

1次元セル・オートマトン法による規範逸脱行動のシミュレーション — 空間的収束に着目した2次元セル・オートマトン法との比較検討 —

出口 拓彦 奈良教育大学学校教育講座 (教育臨床心理学)

One-dimensional Cellular Automata for Rule-breaking Behavior: Comparison with Two-dimensional Cellular Automata and a Focus on Clustering

DEGUCHI Takuhiko

(Department of School Education, Nara University of Education)

Abstract

This study compared outputs of one-dimensional cellular automata with those of a two-dimensional one. Computer simulations of rule-breaking behavior were conducted using 21x21, 441x1, and 21x1 matrices. Each of the cells has either “Obeying” or “Breaking” status and they show a change in status according to one of the following three ways (e.g. Deguchi, 2009a): A) a status change similar to that of majority of its neighboring cells, B1) a status change to “Obeying,” and B2) a status change to “Breaking.” At first, the cells probabilistically use A, B1, or B2 way in accordance with N-prob. Next, they use B1 or B2 way based on NB-prob. The probability of using B1 or B2 is called N-prob, and that of using B2 is NB-prob. N-prob was increased from 0.00 to 1.00 by .01, and NB-prob was set at 1.0 or 0.6. “Range of neighbor distance” means the maximum distance at which cells can perceive the status of their neighboring cells. This parameter was set at 1 for the 21x21 matrix and set at 1, 2, 4, or 40 for 441x1 and 21x1 matrices. Outputs of the simulations were the rule-breaking rate and clustering index (Latané, Nowak, & Liu, 1994); the former represents the mean rate at which cells broke a rule and the latter is the degree to which cells with the same status gathered.

The results showed that both the rule-breaking rate and clustering index of one- and two-dimensional matrices were approximated when the ranges of neighbor distance for the one-dimensional matrix were set at 4. However, when the ranges of neighbor distance were the same, i.e. at 1, these outputs did not correspond. These results implied that the outputs could be approximated when the number of neighboring cells that are perceivable is the same.

キーワード：セル・オートマトン法, 規範逸脱行動,
空間的収束

Key Words: cellular automata, rule-breaking behavior,
clustering

1. はじめに

公の場における規範逸脱行動 (ゴミのポイ捨てや授業中の私語など) は、これまでに様々な研究で扱われてきている (e.g. Cialdini, Reno, & Kallgren, 1990; Durmuscelebi, 2010)。そして、自分以外に「他者」がおり、この他者の行動を知ることが可能な場面では、自分の規範意識 (e.g. 出口・吉田, 2005; 出口, 2018b) だけでなく、「周囲の他者」の行動も影響を及ぼしうる

ことが報告されている (e.g. Cialdini et al., 1990; Reno, Cialdini, & Kallgren, 1993)。

「自分」と「周囲の他者」という多数の個人間による相互作用を考察する方法の1つに、ダイナミック社会的インパクト理論 (e.g. Latané & L'Herrou, 1996; 以下、「DSIT」と記す) に基づいたコンピュータ・シミュレーション (e.g. Latané, Nowak, & Liu, 1994; Nowak, Szamrej, & Latané, 1990) がある。これは、「セル・オートマトン法」を社会心理学関連の研究に応用したもので

ある (e.g. 小杉・藤沢・水谷・石盛, 2001)。ここでは、まず、コンピュータ上のマトリクスに、「人」を表すセルを多数配置する。各セルは、「ある事柄への『賛成』『反対』の態度」等を表す「状態」を持っている。次に、(自分や)「自分の周囲にあるセル」(他者)が持っている「状態」を参照して、自らの状態を変容させる。DSITのモデルは複数あるが、Accumulativeモデルでは、「影響力 = $[\sum (s_i/d_i^2)]^{1/2}$ 」という式で、周囲のセルから受ける影響力を算出する (e.g. Latané et al., 1994)。「d」は自分と周囲のセルとの「距離」を表しており、遠くに位置するほど(周囲のセルからの)影響力は弱まる。「s」は各セルが持つ「強度」であり、同じ距離に位置するセルであっても、例えば「先輩」と「後輩」のように、比較的強い影響力を持つ者と弱い者が存在しうることを意味する。そして、セルごとに、(例えば,)「賛成」派の影響力と「反対」派の影響力双方について算出し、より影響力が強い方の状態に自らの状態を変容させる。このような状態変容を繰り返し行い、社会的な現象についてミクロ・マクロ的な視点から分析する。

このDSITに、「一定の確率で、周囲のセルを参照せずに自己の状態を変容させる(『周囲の他者』を気にせずに振る舞う)」というランダム要因を取り入れ、規範逸脱行動について検討した研究 (e.g. 出口, 2009a, 2009b; 久保・田川・板木・島谷, 2014)がある。ここでは、当初少数派である「Breaking」(逸脱)状態のセルが徐々に多数派になっていく過程や、その条件等について考察がなされている。そして、「周囲のセルを考慮しないでBreaking状態に変容する確率」(周囲を気にせずに規範逸脱行動をする確率)が10数%になるだけで、DSITによる相互作用でドミノ倒し的にBreaking状態のセルが増加し、過半数がBreaking状態になりうる事が示されている。

DSITを援用したコンピュータ・シミュレーションに関する研究では、2次元マトリクスが用いられることが多い (e.g. 小杉他, 2001; Latané et al., 1994; Nowak et al., 1990)。2次元マトリクスにおけるセルの変容過程を時系列的な観点を含めて提示する際は、各時点のマトリクスを時系列に沿って並べる、動画にする、等の方法が考えられる。しかし、セルの状態変容は100回を大きく超えて行われることもあり (e.g. 出口, 2009a, 2009b; 久保他, 2014)、試行間の相違等を即時に把握することは困難な場合がある。また、試行過程の一部を省略して報告されることも少なくない (e.g. Deguchi, 2014)。

これに関連して、「1次元」、すなわち「線」上で行うセル・オートマトン法も知られており、この方法を用いれば、例えばX軸(横軸)を空間にあてて「ある時間におけるマトリクスの状態」を提示し、Y軸(縦軸)を時間軸にあてて「マトリクスの時系列的な変化」を示すこ

