

流域治水における土地利用規制等の施策評価に 資するマクロ経済成長モデルの活用について

A MACROECONOMIC GROWTH MODEL TO ASSESS MEASURES SUCH AS
LAND USE REGULATION FOR PROMOTING RIVER BASIN DISASTER
RESILIENCE AND SUSTAINABILITY BY ALL

石渡 裕明¹・和田 裕行¹・松田 浩一²・堀合 孝博²・
平川 了治³・岡安 徹也⁴・岡部 真人⁴

Hiroaki ISHIWATA, Hiroyuki WADA, Kouichi MATSUDA, Takahiro HORIAI,
Ryouji HIRAKAWA, Tetsuya OKAYASU and Masato OKABE

¹非会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 交通政策部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22)

³非会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 国土基盤事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22)

⁴正会員 (一財)国土技術研究センター 河川政策グループ (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)

流域治水の施策を推進するためには、長期的に発現する流域治水の被害軽減効果を定量的に示すとともに、対策額に対する施策効果の経済効率性、ハード対策とソフト対策のバランス、公的負担と自己負担のバランス等を提示することが有効である。加えて、流域治水による水害リスクの低減（生産施設・設備の防護・移転等）が、地域経済の長期的成長に寄与することを定量的に示すことも有効である。流域治水の経済効果を定量的に評価できる可能性のあるツールとして「動学的確率的マクロ経済モデル」が挙げられ、同モデルを開発途上国における防災投資の経済分析等に適用した研究も存在するが、流域治水の施策実施による経済効果等を明らかにした研究はない。本論文は、流域治水による経済効果等を評価する研究の第一歩として、洪水氾濫解析で得た洪水被害推計データを「動学的確率的マクロ経済モデル」に入力し、氾濫域内の土地利用規制等を対象にパイロットスタディを実施・考察することで、同モデルの流域治水対策検討への活用可能性と課題や、社会実装に向けた今後の研究展開を取りまとめることを目的とする。

Key Words: river basin management, dynamic stochastic macroeconomic model, flood inundation analysis, local economic growth, cross-disciplinary research

1. 本検討の背景・目的

流域内関係者の協働により実現する流域治水の施策を推進するためには、長期的に発現する流域治水の被害軽減効果を定量的に示すとともに、対策額に対する施策効果の経済効率性、ハード対策とソフト対策のバランス、公的負担と自己負担のバランス等を提示することが有効である。加えて、流域治水による水害リスクの低減（生産施設・設備の防護・移転等）が、地域経済の長期的成長に寄与することを定量的に示すことも有効である。

河川管理者による事業の実施判断に用いられている主な河川事業評価方法は、「治水経済調査マニュアル¹⁾」に基づく費用便益分析であり、期待被害軽減額の現在価値を用いて経済便益を把握し、洪水対策費用との比較の

上で当該事業の経済性を評価するものである。しかし、「治水経済調査マニュアル」に基づく費用便益分析にはいくつかの問題点・課題が残されており、その一例として洪水対策により得られる便益全体のうち、経済的に評価可能な一部の被害防止便益（資産被害・稼働被害・事後的被害抑止効果）の計測に留まる点が挙げられる。特に洪水対策は道路整備等と異なり経済的な効果を実感しにくいいため、水害リスク低減によるリスクプレミアム低下や精神的被害抑止等の心理面への効果、高度化便益や地域経済成長等のプラス面の効果等についても定量的に計測できると有効である。「治水経済調査マニュアル」の期待被害軽減額を用いた経済便益の評価方法は、小規模高頻度に生起する水害を前提としたものであり、災害保険により洪水被害がフルカバーされ、資産等が瞬時に元通りに修復される前提となっている。一方で、巨大性

表-1 治水経済調査マニュアルと本モデルの比較

項目	治水経済調査 マニュアル	動学的確率的 マクロ経済モデル
整備効果の 評価指標	氾濫域内の被害軽減額 (直接被害・間接被害)	地域全体の経済成長 (GDP, GRP等)
時間的な 評価軸	一時点の期待被害 軽減額を評価期間分 累積して評価	投資された対策による 毎年の地域の経済成長 を算出して評価
対策費用	事業期間の 毎年の対策費用	事業期間の 毎年の対策費用

