

計画治水安全度の決定における 洪水リスク評価特性の計測

MEASUREMENT OF RISK EVALUATION CHARACTERISTICS ON DECISION OF FLOOD CONTROL LEVEL

柴崎隆一¹・家田仁²

Ryuichi SHIBASAKI, Hitoshi IEDA

¹正会員 工博 元東京大学助手 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 工博 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

In determining standards for disaster mitigation facilities for various disaster risks such as flood risk, the expected reduction in damage that between the with-investment case and the without-investment case is normally used as an index of the benefits of investing. This index, however, has been criticized for being inappropriate for investments in disaster and accident prevention facilities, especially for risks of low frequency and a high degree of uncertainty, but with the possibility of catastrophic damage, as written in the manual of flood control economy investigation. Therefore, to contribute to these discussions, this study measured the risk evaluation characteristics of decision-makers on frequency and damage of the flood risk, based on actual flood control level decided in Japanese rivers.

Key Words : risk evaluation characteristics, flood risk control, economic evaluation of disaster mitigation facilities

1. はじめに

地震・洪水・斜面災害・交通事故など各種の災害・事故リスクは、生起頻度や災害1件あたりの被害額が様々であり、防災・事故防止施設の整備水準を決定するにあたり、投資による便益をどのように評価するかについて多くの議論が存在する。最も一般的な評価指標として、投資前後の期待被害額の差で表される期待被害軽減額があるが、特に、相当な不確実性を伴う稀少頻度リスクや、カタストロフィックな被害をもたらすリスクにおいては、期待被害軽減額による投資評価は不適切であるという指摘も多い¹⁾。このような特徴を持つ災害・事故リスクを評価する手法については、理論レベルでは問題点の整理がそれなりに進みつつあるものの²⁾、治水経済調査マニュアル(以下「マニュアルとよぶ」)³⁾中の記述や、島村⁴⁾にみられるように、実際に投資を行う組織においては、明示的に考慮する必要性がようやく認識されはじめた段階にある。しかし、これまで現実に行われてきた数多くの防災投資においては、明示的であるかどうかはともかく、何らかの形でこのような災害・事故リスクの特徴を考慮しつつ整

備水準が決定されてきたものとも考えられる。

そこで本稿は上記議論に資するため、全国の一級河川における計画安全度の現状から、実際の治水計画の立案において、洪水リスクの生起頻度や被害額がどのように評価されてきたかを計測することを目的とする。

2. 既往の研究とリスク評価特性を考慮した防災施設整備水準決定問題の取り扱い

(1) 期待被害軽減額による投資評価

防災投資等の防災・減災施策の経済評価指標として最も一般的に用いられるのは、期待被害軽減額である。あるひとつの災害・事故リスクにおいて、災害(または事故。以下略)の状態 s ごとに、防災施設整備水準が z のときの災害の年間生起頻度を $\pi^z(s)$ 、被害額を $D^z(s)$ とする。このとき、投資前の防災施設整備水準を $z=z^0$ 、投資後の水準を $z=z$ とすれば、この投資による期待被害軽減額 $\Delta E[D^z]$ は(1)式のように表される。

$$\Delta E[D^z] = \int \pi^{z^0}(s) \cdot D^{z^0}(s) ds - \int \pi^z(s) \cdot D^z(s) ds \quad (1)$$

この期待被害軽減額は、機械的に計算される被害額と

生起頻度の積で表される期待値の、防災施策実施前後の単純な差をとっており、災害リスクに対する家計やインフラ管理者の評価特性をまったく考慮していない。しかし、以下に示すように、家計等が主観的に評価する災害リスクの生起頻度や被害額は、機械的に求められる実際のそれらとは異なると考えられる。

(2) 災害の被害額に関する評価特性

最も簡単な家計のリスク評価特性の考慮法としては、家計の限界効用が逓減するという、リスク回避的な性質⁹⁾がある。この場合、施策を行うことによる社会的効果の評価値（便益）は、オプション価格とよばれ、期待被害軽減額との差で定義されるオプション価値は、必ず正となる⁹⁾。リスク回避的な効用関数について、たとえば Freeman III⁷⁾は、危険回避測度の異なる効用関数ごとに便益を試算し、比較考察を行っている。また、小林・横松⁸⁾は、家計が危険回避的なリスク効用関数を持つことを前提に、災害リスクの集合性に着目し、災害証券を含め完全な災害保険市場が成立する場合、期待被害額に災害保険のマークアップ率を乗じることで防災投資の便益が得られることを示した。逆に、現状の日本のように完全保険市場が存在せず、またその他の政策等によっても家計の被害が完全に補填されない場合には、当該インフラの管理組織によって比較的短時間に被害の回復が可能な公共土木施設等の被害にくらべ、一般の家計が負担しその回復に比較的長期間を要する被害は、被害額が同一であっても効用の低下量の社会的総和は大きいことが指摘されている²⁾。

