

# 集合知が意思決定に与える影響が生み出す 過学習型劣位均衡に関する研究

稲垣 和哉<sup>1</sup>・原 祐輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東北大学大学院博士課程後期 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail: inagaki.kazuya.q1@dc.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学大学院准教授 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail: hara@tohoku.ac.jp

本研究では、実際の商業空間における個人・店舗の行動を想定し、「情報の集約・提供」「個人の店舗の探索行動」「店舗の適合理化・差別化行動」という基本的な行動を考慮した、商業空間システムのエージェントモデルを構築した。具体的には、集合知として店舗ランキング情報を利用しながら、個人は探索・知識利用、店舗は適合理化・差別化を行い、その行動結果は店舗ランキングとして再び集約されるという、ミクロな相互作用を表現した。個人の構成が異なる3つの集団に対して数値実験を行い、商業空間システム全体のマクロな特性とその要因として集合知、個人、店舗の影響を明らかにした。結果として、提供される情報数が多いほど、集団の異質性が高いほど、個人の効用を満たしにくくなり、過学習型劣位均衡に陥る可能性があることが示唆された。

**Key Words:** *wisdom of crowds, search behavior, adaptation and differentiation strategy, agent-based model*

## 1. 序論

多種多様な Web サービスの展開、SNS を介した個人の自由な情報発信等により、集合知として大量の情報が蓄積され、より多くの情報に能動的にアクセスすることが出来るようになった。大量生産・大量消費社会のもと、マスメディアや企業広告等による一方向的な情報の流れが消費者を均一化させ、全体主義的な管理社会を生み出しているという批判<sup>1)2)</sup>を乗り越え、人々は自らの意思で消費活動を行っているように見える。

しかし、このような情報発信・収集ができる環境は、多くの場合無料のサービスによって成り立っている。サービスを提供する企業は、その対価として、ユーザーの行動データを収集し、類似商品の推薦やターゲット広告などのユーザーの将来の行動予測に活用し、私たちの意思決定において先回りして情報を提供し、未来を予測可能な範囲に囲い込み誘導している<sup>3)</sup>。

これらは情報空間における特有の問題ではなく、近年のスマートシティ政策などに代表されるように、都市空間にもその影響が及んでいる。都市内における人々の行動のリアルタイムなセンシングにより、人々の空間的な移動需要の予測と利便性の高い交通システムの構築・運営など、データに基づいた効率的な都市活動の制御が目指されている。カナダ・トロントの再開発プロジェクトにおいて、Alphabet 傘下の Sidewalk Labs がパートナーに選定され、具体的な計画が進められていたが、地元住民との合意形成が進まず、プロジェク

トは中止となった。一企業が都市開発とデータの収集・管理に大きく関与することについて、自身の生活が監視・管理され、知らない間に行動を誘導されてしまうのではないかという不信感が見て取れる。

このようなリスクを認識している、また指摘されているにも関わらず、普段の生活において集合知を便利なものとして利用し続けているのはなぜだろうか。以降、商業空間を構成する個人、店舗の行動原理に着目して整理していく。

個人の嗜好は多様である。本来は、自身の嗜好に合う店舗を見つけ、選択することを望むが、1) 事前情報なく、新たな店舗を探索する場合、満足の得られない店舗に出会うリスクがある、2) 情報収集する場合、限られた時間や労力の中で判断を下さなければならない。このようなリスク回避志向、限定合理性のもとでは、集合知の利用や集合知に基づく推薦・予測は魅力的な手段となる。実際、私たちは、自身が生み出したデータを元に形成された集合知にアクセスして得られた情報、あるいは集合知から推薦・予測された情報を行動の根拠や手がかりとしている。

店舗もデータに基づいたマーケティングを積極的に行い、市場のトレンドや口コミの調査、個人の移動履歴、購買データ等から将来の行動・需要を予測し、売れる見込みのある商品ラインナップの編成、アクセス性の高い場所への新規出店・移店を行う。一方で、人気やランキングなど集計的な評価値を基準に行動しない

店舗は、ある層の消費者の嗜好と合致し大きな成功を収める可能性もあるが、そのリスクの高さから、多くは失敗すると考えられる。例えば、ショッピングモールは入念な市場調査に基づき、立地場所の選定からテナントの誘致・施設内配置まで戦略的に行っている。施設の管理権限が強いため、特に郊外型のショッピングセンターでは、既成市街地内の商店街とは異なり、内部で依存関係を完結させることができる。継続的なデータ取得 (e.g. 購買データ、館内移動データ) 及びチェーン展開による情報共有など、強力な資本力や組織力を背景に、継続的な需要・売上予測から、最適なテナントミックスを実現しようとする。その結果、ニーズが一定見込め、安定的な利潤を生み出す定番のテナントを採用する傾向があると考えられる。

従来、商業空間は空間を計画する側と、個人の嗜好に基づいた創造的な使いこなしの双方によって創出されてきたと考えられる。本質的に異なった価値観と目的をもつ個人、店舗が相互に緩やかに依存し合うことで、商業空間のシステムとしての健全性及び短期的・長期的なダイナミクスが形成されていると考えられる。

しかし、情報技術の発展及び社会的な受容・実装が進んだ結果、効率性・予測性の向上をもとに、集合知を介した個人と店舗の双方が互いを参照し合うサイクルが新たに生じている。このように、相互参照の結果形成される商業空間は、検索エンジン・SNS を中心としたインターネットの一部分であり、実空間の計画と個人の使いこなしの双方によって創出されてきた商業空間の前提が変化している。

