

防災投資の実績を用いた災害の『生起頻度と被害額』に関する社会的なリスク認知特性の計測
*Measurement of Social Cognitive Characteristics for Probability and Loss of Disaster
 from Actual Investment for Disaster Mitigation*

柴崎隆一*, 亀井憲樹**, 家田 仁***

By Ryuichi Shibasaki*, Kenju Kamei**, Hitoshi Ieda***

1. はじめに

各種の事故・災害リスクに対する人間の評価は、被害規模や生起頻度といった、当該リスクの特性によって異なるものと考えられる。特に、カストロフィックな被害が発生するリスクや、稀少頻度のリスクでは、不確実性・不可逆性・被災の集合性などが存在するため、機械的に計算された生起確率や被害額に対する人間の評価特性は相当程度に偏差を持つと予想される。そのため、当該リスクに対して行われる防災投資の期待被害軽減便益の計算において、機械的に計算された生起頻度や被害額といった当該リスク固有の値をそのまま用いた場合に最適とされる防災投資のレベルが、現実に投資されている防災レベルと異なってくるケースが少なくない。すなわち、実際に行われる防災投資の意志決定の際に用いられるリスクの評価値には、生起頻度や被害額といった各リスク固有の値に対して何らかの人間の認知特性が内包されているものと考えることができる。

災害リスクに対するこのような認知特性を計測するために、これまでに、道路高架橋の耐震補強に関する専門家へのアンケート調査からの推定(家田・村上ら¹⁾)、保険加入行動などの個人的な意思決定時における認知特性の計測(柴崎・家田ら²⁾)などが試みられている。これに対して本研究は、防災投資の実績から意思決定者の社会的なリスク認知特性を計測する枠組みを提案し、①道路高架橋に対する耐震補強、②洪水対策としての河川の堤防整備、③交通事故対策としての信号機改良、の3つの防災投資の整備レベルの決定問題を取り上げ、現実に決定された防災性能から、各災害に対する意志決定者のリスク認知特性を計測することを試みる。

2. 防災投資による期待被害軽減便益の定式化

防災投資が全く行われていない状態を想定すると、あるひとつの災害リスクに対して、その規模と生

起頻度にはある特定の一対一の関係があるのが普通である。この関係を、図1左に示すように最大原被害額関数 $MD(p)$ と表す。最大原被害額関数 $MD(p)$ は、一般的に規模が大きい災害ほど生起頻度が小さいという性質が成り立つ。このとき、被害を軽減させるために行われる防災投資のパフォーマンスは以下のように定義される。『被災頻度が p_A^0 以下の災害に対しては防災投資の効果により無損害(被害額ゼロ)、被災頻度が p_B^0 以下 p_A^0 以上の災害に対しては部分的に損害が発生し、被災頻度が p_B^0 以上の災害に対しては全く機能せず被害額は最大原被害額曲線と一致する。』(図1左参照)。ある防災投資レベル x のもとの生起頻度と被害額の関係を原被害額関数 $D^x(p)$ で表す。

さて、ある防災投資レベルを想定した場合、ある特定の生起頻度を持った災害のもたらす期待損失は、3章で述べるリスクの認知特性を考慮しなければ、生起頻度 p と被害額 D の積で定義される。よって、図1右のように横軸に p 、縦軸に pD をとれば、ある防災性能における期待損失は、想定しうる全ての災害現象に対する pD の和であるから、斜線部の面積で表される。従って、防災投資によって防災性能が向上したときの期待被害軽減便益 ΔOB は、事前と事後における災害の期待損失の差として以下のように表されよう。

