テーマパーク問題の新展開

清水　仁，松林　達史，藤野　昭典，澤田　宏

「テーマパーク問題」とは，シミュレーションを用いてテーマパークの混雑緩和と満足度向上を目指す研究のプラットフォームである．本稿では筆者らが取り組んだテーマパーク問題に関する二つの研究を紹介する．一つ目は，全アトラクションが混雑している場合に，来園者を空いているアトラクションに誘導すると平均待ち時間が長くなる「テーマパークのパラドックス」の研究である．二つ目は，満足度を評価する指標として来園者の待ち時間の許容限界と実際の待ち時間との差分を用いる「来園者余剰 MAS モデル」の研究である．また，以上の研究紹介を踏まえて，テーマパーク問題の今後の展望を議論する．

キーワード：テーマパーク問題, マルチエージェントシミュレーション, テーマパークのパラドックス

1. はじめに

遊園地やテーマパーク[1]では，人気アトラクションを体験するために長い行列に並んで長時間待つことが多い．待ち時間が長いと来園者が苦痛や不満を感じることが多く，来園をためらう理由にもなる．そのため，混雑による待ち時間をなるべく短くすることは，来園者にとっても運営者にとっても重要な課題である．この課題に対して，来園者のアトラクション選択行動を分析したり，来場者を誘導して混雑緩和させる手法を評価したりするために，混雑状況を計算機上でシミュレーションする手法がよく用いられる．シミュレーションでは，来園者を模擬したエージェントが行列の待ち時間を考慮しながらアトラクションを逐次体験する．そして，一日分のシミュレーション結果に対して，体験したアトラクションの数や待ち時間を評価する．このように，シミュレーションを用いてテーマパークの混雑緩和を目指す問題を一般的に「テーマパーク問題」と呼ぶ [1].

そもそもシミュレーションを現実世界で活用しようとすると図 1 に示すように，シミュレーションモデルを改良しつつ，現実の観測データへのフィッティングをして，シミュレーション上でよりよい方策を見つける，という 3 段階の手順が必要である．この一連の手順を改善することにそれぞれ課題があるため，各課題を対象とした研究目的が設定される．その中で，対象をテーマパークに限定したものがテーマパーク問題といえる．これまでのテーマパーク問題に関する研究の目的は，3 段階の手順に対応して，(1) アトラクション選択行動モデルの評価，(2) シミュレーションの精緻化，(3) 来園者の誘導手法の提案，の 3 種類に分類できる．われわれはテーマパーク問題に対して，「来園者余剰 MAS モデル」によって (1) と (2) の課題に取り組み，(3) の課題について「テーマパークのパラドックス」を利用した誘導手法を提案した．

本稿の構成は，以下のとおりである．テーマパーク問題の研究事例として，2 節でテーマパークのパラドックス [2] を紹介し，3 節で来園者余剰 MAS モデル [3, 4] を説明する．また 4 節で，読者が遊園地のシミュレーションを試すために参考となる情報を記載する．

2. テーマパークのパラドックス

2.1 混雑飽和状態

テーマパークのパラドックスは，遊園地が混雑飽和状態のときに発生する．混雑飽和状態とは，すべてのアトラクションにおいて，処理能力の上限以上に体験を希望する来園者がいる状態のことである．まず，テーマパークのパラドックスを説明する前に，以下の単純な設定の下で，混雑飽和状態における待ち時間の様子を説明する．

M 個のアトラクションがある遊園地に，N 人の来園者が訪れる．開園時刻を $t=1$ として，閉園時刻を $t=T$ とする．時刻を $t \in \{1,...,T\}$ のように離散化して，各時刻の来園者の状態を遷移させる．全来園者が全アトラクションを体験すると仮定する．そして，アトラクションの体験時間をすべて 1 とする．また，アトラクションの定員をすべて 1 とする．すなわち，

しみず　ひとし
NTT コミュニケーション科学基礎研究所
hitoshi.shimizu.kg@hco.ntt.co.jp
まつばやし　たつし
NTT サービスエボリューション研究所
(現在 株式会社 ALBERT)
ふじの　あきのり，さわだ　ひろし
NTT コミュニケーション科学基礎研究所

[1] 本稿では例として遊園地について議論するが,「テーマパーク問題」と「テーマパークのパラドックス」は単独の用語であるため, これらに関連する文中ではテーマパークと表記する.

