

グループ意思決定メカニズムを取り入れた世帯時間配分モデルの構築及び実証的分析*

Household Time Allocation Model Incorporating Group Decision-Making Mechanism: Theory and Application *

張 峻屹**・A. Borgers***・H. Timmermans***

By Junyi Zhang **・A. Borgers ***・H. Timmermans ***

1. はじめに

時間利用データを用いた交通行動分析の重要性は従来から指摘されてきている(北村, 1994)が、実務レベルではまだ認識されていない。今日において公共事業の整備に関する適正な評価が厳しく求められているなかで、交通インフラ整備による時間短縮効果や生活水準の向上効果などを合理的な手法に基づきより正確に計測することが国民の合意形成を得るために極めて重要である。

一方、従来の時間利用データを用いたアクティビティ・交通行動モデルは個人の意思決定プロセスを仮定している。例えば、週末の余暇時間を利用してレクリエーション活動を家族全員で行う場合、どこで、なにを、どのぐらい時間を費やすかなど、世帯全構成員がそれぞれ自分の好みに応じて意見を交換し、場合によって妥協や交渉などの手段を用いながら世帯としての最終意思決定を行うと考えられる。しかし、個人意思決定プロセスを仮定した従来のモデルではこのことを内生的に表現することが困難である。

そこで、本研究ではグループ意思決定理論に基づき、新たな世帯時間配分モデルを開発すると同時に、移動時間が世帯時間配分に与える影響に着目して実証分析を行う。

2. 既存のアクティビティ・交通行動モデルのレビュー

ここで、世帯構成員間の相互作用を考慮した既存アクティビティ・交通行動モデルについて簡単にレビューする。

Golob and McNally (1997)は LISRELモデルを適用し、世帯構成員間の相互作用を分析したが、LISRELモデルであるがゆえに、行動的なメカニズムではなく、因果関係の統計

的な有意性のみによって世帯内の相互作用を記述する¹⁾。

アクティビティの発生と交通選択との階層的構造に着目し、NL や PCLモデルを適用した研究がある^{2),3)}が、同一選択階層における世帯構成員間の相互作用は考慮されていない。

これに対して、Gliebe and Koppelman (2000)は加法タイプの効用関数を活用して、他人の効用を取り入れた世帯効用関数を提案し、共用型アクティビティの参加モデルの開発を試みたが、世帯時間配分モデルを内生的に導き出すことができなかった⁴⁾。

上述のモデルと違って、Borgers and Timmermans (1993)は社会相互作用の心理的原則を表現する階層的情報統合理論(Hierarchical Information Integration Theory)を応用し、複数世帯構成員が関与する住宅選択行動に与える交通施設の影響を分析した⁵⁾。SPデータを対象としているモデルなので、RPデータへの適用ができない。

このように、グループ意思決定メカニズムを反映し、一般性のあるアクティビティ・交通行動モデルが開発されていないのは実情である。

3. 世帯効用関数の定式化

グループ意思決定理論は各メンバーが自分の効用、他人の効用を考えながら、グループとしての最終意思決定を行うと仮定する。メンバーは自分の効用を実現するためにいろいろな戦略(命令、交渉、妥協など)を駆使し、どのような戦略をどの程度駆使できるかはそのメンバーのグループ意思決定における相対的な影響力を反映する。

3.1 グループ効用関数のレビュー

グループ効用関数(GUF)として主に以下の2種類がある。

(1) Multi-linearグループ効用関数

$$GUF = w_1 u_1 + w_2 u_2 + w_{12} u_1 u_2 \quad (1)$$

ここで、 u_1 と u_2 はそれぞれメンバー1と2の効用関数を、

*キーワード: グループ意思決定理論、交通行動分析、交通発生

**正員、工博、パシフィックコンサルタンツ(株)総合計画本部交通計画部
(東京都新宿区西新宿2-7-1新宿第一生命ビル20階
TEL03-3344-1109、FAX03-3344-1549)

***Urban Planning Group, Eindhoven University of Technology
(PO Box 513, 5600 MB, Eindhoven, The Netherlands,
TEL031-40-247-4684、FAX031-40-247-5882)

w_i と w_{ij} は各メンバーの重みパラメータを表す。 w_{12} はメンバー間の相互作用パラメータで、その値が大きければ大きいほど、グループとして各メンバーの実現可能な効用が近づくように最終意思決定を行うことを意味する。

