

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

事故や災害といった様々な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、リスクの持つ特性によって異なる。特に、カストロフィックな被害が発生するリスクや、稀少確率のリスクに対して、人間は、生起確率×被害規模で表される通常の期待値でリスクを評価するのではなく、より主観的にリスクを評価していると考えられる。このような人間の認知特性を知ることは、機械的な机上計算の結果と実際行われる実務的な意思決定の間に比較的良好に見られる相違を説明するために、今後不可欠な研究課題と考えられる。そこで、事故の生起確率や被害額といった単純な統計から機械的な計算を行うことにより得られるリスクの評価値(以下では「客観的な」評価値とよぶ)と、人間による「主観的な」評価値との差異を認知バイアスとよぶ。そして、本研究では、客観的な評価値と、各人のリスク評価に基づいた結果と考えられる行動データとから、人間が主観的にリスク評価を行う際の認知バイアスを計測する。具体的には、被害規模に関する認知バイアスと、生起確率に関する認知バイアスに着目する。また、リスクに対する人間の態度表明の観察対象として、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。

2. 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

死亡リスクや地震による被災リスクによってもたらされる期待損失 U は、損失を正に取ると、事故・災害の発生時と非発生時の期待損失の和で表される。

そこで、通常の期待効用理論に加えて主観的な確率を考慮し、(1)式のように表現する¹⁾。

$$U = f(p) \cdot g\{(1-\alpha) \cdot x \cdot S + r \cdot \alpha \cdot S\} + f(1-p) \cdot g(r \cdot \alpha \cdot S) \quad (1)$$

ここで、 p : 事故・災害の生起確率、 r : 保険料率、 α : 保険価額 S と保険金額 Q の比 ($Q = \alpha \cdot S$)、 x : 事故・災害の発生による当該物件の損失率である。また $g(\cdot)$: 被害規模認知関数 (損失額 $loss$ の関数)、 $f(\cdot)$: 生起確率認知関数 (確率 p の関数) である。このとき、各個人は自己の期待損失が最小となるように α を決定する。すなわち、 $\min_{\alpha} U$ 。

(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、(1)式のうち、保険価額 S として当該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²⁾に従って求める。どの個人も 110 才までに死亡し (死の到着の概念³⁾)、死亡保険金の支払いのみを考慮することとする ((1)式において $x=1$)。また、各個人は α だけでなく、保険加入年齢 a (ただし、過去にさかのぼった加入決定は表現せず、 a は現年齢 a_{init} 以上とする) と、保険加入期間 T も決定できるとする。すなわち、 $\min_{\alpha, a, T} \sum_{n=1}^{110-a_{init}} U_n$ 。ここで U_n 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、当該個人の実質損害額 D_n は以下のように表現できる。

$$D_n = \frac{LI_n - Q_n}{(1+ii)^n} = \frac{LI_n - \alpha_n \cdot LI_{(a-init)}}{(1+ii)^n} \quad (2)$$

ここで、 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⁴⁾。

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
*学生会員、工修、東京大学大学院社会基盤工学専攻交通研究室
**正会員、工博、東京大学大学院社会基盤工学専攻交通研究室
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL:03-5841-6118, FAX:03-5841-8507)

また、各個人は n 年後に死ぬまで、(3)式で表される保険料 R_n を払う。

$$R_n = \sum_{k=1}^n \frac{r_{a,T} \cdot \alpha_n \cdot LI_{(a-a_{init})}}{(1+ii)^k} \quad (3)$$

ここで、 $r_{a,T}$: 保険加入年齢 a , 保険加入期間 T のときの保険料率である。現年齢が a_{init} 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 $p_{ainit,n}$ とすると、期待損失 U_n は(4)式のように表現できる。

$$U_n = f(p_{ainit,n}) \cdot g(D_n + R_n) \quad (4)$$

$$= f(p_{ainit,n}) \cdot g\left(\frac{LI_n - \alpha_n \cdot LI_{astart}}{(1+ii)^n} + \sum_{k=1}^n \frac{r_{a,T} \cdot \alpha_n \cdot LI_{astart}}{(1+ii)^k}\right)$$

生命保険加入行動においては、期待生涯収入だけでなく、貯蓄などの金融資産や不動産などの実物資産も考慮される可能性がある。これらの所有資産が存在しても、保険に加入しない限り死亡時の損害を減少させることはできないが、期待生涯収入に対して所有資産の比率が大きければ、所有資産によるある程度の埋め合わせが期待できる。そこで、資産額が AS のときに資産の所有による死亡時損害の減少額を定める関数を $A(\cdot)$ とし、(2)式の実質損害額 D_n を(5)式のように置き換える。

$$D_n = \frac{LI_n - \alpha_n \cdot LI_{astart} - A(AS)}{(1+ii)^n} \quad (5)$$

(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する。また、地震による建物や家財の被害の状態は、全壊から軽微な被害まで一様でない。本モデルでは、被害の状態を数段階に分け、レベル k の被害の全壊に対する被害率 h_k ($0 < h_k < 1$) と、レベル k の被害をもたらす事故・災害の発生確率 p_k とを用いて、(1)式を(6)式のように書き直す。

$$U = \sum_k [f(p_k) \cdot g\{(1-\alpha) \cdot h_k \cdot S + r \cdot \alpha \cdot S\}] \quad (6)$$

$$+ f\left(1 - \sum_k p_k\right) \cdot g(r \cdot \alpha \cdot S)$$

(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逃走し、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 の不効用を 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。

