

# 1次元セル・オートマトン法を用いた問題行動のシミュレーション — 2次元セル・オートマトン法との相違に着目して —

出口 拓彦 奈良教育大学学校教育講座(心理学)

## A One-dimensional Cellular Automaton of Misbehavior: Focusing on Differences between One- and Two-dimensional Matrices

DEGUCHI Takuhiko

(Department of School Education, Nara University of Education)

### Abstract

The present study investigated the differences of simulation outputs between a one- and a two-dimensional matrix. Cellular automata simulations of misbehavior were conducted using a 441x1 or a 21x1 one-dimensional matrix or a 21x21 two-dimensional matrix. Each of the cells had 1 of 4 behavioral principles: “obedient,” “deviant,” “conforming,” and “contrary.” The cells changed their own states (“obeying” or “breaking” a rule) according to their own principles and states of their neighbor cells (namely, the cells around them in the matrix). “Range of neighbor distance” refers to the maximum distance in which they are able to perceive their neighbor cells; it was set at 1 or 4 for the 441x1 and 21x1 matrices. When it was set at 4, the cells were able to change their own states according to the states of neighbor cells within a distance of 4 grids, i.e., the states of up to 8 neighbor cells. For the 21x21 matrix, the range of neighbor distance was set at 1 only, and the cells were able to know states of up to 8 neighbor cells adjoining them. The output of the simulation was the frequency of misbehavior (breaking a rule).

When the range of neighbor distance was set at 1, outputs of the simulation with the 441x1 and 21x1 matrices did not correspond with that of the 21x21 matrix. However, when the range of neighbor distance was set at 4, outputs of the 441x1 and 21x1 matrices were almost the same as the output of the 21x21 matrix. In addition, the output of the 441x1 matrix was more stable than that of the 21x1 matrix. These results imply that the 441x1 one-dimensional matrix can be used as a substitute for the 21x21 two-dimensional matrix.

キーワード：問題行動のシミュレーション,  
1次元セル・オートマトン,  
2次元セル・オートマトン

**Key Words:** simulations of misbehaviors,  
one-dimensional cellular automaton,  
two-dimensional cellular automaton

### 1. はじめに

公共の場(例えば、教室や大学の構内等)での問題行動は、様々な研究において検討の対象とされている(e.g., Durmuscelebi, 2010; 北折・吉田, 2000; 卜部・佐々木, 1999)。これらの研究では、自分自身の規範意識(e.g., 出口・吉田, 2005)だけでなく、他者の規範意識に対する認知(e.g., 金子, 2011; 加藤・太田, 2016; 卜部・佐々木,

1999)や、自分の周囲にいる人々の行動(e.g., Cialdini, Kallgren, & Reno, 1991; Cialdini, Reno, & Kallgren, 1990; Reno, Cialdini, & Kallgren, 1993)など、周囲の他者に関する変数の影響にも着目されている。

周囲の他者から自分が受ける影響や、逆に自分が周囲の他者に及ぼす影響、すなわち、個人間の相互作用について分析する方法の1つとして、ダイナミック社会的インパクト理論を用いたシミュレーション(e.g., Latané,

表1 決定行列

自分の状態	周囲の状態	
	Obeying	Breaking
Obeying	M11	M12
Breaking	M21	M22

※Deguchi (2014)を基に作成。

Nowak, & Liu, 1994; Nowak, Szamrej, & Latané, 1990) が挙げられる。「シミュレーション」は「実験や数学的な定式化が困難な現象の分析に使われる」(石井, 1994; p.97) のものであり、世論の形成過程(Nowak et al., 1990) やマスメディアの影響(石黒・安野・柴内, 2000), など、「社会」や大規模な集団・集合における現象等に対する分析に援用されている。ダイナミック社会的インパクト理論によるシミュレーションは、「セル・オートマトン法」と呼ばれる技法を社会心理学の分野に応用したものであり(e.g., 小杉・藤沢・水谷・石盛, 2001), コンピュータ内に作成したマトリクスに、多数のセル(「人」を表す)を配置する。次に、周囲のセルの状態(ある事柄への「賛成」「反対」の態度などを表す)等を基にして、自らの状態を繰り返し変容させる。そして、セルの変容過程や最終的な各セルの状態(例:意見の分布)などに着目して分析が行われる。

Deguchi (2014) は、ダイナミック社会的インパクト理論と、ゲーム理論(e.g., Axelrod, 1980a, 1980b, 1984; Nowak & Sigmund, 1992, 1993; Rapoport & Guyer, 1966; Scodel, Minas, Ratoosh, & Lipetz, 1959) や相互依存性理論(e.g., Kelly et al., 2003; Thibaut & Kelley, 1959) における決定行列を援用して、問題行動のシミュレーションを行っている。「決定行列」とは、自分および他者が問題行動を「するか」「しないか」を組み合わせた $2 \times 2$ の計4つの状況における利得(満足度)を表にしたものである(表1)。各状況における満足度は、M11, M12, M21, M22の4つの値で表される。この決定行列は、以下の4種類に分類される。①「遵守」(M11>M21 かつ M12>M22): 周囲の状態にかかわらず規範を守ろうとする、②「逸脱」(M11<M21 かつ M12<M22) 周囲の状態にかかわらず規範を破ろうとする。③「同調」(M11>M21 かつ M12<M22): 周囲と同じ行動を取ろうとする、④「反対」(M11<M21 かつ M12>M22): 周囲と逆の行動を取ろうとする。このような決定行列をシミュレーションの規則に組み込むことによって、多様な特徴を持った人々の相互作用を扱うことを可能にしている。マトリクス上の各セルは、自分が持つ決定行列や周囲のセル(自分に隣接した上下左右+斜めの計8セル)の状態を参照して、自らの状態を変容させる。セルの状態は、1単位時間(「1ステップ」と記載される)ごとに全セル同時に変容する。この「状態変容」は何度も繰り返し行い、時間経過と共にマトリクス上のセルがど

