

# CREI Working Paper

No. 16

July 2023

Dynamic Economic Effects of Floods for Climate Adaptation

(想定最大規模降雨と地域の異質性を考慮した  
水害の動学的な経済被害の推計)



## CREI Working Paper No.16

July 2023

### Dynamic Economic Effects of Floods for Climate Adaptation

(想定最大規模降雨と地域の異質性を考慮した水害の動学的な経済被害の推計)

**Hiroaki Shirai**, Deputy Director, River Planning Division, Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) & Project Researcher, Center for Real Estate Innovation, Graduate School of Economics, University of Tokyo

**Yoshinori Takeuchi**, Director, Flood Risk Management Lab., National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT

**Ryuichiro Hashimoto**, Economist, Bank of Japan

**Daisuke Hasegawa**, Project Asst. Prof., Center for Real Estate Innovation, Graduate School of Engineering, University of Tokyo

**Kohei Matsumura**, Director, Bank of Japan

**白井 宏明** 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課課長補佐 & 東京大学大学院経済学研究科特任研究員 (連携研究機構不動産イノベーション研究センター)

**武内 慶了** 国土交通省国土技術政策総合研究所水害研究室長

**橋本 龍一郎** 日本銀行

**長谷川 大輔** 東京大学大学院工学系研究科特任助教 (連携研究機構不動産イノベーション研究センター)

**松村 浩平** 日本銀行企画役

#### ■ Abstract

This paper extends the Dynamic Stochastic General Equilibrium model proposed by Hashimoto and Sudo (2022) by explicitly incorporating the damage to public infrastructure for the following two analyses. First, we analyze the economic effects of the Arakawa River caused by the worst catastrophic flood based on currently available scientific knowledge. We show that while the direct asset damage is estimated to be 23 trillion JPY, the indirect damage is estimated to be 11 trillion JPY. Second, we analyze regional patterns and examine how the damage composition between public and private capital stock affects economic damages. We show that (i) the more significant the loss of private capital stock in a region, the larger the GDP depressions, and (ii) protecting private capital stock and promptly restoring public infrastructure facilities are crucial to reducing economic damages.

#### ■ 概要

本稿は、Hashimoto and Sudo (2022) で提案された水害の特性を考慮可能な動学的確率的一般均衡モデルを拡張し、公的資本ストックへの被害を明示的に勘案できるようにした上で、2つの分析を行った。第1に、気候変動により重要性が増している、想定し得る最大規模の降雨による荒川における被害を定量的に分析した。この結果、直接的な資本被害 23 兆円に対して、間接被害は 11 兆円程度と推計された。第2に、地域ごとの被害形態を分析するとともに、公的資本ストックと民間資本ストックの被害構成の異質性がどのように GDP へ影響するかを検証した。民間資本ストックの棄損が大きい地域ほど GDP の押し下げ幅が大きく、経済被害を低減させるために民間資本ストックを防御し迅速なインフラ施設の復旧が重要であることを定量的に示した。

# 想定最大規模降雨と地域の異質性を考慮した 水害の動学的な経済被害の推計\*

白井宏明<sup>1</sup>、武内慶了<sup>2</sup>、橋本龍一郎<sup>3</sup>、長谷川大輔<sup>4</sup>、松村浩平<sup>5</sup>

2023年7月

## 【要旨】

本稿は、Hashimoto and Sudo (2022) で提案された水害の特性を考慮可能な動学的確率的一般均衡モデルを拡張し、公的資本ストックへの被害を明示的に勘案できるようにした上で、2つの分析を行った。第1に、気候変動により重要性が増している、想定し得る最大規模の降雨による荒川における被害を定量的に分析した。この結果、直接的な資本被害 23 兆円に対して、間接被害は 11 兆円程度と推計された。第2に、地域ごとの被害形態を分析するとともに、公的資本ストックと民間資本ストックの被害構成の異質性がどのように GDP へ影響するかを検証した。民間資本ストックの棄損が大きい地域ほど GDP の押し下げ幅が大きく、経済被害を低減させるために民間資本ストックを防御し迅速なインフラ施設の復旧が重要であることを定量的に示した。

キーワード：気候変動、物理的リスク、洪水リスク、適応策、DSGE

JEL: D50, Q54

## 1 はじめに

近年、日本各地のみならず世界各地で極端な降雨による被害が発生している。今後、気候変動による降雨強度の更なる増加と頻度増加が予測されており、これに伴う河川洪水の激甚化・頻発化が想定されている。また、気候変動への関心が世界的に高まる

---

\* 本稿の作成に当たっては、浅見泰司氏・林正義氏・平形尚久氏から有益なコメントを頂いた。プロジェクトの初期段階では、西崎健司氏・須藤直氏からの助言を得た。これに記して感謝したい。ただし、本稿に示されている意見は、筆者達個人に属し、所属組織の見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者達個人に属する。

<sup>1</sup> 国土交通省 水管理・国土保全局 & 東京大学 不動産イノベーション研究センター

<sup>2</sup> 国土交通省 国土技術政策総合研究所

<sup>3</sup> 日本銀行

<sup>4</sup> 東京大学 不動産イノベーション研究センター

<sup>5</sup> 日本銀行

下で、こうした自然災害が経済・金融に及ぼす影響を定量的に評価することの政策的な重要性も高まってきている。

こうした気候変動への適応策を検討するため、日本では、施策立案の一過程として施設整備の経済的な効果を計測する事業評価や、洪水が経済社会に及ぼす影響を把握するための水害リスク評価を実施している。しかしながら、これらの評価手法には以下のような課題が存在する。第1に、現状の手法は、データや知見が不足していることから、資産が直接的に被害を受け瞬時に回復するという仮定を基に定量的な評価を行っている。このため、通常の世界経済活動に戻るまでの時間軸の影響を見込まず評価せざるを得ない。第2に、こうした水害は、一度発生すると地域経済に影響を及ぼすことが想定されるが、その影響は、地域の民間企業の集積度合や道路等の公共インフラの集積度合によって異なる。こうした地域経済の異質性を踏まえた分析は、治水施設の投資効果を把握する上で重要である。加えて、金融安定の文脈では、一つの流域に経営基盤が集中する地域金融機関の災害への耐性を点検するという観点から、地域レベルの分析は重要である。第3に、近年議論されている想定し得る最大規模の降雨（以下「想定最大規模降雨」）による洪水が社会経済全体にどのような影響を与えるかの分析は十分に行われていない。

以上を踏まえ、本稿では、水害が経済へ与える影響を動的に把握できる DSGE モデルを用いた Hashimoto and Sudo (2022) の手法を基に分析を行う。Hashimoto and Sudo (2022) で提案されたモデルで想定されている波及経路は以下の通りである。まず、水害の発生は、生産要素の1つである民間資本ストックを棄損し、企業の生産を減少させる。次に、こうした生産の減少は、企業部門・金融仲介部門のバランスシートの経済的価値を棄損する。第3に、バランスシートの価値棄損は、円滑な金融仲介活動を妨げ、企業は更なる生産活動の阻害に直面する。こうした経路に加え、資本や労働といった生産要素以外を通じた経路（全要素生産性）でも、GDP を押し下げることが想定している。こうした Hashimoto and Sudo (2022) において提案された手法を拡張し、本稿は、想定最大規模降雨や地域経済の異質性を考慮した分析を行うことに特徴がある。具体的には、想定最大規模降雨については、令和2年に公表された荒川における水害リスク評価における数値を基に経済への影響を検証する。また、地域経済の異質性を考慮については、Hashimoto and Sudo (2022) で提案されたモデルを公的資本ストックの棄損を明示的に考慮できるよう拡張し、公的資本ストック等の被害率が地域ごとに異なることを用いて分析を実施する。

結果は以下のとおりである。まず、荒川における想定最大規模降雨については、現況の治水施設条件を基に北区志茂で破堤した場合、民間資本9兆円と公的資本14兆円の併せて23兆円の直接被害が出ることが推計された。この被害によって資本ストックが棄損することで生産活動が下押しされ、11兆円程度の付加価値が失われる。また、現在実施している令和27年までに実施する予定である河川整備を実施すると、2

兆円の直接被害が軽減されると推測されているが、これにより間接被害は1兆円軽減され、併せて3兆円程度の経済被害軽減効果が見込まれると推計された<sup>6</sup>。

次に、地方ごとの分析では、3大都市圏における直接被害が大きく間接被害も大きいことがわかった。例えば、利根川・江戸川において計画規模の降雨に対する直接被害は民間資本12兆円と公的資本4兆円併せて16兆円であるが、ショック発生後10年間のGDPの累計損失は12兆円を超える結果となった。これらの地域においては、民間資本ストックが集中していることに特徴があり、生産要素の棄損のみならず銀行の貸出量が減少することによる波及経路も影響するため、民間資本ストックの棄損が大きい地域ほどGDPの押し下げ幅が大きくなる傾向があると考えられる。

最後に、公的資本ストックと民間資本ストックの被害構成の異質性がどのようにGDPへの影響するかについて3つのシミュレーションを実施した。まず、被害額を固定し、民間資本ストックと公的資本ストックに様々な比率を用いて被害額の按分(例:公共0.9、民間0.1)を行い、それらのGDPへの影響を分析した結果、民間資本への被害が大きいほど被害は大きく長引くことがわかった。次に、民間資本ストックへの被害額を固定したうえで、公共資本ストックへの被害額を増加させると、被害発生直後はGDPへの負の影響が大きくなるものの、比較的短時間でこの影響は剥落する。後に、公的資本ストックの復旧の遅れが発生した場合、被害は大きく長引く。これらの結果は、経済被害を低減させるために民間資本ストックを防御し、迅速なインフラ施設の復旧が重要であることを示唆している。

本稿は、気候変動の物理的リスク、特に水害の被害分析に関する新しい知見を提供する。水害を外生的なショックとして経済分析を行う文献は多数存在する。例えば、Deryugina et al. (2018) は、税務データを活用しハリケーン・カトリーナの長期の経済的な影響を分析している。Ashizawa, Sudo, and Yamamoto (2022) は、日本の都道府県レベルのデータを用いて、水害の発生が経済活動を阻害することを実証的に示している。こうした文献は、過去の水害イベントを基にした因果分析を実施している。一方、構造モデルを用いた分析も進んでいる。例えば、Bakkensen and Barrage (2022) は、水害リスク認知と住宅価格形成の関係を分析している<sup>7</sup>。Fried (2022) は、異質的な家計を考慮したマクロ経済モデルを用い、米国における気候変動適応策の効果を検証している。こうした文献に対して、本稿は、DSGEモデルを基に、現時点で利用可能なカタストロフィックな被害シミュレーションを実施するほか、地域の異質性を考慮できる枠組みを提案しシミュレーション結果を提供する。

