



日本銀行ワーキングペーパーシリーズ

企業間取引データを用いた わが国製造業サプライチェーンの可視化

青木浩介*

kaoki@e.u-tokyo.ac.jp

安達孔**

kou.adachi@boj.or.jp

小野泰輝***

taiki.ono@boj.or.jp

倉知善行***

yoshiyuki.kurachi@boj.or.jp

豊田融世****

akitoshi.toyoda@boj.or.jp

No.26-J-9
2026 年 8 月

日本銀行
〒103-8660 日本郵便（株）日本橋郵便局私書箱 30 号

* 東京大学大学院経済学研究科

** 日本銀行調査統計局（現・企画局）

*** 日本銀行調査統計局

**** 日本銀行調査統計局（現・金融機構局）

日本銀行ワーキングペーパーシリーズは、日本銀行員および外部研究者の研究成果をとりまとめたもので、内外の研究機関、研究者等の有識者から幅広くコメントを頂戴することを意図しています。ただし、論文の中で示された内容や意見は、日本銀行の公式見解を示すものではありません。

なお、ワーキングペーパーシリーズに対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行情報サービス局（post.prd8@boj.or.jp）までご相談下さい。転載・複製を行う場合は、出所を明記して下さい。

企業間取引データを用いたわが国製造業サプライチェーンの可視化*

青木 浩介†・安達 孔‡・小野 泰輝§・倉知 善行**・豊田 融世††

2026 年 8 月

【要 旨】

本稿では、高粒度な企業間取引データを用いて、わが国製造業の重層的かつ広範なサプライチェーン構造を特定し、その特徴を定量的に明らかにする。また、需給両面で生じる企業レベルのショックが、製造業全体に及ぼす影響についても考察する。分析結果からは、自動車メーカーを中心とするサプライチェーンは、その長さや裾野の広さが際立っており、個別のサプライヤー企業に及ぼす影響も他の産業と比べて大きいことが定量的に明らかになった。さらに、サプライチェーン上でボトルネックとなり得る企業・品目における供給制約はマクロの生産を大きく下押しすることや、その影響を緩和するうえで在庫の保有が一定程度有効な手段であることも示唆された。

JEL 分類番号 : C67, L14, L16

キーワード : サプライチェーン、企業間取引データ、ネットワーク中心性、供給制約

* 本稿は、一上響氏、加藤直也氏、川本卓司氏、陣内了氏、須合智広氏、田中雅樹氏、水野貴之氏から有益なコメントを頂いた。また、総務省・経済産業省から「経済構造実態調査」の調査票情報、経済産業省から「工業統計調査」「企業活動基本調査」の調査票情報の提供を受けた。記して感謝の意を表したい。ただし、残された誤りは筆者らに帰する。なお、本稿の内容や意見は、筆者ら個人に属するものであり、日本銀行の公式見解を示すものではない。

† 東京大学大学院経済学研究科 (kaoki@e.u-tokyo.ac.jp)

‡ 日本銀行調査統計局 (現・企画局) (kou.adachi@boj.or.jp)

§ 日本銀行調査統計局 (taiki.ono@boj.or.jp)

** 日本銀行調査統計局 (yoshiyuki.kurachi@boj.or.jp)

†† 日本銀行調査統計局 (現・金融機構局) (akitoshi.toyoda@boj.or.jp)

1. はじめに

わが国製造業が形成する重層的かつ広範なサプライチェーンは、効率的な付加価値創出を可能とするという点で、わが国経済構造の特徴の一つとなっている。他方、過去の景気循環を振り返ると、海外需要の急減や原材料の供給途絶といった需給両面の様々な外的ショックが、この複雑なネットワークを介して、製造工程の下流から上流あるいはその逆方向へと伝播し、マクロ経済に負のダイナミクスを生み出す姿もみられてきた¹。

特に、このところの通商政策や地政学的な要因は、従来のマクロ経済ショックという側面のみならず、特定の企業や業種に対する個別ショックという側面を有している。このため、わが国製造業のサプライチェーンの構造や内在するリスク等の特徴を高粒度なデータにより精緻に把握することは、マクロの経済情勢を評価し、先行きの景気展開を見通すうえで、重要性を増しているといえる。

以上の問題意識を踏まえ、本稿は、企業間の取引データを企業の製造品目データと組み合わせることにより、わが国製造業のサプライチェーン構造の特徴を明らかにする。本稿の内容は以下の3点に要約される。

第1に、企業・品目レベルの非常に高粒度な生産ネットワークデータを構築する。具体的には、企業間の取引情報を収録した帝国データバンク「取引シェア推計データ」を基に、総務省・経済産業省「経済構造実態調査」の調査票情報による各企業の製造品目に関する情報や、総務省「産業連関表」の投入産出構造を組み合わせることで、企業間での原材料・部品の投入フローを推定する。これにより、最終財メーカーを頂点としたサプライチェーンの階層構造や、サプライチェーン上のボトルネックとなり得る品目を特定することなどが可能となる。

第2に、わが国製造業のサプライチェーンの階層構造を特定し、その特徴を定量的に示す。具体的には、構築した高粒度な生産ネットワークデータから、ネットワーク理論の標準的な概念である中心性 (centrality) 指標に基づいて、サプライチェーンの頂点に位置する企業、すなわち、「頂点企業²」を特定する。そのうえで、産業連関表分析で広く利用される平均波及世代数 (APL; Average Propagation Lengths) を基準に、頂点企業に連なるサプライヤー企業の階層構造をはじめとして、わが国製造業のサプライチェーンの特徴を整理する。

第3に、サプライチェーンのボトルネックとなり得る品目を特定し、当該品目の供給制約の潜在的影響を評価する。具体的には、中心性指標や市場の寡占度に基づき、代替調達が困難、かつ、下流の生産に広範な影響を与え得る品目を検出

¹ [Acemoglu et al. \(2012\)](#)や[Baqaei and Farhi \(2019\)](#)は、個別ショックが生産ネットワークを通じてマクロ経済全体の変動に及ぼすメカニズムを理論的に示している。

² [中小企業庁 \(2020\)](#)では、企業間取引ネットワークの最下流に位置する企業を「頂点企業」と呼称しており、本稿でも同様の表現を用いる。

する。そのうえで、検出された品目において短期的な供給制約が生じた場合の影響をシミュレーションによって分析する。

(先行研究)

本稿は、高粒度な生産ネットワークデータの構築、サプライチェーンの階層構造の特定、サプライチェーンの途絶リスクの評価、という 3 つの先行研究の系譜に連なるものである。

一国の生産ネットワークを把握する手段は、長年にわたり公的機関が編纂する産業連関表に限定されていた。しかしながら、近年では、企業の開示情報に加え公的機関が保有する個別企業データへのアクセスが徐々に開かれる中で、企業レベルのネットワークを用いた分析が増えてきている（[Barrot and Sauvagnat, 2016](#); [Boehm et al., 2019](#); [Dhyne et al., 2025](#); [Bacilieri et al., 2026](#) 等）。とりわけ、わが国では、民間信用調査会社が収集する網羅的な企業間取引ネットワークの利用可能性を背景に、当該領域における先駆的な実証研究が蓄積されてきた（[Saito et al., 2007](#); [Ohnishi et al., 2009](#); [Fujiwara and Aoyama, 2010](#); [Mizuno et al., 2015](#); [Bernard et al., 2019](#); [Carvalho et al., 2021](#)）。

より最近では、企業間取引ネットワークを更に細分化する試みもみられる。すなわち、これまでの企業レベルの取引ネットワークに、各企業が製造する品目間の投入産出構造を加味することで、生産工程をより反映した生産ネットワークを構築する研究が出てきている。例えば、[Inoue and Todo \(2024\)](#)は、総務省「経済センサス」の調査票情報に基づく事業所レベルの生産品目データと企業間取引データを組み合わせることで、事業所・品目レベルの生産ネットワークを推定している。他方、[水野ほか \(2025\)](#)は、投入産出構造を AI 技術に基づき識別し、企業間取引データから企業・品目レベルの生産ネットワークを構築する手法を考案している。このほか、[Katafuchi et al. \(2025\)](#)は、企業の財務諸表や税関記録を活用することで、企業・事業部門レベルの国際的な取引関係を推定している。本稿は、公的統計の調査票情報を用いて、企業間取引データを企業・品目レベルの生産ネットワークへと細分化している点で [Inoue and Todo \(2024\)](#) のアプローチに最も近い。ただし、[Inoue and Todo \(2024\)](#) が、品目間の投入構造の特定において、同一品目を製造する企業の半数以上が調達している品目を中間投入財であると仮定しているのに対し、本稿の特徴は、産業連関表に基づく投入産出構造を反映させることで、より経済実態に即した生産ネットワークの構築を試みている点にある。

また、ネットワーク理論の知見を基に、企業間の複雑な取引関係を紐解き、その構造的特徴を把握する研究も進展している（[Kim et al., 2011](#)）。本稿と非常に関係が深いサプライチェーンの階層構造を特定する研究領域では、**Social Networking Service (SNS)** や生物ネットワークの解析に用いられるコミュニテ

ィ検出と呼ばれる技術を応用した研究が多い（[Chakraborty et al., 2018](#); [Wiedmer and Griffis, 2021](#); [Lu and Dong, 2023](#)）。本稿は、これらの研究と異なり、ネットワーク理論の中心性という概念と産業連関分析の APL という指標に基づき、製造業サプライチェーンの階層構造を特定する手法を提示している点に独自性がある³。本稿のアプローチは、頂点企業にサプライヤー企業が階層状に連なるという特定の垂直的構造に焦点を当てることで、識別結果の解釈が容易になるという利点がある。

この間、サプライチェーンの途絶リスクに関する先行研究も蓄積している。同分野では、[Craighead et al. \(2007\)](#)が先駆的な業績の一つとして挙げられる。彼らは、企業に対する広範なサーベイ情報に基づき、サプライチェーンの途絶リスクを規定する主たる要因を、①density（サプライヤーの地理的密集度）、②complexity（サプライチェーンの複雑性）、③node criticality（ボトルネックとなり得る企業の多さ）の3つに整理した。本稿で行うボトルネックの検出は、3つ目の node criticality に関連する分析として位置付けられる。

ボトルネックの検出に際しては、中心性指標の有用性が、様々な研究において強調されている。[Mizgier et al. \(2013\)](#)は、サプライチェーン上のボトルネックを捉え得る指標として、外向き次数中心性（out-degree centrality）、媒介中心性（betweenness centrality）、放射中心性（radiality centrality）の3つを取り上げたうえで、それらは異なる特性を持つため、目的に応じて使い分けられるべきであると論じた。この点、[Yan et al. \(2015\)](#)は、サプライチェーン上の企業間を頻繁に仲介する企業はサプライチェーンにおいて供給される特定部品の相当な割合を生産しているとの見解のもと、媒介中心性がサプライヤー企業の代替可能性を捉える指標として相応しいと主張している。こうした従来の研究が各指標の概念整理や人工的に生成されたネットワークを用いた分析に留まっているのに対し、本稿は、現実の企業・品目レベルの生産ネットワークに媒介中心性を適用し、ボトルネックとなり得る企業・品目を検出した初めての研究となる。

また、企業レベルのネットワークデータを用い、サプライチェーンの途絶による影響の評価を試みた研究もみられる。先駆的な研究では、特定産業のサプライチェーンに焦点を絞って分析が進められた（[Saavedra et al., 2008](#); [Kito et al., 2014](#); [Simchi-Levi et al., 2015](#)）。もっとも、データの蓄積とともに、産業横断的なネットワークへと分析の対象が広がっている（[Zhao et al., 2019](#); [Inomata et al., 2026](#) 等）。このうち、わが国を対象とした研究には、[Inoue and Todo \(2019\)](#) や [Inoue and Todo \(2024\)](#)がある。[Inoue and Todo \(2019\)](#)は、資本ストックの復元や原材料在庫を勘案した Agent Based Model を企業間取引ネットワークに適用し、東日本大震災をはじめとする自然災害の影響を評価した。他方、[Inoue and](#)

³ 決済システム上の取引ネットワークの解析では、本稿と同様、中心性指標に基づく階層構造の特定が行われている（[Glowka et al., 2025](#); [大久保ほか, 2026](#)）。

Todo (2024)は、在庫が存在しないシンプルなモデルを用いつつ、事業所・品目レベルの細かな生産ネットワークを用いたシミュレーションを行っている。これらの研究は、品目レベルの供給制約や在庫による供給制約の緩和効果を考慮している点で本稿と類似しているが、本稿はそれらを同時に勘案しているほか、実際の企業・品目レベルの在庫データを当てはめてシミュレーションを行っている点に新規性がある。

本稿の構成は次の通りである。第2節では、分析で用いる基礎データを紹介した後、企業・品目レベルの高粒度の生産ネットワークデータの構築方法について解説する。第3節では、この生産ネットワークデータを基に、定量的な基準によってわが国製造業のサプライチェーンを可視化し、その特徴を明らかにする。第4節では、サプライチェーンのボトルネックとなり得る品目を検出したうえで、同品目における供給制約がわが国製造業の生産に及ぼす影響を分析する。第5節はまとめである。

2. 生産ネットワークデータの構築

2. 1. データ

今回使用する企業間取引データは、帝国データバンクの「取引シェア推計データ」である。同データは、帝国データバンクが信用調査の過程で収集した、各企業の販売・仕入先名に加え、販売先・仕入先に対する取引シェア⁴が企業毎に収録されている点が特長である。この取引シェアを用いることで、単純な企業間取引の有無だけでなく、その繋がり**の強さを定量的に把握することが可能になる**⁵。

本稿では、同データのうち、①2025年時点、かつ、②資本金5千万円以上の製造業合計15,022社による、延べ105,481の企業間での国内取引データを分析対象とする。なお、総務省「令和6年経済センサス（基本調査）」では、資本金5千万円以上の製造業企業は1万8千社程度であり、今回の取引データはその約8割程度をカバーしている。また、表1は「経済センサス」において資本金5千万円以上の製造業企業の財務項目等が製造業全体に占める割合を示しているが、財務

⁴ 取引シェアの欠測値は、帝国データバンクによる推計値で補完されている。推計方法の詳細は、[帝国データバンク \(2022\)](#)を参照。なお、取引シェアには、販売シェア（販売額合計に占める各販売先に対する販売額シェア）と仕入シェア（仕入額合計に占める各仕入先からの仕入額シェア）の2種類が存在する。本稿では、より捕捉性が高い販売シェアを取引シェアとして用いている。このほか、取引シェアが0.01%を下回る取引関係については、その取引シェアは0%に切り捨てられたうえで収録されている。

⁵ この点、その他の企業間取引データは、取引の有無のみが含まれ、その取引額やシェアが収録されていることは稀である。このため、多くの研究において企業間取引額を推計する試みが行われている（[Inoue and Todo, 2019](#); [Sato et al., 2026](#); [Inomata et al., 2026](#)）。

