

SCGE モデルを用いた 大規模洪水の経済被害推計

鎌谷 崇史¹・中尾 聡史²・片山 慎太郎³
東 徹⁴・戸田 祐嗣⁵・藤井 聡⁶

^{1,2} 学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂 4 C1-2-437)
E-mail: ¹ kamatani.t@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp ² nakao@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

^{3,4} 正会員 一般社団法人 システム科学研究所 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428)
E-mail: ³ katayama@issr-kyoto.or.jp ⁴ higashi@issr-kyoto.or.jp

⁵ 正会員 名古屋大学大学院 工学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町名古屋大学)
E-mail: ⁵ ytoda@cc.nagoya-u.ac.jp

⁶ 正会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂 4 C1-2-437)
E-mail: ⁶ fujii@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

我が国では、自然災害に見舞われるリスクが高く、自然現象がもたらす被害を如何に抑制するかが問われてきた。自然災害の中でも、南海トラフ巨大地震や首都直下型地震による被害については、近年、様々に予測されているが、その一方で、大規模洪水がもたらす被害、特に経済被害については、定量的な予測が十分になされていない状況である。そこで、本研究では、SCGE モデル（空間的応用一般均衡モデル）を用いた大規模洪水による経済被害の推計手法を考案し、東京・大阪・東海の3つの地域における洪水シナリオに基づいて経済被害の推計を行うことを目的とした。

Key Words: Large-scale flood, Resilience, Economic loss, SCGE model

1. はじめに

我が国では、自然災害に見舞われるリスクが高く、自然現象がもたらす被害を如何に抑制するかが問われてきた。自然災害は被災地内の深刻な人的・物的被害を引き起こすのみならず、国家や社会・経済の機能に致命的な障害をもたらす危険性があり、このような事態を防ぐべく、近年“Resilient＝強靱”な国土ならびに経済社会システムの実現が重要であるとされている。

この考えに基づき、日本政府は2013年に「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災に資する国土強靱化基本法」を成立させ、内閣官房に「国土強靱化推進室」を設置、国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）の基本目標として、いかなる災害が発生しようとも、①人命の保護が最大限図られること、②国家及び社会の重要な機能が致命的な障害を受けず維持されること、③国民の財産及び公共施設に係る被害の最小化、④迅速な復旧復興、を掲げている¹⁾。

この国土強靱化を推進していく上で重要となるのが、事業の妥当性や緊急性の判断であり、そのためには、自

然災害によってどれ程の被害が生じるのかといった定量的な予測が必要とされる。自然災害の中でも、特に、国難をもたらしかねない南海トラフ巨大地震や首都直下型地震による被害については、予測され、公表されている^{例えば2), 3)}。

また、近年、時間雨量が50mmを上回る豪雨が全国的に増加し、洪水が起こるリスクが高まっていることから、大規模洪水による経済被害についての被害予測もなされてきている。平成29年に取りまとめられた「浸水被害防止に向けた取組事例集」⁴⁾では、東京・名古屋・大阪の三大都市圏における洪水による被害予測が記述されており、浸水面積、浸水区域内人口、死者数、孤立者などの人的被害や、電力、ガス、鉄道といったインフラ・ライフラインの破断による被害についての想定がなされている。特に、名古屋については、治水経済調査マニュアル⁵⁾に基づき、洪水による被害額が約20兆円と予測されており、その内訳は、直接被害が約18.3兆円、間接被害が約0.9兆円となっている⁶⁾。

直接被害とは、経済が保有している社会資本、生産設備、住宅などの実物資産の被害すなわちストックの被害

のことであり⁷⁾、この名古屋における洪水の直接被害でも、一般資産被害、農作物被害、公共土木施設などの被害が計上されている。一方、間接被害とは、決まった概念が存在していないものの、基本的には災害に起因するフローの被害のことであり⁷⁾、この名古屋における洪水の間接被害には、事業所などの営業停止被害や応急対策費用が計上されている。しかし、交通途絶やライフライン破断、営業停止による空間的な波及被害については計上されておらず、十分なフローの被害、すなわち経済被害については検討されていないと言える。また、洪水の経済被害の予測を行った既往研究として、野崎⁸⁾や小林⁹⁾の研究が挙げられるが、対象地域をそれぞれ岐阜県大垣市、兵庫県佐用町に限定した研究となっており、空間的な波及被害は検討されていない。

そこで、本研究では、SCGEモデル（空間的応用一般均衡モデル）を用いて、東京・大阪・東海の3つのエリアにおける大規模洪水シナリオでのフロー被害、すなわち経済被害の推計を行うことを目的とする。

SCGEモデルは、地域間の相互依存関係をモデル化しているため、被害の発生地域への影響だけではなく、周辺地域や全国などへの空間的な被害も捉えることが可能となる。本研究では、各地域での営業停止、すなわち、浸水地域における事業所の生産の停止・停滞による波及被害について、上記の3つのエリアでの大規模洪水シナリオを想定し、分析をおこなう。

近年、時間雨量が50mmを上回る豪雨が全国的に増加し、洪水が起こるリスクが高まっていることを考慮すると、大規模洪水による経済被害についての定量的・客観的知見を供することは、今後実施すべき強靱化政策の妥当性や緊急性の判断に資するものと考えられる。

2. 経済被害の推計手法

本研究では、浸水世帯数、浸水面積といった洪水被害想定から推定される生産資本の被害状況をSCGEモデル（空間的応用一般均衡モデル）に入力することにより、大規模洪水による経済被害の推計を行うものである。そこで、(1)ではSCGEモデルについて、(2)ではモデルの前提条件について、(3)では生産資本の被害状況について説明する。

