

特集 「ビジネスが創発する人工知能と人工社会」

店舗集積地区における来訪者の回遊行動のモデリング

Modeling Visitors' Shopping-Around Behaviors in Shopping District

兼田 敏之
Toshiyuki Kaneda

名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology.
kaneda@nitech.ac.jp, <http://archi2.ace.nitech.ac.jp/kaneda2/>

Keywords: modeling, shopping-around behavior, intelligent agent approach, downtown dynamics.

1. はじめに

中心市街地における「賑わい」の再生は、特に先進国において重要な政策となりつつある。まちを楽しんで歩き、さまざまな物品に触れ、サービスを体験することで、新たなことを探索する「賑わい」の場としての店舗集積地区は、ワンストップショッピングやオンラインショッピングの時代においても、都市圏において相応の役割を果たすはずである。

著者は、この問題意識を念頭に、知的エージェントアプローチによる人工社会型商業モデルに取り組んでいる。このモデルは、都市圏民（顧客）と店舗の双方をエージェントとして動的相互作用系を構成することにより、店舗集積地区における「賑わい」やその盛衰条件をシミュレーションから探ることを最終目的としている。

この人工社会型商業モデルにおいて、個々の顧客エージェントは、複数の用事を達成するために、(1) 外出ならびに来訪地区を決定し、(2) 当該の店舗集積地区内においては、行動プランに基づいて複数の店舗を来訪するのみならず、状況に応じて臨機応変に歩行経路や店舗立寄りや行動プランを変更して用事を達成し効用値を得ようとする回避行動を行う。そのため、用事の複数性を考慮した **Errand-Centered** の発想で設計されている(図1)。

本稿では、後者の(2)にあたる来訪者の地区内の空間行動のモデリングについて焦点を当てて解説する。ここで、店舗集積地区の性格上、以降各店舗とも単一の種類の用事を扱う同一規模の小規模店を想定している。

本稿で扱う回遊行動とは、地区内における来訪者の多用事・多立寄りの特徴とするが、1970年前後に成立した古典的な空間相互作用モデル(spatial interaction model)[石川 88, 谷村 92, Wilson 67]が来訪地の単一性(複数の来訪地に立ち寄らない)を暗黙的に想定しており、多目的多立寄り(**Multi-Purpose Multi-Stop: MPMS**)モデルが本格的に登場するのは1980年代以降

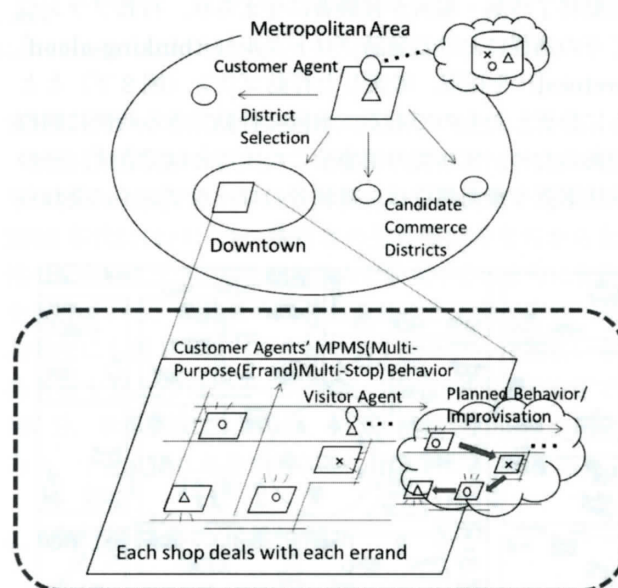


図1 本稿が扱う地区来訪者の回遊行動モデルの範囲

になってからであった[Borgers 86, 斉藤 84]。

このMPMSモデルは、店舗(あるいは店種)間のトリップ、すなわち次店舗の選択に対し調査データから推計した確率を用いるもので、いわゆるマイクロシミュレーションの分野においてLLPM(Linked Logit and Poisson Model)といったパラダイムを確立した。しかし、個々の顧客のミクロ的意思決定の集積からマクロ系の挙動を得ようとするボトムアップアプローチを考えた際、このモデルでは、消費者行動に特徴的な顧客の計画的な行動を表現することなどができず、ゆえに知的エージェントを構成する人工社会アプローチに期待がかかることになった。