とが可能となる (e.g. Wolfram, 1983, 1984)。すなわち、(2次元の)図の中に、空間的および時間的情報の双方を省略することなく含められるようになる。

しかし、両者(1次元と2次元マトリクス)の間には、隣接した2つのセルが共有する近傍セルの数や、「角」「辺」(2次元の場合)ないし「端」(1次元の場合)に位置するセルの数など、複数の相違がある⁽¹⁾。このため、1次元マトリクスを用いたシミュレーションの出力が、2次元マトリクスを用いたものと、どの程度一致するのか、という問題が生じる。

この問題に対して、出口(2018a)は1次元および2次元マトリクス間の関連について検討している。まず、個々のセルが持つ問題行動に対する態度(「行動基準」(e.g. Deguchi, 2014)と呼ばれる)を、実験的に多様に変化させたデータセットを作成し、これを用いて1次元および2次元マトリクスによるシミュレーションを行った。次に、両者の出力間の相関係数を算出した。その結果、近傍内に存在するセルの個数(近傍セル数)、すなわち、状態変容の際に考慮するセルの個数を等しくした場合、1次元および2次元マトリクス間の相関は.997以上という高い値になったことを報告している。しかしその一方で、近傍距離範囲、すなわち、「自分からどの程度の距離まで離れたセルを考慮するのか」を示す値を一致させた場合、他のパラメータ(「逸脱強度」、後述の「方法」参照)の設定によっては、両マトリクス間の相関係数が、.767まで低下する傾向も見られた。これらのことから、2次元マトリクスによる出力の近似値を1次元マトリクスによって得るためには、近傍セル数を一致させることが重要であると考察された。

さらに、1次元および2次元マトリクスによる「出力間の相関」ではなく、各マトリクスによる出力と「他の指標との相関」について、1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションの「出力」と、質問紙で測定された「実測値」との相関係数を、それぞれ算出した研究もある(出口, 2017)。ここでは、両者の相関係数の差は、最大でも絶対値で.111程度と比較的小さなものであり、両者に大きな相違は示されなかった。

2次元マトリクス上でBreaking状態にあるセルの割合が増加する際には、逸脱状態のセルによるクラスター(同じ「状態」にあるセルの集まり、ないし固まり)が形成されること、すなわち「空間的収束」が発生することが知られている (e.g. Deguchi, 2014)。そして、1次元セル・オートマトン法を用いた場合でも、このような空間的収束が発生することが報告されている(出口, 2017, 2018a)。しかし、これらの研究においては、空間的収束についてはシミュレーションの過程を視覚化した「図」(前述のように、X軸を空間、Y軸を時間に割り当てたもの)を基にして考察がなされており、「逸脱率」

のような量的な指標による検討はなされていない。このため、「1次元マトリクスにおける空間的収束の度合いは、2次元マトリクスのそれと、どの程度一致するのか」という問題については不明な点が多い。

そして、上記の研究 (Deguchi, 2014; 出口, 2017, 2018a) で使用されているシミュレーションのモデルは、いずれも、限界質量モデル (e.g. Schelling, 2006) ないし行動基準を表す決定行列をDSITに組み込んだものであり、前述の「一定の確率で、周囲のセルを参照せずに自己の状態を変容させる (『周囲の他者』を気にせずに振る舞う)」というランダム要因を取り入れたモデル (e.g. 出口, 2009a, 2009b; 久保他, 2014) とは、多少異なったものである。前者のモデルでは、各セルは「行動基準」ないし「社会的感受性」と呼ばれるパラメータを持っている。これらのパラメータは「ある『行動』の取りやすさ」等を表すものである。例えば、「逸脱状態にあるセルが自分の周囲にほんの少し存在するだけで、自らも (これらのセルと同様に) 逸脱状態になるのか」「過半数を大きく上回る数にならないと逸脱状態にならないのか」といったことを示す。このパラメータは、基本的に各セル独自に設定されている。すなわち、マトリクス上のセルは一種の「個性」ないし独自性を有している (全セルに同一のパラメータを設定することも理論上は可能であるが、上記の研究においては、このような設定については検討されていない)。そして、各セルは、A. 多数派に従う、B. 自らに設定されたパラメータに従う、という2つのうち、いずれか1つによって自らの状態を変容させる。AとBのいずれの基準に従うかは確率的に決定される。Bの基準に従う確率はM-probと呼ばれ、これは全セル共通である。

一方、後者 (e.g. 出口, 2009a, 2009b) のモデルでは、全てのセルには同一のパラメータが設定されており、個性は存在しない。各セルは、A. 多数派に従う、B1. 「ある行動」を (周囲にあるセルの状態にかかわらず) しない、B2. 「ある行動」を (周囲にあるセルの状態にかかわらず) する、という3つのうち、いずれか1つによって自らの状態を変容させる。具体的には、最初に「A」と「B1かB2」の2つのうち、いずれを用いるかを確率的に決定する。この際、「B1かB2」を用いる確率はN-probと呼ばれる。そして、「B1かB2」を用いる場合、さらに「B1」と「B2」のいずれとするかを確率的に決定する。この際、「B2」を採用する確率はNB-prob⁽²⁾と呼ばれる。すなわち、後者のモデルは、セルの状態を確率的に決定するために2種類のパラメータ (N-prob, NB-prob) を使用するのに対して、前者は1種類 (M-prob) のみである。

前者のモデルは、個と集団の関係について、個人々が持つ態度の分布等に着目して検討することを目的とした

ものである (e.g. Deguchi, 2014)。一方、後者は、個人々が持つ態度の「分布」は統制し、「周囲にいる人 (セル) の状態を考慮しない場合の振る舞い方」に関する設定を詳細に変えて、これを分析することを主な目的としたものと捉えられる。

このように、規範逸脱行動に関するモデルには、いくつかのバリエーションが存在している⁽³⁾。しかし、これまでの研究 (出口, 2017, 2018a) においては、前者のモデルのみが扱われている。このため、後者のような他のシミュレーションのモデルについても、1次元マトリクスによって2次元マトリクスと同様の出力を得られるか否かについては検討されていない。すなわち、「2次元マトリクスによる出力の近似値を1次元マトリクスによって得るためには、近傍セル数を一致させることが重要である」という知見の一般化可能性については、十分に明らかにされていない。

