

DISCUSSION PAPER SERIES J



SHIGA UNIVERSITY

Discussion Paper No. J-4

個人は環境配慮的になれるか？

— エージェント・ベース・モデルと将来展望 —

京井尋佑

山下英輝

森宏一郎

2021年3月

The Institute for Economic and Business Research

Faculty of Economics

SHIGA UNIVERSITY

1-1-1 BANBA, HIKONE,
SHIGA 522-8522, JAPAN

個人は環境配慮的になれるか？ —エージェント・ベース・モデルと将来展望—

京井尋佑^{a, b} 山下英輝^c 森宏一郎^d

a 京都大学大学院農学研究科

b 滋賀大学経済経営研究所 客員研究員

c 滋賀大学経済経営研究所

d 滋賀大学経済学部

1. はじめに

近年、CO₂などの温室効果ガスによる気候変動が進行し、それに付随する問題も深刻化し続けている(IPCC 2014)。1880年から2012年までに平均気温が0.85°C上昇したのに対し、2040年から2050年までの10年間だけで平均気温が1.5°C上昇すると予想している研究がある(IPCC 2018)。このペースで気候変動が進めば、水害リスクの上昇、熱波や旱魃の被害拡大、生物多様性の損失など、環境問題の深刻化は避けられない(Cardinale et al. 2012; Hirabayashi et al. 2013; Trenberth et al. 2014)。

気候変動問題の被害を最小化するためには、ある程度の水準を超える数の個人が環境配慮的になる必要がある。多数の個人が環境配慮的になれば、環境負荷が少ない行動を選択するとともに、政府や市場に対し、より向環境的な政策やサービスを求める圧力が十分な大きさになる。環境保全に対する市民・消費者の需要が急速に高まれば、政府や企業はそれに応える政策やサービスを提供するようになる。結果として、社会全体の環境ダメージは最小化され、気候変動を始めとする環境問題の解決に繋がる可能性が高い。

個人を環境配慮的にする要因の研究は枚挙にいとまがないが、市民を即時的かつ半永続的に向環境的にする具体的な方法は見つかっていない。これまで、個人の電気消費量やCO₂削減目標値、自らのCO₂排出量の提示により、個人がある程度環境配慮的になることが分かっている(Ferraro and Price 2013; Delmas and Lessem 2014; Yamashita et al. 2021)。ただし、それらの効果は限定的であり、それらだけでは即時的に個人の価値観や行動を大きく変えるには至らない。気候変動問題が喫緊の課題である以上、価値観や行動の変化をより強く促す要因・アプローチの探求も必要となる。

仮説的ではあるが、人々を環境配慮的にする一つの施策として、社会的同調の積極的な活用が考えられる。個人の環境意識・行動を大きく変えた一例として、スウェーデンの環境活動家グreta・トゥーンベリ氏の活躍が目覚ましい。国連での彼女のスピーチを受けて、毎週のようにスクールストライキが実施され、2019年は100万人以上の学生が参加する複数都市でのプロテストが起こった。カリスマ的な環境活動家のアクションが社会に伝播し、環境配慮的な価値観や思想を持つ人々が増えた好例である。政策的インプリケーションとしては、政府が環境活動家を支援し、社会的に周知させることで、こういった伝播が世界的に広がる可能性がある。

社会的伝播にはポジティブな伝播だけでなく、ニュートラルやネガティブな伝播(反発)も有り得るため、伝播メカニズムの研究は不確実性と複雑性を伴う。例えば、グreta・トゥーンベリ氏に感化され向環境的になった人々が増えた一方、「反グreta派」と呼ばれる社会集団が一定数生まれている。例えば、「グreta」と検索すると、彼女を支持する声と同じか、もしくは、それ以上に彼女の活動を揶揄するような発言が散見される。このように、グreta氏の活躍は社会的同調とともに社会的な反発も引き起こした。また、彼女の活動に一切の関心がない社会層も存在する。個々人によってグreta・トゥーンベリ氏の影響が大きく異なっており、伝播には異質性があることが分かる。そのメカニズムの分析には複雑性、不確実性を伴うのは間違いない。

上記のような複雑性、不確実性を伴う個人の相互作用を分析する手法の一つとして、Agent Based Model(以下、ABM)が挙げられる。ABMは、一般的に、ある意思決定主体(エー

エージェント)と周囲環境の相互作用を観察するモデルを指す(Bandini et al. 2009)。したがって ABM の構成要素として、意思決定主体(エージェント)、環境条件、意思決定のルール(リンク)の3つが必須要素となる。エージェントとは、あるアクションを実施し、周囲環境に特定の影響を与える人や物のことである。各エージェントに、年齢や性別といった特定の性格を付与することで、エージェントの多様性を表現できる。つづいて環境条件とは、エージェントを取り囲む空間的条件や空間そのものを指す。例えば、気候や生息地といったものがそれにあたる。最後に、リンクとはエージェント同士、あるいはエージェントと環境条件の相互作用を説明するルールのことである。例えば、「外気温が 35°C 以上になるとエージェント A はアイスを購入する」といった具合である。ABM ではこれら3つの要素にランダム性を持たせることで、システムにおける不確実性を表現することが可能であり、その自由度の高さから、様々な分野で応用されている(Howard 1997; Wakeland et al. 2004; Tan et al. 2015; Rai and Robinson 2015)。

ABM の強みは、個々の相互作用を観察しながら、あるシステム全体で生じる創発を仮説的に分析できる点にある。創発とは、個々の性質の単純な総和では説明できない、システムが全体として持つ特性のことである(Epstein 1999)。例えば、人間の脳機能は創発性を持つ。各細胞は単なる物質に過ぎないが、それらが相互作用を繰り返すことによって、感情などの認知機能を生み出すことができる。こういった創発性は社会全体で散見されるものの、その特性上、いつ、どこで、どのような経緯で発生するのかを予測することが極めて難しい。しかし、ABM を活用すれば、あるシステムにおいて一定の創発が起こるかどうかがチェックできる。したがって、各エージェントや環境条件のパラメータを変動させながらシミュレーションをすることで、どのような条件が変動した場合に、システム全体として創発が発生するのかという問いに答えられるのである(Wilensky and Resnick 1999)。

本論文では、先述した同調・反発メカニズムに関する ABM を通じ、環境配慮的な価値観・ふるまいが社会に浸透する条件やスピードについて考察する。具体的には、(1)周囲の人々の環境配慮意識・行動に影響を受けて、自分の意識・行動を多数派に合わせる場合のシミュレーション、(2)周囲の人々の環境配慮意識・行動の割合をベースにして、確率的に自分の意識・行動を決める場合のシミュレーションを実施し、(3)介入の方向性を示す。その上で、モデルの拡張、より現実的な個人の意思決定メカニズムのモデルへの反映、実際の政治・社会の意思決定システムを踏まえた介入方法の検討、気候変動問題解決の具体的な方法提示のためのディスカッションを豊富に与える。

2. 研究方法

本研究では、NetLogo(Ver.6.2.0)を用いたセル・オートマトン・モデルを作成し、人々の行動をより環境配慮的なものへ変化させる要因の影響を分析した。シミュレーションの概要については以下の通りである。

まず、NetLogo(Wilensky 1999)とは、ABM を実施するためのフリーソフトウェアであり、生物学や生態学、社会学や経済学分野で広く利用されている。各個体(エージェント)の、ミクロなふるまいと、各エージェントのふるまいがもたらす環境全体へのマクロな影響の間の