以降、著者らがASSA(Agent Simulation of Shopping-Around)プロジェクト[兼田 08, Yoshida 07]と称して設計・開発した回遊行動する来訪者エージェントについて、モデリングの際の基礎となる知見に焦点を当てて解説を行う。

2. 認知科学における機会主義的行動プランのモデル

まず、人工知能研究の学究諸兄姉にとっての古典から始めたい。認知科学者 [Hayes-Roth 79, Hayes-Roth 80] は、商業集積地区において複数の用事を足す際に個人が考案する行動プランは、目的から手段を導出するプロセスで作成されるわけではなく、むしろ多分に機会主義的 (opportunistic) に作成されるとして、機会主義的行動プランのモデルを提案した。

これは、地区の絵地図 (図2上)、必須の一つの用事 (映画)、10項目の足すべき用事リスト (獣医、家電店、アパート探し、レストラン、犬のおもちゃ、時計修理、本屋、八百屋、雑誌スタンド、花屋)、行動開始時刻・場所、行動終了時刻・場所が被験者に与えられ、行動プランづくりの過程における発話プロトコル ('thinking-aloud' protocol) を採取、考案した行動プラン (図2下) とともに分析したものである。地区で行動できる時間に制約があるため、すべての用事をこなすことはできず、その取捨選択や優先順位は、被験者のロールプレイに委ねら

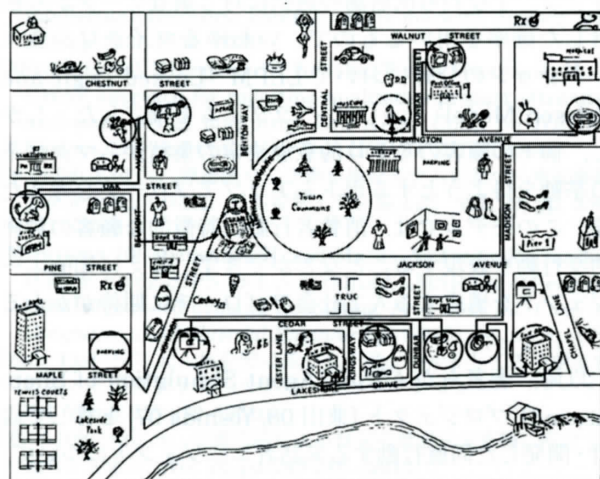
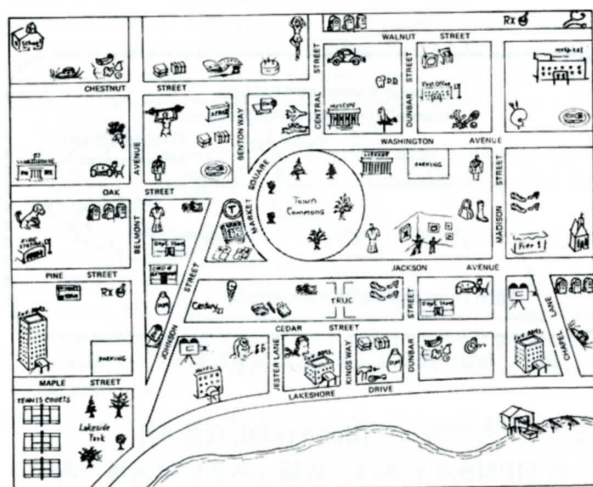


