

## マルチエージェントシミュレーションを用いた観光地混雑緩和に資する提供情報の分析 Analysis of Provided Information for alleviating tourists' congestion based on Multi-agent

富樫 明日香<sup>†</sup> 蓮池隆<sup>†</sup> 片桐英樹<sup>‡</sup> 津田博史\*  
Asuka Togashi Takashi Hasuike Hideki Katagiri Hiroshi Tsuda

### 1. 研究背景と目的

観光産業は、日本の地域経済を支えながら、しかし COVID-19 により大きな打撃を受けた産業形態の一つである[1]。2020 年秋の段階において、COVID-19 の拡散状況が比較的落ち着いていたとして、宿泊を伴った、または日帰りの国内旅行の代金総額の 1/2 相当額を国が支援する Go to トラベル事業を実施し、観光事業の活性化を目指していた。その後、COVID-19 の再流行に伴い、Go to トラベル事業は中断となったが、今後 COVID-19 との共生となる社会において、様々な状況を考慮しながら、観光産業を復興していく必要がある。

Go to トラベル事業の中で、観光庁[2]が中心となり促進しているのが「分散型旅行」と呼ばれる旅行スタイルである。従来の日本型旅行スタイルの特徴として、特定の時期に一斉に休暇を取得することや宿泊日数が短いことが挙げられる。その一方で、今後必要とされると考えられる旅行スタイルである「分散型旅行」では、週末や連休を避け、人気の観光地だけでなく、これまで発掘できていなかった観光地も含めた様々な観光地を訪れることが推奨される。この旅行スタイルは、観光庁が中心となり官民一体で促進されている。つまり、今後の観光におけるキーワードの 1 つに「混雑の緩和」が挙げられる。

観光地の取り組みとしては、国内を中心にホテルや旅館の運営を行う星野リゾート[3]において、大浴場の混雑度がスマホで分かる「3 密の見える化」サービスが実践されている。星野リゾート 15 施設を対象に、大浴場の混雑度情報を提供することで、観光客は混雑を避けながら、宿泊を心から楽しむことができる。また、京都市観光協会は、人気観光スポット周辺の観光快適度を京都観光 Navi[4]で提供し、密な状況を避ける取り組みを行っている。このように、スマートフォンをほとんどすべての人が携帯し、また情報システムが発展する中で、COVID-19 終息後・共生後の観光においては「混雑を緩和するために、観光者にどのような情報を提供するか」が重要になる。

本研究では、観光客に対して各観光地の混雑情報を提供することで、各観光地の混雑度がどの程度平準化されるかを目的として、観光地における観光客の挙動をシミュレーションする。その際、観光地の現在の滞在人数、混雑率、待ち時間も含めた観光時間といったいくつかの情報の種類を用意し、その中でどのような情報を提供するのが最も有効であるかについても考察する。

### 2. 従来研究と本研究のアプローチ

#### 2.1 マルチエージェントシミュレーション(MAS)

観光地の混雑平準化を検証するために、実際の観光地の地図上で観光客の動きをモデル化し、観光地における混雑情報の提供がどのような影響をもたらすのか考察する必要がある。本研究においてはマルチエージェントシミュレーション(MAS)を用いる。

MAS とは「複数(マルチ)のエージェント(人や生物など)に同時進行的に各々のルールのもと、お互いに干渉(相互作用)を受けさせながら実行させるシミュレーション(仮想実験)」である[7]。MAS では、個々のミクロな動きからは予測できないマクロの動きを推測することができる。実際の観光においても、観光客はそれぞれ次に行く観光地を自律的に決定するが、その際に他の観光客の行動に影響を受けると考えられる。

また、構築した MAS において、局所的な混雑がある状況を設定し、混雑情報の提供方法の施策を導入した観光地の状況シナリオ分析を行う。

#### 2.2 オーバーツーリズムに関する研究

観光によって発生する問題として、コロナ流行以前に訪日プロモーションなどの実施によるインバウンド客の増加に伴って、必要以上の観光客が観光地に押し寄せ、観光地の住民の生活の悪影響を及ぼす「オーバーツーリズム」が主要観光地で顕在化していた。オーバーツーリズムの解消に向けては、国内外で様々な研究がおこなわれているが、例えば、Rabindra ら[5]は課金による規制などの経済的政策によるオーバーツーリズムの解消を目指した。一方で「分散型旅行」の促進が行われている現状を鑑みると、観光客を規制する施策ではなく、分散させる施策が求められていると考えられる。

