

# 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

## Downtown Dynamics Model by Artificial Society Approach

兼田 敏之<sup>1</sup>

Toshiyuki KANEDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋工業大学工学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

**Abstract:** Downtown Dynamics, Artificial Society, Jane Jacobs, City Diversity Generator, Constructive Approach.

### 1. モデル分析から「賑わい場」を考える——本稿の背景と目的

商業地区における「賑わい場(downtown)」の再生は、とくに先進国において重要な政策となっている。オンラインショッピングの時代である 21 世紀においても、物品に触れ、サービスを体験し、新たなことを探索する「賑わい場」としての downtown は、都市圏において存在すべきものである。downtown の盛衰のメカニズムは Jane Jacobs 以来半世紀以上も議論されてきたが、計量化を意識したモデル分析に及んだ研究は数多くなかった。

Downtown の盛衰の源泉は多様性にあり。これは Jane Jacobs が都市多様性生成仮説をすでに 50 年代に言及していたものであった。筆者が Jane Jacobs の言説から着目するのは、都市空間で活動する多種多様な経済主体間にある（であろう）数多くの正負の

外部性（externality, 外部効果）である。

筆者は、多様な小規模店舗集積の変遷により「賑わい場」を維持する名古屋市大須地区における、顧客・店舗双方の 15 年間にわたる実態の知見を踏まえて、多様な意思決定主体が動的に相互作用するボトムアップによる「賑わい場」についての人工社会系を設計し、シミュレーションを通じて含意を検討する。この人工社会アプローチは KISS 原理から逸脱するものの、本研究のアイデアのコアであり、挑戦的な試みである。

本研究では、「賑わい場」の形成とその持続可能性に関する知見を探ることを目的として、多種の顧客エージェントと多種の店舗エージェントが相互作用する人工社会系として表現するダウンタウン・ダイナミクス・モデル（以下、DDy）を新たに提案する。各々のエージェント間には、市場取引に伴って正負の外部性が生じる。人工社会アプローチは、これら

表 1 Jacobs のテキストにおける都市多様性条件と本研究における暫定的表現

都市多様性条件	テキスト中の記述	Downtown Dynamics Model における暫定的表現
(1) 混合一次用途 (Two or More) Mixed Primary Use	<ul style="list-style-type: none"><li>「うまくいっている街路では、人々は異なる時間帯で顔を出す」(p.176)</li><li>「時間帯の散開を無視するならば、多様性を生み出す潜在力を失うことになる」(p.185)</li><li>「一次用途をうまく組み合わせて、それが人々を別の時間帯に街路に来させるようであれば、その効果は経済的な刺激をもたらす」(p.187)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・予定立寄りの多い店舗を主用途とみなし、異なる店舗数を配置する。</li></ul>
(2) 小さな街区 (Not Too Large) Small Blocks	<ul style="list-style-type: none"><li>「長い街路はその本質からして、都市が企業育成や実験や、多くの小さい特殊事務所のために提供する潜在的な長所を阻害してしまう」[長い街区によって近隣は孤立し、都市の多様性を支えるのに必要な流動的街路利用の複雑なプールを形成することができなくなる」(p.209)</li><li>「街路に面した部分を他と不釣り合いほど大きく占有しているものは、すべて街路の統合をくずして荒涼とさせてしまう。また、まったく同じ種類の用途であっても、小規模であればかえって資産となる。」(p.264)</li><li>「多様性を生み出すには都市街区に細かく街路が入ることが必要」(p.246)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ SOS(Shop on the Street)表現においては、同一の店舗ノードの下で、異なる街区規模を構成する。</li></ul>
(3) 古い建物 (Mix of old and New) Aged Buildings	<ul style="list-style-type: none"><li>「都市に新しい建物しかなかったら、そこに存在できる事業所はおのずと新築の高い費用を負担できるところに限られてしまう」(p.214)</li><li>「大都市の沿道で最も見事で楽しい景観は、古い地区を巧妙に新しい用途に適合させた部分だ」(p.222)</li><li>「一次多様性のよき混合を導入する必要がある地域は、古い建物にかなり依存しなければならない」(p.223)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 店舗エージェントにおける店舗ノード毎の賃料にバラッキをもたせて表現する。 (・場所に固有な効用を与える)</li></ul>
(4) 密集 (Density over the Threshold the Diversity generetes) Concentration	<ul style="list-style-type: none"><li>「業務や娯楽などは、密集に有効な貢献をするのであれば、市街地を高度利用しなければなりません。」(p.241)</li><li>「各住戸が規格化されることなく、「十分な住戸数(それぞれ十分な人々が住んでいれば多様性は生み出される)」(p.236)</li><li>「利便性を生み出すのは密集」(p.228)</li><li>密度を徐々にでも連続的に上げるというプロセスそのものが、規格化なしで高い密度を可能にする。(p.245)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 多様性を増加させるしきい値の来訪者数を発生させる。その際、時間帯別に異なる客層の来訪を設定する。</li></ul>

