



日本銀行ワーキングペーパーシリーズ

水害が実体経済に与える影響に関する定量分析

芦沢拓郎*

takurou.ashizawa@boj.or.jp

須藤直*

nao.sudou@boj.or.jp

山本弘樹*

hiroki.yamamoto@boj.or.jp

No.22-J-11
2022年4月

日本銀行
〒103-8660 日本郵便（株）日本橋郵便局私書箱30号

* 金融機構局

日本銀行ワーキングペーパーシリーズは、日本銀行員および外部研究者の研究成果をとりまとめたもので、内外の研究機関、研究者等の有識者から幅広くコメントを頂戴することを意図しています。ただし、論文の中で示された内容や意見は、日本銀行の公式見解を示すものではありません。

なお、ワーキングペーパーシリーズに対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行情報サービス局 (post.prd8@boj.or.jp) までご相談下さい。転載・複製を行う場合は、出所を明記して下さい。

水害が実体経済に与える影響に関する定量分析*

芦沢 拓郎[†]・須藤 直[‡]・山本 弘樹[§]

2022年4月

【要旨】

近年、気候変動の大規模化に伴う自然災害の発生が、経済活動に与える影響に注目が集まっている。自然災害は、企業や家計が保有する資産や公的なインフラストラクチャーに被害を与えるが（直接効果）、その結果、生産要素の投入量の変化などを通じて、その後の経済活動にも二次的な影響を与える（間接効果）。もっとも、間接効果の計測については、多くの実証分析の積み重ねがあるものの、規模や持続性だけではなく、符号についてさえもコンセンサスが確立されていない。本稿では、県民経済計算と水害統計を用いて、過去、わが国において発生した水害が、実体経済に与えた間接効果を推計した。本稿の主な分析結果は、次の3点である。第1に、水害発生は、発生地点が所在する都道府県のGDPに対して押し下げに作用するが、その影響は発生年の翌年以降には統計的な有意性が失われるなど、長期間は持続しない可能性がある。第2に、水害発生は、産業間で異なる影響を与える。産業別GDP別に間接効果をみると、製造業や卸売・小売業などの業種では、水害被害が主として押し下げの影響を及ぼす一方、建設業では主として正の影響を及ぼしていることが確認される。第3に、水害発生の間接効果の大きさは、被害が生じる資産・施設・設備ごとに異なる。家計や事業所の被害と比べて、道路等の公共土木施設の被害や電力設備等の公益事業等の被害は、相対的に大きくGDPを押し下げる傾向があり、これは、水害被害の波及効果における公的インフラストラクチャーの重要性を示唆していると考えられる。

JEL 分類番号：C21, C23, O44, Q54

キーワード：気候変動、自然災害、物理的リスク、水害

* 本稿の分析に際しては、国土交通省水管理・国土保全局河川計画課より水害統計を提供頂いた。また、本稿の作成に当たり、国土交通省、澤田康幸氏、清水千弘氏、中島上智氏、武藤祥郎氏、吉田二郎氏のほか、鈴木公一郎氏、中村康治氏、西崎健司氏、松村浩平氏、武藤一郎氏をはじめとする多くの日本銀行スタッフから有益なコメントを頂戴した。記して感謝の意を表したい。ただし、残された誤りは筆者らに帰する。なお、本稿の内容や意見は、筆者ら個人に属するものであり、日本銀行の公式見解を示すものではない。

[†] 日本銀行金融機構局 (takurou.ashizawa@boj.or.jp)

[‡] 日本銀行金融機構局 (nao.sudou@boj.or.jp)

[§] 日本銀行金融機構局 (hiroki.yamamoto@boj.or.jp)

1 はじめに

近年、気候変動に対する関心の高まりを受けて、気候変動に伴う自然災害の発生が、経済活動に与える影響についても注目が集まっている。自然災害の被害については、人命の損失や企業・家計が保有する資産、公的なインフラストラクチャーへの物理的な被害といった直接的な帰結（直接効果）だけではなく、直接効果の経済活動への波及として生じる生産活動の障害や所得の低下といった経済活動の変化（間接効果）があると考えられ、各国において、被害の大きさの測定や被害規模に影響を与える経済的・社会的要因の特定を目的とした数多くの実証分析がなされている。もっとも、Bayoumi (2021)や Cavallo et al. (2021)などの先行研究で既に指摘されている通り、物理現象としての自然災害の多様性に加えて、自然災害が発生する国・地域の多様性もあり、間接効果については、被害規模の決定要因のみならず、そもそもどのような規模・符号・持続性で作用するのかという点について、必ずしもコンセンサスは存在しない。

本稿では、自然災害のうち水害に焦点を当てて分析を行う。過去の自然災害件数で見ると、わが国においては、その7割以上を台風・洪水・地滑りといった水害に係る災害が占めており、無視しえない重要なリスクと考えられる^{1,2}。また、文部科学省と気象庁によって、RCP2.6シナリオ（温室効果ガス排出量の国際合意である、パリ協定を達成するような対策が取られる場合のシナリオ）や、RCP8.5シナリオ（追加的な対策がとられなかった場合のシナリオ）のもとでのシミュレーションが実施され、豪雨の発生回数が先行き有意に増加する可能性が報告されるなど（文部科学省・気象庁[2020]）、先行きも、重要性が高まっていくことが見込まれる。国土交通省も、これら2つのシナリオのもとで、洪水の発生頻度が2倍から4倍程度に増加するとの結果を公表している（国土交通省[2019]）。

本稿の分析目的は、過去、わが国で発生した水害がGDPなどの実体経済に与えた間接効果の推計である。分析データは、1998年から2018年の県民経済計算と水害統計であり、各年において、各都道府県で発生した資産・設備・施設に対する水害被害額（直接効果）と発生年以降2年後までの当該都道府県の年次の経済変数の動き（間接効果）との関係性を、パネル化したローカル・プロジェクションを用いて時系列分

¹ 水害のリスクは、国際的にも重要なリスクとして認識されている。気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク（Network for Greening the Financial System, NGFS）は、NGFSシナリオ（2021）において、気候変動に係る物理的リスクとして気温上昇ストレス（heat stress）と並んで水害を挙げている。これは、気候変動の結果として気温が上昇する場合には、大気中に保持される水蒸気量が増加することを背景として、降雨量のパターンに変化が生じると考えられるためである。

² 本稿では、気候関連金融リスクのうち「物理的リスク」の分析に焦点を当てている。気候関連金融リスクにおける「移行リスク」と密接に関わる、脱炭素社会への移行過程における課題や論点については、倉知ほか（2022）などを参照。

析している。県民経済計算には、全産業 GDP だけではなく、産業別 GDP も時系列が整備されており、水害統計においては、被害額の総額だけではなく、家計や事業所の被害額、道路等公共土木施設の被害額、電気等の公益事業等の被害額といった被害額の内訳も報告されている。本稿では、こうした詳細データを活用しつつ、水害発生が全体としての GDP に与える影響だけではなく、製造業や建設業といった各産業 GDP に与える影響の違いや、水害被害が一般事業所の資産毀損として生じた場合と、道路等の損壊で生じた場合で、どのように異なるかなど、間接効果の波及経路の詳細な特定を試みている。

本稿の主な分析結果は、次の3点である。第1に、水害発生は、水害発生年において、GDP の水準に対して統計的に有意な押し下げ効果を持つ。定量的にみると、水害の直接効果として、都道府県の GDP 対比で 0.2% 程度の被害総額が発生すると、間接効果として、GDP の水準は、水害が発生しなかったときと比べ、90% 信頼区間でみて ▲0.01~▲0.07% 程度、低下する。この押し下げ効果は、翌年以降には統計的に有意には確認できなくなり、水害発生による間接効果は長期間は持続しない可能性がある。第2に、水害が及ぼす効果は、産業ごとに異なる。産業別 GDP の間接効果をみると、製造業や卸売・小売業などの業種では、資産・施設・設備の種類によるものの、有意に押し下げの影響を及ぼすことが確認される。建設業では、逆に、有意に正の影響を及ぼすことが確認される。こうした産業間の反応の違いは、水害の間接効果において、民間資本ストックなどの生産要素の投入量の減少や公的インフラストラクチャーの毀損による TFP の低下といった、経済活動を押し下げる方向に働く供給サイドの要因と、公的な復旧活動に加えて von Peter et al. (2012) などで指摘される保険の役割のもとでの民間の補修・修繕活動など、経済活動を押し上げる方向に働く需要サイドの要因が混在し、それぞれが各産業に対して異なる符号・大きさの影響を及ぼしていることに由来すると考えられる。こうした産業間の違いは、Loayza et al. (2009) などの海外の先行研究でも指摘されている。第3に、水害発生の間接効果の大きさは、被害が生じる資産・設備ごとに異なる。家計や事業所の被害と比べて、道路等の公共土木施設被害や電力設備等の公益事業等の被害は、直接的な被害額が同じであったとしても、相対的に大きく GDP を押し下げる傾向がある。

本稿の構成は次のとおりである。第2章では、水害を含む自然災害が実体経済に与える間接効果の実証分析について、先行研究を紹介しつつ、代表的な結果や本分析との違いを整理する。第3章では、本分析で用いたデータの概要を説明する。第4章では、分析に用いた推計モデルを説明する。第5章では、推計結果と、結果から得られた示唆について考察する。第6章では、本稿の分析結果をまとめる。

2 先行研究

自然災害が実体経済、特に GDP に与える間接効果は、理論的にも必ずしも一意ではない。例えば、Bakkensen and Barrage (2019)では、以下のような標準的な生産関数を想定したうえで、負と正の双方を含む複数の経路があることを議論している³。

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}.$$

ここで、 Y_t 、 A_t 、 K_t 、 L_t は、それぞれ GDP、TFP、資本ストック投入量、労働投入量、 α は、生産関数に係るパラメータである。労働投入量については、内生的成長モデルを想定する場合には、人的資本ストックも含み得る。1つ目の経路は、Hsiang and Jina (2014)でも議論されているような、自然災害が物理的に生産要素を毀損する結果として、生産活動に用いられる生産要素の投入量や配分など、供給サイドの環境変化が惹起される経路である。工場が浸水することで、資本ストック K_t を中心とした生産要素投入が減少し、GDPが低下するなどの状況が該当する⁴⁵。水害発生による資本ストックの毀損が頻発する場合には、資本蓄積が阻害され、経済成長が押し下げられる可能性もある。実際、Hsiang and Jina (2014)では、6,700のサイクロンの事例とクロス・カントリーのデータを用いて、サイクロン発生による資本減耗率と経済成長率の間の負の相関を報告している。同様に、Bakkensen and Barrage (2019)では、TFPとサイクロンの規模の間の負の相関を報告している。自然災害とGDPに負の相関を報告しているその他の実証分析としては、例えば、Noy (2009)、Strobl (2011)、von Peter et al. (2012)、Bello (2017)、などがある。こうした分析では、自然災害がGDPを押し下げるだけではなく、その押し下げ効果が長期間持続する場合があることも報告されている。例えば、Strobl (2011)は、自然災害が発生年の被災地域の所得成長率を押し下げ、その後は、成長率に影響を及ぼさないこと、言い換えると、自然災害の発生の結果として、発生年以降の経済規模の水準は、押し下げられることを報告している。

需要サイドの重要性を指摘した論文として、von Peter et al. (2012)、Sawada et al. (2017)、

³ 類似の分類は、Hsiang and Jina (2014)でも提示されている。同論文では、自然災害後の実体経済が辿るパターンとして、①被災前のトレンドを直ちに上回る経路 (creative destruction)、②一旦減少した後に被災前のトレンドを超過する経路 (build back better)、③一旦減少した後にトレンドに回帰する経路 (recovery to trend)、④被災による低下を回復できない経路 (no recovery) を挙げている。後述するように、本稿の結果は、このうち③に該当すると考えられる。

⁴ TFPを上式のように定義した場合には、TFPの低下には、公的インフラストラクチャーが毀損によってそれまで提供してきたサービスを提供できなくなるような状況のほか、中間投入財の投入量の減少といった状況も含まれる。

⁵ 仮に後述するようなりスク認識の変化のような経路が全くない場合でも、von Peter et al. (2012)において指摘されている通り、この一つ目の経路を通じて、自然災害のGDPへの影響が正になることがあり得る。これは、自然災害による既存の資本ストックの毀損はGDPには計上されない一方、一旦毀損された資本ストックの復旧活動はGDPには計上されるためである。例えば、資本ストック毀損の結果として、資本ストック投入量が減少したとしても、復旧活動などを背景として労働供給量が大きく増加する場合には、ネットでみた効果が正になることもあり得ると考えられる。

Tran and Wilson (2020)などがある。自然災害の直接効果として、特定の生産要素の投入量が減少したとしても、財政支出や保険金支払いなどによって被災地の住民や企業の需要が押し上げられる場合には、ネットでみた生産要素投入量や所得が増加し、GDP が押し上げられる可能性もある。von Peter et al. (2012)は、1960 年から 2011 年までの 203 か国の年率のパネルデータを用いて、自然災害は、GDP を恒久的に有意に押し下げるものの、事前の保険契約によって損害のリスクが移転されている場合には、この押し下げ効果はほぼ消失することを報告している⁶。Noy (2009)も、自然災害の発生は、GDP に対して押し下げ方向で作用するとしただけで、そうした影響は、発生国の所得や財政支出の規模が大きいほど抑制されることを指摘している。

加えて、中長期的な経済主体のリスク認識の変化などを通じた貯蓄・投資行動の変化も重要と考えられている。例えば、自然災害のリスクを認識する結果として、経済主体がより物的・人的資本ストックへの投資を促進するのであれば、中長期的には資本蓄積が進み、理論的には経済成長率が高まることになる。自然災害の正の効果を指摘している実証論文としては、例えば、Skidmore and Toya (2002)や Tran and Wilson (2020)があり、前者は、89 か国における GDP など経済変数の長期的な成長率と自然災害発生頻度のデータを用いて、自然災害の発生頻度が人的資本が蓄積される速度や TFP および GDP の成長率と正に相関をしていることを報告したうえで、この観察結果の背景として、自然災害のリスクが上昇すると、物的資本の期待収益率が低下することから、人的資本への投資が促されるというメカニズムが作用している可能性があることを指摘している。図表 1 では、これらの先行研究を長短の時間軸と正負の影響別にまとめている。

一方で、これらの経路と必ずしも符合しない実証研究も存在する。例えば、Cavallo et al. (2013)は、極端に大規模な災害を除くと、自然災害は基本的には実体経済に統計的に有意な影響を与えないこと、加えて、極端な災害についても、実体経済を押し下げるのは、自然災害発生後の政治の不安定化であり、その要因を除去すると、実体経済に有意な影響を与えないことを報告している。

