

等弾力性社会厚生関数に基づく世帯時間配分モデルの提案*

Development of Household Time Allocation Model based on Iso-elasticity Social Welfare Function*

張峻屹**・藤原章正***・杉恵頼寧****・山田敏久*****

By Junyi ZHANG**・Akimasa FUJIWARA***・Yoriyasu SUGIE****・Toshihisa YAMADA*****

1. はじめに

時間配分を含む従来の交通行動モデルは、個人の意思決定プロセスを仮定しており、意思決定における世帯構成員間の相互作用を無視してきている。しかし、例えば、車を1台しか保有していない世帯では、複数世帯構成員による車の使い分けがなされている場合が多く存在する。また、送迎交通に大きく依存している中山間地域の高齢者世帯では、送迎交通の発生が送迎者と被送迎者の両方の活動パターンに影響を及ぼすと考えられる。そして、このような世帯意思決定の中で、各構成員の役割分担が相互に影響しながら、互いに妥協や交渉を繰り返し、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、このような世帯内相互作用を考慮したモデルの開発は、活動遂行や交通行動メカニズムの解明のみならず、世帯内資源（車など）の構成員間における有効配分に寄与できる効果的な交通政策の検討にとっても重要であると考えられる。

一方、世帯によって、意思決定の方法が異なると考えられる。例えば、立場の最も弱い構成員（例えば子供）の効用のみを最大化する世帯もあれば、立場の強い構成員（例えば父親）の効用のみを最大化する世帯も存在する。また、各構成員の効用を平等に考慮した上で全体の効用を最大化するような世帯が存在するかもしれない。したがって、このような世帯意思決定方法の異質性をモデリングすることが必要である。

そこで、本研究では、世帯内意思決定（相互作用）の異質性を理論的に考慮した世帯時間配分モデルを提

案し、中山間地域から収集された高齢者世帯の活動日誌調査データによりモデルの有効性を明らかにする。

2. 世帯時間配分モデルに関するレビュー

時間配分モデルは、1965年にBecker¹⁾が時間配分理論を提案してから、多くの研究がなされてきた。交通分野において、世帯時間配分を取り扱う代表的な研究の1つとして、Gliebe & Koppelmanの研究²⁾を取り上げることができる。彼らは加法型世帯効用関数を定義し、共同型活動への参加行動における集団意思決定メカニズムの解明を試みた。共同型活動への参加と個人効用との関係について概念的に分析したが、世帯時間配分モデルを理論的に導出するには至っていない。Zhangら³⁾はGliebe & Koppelmanの研究の問題点に着目し、集団効用理論と時間配分理論の融合を多項線形効用関数により試みた世帯時間配分モデルを提案し、実証的な分析の結果、世帯意思決定における各構成員の相対的な影響力が異なり、かつ、構成員間の相互作用が存在することを明らかにした。しかし、世帯内相互作用の異質性を考慮していない。

3. 新たな世帯時間配分モデルの提案

世帯意思決定ルールの異質性を表現するため、より一般的な世帯効用関数を採用する必要がある。そこで、本研究では、多項線形効用関数の代わりに以下の等弾力性社会厚生関数⁴⁾⁻⁵⁾により世帯効用関数(HUF)を下記のように定式化する。

$$HUF = \frac{1}{1-\alpha} \sum_i w_i u_i^{1-\alpha} \quad (1)$$

式(1)における α と w_i の大きさによって、表1に示すような様々な世帯意思決定ルールを包含することができ、等弾力性社会厚生関数の一般性が伺える。

以下では、式(1)を取り入れた世帯時間配分モデルの導出について説明する。まず、各個人における活動の効用関数 u_{ij} を以下のように定義する。

$$u_{ij} = \rho_{ij} \ln(t_{ij}), \rho_{ij} > 0 \quad (2)$$

*キーワード：時間配分、世帯内相互作用、交通発生

**正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山1-5-1, TEL&FAX 0824-24-6919,
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp)

***正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山1-5-1, TEL&FAX 0824-24-6921,
E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp)

