

## 行動多様性に対する情報共有の影響とその適応性 ——イベント会場における混雑情報提供に関する マルチエージェントシミュレーション——

鈴木 麗璽<sup>†</sup>      有田 隆也<sup>†</sup>

Effects of Information Sharing on Diversity and Adaptivity of Behaviors  
in Competitive Populations ——Multi-Agent Simulation of Information  
Supplement of Congestion Status at Events——

Reiji SUZUKI<sup>†</sup> and Takaya ARITA<sup>†</sup>

あらまし 本研究は、イベント会場における混雑解消のための混雑情報提供を、集団における行動の多様性に対する情報共有の影響とその適応性に関する具体的な状況設定とみなし、抽象モデルによるマルチエージェントシミュレーションを通してその集団全体への影響に関して知見を得ることを目的とする。具体的には、はじめに、イベント会場に設置された複数の施設を、多数の来場者が各自の嗜好に基づいて観賞してまわる抽象モデルを構築し、混雑の偏りに対する施設配置の基本的な影響を明らかにする。次に、来場者に対して混雑情報の提供を行い、来場者がそれに従って行動する状況を設定した場合、集団全体の混雑にどのような影響を及ぼすかについて解析を行う。その結果、混雑情報の提供は基本的にはアトラクションごとの待機エージェント数の偏りを減少させるが、情報提供の頻度が高すぎる場合には個々の待機エージェント数が大きく振動するという影響があることが明らかになった。更に、来場者を増加して長い期間シミュレーションを行うと、時間経過とともに混雑情報提供の効果が減少し、それをきっかけにして突発的に待ち行列が発生するという動的な現象が生じることが判明した。キーワード 情報共有、El farol bar 問題、Minority Game、マルチエージェント

### 1. ま え が き

集団において、ある情報を共有することが、その情報の効果や価値を低下させてしまう場合がある。例えば、カーナビゲーションシステムを利用した道路の渋滞情報の提供が渋滞緩和のために行われているが、「ある一般道が渋滞している」という情報を、過剰な数の人が共有し、渋滞を避けようとして裏道を選択した場合、結果としてその裏道が混雑してしまうという状況が考えられる。株取引や流行などに関する情報においても上記のような現象は容易に見出し得るものであり、情報というものの一つの本質であると考えられる。

このような現象が発生する原因は、集団において共有される情報がある限られた資源への集中を促すもの

であることであると考えられる。有限の資源をめぐる複数の主体間の争いに関して、El farol bar 問題 [1] や Minority game [2] をはじめとして様々な領域で議論されている。Minority game とは、複数のエージェントによって構成される集団において、各エージェントがステップごとに、同時に 0 または 1 の選択肢のうちどちらかを選択し、選択者数が少ない方を選択したエージェントが勝者となる繰り返しゲームである。二つの選択肢は、例えば、前述の裏道を使う・使わない、株取引における売り・買いといった、二者択一の状況において少数派を選択した方が有利になる状況が当てはまる。このような状況においては、系全体の過去の履歴から次のステップにおける系全体の状態を正しく予測する合理的な推論は存在せず、エージェントは帰納的な方法によって自身の行動規則を更新し、集団内の行動の多様性を保たなくてはならない。Savit らは、このような状況で各エージェントがランダムに選択肢

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院人間情報学研究所，名古屋市  
Graduate School of Human Informatics, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8601 Japan

を選んだ場合よりも系全体が効率的である状態が、集団のサイズと履歴の長さを調節することで実現可能であることを示した [3]。これらは、各主体がもつ行動規則の多様性が系全体の挙動に大きな影響を及ぼすことを示している。

一方、有限の資源獲得をめぐる競合に関して各主体が保持する情報の多様性に注目した研究がある。Hoggらは、2種類の資源の獲得をめぐる、時間遅れやバイアスを伴った資源に関する情報に基づいて各主体が行動を選択する自律分散系において、その大域的な挙動がカオス的で不安定になる場合があることを指摘した上で、各主体が得る情報の時間遅れやバイアスの度合を即時の報酬に基づく進化的手法によって調整することで、カオスを抑制する集団の構成比を獲得可能であることを示した [4]。この手法は、ネットワークにおけるパケットのルーティングなどにおいてその適用が検討されている [5]。また、赤石らは、資源収集問題を対象としたマルチエージェントモデルにおいて、情報の共有に伴う行動の集中化と多様化の観点から、環境からの資源情報獲得やエージェント間の資源情報のやり取りの際に発生する誤認の適応性について議論している [6], [7]。彼らは、特定の行動を促進する情報を環境から直接得る際に生じる直接誤認や主体間の情報のやり取りにおいて生じる間接誤認が、個体が保持する情報を多様化し適応的となり得る条件が存在することや、直接誤認率が大きくなるとより大きな間接誤認率が適応的となることなどを定量的に示した。これらは、各主体が保持する情報の多様性の維持が、系全体の安定性や適応性にとって重要であることを示しているといえる。

