
特別論説

社会シミュレーション： モデルの粒度と現象の接合を探る

Social Simulation:

Exploring interface between model granularity and real phenomena

創価大学 岡田 勇
Soka University Isamu OKADA

学習院大学 遠藤 薫
Gakushuin University Kaoru ENDO

静岡大学 佐藤 哲也
Shizuoka University Tetsuya SATO

名古屋大学 鳥海不二夫
Nagoya University Fujio TORIUMI

立正大学 山本 仁志
Rissho University Hitoshi YAMAMOTO

明治大学 水野 誠
Meiji University Makoto MIZUNO

東京工業大学 寺野 隆雄
Tokyo Institute of Technology Takao TERANO

電気通信大学 太田 敏澄
University of Electro-Communications Toshizumi OHTA

1. はじめに

岡田 勇

社会シミュレーション研究がある程度の市民権を得てきたとはいえ、社会科学の立場からの成果は、工学的アプローチに比べ、まだ決して多いとは言えない。その理由の一つに、モデルと現実との接合という古くて新しい課題に対する繊細な議論が未発達という現状が挙げられるのではないかと、社会科学においては、現実のどの部分とフィッティングを試みているのか、それはデータそのものなのか、概念レベルなのか、それともモデルレベルの何かなのか、さらには、そ

れに対応してモデルの粒度はどの程度に設定すべきなのか、現実との接合をどのレベルで行うのが研究の存立を左右する重みを持っている。そこで、社会シミュレーション研究をされている方々による議論を展開する。

2006年のJASI全国大会が学習院大で行われたが、その時も社会シミュレーションというパネルディスカッションがあった。その時の出席者は遠藤先生・寺野先生と山本先生。その要点は2006年の学会誌に掲載された。読み返すと、やはり6年の歳月は短いようで長い。当時の問題意識は基本的なところは維持しているが、やはり研究が多様になった分、新たなポイントが出てきている。

本特別論説は、2011年9月11日に静岡大学情報学部で行われた、日本社会情報学会（JASI&JSIS）合同研究大会ワークショップの記録です。

今回のテーマもその一つだろう。

太田先生とともに企画した今回のセッションでは、社会シミュレーションというツールを使っている方に講演いただくが、オーガナイザーとしては特に社会科学という立場を強調したい。なぜなら工学的立場からすると、シミュレーションでは、現象を説明するためにモデルを作るので、モデルの粒度と現象の接合については、あまり考え得ることがない、もしくは、考えても余り重要ではないところがある。しかし、ゲーム理論やらマーケティングやら、シミュレーションが社会科学の様々な分野に使われだしてくると、そもそも社会科学がフィッティングをどう考えるかという学問であるため、モデルと現象の接合はかなり問題になっている。こういった問題に対して、様々な専門の先生方の知恵を借りて、まずは現状認識をしていきたい。特に、現実とモデルの二つを常に意識しながら議論してまいりたい。

2. シミュレーションと社会—その二つの様相

遠藤 薫

私はもともと理系の人間だったが、理系から社会科学の発想も必要だと認識し文転した。そこで感じるのは理系と文系では文化が非常に違うということだ。そこで、文化の違いを超えたコミュニケーションを可能にするシミュレーションという方法を使い始めた。そのため根底では、文系と理系の分裂に対する架橋を意識している。本年6月には日本学術会議の社会理論分科会主催シンポジウム「社会とシミュレーション—文理を結ぶ新しい方法論」(日本学術会議,2011)をオーガナイズした。シミュレーションという言葉は有名だが、なぜか集客力がない分野ではあるが、その割には120名以上の聴衆にご参加いただいた。その内容は「学術の動向」の2012年2月号に掲載されているのでご参照いただければ幸いである(日本学術会議,2012)。

本日、私からはモデルの話というよりも、より

根本的に、シミュレーションという方法論そのものに対して、問題提起をしたい。特に、シミュレーションに浴びせられる様々な批判、粒度の問題も含め、それに対してどのような解があり得るのかを考えたい。

2011年3月11日午後、未曾有の大震災が東日本を襲った。被災された皆さまへの支援、被災地の復興、そして日本全体の復興に向けて、すべてのアカデミズムが手を携えて努力していかなければならない。そのためのツールとして、近年は「シミュレーション」にも大きな期待がかけられている。一例をあげると、津波のシミュレーションは非常に有名だ。今回の震災ではかつてないほどシミュレーションという言葉が飛び交ったと考えられる。ここでの期待は、複雑な相互作用を記述できることと、ビジュアルに見せることができる、直感的な理解ができる、モデルの過程を再現できる、という点が大きかった。もちろん、震災の場合は自然科学におけるシミュレーションが注目され、必ずしも社会シミュレーションというわけではなかった。しかし、本質的には震災にしろ原発にしろ社会システム全体の問題である。自然科学と社会科学をつなぐ社会シミュレーションは、大きな役割を發揮しなければならない。

この緊急課題に限らず、現代のアカデミズムが直面しているのは、「多様な要素が複雑に絡み合った問題系をいかに解決するか」という問いである。たとえば、環境問題もグローバル化問題もこうした相のもとで検討しなければ、いっこうに解決への光すら見えない。しかし、それを実現するには、既存のディシプリンに閉じこもることなく、多様な知を柔軟に組み合わせる必要がある。原発でいえば、複雑な社会システムの中に埋もれてしまったりリスクがある日突然顕在化するという時代相、それはウルリヒベックのいうカタストロフィ(Ulrich,1986)であるが、それを対象とできる方法論が社会シミュレーションのはずである。なぜなら、解が一意に定まらない、あるいは、状況の変化に応じて常に流動する状況

の中では、一般化されたモデルでは不十分である。そのため、多様な可能解の提示とそれへの対処が重要であり、そこに社会シミュレーションの本来の可能性がある。

とはいえ現状では、その意義や可能性については十分な議論がなされていない。では、〈シミュレーション〉とはそもそも何か。現代の〈シミュレーション〉は多種多様にわたっている。これらを包括的に語ることは難しい。しかし、現代社会科学におけるシミュレーションという技法の目指すところは、今日しばしば混乱を指摘される多様な社会認識パラダイムに対し、共通の理解基盤を与えるメタ認識枠組みを提供することにある。具体的には、相対的に自律的な個体間の単純な相互作用から、多様な社会動態を生成する理論とそれをコンピュータ上に実現するモデルを構築しようとする試みである。例えば、ドーキンズが利己的遺伝子論を提示した時、シミュレーション能力をもった生命体が非常に適応的に進化したというような説明をしている。一方ミードは、ドーキンズの論じたレベルとは異なる次元で、シミュレーションという機能によって個人が社会化していくと主張している。われわれが現在考えている「社会シミュレーション」は、ドーキンズやミードよりも高次のレベルにある「シミュレーションによって社会システムの作動を分析、予測、設計すること」を目的とする。しかし、その基盤にはドーキンズやミードの考察との連続性があることも意識しておいた方が良くかもしれない。