また、過度な効率性・予測性は、個人・店舗の選択におけるリスクを低下させるが、情報を集計的に扱うという集合知の特性ゆえに、個人・店舗の選択を平均的なものにしていくと考えられる。つまり、予測をすればするほど、集合知を介して個人と店舗の双方が互いを参照し合うほど、平均的には良い結果が得られるものの、個人と店舗の最適なマッチングが起こりにくく、本来あり得た最良な結果を得られていないという状況に陥っている可能性がある。本研究ではこのような状況を過学習型劣位均衡と呼ぶ。

以上をふまえて、本研究では、集合知を利用しながら個人及び店舗が意思決定を行い、その行動結果は集合知として再び集約されるという、単純な商業空間システムのモデルを構築し、1) 過学習型劣位均衡に陥ることがあるのかどうか、2) 過学習型劣位均衡に陥る場合、集合知・個人・店舗のどのような条件が影響しているのかを数値計算を用いて示す。

## 2. 既往研究と本研究の位置付け

集合知の形成およびその定義に係る既往研究を整理するとともに、集合知やシステムが個人の意思決定、店舗・商品の適合化・差別化行動、実空間における都市活動に与える影響を整理する。

### (1) 集合知の形成

Levy<sup>4)</sup> は集団的知性 (Collective Intelligence)、Surowiecki<sup>5)</sup> は、群衆の知恵 (Wisdom of Crowds) を提唱している。両者は共に Web 上の大量の情報をもとにつくりだされた知性である集合知という概念であるが、集団的知性は、「コミュニティ内で情報、知見、成果を共有し、それらを互いに修正・評価し合うことによって得られる共通理解としての知識」である一方で、群衆の知恵は、「多くの人々が互いの知識に影響されることなく個別に自らのデータを生み出し、その個別データを匿名で集計することで得られる知恵」として定義されており、情報の集約方法が異なっている。

普段の生活行動において、Web 上での商品、音楽、動画の推薦、店舗選択時における口コミ・レビューサイトの参照、目的地への移動方法の検索および移動時間の予測など、情報をうまく活用している。これらの情報は個人が意図的に提供するデータ (e.g. 口コミ・レビュー) 及び自動的に収集される活動データ (e.g. 検索履歴、購買履歴、移動履歴) が元になっており、一定のアルゴリズムのもとに加工・集約されたものが私たちに情報として提供されている。前者の個人の意図的なデータ提供は、私たちの社会生活において広くみられる現象である。Harrison et al.<sup>6)</sup> は、家族・友人など社会的関係性が強いほど利他的な行動を撮る傾向があることを示している。一方で、Dunbar<sup>7)</sup>、Granovetter<sup>8)</sup>、Eagle et al.<sup>9)</sup>、Arnaboldi et al.<sup>10)</sup> は、社会的関係性が弱くても、両者に共通する社会関係の少なさにより、多くの関係性を持つことで多様な情報を得られることを示している。これらは、知人レベルでの情報交換から匿名性の高いプラットフォームでの投稿まで、あらゆる社会関係性のレベルにおいて、自身の持つ情報を提供するインセンティブがあり、利他的な行動規範によって集合知が形成されていることを示している。そして、その情報をもとに私たちは意思決定を行い、その結果として再び情報が提供され、活動データが取得されるという構造が生まれており、実態としては群衆の知恵と近いと考えられる。以上より、本研究では、集合知を群衆の知恵と同じ定義で用いることとする。

## (2) 集合知やシステムの構造が個人の選択に与える影響

Salganik et al.<sup>11)</sup> は、人工的な音楽市場をもとにした室内実験を通して、1) 社会的影響力 (過去の楽曲ダウンロード数や視覚的なランキング情報) の増加に伴い、楽曲間の不平等性 (格差) が増すこと、2) 楽曲の成功には楽曲自体の質よりも、社会的影響力が大きく影響していること、を明らかにした。これは、個人は自立した意思決定をしているのではなく、他者の行動に影響を受けていることが示している。笹原ら<sup>12)</sup>、Sasahara et al.<sup>13)</sup> は、BC モデルと情報拡散モデルを拡張することで、エコーチェンバー現象をモデル化し、1) SNS におけるアンフォロワーの機能がオンライン・ソーシャルネットワークを分離させる駆動力となること、2) SNS は情報のアーキテクチャとして、そもそもエコチェンバーを引き起こす機構が内包されていることを明らかにした。これは、人々が生来的にもつ同類原理 (類は友を呼ぶ傾向) や確証バイアス (信じたいものだけを信じる傾向) が、推薦アルゴリズムによるフィルターバブルの形成により強化され、コミュニティの同質化や社会的分離を生み出していることを示している。

これらの研究は、Web や SNS がもたらす社会的影響 (e.g. アクセス数などに基づくランキング情報) 及びシステムの構造そのものが、個人の選択に影響を与えており、その結果として集合知を生み出すもとなる多様性を阻害する可能性があることを指摘している。情報の集約方法及び提供方法が集合知の形成及び個人や店舗の行動に与える影響は大きいと考えられる。

## (3) 店舗や商品の適合化・差別化

松山<sup>14)15)</sup> は、自然発生した集積は、多数の自立した事業者で構成されながら、集積全体の品揃えを調整するメカニズムがその内部に存在していることを明らかにした。具体的には、1) 模倣型事業者による出店増加を通して集積内の同質化が進み、差別化が引き起こされる「競争による調整」、2) 集積内のある主体が集積全体の売上を維持・拡大するために自らの権限に基づいて行なう「権限による調整」が商業集積の生成・発展・衰退に影響を与えていることを示した。Askin and Mauskapf<sup>16)</sup> は、新しい楽曲が音楽市場でどの程度の評価を受けるかを予測するにあたり、楽曲の特徴空間における相対的な位置が、結果 (ランキング) に及ぼす影響を明らかにした。ヒット曲は適合化と差別化のバランスをうまくとっており、過去のヒット曲の特徴を有していると同時に、他の楽曲と違いを出すためにある程度の新規性も有していること、過去の楽曲や同時代の楽曲と似すぎている場合 (i.e. 非常に典型的な楽曲) は成功しにくいことを示した。Uzzi et al.<sup>17)</sup> は、新規性のある知識と従来の知識をバランスさせること

