

k-gram 順序保存カーネルを類似度指標として用いた ABSS モデルパラメータ設定手法

山本大貴 高橋真吾(早稲田大学)

Parameter Setting Method that Using k-gram Order Preserving Kernel as a Date Similarity on the Agent Base Social Simulation

概要— エージェントベース社会シミュレーションにおいてパラメータ調整に関して様々な問題が存在しており、それらに対して様々なアプローチがなされてきている。その方法の1つが逆シミュレーションによるパラメータ調整である。本研究では、逆シミュレーションを用いたパラメータ調整において、そのターゲットデータをシリアルデータに拡張し、評価関数にはシリアルデータの類似性を評価する k-gram 順序保存カーネルを用いた手法を提案した。そして、その有効性の評価と手法の位置づけを行った。

キーワード: エージェントベース社会シミュレーション, k-gram 順序保存カーネル, 逆シミュレーション, シリアルデータ

1 はじめに

1.1 研究背景

エージェントベース社会シミュレーション(ABSS)は、対象とする社会システムの要素等のマイクロな記述を行い、それらの相互作用を扱うことで、創発的なマクロな社会現象を再現・分析を可能にするシミュレーション手法である。この手法は複雑性を有する社会システムにおいて有効とされ多くの領域で研究が進められ関心が高まっている。しかし ABSS は比較的近年に提案された手法で、歴史が浅いこともあり、エージェントベースアプローチは発展段階にあると言える。そのため、幾つかの方法論的課題が指摘されているなど、明確な方法論の確立に至っていないのが現状である。エージェントベースアプローチには、領域知識の獲得、モデリング、実験設計、妥当性検証、パラメータ設定、分析といった多くの研究フェーズが存在し、それぞれにおいて分析者依存の方法が取られている場面が多々見られる¹⁾。この点から、エージェントベースアプローチでは、各フェーズにおける方法論的課題が解決され、状況に応じた適切なアプローチの確立及びそれらを明確に方法論化することが求められている状態にあると言える。

上記の課題の中でも、パラメータ設定の段階において、非常に多くの問題が存在している。一般的にエージェントベースアプローチを行う際には目的及び、再現・分析したい状況に応じて、どのくらい詳細にモデルを記述するか(モデルの解像度)について考慮しなければならない²⁾。モデル解像度が高いほど、モデルを構成する要素やパラメータの数が多くなり、モデリングのための要素の選択やパラメータの設定が困難となることが多々ある。基本的に、パラメータを設定する際は、アンケート結果や関連研究で得られた知見を元に、パラメータ値を同定することが望ましいが、これらの方法は利用できない場合も多い。その際には、「対象の現象を再現」できるようなパラメータを探索

する Calibration を実施する。ただし、Calibration はモデルパラメータが複雑であればあるほど、パラメータ設定の基準に妥当性を持たせることが難しく、また、パラメータは手動での調整が主なため、時間的、労力的負担が大きく、シミュレーション実施者にとって大きな問題となっている。そのため、複雑なモデルパラメータを妥当にかつ効率的に決定する方法が必要とされており、多くの研究がなされているが、依然として多くの問題が存在しているのが現状である。

1.2 従来研究

1.2.1 ベイジアンネットワークによるパラメータの選択、値の取得

宮崎ら³⁾は民間医療保険市場を対象にした顧客の購買行動モデルにおいて統計的手法の1つであるベイジアンネットワーク(BN)の確率推論を用い、顧客エージェントの購買行動モデルのパラメータを取得することに成功している。BN を利用することで、行動要因となるエージェントの状態パターン数が膨大でも、行動結果に至る確率を合理的に算出することが可能になる。また BN を利用することで、行動モデルの妥当性についても担保している。消費者行動をモデル化する際の、影響が少ない要因や研究目的上重要でない要因を BN 構造を構築することで、影響の少ない要因をあぶり出し排除することが可能となる。そのため、BN 構築の過程で排除されなかった行動要因で構築された行動モデルは、内的妥当性が担保されていると言える宮崎らは述べている。

1.2.2 バーチャルグラウンディング法⁴⁾

バーチャルグラウンディング法(VG 法)は、調査制約等により分析者がファクシミリモデル構築のためのデータを必然的に取得できない問題を解決する手法の1つである⁴⁾。Agent-based Model (ABM) ではエージェントの状態が一定とは限らず、エージェントの状態に応じてパラメータが動的に変化することがある。そ

ういった時に、既に妥当性が検証されているモデルを用いて、その行動の流れを擬似体験させるようなアンケートを作成してパラメータを取得する。従来は得ることができなかった動的なパラメータを取得できることがこの手法の強みであり、行動モデルが既に構築できていて、モデルの解像度が高い場合は有効である。上記 1.2.1 で紹介した手法も含めて、これらの手法は、モデル作成後にそれぞれ、パラメータ値を取得するために規模の大きなアンケートを行わなければならない。そのアンケート構築の手間や、アンケート回収にかかる時間的・費用的なコストが大きくシミュレーション実施者にとって大きな負担となることが懸念される。

1.2.3 逆シミュレーション

逆シミュレーションは倉橋ら⁵⁾によって提案されたパラメータの自動調整方法である。対象社会のマクロな特徴を指標化したマクロ社会指標を定め、そのデータをターゲットとし(以下、ターゲットデータ)、シミュレーション結果がターゲットデータに近づくようにエージェントパラメータを遺伝的アルゴリズム(GA)により探索・調整する手法である。(詳細は 2.2.1 項を参考)

