

# 交通機関選択特性の異質性を考慮した 分担配分統合モデルの構築

富永 真裕<sup>1</sup>・嶋本 寛<sup>2</sup>・宇野 伸宏<sup>3</sup>・Jan-Dirk SCHMOECKER<sup>4</sup>・  
中村 俊之<sup>5</sup>・山崎 浩気<sup>6</sup>

<sup>1</sup>学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:tominaga@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 宮崎大学准教授 工学部社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)  
E-mail:shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 京都大学准教授 経営管理大学院 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 京都大学准教授 大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:schmoecker@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 京都大学助教 大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:nakamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 京都大学助教 大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail:yamazaki@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究では、ある交通機関に対する選好やコストに対する感度の差異が旅行者の交通行動に与える影響を捉えるツールとして、交通機関選択特性の異質性を考慮した分担配分統合モデルを構築した。具体的には、交通機関に対する嗜好性やコストに対する感度の差異をもとに複数のクラスに分類した旅行者を、同時にネットワークに配分する分担配分統合モデルを均衡問題として定式化している。

その後、このモデルを簡易的な仮想ネットワークに適用しモデルの性能を評価した。さらには、本研究で構築した交通機関選択特性の異質性を考慮した分担配分統合モデルを用いて、旅行者の機関選択・配分に対する感度分析を行った。

**Key Words :** *Combined mode and route choice network equilibrium model, choice set, heterogeneity, preference, sensitivity analysis*

## 1. はじめに

交通ネットワーク配分モデルは、4段階推定モデルの1つのサブモデルであり、長期における交通予測を行う上で有用なモデルであるといえる。しかし、交通機関別のOD交通量を所与とするため、他の段階との整合性がとれていないという問題点があり、これを解決するために機関選択と経路選択を統合した均衡モデル(例えば、河上ら<sup>1)</sup>、長尾ら<sup>2)</sup>、樋口ら<sup>3)</sup>)も数多く提案されており、さらにはトリップ生成、機関選択、経路選択を統合した均衡モデルも提案されている(Oppenheim<sup>4)</sup>)。一方で、人々の交通機関選択には嗜好性やコストに対する感度の違いがあることが示されている<sup>5) 6)</sup>が、これまでの分担配分統合モデルにおいて十分に考慮されていない点は大

きな課題といえる。

人々が多種多様な生活スタイルを送る現代社会においては、多様な利用者に対して多様な施策の評価・検討を行う必要性があり、交通機関の選択に対する嗜好性等を考慮した分担配分統合モデルを構築する必要性も同様に生じているといえる。

そこで本研究では、旅行者の特性の違いを踏まえた交通施策の評価ニーズに応えることを目的とし、交通機関に対する嗜好性やコストに対する感度の違いを考慮した分担配分統合モデルを構築し、仮想ネットワーク上に適用したケーススタディから得られる知見をまとめる。

## 2. 交通機関選択特性の異質性を考慮した分担配分統合モデルの構築

本章では、交通機関選択特性の異質性を考慮した分担配分統合モデルの定式化を行う。

### (1) モデルの概要

本研究で構築するモデルにおいて、自動車とバスからの2種類の交通機関からなる交通ネットワークを想定する。他の分担配分統合モデルと同様に旅行者は各交通機関におけるOD間のコストを考慮し交通機関を選択すると仮定し、機関選択の際には、旅行者の各交通機関のコストに対する認知に誤差が生じるものと考え、機関選択確率を各交通機関のOD間のコストに対するロジットモデルで記述し、機関選択に関する均衡を仮定する。

自動車を選択した旅行者の経路選択はWardropの第1原則を満たす。一方でバスについてはリンク所要時間を固定した条件下でWardropの第1原則に基づいた配分を行い、緩和法により自動車とバスのリンク所要時間が一致するように更新する。

また、その他に以下の前提条件を設定する。

1. 旅行者を選択特性に応じて $m=1,2,\dots,M$ のクラスに分類可能であるとし、クラスごとに交通機関に対する選択特性値 $\gamma$ 、コストに対する感度 $\theta$ を設定することによって選択特性の異質性を考慮する。
2. 旅行者の総OD需要と各クラスに属する需要は所与で一定とする。
3. バスの所要時間は自動車利用者数増加に起因する道路混雑の影響を受ける。
4. 自動車を利用する場合、相乗りは行わない。
5. バス停までの移動手段は徒歩とする。