式(1)はグループに2メンバーがいることを前提に定義されているが、2人以上のあるグループにも拡張できる。また、アクティビティに関する意思決定の場合、メンバーの take-turn 行動も式(1)により表現することが可能である。take-turn 行動とは、あるアクティビティに関する意思決定によってもたらされたメンバーの効用損失が別のアクティビティに関する決定権をなんらかの戦略で勝ち取ろうとすることである。

注意すべきことは、重みパラメータと相互作用パラメータに関する明確な行動規範がなければ、その推定が困難である。これに関しては、例えば SP 手法により両パラメータを外生的に推定する方法や、個人・世帯属性で両パラメータを定義した上でグループ効用関数に取り入れ内生的に推定する方法が考えられる。しかし、どの方法をとっても、相互作用パラメータの符号と重みパラメータの大きさによってグループ効用最大化を保証できないこともありうる。なお、第2節でレビューした加法タイプの効用関数は multi-linear 効用関数の特殊ケースである。

(2) Nashタイプグループ効用関数

$$GUF = \prod_i (u_i)^{w_i} \text{ or } \prod_i (u_i - \bar{u}_i)^{w_i} \quad (2)$$

ここで $\bar{u}_i$ はメンバー i を除くメンバーの平均効用で、グループ意思決定の参照点 (reference point) となる。

Nashタイプ効用関数は参照点という有効な方法論的概念を提案しているが、推定や拡張が困難であると同時に、例えば参照点の位置によって意思決定の結果が異なってしまうことがありうる等、幾つかの理論的な問題点がある。

3.2 世帯効用関数の定式化

式の行動的論理性、一般性と推定しやすさを考えて、本研究では multi-linear グループ効用関数を採用し、世帯効用関数(HUF)を定式化する。

$$HUF = w^T \times u + u^T \times ww \times u \quad (3)$$

$$ww = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \Lambda & w_{1i} & \Lambda & w_{1n} \\ & 0 & \Lambda & w_{2i} & \Lambda & w_{2n} \\ & & & 0 & M & M \\ & & & & 0 & \Lambda & w_{in} \\ & & & & & 0 & M \\ & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$w^T = [w_1, \dots, w_i, \dots, w_n] \quad (5)$$

$$u^T = [u_1, \dots, u_i, \dots, u_n] \quad (6)$$

$$u_i = r_i^T \times ua_i + ua_i^T \times rr_i \times ua_i \quad (7)$$

ここで、 u は世帯構成員の効用を、 ua はそのアクティビティの効用を表す。マトリクス ww と rr はそれぞれ構成員とアクティビティに関する相互作用パラメータ・マトリクスである (なお、 rr は ww と同様なマトリクスを採用)。本研究では分析作業を簡略化するために、バリエーション相互作用項のみを考慮に入れているが、マルチタイプ相互作用項の導入も容易にできる。

本研究では世帯が行うアクティビティを自宅内と自宅外アクティビティに分ける。後者をさらに仕事のような独立型アクティビティ、買物のような分担型アクティビティと週末で家族全員が郊外で自然散策を楽しむような共用型アクティビティに細分化する。共用型アクティビティはアクティビティ実行の最初から最後まで各構成員が一緒にいるケースとそうではないケースに分かれるが、本研究では前者のみを対象とする。また、アクティビティに関する意思決定は長期、中期と短期のようにタイムスパンの違いによって異なるが、本研究ではそれを区別しない。

4. グループ意思決定理論に基づく世帯時間配分モデルの導出

本研究では式(3)～(7)から定義される世帯効用関数を、以下の利用可能な時間に関する各メンバーの制約条件式のもとで最大化することによって世帯時間配分モデルの開発を試みる。

$$t_i^{hom} + t_i^{ind} + t_i^{alc} + t_i^{shr} = T_i \quad (8)$$

$$t_i^{shr} = t_j^{shr} = t^{shr}, \forall i, j \neq i \quad (9)$$

ここで、 t_i^{hom} 、 t_i^{ind} 、 t_i^{alc} と t_i^{shr} はそれぞれ自宅内アクティビティ、独立型アクティビティ、分担型アクティビティ及び共用型アクティビティの消費時間を表す。

