

マルチエージェントソフトを用いた都市での群集行動に関する研究
ーartisoc を用いたシミュレーションー

1. はじめに

都市の中で、人々はどのような行動をとるのか。私たち一人ひとりの日々の行動は、知らず知らずのうちに群集の一部となり、大きな流れとなって街を行き来する。今回はそんな人々の行動をマルチエージェント・シミュレーションソフト artisoc によるシミュレーションを用いて再現し、時間帯によってどのような行動の違いが生まれるかを実験的に調査、分析することを目的とする。マルチエージェント・シミュレーションは、人間などのように自律的に振る舞うことができる要素の集まりを分析するツールとして利用できる。そのため災害時の避難誘導方針決定システムなどに利用され現在注目されているが、都市内の日常をシミュレーションすることはあまり行われていなかった。このような群集行動をシミュレーションできるようになることで、より豊かな都市環境づくりに役立つと考えられる。

2. モデルの条件設定

2.1 対象地区について

対象地区としては商店街を模した図 1 の様な仮想街区を作成し、その中で時間帯による人々の行動の変化を調査していく。

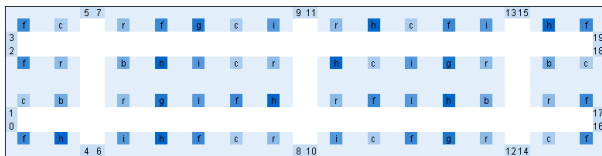


図 1: 仮想街区モデル

2. 2 店舗の種類と定義

店舗・住宅の種類とそれぞれの割合においては、名古屋市中区にある大須商店街を参考にした。建物エージェントを 7 種類に分類し、表 1 のようにそれぞれの店舗数を決め、仮想街区モデルに配置する。

表 1: 店舗種一覧

店舗種	モデル内表記	頭文字	店舗数
カフェ・喫茶店	cafe	c	10
レストラン	restaurant	r	10
居酒屋・バー	bar	b	4
雑貨店・インテリアショップ	interior	i	8
衣服店・靴屋	fashion	f	12
おもちゃ屋・趣味系店舗	game	g	4
住宅	house	h	8

またそれぞれの建物エージェントには、実際の滞在時間を基に、表 2 のように一ステップを二分と考え滞在ステップ数を設定した。これにより、それぞれの店舗を訪れた person エージェントが指定のステップ分店舗・住宅に滞在することになる。な

お、cafe、restaurant、bar、interior、fashion、game においては同時に person エージェントが滞在できることが可能とし、house のみ person エージェントが 1 人ずつしか滞在できないような設定にした。

表 2: 滞在ステップ数

	実際の時間(m)	実際の時間(h)	モデル上のステップ数
cafe	60	1	30
restaurant	60	1	30
bar	150	2.5	75
interior	30	0.5	15
fashion	20	0.3	10
game	20	0.3	10
house	360	6	180

2. 3 person エージェントの種類と定義

建物エージェントの種類に合わせて、それぞれの店舗・住宅を目的に街区を訪れる person エージェントを定義する。条件は表 3 の通り設定した。

表 3: person エージェントの行動定義

1. レストラン利用者	restaurant に行く。1/2 の確率で 8 ステップ以内に cafe、14 ステップ以内に interior か fashion があれば寄っていく。なければ帰る。
2. 居酒屋利用者	bar に行く。1/3 の確率で 14 ステップ以内に別の bar があれば寄っていく。なければ帰る。（一度行った店にはいかない）
3. 買い物客（雑貨重視）	interior に行く。8 ステップ以内に interior があれば寄っていく。2/3 の確率で 8 ステップ以内に fashion、cafe があれば寄っていく。（一度行った店にはいかない）
4. 買い物客（ファッション重視）	fashion に行く。8 ステップ以内に fashion があれば寄っていく。2/3 の確率で 8 ステップ以内に interior、cafe があれば寄っていく。（一度行った店にはいかない）
5. 買い物客（趣味重視）	game に行く。1/4 の確率で 8 ステップ以内に cafe があれば寄っていく。1/6 の確率で 8 ステップ以内に fashion、interior があれば寄っていく。
6. 住人	house に向かう。通り道に cafe があれば 1/2 の確率で寄っていく。
7. 通行人	Entrance から別の Entrance に行く。通り道に cafe があれば 1/3 の確率で寄っていく。また、通り道に interior、fashion があつた場合 1/6 の確率で寄っていく。

