

応用一般均衡モデルを用いた 災害の経済影響評価に関する考察

山崎 雅人¹・清水 智²・小池 淳司³

¹ 正会員 応用地質株式会社 共創 Lab (〒101-8486 東京都千代田区神田美土代町7番地)
E-mail: yamazaki-masato@oyonet.oyo.co.jp (Corresponding Author)

² 正会員 応用地質株式会社 共創 Lab (〒101-8486 東京都千代田区神田美土代町7番地)
E-mail: shimizu-satoshi@oyonet.oyo.co.jp

³ 正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科 (〒657-0013 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

本研究では、応用一般均衡モデルによる災害の経済被害評価を行う際の、モデルへの被害の入力方法について考察する。特に地震動が資本ストックを量的に減少させる単純なモデルでは、東日本大震災の鉱工業生産指数の変動を説明する事が難しい場合がある。本研究では、モデルに資本ストックの量的減少に加えて、稼働率を明示的に組み込むことを提案する。稼働率をモデルに明示的に組み込むことにより、資本ストックに物的な被害が無くとも、その他の要因で生産量を低下させる生産者をモデル化できる。さらに資本ストックの稼働率をモデル化することにより、応用一般均衡モデルを用いた東日本大震災の経済影響の再現性がより高まる可能性があることを示す。

Key Words: Natural disasters, Economic loss, Computable General Equilibrium model

1. はじめに

災害の経済影響の予測手法にはバラエティがある¹⁾が、多様なモデルの妥当性を検討する上では、過去に起きた災害の経済被害の再現可能性が重要な拠り所となる。

応用一般均衡モデルも災害の経済影響予測で用いられることの多いモデルである。本研究では、47都道府県全国応用一般均衡モデルを利用して、東日本大震災の経済影響の再現を試みる。既往研究の中でも東日本大震災の経済影響を再現した研究は存在する²⁾が、再現しきれていない部分もあり依然研究課題として残されている。

本研究では特に自然災害のショックのモデルへの入力方法について考察を行う。具体的には、地震動等が資本ストックに与える影響を、資本ストックの量的減少(毀損)と稼働率の低下とを明示的に分け、それぞれを独立かつ整合的に設定できるようモデル化し、東日本大震災の経済影響の再現性を高めた。

2. 応用一般均衡モデルの概要

(1) 代表的家計の効用関数

以下ではモデルの代表的家計について説明する。地域の家計を総体として見た代表的家計は、効用最大化を目

的に各財の最終消費量を決定する。

モデルの代表的家計は多層CES型関数でモデル化されている(図-1)。最下段では「石油製品」や「電力・ガス」といったエネルギー財の消費水準がCES型関数で合成され、エネルギー合成財の消費水準となる。エネルギー財に分類されないその他の財は「飲食料品」等の非エネルギー財であるが、それらもCES型関数で合成され、非エネルギー合成財の消費水準となる。エネルギー合成