本稿の分析は、自然災害の間接効果の推計を行っているという点で、こうした既存研究と共通する。もっとも、既存研究では、中長期的な GDP 成長率を分析することが多いのに対して、年次データを用いてローカル・プロジェクションを行うことで、自然災害の影響の短期的な動学に着目している点が異なる。また、クロス・カントリーではなく、経済・社会制度的な同一性が相対的に確保されている都道府県別のデータを用いているほか、自然災害の尺度についても、自然災害の有無といったダミー変

⁶ von Peter et al. (2012)では、2010 年にハイチとニュージーランドで発生した大地震の事例をケース・スタディとして報告している。両国では、地震の直接的な被害で見ると、両国でほぼ同程度であったもとの GDP 成長率が大きく低下したのに対し、後者では、建設・在庫調整・公共支出の増大を通じて、GDP 成長率の変化が軽微であった可能性があるとしたうえで、違いの背景として、地震保険のカバー率が後者では 80%程度であったのに対して、前者では 1%に満たなかったことを指摘している。

数ではなく、被災施設ごとの被害額を用いるなど、相対的に高粒度のデータを用いている点が特徴である⁷。

3 分析データ

本稿の分析では、水害統計（国土交通省）による都道府県単位の水害データと、県民経済計算（内閣府）による都道府県別の GDP 等を用いて、水害が実体経済に与える影響の推計を行う。山本・仲（2021）において言及されているとおり、水害統計が記録する水害被害の最小単位は市区町村であるが、市区町村単位の実体経済データは限られることから、本稿では、相対的に実体経済データが豊富な都道府県別データを用いてパネルデータを構築し、分析を行う。

3.1 水害被害

各都道府県が被った水害被害のデータについては水害統計を利用する。水害統計は、治水に係る行政施策の実施に必要な基礎資料を得ることを目的に、規模の大小を問わずに水害により発生した被害を記録しており、1961 年以降毎年実施されている暦年統計である。調査対象は、①世帯、事業所、農地といった一般資産、②道路や橋梁、河川・海岸の堤防などの公共土木施設、③鉄道、水道、電力といった公益事業の三種類であり、地方自治体や事業主体からの報告をもとに作成されている。記録されている被害状況は、被害を受けた事業所や建物の棟数といった数量情報や、一定の仮定の下で推計された被害額等である。例えば、標本期間である 1998 年～2018 年における水害による一人当たり被害額を都道府県別にみると、この間の水害による平均的な一人当たり被害額は約 1.3 万円となっているものの、最大値では約 75 万円と相応に大きいことがわかる。また、データが利用可能な 1996 年～2018 年間の 23 年間について、市区町村単位で一人当たりの一般資産等被害額をみると、最大値は約 410 万円と局所的には年間所得を上回るような甚大な被害が起きている。

3.2 県民経済計算

各都道府県の主要な実体経済データとしては、県民経済計算を用いる。県民経済計算は、各都道府県の県民経済を、国民経済計算に基づき記録するもので、各都道府県により作成されている。作成に当たっては県民経済計算標準方式（内閣府）や県民経済計算推計方法ガイドライン（内閣府）が公表されており、都道府県間の相互比較に

⁷ 国別データよりも高粒度のデータを用いた分析として、米国の郡（county）別の自然災害被害が雇用や所得に与える影響を分析した Tran and Wilson (2020)や、銀行財務に与える影響を分析した Blickle et al. (2021)などが挙げられる。

配慮がされている。もっとも、こうしたガイドラインに示されている通り、算出の基礎となる統計データの不足を背景として、県民経済計算における一部の項目は、5年ごとの経済センサス調査など、水害統計対比で低頻度な統計を基礎データとして用いている。このため、年次の水害の影響が計数に表れえない、あるいは限定的にしか表れない系列⁸が存在している。こうした系列については、本稿の分析目的に鑑み、分析対象からは除いている。

なお、水害統計が暦年統計であるのに対し、県民経済計算は年度統計であるが、例えば、橋本・須藤 (2022)で示されている通り、水害は1～3月に発生することが少ないことに加えて、10～12月に発生した水害の波及にラグがある場合には、翌年1～3月を含む年度統計を用いることでその影響を十分に反映することができると考えられるため、暦年・年度の時期調整は行なっていない。

4 実証モデル

4.1 ベースラインモデル（モデル I）

推計手法は、各都道府県ごとの固定効果と時点ごとの固定効果を含んだ固定効果モデルである。こうした固定効果モデルによる定式化は、Botzen et al. (2019)で述べられているように、Tran and Wilson (2020)や山本・仲 (2021)を含め、自然災害が経済活動に与える影響に関する実証分析において頻繁に利用されている。具体的には、以下の定式化を用いる。

$$\begin{aligned} & \log Y_{i,t+h} - \log Y_{i,t-1} \\ &= \sum_{\tau=-3}^0 \beta_{\tau,h} D_{i,t+\tau}^0 + \mu_h (\log F_{i,t} - \log F_{i,t-1}) \\ & \quad + \delta_{i,h} + \delta_{t,h} + E_{i,t+h} + C_h + \varepsilon_{i,t,h}. \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、各変数における第1添え字の*i*は都道府県を、第2添え字の*t*は時点を示している。被説明変数における $Y_{i,t+h}$ は、*t*年に発生した水害被害により影響を受け得る実体経済変数の*t+h*年における値を表す。 $Y_{i,t+h}$ と $Y_{i,t-1}$ の対数値の差を被説明変数にしているということは、該当する変数について、水害発生後の*h*年後までの累積和を

⁸ 例えば、県民経済計算における最終家計消費支出では、世帯当たり消費額×世帯数で計算される値を含んでいる。このうち、世帯当たりの消費額は、全国消費実態調査（総務省）に基づいており、5年ごとに行われるその調査年以外は、調査年間に等率の年間成長率で補間（内挿）している（最新の調査年以降は直近の伸び率で補外している）。

分析していることと同値である。右辺第一項の $D_{i,t}^0$ は、水害被害額であり、水害発生年の前年の GDP で除すことで基準化している。 $D_{i,t-1}^0$ 、 $D_{i,t-2}^0$ 、 $D_{i,t-3}^0$ は、水害発生年の3年前から水害発生年の前年までの各年の水害被害額であり、Tran and Wilson (2020)の定式化に倣ったものである。これにより、 t 時点以前に発生した水害被害が t 時点の $Y_{i,t}$ に与える影響をコントロールしている。

水害発生時には、被害地域に対する財政支出や保険金の支払い等（以下、財政支出等）が行われることにより、実体経済に影響を与える可能性がある。Tran and Wilson (2020)を含め、既存分析では、こうした財政支出等が直接的に住民の所得などの被説明変数を変化させる効果や、その結果として需要が二次的に増加するといった乗数効果も含めて、水害被害の間接効果として捉えるケースが多い。もっとも、水害発生時点での財政支出等については、分析対象である t 年に生じた水害発生とは無関係のものもある可能性があり、こうした要因が、推計結果にも影響を与えることが考えられる。こうした観点から、説明変数においては、都道府県別の預金 $F_{i,t}$ を含めることで、財政支出等の影響を除いている⁹、¹⁰。 δ_i と δ_t はそれぞれ、都道府県の固定効果と、時間固定効果（時間ダミー）を表している。 $E_{i,t}$ は地震ダミーであり、 δ_t で取り去り切れない大規模地震の不均質な影響をコントロールする項として、東日本大震災の影響が特に大きく見られた岩手、宮城、福島の上三県における 2011 年度に 1 が立っており、それ以外は全て 0 となっている。この点、東日本大震災の発生は 2010 年度に含まれるが、発生日が 3 月 11 日であったことから、経済データへの影響は翌年度の 2011 年度に現れると想定し、2011 年度にラグを立てている。残る項のうち、 C は定数項であり、 $\varepsilon_{i,t}$ は誤差項である。

4.2 代替的なモデル（モデルⅡ）

本稿では、結果の頑健性を確保する観点から、(1) 式で表されるベースライン・モデルに加えて、代替的なモデルによっても推計を行う（以下、モデルⅡ¹¹）。当モデルは、(1) 式に GDP のラグ項 ($\log Y_{i,t-1}$) を加えたモデルであり、クロス・カントリー

⁹ 都道府県別預金における都道府県とは、預金受入店舗が所在する都道府県を示している。自然災害の影響を推計する際に、預金額を用いて、財政支出等の効果を勘案する定式化は、Blicle et al.(2021)も採用している。なお、財政支出等の規模は、水害被害額の多寡に紐づいている部分と、水害被害額から独立に決まっている部分の和で表されると考えられるが、この手法を用いれば、このうち後者の効果を除くことができると考えられる。一方で、前者の部分については、除くことができない。

¹⁰ クロス・カントリー・データを用いた Skidmore and Toya (2002)や Felbermayr and Gröschl (2014)などの既存研究では、経済規模を表す変数として預金に類似する変数が用いられることもある。こうした研究では、この他、政治的安定性に関する指標や貿易の開放度に係る指標が説明変数に組み込まれていることが多いが、本稿の分析対象は、同一国内の都道府県の分析であるため、説明変数には入れていない。

¹¹ ラグ項を含むダイナミック・パネル・データを用いた推計に関し、Judson and Owen (1999)では、推計サンプルが時間方向に一定程度長ければ推計結果のバイアスは小さいものとなることを指摘している。実際、Felbermayr and Gröschl (2014)においても本稿と同様の方法がとられている。なお、この点のバイアスを除く観点から、モデルⅡを GMM（一般化積率法）を用いて推計した場合でも、推計結果は大きくは変わらなかった。

一・データを用いた自然災害に関する実証研究では、Loayza et al. (2012)や Felbermayr and Gröschl (2014)など広く用いられている。Mankiw et al. (1992)や Islam (1995)で議論されているように、古典的な経済成長理論であるソロー・モデルでは、 t 年の経済成長率は、定常状態での経済規模とその時点での経済規模 $Y_{i,t}$ の差が大きいほど、高くなる。言い換えると、経済規模の水準に応じて、その後の経済の定常状態への収束の早さが異なるべきであり、この点を調整する必要があるとする考え方を反映している。なお、(2) 式における各変数は、ラグ項を除けば (1) 式と同様である。

$$\begin{aligned} & \log Y_{i,t+h} - \log Y_{i,t-1} \\ &= \sum_{\tau=-3}^0 \beta_{\tau,h} D_{i,t+\tau}^0 + \rho_{t,h} \log Y_{i,t-1} + \mu_h (\log F_{i,t} - \log F_{i,t-1}) \\ & \quad + \delta_{i,h} + \delta_{t,h} + E_{i,t,h} + C_h + \varepsilon_{i,t,h}. \end{aligned} \quad (2)$$

5 推計結果と考察

5.1 GDP に対する影響

図表 4 は、推計式 (1) において、被説明変数を、水害発生年 (0 年) から 2 年後までの都道府県別 GDP、説明変数を、水害被害総額 (一般資産等被害額<以下、一般被害額>、公共土木施設被害額<以下、公共被害額>、公益事業等被害額<以下、公益被害額>、三者の総額) とした場合の推計結果である。実線の縦線は、信頼区間 90%、棒グラフは点推計値を表している。棒グラフが、濃い青色である場合には 95% で有意であることを示し、薄い青色である場合には 90% で有意であることを示している¹²。

まず、水害被害総額が発生年の GDP に与える影響をみると、GDP 対比でみて 0.2%¹³の規模の水害被害が発生した場合、GDP は 0.04%ポイント、統計的に有意に下落することが確認できる。もっとも、統計的に有意な下押し効果は発生年のみに限られる。翌年以降は、信頼区間が徐々に広がっていく結果、統計的に有意な結果は得られない。内訳である一般被害額と公共被害額、公益被害額を説明変数にした場合も、定性的には同様の結果が得られる。すなわち、何れの場合も、水害被害は、発生年の GDP を

¹² 信頼区間の計算に用いる標準誤差は、都道府県でクラスタリングを行ったロバスト推計値を用いている。

¹³ 推計期間における都道府県別水害被害総額の水害発生年前年の都道府県 GDP 対比の値は、平均すると約 0.2% である (図表 2)。このため、以下では、特に断りがない限り、推計結果を示す際には、それぞれの資産・施設・設備に対して、前年の GDP 対比でみて 0.2%の規模の毀損が生じた場合の発生年以降の GDP の反応を示している。もっとも、この 0.2%はあくまでも資産・施設・設備間の比較可能性を担保するための便宜的な設定であり、一部の資産・施設・設備においては、GDP 対比 0.2%の毀損額が資産価値総額と比べても大きくなっている可能性がある点には留意しておく必要がある。

統計的に有意に低下させる一方、その翌年以降は、統計的な有意性は消失する。点推計値でみると、一般被害と公益被害の GDP への影響はそれぞれ▲0.05%、▲0.13%、▲2.28%であり、一般被害よりも公共・公益被害の方がより大きな間接効果をもたらす可能性を示唆している。なお、被害額の影響に関する信頼区間が発生年で最も狭く、その後拡大するという傾向は、何れの被害額も同様である。これらの推計結果は、水害被害による間接効果が経済活動の下押しに作用する可能性があること、その効果が持続的でないこと、加えて、水害がどのような資産・施設・設備に被害を与えるかによって、その影響が異なり得ることを示唆する。

次に、波及経路をより詳細に確認するため、一般被害額、公共被害額、公益被害額のそれぞれについて、更に内訳項目に分けたうえで推計を行う。まず、一般被害額については、家計被害額（家屋<居住用および事業用の建物>や家庭用品への被害などの合計）と企業被害額（工作機械や農機、在庫資産など）に分割して推計を行う。なお、標本期間中の水害統計を踏まえると、一般被害額に占める家計被害額と企業被害額の割合は、平均的には、それぞれ70%、20%程度¹⁴であり、家計被害額の方が大きい。家計被害額をみると、水害発生年の GDP を有意に押し下げることが確認できる。もっとも、翌年以降は、統計的な有意性が失われるほか、点推計値が正に転じる。企業被害額については、発生年の点推計値でみると、家計被害額対比でみてより大きく GDP を押し下げる。もっとも、信頼区間も広く統計的には有意ではない。点推計値は、翌年以降はプラスとなり、2年目には統計的に有意になっている¹⁵。

公共被害額については、道路等とそれ以外の被害額に分けて影響を確認する。標本期間の水害統計では、公共被害額に占める道路等とその他（河川の堤防や急傾斜地崩落防止施設、公園など）の割合はそれぞれ30%、70%程度である。道路等についてみると、発生年に有意な押し下げの効果を持つことが確認できる。これは、交通網の毀損によって、人の移動や物流が妨げられ、生産活動や消費活動が抑制される効果を捉えていると考えられる。点推計値をみると、押し下げ幅は▲0.4%となっており、家計被害額や企業被害額に比べてもより深いマイナスになっている。翌年、翌々年についても、いずれも有意ではないものの、点推計値は引き続きマイナスとなっている。道路等以外の被害額についても、点推計値は発生年以降、一貫してマイナスである。もっとも、マイナス幅は、道路等と比べると小さいほか、何れの年についても押し下げ幅は有意ではない。

