

マルチエージェントシミュレーションによる 観光地の集中回避法に関する研究

○石井友梨 蓮池隆（早稲田大学）

Research of Avoiding Method for Tourist Concentration Using Multi-Agent Simulation

* Y. ISHII and T. HASUIKE (Waseda University)

概要— COVID-19 の感染拡大の影響により、社会が変化し、ソーシャルディスタンスや密を避けた観光が求められるようになった。スマートフォン上で観光地の混雑状況を見ることができ、アプリが導入されている地域もある。観光地の混雑を分散化させるために、有効な混雑情報は何か、マルチエージェントシミュレーションによって検討する。

キーワード: 分散化, マルチエージェントシミュレーション, 観光

1 はじめに

2020年以降、世界的なCOVID-19の感染拡大に伴い、自粛要請や緊急事態宣言が発令された影響により観光業は大きな打撃を受けた。入国制限によって、さらなる増加が期待されていたインバウンド客がゼロになってしまっただけでなく、自粛要請により、国内の旅行者や仕事で出張に訪れる人も大幅に減少した。COVID-19の感染拡大が落ち着き、観光業の活性化のために2020年にはGo To Travelキャンペーン¹⁾、2022年の全国旅行支援²⁾などの政策が行われた。この政策は旅行代金を割引にすることで旅行者を増やし、国内の観光業の回復と再生を図るものである。それらの政策の中で、観光庁は感染リスクを避けた新しい旅行のエチケットとして、すいている時期・時間帯を避けた旅行、ソーシャルディスタンスを意識した分散型旅行を推奨している。2022年現在、未だにCOVID-19の感染拡大が続く中で、観光地の混雑緩和は重要な課題である。

観光客の混雑緩和のための取り組みとして、宮城県では、観光DXプラットフォーム「プラチナマップ」を導入し、デジタルマップ「ミヤギタビマップ」³⁾の提供を行っている。このサービスはデジタルマップによって各観光施設の観光情報と混雑状況を同時に見ることができ、人気観光地の駐車場待ちの車で渋滞が発生するという問題の解決を図っている。また京都府では、混雑緩和対策として「京都観光快適度マップ」⁴⁾を導入し、人気観光スポット周辺の時間帯別の観光快適度の予測に加えて、ライブカメラ映像によるリアルタイム情報を提供している。さらに、混雑する時間帯でも比較的すいている観光スポットの情報や、分散型旅行に役立つ情報を得ることができる。

このように、観光地の混雑緩和のためには、情報提供が広く行われている。そこで、本研究ではマル

チエージェントシミュレーションを用いて、混雑情報をリアルタイムで与えることによる観光地の混雑緩和を分析し、どのような情報提供が混雑緩和に有効であるかについて検討したい。

2 従来研究と本研究のアプローチ

富樫⁵⁾は京都府における観光地の混雑に注目し、観光客をエージェントとして京都府東山区の主要観光スポットをモデル化して、マルチエージェントシミュレーション(MAS)を行った。次の目的地を決めるにあたってエージェントに与える情報として、移動距離、人数、待ち時間、負荷率、時空間負荷率など与える情報を変化させて、シナリオ分析によって有効な情報提供の施策を示した。最も有効な施策は、「現在地からの距離・待ち時間・負荷率」を組み込んだ施策であるという結論であった。

富樫の研究はエージェントのスポット選択動作がすべてのエージェントで一定であった。また、すべてのエージェントは、到着した観光スポットが満員で観光できない状況であったとき、待ち時間が2時間、3時間であったとしても時間によらず待ち続ける、という動作をしており、現実的ではないという問題点があった。

従来研究を踏まえ、マルチエージェントシミュレーションによって、観光地のシミュレーションを行う。本研究では、富樫の研究をより現実的にするために、エージェントに新規・リピートの属性を持たせ、観光するスポット選択に違いを設定する。新規観光客は人気な主要観光スポットのみを観光し、リピート観光客は主要な観光スポットとマイナースポットのどちらも目的地の選択しに加える。さらに、到着した観光地が満員だった時に待つ・待たない、の選択を行列の平均待ち時間によって判断させることで、現実的な環境設定に変更する。本研究では、富樫の研究をより現実的な状況シナリオに変化させ