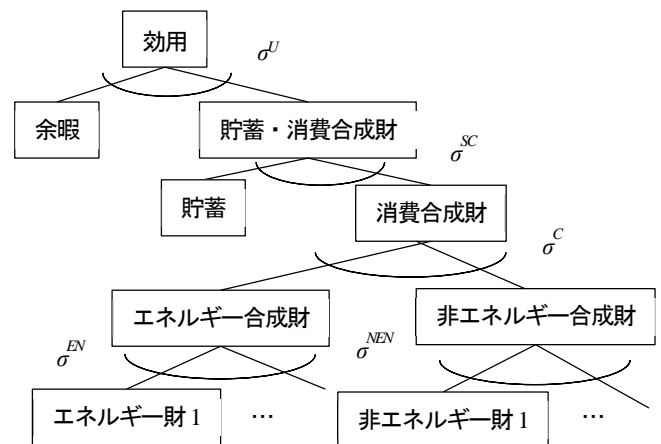


図-1 効用関数の構造

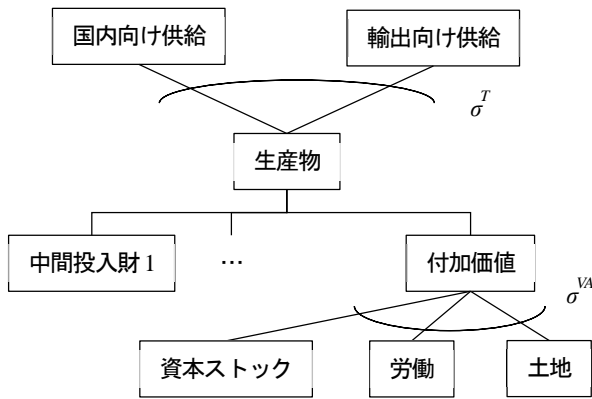


図-2 生産関数の構造

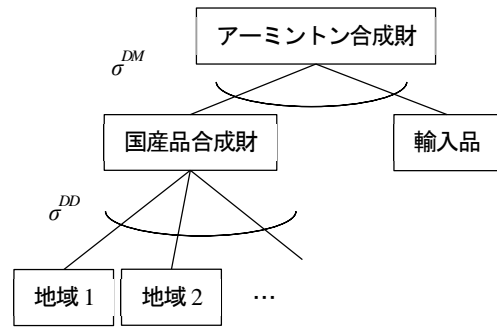


図-3 地域間交易の構造

財の消費水準と非エネルギー合成財の消費水準をCES型関数で合成することで消費合成財の消費水準となる。消費合成財の消費水準は代表的家計の消費水準を表している。合成消費財の消費水準と貯蓄水準がCobb-Douglas型関数で合成され、貯蓄・消費合成財の消費水準となる。貯蓄は本来、消費を減らし効用水準を下げるというのが自然であるが、以下の分析では効用水準を評価指標に用いないため、簡便化のため貯蓄を効用関数の構成要素とする。なおCobb-Douglas型関数で貯蓄水準と合成消費財を合成しているため名目所得に対する貯蓄率は一定となる。貯蓄・合成消費財は余暇とCES型関数によって合成され効用水準となる。

(2) 産業の生産関数

続いて産業の生産関数についてその概要を説明する。産業は利潤最大化を目的に中間投入財や生産要素を投入し、生産物を生産する。生産物は国内向けあるいは輸出向けに利潤を最大化するように配分される。

産業の生産関数は多層CES型関数によってモデル化している(図-2)。産業は資本ストック、労働、土地といった本源的生産要素を投入しCES型関数を介して付加価値を生産する。各産業の生産物は、各種の中間投入財と付加価値をレオンチェフ型関数で合成したものととしてモデル化している。生産物は国内向け供給分と輸出向け供給分にCET型関数を介して配分される。

(3) その他の経済主体

本研究のモデルでは、代表的家計と各種の産業以外に中央政府および地方政府、投資家が存在する。地方政府は毎期一定額を各種の財に対して支出しており、各財への支出額は基準均衡における地方政府の総支出額に一定割合を乗じた額となる。中央政府は財を購入することはなく、地域間の所得移転を担っている。投資家は家計の貯蓄を原資に各種の財に対して投資する主体である。各財に対する投資額は、代表的家計の貯蓄額に一定割合を乗じた額となる。

(4) アーミントン仮定に基づく地域間交易

本研究の地域間交易はアーミントン仮定に基づく。すなわち異なる地域から移入あるいは輸入される財は、同じ産業の財であっても質的にも異なるという仮定である。各地域からの移入量はCES型関数で合成され国産品合成財となる。国産品合成財は輸入品とCES型関数によって合成されアーミントン合成財が生産される。地域間交易の代替の弾力性である σ^{DD} は、後に説明する通り東日本大震災の経済影響を再現するようにカリブレーションされる(図-3)。

(5) 市場均衡

アーミントン合成財は各産業の中間投入財や代表的家計の最終消費財、地方政府の最終消費、投資家の投資対象として需要される。アーミントン合成財が取引される市場では伸縮的な価格調整により需要と供給は均衡する。労働市場では、賃金率の伸縮的な調整を通じて需要と供給が均衡する。資本ストックと土地は供給が固定的であるため需要が供給を下回る超過供給となる可能性がある。超過供給となった場合には価格はゼロとなる。