の外部性の複合に着目したエージェントモデルとその相互作用系をモデル化し、シミュレーションを用いての構成的手法により賑わい場の形成・持続可能性・衰退に関する含意を探ろうとするものである。

## 2. リサーチ・クエスチョン——ダウンタウン・ダイナミクス研究プログラムが目指すもの

本研究では、商業活動の文脈でいう外部性を、市場取引に伴いその副次的効果が市場に経由せず取引当事者以外の第三者に及ぶことと限定する。外部性が市場取引の帰結である以上、集計可能なメソミクロ以上のスケールから基礎づけを行えば十分であろう。

また、DDy では、とくに地区内の店種間の外部性について注目する。時間軸に規定されない静学的外部性のみならず、時間的发展を考慮した動学的外部性についても言及したい。

ここで、Jacobs が挙げた都市多様性の4条件についてその出典と本研究におけるモデルでの扱いを整理して、表1に示す。

なお、本研究で焦点を当てる商業地区は、すべての店舗について(1)同一店種の規模が等しく(小規模・同一性)、(2)各店種は各一種類の用事しか扱わない(非複合性)、いわゆる小規模店舗集積地区として特徴づける。これらは Jane Jacobs 仮説における downtown の条件を特徴づけている。

より操作的に、リサーチ・クエスチョンを述べるならば、Downtown において Jacobs が示した都市多様性の4つの条件がモデル上で「無理なく」実証されることは可能か？ また、どのような性格を有する系においてそれが可能か？ もし可能ならば、鍵をなす要素要因を探る研究プログラムを本稿では提示したい。

## 3. 外部性の形式化——商業地区の集積と特化をエージェント間相互作用から基礎づける

### 3.1 商業地区における外部性の形式化

本研究で言う商業地区モデルとは、前述のとおり小規模店舗複合地区を想定したもので、(仮定1)同一店種の規模が等しい(店舗規模とその変化を扱わない)；(仮定2)一つの店舗(店種)は複数の用事を扱うことがなく、ゆえにある店種が別の店種を包

一般的に、 $Ag_t$  をエージェントの集合として、エージェント  $s$  と  $t$  が金銭的取引を行なった際に、エージェント  $r(s, t, r \in Ag_t)$  に及ぶ外部性が実数値効用で表現されるとして、 $u_{ex} : Ag_t \times (Ag_t \times Ag_t) \rightarrow \mathbb{R} \dots (1)$   
 $u_{ex}(r; s, t)$  を外部性要素効用関数と呼ぶ。

例えば、店種間の外部性を扱う場合、  
 $Ag_t = Cus \cup Ten$  s.t.  $Cus \cap Ten = \emptyset$ 、  
 $Cus$ : 都市圏における顧客エージェントの集合、  
 $Ten$ : 都市圏における店舗エージェントの集合とし、  
 $X, Y$  をそれぞれ店種  $X, Y$  の店舗エージェント  $x, y$  による集合 ( $x \in X, y \in Y, X, Y$  は  $Ten$  の分割の元) としよう。  
顧客  $a$  が店種  $X$  の店舗  $x$  との取引した際に、店種  $Y$  の店舗  $y$  に対する外部性が実数値効用表現される。  
この効用値が加算可能と仮定すると、店種  $X$  が店種  $Y$  に与える外部性の集計は式(2)のとおり可能である。  
 $u_{ex}(X, Y) = \sum_{a \in Cus} \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} u_{ex}(a; x, y) \dots (2)$

