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6月4日

土木・環境工学科　5学期
教授　屋井鉄雄

前週までの講義

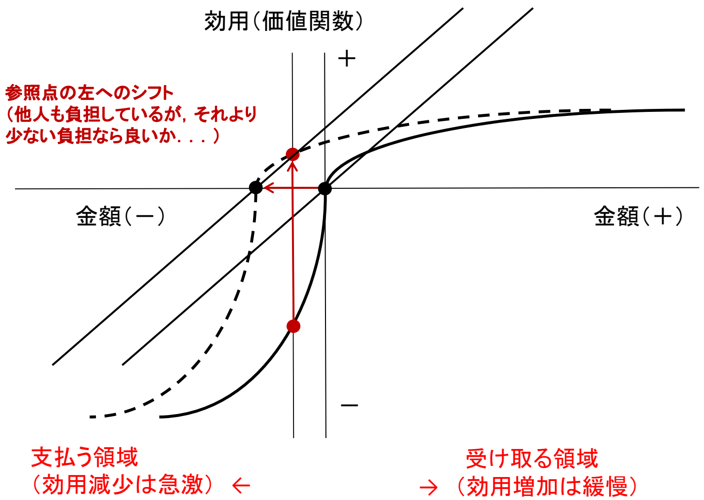
〇地球温暖化対策における国家や個人としての取り組みの他に、コミュニティや地域単位での取り組みの必要性を学んだ
〇続けて、環境公共政策に深く関わる「地域計画」や「交通計画」の基礎を学んだ

〇さらに環境ディレンマ（個人と社会）について学んだ

⇒前回の続きで、個人の効用理論について勉強しよう

H26.5すずかけ祭での研究室公開の様子
（DS試乗とCS公開）を開催して大好評

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

〇効用最大化問題：

max（U）

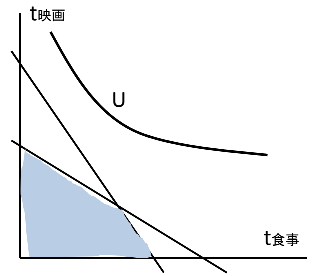
$U = U(t)_{映画} + U(t)_{食事}$ ：総効用（直接効用関数）

$t \geqq t_{映画} + t_{食事}$ ：時間制約

$c \geqq c(t)_{映画} + c(t)_{食事}$ ：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

ランダム効用理論の基礎知識

〇ランダム効用理論に基づく離散選択モデル
・ダニエル．マクファーデン（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

〇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）

〇連続と離散
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」 ）

〇選択肢の集合(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

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

$U_{nj},\ j = 1,\ldots,J$ ：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）　$\varepsilon_n = \langle \varepsilon_{ni},\ldots,\varepsilon_{nJ} \rangle$

このとき，選択肢 i が選択されるのは，

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

なる場合のみである

ランダム効用理論の式展開2

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

$U_{nj},\ j = 1,\ldots,J$ ：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）　$\varepsilon_n = \langle \varepsilon_{ni},\ldots,\varepsilon_{nJ} \rangle$

〇各人の効用関数は、外部から完全に観測することは出来ないので、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。

〇重回帰分析では、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。

$y = \beta x + \varepsilon \quad \Rightarrow \quad \min \Sigma (y^{o}_{i} - y_{i})^2$

〇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 : *Pni*)

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

ここで誤差項の密度分布を $f(\varepsilon_n)$ とおくと，

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

I(･)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，

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

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

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

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 $P_{ni} \mid \varepsilon_{ni}$ 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

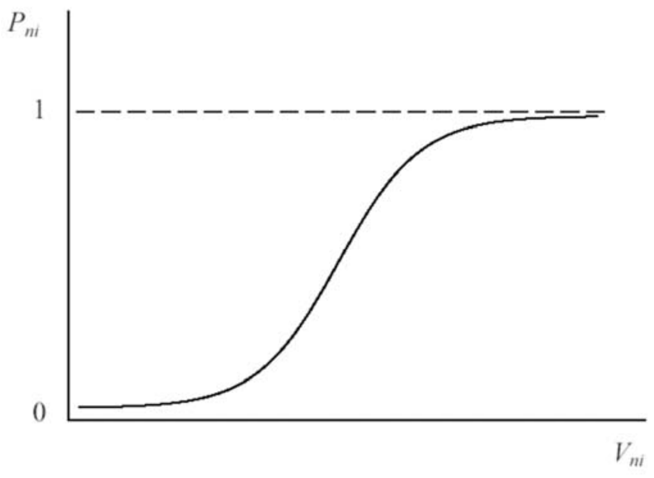
ここで効用の確定項に加法的効用関数を仮定すると，

$V_{nj} = \beta' x_{nj}$　　βはパラメータ，x_{nj} 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特性
（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

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

○ 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)

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)	
	乗換時間(待ち時間含む)	(分)	−0. 112 (−10. 7)
費用	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