****正員、工博、広島大学大学院工学研究科
(東広島市鏡山1-4-1, TEL&FAX 0824-24-7826,
E-mail: ysugie@hiroshima-u.ac.jp)

*****正員、工修、(株)福山コンサルタント西日本事業部
(広島市中区鞆町5-1, TEL 082-502-8802, FAX 082-502-8803,
E-mail: yamada@fukuyamaconsul.co.jp)

表1 世帯意思決定ルールの変質性

ケース	パターン	備考
$\alpha \rightarrow \infty$	強福祉型 (Max-Min型)	効用が最小の構成員の効用が上がると、世帯効用が上がる
$\alpha > 1$	弱福祉型	効用が低い構成員に世帯意思決定の重みを置くと、世帯効用が上がる
$\alpha \rightarrow 1$ $w_i = 1$	ヘルズ・イ・ナッシュ型 (平等型)	各構成員の効用を最大化した後に平均化を行うことで、世帯効用が最大になる
$\alpha = 0$	功利主義型	各構成員の効用を重み付け平均した後に最大化することで、世帯効用が最大になる
$\alpha < 0$	独裁型	効用が大きい構成員の効用が上がると、世帯効用は上がる

つまり、効用が非負であり、かつ、活動時間の限界効用が逓減性を持つ⁶⁾ことを仮定する。なお、 ρ_{ij} は時間配分に与える個人や世帯の属性や交通機関選択などの影響を表すものであり、定式化については後述する。

式(2)に示すように、本研究でも各構成員の効用関数については、多項線形効用関数で表す。この関数の第1項は活動時間配分における各活動の相対的な影響、第2項は活動間の相互作用をそれぞれ表す。

ここでは、モデルの検証をより簡単にするため、活動を表2に示すような在宅活動(h)、自宅外独立型活動(d)、分担型活動(a)と共同型活動(s)の4種類に分類した。

表2 本研究で扱う活動の分類

活動種類	活動時間の記号	活動内容の記述
在宅活動	t_{ih}	自宅で行うすべての活動
自宅外独立型活動	t_{id}	通勤、通学、業務、通院のような他の構成員が代替できない活動
自宅外分担型活動	t_{ia}	買い物のような他の構成員が代替できる活動
自宅外共同型活動	t_s	自宅外活動のうち、他の構成員と一緒に活動

表2の定義に基づくと、式(1)の最大化における以下の時間制約条件を設ける。

$$\text{Subject to} \quad t_{ih} + t_{id} + t_{ia} + t_s = T_i \quad (3)$$

ここで、 T_i は構成員*i*の利用可能な時間である。

式(1)と(3)に関する以下のようなラグランジュ関数を式(4)のように定義することにより、式(5)と(6)のような世帯時間配分モデルを得ることができる。

$$L = \frac{1}{1-\alpha} \sum_i w_i u_i^{1-\alpha} + \sum_i \mu_i \{T_i - (t_{ih} + t_{id} + t_{ia} + t_s)\} \quad (4)$$

(1) 共同型活動の時間配分率 P_s について

$$P_s = \frac{\sum_i \pi_{is}}{\sum_i (\pi_{ih} + \pi_{id} + \pi_{ia} + \pi_{is})} \quad (5)$$

(2) 共同型以外活動の時間配分率 P_{ij} について

$$P_{ij} = \frac{\pi_{ij}}{\pi_{ih} + \pi_{id} + \pi_{ia}} \cdot \frac{\sum_i (\pi_{ih} + \pi_{id} + \pi_{ia})}{\sum_i (\pi_{ih} + \pi_{id} + \pi_{ia} + \pi_{is})} \quad (6)$$

ここで、

$$\pi_{ih} = w_i u_i^{-\alpha} \Delta_{ih} \rho_{ih} \quad (7)$$

$$\pi_{id} = w_i u_i^{-\alpha} \Delta_{id} \rho_{id} \quad (8)$$

$$\pi_{ia} = w_i u_i^{-\alpha} \Delta_{ia} \rho_{ia} \quad (9)$$

$$\pi_{is} = w_i u_i^{-\alpha} \Delta_{is} \rho_{is} \quad (10)$$

$$\Delta_{ij} = \gamma_{ij} + \sum_{j' \neq j} (\delta_i \gamma_{ij'} \gamma_{ij'} u_{ij'}), \quad j=h, d, a, s \quad (11)$$

