

外出パターン推計モデルの実証分析

山口 淳也¹・四辻裕文²，喜多 秀行³

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学科（〒 657-0013兵庫県神戸市 灘区六甲台町 1-1）
E-mail:157t145t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学先端融合研究環重点研究部（〒 657-0013兵庫県神戸市 灘区六甲台町 1-1）
E-mail: yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学科（〒 657-0013兵庫県神戸市 灘区六甲台町 1-1）
E-mail: kita@crystal.kobe-u.ac.jp

車を利用できない人や高齢者にとって、活動機会を保障するには公共交通サービスが不可欠である。限られた予算の下では、集合的にサービスを提供せざるをえないため、効率的に公共交通サービスを提供するには、住民の行動パターンを把握することによって、どのような地域にどの程度のサービスを提供すべきかの指針が必要になる。そのような指針として、サービス水準マトリクスが提案されている¹⁾²⁾³⁾。これは、居住地区と中心地区との間の距離に応じてバスの便数を割り当てるものである。本研究では、単純化した外出パターン選択モデル及びパーソントリップ(PT)調査データを用いて、居住地から中心地までの距離と活動拠点間の距離から住民の効用最大化行動に基づいて外出パターンを推計できることを実証分析により示した。

Key Words : *public transportation service, pattern of goingout, movement distance, surply of survice, positive analysis*

1. はじめに

自動車を利用できない人や長距離を歩くことが困難な高齢者にとって、活動機会を保障するには公共交通サービスが不可欠である。ここでいう活動機会とは、買い物をすることが出来る、通院出来るということである。各住民の外出時刻に応じてサービスが提供できればよいが、限られた予算の下では、集合的にサービスを提供せざるをえないため、効率的に公共交通サービスを提供するには、どのような地域にどの程度のサービスを提供すべきかの指針が必要になる。

そのような指針として、サービス水準マトリクスが提案されている¹⁾²⁾³⁾。これは、居住地区と中心地区との間の距離に応じてバスの便数を割り当てるものである。このマトリクスを作成するためには、住民の外出パターンを把握し、それとよく一致するように地域別の便数を設定することが望ましい。そこで、本研究では住民の行動パターン、特に居住地と活動拠点との間の移動頻度を推計する簡便なモデルを構築する。

2. サービス水準マトリクス

サービス水準マトリクスの例として、イギリスのランカシャー州が策定するLTP(Local Transport Plan)²⁾⁴⁾に記載されているものを表-1に示す。この表は、路線バスの1日当たりの便数の基準を活動別および地区の人口規模別

表-1 ランカシャー州におけるサービス水準マトリクス²⁾に整理したものである。縦方向に地区の人口規模を、横

Settlement Population	No of (Return) Trips to a Designated Centre for:			
	Employment/ Training	Shopping	Healthcare/ Hospital	Evening/ Leisure
50-149	Nil	1 per week	1 per week	Nil
150-449	1 per day Mon-Fri	2 per day on 2 days	1 per day on 2 days	1 evening per week
450-999	1 per day Mon-Sat	2 per day Mon-Sat	1 per day	3 evenings per week +2 per Sunday
1,000-2,499	2 per day Mon-Sat	3 per day Mon-Sa	2 per day + 2 evenings visiting per week	2 per evening + 3 per Sunday
2,500-10,000	Minimum 2-hourly service 07:00-19:00 Mon-Sat		4 per day + daily visiting including evenings	4 per evening +4 per Sunday