のように振る舞っていくのかについて検討する。このように、空間的・時系列的な観点双方を取り入れて、問題行動に関する個人間の相互作用についてマイクロ・マクロ的視点から考察している。

この研究では、2次元マトリクス(平面状のマトリクス)が用いられている。ダイナミック社会的インパクト理論に関する研究では、現実の「人」を対象とした実験において1次元的な空間が設定されたものはあるものの(Latané & L'Herrou, 1996), コンピュータ・シミュレーションを用いたものについては、基本的に2次元マトリクスが採用されている(e.g., 小杉他, 2001; Latané et al., 1994; Nowak et al., 1990)。このため、これらの研究では、時系列的な観点を含めてシミュレーションの結果を提示する際には、ある時点における2次元マトリクスを複数並べて、セルの変容過程を報告することとなる。しかし、セルの状態変容は数十回(小杉他, 2001)から100回を大きく超える(e.g., Deguchi, 2014)ほど繰り返し行われ、途中経過は省略して報告されることが多い。だが、省略することによって、時系列的なデータの一部が失われてしまい、セルの変化を精確に示すことが難しくなる可能性がある。また、仮に全ての過程を提示できたとしても、100個を超える2次元マトリクスの図を基に、その変容の様子を直ちに把握することは、容易ではないと考えられる。

これに関連して、「複雑系」の学問領域では、「1次元セル・オートマトン法」というものが知られている(e.g., Wolfram, 1983, 1984)。1次元セル・オートマトン法では、「1次元」、すなわち、(セルを一行に並べて)「線」上でシミュレーションを行うことから、他の次元を時間軸にあてることが可能となる。例えば、横軸(X軸)を空間、縦軸(Y軸)を時間とすることによって、空間的・時間的な情報のいずれも失うことなく、2次元の図(すなわち「面」)によって、シミュレーション結果を提示することができる(Wolfram, 1983, 1984)。

しかし、シミュレーションを行う「空間」を1次元分減少させることが、問題行動などの社会的な問題について扱ったシミュレーションにおいて、どのような影響を及ぼすのかについては、未だ不明な点が多い。セル・オートマトン法のように、近傍内におけるセルの状態を参照させて相互作用を行わせる場合、仮に「マトリクスにおけるセルの数」と「近傍内にあるセルの数」(以下「近傍セル数」と記載)が等しくても、1次元と2次元の間には複数の相違が存在する。例えば、1次元の場合、左右の4セルまでを近傍とすると、計8セルのうち「隣接するセル同士」で共有する近傍セル数は6である<sup>註(1)</sup>。一方、2次元の場合、ムーア近傍(上下左右4セル+斜め4セル)の8セルのうち、共有する近傍セル数は4となる。また、「斜め」の位置にあるセルと自分のセルが共有す

る近傍セル数は2である。すなわち、各セルが置かれている環境の独立性は、1次元は2次元よりも低い。また、1次元では、両「端」付近に位置するセルの近傍セル数は4~7となる。一方、2次元では、「角」に位置するセルは3、「辺」は5となり、両次元間で異なった値となる。さらに、これらの「近傍セル数が少ないセル」がマトリクス上の全セルに占める割合も、両者で異なる<sup>註(2)</sup>。このように、1次元マトリクスと2次元マトリクスの間には多様な相違が存在している。

このことから、本研究では、問題行動のシミュレーションを、1次元セル・オートマトン法を用いて行った。そして、2次元セル・オートマトンを用いた場合(Deguchi, 2014)と比較し、1次元でも代替可能であるか否か、代替可能な場合は、どのようにパラメータ(マトリクスの大きさ、など)を設定すべきか、という方法論的な問題に焦点を当てて検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1. シミュレーションの概要

1次元および2次元セル・オートマトン法によるコンピュータ・シミュレーションを実施した。まず、端のあるマトリクスを作成し、全ての座標にセルを配置した(21×21のマトリクスであれば配置したセルの数は441個)。マトリクスの次元および大きさ以外の基本的な方法は、Deguchi (2014)と同様である。各セルは「Obeying」と「Breaking」のうち、いずれか1つの「状態」を持つ。また、「状態」とは別に、「遵守」「逸脱」「同調」「反対」4つのうち、いずれか1つの決定行列も持つ(表1)。

第1ステップ(シミュレーション開始時)は、全セル「Obeying」の状態にした。第2ステップ以後は、ステップごとに、各セルは自分の周囲にあるセルの状態を参照し、多数派と同じ状態(「Obeying」か「Breaking」)に変容する。「Obeying」と「Breaking」のセルが同数であれば、現時点における自分の状態を維持する。

また、ある一定の確率(M-prob)で、前述のような「多数決」ではなく、決定行列(行動基準)を用いて自らの状態を変容させる。具体的には、まず、近傍内の「Obeying」「Breaking」状態にあるセルの数を数える。次に、「M11×Obeyingのセル数+M12×Breakingのセル数」と、「M21×Obeyingのセル数+M22×Breakingのセル数」の大小関係を調べ、前者が大きければ「Obeying」、後者が大きければ「Breaking」に変容する。前者と後者が等しい場合、現在の状態を維持する。この規則は、Deguchi (2014)で用いられたものと同様である。

セルの状態変容は全セル同時に行い、試行ごとに計199回繰り返した(1回の試行は、第1~第200ステップで構成された)。試行回数は、各条件100回であった。シ

ミュレーションは、MicrosoftのVisual Basic .NETで作成したプログラムで行った(Deguchi (2014)を基にした)。

### 2.2. 検討の対象とした変数

#### 2.2.1. マトリクスの次元および大きさ

2次元および1次元のマトリクスを用いた。2次元マトリクスは、21×21のマトリクスとした。一方、1次元マトリクスは21×1、441×1の2種類設定した。

これは、「21×21」の2次元マトリクスを基準とした場合、「21×1」は横のセル数を変えずにマトリクス上のセル数を21分の1(縦の幅を1)にした場合に該当し、逆に、「441×1」はマトリクス上のセル数を変えずに横のセル数を21倍(縦の幅は1)にした場合に該当するためである。