(3) 災害の生起頻度に関する評価特性

生起頻度に関する意思決定者の評価特性は、Starr and Whipple⁹⁾などにまとめられるように、認知心理学の分野で数多く研究されている。松原¹⁰⁾によれば、特に発生頻度が稀少である災害ほど、①発生頻度に関する情報の不足・偏りのために、得られる情報から意思決定者が主観的に判断する確率と、客観的に正しいと考えられる確率にずれが生じたり（ベイズ論的主観確率の考え方）、②そもそも稀少確率現象に対する判断や意思決定が通常と異なったりする（究極の場合は、被害の大きさのみに注目し生起確率の大小を全く無視したり、逆に生起確率をゼロとみなしたりする）ために、意思決定者が主観的、または潜在意識下において評価する生起確率と、客観的データから機械的に求められる生起確率の乖離が大きくなる。たとえば Viscusi¹¹⁾等は、ベイズの定理によって定義される主観確率を実験等により求めている。

また、Kahneman and Tversky¹²⁾は、人間の意思決定行動が期待効用理論によって表現できないことを示し、これに代わるプロスペクト理論を提唱した。プロスペ

クト理論は、期待効用理論では固定されていた確率 p に対し、意思決定者の確率に対する主観的な重み付け関数 $w(p)$ を導入している。他にも、人間のリスク評価特性はさまざまな特徴を持つことが、多くの研究により示されている。たとえば、Lichtenstein et al.¹³⁾は、人々は生起確率の低い致死事象を過大評価し、生起確率の高い致死事象を過小評価することを示した。

(4) リスク評価特性を考慮した政策評価

上記のような人間のもつ種々のリスク評価特性を、どのように政策決定に反映させるか、あるいは実際の政策決定にリスク評価特性がどのように反映されているかについても検討されている¹⁴⁾。しかしその多くは、定性的あるいは観念的な議論に終始し、具体性に欠けるらいがある。上記のプロスペクト理論等で導入された確率の重み付け関数と損失に関する評価関数を用いた意思決定の例としては、田村¹⁵⁾などがある。また、Schulze and Kneese¹⁶⁾や能島¹⁷⁾などは、人間のリスクの受容に関する特性を考慮し、リスクの許容領域と非許容領域を明確化した意思決定基準を提案している。

治水投資の評価については、既述の通り、マニュアルでは期待被害軽減額を便益としている。期待被害軽減額を用いた治水投資評価の経緯や問題点については、阿部・坂本¹⁸⁾、湧川¹⁹⁾、Plazak²⁰⁾などにまとめられている。さらに、辻本²¹⁾、安田²²⁾、Wurbs²³⁾などにおいて、治水投資評価に関する新たな視点や手法の提案がなされている。特に、安田²²⁾は、水害リスクを10段階の水害安全度別に示し、重大な災害リスクの発生頻度と被害の程度をより明示した評価を提案している。ただし、いずれの研究も定性的、あるいは観念的な議論にとどまっている。また、高木・森杉らによる一連の研究²⁴⁾においては、実際の事業の便益の計測も行っているが、その前提としてリスク中立型の効用関数を想定している。Al-Futaisi and Stedinger²⁵⁾は、治水投資の評価基準として期待効用最大化だけでなく発生被害額の分散や発生確率の許容水準を考慮した基準を提案し、数値シミュレーションによる比較を行っている。

(5) 本研究の位置付けとリスク評価特性を考慮した防災施設整備水準決定行動の定式化

本研究は、筆者らによるこれまでの研究^{26), 27)}と同様、複数の災害・事故リスクを対象に、これまで実際に行われてきた当該リスクに対する防災・減災行動の実績から、各家計やインフラ管理者といった、それぞれの意思決定者のリスク評価特性を計測し、その大局を把握することを目的としている。本研究を含む一連の研究は、既往研究の成果を参考にしつつ、分析の枠組みは多少粗いものの、①防災投資水準の決定という社会的な意思決定問題を中心に、②複数の災害・事故リス

