

ここで、 T_i は個人*i*の一定期間における全体の買物頻度である。 λ は買物場所間の相互作用の強さを表すもので、符号制約がない。 w_{ij} は資源分配において個人*i*が買物場所*j*に置く重み（相対的重要性）であり、以下の条件を満たす必要がある。

$$w_{ij} > 0 \text{ and } \sum_j w_{ij} = I \quad (3)$$

このように、多項線形効用関数は個別場所での買物頻度の部分効用（ u_{ij} ）と相互作用を表す部分効用（ $u_{ij} * u_{ij'}$ ）からなる線形関数である。後者の相互作用項は個別場所での買物頻度の効用の掛け算で表される。式(1)では2項型相互作用しか考慮していないが、多項型への拡張も容易にできる。

相互作用パラメータ λ については、 $\lambda > 0$ の場合、異なる場所での買物行動は相乗効果をもたらし、 $\lambda < 0$ の場合、異なる場所での買物行動は競合関係にあると解釈することができる。

式(1)と(2)からなる最適化問題を以下のラグランジュ関数により解くことができる。

$$L = U_i + \mu(T_i - \sum_{j=1}^J t_{ij}) \quad (4)$$

式(4)の中の頻度 t_{ij} に対して一次微分を行う。

$$\partial L / \partial t_{ij} = \partial U_i / \partial t_{ij} - \mu = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t_{ij}} = \frac{\partial U_i}{\partial u_{ij}} \frac{\partial u_{ij}}{\partial t_{ij}} = \left(w_{ij} + \sum_{j'} w_{ij'} u_{ij'} \right) \frac{\partial u_{ij}}{\partial t_{ij}} \quad (6)$$

$A_{ij} = \partial U_i / \partial u_{ij}$ とすると、 A_{ij} は全体効用 U_i に対する買物場所*j*の効用 u_{ij} の限界効用である。

場所*h*での買物頻度を t_{ih} とすると、式(5)と(6)から μ に関する以下のような表現式が得られる。

$$\mu = A_{ih} \frac{\partial u_{ih}}{\partial t_{ih}} = \left(w_{ih} + \sum_{j'} w_{ihj'} u_{ihj'} \right) \frac{\partial u_{ih}}{\partial t_{ih}} \quad (7)$$

上記のモデルを導くため、以下の仮定を立てる。
仮定1：すべての効用関数 u_{ij} は非負である。

仮定2：買物頻度の限界効用は遞減性をもつ。

買物することによって、人々が満足感を感じると考えられるため、仮説1はその合理性がある。仮説2については、買物頻度が多くなるにつれ、疲れやストレスなどの影響を受け、1単位の頻度増加から得る効用の大きさ（限界効用）が少しずつ減少することを意味する。

仮定1～2を満たす各買物頻度の効用関数 u_{ij} と

して以下のような正値の関数をここで採用する。頻度の対数関数を採用したのは限界効用の遞減性を考慮するためである。

$$u_{ij} = \rho_{ij} \ln(t_{ij}^*) = \exp\left(\sum_k \beta_{jk} X_{ijk}\right) + \varepsilon_{ij} \cdot \ln(t_{ij}^*) \quad (8)$$

ここで、 X_{ijk} は u_{ij} の*k*番目の説明変数であり、買物場所別の属性や個人属性などを含む。 β_{jk} は X_{ijk} のパラメータ、 ε_{ij} は誤差項である。

式(8)中の頻度 t_{ij}^* に対して一次微分を行う。

$$\partial u_{ij} / \partial t_{ij}^* = \rho_{ij} / t_{ij}^* \quad (9)$$

式(5)、(7)と(9)を式(2)に代入すると、本研究で提案する多項線形効用関数に基づく個人の買物頻度同時決定モデルを得ることができる。

$$\begin{aligned} t_{ij}^* / T_i &= (A_{ij} \rho_{ij}) / \left(\sum_{j'} A_{j'} \rho_{j'} \right) \\ &= \frac{(w_{ij} + \sum_{j'} w_{ij'} u_{ij'}) \exp(t_{travel} * \sum_k \beta_{jk} X_{ijk} + \varepsilon_{ij})}{\sum_{j'} (w_{ij'} + \sum_{j''} w_{ij''} u_{ij''}) \exp(t_{travel} * \sum_k \beta_{j'k} X_{ij'k} + \varepsilon_{ij'})} \end{aligned} \quad (10)$$

このように、ある買物場所への頻度配分比率 t_{ij}^* / T_i は、限界効用 A_{ij} に基づく修正型ロジットモデルとなっている。また、買物場所間の相互作用は A_{ij} により表現されることが分かる。