### (2) 選択特性の異質性を考慮した機関分担

本研究で構築するモデルにおいて、クラス $m$  ( $m=1,2,\dots,M$ )に属する旅行者は以下に示す選択確率に基づいて交通機関(自動車またはバス)を選択すると仮定する。ここで、 $p_{rs}^{m,PT}$ はクラス $m$ に属する旅行者のバス選択確率を、 $p_{rs}^{m,PC}$ はクラス $m$ に属する旅行者の自動車選択確率を表している。

$$p_{rs}^{m,PT} = \frac{1}{1 + \exp\{-\theta^m(C_{rs}^{PC} - C_{rs}^{PT} + \gamma^m)\}} \quad (1)$$

$$p_{rs}^{m,PC} = 1 - p_{rs}^{m,PT} \quad (2)$$

なお、 $PT$ 、 $PC$ はそれぞれバス、自動車を表し、 $C_{rs}^{PT}$ 、 $C_{rs}^{PC}$ は $rs$ 間のそれぞれの移動手段のコストである。式(1)、(2)において、 $\theta^m$ 、 $\gamma^m$ はそれぞれクラスごとに定義する分散パラメータ、交通機関選択に対する特性値であり、前提条件で述べたように旅行者の機関選択特性を表している。旅行者の交通機関に対する嗜好性やコストに対する感度は、交通機関選択において特に大きな影響を及ぼすと考えられ、この2つのパラメータを組み合わせること

により、多様な機関選択の表現が可能となる。

### (3) 均衡条件

#### a) 機関選択における均衡条件

機関選択に関する均衡状態は式のように表される。

$$q_{rs}^{m,PC} \left( C_{rs}^{PC} + \frac{1}{\theta^m} \ln q_{rs}^{m,PC} - \kappa_{rs} \right) = 0 \quad (3)$$

$$C_{rs}^{PC} + \frac{1}{\theta^m} \ln q_{rs}^{m,PC} - \kappa_{rs} \geq 0 \quad (4)$$

$$q_{rs}^{m,PT} \left( C_{rs}^{PT} + \frac{1}{\theta^m} \ln q_{rs}^{m,PT} - \kappa_{rs} \right) = 0 \quad (5)$$

$$C_{rs}^{PT} + \frac{1}{\theta^m} \ln q_{rs}^{m,PT} - \kappa_{rs} \geq 0 \quad (6)$$

ここで、 $C_{rs}^{PC}$ 、 $C_{rs}^{PT}$ はそれぞれ $rs$ 間の自動車、バスの移動コストを、 $q_{rs}^{m,PC}$ 、 $q_{rs}^{m,PT}$ はそれぞれ、クラス $m$ に属する旅行者の $rs$ 間の自動車需要とバス需要を表しており、 $\kappa_{rs}$ はODペア $rs$ における最小コストである。

#### b) 自動車ネットワークの均衡条件

自動車ネットワークにおける均衡状態は以下に示すWardropの第1原則により表現する。

$$f_{rs,k}^{m,PC} (C_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) - C_{rs}^{PC*}) = 0 \quad (7)$$

$$C_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) - C_{rs}^{PC*} \geq 0 \quad (8)$$

$f_{rs,k}^{m,PC}$ はクラス $m$ における経路 $k$ を通る自動車交通量であり、 $C_{rs}^{PC*}$ はODペア $rs$ における自動車ネットワークの最小コストを表している。 $\mathbf{f}$ は経路交通量であり、経路コストは以下に示すようなリンクコストの和で表される。

$$C_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) = \tau \sum_{a \in A} \delta_{rs,k}^a t_a(x_a) \quad (9)$$

ここで、 $\tau$ は自動車旅行時間に対する時間価値を、 $\delta_{rs,k}^a$ はリンク $a$ がODペア $rs$ の経路 $k$ に含まれていれば1を、そうでなければ0をとる変数を表す。また、リンク所要時間 $t_a$ は以下に示すように自動車とバスの合計のリンク交通量に対するBPR関数として定義される。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (10)$$