は、イノベーションとインパクトを生み出すにあたって重要だという考えのもと、このバランスがどのような構成になっているかを明らかにした。先行研究が、どのような引用論文のペアで構成されているかに着目し、最もインパクトのある研究は、これまでの研究の非常に従来の組合せに基づいているが、同時に珍しい組合せが入り込んでいることを明らかにした。新規性と慣用性は対立するものではなく、慣用性のあるものを軸に、いかに新規性を組み込んでいくかが重要であることを示した。

これらの研究は、集合知の存在を明示的に考慮していないものの、店舗や商品は、部分的に情報を取捨選択しながら適合化・差別化のバランスをとることでその価値を作り出していることを示している。

## (4) 情報化に伴う都市活動の変化

谷口ら<sup>18)</sup> は、情報化が都市にもたらす影響として、言語の違いによる検索時のコストに着目し、5つの言語圏ごとに、どの都市にどの程度ネットショッピングの運営元が集中しているかを明らかにし、都市の序列変化の可能性を検討した。その結果、もともと実空間において店舗の分布が一極集中型であっても分散型であっても、情報化の進展においてはその傾向がより顕著になるよう序列の変化が進む可能性が高いことを示した。谷口ら<sup>19)</sup> は、実店舗のネットショッピングへの展開状況を調査し、全体の傾向としては一極集中が進んでいる一方で、これまでは考えられなかった遠隔地に立地が見られるケースもあることを具体的に明らかにし、情報化による都市階層・構造変化の傾向を示した。Beckers et al.<sup>20)</sup> は、小売店のネットショッピングを考慮した空間相互作用モデルを提案し、食料品のネットストア展開においては、対面式の小売店と同様に地理的な需要と供給が重要であることを明らかにした。

谷口ら<sup>21)</sup> は、非日常性を求めた買い物行動 (タウンウォーク) と様々なウェブサイトを見て回る買い物行動 (サイバーウォーク) に着目し、同一個人がどのような目的地選択行動を行なっているかをアンケート調査から明らかにした。その結果、1) サイバーウォークにおける空間抵抗は非常に小さいこと、2) タウンウォーク及びサイバーウォークは代替関係だけではなく、補完的にも捉えられていることを示した。Frag et al.<sup>22)</sup> は、検索、ネットショッピング、非日常的な買い物行動の頻度が、個人の行動に影響しているかを明らかにした。その結果、1) 都市に住む人々は、郊外に住む人々よりも頻りにネットショッピングを行っていること、2) 自転車で 10 分以内に行くことができる買い物先が多いほど、検索の頻度が減ることが示された。

これらの研究は、検索やネットショッピングなど情

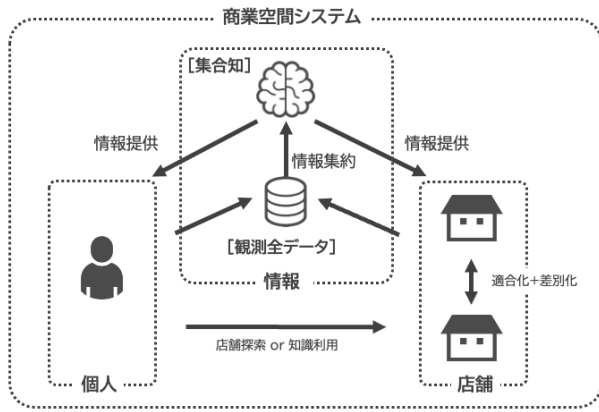


図-1 商業空間のイメージ

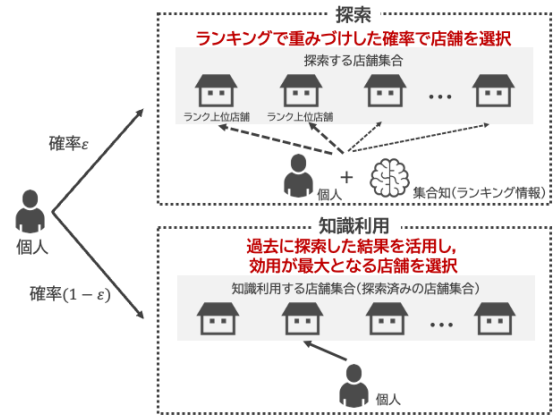


図-2 個人の店舗探索・知識利用のイメージ

報化に伴う新たな消費スタイルが、実空間からネット上での買い物行動への代替を進め、既存の都市構造をさらに強化していくことを示している。

### (5) 本研究の位置付け

これまでに挙げた都市活動に関する研究は、情報化による空間的な変化 (e.g. 消費者がどこで買い物をしているのか、店舗の立地パターン) など、意思決定の結果に対する実証的な分析が主であり、情報の利用を通じた個人や店舗の意思決定に対する視点が欠けている。この点において、集合知やシステムが個人の意思決定や商品の適合化・差別化に与えている影響を示した計算社会科学分野における既往研究は重要な視点を提供している。

本研究では、実際の商業空間における個人・店舗の行動とその意思決定を想定し、「情報の集約・提供」「個人の店舗の探索行動」「店舗の適合化・差別化行動」という基本的な行動を考慮したエージェントモデルにより商業空間システムのダイナミクスを表現し、ミクロな相互作用とマクロな特性を結びつけることでその挙動と要因を明らかにする。

