

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24530296

研究課題名(和文) 東日本大震災によるサプライチェーン途絶効果の分析

研究課題名(英文) The Economic Impact of Supply Chain Disruptions from the Great East-Japan Earthquake

研究代表者

徳井 丞次(TOKUI, Joji)

信州大学・学術研究院社会科学系・教授

研究者番号：90192658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：地域間産業連関表を使って、東日本大震災直後のサプライチェーン途絶が与えた影響を分析した。工夫の一つは、前方連関分析の手法を修正して、製造業から製造業への投入のサプライチェーンの中間投入の代替ができないという仮定を追加したことである。いま一つは、都道府県別の多地域産業連関表を利用して地域間産業連関表を修正し、震災によって生産活動に特に重大な被害を受けた4県(岩手、宮城、福島、茨城)を独立な地域として分離させた独自の地域間産業連関表を作成したことである。分析の結果、東日本大震災後のサプライチェーン途絶による生産活動への被害の大きさは少なくともGDPの0.35パーセント程度であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We examine the economic impact of the supply chain disruptions immediately following the Great East-Japan Earthquake of March 11th, 2011 using regional IO tables and other regional statistics. To conduct our analysis, we modify the forward linkage methodology to take into account the bottleneck effect in the intermediate input of manufacturing production. We also create our own inter-regional input-output table by combining two different regional IO tables. Our estimates show that the production loss caused by the supply chain disruptions would at least be 0.35% of the country's GDP. We also analyzed the possible damage mitigating effects of establishing multiple supply chains to cope with potential natural disasters in the future.

研究分野：経済学・経済政策

キーワード：自然災害 サプライチェーン 地域間産業連関表 前方産業連関

1. 研究開始当初の背景

自然災害による被害の大きさの推計は、復興費用等の見積もりの目的に加えて、将来の防災対策の費用便益分析のための基礎データとしても活用される。これまでの被害額推計では、公共インフラや民間資本ストックの損壊、さらにこれらの被害に直接起因して発生する様々な生産活動の縮小・停止に焦点が当てられてきた。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災では、その広範囲にわたる規模の大きさから、単に被災地域の生産活動に留まらず、それ以外の地域の生産活動にも少なからぬ影響を及ぼしたことが注目される。これはサプライチェーン途絶の影響として、日本国内に限らず世界全体の生産活動（とりわけ自動車、電子機器などの分野）に対する懸念として大きく報道された。このように、サプライチェーン途絶を通じた被災地域以外の生産活動への波及は、自然災害に伴うリスクの一つとして再認識されるようになったと言える。

われわれは、2011年3月に東日本大震災が発生して以来、この研究に着手し、まず平成21年経済センサス（基礎調査）の市区町村別・産業別の従業者数をベースに、JIP2010の産業別従業者数、純資本ストック、生産額のデータと、市区町村別被害率の推計を使って、被災地域の産業別の純資本ストック被害と、生産額被害を推計した。このデータと、平成17年地域間産業連関表を使って、標準的な産業前方連関の分析手法を適用して、被災地での産業別の直接被害額と、それによって生じたサプライチェーン途絶による波及効果をそれぞれ推計していた。

しかし、この研究を進めるなかで、産業連関表の前方連関を使った分析に暗黙に含まれる生産技術上の仮定に気付き、製造業における中間投入の代替性を制約した下で分析を行う必要性を認識した。さらに、平成17年地域間産業連関表では、地域区分が大きすぎて、震災被災地域とそれ以外の地域が産業連関上の同一地域区分に含まれてしまうことから、被災地域で発生した生産活動に対する直接被害が他地域にサプライチェーンを通じて波及していく効果の精密な分析が行えない限界に気付き、これらの問題を克服してより精密なサプライチェーン途絶効果の分析を行うことを目指して、本研究課題を行った。