方向に、通勤及び職業訓練、買い物、通院、余暇といった活動を示し、それぞれの要素に各活動の機会を保障するためにの提供すべき便数が示されている。

このサービス水準マトリクスはどのようにして作成すればよいのだろうか。谷本・牧³⁾は、供給すべきサービス水準を設定する手法を提案している。具体的には、計画対象地域をどのように分類するか、分類した地区にどれだけ路線バスの便数を割り当てるかに関する手法を提案し、その結果をサービス水準マトリクスとして整理している。サービス水準マトリクスを作成するに当たって、必要な要素は、地区の分類、活動の種類、対象地区別に供給するサービスの量(表-1では、バスの便数のことを指す。)である。抽象化された地区の場合、地区ごとの特色や抱える問題等に向き合うことが出来ないとされるが、サービス水準マトリクスは、あくまで地域全体のベンチマークとして考える。また、谷本・牧³⁾は、公共交通サービスは、外出を伴う活動の機会を人々に保障することを目的としているため、外出の 패턴の類似性に基づいて地区を分類することが適切であると考えている。ここでの外出パターンは、いつ(時間帯)、どこへ(目的地)、どのように(交通手段)、どれだけ(頻度)で特徴付けられているとされている。その上で、生活路線の機能をもつ自治体内の路線バスを公共交通の具体的な対象とし、サービス水準マトリクスを作成するための手法を示すとともに、事例分析を行い、それらの手法の有効性を確認する。谷本・牧³⁾はパーソントリップ(以後、PT)調査を用いてサービス水準マトリクス作成する方法を提案している。しかし、これは毎回PT調査が必要であるという課題がある。

そこで、喜多ら⁵⁾は、交通行動モデルに基づき外出頻度を推計する方法を開発した。これは、住民の効用最大化行動に基づいて外出パターンを推計する簡便なモデルであるが、モデル分析に留まっており、実証分析が行われていない。そこで本研究は、住民の外出パターンに関する実態調査を行い喜多ら⁵⁾のモデルの実証分析を行う。

3. モデル

(1) 基本モデル

以下、先行研究⁵⁾に基づき、分析のためのモデルを構築する。想定地域は、商業施設等が存在する中心地区と、中心地区までバスやで移動する住民が居住する周辺地区からなる地域である。

住民は、活動を行うことにより得られる効用、移動時間等に起因する不効用、複数の活動をまとめて実施するための調整費用に関する不効用を構成要素とする効用を最大化する行動をとるものと仮定する。

活動効用 u_a は、活動時間が長くなるにつれ増加するが、時間が長くなるにつれ逓減するものとする。限界効用活動 u_a は継続時間 t とともに減少し、 $du_a/dt < 0, d^2u_a/dt^2 > 0$ から次式のように特定化する。

$$u_a = \alpha \left[1 - \exp\left(-\frac{\beta}{t}\right) \right] - u_h \quad (1)$$

α, β はパラメータであり $u_a > u_h$ である。簡単のため、一活動の継続時間を一定値 τ とすると、 n 件の活動を継続する場合の効用 U_a は図-1で示した枠の面積となり、式のように表すことが出来る。

$$U_a = \int_0^{n\tau} u_a(t) dt \quad (2)$$

一方、在宅時にも活動を行い、在宅効用 a_h の限界効用 u_h は一定値

$$u_h = u_h^0 \quad (3)$$

であるとする。そして、限界活動効用が限界在宅効用を下回った時点で活動を終了すると考える。

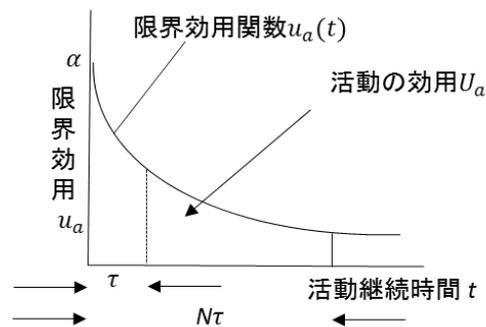


図-1 活動継続時間と限界効用

二番目の移動に関する不効用については、移動時間の限界(不)効用 u_r が、移動中に自宅での活動を行えないことによる機会費用損失に運賃や疲労等を加えたものと考え、 $u_r < 0$ とする。居住地から中心地区までの距離を d 、移動速度を v とすると、1回の往復の移動時間 t_r は、

$$t_r = \frac{2d}{v} \quad (4)$$

であるため、1回の外出に関わる(不)効用 U_r は次式で表される。

$$U_r = 2 \left(\frac{d}{v} \right) u_r \quad (5)$$

三番目の活動の調整費用については、活動の日時や種類等を変更すると、調整費用(変更のための手間や日時)がかかる。調整費用 c_m は変更する活動数 m に対して次式のように逓増するものとする(図-2参照)。