(6) モデルの動学構造

本研究の応用一般均衡モデルは逐次均衡型の動学モデルである。すなわち代表的家計は時間を通じた総効用の最大化には関心はなく、毎期の効用最大化のみに関心がある。なお本研究の応用一般均衡モデルでは1期を1カ月と設定している。

モデルの資本ストックの蓄積過程としてパティークレイ(Putty-Clay)アプローチを採用している。 t 期の資本ストック $EK_{j,r,t}$ は地域および産業特殊的であり、地域間および産業間を移動しない。式(1)で $NK_{j,r}$ は t 期において r 地域の第 j 産業に投資された新規資本であり、式(2)で示されている通り、各産業に配分される前の総投資額 $TNK_{r,t}$ がCET型関数によって配分されたものである。また式(1)において δ は既存資本ストックに新規資本 $NK_{j,r,t}$ を加えた資本ストックが1期間利用された際の減

耗率を示している。式(3)では、総投資額 $TNK_{r,t}$ が各産業の新規資本 $NK_{j,r,t}$ にCET関数を通じて配分されているが、配分の基準は資本ストックの収益率である。同じ地域内において資本ストックの収益率、すなわち資本ストックの限界生産性がより高い産業により多くの新規資本が配分されるメカニズムとなっている。

総投資額 $TNK_{r,t}$ は1期前の地域の貯蓄額 $SAV_{r,t-1}$ に係数 ξ をかけたものとして表現される。本研究のモデルでは貯蓄が全て投資に回ると仮定しない。モデルのパラメータは主に産業連関表によってカリブレートされるが、産業連関表上の投資を全て資本ストックの増分とした場合、地域の経済成長率が直近の傾向より大幅に高くなる。そのため現実の経済成長率を再現するよう ξ という調整係数を導入している。

$$EK_{j,r,t+1} = (1 - \delta)(EK_{j,r,t} + NK_{j,r,t}) \quad (1)$$

$$TNK_{r,t} = \left(\sum_j NK_{j,r,t} \frac{\sigma^{T+1}}{\sigma^T} \right)^{\frac{\sigma^T}{\sigma^{T+1}}} \quad (2)$$

$$TNK_{r,t} = \xi \cdot SAV_{r,t-1} \quad (3)$$

3. 東日本大震災の経済影響の再現と課題

(1) ハザード

東日本大震災の経済影響を再現するため地震動分布と津波浸水分布のデータを整備した。地震動のデータとして強震観測点と震度観測点で得られた観測波形を利用し推定した250mメッシュ別震度分布データ³⁾を用いた(図-4)。津波ハザード情報は、復興支援調査アーカイブのメッシュ別浸水深データ⁴⁾を利用した(図-5)。

(3) 曝露対象

地震動等の曝露の対象となる民間企業資本ストックのデータについては、「都道府県別経済財政モデル・データベース」⁵⁾に基づき作成した全国50mメッシュ別産業別民間企業資本ストックデータを利用している。

(3) 脆弱性

中野ほか⁶⁾は、2004年新潟県中越地震の被災地に所在した事業所を対象に実施したアンケート調査結果を利用し、特定の地震動について特定の被害モード以上となる確率を描く「機能的フラジリティ曲線」を構築した。これをベースとし梶谷ほか⁷⁾は地震動と生産能力の関係式を構築している。生産能力と資本ストックの残存量は決して同じ概念とは限らない。しかし資本ストックの残存量を計算する上での拠り所として、本研究では中野ほか