## 3. 商業空間システムのモデル設定

本研究では、個人、店舗、集合知で構成される商業空間システムを分析対象とし、図-1 にそのイメージを示す。個人は集合知をもとに店舗を探索し、店舗は集合知をもとに適合化・差別化を行う。その結果として、店舗のランキングが集合知として集約され、再び個人や店舗に情報が提供されるというサイクルが繰り返される商業空間システムを表現する。

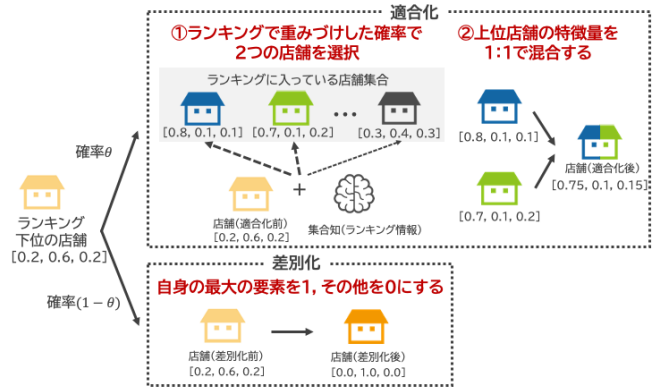


図-3 店舗の適合化・差別化のイメージ

### (1) 各主体の状況設定

個人  $i \in I$  は  $D$  次元の選好ベクトル  $\alpha_i$  を持ち、

$$\alpha_i = (\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}, \dots, \alpha_{i,D})$$

$$s.t. \sum_{d=1}^D \alpha_{i,d} = 1, \alpha_{i,d} > 0$$

店舗  $k \in K$  は  $D$  次元の特徴量ベクトル  $\beta_k$  を持つとする。

$$\beta_k = (\beta_{k,1}, \beta_{k,2}, \dots, \beta_{k,D})$$

$$s.t. \sum_{d=1}^D \beta_{k,d} = 1, \beta_{k,d} > 0$$

図-2 に示したように、個人はある確率のもと、探索と知識利用を行い、店舗を選択する。店舗探索時は店舗のランキング情報を利用し、ランキングで重みづけした確率で店舗を選択する。知識利用時は、これまでに探索した結果を利用し、自身の効用を最も高める店舗を確定的に選択する。以降、各行動の詳細を説明する。

個人は各時間ステップ  $t$  ごとに、確率  $\epsilon_t$  で探索、確率  $1 - \epsilon_t$  で知識利用を行い、店舗を選択する。探索する店舗集合を  $K_s$ 、知識利用する店舗集合を  $K_i$  とすると、 $K_s \cap K_i = \emptyset$  が成り立つ。探索においては、集合

知からステップ  $t-1$  における来客数に基づいたランキング上位の店舗集合  $T$  の情報(ランキングのみ)が提供され、ランキングによって重みづけした確率  $p_k^{search}$  のもと店舗  $k$  を選択する。なお、初期状態  $t=0$  においては店舗に関する情報は与えられていないものとする。

$$p_k^{search} = \frac{\exp(U_k)}{\sum_{l \in K_s \cup T} \exp(U_l)}$$

$$k \in K_s \cup T, U_l = \frac{1}{rank(l)}$$

探索によって選択した店舗については、特徴量ベクトルが明らかとなり、個人においてそれぞれ知識化され、知識利用において活用される。なお、一度探索された店舗は次回の探索候補からは除外されるものとする。知識利用においては、探索済みの店舗集合  $K_i$  から、得られる効用が最も高い店舗を選択する。個人  $i$  が店舗  $k$  を選択したことによる効用  $v_{i,k}$  は、個人  $i$  の選好ベクトル  $\alpha_i$  と選択した店舗  $k$  の特徴量ベクトル  $\beta_k$  の内積  $v_{i,k} = \alpha_i \cdot \beta_k$  で表現される。なお、最初は探索を繰り返す、徐々に知識利用を行うことを表現するため、初期値  $\epsilon = 1$  のもと、探索確率  $\epsilon_t$  はステップ数が増えるごとに 0.99 倍するものとする。

$$\epsilon_t = \epsilon \cdot 0.99^{t-1}$$

図-3 に示したように、ランキング下位の店舗はある確率のもと、適合化と差別化を行い、店舗の特徴量を調整する。適合化時は、店舗のランキング情報を利用し、ランキングで重みづけした確率で店舗を選択し模倣する。差別化時は、自身の特徴ベクトルの最大値の要素を特化させる。以降、各行動の詳細を説明する。

店舗は、ランキング下位の店舗集合  $W$  に含まれる店舗に限り、各時間ステップ  $t$  ごとに、確率  $\theta$  で上位の店舗を模倣することで適合化し、確率  $1-\theta$  で自身の特徴を特化することで差別化を行う。適合化において、店舗  $k \in W$  は、ランキング上位の店舗  $l, m \in T$  の特徴量ベクトルを 1:1 で混合し、 $\alpha_k^{new}$  に調整する。

$$\alpha_k^{new} = \frac{\alpha_l + \alpha_m}{2}$$

ランキング上位の店舗  $l$  の選択にあたっては、個人と同様に集合知からステップ  $t-1$  における来客数に基づいたランキング上位の店舗集合  $T$  の情報(ランキングと店舗の特徴量ベクトル)が提供され、ランキングによって重みづけした確率  $p_l^{adapt}$  のもと選択する。