相互関係をモデリングすることが可能である。特に、セル・オートマトン・モデルは ABM の形態の 1 つで、格子状のセルが一定のルールに基づき、周囲のセルと相互作用するモデルのことである。モデルの設計が簡便であることに加え、各エージェントと周囲のエージェントの相互作用を観察しやすいことがこのモデルフレームワークの特徴である。

本研究で実施したシミュレーションでは、729 個のエージェントを用いた。全 729 エージェントは 27×27 のグリッドに収まっており、それぞれ周囲 8 マスの他のエージェントから影響を受けている(図 1)。

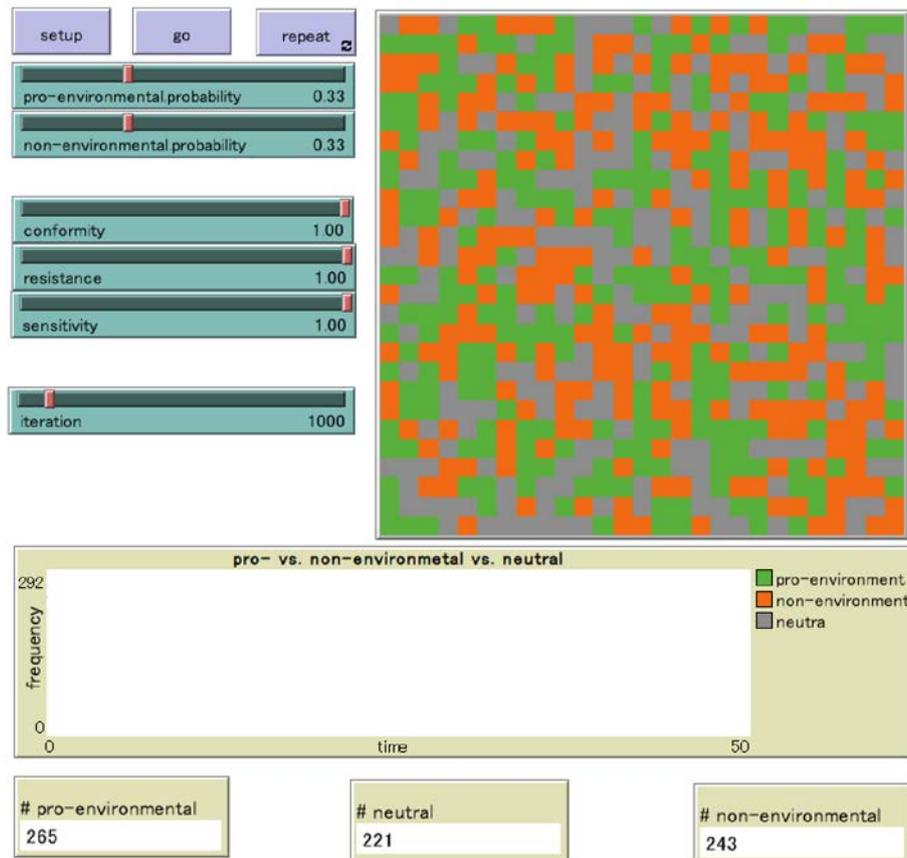


図 1 NetLogo の実施画面：例

エージェントの意思決定は 3 種類あり、それぞれ「環境配慮的」「中立的」「非環境配慮的」である。各エージェントは、意思決定メカニズムに応じて、毎回自らの意思決定を更新し、結果として、環境全体の均衡点へと向かっていく。

各エージェントの意思決定メカニズムは以下の通りである。本研究では表 1 のように、2×2 の設定を用い、シミュレーション(1)・(2)・(3)を実施した。なお、単純化のため、環境配慮的・中立的・非環境配慮的のいずれも、意思決定のコストや便益に差はないものとし、モデリングから除外した。本モデルでは周囲の意思決定に依存し、周囲への同調を通じた意思決定をおこなうよう設計した。また、繰り返し回数は 500 回とした。

表1 シミュレーションの設定

		エージェントの意思決定	
		多数決ルール	確率ルール
初期配置	ランダム配置	シミュレーション(1)	シミュレーション(2)
	均等配置	—	シミュレーション(3)

まず、シミュレーション(1)では、初期条件として、各エージェントを1:1:1の比率でランダムに配置した(ランダム配置)。また、エージェントの意思決定ルールとして多数決ルールを採用した。多数決ルールの概要は以下の通りである。このルールでは、自らと自らの周囲8マスの合計9マスの意思決定を観察し、次回の自らの意思決定を決める。

各エージェントは、以下のような3つのダミー変数を持つ。

$$\begin{aligned}
 &pro - enviornmental. dummy = \{0, 1\} \\
 &neutral. dummy = \{0, 1\} \\
 &non - enviornmental. dummy = \{0, 1\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、*pro - enviornmental. dummy*はエージェントが環境配慮的なときに1をとり、それ以外の場合には0をとる。*neutral. dummy*はエージェントが中立的なときに1をとり、それ以外の場合には0をとる。*non - enviornmental. dummy*はエージェントが非環境配慮的なときに1、それ以外の場合には0をとる。各エージェントは、自らと周囲8マスの意思決定を観察し、以下の式(2)に従って3種類の比率(*pro - environmental. ratio*; *neutral. ratio*; *non - environmental. ratio*)を計算する。

$$\begin{aligned}
 &pro - environmental. ratio \\
 &= \frac{1}{9} \left(pro - environmental. dummy \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^8 pro - environmental. dummy_i \right) \\
 &neutral. ratio = \frac{1}{9} \left(neutral. dummy + \sum_{i=1}^8 neutral. dummy_i \right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 &non - environmental. ratio \\
 &= \frac{1}{9} \left(non - environmental. dummy \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^8 non - environmental. dummy_i \right)
 \end{aligned}$$

各エージェントは、計算した各比率に基づき、自らと周囲 8 マスの中で多数派を占める意思決定に同調し、次の時点で同調した意思決定を下す。ただし、自らの意思決定と同数の他の意思決定がある場合、自らの意思決定を優先する。また、他の 2 つの意思決定が同数で多数派を形成していた場合、50%の確率でランダムにどちらかの意思決定に同調するようにした。

次に、シミュレーション(2)では、初期条件として、各エージェントを 1 : 1 : 1 の比率でランダムに配置した(ランダム配置)。また、エージェントの意思決定ルールとして確率ルールを採用した。確率ルールの概要は以下の通りである。まず、各エージェントは式(1)と式(2)により 3 つの比率を計算する。その後、計算した比率に従って確率的に、次の意思決定をおこなう。したがって、自らと周囲 8 マスの意思決定において多数派を形成する意思決定が選ばれやすくなるが、9 マスのすべてで同じ意思決定がなされていない限り、その確率は 100%にはならない。この点において、多数決ルールと確率ルールの意思決定方法は決定的に異なる。

最後に、シミュレーション(3)では、初期条件として、各エージェントを 1 : 1 : 1 の比率で均等に配置した(図 2)。エージェントの意思決定ルールとして確率ルールを採用した。恣意的に均等に初期条件を与えた場合に、確率的に意思決定をおこなう個人は最終的にどのような帰結を与えることになるかを観察するためである。図 2~図 4 ならびに表 2 には、これらのシミュレーションの概要を示す。