本研究は、これら行動規則と情報の共有に関する多様性の両者を考慮することができ、かつ、より具体的な状況設定として、イベント会場における混雑情報提供による混雑緩和を取り上げ、人工生命手法に基づく抽象モデルによるマルチエージェントシミュレーションを通して知見を得ることを目的とする [8]。博覧会や人気テーマパークなどの大規模なイベント会場において、来場者の作る混雑は大きな問題の一つとなっている。特に、施設を觀賞するための待ち時間は、来場者の満足感に大きく影響するだけでなく、イベントを開催する側にとっても効率的な運営や安全確保のために注目すべき点である。そこで、イベント会場において、携帯情報端末などを用いたリアルタイムな情報提供による混雑緩和が検討されつつある。ここで、会場内の

各施設の収容能力を限られた資源、端末による情報提供を主体間の情報共有、各来場者の嗜好を行動規則とみなすと、前述と同様な構造をもつ具体的な状況設定としてとらえることができる。

本論文では、はじめに、会場内の施設配置が混雑の偏りに与える影響に注目し、イベント会場に設置された複数の施設を多数の来場者が各自の嗜好に基づいて觀賞してまわる抽象モデルを構築し、混雑に対する施設配置の基本的な影響を明らかにする。次に、来場者が混雑情報の提供を受け、それに従って行動する状況を設定した場合、情報提供の頻度が集団全体の混雑の分散と効率にどのような影響を及ぼすかについて考察する。最後に、混雑情報提供による混雑分散の効果が時間経過とともに変動することを示し、その要因について考察する。本モデルでは、各エージェントは情報を受け取る場合と受け取らない場合があり、同時に、来場者の嗜好によって行動規則は異なるために、同一の情報を受け取っても実際の行動は嗜好とそれまでの行動履歴に依存して変動する。したがって、前述の情報の保持に関する多様性と行動規則に関する多様性の両方を含んだモデルであるといえる。

服部、辺見らは、遊園地における混雑情報と入場者の行動について、觀賞する施設の決定ルールやそこへの移動アルゴリズム、情報共有の方法などの点で本研究とは異なるアプローチに基づくマルチエージェントモデルを用いて議論しており、過度な情報共有が集団の挙動に与える基本的な影響について指摘している [9], [10]。しかし、[9], [10] では、施設配置などの環境要因による混雑への影響については十分な議論がなされていなかった。本研究では、施設配置によって生じる混雑の偏りを考慮することにより、混雑情報提供によって偏りがいかにして調節されるかを明らかにすると同時に、その過程において生じる情報提供の潜在的・副次的効果の存在と、行動の多様性への動的な影響について示す。

## 2. モデル

イベント会場における施設配置と混雑情報の提供が来場者の作る混雑にどのような影響を及ぼすかについて議論するために、次のような抽象モデルを構築した。まず、イベント会場の敷地を  $W_x \times W_y$  の2次元の格子状平面で表現する。平面左上端のセルを入口とし、来場者（以下エージェントと呼ぶ）は入口に配置されることにより会場に入場する。会場に一度に存在する

ことのできるエージェント数には制限 ( $N_m$  人) があり, 制限を超えない範囲で全エージェント数 ( $N_p$  人) に達するまで入口にエージェントが 1 ステップにつき最大  $N_e$  人ずつ配置される。

