実験計画法による実験数削減と有意なパラメータ探索の避難シミュレーション分析への適用

Applying Design of Experiment based Significant Parameter Search and Reducing Number of Experiment to Analysis of Evacuation Simulation

松島 裕康
Hiroyasu Matsushima

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター
Artificial Intelligence Research Center, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
hiroyasu.matsuhima@aist.go.jp

内種 岳詞
Takeshi Uchitane

神戸大学 経済経営研究所
Research Institute for Economics and Business Administration, Kobe University
uchitane@rieb.kobe-u.ac.jp

辻 順平
Junpei Tsuji

神奈川大学 工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Kanagawa University
tsuji@kanagawa-u.ac.jp

山下 倫央
Tomohisa Yamashita

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター
Artificial Intelligence Research Center, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
tomohisa.yamashita@aist.go.jp

伊藤 伸泰
Nobuyasu Ito

東京大学 大学院工学系研究科
School of Engineering, The University of Tokyo
ito@ap.t.u-tokyo.ac.jp

野田 五十樹
Itsuki Noda

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター
Artificial Intelligence Research Center, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
i.noda@aist.go.jp

keywords: multi-agent simulation, design of experiment, evacuation simulation,

Summary

In this paper, we address the development of module to the framework which manage execution of multi-agent simulations entered the innumerable combination of input parameters, in order to find effective input parameters from the exhaustive parameter combinations. Toward the development of module, we focus on design of experiment and propose method that orthogonal parameter sets are generated automatically by using differences of the output result. Concretely, by using statistical analysis, parameters are indicated significant difference between input values, and combination of parameters around these significant parameters is generated. To investigate effectiveness of proposed method, through evacuation simulation, we compare each results of all combination of input parameter and reduced combination of them by using module which implemented proposed method is implemented.

1. は じ め に

人間や組織の活動をエージェント単位で表現可能なマルチエージェントシミュレーションを応用した災害、交通、経済などの社会シミュレーションは、様々な政策決定や社会現象の解析・予測など、社会課題解決のアプローチとして注目されている。例えば避難訓練や防災計画などにおいて、激甚災害などは頻繁に起こるものではなくデータがそれほど多くないにもかかわらず、対策は用意しなければならない。様々なケースを網羅的にシミュレーションし検証することは一つの判断材料として助けとなりうる。

近年の計算機技術の進歩は、京などに代表されるようなスーパーコンピュータを用いる High Performance Com-

puting(HPC) 技術により網羅的なシミュレーションの実行を可能としてきており、それを活用したシミュレーションの管理・実行フレームワークの開発が進められている。

シミュレーションを網羅的に実行する上では、扱う現象やパターンそして規模によってはシミュレーション自体あるいはその出力結果の複雑化・データ量の増大などが生じ、結果の検証や分析を困難とする可能性がある。それに対し、現在あるシミュレーション管理のフレームワークには入力パラメータの組み合わせ削減の機能や最適化手法などによるパラメータ探索の機能も用意されつつある。しかしながら、シミュレーションの出力結果に対し影響の大きなパラメータの組み合わせを早く捉えることは、シミュレーションに用いるモデルの検証や新たな追加実験へのフィードバックを効率的にする上で重要

ではあるが、そのような機能の開発はまだ進んでいない。

そこで本研究では、実験計画法の応用に着目し、少ない実験数とその結果から、相転移のように急激に出力が変化するような入力パラメータの組み合わせを探索する手法を提案し、例題として避難シミュレーションの実験を通し提案手法の有効性を検証する。

本論文は下記の通りに構成される。2 章では関連研究について紹介し、3 章では提案手法について説明とフレームワークへの実装について述べる。例題として適用する人流シミュレータに関して 4 章で紹介し、実験について 5 章で述べる。6・1 節で実験結果と考察について述べ、最後に、7 章で本論文をまとめる。

2. 関 連 研 究

我々は、高性能計算機を用いた大規模なエージェントシミュレーションや無数の入力パラメータの組み合わせを並列実行するフレームワークとして PRACTIS [岡田 12, Yamashita 12b] や OACIS [Murase 14] の開発を進めてきた。現在では OACIS を基盤に開発を進めており、様々なエージェントシミュレーションが適用されている。