項目については、いずれも7割を超えるカバレッジを有している。

(表1) 分析対象のカバレッジ

	(社) 企業数	(万人) 従業員数	(兆円) 売上高	(兆円) 人件費	(兆円) 設備投資額
今回のデータ	15,022				
製造業・資本金5千万以上	17,737	562	391	30	15
＜対製造業・全規模＞(%)	＜9%＞	＜63%＞	＜84%＞	＜72%＞	＜89%＞
製造業・全規模	208,651	897	463	42	16

(注) 企業数・従業員数・売上高は令和6年経済センサス基礎調査、それ以外は令和3年経済センサス活動調査ベース。設備投資額は、有形固定資産（除く土地）とソフトウェアの合計。

(出所) 総務省

本稿では、これらの製造業企業を、法人企業番号によって各種公的統計の調査票情報と組み合わせる。具体的には、総務省・経済産業省「経済構造実態調査」における製造品目別の出荷額⁶などのほか、経済産業省「企業活動基本調査」の売上高とのマッチングを行っている。

2. 2. 生産ネットワークデータの構築方法

前述の企業間取引データは、最終需要用途の財も含めた製造業間の全取引が対象である。このため、企業間の投入産出構造を表す生産ネットワークデータを構築する際には、中間投入以外の取引（設備投資目的の資本財購入等）を取り除く必要がある。

そこで、本稿では、企業間取引データに、総務省・経済産業省「経済構造実態調査」の調査票情報から取得した各企業の製造品目別出荷額と、総務省「産業連関表」の基本分類表による品目別の投入産出構造を組み合わせることで、こうした問題に対処する。

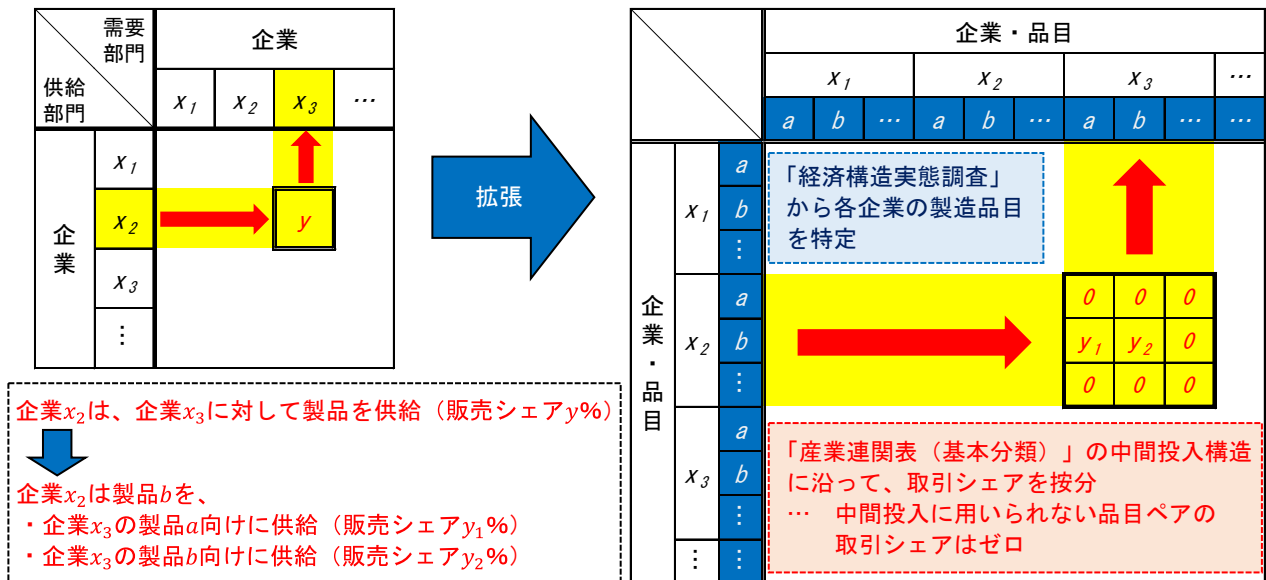
具体的には、取引関係にある企業ペアについて、「経済構造実態調査」から各企業が製造する品目を取得し、それら品目間における投入関係を「産業連関表」から確認する。そのうえで、投入関係が確認された品目間取引に対して、企業間の取引シェアを按分することで、企業間の品目取引データへと拡張する⁷。これにより、設備投資目的の資本財購入といった「産業連関表」において投入関係にない取引関係の取引シェアはゼロとなり、中間投入以外の取引を取り除くことがで

⁶ 後述するように、企業・品目レベルの取引ネットワークの構築には、原則として、利用可能な直近時点（「経済構造実態調査（2024年）」）の出荷額を利用している。ただし、当該年の調査において欠測値となっている場合は、過去の調査年（「経済構造実態調査」（2022年～2023年））やよりカバレッジが広い「工業統計調査」（2019年～2020年）から品目別出荷額を取得した。

⁷ 構築方法の詳細は、補論1を参照。

きる。なお、企業間の取引シェアの按分に際して、投入関係にある品目の取引シェアは、各企業における同品目の出荷額シェアや「産業連関表」における投入比率に比例すると仮定している（図1）。

（図1）データの構築方法



こうした加工を通じて、最終需要用途の取引を取り除きつつ、マクロ統計と整合的な形で、製造業の投入産出構造を反映した企業・品目レベルの生産ネットワークデータとして、計 13,013 社による 2,056 品目の延べ 1,105,563 の企業間の品目取引のデータを構築した。

3. わが国製造業のサプライチェーン構造

本節では、前節で構築した生産ネットワークデータを用いて、わが国製造業のサプライチェーン構造を特定し、その特徴を明らかにする。具体的には、①サプライチェーン構造（最下流に位置する頂点企業とそれに連なるサプライヤー企業）を識別したうえで、②サプライチェーンの長さや裾野、波及度を計測する。

なお、ここでは、サプライチェーン構造の特徴を把握しやすくする観点から、頂点企業やサプライヤー企業の識別は企業単位で行う。このため、本節では、生産ネットワークデータを企業・品目レベルから企業レベルに再集計して用いる⁸。

⁸ 企業・品目レベルの生産ネットワークデータを用いた場合に生じる問題として次の 2 つが考えられる。第一に、最終製品と部品の両方を製造する企業では、最終製品において頂点企業として識別されると同時に、部品のサプライヤー企業としても識別される可能性がある。第二に、複数の部品を製造する企業では、製造部品毎に企業のサプライチェーン上での立ち位置が異なることが考えられる。本稿では、中間投入以外の取引を取り除いたサプライチェーンデータを企業レベ

3. 1. サプライチェーンの識別

(頂点企業)

まず、サプライチェーンの最下流に位置する頂点企業の識別を、表 2 の条件によって行う。

(表 2) 頂点企業の識別条件

供給の集中度	: オーソリティ中心性が、すべての販売先よりも大きい
影響力	: 直接・間接のサプライヤー数が大きい
製品用途	: 製造業販売先に対する取引シェアが小さい

第一の基準は、供給の集中度である。サプライチェーンの最下流に位置する頂点企業は、同社に連なるサプライチェーンにおいて、直接・間接的に、多くの企業から供給を受けることが想定される。そこで、この点をオーソリティベースの固有ベクトル中心性（オーソリティ中心性、Bonacich, 1987）により捉える。この指標は、ネットワーク上の各ノード（企業）の重要性を他ノードから張られる内向きのリンク数（取引数）やその強さ（取引シェア）の観点から評価する指標である。後述するように、同指標が高い企業は、直接・間接的に、多数のサプライヤー企業から多くの供給を受けていることを示しているため、オーソリティ中心性は、サプライチェーンの下流に位置する企業ほど高くなる傾向があるといえる⁹。

企業間の取引ネットワークを、隣接行列 $\tilde{W} = [\tilde{w}_{i,j}]_{i,j=1,\dots,N_f}$ により表すこととする。ただし、隣接行列 $\tilde{W}$ の要素 $\tilde{w}_{i,j}$ は、企業 i の総売上高に占める企業 j への（中間投入以外の取引を除いた）売上高の割合を意味する。また、 N_f は総企業数を示す。このとき、各企業のオーソリティ中心性をベクトル表記したものを $\alpha \in \mathbb{R}^{N_f}$ とすると、この中心性は、隣接行列 $\tilde{W}$ を用いて、次式のように再帰的に定義することができる。

$$\alpha = \frac{1}{\rho(\tilde{W}^T)} \tilde{W}^T \alpha$$

ここで $\rho(\tilde{W}^T)$ は、隣接行列 $\tilde{W}$ の転置行列のスペクトル半径¹⁰である。上述の式は

ルに再集計することで、こうした問題に対処している。

⁹ オーソリティ中心性の対となる概念として、ハブベースの固有ベクトル中心性（ハブ中心性）がある。この指標は、ネットワーク上の各ノードの重要性を、同ノードが他ノードに対して張る外向きのリンク数やその強さの観点から評価する指標であり、サプライチェーンの上流に位置する企業で高くなる傾向にあると考えられる。

¹⁰ 行列のスペクトル半径とは、その行列のすべての固有値の絶対値の最大値のことである。

$\tilde{W}^T \alpha = \rho(\tilde{W}^T) \alpha$ と変形できることから、オーソリティ中心性 α は、隣接行列 $\tilde{W}$ の転置行列のスペクトル半径に対応する固有ベクトルであるといえる。

ここから、企業 i のオーソリティ中心性 α_i は、以下のようになる。

$$\alpha_i = \frac{1}{\rho(\tilde{W}^T)} \sum_{j=1}^{N_f} \tilde{w}_{j,i} \alpha_j$$

$\tilde{w}_{j,i}$ はサプライヤー企業 j の売上高全体に占める企業 i への売上高の割合を表している。このため、企業 i のオーソリティ中心性 α_i は、企業 i が多数の企業から多くの中間財を供給されている場合に高くなることが分かる。また、その再帰的な構造から、オーソリティ中心性は、直接的な取引関係だけでなく、サプライヤー企業 j のオーソリティ中心性 (α_j) を通じた間接的な中間投入の多さも捉えたものとなっている。したがって、オーソリティ中心性はサプライチェーンにおける下流度と密接に関係しているといえる。

以上の特性を踏まえると、ある企業にとって、販売先に自身よりも大きいオーソリティ中心性を有する企業が存在する場合、その企業はサプライチェーンの最下流には位置していない（頂点企業ではない）可能性が高い。したがって、頂点企業に関する第一の基準では、オーソリティ中心性が、すべての販売先よりも大きいことを条件としている。

次に、第二の基準は、影響力の大きさである。今回は、マクロ経済に相応の影響力を有するような頂点企業を把握する観点から、3回の取引で直接・間接的に投入関係をもつ企業数を考える。ここでは、およそ上位10%タイル値に該当する、2,000社以上のサプライヤー企業との投入関係があることを条件とする¹¹。

第三の基準は、主要な製造品目の用途である。具体的には、本稿で構築した製造業の生産ネットワークデータ内の総取引シェアが5%未満である場合に、サプライチェーンの最下流に位置する最終需要財の生産企業、すなわち頂点企業であると考えられる¹²。

これらの条件のもとで、頂点企業として計197社が識別された。頂点企業の社数を業種別にみると、主に資本財を生産する「一般機械（建設機械、半導体製造装置、工作機械など）」や「電機・IT（通信機械、電気計測器など）」、主に消費財を生産する「飲食料品」や「輸送機械（自動車など）」、「化学（医薬品、化粧品

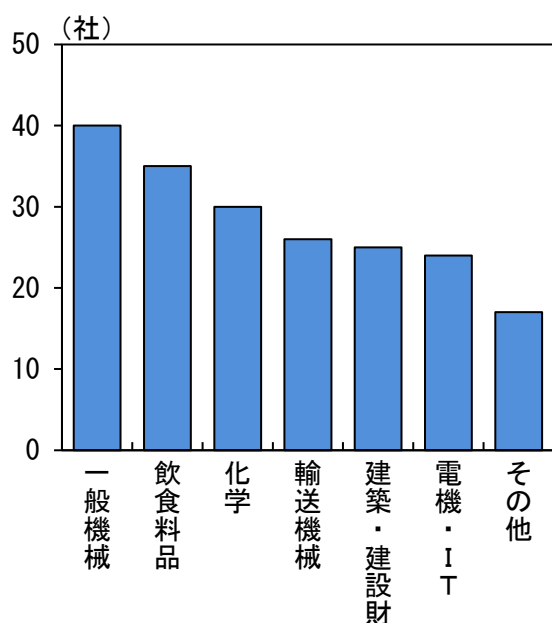
¹¹ 後述する Tier 企業の識別に当たっては、追加的な条件を課しているため、各頂点企業の Tier 企業数が 2,000 社以上であることを必ずしも意味しない。

¹² 本稿の生産ネットワークデータ内における販売シェアが5%未満であるということは、主として製造業以外の企業に対する販売シェアが高い、または、他の製造業企業への中間取引以外の販売が多いことを意味している。

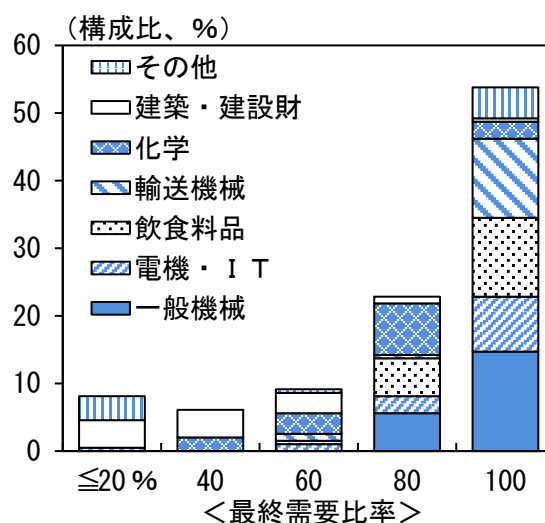
など)」などの、最終需要財の生産企業が多い（図2）。

実際、頂点企業における主要製造品目（出荷高が最大の品目）について、「産業連関表」で最終需要比率をみると、図3が示す通り明確に高い。こうした結果は、今回の識別条件によって、サプライチェーンの最下流に位置する頂点企業を適切に識別できていることを示唆している。なお、最終需要比率の低い企業が頂点企業に若干混入している背景としては、①今回のデータでは卸売商社を経由するとネットワークが途切れること¹³のほか、②「産業連関表」の区分が粗いこと¹⁴などが考えられる。

（図2）業種別頂点企業数



（図3）頂点企業の最終需要比率



（注）一般機械：はん用・生産用・業務用機械、電機・IT：電気機械、情報通信機械、電子部品デバイス、化学：化学、プラスチック、建築・建設財：鉄鋼、非鉄、金属製品、窯業土石、木材・木製品、家具、石油・石炭、その他：繊維、紙パ、印刷、ゴム、革、その他製造。