各エージェントは, 入場時に  $N_a$  箇所のアトラクション  $A_i (i = 0, 1, \dots, N_a - 1)$  それぞれについて確率  $P_i$  でそのアトラクションを觀賞するかどうか決定するものとする (これらを觀賞予定のアトラクションと呼ぶ)。  $P_i$  は各アトラクションの人気度を表し, 觀賞予定のアトラクションの違いはエージェントごとの嗜好の違いととらえることができる。各ステップでは, はじめにすべてのエージェントに  $0 \sim N_p - 1$  までの番号を重複を許さずランダムに割り当て, その番号の小さいエージェントから順に, 次に挙げる三つの“モード”を遷移しながら行動を行っていくものとする。入場時のエージェントは“移動モード”であり, 觀賞予定のアトラクションのうちランダムに選択したものをはじめの訪問先とする。移動モードでは, 自身を中心とした 9 近傍のセルのうち, 会場の外, 及び, アトラクション以外で他のエージェントの移動先となっているセルの数を  $n$  とし, 確率  $1 - (n + 1)/10$  で移動を行うかどうか決定する (それ以外の場合にはそのステップでは移動しない)。移動する場合には, 次の式に従って  $x$  及び  $y$  座標を更新する。

$$x \leftarrow x + rsgn(A_{i_x} - x) \quad (1)$$

$$y \leftarrow y + rsgn(A_{i_y} - y) \quad (2)$$

ここで,  $A_{i_x}, A_{i_y}$  は現在向かっているアトラクション  $i$  の  $x$  及び  $y$  座標,  $rsgn(k)$  は「確率  $p_r$  で  $-1, 0, 1$  のうちからランダムに値を返し, それ以外 (確率  $1 - p_r$ ) の場合は,  $k = 0$  ならば  $0, k > 0$  ならば  $1, k < 0$  ならば  $-1$  の値を返す」関数とする。これは, 確率的に揺らぎつつ, 各座標軸方向について目的地へ近づく方へ 1 セル分移動することを表している (ただし, 新たな座標を算出した結果, 座標が会場からはみ出している場合にははみ出した座標方向への移動は行わないものとする)。また, 既に他の移動済みのエージェントが移動先のセルに存在している場合には, そのステップでは移動せず, 現在位置を移動先とする (ただし, 移動先がアトラクションの場合は常に移動可能とする)。このため, 他の移動済みのエージェントが既に現在位置に存在しており, かつ自身が移動できない場合には, 同一のセルに複数のエージェントが存在することになる。また, 移動方向に依存した速度

差をなくすために, 上記の手順によって決定された移動先が現在位置から斜め方向の位置である場合, 更に確率  $1 - 2^{0.5}$  で移動を取りやめるものとする。

アトラクションに到着した (アトラクションと同一のセルに移動した) エージェントは行列の最後尾に並んだものとして, “待機モード”に入り, その場で待機する (ただし同一ステップにおいて複数のエージェントがアトラクションに到着した場合, その並び順はステップ終了時にランダムに決定する)。各アトラクションでは, 最大  $C_i$  人のエージェントが同時に觀賞可能であり, この制限を超えない範囲で順に“觀賞モード”に入り,  $L_i$  ステップの間觀賞する (実際には何もしない)。本研究では, テーマパークや博覧会会場など, 大規模で常に施設を觀賞するための待ち行列が觀察されるような状況を考えるため, アトラクションの収容能力  $C_i$  と比較して入場者が多い設定を採用する。したがって, アトラクションを觀賞するために多くの待機モードのエージェント (待機エージェント) が存在することになる。

觀賞を終えたエージェントはそのアトラクションを觀賞予定のアトラクションから除外し, 残りの觀賞予定のアトラクションの中から次に目指すものを決定し, 再び移動モードに入る。ここで, 来場者はそれぞれ入口で携帯情報端末を渡されていることを仮定し, 端末にはアトラクションを見終わるごとに, 確率  $r$  で混雑情報, すなわち各アトラクションの待機エージェント数が提示され, その場合には残りの觀賞予定のアトラクションの中からその時点で最も待機エージェント数が少ないものを次の行き先として選ぶものとする。それ以外の場合には残りの見たいアトラクションの中から直線距離で最も近くにあるものを選ぶものとする。一度行き先を決定した後はそこに到着するまで行き先を変更しない。觀賞予定のアトラクションがなくなったエージェントは会場を去ったものとして消去される。シミュレーションはすべてのエージェントが会場を去った時点で終了する。

### 3. 実 験

#### 3.1 アトラクションの配置と混雑

図 1 は, シミュレーションの実行画面の一例を示したものである。図中, 黒い長方形で囲まれた緑色の領域が会場, 番号付きの白い円に囲まれた正方形がアトラクション, 小さな円がエージェントを表している。画面左上端の入口から来場者が入場し, 目的のアトラク