同じような研究開発としては、シミュレーションプラットフォーム GAMA [Grignard 13] から派生した EPIS [Blanchart 11] や OpenMOLE [Reuillon 10] などが存在する。これらのフレームワークは計算機に設定した入力パラメータを順番にバッチ処理させる仕組みを基本としているが、OpenMOLE では標準で用意された機能を用いて入力パラメータの組み合わせを指定可能である。例えば、実験計画法を用いた入力パラメータの組み合わせ削減の機能や遺伝的アルゴリズムなどによるパラメータ探索手法も用意されている。

社会シミュレーションにおける入力パラメータの値は、実社会から得た観測データだけではなく、推定値や概算値など不確実性を含むような尤もらしい入力パラメータの値が与えられることが多い。そのため値を変化させて影響をみる必要があるが、規模が大きくなるとその入力パラメータの範囲の決定は困難となる。そこで、実験数を可能な限り抑えつつ、自動的に出力結果に対して影響の大きいパラメータについて分析と入力パラメータの変更による新たな実験を逐次的に実行する機能が必要である。この機能は、上記で紹介したフレームワークには備わっていない。

我々は、上記のような機能の開発に取り組み、OACIS で用意された API を活用し、モジュールとして機能の追加・拡張を行う。本論文では、OACIS のモジュールとして上記の機能の実装とその応用として避難シミュレーションに適用する。

3. 実験計画法を用いたパラメータ探索

3.1 実験計画法

実験計画法は、R. A. Fisher [Fisher 35, Fisher 92] によって開発された効率的に実験を進めることを目的とした統計学の応用である。具体的には、対象とする各入力パラメータに設定する段階を水準とし、各パラメータの直接的効果の主効果や複数の入力パラメータ間の交互作用を検討していく方法である。特に、各入力パラメータの各水準が他の入力パラメータの水準との組み合わせを効率的に実験する手法として代表的な直交表を用いた方法が挙げられる。具体的に例として、下記の表 1 は $L_4(2^3)$ の直交表を示しており、 L はラテン方格の頭文字、添字の 4 は実験回数、括弧内の 2 は入力パラメータの水準数、右肩の 3 は入力パラメータの個数を示し、4 回の実験で 2 水準の入力パラメータが 3 つまで調べられる直交表を示す。また、第 3 列目は第 1 列目と第 2 列目の交互作用として割り当てることも可能である。図 1 は表 2 の直交表を 3 次元上にプロットした場合を示す。縦、奥、横がパラメータ 1, 2, 3 をそれぞれ示す。他にも、 $L_8(2^7)$ や $L_{27}(3^{13})$ など入力パラメータの数や水準数によって様々な直交表がある。例えば、2 値の入力パラメータが 7 つの場合は 128 通りの実験が考えられるが、実験計画法を用いて組み合わせを作ることにより、8 通りの実験とその結果から各入力パラメータの結果に対する効果を分析することが可能となる。

表 1: $L_4(2^3)$

\	1	2	3
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

表 2: $L_4(2^3)$

\	1	2	3
0	A_1	B_1	C_1
1	A_1	B_2	C_2
2	A_2	B_1	C_2
3	A_2	B_2	C_1

図 1: 直交表に基づいた入力パラメータの組み合わせの配置例

3.2 統計手法を用いたパラメータ探索

直交表による入力パラメータの組み合わせから得られるシミュレーションの出力結果を用いて統計手法を適用し、出力結果に対する各パラメータの効果の有意性につ

いて検定する．例えば，実験計画法では各入力パラメータの主効果に関して分散分析が用いられる．

よって，ここでは分散分析を用いたパラメータ探索を例にとり説明する．まず，実験計画法における分散分析について簡単に紹介すると，例えば，パラメータを A (例. A_0, A_1) について検定する際は，他のパラメータ B, C などについては入力誤差と同様にみなし，出力結果の偏差と比べ， A_0 と A_1 の差が効果として有意に現れているかどうかを検定する．この操作を B と C に同様にを行うことで，各パラメータの主効果について検定することができる (この時，有意確率は任意に決定)．よって，各パラメータの組み合わせについて，繰り返し実験した回数を 5 回とした場合，表 2 からわかるように，例えば， A_0 が現れる実験は 2 つあるので， A_0 に関する実験結果は 5×2 で 10 となり (A_1 についても同様)，この実験結果を用いて検定をする．