図2 (上) [Hayes-Roth 79] による実験における地区マップ、(下) 被験者が描いた行動プラン

れている。

47に分節化された発話プロトコルの分析から得られた人間のプランづくりの特徴として、(1) プランの考案過程には抽象性の操作を含むこと、(2) 距離的近さなどで用事を結び付けたボトムアップによりサブプランを作成するが、その全体整合性にはあまり頓着しないこと、(3) これらの思考は多方向に行われること、を彼らは指摘し、これを合理的階層計画モデルと対比して機会主義的計画モデルと称した。また、これは Hearsay II を一般化した黑板モデル (blackboard model) と称するシステムで実装できるとし、INTERLISP を用いてのコンピュータシミュレーションの結果も示している。

3. 名古屋市大須地区回遊行動の実態調査

さて、著者の研究室では、小規模小売店舗の集積した名古屋市大須地区を対象として、これまで1998年、2003年 [大岩 05]、2008年 [竹内 11]、2013年 [小林 15] と4回にわたって回遊行動調査を実施してきた。

これは秋の休日の午後、通行量調査よりあらかじめ決定した複数の地点において、地区来訪者に対して調査票を配布し、回答者に帰宅時に地区内の行動諸項目を書き込んでもらい、着払郵便で送り返してもらうアンケート調査である。

回答項目として、回答者の性別・年齢・居住地・来訪頻度などといった属性のほか、地区内における歩行経路、立ち寄った施設 (以下、単純に店舗) ならびに地区到着以前に立寄りを予定していた店舗を記入してもらう点に大きな特徴がある。

特に後者の予定立寄り店舗は、地区来訪者の意図性を分析するうえで重要なデータであり、機会主義的プランニングならびに後述する即応的・即興的な地区内空間行動を再現する知的エージェントモデルを構成するうえで欠かすことができない。

昨今、画像処理やGPSほか信号処理を用いたデータセンシング技術が進展する中、主に後者のエージェントの意図性を把握するうえでアンケート調査は当分欠かすことができないと考えている。

次に、著者の研究室が回遊行動の定点観測を行っている名古屋市大須地区について説明しておきたい。この大須地区は名古屋都心にほど近く、北に若宮大通、東に大津通、南に大須通、西に伏見通に隣接する約30haの面積を有する (図1)。

地区の骨格をなす九つの通り (おのおの振興組合を構成している) は、おのおの衣料品、飲食・食料品、雑貨・家具、中古品・複合施設、電化関連など合わせて565店舗 (2008年) を占める (便宜上、寺社を店舗と称する)。ただし、総店舗面積1000m²以上の大型店は11店舗に過ぎない。おのおのが特色ある通りを形成し、地区としての店種の多様性と地区内における店種の棲分けが生じ



図3 2008年名古屋市大須地区の主要9通り沿道における店舗(施設)種構成のマップ[竹内 11]

ている。各時代における顧客のニーズの変化や地区を取り巻く商業環境(特に都心の商業施設立地)の変化に適應して、今日まで「賑わい」を保っている。例えば、図3にも示したとおり、この地区では駐車場の増設により、

表1 2008年名古屋市大須地区回遊行動調査における(上)回答者の属性別構成ならびに地区滞在時間・歩行距離・立寄り施設(店舗)数の平均値(**5%有意差,*10%有意差), (下)回答者の属性別・主要店種別一人当たり立寄り回数[竹内 11]