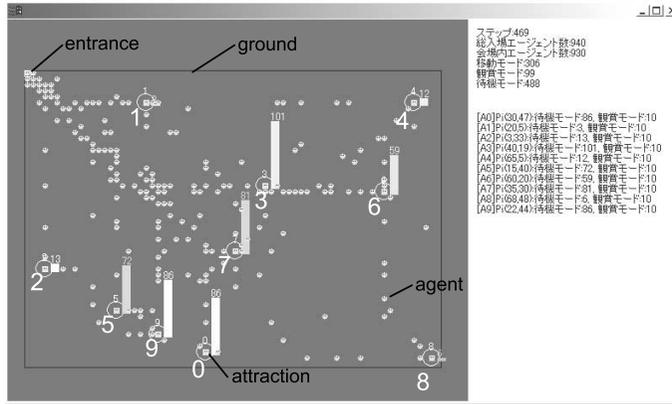


図 1 シミュレーション画面  
Fig.1 Screenshot of the simulation.

シミュレーションへと移動している様子がわかる。また、アトラクションの右側には、そのアトラクションにおける待機エージェント数が棒グラフで表されており、棒が長いほど多くの来場者がそのアトラクションを觀賞するために並んで待っていることを表している。画面右側には、現在のステップ数、エージェントのモードなどの情報が表示されている。本論文では、アトラクションの配置と混雑情報提供のみが混雑に与える影響を明らかにするために、各アトラクションの人気度、觀賞時間、収容能力をすべて同一の値  $P_i = 0.7, L_i = 30, C_i = 10$  に設定した上で、図 1 に示すような配置を用いて実験を行った。また、その他のパラメータ設定として  $W_x = 70, W_y = 50, N_a = 10, N_p = 2000, N_e = 2, N_m = 1000, p_r = 0.05$  を用いた（以後、特に断りのない限り上記パラメータを標準の値として用いるものとする）。

はじめに、施設配置の違いのみが混雑に与える影響について考える。図 2 は、混雑情報を全く提供しない場合（提供確率  $r=0.0$ ）において、アトラクションごとの待機エージェント数の推移を 30 ステップごとに示したものである（グラフの番号は図 1 のアトラクションに付けられた番号に対応する）。同図より、待機エージェント数のアトラクションごとの推移には大きな違いがあり、全体として会場の中心（アトラクションの重心）付近に位置するアトラクション 3, 7 などが混雑しやすい傾向があることがわかる。逆に、離れた位置にあるアトラクション 1 や 8 では、シミュレーション序盤・中盤において待機エージェントが存在せず、収容可能な人数をも満たさない状態が断続的に続

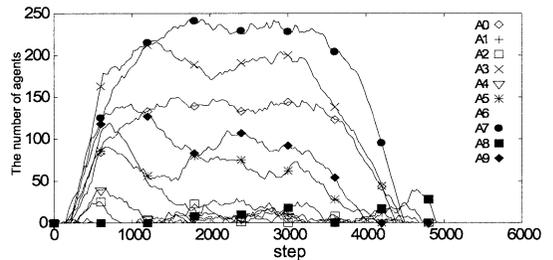


図 2 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 0.0$ )  
Fig.2 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 0.0$ ).

いており、効率的でない状況であるといえる。また、これらのアトラクションでは、待機エージェント数がシミュレーションの終盤で急増する傾向があった。これは、他のアトラクションから遠い位置にあることが、エージェントが觀賞するのを後回しにさせ、終盤において多くのエージェントが集中したためであると考えられる。このように、人気度や収容能力、觀賞時間が同一であっても、その配置によって混雑の様子は異なり、エージェントの行動の多様性は大きく減少することが明らかになった。

### 3.2 混雑情報の提供

次に、混雑情報を提供する確率  $r$  の値を変えて実験を行った。図 3, 図 4, 図 5, 図 6 は、それぞれ  $r = 0.2, 0.3, 0.5, 1.0$  を用いた試行での、アトラクションごとの待機エージェント数の推移を示したものである。混雑情報を提供しない場合（図 2）と比較して、 $r$  の値が増加するに従って待機エージェント数の偏

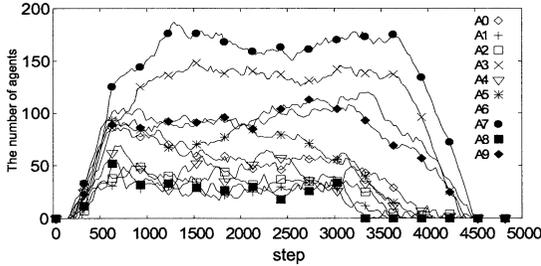


図 3 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 0.2$ )

Fig. 3 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 0.2$ ).

