

第II部門 治水投資便益の確率分布の推定

京都大学工学部 学生会員 ○小林敬汰  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 萬 和明  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 市川温

京都大学大学院地球環境学堂 正会員 田中智大  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Kim Sunmin  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 立川康人

1 序論 現在日本では、治水投資の効果を評価する際、費用便益分析が用いられている。治水経済調査マニュアル(案)<sup>1)</sup>によると、治水投資の便益は投資による年被害軽減額の平均値を評価期間割引率を考慮して足し合わせることで算定されている。しかし、洪水被害は一般に裾の長い確率分布に従う低頻度事象であり、特に整備水準が高い流域では、限られた評価期間内の被害軽減額が大きくばらつくと考えられる。

本研究では、治水投資による便益を確率変数である評価期間内の総浸水被害軽減額と捉えなおし、仮想的な治水投資事業を対象にその確率分布を推定して治水投資便益の確率的な特徴を分析した。

2 治水投資便益の推定手法 本研究では、以下の手順に示すように、評価期間にわたる降雨事象群を多数発生させ、降雨流出、氾濫モデルを通して便益、すなわち評価期間内の総被害軽減額  $\Delta M_{All}$  の実現値を多数得ることにより、数値的に確率分布を推定する。

- 1) 年間の降雨事象の生起回数をポアソン分布に従い発生させる。
- 2) 過去の降雨事象を  $N$  個用意し、総降雨量で正規化した降雨の時空間分布  $\xi_i(x, y, t) (i = 1, 2, \dots, N)$  (以後降雨パターンと呼ぶ) を抽出する。ただし、 $0 \leq t \leq d_i, (x, y) \in A$  であり、 $d_i$  は降雨継続時間、 $A$  は流域面積を表す。このうちの一つのパターンを確率  $1/N$  で発生させる。
- 3) 発生させた降雨パターンの降雨継続時間  $d_i$  に応じた総降雨量の条件付確率分布  $G_{R_a|D}(r_a|d_i)$  から総降雨量  $r_a$  を発生させる。発生させた降雨パターンと総降雨量から一つの降雨事象が得られる。
- 4) 降雨流出モデル、氾濫モデルを用いて、あらかじめ降雨パターン  $\xi_i$  ごとに総降雨量  $r_a$  と投資前後の被害額  $m_b$  および  $m_a$  の関係を得る。この関係から、発生させた降雨事象に対応する被害額  $m_b$ 、 $m_a$  を求め、被害軽減額  $m_b - m_a$  を計算する。
- 5) 手順2)~4) を手順1) で発生させた生起回数分繰り返す。

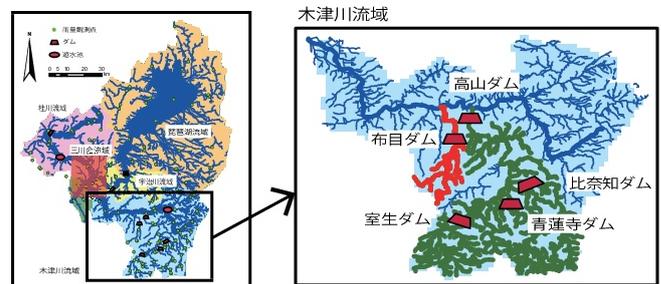


図1 淀川の流域図。赤線が布目ダムの流入河川，緑線が高山ダムの流入河川を表す。

返し、各降雨事象ごとの被害軽減額を足し合わせることで年被害軽減額の実現値を一つ得る。

- 6) 手順1)~6) を評価期間分繰り返して、年被害軽減額の実現値を足し合わせて便益  $\Delta M_{All}$  の実現値を一つ得る。本研究では簡単のため割引率を考慮せず足し合わせた。
- 7) 手順7) を十分な回数繰り返し、発生させた多数の便益  $\Delta M_{All}$  の実現値から、便益  $\Delta M_{All}$  の確率分布を推定する。

3 対象流域および仮想的な治水投資事業の設定 第3章で述べた便益の確率分布の推定手法を、木津川流域の5つのダム(高山ダム、室生ダム、青蓮寺ダム、比奈知ダム、布目ダム)にかかわる4つの仮想的なダム建設事業に適用した。淀川流域の流域図および流域内のダムの位置を図1に示す。まず投資前の整備状況の違いによる治水投資便益の違いを見るために、木津川流域にダムがない状態に高山ダムを建設する事業A、事業Aが実施された状態に他の4つのダムを建設する事業Bを設定した。また、事業Bで建設する4つのダムの中で、布目ダムは高山ダム流域に位置する他の3つのダムと支流が異なる。そこで、事業Bで建設する4つのダムのうち、布目ダム以外の3つのダムを建設する事業をB-1とし、その後、布目ダムを建設する事業をB-2として事業Bを分割して、建設するダムの位