Siyuan ら[6]は観光客の混雑を回避することを目的として、中国・九寨溝の観光に関して MAS を利用した研究を行った。観光客のスポットごとの分布がバランスのとれたもの、つまり極端な混雑がないものになることを目的としている。観光地の割り当てはロジットモデルに基づき、それぞれのノードの「時空間負荷率」に従って割り当て確率を決定している。時空間負荷率とは、ある観光地の混雑率(負荷率)が滞在時間(待ち時間と観光時間の和)続くものとして表現される負荷に関する指標である。Siyuan ら[6]においては、ランダムな割り当てよりも時空間負荷率を混雑情報として提供の方が観光客の分布が分散されるという結果が得られている。

#### 2.3 本研究のアプローチ

本研究では、Siyuan ら[6]のモデルを発展させた MAS を行う。選択モデルに関して、観光スポットの混雑度だけでなく現在地からの距離も考慮する。混雑度に関しても時空

<sup>†</sup> 早稲田大学 Waseda University

<sup>‡</sup> 神奈川大学 Kanagawa University

\* 同志社大学 Doshisha University

間負荷率のみでなく、いくつかの方法で算出し、混雑情報ごとの結果を比較することで、観光客を分散させるのに効果的な混雑情報について、シナリオ分析を用い考察する。

### 3. シミュレーションモデル

本研究では NTT データ数理システムの S4 Simulation System(Ver 6.1)を用いてマルチエージェントシミュレーションを行う。

#### 3.1 パラメータの定義

本研究におけるシミュレーションのパラメータを以下の通り定義する。

A : 全観光スポットの集合

$c_j$  : スポット  $j$  の収容人数

$D_j^k$  : スポット  $j$  とスポット  $k$  の距離

$t_j$  : 観光客のスポット  $j$  での平均滞在時間

$V_i$  : 観光客  $i$  が訪問予定の観光スポット集合

$T_i$  :  $V_i$  のうち観光客  $i$  が訪れていないスポットの集合

$N_j^t$  : 時刻  $t$  におけるスポット  $j$  の訪問者数

$N_{wait_j}^t$  : 時刻  $t$  におけるスポット  $j$  の待ち人数

$W_j^t$  : 時刻  $t$  におけるスポット  $j$  の平均待ち時間

$$L_j = \frac{(N_j^t + N_{wait_j}^t)}{c_j} = \frac{N_j^t + N_{wait_j}^t}{c_j}$$

: 時刻  $t$  におけるスポット  $j$  の負荷率 ( $\geq 0$ )

$$L_j^s = \frac{(N_j^t + N_{wait_j}^t)}{(t_j + W_j^t)} = \frac{(N_j^t + N_{wait_j}^t)(t_j + W_j^t)}{c_j}$$

: 時刻  $t$  におけるスポット  $j$  の時空間負荷率 ( $\geq 0$ )

#### 3.2 モデル地区

本研究では、人気観光スポットが多く COVID-19 流行前はオーバーツーリズムの問題も発生していた観光地である京都府京都市東山区を対象としモデル化を行った。地図データは OpenStreetMap[8]の関西地方のもののうち、東山区の部分のみ使用した。

東山区の 9 つの観光スポットについて検討する。収容人数は総務省令[9]に倣い面積( $\text{m}^2$ )を 3 で除したものとした。また、各観光スポットの平均所要時間に関しては、参考文献[10, 11, 12, 13]より導出した。スポットについての情報をまとめたものを表 1 に、観光スポットの位置関係を図 1 に示す。

表 1 観光スポットの概要

	面積 ( $\text{m}^2$ )	収容人数 (人)	平均所要 時間(分)
A	12300	4100	60
B	850	283	30
C	2640	880	40
D	1320	440	20
E	3306	1102	30
F	1000	333	30
G	120	40	20
H	180	60	20
I	1046	348	30



