

集計ロジットモデルに基づく歩行者流動モデルによる 歩行回遊性向上に関するシミュレーション評価

Evaluation of regeneration projects by simulating on excursion behavior
based on pedestrian flow model of aggregate logit model

学籍番号 56821

氏名 岡田 絵里子 (Okada, Eriko)

指導教員 浅見 泰司 教授

1. 研究の背景と目的

1.1. 対象地区の特徴と本研究の目標

本研究の対象地区であるイスタンブール・ガラタ地区は、北には商業施設が多く立地するイステイクル通りが、南には多数の世界遺産を有する旧市街が位置し、買い物客・観光客が足を運びやすい場所に立地している。しかし産業革命期における開発の遅れから、現在では歩行者流の停滞が見られ、当地区への流入人口(以下、入口来街者数)を増加させ、歩行者流を活発化させることが課題とされる。また地形の起伏が大きく、それを踏まえた効率的な歩行者動線を考慮することが重要と言える。

このような当該地区の現状を背景に、本研究ではまず、集計ロジットモデルに基づく歩行者流動モデルを構築する。続いて、それを用いた歩行回遊性向上に関するシミュレーション評価を行い、都市再生プロジェクトの優先順位を決定する。さらに、そこから得られた結果をイスタンブール工科大学(以下 ITU)の Kubat 教授による Planning Proposal¹ と照らし合わせ、都市計画への新たな提案を行うことを、本研究の最終的な目標とする。

1.2. 使用データの特徴

ITU より提供された集計データを使用する。各道(全 298)の歩行者数が、朝 8 時から夜 8 時までの 2 時間ごとに、また歩行者属性も、男性、女性、老人、若者、子供に分けて、集計されている。この集計データは、各ノード(交差点などの道の結節点)間の歩行者数を OD 表(Origin-Destination Table)で表すものであり、各歩行者の経路選択の結果と、その歩行者の属性や目的地、および経路選択の軌跡を、関連づけることができない。そこで、この関係性を記述するモデルの構築が必要となる。

1.3. 既往研究

交通工学分野では、非集計ロジットモデルを用い、歩行者の経路選択特性をより正確に再現することに重点が置かれている。塚口ら(2005)²は、『目的地指向性』が歩行者の経路選択行動に有意に働くことを示し、また張ら(2005)³は、『状態依存』の考え方にに基づき、歩行者には『一度通った道を避ける』傾向があることを明らかにしている。本研究の歩行者流動モデルは、これらの知見をもとに、集計ロジットモデルを基本モデルとする。また本研究では、各歩行者の目的地や歩行経路を特定することのできない集計データを用いているが、『目的地指向性』や『一度通った道を避ける』傾向を変数として組み込むために、『ノード期待効用』という概念を導入することにより、モデルの精密化を図る。

一方都市計画分野では、斎藤ら(1992)⁴により、回遊マルコフ連鎖モデルに基づくシミュレーション評価が行われており、本研究ではこの知見をもとに、都市再生プロジェクトの回遊性向上に関するシミュレーション評価を行う。

2. 歩行者流動モデルの構築

2.1. 歩行者流動モデルの構築方法

定式化にあたり、出発点 i 、到着点 j とする道 ij について考える。到着点 j における『ノード期待効用』 U_j は、『目的地指向性』に代わる概念であり、式 1 のように、到着点 j から

発生する全ての道 jk の選択確率 P_{jk} と、期待効用 V_{jk} の積和により表される。

式 2、式 3 は、集計ロジットモデルに基づく本研究の基本式である。式 2 は道の効用 V_{ij} の定義式であり、道 ij の属性変数 $A(l)_{ij}$ (店舗面積、道路幅員など) により道の魅力を表す項、その道の到着点 j で得られる期待効用に関する項、出発点 i における定数項 d_i の和により表される。この到着点の期待効用に関する項は、式 1 の『ノード期待効用』 U_j から、歩行者が『一度通った道を避ける』傾向を変数として組み込むために、その道に戻るとした場合の効用と、選択確率の積である $P_{ji}V_{ji}$ を λ ($0 \leq \lambda \leq 1$) 分だけ割り引く。 $a(l), c$ は係数であり、重回帰分析により推定を行う。