Person エージェントは、街区端にある Entrance 0～19 で生成される。生成時にランダムで表 3 の 1～7 のいずれかの行動パターンを定義され、それぞれの条件に合わせて仮想街区内で行動する。用事を済ませた person エージェントは、再度 Entrance に戻り消滅するようにプログラミングされている。目的の店舗が閉店していた場合はその店舗の前まで行き、閉店を確認したのちに次の立ち寄り行動を行う。

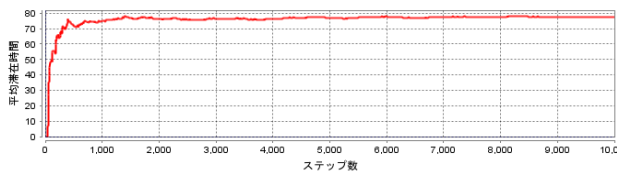
3. シミュレーションの条件設定

仮想街区内での1日を、各店舗の開店状況によって再現する。
表1の店舗種において、住宅を除いたそれぞれの商業施設の一般的な開店時間を調べ、表4にまとめた。

表4:各店舗の開店時間

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
cafe	7	24																							
restaurant	10	22																							
bar	17	1																							
interior	10	21																							
fashion	10	20																							
game	11	18																							
シミュレーション区分	①	②					③		④	⑤					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩						

各店舗の開店時間を表にまとめたところ10個のパターンが存在することが分かったため、それぞれをシミュレーション区分①～⑩として定義しシミュレーションを行った。またシミュレーションの終了条件については、person エージェントの仮想街区内での平均滞在時間が収束するまでと考え、シミュレーション結果のグラフ1より、10000 ステップとした。



グラフ1:平均滞在時間の推移

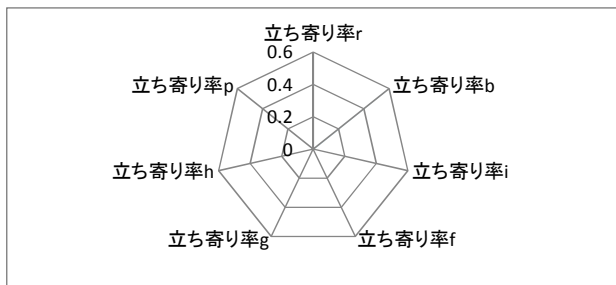
4. シミュレーション結果

シミュレーションにおける「総滞在人数」は、10000 ステップの間に街区を訪れた人数であり、それを基に person エージェント一人あたりの「平均滞在時間」「平均接触回数」を算出した。表内の st は、ステップを表す。「立ち寄り率 r」とは、レストランを第一目的とした person エージェントが別の店舗に立ち寄りを行った割合であり、アルファベットはそれぞれの店舗属性を表す。なお、「立ち寄り率 p」は通行人が立ち寄りを行った割合である。

・シミュレーション① (0～1 時)

表5:シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	0	総滞在人数(人)	1368
立ち寄り率b (%)	0.57	平均滞在時間(st)	79.83
立ち寄り率I (%)	0	総接触回数(回)	5663
立ち寄り率f (%)	0	平均接触回数(回)	4.14
立ち寄り率g (%)	0		
立ち寄り率h (%)	0		
立ち寄り率p (%)	0		