第2に、気候変動と金融機関のストレステストに関する文献にも一定の知見を与え

<sup>6</sup> 方針規模洪水に対する整備計画河道の被害軽減額は、直接被害13兆円に対し、間接被害は6兆円と試算された。

<sup>7</sup> 不動産取引と洪水リスクについては、多くの学術的な蓄積がある(例えば、Gourevitch (2023))。

る。Brainard (2021) は、気候変動に関する移行リスクや物理的リスクが金融機関に与える影響について概説しており、過去の実績データに基づかない分析が求められていることや地域や産業ごとに影響が異なることを考慮する重要性を述べている。Dunz et al. (2021) は、物理的リスクに関する地域別の高粒度データと貸出データを結びつけることで、温暖化が進行し災害が増加した場合に発生する金融機関ごとの信用コストをシミュレーションしている。本稿では、こうした課題に対して、想定最大外力と地域の異質性を考慮した分析結果を提供する。Dunz et al. (2021) は民間ベンダーが提供するスコアを用いて物理的リスクを定量化しているのに対し、日本の河川ごとにその特徴を映じた被害の想定を用いていることは、本稿の特徴である。

最後に、本稿は、自然災害の間接被害の定量的な分析に関する文献に対しても新たな知見を加える。Carvalho et al. (2021) は、東日本大震災のサプライチェーンへの影響について検証している。Arrighi et al. (2021) は、洪水によって水道と道路が寸断することによる間接的な影響を分析している。Arosio et al. (2020) は、グラフ理論の手法を用いて洪水の間接被害を評価している。Hallegatte (2015) は、自然災害の間接被害に関する経済学における文献をレビューしている。こうした文献の中で、本稿は時間軸を考慮できるマクロ経済学の手法を基に地域の被害の異質性を考慮している点や、金融摩擦を波及経路として取り込んでいることに特徴がある。

本論文は以下のとおり構成される。2節においては、分析に用いる水害リスク評価の概念と施策背景について解説する。3節においては、試算に用いる荒川の想定最大規模降雨データ及び地域の異質性を考慮するデータを説明する。4節においては、定量分析に用いるモデルについて、Hashimoto and Sudo (2022) からの拡張部分に関する説明を行う。5節では、分析結果を示す。6節は、まとめと今後の課題を述べる。

## 2 背景

本節では、本稿で取扱う経済分析に関連する水害リスク評価施策である、(1) 復旧過程を考慮した水害被害（間接被害）の推計、(2) 地域の異質性の考慮、及び (3) 想定最大規模降雨を用いた施策立案に関する背景知識を説明する。

### 2.1 間接被害の推計<sup>8</sup>

本稿では、水害のショックがどのように地域経済活動への影響を与えるかを時間軸（例：水害から通常の世界経済活動に戻るまでの復旧過程）を考慮し分析を実施する。「治水経済調査マニュアル（案）」（以下、マニュアル）に記載されている現在の治水

---

<sup>8</sup> 治水経済調査手法の歴史については、末次（1998）を参照。

事業の経済評価の手法では、こうした時間軸は考慮されていない。水害から通常の社会経済活動に戻るために要する時間は、水害によって生じる直接的資産被害額は同じであっても被災地域の雇用状況や産業構成が影響するため、大きく異なってくる。こうした課題を解決するためには、被災地域における個人所得や企業活動に関する被害額の関係のデータを収集する必要があるが、現状では十分なデータベースは構築されていない<sup>9</sup>。

貨幣換算の困難な項目の推計手法をまとめた「水害の被害指標分析の手引」においても伝統的な産業連関分析の例が記載されているが、産業連関分析においては、元の均衡状態とショック後の均衡状態を静学的に比較する枠組であるため、復旧の過程が内生的にモデルから把握できない。こうした課題を解決するために、マニュアルや手引の内容を議論する「河川事業の評価手法に関する研究会」においても間接的な経済被害の計測手法については、議論は行われているが、現時点では評価制度への実装には至っていない<sup>10</sup>。

## 2.2 公共土木施設の被害率

水害統計は、毎年全ての水害を対象に、家屋など一般資産の被害額その他、道路や橋梁などの公共土木施設の被害額等を都道府県・市区町村別に調査している。こうした水害統計の数値を基に、治水施設の便益を算出するために、マニュアルでは公共土木施設の被害額の推定手法が記載されている。具体的には、公共土木施設の被害額は、一般資産に比べ積み上げによる算出が難しいことから、一般資産被害額に公共土木施設の被害額の一般資産被害額に対する比率を乗じて算出することとしている。比率は、昭和 62 年から平成 28 年の水害統計をもとに全国平均で求めた値を用いて、一般資産被害額に 74.2%を乗じた値とすることが記載されている。

水害によって被害を受ける地域の資産等の状況や被害の態様は様々であるが、被害額の算定に当たっては全国平均や都道府県別の基礎数量や被害率の数値を用いて算定されている。ただし、マニュアルにおいては、地域の特性を踏まえ、全国平均から求めた数値を用いて一般資産被害額との関係から公共土木・公益施設被害額を算定すると過大または過少評価となるなど合理的でない場合は、水害統計により把握される当該地域または類似地域における公共土木・公益施設被害額の一般資産被害額に対する比率を用いて算定することとされている。

---

<sup>9</sup> マニュアルにおいては、事業所の営業停止被害等の間接的被害についても物理的に最低限必要な日数で通常の社会経済活動が行えると仮定した便益の算出を規定している。

<sup>10</sup> マニュアルや手引については、下記の URL よりダウンロードが可能  
[https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/seisaku\\_hyouka/gaiyou/hyouka/hyouka.html](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/hyouka.html)

## 2.3 想定最大規模降雨

日本の水害対策は、比較的発生頻度の高い外力（レベル 1、方針規模外力）を対象に長期的な河川整備の方針（河川整備基本方針）を定め、ダムや堤防など河川管理施設の整備により災害の発生を防止することを目指している。しかしながら、気候変動の影響により、施設の能力を上回る外力による水害が頻発するとともに、発生頻度は比較的低い施設能力を大幅に上回る外力により極めて大規模な水災害が発生する懸念が高まっていることから、現在、想定し得る最大規模の外力（レベル 2）までの水害リスクを評価し、社会全体で水害リスク情報を共有し、ハード・ソフト両面から対策を進められている<sup>11</sup>。

こうした取組の一環として、河川整備計画<sup>12</sup>の点検・見直し時においては、想定最大外力までの様々な規模の外力に対して、上下流・本支川のバランスなどに留意し、氾濫した場合の災害リスクができる限り小さくなっているか等について点検し、減災の観点も考慮した最適な河川整備の内容、手順となるように必要に応じて計画を見直しすることとされている。

なお、レベル 2 外力である想定最大規模降雨の設定は「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法（平成 27 年 7 月、国土交通省 水管理・国土保全局）」に、様々な外力を踏まえた河川整備内容の点検については「水害リスク評価の手引き（試行版）」（以下、手引き）において、基本的考え方、検討手順および評価手法が示されている<sup>13</sup>。

## 3 データ

本節においては、モデルの入力条件として使用する想定最大規模降雨の洪水被害と地域の異質性を考慮するために使用する公共土木施設の地域ごとの被害率について説明する。なお、キャリブレーションに使用するデータ等は、4 節や Hashimoto and Sudo (2022) を参照されたい。

---

<sup>11</sup> 社会資本整備審議会「水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～ 答申」、平成 27 年 8 月

<sup>12</sup> 河川整備基本方針の達成に向けた段階的な計画として、当面の整備の目標とする外力に対して水害の発生を防止し、または軽減するための整備の内容等が定めている。

<sup>13</sup> 手引きにおいては、河川整備計画の見直しを実施する際に、想定最大外力による影響も考慮することとされている。



### 3.1 想定最大規模降雨による洪水被害

本稿では、令和2年に荒川の河川整備計画の点検の際に公表された想定最大降雨規模に基づく外力を活用する<sup>14</sup>。図1は、現況河道条件で荒川が破堤した場合に最も被害が大きくなるエリア（R2ブロック）における浸水状況を示したものである。東京都北区志茂地先で破堤し、洪水は、中央区まで流下すると想定されている。氾濫ブロックは、氾濫原の地形特性や洪水規模によって決定される。各氾濫ブロックにおいて被害が最大となる1地点を「堤防の決壊地点」として設定する。荒川においてはR2ブロックが整備前の数字が一番大きく甚大な被害をもたらす可能性があることから、この値を基にシミュレーションを実施する。これらの被害範囲は約2,000haであり、約38万人が居住している。家屋等の資産被害としては約25兆円と推計されている。

### 3.2 公共土木施設の被害率

前節でも述べたとおり、公共土木施設の直接被害は、シミュレーションを行う上で一般資産被害額に一定の比率を用いて算出している。本稿では、この全国平均の計算するにあたって用いた水害統計における値を8地方（東北、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、及び九州）に分割して導出した各地方ごとの公共土木施設の被害額の一般資産被害額に対する比率を用いて、地域ごとの被害の異質性を議論する<sup>15</sup>。

表1は、地方ごとの公的資本比率である。1列目には地方名を、2列目には各地方において最大被害となるブロック名を含む河川名を示している。3列目は、当該ブロックにおける民間資本の被害額を記載している。4列目は、水害統計の数値を基に各地方ごとに算出した公共土木施設の被害率（5列目）を用いて算出した公共土木施設の推定被害額を記載している。東北地方、四国地方、九州地方では公共土木施設の被害率が比較的高く、3大都市圏を含む関東地方、近畿地方、中部地方では比較的低くなっている。なお、それぞれのサンプルサイズが小さく、信頼性は低いため、事業評

<sup>14</sup> 具体的には、現在の河道の条件は、二瀬ダム、滝沢ダム、浦山ダム、荒川第一調節池が存在しており、令和元年10月洪水波形によって、流量：約10,300m<sup>3</sup>/secが発生した場合の被害である。想定最大外力は現在気候条件下において1,000年に1度の確率規模である。整備計画河道は、上記施設に併せ、荒川第二～四調節池及び支流2遊水地を整備した施設条件である。この場合、流量は、約9,500m<sup>3</sup>/secとなる。現行の整備計画において、整備に必要な費用は約6,000億円、令和27年完成とされている。なお、将来の気候条件においては、こうした災害の頻度があることが報告されている。