た場合に結果を検証し、観光地の混雑緩和のための有効な情報提供施策は何かを検討する。本研究では、観光客がロジットモデルに従う前提のもとで観光地全体の分散化を図ることを目的とし、観光地全体のパフォーマンスを評価するため、観光客個人の満足度やパフォーマンス評価は分析の対象外とする。

3 モデルの説明

シミュレーションにおける諸設定について、以下に記述する。

3.1 環境設定

本研究では人気観光地である京都府京都市東山区をモデルにした。地図は Open Street Map⁶⁾で取得した。東山区の2つの入口 P, Q, 9つの観光スポット(A~I)に着目した。総務省令⁷⁾に倣い自然容量は面積(m^2)を3で除したものとし、最大容量を自然容量に等しく設定した。観光スポットの位置関係を Fig.1 に、各スポット情報を Table 1 に示す。



Fig. 1 各観光スポットの位置関係

Table 1 各スポット情報

名称	容量(人)	面積(m^2)	平均所要時間(分)
A	4100	12300	60
B	283	850	30
C	880	2640	40
D	440	1320	20
E	1102	3306	30
F	333	1000	30
G	40	120	20
H	60	180	20
I	348	1046	30

3.2 入口の設定

本研究では、観光客の入口として P, Q の2か所の入口を定め、観光客は電車またはバスを利用すると仮定する。電車は京都府のデータ⁸⁾を、バスについては京都市交通局⁹⁾の2014年のデータを参考にし、エージェントの人数は4万人、入口 P:入口 Q=3:1 となるように設定する。

Table 2 各入口の情報

駅名	降車人数(人)
祇園四条駅(京阪線)	23735
市場京阪前(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
総合計	41158

3.3 パラメータの設定

シミュレーションにおける各パラメータは以下のように定義する。

A : 全観光スポットの集合(スポット数: n)

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 での平均観光時間

V_i : 観光客 i が訪問予定の観光スポット集合

T_i : V_i が含むスポットのうち観光客 i が訪れていないもの

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(≥ 0)

$$L_j^s = \frac{(N_j^t + N_{wait}^t)}{c_j / (t_j + W_j^t)} = \frac{(N_j^t + N_{wait}^t)(t_j + W_j^t)}{c_j} \quad \text{時刻 } t \text{ における}$$

スポット j の時空間負荷率 (≥ 0)

3.4 エージェント行動設定

本研究では、京都市東山区に観光に来たエージェントは、各観光スポットの移動、次に訪問する観光スポットの選択、観光を繰り返す。ただし、到着した観光スポットが満員だった場合、その時点での待ち時間 t によって、以下の確率分布(1)に従い待つ・待たない、の判断をする。なお、一度スキップした観光スポットには再訪問を試み、再度訪問した時には待ち時間によらず待ち続ける。

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1800-t}{1800} & (t \leq 1800) \\ 0 & (t > 1800) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)の待ち時間の区切りを 1800 秒(30 分)と設定したのは、CITIZEN による待ち時間調査¹⁰⁾に基づいている。この調査における、テーマパークの人気アトラクション入場待ちで何分まで待てるか、という質問に対する結果を以下の Fig. 2 に示す。この調査で最も近い題材がテーマパークの人気アトラクションの待ち時間であったため、これを根拠とした。Fig. 2 に示す調査結果より、全体の約半数の人が「30 分以内であれば待つ」と回答している。また、Table 1 で設定した各観光スポットの平均所要時間が 31 分であることから、今回の条件分岐では 30 分を基準として、エージェントの行動を変化させた。