大竹ら⁶⁾は逆シミュレーションにおけるターゲットデータを時系列データに拡張することにより、再現したい状況を定常状態から定常状態に至る過程にまで広げ、その状況を達成するようなエージェントパラメータを推定した。大竹らは得たい状況との類似度を各時点におけるユークリッド距離の差分和を用い表現している。しかし、ABSS が扱う社会システムモデルではシリアルなマクロ社会指標において、「対象の現象の再現」は値そのものではなく、データの挙動や振舞いによって評価されることが殆どである。従って、ターゲットデータとシミュレーション結果のユークリッド距離の差分和も考慮されるべきではあるが、過度に値を追従してしまう恐れもある。ユークリッド距離差分和を追従してしまった場合、本来フィッティングさせるべきマクロ的「状況」を生み出すようなパラメータの構造を再現できない可能性が高い。即ち、ある測定されたマクロ結果集合である Y を生み出すようなパラメータセット集合 A が存在したとき、 Y は A を構成する個々のパラメータ値によって決定されるのではなく、寧ろ A を構成している個々のパラメータ間の関係性や因果に反映されている可能性が高いということである。従って、ユークリッド距離差分和でフィッティングを行ったとしても、 Y の挙動内に隠れている関係性や因果を再現できるわけではない。その結果として得られたパラメータセットはその因果が同定できるようなフィッティングではなく「構造的な妥当性」を持たないために、ターゲットデータを再現することしかできず、他の状況においては妥当な振舞いをしないことが考えられる。

以上の点から、評価すべき点はシミュレーション結果

個々の値の関係性を評価できるような、シリアルデータ挙動の類似性にあるといえる。

2 研究目的

本研究では上記を踏まえ、シリアルデータの挙動の類似性を評価することができる k -gram 順序保存カーネル用い、Calibration において行われる「対象の現象を再現」と真の意味で同義である、シリアルなマクロ社会指標のデータ挙動を再現するようなエージェントの特定パラメータを自動的に探索・設定する手法を提案する。そして、本手法の有効性を検証し本手法の位置づけを行うことで妥当なパラメータに設定方法の1つとして確立し、シミュレーション実施者の時間的・金銭的負担を削減するパラメータ設定方法の選択肢を与えることを目的とする。有効性の検証のため、妥当な結果が得られているVG法を利用して構築したテーマパークモデル⁷⁾を用い実験し、その結果との比較を行う。

3 提案手法

3.1 提案手法の狙い

提案手法では、Calibration における「対象の現象の再現」を行うパラメータの探索方法に逆シミュレーション法を用いることでパラメータ探索を自動化し、シミュレーション実施者の負担の軽減が可能な方法の確立を1つの目的としている。

また、その評価関数にデータ挙動の類似性を評価する k -gram 順序保存カーネルを利用することで、パラメータ探索手法としての妥当性を持たせる。前章でも述べたが、エージェントベースアプローチの Calibration における「対象の現象の再現」は値そのものではなく、データの挙動や振舞いによって評価されることが殆どである。従って、ユークリッド距離差分和では各時点での値の追従を行うことになるので、シリアルデータの定性的な振舞いを追従するわけではない。そのため、ターゲットデータに過度にフィッティングしてしまい構造的な妥当性を持つパラメータが得られないことで、モデルとしての妥当性が失わせてしまう危険性を孕んでいる。そのような状況が起こらない様に、シリアルデータの挙動や形状そのものを評価することによって構造的に妥当性を持つパラメータの設定手法としての妥当性を担保することが本手法の狙いである。

3.2 逆シミュレーションの利用

本提案手法では、パラメータ設定手法の全体的なフローは逆シミュレーションに則る。逆シミュレーションは通常のシミュレーションと異なり、モデルの設計及び全体の挙動を設定した後、パラメータの調整は行わず、先にシミュレーションを作動させ、再現したい状況のマクロ社会指標に近づくように任意の評価関数を設定し、事後的にパラメータセットを最適化手法によ

って評価関数の値を最大化(最小化)するように、調整・評価し最終的なパラメータを決定する手法である。最適化手法には複雑かつ多変数な関数の最適化が可能である GA を用いている。以下に一般的な逆シミュレーションの流れを示し、図 1 においてシミュレーションと逆シミュレーションの関係性を示す。

- (1)理論や知見をもとに、実世界を表現する多数パラメータによるモデル構築
- (2)シミュレーション結果に対する評価関数の設定
- (3)評価関数が最大となるような結果が得られるまでシミュレーションを実行
- (4)得られたパラメータの評価

一般的に逆シミュレーションで得られ、妥当であると判断されたパラメータはパラメータの値自体の評価、考察によって知見を得ることも可能であることに加え、図 1 のように通常のシミュレーションに転用も可能である。

逆シミュレーションによって得られるパラメータが妥当であることを倉橋らは次のように示している。

「実際の社会指標を用いて測定された社会シミュレーション結果を集合 U とし、エージェント群の性格を表す集合を X としたとき、 X の点 x に対して U の点 u を対応させるような写像 f は、エージェントの性格を表す属性の値によってマクロ社会指標値が決まるという $f: x \rightarrow u$ の関係を示している。逆に $f^{-1}: x \rightarrow u$ の関係が存在すれば u から属性 x を求めることができる。ここで用いる遺伝的アルゴリズムは、基本的な仕組みとして X の要素 x を多数発生させ、点 u と関係する x を求めるものである。多数のランダムな初期値から要素の評価を行うため、解空間の凸性を仮定する必要がない。このことによって求められた各エージェントの性格が社会マクロ指標を特徴づける少なくとも一つの解であることが言える。以上のことから、得られるパラメータとパラメータ探索手法として逆シミュレーションには妥当性があることが保証されている。」(倉橋,1999,p.1455)