<sup>15</sup> 地方の異質性を評価する外力は、想定最大外力を用いた分析は全ての河川で実施していないため、計画規模外力を用いる。なお、想定最大外力の分析方法を記載する「手引き」と計画規模等を基にした事業評価の分析方法を記載する「マニュアル」では、降雨波形や破堤地点の設定方法が異なるため、水害リスク評価において実施している計画規模と事業評価において実施している計画規模の被害分析結果は必ずしも一致しない。

価等に直接適合できない。

## 4 モデルと推計の概要<sup>16</sup>

### 4.1 モデルの概要

Hashimoto and Sudo (2022) は、金融部門の摩擦を取り込んだニューケインジアン型動学的確率的一般均衡 (DSGE) モデルに、水害によって起こる資本の棄損や生産性の低下を組み込み、水害の波及効果について分析を行った。具体的には、同論文は、水害の発生が経済に影響を与える外生的・内生的な波及経路として、以下の3つを想定していた。このうち、3番目の TFP 低下の経路については、同論文では公的資本ストックへの被害をモデルにおいてショック変数として設定していなかった。

1. 民間資本ストックの外生的な棄損が生産を直接的に押し下げる経路
2. 企業家のバランスシートが棄損することで金融仲介活動が阻害され、民間資本ストックの蓄積が妨げられる経路
3. 水害が生産性 (TFP) を低下させる経路

本稿のモデルでは、Hashimoto and Sudo (2022) を拡張する形で、水害が経済に影響を与える追加的な波及経路として、公的資本ストック (道路や上下水道などのインフラ) の棄損が、企業部門の生産性を低下させ、生産要素投入が一定のもとでの生産量を押し下げる、という経路を明示的に想定している。本章では、モデルの設定のうち同論文と異なる部分、すなわち、自然災害が公的資本ストックの棄損を通じて TFP を低下させ、生産活動に影響を与える経路についてのみ説明する。モデルの詳細については、同論文の付録 A と図 1、2 をそれぞれ参照されたい。

水害の発生は、民間主体が保有する資本ストックの棄損に加えて、公的な資本ストックも棄損させ得る。例えば、令和元年東日本台風では、幹線道路や上下水道において途絶・寸断が発生するなどの事象が発生している。こうした影響は、物流の阻害、取引先の生産停止などを受けたサプライチェーンの寸断などに帰結し、民間資本ストックおよび中間財・労働投入といった民間の生産要素投入量対比でみた場合の生産要素の生産性の低下という意味において、TFP を低下させたと考えられる<sup>17</sup>。

---

<sup>16</sup> モデルが Hashimoto and Sudo (2022) の拡張であるため、この章の記述は、同論文と共通する部分を多く含んでいる。さらに、Hashimoto and Sudo (2022) のモデルは、Okazaki and Sudo (2018) をベースとしており、モデルの詳細についてはそちらも合わせて参照されたい。

<sup>17</sup> 本稿のモデルでは、公的資本を生産要素として明示的に定式化していないため、産出量の変動のうち、民間主体が供給する生産要素 (本稿のモデルの場合には、資本ストック、労働投入、中間投入) の要素投入量の変動に起因しない部分は、TFP の変動として捉えられる。もっとも、何を TFP と捉えるかは、分析においてどのような生産関数を念頭に置くかに依存する。例えば、

Hashimoto and Sudo (2022) では、民間の資本ストックの棄損のみでは捉えきれない水害ショックによる外生的な TFP の変動について、民間資本ストックへの外生的な棄損額に比例すると仮定して定式化を行っている。もっとも、水害は地域差の非常に大きい災害である一方で、地域ごとに民間・公的資本ストックの構成も異なるため、地域ごとに水害に伴う経済への間接被害を分析するためには、民間・公的資本ストックそれぞれの棄損を通じた TFP への影響を分けて捕捉することが必要となる。

このため、本稿では、民間・公的資本ストックそれぞれの外生的な棄損が、TFP を別々に外生的に変動させるように定式化し、それぞれの影響を定量的に捕捉することを試みる。民間資本ストックへの外生的な棄損ショックは、 $fdr_t$  で表す。これは、民間資本ストックのうち、棄損する割合を示し、 $0 \leq fdr_t \leq 1$  である。すなわち水害ショックを受けた後の資本ストックは、 $(1 - fdr_t)K_{t-1}$  となる。同様に、公的資本ストックへの外生的な棄損ショックは、 $fdr_t^g$  で表す。これらのショックが TFP に与える影響はある程度継続するとの考えから、 $e_{fdr_t}, e_{fdr_t}^g$  を以下のように定義する。

$$e_{fdr_t} = \rho_{fdr} e_{fdr_{t-1}} + fdr_t \quad (1)$$

$$e_{fdr_t}^g = \rho_{fdr}^g e_{fdr_{t-1}}^g + fdr_t^g \quad (2)$$

ここで、 $\rho_{fdr}, \rho_{fdr}^g \in (0,1)$  である。

中間財企業の生産性と、水害に由来するショック  $e_{fdr_t}, e_{fdr_t}^g$  との関係性は、以下のよう定式化する。

$$Y_{g,t} = \frac{Z_{a,t} A_{a,t}}{\Omega(e_{fdr_t}) \Omega^g(e_{fdr_t}^g)} \Psi_t^\gamma [L_t^\alpha]^{1-\gamma} \left[ ((1 - fdr_t) K_{t-1} U_t)^{1-\alpha-\alpha_E-\alpha_{FI}} \right]^{1-\gamma} - F_t \quad (3)$$

ここで、 $Z_{a,t}$  および  $A_{a,t}$  は、水害以外の TFP 変動のうちそれぞれ非定常成分、定常成分を指し、 $Y_{g,t}$ 、 $\Psi_t$ 、 $L_t$ 、 $(1 - fdr_t)K_{t-1}$ 、 $U_t$  は、それぞれ中間財生産企業<sup>18</sup>の生産量、中

---

Baxter and King (1993) は、政府部門が供給する資本ストックを生産要素として以下のような生産関数を定義している。

$$Y_{g,t} = A_{a,t} K_{t-1}(g)^{\alpha_{kg}} K_{t-1}(p)^{\alpha_{kp}} L_t^{\alpha_l}$$

ここで、 $Y_{g,t}$  は産出量であり、 $K_{t-1}(g)$ 、 $K_{t-1}(p)$ 、 $L_t$  は、それぞれ政府部門が供給する資本ストック、民間部門が供給する資本ストック、労働投入量、 $\alpha_{kg}$ 、 $\alpha_{kp}$ 、 $\alpha_l$  はそれぞれの生産要素の分配率である。この場合、政府が供給する資本ストックが明示的に定式化されていることから、TFP は、民間主体が供給する生産要素や政府が供給する資本ストックの変動によって説明できない  $A_{a,t}$  における変動と捉えることができる。本稿では、TFP は、生産量の変動のうち、(稼働率調整済みの) 資本ストック、労働投入量、中間投入量で説明できない変動としている。これは、(3) 式の右辺の  $\frac{Z_{a,t} A_{a,t}}{\Omega(e_{fdr_t}) \Omega^g(e_{fdr_t}^g)}$  に対応する。

<sup>18</sup> 中間財生産企業は  $l \in [0,1]$  でインデックス化されているが、本稿では読みやすさのため記載を省略している。

間投入量、労働投入量、水害による棄損後の資本ストック投入量、資本ストックの稼働率<sup>19</sup>、パラメータ $\gamma$ は生産関数における中間投入比率、 $\alpha$ 、 $\alpha_E$ 、 $\alpha_{FI}$ はそれぞれ家計・企業家・銀行部門が投入する労働への分配率、 $F_t$ は中間財生産企業にとって外生的な固定費用である。このように、民間資本ストックの棄損は、TFP および生産投入量の両方を通じて GDP の押し下げに作用し、公的資本ストックの棄損は TFP のみを通じて GDP に影響を及ぼす。

水害ショックによる外生的な TFP の変動 $\Omega(e_{fdr_t}), \Omega^g(e_{fdr_t}^g)$ は、それぞれ民間・公的資本ストックへの外生的な棄損額 $e_{fdr}, e_{fdr}^g$ の増加関数であり、具体的には以下で定義している。

$$\Omega(e_{fdr_t}) = \exp(\theta_{fdr} e_{fdr_t}) \quad (4)$$

$$\Omega^g(e_{fdr_t}^g) = \exp(\theta_{fdr}^g e_{fdr_t}^g) \quad (5)$$

ここで、 $\theta_{fdr}, \theta_{fdr}^g$ は水害被害の TFP ショックに対する感応度を表すパラメータである。水害ショックが実際に TFP に影響を与えるかどうか、与えるとすればどの程度かという点については、TFP の時系列を観察変数として加えたうえで、パラメータ $\theta_{fdr}, \theta_{fdr}^g$ をベイズ推定し、その統計的な有意性や大きさをもって実証的に確認するというアプローチを取っている。

## 4.2 推計の概要

パラメータの推計手法は、Hashimoto and Sudo (2022) と同様に、DSGE モデルのベイズ推計で用いられている標準的な手法に従った。Hashimoto and Sudo (2022) とは異なり、民間資本棄損率と公的資本棄損率の 2 つを区別して、推計を行った。これらのデータの実態については、2 節及び 3 節を参照されたい。なお、推計手法のうち他の点については、付録 A を参照されたい。カリブレートしたパラメータおよび推計されたパラメータの値については、それぞれ表 2、表 3 に記載した。

### 4.2.1 データ

本稿の推計においては、1980 年第 2 四半期から 2019 年第 4 四半期までの 14 系列の時系列データを観察変数として使用している。使用するデータは、マクロ経済変数が 8 系列、銀行部門および企業部門の純資産の 2 系列、水害および震災に伴う資本ス

<sup>19</sup> なお、水害の発生が経済に与える影響としては、電力設備への浸水などに伴う電力供給の停止など資本稼働率の低下も考えられる。例えば、令和元年東日本台風や同年の台風 15 号では、広範囲に亘って数十万戸の停電が発生した。