基本的には探索対象となるパラメータに関しては外側方向に新たにパラメータを生成し，探索範囲を広げていく．例えば，入力パラメータ A の初期設定を A_1 と A_2 とし，事前に設定した w_A の値に従って，次の式のように新たなパラメータ値 A_3 と A_4 が生成される．ここで，外側へ広げていく際のパラメータの上限值 u_A と下限値 l_A を事前に設定し， $A_1 < A_2$ とする．

$$A_3 = \begin{cases} l_A & ((A_1 - w_A) < l_A) \\ (A_1 - w_A) & (otherwise) \end{cases}$$

$$A_4 = \begin{cases} u_A & ((A_2 + w_A) > u_A) \\ (A_2 + w_A) & (otherwise) \end{cases}$$

ここで， A が l_A に達した際は A は l_A より小さな値を生成せず，また， A が u_A に達した際は A は u_A より大きな値を生成することはない．このとき，外側方向への探索は終了となる．

一方で，分散分析の結果から A_1 と A_2 による出力結果に統計的に有意な差があると判定された際は， A_1 と A_2 の間に新たにパラメータを生成し，主効果の差が現れる区間をより重点的に探索していく．本論文では，探索点間の幅の限界値を g_A とした時， $|A_2 - A_1| > g_A$ が満たされる場合において下記の式のように， A_1 と A_2 の中点 A_5 を新たな探索点として決定する．

$$A_5 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

ここで， $|A_2 - A_1| \leq g_A$ の際は A_1 と A_2 の出力結果に有意差があると判定されても，新たな探索点は生成せず， A_1 と A_2 の間の内側方向への探索は終了となる．

提案手法において，探索するパラメータの尺度水準としては，間隔尺度，または比例尺度に相当するものに限る．

OACIS モジュールとして実装する際は，使用するユーザによって用いる統計手法や，新たな入力パラメータの生成方法に関してカスタマイズが可能ないように設計する．

3.3 OACIS:シミュレーション管理・実行フレームワーク

OACIS (Organizing Assistant for Comprehensive and Interactive Simulations) [Murase 14] は，スーパーコンピュータやクラスタマシンを利用したシミュレーションの網羅的実行・管理フレームワークとして，理化学研究所計算科学研究機構 離散事象シミュレーション研究チームで開発され公開されている *1.

図 2 に OACIS の概要を示す．

図 2: OACIS の概要 [Murase 14]

OACIS は，Ruby on Rails と mongoDB の 2 つを核として開発されており，ウェブブラウザを通して，シミュレーションの実験パラメータや結果の管理・実行を操作および確認をすることが可能である．シミュレーションの実行コマンドとパラメータを指定すると，OACIS における worker が実行可能なホストに ssh 経由で実行ディレクトリを作成し，指定したパラメータでシミュレーションを実行する．実行したシミュレーションの入力パラメータや実行結果はデータベースに保存され，確認や登録した分析スクリプトの実行，また，簡単なプロット図の作成などが可能である．

3.4 提案手法の実装

OACIS には API や CLI が用意されており，それらを活用することでウェブブラウザを通したインタラクティブな操作・管理だけではなく，分析や新たな実験パラメータの生成および実行を自動化することが可能である．この API を用いて，本論文の提案手法を OACIS のモジュールとして追加し適用する．

