

# エージェントシミュレーションによるイベント会場における 混雑情報の提供手法の研究

○西崎 駿 佐々木 晃 (法政大学)

## Research on methods for providing congestion information at event venues by agent simulation

\* S. Nishizaki and A. Sasaki (Hosei University)

**概要**— 本論文では、テーマパークにおける混雑緩和のための混雑情報の提供方法の改善することを目的としている。様々な提供方法をシミュレートして得られた結果を比較し、改善方法を明らかにする。まず、シミュレーションをより再現性を向上させるために、既存のエージェントモデルに年齢などの集合性と個性を追加した。その後、3つの提供モデルをそれぞれ導入し、実験を行った。1つは今後の混雑を予測するモデル、2つ目はおすすめのアトラクションを提示するモデル、3つ目は看板から混雑情報を受け取るモデルです。これらはそれぞれ、エージェントのアトラクションの選択に影響を与える。実験を通じてエージェントの滞在時間に関するデータを収集して比較した。

本論文の目的は、混雑情報の提供方法の改善することである。その結果、アトラクション周辺の通路にいるエージェントの数から今後の混雑を予測し、その結果を提供することが最適であることが明らかとなった。今後はパレードなどの、より再現性が高いシミュレーションを可能にし、それぞれの手法を組み合わせたモデルを検討する必要がある。

**キーワード:** 混雑緩和, エージェントシミュレーション, 情報提供

### 1 はじめに

イベント会場ではアトラクションを体験するために長い行列に並び長時間待つことが多い。待ち時間が長い場合、不満に感じることや、来場をためらう原因となる。さらに、現在新型コロナウイルス感染拡大により大人数が集まる場所で人々が密集することを回避する必要がある。そのためテーマパークなどのイベント会場では入場制限などの対策が設けられているが、この対策を長期間続けていると経営に影響を及ぼす可能性が大いにある。そのため、ある程度の人を受け入れて運営する必要があり、イベント会場は多くの人を受け入れても混雑や密が発生しづらい環境を整えることが求められる。

このような問題を解決するために、現実での実験を行うことは困難であるため、コンピュータ上で環境を再現し解決策を模索するという手段がとられる。本研究では、マルチエージェントシミュレーションの手法を用いて研究を行う。これまで、テーマパークなどのイベント会場における混雑緩和のためのエージェントシミュレーションによる研究は多く行われているが、参考文献<sup>1)</sup>をはじめ、既存研究ではアトラクションの待ち行列モデルを用いて、これを抑制することを目標とするものが多い。一方で、近年情報通信機器の発達により様々な情報提供手段があるが、それらの効果を考察するモデルは多くない。さらに、既存研究はシミュレーションをできるだけ単純化するため、来場者に特徴を与えるものが少なく、来場者の性質の差異による分析がなされていない。また、現実ではイベント会場への来場者は単体でなく、集団である場合も多いと考えられるが、既存研究ではエージェントが個々で意思決定をした上で行動していて、集団による意思決定を考慮していない。これによりシミュレーション結果に大きな違いが生じる可能性がある。さらにエー

ジェントの年齢から生じる行動の変化や、混雑を避ける行動の種類がアトラクション選択だけで少ないなど、現実の状況とは大きく異なる部分が多い。実際には待ち行列があまりに長いと、他のアトラクションに移動する人も存在する。また、優先パスなど混雑情報の提供とは別の方法で、混雑緩和への影響の与え方を研究している。

そこで、本研究ではこれらの問題点を解決するため、来場者の行動様式を正確に考慮して混雑緩和を目指す上では、来場者が待ち行列だけでなく、移動中の通路の状況も考慮して行動するという観点を導入する。そのうえで情報提供の改善を目指す。また、来場者を単体ではなく集団性があるものと考え、年齢や各々の混雑に対する反応や行動についてもモデルに導入することで、情報提供による群衆の意思決定という点において、より現実的であると考えられるモデルを作成する。

本論文では、各イベント会場の来場者の特徴を表現可能なモデルを作成し、情報提供に対する群衆行動の影響がより現実的なシミュレーションを可能にするとともに、混雑緩和のための混雑情報の提供方法の改善を目的とする。