トック棄損率の4系列から構成されている。具体的には、(1) 実質 GDP  $Y_t$ 、(2) 実質民間設備投資  $I_t$ 、(3) GDP デフレーター  $P_t$ 、(4) 設備投資デフレーター  $P_t Z_{d,t}^{-1} A_{d,t}^{-1}$ 、(5) 名目賃金（時間あたり） $W_t$ 、(6) 一人あたり労働時間  $L_t$ 、(7) 名目短期金利  $R_{n,t}$ 、(8) ソロー残差  $\lambda_t$ 、(9) 銀行部門の実質純資産  $N_{F,t} P_t^{-1}$ 、(10) 企業部門の実質純資産  $N_{E,t} P_t^{-1}$ 、(11) 水害に伴う民間資本棄損率  $fdr_t$ 、(12) 水害に伴う公的資本棄損率  $fdr_t^g$ 、(13) 震災に伴う民間資本棄損率  $edr_t$ 、(14) 震災に伴う公的資本棄損率  $edr_t^g$  である。水害に伴う民間・公的資本棄損率(11)、(12)のデータの時系列は図2に掲載している。

データの作成方法は、Hashimoto and Sudo (2022) と同一である。マクロ経済変数の多くは、内閣府より公表されている国民経済計算（以下、SNA）に基づいて作成している。(9)と(10)の純資産のデータ系列については、資金循環統計に基づき、国内銀行および民間非金融法人企業の上場株式から作成している。(11)~(14)は水害および震災に伴う被害額を民間資本ストックで除すことで作成している。水害に伴う被害額は、国土交通省により公表されている水害統計調査の一般資産被害額を水害被害額デフレーター<sup>20</sup>で実質化した系列を利用した。もっとも、水害統計調査は年次公表統計であるため、推計にあたっては、水害被害額の年次系列を気象庁により公表されているアメダスの観測データを用いて四半期系列化している<sup>21</sup>。震災に伴う被害額についても、Hashimoto and Sudo (2022) と同様の方法で作成した。

推計をする際には、(7)の名目短期金利および(11)、(12)の棄損率系列については各時点の観測値を用いており、それ以外の変数は、定常性を確保するために階差を取ったうえで、確定的なトレンドを平均値を差し引くことで除去している。名目系列を実質系列へ変換する際には、GDP デフレーターを用いている。また、すべての実質系列は、生産年齢人口で除することにより、生産年齢人口一人あたりに変換している。

#### 4.2.2 推計結果

パラメータの事後分布は、表3の通りである。水害に関するパラメータ以外については、企業部門、家計部門、金融仲介部門、政府部門それぞれについて、パラメータの値は、Hashimoto and Sudo (2022) の推計結果と概ね変わらない値となっている。水害発生が TFP に与える影響については、スケーリング・パラメータ  $\theta_{far}$ 、 $\theta_{far}^g$  は統計的に有意にゼロよりも大きくなっており、水害の発生が民間資本や公共インフラの棄損などを通じて、TFP を低下させるという波及経路の存在が、データからも示唆される。加えて、民間・公的資本ストックのパラメータの値は近い値となっていることから、棄損率が同じであれば両者の TFP への影響は同程度であることが示唆される。

<sup>20</sup> 水害被害額デフレーターは、水害統計調査において公表されている、名目水害被害額を基準年価格（現在は平成23年）で評価するためのデフレーターである。内閣府「国民経済計算」の国内総生産デフレーターなどに基づいて算出されている。

<sup>21</sup> 四半期系列化の詳細については、Hashimoto and Sudo (2022) の付録Cを参照されたい。

## 5 分析結果

本節では、前節までのデータおよびモデルを用いた分析結果を示す。5.1 節と 5.2 節においては、荒川や地方ごとの河川のデータを基にした分析結果を示す。5.3 節から 5.5 節においては、実際のデータ分析で得られたインプリケーションを基に、民間資本ストックと公共資本ストックの被害構成と経済被害の関係について、シミュレーションを基にした分析結果を示す。

### 5.1 想定最大規模降雨外力を用いた荒川流域の分析

3 節で説明した想定最大規模降雨外力に基づき、荒川の堤防波堤に伴う間接被害について、マクロモデルを用いて算出を行った。4 節で議論した通り、本稿のモデルは、Hashimoto and Sudo (2022) が想定する水害ショックの 3 つの波及経路に加えて、水害による公的資本ストックの棄損が TFP を押し下げる経路も明示的に考慮している。表 4 に結果を集約している。実質の被害額から計算される民間資本ストック、公的資本ストックの棄損率はそれぞれ 0.9%、2.1%となる。この直接被害による、間接被害の 10 年間の累計額は 11.2 兆円程度と推計される。この損失額は、仮に水害がなかった場合に今後 10 年間で生み出される付加価値と水害が起こった際に生み出される付加価値との差である。間接被害の推計値は、Hashimoto and Sudo (2022) で分析した令和元年東日本台風のケースの 1.2 兆円と比較しても、非常に大きい金額となっていることがわかる。これは、資産が集積する東京近辺において想定最大規模降雨が発生すると直接被害のみならず間接被害も大きくなることを示唆している。なお、この際の間接被害の推計値は、水害を受けた政府支出の増加は含んでいない。すなわち、現実には東日本大震災の時のように、災害後に様々な形で政府支出が復興のために投じられ、それが GDP を下支えする可能性があるが、本稿での推計値はこの影響を明示的に考慮していない。もっとも、パラメータの推計に部分的にこうした効果が影響している可能性はある。

続いて、図 3 のインパルス反応関数を用いて、水害発生からの回復過程を確認する。GDP のインパルス応答を用いて、0 期における資本ストックの外生的な棄損によってモデルが内生的に反応した結果として実現する GDP の押し下げ幅の推移を確認する。GDP は水害発生時点に大きく落ち込んだ後、およそ 3 年間かけて経済が定常状態に服している。資本ストックは水害による棄損の後、やや遅れて回復経路に服していく。復興に向けた設備投資が行われるため、設備投資は水害がなかった場合と比べても増加する期間がある。もっとも、水害が起こった直後は、ファイナンシャル・アクセラレーター・メカニズムにより設備投資も下押しされている。すなわち、外部資金の借り手のバランスシートの価値が低下することにより、借り手の予想デフォルト確率が

上昇し、貸出量の減少を通じて投資活動が抑制されている。こうした結果は、間接被害において金融システムの及ぼす役割が無視できないことを示している。また、TFPは比較的単純な動学式で決定されているが、5年程度で元の水準を回復している。

この結果を元に、今後20～30年の整備計画が、間接被害をどの程度減らすかを簡易的に試算できる。現況23兆円の直接被害に対して、整備を行うと想定最大であっても民間・公的資本ストックそれぞれ1兆円程度直接被害を軽減できる（計2兆円）と想定した場合、水害発生時の民間資本ストックの棄損に伴う生産活動の落ち込みが軽減されることから、間接被害は1.1兆円程度減少する<sup>22</sup>。この試算結果はモデルの様々な仮定に依存するものであり、必ずしも政策面での実用性は高くないことには注意が必要である。

## 5.2 地方ごとの河川破堤の全国GDPへの影響

続いて、公的資本と民間資本に及ぶ被害の地域ごとの異質性を加味したうえで、8地方において、破堤に伴って民間・公的資本ストックが方針規模外力で棄損するショックが発生した場合のシミュレーションを行う。シミュレーションで想定した棄損率をまとめたものが表4、GDPのインパルス応答関数をみたものが図4である。

まず、表4で公的・民間資本ストックの棄損率の水準をみると、関東・近畿・中部地方における河川破堤では、他地方と比較して、棄損率が圧倒的に高い。その結果、後述する通り、これらの地方における河川破堤に伴うGDP押し下げ幅も、大幅に大きくなっている。

続いて、公的・民間資本ストックの棄損率の比率を確認すると、地方ごとに異質性が大きいことが窺われる。例えば、関東地方では公的資本ストックの棄損率は民間の0.45倍に止まる一方で、東北地方では1.5倍強となっている。こうした異質性の存在は、地方によって民間・公的資本ストックの蓄積度が異なることに起因している。

GDPのインパルス応答を河川別にみると、河川破堤に伴うGDPの押し下げ幅が最も大きかったのは、関東地方の利根川・江戸川であった。この河川の破堤は、シヨッ

---

<sup>22</sup> 土木学会土木計画学研究委員会 国土強靱化定量的脆弱性評価委員会が令和5年3月に公表した「国土強靱化定量的脆弱性評価委員会検討報告書」においても荒川の想定最大の被害を検証している。当該報告書では、現在推進中の対策により、基本方針規模（レベル1）に対して57兆円（直接被害：25兆円、間接被害：32兆円）の被害額軽減が期待されるとされている。この被害額軽減については、用いているモデルのほか、分析の前提条件は大きく2つ異なっている。まず、本稿はR2ブロックのみを対象としているのに対し、土木学会の報告書は全ブロックを対象にしている。次に、本稿はレベル2を対象しているのに対し、土木学会はレベル1を対象としている。なお、前述した事項であるが、本稿の手法を用いてR2ブロックにおける基本方針規模（レベル1）に対する整備計画河道の被害軽減額は、直接被害13兆円に対し、間接被害は6兆円と試算された。

ク発生後 10 年間の GDP の累計損失額は 10 兆円に上る結果となっており、他の河川と比較して甚大な被害をもたらすことが示唆された。大和川（近畿地方）や庄内川（中部地方）がこれに続く形で GDP 押し下げ幅が大きく、それぞれ GDP 累計損失額が 4.3 兆円、3.0 兆円となっている。

これらの河川は、民間資本ストックが集中している地域を流域としている点が大きな特徴である。河川破堤に伴う民間資本ストックの棄損は、TFP の押し下げに加えて、生産要素の直接的・外生的な現象を意味するため、GDP を大幅に押し下げる。また、被害を受けた企業家のバランス・シートが棄損することから、銀行からの貸出量が減少し、当初の民間資本ストック水準に戻るための設備投資も抑制されることになる（いわゆるファイナンシャル・アクセラレータ・メカニズム）。これらの波及経路は、公的資本ストックへの被害においては顕現化しないため、民間資本ストックの棄損がより大きい地域ほど、GDP の押し下げ幅が大きくなる傾向にあると考えられる。

なお、今回のシミュレーションでは、地方ごとの水害被害の異質性を考慮するため、河川破堤に伴う公的資本ストックの被害額を推計する際、地方ごとの水害被害の実績値をもとに算出した公的・民間資本ストック被害比率を利用している。こうした異質性を考慮せず、被害比率に全地方同一の定数<sup>23</sup>を利用すると、関東・近畿地方などの都市部では公的資本ストック棄損ショックが過大に推計され、結果として GDP の押し下げ幅が過大となる（地方部では逆に過少となる）。これらの結果は、水害被害に伴う間接的な経済的な影響を測定するにあたって地方ごとの異質性を考慮することの重要性を示唆している。

