

稀少確率・甚大被害現象を対象としたリスク評価における認知バイアスの計測 *Perceptual Biases in Risk Valuation under Small Probability and Catastrophic Loss*

柴崎隆一*・家田 仁**

By SHIBASAKI Ryuichi* and IEDA Hitoshi**

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、被害規模や生起確率といった、当該リスクの特性によって異なる。特に、カタストロフィックな被害が発生するリスクや、稀少確率のリスクは、不確実性・不可逆性・被災の集合性などが存在する。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、生起確率や被害額といった当該リスクの固有値をそのまま機械的に用いた場合に最適とされる防災投資のレベルが、現実に行われている防災レベルと異なることが比較的良好に見られる。リスク固有の値を用いた機械的な期待被害軽減便益の計算結果が正しいとした場合、このような相違は、実務的な現実の意志決定が合理的でない点に原因を求めることが可能である。しかし、現実の防災投資が社会の要請を踏まえて行われていることを考慮すれば、例外は存在するものの、現実の多くの防災投資は合理的に行われており、むしろ機械的に計算した期待被害軽減便益が、人間の意志決定の判断基準として不十分であるとしたほうが妥当と考えられる^{*1}。

そこで、本研究では、生起確率や被害額といった各リスク固有の値と、実際に行われる防災投資の意志決定において用いられていると考えられる、人間の認知プロセスを介した主観的な評価値との差異を、認知バイアスとよぶことにする。そして、リスク固有の値と、リスクの主観的な評価に基づく意志決定の結果と考えられる行動データとから、人間がリスクを主観的に評価を行う際の認知バイアスを計測する。特に、本研究では、死亡リスクや地震被災リスクといった個人的なリスクを対象とする。具体的に

は、世帯主の死亡リスクや地震による被災リスクに対する各世帯の生命保険と地震保険の加入行動と、航空機墜落による死亡リスクを考慮した日本国内の長距離旅客の交通手段選択行動を取り上げる。また、リスクの特性には、被害規模や生起確率のほかにも随意性（能動的か受動的か）、制御可能性などがあげられる¹⁾が、ここでは、各種のリスクの基本的な特性である被害規模と生起確率に関する認知バイアスに着目して分析を行う。

2. 本研究の理論的枠組と既往の研究

不確実性を扱う場合、通常は期待効用理論が用いられる。本研究においては、通常の期待効用理論に以下の2点の仮定を追加する。

- ① 意志決定者はリスクの被害額だけではなく生起確率についても主観的に評価する。
- ② 被災の集合性・不可逆性などのため、特にカタストロフィックな損失において、金銭的に計算された被害額と不効用の乖離が大きくなるが、投資費用については災害による損失に比較すれば少額であるため、金銭的に計算された費用と不効用の乖離はほとんどみられない。

①については、Kahneman & Tverskyによるプロスペクト理論²⁾をはじめ、一般化された期待効用理論³⁾、⁴⁾として定式化されている。しかし、実際の評価関数の計測例としては、被験者に仮想的なアンケート調査を行って推定しているものが多く⁵⁾、⁶⁾、⁷⁾、実際の人間行動の観測から推定している研究は筆者の知る限り存在しない。②については、限界効用の逓減性を仮定すれば、損失額の増大とともに不効用は逓増していくため⁸⁾、妥当な仮定といえる^{*2}。

また、地震被災リスクの被害額や生起確率に対する意志決定者の主観的な評価を計測した研究としては、家田・村上ら⁸⁾、柴崎・家田ら⁹⁾がある。前者

キーワード: リスク認知、計画基礎論、防災計画、交通手段選択
*正会員, 工修, 東京大学大学院社会基盤工学専攻交通・都市基盤計画研究室助手 **正会員, 工博, 東京大学大学院社会基盤工学専攻交通・都市基盤計画研究室教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL:03-5841-6116, FAX:03-5841-8507)

は専門家に対するアンケートから、後者は実際の耐震補強工事の実績から、意志決定者の認知バイアスを計測している。本研究では、これらの研究が道路高架橋の耐震補強という社会的な意志決定問題を対象としているのと異なり、個人的なリスクに対する意志決定問題を対象としている。すなわち、本研究は、防災投資に対する社会的な意志決定問題への間接的なアプローチとして、社会を構成する個人のリスク認知特性を知り、社会的な意志決定におけるリスク認知特性の比較対象とする。また、両者の関係を規定する、いわゆる社会厚生関数を逆推定することも可能になる。

3. リスク現象に対する人間の態度表明行動の定式化

(1) 保険加入行動の定式化

各世帯が死亡リスクや地震被災リスクに備えて保険への加入を決定する行動を考える。このとき、本研究で定義する「合理的な」意志決定者は、主観的に評価した「認知」期待被害軽減便益を最小化するように、保険の加入率 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)、すなわち、保険の対象となる資産の評価額 S (保険価額) に対して、実際に契約する保険金額 Q の占める割合、を決定する ($Q = \alpha \cdot S$)。従って、保険料率を r とすれば、保険料は $r \cdot \alpha \cdot S$ と表される。また、ある特定の災害ひとつとっても、その規模に応じて、被害額や発生頻度が異なる。そこで、ある被災レベル x の発生確率を p_x 、完全な被害を受けたときの被害額に対する被害額の割合を h_x ($0 \leq h_x \leq 1$) とすれば、被災レベル x の災害による世帯の期待損失 L_x は、現状の収入を基準 (参照点) として³ 損失を正にとると、(1) 式のように表される。ただし、ここで生起確率認知関数 $f(\cdot)$ 、被害額認知関数 $g(\cdot)$ ⁴ を導入している⁵。

$$L_x = f(p_x) \cdot g\{(1-\alpha) \cdot h_x \cdot S + r \cdot \alpha \cdot S\} \approx f(p_x) \cdot [g\{(1-\alpha) \cdot h_x \cdot S\} + r \cdot \alpha \cdot S] \quad (1)$$

2 行目の近似式は、保険料は災害による損失と比較すれば少額であるため、金銭的な費用と認知費用の乖離はほとんどみられない ($g(r \cdot \alpha \cdot S) \approx r \cdot \alpha \cdot S$)、との仮定に基づいている。(1) 式より、レベル 0 (被災なし、すなわち $h_0 = 0$) からレベル X (完全な被害、すなわち $h_X = 1$) までの全被災レベルを考慮し