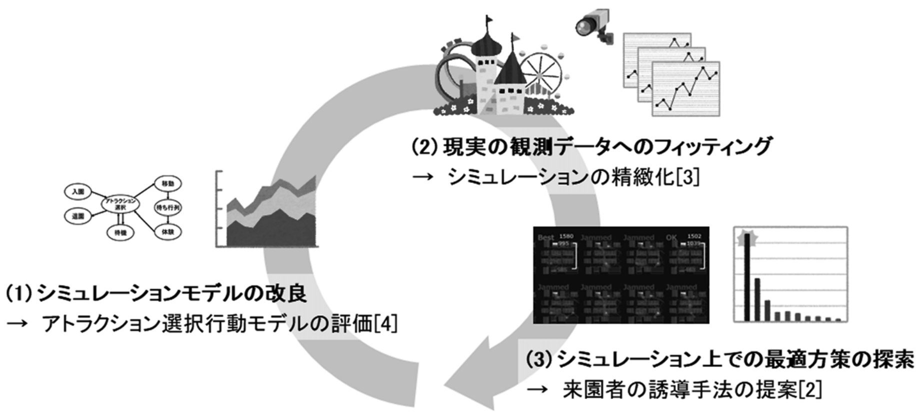


図 1 シミュレーションには一般に，**太字**（上行）の課題がある．(1) シミュレーションモデルは無数のバリエーションが考えられるが，入手可能な観測データを考慮しつつ，目的に応じて必要な要素を取り入れてモデルを設計する必要がある．(2) 観測データからシミュレーションモデルのパラメータを推定することで，シミュレーション結果を観測データにフィッティングする．より正確に現実世界を模したシミュレーションを用いて，後段の方策の評価の妥当性を高める必要がある．(3) 最適方策を実行してもすべての人間が誘導に従うわけではないため，方策を実行した際の反応をシミュレーションモデルに反映して改良する必要がある．以上の課題はテーマパーク問題でも研究目的（下行）として設定される [2].

アトラクションの処理能力は毎時間 1 人とする．アトラクション間の移動時間は，体験時間や待ち時間に対して相対的に短くて無視できると仮定する．

ここで例として，アトラクションが 1 個しかない遊園地 ($M = 1$) を考える．到着人数が毎時間 1 人のとき，アトラクションの稼働率は 100%で，混雑飽和状態となる．このときの待ち時間は何時間だろうか？ 実は待ち時間は，遊園地内にいる人数によって異なる．

- パターン 1：行列に 6 人並んだ状態から始まると，待ち時間は 6 時間になる（図 2 上）．
- パターン 2：行列に 1 人並んだ状態から始まると，待ち時間は 1 時間になる（図 2 下）．

すなわち，待ち時間は一定の値に収束せず，最初の状態が継続する．

このような状況では，行列が解消するまで来園者が並ばないように制限をかけると待ち時間を削減することができる．行列に制限をかけることで，いったん待ち行列が 0 人になり，それ以降，毎時間 1 人ずつ到着した来園者は，待ち時間なしでアトラクションを体験できるようになる．このように混雑飽和状態では，待ち行列の長さは安定せず，処理能力や到着人数の増減によって容易に変化する．

稼働率が 100%未満で定常状態を仮定できる場合は待ち行列理論のモデルを用いて，均衡状態（十分な時間が経過したときにどのアトラクションにどのくらいの行列が形成されるか）を計算して求めることができる [5]．しかし，混雑飽和状態の場合や定常状態が仮定できず解析的な分析が困難な場合については，テーマパーク問題としてシミュレーションを用いて分析することが有効と考える．シミュレーションを用いることで混雑緩和策を評価するだけでなく，遊園地の来園者や運営者が知りたい事項，たとえば，各アトラクションの待ち時間のピークは何時頃で何分程度か，あるいは，どのような順番でアトラクションを体験すると待ち時間を短縮できるのか，などの検討も可能となる．

