

集団効用関数に基づく世帯時間配分モデルの開発及び実証的分析^{*} Household Time Allocation Model based on Group Utility Function^{*}

張 峻屹^{**}・A. Borghers^{***}・H. Timmermans^{***}

By Junyi ZHANG^{**}・A. BORGHES^{***}・H. TIMMERMANS^{***}

1. はじめに

余暇時間の増加, 女性の社会進出や高齢化の進行により, 今後, 時間の使い方や生活パターンなど人々のライフスタイルが大きく変化し, その結果, 交通の役割も変わっていくと考えられる. このことを論理的に表現できるモデルの1つとして, 時間配分モデルがある. このモデルは, 一定期間(例えば, 1日)において人々がどのような活動(移動を含む)にどれだけの時間を費やすかなどを表現するものである. この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いる¹⁾.

一方, 従来の時間配分モデルは, 個人の意思決定プロセスを仮定する. つまり, 各世帯構成員の意思決定は独立なものとして扱われてきている. しかし, 例えば, 週末に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, どの交通手段を使い, どのぐらい時間・費用を費やすかなど, 各構成員がそれぞれ意見を交換し, 妥協や交渉をしながら, 世帯としての最終意思決定を行うものと考えられる. したがって, 世帯構成員それぞれの行動に着目し, 構成員間における意思決定の相互作用を考慮した世帯時間配分モデルの開発は, 活動遂行や交通行動メカニズムの解明のみならず, 実際の交通政策分析にとっても重要な研究課題であると思われる.

そこで, 本研究では集団意思決定理論と時間配分理論を融合させ, 世帯構成員間及び活動間の相互作用を考慮した新たな世帯時間配分モデルを開発すると同時に, 世帯時間配分における構成員の相対影響力や移動時間の影響等について実証分析を行う.

2. 集団意思決定モデルに関するレビュー

(1) 集団・家族・世帯の区別

集団に関する定義はいくつか存在する. McGrath & Kravitz は互いに認識し, 時間的に持続する関係を持ち,

集団として定義する²⁾. Corfman & Gupta は集団が異なる利害と目標をもち, 不和の影響を充分に克服できるきずなで結ばれる個人の集合であると主張する³⁾. 一方, Brandstatter らは互いに影響しあい, タスクに規定される選択肢の1つについてコンセンサスを得るタスク指向の個人の集合を集団として定義する⁴⁾.

集団として多くの形態が存在する. 組織, 家族, 友人・知人, 同僚などはその例である. 異なる形態の集団は異なる意思決定ルールに従う. これらのルールは集団意思決定が必要とするコンセンサスの程度を表す.

一方, 交通分野において, 世帯という用語が多用されているが, 家族と区別しておきたい. なぜなら, 家族とは血縁関係で結ばれる個人の集合であるのに対して, 世帯は同じ屋根に住む個人の集合である. 例えば, 友達同士で部屋を共用する場合, その集合が世帯であり, 家族ではない. 家族は構成員間の高い親密度, 長期にわたって存在する強く, 多様で頻発する相互依存性に特徴づけられる⁵⁾. また, 集団意思決定における家族構成員の相対的影響力は, 家族ライフサイクルの異なる段階において同様ではなく, 意思決定対象(耐久品や非耐久品の購買など)によっても異なる^{6), 7)}. 本研究では, (1) 定義上世帯は家族を含めること, (2) 世帯は交通分野で多用されていることを理由に世帯の概念を採用する.

(2) 集団意思決定モデルの概説

集団意思決定は個人意思決定と比べて不確実性が大きい. 従来から ill-defined な意思決定問題として認識されてきている⁸⁾. これは集団という概念の範囲が広いこと, 構成員間の相互依存や影響関係が複雑であることにも起因すると考えられる.

集団意思決定を扱うモデルとして, 大きく分けて規範的モデルと記述的モデルが挙げられる⁹⁾.

(a) 規範的モデル

規範的モデルは公平性や効率性を反映する幾つかの原則を仮定して集団意思決定を表現するものである. このモデルに属するのは Arrow 公理, 効用理論及びゲーム理論である.

Arrow 公理は集団の過半数が好む選択肢を選ぶのが集団選択に関する唯一の合理的な方法であると主張するが, 構成員間の comparability を前提としない.