$$p_l^{adapt} = \frac{\exp(U_l)}{\sum_{m \in T} \exp(U_m)}$$

$$l \in T, U_m = \frac{1}{rank(m)}$$

差別化においては、自身の特徴量ベクトルの最大の要素を 1、その他を 0 にするという調整を行う。

集合知は、各時間ステップ  $t$  ごとに、各個人が選択した店舗を集計し、人数が多い順にランキングを作成し、

ステップ  $t+1$  においてランキング上位の店舗集合  $T$  の情報を全個人、ランキング下位の店舗集合  $W$  に含まれる各店舗に情報提供する。

## (2) システムの評価

Iansiti and Levien<sup>23)</sup> は、ビジネスエコシステムの健全性を評価するに当たり次の 3 つの側面に着目している。1) 生産性：エコシステムを利用する者にとっての便益 (e.g. 投下資本利益率)、2) 堅牢性：エコシステムの環境変化に対する持続性 (e.g. 生存率)、3) ニッチ創出：エコシステムの多様性 (e.g. 一定の期間においてエコシステムの中で誕生した新企業の数)。本研究で対象とする商業空間システムとビジネスエコシステムは、多数の主体が緩やかに結びつき、共同の発展と生き残りを目的として相互依存している点で類似している。システムが健全であれば個々の主体は生き残ることが出来るが、不健全であればこの主体は厳しい状況に直面することになる。そこで、本研究においても商業空間システムの評価にあたっては、上記の 3 つの視点に従って総合的に評価を行うこととする。まず、生産性として、個人の効用の総和  $SU$  を用いる。

$$SU = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} v_{i,k}$$

次に、堅牢性として店舗間の平均格差(ジニ係数) $G$  を用いる。値が高いほど店舗間の格差が大きいことを意味する。

$$G = \frac{\sum_{k \in K} \sum_{l \in K} |m_k - m_l|}{2|K|}$$

$m_k$  は店舗  $k$  のシェア率を意味し、来客者数  $C_k$  を用いて次のように表す。

$$m_k = \frac{C_k}{|I|}$$

最後に、ニッチ創出として、全店舗間の平均類似度  $S$  を用いる。値が高いほど店舗間の類似度が高いことを意味する。

$$S = \frac{\sum_{k \in K} S_k}{|K|}$$

$S_k$  は店舗  $k$  と自身以外の店舗間の類似度の平均、 $s_{k,l}$  は店舗  $k$  と店舗  $l$  の類似度(コサイン類似度)を意味し、次のように表される。

$$S_k = \frac{\sum_{l \in K, l \neq k} S_{k,l}}{|K| - 1}$$

$$s_{k,l} = \cos(\beta_k, \beta_l) = \frac{\sum_{d=1}^D \beta_{k,d} \cdot \beta_{l,d}}{\sqrt{\sum_{d=1}^D \beta_{k,d}^2} \sqrt{\sum_{d=1}^D \beta_{l,d}^2}}$$

表-1 集団の構成

集団	構成
1	選好ベクトル A を持つ個人が 1000 人
2	選好ベクトル A を持つ個人が 500 人, 選好ベクトル B を持つ個人が 500 人
3	選好ベクトル A を持つ個人が 100 人, 選好ベクトル B を持つ個人が 100 人, ・・・選好ベクトル J を持つ個人が 100 人

#### 4. 数値実験

##### (1) 数値計算の状況設定

まず個人の設定について説明する。個人数は  $|I|=1000$  とし、各個人は次元数が  $D = 100$  の選好ベクトルを持つとする。また、個人は、100 個の要素のうち、ある 1 つの要素に強い選好をもっているものとする。選好ベクトルは、強い選好を示す要素の値は 1、それ以外の要素の値は 0 以上 0.25 未満の範囲でランダムに生成し、要素の総和が 1 となるように正規化し作成した。本研究では、強い選好を示す要素が異なる 10 種類の選好ベクトル (A-J) を作成し、表-1 に示したように、1) 全個人が同じ選好パターンを持つ集団、2) 2 種類の選好ベクトルを持つ集団、3) 10 種類の選好ベクトルを持つ集団、の 3 パターンを考える。

次に店舗の設定について説明する。店舗数は  $|K|=100$ 、各店舗は次元数が  $D = 100$  の特徴量ベクトルを持つとし、各店舗は 100 個の要素のうち、ある 1 つの要素を重視し、特化させているものとする。特徴量ベクトルは、選好ベクトルと同様の方法で作成した。なお、どの要素を特化させるかは店舗固有であり、重複はないものとする。

以上の設定のもと、店舗の特徴量ベクトル (1 種類) に対して、個人の構成が異なる集団パターン (3 種類) ごとに表-2 に示す各ケースで数値実験を行い、各ステップにおける個人の効用の総和、店舗間の平均格差、店舗間の平均類似度を計算する。各ケースにおいて 200 ステップまで計算し、各計算結果の推移をケースごとに比較・考察する。なお、店舗が適合化・差別化を行う候補となる、ランキング下位の店舗集合  $W$  は全店舗の 1% (すなわち本設定では  $|W| = 1$ ) とする。

##### (2) 数値計算の結果

図-4 に異質性がない集団 1 における各評価値を、図-5 に異質性がある集団 2,3 における各評価値を示した。各図ともに 100 ステップ目における結果を示している。なお、各図の b) では、100 ステップ目における全個人の効用の総和の計算結果と理想値 (各個人に対して最も高い効用が得られる店舗を割り当てた場合の効用の総和) の比率 (以降、最適割当率と呼ぶ) を示している。値が高

表-2 店舗の行動と情報提供の設定

ケース	店舗の行動	提供される ランキング情報
1	行動しない	$ T  = 0$
2	行動しない	$ T  = 5$
3	行動しない	$ T  = 30$
4	行動しない	$ T  = 100$
5	適合化のみ ( $\theta = 1.0$ )	$ T  = 5$
6	適合化のみ ( $\theta = 1.0$ )	$ T  = 30$
7	適合化のみ ( $\theta = 1.0$ )	$ T  = 100$
8	適合化及び差別化 ( $\theta = 0.8$ )	$ T  = 5$
9	適合化及び差別化 ( $\theta = 0.8$ )	$ T  = 30$
10	適合化及び差別化 ( $\theta = 0.8$ )	$ T  = 100$

