

企業間取引ネットワーク分析

(要旨)

本稿では、金融庁における金融機関間・企業間ネットワーク構造の可視化に係る取組を紹介すると共に、企業間取引ネットワークにおける企業破綻時の影響の波及度を測るうえで重要な企業を特定する指標について考察した。分析の結果、一部の企業が他の大多数と比べてその重要度が高いことが示唆された。引き続き、ネットワーク分析手法の研究を進めることで、金融システムや実体経済への理解を深めながら、モニタリングの高度化を目指していく。

1. はじめに

金融システム全体の安定を図るマクロプルーデンスにおいては、金融機関が他の金融機関とどのような取引関係にあるかや、金融市場や実体経済とどのように接続しているかといった、各経済主体間の構造・相互関連性（ネットワーク）が金融システムに与える影響が重視されている。例えば銀行貸出においても、貸出先企業単位のリスク把握のみならず、サプライチェーンなど、当該貸出先企業が属するネットワーク構造を踏まえたリスク把握が求められる。

金融庁としても、マクロプルーデンスの観点から我が国金融システムを取り巻くネットワーク構造やその特徴を把握していくことが重要である。分析対象のネットワークをノード（点）とリンク（線）で表現し、その特徴等を定量化して検討するネットワーク分析の手法は、通信や交通網、人間の交友関係から文章における単語間の関係に至るまで、分野を問わず応用されている。企業間取引などの経済活動も例外ではなく、対象とする業種や地域等の範囲を変化させ、これまでに多様な先行研究が報告されている。また、大規模データを用いた複雑なネットワークを効率的に扱う手法に関する研究も発展している¹。

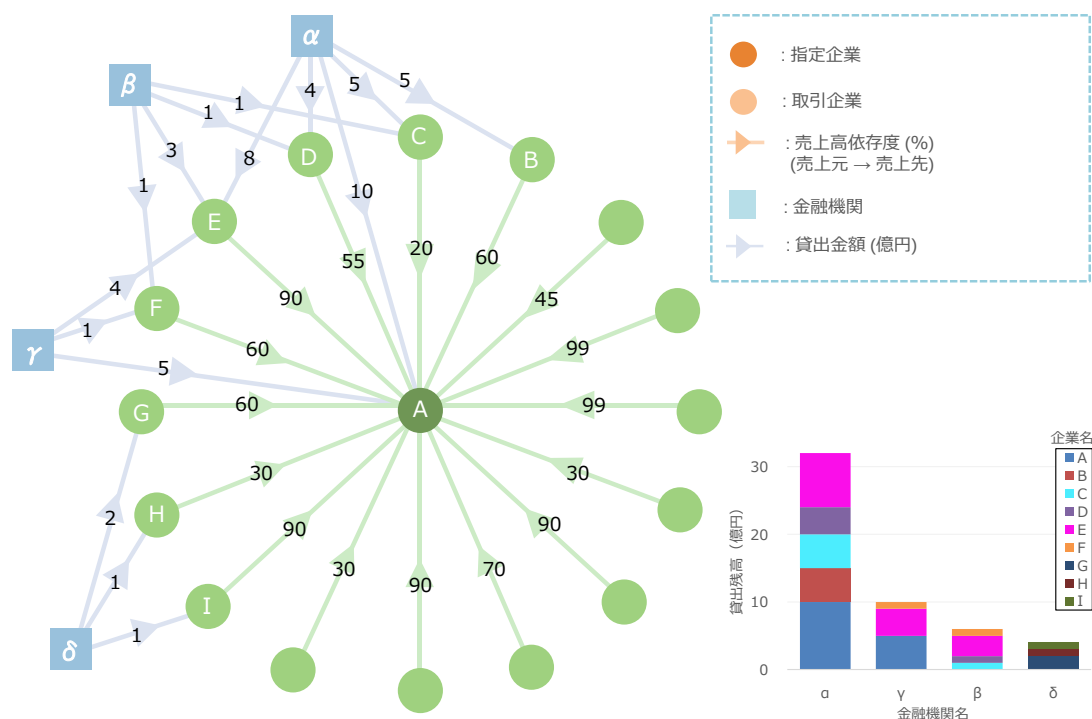
本稿では、金融庁において行われたネットワーク分析の事例として、銀行の貸出明細データを活用した金融機関間・企業間ネットワーク構造の可視化に係る足元の取組（第Ⅱ章）と、企業間取引データから構築した企業間取引ネットワークの中で、ネットワークに与える影響度やネットワークから受ける影響度の大きい企業を特定する試み（第Ⅲ章）について紹介する。

