

# 現象分析

## 第11章

トリップ頻度,目的地,交通機関,経路選択

## 第12章

Activity-Based Approach

---

朝倉研 修士1年 劉 彬

2017/05/25

# 第11章

## ■ トリップ頻度, 目的地, 交通機関, 経路選択

- 交通行動の捉え方とそのモデル化
- 交通機関選択のモデル化
- トリップ頻度選択
- 目的地選択のモデル化
- トリップ発生頻度・交通機関・目的地選択の統合モデル
- 経路選択のモデル化

## 11.1 はじめに

集計的な交通需要予測  
(4段階推定)  
発生、分布、分担、配分

非集計交通需要予測  
(個別トリップに着目した需要予測)  
トリップ頻度、目的地、交通手段、経路

この章では：

- 交通手段選択モデル
- トリップ頻度、目的地、交通手段、経路選択のそれぞれのモデル化について紹介する

# 11.2 交通手段選択のモデル化

## -1. 交通手段選択に影響を及ぼす要因

$$U_{in} = \beta X_{in} + \varepsilon_{in}$$

$U_{in}$ : 個人nの交通手段iの効用

$\beta$ : パラメータ

$X_{in}$ : 個人nの交通手段iの説明変数

$\varepsilon_{in}$ : 誤差項

### ① 交通サービス水準

- 料金（費用）, 所要時間etc. (基本的な要因)

自動車→平均速度, 公共交通→乗り換え回数

- 時間価値: 所要時間と費用の係数の比

eg: 所要時間の変化←時間価値が高い個人が敏感  
交通施策の経済効果分析

}  $X_{in}$

## 11.2 交通手段選択のモデル化

### -1.交通手段選択に影響を及ぼす要因

#### ② 個人属性とトリップ属性

- ・個人属性：年齢や性別など
  - ・トリップ特性：目的や出発時刻など
- }  $X_{in}$
- 交通手段の選択確率に有意な差が存在する場合
- ・交通手段の選択の傾向が大きく異なる場合  
説明変数→セグメントを構成するための条件変数として

#### ③ 心理的要因（快適性，利便性など）

同じ条件のもとで，主観的な評価が選択行動に影響

反映する方法：アンケート調査で得られた観測値から同定し，その要因を  
説明変数（条件変数）に導入

# 11.2 交通手段選択のモデル化

## -1.交通手段選択に影響を及ぼす要因

### ④ サービス水準の不確実性

空港までのアクセス手段

早く, 安く, 快適, 便利

+

所要時間の信頼性

eg :自動車ですぐ行けるが, 飛行機の離陸時刻に間に合わないかもしれない  
→自動車ですぐ行くことに迷う



不確実性下の意思決定

- ①不確実性を表す指標(分散など)→  $X_{in}$
- ②サービス水準の確率分布に基づいて効用の期待値を算定し, その最大化行動

(交通手段選択→経路選択のモデル化)

