

リスク移転で移転できないシステミック・リスク

Risk transfer does not transfer systemic risk

前野義晴

Yoshiharu Maeno, Ph.D.

日本電気株式会社

NEC Corporation

Abstract: It had been believed that the risk of a bank going bankrupt is lessened in a straightforward manner by transferring the risk of loan defaults. But the failure of American International Group in 2008 posed a more complex aspect of financial contagion. This study presents an extension of the asset network systemic risk model (ANWSER) to investigate whether credit default swaps mitigate or intensify the severity of financial contagion. The empirical distribution of the number of bank bankruptcies is obtained with the extended model. Systemic capital buffer ratio is calculated from the distribution. The ratio quantifies the effective loss absorbency capability of the entire financial system to force back financial contagion. The key finding is that the risk transfer in an interbank network does not mitigate the severity of financial contagion.

1 はじめに

金融システムの特徴的な構造が金融危機の際に起こりうる銀行の連鎖倒産の激しさに与える影響を理解することは、金融危機を回避するための銀行の資本に対する規制やその他の金融規制を改革するの議論にとって本質的である。近年、銀行から銀行への財務的ストレスの伝播を再現して、銀行の連鎖倒産の激しさを予測するためのコンピュータ・シミュレーション・モデルが開発されている [6], [8], [13], [16], [19]。これらのモデルでは、銀行が投資先として保有する外部資産の価値の毀損が財務的ストレスの原因となるし、他の銀行への銀行間貸出のデフォルトも財務的ストレスの原因となる。平常時と異なり、金融危機時には、両方の財務的ストレスが絡み合っ、複合的な財務的ストレスが銀行から銀行へ伝播する。銀行は、いくつもの外部資産を保有している。市場に大きな変動があると、合計した外部資産の価値が毀損することがある。外部資産のポートフォリオが適切でなければ、毀損が大きな損失となり銀行は財務的ストレスを被る [12]。財務的ストレスから経営危機が表面化した銀行は、銀行間借入の債務不履行を起こすかもしれない。この債務を負う銀行への銀行間貸出のデフォルトが発生すると、銀行間貸出を実施した債権を持つ銀行もまた資金の回収ができずに損失を出して、財務的ストレスを被る [20]。

もし、銀行の資本バッファが外部資産の毀損と銀行間貸出のデフォルトが原因となる損失の合計を吸収できるほど大きくなければ、その銀行は倒産にいたる。銀行の倒産は、銀行間貸出のデフォルトを引き起こし、さらなる財務的ストレスを生み出す。これが、銀行の連鎖倒産のメカニズムである。

伝統的なポートフォリオ最適化の方法では、銀行間貸出のデフォルトのリスクを他の銀行へ移転することで、債権を持つ銀行が倒産する可能性を直接的に低減できると考えられてきた。しかし、2008年のアメリカン・インターナショナル・グループの経営破綻は、リスク移転が絡んだ連鎖倒産の複雑な様相を提起した。経営破綻の前のAIGは、クレジット・デフォルト・スワップの形態で、4,410億ドル相当の証券を保証するプロテクションを販売していた。2007年からのサブプライム・ローン市場の暴落で、多くの証券の価値が失われた。AIGの格付けは下がり、AIGは深刻な流動性危機に直面して、十分な資金を調達することができなかった。AIGの経営破綻はアメリカだけでなく世界の金融システムに壊滅的な被害を及ぼすことが予想されたため、連邦準備銀行は過去に例のない規模の公的資金による民間企業の救済を行い、危機の収束を図った。

銀行家はCDSによる保証が完全でないことを痛感していたにもかかわらず、CDSの市場は大きく成長している [1]。CDSとは、3つの銀行を関連付けるリスク移転 [7]の方法である。第三の銀行にCDSの契約で定義された倒産や債務不履行といった事象が起こる

連絡先: 日本電気株式会社, 〒 211-8666 神奈川県川崎市中原区, Email: y-maeno@aj.jp.nec.com. ソーシャル・デザイン・グループ, 〒 112-0011 東京都文京区, Email: maeno.yoshiharu@socialdesigngroup.com.

