



社会システムのモデリング・シミュレーション技術に関するアカデミック・ロードマップ

古田 一雄*

Academic Roadmap for Modeling and Simulation Technology of Social Systems

Kazuo FURUTA*

Abstract— This article provides an overview of the academic roadmap for modeling and simulation of social systems that was made by a working group of researchers from different domains. The roadmap was drawn along three axes that represent the future trend of technological development: scale/complexity, precision/reliability, and utility/applicability. The topics discussed cover a variety of domains and they are classified into two groups: one of them deals with general approaches of modeling and simulation of social systems, and the other deals with simulation techniques for more specific domains. What we should be concerned about in applying modeling and simulation to social systems were discussed also from a sociological viewpoint.

Keywords— academic roadmap, social system, modeling, simulation, complex system, institutional design, human behavior

1. はじめに

いまや我々の社会は、環境負荷の低減、年金制度改革、医療制度改革、行政の効率化、安全・安心社会の実現などのさまざまな課題に直面している。特に、経済のグローバル化や、エネルギー・環境制約の下で過去に例を見ない高齢化社会を迎える我国にあっては、解決を迫られる困難な課題が山積している。これらの課題解決のためには技術革新も重要であるが、同時に社会の仕組みや働き、すなわち社会機能のイノベーションも不可欠である。

ここで社会機能を合理的に設計する作業を社会デザインと呼ぶことにする。従来の社会デザインは過去の経験と教訓の積み重ねを基本に行われてきたが、現代の複雑化して変化の激しい社会を対象とするには限界を来している。そこで、人文社会学および理工学の成果を総動員して、より実証的で予見的な社会デザインの方法論を確立することが強く望まれる。

計算科学、特に計算機によるモデリングとシミュレーションの技術は、理論科学、実験科学に次ぐ第三の科学として位置づけられるようになり、さまざまな産業分野

において広く活用されている。一方、認知科学、社会心理学、数理社会学など人文社会科学分野における人間行動に関する知見の蓄積と、マルチ・エージェント・システム、人工知能など情報科学分野における技術開発によって、社会システムのシミュレーションを行うことが可能になりつつあるが、現状ではその活用は経済予測などごく一部に限られている。

社会デザインの方法論を確立し、現代社会が直面する課題を解決に導くためには、モデリング・シミュレーション技術を複雑で大規模な社会システムに適用し、社会システムの振舞いをより精度よく予測するとともに、その結果を用いて具体的な社会デザインに活用する必要がある。

以上のような背景から、横幹連合が平成20年度にとりまとめた分野横断型アカデミック・ロードマップの課題として、社会システムのモデリング・シミュレーションがとりあげられた。本稿では、このアカデミック・ロードマップについて紹介する。

2. ロードマップ作成の概要

社会システムのモデリング・シミュレーションには、人文社会学から理工学までの広い分野が関係するため、

*東京大学大学院工学系研究科 東京都文京区本郷 7-3-1

*The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo

Received: 28 August 2009, 14 September 2009

さまざまな専門分野のメンバーが個人の資格で参加した。したがって、参加メンバーの所属学会は横幹連合の会員学会に限定していないが、日本シミュレーション学会が幹事学会を務めた。

アカデミック・ロードマップを3次元のマップとして俯瞰するために、3つの軸を定めた。社会システムのモデリング・シミュレーション技術の分野では、今後その対象は大規模化、複雑化していくことが考えられるため、この点を考慮する必要がある。その一方で、モデリング・シミュレーション結果の精度や信頼性も非常に重要であり、それらを向上させることが目標の一つとなる。このことから、本ロードマップでは「規模、複雑さ」および「精度、信頼性」をそれぞれ軸としてとった。また、モデリング・シミュレーション技術の実社会における利用を促進することも目標の一つとなり得ることから、「可用性、適用性」をもう一つの軸とした。

また、本ロードマップにおけるシミュレーション技術のめざす方向として、民主的で公正な意思決定のための「合意形成支援」、科学的根拠に基づく社会運営のための「社会制度設計」、安心・安全で活力ある社会のための「社会イノベーション」をあげた。

以上の社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野を俯瞰したアカデミック・ロードマップに基づき、人文社会系および理工系の分野のさまざまな角度から議論を展開した。ロードマップの作成作業は、4回の研究会および1回の合宿を実施して行った。また、平成20年12月5日には第2回横幹連合総合シンポジウムの機会を利用してパネルセッションを企画した。ロードマップ作成の方法としては、ワーキング・グループの各メンバーが各自の専門の観点から話題や関連技術を持寄り、これに対する討論を行い、基本方針で示された枠組みに整理するというアプローチを用いた。