### 5.3 民間・公的資本ストックの被害構成の違いによる影響

公的・民間資本ストックの棄損率の差が GDP にもたらす影響を分析するため、公的・民間資本ストックへの被害額の合計（名目値）を 2,000 億円と固定したうえで、被害額を各資本ストックに案分し、案分比率に応じて GDP 押し下げ幅がどのように変化するかを確認する。シミュレーションの設定は表 6 に掲載している。被害額の案分比率に応じて間接被害がどのように変化するかを確認することは、民間資本ストックの棄損を公的資本ストックによって防げるケース<sup>24</sup>において、公共設備投資の経済効果を分析する際に有用であると考えられる。

---

<sup>23</sup> 例えば、2 節で述べたとおり、治水経済調査マニュアル（案）（令和 2 年 4 月）では、公的資本ストック被害額の大半を占める「公共土木施設等被害額」は、水害の発生地を問わず、当該水害で発生した「一般資産被害額」の 74.2%と設定されている。

<sup>24</sup> 例えば、民間の事業会社が保有する工場の近辺に公共の治水施設を建設し、当該施設が（その棄損と引き換えに）水害を防ぐことによって、工場への被害を抑えることが可能であるような場合が考えられる。



シミュレーションの結果をまとめたものが図5である。民間資本ストックの棄損は、TFPの押し下げに加えて、生産要素の外生的な棄損と企業家のバランス・シートの悪化をもたらすことから、GDPへの下押し圧力がより強い。結果的に、民間資本ストックへの被害の案分が大きいほど、当初GDPの押し下げ幅が大きいことに加えて、累積のGDP損失額も大きい結果となった。

また、案分比率によるGDPのインパルス応答の違いをみると、いずれのインパルスも近似しているものの、民間資本ストックへの被害が大きいほどGDP損失の粘着性が高いことが窺える。TFP押し下げを通じた波及経路のパラメータが民間・公的資本ストック間で大きく異なることを踏まえると、この粘着性の違いは、民間資本ストックへの水害被害が大きいほど、元の水準に復元するまでに要する時間が長いことに起因しているとみられる。

#### 5.4 公的資本ストックの被害の違いの影響

公的資本ストックの棄損が経済活動に与える影響を把握するため、民間資本ストックの棄損額を2,000億円と固定したうえで、公的資本ストックの棄損額を変化させた場合にGDP押し下げ幅がどのように変化するかを確認する。シミュレーションの設定は表7に掲載している。民間資本ストックの棄損率を固定しているため、GDP押し下げ幅の変化は公的資本ストックへの被害によって生み出されていることとなる。

シミュレーションの結果をまとめたものが図6である。公的資本ストックへの被害が大きくなるほど、TFPが一段低下することから、ショック発生時の生産活動への下押し圧力が強まる。今回のシミュレーションでは、公的資本ストックへの被害の違いによって、累積のGDP損失額は2.0~2.5兆円程度の幅が生じることが確認された。

もっとも、ショック発生時のTFPの低下は時間とともに剥落していくほか、生産要素である民間資本ストックへの棄損率はいずれのケースでも同一であるため、GDPのインパルス応答は1~2年後には近似する結果となる。この結果は、前節で確認した民間資本ストックへの被害がより粘着的にGDPを押し下げるインパルス応答と対照的であり、被害の所在によって水害被害が経済に与える影響の期間に差が生まれることを示唆している。

#### 5.5 公的資本ストックの復元の遅滞が及ぼす影響

公的資本ストックの棄損が発生した場合、通常であれば、政府が公的インフラの復旧を迅速に行うため、政府支出を増加させる。もっとも、財政上の制約などから、復旧が迅速でないケースでは、公的資本ストックの棄損に伴うTFPの落ち込みが継続

することが想定される。また、カタストロフィックな洪水の場合、復旧に必要な建設機械や技術者の供給制約により公的資本ストックの復旧が遅れる場合が想定される<sup>25</sup>。本節では、こういった場合における GDP 押し下げ幅がどのように変化するかを確認する。シミュレーションでは、民間資本ストック・公的資本ストックの棄損額をそれぞれ 2,000 億円としたうえで、公的被害に伴う TFP 低下がより持続する状況を想定している<sup>26</sup>。

シミュレーションの結果をまとめたものが図 7 である。公的被害に伴う TFP 低下がより持続する ( $\rho_{far}^g$  が高い値を取る) 場合、生産が押し下げられる期間が長期化するため、累積 GDP 損失額は増加する。10 年累積損失額をみると、ベースライン ( $\rho_{far}^g = 0.37$ ) の累積損失額 (2.3 兆円) と比較して、 $\rho_{far}^g = 0.5$  の場合の累積損失額は 2.4 兆円に止まる一方で、 $\rho_{far}^g = 0.9$  の場合には長期にわたって生産性が下押しされることから、累積損失額は 6.4 兆円まで達する。この結果からは、中長期的な景気低迷を回避するために、公的資本ストックの復旧を迅速に行い、公的被害に伴う TFP 低下圧力を和らげることの意義が窺える。

## 6 おわりに

本稿は、Hashimoto and Sudo (2022) で提案された水害の特性を考慮可能な動学的確率的一般均衡モデルを用い、荒川における現在気候条件下で想定される最大の降雨外力を基にした分析結果を示すとともに、水害被害の地域性を捕捉するにあたって、公的・民間資本ストックの地方ごとの蓄積度やそれに伴う被害比率の違いに関する分析を実施した。

まず、荒川における想定最大規模降雨に関する分析においては、25 兆円の直接被害に対し、11 兆円程度の間接被害が生じることがわかった。次に、地方ごとの分析では、3 大都市圏のような民間資本ストックの棄損が大きい地域ほど GDP の押し下げ幅が大きいことがわかった。最後に、公的資本と民間資本の構成がどのように GDP への影響するかを分析した結果からは、経済被害低減させるために民間資本ストックを防御し迅速なインフラ施設の復旧が重要であることが示唆された。

気候変動によって激甚化する水害被害や水害の地域性を踏まえ水害の時間的な影響を分析していることに特徴があるが、以下が引き続き課題となっている。まず、本稿で利用しているモデルは、Hashimoto and Sudo (2022) のモデルと同様に、パラメー

<sup>25</sup> もっとも、ここで復旧に必要な労働などの生産要素はモデルの中で明示的に捉えられておらず、例えば、復旧による労働需給のひっ迫は捉えられていないことに注意が必要である。

<sup>26</sup> 具体的には、TFP 低下の持続性を規定するパラメータである  $\rho_{far}^g$  を変化させた際の累積 GDP 損失額への影響を試算した。

タの推計においては全国の経済変数や水害被害のデータを用いており、地域ごとの経済構造の違いや移出入・生産ネットワークについて明示的に考慮できていない。また、地域によっては、老朽化した生産設備が多い場合、それが更新された場合に生産性がむしろ高まるというメカニズムも考えられる。第2に、気候変動を踏まえた、生産要素の将来の空間的な分布を考慮できていない。最後に、本稿では水害発生後の経済動学について線形近似を用いて計算しているが、想定最大規模の水害被害が発生した場合、間接被害は非線形的に増大する可能性もある。近年の金融摩擦の文献では、こうした非線形性を明示的に勘案したモデルの解法を用いることが多い。これらの点について、包括的にモデルに織り込んで検証することは、将来の課題である。

## 参考文献

- [1] 国土交通省 (2020) 「治水経済調査マニュアル (案)」、  
[https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/seisaku\\_hyouka/gaiyou/hyouka/r204/chisui.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/r204/chisui.pdf)
- [2] 国土交通省 (2017) 「水害の被害指標分析の手引 (H25 試行版)」、  
[https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/seisaku\\_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/higaisihyou\\_h25.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/higaisihyou_h25.pdf)
- [3] 国土交通省 (2018) 「水害リスク評価の手引き (試行版)」、  
[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/chisui\\_kentoukai/dai02kai/dai02kai\\_siryou4-2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/dai02kai/dai02kai_siryou4-2.pdf)
- [4] 末次忠司 (1998) 「治水経済史—水害統計及び治水経済調査手法の変遷—」、土木史研究、第 18 号
- [5] Arosio, M., M. L. V. Martina, E. Creaco, R. Figueiredo. (2020). “Indirect Impact Assessment of Pluvial Flooding in Urban Areas Using a Graph-Based Approach: The Mexico City Case Study,” *Water*, Vol. 12, No. 6, pp.1753.
- [6] Arrighi, C., M. Pregnolato, F. Castelli. (2021). “Indirect flood impacts and cascade risk across interdependent linear infrastructures,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 21, No. 6, pp.1955-1969.
- [7] Ashizawa, T., Sudo, N., and Yamamoto, H. (2022). “How Do Floods Affect the Economy? An Empirical Analysis using Japanese Flood Data,” (No. 22-E-6). Bank of Japan.
- [8] Bakkensen, L. A., and Barrage, L. (2021). “Going Underwater? Flood Risk Belief Heterogeneity and Coastal Home Price Dynamics,” *Review of Financial Studies*, Vol. 35, No. 8, pp.3666-3709.
- [9] Brainard, L. (2021). “Building Climate Scenario Analysis on the Foundations of Economic Research,” At the 2021 Federal Reserve Stress Testing Research Conference, Federal Reserve Bank of Boston, Boston, Massachusetts (via webcast).
- [10] Carvalho V. M., Nirei, M., Saito, Y. U., and Tahbaz-Salehi, A. (2021). “Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 136, No. 2, pp.1255-1321.
- [11] Christiano, L., R. Motto, M. Rostagno. (2014) “Risk Shocks,” *American Economic Review*, Vol. 104, No. 1, pp.27-65.
- [12] Deryugina, T., Kawano, L., and Levitt, S. (2018). “The Economic Impacts of Hurricane Katrina on Its Victims: Evidence from Individual Tax Returns,” *American Economic Journal: Applied Economics*, Vol. 10, No. 2, pp.202-33.
- [13] Dunz, N., Emambakhsh, T., Hennig, T., Kaijser, M., Kouratzoglou, C., and Salleo, C. (2021). “ECB's Economy-Wide Climate Stress Test,” ECB Occasional Paper, (2021/281).
- [14] Fried, S. (2022). “Seawalls and Silts: A Quantitative Macro Study of Climate Adaptation,”

*Review of Economic Studies*, Vol. 89, No. 6, pp.3303-3344.

