

7. 潜在クラスを考慮した中心市街地回遊行動モデルの構築とシナリオ評価 Incorporating Latent Class into Pedestrian Excursion Behavior Model for Evaluation of Spatial Planning Scenarios

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 56150 田澤 直幹

In recent years, many invigoration projects have been done to cope with the decline of urban districts. However, marketing information about the pedestrians' behaviors is very insufficient. And the pedestrians' activities in urban districts are of great variety because many kinds of stores are gathered. So, the first purpose of this research is to develop pedestrian excursion behavior model with incorporating latent class into it in order to consider individual taste heterogeneity. The second purpose is to run spatial planning scenario simulations using the developed model.

1. 研究の背景と目的

近年、郊外 SC の立地によって多くの中心市街地は衰退の一途を辿っている。中心市街地では、SC に比べ広域的に多様な種類の施設が集積しているがゆえのマネジメントの欠如という問題があり、市街地全体で行われるポイントカード事業の実施、デジタルサインを用いた情報提供、等の活性化事業は近年になってようやく力が入れ始められたと言っても過言ではない。そして、このような活性化事業を行う上でのマーケティング情報が非常に少ない、というのが現状である。そのため、施設集積の見られるある一定の市街地空間に着目した、来街者の詳細な回遊行動（どのような人が、どのような目的で来街し、どのような施設を訪れ、どのくらい滞在するのか）に関するデータの収集・分析に対するニーズは非常に高いと考えられる。その上で、ある施策を行った場合に、現状と比較してどう来街者の回遊行動が変化するのか、に関して、平均活動数、平均滞在時間、各施設の立寄り人数、といった具体的なアウトカム指標の算出によって評価を行うことが望ましい。しかし、市街地内においては様々な種類、規模の施設が立地しており、また来街者の嗜好も多様化しているため、来街者をひとまとめにした分析フレームワークは適切ではない。

以上の背景を受け、本研究では、松山市で 2004

年に行われた回遊行動実態調査のデータを基に、中心市街地における歩行者回遊行動モデルを構築する。その上で、嗜好の異質性を考慮するために潜在クラスをモデル内で考慮する。それにより、来街者を幾つかの嗜好グループにセグメンテーションすることを試みる。その後、構築されたモデルを用いたシミュレーションを行うことで、シナリオ実行時における回遊行動の変化を、上に述べたアウトカム指標等を用いて評価する。クラス別にシナリオに対する反応が異なるため、よりの確かな評価が可能となると考える。

2. 潜在クラスモデルの概要

2.1 潜在クラスの意義

潜在クラスとは、特定の嗜好を持つグループのことである。通常の離散選択モデルにおいては、効用関数中の説明変数のパラメータは母集団の中で同一であると仮定されるが、実際には個人ごとに嗜好が異なり、それによってパラメータの真値も個人ごとに異なると考える方が自然である。潜在クラスをモデル内で考慮する（これを潜在クラスモデルと呼ぶ）ことにより、個人を異なる S 個の潜在的なクラスに分け、クラスごとに異なるパラメータを持つと仮定する。これによって嗜好の異質性を考慮することが出来る。

2.2 定式化とパラメータ推定手法

潜在クラスモデルでは、クラス s の効用関数パラメータベクトル $\vec{\beta}_s$ と、個人 n のクラス s への帰属確率 π_{ns} を算出することが最終目的である。

まず、個人 n がクラス s に属し、機会 t において選択肢 i を選択する確率は以下のように表される。

$$P_t(i | \vec{x}_n, s) = f_t(i | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s) \quad (1)$$

\vec{x}_n : 個人 n の説明変数ベクトル

これより、個人 n がクラス s に属するときの選択確率の尤度は以下のように表される。

$$f(y_n | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s) = \prod_{t=1}^{T_n} \prod_{i=1}^{C_n} f_t(i | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s)^{d_{ni}(t)} \quad (2)$$