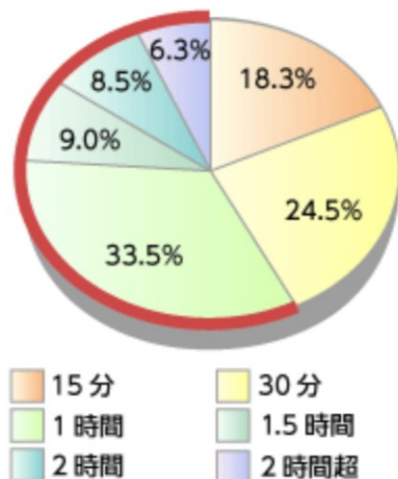


Fig.2 テーマパークアトラクション入場待ち時間

3.5 観光スポット選択モデル

次の目的地を決定する際の観光スポット選択モデルにはロジットモデルを用いる。あるエージェントが現在いる観光スポットを *current spot* としたとき、スポット k の割り当て確率を次の式(2)、スポット k の効用を式(3)で表す。

$$p_k = \frac{\text{Exp}[V_k]}{\sum \text{Exp}[V_k]} \quad (k \in T_i) \quad (2)$$

$$V_k = \alpha D_{\text{current spot}}^k + \beta I_k \quad (3)$$

ただし、 I_k はスポット k の混雑情報を表す。パラメータ α は 0.2、 β については Table 3 のように各施策の混雑情報に対応させる。これらは先行研究の予備実験によって得られた結果に倣い、設定したものである。

Table 3 ロジットモデルのパラメータ

項目	式	パラメータ
距離	D_i^k	0.2
滞在人数	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

3.6 新規観光客とリピート観光客の考慮

スポット A, C, D の 3 か所を人気観光地とし、新規観光客はその 3 か所のみを観光するようにすることで、新規観光客とリピート観光客のルート選択に差をつける。

Table 4 の京都総合環境調査¹¹⁾のデータから新規観光客を約 20% と仮定し、新規:リピート=1:4 に設定した。

Table 4 新規観光客とリピート観光客の割合

	人数	割合	合計
全体の観光客数	5362万人	100%	
日本人で京都を訪れた回数: 1-2回	327万人	6.1%	19.5%
外国人観光客	743万人	13.4%	

4 実験設定と評価指標

本研究では、NTT データ数理システムの S⁴ Simulation System(Ver 6.1)¹²⁾を用いて MAS を行う。シミュレーション時間は 9:00~18:00 を想定した 32400 秒とする。試行回数は各施策 3 回ずつとし、それらの平均をとって評価・分析を行う。シミュレーション実行中の様子を Fig.3 に示す。青い点がエージェントを示し、移動の様子を観測する。

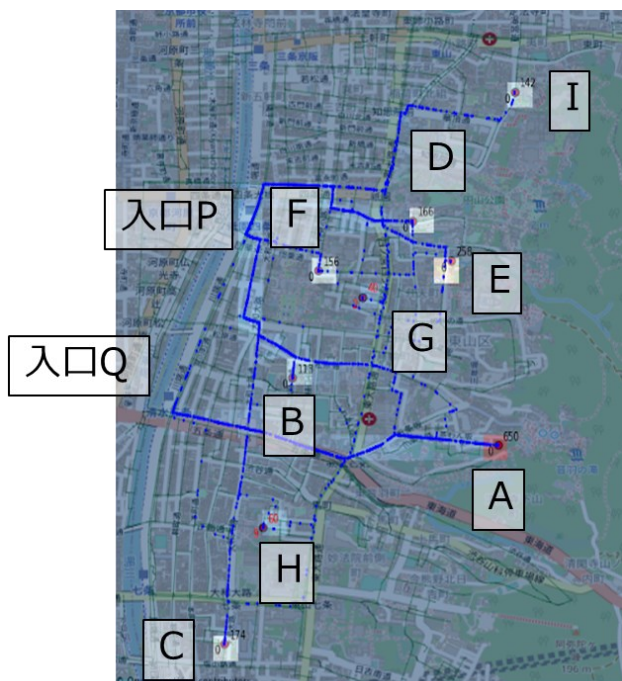


Fig.3 シミュレーション実行中の様子

4.1 評価指標

本研究では、混雑率の評価指標として、各スポットの平均待ち時間 \bar{W} と負荷率の平均 \bar{L} 、式(4)の負荷率の分散を評価指標とする。

$$Z = \frac{1}{n-1} \sum_{j \in A} (L_j - \bar{L})^2 \quad (4)$$

4.2 施策シナリオ

各施策シナリオは Table 5 のように設定した。負荷率は、ある観光スポットに現在いる人数と待ち人数を足したものを、スポットの容量で割ったものである。つまり、以下の式で表す。

