

# 不確実性に係る便益の評価について

---

# これまでの検討経緯と本資料の内容

---

- 前回分科会までに、不確実性の分類の考え方と、Arrow-Lindの定理に基づく検討の方向性を提示した。
- 前回分科会において、Arrow-Lindの定理における家計数の捉え方についての議論、並びに、リスクプレミアムの既往の推計事例を整理し、適用できる推計手法について検討するべきとのご指摘があったことから、これらについて整理した。

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (1) Arrow-Lindの定理の概要 (前回分科会資料より抜粋)

Arrow and Lind(1970) (注1)は、大規模なリスク(大規模な被害を受ける可能性)を伴うプロジェクトであっても、被害を受ける可能性のある家計の確実性等価は、ほぼ所得の期待値によって近似可能であり、社会全体のリスクプレミアムは無視されうるものと主張した。(Arrow-Lindの定理)

具体的には、Arrow and Lind(1970)においては、社会全体のリスクの平均と分散が一定であるとの仮定の下、社会全体のリスクプレミアムを下式のように表現している(注2)。なお、ここでは効用関数を所得の自然対数と仮定してさらに展開した式も示す。

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho^i = -\frac{\sigma^2}{2N} \frac{u''(y + \bar{z}/N)}{u'(y + \bar{z}/N)} \xrightarrow{\text{効用関数を所得の自然対数と仮定した式展開}} = \left( \frac{\sigma^2}{2N} \right) \left( \frac{1}{y + \bar{z}/N} \right) = \frac{\sigma^2}{2Ny + 2\bar{z}}$$

$\rho$  : 社会全体のリスクプレミアム       $\rho^i$  : 個別の家計のリスクプレミアム       $N$  : 家計数       $u$  : 家計の効用関数  
 $y$  : 家計の所得(確定値)       $\bar{z}$  : 社会全体のリスクの平均値  
(社会全体が被る可能性のある被害額の平均値)       $\sigma^2$  : 社会全体のリスクの分散  
(社会全体が被る可能性のある被害額の分散)

ここで、被害額の平均値と分散値が、被害を受ける可能性のある家計数Nに関わらず一定であれば家計数Nが増加するにつれてリスクプレミアムは0に近づく。すなわち、家計数が十分に大きくなれば、リスクプレミアムは無視しうるほど小さくなると考えられる。これが、Arrow-Lindの定理である。

(注1) Arrow, K. and R. Lind(1970), "Uncertainty and the evaluation of public investments", American Economic Review, Vol.60. pp.364-378

(注2) ここで示した式は、Arrow and Lind(1970)についてレビューしている「防災の経済分析」(多々納・高木編著)に掲載されている式形であり、元のArrow and Lind(1970)に掲載されている式形とは異なるが、表現しているものは同じである。

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (2) Arrow-Lindの定理が成り立たない場合 (前回分科会資料より抜粋)

前ページの式を再掲する。

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho^i = -\frac{\sigma^2}{2N} \frac{u''(y + \bar{z}/N)}{u'(y + \bar{z}/N)} \xrightarrow{\text{! 効用関数を所得の自然対数と仮定した式展開}} = \left( \frac{\sigma^2}{2N} \right) \left( \frac{1}{y + \bar{z}/N} \right) = \frac{\sigma^2}{2Ny + 2\bar{z}}$$

仮に、災害等の事象が発生した際、その影響を特定の地域の複数の家計が同時に被る場合を想定する。(以下、これを「空間的な相関」があるという。この場合、被害を受ける可能性のある地域の家計数が増えたとき(上式のNが増加したとき)、その影響の度合い(被害額の規模)も大きくなる。

すなわち、「空間的な相関」がある場合には、分散  $\sigma^2$  および平均値  $\bar{z}$  と、被害を受ける可能性のある家計数Nの間に相関関係があると考えられる。

そこで、たとえばその相関関係が比例的であると、 $\sigma^2 = a \cdot N^2$ ,  $\bar{z} = b \cdot N$  ( $a, b$  は定数) であると仮定すると、上式は以下のようなになる。

$$\rho = \left( \frac{aN}{2} \right) \left( \frac{1}{y+b} \right)$$

この場合は、リスクプレミアムは家計数に比例することとなり、Nが増大してもリスクプレミアムは無視できない。このように、Arrow-Lindの定理が成立しない場合がありうる。

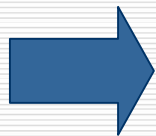
( ) 「空間的な相関」とは、ある偶発事象が発生した際の被害を、特定の地域の複数の家計が同時に被ることであり、リスクに「地域性」と「同時性」があることを表している。