以上のことから、本研究では、1次元および2次元マトリクスを用いたセル・オートマトン法による規範逸脱行動のシミュレーションを、複数の確率的なパラメータを含むモデル (出口, 2009a, 2009b; 久保他, 2014) を用いて行った。そして、逸脱率のみならず、「マトリクス上に、同一の状態にあるセルが集まって (まとまっている程度)」を示す空間的収束率 (Latané et al., 1994) という、空間的な情報に関する指標もシミュレーションの出力とし、両マトリクスによる出力間の関係につい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および状態変容の規則

1次元ないし2次元のマトリクスをコンピュータ上に作成し、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セルの数は441個)。マトリクスは端のある (非トーラスの) ものをを用いた。1次元マトリクスを用いたこと以外の基本的な方法は、出口 (2009a, 2009b) と同様である。

各セルは「Obeying」(遵守) と「Breaking」(逸脱) のうち、いずれか1つの「状態」を持つ。第1ステップ (試行開始時) 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近傍内にあるセルの状態を参照し、多数派と同じ状態に変容する。「Obeying」と「Breaking」のセルが同数の場合、現在の状態を維持する。前述のDSITの式にある「距離」(d) と「強度」(s) は、(マトリクス上にある「一部の」セルのみを参照して状態変容が行われる場合は、) 省いても空間的収束は生じる (小杉他, 2001) ため、共に省略 (1に統一) した。

また、各セルは、ある一定の確率で、DSITによる

「多数決」を使用せずに自らの状態を変容させる。具体的には、N-probおよびNB-probという2つのパラメータに示された確率で、周囲のセルの状態にかかわらず、「Breaking」（ないし「Obeying」）状態に変容する。

セルの状態変容は全セル同時に行い、1回の試行ごとに199回繰り返した（1回の試行は、第200ステップまで）。試行回数は、各条件100回とした。シミュレーション用のプログラムは、MicrosoftのVisual Basic.NETで作成した（出口（2009a, 2009b）等を基にした）。

2.2. 検討の対象とした変数

5つの独立変数（見出しの「2.2.1」から「2.2.5」までに記載されたもの）、および2つの従属変数ないし出力（「2.2.6」と「2.2.7」）に着目して、1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる出力間の比較検討を行った。特に記載が無い限り、出口（2018a）と基本的に同様の設定とした。空間的収束に関する指標（空間的収束率）やセルの状態変容の規則に関する変数（N-probやNB-prob）は、出口（2018a）では扱われていないものである。

2.2.1. マトリクスの次元および大きさ

「 21×21 」の2次元（441セル）1種類、および「 21×1 」（21セル）と「 441×1 」（441セル）の1次元2種類、計3種類設定した。「 21×21 」を基準とすると、「 21×1 」は「横のセル数を変えない」場合、「 441×1 」は「マトリクス上の総セル数を変えない」場合に相当する。

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離れたセルまでを考慮するのか」を表す（e.g. 出口, 2018a）。2次元マトリクスについては近傍距離範囲を1とし、出口（2018a）等と同様にムーア近傍を用いた。一方、1次元マトリクスについては、近傍距離範囲を1, 2, 4, 40とした。近傍距離範囲「1」は、2次元マトリクスと同様、自分に隣接するセルのみを考慮した場合に該当する。「2」は、2次元においてノイマン近傍（上下左右の4セル）を用いた場合に考慮される近傍内のセル数（4）と同数のセルを考慮した場合である。「4」はムーア近傍内のセル数（8）と等しくなり、最後の「40」は2次元において近傍距離範囲を5（ユークリッド距離）とした際のセルの総数（80）に対応する。出口（2018a）では近傍距離範囲「4」までしか扱われていなかったが、より広い範囲に位置するセルを参照した場合についても検討するため、本研究では、近傍距離範囲「40」の条件を加えた。

2.2.3. 非参照変容確率（N-prob）

「周囲のセルを参照せずに自己の状態を変容する確率」である（出口, 2009a, 2009b）。0.00 から1.00まで.01刻みで変化させた（計101条件）。各セルは、N-probで示された確率で、近傍内のセルを参照せずに、自己の状態を変容する。N-probの値は全セル共通である。

2.2.4. 非参照逸脱確率（NB-prob）

前述のN-probに示された確率で「周囲を参照せずに状態を変容」するとき、「Breaking」状態になる確率を示す（出口, 2009a, 2009b）。NB-probの値は全セル共通である。

NB-probを.6に設定した際にN-probを.35前後とすると、逸脱率がNB-probの値（.6）を超えうることが報告されている（出口, 2009a, 2009b）。すなわち、.6という値が一種の閾値となっている可能性が知られている。このため、本変数については、1.0と.6の2条件設定した。例えば、N-probが.10、NB-probが.6の場合、90%の確率（ $(1.0 - .10) \times 100$ ）で「周囲のセルを参照して」自己の状態を変容させ、6%の確率（ $.6 \times .10 \times 100$ ）で「周囲の状態にかかわらず」Breaking状態になり、4%（ $(1.0 - .6) \times .10 \times 100$ ）の確率で「周囲の状態にかかわらず」Obeying状態になる。

2.2.5. 逸脱強度（Intensity）

「Breaking状態にあるセルが、Obeying状態にあるセルと比較して、何倍の影響力を持つのか」を示す値（Deguchi, 2014）である。1.0と1.5の2条件設定した。

2.2.6. 逸脱率

シミュレーションの「出力」の1つである。各ステップにおいて「Breaking」状態にあるセルがマトリクス全体に占める割合（%）を、試行ごとに平均したもの（e.g. 出口, 2009a, 2009b; Deguchi, 2014, 2019）である。

2.2.7. 空間的収束率

「逸脱率」と同じく、シミュレーションの出力である。「同一の状態を持ったセルのクラスター（集まり）」が形成されている度合いを示すものである（Latané et al., 1994）。本研究においては、Latané et al. (1994) の「個人レベルのクラスタリング指標」を用いた。

