

# 全国47都道府県動的応用一般均衡モデルによる 東日本大震災の経済被害再現研究

山崎 雅人<sup>1</sup>・曾根 好徳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 名古屋大学助教 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail: yamazaki.masato@nagoya-u.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学教授 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail: sone@nagoya-u.jp

本研究は、全国47都道府県20部門応用一般均衡モデルを用いて、東日本大震災における各地域・各産業の生産額の変化を再現を試みたものである。これにより、応用一般均衡モデルの災害の経済被害評価における有用性を確認し、また地域間交易の代替の弾力性の値を推計する。再現研究では、過小評価となったものの非被災地域への経済被害の波及をモデル上で再現できたこと、また地域間交易の代替の弾力性の値に関して、関連部品を含む「自動車」の地域間の代替の弾力性を極めて低い値に設定する必要があることが明らかとなった。これは全国的に展開される自動車生産のサプライチェーンを反映しているものと考えられる。本研究は発災後の短期を分析したものであるが、今後は復旧過程の再現研究を通し、モデルの有効性及各種パラメータの推定研究を進める。

**Key Words :** computable general equilibrium (CGE) model, natural disaster, economic damage

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に端を発する東日本大震災は、東北地方のみならず、日本全体の産業活動を中断や停止に追い込むなど、日本経済全体に大きな損失をもたらした。

津波被災地域の多くでは、漁業及び水産加工業を中心とした産業構造が形成されていたため、漁港や漁船、水産加工施設の津波被害は水産加工業や関連業種に壊滅的な被害を与えたのみならず、被災地域の経済全体にも大きな被害をもたらした。

経済被害は被災地域にとどまらず、地震動や津波浸水の影響を直接的に受けていない地域へも波及した。図-1は、2011年の鉱工業生産指数の推移である。中部地方が東北地方に次ぎ大きく落ち込んでいる。東北地方および関東地方に立地する大手素材メーカーや部品メーカーが被災し、素材及び部品の供給停止、すなわちサプライチェーンの寸断が生じ、その影響が自動車生産に顕著に現われたためである。2011年3月の国内乗用車生産台数は前年同月比で57.5%の減少となっている<sup>1)</sup>。中部地方で鉱工業生産指数が大きく落ち込んだのは、同地域が自動車生産に特化した産業構成であったこと、東日本に立地していた自動車部品工場が被災し、サプライチェーンが寸断したことが要因である。東日本大震災は、経済は地

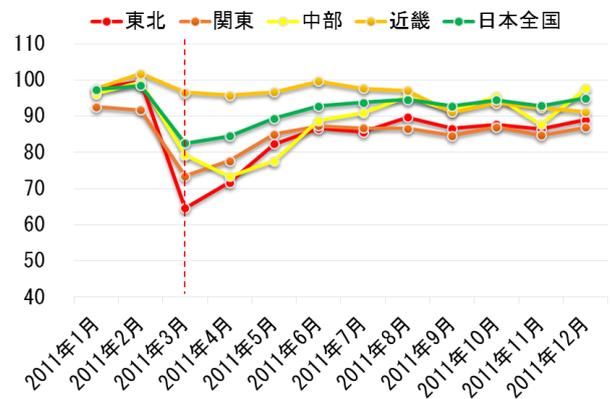


図-1 鉱工業生産指数の推移 (2005年=100)

域を超えて密接につながっており、災害が発生した際には、地域を超えて経済的影響が波及する事実を示した。今後、広域巨大災害の経済被害軽減を目指す上では、全国に展開されるサプライチェーンの構造まで把握し、対策を考える必要がある。

本研究では、サプライチェーンの寸断が巨大地震の経済被害を拡大させる重要な要因であるとの認識に立ち、産業間のサプライチェーンを明示的にモデル化している応用一般均衡モデルを、災害の経済被害評価に応用する。特に東日本大震災の経済被害(各地域の生産の減少)を応用一般均衡モデルは再現できるか、またその際に重要

