

移動距離に着目した外出パターン推計法とサービス水準マトリクス作成への応用

山口 淳也¹・喜多 秀行²

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒 657-8501 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 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒 657-8501 兵庫県神戸市 灘区六甲台町 1-1)
E-mail: kita@crystal.kobe-u.ac.jp

非マイカー利用車や高齢者にとって、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、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し、どのような地域にどの程度のサービスを供給すべきかの指針が必要になる。その指針として、サービス水準マトリクスが提案されている。これは、居住地域と中心地域との間の距離に応じてバスの便数を配分するものである。本研究では、簡単に得られる情報(地域特性)をもとに、簡便に住民の外出パターン・希望出発・帰宅時刻選択を推計するモデルを提案し、サービス水準マトリクス作成のための計画情報を得ることを目的とする。

モデルの挙動をマイクロシミュレーションを用いて確認するとともに、比較的入手の容易な情報のみに基づく事例分析を行い、本モデルが一定の現象再現性を有することを確認した。

Key Words : public transport, service level matrix, daily activity, micro simulation, empirical 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。ここでの活動機会とは、買い物や通院が出来ることである。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、限られた予算下では、集散的にサービスを供給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、どの地域にどの程度のサービスを供給すべきかの指針が必要になる。その指針として、表-1のような「サービス水準マトリクス」が提案されている^{1)~3)}。これは、居住地区と中心地区との間の距離や人口に応じてバスの便数を割り当てるものである。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。現在提案されている谷本・牧⁴⁾の作成方法では、パーソントリップ(PT)調査データを必要とする。しかし、PT 調査を行うことは莫大な時間・費用がかかるという問題がある。

そこで本研究では、PT 調査よりも簡単に得られる情報(地域特性)をもとに、簡便に住民の外出パターン・希望出発・帰宅時刻選択を推計するモデルを提案し、「サービス水準マトリクス作成」の基礎とすることを目的とする。

2. 本研究の枠組み

(1) サービス水準マトリクス

サービス水準マトリクスの一例¹⁾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に整理したものである。縦方向に地区特性や人口規模を、横方向に、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の提供すべき便数が示されている。

サービス水準マトリクスの作成法として、谷本・牧⁴⁾は、計画対象地域の分類や、分類した地区にどれだけの便数を割り当てるかに関する手法を提案し、それに基づき算定したサービス水準マトリクスを提示している。しかし、この方法はPT調査データを必要とするため、以下ではPT調査に代わる方法を検討する。

表-1 サービス水準マトリクスの例¹⁾

地区特性	人口規模(人)	通勤(往復日)	通学(同左)	買物(同左)	通院(同左)
辺地部	~〇	2	1	2	2
郊外部	〇~〇〇	2	2	2	2
:	:	:	:	:	:
市街部	〇〇~〇〇〇	4	4	5	3
都心部	〇〇〇~	5	5	6	5

(2) 想定する地域と活動

想定地域は、商業施設や医療機関等が存在する中心地区と、その周辺の居住地区からなる地域である。買い物と通院の2つの活動を想定し、住民は居住地から中心地へ出向いてこれらの活動を行うものとする。居住地と中心地の間を移動する際の手段は、徒歩、自転車、バイク、バス、自家用車などが一般的であるが、本研究ではバスダイヤ等による利用時間制約の影響を分離すべく、自家用車による移動を念頭に置いてモデル構築と分析を行う。

(3) 外出パターンの推計に関する既往研究

住民の生活行動を記述・予測する生活行動モデルに関しては、Hemmens⁷⁾の先駆的な研究以降、Becker⁸⁾、Kitamura⁹⁾、藤井¹⁰⁾、植村・大枝・角¹¹⁾、など多数提案されており、個人の生活行動に関する意思決定を時間軸上で再現し、それに伴う生活行動の軌跡を追うことを可能としているしかし、その多くは比較的大規模なモデルで、自治体等の公共交通担当者が実務で使用することが必ずしも容易でない。そこで本研究では、サービス水準マトリクスの作成が可能な程度の精度で時間帯別トリップ数を推計しうる簡便なモデルを開発する。

(4) 外出パターンの推計フロー

本研究では、1日の中のトリップチェーンの形状と各トリップの生起時刻を合わせて“外出パターン”と呼ぶ。そして、移動距離が長くなると複数の活動をまとめて外出回数を減らすなど、外出頻度が移動距離により変化する傾向⁹⁾が存在することに着目し、その傾向を外出頻度選択モデルにより記述した山口・喜多⁶⁾に基礎を置くとともに、そこで考慮されていなかった活動時刻を明示的にモデルに組み込み、外出パターンを推計しようとするものである。また、発地側に比べ比較的容易に収集できる着地(活動拠点)側の情報や、地域間である程度共通している活動特性等の活用を念頭に置いて開発を進める。

