

応用一般均衡モデルを用いた 大規模水害の経済被害推計

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、逐次均衡型動的応用一般均衡モデルの枠組みにおいて、自然災害からの経済復旧シミュレーションの課題を検討した。逐次均衡型動的応用一般均衡モデルの枠組みでは、資本ストックの稀少性に関わらず、所得に占める貯蓄額あるいは投資額が一定であるモデルが一般的である。しかし被災後に一刻も早く設備を復旧させ生産を再開させたい生産者を想定すれば必ずしも貯蓄率一定は必ずしも現実的ではない。そこで逐次均衡型動的応用一般均衡モデルの枠組みの範囲内で、民間資本ストックの稀少性に応じて民間資本ストックへの投資額が変化するモデルを構築した。また同モデルを用いて、大規模水害が発生した場合の被災地経済の復旧についてシミュレーション分析を行った。

Key Words: recursive dynamic computable general equilibrium model, large-scale flood disaster

1. はじめに

令和元年東日本台風の水害被害額は約 1 兆 8,600 億円と公表されている¹⁾。ただしこの被害額は住宅やインフラ等の建築物の被害額の積算であり直接被害額である。他方で経済被害額の分類には、災害が経済活動に与える影響を評価した間接被害額がある。間接被害額は GDP 損失等のフローの経済指標で災害の経済被害を評価したものである。人口減少やサプライチェーンの複雑化と広域化に伴い、被災地の経済復旧や直接に自然災害の影響を受けなかった地域への波及効果を分析する重要性が高まっており、間接被害額の推計の重要性も高まっている。しかし経済活動は自然災害以外の要因からも影響を受けるため、間接被害額の推計は容易ではない。そのため間接被害額の公的な推計事例は少ない。

学術研究では間接被害額の推計手法の研究について一定の蓄積がある。産業連関モデル、計量経済モデル、応用一般均衡モデルを応用したモデルが多い²⁾。本研究は、大規模水害の間接被害額を応用一般均衡モデルを用いて推計する研究である。特に復旧投資のモデル化手法について検討する。一般に、家計が時間を通じた効用最大化

を行う動的最適化モデルでは、所得に占める貯蓄額あるいは投資額は内生的であり、資本ストックが自然災害等の要因により毀損した場合には資本ストックの稀少性が高まり、消費は抑制され、貯蓄あるいは投資が増加するメカニズムがはたらく。しかし、動的最適化モデルでは、地域分類や産業分類を細かくした場合には計算が困難となる問題がある。逐次均衡型の動的応用一般均衡モデルでは、貯蓄率は外生的に与えられており、資本ストックの毀損に伴い内生的に消費額が抑制され、貯蓄額が増えるメカニズムは存在しないことが多い。しかし動的最適化を行わないため計算負荷が小さく、詳細な地域分類と産業分類のモデルでもシミュレーション可能である。

自然災害の経済被害を分析する上では、地震の強い揺れや豪雨による浸水は特定の地域で発生し、その地域に存在する特定の業種に影響を与える。そして被災地の産業特性がサプライチェーンを通じた他地域への影響を規定する。そのため自然災害の分析では詳細な地域分類と産業分類が欠かせない。他方で逐次均衡型のモデルでは、自然災害により民間資本ストックの稀少性が高まったとしても一般に所得に占める貯蓄率は一定と仮定される。

そこで本研究では、資本ストックへの需要の増加に応

じた可変的な新規資本ストックの供給メカニズムを組み込んだ逐次均衡型動的応用一般均衡モデルを構築した。その上で大規模水害からの復旧シミュレーションを実施した。シミュレーション結果を通して、逐次均衡型動的応用一般均衡モデルにおける資本ストックの蓄積に関するモデル化のあり方を検討する。

2. モデルの概要

(1) 効用関数の構造

地域の家計を総体として見た代表的家計は、毎期の効用最大化を目的に、所得制約の下で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非エネルギー財として、それらの消費水準も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思われることが自然であるが、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・消費合成財は余暇とCES型関数によって合成され効用水準となる。

