行動モデルの基礎理論

愛媛大学
倉内慎也
kurauchi@cee.ehime-u.ac.jp

行動モデルの役割

- ◆行動は選択の帰結
- ◆行動のモデル化≒選択のモデル化

どのような行動主体が	どのような環境で	どのような行動代替案の中から
行動主体の社会経済属性 Z 例）性別，年齢，年収	行動/選択環境の要因 Y 例）行動目的，時間帯	行動代替案の属性 X 例）時間，費用

↓

行動/選択意思決定

↓

行動モデルによる行動理解
$C = f(Z, Y, X)$
行動主体間の差異の分析
環境による差異の分析
代替案属性の影響分析

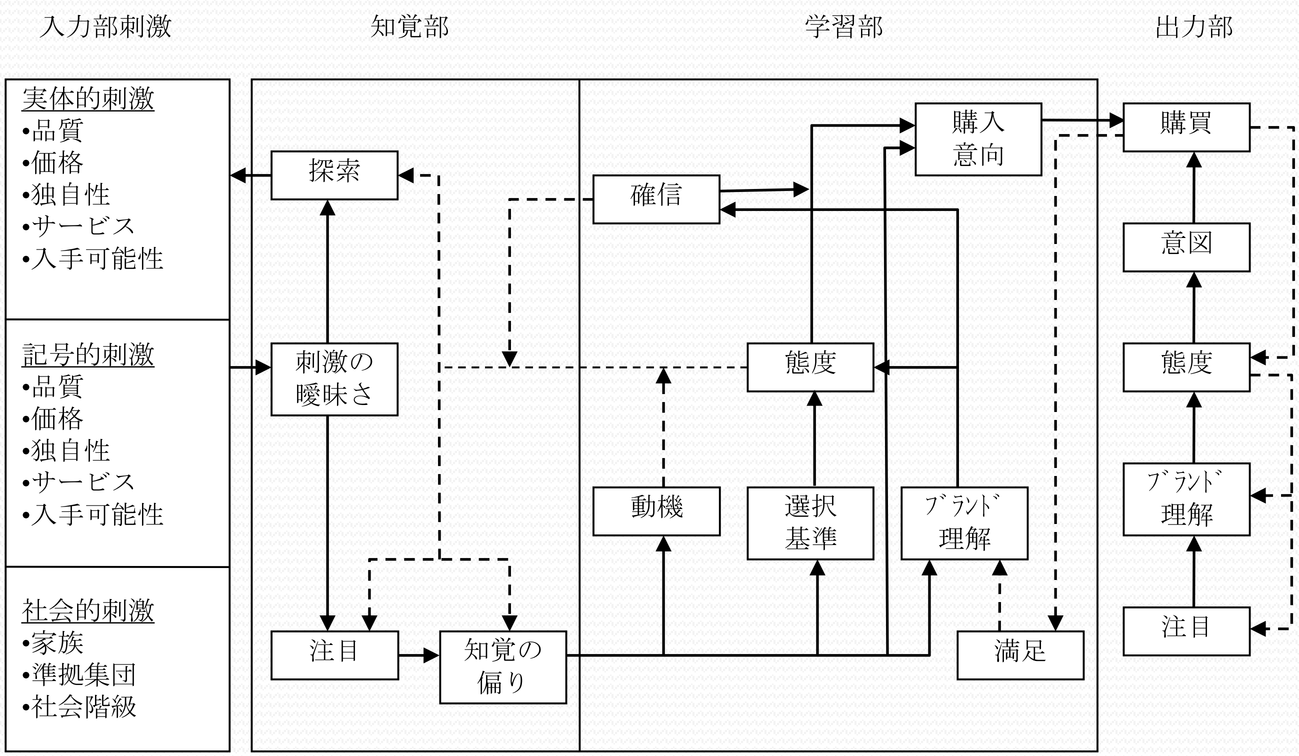
実際の行動/選択結果
仮想状況での行動/選択意向
C

どの行動/選択肢を選ぶ/選んだのか

行動モデルによる行動予測
$C' = f(Z', Y', X')$
社会経済属性，行動/選択
環境，代替案の属性
が変化した際の行動予測

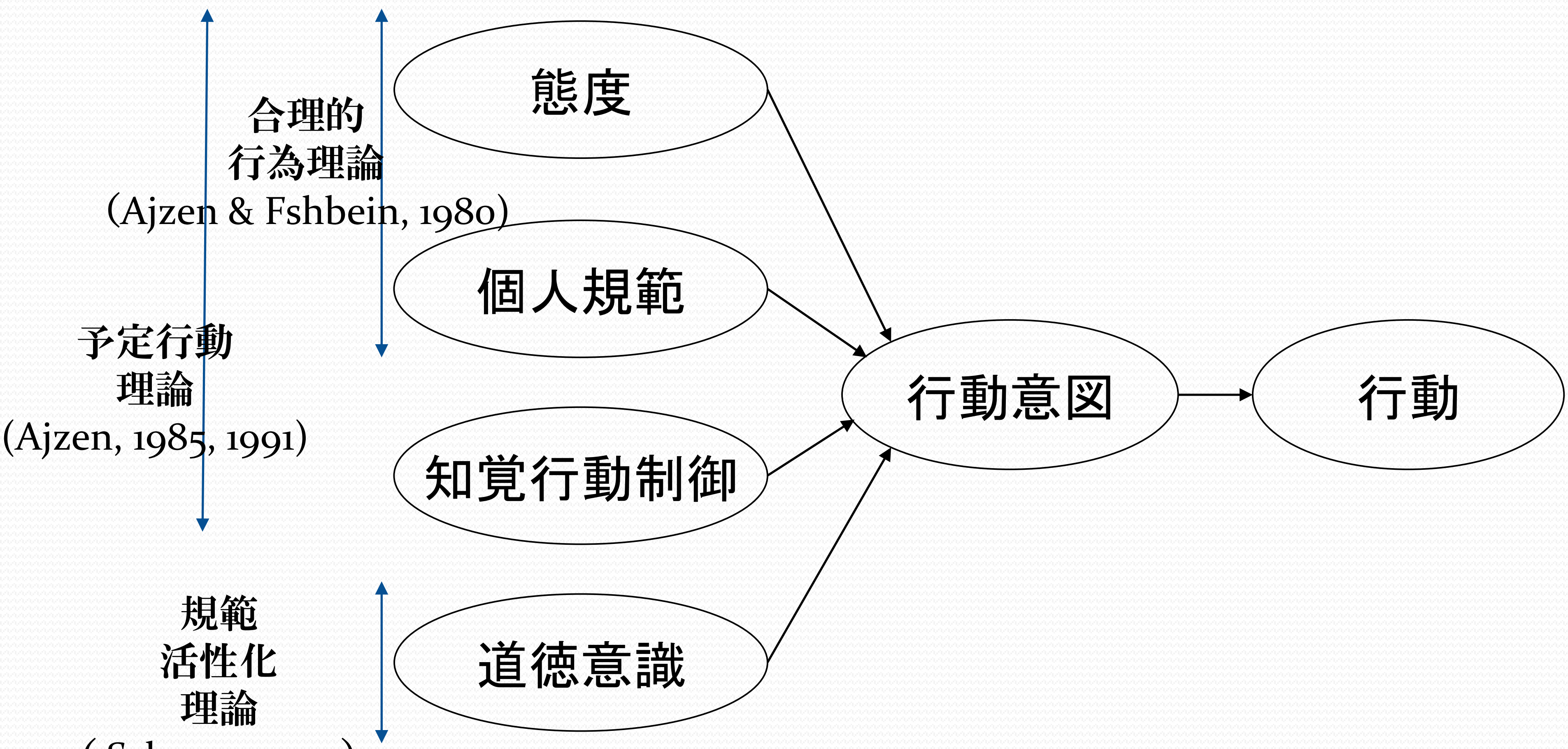
行動理論/モデルの例

ハワード＝シェス・モデル（Howard and Sheth, 1969）



行動理論/モデルの例

態度理論に基づく行動理論



対象とする行動モデル

- 新古典派ミクロ経済学における効用理論
  - 知覚，感情，規範等の心理的側面は明示的に扱わず，行動から演繹される「効用」に着目
  - 簡便に行動分析や予測ができる
- 選択の種類
  - 連続量の選択　例）ある場所での滞在時間
  - 離散量の選択　例）交通手段，目的地，経路
- 離散量の選択を表すモデルとして，主にランダム効用最大化に基づく非集計離散選択モデル，を説明する

合理的選択と効用最大化

合理的選択

再帰性/完全性：{車, 鉄道}→（車≧鉄道）and/or（鉄道≧車）

推移性：（車＞バス）&（バス＞鉄道）⇔（車＞鉄道）

複数の選択肢を選好（望ましさ）の順に並べることができる

例） {A,B,C,D,E}

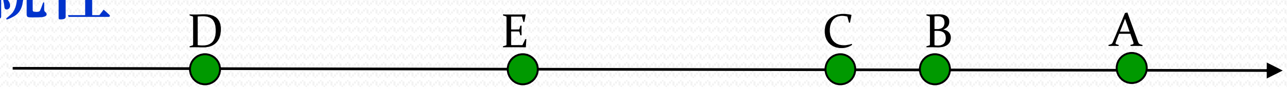
$(A>B), (B>C), (C>D), (D<E), (C>E)$

$(A>B>C>E>D)$

再帰性/完全性

推移性

連続性



効用

効用最大化：「人は最大の効用を与える選択肢を選ぶ」

Aさん：車を選択⇔U（車）＞U（バス），U（鉄道）

制約条件下での最適化行動

移動を含む行動の実行：有限な資源（時間，お金など）が不可欠

➡ 制約条件下での最適化行動

