



RIETI Policy Discussion Paper Series 22-P-008

供給ショックの生産・雇用への波及に関する 分析フレームワークの提案

佐野 智樹
経済産業研究所

長町 悠平
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<https://www.rieti.go.jp/jp/>

供給ショックの生産・雇用への波及に関する分析フレームワークの提案*

佐野智樹（経済産業省、RIETI コンサルティングフェロー）

長町悠平（経済産業省、RIETI コンサルティングフェロー）

要旨

ロシアのウクライナ侵攻による供給不安、新型コロナウイルスの蔓延による供給制約など、供給側のショックが経済全体に大きな影響を与え得る事例が近年多発している。供給ショックが各産業、経済全体に与える影響を把握することは、政策的資源の制約の中で有効な措置を講ずる上で重要である。このような問題意識の下、先行研究にも則りつつ、供給ショックの影響を定量化する産業連関分析（前方連関分析）の方法論を提示した。それを用いて、10 の産業について、①国内生産基盤が 10%縮小する場合、②特定国からの輸入が途絶する場合、の 2 通りのシナリオが各産業に与える影響、さらにそれらを集計して日本全体の GDP、雇用に与える影響を分析した。このような方法論により、輸入依存度や他産業への裾野の広さなどの産業毎の特性を踏まえつつ、供給ショックの影響を定量的に示すことが可能となる。

キーワード：産業連関分析、供給制約、生産基盤縮小、輸入途絶

JEL Classification：C67, D57, F10

RIETI ポリシー・ディスカッション・ペーパーは、RIETI の研究に関連して作成され、政策をめぐる議論にタイムリーに貢献することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

*本稿は、独立行政法人経済産業研究所（RIETI）における成果の一部である。本稿の原案に対して、経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会の方々から多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して、感謝の意を表したい。

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症の蔓延時の医療物資不足、半導体の供給制約による自動車・機械類の生産停滞、ウクライナ情勢に伴う物資供給への懸念など、特定物資の供給ショックがサプライチェーンを通じて経済一般に大きな影響を与える事例を近年散見する。東京商工リサーチが行った調査¹によると、コロナ禍で材料や部品などの供給が滞ったことで、72.1%の企業が生産活動やサービスの提供の減少を強いられた。さらにそのうち73.4%が、調達先が回復するまで、生産・サービス提供の縮小を強いられ続けていた。個別の企業・業種のこうした供給縮小は、そこから調達する企業・業種にも生産の縮小を強いることとなり、ドミノ倒しのように経済活動全体の縮小を招く事態となりうる。

こうした影響波及のあり方を理解しておくことは、少子高齢化・人口減少に伴い内需及び生産基盤が縮小する経済構造に日本が直面する中で有用である。国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年推計）」によると、2050年には日本の人口は現状の1.25億人から1.02億人へと20%減少し、生産年齢人口は7400万人から5300万人へと28%減少する。それに伴って、必然的に、労働供給及び内需の不足ゆえに生産活動の縮小を余儀なくされる企業・業種を将来目の当たりにすることになるだろう。こうした事態に対し、政府としては、企業の合理的な利潤追求という目的以外にも、例えば経済規模の維持、雇用の維持、国民生活に必要な物資の確保、安全保障への影響といった様々な利益を考慮し、必要あらば生産基盤の維持・確保のための政策的介入を施すこととなるだろう。この時、政策資源の有限性や政府としての説明責任を考慮すると、特定の企業・業種による物資供給の変化が、経済の様々な側面に与える影響を極力定量的に把握することが必要となる。

こうした背景の下、本研究では野心的な目標ながら、供給制約が起こった際の生産、雇用への影響を、産業連関表を用いて推計する方法論を提示し、その方法論の下で、本稿にて選定した主要10業種の供給制約に伴う雇用者数及びGDPへの影響を定量的に示す。縮小する労働供給及び内需、並びに複雑化する国際情勢の中で経済的自立を確保するという政策目的を想定し、供給制約のシナリオとしては、①国内産業基盤の弱体化による生産量減少として、特定業種の国内生産量が10%減少した場合と、②特定国からの供給途絶として、例えば、現在の我が国の貿易相手上位国である米国・中国・韓国からの特定業種の輸入量が0になった場合、の二通りを想定し、国内における生産、雇用への影響を定量化する。

当然ながら、上記のシナリオは分析のために設けたものであり、現実の事態はより多種多様な形態を取るだろう。将来的に廃業を検討する特定の産業基盤が国内生産量の10%以上ないし以下を供給している場合もあるだろうし、上記に挙げた三ヶ国以外からの輸入途絶の影響を評価する必要性が生じる可能性もあろう。あくまで方法論の提示という目的の下、上記のシナリオを用いて具体的な結果を示すのが本稿の取組であることを予め断る。その上で、上記のシナリオの初期条件を変動させた場合の分析結果も、本稿末尾に示している。

¹ 東京商工リサーチ「第20回『新型コロナウイルスに関するアンケート調査』」（2022年2月25日）
https://img03.en25.com/Web/TSR/%7B4b517672-d8bb-4606-bafe-c003b2f2c37b%7D_20220225_TSRsurvey_CoronaVirus.pdf

2 産業連関分析とは

(1) 産業連関表について

産業連関表は、総務省が5年毎に公表している統計資料であり、財・サービスが各産業部門間でどのように生産され、販売されたかについて、行列（マトリックス）の形で一覧表にとりまとめたものである。各産業間の取引関係が示されており、生産波及効果の分析が可能である。総務省は、産業区分の大小が異なる分類を複数公表しており、2015年の産業連関表では、区分が細かい順に、基本分類（行：509部門、列：391部門）、統合小分類（187部門）、統集中分類（107部門）、統合大分類（37部門）、13部門分類、を公表している。

産業連関表を縦に見ると、ある業種の生産活動に対して他の各業種が投入した中間財の量が示される。横に見ると、ある業種の産出量が他の業種や国内需要、輸出入にどのように配分されたかが示される。各部門に投入ないし配分された量を分子に、産出量全体を分母にとることにより、投入係数及び配分係数がそれぞれ求められる。

(2) 産業連関分析の基本的なモデル

この産業連関表を用いて、特定産業部門の需要面ないし供給面の変化が、他産業部門にどのように波及するかを分析する手法が産業連関分析である。このうち、需要の増減が経済全体に及ぼす影響に対する分析を後方連関分析、供給の増減が経済全体に及ぼす影響に対する分析を前方連関分析という。サプライチェーン上で、川上（供給）と川下（需要）のどちらを起点とするか、と考えると理解しやすい。川上から川下へ（サプライチェーンの前方へ）の影響を分析するのが前方連関分析、川下から川上へ（サプライチェーンの後方へ）の影響を分析するのが後方連関分析と捉えることができる。本稿は、川上で起こった供給制約がどのように川下へ影響を与えるのかという、供給制約による影響を分析する前方連関分析を行う。