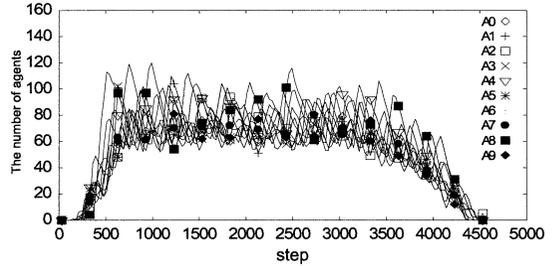


図 6 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 1.0$ )

Fig. 6 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 1.0$ ).

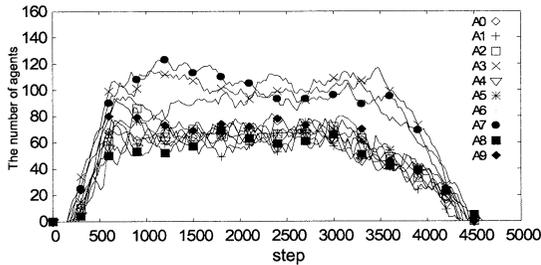


図 4 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 0.3$ )

Fig. 4 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 0.3$ ).

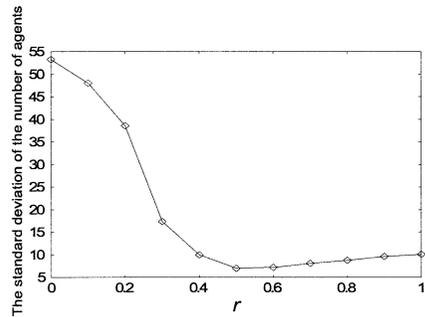


図 7 混雑情報提供確率  $r$  と待機エージェント数標準偏差

Fig. 7 Correlation between  $r$  and the standard deviation of the number of agents who are waiting for their turns among attractions.

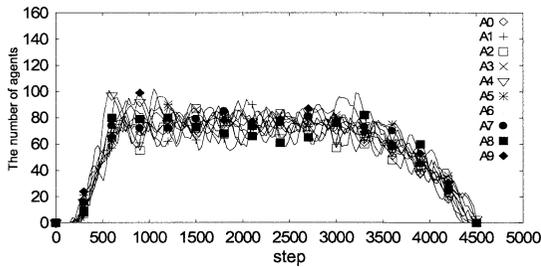


図 5 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 0.5$ )

Fig. 5 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 0.5$ ).

りが減少しており、混雑情報の提供がエージェントの行動の多様性を生み出していることがわかる。 $r = 0.2$  の場合には、アトラクション 1 や 8 を訪れるエージェント数が収容能力を下回る状況はほとんど解消されたが、各アトラクションをすべての観賞予定のエージェントが観賞し終わるまでにかかるステップ数には若干偏りがある。 $r = 0.3$  の場合には、この偏りもほぼ解消されており、効率的であるが、アトラクションごとの行列の長さには依然偏りがある。

$r = 0.5$  の場合には、細かく振動しながらもどのアトラクションもほぼ同様な待機エージェント数で推移し、シミュレーション中盤において最も待機エージェント数が増えるような緩やかな曲線を描いており、待機エージェント数の偏りが大きく緩和されていることがわかる。ところが、常に混雑情報を提供し続ける  $r = 1.0$  の場合には、逆に振動が激しくなっていることがわかる。この振動は、エージェントにとって行列に並ぶタイミングによって不公平を生むという点で、望ましいものとはいえない。そこで、 $r$  の値の変化に伴ってアトラクションごとの待機エージェント数の偏りがどのように変化するかを定量的に明らかにするために、 $r = 0.0 \sim 1.0$  まで値を 0.1 ずつ変えて実験を行ったときの、全ステップにおけるアトラクションごとの待機エージェント数の標準偏差の平均を示したのが図 7 である。各値は 10 試行の平均である。これより、 $r$  が大きくなるに従って標準偏差が大きく減少し、 $r = 0.5$  で最小となり、その後緩やかに増加している。