グラフ2: 立ち寄り率

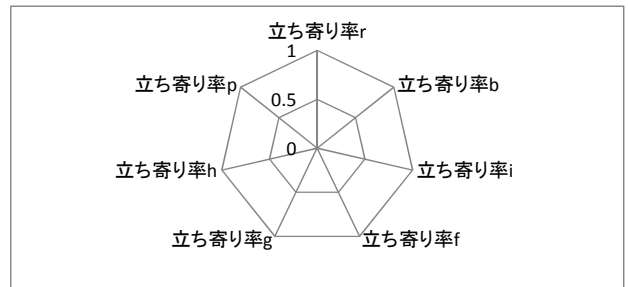
0 時～1 時の間は「居酒屋・バー」のみの営業となっており、立ち寄り率はb以外 0 となった。「居酒屋・バー」においても、店舗が少ないため立ち寄りがあまり行われていないのが分かる。

平均滞在時間も 79.83 と短い。

・シミュレーション② (1～7 時)

表6:シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	0	総滞在人数(人)	1365
立ち寄り率b (%)	0	平均滞在時間(st)	68.69
立ち寄り率I (%)	0	総接触回数(回)	1612
立ち寄り率f (%)	0	平均接触回数(回)	1.18
立ち寄り率g (%)	0		
立ち寄り率h (%)	0		
立ち寄り率p (%)	0		



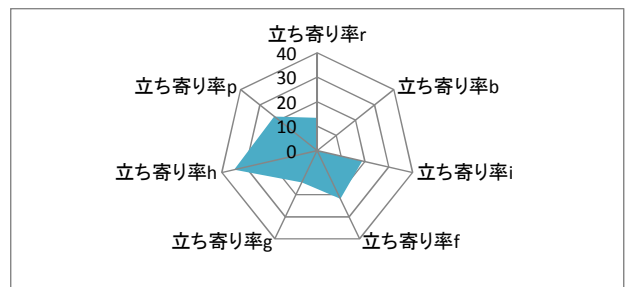
グラフ3: 立ち寄り率

どの店舗も閉店しているため、立ち寄り率はどこも0である。平均滞在時間ももっとも短い。一人あたりの平均接触回数も 1.18 と低くなっており、街区内でほとんど人との出会いがないことが分かる。

・シミュレーション③ (7～10 時)

表7:シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	13.39	総滞在人数(人)	1379
立ち寄り率b (%)	0	平均滞在時間(st)	75.2
立ち寄り率I (%)	18.84	総接触回数(回)	5794
立ち寄り率f (%)	21.79	平均接触回数(回)	4.20
立ち寄り率g (%)	14.43		
立ち寄り率h (%)	34.83		
立ち寄り率p (%)	22.4		



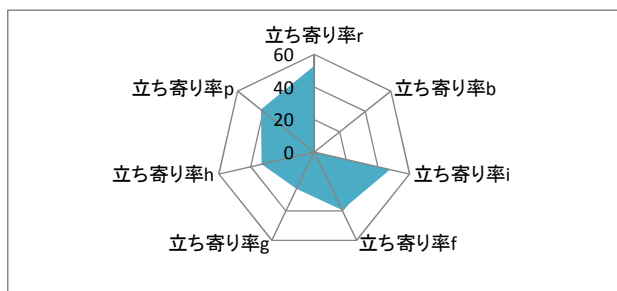
グラフ4: 立ち寄り率

「カフェ・喫茶店」のみ開店している状態。「カフェ・喫茶店」が開店することで、滞在時間や接触回数に大きく変化がみられることが分かる。

・シミュレーション④ (10～11 時)

表8:シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	52.97	総滞在人数(人)	1402
立ち寄り率b (%)	0	平均滞在時間(st)	82.92
立ち寄り率I (%)	47.72	総接触回数(回)	6155
立ち寄り率f (%)	39.29	平均接触回数(回)	4.39
立ち寄り率g (%)	24.88		
立ち寄り率h (%)	33.16		
立ち寄り率p (%)	41.87		