推計フローの基本構造を図-1に示す。モデルへの入力要素のうち、居住地から中心地までの「移動時間」、住民の年齢構成等に基づく「時間帯別外出可能確率」、商店の開店時間帯などの「時間帯別営業確率」、「居住地-中心地間距離」、「人口」といった本研究で“地域固有変数”と呼ぶ地域固有の特性(黄塗色部分)は、パーソントリップ調査等を実施しなくても比較的容易に収集できる情報である。他方、「活動種類別活動回数分布」や商店等における「滞在時間分布」、トリップチェーンの形状を選択する「外出パターン選択モデル」といった“地域共通変数”と呼ぶ特性や行動様式(緑塗色部分)は地域差がさほど大きくないと考えられるため、新たに調査することなく他地域での収集情報や推計パラメータを活用することができる。ただし、必要に応じて調査してもよい。

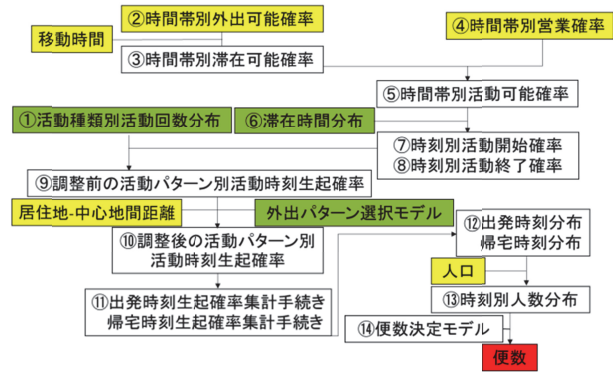


図-1 外出パターンの推計フロー

なお、モデル構築の前提条件として、①通院と買い物の両方を1日に行う場合は、通院を先に行い、通院の活動時刻は固定とする。②待ち時間が移動時間よりも長ければ、外出回数を変更する、もしくは活動時間を変更する。③買い物と通院を同時に行うことはありえない、などの作業仮説を設ける。

3. 外出パターン推計モデル

時間帯別外出可能確率 $p_G(t_k')$ を、有業者・無業者別に式(1)で与える。

$$p_G(t_k') = f_G(t_k') \quad (1)$$

t_k' : 離散化した1日の時間帯

次に移動時間 t_t を考慮して、式(2)の時間帯別滞在可能確率 $p_G(t_k)$ を求めると。

$$p_G(t_k) = p_G(t_k' - t_t) \quad (2)$$

t_k : 外出可能時間帯から移動時間を引いた滞在可能時間帯 (= $t_k' - t_t$)

この時間帯別滞在可能確率 $p_G(t_k)$ 式(3)と時間帯別営業確率 $p_{Oi}(t_k)$ の同時確率として式(4)の時間帯別活動可能確率 $p_{Ai}(t_k)$ を導出する。

$$p_{Oi}(t_k) = f_{Oi}(t_k) \quad (3)$$

$$p_{Ai}(t_k) = p_G(t_k) p_{Oi}(t_k) \quad (4)$$

この時間帯別活動可能確率と式(5)の滞在時間分布 $p_{Si}(\tau)$ から、式(6)の時刻別活動開始確率 $p_{Bi}(t_k, \tau)$ および式(7)時刻別活動終了確率 $p_{Fi}(t_k)$ を導出する。

$$p_{Si}(\tau) = f_{Si}(\tau) \quad (5)$$

$$p_{Bi}(t_k, \tau) = \frac{p_{Ai}(t_k)}{\sum_{\tau} p_{Ai}(t_k + (\tau - 1))} \quad (6)$$

$$p_{Fi}(t_k) = p_{Bi}(t_k, \tau) p_{Si}(\tau) \quad (7)$$

τ : 滞在時間(= 1, ... T)

これらそれぞれと、式(8)に示す住民1人が1日にn回の活動をする確率である活動種類別活動回数 $p_{Ni}(n)$ を合わせて、式(9)の調整前の活動パターン別活動時刻生起

確率 $p_{Pi}(t_k)$ を導出する.