（出所）帝国データバンク、総務省、経済産業省

（注）最終需要比率は、各頂点企業で最も出荷額が大きい製造品目が属する「産業連関表」の基本分類の値。最終需要／（製造業の中間需要＋最終需要）として算出。

（出所）帝国データバンク、総務省、経済産業省

（サプライヤー企業）

次に、識別された頂点企業を所与として、それらのサプライチェーンに連なるサプライヤー企業を、サプライチェーン上の位置（所謂、Tier）とともに特定していく。本稿では、Tierを特定したサプライヤー企業を「Tier企業」と呼ぶ。

¹³ 例えば、「建築・建設財」に含まれる鉄鋼製品などは商社を経由した取引が多いとみられる。

¹⁴ 例えば、「その他」に含まれる印刷物では、包装用紙など製造業の中間投入に用いられる（最終需要比率が低い）ものと、新聞のように製造業の中間投入には用いられない（最終需要比率が高い）ものが混在しているが、「産業連関表」上は、両者を同一品目として区分している。

Tier 企業の特定に際しては、[Dietzenbacher et al. \(2005\)](#)の平均波及世代数 (APL; Average Propagation Lengths) と呼ばれる産業連関表分析で広く用いられる指標を基準として用いる。APL は、ある産業を起点とする生産波及が、他の産業に行きつくまでの平均工程数を表す指標であり、投入産出構造を踏まえた、産業間の「距離」を計測している。この概念を本稿の企業間ネットワーク $\tilde{W}$ に応用した場合、企業 i と企業 j の APL ($APL_{i,j}$) は次式により計算される。

$$APL_{i,j} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left([\tilde{W}^k]_{i,j} / \sum_{k=1}^{\infty} [\tilde{W}^k]_{i,j} \right)$$

ここで、 k は取引回数、 k の後ろにかかっている括弧内の係数はその取引回数に対するウェイトである。このウェイトは、二つの企業間における直接・間接的な取引額のうち、 k 回目の取引によって生じる当該企業間の取引額の割合を示している。したがって、APL は、二つの企業がネットワーク上で、平均的に何回の取引で結びついているのかを示す指標であるといえる。

このような性質を持つ APL を基準とすることで、複数の取引経路を介して頂点企業との取引がある場合でも、2 社間の「距離」を一意に定めることができる。算出された APL の値に応じて、各企業のサプライチェーン内での Tier を表 3 の条件によって特定する。

(表 3) Tier 企業の特定条件

各頂点企業に対する、当該企業の APL を算出。算出された APL の値に応じて、以下の通り Tier を割り当てる。
$Tier1 : 1 \leq APL < 1.5$
$Tier2 : 1.5 \leq APL < 2.5$
$Tier3 : 2.5 \leq APL < 3.5$
… (以下同様)
当該企業が複数の頂点企業の Tier 企業になることは許容する。

なお、次の条件を満たす場合は、そのサプライチェーンにおいて経済的に有意な繋がりを有していないと考え、Tier 企業から除外する。第一に、頂点企業との繋がりが弱い場合（直接・間接の取引シェアが 0.01% 未満）は Tier 企業に含めない¹⁵。第二に、前節で構築した企業・品目レベルの生産ネットワークデータにおいて、頂点企業の主要製造品目と直接・間接の繋がりが無い場合も Tier 企業から除外する¹⁶。

¹⁵ 第 2.1 節の通り、「取引シェア推計データ」は、取引シェアが 0.01% を下回る取引関係については、その取引シェアは 0% に切り捨てられたうえで収録されている。このため、企業間の繋がりの強さを評価する際の基準値として、同数値 (0.01%) を設定した。

¹⁶ APL の計算においても、企業レベルで再集計した生産ネットワークデータを使用したため、同条件を課している。

以上の過程を経て、197社の頂点企業について識別されたTier企業数は、Tier1：6,352社、Tier2：50,283社、Tier3：39,710社、Tier4：9,366社、Tier5：519社、Tier6：2社となった。これらのTier企業の特徴について、はじめに財務項目等を確認する（表4）。頂点企業とTier企業の企業規模を比較すると、頂点企業の方が資本金、売上高、雇用者数のいずれの面でも突出して大きいことが確認できる。また、Tier企業内では、Tier1やTier2など下流の企業ほど、売上高が大きくなることが分かる。このことは、サプライヤーから調達した中間財を組立・加工することで、付加価値を上乘せしていくサプライチェーンの姿を捉えているといえる。また、売上高だけでなく、設備投資額や雇用者数もTier1やTier2などの下流の企業ほど大きくなっていることは、平均的には、下流の工程に近づくほど、必要となる生産設備や労働投入の規模が大きくなるという構造を示唆している。なお、一部の大規模素材メーカーは、頂点企業とも相応に直接取引を行っているために、Tier1やTier2など頂点企業に比較的近いTierに分類されている場合もある。

（表4）頂点企業とTier企業の財務項目等

		資本金	売上高	設備投資額	雇用者数	企業数
頂点企業		20.0億円	536億円	15.5億円	990人	197社
Tier企業	1	3.0億円	129億円	3.4億円	339人	6,352社
	2	1.0億円	61億円	1.5億円	189人	50,283社
	3	1.0億円	47億円	1.2億円	155人	39,710社
	4	1.0億円	44億円	1.2億円	139人	9,366社
	5	0.9億円	34億円	1.0億円	119人	519社

（注）経済産業省「企業活動基本調査」の調査票情報を基に計算した、各企業分類における財務項目等の中央値。原則として2023年度の値を使用。

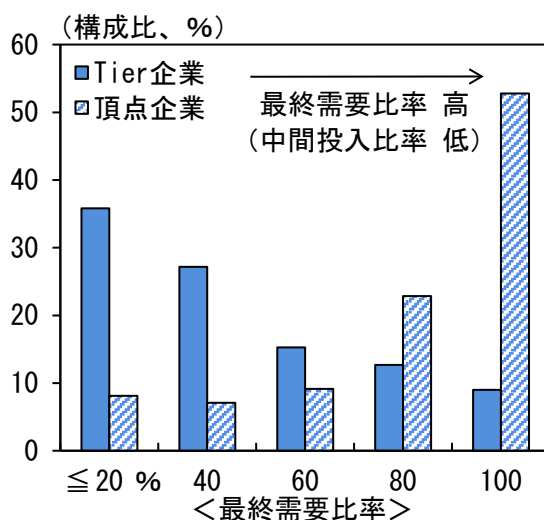
（出所）帝国データバンク、総務省、経済産業省

また、これらのTier企業について、頂点企業の場合（図3）と同様に、最終需要比率をみたものが図4である。Tier企業の最終需要比率は、頂点企業対比ではっきりと低い。こうした結果は、表2や表3で示した本稿のサプライチェーンの識別方法が、最終財生産企業と中間財生産企業の特徴を適切に捉えられていることを示している。

次に、頂点企業197社それぞれについて特定されたTier企業数を、頂点企業の業種毎に多い企業から順に並べたものが図5である。自動車メーカーをはじめとする「輸送機械」のサプライチェーンには、平均で2千社弱のTier企業が属しており、他の業種と比べて突出した規模となっている。また、「一般機械」も、建設機械メーカーなどを中心に、3～4千社程度のTier企業を有するサプライチェーンが散見される。一方、同じ機械関連でも、「電機・IT」は、一部のサプライチェーンを除いて、そこまで規模が大きい。これは、「輸送用機械」では、国内における垂直統合型の企業関係（所謂、系列）が特徴として指摘される一方で、「電機・IT」では、国際的な水平分業が進んできたことを反映していると考え

られる。この間、「飲食料品」などの非耐久財では、国内でサプライチェーンが構築されていると考えられるが、機械関連に比べて加工段階が少ないことを反映して、機械関連よりもサプライチェーンの規模は相対的に小さくなっている。

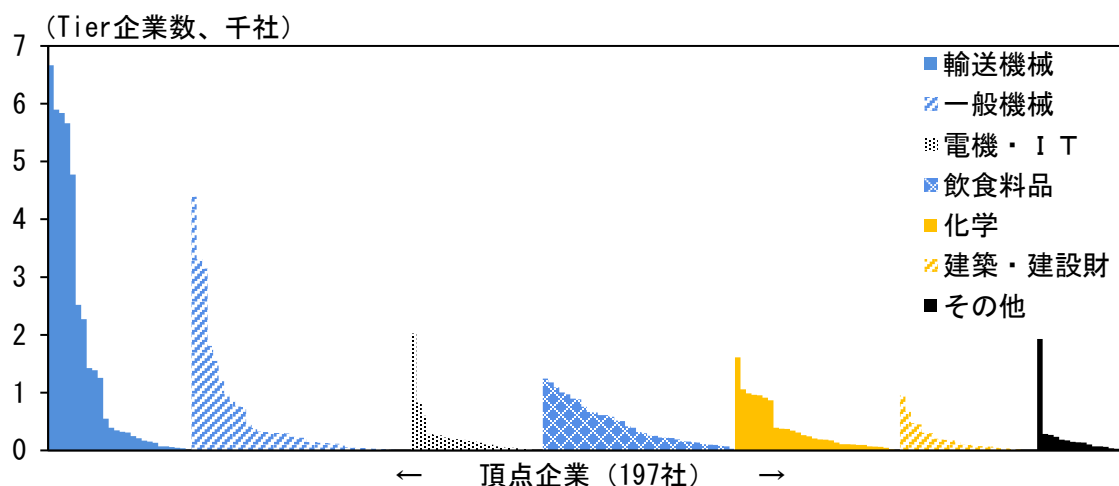
(図 4) Tier 企業の最終需要比率



(注) Tier 企業の最終需要比率は、各 Tier 企業からその頂点企業の主要な製造品目に対して最も多く供給されている製造品目が属する「産業連関表」の基本分類の値。頂点企業の最終需要比率は(図 3)と同一。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

(図 5) 頂点企業別の Tier 企業数



(注) 頂点企業の業種ごとに、各頂点企業のサプライチェーンに属する Tier 企業数を降順に表示したもの。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

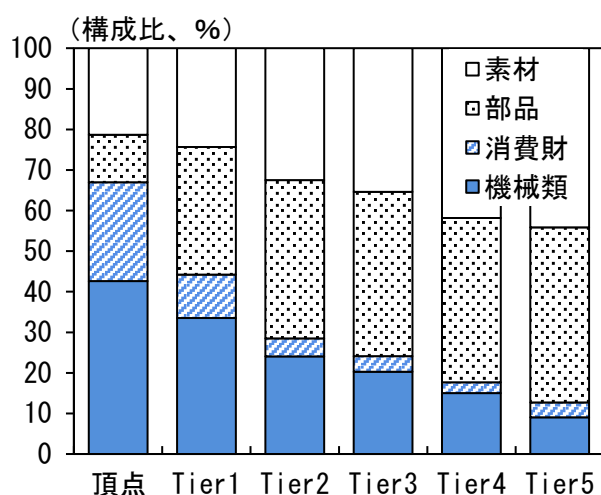
最後に、特定した Tier 企業について、階層 (Tier) ごとの特徴を確認する。まず、各 Tier における企業数¹⁷を業種別に分類したものが図 6 である。これを見ると、Tier1 から Tier5 にかけて、「部品」業種 (プラスチック、金属製品、電子

¹⁷ Tier6 の企業数は僅少であるため、図 6 および図 7 では表示していない。

部品デバイスなど)や「素材」系業種(化学、鉄鋼・非鉄、窯業土石など)の構成比がはっきりと高まっており、特定された Tier がサプライチェーンにおける生産段階を反映していることが確認できる。

この点を、グローバル・サプライチェーンの文脈でよく用いられる上流度・下流度指標¹⁸(Antràs et al., 2012; Miller and Temurshoev, 2017)からも確認する。具体的には、「産業連関表」の最も粒度の細かい基本分類を用いて、各業種の上流度・下流度を算出し、サプライチェーンにおける各業種の相対的な位置を、相対上流度として定量化した。この指標をもとに、各業種を4分位に分け、それぞれの頂点企業・Tier企業を分類したものが、図7である。ここで、サプライチェーンにおいて、グループ①が最上流、グループ④が最下流に位置することを表している。これをみると、Tier1からTier5にかけて、グループ①・②といったサプライチェーンの上流側の構成比がはっきりと高まっている。これらの結果は、今回特定した Tier が、サプライチェーンにおける階層構造を適切に捉えていることを示している。

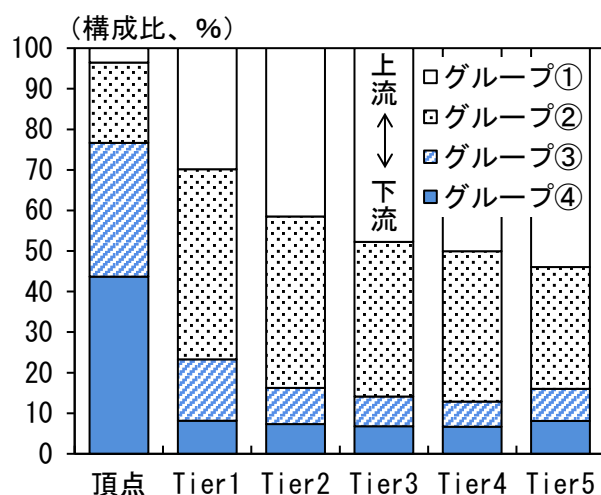
(図6) 業種別構成比



(注) 各 Tier 企業からその頂点企業の主要な製造品目に対して最も多く供給されている製造品目の業種に基づいて分類。素材：鉄鋼、非鉄、化学、石油・石炭、窯業土石、ゴム、紙パ、繊維、木材・木製品、部品：プラスチック、金属製品、電子部品デバイス、印刷、消費財：飲食料品、家具、革、その他製造、機械類：はん用・生産用・業務用機械、電気機械、情報通信機械、輸送用機械。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

(図7) 上流度・下流度別構成比



(注) 各 Tier 企業からその頂点企業の主要な製造品目に対して最も多く供給されている製造品目が属する「産業連関表」の基本分類の相対上流度に基づいて分類。相対上流度(上流度/(上流度+下流度))は、「産業連関表」基本分類レベルの投入産出構造(製造業に限定したもの)から算出し、4分位でグループ分け。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

¹⁸ 上流度とは「ある産業の生産が最終需要者に到達するまでの平均的な工程数」を指し、下流度とは「他産業の本源的要素投入が、ある産業の生産に到達するまでの平均的な工程数」を意味する。さらに上流度と下流度の和は、各業種が属するサプライチェーン全体の「長さ」として解釈することができる。この2つの指標を組み合わせることで、各業種のサプライチェーン内での相対的な立ち位置を定量的に評価できる。