・同時性を有するカストロフィックな水害が生じた場合には、資産損失等の影響が長期に渡り続き、経済成長の停滞が想定されるため、資産等が被災後に瞬時に修復されるという前提を置くことに限界が生じる²⁾。よって、流域治水による地域経済の成長効果や大規模洪水の長期的影響等を把握するためには、「時間軸」や「不確実性」を考慮した定量評価が課題の一つとなる。

流域治水による地域経済の成長効果等を定量的に評価できる可能性のあるツールとして「動学的確率的マクロ経済モデル」が挙げられる。他の定量評価ツールとして、消費者余剰法、マクロ計量経済モデル、応用一般均衡モデル等が挙げられるが³⁾、流域治水による地域経済の長期的成長や大規模水害の生起可能性等を考慮に入れる場合は「時間軸」及び「不確実性」を扱うことに優れた「動学的確率的マクロ経済モデル」が適している可能性がある。同モデルを活用した既存研究として、開発途上国における防災投資の経済分析等に同モデルを適用した研究がいくつか存在⁴⁾するが、国内における流域治水の経済効果を明らかにした研究はない。

本論文は、流域治水による経済効果等を評価する研究の第一歩として、洪水氾濫解析で得た洪水被害推計データを「動学的確率的マクロ経済モデル」に入力し、氾濫域内の土地利用規制等を対象にパイロットスタディを実施・考察することで、「動学的確率的マクロ経済モデル」の流域治水対策検討への活用可能性と課題や、社会実装に向けた今後の研究展開を取りまとめることを目的とする。以下、第2章では動学的確率的マクロ経済モデルの概要を説明し、第3章では洪水氾濫解析による被害推計の考え方や条件を示す。第4章でパイロットスタディの実施・考察を行い、第5章で本検討の成果・課題を取りまとめる。

2. 動学的確率的マクロ経済モデルの概要

(1) モデルの概要

本モデルは、経済活動の時間軸や水害リスクの不確実性を考慮した上で、流域治水の長期的な被害軽減効果等を定量的に示すことを目的とする。Ramsey型経済成長モデル⁵⁾に水害リスクや流域治水対策等を加えたモデル

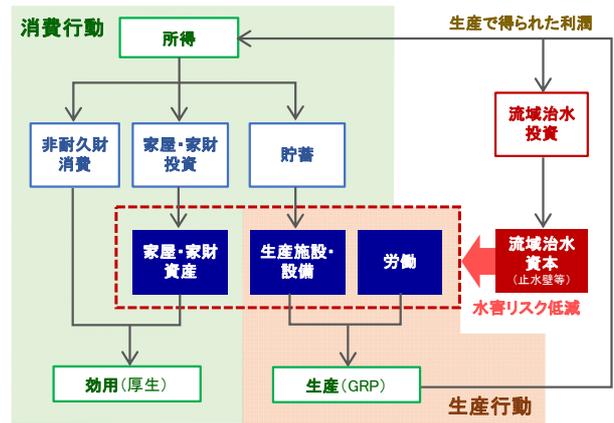


図-1 本モデルのフレームワーク

で、Ishiwata and Yokomatsu (2018), Ishiwata et al. (2020), Yokomatsu et al. (2014) 等のモデルを基に構築しているが、開発途上国と比較して日本の教育水準は既に高水準にあることから、開発途上国の教育水準の向上が経済成長・貧困改善に与える影響を分析するために用いた状態変数の一つである人的資本蓄積（代理変数：平均就学年数）を除外してシンプルな構造とした。アウトプットとして、流域治水対策の有無別に見た地域内総生産（GRP）の差異や流域治水対策の経済効率性等を定量的に示せる点が特徴である。表-1に治水経済調査マニュアルと本モデルの特徴を比較整理する。