¹ 詳細は、「林幸雄『Pythonと複雑ネットワーク分析』近代科学社, 2019」「鈴木努『ネットワーク分析』共立出版, 2017」等を参照。林の文献では、国の産業の多様性を考慮した貿易ネットワークの分析や、ネットワークにおいて、よりノード同士が密に繋がっている「コミュニティ」を抽出する手法の研究が紹介されている。

II. 金融機関間・企業間ネットワーク構造の可視化

金融庁では、日本銀行と共同で段階的に運用を開始している新しいデータ収集・管理の枠組みである共同データプラットフォーム²により収集した銀行の貸出明細データと、外部企業情報の国内企業間取引データ³を利用して、企業間の取引・出資や、銀行貸出に係るネットワーク構造を可視化するツールを構築している（図1）。すなわち、企業や金融機関をノードとし、貸出や出資等の取引関係を向きを有するリンクで示すネットワークを描画し、併せてその取引金額等を表示することで、企業倒産等のイベント発生時に、密に取引している企業や貸出額の多い金融機関を保有データの範囲内で瞬時に特定でき、そのイベントの影響を一定程度把握可能となる。

図1 金融機関間・企業間ネットワーク構造の可視化ツール（イメージ）



ただし、図1は視認性を確保するため企業Aを中心とするネットワークのみ掲載しているが、企業Bなどその他企業には通常は企業A以外の取引先が存在するため、実際の企業間取引はより複雑な構造を有しており、こうした二次先、三次先も含めたネットワークを直感的に理解可能な形で可視化するのは容易ではない。このため、このネットワークが金融システムにどのような影響力を持つのかを正確に理解するためには、例えば、可視化困難な範囲も含め、ネットワーク構造や特徴量に係る何らかの指標と併せて確認するなどの必要がある。

² 金融庁「データ一元化の進捗と今後の進め方」<<https://www.fsa.go.jp/news/r6/sonota/20240701-2/20240701.html>>

³ 株式会社帝国データバンクより情報を取得。

なお、ネットワーク構造の可視化を試みたその他の金融庁内の取組として、店頭デリバティブに係る取引明細データを用いたデリバティブ市場の取引構造ネットワーク把握に係る分析⁴や、レポ市場及び国債現担市場におけるデータを用いた証券会社の資金運用先ネットワークの可視化に係る取組⁵が行われている。こうした明細データを活用した分析を一層促進するためには、収集するデータの質の向上に向けた取組⁶も継続していく必要がある。

Ⅲ. 企業間取引に係るネットワーク分析

ネットワーク分析において、重要なノードを測る指標としては様々なものが提案されている。代表的なものとして、他のノードとのリンク数を用いる次数中心性や、他のノードとの最短距離に焦点をあてた近接中心性等の指標がある。こうした指標は、複雑なネットワーク構造であってもノード間及びネットワーク構造間の比較を定量的に行うことができる点で有用である。他方、システムリスクを念頭に、企業間取引における重要性を測る指標としては、ノードの特性、例えば企業の財務状況等を踏まえた指標も考慮することが望ましいと考えられる。

2008年の金融危機以降、相互関連性の把握はグローバルでも重要視されており、2023年から2024年にかけて行われた国際通貨基金（IMF）による金融セクター評価プログラム（FSAP）⁷の中でも、我が国金融システムにおけるシステムリスク評価の一環として相互関連性分析が行われた。このFSAPでは、我が国銀行、保険会社及び証券会社の預金や有価証券保有等の相互エクスポージャーデータを活用し、ネットワーク構造の把握にとどまらず、各金融機関の健全性指標等のノードの特性も踏まえたうえで、①自らの破綻が他の金融機関に与える影響度や、②他の金融機関の破綻が自らに与える影響度について評価が行われている⁸。

本稿では、FSAPの分析も参考に、企業間取引ネットワーク上の各企業について、①自らの破綻が他の企業に与える影響（波及力指数）と、②他の企業の破綻が自らに与える影響（脆弱性指数）といった、ネットワークの重要性を測定する2つの指標を計算し、その関係性を考察する。