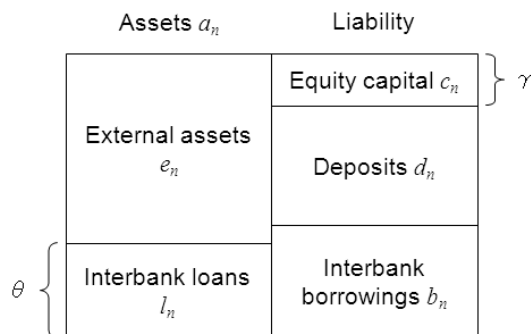


図 1: Balance sheet of the n -th bank. The balance sheet consists of interbank loans l_n , external assets e_n , equity capital c_n , interbank borrowings b_n , and deposits d_n .

と、プロテクションを販売した銀行は、プロテクションを購入した銀行に損失の補てんを行う。典型的には、プロテクションを購入する銀行は銀行間貸出の債権を持つ銀行、第三の銀行は債務を負う銀行となる。リスク移転は銀行のリスクの平準化を意図している。しかし、金融危機の際に深刻な財務的ストレスがAIGのようなプロテクションを販売する中核的な銀行を襲うと、損失の補てんを実施できずリスク移転は機能しなくなる。脆弱な金融システムが突如現れ、システムック・リスク [2] がむしろ大きくなる場合さえあるだろう。

本研究は、アセットネットワーク・システムックリスク・モデル (ANSWER) [4], [10] を拡張し、CDSによるリスク移転が銀行の連鎖倒産の激しさを緩和するのか、あるいは、助長するのか調べる。すべての銀行は、すべての銀行間貸出のデフォルトのリスクをいくつかのプロテクションを販売する銀行に移転するものとする。デフォルトのリスクを移転した銀行は、その分追加の銀行間借入で資金を調達し銀行間貸出を行うことができるものとする。このような条件でのモンテ・カルロ・シミュレーションによって、銀行の連鎖倒産の件数の分布を得ることができる。件数の分布からシステム資本バッファ比率を計算することができる。システム資本バッファ比率は、金融システムが連鎖倒産を食い止めるための財務的ストレスの吸収能力を定量的に表す値である。銀行間貸出からなる銀行間ネットワークの密度や上位行への集中度合いがシステム資本バッファ比率の値に与える影響を調べる。さらに、銀行のコア・ティア1比率やレバレッジ比率との関係性について論じる。

2 モデル

CDSによるリスク移転のある金融システムに対応できるようにアセットネットワーク・システムックリス

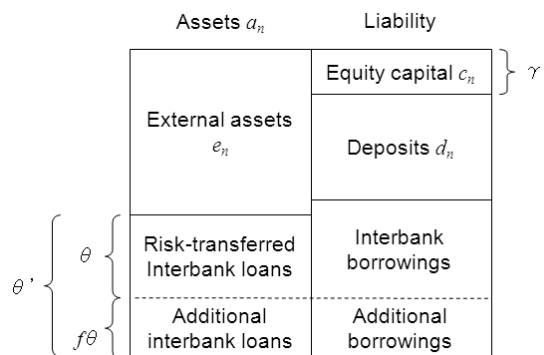


図 2: Balance sheet of the n -th bank after the risk transfer of interbank loans and additional loans. The value of the additional interbank loans as a fraction of the value of the risk-transferred interbank loans is f .

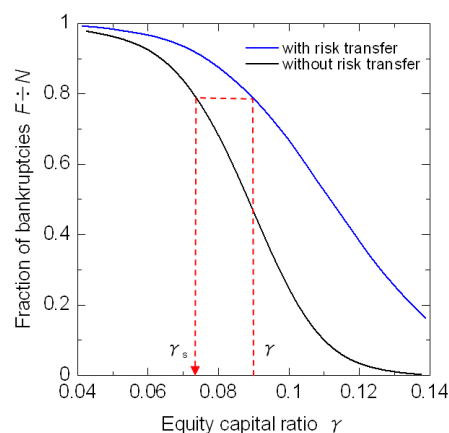


図 3: Systemic capital buffer ratio γ_s which is calculated as a function of γ by comparing the number of bank bankruptcies in financial systems with risk transfer and without risk transfer.



