

環境公共政策論

Theory of Environmental Public Policies

個人の効用を測る工夫

平成26年度 第7回
2014年5月28日(水)

土木・環境工学科 5学期

教授 屋井鉄雄

前週までの講義

○地球温暖化対策における国家や個人としての取り組みの他に、コミュニティや地域単位での取り組みの必要性を学んだ
○続けて、環境公共政策に深く関わる「地域計画」や「交通計画」の基礎を学んだ
○さらに、都市環境政策の具体的な取り組み事例を学んだ
○今回は環境ディレンマ(個人と社会)について学んだ

⇒今回は個人の効用理論について勉強しよう



東工大すずかけ台キャンパス(長期計画に基づき未だ普請中)

環境ジレンマの事例

環境ディレンマの事例を挙げてみよ(講義中の課題)

- ①ごみの不法投棄、分別
- ②温室効果ガスの排出権取引
- ③地下水くみ上げ
- ④焼畑農業
- ⑤工場排煙
- ⑥違法駐車
- ⑦木材輸入
- ⑧工場の海外移転
- ⑨大都市の人口集中
- ⑩砂漠の植林
- ⑪有明海の水門
- ⑫コンビニの夜間営業
- ⑬防潮堤の高さ
- ⑭ガレキ受け入れ
- ⑮魚介乱獲

- 富士山登山とごみ問題
- 鳩のフンと周辺問題
- 建築と日照問題
- 農業利用と環境負荷
- 生活ごみの収集日前投棄
- 放牧と地下水利用・地盤沈下
- 自動販売機設置と電力・生態系
- 河川水の上流下流利用の問題
- タクシーの相乗り

講義の内容

環境政策

- 1: 地球温暖化対策と地域計画の方向
- 2: 土木事業と地域公共政策
- 3: 環境公共政策の全体像(環境政策と都市環境政策)

環境ディレンマ

- 1: 基本構図とゲーム論
- 2: ディレンマ解消の方策

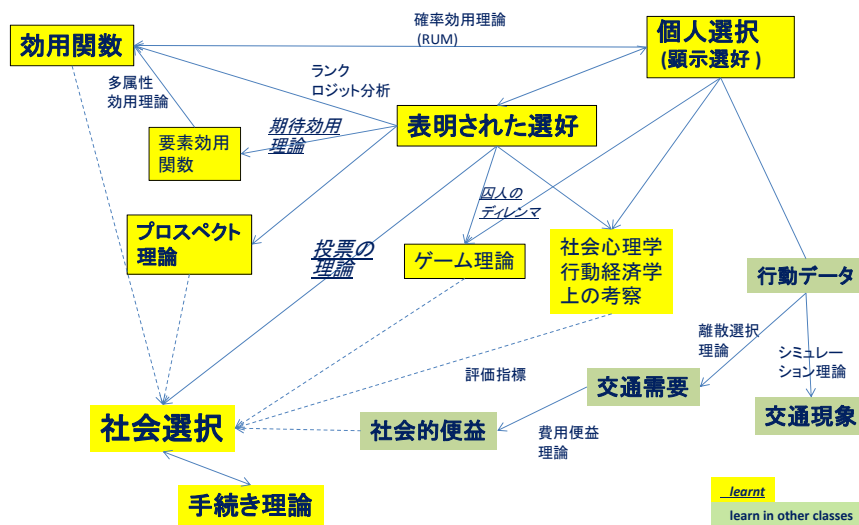
選好・効用・集団決定

- 1: 選好と効用の考え方
- 2: 効用理論の展開
- 3: 社会的決定の理論1
- 4: 社会的決定の理論2

環境公共政策の実現

- 1: 政策・計画決定のプロセス
- 2: 住民参加とPI
- 3: 政策・計画策定の実践

環境公共政策論に関わる数学理論の全体



環境公共政策論

環境ディレンマにおける個人の選好構造

環境ディレンマにおける個人の選好

- 環境のディレンマ行動を起こす個人の選好、あるいは効用(関数)について学習しよう。
- 効用関数は長い間、序数効用として捉えられてきたが、ゲーム理論の開発時にノイマンとモルゲンシュテルンが、期待効用という基数効用関数を開発した。
- 期待効用理論は幾つかの理論的な限界を有し、その後プロスペクト理論などの展開に繋がっていったが、個人の選好構造を考える上で、一定の意義があるだろう。