© OpenStreetMap contributors

図 1. 観光スポットの位置関係

#### 3.3 入口の設定

本研究では観光客の入口として、四条付近からの流入に伴う入口を入口 P、五条付近から流入に伴う入口を入口 Q として定める。各入口に流入してくる観光客は、電車もしくはバスを利用するものと仮定する。それぞれの降車人数について、電車に関しては京都府[14]の、バスに関しては京都市交通局[15]の、それぞれ 2014 年のデータを使用した。降車人数をまとめたものを表 2 として示す。

表 2 降車人数の概要

駅名	降車人数 (人)
祇園四条駅(京阪線)	23735
四条京阪前(バス)	2351
祇園(バス)	4246
入口 P 合計	30332
清水五条駅(京阪線)	3879
五条坂(バス)	3204
清水道(バス)	3743
入口 Q 合計	10826
総計	41158

#### 3.4 エージェントシミュレーションの概要

本研究の MAS において、各観光客をエージェントとみなしてシミュレーションを実施する。本節では、エージェントパラメータとその他の設定について説明する。まず、エージェントパラメータとして、エージェントの最高速度は 1.5(m/s)、視野半径は 5(m)、最大同時出現数は無制限とする。経路選択に関しては、常に最適な経路を選択する。

また、観光客の到着分布に関しては、9時から18時のうち12時が最大となるような正規分布にしたがうように作成し、図 2 のような分布を想定した。

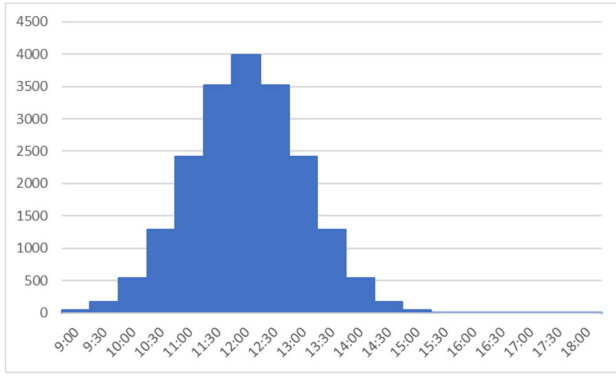


図2 観光客の到着分布 (合計人数2万人の場合)

### 3.5 観光スポット選択モデル

観光スポットでの観光時間終了時、またはエージェントの生成時に、観光客エージェントはそれぞれ目的地として設定する観光スポットを選択する。この選択モデルにはロジットモデルを用いる。

ある観光客エージェントが現在いるスポットを *current spot* としたとき、あるスポット *k* の割り当て確率  $p_k$ 、およびスポット *k* の効用を次式で表現する。

$$p_k = \frac{\text{Exp}[V_k]}{\sum \text{Exp}[V_k]}, (k \in T_i)$$

$$V_k = -\alpha D_{\text{current spot}}^k - \beta I_k$$

ここで  $I_k$  はスポット *k* の混雑情報を表し、以下の4つの項目(人数、待ち時間、負荷率、時空間負荷率)のいずれか、もしくは組合せで提供される。パラメータ値に関しては、Siyuan らの方法に倣い決定した。表3は予備実験で決定したロジットモデルのパラメータ値である。なお、以下の4つの項目の組合せにより  $V_k$  を導出する際にも、表3のパラメータ値を適用する。

表3 ロジットモデルのパラメータ

項目名	対応する式	パラメータ値
距離	$D_i^k$	0.2
人数	$N_j^t$	0.03
待ち時間	$W_j^t$	0.005
負荷率	$L_j$	2.5
時空間負荷率	$L_j^s$	0.002

なお、スポット A は9つのスポットの中で最も人気のあるスポット、つまり観光者の多くが訪問するスポットと仮定し、特に、スポット A に近い入口である入口 Q から流入した観光客のうち80%が、まずスポット A を訪れると仮定し MAS を実施する。