⁴ 川井大輔、長谷川正樹、八木理沙『店頭デリバティブ取引市場に関する取引ネットワーク構造解析について』金融庁職員執筆論文（2023）
<https://www.fsa.go.jp/frtc/report/honbun/2021/20210707_SR_Derivative_Article.pdf>

⁵ 2023 事務年度金融行政方針コラム p56 参照。

⁶ 例えば、店頭デリバティブ取引報告制度で収集されたデータは、報告を求められている取引当事者の双方が重複して報告を行うことによる二重報告が確認されるなどの問題があり、制度の改善が進められている。

⁷ 金融セクター評価プログラムは、IMF が加盟国の金融部門の安定性を評価するプログラムで、日本を含む主要国は5年に一度審査を受ける。2023年に行われたFSAPの結果は、<<https://www.fsa.go.jp/inter/etc/20240514/20240514.html>>を参照。

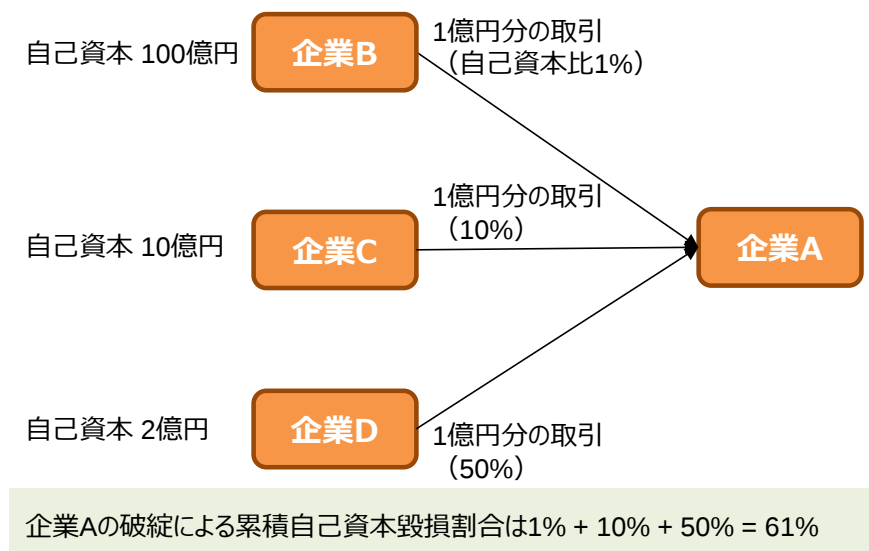
⁸ IMFの分析では、①を Contagion Index、②を Vulnerability Index と呼称。

1. 自らの破綻が他の企業に与える影響度（波及力指数）

単純化した例として、企業Aは、企業B・C・Dの3社からそれぞれ1億円分の仕入れ（買掛金）があると仮定する（図2）。企業Aが破綻し、企業B・C・Dがその売掛金を回収できなくなった場合、企業B・C・Dはその分の貸倒損失を計上するが、そのインパクトは各企業の経営体力等により異なってくると考えられる。そこで今回は、自らが破綻したときに、各仕入先に対して対自己資本比でどの程度の損失を与えるかを計算し、それを合算することで、自らの破綻が仕入先全体にその程度の損失を与えるかを把握する「累積自己資本毀損割合」を計算する⁹。これにより、取引金額に加えて、損失を受ける企業の自己資本額に応じた影響度を考慮することができる。

本稿では、「累積自己資本毀損割合」を、自らの破綻がネットワーク上の他の企業に与える影響度を測る「波及力指数」と定義する¹⁰。

図2 累積自己資本毀損割合の計算例



2. 他の企業の破綻が自らに与える影響度（脆弱性指数）

他の企業が破綻した影響により自らの破綻に繋がやすい場合、影響が二次的、三次的にネットワークを伝播することで、システミックリスクを増大させる懸念がある。ここで、他の企業からの影響を受けやすいか否かについて、Freeman ら¹¹による手法を参考に計算を行う。

⁹ 自己資本以外にも、総資産や売上に占める割合等の切り口で計算することも考えられる。

¹⁰ 「波及力指数」は、財・サービスの提供先企業の破綻が提供元企業に与える財務面の影響に焦点を当てており、財・サービスの提供元企業の破綻が提供先企業に与える営業面の影響（サービスの提供が途絶えることにより経営が停滞する等）は考慮していない点に留意。