いほど、理想値に近い割当が行われていることを意味する。

以降では、まず、異質性のない集団に着目し、情報提供されるランキング数の多さが、商業空間システムの評価値にどのような影響を与えているかを確認する。その後、集団の異質性による影響の違いを確認する。

##### a) 異質性のない集団

店舗が何も行動を行わない場合 (ケース 1-4: 灰色・黄系のバー) を見ると、情報提供されるランキング数が多いほど、最適割当率が高くなるのが分かる。これは、提供される情報が多いほど、ランキング上位の店舗を探索において選択しやすくなるためであると考えられる。

しかしその一方で、店舗が適合化のみを行う場合 (ケース 5,6,7: 青系のバー) を見ると、情報提供されるランキング数少ないほど、最適割当率が高くなり、先ほどとは逆の傾向が見られる。これは、集団に異質性がない場合、集約される情報に、自分と同じ選好を持つ個人の選択結果が反映されていくため、提供される情報が少ないほど店舗の適合化において、参照する候補が絞られるためであると考えられる。これにより、ランキング上位の店舗をもとにした適合化が起こりやすく、より多くの個人にとって効用の高い店舗を選択できる確率が高まっていると考えられる。この傾向は類似度及び格差にも反映されている。図-4 の c) に示す通り、提供される情報が少ない場合、店舗間の平均類似度は高くなるのが分かる。また、図-4 の d) に示す通り、提供される情報が少ない場合、店舗間の平均格差は低いことが分かる。これは、店舗間の平均類似度が高くなることで、個人から選ばれる店舗は分散し、その結果として店舗間の平均格差が低下しているためであると考えられる。

店舗が適合化及び差別化を行う場合 (ケース 8,9,10: 赤系のバー) を見ると、図-4 の a) から、店舗の差別化により、各個人の効用の総和が増加しているのが分かる。このとき、効用総和の理想値も大きく増加しているため、4 の b) に示す通り、最適割当率は小さい値