ただし、 $t_{a0}$ はリンク $a$ の自由流旅行時間、 $C_a$ はリンク $a$ の容量、 $\alpha$ 、 $\beta$ はパラメータである。

これらの式とフロー保存則から自動車の経路均衡は表現できる。

#### c) バスネットワークの均衡条件

バスネットワークにおける均衡条件は以下の式で表される。

$$y_p^m (g_p^m(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - C_{rs}^{PT*}) = 0 \quad (11)$$

$$g_p^m(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - C_{rs}^{PT*} \geq 0 \quad (12)$$

$y_p^m$ はクラス $m$ におけるバス経路交通量であり、 $C_{rs}^{PT*}$

はODペア $rs$ におけるバスネットワークの最小コストである。 $g_p^m(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ はクラス $m$ におけるバスベクトルコスト関数を表し、 $\mathbf{x}, \mathbf{y}$ はそれぞれ自動車、バスのリンク交通量である。なお、本研究においてバスは頻度ベースのサービスを想定する。頻度ベースの公共交通配分モデルについては、Kurauchi et al.<sup>8)</sup>などを参照されたい。

#### (4) 不動点問題としての定式化

式(9)に示すようにリンク所要時間  $t_d(x_d)$ によりそれぞれの交通機関の経路コスト  $C^C, C^{PT}$  が算出されるが、式(1)、式(2)に示すようにそれぞれの交通機関の経路コストをもとにそれぞれの交通機関の需要が決定される。このような関係は以下に示すような不動点問題として定式化できる。

$$\mathbf{Z} = g(\mathbf{Z}) \quad (13)$$

ただし、 $\mathbf{Z}$ は以下のように与えられる。

$$\mathbf{Z} = (q^{m,PC}, q^{m,PT}, f^m, y^m) \quad (14)$$

なお、本研究では自動車とバスがリンクを共有することを仮定しており、所要時間に関してリンク間の相互干渉があるため等価な最適化問題に変換できず、また解の一意性が保障されないことに注意する必要がある。

### 3. 求解アルゴリズム

本研究では、旅行者の特性ごとに分類された各クラスにおいて、緩和法をもとにしたアルゴリズムにより配分を行う。バスネットワークにおけるリンク所要時間を固定して双方のネットワークに配分する内側ループと、公共交通ネットワークのリンク所要時間を更新する外側ループからなる二重ループ構造となっている。

構築したモデルの求解アルゴリズムのフローチャートは図-1に示した通りであり、詳細を以下に示す。

#### Step0:データの読み込み

ネットワークデータ、バス路線データ、各クラスごとにおけるOD需要、各パラメータを読み込む。

#### Step1:初期解の生成

各クラスにおいて初期実行可能解を設定し、全ての旅行者が自動車を選択するものとして配分を行う。

#### Step2:緩和問題を解く

バス乗客及びバスのリンク交通量所要時間を前回ステップより算出されるものに固定した緩和問題を解き、自動車リンク交通量を更新する。

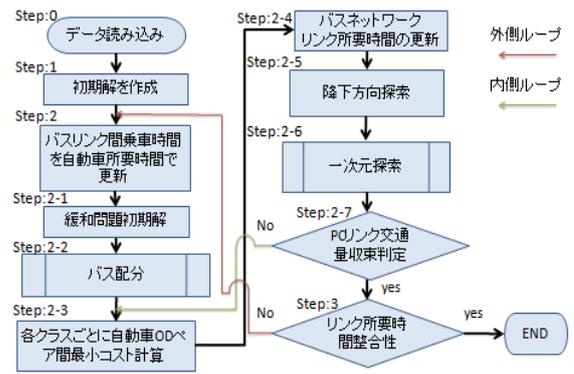


図-1 フローチャート

$$\begin{aligned} \min Z^m = & \tau \sum_{d \in A} \int_0^{X_d^{(i)}} t_d(w) dw + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^{m,PT(i)} c_{rs}^{PT(i)} \\ & + \frac{1}{\theta^m} \sum q^{m,PT(i)} \ln q^{m,PT(i)} + \frac{1}{\theta^m} \sum q^{m,PC(i)} \ln q^{m,PC(i)} \end{aligned} \quad (15)$$

