

行動軌跡記録に基づく非市場財滞在時間の定式化

土木計画学分野 金田 倫子

1. はじめに

公園・噴水等、直接便益を生じない非市場財の便益評価手法としてはCVM・TCM等の手法が提案されていた。しかし、データ収集をアンケート調査に頼るため主観的で回答の信頼性に欠ける、利用者の詳細な行動把握ができない、等の問題が残るため未だ実用的な評価手法は確立されていない。

一方、GPSやPHSなどのITを活用した人の所在位置監視・記録機器が実用に供されている。これら機器を用いると、従来は回答者の記憶や誠実さに期待するしかなかった移動・回遊実態について簡便かつ正確に知ることができることから、交通行動・回遊行動に関連する研究を大きく発展させるものと期待されている。例えば、GPSでは回遊者の位置座標が30秒間隔で記録される。しかし機器特性として、位置特定誤差の影響は避けられない。そこで、行動軌跡記録の基づく回遊行動分析にあつては、緯度/経度/時刻の軌跡データから滞/移動の意味を含む回遊行動データへの翻訳作業が課題となる。また、行動に顕在化した情報がどの程度まで回遊者の内面を反映しているのか、根本的な問題にまで焦点はあてられていない。

本研究では、来訪者の認知しているであろう施設範囲(“場”)が、来訪者の移動速度の違いに表出する、すなわち“場”の内部では速度がゼロに近づくと同定して、行動軌跡データから施設範囲を画定する方法を集計/非集計の両面からアプローチしていく。また、行動に顕在化した情報がどの程度まで回遊者の内面を反映しているのか、その検証を行うため、来訪者が認知しているであろう施設範囲(想定施設範囲)を直接来訪者から聞き出し、対象施設範囲の真値とみなして、行動軌跡による画定範囲との比較を行う。さらに、両アプローチによる画定範囲から算出された滞在時間を用いて滞在時間モデルの推定を行い推定結果を比較し、範囲画定方法の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 利用データとデータの選定

本研究で用いる詳細行動データは、平成13年に奈良県飛鳥地域で実施された社会実験で得られた既存データ(飛鳥データ)、大阪府堺市の大泉緑地公園での回遊行動調査で新規に取得したデータ(大泉データ)の2種類である。画定範囲検証時の真値となる想定範囲の取得にあつては、既に調査が終了している飛鳥地

域では取得できないため、大泉緑地の回遊行動調査とともに取得している。集計/非集計的施設範囲画定および両アプローチ方法の比較には、サンプル数の多い飛鳥データを用いる。なお、飛鳥地域社会実験では観光経路・回遊時間を固定したモデルコースが提供されていたため、モデルコースを回遊した場合には、滞在時間に制約が加わると考え、滞在時間モデル・非集計的施設範囲画定にあつては観光モデルコースを選ばなかった、データに人為的欠損がない、などの条件から選定された82グループの詳細行動データを用いた。

表-1 利用データ

	集計		非集計
	飛鳥データ	飛鳥データ	大泉データ
利用データ	飛鳥データ	飛鳥データ	大泉データ
範囲画定	[488 データ]	[82 データ]	[27 データ]
滞在時間モデル推定	[82 データ]	[82 データ]	×
画定範囲比較			想定範囲

3. 行動軌跡データに基づく施設範囲画定方法¹⁾

本研究では、来訪者の移動速度の違いに着目し、行動軌跡データから施設の範囲を画定する方法を集計/非集計の両アプローチから検証していく。集計的アプローチでは複数人の行動軌跡データを空間的に集計することで移動速度が低いために多数回の位置記録を有する地点(範囲)を抽出する。非集計的アプローチでは個人属性別にみたときの移動平均速度に基づき、移動滞在を判定する速度閾値を設定する。行動軌跡データから施設範囲を画定するまでの処理手順を図1に示す。