^{*}キーワード: 世帯時間配分, 集団効用関数, 交通行動分析
^{**}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
TEL:03-3344-1109, FAX:03-3344-1549)

^{***}Urban Planning Group, Eindhoven Univ. of Tech.
(PO Box 513, 5600 MB, Eindhoven, The Netherlands.
TEL:+31-40-247-4684, FAX:+31-40-247-5882)

一方、効用理論は Arrow 公理の “Impossibility (選好の非推移性を排除できない)” 問題を解決するために提案されたものである。

最後に、ゲーム理論は協力型、非協力型、進化型に分けられ、bargaining を扱う理論で、Nash 公理が有名である。しかし、プレイヤーが 2 人以上になると、indeterminacy 問題が生じるため、本研究の対象となる活動・交通分析への適用がまだ難しい。

(b) 記述的モデル

記述的モデルは規範的原則を仮定せずに、実際的意思決定問題を直接記述するものである。社会心理学やマーケティング研究分野では多くの研究が見受けられる。

社会心理学の分野では集団の相互作用を記述する方法として Social Decision Scheme 理論⁹が有名である。

また、情報統合理論 (Information Integration Theory) も興味深い。この理論は一般的な意思決定問題を扱うものである。選択行動に影響する属性集合をまずいくつかの子集合に分けて、子集合ごとに部分効用を計測する。次に、部分効用を何らかのルール (例えば、線形結合) にしたがって全体効用を計測する。例えば、Molin は住宅の選択を表現するため、世帯構成員の部分効用をもとに世帯の全体効用を算出するにあたってこの理論を拡張したうえで応用した¹⁰。

一方、マーケティング研究分野では、Sheth は家族購買意思決定に関する概念的なモデルを提案している¹¹。重み付け線形モデル、重み付け確率モデル、操作変数をもつ重み付け線形モデルはその例である。

3. 活動・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の活動・交通行動モデルを簡単にレビューする。

Golob and McNally 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¹²が、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している。また、活動の発生と交通選択との階層的構造を仮定し、NL や PCL モデルを適用した研究がある^{13, 14}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、Glieme and Koppelman は共用型活動参加モデルの開発に際して、加法型効用関数を活用し、他人の効用を取り入れた世帯効用関数を提案した¹⁵。しかし、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。

上述のモデルと違って、Borgers and Timmermans 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¹⁶。SP データを対象としているモデルなので、RP データへの適用が難しい。

このように、集団意思決定メカニズムを考慮し、一般性のある活動・交通行動モデルが開発されていないのは実情である。そこで、本研究では、世帯時間配分問題を取り上げ、世帯構成員間の相互作用を考慮するために、集団意思決定理論の適用性を検証する。

4. 世帯効用関数の定式化

集団意思決定理論では各構成員が自分の効用、他人の効用を考えながら、集団としての最終意思決定を行うと仮定する。構成員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構成員の集団意思決定における相対的な影響力を反映する。

(1) 集団効用関数のレビュー

集団効用関数 (GUF : Group Utility Function) として主に以下の 2 種類が提案されてきている。

(a) 多項線形 (Multi-linear) 集団効用関数¹⁷

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

ここで、 u_1 と u_2 はそれぞれ構成員 1 と 2 の効用関数を、 w_1 と w_2 は各構成員の重みパラメータを表す。 w_{12} は構成員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、集団として各構成員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。

多項線形集団効用関数は平等性・公平性を考慮している¹⁷ため、本研究で扱う世帯の意思決定を表現するのに適すると考えられる。また、活動に関する意思決定において、構成員の 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、ある活動に関する意思決定によってもたらされた構成員の効用損失が別の活動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。

式 (1) は集団に構成員が 2 人いることを前提に定義されているが、2 人以上のある集団にも容易に拡張できる。

注意すべきことは、重み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集団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合と重みパラメータの大きさによって集団効用最大化を保証できないこともありうる。なお、第 3 章でレビューした加法型効用関数はこの多項線形型効用関数の特殊ケースである。

(b) Nash 型集団効用関数^{18, 19}

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

ここで $\bar{u}_i$ は構成員 i を除く構成員の平均効用で、集団意思決定の参照点 (reference point) となる。

Nash 型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くることもありうる等、幾つかの理論的な問題点がある。

(2) 世帯効用関数の定式化

本研究では式の行動的論理性、一般性と推定しやすさを考え、多項線形型集団効用関数を援用し、世帯効用関数 (HUF) を以下のように定式化する。

$$HUF = \sum_{i=1}^n w_i u_i + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2>i_1} (w_{i_1 i_2} u_{i_1} u_{i_2}) \quad (3)$$

$$u_i = \sum_{a_i} r_{a_i} u_{a_i} + \sum_{a_1} \sum_{a_2>a_1} (r_{a_1 a_2} u_{a_1} u_{a_2}) \quad (4)$$

ここで、 u_{a_i} は世帯構成員 i の活動 a_i の効用、 r_{a_i} は活動 a_i に関する構成員 i の重み (相対的重要性) パラメータ、 $r_{a_1 a_2}$ は活動 a_1 と a_2 との間の相互作用パラメータ、 a_1, a_2 はそれぞれ個人 i の活動 1 と 2 を指す。