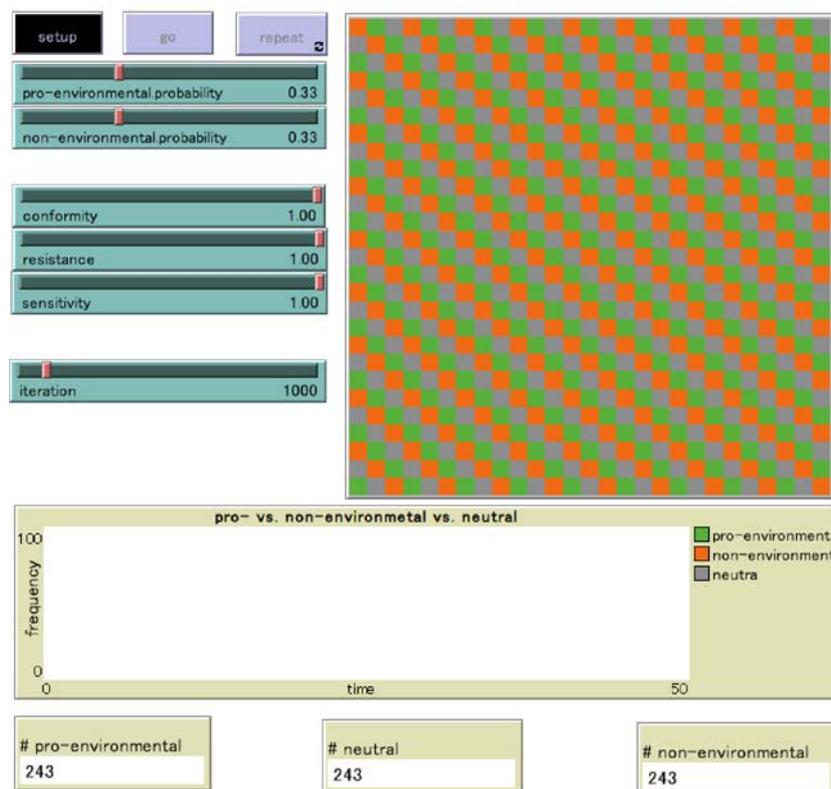


図 2 シミュレーション(3)における均等配置

表2 エージェントの比率：初期条件

設定	環境配慮的 エージェント	中立的 エージェント	非環境配慮的 エージェント	合計
(1)	258	227	244	729
(2)	239	245	245	729
(3)	243	243	243	729

註：各エージェントの比率は一定に設定しているが、乱数によりエージェントを割り振るため、誤差が生じる。

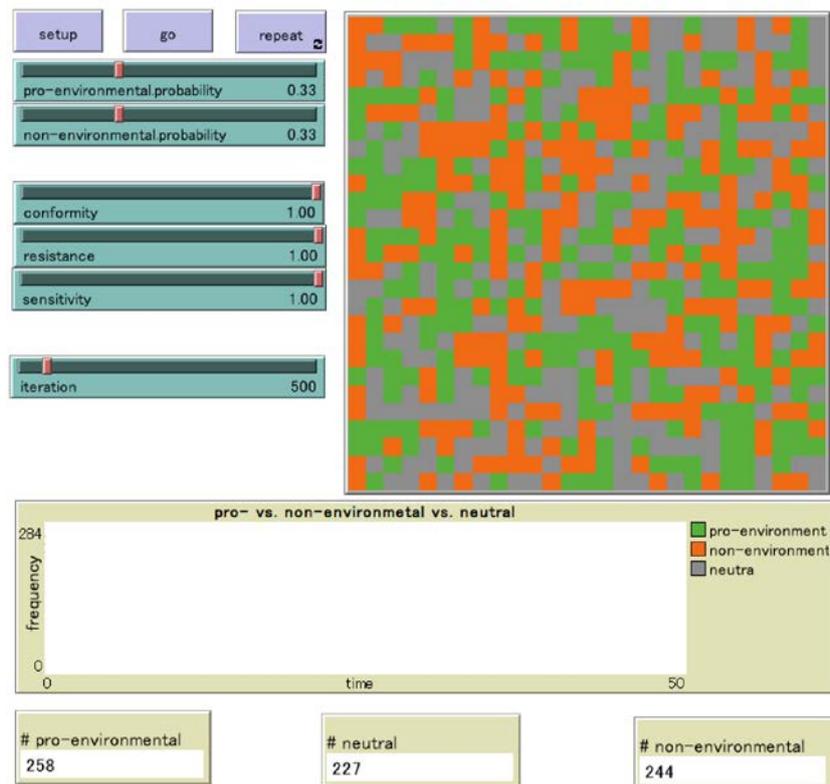


図3 NetLogoの実施画面：シミュレーション(1)

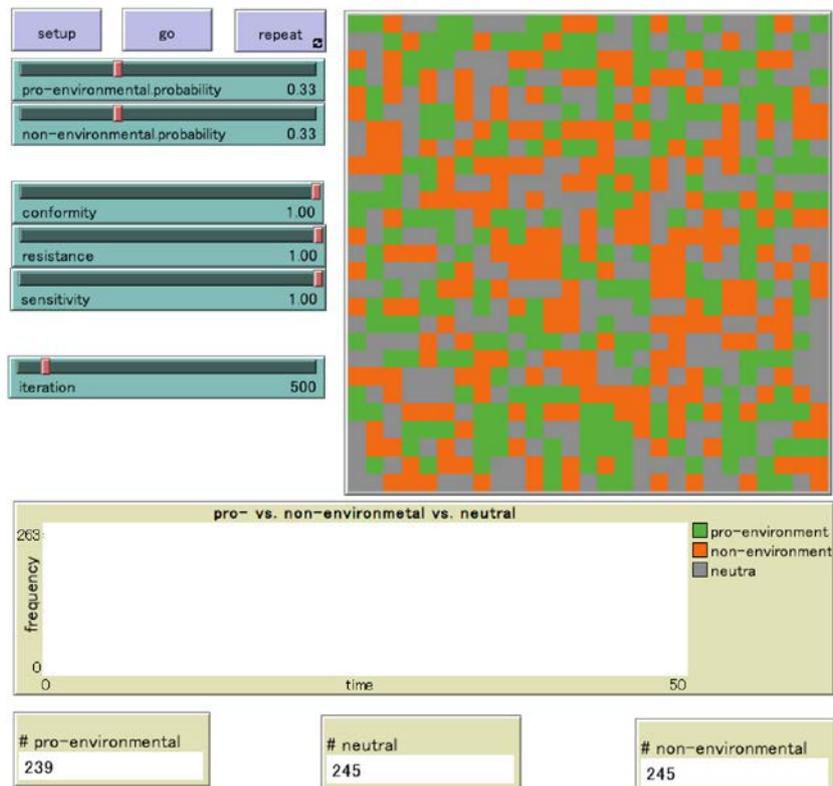


図 4 NetLogo の実施画面：シミュレーション(2)

3. 結果

NetLogo によるシミュレーション結果を以下の表 3 ならびに図 5～図 7 に示す。シミュレーション(1)では、初期条件と比較して、環境配慮的エージェントの数は 3% の増加となった。また、中立的エージェントの数は 12% 減少し、非環境配慮的エージェントの数は 11% 増加した。また、各エージェントの分布を確認すると、初期条件では各エージェントが全体にばらばらに散らばっていたのに対し、シミュレーション実施後にはそれぞれのエージェントが集積し、大きなグループを形成しているのが分かる。非環境配慮的エージェントが最大の集積を示し、環境配慮的エージェントと中立的エージェントの集積も確認される。