後方連関分析については、一部批判はあるものの、方法論は比較的確立されている。その代表的なモデルである Leontief モデルでは、特定の産業部門の需要の増減の影響が、他の産業に対して比例配分的に及ぶとする。例えば、ある産業部門の需要が10%減少すると、その産業部門に各部門から供給されている中間財の需要もおしなべて10%減少すると仮定する。この時の各部門の需要減少の影響が波及し、さらに各産業部門の需要を押し下げることとなる。この影響を繰り返した結果の均衡点を推計するのが Leontief モデルである。この、影響評価を繰り返した結果を予めまとめたのが「逆行列係数表」であり、総務省が産業連関表とともに公表している。

これに対し、供給面の影響を評価する前方連関分析については、後方連関分析に比べ困難が指摘されている。ここでは代表的なモデルである Ghosh モデルについて説明した上で、それに対する批判は本稿とも関連が深いことから次節に記す。

Ghosh モデルは、Leontief モデルと同様に、特定の産業部門の産出量の増減の影響が、他の産業に対して比例配分的に及ぶとする。この時、当該産業部門の各産業部門に対する中間投入が増減するが、その増減分だけ各産業部門の産出量が増減するものとしている。例えば、鉄鋼を中間財として使用する産業がある場合、鉄鋼の投入量が1億円減少した場合、当該

産業の産出量も 1 億円減少するものとする。こうした各産業部門の供給量への影響を、Leontief モデルと同様に、再び各産業に波及させていき、均衡点を求めるのが Ghosh モデルである。

(3) Ghosh モデルに対する批判

上記のような考え方を Ghosh モデルに対しては、主として、①中間財の配分係数を一定と仮定していることが非現実的である点、②中間財は完全代替財であることを仮定している点が批判される。

①については、ある産業部門の供給量が増減した場合、現実には当該産業部門の供給先は当該産業部門の性質や取引先との関係等の個別事情を勘案して調整が行われると思われるところ、こうした調整結果をモデルに内在化させることは困難である。そのため、次節にて述べる先行研究においても、この点はやむを得ないものとしてシミュレーションが行われてきた。

②については、ある中間財の特定産業部門への投入量の増減額が、当該産業部門の産出額の増減額と一致するものと考えることに対する批判である。前述の例で言えば、鉄鋼の投入量を 1 億円分減少させると、産業全体の産出量も 1 億円減少するとするが、現実には鉄鋼の不足が生産活動全体の律速要因となり、投入されない他の中間財の余剰を生むことが考えられるため、鉄鋼の投入量減少以上に産業部門全体の産出量を減少させることとなる。実際、本稿の冒頭で提示した半導体の供給制約による自動車・機械の生産停滞の事例においては、半導体という特定の中間財が不足することにより、他の中間財も生産工程に用いることができずに余剰となり、産出量が大きく減少している。

ある産業における中間財の供給が減少した場合、その産業の産出量がどれほど減少するかは、当該中間財の代替可能性による。代替が容易な中間財であれば、例えば同業他社の増産や輸入相手国の変更、生産プロセスの修正により、産出量の水準を維持できる可能性もある。一方、代替が困難な中間財は、他の中間財を投入しうる場合でも、全体の産出量の律速となる場合がある。この点をモデルに反映し、Ghosh モデルに対する批判に応える手法は次節に示す先行研究でも示されており、本稿においてもこれらの先行研究を踏まえた推計方法を提案する。

3 先行研究

本節では、産業連関分析に関する先行研究のうち、課題が多いと指摘される前方連関分析（供給から需要への影響の推定）に関するものを取り上げ、前述の Ghosh モデルに対する批判にどのように応えようとしているのかを示す。

下田・藤川(2012)は、東日本大震災による供給制約が、地域別・業種別に及ぼした間接被害を推計している。当該推計方法として、伝統的な Leontief モデル、Ghosh モデルによる推計の他、当初の供給減の影響を Ghosh モデルで捉えつつ、その後の変化を需要の変化と見なし、Leontief モデルを用いた後方連関分析を行うハイブリッド型モデルや、川上産業の生産にとって必要不可欠な中間財の一部には完全非代替型の生産関数を前提とするボトル

ネック型モデルというモデルを提案している。特に後者に関しては、東北・北関東のマイコン製造工場の被災が全国の自動車生産をストップさせるというような、ボトルネックが強力に作用する完全非代替のイメージに近い現象という、震災後の現実的な現象に近いものであると指摘している。²

同様の研究として、徳井他(2012)では、前方連関分析によって、東日本大震災におけるサプライチェーン途絶の影響を分析している。この分析は、製造業から製造業への中間投入について、必要な投入のうち被害率が最大のものがボトルネックとなって、全体の生産がそれだけ落ち込むものと想定しているのが特徴である。サプライチェーン途絶の影響を、一次波及のみの影響と二次波及以降も含めた全影響に分けて分析しており、二次波及以降にも大きな影響が及んでいることがわかる。

株田(2014)は、輸入に依存する食料について、輸入の全量が途絶した場合の農林水産業、鉱業、食品製造業等の生産額への影響を分析する。その際、下田・藤川(2012)のボトルネックモデルを参照しつつ、ある産業の中間投入額全体の1割を超える中間財を「必要不可欠な中間財」と定義した上で、そうした財については生産残存率の律速要因とする一方、他の中間財については代替可能な中間財として生産への影響は及ぼさないものとして、推計を行っている。

4 分析手法

冒頭述べたとおり、本稿では①国内生産額の10%減少、②主要貿易相手国である米国、中国、韓国からの輸入の途絶、という供給ショックを想定し、それにより各産業部門の産出量がどのように変化するか、そしてそれはGDP及び雇用にどのような影響を与えるかを考察する。用いる分析モデルやデータ、分析対象とする産業については以下に示す。

4.1 分析モデル

(1) 総論

本研究では、株田(2014)の手法を参考に、代替不可能な「必要不可欠な中間財」の考え方を導入した上で、前方連関分析を行うことにより、GDP・雇用への影響を測定する。投入係数表を参照しつつ、産業Xの産業Aに対する投入係数が0.1を超える場合(=産業Aに投入される中間財の合計価格³のうち、産業Xの投入価格が1割を超える場合)、産業Xを産業Aにとって「必要不可欠な中間財」と定義する。そして、産業Xが「必要不可欠な中間財」である場合は、生産工程全体の律速要因となることから、その投入減少割合に応じて他中間財の投入量も減少するものとし、それ以外の場合は産業Aに投入される他の中間財の量は減少しないものとする。また、ある産業におけるショックが起こった後の産出量の、当初の産出量に対する割合を生産残存率とする。

