

環境ディレンマにおける個人の選好構造

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う(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 | ○富士山登山とごみ問題 |
| ⑤工場排煙 | ○鳩のフンと周辺問題 |
| ⑥違法駐車 | ○建築と日照問題 |
| ⑦木材輸入 | ○農業利用と環境負荷 |
| ⑧工場の海外移転 | ○生活ごみの収集日前投棄 |
| ⑨大都市の人口集中 | ○放牧と地下水利用・地盤沈下 |
| ⑩砂漠の植林 | ○自動販売機設置と電力・生態系 |
| ⑪有明海の水門 | ○河川水の上流下流利用の問題 |
| ⑫コンビニの夜間営業 | ○タクシーの相乗り |
| ⑬防潮堤の高さ | |
| ⑭ガレキ受け入れ | |
| ⑮魚介乱獲 | |

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

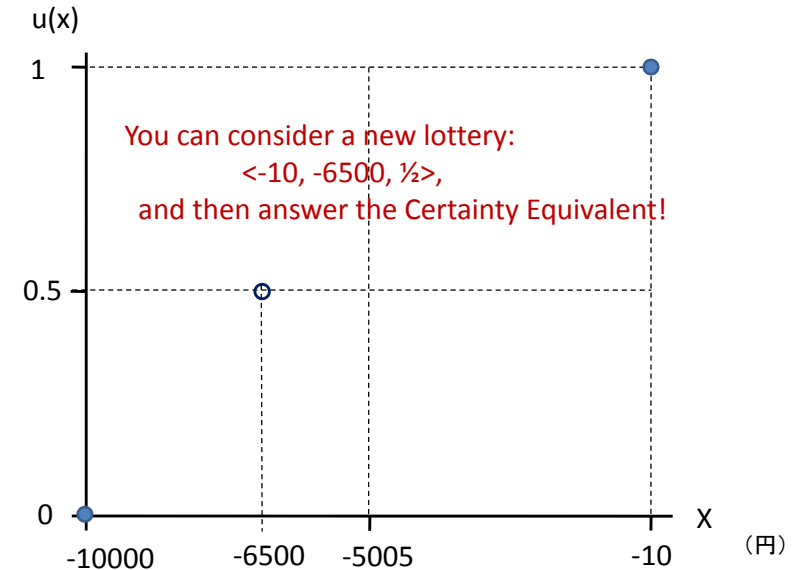
$$\begin{aligned} E(u: p) &= 1/2 * u(-10000) + 1/2 * u(-10) \\ &= 1/2 * 0 + 1/2 * 1 \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

