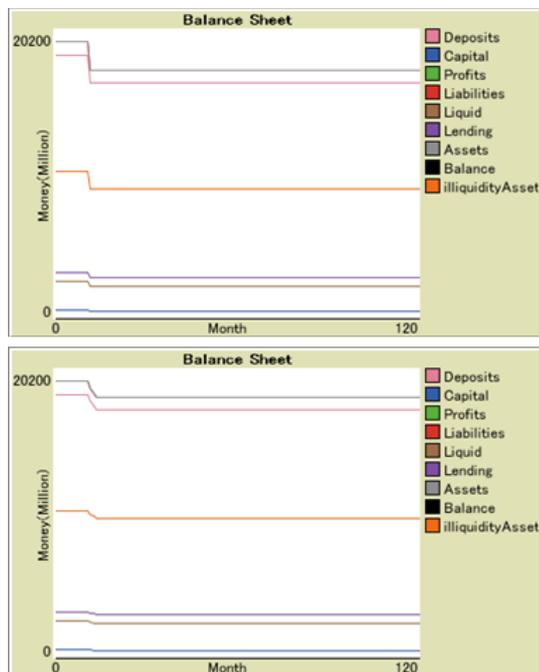


図 3: 破綻が発生した検証時のバランスシートの合計値の変化を表すグラフ。上がメガバンク 1 行, 下が小規模銀行 5 行の破綻が連鎖したものの。縦軸が資金量, 横軸は月数。本シミュレーションでは 12 日目に破綻が発生。

実際の金融機関に対する公的資金を注入する資金援助は、1 行あたり平均 1400 億円、資本増強でも同様に 1 行あたり平均 2000 億円が使われている。実務的には、破綻してしまうと破綻の連鎖数が大きくなる金融機関に対して資金援助を行えるような判別が求められるが、本研究の結果によって、破綻の連鎖数が大きくなる金融機関の判別精度の向上が期待できる。これは、[10] らによる金融機関の資金取引ネットワーク分析の特性を、公的資金の投入に対する確実性の向上を図るリスク指標を提言している意味で経済効果は大きい。

最後に今後の展開について述べる。本研究では、ベースとなる制約として自己資本比率の維持に注目して実装しているが、本フレームワークを使うことで、流動性カバレッジ比率制約 (Liquidity Coverage Ratio)、ファイアセールスによる非流動性資産の毀損等の考慮をモデルに組み込むことができる。むやみに指標を増やすことは、モデルの複雑化によって特性が薄れてしまうリスクもあり、モデルの構築には考慮が必要であるが、今後目的とする指標に焦点を当て、拡張を行っていきたい。

参考文献

- [1] Diebold Francis X., Yilmaz Kamil. On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*. 2014, vol. 182, no. 1. p. 119-134.
- [2] Espinosa-Vega Marco A., Sole Juan A., Cross-border financial surveillance: a network perspective. *IMF Working Papers*. 2010, p. 1-27.

- [3] Chen Nan, Liu Xin, Yao David D., An Optimization View of Financial Systemic Risk Modeling: Network Effect and Market Liquidity Effect, *Operations research*. 2016,
- [4] Acharya Viral, Engle Robert, Richardson Matthew., Capital shortfall: A new approach to ranking and regulating systemic risks. vol. 102, no. 3, pp. 59-64. *The American Economic Review*.(2012)
- [5] Benoit Sylvain, Colliard Jean-Edouard, Hurlin Christophe, Perignon Christophe., Where the Risks Lie: A Survey on Systemic Risk., *HEC Paris Research Paper*. (2015)
- [6] Eisenberg Larry, Noe Thomas H, Systemic Risk in Financial Systems., vol. 47, no. 2, pp.236-249.,*Management Science*.(2001)
- [7] Gai Prasanna, Kapadia Sujit. Contagion in financial networks., vol. 50. no. 2, pp. 124.,*Bank of England Quarterly Bulletin*.(2010)
- [8] May Robert M., Arinaminpathy Nimalan., Systemic risk: the dynamics of model banking systems. vol. 7, no. 46, pp. 823-838.,*Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*.(2010)
- [9] Nier Erlend, Yang Jing, Yorulmazer Tanju, Alentorn Amadeo., Network models and financial stability. vol. 31, no. 6, pp. 2033-2060.,*Journal of Economic Dynamics and Control*.(2007)
- [10] Kei Imakubo, Yutaka Soejima. Funds trading network of the call market., vol. 27, no. -, pp. 47-99.,*Studies of Finance*.(2008)
- [11] Norio Konno, Naoki Masuda. Complex network. *Kindai Kagaku-sya*(2010)
- [12] Cifuentes Rodrigo, Ferrucci Gianluigi, Shin Hyun Song. Liquidity risk and contagion., vol. 3, no. 2- 3, p. 556-566., *Journal of the European Economic Association*. (2005)
- [13] Dias Andre, Campos Pedro, Garrido Paulo., An Agent Based Propagation Model of Bank Failures., , p. 119-130., *Springer International Publishing*, (2015)
- [14] Hyun Song Shin., Risk and liquidity., *Oxford university Press Inc.*,
- [15] Montagna Mattia, Lux Thomas. Hubs and resilience: towards more realistic models of the interbank markets. *Banking Integration and Financial Crisis: Some Recent Developments*. (2015),
- [16] Haruhiko Kuroda, Building a More Robust Financial System:Where Are We after the Global Financial Crisis and Where Do We Go from Here?, *Speech at the DICJ-IADI International Conference*. (2017)