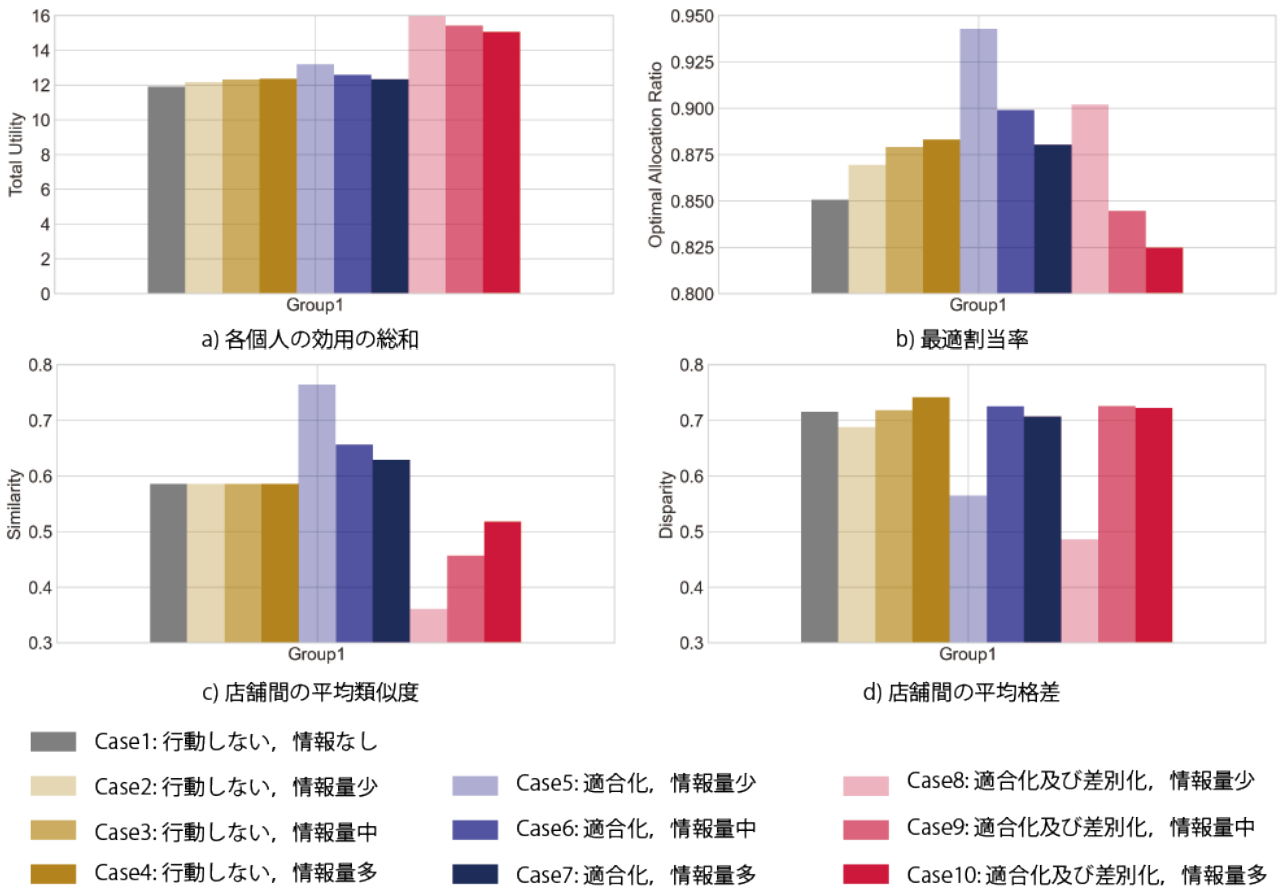


図-4 異質性がない集団 1 における数値実験の各評価値

であるが、提供される情報が少ないほど最適割当率は高くなり、提供される情報量による影響は適合化のみのケースと同じである。その一方で、図-4のc)に示すように、店舗間の平均類似度は提供される情報が少ないほど低く、逆の傾向が見られるが、これは、店舗の差別化による特徴量ベクトルの値の偏りの影響が大きいためであると考えられる。図-4のd)に示すように、店舗間の平均格差は適合化のみのケースと同様の傾向であり、提供される情報が少ないほど店舗間の平均格差は小さい。

**b) 異質性のある集団**

図-5に示すように、集団2, 3ともに情報提供されるランキング数の多さによる影響は前項の集団1と同じ傾向である。しかし、集団2よりも集団3の方が最適割当率、店舗間の平均類似度、店舗間の平均格差が小さい。これは、提供される情報の多さに関わらず、集団の異質性が高いほど、自分とは異なる選好を持つ個人の選択結果がランキング情報に反映され、情報が平均化されているためであると考えられる。その結果、個人は自身の選好に合う店舗が探索しにくく、店舗も特定の選好を持つ個人を満たすような適合化が行われにくく、選ばれる店舗は分散している。

**5. 結論**

本研究では、実際の商業空間における個人・店舗の行動を想定し、「情報の集約・提供」「個人の店舗の探索行動」「店舗の適合化・差別化行動」という基本的な行動を考慮したエージェントモデルを構築した。具体的には、集合知として店舗ランキング情報を利用しながら、個人は探索・知識利用、店舗は適合化・差別化を行い、その行動結果は店舗ランキングとして再び集約されるという、単純な商業空間システムを表現した。異質性に違いがある3つの集団に対して数値実験を行い、商業空間システム全体のマクロな特性として個人の効用の総和、店舗間の平均類似度、店舗間の平均格差を評価し、各評価値に対する集合知、個人、店舗の影響を明らかにした。

店舗が集合知をもとに意思決定(適合化及び差別化)を行う状況下においては、提供される情報数が少ないほど、集団の異質性が低いほど、1) 最適割当率が高くなる、2) 類似度が高く、格差小さい、ことがわかった。情報が少なく、集約される情報にばらつきがないほど、情報の集約・提供と店舗の適合化の相乗効果が増すためだと考えられる。この結果より、提供される情報数