この指標は、基本的には、「ノイマン近傍内に『自分と同じ状態のセル』が占める割合」をセルごとに求め、これをマトリクス（ないしステップ）ごとに平均したものである⁽⁴⁾。最大値は1であり、値が高いほど、「同じ状態のセル」がマトリクス上に集まっていることを示す。この指標は、①マトリクス上に存在する全てのセル（「Obeying」ないし「Breaking」の状態にあるセル双方）、②「Obeying」状態にあるセルのみ、③「Breaking」

状態にあるセルのみ、に関する計3種類が存在する (Latané et al., 1994)。本論文においては、順に、①空間的収束率 (Total)、②空間的収束率 (Obeying)、③空間的収束率 (Breaking) と記載した。そして、「逸脱率」と同様に、各ステップの値を試行ごとに平均したものを指標とした。

指標算出の際、マトリクス上に空間的収束率の計算の対象となるセルがないステップがある場合は、そのステップにおける空間的収束率は0ではなく、欠損値とみなして平均値を算出した。例えば、第1ステップのみObeying状態のセルが存在し、第2ステップ以降はBreaking状態のセルのみになった場合は、第1ステップにおける空間的収束率 (Obeying) が、その試行における空間的収束率の平均値と等しくなる。ただし、200ステップ全てにおいて欠損値となった試行については、その試行における空間的収束率には0を代入した。例えば、N-probを0に設定した場合、セルがBreaking状態になることは理論上ないため、全ステップにおいて空間的収束率 (Breaking) は欠損値となり、その試行における空間的収束率には0が代入される。

また、Latané et al. (1994) のシミュレーションでは、(前述したように)「影響力 = $[\sum (s_i/d_i^2)]^{1/2}$ 」という式によって、周囲のセルから受ける影響力が算出されている。この式において、仮にsを1とすると、自分の上下左右に隣接するセル (ノイマン近傍内に位置するセル)、すなわち1の距離にあるセルからは、 $(1/1^2)^2 = 1$ の影響を受ける。一方、斜めの位置に隣接するセル、すなわち1.41の距離にあるセルからは $(1/1.41^2)^2 = 0.25$ の影響を受ける。つまり、「斜めに位置するセル」は、「ノイマン近傍内にあるセル」の「4分の1」の影響を与えることになる。一方、本研究では、ムーア近傍が採用されており、ムーア近傍内にあるセルは、上下左右・斜めいずれに位置しているものであっても、自分のセルとの距離は全て1として扱われ、その影響力は等しい (全て1)。すなわち、Latané et al.のシミュレーションにおいてはノイマン近傍内に位置する4つのセルが、斜めに位置するセルに対して相対的に大きな影響力を有しているのに対して、本研究では (ムーア近傍内に位置する) 8つのセルが、全て等しい影響力を有していることになる。

このような相違が存在することから、2次元マトリクスを用いたシミュレーションにおいては、ノイマン近傍を用いた空間的収束の指標だけでなく、ムーア近傍を用いた指標 (「ムーア近傍内に『自分と同じ状態のセル』が占める割合」) も併せて算出した。

なお、1次元マトリクスの場合、上下 (ないし左右) の次元のみしか存在しないことから、「斜め」という位置関係はない。このため、ノイマン近傍とムーア近傍は

同様のもの (いずれも、隣接する左右の2セル) となり、空間的収束率算出の際に、両近傍の相違について考慮する必要は無い。

3. 結果と考察

3.1. ノイマン近傍およびムーア近傍を用いた空間収束率間の関連

まず、空間的収束率の算出の際、ノイマン近傍を用いた指標とムーア近傍を用いた場合とでは、どの程度の相違 (ないし類似) が生じるのかについて検討した。具体的には、各条件における 21×21 の2次元マトリクスによるシミュレーションにおける空間的収束率 (Total, Obeying, Breakingの3つ全て) について、ノイマン近傍を用いた指標とムーア近傍を用いたものの間の相関係数を算出した。

本研究において、N-probを0に設定した場合の逸脱率は、いずれの次元および大きさのマトリクスでも理論的に全て0となる。さらに、空間的収束率 (Total) および空間的収束率 (Obeying) は常に1、空間的収束率 (Breaking) は0になる。すなわち、条件の相違による各指標の変動は生じない。一方、N-prob = 1.00に設定した場合、NB-prob = 1.0にすると全セル同様の逸脱率となる。しかし、NB-prob = .6においては、ランダム要素によるセルの状態変容が行われることから、試行ごとに異なった逸脱率となる可能性がある。これらのことから、N-prob = 0とした設定の出力については、指標間の類似性を不当に高く見積もることを防ぐためにデータセットから除外し、 $N = 100$ として分析した (以後の相関分析も同様)。

その結果、いずれの組み合わせにおいても $r = .996$ 以上と非常に高い値が示された。このため、以後は、ノイマン近傍を用いた空間的収束率のみについて分析した。

3.2. 両マトリクス (1次元および2次元) 間の比較

3.2.1. 逸脱率

まず、N-probごとに逸脱率の平均値およびSDを算出した (図1-1, 1-2)。それぞれの図における「線」は、1本あたり10,100回分の試行結果を示す⁽⁵⁾。次に、N-probの条件数を分析の単位 ($N = 100$) とした相関係数を算出した (表1-1, 1-2)。

その結果、平均逸脱率については、NB-prob (1.0, .6)、マトリクスの大きさ (441×1 , 21×1)、逸脱強度 (1.0, 1.5)、という3つのパラメータをいずれの条件に設定しても、状態変容の際に考慮する「セルの数」が等しい場合 (近傍距離範囲を4としたとき) に、2次元 (21×21) マトリクスによる出力との相関は高くなった ($r_s \geq .958$; $p_s < .05$)。また、平均値の値自体も (1次元と