現実には、ある中間財が必要不可欠か否かは、中間投入の金額規模に現れない要素(例え

² 下田、藤川(2012)

³ ここでは、付加価値額も中間財として捉え、中間財の合計価格は、全体の生産額と等しいとする。

ば金額ベースでは小さいものの、製造に不可欠な特注の IC チップ等) によっても決定されることもある。しかし、産業部門という大括りの単位で考える本稿の研究においては、ある産業部門の別の産業部門に対する必要不可欠性は金額で評価しても遜色ないものと考えることとする。

具体的に数式で説明するため、まずは基本となる Ghosh モデルから説明する。まず、 X ：国内生産額行ベクトル、 V ：付加価値額行ベクトル、 B ：配分係数行列、 I ：単位行列とすると、基本の Ghosh モデルは、

$$X = XB + V$$

と表すことができる。

X について解くと、

$$\begin{aligned} X(I - B) &= V \\ \therefore X &= V[I - B]^{-1} \end{aligned}$$

となる。

(2) 「必要不可欠な中間財」及び生産残存率

上記の Ghosh モデルは中間財の完全代替、つまり一つの中間財の投入減少は他の中間財の投入量に影響しないことを前提とするが、これに対しては前述したように批判も多い。これに対して株田 (2014) は、「必要不可欠な中間財」という考え方を導入し、特定の中間財の投入減少が生産プロセス全体を律速するモデルを構築したと前節で述べた。本稿もこの考え方に則る。

まず、産業 i の産業 j に対する投入係数を a とすると、 $a \geq 0.1$ であれば産業 i は産業 j についての必要不可欠な中間財であるとし、 $a < 0.1$ の場合は代替可能な中間財であるとする。平たく言えば、産業 j が生産する総額の 10%以上が産業 i からの供給に占められる時、産業 i の供給が減少すると、産業 j の生産活動全体に影響を及ぼすという考え方である。そして、産業 i が必要不可欠な中間財である場合、産業 i の供給の減少幅、すなわち生産残存率と同率に他の中間投入も減少するものとする。

生産残存率は、国内生産額の減少、特定国からの輸入途絶の二つのシナリオについて、それぞれ以下のように求める。産業 i の生産残存率を r_i 、国内生産額を x_i 、輸入総額を m_i 、特定国からの輸入額を m_i^* とすると、国内生産額の 10%減少については

$$r_i = \frac{0.9x_i + m_i}{x_i + m_i}$$

となる。また、特定国からの輸入途絶については、

$$r_i = \frac{x_i + m_i - m_i^*}{x_i + m_i}$$

となる。いずれも、産業部門に供給される中間財の総量は国内生産額と輸入額の合計であり、その合計額に対する供給ショックの影響を測定するものである。これにより、例えば供給の大半を輸入に頼る石炭・原油・天然ガスのような産業については、国内生産額が 10%減少した場合でも、生産残存率は 99.9%となる。

各産業について、産業 i が当該産業部門にとって必要不可欠な中間財である場合は上記で求めた生産残存率 r_i を、代替可能な中間財である場合は1をそれぞれ対角成分とする対角行列を $\hat{R}$ とする。それにより、必要不可欠な中間財の供給減少率に応じて、他の中間財投入も減少させる配分係数行列 $\hat{R}B$ を得ることができる。

(3) 国内生産額 10%減少の影響分析モデル

本稿が分析対象とする一つ目の供給ショックは、ある産業部門における供給が10%減少するというものであり、具体的には製造設備の閉鎖等を想定する。ここで、当該産業部門における産出量が減少するのは、部素材等の中間投入が減少するためでなく、それに加わるはずの資本（生産設備等）・労働の付加価値が減少するためである。もし従来の付加価値額ベクトル V を維持したままの分析を行うと、国内生産額が10%減少しているにもかかわらず、資本・労働による付加価値が維持されている想定の下、均衡点を求める奇妙な結果となってしまう。したがって、国内生産減少のショックを、付加価値額行ベクトル V の変化として反映した上で分析を行う必要がある。

具体的には、産業部門 i の国内生産額を x_i 、付加価値額を v_i とした場合、国内生産額10%減少後の付加価値額を、

$$v'_i = v_i - 0.1x_i$$

によって求め、当初の付加価値額行ベクトル V の対応する成分を、 v'_i に置換した新たな付加価値額行ベクトルを V' とする。⁴そうして、変化後の国内生産額行ベクトルを X' とした時のGhoshモデルに基づく均衡式

$$X' = X'\hat{R}B + V'$$

を、 X' について解き、

$$X' = V'[I - \hat{R}B]^{-1}$$

となる。これを用いて、国内生産額行ベクトルの変化を

$$\Delta X = X' - X$$

によって得る。

(4) 特定国からの輸入途絶の影響分析モデル

本稿のもう一つのシナリオである特定国からの輸入途絶については、国内生産活動の付加価値額は変化せず、中間財の投入減少が生産活動を抑制するという考え方である。そのため、輸入が途絶した産業部門を「必要不可欠な中間財」とする産業について、生産残存率により他の中間財投入を律速した配分係数行列を用いて均衡分析を行う。前述の考え方に従って得る均衡式

$$X' = X'\hat{R}B + V$$

⁴ ただし、今回分析対象とした石油化学系基礎製品部門については、粗付加価値部門が国内生産額に占める割合が9.2%であり、機械的に計算すると変化後の付加価値額が負になることから、本稿の分析においては石油化学系基礎製品部門の変化後の付加価値額 v'_i を0とした上で分析を行った。

を、 X' について解き、

$$X' = V[I - \hat{R}B]^{-1}$$

となる。これを用いて、国内生産額ベクトルの変化を

$$\Delta X = X' - X$$

によって得る。

(5) GDP（付加価値額）・雇用への影響の算出

上記で求めた国内生産額への影響を、GDP、雇用に与える影響に置き換えるため、粗付加価値額行ベクトル及び産業連関表の雇用表に基づく総雇用者数ベクトルを用いる。国内生産額行ベクトルの変化割合 $\Delta X/X$ に、粗付加価値額行ベクトル、総雇用者数ベクトルをそれぞれ乗じることで、その総和（内積）を GDP 及び雇用への影響とする。

4.2 データ

本稿では、総務省が公表している最新の産業連関表である、平成 27 年（2015 年）産業連関表を用いる。産業連関表で公開されている分類のうち、統合中分類から自家輸送部門を除いた 106 部門を用いる。産業連関表はこれよりも粒度の細かい分類として基本分類（行：509 部門、列：391 部門）及び統合小分類（187 部門）を公表しているが、基本分類については行・列の部門数が一致しないために逆行列を求めることができず、分析に使うことはできない。また、統合小分類については、本稿付録 1 で詳述するように、含まれる部門の特性により、Ghosh モデルを用いた分析に向かない。そのため、分析に適する最も詳細な分析である統合中分類を用いる。