¹⁴ 一般被害額のうち、農作物被害額や、家計・企業の応急手当費（被災に伴う清掃費等）、営業停止損失については、ここでの分析から除いている。

¹⁵ 一般被害については、同じく水害統計から、本文で分析している金額指標だけではなく、家屋被害棟数（床下・床下浸水、半壊、全壊棟数の合計値）や事業所被災数といった物理的な被害指標を作成することも可能である。この指標を用いて、(1)式を推計すると、事業所建物が被災するほど、水害発生年の GDP が有意に減少することが確認された。もっとも、他の金額指標と同様に、翌年以降の GDP に対しては有意な影響は確認できなかった。

最後に、公益被害額について、電力、運輸、水道、通信にわけて確認する¹⁶。標本期間中の水害統計において、公益被害額に占めるそれぞれの被害額の割合は、平均的にみて、44%、38%、12%、5%程度である。この中で、統計的に有意な影響が確認できるのは、電力設備の被害額のみである。点推計値をみると、仮にGDPの0.2%の規模の水害被害が電力設備に発生した場合、GDPは4.0%ポイント低下するなど、押し下げ幅も、一般資産被害額や公共被害額と比べて相対的に大きくなっている。その他の事業設備については、被害の性質の個別性を映じてか、総じて、信託区間が広く、点推計値だけをみればプラスもマイナスもあるものの、統計的には何れも有意ではない。

水害被害の波及経路を、より詳細に確認するため、GDPの内訳項目¹⁷のうち、民間総固定資本形成を被説明変数としたうえで、(1)式を再推計したものが、図表5である。まず、一般被害については、家計被害・企業被害双方とも、発生年を含め被害総額が統計的に有意な影響を与えていないことが確認できる。

公共被害については、まず、道路等とそれ以外の被害額の双方が、民間総固定資本形成を有意に押し下げることが確認できる。その影響は、どちらの場合も水害発生の翌々年まで統計的に有意な押し下げがみられるなど、相応に持続的であることが確認できる。一般資産等被害額の場合と比較すると、この結果は、民間投資活動における公的なインフラストラクチャーを通じた公共サービスの提供が果たす役割の相対的な大きさを示唆していると考えられる。

公益被害額については、電力設備が被害を受けた際には発生年とその翌年において、水道設備が被害を受けた際には、発生年の翌々年において、民間総固定資本形成が有意に低下することが確認でき、公共被害についての結果と同様に、こうしたサービスの相対的な重要性を示していると考えられる。運輸や通信の設備への被害については、点推計値でみれば全て押し下げ方向であることが確認できるものの、統計的には有意ではない。

図表6、7は、図表4、図表5と同様の推計を、推計式(2)を用いて行ったものである。推計結果は、概ね、推計式(1)を用いた場合と変わらない。具体的には、以下

¹⁶ 公益被害については、ここでの分析に用いた項目のほか、ガスの被害額も存在するが、標本数が小さいことから推計から除外している。なお、公益被害のうち電力は10電力株式会社、運輸は航空・海上・陸上輸送業者等、水道は水道法第3条第2項～4項までで定める水道事業者等、通信は電気通信事業法9条に基づく事業者からの報告に基づきそれぞれ計上されている。

¹⁷ 脚注7にも記載したとおりGDPの内訳項目のうち民間最終消費支出については、その大半を占める家計最終消費支出において、更新頻度が低い一次統計が含まれているため推計に利用していない。具体的には、県民経済計算推計方法ガイドラインによれば家計最終消費支出は全国消費実態調査(総務省)をもとに作成されているが、同調査は5年ごとの調査となっている。このため、調査を行っていない期間については、調査年間で等比(年率)で補間するほか、直近の全国消費実態調査以降の各年については、同様の等比補間により外挿したうえで、最終消費支出の推計に利用している。このため、その水害の影響が把握し得ない可能性があるため、推計対象から除外している。

の2点にまとめられる。1点目は、水害被害は、GDPに対して押し下げに作用するという点である。例えば、水害総額でみた場合、前年のGDP対比でみて0.2%の規模の水害被害が生じた場合には、水害発生年のGDPは0.04%低下する。もっとも、発生年の翌年以降には、統計的に有意な押し下げ効果は確認できない。この傾向は、水害被害額を、一般資産、公共、公益被害の内訳でみた場合にも確認することができ、水害発生の間接効果が持続的ではない可能性を示唆すると考えられる。2点目は、水害被害がどの資産・施設・設備に生じるかによって、GDPの押し下げ効果は異なるという点である。まず、一般資産の被害、公共被害のうち道路等の被害、公益被害のうち電力設備の被害は、水害発生年に統計的に有意な押し下げ効果を確認できるが、一方で、例えば、道路等以外への被害（その他公共被害）など、統計的な関係性が確認できないものもある。加えて、GDPに統計的に有意な影響を与える資産・施設・設備で比べると、電力設備の被害は、点推計値が大きく、定量的にみて、相対的に大きなGDP押し下げ効果を持つことが示唆される。

5.2 産業別 GDP に対する影響

自然災害の間接効果の波及経路は、2章でみた通り、複数存在していると考えられ、産業によって異なる影響を与える可能性がある。以下では、製造業、電気・ガス・水道・廃棄物処理業（以下、電気等）、建設業、卸売・小売業について、それぞれの産業別GDPが水害の直接的な被害に対してどのように反応するかを推計する。産業の選択に当たっては、長期の時系列が入手可能かどうかという点に加えて、各系列の作成工程において用いられている一次統計の作成方法 — 年度統計である水害統計と同程度以上の頻度で更新される各都道府県統計が用いられているかなど — も考慮したうえで、作成方法の観点から、水害発生の影響を十分に捉えない可能性が高い系列は除いている¹⁸。

まず、図表8の製造業GDPをみると、水害発生年に、一般資産被害額のうち家計被害額と企業被害額がともに下押しに作用しており、このうち企業被害額は統計的にも有意となっている。点推計値は、企業被害額の方がより大きくマイナスである。もっとも、翌年以降には、統計的な有意性は失われている。公共被害額、公益被害額については、傾向としては点推計値がマイナスになっているものの、信頼区間が広く、有意な結果は得られていない。

図表9の建設業GDPについての推計結果は、製造業GDPとは大きく異なっている。まず、水害被害総額でみると、建設業GDPは、発生年および翌年において統計的に有意に増加する。一般被害額については、家計、企業被ともに発生年のGDPを

¹⁸ 例えば、産業別GDPのうち、不動産業や専門・科学技術、業務支援サービス業は、全国の指数を用いて推計されており、各都道府県の年次の動向が反映されていないと考えられるため、分析対象とはしていない。

有意に押し上げるほか、家計被害額は翌年も有意に押し上げている。もっとも、点推計値を比較すると、企業被害額の方が大きくなっている。こうした正の効果は、例えば、von Peter et al. (2012)で指摘されている通り、水害によって毀損された物理的資産を、家計や企業が修繕・回復する復旧需要が、建設業に相対的にプラスに作用しやすい傾向があることを捉えたものであると考えられる。公共被害額については、道路等、その他、双方とも建設業 GDP への影響を統計的な有意性をもっては確認できない。公益被害の中では、水道設備被害額が発生年の GDP に対して押し上げに寄与している。

図表 10 の電気等の GDP をみると、建設業 GDP の傾向よりは、製造業 GDP の傾向と近い結果となっている。具体的には、家計被害、道路等被害、電力設備被害、水道被害が、それぞれ有意に GDP を押し下げるとの結果になっている。特に、道路等および電力設備の被害額は、発生年の翌年以降も持続的に GDP を押し下げる姿となっており、電気等の生産活動において、公共施設および公益施設を用いた公的サービスが重要な役割を果たしていることが示唆される。一方、運輸施設の毀損に対しては、水害発生翌年に GDP は有意に正となる。

最後に、図表 11 の卸売・小売業の GDP についても、製造業や電気等 GDP と類似の推計結果が得られる。具体的には、公共被害のうち道路、公益被害のうち電力設備に被害が生じた場合には、水害発生年の卸売・小売業の GDP が有意に減少すると結果が得られている。また、公共被害のうち道路等以外と公益被害のうち電力設備への被害は、水害発生時の翌年の GDP を押し下げる。定量的には、電力設備被害の影響が最も大きい。こうした傾向は建設業の GDP とは対照的であり、また、製造業の GDP と比較しても、押し下げの影響が顕著である。推計結果は、卸売・小売業が販売する商品の製造にかかわる要素（企業、電力）や輸送に関わる要素（道路等）において、水害被害が顕著な影響を及ぼしていることを示唆している。

図表 12 から図表 15 は、産業別 GDP を被説明変数にした推計を、モデル II で行った場合の結果を示している。モデル II によれば、公益被害のうち通信設備への被害に対する製造業 GDP の反応が正になること、一般被害に対する建設業 GDP の押し上げ効果がより顕著に表れること、公共被害に対する卸売・小売業 GDP の反応が有意ではなくなることなど、二つのモデルの間で、幾つかの差異も確認される。もっとも、水害被害の影響が業種間で異なる可能性があること、より具体的には、製造業、電気等、卸売・小売業と比べて、建設業において、有意に正の影響を与える資産・施設・設備が多いという点は、モデル I による結果と同様である。

6 まとめ

自然災害が実体経済に与える影響のうち、特に間接効果については、各国で実証分析の蓄積があるものの、その規模だけではなく、符号や持続性といった点に関しても確立した見方が存在しない。本稿では、水害統計と県民経済計算等の都道府県別の実体経済データを用いて、水害被害が実体経済に与える間接効果の定量評価を試みている。分析手法としては、短期的な動学と長期的な影響の双方を捕捉する観点からローカル・プロジェクションを用いている。

本稿で得られた主な結果をまとめると、以下の3点である。第1に、水害被害は、水害発生年のGDPに対して統計的に有意な押し下げ効果を持つ。その大きさは、水害統計における水害の直接的な規模（水害被害総額）を基準としてみると、概ね、50分の1程度～3分の1程度となっている。発生年の前年のGDP対比でみる場合、1%の水害被害が生じた場合の押し下げ幅は、発生年において、点推計値でみて概ね▲0.18%～▲0.19%程度である。もともと、この数字は、過去の水害被害の間接効果の平均的なものであり、95%信頼区間をみると、▲0.02%～▲0.36%（モデルIIであれば、▲0.01%～▲0.35%）と相応に広いこと、また、間接効果の大きさは、水害が発生した都道府県の産業構成や水害被害が生じた資産・設備・施設の種類によっても大きく変わりうる点に留意する必要がある。なお、被災した資産・設備・施設の種類にも依存するものの、多くの場合、水害発生年の翌年以降には、間接効果は統計的に有意ではなくなっており、その持続性が高くないことを示唆している可能性がある。

第2に、水害発生は、産業間で異なる影響を与える。産業別GDPごとに間接効果を推計すると、製造業や卸売・小売業などの産業では、資産・設備・施設の種類によるものの、水害被害がGDPを統計的に有意に押し下げることが確認される一方で、建設業では、逆に正に有意に影響を及ぼしていることが確認される。例えば、家計資産に対するGDP比1%の水害被害は、点推計値でみると、発生年において、製造業GDPに対して▲1.2%、建設業に対しては+1.8%の影響を与える。このことは、水害被害の間接効果は、全体としては押し下げに作用していると考えられるものの、毀損した家屋・事業所・公共インフラストラクチャーの復旧作業などによる押し上げ効果も存在することを示唆している。

第3に、水害発生の間接効果の大きさは、被害が生じる資産・設備・施設ごとに異なる。家計や事業所の被害と比べて、道路等の公共土木施設被害や電力設備等の公益事業等の被害は、相対的に大きくGDPを押し下げる傾向がある。例えば、点推計値でみて、家計資産に対する1%の水害被害は、発生年において、GDPに対して▲0.32%の押し下げに作用するのに対して、仮に同じ大きさの水害被害が電力設備に生じた場合には、GDPに対して▲16.3%の影響を与える。これは、水害被害の波及効果におけ

る公的インフラストラクチャーの重要性を示唆していると考えられる。

本稿の主たる留意点として3点挙げられる。まず、データ制約などを踏まえて、分析の単位を都道府県としている点である。本稿では、都道府県別の水害被害が当該都道府県の経済活動に与える間接効果について、県民経済計算とマッチングしたパネルデータを作成し、実証分析を行っているが、県民経済計算は、内訳項目によっては、当該都道府県ではなく全国ベースのデータを用いているものや、当該都道府県のデータであるものの更新頻度が水害統計よりも遅いものも含まれる。また、特定の市区町村に生じた水害が、同一都道府県の他地域よりも、近接する他の都道府県により大きな影響を与えている可能性もある。

2つ目は、水害発生の間接効果のそれぞれの経路の通時的な安定性である。2章で触れた **Bakkensen and Barrage (2019)** や **Hsiang and Jina (2014)** など議論されている通り、自然災害の間接効果には、直接効果の結果として、生産要素投入量が低下するといった供給サイドの影響のほか、財政支出や保険支払いによって被災地の経済主体の所得が変化することに由来する需要サイドの影響、経済主体の中長期的なリスク認識の変化を通じた物的・人的投資行動に係る影響など、複数の要因が複合的に作用していると考えられる。本稿の推計結果は、これらの要因をネットして、過去の平均的な傾向を捉えたものである。したがって、供給サイドについては、企業の生産設備の立地選択の変化、需要サイドについては、自然災害に係る保険の普及、リスク認識については、気候変動への関心の高まりなど、先行きの経済構造や、経済主体の意識の変化によっては、結果が大きく変容する可能性もある。

3つ目は、今回利用した水害統計は風速や降雨量といった災害の物理的な強度ではなく、被害報告をもとに推計されている点である。このため、水害による直接効果の経済的な被害額をより精緻に捉えられている可能性がある一方で、事前の治水に関する投資などによって、直接効果の規模も影響を受けている可能性がある¹⁹。この点についても、先行きの防災関連の施策や家計・企業のリスク認識の変化によっては、定量的な含意が変容する可能性がある。

分析結果については、これらの点に留意しつつ、幅を持って解釈する必要がある。

¹⁹ この点について、補論2においては、各都道府県における水害発生前の治水関連の資本ストックを説明変数に加えたうえで、推計を行っている。定性的な含意は、ベースラインから得られるものと大きくは変わらない。

参考文献

- 倉知善行・森島元・河田皓史・柴田亮・文谷和磨・茂木仁 (2022)「脱炭素社会への移行過程におけるわが国経済の課題：論点整理」、日本銀行調査論文。
- 国土交通省 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会 (2019)「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」。
- 国土交通省 (2020)「治水経済調査マニュアル (案)」。
- 内閣府経済社会総合研究所 (2018)「県民経済計算標準方式 (平成 23 年基準版)」。
- 内閣府経済社会総合研究所 (2019)「県民経済計算推計方法ガイドライン (平成 23 年基準版)」。
- 東京大学出版会 (2018)「日本の地域別生産性と格差 R-JIP データベースによる産業別分析」、2018 年 8 月。
- 橋本龍一郎・須藤直 (2022)「水害被害の実体経済・金融仲介部門への波及：DSGE モデルを用いたシミュレーション分析」、日本銀行ワーキングペーパーシリーズ、No.22-J-6。
- 文部科学省・気象庁 (2020)「日本の気候変動 2020 — 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書— (詳細版)」。
- 山本弘樹・仲智美 (2021)「水害が企業財務に与える影響に関する定量分析」、日本銀行ワーキングペーパーシリーズ、No.21-J-3。
- Bakkensen, L., Barrage, L. (2019) “Climate Shocks, Cyclones, and Economic Growth: Bridging the Micro-Macro Gap,” NBER Working Paper Series, No.24893.
- Bayoumi, T., Quayyum, S. N., Das, S. (2020) “Growth at Risk from Natural Disasters,” IMF Working Paper, WP/21/234.
- Bello, O. (2017) “Disasters, Economic Growth and Fiscal Response in the Countries of Latin America and the Caribbean, 1972-2010,” CEPAL Review, No. 121.
- Blickle, K., Hamerling, S. N., Morgan, D. P. (2021) “How Bad Are Weather Disasters for Banks?,” Federal Reserve Bank of New York Staff Reports, no. 990.
- Botzen, W. W., Deschenes, O., Sanders, M. (2019) “The Economic Impacts of Natural Disasters: A Review of Models and Empirical Studies,” *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 167-188.
- Cavallo, E. A., Becerra, O., Acevedo, L. (2021) “The Impact of Natural Disasters on Economic Growth,” IDB working paper series, No. IBD-WP-1257.
- Cavallo, E., Galiani, S., Noy, I., Pantano, J. (2013) “Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth,” *Review of Economics and Statistics*, 95 (5), 1549-1561.