※本章後述

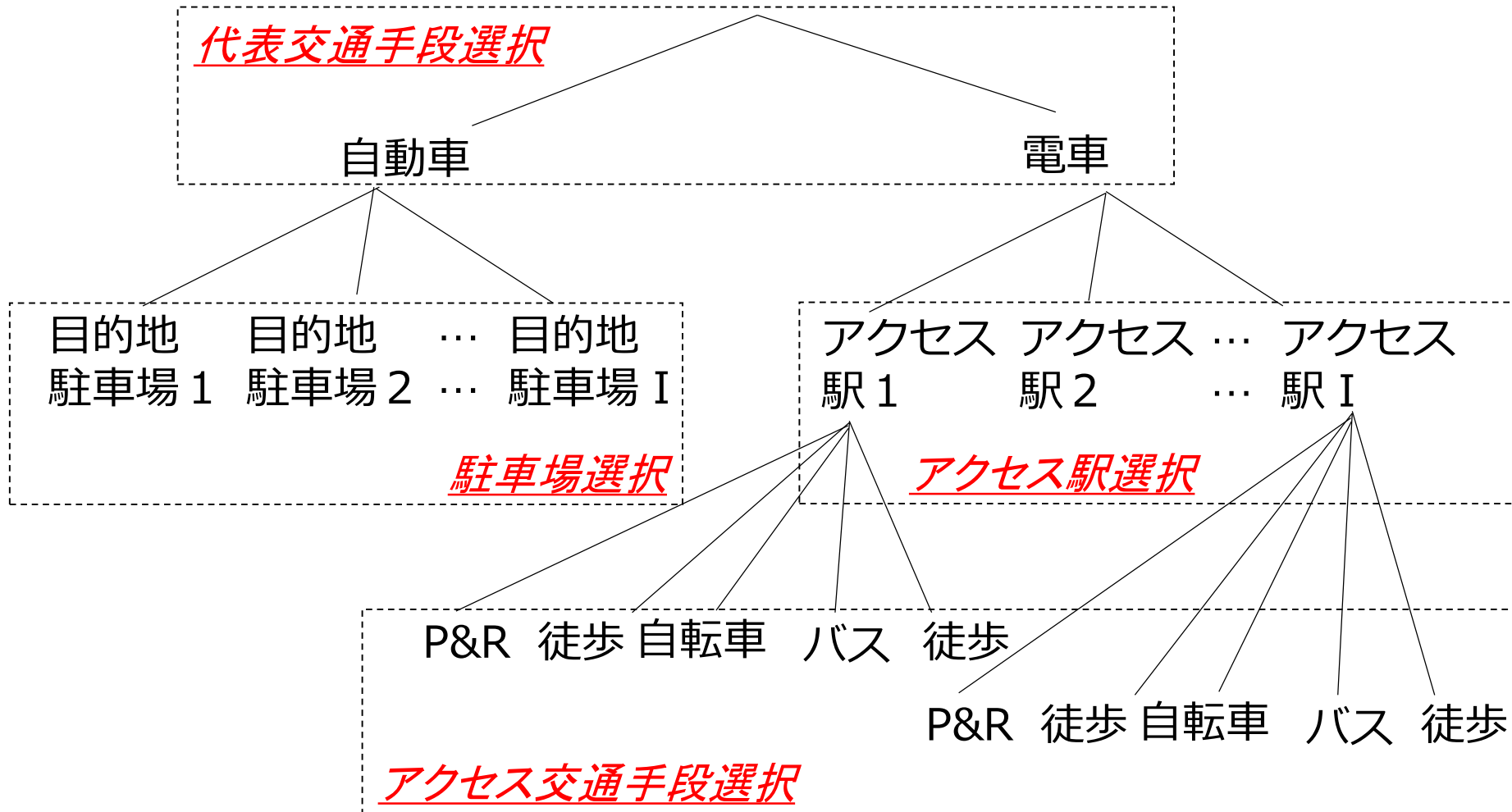
### ⑤ 制約条件

交通手段選択に極めて大きな影響を及ぼす (自動車免許の有無など)

➡モデルの推定時: トリップを実行する前後の活動や複数のトリップの連鎖を含めた詳細な情報が必要 (※次章activity-based approachが有効)

# 11.2 交通手段選択のモデル化

## -2. 代表交通手段選択と複合交通手段選択



※統一的に取り扱う交通手段選択モデルは未だ提案されていない

# 11.3 トリップ頻度選択

## トリップ頻度をモデル化

- ・ 潜在的な心理量効用の確率分布を定義 → 効用モデル
- ・ トリップ頻度の確率分布を定義 → 非・効用モデル

## 1. 非・効用モデル(トリップ頻度の確率分布を直接定義するモデル)

### ① 重回帰モデル

トリップ頻度の条件付き分布が正規分布に従う

$$F_n = \beta X_n + \varepsilon_n$$

$F_n$ : 個人nのトリップ頻度

$X_n$ : 個人nの説明変数ベクトル

$\beta$ : パラメータベクトル

$\varepsilon_n$ : 誤差項 (正規分布)

(自然数であるトリップ頻度を連続数をとみなす上に、負の値をとり得るものとみなしたモデル)

### ② トビットモデル

トリップ頻度が負の値を取ることは定義上あり得ない

$$F_n^* = \beta X_n + \varepsilon_n$$

$$F_n = \begin{cases} F_n^* & (\text{if } F_n^* > 0) \\ 0 & (\text{if } F_n^* < 0) \end{cases}$$