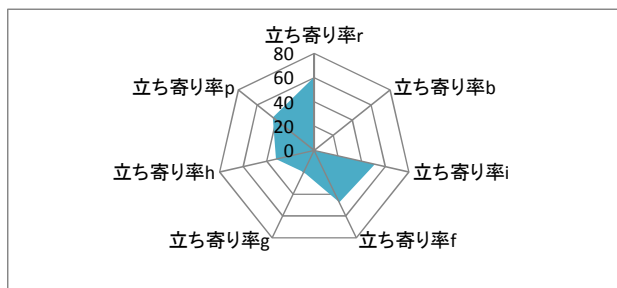
グラフ5：立ち寄り率

「居酒屋・バー」と「おもちゃ屋・趣味系店舗」以外が開店している状態。開店している店舗が多くなるにつれて、平均滞在時間、平均接触回数が増えているのが分かる。

・シミュレーション⑤ (11～17 時)

表 9: シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	60.29	総滞在人数(人)	1410
立ち寄り率b (%)	0	平均滞在時間(st)	88.08
立ち寄り率I (%)	51.31	総接触回数(回)	5962
立ち寄り率f (%)	47.57	平均接触回数(回)	4.23
立ち寄り率g (%)	19.91		
立ち寄り率h (%)	32.26		
立ち寄り率p (%)	43.75		



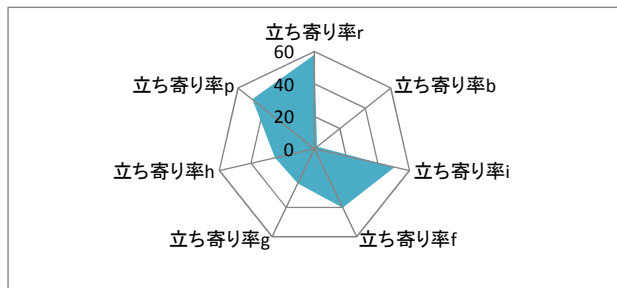
グラフ6：立ち寄り率

「居酒屋・バー」以外、すべての店舗が開店している状態。平均滞在時間は先ほどより長い。レストラン利用者の立ち寄り率が最も高いのがこの時間である。

・シミュレーション⑥ (17～18 時)

表 10: シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	57.98	総滞在人数(人)	1377
立ち寄り率b (%)	2.11	平均滞在時間(st)	94.32
立ち寄り率I (%)	50.72	総接触回数(回)	8904
立ち寄り率f (%)	40.11	平均接触回数(回)	6.47
立ち寄り率g (%)	23.58		
立ち寄り率h (%)	24.73		
立ち寄り率p (%)	48.82		



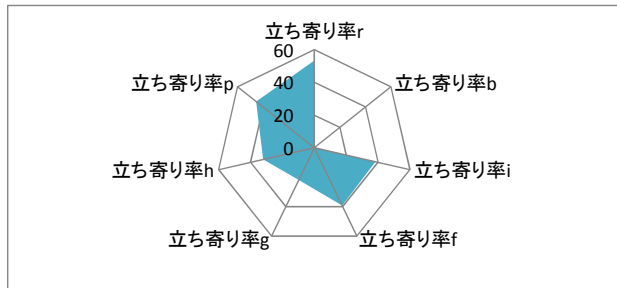
グラフ7：立ち寄り率

17～18 時はすべての店舗が開店している状態。

・シミュレーション⑦ (18～20 時)

表 11: シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	53.45	総滞在人数(人)	1362
立ち寄り率b (%)	0	平均滞在時間(st)	94.59
立ち寄り率I (%)	38.32	総接触回数(回)	11076
立ち寄り率f (%)	39.25	平均接触回数(回)	8.13
立ち寄り率g (%)	21.74		
立ち寄り率h (%)	32.11		
立ち寄り率p (%)	45.37		



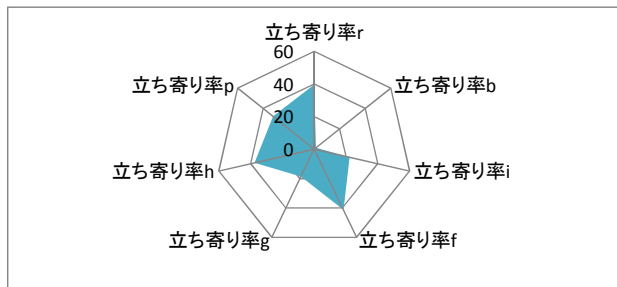
グラフ8：立ち寄り率

「おもちゃ屋・趣味系店舗」が開店している状況。立ち寄り率bが0になっており、「居酒屋・バー」の利用者が別の飲み屋にはしごする現象が起きていない。

・シミュレーション⑧ (20～21 時)