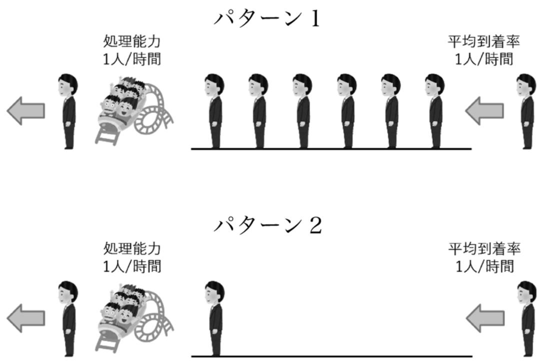
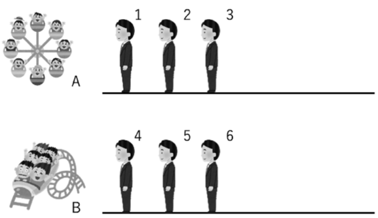


図 2 アトラクションの処理能力と到着人数が同一の場合は，待ち行列の長さが変化しない．最初の状態において待ち行列が長いと待ち時間は長くなり（上：パターン 1），待ち行列が短いと待ち時間は短くなる（下：パターン 2）．

2.2 パラドックスの例

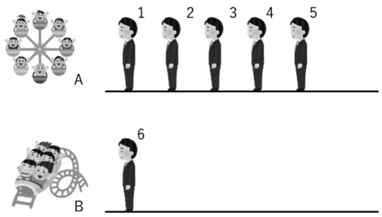
混雑を緩和するためには一般的に，混雑したところ

パターン 3



来園者	時刻						待ち時間
	1	2	3	4	5	6	
1	A	→	→	B	-	-	2
2	→	A	→	→	B	-	3
3	→	→	A	→	→	B	4
4	B	→	→	A	-	-	2
5	→	B	→	→	A	-	3
6	→	→	B	→	→	A	4
平均							3

パターン 4



来園者	時刻						待ち時間
	1	2	3	4	5	6	
1	A	B	-	-	-	-	0
2	→	A	B	-	-	-	1
3	→	→	A	B	-	-	2
4	→	→	→	A	B	-	3
5	→	→	→	→	A	B	4
6	B	→	→	→	→	A	4
平均							2.33

図 3　$(N = 6, M = 2)$ で，平準化された待ち行列（左：パターン 3）と平準化されていない待ち行列（右：パターン 4）．下側の表において，A は観覧車，B はジェットコースター，→ は待ち時間，-は退園済みの状態を表す．各行が来園者の状態遷移に対応しており，各来園者の → の数が右端の待ち時間に記載されている．

にいる人に混雑していないところへ行ってもらえばよい．たとえば文献 [6] では，タイミングを見計らって，店の呼び込みをして混雑緩和することを推奨している．そこでわれわれは当初，混雑を分散させて平準化することで混雑緩和を実現しようと試みた．しかし，アトラクションの処理能力を超える来園者がいる場合には，混雑平準化によって混雑緩和できないことがわかった．そして，混雑を平準化する場合と混雑を平準化しない場合で待ち時間を比較したところ，テーマパークのパラドックスに気づいた．

以下では $M > 1$ として，テーマパークのパラドックスが発生する単純な例を紹介する．図 3 上に，平準化された待ち行列（左）と平準化されていない待ち行列（右）の典型例を示す．

- パターン 3：全アトラクションに均等に N/M 人の来園者が並ぶ．（簡単化のために，N は M の倍数とする．）
- パターン 4：$M - 1$ 個のアトラクションに 1 人の来園者が並び，残りの 1 個のアトラクションに残りの $N - M + 1$ 人の来園者が並ぶ．

直観的に考えると，混雑が平準化された状態のほうが待ち時間が少ないように思われる．しかし，$N = 6, M = 2$ で実際に計算してみると，図 3 下の表のように，平準化されたパターン 3 のほうが，平準化されていないパターン 4 よりも平均待ち時間は長くなる．