### 3.6 シミュレーションの評価

観光スポットの混雑度を評価するため、評価モデルとして、次式に示すスポットごとの負荷率の分散を設定する。

$$Z = \frac{1}{n-1} \sum_{j \in A} (L_j - \bar{L})^2$$

また、スポットごとの平均待ち時間も評価指標とする。

## 4. 実験設定

本研究ではシナリオ分析を行う。以下でシナリオや、その他の実験設定を示す。

### 4.1 シナリオの設定

状況シナリオとして観光客の入場人数を設定する。表2から、コロナ前の1日当たり入場人数は約4万人である。平常時の50%、平常時、平常時の150%を想定し、入場人数の合計を2万人(閑散状態)、4万人(通常状態)、6万人(混雑状態)とした。

また、施策シナリオとして、観光者に与える情報の違いにより、表4に示す6つの施策、および対照実験として情報を与えない状況、計7つを対象とする。

表4 施策シナリオ

	ロジットモデルに組み込む情報
施策なし	距離のみ
施策1	距離+人数
施策2	距離+待ち時間
施策3	距離+負荷率
施策4	距離+時空間負荷率
施策5	距離+待ち時間+負荷率
施策6	距離+待ち時間+時空間負荷率

### 4.2 その他の実験設定

エージェントの入口は近辺にある駅二つ(入口 P・入口 Q)とし、2014年度の電車の人数データ[13]、バスの人数データ[14]から入口 P と入口 Q の人数割合は3:1とした。また、交通量は全ノード・エッジについて無限大とした。

シミュレーション時間は9:00から18:00の32400秒を想定した。5回のシミュレーション結果を平均処理し、その結果について検討する。

## 5. 実験結果と考察

閑散状態、通常状態、混雑状態のときの混雑率の分散と平均待ち時間をそれぞれ図3、図4、図5に示す。

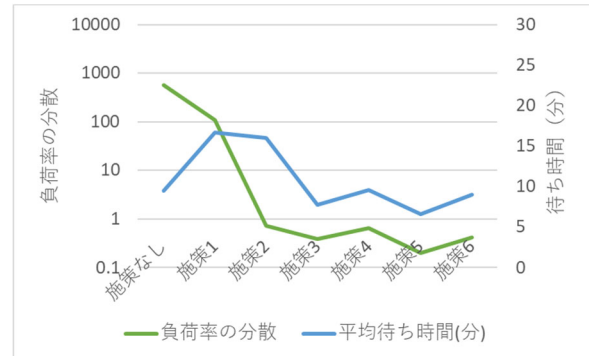


図3 実験結果(閑散状態)

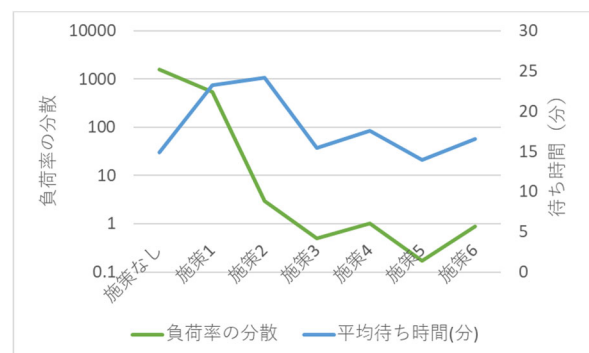


図4 実験結果(通常状態)

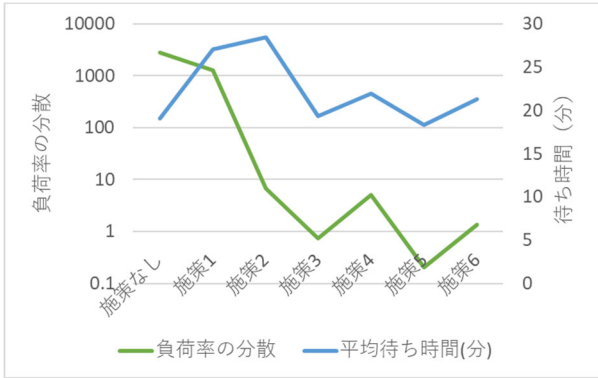


図 5 実験結果(混雑状態)