$$c_m = \gamma \exp(\delta \cdot m) \quad (6)$$

ここに、 γ と δ はパラメータである。

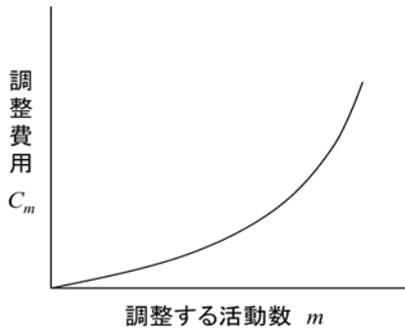


図-2 活動数と調整費用

以上の設定の下で、住民は単位期間（例えば1週間）に N_0 個の潜在的な活動（移動に伴う不効用が0の場合に実施したいと考える活動）の中から N 個($N \leq N_0$)の活動を n 回の外出回数に分けて実施する。この[活動回数, 外出回数: 住民の潜在的な活動]の組み合わせを $[N, n : N_0]$ と表している。

このような選択行動を、以下では外出パターンの選択行動と呼ぶ。外出パターンが $[N, n : N_0]$ の場合の効用 U_n^N は、次式のように表される。

$$U_n^N = \int_0^{n\tau} u_a(t)dt - n \cdot \frac{2d}{v} \cdot u_r - \gamma \exp(\delta \cdot (N-n)) \quad (7)$$

ここに、 U_n^N ：住民が N 個の活動を n 回に分けて行う場合の効用、 N ：活動回数、 n ：外出回数、 u_a ：中心地での活動の限界効用、 u_a ：中心地での活動効用、 τ ：一活動時間、 t ：活動継続時間、 d ：居住地から中心地までの距離、 v ：移動速度、 u_r, γ, δ ：パラメータである。

第一項は、中心地での活動の効用で、その限界効用は図-1に示すように、活動継続時間が増えるに連れて逓減している。第二項は、移動に関する不効用で、移動が増えると効用が下がることを示している。第三項は、活動の調整費用で、活動日時の変更に対する不効用で図-2のように調整する活動数が増えると、調整費用も増加する。

実際の外出回数の中の活動回数は、住民は効用が最大となる活動パターン $[N, n]$ を選択する。

$$[N, n] = \arg \max [N', n'] U_{n'}^{N'} \quad (8)$$

(2) 分析上の仮定と簡略化

以上が基本モデルであるが、実証分析を行うに際しては、調査・分析上の制約等によりいくつかの追加的な仮定を設け、簡略化を行う。

1点目は、PT調査で得られた活動回数と住民が選択していない活動回数、活動時間を同じであると見なす点である。例えば、ある人の外出行動2回の内、活動を3回行ったというデータがPT調査より得られた場合、選

択しなかったデータは、外出回数1回の内、活動を3回行ったと見なす。活動回数、活動時間が同数であるので、中心地区での活動で得られる効用は同じであり、住民が活動を何回に分けて行うのかを選択する要因とはならないため第一項を割愛する。ただし、個人によって活動回数、活動時間は異なっている。

2点目は、移動時間についてである。基本モデルでは、 n 回の外出に要する往復の移動時間を $n \cdot \frac{2d}{v}$ としている。

これは、移動速度を一定とし、移動距離と外出回数によって得られる(不)効用としている。しかし、乗り物や、歩行での移動速度を渋滞や車の空き具合等を含めて推定することは困難であることと、PT調査データによって、活動場所の出発時刻と到着時刻はわかるので、これらを用いて、移動毎にかかる所要時間を得ることができる。そして、移動毎にかかる所要時間の合計を総移動時間、 $\sum_{i=1}^{N+n} t_i$ と表す。 u_r は、既往研究と同様で、モデル式において移動にかかる(不)効用がどの程度影響しているかを示すパラメータである。

3点目は、基本モデルでは、第三項の調整費用を $\gamma \exp(\delta(N-n))$ と定義しているが、本研究では、 $\gamma' \exp(N-n)$ と定義する。ここで、 γ は調整費用がどの程度効用に対して影響しているかを示すパラメータであり、 δ は、活動を取りまとめて行うことがどの程度活動の変更に対する調整費用に影響しているかを測るパラメータであるが、今回は γ についてのみを推計する。 δ を取り除くことによって、活動を取りまとめて生じる効用の程度を表すことができなくなるが、この点については今後の調査・分析に委ねたい。