$$p_{Ni}(n) = f_{Ni}(n) \tag{8}$$

$$p_{Pi}(t_k) = p_{Bi}(t_k) p_{Ni}(n) \tag{9}$$

居住地から活動施設までの距離によって導出できる式(10), (11)の外出パターン選択モデル⁶⁾より, 式(12)の選択確率 P_N^n を考慮し式(9)を調整する. それが, 式(13)の調整後の活動パターン別活動時刻生起確率 $p_{Pi}(t_k)$ である.

$$[N|n] = \arg \max_N U_N^n \tag{10}$$

$$U_N^n = - \sum_{k=1}^{n+N} t_m - \gamma' \exp(n - N) + \beta \tag{11}$$

$$P_N^n = \frac{\exp U_N^n}{\sum_{N=1} \exp U_N^n} \tag{12}$$

U_N^n : 住民の効用関数, n : 活動回数,
 N : 外出回数 γ', β : パラメータ,
 t_m : m 番目の場所に行くまでの移動時間(時間)

$$p_{Pi}(t_k) = p_{Bi}(t_k) \cdot P_N^n \tag{13}$$

式(13)より導出した活動パターン別活動時刻の出発時刻生起確率と帰宅時刻生起確率を集計する. 横軸に時間, 縦軸に相対確率のグラフにプロットしたものが出発・帰宅時刻分布になる. ここに地域人口を合わせることによって, 時刻別人数分布を導出できる. また, 既往研究より便数を決定する.

4. パーソントリップ調査

複数地域における地域間共通変数の類似度, および, 事例分析における推計結果の現象説明力を検証するため, 2地域におけるPT調査データを用いる. ひとつは, 2008年に広島都市圏で実施されたPT調査のデータであり, 他のひとつは2014年に実施した兵庫県三木市におけるPT調査のデータである.

実証分析において, 複数地域における地域共通変数の類似の程度の検証や, モデルの現象説明力の検証を行うためのデータを収集すべく1地域でPT調査を実施し, 1地域のPT調査データを収集した. 前者の概要を表-2に示す. ただし, このPT調査データは推計には用いず, 共通変数の類似度や現象説明力の検証にのみ用いる.

中心地区のサンプル数が2059個, 周辺地区のサンプル数が1366個をもとにそれぞれの地区の出発・帰宅時刻確率分布を算出したものと, それぞれの地区特性をモデルに入れて導出した出発・帰宅時刻確率分布を比較してモデルの有効性の確認を行った.

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(三木市)
調査時期	2014年9月9日(火)
回収数	2310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所)



図-2 三木市の地区区分¹²⁾

図-2に三木市の地区区分¹²⁾を示す. このうち, 人口密度が比較的高い中心地区(三木・三木南地区, サンプル数289)には商業施設や医療機関が立地しているが, 低密度に集落が分布している周辺地区(吉川・口吉川・細川・志染地区, 118サンプル)には小規模なものがあるのみである. 両地区の調査データを用いて分析を行う.

5. 地域共通変数

(1) 職業別時間帯別外出可能確率

社会生活基本調査¹³⁾に記載されている外出時間分布に基づき, 有業者と無業者の時間帯別外出可能確率を求め, 国勢調査¹⁴⁾の地区人口と有業者・無業者構成比率で地区別地区別時間帯別外出可能確率を算定した.