ここで、 $A$ は自動車のリンク集合を表している。

#### Step3:収束判定

バスネットワークにおけるリンク所要時間と自動車ネットワークにおけるその差が閾値以下であれば計算を止め、そうでなければバスネットワークにおけるリンク所要時間を自動車ネットワークにおけるそれに更新してStep2に戻る。

Step2の緩和問題を解くアルゴリズムは以下の通りである。

#### Step2-1:緩和問題の初期解の生成

$j=1$ として、 $q^{m,PC(i),j} = q^{m,PC(i-1)}$ 、 $q^{m,PT(i),j} = q^{m,PT(i-1)}$ とする。ただし、 $q^{m,PC(i-1)}$ 、 $q^{m,PT(i-1)}$ は前回の繰り返し計算におけるStep2の解である。

#### Step2-2:バスネットワークへの配分

$q^{m,PT(i),j}$ を自動車ネットワークに配分し、バス経路コスト  $C_{rs}^{PT(i)}$ を求めめる。

#### Step2-3:自動車ネットワークへの配分

$q^{m,PT(i),j}$ を自動車ネットワークに配分してリンク所要時間を更新する。

#### Step2-4:バスネットワークのリンク所要時間の更新

更新したリンク所要時間をもとに  $C_{rs}^{PT(i),j}$ の計算を行う。

#### Step2-5:降下方向の探索

以下の式により、モード選択者数に関する補助変数  $v_{rs}^{m,PT(i),j}$ 、 $v_{rs}^{m,PC(i),j}$ を計算する。

$$v_{rs}^{m,PT(i,j)} = \frac{1}{1 + \exp\{-\theta^m (C_{rs}^{PC} - C_{rs}^{PT} + \gamma^m)\}} q_{rs}^m \quad (16)$$

$$v_{rs}^{m,PC(i,j)} = q_{rs}^m - v_{rs}^{m,PT(i,j)} \quad (17)$$

$v_{rs}^{m,PC(i,j)}$ を、自動車ネットワークの最短経路に流し、モード選択に関する1次元探索を行うための補助変数  $\zeta_a^{PC(i,j)}$ を計算する。

Step2-6: 1次元探索

$$q_{rs}^{m,PC(i,j+1)} = q_{rs}^{m,PC(i,j)} + \zeta(v_{rs}^{m,PC(i,j)} - q_{rs}^{m,PC(i,j)}) \quad (18)$$

$$q_{rs}^{m,PT(i,j+1)} = q_{rs}^{m,PT(i,j)} + \zeta(v_{rs}^{m,PT(i,j)} - q_{rs}^{m,PT(i,j)}) \quad (19)$$

$$x^{(i,j+1)} = q^{(i,j)} + \zeta(\xi^{(i,j)} - x^{(i,j)}) \quad (20)$$

と置き、 $q_{rs}^{m,PC(i,j)}$ 、 $q_{rs}^{m,PT(i,j)}$ を求めた後、式(15)に示す目的関数  $z^m$ を最小にする  $0 \leq \zeta \leq 1$ を求める。

Step2-7: 収束判定

交通機関別のリンク交通量が収束していなければ  $j=j+1$ としてStep2-3へ戻り、収束していればStep3に進む。

## 4. ケーススタディ

### (1) ケース設定

本章では、構築したモデルを図-2に示す簡易的な仮想ネットワークに適用し、旅行者の機関選択特性の違いによって生じる機関分担率の変化について検証する。具体的には、機関選択特性値 $\gamma$ やコストに対する感度 $\theta$ に様々な値を適用し旅行者の交通機関選択特性の差異を示す。また、その特性のもとに各クラスの旅行者を一つのグループとし、クラス構成がネットワーク全体の機関選択・配分に及ぼす影響の評価を行う。

図-2において各リンクの距離は2500 [m] であり、図中に示すように路線1と路線2の2本のバス路線が存在するものとする。OD需要は、0, 8間(0から8への移動)と2, 6間(2から6への移動)に存在する。また、計算に必要なパラメータ $\alpha=0.48$ ,  $\beta=2.82^3$ ,  $C_a=100$ ,  $t_{a0}=500$ として設定した。 $C_a$ は交通容量を表し、その値は移動コストに影響を与える。