#### 2.2.2. 近傍距離範囲

「状態変容の際に、自分のセルから何セル分離れたセルまでを考慮するのか」を表す数値である(e.g., 出口, 2008)。2次元マトリクスについては、近傍距離範囲は1のみとした(斜めのセルを含む8セル、すなわちムーア近傍内にあるセルのみ考慮)。一方、1次元マトリクスについては、近傍距離範囲を1(自分に隣接した左右の2セルのみを考慮)とした場合と、4(左右それぞれ4セル、計8セルを考慮)する場合を設定した。

前者(近傍距離範囲1)は、2次元マトリクスと同様に、自分に隣接するセルのみを考慮した場合に該当する。後者(近傍距離範囲4)は、2次元マトリクスで考慮される(ムーア)近傍内のセル数である「8」と、同数のセルを考慮した場合に該当する。

#### 2.2.3. 決定行列の比(データセットの種類)

「遵守」:「逸脱」:「同調」:「反対」の比を、1:2:3:4から4:3:2:1までの24通りに1:1:1:1を加えた、計25通りについて検討した(以下、決定行列のM11:M12:M21:M22の値と区別するため、「1234」や「4321」などと「:」を省略して記載する)。各決定行列は、「遵守」1:1:0:0、「逸脱」0:0:1:1、「同調」1:0:0:1、「反対」0:1:1:0であった。各データセットは、1111は4個(「遵守」「逸脱」「同調」「反対」各1個)、それ以外は10個(例:3142であれば「遵守」3個+「逸脱」1個+「同調」4個+「反対」2個)の決定行列で構成された。

各セルへの決定行列の代入方法は、高木(2004)および出口(2017a)と同様の方法を用いた。最初に、データセット(複数の決定行列で構成されたもの)をランダムに並べ替えた。次に、マトリクス上のセルに、決定行列を順番に代入した。データセット中の決定行列の数(4ないし10)はマトリクス上のセルの数(21ないし441)よ

りも少ないため、全ての決定行列を代入し終えた後は、1番目の決定行列に戻って、再度順番に代入した。この手続きを、全セルに決定行列を代入し終えるまで行った(例えば、データセットに含まれる決定行列の数が10、マトリクス上のセルの数が21の場合、3周目(21番目のセルへの代入)は、ランダムに並べ替えられたデータセットの最初にある決定行列を1つ代入した時点で、この手続きは終了となる)。最後に、全セルに代入した決定行列を、セル間でランダムに入れ替えた。

#### 2.2.4. 決定行列を用いる確率 (M-prob)

0.00から1.00まで.01刻みで変化させた(計101条件)。M-probで示された確率で「決定行列」を用いて状態変容を行い、 $1 - M\text{-prob}$ の確率で「多数決」で状態変容を行う(「決定行列」は用いない)。

#### 2.2.5. 逸脱強度 (Intensity)

Breaking状態にあるセルが、周囲のセルに対して、Obeying状態にあるセルの何倍の影響力を及ぼすのかを示す値である(Deguchi, 2014)。Breaking状態、すなわち規範を逸脱しているセルは、(規範を)遵守しているセルよりも大きな影響力を持つ可能性を考慮したパラメータである。本研究では、1.0と1.5の2条件設定した。

1.5の場合は、前者は後者の1.5倍の影響力を持つことを示す。この場合、仮にムーア近傍内の両者のセル数とともに4であったとしても、影響力は $6(4 \times 1.5) : 4$ となり、多数決ではBreaking状態に変容する。

#### 2.2.6. 逸脱率

シミュレーションの出力となる変数(従属変数)である。各ステップにおける「Breaking」状態にあるセルの割合(%)を、試行ごとに平均したものである(出口, 2008; Deguchi, 2014)。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 「マトリクスの次元および大きさ」「近傍距離範囲」が逸脱率に及ぼす影響

まず、「マトリクスの次元および大きさ」と「近傍距離範囲」の各水準を組み合わせ、「2次元マトリクス(21×21, 近傍距離範囲1)」、「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲1)」、「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲4)」、「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲1)」、「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲4)」の、計5つの条件(水準)を設定した(以下、この5水準で構成される要因を「マトリクスの種類および近傍距離範囲」と記す)。次に、平均逸脱率(M-probの各値における逸脱率の平均値)を算出した<sup>註(3)</sup>。そして、逸脱強度ごとに、

表2 各「マトリクスの種類および近傍距離範囲における逸脱率(10,100試行の平均値)間の相関関係

	A	B	C	D	E
A. 21×21 (1)		.998	.999	.968	.973
B. 441×1 (4)	.997		.999	.982	.986
C. 21×1 (4)	.999	.998		.975	.979
D. 441×1 (1)	.767	.761	.762		1.000
E. 21×1 (1)	.786	.781	.782	.999	

※全て $p < .01$ 。右上は逸脱強度1.0、左下は1.5とした場合の値。

※括弧内の数値は近傍距離範囲を示す。

M-probをX軸、平均逸脱率ないし逸脱率のSDをY軸としたグラフを作成した(図1-1, 1-2; 例えば、図1-1は、決定行列の比が1324の場合、「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲1)」を用いたときは、最初はM-probの上昇と共に平均逸脱率も上昇するが、次第に上昇の度合いが緩やかになることを示している)。さらに、決定行列の比ごとに全試行(10,100試行)における逸脱率の平均値を算出し、 $N=25$ として相関係数を算出した(表2)。