図 4: Interbank network of $N = 500$. The size of a vertex represents the value of assets of a bank. The width of an edge represents the value of an interbank loan between the banks at its ends.

ク・モデル (ANWSER)[5] を拡張する際に係る銀行間ネットワーク、リスク移転、投資ポートフォリオのモデルについて説明する。このモデルは、モンテ・カルロ法を用いたコンピュータ・シミュレーション・モデルである。銀行が受ける最初の財務的ストレスは、市場における外部資産の価格の下落である。債務を負う銀行の倒産によって銀行間貸出のデフォルトが発生すると、これが貸し出した銀行の損失となり次の財務的ストレスが発生する。銀行間貸出を通して、銀行間ネットワークの中を債務を負う銀行から債権を持つ銀行へ財務的ストレスが伝播していく。

N は銀行の数、 M は外部資産の数 (種類) を表す。図 1 は、第 n 銀行のバランスシート (資産、負債・純資産) を表す。銀行間ネットワークは、銀行を頂点、貸出の関係を辺とする有向グラフである。銀行間貸出比率 θ を総資産額に対する銀行間貸出額の比率と定義し、 $\theta = \sum_{n=1}^N l_n / \sum_{n=1}^N a_n$ である。自己資本比率 γ を総資産額に対する自己資本額の比率と定義し、 $\gamma = c_n / a_n$ である。自己資本比率は、コア・ティア 1 比率 t 、レバレッジ比率 l に等しい。負債・純資産には、銀行間借入額 b_n と預金額 d_n も含まれる。銀行間ネットワークの密度 κ は、平均的な貸出先の銀行数 (頂点の次数) の $N-1$ に対する比率である。集中度合い ρ は、資産規模で上位 1% に入る銀行の銀行間貸出額のシェアである。つまり、最大の銀行から $N/100$ 番目の銀行までのシェアである。

すべての銀行は、保有するすべての銀行間貸出のデフォルトのリスクをいくつかのプロテクションを販売する銀行に移転する。リスクを移転した後の銀行間貸出のリスク・ウェイトを 0% とする。銀行間貸出のデフォルトのリスクを移転した銀行は、その分追加の銀行間借入で資金を調達し銀行間貸出を行うことができる。この追加の銀行間貸出のリスクは移転されず、これらのリスク・ウェイトを 100% とする。 $S \leq N$ は、プロテクションを販売する銀行の数である。プロテクションを販売する銀行も銀行間貸出や借入を実施して、銀行間ネットワークの一部に組み込まれている。パラメータ $f \geq 0$ は、追加の銀行間貸出額のリスクを移転した銀行間貸出額に対する比率である。図 2 は、リスク移転後の銀行のバランスシートを表す。

コア・ティア 1 比率 t' を式 (1) で定義する。コア・ティア 1 比率は、リスク・ウェイトを勘案して計算される。

$$t' = \frac{\gamma}{1 - \theta + f\theta}. \quad (1)$$

レバレッジ比率 l' を式 (2) で定義する。レバレッジ比率は、リスク・ウェイトに依らない全資産に占める自己資本の割合から計算される。

$$l' = \frac{\gamma}{1 + f\theta}. \quad (2)$$

与えられた $N, M, S, \theta, \gamma, \kappa, \rho, f$ のもとで、疑似乱数を使って倒産件数を調べる金融システムのサンプル群を生成する。ひとつのサンプルには、以下の 4 つの量が含まれる。