負荷率 = (観光スポットの現在の人数 + 待ち人数) ÷ 観光スポットの容量

時空間負荷率は、上記の負荷率に観光地の滞在時間をかけたものである。以下のように表す。

時空間負荷率 = 負荷率 × 滞在時間

Table 5 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
施策1	距離+滞在人数
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

ここで、施策 2, 5, 6 で考慮している待ち時間は、次の目的地を決める時点での観光地の待ち時間となる。そのため、目的地に到着したときに満員だった場合に考慮する行列の平均待ち時間とは異なる指標である。

5 結果と考察

観光スポットの平均待ち時間、負荷率、負荷率の分散について、それぞれ評価し、考察する。

5.1 待ち時間

今回得られた平均待ち時間の結果を Fig. 4 に、先行研究の平均待ち時間の結果を Fig. 5 に示す。

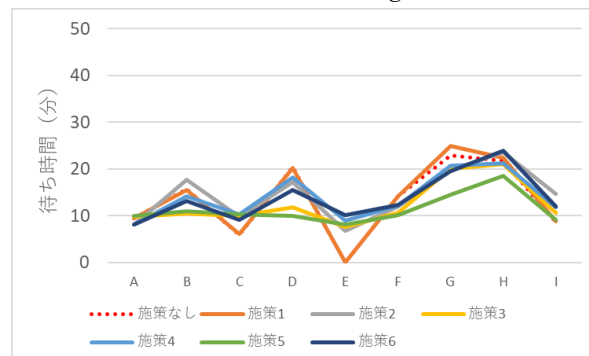


Fig. 4 各スポットの平均待ち時間

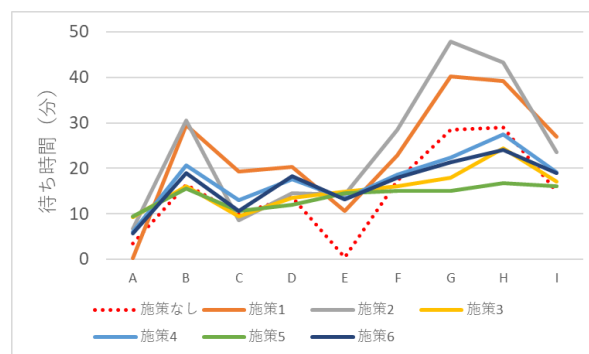


Fig. 5 各スポットの平均待ち時間(従来研究)

Fig. 4 より、各スポットによって待ち時間のばらつきが大きい。施策なしと施策 1 を比較すると、グラフがほとんど重なっていることから、ロジットモデルに滞在人数を組み込んでも、混雑緩和に大きな効果はない。観光所要時間によらず、観光スポットの容量が大きいほど待ち時間が短くなる傾向があり、特にスポット容量の小さい G, H はどの施策でも待ち時間が大きくなっている。以上の結果から、待ち時間については、最も平準化されている施策 5 が有効であるといえる。

Fig. 5 の先行研究の結果を踏まえて比較する。施策ごとに比較すると、スポットごとに大きかった待ち時間の差が大きいものほど差がなくなり、全体的に待ち時間が平準化されたことが分かる。特に、施策 1, 施策 2 においては、スポット B, G, H の待ち時間がかなり小さくなった。一方で、施策 3~6 については大きな差はなかった。