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (3) Arrow-Lindの定理を基礎とした分類方法 (前回分科会資料より抜粋)

---

- ◆ Arrow and Lind(1970)は、大規模なリスク(大規模な被害を受ける可能性)を伴うプロジェクトであっても、家計の確実性等価はほぼ期待値によって近似でき、リスクプレミアムは無視されうるものと主張した。(Arrow-Lindの定理)
- ◆ ただし、前ページで見たように、Arrow-Lindの定理は、被害を受ける可能性のある家計数と、受ける可能性のある被害の規模(被害額の規模)に「空間的な相関」がないという仮定を置いており、この仮定が成り立たない(空間的な相関がある)状況では、リスクプレミアムが必ずしも無視できないことが示される。
- ◆ したがって、空間的な相関がある状況下でのプロジェクト評価では、リスクプレミアムを考慮しないと、便益を過小評価する可能性がある。



不確実性の分類の軸として、「空間的な相関の有無」をベースとして検討する

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (4) Arrow-Lindの定理の主な前提条件

---

- ◆ Arrow-Lindの定理が成立するための主な前提条件として、Arrow and Lind(1970)には以下の3点が示されている。この3点がすべて満たされなければ、Arrow-Lindの定理は完全には成立せず、必ずしもリスクプレミアムが無視できるとはいえないと考えられる。

### 【前提】

社会的リスクが家計数と独立である。(注1)

(注1) 数式上はp.2のとおり、「社会全体のリスク(被害額)の平均値と分散値が、家計数Nに関わらず一定」という形で表現される。

### 【前提】

家計数が非常に大きい。(注2)

(注2) 家計数がどのくらい大きければArrow-Lindの定理が成立するかについては、Arrow and Lind(1970)においても、正確な解答はないとされている。

### 【前提】

保険や税などを通じて、すべての家計にリスクを分散させて負担させることができる。(注3)

(注3) 数式上はp.2の効用関数の引数において、「社会全体のリスクの平均値」が家計数で除されている部分( $\bar{z}/N$ )において表現されている。

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (5) 前提条件に関する論点整理

- ◆ 実際に、わが国の公共事業の特性を想定したときに、前提 ~ の成否について、考えられる論点を整理した。
- ◆ 前提 については、家計数の捉え方によって判断が分かれるものの、前提 については、公共事業の特性から、リスクを分散できるとは言えず、成立しないと考える。

前提	成否について考えられる論点
【前提 1】 社会的リスクが家計数と独立である	<p><b>A) 家計数は、「政府によって社会的リスクを負担させられる家計全体の数」(たとえば、日本政府を想定した場合は日本全国の家計数)であり、社会的リスクと独立に決まる定数である。</b></p> <p>・被害を直接受ける家計は特定の範囲であるとしても、政府は徴税を通じて、被害に伴う負担を日本全国の家計に分散させていると考えれば、家計数は課税されている家計全体(すなわち日本全国の家計数)、すなわち社会的リスクとは独立に決まる定数となり、前提 1 は成立する。</p> <p><b>B) 家計数は、「被害を受ける可能性のある家計全体の数」であり、社会的リスクの大きさと関連している。</b></p> <p>・防災事業は、特定の範囲の家計の社会的リスクを軽減する行為であり、公共事業の評価においても、事業の影響を受ける特定の範囲の家計を対象として便益評価を行っている。そこで、社会的リスクを分散する家計も便益を享受する特定の範囲の家計と考えれば、家計数は社会的リスクと関連することとなり、前提 1 は成立しない。</p>
【前提 2】 家計数が非常に大きい	<p>Arrow and Lind(1970)にあるように、Arrow-Lindの定理が成立するために、家計数がどのくらい大きければよいのかについて正確に判断することは困難である。</p>
【前提 3】 保険や税などを通じて社会的リスクを分散	<p><b>A) 保険制度や政府の徴税・分配機能により、社会的リスクを分散できている。</b></p> <p>・政府は、そのあるべき姿としては完全な徴税・分配機能を有するものであり、その機能を十分に発揮すれば社会的リスクを分散できると考えれば、前提 3 は成立する。</p> <p><b>B) 現実的には社会的リスクを十分には分散できていない。</b></p> <p>・例えば全ての家計が震災や水害等に関する保険に加入しているわけではなく、また、保険自体が被害を完全に補償するものでもない。また、災害時の各種支援金も同様に被害を完全に補償するものではない。このように、現実的には保険や税では社会的リスクを十分に分散させることはできないため、前提 3 は成立しない。</p>