となるパラメータはどのパラメータかを示す。

## 2. 研究の背景

### (1) 中央防災会議の経済被害想定手法

まず中央防災会議による南海トラフ巨大地震の経済被害推計手法を、主としてサプライチェーン寸断のモデル化の観点から検討したい。続いてサプライチェーンのモデル化に関してより適切であると考えられる産業連関モデルおよび応用一般均衡モデルについて検討する。

東日本大震災における今後の巨大災害の経済被害推計にあたっては、サプライチェーンあるいは産業連関を明示的に取り扱ったモデルを利用すべきである事は既に述べた。では、中央防災会議による「南海トラフ巨大地震」の経済被害想定では、サプライチェーンはいかに扱われているのであろうか。

中央防災会議の経済被害想定<sup>2)</sup>は「資産等の被害【被災地】」と「経済活動への影響【全国】」の2つの項目が設けられ、それぞれ定量評価がなされている。

「資産等の被害【被災地】」は「被害を受けた施設及び資産について、現在価値ではなく、復旧・再建に要する費用の総額を、それらの施設及び資産の被害額と捉える」との方針が示されており<sup>2)</sup>、復旧費用の意味合いが強い。計算においても、被害量（物的被害の推計結果）に対して該当する復旧額を掛け、それらを足し合わせている。これより「資産等の被害【被災地】」は復旧費用と考えるべきである。

「経済活動への影響【全国】」は「生産・サービス低下に起因するもの」とされ、実質GDPの変化を意味している。計算方法は以下の通りである。つまり全国の第*i*産業の生み出す付加価値 $Y_i$ は、資本ストック $K_i$ と労働力 $L_i$ および都市機能を表す経済中枢機能 $C_i$ の関数であると仮定する(1a)。関数型はコブ=ダグラス型として特定化され、その上で過去のデータによりパラメータが推定される。地震によるGDP損失を推計するため、被害想定に基づき、資本ストック $K_i$ 、労働力 $L_i$ 、および経済中枢機能 $C_i$ の入力量を被害分だけ減少させ、付加価値額 $Y_i$ を低下させる。その上でサプライチェーン寸断係数 $S_i$ を1以下に設定すればサプライチェーン寸断の影響も加味した付加価値減少額が推計できる。ただしサプライチェーン寸断係数 $S_i$ は、東日本大震災におけるサプライチェーン寸断の被害を鑑み、新たに導入されたパラメータであり、係数 $S_i$ は各産業の生産水準 $Y_i$ の変動と無関係にあらかじめ定められていることに注意が必要である。

$$Y_i = f_i(K_i, L_i, C_i) \times S_i \quad (1a)$$

### (2) 産業連関モデルと応用一般均衡モデル

既述の通り、応用一般均衡モデルはサプライチェーンを明示的に考慮することができる経済シミュレーション

モデルである。その他、サプライチェーンを明示的に考慮できる代表的な経済モデルとして産業連関モデルがある。いずれのモデルも産業連関表をパラメータ推定のために利用している。どのモデルを採用すべきかについて議論が存在するが、例えばA.Roseは、これまでに災害分析用に応用開発された各種の産業連関モデルの意義を認めつつ、一方で標準的なLeontief逆行列に基づく産業連関モデルの利用について以下の課題を指摘している<sup>3)</sup>。

- 線型モデルであるため現実で起こり得る非線形的な事象をモデル化できない。
- 効用最大化や利潤最大化といった経済主体の行動モデルが欠如している。
- 価格と生産量の関係、つまり市場のモデル化が欠如している。
- 労働力や資本ストック等の生産要素や天然資源の利用制約が考慮されていない。
- 生産工程における中間投入物間の代替可能性、生産要素間の代替可能性、国産品と輸入品の代替可能性等の経済主体の代替行動をモデル化できない。

特に標準的な産業連関モデルは任意の財について地域間の移入シェアが固定であり、非被災地域が同種の財を代替的に供給することをモデル化できない。非被災地域からの代替供給はサプライチェーン寸断の影響を緩和する効果を持つ。そのため標準的な産業連関モデルによる災害の経済被害評価は被害の過大評価につながる可能性がある。