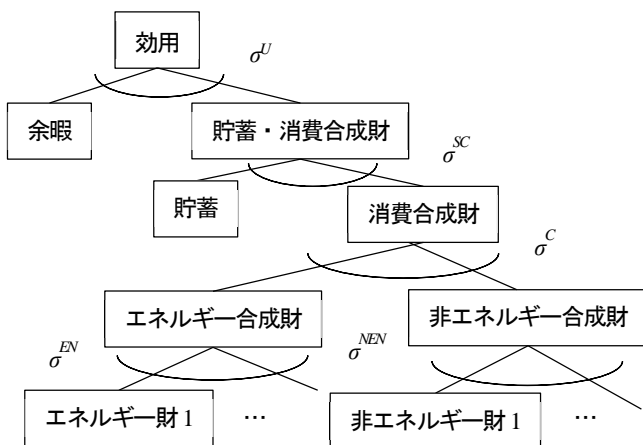


図-1 効用関数の構造

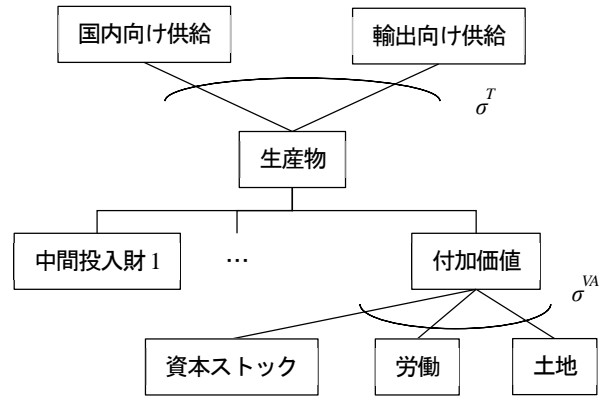


図-2 生産関数の構造

(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。産業は生産技術の制約の下で、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CET型関数を通して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仮定する。国内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となる。地域間交易の代替の弾力性である σ^{DD} は、東日本大震災の経済影響を再現

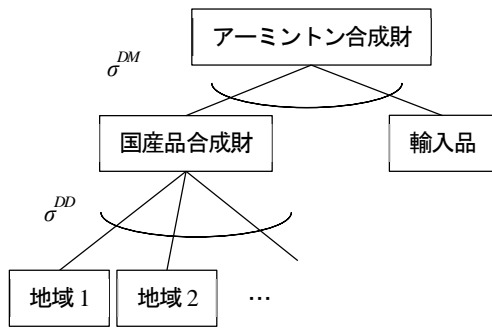


図-3 地域間交易の構造

するようにカリブレーションしている³⁾ (図-3)。

(5) 市場

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動的モデルである。すなわち代表的家計は時間を通じた総効用の最大化は行わず毎期の効用を最大化する。なお本研究のモデルでは1期の長さを1カ月間と設定している。

モデルの資本ストックの蓄積過程をモデル化するにあたりパティ-クレイ (Putty-Clay) アプローチを採用している。t期の時点で既に存在する既存資本ストック $EK_{j,r,t}$ 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 $NK_{j,r,t}$ はt期においてr地域の第j産業に追加される新規資本ストックの量であり，式(2)で示されている通り，各産業に配分される前の新規資本ストックの総量 $TNK_{r,t}$ 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ストック $NK_{j,r,t}$ 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表している。新規資本ストックの総量 $TNK_{r,t}$ が各産業の新規資本ストック $NK_{j,r,t}$ に CET 関数を通じて配分されているが，配分の基準は新規資本ストックからの収益最大化である。