2. 研究の目的

われわれは、地域間産業連関表その他のデータを使って、東日本大震災直後のサプライチェーン途絶が与えた影響を分析するため二つの分析上の工夫を行った。分析上の工夫の一つは、産業連関表の標準的な前方連関分析の手法を修正して、製造業から製造業への投入のサプライチェーンの中間投入の代替ができないという仮定を追加したことである。この仮定を追加するに当たっては、産業

連関表の前方連関を使った分析手法が、暗黙にコブダグラス型生産関数を前提にしていることを明示的に示し、それを修正する形で中間投入間の代替性を制約する形で追加的な仮定を導入した。

いま一つの工夫は、都道府県別の多地域産業連関表を利用して地域間産業連関表を修正し、震災によって生産活動に特に重大な被害を受けた4県（岩手、宮城、福島、茨城）を独立な地域として分離させた独自の地域間産業連関表を作成したことである。このためには、経済産業省が作成公表している平成17年地域間産業連関表を基にして、そのなかの東北地域と関東地域から、被災4県の県別産業連関表と、この4県の各産業から他地域への取引情報を使って、被災4県を独自分類した地域間産業連関表を作成し、これを分析に使った。

以上のような新たな工夫に加えて、独自に東日本大震災による被災地の生産活動に対する直接被害額を被災県別・産業別に推計し、前方連関の分析手法を適用して、サプライチェーン途絶による間接被害の大きさを推計した。また、同じ手法を使ったシミュレーションで、サプライチェーンの複数化によってこうした間接被害の大きさをどの程度軽減することが可能かを分析した。

3. 研究の方法

(1) ボトルネック付前方連関の方法

よく知られているように、産業連関表の投入産出行列は、縦方向に並ぶ各行の産業部門の産出物が、横方向に並ぶ各列の産業部門に中間投入としてどれだけ投入されるかを記録している。通常の産業連関分析で需要側の波及、すなわち後方連関を扱うときには、産業連関表を横方向にみて波及効果を捉えるのに対して、供給側の波及、すなわち前方連関を扱うときには、産業連関表を縦方向にみて波及を捉える。すなわち、 X = 各部門の生産量ベクトル（転置した行ベクトルを X' ）、 Z = 中間投入の投入産出行列、 V = 各部門の要素費用ベクトル（転置した行ベクトルを V' ）として、産業連関表の縦方向の関係は次のように表される。

$$X' = i'Z + V'$$

次式のように、投入産出行列 Z の各行を各部門の生産額で割った行列を B と書くことにする。行列 $B = [b_{ji}]$ の j 行 i 列要素は、 j 部門の産出物が中間投入として各産業（ i 部門）にどのように投入されたかの比率を表している。

$$B = \begin{bmatrix} Z_{11}/X_1 & \dots & Z_{1n}/X_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1}/X_n & \dots & Z_{nn}/X_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1/X_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1/X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix}$$

$$= \text{diag}(1/X_j)Z$$

上の式から $Z = [\text{diag}(1/X_j)]^{-1}B = \text{diag}(X_j)B$ であるから、これを最初の式に代入すると次式が導かれる。

$$X' = [1 \dots 1] \begin{bmatrix} X_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & X_n \end{bmatrix} B + V'$$

$$= X' B + V'$$

この式の右辺の X' の j 番目 (j 部門) の産出が何らかの理由で低下したとき、それが左辺の X' の i 番目 (i 部門) の産出をどの程度低下させるか、その一次波及効果の大きさは B 行列の j 行 i 列要素 (b_{ji}) が表していることが分かる。この意味で、 B 行列の各要素は、前方連関の一次波及効果の大きさを表すものとなっている。

この式の差分をとると、次のようになる。

$$\Delta X' = \Delta X' B + \Delta V'$$

この両辺に右から $\text{diag}(1/X_j)$ を掛けると次のようになる。

$$\Delta X' \cdot \text{diag}(1/X_j) = \Delta X' \cdot \text{diag}(1/X_j) \cdot \text{diag}(X_j) \cdot B \cdot \text{diag}(1/X_j) + \Delta V' \cdot \text{diag}(1/X_j)$$