その結果、相関係数については、逸脱強度を1.0および1.5とした場合とも、「2次元マトリクス(21×21, 近傍距離範囲1)」と、近傍距離範囲が4である2条件(「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲4)」「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲4)」)の間に、.997以上の高い相関が示された。一方、近傍距離範囲が1である2条件(「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲1)」「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲1)」)の間については、逸脱強度1.0の場合は比較的高い相関(順に.968, .973)が見られたものの、逸脱強度1.5の場合、順に.767, .786と比較的低いものとなった。

逸脱強度1.0の場合、「2次元マトリクス(21×21, 近傍距離範囲1)」における平均逸脱率と比較すると、近傍距離範囲が4である2条件(「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲4)」と「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲4)」)は、類似した値となった。また、M-probと平均逸脱率の関係(パターン)もほぼ同様であった。「パターンA」(例:4132)と呼ばれる直線的な正の関係だけでなく、M-probの増加と共に徐々に平均逸脱率の上昇度が低下していく「パターンB」(例:3214)、最初は平均逸脱率が上昇するが次第に下降に転じる「パターンC」(例:1423)という3種類全てのパターンが示された。一方、近傍距離範囲が1である2条件(「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲1)」と「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲1)」)は、比較的異なった値が示された。特に、M-probが低い場合は差異が激しく、一般的に高めの値が示される傾向が見られた。逸脱率のSDについては、21×1の1次元マトリクスを用いた場合、比較的高くなる(シミュレーション結果が安定しなくなる)ことが示された。

逸脱強度1.5の場合、平均逸脱率については、逸脱強

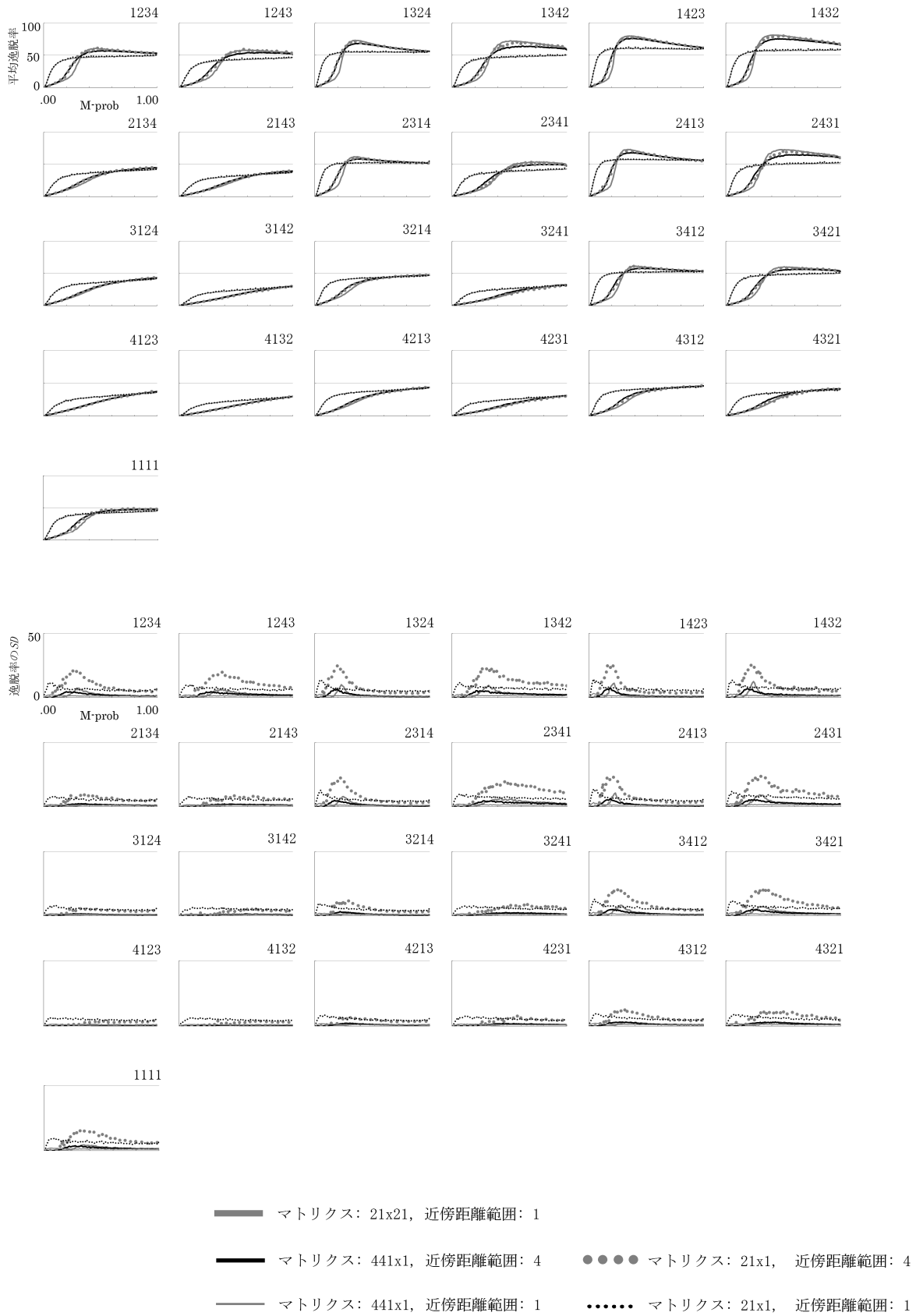


図1-1 M-probと平均逸脱率および逸脱率のSDとの関連 (逸脱強度: 1.0)  
 ※各グラフ右上の数値は、決定行列の比 (「遵守: 逸脱: 同調: 反対」の比) を示す。