- Cavallo, E., Noy, I. (2011) “Natural Disasters and the Economy—A Survey,” *International Review of Environmental and Resource Economics*, 5(1), 63-102.
- Felbermayr, G., Gröschl, J. (2014) “Naturally Negative: The Growth Effects of Natural Disasters,” *Journal of Development Economics*, 111, 92-106.
- Fomby, T., Ikeda, Y., Loayza, N. V. (2013) “The Growth Aftermath of Natural Disasters,” *Journal of Applied Economics*, 28(3), 412-434.
- Hsiang, S. M., Jina, A. S. (2014) “The Causal Effect of Environmental Catastrophe on Long-run Economic Growth: Evidence from 6,700 Cyclones,” NBER Working Paper 20352.
- Islam, N. (1995) “Growth Empirics: A Panel Data Approach,” *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (4), 1127-1170.
- Jordà, Ò. (2005) “Estimation and Inference of Impulse Responses by Local Projections,” *American Economic Review*, 95(1), 161-182.
- Judson, R., Owen, A. (1999) “Estimating Dynamic Panel Data Models: A Guide for Macroeconomists,” *Economics letters*, 65 (1), 9-15
- Klomp, J., Valckx, K. (2014) “Natural Disasters and Economic Growth: A Meta-analysis,” *Global Environmental Change*, 26, 183-195.
- Loayza, N. V., Olaberria, E., Rigolini, J., Christiaensen, L. (2012) “Natural Disasters and Growth: Going Beyond the Averages,” *World Development*, 40(7), 1317-1336.
- Mankiw, N. G., Romer, D., Weil, D. N. (1992) “A Contribution to the Empirics of Economic Growth,” *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), 407-437.
- Network for Greening the Financial System. (2021) “NGFS Climate Scenarios for Central Banks and Supervisors.”
- Noy, I. (2009) “The Macroeconomic Consequences of Disasters,” *Journal of Development Economics*, 88(2), 221-231.
- Panwar, V., Sen, S. (2019) “Economic Impact of Natural Disasters: An Empirical Re-examination,” *Journal of Applied Economic Research*, 13(1), 109-139.
- Raddatz, C. (2009) “The Wrath of God: Macroeconomic Costs of Natural Disasters,” World Bank Policy Research Working Paper, 5039.
- Sawada, Y., Masaki, T., Nakata, H., Sekiguchi, K. (2017) “Natural Disasters: Financial Preparedness of Corporate Japan,” RIETI Discussion Paper Series 17-E-014.
- Skidmore, M., Toya, H. (2002) “Do Natural Disasters Promote Long-run Growth?,” *Economic Inquiry*, 40(4), 664-687.
- Strobl, E. (2011) “The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from US Coastal Counties,” *The Review of Economics and Statistics*, 93(2), 575-589.
- Strobl, E. (2012) “The Economic Growth Impact of Natural Disasters in Developing Countries: Evidence from Hurricane Strikes in the Central American and Caribbean Regions,” *Journal of Development Economics*, 97(1), 130-141.

Tran, B. R., Wilson, D. J. (2020) “The Local Economic Impact of Natural Disasters,” Federal Reserve Bank of San Francisco, Working Paper 2020-34.

von Peter, G., von Dahlen, S., Saxena, S. C. (2012) “Unmitigated Disasters? New Evidence on the Macroeconomic Cost of Natural Catastrophes,” BIS Working Papers, No.394.

補論—1. 他の資産・施設・設備への被害の効果を除いたケース（モデル

Ⅲ）

本文では、特定の資産・施設・設備への被害が、都道府県別の実質 GDP や産業別 GDP に与える間接効果について、それぞれの被害額を説明変数にした回帰式（モデルⅠ、Ⅱ）を用いて推計したうえで、水害被害の GDP への影響が、資産・施設・設備別によって大きく変わりを示している。本節では、それぞれの資産・施設・設備別の水害被害額に対する GDP の反応や、産業別 GDP への反応について、本文で得られた結果の頑健性を確認するため、推計式（1）式をベースとして以下の（3）式（モデルⅢ）を用いて推計を行う。

$$\begin{aligned} & \log Y_{i,t+h} - \log Y_{i,t-1} \\ &= \sum_{\tau=-3}^0 \beta_{\tau,h} D_{i,t+\tau}^0 + \sum_{\tau=-3}^0 \gamma_{\tau,h} D_{i,t+\tau} \\ & + \mu_h (\log F_{i,t} - \log F_{i,t-1}) + \delta_{i,h} + \delta_{t,h} + E_{i,t+h} + C_h + \varepsilon_{i,t,h}. \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $D_{i,t}$ は水害被害総額から $D_{i,t}^0$ を差し引いた残差であり、言い換えると、 $D_{i,t}^0$ 以外の資産・施設・設備で発生した水害被害の総和である。これにより、関心がある資産・施設・設備以外で発生した被害に起因する間接効果を取り除いている。なお、当変数についても $D_{i,t}^0$ と同様に、水害発生の3年前から水害発生年まで説明変数に加えており、t 時点以前に発生した水害被害額の影響も併せてコントロールしている。

補論図表 1 は、都道府県別 GDP への影響を推計した場合の結果である。ベースライン・モデルの結果である図表 3 と比較すると、一般被害額やその内訳において、影響がより正の方向へシフトしている点、公共被害額において水害発生翌年以降も負の影響が持続する点など、異なる結果も見て取れる。もっとも、水害被害総額で見ると、下押しに作用する場合には、水害発生年が最も顕著であり、翌年以降の影響が限定的であるという点に加えて、資産・施設・設備によって間接効果の規模が大きく異なるという点は変わらない。なお、紙面の関係上、掲載していないものの、民間総固定資本形成や業種別 GDP への影響についても、ベースライン・モデルの結果と大きくは変わらない。

補論—2. 治水関連社会資本ストックの効果を勘案したケース（モデルⅣ）

水害被害の間接効果は、治水関連の社会資本ストックの多寡によっても変化する可能性がある。そのため、本文で得られた推計結果の頑健性の確認の観点から、本節では、モデルⅣとして、治水関連の社会資本ストック量を説明変数に加えたうえで、以下の推計式（4）を用いて確認している。

$$\begin{aligned} & \log Y_{i,t+h} - \log Y_{i,t-1} \\ &= \sum_{\tau=-3}^0 \beta_{\tau,h} D_{i,t+\tau}^0 + \omega_h \left(\frac{K_{i,t-1}^{chisui}}{K_{i,t-1}^{stot}} \right) \\ & + \mu_h (\log F_{i,t} - \log F_{i,t-1}) + \delta_{i,h} + \delta_{t,h} + E_{i,t+h} + C_h + \varepsilon_{i,t,h}. \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $K_{i,t}^{chisui}$ は都道府県*i*の時点*t*における治水関連²⁰の社会資本ストック額、 $K_{i,t}^{stot}$ は同じく都道府県*i*の時点*t*における社会資本ストック総額を表しており、推計式（4）では、水害が発生する前年時点の社会資本ストックに対する治水関連の社会資本ストックの比率を用いている。なお、これら社会資本ストックに関するデータは、経済産業研究所の公表する R-JIP2017 を利用しているため 2012 年のデータまでであり、本文における結果とサンプル期間が幾分異なる点に注意を要する。

補論図表 2 は、モデルⅣで都道府県別 GDP への影響を推計した場合の結果である。ベースライン・モデルの結果である図表 3 と比較すると、水害被害総額が水害の発生年に GDP に与える影響において、ごく僅かに信頼区間がゼロを跨いだことにより有意でなくなった一方、電力設備への被害が与える影響は水害の発生から 2 年後まで有意となるなど、幾らかの違いがみられている。もっとも、水害被害総額でみると、下押しに作用する場合には、水害発生年が最も顕著であり、翌年以降の影響が限定的である点や、資産・施設・設備によって間接効果の規模が異なるという傾向は変わらない。なお、紙面の関係上、掲載していないものの、民間総固定資本形成や業種別 GDP への影響についても、ベースライン・モデルの結果と大きくは変わらない²¹。

²⁰ 治水関連の資本ストックは、R-JIP2017 における社会資本ストックのうち「治水」、「治山」、「海岸」の合計としている。これら治水関連の資本ストック（*t*-1 時点）と水害総額（*t* 時点）について、両者とも対 GDP 比に直したうえで標本期間（1981～2012 年）の相関係数を見ると、全国ベースでは▲0.4 程度の負の相関（都道府県別では、▲0.7～+0.2）がみられている。

²¹ なお、治水関連の資本ストック自体の係数は、推計式（4）の定式化のもとでは、統計的な有意性は得られなかった。

(図表1) 自然災害による付加価値への影響²²

付加価値への影響			
	短期的影響		中長期的影響
正の 効果	<ul style="list-style-type: none"> - 毀損した資本ストックの回復のための需要増加 - 保険の支払いなど域外からの所得移転を通じた需要の増加 - 関連文献： von Peter et al. (2012)、Sawada et al. (2017) など 	正の 効果	<ul style="list-style-type: none"> - より生産性の高い生産設備に代替されることによる資本ストックの生産性向上 ($A_t \uparrow$) - 将来の水害を見越した資本ストックの蓄積 ($K_t \uparrow$) - 関連文献： Skidmore and Toya (2002)、Tran and Wilson (2020) など
負の 効果	<ul style="list-style-type: none"> - 資本ストック毀損による資本投入量の減少 ($K_t \downarrow$) - 公的インフラが毀損されることなどを通じた生産性の低下 ($A_t \downarrow$) - サプライ・チェーンの遮断などを通じた生産性の低下 ($A_t \downarrow$) - 関連文献： Hsiang and Jina (2014)、Bakkensen and Barrage (2019) など 	負の 効果	<ul style="list-style-type: none"> - 将来の水害発生を見越した他地域への移住 ($L_t \downarrow$) - 将来の水害発生を見越した他地域への投資代替 ($K_t \downarrow$)

²² Tran and Wilson (2020)などを参考に作成。括弧内の A_t 、 K_t 、 L_t は、それぞれ2章で示した様にマクロの GDP の生産関数を定義した場合の TFP、資本ストック投入量、労働投入量を示す。

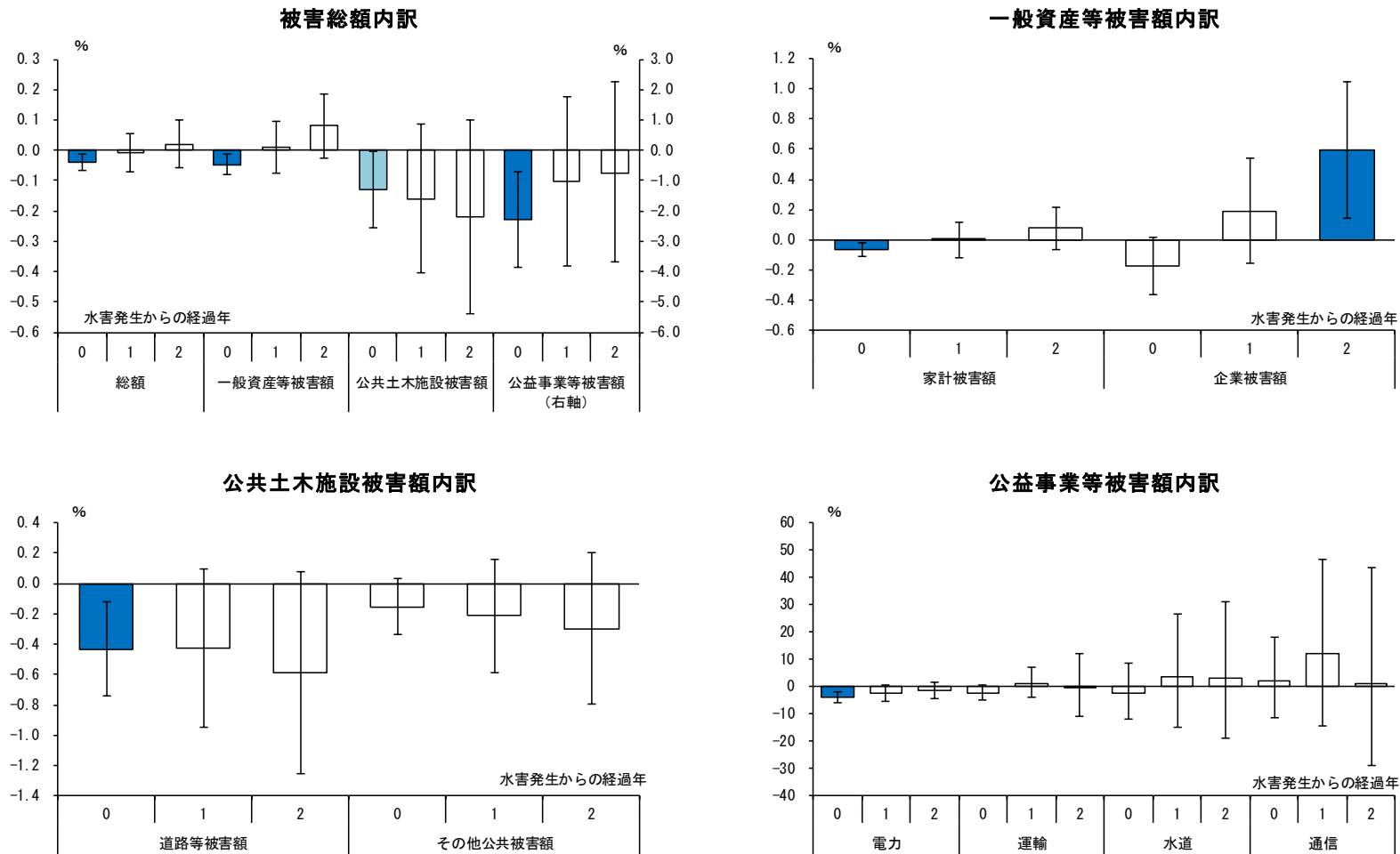
(図表2) 記述統計量

		N	最小値	中央値	平均値	最大値	標準偏差
GDP成長率 (%)	Y(t)/Y(t-1)	940	-10.24	0.95	0.78	8.71	2.62
	Y(t+1)/Y(t-1)	893	-15.11	1.72	1.54	12.05	3.72
	Y(t+2)/Y(t-1)	846	-14.53	2.30	2.11	18.52	4.29
水害被害総額	実額 (円)	987	0	3,336	12,966	749,095	40,772
	対GDP比 (%)	940	0	0.05	0.19	6.91	0.55
預金前年比 (%)		940	-7.82	0.88	1.21	21.17	3.34