3. ロードマップの概要

3.1 全体構造

本ロードマップでは、社会システムのモデリング・シミュレーション技術の方向性を、Fig. 1に示すように3つの軸によって整理した。まず、対象とする社会システムの規模と複雑さを拡大して、都市、国家、世界などの大規模な社会システムを直接扱えるようにする方向が考えられる。つぎに、より精緻なモデルを構築して、シミュレーションの結果得られる社会システムの挙動や特性に関する予測の精度、信頼性を向上させる方向がある。もう一つは可用性、適用性を拡大する方向であり、これはモデリング・シミュレーション技術を広範な分野における現実課題の解決に活用できるようにするために、モデルを特定化したり、活用法を洗練、高度化したりする

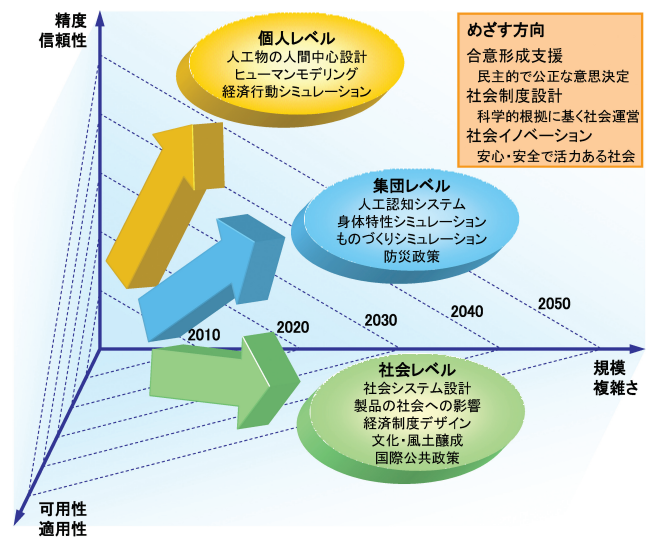


Fig. 1: Image of roadmap for modeling and simulation of social systems

ことである。

社会システムは多数の人間によって構成されているので、社会システムのモデリング・シミュレーションは、人間行動のモデリング・シミュレーションが基礎となっている。そして、上記の発展の方向性は対象とする社会システムの規模と深く関係する。そこで、モデリング・シミュレーションの対象を、個々の人間の行動を対象とした「個人レベル」、数人から数十人規模を対象とした「集団レベル」、数百人以上の規模を対象とした「社会レベル」の3つに分類した。ロードマップでは、これら3つのレベルにおけるシミュレーション技術の展開を矢印で示した。

「個人レベル」では、個々の人間についてのシミュレーションを扱う。このレベルでは、結果の精度や信頼性を上げる方向でシミュレーション技術を展開していく必要がある。具体例としては、人間行動をモデル化しシミュレーションする「ヒューマンモデリング」や、さまざまな経済活動における人間の行動をモデル化しシミュレーションする「経済行動シミュレーション」など個人を対象としたシミュレーションがあげられる。一方で、対象が「集団レベル」、「社会レベル」と大規模化するにしたがい、シミュレーション技術自体も相対的に規模、複雑さが増加する方向で展開していく。「集団レベル」の対象としては、「ものづくりシミュレーション」や「防災政策」があげられ、「社会レベル」の対象としては、「社会システム」、「経済制度デザイン」、「国際公共政策」などがあげられる。さらに、3つのレベルともそのシミュレーション技術が実社会に浸透することも目標の一つとなり得るため、「可用性、適用性」の方向へも展開していく。

