

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 29 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25780203

研究課題名(和文) ネットワーク理論を用いた金融システムのシミュレーション分析

研究課題名(英文) Simulation analysis on financial markets using network theory

研究代表者

小林 照義 (Kobayashi, Teruyoshi)

神戸大学・経済学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10387607

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：一般に、金融ネットワーク・モデルでは銀行間の資金のやり取りだけを単一のネットワークとして表すことが多いが、現実の金融市場には未だ理論的に解析されていない多種多様のつながりが存在する。例えば、銀行の発行する負債にも返済順位が付けられており、発行主体の銀行が破綻した場合には優先順位の高い債権者に対して優先的に返済が行われる。こうした状況は従来理論モデルで扱うことはできなかったが、申請者等は "multiplex network" と呼ばれる多層ネットワーク構造としてモデル化することで、複雑な銀行間ネットワーク構造も解析的に分析することを可能にした。

研究成果の概要(英文)：I introduce a model of banks that have debts of different levels of seniority between one another, such as loans and other exposure to default risk. Seniority determines the order in which debts are repaid in the event of bankruptcy. It can be so important during crises, in fact, that institutions sometimes dispute which debts are more senior than others. However, the effect of seniority structure on the risk of systemic crises is inadequately understood.

By unraveling this dimension of the financial system, I and my collaborator not only generalize prominent cascade models in the physics and economics literature, but we also find new ways in which regulators might tame systemic risk.

研究分野：マクロ経済学

キーワード：システミックリスク 複雑ネットワーク 金融危機

1. 研究開始当初の背景

2008年10月、アメリカにおいてサブプライム・ローンの不良債権化に起因するリーマン・ショックが発生した。全米第4位の規模を持ち金融システムにおいて重要な位置を占めていたリーマン・ブラザーズの破綻は、当のアメリカだけでなく、日本や欧州を含めた全世界の金融システムを機能不全に陥らせた。このリーマン・ショック以来、世界経済は不景気と低インフレに悩まされ、7年が経った現在でも世界的に本格的な景気回復が果たせないでいる。

伝統的なマクロモデル（DSGEモデル等）を用いたマクロ経済学の研究でも、先般の金融危機を受けて様々な拡張を行ってきた。従来のマクロモデルでは単純化のために金融市場を捨象してきたが、銀行などの金融機関をモデルに取り込む試みが（申請者を含めて）なされている。ただし、マクロモデルを解析的に解くためには単純化が避けられず、例えば単一の金融機関の存在によって金融市場を描写するモデルもよく用いられる。また、リーマン・ショックのような極めて不連続な現象にも関わらず、定常状態近傍の線形近似によって解を得ることが多い。線形近似ではネットワーク上で発生する非線形現象は当然ながら扱うことはできないため、そうしたモデルから得られる示唆は妥当性に疑問符がつく。

先の金融危機では、リーマン・ブラザーズという単一の金融機関が破綻したことが金融システムのつながりを通じて他の金融機関の破綻を招き、それがさらに他の金融機関に波及する、という極めてダイナミックな連鎖現象が金融市場内部で発生した点に特徴がある。こうした点を理解するためには従来型のモデルでは限界があり、新たな視点からの理論も必要となる。

2. 研究の目的

今回の研究を行う上で土台とするのが、2000年台に入ってから急速に研究が深まっている複雑ネットワーク研究である。複雑ネットワー

クでは、社会ネットワークを通じた感染症の拡大や電力網における停電の連鎖現象など、ネットワークを通じた様々な連鎖現象を解析することが一つの重要な目的である。また、様々な連鎖現象に共通するネットワーク構造上の特徴を導き出し、それに対処することで感染症の拡大を防いだり、停電の連鎖を防ぐといった現実の対策が得られる点に大きな特徴がある。リーマン・ショックのような金融危機は、ある金融機関の破綻が金融ネットワークを通じて全世界に波及するというネットワーク上の連鎖現象として考えることができ、となればネットワーク理論として進展した様々な解析方法や、連鎖を起こさないための対処方法に関する知見を得ることができるはずである。それらを金融分野に応用することで、現実のマクロ・プルーデンス政策（金融安定化政策）を効率化できる可能性があり、将来の金融危機発生の確率を低下させることも可能だと考える。ネットワーク論の視点から金融危機を理解することは、これまでの伝統的マクロ経済モデルでは得られない新たな政策提言を導き出すことにつながる。

3. 研究の方法

2000年以降急速に発展してきた複雑ネットワーク理論では、様々なネットワーク上で起こる拡散現象（感染症の拡大、噂の広がり、民主化運動の広がり）を描写する「カスケード・モデル」が分析ツールとして頻繁に使われる。カスケード・モデルでは、無限個のノード（点）によって構成されるネットワークにおいて、無限小サイズに過ぎない単一のノードを "on" の状態にすると、カスケード（ドミノ現象）を通じて全体の有限割合のノードが "on" になることが示される。つまり、カスケード・モデルによれば、無限小にすぎない単一の金融機関であっても、ひとたび破綻すると世界規模の金融ネットワークに甚大な影響を与えることが理論的にも説明できる。ただし、標準的なカスケード・モデルでは各エッジやノードは同一の性質を持つことが前提とされるが、金融ネットワーク上のノードである銀行等の金融機関はそれぞれ異なるリ

スク資産を現実には持っており、エッジの意味も一様ではない。こうした特徴を取り入れることで、あらたな金融ネットワーク・モデルを構築する。

より具体的には、James Gleeson等によって進められたカスケード確率の解析解を得る手法を応用する。例えば、ネットワーク構造が局所的に木構造になっているとすると、隣の頂点に一度影響が渡るとそれが局所的サイクルを通じて自分に返ってくることはない。この時、隣の頂点はさらにその隣の頂点の影響を受けるから、ドミノ式に再帰式を書くことができる。カスケードの発生する確率、あるいは任意の頂点が破綻する確率というのは、こうして得られた再帰式の不動点に他ならない。

