

札幌市都心部整備による歩行者行動予測分析への マルチエージェントシミュレーションの適用

Application of Multi-Agent Simulation to Pedestrians' Behavior Analysis with Developments in Sapporo Downtown Area

北海道大学工学部 環境社会工学科 高田 淳司 (Atsushi Takata)
北海道大学大学院工学院 北方圏環境政策工学専攻 加賀屋 誠一 (Seiichi Kagaya)

1. はじめに

都心のにぎわい創出は活力のあるまちづくりのためには欠かせない。約 190 万人の人口規模を有する札幌市の都心部の商業地区は大きく、札幌駅周辺と大通周辺に分かれている。前者が近年の JR タワーを中心とした再開発によってにぎわいを見せる一方、かつての商業機能の中核であった後者の魅力は相対的に低下してきた。

その中で平成 23 年 3 月 12 日に札幌駅前通地下歩行空間が開通し、歩行者が天候や地上の交通状況に左右されずに快適に都心部を回遊することができるようになった。これに伴い歩行者行動特性の変化が予想される。これ以外にも札幌市では、魅力あるまちづくりのため図 1 のように都心部における再開発事業を複数検討している¹⁾。

本研究では、地下歩道整備効果予測のため加藤²⁾が構築した非集計モデルによる訪問施設選択モデルを基礎とし、マルチエージェントシミュレーション (MAS) によって札幌市都心部における歩行者回遊行動モデルを構築する。そしてそのモデルによる歩行者行動特性変化の分析を通して、地下歩道等の都心部における事業の整備効果予測を行うことを目的とする。

2. 歩行者選択行動モデルについて

2.1 モデル概要

回遊行動シミュレーションにおける歩行者の訪問施設選択は加藤のモデルを拡張する形で設定する。都心部における行動では徒歩以外にも交通手段は想定されるが、取り扱う対象の地下歩道という性格を考慮し本研究では歩行者回遊行動のみを扱う。

都心部での歩行者の行動は活動目的や訪問する施設といった選択行動の連続と捉えることができる。その連続選択を表現した本モデルの構造を図 2、設定した説明変数を表 1 に示す。モデルの最下層に訪問すべき施設 (札幌駅周辺及び大通周辺両地区各 9 施設) を設定し、それらを多項ロジットモデルにより選択する。すなわち、本研究では都心部の歩行者行動を 1.活動継続・帰宅選択、2.活動目的の選択、3.訪問地区選択、4.訪問施設選択という 4 つのレベルで定義する。

2.2 モデル式

本モデルで使用しているモデル式の一覧を表 2 に示す。これらはアンケート調査からランダム効用理論に基づく非集計ロジットモデルより構築したものを拡張して設定した。シミュレーションにおいて、それぞれの歩行者の個人属性や訪問する施設の属性により異なる効用と選択確率をとる。この選択確率の算出過程を逐次的に歩行者に行わせ、それにより各レベルの行動を選択する。