$d_{ni}(t)$: 個人 n が機会 t に選択肢 i を

選択した場合 1, 選択しなかった場合 0

C_n : 個人 n の選択肢数

T_n : 個人 n の機会数

よって、個人 n のクラス s への帰属確率 π_{ns} を用いて、潜在クラスモデルの対数尤度関数は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \ln L &= \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^S \log [f(y_n | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s) \cdot \pi_{ns}]^{d_{ns}} \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S [d_{ns} \log f(y_n | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s) + d_{ns} \log \pi_{ns}] \end{aligned} \quad (3)$$

d_{ns} : 個人 n がクラス s に

属している場合 1, 属していない場合 0

また、本研究では帰属確率 π_{ns} を個人属性からロジット型の確率式で求める。

$$\pi_{ns} = \frac{\exp(\vec{\delta}_s \cdot \vec{z}_n)}{\sum_{s'=1}^S \exp(\vec{\delta}_{s'} \cdot \vec{z}_n)} \quad (4)$$

\vec{z}_n : 個人 n の個人属性ベクトル

$\vec{\delta}_s$: クラス s のメンバーシップパラメータベクトル

いま、 d_{ns} は観測されない架空の変数であるため、欠損値として扱う。推定には EM アルゴリズムを用いる。まず E-Step において、 $\vec{\beta}_s, \vec{\delta}_s$ より個人 n がクラス s に所属する確率 w_{ns} (事後確率)

を計算する。

$$w_{ns} = \frac{\pi_{ns} \cdot f(y_n | \vec{x}_n, \vec{\beta}_s)}{\sum_{s'=1}^S \pi_{ns'} \cdot f(y_n | \vec{x}_n, \vec{\beta}_{s'})} \quad (5)$$

その後 M-Step において、 d_{ns} を w_{ns} で置き換え、最尤推定を行う。それによって、 $\vec{\beta}_s, \vec{\delta}_s$ を求める。このプロセスを、(3) 式の尤度の向上が見られなくなるまで繰り返し行う。

3. 分析データ概要

2004 年に松山市の中心市街地で行われた回遊行動実態調査データを用いる。調査概要を表 1 に示す。また本研究では活動内容を 8 分類して分析に用いる (表 2)。各施設での活動はいずれかの活動内容に分類される。なお、松山市の市街地は、高島屋と三越を両端に置き、間を大街道商店街と銀座街商店街が L 字型に繋ぐ、2 極 2 軸の構造をしているのが特徴である。

表 1 調査概要

対象	松山中心市街地来街者
調査手法	アンケート調査 配布地点を設定し、無作為に配布
調査日時	2004年6月18日(土), 19(日) 2004年11月6日(土), 7(日)
回収率	23.5%
質問項目	社会経済属性 性別, 年齢, 同伴人数, 来街手段, など
	当日の回遊行動 入口・出口, 利用駐車場・利用駅, 回遊開始時刻, 移動手段, 移動時間, 立寄り施設, 滞在時間, 購買金額, など
分析対象人数	294人

表 2 活動内容 8 分類

活動内容	略記	対応施設数
複合施設・地下街【買物】	FB	8
服飾施設・生活雑貨店【買物】	HB	91
書店・CDショップ【買物】	SB	9
その他買物施設【買物】	OB	35
飲食店【飲食】	IE	60
その他飲食店【飲食】	OE	33
アミューズメント施設【娯楽】	AA	18
私用施設【その他】	OO	36

4. モデルの構築

4.1 構築モデルの位置付け

最終的にモデルを用いたシミュレーションを行う上で、本章で構築するモデルの、位置付けを図 3 に示す。なお、複雑な要因に影響を受ける市

街地では、状況に応じた意思決定がなされることが多いため、意思決定は逐次的に行われるという仮定を置く。初回は対象エリアに達した時点、2回目以降は前活動が終了した時点で意思決定を行うとする。構築するモデルは、1. 帰宅 or 活動継続の選択 & 活動を継続する場合の活動内容の選択を記述するモデル、2. 活動内容が決定した後の活動施設の選択を記述するモデルの2つである。施設滞在時間はデータより得られた施設滞在時間の平均値を基に前後 10% の乱数を与えて決定する。なお、時間（長期型⇔短期型）や活動パターン（多目的型⇔単目的型）に異質性が現れると考えられるため、モデル1のみに潜在クラスを考慮する。