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、

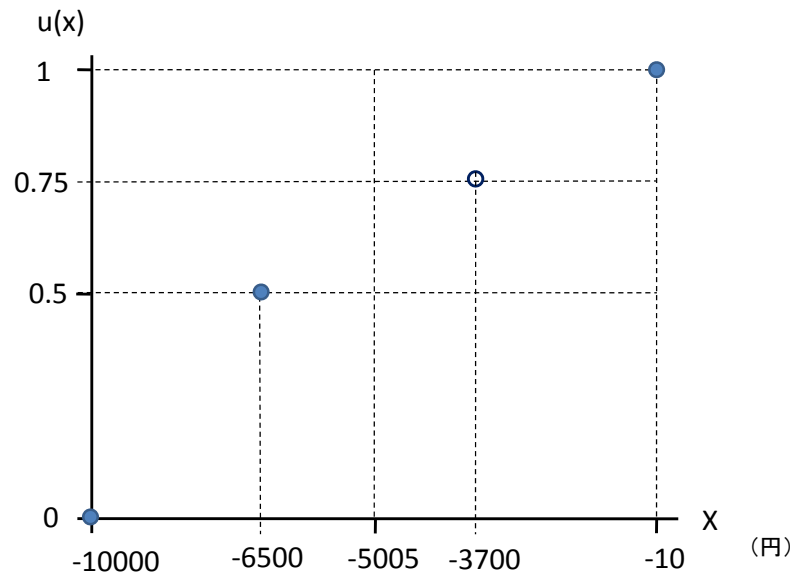
$$u(\tilde{X}) = E(u: p)$$

となる。

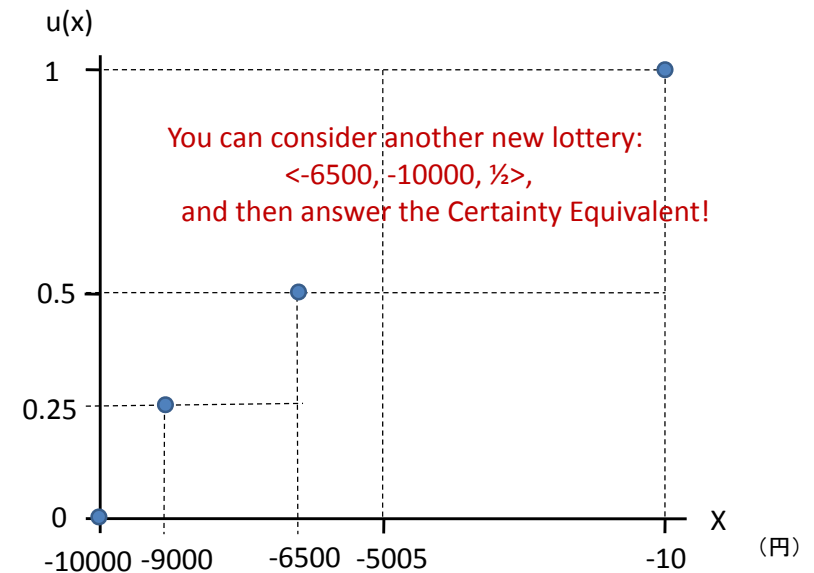
自分の効用関数を描いてみよう



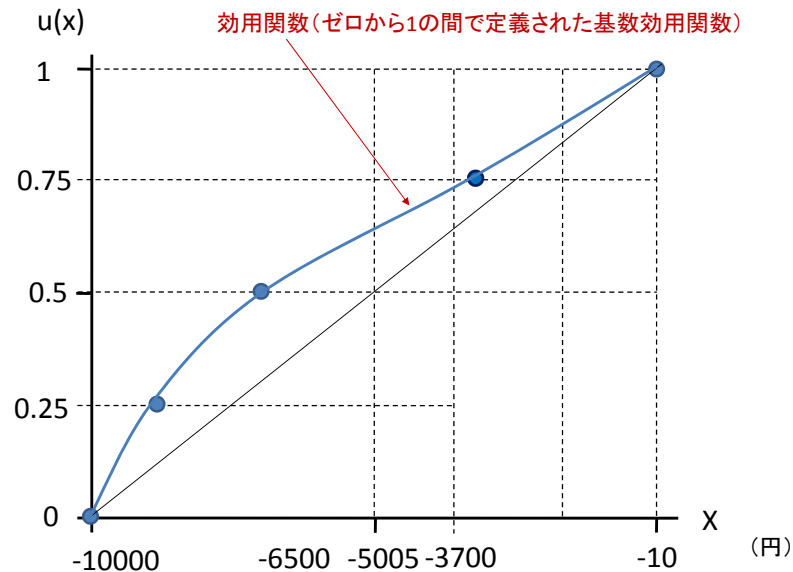
自分の効用関数を描いてみよう



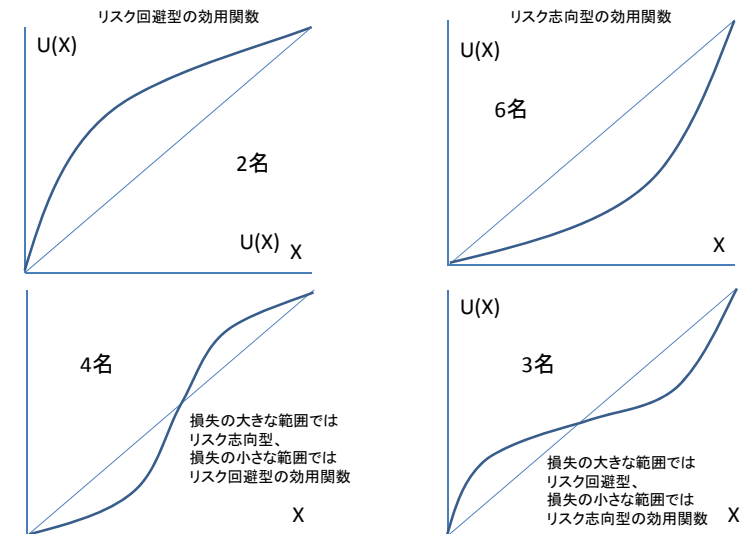
自分の効用関数を描いてみよう



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？)

期待効用理論の考え方

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 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)