### (2) パラメータ $\gamma, \theta$ に関する感度分析

まず、異質性を表すパラメータである $\gamma$ と $\theta$ が交通機関の選択確率に及ぼす感度を検証する。機関選択に関する定義式は式(1)、式(2)に示した通りであり、特定の交通機関に対する選好を表すパラメータ $\gamma$ が大きくなるほど自動車コストが大きくなり、自動車の選択確率が小さく

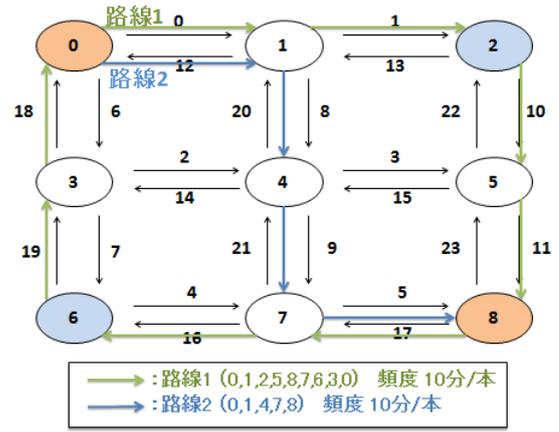


図-2 簡易ネットワーク図

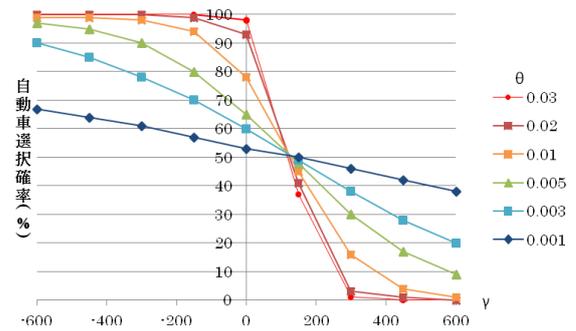


図-3 0,8間におけるOD需要の自動車選択確率

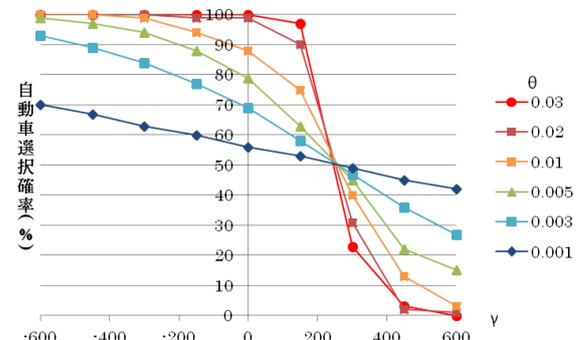


図-4 2,6間におけるOD需要の自動車選択確率

なることが想定される。また、 $\theta$ は自動車とバスのコストの差に対する分散を表しており、 $\theta$ が大きくなるほどコスト差に対して過敏に反応するため選択確率の振れ幅が大きくなることが想定される。図-3、図-4にそれぞれのODペアに対する異なる $\theta$ ごとに $\gamma$ と自動車選択確率の関係を示すが、これらの想定通りの結果となっていることがわかる。

さらに図-3は図-4と比較して、全体的に自動車選択確率が低くなっている。これは、0, 8間がバス路線を2つ有しているのに対し、2, 6間はバス路線を1つしか有していないためである。バス路線が多いほどバスのサービス水準は高く、交通機関としてバスを選択する確率も高くな

るためである。

### (3) 各Case別分担配分結果の比較

#### (a) Case設定

ここでは、各Caseごとにクラスの構成を変え、クラス構成がネットワーク全体の機関選択・配分に及ぼす影響の評価を行う。各Caseを設定する目的は以下の通りである。

- ・Case1：各Caseの基準となる構成
- ・Case2：旅行者特性の変化に関する影響評価
- ・Case3：クラス人数構成比の変化に関する影響評価
- ・Case4：混雑が交通機関選択に与える影響の評価

各Caseのクラス構成は表-1のように設定する。

#### (b) 比較分析

Case1における機関分担の結果と各交通機関の旅行コストを表-2に示している。バス路線数が多く、バス運転本数の合計も多い0,8間は、2,6間と比較して全クラスでバスを選択する旅行者が多いことがわかる。さらに、クラス1とクラス2のパラメータ $\gamma$ が共通であるが、クラス1とクラス2の分担比率を比較すると、コスト差の増減に影響を与える $\theta$ の大きいクラス2において差が大きくなっている。一方、クラス2から4は $\theta$ が共通であるが、交通機関の選好を表す $\gamma$ が大きくなるほど自動車の選択確率が低下している。