モジュールは，図 2 における Application Server と入力パラメータの生成や実行結果の抽出などのやり取りを実行することになる．

*1 <https://crest-cassia/oacis.git>

4. 人流シミュレータ: CrowdWalk

本論文では CrowdWalk [Yamashita 12a] を用いた避難シミュレーションを例題に検証するため、ここで CrowdWalk について紹介する。CrowdWalk は人の移動を道路ネットワーク上の 1 次元の動きに限定し、広域・多人数の移動を高速にシミュレーションするシステムである。図 3 は CrowdWalk を実行している様子であり、各点が避難するエージェントであり、直線で結ばれた線で表された道路上を移動する。また、色の濃淡で表示されている領域は、津波の浸水や有害ガスなどの危険領域の侵食を示しており、時間経過とともに広げる設定などが可能であるが、本論文においては使用しない。

図 3: CrowdWalk によるシミュレーションの例

5. 実 験

提案手法の有効性を検証するため、CrowdWalk を用いた避難シミュレーションの設定と検証方法について説明する。具体的には、(Case1) 入力パラメータの全組み合わせを実験したときの出力から分析した結果と、(Case2) 提案手法を用いて実験数を削減した場合の出力のみで分析した結果を比較する。ここで、CrowdWalk の設定入力パラメータとしては、避難エージェントの各発生地域からの避難場所と、全体の避難エージェントの人数であり、出力は避難完了時間とする。

5.1 シミュレーションの設定

シミュレーションの設定は [Yamashita 14] の実験結果を参考に設定する。

§1 地図データ

シミュレーションに用いる地図データは図 4 に示すように、 $1.4\text{km} \times 1.3\text{km}$ 四方の海に面した街を対象とした地図を用いる。地図の道路ネットワークは 5,286 点のノード(交差点)と、それらを結ぶ 6,380 個のリンクで構成されており、道路幅は幹線道路を 4.0m 、一般道路を 2.0m と設定する。

図 4: 避難シミュレーションに適用する道路ネットワーク

§2 避難人数

各地区ごとの避難人数は表 3 に示す比率を用いて決定し、避難総数は最小数を 70 人、最大数を 10,000 人と設定する。具体的には、避難総数を 1,000 人とした場合、B1 から B7 の各地区における避難人数は 137 人、130 人、202 人、88 人、189 人、157 人、97 人と設定される。また、各地区の避難人数の最少人数は 10 人とするため、最小避難総数は 70 人となる。

表 3: 各地区ごとの避難総数に対する比率

地区	比率
B1	0.137
B2	0.130
B3	0.202
B4	0.088
B5	0.189
B6	0.157
B7	0.097

§3 経路選択

各 7 つの区域で発生した避難エージェントは 3ヶ所の避難場所(F1, F2, F3)のいずれかに避難する。具体的には、避難エージェントらの避難場所は予め入力パラメータとして設定され、シミュレーションが開始される前に、避難場所までの最短経路がそれぞれ計算される。本実験の設定では、避難エージェントは事前に計算された経路をシミュレーションが終了するまで変更しないため、混雑発生においても避難経路を再度、計算はしない。このとき、避難総数を任意の値に固定した際、各避難エージェント発生区域から避難場所への設定入力パラメータの組み合わせ数は $2,187(3^7)$ 通りとなる。本論文で扱う [Yamashita 14] の CrowdWalk のシミュレーションの設定においては、2,000 人までは自由流で避難が完了するが、3,000 人を境に増えていくと、避難場所への経路の容量に対し、避難人数が多すぎて混雑が発生することが確認されている。その結果、全ての避難エージェントが避難を完了するま

での時間の増加傾向が 3,000 人以上ではより大きくなるような設定としている。

5.2 実験ケース

§1 Case1: 入力パラメータ全組み合わせ

入力パラメータ全組み合わせの設定については、総避難人数の入力パラメータ pop を次の通り用意する: $pop = 70, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 6,000, 7,000, 8,000, 9,000, 10,000$. これは [Yamashita 14] の実験結果において、総避難人数を 3,000 人と設定した付近を境目として、総避難人数に対する避難完了時間の増加傾向に変化がみられたという報告に基づいて、3,000 人付近を 1,000 人単位で刻んだ。また、1 組の入力パラメータの組み合わせに対してシミュレーションの実行回数 (以降、サンプル数) を 3 回とした。