(図表3) 相関行列

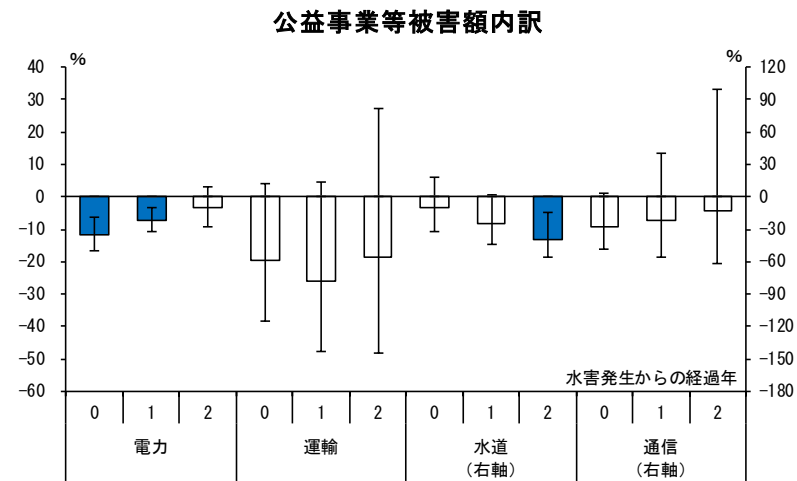
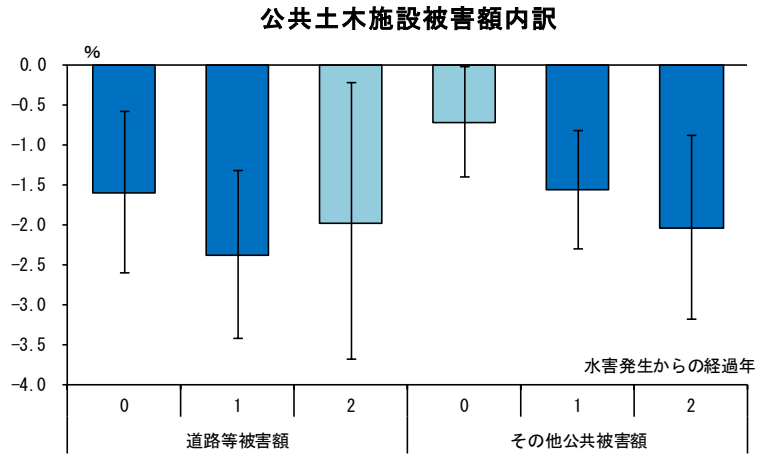
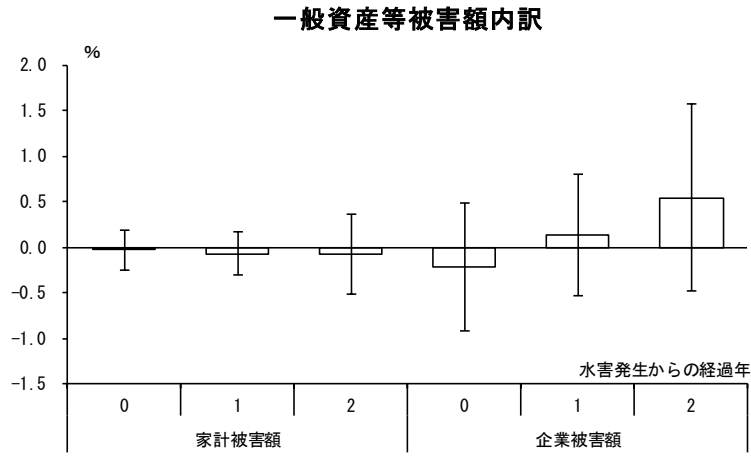
(obs = 987)	総額	一般資産等 被害額	公共土木施設 被害額	公益事業等 被害額	道路等 被害額	その他 公共被害額	家計 被害額計	企業 被害額計	電力 被害額	運輸 被害額	水道 被害額	通信 被害額
総額	1.00											
一般資産等被害額	0.95	1.00										
公共土木施設被害額	0.68	0.42	1.00									
公益事業等被害額	0.53	0.41	0.58	1.00								
道路等被害額	0.60	0.36	0.90	0.62	1.00							
その他公共被害額	0.67	0.43	0.98	0.53	0.80	1.00						
家計被害額計	0.94	0.99	0.41	0.42	0.35	0.41	1.00					
企業被害額計	0.62	0.62	0.34	0.31	0.35	0.31	0.51	1.00				
電力被害額	0.37	0.28	0.42	0.91	0.50	0.35	0.28	0.23	1.00			
運輸被害額	0.45	0.38	0.43	0.57	0.36	0.43	0.39	0.24	0.23	1.00		
水道被害額	0.46	0.34	0.57	0.66	0.63	0.50	0.35	0.27	0.49	0.31	1.00	
通信被害額	0.39	0.28	0.47	0.38	0.39	0.48	0.28	0.18	0.23	0.20	0.34	1.00

(図表4) 水害がGDPに与える短期的影響（モデルI）²³

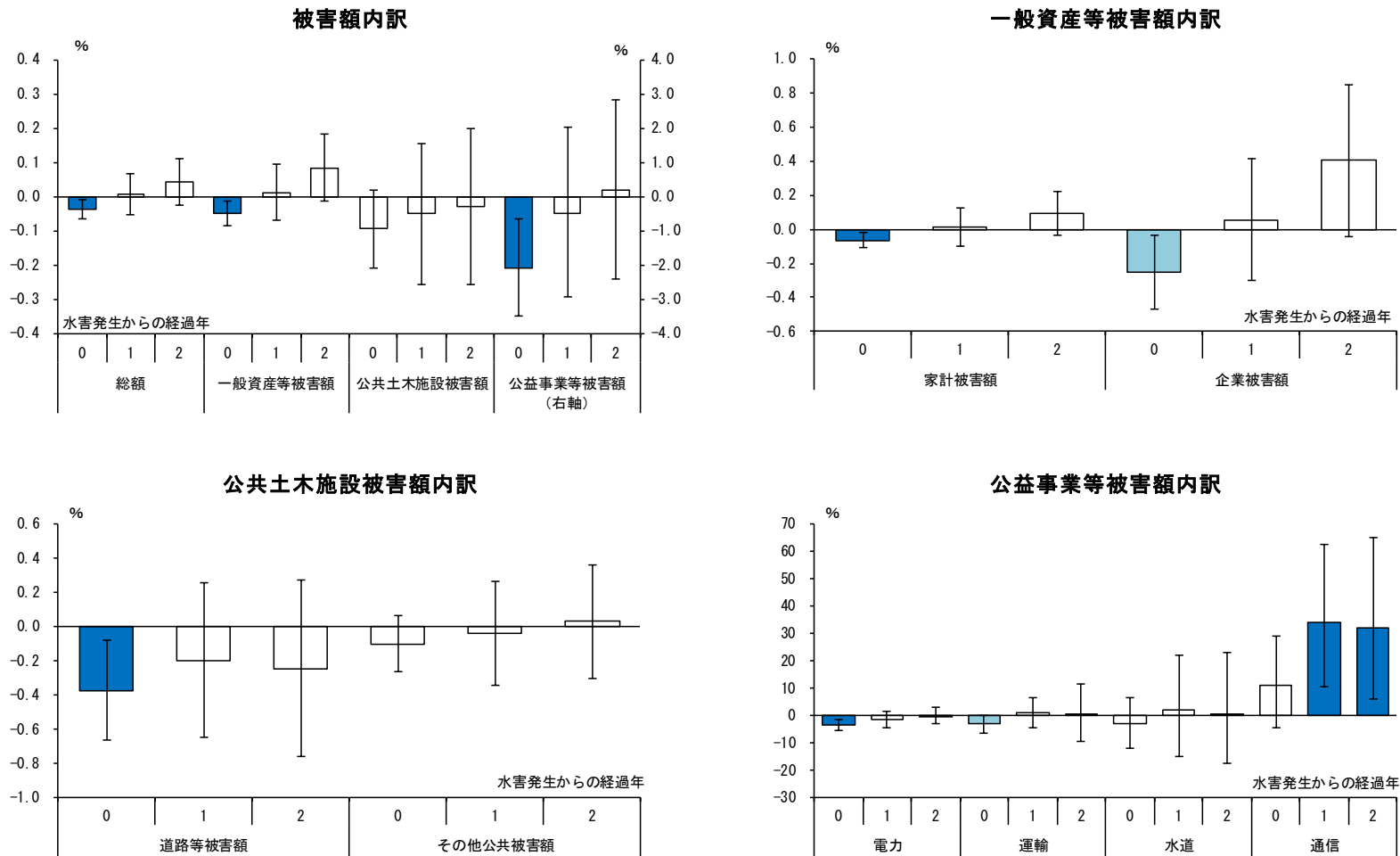


²³ 推計モデルIを用いて都道府県GDPを横軸で示した水害被害額の上に回帰した結果。棒グラフの色は、濃い青色は95%有意、薄い青色は90%有意、白はその他の場合であり、エラーバンドは90%信頼区間を示す。グラフの縦軸は、当該都道府県のGDP対比0.2%の大きさの水害被害額が、横軸の資産・施設・設備で生じた場合における、水害発生の前年のGDPからの変化幅。横軸の0~2は水害発生年を0とした際の水害発生からの経過年を示す。また、信頼区間の計算に用いる標準誤差は、都道府県でクラスタリングを行ったロバスト推計値を用いている（図表5、8~11も同様）。

(図表5) 水害が民間総固定資本形成に与える短期的影響 (モデル I)

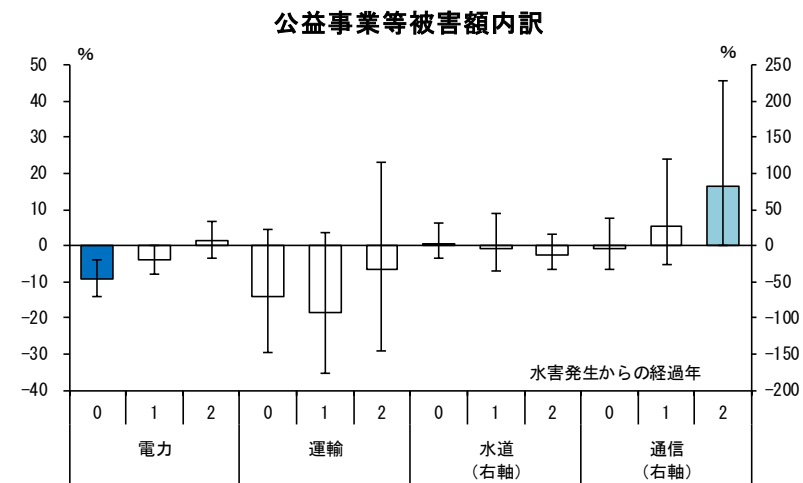
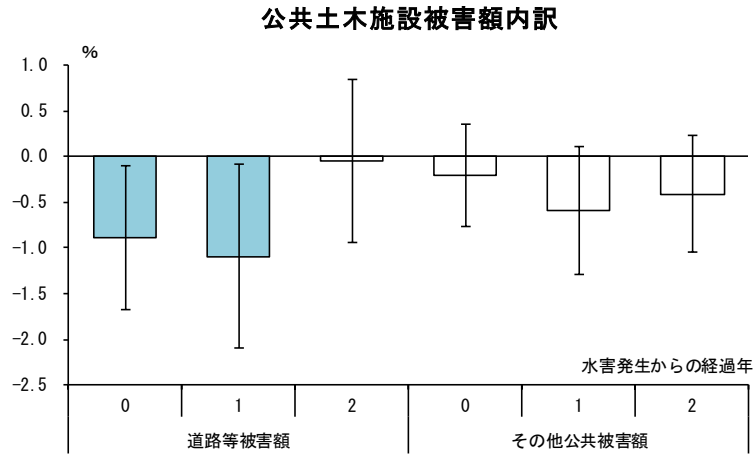
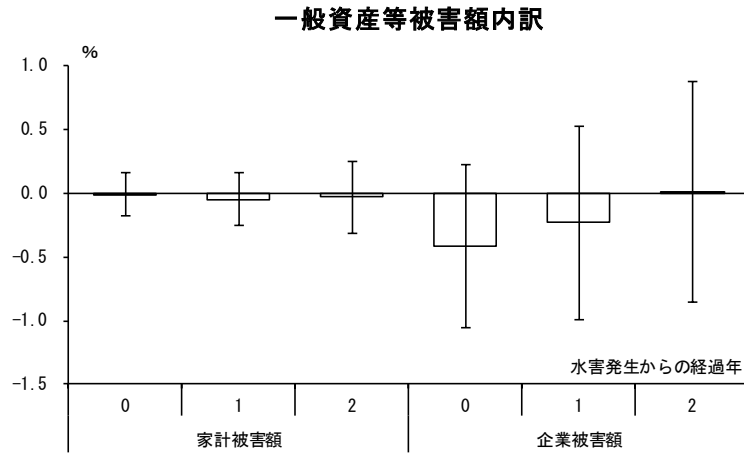