重みパラメータは世帯意思決定での構成員や活動に関する個別評価の相対的な影響力を表す。相互作用パラメータの符号はマイナス (プラス) であれば、特定の構成員や活動に関する効用最大化は世帯全体効用の減少 (増加) をもたらすことを意味する。

本研究では、世帯の行う活動を自宅内と自宅外活動に分ける。後者をさらに仕事のような独立型活動、買物のような分担型活動と週末に家族全員で郊外の自然散策を楽しむような共用型活動に細分化する。共用型活動は活動実行の最初から最後まで各構成員が一緒にいるケース (synchronized 活動) とそうでないケースに分かれるが、ここでは前者のみを対象とする。また、活動の意思決定は長期、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。

5. 集団効用関数に基づく世帯時間配分モデルの導出

世帯時間配分に関わる制約条件は多く存在すると考えられる。本研究では世帯時間配分における集団意思決定理論の適用可能性に関する検証を簡略化するため、式 (3) と (4) からなる世帯効用関数を、各構成員の利用可能な時間に関する以下の制約条件式のもとで最大化することにより世帯時間配分モデルの開発を試みる。

$$t_i^{hom} + t_i^{ind} + t_i^{alc} + t_i^{shr} = T_i \quad (5)$$

$$t_i^{shr} = t_{i'}^{shr} = t^{shr}, \forall i' \neq i \quad (6)$$

ここで、 $t_i^{hom}, t_i^{ind}, t_i^{alc}$ と t^{shr} はそれぞれ自宅内活動、自宅外独立型、分担型及び共用型活動の時間を表す。

本研究では各活動に必要な移動時間が既知であると仮定する。言い換えれば、交通機関分担も既知である。このことを前提に、移動時間の影響を考慮した活動効用関数を以下のように提案する。

$$u_i^{hom} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \varepsilon_i^{hom}\right) \ln(t_i^{hom}) \quad (7)$$

$$u_i^{ind} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind} + \mu t_i^{ind} + \varepsilon_i^{ind}\right) \ln(t_i^{ind}) \quad (8)$$

$$u_i^{alc} = \exp\left(\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc} + \mu t_i^{alc} + \varepsilon_i^{alc}\right) \ln(t_i^{alc}) \quad (9)$$

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

ここで、変数 x は世帯及びその構成員属性、 β はそのパラメータ、変数 tt は移動時間、 μ は移動時間のパラメータ、 ε は誤差項である。

操作性の高い世帯時間配分モデルを導くため、以下の仮説を立てる。

仮説 1: すべての効用関数は非負である。

仮説 2: 活動時間の限界効用は逓減性をもつ。

仮説 3: すべての構成員が世帯意思決定に参加する。

仮説 4: 共用型活動は synchronized である。

仮説 5: 世帯構成員の役割分担が既知である。

効用は相対的な概念であるため、仮説 1 は合理的であると考えられる。仮説 2 の合理性については、多くの研究成果によって支持されている²⁰。仮説 3 について、例えば、世帯内に意思決定に参加できない幼児がいる場合、その影響を成人構成員の効用関数のなかで考慮することにより容易に拡張することができる。仮説 4 は世帯構成員が同じ開始時刻と終了時刻をもって共用型活動に参加することを意味し、多くの場合においてこの仮説は成り立つと考えられる。成り立たない場合、タイミングに関する意思決定メカニズムを導入する必要がある。

また、世帯構成員の役割分担が変わると、例えば、世帯での自動車の使い方も変化すると考えられるため、適用場面に応じて仮説 5 を緩和する必要がある。仮説 2 についても、活動の内容によって成り立たない場合がある。これらを合わせて今後の研究課題としたい。

以上の仮説を前提に、式 (3) ~ (6) に関する以下のようなラグランジュ関数を定義する。

$$L = \sum_i (w_i u_i) + \sum_i \sum_{i'>i} (w_{ii'} u_i u_{i'}) + \sum_i \mu_i \left\{ T_i - (t_i^{hom} + t_i^{ind} + t_i^{alc} + t^{shr}) \right\} \quad (11)$$

しかし、重みパラメータ w_i 、 r_a と相互作用パラメータ $w_{ii'}$ 、 $r_{aa'}$ の大小関係や符号によって、式 (11) の最適解の唯一性を保証できない場合があるため、本研究では便宜上、両パラメータを式 (11) から削除することにした。この場合、世帯意思決定において構成員間が平等で、異なる活動を同一視することをも意味する。これを緩和す

るため、各構成員の効用関数 u_i にそれぞれ値の違う属性（例えば、週間勤務時間や移動時間）を取り入れることにより、構成員間における重みの違いを間接的に表現する。さらに前述の仮説 1 も式 (11) の最適解を保証するために必要である。

$$L = \sum_i \{u_i\} + \sum_i \sum_{i' > i} \{u_i u_{i'}\} - \left\{ T_i - (t_i^{hom} + t_i^{ind} + t_i^{alc} + t_i^{shr}) \right\} \quad (11')$$