- 銀行間ネットワークのトポロジ \mathbf{Z} ($N \times N$ 行列)、要素 $Z_{nn'} = 1$ なら第 n 銀行が第 n' 銀行に銀行間貸出を実施している、 $Z_{nn'} = 0$ なら実施していないことを意味する。図 4 は、 $N = 500$ のトポロジ \mathbf{Z} の一例を示す。
- リスク移転のパターン \mathbf{Y} ($N \times N \times N$ テンソル)、要素 $Y_{nn'n''} = 1$ なら第 n 銀行から第 n'' 銀行への銀行間貸出のデフォルトについてのプロテクションを第 n 銀行が n'' 銀行から購入している、 $Y_{nn'n''} = 0$ なら購入していないことを意味する。
- 投資ポートフォリオ \mathbf{X} ($N \times M$ 行列)、要素 X_{nm} は第 n 銀行が第 m 外部資産に実施する投資の比率で、 $\sum_{m=1}^M X_{nm} = 1, 0 \leq X_{nm} \leq 1$ が成り立つ。
- 市場での外部資産の価格 \mathbf{v} (M 列ベクトル)、要素 v_m は第 m 外部資産の単位資産の価格を表す。

市場が変動した直後に第 n 銀行が受ける最初の財務的ストレスの大きさは、 $e_n \sum_{m=1}^M X_{nm} v_m$ である。プロテクションを販売した銀行が倒産しない限り、銀行間貸出の債務を負う銀行が倒産しても、債権を持つ銀行はプロテクションを販売した銀行から債務不履行による損失の補てんを受けられる。プロテクションを販売した銀行の損失と他の銀行の損失の補てんのための支払いの合計が資本バッファの大きさを越えると、プロテクションを販売した銀行が倒産する。 F は連鎖が止まった時の最終の倒産件数を表す。無数の金融システムのサンプル群で倒産件数を計測して、倒産件数の経験分布 $P(F)$ が得られる。金融危機における倒産件数の評価値として、分布の第 999 千分位点での件数を取り出す。以後、この値を倒産件数と呼ぶ。

システム資本バッファ比率 γ_s は、リスク移転がある場合の倒産件数の曲線 $F(\gamma)$ をリスク移転がない場合の倒産件数の曲線 $F(\gamma)$ と比較することで得られる。システム資本バッファ比率は、リスク移転がある場合の倒産件数がリスク移転がない場合の倒産件数に等しくなる自己資本比率の値である。図 3 に、 γ の関数として γ_s を算出する方法を示す。この例では、 $\gamma = 0.09$ で $\gamma_s = 0.073$ である。このような $\gamma_s < \gamma$ はリスク移転の負の影響、つまり、連鎖倒産を助長する効果を意味する。

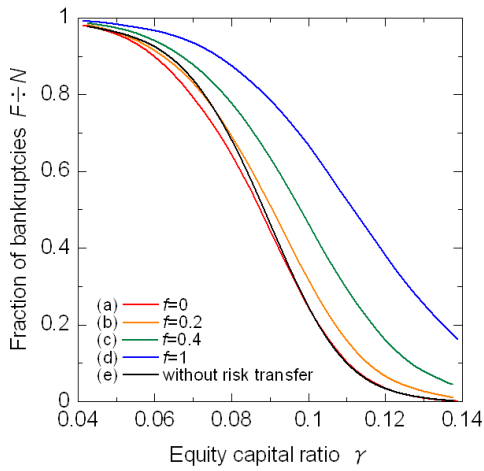


図 5: Number of bank bankruptcies as a fraction of N as a function of γ for $\kappa = 0.05$, $\rho = 0.3$ (a baseline interbank network), and $f = 0, 0.2, 0.4, 1$ when $N = 500$, $M = 2$, $S = 10$, and $\theta = 0.3$.

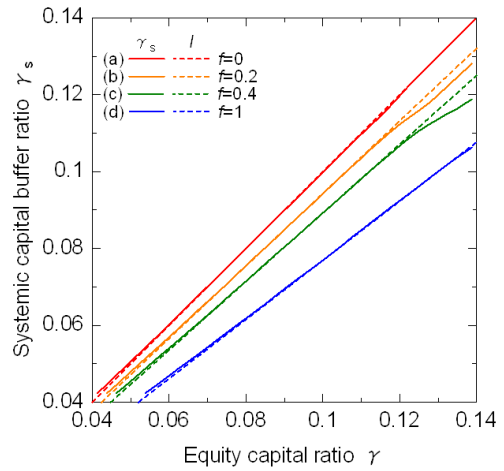


図 7: Systemic capital buffer ratio γ_s as a function of γ for $\kappa = 0.05$, $\rho = 0.1$ (a less heavily concentrated interbank network), and $f = 0, 0.2, 0.4$, and 1 when $N = 500$, $M = 2$, $S = 10$, and $\theta = 0.3$. The leverage ratio l' are shown by broken lines.