期待効用理論における効用の計測法

✓人々の選好を理解するために効用の関数化を試みることは有益である
⇒実際に、旅行者の効用関数の同定に基づく需要予測理論が大いに発展してきた！

✓しかしながら、効用を定義して計測することは必ずしも容易ではない。特に効用の個人間比較の困難さなどが乗り越えられない課題である！

✓そのために、序数効用関数が支持を集めてきたが、ノイマン、モルゲンシュテルンは基数効用関数の同定方法を、ゲーム理論の開発と同時に新たに開発してみせた。

個人の選好構造を知るための演習

✓ところが同時にもう1人の乗客が現われて、
沖縄に行きたいと言っています。そこで、
Lottery Airlines があなたにくじを引くように求
めました。

✓もしコインを投げて表がでれば、あなたの勝
ちです。あなたは2時間のフライトで行けます。

✓でも、もし裏が出たら5時間のフライトに乗ら
なければなりません。

✓⇒ さあ、コインを投げてみましょう。

個々の効用関数の同定方法(練習)

* 問題を簡単にするため時間やお金を考えます

ゲーム1:

急に用事(私用)が出来て、沖縄に行かなければな
らなくなったとします。エアラインは Lottery airlines
です。

2つの便の席が1席ずつ空いていました。ただし、所
要時間は、「2 時間 または 5 時間」。

どちらを選好しますか？

答えは、もちろん、2時間のフライトですね。(おそらく5
時間のフライトは途中で他の空港に寄り道するでしょう)

ゲーム2:

✓再び、Lottery airlines で沖縄に行くことになり
ました。今度はそんなに急いではありません。

✓エアラインによれば、2つの席が空いています
が、運賃が大きく異なります。1つはたった10 円
ですが、もう1つの席は10000 円です。

✓もちろん、あなたは安い席が良いと考えていま
す。

✓Lottery Airlines が再びあなたにくじを引くように求めています。

✓もし、あなたが勝ったら、たった 10 円 のチケットです。でも、あなたが負けたら 10000 円 払わなければなりません。

✓さあ、コインを投げましょう?

ゲーム3:

✓ちょっと、待ってください。

新しい提案がエアラインから示されました。

✓「くじを引くのをやめて、7000円払ってくれば、席を用意します」という提案です。

くじ
< 10 円, $\frac{1}{2}$, 10000円 >

あるいは

新価格
7000 円

✓あなたは7000円でチケットを購入しますか？

ゲーム4:

✓あなたが躊躇しているので、エアラインは次の提案をしました。

✓「早くしないと飛行機が出発してしまいます。それなら6000円ではどうですか？それとも今すぐコインを投げますか？」

✓「最後の提案です。5000円ではどうですか？」

✓さて、以上のゲームであなたはくじを引くことと同等（無差別）な価格が存在することに気がつきましたか？

⇒それを確実同値という

くじ < -10, $\frac{1}{2}$, -10000 > ～ 価格

A ～ B : AとBは無差別

A ≻ B : AをB よりも選好する

一般形として、< $\bar{x}$, α , $\underline{x}$ > ～ $\tilde{x}$

$\bar{x}$: 支払い額 $\tilde{x}$: 確実同値 (Certainty Equivalent)

α : lottery (probability)

ここで基数効用関数を次のように定義することが出来る。

$$u(-10000) = 0$$

(10000円が最悪の場合なので、効用をゼロとする)