(1) SCGEモデル

本研究では、小池ら¹⁰⁾で構築されたSCGEモデルを用いて検討を行う。モデルの定式化については以下に示す通りである。

a) モデルの概略

本研究でのSCGEモデルでは、まず複数の空間に分割

された社会経済を想定し、それぞれの空間にはアクティビティベースの企業および代表的消費者が存在し、それぞれ費用最小化行動および効用最大化行動を想定する。市場に関しては、財、資本は全地域に開放されており、労働市場は地域内で閉じているものと仮定する。各市場においては、完全競争を仮定し、財の輸送に関しては、Ice-berg型輸送技術を想定する。モデルの概略は図-1に示す通りである。

なお、本モデルでは、以下のサフィックスで変数を表すものとする。

- ・地域を表すサフィックス：

$$I \in \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, o, \dots, I\}$$

- ・産業を表すサフィックス：

$$M \in \{1, 2, \dots, m, \dots, n, \dots, M\}$$

b) 企業の行動モデル

地域*i*に立地し、財*m*を生産する企業は、自地域と他地域で生産された中間投入財、本源的生産要素（労働・資本）により構成される生産要素を用いて、財を生産する。

各地域には、生産財ごとに1つの企業が存在することを想定し、地域*i*において財*m*を生産する企業の生産関数をLeontief型で仮定すると以下ようになる。

$$Y_i^m = \min. \left\{ \frac{v_i^m}{a_i^{0m}}, \frac{x_i^{1m}}{a_i^{1m}}, \dots, \frac{x_i^{nm}}{a_i^{nm}}, \dots, \frac{x_i^{Nm}}{a_i^{Nm}} \right\} \quad (1)$$

Y_i^m : 地域*i*の財*m*の生産量

v_i^m : 地域*i*の財*m*の付加価値

x_i^{nm} : 地域*i*産業*n*から*m*への中間投入財

a_i^{nm} : 地域*i*産業*n*から*m*への中間投入財の投入係数

a_i^{0m} : 地域*i*の財*m*の付加価値比率

次に、企業の付加価値に関する最適化問題は、付加価値1単位当たりの要素費用最小化行動として以下のように定式化する。ここで付加価値関数は、労働と資本について規模に関して収穫一定を仮定したコブ・ダグラス型を仮定する。

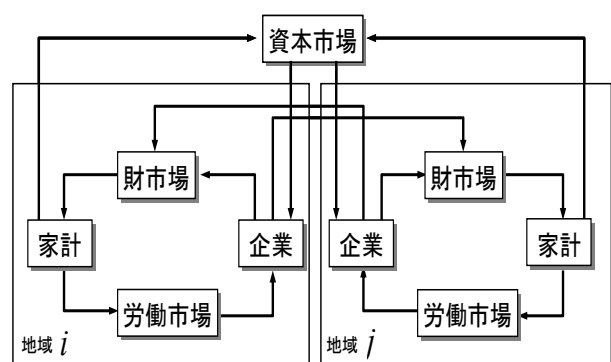


図-1 SCGEモデルの概略

$$\begin{aligned} & \min. w_i L_i^m + r_i K_i^m \\ \text{s.t. } & v_i^m = A_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \end{aligned} \quad (2)$$

- w_i : 地域*i*の労働賃金率
 r : 資本レント
 L_i^m : 地域*i*財*m*の労働投入量
 K_i^m : 地域*i*財*m*の資本投入量
 α_i^m : 地域*i*財*m*の生産要素（労働）の分配パラメータ
 A_i^m : 地域*i*財*m*の効率パラメータ（全要素生産性）

式 (2) の費用最小化問題をラグランジュ未定乗数法により解くと、生産要素需要関数（労働・資本）が求まる。また、付加価値関数が超過利潤ゼロの条件から、平均費用として求めることができる。

$$L_i^m = \frac{\alpha_i^m}{w_i} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (3)$$

$$K_i^m = \frac{1 - \alpha_i^m}{r} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (4)$$

$$cv_i^m = \frac{a_i^{0m} w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m (\alpha_i^m)^{\alpha_i^m} (1 - \alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} \quad (5)$$

cv_i^m : 地域*i*財*m*の単位生産当たりの付加価値

c) 世帯の行動モデル

各地域には代表的な世帯が存在し、自己の効用が最大になるように自地域と他地域からの財を消費すると仮定する。すなわち、世帯がどの地域からどれだけ財を消費するかを地域間交易モデル（Logit モデル）で表現する。

世帯の行動は、以下のような所得制約条件下での効用最大化問題として定式化する。

$$\begin{aligned} & \max. U_i(d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^M) = \sum_{m \in M} \beta^m \ln d_i^m \\ \text{s.t. } & \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} = \sum_{m \in M} p_i^m d_i^m \end{aligned} \quad (6)$$

- U_i : 地域*i*の効用関数
 d_i^m : 地域*i*財*m*の消費水準
 p_i^m : 地域*i*財*m*の消費者価格（C.I.F.PRICE）
 β^m : 財*m*の消費の分配パラメータ（ $\sum_{m \in M} \beta^m = 1$ ）
 \bar{l}_i : 地域*i*の1人当り労働投入量（ $\bar{l}_i = \sum_{m \in M} L_i^m / N_i$ ）
 \bar{K} : 地域全体における総資本保有量
 T : 地域全体における総人口（ $T = \sum_{i \in I} N_i$ ）

式 (6) の効用最適化問題をラグランジュ未定乗数法により解くと、消費財の需要関数を求めることができる。

$$d_i^m = \beta^m \frac{1}{p_i^m} \left(\bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (7)$$

d) 地域間交易モデル

Harker¹¹⁾に基づき、各地域の需要者は消費者価格（C.I.F.PRICE）が最小となるような生産地の組み合わせ

を購入先として選択する。地域 *j* に住む需要者が生産地 *i* を購入先として選択し、その誤差項がガンベル分布に従うと仮定すると、その選択確率は以下のようなロジット型の交易モデルで表現できる。なお、本モデルでは、最終需要量と中間投入需要量を分類し、各財の消費先選択確率を明示したモデルを想定するため、消費先選択確率を最終消費財と中間投入財の2パターンで定義する。ただし、実証分析においては、最終消費財と中間投入財の流動を分別することができないため、式 (8) で示す通り、同一の消費先選択確率を用いる。

$$FS_{ij}^m = IS_{ij}^m = \frac{Y_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} Y_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \psi_o^m t_{kj})]} \quad (8)$$