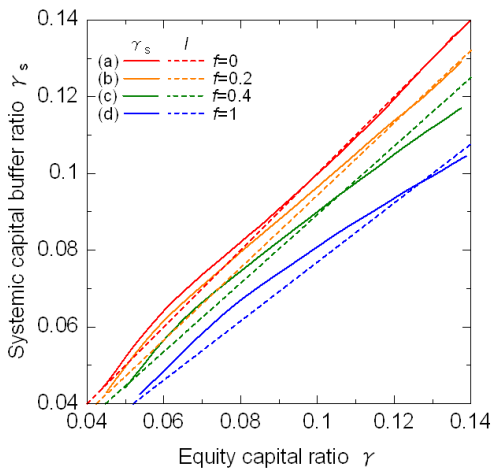


図 6: Systemic capital buffer ratio γ_s as a function of γ in solid lines for $\kappa = 0.05$, $\rho = 0.3$, and $f = 0, 0.2, 0.4$, and 1 when $N = 500$, $M = 2$, $S = 10$, and $\theta = 0.3$. The leverage ratio l' for $f = 0, 0.2, 0.4$, and 1 are shown by broken lines.

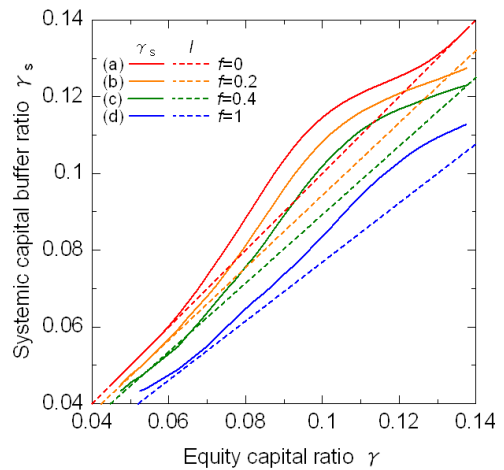


図 8: Systemic capital buffer ratio γ_s as a function of γ for $\kappa = 0.05$, $\rho = 0.5$ (a more heavily concentrated interbank network), and $f = 0, 0.2, 0.4$, and 1 when $N = 500$, $M = 2$, $S = 10$, and $\theta = 0.3$. The leverage ratio l' are shown by broken lines.

3 実験結果

図5は、銀行間ネットワークの密度 $\kappa = 0.05$ 、上位行への集中度合い $\rho = 0.25$ の場合の γ の関数として倒産件数の比率 $F(\gamma)/N$ を示す。リスク移転がないと、自己資本比率が大きくなると倒産件数は減少し、 $\gamma = 0.14$ で倒産がなくなる。リスク移転があつて $f = 0$ での倒産件数曲線 (a) は、リスク移転がない場合の倒産件数曲線 (e) とほとんど変わらない。CDSには、連鎖倒産の激しさを緩和する効果がほとんど見られない。比率 f が大きくなると、倒産件数は急激に大きくなる。追加の銀行間貸出は、金融システムの安定性を大きく損ねることが分かる。

図5は、図5と同じ条件でのシステム資本バッファ比率 γ_s を示す。システム資本バッファ比率は、式(2)のレバレッジ比率 l' とほぼ一致する。比率 $f = 0$ で $l' = 1.43l$ 、 $f = 1$ で $l' = 1.3l$ なので、式(1)のコア・ティア1比率 l' は過度に楽観的な見積もりである。コア・ティア1比率は金融システムの損失吸収能力の適切な目安ではなく、金融システムの安定性を高める上で大きなレバレッジ比率を確保することが肝要である。リスク移転を行ったからといって、銀行間貸出のリスク・ウェイトを無視できるほど小さいと見なすのは誤りである。