表1 便益の統計量

	事業 A	事業 B	事業 B-1	事業 B-2
平均値	655.0071	353.5043	196.9907	156.5136
便益が平均値以上になる確率	0.18076	0.20772	0.10138	0.2304
便益が正となる確率	0.54884	0.76728	0.29688	0.73971

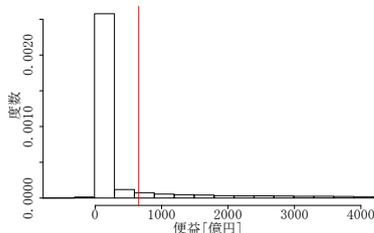


図2 事業Aのヒストグラム

置の違いが投資便益の確率分布に与える影響を検証した。いずれの事業も評価期間は50年とし、淀川の三川合流域(図1の赤塗り部分)での被害軽減額によって事業の便益を推定した。降雨流出モデルおよび氾濫モデルは、Tanaka et al.<sup>2)</sup>で構築されたものを用いた。

**4 計算結果と考察** 推定された便益の確率分布の一例として事業Aのヒストグラムを図2に示す。赤線は平均値の位置を示す。分布が左右非対称で、右に裾が長い分布をしていることが分かる。4つの治水投資事業の便益  $\Delta M_{All}$  の分布の推定より得られた便益の統計量を表1に示す。図2のように分布が大きく歪んでいるため、どの事業でも便益が平均値以上になる確率が0.5より小さいことがわかる。このことから、平均値に基づく便益が平均的には得られないことが示唆される。

各事業間の統計量を比較すると、事業Bでは、事業Aに比べて便益の平均値が小さくなっている一方で、投資前の整備水準が高く被害の発生頻度がより小さいと考えられる事業Bより事業Aの方が投資便益  $\Delta M_{All}$  が正となる確率が事業Aよりも大きい。この原因を調べるため、事業Bを事業B-1と事業B-2に分割した。その結果、事業B-1は事業Aに比べて便益が正となる確率が小さくなっているが、事業B-2は、事業B-1よりも便益が正となる確率は大きくなっていることが分かる。

便益の出方がこのように変化した原因として、建設したダムの流域の違いが考えられる。事業B-1で建設した3つのダムは事業Aで建設した高山ダム上流域

に建設しているのに対し、事業B-2で建設した布目ダムは、それまでの治水投資とは異なる支流上で実施されている。事業B-1は、すでに同一支流上に事業Aで高山ダムが建設されているために、3ダムの効果による被害軽減効果は、高山ダムの貯水能力をこえるような降雨がこの支流上で発生しない限り発揮されないの、効果があらわれる確率が小さくなる。一方、事業B-2は、建設されるダムが以前の事業とは異なる支流上にあるため、以前の事業では対応できなかった別支流の流量の低減が可能となり、被害軽減可能な場合の回数が増加したのだと考えられる。表1のとおり、事業B-1とB-2の便益の平均値はB-1の方が26%大きい程度であり、平均値のみに着目すると両事業の便益は大きく変わらない。上記で議論したこの2つの事業の統計量の違いは、治水投資の意思決定に平均値以外の統計量を用いることの重要性を示唆していると考えられる。

**5 まとめ** 本研究では、治水投資便益の確率分布の推定手法を開発し、その手法を仮想的な治水投資事業に適用した。その結果、確率分布が推定されることで便益の平均値以外の統計量が得られ、便益が発生する確率や便益が平均値を超える確率など治水投資事業ごとの特徴が明瞭になった。その結果、便益の確率分布の推定により、治水投資の効果についてより合理的な情報を提供できる可能性が示された。

また、便益の確率分布の形状から、50年という評価期間内では総被害軽減額の確率分布は正規分布に収束せず、分布の平均値に基づく治水投資便益が大きな不確実性を持つことが分かった。

参考文献

- 1) 国土交通省 河川局：治水経済調査マニュアル(案),2005
- 2) Tanaka, T., Tachikawa, Y., Ichikawa, Y., Yorozu, K.: Impact assessment of upstream flooding on extreme flood frequency analysis by incorporating a flood-inundation model for flood risk assessment, Journal of Hydrology, Vol.554, pp.370-382, 2017.