含することがない(複合化を扱わない)、という前提を置くこととする。

$t$  時点における地区  $i$  において、顧客  $a$  が店種  $X$  の店舗  $x$  と取引した際の店種  $Y$  の店舗  $y$  への外部効果を下記の実数値効用関数で与えられるとすると、本頁右上段の囲みにあるように、外部性要素効用関数が定義される。ここで、この効用が加算可能であるならば、 $t$  時点・地区  $i$  における店舗  $X, Y$  間の外部性を集計することができる。中途式を構成する変数の値が時間によって変化するならば、動学的外部性を表現することができる。

### 3.2 店種間の外部性がもたらす商業の集積と特化の類型

店種間外部性が短期的に一定とした際の、商業地区の店種構成の集積を思考実験から類型化する(表2)。まず、(a)地区内の店種間の外部性がすべて正、(b)店種間の外部性に正負が混在、(c)店種間の外部性がすべて負、の三つのケースを考える。さらに、その各々が競合地区に対して集客魅力が優る場合を考える。その際、集客魅力とは同一店種の集積や多様性によると考えられる。競合地区に劣る場合は、衰

表2 店種間の外部性がもたらす集積の類型

地区内における店種間の外部性	競合地区に対して当該地区の魅力(規模・多様性)が優位な場合	競合地区に対して当該地区の魅力(規模・多様性)が劣位な場合
(a)すべてで正の場合	内部で棲み分けのない全体として多様な集積	衰退
(b)正負が混在する場合	内部で棲み分けのある全体として多様な集積	
(c)すべてで負の場合	特定の店種に特化した全体集積(多様性がない)	

(条件1) 地区における二者間取引は、同地区の第三者の店舗に外部性を及ぼさない。  
 $u_{ext}(w; x, a) = 0$  for all  $r, x, a \in Dist_i, x, w \in Ten, a \in Cus$ , ( $Dist_i$ はAgtの分割元)  
 — 条件1の緩和: 地区内他店舗に及ぼす外部性(立寄り誘発効果)を認める。

(条件2) 地区における二者間取引は、同地区にいる第三者の顧客に外部性を及ぼさない。  
 $u_{ext}(b; x, a) = 0$  for all  $r, x, a \in Dist_i, x \in Ten, a, b \in Cus$   
 — 条件2の緩和: 地区内他顧客に及ぼす外部性(行列効果)を認める。

(条件3) 顧客間で生じる第三者への外部性は存在しないものとする。  
 $u_{ext}(a; b, c) = 0$  for all  $a, b, c \in Cus$   
 — 条件3の緩和: 他顧客に及ぼす外部性(くちコミ効果)を認める。

(条件4) 店舗間の外部性は、顧客の選択行動が介在するため、一定の値で与えることができない。  
 $u_{ext}(w; x, y) \neq const$  for some  $w, y, z \in Ten$

退に向かう。

(a)のケースでは、内部に店種の棲み分けのない、全体として多様な集積が形成されると考えられる。(b)のケースでは、内部に店種の棲み分けがある、全体として多様な集積が形成される。(c)のケースでは、いずれか一つの店種に特化した全体集積が形成される。このケースでは多様性はない。

正負の外部性が混在する(b)のケースは、その構成要素のいわば生態系で複雑な様相を呈するのに想像が難くない。また、競合地区に対する優劣を規定する集客魅力は単に規模のみならず、多様性もまた要因となりうるため、その性質の詳しい探求のためには、対象の特徴を捉えたモデリングが必要になる。

このように、外部性の形式化から、商業地区の集積と多様化の形成をある程度類型化できる。しかしながら実際の「賑わい場」再生を論じるには、新たに操作的モデルを必要とする。

### 3.3 外部性と間接外部性を巡る条件設定

前述したとおり、外部性の導入にはほんらい集計概念としての市場を必要とする。しかし、エージェントアプローチでは、市場のマイクロ分解とも呼ぶべき個対個の経済(金銭)取引によって、外部性を基礎づけることができる。

ここで、DDyの基本モデルを設計するにあたり、この系が多数の顧客エージェントと多数の店舗エージェントから構成され、地区内において個々の顧客-店舗間の(金銭的)取引が行われるとする。次に、単純に2つの条件を課す。

「条件1」は、ある地区内における顧客-店舗間取引は、同地区の第三者の店舗に外部性を及ぼさない。

「条件2」は、ある地区内における顧客-店舗間取引は、同地区の第三者の顧客に外部性を及ぼさない。

条件1の緩和は、取引顧客が地区内の第三

者の店舗にさらに立寄りを行うと解釈することができるため、ここでは「立寄り誘発効果」と称する。

条件2の緩和は、第三者の顧客が地区内の取引の多寡の情報を得て取引店舗への立寄りを行うと解釈することができるため、ここでは「行列(バンドワゴン)効果」を称する。

この2つの条件の緩和は、本研究で中心的に扱うべき「回遊行動」や「賑わい形成」に関連している。ただし、モデル上でこれらの条件緩和を表現すべきかについては、課題が残されている。