クに対する人間の意識の共通点や差異を対象として、
③実際の投資実績を用いて計測を行う点に特徴がある。

上記の議論を踏まえ、意思決定者のリスク評価特性を介した期待被害軽減額 $\Delta E[L^z]$ を(2)式のように表す。意思決定者が主観的に評価する生起頻度 $f(\pi)$ と実際の生起頻度 π が異なることを表すため、生起頻度に関する評価関数 $f(\cdot)$ を導入した。また、公共土木施設の被害などインフラ管理者にとっての「直接的な」被害額 Dd と、家計が負担する被害、すなわち、インフラ管理者からみた「間接的な」被害額 Dh では、額が同一であっても社会的総効用の低下量が異なることを表すため、インフラ管理者にとって間接的な被害額への重み付けとなる評価関数 $g(Dh)$ を導入した。ここで本研究では、インフラ管理組織の規模は十分大きく、インフラ管理組織自身の損失についてはリスク中立を仮定している。

$$\Delta E[L^z] = \int_0^\infty f(\pi^{z^0}(s)) \cdot \{Dd^{z^0}(s) + g(Dh^{z^0}(s))\} ds - \int_0^\infty f(\pi^z(s)) \cdot \{Dd^z(s) + g(Dh^z(s))\} ds \quad (2)$$

このとき、このインフラ管理組織にとって最適な防災施設整備水準 z^* は(3)式で表される。

$$z^* = \arg \max_z \left\{ \sum_{t=0}^{T-1} \frac{\Delta E[L^z]}{(1+i_r)^t} - C^z \right\} \quad (3)$$

ここで、 T は供用期間(年)、 i_r は割引率、 C^z は防災施設整備水準を z^0 から z に引き上げるに要する費用である。

3. リスク評価特性を考慮した計画治水安全度決定問題の定式化

(1) 我が国における治水投資と計画安全度の決定

わが国における治水対策は、江戸時代までは、洪水から守るべき地域とそうでない地域を明確化する重点主義的な対策が主流であった²⁸⁾。明治に入ると近代治水が始まり、流量観測をベースに、より計画的な、かつ流域全体を洪水の危険性から均等に防御する思想に転換された。その後、第2次大戦による投資の中断と国土の荒廃によって終戦後の10数年は大水害が頻発したが、国民所得の1%近くの額が毎年継続的に治水投資に投入され、特に多数の死傷者を出すような大水害はあまりみられなくなった²⁹⁾。近年の治水対策は、都市化の進展に伴う中小河川の洪水や内水氾濫の危険性の増大や、氾濫危険地域への都市のスプロール化の進行による被害ポテンシャルの増大、等といった現代型水災への対応が課題である。特に後者は、堤防の建設や河道の浚渫などの河川氾濫を防ぐためのハード的な施策により洪水の発生確率は低下したものの、逆に氾濫危険地域への資産集積を招き、結果として災害発生時の被害ポテンシャルを増大させ、防災対策が災害の力

タストロフ性を助長する形となっている³⁰⁾。またマニュアルにも指摘されるように、仮に都市化の進展等がなく流域の資産分布の変化がなかったとしても、治水対策の進展に伴い多少の流量の増加では洪水が起きることがなくなったため、逆に一度災害が発生すると直ちに大災害となる可能性が増加し、カタストロフィックな災害を適切に評価することの重要度が増している。

治水対策は、流域対策・洪水調節・河道改修・氾濫域対策などがあり、このうち、洪水調節と河道改修の計画が、河川法による「河川整備基本方針」策定の範疇である。ここでは、各河川の整備を行うための長期的な目標値である、計画安全度、基本高水、計画高水流量を定めることとされている。計画安全度(治水計画規模ともいう)は洪水の発生する年超過確率で表現される、各河川の治水計画における最も基本的な整備目標値である。全国の一級河川の計画安全度は、最大で荒川・多摩川などの1/200、最小で渚滑川(北海道)などの1/50である。計画安全度は、かつては既往最大主義で高水量が決められていたが、1970年代前半に氾濫区域面積、区域内人口、区域内資産、区域内工業出荷額等の指標をもとに、その他の勘案事項とあわせて「行政的に」決定されている。その後、社会の要請やデータの蓄積等により、一部の河川で計画安全度が引き上げられている。一級河川においても、多くの河川で現状の治水施設では計画安全度を満たすには未だ遠く、現在も営々と治水施設整備が行われている。

