

テーマパーク問題におけるイベント効果のモデル化と推定

Modeling and estimation of event effects in theme park problems

相澤景^{1*} 鈴木琢也¹
Kei AIZAWA¹ and Takuya SUZUKI¹

¹ 株式会社 竹中工務店
¹ TAKENAKA CORPORATION

Abstract: In this study, we consider the situation where a temporary event is held in the theme park to approach the theme park problem. First, we propose a MAS model for theme park problems that takes into account the situation of holding temporary events. Second, we propose a method to estimate the event effect from the waiting time for each attraction by combining the proposed MAS model and the particle filter. Numerical experiments show that it is possible to evaluate the effect of an event and to estimate the effect of an event that cannot be observed directly by using information of the waiting time.

1 はじめに

テーマパーク問題とは、清水らの研究 [1, 2, 3] で述べられるように、テーマパークの混雑状況を計算機上のマルチエージェントシミュレーション (MAS) で再現することにより、来園者のアトラクション選択行動の分析や混雑を緩和するための誘導手法を検討評価する研究のプラットフォームである。

本研究では、テーマパーク問題において、テーマパーク内で時限的なイベントを実施する状況を考える。テーマパーク内で実施される時限的なイベントとは、例えばパレードやショーなど一定の時間帯で実施される催しのことを示す。時限的なイベントを実施すれば、来園者の行動が変化し、各アトラクションの待ち時間が緩和されることが期待される。

テーマパーク事業者にとって、アトラクションの待ち時間の緩和は重要である。テーマパーク問題と時限的なイベント効果を組み合わせて表現し、事前のイベント設計や事後的なイベント評価につなげることで、事業者のテーマパーク経営に寄与することが期待される。

特に、事後的なイベントの評価においては、パレードやショーなどのさまざまなイベントがそれぞれ異なる効果を持っていると考えられるが、この効果を直接測定することは難しい。イベント効果を観測データから推定することができれば、実施されたイベント間での効果比較などの施策分析が可能になる。

そこで本研究では、時限的なイベントを実施する状況を加味したテーマパーク問題の MAS でのモデル化

方法を提案する。提案する MAS モデルを使って、イベントが待ち時間に与える影響を評価できることを数値実験で示す。また、MAS モデルと粒子フィルタ [4] を組み合わせることで、各アトラクションの待ち時間からイベント効果を推定する方法を提案する。数値実験により、直接的には観測できないイベント効果の推定が可能であることを示す。

本論文では、2章で関連研究と本研究の位置付けを述べる。3章では、イベント効果を表現した MAS およびイベント効果の推定に関する提案を行う。4章にて提案手法の数値実験を行い、5章で実験結果の考察を行う。6章で本論文の結論を述べる。

2 関連研究

テーマパーク問題を対象とした MAS は、Kawamura et al.[5] や Ohtani et al.[6] の研究で取り扱われてきた。Kawamura et al.[5] は、シンプルなテーマパーク MAS を構築し、来園者の行動とテーマパーク全体の混雑の関係性を分析した。Ohtani et al.[6] は、テーマパークの混雑に関する情報提供施策による混雑削減効果を MAS を用いて分析した。

近年では、清水らが一連の研究 [1, 2, 3] を実施している。これらの研究では、テーマパーク問題に MAS でアプローチし、待ち時間削減手法の評価や、来園者余剰の向上手法について取り扱われている。特に、清水らの研究 [1] では、来園者の選択行動モデルのパラメータ推定が行われており、本研究の MAS のベースとなっている。

*連絡先: 株式会社 竹中工務店 技術研究所
〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1
E-mail: aizawa.kei@takenaka.co.jp

これらの研究では、MAS にさまざまな静的なパラメータが導入されているが、時限的なイベントを表現する時変パラメータはモデルに組み込まれていない。また、特に清水らの研究 [1] では、テーマパーク MAS の静的パラメータ推定に焦点を当てているが、時変パラメータの推定については検討されていない。本研究では、テーマパーク MAS に対して時限的なイベントを表現する時変パラメータの導入と、その推定方法について提案・評価を行う。