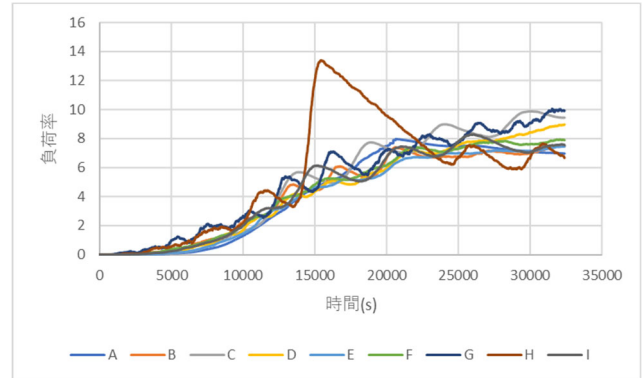


図 8 施策 5 における負荷率の時間推移(混雑状態)

図 3, 4, 5 より, どの状態においても, 施策 5 を適用した場合が, 混雑率の分散が最小かつ平均待ち時間も最小となるので, 有効であるとわかった。

### 5.1 施策 5 に関する考察

続いて, 有効であると考えられる施策 5 について, 閑散状態, 通常状態, 混雑状態の場合における負荷率の推移を時系列データとして表したものをそれぞれ図 6, 図 7, 図 8 に示す。

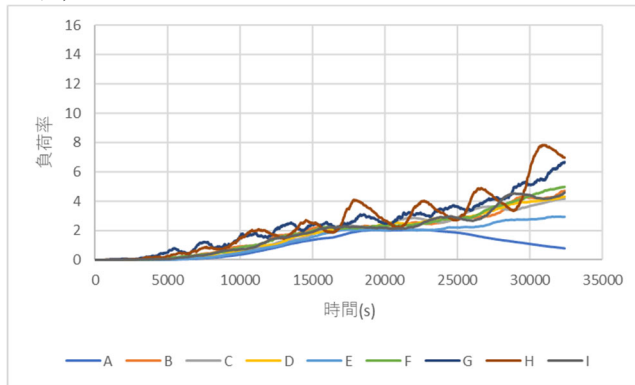


図 6 施策 5 における負荷率の時間推移(閑散状態)

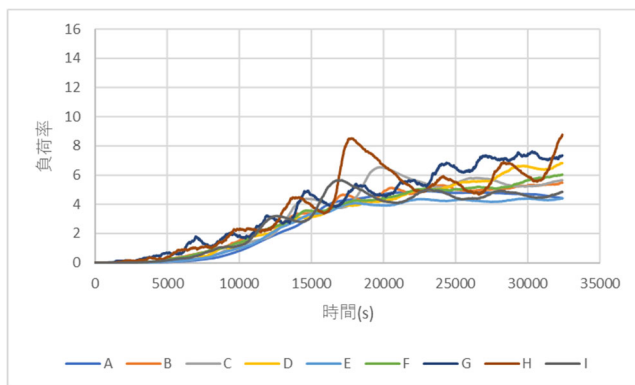


図 7 施策 5 における負荷率の時間推移(通常状態)

施策 5 の場合は, 以下の 1~5 の状態を繰り返すことによって, 負荷率は上下を続けている。

1. あるスポットの選択人数が増加する
2. 負荷率・待ち時間が増加する
3. 増加した負荷率・待ち時間を混雑情報として提供することにより, そのスポットを選択する観光客が減少する。
4. 負荷率や待ち時間が減少する。
5. そのスポットを選択する観光客が増加する。

グラフより, 各観光スポット間の負荷率の差が少なく, 負荷が平準化されていることがわかる。

一方で, 通常状態や混雑状態において, 15000 秒から 20000 秒あたりに, グラフの急激な増加と減少が見られる。これは, 観光スポット H に関するグラフであるが, 観光スポット H は収容人数の小さいスポットである。収容人数の小さいスポットほど観光客一人の選択に影響を受けやすいことから, 負荷率の上下が大きくなる。さらに, 近くに最も人気のある観光スポット A があり, 観光スポット A との距離と混雑度合い, および入口 Q からの流入人数から, 一時的に負荷率が上昇したものと考えられる。