次に、シミュレーション(2)では、初期条件と比較して、環境配慮的エージェントの数は 34% の増加であった。また、中立的エージェントの数は 22% の減少、非環境配慮的エージェントは 11% の減少となった。各エージェントの分布については、シミュレーション実施後には各エージェントの緩やかな集積が確認できるものの、シミュレーション(1)と比較してその集積の程度は強くなく、比較的散らばっている様子が確認される。

シミュレーション(3)では、環境配慮的エージェントの数が 4% 増加した。また、中立的エージェントの数は 8% 増加し、非環境配慮的エージェントの数は 11% 減少した。各エージェントの分布は、シミュレーション(2)の結果と酷似しており、多くのエージェントが中立的エージェントとなった。初期条件と比較して、環境配慮的エージェント数は 16% の減少となり、中立的エージェントの数は 40% 増加、非環境配慮的エージェントの数は 24% 減少した。各エージェントの分布も、シミュレーション(1)の結果と同様の分布となった。

表3 シミュレーションの結果

設定	環境配慮的 エージェント	中立的 エージェント	非環境配慮的 エージェント	合計
(1)	262(36%)	156(21%)	311(43%)	729
(2)	487(67%)	83(11%)	159(22%)	729
(3)	272(37%)	297(41%)	160(22%)	729

註：カッコ内は合計に対する比率を表している。

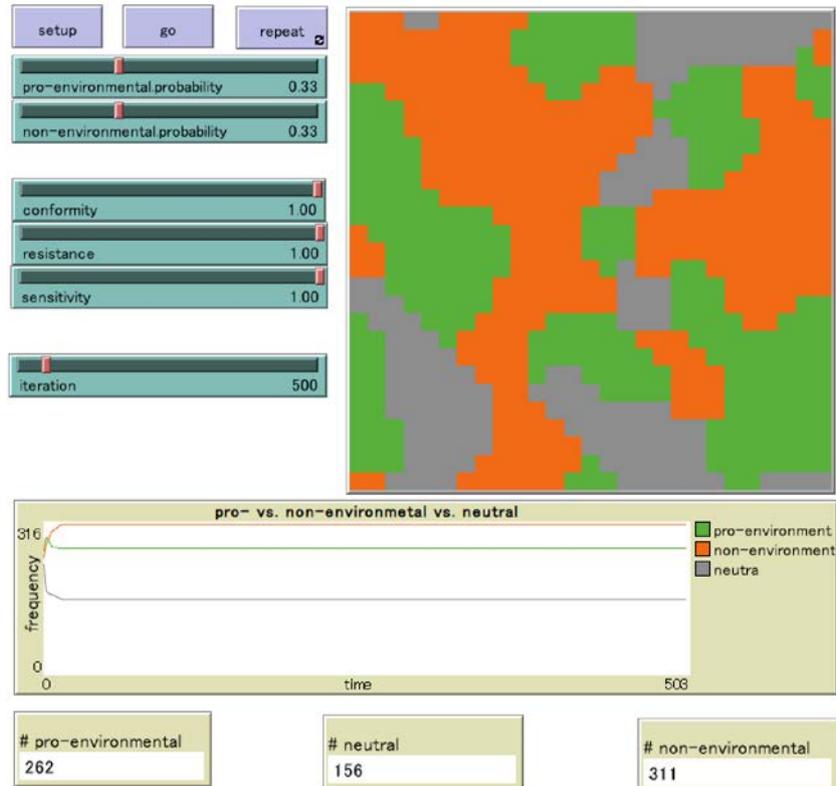


図5 NetLogoによるシミュレーション結果：シミュレーション(1)

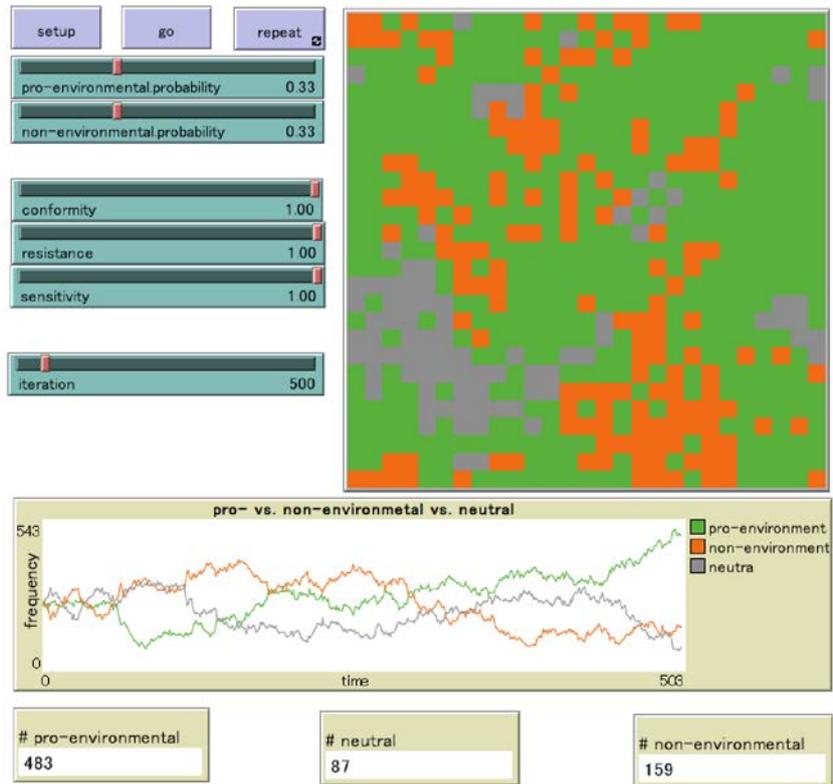


図 6 NetLogo によるシミュレーション結果 : シミュレーション(2)

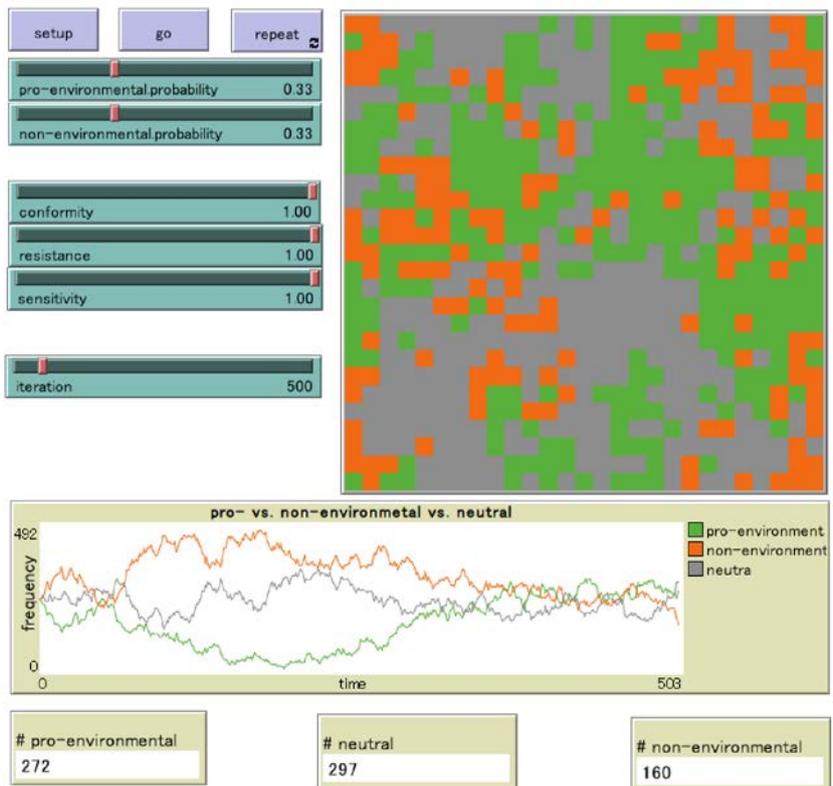


図 7 NetLogo によるシミュレーション結果 : シミュレーション(3)