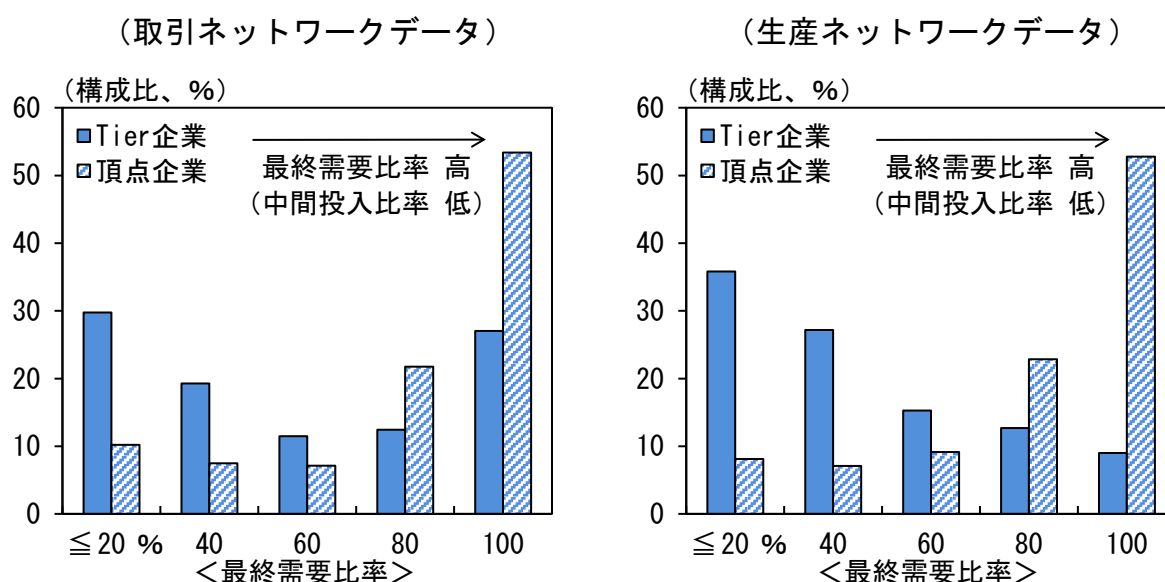
（企業間取引データによる識別結果との比較）

本小節の最後に、以上の本稿で構築した生産ネットワークデータによるサプライチェーンの識別結果について、元の企業レベルの取引ネットワークデータを用いた場合の識別結果と比較を行う。

企業レベルに再集計した生産ネットワークデータに代えて元の企業レベルの取引ネットワークデータを対象に、表 2 および表 3 の条件のもとで頂点企業と Tier 企業を識別したうえで、それらの主要製造品目の最終需要比率を計算した。図 8 をみると、企業間取引データを用いた場合、頂点企業については最終需要比率が高い企業を抽出できているが、Tier 企業にも最終需要比率が高い企業がかなり混入しており、最終財生産企業と中間財生産企業が適切に識別されていないことが確認できる。

こうした結果は、企業・品目レベルへと細分化して設備投資目的の資本財購入といった中間投入以外の取引を取り除いたうえで、再集計した企業レベルの生産ネットワークを構築することで、元の企業レベルの取引ネットワークを用いた場合と比べて、サプライチェーン構造をより精度高く識別することが可能になったことを示している。

（図 8）頂点企業および Tier 企業の最終需要比率



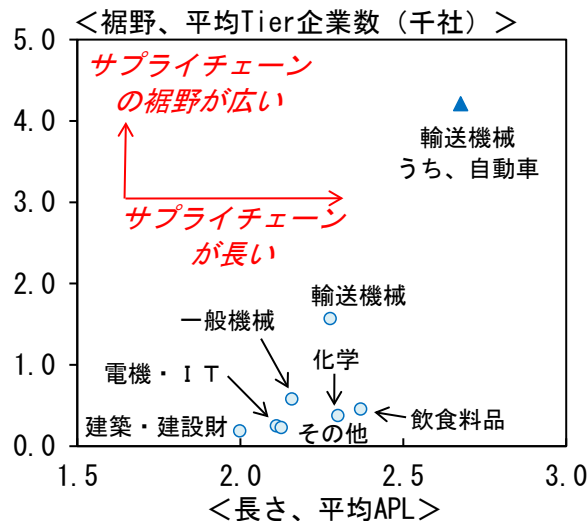
（注）左図の最終需要比率は、各企業で最も出荷額が大きい製造品目が属する「産業連関表」の基本分類の値。最終需要／（製造業の中間需要＋最終需要）として算出。右図は、図 4 の再掲。
（出所）帝国データバンク、総務省、経済産業省

3. 2. サプライチェーンの特徴

ここでは、前小節で識別されたサプライチェーンについて、①長さ、②裾野、③波及度の観点からその特徴を整理する。

まず、図 9 は頂点企業が属する各業種について、それぞれのサプライチェーンに属する Tier 企業の平均 APL と、頂点企業 1 社当たりの平均的な Tier 企業数をプロットしたものである。平均 APL がサプライチェーンの長さ、平均的な Tier 企業数がサプライチェーンの裾野を捉えた指標である。図 9 をみると、「輸送機械」、特に「自動車」が、際立って長く、かつ裾野の広いサプライチェーンを有していることが分かる。

(図 9) 頂点企業の業種別にみたサプライチェーンの長さとし裾野



(注) 縦軸は、各頂点企業の Tier 企業数を業種ごとに単純平均したもの。横軸は、各頂点企業の Tier 企業の APL の平均値を業種ごとに単純平均したもの。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

このことは、自動車メーカーが直面する需要変動は、幅広い Tier 企業の生産活動に影響を及ぼすことを示しているが、ここでは、さらに、個々の Tier 企業の生産活動への波及度という観点から頂点企業を比較する。具体的には、次式の通り、個別の Tier 企業について、各頂点企業が直面する需要変動に対する相対的なエクスポージャー ($\psi(i, j)$) を計算する。

$$\psi(i, j) = \frac{l_{i,j} \times y_j}{\sum_{j \in T_i} l_{i,j} \times y_j}$$

ただし、 i は Tier 企業 i 、 j は頂点企業 j を表す (T_i は Tier 企業 i が属する頂点企業の

集合)。また、 $l_{i,j}$ はレオンチェフ逆行列¹⁹の (i,j) 成分、 y_j は頂点企業 j の売上高を表している。産業連関分析の枠組みにおいて、レオンチェフ逆行列の (i,j) 成分は、企業 j が直面する需要が1単位増加した際に、企業 i のグロス生産額が何単位増えるかを表している。したがって、 $\psi(i,j)$ の分子は、頂点企業 j が直面する需要が一定割合($x\%$)変動した際のTier企業 i のグロス生産額への影響の大きさを示しており、 $\psi(i,j)$ 自体は、それを同企業が属する頂点企業群で集計したもので除すことで相対的な尺度に変換したものとなっている。すなわち、 $\psi(i,j)$ が大きいことは、特定の頂点企業の需要変動から受ける影響が大きいことを示している。

さらに、この $\psi(i,j)$ を、次式のように頂点企業 j の業種別に集計することで、頂点企業が直面する需要変動がTier企業の生産活動に与える影響の大きさを業種ごとに比較する。

$$\Psi(k) = \frac{\sum_{i \in J} \sum_{j \in T^k} \psi(i,j)}{\sum_{i \in J} \sum_{j \in T^k \cap T_i} 1/|T_i|}$$

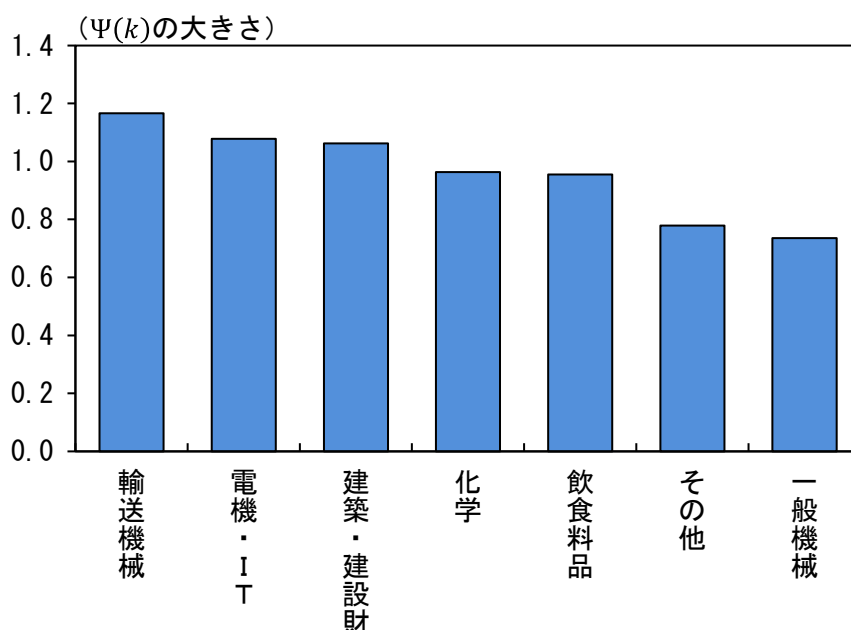
ただし、 J は標本企業の全体集合、 T^k は業種 k に含まれる頂点企業の集合、 $|T_i|$ はTier企業 i が属する頂点企業の数である。分子は業種 k の全頂点企業について $\psi(i,j)$ を足し上げたものであり、分母はその基準化である。具体的には、 $\psi(i,j) = 1/|T_i|$ ($\forall j \in T_i$)となるのは、Tier企業 i が各頂点企業に対して等しくエクスポージャーを有する場合であり、業種 k の頂点企業に対するTier企業のエクスポージャーが平均的にその水準を上回る場合に、 $\Psi(k)$ が1を超えることとなる。

図10は $\Psi(k)$ の計算結果を示している。この図から分かる通り、自動車をはじめとする輸送機械の頂点企業は、図9でみた通り、Tier企業の数に際立っているだけでなく、個々のTier企業の生産活動に与える影響度も大きいことが示唆される。

以上のように、わが国製造業のサプライチェーンにおいては、長さ・裾野・波及度のいずれにおいても、自動車メーカーを中心とする「輸送機械」が際立った特徴を有していることが定量的に確認された。特に、長さ・裾野といった特徴については、これまでも定性的には指摘されてきたが、実際の企業間取引データを用いることで、その特徴が定量的に明らかになった。

¹⁹ レオンチェフ逆行列の計算に必要となる投入係数行列は、企業レベルの産出係数行列を「企業活動基本調査」の売上高（調査対象外の企業は「経済構造実態調査」の合計出荷額）を用いて変換することにより求めた。

(図 10) 頂点企業の業種別にみた Tier 企業の生産活動への波及度指標



(注) 頂点企業の業種別に $\Psi(k)$ を計算したもの。
(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

3. 3. 留意点

最後に、以上の分析結果を巡る留意点を 2 つ指摘する。

第一に、データの粒度や制約に起因して、本稿で構築した企業・品目レベルの生産ネットワークデータの精度には限界が存在することに留意が必要である。本稿で用いた「経済構造実態調査」の 6 桁レベルの製造品目は非常に高粒度であるが、同じ品目に分類される製品であっても、現実には仕様などによってさらに細分化されている。また、企業間取引データと各企業の製造品目データを組み合わせて企業・品目レベルの取引を推計する際には、「産業連関表」に記述された品目間の平均的な投入関係を仮定している。これらの結果として、推計された企業・品目レベルの取引構成には誤差が生じる可能性がある。

第二の留意点として、本稿では卸売企業など非製造業を介した取引や海外との取引を組み込めていないことが、サプライチェーン構造の識別結果に及ぼす影響にも注意する必要がある。本稿の生産ネットワークデータでは卸売商社や海外を経由するとネットワークが途切れることから、サプライチェーン上で卸売商社が重要な役割を果たす業種や、電機・IT のようにグローバル・サプライチェーンの深化が進み、国内のみならず海外における生産工程も大きい業種などにおいて、サプライチェーンの連結性や長さが過小評価されている可能性がある。

4. サプライチェーンにおけるボトルネック

こうしたサプライチェーン構造は、効率的な付加価値創出を可能とするという点で、わが国経済構造の特徴の一つである一方、どこかで供給制約が発生すると、ショックが伝播し、その影響が増幅し得る。実際、わが国では、東日本大震災をはじめとする自然災害やコロナ禍といった大きな供給ショックに加え、個別企業の事故等に起因する特定部品の供給制約といった個別ショックがサプライチェーンを介して伝播する姿がみられてきた。

そこで、本節では、供給制約が生じた際にサプライチェーン全体の生産に大きな影響を及ぼし得る品目を「ボトルネック品目」として識別し、その潜在的な影響を確認する。

4. 1. ボトルネック品目の識別

長く連なるサプライチェーン上には、様々な種類のボトルネックが存在する。例えば、サプライチェーンの最上流における素原材料の供給制約は、多くの企業の生産に影響を及ぼすと考えられる。もっとも、経済に内在する供給面のリスクを見落としなく捉える観点からは、サプライチェーンの途中に位置しているがゆえに、必ずしも大きなリスクとして認識されていないが、実際には他の財で代替困難な中間財を検出することも重要である。この点を踏まえ、本稿では、第2節にて構築した企業・品目レベルの生産ネットワークデータを用いて、表5の条件を満たす特定企業の製造品目をボトルネック品目として識別する^{20,21}。

(表5) ボトルネック品目の識別条件

要所	: 媒介中心性が高い
低代替可能性①	: 特定企業の市場シェアが大きい
低代替可能性②	: 財の異質性が強い

第一の条件は、サプライチェーン上の要所となっていることである。ある企業の製造品目の供給停止が、その下流における生産活動を広範に制約し得るか否かを捉えた指標として、供給先の多さを表すハブベースの中心性が挙げられる。もっとも、同指標はサプライチェーンにおける上流度と強く関連しており、本稿が想定するボトルネック品目の尺度として適切でない。この点、供給先の多さを捉えつつも、サプライチェーンの中間に位置することも許容し得る指標として、「媒

²⁰ これらの条件のほか、頂点企業の主要製造品目との繋がりが弱い（直接・間接の取引シェアが0.01%未満の）企業・品目についてもボトルネックの候補から除外している。

²¹ 各条件について、本稿では4分位点などをアドホックな閾値としている。もっとも、合理的な範囲で閾値を変化させても、本節で述べる分析結果は定性的には変わらないことを確認している。

介中心性」(Freeman, 1977) が挙げられる。「媒介中心性」は、ボトルネックの検出手法について議論した先行研究 (Mizgier et al., 2013; Yan et al., 2015) でも、その有用性が指摘されている。