また, 比較として, 施策無しにおける, 閑散状態, 通常状態, 混雑状態の場合の負荷率の推移を図 9, 図 10, 図 11 に示す。

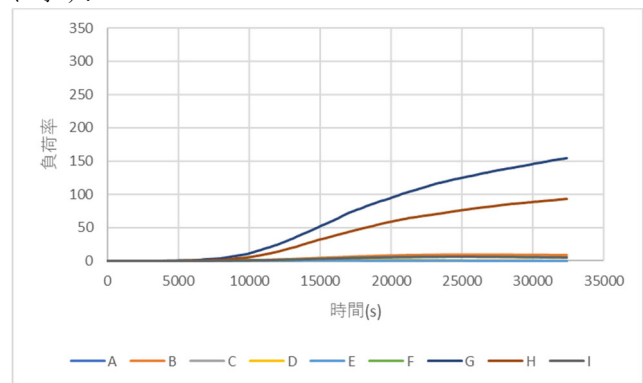


図 9 施策なしにおける負荷率の時間推移(閑散状態)

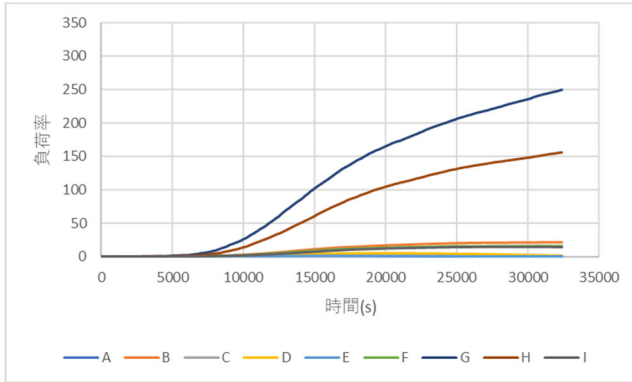


図 10 施策なしにおける負荷率の時間推移(通常状態)

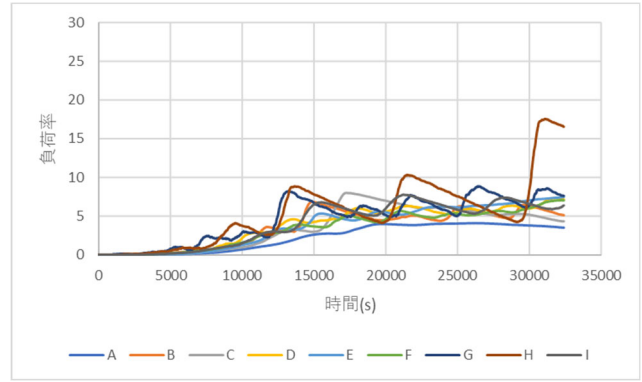


図 13 施策 6 における負荷率の時間推移(平常状態)

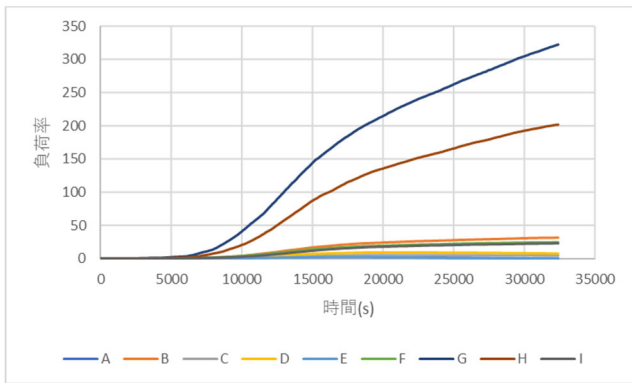


図 11 施策なしにおける負荷率の時間推移(混雑状態)