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

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

(7) 貯蓄 - 民間資本ストック変換率の設定

a) 定数の場合

本研究では資本ストックの蓄積メカニズムに焦点を当てる。式(3)および式(4a)は，経済に追加される新規の民間資本ストックの総額を決める1つのモデルである。式(3)では，ある地域rにおける1期前の貯蓄額 $SAV_{r,t-1}$ は同期の地域の投資額 $INV_{r,t-1}$ に等しい事を意味している。そして式(4a)では，新規に追加される民間資本ストックの総額 $TNK_{r,t}$ は1期前の地域の投資額 $INV_{r,t-1}$ に定数 ξ をかけたものとして表現される。式(3)では定数 ξ の値は0.25と設定している。この値は平時の実質 GDP 成長率が概ね1%程度となる値として設定している。定数 ξ が意味する事は，ある地域の前期の投資額あるいは貯蓄額の2.5%が，当該地域の当期の民間資本ストックの追加額となることを意味している。この割合は平時でも災害からの復旧時でも変わらないと仮定する。2.5%という値は本研究における産業連関表の取り扱いに由来する。すなわち本研究のモデルにおける投資額は「民間公的資本形成」だけでなく「公的資本形成」や「在庫投資」等も含まれるためである。値はこれらの分類次第で変化し得るが，既述の通り平時の実質 GDP を再現する事で決めている。なお応用一般均衡モデルの構築に際して，経済産業研究所(RIETI)の「都道府県間産業連関表 2011」を利用した⁴⁾。

b) 可変係数の場合

可変係数の場合には，定数 ξ の代わりに新規資本ストックの稀少性を反映した変数を $INV_{r,t-1}$ に掛け合わせる。具体的には式(4b)で示される。 $TNK_{r,t}$ を決める上で前期の価格の情報をを用いていることが特徴である。 $PINV_{r,t-1}$ とはモデルにおけるt-1期の投資あるいは貯蓄の価格である。 $PINV_{r,t-1}$ はモデルでは投資目的で購入される財の合成価格を示しており，投資の費用を示している。 $RKN_{r,t-1}$ は $TNK_{r,t-1}$ の価格であり，新規資本ストックの稀少性の指標である。自然災害による既存資本ストックの減少は同期の新規資本ストックへの需要を高め $RKN_{r,t-1}$ を上昇させる。式(4b)が意味するところは投資の費用を示す $PINV_{r,t-1}$ に対して，資本ストックの稀少性を示す $RKN_{r,t-1}$ が相対的に上昇すれば，翌期の $TNK_{r,t}$ は増加するという事である。なお基準均衡解では可変係数の値は定数 ξ と同じ値である0.25となる。また γ_r と ϕ はパラメータであるが， ϕ は $PINV_{r,t-1}$ に対する $RKN_{r,t-1}$ の変化と $TNK_{r,t}$ の変化を規定する供給の価格弾性値である。

$$INV_{r,t-1} = SAV_{r,t-1} \quad (3)$$

$$TNK_{r,t} = \xi \cdot INV_{r,t-1} \quad (4a)$$

$$TNK_{r,t} = \left(\frac{\gamma_r RKN_{r,t-1}}{PINV_{r,t-1}} \right)^\phi INV_{r,t-1} \quad (4b)$$

3. シミュレーションシナリオ

(1) ハザードのシナリオ

本研究では、これまでに説明したモデルを用いて、「想定最大規模」の降雨があった場合における利根川の氾濫とこれに伴う浸水をハザードのシナリオとして用いる(図-4)。ただし本研究で用いる浸水深のデータは水害ハザードマップのデータであり、浸水エリアおよび浸水深は、複数の破堤箇所を想定した場合の最大包絡となっている。想定最大規模の降雨が実際に発生した場合でも以下で想定する浸水エリアおよび浸水深は現実には発生する可能性は極めて小さい事に注意が必要である。

(2) 地域・産業別での資本ストック毀損額の推計

浸水エリアおよび浸水深を想定した後に、当該エリアに存在する民間資本ストックの毀損率を推定する。まず当該エリアの民間資本ストック額と浸水深の情報を用意し、黒田ら⁵⁾の研究に準拠し被害率を定めた。民間資本ストックの被害額の地理的分布は図-5の通りである。ただし農林水産業については浸水したエリアは100%の損失率と想定している。上記の通りに推定された民間資本ストック毀損額を本研究の応用一般均衡モデルの地域分類および産業分類毎に集計することで応用一般均衡モデルにおける各地域及び各産業における資本ストック毀損率が計算できる。