§2 Case2: 提案手法

直交表の適用

提案手法では、各避難エージェント発生区域から避難場所への設定入力パラメータの組み合わせは L_{18} 直交表を用いて割り当て、任意の総避難人数に対して 18 個の組み合わせとなる。これに加えて、総避難人数の初期設定として 3,000 人、5,000 人、7,000 人の 3 つを用意することで、初期の入力パラメータの組み合わせ数は 54 個となる。

並行性の検定を用いたパラメータ探索

実行したシミュレーション結果を用いて、有意に出力結果に対し効果のあるパラメータ値を探索するために、統計手法を用いる。本論文においては、実行結果から総避難人数に対する避難完了時間の傾きに関して、変化の大きい箇所を探索するため、並行性の検定を用いる。

図 5: 並行性の検定

図 5 を用いて具体的に説明する。図 5 は横軸に入力パラメータ P 、縦軸にシミュレーションの出力結果を表した例であり、 $\times$ は各入力パラメータをとった際のシミュレーション結果を示す。入力パラメータ P_0, P_1, P_2 を用いて出力されたシミュレーション結果から、 P_0 と P_1 の間、 P_1 と P_2 の間のそれぞれの回帰直線の傾き a_0 と a_1 を求める。ここで、事前に設定する有意確率 (例えば 0.05) の

もとで、傾き a_0 と a_1 について分散分析による検定を実行する。具体的には、それぞれの傾きによる回帰直線を平均値とした時の偏差を分散として分散分析をする。ここで、検定結果が傾き a_0 と a_1 について有意に差があると判定された場合、 P_0 と P_1 の中点 (例えば、 P_3) と、 P_1 と P_2 の中点 (例えば、 P_4) を新たな入力パラメータの探索点として生成し、シミュレーションを実行する。一方で、検定結果から有意に差がないと判定された場合は、パラメータの中点に新たな探索点は生成しない。

本研究において有意確率は 0.05 とし、探索対象とするパラメータ pop に対して固定パラメータはそれぞれ、 $g_{pop} = 500, w_{pop} = 2,000, l_{pop} = 10, u_{pop} = 1,0000$ として実験する。提案手法についても、各パラメータの組み合わせに対してサンプル数は 3 とする。ここで、例えば pop パラメータに着目し、 $pop = 1,000$ をとっている組み合わせは直交表に従った他のパラメータの組み合わせ (避難の組み合わせ) の数 18 通りと、各組み合わせのサンプル数 3 となり、54 個のシミュレーション結果を用いて検定する。他のパラメータの入力値についても同様である。

6. 結果と考察

6.1 結果

表 4 に各実験ケースごとの設定とそれによるシミュレーションの合計実行回数を示す。

これらの結果は提案手法を用いたほうがより少ない実験数であったことを示している。

表 4: 各ケースにおける実験数

	Case1	Case2
避難の組み合わせ数	2,187	18
サンプル数	3	3
pop 値の数	11	9
合計実行回数	72,171	486

さらに、Case1, Case2 においてそれぞれ避難完了時間に対し総避難人数パラメータ間の相関のヒートマップを図 6 に示す。各図における行列が pop のパラメータを表している。青が正の相関、赤が負の相関を示し、色の濃淡が相関の強さを示している。各図において、 pop が 2,000 人以下のパラメータ群と 3,000 人以上のパラメータ群で相関係数の値がそれぞれ高い値を示し、2,000 と 3,000 が境界になっていることがわかる。加えて、Case1 と Case2 の相関図を見比べてもほとんど差が見られないことから、このシミュレーションにおいては提案手法による実験数を削減しても、全組み合わせ実験のケースと同じ傾向をつかむことが可能なことを示唆している。

図 6: 避難完了時間に対する総避難人数の相関

また, Case1, Case2 における総避難人数と避難完了時間の結果を図 7 にそれぞれ表す. 各図においては, 縦軸と横軸がそれぞれ避難完了時間と総避難人数を示し, 各総避難人数ごとの避難完了時間の平均と標準偏差を示している. 前述のように, 総避難人数が 2,000 人と 3,000 人を境に避難完了時間の増加傾向に差があるのがみられる. さらに, 総避難人数が 2,000 人以下の場合における避難完了時間の分散に対して, 総避難人数が 3,000 人以上の場合における避難完了時間の分散は大きいことがわかる.