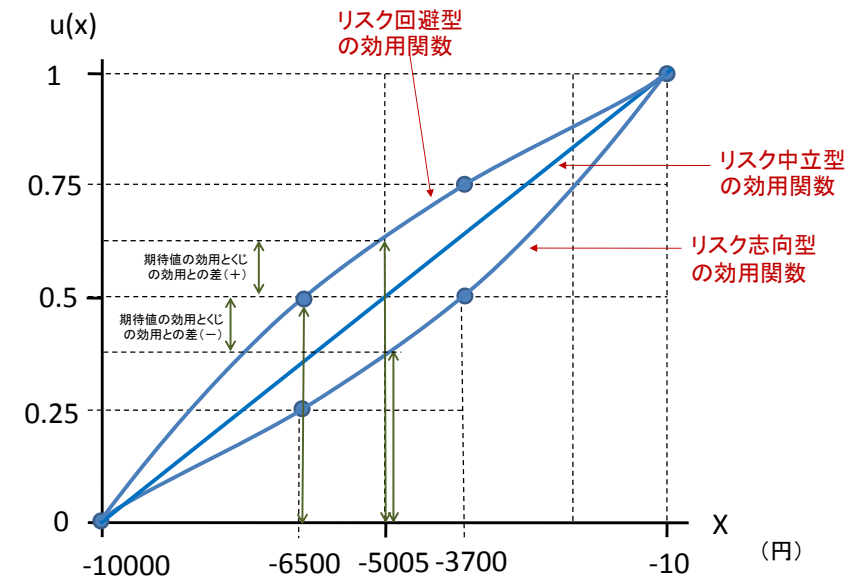
確実同値 y の効用は、

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

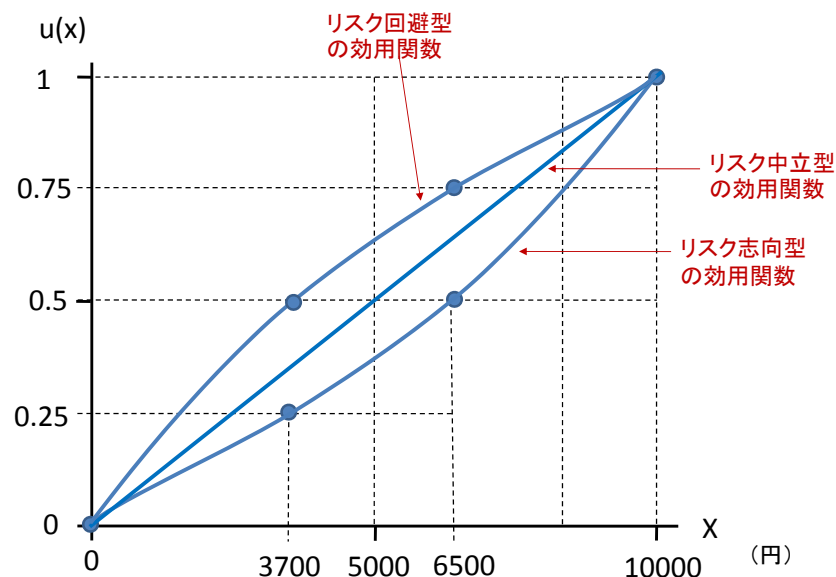
で表される

これが x で計測された効用関数となる。

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）



✓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、

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

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)).

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)

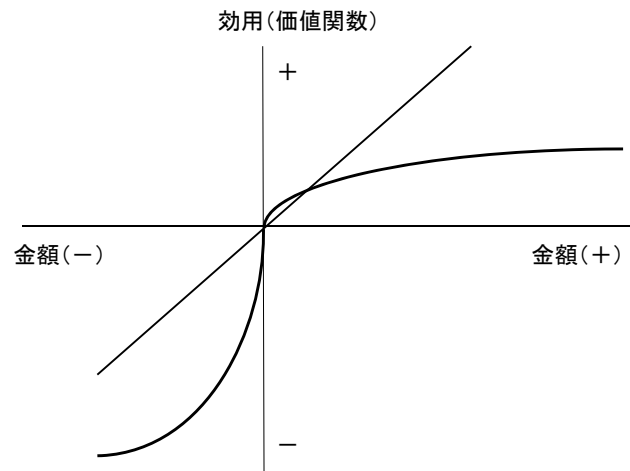
⇒第3の選択肢の賞金が500か0かの違いであるが、それ以外はAとCは同じ、BとDも同じであるのに、(1)ではAを選び、(2)ではDを選ぶことがある(独立の仮定を満たしていない?)