本ロードマップが扱った領域は非常に多岐に渡るが、

Table 1: Keywords in the roadmap for general approaches

	2010	2020	2030	2040	2050
複雑系と社会システム SIM	<ul style="list-style-type: none"> 様々な可積分系の超離散化 分岐理論の発展 社会 SIM への様々なアプローチ 	<ul style="list-style-type: none"> 超離散化数学の確立 精度保証付き数値計算による計算機援用解析法の発展 社会システムの分岐理論の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 関数概念の超離散化 大規模カオス系の計算機援用解析学の確立 ユーザフレンドリな社会システムシミュレータ 		
ヒューマンモデリングと社会システム SIM	<ul style="list-style-type: none"> 限定合理的な人間行動に関する知見の蓄積 実環境での集団行動認知に関する知見の蓄積 様々な社会的相互作用のモデル化技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 個人行動モデル構築のための方法論確立 集団行動モデル構築のための方法論確立 創発・共創システムの理論とその設計方法論の確立 	<ul style="list-style-type: none"> あらゆる人工物の人間中心設計 人間と協調可能な人工物の実現 社会 SIM による社会システムの設計 		
社会システム SIM	<ul style="list-style-type: none"> 情報推薦・家計・医療 Data/Web マイニング・知識発見 社会ネットワークマーケティング 	<ul style="list-style-type: none"> 流行分析・集団行動 マーケティング・企業連携・金融 経済 SIM 	<ul style="list-style-type: none"> 社会行動分析 組織行動分析 政策 SIM 		
国際公共政策 SIM	<ul style="list-style-type: none"> 外交文書の公開促進 紛争予防の研究者（媒介者）の SIM 教育 紛争予防 SIM・Would-be SIM（近過去） 	<ul style="list-style-type: none"> 軍事衛星の精度向上及び情報の非対象性減少 世論動向の予測発展 CBM 強化 SIM 	<ul style="list-style-type: none"> 暗黙知の共有 国際世論形成メカニズム分析の発展 <as if game>モデルとルールメイキングをとり入れた社会進化 SIM 		
経済制度設計のための社会実験 SIM	<ul style="list-style-type: none"> 実験データと整合性がある限定合理モデル開発 仮想社会上の実験による制度分析手法開発 社会調査とフィールド実験による分析 	<ul style="list-style-type: none"> 統制環境下での精度が高い行動予測 地域 SNS の制度設計への応用 組織における制度設計 SIM 	<ul style="list-style-type: none"> 限定合理性の下でも頑健性がある制度設計 高度な電子政府の制度設計 国家規模の経済制度設計の基盤作成 		

SIM：シミュレーション

モデリング・シミュレーションの一般的方法論を広い視点から俯瞰する領域と、よりの絞った特定課題に対するシミュレーション技術について議論する領域の2つに大別し、各々5つの領域をとりあげた。さらに、社会システムのモデリング・シミュレーションを現実的課題の解決に適用しようとする際の問題点を、社会学の立場から指摘した。

領域ごとのロードマップの概要を、キーワードによって Tables 1, 2 に示す。以下、各領域のロードマップについて解説する。

3.2 一般的方法論に関するロードマップ

(1) 複雑系と社会システムシミュレーション

複雑系とは、構成要素が非常に複雑な相互作用や非線形相互作用によって、カオス現象、自己組織化、記憶・連想・学習などの機能が発現するような系をいう。これらのキーワードの発展によって、決定的な方程式に従っていても初期値が少し変わっただけで現象が大きく変動する超ニュートンのな自然観が形成されてきた。

複雑系理論の基盤は非線形理論であるが、非線形理論は可積分系の理論と非可積分系の理論とに分かれる。非線形波動ソリトンに代表される、非線形方程式の解が厳密に求められる系を可積分系という。連続ソリトン系の空間変数、時間変数を離散化したものが離散ソリトン系であり、さらに離散ソリトン方程式を超離散化するとセルラオートマタが得られる。離散ソリトン系の研究が進むにつれて、連続ソリトン系よりも離散ソリトン系が基本的なものではないかという考え方が生じた。超離散ソリトン方程式を解くことによって連続ソリトン系の振舞いを理解する、デジタル解析学の構築が課題である。

一方、可積分系でない系が非可積分系であるが、これを特徴づけるのがカオス現象である。非可積分形の解は無数に多くの非周期解が非常に複雑なアトラクタの近傍を彷徨する。今後は非線形系に対して力学系理論を適用するための利用者に優しいシミュレータの開発が進んでいくと思われる。また、数値計算の誤差をすべて厳密に考慮に入れて計算機援用証明を行うための精度保証付き数値計算がシミュレーション技術の信頼性を飛躍的に増