Case2では、移動コストに敏感な旅行者を想定し、Case1と比較してコストに対する感度 $\theta$ の差を大きくとっている。機関分担の結果と各交通機関の旅行コストは表-3に示している。0,8間は相対的にバスサービス水準が高いため、Case1のクラス構成と比較してバス選択確率が高くなっている。またそれぞれのクラスに目を向けると、大半の旅行者が自動車を選択するクラス、反対に大半の旅行者がバスを選択するクラスがあるとわかる。これはコストに対する感度 $\theta$ が大きいため、機関選択に明確な差異が現れることに起因する。2,6間についても同様のことがいえる。クラス4についてはほぼ全員が自動車を選択するという結果が見られる。このクラスにおいては機関選択がほぼ自動車で固定されているため、サービス水準の変化の影響をほとんど受けていないことがわかる。

Case3におけるクラス分類は、各クラスの機関選択特性はCase1と変化させずに各クラスの人数構成比のみを変化させている。機関分担の結果と各交通機関の旅行コストを表-4に示している。Case1と比較して全体としてのバス選択確率が高くなっている。これは特定の交通機関に選好を持たないクラスの人数比率を少なくし、バスに対して優位性をもつクラスの人数比率を大きくしたためである。バスのサービス水準が変化しなくても、バスに対する選好の高い属性の人数が増加することで、当該

表-1 各Case別のクラス構成

Case1				Case3			
クラス	$\theta$	$\gamma$	人数(人)	クラス	$\theta$	$\gamma$	人数(人)
1	0.005	0	50	1	0.005	0	50
2	0.01	0	50	2	0.01	0	20
3	0.01	150	50	3	0.01	150	80
4	0.01	-150	50	4	0.01	-150	50
Case2				Case4			
クラス	$\theta$	$\gamma$	人数(人)	クラス	$\theta$	$\gamma$	人数(人)
1	0.001	0	50	1	0.005	0	250
2	0.02	0	50	2	0.01	0	50
3	0.02	150	50	3	0.01	150	50
4	0.02	-150	50	4	0.01	-150	50

表-2 Case1のクラス別各交通機関利用者数

		ODペア 0→8		ODペア 2→6	
		バス(人)	自動車(人)	バス(人)	自動車(人)
利用者数	クラス1	17.1	32.9	10.7	39.3
	クラス2	10.7	39.3	3.4	46.6
	クラス3	27.4	22.6	12.4	37.6
	クラス4	2.8	47.1	0.8	49.2
	全体	58.0	141.9	27.3	172.7
旅行コスト		482.5	348.8	616.0	353.0

表-3 Case2のクラス別各交通機関利用者数

		ODペア 0→8		ODペア 2→6	
		バス(人)	自動車(人)	バス(人)	自動車(人)
利用者数	クラス1	24.2	25.8	23.4	26.6
	クラス2	10.6	39.4	3.4	46.6
	クラス3	42.2	7.8	29.9	20.1
	クラス4	0.7	49.3	0.2	49.8
	全体	77.7	122.3	56.9	143.1
旅行コスト		382.8	315.4	449.7	317.5

表-4 Case3のクラス別各交通機関利用者数

		ODペア 0→8		ODペア 2→6	
		バス(人)	自動車(人)	バス(人)	自動車(人)
利用者数	クラス1	16.9	33.2	10.6	39.5
	クラス2	4.1	15.9	1.3	18.7
	クラス3	43.1	37.3	19.4	60.9
	クラス4	2.8	47.3	0.8	49.2
	全体	66.9	133.7	32.1	168.3
旅行コスト		468.4	335.4	602.3	339.9

表-5 Case4のクラス別各交通機関利用者数

		ODペア 0→8		ODペア 2→6	
		バス(人)	自動車(人)	バス(人)	自動車(人)
利用者数	クラス1	81.9	168.0	50.7	199.3
	クラス2	9.7	40.3	3.1	46.9
	クラス3	25.9	24.1	11.3	38.7
	クラス4	2.6	47.4	0.7	49.2
	全体	120.1	279.8	65.8	334.1
旅行コスト		1600.1	1448.3	1731.7	1449.7