$$u(-10) = 1 \quad (10 \text{ 円は最良の場合なので、効用を1とする})$$

この時に、期待効用 (Expected Utility) は以下のように計算できる

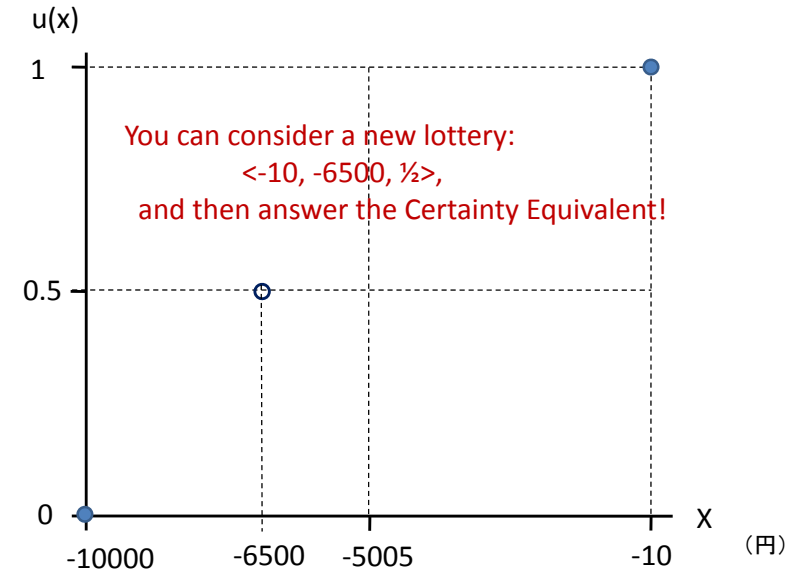
$$\begin{aligned} E(u: p) &= 1/2 * u(-10000) + 1/2 * u(-10) \\ &= 1/2 * 0 + 1/2 * 1 \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