活動効用関数 u_{ij} については、意思決定者からみて、その効用が確定的であるかもしれないが、少なくとも分析者からみるとそうではないと考えるのが自然である。そこで、式(2)を以下のように書き換える。

$$u_{ij} = \exp \left(\sum_k \frac{\beta_{jk} x_{ijk}}{\sum_m \kappa_{jm} \tau_{ijm}} + \varepsilon_{ij} \right) \ln(t_{ij}) \quad (12)$$

ここで、 x_{ijk} は活動の効用に影響する個人属性や世帯属性などの変数、 β_{jk} はそのパラメータ、 μ_j は定数項、 ε_{ij} は誤差項、 τ_{ijm} は活動のために費やした移動時間、 κ_{jm} はそのパラメータである。

なお、本研究では時間配分時に交通機関の選択が既知であると仮定する。

式(5)と(6)をそのまま推定しようとする、式(12)の誤差項 ε_{ij} が影響するため、かなり複雑な推定方法が必要となってくる。モデルの推定を容易にするため、式(5)と(6)を以下のように対数変換する。式(12)のように誤差項 ε_{ij} を指数関数の中に取り入れたのは対数変換のためである。

(3) 共同型活動に関する対数変換式

$$\ln \left(\frac{P_s}{P_{ih}} \right) = \ln \left(\frac{\sum_i \tilde{\pi}_{is}}{\sum_i (\tilde{\pi}_{ih} + \tilde{\pi}_{id} + \tilde{\pi}_{ia})} \right) - \ln \left(\frac{\tilde{\pi}_{ih} + \tilde{\pi}_{id} + \tilde{\pi}_{ia}}{\tilde{\pi}_{ih}} \right) + \eta_{is} \quad (13)$$

(4) 共同型以外の活動に関する対数変換式

$$\ln \left(\frac{P_{ij}}{P_{ih}} \right) = \ln \left(\frac{\tilde{\pi}_{ij}}{\tilde{\pi}_{ih}} \right) + \eta_{ij} \quad (14)$$

ここで、 $\tilde{\pi}$ は式(12)の誤差項 ε_{ij} を無視したもので、 η_{is}, η_{ij} は ε_{ij} の影響を表す新たな誤差項である。世帯時間配分モデルの構造から、本研究では η_{is}, η_{ij} が互いに相関することを許容する。そして、これらの誤差項間の相関を考慮するために、SUR (Seemingly Unrelated Regression)法⁷⁾を適用することにする。

4. モデルの推定及び考察

モデルの推定にあたり、平成14年9月に中山間地域である島根県掛合町及び赤来町に居住する世帯を対象とした活動日誌調査で得たデータを用いた。調査結果を表3に示す。

表3 調査結果

	掛合町	赤来町	合計
町内世帯数	1,339	1,180	2,519
配布世帯数	103	104	207
回収世帯数	69	84	153
有効被験者数	189	197	386
有効調査票数	1,301	1,332	2,633

モデルの推定には、高齢者夫婦型世帯のみ(38世帯)のデータ(255サンプル：人日)を用いた。世帯時間配分モデルの推定結果を表4に示す。

世帯内相互作用を表すパラメータ α の値は1.0より若干大きいですが、“1.0と差がない”との帰無仮説をt検定により検定した結果、t値が0.43であり、有意な差が認められなかった。したがって、本研究の対象である高齢夫婦型世帯のサンプルは平均的な傾向として、平等型意思決定ルールに従って世帯時間配分を決定していると解釈することができる。ただし、 $\alpha=1.034$ をそのまま利用すると、 $1-\alpha=-0.034$ となり、効用の小さい構成員の都合を優先すると世帯総効用は多少上がる。夫の相対的な影響力を表す重みパラメータ w_i の値は0.9以上であることを考えると、夫が妻の都合を優先することにより、世帯総効用が向上する。言い換えれば、移動制約者である妻の時間配分は、夫の時間配分に若干制約を与えている。