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

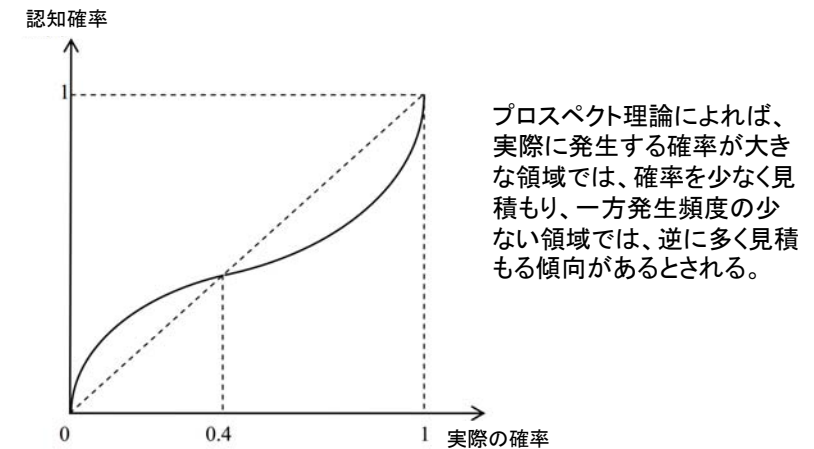
- ・人々の「損失回避性」を仮定する理論
利得領域の効用の増分<損失領域の効用増分
⇒ $U(+500\text{ドル}) + U(-500\text{ドル}) < 0$
(失うことの効用減少分は相対的に大きい)
- ・期待効用の定式化: $EU = S(p)U(X-R) + S(1-p)U(Y-R)$
 $X > R > Y$ R : 参照点
 $U(X) + U(-X) < 0$ 損失回避性
 $S(p) < p$ if $p > 0.3$ 0.3以上の主観確率の過小評価
 $S(p) + S(1-p) < 1$ 主観確率の劣加法性

プロスペクト理論で用いられる 価値関数の具体例

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

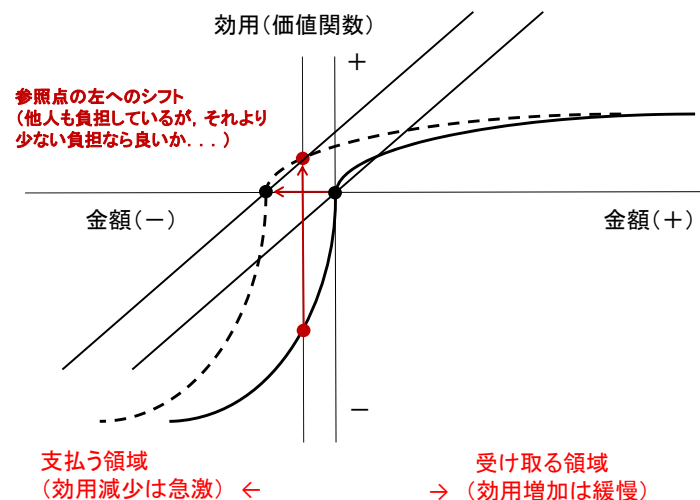
Tversky and Kahneman[1992]は、カリフォルニア大学とスタンフォード大学の大学院生 25 名を対象にアンケート実験を行い、評価関数の形状を特定化する試みを行った。 (α, β, λ) を8通り質問に対する回答から推定して、 $\alpha = \beta = 0.88$ 、 $\lambda = 2.25$ という結果を得た

プロスペクト理論の確率加重関数



プロスペクト理論による同調行動の説明

参照点が他人の影響で低下すれば効用が上がり同調行動が増す



環境公共政策論

行動経済学における幾つかの仮説

行動経済学における幾つかの仮説

- 保有効果 (endowment effect) 53
自分が所有するものに高い価値を感じ、手放したくないと感じる現象のこと(得ることの効用よりも失う損失の方が大きい)
- アンカリング効果 (anchoring effect) 67
最初に印象に残った数字や物が、その後の判断に影響を及ぼすこと(1万円の値札が5000円に書き直してあれば安いと感じる衝動買い)
- フレーミング効果 (framing effect) 99
質問や問題の提示のされ方(フレーム)で選択や選好の結果が異なること(生存率95%と死亡率5%では受け取る印象が異なる)
- ピークエンドの法則 (peak-end rule) 213
あらゆる経験の快苦の記憶は、ほぼ完全にピーク時と終了時の快苦の度合いで決まるという法則(その出来事の時間の長さには関係がない)