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

$$V_1 = a_0 + a_1 \cdot fare_1 + a_2 \cdot time_1 + f_1(p_1) \cdot g(loss) \cdot \{1 + a_3 \cdot \beta_1^t\}$$

$$V_2 = a_1 \cdot fare_2 + a_2 \cdot time_2 + f_2(p_2) \cdot g(loss)$$

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 利用による年間死亡確率, $a_0, a_1, a_2, a_3, \beta_1$: 未知パラメータ。 β_1^t は事故発生から t ヶ月後の忘却率 ($0 < \beta_1 < 1$, ただし $t < 0$ のとき $\beta_1 = 0$, 事故発生直後は $\beta_1^0 = 1$ となる) である。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、被害規模認知関数 $g(\cdot)$ と被害額 $loss$ は共通とするが、生起確率認知関数 $f(\cdot)$ は対象となるリスク (交通機関) で異なる。ただし、上記ロジットモデルにおいては a_0 と $f_1(p_1) \cdot g(loss)$, $f_2(p_2) \cdot g(loss)$ の分離推定が不可能なため、実際に求められるのは航空機事故発生による死亡リスク評価の増大効果 $a_3 \cdot f_1(p_1) \cdot g(loss)$ である。

(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。各航空会社の不効用を V_{ij} とすると、各航空会社の選択確率 P_{ij} は(8)式のように表される。

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

$$V_{11} = a_4 / S_1 + a_5 \cdot f_1(p_1) \cdot g(loss) \cdot \beta_2'$$

$$V_{12} = a_4 / S_2$$

ここで、 S_j : 供給座席比率、 a_4, a_5, β_2 : 未知パラメータである。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。

3. 死亡リスクと地震被災リスクの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・支払い保険料などのデータを得た。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⁵⁾に住宅種類別震度別被災確率⁶⁾を乗ずることで得た。

交通手段選択行動については、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年の全日空雲石事故を対象とし、東京一大阪、東京一福岡、大阪一福岡、東京一札幌の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⁷⁾。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

まず保険加入行動について、被害規模認知関数 $g(\cdot)$ と生起確率認知関数 $f(\cdot)$ 、所有資産関数 $A(\cdot)$ 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、加入保険金額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。

交通手段選択行動については、個人単位的数据を得ることができないため、集計モデルに上記で得られた死亡リスクにおける $g(loss)$ の平均値を代入して、未知パラメータと $f_1(\cdot)$ の代表値（線形を仮定）を求めた。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) 認知関数の推定結果

(a) 死亡リスクに対する認知関数の推定結果

生命保険加入世帯 657 サンプルについて推定計算を行った結果、選択された関数式とその形状を図1, 2に示す。また、加入保険金額の現状値と推定値の相関係数は0.424であった。図1より、被害規模認知関数は、実質損害額を常に2倍強過大評価する働きを持つことがわかる。また、生起確率認知バイアスはほとんど観測されず、最大でも実確率と数%しか差がない結果となった。

(b) 地震被災リスクに対する認知関数の推定結果

地震保険加入世帯 96 サンプルについて推定計算

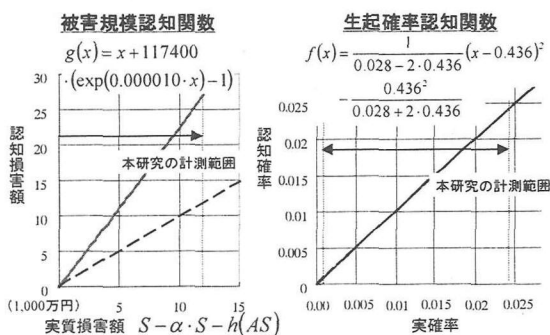


図1 死亡リスクに対する認知関数の推定結果
(図中の点線は45度線)