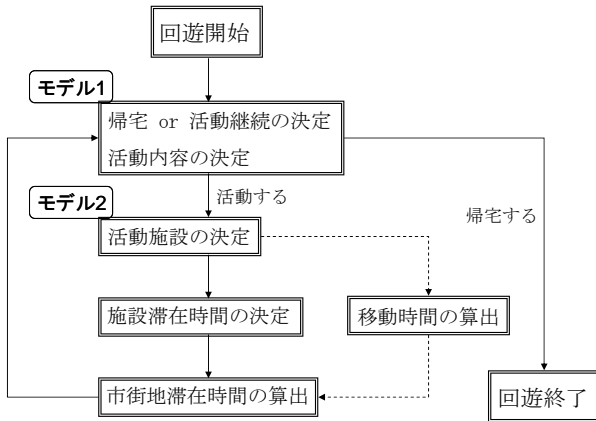


図3 シミュレーションフロー

4.2 帰宅 or 活動継続選択 & 活動内容選択モデル

本モデルでは、帰宅 or 活動継続の選択（上位レベル）と、活動継続の場合における活動内容の選択（下位レベル）を NL モデルの構造（図4）を用いて記述する。活動内容の選択枝は表2に示した8分類を用いる。各活動の効用に対して、表5に示す説明変数を設定した。特徴は、意思決定地点における場所ポテンシャルの定義である。まず、各施設の相対魅力度 w_i を以下のように算出する。

$$w_i = \frac{N_i \cdot T_i}{\sum_{i'} N_{i'} \cdot T_{i'}} \quad (6)$$

N_i : 施設 i の立寄り人数 (人)

T_i : 施設 i の平均滞在時間 (分)

I : 全施設数 (=290)

次に、意思決定地点 a における活動内容 l の場所ポテンシャル $Pot_a(l)$ を以下のように算出する。

$$Pot_a(l) = \sum_{i \in l} \frac{w_i}{\log d_{ai}} \quad (7)$$

d_{ai} : 地点 a から活動内容 l の施設 i までの距離

各地点における場所ポテンシャルを8つの活動内容別に算出し、説明変数として導入する。

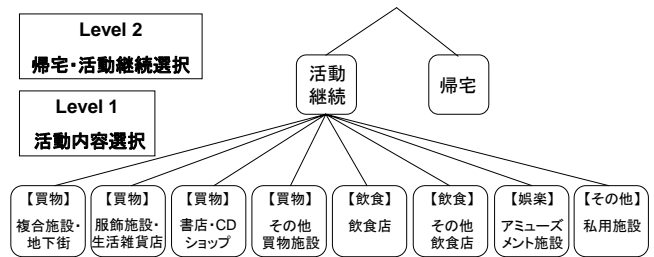


図4 モデル構造

表5 説明変数リスト

選択レベル	導入した説明変数
Level 2	帰宅 活動継続
Level 1	今までの市街地滞在時間(分) ログサム変数 今までの活動数(回)、今までの活動有無、 場所ポテンシャル、昼時ダミー、1回目活動ダミー

潜在クラス数を 1, 2, ... と変化させ、TSP を用いて推定を行った (1 のときは潜在クラスを考慮しないモデル)。その結果、3 クラス以上になるとログサム変数のパラメータ値が 1 を超えてしまい、構造上の理解が困難となった。そのため 1 Class Model と 2 Class Model の結果を比較したところ (表6)、2 Class Model の方が AIC の値が小さくなり、潜在クラスを考慮したことによって精度が向上したことが分かった。2 Class Model の結果を表7に示すが、推定パラメータ数が多いため、数値を見ただけでは特徴を把握することは出来ない。これに関しては、次章の現況再現シミュレーションにおいて考察を加える。

表6 モデルの評価

	パラメータ数	最終対数尤度	AIC
1 Class Model	22	-2409.550	4863.100
2 Class Model	48	-2374.856	4845.712