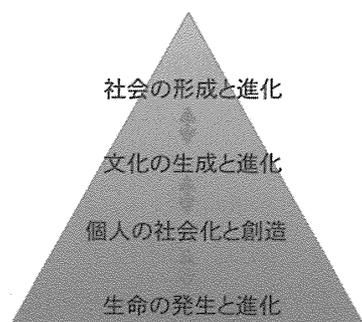


図1 生命・文化・社会の基盤としてのシミュレーション

さて、「文理をつなぐ社会シミュレーション」という試みは、相互に深くかかわり合う三つの目的を追求するものである。第1の目的は、それ自体で、長い論争の歴史をもつ還元主義と集合主義の対立を解消する一般社会理論を構成しようとするものである。第2の目的は、こうした一般理論がしばしば客観的表現をもたず、その現実的有效性に疑義が生じるのに答えて、コンピュータというメディアにより操作可能な表現を与えようとするものである。これはさらに実践的には、相互に対立する理論の客観的比較の基盤を提供する、社会科学の教育用ツールとして利用することができる、新たな社会理論構築のための支援ツールとすることができる、などの貢献を行うことができる。第3の目的は、上記のような客観的表現により、従来必ずしも十分な相互交通性が確保されていなかった社会科学と自然科学の並列協調的な発展を図ろうとするものである。

そのような社会の要請からすると、現実の社会シミュレーション研究、例えば、進化的なアプローチが流行の一つに挙げられるが、まだまだ幅が狭いと言わざるを得ないのではないかと感じる。特に、状況認知とコミュニケーションをファクターとして取り入れたシミュレーションをもっとやっていくべきではないかと感じている。

しかし、現実の社会シミュレーションはあまり評価されていない。最大の批判は理論的基盤の脆弱性であり、過去の研究の蓄積を踏まえていない点にある。既存の成果を踏まえた主張が説得力を持つはずだ。さらに、過剰な可塑性（因子の恣意性）や結果の浮動性を含んでいる。後者は特に自然科学では問題になりにくいだが、社会科学では重要だ。結果の主張によっては過度なハロー効果（後光効果）をもってしまう危険性がある。

これらは古くからある批判なので、標準的な応答も考えられている。例えば、可能な限り単純化すべきだとか、モデルのロバスト性、パラメータの感度分析、コンピュータ・リテラシーの啓蒙、文理の協同の推進などである。しかし、これだけ

では不十分である。前述した社会からの要請に対してまだ応えきれていないだろう。

すなわち、現代社会を考える上で、シミュレーションに関わるもう一つの様相を忘れることはできない。それは、<シミュレーションは社会にどう作用するか>という側面である。近年、デジタル通信技術の発達によって、インターネットをはじめとするコンピュータ・メディアが急速に社会のなかに浸透しつつある。これに伴い、テキスト・コミュニケーションや対面的・コミュニケーションに代わって、ビジュアル・オーディオコミュニケーションが拡大し、メディアの多層化が進んで、「仮想現実」と「<現実>」との相互浸透が日常的なものとなりつつある。いわば、シミュレーションがわれわれの社会的現実を構成するプロセスそのものとなりつつあるのである。この問題は、シミュレシオニストたちの嘆き（あるいはシミュレシオニストに対する批判）そのものに他ならない。シミュレーション・モデルは、現実とどのように対応するのか。その対応を保証するものは何なのか。シミュレーションという方法論に対して、なお、社会学者たちがともすれば躊躇いを感じるのは、この認識に対する躊躇いであるかもしれない。しかし、結局われわれがなすべきことは、<良い>シミュレーションを実践することに他ならないのである。

さて、科学あるいは客観的認識とはどういう考え方から出てきているのかを、長尾(2001)を参照しつつ考える。それによると科学には技術的科学と推論的科学があり、後者を科学とみなしてきた。さらに、推論的科学には決定論的で一意に定まる演繹的モデルと、反証可能性が常に求められる帰納的モデルがあり、前者こそが正統的科学だという考えがある。しかし、科学を世界を理解するための営為とすると、理解には二つの戦略があり、正統的科学による理解と経験に基づく帰納的な理解があるはずだ。後者は我々が日常に行っていることであり、こちらに脚光を当てることが重要だろう。そして、後者の一つのアプローチとして社

会シミュレーションは大きな力を発揮するだろうと期待したい。

ある状況をメカニズムとして決定論的な理解ではなく、模倣によって体験の集積によって理解するということが、またそのツールとして社会シミュレーションが用いられるなら、非常に重要だろう。そのためには、コンピュータの中に閉じるのではなくマンマシンシステムとして使用すべきかもしれない。

ところで、仮想現実としてのシミュレーションにはリアルな生に対する根強い批判が存在する。プラトンが言葉や文学はシミュレーションでありリアルではないと主張している。しかし、そもそも人間の推論や、そもそも言葉そのものはシミュレーションで出来ているのであり、それを前提とするのは不可避だ。このパラドキシカルな状況を打破し得る可能性を秘めているのが、社会シミュレーションであろう。これは、現在はまだ「醜いあひろの子」の状態にあるかもしれない社会シミュレーションに対するエールである。

3. 予測市場におけるシミュレーション

佐藤哲也

選挙の民主主義と社会的意思決定をテーマについて、社会情報学的な課題を考える。現実的に非常にニーズの高い選挙の結果を予測するというシミュレーションをしており、その具体的な方法についてと、もう一つは予測市場の研究をしており、そこから見えてくる特に理論的な課題について、集合知という問題も含めて共有したい。

本年初頭に次期国政選挙の300選挙区に関する獲得議席を予測した。これは選挙プランナーの予測とは違い、実際の支持率や得票率を用いた予測である。ところが興味深いのは、定期的に起こる選挙のような予測は、過去のデータに基づいて、差分を埋め込む方法の方が、現実には非常に精度が高い。具体的には過去の衆院選の結果から、基礎票を予測する。過去には民主党が大勝ちしたり

自民党が大勝ちしたりと非常に都合のよい選挙がある。民主党が大勝ちした時の自民党に入れた人は非常に硬い人だということで基礎票の予測はかなり正確にできる。シミュレーションで重要なのは、スウィングウォーカー（浮動票）の推定になる。ただし、テクニックは簡単でデータがあれば学生のレポート課題になるレベルのものだ。

しかし、個人の投票行動をモデル化するのは非常に難しい。様々なモデルがあるが現実とのフィッティングは非常によくない。なぜかというところ、選挙で誰に投票するかというモデル化そのものはかなり困難であるからだ。

理解のためのシミュレーションという意味では実際に人間に参加してもらってゲーミングシミュレーションがあるだろう。ヒューマンエージェントによる予測、つまり予測市場が有効になる。それでも対象を「理解」はできると思われる。