3 提案方法

3.1 イベント効果のモデル化

本研究では、テーマパーク問題の MAS を表現した清水ら [1] のモデルをベースとする。本研究ではこのベースモデルを TMAS(Theme park MAS) と表記する。TMAS の概要は以下の通りである。モデルには N 体の来園者エージェントと M 個のアトラクションが存在する。来園者 $n \in \{1, \dots, N\}$ は指定来園時刻に来園し、指定退園時刻または閉園時刻となるか、体験予定個数のアトラクションを体験すると退園する。来園者は、アトラクション選択モデルに従いアトラクションまたは待機行動 $m \in \{0, 1, \dots, M\}$ を選択する。0 は待機行動の番号を表す。アトラクションを選択した来園者は、アトラクションへ移動し、待ち行列があれば並び、その後体験をし、アトラクション選択に戻る。モデルの詳細は清水らの研究 [1] に記述されている。

本研究では TMAS モデルに対して、アトラクション選択モデルの選択肢にイベントを追加することで、モデルにイベント効果を導入する。なお、清水ら [1] の研究では 3 種類のアトラクション選択モデルが紹介されているが、本研究ではイベントの選択を簡単に表現するために多項ロジットモデルによるアトラクション選択モデルを採用した。

選択肢にイベントを追加したアトラクション選択モデルは式 (1) と式 (2) で表現される。式 (1) は、ステップ t における選択肢 m の選択確率 $\theta_{m,t}$ を表す。イベントが $M+1$ という選択肢番号で表現されている。式 (1) における $a_{m,t}$ は、ステップ t における選択肢 m の魅力度を表現している。

式 (2) は、選択肢が $M+1$ (イベント) 以外の場合と、 $M+1$ (イベント) の場合での魅力度を定式化している。 α_m , β はパラメータであり、 $W_{m,t}$ はステップ t での選択肢 m における待ち時間である。本研究では、清水ら [1] の設定に倣い $m=0$ (待機行動) における待ち時間は 0 とし、 $M+1$ (イベント) における待ち時間も 0 と仮定した。選択肢が $M+1$ (イベント) の場合は、イベント効果が時変パラメータ $\alpha_{m,t}$ として追加されているに注

意する。イベント効果を追加したテーマパーク MAS モデルを以降では ETMAS(Event effected Theme park MAS) と呼ぶ。

$$\theta_{m,t} = \frac{a_{m,t}}{\sum_{m=0}^{M+1} a_{m,t}} \quad (1)$$

$$a_{m,t} = \begin{cases} \exp(\alpha_m - \beta W_{m,t}) & (m \neq M+1) \\ \exp(\alpha_{m,t} - \beta W_{m,t}) & (m = M+1) \end{cases} \quad (2)$$

3.2 イベント効果の推定法

本研究では、ETMAS を粒子フィルタへ組み込み、Kitagawa[4] の自己組織化推定法をベースに時変パラメータとしてイベント効果を推定する方法を提案する。Kitagawa の自己組織化推定法とは、時系列モデルをシステムモデルと観測モデルで表現し、システムモデルの状態ベクトルにパラメータを含め、粒子フィルタによってパラメータの周辺事後分布を推定する方法である。

一般に、観測データ $\mathbf{y}_{1:t} = \{\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_t\}$ を得た上での時変パラメータ ϕ_t の周辺事後分布 (周辺フィルタ分布) は $p(\phi_t | \mathbf{y}_{1:t})$ で表現される。本研究では、 $\phi_t = \alpha_{M+1,t}$ とし、観測データ $\mathbf{y}_{1:t}$ には各アトラクションの待ち時間を使うことで、イベント効果の周辺事後分布の推定を行いたい。この推定を実施するために、粒子フィルタに ETMAS を組み込む上で必要なシステムモデルと観測モデルの設計を行う。

まず、ETMAS を粒子フィルタに組み込むためのシステムモデルを設計する。システムモデルは、式 (3) で表現する。状態ベクトル $(\mathbf{x}_t^T, \alpha_{M+1,t})^T$ は、TMAS に含まれる状態とパラメータからなるベクトル \mathbf{x}_t と、イベント効果パラメータ $\alpha_{M+1,t}$ を並べたものである。非線形関数 \mathbf{f} は、ETMAS の時間発展を表現しており、イベント効果パラメータ $\alpha_{M+1,t-1}$ を所与として、TMAS に加わる確率的ノイズ \mathbf{v}_t と \mathbf{x}_{t-1} を引数に次ステップの \mathbf{x}_t を定める。イベント効果には、毎ステップノイズ $\epsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ を加える。これにより、イベント効果が動的に推定される。