クラスのみならず全体のバス選択確率が増加することが確認された。

最後に、Case1から機関選択特性値 $\gamma$ が0であるクラス1の需要を増加させたCase4を設定した。配分結果は表-5の通りである。旅行者のパラメータはCase1と同じであるが、クラス1の需要を増やし、全体としてのOD需

要を2倍にしている。Case1と比較すると、クラス2から4の機関分担率に多少変化が見られる。これは、旅行者需要の増加に伴う混雑により旅行コストが増大し、両機関の旅行コスト差が大きくなったことに起因して、自動車利用者数が増大したものと考えられる。

次に、配分結果について見る。表-6に各Caseの配分結果を、表-7は各Caseのリンク別バス乗客者数を示す。リンクの番号は図-2の簡易ネットワークを参照されたい。例えば、Case1においてOD0, 8間の2つの経路（ノード：0→1→2→5→8とノード：0→1→4→7→8）の経路コストがおおよそ27.0分であるなどのように、均衡状態が成立していることが確認できる。また、各ケースで交通量の多いリンクは概ね同じであることもわかる。

Case1と比較してCase2はバスの利用者数が多く、各リンクの旅行時間が短くなっている。また、旅行者の数が多きCase4では、各リンクにおける混雑が旅行時間に大きな影響を与えていることが見てとれる。リンク別バス乗客者数に関しては、バス路線が1つのみのOD2, 6間の乗客者数はバス路線が2つあるOD0, 8間の乗客者数よりも多い。これは、バスの運行本数に影響されている。

## 5. おわりに

分担配分統合モデルは数多く提案されているが、それらのモデルは簡便性を重視し、旅行者がそれぞれの交通機関の移動コストに基づき利用する交通機関を選択するという前提のモデルである。そして、その選択規範は全旅行者の間で一律として設定されており、旅行者の特性を十分に考慮できていないといえる。本研究では、そのような問題点に着目し、交通機関選択特性の異質性を考慮した分担配分統合モデルを構築した。その後、構築したモデルを仮想ネットワークに適用し、従来の分担配分統合モデルでは表現できなかった、交通機関選択特性の異質性が旅行者の分担配分に及ぼす影響を検証した。

本研究から得られた主な結果は以下の通りである。

- ・ 機関選択特性値 $\gamma$ やコストに対する感度 $\theta$ の差異を考慮した分担配分統合モデルを用いることで、従来の分担配分統合モデルでは確認できなかった選択特性の異質性が旅行者の分担配分に及ぼす影響を検証できた。
- ・ 交通機関に対する嗜好性の差異等により分類されたクラスの構成やOD需要が変化することで、全体としての機関選択・配分に影響が及ぶ。

また、本稿では構築したモデルの性能を評価するために、機関選択特性値 $\gamma$ やコストに対する感度 $\theta$ を恣意的に

表-6 各Caseの配分結果

リンク	交通量(台)				旅行時間(分)			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
0	72.3	61.4	68.3	141.5	6.0	5.6	5.8	18.9
1	11.0	11.5	7.9	23.8	5.0	5.0	5.0	5.6
2	58.7	49.5	55.9	114.6	5.5	5.3	5.5	12.3
3	58.7	49.5	55.9	114.6	5.5	5.3	5.5	12.3
4	11.0	11.4	7.9	23.8	5.0	5.0	5.0	5.6
5	72.3	61.4	68.3	141.5	6.0	5.6	5.8	18.9
6	106.4	89.9	101.0	207.9	7.9	6.8	7.5	44.2
7	107.8	90.8	102.6	210.2	8.0	6.9	7.6	44.3
8	100.5	84.7	95.6	196.0	7.5	6.5	7.1	37.5
9	100.5	84.7	95.6	196.0	7.5	6.5	7.1	37.6
10	107.8	90.8	102.6	210.1	8.0	6.9	7.6	44.3
11	106.5	90.0	101.0	207.8	7.9	6.8	7.5	44.2
12	36.7	29.0	37.3	69.5	5.1	5.1	5.1	5.6
13	75.9	63.8	72.5	147.8	6.1	5.7	6.0	19.0
14	60.1	50.4	57.4	116.9	5.6	5.4	5.5	12.3
15	60.0	50.4	57.4	116.9	5.6	5.4	5.5	12.3
16	75.9	63.8	72.5	147.7	6.1	5.7	6.0	19.0
17	36.7	29.0	37.2	69.5	5.1	5.1	5.1	5.6
18	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0