	N(人)	割合(%)	平均滞在時間 (分)	平均歩行距離 (km)	平均立寄り 施設数(ヶ所)
2008年 全体	607	100.0	167	1.46	4.47
性別					
男性	249	41.6	162	1.40	4.27
女性	349	58.4	170	1.51	4.63
年齢層					
29歳以下	120	19.8	188	1.54	4.61
30~49歳	263	43.4	172	1.48	4.81
50歳以上	223	36.8	148	1.39	3.98
住所					
名古屋市内	354	59.0	155	1.42	4.30
愛知県内	170	28.3	186	1.52	4.57
愛知県外	76	12.7	169	1.61	5.10
同伴者数					
なし	167	27.9	136	1.28	3.88
1人	296	49.4	173	1.57	4.79
2人以上	136	22.7	186	1.45	4.50
同伴者種					
友達	105	18.0	205	1.59	5.12
家族・親類	173	29.7	174	1.45	4.68
夫婦・恋人	138	23.7	152	1.60	4.59
同伴者無し	167	28.6	136	1.28	3.88
交通手段					
地下鉄・バス	333	55.4	182	1.46	4.71
車	158	26.3	156	1.50	4.58
徒歩・自転車	99	16.5	134	1.36	3.54
その他	11	1.8	176	1.56	5.10
来訪頻度					
週1回以上	115	19.3	173	1.27	3.76
月1~3回	187	31.4	159	1.45	4.68
年に数回	199	33.4	172	1.51	4.91
初回・その他	95	15.9	166	1.59	4.12

	N(人)	飲食・食料品	雑貨・家具	電化関連	衣料品	寺社・公園	中古品・複合商業施設
2008年	565	① 1.79	③ 0.64	0.30	② 0.85	0.45	③ 0.65
性別							
男性	228	① 1.26	③ 0.63	0.54	0.47	0.47	② 0.84
女性	328	① 2.18	③ 0.64	0.13	① 1.13	0.42	② 0.50
年齢層							
29歳以下	112	① 2.21	③ 0.76	0.35	② 1.29	0.23	0.59
30~49歳	252	① 2.02	③ 0.78	0.32	② 0.92	0.38	0.67
50歳以上	200	① 1.27	0.40	0.26	0.52	③ 0.64	② 0.66
同伴者数							
なし	156	① 1.03	③ 0.54	0.45	0.52	0.42	② 0.86
1人	276	① 2.04	③ 0.73	0.22	② 0.97	0.46	0.57
2人以上	125	① 2.22	③ 0.58	0.26	② 0.99	0.45	0.54
同伴者種							
友達	99	① 2.48	③ 0.86	0.29	② 1.27	0.43	0.43
家族	161	① 2.11	③ 0.62	0.23	② 0.91	0.48	0.61
夫婦・恋人	128	① 1.84	0.63	0.22	② 0.88	0.44	③ 0.64
交通手段							
地下鉄・バス	309	① 2.01	③ 0.64	0.30	② 1.00	0.50	0.59
自動車	145	① 1.96	0.60	0.32	② 0.93	0.40	③ 0.77
徒歩・自転車	95	① 0.99	② 0.67	0.28	0.33	0.24	③ 0.54

家族層やカップルなどの客層の呼び込みを果たしている。

回遊行動調査の例として、2008年調査[竹内 11]の結果概要を一部示す(表1)。回答者の分析結果を見ると、2000年代にはパソコン購買者の男性優位のまちから女性や家族・カップル層を取り込んだ飲食中心のまちに変貌を遂げている。回答者の居住地を見ると4割が市外、来訪頻度にも週1回以上から数年に1回といった幅広い来訪者層を惹きつけている。地区の滞在時間は平均値で167分、歩行距離は1.46 km、立寄り店舗数は4.47か所であり、予定立寄りと非予定立寄りの比はほぼ半々である。

4. 歩行経路長の冗長性解析

予定立寄り店舗の記された回遊行動データがあるならば、歩行経路長について冗長性の解析を行うことができる。最初に図4を用いてこの冗長性解析[荒川 02]について説明したい。

L_0 を回答者が実際に歩行した経路の長さとする。これに対し、 L_1 を実際に立ち寄った順にすべての店舗を結ぶ最短経路の長さとする。また、 L_2 を予定立寄り店舗のみをすべて順に結んだ最短経路の長さとする。さらに、 L_3 をすべての予定立寄り店舗の最短経路の長さとする(最短長はダイクストラ法で求解)。 L_0/L_1 を第一レベル、 L_1/L_2 を第二レベル、 L_2/L_3 を第三レベルの指標(いずれもパーセント表記)とすると、来訪者の歩行経路長は、表層・中層・深層の三つの冗長性指標の積に分解することができる。