以上より、基本モデルの効用関数(7)式を以下のように定式化し直す。

$$U_n^N = - \sum_{i=1}^{N+n} t_i - \gamma' \exp(N-n) + \beta_k \quad (9)$$

ただし、 t_i ： i 番目の活動場所への移動時間(hour)、 u_r 、 γ' ：パラメータ、 β_k ：定数項($k=1,2$)である。

ここでの外出回数とは、家を出発して、帰宅するまでを1回的外出とする。また、本研究では、個人の外出回数の差によって生じる効用差に着目しているため、外出を行わない人は分析対象としないこととする。外出回数1~3回の場合の効用を求め、多項ロジットモデルにより外出回数の選択確率 P_n^N を求める。

$$P_n^N = \frac{\exp U_n^N}{\sum_{n=1}^3 \exp U_n^N} \quad (10)$$

これにより推計された選択行動と調査で得られた行動が一致するよう最尤法によりパラメータ推計を行う。対数尤度関数 L を以下に示す。

$$L = \sum_{j=1}^m \{ \delta_1^j \ln p_1^{N_j} + \delta_2^j \ln p_2^{N_j} + \delta_3^j \ln p_3^{N_j} \} \quad (11)$$

ここに、 δ_1^j , δ_2^j , δ_3^j は個人 j の選択結果を示す0-1変数、 m はサンプル数である。

4. データ

以上の外出パターン推計モデルを用いて推定した外出パターンが、実際の活動実態に即しているかを調査データを用いて実証する。調査を行う。具体的には、実際に住民が行った外出パターンをPT調査データから把握し、活動実態データと外出パターン推計モデルから得られた外出回数を比較することで、外出パターン推計モデルの妥当性を検討する。PT調査の概要を表-2に示す。

表-2 PT調査の概要

調査方法	アンケート調査
配布・回収方法	郵送(住民基本台帳からランダム抽出)
調査地域	兵庫県下の地方都市
調査時期	2014年9月9日(日)
回収数	2,310世帯(5477人)
調査内容	個人属性, 活動時間, 活動機会(よく利用する買い物場所)

調査にあたっては世帯票と個人票の2種類を作成した。世帯票は、世帯構成や外出に必要な状況を調査する調査票であり、個人票は、各世帯の構成員が調査日に行った行動や普段の買い物、通院に関する情報、将来の市の公共交通に対する希望を伺うシートである。7,500世帯に調査票を配布し、回収数2,310世帯、個人票は5,477サンプルであった。活動地点数が2つ以上のサンプル数は2,010で、内200サンプルを無作為に抽出して分析した。

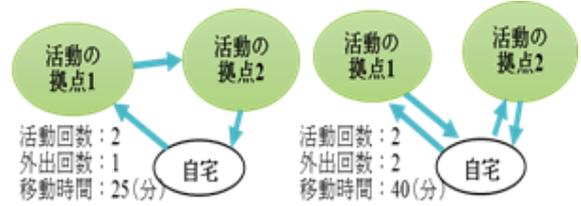
表-3は、実際に採取したある住民のサンプルである。本住民は、自宅から2箇所の活動拠点を連続して訪れ、帰宅している。選択確率を求めるために、選択しなかったデータを作成する。表-4にはPT調査データのデータ加工イメージ、図-3にその概念図を示す。先述したように、選択した行動と選択しなかった行動の活動回数は同じと仮定している。

表-3 ある住民の1日のトリップの例

トリップ	出発時刻	到着時刻	活動目的	トリップ時間(分)
1	10:00	10:10	活動	10
2	10:30	10:35	活動	5
3	11:30	11:40	帰宅	10

表-4 PT調査データの加工データ

実際の活動回数	未実施の活動回数	実際の外出回数	未実施の外出回数	実際の総移動時間	未実施の移動時間
2	2	1	2	20(分)	40(分)