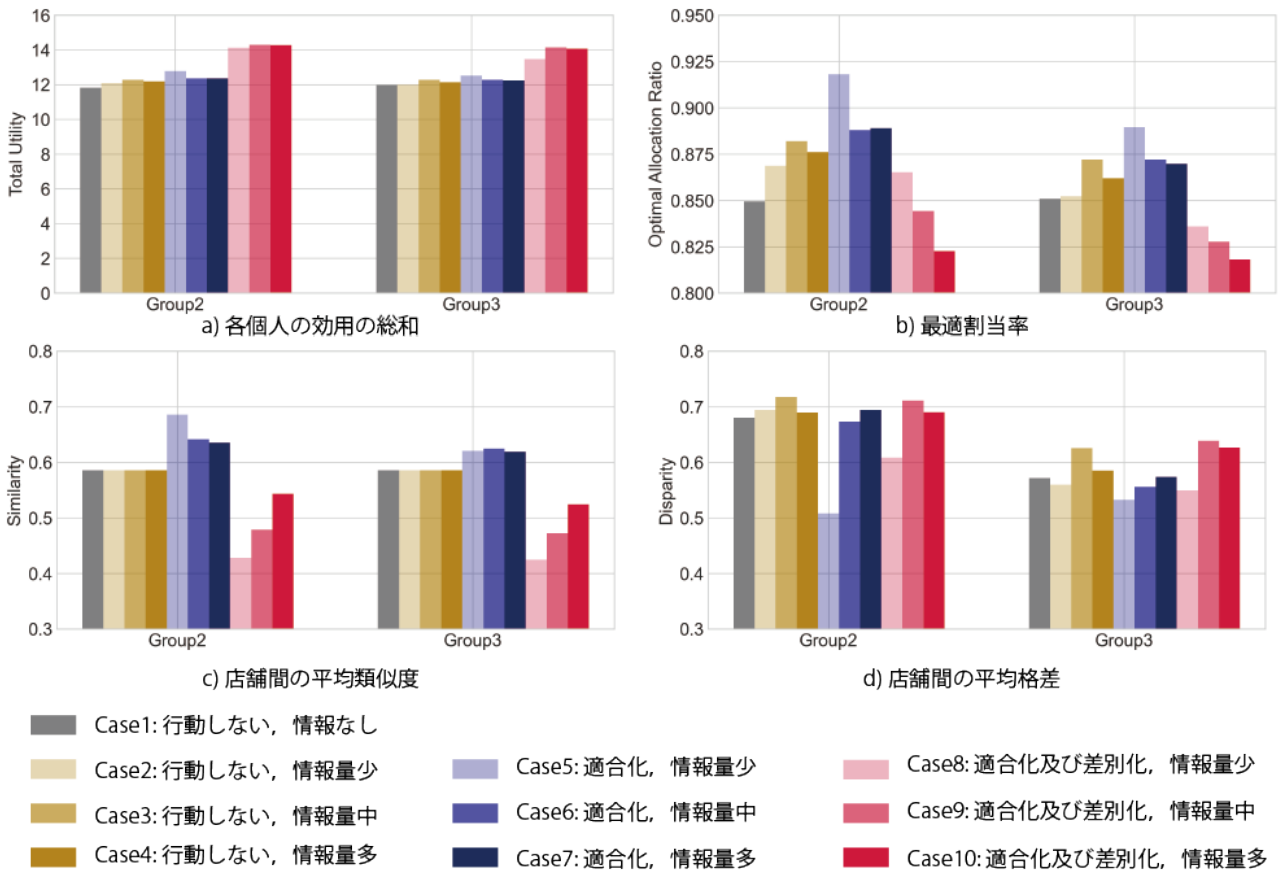


図-5 異質性がある集団 2,3 における数値実験の各評価値

が多いほど、集団の異質性が高いほど、最適割当率が低く落ちてしまい、過学習型劣位均衡に陥る可能性があることが示唆された。

また、店舗の適合化のみでは、効用総和の理想値の上限を変えるとはできないが、差別化は理想値の上限を大きく更新する。理想値が増加すると最適割当率が低下するが、中長期的には情報の集約・提供と店舗の適合化の相乗効果によって、最適割当率は増加していくものと考えられる。店舗の差別化は、このような過学習型劣位均衡から抜け出すきっかけになると考えられる。

**謝辞:** 本研究は、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2114 の支援を受けたものです。記して感謝いたします。

**参考文献**

- Galbraith, J.K.(鈴木哲太郎訳): ゆたかな社会 決定版, 岩波書店, 2006.
- Riesman, D.(加藤秀俊訳): 孤独な群衆, みすず書房, 1964.
- Zuboff, S.(野中香方子訳): 監視資本主義: 人類の未来を賭けた闘い, 東洋経済新報社, 2021.
- Levy, P., Collective intelligence: Mankind's emerging world in cyberspace, Perseus books, 1997.
- Surowiecki, J., The wisdom of crowds: Why the Many Are Smarter Than the Few and How Collective Wisdom Shapes

- Business, Economies, Societies and Nations, Anchor, 2004.
- Harrison, F., Sciberras, J. and James, R.: Strength of social tie predicts cooperative investment in a human social network. PLoS One, 6(3), p.e18338, 2011.
- Dunbar, R.I.: Gossip in evolutionary perspective. Review of general psychology, 8(2), pp.100-110, 2004.
- Granovetter, M.S.: The strength of weak ties. American journal of sociology, 78(6), pp.1360-1380, 1973.
- Eagle, N., Macy, M. and Claxton, R.: Network diversity and economic development. Science, 328(5981), pp.1029-1031, 2010.
- Arnaboldi, V., Conti, M., Passarella, A. and Dunbar, R.: Dynamics of personal social relationships in online social networks: a study on twitter. In Proceedings of the first ACM conference on Online social networks, pp.15-26, 2013.
- Salganik, M.J., Dodds, P.S. and Watts, D.J.: Experimental study of inequality and unpredictability in an artificial cultural market, Science, 311(5762), pp.854-856, 2006.
- 笹原 和俊, Giovanni Luca Ciampaglia., Alessandro Flammini., Filippo Menczer.: エコーチェンバーの生成ダイナミクス, 人工知能学会全国大会論文集, 第 31 回, 2017.
- Sasahara, K., Chen, W., Peng, H., Ciampaglia, G.L., Flammini, A. and Menczer, F.: Social influence and unfollowing accelerate the emergence of echo chambers. Journal of Computational Social Science, 4(1), pp.381-402, 2021.
- 松山草太: 小売商業集積の調整能力: 阿倍野地区第二種再開発事業を事例, 経営研究, 67(4), pp.137-158, 2017.
- 松山草太: 小売商業集積の差別化と同質化: 大阪市のアメリカ村と堀江地, 経営研究, 69(2), pp.89-114, 2018.
- Askin, N. and Mauskopf, M.: What makes popular cul-

- ture popular? Product features and optimal differentiation in music., *American Sociological Review*, 82(5), pp.910-944, 2017.
- 17) Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M. and Jones, B.: Atypical combinations and scientific impact, *Science*, 342(6157), pp.468-472, 2013.
- 18) 谷口守, 松中亮治, 安藤亮介: 言語に着目したサイバー時代における新たな都市序列—e コマース上のショッピング行動に着目して—, *地域学研究*, 35(1), pp.69-84, 2005.
- 19) 安藤亮介, 谷口守, 松中亮治: サイバー空間に着目した店舗の立地実態分析, *土木計画学研究・論文集*, 23, pp.171-177, 2006.
- 20) Beckers, J., Birkin, M., Clarke, G., Hood, N., Newing, A. and Urquhart, R.: Incorporating E - commerce into Retail Location Models. *Geographical Analysis*, 54(2), pp.274-293, 2022.
- 21) 谷口守, 阿部宏史, 蓮実綾子: サイバーウォークにおける空間抵抗特性とそのタウンウォークとの代替性, *土木計画学研究・論文集*, 20, pp.477-483, 2003.
- 22) Farag, S., Schwanen, T., Dijst, M. and Faber, J.: Shopping online and/or in-store? A structural equation model of the relationships between e-shopping and in-store shopping. *Transportation Research Part A*, 41(2), pp.125-141, 2007.
- 23) Iansiti, M. and Levien, R. (杉本幸太郎訳): キーストーン戦略 イノベーションを持続させるビジネス・エコシステム, 翔泳社, 2007.

(2023.03.06 受付)

## A STUDY ON OVERFITTING TYPE INFERIOR EQUILIBRIUM GENERATED BY THE INFLUENCE OF WISDOM OF CROWDS ON DECISION MAKING

Kazuya INAGAKI and Yusuke HARA