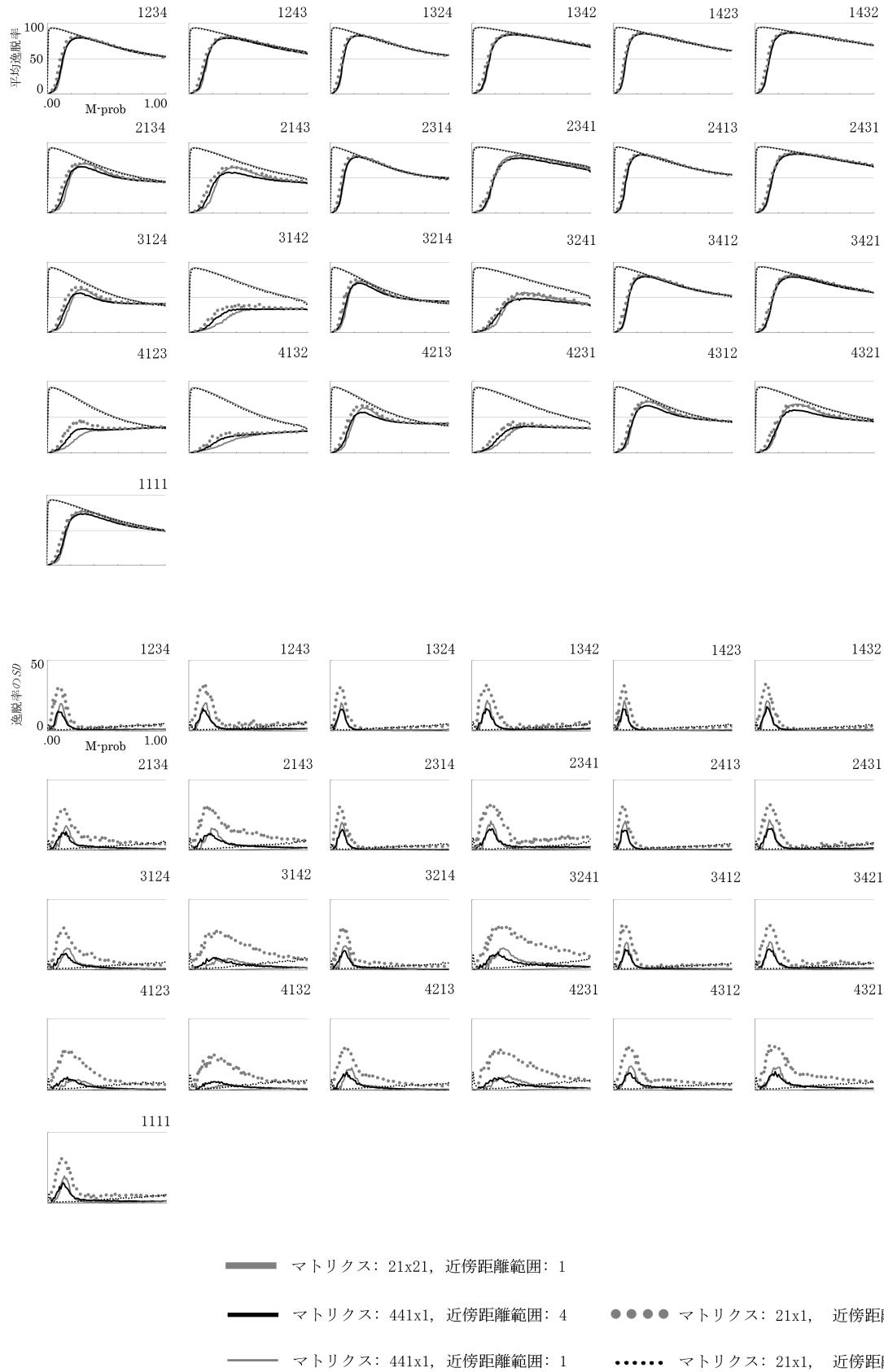


図1-2 M-probと平均逸脱率および逸脱率のSDとの関連 (逸脱強度: 1.5)  
 ※各グラフ右上の数値は, 決定行列の比 (「遵守: 逸脱: 同調: 反対」の比) を示す。