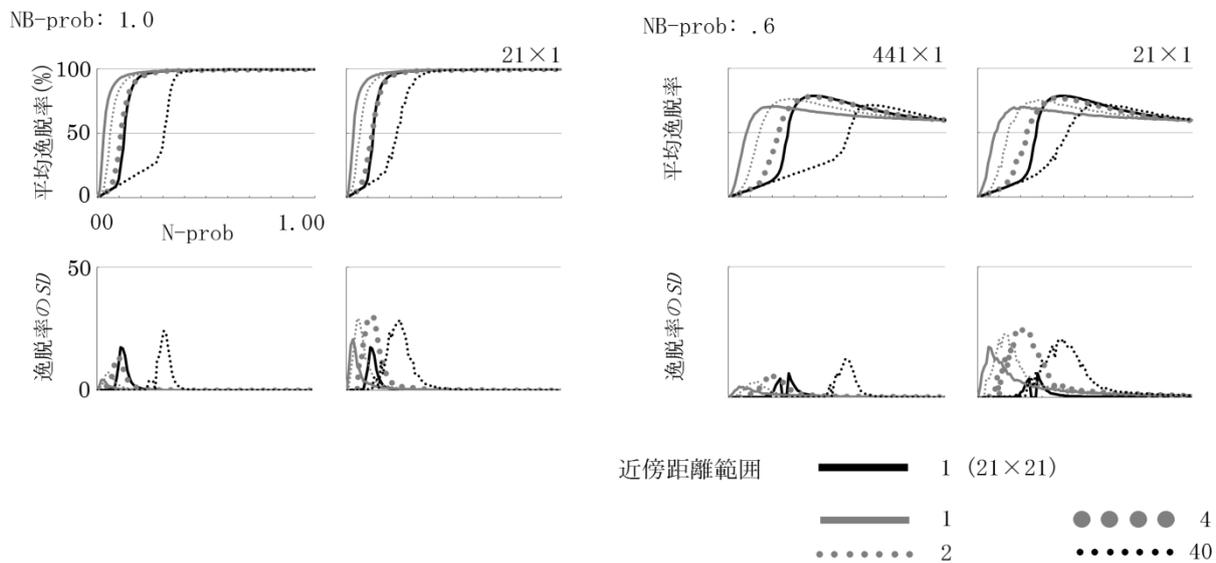


図1-1 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる逸脱率の平均値とSD (逸脱強度：1.0)

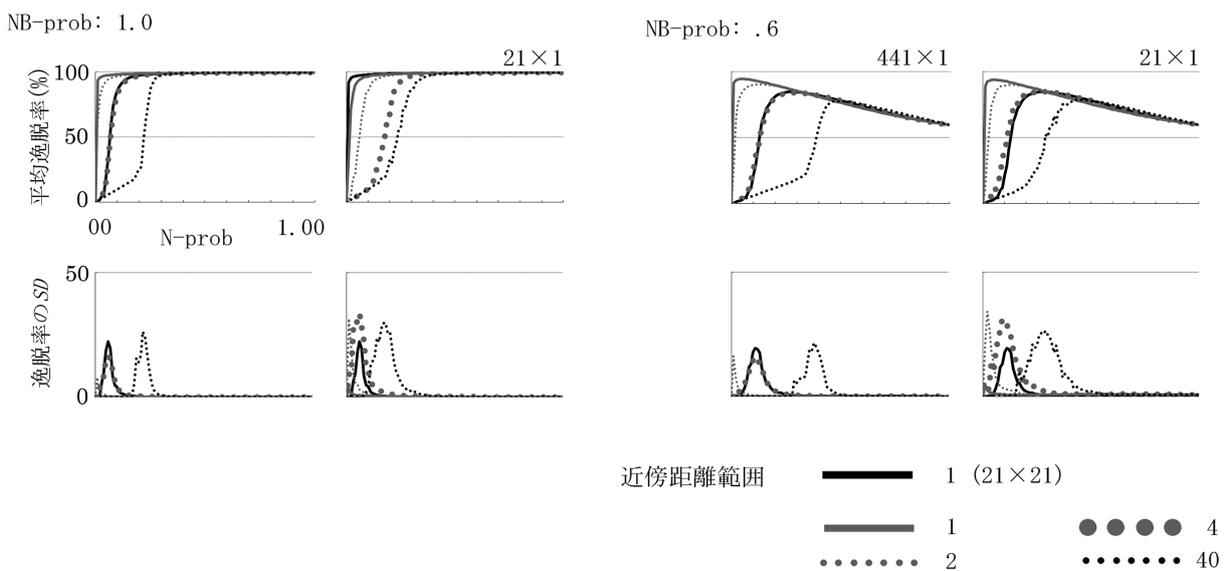


図1-2 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる逸脱率の平均値とSD (逸脱強度：1.5)