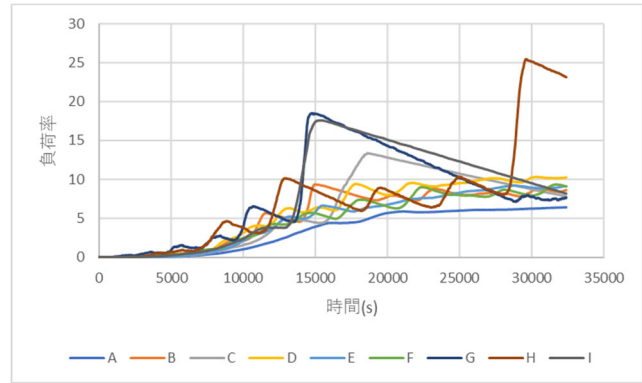


図 14 施策 6 における負荷率の時間推移(混雑状態)

施策なしの場合と比較して、施策 5 を適用した場合は負荷率も大幅に軽減されており、負荷率の適用による混雑回避が実現できている。

### 5.2 施策 5 と施策 6 の比較

次に負荷率ではなく時空間負荷率の情報を与える施策 6 との比較を検証する。施策 6 について、閑散状態、通常状態、混雑状態の場合における負荷率の推移を時系列データとして表したものをそれぞれ図 12、図 13、図 14 に示す。これらの図から、施策 6 においても、施策 5 と同様に、負荷率は上下を続けていることがわかる。

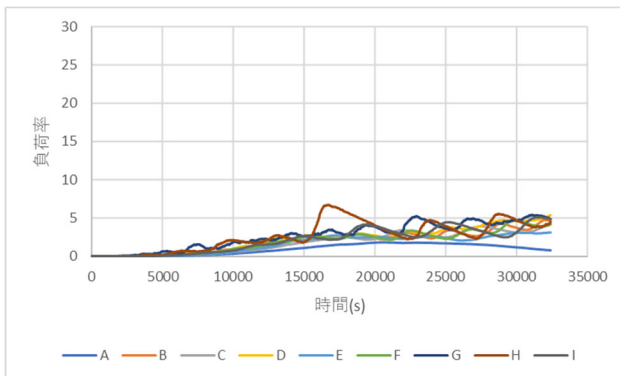


図 12 施策 6 における負荷率の時間推移(閑散状態)

一方で、混雑状態においては、施策 5 に比べて負荷率が急激に上昇する観光スポットが多い。これは、時空間負荷率を算出する際に負荷率に対して待ち時間と観光時間を足した滞在時間をかけることが関係していると考えられる。滞在時間がかけられることで、滞在時間が長く、収容人数が多い観光スポットの評価が低くなり、逆に滞在時間が短く収容人数が小さい観光スポットが次の候補地として選ばれやすくなる。

さらに、流入人数が多い入口 P からの観光者にとって、まずは観光スポット F や B, D を回り、その後時空間負荷率が小さくなりやすい、かつ観光スポット F や B, D と距離的に近い観光スポット G や I に移動したことで、図 14 の 15000 秒から 20000 秒に顕著に見られる負荷率の急上昇につながったものと考えられる。

### 5.3 実施すべき施策のまとめ

5.2 節の結果より、従来研究[6]で観光スポットの混雑緩和に効果があるとされていた時空間負荷率は、全観光者に情報を提供する場合には、必要以上の情報を与えてしまっている可能性があり、必ずしも最適な情報提供項目ではないことが示された。

本研究の結果をまとめると、どの状況シナリオにおいても施策 5 が有効であるといえる。実際に運用する際には、混雑情報を 1 つしか提供できないとすれば施策 3、つまり負荷率を真っ先に情報として提供し、複数提供できるのであれば施策 5、つまり待ち時間も提供することが有効であるといえる。

## 6. 結論と今後の課題

### 6.1 結論

本研究では、MAS を用いたシミュレーションモデルを用い、観光地における観光客の挙動について検討した。観光客に対してそれぞれの観光地の混雑情報を提供することによって、混雑度がどの程度平準化されるかを検討し、その結果から、どのような方法で混雑情報を提供することが有効であるかを考察することができた。