これは、この条件では  $r = 0.5$  の場合が最も適当な情報提供とその共有の頻度であることを示している。

$r$  が一定の値を超えると振動がおきる理由は、アトラクションの収容能力が有限であることと、各混雑情報に従った結果が反映されるまでに時間差があるという意味で、エージェントが時間遅れを伴う情報に従っていることにある。次のような状況を考える。今、あるアトラクション A が混雑の最も少ない状況になったと仮定する。このとき、他のアトラクションを觀賞し終えたエージェントは、混雑情報からアトラクション A を目指すようになる。しかし、これらのエージェントはアトラクション A に実際に到達するまでには移動時間がかかるために、実際に行列が長くなるまでには時間遅れが存在する。その間も情報端末はアトラクション A を目指すべきものとして混雑情報を提供し続けるために、この間にあまりに多くのエージェントが混雑情報の提供を受けると、過剰な数のエージェントがアトラクション A に向かってしまうことになる。このようなことが連続して起きることで、上記のような混雑の振動が生じていると考えられる。

また、試行を重ねた結果、配置の影響で混雑が少ない傾向にあったアトラクション 1, 4, 8 などにおいて、この振動が大きい傾向が觀察された。これは、他のアトラクションからこれらのアトラクションに到達するまでに長い時間がかかるために、前述の時間遅れの効果が大きいことが原因であると考えられる。混雑情報の提供は、混み合わない傾向にあるアトラクションへエージェントを分散させることでエージェントの行動に多様性をもたらしていたが、その頻度が高すぎる場合には、逆に混み合わない傾向にあるアトラクションへの過度の集中化を引き起こしていると考えられる。

### 3.3 「突発待ち行列」の発生

これまでの実験で、アトラクションごとの待機エージェント数の偏りを最小にするような混雑情報を提供する確率が存在し、 $r = 0.5$  の場合において最小となることがわかった。この  $r = 0.5$  という値自体は実験の設定に依存するものであるが、例えば入場者数のみを大きく増やし、より長い期間試行を行った場合においても、偏りが最小である挙動が觀察され続けるだろうか。そこで、前節の設定をもとに、全エージェント数  $N_p$  のみをこれまでの 10 倍の 20000 人に設定して  $r = 0.5$  で実験を行った。その結果、いくつかの試行で次のような注目すべき現象が確認された。図 8 は、ある試行でのアトラクションごとの待機エージェ

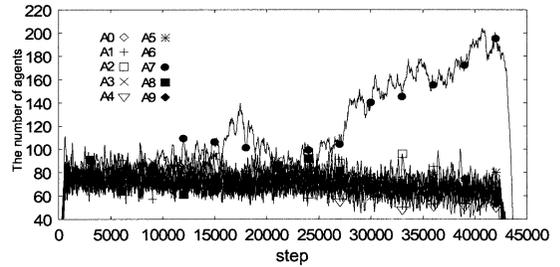


図 8 各アトラクションの待機エージェント数の推移 ( $r = 0.5, N_p = 20000$ )

Fig.8 The number of agents who are waiting for their turns at each attraction ( $r = 0.5, N_p = 20000$ ).

ント数の推移を示したものである。試行の初期ではこれまでの結果と同様に細かな振動を伴いながらどのアトラクションの待機エージェント数もほぼ同様の推移を保っているが、約 15000 ステップから 20000 ステップ、25000 ステップ以降で突如アトラクション 7 の待機エージェント数が大きく増加していることがわかる。本論文では、このように、初期状態からしばらくの間どのアトラクションの待機エージェント数も同様の値で推移したのち、ある一つのアトラクションの待機エージェント数のみが突発的に大きく増加する現象を、「突発待ち行列」の発生と呼ぶことにする。試行を繰り返した結果、突発待ち行列が発生するアトラクションは、混雑情報提供なしの場合において配置の影響によって混み合いやすいアトラクションであることが判明した。

この理由は、混雑情報提供によるエージェントの分散化、すなわち、行動の多様性維持の効果が、シミュレーションが進行するにつれて減少してくるためであると考えられる。エージェントが混雑情報に従った場合、配置の影響により混雑しない傾向にあるアトラクションを優先的に觀賞することになる。このため、エージェントは混雑情報に従うことを繰り返すほど觀賞予定のアトラクションのうち混雑しにくいアトラクションが少なくなる傾向がある。その結果、情報を受け取っても混雑しやすいアトラクションしか選ぶことができず、そこに行かざるを得ない状況に陥り、情報提供による分散の効果が減少することになる。