さらに、確実同値によって得られる効用と、くじから得られる効用とが無差別なので、

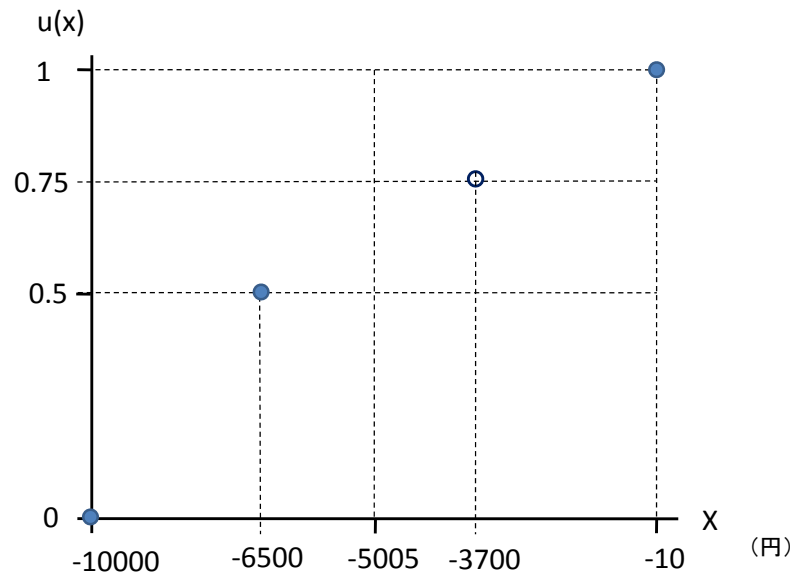
$$u(\tilde{X}) = E(u: p)$$

となる。

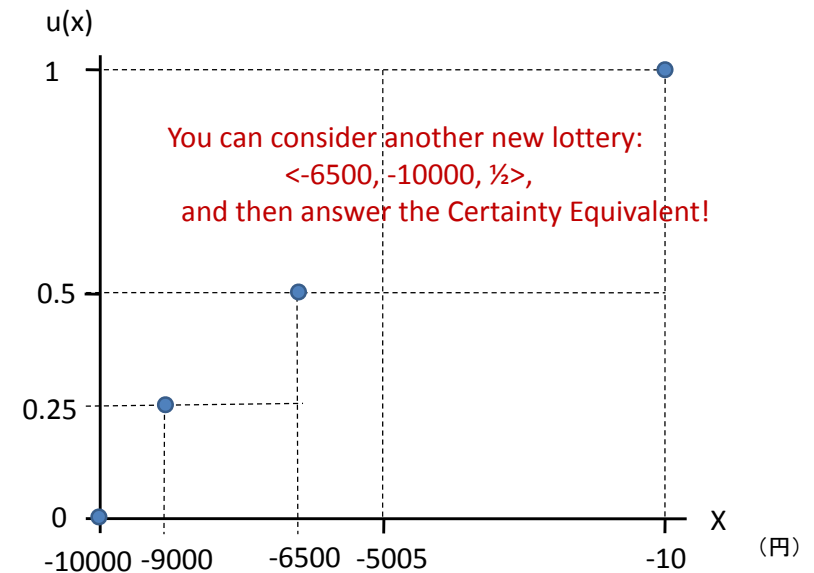
自分の効用関数を描いてみよう



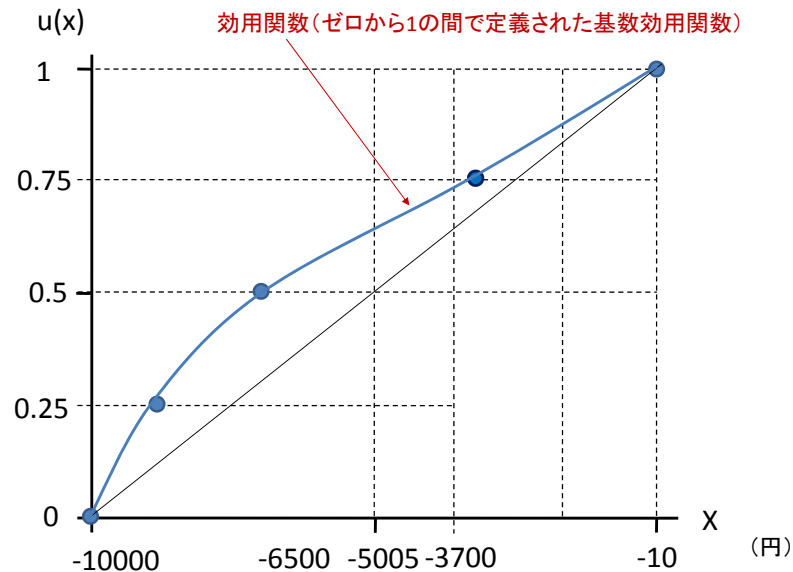
自分の効用関数を描いてみよう



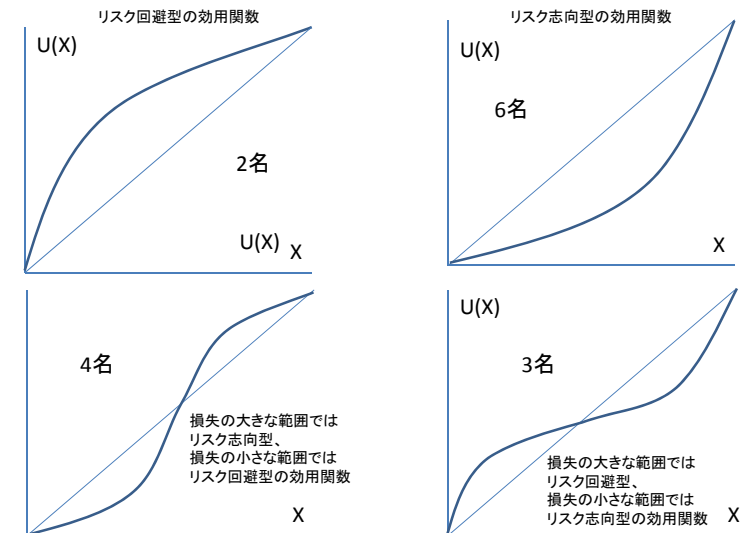
自分の効用関数を描いてみよう



自分の効用関数を描いてみよう



受講学生(H24)の効用関数のかたち



環境公共政策論

環境問題に関する個人の選好構造

個々の効用関数の同定方法(不法投棄の場合)

ゲーム5:

「粗大ごみ」を急に処分することが必要になりました。

遠くの裏山に捨てると、見つからなければ良いのですが、もし見つかったら1万円の罰金を払わされます。見つかる確率は1/10です。

一方、市役所に連絡して取りに来てもらおうと5000円の費用を支払う必要があります。

どちらを選好しますか？

(不法投棄は駄目ですが、このような損得で違法駐輪なども発生しているのでは？)

環境公共政策論

期待効用理論の考え方

くじ α の効用(確率を変数におく場合)

3つの選択肢があると考える $x, y, z \in X$

$x \succeq y \succeq z$ かつ $x \succeq z$

このとき以下を満たす α が存在し、
 $y \sim \langle x, \alpha, z \rangle$ (α は p と同じ)

確実同値 y の効用は、

$$u(y) = E(u; \alpha) = \alpha u(x) + (1-\alpha) u(z)$$

で表される

これが x で計測された効用関数となる。

期待効用理論(von Neumann-Morgenstern, 1944)

では一般に、くじの期待効用 $E(u; p)$ を

$$E(u; p) = \sum_x p(x) u(x). \quad \begin{array}{l} u(x): \text{効用} \\ p(x): \text{確率} \end{array}$$