以降、2008年調査結果を事例として、指標のおおの性格を説明しよう[吉田 09]。第一レベル指標 α_1 は、店舗間の移動に関する100%(最短経路)から2割増以上の「回り道」まで分布するが、来訪頻度のみと負の連関(5%有意差)が認められるものの、その他の属性と

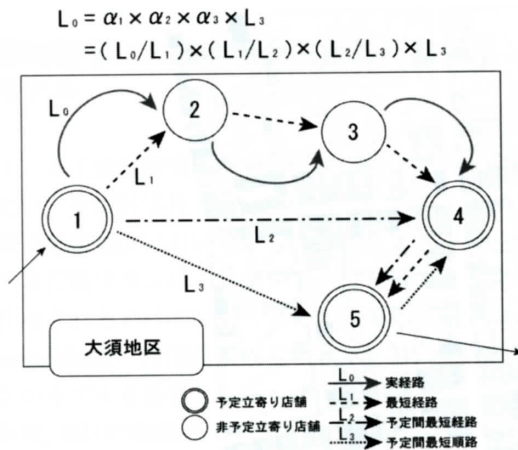


図4 歩行経路長の冗長性指標の説明図 [荒川 02]

の関連は認められない。第一レベル指標は、「メンタルマップの粗さ」が関与していると考えられる (図5)。

第二レベル指標 α_2 は、立寄り予定店舗間を移動する経路に沿って非予定立寄りが生じたと解釈できる 100% から 3 割増超まで分布する。性別では女性、非予定立寄り店舗数・滞在時間・同伴者数とは正の連関 (1% 有意差)、来訪頻度では負の連関 (5% 有意差) が認められる。非予定立寄りには、用事を足せなかった際の「代替店舗への来訪」といった受動的な即応行動と、付近の店舗までついでに「足を伸ばす」能動的な即興行動が混在していると考えられるが、女性を中心に主に後者の行動が表れていると考えられる (図6)。

第三レベル指標 α_3 も、100% (最短順路) から 3 割超まで分布するが、来訪頻度と正の連関が認められる (図7)。最短順路との乖離は、個々の予定店舗立寄りの際、「立寄り時刻の制約」が存在するためと解釈することができる。

このように、行動調査データも、立寄り店舗の意図性のデータと突き合わせて分析することにより、階層性を有するいくつかの意図的行動に分解することができる。また、属性データと突き合わせることで、店舗集積地区における来訪者達の空間行動の多様性を把握することが可能になる。即応性ないし即興性 (双方とも improvisation) が地区内空間行動で見られる顕著な特徴である。これらは行動科学的な知見と呼んでも良いだろう。おのおののレベル指標は、これらを考える際に有力な手掛かりとなる。また、これらの実地区を想定したシミュレーションにおいては、その妥当性評価指標として、これら三つのレベル指標を用いている [Yoshida 11]。

著者らが ASSA プロジェクトにおいて来訪者エージェントをモデリングした際には、回遊行動を、(1) 計画行動 (行動プランに沿った空間行動)、(2) 代替行動 (用事達成に失敗した際にとる「代替店舗への来訪」といった受動的な即応行動) [Yoshida 07]、(3) 随時立寄り (能動的に「足をのばす」即興行動) [Yoshida 08]、(4) 迂回歩行 (歩行経路に関する主観的な選好ないし効用) [Yoshida 09]、に分解して実装を行った。