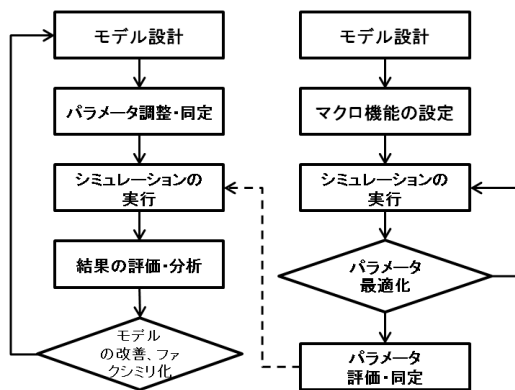


図 1. シミュレーション(左)と逆シミュレーション(右)の手順と関係

3.3 評価関数

提案手法で用いる評価指標は、シリアルデータの挙動の類似性を評価できる指標である必要がある。そこで用いる指標は、柏葉らによって提案されている k -gram 順序保存カーネルとする⁷⁾。 k -gram 順序保存カーネルとは 2 つの系列データをそれぞれ部分系列データに分解し、部分系列データの相対的な順序関係がどの程度一致しているかを測定する指標である。これを用いてデータ分類を行うことによって系列データに含まれるシフトやノイズ、異常値の影響を受けにくくなり、形状の一致による類似度の測定が可能になることを柏原らは示している。ABSS で対象とする社会システムは複雑系であり、様々な要因によって結果が大きく変わることが多くある。従って、個々の値のノイズやシフトに影響を受けにくい本評価指標は、「対象の現象を再現」をそのシリアルデータ挙動の振舞いによって行うという点において有効な評価関数となると考えられる。

次項以降では、柏原によって定義されている k -gram 順序保存カーネルについて説明する。

3.3.1 順序保存符号化

長さの連続系列データの 2 つの系列、 $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ において任意の i, j に対し $x_i \leq x_j \Leftrightarrow y_i \leq y_j$ が成立することを順序同型と呼び、順序同型かを判定するために各点の値を相対的な大小関係に変換することを順序保存符号化と呼ぶ。系列データを符号化したものを $Code(X)$ で表し、符号化系列と呼ぶ。

3.3.2 順序保存符号化

長さ N の連続系列データ $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ と $k \leq N$ の符号化系列 $C = (c_1, c_2, \dots, c_N)$ が与えられたとき、

$$\phi_c(X) = \sum_{i=1}^{N-k+1} match(Code(X_{(i,k)}), C)$$

を X における C の順序保存符号化出現頻度とする。このとき、

$$match(a, b) = \begin{cases} 1(a = b) \\ 0(otherwise) \end{cases}$$

である。

ここで、長さ k の全ての符号化系列からなる集合を符号化方法符号化計算 $C^k = \{C | C \text{ は長さ } k \text{ の符号化配列}\}$ としたとき、 k -gram 順序保存カーネル OPK_k は以下のように定義される。

$$OPK_k(X, Y) = \sum_{C \in C^k} (\phi_c(X), \phi_c(Y))$$

研究対象の領域知識から、マイクロ機能以外(本手法により取得・設定したいエージェントの行動パラメータや属性パラメータ)のエージェントの設計及び、相互作用等を扱ったマクロ機能が設定された内的妥当性の取れたモデルを設計する。

(2) 評価関数の設定

実測値や公開されている統計データ等、フィッティングさせたいシリアルなターゲットデータを用意する。このとき、「シリアル」という表現を使用するのは、ターゲットデータは必ずしも時系列データである必要がなく、ある社会状況のマクロな状況を定性的に表現するものであればよいからである。

このときターゲットデータとの相違性、類似性を評価するための評価関数として2. 2. 2項で述べた、k-gram 順序保存カーネルを用いる。k-gram 順序保存カーネルを計算する際における、符号化表現及び符号化アルゴリズムは佐藤らによって提案されている高速化手法を用いる。

(3) 遺伝子生成

本手法により取得・設定したいエージェントパラメータを社会遺伝子として予め決められた個体数分生成する。

(4) シミュレーション試行, 適応度の計算

個体数分シミュレーションを試行し、それぞれの個体に対してシミュレーション結果から評価関数によって計算された適応度を付与する。

(5) GA 処理, 遺伝子更新

(4)によって得られた遺伝子と適応度から最適解を記録し、選択、交叉、突然変異等の遺伝的操作により遺伝子を更新する。更新された遺伝子は再び適応度を再計算する。

(6) 終了条件の判定

規定世代に達するまで(5)で遺伝子を更新する。本手法では、生成された遺伝子の総数だけシミュレーションを実行しなければならないため、終了条件を緩く設定する(終了に至りやすくする)必要性も実行するシミュレーション及び、社会遺伝子の複雑さによっても考慮しなければならない。

本研究では、規定世代数の最適解の更新が無ければ、規定世代に達していなくても、遺伝的操作を終了し、得られたパラメータセットを出力するようにしている。また、本手法では設定していないが、適応度がある水準を超えた場合計算を止める方法も有効であるかもしれない。

