

# 再開発地域における歩行者回遊・ 経路選択モデルを用いた歩行空間整備評価

田中 祐史<sup>1</sup>・柳沼 秀樹<sup>2</sup>・寺部 慎太郎<sup>3</sup>・海野 遥香<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程

(〒278-8510千葉県野田市山崎2641) Email: 7621518@ed.tus.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510千葉県野田市山崎2641)

E-mail: yaginuma@rs.tus.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510千葉県野田市山崎2641)

E-mail: terabe@rs.tus.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510千葉県野田市山崎2641)

E-mail: unoharuka@rs.tus.ac.jp

都市部では、再開発の実施によって地域の賑わいを創造している一方、再開発後の歩行空間の混雑が問題となっている。国土交通省では、行動データを基に、人の動きをシミュレーションし、施設配置や交通政策を検討するスマート・プランニングが推進されている一方、ネットワーク構造に着目してシミュレーションを行なっている例は少ない。本研究では、再開発が実施されている日本橋室町地区を対象地域として、歩道ネットワークを構築を図り、各地点のネットワーク内での重要度を評価できる中心性指標を算出し、ネットワーク構造を加味した経路選択モデルの構築方法を提案した。

**Key Words :** *Smart planning, Activity model, Street network*

## 1. はじめに

都市部では都市機能の集積を図り、地域の賑わいを創造することを目的とした再開発が実施されている。しかしながら、現状の再開発では新たに整備される歩行空間は簡単な建築基準に準拠したのみであり、再開発後の歩行者需要を十分に加味していないため、歩行空間の不足が懸念されている。

国土交通省では、個人単位の行動データを基に、人の動きをシミュレーションし、施策実施の効果を把握したうえで施設配置や交通政策を検討するスマート・プランニング<sup>1)</sup>を推進している。人の動きは、離散選択モデルを援用した経路選択モデルや目的地選択モデルなどの回遊行動モデルの推定結果によって把握でき、これをもとに施設配置や歩行空間等を変化させたときの歩行者の回遊行動のシミュレーションを実施することで施策実施の効果を検証している。

一方、歩行空間のネットワーク構造に着目して、歩行者の回遊行動のシミュレーションを実施している例は少なく、歩行者の回遊行動とネットワーク構造に関連性があ

ることを筆者は思案した。そのため、本研究では図-1に示した日本橋室町地区を対象地域にして、ネットワーク構造を加味した経路選択モデルの構築方法の提案を試みる。

本研究は全5章で構成される。2章では、既往研究のレビュー本研究の特徴に関して述べる。3章では、本研究に



図-1 対象地域 (緑色の線の内側)

において適用を検討している中心性の説明と適用方法を述べる4章では、データセット構築方法など経路選択モデルの構築に関して述べる。今後の展望について5章でまとめる。

## 2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

### (1) 歩行者の行動分析に関する既往研究

経路選択モデルを用いて歩行者の経路選択行動を把握することによって、歩行者の行動を分析する研究が特に数多く見られる。

塚口ら<sup>2)</sup>は、追跡調査に基づき、経路の距離差、歩行者の空間的定位、歩行者の属性に関する要因などから歩行者の経路選択行動を把握することによって歩行者の経路選択行動に関する基本的な原則を明らかにした。

更に、地下街に適用した例<sup>3)</sup>や、大規模な交通ターミナル駅に適用した例<sup>4)</sup>もあるが、これらの研究は上下移動を伴うネットワークの基本構造のみに着目しており、リンクの安全性や快適性などは考慮されていないため、より各経路の特性を踏まえた分析が必要である。

### (2) 逐次経路選択モデルに関する既往研究

伊藤ら<sup>5)</sup>は、山口県周南市の徳山商店街における移動実態アンケート調査を使用して、歩行者の経路を歩行者の動学的な意思決定のもとで歩行者の経路を把握できる逐次経路選択モデルを構築した。街路空間や空間利用を説明変数としたモデルを実行動データに適用することで、一連の回遊行動に与える影響の大きさと波及の広がりを実量的に分析した。

### (3) 中心性に関する既往研究

歩行空間や街路ネットワークを対象に中心性指標に着目して、分析を行っている研究がある。福山ら<sup>6)</sup>は、歩行者行動データにより分類した5つの行動パターンの類型それぞれの媒介中心性分析を渋谷駅周辺で行われた流動計測調査による歩行者の実測データと媒介中心性分析に基づく歩行者量の指標値との回帰分析によって実施した。

太田ら<sup>7)</sup>は、都内の4地区を対象に、街路ネットワークを構築し、地域内に設定した建物ノードにおける媒介中心性を算出して、街路ネットワークの構造を考察した。建物ノードの重みは媒介中心性に加えて、建物の延床面積に与えられた人数であると仮定して、重みつき媒介中心性を算出して比較を行った。