買物場所*j*の頻度 t_{ij}^* と場所*j'*の頻度 $t_{ij'}^*$ との割り算式は以下のようになる。

$$\frac{t_{ij}^*}{t_{ij'}^*} = \frac{(w_{ij} + \sum_{j'} w_{ij'} u_{ij'}) \exp(t_{travel} * \sum_k \beta_{jk} X_{ijk} + \varepsilon_{ij})}{(w_{ij'} + \sum_{j''} w_{ij''} u_{ij''}) \exp(t_{travel} * \sum_k \beta_{j'k} X_{ij'k} + \varepsilon_{ij'})} \quad (11)$$

この割り算式に活動*j*と*j'*以外の情報も入っている。このように、本研究では、買物場所間の相互作用を明示的に考慮している。

式(10)の分子と分母ともに誤差項が入っているため、そのままではモデルのパラメータを推定することが困難である。そこで、式(11)に対して対数変換を行うと、以下のような線形式が得られる。

$$\begin{aligned} \ln(t_{ij}^* / t_{ih}^*) &= \ln(A_{ij} \rho_{ij}) - \ln(A_{ih} \rho_{ih}) \\ &= \ln(w_{ij} + \sum_{j'} w_{ij'} u_{ij'}) - \ln(w_{ih} + \sum_{j'} w_{ihj'} u_{ihj'}) \\ &\quad + (\sum_k \beta_{jk} X_{ijk} - \sum_k \beta_{hk} X_{ihk}) + e_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

$$e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ih} \quad (13)$$

式(13)の誤差項構造をみると、異なる頻度間の

誤差項が明らかに相関関係をもつ。このため、通常の最小2乗法により式(13)を推定すると、統計的に偏ったパラメータ推定値を得てしまう。そこで、式(14)の誤差項 ε_{ij} と ε_{ik} が正規分布に従うと仮定すれば、 e_{ij} も正規分布に従う。そして、誤差項間の相関関係を考慮できる SUR (Seemingly Unrelated Regression) 法¹²⁾により、式(13)を推定することにする。

5. 買物頻度同時決定モデルの推定

第3節の方法で計算された SP 買物頻度について、最小値が 0.019 回／週、最大値は 5.5 回／週であった。前述の効用の非負性を満たすため、ここでは、頻度値を 100 倍したうえでモデルの推定を行った。説明変数の導入については、再開発の内容 (0 か 1 で表される) に対して、個人属性によって複雑に反応することが分かり、試行錯誤の結果、路面電車の新路線導入以外の再開発について、再開発と年齢の 2 乗と性別との交互作用項を、路面電車の新路線導入については年齢の 2 乗との交互作用項をそれぞれ説明変数として取り入れた。

図 4 に示すような、年齢と買物頻度との非線形関係を反映するため、年齢を単独な説明変数としても導入した。モデルの推定結果を表 3 に示す。

モデルの精度を表す重相関係数はそれぞれ 0.7947 と 0.8257 で、モデルの精度が良好であると言える。多項線形型効用関数について、相対的重要性パラメータ値と相互作用パラメータ値はともに統計的に有意で、説明変数パラメータについても、その大多数が統計的に有意であった。よって、本研究で開発した「複数買物場所での買物頻度同時決定モデル」が有効であると言える。

買物頻度の意思決定において、どちらかと言えば、広島駅周辺とその他の地域の相対的重要性は広島市中心部より高い。また、買物場所間の相互作用パラメータ値はマイナスであるため、異なる買物場所の間に競合関係が存在する。

再開発の内容と年齢の 2 乗と性別との交互作用項の値 (男性のみ) を図 5 と図 6 に示す。なお、路面電車の新路線については、年齢の 2 乗のみとの交互作用項の値を示す。

表 3 複数場所での買物頻度同時決定モデルの推定結果

説明変数	(すべてダミ変数 : Yes : 1, No : 0)		推定値	t 値
広島中心部 (旧市民球場跡地) (広島駅前路面電車の 新路線)	商業施設 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)		0.0011	2.36 *
	都市公園 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)		0.0010	2.36 *
	図書館 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)		0.0020	3.06 **
	路面電車新路線 × 年齢の 2 乗		0.0009	2.85 **
広島駅 周辺	商業施設 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	-0.0008	-0.58	
	アミューズメントパーク × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	-0.0001	-0.19	
	都市公園 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	0.0026	4.02 **	
	路面電車 × 年齢の 2 乗	0.0019	5.46 **	
	道路規制 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	-0.0027	-2.34 *	
	ペデストリアンデッキ × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	-0.0022	-3.29 **	
個人属性 : 年齢	駐車場 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	0.0020	3.85 **	
	BC ブロック	商業施設 × 年齢の 2 乗 × 性別 (男:1、女:0)	0.0036	6.11 **
	広島市中心部	0.0328	9.61 **	
相対的重要性	広島駅周辺	-0.0166	-3.54 **	
	広島中心部	0.3090	80.24 **	
	広島駅周辺	0.3494	76.75 **	
その他の地域		0.3416	-	
買物場所間の相互作用		-0.2309	-127.85 **	
モデル精度 : 重相関係数				
ln (中心市街地 / その他の地域)		0.7947		
ln (中心市街地 / その他の地域)		0.8257		
サンプル数 (被験者数 × SP カード数)		3,416		