文献 [2] では一般に，N と M が大きくなっても $N > M$ であれば，パターン 3 よりもパターン 4 のほうが，平均待ち時間が常に短くなることを示した．そしてこの例のように，空間的に平準化された待ち行列のほうが，空間的に偏った待ち行列よりも，待ち時間の平均値が長くなる現象を，テーマパークのパラドックスと名付けた．

2.3　パラドックスを利用した混雑緩和

前節で示したように，テーマパークのパラドックスが発生するため，混雑飽和状態では混雑を平準化しても平均待ち時間を削減できない．しかし一方で，テーマパークのパラドックスを利用すれば平均待ち時間を削減できるのではないか，という仮説も考えられる．すなわち混雑平準化とは逆に，混雑を局在化すれば混雑が緩和するのではないか，という仮説である．ここで局在化とは，特定のアトラクションに長い行列ができて，その他のアトラクションにはほとんど行列ができない状態をいう．さらに混雑を局在化させる手法としては，アトラクションの体験順序に制約を設けるシンプルな手法が有効ではないかと期待される．混雑が局在化したパターン 4 では一人の例外を除いて，全員同じ順序でアトラクションを体験している．そこで，同じ順序でアトラクションを体験する，という制約を来園者に課すことで，混雑を局在化して平均待ち時間を短縮できるのではないだろうか．

本節の設定では，全アトラクションが共通の特徴をもち，来園者は全アトラクションを体験する．しかし，

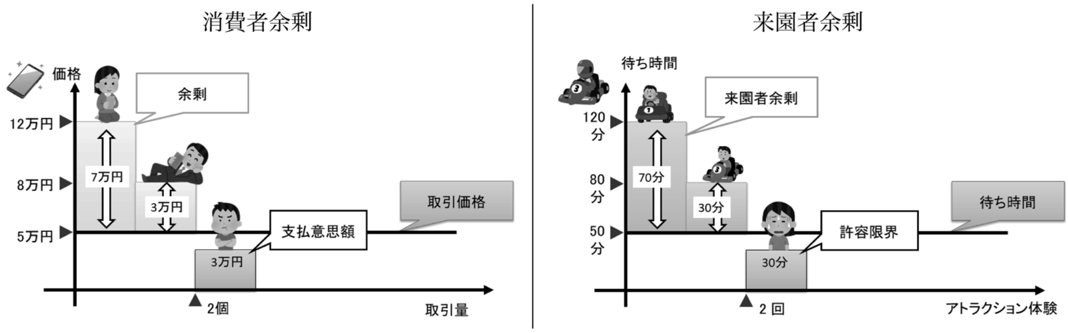


図4　市場の価値を消費者余剰で測るのと同様に，遊園地の価値を来園者余剰で測る．

実際の遊園地ではアトラクションごとに体験時間や定員が異なるし，アトラクション間を移動する時間もアトラクションごとに異なる．また，来園者のアトラクションに対する選好も異なるため，体験したいアトラクションも異なるだろう．これらすべてのパターンについて，図3のように分析することは困難であるため，評価用の仮想的な遊園地を設定した．そしてシミュレーションを用いた評価によって，アトラクションの体験順序に制約を設けることで混雑が局在化され，混雑飽和状態でも平均待ち時間が減少することを確認した [2].

ここまでの議論は遊園地を題材に議論していたものの，たとえば身体測定で，体重計と身長計をアトラクションと考えれば同様の議論が成立する．つまり，測定の対象者を半分に分けて二つの待ち行列に並ばせる（平準化）よりも，測定順序を決めて全員を片方の待ち行列に並ばせる（局在化）ほうが，平均待ち時間は短くなる．そのほかにも身近なところでさまざまな応用例が考えられるだろう．

3.　来園者余剰 MAS モデル

3.1　来園者余剰

混雑局在化によって平均待ち時間が短縮されたとしても，そのとき来園者の満足度は向上しているのだろうか．文献 [7] では，遊園地において来園者向けの待ち時間を長めに表示することで，不満を軽減する例が紹介されている．この事例は，必ずしも待ち時間だけで満足度が決まるわけではない，ということを示唆している．この点を考慮するため，われわれはミクロ経済学 [8] を参考にして，来園者余剰という満足度の評価指標を提案した [4]．人によって待ち時間の許容限界は異なるものであるが，その個人差も取り入れた評価指標である．