表 7 2 Class Model パラメータ推定結果

意思決定レベル	説明変数		クラス1			クラス2		
			パラメータ	T値		パラメータ	T値	
帰宅・活動継続選択	市街地滞在時間	帰宅	0.010	8.564	***	0.008	6.567	***
	ログサム変数	活動継続	0.720	9.492	***	0.866	5.529	***
活動内容選択	定数項	FB	1.778	5.281	***	-0.765	-1.185	
		HB	-2.227	-1.337		-3.186	-1.209	
		SB	0.494	1.572				
		OB	-3.883	-1.792	*	-3.270	-1.445	
		IE	1.542	4.795	***	-1.192	-2.590	***
		OE				-1.555	-3.262	***
	場所ポテンシャル	FB	0.136	4.244	***	0.230	2.098	**
		HB	2.696	2.523	**	1.939	1.110	
		OB	5.824	2.245	**	4.170	1.500	
		OO	0.547	4.326	***			
		AA	1.101	1.595		-17.604	-1.927	*
		AA						
	今までの活動数	FB	-0.106	-0.866				
		HB	0.200	1.476				
		SB	-0.945	-0.785		-0.346	-0.651	
		OB	1.082	2.377	**	-0.776	-1.204	
		IE	-1.742	-3.910	***	0.703	1.229	
		OE	-0.667	-1.327				
今までの活動有無	AA	1.975	3.981	***				
	IE,OE	0.601	2.574	***	0.419	0.832		
	HB	0.559	2.231	**	0.581	1.974	**	
	男性ダミー	-0.920	-0.956					
	10代ダミー	2.840	1.917	*				
	20代ダミー	4.842	2.143	**				
メンバーシップ開数	30代ダミー	5.219	2.070	**				
	40代ダミー	3.606	1.866	*				
	50代ダミー	1.521	1.186					
	1人ダミー	-6.924	-3.186	***				
	近距離交通ダミー	-1.200	-0.969					
	公共交通ダミー	2.348	1.466					
クラスサイズ		0.601		0.399				
サンプル数			294					
パラメータ数			48					
最終対数尤度			-2374.856					
AIC			4845.712					

*** 1%有意 ** 5%有意 * 10%有意

じたチョイスセットの設定を行わなかったが、その点を改善することによって尤度比の高いモデルを構築することが出来るであろう。

表 8 FB 施設選択 1 回目モデル推定結果

パラメータ内容		推定値	T値
施設相対魅力度		0.190	7.888 ***
施設までの距離		-0.002	-6.169 ***
定数項	銀天街ショッピングビルGET	0.965	2.335 **
	三越 松山店	0.923	3.650 ***
	ラフォーレ原宿松山	0.899	2.158 **
高島屋駐車場ダミー	伊予鉄高島屋	2.211	2.082 **
選択肢数		8	
データ数		141	
初期対数尤度		-293.200	
最終対数尤度		-147.773	
尤度比		0.496	

*** 1%有意 ** 5%有意 * 10%有意

表 9 各モデル推定結果概要

モデル	選択肢数	使用データ数	尤度比
複合施設・地下街【買物】1回目	8	141	0.496
複合施設・地下街【買物】2回目以降	8	250	0.323
服飾施設・生活雑貨店【買物】	91	201	0.094
書店・CDショップ【買物】	9	78	0.311
その他買物施設【買物】	35	107	0.132
飲食店【飲食】	60	98	0.111
その他飲食店【飲食】	33	92	0.164
アミューズメント施設【娯楽】	18	43	0.069
私用施設【その他】	36	65	0.142

4.3 活動施設選択モデル

本モデルでは、活動内容が決定した後の具体的な活動施設の選択を、MNL モデルの構造を用いて記述する。活動内容別に候補施設を列挙し、各施設に対する効用を算出する。説明変数としては、式(6)で算出した相対魅力度と、意思決定地点からの距離を用いる。なお、交通結節点に近接する複合施設は1回目活動時の選択確率が高いため、複合施設・地下街【買物】に関しては、1回目活動時のモデルと2回目以降活動時のモデルの2つを構築する。

TSPを用いてパラメータ推定を行った。一例として、複合施設・地下街【買物】(1回目)の施設選択モデルの推定結果を表8に示す。また、構築した9つのモデルの尤度比を表9に示す。候補施設数が少ないほど尤度比の高いモデルが構築出来たという結果になった。本研究では、状況に応