(7) パラメータ評価

得られたパラメータセットの妥当性を評価す

る。

このとき、得られたパラメータセットの妥当性検証として、他の状況下の社会マクロ指標の振舞いを確認し、妥当な挙動をしているかを確認することが望ましい。

以下図 2 に提案手法の全体の流れのアルゴリズムを示す。

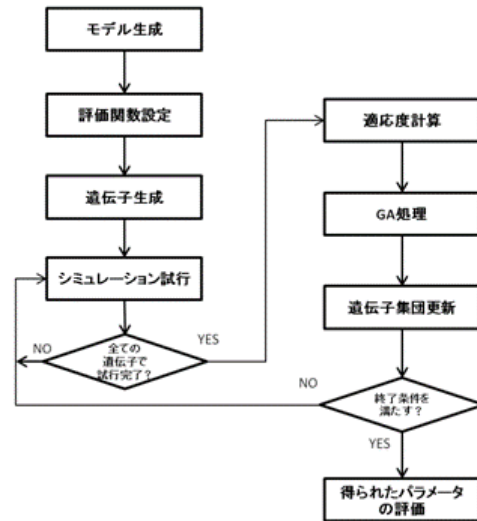


図 2. 提案手法全体フローチャート

4 実験

4.1 提案手法全体の流れ

本研究では、提案手法の妥当性を確認するために、飯田らが構築したテーマパークモデル⁹⁾を利用する。飯田らは、実際の東京ディズニーシー(TDS)を対象に分析したモデルを構築し、混雑緩和政策の意思決定支援のために構築したモデルを用い、ABSSを行い、その挙動をマイクロ・マクロの双方の観点から分析している。

本節では、飯田らのテーマパークモデルの概要と、本研究においてパラメータ探索を行ったエージェントパラメータを持つエージェントモデルについて簡単に説明する。

4.1.1 適用モデル

飯田らのテーマパークモデルは、アトラクション a 、パレード e 、通路 r をノードとして構成され、そのノードをつなぐネットワークグラフとして以下の図3のように表現される。リンク間の距離は実際のTDSを再現するように配置、設定している。また、通路上で混雑情報掲示板政策と優先搭乗券発券政策の2つの混雑緩和政策が行われる。混雑情報掲示板政策では、全アトラクションの混雑情報を参照することができる掲示板をテーマパーク内の2箇所の通路 r_{13} 、 r_{27} に設置している。来場者はその2つの掲示板を参照することで、混雑が集中するアトラクションを回避することができ、テーマパーク全体の混雑緩和を望むことができる。もうひとつの優先搭乗券発券政策では、人気のために混

雑が集中するアトラクションについて、優先的に搭乗することができる券(ファストパス・FP)をファストパスアトラクションに隣接する通路で発券する。優先搭乗券を使うと、通常の待ち行列とは異なる専用待ち行列に並ぶことができ、時間を短縮してアトラクションに搭乗することができる。エージェントはこれらの通路、パレード、アトラクションで構成されるテーマパークモデル内を回遊し、それぞれの持つ退場時間になるとこのテーマパークを退場する。

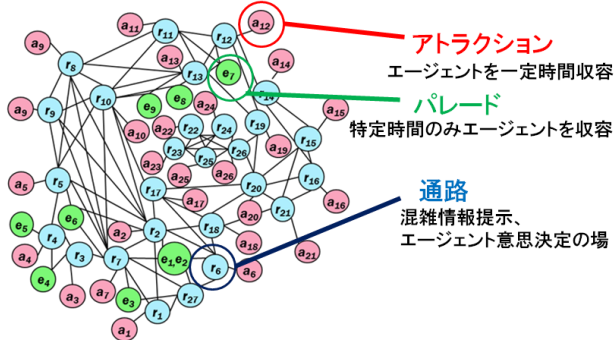


図 3. 飯田らのテーマパークモデル

4.1.2 エージェントモデル

エージェントモデルはテーマパークへの来場者を表現する。エージェントは入場後、情報参照、アトラクション選択、搭乗を繰り返し、退場条件を満たすと退場する自律的な意思決定主体である。エージェントはセグメント番号 1~8 の値が与えられ、これはエージェント生成時にセグメント決定確率によって与えられるエージェントの異質性を表現する番号である。異質性を表すエージェントのパラメータは、アトラクション想起確率、パレード想起確率、認知している混雑情報の初期値、アトラクションの選好度、距離に対するウェイト、待ち時間に対するウェイト、待ち時間の閾値であるカットオフ値であり、セグメントに応じて、付与されている。尚、これらのパラメータ値が実測不可能であったために、飯田らのモデルでは、VG 法を用い決定されている値である。

4.2 ターゲットデータと設定変数

本実験で、ターゲットデータとして利用するシリアルデータは図 4 で示す、飯田らのモデルにおいて妥当性の検証に用いられている、TDS に存在するテーマパークアトラクションの混雑ピーク時待ち時間の実測値である。このターゲットデータの形状とあるパラメータセットによって生み出されたシミュレーション結果の形状の類似性を評価する評価関数が最大になるように、パラメータ変数を探索する。

探索するパラメータ変数は前項で述べた、エージェントの異質性を表す変数の 1 つエージェント集合 I のアトラクション J に対するアトラクション想起確率 $Attraction\ Probability_{ij} (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, \dots, J)$ とする。