(2) モデルの仮定

本モデルのフレームワークを図-1に示す。経済空間は1地域1部門で構成される閉鎖型の実物経済を仮定する。代表的家計は無限視野を持ち、水害リスクを認識した上で、完全合理的に経済活動を行うものと仮定する。実物経済のため、所得は生産額と等価であり、流域治水対策を実施する場合には所得の一部が同対策費に充てられるものとする。合成財の生産には、生産要素として労働と生産施設・設備を要するものと仮定し、洪水被害により生産要素に被害が生じた場合は、残存する生産要素を用いて生産するものとする。また、社会経済構造の変革による急激な技術成長は生じないものと仮定する。

(3) モデルの定式化

a) 洪水の生起確率と被害率

洪水は各年に一度だけ発生するものと仮定し、洪水規模 $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ の水害が発生する確率 μ^l は、時間に依らず一定で、以下の条件を満たすものとする。

$$\sum_l \mu^l = 1 \quad (1)$$

これ以降、水害規模 l を表すため上付き文字を利用する。

洪水被害率は、家計・家財資産被害率 ϕ^l 、生産施設・設備被害率 ψ^l 、労働時間減少率 ω^l の3種類を扱うものとする。洪水被害率は、洪水被害低減関数 ζ_x^l に従い、流域

治水資本 g の蓄積とともに低減していくものと仮定する。

$$\text{家計・家財資産被害率: } \phi^l = \zeta_\phi(g(t)) \quad (2a)$$

$$\text{生産施設・設備被害率: } \psi^l = \zeta_\psi(g(t)) \quad (2b)$$

$$\text{労働時間減少率: } \omega^l = \zeta_\omega(g(t)) \quad (2c)$$

b) 合成財の生産技術

合成財の生産関数 f はCobb-Douglas型⁹⁾を仮定し、合成財生産は洪水被害後に残存する生産要素を用いて行われるものとする。

$$f(\hat{h}^l(t), \hat{k}^l(t)) = B[\hat{h}^l(t)]^{\alpha_h}[\hat{k}^l(t)]^{\alpha_k} \quad (3a)$$

where

$$\hat{h}^l(t) = [1 - \omega^l(g(t))]\bar{h} \quad (3b)$$

$$\hat{k}^l(t) = [1 - \psi^l(g(t))]k(t) \quad (3c)$$

and

$$\sum_{i \in \{h, k\}} \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \in (0, 1) \quad (3d)$$

ここで、 B は全要素生産性、 α_i は生産関数のシェアパラメータを示す。 \bar{h} は人的資本を表し、 $\bar{h} = 1$ と仮定する。 k は生産施設・設備の蓄積量を示す。

1財経済において、地域内総生産（GRP） F^l は合成財生産額の集計量と等価になることから、総地域人口 N を用いて次のように表すことができる。

$$F^l(t) = N \cdot f(\hat{h}^l(t), \hat{k}^l(t)) \quad (4)$$

c) 生涯期待効用の定義

代表的家計は、水害リスクの下、非耐久財消費 c^l と家屋・家財資産の蓄積量 z で定義される生涯期待効用が最大となるよう、完全合理的に資源配分を行う。

$$E_l \left[\sum_{t'=t}^{\infty} u(c^l(t'), \hat{z}^l(t')) \cdot \Lambda^{t'-t} \right] \quad (5a)$$

where

$$\hat{z}^l(t) = [1 - \phi^l(g(t))]z(t) \quad (5b)$$

$$\Lambda = \frac{1}{1 + \rho} \quad (5c)$$

ここで、 E_l は洪水規模 l の期待操作を表す記号である。 ρ は時間選好率であり、 Λ は現在割引要素を意味する。

瞬時効用関数 u はCRRA型（相対的危険回避度一定型）を用いるものとする。

$$u(c^l(t), \hat{z}^l(t)) = \gamma_c \frac{[c^l(t)]^{1-\theta_c} - 1}{1-\theta_c} + \gamma_z \frac{[\hat{z}^l(t)]^{1-\theta_z} - 1}{1-\theta_z} \quad (6a)$$