- FS_{ij}^m : 地域*j*が地域*i*から最終消費財*m*を購入する選択確率
 IS_{ij}^m : 地域*j*が地域*i*から中間投入財*m*を購入する選択確率
 Y_i^m : 地域*i*財*m*の生産量
 t_{ij} : 地域*i*から地域*j*への所要時間（交通抵抗）
 λ_o^m : 地域*o*のロジットモデルのパラメータ
 ψ_o^m : 地域*o*の価格に占める輸送比率

消費者価格（C.I.F.PRICE）は、生産者価格（F.O.B.PRICE）に交通抵抗を考慮することで、式 (9) のように表わすことができる。大規模災害時は、交通網の寸断による交通抵抗の増加が想定されるため、この交通抵抗の増加を政策変数とする既往研究¹²⁾もある。ただし、本研究では、洪水被害を想定するため、地震被害よりも被災エリアが局所的であり、本研究で想定するゾーニング（生活圏）間の所要時間への影響は比較的小さいこと、また浸水による交通寸断の復旧も比較的早いと想定し、交通抵抗の変化は考慮しないものとした。

$$p_j^m = \sum_{i \in I} FS_{ij}^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij}) \quad (9)$$

e) 市場均衡条件

本モデルでは、以下の市場均衡条件が成立する。需要（最終消費財）

$$Fz_{ij}^m = N_j d_j^m FS_{ij}^m \quad (10)$$

$$FY_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m) Fz_{ij}^m \quad (11)$$

Fz_{ij}^m : 財*m*の地域*i*から地域*j*の最終需要流動量

需要（中間投入財）

$$\begin{bmatrix} IX_i^1 \\ \vdots \\ IX_i^m \\ \vdots \\ IX_i^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_i^{11} & \dots & 0 - a_i^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 - a_i^{M1} & \dots & 1 - a_i^{MN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} FY_i^1 \\ \vdots \\ FY_i^m \\ \vdots \\ FY_i^M \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$IZ_{ij}^m = IX_j^m \times IS_{ij}^m \quad (13)$$

- IX_j^m : 地域 *j* 財*m*の中間投入需要量
 IZ_{ij}^m : 財*m*の地域*i*から地域 *j* の中間投入需要流動量

供給

$$Y_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m t_{ij}) Fz_{ij}^m + \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m t_{ij}) Iz_{ij}^m \quad (14)$$

本源的生産要素

$$\sum_{m \in M} L_i^m = \bar{L}_i \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} K_i^m = \bar{K} \quad (16)$$

生産者価格体系

$$q_j^n = a_j^{on} cv_j^n + \sum_{m \in M} a_j^{mn} \sum_{i \in I} Is_{ij}^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij}) \quad (17)$$

q_j^n : 地域 j 財 n の生産者価格 (F.O.B.PRICE)

(2) モデルの前提条件

a) 対象範囲とゾーニング

SCGE モデルの分析対象範囲については、明確な設定基準はないが、社会資本整備による影響が及ぶ範囲、即ち、現況での経済的取引が多いエリアを網羅的に設定することが望ましいと考えられる。本研究ではそれぞれの大規模洪水のシナリオにおいて浸水が想定される生活圏を対象とする。また、ゾーニングは、全国幹線旅客純流動調査で設定されている 207 生活圏とする。

b) 経済データ

これまで設定した前提条件を基に、SCGE モデルにインプットする経済データを作成する。SCGE モデルで通常使用される経済データは、地域間産業連関表であり、基準均衡状態が再現されたデータであるため、各パラメータ（中間投入財の投入係数・付加価値比率等）も地域間産業連関表より算出することが可能である。一方、本研究で想定する生活圏のように、都道府県レベルよりも小規模な地域レベルでの産業連関表は政府統計として整備されていないため、他の統計データ等を活用し、基準均衡データとする必要がある。

そこで、本研究では、都道府県民経済計算、都道府県単位の産業連関表や物流データを代用することで、生活圏レベルでの基準均衡データを作成した。具体的手順は、以下に示す通りである。

まず、付加価値額については、都道府県民経済計算の付加価値額を使用する。都道府県民経済計算は、各都道府県で整備されており、市町村単位での付加価値額を把握することが可能であることから、本研究では、都道府県民経済計算の地域別データを集約することで、各生活圏の付加価値額を作成した。ただし、公表されている都道府県民経済計算では、製造業を細分化したデータは公

表されていないため、公表値をコントロールトータルとし、工業統計調査を活用することで、表-1 で示す 16 分類でデータ按分した。

次に、地域の技術構造を示す投入係数 a_i^{mm} は、産業連関表より得られるパラメータであるため、産業連関表が整備されていない生活圏レベルで得ることはできない。そこで、本研究では、各都道府県で整備されている産業連関表を用い、同一の都道府県下の生活圏においては、共通の投入係数で代用することとした。この投入係数と式 (8) の地域間選択確率より、各生活圏の財別の中間投入需要量を式 (13) から得ることができる。同様に、消費の分配パラメータ β^m も、各都道府県で整備されている産業連関表の数値で代用し、最終需要項目の基準均衡データとした。

以上の算出方法およびデータ出典については、表-2 で示す通りである。なお、生活圏別の労働所得および資本所得については、整理した各生活圏の付加価値額を、都道府県別産業連関表の付加価値項目を構成する労働所得項目と資本所得項目のシェアで按分することで作成した。なお、労働所得項目と資本所得項目の分類については、明確に示されていないが、本研究では、小池ら¹³⁾で示された分類方法に従うものとした。