表 12: シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	39.49	総滞在人数(人)	1422
立ち寄り率b (%)	1.47	平均滞在時間(st)	92.1
立ち寄り率I (%)	22.28	総接触回数(回)	9727
立ち寄り率f (%)	41.33	平均接触回数(回)	6.84
立ち寄り率g (%)	18.58		
立ち寄り率h (%)	37.44		
立ち寄り率p (%)	32.14		



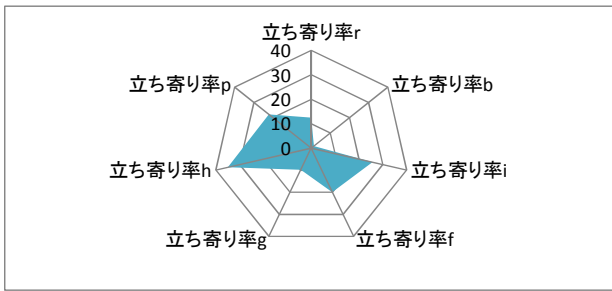
グラフ9：立ち寄り率

「衣服店・靴屋」と「おもちゃ屋・趣味系店舗」が開店状態。開店している店舗が少し減ったことで、平均滞在時間、平均接触回数などが先ほどより少ない。

・シミュレーション⑨ (21～22 時)

表 13: シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	12.5	総滞在人数(人)	1438
立ち寄り率b (%)	1.45	平均滞在時間(st)	88.06
立ち寄り率I (%)	25.74	総接触回数(回)	11092
立ち寄り率f (%)	19.91	平均接触回数(回)	7.71
立ち寄り率g (%)	9.85		
立ち寄り率h (%)	34.95		
立ち寄り率p (%)	22.17		



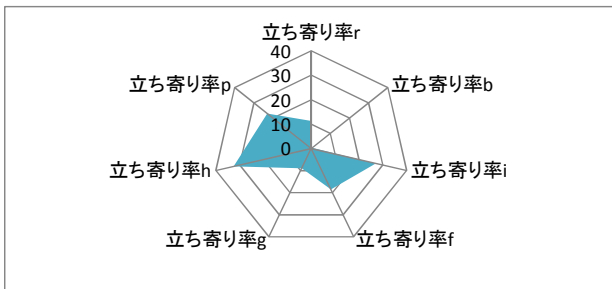
グラフ 10：立ち寄り率

飲食店のみ開店の状態。平均滞在時間が先ほどより短い、平均接触回数は増加している。開店している店舗は少ないが、「カフェ・喫茶店」に集まる person エージェントが増えたことが原因だと考えられる。

・シミュレーション⑩

表 14:シミュレーション結果

立ち寄り率r (%)	11.28	総滞在人数(人)	1370
立ち寄り率b (%)	0.46	平均滞在時間(st)	88.97
立ち寄り率i (%)	27.11	総接触回数(回)	13783
立ち寄り率f (%)	18.5	平均接触回数(回)	10.06
立ち寄り率g (%)	8.96		
立ち寄り率h (%)	32.51		
立ち寄り率p (%)	23.03		



グラフ 11：立ち寄り率

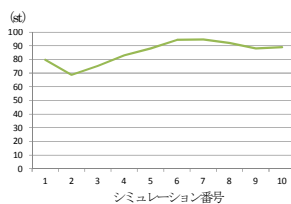
「カフェ・喫茶店」と「居酒屋・バー」が開店している状態。開店している店舗が少ないが、平均接触回数が最も多くなっている。