(2) 治水投資による期待被害軽減額

治水投資においては、各河川 i の計画安全度 z_i が、(2)式中の防災施設整備水準となる。ここで、治水投資は降雨確率を変化させないことに留意されたい。また、簡略化のため、洪水による被害については、破堤やダムが決壊などといった治水施設の破壊が生じない限り被害額はゼロと仮定し、逆に治水施設が破壊された場合は、治水施設がただちに完全に機能を失い、存在しない場合と同様の被害をもたらすと仮定した。すなわち、図1に示すように、河川 i において、その流量が計画安全度 z_i における基本高水 $q_h(z_i)$ 以下の場合は被害ゼロであり、流量が $q_h(z_i)$ を超えると無堤状態と同じ被害が発生するものとする。この仮定によって(2)式中の被災の状態 s が当該河川の流量 q と一対一の関係となることもふまえると、治水投資による期待被害軽減額 $\Delta E[D_i^{z_i}]$ は、(2)式を以下のように書き直すことができる。

$$\begin{aligned} \Delta E[D_i^{z_i}] &= \int_{q_h(z_i^0)}^\infty \pi_i(q) \cdot D_i(q) dq - \int_{q_h(z_i)}^\infty \pi_i(q) \cdot D_i(q) dq \\ &= \int_{q_h(z_i^0)}^{q_h(z_i)} \pi_i(q) \cdot D_i(q) dq \end{aligned} \quad (4)$$

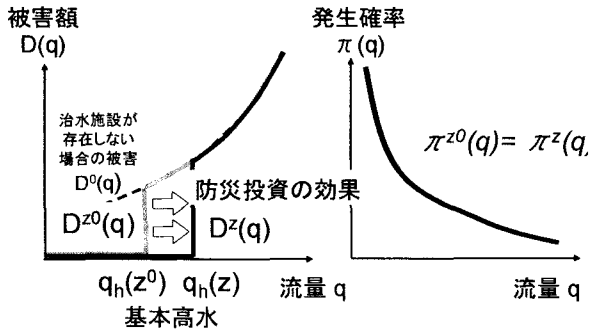


図1 洪水被害の発現状態と治水施設整備の効果

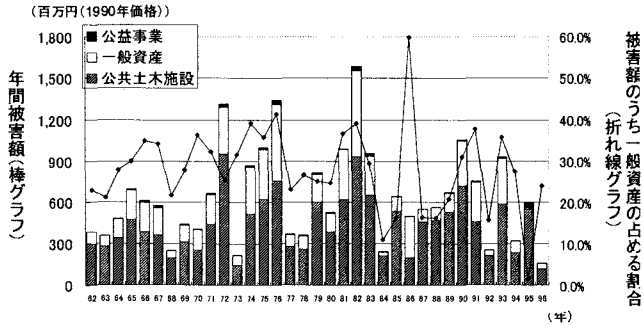


図2 水害被害額の内訳と一般資産の占める割合 (藤田²⁹⁾をもとに作成)

(3) 洪水リスクの特徴

a) 洪水リスクの生起頻度

洪水の出現頻度としては、各ピーク流量の生起確率を用いる。治水投資の場合、防災施設整備水準を表す計画安全度は、流量の年超過確率の逆数として直接定義されるため、流量の発生確率さえ定まれば、計画安全度が意思決定者によって主観的に評価される余地はない。ただし、流量観測の経過年数等から判断しても、たとえば 1/100 以下の年間発生頻度がおける流量の不確実性はかなり大きいものと考えられ、治水計画安全度の決定の際に、そのような不確実性を(無意識的に)考慮した選択がなされているものとも考えられる。

b) 洪水リスクの被害額

洪水による被害は、管理者である政府の直接的な被害である公共土木施設の被害と、第一義的には各住民等が自ら負担する一般資産等の被害に分けられる。公共土木施設の被害の大部分は、堤外地の洪水防御施設等の損害である。一般資産等の被害は、氾濫地域に居住する家計、事業所や農作物の浸水被害や、事業所の営業停止による損失等が含まれる。ここで藤田ら²⁹⁾は、水害による被害額が小さい年には、その多くは公共土木施設の被害であるが、被害額が大きい年には、一般資産の被害の比率が高いことが多いと指摘している(図2参照)。すなわち、被害額の大きい水害においては被害額の多くを一般の周辺住民が負担することを意味し、前節で議論したような、被害の負担者の違

いによる社会的総効用の低下量の違いを考慮することが、洪水被害の経済評価を行ううえで重要なファクターとなってくることが示唆される。

(4) リスク評価特性を考慮した治水投資行動の定式化

本研究では、治水施設の管理者である政府による計画治水安全度の決定行動を単純化し、リスク評価特性も込みにした、河川整備によって得られる洪水被害の期待軽減額の評価値と、整備費用の差が最も大きくなるように決定しているものと仮定する。すなわち、

$$\max_{z_i} \left[\frac{\sum_{t=0}^{T-1} \int_{q_h(z_i^0)}^{q_h(z_i)} f\{\pi_i(q)\} \cdot [Dd_i(q) + g(Dh(q))] dq}{(1+i_t)^t} - C(q_h(z_i)) \right] \quad (5)$$

