

イベント会場における混雑と情報提供に関するマルチエージェントモデル

* 鈴木 麗璽

名古屋大学 大学院人間情報学研究科

reiji@info.human.nagoya-u.ac.jp

概要

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ひとつである。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。そんな中、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解消が検討されつつある。そこで、本研究は、この状況を集団における情報伝播・共有がもたらす行動の多様性とその適応性への影響に関する問題として捉え、イベント会場における来場者の混雑と情報提供の影響に関して、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。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、それが集団全体の混雑にどのような影響を及ぼすかについて実験を行い、考察する。

はじめに

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ひとつである。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。しかし、この混雑はイベント会場における多数の来場者の相互作用によってもたらされる現象であるために、どのような条件で、どのようにして混雑が発生するかを明らかにすることは容易ではないと言える。一方、近年、インターネット接続環境や携帯電話の普及・高機能化をはじめとして、個人が多くの情報を瞬時にかつ容易に得られるようになってきた。そんな中、イベント会場においても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解消が検討されつつある。このような情報提供の多くは、会場への来場者にとって有用であると考えられるが、利用者の行動に大きな影響を与えるような情報を提供した場合、集団全体の挙動について注目すべき興味深い現象をもたらす場合があると考えられる。

そこで、本研究は、この状況を集団における情報伝播・共有がもたらす行動の多様性とその適応性への影響に関する問題として捉え、イベント会場における来場者の混雑と混雑情報提供の影響に関して、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[1]。具体的には、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観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、それが集団全体の挙動にどのような影響を及ぼすかについて実験を行い、考察する。なお、服部らは、いくつかのアトラクションによって構成される遊園地における混雑情報と入場者の行動について、混雑情報の提供が集団の挙動に与える影響について議論しているが[2]、本稿では、各アトラクションの配置が混雑にもたらす影響を前提にして、配置によって生じる混雑の偏りが情報提供の頻度によってどのように推移するか注目して議論する。また、これらの議論から得られる結果は、集団における情報の伝播および共有と、それに基づく行動の多様性とその適応性への影響について、重要な知見をもたらすことが期待できる。

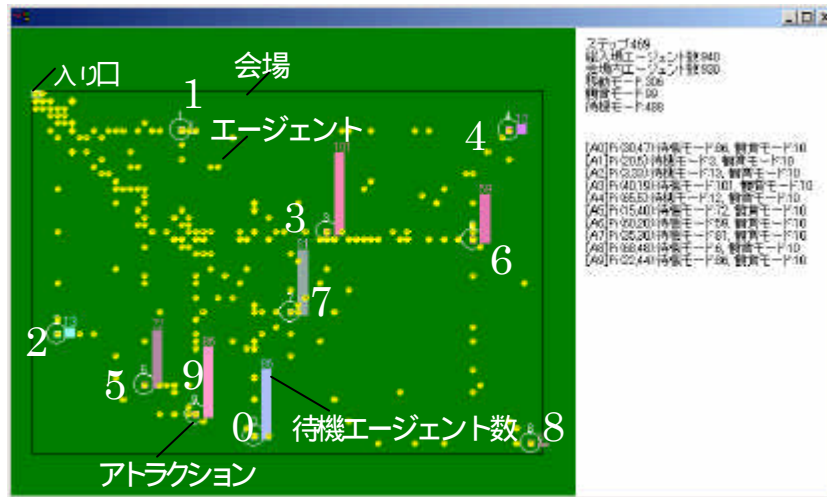


図1 :シミュレーション実行画面

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次元の平面で表現する。平面左上を入り口とし、来場者（以下エージェントと呼ぶ）は入り口から会場に入場する。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、制限を越えない範囲で全エージェント数（ N_p 人）に達するまで入り口からエージェントが 1 ステップにつき最大 N_a 人ずつ入り口に配置される。

各エージェントは、入場時に N_a カ所のアトラクションそれぞれについて確率 P でそのアトラクションを観てまわるかどうか決定するものとする（これを観たいアトラクションと呼ぶ）。 P はアトラクションの人気度をあらわし、観たい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捉えることができる。入場時には観たいアトラクションのうちランダムに選択したアトラクションを目指して移動を開始する（移動モード）エージェントの移動はステップごとにランダムに決定された優先順に従いエージェントごとに次の手順で行われる。自身を中心とした 9 近傍のセルのうち、会場の外、および、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 $(1-(n+1)/10)$ で次の式に従って移動先を決定し、 x および y 座標を更新する。

$$x = x + \text{rsgn}(A_{ix} - x) \quad (1)$$

$$y = y + \text{rsgn}(A_{iy} - y) \quad (2)$$

ここで、 A_x, A_y は目指すアトラクションの $x \cdot y$ 座標、 $\text{rsgn}(k)$ 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 の値を返し」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 セル分移動する事を意味する。（ただし、新たな座標を算出した結果、座標が会場の敷地を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、優先順位の高いエージェントが既に同じ移動先のセルに移動することが決定している場合には、その時刻では移動せず、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、優先順位の高いエージェントが既に現在位置を移動先としており、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。また、単位時間あたりの移動量の物理的制約を満たすため、最終的な移動先が現在位置から斜め方向の位置である場合、さらに確率 $(1-2^{-0.5})$ で移動を行わないものとする。

アトラクションに到着したエージェントは行列に並び、その場で待機する（待機モード）。各アトラクションでは、最大 C 人のエージェントが同時に観賞可能であり、この制限を越えない範囲で早く到着したエージェントから順にアトラクションを L ステップかけて観賞する（観賞モード）。本研究では、想定するイベント会場として、人気テーマパーク、博覧会会場など、大規模で常に施設を観賞するための待ち行

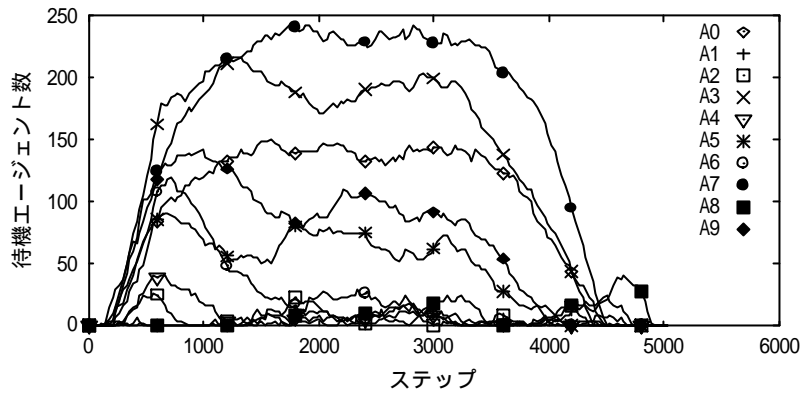


図2 :待機エージェント数の推移 ($r=0.0$)

列が観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 と比較して入場者が圧倒的に多い設定を採用する。従って、アトラクションを観賞するために多くの待機エージェント（長い待ち行列）が存在することになる。

アトラクションを観賞し終えたエージェントは、残りの観たいアトラクションの中から、次に目指すアトラクションを決定する。ここで、来場者はそれぞれ入り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観終わるごとに、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（行列の長さ）が提示され、その場合には残りの観たい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の少ないアトラクション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アトラクションを選ぶものとする。一度行き先を決定した後はそのアトラクションに到着するまで行き先を変更しない。観たいアトラクションをすべて観賞し終え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。

実験

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、小さな黄色い円がエージェントを表している。画面左上入り口から来場者が入場し、目的のアトラク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観賞するために並んで待っている事を表している。フィールド右側には、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。本稿では、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、観賞時間、収容能力をすべて同一の値 $P=0.7$, $L=30$, $C=10$ を設定した上で、図1に示すような施設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、特に断りの無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（行列の長さ）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つ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。また、シミュレーションの序盤から中盤にかけてあまり存在しなかったアトラクション1, 8での待機エージェント数がシミュレーションの最後で急増しているのが特徴的である。これは、アトラクション1, 8が他のアトラクションから遠い位置にあり、訪れるのを後回しにされる傾向があることにより、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

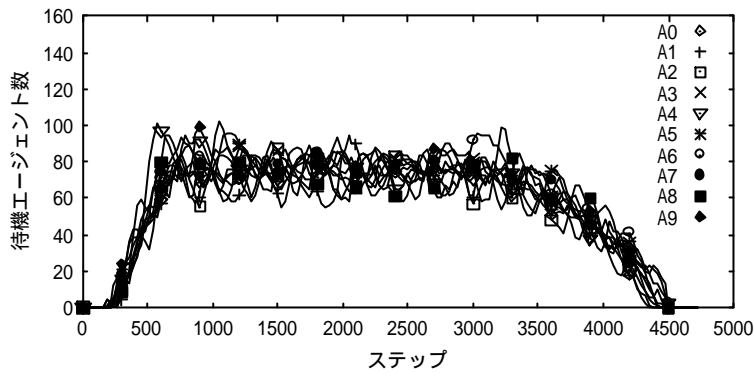


図3 :待機エージェント数の推移 ($r=0.5$)