さらに、金融市場に独特の要素をモデル化するため、銀行間の貸し借りをネットワークとして表現するだけでなく、貸借に優先劣後構造を取り入れた新たなカスケードモデルを提示することができる。それは複雑ネットワークの文脈ではmultiplex network と呼ばれるモデルで、多層ネットワークの一種である。

multiplex network では、すべての頂点が複数の層に属し、それぞれの層でそれぞれのネットワークが形成される。この性質を利用すると、下位層は劣後する債権のネットワーク、上位層は優先する債権のネットワークといったように、それぞれの資産の種類に応じたネットワークをモデル化でき、理論的には任意の層数について解析できる。標準的なカスケードモデルで得られていたカスケード条件を得ることも可能である。

4. 研究成果

“Network versus portfolio structure in financial systems”, *European Physical Journal B* 86, 10, 434, 2013.では、各ノードを銀行、リンクを資金の貸借関係とした場合の金融ネットワーク構造をいくつか考えたときに、ネットワークのトポロジーと各銀行が保有するリスク資産がどのような関係にあるとシステミック・リスクが最小になるのかを分析した。それによ

ると、銀行の規模大きいほど安全な資産ポートフォリオを持つことが、必ずしもシステミック・リスクを低下させるわけでは無いことがわかった。

例えば、銀行間で貸借が全くなければそれぞれが独立な資産を保有することがシステミックリスクを最小化することが知られているが、実は現実のように銀行間で多くの貸借がなされている場合、個別のポートフォリオについてリスク最小化することがマクロのシステミックリスクを最小化することにもつながる場合がある。ただし、そうした場合においても最もシステミックリスクが低くなるのが、銀行がお互いに負の相関を示すような資産を保有しあうことである。

このように、金融ネットワーク・モデルを用いることにより様々な状況下でシステミック・リスクの大きさを計算することが可能になり、現実の金融安定化策に対する含意も得ることができる。論文“Efficient immunization strategies to prevent financial contagion”, T. Kobayashi and Kohei Hasui, *Scientific Reports* 4, no. 3834, 2014. では、資金の貸借関係からなるネットワークが与えられたときに、システミック・リスクの観点から見てどの銀行が最も重要なかを明らかにし、またどのように銀行の保有資産を規制することが望ましいのかを考察した。

この研究から得られた結果のポイントは、システム上重要な銀行が安全な資産を保有していても、それらの資産に共通性があると逆にシステミック・リスクが高まりやすいという点である。例えば、日本国債など安全と言われる資産であっても、それを多くのシステム上重要な銀行が保有していると、その資産価格が下落したときの損失が非常に大きなものになってしまう。それに対し、それほど安全ではないリスク資産であっても、他のリスク資産とは独立したリターンの動きを示すものや、リターンの動きが他の資産とは逆になる（つまり相関が負となる）資産を保有した方が、システム全体としては安全性が増す場合がある。こうした視点は現在の金融規制の枠組みであるバーゼルIIIでは考慮されておらず、今後の金融規制を考える上でも重要なポ

イントとなる。

一般に、金融ネットワーク・モデルでは銀行間の資金のやり取りだけを単一のネットワークとして表すことが多いが、現実の金融市場には未だ理論的に解析されていない多種多様のつながりが存在する。例えば、銀行の発行する負債にも返済順位が付けられており、発行主体の銀行が破綻した場合には優先順位の高い債権者に対して優先的に返済が行われる。こうした状況は従来理論モデルで扱うことはできなかったが、申請者等は "multiplex network" と呼ばれる多層ネットワーク構造としてモデル化することで、優先順位付きの貸借関係も解析的に分析することを可能にした ("Cascades in multiplex financial networks with debts of different seniority", Charles D. Brummitt and T. Kobayashi, Physical Review E 91, 062813, 2015.)。その結果、単純に優先債・劣後債の2種類の負債を考えた場合、システミック・リスクを最小化するためには市場全体における優先債の割合が50%以上あることが必要であることが明らかになった。

この直感的な理由を考えるため、極端な例として100%優先債権で発行したとしよう。この場合、優先劣後構造が消滅しているので、これは1種類の債権を発行していることと同じである。逆に100%劣後債権を発行する場合も同様である。となると優先劣後構造が意味を成すのはその中間ということになるが、本研究では50%よりも若干高い程度の優先債権残高が望ましいことを示した。

この研究はアメリカの権威ある物理学会誌 Physical Review E に掲載され、また同学会の広報誌 Physics にも掲載されるなど、純粋なネットワーク理論の研究としても高い評価を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計6件)

① "Trend-driven information cascades on random networks", T. Kobayashi, Physical Review E 92, 062823, 2015.査読有

② "Cascades in multiplex financial networks with debts of different seniority", Charles D. Brummitt and T. Kobayashi, Physical Review E 91, 062813, 2015.査読有

③ "A model of financial contagion with variable asset returns may be replaced with a simple threshold model of cascades", Economics Letters 124, 113-116, 2014.査読有

④ "Efficient immunization strategies to prevent financial contagion", T. Kobayashi and Kohei Hasui, Scientific Reports 4, no. 3834, 2014.査読有

⑤ "Network versus portfolio structure in financial systems", European Physical Journal B 86, 10, 434, 2013.査読有

⑥ 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 (2014): 91-101.査読無

〔学会発表〕 (計0件)

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://terukobayashi.wordpress.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小林照義 (KOBAYASHI, teruyoshi)

(神戸大学経済学研究科 准教授)

研究者番号：10387607

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：