た世帯の期待損失 L は (2) 式で表される。

$$L = \sum_{x=0}^X L_x = \sum_{x=0}^X f(p_x) \cdot [g\{(1-\alpha) \cdot h_x \cdot S\} + r \cdot \alpha \cdot S] \quad (2)$$

このとき、各意志決定者 (ここでは世帯主とする) は自己世帯の期待損失が最小となるように α を決定する。すなわち、 $\min_{\alpha} L$ 。

(a) 生命保険加入行動の定式化

生命保険加入行動においては、生涯を見通して長期的に契約することが多いため、(2) 式を以下のように書き直す。保険価額 S として世帯を構成する各個人の死亡による逸失利益 LI を与え、交通事故による賠償時の算定方法¹⁰⁾ に従って求める。どの個人も Y 才 ($Y = 110$ とする) までに必ず死亡し (死の到着の概念¹¹⁾)、死亡保険金の支払いのみを考慮することとする (すなわち、(2) 式において $f(p_0) = 0$ 、 $X = 1$)。従って、意志決定者 (世帯主) の行動は、当該個人が $(n-1)$ 年後から n 年後の一年間に死亡するときの期待損失を L_n としたとき、 $\min_{\alpha} \sum_{n=1}^{Y-a_0} L_n$ として表現される。ここで、 a_0 は現在の年齢である。また、生命保険には一度しか加入できず、加入中の α は一定と仮定する (保険加入期間中は $\alpha_n = \alpha$ 、それ以外の時は $\alpha_n = 0$)。このとき逸失利益を LI_n とすると、当該個人の原損害額 (金銭的に計算された損害額) D_n は以下のように表現できる。

$$D_n = \frac{LI_n - Q_n}{(1+ii)^n} = \frac{LI_n - \alpha_n \cdot LI_{(a-a_0)}}{(1+ii)^n} \quad (3)$$

ここで、 a : 保険加入年齢、 ii : 主観的割引率である。分母 $(1+ii)^n$ は、 n 年後の損害が現在起こり得る損害と完全に等価ではなく、遠い将来ほど現在の意志決定には影響を及ぼしにくい、という効果を考慮して導入した¹²⁾。また、各個人は n 年後に死ぬまで、(4) 式で表される保険料 R_n を支払う。

$$R_n = \sum_{k=1}^n \frac{r_{a,T} \cdot \alpha_n \cdot LI_{(a-a_0)}}{(1+ii)^k} \quad (4)$$

ここで、 $r_{a,T}$ は、保険加入年齢 a 、保険加入期間 T のときの保険料率 (平準保険料) であり、(5) 式で表される^{13), 14)}。

$$r_{a,T} = \frac{\left[P_a \cdot (1+i_c)^{(T-0.5)} + (1-P_a) \cdot P_{a+1} \cdot (1+i_c)^{(T-1.5)} + \dots \right. \\ \left. + (1-P_a) \cdot (1-P_{a+1}) \cdot \dots \cdot (1-P_{a+T-2}) \cdot P_{a+T-1} \cdot (1+i_c)^{0.5} \right]}{\left[(1+i_c)^T + (1-P_a) \cdot (1+i_c)^{(T-1)} + \dots \right. \\ \left. + (1-P_a) \cdot (1-P_{a+1}) \cdot \dots \cdot (1-P_{a+T-2}) \cdot (1+i_c) \right]} \cdot (1+r_c) \quad (5)$$

ここで、 P_x : x 才の人の死亡確率、 i_c : 保険会社の予定利率(2.5%とする)、 r_c : 保険会社の営業费率(5%とする)。このとき、現年齢 a_0 である人が、 $(n-1)$ 年後から n 年後の一年間に死亡する確率を $p_{a_0,n}$ とすると、期待損失 L_n は (6) 式のように表現できる。

$$L_n = f(p_{a_0,n}) \cdot \{g(D_n) + R_n\} \quad (6) \\ = f(p_{a_0,n}) \cdot \left\{ g \left(\frac{LI_n - \alpha_n \cdot LI_{a_0}}{(1+ii)^n} \right) + \sum_{k=1}^n \frac{r_{a,T} \cdot \alpha_n \cdot LI_{a_0}}{(1+ii)^k} \right\}$$

(b) 地震保険加入行動の定式化

地震保険については、保険価額 S として建物と家財の評価額を考慮する。また、地震保険は大部分が一年または二年の短期契約なので、本研究では単年度契約を前提とし、(2) 式をそのまま用いることとする。また、地震による建物や家財の被害は被害なし、半壊、全壊の3種類¹⁵⁾とする((2)式において $X=2$)。

(2) 航空機墜落による死亡リスクを考慮した長距離旅客の交通手段選択行動の定式化

日本国内の長距離旅客を対象として、交通手段選択問題を考える。たとえば1985年の日航ジャンボ機墜落事故のように一度大きな航空機事故が発生すると、乗客が他の航空会社や他の交通機関へ逸走し、約一年ほどで収束するという現象が見られる。そこで、航空機事故によって航空機墜落による死亡リスクに対する評価が一時的に増加し、徐々に忘却され、最終的に事故前の状態に戻るというプロセスを仮定し、①航空機と鉄道の機関選択、②航空会社の選択、という2段階の交通手段選択問題をロジットモデルを用いて定式化する。

(a) 航空機と鉄道の機関選択問題

各交通手段利用による事故死亡のリスクを考慮した交通機関 i のコストを V_i とすると ($i=1$; 航空機、 $i=2$; 鉄道)、交通機関 i の選択確率 P_i は (7) 式のように表される。ここでも、所要時間・運賃といっ

た費用は死亡時の損失に比べ非常に小さいとみなせ、これらの認知損失は金銭的なコストで近似できるとの仮定をおいている。

$$P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{k=1}^2 \exp(-V_k)} \quad (7)$$

$$V_1 = \delta_0 + \delta_1 \cdot [fare_1 + \delta_2 \cdot time_1 \\ + f_1(p_1) \cdot g(loss)] \{1 + \delta_3 \cdot (\beta_1)^t\} \\ V_2 = \delta_1 \cdot [fare_2 + \delta_2 \cdot time_2 + f_2(p_2) \cdot g(loss)]$$