表-1 産業分類

| No. | 産業名 | No. | 産業名 |
|-----|-----------|-----|--------------|
| 1 | 農林水産業 | 9 | 鉄鋼・非鉄金属・金属製品 |
| 2 | 鉱業 | 10 | 一般機械 |
| 3 | 飲食料品 | 11 | 電気機械・情報・通信機器 |
| 4 | 繊維製品 | 12 | 輸送機械 |
| 5 | パルプ・紙・木製品 | 13 | その他の製造工業製品 |
| 6 | 化学製品 | 14 | 建設 |
| 7 | 石油・石炭製品 | 15 | 電力・ガス・水道 |
| 8 | 窯業・土石製品 | 16 | サービス |

表-2 インプットデータの概説

| 産業活動 関連データ | 算出方法および出典 |
|---------------|--|
| 付加価値額 | ・ H17 都道府県民経済計算 |
| 人口 | ・ H17 国勢調査 |
| 労働所得 | ・ 生活圏別付加価値額 × 労働シェア※ ※付加価値額のうち、家計外消費支出 + 雇 用者所得 + 間接税 + (控除) 経常補助金 |
| 資本所得 | ・ 生活圏別付加価値額 × 資本シェア※ ※付加価値額のうち、営業余剰 + 資本減耗 引当 |
| 中間投入係数 | ・ H17 産業連関表 (都道府県別) |
| 消費のシェア | ・ H17 産業連関表 (都道府県別) |

(3) 地域間交易モデルのパラメータ設定

式(8)で示したロジットモデルでは、未知パラメータが2つあることから、他のパラメータ推定時に使用したキャリブレーションで推定することはできない。そこで、本研究では、グリッドサーチによって交易モデルのパラメータを推定した。グリッドサーチは、推定値と実測値の誤差二乗和が最小となるようなパラメータの組合せを求める手法であり、例えば小池ら¹⁴⁾の研究において用いられている。本研究では、実測値に国土交通省総合政策局より公表されている全国貨物純流動調査(物流センサス)¹⁵⁾を活用し、地域ブロック別にパラメータ推定をおこなった。推定結果は、図-2、図-3に示す通りである。ただし、建設、電力・ガス・水道、サービスについては、地域間交易のデータが整備されていないことから、本研究では地域内交易のみとし、地域間交易はおこなわないものとした。

(4) 現況再現性

被災前の状況下での計算結果($GRP_{i(before)}$)と、作成した実測値(GRP)を使い、現況再現性の確認をおこなった。結果は、図-4に示す通りであり、産業別で見ただけでも、良好な結果が得られていると考えられる。

(5) 生産資本の被害状況

次に、SCGEモデルに入力する生産資本の被害状況の推定手法について述べる。

はじめに、東京・大阪・東海の3つの地域における洪水シナリオに基づく洪水被害想定(浸水世帯数)より、各生活圏の浸水比を式(18)により算出する(洪水シナリオについては後述する)。

$$R_i = K_{2i}/K_{1i} \quad (18)$$

R_i : 生活圏iの浸水比

K_{1i} : 生活圏iの総世帯数

K_{2i} : 生活圏iの浸水世帯数

ただし、東京の洪水シナリオについては世帯数のデータが得られなかったため、生活圏ごとの総面積と浸水面積によって浸水比を算出した。そして、この浸水比によって各生活圏の生産資本が毀損すると仮定した。

しかし、これらの生産資本が毀損しているのはあくまで初期時点でのことであり、そこから徐々に回復していく。その回復の度合いについては、大原ら¹⁶⁾が、インタビューを通して2015年9月の関東・東北豪雨災害に伴う鬼怒川堤防の決壊による茨城県常総市内の事業所の被災特性をインタビュー調査している。この調査では、鬼怒川東側にある被災事業所55社を対象として、事業所の災害状況や売上げの回復状況を尋ねており、その研究成果を踏まえて、洪水の発生から14ヶ月目に全回復すると想定した(55社の事業所の産業分類は、D(建設

業)、E(製造業)、F(電気・ガス・熱供給・水道業)、H(運輸業)、I(卸売業・小売業)、J(金融業)、K(不動産業・物品賃貸業)、L(専門・技術サービス業)、M(宿泊業・飲食サービス業)、N(生産関連サービス業)、R(サービス業)になっており、大原ら¹⁶⁾の調査で出されている回復曲線は、この55社の平均となっている)。

さらに、生産資本が回復したとしても、それが直ちに売上額については経済全体の回復につながるわけではない。実際、大原ら¹⁶⁾によれば、洪水発生から5ヶ月目に職場の環境はおおよそ50%回復したのに対し、売上額がその水準まで回復するのは13ヶ月を要した、となっている。そこで本研究の計算では、生産資本と売上額の被害の時間積分の比を補正係数として生産資本毀損に乗じることによって経済全体の被害を求めることとする。大原ら¹⁶⁾の研究では、売上額の回復曲線の50%以上の値について得られていなかったため、今回の分析では50%回復にかかった期間をもとに、図-5の三角形ABDと三角形ACDの面積比である $\alpha = 2.6$ を補正係数として採用している。以上を踏まえ、生産資本の毀損による経済被害は以下のように推計される。

まず、浸水後の事業所の稼働割合を式(19)により計算する。なお“平均稼働事業所割合”は前述した回復曲線の想定のもと、洪水発生14ヶ月目までの各月の稼働事業所割合(職場の環境が回復した事業所の割合)の平均値とした。式(19)で得られた生活圏別の生産資本毀損量を被災シナリオとし、毀損した生産資本量分をSCGEモデルのインプットデータである付加価値(労働所得・資本所得)の直接的な減少量と想定し、計算をおこなった。

$$M_{i(damaged)} = M_{i(before)} \times R_i \times (1 - PA) \quad (19)$$

$M_{i(damaged)}$: 生活圏iの生産資本毀損量

$M_{i(before)}$: 生活圏iの被災前生産資本量(域内総生産)