3. 歩行者回遊行動シミュレーションについて

3.1 回遊行動フロー

歩行者は図 1 のように表現した札幌市都心部において来街・施設訪問・帰宅までの流れを行う。その都心部における歩行者の回遊行動の大枠フローと施設訪問フロー

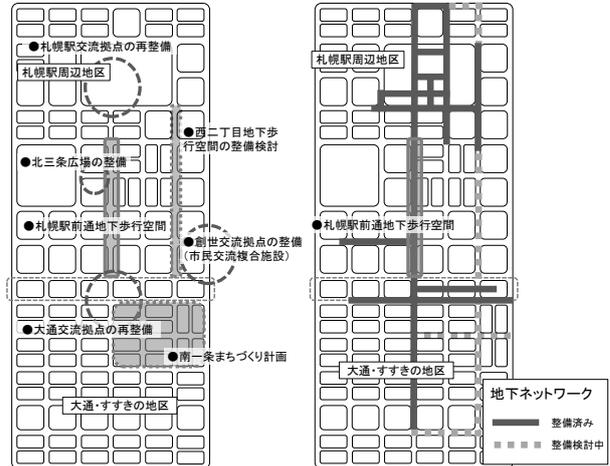


図 1 札幌市都心部整備計画概要¹⁾

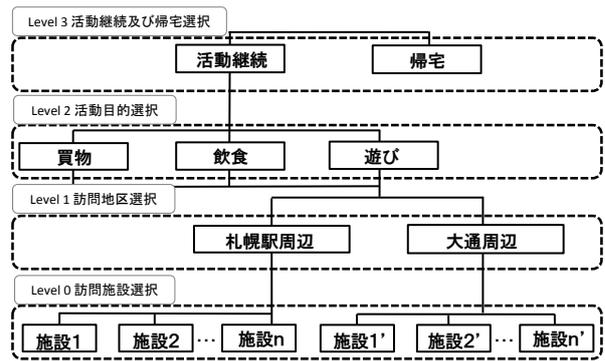


図 2 モデル構造

表 1 説明変数の一覧

選択レベル	説明変数
Level 3 活動継続・帰宅選択	Level 2の効用から求めたログサム変数 都心部滞在時間
Level 2 活動目的の選択	Level 1の効用から求めたログサム変数
Level 1 訪問地区選択	Level 0の効用から求めたログサム変数
Level 0 訪問施設選択	天候別の歩行時間、 施設規模、年代ダミー

を図 3 に示す。歩行者は来街した後、サブルーチンにより選択行動モデルに基づき図 2 の Level 0 から Level 3 の順で各効用と選拓確率を計算する。その後、決定された確率に基づいて Level 3 から Level 0 の順で各行動を乱数により決定する。歩行者は Level 3 にて帰宅を選択するまで施設訪問を終える度に効用・確率計算と訪問施設決定、そして行動実行を繰り返す。

歩行者は図 3 右のフローにより訪問施設を決定したのち施設入口ノードを読み込み、地下歩道の開通により利便性の増した駅前通の通行を優先した最短経路で移動する。歩行者はノード (交差点) 上に来る度、現在地と施設入口ノードとの距離を比較し移動する方向を判定する。

表2 モデル式の一覧

レベル	効用式	選択確率式
Level 0 訪問施設選択	$v_{f w,p,y}^k = \sum_{w \in W} \theta_w t_w^{df} + \theta_m x^{df} + \sum_{g \in G} \theta_g^p \cdot \delta_g^k$ $v_{f w,p,y}^k = \sum_{w \in W} \theta_w t_w^{of} + \theta_m x^{of} + \theta_o + \sum_{g \in G} \theta_g^p \cdot \delta_g^k$	$P_{f w,p,y}^k = \frac{\exp(v_{f w,p,y}^k)}{\sum_{f \in F} \exp(v_{f w,p,y}^k)}$
Level 1 訪問地区選択	$v_{d p,y}^k = \ln \left(\sum_{f \in F} \exp(v_{f d,p,y}^k) \right)$	$P_{d p,y}^k = \frac{\exp(v_{d p,y}^k)}{\sum_{d \in D} \exp(v_{d p,y}^k)}$
Level 2 活動目的選択	$v_{p y}^k = \ln \left(\sum_{d \in D} \exp(v_{d p,y}^k) \right)$	$P_{p y}^k = \frac{\exp(v_{p y}^k)}{\sum_{p \in P} \exp(v_{p y}^k)}$
Level 3 活動継続・帰宅選択	$v_y^k = \ln \left(\sum_{p \in P} \exp(v_{p y}^k) \right)$ $v_n^k = \theta_t \cdot t$ $\Delta v_a^k = v_n^k - v_y^k = \theta_t \cdot t - \theta_y \cdot v_y^k$	$P_n^k = \frac{1}{1 + \exp(\Delta v_a^k)}$ $P_y^k = 1 - P_n^k$

注)

- $g \in G$: 世代の集合
- $f \in F$: 各施設の集合
- $w \in W = \{f: \text{晴れ}, r: \text{雨}, c: \text{雪}\}$: 天候
- $p \in P = \{b: \text{買物}, r: \text{飲食}, j: \text{遊び}\}$: 目的
- $d \in D = \{o: \text{大通周辺}, s: \text{札幌駅周辺}\}$: 訪問地区
- $a \in A = \{y: \text{yes}, n: \text{no}\}$: 活動継続, 帰宅

- t_w^{df} : 天候が w のときの地区 d にある施設 f までの歩行時間
- θ_w : 天候が w のときの歩行時間パラメータ
- x^{df} : 地区 d にある施設 f の施設規模
- θ_m : 施設規模に関するパラメータ
- δ_g^k : 個人 k の年代が g のとき 1, そうでなければ 0 をとる年代ダミー
- θ_g^p : 年代 g の目的 p に関するパラメータ
- θ_o : 定数項 (大通周辺地区)
- t : 都心部滞在時間
- θ_t : 滞在時間に関するパラメータ
- θ_y : 活動継続効用に関するパラメータ

3.2 初期設定

歩行者に与える初期値を表3に示す。この違いにより個々の歩行者はそれぞれ異なる回遊行動をとる。歩行者に対し各初期値について乱数で与え、3つの来訪場所から合計1,000人を発生させている。