where

$$\sum_{j \in \{c, z\}} \gamma_j = 1, \quad \gamma_j \in (0, 1) \quad (6b)$$

ここで、 γ_j は効用関数のシェアパラメータ、 θ_j は相対的危険回避度を示す。

d) 流域治水資本の蓄積

流域治水資本 g は、洪水被害を低減させる役割を持つ資本として、輪中堤や止水壁等を想定する。その蓄積過

程は次のとおりである。

$$g^l(t+1) = g(t) + d \quad (7)$$

ここで、 d は各年の流域治水投資額を示す。

e) 家屋・家財資産の蓄積

家屋・家財資産 z は住居や家具等の耐久財であり、その蓄積過程は次のとおりである。

$$z^l(t+1) = (1 - \delta_z)\hat{z}^l(t) + \xi(t) \quad (8)$$

ここで、 δ_z は家屋・家財資産の減耗率、 ξ は家屋・家財投資額を示す。

f) 生産施設・設備の蓄積

生産施設・設備 k は、生産活動に必要な施設や機材、インフラ等であり、その蓄積過程は次のとおりである。

$$k^l(t+1) = (1 - \delta_k)\hat{k}^l(t) + f(\hat{h}^l(t), \hat{k}^l(t)) - c^l(t) - \xi(t) - d \quad (9)$$

ここで、 δ_k は生産施設・設備の減耗率を示す。

g) 総資産の定義

総資産 a は、家屋・家財資産 z と生産施設・設備 k の合計として定義する。

$$a(t) := z(t) + k(t) \quad (10)$$

(4) 動学的最適化

代表的家計の動学的最適化問題は、最適値関数 V を用いて、以下のように記述される。

$$V(a(t), g(t)) = \max E_l \left[\sum_{t'=t}^{\infty} u(c^l(t'), \hat{z}^l(t')) \cdot \Lambda^{t'-t} \right] \quad (11)$$

最適値関数 V は、最適な資源配分により達成可能な生涯期待効用の最大値であることから、社会厚生の一つの指標とみなすことができる。

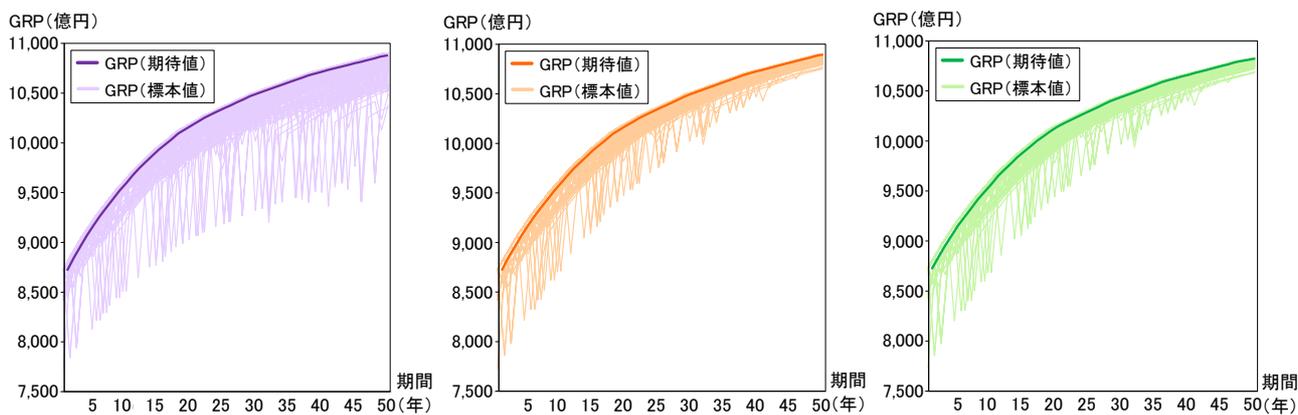
上式は、再帰方程式である次のBellman方程式と等価になる。

$$V(a(t), g(t)) = \max \sum_t \mu^l [u(c^l(t), \hat{z}^l(t)) + \Lambda \cdot V(a^l(t+1), g^l(t+1))] \quad (12)$$