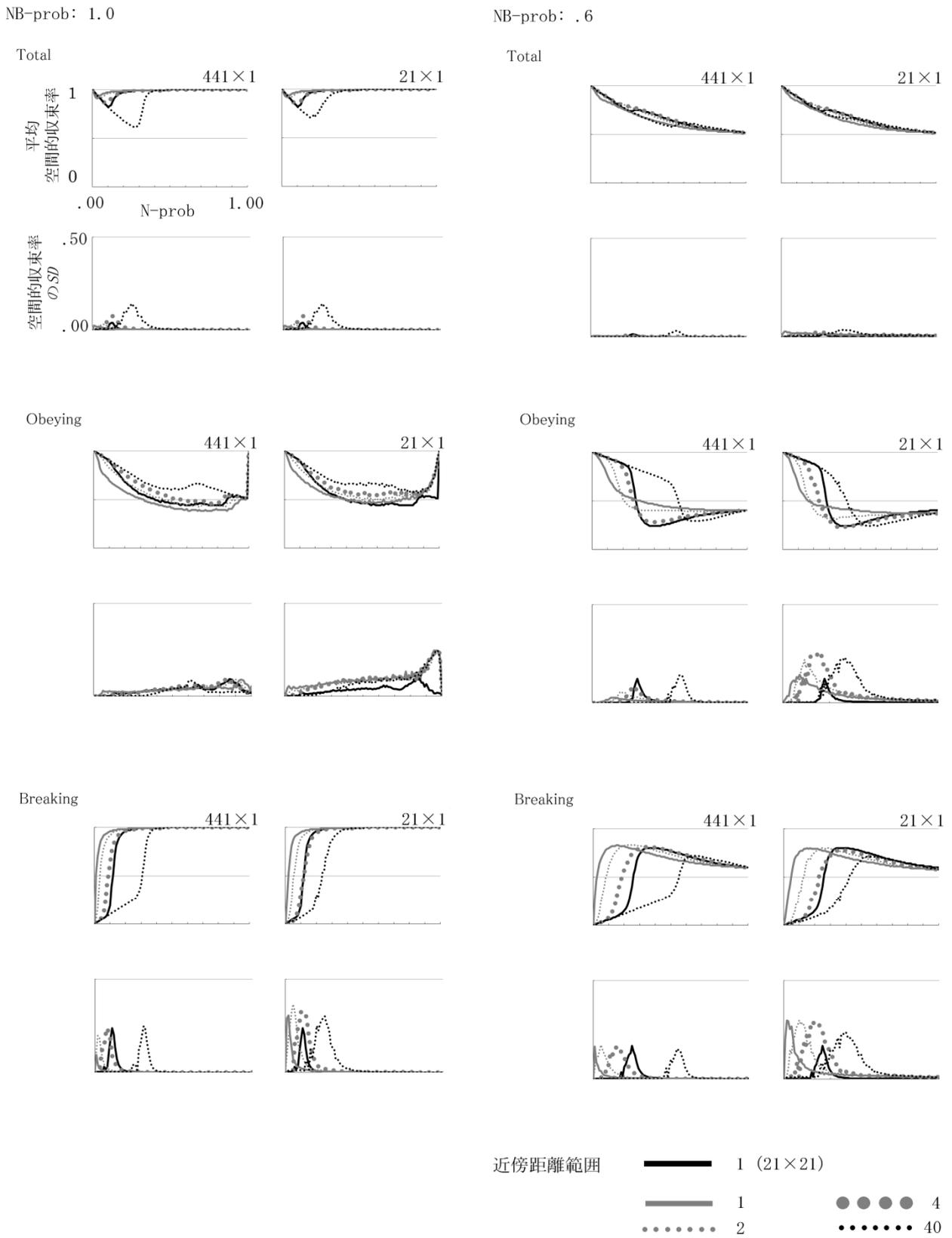
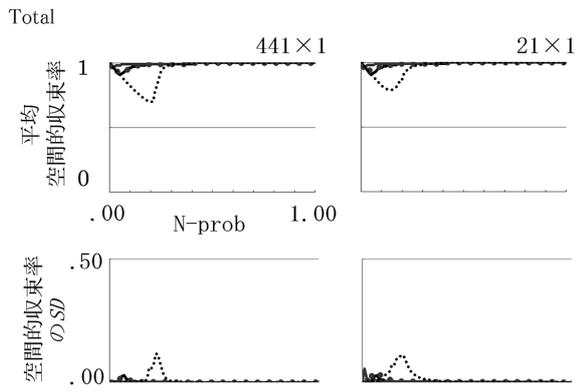
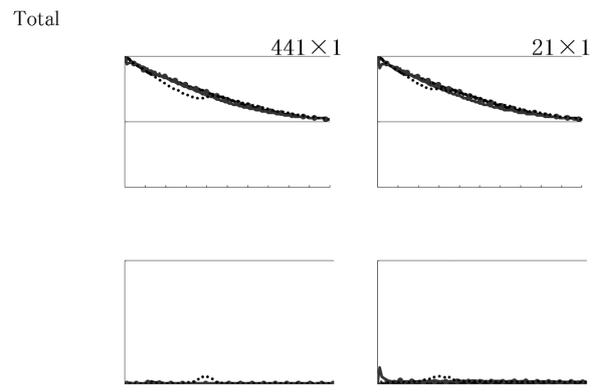


図2-1 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる空間収束率の平均値とSD (逸脱強度: 1.0)

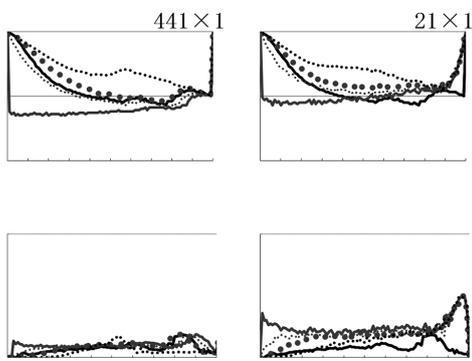
NB-prob: 1.0



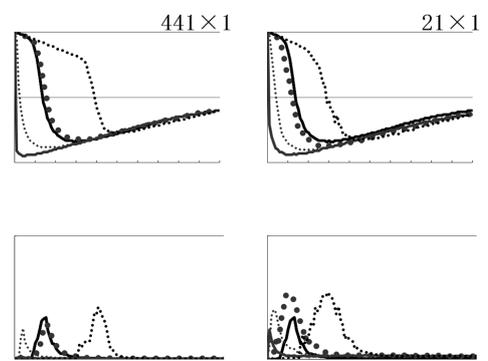
NB-prob: .6



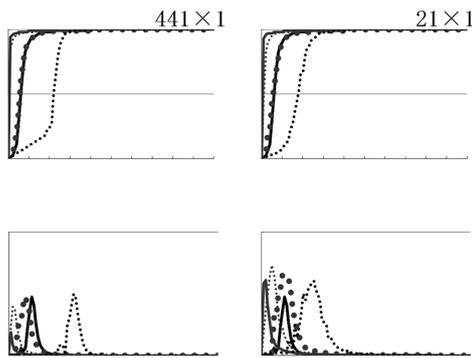
Obeying



Obeying



Breaking



Breaking

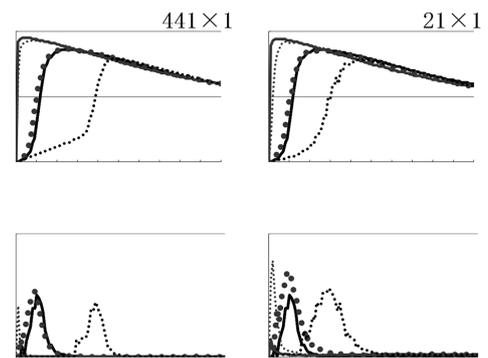


図2-2 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる空間収束率の平均値とSD (逸脱強度: 1.5)