予測市場では予測すべきことを証券化して取引することになる。例えば明日雨が降るという事象を証券化すると予測市場で取引される価格が明日の雨の降る確率と一致すると見なしている。そもそもこの一致はかなり強引で理論的には大きな論争となるはずだ。運営していて面白いのは、予測市場で勝っている人は全参加者の5%ぐらいだが、やはり予測は正確に動いていると感じる。何故正しいかというところ、結果に対して予測をしているので割合と個人の特性が捨象できるからである。すなわち、予測市場で予測者が持っている「モデル」は科学的・定量的ではなく直感的・感覚的であり、それが逆に長所に働いている。なぜなら、予測市場はそれ自体が社会一般の認識、雰囲気や計測していると考えられるからである。

伝統的な予測市場は株式市場を模している。しかしそれは複雑すぎるので構築が難しく、投票のシステムを内包した構築になっていく。そうになると、マーケットによるガバナンスと投票によるガバナンスが急速に接近してくる。これは面白い、途中経過がリアルタイムにとれる点が非常に意義がある。例えば、あるニュースがあるとそれに伴

ったある予測市場が大きく動いたとする。すると、実は測定しているのはニュースの価値になっている。すると、ある新聞が300議席予測するかもという記事を出した時にそれを受けて市場が動き、現実も300議席越えとなった時に、その様子がリアルタイムに理解できる。

ところで、予測市場は人工市場であるのは間違いないが、政治的現象をテーマにした先物市場を現実の金融商品として設定するのは法的には不可能でない。つまり、株式会社衆議院なり衆議院投資組合という法人を作り、実際の選挙結果に基づいて配当するファンドを発行できるとなると、予測市場は単なるシミュレーションではなくなる。次に、世論調査はシミュレーションなのかという疑問が生じる。現実の世論調査は投票行動のシミュレーションに他ならない。それを拡張して、選挙と市場による民主政治が考えられる。株式市場はお金という支持が集まると見なせば、似通っている。むしろ、極端に言えば、投票用紙は非常に特殊な債権であると見なせば、選挙と市場の区別がなくなる。そうになると予測市場という言葉より情報市場というべきではないか。そこで取引される情報は金融商品に近いだろう。投票行動とマーケットの違いは、保有する、あるいは、所有することを認めるか否かではないか。この所有という概念は金融の商品化にとって重要だろう。よって多様な予測（投票）は可能だろう。つまり、投票とは集合知の意見集約メカニズムの一つである。

ただし、投票権は現実には譲渡できない。しかし、理論的には権利化し、オプション化することも考えられる。すると、事業の証券化を政策の証券化、政党の証券化に転用できるかもしれない。例えば、子供手当はいいから、そのためだったら自分の持っている戦時的参加の権利を一部放棄してもいいという人がいるなら、それだけを切り離して取引できるようなスキームを提案することも重要かもしれない。そもそも政党やNPOは誰の所有か不明である。共同所有という考えが一般的だが、もう少しマーケットのガバナンスを導入

すると面白い。そうすると、実は徴税の証券化や学生（奨学金）の証券化などが理論的には面白いだろう。

4. なぜ予測市場は予測できるのか？

鳥海不二夫

私はなぜ、予測市場は予測できるのかというテーマを取り上げる。工学者の視点から見ると、課題志向性が強いのかもしれない。社会シミュレーションとは2種類ある。一つは、アナリシス、すなわち社会システムを理解するため構成論的シミュレーションであり、人工市場はその一つであるといえるだろう。もう一つは、シンセシス、社会システムを設計するためのシミュレーションや予測のためのシミュレーションだろう。交通シミュレーションなどがそれに相当する。

ここでは、予測市場のシミュレーションを紹介する。ここでシミュレーションとは構成的なアプローチを意味する。結果をはじめに紹介すると、予測市場がアンケート結果に勝つ条件は、情報発信頻度の増加でもなく、利用頻度の増加でもなく、情報格差であるというものである。

近年、WEBの発展により「集合知」という概念に注目が集まっている。これは、多くの人による大量の情報に適切な処理を行うことによって、新たな知見が得られるという考え方である。そのような集合知を獲得するメカニズムの一つに予測市場がある(Wolfers,2004)。予測市場は、株や為替の取引のような金融市場のメカニズムを取り入れた予測手法である。予測市場は衆議院選やアカデミー賞の受賞作品などの予測に利用されており、高い予測精度があるとされている。

一方で、予測市場の制度がアンケートとほとんど変わらないという報告もある(Goel, 2010)。これは、優れた予測精度が期待出来る場合と、予測が十分に行なわれない場合があることを意味している。予測市場は高い予測精度があるとされているものの、そのメカニズムについては明らかに

なっており、どのような場合に予測市場が有効なのかが確かではない。

そこで本研究では、予測市場が有効となる条件を明らかにするために、人工市場を用いたエージェントベースシミュレーションを行った。

人工市場とは、コンピュータ上で動く仮想的な市場である。人工市場には複数のエージェント(コンピュータプログラム)が参加し、それぞれのエージェントが独自に情報を収集し、その情報に応じた判断(アルゴリズム)に従って予測市場での売買を行なう。

各エージェントは証券の価値を予測し、現在の証券価格と比較して取引を行なうものとして設計した。ここで、各エージェントの予測の平均値を予測市場の精度を評価するために利用する。予測平均値はアンケート結果と同等と見なせるため、予測平均値よりも精度が高い予測が出来ていれば、予測市場の予測性能がアンケートより高いと見なせる。このような条件を見つけることが本シミュレーションの目標である。

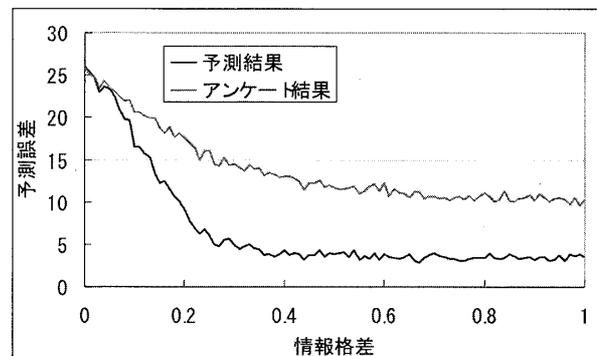


図2 情報格差と予測誤差

シミュレーションの結果、エージェント間に情報を取得する能力に差がある場合、すなわち情報格差がある場合に予測精度が大きく向上することが明らかとなった。特に、アンケートによる予測では情報格差が上昇するにつれて予測性能が線形に増加しているのに対し、予測市場の予測性能は情報格差が増加すると急激に高くなることが明ら

かとなった(図2参照)。これによって、情報収集能力の高い参加者の存在によって、予測市場の精度がアンケートよりも向上する可能性があることが明らかとなった。これは予測市場が専門家の力と集団の力を融合して、うまく重み付けしてくれることが原因の一つだろう。

5. 社会的ワクチンによる協調の安定 - 抽象モデルと社会シミュレーションの接合にむけて

山本 仁志

私からは、モデルの粒度のうち、抽象モデルと社会シミュレーションの結びつきについて考えたい。社会シミュレーションはシナリオ分析の際のコミュニケーション基盤となり、問題に対する共通の言語として力を持つと思われる。公共財ゲームがすごいのは社会問題に対する共通の言語だからだ。