外国からの輸入額については、財務省「貿易統計」の国別品目別輸入データを用いて、総務省が公表している「産業連関表—貿易統計コード対応表」に基づき統合中分類ごとの米国・中国・韓国からの輸入比率を得た上で、それを産業連関表における輸入額に乘じ、各国からの輸入額とする。なお、産業連関表と期間を合わせるために、2015 年の貿易統計のデータを用いている。

4.3 分析対象とする産業

研究の目的に照らし、①多くの産業部門にとって「必要不可欠な中間財」となっていることから、生産活動全体のボトルネックとなっていると思われる産業、②国内生産額の大きさから、日本経済全体への貢献度が大きいと思われる産業、③内生部門（他産業部門）への中間投入額の大きさから、他産業との連関が深いと思われる産業、という 3 つの基準に基づき、分析対象とする産業を以下の表 1 の通り選出した。なお、それぞれの統合中分類に含まれる産業部門の詳細については末尾の付表 1 に示す。

表 1：分析対象とする産業とその選定基準

統合中分類	「必要不可欠な中間財」 となっている産業部門数	国内生産額		内生部門への供給	
		金額	順位	金額	順位
有機化学工業製品（石油化学系基礎製品・合成樹脂を除く。）	5	5.6	49	5.7	21
鋼材	5	14.0	22	11.5	10
電子デバイス	5	6.7	46	5.7	22
石炭・原油・天然ガス	4	0.2	106	17.8	4
パルプ・紙・板紙・加工紙	4	4.2	62	4.5	31
石油製品	4	15.4	19	12.1	8
自動車部品・同附属品	4	27.8	8	24.6	3
石油化学系基礎製品	3	3.0	71	2.5	52
銑鉄・粗鋼	3	9.3	32	9.5	13
電力	2	20.3	12	14.9	6

これらの産業を見ると、例えば「電力」のように内生部門への供給額や生産額は比較的大きいものの、「必要不可欠な中間財」となっている頻度は低い産業や、「有機化学工業製品」や「電子デバイス」のように国内生産額は比較的小さいが、「必要不可欠な中間財」となっている頻度は高く、他産業部門にとって代替が難しいと思われる中間財も存在する。また、「石油・原油・天然ガス」のように、「必要不可欠な中間財」となっている頻度が高く、内生部門への供給も大きいですが、国内生産額がほとんどなく、輸入に頼り切っている産業も存在することが見て取れる。

5 分析結果

(1) 国内産業の生産 10%減少の結果

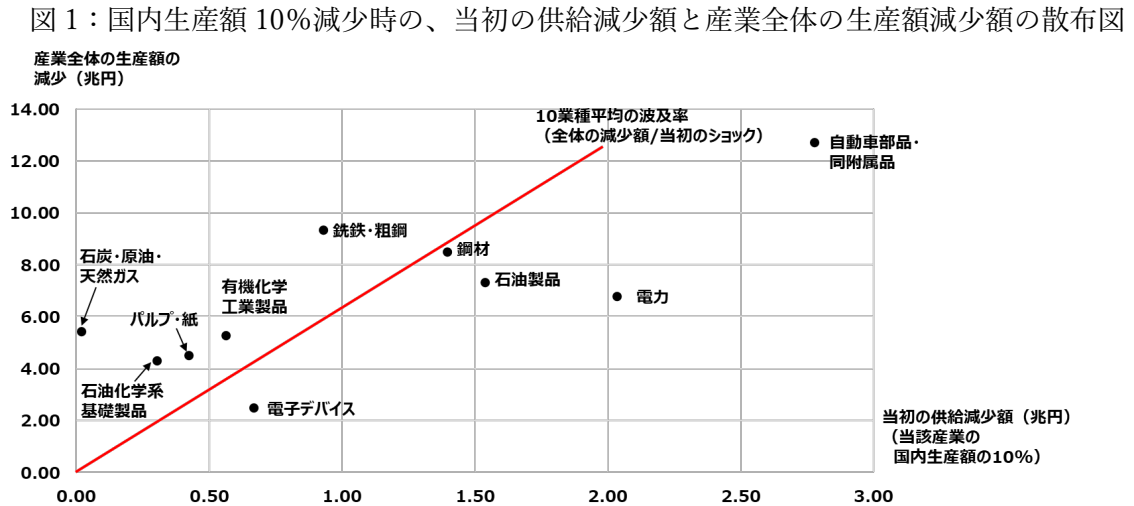
上記の産業について、それぞれ個別に 10%生産量が減少した場合の GDP、雇用への影響を分析すると、以下の表 2 の通りとなる。

表 2：国内生産額 10%減少時の GDP・雇用への影響

産業部門名	GDP減少額（兆円）		産業部門名	雇用減少数（万人）	
	産業全体	当該産業内		産業全体	当該産業内
自動車部品・同附属品	3.7	1.6	自動車部品・同附属品	39.0	14.4
鋼材	3.1	0.5	鋼材	35.7	1.7
銑鉄・粗鋼	3.0	0.6	電力	27.5	2.0
電力	2.8	0.9	石油製品	27.2	0.2
石油製品	2.7	0.5	パルプ・紙・板紙・加工紙	27.1	1.2
石炭・原油・天然ガス	2.1	0.0	銑鉄・粗鋼	26.5	0.7
パルプ・紙・板紙・加工紙	2.0	0.2	有機化学工業製品	24.9	0.9
有機化学工業製品	2.0	0.2	石炭・原油・天然ガス	21.1	0.0
石油化学系基礎製品	1.5	0.0	石油化学系基礎製品	17.3	0.1
電子デバイス	1.0	0.4	電子デバイス	8.0	1.6

いずれも自動車部品がトップだが、途中の順位は異なっており、産業毎に影響が異なっていることが見て取れる。

次に、波及効果の大きさを比べるために、産業毎に当初の供給減少額（各産業の国内生産額の10%）と、それが産業全体に及ぼす影響の額をプロットすると図1の通りとなる。産業によっては、当初の供給減少額が小さくても、産業全体には大きな影響を与えるもの（赤線の上部）が存在することがわかる。



赤線から上になればなるほど、当初のショックと比べて全体の国内生産額の減少が大きい産業である。これを見ると、原材料のような産業は、幅広い産業に使われるため、波及効果が大きくなると推測される。