ここで、 $fare_i$: 交通機関 i の料金 (円; 1975 年価格)、 $time_i$: 交通機関 i の所要時間 (分)、 p_i : 交通機関 i の利用による年間死亡確率、 $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \beta_1$: 未知パラメータ (δ_2 は時間価値)、 β_1 ($0 < \beta_1 < 1$) はリスクに対する意識が忘却されていく過程を表現するためのパラメータで、事故発生から t 月後のリスクに対する意識の活性度が $(\beta_1)^t$ と表される (ただし $t < 0$ のとき $\beta_1 = 0$)。従って、事故発生直後の意識活性度は $(\beta_1)^0 = 1$ となり、このとき航空機墜落による死亡確率が事故発生前に比べて $(1 + \delta_3)$ 倍大きく認知されることになる。また、 β_1 が 1 に近いほど時間が経過してもリスクに対する意識の活性度が持続することを意味する。

また、どちらの交通機関においても死亡による損失を対象とするため、被害額認知関数 $g(.)$ と被害額 $loss$ は共通とするが、生起確率認知関数 $f(.)$ は対象となるリスク (各交通機関の利用による死亡リスク) ごとに異なると仮定する。ただし、ロジットモデルにおいては選択肢間のコストの差に対する係数しか求められないので、通常時の各交通機関の利用による死亡リスクの評価値は計算できず、航空機事故の発生による死亡リスク評価値の増大効果のみが計算可能となる。

(b) 航空会社選択問題

(a) において交通機関として航空機を選択した場合、事故の発生した航空会社 ($j=1$) とその他の航空会社 ($j=2$) の2種類の選択肢が存在する。各航空会社のコストを V_{1j} とすると、各航空会社の選択確率 P_{1j} は (8) 式のように表される。

$$P_{1j} = \frac{\exp(-V_{1j})}{\sum_{k=1}^2 \exp(-V_{1k})} \cdot P_1 \quad (8)$$

$$V_{11} = \delta_4 / S_1 + \delta_1 \cdot \delta_5 \cdot f_1(p_1) \cdot g(loss) \cdot (\beta_2)^t$$

$$V_{12} = \delta_4 / S_2$$

ここで、 S_j ：供給座席比率（待ち時間の近似的な表現）、 $\delta_4, \delta_5, \beta_2$ ：未知パラメータである。事故発生直後において、事故を起こした航空会社の墜落による死亡確率が、その他の航空会社に比べて $(1 + \delta_5)$ 倍大きく認知されることになる。なお、上記2段階の選択を結合した NL モデルも検討したが、収束解が得られなかったため採用しなかった。

4. 保険加入行動を対象とした認知バイアスの計測

(1) 入力データの準備

保険加入行動については、日経金融行動調査（日経 RADAR）から、年収・年齢・所有資産・居住形態などの個人属性データや、保険加入の有無・加入保険金額・年間支払保険料・通算支払保険料などのデータを得た。これらのデータから、個票にはない生命保険の加入期間・加入年齢や、各年における死亡時の遺失収入や所有資産の時価評価額を推定し、実際の保険の加入率 α を求めた。また、死亡確率は生命表から、地震による被災確率は、各県の過去 400 年にわたる震度別地震発生確率¹⁶⁾ に住宅種別震度別被災確率¹⁵⁾ を乗ずることで得た。詳しくは柴崎¹⁴⁾ を参照されたい。

(2) 分析の対象とするサンプルの選択

本研究では、意志決定者はみな、主観的に評価した「認知」期待被害軽減便益を最小化するように行動すると仮定しているが、現実には意志決定の判断基準となる要素は他にも存在する。また、災害発生時の被害額を厳密に定義することは難しい。生命保険を例に取れば、その加入の動機としては、勤労者の死亡による収入遺失の補填の他にも、家事労働者や子供の死亡によって何らかの形で失う機会費用の補填や、家族を失うことによる悲しみの対価といった慰謝料的な動機も考えられる。しかし、勤労者の収入遺失以外の要因に関しては、その評価関数が個々の世帯によって非常に異なると考えられ、個票という限られた情報から数量化するのは困難である。そこで、本研究では、生命保険加入世帯 657 サンプルを、

①勤労者のみが保険に加入している世帯 235 サンプルと、②主婦や子供も保険に加入している世帯 422 サンプルに分類し、①のサンプルのみに対して認知関数の推定を行う。また、生命保険に加入していない世帯については、データの関係から、本研究で定義する「合理的な」行動をとっているかどうかの判定が難しい上に、将来いつ生命保険に加入するかを知ることができないので、認知関数の推定の対象外とする。

(3) 生命保険加入行動の分析による認知関数の推定

はじめに、全サンプルの傾向を見るために、生命保険加入行動を対象として、生起確率認知関数 $f(p)$ と被害額認知関数 $g(D)$ において、未知パラメータを複数含む複数の関数形を用意し、未知パラメータである主観的割引率 β とともにキャリブレーションを行い、保険加入率 α の現状値と推定値の誤差二乗和を最小にする関数形とパラメータを選択した。ここで、それぞれの認知関数の関数形については、2章で述べたリスク認知特性についての本研究の仮定に従い、以下のような条件を満たすものとした。

①被害額認知関数

原被害額が増加すると認知被害額は遡増する。また、原被害額が小さい場合認知被害額は原被害額に一致すると近似できる。

$$i) g(0) = 0, \quad ii) g(D) \geq D, \quad iii) \frac{\partial g(D)}{\partial D} > 0,$$

$$iv) \frac{\partial^2 g(D)}{\partial D^2} > 0.$$

②生起確率認知関数

災害の生起確率が λ_1 以上の場合認知確率と原確率は一致するが、確率が λ_1 以下の場合認知確率と原確率が乖離する。

$$i) f(0) = 0, \quad ii) f(p) \geq 0, \quad iii) \frac{\partial f(p)}{\partial p} > 0,$$