ここで、右辺の $\text{diag}(X_j) \cdot B \cdot \text{diag}(1/X_j)$ の部分は、通常の投入係数行列 A にほかならないことを、次のように示すことができる。

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} Z_{11}/X_1 & \dots & Z_{1n}/X_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1}/X_1 & \dots & Z_{nn}/X_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/X_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1/X_n \end{bmatrix}$$

$$= Z \cdot \text{diag}(1/X_j)$$

一方、前方産業連関の B 行列は、

$B = \text{diag}(1/X_j) \cdot Z$ から、 $Z = \text{diag}(X_j) \cdot B$ なので、これを代入すると、

$$A = \text{diag}(X_j) \cdot B \cdot \text{diag}(1/X_j)$$

上の式は次のように書き直すことができる。

$$\Delta X' \cdot \text{diag}(1/X_j) =$$

$$\Delta X' \cdot \text{diag}(1/X_j) \cdot A + \Delta V' \cdot \text{diag}(1/X_j)$$

すなわち、次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ X_1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \Delta X_n \\ X_n \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ X_1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \Delta X_n \\ X_n \end{bmatrix} A + \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ X_1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \Delta V_n \\ X_n \end{bmatrix}$$

投入係数行列 A の j 行 i 列要素を a_{ji} として、右辺第 1 項で生じた変化が左辺の第 i 部門の産出の変化率に与える影響を取り出すと次のようになる。

$$\frac{\Delta X_i}{X_i} = \sum_{j=1}^n a_{ji} \frac{\Delta X_j}{X_j}$$

ここで左辺の X_i を投入であることを明確にするために Z_j と書き換えると、次式のように書き直すことができる。

$$\Delta \log X_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} \Delta \log Z_j$$

これはすなわち、

$$X_i = \text{const} \cdot Z_1^{a_{1i}} \dots Z_n^{a_{ni}}$$

であるから、 a_{ji} を固定係数とみれば、この方法はコブ・ダグラス生産関数に基づいていることが分かる。

製造業の部品投入にはより補完性が強いと考えると、1 回分の波及としては、上の式に替えて、次のように想定することができる。

$$\left(\frac{\Delta X_i}{X_i} \right) =$$

$$\sum_{j \in \text{製造業}} a_{ji} \cdot \max_{j \in \text{製造業}} \left[\frac{\Delta X_j}{X_j} \right] + \sum_{j \notin \text{製造業}} a_{ji} \frac{\Delta X_j}{X_j}$$

これは、製造業に対する製造業からの投入についてのみ、最大の縮小率となった部門の投入がボトルネックになって同率の投入縮小となるものとしている。

さて、地震のような自然災害が起こったときに、こうした前方連関によるサプライチェーン途絶の波及を、何段階先の取引関係まで考える必要があるであろうか。企業レベルのミクロデータを使った実証研究で Carvalho, Nirei and Saito (2014) は、東日本大震災によって深刻な影響を受けた 1 次取引先だけでなく、2 次、3 次の取引先を持つ企業も、その後の生産の伸びに重要な下方の影響を受けていることを明らかにしている。このことから、少なくとも 3 次までの前方連関を考えることに現実的な意味があることが確認できる。そこで、われわれは上記のボトルネック付前方連関の波及を 3 回繰り返してその累積効果を計測することにする。

(2) 東日本大震災の直接被害の推計方法
東日本大震災による被災地の産業別被害

額は、まず被災地の市区町村別の実質純資本ストック及び産出額を求め、これに被災地市区町村別の被害率の推定値を掛けることによって推計した。

まず「平成 21 年経済センサス」から、被災地市区町村別、産業別の従業者数を求めることができる。一方、JIP データベース（JIP2010）では、日本全体の産業部門別の従業者数に加えて、実質純資本ストック、産出額などが得られる。そこで、JIP データ（2006 年のデータ）から産業部門別に従業員 1 人当たり純資本ストックと、従業員 1 人当たり産出額をそれぞれ求めて、平成 21 年経済センサスの被災地市区町村別、産業別の従業者数に掛けることによって、被災地市区町村別、産業別の実質純資本ストック及び産出額を求めた。