一方式 3 は、道の選択確率 P_{ij} の定義式であり、道の効用 V_{ij} の指数の比により求められる。ここで、式 1、2、3 は互いに参照し合いながらその最適解を求める必要があるため、収束条件を満たすまで繰り返し計算を行い、モデルのパラメータ推定を行っている。

$$U_j = \sum_{k \in \text{node}(j)} P_{jk} V_{jk} \quad \text{式 1} \quad V_{ij} : \text{道 } ij \text{ の期待効用}$$

$$V_{ij} = \sum_{l \in L} a(l) A(l)_{ij} + c(U_j - \lambda P_{ji} V_{ji}) + d_i \quad \text{式 2} \quad P_{ij} : \text{道 } ij \text{ の選択確率}$$

$$P_{ij} = e^{V_{ij}} / \sum_{k \in \text{node}(i)} e^{V_{ik}} \quad \text{式 3} \quad A(l)_{ij} : \text{道 } ij \text{ の属性(店舗面積など)}$$

d_i : ノード i における定数項
 U_j : ノード j における期待効用
 λ : 一度通った道を避ける傾向

2.2. 歩行者流動モデルの推計結果

平日全歩行者、休日全歩行者の推定結果を表 1、表 2 に示す。

表 1 平日全歩行者の推計結果

表 2 休日全歩行者の推計結果

説明変数	標準化係数	t 値
店舗面積	0.049	3.14***
幅員	0.046	2.67***
走行車数	0.033	2.00**
駐車数	0.014	0.81
舗装状況	0.102	5.97***
歩道ダミー	0.059	3.40***
横断ダミー	0.001	0.001
エネルギー	-0.034	-2.02**
ノード効用	0.059	3.80***
状態依存 λ	0.0	-
重回帰 R^2	92.3%	*10%有意
自由度調整 R^2	92.1%	**5%有意
F 値	525	***1%有意
サンプル数	362	

説明変数	標準化係数	t 値
店舗面積	0.024	1.39
幅員	0.051	2.60***
走行車数	-0.009	-0.47
駐車数	-0.027	-1.38
舗装状況	0.026	1.33
歩道ダミー	0.047	2.42**
横断ダミー	0.015	0.87
エネルギー	-0.000	-0.01
ノード効用	0.056	3.07***
状態依存 λ	0.0	-
重回帰 R^2	91.7%	*10%有意
自由度調整 R^2	91.5%	**5%有意
F 値	486	***1%有意
サンプル数	362	

平日・休日別、時間帯別、歩行者属性別に見ると、いずれの時間帯および歩行者属性においても、「舗装状況」、「幅員」、「歩道ダミー」、「ノード期待効用」はプラスに有意となった。一方「店舗面積」は、平日はプラスに有意となったが、休日は有意ではない。これは、平日は当該地区に商用の買い物に来る歩行者が多いの対し、休日は多くの買い物客がイスタックル通りに集中するため、ガラタ地区における「店舗面積」が意味をなさなくなるのではないかと考えられる。

「駐車数」や「走行車数」は、平日はプラスに有意となり、休日は係数がマイナスとなった。これは、平日は車の利用のため、駐車・走行車数の多い道にアクセスする歩行者が

多いのに対し、休日はそのような道を選べる傾向にあるためと考えられる。

「エネルギー(各道を歩くために必要なエネルギー消費量(kcal))」は、平日は多くの時間帯・歩行者属性でマイナスに有意となったが、平日の朝と休日の夕方はプラスに有意となった。これは、通勤時(平日の朝)は急峻な道を選ぶ傾向にあること、レジャー時(休日の夕方)はイスティカル通り(坂上)に行くために、エネルギー消費の大きい道を選ばざるを得ないことが関係していると思われる。

3. 都市再生プロジェクトのシミュレーション評価

3.1. 都市再生プロジェクトのシミュレーション評価方法

まず、1つなりの道ごとに、ガラタ地区内の全ての道を19のグループに分類した。これにより、シミュレーション評価を行うにあたり、プロジェクトごとの評価のみならず、どこでどのようなプロジェクトを行うことが有効であるかを特定することが可能となる。