重回帰モデルとの構造が同じだが、説明変数に直接影響される変数は $F_n^*$



# 11.3 トリップ頻度選択

## -1.非・効用モデル

### ③ ポアソン回帰モデル

- 自然数であるトリップ頻度を離散化する
- トリップの発生を、ポアソン過程(トリップの微小時間帯における発生確率は時間に関わらず一定値 $\lambda$ である, かつ微小時間帯ではトリップが複数発生することはありません)とみなした場合、一定期間のトリップ頻度はポアソン分布に従う
- ポアソン分布過程の性質は事象発生率 $\lambda$ により定義され、 $\lambda$ を説明変数の関数として定式化した

$$\lambda_n = \exp(\beta X_n)$$

$X_n$ :個人nの説明変数  
 $F_n$ :個人nのトリップ  
 $\lambda_n$ :個人nの微小時間帯におけるトリップ発生確率

以下の対数最尤関数を最大化し、 $\beta$ を推定できる

$$LL = \sum_n \ln \left[ \frac{\{\exp(\beta X_n)\}^{F_n} \exp\{-\exp(\beta X_n)\}}{F_n!} \right]$$

# 11.3 トリップ頻度選択

## -2. 効用モデル(潜在的な心理量：効用の確率分布を定義するモデル)

### ■ ordered · probit/logit · probit モデル(6.2.6項に参考)

- ・ トリップ頻度のモデル化に適用の場合、潜在量  $F_n^*$  を潜在的な心理量(効用)として解釈
- ・ トビットモデルとの相違はトリップ頻度  $F_n$  の離散性を考慮した点

$$F_n = \begin{cases} \dots\dots\dots \\ 2 & \text{if } \theta_2 \geq F_n^* > \theta_1 \\ 1 & \text{if } \theta_1 \geq F_n^* > 0 \\ 0 & \text{if } \theta_2 \leq 0 \end{cases}$$

$F_n^* = \beta X_n + \varepsilon_n$        $\theta_n$ : しきい値  
 $F_n$ : 個人nのトリップ頻度  
 $\varepsilon_n$ : 誤差項

### ■ 離散選択モデル

- ・ トリップ頻度1回,2回…のそれぞれ個別の選択肢と見なし,それらの選択肢集合からの選択問題としてトリップ頻度の決定を解釈する
- ・ 効用値が最大となるトリップ頻度を選択

$$U_{fn} = \beta X_{fn} + \varepsilon_{fn}$$

$U_{fn}$ : 個人nのトリップ頻度fの効用

$\varepsilon_{fn}$ : 誤差項

定義により, ロジット/プロビット/ネステッドロジットモデル等に分類される

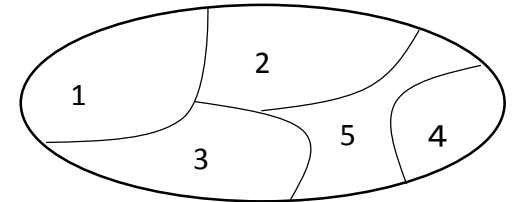
## 11.4 目的地選択のモデル化

- ランダム効用理論に基づく  
(離散選択モデル) → 効用モデル
- ある目的地が選択される頻度の確率分布を定式化する  
(直接需要モデル) → 非・効用モデル

### 1. ゾーンシステムに基づいた目的地選択のモデル化

ゾーンシステム：

分析対象とする地理平面を複数のゾーンに分割し、それらのゾーンの集合で地理平面を表現



#### ● 直接需要モデル：

- ・ トリップ頻度の個人別の集計を取る際に目的地を配慮している点を除けば、トリップ頻度選択モデルと同一
- ・ 隣接する複数の目的地へのトリップ頻度は相関が生じることが考えられ、各目的地へのトリップ頻度の誤差の間の共分散を推定する方法（8章：構造方程式モデルに参考）

# 11.4 目的地選択のモデル化

## -1.ゾーンシステムに基づいた目的地選択のモデル化

### ●離散選択モデル

効用が最大化となる目的地を選択する

$$U_{in}^d = \beta X_{in}^d + \varepsilon_{in}^d$$

$U_{in}^d$ :個人 $n$ の目的地 $i$ の効用

$X_{in}^d$ :個人 $n$ の目的地 $i$ の説明変数ベクトル

$\varepsilon_{in}^d$ :誤差項 (ガンベル分布の場合が多い)