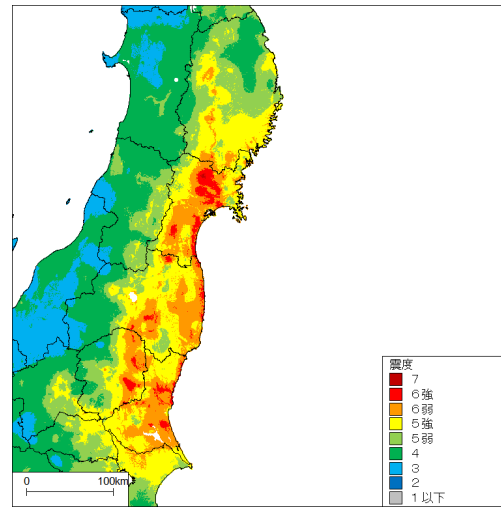


図-4 250mメッシュ別震度分布データ

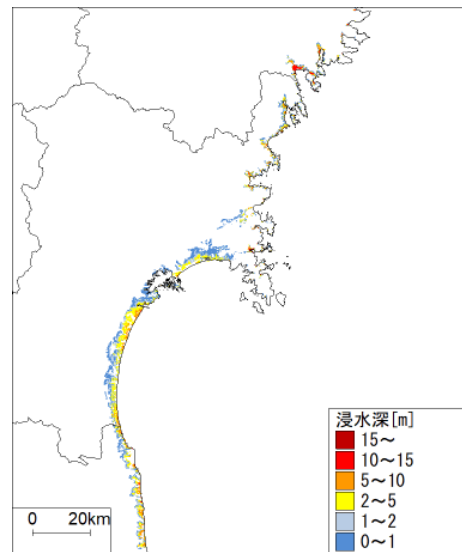


図-5 50mメッシュ別津波浸水深データ

⁸⁾および梶谷ほか⁷⁾の研究を参考とし、地震動と資本ストックの毀損率に関するフラジリティカーブを構築した。なお、資本ストックの残存量は、地震前の資本ストック量に1から資本ストックの毀損率を引いたものを掛け合わせて計算される。

電力および水道については能島ほか⁹⁾のフラジリティカーブを参考にしている。以上より地震動等のハザードデータと曝露対象となる民間資本ストックデータ、そして曝露対象の脆弱性を表すフラジリティカーブを得た。これらを用いてメッシュ毎の民間資本ストックの毀損額を推計した。これを集計し都道府県単位で産業毎の資本ストックの毀損率を求めた。

(4) シミュレーション方法

以上より求めた東日本大震災発生直後の都道府県別産業毎の資本ストックの残存率を応用一般均衡モデルに入力し一般均衡解を求めた。10期間の逐次計算を行い、

2011年3月から2011年12月までの鉱工業生産指数を計算した。これを同期間に観察された鉱工業生産指数（季節調整値）と比較をすることで、モデルによる東日本大震災の経済影響の再現可能性を評価した。

(5) 評価結果

図-6 から図-10 は応用一般均衡モデルによる鉱工業生産指数の予測値と観察値である。岩手県、宮城県、福島県、茨城県、愛知県について示している。観測地は実際の鉱工業生産指数（季節調整値）であるが、2011年2月が100となるよう調整している。愛知県はサプライチェーン寸断の影響が実際に顕著であったため取り上げた。

結果を見ると、被害が甚大であった岩手県および宮城県については概ね再現されているが、福島県と茨城県については観察値が予測値を超えている。観察値は3月に大きく落ち込み、4月以降比較的早期に回復しているが、予測値は緩やかにしか回復しない。これはモデル内において毀損した資本ストックが徐々に投資により復旧している過程を表している。しかし現実には福島県と茨城県については2011年5月の時点で80%以上の水準に戻っている。愛知県の産業に対しては直接に地震等のショックを入力していない。そのため愛知県の鉱工業生産指数はモデル内で生じる波及効果によって変動する。今回のシミュレーションでは現実の波及効果を表現しきれていない。

4. 再現研究の結果の解釈と課題

(1) 福島県および茨城県における予測のずれについて

既に見た通り、福島県と茨城県については地震発生直後の時点では一致するが、5月以降は観察値が予測値を大きく超えている。

1つの解釈は、両県における鉱工業生産の初期の落ち込みに、資本ストックの毀損に由来しない部分があったというものである。例えば強い地震動に曝された企業がまず行うことは従業員の安全確保や生産設備の点検等である。その間は資本ストックを稼働させることは無い。東日本大震災の際には従業員とその家族の安否確認、設備等の点検等に相当の時間がかかったと予想され、直ちに全面稼働させる事は難しかったと予想される。その間に生産は減少し鉱工業生産指数は落ち込むが、徐々に稼働させたとすれば実際の鉱工業生産指数の動きを説明できる可能性がある。