5. シミュレーション

5.1 現況再現

4章で構築したモデルを用い、図3に示したシミュレーションを20回繰り返す。その平均値を算出することで現況再現を行った。まず、活動集計結果に関して(表10)、潜在クラスを考慮したモデル(2 Class Model)の方がより観測値に近い結果が得られた。次に、観測データにおいて立寄り人が1回以上見られた全290施設のうち、立寄り人数の多い高島屋と三越を除いた288施設への立寄り回数に関して、より精度の良かった2 Class Modelによるシミュレーション値と観測値を比較すると(図11)、重相関係数が0.950と非常に高い再現結果が得られた(全290施設で行うと、0.991)。以上より、潜在クラスを考慮することによって現況再現性の高い精度の良いモデルが構築出来たと言えるだろう。

表 10 現況再現による活動集計結果の比較

	平均活動数(回)	平均市街地滞在時間(分)
1 Class Model	3.78 (+3.40%)	153 (+6.95%)
2 Class Model	3.75 (+2.47%)	150 (+4.67%)
観測値	3.66	143

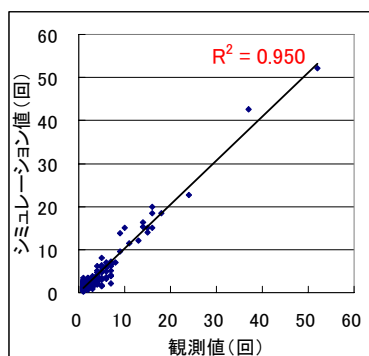


図 11 現況再現による全 288 施設の立寄り回数比較

次に、2 Class Model の再現結果より、各クラスの特徴把握を行った。活動集計結果(表 12)と活動内容の組み合わせ数の分析結果(図 13)、1人当たりの各活動内容の平均生起回数の分析結果(図 14)より、クラス1は「多目的型・買物(複合施設・地下街、服飾施設・生活雑貨店)ー飲食タイプ」、クラス2は「少目的型・買物(書店・CD ショップ、その他買物施設)ー私事タイプ」と言えるだろう。

表 12 クラス別活動集計結果の比較

	平均活動数(回)	平均市街地滞在時間(分)
クラス1	4.15	170
クラス2	3.13	119
全体	3.75	150

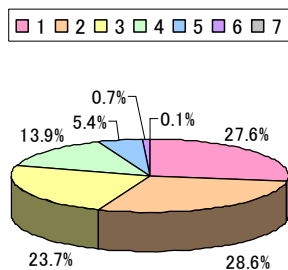


図 13 クラス別の活動内容組み合わせ数内訳

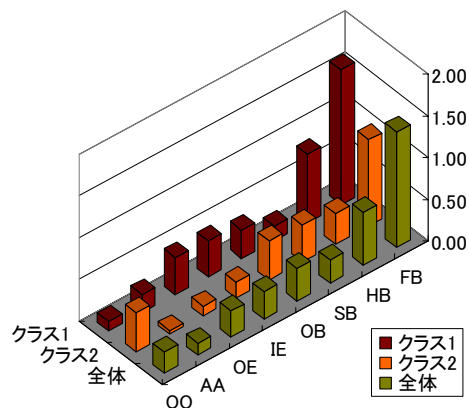


図 14 クラス別の各活動内容平均生起回数

5.2 シナリオシミュレーション

市街地の軸となっている2商店街を繋ぐL字カーブ付近にはシャッター施設が多く見受けられる。そこで、この場所を再開発し、新規服飾施設を立地させたと仮定する(図 15)。規模は、観測データにおいて立寄りが最大であったロック松山店と同規模と設定する。来街者設定(個人属性、来街地点、来街時刻等)は、観測データを用いる。



図 15 新規服飾施設立地場所

まず、全来街者に関して、活動集計結果を比較すると(表 16)、平均活動数、市街地滞在時間ともに5%程度増加した結果となった。また、全 290 施設の立寄り回数の増減を図 17 から図 19 に示す。増加施設は大街道エリア、銀座街エリアに多く、減少施設はラフォーレ・三越エリア、高島屋・まっちゃんエリアに多くなる結果となった。大きな増加が見られたのは、服飾施設・生活雑貨店であり、1つ魅力度の高い施設が出来たことによって相乗効果が生まれることとなることが分かった。また、大街道の施設と銀座街の施設を両方立寄る人数