本論文では、Bellman方程式で表された最適値関数 V を目的関数とし、各資産形成に関する制約条件の下、数値シミュレーション手法の一つであるValue Function Iterationを用いることで数値的に社会最適解を算出した。

3. 洪水氾濫解析による被害推計

「治水経済調査マニュアル¹⁾」に準じて、国管理河川の実河川を対象に確率規模別の平面二次元氾濫解析により洪水被害推計を実施した。洪水の生起確率は、基本方針規模L1（確率1/100）以上の確率として、想定最大規模L2（確率1/1,000）、確率1/500、確率1/300の3ケースを設定し、本川と支川に囲まれた1氾濫ブロックに対して、



※洪水の生起確率が低く、洪水被害のない標本値が大半であるため、洪水被害のない標本値の近傍に期待値曲線が位置している。

図-2 モンテカルロシミュレーション結果(左:対策なし,中央:土地利用規制,右:止水壁整備)

本川と支川各1箇所ずつ被害額最大となる破堤点を設定した。上記条件で算定した氾濫解析結果は、想定最大規模で浸水面積約40,000km²、一般資産被害額1,220億円となった。算出した被害額・資産額を用いて洪水被害率(家屋・家財資産被害率、生産施設・設備被害率、労働時間減少率)を算出した。

洪水被害の区分に関しては、直接被害(一般資産被害)と間接被害(労働時間減少)の2つに分けて設定した。直接被害(一般資産被害)に関しては、洪水によって資産が失われ、回復には再投資が必要(永続的な被害)となる一方、間接被害(労働時間減少)に関しては、洪水による人的被害は生じないものとし、洪水が発生した年次のみ浸水のため労働時間が減少(一時的な被害)するものと仮定した。洪水氾濫解析によって推計した洪水被害率に関しては付録に整理した。

4. パイロットスタディの実施

(1) パイロットスタディの目的

現在の河川事業評価で多く用いられている「治水経済調査マニュアル」や「仮想的市場評価法(CVM法)」等では捉え切れていない地域経済の成長や洪水の不確実性を考慮した流域治水対策効果を「動学的確率的マクロ経済モデル」にて評価可能であるかを確認するため、本パイロットスタディにて、同モデルの流域治水対策評価ツールとしての可能性を探ることを目的とする。なお、本パイロットスタディは概略的な流域治水対策効果を得ることを目的としているため、社会経済データ・洪水被害データ等の設定を一部簡便化した上でパイロットスタディを実施した。

(2) パイロットスタディの前提条件

a) 評価期間の設定

「治水経済調査マニュアル」の評価期間が計50年で設定されていることや、家屋の建替周期が50年程度である

こと等を鑑み、本パイロットスタディの評価期間は計50年を想定した。

b) 流域治水対策の設定

本パイロットスタディでは、治水対策ではなく、流域対策に焦点を充てるものとし、計3種類のシナリオを想定した。第一に「流域対策なし」のシナリオで、評価期間を通じて洪水被害率が変化しない状況を想定した。第二に「流域対策あり(土地利用規制)」のシナリオで、氾濫域内の土地利用規制によって、家屋等の建替時期に移転要請を実施する状況を想定し、各洪水被害率が基準年より比例的に低減して50年後にゼロになるものと仮定した。また、家屋等の移転要請であるため、流域対策としての新規費用はゼロを仮定した。第三に「流域対策あり(止水壁整備)」のシナリオで、氾濫域内の家屋等への耐水対策を実施する状況を想定し、土地利用規制と同様、各洪水被害率が基準年より比例的に低減して50年後にゼロになるものと仮定した。また、試行検討であることから、止水壁は床下浸水でも床上浸水でも一律高さ2mを想定し、一件当たり約2.1千万円(一人当たり約4万円/年)の費用負担を仮定した。なお、具体的な耐水対策として、輪中堤や宅盤嵩上げ等も考えられるが、輪中堤の場合は対策費用の設定が難しく、宅盤嵩上げの場合は対策費用が高額となることから、便宜的に止水壁整備を想定した。