(2) 特定国からの輸入途絶

次に米国・中国・韓国からの特定産業の輸入が途絶した場合のGDP、雇用への影響を分析すると、以下の通りとなる。

表3：米国からの輸入途絶時のGDP・雇用への影響

産業部門名	GDP減少額（兆円）		産業部門名	雇用減少数（万人）	
	産業全体	当該産業内		産業全体	当該産業内
有機化学工業製品	0.66	0.03	有機化学工業製品	9.12	0.10
パルプ・紙・板紙・加工紙	0.46	0.02	パルプ・紙・板紙・加工紙	6.41	0.09
石炭・原油・天然ガス	0.20	0.00	石炭・原油・天然ガス	2.59	0.00
石油製品	0.20	0.00	石油製品	2.08	0.00
電子デバイス	0.16	0.02	電子デバイス	1.58	0.09
自動車部品・同附属品	0.11	0.03	自動車部品・同附属品	1.29	0.23
鋼材	0.01	0.00	鋼材	0.16	0.00
鉄鉄・粗鋼	0.01	0.00	鉄鉄・粗鋼	0.11	0.00
石油化学系基礎製品	0.00	0.00	石油化学系基礎製品	0.00	0.00
電力	0.00	0.00	電力	0.00	0.00

表 4：中国からの輸入途絶時の GDP・雇用への影響

産業部門名	GDP減少額（兆円）		産業部門名	雇用減少数（万人）	
	産業全体	当該産業内		産業全体	当該産業内
有機化学工業製品	0.87	0.03	有機化学工業製品	12.00	0.13
電子デバイス	0.39	0.05	自動車部品・同附属品	4.28	0.77
自動車部品・同附属品	0.38	0.08	電子デバイス	3.90	0.22
パルプ・紙・板紙・加工紙	0.20	0.01	パルプ・紙・板紙・加工紙	2.74	0.04
銑鉄・粗鋼	0.14	0.01	鋼材	1.68	0.02
鋼材	0.13	0.01	銑鉄・粗鋼	1.38	0.01
石炭・原油・天然ガス	0.05	0.00	石炭・原油・天然ガス	0.70	0.00
石油製品	0.02	0.00	石油製品	0.17	0.00
石油化学系基礎製品	0.00	0.00	石油化学系基礎製品	0.00	0.00
電力	0.00	0.00	電力	0.00	0.00

表 5：韓国からの輸入途絶時の GDP・雇用への影響

産業部門名	GDP減少額（兆円）		産業部門名	雇用減少数（万人）	
	産業全体	当該産業内		産業全体	当該産業内
鋼材	0.39	0.02	鋼材	5.08	0.06
石油製品	0.35	0.00	石油製品	3.66	0.00
有機化学工業製品	0.25	0.01	有機化学工業製品	3.42	0.04
石油化学系基礎製品	0.18	0.00	石油化学系基礎製品	2.13	0.00
電子デバイス	0.13	0.02	電子デバイス	1.36	0.08
自動車部品・同附属品	0.09	0.02	自動車部品・同附属品	0.97	0.18
銑鉄・粗鋼	0.04	0.00	パルプ・紙・板紙・加工紙	0.58	0.01
パルプ・紙・板紙・加工紙	0.04	0.00	銑鉄・粗鋼	0.43	0.00
石炭・原油・天然ガス	0.01	0.00	石炭・原油・天然ガス	0.10	0.00
電力	0.00	0.00	電力	0.00	0.00

これらを見ると、各国で順位は異なっているが、有機化学工業製品の輸入が途絶した場合の GDP、雇用への影響が大きいことが見て取れる。また、当然ではあるが、電力のような輸入を行っていない産業では、GDP、雇用への影響はなかった。

次に、波及効果の大きさを比べるために、産業毎に当初の供給減少額（各産業の輸入途絶額）と、それが産業全体に及ぼす影響の額をプロットすると以下の通りとなる。産業によっては、当初の供給減少額が小さくても、産業全体には大きな影響を与えるもの（赤線の上部）が存在することがわかる。赤線の上部に位置する産業としては、有機化学工業製品、銑鉄・鉄鋼、パルプ・紙・板紙・加工紙、鋼材である。このことから、ほかの産業に使われているような裾野の広い産業については、波及効果が大きいということが見て取れる。これは、前節で求めた国内生産額 10%減少で導かれた結果と一致している。