また、シミュレーション上で設定する歩行者が訪問する商業施設の一覧と各施設のもつ属性を表4に示す。訪問施設は札幌駅周辺と大通周辺両地区に9施設ずつ配置した。このうち、施設規模は効用関数の説明変数に用いられる0-2の間の数値をとる変数であり、本研究では店舗面積を用い表している。施設滞在時間は加藤のアンケート調査の回答者の施設への滞在時間の平均と偏差から算出した。この二者を用いて歩行者の施設への滞在時間は乱数を用いて決定される。

3.3 シミュレーションのケース

シミュレーションで定める都心部の状況を図4に示す。この3種類の状況設定による実行結果の変化を分析する。

このうち、「天候」は歩行者行動選択モデルの効用関数内部の歩行時間パラメータに影響を与える。

「施設魅力度レベル」では訪問施設として設定した比較的小規模な施設の集合体について施設規模を拡充する措置をとる。これは、地下歩道開通により訪問客数の減少が懸念される地上のにぎわいの対策としてその魅力度を高め、歩行者行動変化を予測するものである。

また、「都心部整備レベル」では都心部で整備済みあるいは検討段階にある再開発事業について供用後か従前かの設定を行う。これらは札幌市の計画にあるものを本シミュレーションに合うよう、地下歩道の整備効果を歩行者の歩行時間の短縮効果、交流拠点の整備効果を訪問施設規模の拡充として設定した。

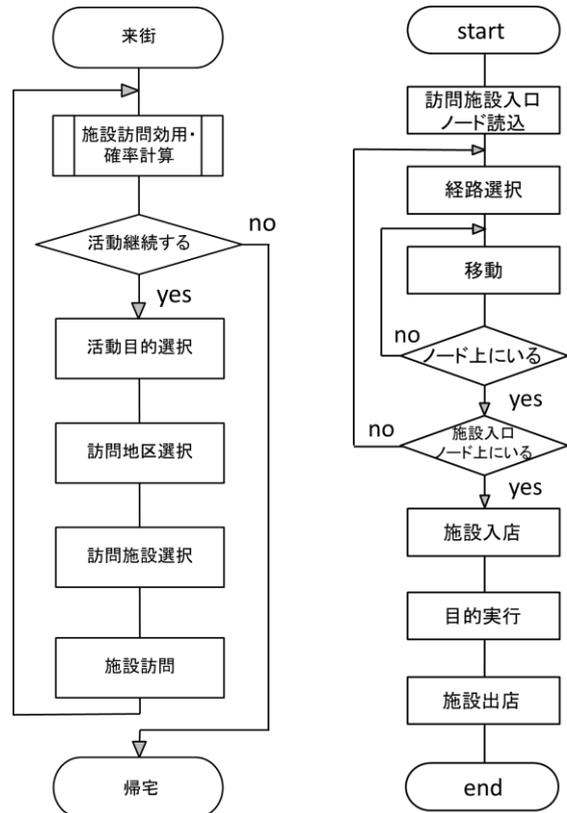


図3 回遊行動大枠フローと施設訪問フロー

表3 個々の歩行者に与える初期値

設定項目	取り得る範囲
年代	10代~70代
性別	男, 女
歩行速度	年代, 性別に応じ変化
来訪場所	札幌駅, 大通, すずきの
歩行経路選好 (地下歩道があるとき)	地上, 地下

表4 訪問施設一覧と属性

地区	施設名	店舗面積(m ²)	施設規模	施設滞在時間 (min)	
				平均値	偏差
札幌駅	大丸	45,000	2.000	64.17	46.91
	東急百貨店	30,000	1.333	65.33	41.94
	ESTA	16,000	0.711	36.25	19.43
	STELLAR PLACE	40,000	1.778	60.00	35.15
	ヨドバシカメラ	9,500	0.422	28.13	13.08
	アピア	9,500	0.422	40.00	24.66
	パセオ	14,440	0.642	36.25	14.93
	小規模店(北西)	6,750	0.300	60.36	47.57
	小規模店(北東)	5,860	0.260	50.00	35.75
大通	PARCO	14,000	0.622	55.42	48.66
	三越	26,000	1.156	37.61	24.47
	丸井今井	44,000	1.956	50.86	29.70
	オーロラタウン	11,000	0.489	38.38	24.53
	PIVOT	12,000	0.533	43.50	32.77
	4プラ	6,800	0.302	30.33	19.77
	ラフィア	25,000	1.111	32.78	13.02
	小規模店(南西)	12,640	0.562	41.53	35.96
	小規模店(南東)	31,750	1.411	40.34	26.78