もう1つの解釈として、本モデルでは明示的に考慮できていない生産に関わる周辺インフラの損傷が挙げられる。生産に直接かかわる資本ストックは無事でも、周辺道路や港が損傷し、出荷できない場合には稼働率を下げざるを得ない。しかし周辺インフラの応急復旧がなされ

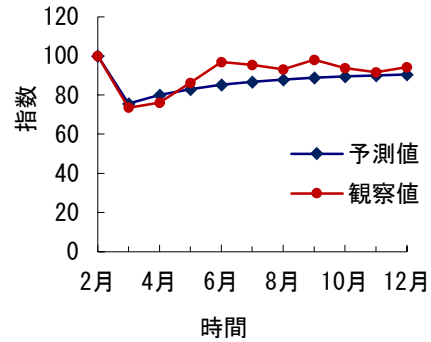


図-6 比較結果1 (岩手県)

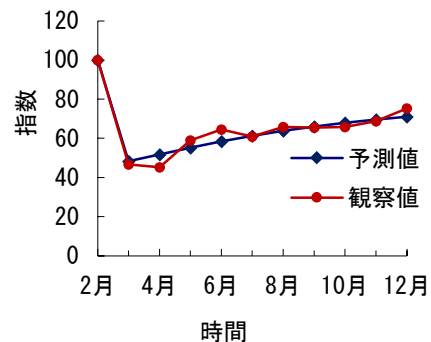


図-7 比較結果1 (宮城県)

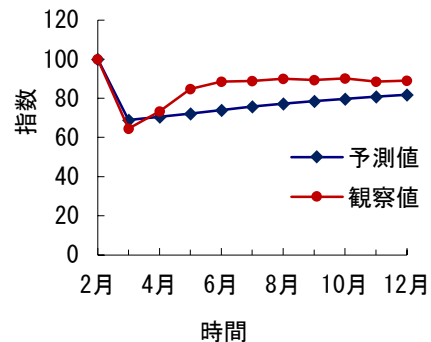


図-8 比較結果1 (福島県)

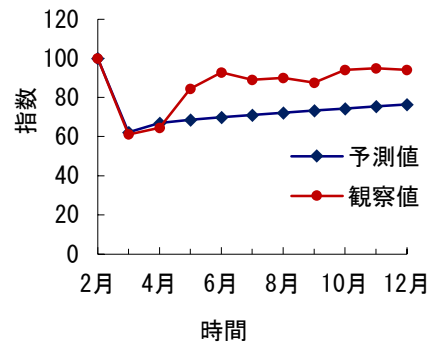


図-9 比較結果1 (茨城県)

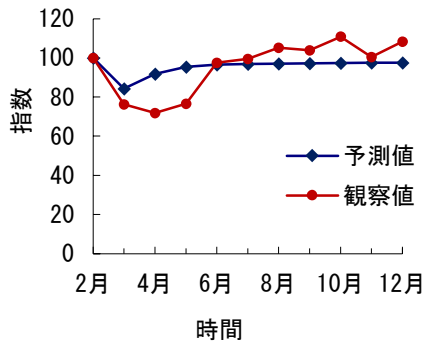


図-10 比較結果1 (愛知県)

ることで徐々に稼働率を上げていったとすれば、こちらにも実際の鉱工業生産指数の動きを説明できる可能性がある。

(2) 民間資本ストックの毀損額推計値のずれ

生産の落ち込みに資本ストックの毀損に由来しない部分が多分にあった可能性は別の側面からも示唆される。シミュレーションのために設定した資本ストックの毀損額を集計すると、日本政策投資銀行の推計値⁹⁾である約5.6兆円を大幅に上回り、約50兆円にも達する。このことはモデルにおいて資本ストックを過剰に毀損させていることを意味する。