(図表6) 水害がGDPに与える短期的影響 (モデルⅡ) ²⁴

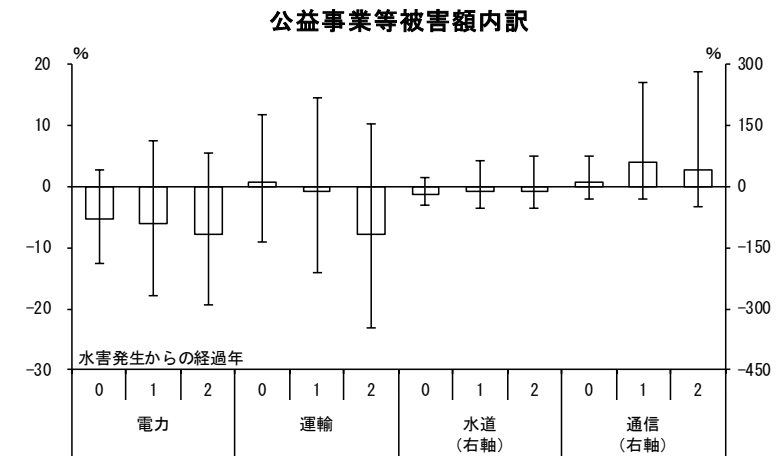
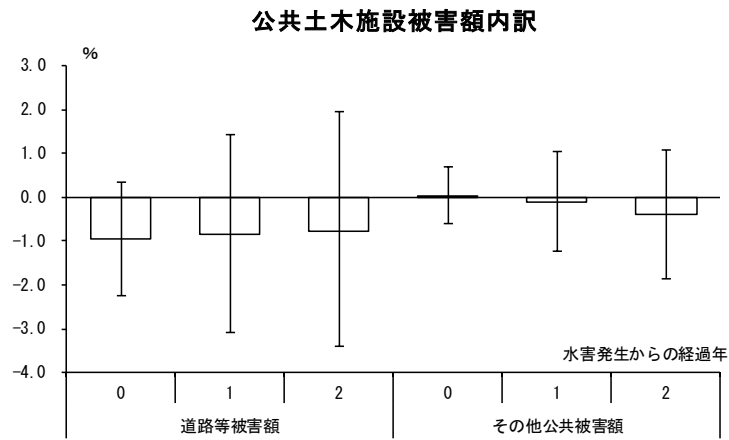
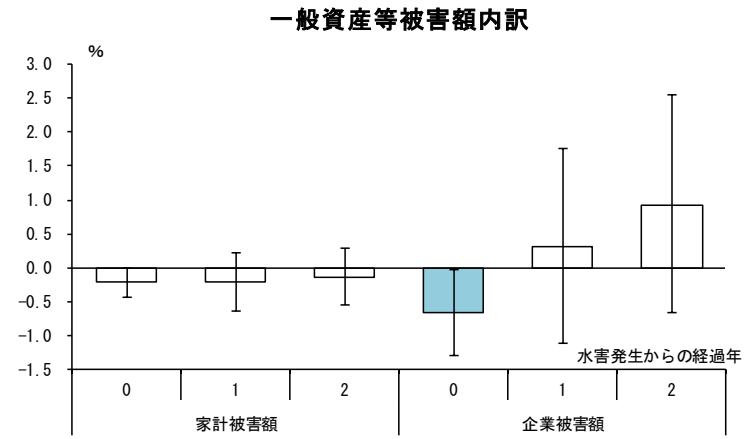
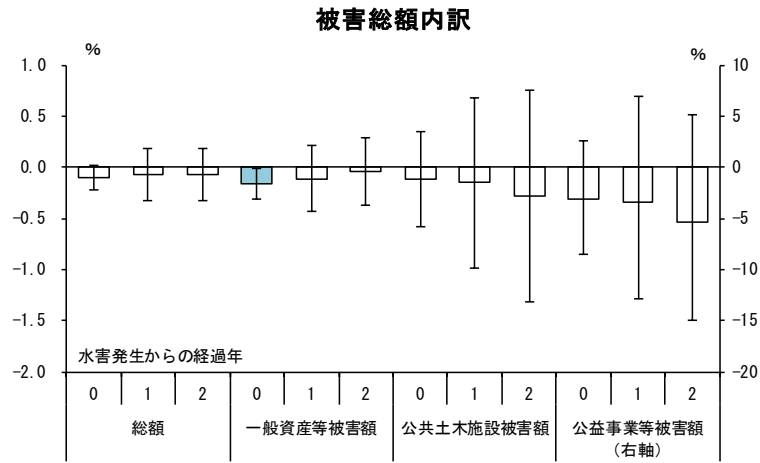


²⁴ 推計モデルⅡを用いて都道府県GDPを横軸で示した水害被害額の上に回帰した結果。棒グラフの色は、濃い青色は95%有意、薄い青色は90%有意、白はその他の場合であり、エラーバンドは90%信頼区間を示す。グラフの縦軸は、当該都道府県のGDP対比0.2%の大きさの水害被害額が、横軸の資産・施設・設備で生じた場合における、水害発生の前年のGDPからの変化幅。横軸の0~2は水害発生年を0とした際の水害発生からの経過年を示す。また、信頼区間の計算に用いる標準誤差は、都道府県でクラスタリングを行ったロバスト推計値を用いている(図表7、12~15も同様)。

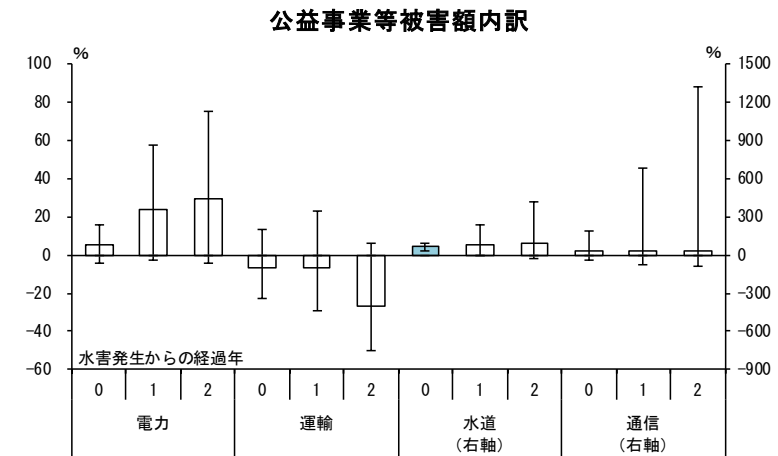
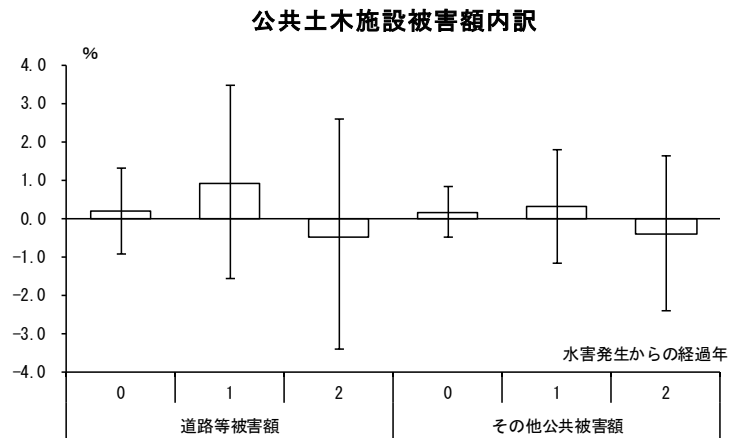
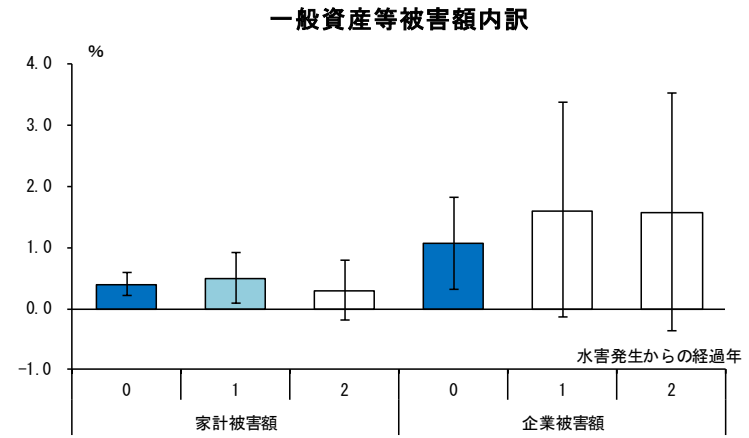
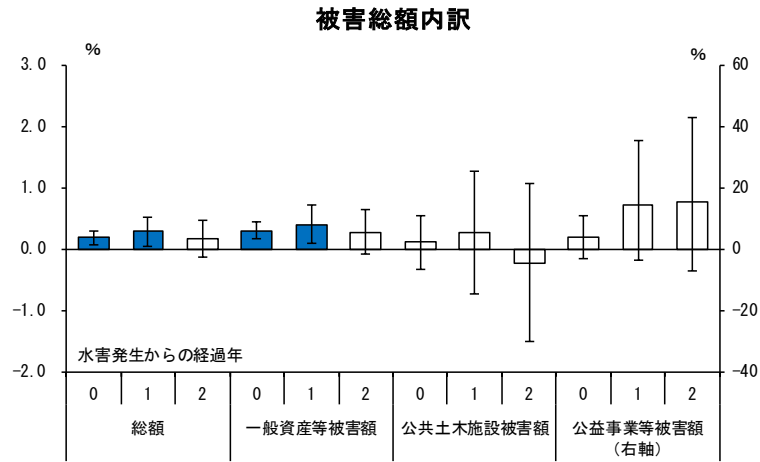
(図表7) 水害が民間総固定資本形成に与える短期的影響 (モデルⅡ)



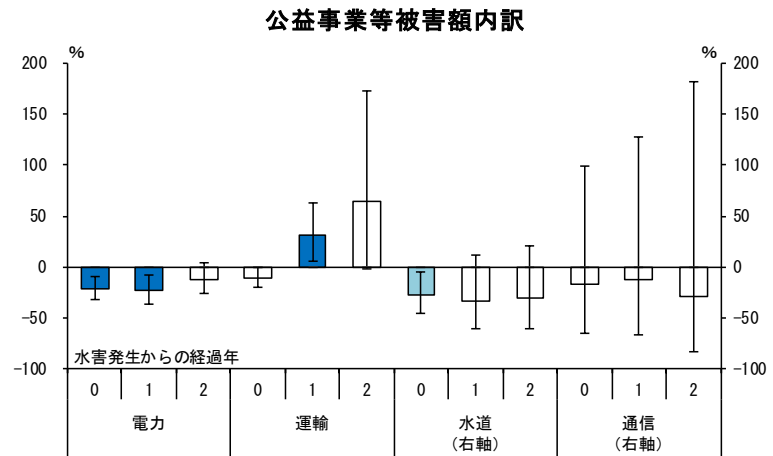
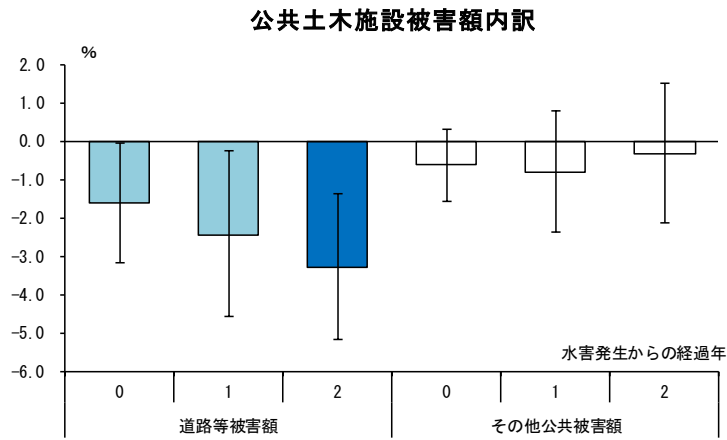
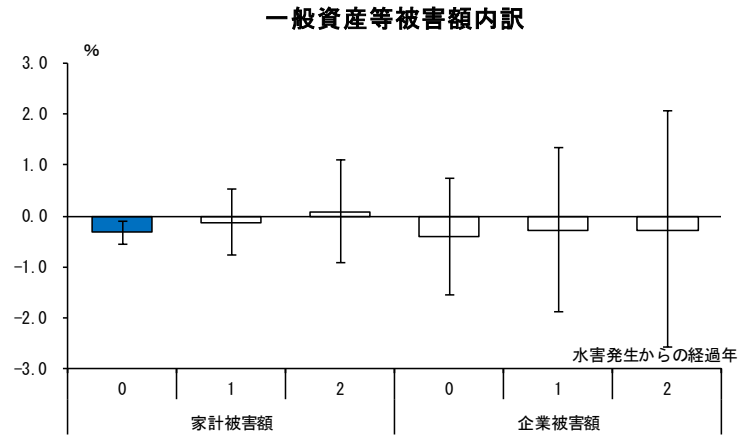
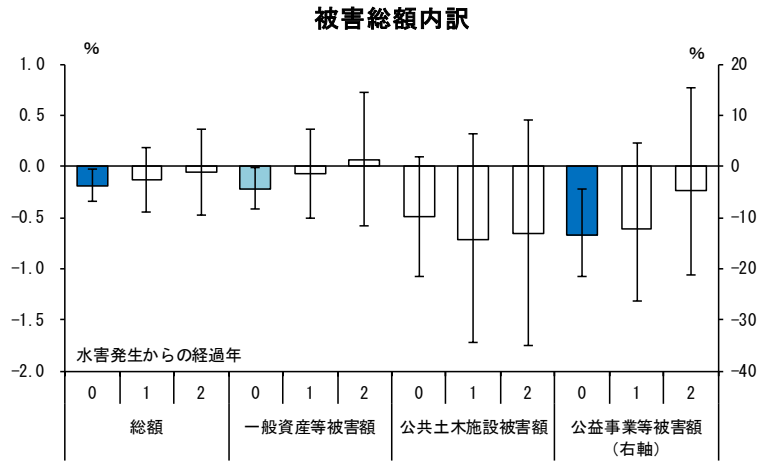
(図表8) 水害が製造業 GDP に与える短期的影響 (モデル I)