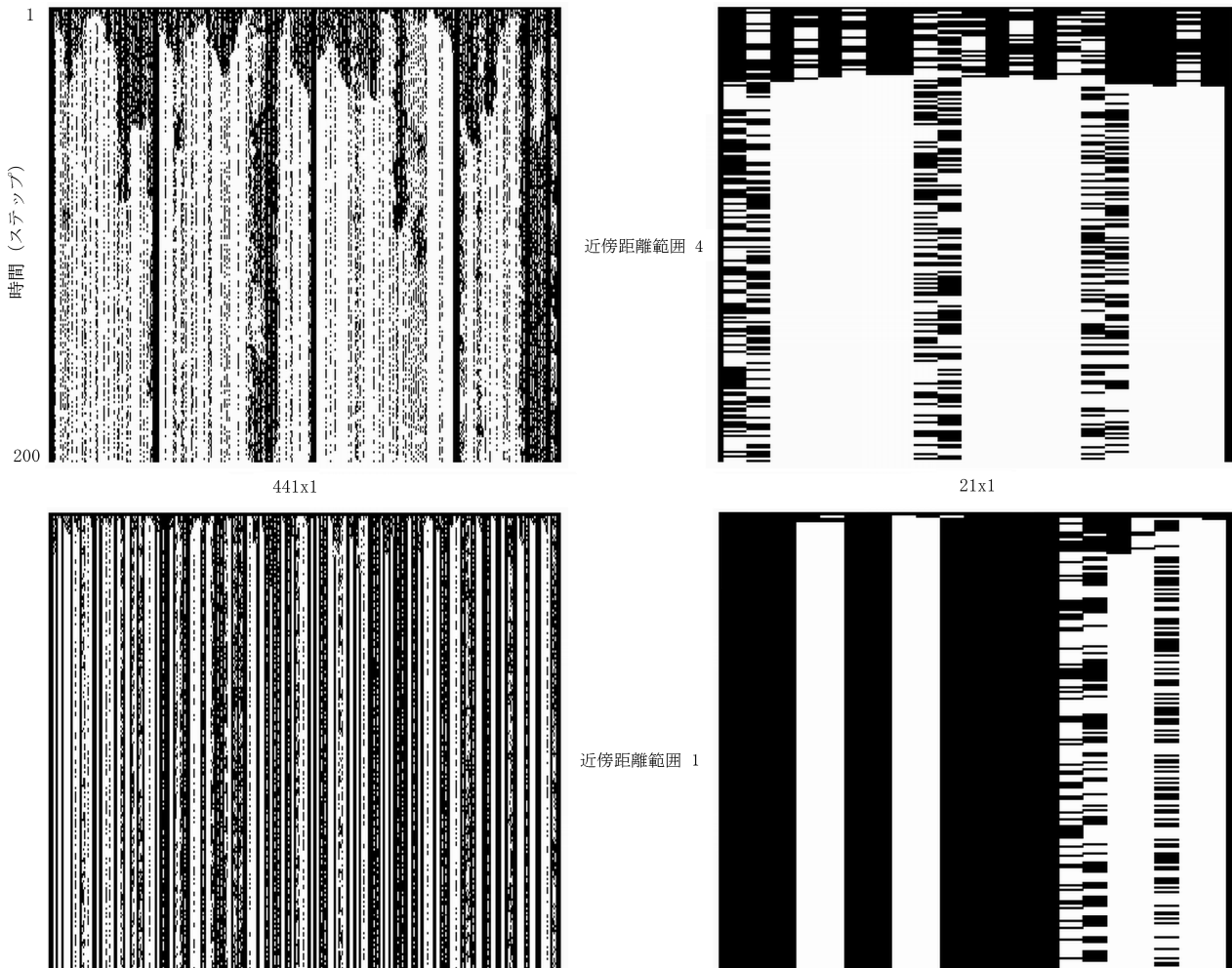


図2 1次元セル・オートマトンの一例

※いずれもM-prob : .50, 決定行列の比 : 1342。白い点はBreaking, 黒い点はObeying状態であることを示す。

度1.0の時と同様、近傍距離範囲を4とした(1次元マトリクス)の2条件は、2次元マトリクスを用いたときと類似した値となり、M-probと平均逸脱率の関係(パターン)もほぼ同様であった。一方、近傍距離範囲を1とした(1次元マトリクス)の2条件は、2次元マトリクスとは異なった値となり、全てのデータセットにおいてパターンCの関係(ただし、M-probが.01 ~ .05前後という低い値から平均逸脱率は下降する)が示された(表2における相関係数が比較的lowであったことは、これが一因と考えられる)。この2条件については、逸脱率のSDは全般的に低く、試行間のばらつきはほとんど見られなかった。

以上のことから、近傍距離範囲を等しくするのではなく、むしろ、状態変容の際に考慮する「近傍内にあるセルの数」(近傍セル数)を等しくすることによって、2次元マトリクスを用いた場合と同様の結果を1次元マトリクスによって得られることが示唆された。マトリクス上にあるセルの総数は、「1次元マトリクス(21×1, 近傍距離範囲4)」については、2次元マトリクス(21×21)のわずかに21分の1であるが、平均逸脱率はほぼ一致した。

### 3.2.シミュレーション過程の視覚化

Wolfram (1983, 1984)と同様に、横軸(X軸)を空間、縦軸(Y軸)を時間として、1次元シミュレーションの全過程(第1ステップから第200ステップ)を視覚化した(図2)。図2に示した試行は、図1-1, 1-2の作成の際に用いた試行とは独立して行ったものである。Breaking状態のセルによるクラスター(白い太い縦線)が形成され、これらが徐々に拡大、統合されつつ、Breaking状態のセルの数が増加していく過程が示された。この過程は、Deguchi (2014)による2次元マトリクスを用いた場合と同様であった。また、近傍距離範囲を4とした場合に注目すると、安定してBreaking状態となっているクラスター(例: 21x1の右側)と、ObeyingとBreakingの状態を行き来しているクラスター(例: 441x1の右側)の2種類があることも示唆された(後者のクラスターが存在することは、例えばマトリクスを「教室」として考えた場合、小さなグループ(クラスター)単位で、私語などの問題行動を行ったり沈黙したりを繰り返している場所があることを意味する)。今後は、このようなクラ

スターの挙動や、「クラスター」が形成されるステップ数の平均、クラスターの個数や大きさなどの指標についても着目して、1次元マトリクス of 代替可能性について検討していくことも重要となろう。

なお、「21×1」の1次元マトリクスを用いた場合は、「441×1」とは異なり、クラスターの拡大、統合の様子は明確に示されなかった。これは、空間(マトリクスの大きさ)が狭すぎることが原因と思われる。したがって、シミュレーション過程の再現性という観点においては、「441×1」の1次元マトリクスを用いた方が、より適切と考えられる。