### (4) 本研究の位置づけ

歩行者の経路選択行動と日本橋室町地区における歩道ネットワーク構造に関係の可否を検証するために、中心性指標を加味した経路選択モデル構築の提案を行う。

各リンクの情報を考慮することで、より詳細な回遊行動を把握すると筆者は考えて、逐次経路選択モデルの構築を図った。

## 3. 中心性指標の概要

歩行者の経路選択モデルに歩道ネットワーク構造の特性を明示的に考慮するために、中心性指標に関する整理を行う。その上で、本研究で適用する中心性指標について検討する。

### (1) 中心性指標

中心性指標とは、「ネットワーク内のあるノード(点)が他のノードに与える影響度を推定する指標」と定義される。<sup>8)</sup>新たに歩行空間が整備されることによって、再開発地域においては、各ノードまたはリンク(辺)の中心性は時系列的に推移すると言える。本研究においては日本橋室町地区の歩道ネットワークのノードとリンクの中心性を算出することによって、中心性を把握するとともに、経路選択行動の把握の際の中心性の適用方法の提案を試みる。

中心性指標は複数あり、指標によって中心性の定義が異なる。本研究において適用する中心性に関して、以下に述べる。

#### a) 次数中心性

次数中心性の中心は、「多くの頂点と隣接している頂点が中心的」と定義される。

着目するノード*i*につながるリンクの数を表す次数を $k_v$ として、ノード*i*以外の全てのノード数を*N*としたとき、次数中心性の指標値は以下の式で表される。

$$c_i = \frac{k_v}{N} \quad (1)$$

リンクの次数中心性の指標値の算出は、ノードを介してつながっているリンクの数を次数、全てのリンク数を*N*として同様の式で行う。

#### b) 媒介中心性

媒介中心性の中心は、「任意の2頂点間を結ぶ経路上にしばしば現れる頂点が中心的」と定義される。

着目する頂点(ノードまたはリンク)を頂点*i*として、頂点*i*以外の頂点*s*、頂点*t*の2点を結ぶ最短経路を $\sigma_{st}$ 、頂点*i*を通過する経路を $\sigma_{st}(i)$ としたとき、媒介中心性の指標値は以下の式で表される。

$$c_i = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n (t \neq s, i) \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (2)$$

より多くの最短経路に含まれている頂点が媒介中心性の指標値が大きくなる

c) 近接中心性

近接中心性の中心は、「ネットワークの他の頂点との平均距離が短い頂点が中心的」と定義される。

頂点  $i$  と頂点  $j$  の間の距離を  $d_{ij}$  としたとき、近接中心性の指標値は以下の式で表される。

近接中心性の指標値が小さい頂点ほど中心的である。

$$c_i = \frac{1}{n} \sum_j d_{ij} \quad (3)$$

(2) 本研究における中心性指標の適用方法

対象地域内の歩道ネットワークにおいて次数中心性・媒介中心性・近接中心性の3種類の中心性指標を算出する。媒介中心性の指標値は、経路設定の判断基準として、次数中心性・近接中心性の指標値は次数中心性・近接中心性と歩行者の経路選択行動との関連を明らかにするために、逐次経路選択モデルの説明変数として適用を試みる。

4. 歩行経路選択モデル構築方針

(1) 逐次経路選択モデル

逐次経路選択モデルを歩行者の経路選択把握に適用する際には、歩行者が各地点ごとに逐次的なリンク選択を行った結果、目的地に到達する、というマルコフ過程を仮定する。逐次経路選択モデルの経路選択確率は以下のように計算される。

$$P(\sigma = [a_1, \dots, a_j]) = \prod_{j=1}^l p(a_{j+1}|a_j) \quad (4)$$

経路  $\sigma$  はリンク  $a_1, \dots, a_j \in \mathcal{A}$  ( $\mathcal{A}$ : リンクの集合) の系列である。経路としての一体的な選択ではなく、地点ごとに逐次的なリンク選択を行うという仮定は、各地点ごとに特性を把握することが可能であるため、より詳細な経路選択行動の把握が図れる。

(2) 使用データ

本研究では、経路選択行動を把握するために、中心性指標以外に歩行空間指標としてリンク距離、リンク建物数、建物高さ、図上面積をモデル構築の際に使用することを検討する。

建物高さ、図上面積は国土交通省が主導している日本全国の 3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化プロジェクト「PLATEAU(プラトー)」<sup>9)</sup>のデータセットから入手可能である。リンク距離、リンク建物数は Google Map などの地図提供サービスから分かる。