- [15] Gourevitch J. D., Kousky, C., Liao, Y., Nolte, C., Pollack, A. B., Porter, J. R., and Weill, J. A. (2023). “Unpriced climate risk and the potential consequences of overvaluation in US housing markets,” *Nature Climate Change*, Vol. 13, pp.250-257.
- [16] Hallegatte, S. (2015). “The Indirect Cost of Natural Disasters and an Economic Definition of Macroeconomic Resilience,” *Policy Research Working Paper*, No.7357.
- [17] Hashimoto, R., and Sudo, N. (2022). “Transmission of Flood Damage to the Real Economy and Financial Intermediation: Simulation Analysis using a DSGE Model,” (No. 22-E-5). Bank of Japan.
- [18] Okazaki, Y., and Sudo, N. (2018). “Natural rate of interest in Japan -- Measuring its size and identifying drivers based on a DSGE model -- ,” (No. 18-E-6). Bank of Japan.

## A. 推計の詳細

### A.1 推計の流れ

まず、モデルの各変数について、それらのトレンドで除すことで系列を定常化している。具体的には、資本ストック $K_t$ 以外の実質 GDP  $Y_t$ や実質純資産 $N_t$ といった実質変数については、定常状態における 2 つの技術水準と生産年齢人口の関数 $Z_{a,t}^{\frac{1}{(1-\gamma)(\alpha+\alpha_E+\alpha_F)}} Z_{d,t}^{\frac{(1-\alpha-\alpha_E-\alpha_F)}{\alpha+\alpha_E+\alpha_F}} H_t$ で除すことにより、資本ストック $K_t$ については、同様の関数 $Z_{a,t}^{\frac{1}{(1-\gamma)(\alpha+\alpha_E+\alpha_F)}} Z_{d,t}^{\frac{1}{\alpha+\alpha_E+\alpha_F}} H_t$ で除すことによりトレンドを除いている。次に、Christiano et al. (2014) に倣い、ベイズ推計を実施している。具体的には、上述のモデルの均衡条件について状態空間モデルで表現し、カルマンフィルターを用いて尤度関数を導出している。そして、尤度関数とパラメータの事前分布を組み合わせ、事後分布の密度関数を数値的に算出している。この仮定では、Metropolis-Hastings アルゴリズムを使用している。

### A.2 カリブレーション、事前分布、事後分布

#### カリブレートしたパラメータ

本稿では、いくつかのパラメータの値は Hashimoto and Sudo (2022) に倣ってカリブレートしている。具体的には、主観的割引率 $\beta$ 、中間財投入の代替の弾力性 $\theta_{PY}$ 、労働投入の代替の弾力性 $\theta_W$ 、資本減耗率 $\delta$ 、中間投入比率 $\gamma$ 、家計部門の労働分配率 $\alpha$ 、企業家の労働分配率 $\alpha_E$ 、銀行部門の労働分配率 $\alpha_F$ 、家計の労働の不効用に対するウエイト $\varphi$ である。これらの各パラメータの値については、表 2 に掲載している。

#### 推計されたパラメータ

残りのパラメータは推計されており、推計結果は表 3 に掲載している。水害・震災に伴う資本棄損ショックに関するパラメータを除いて、パラメータの事前分布・平均・標準偏差は Hashimoto and Sudo (2022) に従っている。資本棄損ショックに関するパラメータ $\rho_x, \theta_x, \eta_x, x \in \{fdr_t, fdr_t^p, edr_t, edr_t^p\}$ は、他のショックの事前分布を参考に設定している。

#### 事後分布

本稿では、事後分布の計算とモデルの周辺尤度の評価にあたっては、Metropolis-Hastings アルゴリズムを採用している。サンプリングについては 40 万回行っているが、最初の 20 万回は捨てている。推計されたパラメータの事後分布は表 3 に示しており、表の最後の 3 列は、それぞれ事後分布と信頼区間の下側・上側である。

表 1. 地域ごとの公共／民間の被害比率

地方	河川	民間 (実質、兆円)	公共 (実質、兆円)	公共/民間 (%)
東北	阿武隈川	0.13	0.12	97.6
関東	利根川・江戸川	12.2	3.6	29.1
北陸	信濃川	1.2	0.5	38.2
中部	庄内川	2.9	1.4	49.4
近畿	大和川	4.2	2.1	50.0
中国	高梨川	1.2	0.5	46.3
四国	吉野川	0.8	0.7	89.3
九州	筑後川	0.1	0.1	97.0

(注) 各地方において被害が最大となるブロックの値を用いて記載している。民間資本ストックの被害額は、浸水シミュレーションを用いた事業評価の結果を基にしているが、公益事業の被害が地方ごとに異なることを考慮しているため、一致しない。資本ストックの被害額は水害被害額デフレーターを用いて 2010 年時点の物価で実質化。

表 2. カリブレートしたパラメータ

$\alpha$	労働分配率 (家計)	0.600
$\alpha_E$	労働分配率 (企業)	0.020
$\alpha_F$	労働分配率 (銀行)	0.020
$\gamma$	中間投入比率	0.583
$\kappa_U$	資本稼働率の調整費用のスケーリング・パラメータ	0.050
$\varphi$	家計の労働の不効用に対するウェイト	0.200
$\beta$	家計の主観的割引率 (四半期率)	0.998
$\delta$	資本減耗率 (四半期率)	0.028
$\theta_{PY}$	定常状態における中間財投入の代替の弾力性	7.000
$\theta_W$	定常状態における労働投入の代替の弾力性	7.000

(注) これらのパラメータは、Hashimoto and Sudo (2022)などの先行研究をもとに設定。

表 3. 推計されたパラメータ（事前分布および事後分布）

	事前分布			事後分布		
	分布形	事前平均	事前標準偏差	平均	5%	95%
労働供給の弾性値	ガンマ	0.8	0.075	1.0708	1.0186	1.1485
資本ストックの調整費用	ガンマ	2	0.25	2.3387	2.1320	2.5307
価格の調整費用	ガンマ	12	1	7.4752	7.0465	7.9399
賃金の調整費用	ガンマ	2.5	0.5	1.8605	1.6012	2.0576
テイラー・ルール（インフレ率）	正規	2.75	0.05	2.7283	2.7051	2.7476
金利スムーゼン	ベータ	0.5	0.01	0.5288	0.5258	0.5315
資本稼働率の調整費用の逆数	ガンマ	5	1	1.9009	1.6698	2.1353
各銀行に固有の生産性ショックの不確実性	ガンマ	0.104	0.002	0.1040	0.1037	0.1043
各企業に固有の生産性ショックの不確実性	ガンマ	0.309	0.002	0.3073	0.3062	0.3083
IF契約における審査費用	ガンマ	0.539	0.01	0.5470	0.5400	0.5523
FE契約における審査費用	ガンマ	0.02	0.01	0.0256	0.0186	0.0318
銀行部門の非退出確率	ベータ	0.86	0.001	0.8582	0.8575	0.8588
企業部門の非退出確率	ベータ	0.96	0.001	0.9580	0.9576	0.9584
定常状態における中立技術進歩率	ガンマ	1.001	0.001	0.9997	0.9994	0.9999
定常状態における投資特殊技術進歩率	ガンマ	1.002	0.001	0.9981	0.9976	0.9987
定常状態におけるインフレ率	正規	1.002	0.001	1.0018	1.0016	1.0022
消費の習慣形成	ベータ	0.6	0.15	0.1981	0.1344	0.2710
水害によるTFPショックのスケールリング・パラメータ（民間）	ベータ	0.5	0.15	0.2329	0.1635	0.2992
水害によるTFPショックのスケールリング・パラメータ（公的）	ベータ	0.5	0.15	0.2416	0.1819	0.2981
震災によるTFPショックのスケールリング・パラメータ（民間）	ベータ	0.5	0.15	0.4636	0.4337	0.4950
震災によるTFPショックのスケールリング・パラメータ（公的）	ベータ	0.5	0.15	0.5017	0.4732	0.5386
中立技術進歩率ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.3962	0.3277	0.4683
中立技術水準ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.9353	0.9219	0.9489
投資特殊技術進歩率ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.1571	0.1086	0.2032
投資特殊技術水準ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.9842	0.9756	0.9936
銀行部門のBSショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.1853	0.1442	0.2365
企業部門のBSショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.8137	0.7526	0.8676
外生需要ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.5781	0.5055	0.6432
投資調整費用ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.2304	0.1750	0.2789
価格マークアップショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.8950	0.8680	0.9230
賃金マークアップショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.9667	0.9516	0.9826
主観的割引率ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.4639	0.4083	0.5200
ルール上のインフレ率に対するショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.4532	0.4074	0.5049
水害による民間資本毀損ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.3443	0.3158	0.3689
水害による公的資本毀損ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.3712	0.3122	0.4319
震災による民間資本毀損ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.6556	0.6171	0.6982
震災による公的資本毀損ショック AR	ベータ	0.5	0.15	0.2248	0.1696	0.2813
中立技術進歩率ショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0017	0.0014	0.0020
中立技術水準ショック SD	逆ガンマ	0.05	5	0.0060	0.0059	0.0062
投資特殊技術進歩率ショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0133	0.0118	0.0148
投資特殊技術水準ショック SD	逆ガンマ	0.05	5	0.0154	0.0137	0.0170
金融政策ショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0018	0.0014	0.0021
銀行部門のBSショック SD	逆ガンマ	0.02	5	0.0030	0.0025	0.0035
企業部門のBSショック SD	逆ガンマ	0.02	5	0.0039	0.0031	0.0047
外生需要ショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0069	0.0024	0.0118
投資調整費用ショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0277	0.0241	0.0311
価格マークアップショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0314	0.0279	0.0347
賃金マークアップショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.1648	0.1486	0.1803
主観的割引率ショック SD	逆ガンマ	0.015	5	0.0036	0.0028	0.0044
ルール上のインフレ率に対するショック SD	逆ガンマ	0.01	5	0.0036	0.0031	0.0040
水害による資本毀損ショック SD	逆ガンマ	0.0001	5	0.0002	0.0002	0.0002
震災による資本毀損ショック SD	逆ガンマ	0.0009	5	0.0012	0.0010	0.0013