次に、観測モデルは式 (4) で表現する。本研究では、ETMAS の状態 \mathbf{x}_t から各アトラクションの待ち時間を取り出し観測する。このオペレーションを \mathbf{h} と表現する。観測ノイズ \mathbf{w}_t は、 $w_{m,t} \sim t(w_{m,t} | \nu, \mu, \sigma_m)$ の自由度 ν 、位置パラメータ μ 、スケールパラメータ σ_m の各アトラクション m で独立な t 分布に従うと仮定する。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_t \\ \alpha_{M+1,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{f}(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{v}_t; \alpha_{M+1,t-1}) \\ \alpha_{M+1,t-1} + \epsilon_t \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{h}(\mathbf{x}_t) + \mathbf{w}_t \quad (4)$$

式 (3) のシステムモデルと式 (4) の観測モデルを使って、観測データに対して粒子フィルタを適用すること

で、イベント効果の周辺事後分布を推定する。本研究では、式 (5) の周辺フィルタ分布を推定する。粒子フィルタでは、フィルタリングされた状態ベクトルの粒子からイベント効果のみを抜き出したもので近似される。

$$p(\alpha_{M+1,t} | \mathbf{y}_{1:t}) = \int p(\mathbf{x}_t, \alpha_{M+1,t} | \mathbf{y}_{1:t}) d\mathbf{x}_t \quad (5)$$

4 数値実験

4.1 実験設定

まずは ETMAS 単体でのシミュレーション実験を行い、イベント効果の影響を評価する。TMAS 部分は、清水ら [1] の研究の通りとする。主要な設定値は、 $N = 2000$, $M = 5$, $\alpha_0 = -1.84$, $\alpha_1 = -1.09$, $\alpha_2 = -0.46$, $\alpha_3 = 0.70$, $\alpha_4 = 0.90$, $\alpha_5 = 1.80$, $\beta = 0.02$ である。ETMAS のイベント効果パラメータは図 1 の 3 通り (高, 低, なし) を設定する。これは、それぞれ効果の異なる時限的なイベントを実施する状況を仮定している。結果は各アトラクションの待ち時間について、シミュレーションを 20 回実行した結果の平均をとり示す。

次に、ETMAS におけるイベント効果の周辺フィルタ分布の推定実験を行う。本研究では、ETMAS モデルから待ち時間を取り出すことで疑似観測データを生成し、疑似観測データに対して推定実験を行う。システムモデルにおける設定値は、 $\sigma = 0.5$ とする。今回の実験では、シミュレーション期間に確率的ノイズが加わるため、事前分布は清水ら [1] の研究で設定されている固定的な初期値を与えた。また、粒子フィルタの粒子数は 5000 を設定した。

観測モデルは、 M 個すべてのアトラクションの待ち時間を観測するパターンと、 $m = 5$ のアトラクションの待ち時間のみを観測するパターンの 2 つを設定する。それぞれの観測ノイズは自由度 $\nu = 2$ 、位置パラメータ $\mu = 0$ 、スケールパラメータは表 1 となる t 分布を仮定した。

表 1: 観測ノイズのスケールパラメータ

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5
0.30	1.40	0.44	1.49	2.48

4.2 実験結果

図 2 に、各イベント効果ごとのシミュレーション結果を示す。上部パネルはイベント効果なし、中部パネルは相対的に低いイベント効果、下部パネルは相対的に高いイベント効果でのシミュレーション結果をプロッ