移動時間が各活動の時間配分に与える影響は、個人によって異なるだけではなく、状況(天気など)によっても異なると考えられる。このことを考慮するため、表6に示すような説明変数をモデルの中に取り入れた。その結果、妻の個人属性パラメータはすべて統計的に有意であり、夫も免許証ダミーを除くすべてのパラメータ

が有意であった。夫の休日ダミーパラメータは統計的に有意な負の値を、妻は正の値をそれぞれ示す。これは休日になると、夫の活動時間が短く、妻が長くなる傾向があることを示唆する。天気の影響(雨天ダミー)については、夫のパラメータのみが有意な負の値となったことから、雨天になると、夫の活動時間が短くなることが伺える。また、掛合町ダミーのパラメータが有意ではなかったため、調査対象地域の違いによる活動時間配分への影響が見られないことが分かる。

表4 高齢者夫婦型世帯時間配分モデルの推定結果

説明変数：式(12)の x_{ijk} と τ_{ijm}	パラメータ推定値	
	夫	妻
定数項 (μ_j)		
在宅活動 (μ_h)	1.318	3.860**
独立型活動 (μ_d)	-0.178	1.630**
分担型活動 (μ_a)	-3.942**	0.338
共同型活動 (μ_s)	-23.925**	0.907
個人属性など ($\beta_{jk} = \beta_k$: 活動間共通と仮定する)		
掛合町ダミー (掛合1, 他0)	0.163	0.075
休日ダミー (休日1, 平日0)	-0.279*	0.170**
雨天ダミー (雨天1, 他0)	-0.393*	-0.094
年齢 (実年齢)	-0.043**	-0.045**
会社員ダミー (会社員1, 他0)	1.357**	-0.523**
自営業ダミー (自営業1, 他0)	0.992**	-0.782**
パートダミー (パート1, 他0)	2.554**	-0.964**
主婦ダミー (主婦1, 他0)	—	-0.514**
免許証ダミー (あり1, なし0)	-0.575	-0.766**
交通手段別移動時間の影響 (κ_{jm})		
自動車	0.207**	4.867
送迎	0.222**	-5.393
バス	11.283	0.525
その他	0.925**	0.694**
世帯意思決定パラメータ		
重みパラメータ (w_i)	0.979**	0.021 ^{a)}
相互作用パラメータ (α)	1.034**	
活動に関する意思決定パラメータ		
在宅活動の相対重要性パラメータ λ_{ih} ^{b)}	0.655	0.184
独立型活動の相対重要性パラメータ λ_{id}	0.095**	0.110**
分担型活動の相対重要性パラメータ λ_{ia}	0.146*	0.023**
共同型活動の相対重要性パラメータ λ_{is}	0.104*	0.684**
活動間相互作用 δ_i	3.672*	-0.150**
重相関係数		
独立型活動：式(17)	0.120	0.340
分担型活動：式(17)	0.679	0.622
共同型活動：式(16)	0.819	
サンプル数	255 (人日)	