（注）事前分布・平均・標準偏差は Hashimoto and Sudo (2022) をもとに設定。



表 4. 荒川の想定最大規模降雨のシミュレーション（被害額・棄損率・GDP 累計損失額）

設定	荒川流域	荒川流域 (被害軽減時)	(参考) 令和元年 東日本台風	
民間 資本	被害額 (実質、兆円)	9.28	8.28	1.16
	毀損率 (%)	0.90	0.80	0.11
公的 資本	被害額 (実質、兆円)	13.74	12.74	0.47
	毀損率 (%)	2.08	1.93	0.07
公的÷ 民間	被害額 (倍)	1.48	1.54	0.41
	毀損率 (倍)	2.31	2.40	0.64
GDP損失の 累計額 (兆円)	1年	-5.91	-5.37	-0.51
	3年	-8.91	-8.06	-0.85
	5年	-9.97	-9.00	-0.99
	10年	-11.19	-10.07	-1.19

(注) 棄損率は「被害額/資本ストック額」として算出。資本ストックの被害額は水害被害額デフレーターを用いて 2010 年時点の物価で実質化。

表 5. 地方ごとの河川破堤のシミュレーション (被害額・棄損率・GDP 累計損失額)

設定		東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州
		阿武隈川	利根川・江戸川	信濃川	庄内川	大和川	高梁川	吉野川	筑後川
民間 資本	被害額 (実質、兆円)	0.13	12.23	1.21	2.91	4.19	1.19	0.82	0.11
	毀損率 (%)	0.01	1.19	0.12	0.28	0.41	0.12	0.08	0.01
公的 資本	被害額 (実質、兆円)	0.12	3.55	0.46	1.43	2.09	0.55	0.73	0.11
	毀損率 (%)	0.02	0.54	0.07	0.22	0.32	0.08	0.11	0.02
公的÷ 民間	被害額 (倍)	0.98	0.29	0.38	0.49	0.50	0.46	0.89	0.97
	毀損率 (倍)	1.52	0.45	0.60	0.77	0.78	0.72	1.39	1.51
GDP損失の 累計額 (兆円)	1年	-0.07	-5.06	-0.52	-1.31	-1.90	-0.53	-0.43	-0.06
	3年	-0.11	-8.62	-0.88	-2.17	-3.14	-0.88	-0.69	-0.10
	5年	-0.12	-10.17	-1.03	-2.54	-3.67	-1.03	-0.78	-0.11
	10年	-0.14	-12.26	-1.23	-3.01	-4.35	-1.22	-0.91	-0.13

(注) 棄損率は「被害額/資本ストック額」として算出。資本ストックの被害額は水害被害額デフレーターを用いて 2010 年時点の物価で実質化。

表 6. 民間・公的資本ストック間で被害を案分するシミュレーション

(被害額・棄損率・GDP 累計損失額)

案分比率 (公共：民間)		公共0.9： 民間0.1	公共0.8： 民間0.2	公共0.7： 民間0.3	公共0.6： 民間0.4	公共0.5： 民間0.5	公共0.4： 民間0.6	公共0.3： 民間0.7	公共0.2： 民間0.8	公共0.1： 民間0.9
民間 資本	被害額 (実質、兆円)	0.20	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.76
	毀損率 (%)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17
公的 資本	被害額 (実質、兆円)	1.76	1.57	1.37	1.18	0.98	0.78	0.59	0.39	0.20
	毀損率 (%)	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03
公的÷ 民間	被害額 (倍)	9.00	4.00	2.33	1.50	1.00	0.67	0.43	0.25	0.11
	毀損率 (倍)	14.06	6.25	3.64	2.34	1.56	1.04	0.67	0.39	0.17
GDP損失の 累計額 (兆円)	1年	-0.40	-0.44	-0.47	-0.50	-0.54	-0.57	-0.60	-0.64	-0.67
	3年	-0.51	-0.59	-0.67	-0.76	-0.84	-0.92	-1.01	-1.09	-1.17
	5年	-0.51	-0.62	-0.73	-0.85	-0.96	-1.07	-1.18	-1.29	-1.40
	10年	-0.49	-0.64	-0.80	-0.95	-1.10	-1.25	-1.41	-1.56	-1.71

(注) 棄損率は「被害額/資本ストック額」として算出。資本ストックの被害額は水害被害額デフレーターを用いて 2010 年時点の物価で実質化。

表 7. 民間被害額一定のもとで公的被害額を変化させたシミュレーション

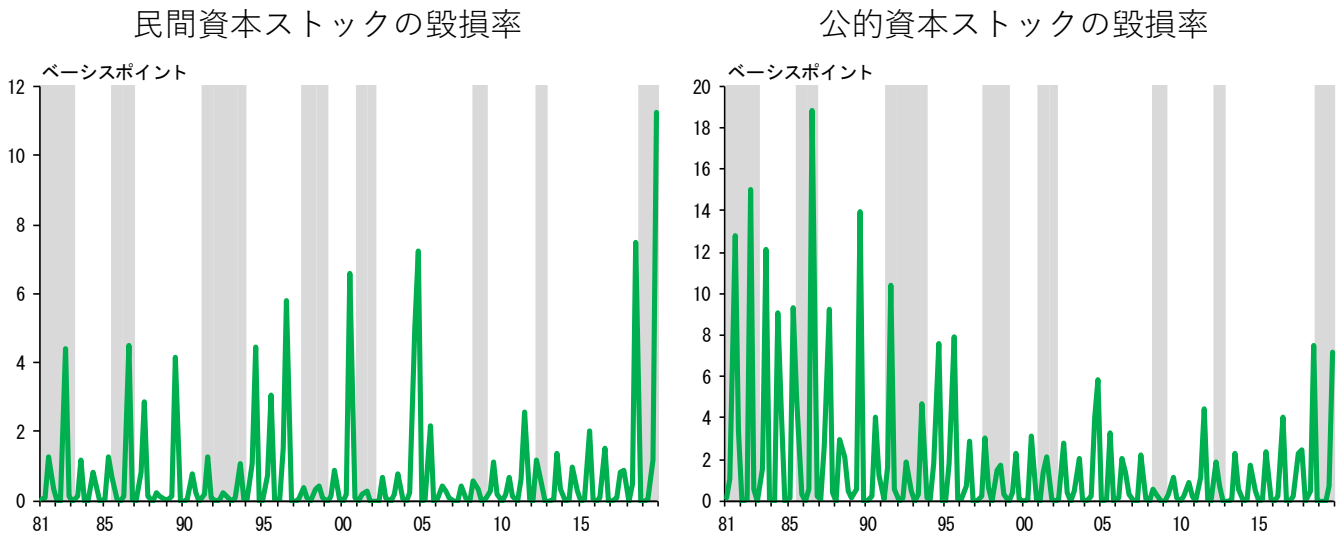
(被害額・棄損率・GDP 累計損失額)

案分比率 (公共：民間)		公共/民間 =1.8	公共/民間 =1.4	公共/民間 =1.0	公共/民間 =0.6	公共/民間 =0.2
民間 資本	被害額 (実質、兆円)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	毀損率 (%)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
公的 資本	被害額 (実質、兆円)	0.36	0.28	0.20	0.12	0.04
	毀損率 (%)	0.55	0.42	0.30	0.18	0.06
公的÷ 民間	被害額 (倍)	1.80	1.40	1.00	0.60	0.20
	毀損率 (倍)	2.81	2.19	1.56	0.94	0.31
GDP損失の 累計額 (兆円)	1年	-1.39	-1.24	-1.09	-0.94	-0.79
	3年	-2.06	-1.89	-1.71	-1.54	-1.37
	5年	-2.28	-2.12	-1.95	-1.79	-1.63
	10年	-2.52	-2.38	-2.25	-2.11	-1.97