5.2 負荷率

次に、負荷率について評価する。負荷率は、「ある観光スポットに現在いる人数と待ち人数を足したも

のを、スポットの容量で割ったもの」である。今回得られた負荷率の結果を Fig. 6 に、先行研究の結果を Fig. 7 に示す。

Fig. 5 より、スポット G, H の負荷率は大きくなっている。平均待ち時間と同じく、スポット容量の小さいスポットほど負荷率が大きくなりやすいといえる。負荷率の平均値が最も小さいのは施策 2 であり、次に小さいものが施策 5 であった。

Fig. 6 より、従来研究の結果と比較すると、施策なし・施策 1 については負荷率が小さくなったスポットが多くみられた。一方で、施策 3~6 については、特にスポット G, H, I において今回得られた結果のほうが、負荷率が大きくなっていることが分かる。負荷率が大きくなった原因として、新規観光客とリピート観光客の区別をつけたことで、新規観光客が訪れる主要観光スポットを選択するリピート観光客が少なくなり、その分、主要スポットと比較してスポット容量の小さいマイナースポットに観光客が流れたためだと考えられる。スポット容量が小さいスポット G, H はこの影響を顕著に受け、負荷率が大きくなったと考えられる。

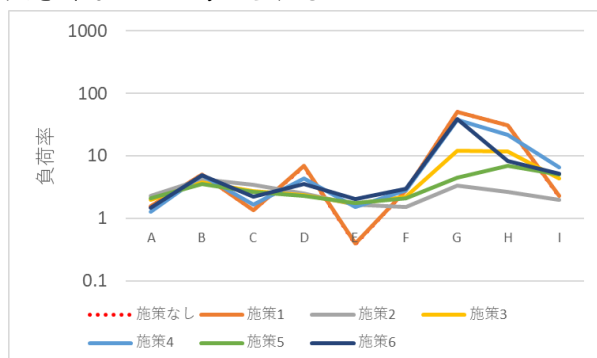


Fig. 6 各スポットの平均負荷率

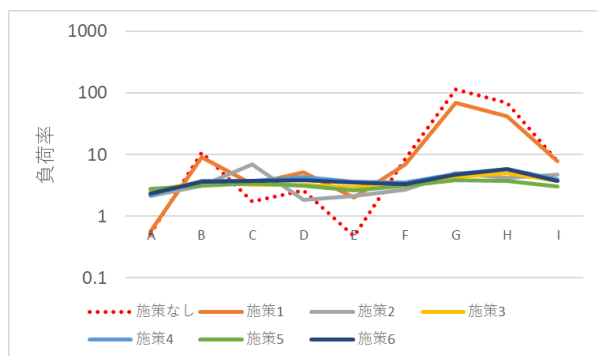


Fig. 7 各スポットの平均負荷率(従来研究)

5.3 負荷率の分散

次に、負荷率の分散について評価する。今回得られた負荷率の結果を Fig. 8 に、先行研究の結果を Fig. 9 に示す。

負荷率をロジットモデルに組み込んでいる施策 3, 5 は負荷率の分散が小さくなったが、時空間負荷率を情報として組み込んだ施策 4, 6 は分散が施策な

しとほぼ等しくなった。先行研究の結果と比較すると、施策 3~6 については負荷率の分散が極めて大きくなっているが、全体的な平均待ち時間は先行研究の結果より小さくなっている。