私の紹介するのは、公共財ゲームにおける解決法の一つとして社会的ワクチンによって安定的な協調社会を構築できるという研究である。

集団における規範維持のモデルとして良く知られたメタ規範ゲームは、 n 人囚人のジレンマの拡張モデルとして、国際問題における協調問題など中央集権的でない集団においていかに規範を維持するかを検討する上で優れたモデルである。進化論的な分析によって、規範ゲームでは協調は維持されないが、メタ規範を導入することで協調が維持されることが知られている。しかし近年、メタ規範がシミュレーションの世代数に対して脆弱であるとの指摘がなされている。我々は、様々なシミュレーション条件におけるメタ規範の成立条件を精査し、脆弱性のメカニズムを探る。また、メタ規範による規範の成立を頑健にするための「社会的ワクチン」を提案し、その効果を検討する。

我々は、頑健に協調を維持するための方策として「社会的ワクチン」の導入を提案する。ワクチンとは一般的に弱毒化した病原体を接種することで抗体をつくり病原体への感染を予防することをい

う。社会的ワクチンとは、集団の中にごく少数の常に裏切り行為をとるエージェントが存在することで、集団全体の規範を高く維持することができる効果をいう。

メタ規範に限らずジレンマ状況で協調を達成するための仕組みは様々なレベルで提案されている。Gilbertらはエージェントシミュレーションのモデルを抽象度によって、抽象度の高い順に、Abstract Models, Middle Range Models, Facsimile Models と3つのクラスに分類している。ジレンマ状況における協調問題において、Abstract modelsの基本的な知見は、しつぺ返し戦略やイメージスコアリングであろう。Middle Range modelsにおいてはオンライン市場における評判システムの分析があげられる。Facsimile modelsとしては、我々の現実社会における犯罪に対する警察機構と刑法における懲罰システムがあげられよう。

しかし、これらはすべて裏切り行為を識別するための仕組みである。これらの仕組みは裏切り行為を識別し懲罰することで協調の達成を実現できる。問題は一度協調が達成された後にこそある。それは、協調が達成されたのちには裏切りがないためにこれらの裏切り識別システムが実際には稼働しなくなることである。具体的には、裏切りに対して懲罰的にふるまう戦略と、無条件に協調的である戦略が区別できないために、懲罰のコストを負担しない戦略がミュータントして侵入することを防ぐことができないことである。そのため、協調が支配的な社会においては寛容な戦略が侵入し拡散していく。この状況が続くと、ある時点で急速な裏切り戦略の侵略を防ぐことができず、裏切り戦略が支配的になる転換を防ぐことができない。この状況を防ぐためには、常に社会において裏切りに対して寛容な状況を作り出さない緊張感が必要となる。それこそが社会的ワクチンの貢献である。

抽象モデルのシミュレーション結果として得られた社会的ワクチンの効果は社会におけるどのよ

うな現象を示唆し、説明しうるのであろうか。また社会的ワクチンに該当する存在は現実社会ではどのような存在として解釈し、社会システムを設計すべきであろうか。

我々は一つのインプリケーションとして、ある集団に新規メンバーの流入する際の審査の厳しきの適切な設定を考える。新規メンバーの流入において審査を非常に厳密にし、非協調的な参加者を完全に排除することで、一時的には協調的な状態を維持するために有効であるが、前述のメタ規範の脆弱性で触れたように、長期的には非協調の侵入を許してしまう。対して、ある程度の寛容性のある審査で非協調の侵入を許すことで、集団が協調を頑健に維持することができるようになる。

これは抽象性が高いモデルだが、これは異分野との共通言語になりうる。アブストラクトモデルがあるおかげで問題の本質を共有でき、それぞれ固有知識から様々なコミュニケーションが可能になる。それは社会シミュレーションの一つの意義になるだろう。

もう一つアブストラクトモデルからミドルレンジに近づいていくことが重要だ。ギルバードの3つの階層は有名であるが、アブストラクトモデルからミドルレンジにかけて「現象との接合」と「直感との接合」について考える。社会的ワクチンモデルはアブストラクトモデルだが、では現実の社会に応用できないだろうか。例えば、社会の流入出に関するコントロール方針について応用できる、という研究をしている。これはミドルレンジに踏み込んでいる。

さて、今後であるが、抽象モデルのパーツを多く用意すべきであり、シミュレーションと実験との接合も重要だろう。その際、結果の乖離するところを見つけることが重要だろう。そこから社会に埋め込まれたメカニズムを掘り起こすことができるからだ。例えば社会的ワクチンの文脈でいえば正義が埋め込まれていることを発見できるかもしれない。

6. マーケティング・サイエンスの限界をABMは超えられるか？

水野 誠

マーケティング・サイエンスの限界をABMは超えられるかについて考えたい。

マーケティング・サイエンスは、元々はORや経営科学を母体として生まれ、主に計量経済学や計量心理学の影響を受けながら発展した。POSデータの普及によって利用可能なデータが増加したことで、マーケティング・サイエンスの研究は大きく飛躍した。価格プロモーションはどのようなタイミングで行うべきか、営業部隊への報酬をどう支払うべきか、広告はどれくらい打つべきか、製品の仕様をどう決めたらいいか・・・さまざまな問題への挑戦がなされてきた。

マーケティング・サイエンスが前提にしているのは、対象とするシステムが安定していること（定常状態にあるか、しばしば均衡にあると仮定できること）、システムを外からコントロールできること、そのための目標を企業は明確に設定できること、などである。それらの条件が満たされれば、明確に定義された目的関数を得ることができるので、あとは最適化すればよい。

このようなストーリーが困難に直面するようになった背景に、マーケティング・システムを構成する重要なエージェントである消費者の行動が、従来の観点からは（あるいはそもそも現象として）予測不能になりつつあることが挙げられる。その大きな要因として、イノベーションにより消費者の知覚や選好がつねに変容を迫られること、消費者間の社会的相互作用が無視できないほど高まっていることなどが考えられる。これらは、従来のマーケティング・サイエンスの前提を覆しつつある。

そこで代替的なアプローチとして登場したのがエージェントベース・モデル（ABM）である。ABMは本来の性質からして消費者間の相互作用をモデリングするのに適しており、必ずしも定常

状態や均衡状態にはないシステムでも扱うことができる。ただ、その一方で「現実」にどう適合させるかについて、きちんとした方法論が未整備であるという大きな問題が残されている。そもそも ABM の出自において「可能な世界」(Could-be/Would-be World) を扱うことが期待されていたことも、重要な意味を持つ。