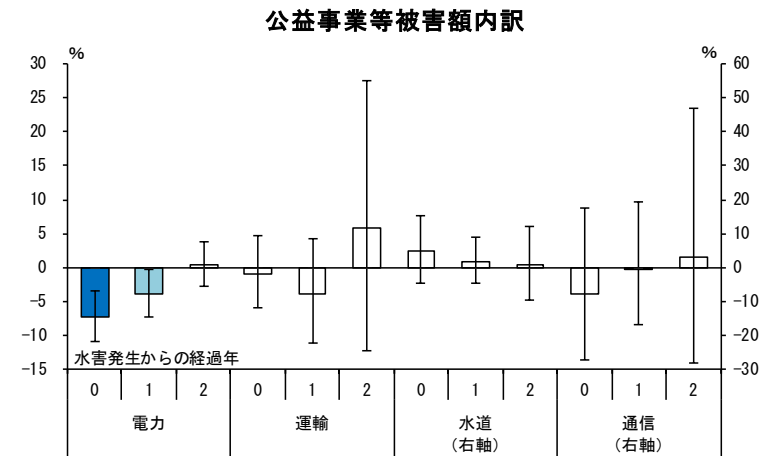
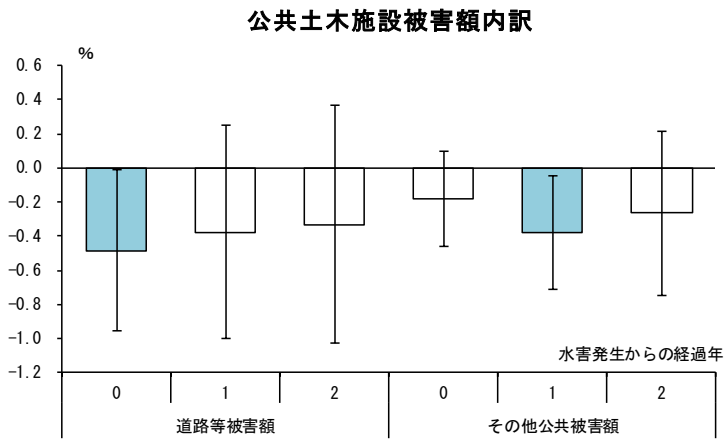
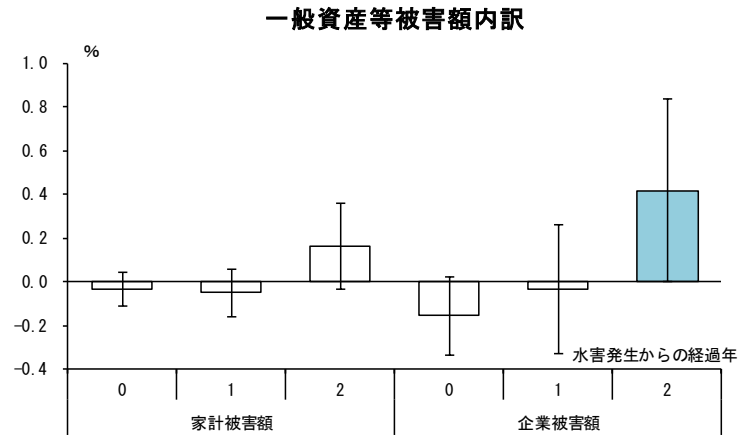
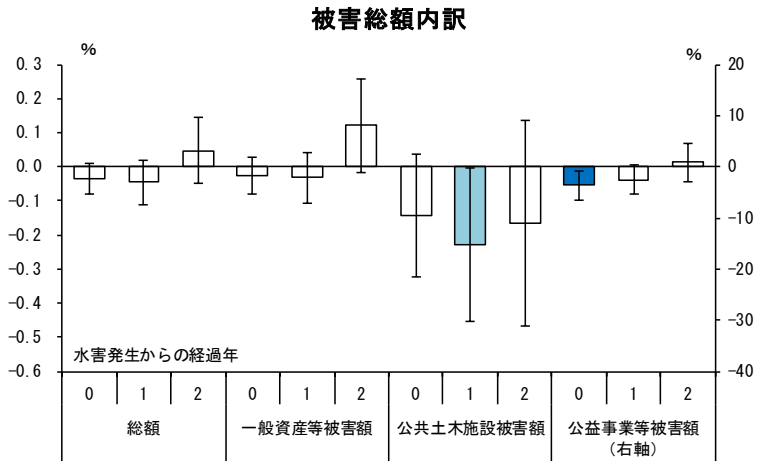
(図表9) 水害が建設業 GDP に与える短期的影響 (モデル I)



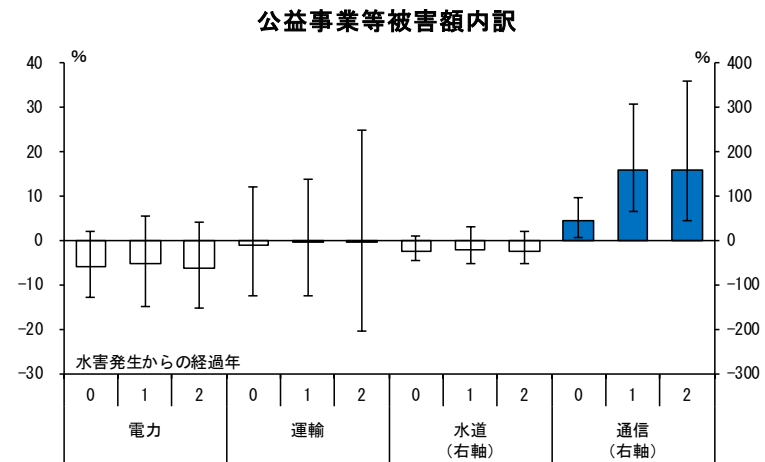
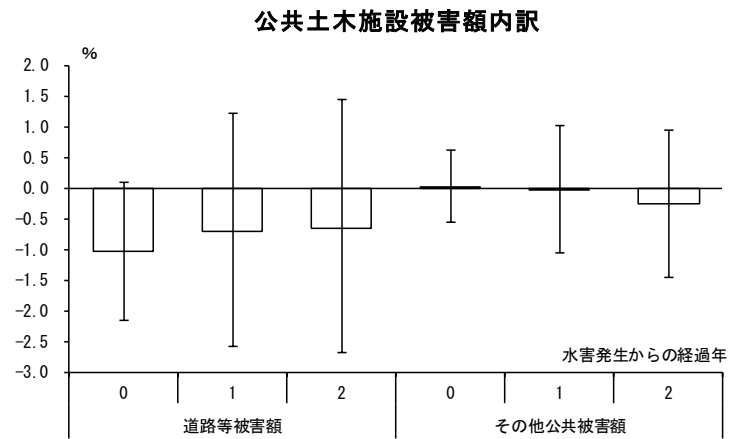
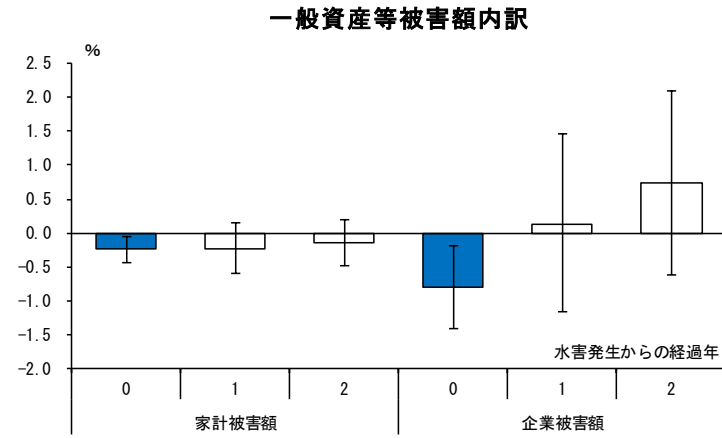
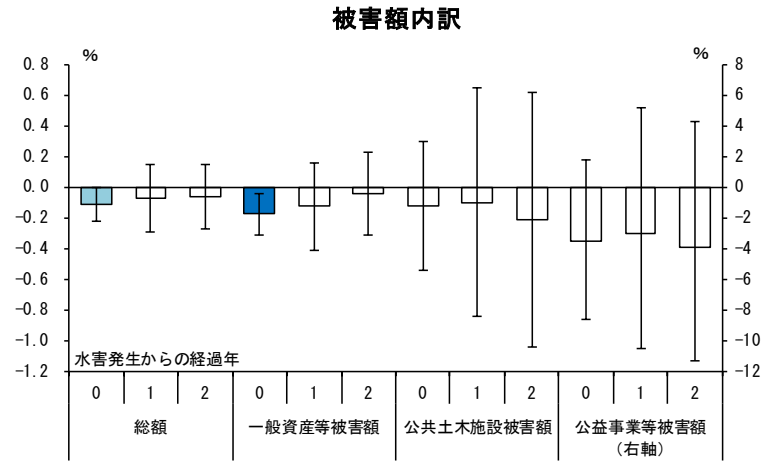
(図表10) 水害が電気等の GDP に与える短期的影響 (モデル I)



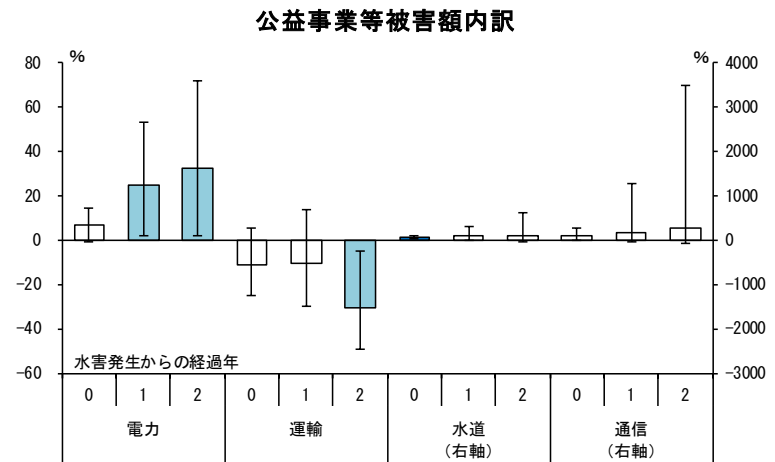
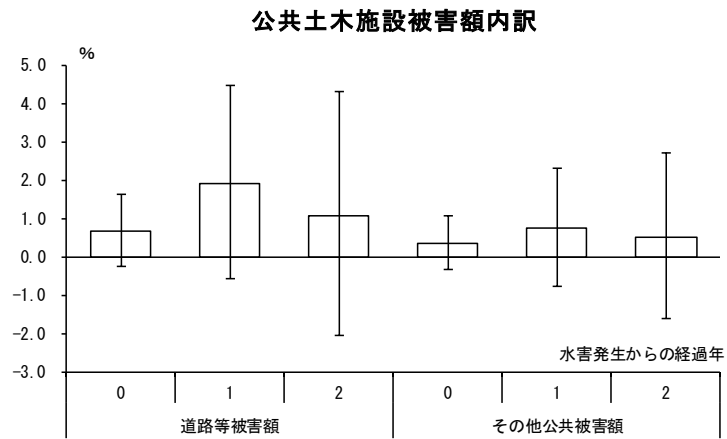
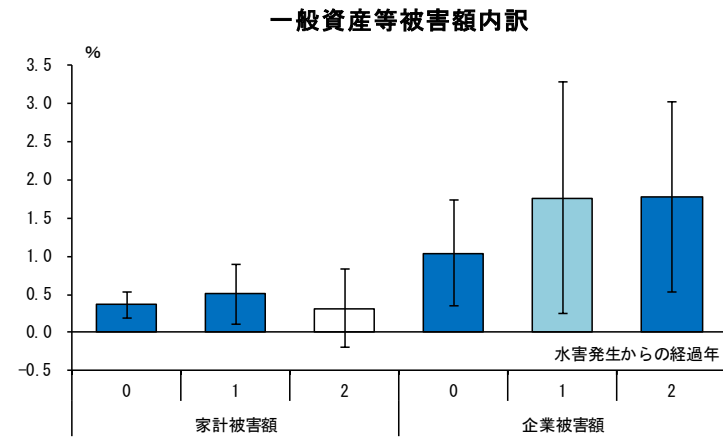
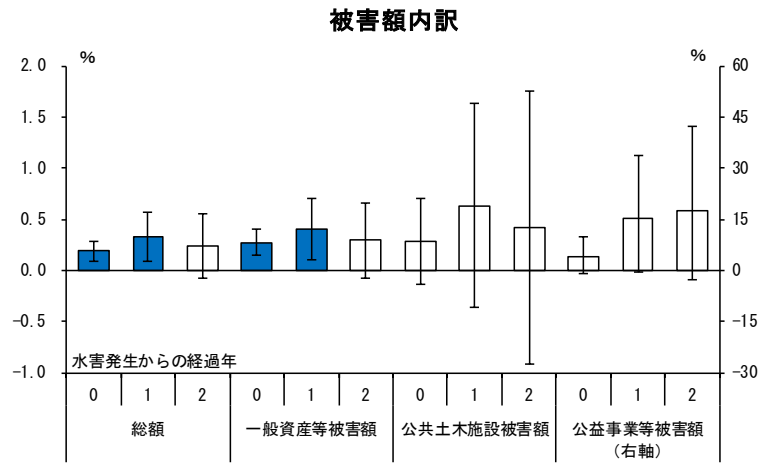
(図表11) 水害が卸売・小売業 GDP に与える短期的影響 (モデル I)



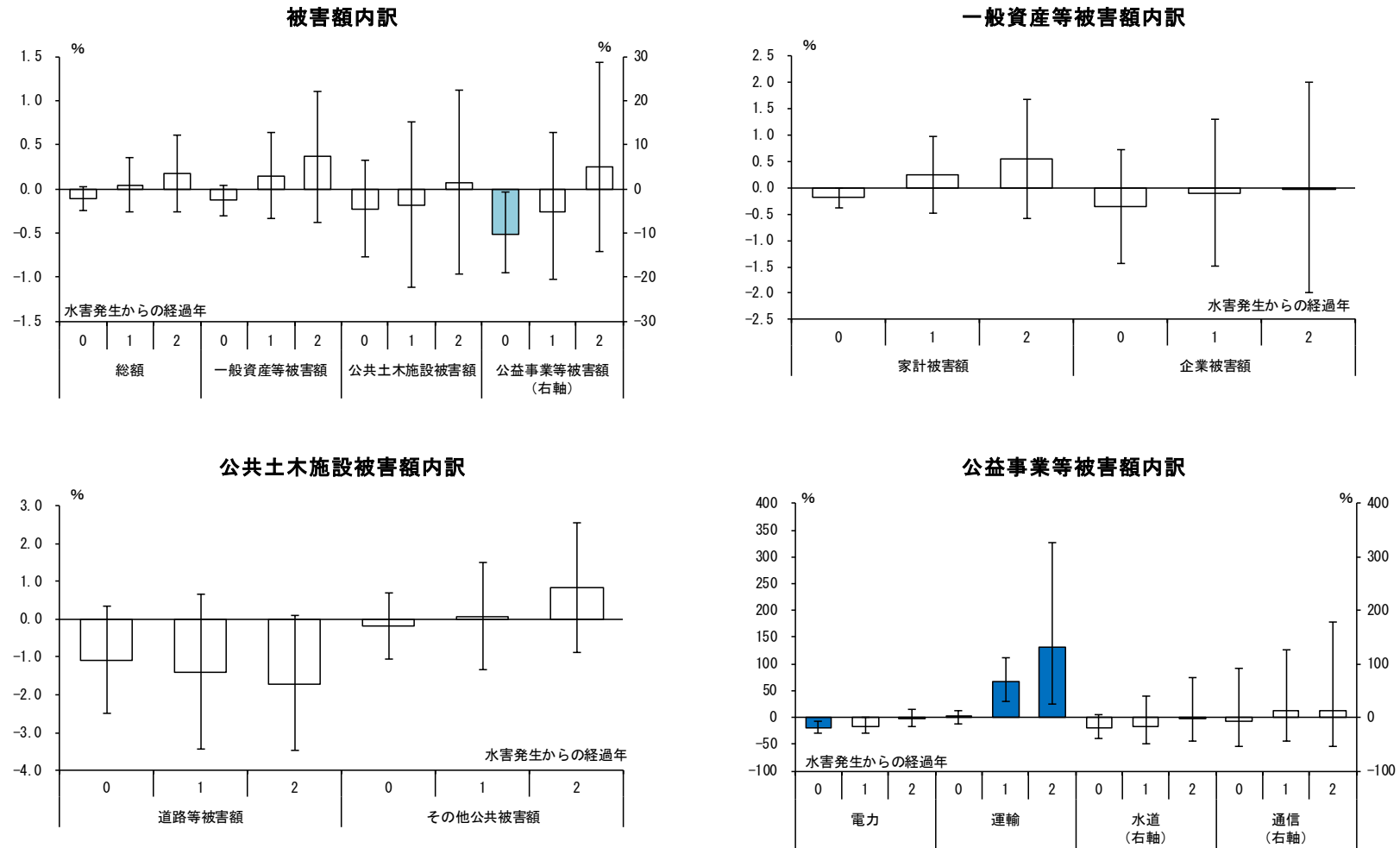
(図表12) 水害が製造業 GDP に与える短期的影響 (モデルⅡ)