$$iv) f(p) \text{ は連続}, \quad v) f(p) = p \quad \text{if } p \geq \lambda_1.$$

キャリブレーションの結果、最終的に(9)式、(10)式に示す関数形と表1に示すパラメータの組み合わせが最適との結論を得た。

①被害額認知関数

$$g(D) = D + \gamma_1 \cdot \{\exp(\gamma_2 \cdot D) - 1\} \quad (9)$$

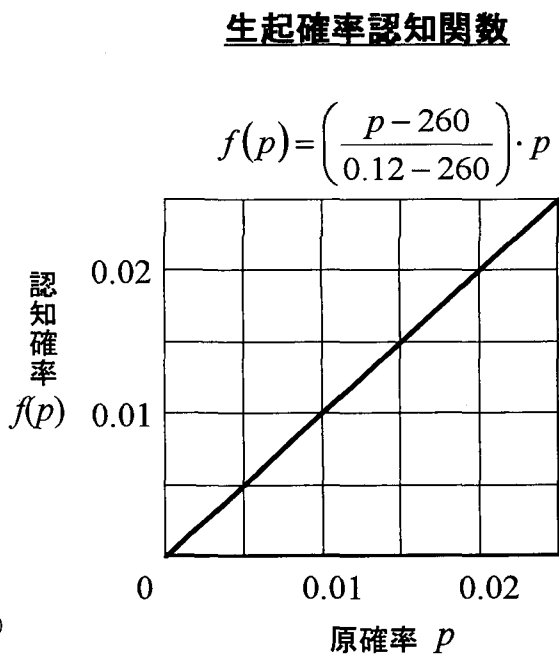
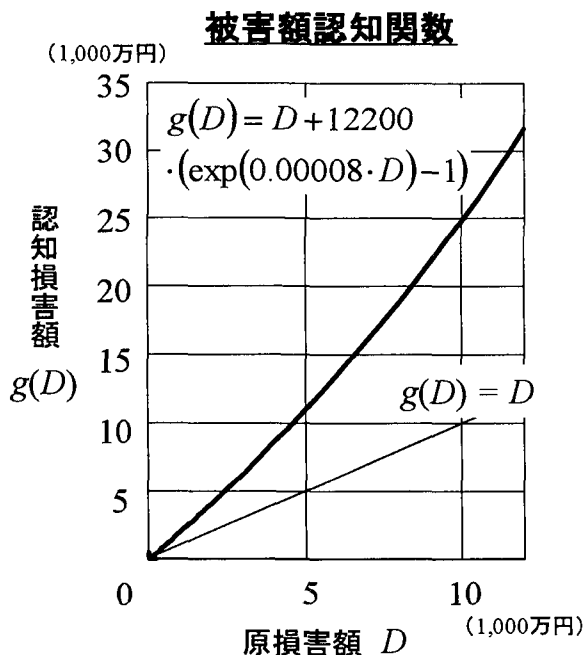


図1 死亡リスクに対する認知関数の推定結果

ここで, γ_1, γ_2 : 未知パラメータ.

②生起確率認知関数

$$f(p) = p \quad \text{if } \lambda_1 \leq p \leq 1$$

$$f(p) = \left(\frac{p + \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \right) \cdot p \quad \text{if } 0 \leq p < \lambda_1 \text{ and } \frac{p + \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \geq 0,$$

$$f(p) = 0 \quad \text{if } 0 \leq p < \lambda_1 \text{ and } \frac{p + \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} < 0.$$

(10)

ここで, λ_1, λ_2 : 未知パラメータ.

表1 推定されたパラメータ (生命保険加入行動)

γ_1	γ_2	λ_1	λ_2
12200	0.00008	0.12	260

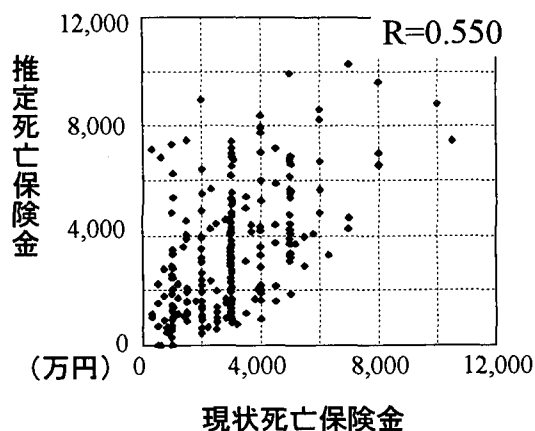


図2 死亡保険金の現状値と推定値との比較

認知関数の推定結果を図1に、死亡保険金の現状値と推定値の比較を図2に示す。被害額認知関数は、原損害額を常に2~3倍大きく評価する働きを持ち、緩やかではあるが被害額が増加するにつれ倍率が大きくなる傾向がみられる。また、生起確率認知バイアスはほとんど観測されず、最大でも原確率と1%未満しか差がない結果となった。主観的割引率は1.1%となった。相関係数はあまり高くないが、これは前節で述べたように、生命保険加入の実際の動機が多岐に渡るためと考えられ、このような複雑な行動を単純に表現したモデルの精度としては、認知バイアスのおおよその傾向を把握するには十分と考えられる。次にモデルの妥当性を検証するため尤度比検定を行った*6。その結果を表2に示す。これより、被害額に関しては認知被害額と原被害額の差が有意であるが、生起確率に関しては認知確率と原確率の差がないことが有意であることがわかった。

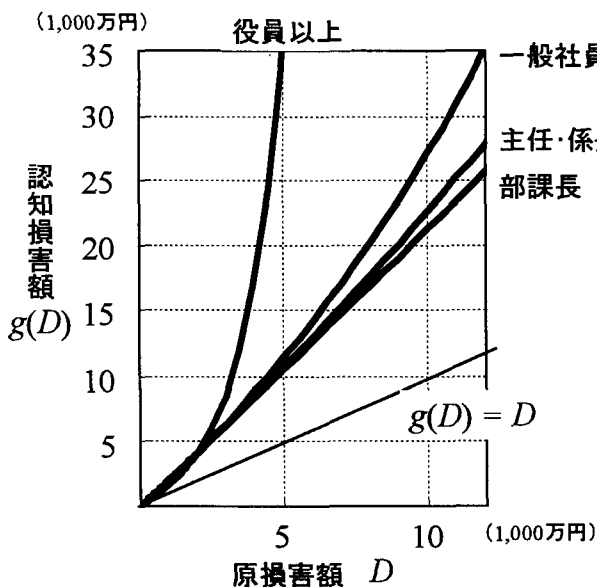
表2 尤度比検定の結果 (生命保険加入行動)

推定された関数	比較対象となる関数	尤度比	自由度	上側確率10%のカイ二乗値	上側確率90%のカイ二乗値	判定
図1中の被害額認知関数	$g(D) = D$	422.8	2	4.605		差が有意
図1中の生起確率認知関数	$f(p) = p$	0.153	2		0.211	差がないことが有意

(4) サンプルの属性の違いによる認知バイアスの違いの考察

次に、意志決定に影響を与えると考えられるサンプルの属性ごとにサンプルを分類し、分類されたサンプル群ごとに認知バイアスの比較を行う。ここでは前節で得られた結果より、生起確率については認知確率と原確率が一致すると仮定し(すなわち、 $f(p) = p$)、被害額認知関数の関数形と主観的割引率については前節の結果を用い、被害額認知関数(9)式のパラメータをサンプル群ごとに求めた。その結果を図3、4に示す。また、それぞれのサンプル群ごとに推定されたパラメータ同士で尤度比検定を行った結果、ほとんどの場合、当該サンプル群において推定されたパラメータの説明力が、他のサンプル群から推定されたパラメータの説明力に比べて有意に高いと判定された。すなわち、職種やライフステージの相違によって、被害額認知関数のパラメータが有意に異なることがわかった。