本研究では各アクティビティに必要な移動時間が既知であると仮定する。移動時間が世帯時間配分に与える影響は世帯及びその構成員属性によって異なるため、それらとの線形結合でモデルに取り込むと重共線性という統計的な不都合が生じるばかりではなく、各構成員の移動時間に関する評価の異質性を無視してしまう。そこで、以下の移動時間の影響を考慮したアクティビティ効用関数を提案する。

$$u_i^{hom} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \varepsilon_i^{hom}\right) \ln(t_i^{hom}) \quad (10)$$

$$u_i^{ind} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind} / t_i^{ind} + \varepsilon_i^{ind}\right) \ln(t_i^{ind}) \quad (11)$$

$$u_i^{alc} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc} / t_i^{alc} + \varepsilon_i^{alc}\right) \ln(t_i^{alc}) \quad (12)$$

$$u_i^{shr} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{shr} x_{iq}^{shr} / t_i^{shr} + \varepsilon_i^{shr}\right) \ln(t_i^{shr}) \quad (13)$$

ここで、変数 x は世帯及びその構成員属性、 β はそのパ

パラメータ、変数 tt は移動時間、 ε は誤差項である。

すると、各アクティビティに関する時間配分モデルは以下のよう導かれる。

① 自宅内アクティビティ(hom)時間配分モデル

$$t_i^{hom} = T_i \cdot P(ns) \cdot P_i(hom/ns) \quad (14)$$

② 自宅外独立型アクティビティ(ind)時間配分モデル

$$t_i^{ind} = T_i \cdot P(ns) \cdot P_i(ind/ns) \quad (15)$$

③ 自宅外分担型アクティビティ(alc)時間配分モデル

$$t_i^{alc} = T_i \cdot P(ns) \cdot P_i(alc/ns) \quad (16)$$

④ 自宅外共用型アクティビティ(shr)時間配分モデル

$$t_i^{shr} = T_i \cdot P(s) \quad (17)$$

式(14)～(17)にある各項目はそれぞれ以下ようになる。

$$P_i(hom/ns) = HUF_i(hom) / \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) \quad (18)$$

$$P_i(ind/ns) = HUF_i(ind) / \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) \quad (19)$$

$$P_i(alc/ns) = HUF_i(alc) / \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) \quad (20)$$

$$P(ns) = \sum_i \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) / \sum_i \sum_{j_2} (HUF_{j_2}) \quad (21)$$

$$P(s) = \sum_i HUF_i(shr) / \sum_i \sum_{j_2} (HUF_{j_2}) \quad (22)$$

$$HUF_i(hom) = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(\mu_i, \mu_i^{hom})\right) \quad (23)$$

$$HUF_i(ind) = \exp\left\{\left(\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind}\right) / tt_i^{ind} + \ln(\mu_i, \mu_i^{ind})\right\} \quad (24)$$

$$HUF_i(alc) = \exp\left\{\left(\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc}\right) / tt_i^{alc} + \ln(\mu_i, \mu_i^{alc})\right\} \quad (25)$$

$$HUF_i(shr) = \exp\left\{\left(\sum_q \beta_{iq}^{shr} x_{iq}^{shr}\right) / tt_i^{shr} + \ln(\mu_i, \mu_i^{shr})\right\} \quad (26)$$

$$+ \sum_{i'} \exp\left\{\left(\sum_q \beta_{i'q}^{shr} x_{i'q}^{shr}\right) / tt^{shr} + \ln(\mu_i, \mu_i^{shr})\right\} \quad (27)$$

$$\mu_{u_i} = \partial HUF / \partial u_i = 1 + \sum_{i'} (u_{i'}) \quad (28)$$

$$\mu_{u_i}^{hom} = \partial u_i / \partial u_i^{hom} = 1 + u_i^{ind} + u_i^{alc} + u_i^{shr} \quad (29)$$

$$\mu_{u_i}^{ind} = \partial u_i / \partial u_i^{ind} = 1 + u_i^{hom} + u_i^{alc} + u_i^{shr} \quad (30)$$

$$\mu_{u_i}^{alc} = \partial u_i / \partial u_i^{alc} = 1 + u_i^{hom} + u_i^{ind} + u_i^{shr} \quad (31)$$

$$\mu_{u_i}^{shr} = \partial u_i / \partial u_i^{shr} = 1 + u_i^{hom} + u_i^{ind} + u_i^{alc} \quad (31)$$

ここで、 $j_1 = \{hom, ind, alc\}$ 、 $j_2 = \{j_1, shr\}$ 、 μ_{u_i} は HUF の構成員 i に関する限界効用、 $\mu_{u_i}^{hom}$ 、 $\mu_{u_i}^{ind}$ 、 $\mu_{u_i}^{alc}$ と $\mu_{u_i}^{shr}$ は構成員 i の各アクティビティに関する限界効用である。