具体的には、サプライチェーン上のある企業の製造品目 v の媒介中心性 $b(v)$ は以下のように定義される。

$$b(v) = \sum_{x,y \in V \setminus \{v\}} \frac{|S(x,v,y)|}{|S(x,y)|}$$

ただし、 V は企業・品目の全体集合、 $|S(x,y)|$ は企業・品目 x から企業・品目 y への最短経路²²の数、 $|S(x,v,y)|$ は企業・品目 x から企業・品目 y への最短経路のうち、企業・品目 v を経由する経路の数を表す。したがって、媒介中心性が高い企業・品目は、上流と下流を繋ぐ最短経路上に頻繁に登場する企業・品目であり、サプライチェーン上の要所を捉えたものと解釈できる。また、Mizgier et al. (2013)で指摘されているように、媒介中心性はハブベースの中心性と異なり、サプライチェーンの上流よりも中間点で高くなる性質があり、本稿の目的とも合致している。実際、図 11 で本稿の生産ネットワークデータ²³を用いて、各中心性指標とサプライチェーン上の立ち位置（相対上流度）の関係をみても、ハブ中心性の高さは上流度の高さ、オーソリティ中心性の高さは下流度の高さとそれぞれ関連しており、媒介中心性はそれらの中間で高くなる傾向にあることが分かる。したがって、本稿では、ボトルネック品目の第一条件として、媒介中心性が全体の第 4 四分位に含まれるという条件を課す。

第二、第三の条件は、代替可能性の低さである。これはボトルネック品目が満たすべき必須の要件であり、尺度の異なる 2 つの基準を設ける。一つ目の尺度は、市場の寡占度である。供給能力が特定の企業に偏在している品目は、その企業で供給制約が生じた際、少なくとも短期的には代替が困難であると考えられる。この点を捉えるべく、その品目における当該企業の出荷額シェアが 1/4 (25%) 以上であることを第二の条件とする。

代替可能性に関するもう一つの尺度は、出荷価格のばらつきから示唆される財の異質性である。同質財に近い品目は、仮に特定企業で供給制約が生じたとしても、他国からの輸入も含め、代替調達が比較的容易であると考えられる。本稿では、同質性の代理指標として、出荷価格のばらつきに着目した²⁴。一般的に、同

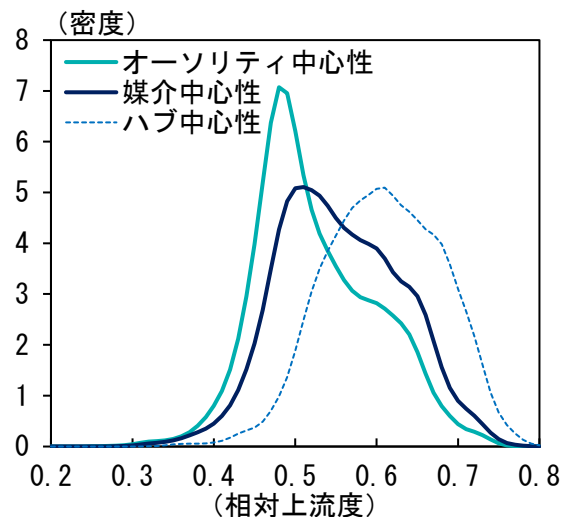
²² ここでの最短経路とは、始点から終点に至るまでに経由する取引（エッジ）の数が最小である経路を指す。

²³ 図 11 では、計算負荷の高さ等を考慮し、企業レベルに再集計された生産ネットワークデータを用いて、中心性指標と相対上流度を計算している。

²⁴ 品目別の出荷価格は、2024 年の「経済構造実態調査」の調査票情報に基づき、出荷額を出荷数量で除して算出した。なお、オーダーメイド性が高い製品など、単純な出荷数量の定義が難しく、

質財に近い品目では、他の条件を一定とすれば出荷価格のばらつきが小さくなると考えられるため、変動係数で測った出荷価格のばらつきが全体の第4四分位に含まれる品目を異質性が強く、技術的な代替性が低い財と見做し、これを第三の条件とした。

(図 11) 各中心性指標の上位企業の相対上流度



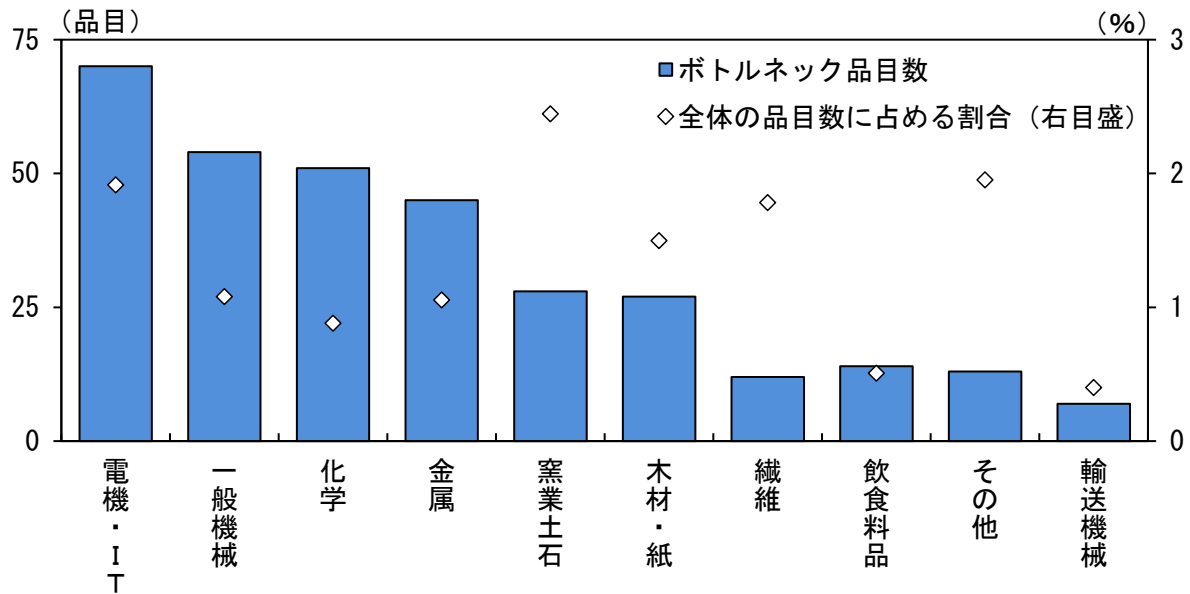
(注) 各中心性指標の第4四分位に含まれる企業群における、相対上流度の分布を示す。密度はカーネル密度推定に基づく。相対上流度は上流度 / (上流度 + 下流度)。中心性指標と相対上流度は、企業レベルに再集計された生産ネットワークデータを用いて算出。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

これらの条件によって、ボトルネック品目として、計 286 社が製造する計 321 品目が識別された。識別されたボトルネック品目の数を業種毎にみると(図 12)、「電機・IT」、「一般機械」、「化学」、「金属」に属する品目が多い。ここには、自動車関連の品目に加え、集積回路(電機・IT)やピストンリング(一般機械)など、半導体や電子部品の製造に用いられる原材料・部材関連の品目が多くみられる。

そもそも出荷数量が報告されていない品目も数多く存在するが、その場合は異質性の強い品目と見做した。

(図 12) 業種別ボトルネック品目数



(注) ボトルネック品目数は、ボトルネック品目として識別された計 312 の企業・品目の業種分布を示す。全体の品目数に占める割合は、生産ネットワークデータに存在する各業種の全企業・品目の数に対するボトルネック品目数の割合を示す。電機・IT：電気機械、情報通信機械、電子部品デバイス、一般機械：はん用・生産用・業務用機械、化学：化学、プラスチック、石油・石炭、ゴム、金属：鉄鋼、非鉄、金属製品、木材・紙：木材・木製品、紙パ、印刷、繊維：繊維、革。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

また、「電機・IT」は同業種全体の品目数に占める割合でみても、多くの品目がボトルネックとして識別されている。これは、同業種には、半導体や電子部品などの汎用製品が多く存在していることに起因していると考えられる。他方、「化学」のボトルネック品目は、全体の品目数の分布と比べると少ない。これは、媒介中心性や財の異質性に関する識別条件により、上流度が高く、コモディティに近い品目が含まれていないことに起因していると考えられる。「飲食料品」や「輸送機械」に含まれる中間財は、使用される業種の範囲が狭いことから、ボトルネック品目として識別された品目が少なくなっている。

4. 2. ボトルネック品目における供給制約の伝播シミュレーション

次に、こうしたボトルネック品目で供給制約が生じた際の影響の伝播について、シミュレーション分析を行う²⁵。ここでは、モデルの構築方法や解法について解

²⁵ なお、本稿では、国内の生産ネットワークデータを用いてボトルネック品目を検出しているため、以降のシミュレーションでは、供給制約が海外由来か国内由来かに依らず、ショックの起点としては国内生産の減少を考える。この点、わが国は元来資源輸入国であることに加え、わが国製造業がグローバル・サプライチェーンを深化させるもて、海外にも複雑な調達網が張り巡らされていることを踏まえると、供給制約の起点として海外からの輸入財を明示的に取り出すことも考えられる。そこで、補論 2 では、輸入財の供給制約を勘案可能な形へのモデルの拡張を検討する。

説した後、同モデルを用いたシミュレーション結果を示し、供給制約が生産に及ぼす影響について議論する。

なお、本稿の分析枠組みは、各企業の生産関数についてレオンチェフ型を仮定している点や、原材料在庫を勘案している点で [Inoue and Todo \(2019\)](#) と類似している。ただし、[Inoue and Todo \(2019\)](#) が自然災害の影響の分析を目的として、資本ストックの毀損・回復を考慮しているのに対し、本稿はそれらを考慮していない。他方、本稿では、第2節で構築した企業・品目レベルのネットワークを用いることで、より粒度の高い分析が可能となっている²⁶。

(モデルの構築)

まず、シミュレーションに用いるモデルの枠組みを、在庫の有無による場合分けを行いながら提示する。

(1) 在庫が存在しないケース

企業 i による品目 a の生産額を $y_{(i,a)}$ 、供給制約に直面していない平時の生産額を $\bar{y}_{(i,a)}$ とする。さらに、それらの比率を $\hat{y}_{(i,a)} = y_{(i,a)}/\bar{y}_{(i,a)}$ で表す。在庫が存在しない場合、 $\hat{y}_{(i,a)}$ は次のように決定されると仮定する。

$$\hat{y}_{(i,a)} = \min \left\{ \sum_{j \in J} \bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{y}_{(j,b)} \right\}_{b \in B(i,a)} \quad (1)$$

ただし、 J は標本企業の全体集合、 $B(i,a)$ は企業 i が品目 a を生産するために投入する品目の集合である。また、 $\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$ は、平時に企業 i が品目 a を生産する際、中間財 b の調達をサプライヤー企業 j にどれだけ依存しているか、すなわち、以下のように定義される中間財 b のサプライヤー企業 j からの調達比率を表す。

$$\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} = \frac{\bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}}{\sum_{j \in J} \bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}} \quad (2)$$

ただし、 $\bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$ は、企業 i が品目 a を生産する際の、サプライヤー企業 j の製造品目 b の平時における使用額である。 $\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$ は、標本企業の全体集合 J で総和を取ると1になることから、ここでは標本企業以外からの調達（輸入や商社からの仕入）は存在しないことを暗に仮定している。

式(1)が意味するところは、まず、レオンチェフ型の実産関数、すなわち、投入

²⁶ [Inoue and Todo \(2024\)](#)は、事業所・品目レベルの粒度で分析を行っているが、本稿や [Inoue and Todo \(2019\)](#) よりも簡素なモデルを採用している。

品目間の完全非代替を仮定しているということである。したがって、企業*i*による品目*a*の生産は、投入する中間財*B(i, a)*のうち、最も減少率の大きい品目によって規定される。このように、レオンチェフ型の生産関数を仮定しているのは、品目間の代替が困難な短期における供給制約の影響を評価するためである。

また、式(1)は、各中間財の投入が各サプライヤーの生産 ($\hat{y}_{(j,b)}$) の加重平均により決まること、すなわち、品目内では線形の関数形を仮定している。ただし、生産関数が線形でも、他のサプライヤーからの代替調達ができないこと、すなわち、供給制約下にあるサプライヤーからの調達が減少した分だけ、当該品目の投入量が減少することを仮定している。こうした仮定は、同一品目内でも代替調達が困難であるという、ボトルネック品目の定義と整合的な仮定であるといえる²⁷。

(2) 在庫が存在するケース

次に、在庫を勘案したモデルを説明する。ここでは、製品在庫と原材料在庫の2種類を考慮する。具体的には、企業*i*の品目*a*の製品在庫を $s_{(i,a)}^p$ 、企業*i*の品目*a*の生産に使用する中間財*b*の原材料在庫を $s_{b \rightarrow (i,a)}^m$ とする。これらを平時の生産額、原材料投入額に対する比率として表したものを $\hat{s}_{(i,a)}^p = s_{(i,a)}^p / \bar{y}_{(i,a)}$ 、 $\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m = s_{b \rightarrow (i,a)}^m / \bar{x}_{b \rightarrow (i,a)}$ とする。例えば、 $\bar{y}_{(i,a)}$ が平時の年間生産額であれば、 $\hat{s}_{(i,a)}^p$ は製品在庫が平時の基準で何年分に相当するかを示している ($\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m$ も同様)。

このように在庫を勘案した場合、生産が減少しても製品在庫で出荷を補うことができる。生産の場合と同様に、企業*i*による品目*a*の出荷額を $q_{(i,a)}$ 、平時の出荷額を $\bar{q}_{(i,a)}$ 、それらの比率を $\hat{q}_{(i,a)} = q_{(i,a)} / \bar{q}_{(i,a)}$ とし、平時には生産と出荷が等しい ($\bar{y}_{(i,a)} = \bar{q}_{(i,a)}$) と仮定する。このとき、 $\hat{q}_{(i,a)}$ は次のように決まる。

$$\hat{q}_{(i,a)} = \min \left\{ 1, \hat{y}_{(i,a)} + \hat{s}_{(i,a)}^p \right\}$$

この式は、供給制約により生産 ($\hat{y}_{(i,a)}$) が減少すると、平時の出荷額を上限に、製品在庫 ($\hat{s}_{(i,a)}^p$) の分だけ出荷が補填されることを示している。

このもとで、生産は次のように決まる。

$$\hat{y}_{(i,a)} = \min \left\{ 1, \min \left\{ \sum_{j \in J} \bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{q}_{(j,b)} + \hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m \right\}_{b \in B(i,a)} \right\}$$

²⁷ ボトルネック品目以外の投入についても同様の仮定を置いているわけであるが、ここで供給制約に陥っている品目は、全て異質性の強いボトルネック品目を直接・間接に投入している品目である。したがって、これらの品目についても、相応に異質性が強く、短期的な代替調達が難しいと仮定するのは一定の妥当性を有すると考えられる。