によって表現する

✓くじの期待値は以下のように示される

$$E(x; p) = \sum x p(x)$$

$u(E(x; p)) > u(\tilde{x})$ なら リスク回避
(期待値額をもらうことをくじよりも好む)

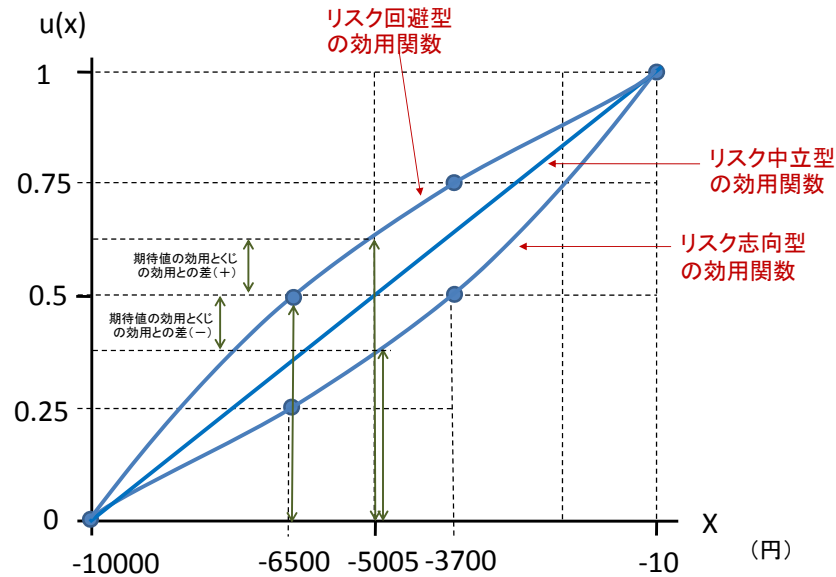
$u(E(x; p)) < u(\tilde{x})$ なら リスク志向

$u(E(x; p)) \sim u(\tilde{x})$ なら リスク中立

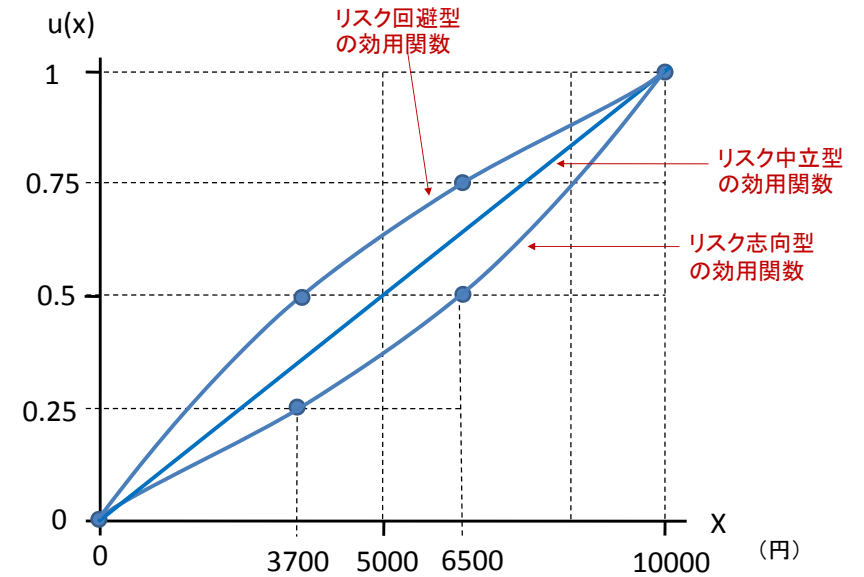
✓くじの期待値と確実同値との差を、

$$\text{リスクプレミアム} = E(x; p) - \tilde{x}$$

効用関数のかたち



効用関数のかたち (支払いではなく利得のケース)



期待効用に関する仮定

p, q, r という3種類のくじがある場合を考える

$$p \succeq q$$

すべての $u \in U$ に対して $E(u: p) \geq E(u: q)$ とする

独立性の公理 (Independence Axiom)

任意の p, q, r と任意の $\lambda \in (0, 1)$ に対して、

$$p \succeq q \text{ ならば } \lambda p + (1 - \lambda)r \succeq \lambda q + (1 - \lambda)r.$$

連続性の公理 (Continuity Axiom)