個人nの行動代替案x_{jn}の組み合わせ

Max.　$U_n = f\left(\boxed{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}}\right)$

Subject to　$g_{kn}\left(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}, \boxed{p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kJ}}\right) = E_{kn} \quad (k = 1,2,\dots,K)$

資源kに対する行動代替案x_{jn}の単位消費量　　資源kの総量

例）1週間の行動スケジューリング

- x_{jn}：自由活動j（買い物，娯楽，在宅）の活動時間
- E_{1n}：1週間の自由活動時間　　$p_{1j} = 1$
- E_{2n}：1週間で利用可能な予算　　p_{2j}：活動jの単位時間当たりの費用

制約条件下での最適化行動

個人nの行動代替案x_{jn}の組み合わせ

Max. $U_n = f\left(\boxed{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}}\right)$

Subject to $g_{kn}\left(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}, \boxed{p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kJ}}\right) = E_{kn}$ $(k = 1,2, \dots, K)$

資源kに対する行動代替案x_{jn}の単位消費量　　資源kの総量

ラグランジュの未定乗数法を用いてx_{jn}について解くと

個人nの行動代替案x_{jn}の最適消費量

$$x_{jn}^{*} = x_{jn}\left(p_{11} \dots, p_{1J}, \dots, p_{K1} \dots, p_{KJ}, E_{1n} \dots, E_{Kn}\right)$$ 需要関数

- 制約条件を観測するのは困難
- タイム・ウインドウは？

制約条件下での最適化行動

Max. $U_n = f\left(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}\right)$ 直接効用関数