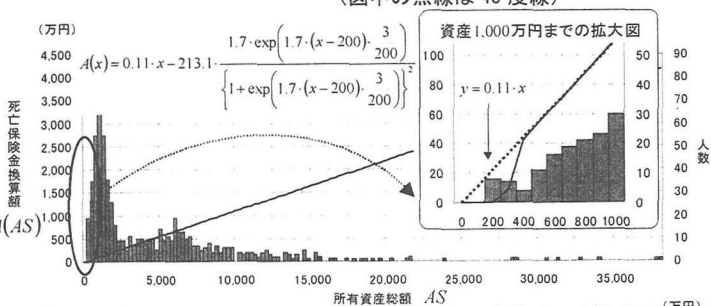


図2 所有資産関数の推定結果（棒グラフは所有資産の人数分布）

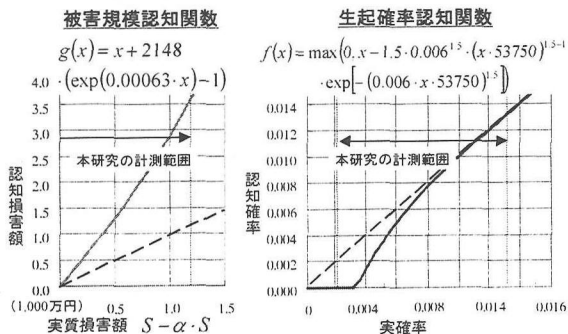


図3 地震被災リスクに対する認知関数の推定結果
(図中の点線は45度線)

を行った結果、選択された関数式とその形状を図3に示す。図3より、地震保険における被害規模認知関数は、実質損害額にほぼ比例し、3倍弱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、人々は地震による被災確率を過小評価し、さらに実確率が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。

(c) 航空機墜落による死亡リスクに対する認知関数の推定結果

(a)で得られた $g(\text{loss})$ の平均値 2860 万円 (1975 年価格に換算) を用いて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1に、機関分担率の現状再現性を図4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。

4. まとめ

本研究において、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、被害規模認知バイアスに関しては概ね共通し、生起確率認知バイアスに関してはリスクの種類によって異なることがわかった。また、航空機墜落事故の発生によって、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。今後は、その他のリスクや種々の認知バイアスに対しても同様の計測を行っていくとともに、個人単位ではなく、

表1 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
$a_0 + f_1(p_1) \cdot g(\text{loss}) - f_2(p_2) \cdot g(\text{loss})$	1.43	28.2
a_1	0.000171	24.2
a_2	0.00523	47.7
$a_3 \cdot f_1(p_1) \cdot g(\text{loss})$	0.652	8.88
β_1	0.813	-
1分あたり時間価値 (a_2/a_1)		30.6
事故発生による確率認知バイアス ($a_3 \cdot f_1(p_1)/(a_1 \cdot p_1)$)		23.6

(b) 航空会社選択モデル

	パラメータ	t値
a_4	0.448	46.7
a_5	0.512	21.9
β_2	0.982	-
事故発生による確率認知バイアス ($a_5 \cdot f(p_1)/(a_1 \cdot p_1)$)		18.5

(c) 各モデルの自由度調整済決定係数

	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

稀少確率・甚大被害のリスクに対する社会の認知特性の計測方法についても研究を進める予定である。

参考文献

- 1) Kahneman, D. and Tversky, A., Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, 1979(47), pp.263-291.
- 2) 加藤一郎・木宮高彦, 自動車事故の法律相談, 有斐閣, 1985.
- 3) Yaari, M., Uncertain Lifetime, Life Insurance, and the Theory of the Consumer, *Review of Economic Studies*, 1965, pp.137-150.
- 4) Cropper M.L. and A. Myrick Freeman III, Environmental Health Effects, *Measuring the Demand for Environmental Quality*, 1991, pp.165-211.
- 5) 宇佐美龍夫, 新編日本被害地震総覧, 1987.
- 6) 山口直也・山崎文雄, 西宮市におけ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.
- 7) 玉石修介, 長距離旅客の機関選択行動の変化の時系列的分析方法, 日本大学学位論文, 1984.

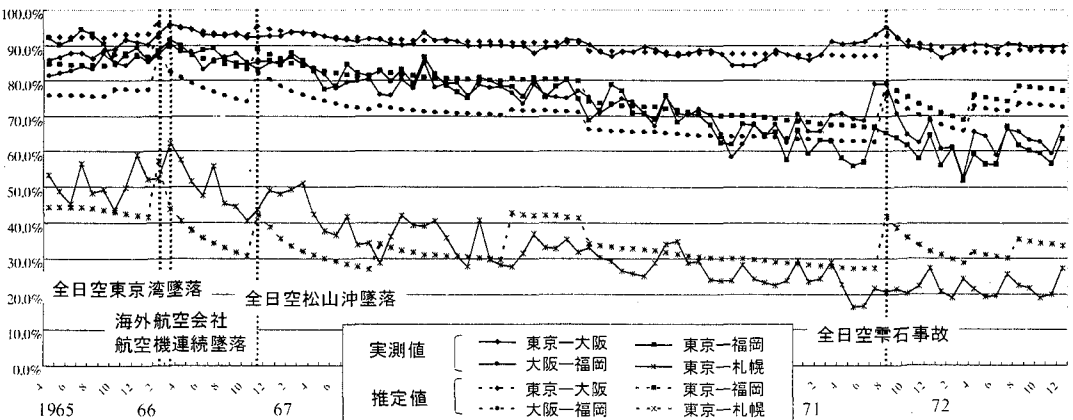


図4 主要長距離路線における国鉄の対航空機機関分担率の推移(1965-72)