図 9 は、この試行において、各アトラクションについて、それを觀賞予定のアトラクションに含んでいるエージェントの数(觀賞予定エージェント数)の推移を示したものである。同図より、シミュレーションが進行

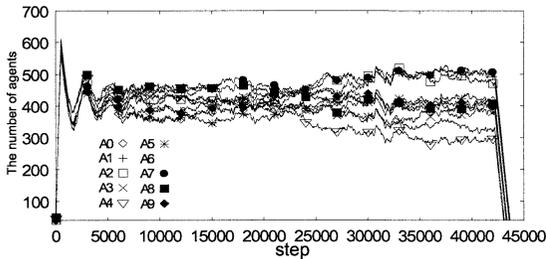


図9 各アトラクションの観賞予定エージェント数の推移 ( $r = 0.5$ )

Fig.9 The number of agents who are due to visit each attraction ( $r = 0.5$ ).

するに従い観賞予定エージェント数はアトラクションごとに偏りが生じ、アトラクション7の観賞予定エージェント数が相対的に大きな値となっていることがわかる。これは、混雑情報の提供により混み合いやすいアトラクションを後回しにする影響が累積されていることを示している。つまり、情報提供により、即時の行動の多様性が増加する一方で、将来の行動規則の多様性が減少していると考えられる。 $N_p = 2000$  の場合はこの影響が表出する前にシミュレーションが終了したが、 $N_p = 20000$  の場合は、相対的な差が広がった結果、混み合いやすいアトラクションの待機エージェント数が増加を始めたと考えられる。更に、いったんあるアトラクションの行列が長くなると、新たに入場したエージェントは混雑の少ないアトラクションをすばやく巡回できてしまうために、混雑しているアトラクションはより混雑し、それ以外のアトラクションはより混雑しにくくなるというフィードバック効果が働き、突発待ち行列の発生を招いたと考えられる。

なお、本モデルでは、各エージェントが観賞予定のアトラクションをすべて巡回し、どんなに行列が長くてもそこに到着した場合には並ぶ設定になっているために、突発待ち行列発生後の行列の長さの増加が顕著である。しかし、現実には「行列が長すぎるとあきらめる」という心理的影響が働いて行列の長さの増加を抑え込むため、これほど顕著には現れにくいことが推測される。

最後に、混雑情報を提供する確率  $r$  と突発待ち行列が発生する頻度、及び、系全体の効率との関係を定量的に明らかにする。そのために、この現象を「初期状態から 12000 ステップまでの間においてすべてのアトラクションにおける待機エージェント数が常に 120 以下で推移し、かつ、それ以降のステップからシミュ

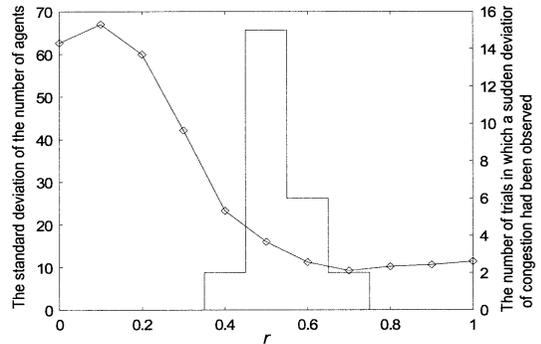


図10 混雑情報提供確率  $r$  と待機エージェント数標準偏差及び突発待ち行列が発生した回数 (30 試行中)

Fig.10 The standard deviation of the number of agents who are waiting for their turns among attractions and the number of trials in which a sudden deviation of congestion had been observed in various cases of  $r$ .