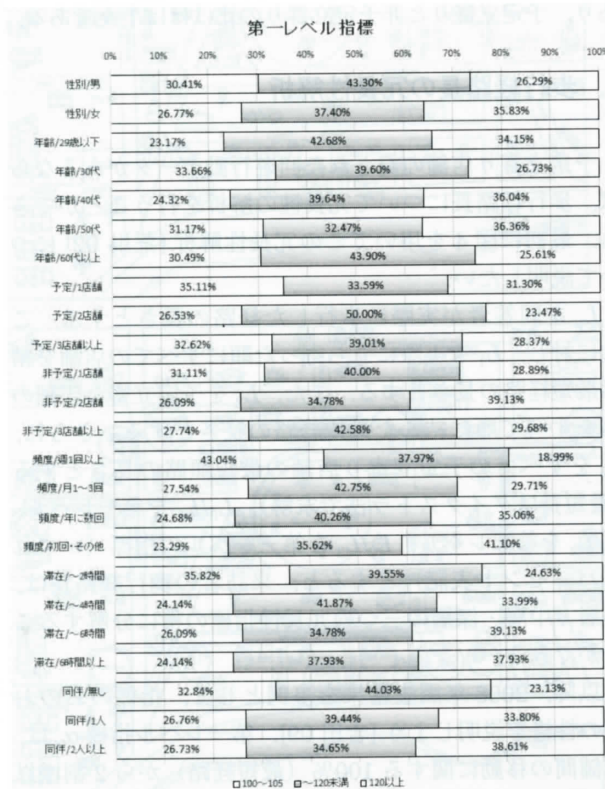


図5 歩行経路長の第一レベル指標値の属性別構成 (2008年名古屋市大須地区回遊行動調査) [吉田 09]

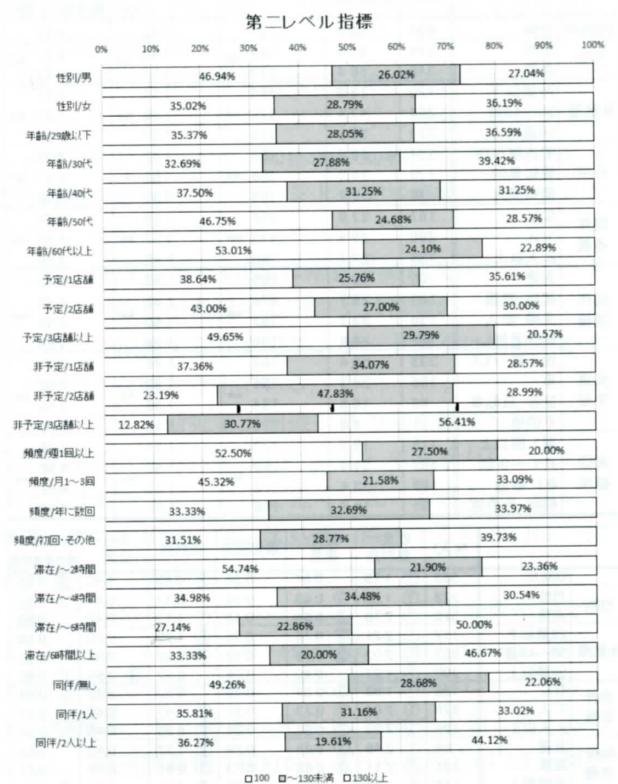


図6 歩行経路長の第二レベル指標値の属性別構成 (2008年名古屋市大須地区回遊行動調査) [吉田 09]