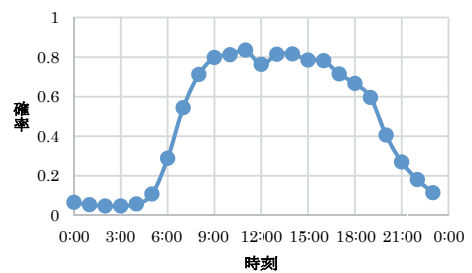


図-3 (a) 有業者の時間帯別外出可能確率

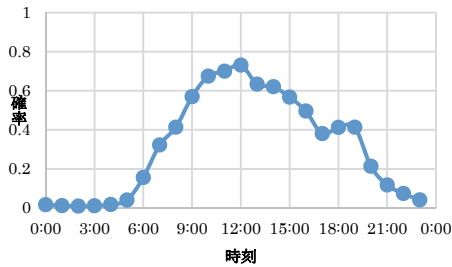


図-3 (b) 無業者の時間帯別外出可能確率

(2) 活動種類別活動回数分布

広島市および三木市のPT調査データから買い物と通院の活動回数分布を求め、比較した結果を図-4に示す。大きな差は見られず、ほぼ共通であると判断された。

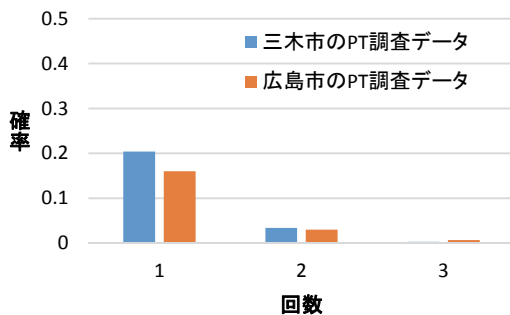


図-4 (a) 買い物回数確率分布

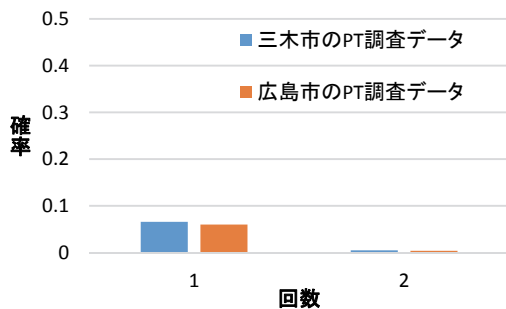


図-4 (b) 通院回数確率分布

(3) 滞在時間確率

スーパーマーケット年次統計調査報告書¹⁵⁾より、商業施設における滞在時間確率を整理した結果を表-3(a)に、受療行動調査¹⁶⁾より医療機関での滞在時間確率を整理した結果を表-3(b)に示す。

(4) 外出パターン選択モデルのパラメータ

外出パターン選択モデルのパラメータは、先行研究⁶⁾で推定した値、 $\gamma' = -1.17$, $\beta = 3.7$, を用いる。

表-3 (a) 商業施設での滞在時間確率

滞在時間(分)	確率
30	0.275
60	0.458
120	0.206

表-3 (b) 医療機関での滞在時間確率

滞在時間(分)	確率
15	0.250
30	0.240
60	0.202
75	0.308

6. 事例分析

(1) 概説

以上述べた外出パターン推計モデルと地域共通変数の値を用いて推計した出発・帰宅時刻確率分布が、PT調査で得た活動実態に即しているか否かを確認するため、三木市を対象に事例分析を行った。

(2) 地域固有変数

時間帯別外出可能確率は、国勢調査から取得した有職者・無職者別の時間帯別外出可能確率を地区別職業別人口比で加重和をとり算定した。有業者・無業者比率は中心地区・周辺地区とも 0.58 : 0.42 である。

時間帯別営業確率のうち、商店の時間帯別営業確率は、スーパーマーケット年次統計調査報告書¹⁷⁾と三木市のPT調査¹⁵⁾の調査票に記載されている17施設の営業時間を比較対照し、商店の営業時間帯は、概ね 9:00~21:00 として支障がないと判断した。医療機関についてもPT調査票記載の医療機関について診療時間帯調査した。病院と診療所で違いが見られ、前者は午前診(8:30~11:30)、後者は午前診と午後診(15:00~18:00)が多い結果となったが、通院者数の比率等を勘案し 8:30~11:30 とした。居住地から活動施設までの距離は、中心地区が1分、周辺地区が60分、人口は両地区とも1,000人とした。

(3) 推計結果

以上の設定条件の下で、構築したモデルによる推計値とPT調査による実績値を比較した。結果を図-5に示す。 χ^2 検定の結果より、有意水準5%で推計値分布と実績値分布は良好に一致していると言え、活動実態を適切に説明しうる結果となった。午前中に活動のピークがあること、出発・帰宅とも周辺地区の方が移動時間帯が狭くピークが高いこと、などの特徴が再現できており、簡便化のためのさまざまな仮定を設けたものの、地域固有変数等による地域特性を加味したこととも相まって、比較的良好的に活動実態が再現されている。