上述の導出過程を通じて、世帯時間配分モデル(式(14)～(17))と同時に、従来の選択モデルと違ったアクティビティ選択モデル(式(18)～(22))も得られた。この新たな選択モデルは階層型モデルであるが、同一選択階層における選択肢の相互作用を明確に考慮している。つまり、上位階層における共用型アクティビティとそれ以外の選択では multi-linear 効用関数により構成員間の相互作用が、下位階層における非共用型アクティビティの選択では限界効用によりアクティビティ間の相互依存性がそれぞれ表現されてい

る。明らかに、式(18)～(22)から構成されるこの新たな階層型選択モデルは non-IIA 型選択モデルでもある。

式(10)～(13)で示した効用関数は誤差項 $\{\varepsilon\}$ を含む。各アクティビティに関する時間配分モデルを同時に推定するために、この誤差項の影響を考慮する必要がある。そこで、世帯時間配分モデルに対して以下のように式変換を行う。

$$\ln\left(\frac{t_i^{ind} + 1}{t_i^{hom} + 1}\right) = \left\{ \frac{\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind}}{tt_i^{ind}} - \sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(mv_i^{ind}) - \ln(mv_i^{hom}) + \eta_i^{ind} \right\} \quad (32)$$

$$\ln\left(\frac{t_i^{alc} + 1}{t_i^{hom} + 1}\right) = \left\{ \frac{\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc}}{x_{i_0}^{alc}} - \sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(mv_i^{alc}) - \ln(mv_i^{hom}) + \eta_i^{alc} \right\} \quad (33)$$

$$\ln\left(\frac{t_{i_0}^{shr} + 1}{t_{i_0}^{hom} + 1}\right) = \left[\ln\left(\sum_i HUF_i(shr) / \sum_i \sum_{j_1} HUF_{j_1}\right) + \ln\left\{ \frac{\exp\left(\sum_q \beta_{i_0q}^{hom} x_{i_0q}^{hom}\right)}{\exp\left(\sum_q \beta_{i_0q}^{ind} x_{i_0q}^{ind}\right) / tt_{i_0}^{ind}} + \exp\left(\sum_q \beta_{i_0q}^{alc} x_{i_0q}^{alc}\right) / x_{i_0}^{alc} \right\} - \sum_q \beta_{i_0q}^{hom} x_{i_0q}^{hom} + \eta^{shr} \right] \quad (34)$$

ここで、 $\{\eta_i^{ind}, \eta_i^{alc}, \eta^{shr}\}$ は互いに相関する新たな誤差項で、添え字 i_0 は任意の世帯構成員を指す。本研究ではこれらの誤差項の相関を考慮するために SUR 法を適用する。構成員が n 人いる場合、同時に推定する方程式の数は $2n+1$ である。

5. モデルの推定及び考察

モデルの推定にあたり、オランダで収集されたアクティビティデータを用いた。このアクティビティ調査は ALBATROSS プロジェクト⁶⁾において rule-based 交通需要モデルを開発するために、ロッテルダム地域に居住する 1223 世帯を対象に 1997 年に実施された。1 世帯あたり最大 2 人の構成員が抽出された。本研究ではその中から 2 人の構成員がいる世帯のみをサンプル(平日に 257 世帯、休日に 123 世帯)として選んだ。また、元々 48 種類のアクティビティを自宅内アクティビティ、自宅外アクティビティ(独立型、分担型、共用型)に統合した。

モデルの説明変数として世帯・構成員属性と交通サービス水準の移動時間を取り上げる。前者は、世帯最年長者の年齢(1、25才以下; 2、26~45才; 3、46~65才; 4、66才以上)、世帯有職者数(0、1、2人)、自動車・自転車保有台数及び週間勤務時間を含める。モデルの推定結果を表 1 に示す。重相関係数からみると、平日と休日ともにどのモデルも基本的に良好な精度(0.8 以上)が得られた。

(1)移動時間とアクティビティ時間との関係

表 1 に示す移動時間（逆数）の総効果（つまり、 $\sum_q \beta_{iq}^{shr} x_{iq}^{shr}$, $\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc}$, $\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind}$ ）は移動時間に関する評価の異質性を反映し、その符号からみると、アクティビティの消費時間と移動時間とは正の相関関係にあることが分かる。これは長時間アクティビティに長い移動時間が伴ったことを示唆する。交通インフラの整備による移動時間の短縮はアクティビティ時間を減らすと考えるにいくため、在宅時間の増加と新たなアクティビティの誘発につながると推測される。