(3) パイロットスタディの実施・結果

流域対策による地域経済の成長効果を分析するため、洪水の発生頻度・規模を変化させて計2,000回のモンテカルロシミュレーションを実施し、図-2のとおり地域内総生産(GRP)の期待値と標本値を算出した。流域対策の有無により、標本値の変動幅が異なり、その結果として期待値に差異が生じた。本節では同期期待値・標本値を用いた経済分析結果を示す。なお、利用した入力データは付録に整理した。

a) 流域対策別に見た地域経済の期待成長分析

地域経済の成長に対する適切な流域対策を把握するた

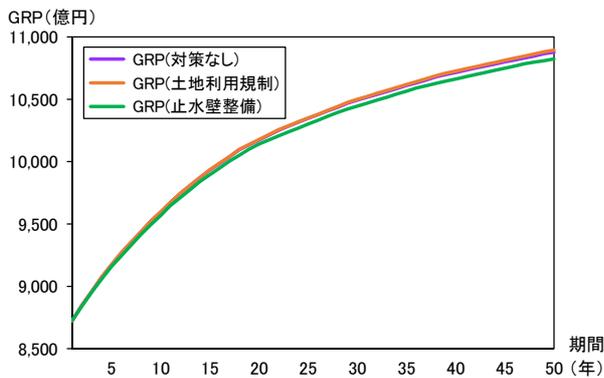


図-3 流域対策別に見た地域経済の期待成長

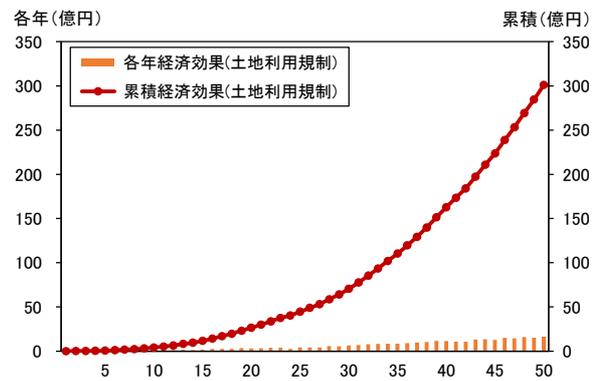


図-4 土地利用規制時の各年・累積経済効果

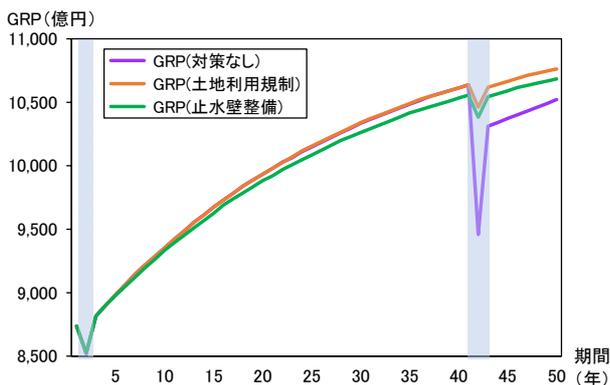


図-5 流域対策別に見た大規模洪水発生時の地域経済成長

め、地域内総生産（GRP）の期待値を用いて、図-3のとおり流域対策別の地域経済の期待成長水準を比較した。50年後の地域内総生産（GRP）を見ると、「対策なし」と比較して「土地利用規制」では約20億円増加した一方、「止水壁整備」では約60億円減少した。「土地利用規制」は、流域対策としての新規費用なしに各洪水被害率が低減する状況を想定（家屋等建替時期の移転要請を想定）したため、流域対策分の投資が生産施設・設備に充てられ、経済成長に繋がったと考えられる。一方で「止水壁整備」では、流域対策の被害軽減効果は発現しているものの、水害リスクに比べて流域対策の費用負担が大きく、経済成長の停滞を招いたものと考えられる。