# 1. Arrow-Lindの定理に関する論点の再整理

## (6) ご議論いただきたい点

---

- Arrow-Lindの定理の前提条件について再整理し、それらの前提条件の成否に関する論点を整理した。
- 各論点、及びその考え方について、本分科会にて、ご助言を賜りたい。



## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (1) 前回分科会でご指摘いただいた点

- ◆ 前回分科会について、リスクプレミアムの推計の方向性について以下のような点をご指摘いただいた。

リスクのタイプとリスクプレミアムの推計事例について対応表を作成し、検討の空白地帯がどこにあるかを見た上で、適用できる推計手法を整理する必要がある。

CVMによってリスクプレミアムを推計した事例は存在する。

株式市場等のデータを用いて「リスク回避度」を推定した事例は蓄積されている。リスクプレミアムの推定にどう適用するかについては検討が必要であるが、こうした事例についても調べてはどうか。

- ◆ 上記のご指摘を踏まえ、以下の3点について整理した。

リスクのタイプ別のリスクプレミアム推計事例の整理  
CVMによるリスクプレミアム推計事例のレビュー  
株式市場等のデータを用いたリスク回避度の推定事例のレビュー

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (2) リスク分類別のリスクプレミアム推計事例の整理

- ◆ リスクの分類を、「震災」、「水害」、「その他」として、事例の蓄積の動向を見た。
- ◆ 「震災」についてはCVMを適用した事例、「水害」については保険市場データの分析を適用した事例、「その他」としては主に保有資産等の実データに基づき、「リスク回避度」を推定した事例が見られる。

リスク分類	既往推定事例	適用手法	概要	リスクプレミアム÷期待被害額
震災	松田曜子・多々納裕一・岡田憲夫:CVMを用いた自然災害リスクに対する家計のリスクプレミアムの計量化, 土木計画学研究・論文集Vol.22-2, 2005.10	仮想的市場評価法(CVM)により効用関数を推定	地震保険の購入に関するアンケート調査により、リスクに対する認知度や、家計の効用関数のパラメータおよびリスクプレミアム等を推定	リスクプレミアム/期待被害額 = 1,040円/1,000円 (1.04倍) (リスク情報を示した場合) 注) = 66,220円/65,700円 (1.01倍) (リスク情報を示さない場合)
	藤見俊夫・多々納裕一:曖昧性回避が地震保険の加入選択に及ぼす影響の定量分析、日本リスク研究学会誌, 18 巻 2 号, 2008.	仮想的市場評価法(CVM)により効用関数を推定	地震保険の購入に関するアンケート調査により、家計の効用関数のパラメータ、リスクプレミアムと曖昧性プレミアム(被災時の保険会社の損害査定リスクによるプレミアム)を算出	0.38 ~ 0.40  論文内に記載されているリスクプレミアムの額と期待被害額から算出
水害	湧川勝己:治水経済調査における新たな洪水リスクの評価と費用便益分析、JICE REPORT, 2002/第2号, p13 - 19	保険市場データ(損害保険)を用いた設定	損害保険のマークアップ率(保険料収入/支払い保険金)の平均値2.02に基づき、保険のマークアップ率を2と設定した上で治水事業の便益を計測	1

注)「リスク情報」とは、地震により生じる被害の額と発生確率。これを示した場合と示さない場合の両者において、リスクプレミアムが期待被害額とほぼ同額との結果が得られている。

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (3) CVMによるリスクプレミアム推計事例

藤見俊夫・多々納裕一：曖昧性回避が地震保険の加入選択に及ぼす影響の定量分析、日本リスク研究学会誌，18 巻2 号，2008 年

- ◆ 地震保険の購入に関するアンケート調査により、家計の効用関数のパラメータ(相対的リスク回避度)およびリスクプレミアム等を推計。アンケート調査は、2006 年1月中旬に京都府城陽市の3000 世帯を対象に郵送により実施されており、681通の回答を得ている(回収率23.4%)。

表 アンケート調査における状況設定

設定項目	設定方法
偶発事象の発生確率	・1年間で居住地において震度7(阪神・淡路大震災級)の地震が起こる確率 = 0.205%
被害額	・震度7の地震が発生した場合、50%で全壊(1世帯あたり被害額1,000万円)、50%で半壊(1世帯あたり被害額500万円) ・震度6 強以下の地震では被害額は0円

#### 【質問】

地震による損害を元の状態まで修復するのにかかる費用が完全に補償される地震保険が販売されているとします。保険料が年間で最大いくらまでなら、この地震保険を購入してもよいですか。