PA : 平均稼働事業所割合(0.5036199)

上記のシナリオに基づき、被災前後のGRPをSCGEモデルで計算し、その差分を経済被害額とする。SCGEモデルでは、財および生産要素の均衡状態を想定しているため、被災からある程度の期間が経過した安定状態を仮定している。この安定した状態は、災害の規模、種類、発生した地域によって異なるが、より被害が長期化する場合は人口移動等も含めた動学モデルにより検討され、生産要素市場も全地域で解放されていると想定される。一方、本研究では静学的なSCGEモデルを想定しており、生産要素市場のうち労働市場は地域内で閉じていると仮定していることから、数年単位の長期間に渡り顕在化する被害影響までは考慮されていない。そのため、SCGEモデルで算出されるGRPが概ね年単位であると想定し、また生産資本の毀損に基づいて行われていることから、

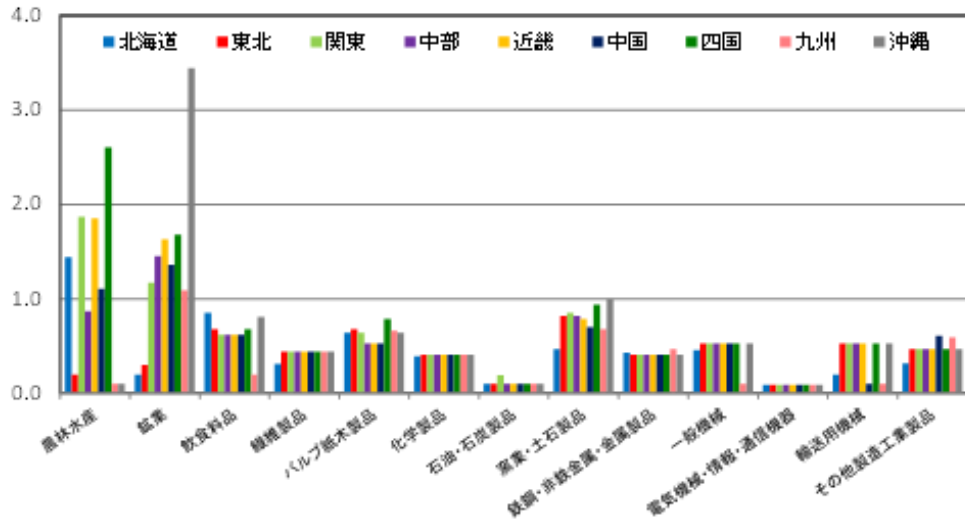


図2 地域間交易モデルのパラメータ (λ_0^m) 推定結果

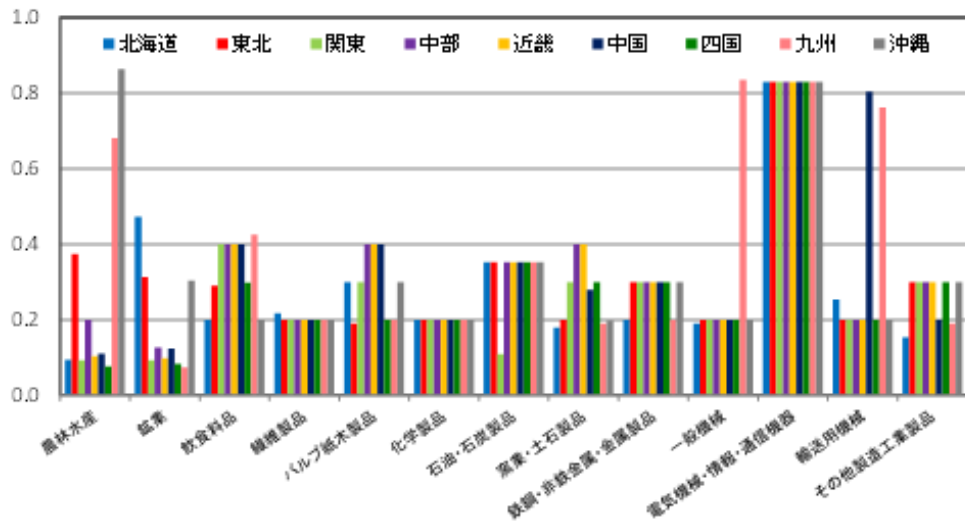


図3 地域間交易モデルのパラメータ (ψ_0^m) 推定結果

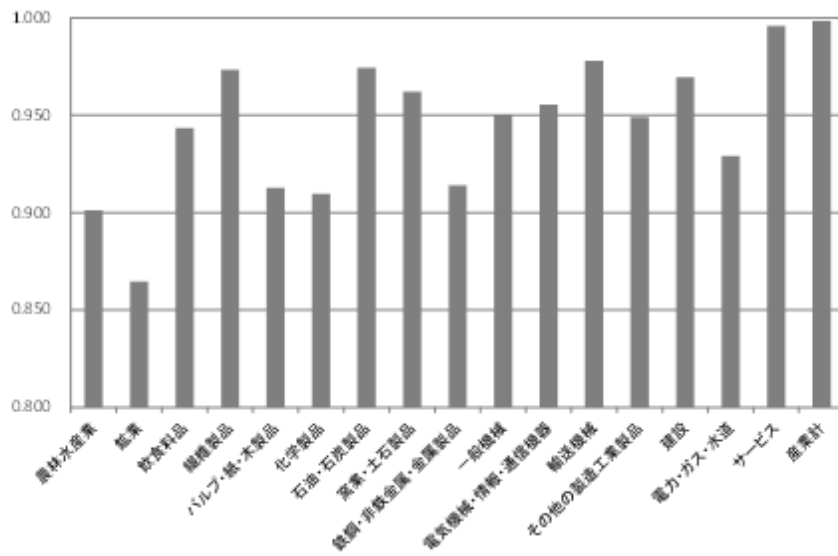


図4 現況再現性 (相関係数)