そのためモデルにおいて、資本ストックの物的な毀損と、物的な毀損とは異なる稼働に対する制限を区別する必要がある。

5. 資本ストックの稼働率の考慮

(1) 稼働率の基本的な考え方

本研究では、資本ストックの「稼働率」を物的な毀損の残存率とは別に定義し、応用一般均衡モデルに組み込むことを提案する。

「稼働率」の上限は物的な資本ストックの残存率に規定される。すなわち外的ショックにより資本ストックの残存率が70%に減少した場合、稼働率は70%を超えることはできない。しかし資本ストックの残存率が100%であっても様々な理由で稼働率は100%以下になり得る。例えば地震後に行われる点検等が理由として挙げられる。本モデルでは明示的に考慮できていないが出荷用の港や周辺道路の損傷も稼働率低下の要因に入れることができる。これらの生産設備ではないインフラも復旧すれば直ちに稼働率を引き上げることができるからである。また物的毀損と違い、稼働率を制限する要因が無くなればただちに稼働率は100%となる。点検等で稼働率が低下していた場合には、設備に問題が無いと分かれば直ちに稼働できる。出荷用インフラが被害を受けていた場合には

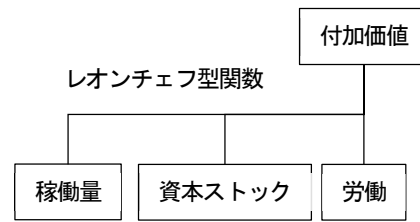


図-11 稼働率のモデル化のイメージ

当該インフラが復旧するあるいは代替的な出荷方法があれば直ちに稼働率を引き上げることができる。

(2) 稼働率のモデル化

「稼働率」をモデル化するにあたり「稼働水準」を(物的な)資本ストックや労働とともに生産過程に投入すると仮定した。これらはレオンチェフ型関数により合成され付加価値を生産する(図-11)。「稼働量」は平時では資本ストックの量を大きく超える量を家計が初期保有している。基準均衡や平時においては「稼働量」の供給量が需要量を大きく超えるため、過剰供給となり価格はゼロとなる。しかし災害時には家計が保有する「稼働量」が何らかの理由により資本ストックの物的な量より減少する。その場合には付加価値の生産量は資本ストックの稼働量あるいは、1から基準均衡時の投入稼働量の減少率を差し引いた稼働率に制限される。数値例として、資本ストックが物的に毀損し残存率が90%となった場合でも、他の理由により稼働率を70%と設定した場合には付加価値の生産量は70%となる。毀損率と稼働率の両方を同時に考慮できる事は分析上の利点である。

(3) 稼働率を設定した場合の再現シミュレーション

今回は仮定の値を用いて福島県と茨城県について再度シミュレーションを行った。福島県と茨城県の「化学製品」、「一般機械」、「電気機械」、「自動車」について、前回のシミュレーションでは資本ストックの残存率として設定した値を、稼働率の値とした。またこの稼働率の低下は3月だけでなく4月まで継続すると仮定した。他方で物的な資本ストックの残存率は100%と設定した。いずれもモデルの挙動を確認ための仮の値である。

シミュレーション結果は図-12 および図-14 の通りである。いずれも当初のシミュレーションの予測値に比べてより観測地に近い結果を得ることができた。

特に愛知県への波及効果が大きく変化した点も特徴的である。要因としては、福島県と茨城県の「化学製品」、「一般機械」、「電気機械」、「自動車」の復旧をモデル内で直ちに認めなかったことが挙げられる。愛知県については未だ過小評価となっているが、今後適切なショックの入力により再現できる可能性が示された。

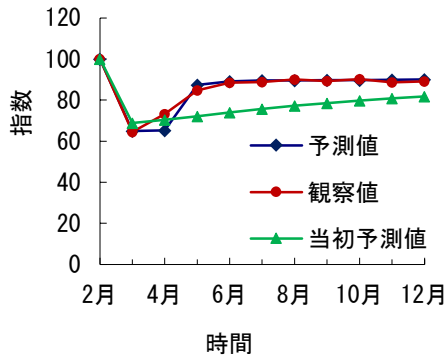


図-12 比較結果 2 (福島県)