表-7 各Caseのリンク別バス乗客者数

Case 1			
リンク	乗客者(人)	リンク	乗客者(人)
0	29.0	19	0
1	29.0	18	0
10	56.4	0	29.0
11	56.4	8	29.0
17	27.4	9	29.0
16	27.4	5	29.0
Case 2			
リンク	乗客者(人)	リンク	乗客者(人)
0	38.8	19	0
1	38.8	18	0
10	95.7	0	38.8
11	95.7	8	38.8
17	56.9	9	38.8
16	56.9	5	38.8
Case 3			
リンク	乗客者(人)	リンク	乗客者(人)
0	33.5	19	0
1	33.5	18	0
10	65.6	0	33.5
11	65.6	8	33.5
17	32.1	9	33.5
16	32.1	5	33.5
Case 4			
リンク	乗客者(人)	リンク	乗客者(人)
0	60.1	19	0
1	60.1	18	0
10	125.9	0	60.1
11	125.9	8	60.1
17	65.8	9	60.1
16	65.8	5	60.1

定めている。今後は、モデルの再現性を高める上で、実ネットワークにおける $\gamma$ ,  $\theta$ と各クラスの構成人数を推測することが課題として挙げられる。

## 参考文献

- 1) 河上省吾, 石京: 公共システム解析のための分担配分統合モデルの定式化とその実用性に関する研究, 土木学会論文集, No512/IV-27, pp.35-45, 1995
- 2) 長尾一輝, 中山晶一郎, 高山純一, 円山琢也: 旅行時間の不確実性を考慮した分担・配分統合交通ネットワーク均衡モデルに関する研究-金沢都市圏への軌道系公共交通導入時の道路交通への影響分析を例に-, 土木学会論文集 D, Vol.65, No.1, pp.12-25, 2009.1.
- 3) 樋口貴士, 嶋本寛, 宇野伸宏, 塩見康博: トリップチェーンを考慮した分担配分統合モデルを用いた公共交通施策評価~各時間帯の運行頻度の変更を例として~, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, 277-283, 2011
- 4) Oppenheim, N. *Urban Travel Demand Modeling. From Individual Choices to General Equilibrium*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
- 5) 柴田宗典, 内山久雄: 幹線旅客の交通機関選択行動における意思決定プロセスのモデル化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol26, No3, pp.457-468, 2009.9
- 6) 加藤渉, 寺部慎太郎, 水口昌彦: 都市間鉄道旅客輸送のサービス改善に資するマーケティング方策の検討, 土木計画学研究・論文集 D, Vol.26, 2002
- 7) 土木学会 土木計画学研究委員会 交通需要予測技術検討小委員会: 道路交通需要予測技術の理論と展開 第II編 利用者均衡配分モデルの展開, 丸善, 2006
- 8) Kurauchi,F.,Bell,M.G.H. and Schmöcker,J.-D.Capacity Constrained Transit Assignment with Common Lines, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithm*,2-4,309-327,2003

(?)

## COMBINED MODE AND ROUTE CHOICE EQUILIBRIUM MODEL CONSIDERING HETEROGENEITY IN TRANSPORTATION CHOICES

Masahiro TOMINAGA, Hiroshi SHIMAMOTO, Nobuhiro UNO, Jan-Dirk  
SCHMOECKER, Toshiyuki NAKAMURA and Hiroki YAMAZAKI

This study proposes a combined mode and route choice equilibrium model considering heterogeneity in mode choices in order to measure the influence that preference to transportations and sensitivity to the cost give for traffic action of the travellers. Concretely, the proposed model is formulated as an equilibrium problem which distribute the travellers into the network where travellers are classified in some classes by the difference of preference to transportations and sensitivity to the cost.

Subsequently, this model is applied to a toy network and performance of the model is evaluated. Furthermore sensitivity analysis is carried out in this study.