目的地の選択は数百,千にもなりうるため, 誤差項はガンベル分布を仮定し、ロジットモデルとして定式化することが多い

# 11.5 トリップ発生頻度・交通手段・目的地選択の統合モデル

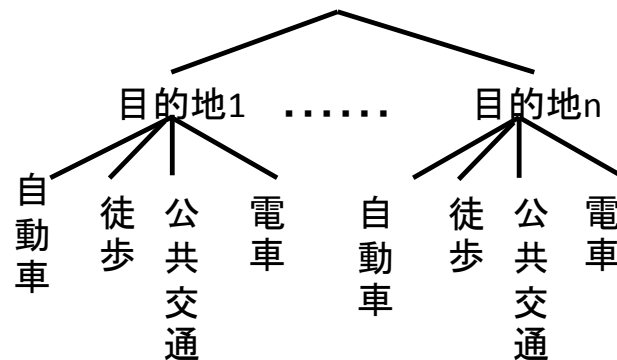
トリップ頻度, 交通手段, 目的地の選択は相互に関連する

➔ 多次元の同時選択確率が定式化

## ■ 交通手段と目的地

複数の選択次元を異なる階層に配置した選択構造

→ **nested logit model**



## ■ 目的地とトリップ頻度

- ・ 目的地とトリップ頻度を異なる階層に配置→ **nested logit model**
- ・ **資源配分モデル** (一定期間での個人別交通行動集計値の同時生起確率を誘導するモデル)

Nested logit : 誤差項の共分散を推定→相互関係

資源配分 : 所得や自由時間といった制約条件の下で Trade-off という形で相互依存性をモデル化する

## ■ 同時記述モデル

3つの選択を同時に記述モデル



トリップチェン, ツアー, 生活活動パターンをモデル対象(次章)

## 11.6 経路選択のモデル化

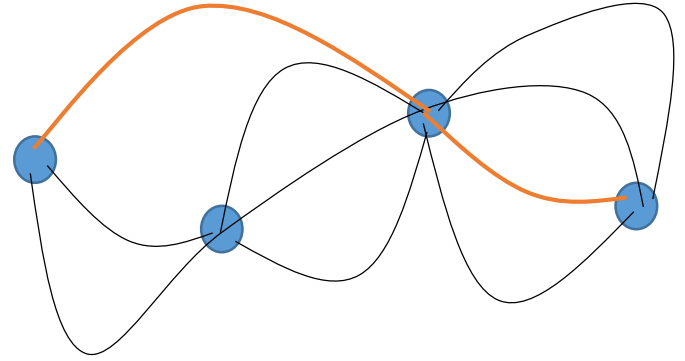
集計的交通需要予測手法「配分」に対応する経路選択モデルはいくつかの問題点により、実際的な交通需要予測への適用可能性は未だ低い。以下問題点について述べる。

ランダム効用理論に基づき以下のように定義

$$I_n^r = \arg \max_{i \in \Omega_{rn}} (U_{in}^r)$$

$\Omega_{rn}$ : 個人 $n$ の選択肢集合  
 $I_n^r$ : 個人 $n$ が選択する経路  
 $\arg \max_{i \in \Omega_{rn}} (U_{in}^r)$ :  $U_{in}^r$  が最大となる選択肢

# 11.6 経路選択のモデル化



## 課題 1 : 経路選択し集合の同定

- ネットワーク上のリンクの連なりである経路は膨大な数となり、数値計算が困難
- 利用可能の複数の経路が重複している場合、誤差項の共分散を考慮する必要があるが、選択肢が多くなると推定が困難
- 個人が膨大な数のすべての経路選択を考慮した上で選択を行うとは考えられないため、選択肢集合を同定する方法論が必要となる。しかし、個人がリンクの属性を認知しているのではなく、複数のリンクで構成される経路の属性を認知しているため、選択肢集合の同定が困難

# 11.6 経路選択のモデル化

## 課題 2 : 不確実性下の意思決定の記述

- 経路による**所要時間は確率的に変動**し、利用者は所要時間を曖昧に認知したまま意思決定を行っていると考えられる

→ 運転者の認知所要時間を確率変数とした上で期待効用最大化仮説を適用するというアプローチ

$$U_{in}^r = \int_0^{\infty} U_{int}(t) f_i(t) dt$$

$f_i(t)$ : 経路*i*の所要時間が*t*である確率密度  
 $U_{int}$ : 経路*i*の所要時間*t*の場合の効用

- **問題点**: 期待効用最大化仮説は、意思決定者は必ずしも危険回避選好を持つのではなく、**参考点超えるとリスクへの態度が逆転**という実証知見(リフレクション効果)などに批判された

→ 状況依存焦点モデル: リスク態度が状況に依存して変化することを仮定して不確実性下の意思決定を記述するもの (期待効用理論と同型)