Subject to $g_{kn}\left(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{Jn}, p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kJ}\right) = E_{kn} \ (k = 1,2, \dots, K)$

$$x_{jn}^{*} = x_{jn}\left(p_{11} \dots, p_{1J}, \dots, p_{K1} \dots, p_{KJ}, E_{1n} \dots, E_{Kn}\right)$$

$$U_n^{*} = f\left(x_{1n}^{*}, \dots, x_{Jn}^{*}\right)$$ 間接効用関数

$$= Y\left(p_{11} \dots, p_{1J}, \dots, p_{K1} \dots, p_{KJ}, E_{1n} \dots, E_{Kn}\right)$$

制約条件やタイムウインドウを直接的に考慮しなくてよい

多くの場合，間接効用関数を考える

ランダム効用

<u>効用を構成する要因</u>　(例)交通手段選択

- **代替案の属性**：料金，所要時間，乗換え回数etc.
- **個人属性**：性別，年齢，免許の有無etc.
- **トリップ属性**：トリップ目的，時間帯etc.

$$
\begin{aligned}
U(car) &= \beta_1 + \beta_3 * time_{car} + \beta_4 * cost_{car} + \beta_5 * carown \quad + \varepsilon_{car} \\
U(bus) &= \beta_2 + \beta_3 * time_{bus} + \beta_4 * cost_{bus} + \beta_6 * age60 \quad + \varepsilon_{bus} \\
U(rail) &= \beta_3 * time_{rail} + \beta_4 * cost_{rail} \quad + \varepsilon_{rail}
\end{aligned}
$$

確定項(V)　　誤差項

<u>分析者にとって意思決定者のもつ真の効用は不明</u>

→ランダム(誤差)項を用いて効用を確率的に表す

ランダム効用（2）

<u>誤差項に含まれるもの</u>

- **非観測属性**：快適性, 移動の自由度etc.
- **測定誤差**：駅までのアクセス時間etc.
- **情報の不完全性**：認知所要時間と実際の所要時間のずれetc.
- Instrumental (proxy) variables ：「快適性」の代わりに「座席数」を代理変数として用いたときの差異etc.
- **異質性**：所要時間や費用の重み（効用パラメータ）の個人差etc.
- **効用最大化以外の意思決定ルールによる影響**：所要時間や費用の重み（効用パラメータ）の個人差etc.

誤差項の分布とモデル(1)

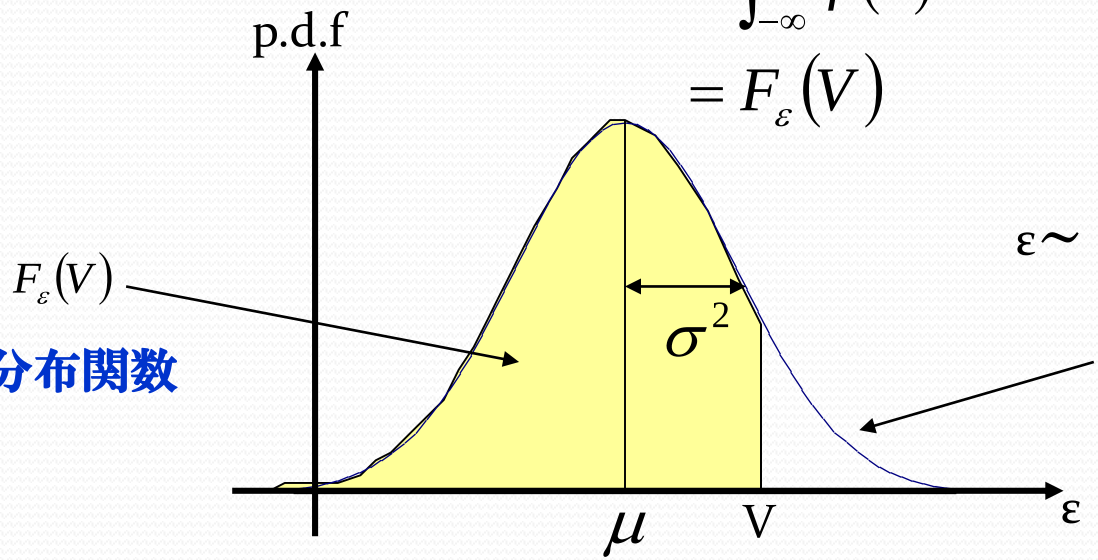
$$U(car) = V_{car} + \varepsilon_{car}$$
$$U(rail) = V_{rail} + \varepsilon_{rail}$$

　誤差項は確率的に変動
→分析者から見て効用が最大となる選択肢は確率的
→分析者から見た意思決定者の選択行動は確率的

$$\begin{aligned} choice = car &\Leftrightarrow U(car) > U(rail) \\ &\Leftrightarrow V_{car} + \varepsilon_{car} > V_{rail} + \varepsilon_{rail} \\ &\Leftrightarrow \varepsilon_{rail} - \varepsilon_{car} < V_{car} - V_{rail} \\ &\Leftrightarrow \varepsilon < V \end{aligned}$$

誤差項の分布とモデル(2)

$$\Pr ob(choice = car) = \Pr ob(\varepsilon < V)$$
$$= \int_{-\infty}^{V} f(\varepsilon) d\varepsilon$$
$$= F_{\varepsilon}(V)$$



$\varepsilon \sim N(\mu, \sigma^2)$

累積分布関数

$f(\varepsilon)$ 確率密度関数

選択確率はεとVに依存

多項プロビットモデル

$$U(car) = \beta X_{car} + \varepsilon_{car}$$
$$U(bus) = \beta X_{bus} + \varepsilon_{bus}$$
$$U(rail) = \beta X_{rail} + \varepsilon_{bus}$$

ε～多変量正規分布

$$\begin{bmatrix} \sigma_{rail}^2 & \sigma_{bus,rail} & \sigma_{car,rail} \\ \sigma_{bus,rail} & \sigma_{bus}^2 & \sigma_{car,bus} \\ \sigma_{car,rail} & \sigma_{car,bus} & \sigma_{car}^2 \end{bmatrix}$$