製品在庫がある場合、サプライヤー企業からの中間財供給は生産でなく出荷ベースで決まるため、各サプライヤーからの調達量は $\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{q}_{(j,b)}$ となっている。また、サプライヤー企業からの供給が減っても、原材料在庫 ($\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m$) の分だけ補填できるようになっている。

(モデルの解法)

シミュレーションでは、前小節で識別されたボトルネック 321 品目のそれぞれで供給制約が生じた際の製造業全体の生産減少率を計算する。その際、ボトルネック品目で生じた供給制約が直接・間接の取引関係を通じて、他の企業・品目の生産を下押しする効果を繰り返し計算により求める必要がある。具体的なアルゴリズムは以下の通りである。

① 初期値の設定

供給制約に直面するボトルネック品目を企業 k の製造品目 c として、同品目の生産を $100 \times \epsilon\%$ 減少させる。すなわち、 $\hat{y}_{(k,c)}^0 = 1 - \epsilon$ とする。例えば、生産額等が年単位の場合、1 か月間の生産停止に相当する ϵ は $1/12$ となる。品目 c 以外の品目の生産は制約に直面していないため、その初期値は1である。したがって、初期値は以下のようになる。

$$\hat{y}_{(i,a)}^0 = \begin{cases} 1 - \epsilon & \text{if } (i, a) = (k, c) \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

② 更新ステップ

n 回目の計算結果を $\hat{y}_{(i,a)}^n$ で書き表すとする、 $\hat{y}_{(i,a)}^n$ は以下のように求められる。

$$\hat{y}_{(i,a)}^n = \begin{cases} 1 - \epsilon & \text{if } (i, a) = (k, c) \\ \min \left\{ 1, \min \left\{ \sum_{j \in J} \bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{q}_{(j,b)}^{n-1} + \hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m \right\}_{b \in B(i,a)} \right\} & \text{otherwise} \end{cases}$$

ただし、 $\hat{q}_{(j,b)}^{n-1}$ は次のように定義される。

$$\hat{q}_{(j,b)}^{n-1} = \min \{ 1, \hat{y}_{(j,b)}^{n-1} + \hat{s}_{(j,b)}^p \}$$

③ 繰り返し計算

$\hat{y}_{(i,a)}^n$ が収束するまで②の更新ステップを繰り返す²⁸。

²⁸ 収束判定は $\sum_{(i,a) \in U} |\hat{y}_{(i,a)}^{n-1} - \hat{y}_{(i,a)}^n| < 0.01$ としている。ただし、 U は企業・品目のペアの全体集合

(パラメータの設定)

まず、各中間財における各サプライヤーからの調達比率 ($\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$) の設定に必要な各サプライヤーからの調達額 ($\bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$) については、第2節で推定した企業・品目レベルの取引シェア ($w_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$) に、企業 j の年間出荷額 ($\bar{q}_j$) を乗じることで求めた。このとき、 $\bar{q}_j$ には、「経済構造実態調査」の調査票情報における年間出荷額（原則として2023年の値、以下同様）を使用した。このもとで、 $\bar{\omega}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$ は定義式(2)より算出した。

次に、製品在庫 ($\hat{s}_{(i,a)}^p$) は、「経済構造実態調査」の調査票情報における品目別製品在庫額（年初時点）を品目別年間出荷額で除すことで求めた²⁹。原材料在庫 ($\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m$) は、品目別のデータが存在しないことから、同一企業の原材料在庫は全ての品目で等しい ($\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m = \hat{s}_{b' \rightarrow (i,a')}^m \forall a, a' \in A(i); \forall b \in B(i, a); \forall b' \in B(i, a')$ 、ただし、 $A(i)$ は企業 i の製品の全体集合)と仮定したうえで、「経済構造実態調査」の調査票情報における原材料在庫額（年初時点）を年間原材料使用額で除すことで求めた^{30,31}。このように、各企業の在庫ストックを現実の在庫データを基に設定している点は、先行研究にはみられない本稿の特長といえる。

(シミュレーション結果)

シミュレーション分析では、各ボトルネック品目について、生産能力が半減した場合のグロス生産への影響を試算した。具体的には、あるボトルネック品目（企業 k の品目 c ）の生産が m か月間半減した場合の各企業・品目の年間生産に対する影響 ($\hat{y}_{(i,a)}^n$) を、 $\epsilon = 0.5 \times m/12$ として、上記のアルゴリズムから計算する。そのうえで、各企業・品目の m か月目の生産減少率を、 m か月間のショックと $m-1$ か月間のショックによる年間生産の減少率の差分から求める。このようにして求まる供給制約の影響の動学は、各企業・製品の在庫残高により規定される。すなわち、在庫が底を尽きた企業・製品から順番に生産・出荷が減少していくことで、製造業全体の生産減が時間を通じて拡大していく仕組みとなっている。

図13は、ボトルネック321品目に関するシミュレーションを行い、製造業全体の生産減少率を試算した結果について、中央値と下位5%タイルを示したものである。まず、中央値をみると、4か月程度は、在庫による緩和効果が、マクロの生産を下支えすることが確認できる。ただし、それを超えて供給制約が長期化

である。

²⁹ 欠測値については、同一品目の中で最も出荷額の近い企業・品目の値で補完した。それで補完できなかったものについては、全体の中央値で補完した。

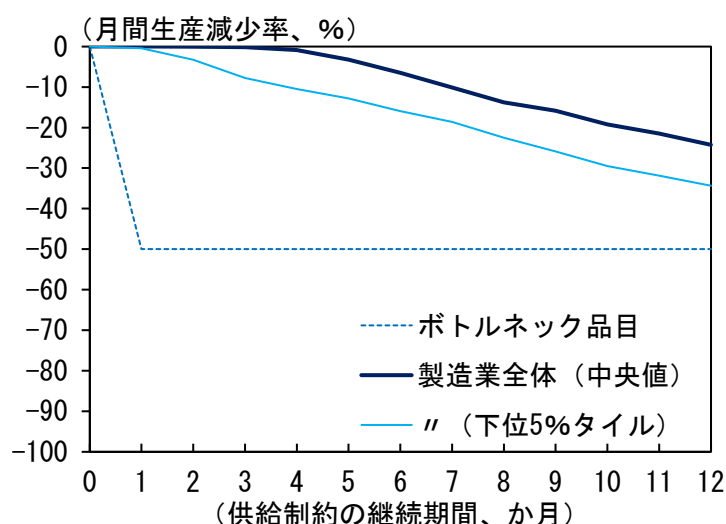
³⁰ 欠測値については、同一産業（細分類）の中で最も出荷額の近い企業の値で補完した。それでも補完できなかったものについては、全体の中央値で補完した。

³¹ なお、「経済構造実態調査」からは、仕掛品在庫の情報も取得可能である。もっとも、モデルでは仕掛品在庫を考慮していないほか、仕掛品を完成品に加工するために追加的に必要となる原材料の情報や完成品に至るまでの期間等が不明であるため、仕掛品在庫のデータは本シミュレーションでは用いていない。

すると、各社の在庫が徐々に尽き、マクロの生産にも大きな影響が表れていく。次に、下位 5% タイルでは、在庫による緩和効果が 2 か月目には剥落して、マクロの生産が減少し始めることが確認できる。こうした結果は、ボトルネック品目の供給制約の影響には相応の異質性が存在しており、場合によっては、かなり早い段階からマクロの生産への影響が顕在化し得る品目が存在することを示唆している。

こうした結果について、類似の先行研究である Inoue and Todo (2019) とは、シミュレーションの前提が異なるため、単純に比較を行うことはできないが、一部の企業における供給制約が極めて大きな間接効果を持ち得るという点は、本稿と同研究の結果の共通点として挙げることができる。こうした間接効果の大きさは、Inoue and Todo (2019) が指摘した通り、投入要素間での非代替性を仮定している点や、各企業（・品目）のネットワーク上の中心性が相応に異質である点に起因していると考えられる。

（図 13）ボトルネック品目の供給制約による製造業全体の生産への影響

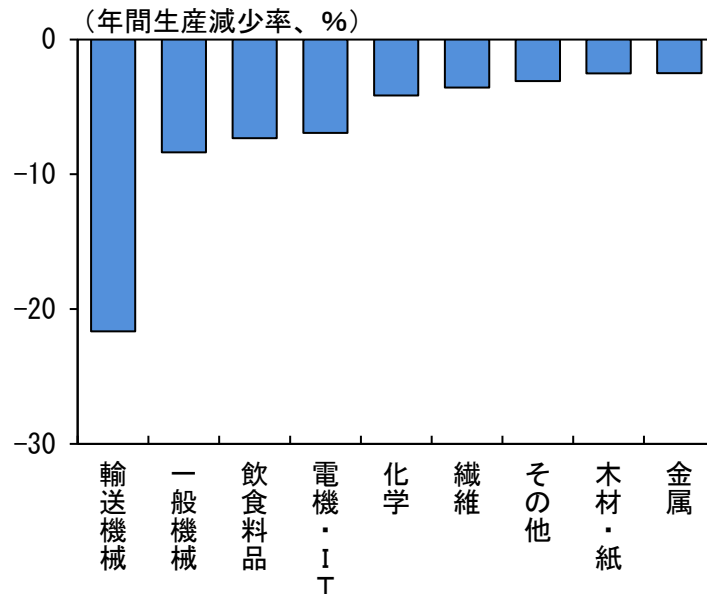


（注）製造業全体（中央値）は、各ボトルネック品目の生産が 50% 減少した場合の製造業全体の生産減少率の中央値を示す。製造業全体（下位 5% タイル）も同様。

（出所）帝国データバンク、総務省、経済産業省

また、各業種に対する影響をみると、「輸送機械」が最もボトルネック品目における供給制約の影響を受けやすいことが分かる（図 14）。前小節で「輸送機械」自体にはボトルネック品目となる中間財が少ないことが確認されたが、第 3 節でみた通り、「輸送機械」はサプライチェーンの裾野が広く、輸送機械以外の幅広い業種からも部品の供給を受けて製造が行っていることから、ボトルネック品目の供給制約の影響に晒されやすいと考えられる。

(図 14) 業種別の影響

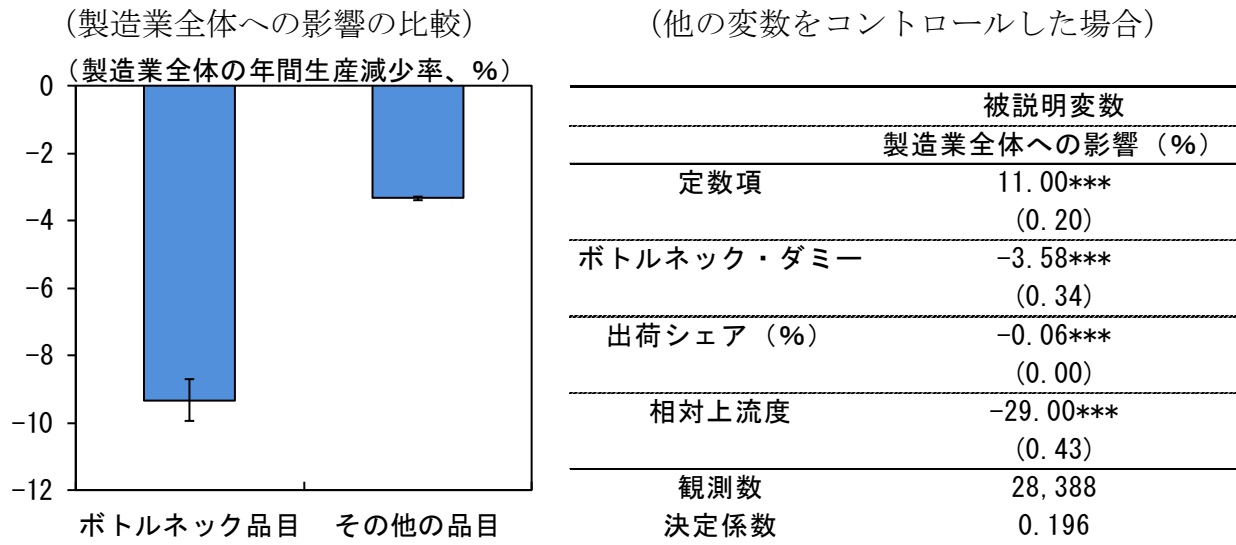


(注) 各ボトルネック品目の生産が 12 カ月間 50%減少した場合の各業種の年間生産減少率の中央値を示す。一般機械：はん用・生産用・業務用機械、化学：化学、プラスチック、石油・石炭、ゴム、電機・IT：電気機械、情報通信機械、電子部品デバイス、繊維：繊維、革、木材・紙：木材・木製品、紙パ、印刷、金属：鉄鋼、非鉄、金属製品。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

さらに、図 15 でボトルネック品目の影響度をその他の品目と比較すると、左図の通り、ボトルネック品目における供給制約の影響はその他の品目対比で顕著に大きい。また、右表が示す通り、こうした影響度の違いは、出荷シェアの大きさやサプライチェーンにおける立ち位置（相対上流度）をコントロールしたもとでも有意である。この結果から、本稿で識別したボトルネック品目は、供給制約による潜在的な影響度が大きい品目を、定量的な観点からも上手く捉えているといえる。

(図 15) ボトルネック品目の影響度 (その他の品目との比較)



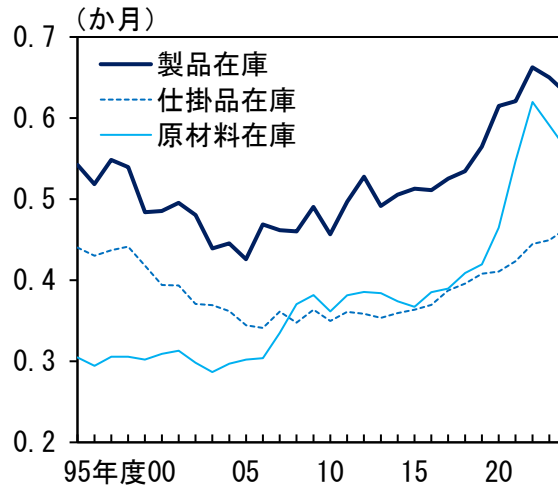
- (注) 1. 左図は、すべての企業・品目の12か月間の生産半減ショックに対する製造業全体の年間生産減少率を計算したうえで、ボトルネック品目とその他の品目ごとに平均値を計算したもの。エラーバンドは95%信頼区間。
2. 右表の重回帰における被説明変数は、各企業・品目の生産半減ショックに対する12か月目の製造業全体の生産変化率(%)。ボトルネック・ダミーはボトルネック品目の場合に1を取るダミー変数。出荷シェアは当該企業・品目の出荷額が同一品目の総出荷額に占める割合(%)。相対上流度(上流度/(上流度+下流度))は、「産業連関表」基本分類レベルの投入産出構造(製造業に限定したもの)から算出された品目別の値。括弧内はロバスト標準誤差を示す。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

(緩和手段としての在庫)