ただし、 Dd_i は、河川 i における公共土木施設被害額、 Dh は周辺住民の総一般資産被害額である。また、便益の計算期間 T は完成時期にかかわらず現在から50年間とする。ここで、(4)式より、

$$z^* = \arg \max_{z_i} \left[\frac{\sum_{t=0}^{T-1} \int_{q_h(z_i^0)}^{q_h(z_i)} f\{\pi_i(q)\} \cdot [Dd_i(q) + g(Dh(q))] dq}{(1+i_t)^t} - C(q_h(z_i)) \right] \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sum_{t=0}^{T-1} f\{\pi_i(q_h(z_i^*))\} \cdot [Dd_i(q_h(z_i^*)) + g(Dh(q_h(z_i^*)))]}{(1+i_t)^t} = \frac{d}{dq_h(z_i)} C\{q_h(z_i)\} \Big|_{z=z^*}$$

を得る。すなわち、最適な治水施設整備水準 z^* において、当該整備水準における基本高水にちょうど一致する流量が発生した場合の50年間の期待被害額と、限界整備費用が一致する。

4. リスク評価関数の推定

(1) 入力データの準備

全国の一級河川のうち、治水経済調査報告書によって必要データが入手可能であった33河川を、本研究の対象とする。各河川における計画安全度、計画高水量発生時の現状における洪水被害額を表1に示す。

a) 洪水発生確率に関するデータ

河川 i における流量 q (m^3/s)の年超過確率 $\phi_i(q)$ を $a_i \cdot q^{b_i}$ とすれば、(ここでパラメータ a_i , b_i は、各河川ごとに治水経済調査報告書より推定される)、年発生確率 $\pi_i(q)$ は次式で表される。

$$\pi_i(q) = \frac{d}{dq} \phi_i(q) = a_i \cdot -b_i \cdot q^{-b_i-1} \quad (7)$$

b) 洪水による損失に関するデータ

(6)式より、各河川 i の被害額としては、計画安全度 z に相当する計画高水量 $q_h(z)$ が発生し堤防が決壊したと

表1 本研究の分析対象河川と計画安全度・被害額等

(各河川の治水経済調査報告書等より作成。報告書の入手年次等の事情により現在一般的に公表されている数値と異なる場合がある。また、カッコ内の河川は水系内の各河川ごとに治水経済調査を行っている)

| | 水系番号 | 河川名 | 計画安全度 | 計画高水量における洪水被害額(億円) | | | 整備費用の現在価値(億円) |
|-----|------|---------|-------|--------------------|--------|------------|---------------|
| | | | | 総被害額 | 間接被害額 | 総被害額に占める割合 | |
| 北海道 | 9 | 後志利別川 | 100 | 537 | 211 | 39.3% | 439 |
| 東北 | 17 | 北上川 | 100 | 11,258 | 4,522 | 40.2% | 12,197 |
| | 20 | 阿武隈川 | 150 | 60,552 | 24,316 | 40.2% | 15,336 |
| | 22 | 雄物川 | 150 | 27,464 | 10,854 | 39.5% | 2,852 |
| 北陸 | 33 | 荒川 | 100 | 4,697 | 1,807 | 38.5% | 2,302 |
| | 34 | 阿賀野川 | 150 | 45,435 | 17,770 | 39.1% | 3,583 |
| | 35 | 信濃川(下流) | 150 | 15,065 | 5,702 | 37.8% | 2,284 |
| | 38 | 黒部川 | 100 | 4,972 | 1,191 | 24.0% | 4,221 |
| | 39 | 常願寺川 | 150 | 7,715 | 3,060 | 39.7% | 450 |
| | 41 | 庄川 | 150 | 16,016 | 6,292 | 39.3% | 3,299 |
| | 42 | 小矢部川 | 80 | 3,847 | 1,509 | 39.2% | 694 |
| | 43 | 手取川 | 100 | 6,182 | 2,414 | 39.0% | 1,233 |
| | 44 | 梯川 | 100 | 5,801 | 2,268 | 39.1% | 81 |
| 中部 | 45 | 狩野川 | 127 | 12,121 | 6,367 | 52.5% | 1,737 |
| | 47 | 安倍川 | 80 | 6,044 | 3,600 | 59.6% | 524 |
| | 48 | 大井川 | 100 | 21,122 | 9,698 | 45.9% | 4,107 |
| | 51 | 豊川 | 150 | 9,601 | 3,994 | 41.6% | 4,786 |
| | (54) | 揖斐川 | 100 | 40,835 | 18,641 | 45.7% | 12,344 |
| | (54) | 木曾川 | 100 | 111,322 | 50,818 | 45.7% | 17,947 |
| | (54) | 長良川 | 90 | 35,138 | 16,040 | 45.7% | 4,932 |
| | 58 | 宮川 | 54 | 15,362 | 6,020 | 39.2% | 1,064 |
| 近畿 | 63 | 加古川 | 150 | 32,419 | 12,661 | 39.1% | 5,615 |
| | 66 | 新宮川 | 100 | 3,277 | 1,593 | 48.6% | 605 |
| 四国 | (82) | 吉野川 | 150 | 31,743 | 17,681 | 55.7% | 17,407 |
| | (82) | 旧吉野川 | 150 | 5,076 | 3,071 | 60.5% | 2,451 |
| | 83 | 那賀川 | 100 | 6,511 | 2,544 | 39.1% | 1,912 |
| | 86 | 肱川 | 100 | 9,598 | 3,676 | 38.3% | 5,118 |
| | 87 | 物部川 | 100 | 2,678 | 1,112 | 41.5% | 662 |
| 九州 | 88 | 仁淀川 | 100 | 6,294 | 2,462 | 39.1% | 1,485 |
| | 91 | 山国川 | 100 | 1,002 | 548 | 54.7% | 245 |
| | 93 | 矢部川 | 100 | 4,032 | 2,139 | 53.1% | 1,039 |
| | 106 | 小丸川 | 80 | 1,680 | 651 | 38.8% | 285 |
| | 107 | 大淀川 | 100 | 4,000 | 1,667 | 41.7% | 1,045 |

