

令和元年6月10日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K03551

研究課題名(和文) 経済現象のネットワーク・モデリング

研究課題名(英文) Network modeling of economic phenomena

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、銀行間ネットワークのデータ解析やそのための統計的手法の開発についての研究を行ってきた。具体的には、従来存在しないと考えられていた銀行間取引の日時パターンを複数発見し、また日次および日中の時間頻度で同時に取引パターンを抽出するためのテンソル分解法を提案した。さらに、銀行間市場におけるリレーションシップ・レンディング(多期間にわたる継続的な二者間の取引)を抽出する手法を開発し、それをイタリア銀行間データに適用することで、金融危機時の取引傾向の変化を実際に抽出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金融現象は金融市場のみならずマクロ経済全体に影響する極めて重要な経済現象であるが、これまでの経済学的モデル・アプローチではその複雑性の理解に十分対応していない。本研究はネットワーク科学の研究アプローチを応用することで、金融取引が複雑に絡み合うことによって形成される金融市場に内在する明確な法則性を複数明らかにした。このことは、金融危機のように様々な社会的コストを伴う自体を未然に回避するために必要となる金融市場のダイナミズムの本質的な理解のための第一歩であり、今後研究が進むことで金融現象を制御する方策につながっていくと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have done data analysis of interbank networks and developed statistical tools for the study of financial networks. For example, we found daily patterns of interbank trading that was considered to be absent and proposed a tensor-factorization method that allows to detect intra- and interday trading pattern simultaneously. In addition, we applied the developed method to the Italian interbank market and detected a change in the way banks trade with each other at the time of global financial crisis.

研究分野：マクロ経済学

キーワード：複雑ネットワーク 金融ネットワーク システミック・リスク テンポラル・ネットワーク Backboning

## 1. 研究開始当初の背景

マクロ経済モデルは伝統的に「期待」の役割を重視しており、マクロ経済現象を家計および企業の期待の変化によって説明することが多い。標準的な分析の手順としては、数学的に合理的な期待均衡を求めるために定常状態近傍での線形化や同質的な家計・企業および銀行の存在を仮定するなどの簡略化を行い、その上で定常状態近傍での経済変数の振る舞いを導出する。こうしたアプローチは、金融政策分析をはじめとして（申請者を含め）多くの研究がなされてきた。

しかし単純化を行うことの犠牲として、各市場の内部で発生する経済主体間の「つながり」に起因する複雑性は無視されてきた。同質的企業・同質的銀行モデルでは扱うことができない企業間取引ネットワークや銀行間の資金貸借ネットワークといった経済主体間の複雑なつながりは、そのネットワークの構造自体がマクロ経済現象を引き起こす重要な要素となり得る。先の金融危機を例にとれば、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、金融システムをつなぐを通じて他の金融機関の破綻を招き、それがさらに金融市場全体に波及する、という極めてダイナミックな連鎖現象が金融市場の内部で発生した点に特徴がある。このメカニズム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モデルが必要となる。

## 2. 研究の目的

近年のマクロ経済モデルは、「期待」の役割に重点を置いてマクロ現象を解明するアプローチがとられている。本研究では、マクロ経済を理解するうえで重要なもう一つの要素として「ネットワーク構造」に着目し、その解析手法の基盤構築を行うことを目的とする。価格の改定などの意思決定やモノ・カネの流れは、期待だけでなく企業間・銀行間取引などに見られる多種多様な経済ネットワークの構造に規定されている。マクロ現象はミクロ的な意思決定がネットワークを通じて拡散した結果であり、それは再びミクロの意思決定にも影響する。本研究は、ネットワーク構造に起因する複雑なフィードバック作用を解明するための解析手法の確立を目指す。

## 3. 研究の方法

研究の手法は実データを解析することによるパターン抽出と、データ解析のための統計的手法の開発である。本課題ではイタリアの銀行間取引データを購入手、取引データを日次スケールで詳細に解析した。また、日次及び日中のタイムスケールで相関して発生するパターンがあるかどうかを検出するため、非負値テンソル分解を用いた。さらに、偶然的に観察された取引関係と、意図的に相手を選んで行われた取引を識別するための統計的手法を開発した。