### 3.3. まとめ

状態変容の際に考慮する「近傍セル数」と、「マトリクス上のセルの数」を等しくすることで、1次元マトリクスと2次元マトリクスのシミュレーション結果を、少なくとも「平均逸脱率」と「逸脱率のSD」という指標においては、ほぼ一致させることが示された。つまり、「1次元マトリクス(441×1, 近傍距離範囲4)」は、「2次元マトリクス(21×21, 近傍距離範囲1)」と同様の結果を出力する可能性が示唆された。特に、近傍距離範囲を(2次元マトリクスと同様の1ではなく)4に設定し、「状態変容の際に考慮する『近傍セル数』」を等しくする必要のあることは留意を要すべき点であろう。これらの設定に留意しつつ、横軸(X軸)を空間、縦軸(Y軸)を時間に割り当てることで、シミュレーションの全過程(ステップ)を2次元上で提示することができ、より正確な研究報告(および研究結果の把握や考察)が可能になると考えられる。今後は、本研究で扱った指標以外についても焦点を当て、知見の一般化可能性について考察していくことが重要であろう。これに関連して、出口(2017b)は、本研究と類似したシミュレーションの規則(本研究における規則で再現可能な設定<sup>註(4)</sup>も含む)を使用し、「空間的収束率」と呼ばれる指標に着目した研究を行っている。「空間的収束率」とはLatané et al. (1994) で用いられた「個人レベルのクラスタリング指標」に相当するもので、「同じ状態にあるセルが、マトリクス上に、どの程度まとまって存在しているのか」を示す。そして、1次元マトリクス(大きさは441×1ないし21×1, 近傍距離範囲は4)と2次元マトリクス(大きさは21×21, 近傍距離範囲は1)間の空間的収束率には、.977以上の相関が示されたことを報告している。したがって、セルの空間的な情報に関する指標についても、近傍セル数を等しくすることによって、これを近似させうると考えられる。

最後に、本研究における「平均逸脱率」および「逸脱率のSD」を算出する際に用いた「逸脱率」は、第1ステップから第200ステップにおけるセルの値を平均したものであった。これは、「初期状態である第1ステップから

最終状態である第200ステップまでの各ステップにおける逸脱率の合計を、全ステップ数である200で割った値」であることから、(最終状態である第200ステップにおける逸脱率「のみ」を基にした指標とは異なり,)セルの時系列的な変化に関する情報を部分的には反映していると考えられる。例えば、「開始直後のステップで急激に逸脱率(ステップごとの逸脱率)が80%まで上昇し、最終ステップも80%のままであった」試行と、「初期ステップから少しずつ上昇し、最終ステップで初めて80%に達した」試行とでは、本研究で用いた「逸脱率」は前者の方が高くなり、両者は弁別される。しかし、「試行後半で逸脱率が80%に上昇した」試行と「開始直後のステップから逸脱率が40%であった」試行との間には、大きな差が生じない可能性があるという限界も存在する。このため、時系列的な変化について、より詳細に検討するためには、「各ステップにおける逸脱率」を算出して、その一致度に着目する分析等も重要となろう。また、今回の研究で扱った2次元マトリクスは、21×21の1種類のみであった。出口(2009)は、前述した出口(2017b)と同様のシミュレーションの規則を用いて、マトリクスの大きさを11×11, 21×21, 31×31, 41×41と変化させても平均逸脱率には顕著な相違は示されないことを報告している。このため、本研究結果は一定の一般化可能性を有していると考えられる。しかし、7×1, 8×1などの小さな1次元マトリクスについては、仮に近傍距離範囲を4とした場合、全セルの近傍セル数が8未満となるなど、独特の特徴を有している。このため、小規模なマトリクスにおける本知見の適用可能性についても、さらなる検討を行っていく必要がある。

### 註

- (1) 隣接するセル同士(「A. 自分」と「B. 他者」)の近傍セル数の詳細は、以下の通りである(図A)。

1次元	2次元	
	上下左右	斜め
a x x b	a x x b	a a a
a x x x A B x x x b	a A B b	b x A a a
	a x x b	b B x a
		b b b
xの数: 6	xの数: 4	xの数: 2

A. 「自分」(かつ、「他者のみの近傍」)  
 B. 「他者」(かつ、「自分のみの近傍」)  
 a. 「自分」のみの近傍, b. 「他者」のみの近傍  
 x. 「自分」と「他者」が共有する近傍

図A 近傍セル数(1次元・2次元マトリクス例)

- (2) 「近傍セル数が少ないセル」がマトリクス上に占める割合は、441×1のマトリクスで近傍距離範囲を4にすると、(両端付近のセル4×2)÷441=1.8%となる。一方、21×21のマトリクス(近傍距離範囲は1)では、(角のセル4+四辺のセル19×4)÷441=18.1%となり、両者には約10倍の相違がある。
- (3) 「マトリクスの種類および近傍距離範囲」による平均逸脱率の差等について検討するため、M-probが等しいデータ同士を対応させ(N=101)、「マトリクスの種類お



よび近傍距離範囲」(5水準)×「決定行列の比」(1234から4321までの24水準, 1111は除外)の対応のある分散分析を, 逸脱強度ごとに行った。その結果, いずれの分析においても, 全ての主効果および交互作用効果が有意であった( $p < .01$ )。「マトリクスの種類および近傍距離範囲」の主効果についての効果量(偏 $\eta^2$ 自乗)は, 逸脱強度1.0では.10, 逸脱強度1.5では.36であった。なお, この分析の場合, M-probの条件数を増やすほどサンプルサイズが増し, 有意になりやすくなる。また, (平均逸脱率ではなく)逸脱率を従属変数とした場合, 試行回数を増やすほど有意差が出やすくなる。つまり, シミュレーションの条件設定と有意性検定の結果が連動しているとも考えられる。このため, 本研究においては, 「平均逸脱率」や「逸脱率のSD」の値そのものに着目して考察した。

- (4) 例えば, 出口(2017b)における「N-probを.6, NB-probを1.0とした設定」は, 本研究で用いた規則では「『逸脱』の行動基準(決定行列)のみを含むデータセットを作成し, M-probを.6に設定」することで再現できる。ただし, 本研究においては, 全てのデータセットは複数の行動基準(「遵守」「逸脱」「同調」「反対」)で構成されており, 単一の行動基準で構成されたデータセットは用いられていない。