きの被害額 D_i^z のみ得られればよいことがわかる。被害額 D_i^z やその内訳 D_d, D_h は、各河川の治水経済調査報告書より得られる。

c) 治水施設整備費用に関するデータ

整備費用に関しては、基本高水あるいは計画高水量に対応した治水施設整備の費用しか記載されておらず、その他の流量に対する整備費用が記載されていない場合が多い。この場合、いくつかの河川におけるインタビュー調査や治水経済報告書³⁾を参考に、現況の無害流量における建設費を0円とし、建設費と流量が線形の関係であると仮定して算出した。すなわち、

$$C_i(q_h(z_i)) = \frac{C(q_h(z_i^*))}{q_h(z_i^*) - q_h(z_i^0)} \cdot (q_h(z_i) - q_h(z_i^0)) \quad (8)$$

ここで、 $q_h(z_i^*)$ は基本高水(または計画高水量)、 $q_h(z_i^0)$ は現況の無害流量、 $C(q_h(z_i^*))$ は基本高水における単位距離あたりの整備費用である。

また前述のように、基本高水が処理可能な治水施設が整備されるには、まだ多くの時間が必要である。マニュアルによれば、治水施設整備による便益と維持管理費用の両者を算出する際には、これらの便益と費用が、堤防が完成するまでに徐々に発現することを考慮すべきであるとされている。そこで本研究においても、既存の報告書類³⁾を参考に、治水施設整備費用が毎年同額であると仮定し、便益の発現と維持管理費用が、

表2 リスク評価関数の推定結果

| モデル | パラメータ推定値 | | | | 目的関数値(誤差二乗和) | サンプル数 | パラメータ数 | AIC |
|-----|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|--------|
| | 生起頻度評価関数 | | 被害額増幅関数 | | | | | |
| | β_1 | β_2 | λ_1 | λ_2 | | | | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32.462 | 33 | 0 | 114.84 |
| 1 | 1 | 1.003 | 1 | 1 | 32.051 | 33 | 1 | 116.42 |
| 2 | 6.53 | 1.06 | 1 | 1 | 21.928 | 33 | 2 | 105.90 |
| 3 | 1 | 1 | 0.0221 | 2.37 | 30.800 | 33 | 2 | 117.11 |
| 4 | 4.51 | 1.06 | 1 | 1.32 | 20.210 | 33 | 3 | 105.20 |
| 5 | 1 | 1.05 | 5.83 | 1.29 | 21.569 | 33 | 3 | 107.35 |
| 6 | 5.83 | 1.06 | 0.524 | 1.41 | 20.064 | 33 | 4 | 106.96 |