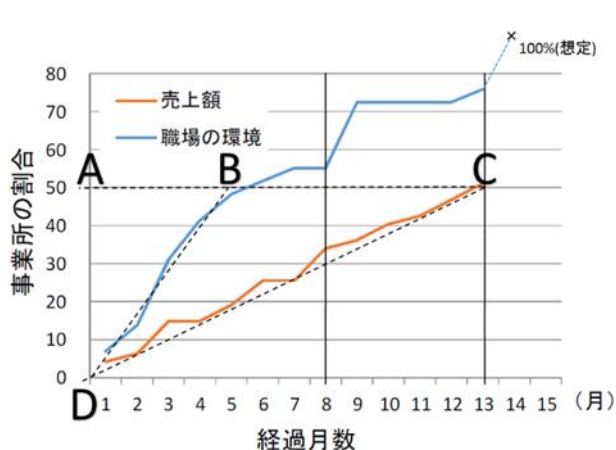


図-5 売上額及び職場環境の回復曲線
(大原ら¹⁶⁾より作成)

経済全体の回復にはさらに長期間を要すると考えられるため、大規模洪水による経済被害を式(20)により算出する。

なお、災害からの復興期間については、明確な定義が難しいため、災害の規模、種類、発生した地域によってどの程度異なるのか等、さらなる実態調査や研究の蓄積が必要である。また、災害からの復興には、もちろん、復興のための投資が必要であり、多々納・高木¹⁷⁾が指摘するように、復興のための投資額もまた経済被害として計上する必要がある。しかし、大原ら¹⁶⁾の研究では、先述したように、全回復するまでの回復曲線が得られておらず、途中の復興(回復)までの投資額について検討されていないため、本研究においても、復興のための投資額については、分析の対象外とした。

$$GRP_{(damaged)} = \left(GRP_{i(before)} - GRP_{i(after)} \right) \times \frac{14}{12} \times \alpha \quad (20)$$

- $GRP_{(damaged)}$: 大規模洪水による経済被害額
- $GRP_{i(after)}$: 生活圏*i*の被災後域内総生産
- $GRP_{i(before)}$: 生活圏*i*の被災前域内総生産
- α : 補正係数 (2.6)

3. 推定結果

本研究では内閣府中央防災会議ならびに国土交通省関東・中部・近畿地方整備局の想定する洪水シナリオのうち、とりわけ甚大な被害が想定される「荒川洪水(東京¹⁸⁾」「淀川洪水(大阪¹⁹⁾」「庄内川等洪水(東海⁶⁾」について経済被害の推計を行った。各シナリオの詳細を表-3に記す。また、これらの洪水シナリオに基づく、浸水世帯数、浸水面積といった洪水被害想定値については国土交通省水管理・国土保全局から提供いただいた。各シナリオの経済被害の推計結果を表-4に記す。

推計結果であるが、東京 21.0k シナリオ、大阪 9.2k シ

ナリオ、東海シナリオ、東海(対策あり)シナリオにおいて、洪水による経済被害(GDP 毀損)が、それぞれ 29.4 兆円、8.1 兆円、14.7 兆円、4.8 兆円生じることが推計された。

東京都心部が浸水する可能性があるとする東京 21.0k シナリオにおいて、今回の分析中最も大きな額となる経済被害が推計された。企業活動等の経済機能が過度に集中している首都圏においては、同規模の洪水による経済被害が他地域に比べ深刻化することが考えられる。

大阪 9.2k シナリオ、東海シナリオの被害についても、東京には及ばないものの甚大な経済被害であることが分かる。東海エリアにおいては、庄内川の氾濫による名古屋生活圏での被害が大きく、庄内川の堤防対策を施した場合(東海(対策あり)シナリオの場合)、経済被害は 14.7 兆円から 4.8 兆円の約 3 分の 1 に抑えられるという推計結果が得られた。

また、被災地域以外への空間的な被害状況を見ると、東京 21.0k シナリオでは、被災地域外では約 3.0 兆円(総被害額に対して 10%程度)であるのに対して、大阪 9.2k シナリオでは約 1.2 兆円(総被害額に対して約 14%)、東海シナリオでは約 2.5 兆円(総被害額に対して約 17%)となっており、被害の総額では東京 21.0k シナリオが最も大きくなっているが、他地域への影響度合いで見ると、東海シナリオが大きくなっていることが分かる。東海地域は、地理的にも東京と大阪の間に位置しており、トヨタをはじめとしたモノづくり産業が集積している地域であることから、企業の操業停止およびサプライチェーン寸断による影響が全国へ波及し、その被害影響が広範にわたることが本研究の結果から示唆される。

表-3 洪水シナリオ

| シナリオ | 詳細 | 被災生活圏 |
|-------------------------|---|-----------------------|
| 東京 21.0k ¹⁸⁾ | 荒川右岸 21.0km 地点にて堤防が決壊。 | 浦和・川越 23区 |
| 大阪 9.2k ¹⁹⁾ | 淀川左岸 9.2km 地点にて堤防が決壊。 | 大阪 |
| 東海 ⁶⁾ | 揖斐川右岸 27.2km 地点、長良川右岸 19.0km 地点、木曾川左岸 21.8km 地点、庄内川左岸 17.2km 地点にて堤防が決壊。 | 岐阜・大垣 名古屋・豊田 北勢 |
| 東海(対策あり) | 庄内川は堤防決壊せず、揖斐川、長良川、木曾川では上記「東海」のケースと同じ箇所が決壊。 | 岐阜・大垣 豊田・北勢 |