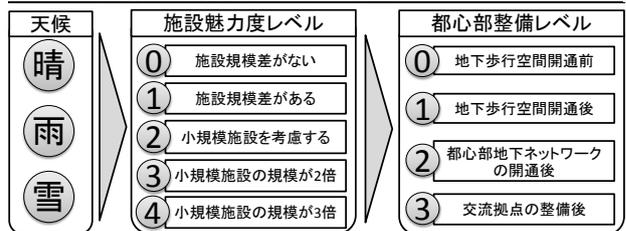


図4 都心部の状況の設定の流れ

4. シミュレーションの実行結果

4.1 設定したシナリオについて

本シミュレーションでは、図4の3種類の組み合わせによる合計57通りのケースについて、各100回の試行における出力値の平均を実行結果として用いた。

4.2 歩行者行動特性変化の評価

歩行者行動特性の変化について図4の項目別に比較した結果を表5-7に示す。

天候別の結果を比較すると、悪天候であるほど「平均滞在時間」「平均歩行距離」「平均訪問施設数」といった歩行者の回遊性を示す指標が減少することが分かる。さらに、地下歩道の開通前後で北1条通行量を比較すると晴で1.77倍、雨で2.17倍、雪で2.52倍と悪天候ほど増加率が上昇することが分かる。積雪寒冷地の札幌での地下歩道が歩行者へ資する影響の大きさが見て取れる。

また、都心部整備の度合いでは最終段階の交流拠点までの整備を行うと歩行者の回遊性が地下歩道の供用前と比べ大きく上昇することが分かる。ただし、今回は札幌駅交流拠点の整備効果を札幌駅周辺にあるすべての施設の施設規模を最大化すると表現したため札幌駅周辺の魅力が上昇し大通地区が逆に低下してしまっただけで、今後の都心部整備では大通地区の整備も重点的に行い、過度の札幌駅周辺へのにぎわいの集中を是正するべきだろう。

また、図5に示した都心部整備による駅前通行量の変化に着目する。これは札幌駅、大通両地区の往来を表し回遊性を示す指標となる。悪天候が回遊性の阻害要因であることはすでに示したが、都心部整備の拡充は回遊性の増加要因であることが見て取れる。地下歩道や交流拠点の整備につれて都心の魅力が増加し、両地区の歩行による移動の抵抗が減衰し、また都心での歩行者の施設の選択肢を増やす効果を発揮していると言える。これらの札幌市のまちづくり事業や小規模施設の魅力を高めることが歩行者の施設の選択肢や移動意欲を増加させ歩行者の回遊性を向上させることが予測された。

4.3 シミュレーションの再現性について

図6に北海道開発局が平成23年3月から7月にかけて計測した実測値³⁾とシミュレーションで算出した地下歩道開通前後での駅前通北1条通行量の比較を示す。なお、天候別で出力した通行量を実測値に合うよう平準化したものを用いた。通行量として実測値は開通後に1.96倍、シミュレーション値は2.04倍に増加し、概ね良好な再現性を得た。

5.まとめ

本研究では、加藤のモデルを拡張した訪問施設選択モデルを用いMASにより札幌市都心部における歩行者回遊行動シミュレーションモデルを構築した。特に、都心部の整備状況に着目した回遊行動の変化の分析を行った。シミュレーションの結果、歩行者の回遊行動は地下歩道や交流拠点といった都心部の整備によってより活発になり回遊性が向上することが示された。

今後の課題として、本モデルの拡張が挙げられる。経路選択や訪問施設選択への現実的な個人属性の反映がより詳細な回遊行動分析には必要なことだと考えられる。

参考文献

- 1) 札幌市：さっぽろ都心まちづくり戦略, 2011
- 2) 加藤 亜実：札幌駅前通地下歩行空間整備が来訪者の商業施設選択行動に与える効果に関する研究, 2010
- 3) 札幌市：札幌駅前通の歩行者通行量と地下歩行空間の利用状況について, 2011