(注) 棄損率は「被害額/資本ストック額」として算出。資本ストックの被害額は水害被害額デフレーターを用いて 2010 年時点の物価で実質化。



図2. 水害による民間・公的資本ストックの棄損率

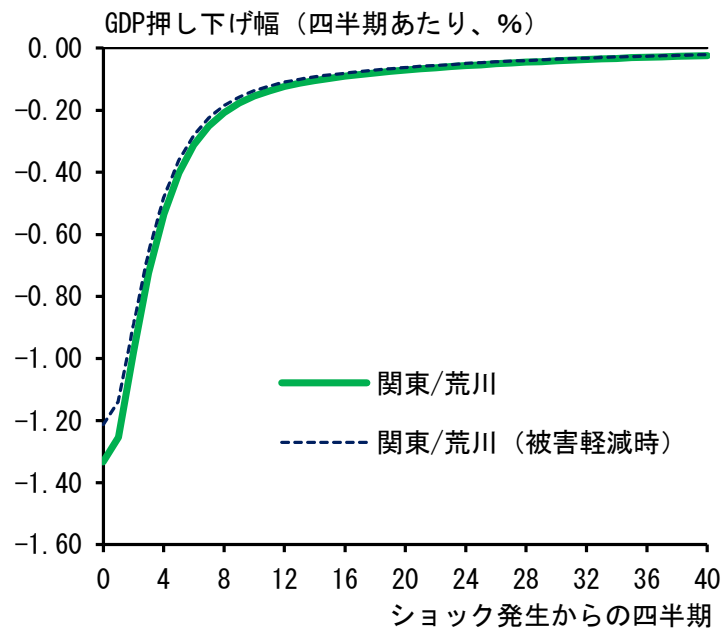


(注) 1. 各グラフの横軸は西暦を表す。

2. シャドーは内閣府の定める景気循環の景気後退期を表す。

(出所) 国土交通省「水害統計調査」、気象庁「過去の気象」、日本銀行「資金循環統計」

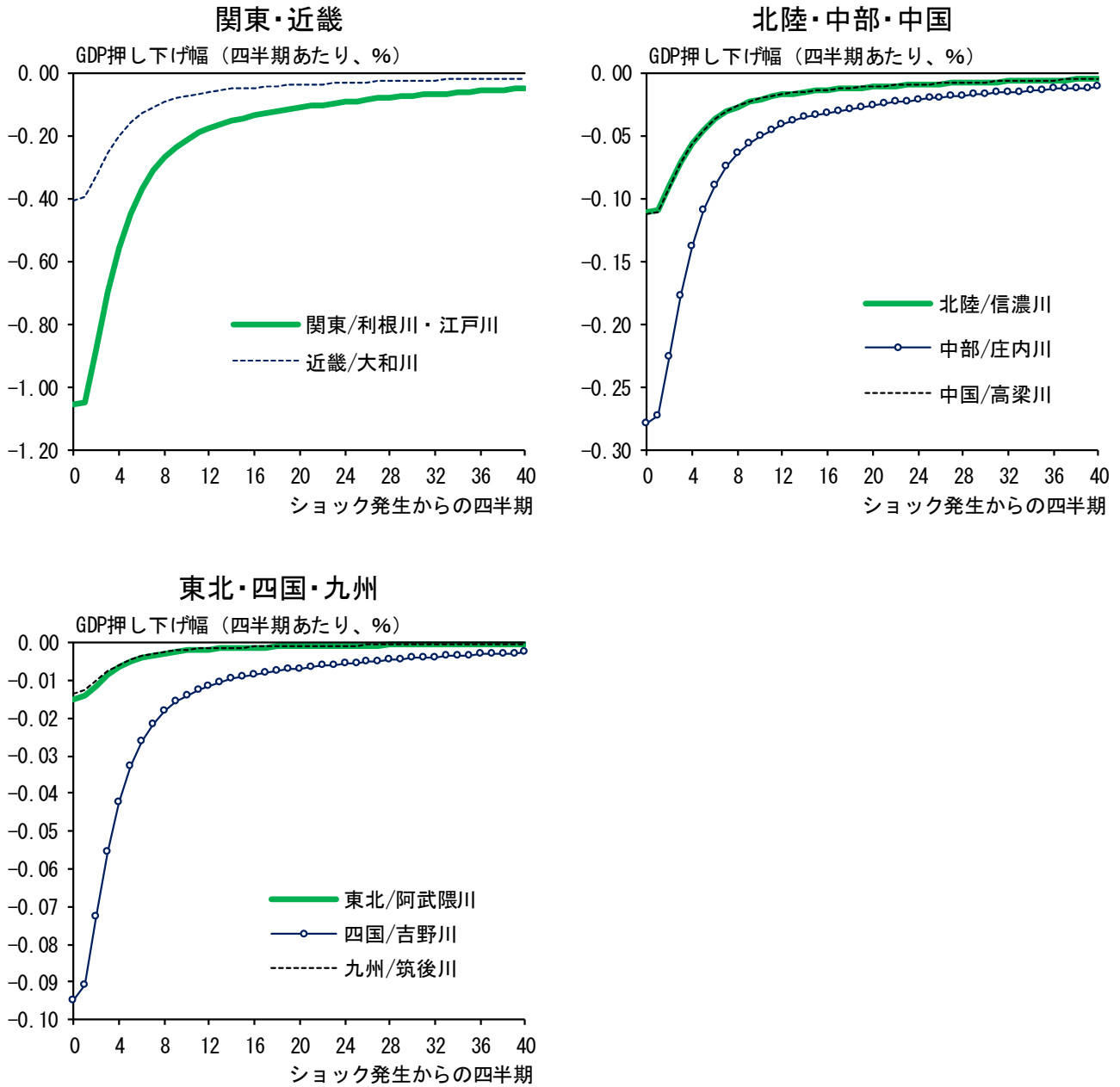
図3. GDP のインパルス応答 (想定最大規模、荒川 R2 ブロック)



(注) 1. 各曲線は、民間・公的資本ストックの棄損ショック (想定最大規模降雨を外力とし荒川の R2 ブロックにおいて破堤した場合) による GDP の押し下げ幅の時系列を表す。破線は、河川整備計画に基づいた河川整備を実施した後の時系列を示す。

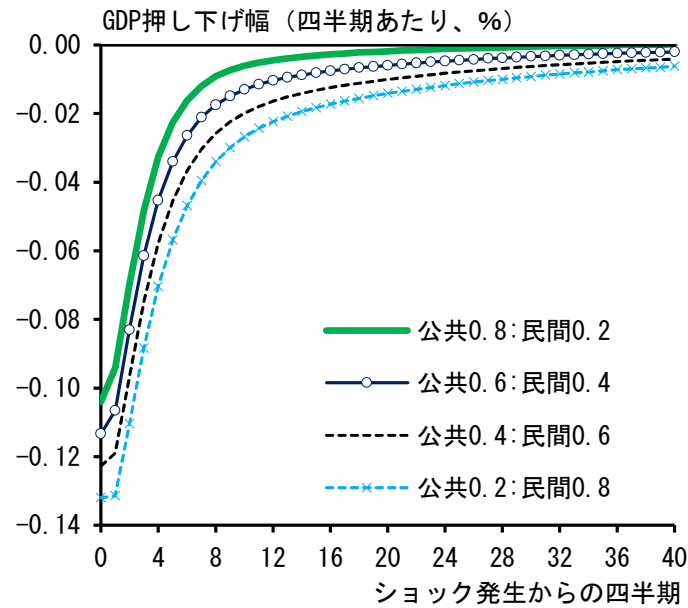
2. 各グラフの横軸は、ショック発生後に経過した四半期を表す。

図4. GDP のインパルス応答（各河川計画規模、被害最大ブロック）



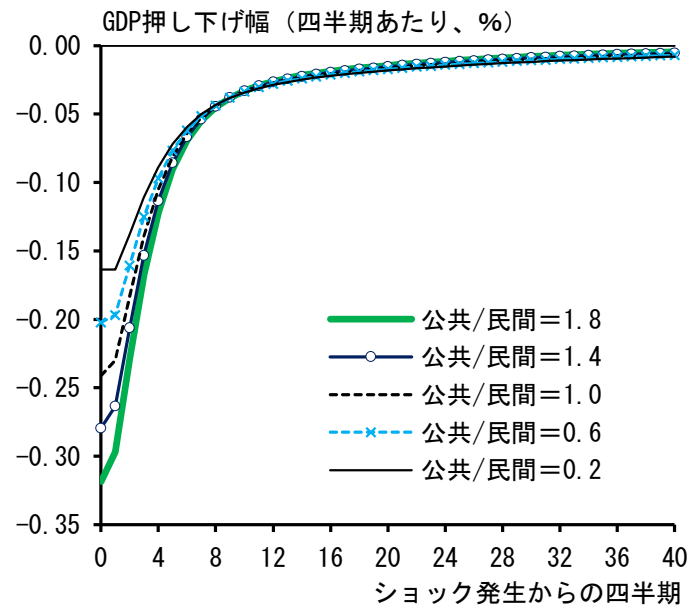
- (注) 1. 各曲線は、民間・公的資本ストックの棄損ショック（各河川の計画規模を外力とし被害最大ブロックにおいて破堤した場合）による GDP の押し下げ幅の時系列を表す。  
 2. 各グラフの横軸は、ショック発生後に経過した四半期を表す。

図 5. GDP のインパルス応答（民間・公的資本ストック間で被害を案分）



- (注) 1. 各曲線は、民間・公的資本ストックへの被害の案分比率ごとの GDP の押し下げ幅の時系列を表す。  
 2. 各グラフの横軸は、ショック発生後に経過した四半期を表す。

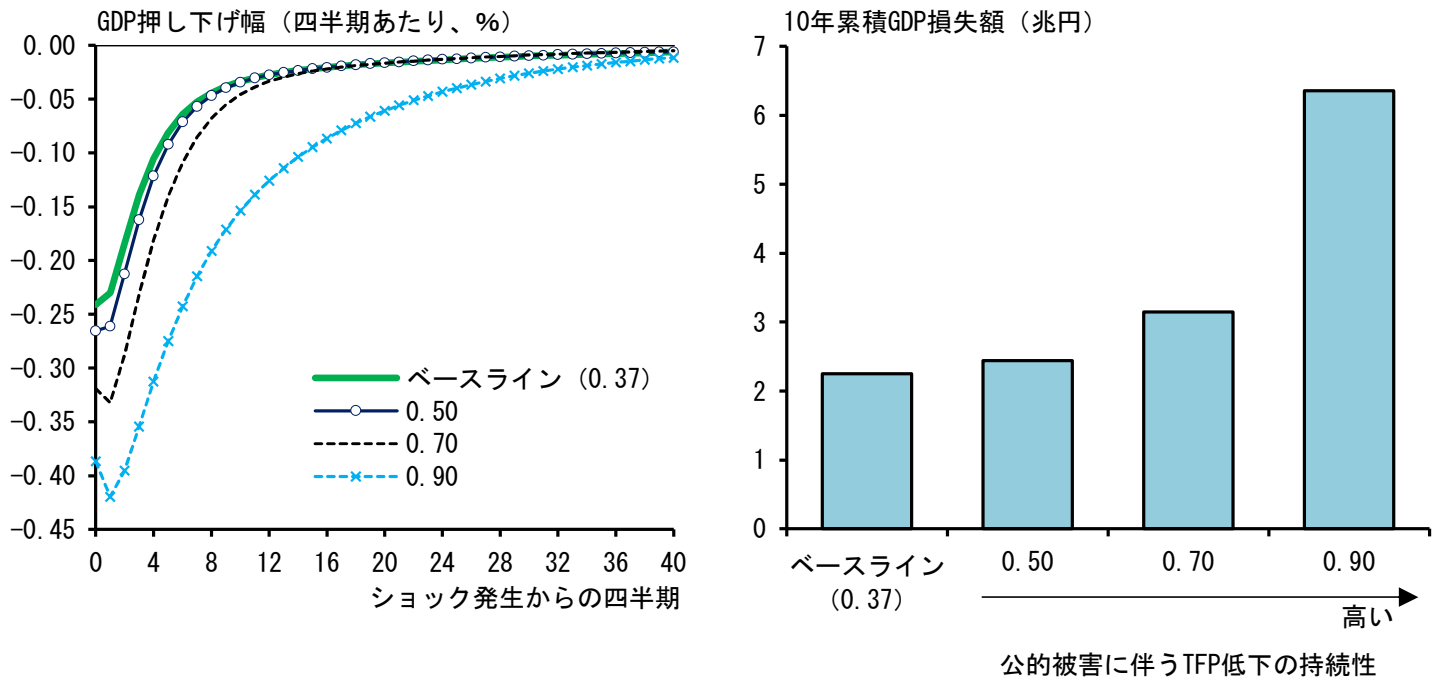
図 6. GDP のインパルス応答（民間被害一定で公的被害を変化）



- (注) 1. 各曲線は、民間被害一定のもとで公的被害を変化させた場合の GDP の押し下げ幅の時系列を表す。  
 2. 各グラフの横軸は、ショック発生後に経過した四半期を表す。



図7. GDP のインパルス応答 (公的資本の復旧が遅滞)



- (注) 1. 左図の横軸は、ショック発生後に経過した四半期を表す。  
 2. 右図の縦軸は公的資本が通常通り復旧した場合 (ベースライン) と遅滞した場合の10年累積 GDP 損失額、横軸は TFP の押し下げの持続性を規定するパラメータ  $\rho_{fdr}^g$  の値を表す。