注) 全てのシナリオにおいて、想定最大規模の降雨による巨大洪水を想定外力としている。

表4 大規模洪水による経済被害推計結果（MおよびGRPの単位は“億円”）

| 東京 21.0k シナリオ | | | | | | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 被災エリア | K_1 (km ²) | K_2 (km ²) | R | $M_{(before)}$ | $M_{(damaged)}$ | $GRP_{(damaged)}$ |
| 浦和 | 1,199 | 47 | 0.03947467 | 115,369 | 2,261 | 15,843 |
| 川越 | 1,144 | 1 | 0.0012677 | 64,796 | 41 | 971 |
| 23区 | 618 | 49 | 0.07963571 | 808,944 | 31,977 | 247,507 |
| 被災地域以外 | - | - | 0 | 4,234,028 | 0 | 29,533 |
| | | | | | 合計 | 293,854 |

| 大阪 9.2k シナリオ | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 被災エリア | K_1 (戸) | K_2 (戸) | R | $M_{(before)}$ | $M_{(damaged)}$ | $GRP_{(damaged)}$ |
| 大阪 | 1,314,544 | 148,658 | 0.11308677 | 182,011 | 10,217 | 69,409 |
| 被災地域以外 | - | - | 0 | 5,041,126 | 0 | 11,505 |
| | | | | | 合計 | 80,914 |

| 東海 シナリオ | | | | | | |
|---------|-----------|-----------|------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 被災エリア | K_1 (戸) | K_2 (戸) | R | $M_{(before)}$ | $M_{(damaged)}$ | $GRP_{(damaged)}$ |
| 岐阜 | 349,177 | 68 | 0.00019474 | 34,652 | 3 | 409 |
| 大垣 | 128,884 | 7,198 | 0.05584867 | 14,254 | 395 | 2,740 |
| 名古屋 | 1,021,227 | 240,750 | 0.23574582 | 115,509 | 13,517 | 83,986 |
| 豊田 | 1,635,562 | 81,203 | 0.04964838 | 204,292 | 5,035 | 34,626 |
| 北勢 | 315,986 | 143 | 0.00045255 | 40,441 | 9 | 644 |
| 被災地域以外 | - | - | 0 | 4,813,989 | 0 | 24,822 |
| | | | | | 合計 | 147,226 |

| 東海（対策あり）シナリオ | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 被災エリア | K_1 (戸) | K_2 (戸) | R | $M_{(before)}$ | $M_{(damaged)}$ | $GRP_{(damaged)}$ |
| 岐阜 | 349,177 | 68 | 0.00019474 | 34,652 | 3 | 216 |
| 大垣 | 128,884 | 7,198 | 0.05584867 | 14,254 | 395 | 2,637 |
| 豊田 | 1,635,562 | 81,184 | 0.04963676 | 204,292 | 5,033 | 33,176 |
| 北勢 | 315,986 | 143 | 0.00045255 | 40,441 | 9 | 392 |
| 被災地域以外 | - | - | 0 | 4,929,498 | 0 | 11,852 |
| | | | | | 合計 | 48,274 |

4. まとめ

本研究では、SCGEモデル（空間的応用一般均衡モデル）を用いた大規模洪水による経済被害の推計手法を考案し、東京・大阪・東海の3つのエリアにおける洪水シナリオに基づいて経済被害の推計を行った。

その結果、東京都心部が浸水する可能性があるとする東京 21.0k シナリオにおいて、今回行った分析の中で、最も大きな額となる 29.4 兆円の経済被害が推計された。また、大阪 9.2k シナリオにおいて 8.1 兆円、東海シナリオにおいて 14.7 兆円の経済被害が生じるという推計結果が得られた。一方、被災地以外の他地域への被害状況を見ると、総被害に対する割合が東海シナリオで最も大きくなっており、サプライチェーン寸断等による広範囲での被害波及が懸念されることが明らかとなった。この

ような空間的影響の違いは、地域間の産業連関構造を表現した SCGE モデルを用いることで事前に把握することができ、既存の治水経済調査マニュアル⁵⁾に基づく評価手法では把握できない事項である。さらに、東海においては庄内川の氾濫による名古屋生活圏での被害が大きく、庄内川の堤防対策により、経済被害は 14.7 兆円から 4.8 兆円の約 3分の1に抑えられるという推計結果が得られ、その効果は非常に大きいことが本研究から確認することができた。

本研究で得られた推計結果は、洪水による経済被害、すなわちフローの被害が甚大なものであること、そして、洪水被害を防ぐための防災対策の必要性を示すものであると考えられる。近年、時間雨量が 50mm を上回る豪雨が全国的に増加し、洪水が起こるリスクが高まっていることを考慮すると、こうした分析は、今後実施すべき強

靱化政策の妥当性や喫緊性の判断に資するものであると考えられる。

なお、今後の課題については以下の通りである。まず、本研究では、2015年9月の関東・東北豪雨災害に伴う鬼怒川堤防の決壊による茨城県常総市内の事業所の被災特性に基づいた推計であるが、被災による影響は、災害の規模、種類、発生した地域によって異なると想定される。特に、長期にわたり被害が顕在化する災害を想定する場合、それに応じたモデルの改良、およびインプットとなる政策シナリオも検討する必要がある。そのためにも、各災害での被害の違いなど、さらなる実態調査や研究の蓄積が必要であると考えられる。また、本研究では、大原¹⁰⁾の研究に基づき、洪水被害の推計を行ったため、生産額の回復曲線が50%までしか得られておらず、より正確な分析を行うには、100%に至るまでの回復曲線を調査する必要がある。産業分類についても、本研究では、産業分類を行わずに55社の平均値から回復曲線を求めているが、産業ごとに回復曲線を導出することも今後の課題として挙げられる。他にも、本研究で推計した経済被害には、復興のための投資額について考慮しておらず、こうした点も今後は検討していく必要がある。