Table 2: Keywords in the roadmap for specific issues

	2010	2020	2030	2040	2050
経済行動 SIM	<ul style="list-style-type: none"> 経済行動履歴・行動経済実験 Would-be SIM 高頻度データ 	<ul style="list-style-type: none"> 神経経済学 条件付き相対的予測 高速 SIM 	<ul style="list-style-type: none"> 日常的場面での計測 社会的環境知能 リアルタイムモデル化 		
ものづくり・サービスづくり SIM	<ul style="list-style-type: none"> 現場における QCD に対する SIM モデル プロセスが社会・環境へ及ぼす影響についての SIM モデル 	<ul style="list-style-type: none"> 現場における QCDSM に対する SIM モデル 連鎖における QCD に対する SIM モデル 製品が社会・環境へ及ぼす影響についての SIM モデル 	<ul style="list-style-type: none"> 連鎖全体に対する SIM モデル 製品やプロセスの連鎖が社会・環境へ及ぼす影響についての SIM 		
防災・安全 SIM	<ul style="list-style-type: none"> CAD・GPS 連携 単体の施設 施設内設計・通路設計 	<ul style="list-style-type: none"> GIS 連携 複数の施設・地域 施設周辺設計・防災マネジメント 	<ul style="list-style-type: none"> 施設設計支援 広域の避難計画支援 都市計画支援 		
文化・風土醸成のための参加型 SIM	<ul style="list-style-type: none"> 問題関連要因の抽出・特定手法の開発 ユビキタスネットワークの普及 異言語コミュニケーションのシームレス化 	<ul style="list-style-type: none"> フィードバックの個別対応性 インタフェースの親和性向上 社会の共通理解生成プロセスの理論化 	<ul style="list-style-type: none"> 意識から行動への転化 基盤的システムとしての普及 社会的全体最適に向けた活動の実行化 		
超高齢社会にむけた身体特性 SIM	<ul style="list-style-type: none"> 個人加齢モデル 自己増殖型身体特性データベース 既存型身体特性データベース整備 	<ul style="list-style-type: none"> 加齢抑制メニュー提供 集団レベルの逐次学習型加齢モデル 社会レベルの逐次学習型加齢モデル 	<ul style="list-style-type: none"> 個人レベルの身体機能向上 集団の加齢 SIM 社会現象の加齢 SIM 		

SIM：シミュレーション

大きさせることが期待される。

人間は細胞から全体に至る非常に複雑なシステムであり、マイクロレベルの自然科学的な方法論の単なる積上げでマクロレベルまでを理解することはできない。自然科学的に人間を調べるときの基本的道具が非線形理論（複雑系理論）となる。人間の根源的理解はこのような自然科学的なアプローチが不可欠であり、この方向での研究が人間、さらにその集合体である社会の振舞いのモデル化とシミュレーションを可能にすると考えられる。

(2) ヒューマンモデリングと社会システムシミュレーション

ヒューマンモデルとは、人々が人間行動について記述、理解、予測する際に、人間行動の着目すべき側面だけを抽出して何らかの形式に表現したものである。人間は社会システムの基本構成要素であり、人間行動が社会システムの振舞いを基本的に決定しているので、社会システムのモデリングとシミュレーションにとって、ヒューマンモデリングは最も基盤的な要素技術である。

個人の認知行動を対象として始められたヒューマンモデリングは集団や組織へとスコープを拡げ、今や個人から社会までのさまざまなレベルにおける人間行動をモデル化する、マルチスケール・ヒューマンモデリングが可

能になりつつある。社会システムのモデリングでは、個人、集団、社会のレベルを包括的、体系的に扱う理論と方法論を確立することが最終的な目標である。

個人レベルでは、一個人の心的世界における行動決定の認知プロセスを問題とする。このレベルでの研究開発課題は、限定合理性に基づく人間の思考のモデル化であり、その成果は製品やサービスの人間中心設計に役立つ。集団レベルでは、数人から十人弱の規模のチームが協調しながら共通の目標を達成するためにタスクを遂行している場合を想定する。ここでは人間の協調行動を可能にする相互作用のモデル化が課題で、そのような研究は人間と協調可能な人工物に道を開くと期待される。集団レベルよりもさらに多数の人間を扱うのが社会レベルであり、社会システムを合理的、科学的に設計するための社会シミュレーションに直接つながる分野である。

個人レベルにおけるヒューマンモデリングの方向性が実際の人間行動に対するリアリティの追求であるのに対し、社会レベルにおけるモデリングの方向性は規模、複雑さの拡大である。社会レベルでは、詳細な認知行動プロセスをモデル化することを一部あきらめるかわりに、非常に多数の行動主体が織りなす相互作用から発現する社会システムの複雑な挙動の解明に重点が置かれる。集