ここで、二者のエージェント間で金銭取引がない相互作用における、第三者エージェントへの正負の影響をここでは間接外部性と称することにする。まずは単純な条件設定として、以下の2つの条件に言及する。

「条件3」顧客間相互作用は第三者顧客に間接外部性を及ぼさない。これは、顧客どうしのロコミやパーソナルネットワークをまずは考慮しないことを

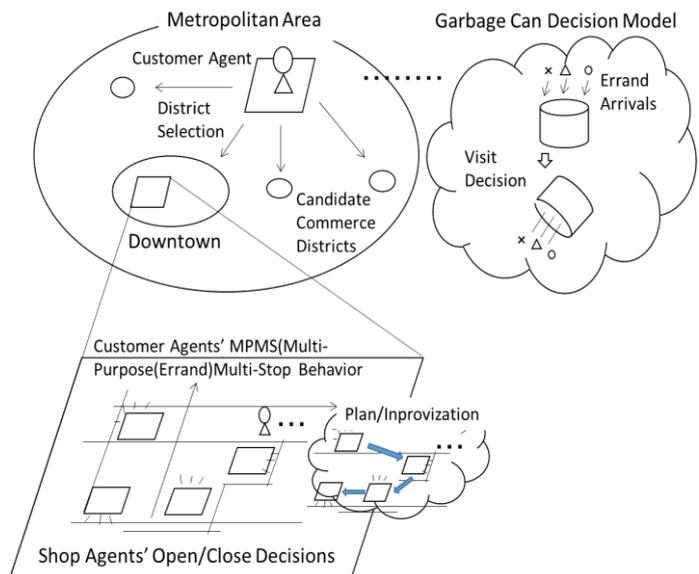


図1 DDyにおける寡極商圈系

- $V_i = \alpha \ln A_i - \beta T_i \dots (1)$
- $U_i = V_i + \varepsilon \dots (2)$
- $\varepsilon \sim Gumbel(0, \eta) \dots (3)$
- $q_i = \exp(V_i) / \sum_{j \in \{D_j\}} \exp(V_j) \dots (4)$
- 都心( $i = 0$ )の場合(用事達成・非予定購買・地区内時間費用を見込んだ期待効用値)、
  - (1)式の $A_i$ を、 $\tau_i \sum_{k \in \{X \cap D_0\}} u_k$ に置き換える。
  - また、 $T_i = S_i + C_i$ として、 $\beta$ を $\beta_S, \beta_C$ に分割。
  - ただし、前来訪時に地区内で用事不達成の場合はPenaltyを課す。
  - とくに、 $u_k = 1$  for all  $k$ のときは、 $\tau_i \cdot \#\{X \cap D_0\}$ として、
- $V_0 = \alpha \ln \tau_0 \#\{X \cap D_0\} - (\beta_S S_0 + \beta_C C_0) - (Penalty) \dots (1)'$
- 他地区( $i \neq 0$ )の場合(店種ごと一店を想定、用事達成確率のみを見込んだ期待効用値)
  - (1)式の $A_i$ を、 $\sum_{k \in \{X \cap D_i\}} p_k u_k$ に置き換える。
  - とくに、 $u_k = 1, p_k = p$  for all  $k$ のときは、 $p \cdot \#\{X \cap D_0\}$ として、
- $V_i = \alpha \ln p \#\{X \cap D_i\} - \beta_S C_i \dots (1)''$

意味しており、「くちコミ効果」として緩和することのできる条件である。

「条件4」二店の店舗間相互作用が第三者の店舗に及ぼす間接外部性は一定ではない。これは、二店の店舗間の相互作用は必ず顧客の行動選択により生じるものであり、その帰結としてのみ第三者の店舗に正負の影響が生じるもので、第三者店舗への間接外部性を考えることができないことを意味する(形式化をまとめて下段に示す)。

## 4. 商業地区選択を巡る人工社会系モデル

### 4.1 DDyにおける人工社会系の特徴

本研究で扱う Downtown Dynamics Model (以下、DDy) は、一つの都市圏に対し、比較的優位にある商業地区としての都心地区を対象とした ASSA のモ