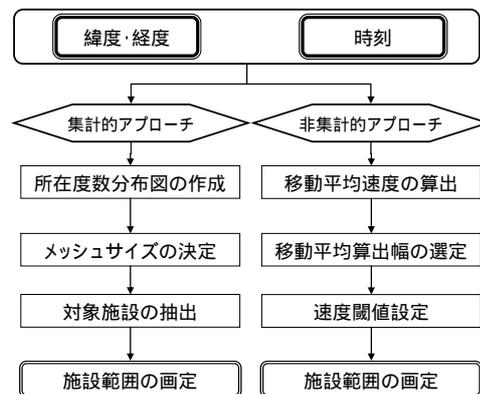


図-1 詳細行動データ分析フロー

4. 集計的アプローチによる施設範囲画定方法

集計的アプローチでは30秒間隔で記録されたデータから施設範囲を画定するために、全モニターの所在位置記録から地点ごとの所在度数を集計し、相対的に多数のデータが滞留する場所を利用者が認知する施設範囲(“場”)とみなす。

(1) 所在度数集計とメッシュサイズの決定

所在度数の集計には緯度・経度で区切られたメッシュを用い、メッシュに含まれる行動軌跡データの個数を集計して、所在度数を示す等高線を作図する。等高線を用いるのはサンプリング誤差の影響を空間的平滑化によって軽減するためである。こうして作成する2次元平面上の度数分布は、ベースとなるメッシュのサイズによって大きく様相が異なる。本研究では、GPSの精度もふまえ、施設間の単純な移動路が識別できることを最大解像度の基準とした。メッシュサイズに関して0.1秒、0.3秒、0.5秒、1.0秒、1.5秒を候補として、所在度数5ポイントごとに等高線を描いて比較した結果、0.5秒(約15m)メッシュを採用した。

(2) 対象施設の抽出

飛鳥地域社会実験で対象とされた全88観光施設から等高線図に山が現れた施設を来訪度数の高い施設として、資料館等屋内施設を省く10施設を抽出した。(図-2)

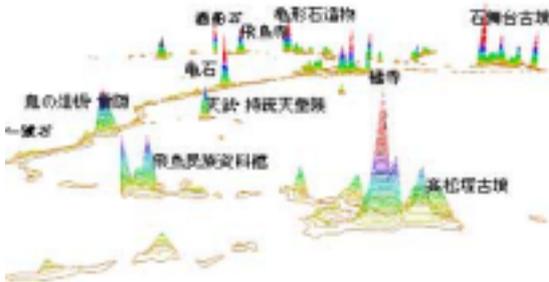


図-2 0.5秒間隔メッシュの所在度数分布と対象10施設

(3) 施設範囲の画定

図-2の等高線において、等高線の山に向けて連続的に生じる“尾根筋”は、滞在点に向かう比較的高速な移動点の軌跡を示し、各施設にアプローチする“道”とみなすことができる。この“道”よりも所在度数の高い場所が滞留場であると考えられる。この“道”よりも1段高い等高線レベルの範囲を施設範囲として画定する(図-3)。なお、こうして定めた施設が連担する(“多峰山”)場合、それらの施設属性が同じものは1つの施設として取り扱い、属性が異なるものは等高線の“峠”を区切りとして分割する。

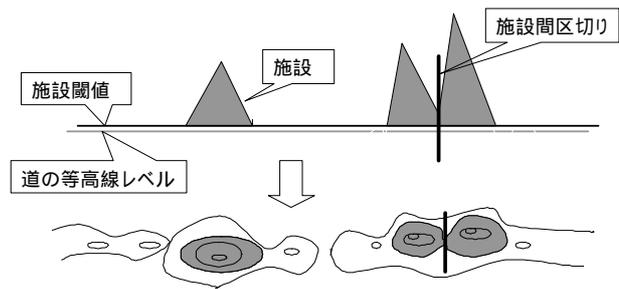


図-3 施設範囲画定例

5. 非集計的アプローチによる施設範囲画定方法

非集計的アプローチでは施設範囲を画定するために、30秒間隔で記録された行動軌跡データから移動速度を算出し移動速度を離散化することで、移動滞在を判定する速度閾値を設定し、閾値に基づいて抽出された滞在スポットから施設範囲の画定を行っていく。