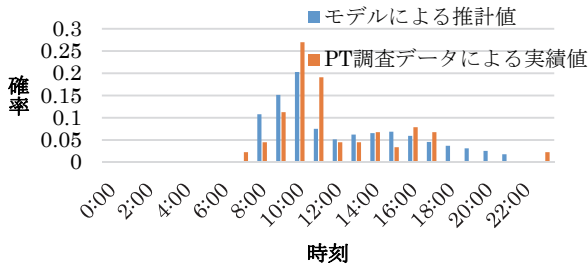


図-5(a) 中心地区の出発時刻分布

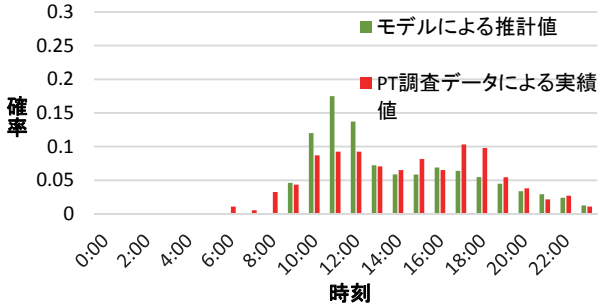


図-5(b) 中心地区の帰宅時刻分布

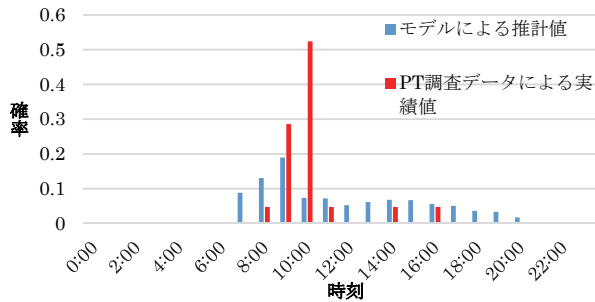


図-5(c) 周辺地区の出発時刻分布

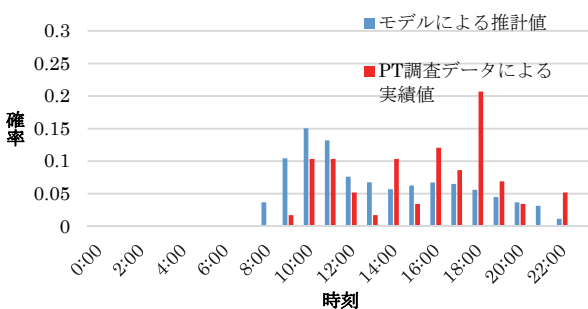


図-5(d) 周辺地区の帰宅時刻分布

7. おわりに

本研究では、PT 調査を実施することなく、実務上簡便に入手可能なデータのみで移動距離と住民の外出パターンを関連づけてトリップ数を推計しうる、外出パターン推計モデルを提案した。事例分析を行った結果、極めてシンプルなモデルではあるが、移動距離による出発・帰宅時刻確率分布の変化など、外出挙動をある程度再現できた。ただし、現時点では極めて限定的な条件下での検証に留まっているため、さらなる確認が必要である。

今後、実務において使用するための課題として、活動施設の範囲の拡大や、他地域での実証分析を行うことによる地域移転性の有無の確認などが考えられる。

謝辞：本研究を取り組むに当たり、神戸大学大学院の瀬谷創准教授からは有益なアドバイスををいただいた。また、本研究で用いた PT 調査は三木市交通政策対策協議会における検討の一環として実施し、三木市役所および関係の方々の多大なるご協力をいただいた。さらに、広島市道路交通局からも PT 調査データを提供いただいた。なお、本研究は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(A)、課題番号 25249071、研究代表者 喜多秀行）の一部として実施した成果である。記して謝意を表したい。

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, pp.35-36, 2010.
- 2) Lancashire County Council: The Lancashire Bus Strategy. Local Transport Plan 2006-2011, 2005.
- 3) Department for Transport, "Full Guidance on Local Transport Plan: Second Edition", 2004
- 4) 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, Vol.11, No.4, 2009.
- 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.
- 6) 山口淳也, 喜多秀行：外出頻度推計モデルの実証分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 2016.
- 7) Hammers, G.C. Analysis and Simulation of Urban Activity Patterns, Socio-Econometrics Planning Science, Vol.4, pp.53-66, 1970.
- 8) Becker, G.: A Theory of the Allocation of Time, Journal, Vol.75, pp. 493-517, 1965..
- 9) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-home Activities and Trips, Transportation Research, 18B, pp.255-266, 1984.
- 10) 藤井聡：生活行動を考慮した交通需要予測ならびに交通政策評価手法に関する研究, 京都大学学位論文, 1998
- 11) 植村俊史・大枝良直・角知憲：高齢者の時間領域における出発時刻を考慮した買物行動を含む外出行動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.38, 2008.
- 12) 三木市役所 HP, <http://www.city.miki.lg.jp/index3.html> (閲覧日：2017/2/20)
- 13) 総務省統計局：平成 23 年社会生活基本調査, <http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/> (閲覧日 2017.1.30)
- 14) 総務省統計局：平成 27 年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/> (閲覧日 2017.1.30)
- 15) 平成 26 年スーパーマーケット年次統計調査報告書：日本スーパーマーケット協会 2014.10
- 16) 厚生労働省：平成 26 年受療行動調査(概数)の概況, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jyuryo/14/> (閲覧日：2017 年 1 月 24 日)

(2017. 4. 28 受付)