図3より、サンプル数の少なくモデルの説明力が相対的に低いと考えられる役員以上のサンプルを除けば、職場の地位が高いほど同一の被害に対して認知被害額が小さくなることが分かる。これは、収入が多くなると被害額認知関数が横軸方向に拡大



サンプル群	サンプル数	γ_1	γ_2
一般社員	101	9510	0.000100
主任・係長 部課長	51	24200	0.000042
役員以上	39	96900	0.000011
役員以上	18	556	0.000800

図3 職場の地位による被害額認知関数の差異

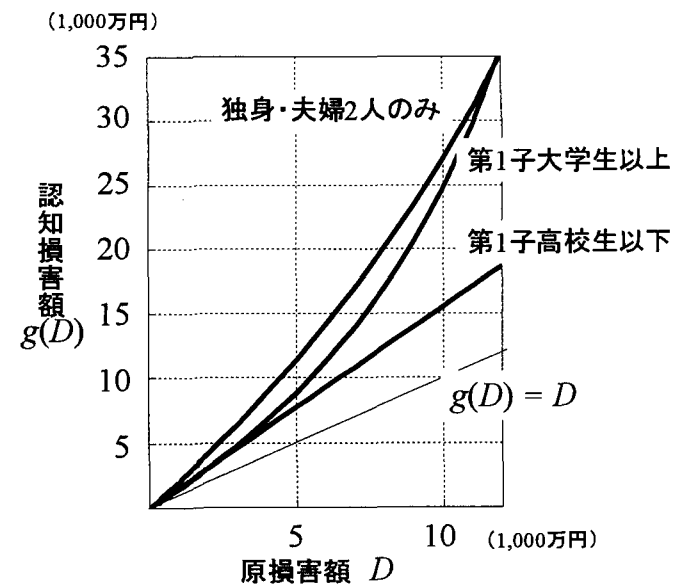
されることに主な原因が存在すると考えられる⁸⁾。図4からは、子供が小さい世帯では他よりも認知被害額が小さくなることがわかる。この理由としては、家計に余裕がないため、よりシビアに加入保険金額を決定しているためと考えられる。

(5) 地震保険加入行動の分析による認知関数の推定

地震保険の加入行動については、各世帯が、本研究の定義する「合理的な」行動をとっているかどうか判断するデータが入手できなかったため、①地震保険加入全96サンプル、②生命保険加入行動モデルで計算の対象とした世帯のうち地震保険に加入している23サンプル、の2つのサンプル群について認知関数の推定計算を行い比較することとした。キャリブレーションの結果、最終的に被害額認知関数については(9)式、生起確率認知関数については(11)式に示す関数形と、表3に示すパラメータの組み合わせが最適との結論を得た。

$$f(p) = \max \left[0, p + \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^{\eta_2} \cdot (\eta_4 \cdot p)^{\eta_2 - 1} \cdot \exp \left\{ -(\eta_3 \cdot \eta_4 \cdot p)^{\eta_2} \right\} \right] \quad (11)$$

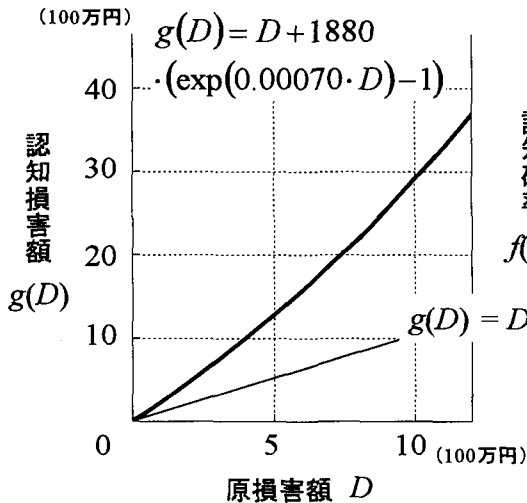
ここで、 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$: 未知パラメータ。ただし、 η_1



サンプル群	サンプル数	γ_1	γ_2
独身または 夫婦子供なし	124	9510	0.000100
第1子 高校生以下	63	76600	0.000007
第1子 大学生以上	44	2070	0.000210

図4 ライフステージによる被害額認知関数の差異

被害額認知関数



生起確率認知関数

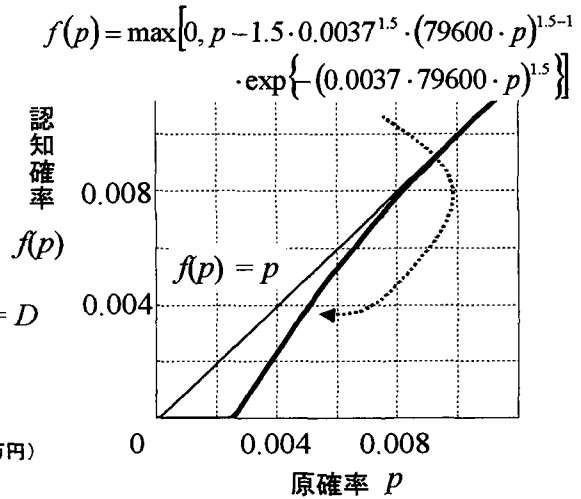
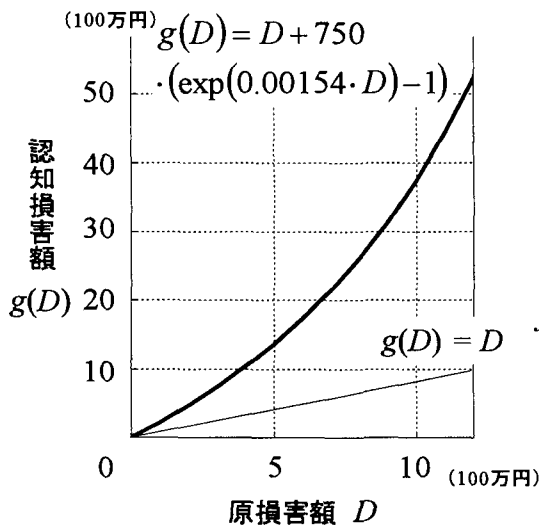