デルを発展させたものである。ASSA の特徴である、(1) ごみ箱モデル、(2) 知的エージェントによる顧客行動モデルについては既報に詳細を譲り、最初に DDy の全体構造をなす「寡極商圈系(oligo-centric)」を説明したのち、商業地区選択モデルとして導入した地区事前効用関数、顧客の都心地区内行動について説明する。

### 4.2 寡極商圈系

既出の ASSA の都心地区の単極商圈系とは異なり、各々の顧客エージェントは、時間単位あたりに到着する多種の用事のうち、しきい値として与えられた種数以上の用事を持つ際に、商業地区来訪を意思決定する。その際、候補の地区は初期においては都心地区が最も有力(店種数が多い)であるものの、単一ないし複数の店種を有する複数の商業地区が存在している(図1)。

地区選択の際は、都心地区においては、地区事前効用関数により効用値 $V_0$ を算出、他地区は単純のた

表3 DDyにおける都心地区における各種の選択・決定の特徴

段階	決定項目	ASSA	DDy
都心地区における選択・決定	予定店舗選択	店舗効用値最大の店舗を選択	店舗効用値最大の店舗を選択
	計画/再計画	時間制約条件を扱う遺伝アルゴリズム	近距離の店舗順に結ぶ(クラスタリング法)
	用事の成否	確率(店種別)	確率(店種別)
	用事失敗時の再計画条件	(1) 代替立寄りの際、(2) 随時立寄りの際、	(1) 代替立寄りの際、
	(a) 代替店舗選択	確率 $1-\varepsilon$ で残り時間・距離の関数最大の店舗を選択。確率 $\varepsilon$ でランダムに店舗を選択。(ε-グリーディ)	Step1: 横(近傍)優先・予定経路前方探索。Step2: 店舗効用値次善の店舗を選択。
	(b) 衝動店舗立寄り	【決定時】次の用事までの残り時間・沿道効用(店舗効用値の平均値)から決定。【沿道での店舗選択】ε-グリーディ。	【SOS(Shop-On-the Streetの場合)】店舗通過あたり一定確率で決定
	(c) 衝動迂回	ボルツマン(T=1)によるソフトマックス(=ロジットモデル)	—

め店種数 $\#\{X \cap D_i\}$  (正の要因) と居住地から当該地区までの距離 $C_i$  (負の要因) から算出される効用値を持ち、近似的な意味で合理性モデルと解釈できるロジット・モデルを用いて確率的に選択を行う。

都心地区事前効用関数は、正の要因として (非予定購買を含んだ) 店種数 $\tau \cdot \#\{X \cap D_0\}$ 、負の要因として居住地から当該地区までの距離 $C_0$ ・都心地区内の歩行距離の事前予測値 $S_0$ を用いて効用値が算出される (本頁上段参照)。また、都心地区において予定用事の達成に失敗した際には次期の効用値に負値Penaltyが加えられる。

### 4.3 顧客エージェントの都心地区内行動

都心地区来訪時における予定立寄り店舗選択・計画/再計画・用事の成否・用事失敗時の再計画条件・代替店舗選択・衝動店舗立寄り等について、DDyのASSAとのメカニズムの詳細の違いについては、表3に示すとおりである。全体として、DDyにおける顧客エージェントの地区内行動アルゴリズムは、ASSA Ver.2を簡略化したものとして実装されている。

## 5. ダウンタウン・ダイナミクス・モデルにおける動学メカニズムの実装

### 5.1 顧客エージェントにおける店舗効用

- **p-neutral Reinforcer (Stroke)**
  - $u_i = p \cdot \lambda_i \cdot u$
  - In the case of the errand success,
    - $\lambda_i \leftarrow f(vt) \cdot \lambda_i \cdot (1 + \delta)^{\alpha(1-p)}, (\delta > 0)$
  - In the case of the errand failure,
    - $\lambda_i \leftarrow f(vt) \cdot \lambda_i \cdot (1 + \delta)^{-\alpha p}, (\delta > 0)$
- **Tau(Shop Visit Multiplier)-Smoother**
  - $\tau \leftarrow r \cdot (\#(\text{Bought})/\#(\text{PlannedVisit})) + (1 - r) \cdot \tau, (1 > r > 0)$
  - Considering Impulse Visit Effects