表1-1 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる逸脱率間の相関係数（逸脱強度：1.0）

NB-prob	マトリクスの大きさ	近傍距離範囲			
		1	2	4	40
1.0	441×1	.732	.861	.989	.720
	21×1	.740	.870	.996	.822
.6	441×1	.442	.701	.958	.622
	21×1	.456	.717	.960	.818

※全て $p < .05$. 2次元マトリクス(21×21)における近傍距離範囲は1に設定

表1-2 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる逸脱率間の相関係数（逸脱強度：1.5）

NB-prob	マトリクスの大きさ	近傍距離範囲			
		1	2	4	40
1.0	441×1	.897	.825	.998	.659
	21×1	.882	.760	.995	.752
.6	441×1	-.284	.135	.999	.423
	21×1	-.295	.291	.981	.615

※全て $p < .05$. 2次元マトリクス(21×21)における近傍距離範囲は1に設定

表2-1 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる空間収束率の相関係数（逸脱強度：1.0）

NB-prob	マトリクスの大きさ	空間的収束率(1~40の数値は近傍距離範囲)											
		Total				Obeying				Breaking			
		1	2	4	40	1	2	4	40	1	2	4	40
1.0	441×1	.643	.807	.977	.382	.967	.987	.982	.923	.742	.767	.963	.699
	21×1	.670	.814	.989	.596	.842	.911	.946	.919	.693	.851	.996	.791
.6	441×1	.987	.992	.997	.962	.838	.858	.986	.651	-.233	.450	.898	.594
	21×1	.987	.991	.997	.987	.775	.803	.956	.844	.037	.649	.972	.777

※全て $p < .05$. 2次元マトリクス(21×21)における近傍距離範囲は1に設定

表2-2 1次元および2次元マトリクスを用いたシミュレーションによる空間収束率の相関係数（逸脱強度：1.5）

NB-prob	マトリクスの大きさ	空間的収束率(1~40の数値は近傍距離範囲)											
		Total				Obeying				Breaking			
		1	2	4	40	1	2	4	40	1	2	4	40
1.0	441×1	.672	.657	.991	.441	.048	.991	.983	.856	.853	.874	.998	.628
	21×1	.668	.719	.987	.599	-.089	.834	.915	.852	.848	.740	.996	.707
.6	441×1	.995	.998	1.000	.978	-.331	.318	.991	.468	-.225	-.061	.984	.365
	21×1	.994	.997	.999	.992	-.122	.556	.986	.660	-.226	.215	.988	.537

※全て $p < .05$. 2次元マトリクス(21×21)における近傍距離範囲は1に設定

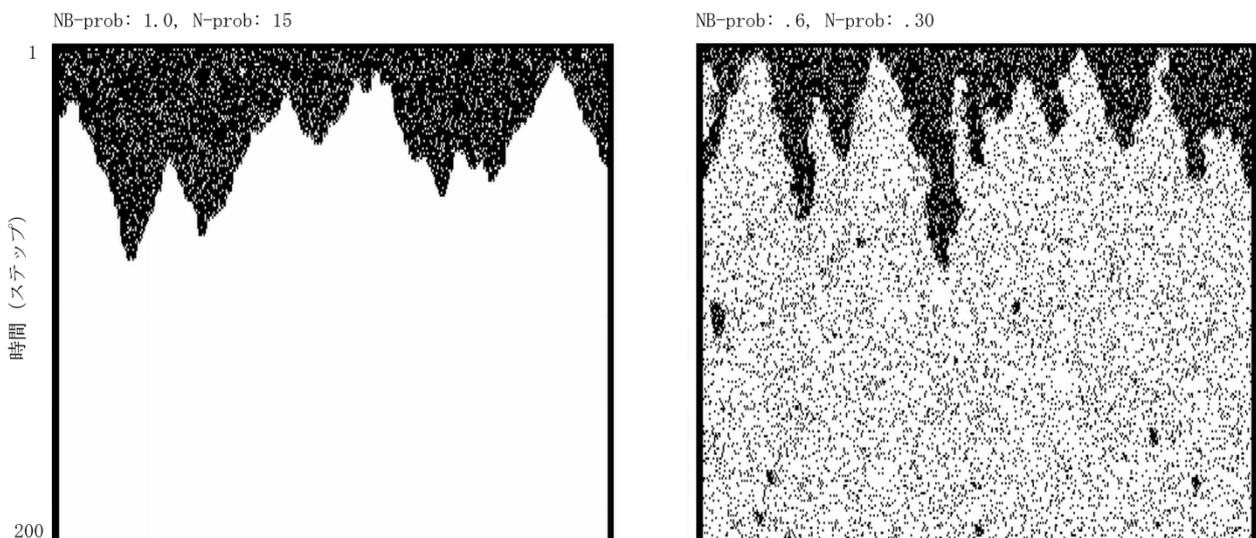


図3 1次元マトリクスによるシミュレーション試行過程の一例（白い点はBreaking状態のセルを示す。）

※マトリクスの大きさ：441×1，近傍距離範囲：4，逸脱強度：1.0

2次元マトリクス間で) ほぼ同様となった⁽⁶⁾。ただし、SDについては、21×1のマトリクスでは比較的高い値となり、出力が安定しなくなる可能性が示唆された。これらは、出口(2018a)の結果と同様であった。

3.2.2. 空間的収束率

まず、N-probごとに空間的収束率の平均値およびSDを算出した(図2-1, 2-2)。次に、N-probの条件数を分析の単位とした相関係数を算出した(表2-1, 2-2)。

その結果、平均空間的収束率については、NB-prob, マトリクスの大きさ, 逸脱強度, という要因をいずれの条件に設定しても、(逸脱率の場合と同様に,) 近傍距離範囲を4としたときに21×21マトリクスによる出力との相関は高くなった($r_s \geq .898$; $p_s < .05$)。また、平均値の値自体もほぼ同様となった。NB-probを.6, 逸脱強度を1.0とした441×1マトリクスにおける指標の相関係数は.898と唯一.9をわずかに下回る値が示されたが、分散説明率は80.64% (.898²×100) と8を上回るものであった。また、SDについては、(逸脱率の場合と同様に,) 21×1のマトリクスでは比較的高い値となり、出力が安定しなくなる可能性が示唆された。