ミクロ経済学では消費者余剰によって取引の価値を評価する．消費者余剰とは，商品を入手するため支払ってもよい上限の金額（支払意思額）から，実際に払った金額を引いた金額である．図4左では，スマートフォンの市場において，支払意思額が12万円，8万円，3万円である3人の消費者がいる．そこに5万円の価格でスマートフォンを販売すると，最初の2人は購入するが，最後の1人は購入しない．このとき，購入した2人の支払意思額と価格の差分はそれぞれ，7万円，3万円である．したがって消費者余剰の総和は10万円となる．この消費者余剰の総和が大きいほど，消費者にとって好ましい状態とする．

遊園地でも同様に，アトラクションを体験するため並んでもよい上限の待ち時間（許容限界）から，実際に待った時間を引いた時間を来園者余剰とする．図4右では，遊園地でゴーカートに乗りたいと思う3人の来園者がいて，待ち時間の許容限界はそれぞれ，120分，80分，30分である．実際の待ち時間が50分だったとき最初の2人は行列に並んでゴーカートを体験する．このとき，体験した2人の許容限界と実際の待ち時間の差分はそれぞれ，70分，30分であるから，来園者余剰の総和は100分となる．この余剰の総和が大きいほど，来園者にとって好ましい状態と考える．そうすることで，待ち時間の短縮のみに限定されない議論が可能となる．

3.2　許容限界モデル

余剰という概念は便利だが，余剰を直接測定することは難しい．これまでにさまざまな余剰の推定方法が提案されているが，われわれは，余剰を計算するための許容限界を推定したうえで，シミュレーションで余剰を評価することを提案した．

Webで公開されているアンケート調査 [9] では，テーマパークにおける人気アトラクションの待ち時間の許容限界は回答者によって幅広く分布している．待ち時間の許容限界は回答者ごとに異なるが，おそらくアトラクションごとにも異なるだろう．そこで，われわれ

表 1　多項線形モデル．来園者は期待余剰に比例した確率でアトラクションを選択する．

アトラクション	$\alpha - W = S \propto \theta$			
	許容限界 α [分]	待ち時間 W [分]	期待余剰 S [分]	選択確率 θ
1	100	80	20	20%
2	80	30	50	50%
3	60	30	30	30%
4	40	40	0	0%
5	20	30	−10	0%

は少数のアンケートから許容限界の分布を推定するために，許容限界モデルを提案した．概要を述べると，来園者の許容限界の最大値（忍耐力）を対数正規分布から生成し，各アトラクションに対する忍耐力の配分をディリクレ分布から生成するモデルである．単純なモデルではあるが，アトラクションの待ち時間の許容限界に関する模擬的なアンケート結果の分布を再現できることを確認した．

3.3　多項線形モデル

ところで人間は，余剰が最大の選択肢を常に選び続けられるだろうか．遊園地のような場所ではむしろ，来園者は自由な順序で異なるアトラクションをランダムに選んでいるように見える．そこでわれわれは，期待される余剰に比例した確率でアトラクションを選択する多項線形モデルを提案した．期待される余剰 S は，待ち時間の許容限界 α から実際の待ち時間 W を引いた値であるから，当該アトラクションの選択確率 θ は，

$$\theta \propto S = \max(0, \alpha - W)$$

で計算することができる．表 1 に多項線形モデルの計算例を示す．この来園者は，アトラクション 1 を一番好き $(\alpha = 100)$ だが待ち時間が長い $(W = 80)$ ので選択する確率は小さい $(\theta = 20\%)$．一方，二番目に好きなアトラクション 2 は待ち時間が短い $(W = 30)$ ため選択する確率が最大 $(\theta = 50\%)$ となる．またアトラクション 5 は，許容限界よりも待ち時間のほうが大きいため期待される余剰が負の値になるが，選択確率は非負である必要があるため $\theta = 0$ とする．