(1) 移動平均速度の算出と平均幅の決定

個人の移動速度の観察は、各観測点間で算出された移動速度を平均化した移動平均速度を用いて行う。移動速度を平均化するのは、GPS誤差の影響を平滑化によって軽減するためである。平滑化する際の移動平均幅は、GPSデータの収集周期(30秒)を1単位として、5(約2分)、9(約4分)、17(約8分)、33(約16分)の4種類を設けた。移動平均速度は、平均幅内に含まれた観測点からレコード間隔で重みをつけ算出する。算出式を式(1)に示す。

$$V^* = \frac{\sum_i V_i d_i}{\sum_i d_i} \quad \text{式(1)}$$

V^* : 移動平均速度 [m/s]
 V : 速度 [m/s]
 d : レコード間隔 [s]
 i : 観測点の数

平均幅の選定にあたっては、ノイズの影響が実際の行動と矛盾のない程度に低減されていること、移動・滞在といった行動が区別できること、を判断基準とした。属性別の度数分布(クラス幅0.1、0.2)から、ノイズの影響が残る平均幅5・9、移動と滞りの判別が困難な33を除き、17を平均幅として採用した。

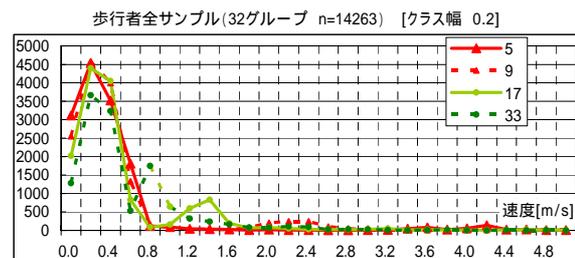


図-4 [歩行者] 速度ヒストグラム

(2) 施設範囲の画定のための速度閾値決定方法

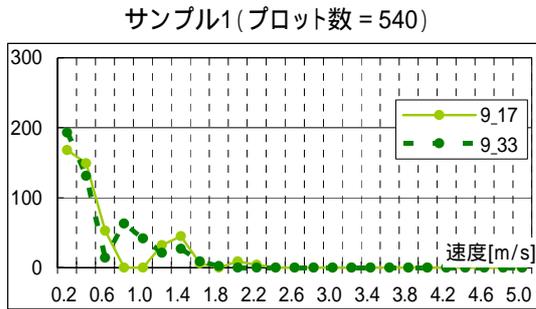


図-5 [歩行者]-[カップル] 速度ヒストグラム

図 5 では、0-0.4m/s[ピーク]、0.8-1.2m/s[ピーク]にそれぞれピークがみられる。一般的な歩行速度が1m/s 程度であることを考えると、[ピーク]が移動の山、[ピーク]が滞在の山とみることができる。

従って、この[ピーク]と[ピーク]の区切りを移動/滞在の区切りとみなし、両山の谷にあたる速度を速度閾値として設定する。またクラス幅は移動/滞在のピークが判定できるものとして、0.2 を選定した。

6. 範囲画定方法の検証

(1) 非集計アプローチ範囲画定方法論適用性の検証

飛鳥データを用いて定めた範囲画定方法の大泉データへの適用結果(表-2)から非集計アプローチ方法論の適用性を検証する。

表-2 飛鳥データ/大泉データ範囲画定方法比較

	飛鳥データ	大泉データ
エリア面積	13km × 6km	0.8km × 1.3km
平均プロット数/人	458	177
ヒストグラムクラス幅	0.2	0.1
選定平均幅	17	9
平均速度閾値	0.8m/s	1.4m/s

大泉緑地では飛鳥地域に比べてエリア面積が小さく、エリア内での回遊行動時間が短いことが平均プロット数から確認される。このことがヒストグラムのクラス幅選定に影響したものと推測される。また選定平均幅に違いがみられるのは、エリアの小さい公園内では移動/滞在の行動周期が短かったため、平滑化する際の適切な平均幅が異なったものと考えられる。