これまでみてきたように、短期的な供給制約の影響を緩和するうえでは、在庫の保有は一定程度有効な手段である。実際、わが国製造業の在庫率をみると、1990年代後半以降、在庫コストの削減を企図した在庫管理の高度化を背景に低下トレンドを辿ってきたが、2010年代入り後、自然災害などで供給制約が度重なった経験を踏まえ、原材料や部品の戦略的な在庫積み増しが進められてきたことから、ここ10年は明確な上昇に転じている(図16)。

(図 16) 在庫率



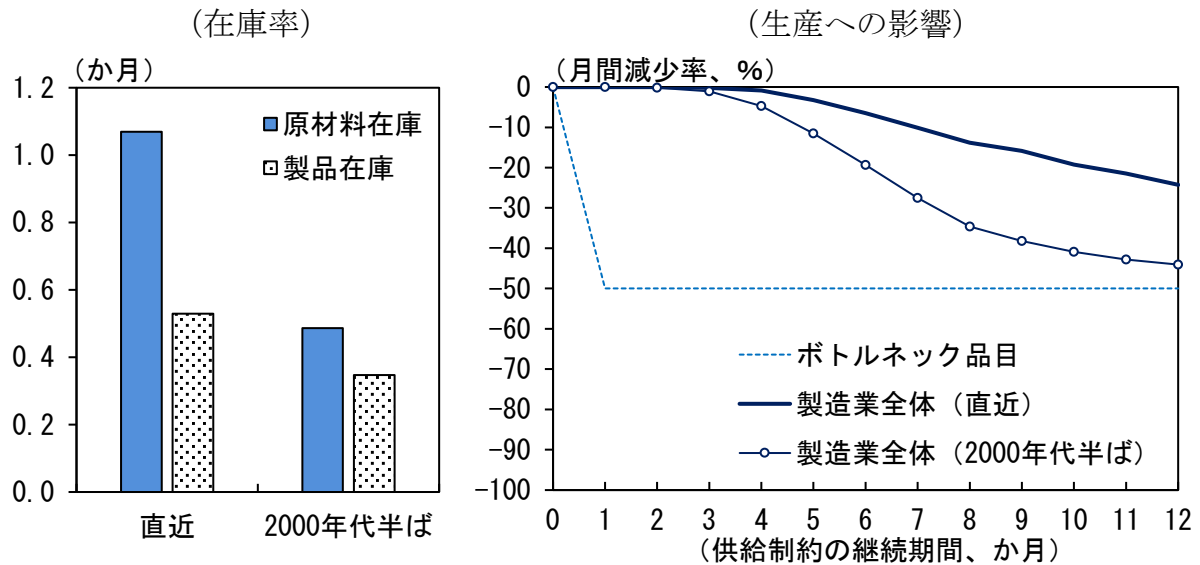
(注) 在庫率＝各在庫残高÷売上高。「法人企業統計年報」より作成。全規模製造業。
(出所) 財務省

そこで、こうした在庫の積み増しが、わが国製造業のサプライチェーンの頑健性をどの程度高めてきたかを検証する。具体的には、先ほどのシミュレーションについて、在庫率が概ねボトム期に位置していた 2000 年代半ばの在庫率の値³²を用いた場合の結果と比較する。

図 17 でシミュレーション結果をみると、2000 年代半ばの在庫水準を前提とした場合の供給制約が生産に及ぼす影響は、直近と比べてかなり大きいことが確認できる。また、各企業・品目の在庫が少ないことを反映して、供給制約が企業間でより速やかに伝播する結果、生産の落ち込みのスピードも加速している。この結果は、東日本大震災等の相次ぐ自然災害等の経験を基に、企業が在庫水準の引き上げに取り組んだことは、在庫保有コストを押し上げる一方で、他の条件を一定とすれば、短期的な供給制約に対する各企業の生産の継続性を高め、わが国製造業のサプライチェーン全体の頑健性を高める方向に作用してきたことを示唆している。なお、本分析は、現在と 2000 年代半ばの間でのサプライチェーン構造の変化を考慮していない点には留意が必要である。

³² 製品在庫率と原材料在庫率は「工業統計調査」の調査票情報から取得した。ただし、同調査票情報には法人企業番号が存在しないことから、次の方法で各企業の過去の在庫率を求めた。まず、製品在庫については、品目分類番号が同一で出荷額が最近傍である企業・品目の製品在庫率(2006 年時点)を用いた。原材料在庫については、細分類産業が同一で製造品出荷額計が最近傍である企業の原材料在庫率(2006 年時点)を用いた。

(図 17) 在庫の増加とサプライチェーン強靱性



(注) 「直近」は原則 2023 年初時点、「2000 年代半ば」は 2006 年初時点。左図の在庫率は、製品在庫率＝製品在庫÷売上高、原材料在庫率＝原材料在庫÷原材料使用額。いずれも中央値を表示。右図は、在庫率の値を「直近」と「2000 年代半ば」で変化させた場合のシミュレーション結果（中央値）を図示。

(出所) 帝国データバンク、総務省、経済産業省

5. まとめ

本稿では、高粒度の企業間取引データと企業の製造品目データを組み合わせることで、わが国製造業のサプライチェーン構造について、その特徴を高い解像度で可視化した。

本稿の分析結果は、以下の 3 点にまとめられる。

第一に、自動車メーカーを頂点企業とするサプライチェーンは、長さや裾野の広さが際立っていることが定量的に明らかとなった。また、これらの頂点企業で生じた需要変動は、個々の Tier 企業の生産活動に対して、他産業よりも大きな影響を及ぼし得ることが示唆された。

第二に、重層的なサプライチェーンの中には、供給ショックが生じた際に広範な影響を及ぼすボトルネック品目が数多く存在することが明らかになった。とりわけ、長く・裾野が広いサプライチェーンを有する自動車では、そうした品目における供給制約の影響が大きい。また、こうした供給制約の影響を緩和するうえでは、在庫の保有が一定程度有効な手段であることも示唆された。

第三に、中心性や APL といった概念が製造業サプライチェーンの可視化に有用であることが分かった。具体的には、オーソリティ中心性を用いることで、サプライチェーンの最下流に位置する頂点企業を識別することができたほか、識別

された頂点企業と APL から、サプライチェーンの階層構造を特定することも可能となった。また、媒介中心性によるボトルネック品目の識別では、過去に広範な供給制約を引き起こした品目も複数検出された。

本稿で構築した高粒度の企業・品目レベルの生産ネットワークデータは、精度やカバレッジの面での留意点はあるものの、サプライチェーンを通じた企業行動の連関に関する分析にも活用し得る有益なデータであると考えられる。今後も、データをさらに精緻化しつつ、分析を拡充していくことが、マクロの経済情勢を的確に把握していくうえで重要である。

【参考文献】

- Acemoglu, D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, and A. Tahbaz-Salehi (2012), "The Network Origins of Aggregate Fluctuations," *Econometrica*, 80(5), pp. 1977-2016.
- Antràs, P., D. Chor, T. Fally, and R. Hillberry (2012), "Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows," *American Economic Review*, 102 (3), pp.412-16.
- Bacilieri, E., A. Borsos, P. Astudillo-Estévez, M. Hoefer, and F. Lafond (2026), "Firm-level production networks: what do we (really) know?" *Journal of Economic Dynamics & Control*, 187, 105313.
- Baqae, D. R. and E. Farhi (2019), "The Macroeconomic Impact of Microeconomic Shocks: Beyond Hulten's Theorem," *Econometrica*, 87(4), pp. 1155-1203.
- Barrot, J., and J. Sauvagnat (2016), "Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks," *Quarterly Journal of Economics*, 131, pp. 1543-1592.
- Bernard, A. B., A. Moxnes, and Y. U. Saito (2019), "Production Networks, Geography, and Firm Performance," *Journal of Political Economy*, 127(2), pp. 639-668.
- Boehm, C., A. Flaaen, and N. Pandalai-Nayar (2019), "Input Linkages and the Transmission of Shocks: Firm-Level Evidence from the 2011 Tohoku Earthquake," *The Review of Economics and Statistics*, 101, pp. 60-75.
- Bonacich, P. (1987), "Power and Centrality: A Family of Measures," *American Journal of Sociology*, 92(5), pp. 1170-1182.
- Carvalho, V. M., M. Nirei, Y. U. Saito, and A. Tahbaz-Salehi (2021), "Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake," *The Quarterly Journal of Economics*, 136(2), pp. 1255-1321.
- Chakraborty, A., Y. Kichikawa, T. Iino, H. Iyetomi, H. Inoue, Y. Fujiwara, and H. Aoyama (2018), "Hierarchical Communities in the Walnut Structure of the Japanese Production Network," *PLoS ONE*, 13(8): e0202739.
- Craighead, C. W., J. Blackhurst, M. J. Rungtusanatham, and R. B. Handfield (2007), "The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities," *Decision Sciences*, 38(1), pp. 131-156.

- Dietzenbacher, E., I. R. Luna, and N. S. Bosma (2005), " Using Average Propagation Lengths to Identify Production Chains in the Andalusian Economy," *Estudios de Economia Aplicada*, 23(2), pp. 405-422.
- Dhyne, E., A. K. Kikkawa, T. Komatsu, M. Mogstad, and F. Tintelnot (2025), "Firm Responses and Wage Effects of Foreign Demand Shocks with Fixed Labor Costs and Monopsony," *American Economic Review*, 115(12), pp. 4328-4368.
- Freeman, L. C. (1977), "A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness," *Sociometry*, 40(1), pp. 35-41.
- Fujiwara, Y., and H. Aoyama (2010), "Large-Scale Structure of a Nation-Wide Production Network," *The European Physical Journal B*, 77(4), pp. 565-580.
- Glowka, M., A. Müller, and A. Weber (2025), "The Hierarchy of Critical Participants: A Clustering Approach Utilising Network-Based Indicators for Payment Systems," *Latin American Journal of Central Banking*, 100169.
- Inomata, S., T. Hisamitsu, F. Imamura, Y. Kichikawa, and Y. Sagara (2026), "Where is the Chokepoint? Mapping Supply Chain Vulnerabilities Using Firm-to-Firm Transaction Data," IDE Discussion Papers, No. 1004, Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization.
- Inoue, H., and Y. Todo (2019), "Firm-Level Propagation of Shocks through Supply-Chain Networks," *Nature Sustainability*, 2(9), 841-847.
- Inoue, H., and Y. Todo (2024), "Disruption Risk Evaluation on a Large-scale Production Network with Establishments and Products," RIETI Discussion Papers, 24076, Research Institute of Economy, Trade and Industry.
- Katafuchi, Y., X. Li, D. Moran, T. Yamada, H. Fujii, and K. Kanemoto (2025), "Construction of an Enterprise-Level Global Supply Chain Database," *Nature Communications*, 16, 11158.
- Kim, Y., T. Y. Choi, T. Yan, and K. Dooley (2011), "Structural Investigation of Supply Networks: A Social Network Analysis Approach," *Journal of Operations Management*, 29, pp. 194-211.

- Kito, T., A. Brintrup, S. New, and F. Reed-Tsochas (2014), "The Structure of the Toyota Supply Network: An Empirical Analysis," Said Business School Research Papers, 2014-3, University of Oxford.
- Lu, Z., and Z. Dong (2023), "A Gravitation-Based Hierarchical Community Detection Algorithm for Structuring Supply Chain Network," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 16, 110.
- Miller, R. E., and U. Temurshoev (2017), "Output Upstreamness and Input Downstreamness of Industries/Countries in World Production," *International Regional Science Review*, 40, pp.443-475.
- Mizgier, K. J., M. P. Jüttner, and S. M. Wagner (2013), "Bottleneck Identification in Supply Chain Networks," *International Journal of Production Research*, 51 (5), pp. 1477-1490.
- Mizuno, T., W. Souma, and T. Watanabe (2015), "Buyer-Supplier Networks and Aggregate Volatility," In: Watanabe, T., I. Uesugi, A. Ono (eds) *The Economics of Interfirm Networks*, pp. 15-37.
- Ohnishi, T., H. Takayasu, and M. Takayasu (2009), "Hubs and Authorities on Japanese Inter-Firm Network: Characterization of Nodes in Very Large Directed Networks," *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 179, pp. 157-166.
- Saavedra, S., F. Reed-Tsochas, and B. Uzzi (2008), "Asymmetric Disassembly and Robustness in Declining Networks," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(43), pp. 16466-16471.
- Saito, Y. U., T. Watanabe, and M. Iwamura (2007), "Do Larger Firms Have More Interfirm Relationships?" *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 383(1), pp. 158-163.
- Sato, R., T. Mizuno, and R. Yano (2026), "Estimation of Transaction Values in Firm-Level Supply Networks using a Hybrid GNN-Light GBM Approach," *Applied Network Science*, 11, 41.
- Simchi-Levi, D., W. Schmidt, Y. Wei, P. Y. Zhang, K. Combs, Y. Ge, O. Gusikhin, M. Sanders, and D. Zhang (2015), "Identifying Risks and Mitigating Disruptions in the Automotive Supply Chain," *Interfaces*, 45(5), pp. 375-390.

- Wiedmer, R., and S. E. Griffis (2021), "Structural Characteristics of Complex Supply Chain Networks," *Journal of Business Logistics: Advancing Supply Chain Theory and Practice*, 42(2), pp. 264-290.
- Yan, T., T. Y. Choi, Y. Kim, and Y. Yang (2015), "A Theory of the Nexus Supplier: A Critical Supplier from A Network Perspective," *Journal of Supply Chain Management*, 51(1), pp. 52-66.
- Zhao, K., Z. Zuo, and J. V. Blackhurst (2019), "Modelling Supply Chain Adaptation for Disruptions: An Empirically Grounded Complex Adaptive Systems Approach," *Journal of Operations Management*, 65(2), pp. 190-212.
- 大久保圭祐・福地開帆・竹原遼太郎・神谷祐里・尾島麻由実 (2026), 「ネットワーク・クラスタリングアプローチでの重要先の特定とデジタルツインシミュレーション」, 日銀リサーチラボ, No. 26-J-1, 日本銀行.
- 中小企業庁 (2020), 『2020 年版中小企業白書』.
- 帝国データバンク (2022), 「取引構成比出力プログラム、取引構成比出力装置、取引構成比出力方法及びフィッティングプログラム」, 特開 2022-015658.
- 水野貴之・栗崎周平・土井翔平 (2025), 「情報処理装置、情報処理方法、および、情報処理プログラム（調達経路推定システム）」, 特開 2025-115955.