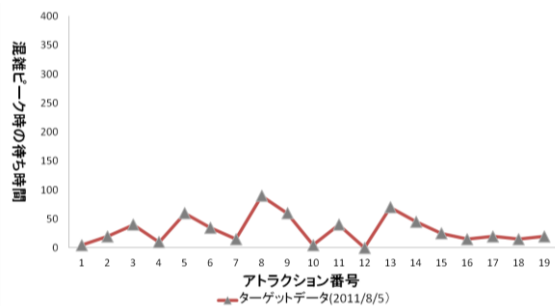


図 4. ターゲットデータとして用いる実測値

4.3 遺伝的アルゴリズム

本節では、提案手法で用いる GA について説明する。本実験での初期個体数は 100 とする。

4.3.1 遺伝子表現

$Attraction\ Probability_{ij}$ を表現する社会遺伝子は以下図 5 のような形で 1 本によって表現される。

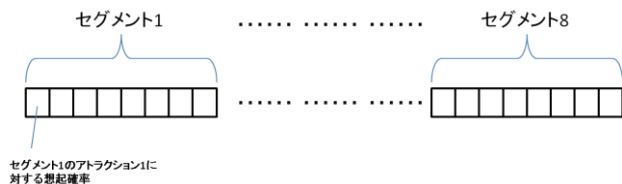


図 5. 社会遺伝子の表現

4.3.2 選択・淘汰

問題性質的に局所解でもある一定の性能を残せば良いという今回の問題状況 (本実験では、良い解が複数存在し、振舞いのある程度再現していれば良く、必ずしも最適解を得る必要はない) では、ある程度の高い適応度の戦略を早い段階で残しておくことが必要である。よって選択は適応度比例選択を用いる。また処理段階で、適応度が下がることがないようにエリート保存戦略を採用する。エリート保存戦略は、選択淘汰の過程で最も適応度の高い遺伝子を淘汰、交叉、突然変異の遺伝的操作から守るために、そのまま次世代の遺伝子プールに保存するという戦略である。

4.3.3 交叉

交叉は、一点交叉よりも探索範囲が広い、一様交叉を使用する。

一様交叉は、遺伝子の長さに対応するマスク遺伝子をランダムに生成し、マスク遺伝子の遺伝子座が 1 である部分に該当する親遺伝子の 2 つの遺伝子座の値を交換するというものである。本実験では $P_c = 0.5$ とする。

4.3.4 突然変異

遺伝子座ごとに突然変異が起こるように設定する $Bit\ Mutation$ を突然変異の方法として採用し、選択された遺伝子座が 0 であれば 1 に 1 であれば 0 に反転する。本実験では、突然変異率 $P_m = 0.005$ とする。

4.3.5 終了条件

遺伝的操作を終了させる条件は、規定世代回、上記の遺伝的操作を繰り返し行ったか、または、ある一定世代以上最適解の更新が起こらなければ、終了とする。本実験では、規定世代数を 100 世代、更新が無ければ終了とする終了条件世代を 5 世代とする。

4.4 有効性検証と位置づけ

本研究における有効性検証と本手法の位置づけは、(1)ターゲットデータの形状をどの程度近似できているか、(2)各時間のユークリッド距離の差分和を評価関数として用いた場合との比較、(3)VG 法で得られたパラメータセットとの値の差、(4)得られたパラメータ値を用いシミュレーションを行い、別のマクロ指標値を評価することによる妥当性の確認、を以て行う。

5 実験結果と分析、妥当性検証

5.1 ターゲットデータの再現結果とユークリッド距離差分和を用いた場合との比較

本研究の提案する手法では、評価関数として用いている、シリアルデータの形状を評価のための k-gram 順序保存カーネルの適切な k の値は、シリアルデータに依存するという特性から、k を変え、実験を行う必要がある。本実験では、k=7 以上で適応度が著しく低下し、解が更新されることなく、収束した。

評価関数にユークリッド距離差分和としてターゲットデータの各点 y_1, \dots, y_j とシミュレーション結果の各点 z_1, \dots, z_j のユークリッド距離差分和

$$difference = \sum_{j=1}^J (y_j - z_j)$$

を最小化するように評価関数を設定した場合と飯田らが VG 法で得たパラメータを用いた結果の順序保存カーネルの値(k=4~6)を表 1 にそれぞれを図 6,7 に示す。そして、図 8~図 12 及び、表 2 に k を 2~6 まで変えて実験を行った結果を示す。

表 1. 飯田ら、ユークリッド距離差分和における結果の順序保存カーネル(k=4~6)

		NormalOPK		
k		4	5	6
飯田ら		0.559	0.296	0.071
ユークリッド		0.645	0.258	0.063

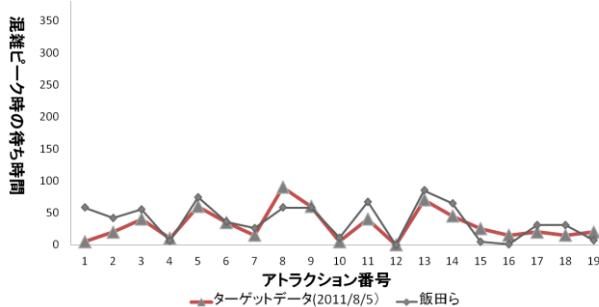


図 6. 飯田らが示している結果

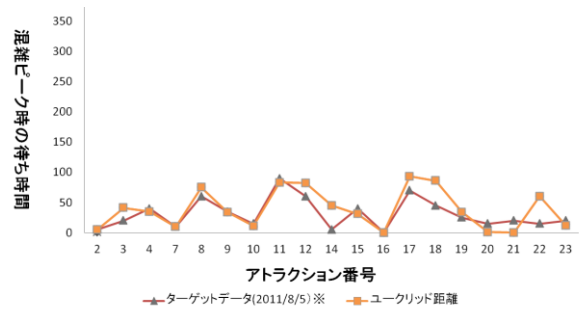


図 7. 評価関数にユークリッド距離差分和を用いたときのフィッティング結果

表 2. k=2~6 の時の結果

k	適応度	計算時間(s)
2	1.000	3676.105
3	1.000	14663.593
4	0.955	13640.262
5	0.923	40193.294
6	0.583	19060.416