### の強化学習モデル

ASSA においても個々の顧客が店舗に立寄った際、用事の成否によって、店舗効用値を単純に加減していた。殆どが正值となる正規分布により増減分を算出して用いていた。しかしこの方法は用事成功確率 $p$ に依存するため、強化学習を調整しづらい欠点があった。そのため、DDyでは次に示す $p$ -中立的な強化学習ルールを考案して用いる。

なお、 $f(\cdot)$ はマーケティング・サイエンスで呼ばれるVariety Seeking関数の導関数、 $vt$ は連続用事成功回数である。Variety Seeking関数を導入したBowaは、これを高々二次関数として、慣性傾向 (例、正の一次関数)・バラエティーシーキング (飽き) (例、負の二次関数)・中立 (定数) を表した。ベースラインの軌跡を描く関数である。

### 5.2 都心地区事前効用関数の更新

都心地区への訪問が終了したのち、次の式を用いて、 $\tau$ の値に変更を加える。これにより、構成を変化させる都心地区における地区効用値を漸近的に表

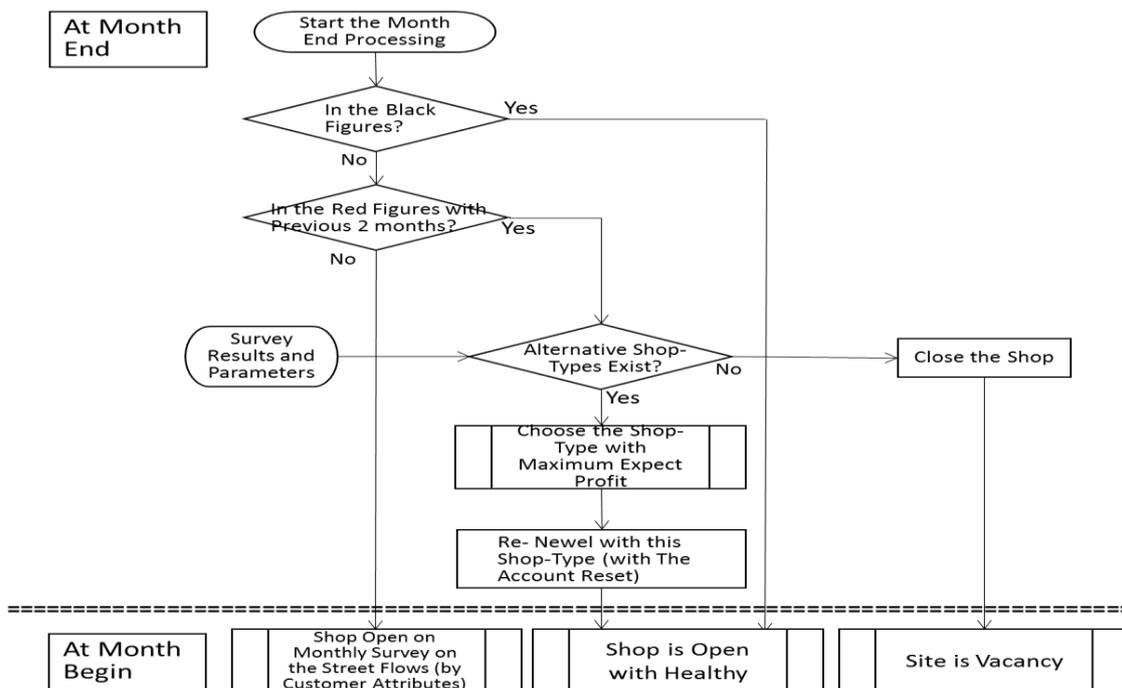


図2 店舗エージェントの店種の参入と退出

現することができる。

### 5.3 店舗エージェントの参入/退出

店舗エージェントのアルゴリズムを図2に説明する。店舗エージェントは、各月末に店舗種ごとに与えられたパラメータ（売上げあたり粗利益・固定費用・店舗賃料）に基づいて月間の損益の判定を行う。赤字が2カ月続くと閉店する。赤字の翌月には、その店舗ノードを通過した客数を計上し、店舗種ごとの売上予想値を算出する。その最大値の店舗種が黒字の場合、その店舗種が翌月の始めに新規店舗として開店する。黒字となる店舗がない場合は、その店舗ノードは空き店舗となる。