そして、式 (11') をそれぞれ $t_i^{hom}, t_i^{ind}, t_i^{alc}, t_i^{shr}$ に関して一回偏微分することにより、各活動に関する時間配分モデルは以下のように導かれる。

① 自宅内活動 (hom) 時間配分モデル

$$t_i^{hom} = T_i \cdot P(ns) \cdot P_i(hom | ns) \quad (12)$$

② 自宅外独立型活動 (ind) 時間配分モデル

$$t_i^{ind} = T_i \cdot P(ns) \cdot P_i(ind | ns) \quad (13)$$

③ 自宅外分担型活動 (alc) 時間配分モデル

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

④ 自宅外共用型活動 (shr) 時間配分モデル

$$t_i^{shr} = T_i \cdot P(shr) \quad (15)$$

ここで、ns は共用型以外の活動の遂行を意味する。

式 (12) ~ (15) にある各項目はそれぞれ以下になる。

$$P_i(hom | ns) = HUF_i(hom) / \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) \quad (16)$$

$$P_i(ind | ns) = HUF_i(ind) / \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) \quad (17)$$

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

$$P(ns) = \sum_i \sum_{j_1} (HUF_{j_1}) / \sum_i \sum_{j_2} (HUF_{j_2}) \quad (19)$$

$$P(shr) = \sum_i HUF_i(shr) / \sum_i \sum_{j_2} (HUF_{j_2}) \quad (20)$$

$$HUF_i(hom) = \exp \left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(mu_i mu_i^{hom}) \right) \quad (21)$$

$$HUF_i(ind) = \exp \left(\left(\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind} \right) / t_i^{ind} + \ln(mu_i mu_i^{ind}) \right) \quad (22)$$

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

$$HUF_i(shr) = \exp \left(\left(\sum_q \beta_{iq}^{shr} x_{iq}^{shr} \right) / t_i^{shr} + \ln(mu_i mu_i^{shr}) \right) + \sum_{i'} \exp \left(\left(\sum_q \beta_{i'q}^{shr} x_{i'q}^{shr} \right) / t_i^{shr} + \ln(u_i mu_i^{shr}) \right) \quad (24)$$

$$mu_i = \partial HUF / \partial u_i = 1 + \sum_{i'} (u_{i'}) \quad (25)$$

$$mu_i^{hom} = \partial u_i / \partial u_i^{hom} = 1 + u_i^{ind} + u_i^{alc} + u_i^{shr} \quad (26)$$

$$mu_i^{ind} = \partial u_i / \partial u_i^{ind} = 1 + u_i^{hom} + u_i^{alc} + u_i^{shr} \quad (27)$$

$$mu_i^{alc} = \partial u_i / \partial u_i^{alc} = 1 + u_i^{hom} + u_i^{ind} + u_i^{shr} \quad (28)$$

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

ここで、 $j_1 = \{hom, ind, alc\}$, $j_2 = \{j_1, shr\}$, mu_i は HUF の構成員 i に関する限界効用、 mu_i^{hom} , mu_i^{ind} , mu_i^{alc} と mu_i^{shr} は構成員 i の各活動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 (12) ~ (15)）と同時に、従来の選択モデルと違った活動選択モデル（式 (16) ~ (20)）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活動とそれ以外の選択で多項線形型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活動の選択では限界効用により活動間の相互依存性がそれぞれ表現されている。明らかに、式 (16) ~ (20) 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 (7) ~ (10) で示した効用関数は誤差項 $\{\varepsilon\}$ を含む。各活動時間配分モデルを同時に推定するため、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（式 (12) ~ (15)）を以下のように式変換を行う。

$$\ln \left(\frac{\hat{t}_i^{ind}}{\hat{t}_i^{hom}} \right) = \frac{\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind}}{t_i^{ind}} - \sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(mv_i^{ind}) - \ln(mv_i^{hom}) + \eta_i^{ind} \quad (30)$$

$$\ln \left(\frac{\hat{t}_i^{alc}}{\hat{t}_i^{hom}} \right) = \frac{\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc}}{x_i^{alc}} - \sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \ln(mv_i^{alc}) - \ln(mv_i^{hom}) + \eta_i^{alc} \quad (31)$$

$$\ln \left(\frac{\hat{t}_i^{shr}}{\hat{t}_i^{hom}} \right) = \ln \frac{\sum_i HUF_i(shr)}{\sum_i \sum_{j_1} HUF_{j_1}} + \ln \left(\frac{\exp \left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} \right)}{\exp \left(\sum_q \beta_{iq}^{ind} x_{iq}^{ind} \right) / t_i^{ind}} + \frac{\exp \left(\sum_q \beta_{iq}^{alc} x_{iq}^{alc} \right) / x_i^{alc}}{\exp \left(\sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} \right) / t_i^{hom}} \right) - \sum_q \beta_{iq}^{hom} x_{iq}^{hom} + \eta_i^{shr} \quad (32)$$