- **問題点**:  $f_i(t)$  は**主観的な所要時間の確率分布**であり、定式化には不明点が多い。

→ 不正確確率理論(主観的確率の上限と下限値を仮定)、ファジー理論に基づいた行動モデルが実用性を期待されている



# 第12章

## ■Activity-Based Approach

- Trip-Based Approachの限界
- 構造方程式モデルを適用した生活行動モデル
- Hazard Based Duration モデルに基づく生活行動モデル
- 効用理論に基づく生活行動モデル
- 意思決定プロセスを配慮した生活行動モデル

# 12. Activity-Based Approach

## -12.1 Trip-Based Approach の限界

[今日はお酒を飲みに行くから電車通勤しよう]

活動の性質による交通手段や目的地といったトリップ属性が規定される例が多い

### □ trip-based approach :

- 移動の直後の活動の種別を トリップ目的 という形で要因として導入
- 外生変数 として導入 → とらえきれない移動と活動の因果関係を存在)

### □ activity-based approach:

- 交通需要は活動の実行に伴って誘発されるものである
- トリップは個人が時空間内で実行する生活行動の一部である

このアプローチに基づいた交通需要解析モデル(生活行動モデルと呼ぶ)  
前章のトリップモデルとの違い:

**モデル化の対象に次元の異なる複数の意思決定が同時に含まれる**  
→ 複雑化, 種類が多い

# 12. Activity-Based Approach

## -12.2 構造方程式モデルを適用した生活行動モデル

個人1日の生活行動をトリップ数, 活動数, 活動時間などで表したとすると,

- これらの複数の指標を内生変数とする連立型の回帰モデル

$$Y = BY + \Gamma X + \Sigma$$

$Y$ :生活行動の指標ベクトル

$B, \Gamma$ :パラメータ行列

$X$ :説明変数ベクトル

$\Sigma$ :誤差項ベクトル

例:

ある地域の就業者の勤務終了後から就寝までの生活パターン:

$$\begin{bmatrix} N_{trips} \\ N_{chains} \\ D_{out} \\ D_{ntrips} \\ D_{home} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{trips} \\ N_{chains} \\ D_{out} \\ D_{ntrips} \\ D_{home} \end{bmatrix} + \Gamma X + \Sigma$$

説明変数:

個人属性 (年齢, 性別), 通勤時間, 仕事の開始時間と終了時間など

内生変数:

$N_{trips}$ :最初に帰宅するまでのトリップ回数  
 $N_{chains}$ :帰宅してからのホームベースのトリップチェーン数

$D_{out}$ :自宅以外での自由活動時間

$D_{ntrips}$ :通勤以外のトリップ時間

$D_{home}$ :在宅時間

時間的に先行する活動の指標から続く活動への指標への因果関係が仮定される

$$N_{trips} \rightarrow N_{chains}; D_{out}, D_{ntrips} \rightarrow D_{home}$$

# 12. Activity-Based Approach

## -12.3 Hazard-Based Durationモデルに基づく生活行動モデル

生活行動をモデル化上で重要な対象：

**活動時間** ↔ **トリップ出発時刻** と直接関連のため

1日交通行動の時間的推移を表現する場合に重要な要素

活動時間は**非負**の変数 → Hazard-based durationモデル(10章)

$$D = D_0 \exp(BX)$$

$D$ : 対象とする活動時間

$D_0$ : 誤差項(ワイブル/ロジスティック分布)

$X$ : 説明変数ベクトル

$B$ : パラメータベクトル

- Competing hazard modelにより, 活動時間だけではなく活動の実行の有無を再現
- ある活動の実行が開始時刻を与えた場合：
  - ①活動の終了時刻
  - ②その活動終了後に実行する活動内容を同時に算定

# 12. Activity-Based Approach

## -12.4 効用理論に基づく生活行動モデル

個人の時間軸上の活動を効用理論に基づいて定式化（初期的研究）

**：衣類や食料品などの材の消費量は、収入だけでなく時間も必要とする経済活動と認識**

$$\max. U_n(Z)$$

$$s.t. TI > I(Z) \text{ and } TT < T(Z)$$

$Z$ : 各種材の消費量

$U_n(Z), I(Z), T(Z)$ : 効用, 費用, 時間

$TI$ : 総収入

$TT$ : 利用可能の総時間

財の消費は活動である



交通需要解析行う方法論

# 12. Activity-Based Approach

## -12.4.1 資源配分モデル

活動 { 在宅活動  
宅外活動 : 活動時間が配分される場合, 外出トリップ生成

個人のそれぞれへの配分時間を消費者理論の枠組みで

$$\begin{aligned} \max. \quad & U_n(D_{home}, D_{out}) \\ \text{s.t.} \quad & D = D_{home} + D_{out} \end{aligned}$$