応用一般均衡モデルは産業連関モデルの課題を以下の意味で解決し得るものである。つまり応用一般均衡モデルは複数の産業部門の相互連関、すなわちサプライチェーンを明示的に考慮しながら、以下の利点を有する。

- 非線形的な事象のモデル化を許容している。
- 経済主体の行動を消費者の効用最大化や生産者の利潤最大化としてモデル化している。
- 価格と生産量の関係性、つまり市場が価格調整による需給調整メカニズムとしてモデル化されている。
- 労働力や資本ストック、天然資源等の生産要素の利用上限を考慮できる。
- 生産工程における投入物間の代替可能性、生産要素間の代替可能性、国産品と輸入品の代替可能性等の代替行動が考慮されている。すなわち非被災地域における災害時の代替生産をモデル化できることを意味する。

ただし、応用一般均衡モデルの課題も指摘されている。A.Roseは、経済主体の最適化行動と伸縮的な価格調整に

基づく、市場における需給均衡は、短時間で経済環境が大きく変動する災害時には現実的ではない可能性がある」と指摘する<sup>3)</sup>。S. Hallegatも現実の経済では価格は硬直的であり、直ちに市場の需給均衡に向け変化するものではなく、また生産工程における投入物間の代替も技術的な限界があるとし、応用一般均衡モデルによる災害の経済被害評価は過小評価となる可能性を指摘する<sup>4)</sup>。

本節では応用一般均衡モデルの利点と課題を抽象的に示したが、次章では東日本大震災の再現研究を通し、応用一般均衡モデルの経済被害推定への適用可能性を具体的に検討する。また、再現研究を通して地域間交易の代替の弾力性の値を推定することを試みる。

### 3. 応用一般均衡モデルの構造

#### (1) 生産部門の構造

本研究の応用一般均衡モデルにおける生産部門はCES(Constant Elasticity of Substitution)型関数の入れ子構造によってモデル化されている。図-2において、水平線で結合されている各種の中間投入財及び付加価値（労働と資本の結合物）はCES型関数の特殊型であるLeontief型関数によって結合されている。この事は中間投入財の間や、中間投入財と付加価値の間では代替が不可能であることを意味している。一方、図中の弧状の線で結ばれている投入要素間（資本と労働）はそれらが互いに代替可能性であることを意味している。つまり、工場や設備等の資本ストックが毀損した場合でもその機能の一部を労働力が代替できることを意味する。代替の技術的境界はCES型関数の代替の弾力性のパラメータの値で表現されている。

また本モデルは表-1に示される20部門の産業が各都道府県内で生産活動を行っており、また地域間交易の担い手となっている。

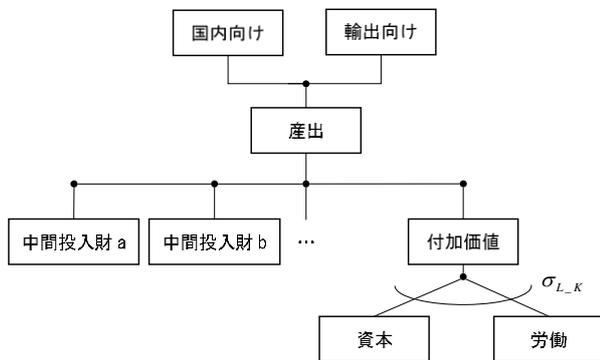


図-2 生産関数の構造

#### (2) 家計部門の構造

家計部門は各地域に1つずつ代表的家計として存在する。本モデルの代表的家計の効用水準は、労働以外に費やす時間、財・サービスの最終消費そして貯蓄水準から構成される。労働以外に費やす時間は余暇と想定される

表-1モデルの産業分類

産業分類
1.農林水産業
2.飲料食品
3.繊維・衣服
4.パルプ・製紙
5.印刷・出版
6.化学製品
7.石油・石炭製品
8.プラスチック・ゴム製品
9.窯業・土石
10.金属製品
11.一般機器
12.電気機械
13.電子部品
14.自動車
15.船舶(造船)
16.その他の輸送機器
17.精密機器
18.建設
19.電力・ガス・水道
20.サービス業