さて、本年 1 月に電通大で行われたワークショップで同じようなテーマがあったがそこで主張したのは以下の三つである。一つは、過去の研究資産の継承であり、遠藤先生が主張されていた。二つは、ABM が均衡モデルを超えるならタイムスケールの経験的妥当性が問題だ。最後に、ABM をデータにフィットするのが統計学に比べていい加減かもしれない。今年の WEHIA で、ファギオロが経験的妥当性に関するチュートリアルを開いていたが興味深い。もう一つは、マーケティングの学者が、トップジャーナルでこの分野で ABM を普及させていくためのサーベイをしている。これらをテキストとする。

ファギオロから、ABM は均衡によって特徴づけられないダイナミクスであり、新古典派とは違ったパラダイムである。新古典派の一見非現実的な仮定は事実としてはなく手段として用いられている。フリードマンの *as if assumption* である。ファギオロは ABM もそういう手段主義の立場に立つべきだと主張している。仮定が現実的であるから ABM がいいんだというのではなく、ABM でないと説明できない現実があるというのが重要である。

そこでポイントとなるのは定型化された事実 *stylized facts* である。これを再現するのが ABM にとって重要だというのが彼の考えである。つまり、何らかのレギュラリティがあり、しかも、通常の標準的なモデルでは説明できない、それを再現する、しかも複数説明できればなお良い。ABM では初期条件が与えられ、モデルを動かす。その結果、時系列のデータがマイクロレベルでもマクロレベルでも生成されるから、それを何らかの

統計量に置き換えて評価する方法が標準的だろう。その際、何らかの現実と比較するがその方法はいろいろある。量的なケースもあれば、質的なパターンを見る場合もある。さきほどの山本さんの抽象モデルでいえば、一人ひとりの行動を再現するというよりは、経験則として知られているような人間の行動パターンを再現できるかということになる。こういったモデルでは、質的に説明できればよいのであって、ここではエンピリカルデータは必ずしも要請されず、むしろモデルの頑健性の方が重要になる。それに対して、もう少し現実のデータに合わせたアプローチもある。例えば、パラメータを何らかの現実のデータ（アンケートでも良いし実験でも良い）に当てはめる、あるいは、結果が何らかの *Stylized facts*（例えば、再現したいと思っている価格の分布）に近いものができるように、パラメータは適当に探索することもある。あるいは、もう少しデータとモデルの出力の間の乖離を尺度化して、GA を使ったり、もっと簡便なヒューリスティクスを使ったりしてパラメータの最適化による推定を行う場合もある。あるいはヒストリカルアプローチ、すなわち、一回限りの歴史的事例を再現するということもある。

こういった様々なアプローチが試行錯誤の中で生み出されたといっても、やはりまだ論点として残っている部分がある。それは、ある当てはめたい観察結果が通常は一つ存在するが、それに当てはめることにどれだけ意味があるのだろうか、ということだ。というのは我々が扱おうとしているのは一種の可能世界であるとする、データというのはその一部でしかない。さらに、もし *Stylized facts* を再現したとしても、それは必ずしもある事柄を説明したことにならないだろう。これらの論点はないものねだりの感もあるが、ファギオロに言わせれば、新しい計量経済学が必要だということになる。

さて、マーケティングの立場から見るとどうなるだろう。エージェントという方法論はいろいろ

な分野で取り上げられるようになり、マーケティングのジャーナルでも特集号が組まれたりしている。Land & Rust のサーベイ論文はヨーロッパのマーケティング・サイエンスのアカデミーが出しているジャーナルに掲載された。マーケティングでA BMを使った研修は圧倒的に新製品の普及と口コミが多い。また実務的な意味を含めてインフルエンサーの役割について検討したものが多く、Watts & Dots らが有名だ。後はネットワーク外部性を扱った研究などがある。

Land & Rust はA BMを解析モデルや統計モデルと並べて紹介している。解析モデルは現実を単純化しすぎる、統計モデルでは理論との結びつきが必ずしもうまくいかないのに対し、A BMは補完的役割を果たすだろうと主張している。この論文はA BMの専門家向けではなく、マーケティングの専門家向けなので、既存の方法を頭ごなしに否定するようなことはしていない。単純に言うと、モデルの一般化可能性を追求するなら数理モデルがよい。解析的に解ける範囲に問題があるなら、それでよい。一方、扱いたい現象がより複雑なモデルを要求するならA BMだと言っている。つまり、どちらが一般的に正しいというわけではなく、目的に依存するということだ。かなりプラグマティックな感じである。

それらを踏まえて彼らはA BMが適当な領域を4つ挙げている。なかでもA BMの使用が必要条件になるのは、時間を扱う場合だと、さらに十分条件はエージェントが適応的に行動する場合が当てはまると主張している。

最後に彼らの validation についての考え方を紹介したい。彼らは理論からモデルが正しく作られているかを verification、モデルが現実に対して整合しているかを validation と定義している。前者はソフトウェア工学的な話で、後者はファギオロの言う Stylized facts を再現する、あるいは、現実のデータの再現をするという話になるだろう。彼らは Bass Model へA BMを当てはめている。そのときになるべく特別な仮定を入れずにA

BMを構築するというアプローチをしている。例えば新製品の採用について、Bass model だと市場全体の普及率の影響を受けて変わるので、エージェントでも、ローカルではなく全体に関する知識を持っていると仮定される。そうなるほとんど Bass model と同じだが、離散的になっている点が違うモデルが作られる。それがBass model と同じ知見を再現できるという validation をやった後に、今度はモデルを少しずつ拡張していく。ネットワークを変える。ランダムネットワークでは Bass model と基本的に挙動が同じ、ところが、スケールフリーにするとかなり挙動が変わるというようなことをやっている。このようなアプローチは、すでに伝統的な領域で validation されたものを拡張して少しずつ違う世界に持っていこうというアプローチである。実際、消費者のネットワークがスケールフリーになっているかは簡単には検証できないので、とりあえずできる範囲で、即ち集計的な範囲でやろうとなる。こういったやり方は、かなり遠慮したアプローチで、既存の領域にかなり敬意を表したやり方になっている。既存の世界を肯定してそこから少しずつ可能世界を広げていこうという。こういった既存の研究からの拡張という方法は、ある意味、その分野のジャーナルに載せるための戦略とみなすこともできるだろう。

一方で、やはりA BMを使わないと解けないだろうという立場からの研究もある。

最後に私の考えていることを述べる。A BMは基本的にプロセス志向と言われている。基本的に均衡を対象としていないと、しかし実際の多くの分析は均衡時の状況を議論している。そうなる、単なる均衡計算のアルゴリズムに過ぎない。もしそうなら、実はタイムスケールの設計が難しくなる。つまり、普及過程において、影響が広がる速度と影響を受けてから意思決定するまでの速度の比率が変わるだけでモデルの挙動はだいぶ変わる。プロセスを分析するとなると複数のモデルの中に走っている時間の流れというものを、如何に