ここからは、得られたシミュレーション結果を解釈していく。まず、シミュレーション(1)と(2)を比較する。環境配慮的エージェントの最終的な数はシミュレーション(2)の方が大きく、中立的エージェントと非環境配慮的エージェントの最終的な数はシミュレーション(2)の方が少ない。さらに、各エージェントの分布は大きく異なっており、シミュレーション(1)では3エージェント共に強く集積しているが、シミュレーション(2)では比較的分散している。

この比較から、エージェントの意思決定ルールが周囲の多数派に従うと、各エージェントの分布がより強く集積するようになると示唆される。シミュレーションの結果、高い環境配慮意識・行動を持つグループ、低い環境配慮意識・行動を持つグループ、中立的なグループの3つが形成され、安定した。

また、シミュレーション(1)では、環境配慮的エージェントの増加が促進されるものの、同時に非環境配慮的エージェントの増加も促進されることが示唆された。環境配慮的エージェントの増加と非環境配慮的エージェントの増加が同時に発生すると、環境配慮的な人々の行動が非環境配慮的な人々の行動により相殺され、効率的に人々の行動変化を促すことができているとは考えにくい。

最後に、シミュレーション(2)と(3)を比較すると、環境配慮的エージェントの最終的な数はシミュレーション(2)の方が多く、中立的エージェントの数はシミュレーション(3)の方が多い。また、非環境配慮的エージェントの数は変化がなかった。

この比較から、人々の初期配置を変化させると、結果として、人々の環境配慮度の変化の仕方が変わることが示唆された。人々がランダムに配置され、周囲のエージェントと相互作用するシミュレーション(2)では、シミュレーション(3)と比較して非環境配慮エージェントの増加が促進された。この結果から、環境教育のような、初期条件の変更に寄与する施策が重要となる可能性が示唆される。

4. ディスカッション

本節では、文字通りディスカッションペーパーとして、できるだけ大きな視点で広範囲に今後の課題や展望を議論しておきたい。前節のシミュレーションの結果、暫定的に以下の4点が導出された。

- (1) 自分の意識・行動を多数派に合わせる場合、社会における人々の環境配慮意識・行動の初期値に依存して、高い環境配慮意識・行動を持つグループ、低い環境配慮意識・行動を持つグループ、中立的なグループの3つに収束する。
- (2) 周囲の人々の環境配慮意識・行動の割合をベースにして、確率的に自分の意識・行動を決める場合、高い環境配慮意識・行動を持つグループ、低い環境配慮意識・行動を持つグループ、中立的なグループの3つのうちのどれかが支配的になる可能性がある。
- (3) おそらく、現実は上記(1)と(2)の中間、あるいは、(1)(2)のプロセスの途上にある。もし、(1)の状況にあるならば、高い環境配慮意識・行動を持つ地域社会と低い環境配慮意識・行動を持つ社会と中立的な社会が固定的に混在することになり、地球環境問題の解

決にはならないだろう。もし、(2)の状況にあるならば、現状を初期値と考えると、高い環境配慮意識・行動を持つ人々が世界全体で支配的になる確率は極めて低いだろう。

- (4) したがって、2つの介入ルートが考えられる。ひとつは、初期条件として、高い環境配慮意識・行動を持つ人々の数を増やす施策が必要となる。もうひとつは、人々が環境配慮的な意識・行動を選択する確率を高める施策が必要となる。

これらの帰結は環境政策において一定の示唆を与えるが、気候変動問題に対して、社会全体が適応(adaptation)ではなく、十分に地球温暖化ガス(主に二酸化炭素)排出低減(mitigation)に取り組むためのメカニズムを解明するまでには至っていない。問題解決までには、まだ相当距離が残っていると言わざるを得ない。もちろん、問題解決に向けたモデルの改変・拡張がかなり残されていることは言うまでもない。個人が十分な量の地球温暖化ガス排出削減を行い、個々人のそうした活動が社会的に連鎖し、結果的に社会全体の好循環サイクルに入っていくメカニズムを解明し、その作用を引き起こすための具体的な施策の提言までやらなければならない。これができなければ、いくら科学的モデルを用いたシミュレーション結果を作成しても、現実にもそこにある気候変動問題の解決にはつながらない。喫緊の地球環境問題に挑戦する以上、具体的な解決案までいくことが必要である。そうでなければ、机上の空論を展開する自己満足で終わってしまう。以下、すぐに取り組んでいかなければならない研究課題と展望をいくつかの項目ごとに議論する。

4.1. 環境配慮行動への同調と反発

個人の行動は、個人ごとの独立的な意思決定メカニズムだけで決まるわけではない。前節のシミュレーション・モデルの主題のように、個人の環境配慮意識・行動は、その個人が周囲の人々の意識・行動をどのように認知するかによって影響を受ける。しかし、周囲の人々の環境配慮意識が高いからといって、必ずしも個人の環境意識が高くなるとは限らないし、周囲の人々が環境配慮行動を取っているからといって、個人が環境配慮行動を取るようになるとも限らない。周囲の人々の環境配慮意識や環境配慮行動の水準が高いからこそ、個人が同調する場合もあれば、反発する場合もあり得る。社会心理学で議論される同調や社会的影響の議論を持ち出すまでもなく(Jhangani and Tarry 2014; Smith et al. 2015)、個人は周囲の人々から影響を受けるのが普通である。だが、影響の仕方は反発から同調まで幅広く存在すると考えられる。

そうだとすれば、周囲の環境配慮意識・行動が高い場合の個人の同調メカニズムと反発メカニズム、周囲の環境配慮意識・行動が低い場合の個人の同調メカニズムと反発メカニズムを明確化することが必要である(表4)。単純に心的な意識や価値観や心理的なコストだけに依存するわけではなく、同調したり反発したりするときの社会的・経済的なコスト要因からも影響を受けるだろう。これらの作用をモデルに取り込むことが必要である。その際、環境心理学や環境社会学などの他の分野の実証研究の成果を取り込む必要があり、学際的研究の実施が不可避となるだろう。

表 4 周囲の環境配慮意識・行動への同調と反発

周囲の環境配慮意識・行動	同調	どちらでもない グレーゾーン	反発
高い場合	a	b	c
低い場合	d	e	f

表 4 において、周囲の環境配慮意識・行動が高い場合(表 4 の a,b,c)と低い場合(表 4 の d,e,f)を区別していることにも留意しておきたい。単純に何かに対する同調と反発を考えると、その対象の種類が異なれば、同調や反発の起きやすさは変わる可能性がある。これに加えて、同調も反発も起きないグレーゾーンも考慮する必要がある。グレーゾーンの幅の大きさは、周囲の環境配慮意識・行動が高い場合(表 4 の b)と低い場合(表 4 の e)で異なる可能性もある。人々の意識・行動の変化の方向によっても、グレーゾーンの幅の大きさは変わるだろう。