ここで、 $\eta_i^{ind}, \eta_i^{alc}, \eta_i^{shr}$ は互いに相関する新たな誤差項で、添え字 i_o 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、SUR (Seemingly Unrelated Regression) 法²¹⁾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。

6. モデルの推定及び考察

(1) 使用データの概要

集団意思決定理論に基づき開発された新たな世帯時間配分モデルの推定にあたり、オランダで収集された活動

日誌調査データを用いる。この調査は ALBATROSS 研究プロジェクト²¹⁾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（構成員 1：男性；構成員 2：女性）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 種類の活動を自宅内活動、自宅外活動（独立型、分担型、共用型）、計 4 種類の活動に統合した。

（2）モデルのパフォーマンスについて

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。

活動別・男女別の移動時間と世帯・構成員属性との相関係数を表 1 に示す。同表から、いずれの相関係数も低いことが分かる。これは線形結合の形で移動時間と世帯・構成員属性を同時に効用関数に取り入れても統計上、問題がないことを意味する。

表 1 移動時間と世帯・構成員属性との相関係数

世帯・構成員属性	活動別・男女別の移動時間				
	男性		女性		共用型
	独立型	分担型	独立型	分担型	
世帯最年長者年齢	-0.041	-0.025	-0.358	-0.144	0.114
世帯人数	0.282	0.019	0.428	0.130	-0.158
自動車保有台数	0.121	-0.024	0.091	0.106	-0.094
自転車保有台数	0.021	-0.007	0.161	-0.053	0.062
週間勤務時間	0.317	0.018	0.339	0.098	-0.137

そして、モデルの推定結果を表 2 に示す。各モデルの重相関係数は 0.5~0.8 であることから、共用型活動時間配分モデル以外、良好なモデル精度を確保できたと言える。本研究で使用了データが個人意思決定に関するものであり、集団意思決定に関する情報が充分にないことは共用型活動時間配分モデルの悪い再現性をもたらす主な原因であると考えられる。これは今後、集団意思決定の検討を念頭に入れ、新規調査の実施を通じて明らかにすべき重要な研究課題である。

（3）世帯時間配分における男女の相対影響力

本研究では最適解の唯一性を保証するため、重みパラメータ w_i をモデルから除外したが、各構成員の効用関数 u_i は同じモデルのフレームワークの中で推定されているため、 $\Delta_1 = u_1 / (u_1 + u_2)$ と $\Delta_2 = u_2 / (u_1 + u_2)$ をそれぞれ男性と女性の世帯時間配分における相対的な影響力と

して近似的に定義することができる。その結果、平日と休日における男女の相対影響力を図 1 に示す。

図 1 から、平・休日ともに、男性支配世帯の割合は最も高く、また、平・休日によりあまり変わらない。一方、女性支配世帯の割合は平日に 20% であるのに対して、休日に 11% で約半減した。その影響もあって、男女平等世帯は平日に 33% であったが、休日に 46% と 13% も増えた。ただし、ここでいう相対影響力は近似的な概念であり、今後、構成員の重みを内生的に取り入れ、理論的に検討する必要がある。

（4）移動時間と活動時間との関係

表 3 に調査データからみた活動時間と移動時間との関係を示す。同表から、本研究で使用了活動日誌調査では、(1) 近距離トリップが多いこと、(2) 長時間活動に長い移動時間が伴うこと、が分かる。共用型活動について、平日より休日の方が約 3 倍も長く、休日に家族で比較的長いトリップが伴う活動を行う傾向がある。分担型活動について女性の移動時間が男性より約倍も長い、独立型活動については逆の傾向を示す。

表 3 データからみた活動時間と移動時間の関係

自宅外活動	平日		休日	
	共用型活動 (分)		共用型活動 (分)	
	(7.53)		(20.02)	
非共用型自宅外活動	男性		女性	
	男性	女性	男性	女性
分担型活動 (分)	11.36	21.30	5.95	13.85
(移動時間: 分)	(3.86)	(6.36)	(1.71)	(2.83)
独立型活動 (分)	320.14	226.16	87.37	53.52
(移動時間: 分)	(32.56)	(18.70)	(12.73)	(6.38)