ことが多いが、巨大地震のシミュレーションでは在宅避難も含むと解釈できる。

家計部門も生産部門と同様に多段CES型関数でモデル化している。最上段では余暇（在宅避難）と「消費と貯蓄」の水準をCES型関数で合成している。「消費と貯蓄」の水準は、消費水準と貯蓄水準をコブ＝ダグラス型関数で合成している。コブ＝ダグラス型関数の性質から所得の一定割合が貯蓄される。なお本モデルの代表的家計は時間を通じた効用水準の最大化（動的最適化行動）はとらない。つまり将来を見据えて今期の貯蓄額を決定するのではなく、毎期の所得額の一定割合が貯蓄にまわり、それが次期の資本ストックの拡大につながるモデルとなっている。消費水準はエネルギー消費水準と非エネルギー消費水準がCES型関数により合成されたものとし

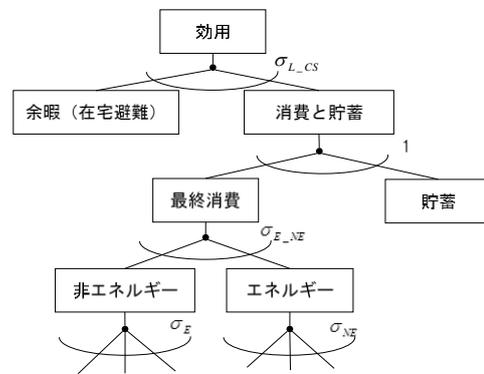


図-3 効用関数の構造

てモデル化している。エネルギー消費水準は、「石油・石炭製品」や「電力・ガス・熱供給」等のエネルギー関連消費水準がCES型関数で合成されたものであり、非エネルギー消費水準は「飲食料品」や「サービス」等の非エネルギー消費水準がCES型関数で合成されたものとしてモデル化している。エネルギー消費と非エネルギー消費の間、エネルギー消費間、非エネルギー消費間はそれぞれ代替可能である。

なお代表的家計は各地域の資本ストックの所有者であり、利用者から使用料を受け取る。また労働力を供給し賃金を得ている。使用料と賃金からなる所得を上限として、代表的家計は自らの効用水準を最大化するよう各消費の水準を決定する（効用最大化行動）。

### (3) 地域間交易の構造

図4の通り、地域間交易は多段CES関数でモデル化している。下図は全国47都道府県モデルのものであるが、下段では自地域で生産された財と国内他地域で生産され移入された同種の財がCES型関数によって合成され「国産品」となる。多段CES関数の上段では「国産品」は同種の輸入財とCES型関数により合成される。CES型関数で合成することにより、各地域から移入される「同種の財」と自地域で生産される財は不完全代替の関係になるつまり代替は可能であるが完全に置き換えることはできない。代替可能性の程度は各段のCES型関数の代替の弾力性の値によってコントロールされる。

なお各財の代替の弾力性の値については、東日本大震災の再現研究を通して推定する。例えば鉱工業生産指数で被災地域での飲食料品生産が減少し、他地域で増加していた場合、飲食料品は地域間で代替可能性が高く、被災地での生産減少が非被災地での代替生産により埋め合わされた可能性がある。この場合、飲食料品については地域間交易の代替の弾力性の値が高いと考えられるため、モデル上で他地域の代替生産が鉱工業生産指数で観測された水準と同レベルまで引きあがるよう、弾力性の値を引き上げその値を推定する。