限定合理性(bounded Rationality)

- 選択肢は内生的に発見されるが、時間と費用がかかる
- 結果の確率は外生的に与えられたものではなく、主観的に評価される
- 効用は選択の結果だけではなく、過程からも影響されるので、効用、不効用を正確に測るのは難しい
- 選択肢の決定は、効用最大化ではなく、満足化によって決められる

⇒従来の経済合理性に係る強い仮定を弱め、合理性を限定的に捉えて理論化やモデル化を図ることが行われるようになってきた

環境公共政策論

古典的な効用の考え方について

改めて古典的な効用理論について

○効用最大化問題:

$$\max(U)$$

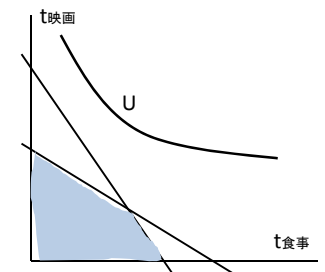
$$U = U(t)_{\text{映画}} + U(t)_{\text{食事}} \quad : \text{総効用(直接効用関数)}$$

$$t \geq t_{\text{映画}} + t_{\text{食事}} \quad : \text{時間制約}$$

$$c \geq c(t)_{\text{映画}} + c(t)_{\text{食事}} \quad : \text{予算制約}$$

→最適化問題(線形関数なら線形計画問題)

直接効用関数を制約条件の下で最大化し、その点の値を効用関数に代入することで、間接効用関数が得られる。



環境公共政策論

ランダム効用理論の考え方

○連続と離散

連続量と離散量(連続選択と離散選択)

(殺虫剤の効果, 労働経済学)

間隔尺度と名義(分類)尺度

→したがって, 離散選択(Discrete choice)とは,
複数の選択肢集合から1つを選ぶこと

(東京から大阪への旅行を例にすると, 「新幹線と飛行機のいずれか一方を
選び, 両方を同時には選択できない」)

○選択肢の集合(Choice set)

二肢選択(binary choice)と多肢選択(multiple choice)

ランダム効用理論の基礎知識

○ランダム効用理論に基づく離散選択モデル

・ダニエル・マクファードン(2000年のノーベル経済学賞)が, ミ
クロ経済学理論に基づく定式化を行った理論体系

・効用関数が確定項とランダム項(確率項)の和で表現できると
仮定し, 離散選択モデルを活用したパラメータ推定を行う

○合理的経済人の仮定

効用最大化の行動, 選択にあたって完全情報を持ち, 効用差
を識別可能で, 効用関数に加法性(要因の同時考慮)を仮定
すること(この強い経済的合理性の仮定を弱めたモデルや理論が開発さ
れている: 大学院レベル)

ランダム効用理論の関連用語

選択確率(Choice Probability)

選択肢(Choice Set)

離散選択(Discrete Choice)

非集計モデル(Disaggregate Model)

集計モデル(Aggregate Model)

効用関数(Utility Function)

確率項, 確定項

加法的(線形)効用関数

ガンベル分布(Gumbel), 正規分布(Normal)

ロジットモデル(Logit Model),

プロビットモデル(Probit Model)

最尤法(Maximum Likelihood Method)

尤度関数(Likelihood Function)

ランダム効用理論の式展開

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

$U_{nj}, j = 1, \dots, J$: 個人nが選択肢jから得る効用(ランダム効用)

V_{nj} : 確定項 例: $U = \beta x + \varepsilon$

ε_{nj} : 誤差項(確率項) $\varepsilon_n = \langle \varepsilon_{ni}, \dots, \varepsilon_{nJ} \rangle$

このとき, 選択肢 i が選択されるのは,

$$U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i$$

なる場合のみである

ランダム効用理論の式展開2

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

$U_{nj}, j = 1, \dots, J$: 個人nが選択肢jから得る効用(ランダム効用)

V_{nj} : 確定項 例: $U = \beta x + \varepsilon$

ε_{nj} : 誤差項(確率項) $\varepsilon_n = \langle \varepsilon_{ni}, \dots, \varepsilon_{nJ} \rangle$