4.2. 個人の感応度と個人の混在度

さらに、周囲の環境配慮意識・行動の高さの感応度も考慮する必要がある。換言すれば、表 4 の表側では単純に高い場合と低い場合を分けているが、実際には、個人が認知している周囲の人々の何%がどの程度の環境配慮意識・行動を持っているかを考慮し、その複雑な状況に対して個人が同調～反発を選択するモデルを構築しなければならないということである。

単純に、周囲の人々の環境配慮意識・行動の水準の高さを一つの数値で代表させることはできないかもしれない。たとえば、セル・オートマトン・モデルにおいて、周囲 8 人全員が中程度の環境配慮意識・行動を持つ場合と、4 人が高い環境配慮意識・行動を示し、他の 4 人が低い環境配慮意識・行動を示す場合は、平均すれば同じ状況であると言ってよいだろうか。これらは区別する必要があるであろう。少なくとも現実の個人はこれらを同じ状況だとは考えないだろう。前節のシミュレーションの 1 つ目では、多数派に従う意思決定を下すことが想定されている。この場合、多数派の数が 4 でも 5 でも 6 でも 7 でも区別されない。しかし、現実的には、多数派がどれぐらいの割合を形成しているのかは意思決定に影響を与えるはずである。

いずれにしても、どのような個人がどのように混在するかを区別し、異なる混在状況における相互作用をモデルに取り込む必要がある。それらの違いがどのような帰結の違いを生むのかを観察する必要がある。

4.3. 同調(反発)が起こりやすい対象と起こりにくい対象

個人が周囲の人々の環境配慮意識・行動に対して同調(反発)することを考えるとき、そもそも同調(反発)しやすい対象や同調(反発)しにくい対象があるだろう。一般的に、正解が存在し得る認知的判断では同調が起きやすいが、正解が存在しない審美的判断では同調が起きにくいと言われる(シャイン 2014)。一般的に、環境配慮意識・行動はどちらに該当するのだろうか。

気候変動問題への対処の文脈で、人々はさまざまな具体的な行動を通じて、二酸化炭素やメタンなどの地球温暖化ガス排出を削減しなければならない。その際の個別具体的な行動は、正解のある認知的判断に基づいてなされるのだろうか、それとも、正解のない審美的判断に基づいてなされるのだろうか。

むしろ、高い環境配慮意識・行動を同調させるためには、個々人に正解のある認知的判断を促す必要があるという逆転の発想が必要になるかもしれない。逆に、低い環境配慮意識・行動を同調させないためには、個々人に正解のない審美的判断を促す必要があるかもしれない。個人に環境配慮行動を促すために、どのような情報やインセンティブを与えるかという問いと関係する(Yamashita et al. 2021)。なぜなら、与える情報やインセンティブの種類によって、個人が正解のある認知的判断を下すか、正解のない審美的判断を下すかが決まるかもしれないためである。個人の環境配慮行動を促す仕組みとして、環境経済学の教科書的なアプローチとして課税・補助金や排出権取引などの経済的(金銭的)インセンティブを与える方法がある(Hanley et al. 2019)。他方、非金銭的介入として、個人やグループのエネルギー利用料の情報を与える仕組み、強いメッセージの発出、ゴールの設定、コミットメントの4つがある(Andor and Fels 2018)。個人の判断メカニズムの違いを通じて、これらの効果はかなり異なってくることが予想される。

4.4. 同調(反発)の起きやすさは社会や文化によって変わるか

気候変動問題は地球環境問題である(総合地球環境学研究所 2010)。地球環境問題である以上、たとえ問題解決の取組みがローカルで行われるとしても、世界中のさまざまな国、社会、文化において問題解決の取組みが同時的に行われなければならない。このとき、どの社会でもどの文化においても、まったく同じ方法や同じメカニズムに立脚して、問題解決に取り組めばよいのだろうか。

同調や反発の起きやすさは、社会や文化が持つ集団主義や個人主義の程度の影響を受けるだろう。文化や主義の程度は不変的なものではなく、社会制度の影響を受けて決まっている可能性もある。たとえば、日本のように、個人が組織に長期的にコミットするシステムを持つ社会では、あたかも集団主義を持っているかのように集団への同調傾向が強くなる可能性が高い(中根 2009)。

さらに、同調(反発)が起きる前の環境配慮意識・行動の高さの初期値が、社会や文化によって異なるだろう。投稿論文の査読プロセスで、査読者から、一般的に日本は前提となる環境配慮意識が高いのではないかという指摘を受けたことがある。現時点では、ドイツなどのヨーロッパ諸国の環境配慮意識・行動の方が高いのではないかと筆者らは考えており、この点については未だ明確な答えはない。しかし、初期値としての環境配慮意識・行動の高さは地域によって異なっているのは間違いない。そして、初期値の高さの違いは、同調(反発)の起きやすさに影響を与える可能性が高い。複数均衡が考えられるシステムでは、初期値に依存して均衡への経路が決まることが多い(Arthur 1994)。高い環境配慮意識・行動に対する同調と反発のミックスのパターンについて複数均衡が考えられるため、シミュレーション・モデルで考察するとき、社会・文化の違いを考慮に入れる必要があるだろう。

4.5. 生産者の考慮

前節のシミュレーション・モデルでは、消費者側の個人の環境配慮意識・行動に焦点を当てている。これは、消費側・需要側しか考慮していないモデルとなっている。消費者側の環境配慮意識・行動が変化したとしても、消費者側が生産物を選択(生産物の選択を通じて、生産プロセスを選択)できなければ、何も変わらない。したがって、市場における環境意識の変化とその影響を観察するためには、需要側だけではなく、供給側のエージェント、つまり、環境配慮型と非環境配慮型の生産者が存在しなければならない。そのうえで、消費者の選択と生産者間の競争との間で相互作用が起きることになる。

したがって、シミュレーション・モデルの中に、主要なプレイヤーとして生産者を取り込む必要がある。上記の通り、消費者の環境配慮意識・行動の変化と生産者の選択との間の相互作用をシミュレーションすることになる。これに加えて、生産者側の条件の変化から消費者側が影響を受けるケースを考慮することも必要になるだろう。たとえば、環境配慮型の生産者と非環境配慮型の生産者の環境配慮度の差が小さければ、消費者の環境配慮意識・行動への変化があまり進まないかもしれない。しかし、環境配慮型の生産者が環境イノベーションを成功させるなどして、それらの差が大きくなれば、消費者の周囲の環境配慮意識・行動により敏感になり、同調しやすくなることが考えられる。この種の相互作用をモデルに取り込み、より現実的で深いインプリケーションを得ることが必要だろう。

4.6. 人口集中の都市圏 対 人口過疎の農村圏

前節のシミュレーション・モデルにおいて、各個人は全く同一の状況に直面しているわけではなかった。セル・オートマトン・モデルの外郭は正方形であるが、周辺部のセルについては周囲のセル数が8より少なくなっている。たとえば、図8のように、正方形の角のセルの周囲のセル数は3である。したがって、シミュレーションを実施するとき、周辺部のセルに位置する個人は、そうでない個人(周囲セル数は8)とは、周囲の人からの影響の仕方が大きく異なる。