$$\Delta OB = \int_0^{p^1} p \cdot (D^0(p) - D^1(p)) dp \dots (1)$$

ここで、 $D^0(p), D^1(p)$ はそれぞれ防災レベル 0, 1 のときの原被害額である。

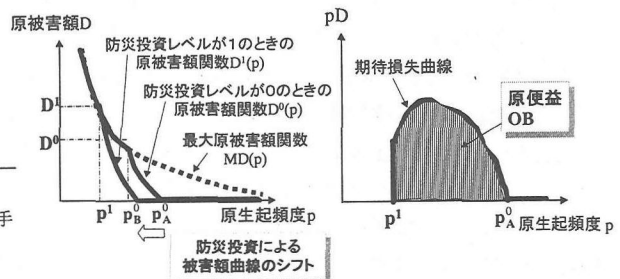


図1 最大原被害額関数、原被害額関数、期待損失曲線

キーワード: 計画基礎論, 公共事業評価法, 防災計画
 *正会員, 工修, 東京大学社会基盤工学専攻交通研究室助手
 **学生会員, 東京大学社会基盤工学専攻交通研究室
 ***正会員, 工博, 東京大学社会基盤工学専攻教授
 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL:03-5841-6116, FAX:03-5841-8507, shiba@trip.t.u-tokyo.ac.jp)

3. 人間の認知特性を考慮した防災投資の決定原理⁴⁾

以上の議論では、人間のリスク認知特性を考慮しないで期待被害軽減便益を定式化した(これを原便益 OB とよぶ)。ところが、前述のように、防災投資の意志決定においては人間の社会的なリスク認知特性がはたらく。人間のリスク認知特性は、それぞれ図2の第2, 4象限に示すように、被害額については、限界効用の逡減性や不確実性の存在により原被害額が大きくなるにつれて認知被害額の増幅割合が高くなり³⁾、発生頻度については、不確実性の存在により特に稀少頻度の災害で原頻度と認知頻度が乖離することが考えられる。従って意思決定者は、第1象限の原被害額関数によって決定される原便益 OB ではなく、第3象限の『認知された被害額関数』から求められる認知便益 PB に基づいて防災投資レベルを決定するものと考えられる。

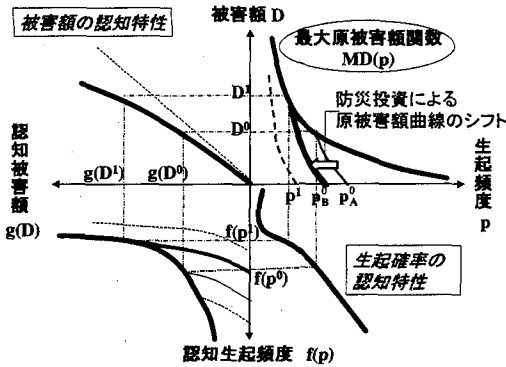


図2 人間のリスク認知特性の影響

そこで、実際の防災投資において意志決定者は、(2)式で定義される『認知された純便益』PNPV が最大となるように防災レベルを決定しているものと考えられる。

$$PNPV = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\Delta PB}{(1+i)^k} - \Delta C$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1} \int_0^{\infty} \frac{f(p) \cdot \{g(D^0(p)) - g(D^1(p))\} dp}{(1+i)^n} - (C^1 - C^0) \dots (2)$$

ただし、N:プロジェクトライフ、i:社会的割引率(=0.04)、 C^0, C^1 :防災投資レベル 0, 1 のときの耐災コスト、 $f(\cdot)$:災害の生起頻度に関する認知関数(生起頻度認知関数)、 $g(\cdot)$:災害の被害額に関する認知関数(被害額認知関数)。

防災投資の実績から意志決定者の認知便益 PB を推定することができれば(図3)。これと前章で定式化した原便益 OB とを用いて、被害額と発生頻度に関する社会的なリスク認知特性を逆推定することが可能になる。

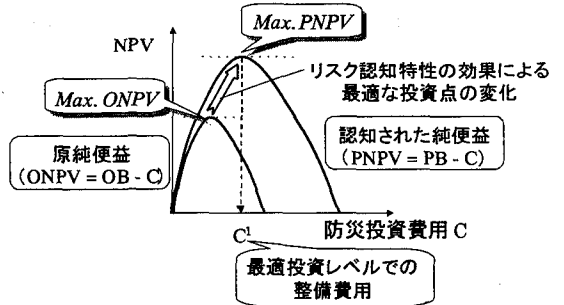


図3 認知された純便益と防災投資レベルの実績値

4. 道路高架橋耐震補強投資による認知特性の推定

本分析で対象とするのは、阪神淡路大震災以後に行われた、首都高速道路、阪神高速道路、北九州市・福岡市都市高速道路における道路高架橋の耐震補強投資である。

表1 耐震性能の設定

rank	耐震性能	建設費
grade1	崩壊	760万円/m
grade2	機能喪失	830万円/m
grade3	機能維持	920万円/m
grade4	無損傷	1010万円/m
grade5	制震	1070万円/m