レーション終了までの間において、ただ一つのアトラクションの待機エージェント数が 160 以上でありそれ以外のアトラクションではすべて 100 以下であるステップが少なくとも一つ存在する試行」と定義する。図 10 は  $N_p = 20000$  の設定で  $r = 0.0 \sim 1.0$  まで値を 0.1 ずつ変えてそれぞれ 30 回試行を行ったとき、各設定において上記の条件を満たした試行の回数と、各設定での全ステップにおけるアトラクションごとの待機エージェント数の標準偏差の平均を表したものである。同図より、上記のような現象は  $r = 0.4 \sim 0.7$  の間で観察され、 $r = 0.5$  の場合においてその頻度が最も高いことがわかる。また、待機エージェント数の標準偏差は  $r = 0.7$  で最小値をとることがわかる。このことは、 $r$  が中程度の条件において、情報提供による混雑分散の効果の低下により上記の現象が発生し標準偏差が増加するために、前節での  $N_p = 2000$  の場合よりも高い頻度が最適値となることを示している。

#### 4. む す び

本論文では、集団における情報共有がもたらす行動多様性への影響に関する一般的特性を明らかにするために、イベント会場における混雑情報提供を取り上げ、マルチエージェントシミュレーションを行った。その結果、混雑情報の提供は基本的にはエージェントの行動の多様性を増加させ、アトラクションの配置といった環境条件によって生じる待ち行列の長さの偏りを緩和するが、頻度が高すぎると逆に行動の多様性を減少させ、偏りが大きくなるという影響があることが判明

した。また、混雑情報提供には将来の行動規則の多様性を時間経過に伴って徐々に減少させるという副次的効果が存在し、あるアトラクションでの長い待ち行列の突発的な発生、すなわち、混雑情報提供がもつ行動多様性維持の効果の突然の低下を引き起こすことが判明した。この現象は、エージェントが共有する情報の多様性と実際に行われる行動の多様性の両者が互いに与える影響が時間経過とともに変動するという興味深いシナリオを提示するものである。

今後の課題として、行き交うエージェント間で局所的に情報共有が行われるといった、移動中のエージェント間のより強い相互作用を想定した、現実的な設定での情報と行動の多様性の相関についての議論を予定している。

#### 文 献

- [1] W.B. Arthur, "Inductive reasoning and bounded rationality," American Economic Association Papers Proceedings, vol.84, no.2, pp.406-411, 1994.
- [2] D. Challet and Y.C. Zhang, "Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game," Physica A, vol.246, pp.407-418, 1997.
- [3] R. Savit, R. Manuca, and R. Riolo, "Adaptive competition, market efficiency, and phase transitions," Phys. Rev. Lett., vol.82, no.10, pp.2203-2206, 1999.
- [4] T. Hogg and B.A. Huberman, "Controlling chaos in distributed systems," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol.21, no.6, pp.1325-1332, 1991.
- [5] 山崎達志, 潮 俊光, "Hogg-Huberman 戦略に基づくパケット網ルーティング方式," 信学論 (B-I), vol.J81-B-I, no.3, pp.135-142, March 1998.
- [6] J. Akaishi and T. Arita, "Multi-agent simulation showing adaptive property of misperception," Proc. 2002 FIRA Robot World Congress, pp.74-79, Seoul, Korea, May 2002.
- [7] J. Akaishi and T. Arita, "Misperception, communication and diversity," Proc. Artificial Life VIII, pp.350-357, Sydney, Australia, Dec. 2002.
- [8] 有田隆也, 人工生命, 医学出版, 東京, 2002.
- [9] 服部正太, 木村香代子, 辺見和晃, "遊園地における混雑情報と入場者の行動," 東京大学大学院総合文化研究科山影研究室 Working Paper Series, no.12, 2000.
- [10] 辺見和晃, "来場者に優しいテーマパーク—混雑緩和問題と情報の共有," コンピュータの中の人工社会, pp.124-139, 共立出版, 東京, 2002.

(平成 14 年 8 月 5 日受付, 15 年 3 月 27 日再受付)



鈴木 麗璽

1998 名大・情報文化・自然情報学科退学 (飛び級のため). 2000 同大学院人間情報学研究科博士前期課程了. 2003 同研究科博士後期課程了. 博士 (学術). 現在, 名古屋大学大学院情報科学研究科助手. 人工生命手法に基づくエージェントベースモデリングに関する研究に従事. 進化と学習の相互作用, 協調行動の創発と進化などに興味をもつ. 人工知能学会, 日本進化学会, 日本語学会各会員.



有田 隆也 (正員)

1983 東大・工・計数卒. 1988 同大学院工学系研究科了. 工博. 名古屋工業大学講師, カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員を経て, 現在, 名古屋大学大学院情報科学研究科教授. 人工生命や複雑系科学の研究に従事. 言語の進化, 人間行動の進化, 進化的計算論などに興味をもつ. 人工知能学会, 情報処理学会, 日本認知科学学会各会員.