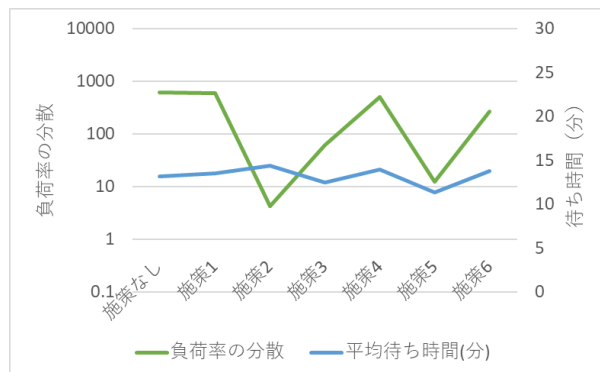


Fig. 8 負荷率の分散の平均

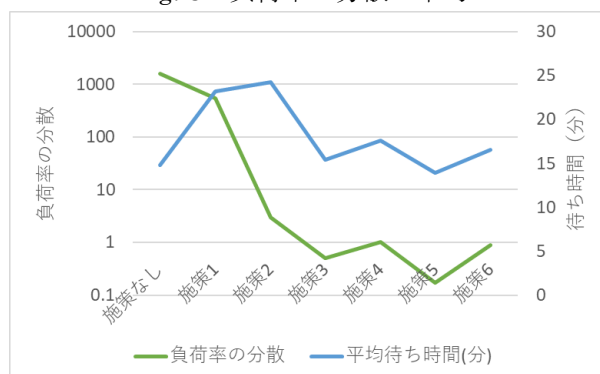


Fig. 9 負荷率の分散の平均(従来研究)

6 結論と今後の課題

6.1 結論

本研究ではマルチエージェントシミュレーションを用いて、京都府東山区の観光スポットをモデル化し、観光客に混雑情報を与えることで混雑緩和に有効な情報提供は何か、待ち時間や負荷率等の指標について比較検証を行った。

今回得られた結果から、負荷率・負荷率の分散が最小となるのは施策 2 であり、平均待ち時間が最小となるのは施策 5 であることから、距離・待ち時間を情報提供することが混雑緩和に有効であるといえる。先行研究の結果では、施策 5 が最も有効であるという結論に至ったが、より現実的なシナリオ状況に変化させて得られた今回の結果から、観光スポットの負荷率を平準化したい場合には施策 2(距離+待ち時間)が最も有効である。そして、観光スポットの待ち時間を平準化することが優先であるならば、施策 5(距離+待ち時間+負荷率)が最も有効であると結論付けられる。実際に運用する際には、目的に応じて、施策 2 と施策 5 を使い分けることが求められるといえる。

6.2 今後の課題

本研究ではエージェントの行動設定において、観

光客はひたすら時間内に観光を続けるように設定されていたため、昼食や休憩を考慮できなかった。実環境では、エージェントは観光をしながら食事によったり、お土産を購入したり、と自由時間が存在するため、混雑率や待ち時間にエージェントごとに変化が生じると考えられる。複数の飲食店をスポットとしてモデル化し、飲食店の混雑や人気度も観光スポット同様に条件として組み込むことが、実環境に近いシミュレーションを行うための課題として挙げられる。また、季節変動や交通手段も考慮することができなかつたため、それらを考慮し、交通量にも制限を設けることでより現実的なシミュレーションを行う必要があると考えられる。さらに、シミュレーション実行時間が7~10時間と非常に長く、多くのデータを得られにくいという問題も解決すべき課題である。

参考文献

- 1) Go to Travel キャンペーン旅行者向け公式サイト, <https://goto.jata-net.or.jp/>
- 2) 観光庁：「旅行における感染症対策」, <https://www.mlit.go.jp/kankocho/traveletiquette/index.html>
- 3) PRTIMES：宮城県が観光地の混雑緩和と周遊促進のため、観光DXプラットフォーム「プラチナマップ」でリアルタイムの混雑状況を可視化, [https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000023.000043899.html](https://prt看imes.jp/main/html/rd/p/000000023.000043899.html)
- 4) 京都観光オフィシャルサイト京都観光 Navi, <https://ja.kyoto.travel/comfort/>
- 5) 富樫明日香, 蓮池隆：「観光地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」, 2021年度 早稲田大学創造理工学研究科経営システム工学専攻修士論文
- 6) OpenStreetMap, www.openstreetmap.org
- 7) 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
- 8) 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>
- 9) 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>
- 10) CITIZEN：ビジネスパーソンの「待ち時間」の意識調査, <https://www.citizen.co.jp/research/time/20130603/02.html>
- 11) 京都市産業観光局：「京都観光総合調査」, <https://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/cmsfiles/contents/0000240/240130/kyosa29saishu.pdf>
- 12) NTT データ数理システム：S⁴ Simulation System(Ver 6.1), <https://www.msi.co.jp/solution/s4/index.html>