(2) アプローチの違いによる範囲画定結果の比較

飛鳥データを用いた集計/非集計両アプローチによ

る画定方法を各々の画定範囲から算出された施設滞在時間により比較した(表-3)。サンプルには[歩行者]-[単数]-[男性]の9人を用いている。特に施設規模の大きな寺院・遺跡において集計的画定方法では滞在スポットが存在しない例が多く、各滞在時間においても非集計的算出結果より過小評価される傾向がみられる。集計的アプローチでは複数人の来訪場が施設として画定されるため、少数人の来訪では滞在としてみなされなかったことがこれらの原因として考えられる。

表-3 集計/非集計の比較

Sq	施設規模	来訪施設	滞在時間(min)	
			集計	非集計
82	小(石造物等)	亀石	5.6	1.0
35		亀石	1.5	11.7
21		亀石	1.0	17.6
28		天武・持統天皇陵	1.0	17.2
82		猿石		2.5
49	大(寺院・遺跡)	高松塚古墳	53.1	137.4
48		高松塚古墳	53.3	37.9
35		高松塚古墳		80.5
35		石舞台古墳		18.7
19		石舞台古墳		78.8
21		橘寺		67.5
21		飛鳥寺		39.2

(3) 想定施設範囲との比較

非集計的アプローチにより滞在スポット抽出を行った 27 グループの内、想定範囲質問時の応答内容から対象施設と滞在スポットが合致した 10 箇所について画定範囲と想定施設範囲との比較を行った。

休憩場の場合には想定施設範囲より画定範囲が過小評価、視点場の場合には画定範囲が過大評価される傾向が、また利用施設の場合には想定範囲が画定範囲を包括する傾向が見られた。回遊者が認知する“場”の画定にあたっては、対象施設の種類の別々に速度閾値を設定する必要性がうかがえる。

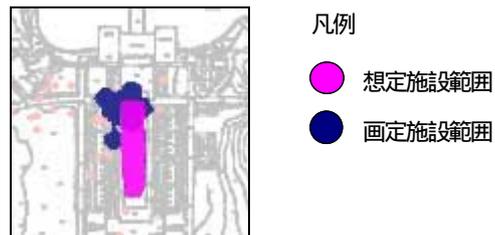


図-6 想定施設範囲比較例(休憩場)

7. 滞在時間モデルの推定²⁾

施設属性と個人属性を説明変数に滞在時間を推定する。分析データには施設を来訪していない「滞在時間0分」の場合も多く含まれている。これは、概念的には負の滞在時間が想定できるのに対し、現実の時間観測値は0分になっている。その場合には、通常重回帰分析ではパラメータを正しく推定することができないので、潜在的な滞在時間を推定できるトーマット・モデルを採用した。

(1) 滞在時間決定モデルの概要

トーマット・モデルは、以下の式で与えられる。

$$y_i^* = x_i \beta_i + \varepsilon_i \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

$$y = \begin{cases} y_i^* & ; \text{if } y_i^* > 0 \\ 0 & ; \text{else} \end{cases}$$

ここに、 y_i^* : 滞在時間の潜在値

y : 滞在時間の観測値

x_i : 個人/施設属性

このモデルは、従属変数が0であるもの、つまり、施設を来訪していない場合の潜在的な滞在時間に負値を与えることができる。

(2) モデル推定結果

モデル推定にあたっては集計的滞在時間を従属変数、個人属性と施設属性を説明変数とした分析結果から有意性の高い変数を選定し、モデル（表-3）を得た。

個人属性の変数では、「グループタイプ」、「来訪交通手段」の変数の有意性が高く、例えば「グループタイプ」では単独や夫婦・カップルに比べて家族や団体のほうが滞在時間が長いことを示している。一方、施設属性の変数では、「隣接休憩所」、「施設隣接道路種別」、「施設入口通路の階段の有無」で1%の有意性を満たしており、施設に隣接する道路が自動車通行可の場合や、複合施設の場合に滞在時間が長くなる傾向にあることがわかる。