(1) 耐震補強投資における便益の定義

認知純便益 PNPV は式(2)で表されるが、地震災害の被害額関数については現在の科学では不明な点が多い。現在までに得られた知見から推定可能なのは、阪神大震災級の Level2 地震動に対する防災レベルと被害の状況である(表1参照³⁾)。そこで、 $D^0(p) - D^1(p) = \Delta D$ (定数)と仮定する(図4参照)。

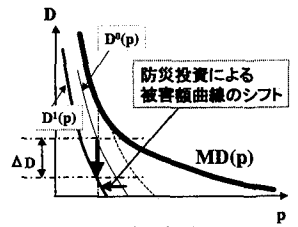


図4 耐震投資の被害軽減効果

(2) 地震災害に対する生起頻度認知関数と被害額認知関数の設定

地震の生起頻度認知関数 $f(\cdot)$ は以下の二通りを仮定する。
i) $f(p) = 1/100$, すなわち、地域特性や時間経過によらず生起頻度は一律 1/100 と認知されるという仮定である。
ii) $f(p) = p$, すなわち、頻度に関する認知効果は存在しないとする。このときは、本研究室によって提案された、地域ごとの過去の実績と地震発生の経過時間依存特性を考慮した値³⁾を用いる。

また、被害額認知関数 $g(\cdot)$ に関しては、簡便化のため

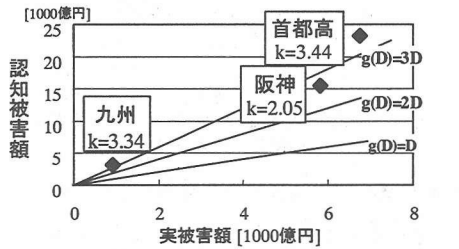
$$g(D) = kD \dots (3)$$

とおく。被害額認知関数については、他の災害における分析でも以下同様に仮定する。

(3) 耐震補強投資におけるリスク認知特性推定結果⁶⁾

以上の仮定と耐震補強投資の実績⁶⁾により推定された、地震災害に対する被害額の認知効果を図5に示す。i)地震発生頻度を一律 1/100 と仮定した場合は、認知被害額は原被害額のほぼ 2~3 倍となり、これまでに当研究室で得られた被害額に関するリスク認知特性¹²⁾と同様の傾向を示した。一方、ii)地域特性を考慮した地震発生頻度を仮定した場合は、いずれの地域でも認知被害額が原被害額に比べて非常に大きくなった。この結果より、実際の耐震補強投資レベルの意志決定は、地震発生頻度が各都市一律値に想定されているとした方が妥当と考えられる。

原被害額と認知被害額の関係 (f(p)=1/100の場合)



原被害額と認知被害額の関係 (f(p)=pの場合)

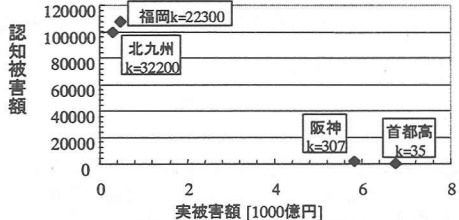


図5 道路高架橋の耐震補強投資における原被害額と認知被害額の関係

5. 河川の堤防整備実績によるリスク認知特性の推定

本分析の対象とするのは、富士川における洪水対策としての堤防整備投資である。現状の計画高水量が20年~50年頻度の雨量を対象としているのに対し、現在上流部(甲府盆地)で100年、中・下流部で150年頻度の雨量に耐えられる堤防を整備中である。

(1) 河川の堤防整備投資における被害額曲線

河川の堤防整備における被害額曲線については、図6に示すように、部分損害区間は存在しない(すなわち、 $p_A^0 = p_B^0$)と仮定する。これは、計画高水量を越えた場合は堤防が決壊し、防災投