治水施設の完成まで線形に増加するものと仮定した。

(2) リスク評価関数の推定方法

(6)式より得られる基本高水の推定値 $q(\hat{z})$ と実測値 $q(z^*)$ を比較し、全33河川における両者の誤差二乗和が最小となるようリスク評価関数を推定する。すなわち、

$$\min_{f, g} \sum_i (q(z^*) - q(\hat{z}))^2 \quad (9)$$

ここで生起頻度評価関数 $f(\pi)$ 、被害額増幅関数 $g(D_h)$ は、少ないパラメータでできるだけ多くの状況を表すことを念頭に、以下に示すべき乗型関数を仮定した。

$$f\{\pi_i(q)\} = \beta_1 \cdot \{\pi_i(q)\}^{\beta_2} \quad (10)$$

$$g\{D_h(q)\} = \lambda_1 \cdot \{D_h(q)\}^{\lambda_2} \quad (11)$$

ここで、 $\beta_1, \beta_2, \lambda_1, \lambda_2$ は未知パラメータ ($\beta_1 > 0, \lambda_1 > 0$)。

(3) リスク評価関数の推定結果

本研究では、異なる未知パラメータの組み合わせごとにモデルを設定し、モデルごとに逐次探索法によりパラメータを推定した。その推定結果とAICを表2に示す。その結果、もっともAICのよいモデルは3つのパラメータを含むモデル4であり、評価関数を何も考慮しなかった場合(モデル0)よりも有意に説明力が高い結果となった。このとき推定された生起頻度評価関数と被害額増幅関数を、図3に示す。図より、洪水の生起頻度については、意思決定者の評価する生起頻度は機械的に計算された頻度(以下では「原頻度」とよぶ)の約4倍弱大きく、被害額については、被害額の評価値が機械的に計算された被害額(「原被害額」とよぶ)の2~3倍程度大きいことがわかった。また図4に、各評価関数に含まれるパラメータの感度を示す。図より、いずれの評価関数においてもおおむね良好な感度を示しているといえる。

5. まとめ

本稿は、洪水リスクに対する治水施設整備を対象に、長期的な整備目標水準である治水安全度の決定問題を定式化し、全国の33の1級河川における現状の計画安全度、基本高水流量、洪水発生時の被害額を入力する

ことで、意思決定者である政府のリスク評価特性を計測した。その結果、洪水の生起頻度については、意思決定者の評価する生起頻度は原頻度の約4倍弱大きく、被害額については、被害額の評価値が原被害額の2~3倍程度大きいことがわかった。今後の課題としては、分析対象をデータの入手可能な河川に限ったため、規模や地域が若干偏っており、治水安全度が1/200である3大都市圏内の大河川や、逆に治水安全度が低い2級河川等についても、同様の分析を行う必要がある。

謝辞：本研究の遂行にあたり、国土技術研究センターの湧川勝己氏に、貴重なコメントや資料の提供をいただいた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) たとえば、小林潔司・横松宗太：治水経済評価のフロンティア：期待被害額パラダイムを越えて、河川技術に関する論文集, Vol.6, pp.237-242, 2000 など。
- 2) たとえば、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・講演集, Vol.24, 1, 2001。
- 3) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル(案), 2000。
- 4) 島村誠：運用・維持管理段階でのリスクマネジメント(鉄道斜面防災を例として), 土木学会誌2000年7月号 特集 リスクマネジメント入門, pp.34-37。
- 5) Arrow,K.J.: Essays in the Theory of Risk-bearing, North-Holland Publishing Company, 1970。
- 6) Johansson, P.-O: The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits, Cambridge University Press, 1987。
- 7) Freeman III,A.M.: Ex Ante and Ex Post Values for Changes in Risks, Risk Analysis, 9(3), pp.309-317, 1989。
- 8) 小林潔司・横松宗太：カストロフ・リスクと防災投資の経済評価, 土木学会論文集, IV-46, pp.39-52, 2000。
- 9) Star,C., and Whipple,C.: Risks of Risk Decisions, Science, pp.1114-1119, 1980。
- 10) 松原望：意思決定の基礎 第2章, 朝倉書店, 2001。
- 11) Viscusi,W.K.: Fatal Tradeoffs, Oxford University Press, 1985。
- 12) Kahneman,D. and Tversky,A.: Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, Econometrica, 47, pp.263-291, 1979。
- 13) Lichtenstein,S., Slovic,P., Fishhoff,B., Layman,M, and Combs,B.: Judged Frequency of Lethal Events, Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 4, pp.551-578, 1978。
- 14) Slovic,P., Fischhoff,B. and Lichtenstein,S.: Why Study Risk Perception?, Risk Analysis, 2(1), pp.83-93, 1982。
- 15) 田村坦之：確率論的リスク評価の数理モデル, システム／制御／情報, 36(3), pp.195-201, 1992。
- 16) Schulze,W.D. and Kneese,A.V.: Risk in Benefit-Cost Analysis, Risk Analysis, 1(1), pp.81-88, 1981。
- 17) 能島暢呂：地震リスクマネジメントのための集約型・非集約型リスク評価モデル, 安全工学シンポジウム講演予稿集, Vol.30, pp.161-164, 2000。
- 18) 阿部令一・坂本洋二：治水事業の便益評価手法をめぐって, 河川技術に関する論文集, Vol.6, pp.13-18, 2000。
- 19) 湧川勝己：治水経済調査の概要と今後の方向について, 河川技術に関する論文集, Vol.6, pp.215-220, 2000。
- 20) D.J.Plazak: Flood Control Benefits Revisited, Journal of Water Resources Planning and Management, 112(2), pp.265-276, 1986。
- 21) 辻本哲郎：豪雨災害と治水安全度・耐水危機管理, 河川技術論文集, Vol.7, pp.1-6, 2001。
- 22) 安田吾郎：河川事業の評価の課題と対応, 河川技術論文