多項プロビットモデル

$$P(i) = \int_{\varepsilon_1=-\infty}^{\varepsilon_i+V_i-\varepsilon_1} \cdots \int_{\varepsilon_i=-\infty}^{\infty} \cdots \int_{\varepsilon_J=-\infty}^{\varepsilon_i+V_i-\varepsilon_J} \phi(\varepsilon) d\varepsilon_J \cdots d\varepsilon_1$$

$$\uparrow$$

$$\phi(\varepsilon) = \frac{1}{\left(\sqrt{2\pi}\right)^{J-1} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon \Sigma^{-1} \varepsilon' \right)$$

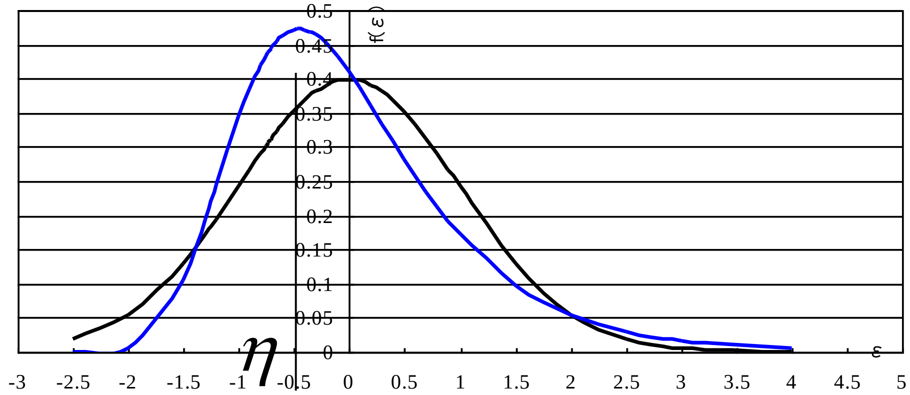
多項ロジットモデル

$$U(car) = \beta X_{car} + \varepsilon_{car}$$
$$U(bus) = \beta X_{bus} + \varepsilon_{bus}$$
$$U(rail) = \beta X_{rail} + \varepsilon_{bus}$$

ε～IIDガンベル

独立で(Independently)
同一(Identically)の分散を持つ
分布(Distributed)

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$



$$V(\varepsilon) = \sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\mu^2}$$

多項ロジットモデル

$$P(i) = \frac{\exp(\mu V_i)}{\sum_{j \in C} \exp(\mu V_j)}$$

$$f(\varepsilon) = \mu \exp\{-\mu(\varepsilon - \eta)\} \cdot \exp[-\exp\{-\mu(\varepsilon - \eta)\}]$$
$$\mathrm{F}(\varepsilon) = \exp[-\exp\{-\mu(\varepsilon - \eta)\}]$$

多項ロジットモデルと多項プロビットモデル

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

多項ロジットモデル

- 誤差項にi.i.d.ガンベルを仮定
- closed-formであるため計算が容易
- 便益計算が簡便

$$P(i) = \frac{\exp(\mu V_i)}{\sum_{j \in C} \exp(\mu V_j)}$$

多項プロビットモデル

- 誤差項に多変量正規分布を仮定
- 中心極限定理より誤差項の仮定は尤もらしい
- open-formであるため計算負荷が大きい（J-1重積分）

$$P(i) = \int_{\varepsilon_1=-\infty}^{\varepsilon_i+V_i-\varepsilon_1} \cdots \int_{\varepsilon_i=-\infty}^{\infty} \cdots \int_{\varepsilon_J=-\infty}^{\varepsilon_i+V_i-\varepsilon_J} \phi(\varepsilon) d\varepsilon_J \cdots d\varepsilon_1$$

$$\phi(\varepsilon) = \frac{1}{\left(\sqrt{2\pi}\right)^{J-1} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\varepsilon \Sigma^{-1} \varepsilon'\right)$$

RUMモデルのフレームワークと標準モデル

$$U_{in} = V_{in}\left(X_{in};\beta_n\right) + \varepsilon_{in}\left(\theta_n\right) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = D_n\left(U_{in}\right)$$

確定項の関数型
線形効用関数

説明変数
客観的確定変数

嗜好
母集団で同一

誤差構造
IIDガンベル分布

選択肢集合
所与

意思決定ルール
効用最大化

RUMモデルのフレームワークと標準モデル

$$U_{in} = V_{in}(X_{in}; \beta_n) + \varepsilon_{in}(\theta_n) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = D_n(U_{in})$$