図5 地震被災リスクに対する認知関数の推定結果 (①全地震保険加入世帯 96 サンプル)

被害額認知関数



生起確率認知関数

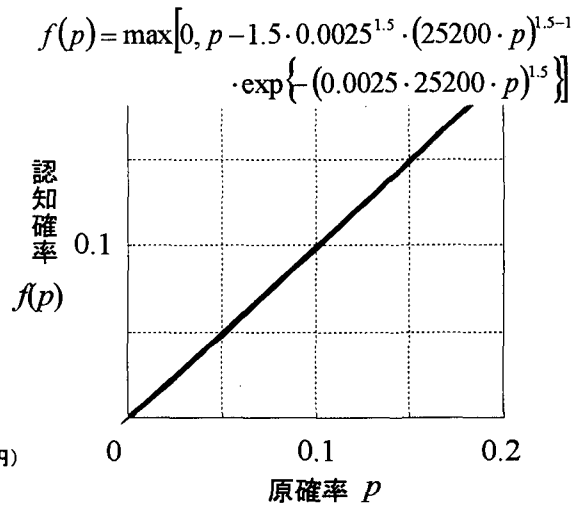


図6 地震被災リスクに対する認知関数の推定結果

(②「合理的に」行動していると考えられる地震保険加入世帯 23 サンプル)

は正負を表すパラメータ ($\eta_1 = 1$ or -1) で、第2項はワイブル分布 $W(\eta_3, \eta_2)$ の確率密度関数である。また、 η_4 はワイブル分布の幅を規定するパラメータで、(10)式における閾値 λ_1 に相当する。

認知関数の推定結果を図5・6に示し、尤度比検定の結果を表4に示す。被害額に関しては認知被害額と原被害額の差が有意であるが、生起確率に関しては認知確率と原確率の差が有意であるとはいえないことがわかった。得られるデータに非常に制約があるため、モデルの再現性があまり高くなく参考程度の結果ではあるが、図5によれば、地震保険における被害額認知関数は、原損害額にほぼ比例し、2~3倍過大評価する働きを持つことがわかる。生起確率

認知関数においては、実際の被災確率が0.8%以下の場合には、人々は地震による被災確率を過小評価し、さらに原確率が0.3%以下になると、被害に遭う可能性を認知しないことがわかる。また、比較的合理的に行動していると考えられる世帯②に絞って認知関数を推定すると、図6に示すように、生起確率については生命保険の加入行動と同様に、(生命保険の場合と違い両者の差がないことが有意であるとはいえなかったものの) 認知確率と原確率の差がほとんど見られないことがわかった。認知被害額については、世帯①と②でほとんど相違がなかった。

表3 推定されたパラメータ (地震保険加入行動)

サンプル群	γ_1	γ_2	η_1	η_2	η_3	η_4
①	1880	0.00070	-1	1.5	0.0037	79600
②	750	0.00154	-1	1.5	0.0025	2520

表4 尤度比検定の結果 (地震保険加入行動)

推定された関数	比較対象となる関数	尤度比	自由度	上側確率10%のカイニ乗値	上側確率90%のカイニ乗値	判定
①の被害額認知関数	$g(D) = D$	172.1	2	4.605		差が有意
①の生起確率認知関数	$f(p) = p$	4.779	4	7.779	1.064	差は有意でない
②の被害額認知関数	$g(D) = D$	5.529	2	4.605		差が有意
②の生起確率認知関数	$f(p) = p$	1.779	4	7.779	1.064	差は有意でない

5. 交通手段選択行動を対象とした認知バイアスの計測

(1) 入力データの準備

交通手段選択行動については、保険加入行動のように非集計データが得られないため、機関分担率のような集計データを用いた。また、入手可能なデータの制約から、1966年に発生した4件の航空機墜落事故(うち2件が全日空、残りが外国航空会社)と1971年の全日空墜落事故を対象とし、東京-大阪、東京-福岡、大阪-福岡、東京-札幌の4区間における1965-72年の分担率月次集計データ、デフレータ調整された利用料金データ、所要時間データを用いた¹⁷⁾。また、航空機墜落による死亡率は過去10年間の実績値から得た。

(2) 未知パラメータの推定方法

前述のように、個人単位のデータを得ることができないため、集計ロジットモデルとして未知パラメータを推定する。また認知関数については以下の仮定をおく。死亡による認知被害額 $g(loss)$ については、生命保険加入行動モデルで得られた死亡リスクに対する認知被害額の、全サンプルの平均値を1975年価格に換算し、 $g(loss) = 2860$ 万円を得た。各交通機関の利用による死亡リスクの生起確率認知関数 $f_1()$ 、 $f_2()$ については、 p_1 、 p_2 といった特定の入力値に対す

る出力を推定するだけなので、 μ_1, μ_2 を未知パラメータとして、 $f_1(p_1) = \mu_1 \cdot p_1$ 、 $f_2(p_2) = \mu_2 \cdot p_2$ とおく。

また、忘却に関するパラメータ β_1, β_2 はロジットモデルで推定できないため、他のパラメータ群と交互にキャリブレーションを行うことによって求めた。

(3) 認知関数の推定

集計ロジットモデルによって求めた各パラメータの推定結果を表5に、機関分担率の現状再現性を図7に示す。これより、事故の発生によって、人々は航空機墜落による死亡確率を平均して約20倍過大評価し、また事故が発生した航空会社については、他の航空会社に比べて死亡確率をさらに約20倍過大評価することがわかった。交通機関の利用による死亡リスクを考慮することにより、機関選択率の再現性がある程度高まることがわかったが、データの制約のため集計モデルとして扱っていることなどの理由により、再現性に限界も見られる。

表5 交通手段選択モデルで推定されたパラメータ

(a) 航空機/鉄道機関選択モデル

	パラメータ	t値
$\delta_0 + \delta_1 * [f_1(p_1) - f_2(p_2)] * g(loss)$	1.43	28.2
δ_1	0.000171	24.2
$\delta_1 * \delta_2$	0.00523	47.7
$\delta_1 * \delta_3 * \mu_1$	0.00404	8.88
β_1	0.813	-