また、表 2 から分かるように、移動時間パラメータはほどの活動時間モデルにおいても正の値であり、しかも統計的に有意であった。活動時間と移動時間との正の相関関係は対象地域では長時間活動に長い移動時間が伴ったことを示唆する。しかし、交通インフラの整備による移動時間の短縮は活動時間を減らすと考えにくい、在宅活動時間の増加と新たな活動の誘発につながると推測される。このことは今後、シミュレーション分析などを通じて明らかにする必要がある。

（5）世帯時間配分モデルにおける各説明変数の影響力

自宅内活動時間以外のモデルでは定数項が統計的に有意であった。世帯時間配分における集団意思決定メカニズムを明らかにするために、他の影響要因を新規調査などにより解明する必要がある。

世帯最年長者の年齢、世帯人数パラメータは平日にマイナス、休日にプラスであることから、年長者のいる世帯、世帯人数の多い世帯では平日より休日の方が各活動の時間が長いことが分かる。

表2 集団効用関数に基づく世帯時間配分モデルの推定結果

説明変数	平日		休日	
	パラメータ値	t 値	パラメータ値	t 値
自宅外共用型活動時間配分モデル (式 (20))				
定数項	-7.366*	-3.708	-66.48*	-7.935
世帯最年長者の年齢	-3.501*	-10.39	10.47*	8.946
世帯有職者数	-6.379*	-11.57	5.550*	3.860
乗用車保有台数	-3.720*	-3.754	4.6980	1.719
自転車保有台数	0.4872	1.545	-6.083*	-8.145
勤務時間	0.461*	13.03	0.478*	11.16
移動時間	0.046*	14.67	0.042*	11.01
自宅外分担型活動時間配分モデル (式 (18))				
定数項	-7.837*	-3.867	-69.64*	-8.296
世帯最年長者の年齢	-3.331*	-9.435	10.66*	9.087
世帯有職者数	-6.408*	-11.12	5.957*	4.142
乗用車保有台数	-3.719*	-3.720	4.9951	1.818
自転車保有台数	0.3138	0.973	-5.977*	-7.965
勤務時間	0.463*	12.88	0.466*	10.72
移動時間	0.118*	27.59	0.158*	17.58
自宅外独立型活動時間配分モデル (式 (17))				
定数項	-6.991*	-3.452	-68.04*	-8.079
世帯最年長者の年齢	-3.299*	-9.397	10.68*	9.056
世帯有職者数	-5.519*	-9.486	5.953*	4.143
乗用車保有台数	-3.712*	-3.712	4.5792	1.666
自転車保有台数	0.5187	1.599	-6.148*	-8.163
勤務時間	0.500*	13.99	0.479*	11.05
移動時間	0.022*	16.35	0.096*	23.67
自宅内活動時間配分モデル (式 (16))				
定数項	-2.1380	-1.057	-63.33*	-7.532
世帯最年長者の年齢	-3.101*	-8.900	10.79*	9.175
世帯有職者数	-6.305*	-10.92	6.016*	4.176
乗用車保有台数	-3.918*	-3.913	4.9700	1.798
自転車保有台数	0.3010	0.924	-5.994*	-7.981
勤務時間	0.472*	13.28	0.471*	10.86
重相関係数				
式 (30) - 男性: 独立型活動時間	0.5813		0.6289	
式 (31) - 男性: 分担型活動時間	0.5950		0.7931	
式 (30) - 女性: 独立型活動時間	0.7150		0.7102	
式 (31) - 女性: 分担型活動時間	0.6621		0.6464	
式 (32) - 共用型活動時間	0.5448		0.5259	