被災地市区町村別の被害率は、日本政策投資銀行地域振興グループの寺崎友芳氏が被災地である岩手、宮城、福島、茨城の 4 県の沿岸部、内陸部別に資本ストックの損壊額を推計した方法を、同じ 4 県の市区町村別に適用して求めた。具体的には、市区町村別の死者、行方不明者、避難者の合計数を住民基本台帳人口で割った人的被害率と、企業被害に関する新聞報道の件数を所在企業数で割って求めた企業被害率（ただし 4 県の沿岸部、内陸部別）の平均をとり、同じ方法を阪神淡路大震災に適用したものを直接推計による資本ストック損壊額と比較して求めた修正係数を掛けることによって、市区町村別の被害率を求めた。

こうして求めた市区町村別の被害率を、先に推計しておいた被災地市区町村別、産業別の実質純資本ストック及び産出額に掛けていくことによって、被災地市区町村別、産業別の被害額（実質純資本ストックベース及び産出額ベース）を求めることができる。最後に、こうして求めた市区町村別の被害額を岩手、宮城、福島の 3 県について集計することによって東北地域の産業別被害額を、茨城について集計することによって関東地域の産業別被害額をそれぞれ求めた。

（3）東日本大震災分析用の地域間産業連関表の作成方法

経済産業省「平成 17 年度地域間産業連関表」は、9 地域ブロック、製造業を中心とした 53 産業の地域間、産業間の取引が描写されている。しかしながら、この 9 ブロックは以下のような経済産業局の管轄都道府県ブロックとなっているため、東日本大震災において甚大な被害を受けた地域とそれほど大きな被害を受けていない地域が混在しており、東日本大震災における被害が経済活動に与えた影響が大きな被害を受けなかった地域に埋没してしまう可能性があった。そこで、被災地域の影響をより適切に描写するために、津波による甚大な被害を受けた岩手県、宮城県、福島県、茨城県の 4 県を抽出し、それほど大きな被害を受けなかったその他地

域に及ぼした影響を分析するための独自の地域間産業連関表を作成した。

このためには、これら 4 県の県内産業連関表に加えて、都道府県間の取引状況を把握する必要がある。われわれは電力中央研究所「47 都道府県多地域産業連関表」を利用した。このデータでは、各都道府県の産業から他の都道府県へ移出された金額が分かるが、それが他の都道府県のどの産業に投入されたかまでは分からない。そこで、他地域から移入された取引額の投入構造は、その地域内の投入構造と同一であるものと仮定して推計を行った。このほかの両者のデータ間で産業分類が不統一であることや、データの時期が異なること（経済産業省のデータが 2005 年のものであるのに対して、電力中央研究所のデータが 2000 年のものであること）の調整を加えて、分析目的に必要な産業連関表を独自に作成した。

4. 研究成果

東日本大震災直後（2011 年 3 月）の生産に対する直接被害を 1 とすると、その後 4 月から 6 月にかけて急ピッチの生産回復がみられた。こうした復興プロセスを考慮に入れて、上記の前方連関の方法で推計した、サプライチェーン途絶による間接被害の大きさは、1 次波及で GDP の 0.23 パーセント、3 次波及までの累積効果で GDP の 0.35 パーセントと推計された。これは、震災そのものによる直接被害の推計値である GDP の 0.11 パーセントと比べても大きく、間接被害の大きさを改めて確認させるものとなった。