$D_{home}, D_{out}$ : 自宅, 宅外の活動時間  
 $U_n(D_{home}, D_{out})$ : 各時間を実行した後の効用  
 $TI$ : 総収入  
 $D$ : 利用可能な総時間

| 離散的な選択   |   | 連続変数の選択       |
|----------|---|---------------|
| 目的地選択    | → | 移動距離          |
| 活動内容     | → | 配分時間          |
| 買い物目的地選択 | → | 各目的地での購入する財の量 |

# 12. Activity-Based Approach

## 12.4.2 離散選択モデル

適用した生活行動モデルとして、

活動数、活動内容、活動場所、活動施設の来訪順列、トリップの交通手段→ **離散的な要素の組み合わせ**からなる生活パターンの中から、最大の効用を与えるものを選択するという仮説に基づきモデル。

## 12.4.3 離散－連続モデル

- 資源配分モデルと離散選択モデルを統合するモデル

例：就業者が勤務終了後に直帰と非直帰という2項選択と、非直帰の場合の移動時間の両方を内生化した離散-連続モデルを提案

# 12. Activity-Based Approach

## -12.5 意思決定プロセスを考慮した生活行動モデル

### 前節

Hazard-based duration モデル, 効用モデル, いずれも個人が行った複数の意思決定の結果として現れる生活パターンと個人属性などの統計的な関係を記述するモデル

### 本節

個人の意思決定のプロセスを表現する生活行動モデル

### 12.5.1 満足化原理に基づく生活行動モデル

「最大化原理」：選択肢集合中の最大の効用を与える選択肢を選択  
現実性は批判される

「**満足化原理**」：

- ・ 個人は, ある一定水準以上の効用を与える選択肢を選択する
- ・ 例) AMOS : 交通需要マネジメントを評価するためのモデル



# 12. Activity-Based Approach

## -12.5.2 逐次的意思決定過程を仮定する生活行動モデル

単純なモデル

- ① 最初の活動要素(活動内容, 場所, 時間など)を決定 ⇒ 実行
- ② 2 番目, ③ 3 番目...

- 理論の妥当性は実験分析により示した :

個人は全体を通じての最適化を図るようなことをせずに逐次的な意思決定を行う傾向が強い

- 適用上の利点

| 逐次的意思決定                                     | 同時意思決定(効用最大化)              |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| 計算時間が抑えられ, 数万人の1日の生活活動の再現数十分で終了(PCATSなどによる) | 全ての活動要素の組み合わせを考慮のために選択数が膨大 |

- 問題点 : 個人の意思決定は完全に逐次であるとは言えない  
全体の生活行動を考慮する必要 ➡ 離散一選択モデルの導入  
(ある時点でのトリップにおける交通環境の変化によって, その時点以前のトリップが変化する事態など表現できない)

# 12. Activity-Based Approach

## -12.5.3 意思決定情報処理プロセスを仮定する生活行動モデル

前節：複数の意思決定間の時間的順序に関する仮定

→それぞれの意思決定の情報処理プロセスを考慮したものではない

代表例(シミュレータ)：

- **SCHEDULER(Garling et al., 1989)**

個人の記憶が個人の行動に及ぼす影響や、行動の実行に伴う記憶の蓄積、並びに、世帯内の各個人の相互関係を考慮した上で、各個人の生活パターンを生成するモデル

問題点：

- 交通需要解析に適用→困難
- 生活行動のスケジュールの形成過程についての概念的な説明→有効
- 交通政策の質的な影響：「何に影響されるのか？」「誰に影響があるのか」という側面を理解する →不十分

# まとめ 第4部 現象分析

## ■ トリップ頻度,目的地,交通機関,経路選択

- 交通行動の捉え方とそのモデル化
- 交通機関選択のモデル化
- トリップ頻度選択
- 目的地選択のモデル化
- トリップ発生頻度・交通機関・目的地選択の統合モデル
- 経路選択のモデル化

## ■ Activity-Based Approach

- Trip-Based Approachの限界
- 構造方程式モデルを適用した生活行動モデル
- Hazard Based Duration モデルに基づく生活行動モデル
- 効用理論に基づく生活行動モデル
- 意思決定プロセスを配慮した生活行動モデル