### 2 提案手法

本研究では、群集に情報提供を行った際の個々の行動をモデリングするために、マルチエージェントシミュレーション(MAS)を用いる。再現性が高いシミュレーションを行えるように「個性」、「集団性」をエージェントモデルに追加し、混雑緩和のための混雑情報の提供方法の改善をするため従来想定されていた混雑情報の提供方法とは異なる情報提供モデルを導入して、本論文でも同様にMASを行う。

#### 2.1 エージェントモデル

イベント会場での情報提供による群衆の動きを分析するために、本研究ではエージェントモデルに個性と

集団性を導入する。人間は年齢によって体力的な衰えや忍耐力の低下があるため、混雑に対する反応が異なる。具体的には高齢の人は混雑の影響を受けやすく、若年層は影響を受けにくくなる。エージェントに年齢という属性を追加し、エージェントを3つの年代に分けて、その年代によって混雑度に対する行動に変化を与えることでエージェント毎に違いを持たせる。また、歩行速度も年齢によって変化する。さらに、より再現性を向上させるため、アトラクションに到着した際に行列が長い場合、諦めて他のアトラクションに移動するエージェントを追加する。

次に「集団性」について説明する。イベント会場では単体で行動するのではなく、集団で行動することが主であると考えられるため、集団での意思決定のもとアトラクションを巡回するモデルを導入する。集団意思決定の手続きは同調行動を再現するモデルとする。同調行動は集団内の多数派の意見が集団の行動決定となるように、多数決による方法とする。集団内のエージェント毎に目指すアトラクションを決定し、集団内で目指すアトラクションに決めた人が最も多いアトラクションへ集団で向かう。さらに各集団は互いに似た嗜好をもったメンバーで構成されるものとする。

既存研究では基本アトラクションの待ち行列をエージェントに提供することで、アトラクションまでの距離、選好度、待ち行列からエージェントはアトラクションを選択する。アトラクションを選択する際の式が以下である。

$$\text{効用値} = \text{選好度} - \alpha \times (\text{距離}) - \beta \times (\text{待ち人数})$$

※ここで $\alpha$ 、 $\beta$ は重みを表す定数である。

エージェントは入口から入場した際と、アトラクション搭乗後のタイミングでのみ、各アトラクションの待ち人数の情報を受け取り、上記の計算式で求められる効用値に基づきアトラクションを選択する。その際、情報を受け取る方法は携帯端末であると仮定し、端末を所持しているエージェントの割合は混雑情報提供率というパラメータによって決定させる。また、端末から得られる情報は逐一更新されるものとする。各エージェントは、この計算式で求めたアトラクション効用値が大きいアトラクションを選択し向かう。情報提供を受けないエージェントは、選好度のみで次に向かうアトラクションを決定する。計算式の定数部分は複数回実験を行い、各アトラクションにバランスよく分散する最も妥当な値を求める。これに対して、本研究では以下の異なる3つの情報提供方法を提案する。

## 2.2 混雑予想モデル

アトラクションの周辺通路にいる来場者の数から今後の混雑予想を大まかに「混雑する」「変わらない」「空く」の3段階で求めて、その情報を来場者に提供する方法である。3段階の混雑予想によって異なるパラメータを設定し、値は実験によって決定する。アトラクション選択式は従来の計算式から、さらに混雑予想(混雑する/変わらない/空く)の値を引いた効用値になる。

## 2.3 看板モデル

看板モデルは他の方法とは大きく異なり、端末の所持にかかわらず誰でも情報を取得することができる。

今回は看板モデルの場合、エージェントは端末の所持による情報取得はないものとし、看板を見た際にだけ情報を取得することができる。また、これまでの方法ではアトラクション終了後のタイミングでのみアトラクションの選択を行うが、この方法では移動中の看板がある通路で行き先を変更可能である。ただし、それ以外のアトラクション選択の方式は従来と同様である。集団の中のリーダーが一人存在し、看板がある通路にいるときに一定の確率で看板を見る。もしリーダーが看板を見た場合、同じグループの来場者もその看板を見て情報を受け取る。

## 2.4 推薦表示モデル

推薦表示とは、全アトラクションの中から運営側が訪れてほしいアトラクションを端末にいくつか提示する方法である。推薦表示するアトラクションは、従来の計算式で計算し、アトラクション効用値が大きいものになる。ただしアトラクション選好度ではなく、アトラクション人気度を用いる。選好度は、エージェント毎のアトラクションの選びやすさであるのに対して、人気度は全てのエージェントに対して一律の選びやすさである。そして、表示されたものの中から、エージェント毎に選好度が大きいアトラクションを選ぶ。また、推薦表示するアトラクション数は実験によって適切な数を検討する。

## 3 予備実験

今回は通路情報のデータを取りやすくするため参考文献<sup>2)</sup>とは異なる形式のMASを行う。参考文献ではセル型と呼ばれる形式を用いて、イベント会場を2次元の格子状平面で表現し、そのマス目を移動する。本論文ではスポット型と呼ばれる形式で、イベント会場をいくつかのスポット(場)に分けて、より簡略化した形にする。具体的には入出場口、アトラクション、およびそれらをつなぐ通路をスポットとする。また、会場の各スポットを移動するのに要する移動時間を表現する必要があるため、スポット間の「距離」を設定する。エージェントは、隣接するスポットに移動する際には、距離や密度等に応じたステップ数を待機してから移動する。予備実験では、モデル化の方式の違いによって問題が発生しないかを確認するため参考文献とアトラクションや通路の配置、乗車時間などの条件を揃えてシミュレーションを行い、参考文献と同じような動作が確認可能かどうかを調査する。スポット同士の距離は参考文献を参考に、おおよそのパラメータを設定する。また、実験結果によってシミュレーションのパラメータを調整し比較を繰り返すことで、基本的なパラメータ値を決定する。さらに、参考文献とは全く異なるアトラクション配置、通路配置にした際でも似た考察ができるかを確認し、シミュレーション形式の違いの問題点を探す。

予備実験を行ったところ、セル型では通路において

エージェント同士の衝突回避を考慮するため、あるエージェントの移動先に別のエージェントがいると動けなくなり移動が遅くなることがあるが、スポット型ではエージェント同士の位置による干渉はそのままでは考慮されないために、結果に違いを生むことがわかった。そこで、参考文献<sup>3)</sup>に記述されている群集歩行速度と群集密度の関係式を用いて、通路の密度を計算しその値が移動速度に変化を与える形とした。

- ・  $0 \leq \text{群集密度 (人/m}^2\text{)} \leq 4$  :
- 歩行速度 = 年齢別歩行速度  $\times (1.5 - 0.325 \times \text{群集密度})$
- ・  $4 < \text{群集密度 (人/m}^2\text{)}$  :
- 歩行速度 = 年齢別歩行速度  $\times 0.2$

1 ステップ毎に、各エージェントの毎歩行速度の値が足されていき、スポット間に距離として割り当てた値に達したら隣接スポットへ移動する。

その後再び実験を行ったところ、今回用いるシミュレーション環境に問題がないことを Fig. 1 から確認できた。

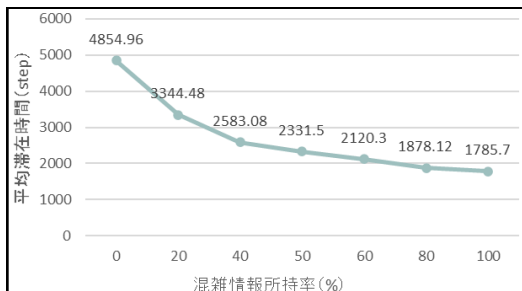


Fig. 1: 混雑情報提供率と平均滞在時間

#### 4 本実験

予備実験で作成したシミュレーション環境に今回提案するモデルを導入し、テーマパークの混雑状況を比較し混雑情報の提供方法の改善を目指す。本研究では、1 万ステップ経過時での退場者全体の滞在時間を平均し(平均滞在時間)、その値が小さければ待ち時間が短く、密回避や満足度向上につながると評価する。入場者は平均して 10 個のアトラクションを訪問するようにパラメータを設定した。また、本論文では同条件で 5 回シミュレーションを行い、その平均値(滞在時間)を取っている。Fig. 2 は実際の実行画面で、赤い四角はアトラクション、黒い四角は通路、水色は看板がある通路のスポット、オレンジの数字は通路番号を示している。

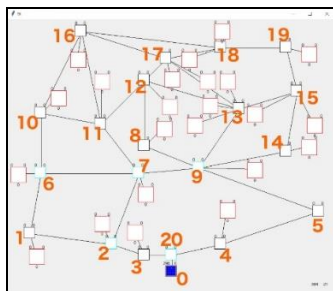


Fig. 2: 実行画面

#### 4.1 エージェントモデル

シミュレーションの再現性向上を可能にするための「個性」「集団性」を導入し、参考文献と同じアトラクションと通路配置で入場者の条件も同様なもので実験を行う。そして参考文献と実験結果、テーマパークの実データからパラメータを決定する。年齢層を若年層、中年層、高齢層の 3 つに分けて、中年層を基準に若年層が比較的混雑の影響を受けづらく、高齢層が受けやすいようなパラメータを様々なパターンで設定し、実験を複数回行う。人数の割合は 3 割のエージェントが若年層、5 割が中年層、2 割が高齢層である。この値は東京ディズニーリゾートのゲストプロフィールに基づいて決定している。待ち行列が長い場合、他アトラクションに移る際のパラメータはアンケート結果から決定する。また、歩行速度に関しても実データをもとに年齢別に変化させる。そして、得られた結果からパラメータを決定後、集団性モデルを導入する。単独モデルと集団モデルのシミュレーションをそれぞれ行い、参考文献と同様の違いが観察できるかを検証する。集団の人数は単独、カップルや友達想定 2 人、家族や友達グループを想定した 5 人の 3 パターンで、割合は単独が 1 割、2 人が 4 割、5 人が 5 割として実験を行う。再現性が高いシミュレーションを可能にするための 2 つのモデルを導入しパラメータも決定後、3 つの混雑情報の提供方法をそれぞれ導入し、実験・比較を行う。ただし、これらに関しては正当性を判断するための参照データを入手できなかったため、今回は実際の挙動を観察するとともに、モデルに追加したことでのどのような変化が結果に現れたのかを考察し、明らかに不自然でなければ問題がないと判断することとする。「個性」モデルを導入し、年齢による混雑状況への振る舞いに影響を及ぼすパラメータを変更しながら、複数回実験を行い、アトラクション効用値を求める計算式のパラメータを若年層は  $\beta = 0.003$ 、中年層は  $\beta = 0.005$ 、高齢層は  $\beta = 0.008$  とした。今回は年齢による変化は混雑状況に対する振る舞い方に現れるものとしたため、 $\alpha$  の値に関しては 0.003 で固定した。このパラメータで実験した結果、Table 1 の結果が得られた。

Table 1: 「個性」モデルの平均滞在時間減少率

情報提供率 (%)	0	20	50	70	100
年齢層	2212.64	2067.94	1703.7	1614.08	1563.68
減少率		6.54%	23.00%	27.05%	29.33%

ここでの減少率は情報提供率が 0% のときの平均滞在時間に対しての減少度を示している。

「集団性」モデルでは、何人グループがどれだけの割合で来場するかを一律で設定して実験を行った。(Fig. 3)

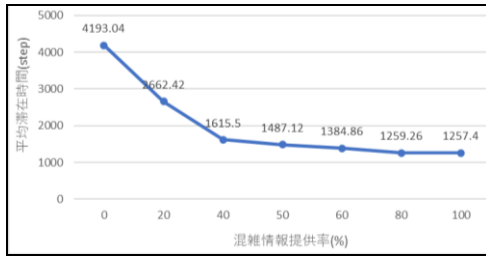


Fig. 3: 集団性モデルの情報提供率と平均滞在時間

Fig.1 と Fig.3 を比較すると、集団性モデルを導入後の方が情報提供の恩恵を受けやすくなった。

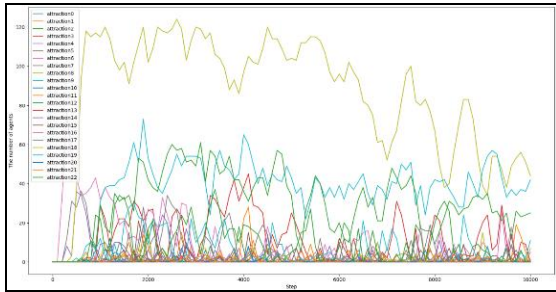


Fig. 4: 「個性」「集団性」モデルによる各アトラクションの待ち人数の推移

Fig.4 の横軸は時間(ステップ回数)、縦軸は待ち人数と示している。

## 4.2 推薦表示モデル

「推薦表示による情報提供」では、推薦表示するアトラクション数を 5 個、10 個、16 個、23 個と変更して実験を行った。全アトラクション数は 23 個である。その結果、推薦表示するアトラクション数で異なる結果となった。推薦表示するアトラクションが 5~10 個の場合が、最も平均滞在時間が短くなる。それ以上の表示数であると、情報提供率が高い場合平均滞在時間が減少しない。もしくはかえって滞在時間が増える。また、推薦表示するアトラクションを決める基準を待ち行列か距離、どちらに置かでも違いが生じる。今回用いたパラメータでは、待ち行列に重きを置いた方が混雑緩和につながった。

Table 2: 「推薦表示による情報提供」の提示数に対する滞在時間減少率の比較

	情報提供率(%)	0	20	50	70	100
おすすめ5個	滞在時間(step)	2201.07	2161.17	1777.23	1996.63	2201.17
	減少率		1.81%	19.26%	9.29%	0.00%
おすすめ10個	滞在時間(step)	2187.22	2133.86	1841.22	1923.06	2177.46
	減少率		2.44%	15.82%	12.08%	0.45%
おすすめ16個	滞在時間(step)	2192.24	2179.50	1909.10	1965.52	2387.86
	減少率		0.58%	12.92%	10.34%	-8.92%
おすすめ23個	滞在時間(step)	2212.36	2222.72	2170.74	2181.00	2325.48
	減少率		-0.47%	1.88%	1.42%	-5.11%

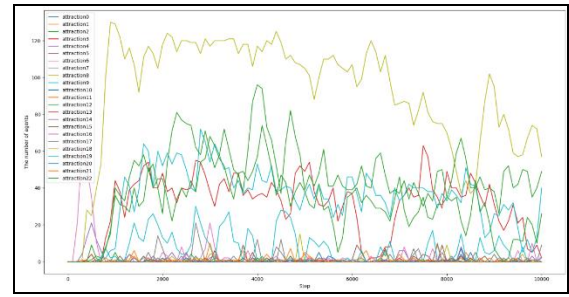


Fig. 5: 「推薦表示」モデルによる各アトラクションの待ち人数の推移

Fig.5 の結果は、推薦表示するアトラクション数が 16 個のときである。Fig.4 と Fig.5 を比較すると、推薦表示モデルにしたことにより来場者が集中するアトラクションが増えた。また、そのアトラクションはすべて人気のアトラクションである。一方で混雑するアトラクションと空いているアトラクションの差がより激しくなった。

## 4.3 混雑予想モデル

アトラクション周辺 2 スポットに何人以上いると「混雑」と予想し、何人以下だと「空く」と予想するのか、複数回実験を行い予想の仕方による影響を調査した。混雑予想によるアトラクション効用値の計算式のパラメータは、複数回実験を行い、混雑と予想された場合は-0.12、変わらないと予想された場合は0、空くと予想された場合は 0.12 と設定するのが適当だと判断した。以下の Table3 が、予想の仕方を変化させ実験した結果となる。

Table 3: 「混雑予想による情報提供」の予想方法による滞在時間減少率の違い

	情報提供率(%)	0	20	50	70	100
混雑:50人以上 変わらない:49~26人	滞在時間(step)	2164.90	2108.23	1636.53	1504.23	1451.20
	減少率		2.62%	24.41%	30.52%	32.97%
混雑:80人以上 変わらない:79~41人	滞在時間(step)	2211.67	2132.03	1633.37	1533.80	1539.53
	減少率		3.60%	26.15%	30.65%	30.99%
混雑:100人以上 変わらない:99~51人	滞在時間(step)	2224.57	1892.80	1623.87	1525.87	1484.90
	減少率		14.91%	27.00%	31.41%	33.25%

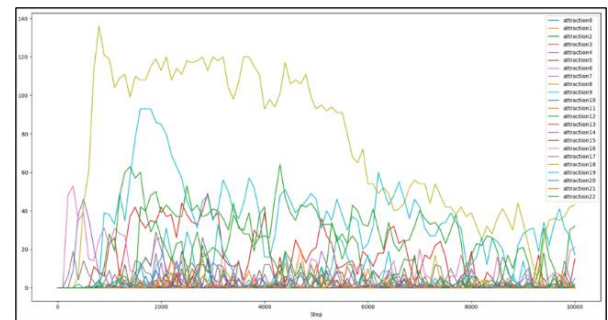


Fig. 6: 「混雑予想」モデルによる各アトラクションの待ち人数の推移

Fig.6 は周辺通路に 100 人以上いる場合に「混雑する」と予想するパラメータ設定で実験を行った結果で

ある。開場して 5000step 程までは人気アトラクションに集中して人が集まっているが、それ以降は他のアトラクションへの誘導によって人気アトラクションの待ち人数が減少している。

#### 4.4 看板モデル

看板の配置や看板を見る確率がどれだけ混雑緩和に影響を及ぼすのか検証するための実験を行った。さらに、看板から得ることができる情報を制限し、すべてのアトラクションの混雑状況を把握することができないときの影響も実験で確認した。

まず初めに、看板の数を 5 つに固定し、配置する位置だけを変更して実験を行った。ここでは、看板からすべてのアトラクションの混雑状況を取得できるものとする。

Table 4: 看板の配置位置による滞在時間減少度の比較

看板配置	看板なし	(1)	(2)	(3)	(4)	
看板を見る確率:20%	滞在時間(step)	2173.20	2021.35	1918	2019.93	2093.77
	減少率(%)		6.99%	11.74%	7.05%	3.65%
看板を見る確率:40%	滞在時間(step)	2173.20	1799.05	1754.67	1778.32	1959.6
	減少率(%)		17.22%	19.26%	18.17%	9.83%
看板を見る確率:100%	滞在時間(step)	2173.20	1410.10	1412.98	1588.58	1541.15
	減少率(%)		35.11%	34.98%	26.90%	29.08%

看板配置(1)は看板を 7, 15, 16, 17, 20 番通路に設置、(2)は 2, 6, 7, 9, 20 番通路に設置、(3)は 11, 12, 15, 17, 18 番通路に設置、(4)は 8, 9, 14, 18, 20 番通路に設置している。最も滞在時間に影響を与えたのは、看板配置(2)である。(2)はすべての看板がテーマパークの入り口に比較的近い配置である。次に、看板の位置を Table4 の(2)と同様にして、看板から得られる情報をすべてのアトラクションから、看板付近の 5 個のアトラクションに制限した。その結果が以下である。

Table 5: 「制限付き看板での情報提供」の滞在時間減少度

看板配置	看板なし	(2)	
看板を見る確率:20%	滞在時間(step)	2173.20	1954.08
	減少率(%)		10.08%
看板を見る確率:40%	滞在時間(step)	2173.20	1772.95
	減少率(%)		18.42%
看板を見る確率:100%	滞在時間(step)	2173.20	1366.12
	減少率(%)		37.14%

Table4 の看板配置(2)と比較すると、看板を見る確率に関係なく、ほとんど差がない。しかし、看板による情報提供のシミュレーションは同条件で実行した場合でも、平均滞在時間が 200~300step ほどずれることがあった。