同じ手法を使って、東北地域と関東地域のサプライチェーンを複数個所に分散させることによる間接被害軽減効果をシミュレーションすることができる。このシミュレーションによれば、サプライチェーンの複数化によって生産に対する間接被害の大きさを 35.7 パーセントほど軽減することができることが分かった。サプライチェーンの複数化のメリットは、産業連関が複雑なサプライチェーンで幅広い産業に繋がっているほど大きく、また災害からの生産活動復興に時間を要するほど大きいと言える。

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 10 件）

Tokui, Joji, Kazuyasu Kawasaki and Tsutomu Miyagawa (2015), The Economic Impact of Supply Chain Disruptions from Great East-Japan Earthquake, RIETI Discussion Paper Series 15-E-094.（査読無）

Tokui, Joji, Tatsuji Makino and Kyoji Fukao (2015), Industry-level Factor Inputs and TFP and Regional Convergence:

1970-2008, RIETI Discussion Paper Series 15-E-089. (査読無)

Fukao, Kyoji, Tatsuji Makino and Joji Tokui (2015), Regional Factor Inputs and Convergence in Japan: A macro-level analysis, 1955-2008, RIETI Discussion Paper Series 15-E-123. (査読無)

徳井丞次 (2015), 「派遣労働者、リース資産と経済データ」, 一般財団法人日本統計協会 『統計』 2015 年 4 月号, pp. 39 - 44. (査読無)

Kazuyasu Kawasaki, Tsutomu Miyagawa, Joji Tokui (2014), Reallocation of Production Factors in the Regional Economies in Japan: Towards an Application to the Great East-Japan Earthquake, 『学習院大学経済経営研究所年報』 第 28 巻, 2014 年 12 月, pp. 103-120. (査読無)

徳井丞次 (2014), 「信州大学実施研究費の収益率」, 信州大学経済学部 『信州大学経済学論集』, 第 65 号, pp. 1 - 56. (査読有)

徳井丞次 (2014), 「経済活動のグローバル化と国際収支統計の改定」, 一般財団法人日本統計協会 『統計』 2014 年 9 月号, pp. 36 - 41. (査読無)

徳井丞次、牧野達治、児玉直美、深尾京司 (2013), 「地域間の人的資本格差とその要因」, 一橋大学経済研究所 『経済研究』, Vol. 64 No. 3, pp. 256 - 268. (査読有)

徳井丞次、牧野達治、深尾京司、宮川努、荒井信幸、新井園枝、乾友彦、川崎一泰、児玉直美、野口尚洋 (2013), 「都道府県別産業生産性 (R - JIP) データベースの構築と地域間生産性格差の分析」, 一橋大学経済研究所 『経済研究』, Vol. 64 No. 3, pp. 218 - 239. (査読有)

徳井丞次、牧野達治、児玉直美、深尾京司 (2013), 「地域間の人的資本格差と生産性」, RIETT Discussion Paper Series 13-J-058, 2013 年 8 月, pp. 1 - 43. (査読無)

[学会発表] (計 1 件)

Tokui, Joji, Kazuyasu Kawasaki and Tsutomu Miyagawa, The Economic Impact and Recovery of Supply Chain Disruptions from the Great East-Japan Earthquake, Workshop on the Economic Effects of the Great Tohoku Earthquake, 2014.6.28, University of Southern California, USA.

[図書] (計 1 件)

Kyoji Fukao, Jean-Pascal Bassino, Tatsuji Makino, Ralph Paprzycki, Tokihiko Settsu, Masanori Takashima, Joji Tokui (2015), Regional Inequality and Industrial Structure in Japan 1874-2008. Maruzen Publishing Co., Ltd. PP.1-350.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳井 丞次 (TOKUI, JOJI)

信州大学・学術研究院社会科学系・教授

研究者番号 : 90192658

(2) 研究分担者

川崎 一泰 (KAWASAKI, Kazuyasu)

東洋大学・経済学部・教授

研究者番号 : 40338752

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :