

社会認識を変えたマルチエージェント シミュレーション(MAS) —文系学生にもなぜMASを体験させる 必要があるのか—

山影 進

マルチエージェントシミュレーション(MAS)は複雑系や自己組織化などの近年注目されるようになった非線形現象を扱うのに強力な武器である。そのような現象は自然界にはもちろん、人間社会にも広く観察される。人間社会を扱う文系学問とMASが発達してきた理系学問との乖離が指摘されて久しいが、両者の架橋はますます重要になっている。本稿は、文系学問の立場から、理系学問を敬遠しがちな文科系学生にMASをわかりやすく教育する必要性(新しい教養教育)があることを指摘する。

キーワード：マルチエージェントシミュレーション, 社会シミュレーション, 複雑系, 自己組織化, 分層モデル, 二つの文化, 社会認識, L. F. リチャードソン, T. C. シェリング

1. 「二つの文化」再考

1.1 1959年の問題提起

半世紀以上も前の1959年、物理学者にして文筆家のC. P. スノーは、ケンブリッジ大学での伝統ある特別講義を「二つの文化」(The Two Cultures)という題で行い、大きな反響と論争を引き起こした。翌年には、この講義をもとにした単著が出版され、その後の増補版も含めて、日本語に訳出されている [1]。主旨は、理科系の文化と文科系の文化の間ではコミュニケーション(相互理解)不能に陥りつつあるという問題提起であるが、急速に進化しつつあった理科系の学問に対する無知・無教養が強調されており、文科系を学ぶ者に分の悪い評価がなされている。

文系と理系の違いは、景気に左右される大学受験の人気としてどちらが有利か話題になるが、高校(特にいわゆる進学校)でのカリキュラムで両者が区別されているのは確かだろう。大学に入学すると、文系と理系の教育内容はますます大きく異なるようになり、近年は再びバラバラの重要性が強調されているものの、文理を統合するようなカリキュラムは用意されていないのが実情だろう。むしろ、理系に属すとされる諸学問の発達が発達したために、大学での基礎教育で

取り上げるべき内容が増え続け、学部課程だけでは不十分となり、大学院修士課程まで続けるのが標準コースとなってしまった。

1.2 1987年前後の架橋

全体的傾向としては、文科系と理科系という二つの文化の間の溝は、ますます深くなり、越えがたくなっているのは確かだろう。しかし他方で、急速に発達しつつある理科系学問がもたらしつつある自然観や社会観の変化を一般人(頭の構造は文科系と言ってよいだろう)にも伝えようとする動きが出てきたのも確かである。つまり、二つの文化の間を架橋しようとする試みであり、具体的には理系の成果を文系の頭に理解させようとする啓蒙活動(啓蒙書の出版)の興隆である。たとえば論理学(数学基礎論, 集合論)を踏まえたホフスタッター [2] は出版界で注目を浴びたが、本稿では、MASと方法論的に近い関係にある複雑系(カオスやフラクタルを含む)に焦点を当てよう。

筆者にとっての啓蒙の端緒になったのは、一般向け科学書である [3-5]。いずれも、1987年を中心にして前後数年の範囲内の出版ないし翻訳である。これは単なる偶然かもしれないが、この時期に先端的な業績が咀嚼されて、一般向けに橋渡ししようとする専門家や科学ジャーナリストが登場したのではないだろうか。

1.3 架橋のパイオニアとしてのL. F. リチャードソン

L. F. リチャードソンは筆者の専門とする国際関係論では少しは名前が知られた研究者である。もっともそ

やまかけ すすむ
青山学院大学国際政治経済学部
〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25
yamakage@sipeb.aoyama.ac.jp

これは彼の死（1953年）から数年後のことであり、戦争に関わる論文集2巻の出版が契機となった[6, 7]. 「リチャードソン・モデル」と呼ばれる微分方程式系で表現された軍拡競争モデルが日本の国際関係論学界に紹介されたのはボールディングの研究の翻訳によってだろう[8]. 同書には、好戦・厭戦気分の変動モデルも触れているが、本格的な紹介は吉田による[9]. 軍拡競争モデルは、さらに体系的に『数学セミナー』（1978年）に佐藤總夫により連載のかたちで紹介された後、まとめられた[10].

このリチャードソンがカオスやフラクタルにつながるパイオニア的業績を上げていたのを知ったのは、上記のカオスやフラクタルの概説書を通してである。たとえば、1920年代の乱流の研究はカオス理論につながるテーマだそうである。また、戦争（国家間の衝突）原因を気体分子の衝突と結びつけた論文は、すでにカオスという用語が用いられている点で驚かされる[11]. さらに、戦争の起こりやすさを国家間の近接性から捉えるという仮説を立てたことによって、国境は共通なのに（たとえばスペインとポルトガルやオランダとベルギー）、国境線の長さが両国の文献で異なることに気づき、定式化する問題提起をしている[12]. この論文がマンデルブロに「イギリスの海岸線の長さはどれだけか？」という論文を書かせ、さらには「フラクタル幾何学」に向かわせたという[13]. また、戦争の規模の分布を調べていて、さまざまなタイプの「死闘」がべき乗則に従っていることを発見している[7]が、ジップの法則が報告されたのと同じ頃である。

要するに、リチャードソンは同一人格の中で自身の専門的方法（理系の技術）と個人的問題意識（社会の問題）とを結びつけることで、「二つの文化」の架橋を実際に構築して見せただけでなく、1世代後になってようやく注目を浴びるようになった自然認識・社会認識を自覚的に提唱していた。このリチャードソンという個性を媒介にして、筆者の個人的関心と専門領域とが意外と重なり合っていることを実感し、それやこれを「ネタ」にして、1990年代初めに筆者なりの「架橋」についての考察を試みた[14].

2. マルチエージェントシミュレーションの沃野

（本節の記述は拙著[15-19]と重複するところがある。）

2.1 マルチエージェントシミュレーションの嚆矢

幸いなことに、1990年代に入っても、「二つの文化」の間の架橋の試みは衰えるどころかますます盛んになっ

ていった。そして新しい自然観・社会観も身近になってきた[20, 21]. 筆者がMASと出会うのは、そのころであった。

MASは理系分野で発達してきたが、MASを紹介する一般書・概説書で、MASの黎明期の事例として必ずといってよいほど登場するのがT. シェリングが行った「分居モデル」である[22, 23]. 彼は、ゲーム理論の発達への貢献で2005年にノーベル経済学賞を受賞したが、経済学の分野にとどまらなかった社会学者であり、彼の仕事の多くは、個々人の動機が彼らの行動の結果として社会全体では思わぬ帰結を生む現象をめぐるのであるが、分居モデルもまさにその類である。シェリングの問題意識は、分居している互いに異質の集団は、どれほど一方が他方を避けようとしているのか、というものである。シミュレーション結果は衝撃的なもので、互いに混住に寛容であるにもかかわらず、全体としては分居が進む結果になることを示した。ミクロの社会心理学的設定とマクロの社会学的結果との乖離・不整合性を明らかにしたのである。

当時はMASという用語（英語ではMulti-AgentよりAgent-Basedのほうが多用）はまだなかったが、シェリングの発想には、ボトムアップ、創発、自己組織化などといった後の複雑系やMASの特徴がすでに盛り込まれている[24]. 実際、彼はそうしたことを自覚していたようで、分居モデルを「自己形成近隣社会(Self-Forming Neighborhood)」モデルと呼んでいる。もっとも、ミクロな設定とマクロな現象との乖離やミクロなルールから直感に反するマクロな現象の生成といった社会現象の分析は、当時の社会学者にあまり浸透しなかった。彼が提唱した方法論は時代を先取りしすぎていたのである。

2.2 人にやさしい・優しいシミュレータを求めて

従来から筆者が関心を寄せていた分野の一つが政治勢力の統合・分裂（身近な用語では、ナショナリズム、国民統合、国家統一、地域統合、内戦、エスニック紛争など）であったが、1990年代末になると、この分野でMASに基づく研究が出始めた[25, 26]. こうした新しい動向は大きな刺激となったが、同時に大きなフラストレーションをもたらした。なぜなら、筆者にはMASを実行する能力（プログラミング技術）がなかったからであり、この種の研究をしようにも手も足も出なかったのである。

そのようなときに、MASに取り組む契機を作ってくれたのが構造計画研究所だった。構造計画研究所は、当時注目され始めた複雑系やMASに高い関心をもち、

1990年代半ばから複雑系研究の「メッカ」とされたサンタフェ研究所と交流を開始するだけでなく、出版されたばかりの実践的なMAS紹介書の翻訳・出版も手がけていた[27]。このような構造計画研究所の取り組みを当時から今日に至るまで牽引してきたのは服部正太氏と木村香代子氏である。

直接的契機となったのは、構造計画研究所が、情報処理振興協会の教育事業支援の一環として、1998年から「使いやすい」マルチエージェントシミュレータの開発に取り組み始めたことである。このプロジェクトにユーザ側モニターとして何人かの社会学者が参加したが、筆者もその一員に加わることができ、筆者の近くにいた大学院生諸君にも参加してもらった。筆者のような門外漢にも使えるようなシミュレータが開発されれば、誰にとっても「使いやすい」に違いない。

MASに限ったことではないが、シミュレーションには次の3段階が必要になる。

1. シミュレーションのためのモデルを作る
 2. 実際にシミュレーションを実行する
 3. シミュレーションの過程や結果を見る・分析する
- プログラムを書いた人ならわかると思うが、モデル作りより、実行させ、過程や結果を見やすい形で出力させる部分が面倒くさい。構造計画研究所が目指した「使いやすい」マルチエージェントシミュレータとは、ユーザにとって上記2., 3.を極限にまで簡素化するとともに、1.についても必要最小限のルール記述しか必要としないものであった。もっとも1.を簡略化したせいで構築できるモデルのタイプが限られるのは好ましくなく、当時広く使われていたマルチエージェントシミュレータになぞらえて、StarLogo (MITで開発)の簡便性とSwarm (サンタフェ研究所で開発)の汎用性を兼ね備えたシミュレータの構築をめざした。

こうして登場したのが、パソコンでもマルチエージェントシミュレーションを実行できる汎用ソフトとしてのKK-MAS (KKとは構造計画の意)である。この新しいソフトに関心をもつ人々の意見交換を深めることと広く教育研究や実務に利用してもらうことを企図したのが、2001年に実施した「MASコンペ」である。コンペティションと冠しているが、MASの成果を競うことを目的としているわけではなく、MAS試行のインセンティブを高める一手段であった。また、MASの可能性を示すことをめざしたのが、KK-MASの幅広い応用事例の紹介である[28]。

KK-MASのおかげでMASは身近な分析ツールとなったが、その後もKK-MASの利便性を高めること

を目指し、新しいコンセプトに基づいてJAVA版KK-MASが開発され、さらにはartisocへと変容してきた。今日でも、「使いやすさ」と汎用性の両方を求めて、artisocのバージョンアップが構造計画研究所の手で続けられている。

2.3 抽象から実証へ

創発、自己組織化、複雑系などと呼ばれる現象の捉え方の背景には、局所的な単純なルール(法則性・規則性)から、単純な足し合わせとは質的に異なる、複雑で大局的な特徴が現れるという現象への注目がある。MASの応用についても例外ではなく、なるべく単純なモデルでMASを行うべきであるという主張の典型は、KISS (Keep It Simple, Stupid) 原理であろう。たしかに、単純で抽象度の高いモデルのMAS結果は、さまざまに解釈できる可能性をもっており、実際に単一のMAS結果を全く異なる社会現象として解釈した例もある。しかし、こうした解釈の多様性は興味深いかもしれないが、他方で恣意的な解釈が潜り込む危険性を伴っている。

筆者は、KISS原理自体を否定するつもりはない。「個々人の関係と社会のあり方とは」とか「文化が異なる人々の相互作用が生み出す文化変容とは」といった、「○○とは」というような一般的・抽象的課題の分析にはKISS原理は有効な道標となるだろう。しかしMASの可能性をさらに広げる発展には、実証性を高めたMASも必要だと考えている。つまり、個別・具体的な時空に限定された現象のMASである。スローガンの的には「TASS (Time- and Space-Specified) 原理」を提唱している[29]。時空を限定したMASの事例として取り上げたのは、シェリングの分居モデルをシカゴ市へ応用したものであり、シカゴを細かく区分した人口統計データから見た分居現象がモデルによってかなり正確に近似できることを示した。なお、このデータはGISとして整備・提供されているが、さまざまなタイプのGISデータをartisocで作られたモデルに反映させるソフトとして、構造計画研究所はGIS Data Converter for artisocを提供している。

筆者たちはさまざまな事例を用いて実証的MASを試みてきた。たとえば、1950年代末に主権国家システムへの参加資格をめぐる国際規範が革命的变化を見せるのだが、その規範転換の説明をMASで試みた[30]。危機状況下での合議的意思決定は、少数の参加者による討議を経てのコンセンサス形成に特徴があるが、個々の参加者の認知構造が討議により変動するプロセスに注目して、1962年10月のキューバ危機におけるアメ

リカ政府の対ソ対抗手段の決定を分析した [31]. さらに同じ手法を用いて 1945 年 8 月の日本政府の終戦決定 (ポツダム宣言受諾) を分析している [32]. また, 1900 年代のヨーロッパにおける結託構造 (の変化) が果たして第 1 次世界大戦の 2 極対決に必然的につながるかを検証した [33-35]. 幕末動乱期における徳川家を含む諸大名の合従連衡が, 果たして明治維新 (朝廷による権力掌握) につながるかを検証したこともある [36, 37].

こうした実証的 MAS 的分析における問いかけが含んでいる設問は, 現実が生じた事象 (歴史的事象) は果たして必然的・蓋然的だったのかという問いである. これは, 歴史の「もしも (If)」を問いかける反実仮想である. 反実仮想を, SF ではなく, 実証的社会科学分析の一手法として市民権を与えるべきであるという主張が最近なされるようになってきている. 従来は反実仮想とは思考実験 (研究者の頭の中でのシミュレーション) であったが, MAS はそれを模擬実験として実行できる有望な方法として認知されるかもしれない.

3. 新しい社会認識の方法

3.1 マルチエージェントシミュレーションの位置づけ

理系的技法と文系的問題との架橋として MAS を捉えれば, 圧倒的に前者をマスターした人間 (典型的には物理学者) によってさまざまな社会現象に対して架橋されており, 物理学系の学術雑誌に, 社会現象に応用したとされる MAS の論文が急速に増えている. ある意味で, この橋は理系から文系へと大量移動する論文の一方通行になっている.

この現象は, 社会に関心を抱く文系研究者に広く知られているわけではなく, またそれを知る研究者に必ずしも高く評価されているわけでもない. 従来の社会認識の主要な方法は観察・比較であり, 対象の理解は解釈 (了解)・説明を通してであった. もちろん 20 世紀後半には, 統計データを基礎にした多変量解析諸手法の導入や比較を基礎にした擬似実験の導入など方法上の革新があったものの, 実際に生じた事象のみを研究対象にしてきた. 上述のように最近提唱されるようになった思考実験はいまだに新奇な方法として疑いの眼差しが向けられており, 模擬実験=シミュレーションについてはさらに疑わしく思われてきたと結論づけても過言ではない.

他方で, 2.1 節で言及したシェリングや, その後の MAS を提唱する研究者がおしなべて指摘するように,

非線形的因果関係, 臨界値 (閾値) の存在, 意図と結果の乖離, 自然発生的秩序生成, 内発的發展, アナーキーな社会など従来の社会認識では捉えきれない現象が現実の社会に埋め込まれている. そして, こうした現象こそ MAS によって把握できる可能性が高いのである.

近年になって, 社会現象に対するシミュレーション分析の一手法として, ようやく MAS が認められるようになった [38]. 実際, この新しい方法によって, 従来は認識の網の目にかからなかった社会現象を研究者の意識の上に乗せることが可能になり, そのような現象を分析・理解できるようになったのは明らかである. しかし MAS の受容・普及はいまだに大きなうねりになっていない.

3.2 教育へのスピルオーバー

パラダイム・シフトが研究者個人々の宗旨替え (転向) ではなく研究者共同体の世代交代で起こると考えれば, 年単位で MAS が社会学者集団に浸透すると期待するのは無理があり, 若い研究者が参入していく 10 年単位の事象なのだろう. パラダイム・シフトは研究者集団に限定する必要はなく, 冒頭 1.2 節で記したように, 新しい社会観に対する柔軟な好奇心をもって一般人の中でも起こりつつあるのかもしれない. 伝統的な社会観を押しつけられていない若い世代に, 新しい社会観を示すとともに, MAS に触れてもらう機会を作れないかと思うようになった. その具体的試みが artisoc を利用する MAS 教科書の作成であった [39].

教科書執筆に際して想定した MAS 普及の障碍は, 参考になる具体的な適用例が乏しい, プログラミング言語やプログラミング技法を学びたくない, 社会科学の方法としてはシミュレーションはうさんくさい, MAS を学ぶ機会がない, といったものであった. プログラミングの知識を前提としない artisoc に準拠して, 理屈からではなく「做うことで慣れる」から始める独学可能な教科書を, 若い仲間と一緒に作り上げたのである.

他方で, MAS 自体の教育ではなく, MAS を題材にして新しい社会の見方を大学初年次学生に触れさせる授業も試みている. 言い換えると, 社会認識・理解のための新しい方法論としての MAS の紹介である. ここでも理屈ではなく「意外な結果」を生む MAS 事例を見せて, 意外性を実感させることを目指している. 以下はその例である.

条件を変えると結果はどう変わる? 森林火災=原因と結果の線形的 (比例的) 関係を漠然と (無意識に) 信じている先入観を壊す

森林の密度（木の生え方）が延焼率にどのように関係しているかを考えさせる。当然だが、密度が低ければ延焼率は小さく、高ければ大きいことは想像に難くない。そこで、密度が中間ではどうなるか、学生に「予測」させる。たいていは線形的な「因果関係」を答える。そこでMASを実行して、40%が「臨界値（閾値）」となり、延焼率が大小さまざな結果になること、それより低ければほとんど延焼せず、高ければほとんど燃え尽きてしまうことを見せる。つまり、なだらかな原因の変化が結果に飛躍的な変化（カストロフィ）を引き起こすことがあるのだとわからせるのである。

原因と結果はどう繋がっている？ 砂山崩し＝原因と結果（現象）のつながりははっきりしているのに予測不能な現象があることを実感させる

ランダムに砂粒が上から落ちてくるとどのような結果になるのか想像させる。砂山がやがて崩れ始めるが、どのような崩れ方をするのか予測できない。MASを実行して、小規模な崩れが頻繁に生じるが、ときどきわめて大規模に広がっていく崩れが起こることを実際に見せる。雪崩や地震のメカニズムも似ていることを指摘して、原理的に予測不能な現象があることをわからせる。ここでは、あえてべき乗則には触れず、きわめて大規模に広がっていく崩れが（まれにはあるが）生じることを強調する。

ばらつきは結果にどう影響する？ 団子バス＝誤差は互いに打ち消し合って平均的になるという思い込みを崩す

バスを待っていると、なかなか来ず、混んでいるバスが来ると、すぐ続いて空いたバスが来ることがある。大正時代に寺田寅彦が路面電車の運行状況を観察して分析した「由緒正しい」現象である。ポアソン過程にしたがってバス停に乗客が並ぶと、少し混み合ったバスはどんどん混むとともに遅れが生じ、後続バスは乗客が少なく、結果的に先行バスに追いついてしまう。ばらつきは相殺せずに、累積効果がある場合を指摘する。

結果から意図や原因を探れるか？ 分居＝マクロな現象からミクロの仕組みを推測すると大きな間違いを犯すことがある

言うまでもなくシェアリングの画期的なMASの紹介である。一人ひとりとは寛容（あまり分居を求めない）であっても、引越し後の落ち着いた状態は高い分居度になる。外から観察できるのは、地域社会の住民全員が満足するマクロな状態であり、そこからミクロな状態（個々人の満足度）を類推すると、当然高いものと推定する。住民にアンケート調査をして回答を得たと

しても、社会学者は、彼らは嘘をついている（自分の差別意識を正直に表さない）と判断するかもしれない。

集団行動は指示や命令の結果なのか？ 群れの生成＝個々の個体は単純な規則にしたがって行動しても、結果として集団的な意志があるように見える

各ボイド（boid：鳥もどき）は単純なルールに従って近くのボイドを参照しながら飛ぶだけなのに、全体としては群れを形成しながら飛ぶようになる。結果から意図や原因を探れるか？という上の問と似ているが、ミクロレベルの簡単なルールからマクロレベルの複雑な行動が現れることを強調する。

以上の例は、複雑性や自己組織化についての知識があれば、特に目新しいものではない。しかし大学初年次学生に「新しい社会の見方」を印象づけるには、MASを実際に見せることは、文字どおり「百聞は一見にしかず」という効果をもっている。すべての学生がMASへの関心を高めるかどうかはさておき、MASという道具を通じて、彼らに社会現象の複雑さを実感させることはできるだろう。

3.3 マルチエージェントシミュレーションは受容されるか

プログラミング不要のシミュレータが使えれば、MASによる研究は普及すると期待していたが、考えが少し甘かったようである。社会現象のMAS研究は、多くの場合、すでにMASの方法論を身につけた理工系出身の研究者によって行われている。また、artisocは理工系の教育課程でのMAS入門的ツールとして利用されている場合が多いようである。確かにプログラミングから入るのではなく、直接MASに触れさせれば、学生のモチベーションは高まるだろう。

しかし他方で、MASは文科系学生の拒否反応を引き起こすわけでもないことを実感してきた。10年ほど前から初年次学生を対象としてMAS実習の授業を開講してきたが、文系学生も積極的に参加している。現在、文系3、4年生を対象にした演習でartisocを用いたMAS（人工社会）をテーマにしているが、毎年8人前後が志望してくる。全体の4%程度だが、少なくとも、必修ではないのに履修希望者が出てくるということから、MASに興味をもつ文系学生がわずかなりとも存在していることは確かである。

MASが社会現象を理解するうえでの教養の一環として大学文科系の基礎教育ないし教養教育に組み込まれる日が訪れることを夢見ている。

参考文献

- [1] C. P. スノー (松井巻之助訳), 『二つの文化と科学革命』, みすず書房, 1960, 1965, 1980, 1999, 2011.
- [2] D. R. ホフスタッター (野崎昭弘, はやしはじめ, 柳瀬尚紀訳), 『ゲーデル, エッシャー, バッハ—あるいは不思議の輪—』, 白揚社, 1985 (原著: 1979 刊).
- [3] 山口昌哉, 『カオスとフラクタル—非線形の不思議—』, 講談社, 1986.
- [4] I. プリゴジン, I. スタンジェール (伏見康治, 伏見讓, 松枝秀明訳), 『混沌から秩序へ』, みすず書房, 1987 (英語版: 1984 刊).
- [5] J. グリック (大貫昌子訳), 『カオス—新しい科学をつくる—』, 新潮社, 1991 (原著: 1987 刊).
- [6] L. F. Richardson, *Arms and Insecurity*, Stevens and Sons Publishers, 1960.
- [7] L. F. Richardson, *Statistics of Deadly Quarrels*, Stevens and Sons Publishers, 1960.
- [8] K. E. ボールディング (内田忠夫, 衛藤濤吉訳), 『紛争の一般理論』, ダイアモンド社, 1971 (原著: 1962 刊).
- [9] 吉田正昭, 『情報の伝播』, 共立出版, 1971.
- [10] 佐藤總夫, 『自然の数理と社会の数理—微分方程式で解析する—II』, 日本評論社, 1987.
- [11] L. F. Richardson, “Chaos, international and intermolecular,” *Nature*, **158**, p. 135, 1946.
- [12] L. F. Richardson, “The problem of contiguity: An appendix to statistic of deadly quarrels,” *General Systems: Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory*, **6**, pp. 139–187, 1961.
- [13] B. B. マンデルブロ (広中平祐監訳), 『フラクタル幾何学』, 日経サイエンス, 1985 (ちくま学芸文庫 上下, 2011) (原著: 1982 刊).
- [14] 山影進, “理学的教養の文科的効用,” *パリティ*, **7**(6), pp. 4–7, 1992.
- [15] 山影進, “社会への新しい接近法—マルチエージェントシミュレーションへの誘い—,” 『コンピュータのなかの人工社会』, 山影進, 服部正太 (編), 共立出版, pp. 2–13, 2002.
- [16] 山影進, “人工社会で遊んでみよう—マルチエージェント・シミュレーションをもっと身近に—,” *理大科学フォーラム*, 8月号, pp. 59–65, 2006.
- [17] 山影進, “社会科学とマルチエージェント・シミュレーション—シミュレタ開発と事例提供の課題—,” *情報科学*, **27**, pp. 1–9, 2007.
- [18] 山影進, “マルチエージェントシミュレーションの可能性—社会科学の立場から—,” *設計工学*, **47**, pp. 543–550, 2012.
- [19] 山影進, “序章 マルチエージェント国際関係論への誘い,” 『アナキーな社会の混沌と秩序—マルチエージェント国際関係論のフロンティア—』, 山影進 (編), 書籍工房早山, pp. 9–26, 2014.
- [20] S. レビン (服部桂訳), 『人工生命—デジタル生物の創造者たち—』, 朝日新聞社, 1996 (原著: 1992 刊).
- [21] M. M. ワールドロップ (田中三彦, 遠山峻征訳), 『複雑系—科学革命の震源地—サンタフェ研究所の天才たち—』, 新潮社, 1996 (原著: 1992 刊).
- [22] T. C. Schelling, “Models of segregation,” *American Economic Review*, **59**, pp. 488–493, 1969.
- [23] T. C. Schelling, “Dynamic models of segregation,” *Journal of Mathematical Sociology*, **1**, pp. 143–186, 1971.
- [24] T. シェリング (村井章子訳), 『ミクロな動機とマクロな行動』, 勁草書房, 2016 (原著: 1978 刊).
- [25] R. Axelrod, *The Complexity of Cooperation*, Princeton University Press, 1997.
- [26] L.-E. Cederman, *Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolve*, Princeton University Press, 1997.
- [27] J. M. Epstein and R. Axtell (服部正太, 木村香代子訳), 『人工社会—複雑系とマルチエージェントシミュレーション—』, 共立出版, 1999.
- [28] 山影進, 服部正太 (編), 『コンピュータのなかの人工社会』, 共立出版, 2002.
- [29] G. Ito and S. Yamakage, “From KISS- to TASS-Modeling: A preliminary analysis of the segregation model incorporated with spatial data on Chicago,” *Japanese Journal of Political Science*, **16**, pp. 553–573, 2015.
- [30] 光辻克馬, 山影進, “国際政治学における実証分析とマルチエージェント・シミュレーションの架橋—国際社会の基本的規範の交代をめぐる—,” *国際政治*, **155**, pp. 18–40, 2009.
- [31] 阪本拓人, 保城広至, 山影進, 『ホワイトハウスのキューバ危機—マルチエージェント・シミュレーションで探る核戦争回避の分水嶺—』, 書籍工房早山, 2012.
- [32] 光辻克馬, 山影進, “ポツダム宣言受諾への道—相互作用する認知構造 (ICS) モデルによる終戦会議の分析—,” *青山国際政経論集*, **98**, pp. 79–117, 2017.
- [33] 光辻克馬, 山影進, “第1次世界大戦前夜における欧州国際関係のパラレルワールド—ランドスケープ理論を拡張した国際緊張モデルによるマルチエージェントシミュレーション分析—,” *Aoyama Journal of International Studies*, **1**, pp. 790–106, 2014.
- [34] 光辻克馬, 山影進, “改良版「国際緊張モデル」による第1次世界大戦前夜の欧州国際関係をめぐるマルチエージェントシミュレーション分析,” *Aoyama Journal of International Studies*, **2**, pp. 151–167, 2015.
- [35] 光辻克馬, 山影進, “第1次世界大戦前夜における欧州国際関係のパラレルワールドの動態—国際緊張モデルによるマルチエージェントシミュレーション分析(その3)—,” *Aoyama Journal of International Studies*, **3**, pp. 87–108, 2016.
- [36] 光辻克馬, 山影進, “幕末動乱期のマルチエージェントシミュレーション (MAS) 分析—自己駆動粒子系による統治制度動態モデル (GSSM) の構築とその応用—,” *青山国際政経論集*, **94**, pp. 95–138, 2015.
- [37] 光辻克馬, 山影進, “明治維新はどれだけ蓋然的だったのか—幕末動乱期のマルチエージェントシミュレーション (MAS) 分析(その2)—,” *青山国際政経論集*, **95**, pp. 81–108, 2015.
- [38] N. ギルバート, K. G. トロイチュ (井庭崇, 岩村拓哉, 高部陽平訳), 『社会シミュレーションの技法—政治・経済・社会をめぐる思考技術のフロンティア—』, 日本評論社, 2003 (原著: 1999 刊).
- [39] 山影進, 『人工社会構築指南』, 書籍工房早山, 2007.