## 引用文献

- Axelrod, R. (1980a). Effective choice in the prisoner's dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 24, 3-25.
- Axelrod, R. (1980b). More effective choice in the prisoner's dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 24, 379-403.
- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. NY: Basic Books. (アクセルロッド, R. 松田裕之(訳) (1998). つきあひ方の科学: バクテリアから国際関係まで ミネルヴァ書房)
- Cialdini, R. B., Kallgren, C. A., & Reno, R. R. (1991). A focus theory of normative conduct: A theoretical refinement and reevaluation of the role of norms in human behavior. In M. P. Zanna (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology*. Vol. 24. New York: Academic Press. pp. 201-234.
- Cialdini, R. B., Reno, R. R., & Kallgren, C. A. (1990). A focus theory of normative conduct: Recycling the concept of norms to reduce littering in public places. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 1015-1026.
- 出口拓彦 (2008). ダイナミック社会的インパクト理論を援用した私語発生過程のシミュレーション: 「自分ひとりくらい」で済むとき・済まないとき 藤女子大学紀要(第II部), 45, 1-11.
- 出口拓彦 (2009). 教室での規範逸脱行動のセル・オートマトン法によるシミュレーション: 教室の広さと規範逸脱行動が持つインパクトの影響 奈良教育大学紀要(人文・社会科学), 58, 49-55.
- Deguchi, T. (2014). A simulation of rule-breaking behavior in public places. *Social Science Computer Review*, 32, 439-452.
- 出口拓彦 (2017a). 公の場における問題行動のシミュレーション: 状態変容の規則における相違に着目して 奈良教育大学紀要(人文・社会科学), 66, 31-38.
- 出口拓彦 (2017b). 規範逸脱行動の1次元および2次元セル・オートマトン法によるシミュレーション: 逸脱率および空間的収束に関する指標に着目して 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文報告号 2017年秋号, 44-47.
- 出口拓彦・吉田俊和 (2005). 大学の授業における私語の頻度と規範意識・個人特性との関連: 大学生活への適応という観点からの検討 社会心理学研究, 21, 160-169.
- Durmuscelebi, M. (2010). Investigating students misbehavior in classroom management in state and private primary schools with a comparative approach. *Education*, 130, 377-383.
- 石黒 格・安野智子・柴内康文 (2000). Dynamic Social Impact Theory シミュレーションへの全体情報の導入: マス・コミュニケーションの「強力効果」は社会を統合するか? 社会心理学研究, 16, 114-123.
- 石井健一 (1994). シミュレーション 古畑和孝(編) 社会心理学小辞典 有斐閣 p. 97.
- 金子泰之 (2011). 中学校の規範文化と生徒の規範意識が中学生の問題行動に及ぼす影響 犯罪心理学研究, 49, 29-37.
- 加藤弘通・太田正義 (2016). 学級の荒れと規範意識および他者の規範意識の認知の関係: 規範意識の醸成から規範意識をめぐるコミュニケーションへ 教育心理学研究, 64, 147-155.
- Kelly, H. H., Holmes, J. H., Kerr, N. L., Reis, H. T., Rusbult, C. E., & Van Lange, P. A. M. (2003). *An atlas of Interpersonal Situations*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- 北折光隆・吉田俊和 (2000). 違反抑止メッセージが社会規範からの逸脱行動に及ぼす影響: 大学構内の駐輪違反に関するフィールド実験 実験社会心理学研究, 40, 28-37.
- 小杉考司・藤沢隆史・水谷聡秀・石盛真徳 (2001). ダイナミック社会的インパクト理論における意見の空間的収束を生み出す要因の検討 実験社会心理学研究, 41, 16-25.
- Latané, B., Nowak, A., & Liu, J.H. (1994). Measuring emergent social phenomena: Dynamism, polarization, and clustering as order parameters of social systems. *Behavioral Science*, 39, 1-24.
- Latané, B., & L'Herrou, T. (1996). Spatial clustering in the conformity game: Dynamic social impact in electronic groups. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 1218-1230.
- Nowak, M. A., & Sigmund, K. (1992). Tit for tat in heterogeneous populations. *Nature*, 355, 250-253.
- Nowak, M., & Sigmund, K. (1993). A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's dilemma game. *Nature*, 364, 56-58.
- Nowak, A., Szamrej, J., & Latané, B. (1990). From private attitude to public opinion: A dynamic theory of social impact. *Psychological Review*, 97, 362-376.
- Rapoport, A., & Guyer, M. (1966). A taxonomy of 2 x 2 games. *General systems: Yearbook of the society for the advancement of general systems theory*, 11, 203-214.
- Reno, R. R., Cialdini, R. B., & Kallgren, C. A. (1993). The transsituational influence of social norms. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, 104-112.
- Scodel, A., Minas, S., Ratoosh, P., & Lipetz, M. (1959). Some descriptive aspects of two-person non-zero-sum games. *Journal of Conflict Resolution*, 3, 114-119.
- 高木英至 (2004). 続・限界質量モデル ([http://eiji-takagi.la.coocan.jp/class/prog/041203c\\_mass.html](http://eiji-takagi.la.coocan.jp/class/prog/041203c_mass.html)) (2017/02/18閲覧)
- Thibaut, J. W., & Kelley, H. H. (1959). *The Social Psychology of Groups*. New York: Wiley.

- ト部敬康・佐々木薫 (1999). 授業中の私語に関する集団規範の調査研究：リターン・ポテンシャル・モデルの適用 教育心理学研究, 47, 283-292.
- Wolfram, S. (1983). Statistical mechanic of cellular automata. *Review of Modern Physics*, 55, 601-644. (Retrieved on Wolfram, S. (1994). *Cellular Automata and Complexity: Collected Papers by Stephen Wolfram*. Westview Press.)
- Wolfram, S. (1984). Universality and complexity in cellular automata. *Physica D*, 10, 1-35.

#### 謝辞

本研究の一部は、JSPS科学研究費補助金(課題番号 JP26380885)の援助を受けた。