注 : * 95% 水準で有意 ; ** 99% 水準で有意

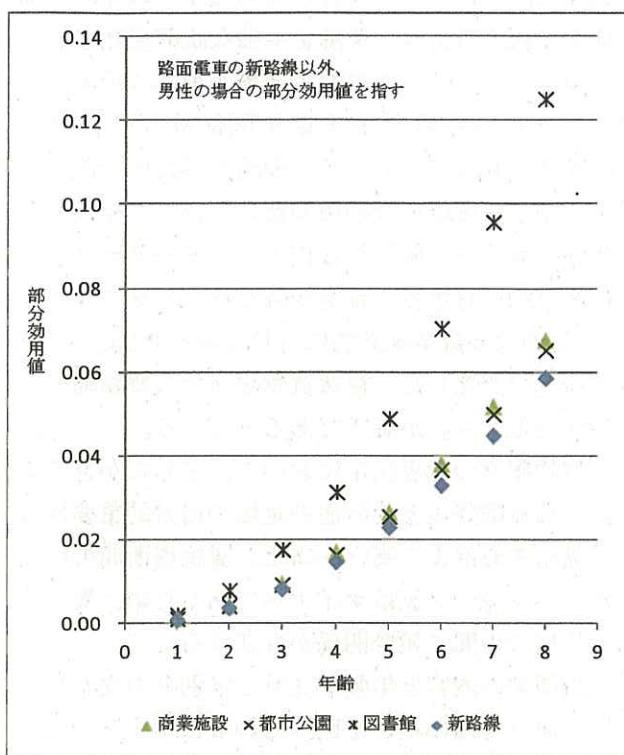


図5 広島市中心部での買い物効用

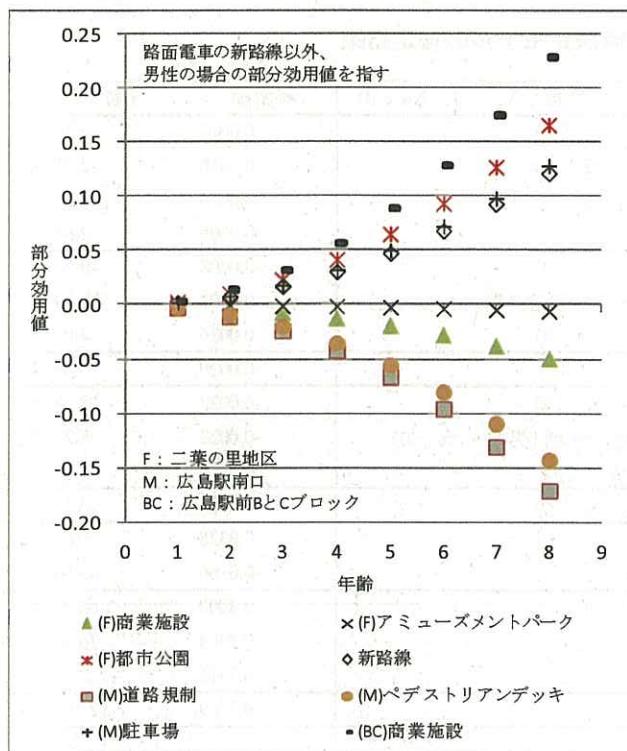


図6 広島駅周辺での買い物効用

広島市中心部での再開発について、特に年齢の高い男性が、商業施設、都市公園、図書館の建設を好む（買物頻度が高まる）。商業施設と都市公園より、図書館のような文化施設がより好まれる。一方、女性はその逆の選好性を示し、どのような再開発（商業施設、都市公園、図書館の建設のみ）を行っても広島市中心部で買物をしたがらない傾向がある。

広島駅周辺については、再開発の内容に対する市民の反応がより複雑である。二葉の里地区について、年齢と性別と都市公園の整備との交互作用項のみが統計的に有意となった。ほかの再開発の内容については、再開発の内容と年齢と性別とのすべての交互作用項が有意となった。具体的には、特に年齢の高い男性は、二葉の里地区について都市公園の整備を、駅前BとCブロックについて商業施設の整備をより好む（つまり、買物頻度がより増える）。一方、広島駅南口については、特に年齢の高い男性は、駐車場の整備を好むが、道路規制とペデストリアンデッキの整備を嫌う。つまり、道路規制とペデストリアンデッキの整備により、駅前における車の通行交通にマイナスの影響があり、結果的に駅周辺での買物頻度が下がる。しかし、特に若い女性は、道路規制とペデストリアンデッキの整備を好む傾向がある。