○各人の効用関数は、外部から完全に観測することは出来ないで、必ず不確実な部分(確率項)が残る。この存在を明確に定義して効用関数を導出した。

○重回帰分析では、誤差項を仮定して、観測値との誤差二乗和を最小化することで、関数の係数を統計的に推定する。

$$y = \beta x + \varepsilon \Rightarrow \min \sum (y_i^0 - y_i)^2$$

○ランダム効用理論では、離散選択の結果を用いて、同様に効用関数の係数を推定することができる

選択確率 (choice probability : P_{ni})

$$\begin{aligned} P_{ni} &= Prob(U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i) \\ &= Prob(V_{ni} + \varepsilon_{ni} > V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad \forall j \neq i) \\ &= Prob(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \quad \forall j \neq i) \end{aligned}$$

ここで誤差項の密度分布を $f(\varepsilon_n)$ とおくと,

$$\begin{aligned} P_{ni} &= Prob(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \quad \forall j \neq i) \\ &= \int_{\varepsilon} I(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \quad \forall j \neq i) f(\varepsilon_n) d\varepsilon_n \end{aligned}$$

$I(\cdot)$ は括弧内を満たす場合には1, そうでなければ0となる判別関数である

上記の積分を行うことで, 選択確率を計算することができる

ロジットモデルの理論と展開 (Logit Model)

選択肢ごとの誤差項が各々独立で同一のガンベル分布(第1種極値分布)に従うと考える。密度関数は,

$$f(\varepsilon_{nj}) = e^{-\varepsilon_{nj}} \exp(-e^{-\varepsilon_{nj}})$$

また, 累積密度関数は,

$$F(\varepsilon_{nj}) = \exp(-e^{-\varepsilon_{nj}}) \quad \text{この分布の分散は } \pi^2/6$$

独立であることから, すべての選択肢に対する累積分布は, 個々の累積分布の積となる

$$P_{ni} | \varepsilon_{nj} = \prod_{j \neq i} \exp(-e^{-\varepsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj}})$$

このとき ε_{ni} は与えられないので, 選択確率 P_{ni} は密度関数によって重みづけられた, すべての ε_{ni} について $P_{ni} | \varepsilon_{ni}$ を積分することで得られる

$$P_{ni} = \int \left(\prod_{j \neq i} \exp(-e^{-\varepsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj}}) \right) - e^{-\varepsilon_{ni}} \exp(-e^{-\varepsilon_{ni}}) d\varepsilon_{ni}$$

この積分を計算すると、以下の簡潔な形が導かれる

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}}$$

この式は、ロジットモデル (Logit Model) と呼ばれる。特に3つ以上の選択肢を対象にしていることから、多肢選択ロジット (Multinomial Logit) と呼ばれる

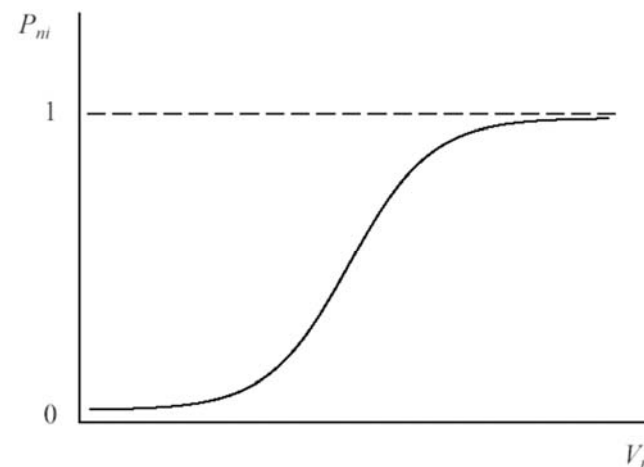
ここで効用の確定項に加法的効用関数を仮定すると、

$$V_{nj} = \beta' x_{nj} \quad \beta \text{ はパラメータ, } x_{nj} \text{ は説明変数である}$$

このとき、以下の式が得られる

$$P_{ni} = \frac{e^{\beta' x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta' x_{nj}}}$$

選択確率には次の性質がある $\sum_{i=1}^J P_{ni} = \sum_i \exp(V_{ni}) / \sum_j \exp(V_{nj}) = 1$



ロジットモデルのP-Vカーブ

(4)ロジットモデルの有するIIA特性*

*「無関係な選択肢からの文脈独立性
(Independence from Irrelevant Alternatives: IIA)」

- ロジットモデルでは、任意の2つの選択肢 j, k に関して、選択確率の比は以下の通り

$$\frac{P_{ij}}{P_{ik}} = \frac{\exp(V_{ij}) / \sum_s \exp(V_{is})}{\exp(V_{ik}) / \sum_s \exp(V_{is})} = \exp(V_{ij} - V_{ik})$$