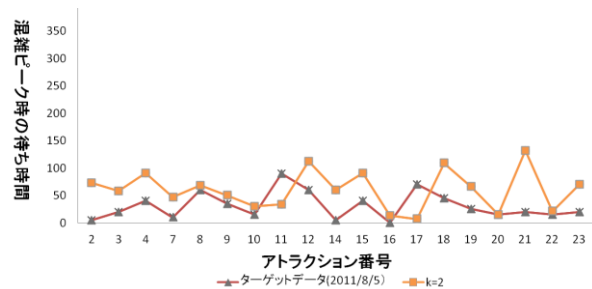


図 8. k=2 時のフィッティング結果

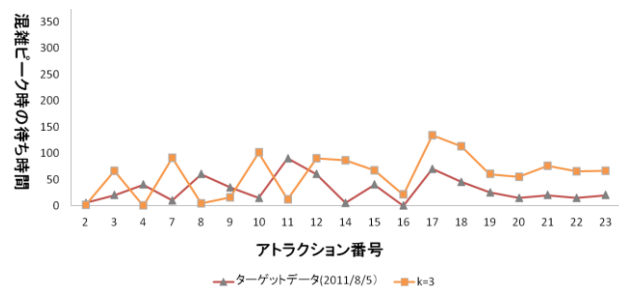


図 9. k=3 時のフィッティング結果

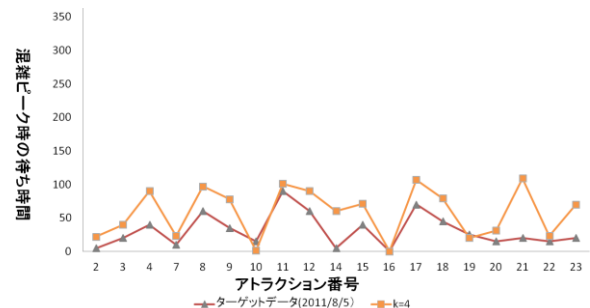


図 10. k=4 時のフィッティング結果

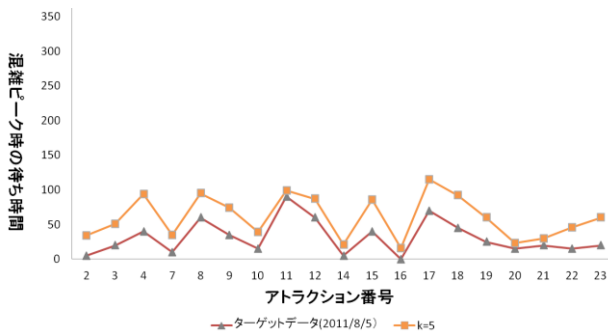


図 11. k=5 時のフィッティング結果

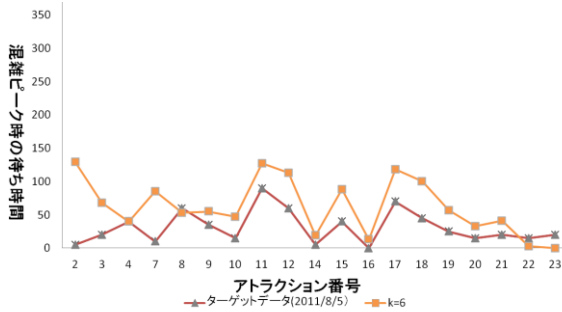


図 12. k=6 時のフィッティング結果

k=2, k=3 の結果は表 1 で示したように、適応度が最大値を取っているにも関わらず、図 8, 図 9 のようにデータの形状が逆位相になっている部分が多く存在する。このように部分系列が小さい場合、単純に 2 値間、3 値間で値が増加しているか、減少しているかのみで判断されてしまうため、逆位相が出てしまっても、高い値が出てしまうことがあることがわかる。一方で、k=4, 5 では形状が十分に再現されており、適応度も高く最も良い結果が得られた。これらの結果より逆位相の少ない、即ち、形状が良く再現されている k=4, k=5 時のパラメータを使って分析を進める。

ユークリッド距離差分和での結果、飯田らの結果は一見、最もターゲットデータに近似できているように思われるが、表 1 で示したように、順序保存カーネルの値に関して k=4~6 のいずれにおいても低く出ており、シリアルデータの形状・挙動という観点では状況が再現できているのは順序保存カーネルを用いた場合であると言える。

しかし、順序保存カーネルのみにおける最適化結果では、当然ではあるが値についてのフィッティングを行っていないために、k=4 のアトラクション番号 21 番のような、ターゲットデータと極端に値が乖離してしまっている部分が存在する。この乖離を許容するかどうかについては、ターゲットデータの性質に依存するが、このリスクをコントロールするためにユークリッド距離差分和を加味した以下のような、評価関数を考えることができる。

$$\max \alpha \cdot \text{NormalOPK}_k(X, Y) + (1 - \alpha) \cdot \frac{1}{\text{difference}}$$

この評価関数は、順序同型であることを重みづけ α を設定することで優先して近似させ、その後、ユークリッド距離差分和で細かいチューニングを行わせることで値の極端な乖離のリスクを軽減する評価指標となる。

このとき α は問題及びターゲットデータの性質によって調整する必要がある。

5.2 VG 法で得たパラメータ値との比較

上記を踏まえ、k=4,5 の順序保存カーネル、及びユークリッド距離差分和を評価関数にしたときに得たパラメータセットと VG 法で得たパラメータセットに有意な差があるかを確認するために t 検定を行ったところ、いずれの場合も有意な差が存在した ($P < 0.05$)。即ち、VG 法で得たパラメータセットと同様の値は得ることができなかったということになる。しかしながら倉橋らによれば、マクロ社会指標を特徴づけるエージェントの性格、即ち、パラメータセットは 1 つではなく複数存在し、逆シミュレーションによって得られるパラメータセットはその 1 つである。つまり得られたパラメータセットを用い、シミュレーションを行い、他の条件によって妥当性を得ることができれば良いと考える。