#### 【推計方法】

アンケートにより推定された地震保険に対する支払意思額(家計の効用関数のパラメータも反映)から、期待被害額を差し引くことでリスクプレミアムを推計

#### 【推計結果(一部抜粋)】

1世帯あたりの期待被害額 = 15,273(円/年・世帯)に対して、1世帯あたりの地震保険に対する支払意思額は21,134(円/年・世帯)であり、1世帯あたりのリスクプレミアムはその差し引きで5,861(円/年・世帯)となる。  
リスクプレミアムの期待被害額に対する比率は  $5,861 / 15,273 = 0.38$ となる。

(注)他に、家計が地震保険の曖昧性を回避する傾向について分析するための質問もあるが、ここでは割愛している。

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (4) 保険市場データによるリスクプレミアム推計事例

湧川勝己: 治水経済調査における新たな洪水リスクの評価と費用便益分析、JICE REPORT, 2002/第2号, p13 - 19

- ◆ 水害に関連する保険<sup>(注)</sup>として、住宅総合保険、水災に関する特約保険(主として企業が加入)に関するマークアップ率(保険会社がリスクを避けるために必要とする安全率)を、保険会社における「保険料収入」と「保険金支払い額」の比率から計算
- ◆ その結果、住宅総合保険のマークアップ率 = 1.92、特約保険のマークアップ率 = 2.78、両者の合計でマークアップ率 = 2.02との結果が得られた
- ◆ この結果を元に、マークアップ率 = 2 (リスクプレミアムと期待被害額の比率を1)と設定した上で、治水事業の便益を計測している。
- ◆ 課題として、日本では災害保険市場が未整備であり、現実の災害リスクを反映したリスクプレミアムに関する情報を市場から得ることが困難であることを挙げている。

(注)日本には独立した水害保険がないため、住宅総合保険等からマークアップ率を設定している。

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (5) 保有資産等の実データ分析に基づくリスク回避度の推定事例

平成11年版 経済白書(経済企画庁)

- ◆ 家計は、自分が保有している資産から得られる効用を最大化するように、安全資産(預貯金など)と危険資産(株式等)の保有額を決定する。「リスク回避度」は、リスクを避けようとする意識の強さを示すパラメータであり、家計のもつ安全資産と危険資産の保有額の統計データから推定されている。
- ◆ 具体的には、以下のような数式で、日本の家計のリスク回避度を求めている。
- ◆ なお、この値がゼロであることは、リスクに対して中立的である(望みも避けもしない)ことを意味し、正の値であることはリスクを避けようとしていることを示す。

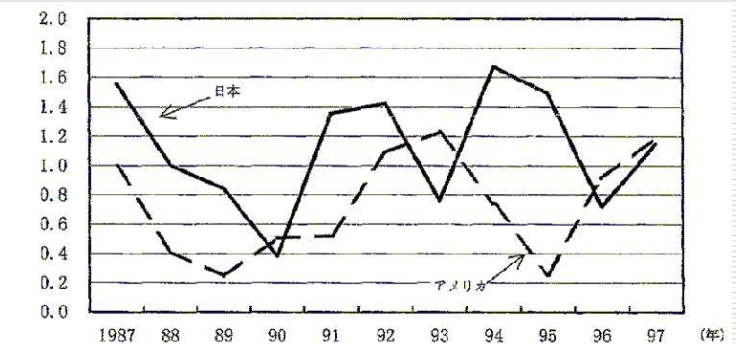
$$\text{相対的リスク回避度} = \{E(r) - r_s\} / \{\sigma^2(r) \alpha\}$$

$r$  : 危険資産(株等)の収益率     $E(r)$  :  $r$  の期待値     $\sigma^2(r)$  :  $r$  の分散

$r_s$  : 安全資産(預貯金等)の収益率     $\alpha$  : 保有資産に占める危険資産の割合  
(日本全国の家計が、危険資産をもっている割合)

【使用データ】日本銀行「経済統計月報」、総務省「貯蓄動向調査」など

【推計結果】相対的リスク回避度は0.4～1.6  
(比較として米国のリスク回避度も推定しており、0.2～1.2程度となっている)



(備考) 危険資産と安全資産の収益率・保有割合等から危険回避度を推計したもの。詳細は、付録3-1を参照。

リスク回避度の推定結果

出典:平成11年版 経済白書(経済企画庁)