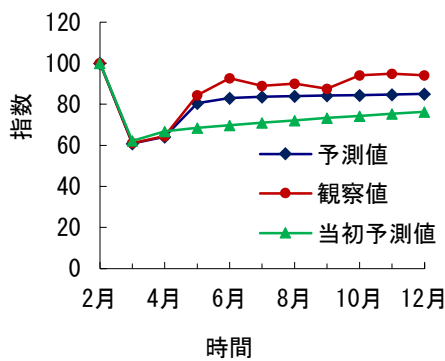


図-13 比較結果 2 (茨城県)

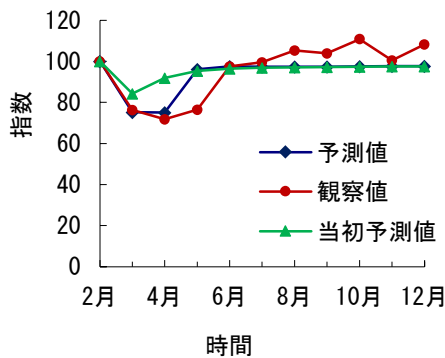


図-14 比較結果 2 (愛知県)

6. まとめ

本研究では、災害の経済被害評価に関して、応用一般均衡モデルへの被害の入力方法について考察を行った。特に災害のショックを、資本ストックの量的減少（毀損）としてのみモデル化することは現実を過度に単純化している可能性があることを、東日本大震災の経済影響の再現を通して示した。また本稿では、資本ストックの量的減少（毀損）に加えて稼働率を明示的に取り扱うことを提案した。稼働率を考慮することにより、本モデルでは明示的に取り扱っていない点検等による稼働停止や周辺インフラの損傷等による稼働率の低下を表現する事が可能となった。また被害の入力の方法の多様化により、東日本大震災の経済影響の再現性を高めることができる可能性が示された。課題は、資本ストックの量的減少（毀損）以外の、稼働率の低下要因をいかに特定し、定量化するかという事である。これについては過去の災害の事例を分析する必要がある。

参考文献

- 1) Okuyama, Y. and Rose, A. eds: Advances in Spatial and Economic Modeling of Disaster Impacts. Springer, 2019.
- 2) Yamazaki, M. Koike, A. and Sone, Y.: A heuristic approach to the estimation of key parameters for a monthly, recursive, dynamic CGE model. Econ. Disaster. Clim. Change 2, 283-301. 2018.
- 3) 応用アール・エム・エス株式会社：かこゆれ.com <https://kakoyure.oyorms.co.jp/top/> (最終閲覧日：2022年2月28日)
- 4) 関本義秀, 西澤明, 山田晴利, 柴崎亮介, 熊谷潤, 榎山武浩, 相良毅, 嘉山陽一, 大伴真吾：東日本大震災復興支援調査アーカイブ構築によるデータ流通促進, GIS-理論と応用, 第 21 巻, 第 2 号, pp.87-95, 2013.
- 5) 内閣府 (2021) : 都道府県別経済財政モデル資料 https://www5.cao.go.jp/keizai3/pref_model.html (最終閲覧日：2022年2月28日).
- 6) 中野一慶, 梶谷義雄, 多々納裕一：地震災害による産業部門の操業能力の低下を対象とした機能的フラジリティ曲線の推計, 土木学会論文集 A1, 第 69 巻, 第 1 号, pp.57-68, 2013.
- 7) 梶谷義雄, 多々納裕一, 吉村勇祐：大規模災害時における産業部門の生産能力の推計—東日本大震災を対象として, 自然災害科学, 31-4, pp.283-304, 2013.
- 8) 日本政策投資銀行：『東日本大震災資本ストック被害金額推計』について—エリア別（県別／内陸・沿岸別）に推計—, 2011.