表5 天候別の行動特性比較

天候	晴		雨		雪	
	0	1	0	1	0	1
施設魅力レベル	3					
都心部整備レベル	0	1	0	1	0	1
駅前通北1条通行量(人)	294.7	522.7	175.9	381.5	117.5	296.4
平均滞在時間(分)	127.2	130.2	123.5	126.4	121.0	124.1
平均歩行距離(km)	1.16	1.46	1.01	1.27	0.92	1.16
平均訪問施設数(店)	2.15	2.24	2.11	2.19	2.08	2.16
合計	2.15	2.24	2.11	2.19	2.08	2.16
札幌⇒大通	1.62	1.54	1.65	1.59	1.66	1.62
大通⇒札幌	0.53	0.70	0.46	0.60	0.42	0.54
施設選択確率(%)						
札幌⇒大通	25.54	36.03	21.91	30.75	20.34	27.87
大通⇒札幌	20.31	29.63	19.19	26.86	19.10	26.07
買物	35.32	46.68	27.26	37.34	23.45	30.46
飲食	3.67	6.40	2.58	5.35	2.07	4.40
遊び	3.30	6.26	2.57	5.42	2.71	5.18
合計	4.47	7.23	2.55	4.66	1.42	3.26

表6 施設魅力レベル別の行動特性比較

天候	0		1		3	
	0	1	0	1	0	1
施設魅力レベル	3					
都心部整備レベル	0	1	0	1	0	1
駅前通北1条通行量(人)	290.8	524.8	251.0	474.2	294.7	522.7
平均滞在時間(分)	103.7	105.5	123.8	125.8	127.2	130.2
平均歩行距離(km)	0.95	1.18	1.00	1.24	1.16	1.46
平均訪問施設数(店)	1.92	1.99	2.13	2.20	2.15	2.24
合計	1.92	1.99	2.13	2.20	2.15	2.24
札幌⇒大通	1.48	1.41	1.64	1.57	1.62	1.54
大通⇒札幌	0.44	0.58	0.49	0.63	0.53	0.70
施設選択確率(%)						
札幌⇒大通	29.06	39.68	23.09	31.69	25.54	36.03
大通⇒札幌	21.93	31.99	20.75	28.04	20.31	29.63
買物	36.36	48.67	32.30	42.76	35.32	46.68
飲食	2.64	5.30	3.75	7.39	3.67	6.40
遊び	1.78	3.98	2.44	5.35	3.30	6.26
合計	3.36	6.09	4.25	7.74	4.47	7.23

表7 都心部整備レベル別の行動特性比較

天候	2		3		4	
	0	1	0	1	0	1
施設魅力レベル	3					
都心部整備レベル	0	1	0	1	0	1
駅前通北1条通行量(人)	278.2	501.7	577.3	303.4	538.3	583.8
平均滞在時間(分)	126.1	128.5	132.5	128.3	131.2	133.8
平均歩行距離(km)	1.10	1.37	1.48	1.20	1.50	1.57
平均訪問施設数(店)	2.14	2.22	2.44	2.16	2.25	2.45
合計	2.14	2.22	2.44	2.16	2.25	2.45
札幌⇒大通	1.63	1.56	1.76	1.62	1.54	1.73
大通⇒札幌	0.51	0.66	0.69	0.54	0.71	0.73
施設選択確率(%)						
札幌⇒大通	24.23	33.26	29.94	26.13	36.44	31.93
大通⇒札幌	20.94	28.64	26.52	20.38	29.58	27.04
買物	34.36	45.00	40.12	35.41	47.17	41.83
飲食	4.09	7.33	13.39	3.70	6.68	11.44
遊び	3.38	6.08	10.15	3.74	6.55	9.83
合計	4.84	7.45	12.78	4.64	7.32	11.36

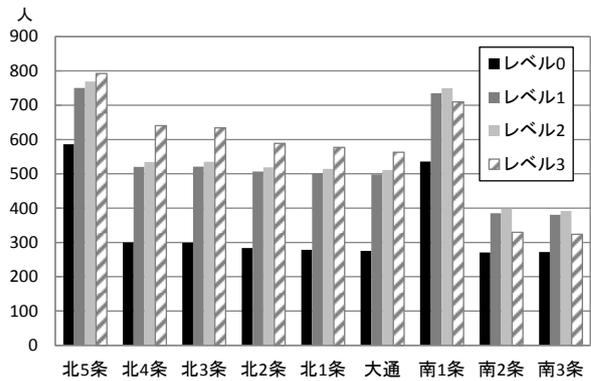


図5 都心部整備レベル別の駅前通通行量比較

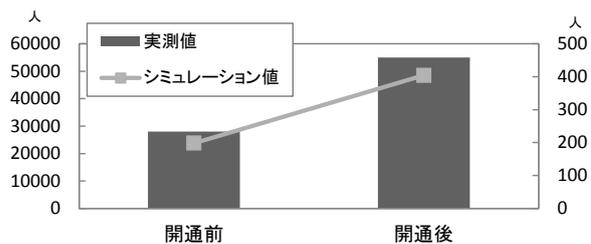


図6 実測とシミュレーションの結果比較