#### 4 . 研究成果

これまで行なってきた銀行間ネットワークのデータ解析やそのための手法開発についての論文が海外査読誌に複数採択された。i) 日次および日中の時間頻度で同時に取引パターンを抽出するためのテンソル分解法の論文が科学誌 Scientific Reports に採択された。これは、コンピュータサイエンス(CS)の分野でよく用いられる非負値テンソル分解によるパターン抽出法の応用であり、南カリフォルニア大のCS研究者との共同研究として行った。

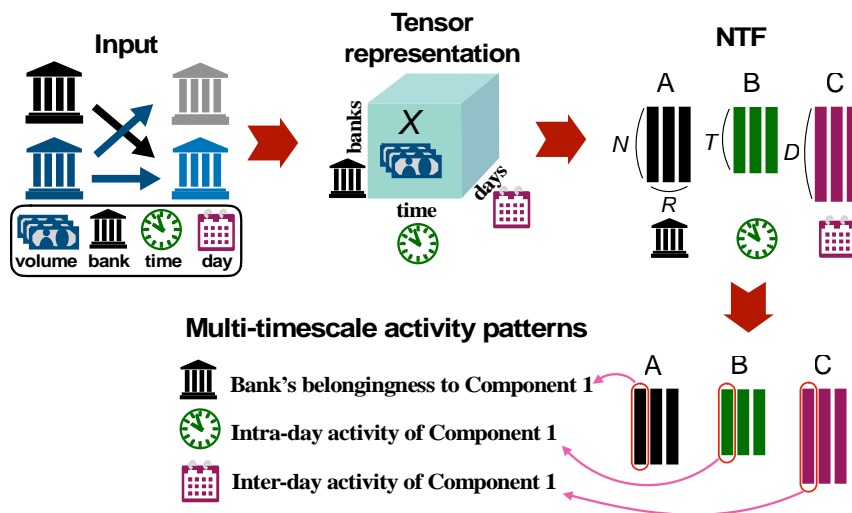


図1 銀行間取引データの非負値テンソル分解

図1は実際の分析手続きの模式図である。まず銀行間取引データから、取引量、銀行ID、時間、および日付をテンソル表現する。それをテンソル分解することでいくつかのコンポーネントに分ける。そして、それらのコンポーネントが何を表しているのかを分析した。その結果、通常時に主に見られるパターンと、世界金融危機の際にだけ見られる特異なパターンを抽出した。ii) 銀行間市場におけるリレーションシップ・レンディング(多期間にわたる継続的な二者間の取引)を抽出する手法を開発し、それを実際にイタリア銀行間データに適用した論文が経済学系雑誌 Journal of Banking & Finance に掲載された。