- 選択確率の相対比は、他の選択肢の影響を受けない
→有名な“青バスー赤バス問題”

(5)非集計モデルの適用事例

審議会名	都交審15号 (1972年)	運政審7号 (1985年)	運政審18号 (2000年)
機関分担	集計ロジット	非集計ロジット	非集計ロジット
経路配分	最短経路配分	非集計ロジット	非集計プロビット
経路配分 の変数	幹線所要時間	(端末部)所要 時間, 費用 (幹線部)所要 時間, 費用, 乗 換え回数	(端末部)所要時 間, 費用 (幹線部)所要時 間, 費用, 乗換 時間, 混雑費用
トリップ目的		通勤・通学	通勤・通学・ 私事・業務
ゾーン数		658 (約3.5×3.5km)	1812 (約2×2km)

モデルパラメータの推定結果の例

交通機関選択モデル (多肢選択ロジットモデル)

		通勤の例
時間	総時間	-0.0263 (-7.9)
費用	総費用	-0.000584 (-2.0)
乗用車保有率	自動車	0.601 (8.4)
都心ダミー	鉄道	0.307 (2.6)
定数	自動車	-0.274 (-2.0)
	バス	-1.310 (-7.5)
的中率		70.0%
尤度比		0.226
サンプル数		2,033
(参考)時間価値		45(円/分)

※()内はt検定値
通勤・通学・私事・業務目的別に構築

経路配分モデル (多肢選択プロビットモデル)

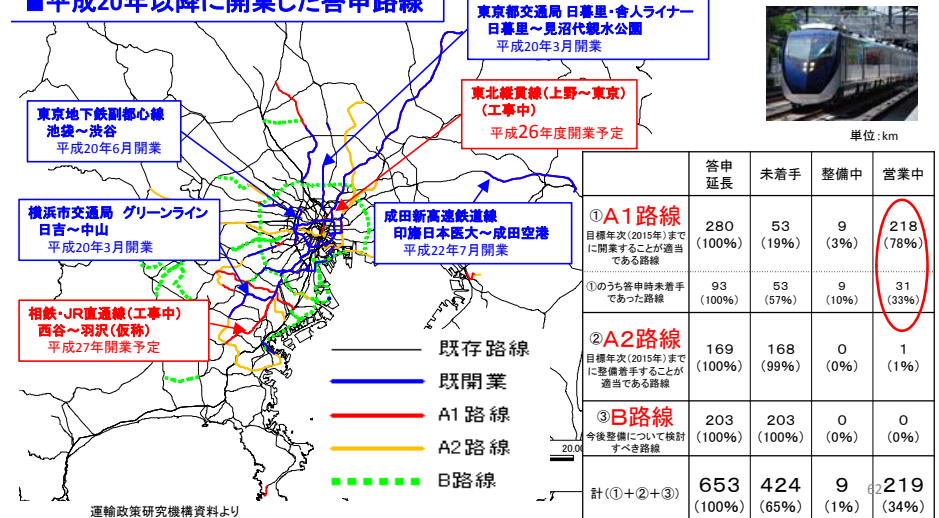
		単位	通勤の例
時間	乗車時間	(分)	-0.0943 (-8.09)
	アクセス・イグレス時間	(分)	-0.127 (-11.7)
	アクセス時間	(分)	
	イグレス時間	(分)	
費用	乗換時間 (待ち時間含む)	(分)	-0.112 (-10.7)
	総費用	(円)	-0.00200 (-3.98)
混雑指標			-0.00869 (-3.34)
尤度比			0.390
サンプル数			1,218