・全体結果

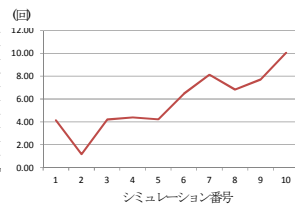
シミュレーション①～⑩のデータをまとめ、比較した。

表 15:全体結果

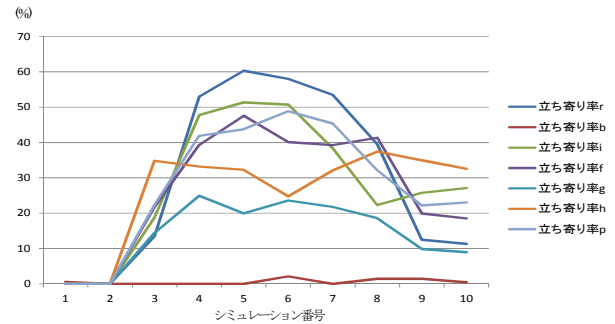
	結果①	結果②	結果③	結果④	結果⑤	結果⑥	結果⑦	結果⑧	結果⑨	結果⑩
総滞在人数(人)	1368	1365	1379	1402	1410	1377	1362	1422	1438	1370
平均滞在時間(st)	79.83	68.69	75.2	82.92	88.08	94.32	94.59	92.1	88.06	88.97
総接触回数(回)	5663	1612	5794	6155	5962	8904	11076	9727	11092	13783
平均接触回数(回)	4.140	1.181	4.202	4.390	4.228	6.466	8.132	6.840	7.713	10.061
立ち寄り率r (%)	0	0	13.38	52.97	60.29	57.98	53.49	39.49	12.5	11.28
立ち寄り率b (%)	0.57	0	0	0	0	2.11	0	1.47	1.45	0.46
立ち寄り率i (%)	0	0	18.84	47.72	51.31	50.72	38.32	22.28	25.74	27.11
立ち寄り率f (%)	0	0	21.79	39.29	47.57	40.11	39.25	41.33	19.91	18.5
立ち寄り率g (%)	0	0	14.43	24.88	19.91	23.58	21.74	18.58	9.85	8.96
立ち寄り率h (%)	0	0	34.83	33.16	32.26	24.73	32.11	37.44	34.95	32.51
立ち寄り率p (%)	0	0	22.4	41.87	43.75	48.82	45.37	32.14	22.17	23.03



グラフ 12:平均滞在時間推移



グラフ 13:平均接触回数推移



グラフ 14:立ち寄り率推移

5. 考察

グラフ 12 を見ると、平均滞在時間が最も低いのがシミュレーション②である。同じく平均接触率もシミュレーション②が最も低い、これは開店中の店舗が一つもないことから、person エージェントがすぐに帰宅していると考えられる。反対に平均滞在時間が最も長いのがシミュレーション⑦である。シミュレーション⑥も僅差であるが、⑦では住宅を目的とした person エージェントの立ち寄り率hが 7.38%も上昇していることからこの結果になった。本来なら全店舗が開店しているシミュレーション⑥が平均滞在時間のピークになりそうだが、住宅を目的としているエージェントの定義に問題があったためこのような結果になったと思われる。平均接触回数において、最も数値が高かったのはシミュレーション⑩の 10.06 である。シミュレーション⑩は「カフェ・喫茶店」と「居酒屋・バー」しか開店していないが、他の店舗が閉店しており、多くの person エージェントがカフェに流れてきたことが接触回数が大きくなった原因であると考えられる。

今後の展望としては、person エージェントの定義を修正し、より現実に近い動きをさせることが重要であると考えられる。街区を実際に存在する商店街などに置き換えてシミュレーションを行うことで、イベントによる人々の動きを調べたり、建物の用途を混ぜることでの平均滞在時間がどのように変化するかを調査できると考える。

参考文献

- 1) 兼田敏之編者代表、構造計画研究所創造工学部+名古屋工業大学兼田研究室著『artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション』、2010 年
- 2) 山影進著『人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門』、2007 年