多項線形モデルを用いるときには一つ注意が必要である．それは，すべてのアトラクションの待ち時間が許容限界より大きいとき，選択できるアトラクションが一つもなくなってしまうことである．シミュレーションを実行するためには，選択できるアトラクションがない場合にどのような行動をとるか，事前に決めておく必要がある．われわれは図 5 のように，選択できる

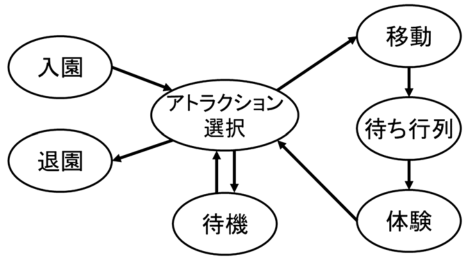


図 5　来園者の状態遷移図（文献 [3] から引用）

アトラクションがない場合には，食事をしたり休憩をしたりする「待機」という状態を来園者の状態遷移に追加することで，この問題に対処した．その結果，来園者数が少ないときは行列に並ばずに待機する人がほとんどいないが，来園者が多いときは行列に並ばずに待機する人が増える，という状況になる．

本節で説明した来園者余剰を評価するためのモデルを，来園者余剰 MAS モデルとよぶ．実際の遊園地のアトラクションの待ち時間の推移には，開園直後に一気に増加して，日中の変動は小さく，閉園まで待ち時間が 0 にならない，という傾向がある．来園者余剰 MAS モデルを用いると，これらの傾向をシミュレーション上で再現できることを確認した [3]．前述したように混雑飽和状態では待ち時間が不安定で変動が大きくなりやすい．しかし，現実には待ち時間の変動が小さいことは，来園者余剰 MAS モデルであれば説明できる．

4.　遊園地シミュレーション入門

4.1　遊園地シミュレータ

遊園地シミュレータは，自作するのであればもちろん高い自由度で設計できる．しかし市販のシミュレータを用いれば，手軽に実験を始めることができる．マルチエージェントシミュレーションの入門的な書籍である文献 [10] や文献 [11] には，遊園地のシミュレーションを扱う章がある．どちらも，サンプルコードが付属するため，遊園地シミュレーションを容易に実行できる．われわれが一部の実験で用いた汎用シミュレーションシステム S^4[12] も，さまざまな粒度のサンプルモデルが付属するため，遊園地シミュレータのモデル検討の参考になるだろう．また，テーマパーク問題は学生のシミュレーション実習としても取り組まれている．たとえば市販シミュレータのサイト [13] に研究事例が紹介されており，学生による遊園地のシミュレーションも含まれている．

このような手軽さから一見すると，テーマパーク問題は教育用の簡単な課題のように思える．しかし，前

節までで紹介したような近年の研究の進展により，もはやテーマパーク問題は教育用の課題に限定されなくなったと，われわれは考える．遊園地は多くの人が非日常を望む世界であるため，日常世界のしがらみから離れてアトラクションを選択する来園者の行動を観測できるし，新規の施策を試す環境としても好ましいと考えられる．しかもシミュレーション上であれば，運営上のリスクがある誘導策でも躊躇なく試すことができる．つまり，マルチエージェントシミュレーションの活用という目標に対して，テーマパーク問題はテストベッドとして有用であると言える．

4.2 参考図書

研究として遊園地のシミュレーションをする際には，明確な目的をもつことが重要である．そして遊園地には混雑緩和以外にも，本稿で扱わなかったさまざまな研究的視点が考えられる．たとえば山澤 [14] は遊園地という切り口で，歴史や価格戦略からジェンダー論まで，さまざまな研究事例を紹介している．また，森岡と今西 [15] は，日用品のブランド選択の分析手法を遊園地のマーケティングに適用し，遊園地を運営する側の視点から，個人のミクロ行動よりも集団のマクロ行動を把握することに主眼を置いたアプローチを紹介している．

5. おわりに

本稿では近年のテーマパーク問題の動向の一例として，われわれの研究（「テーマパークのパラドックス」と「来園者余剰 MAS モデル」）を紹介した．この二つのトピックから，さらなる疑問が生まれてくる．来園者余剰 MAS モデルでも，テーマパークのパラドックスが発生するのか．そして，体験順序の制約は来園者余剰を増加させるだろうか．これらの疑問については，現在検討中である．