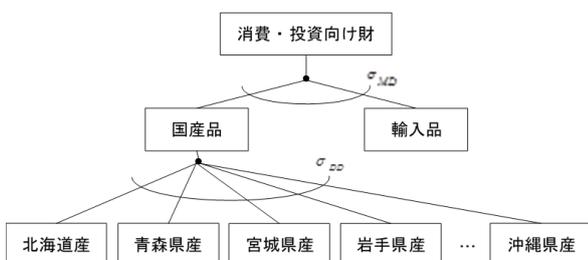


図-4 地域間交易の構造

### (4) 地域間交易の代替の弾力性の値

以下で求めた代替の弾力性の値は再現研究の結果か

ら得られたものである。なお、 $\sigma_{DM}$ は $\sigma_{DD}$ の2倍と仮定している。

表-2 産業別地域間交易の代替弾力性の値

産業分類	$\sigma_{DD}$
1.農林水産業	1.00
2.飲料食品	1.50
3.繊維・衣服	1.20
4.パルプ・製紙	0.80
5.印刷・出版	0.80
6.化学製品	0.20
7.石油・石炭製品	3.00
8.プラスチック・ゴム製品	0.80
9.窯業・土石	0.80
10.金属製品	0.80
11.一般機器	0.60
12.電気機械	0.80
13.電子部品	0.30
14.自動車	0.01
15.船舶(造船)	0.20
16.その他の輸送機器	0.20
17.精密機器	0.30
18.建設	1.00
19.電力・ガス・水道	1.00
20.サービス業	1.00

### (5) 逐次均衡型動的モデル

本モデルではパティクレイ (Putty-Clay) アプローチを採用している。つまり一度設置された資本ストックは産業特殊的となり産業間を移動しないものとする。各産業の資本ストックの変化は、時間を通じた減耗および新規投資によって可能となる。ある期の新規投資分は収益率に応じて産業間に配分される。労働は域内であれば産業間を摩擦なく移動できると仮定する。

## 4. 再現研究の結果

再現シミュレーション計算は、1期間を1単位とし12期間にわたり実施したが、今回は地震発生から最初の1ヶ月間の鉱工業生産指数の変化率について考察する。動的な復旧過程の再現研究は今後の課題とする。

再現研究では第1期期首に地震が発生したとし、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県に立地する各産業の資本ストックが地震に伴い一定程度毀損したと仮定しシミュレーションを実施した。毀損の程度とは各地域・各産業の資本ストックの毀損率としている。各産業は2011年3月生産指数（季節調整済）の対前月比に等しいとしている。

図-5はシミュレーション結果と現実の観察値の散布図横軸にモデルのシミュレーション結果を示しており、縦軸に実際に観察された鉱工業生産指数の変化率をとっている。図中の点が実線で示されている45度線上にあれば

あるほど、モデルによるシミュレーション結果が現実に

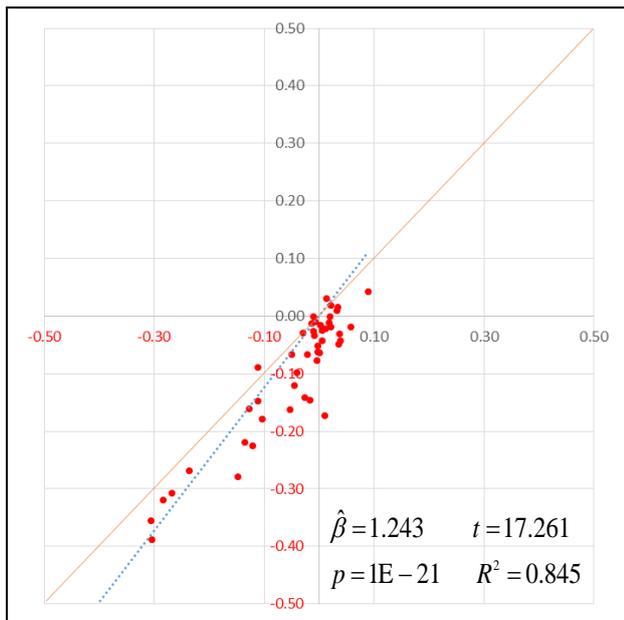


図-5 観測値とシミュレーション値の比較

観察されたデータに等しいことを意味する。

図-5を見る限り概ね45度線を中心に点がばらついてい  
る。統計学的に検定するため、モデル式 $y_i = \beta x_i + \varepsilon_i$ を想定  
し、 $\beta$ の値を最小二乗法で推定した。 $y_i$ は現実に観察され  
た鉱工業生産指数の変化率、 $x_i$ は地震発生月の生産水準  
変化率のシミュレーション値、 $\varepsilon_i$ はモデルの推定誤差で  
ある。 $\varepsilon_i$ は正規分布に従うものと仮定する。推定の結果  
図-5右下に記載している値を得た。