1分あたり時間価値 (δ_2)	30.6
事故発生による確率過大評価効果 ($\delta_3 * \mu_1$)	23.6

(b) 航空会社選択モデル

	パラメータ	t値
δ_4	0.448	46.7
$\delta_1 * \delta_5 * \mu_2$	0.00318	21.9
β_2	0.982	-

事故発生による確率過大評価効果 ($\delta_5 * \mu_2$)	18.5
--	------

(c) 各モデルの自由度調整係数

	航空機/鉄道選択	航空会社選択
事故リスク考慮せず	0.867	0.593
事故リスク考慮	0.890	0.837

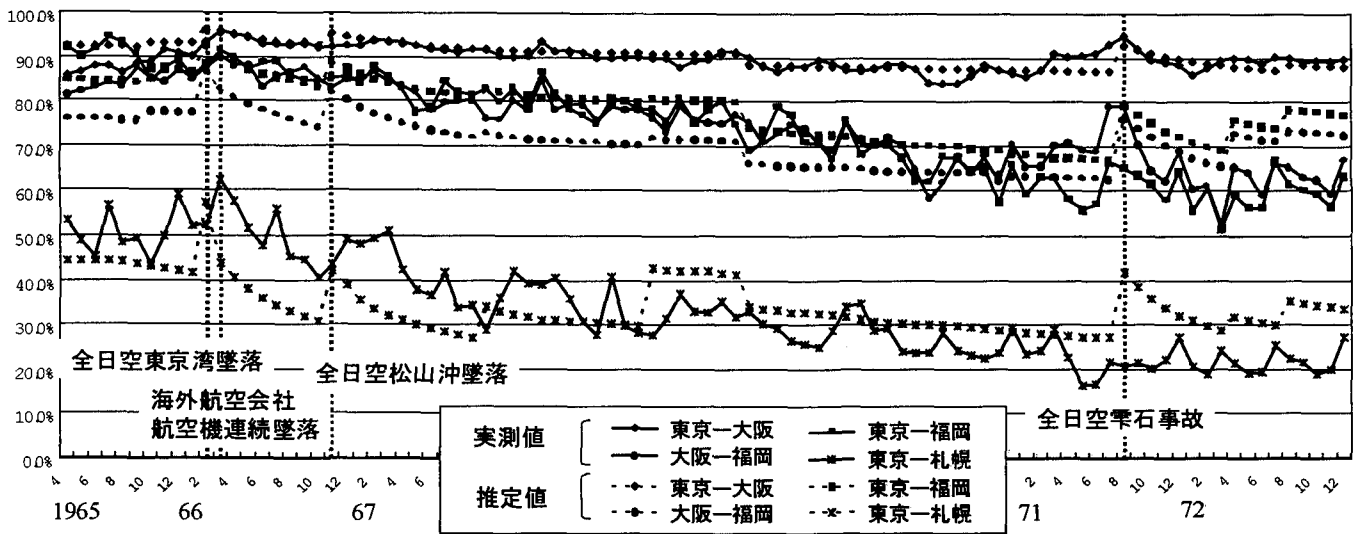


図7 主要長距離路線における国鉄の対航空機機関分担率の推移(1965-72)

6. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) 生起確率や被害額のようなリスク固有の値と、実際に行われる防災投資の意志決定において用いられていると考えられる、人間の認知プロセスを介した主観的な評価値との差異を認知バイアスと定義し、リスク固有の値と、リスクの主観的な評価に基づく意志決定の結果と考えられる行動データとから、人間がリスクを主観的に評価を行う際の認知バイアスの計測方法を提案した。特に、リスクの基本的な特性である被害規模と生起確率に関する認知バイアスに着目し、世帯主の死亡リスクや地震による被災リスクに対する各世帯の生命保険と地震保険の加入行動と、航空機墜落による死亡リスクを考慮した日本国内の長距離旅客の交通手段選択行動について定式化した。
- 2) 保険加入行動の観測により、死亡リスクと地震による被災リスクにおける人間の主観的なリスク評価が、被害額に関しては認知被害額が原被害額の2~3倍という概ね共通の傾向を示すことがわかった。生起確率に関しては、リスクの種類によって異なり、死亡リスクについては原確率と認知確率がほぼ一致するが、地震被災リスクは、被災する確率がある数値以下の場合に、過小評価されたり全く認知されない可能性があることがわかった。
- 3) 航空機墜落事故の発生によって、航空機事故に

よる死亡確率が相当量過大評価されることがわかった。さらに、事故を起こした航空会社に対しては、他の航空会社に比べて事故による死亡リスクが過大評価されていることがわかった。

次に、今後の課題を以下にあげる。

- 1) 認知バイアス計測のための理論的枠組の精緻化
今回の認知バイアスの計測は、通常期待効用理論に基づく費用便益分析に、新たに2点の仮定を追加するという枠組みに従って行ったものの、未だいくつかの理論的な課題が残されている。今後、本研究で提案した計測の枠組みの理論的な裏付けを強化し、モデルの精緻化をはかる必要がある。
- 2) 認知バイアスのより精密な計測
現状では、市販の（もしくは公表されている）データを使用して分析を行っており、入手できるデータの制約が大きく、モデルの説明力が弱かったり、非集計モデルの構築が不可能であったりしている。今後、独自の調査を行うことなどを検討する必要があると考えられる。
- 3) 個人属性による認知バイアスの差異の検証
個人のリスク認知関数が社会的に集約される課程に着目するためには、個人間の認知バイアスの相違についての分析が重要である。今回、属性の選び方によっては認知関数に差異がある可能性がわかった。このような分析の蓄積が今後必要である。
- 4) 意志決定基準の個人間の相違の考慮
本研究では、本研究で定義した基準に従って、サ

ンプルが合理的に行動しているか否かを判定し、「合理的」と判定されたサンプルのみを対象として認知バイアスの推定を行っている。今回「合理的でない」と判定されたサンプルの意志決定基準を、明らかにする必要がある。

5) 社会的な意志決定における認知バイアスの計測はじめに述べたように、本研究は、個人的な意志決定における認知バイアスの計測を行うことで、リスク認知特性を考慮した社会的な意志決定問題に対して間接的にアプローチするという位置付けであるが、社会的な意志決定を行う際のリスク認知バイアスを、直接的に計測する方法の検討も必要であることはいままでのない。

脚注

*1 著者らは、さまざまな防災投資の実績から、それぞれの防災投資における意思決定がどのように行われているかについても分析を行っている最中である(文献 8)参照)。現在までの分析により、防災投資の種類が異なっても、各種の防災投資に共通するある一定の合理的思想を抽出できるとの感触を得ている。ただし、今後の分析によっては、今後この段落の文意が修正される可能性も存在する。

*2 ただしこれは、防災投資費用などの少額のコストにおいて、金銭的な費用と不効用がほぼ一致することの証明にはなっていない。この点については今後検討する余地があるものと考えられる。