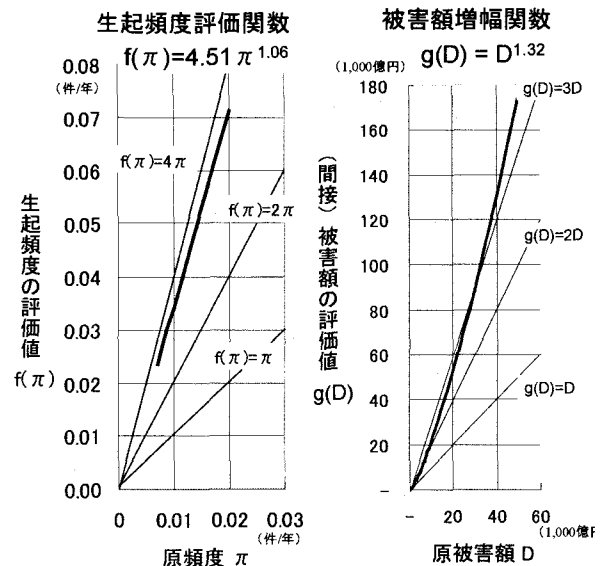


図3 生起頻度評価関数と被害額増幅関数の推定結果

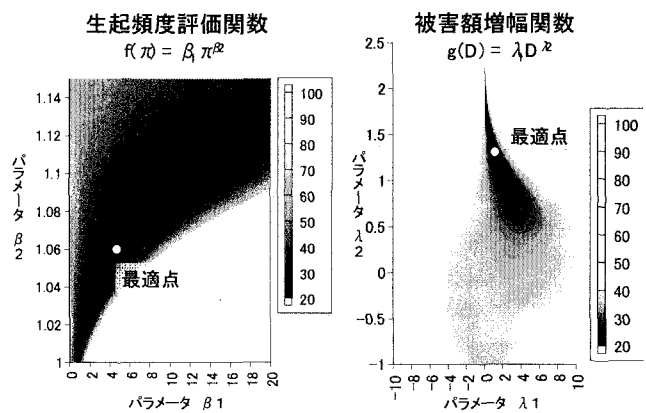


図4 各評価関数におけるパラメータの感度

- 集, Vol.7, pp.411-416, 2001。
- 23) R.A.Wurbs, Economic Feasibility of Flood Control Improvements, Journal of Water Resources Planning and Management, 109(1), pp.29-47, 1983。
- 24) たとえば、森杉壽芳・大野栄治・高木朗義, 治水事業の便益評価手法 —不確実性下の便益定義を中心に—, 土木計画学研究・講演集, Vol.15(1), pp.787-792, 1992。
- 25) A.Al-Futaisi and J.R.Stedinger, Hydrologic and Economic Uncertainties and Flood-Risk Project Design, Journal of Water Resources Planning and Management, 125(6), pp.314-324, 1999。
- 26) Shibusaki,R., Kamei,K., Tanaka,H., and Ieda,H.: Measurement of Cognitive Effects Against Disaster / Accident Risk from Actual Social Investments, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4(6), pp.243-258, 2001。
- 27) 柴崎隆一・大川剛思・家田仁：斜面対策投資における鉄道事業者のリスク評価特性の計測, 土木計画学研究・講演集, 26, 215, 2002。
- 28) 玉井信行編, 河川工学, オーム社, 1999。
- 29) 井上和也・藤田裕一郎ら, 洪水防災(III-1章), 『防災学ハンドブック』(京都大学防災研究所編), 2000。
- 30) 熊谷良雄, 災害と共生への回帰, NDIE NEWS(西部地区自然災害資料センターニュース), pp.15-18, 2001。
- 31) たとえば, 国土交通省函館開発建設部, 後志利別川改修工事の内 洪水氾濫シミュレーション検討業務報告書, 1998 (2003. 4. 11受付)