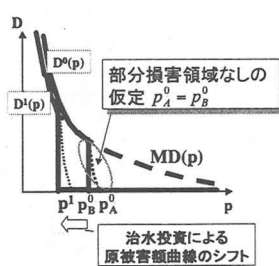


図6 河川の堤防整備投資における被害額曲線

資が全く行われていない状態と同等とみなせ最大限の被害が生じるが、計画高水量を越えなければ被害はほとんど生じないという、堤防という防災施設の特徴による。

(2) 河川の堤防整備に伴う便益と費用

(1)の仮定により、河川の堤防整備に伴う認知純便益は式(4)で表わせる。

$$PNPV = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\int_{p^0}^{p^A} f(p) \cdot g(MD_r(p)) dp}{(1+i)^n} - \{C(p^1) - C(p_A^0)\} \dots (4)$$

ただし、地域 r ごとの最大原被害額関数 $MD_r(p)$ はあふれ出る水量 Q に比例すると仮定し、式(5)で表す。

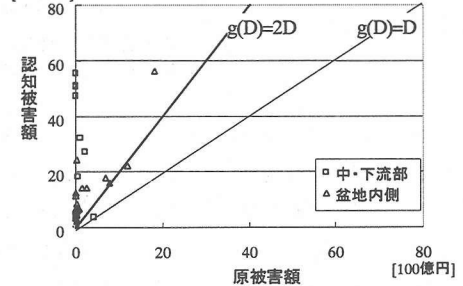
$$MD_r(p) = \alpha_r \cdot Q(p) \dots (5)$$

ここで、 α_r : 地域ごとの被害予測シミュレーション⁸⁾から推定された被害額の修正係数、 $Q(p)$ 、 $C(p)$: 河川工事事務所へのインタビュー調査により推定された p 年頻度の流量とそのときの堤防整備コストを表す関数である。

(3) 河川の堤防整備実績からのリスク認知特性の推定

式(4),(5)と堤防整備の実績に基づき、頻度認知関数を $f(p)=p$ とした場合に、被害額に関する認知特性(式(3)における k の値)を各地域ごとに推定した結果を図7に示す。これより、中・下流部と甲府盆地(上流部)の内側の堤防の整備実績からは、認知被害額が最低で原被害額の2~3倍程度、大きいところで数十~数百倍という結果が得られた。

中・下流部と盆地内側地域データからの計測結果



盆地外側地域データからの計測結果

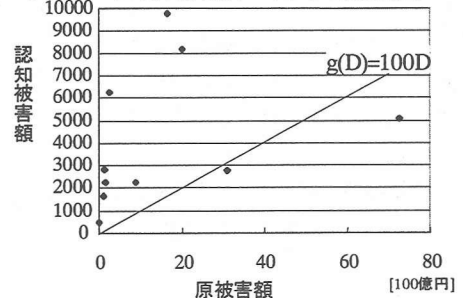


図7 河川の堤防整備実績から推定された原被害額と認知被害額

また、甲府盆地の外側の堤防整備については、認知被害額が原被害額にくらべて非常に大きい結果となった¹。これは、河川の洪水による被害が浸水地域の地理的・社会的特徴によって大きく異なるにもかかわらず、現在の堤防整備が水系で一貫した計画高水量に基づいて行われているために、見かけ上の認知被害額が非常にばらつく結果となると考えられる。逆にいえば、この結果から、一番被害がシビアな地域でも認知被害額が原被害額の2～3倍となるように水系全体の計画高水量が決められている、という意志決定仮説が想定できる。

6. 信号機改良投資実績による交通事故に対するリスク認知特性の推定

右折感応化、多現示化などの交差点信号機の改良事業(全8種類)は、交通の円滑化と交通事故減少を目的として行われる。本分析では過去5年間の信号機改良投資実績⁹⁾から、交通事故に対するリスク認知特性の推定を行う。

(1) 信号機改良投資における被害額関数の定義

交通事故の1件当たりの平均被害額は131.4万円⁹⁾と自然災害に比べれば小さいが、その発生頻度は大変大きく、交差点事故総数でみると年間約14万件発生している¹⁰⁾。