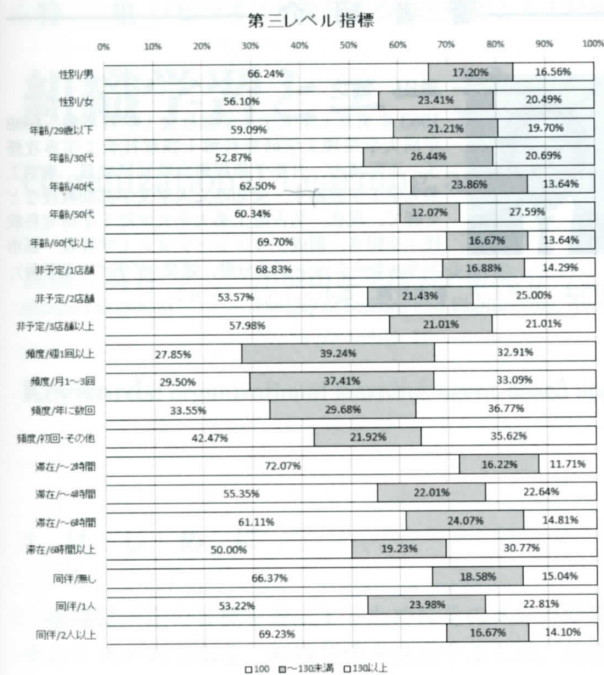


図7 歩行経路長の第三レベル指標値の属性別構成
(2008年名古屋市大須地区回遊行動調査) [吉田 09]

5. 結 語

以上、ASSAプロジェクトで採用した知的エージェントをモデリングする際に検討した基礎原理を中心に解説を加えてきた。結語の代わりとしてここで著者らが現在取り組んでいるダウナウダイナミクス (Downtown Dynamics: DDy) について言及したい [兼田 15]。DDyは、記述の人工社会型商業モデルを動学化する企てで、かつ、かつて Jane Jacobs [Jacobs 61] が店舗集積地区の盛衰を規定する都市多様性 (city diversity) 生成条件の四つの命題 (複数の主要用途の混在、小さな街区ブロック、新旧の建物の混在、人口密度) の成立条件を、エージェントシミュレーションを通じて探ることが目的である。

DDyにおけるASSAからの改良点を以下の項目に示す。人工社会モデル構造について：

- 店舗エージェントの動的更新 (近視眼的合理性 (myopic rationality) による)

都市圏民エージェントが当該店舗集積地区を選択するまで：

- 外出意思決定に採用したごみ箱モデルの理論的性質の検討
- 来訪地区選択のためのロジットモデルにおける事前効用関数への用事数 (事前期待購買数) の導入
- 前回来訪時の実績に基づく事前効用関数の漸近的更新

地区内の回遊行動において：

- 地区内店舗立寄りの結果、用事達成の成否による店舗効用値の強化学習とバラエティシーキング

最後の項目にある店舗効用値の強化学習とバラエティシーキングについて、補足しておきたい。個々で扱う強化学習とは、店舗立寄りにおける用事達成が次の地区来訪時においてその店舗を選択しやすくなる現象で、モデルでは効用概念を導入することが多い。強化学習は、人工知能分野でも研究が盛んであり、また、社会学の基本概念 [Elster 89] としてあげられている人間行動の動的側面であり、ASSAにおいてもアドホックではあるが実装されていた。