6.2 考 察

実験結果の各ケースごとのシミュレーションの合計実行回数から, 提案手法を用いたケースのほうが非常に少

図 7: 総避難人数に対する避難完了時間の傾向

ない実験数で, なおかつ, 総避難人数パラメータ pop が 2,000 人と 3,000 人の境界において, 避難完了時間に対し有意差を示した. 実験数の削減については, 提案手法における w_{pop} を例えば 1,000 や 500 に設定したとしても, Case1 の実験数に比べれば実験数を抑えることが可能である.

直交表を用いて削減した pop 以外の入力パラメータと避難完了時間の結果について調べる. そこで, pop が 2,000 人と 3,000 人の時の避難完了時間への有意差から, pop が 70, 2,000, 3,000, 10,000 の時の結果を取り上げ, 比較し分析する. ここで, どの入力パラメータが避難完了時間の遅延に影響しているかを調べ, 最も避難完了時間が長かった順に結果を取り出し調べる (つまり, ワーストランキング). Case1 の実行回数が 72,171 であるのに対して, Case2 は 486 とおよそ 150 倍以上の差があるため, Case2 のワーストを 10 個取り出すのに対して, Case1 についてはワーストを 1,500 個とその 10 分の 1 の 150 個を取り出して比較する.

パラメータ pop が 70, 2,000, 3,000, 10,000 とした時の結果を比較した棒グラフを図 8, 図 9, 図 10, 図 11 にそれぞれ示す. 各図における棒グラフの色は避難場所を

表し、横軸が各避難エージェントの発生場所を示している。縦軸は、それぞれ抽出した避難完了時間のワースト結果の数に対し入力として与えたパラメータの頻度を示している。例えば、図 8a における $B7$ の項目では赤の棒グラフ ($F2$) の値が 1.0 であり、他の青 ($F1$) や緑 ($F3$) の値は 0.0 を示している。これは、 pop を 70 とした時、避難完了時間が長かった順番に 1,500 個抽出した中で、 $B7$ に発生した避難エージェントが $F2$ に逃げる場合の頻度が多いことを意味する。図 8 の pop が 70 では各棒グラフにおいて、入力パラメータ $B7$ が $F2$ をとる頻度が高く、入力パラメータ $B7$ が出力結果の避難完了時間に対して、非常に影響が大きいとわかる。一方で、他の入力パラメータに関しては $F1, F2, F3$ のどの入力値をとってもほとんど同程度の頻度を示している。

pop が 2,000 の図 9 においては、図 9a と図 9b はほぼ同じような頻度を示しているが、図 9c では他の入力パラメータにおいて頻度が高いものがみられる。さらに pop が 3,000 になると、図 10a, 図 10b, 図 10c のどのグラフにおいても $B7$ のとる $F2$ だけではなく、他の入力パラメータにおいても高い頻度のものが現れており、その高頻度の入力パラメータが同一ではない場合も多くある。具体的な例としては、 $B7$ の $F2$ 以外では、 $B6$ が $F1$ をとる場合の頻度がどの棒グラフにおいてもみられるが、図 10b や図 10a において、 $B2$ が $F2$ をとる場合の頻度は高いが、図 10c ではその様子が見られない。図 11 に示す pop が 10,000 の場合となると、図 11c においては、避難人数増加と避難場所の選択の影響が、頻度の高い入力パラメータとして顕著に現れているのがわかる。

これらの分析結果から、 pop が 2,000 以下の小さい値をとると互いの避難経路における渋滞なども起こらず、交互作用などの影響も生じないため、最も影響の大きい入力パラメータが表れやすいケースとなっていることが示唆される。また、 pop が 2,000 の時では、避難完了時間が遅い順に 150 個とった場合の棒グラフからは避難経路における渋滞による影響が少しずつ現れ始めているのがわかる。特に、 pop が 3,000 や 10,000 となると、避難場所 $F1$ を選択している $B3, B4, B6$ の頻度が高くなっており、 $B3, B4, B6$ からは遠い避難場所 $F1$ の選択と、 $F1$ への道路に避難エージェントが集中していることが、避難完了時を遅くしている要因として示唆される。