調整するのは、実はクリティカルに効いてくる。 軸である。

7. 発表の統括

寺野 隆雄

7. 1. はじめに

遠藤先生の話の中に「想定外の事象をどう対象にするか」という問題があったが、エンジニアリングの立場からすると「想定」というのは「デザイン要求」にほかならない。エンジニアあるいはデザイナーは、「想定」がなければシステムを作ることができない。研究の目的が「分析」ではなく「設計や実現」という立場からすると、「想定」がなければ何も始まらない。したがって「想定」を定めるのは、科学・技術の問題ではなく社会の問題であるというのが私の考えである。

もう一つ重要なのは、「デザイン」の解は複数存在するのがあたりまえであると認識することである。つねに設計問題では複数の解のうちどれを採用するかという意思決定問題が付随する。これは社会システム論でも同じことが言える。社会シミュレーションの話をするときに「将来の予測はできるのか」という質問がでる。ところが、予測と占いは似たようなもので「当たるも八卦当たらぬも八卦」ということになってしまう。「デザイン」という観点でシナリオを評価するために、社会シミュレーション研究を考えることが重要となるだろう。

7. 2. 社会シミュレーションの規模の問題について

社会シミュレーションの粒度に話題を移したい。図7.1に示すように社会シミュレーションには3つの軸がある：一つには山本先生が出されたような抽象度のレベルを表し、アブストラクトなのかミドルレンジなのかファクシミリなのかをさす。もう一つの軸は規模の話であり、マイクロ・メゾ・マクロという軸である。さらに三つめの軸は、水野先生の問題提起にあったような、シミュレーションのタイムステップをどうとるかという

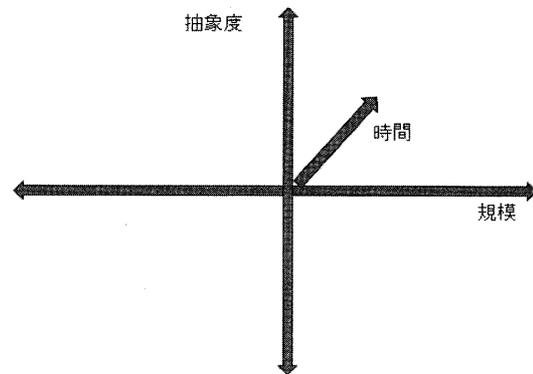


図3 社会シミュレーションの3つの軸

たとえば、アクセルロッドのノルムの研究 (Axelrod, 1997) は彼の記述では完成されたものであったが、山本先生の研究のように時間軸を伸ばすとまったく別の側面がみえてくる。時間軸や時間ステップの議論をするときに注意しなければならないのは、計算手法としての処理ステップと社会システムの時間ステップとはまったく別物であると認識することである。たとえば、組織シミュレーションで人工知能の強化学習を使用することは多い。計算手法としては、強化学習は収束までに通常数十万ステップを要する。これを、そのまま経営学でいう組織学習の概念に当てはめると、人間の意思決定はせいぜい10ステップで収まる。計算手法の話と社会システムの話は完全に分けなければならない。

規模の問題に話を戻す。すると、マイクロなレベルで人間の意思決定モデルを考察するのは人工知能の話題である。そこでは、完全な人間のモデルにどこまで近づけるかが課題である。これは社会シミュレーションの範疇ではないだろう。

一方、従来は社会学や経済学の問題であったマクロなレベルの対象に対して、最近、統計力学を中心とする物理学の方法で接近できるようになった。これが経済物理学である。統計力学では、エージェント、あるいは、粒子の数は10の23乗のレベルになる。一方、社会シミュレーションでは、

全世界の人間をシミュレートできたら規模の観点ではそれでおしまいである。が、それは高々10の10乗なので、本来の意味では統計力学は使えない。統計力学のレベルまで規模を拡大するには、ひとりひとりの人間が全世界の社会シミュレーションモデルを個別に使うって意思決定することを想定すればよい。すると、モデル全体には10の20乗個のエージェントが含まれるようになる。その結果として、ようやく統計力学の話と社会シミュレーションの話が規模の意味で同等に議論できるようになる。ちょうど1cc弱の気体に含まれる分子数と同じ規模なのだから。

しかしながら、現在我々が社会シミュレーションの対象として最も得意とするのは、それよりもだいぶ少ない集団の規模、100とか1000エージェントが非常に扱いやすい。もちろん100万エージェントのエージェント・シミュレーションもあることはあるが、一方、非常に不思議であるとともにさいわいなのは、経済物理学のような統計力学の技法が現実の社会シミュレーションにそのまま適用できることと、従来の人工知能の知識表現などの技法が個々のエージェントの意思決定モデルについて適用できることである。

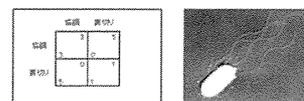
7. 3. 社会シミュレーションの抽象度について

社会シミュレーションの抽象度については、これはナイジェル・ギルバート示した3つのレベル：アブストラクト、ミドルレンジ、ファクシミリの概念(図4)が有用である(Gilbert,2007)。

アブストラクトモデルの代表例が「繰り返し囚人のジレンマ」ゲームである(Axelrod,1997)。これについては、彼は「社会科学における大腸菌」という表現をしている。これは、その機能については、誰でも理解できる程度に単純だが、結果としては、複雑な現象が観測でき、社会・経済問題に関しては、十分複雑な研究対象となるという意味である。ただし彼のテキストでは、少し言い過ぎの感があり、本来だったらモデルの仮定のはずの議論を結論に持って行ってしまっているところ

がある。その点で彼自身フラストレーションがたまっていると思われる。

• 抽象モデル



• ミドル・レンジモデル



• ファクシミリモデル



図4 社会シミュレーションの抽象度

一方でミドルレンジモデルでは、対象問題に対して発現する典型的な事象 (Stylized Facts) をうまく説明できることが求められる。たとえば、東大の西成先生の渋滞学の研究はミドルレンジモデルに相当する。渋滞現象を流体力学の技法を使って非常にうまく説明し、しかも、現実の渋滞データとの一致度が高い(西成,2006)。このレベルでは、Stylized Factsに関する妥当性の評価(validation)が重要になる。

最後は、現実に近いファクシミリモデルということになる。現実を映すという意味でファクシミリという用語を使う。我々の最近の研究例では、数日間のスーパーマーケット中の人の動きの測定データをシミュレータ中のエージェントの動きを一致させるという問題がある(寺野,2003)。しかし、見た目の動き合わせようとするとパラメータの調整に非常苦勞する。さらにシミュレーションの見た目の動きが本物かどうかという議論は常に付きまとう。すなわち、ファクシミリモデルでのシミュレーションの役割を考えると、一方で説得力が求められるのは確かだが、その一方でそれを聴く人が納得力を持っていないと意味がない。特にスーパーマーケットの話は誰でもわかるがゆえに、このエージェントの動きはおかしいじゃないかとすぐに突っ込みが入る。そうなる聴く人が