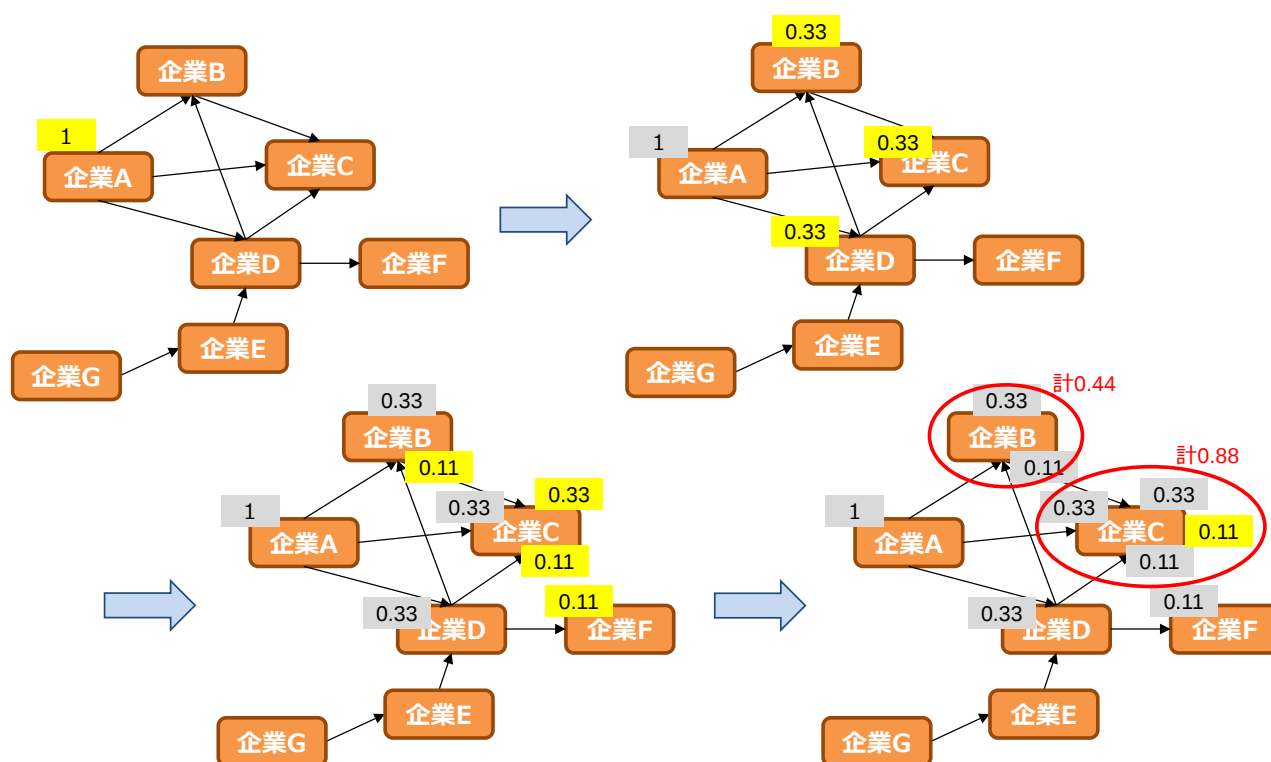
¹¹ Freeman, Linton C., Stephen P. Borgatti, and Douglas R. White. "Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow." *Social networks* 13.2 (1991): 141-154.

Freeman らは、ネットワーク上において、ある企業 A が持つリソースを 1 と仮定し、取引関係にある企業に均等に分配することを考えた。この時、リソースを受け取った企業も同様にそれぞれの取引先に分配することを繰り返す。定常状態になるまでこの操作を行い、自らのノードを通過したリソースの総和を「依存度」と定義した。これにより、図 3 を例とすると、「ネットワーク上、企業 A が破綻した時に受ける影響は、企業 C は企業 B より大きい」という定量的な比較が可能となる。

図 3 では、企業 A についてのみ「依存度」を計算しているが、これをネットワーク上の企業全てに対して計算する。こうして算出された各企業ごとの「依存度」を各ノードで足し上げた値を「重要度」と Freeman らは定義している。これにより、ネットワーク上に等質に分配されたリソースが頻繁に通過するノードを特定することができる。つまり、「重要度」が高いほどネットワーク上で他の企業から影響を受けやすい企業ということになる。