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (6) その他のリスク回避度の推計事例

リスク分類	既往計測事例	適用手法	概要
その他	Irwin Friend, Marshall E. Blume, Then Demand of Risky Assets, The American Economic Review, Vol.65, No.5(Dec 1975).pp 900-922 (米国)	実データに基づく推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国の3551世帯の安全資産とリスク資産の保有比率を基に、相対的リスク回避度等を推定した</li> <li>・相対的リスク回避度は2～4と推定された</li> </ul>
	George G. Szpiro, Measuring Risk Aversion: An Alternative Approach, The Review of Economics and Statistics, Vol.68, No.1 (Feb. 1986), pp156-159 (米国)	実データに基づく推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国の資産額、保険料、保険支払金のデータにより、相対リスク回避度を推定した</li> <li>・相対リスク回避度の値は1.2～1.8であると推計された</li> </ul>
	Barsky et al: Preference Parameters and Behavioral Heterogeneity: An Experimental Approach in the Health and Retirement Study, Quarterly Journal of Economics, May 1997, Vol. 112, No. 2, Pages 537-579 (米国)	アンケートによる推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生涯所得に関する仮想的なクジへの支払意思額を回答者に尋ねることでリスク回避度を測定</li> <li>・相対リスク回避度の値は4.167であると推計された</li> </ul>

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (6) その他のリスク回避度の推計事例

リスク分類	既往計測事例	適用手法	概要
その他	David Blake, Risk Aversion and Portfolio Insurance: An Analysis of Financial Asset Portfolios Held by Investors in the United Kingdom, The Economic Journal, Vol.106, No.438, 1996, pp.1175-1192 (英国)	実データに基づく推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イギリスの1946～1991年の投資家の貯金、債権、株の資産データを用いて相対的リスク回避度を推定</li> <li>・相対的リスク回避度は7.8～47.6と推定された</li> </ul>
	Joseph G. Eisenhauer, Luigi Ventura, Survey measures of risk aversion and prudence, Applied Economics, Volume 35, Issue 13 September 2003, pages 1477 - 1484 (イタリア)	アンケートによる推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イタリア銀行が実施したアンケート結果(半々の確率で1000万リラ、0リラとなる証券への支払意思額を尋ねるもの)に基づき、相対リスク回避度を推定した</li> <li>・相対的リスク回避度は4.5～13.8と推定された</li> </ul>
	平成11年版 経済白書(経済企画庁) (再掲)	実データに基づく推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・統計データから得られる安全資産とリスク資産の保有比率を基に、相対的リスク回避度を推定した</li> <li>・相対的リスク回避度は0.4～1.6と推定された</li> </ul>

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (7) 事例整理を踏まえた推計の方向性について

・技術指針(平成16年2月)においては、「被災可能性に対する不安」の軽減効果については、現在のところ評価手法に課題が残されているため、評価手法の確立、評価値の精度向上が進められるまでの間は、「期待被害額」の軽減分を防災事業の便益とすることとしている。

・被災可能性に対する不安の計測方法として、技術指針では、以下の2つの方法が提示されている。

手法	概要	課題
仮想的市場評価法(CVM)を用いた支払意思額による計測	被災可能性に対する不安感を解消するために支払ってもよいと考える額を、ヒアリングやアンケート調査などによって直接質問する	仮想的な事故・災害の状況を被験者に対して適切に伝えることが困難
保険市場データを用いた計測	保険市場における家計の支払保険料データと保険会社の支払保険金データを適用する	保険市場データからは、特定の災害のみに関する支払意思額のデータを得ることが困難。また、再保険市場等の特性も配慮する必要あり。



## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (7) 事例整理を踏まえた推計の方向性について

---

#### 1) リスクプレミアムの推計事例について

- ・リスクプレミアムの推計事例としては、地震や水害を対象とした事例が見られる。
- ・推計手法としては、技術指針策定時点と同様に、
  - CVMによる方法
  - 統計データによる方法等が適用されている。
- ・これらの手法に関する課題は、技術指針策定時に整理したものと同様であるが、「CVMによる方法」については、技術指針策定以降に、それほど多くはないものの事例が蓄積されつつある。

#### 2) リスク回避度の推定事例について

- ・「リスク回避度」の推定については、多数の研究事例が見られる。推定手法としては、リスクプレミアムと同様に、「CVMによる方法」と「統計データによる方法」があり、後者については家計の安全資産と危険資産の保有データ等からリスク回避度を推定する事例が多数見られる。
- ・リスクプレミアムの推計に当たっても、こうした既存のリスク回避度の推定事例から知見を得ることも有効と考えられる。

## 2. リスクプレミアム推計の方向性について

### (8) ご議論いただきたい点

---

- リスクプレミアムの推計に関して、「CVMによる方法」についてケーススタディを試みるに当たって配慮すべき事項
- リスク回避度の研究から知見を得るに当たっての留意事項

以上について、本分科会にてご助言を賜りたい。

---