路面電車の新路線の整備について、中心部と広島駅を結ぶルートであるため、その影響は中心部と広島駅周辺での買物行動ともに直接な影響を及ぼすと考えられるため、それぞれの効用関数に、年齢の2乗との交互作用項としてモデルに取り入れた。その結果、パラメータが正の値となつたため、特に年齢の高い男性は、路面電車の新路線整備によって中心部と広島駅周辺での買物頻度が高まる結果になった。

6. おわりに

本研究では、広島市中心部と広島駅前の活性化対策の立案を念頭に入れ、表明選好調査を用いて市民の意向を調べた。そして、複数の買物場所での買物頻度を同時に表現するため、多項線形関数の概念を活用した資源配分モデルに基づき、買物

頻度の同時決定モデルを開発した。同モデルでは、異なる買物場所での買物行動の相互作用だけではなく、買物行動に関する意思決定における異なる場所の重み（相対的重要性）も同時に表現することができる。本研究のような視点から都市の活性化を検討するのは、新規性があると言える。

モデル推定を行った結果、まず、提案モデルの統計的な妥当性を明らかにした。次に、異なる場所での買物行動間において競合関係が存在すること、異なる場所での買物の相対的重要性が同じではないことも明らかとなった。再開発の内容と買物頻度とは線形的な関係ではなく、より複雑な非線形関係を有することを確認した。このような非線形関係はまた個人属性の影響と相まって、その複雑性が一層増す。本ケースステディでは、再開発の内容に関する市民の意向についていくつか興味深い結果を得た。分析の精度を一層高める必要があるため、ここでは実証分析の結果のとりまとめ（つまり、市民の視点からみた広島市の再開発の方向性の結論づけ）を行わないが、市民生活行動を含む様々な視点から、広島市の再開発について、科学的に、もっと丁寧に調査・分析を行う必要性をここで主張したい。

本研究の課題として、まず、買物頻度同時決定モデルへの説明変数の導入方法、特に再開発の内容に対する個人の反応の異質性を如何に表現するかについて、様々な（客観的か主観的）要因を取り上げ、もっと精査する必要がある。次に、モデルの構造については、全体的な買物頻度を個人別に固定した形でモデルを構築したが、それを緩和するためのモデリングの工夫が必要である。つまり、再開発による全体の買物行動の誘発効果を扱えるようにする必要がある。最後に、SP調査の結果とモデル推定の結果を活用し、どのような再開発案が活性化に効果のかを定量的に評価することが求められる。

謝辞:本研究は科学研究費補助金(基盤研究(A)(一般))プロジェクト(研究課題番号:22246068, 2010~2013年度; 研究代表者:張峻屹)「市民生活行動学の構築による部門横断型まちづくりのための政策意思決定方法論の開発」の助成を受けた。

参考文献

- 1) Zhang, J., Chikaraishi, M., Shindome, S., and Fujiwara, A. (2011) An analysis of shoppers' spatial choice behavior incorporating the influence of subjective well-being. Proceedings of the 51st European Congress of the Regional Science Association International, Barcelona, Spain, August 30 - September 3 (CD-ROM).
- 2) 中国新聞、2010年11月3日16面、2010年広島市広域商圏調査。
- 3) Kahneman, D., and Krueger, A. B. (2006) Developments in the measurement of subjective well-being. *Journal of Economic Perspectives*, 20(1), pp.3-24.
- 4) Zhang, Timmermans, H.J.P., and Borgers, A. (2002) A utility-maximizing model of household time use for independent, shared and allocated activities incorporating group decision mechanisms, *Transportation Research Record*, 1807, 1-8.
- 5) 張峻屹・黒水健 (2002) 多項線形効用関数に基づく個人生活時間配分モデルに関する基礎的な研究 Individual time allocation model based on multi-linear utility function, 都市計画学会学術研究論文集 *Journal of the City Planning Institute of Japan*, No.37, 121-126.
- 6) Zhang, Timmermans, H.J.P. and Borgers, A. (2005) A model of household task allocation and time use, *Transportation Research Part B*, 39, 81-95.
- 7) Zhang, J. (2009) A model of pedestrian time and monetary consumption behavior at city center, In: *Pedestrian Behaviour: Models, Data Collection and Applications*, H.J.P. TIMMERMAN (ed.), Emerald, Chapter 8, 157-193.

(注)

本論文は以下の論文を加筆したものである。

張峻屹・土井翔悟 (2012) 広島市中心部の活性化の方向性に関する市民の意向, Vol.10 (日本都市計画学会中国四国支部研究発表会), 10, 5-8