どれだけ想像力があるかが大事になってくる。

これらの課題に対して、私がしばしば主張しているのは、「恣意的な結果も出力できないシミュレーションモデルは意味がない」いうことである。というのは社会シミュレーションは、どこかで現実を設置させておかないと、もともと信用されないという性質をもつからである。そのためにはモデルに準拠する限り恣意的に操作も恐れてはいけない(寺野,2003)。さらに、先ほどのミドルレンジモデルの例で、流体力学の手法が非常にうまくいくように見えるのは、実は流体力学のような理論がうまく合うような現実を探しているわけで、実際の現象からうまくモデルを作ったわけではない。実はこの辺が理学的な立場と工学的な立場の違いになる。

7. 4. 社会シミュレーションを人に納得させるには

我々は、理論と現実という両方の境界値にしばられている状況でモデルを作らなければならない。この両者を社会シミュレーションがつなぐわけだが、そのつなぎ方は様々である。問題はシミュレーションを聴く人々を、理論から納得させるのか、現実から納得させるのかという戦略である。理論で納得させる場合、適当なパラメータを単純化するとシミュレーション結果が理論結果と一致することを示すことが重要である。現実から納得させる場合は、たとえば、スーパーマーケットにおける人の流れをビデオに撮ったものと一致することを見せることが重要である。一度、理論もしくは現実と一致したシミュレーションを複雑化もしくは単純化していった、どんな結果でも出してみるといふ接近法が大切である。

次の議論したいのはリテラシの重要性である。遠藤先生の話と関連して、共通言語を提供できるかという問題がある。例を示す。図7.3は、組織の多様性と効用との関係のシミュレーション結果を1000点ほどプロットしたものである(小林,2011)。ここで変わっているのは乱数の初期値のみであるが、1000点も表示するとかなりバラ

けることがわかる。これがそもそもコンピュータシミュレーションの特性である。私は、現実のケースは、このようにバラけた結果の1点に相当すると信じている。うまくいった事例が富士フィルムで、失敗した事例がコダックであるというように、アブストラクトもしくはミドルレンジのレベルでシミュレーション結果の議論をする場合は、このような結果のばらつきを認識したうえで解釈を与えなければならない。

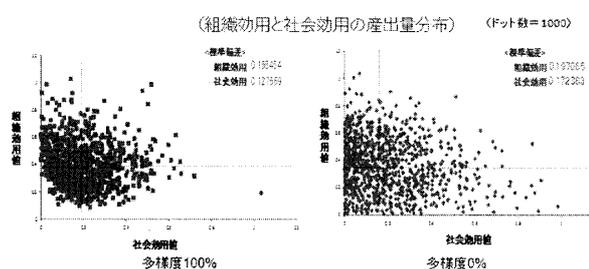


図5 組織の多様性と効用の関係(小林,2011)

共通言語については興味深い例がある。それは東洋医学における「つぼ」の概念である。体のどの部分に刺激を与えるとどのように症状が改善するかという関連性について歴史的に得られた貴重な経験知である。ところが、鍼灸では流儀が違つとつぼの位置が若干異なっている。なぜだろうか？それに対しては「つぼ」は発明・発見されたものだという見解が興味深い。鍼灸師が見つけた相関ルールは「つぼ」という名称が与えられたことによって、「身体をつぼ」という概念の役割が変わって、「つぼ」という「言葉」を使うことによって、その意味が伝達しやすくなり、一部の鍼灸師が行っていた東洋医学の方法が多くの人々にとって操作可能になったのである。そのような共通言語の役割が社会シミュレーションの方法に要求されている。

紙に記述された静的な論文(これが従来の学問の伝達方法である)では無理だが、研究者がシミュレータのプログラムを提供し、他の研究者が動的にそれを検討するというのが望ましい。今やパ

ソコンでかなりのことができるので、論文でいろいろなグラフを見せる代わりにシミュレータを動かして研究成果を発表するわけである。最近、データの共有化が社会問題に関する調査研究において大きな課題となっているが、その次の段階としてシミュレータの共有化が必要である。社会シミュレータそのものが共通言語となり、「つぼ」としてのモデルが非常に重要になってくるのではないかと感じている。

最後にアーキテクチャとコードという話をする。前者は建造物の意味であるが、建築家によると空間を含めてアーキテクチャというそうだ。『アーキテクチャの生態系』濱野(2008)では、総体としてのアーキテクチャが人工物のデザインの結果となる。つまり、作ったものが意図せざる動きをしたとしても、それを含めてアーキテクチャと言う。『CODE2.0』(Lessig,2006)では「コード」とは法律とか制度を意味しているわけだが、それは思わぬ副作用を持って構わないし、明文化していなくてもよいとしている。

要するに、社会問題に関連する事象は、デザインし実現しなければわからないことが多すぎる。インターネット然り、原発の事故対応も実はそうだった。そう考えると、上から政治(ガバメント)が、何かを決めるというこれまでの社会的な意思決定に対して、下から何かをやっていく「ガバナンス」の方が、これからの社会システムを考えると有効だろう。誰かに考えてもらって文句を言う社会に代わって、自ら引き受けて考える社会が必要である。そのための道具として社会シミュレーションが位置付けられる。

さらに言うと、シミュレーションは what-if とか what-would-be が重要であって、如何に見せるかというのもシミュレーションの重要さであり、納得力を増すために必要であろう。シミュレーションをやれば、それなりに面白い結果が出るし、それに対して、結果の後付けの理由も書ける。論文にするなら、シミュレータの妥当性も重要だが、結果を面白く見せることも可能だろう。たと

えばworldmapperというサイトには世界中の統計データを世界地図上に興味深く表示している。これも what-if の面白い例である。

最後に、猪瀬直樹の本を紹介する(猪瀬,2010)。これは、太平洋戦争の直前、総力戦研究所という組織で、世界初の大規模ゲーミングシミュレーションを実施し、2年で敗戦に至るという結論を出したという隠れた史実に関するものである。戦争の開始前にその結論が出たということで『昭和16年夏の敗戦』というタイトルになっている。この本の最後に著者がこう書いている。「悪いのはお前だと特定の組織が人をやり玉に挙げ攻撃しても、彼らが言うことを聞くはずがない。ここは具体的にこうおかしいと限定された個々の事例を提示し、具体的なデータをもとにシミュレーションを行ったうえでどうですかと突きつけていかないと内閣は進まない」と。このような問題こそ社会シミュレーションという方法が非常に効力を発揮するだろう。

8. まとめ

岡田 勇

ワークショップではこの後2時間のパネルディスカッションがあつたが、紙面の関係で要点のみ記したい。

まず、シミュレーションには工学的立場と理学的立場の違いが重要であり、社会科学者の立場は後者に近いとの意見があつた。それについては、コンピュータで利用するテクニックと社会シミュレーションモデルの解釈は全く別物だという言い方をしないといけないかもしれない。ただし、最右翼の立場では、適切なジャーナルがあまり存在しない。逆にABMはあくまでもツールと言う立場からすると、既存体系の中で位置付けていく作業が求められる。