テーマパーク問題は日常生活に近い題材であり，レジャーとしての魅力と待ち時間の苦痛が交錯して研究者の興味を誘う．そして，そのような身近な対象でありながらも，マルチエージェントシミュレーション活用のための有用なテストベッドでもあり，さらに研究が進展することが期待される．今後は，テーマパーク問題で検討された手法や知見を，現実の遊園地へ適用することに加えて，遊園地以外の問題へ適用することも検討したい．

本稿の執筆に当たっては，混雑現象を扱った優れたバックナンバーの記事 [5, 16, 17] を参考にした．本稿も読者がテーマパーク問題に興味をもつきっかけになれば幸いである．

謝辞　テーマパークのパラドックスと混雑緩和について，議論と助言をいただいた納谷太氏と上田修功氏に感謝します．

参考文献

[1] H. Kawamura, K. Kurumatani and A. Ohuchi, “Modeling of theme park problem with multiagent for mass user support,” *International Workshop on Multi-Agents for Mass User Support*, pp. 48–69. Springer, 2003.
[2] 清水仁，松林達史，納谷太，“混雑飽和状態の遊園地における待ち時間削減手法のシミュレーション評価，” 人工知能学会論文誌，**32**(5), pp. AG16-F_1–8, 2017.
[3] 清水仁，松林達史，納谷太，澤田宏，“遊園地におけるアトラクション選択モデルとそのパラメータ推定手法，” 人工知能学会論文誌，**34**(5), pp. wd–B_1–8, 2019.
[4] H. Shimizu, T. Matsubayashi, A. Fujino and H. Sawada, “Theme park simulation based on questionnaires for maximizing visitor surplus,” In *The 19th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2020)*, pp. 2002–2004. IFAAMAS, 2020.
[5] 増田靖，“混雑制御—ディズニーランドのジレンマ—，” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**63**, pp. 460–466, 2018.
[6] 高橋幸雄，森村英典，『混雑と待ち』，朝倉書店，2001.
[7] K. Fung, *Numbers Rule Your World: The Hidden Influence of Probabilities and Statistics on Everything You Do*, McGraw-Hill Education, 2010.（矢羽野薫訳，『ヤバい統計学』CCC メディアハウス，2011.）
[8] P. Krugman and R. Wells, *Microeconomics*, New York: Worth Publishers, 2012.（大山道広，石橋孝次，塩澤修平，白井義昌，大東一郎，玉田康成，蓬田守弘訳『クルーグマンミクロ経済学第 2 版』，東洋経済新報社，2017.）
[9] シチズン時計株式会社，「ビジネスパーソンの「待ち時間」意識．【覚悟の行列待ち時間】」，https://www.citizen.co.jp/research/time/（2020 年 9 月 18 日閲覧）
[10] 兼田敏之，構造計画研究所創造工学部，名古屋工業大学兼田研究室，“13 章　遊園地のアトラクションの混雑と効果的なアナウンス，”『Artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション』，構造計画研究所，pp. 135–147, 2010.
[11] 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—，”『コンピュータのなかの人工社会—マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系—』，構造計画研究所，pp. 124–139, 2002.
[12] NTT データ数理システム，S^4 simulation system, https://www.msi.co.jp/s4/（2020 年 9 月 18 日閲覧）
[13] 構造計画研究所，「artisoc モデル集：mas コミュニティ」，https://mas.kke.co.jp/artisocmodel/（2020 年 9 月 18 日閲覧）
[14] 山澤成康，『ディズニーで学ぶ経済学』，学文社，2018.
[15] 森岡毅，今西聖貴，『確率思考の戦略論—USJ でも実証された数学マーケティングの力—』，角川書店，2016.
[16] 増山博之，滝根哲哉，“大規模施設の混雑現象—待ち行列理論によるアプローチ—，” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**49**, pp. 422–425, 2004.
[17] 逆瀬川浩孝，“待ち行列現象のシミュレーション分析，” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**59**, pp. 198–204, 2014.