(3) アプローチ方法の違いによる推定結果の比較

滞在時間算出のための施設範囲画定方法の違いによる推定結果の比較をするため非集計的滞在時間を従属変数、モデルの説明変数としてモデルを推定した（表-3）。モデルよりモデルの方が定数項の値が大きく、非集計的アプローチの方が滞在時間が長く算出されることが確認できる。両モデルとも対数尤度が1%有意であり、説明力のあるモデルであるといえるが、有意性の高い変数でみても「来訪交通手段」ではパラ

メータの正負が逆転しており変数の説明効果が異なる。集計的アプローチでは滞在時間算出のための範囲画定に個人属性が考慮されていないこと、非集計的アプローチでは施設種が考慮されなかったことが両者の相違の原因になったものと推測される。

表-3 滞在時間モデル推定結果比較

変数名	モデル		モデル			
	パラメータ	t値	パラメータ	t値		
性別	男性	-0.20	-0.18	-4.34	-0.74	
居住地	奈良県	-3.74	-2.87**	21.20	2.97**	
	近畿圏	-5.96	-4.19**	17.40	2.37*	
グループタイプ	単独	2.07	1.00	-12.80	-1.25	
	夫婦・カップル	4.13	2.30*	-2.81	-0.34	
	家族	4.32	2.18*	-11.60	-1.23	
	友人	6.48	3.28**	-2.77	-0.29	
来訪経験	初めて	1.71	1.33	32.50	4.46**	
	2回目	2.47	1.70	27.60	3.52**	
	3回目	3.32	1.62	23.50	2.25*	
来訪交通手段	鉄道	2.44	1.85	-9.18	-1.33	
	車・バイク	3.38	2.12*	-12.00	-1.40	
来訪意向	あり	1.07	1.07	-2.41	-0.44	
施設属性	施設種別	石造物	4.14	1.99*	36.60	2.89**
		寺院	-11.40	-2.04*	22.60	0.77
	複合施設	あり	4.30	1.92	-17.00	-1.36
	有料施設	有料	0.37	0.13	-31.60	-2.29*
	施設範囲面積	[m ²]	0.00	2.14*	0.01	3.10**
	隣接休憩所	あり	-10.40	-2.76**	3.08	0.15
	隣接道路種別	自動車通行可	6.29	2.98**	21.50	1.96*
	入口通路階段	あり	-4.23	-2.03*	-14.20	-1.35
	駐車場設置	あり	1.11	0.51	-8.93	-0.71
	クロス変数	PDA利用経験	経験あり30歳未満	-2.82	-1.41	6.10
×		経験あり30-50歳	-2.20	-1.06	5.91	0.55
		経験あり50歳以上	2.53	1.18	-2.25	-0.18
年齢		経験なし30歳未満	-1.41	-0.48	-16.20	-1.04
		経験なし50歳以上	-8.11	-1.25	15.90	0.47
観測度数 (非打ち切り度数/打ち切り度数)	定数項	-19.90	-4.71	-130.00	-5.28	
	誤差項	11.40	18.50	55.70	16.00	
	変数個数			29	29	
	対数尤度			-1199.21	-1229.75	
	対数尤度比			-0.99**	-1.02**	
	観測度数 (非打ち切り度数/打ち切り度数)		1200(970/230)		1200(1023/177)	

** : 5%有意, ** : 1%有意

8. まとめと今後の課題

本研究では、非市場財に対する滞在時間モデルを推定するため、客観的かつ詳細に計測した利用者行動軌跡データを用いて施設範囲を画定する方法を集計/非集計両アプローチから提案した。また滞在時間分析に両アプローチでの結果を適用することで、提案手法の特徴を明らかにした。今後の課題としては集計的アプローチでは個人属性を、非集計アプローチでは施設種別の閾値を設定するなどにより画定手法を改良することが考えられる。

[参考文献]

- 1) 内田敬, 金田倫子, 朝倉康夫, 吉田長裕, 日野泰雄 : 行動軌跡データに基づく回遊対象施設範囲の画定に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 28, 2003 (CD-ROM).
- 2) 吉田長裕, 金田倫子, 内田敬 : 非市場財に対する利用者便益評価のための滞在時間決定モデル, 日本行動計量学会第31回大会発表論文抄録集, 2003