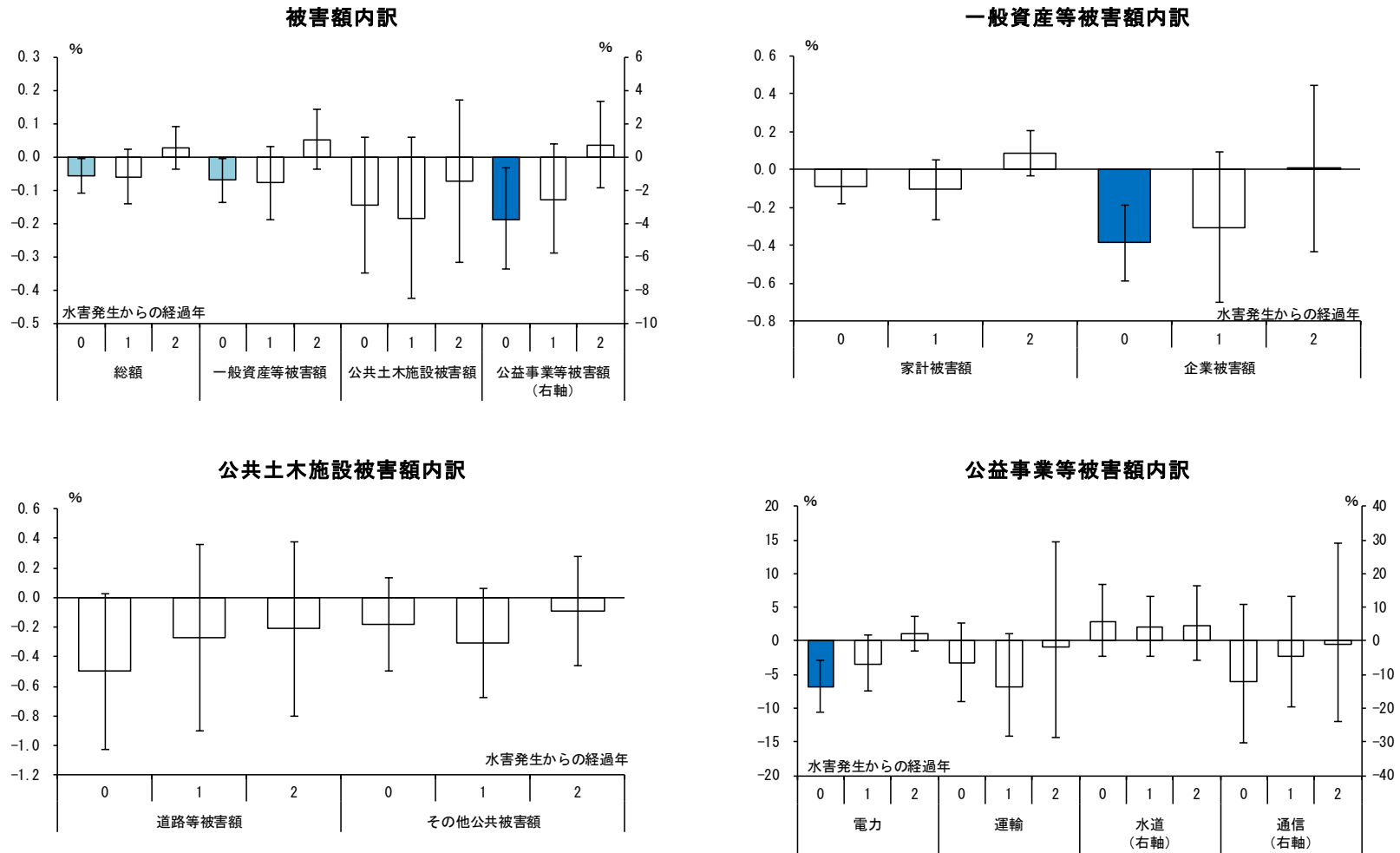
(図表13) 水害が建設業 GDP に与える短期的影響 (モデルⅡ)



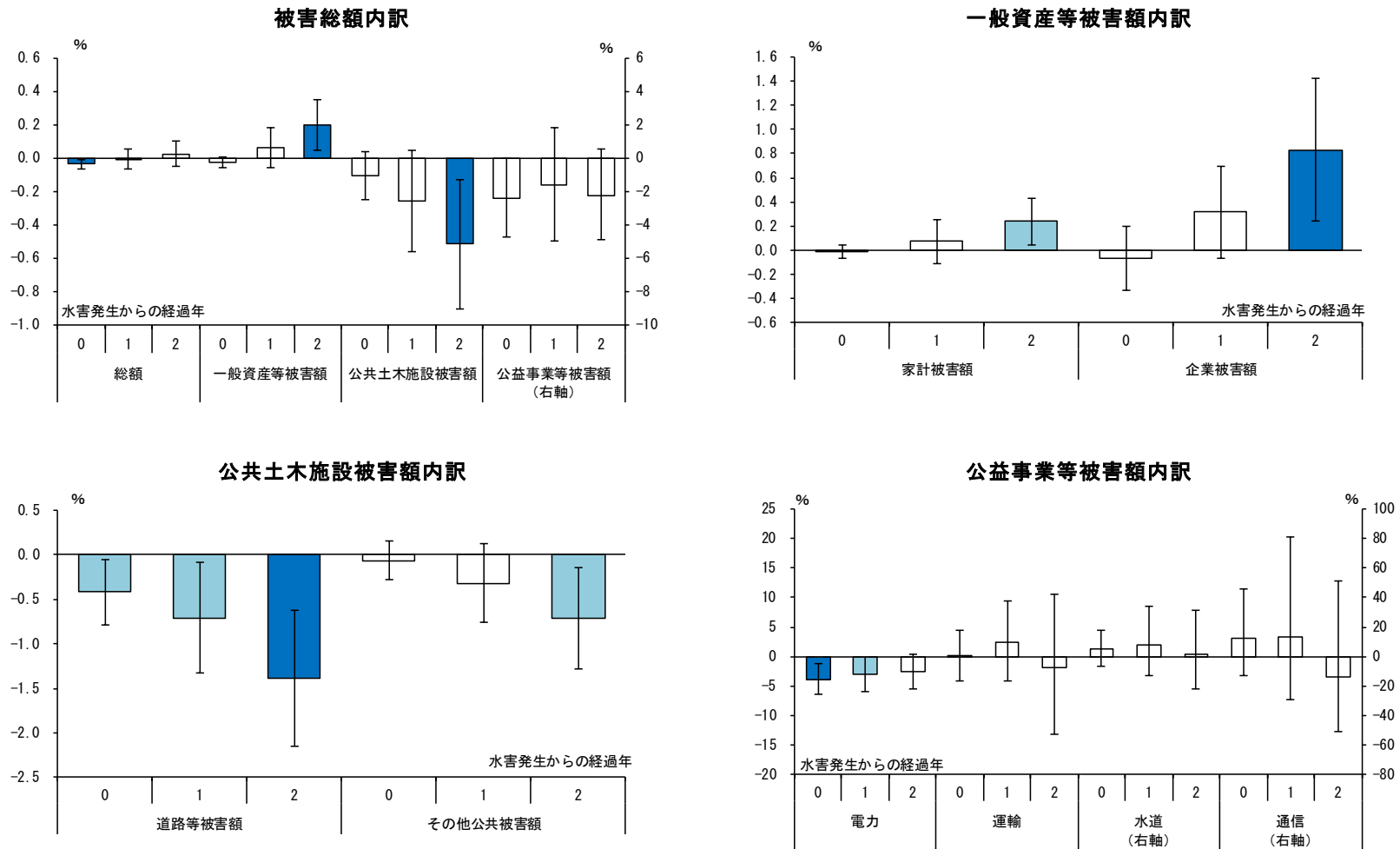
(図表14) 水害が電気等 GDP に与える短期的影響 (モデルⅡ)



(図表15) 水害が卸売・小売業 GDP に与える短期的影響 (モデルⅡ)

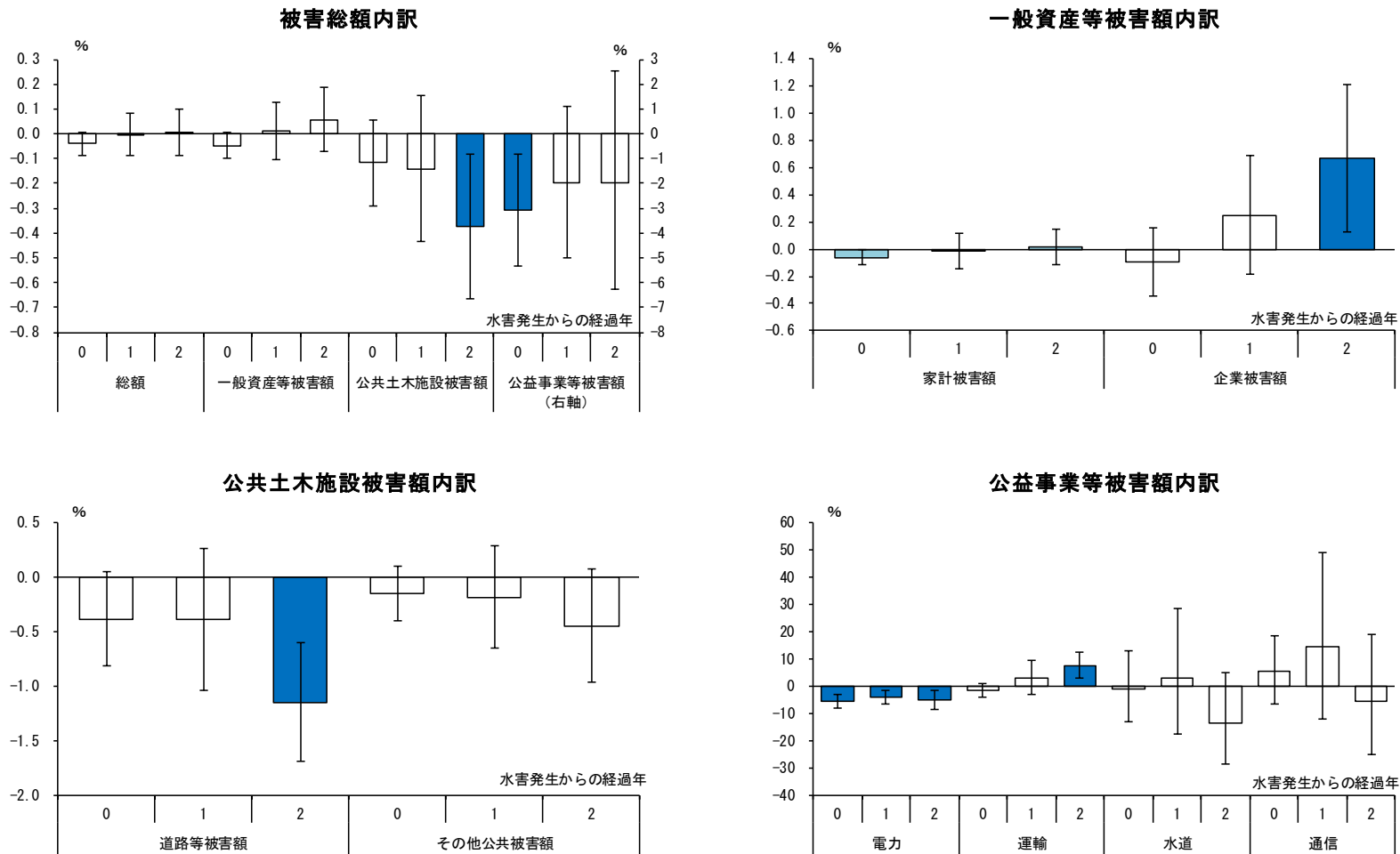


(補論図表1) 水害被害がGDPに与える短期的影響 (モデルⅢ) ²⁵



²⁵ 推計モデルⅢを用いて都道府県GDPを横軸で示した水害被害額の上に回帰した結果。棒グラフの色は、濃い青色は95%有意、薄い青色は90%有意、白はその他の場合であり、エラーバンドは90%信頼区間を示す。グラフの縦軸は、当該都道府県のGDP対比0.2%の大きさの水害被害額が、横軸の資産・施設・設備で生じた場合における、水害発生の前年のGDPからの変化幅。横軸の0~2は水害発生年を0とした際の水害発生からの経過年を示す。また、信頼区間の計算に用いる標準誤差は、都道府県でクラスタリングを行ったロバスト推計値を用いている。

(補論図表2) 水害がGDPに与える短期的影響 (モデルIV) ²⁶



²⁶ 推計モデルIVを用いて都道府県GDPを横軸で示した水害被害額の上に回帰した結果。棒グラフの色は、濃い青色は95%有意、薄い青色は90%有意、白はその他の場合であり、エラーバンドは90%信頼区間を示す。グラフの縦軸は、当該都道府県のGDP対比0.2%の大きさの水害被害額が、横軸の資産・施設・設備で生じた場合における、水害発生の前年のGDPからの変化幅。横軸の0~2は水害発生年を0とした際の水害発生からの経過年を示す。また、信頼区間の計算に用いる標準誤差は、都道府県でクラスタリングを行ったロバスト推計値を用いている。