Fig. 7: 「制限付き看板」モデルによる各アトラクションの待ち人数の推移

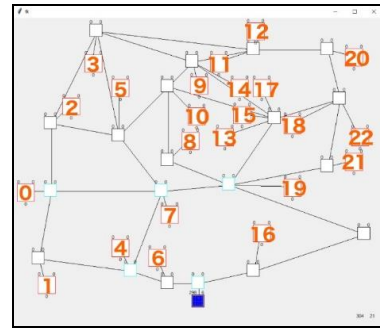


Fig. 8: アトラクション番号記載の実行画面

Fig.8 のオレンジの数字はアトラクション番号を示している。Fig.7 より、アトラクション番号 8 の人気アトラクションが開場してすぐに大量の行列が発生し、その後も混み続けている。アトラクション番号 19 の人気アトラクションも開場して混雑が発生する。しかし 5000step ほど経過後、一気に待ち行列は減少しその後は 50 人ほどの行列となる。これら以外のアトラクションは、ほぼすべて 20 人以下の行列となっている。最も入口に近いアトラクション番号 6 のアトラクションが開場直後だけ大行列となっている。

#### 5 考察

再現性向上のためにモデル導入した「エージェントの個性」は、導入したことによりエージェントに多様性ができ、アトラクションの周り方が異なりやすくなるため、一様なモデルに比べ混雑が起きないことがわかった。さらに「集団性」モデルは同じ提供率で大きな効果があるという結果が得られたが、これは集団内で混雑情報の共有が行われるために、低い情報提供率でも情報提供の恩恵を受けやすくなったことが要因と考えられる。

次に、本論文で提案する新しい混雑情報の提供方法について記述する。まず「推薦表示による情報提供」では、推薦表示するアトラクション数によって大きく異なる結果となることがわかった。5~10 個のアトラクションにすることによって、運営側が誘導したいアトラクションに誘導しやすくなる。逆に推薦する数を増やすと選択肢が増えエージェントが行きたい人気アトラクションに向かいやすくなってしまい、混雑が生じ

やすい。

「周辺情報からの混雑予想による情報提供」は、予想方法によって誤差はあるものの全てで混雑緩和の効果は大きくあった。今回は予想に用いる通路の範囲を固定で実験したため、予想に用いる範囲をより厳密に設定するとより精度の高い予想が行えるようになるため、混雑緩和につながると考えられる。

最後に「看板による情報提供」では、配置による影響度の違いが多くみられる。今回の実験では、看板の設置戦略は、入り口付近に配置テーマパークの奥に配置、混雑する場所、テーマパーク全体に分散して配置などとした。どの場合でも一定の効果はみられるものの、一番効果があったのは入り口付近に設置した場合であった。この理由として、入り口付近はほぼすべての来客が通り、入場してすぐに情報を得ることができるためであると考えられる。逆にテーマパーク奥に設置した場合その通路を通らない、もしくは情報を取得するのが来場してから時間が経過した後のため、混雑緩和の効果を受けづらい。また、取得できる情報に制限を付けた看板であってもあまり変化がないのは、看板から得た情報から選択するアトラクションが看板近辺の場所であることが多いためであると考えられる。そのため、制限の掛け方が周辺のアトラクションではなく、空いているアトラクションであると距離よりも混み具合を重要視しやすくなり、異なる結果が期待できる。

## 6 おわりに

本研究では、イベント会場の群集の行動に関して、従来の MAS と比較し、情報提供に対する意思決定がより現実的なモデル化を提案し、混雑緩和のための混雑情報の提供方法の改善を目指した。その結果、今回提案した中では今後の混雑具合を予想し、その情報も加えて来場者に提供する方法が最も混雑が緩和されることがわかった。今後の課題には、滞在時間以外の情報での評価、混雑予想のアルゴリズムの改良がある。また、実際のテーマパークではパレードを行うことや、優先パス、食事をとることがあるため、さらに現状に近いモデルにすることも課題である。

## 参考文献

- 1) 鈴木, 有田: 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 -, 電子情報通信学会論文誌 D-I J86-D-I-11, 830/837 (2003)
- 2) 刀根, 小原: テーマパークでの混雑情報と優先搭乗パスの効果に関するマルチエージェントによる検討, 電気学会論文 127-3, 407/415 (2007)
- 3) 木村, 佐藤, 袴田: スマートフォンを用いた歩行者