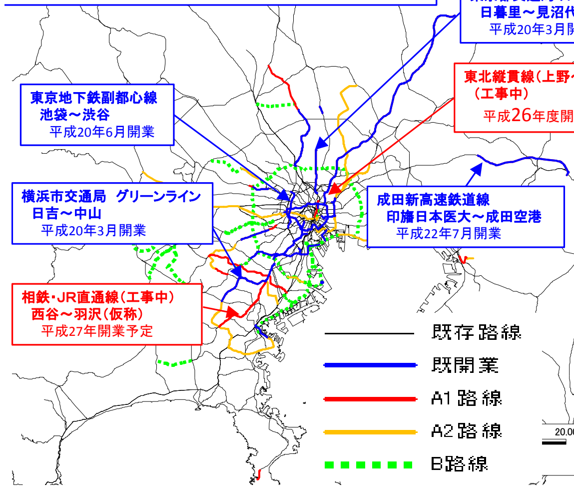
※(　)内は t検定値
通勤・通学・私事・業務目的別に構築

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

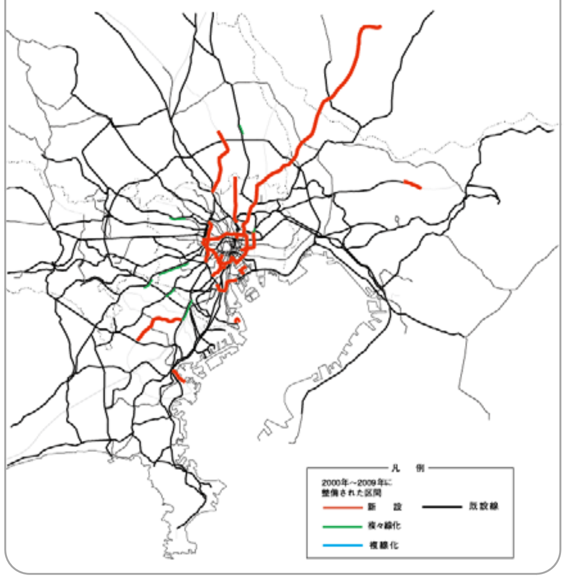


運輸政策研究機構資料より

単位：km

	答申延長	未着手	整備中	営業中
①A1路線 目標年次（2015年）までに開業することが適当である路線	280 （100%）	53 （19%）	9 （3%）	218 （78%）
①のうち答申時未着手であった路線	93 （100%）	53 （57%）	9 （10%）	31 （33%）
②A2路線 目標年次（2015年）までに整備着手することが適当である路線	169 （100%）	168 （99%）	0 （0%）	1 （1%）
③B路線 今後整備について検討すべき路線	203 （100%）	203 （100%）	0 （0%）	0 （0%）
計（①＋②＋③）	653 （100%）	424 （65%）	9 （1%）	219 （34%）

2010年時点の東京圏における高速鉄道網整備状況

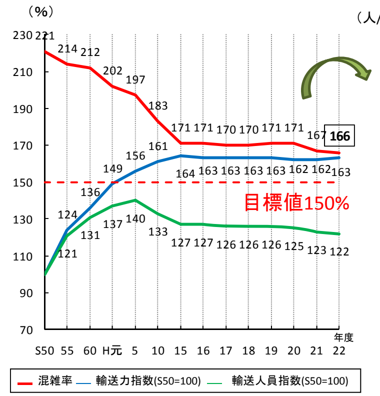


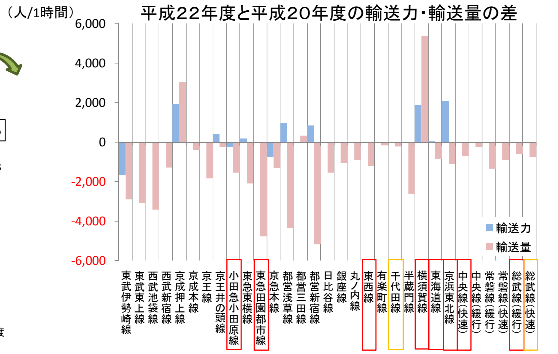
東京圏の鉄道総延長2470km，相互直通運行は870km(2005)に及ぶ

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、グリーラインの開業等が寄与）

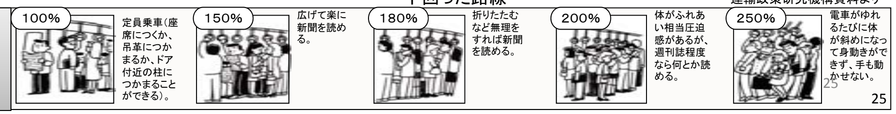




平成20、22年度ともに混雑率が180%を超えている路線
平成20年度は180%を超えていたが、平成22年度には180%を下回った路線

運輸政策研究機構資料より

混雑率の目安



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）