本稿では、Freeman らにおける「重要度」を「脆弱性指数」と定義する。

図 3¹² 依存度の計算例



¹² 図中の矢印はサービスが提供される向きを表す。具体的には、企業 A が企業 B,C,D に対して部品や製品を販売すること等を想定している

3. 結果と考察

企業間取引データの一部サンプル¹³からなる取引ネットワークを対象に脆弱性指数と波及力指数を計算し、その結果の分布を示したのが図4及び図5である。なお、それぞれの最大値を100として正規化を行っている。

図4 脆弱性指数と波及力指数の分布

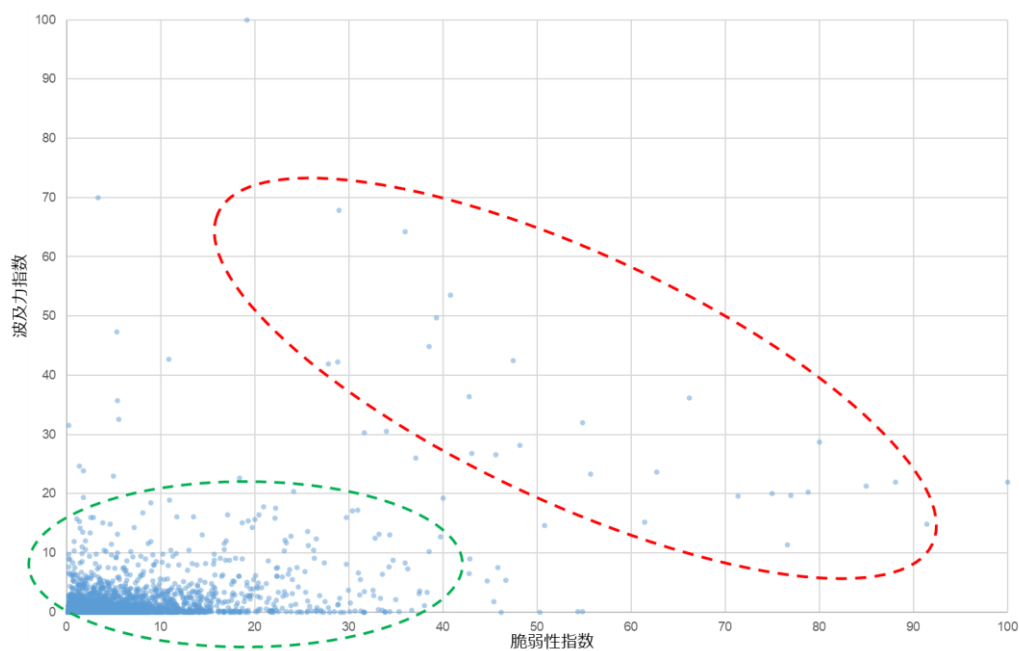
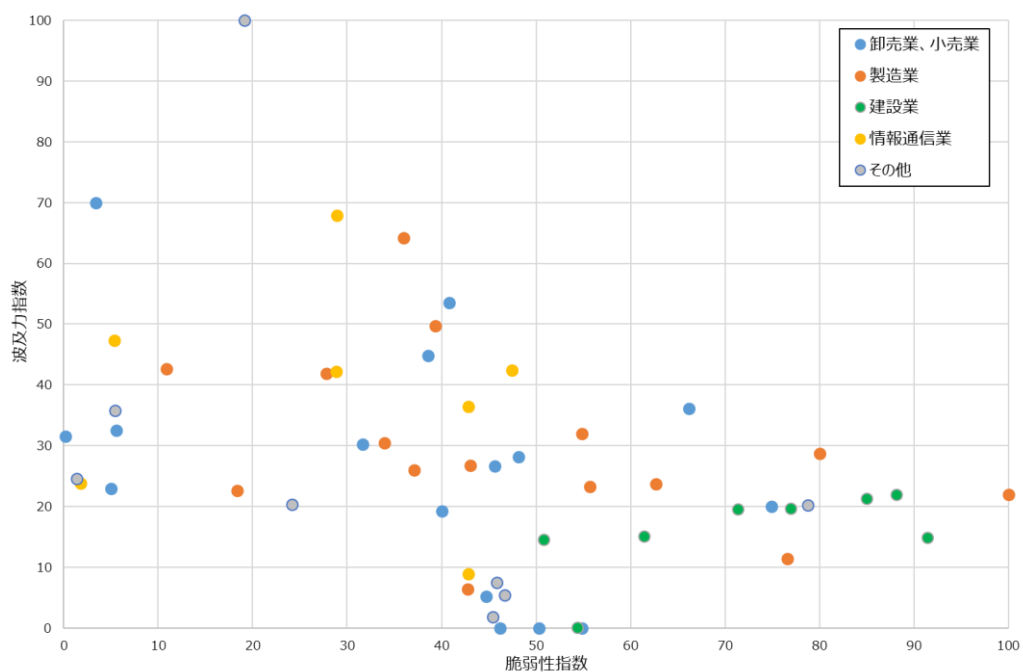