図 2：米国からの輸入途絶時の、当初の供給減少額と産業全体の生産額減少額の散布図

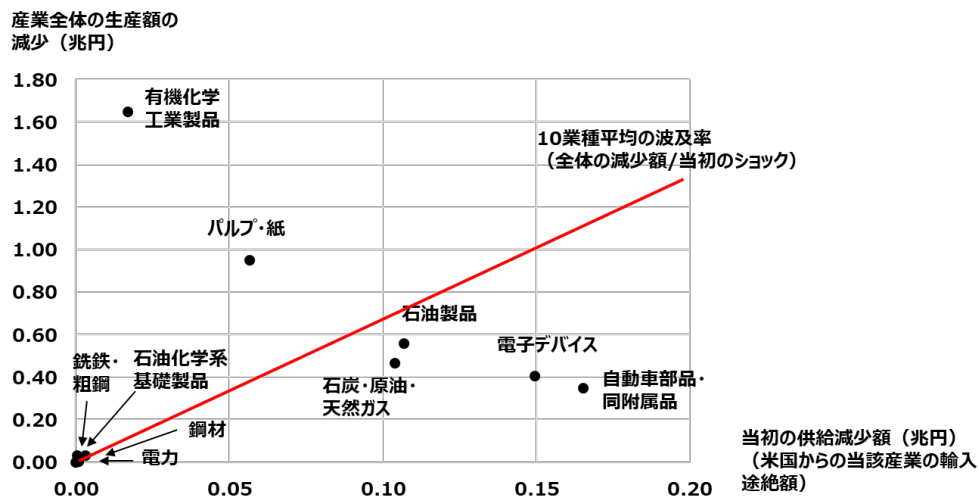


図 3：中国からの輸入途絶時の、当初の供給減少額と産業全体の生産額減少額の散布図

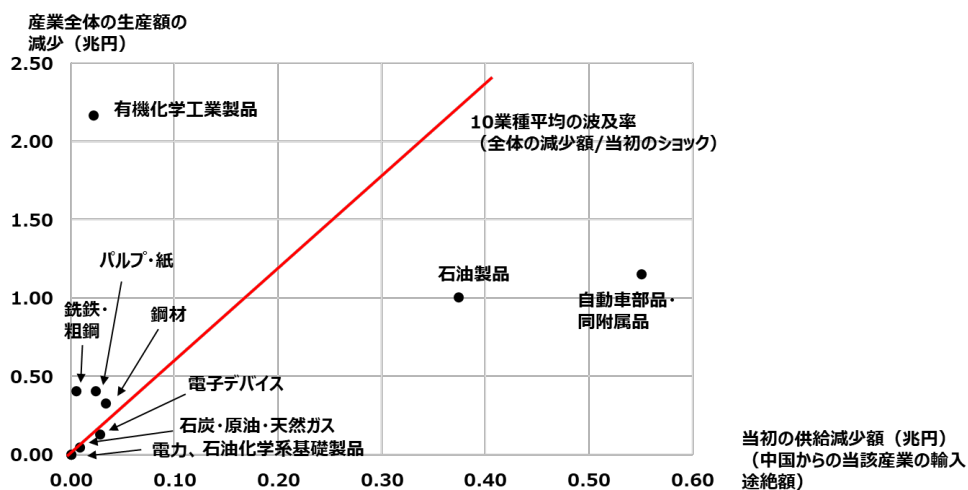
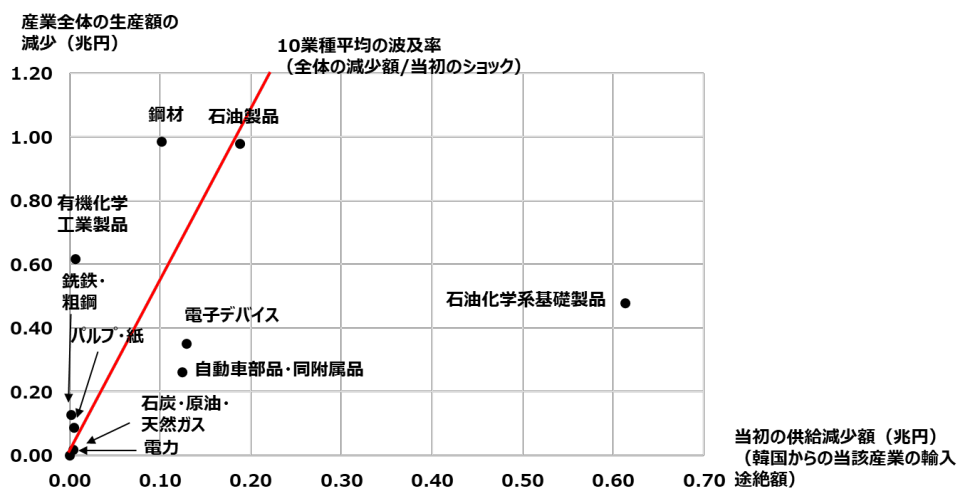


図 4：韓国からの輸入途絶時の、当初の供給減少額と産業全体の生産額減少額の散布図



6 本研究の限界

上記結果を評価するにあたっての前提として、本研究で用いた分析フレームワークの限界として、①生産の影響波及に時間軸を考慮しておらず、生産の回復がどの段階で起こるかなどの現実を考慮することができない点、②必要不可欠な中間財として、投入係数 10%以上という一律の基準を設けているが、現実とは乖離してしまっている点、③二次波及以降の代替可能性について考慮できていない点、④106 産業部門を用いているが、産業部門内における製品の代替可能性の差異など、産業部門内の異質性を考慮できていない点が挙げられる。

①については、産業連関分析自体の課題でもあるが、ショックの均衡点を求める分析であり、時間軸が考慮されていないという点である。岡田他(2012)では、産業連関分析の際に、逆行列係数を用いて一気に均衡点を求めるのではなく、波及を回数毎に分けることで時間軸の概念を導入しようと試みている。現実の供給減少に伴う生産活動の変化も、時間軸の要素を考慮しながら行われていると推察される。供給不足ゆえに減産する企業の中でも、例えば一時的な供給ショックに対してはひとまず減産で対応するものの、影響が長期化するにつれて代替調達先を変更する、という行動が見られるかもしれない。現実的な経済影響は、こうした時間軸的要素も含め広がっていくこととなる。

②については、本文でも述べたが、ある中間財が必要不可欠か否かは、中間投入の金額規模に現れない要素によっても決定されることもあると考えられる。今回は 106 部門のある程度まとまった産業単位であることから、このことを捨象して分析したが、レアメタル（希少金属）など、少量で金額規模が大きくはないものでも、重要になる可能性が考えられる。また、本稿の分析対象とした電力産業についても、産業の特性上必要不可欠となりやすく、輸入もしていないことから、代替可能性は限りなく低いと考えられるが、投入係数が 10%を超えている場合は少なく、影響は過小評価されてしまっていると推測される。この点については、産業特性などを含めて代替可能性を考慮し、モデルの精緻化に努めるということに尽きる。今回の分析で設定したパラメーターは変更可能なものであり、参考までに末尾に、必要不可欠な中間財と判断する閾値を 10%から 5%に変更した場合と、国内生産額の減少幅を 10%から 5%に変更した場合の分析結果を付している。こうした数値を、より現実近づけていくことが分析を精緻化させることに繋がるだろう。

③については、株田（2014）も指摘するように、必要不可欠性が二次波及以降に考慮されていない点である。今回選定した 10 業種がどの産業部門にとって必要不可欠な中間財となるかは分析結果に反映されているが、例えば当初のショックにより産出量が減少した産業 A が、別の産業 B にとって必要不可欠な中間財であるか否かは反映されておらず、完全代替可能であることが想定されている。当初のショックが比較的大きく伝播する産業については今回の分析に反映できており、それに比べれば小さい影響であるが、本研究の限界として指摘することができる。

④については、106 産業部門の間の代替可能性は考慮できているが、産業部門より細かい単位における代替可能性の差異その他の異質性を考慮できていないという点である。例えば、電子デバイスという部門が 1 部門としてあるが、電子デバイスには多種多様な品目が

ある。その各品目について、どれが代替可能で、どれが代替不可能かという議論は上記の分析では困難である。

これに対して、産業部門単位ではなく企業単位での取引関係に着目し、より精緻な分析を試みる研究も存在する。Arata and Miyakawa (2021) は 33 万社以上の日本企業の企業間取引データを用いて、ミクロなショックがマクロ経済の変動にどのように伝播するかを分析している。Acemoglu and Tahbaz-Salehi (2020) は、個別企業の失敗がどのように波及し拡大するかというモデルを構築する際、一つの産業部門の中に汎用品を生産する競争的な領域に属する企業と、個々の生産技術により異なる製品を生産する企業を設けている。このように分析単位を粒度の高いものにすることは、分析結果の精緻化に資するものと思われる。一方で Arata and Miyakawa (2021) も、ミクロ的なショックに既存の取引関係は影響を受けないと仮定している点を研究の限界として指摘している。これは、本稿にて Ghosh モデルへの批判として指摘している配分係数の固定や代替可能性の考慮といった点とも通じている。