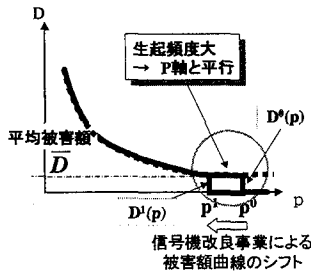


図8 信号機改良投資における交通事故軽減便益の定義

ここで、ある交差点に対する信号機改良投資について考えると、当該交差点の事故生起頻度を減少させることはできるが、一度事故が発生した場合に被害額を軽減させることはできない。従って、この交差点における交通事故の生起頻度を横軸、被害額を縦軸に取れば、この交差点に対する信号機改良投資によって原被害額曲線は図8に示すようにシフトする。また、上で述べたように交通事故の発生頻度はもともと相対的に大きいので、原被害額曲線がシフトする範囲において最大原被害額関数がp軸と平行(すなわち、最大原被害額 \bar{D} が一定)と仮定する。

(2) 交通事故に対するリスク認知特性の推定

(1)の仮定により、交通円滑化便益を無視すれば、信号

機改良投資に伴う認知純便益は式(6)で表わされる。

$$PNPV = \sum_{p=0}^{N-1} \frac{\int_{p'}^{p''} f(p) \cdot g(\bar{D}) dp}{(1+i)^n} - C \dots (6)$$

式(6)と信号機改良投資の実績に基づき、頻度認知関数を $f(p)=p$ とした場合に、被害額に関する認知特性(式(3)のkの値)を各事業ごとに推定した結果を図9に示す。

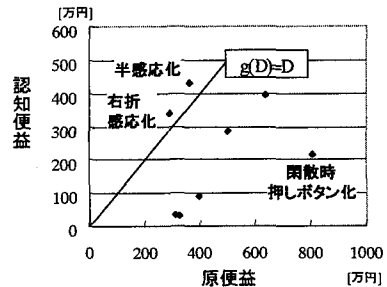


図9 交差点の信号機改良事業から推定された原便益と認知便益

対象事業のうち、交通円滑化効果が見込まれる⁹⁾半感応化、右折感応化の2事業をのぞき、その他の事業は、認知便益が原便益以下という結果となった。この結果については、意志決定仮説や便益の定義についてさらなる検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 家田・村上・斎藤, 人の認知特性を考慮した費用便益分析とネットワーク分析に基づくインフラ施設の要求耐震性能決定法の基礎研究土木計画論文集・講演集 No.22(1)p543-546, 1999.10.
- 2) 柴崎・家田, 稀少頻度・甚大被害現象を対象にしたリスク評価における認知バイアスの計測, 土木計画学研究・講演集 No.22(1), pp543-546, 1999.10.
- 3) 家田・村上・斎藤, 損失の増幅効果と施設の要求耐震性能の基礎研究, 第4回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp199-202, 1999.10.
- 4) 柴崎・家田・亀井, 生起頻度と被害額についての社会的リスク認知特性の推定法に関する一考察, 土木学会年次講演会概要集, 投稿中.
- 5) 家田・Gong・高橋, 交通ネットワークの耐震性評価における地震発生頻度とその経過時間依存特性の取り込み方法, 第4回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp179-182, 1999.10.
- 6) 柴崎・亀井・家田, 道路高架橋の耐震補強投資の分析に基づいた甚大被害の社会的認知特性の推定, 第27回土木学会関東支部技術研究発表会概要集, pp.728-729, 2000.3.
- 7) 森杉・大野・高木, 治水事業の便益評価手法, 土木計画学研究・講演集 No.15(1), pp787-792, 1992.11.
- 8) 建設省河川局洪水氾濫シミュレーション富士川 http://www.kt.moc.go.jp/kyoku/2_now/3_tokimk/7_hanran/14_fuji/hanran/m_hanran.htm
- 9) 交通安全施設の効果に関する調査研究報告書(VII), 財団法人日本交通管理技術協会, 平成10年3月
- 10) 警視庁交通年鑑, 警視庁交通部 平成8年刊行

¹ 富士川(釜無川)は甲府盆地の外縁を流れるため、盆地内部側と外部側の堤防のどちらが切れるかで被害が大きく異なる。