このような、入力パラメータの組み合わせによる交互作用の効果については、直交表を使った組み合わせだけでは発見することは困難であり、より多くの組み合わせについて実験する必要がある。しかしながら、本研究における提案手法を用いれば、上記のように、パラメータ pop を 70, 2,000, 3,000, 10,000 のみに絞って他の入力パラメータの全組み合わせを実行すればよい。この時、シミュレーションの実験数は、全組み合わせの実験が 72,171 回に対して、26,514 回であり、約 65 % の実験数の削減となる。

また、設定した避難シミュレーションでは入力パラメータ pop の値の影響が大きく、それに比べて他の入力パラメータ間の交互作用は存在するが、無視できるほど小さい影響であったことから、提案手法の適用可能な問題のクラスとしては、交互作用よりも、各パラメータごとのシミュレーション結果に対する効果が表れやすい問題に対し適用可能と考えられる。

7. お わ り に

本研究は、入力パラメータの無数の組み合わせから効率的に出力結果の概観 (差異や分散) を把握するための実行計画モジュールの開発の取り組みにおいて、実験計画法を応用したパラメータの自動生成と探索方法について提案した。避難シミュレーションを例題に、用意されたパラメータの全組み合わせを実行したケースと提案手法を用いたケースの結果を比較し有効性を検証した。

比較結果から、提案手法は少ない実験数でも重要な箇所を探索することに成功していることを明らかにした。さらに重要な箇所に絞って実験を追加し分析することにより、より細かいパラメータの影響についても調べることを容易にした。このような実験数の削減は、より低コストに計算資源を抑えてシミュレーション結果の分析などを可能にするため、HPC が利用できない状況においても大量の実験数が必要となるようなケースへの応用が期待できる。

今後の課題として、より多くの入力パラメータを探索対象とした検証が必要である。加えて、直交表の性質上、割り当てたパラメータ以外の効果が交互作用として出現する可能性に対して、実験数を抑えつつ交互作用の有無を発見する手法の取り組みが必要と考えられる。

謝 辞

本研究は、JST CREST の支援を受けたものである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Asano 15] Asano, Y., Ito, N., Inaoka, H., Imai, T., Uchitane, T.: "Traffic simulation of Kobe-City", Proceedings of the International Conference on Social Modeling and Simulation, plus Econophysics Colloquium 2014, Springer, pp.255–264, 2015.
- [Blanchart 11] Blanchart, E., Cambier, C., Canape, C., Gaudou, B., Ho, T. N., Ho, T. V., Lang, C., Michel, F., Marilleau, N.: "EPIS: A grid platform to ease and optimize multi-agent simulators running", Advances on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, Springer Berlin Heidelberg, pp.129–134, 2011.
- [Fisher 35] Fisher, R., A.: "The design of experiments", Oliver and Boyd, Edinburgh, 1935.
- [Fisher 92] Fisher, R., A.: "The arrangement of field experiments", Breakthroughs in Statistics, Part of the series Springer Series in Statistics, New York, pp.82–91, 1992.
- [Grignard 13] Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q., Drogoul, A.: "GAMA 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation", PRIMA 2013: Principles and Practice of Multi-Agent Systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8291, Springer, pp. 117–131, 2013.

図 8: $pop = 70$ における最も避難完了時間が長い入力パラメータの頻度 図 9: $pop = 2000$ における最も避難完了時間が長い入力パラメータの頻度 図 10: $pop = 3000$ における最も避難完了時間が長い入力パラメータの頻度 図 11: $pop = 10000$ における s 最も避難完了時間が長い入力パラメータの頻度

[松島 13] 松島裕康, 山下倫央, 野田五十樹: “実験計画法に基づくパラメータ探索を用いた大規模マルチエージェントシミュレーションの分析”, 2013 年度人工知能学会全国大会, 4F1-3, 人工知能学会, 2013.