任意の収束列 p_n と q_n に対して、

$$p_n \succeq q_n \text{ (すべての } n) \text{ であれば } \lim p_n \succeq \lim q_n.$$

環境公共政策論

多属性効用関数への展開

多属性効用関数への展開

✓以上は効用の1要素に対応して効用関数を描く方法を示したものであるが、たとえば、省エネ家電の購入にあたっては、価格の他に、性能やデザイン、消費電力など様々な要素を考慮するだろう。

✓エアラインの選択であっても、価格の他に、時間や便数、時刻、機内サービスの良否など、複数の要素を考慮する

⇒これらの要素効用関数を合成することで、
複数の要素が統合された効用関数を
得ることが考えられる

⇒これを多属性効用関数(Multi-attribute utility)と呼ぶ (Keeney & Raiffa(1976)).

多属性効用関数の典型例

加法的效用関数

x_i の他の属性に対する効用性の仮定を満たす場合には、以下の加法的な効用関数を仮定することができる。

$$U(\mathbf{x}) = \sum_i k_i u_i(x_i) \quad \text{または} \quad k \cdot U(\mathbf{x}) + 1 = \prod_i (k \cdot k_i \cdot u_i(x_i) + 1)$$

if $\sum k_i = 1$ if $\sum k_i \neq 1$

期待効用理論の決定場面での課題

選好モデルの適用場面には実に多くの複雑性があり、それらには、

Multiple Objectives (多くの目的)

Uncertainties about the impact, (影響の不確実性)

Impacts over time, (時間的な影響の大きさ)

Many impacted groups with diverse interests, (多くの被影響団体)

Multiple decision makers (多目的の意思決定者)

などを挙げられる (Keeney, 1976)

⇒このことは、選好モデルの適用に困難さがあることを示している。

確かに過去には多属性効用関数が原子力発電所の立地問題などに活用されたが、近年の適用は見当たらない

環境公共政策論

期待効用理論の課題

期待効用理論の課題

期待効用の不調和(アレの反例)

(1)選択肢A(100%の確率で500ドルもらえる)

選択肢B(10%の確率で2500ドルもらえ、1%の確率で何ももらえず、89%の確率で500ドルもらえる)

⇒選択肢A(絶対値500ドル)、選択肢B(期待値695ドル)

(2)選択肢C(11%の確率で500ドルもらえ、89%の確率で何ももらえない)

選択肢D(10%の確率で2500ドルもらえ、90%の確率で何ももらえない)

⇒選択肢C(期待値55ドル)、選択肢D(期待値250ドル)

期待効用理論の課題

期待効用の不調和(アレの反例)

(1)選択肢A(500, 0.1; 500, 0.01; 500, 0.89)

選択肢B(2500, 0.1; 0, 0.01; 500, 0.89)

(2)選択肢C(500, 0.1; 500, 0.01; 0, 0.89)

選択肢D(2500, 0.1; 0, 0.01; 0, 0.89)

⇒第3の選択肢の賞金が500か0かの違いであるが、それ以外
はAとCは同じ、BとDも同じであるのに、(1)ではAを選び、(2)
ではDを選ぶことがある(独立の仮定を満たしていない?)

期待効用理論の課題4

主観的確率の不調和

(1)主観的確率の加法性: $P(A) + P(B) = P(A \cup B)$

壺1と壺2という2つの壺があり、それぞれに赤玉と黒玉
が合計100個入っている。壺1は両者が当確率(50%)
であることが分かっているが、壺2は比率が分かっ
ていない。どちらかの壺を選んだ上で、赤か黒かを指定
し、玉を1つ取り出し、指定した色と一致したら賞金を
もらえる。どちらの壺を選ぶか?

期待効用理論の課題5

主観的確率の不調和

(2)壺2では比率の情報が無いので、赤玉、黒玉の出現確率は等しい
とみなすことが出来るはずだが、そうならず、

$P(R2) + P(B2) < P(R2 \cup B2)$ と思ってしまう...