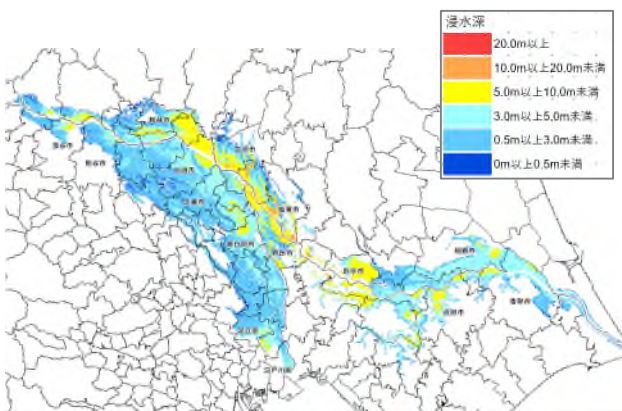


図-4 浸水ハザード

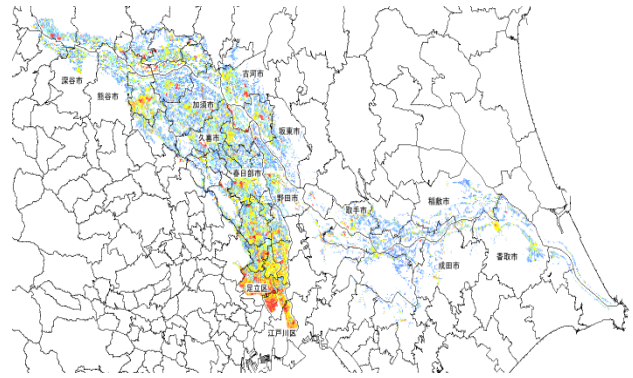


図-5 民間企業資本ストックの被害額

4. シミュレーション結果

以下ではシミュレーション結果を示す。シミュレーションは地域の投資額が新規資本ストックの総額に変換される係数が定数の場合と可変係数の場合とで行った。

図-6は広域にわたり浸水が想定される埼玉県の GRP 変化率である。横軸は時間を表しており 60 カ月 (t1-t60) 間の結果を示している。t1 は災害発生から最初の 1 カ月目の GRP 変化率である。いずれのケースも約 4.8% であるが、2 カ月目からは固定係数の場合と可変係数の場合とで結果が異なってくる。固定係数の場合は 5 年経過後も水害が無かった場合に比べて 3% を超える GRP 損失が残る。他方で可変係数モデルの場合は弾性値 ϕ が大きいほど 2 カ月目の GRP が大幅に回復している。これは発災月である t1 において $PINV_{r,t-1}$ が大幅に上昇したため新規資本ストックが t2 に大量に供給されたためである。表-1 は式(4a)あるいは式(4b)で $INV_{r,t-1}$ と $TNK_{r,t}$ の関係を規定する係数の t1 における値である。

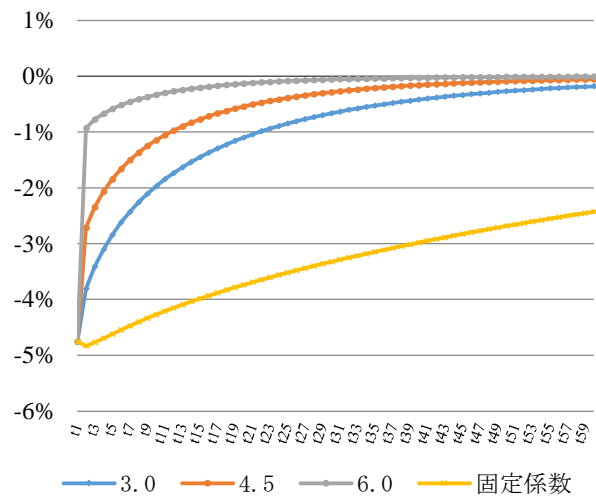


図-6 埼玉県 GRP 変化率

表-1 分析モデルと係数（発災月）

| 分析モデル | 係数 |
|-----------|-------|
| 固定係数 | 0.025 |
| 弾性値 (3.0) | 0.074 |
| 弾性値 (4.5) | 0.128 |
| 弾性値 (6.0) | 0.220 |