注: (1) 男性の在宅活動時間モデルを基準とした; (2) *: 95%の水準で有意

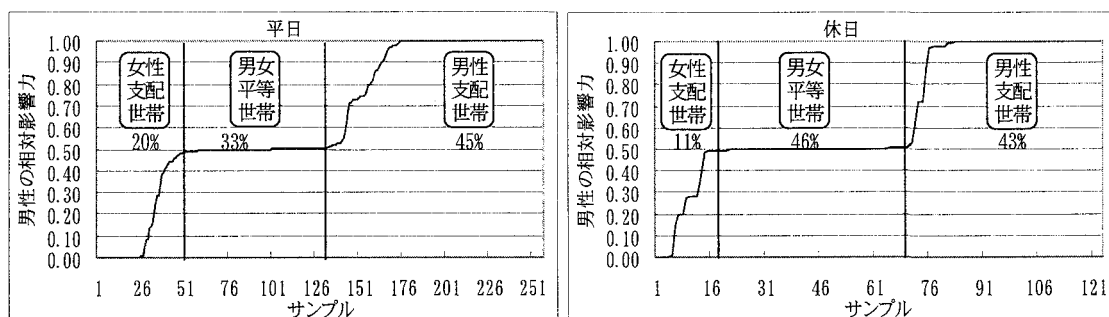


図1 平日・休日の世帯時間配分における男女の相対影響力

表4 世帯時間配分モデルにおける各説明変数の影響力に関する分析結果

説明変数	男性				女性			
	平日		休日		平日		休日	
	平均値	部分効用値	平均値	部分効用値	平均値	部分効用値	平均値	部分効用値
自宅外共用型活動時間配分モデル								
定数項	1.000	-7.366	1.000	-66.48	1.000	-7.366	1.000	-66.48
年齢	2.930	-10.26	2.919	30.56	2.930	-10.26	2.919	30.56
世帯人数	1.078	-6.876	1.024	5.685	1.078	-6.876	1.024	5.685
乗用車保有台数	1.226	-4.559	1.293	6.073	1.226	-4.559	1.293	6.073
自転車保有台数	2.268	1.105	2.577	-15.68	2.268	1.105	2.577	-15.68
勤務時間(時間/週)	22.36	10.30	22.85	10.92	14.14	6.513	11.80	5.638
移動時間(分/トリップ)	7.527	0.349	20.02	0.846	7.527	0.349	20.02	0.846
自宅外独立型活動時間配分モデル								
定数項	1.000	-7.837	1.000	-69.64	1.000	-7.837	1.000	-69.64
年齢	2.930	-9.759	2.919	31.11	2.930	-9.759	2.919	31.11
世帯人数	1.078	-6.906	1.024	6.103	1.078	-6.906	1.024	6.103
乗用車保有台数	1.226	-4.559	1.293	6.457	1.226	-4.559	1.293	6.457
自転車保有台数	2.268	0.712	2.577	-15.40	2.268	0.712	2.577	-15.40
勤務時間(時間/週)	22.36	10.36	22.85	10.65	14.14	6.549	11.80	5.501
移動時間(分/トリップ)	3.864	0.454	1.707	0.269	6.358	0.748	2.829	0.446
自宅外独立型活動時間配分モデル								
定数項	1.000	-6.991	1.000	-68.04	1.000	-6.991	1.000	-68.04
年齢	2.930	-9.665	2.919	31.18	2.930	-9.665	2.919	31.18
世帯人数	1.078	-5.948	1.024	6.098	1.078	-5.948	1.024	6.098
乗用車保有台数	1.226	-4.550	1.293	5.919	1.226	-4.550	1.293	5.919
自転車保有台数	2.268	1.177	2.577	-15.85	2.268	1.177	2.577	-15.85
勤務時間(時間/週)	22.36	11.18	22.85	10.94	14.14	7.069	11.80	5.650
移動時間(分/トリップ)	32.56	0.723	12.73	1.220	18.70	0.415	6.382	0.611
自宅内活動時間配分モデル								
定数項	1.000	-2.138	1.000	-63.33	1.000	-2.138	1.000	-63.33
年齢	2.930	-9.086	2.919	31.48	2.930	-9.086	2.919	31.48
世帯人数	1.078	-6.795	1.024	6.163	1.078	-6.795	1.024	6.163
乗用車保有台数	1.226	-4.802	1.293	6.425	1.226	-4.802	1.293	6.425
自転車保有台数	2.268	0.683	2.577	-15.45	2.268	0.683	2.577	-15.45
勤務時間(時間/週)	22.36	10.56	22.85	10.76	14.14	6.674	11.80	5.554

自動車保有台数パラメータは平日のみにおいて統計的に有意で、しかもその値がマイナスであるため、自動車保有台数の多い世帯では平日の各活動の時間が短くなる傾向がある。自転車保有台数について、休日には自動車保有台数と同様な傾向を示す。このことに関しては、今後、自動車と自転車の使い方を分析することにより明らかにする必要がある。

勤務時間について、平日・休日ともに統計的に有意で、しかも符号がプラスであることから、勤務時間と活動時間とは正の相関関係があることを意味する。

また、各説明変数の相対的影響力について、部分効用(=説明変数の平均値×パラメータ値)という指標で計測することができるため、その結果を表4に示す。同表から、本研究で使用した活動日誌調査における世帯時間配分について、移動時間より世帯・構成員の属性の影響が断然大きいことが分かる。中では、最年長者の年齢と構成員の週間勤務時間が最も大きな影響力をもつ。

7. おわりに

本研究では従来の活動・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、集団効用理論の多項線形型効用関数に基づき、構成員間の相互作用及び活動間の相互作用をそれぞれの効用の積で表し、新たな世帯時間配分モデルを開発した。そして、オランダで収集された活動日誌調査データを用いて、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活動調査方法の開発、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多項線形効用により、活動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活動選択モデルに関する詳細な検討、交通機関選択行動の内生化などが挙げられる。