5.3 別のマクロ指標値の振舞い比較

本項では、本実験で得たパラメータセットの妥当性を確認するために異なる社会マクロ指標のアウトプット値を比較し、検証を行う。比較を行うのは、テーマパークシミュレーション 1 試行内 780 ステップの FP アトラクション、非 FP アトラクションのそれぞれの平均待ち時間の推移である。飯田らの VG 法で得たパラメータセット、k=4 の順序保存カーネルを評価関数にして得たパラメータセット、k=5 の順序保存カーネルを評価関数にして得たパラメータセット、ユークリッド距離差分和を評価関数にして得たパラメータセット、乱数をパラメータセットのそれぞれを用いて得た FP アトラクション、非 FP アトラクションの平均待ち時間の推移を以下の図 13~図 17 に示す。

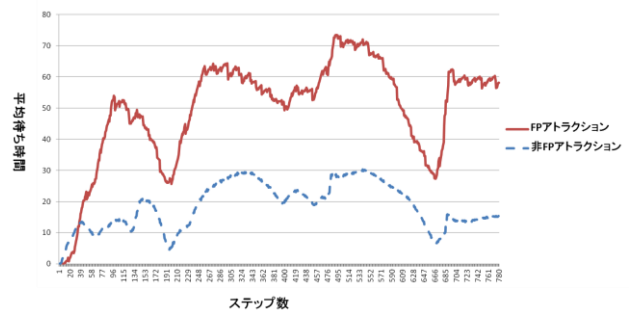


図 13. 飯田らの結果

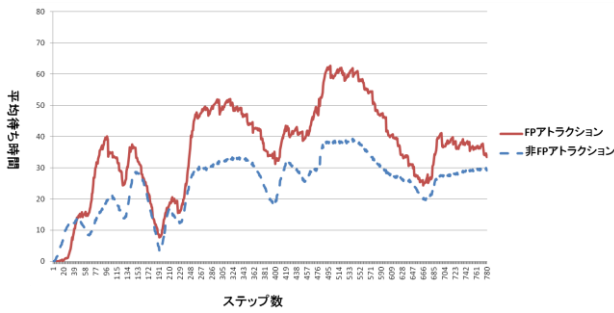


図 14. k=4 時の順序保存カーネルを評価関数にした場合

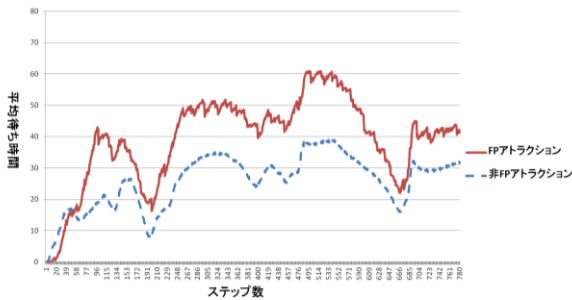


図 15. k=5 時の順序保存カーネルを評価関数にした場合



図 16. ユークリッド距離差分和を評価関数にした場合

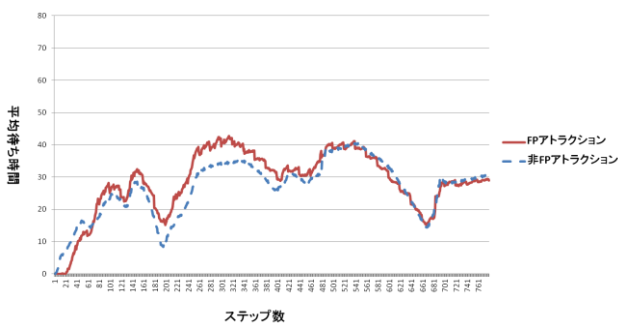


図 17. パラメータセットを乱数にした場合

まず確認するのは、乱数をパラメータセットにして、シミュレーションを動かした場合の挙動が、他と大きく異なることである。飯田らはシミュレーションの妥当性検証のためにスタイライズドファクトである、「実際のテーマパークにおいて、混雑している日に起

こる事象として一般的に2点言われている。1つ目は、FPアトラクションと非FPアトラクションの待ち時間を比較した場合にFPアトラクションの方が混雑する現象。2つ目は、パーク内においてパレードが行われる際、アトラクションの待ち時間が一時的に緩和する現象である。」という状況を確認した。しかし、乱数による結果では $AttractionProbability_{ij}$ が大きく影響を与える1つ目のFPアトラクションと非FPアトラクションの状況を満たしていない。これによってモデルの他に占める構造によってシミュレーションの挙動の全てが決定しているわけではないことがわかる。それを踏まえたうえで、飯田らが得た結果と、順序保存カーネルによって得たパラメータセットで得た結果である社会マクロ指標の振舞いは大きくこと異なることはなく、既出のスタイライズドファクトの状況を満たしている。よって本実験によって得たパラメータセットがシミュレーションの別の社会マクロ指標の挙動を制御することができており、一定の妥当性があると言えるだろう。

しかし、ユークリッド距離差分和で得たパラメータセットよりも順序保存カーネルで得た結果が、妥当な結果であることはこの実験では示すことができなかった。この点に関しての考察を次項で行う。

5.4 ユークリッド距離差分和に関する考察

本実験では、ユークリッド距離差分和を評価関数として用いた場合に対して、順序保存カーネルを用いた場合の構造的な優位性を明示的に示すことができなかった。ユークリッド距離差分和を用いた場合では、各地点の値の差分を最小にしようとする強いフィッティングであるため、振舞い・挙動が同じで値の異なるようなターゲットデータを与えた場合、モデルパラメータ自体の構造が変わってしまう恐れがある。これが行動モデルの妥当性を失わせる結果となり、モデル全体の妥当性を失わせてしまう恐れがある。一方で、順序保存カーネルを用いた場合では、いわば振舞い・挙動のみを再現する弱いフィッティングのため、ターゲットデータの値の変化によって大きくパラメータセットの構造は変化することは考えにくい。そのため、パラメータセットの構造の妥当性という点では順序保存カーネルを用いた場合が優位になる可能性が高い。そのことを示すためには、今後異なる挙動・振舞いは変わらないターゲットデータを用意し、ユークリッド距離差分和を用いフィッティングを行った結果のパラメータ構造と今回のユークリッド距離差分和を評価関数にして得たパラメータセットの構造を調査・分析することが必要であると考えられる。