次に、歩行者流動モデルの推定結果と Kubat 教授の Planning Proposal の内容を踏まえ、表3のように4つの都市再生プロジェクトを想定した。なお、表3の最右欄にある1mあたりの費用の値は、北海道における同様なプロジェクトの費用を参考としている。

表3 4つの都市再生プロジェクトの想定

プロジェクト名	対象となる道	概要	1mあたりの費用(万円/m)
1 舗装整備	舗装状況がレベル3以下	レベル5に改善	3.9
2 道路拡幅	グループ内の全ての道	道を0.75m拡幅	616.7
3 店舗助成	10mあたりの店舗面積が100m ² 未満の道	10mあたりの店舗面積を50m ² 増やすための助成金	6.0
4 歩道造成	歩道のない道	歩道をつくる	6.2

ここで、ガラタ地区への入口来街者数の変化を推定するため、当該地区の端点*i*を23個設定すると、その端点*i*からの入口来街者数 T_i と端点*i*付近のノード期待効用 U_i の関係は式4、式5のように表される。

$$\langle \text{平日} \rangle \quad T_i = 584.5 \exp(1.58U_i) \quad R^2=0.74 \quad \text{式 4}$$

$$\langle \text{休日} \rangle \quad T_i = 388.2 \exp(2.01U_i) \quad R^2=0.80 \quad \text{式 5}$$

この関係をもとに、ノード期待効用 U_i の向上による入口来街者数 T_i の変化を算出する。さらにこれを、回遊マルコフ連鎖モデルに入力し、歩行者の回遊行動に関するシミュレーション評価を行う。斎藤ら(1992)は、内部点*i*を通った全ての来街者が立ち寄るノード数の総数(総来街頻度) TV_i は式6のように定式化している。すなわち、自宅 H_0 から複数ある入口点(地区の入口となる点) $H_{m(m=1,2,3,...)}$ への歩行者流入行列 N_{H_0H} と入口点 H_m から内部の点 $I_{n(n=1,2,3,...)}$ への選択確率行列 P_{HI} の内積により、まず内部の点 I_n に来る歩行者数を求める。

次に、内部の点 I_n から内部の点 I_n への選択確率行列 P_{II} を用い、他の内部の点を訪れずに帰る場合(E : 単位行列)、1つだけ他の内部の点を訪れる場合(P_{II})、2つ他の内部の点を訪れる場合(P_{II}^2)...のように全ての場合を想定し、その総和をとったものを乗じる。これにより、内部の点 I_n を訪れた歩行者が立ち寄るノード数の総数 TV_i を算出し、さらに式7のように TV_i の各成分を加えることにより総来街者数 TTV を求める。

$$TV_i = N_{H_0H} P_{HI} (E + P_{II} + P_{II}^2 + \dots) = N_{H_0H} P_{HI} (E - P_{II})^{-1} \quad \text{式 6}$$

$$TTV = \sum_i TV_i \quad \text{式 7}$$

さらに、プロジェクト施行による総来街者数 TTV の変化 ΔTTV を算出し、表3の各プロジェクトの1mあたりの費用をもとに算出したプロジェクトの費用 $Cost$ で除して、式8のように、費用1万円あたりの総来街者増加効果 CTV を求める。この値が大きいものが、歩行回遊性を向上させる上での投資効率が高いと見なし、それに基づく優先順位を示した。

$$CTV = \Delta TTV / Cost \quad \text{式 8}$$

3.2. 都市再生プロジェクトのシミュレーション評価の結果

平日・休日を加味した 10 位までの結果を表 4 に示し、図 1 に地図上に表す。

表 4 シミュレーション評価の結果

順位	Project	group	CTV
1	舗装整備	13	13.87
2	舗装整備	10	13.84
3	歩道造成	10	13.07
4	舗装整備	9	11.99
5	舗装整備	12	11.27
6	舗装整備	15	11.13
7	店舗助成	13	9.07
8	舗装整備	16	8.68
9	店舗助成	7	7.31
10	舗装整備	17	7.18