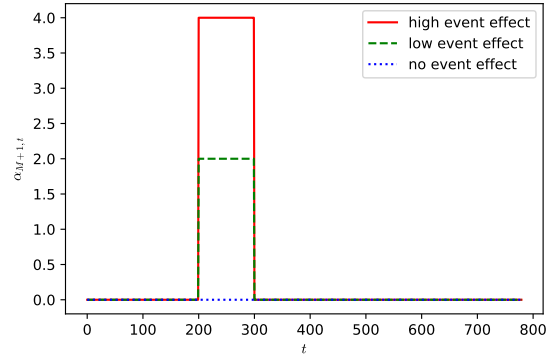


図 1: イベント効果パラメータのパターン

トしている。イベント効果が高くなるにつれて、各アトラクションの待ち時間の減少が大きくなっている。

図 3 に、観測するアトラクションのパターンごとに、イベント効果の周辺フィルタ分布を表現する粒子分布の推移を示す。上部パネルはアトラクション $m = 5$ の待ち時間のみを観測した場合、下部パネルはすべてのアトラクションの待ち時間を観測した場合に対応している。黒線は真のイベント効果の推移を、赤破線はイベント効果の周辺フィルタ分布を表現する粒子の平均値の推移を示している。青点線と緑点線は、それぞれ周辺フィルタ分布を表現する粒子の最大値と最小値の推移を示している。観測するアトラクションの数を増やすと、周辺フィルタ分布の平均値の推定精度は向上しており、事後分布の区間も狭くなっている。

5 考察

4 章では、テーマパーク MAS に時限的なイベントの効果表現する時変パラメータを組み込み、その影響を評価した。図 2 から、イベント効果の大きさによってイベントへの集客の差異が発生し、各アトラクションの待ち時間に違いを生じさせることが ETMAS で表現されていることを確認した。これは、待ち時間を緩和するために、どの期間にどのレベルのイベントを実施すればよいかという、テーマパークのイベント設計に有用な知見をもたらすと考える。

また、各アトラクションの待ち時間からイベント効果を推定する方法を提案・評価した。図 3 から、アトラクションの観測数を増やすほど、イベント効果の平均的な推定精度が向上していることが分かる。これは、直接観測できないイベント効果を、MAS の時変パラメータを通じて事後的な評価可能性があることを示唆している。複数種類のイベントを実施した際のイベント効果差異の事後評価につながるため、テーマパーク運営