<u>誤差構造</u>

IIDガンベル分布

ロジットモデルとIIA特性

- 無関係な選択肢からの選択確率の独立　（Independence from Irrelevant Alternatives）

$$\boxed{\boxed{car, bus, rail,}_{C}\ walk, bike}_{A}$$

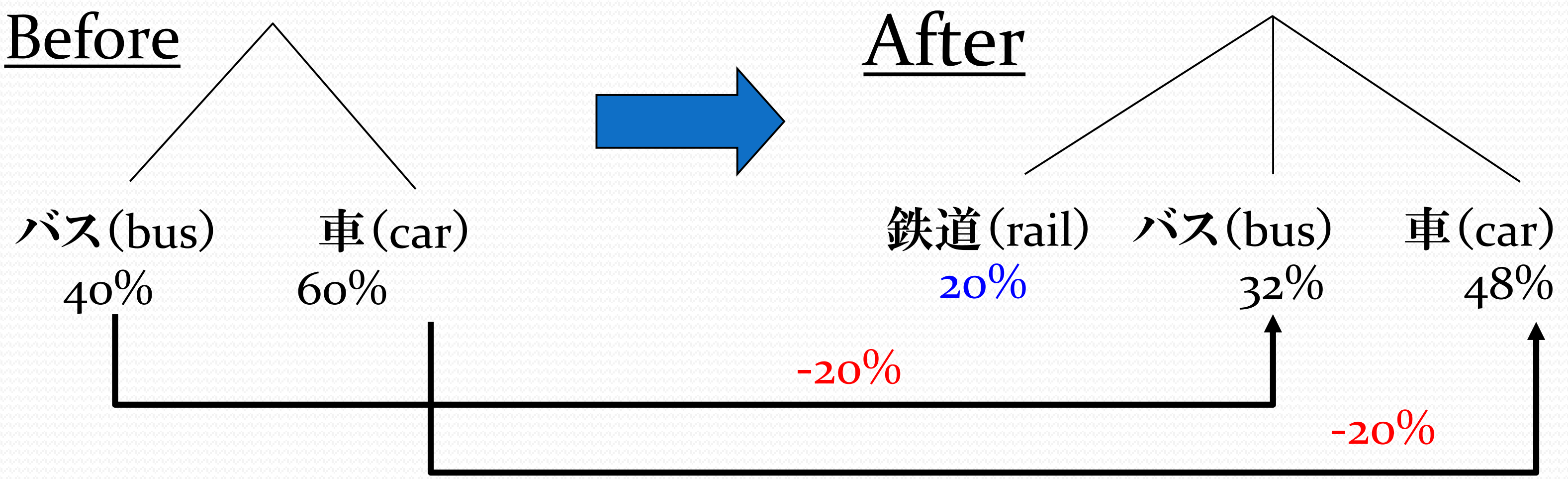
$$P(car|C) = \frac{\exp(V_{car})}{\exp(V_{car}) + \exp(V_{bus}) + \exp(V_{rail})}$$

$$P(car|A) = \frac{\exp(V_{car})}{\exp(V_{car}) + \exp(V_{bus}) + \exp(V_{rail}) + \exp(V_{walk}) + \exp(V_{bike})}$$

$$\frac{P(car|C)}{P(rail|C)} = \frac{\exp(V_{car})}{\exp(V_{rail})} = \frac{P(car|A)}{P(rail|A)}$$

選択確率の比は無関係な選択肢（walk,bike）に影響を受けない

IIA特性の問題点（2）



交差弾性値が等しい

実際は車の選択確率の変化が小さいのでは

ネスティッドロジットモデル(NL)モデル（1）

$$U(car) = \beta X_{car} + \varepsilon_{car}$$
$$U(bus) = \beta X_{bus} + \varepsilon_{bus}$$
$$U(rail) = \beta X_{rail} + \varepsilon_{rail}$$

Cov(U)

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix} \quad \sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\mu^2}$$

多項ロジットモデルの仮定：ε～IIDガンベル分布

矛盾

ε_{bus}とε_{rail}は**共通の非観測属性**を含んでいる

- 移動の自由度
- 快適性など

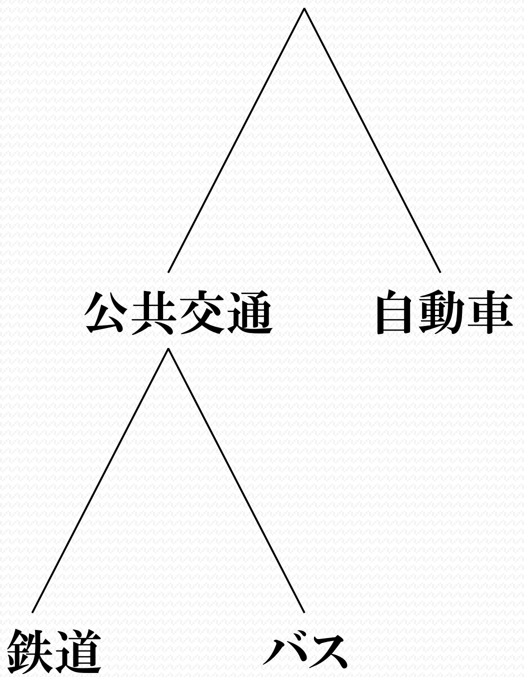
$$U(car) = \beta X_{car} \boxed{+ \varepsilon_{car}}$$
$$U(bus) = \beta X_{bus} \boxed{+ \varepsilon_{transit} + \varepsilon_{bus}}$$
$$U(rail) = \beta X_{rail} \boxed{+ \varepsilon_{transit} + \varepsilon_{rail}}$$

共通要因

相関

ネスティッドロジット（NL）モデル（2）

NLモデルの誤差構造



<u>*Cov(U)*</u>

$$
\begin{array}{c}
\text{鉄道} \\ \text{バス} \\ \text{自動車}
\end{array}
\begin{bmatrix}
\sigma^2 & \sigma^2_{transit} & 0 \\
\sigma^2_{transit} & \sigma^2 & 0 \\
0 & 0 & \sigma^2
\end{bmatrix}
$$

等分散

無相関

一般的な誤差構造（MNPモデル）

$$
\begin{array}{c}
\text{鉄道} \\ \text{バス} \\ \text{自動車}
\end{array}
\begin{bmatrix}
\sigma^2_{rail} & \sigma_{rail,bus} & \sigma_{rail,car} \\
\sigma_{rail,bus} & \sigma^2_{bus} & \sigma_{bus,car} \\
\sigma_{rail,car} & \sigma_{bus,car} & \sigma^2_{car}
\end{bmatrix}
$$

ミックストロジット(MXL)モデル（1）

$$U_{car} = \beta X_{car} + \eta_{car} + \nu_{car}$$
$$U_{bus} = \beta X_{bus} + \eta_{bus} + \nu_{bus}$$
$$U_{rail} = \beta X_{rail} + \eta_{rail} + \nu_{rail}$$