6 本手法の位置づけ

本手法は順序同型性のみによる弱いフィッティングと言えるため、リアルデータと現実の値の乖離するリスクが存在する。しかし、その点に関して、ユークリッド差分和を小さな重みづけを与え、フィッティングすることでリアルデータ形状を十分に再現した上で、リアルデータ各時点における乖離も小さくすることが可能である。逆に、弱いフィッティングであるということを利用して、ターゲットデータの値が具体的にわからない状況でもデータの形状さえ、定性的情報から生成してしまえば、可能となりうる。これ

らの点で注意したいのは再現したい状況(ターゲットデータ)によって使い分けることが重要であるという点である。何度も述べているが、ターゲットデータの値そのものに意味が小さいような状況も多々存在する。このような状況を理解したうえで、値そのものをどれくらい考慮すべきなのかを考えて、シミュレーション実施者はユークリッド差分の項に重みを与えることが重要である。また、モデル上のパラメータの感度分析も慎重に行わなければならない。ターゲットデータである社会マクロ指標と推定・設定する変数の影響や関係性についても事前に分析しなければならない。

本手法では組み合わせ計算の限界から設定するパラメータの数が膨大な場合、また逆シミュレーションの特性上、シミュレーション1施行の実行時間が膨大な場合、パラメータの設定に膨大な時間を要するというデメリットが存在する。一方でシミュレーション実施者にとって、VG法によるパラメータ設定のように、モデル毎にアンケートの構築・収集を行うために大きなコストがかかるパラメータ設定方法が制約上利用できない場合に、有用となりうる。したがって、推定・設定すべき変数が非常に多い場合、ターゲットデータとなりうる社会マクロ指標や統計データが存在しない場合、ターゲットデータが存在しても推定したい変数のターゲットデータに対する感度が非常に小さな場合はVG法を初めとするアンケートデータを用いるパラメータ設定法を用いるのが有効で、変数やシミュレーション実行時間・ターゲットデータの有無に関する制約がクリアできている場合、時間的・金銭的成本を抑え、パラメータ設定を行う手法として本手法が有効であるという位置づけができる。

7 まとめと今後の課題

本研究では、シリアルデータの形状の類似度を評価するk-gram順序保存カーネルを評価関数に用いることによるABSSのパラメータ設定の手法を提案した。k-gram順序保存カーネルを類似度指標として用いた場合においてデータ形状を再現させることで、一定の妥当性を持つパラメータセットを得ることができ、またその位置づけを行うことができた。本手法を用いればシリアルデータの挙動のみでパラメータ設定が可能となるので、一般的にABSSにおいて妥当性の確認のために使われることの多いスタイライズドファクト(定性化された事実)の挙動を仮想データ化することで、より抽象的なモデルにおいてのパラメータ設定も可能となるかもしれない。

今後の課題として挙げられるのは、今回行ったGAの条件・構造を変更することによる最適化の計算速度や精度の向上、加えてk-gram順序保存カーネルの適切なkの値もデータによって異なるので、適切なkを設定せずとも評価できる方法があれば、より効率的なパラメータ設定が可能となる。また、DTWやピアソンの相関係数コサイン類似度など、データの類似度を図ることが可能な他の評価指標を用いその結果を比較することも必要である。

5.4項でも述べたが、パラメータ構造の分析についても今後さらに進める必要がある。妥当なパラメータ構造についての分析が、ABSSのパラメータ調整の問題

に対して、多くの寄与をする可能性が高い。

参考文献

- 1) 大堀耕太郎：エージェントベース社会シミュレーションを用いた新製品普及に関する市場ダイナミクス分析，早稲田大学博士論文(2011)。
- 2) 高橋真吾：社会システムの研究動向3-評価・分析手法(1)-モデルの解像度と妥当性評価，計測と制御，52-7，582/587(2013)。
- 3) 宮崎真志，松本修，高橋真吾，石野洋子：ベイジアンネットワークを用いたエージェントベースモデリング手法の提案医療保険市場における消費者行動の分析，経営情報学会(2014)。
- 4) Kotaro Ohori, Mariko Iida, Shingo Takahashi: Virtual Grounding for Facsimile Model Construction Where Real Data Is not Available, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 6-2, 108/116(2013)。
- 5) 倉橋節也，南潮，寺野隆雄：逆シミュレーション手法による人工社会の分析，計測自動制御学会論文集，35(11)，1454/1461(1999)。
- 6) 大竹麗央，松村真宏，西田豊明：社会的ふるまいの時系列変化を再現するエージェントベースモデリング，情報処理学会研究報告知能と複雑系(ICS)，No. 29，55/60(2004)。
- 7) 柏葉祐輝，成澤和志，篠原歩，順序保存カーネルを用いた時系列データ分類：人工知能基本問題研究会 99，1/6(2016)。
- 8) 佐藤雄介，成澤和志，篠原歩：順序保存符号化n-gramの高速な出現頻度計算手法，情報処理学会研究報告，Vol2015-AL-151. No1(2015)。
- 9) 飯田真理子，高橋真吾：テーマパークにおける混雑緩和政策の意思決定支援のためのマイクロダイナミクス分析，経営情報学会2011年秋季全国研究発表大会予稿(2011)