[松島 14] 松島裕康, 山下倫央, 野田五十樹: “網羅的シミュレーションにおける実験計画法を応用した計画モジュールの開発”, 情報処理学会全国大会予稿集, 4C-5, 情報処理学会, 2014.

[Murase 14] Murase, Y., Uchitane, T., and Ito, N.: “A tool for parameter-space explorations”, Proceedings of the 27th Workshop on Computer Simulation Studies in Condensed Matter Physics (CSP2014), Physics Procedia, pp.73-76, 2014.

[岡田 12] 岡田崇, 山下倫央, 野田五十樹: “網羅的シミュレーションによる群集誘導手法の検証”, 人工知能学会全国大会 (JSAD)2012, 3F2-OS-10-9, 2012.

[Reuillon 10] Reuillon, R., Chuffart, F., Leclaire, M., Faure, T., Dumoulin, N., and Hill, D.: “Declarative task delegation in OpenMOLE”, High Performance Computing and Simulation (HPCS), 2010.

[Yamashita 12a] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹: “一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用”, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, pp.1732-1744, 2012.

[Yamashita 12b] Yamashita, T., Okada, T., and Noda I.: “Implementation of Simulation Environment for Exhaustive Analysis of Hugescale Pedestrian Flow”, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI), Vol.6, No.2, pp.137–146, March, 2013.

[Yamashita 14] Yamashita, T., Matsushima, H., and Noda I.: “Exhaustive analysis with a pedestrian simulation environment for assistant of evacuation planning”, The Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2014 (PED2014), pp.264–272, 2014.

〔担当委員：金森 亮〕

2016 年 1 月 15 日 受理

著 者 紹 介

松島 裕康(正会員)

2013 年 電気通信大学 大学院情報理工学研究科修了。博士 (工学)。現在、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター 特別研究員。マルチエージェントシミュレーション、進化計算の研究に従事。計測自動制御学会会員。

内種 岳詞

大阪大学で、学士、修士、博士をそれぞれ 2008 年、2010 年、2012 年に取得。博士 (情報科学)。現職は、神戸大学 経済経営研究所の特命講師。シミュレーションを利用した都市の防災・減災に関する研究に従事。IEEE、計測自動制御学会、日本知能情報ファジィ学会、進化計算学会の会員。

辻 順平

2014 年 北海道大学 大学院情報科学研究科 博士課程 修了。国立研究開発法人 産業技術総合研究所 特別研究員を経て、現在、神奈川大学 工学部 電気電子情報工学科 特別助教。屋内測位、マルチエージェントシミュレーションの研究に従事。博士 (情報科学)。情報処理学会会員。

山下 倫央(正会員)

2002 年 北海道大学 大学院工学研究科 システム情報工学専攻修了。2003 年 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター 特別研究員。2005 年 同所情報技術研究部門研究員。サービス工学研究センター、人間情報研究部門を経て、現在、人工知能研究センター 主任研究員。社会システムシミュレーションの開発と社会実装に関する研究に従事。博士 (工学)。情報処理学会会員。

伊藤 伸泰

1986 年 東京大学 理学部 物理学科 卒業、1991 年 同大学院 修了、理学博士。日本原子力研究所 情報システムセンター・ケルン大学 理論物理学研究所・KFA ユーリヒ研究所 計算科学研究センター 研究員を経て、現在、東京大学 大学院工学系研究科 准教授。理化学研究所 計算科学研究機構 離散事象シミュレーション研究チーム チームリーダーを兼務。サウジアラビア・KAUST GRP Investigator 賞 他受賞。日本物理学会会員。

野田 五十樹(正会員)

1992 年 京都大学 大学院工学研究科 修了、通商産業省 工業技術院 電子技術総合研究所 に入所後、改組を経て、現在、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター 総括研究主幹。博士 (工学)。RoboCup Federation President。本学会副会長、ロボカップ日本委員会・防災推進機構 理事。情報処理学会、電子情報通信学会会員。