は、現況：59.0人→シナリオ時：65.2人、と15.6%増加した結果となった。両エリアの繋がりが強化されたと言える。

次に、クラス別にシナリオによる変化を見ると、クラス1では活動が大きく活発化した一方、クラス2ではほとんど変化が見られないという結果になった。クラス1で活動が大きく活発化したのは、表7のパラメータ値を見て分かる通り、クラス1が服飾施設・生活雑貨店の活動数が増えるにつれ効用の上がる「はしご買物」タイプであることが影響したと考えられる。一方、場所ポテンシャルのみから影響を受けるクラス2では、1施設の増加だけでは大きな影響とならなかったのだろう。このように、潜在クラスを考慮することで新規施設の立地シナリオに対する反応の違いを検出することが出来、よりの確かな評価が行えることが示された。

表 16 活動集計結果の比較

	平均活動数(回)	平均市街地滞在時間(分)
クラス1	4.15→4.43 (+6.54%)	170→184 (+7.98%)
クラス2	3.13→3.15 (+0.58%)	119→120 (+0.93%)
全体	3.75→3.92 (+4.60%)	150→159 (+5.73%)

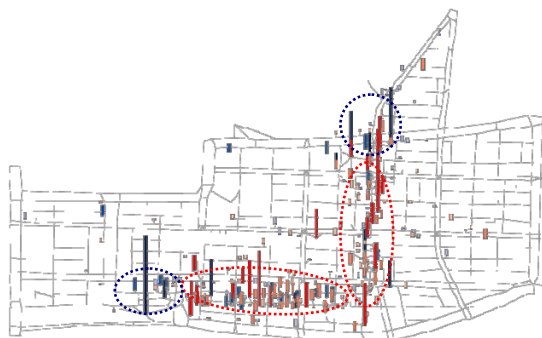


図 17 全 290 施設立寄り回数変化 (全体)

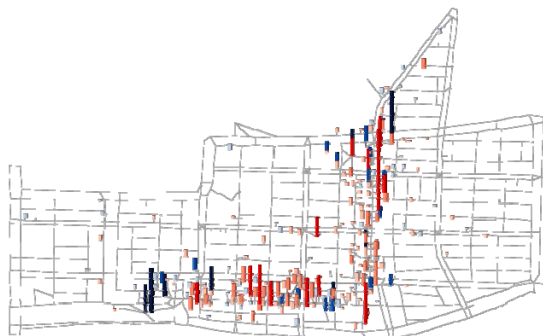


図 18 クラス 1 のシナリオ反応

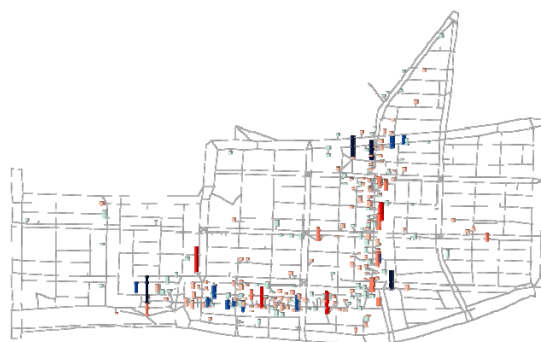


図 19 クラス 2 のシナリオ反応

6. 結論

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- 潜在クラスを考慮することで、通常に比べて精度の良い回遊行動モデルを構築することが出来、シミュレーションを通じてクラス別の特徴把握(「多目的型・買物-飲食タイプ」「少目的型・買物-私事タイプ)」を行うことが出来た。
- L字カーブ地点に、新規服飾施設を立地させることにより、商店街同士の繋がりが強化され、市街地全体における活動数、滞在時間ともに5%程度増加することがシミュレーション結果より分かった。
- 潜在クラスを考慮したことによって、シナリオ実行時の反応の違いが検出され、よりの確かなシナリオ評価が行える可能性を示した。

参考文献

- 1) 説明変数を含んだマルコフチェーンモデルによる都心再開発に伴う消費者回遊行動の変化予測, 斎藤参郎・石橋健一, 第27回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.429-444, 1992
- 2) Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, J.L.Bowman・M.E.Ben-Akiva, Transportation Research Part A 35, 2000
- 3) 商業施設の立地が都心回遊行動に与える影響, 森三千浩・羽藤英二, 修士論文, 2006
- 4) マーケティングの科学-POSデータの解析(第8章), 阿部誠・近藤文代著, 朝倉書店, 2005