次に、シミュレーションは共通言語だと議論があつた。複数の異なる学問分野から出てきている成果をつなぎ合わせることによって、ある意味創

発的な成果を出せないのかということ。日本学会会議も、ある意味非常に保守的なところだが、頑張ったらそれなりに受け入れてくれる。今は扉は開きつつあるだろう。だからむしろ大事なのは特定の領域だけでやるのではなく、もちろん、余りにも飛びすぎると通じなくなるが、通じるようにしつつ、分野横断という形で、新しい創発性を(ここで創発とはシミュレーションの創発的な力を指す)出すべきではないだろうか。

それについては、Generalな解決策を求めすぎているかという議論があった。ABMが求められている環境とか、シミュレーションが言語として通用する分野を先に見つけてから、やった方が現実的ではないかとの見解である。さらに、数理社会学会の例も披露された。そこではゲーム理論でABMというのがパターン化しているのがむしろ問題だと思う。なぜそこで閉じ込めるのか。昔は、社会学でゲーム理論を使うのはむしろ疑問があつて、そうじゃない、例えば相互交換モデルを使って社会を説明できるのではないかと思つて研究を始めた。なぜか数理社会学会はものすごくゲーム理論が好きなので、ゲーム理論じゃないのはなぜですかという質問が出るくらい。つまり、ゲーム理論でいろいろなシミュレーションをやるのはもちろん正しいが、余りにもそこで硬直しちゃうと、むしろ可能性を狭めることになる。だから、開いたり閉じたりいろんなことをやりながら相互参照しましょう、広いコミュニティを作っていくことが、求められていると感じている。そのときに、分野が違ふと同じシミュレーションでも随分間隔が違ふ。しかし、シミュレーションという共通項によって、我々は語りあえる。このブリッジによって、断絶はしていないがある程度相転移していくような仕組みが作れるのではないか。

ただし、現状はそもそもアーキテクチャが定まってない、方法論が確立していない現状では、いろいろなモデルが存在するというの望ましい姿である。「選択と集中」でモデルを洗練化するのではなく、「バラマキと選択」いう方法でよいと

の見解も出された。良いモデルは自然に残っていくというのが進化論的な思想である。論文誌について言えば、たとえばJASSS (Journal of Artificial Societies and Social Simulation) 誌ではソースコードの公開を求めたりしている。AgentSheets といった単純なツールが普及した理由のひとつは、モデルのアーカイブ作って財産を蓄積していることだろう。

我々が書いた論文のディフェンスについては、洗練された論文を読んで勉強するよりは、たとえたたかかれても問題の対象領域の学会へ出ていくべきである。というのは、社会経済分野の学界は閉じたコミュニティになりがちなので、新しい原理をもって、そこをこじ開けるには、とにかく発言することと何が悪いかを言うことが大事だと感じている。

一方で、シミュレーションの使い道はその辺で終わってしまうのではなく、設計論まで行くべきではないかとの意見や、逆に、設計論に収まらないところがあるから面白いとの意見が白熱した。ただし、人間はそれ自身がシミュレーションをしている一方、進化ゲームの理論では人間はせいぜい昆虫程度の知能しか持たない。ならばABMで簡単にシミュレートできて良かったとなる。人間を含むとメタABMが必要になってくる。理論上はすごく面白いが、そのような拡張もありだし興味深いとの議論が出た。

編者としては、共通の認識に立っている部分とかみ合っていない部分が見られ、まだまだ研究の積み上げは必要だとの印象を持った。

謝 辞

本稿作成に当たり、小川祐樹氏(産業技術総合研究所)から有益なコメントを頂いた。謹んで感謝申し上げる。

参考文献

- AgentSheets <<http://www.agentsheets.com/>>
 Arai(2005) Arai, A., Terano, T.: Yutori Is Considered

- Harmful: Agent-Based Analysis for Education Policy in Japan. Shiratori, R.; Arai, K.; Kato, F. (Eds.) : Gaming, Simulations, and Society Research Scope and Perspective, Springer Verlag, pp.129-136
- Axelrod(1997) Axelrod, R.: The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton University Press (寺野隆雄(監訳) : 対立と協調の科学 -エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明-. ダイヤモンド社, 2003.)
- Beck, Ulrich(1986) RISIKOGESELLSCHAFT, Suhrkamp Verlag. (東廉・伊藤美登里訳 [1998] 『危険社会—新しい近代への道』, 法政大学出版局)
- 遠藤薫(2005) 「実践としてのシミュレーション」 数土直紀・今田高俊編 『数理社会学入門』 勁草書房, p.73-97
- 遠藤薫(2012) 「社会学とシミュレーション??リスク社会に對峙する文理融合のツール」 『学術の動向』 2012年2月号
- Gilbert(2007) Gilbert, N.: Agent-Based Models (Quantitative Applications in the Social Sciences). Sage Publications
- Goel(2010) S. Goel, D.M. Reeves, D.J. Watts, and D.M. Pennock. Prediction without markets. In Proceedings of the 11th ACM conference on Electronic commerce, pp. 357-366
- 猪瀬直樹(2010) 昭和16年夏の敗戦, 中公文庫
- Ishida(2001) Ishida, K. and T. Ohta: O-cubed Modeling and Simulator for Computational Organization Design, Comput Math Organ Th, 7(2), pp. 155-176
- JASSS <<http://www.jasss.soc.surrey.ac.uk/>>
- 小林(2011) 小林知己, 高橋聡, 國上真章, 吉川厚, 寺野隆雄: 組織逸脱と改善の分岐条件とそのハーネシングに関するエージェントシミュレーション.電子情報通信学会論文誌 VOL.J94-D No.11, pp. 1825-1835
- 長尾真(2001) 『「わかる」とは何か』, 岩波新書.
- 日本学術会議(2011) 社会理論分科会主催シンポジウム 「社会とシミュレーション—文理を結ぶ新しい方法論」 <<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf/118-s-1-1.pdf>>
- 日本学術会議(2012) 「学術の動向」 2012年2月号, <<http://www.h4.dion.ne.jp/~jssf/text/doukousp/backgroundnumber.html>>
- 西成(2006) 西成活裕: 渋滞学.新潮選書
- 寺野(2003) 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリング: KISS原理を超えて.人工知能学会誌, Vol. 18, No. 6, pp. 710-715
- 濱野(2008) 濱野智史: アーキテクチャの生態系-情報環境はいかに設計されてきたか-.NTT出版
- Lessig(2006) Lessig, L.: Code: And Other Laws of Cyberspace, Version 2.0, Basic Press (山形浩生訳: CODE VERSION 2.0. 翔泳社, 2007.)
- 鳥山(2009) 鳥山正博, 菊地剛正, 山田隆志, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションを用いた組織構造最適化の研究-スキーマ認識モデル-.電子情報通信学会誌,Vol.J92-D,No.11, pp.1919-1926
- worldmapper <<http://www.worldmapper.org/>>
- Wolfers(2004) J. Wolfers and E. Zitzewitz. Prediction markets. Journal of Economic Perspectives, Vol. 18, No. 2,pp. 107-126