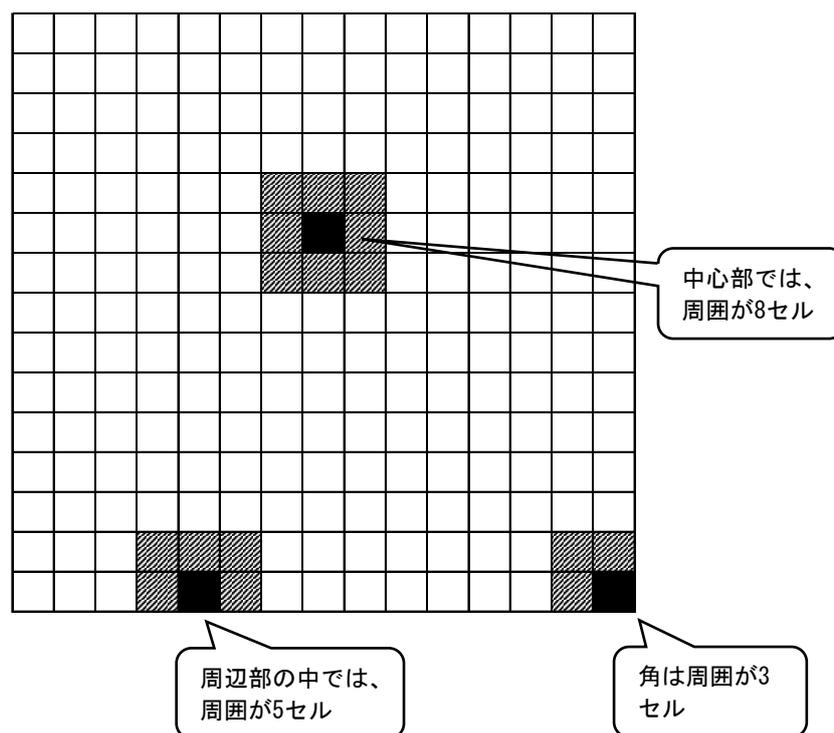


図8 周囲の人数：中心部と周辺部の比較(例)

この違いは、現実的な文脈として、人口集中の都市圏と人口過疎の農村圏に対応すると捉えている。都市人口の増加傾向は止まらず、2050年には世界人口93億人のうち63億人が都市に居住すると予想されている(UNDESA 2015)。モデル内でも中心部に位置する人の方が多くなっており、ある程度、モデルは現実の状況を反映していると考えることができる。

このとき、中心部に位置する個人と縁辺部に位置する個人では、個人間の相互作用の仕方に決定的な違いはあるのだろうか。本質的な違いがあるとすれば、個人の環境配慮意識・行動を促進するために働きかける個人の選定や場所の選定が重要になるということになる。今回のモデルに、この違いは含まれているが、この違いに焦点を当てたシミュレーション分析はできていない。

さらに、大都市圏と小都市圏の違いを考察することも必要である。たとえば、セル・オートマトン・モデルの外郭を形成する正方形のサイズを変えて、異なるサイズの正方形をつくって、同じ条件で同時にシミュレーションを行えば、異なる規模の都市圏間の本質的な違いを分析することが可能になる。全体のセル数が異なると、どういう違いが生まれるかは重要な論点の一つである。なぜならば、実際に、都市規模はメガ都市の1,000万人超まで幅広いためである。都市規模の違いは無視できない。加えて、IPATモデルを持ち出すまでもなく(Ehrlich and Holdren 1971; Daily and Ehrlich 1992)、地球環境問題において総人口は重要な要因である(Ehrlich and Ehrlich 1990)。総人口が大きくなる時、個人の環境配慮行動を促進するための時間コストはどう変化するか、そのボトルネックはどこか、効率的に促進するためのツボはどこにあるかを問わなければ有効な施策をつくることはできないだろう。

4.7. 個人の将来リスク認知

個人は、単純に周囲の人々の環境配慮意識・行動によって、自身の環境配慮意識・行動を変更するわけではない。変更に伴う心理的・社会的・経済的な便益やコストが複雑に関係する。直接的に、気候変動や環境悪化からコストが発生する場合もあり、そのコストに直面して意識や行動が変化することもある。また、コストが現実化する前に、個々人は主観的に将来に発生するコスト、すなわち、将来リスクを評価して、意識や行動の変化を考慮することになる。

しかし、個々人には必要な情報が与えられていないことがほとんどで、客観的に評価できるケースはかなり少ないと考えられる。そうだとすれば、個々人は現実には発生しているコストから連続的に将来リスクを評価するのが普通だろう。言い換えるならば、気候変動によって大きな台風に見舞われる頻度や被害規模が大きくなっていく様子を認知して、ようやく将来リスクを高く評価するようになるということである。

そうだとすれば、環境被害コストが早く認知できるものとなかなか認知されないものの中で、個人の環境配慮意識・行動の変化度合いや変化速度が違ってくることになる。気候変動問題でも、水害、健康被害、感染症の蔓延、旱魃、山火事、農産物の栽培不良など、具体的な被害はさまざまであり、認知するケースの違いによって個々人の将来リスク評価には違いが出てくる。この点を考慮に入れたモデルの拡張も課題の一つであろう。

4.8. どのくらい個人が環境配慮行動をとればよいか

ここまで、どちらかといえば、個人が環境配慮行動を取るメカニズムに関する議論を中心としてきた。しかし、究極のゴールはあくまでも気候変動問題の解決でなければならない。シミュレーション分析を通じて、どのぐらいの個人が環境配慮行動を取れば、気候変動問題が解決へ向かうのかに答える必要がある。

必要な排出削減量はモデルの外で与えられることになるだろうが(たとえば、パリ協定で決められた目標水準)、個々人の意識・行動の変容メカニズムと個人間の相互作用を考慮したうえで、どれぐらいの人が環境配慮行動を取るようになれば、目標を達成できるか(あるいは、自律的に目標達成へ収束していくか)を議論する必要がある。この背後には、個人単位の行動変化のインパクトを評価しておきたいということがある。というのは、個人単位の行動変化にどれぐらい期待できるか、組織単位の変化に期待せざるを得ないのか、あるいは、中央政府の半ば強制的な施策でなければ、環境負荷を大きく低減することはできないのかを問いたいためである。ある程度の個人単位の行動変化を前提としなければ、組織・政府単位の施策が有効にならないのではないかと。

仮説であるが、実際の施策は複層的にならざるを得ないのではないかと考えている。まず、政府は、個人単位の行動変化と個人間の正の相互作用を促す仕組みをつくり、ある程度の数の個人の意識・行動を変化させておく必要がある。そのうえで、組織単位、政府単位の社会的・経済的施策を行えば、十分に施策の効果が出てくるのではないかと。その際、ある程度、個人の意識・行動が変化していれば、たとえコストが高いとしても、民主主義下で環境配慮的政策を受け入れることができるだろう。この種のことを考察できるシミュレーショ