閑散状態・通常状態・混雑状態の各状態について、混雑情報をどのように提供するのが有効であるのかをシナリオ分析を行うことによって比較し、有効な施策を示せた。

本研究においては、京都市東山区を対象としたシミュレーション分析を行ったが、適用手法はその地区に特化したものではないことから、他の観光地に適用することも十分に可能であり、観光地ごとに最適な情報の適用方法を検討することができる。よって、本研究が COVID-19 終息後の観光地域の新たな観光スタンダードの一翼を担うことが期待できる。

### 6.2 今後の課題

本研究では観光客の観光スポット選択モデルにおいて、季節変動による選好の変化や観光客ごとの混雑に対する考え方の違いについては考慮していない。また、観光スポット間の移動に関しては、最短距離で移動していることのみが考慮されており、移動途中の観光や移動手段による混雑等は組み込まれていない。よって、これらを組み込んだ現実により即したモデルを構築することが求められる。また、今回は滞在人数や待ち時間、負荷率といった情報の提供に焦点を絞ったが、それ以外にも観光に関わる情報は多様に存在していることから、他の観光情報にも焦点を当て、混雑の平準化に寄与する情報を検証していく必要がある。

また、計算機におけるシミュレーション時間の観点で、混雑状態においては、エージェント数も増大することから、計算処理に時間を要する。よって、規模が大きい観光地を評価・検証する際には、より効率的な MAS を構築する必要がある。

### 参考文献

- [1] JTB 総合研究所「新型コロナウイルス感染拡大による、暮らしや心の変化および旅行再開に向けての意識調査 (2020)」, <https://www.tourism.jp/tourism-database/survey/2020/05/covid19-tourism/> 最終アクセス日: 2020/12/04
- [2] Go to トラベル事業公式サイト「分散型旅行」  
<https://goto.jata-net.or.jp/small-travel/> 最終アクセス日: 2021.11.7
- [3] 星野リゾート「3密の見える化」サービス開始」, <https://www.hoshinoresorts.com/information/release/2020/06/90445.html> 最終アクセス日: 2021.01.11
- [4] 京都市観光協会「京都観光 Navi」.  
<https://ja.kyoto.travel/comfort/> 最終アクセス日: 2021.7.13
- [5] Rabindra Nepal & Sanjay Kumar Nepal: Managing overtourism through economic taxation: policy lessons from five countries, *Tourism Geographies*(2019), DOI: 10.1080/14616688.2019.1669070
- [6] Siyuan Du, Chunxiang Guo, Maozhu Jin, "Agent-based simulation on tourists' congestion control during peak travel period using Logit model", *Chaos, Solitons and Fractals* (2016) 187-194
- [7] 構造計画研究所「マルチエージェント・シミュレーションとは？」<https://mas.kke.co.jp/about/> 最終アクセス日: 2021.12.18
- [8] OpenStreetMap, [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org) 最終アクセス日: 2021.9.21
- [9] 総務省「収容人員の算定要領」,  
[https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/office\\_adv/jissen/syuyo\\_santei.pdf](https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/office_adv/jissen/syuyo_santei.pdf) 最終アクセス日: 2021.9.21
- [10] 京都 SKY 観光ガイド協会, <https://skyguide.jp/> 最終アクセス日: 2021.07.16
- [11] 全国「観るなび」, <https://www.nihon-kankou.or.jp/> 最終アクセス日: 2021.07.16
- [12] YOKKA「三十三間堂」,  
<https://www.veltra.com/jp/yokka/article/sanjusangen-do/> 最終アクセス日: 2021.10.5
- [13] 朝日新聞「おしごとくはくぶつかん」,  
<https://oshihaku.jp/> 最終アクセス日: 2021.07.16
- [14] 令和元年京都府統計書「第 10 章 運輸・情報通信・観光」,  
<http://www.pref.kyoto.jp/tokei/yearly/tokeisyo/ts2019/tokeisyo201910.html> 最終アクセス日: 2021.8.3
- [15] 京都市交通局「市バス旅客流動調査及び市バスお客様アンケート調査の結果について」,  
<https://www.city.kyoto.lg.jp/kotsu/page/0000133511.html> 最終アクセス日: 2021.8.3