(3) データセット構築方法

a) 歩道ネットワーク構築

日本橋室町地区の横断歩道を含む歩道をリンク、交差



図-2 対象地域の歩道ネットワーク

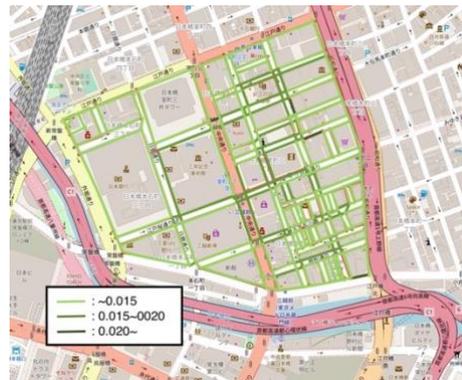


図-3 対象地域のリンクの次数中心性分布

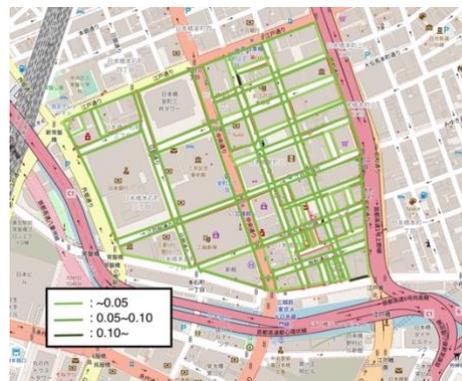


図-4 対象地域のリンクの媒介中心性分布

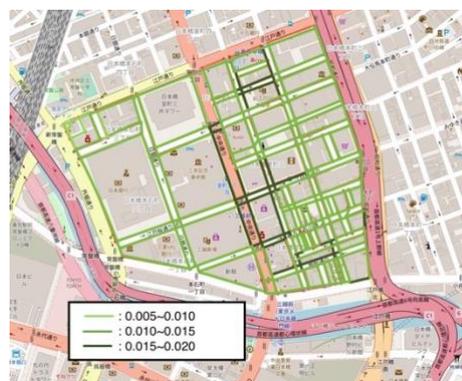


図-5 対象地域のリンクの近接中心性分布

点など接続する点をノードとして、日本橋室町地区内に構築した歩道ネットワークを図-2(前頁)に示す。横断歩道以外の歩道は赤色の線、横断歩道はピンク色の線で示す。

歩道ネットワークはノード数 200 とリンク数 341 で構成されている。

b) 中心性指標算出

対象地域内の歩道ネットワークにおいて、ノードとリンクの中心性指標を算出した。図-3-図-5(前頁)にリンクの次数中心性・媒介中心性・近接中心性の分布を示す。

c) 経路設定

中心性指標を加味した経路選択行動の把握の際には、中心性指標値に偏りがある条件下であると、中心性指標値の分散が小さくなり、経路内の各リンクの中心性に差が生じず、中心性を考慮した推定ができないことが懸念されるため、経路の中心性指標値の分散を大きくする必要がありといえる。よって、中心性の指標値が大きい頂点と小さい頂点の間に経路を設定することが望ましいと筆者は思案した。

本研究では、対象地域の歩道ネットワークにおいて媒介中心性の指標値が最も大きいノードを起点、最も小さいノード、2番目に小さいノード、3番目に小さいノードの3個のノードを終点としてダイクストラ法によって最短経路探索を行った。次数中心性と近接中心性においては、値の重複が生じるため、媒介中心性の指標値と同様の条件で最短経路探索を行うと、経路選択枝が膨大になることが懸念されるため、今回は媒介中心性の指標値のみを経路設定の判断基準とした。

d) 歩行者交通量の配分方法

起点から終点まで 1000 人の歩行者が歩いていると仮定して、図-6に示すように、経路を3通り設定して、経路配分を行う。経路配分は以下の方法で行う。

- 1) 全ての経路の起点を媒介中心性の指標値が最も大きいノードとして、終点を指標値が最も小さいノードとする経路を Path1, 2番目に小さいノードとする経路を Path2, 3番目に小さいノードとする経路を Path3 とする。
- 2) 通過ノードかつ通過リンク数が少ないほど経路選択を行う歩行者が多いと仮定。
- 3) cost1 を Path1 の通過リンク数, cost2 を Path2 の通過リンク数, cost3 を Path3 の通過リンク数としたとき、それぞれの経路選択確率は各 cost の逆数に比例するとして、以下の式で算出。

$$P_{Path1} = \frac{1/cost1}{1/cost1+1/cost2+1/cost3} \quad (5-a)$$

$$P_{Path2} = \frac{1/cost2}{1/cost1+1/cost2+1/cost3} \quad (5-b)$$

$$P_{Path3} = \frac{1/cost3}{1/cost1+1/cost2+1/cost3}$$

(5-c)