図7は、密度 $\kappa = 0.05$ 、集中度合い $\rho = 0.1$ で上位行への集中度合いが図5より小さい金融システムのシステム資本バッファ比率 γ_s を示す。500銀行中上位1%の5銀行の銀行間貸出額のシェアは10%である。図8は、 $\kappa = 0.05$ 、 $\rho = 0.5$ で上位行への集中度合いが図5より大きいシステム資本バッファ比率 γ_s を示す。上位5銀行の銀行間貸出額のシェアは50%である。上位行への集中度合いが大きいと、 $\gamma = 0.1$ の周辺ではシステム資本バッファ比率がレバレッジ比率より大きくなる。小規模銀行から大規模銀行へのリスク移転は、連鎖倒産の激しさを緩和する。しかし、この条件のもとでも、コア・ティア1比率は損失吸収能力の見積もりとして過度に楽観的である。

4 議論

本研究で得られたリスク移転に係る知見は次の通りである。

- レバレッジ比率は、金融システムの損失吸収能力としてのシステム資本バッファ比率の良好な見積もりを与える。
- 上位行への集中度合いが大きい金融システムを除き、銀行間貸出のデフォルトのリスク移転は連鎖倒産の激しさを緩和しない。

- リスク移転後の追加的な銀行間貸出は、金融システムの安定性を損ねる。

コア・ティア1比率に係る規制を満たすため、銀行は単純にリスク・ウェイトを勘案した資産を最適化するばかりで、新規の資本の調達に消極的な姿勢を批判されている。つまり、銀行は依然として大きなレバレッジを利かせている。最近、バーゼルIIIの自己資本比率規制の議論の焦点がコア・ティア1比率からレバレッジ比率に移ってきている。2013年7月に、連邦準備銀行は米国の銀行の全資産に対する資本の適正な比率についてのバーゼルIIIの実装について公表した。レバレッジ比率についての規制を導入すれば、リスク・ウェイトについて長年論争されてきた諸説について選択を下さす必要がなくなる。本研究は、システム資本バッファ比率の観点からレバレッジ比率へ議論の焦点が移ることは合理的であることを示している。

今後、さまざまな実験条件でリスク移転の影響を調べる必要がある。銀行間ネットワークのトポロジ Z は、コア・ペリフェリモデル [17] でもよいし、他の非常に不均一な構造を持つトポロジでもよい。リスク移転のパターン Y や投資ポートフォリオ X には、ランダムではない特融のパターンがあるかもしれない。現実の銀行はそれぞれ異質で、投資とリスク移転についてのさまざまな異なる戦略を持つ銀行業態があるだろう。外部資産の価格 v の変動は、対数正規分布やその他のロングテールの多変量分布でもよい。これらの実験条件について調べるのは、今後の課題である。さらに、以下の観点でのアセットネットワーク・システムックリスク・モデルの拡張も重要だろう。

- 銀行間貸出の満期日、CDS契約の詳細、その他の金融派生商品 [9] を含む現実的な金融システムへの拡張
- 倒産が発生された際の精算機関の役割や貸出、借入のネットティングを含む機能への拡張
- 銀行間貸出の引き揚げ、借り換え、その他の資金調達の方法を含む現実的な倒産の条件への拡張
- 資産の流動性、外部資産の価格の相関、その他の市場メカニズムによるダイナミックな時間発展の導入

他の興味深いトピックには、銀行の取り付け騒ぎ、銀行間ネットワークの成長や変動といったものもある。また、他の重要な問題として、銀行間ネットワークのトポロジ Z 、リスク移転のパターン Y 、投資ポートフォリオ X は必ずしも直接的に観測できない点がある。社会ネットワーク分析での感染症の流行の研究では、統計分析によって患者数についてのデータから人の移動のネットワークや感染のパラメータの値を推定する [14]、