(3)これをエルスバークの反例という

壺1: $R1, B1$; 壺2: $R2, B2$

$P(R1) = P(B1) = 0.5$, $P(R2) = P(B2)$

ここで、壺1の赤玉(黒玉)の方が壺2の赤玉(黒玉)よりも
最もらしいと考えてしまうので、

$P(R1) > P(R2)$, $P(B1) > P(B2)$

$P(R1 \cup B1) = P(R2 \cup B2) = 1$

このとき、壺1では、 $P(R1) + P(B1) = P(R1 \cup B1)$

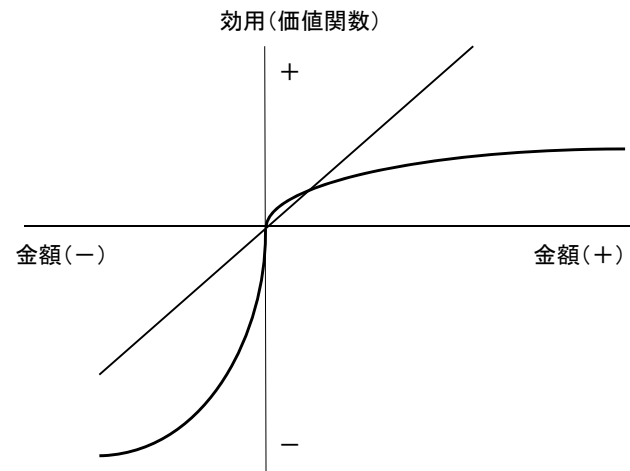
であるが、壺2では、 $P(R2) + P(B2) < P(R2 \cup B2)$

期待効用理論の限界と展開

期待効用理論の一般化

- (1)主観確率の一般化
- (2)順序型期待効用の採用
- (3)効用関数の工夫 など
- (4)プロスペクト理論 1979年
 - ・価値関数(判断の基準となる参照点からの乖離によって測られる)
 - ・参照点(過去の習慣、現在の状況、確実な利得等、多様な要因で決まる)
 - ⇒アレの反例では、選択肢Bの参照点は確実にもらえる選択肢Aの500ドルになる。選択肢Bの利得は、2000、-500、0になるかもしれない。

プロスペクト理論



プロスペクト理論

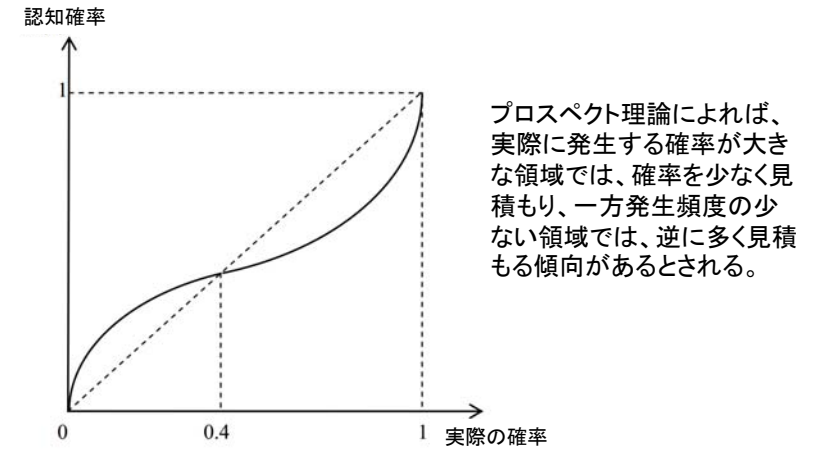
- ・人々の「損失回避性」を仮定する理論
利得領域の効用の増分<損失領域の効用増分
⇒ $U(+500\text{ドル}) + U(-500\text{ドル}) < 0$
(失うことの効用減少分は相対的に大きい)
- ・期待効用の定式化: $EU = S(p)U(X-R) + S(1-p)U(Y-R)$
 $X > R > Y$ R : 参照点
 $U(X) + U(-X) < 0$ 損失回避性
 $S(p) < p$ if $p > 0.3$ 0.3以上の主観確率の過小評価
 $S(p) + S(1-p) < 1$ 主観確率の劣加法性

プロスペクト理論で用いられる 価値関数の具体例

$$u(x) = \begin{cases} x^\alpha & x \geq 0 \\ -\lambda(-x)^\beta & x < 0 \end{cases}$$

Tversky and Kahneman[1992]は、カリフォルニア大学とスタンフォード大学の大学院生 25 名を対象にアンケート実験を行い、評価関数の形状を特定化する試みを行った。 (α, β, λ) を8通り質問に対する回答から推定して、 $\alpha = \beta = 0.88$ 、 $\lambda = 2.25$ という結果を得た

プロスペクト理論の確率加重関数



まとめ

- 個人の効用を計測する方法
- 期待効用理論
- 確実同値
- プロスペクト理論
- 参照点