注：*90%で有意，**95%で有意。

a) 妻の重みパラメータ=1-夫の重みパラメータ

b) 本研究では在宅活動の相対重要性パラメータを固定し、他の相対重要性パラメータを推定した。

5. シミュレーションによる交通政策の影響分析

ケーススタディ対象地域の中山間地域で今後予想される交通政策として、交通手段に関する以下の2つのシナリオを想定してシミュレーションを試みる。

<シナリオ1：送迎増加・バス交通の減少>

バス路線が撤廃したり、運行本数が減少したりするが、家族による送迎で補完するシナリオ

<シナリオ2：送迎減少・バス交通の増加>

新たなバスサービスを提供し、家族による送迎負担を軽減するシナリオ

まず、シナリオ1での活動時間配分パターンの変化を図1の上段に示す。以下のような顕著な結果を得た。

- ・在宅活動について、夫の自宅外活動時間の減少は全世界帯の58%を占めるのに対して、妻ではわずか7%である。バス交通の減少による妻の活動時間への影響は、夫の送迎増により軽減されていることが分かる。
- ・独立型活動について、妻の独立型活動時間が減少する世帯（23%）は夫のそれ（33%）より10%少ない。
- ・自宅外分担型活動時間が減少する世帯のうち、送迎増による夫の分担型活動時間が減少する世帯は全体の56%（=17%+39%）である。これは、妻の分担型活動時間が増加する世帯の割合（55%=16%+39%）とほぼ同じである。
- ・移動時間の変化により活動時間が変化しない世帯は全体の21%を占める。これは、21%にのぼる世帯で送迎とバスとの完全代替性が成り立つことを示唆する。一方、図1の下段に示すように、ほとんどの世帯では“送迎増・バス減”により自宅外共同型活動時間を減らしている。なお、シナリオ2での活動時間配分パターンの変化は前述の結果とほぼ逆であるため、詳細な説明は割愛する。

6. 結論及び今後の研究課題

本研究では、送迎に依存して生活している中山間地域の高齢者に着目し、送迎に関わる意思決定プロセスに存在する世帯構成員間の相互作用並びにその異質性を理論的に考慮した世帯時間配分モデルを提案した。

このモデルで、等弾力性社会厚生関数により世帯内意思決定ルールの異質性を表現した。活動日誌調査データを用いた実証分析の結果、提案したモデルの有効性を確認することができた。

さらに、中山間地域において想定される交通政策が高齢者世帯の時間配分パターン（生活パターン）に与える影響を、シミュレーション分析により評価し、提案した世帯時間配分モデルで高齢者交通政策を分析する適用可能性を示した。

今回の事例分析では、高齢夫婦型世帯を対象として研究を進めてきたが、今後、提案した世帯時間配分モデルの実用性を高めるため、異なる種類の世帯を同一

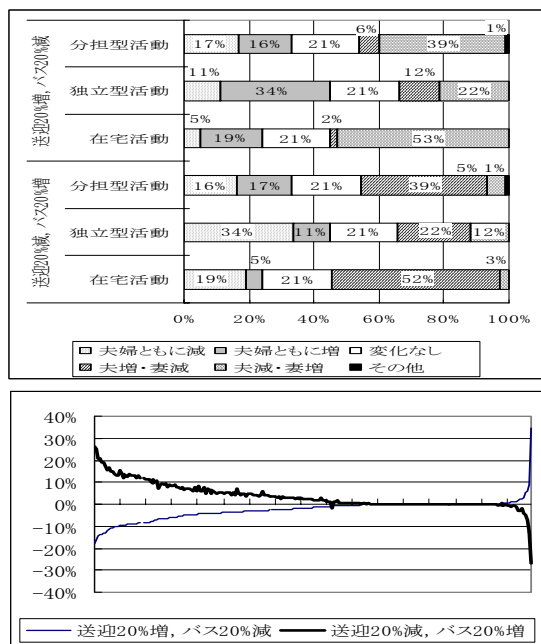


図1 交通手段の変化による活動時間の変化

のモデルシステムの中で柔軟に表現することが求められる。また、交通政策による外出機会の確保ということモデルの中で表現するため、活動時間だけではなく活動頻度も取り入れること、さらに、移動時間と活動時間との同時配分や活動タイミングの表現についても今後取り組むべき課題である。

参考文献

- 1) Becker G.S.: A theory of the allocation of time, Economic Journal 75, pp.493-517, 1965.
- 2) Gliebe, J.P., and Koppelman, F.S.: A model of joint activity participation, Papers Presented at the 9th International Association for Travel Behaviour Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, July 2-7, 2000.
- 3) Zhang, J., Timmermans, H. and Borgers, A.: A utility-maximizing model of household time use for independent, shared and allocated activities incorporating group decision mechanisms. Transportation Research Record 1807, 1-8, 2002.
- 4) 依田高典：不確実性と意思決定の統計学，日本評論社，1997.
- 5) 宮嶋勝：公共計画の評価と決定理論，企画センター，1982.
- 6) Kitamura, R: A model of daily time allocation to discretionary out-of-home activities and trips, Transportation Research Part B, 3, pp.255-266, 1984.
- 7) Zeller, A.: An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests of aggregation bias, Journal of the American Statistical Association, 57, 348-368, 1962.