今回のシミュレーションでは可変係数の場合の弾性値 ϕ を 3.0, 4.5, 6.0 としてシミュレーションを行った。弾性値が 6.0 となると t_1 の投資額の 22% が t_2 の新規民間資本ストックの総額へ変換される。平時において 2.5% であったものが約 9 倍となる。図-6 で示した通り係数の値が最も低い 0.025 の場合と最も高くなる 0.220 では発災月の翌月の回復の度合いが大きく異なる。固定か可変か、可変の場合に弾性値 ϕ はいくつにするかはシミュレーション結果に大きな影響を与える。そのためモデルのあり方を決める際には十分慎重となる必要がある。

4. おわりに

本稿では逐次均衡型の動的応用一般均衡モデルを用いて自然災害の被災地の経済復旧をシミュレーションした。逐次均衡型応用一般均衡モデルは、所得額に対する貯蓄額の比率を一定とする場合が多い。ただし災害時には民間資本ストックの復旧投資への需要が高まると考えられ

る。そこで逐次均衡型応用一般均衡モデルの枠組みにおいて、新規の民間資本ストックの供給がその需要に対して可変的となるモデルを構築した。その上で仮想的な大規模水害のシミュレーションを実施し、被災地経済の復旧過程を分析した。分析から得られた結論は、本稿のモデルでは、被災地経済の復旧が、新規資本ストックの供給の価格弾性値に大きく依存するという事である。さらにこの価格弾性値は外生的に与えられるものであり、モデルそのものから決まる値ではない。逐次均衡型応用一般均衡モデルにおいて自然災害の経済分析をする場合には、本稿における固定係数モデルに分類されるモデルを使うにせよ、可変係数モデルに分類されるモデルを使うにせよ、十分に慎重な検討が必要である。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：令和元年東日本台風の発生した令和元年の水害被害額が統計開始以来最大に。プレスリリース，令和3年3月31日。
- 2) Okuyama, Y. and Rose, A. eds: *Advances in Spatial and Economic Modeling of Disaster Impacts*. Springer, 2019.
- 3) Yamazaki, M. Koike, A. and Sone, Y.: A heuristic approach to the estimation of key parameters for a monthly, recursive, dynamic CGE model. *Economics of Disasters and Climate Change*, 2, 283-301. 2018.
- 4) 新井園枝：2011 年都道府県間産業連関表の作成とその概要，RIETI Discussion Paper Series 22-J-003，2020.
- 5) 黒田望，梶谷義雄，多々納 裕一：浸水時における事業所資産の脆弱性曲線の推計：平成 30 年 7 月豪雨を対象として，土木学会論文集 B1（水工学），第 76 巻，第 1 号，pp.70-80，2020.

ESTIMATION OF ECONOMIC LOSS FROM LARGE SCALE FLOODING USING COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM MODELS

Masato Yamazaki, Satoshi Shimizu and Atsushi Koike

This study examines the issues in simulating economic recovery from natural disasters in the framework of a recursive dynamic computable general equilibrium model. In the framework of a recursive dynamic computable general equilibrium model, it is common to assume that the amount of savings or investment as a percentage of income is constant regardless of the scarcity of capital stock. However, a constant savings rate is not necessarily realistic for producers who want to restore their facilities and resume production as soon as possible after a disaster. Therefore, within the framework of a recursive dynamic computable general equilibrium model, we constructed a model in which the amount of investment in private capital stock varies with the scarcity of private capital stock. Using this model, we conducted a simulation analysis of the economic recovery of a disaster-stricken area in the event of a large-scale flood disaster.