次に地域経済に及ぼす「土地利用規制」の長期的効果を把握するため、「各年の地域経済効果」を以下のとおり定義し、「50年後の累積経済効果」を算出した。算出結果を図-4に示す。

$$\begin{aligned} & \text{各年の地域経済効果} \\ & = \text{土地利用規制時のGRP} - \text{対策なしのGRP} \end{aligned}$$

各年の地域経済効果は大きくないものの、土地利用規制が進むことで洪水被害が減少するとともに、地域経済が成長して資産が増加するため、各年の地域経済効果は年々増加し、50年後の累積経済効果で見ると約300億と一定程度の経済効果が見られた。今後の気候変動による大規模洪水の生起確率の上昇や、治水対策が遅れている

支川・中小河川等に着目した場合は、流域対策の経済効果が増すものと想定される。

b) 大規模洪水発生シナリオで見た地域経済の成長分析

大規模洪水による地域経済への影響を把握するため、地域内総生産（GRP）の標本値（想定最大規模L2が基準年から42年後に発生した場合）を用いて、図-5のとおり流域対策別の地域経済の成長水準を比較した。大規模洪水発生時（42年後）の地域内総生産（GRP）を見ると、「対策なし」では約1,200億円減少した一方、「土地利用規制」及び「止水壁整備」では約170億円の減少にとどまり、経済損失が大幅に緩和される結果となった。加えて「対策なし」では、50年後の地域内総生産（GRP）が大規模洪水発生前の経済水準に回復していないことが分かる。「止水壁整備」に関しては、地域経済の期待成長で見た場合は必要以上の費用負担で経済成長の停滞を招く結果となっていたが、大規模洪水発生シナリオで見た場合は「対策なし」よりも地域経済の持続的成長に貢献する結果となった。流域対策を検討する際は、地域経済の期待成長と大規模洪水発生シナリオで見た経済成長の双方を考慮した分析が有益であると考えられる。

5. 本検討の成果・課題

(1) 本モデルの流域治水検討への活用可能性・課題

「動学的確率的マクロ経済モデル」に「洪水氾濫解析で得た被害推計」等を入力し、流域対策の有無別（計50年間の土地利用規制（ソフト対策）・止水壁整備（ハード対策））に見た地域内総生産（GRP）の長期的な成長規模の差異等を定量的に分析した。また、流域対策による洪水被害・水害リスク低減と対策費用負担の関係性を踏まえ、地域経済成長を考慮した流域治水対策への投資妥当性を一定の仮定の下で検討可能なツールであることを確認した。これによりハード対策とソフト対策のバランスを定量的に検討できる可能性があることを確認した。

今後の課題として、治水対策と流域対策の最適なバランスの分析（今回は流域対策に焦点）、流域治水対策の

実施に必要な資金調達（建設国債等）を考慮可能な構造への改良，空間を考慮した構造への改良等が挙げられる。

(2) 流域治水への実装に向けた今後の研究展開

今後は、実流域を対象に、河川分野と社会経済分野の分野横断的な研究展開を進め、本モデルが予防保全型の取り組み等を推進する上で有効なツールとなり得るかの深度化検討が必要であると考えられる。具体的には、①対象地域の社会・経済情報，②確率別氾濫情報（多段階浸水想定区域等），③対象地域で計画されている流域治水施策・計画の情報（計画概要，費用等）等の情報を基に詳細な設定を行い，実装可能性を検証する必要がある。

また，流域治水対策の上下流バランスや，特性の異なる地域・産業構造等の考慮も重要であるため，本モデルを異なる特性の地域に適用することや，空間スケール・産業構造の違いを詳細に捉えられるよう多地域・多産業モデルへ拡張する等も考えられる。さらには経済効果に加えて，QOL (Quality of Life) やリスクプレミアムに与える効果等も併せて捉えていくことが重要であると考えられる。