図5 脆弱性指数と波及力指数の分布（業種別、脆弱性指数>40、波及力指数>20の企業のみ）



¹³ 取引金額が1億円以上の取引データ約75万件（企業数約22,000社分）を抽出して使用。

図4から二つの傾向が読み取れる。第一に、指数が小さいところに企業が集中する傾向（緑枠）が両指数について見られた。ネットワーク上影響力がある、あるいは影響を大きく受け得る企業は少数であることが分かる。

第二に、片方あるいは両方の指数が一定以上の値を取る企業（赤枠）においては、一方の指数が大きい場合はもう一方が小さくなるトレードオフの傾向がある。また、図5に示したように、両指数が一定値以上の企業について業種を確認すると、相対的に、製造業（自動車製造業）や情報通信業は波及力指数が高い一方、製造業（重工業）や建設業は脆弱性指数が高いことが分かった。こうした傾向の背景には、他社への影響力を持つ企業と他社から影響を受ける企業の性質が異なるためと考えられる。すなわち、両指数とも、その定義上、対象企業に対して売上のある企業（仕入先）の数が多いほど高くなる点は共通だが、そのうえで波及力指数は、自身の自己資本額に比して対象企業に対する売上額が大きい仕入先が多いほど高くなる。他方で脆弱性指数は、自分及び仕入先が多くのリソースを経由するような、ネットワーク上密なノードほど高くなりやすい。したがって、より具体的には、各企業あるいは業種によって仕入先の数や性質に違いがあることが、このような分布の要因になっていると考えられる。

なお、今回対象としたサンプルには、波及力指数と脆弱性指数の双方が極端に高い企業は見られなかったが、例えば特定の地域や業種等にネットワークを限定して同様の計算を行うと、異なる分布が得られると考えられる。また、脚注に記載のとおり、今回は分析対象の取引金額を1億円以上としているため、中小企業や一般消費者が関係すると取引はネットワークから排除されている場合も多いと考えられる。取引額の閾値を設けず指数を構築すると、小規模の取引を多数の先と行っている業種や一般消費者との取引が多い業種の重要度が変わる可能性があり、また異なる分布になると考えられる。

IV. 総括

本稿では、金融庁における金融機関間・企業間ネットワーク構造の可視化に係る取組を紹介した上で、外部企業情報の企業間取引データを使用して、企業の規模等の特性も踏まえつつ、企業間取引ネットワークにおける重要な企業を特定する指標について考察した。この指標を利用して、ネットワーク構造のみならず、ネットワーク上重要な企業の抽出を試行することができたが、今回構築した指標は一例であり、例えばサプライチェーン上代替が困難な企業（独占技術を有する等）に対する評価など、ノードの規模等の特性のみでは考慮できていない要素をどのように捉えるか等、更なる改善の余地がある。

こうした分析結果を銀行の貸出明細データと併せて活用することで、貸出先企業が属するネットワーク構造を踏まえた銀行の信用リスクの把握や波及シミュレーションに資すると期待される。また、今後は海外企業をネットワークに追加することで、カントリーリスクのシミュレーションに発展させることも考えられる。加えて、今回はマイクロデータである企業間取引データを使用して分析を行ったが、マクロの観点から産業連関表等のデータを活用することで景気の状態を加味した分析を行うことも考えられる。引き続き、ネットワーク分析手法の研究を進めることで、金融システムや実体経済への理解を深めながら、モニタリングの高度化を目指していく。