さらに、本研究では、東京・大阪・東海の3つの地域における洪水シナリオに基づいて経済被害の推計を行ったが、本研究で考案した経済被害の推計手法を用いて、他のエリアにおいても洪水による経済被害の予測を行っていく必要がある。

謝辞：洪水の被害想定に当たり、国土交通省水管理・国土保全局よりデータを提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土強靱化推進室: 国土強靱化とは?, 2014.
- 2) 内閣府 (防災担当): 南海トラフ巨大地震の被害想定 (第二次報告) のポイント～施設等の被害及び経済的な被害～, 2013.
- 3) 中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ: 首都直下地震の被害想定と対策について (最終報告), 2013.
- 4) 国土交通省: 浸水被害防止に向けた取組事例集～社会経済被害の最小化の実現に向けて, 2017.
<http://www.mlit.go.jp/river/bousai/shinsuihigai/index.html>
- 5) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル, 2005.
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/h1704/chisui.pdf
- 6) 東海ネーデルランド高潮・洪水地域対策協議会: TNT 大規模水害対策レポート 01 社会経済の壊滅的被害回避方策, 2017.
- 7) 永松伸吾・林敏彦: 間接被害概念を用いた復興政策評価指標の開発, 地域安全学会梗概集 No.13.pp.89-

- 90, 2003
- 8) 野崎道哉: 大垣市における仮想的洪水災害に関する経済被害の推計, 地域経済, 第35集, pp.33-38, 2017.
- 9) 小林健一郎・寶馨・奥勇一郎: 統合型降雨流出・洪水氾濫モデルによる佐用町洪水災害分析と経済被害推定, 土木学会論文集 B1, Vol.67, No.4, pp.949-954, 2011.
- 10) 小池淳司・佐藤啓輔・片山慎太郎: 中間投入構造を明示した小規模多地域応用一般均衡モデルの構築, 第53回土木計画学研究発表会・講演集, pp.1297-1302, 2016.
- 11) Harker, P. T. : Predicting Intercity Freight Flows, VNU Science Press BV, 1987.
- 12) 土屋哲・多々納裕一: SCGE モデルを用いた基幹交通網に関する地震リスクのパブリックマネジメント, 社会技術研究論文集, Vol.2, pp.228-237, 2004.
- 13) 小池淳司・上田孝行・伊藤克彦: 社会資本ストック整備効果計測に関する研究-応用一般均衡モデルと生産関数アプローチによる理論的・実証的比較-, 土木計画学研究・講演集, Vol.24, 2001.
- 14) 小池淳司・佐藤啓輔・川本信秀: 帰着便益分析による道路ネットワーク整備の公平性評価-RAEM-Lightモデルを用いたアプローチ-, 高速道路と自動車, Vol.51, No.12, pp.27-33, 2008.
- 15) 国土交通省: 全国貨物純流動調査, <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/butsuryu06100.html>
- 16) 大原美保・南雲直子・澤野久弥: 平成27年9月関東・東北豪雨による常総市内の事業所の被災特性に関する調査研究, 土木学会論文集 B1, Vol.74, No.4, pp.1159-1164, 2018.
- 17) 多々納裕一・高木朗義: 災害リスクマネジメント施策の経済評価, 『防災の経済分析 リスクマネジメントの施策と評価』第4章, 勁草書房, 2005.
- 18) 最大規模の洪水等に対応した防災・減災対策検討会: 「社会経済の壊滅的な被害の回避」に向けた取り組み～最大クラスの洪水・高潮による被害想定について～, 2017.
- 19) 大阪大規模都市水害対策検討会: 大阪大規模都市水害対策ガイドライン (中間とりまとめ, 第2版), 2017.

(2018.5.21 受付)

【付表】 SCGE モデルの各パラメータの推定式と推定方法

| パラメータ | | 推定式 | 推定方法 |
|---------------------|---------------|---|-----------|
| a_i^{nm} | 投入係数 | $a_i^{nm} = \frac{x_i^{nm}}{q_i^m Y_i^m}$ | キャリブレーション |
| a_i^{0m} | 付加価値比率 | $a_i^{0m} = \frac{w_i L_i^m + r K_i^m}{q_i^m Y_i^m}$ | キャリブレーション |
| α_i^m | 分配パラメータ | $\alpha_i^m = \frac{w_i L_i^m}{w_i L_i^m + r K_i^m}$ | キャリブレーション |
| A_i^m | 効率パラメータ | $A_i^m = \frac{w_i L_i^m + r K_i^m}{(L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m}}$ | キャリブレーション |
| β^m | 消費財の分配パラメータ | $\beta^m = \frac{p_i^m d_i^m}{\sum_{m \in M} p_i^m d_i^m}$ | キャリブレーション |
| λ^m, ψ^m | ロジットモデルのパラメータ | $\min. \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (s_{ij}^m - D_{ij}^m)^2$ D_{ij}^m : 実測値 | グリッドサーチ |

AN ESTIMATION OF ECONOMIC LOSS DUE TO INUNDATION CAUSED BY LARGE-SCALE FLOODS BY SCGE MODEL

Takeshi KAMATANI, Satoshi NAKAO, Shintaro KATAYAMA
Tohru HIGASHI, Yuji TODA, and Satoshi FUJII

Japan faces great risk of natural disasters and it is concerned that there will be other large-scale disasters which may cause fatal damage to important functions for maintaining administration as well as social and economic systems. In order to avoid such kind of situations, recently it is said to be important to make resilient national land. However, estimations of damage such as economic loss caused by large-scale floods have not been done yet, even though these are quite important to assess the validity of measures to promote National Resilience. Therefore, this study conducted estimations of economic loss due to inundation caused by large-scale floods in Tokyo, Osaka, and Tokai areas according to the expected floods scenarios by a spatial computable general equilibrium (SCGE) model. As a result of that, serious damage to the economy triggered by inundation in Tokyo, Osaka, and Tokai areas was estimated. The result suggests the great need of mitigation measures against large-scale floods.