付録 データセット一覧表

本論文のパイロットスタディで用いた入力データを表-2（社会経済データ）と表-3（洪水被害データ）に整理した。

表-2 社会経済データ一覧

変数名	記号・設定値	出典・備考
時間選好率	$\rho = 0.04$	治水経済調査マニュアル ¹⁾ の社会的割引率やBraun et al. (2006), Hansen and Wright (1992) 等を参考
相対的危険回避度	$\{\theta_c, \theta_z\} = \{2.0, 2.0\}$	山田(2016)の1~4程度, Cicco et al. (2010)の2程度等の記載を参考
家屋・家財資産減耗率	$\delta_z = 0.04$	国税庁の法定耐用年数(建物償却率)を参考
生産施設・設備減耗率	$\delta_k = 0.04$	
総地域人口	$N = 31.3$ (万人)	国勢調査(総務省)
家屋・家財資産	$z(0) = 8.3$ (百万円/人)	国勢調査(総務省), 治水経済調査マニュアル ¹⁾
生産施設・設備	$k(0) = 14.6$ (百万円/人)	国勢調査(総務省), 治水経済調査マニュアル ¹⁾ , 経済センサス(総務省・経済産業省)
効用関数のシェアパラメータ	$\{\gamma_c, \gamma_z\} = \{0.17, 0.83\}$	県民経済計算年報(山梨県)
生産関数のシェアパラメータ	$\{\alpha_h, \alpha_k\} = \{0.67, 0.33\}$	市町村民経済計算(山梨県)
全要素生産性	$B = 10,877$	キャリブレーション

表-3 洪水被害データ一覧

変数名	記号	設定値	出典・備考
洪水生起確率	μ^l	1/300未満 : 99.4% 1/300 : 0.33% 1/500 : 0.20% 1/1,000 : 0.10%	治水対策により確率1/300未満の洪水被害率はゼロと想定
流域対策投資額	d	<止水壁整備> 4.0万円/人・年	既存事例より設定 ※土地利用規制の新規費用はゼロと仮定
家屋・家財資産被害率	ϕ^l	1/300未満 : 0.00% 1/300 : 3.12% 1/500 : 3.49% 1/1,000 : 11.7%	洪水氾濫解析モデル, 治水経済調査マニュアル ¹⁾
生産施設・設備被害率	ψ^l	1/300未満 : 0.00% 1/300 : 3.12% 1/500 : 3.49% 1/1,000 : 11.7%	家屋・家財資産被害率と同値を仮定
労働時間減少率	ω^l	1/300未満 : 0.00% 1/300 : 2.92% 1/500 : 3.38% 1/1,000 : 10.7%	洪水氾濫解析モデル, 治水経済調査マニュアル ¹⁾

参考文献

- 1) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案），2020.
- 2) 小林潔司，横松宗太：災害リスクマネジメントと経済評価，土木計画学研究・論文集，19(1)，2002.
- 3) Wada, H., Wakigawa, K., Yokomatsu, M. and Takeya, K.: The role of a macro-economic model for disaster risk reduction policy in developing countries, *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, 4(1), 2014.
- 4) Ishiwata, H. and Yokomatsu, M.: Dynamic stochastic macroeconomic model of disaster risk reduction investment in developing countries, *Risk Analysis*, 38(11), pp.2424-2440, 2018.
- 5) Ishiwata, H., Wada, H., Suzuki, K., Ikeda, M. and Tada, N.: A quantitative analysis of disaster risk reduction investment effects for sustainable development: Indonesia case study, *ERIA Discussion Paper Series*, No. 334, 2020.
- 6) Yokomatsu, M., Wada, H., Ishiwata, H., Kono, T. and Wakigawa, K.: An economic growth model for disaster risk reduction in developing countries, *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Diego, CA, USA*, pp.1584-1591, 2014.
- 7) 瀬木俊輔，石倉智樹，横松宗太：動学的確率的マクロ経済モデルの長期的な防災投資計画への応用，土木学会論文集D3（土木計画学），68(3)，pp.129-143, 2012.
- 8) Ramsey, F. P.: A mathematical theory of saving, *The Economic Journal*, 38(152), pp.543-59, 1928.
- 9) Cobb, C. W. and Douglas, P. H.: A theory of production, *American Economic Review*, 18, pp.139-165, 1928.

(2022. 3. 25受付)