(2)平日と休日における意思決定パターンの違い

$r1=u1/(u1+u2)$ と $r2=u2/(u1+u2)$ をそれぞれ男性と女性世帯主の世帯意思決定における相対的な影響力として定義する。その結果、平均的に平日に男性の相対的影響力は 0.48 であるのに対して、休日にはその値は 0.51 に増えた。平日アクティビティに関する女性の影響力は大きく、休日には男性が多少でありながら影響力が大きいのが、男女間の大きな差が見られなかった。

6. おわりに

本研究では従来のアクティビティ・交通行動モデルにおける個人意思決定プロセスの仮説を問題視し、グループ意思決定理論に基づく新たな世帯時間配分モデルを提案した。その結果、世帯の時間配分モデルとアクティビティ選択モデルを同時に導くことができた。そして、交通インフラの整備による移動時間の短縮が世帯の時間配分に与える影響に着目し、提案したモデルの有効性を実証した。将来の研究課題として世帯構成員間の相互作用に対応したアクティビティ調査方法の開発、提案したモデルのさらなる拡張、世帯構成員間の相互作用を multi-linear 効用により、アクティビティ間の相互依存性を限界効用により表現した新たな階層型アクティビティ選択モデルに関する詳細な検討などが挙げられる。

参考文献

- 1) Golob, T.F. and McNally, M.G.: A model of household interactions in activity participation and the derived demand for travel, *Transportation Research, Vol.31(B)*, pp.177-194, 1997
- 2) Wen, C.H. and Koppelman, F.S.: An integrated model system of stop generation and tour formation for the analysis of activity and travel patterns, Paper presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., 1999.
- 3) Rich, J.H.: Modeling two-worker households, Paper

表 1 世帯時間配分モデルの推定結果(平日・休日)

説明変数	平日	休日
自宅外共用型アクティビティ		
定数項 /tt	-10.44*	-11.2387
年齢 /tt	0.0502	0.5113
世帯タイプ /tt	-0.4289	-0.2097
乗用車保有台数/tt	-0.0260	0.0222
自転車保有台数/tt	0.1260	0.3147
勤務時間 /tt	-0.0052	-0.0164
移動時間 tt の総効果 ($\sum_q \beta_{iq}^{shr} x_{iq}^{shr}$)		
男性世帯主	-11.8579	-10.1311
女性世帯主	-11.8004	-9.9496
自宅外分担型アクティビティ		
定数項 /tt	-7.68*	-7.56*
年齢 /tt	-0.0678	-0.0848
世帯タイプ /tt	0.0199	0.1016
乗用車保有台数/tt	0.2394	-0.0416
自転車保有台数/tt	0.1340	0.1092
勤務時間 /tt	0.0065	0.0007
移動時間 tt の総効果 ($\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc}$)		
男性世帯主	-6.9947	-7.1556
女性世帯主	-7.0667	-7.1635
自宅外独立型アクティビティ		
定数項 /tt	-4.3478	-7.5737
年齢 /tt	-0.879*	0.2322
世帯タイプ /tt	-0.5680	0.0973
乗用車保有台数/tt	-0.1060	-0.1391
自転車保有台数/tt	0.2147	-0.0567
勤務時間 /tt	0.028*	0.0017
移動時間 tt の総効果 ($\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind}$)		
男性世帯主	-8.1574	-6.7895
女性世帯主	-8.4659	-6.8079
自宅内アクティビティ		
定数項	0.3223	-0.7520
年齢	-0.0809	0.0339
世帯タイプ	0.2165	0.2004
乗用車保有台数	0.2865	0.5873
自転車保有台数	0.0183	-0.0506
勤務時間	-0.0089	-0.0006
重相関係数		
式(32)－男性世帯主	0.8054	0.8192
式(33)－男性世帯主	0.8254	0.9071
式(32)－女性世帯主	0.8698	0.8610
式(33)－女性世帯主	0.8834	0.8617
式(34)	0.8757	0.8481

注：男性世帯主の在宅時間モデルを基準とした。

*：95%の水準で統計的に有意となった；tt：移動時間

presenting at the 9th International Association for Travel Behavior Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, 2-7 July, 2000.

- 4) Gliebe, J.P. and Koppelman, F.S.: A model of joint activity participation, Paper presenting at the 9th International Association for Travel Behavior Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, 2-7 July, 2000.
- 5) Borgers, A. and Timmermans, H.: Transport facilities and residential choice behavior: A model of multi-person choice processes, Papers in *Regional Science: The Journal of the RSAI* 72(1), pp.45-61, 1993.
- 6) Arentze, T. and Timmermans, H.: ALBATROSS: A Learning Based Transportation oriented Simulation System, European Institute of Retailing and Services Studies.