- 4) 求めた経路選択確率にサンプル数(1000)を乗じて、各経路の選択人数が算出される。

配分結果を表-1に示す。

e) 説明変数の検討

中心性指標を加味した経路選択モデルを構築する際には、経路選択傾向の指標となりうる説明変数の選択が重要である。検討している説明変数を表-2に示す。

検討している説明変数を大まかに分類すると、各リンクのネットワーク全体での重要度を数値化して表す中心



図-6 経路

表-1 経路配分結果

経路	人数
Path1	234
Path2	547
Path3	219
計	1000

表-2 逐次経路選択モデル 説明変数

	説明変数	内容
中心性指標	次数中心性	各リンクの次数中心性の指標値
	近接中心性	各リンクの近接中心性の指標値
建物	建物数	各リンクに接している建物の数
	計測高さ [m]	各リンクに接している建物の高さ
	図上面積 [m <sup>2</sup> ]	各リンクに接している建物を地図上で測定した面積
	地下	各リンクに接している建物に地下階があるときのダミー変数
歩行空間指標	地下歩道接続	各リンクに三越前駅に接続する地下歩道に繋がる接続通路があるときのダミー変数
	横断歩道	各リンクに横断歩道があるときのダミー変数

性指標,各リンクに接している建物数や建物の高さなどの建物情報などを表す建物,各リンクの横断歩道有無や東京メトロ三越前駅に繋がる地下通路に接続通路(リンク)の有無などの歩行空間情報を表す歩行空間指標の3つに分類される。

## 5. おわりに

本研究では,歩行者の経路選択行動と日本橋室町地区における歩道ネットワーク構造に関係の可否を検証を目的としている。そのために,中心性指標を加味した経路選択モデル構築の提案を行った。

経路全体よりもリンクごとの情報を考慮することで,より詳細な回遊行動の把握が可能であると筆者は考えて,リンク選択を考慮する逐次経路選択モデルの構築を図った。その際に,ノードとリンクの媒介中心性,次数中心性,近接中心性の指標値を算出し,媒介中心性が大きいノードから小さいノードまでの経路を設定し,移動コストの逆数に比例すると仮定して,歩行者の経路配分を行った。また,各リンクの特性を表す説明変数の検討を図った。

今後は,対象地域において Wi-Fi パケットセンサーを用いた人流計測調査を行い,調査結果をもとに歩行者経路データを作成し,実際の歩行者の経路選択行動を含めた回遊行動と中心性などのネットワーク構造の関係性の検

証を行う。

## 参考文献

- 1) 国土交通省: スマート・プランニング実践の手引き 第二版, <https://www.mlit.go.jp/common/001255680.pdf>.
- 2) 塚口博司, 松田浩一郎: 歩行者の経路選択行動分析. 土木工学論文集, No.709/IV-56, pp.117-126, 2002.
- 3) 塚口博司, 大橋祐貴: 大規模地下街における歩行者の経路選択行動分析, Vol.25 No.3, pp.615-621, 2008.
- 4) 塚口博司, 柴田祐基, 平田秀樹, 安隆浩: 大規模交通ターミナル地区における歩行者の3次元経路選択行動分析, Vol.25 No.3, pp.615-621, 2008.
- 5) 伊藤創太, 羽藤英二: 動的経路選択モデルを用いた吸収マルコフ連鎖交通量配分, 公益財団法人日本都市計画学会・都市計画論文集, Vol.48, No.3, 2013.
- 6) 福山祥代, 羽藤英二: 行動データに基づく歩行者行動特性を考慮した街路ネットワーク分析-渋谷駅歩行圏を対象として-, 公益財団法人日本都市計画学会・都市計画論文集, Vol.47, No.1, 2012.
- 7) 建物ノード付き街路ネットワークの研究 建物規模の媒介中心性分布への影響, 日本建築学会計画系論文集, 第78巻, 第686号, 883-889, 2013.
- 8) 村田剛志: Python で学ぶネットワーク分析, pp.83-87, オーム社, 2019.
- 9) 国土交通省: PLATEAU by MLIT, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>.

( 受付)

# Pedestrian circulation in redevelopment areas Evaluation of Pedestrian Space Development Using a Pedestrian Migration and Path Selection Model in a Redevelopment Area

Yuji TANAKA, Hideki YAGINUMA and Shintaro TERABE, Haruka UNO

In urban areas, redevelopment projects are creating liveliness in local communities, while congestion in pedestrian spaces after redevelopment has become a problem. The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has been promoting smart planning, in which the movement of people is simulated based on behavioral data to study the layout of facilities and transportation policies, but there are few examples of simulations focusing on the network structure. In this study, we constructed a sidewalk network in the Nihonbashi Muromachi area, which is undergoing redevelopment, calculated a centrality index to evaluate the importance of each point in the network, and proposed a method for constructing a route selection model that takes the network structure into account.