一方、マーケティングサイエンス分野では、同じブランド (この文脈では店舗と解釈する) を連続して選択するうちに飽きがきて、他を求めるようになる現象をバラエティシーキングと称している [Bawa 90]。これは系統効用値に乘じるもので、連続購買回数のたかだか二次関数の形状をとる。傾きが正の一次関数の場合には慣性傾向として強化学習と同様に作用するが、負の二次関数の場合、最大値における回数を境に減少関数となって「飽き」を表現する。データとの突合せを通じた適切なモデル選択が望まれる。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [荒川 02] 荒川雅哉, 兼田敏之: 名古屋都心域における回遊行動の冗長性に関する分析, 日本建築学会計画系論文集, No. 556, pp. 227-233 (2002)
- [Bawa 90] Bawa, K.: Modeling inertia and variety seeking tendencies in brand choice behavior, *Marketing Science*, Vol. 9, No. 3 (Summer, 1990)
- [Borgers 86] Borgers, A. and Timmermans, H.: A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas, *Geographical Analysis*, Vol. 18, No. 2, pp. 115-128 (1986)
- [Elster 89] Elster, J.: *Nuts and Bolts for the Social Sciences*, Cambridge (1989)
- [Hayes-Roth 79] Hayes-Roth, B. and Hayes-Roth, F.: A cognitive model of planning, *Cognitive Science*, Vol. 3, No. 4, pp. 275-310 (1979)
- [Hayes-Roth 80] Hayes-Roth, B., et al.: *Human Planning Processes*, No. Rand/R-2670-Onr., Rand Corp Santa Monica Ca (1980)
- [石川 88] 石川義孝: 空間的相互作用モデル, 地人書房 (1988)
- [Jacobs 61] Jacobs, J.: *The Death and Life of Great American Cities*, Vintage Books (1961)
- [兼田 08] 兼田敏之, 吉田琢美: 歩行者回遊行動のエージェントモデリング, オペレーションズ・リサーチ, 2008年12月号, pp. 672-677 (2008)
- [兼田 15] 兼田敏之: 人工社会アプローチによるダウンタウン・ダイナミクス・モデル, 第2回 Sig-Bi 研究会梗概集 (2015)
- [大岩 05] 大岩優佳理, 山田哲也, 三阪朋彦, 兼田敏之: 回遊行動からみた商店街複合地区の動態分析—名古屋市中須地区をケーススタディとして—, 日本建築学会技報, 第22号, pp. 469-474 (2005)
- [小林 15] 小林年幸, 原崎雅也, 兼田敏之: 回遊行動からみた商店街複合地区のテナントの動態要因の分析—2013年名古屋市中須地区を事例として—, 日本建築学会技報 (受理済) (2015)
- [斎藤 84] 斎藤参郎: 消費者の商業地間回遊を考慮した非集計多段階ハフモデルの構築, 計画行政, Vol. 13, pp. 73-82 (1984)
- [竹内 11] 竹内昌史, 吉田琢美, 兼田敏之: 回遊行動からみた商店街複合地区の動態分析, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 76, No. 660, pp. 361-368 (2011)
- [谷村 92] 谷村秀彦: 空間的相互作用モデル, 日本建築学会編『建築・都市計画のためのモデル分析の手法』, pp. 111-121, 井上書院

(1992)

[Wilson 67] Wilson, A.G.: A statistical theory of spatial distribution models, *Transportation Research*, Vol. 1, pp. 253-269 (1967)

[Yoshida 07] Yoshida, T. and Kaneda, T.: An architecture and development framework for pedestrians' shop-around behavior model inside commercial district by using agent-based approach, *14th Int. Conf. on Computers in Urban Planning and Urban Management* (2007)

[Yoshida 08] Yoshida, T. and Kaneda, T.: Improvement of pedestrian shop-around behavior agent model, *Proc. 9th Int. Conf. on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning Paper*, Vol. 15 (2008)

[吉田 09] 吉田麻里: 商店街複合地区における来訪者の回遊行動に関する特徴分析—平成 20 年名古屋市大須地区調査を事例として—, 名古屋工業大学修士論文 (2009)

[Yoshida 11] Yoshida, T. and Kaneda, T.: ASSA: An intelligent agent-simulation for shop-around behavior, Focusing on its performance evaluation, *12th Int. Conf. on Computers in Urban Planning and Urban Management* (2011)

2015 年 4 月 30 日 受理

著者紹介



兼田 敏之

1983 年東京工業大学工学部社会工学科卒業, 1988 年同大学院理工学研究科博士課程社会学専攻修了, 工学博士. 日本学術振興会特別研究員, 東京工業大学工学部助手, 愛知県立大学文学部助教授などを経て, 現在, 名古屋工業大学大学院工学研究科教授 (主担当, 創成シミュレーション工学専攻・都市シミュレーション工学分野, 建築・デザイン工学科).

専門は, 社会学, 都市計画, 都市シミュレーション.