補論 1. 企業・品目レベルの生産ネットワーク

本補論では、帝国データバンク「取引シェア推計データ」に、総務省・経済産業省「経済構造実態調査」の調査票情報による製造品目データと総務省「産業連関表」による品目間の投入産出構造を組み合わせることで、企業・品目レベルの生産ネットワークを構築する手法について詳述する。

1. 企業間の取引ネットワークの定義

はじめに、企業レベルの取引ネットワークを、重み付き有向グラフ $G(V, E, w)$ として定式化する。ここでネットワークを構成する要素は以下の通りである：

- ① $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{N_f}\}$ は、企業の集合を表し、 N_f は企業の総数である。
- ② $E \subseteq V \times V$ は、有向エッジの集合を表し、 $(v_s, v_c) \in E$ のとき、企業 v_s から企業 v_c への取引関係が存在することを示している。なお、当該取引関係において、企業 v_s をサプライヤー企業、企業 v_c をカスタマー企業と呼ぶ。
- ③ w は集合 E から実数への写像であり、これを重み関数と呼ぶ。この重み関数は、 $(v_s, v_c) \in E$ ならば、 $w(v_s, v_c) > 0$ を返す。 $w(v_s, v_c)$ の値は、サプライヤー企業 v_s の売上高全体に占める、カスタマー企業 v_c に対する販売額のシェア（取引シェア）に対応し、「取引シェア推計データ」から得られる。

このもとで、隣接行列 $W = [w_{v_s, v_c}]_{s, c=1, \dots, N_f}$ を以下の通り定義する。

$$w_{v_s, v_c} = \begin{cases} w(v_s, v_c) & \text{if } (v_s, v_c) \in E \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

2. 各企業の製造品目の定義

次に、各企業の製造品目、および、同出荷額の集合を定義する。

まず、任意の企業 $v_i (\in V)$ が製造する品目の集合を、 $P_i = \{p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i, N_{i,p}}\}$ と定義し、これを「経済構造実態調査」の調査票情報から取得する。要素 $p_{i,j} \in P_i$ は、企業 v_i が製造するある品目、 $N_{i,p}$ はその総数である。

また、当該企業 v_i が製造する各品目に対応する出荷額の集合を、 $Y_i = \{y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i, N_{i,p}}\}$ と定義する。ここで、要素 $y_{i,j} \in Y_i$ は、企業 v_i が製造するある品目の出荷額であり、「経済構造実態調査」の調査票情報より得られる。

3. 企業・品目レベルの生産ネットワークの構築

最後に、任意のサプライヤー企業・品目のペア $(v_s, p_{s,j})$ とカスタマー企業・品目のペア $(v_c, p_{c,k})$ 間の取引シェア $w_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})}$ を計算する。ここでの取引シェア $w_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})}$ は、カスタマー企業 v_c に対して品目 $p_{c,k}$ の製造のために販売される、サプライヤー企業 v_s の品目 $p_{s,j}$ の販売額が、サプライヤー企業 v_s の売上高全体に占める割合である。

具体的には、隣接行列の要素である企業間の取引シェア w_{v_s, v_c} を次のように按分することで、企業・品目間の取引シェア $w_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})}$ を推定する。

$$w_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})} = \theta_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})} \times w_{v_s, v_c} \quad (A1)$$

ウェイトパラメータ $\theta_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})}$ は、3つの要素 $(\theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)}, \theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)}, \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)})$ を用いて、以下の通り定義される。

$$\theta_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})} = \frac{\theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)} \times \theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)} \times \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)}}{\sum_{p_{s,j} \in P_s} \sum_{p_{c,k} \in P_c} \theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)} \times \theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)} \times \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)}}$$

ただし、 $\theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)}$ 、 $\theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)}$ 、 $\theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)}$ は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)} &= \frac{y_{s,j}}{\sum_{p_{s,j} \in P_s} y_{s,j}} \\ \theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)} &= \frac{y_{c,k}}{\sum_{p_{c,k} \in P_c} y_{c,k}} \\ \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)} &= \frac{Z_{p_{s,j}, p_{c,k}}}{\sum_{p_{s,j} \in P_s} Z_{p_{s,j}, p_{c,k}}} \end{aligned}$$

また、分母がゼロとなる場合は以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \sum_{p_{s,j} \in P_s} Z_{p_{s,j}, p_{c,k}} = 0 &\Rightarrow \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)} = 0 \\ \sum_{p_{s,j} \in P_s} \sum_{p_{c,k} \in P_c} \theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)} \times \theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)} \times \theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)} = 0 &\Rightarrow \theta_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})} = 0 \end{aligned}$$

ここで、 $Z_{p_{s,j}, p_{c,k}}$ は中間投入行列 Z の要素であり、品目 $p_{c,k}$ の1単位の生産における品目 $p_{s,j}$ の中間投入額を表す。なお、中間投入行列 Z には、総務省「産業連関表」の基本分類の投入表を用いている。

$\theta_{v_s, p_{s,j}}^{(1)}$ はサプライヤー企業 v_s の出荷額全体に占める品目 $p_{s,j}$ の出荷額シェア、

$\theta_{v_c, p_{c,k}}^{(2)}$ はカスタマー企業 v_c の出荷額全体に占める品目 $p_{c,k}$ の出荷額シェアである。また、 $\theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)}$ は、品目 $p_{c,k}$ の中間投入品目として、サプライヤー企業 v_s の製造品目の中で品目 $p_{s,j}$ が持つ相対的な重要度を示している³³。

したがって、①サプライヤー企業やカスタマー企業での出荷額シェアが高い主要品目間の取引や、②投入関係が強い品目間での取引は、その取引シェアが高くなるように設計されている。他方、「産業連関表」上、投入関係が存在しない品目間 ($Z_{p_{s,j}, p_{c,k}} = 0$) の取引シェアがゼロになることから、推定されたネットワークは、中間投入以外の取引（資本財購入等）を捨象したものとなっている。

4. 企業レベルに再集計されたネットワーク

推定された企業・品目レベルの生産ネットワークを企業レベルに再集計したものを隣接行列 $\tilde{W} = [\tilde{w}_{v_s, v_c}]_{s, c=1, \dots, N_f}$ で表すこととし、これを第3節で頂点企業の識別等に用いる。このとき、隣接行列 $\tilde{W}$ の各要素 $\tilde{w}_{v_s, v_c}$ は、以下のように求められる。

$$\tilde{w}_{v_s, v_c} = \sum_{p_{s,j} \in P_s} \sum_{p_{c,k} \in P_c} w_{(v_s, p_{s,j}) \rightarrow (v_c, p_{c,k})}$$

³³ 「経済構造実態調査」における商品分類のひとつに「転売収入」がある。これは、製造子会社が生産した製品を親会社に一括で納入し、親会社がそれらの製品をまとめて販売するようなケースが該当する。本稿では、カスタマー企業が「転売収入」を得ており、かつ、サプライヤー企業とカスタマー企業が同一品目を出荷している場合には、「転売収入」は当該品目で発生していると仮定する。転売取引分に対応する取引シェアは、「転売収入」を品目別出荷額の比率で按分することでカスタマー企業における品目別転売額を推定したうえで、通常の取引と同様に式(A1)から算出している。なお、その際 $\theta_{p_{s,j}, p_{c,k}}^{(3)} = 1$ としている。

補論 2. 輸入財の供給制約を勘案したモデル

本補論では、第 4 節で構築したモデルを拡張し、輸入財の供給制約による影響をシミュレーションする手法を提示する。

輸入財の勘案に際しては、品目ごとに輸入財と国内財の代替関係が異なり得ることを考慮する。具体的には、①輸入財と国内財が代替関係にある品目、すなわち、当該品目の投入が輸入財投入と国内財投入の和の形で表される品目と、②輸入財と国内財が完全に非代替な関係にある品目、すなわち、当該品目の投入が輸入財投入と国内財投入の小さい方により規定される品目の 2 種類を考慮する³⁴。①の品目の集合を I^S 、②の品目の集合を I^C により表すこととする。

(モデルの詳細)

(1) 在庫が存在しないケース

在庫が存在しないシンプルなケースでは、企業 i による品目 a の生産 $\hat{y}(i, a)$ が次のように決定される。

$$\hat{y}(i, a) = \min\{\hat{x}_{b \rightarrow (i, a)}\}_{b \in B(i, a)}$$

ただし、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i, a)}$ は企業 i による品目 a の生産に用いられる品目 b の投入（平時からの乖離率）を表す。この生産関数自体は、第 4 節で仮定したものと同じであるが、輸入財を考慮した場合には、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i, a)}$ を品目 b の性質（輸入財と国内財の代替関係）によって区別する必要がある。

まず、①輸入財と国内財が代替関係にある品目 $b \in B(i, a) \cap I^S$ について考える。この場合、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i, a)}$ は以下のように定義される。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i, a)} = \sum_{j \in J \cup f} \bar{w}_{(j, b) \rightarrow (i, a)} \hat{y}_{(j, b)}$$

ただし、 f は海外全体を表し、 $\hat{y}_{(j, b)}$ は品目 b の輸入（平時からの乖離率）を表す。ここでは、輸入財の投入はあたかも単一企業からの投入のように一纏めにして扱っている。また、 $\bar{w}_{(j, b) \rightarrow (i, a)}$ は、輸入財の投入を勘案した調達比率であり、以下のように定義される。

³⁴ 一般的に、石油・石炭製品や石油基礎化学品といった素材は一定程度の代替が可能な一方で、加工度の高い部品はこうした代替は難しいとみられる。ただし、後述の通り、こうした代替関係を適切に把握するには、データに基づく検証が必要である。

$$\bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} = \frac{\bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}}{\sum_{j \in J \cup f} \bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}}$$

$j = f$ の場合、 $\bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)}$ は、企業 i が品目 a の生産に使用する品目 b の輸入比率を表している。また、 $j \neq f$ の場合は、次式に示すように、第 4 節で定義した $\bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$ に国内調達比率 $1 - \bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)}$ を乗じたものとなる。

$$\bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} = (1 - \bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)}) \times \bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)}$$

ただし、品目 b について、国内財投入が全く存在しない場合 ($\bar{x}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} = 0 \ \forall j \in J$) は、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)} = (1 - \bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)}) \times 1 + \bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)} \times \hat{y}_{(f,b)}$ とする。

次に、②輸入財と国内財が非代替関係にある品目 $b \in B(i,a) \cap I^c$ について考える。この場合、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}$ は以下のように定義される。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)} = \min\{\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d, \hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f\}$$

ここで、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d$ は品目 b の国内財投入（平時からの乖離率）を表す。また、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f$ は品目 b の輸入財投入（平時からの乖離率）を表す。したがって、輸入財と国内財が非代替関係にある品目では、国内財投入と輸入財投入のうち、減少率の大きい方で当該品目の投入が規定されることを意味している。

$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d$ は、輸入財投入がない場合と同様、次式より計算される。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d = \sum_{j \in J} \bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{y}_{(j,b)}$$

他方、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f$ は品目 b の輸入（平時からの乖離率）と等しい。すなわち、以下の通り表される。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f = \hat{y}_{(f,b)}$$

ただし、品目 b について、輸入財投入が存在しない場合は、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f = 1$ とする。同様に、国内財投入が存在しない場合は、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d = 1$ とする。

以上をまとめると、企業 i による品目 a の生産に用いられる品目 b の投入 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}$ は、①輸入財と国内財が代替関係にある品目では、輸入財供給と国内財供給の加重平均となる。また、②輸入財と国内財が非代替関係にある品目では、輸入財供給と国内財供給のうち、いずれか小さい方となる。そして、企業 i の品目 a の生産

$\hat{y}_{(i,a)}$ は、最も投入減少率の大きい品目 b の投入 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}$ により規定されるという構造になっている。

(2) 在庫が存在するケース

在庫が存在するケースでは、企業 j による品目 b の出荷（平時からの乖離率）を以下のように定義する。

$$\hat{q}_{(j,b)} = \min \{1, \hat{y}_{(j,b)} + \hat{s}_{(j,b)}^p\}$$

ただし、 $\hat{s}_{(j,b)}^p$ は製品在庫を平時の生産量で除したものであり、輸入財の場合は $\hat{s}_{(f,b)}^p = 0$ とする。

そのうえで、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}$ を以下のように定義し直す。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)} = \begin{cases} \sum_{j \in J \cup f} \bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{q}_{(j,b)} & \text{if } b \in B(i,a) \cap I^s \\ \min \{ \hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d, \hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f \} & \text{if } b \in B(i,a) \cap I^c \end{cases}$$

ここで、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d$ と $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f$ も次のように定義し直している。

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d = \sum_{j \in J} \bar{w}_{(j,b) \rightarrow (i,a)} \hat{q}_{(j,b)}$$

$$\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f = \hat{q}_{(f,b)} = \hat{y}_{(f,b)}$$

ただし、品目 b について、輸入財投入が存在しない場合は、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^f = 1$ とする。同様に、国内財投入が存在しない場合は、 $\hat{x}_{b \rightarrow (i,a)}^d = 1$ とする。

このもとで、企業 i による品目 a の生産は次式のように決定される。

$$\hat{y}_{(i,a)} = \min \left\{ 1, \min \{ \hat{x}_{b \rightarrow (i,a)} + \hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m \}_{b \in B(i,a)} \right\}$$

ただし、 $\hat{s}_{b \rightarrow (i,a)}^m$ は、企業 i の品目 a の生産に使用される品目 b の原材料在庫を、平時の原材料投入額で除したものである。

(パラメータの設定)

輸入財を追加したことにより、輸入比率 $\bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)}$ を新たに定める必要が生じ

る。企業・品目レベルの輸入比率に関するデータは持ち合わせていないため、ここでは、同一の品目ペアの輸入比率は企業に依らず等しいと仮定する。すなわち、 $\bar{w}_{(f,b) \rightarrow (i,a)} = \bar{w}_{(f,b) \rightarrow a} \forall i$ とする。そのうえで、 $\bar{w}_{(f,b) \rightarrow a}$ の値には、「産業連関表」の基本分類表において、品目 a に対する品目 b の投入における輸入比率を用いる。

また、各品目について、輸入財と国内財の代替関係を定める、すなわち、各品目が集合 I^s に含まれるか、集合 I^c に含まれるかを事前に決めておく必要がある。厳密には、データから輸入財と国内財の需要の弾力性を推定し、それに基づき設定することが望ましいが、現実にはデータ制約等から困難である。したがって、輸入財と国内財の代替関係を品目に依らず一律に設定したり、分析者の判断によって定めたりするといった対応が現実的であると考えられる。

(シミュレーションの留意点)

このように設定した枠組みに基づき、輸入財の減少という供給ショックに対する国内生産への影響をシミュレーションすることが可能となる。ただし、本シミュレーションはいくつかの点で留意が必要である。

まず、データ制約から、同一品目ペアの輸入比率を企業に依らず一定と仮定している。現実には、同一品目を生産する企業でも、原材料を輸入に依存している企業と国内調達を主体とする企業が存在すると考えられるが、本分析ではそうした異質性を考慮していない。また、特定地域からの輸入が減少した際に、別の地域から代替調達を行う可能性についても勘案していない。これらの点を踏まえた分析手法の改良は、今後の重要な課題である。