1 位はグループ 13 の舗装整備であり、商業施設が多く立地するイステイクル通りとの結節点に位置し、歩行者流入を増加させる効果が大きいと考えられる。

2 位、3 位のグループ 10、6 位のグループ 15 は Kubat 教授の提案でも特に重視されている場所であり、その妥当性が確認できたと言える。

4 位、5 位はグループ 9、12 の舗装整備であるが、これらの道は Kubat 教授の提案にはあげられていないため、実施すべきプロジェクトとして新たに付加すべきと考えられる。

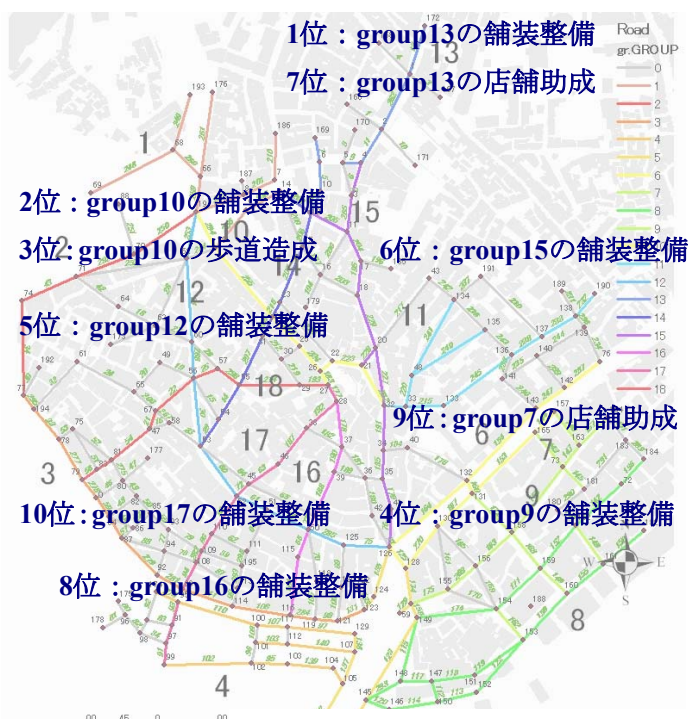


図 1 シミュレーション評価の結果

表 5 付加すべき Project

Project	道の group
舗装整備	6(図中右部)
舗装整備	9(図中右部)
舗装整備	12(図中左部)

表 6 見直すべき Project

Project	道の group
店舗助成	3(図中左部)
店舗助成	8(図中右下)
店舗助成	17(図中左下)
店舗助成	18(図中左部)

4. 都市計画へのインプリケーション

このようにシミュレーション結果を Kubat 教授の提案と照らし合わせることで、グループ 10、15 など現状の提案で重視されている道の整備の有効性が確認できたとともに、現状の提案には含まれていないが、優先順位が高いため新たに付加すべきプロジェクトを表 5 に、現状の提案に含まれているが、優先順位が低いため見直すべきプロジェクトを表 6 に示した。付加すべきプロジェクトの多くは、横軸動線の整備であり、現状の提案が縦軸動線を重視しているのに対し、横軸動線も無視できないことがわかった。また見直すべきプロジェクトは主に海岸沿いの店舗助成となった。このように、定性的な提案に対し、定量的な裏づけを行うことにより、より効率的・効果的な都市再生を行うことができるだろう。

参考文献

¹ Ayşe Sema Kubat, 'A Redesign Strategy for Transformation of Istanbul's Historical Galata', 2000

² 塚口博司、竹上直也、松田浩一郎：不整形街路網地区における歩行者の経路選択行動に関する研究、土木学会論文集、No.779/IV-66、pp.45-52、2005.1

³ 張峻屹、藤原章正、杉浦祐二、日下部達夫：都心部における休日の歩行周遊経路選択の分析、土木学会論文集、講演集 31(CD-ROM)、2005

⁴ 斎藤・石橋：説明変数を含んだマルコフ連鎖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、都市計画論文集 vol.27、pp439-444、1992