現段階では $\beta$ の値の95%信頼区間は1.10から1.4であり、  
1を含まない。シミュレーション結果が観測値に対して  
全体として過小評価をしている。今後もパラメータの調  
整等が必要であるが、シミュレーション結果は概ね観測  
値を説明しつつある。

現実の鉱工業生産指数の動きとシミュレーション結果  
を地図上で表現したものが図-6と図-7である。現実では  
地震動や津波浸水の無いにも関わらず、自動車関連産業  
の生産額が大きい静岡県、愛知県、三重県、岐阜県で相  
対的に鉱工業生産水準が低下している。また工業都市で  
ある福岡県で相対的に大きく低下している。シミュレー  
ション結果では、以上の特徴を過小評価ながら示してい  
る。特に必ずしも被災地域から地理的に近くない場合でも  
被害の発生を再現できており、その意味でサプライチ  
ェーンを通じた経済被害の波及を捉えている。一方で近  
畿地方や中国地方で生産額が上昇している県が見られる  
等、現実とは異なる結果も出ている。これは東北地方や  
関東地方で減少した財の生産を補おうとする代替生産の  
結果であると見られるが、現実には生産額はプラスにな  
るまでには至っていない。

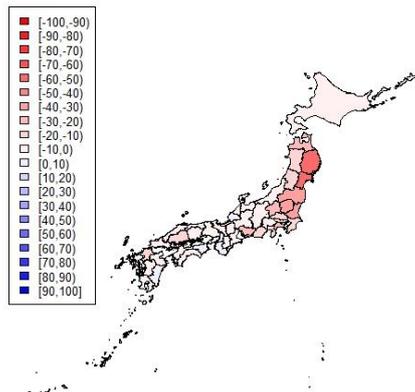


図-6 鉱工業生産指数の変化率（観察値）

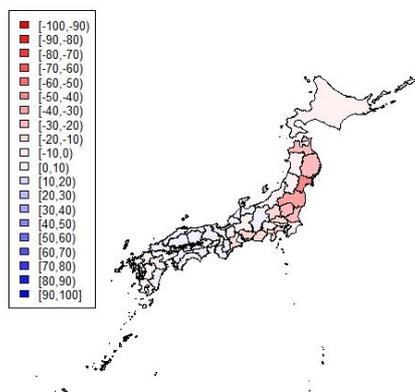


図-7 鉱工業生産指数の変化率（シミュレーション）

## 2. おわりに

本研究は、応用一般均衡モデルが災害の経済被害評価  
に有効か否か、また仮に有効であった場合、地域間応用  
一般均衡モデルにとって重要となる地域間取引の代替の  
弾力性の値について、東日本大震災の経済被害の再現を  
通して検討した。再現研究より非被災地域への経済被害  
の波及を過小評価ながらモデル上で再現したことと、そ  
の再現性から応用一般均衡モデルは災害の経済被害評価  
において有効であることが示されたと考える。また地域  
間取引の代替の弾力性の値に関して、中部地方等への経  
済被害の波及を再現するにあたり、自動車の代替の弾力  
性を極めて低い値に設定する必要があることが明らかと  
なった。現実に、全国にわたり展開される細分化された  
自動車生産のためのサプライチェーンを反映しているも  
のとする。今後は復旧過程の再現研究を通して、モデ  
ルの有効性及各種パラメータの推定研究を進める。

### 参考文献

- 1) 日経産業新聞、震災で生産活動停滞 - 7社が5～6割減 - , 2011年4月26日3面。
- 2) 中央防災会議 (2013b) 「首都直下地震の被害

想定項目及び手法の概要～経済的被害～」。

- 3) Hallegatte, S., (2010) The Economics of Natural Disasters Concepts and Methods, Policy Research Working Paper 5507, The World Bank.
- 4) Rose, A., (2004) Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation, Y. Okuyama and S.E. Chang (Eds), Modeling Spatial and Economic Impacts of Natural Hazards, pp.13-36, Springer, Heidelberg.