*3 ここでは現在の世帯収入を基準(参照点)として損失に対する認知特性を計測するという枠組みのため、世帯収入額の相違が認知特性に及ぼす影響を明示的に定式化していない。この点も今後の課題であろう。

*4 ここでは効用関数と不効用関数の形状が異なると仮定していることと、確率と被害額の認知特性を同等に扱っているという印象を強く与えるために、あえて(不)効用関数に代えて被害額認知関数という用語を用いている。

*5 生起確率認知関数と被害額認知関数を導入したことにより、(1)式で表される期待損失は、金銭ベースではなく効用ベースとなる。従って、(1)式によって計算された期待損失を用いた意志決定行動分析では、その絶対値ではなく相対的な大きさが問題となる。将来このような認知関数を用いて費用便益分析(むしろ費用対効果分析という用語が妥当であろう)を行う場合には、この点に注意が必要となる。

*6 モデルの検証においては、本来なら推定したパラメータのt値や関数のF値を求めるべきであるが、本モデルは複数の非線形関数のパラメータを残差二乗和の最小化を基準にキャリブレーションによって求めており、t値やF値を求めるのが非常に困難であるため、尤度比検定を行うことにより、モデルの妥当性を検証した。具体的な手順は以下のとおりである。

1) 推定されたパラメータ群 θ_0 の尤度 $L(\theta_0)$ を求める。ここで、各世帯 i における α の実測値 α_i と推定値 $\alpha'_i(\theta_0)$ の差(誤

差)が正規分布に従うと仮定すれば、尤度 $L(\theta_0)$ は(A1)式のように計算できる。

$$L(\theta_0) = (2\pi s_0)^{-\frac{n}{2}} \exp \left\{ -\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha'_i(\theta_0))^2}{2s_0^2} \right\} \quad (A1)$$

ここで n : 世帯数, s_0 : 誤差の標本標準偏差。なお観測誤差が平均 0 の正規分布に従うことは、平均値の検定、尖度・歪度の検定により確認済みである。

2) 推定されたパラメータ群 θ_0 とそれ以外の任意のパラメータ群 θ_1 について、帰無仮説を $H_0: \theta_0 = \theta_1$, 対立仮説を $H_1: \theta_0 \neq \theta_1$ としたとき、

$$2 \log \frac{L(\theta_0)}{L(\theta_1)} = \frac{1}{s_0^2} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha'_i(\theta_1))^2 - \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha'_i(\theta_0))^2 \right\} > \chi_\phi^2(z) \quad (A2)$$

となる場合帰無仮説 H_0 は棄却される。ここで、 $\chi_\phi^2(z)$ は自由度 z , 上側確率 ϕ のカイ二乗値。従って、たとえば被害額認知関数において $\theta_1 = \mathbf{0}$ として尤度比検定を行えば、推定された被害額認知関数の現状再現性が、関数 $g(D) = D$ と比較して有意に有効であるかどうか判定できる。

参考文献

- 1) たとえば、高橋英明, 地域の安全度の評価とリスクマネジメント, 安全工学, 1995(34.2), pp86-93, など。
- 2) Kahneman, D. and Tversky, A., Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, 1979(47), pp.263-291.
- 3) 依田高典, 不確実性と意志決定の経済学, 日本評論社, 1997, 第2章。
- 4) Machina, M.J., "Expected Utility Analysis" without the Independence Axiom, *Econometrica*, 1982(50), pp.277-323.
- 5) Viscusi, W.Kip and Evans, W.K., Estimation of Revealed Probabilities and Utility Functions for Product Safety Decisions, *The Review of Economics and Statistics*, 1997, pp.28-33.
- 6) Magat, W.A., Viscusi, W.Kip and Huber, J., A Reference Lottery Metric for Valuing Health, *Management Science*, 1996(42-8), pp.1118-1130.
- 7) Gonzalez, R., On the Shape of Probability Weighting Function, *Cognitive Psychology*, 1999(38), pp.129-166.
- 8) 家田仁・村上迅・斎藤功次, 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, 1999.10, pp199-202.
- 9) 柴崎隆一・亀井憲樹・家田仁, 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, 土木計画学研究・講演集, 2000(23), 掲載予定。
- 10) 加藤一郎・木宮高彦, 自動車事故の法律相談, 有斐閣, 1985.
- 11) Yaari, M., Uncertain Lifetime, Life Insurance, and the Theory of the Consumer, *Review of Economic Studies*, 1965, pp.137-150.
- 12) Cropper M.L. and A. Myrick Freeman III, Environmental Health Effects, *Measuring the Demand for Environmental Quality*, 1991, pp165-211.
- 13) 刀俣俊雄・北野実, 現代の生命保険, 東京大学出版会, 1993.
- 14) 柴崎隆一, リスク評価における人間の認知バイアスの計測, 東京大学修士論文, 1999.3.
- 15) 山口直也・山崎文雄, 西宮市による被災度調査結果に基づく建物被害推定式, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム, 1998.10, pp335-338.
- 16) 宇佐美龍夫, 新編日本被害地震総覧, 1987.

稀少確率・甚大被害現象を対象としたリスク評価における認知バイアスの計測

柴崎隆一・家田 仁

本研究は、生起確率や被害額といった各種の事故・災害リスク固有の値と、実際に行われる防災投資の意志決定において用いられていると考えられる、人間の認知プロセスを介した主観的な評価値との差異を、認知バイアスとよび、死亡リスクや地震被災リスクといった個人的なリスクを対象として、リスク固有の値と、リスクの主観的な評価に基づく意志決定の結果と考えられる行動データとから、認知バイアスの計測を行った。その結果、人々は実際の被害額を約2~3倍大きく評価する傾向があることや、確率についての認知バイアスは、リスクの種類によって異なり、死亡リスクはほぼ原確率に等しく認知するが、地震被災リスクは原確率よりも過小評価される可能性があることなどがわかった。

Perceptual Biases in Risk Valuation under Small Probability and Catastrophic Loss

By SHIBASAKI Ryuichi and IEDA Hitoshi

In this study we define “perceptual biases” as the differences between original probability or loss for various kinds of risks and subjective risk valuation by decision-makers. We measured these perceptual biases by observing personal behavior for life insurance and earthquake insurance, and for choosing transportation mode after air crash, by comparing original probability or loss of the risk, especially with small probability and catastrophic loss. As a result, we found that people have actually perceived the loss of risk as two or three times as original loss, and that people have perceived the probability of risk in different ways due to the type of the risk.