ン・モデルに拡張しなければならない。現実的な問題解決のプロセスを考え出すことはできないだろう。

4.9. 個人の自由選択 対 強制的説得 対 直接的規制

個人の環境配慮意識・行動を高めるシステムづくりが必要であるが、個人行動のベースとなる哲学を議論しておかなければならない。個人の自由選択を基礎とするか、力による強制的説得によって個人の意識や行動を変えるか(Schein 1997)、直接的に規制すること(法的規制)によって行動を変えるか。

価値観の視点では、何を選択するかという議論になる。この点で筆者たちは、あくまでも個人の自由選択を基礎に置きたい。個人の自由選択をベースとしながら、どのような情報やインセンティブを与えれば、より多くの個人が相互作用しながら、環境配慮意識・行動を高めるのかを研究したい。

他方、気候変動問題を十分に解決するのに必要なものは何かという視点では、強制的説得や直接的規制も考慮しなければならないかもしれない。何の制約もなく個人の自由を担保して、人類が危機に瀕するような気候変動問題を回避できないという状況を受け入れることはできないだろう。

個人の自由選択、強制的説得、直接的規制の間の選択、あるいは組み合わせは、相当大きな課題である。人類のサステナビリティや地球環境問題を考えるうえで、資本主義、市場経済、民主主義を再考することに等しいが、必要な問いである。

4.10. シミュレーション・モデルの現実社会への適用

本研究の背景には、個人が問題なのか、組織・政府が問題なのかという大きな問いがある(Yamashita et al. 2021)。本シミュレーション・モデルは、個人が問題であるという前提に立っているが、他方で個人とその周囲の人々との相互作用も重要視しており、単純に個人だけが問題だとは言っていない。しかし、あくまでも個人が意識・行動を変えなければ、気候変動問題を解決することはできないという視点に立っている。

シミュレーション・モデルは現実を見るための窓になっていなければならない。たとえば、このモデルは、現実に行き起きている人々の活動をどのように見ることができるか。グレッタ・トゥーンベリ氏による学校における気候変動問題ストライキ運動は、大企業・政府・国際機関の無策を批判する。それはそれで正しい主張だが、他方で個々人の先進国型ライフスタイルの抜本的な変更への覚悟を前提としているのだろうかという疑問もある。シミュレーション・モデルは気候変動ストライキ運動を否定するものではないが、大企業や政府を批判する前に個人の覚悟の重要性を照らし出すことになるかもしれない。

また、グレッタ・トゥーンベリ氏の運動は個人間で相互作用を引き起こし、世界的な広がりを見せており、グレッタ効果と呼ばれている(Nevett 2019)。この連鎖は本シミュレーション・モデルで考えているような相互作用メカニズムの一端である。他方、グレッタ・トゥーンベリ氏の運動に反発する動きもある(Winterbauer 2019)。本シミュレーション・モデル内で取り扱う同調と反発のメカニズムが、こうした現実で起きている状況を正しく捉えられるようにす

ることが重要だろう。シミュレーション分析を通じて、同調と反発を分ける本質を見極めることが重要な課題の一つである。

謝辞

本研究は、研究プロジェクト「個人的意思的決定と集団的意思決定でのフリーライド可能性の環境経済学的研究—：集団と個人のリスク認知の差異と反応分析」(研究者名：森宏一郎)により実施されているものであり、これは滋賀大学・経済経営研究所の助成を受けている(受付 No : 1901)。

引用文献

- Andor, M.A. and Fels, K.M. (2018). Behavioral Economics and Energy Conservation—A Systematic Review of Non-price Interventions and Their Causal Effects. *Ecological Economics*, 148, 178-210.
- Arthur, W.B. (1994). Increasing Returns and Path Dependence in the Economy. Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Bandini, S., Manzoni, S., and Vizzari, G. (2009). Agent based modeling and simulation: an informatics perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 4.
- Cardinale, B. J., Duffy, E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D., and Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Daily G.C. and Ehrlich P.R. (1992). Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity: A Framework for Estimating Population Sizes and Lifestyles That Could be Sustained Without Undermining Future Generations. *Bioscience*, 42(10), 761–71.
- Delmas, M. A. and Lessem, N. (2014). Saving power to conserve your reputation? The effectiveness of private versus public information. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(3), 353-370.
- Ehrlich, P.R. and Ehrlich, A.H. (1990). The Population Explosion. London, Hutchinson.
- Ehrlich, P.R. and Holdren, J.P. (1971). Impact of Population Growth. *Science*, 171, 1212-1217.
- Epstein, J.M., 1999. Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Ferraro, P. J. and Price, M. K. (2013). Using nonpecuniary strategies to influence behavior: evidence from a large-scale field experiment. *Review of Economics and Statistics*, 95(1), 64-73.
- Hanley, N., Shogren, J., and White, B. (2019). Introduction to Environmental Economics - Third Edition. Oxford, Oxford University Press.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., and Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816-821.
- Howard, K.R. (1997). Unjamming traffic with computers. *Scientific American*, 277(4), 86-88.
- IPCC. (2014). Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.*
- Jhangiani, R. and Tarry, H. (2014). Principles of Social Psychology - 1st International Edition. Victoria, B.C., BC Campus. Retrieved from <https://opentextbc.ca/socialpsychology/> (access on 28 February 2021).
- Nevett, J. (2019). The Greta Effect? Meet the Schoolgirl Climate Warriors. BBC News, 3 May 2019. available at: <https://www.bbc.com/news/world-48114220> (accessed on 25 February 2021).
- Parnesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Rai, V. and Robinson, S.A. (2015). Agent-based modeling of energy technology adoption: empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors. *Environmental Modelling & Software*, 70, 163-177.
- Schein, E.H. (1997). Organizational Learning as Cognitive Re-definition: Coercive Persuasion Revisited. The Society for Organizational Learning. available at: <https://www.continents.ventajas.com/Art19.htm> (accessed on 24 February 2021).
- Smith, E.R., Mackie, D.M., and Claypool, H.M. (2015). Social Psychology - Fourth Edition. New York, Taylor & Francis.
- Tan, R., Liu, Y., Zhou, K., Jiao, L. and Tang, W. (2015). A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 15-29.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., and Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2015). World Urbanization Prospects The 2014 Revision. New York, United Nations. (ST/ESA/SER.A/366).
- Wakeland, W.W., Gallaher, E.J., Macovsky, L.M. and Aktipis, C.A. (2004, January). A comparison of system dynamics and agent-based simulation applied to the study of cellular receptor dynamics. In System Sciences, 2004. Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on (pp. 10-pp). IEEE.
- Wilensky, U. (1999). Netlogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (access on 28 February 2021).
- Wilensky, U. and Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and technology*, 8(1), 3-19.
- Winterbauer, S. (2019). Greta Thunberg: PR Puppet or Climate Figurehead? meedia.de. available at: <https://www.thegwpf.com/greta-thunberg-pr-puppet-or-climate-figurehead/> (access on 25 February 2021).

Yamashita, H., Kyoi, S., and Mori, K. (2021). Does Information about Personal Emissions of Carbon Dioxide Improve Individual Environmental Friendliness? A Survey Experiment. *Sustainability*, 13, 2284.

総合地球環境学研究所. (2010). 『地球環境学事典』 立本成文, 日高敏隆(監修), 弘文堂.

シャイン・エドガー・H. (2014). 『問いかける技術—確かな人間関係と優れた組織をつくる』 金井壽宏(監修), 原賀真紀子(翻訳), 英治出版.

中根千枝. (2009). 『タテ社会の力学』 講談社学術文庫.