3.3. シミュレーション試行過程の例示

上記の結果をふまえ、マトリクスの大きさを441×1, 近傍距離範囲を4, 逸脱強度を1.0に設定した場合(NB-probは1.0ないし.6に設定)のシミュレーション試行の全過程(第1ステップから第200ステップ)を、Wolfram(1983, 1984)と同様に、横軸を空間、縦軸を時間に割り当てて例示した(図3; 図1-1~2-2および表1-1~2-2の試行とは独立して行ったもの)。その結果、Breaking状態のセルによるクラスター(白い点の集まり)が次々と形成され、その後、徐々に拡大していく過程が示された。

3.4. 結論

以上のことから、セルの状態変容のときに考慮する「周囲に位置するセルの数」(「近傍セル数」)を等しくした場合、2次元と1次元マトリクス(具体的には、「近傍距離範囲を1」とした2次元マトリクスと、「近傍距離範囲を4」とした1次元マトリクス)を用いたシミュレーションの出力は近似したものとなることが示唆された。これは、逸脱率のみならず、空間的収束率についても同様であった。ただし、「21×1」の1次元マトリクスでは、各指標のSDが比較的高くなり出力が安定しなくなる可能性も示された。

今後は、他の大きさのマトリクスを用いた場合についての検討も求められよう。また、本研究で用いた指標以外の出力についても着目し、1次元と2次元間の関連に

ついて、多様な観点から考察することも重要となろう。

註

- (1) 詳細は出口(2018a)を参照されたい。
- (2) “NB-prob”は、出口(2009b)や久保他(2014)においては、“NW-prob”と呼ばれている(両者は同一のもの)。出口(2009b)は「私語」を対象とした研究であり、“Whispering”の頭文字(“W”)をとって、この名称となっている(久保他(2014)も私語を対象としたものである)。一方、出口(2009a)は規範逸脱行動全般を対象としたものであり、“Breaking”の頭文字(“B”)を用いている。このため、同一のパラメータであっても、異なった名称となっている。
- (3) パラメータの設定によっては、前者と後者のモデルを理論的に等価なものにすることが可能である。具体的には、「前者のモデルにおいて、全セルに『逸脱』の行動基準(M11 < M21 かつ M12 < M22)を入力した場合」は、「後者のモデルにおいて、NB-probを1.0とした場合」と同じものとなる(出口, 2018a)。このとき、M-probとN-probは同一のパラメータとなる。ただし、出口(2018a)では、上記の設定については検討されていない。
- (4) マトリクスの「辺」や「角」に位置するセルの扱い等、指標算出に関する詳細については、Latané et al. (1994)を参照されたい。
- (5) N-probを0.00とした場合の「100試行分」を含んだ回数である。
- (6) 本研究では、図1-1~2-2における各「線」は、10,100回分の試行を基に作成した(N-prob: 101条件×各試行100回)。この場合、平均値の差について分散分析などを用いて検定すると、条件数を増加させるほど(例えば、N-probを.001刻みとして条件数を1,001に増やし、計100,100回試行する等)、有意になりやすくなる。すなわち、出口(2018a)が指摘するように、条件数の設定方法と統計的検定の結果が関連する。また、「有意差が見られないこと」は「平均値が等しいこと」と同意ではない(e.g. 森, 1999)。したがって、有意でなかったことをもって、出力の平均値は同じである(=両者の出力は一致する)と考察することには問題があると考えられた。これらのことから本研究においては、平均値の差に対する考察は、(有意差検定の結果ではなく)図1-1から2-2に示された値を基に考察することとした。なお、相関分析(表1-1~2-2)についても、相関係数の有意性検定に関しては、「条件数を増やすほど、非常にわずかな(絶対値の)相関係数であっても有意になりやすくなる」という問題が生じる。しかし、相関係数の値そのものはNの影響を受けないことから、指標間の関連については相関分析の結果を基に考察した(これらの方針については、出口(2018a)と同様である)。

引用文献

- 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(2009a). 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.
- 出口拓彦(2009b). 教室における私語発生過程のセル・オートマトン法によるシミュレーション. 教育実践総合センター研究紀要, 18, 117-124.

- Deguchi, T. (2014). A simulation of rule-breaking behavior in public places. *Social Science Computer Review*, 32, 439-452.
- 出口拓彦 (2017). ローカルな相互作用による限界質量モデルの妥当性検討: セル・オートマトン法によるシミュレーションの出力と質問紙による実測値の関連 日本社会心理学学会第58回大会
- 出口拓彦 (2018a). 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 奈良教育大学紀要 (人文・社会科学), 67, 57-66.
- 出口拓彦 (2018b). 教室における私語の頻度と規範意識・行動基準の関連: 個人レベルおよび集団レベルの影響に着目して 実験社会心理学研究, 57, 93-104.
- Deguchi, T. (2019). Analyzing the spread of rule-breaking behavior, focusing on talking in class, based on decision matrices in a critical mass model with local interaction. *The Japanese Journal of Experimental Social Psychology*, 58, 105-110.
- 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.
- 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.
- 久保裕貴・田川一希・板木好弘・島谷健一郎 (2014). セル・オートマトン法及び平均場近似を用いた教室内の私語形成モデル 数理解析研究所講究録, 1887, 18-22.
- 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.
- 森 敏昭 (1999). 統計的検定のロジック 繁榊算男・柳井晴夫・森 敏昭 (編) 心理学セミナーテキストライブラリー=3 Q&Aで知る統計データ解析DOs and DON'Ts サイエンス社 pp. 30-32.
- Nowak, A., Szamrej, J., & Latané, B. (1990). From private attitude to public opinion: A dynamic theory of social impact. *Psychological Review*, 97, 362-376.
- 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.
- Schelling, T. C. (2006). *Micromotives and Macrobehavior (with a New Preface and the Novel Lecture)*. New York: W.W. Norton & Co.
- Wolfram, S. (1983). Statistical mechanics 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.

付記

本論文は、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年秋号収録「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」(pp. 44-47)を加筆・修正したものである。なお、本研究の一部は、JSPS科学研究費補助金(課題番号JP26380885, JP18K03038)の援助によって行われた。また、英文アブストラクト作成の際、Editage <www.editage.jp>の支援を受けた。