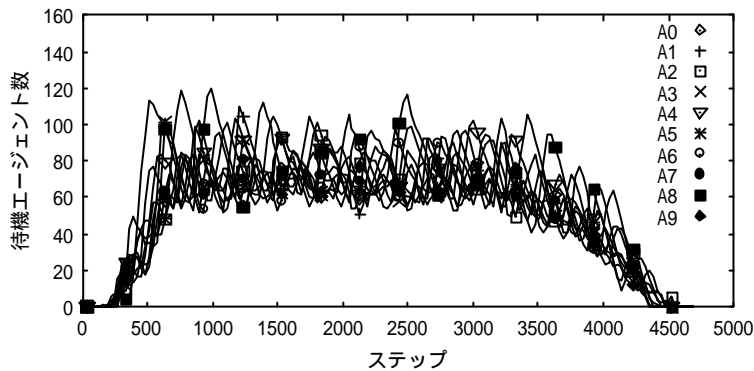


図4 :待機エージェント数の推移 ($r=1.0$)

能力、観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大きく異なることが明らかになった。
混雑情報の提供

次に、混雑情報を提供する確率 r を 0.5, 1.0 として実験を行った。図 3, 4 はそれぞれ、 $r=0.5, 1.0$ 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図 2 の場合 ($r=0.0$) と比較して、 $r=0.5$ では細かく振動しながらもどのアトラクションも同じような待機エージェント数で推移し、全体として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多くなるような緩やかな曲線を描いており、混雑情報の提供による待機エージェント数の偏りの緩和が確認できる。しかし、常に混雑情報を提供しつづける $r=1.0$ の場合では、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、望ましいものとは言えない。 r の値の変化に伴ってアトラクション毎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調べるために、 $r=0.0 \sim 1.0$ 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 5 である。各値は 10 試行の平均である。これからも $r=0.0$ から r が大きくなるに従って標準偏差が大きく減少し $r=0.5$ で標準偏差が最小となり、その後緩やかに増加していることがわかる。

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、各エージェントが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、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。いま、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観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。その間もずっと、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つづけるために、この間にあまりに多くのエージェントが混雑情報に従うと、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おきることで、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

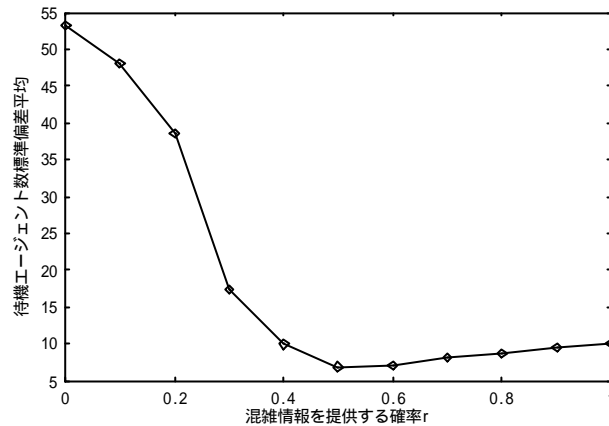


図5 混雑情報提供確率と待機エージェント数の偏りの相関

て、この振動が大きい傾向が観察された。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。情報提供を行うことで全体としての混雑の分散は小さくなったが、当初混雑の少なかったアトラクションがかえって相対的に望ましくない状況に陥るという副作用を招いているということが言える。

混雑情報の二次的影響

これまでの実験では、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、偏りを最小にする挙動が観察されつづけるだろうか。そこで、前節の設定を元に、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、多くの試行で興味深い現象が確認された。図 6 は、ある試行でのアトラクション毎の待機エージェ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 ステップ前後でアトラクション 3 の待機エージェント数が急増していることがわかる。試行を繰り返した結果、このように試行の途中で待機エージェント数が急増するアトラクションは、基本モデル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わかった。