究極的には、産業、企業、さらには個別製品に至るまでの取引関係、及びそれらの代替可能性に関するデータがあれば、更に精緻な分析が可能となるはずである。そのようなデータが存在しない以上、今回の分析結果については一定の幅を持って解釈するというほかないが、特定の産業部門が他の産業との関係でどのような位置づけにあり、どれほど影響が及ぶかということを、粗々ながらも定量的に把握するための一助となることを期待したい。

7 終わりに

本研究では、国内生産 10%減少、特定国からの輸入途絶の二つのシナリオを仮定して、産業連関分析を行い、選定した 10 産業における供給ショックが、経済全体 (GDP・雇用) に与える影響について定量化した。その結果、産業毎の違いが見られ、波及効果が大きいもの (他の産業に多く使われているもの) や、そもそもの GDP・雇用者数が大きいもの、国内生産で主にまかなっている、もしくは輸入で主にまかなっているものなど、それぞれの産業の特性毎に、今回のシナリオによる影響が違っているという結果が確認できた。本分析フレームワークの限界からも、一定の解釈の余地は持たせる必要があるものの、供給ショックの影響を定量化するための分析手法の確立の一助となった。

政府が特定産業を保護する政策目的は、今回分析対象とした GDP・雇用の維持以外にも、国民生活への影響や経済安全保障の確保等、多岐に及ぶ。理論的には、ある政策目的に対する各産業部門の重み付けができれば、当該政策目的を達成する上での重要産業を定量的に評価することが可能となる。今回はその重み付けについて各産業部門の GDP 及び雇用者数を用いたが、今後の応用可能性についても検討すべきである。

本稿冒頭に述べた問題意識に立ち返ると、政府として何らかの介入を行う際には、ここで提示した分析手法を用いて、現実のシナリオに基づいて供給ショックが与える影響を定量化することが重要であると考えられる。その一例として、現在供給不安が叫ばれているロシアからの輸入途絶や、原油の依存度の高い中東からの輸入途絶が起こった際の影響についてコラムにて分析をした。このような具体的なシナリオを踏まえた政策検討の際に、感覚的

な議論だけではなく、定量化された数字を下に、対策を練っていくことは重要であるはずだ。
この分析手法がその一助となれば筆者として幸いである。

8 コラム

本コラムでは、本文には反映できなかったが、検証の余地のある内容を検討したい。1つ目が、本稿で用いた各種設定、特に必要不可欠な中間財とする条件として投入係数を10%以上としたことや、国内生産額の減少額を全体の10%としたことなど、数字の部分を変えるとどの程度全体への影響が変わってくるのかを分析したい。2つ目には、本文では輸入途絶を考える際に、特定国として米中韓の3か国を選んだが、現在供給不安が叫ばれているロシアからの輸入や、オイルショックなどで度々輸入途絶の危機に瀕してきた中東からの輸入が滞ってしまった際のシナリオを考えたい。

8.1 各種設定を変えた場合の感応度分析

本節では、数字を変えた際の感応度を見ることが目的なので、10産業すべてではなく、鋼材産業を例にとって分析を行う。

(1) 必要不可欠な中間財とする条件を、投入係数の5%とした場合

本稿の分析手法を用いて求めると、以下の通りとなった。投入係数5%以上という条件にすることで、必要不可欠な中間財が増える形となるが、その結果として経済に与える影響が増大していることが見て取れる。この数字を実態に合わせて調整できれば、より現実に近い分析ができると思われる。

表6：鋼材産業における生産・GDP・雇用への影響（投入係数を変化させた場合）

	投入係数	
	5%以上	10%以上
国内生産減少額（兆円）	9.5	8.5
GDP減少額（兆円）	3.5	3.1
雇用減少額（万人）	40.3	35.7

(2) 国内生産額の減少額を全体の5%とした場合

同様に本稿の分析手法を用いて求めると、以下の通りとなった。概ね半分となっていることが見て取れる。このようにショックの大きさを変えれば、それにおおよそ比例して全体の影響が定量化されることが分かる。

表7：鋼材産業における生産・GDP・雇用への影響（減少割合を変化させた場合）

	5%減少	10%減少
国内生産減少額（兆円）	4.4	8.5
GDP減少額（兆円）	1.6	3.1
雇用減少額（万人）	18.5	35.7

8.2 ロシア、中東からの輸入途絶シナリオの分析

ロシア、中東から石炭原油天然ガスが途絶した場合の影響についてまとめる。2022年4月現在、ロシアのウクライナ侵攻に伴い、各国はロシアに経済制裁を科しているが、ロシアはそれに対する報復措置として、天然ガスなどの供給を停止する可能性がある。日本は、液化天然ガスの8%、原油の4%をロシアからの輸入に依存しており、ロシアからの供給途絶が経済に与える影響は大きい。また、日本は原油の80%以上を中東に依存しており、1970年代のオイルショックからもわかる通り、中東からの供給途絶が経済に与える影響は計り知れない。こうした背景を踏まえ、本稿で用いた分析手法を用いて、上記のシナリオを検討する。

まず、ロシアからの輸入途絶を考える。4.1(4)で述べた分析手法に基づき、ロシアからの石炭原油天然ガスの輸入が途絶した場合の影響を定量化したところ、直接の輸入途絶金額が1.54兆円、それに伴う国内生産の減少額が6.76兆円、GDPの減少額が2.90兆円、雇用の減少が37.72万人であった。

次に、中東からの輸入途絶を考える。ロシアからの輸入途絶額の計算と同様に、中東からの石炭原油天然ガスの輸入が途絶した場合の影響を定量化したところ、直接の輸入途絶金額が9.14兆円、それに伴う国内生産の減少額が37.29兆円、GDPの減少額が15.99兆円、雇用の減少が208.31万人であった。

金額の多寡は、そのまま日本の輸入依存度の度合いを反映していると考えられる。ロシアからの石炭原油天然ガス全体の輸入依存は数%にとどまっているので、経済全体に与える影響は中東と比べて大きくないが、中東からの輸入依存は石炭原油天然ガス全体で約半分であり、経済全体に甚大な影響を与えるという推計結果となった。

上記シナリオは荒唐無稽な話ではなく、起こりうる話であるので、そうなってしまった場合の影響を踏まえ、対策をとっていく必要があるだろう。

9 参考文献

岡田有祐・奥田隆明・林良嗣・加藤博和(2012)「前方連関効果を考慮した広域巨大災害の産業への影響評価」『土木計画学研究・講演集』45, CD-ROM(19)。

株田文博 (2014)「産業連関分析による食料供給制約リスクの分析」『農林水産政策研究』第 23 号, 1～21。

国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成 29 年推計）」

下回充・藤川清史 (2012)「産業連関分析モデルと東日本大震災による供給制約」『産業連関』20 (2), 133～146。

総務省「産業連関表」H P

東京商工リサーチ「第 20 回『新型コロナウイルスに関するアンケート調査』」（2022 年 2 月 25 日）

徳井他 (2012)「東日本大震災の経済的影響—過去の災害との比較、サプライチェーンの寸断効果、電力供給制約の影響—」RIETI Policy Discussion Paper Series 12-P-004

Daron Acemoglu & Alireza Tahbaz-Salehi, 2020. "Firms, Failures, and Fluctuations: The Macroeconomics of Supply Chain Disruptions," NBER Working Papers 27565, National Bureau of Economic Research, Inc.