ε

プロビットモデルの柔軟な誤差構造

ロジットモデルの操作性

プロビットタイプのフレキシブルな誤差項

IIDガンベル分布

$$\varepsilon = \begin{array}{ccc} \eta & & \nu \\ \begin{bmatrix} \sigma^2_{car} & \sigma_{car,bus} & \sigma_{car,rail} \\ \sigma_{car,bus} & \sigma^2_{bus} & \sigma_{bus,rail} \\ \sigma_{car,rail} & \sigma_{bus,rail} & \sigma^2_{rail} \end{bmatrix} & + & \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix} \end{array}$$

ミックストロジット(MMNL)モデル（2）

$$U_{car} = \beta X_{car} + \eta_{car} + \nu_{car}$$
$$U_{bus} = \beta X_{bus} + \eta_{bus} + \nu_{bus}$$
$$U_{rail} = \beta X_{rail} + \eta_{rail} + \nu_{rail}$$

ロジットモデルの操作性

IIDガンベル分布

$$\Lambda(car|\eta) = \frac{e^{\beta X_{car} + \eta_{car}}}{e^{\beta X_{car} + \eta_{car}} + e^{\beta X_{bus} + \eta_{bus}} + e^{\beta X_{rail} + \eta_{rail}}}$$

$$P(car) = \iiint_{\eta} \Lambda(car|\eta) f(\eta) d\eta$$

ηは*unknown*

ミックストロジット(MXL)モデル（3）

$$P(car) = \iiint_{\eta} \Lambda(car|\eta) f(\eta) d\eta$$

open-form→どうやって推定？

シミュレーション法

$$\hat{P}(car) = \frac{1}{D}\sum_{d=1}^{D} \frac{e^{\beta X_{car} + \eta_{car}^{d}}}{e^{\beta X_{car} + \eta_{car}^{d}} + e^{\beta X_{bus} + \eta_{bus}^{d}} + e^{\beta X_{rail} + \eta_{rail}^{d}}}$$

Step1: 分布f(η)に従う乱数ηを発生
Step2: それを用いて選択確率を計算
Step3: これをD回繰り返し選択確率の平均値を計算
Step4: それを尤度として最尤推定法により未知パラメータを推定

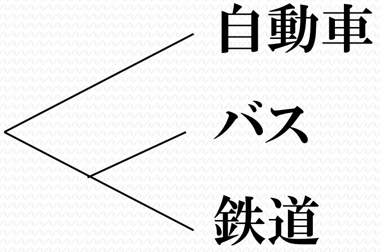
ミックストロジット(MXL)モデル(4)

Nested

$$U_{car} = \beta X_{car} + \nu_{car}$$

$$U_{bus} = \beta X_{bus} + \sigma_{transit}\eta_{transit} + \nu_{bus}$$

$$U_{rail} = \beta X_{rail} + \sigma_{transit}\eta_{transit} + \nu_{rail}$$



$$\eta_{transit} \sim N(0,1)$$

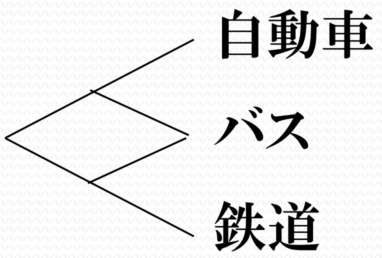
$$\begin{array}{ccccc} \eta & & \nu & & \varepsilon \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2_{transit} & \sigma^2_{transit} \\ 0 & \sigma^2_{transit} & \sigma^2_{transit} \end{bmatrix} & + & \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 + \sigma^2_{transit} & \sigma^2_{transit} \\ 0 & \sigma^2_{transit} & \sigma^2 + \sigma^2_{transit} \end{bmatrix} \end{array}$$

NLモデルとは違う!!

ミックストロジット(MXL)モデル(5)

Cross-Nested

$$
\begin{aligned}
U_{car} &= \beta X_{car} &&+ \sigma_{road}\eta_{road} + \nu_{car} \\
U_{bus} &= \beta X_{bus} + \sigma_{transit}\eta_{transit} &&+ \sigma_{road}\eta_{road} + \nu_{bus} \\
U_{rail} &= \beta X_{rail} + \sigma_{transit}\eta_{transit} && + \nu_{rail}
\end{aligned}
$$



$$\eta_{transit}, \eta_{road} \sim N(0,1)$$

$$
\begin{array}{ccccc}
\eta & & \nu & & \varepsilon \\
\begin{bmatrix} \sigma_{road}^2 & \sigma_{road}^2 & 0 \\ \sigma_{road}^2 & \sigma_{transit}^2 + \sigma_{road}^2 & \sigma_{transit}^2 \\ 0 & \sigma_{transit}^2 & \sigma_{transit}^2 \end{bmatrix}
& + &
\begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}
& = &
\begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_{road}^2 & \sigma_{road}^2 & 0 \\ \sigma_{road}^2 & \sigma^2 + \sigma_{transit}^2 + \sigma_{road}^2 & \sigma_{transit}^2 \\ 0 & \sigma_{transit}^2 & \sigma^2 + \sigma_{transit}^2 \end{bmatrix}
\end{array}
$$

CNLモデルとは違う!!

RUMモデルのフレームワークと標準モデル

$$U_{in} = V_{in}\left(X_{in};\beta_n\right) + \varepsilon_{in}\left(\theta_n\right) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = D_n\left(U_{in}\right)$$

嗜好

母集団で同一

嗜好の異質性：ランダム係数モデル(1)

$$U_{car,n} = \beta T_{car,n} + \varepsilon_{car,n}$$

βは母集団で同一⇔
嗜好は母集団で同質と仮定

$$U_{car,n} = \beta_n T_{car,n} + \varepsilon_{car,n}$$

嗜好には<u>異質性(個人差)</u>が存在

<u>観測異質性</u>

<u>非観測異質性</u>

$$U_{car,n} = \alpha_0 + \alpha_1 * male_n + \beta_1 T_{car,n} + \varepsilon_{car,n}$$