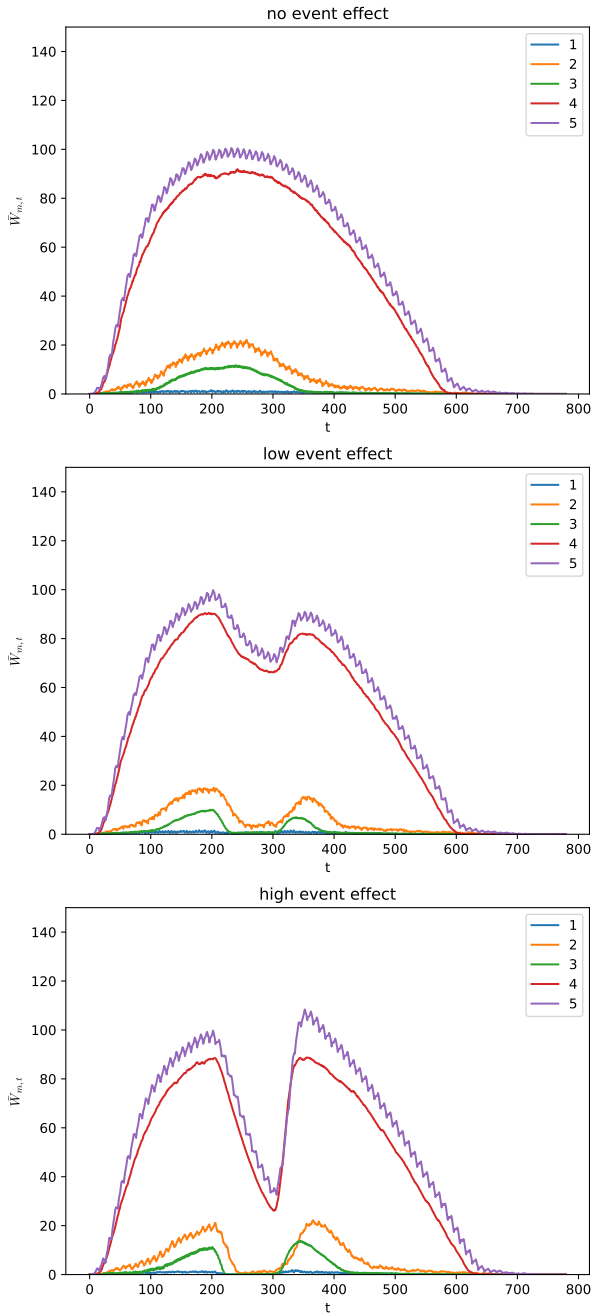


図 2: 各イベント効果設定値における各アトラクションの待ち時間平均の推移

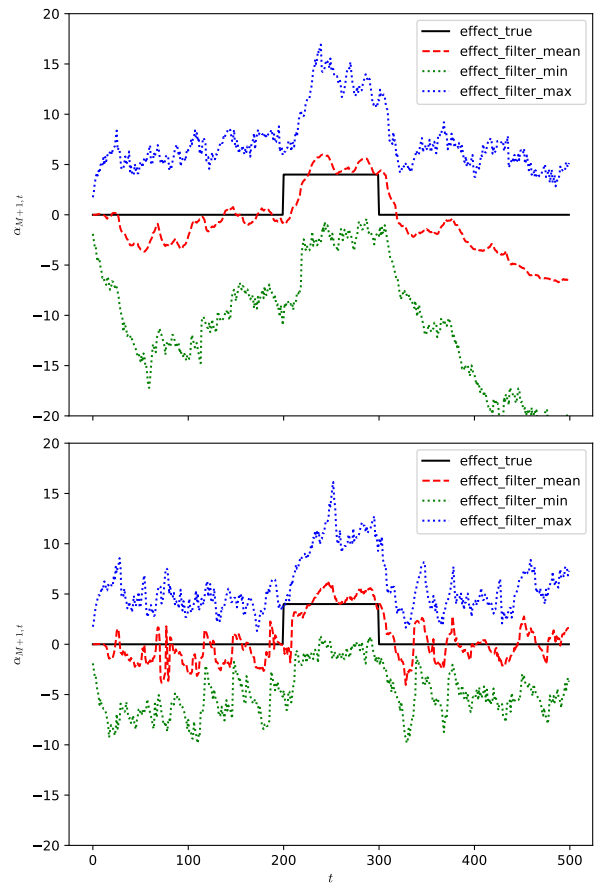


図 3: アトラクションの観測パターンごとのイベント効果の周辺フィルタ分布を表現する粒子分布の推移

上の施策分析に有効であると考える。

図3では、アトラクション待ち時間の観測数が異なる2つのパターンを検証した。1点の観測箇所でも推定精度は落ちるもののイベント効果の平均的な傾向は捉えられている。通常、待ち時間の観測にもコストがかかるので、観測するためのコストと推定精度の関係性から、複数アトラクションの待ち時間を観測するべきかの検討にも利用可能性がある。

6 結論

本研究では、時限的なイベントを実施する状況を加味したテーマパーク問題のMASでのモデル化方法を提案した。提案のMASモデルを使って、イベントが待ち時間に与える影響を評価できることを数値実験で示した。また、MASモデルと粒子フィルタ[4]を組み合わせることで、各アトラクションの待ち時間からイベント効果を推定する方法を提案した。数値実験により、直接的には観測できないイベント効果の推定可能性があることを示し、その有用性を議論した。

本研究の数値実験は清水ら[1]のモデルをベースにした疑似観測データに基づいている。実際のテーマパークのアトラクション構成や待ち時間を使った実証分析は今後の課題である。数値実験と実証分析それぞれでイベント効果の表現と推定可能性を示すことで、テーマパーク事業者の事前のイベント設計や事後的なイベント評価につなげることが期待される。

参考文献

- [1] 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, Vol. 34, No. 5, pp. 1-8, (2019)
- [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, Vol. 32, No. 5, pp. 1-8, (2017)
- [3] 清水仁, 松林達史, 藤野昭典, 澤田宏: アンケートに基づく遊園地シミュレーションによる来園者余剰の最大化, 電子情報通信学会論文誌D, Vol. 104, No. 3, pp. 172-183, (2021)
- [4] Genshiro Kitagawa.: A self-organizing state-space model, Journal of the American Statistical Association, Vol. 93, No. 443, pp. 1203-1215, (1998)
- [5] Hidenori Kawamura, Takashi Kataoka, Koichi Kurumatani and Azuma Ohuchi.: Investigation of Global Performance Affected by Congestion Avoiding Behavior in Theme Park Problem, IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 124, No. 10, pp. 1922-1929, (2004)
- [6] Yoshihiro Ohtani, Seiya Sawada and Shinya Nogami.: Study on congestion reducing in the theme park, 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, pp. 1-6, (2010)