参考文献

- 1) 北村隆一：時間利用データを用いた交通行動分析，交通工学，Vol. 29，No. 1，pp. 11-13，1994.
- 2) McGrath, J. E. and Kravitz, D. A.: Group research, Annual Reviews of Psychology, Vol. 33, pp. 195-230, 1982.
- 3) Corfman, K. P. and Gupta, S.: Mathematical models of group choice and negotiations, in Handbooks in Operations Research and

- Management Science, Vol. 5: Marketing, pp. 83-142, 1993.
- 4) Brandstatter, H., Davis, J.H. and Stocker-Kreichgauer, G.: Group Decision Making, Academic Press, 1982.
 - 5) Stasser, G., Kerr, N.L. and Davis, J.H.: Influence processes in decision-making groups: A modeling approach, in Psychology of Group Influence, Paulus, P.B. (ed.), Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1980.
 - 6) Kirchler, E.: Household economic decision making, in Handbook of Economic Psychology, van Raaij, W.F., van Veldhoven, G.M. and Warneryd, K.E. (eds.), Kluwer Academic Publishers, 1988.
 - 7) Cosenza, R.M. and Davis D.L.: Family vacation decision making over the family life cycle: A decision and influence structure analysis, Journal of Travel Research, Vol. 17, pp. 17-23, 1981.
 - 8) Abelson, R.P. and Levi, A.: Decision making and decision theory, Chapter 5, in Handbook of Social Psychology, Volume 1, Theory and Method, Lindzey, G. and Aronson E. (eds.), Random House, New York, 1985.
 - 9) Davis, J.H.: Group decision and social interaction: A theory of social decision schemes, Psychological Review, Vol. 80, No. 2, pp. 97-125, 1973.
 - 10) Molin, E.: Conjoint Modeling Approaches for Residential Group Preferences, Ph.D. Dissertation, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 1999.
 - 11) Sheth, J.N.: Models of Buying Behavior, Harper and Row, New York, 1974.
 - 12) 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.
 - 13) 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.
 - 14) Rich, J.H.: Modeling two-worker households, Paper presenting at the 9th International Association for Travel Behavior Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, 2-7 July, 2000.
 - 15) 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.
 - 16) 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.
 - 17) Eliashberg, J. and Winkler, R.L.: Risk sharing and group decision making, Management Sciences, Vol. 27, No. 11, pp. 1221-1235, 1981.
 - 18) Gupta, S.: Modeling integrative, multiple issue bargaining, Management Science, Vol. 35, No. 7, pp. 788-806, 1989.
 - 19) Gupta, S. and Livne, Z.A.: Resolving a conflict situation with a reference outcome: An axiomatic model, Management Science, Vol. 34, No. 11, pp. 1303-1314, 1988.
 - 20) Kitamura, R. and Fujii, S.: Two Computational Process Models of Activity-Travel Choice, In T. Garling, T. Laitila and K. Westin (eds.): Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling, Elsevier, Oxford, 251-279, 1998.
 - 21) Zeller, A.: An Efficient Method of Estimating Seeming Unrelated Regressions and Tests of Aggregation Bias, Journal of the American Statistical Association, Vol. 57, 348-368, 1962.
 - 22) Arentze, T. and Timmermans, H.: ALBATROSS: A Learning Based Transportation Oriented Simulation System, European Institute of Retailing and Services Studies, 1999.

集団意思決定理論に基づく世帯時間配分モデルの開発及び実証的分析

張 峻岐・A. Borgers・H. Timmermans

従来の活動・交通行動モデルでは個人意思決定プロセスが仮定される。しかし、世帯意思決定において各構成員が互いに影響しあう。また、限られた時間を各活動に割り当てるとき、活動間にトレードオフ関係も存在する。そこで、本研究では集団意思決定理論と時間配分理論を融合させ、多項線形効用関数に基づき構成員間及び活動間の相互作用を明示に考慮した操作性が高く、理論的に一貫性のある世帯時間配分モデルを開発した。特に、活動により相互作用が異なるため、本研究では活動を自宅内活動、自宅外活動（独立型、分担型及び共用型）に分けた。実証分析の結果、開発したモデルの有効性を確認した。最後に幾つかの研究課題も指摘した。

Household Time Allocation Model based on Group Decision-Making Theory

By Junyi Zhang・A. Borgers・H. Timmermans

Existing activity-based models typically assume an individual decision-making process. In household decision-making, however, interaction exists among household members and their activities during the allocation of the members' limited time. This paper, therefore, attempts to develop a new household time allocation model by combining group decision-making theory and time allocation theory. To do this, this paper proposes defining household utility function in the form of multi-linear utility function to represent the interactions among household members and the interactions among their activities. The effectiveness of the developed model is confirmed using activity-travel diary data. Finally, several future research issues are also mentioned.