[18].このような情報は、感染症の流行の予測に活かされる。同様に、実時間での資金移動のモニタリングから銀行間ネットワークのトポロジ Z 、リスク移転のパターン Y 、投資ポートフォリオ X を推定し、金融危機の発生を予測することが可能かもしれない。このような分析は、金融監督当局が安定性の高い金融システムを生み出すための規制を設計し、金融危機の迅速な収束を実現する際に有用な情報を提供するだろう。これこそが、今後期待される新しい潮流 システムズ・エコノミクスの目標である。

参考文献

- [1] S. Battiston, G. Caldarelli, C.-P. Georg, R. May, J. Stiglitz, Complex derivatives, *Nature Physics* Vol. 9, pp. 123-125 (2013).
- [2] D. Helbing, Globally networked risks and how to respond, *Nature* Vol. 497, pp. 51-59 (2013).
- [3] Y. Maeno, K. Nishiguchi, S. Morinaga, and H. Matsushima, Optimal interbank credit network and investment portfolio for a robust financial system, presented at Network Approaches for Interbank Markets, Castellón (2013).
- [4] Y. Maeno, K. Nishiguchi, S. Morinaga, H. Matsushima, Optimal portfolio for a robust financial system, in Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics, Singapore (2013).
- [5] 前野義晴, 西口健二, 森永聡, 松島宏和, ANWSER モデルで計測した銀行の連鎖倒産リスク, 証券アナリストジャーナル 2013年6月号, 68 (2013).
- [6] T. Roukny, H. Bersini, H. Pirotte, G. Caldarelli, S. Battiston, Default cascades in complex networks: Topology and systemic risk, *Scientific Reports*, doi: 10.1038/srep02759 (2013).
- [7] A. Namatame, H. A. Q. Tran, Enhancing the resilience of networked agents thorough risk sharing, *Advances in Complex Systems*, doi: 10.1142/S0219525913500069 (2013).
- [8] N. Arinaminpathy, S. Kapadia, R. M. May, Size and complexity in model financial systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* Vol. 109, pp. 18338-18343 (2012).
- [9] D. Karim, I. Liadze, R. Barrell, E. P. Davis, O - balance sheet exposures and banking crises in OECD countries, *Journal of Financial Stability*, doi: 10.1016/j.jfs.2012.07.001 (2012).
- [10] Y. Maeno, S. Morinaga, H. Matsushima, K. Amagai, Transmission of distress in a bank credit network, in Proceedings of the 4th World Congress on Social Simulation, Taipei (2012).
- [11] 前野義晴, 森永聡, 松島宏和, 天谷健一, 銀行間ネットワークの破綻リスク, *人工知能学会論文誌* 第27巻, 338 (2012).
- [12] N. Beale, D. G. Rand, H. Battey, K. Croxson, R. M. May, M. A. Nowak, Individual versus systemic risk and the Regulator's Dilemma, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* Vol. 108, pp. 12647-12652 (2011).
- [13] A. G. Haldane, R. M. May, Systemic risk in banking ecosystems, *Nature* Vol. 469, pp. 351-355 (2011).
- [14] Y. Maeno, Discovery of a missing disease spreader, *Physica A* Vol. 390, pp. 3412-3426 (2011).
- [15] 前野義晴, G - S I B s 資本サーチャージの金融システムに及ぼす効果は限定的—ネットワーク理論に基づく連鎖倒産リスクのシミュレーション—, 週刊金融財政事情 2011年9月19日, 42 (2011).
- [16] C. Upper, Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets, *Journal of Financial Stability* Vol. 7, pp. 111-125 (2011).
- [17] B. Craig, G. von Peter, Interbank tiering and money center banks, *BIS Working Paper* No. 322 (2010).
- [18] Y. Maeno, Discovering network behind infectious disease outbreak, *Physica A* Vol. 389, pp. 4755-4768 (2010).
- [19] R. M. May, N. Arinaminpathy, Systemic risk: The dynamics of model banking systems, *Journal of the Royal Society Interface* Vol. 7, pp. 823-838 (2010).
- [20] E. Nier, J. Yang, T. Yorulmazer, A. Alentorn, Network models and financial stability, *Journal of Economic Dynamics and Control* Vol. 31, pp. 2033-2060 (2007).