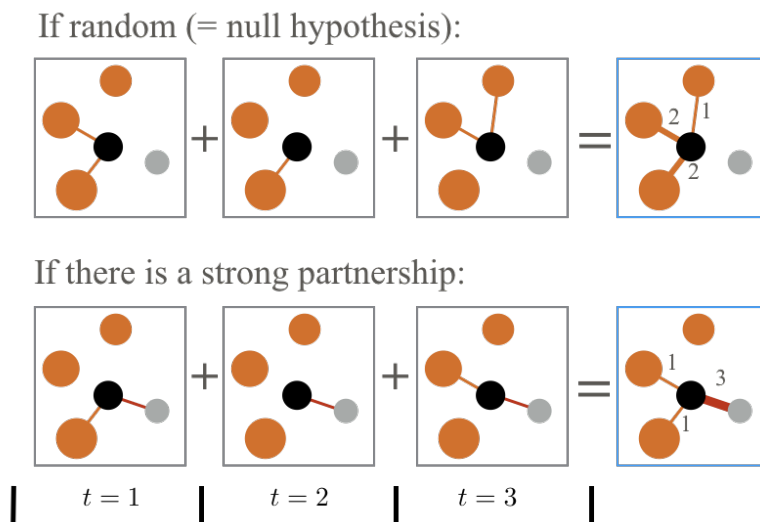


図2 有意な枝の抽出

図2は研究で提案した手法のスケッチである。まずタイムスタンプデータからいくつかのネットワークのスナップショットを作り、そこから各銀行の活動量を推定する。そしてその活動量からランダムな場合に起こりうるノード間の接続確率を計算し、実際の接続回数と比較する。この時、実際の接続（取引）回数がランダム仮説では説明できないほど大きければ、それは統計的に有意な枝と判定する。これは伝統的に金融論の分野でリレーションシップ・レンディングと呼ばれている事象の統計的な判別法としても用いることができる。本手法の特徴は、従来法のように単純に枝の重みの分布の非一様性を検出するのではなく、各個人の活動量の違いをコントロールした上で有意性を判別するところにある。

この抽出法は、別の研究において社会ネットワークも含めて適用し、この手法から得られたいわゆる Backbone の特徴を解析した論文が Nature Communications に掲載されるなど、一連の研究が高い評価を得た。

iii) イタリア銀行間データを詳細に解析し、これまで知られていなかった動的なパターンを複数発見し、それをモデルによって再現した論文は EPJ Data Science に掲載された。

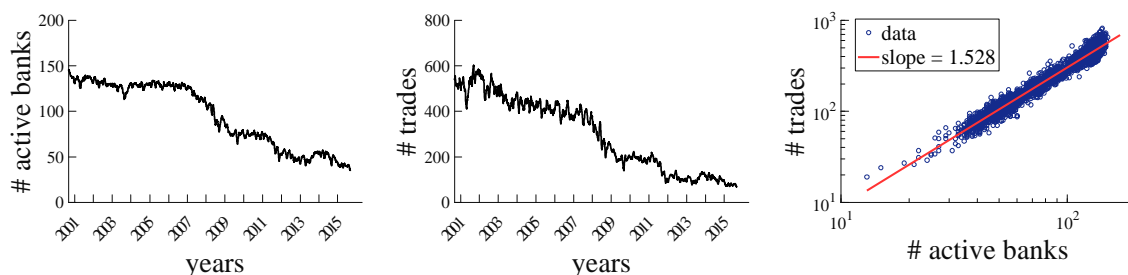


図3 イタリア銀行間取引データ

本研究では、これまでランダムだと思われてきた日次レベルでの取引の動的パターンを発見し（図3右のスケール則など）、それをモデルによって説明することに成功した。その結果、銀行間市場で見られる多くのパターンは、社会ネットワークで見られる人間同士の会話や接触の動的パターンと類似しており、銀行という経済主体も人間の行動パターンと同様のメカニズムで意思決定されていることが示唆された。ただし、今回の研究で提示したモデルはランダムウォークに基づくモデルであり、今後は解釈可能なモデルによる再検討も必要であると考えている。

3年間の研究補助期間の最終年度として、これまで行ってきた国内外の共同研究者との協働が実を結んだと同時に、本研究課題は経済学と物理・ネットワーク科学・コンピュータサイエンスの研究者との文理融合型研究として一定の成果を得ることができたと考える。今後も、研究領域に関わらず様々なアプローチを用いて経済データの分析を継続して行っていく予定である。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

The structured backbone of temporal social ties, T. Kobayashi, Taro Takaguchi, Alain Barrat, Nature Communications 10:220,2019. 査読有

Identifying relationship lending in the interbank market: A network approach  
小林 照義, Taro Takaguchi  
Journal of Banking & Finance, 2018 査読有

非負値テンソル分解による動的な社会・経済行動パターンの抽出  
小林 照義  
国民経済雑誌 218 2018.

Extracting the multi-timescale activity patterns of online financial markets  
小林 照義, Anna Sapienza, Emilio Ferrara  
Scientific Reports, 2018. 査読有

Social dynamics of financial networks  
小林 照義, Taro Takaguchi  
EPJ Data Science 7(15) 2018. 査読有

〔学会発表〕(計 2 件)

“ Backboning temporal networks ”  
NetSci2018, Paris, June 2018.

「銀行間ネットワークのデータ解析とモデリング」  
人工知能学会 (OS19 金融情報学-ファイナンスにおける人工知能応用-) 2017 年 6 月 招待講演

〔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：  
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：  
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)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：Fabio Caccioli

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。