女性の定数項：α_0　男性の定数項：$\alpha_0 + \alpha_1$

$$U_{car,n} = \alpha_0 + \beta_1 * male_n * T_{car,n} + \beta_2 * (1 - male_n) * T_{car,n} + \varepsilon_{ca}$$

女性のパラメータ：β_2　男性のパラメータ：β_1

アプリオリ・マーケット
セグメンテーション

$$U_{car,n}^{Group1} = \alpha_0^{Group1} + \beta_1^{Group1} T_{car,n} + \varepsilon_{car,n}^{Group1}$$

Group1のパラメータベクトル：$\left(\alpha_0^{Group1}, \beta_1^{Group1}\right)$

$$U_{car,n}^{Group2} = \alpha_0^{Group2} + \beta_1^{Group2} T_{car,n} + \varepsilon_{car,n}^{Group2}$$

Group2のパラメータベクトル：$\left(\alpha_0^{Group2}, \beta_1^{Group2}\right)$

嗜好の異質性：ランダム係数モデル(2)

$$U_{car,n} = \beta_n T_{car,n} + \nu_{car,n}$$

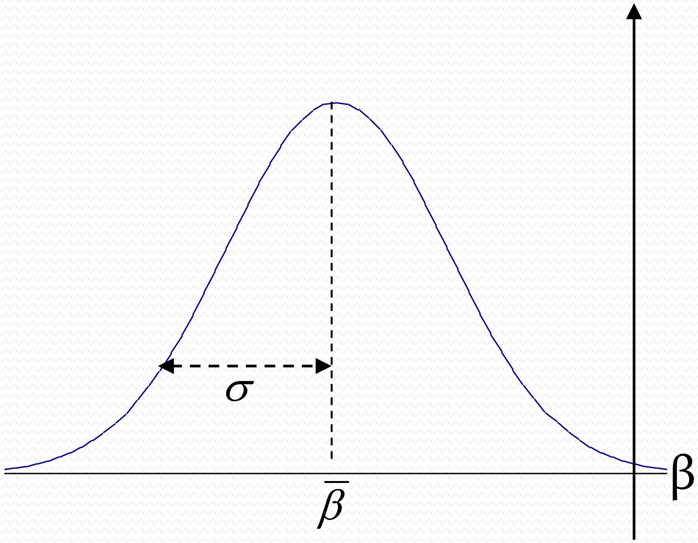
$$\beta_n \sim N\left(\bar{\beta}, \sigma^2\right)$$

$$U_{car,n} = \bar{\beta} T_{car,n} + \sigma \eta_n T_{car,n} + \nu_{car,n}$$

$$U_{bus,n} = \bar{\beta} T_{bus,n} + \sigma \eta_n T_{bus,n} + \nu_{bus,n}$$

$$U_{rail,n} = \bar{\beta} T_{rail,n} + \sigma \eta_n T_{rail,n} + \nu_{rail,n}$$

IIDガンベル分布を仮定すればMXLモデル



$$\eta_n \sim N(0,1) \qquad \bar{\beta}, \sigma : unknown\ parameter$$

$\bar{\beta}_n = \gamma_0 + \gamma_1 income_n$ としても良い

観測異質性と非観測異質性の両方を考慮

RUMモデルのフレームワークと標準モデル

<u>確定項の関数型</u>

線形効用関数

<u>説明変数</u>

客観的確定変数

$$U_{in} = \boxed{V_{in}\left(X_{in}; \beta_n\right)} + \varepsilon_{in}\left(\theta_n\right) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = D_n\left(U_{in}\right)$$

個々の説明変数の関数型

◆**標準的なモデル**

$$U = \beta X + \varepsilon, \quad \beta > 0$$

$$U' = \beta > 0, \quad U'' = 0$$

◆**限界効用逓減型**

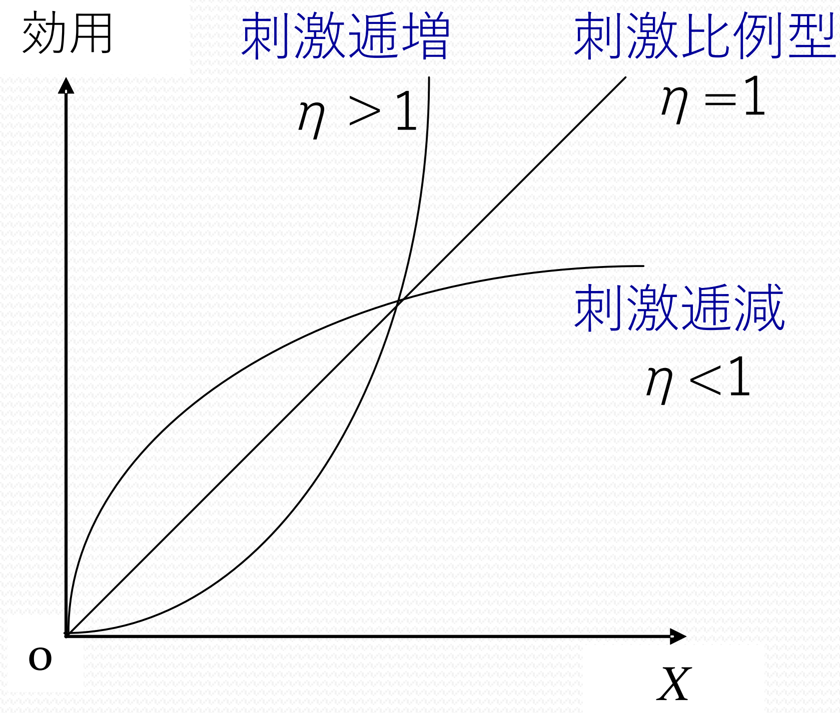
$$U = \beta \ln X + \varepsilon$$

$$U' = \beta / X > 0, \quad U'' = -\beta / X^2 < 0$$

◆**より一般的な形**

$U = \beta X^{\eta} + \varepsilon, \quad \eta > 0$（未知パラメータ）

$$U' = \beta\eta X^{\eta-1} > 0, \quad U'' = \beta\eta(\eta-1)X^{\eta-2} \begin{cases} < 0, & if \ \eta < 1 \\ = 0, & if \ \eta = 1 \\ > 0, & if \ \eta > 1 \end{cases}$$