この理由は、今回採用した混雑情報によるエージェントの分散の効果が、試行を続けるにつれて減少してくるためであると考えられる。混雑情報に従うエージェントは、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訪問する傾向がある。このため、情報に従うエージェントは、これを繰り返すうちに残りの観たいアトラクションの内に混雑にくいアトラクションがなくなってしまい、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べず、そこに行かざるを得ない状況に陥る。これは、情報提供による混雑分散の効果が減少する事を意味すると考えられる。 $N_p=2000$ の場合はこの影響が大きくなる前にシミュレーションが終了したが、 $N_p=20000$ の場合はステップをさらに繰り返すうちにこのような状況のエージェントが累積した結果、混み合いやすいアトラクションの待機エージェントが増加を始めたと考えられる。さらに、一旦行列が長いアトラクションができると、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、前述のような急増を招いたと考えられる。これらの結果は、提供する情報は同じであっても、情報提供しつづけることが受け取る側の状況を変動させるために、その効果や価値も動的に変化しうることを示していると考えられる。

おわりに

本稿では、イベント会場における来場者の作る混雑に施設配置と混雑情報の提供がどのような影響を及ぼすかについて、集団における情報伝播・共有がもたらす行動の多様性とその適応性への影響に関わる問題として捉えて議論してきた。はじめに、来場者エージェントが観たいアトラクションを近くのものから

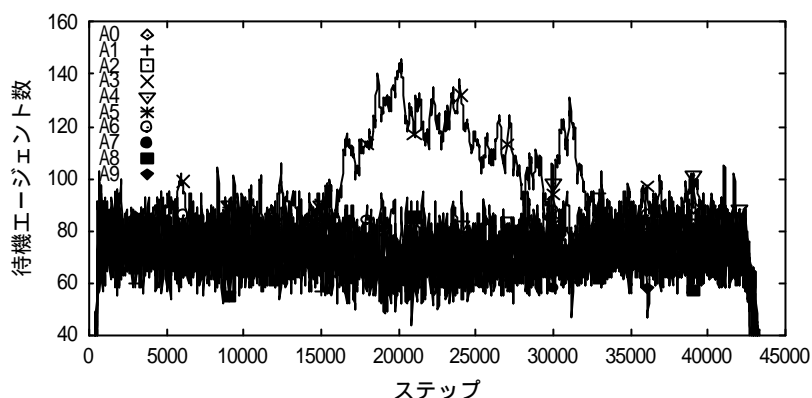


図6 待機エージェント数の推移 ($\epsilon=0.5, N_p=20000$)

順にまわるとい条件では、不規則な配置ではそれに特有な混雑の偏りの推移を示すことが明らかになった。次に、来場者に携帯情報端末を用いて混雑状況を提供したとき、情報提供が混雑に与える影響について実験を行った。各エージェントが混雑情報を提供された場合には混雑の最も少ないアトラクションを訪れる設定で実験を行った結果、混雑情報の提供は基本的にはアトラクション毎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と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わかった。さらに、来場者数の少ない設定で混雑の偏りが最小となる情報提供の頻度を用いても、来場者を増やして実験を行うと、時間を追うごとに混雑情報提供の効果が減少し、それをきっかけにして新たな混雑を引き起こす可能性があることが明らかになった。これは、情報提供を繰り返すことが受け取る側の状況を変動させるために、その効果や価値も動的に変化しうることを示していると考えられる。

このように、複数の意思決定主体が限られた情報に基づいて行動し、かつ、各行動に対する評価が他の主体の行動（頻度など）に依存するような状況において生じる複雑な挙動は、El Farol Bar 問題[3]をはじめとして複雑系科学における様々な領域で議論されている[4, 5, 6]。今後は有限の資源をめぐる争いを抽象化したモデルであるマイノリティゲーム[7]を用い、情報共有・伝播の行動の多様性とその適応性への影響について議論を進める予定である。また、生物進化における情報共有・伝播能力の進化と学習能力の進化との影響についても議論したいと考えている。

参考文献

- [1] 有田隆也 (2000). 人工生命. 科学技術出版.
- [2] 服部正太, 木村香代子, 辺見和晃 (2000). 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.
Available: <http://citrus.c.u-tokyo.ac.jp/WP12.pdf>.
- [3] Arthur, W. B. (1994). Inductive reasoning and bounded rationality. *American Economic Association Papers Proceedings*, 84(2), 406-411.
- [4] 赤石仁, 有田隆也 (2001). 誤認の適応性に関するマルチエージェントモデル, 第11回 インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp. 229-234.
- [5] Hogg, T., and Huberman, B. A. (1991). Controlling chaos in distributed systems. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 21(6), 1325-1332.
- [6] 山崎 達志, 潮 俊光 (1998). Hogg-Huberman戦略に基づくパケット網ルーティング方式, 電子情報通信学会論文誌, J81-B-I(3), 135-142.
- [7] Challet, D., and Zhang, Y. C. (1997). Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game, *Physica A* 246:407.