店舗前を通行する客層から売上予想値を算出するため、近視眼的な合理性モデル(myopic rational model)と解釈することができる。

## 6. 結語にかえて——人工社会アプローチが目指すもの

以上、「賑わい場」の生成と持続可能性を検討するために、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 DDy について概説した。とくに本稿では、店舗の集積や特化の基礎概念としての外部性の形式化、また、既存のシミュレータ ASSA

を動学化するために寡極商圈系ならびに顧客・店舗のエージェントの双方に加えた付加実装を中心に報告した。プロトタイプ DDyn が試作されている。

人工社会アプローチは構成的手法を含む。異なる構成下におけるシミュレーション結果を比較検討することにより、系が固有に有する特性を明らかにできると考えている。例えば、図3下段の顧客間相互作用は「条件3」の緩和「ロコミ効果」の導入、また、店舗間の「場所の力」は都市多様性条件・第三条件「古い建物」の再解釈の必要性を示唆するかもしれない。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 26282083, 25240048 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] Jacobs, J., (1961), The Death and life of great American Cities, Random House
- [2] Yoshida, T., & Kaneda, T., (2013), ASSA Project: An Intelligent Agent-Simulation for Shop-Around Behavior Evaluation, in Murata, T., Terano, T., & Takahashi, S. (Eds.), Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII, Tokyo:Springer, 199-214

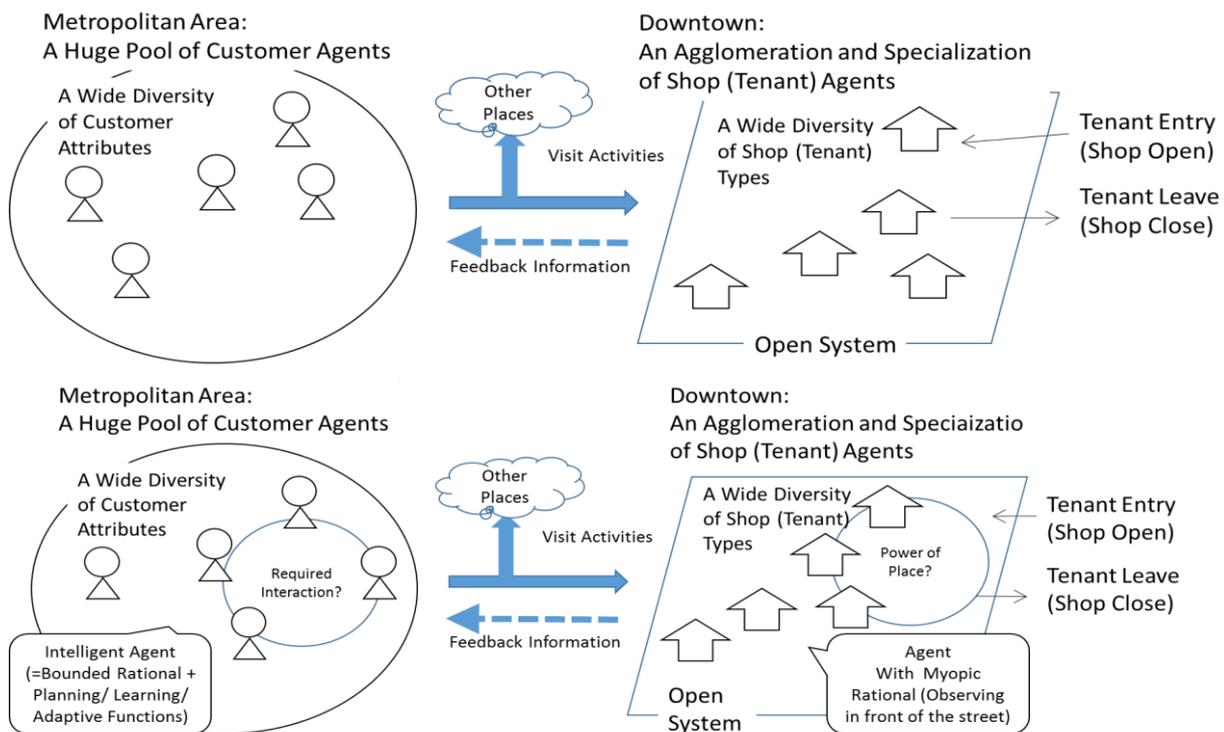


図3 構成的手法とケース設定