18号答申の整備状況

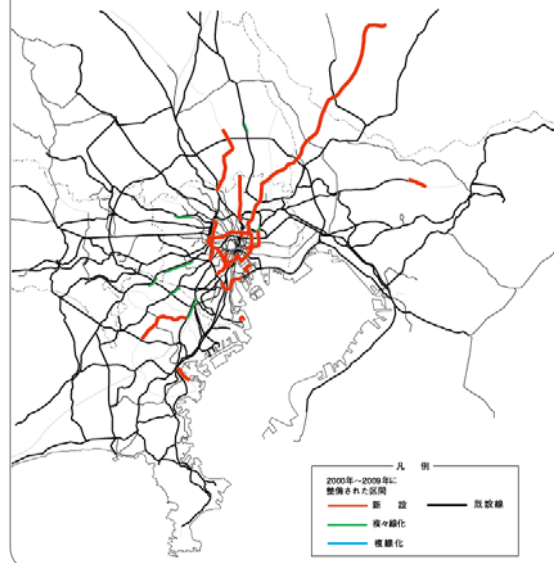
2000年から2012年の間に、鉄道の地図が大きく変わった

18号答申のA1路線(2015年までに開業することが適当である路線)は約8割が営業中

■平成20年以降に開業した答申路線

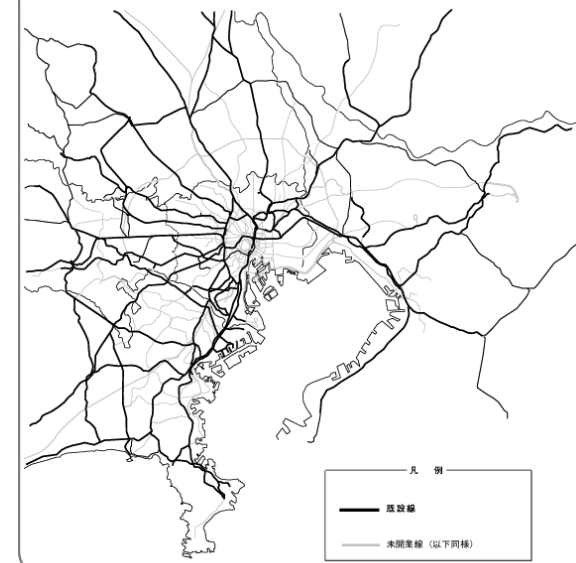


2010年時点の東京圏における高速鉄道網整備状況



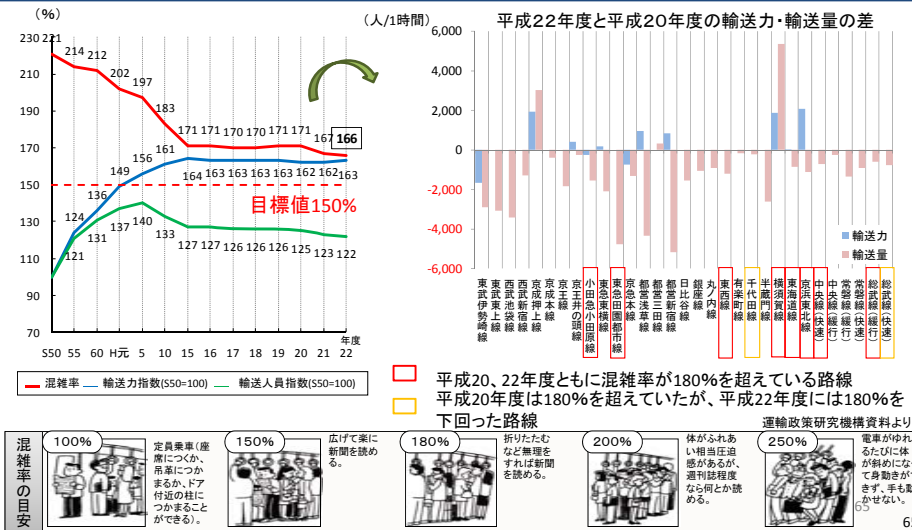
東京圏の鉄道総延長2470km, 相互直通運行は870km(2005)に及ぶ

1950年時点の東京圏高速鉄道網



混雑緩和（主要31区間のピーク時平均混雑率）

- 平成22年度の主要31区間のピーク時平均混雑率は、**166%**
- 近年の混雑低下は、田園都市線、小田急線の通過旅客数低下が一因（大井町線溝の口延伸・急行運転化、目黒線の急行運転化、グリーン線の開業等が寄与）



まとめ

個人の効用関数

ここでは、環境問題を引き起こす原因になる「個々人の選択行動や選好」に着目し、個人の効用について考察した。具体的に勉強した理論は以下の3つである。

○期待効用理論

：事象の発生確率を導入し、確実同値額として確定的な効用を計測したが、主観確率や多属性の効用関数化に限界

⇒プロスペクト理論

：価値関数と参照点を導入し、効用関数の非線形性を実態に照らして反映

⇒ランダム効用理論

：効用関数には観測不能な部分(確率項)が残ることを前提とし、離散選択を表現するモデル化に成功(公共交通や自転車など交通機関の利用者を予測する方法として定着。環境公共政策の効果分析に利用されるが、通常、個々人の独立な行動を前提とする)