Yoshiyuki ARATA & Daisuke MIYAKAWA, 2021. "The Size of Micro-originated Aggregate Fluctuations: An analysis of firm-level input-output linkages in Japan," Discussion papers 21066, Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI).

付表 1 産業連関表における統合中分類（10 産業）の詳細

統合中分類 部門名	基本分類 部門名
有機化学工業製品（石油化学系基礎製品・合成樹脂を除く。）	合成オクタノール・ブタノール、酢酸、二塩化エチレン、アクリロニトリル、エチレングリコール、酢酸ビニルモノマー、その他の脂肪族中間物、合成染料・有機顔料、スチレンモノマー、合成石炭酸、テレフタル酸・ジメチルテレフタレート、カプロラクタム、その他の環式中間物、合成ゴム、メタン誘導品、可塑剤、その他の有機化学工業製品
鋼材	熱間圧延鋼材、普通鋼形鋼、普通鋼鋼板、普通鋼鋼帯、普通鋼小棒、その他の普通鋼熱間圧延鋼材、特殊鋼熱間圧延鋼材、鋼管、普通鋼鋼管、特殊鋼鋼管、冷間仕上鋼材、普通鋼冷間仕上鋼材、特殊鋼冷間仕上鋼材、めっき鋼材
電子デバイス	半導体素子、集積回路、液晶パネル、フラットパネル・電子管
石炭・原油・天然ガス	石炭、原油、天然ガス
パルプ・紙・板紙・加工紙	パルプ、古紙、洋紙・和紙、板紙、段ボール、塗工紙・建設用加工紙
石油製品	ガソリン、ジェット燃料油、灯油、軽油、A重油、B重油・C重油、ナフサ、液化石油ガス、その他の石油製品
自動車部品・同附属品	自動車用内燃機関、自動車部品
石油化学系基礎製品	エチレン、プロピレン、その他の石油化学基礎製品、純ベンゼン、純トルエン、キシレン、その他の石油化学系芳香族製品
銑鉄・粗鋼	銑鉄、フェロアロイ、粗鋼（転炉）、粗鋼（電気炉）
電力	事業用火力発電、事業用発電（火力発電を除く。）、自家発電

付録1 統合小分類（187 部門）を用いた分析の問題点

統合小分類には「鉄屑」部門及び「非鉄金属屑」部門という特殊な部門があり、Ghosh モデルによる機械的な計算では推計結果が大きすぎてしまう。その理由を以下に記す。

産業活動に伴い発生する鉄屑・非鉄金属屑は、やがて他産業部門に利用されるものであり、一旦「鉄屑」部門及び「非鉄金属屑」部門からの「マイナスの」投入として処理される。イメージとしては、中間財が投入されるのではなく、やがていずれかの部門の中間財となる鉄屑・非鉄金属屑が排出されるために、負号をつけて扱うものである。

「鉄屑」部門、「非鉄金属屑」部門は取引基本表を見て分かるように、何も産出せず、ただ鉄屑及び非鉄金属屑を他産業部門から受け取り、他産業部門へと配分するトンネルのような役割を果たす。鉄屑については主に「銑鉄・粗鋼部門」に、非鉄金属屑については主に「非鉄金属精錬・精製」部門にそれぞれ振り分ける。この振り分け作業は生産活動とは見なされず、これら部門の生産額は 0 と扱われている。

このような部門を含む配分係数行列から逆行列を産出すると、「鉄屑」部門、「非鉄金属屑」部門に対応する行及び列の成分は全て 0 となる。そのため、本来鉄屑、非鉄金属屑を投入要素としていた部門の生産額は、機械的な均衡計算を行った結果、大きく減少することとなる。具体的には、鉄屑でいうと「銑鉄・粗鋼」部門、非鉄金属屑でいうと「非鉄金属精錬・精製」「その他の非鉄金属製品」の 2 部門である。

実際、当初の取引基本表から国内生産額ベクトル、付加価値ベクトル及び配分係数行列を導出し、基本的な Ghosh モデルに基づく均衡計算を行うと ($X = V[I - B]^{-1}$)、本来であれば影響はないはずであるところ、「その他の非鉄金属製品」が▲15.7%、「非鉄金属精錬・精製」が▲11.3%、「電線・ケーブル」が▲6.0%、「銑鉄・粗鋼」が▲1.7%、それぞれ生産が減少するとの結果が出る。この結果は上記の説明と整合的であり、これら産業部門に対する鉄屑・非鉄金属屑の投入割合は、非鉄金属屑の投入額が「その他の非鉄金属製品」の生産額に占める割合が約 8%、「非鉄金属精錬・精製」の生産額に占める割合が約 9%、また鉄屑の投入額が「銑鉄・粗鋼」の生産額に占める割合が約 1%となっている。また、「非鉄金属精錬・精製」の投入額が「その他の非鉄金属製品」の生産額に占める割合が約 47%、「電線・ケーブル」の生産額に占める割合が約 38%であり、影響はこれら産業にも及ぶ。

こうした分析上の誤差を除くために、本来であれば、各産業部門から発生する鉄屑、非鉄金属屑を、直接「銑鉄・粗鋼」部門や「非鉄金属精錬・精製」部門等の実際にそれらを利用する部門に振り分け、屑の処理を他と同様の産業活動として扱うべきである。しかし、現状の産業連関表がそのようなデータを提供していない以上、今回の分析では統合一中分類を用いた推計を行った。

もし、統合小分類を用いた分析を行う場合、簡易的ではあるが、「A.供給ショック後の国内生産への影響」から「B.供給ショック前に算出した Ghosh モデルによる均衡状態」を差し引き、各産業部門に対する影響を分析することとする。具体的には、まず当初の付加価値額ベクトル V、配分係数行列 B、及び単位行列 I を用いて、補正用の国内生産額ベクトル X^* を

$$X^* = V[I - B]^{-1}$$

により得た後、それぞれのシナリオにおいて得られるショック後の国内生産額ベクトル X' を用いて、国内生産額ベクトルの変化を

$$\Delta X = X' - X^*$$

により得ることで、「鉄屑」部門及び「非鉄金属屑」部門の特殊性による影響を除いた結果を得ることができる。