RUMモデルのフレームワークと標準モデル

$$U_{in} = V_{in}(X_{in}; \beta_n) + \varepsilon_{in}(\theta_n) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = D_n(U_{in})$$

選択肢集合
所与

選択肢集合の問題

- 誤った選択肢集合の特定化はパラメータ推定値にバイアスをもたらす（Swait and Ben-Akiva, 1986）

◆Probabilistic Choice Setモデル（Manski, 1977）

例）鉄道（R） v.s. 自動車（C）

$$
\begin{aligned}
P_n(R) = & P_n(R|\{R,C\}) \times Q_n(\{R,C\}) \\
& + P_n(R|\{R\}) \times Q_n(\{R\}) \\
& + P_n(R|\{C\}) \times Q_n(\{C\}) \\
& + P_n(R|\{\phi\}) \times Q_n(\{\phi\})
\end{aligned}
$$

確率的選択肢集合モデル

- Independent Availabilityモデル（Swait and Ben-Akiva, 1987）

  代替案が利用可能性は代替案間で独立であると仮定

$$Q_n(\{R\}) = q_n(R) \times (1 - q_n(C))$$

$$q_n(R) = \frac{1}{1 + \exp(-Y_n(R))}, \quad {}_{\gamma_0}Y_n(R) = \gamma_0 + \gamma_1 z_{1n} + \gamma_2 z_{2n} + \cdots + \varsigma_{nR}$$

- 線形効用関数で利用可能性を考慮したロジットモデル

$$P(i) = \frac{\exp[\mu V_i - \ln q_i]}{\sum_{j \in A} \exp[\mu V_j - \ln q_j]}$$

RUMモデルのフレームワークと標準モデル

$$U_{in} = V_{in}(X_{in}; \beta_n) + \varepsilon_{in}(\theta_n) \qquad i \in C_n$$

$$Choice_n = \boxed{D_n(U_{in})}$$

意思決定ルール

効用最大化

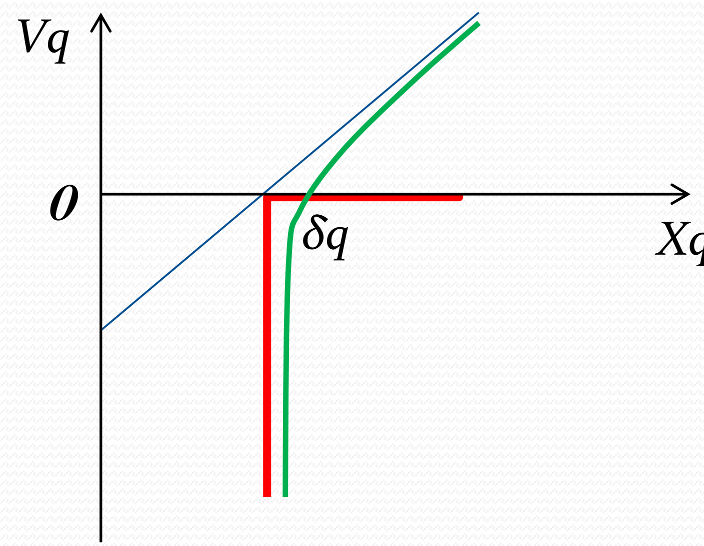
意思決定ルール

- 代表的な意思決定ルール（Payne et al., 1993）
  - 荷重加算型（線形効用関数）
  - 勝率最大化
  - 連結型
  - 分離型
  - 辞書編纂型
  - EBA(Elimination by Aspects)

標準モデルによる意思決定ルールの近似

- 連結型意思決定ルールを考慮したモデル (Elrod et al., 2004)
  - 各属性の閾値を満足した選択肢を選ぶ
  - 選択肢が複数残った場合は効用が大きいものを選ぶ
- GNH(General Nonrectangular Hyperbola)

$$V_{iq} = \begin{cases} \dfrac{-\gamma_q}{X_{iq} - \delta_q} + \beta_q X_{iq}, & if \;\; X_{iq} \geq \delta_q \\ -\infty, & if \;\; X_{iq} < \delta_q \end{cases}$$



おわりに

- 行動は選択の帰結
- 行動のモデル化≒選択のモデル化

どのような行動主体が

行動主体の社会経済属性
Z
例）性別，年齢，年収

どのような環境で

行動/選択環境の要因
Y
例）行動目的，時間帯

どのような行動代替案の中から

行動代替案の属性
X
例）時間，費用

行動/選択意思決定

行動モデルによる行動理解
$C = f(Z, Y, X)$
行動主体間の差異の分析
環境による差異の分析
代替案属性の影響分析

実際の行動/選択結果
仮想状況での行動/選択意向
C

どの行動/選択肢を選ぶ/選んだのか

行動モデルによる行動予測
$C' = f(Z', Y', X')$
社会経済属性，行動/選択
環境，代替案の属性
が変化した際の行動予測

おわりに

- 標準モデルは操作性が高く便利だが，非常に多くの仮定をおいている
- 適用対象に対して仮定が妥当かどうかを吟味する必要がある
- ただし，標準モデルでも工夫により問題点を緩和できる
- 演習で色々と試しましょう

おわりに

- 他にも様々なモデルあり
  - GEVモデル
  - 連続量のモデル
  - 離散-連続モデル
- 他にも様々な行動理論あり
  - 心理学/行動経済学系の概念モデル

土木計画学ハンドブック編集委員会 編
B5判/822頁　本体25,000円＋税
著者割引あり