【PT調査データ】 【選択されなかったトリップ】

図-3 PT調査データと選択されなかったトリップ

5. 分析結果・考察

上記の調査データを用いて外出パターン推計モデルのパラメータを推計した。推計結果を表-5に示す。

表-5 パラメータ推計結果

パラメータ	γ'
推計値	-1.66
t値	-15.3
尤度比	0.188

推計したパラメータは、符号条件を満たしており、 t 値より有意性も認められる。モデルの尤度比は0.188とさほど高くはないが、以上より、限定的ではあるものの移動時間と外出回数の調整費用のみでも外出パターンを一定程度説明できることが確認できたと考える。

また、少ないサンプル数ではあるが、人口密度が比較的高い中心地区(三木地区, サンプル数64)と低密度に集落が分布している周辺地区(吉川・口吉川地区, 24サンプル)の外出パターンを比較した。

周辺地区については、以下の2つの傾向が見出された。

- ① t 値の比較より、周辺地区では主として移動時間が外出パターンを強く規定している。
- ② これは、居住地から活動拠点までの移動時間が長いいため、外出をまとめて行なうことにより移動の効率性を高めていると推察される。

一方、中心地区については、以下の傾向が認められた。

- ① 主として定数項により行動が規定されており、本地区では交通条件は外出回数を規定する支配的要因となっていない。

- ② これは、居住地から活動拠点までの移動時間が短い
ため、まとめて外出して移動時間を短くするより必
要な時に都度出かける傾向が高いためと推測される。

6. おわりに

本研究では、外出回数を移動距離と外出の集約度によ
り記述モデルである喜多ら⁵⁾の理論モデルより PT 調査
を用いて実証分析を行い、外出パターンを説明するパラ
メータの推計を目的としていた。具体的には、一日に何
回外出し、どれだけの移動時間をかけ、何回活動を行う
のかを伺う PT 調査データを喜多ら⁵⁾のモデルを改良し
つつ入力できるように変換した。限定的ではあるが、①
中心地区から遠い地区になればなるほど、外出を集約
し、外出回数を少なくする傾向が認められるが、中心地
区では移動時間自体が短いため、その傾向はほとんど認
められない。また、②中心地区から遠い地区になるほ
ど、公共交通サービスの運行頻度を低く設定することの
妥当性を示唆している。以上2点を実証分析により示す

ことが出来た。今後は出発時刻選択等についても分析を
加え、サービス水準マトリクス作成の基礎としたい。

なお、本研究は科学研究費補助金基盤研究(A) (課題
番号：25249071, 研究代表者：喜多秀行) の一環として
実施した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (財)国際交通安全学会：地域でつくる公共交通計画 日本
版 LTP 策定の手引き, p35,p36,2010.
- 2) Lancashire County Council: The Lancashire Bus Strategy. Local
Transport Plan 2006-2011, 2005.
- 3) 谷本圭志, 牧修平：地方における公共交通のサービス供
給基準に関する研究, 運輸政策研究, Vol11, No4, 2009.
- 4) Department for Transport, "Full Guidance on Local Transport Plan:
Second Edition", 2004
- 5) 喜多秀行, 月岡修一, 谷本圭志：移動距離が外出頻度と
活動水準に及ぼす影響のモデル分析, 土木計画学研究・
講演集, Vol.31, 2005.

(2016. 7. 31 受付)

AN EMPIRICAL AND MODEL ANALYSES ON TRAVEL PATTERNS FOR DAILY ACTIVITY

Junya YAMAGUCHI, Hirofumi YOTSUTSUJI, Hideyuki KITA

Public transport service is indispensable for the person who doesn't have a car and the senior citizen for whom it's difficult to walk too long distance. Hence, it is necessary that the public transport service is supplied collectively under the limited budget. Therefore, the service level standard based on behavior time of the citizen is required.

The past research work about the offer standard of the public transport service has the "level of service matrix" which showed how to supply the public transport service by a matrix using PT investigation data. However huge time and cost are needed to do a PT investigation each time.

The purpose of this study is to make "level of service matrix" without doing a PT investigation. Using the model that estimates the frequency of going outdoors according to the distance area from the local citizen's utility maximization behavior, this study verified validity of the model that expresses a phenomenon.