団レベルのヒューマンモデリングは、両者の中間的な方向に発展させる必要がある。ヒューマンモデルの活用が進むにつれて、こうしたモデル構築のためのノウハウの蓄積も必要である。

(3) 社会システムシミュレーション

社会システムの分析・設計に伴う困難を克服する手段として、エージェント・ベース・モデリングの考え方に基づいたロードマップを示す。エージェント・シミュレーションでは「エージェント」と呼ぶ内部状態と意思決定・問題解決能力、ならびに通信機能を備えた複数の主体によるボトムアップなモデル化を試みる。そしてこのインタラクションに基づく創発的な現象やシナリオを分析する。エージェント間のマイクロレベルのインタラクションで創発するマクロな現象、ならびに、それがトップダウンにエージェントに影響を与えるというマイクロ・リンクの現象の分析に有用である。

モデルの理解性・伝達性・正確性といった問題に対するひとつの回答が「ばかばかしいほどモデルを単純化せよ」という KISS (Keep It Simple, Stupid!) 原理である。社会現象をより深く理解するためには、KISS 原理を逸脱することが必要であるが、実世界にあわせて複雑なモデルを作成すればよいというものではない。社会シミュレーションの特定については、パターン指向モデリングや計算文化力学などの概念が議論されている。

以上の考察に基づいて作成したロードマップ・イメージにおいては、社会システムを利用するレベルとして個人レベル、企業・組織レベル、社会・政策レベルの分析・設計・意思決定問題の3つを想定する。次に、シミュレーションの目的として、対象をあるがままに模擬する As-is レベル、何らかの仮説を加えて模擬する As-if レベル、過去に遡って事象の可能性を探る Would-be レベル、対象をどのようにしたいのかを設定して行う Will-be レベルの4つにわけ、この順にいつその規模・複雑さ、および、精度・信頼性が必要である。これらの進展を支えるには、シミュレーションのシナリオを生成・分析・評価する方法の確立が重要である。

シミュレーションで使われる技術・手法として、現在のものに加えて、対話型シミュレーション、参加型シミュレーション、パラメータやエージェント数が多い大規模シミュレーション、多くのシナリオを分析するための並列型シミュレーションがある。現在の技術レベルでもこれらの考え方にしたがってシミュレーションモデルが作られているが、この順にしたがって、技術レベルが向上していくものと考えられる。

(4) 国際公共政策シミュレーション

国際公共政策立案にあたって、社会予測を行う際の困難は、ランダムな要因が全体の方向を決めてしまうことにあるが、他にも認識可能だが実際に考慮しづらい要因

がいくつかある。第一に、社会の安定を保障している水面下のコンセンサスが風化し、ある時点で急激に新しい均衡に至る冰山効果の把握の困難がある。第二に、国際政治が完備情報ゲームではなく、かつ完全情報ゲームでないことがシミュレーション実施の問題となってくる。

しかし、たとえば危機管理シミュレーションなど、限定的な分野でのシミュレーションは成功を収めている。これらのシミュレーションにはコンピュータシミュレーションに加えて、人間をプレイヤーとしてとりまけたパーソン・シミュレーションや、パーソン・コンピュータシミュレーションが展開されるようになった。

国際政治に依拠する国際公共政策の立案においてはマルチ・エージェント・モデルによるアプローチや複雑系モデルでの分析が適している。マルチ・エージェント・システムによる社会シミュレーションへの研究需要は、紛争、内戦、戦争研究などへの適用が拡大している。外交現場では、教育用のシミュレーションとして、ロール・プレイング型シミュレーションが行われている。

最大の課題である有効性の問題を解決するためには、完全情報ゲーム化を進めることが前提であり、外交文書の公開促進とデータベース化、過去の国際的合意のデータベース化が必要である。

具体的に期待される分野として、対立国間における主として軍事的な情報の限定的公開や交換を通じた信頼の醸成のための措置である、信頼醸成措置 (CBM) の深化におけるシミュレーションの応用があげられる。また紛争予防において、人権などの指標を数値化し、紛争現場が早期警戒警報を発するといった方法で、紛争予防の危機管理的なシミュレーションの開発が期待される。これが情報として関係機関に提示されることにより、紛争の予防・エスカレーション防止を効果的に迅速に進めることができる。 < as if game > にシミュレーションを応用することで、社会変化の理解方法を一般に提供することが望まれる。過去のシミュレーションの精緻化も同時に進行する。Would-be シミュレーションとして過去の国際的な問題について別の展開を論じることが容易になるであろう。

(5) 経済制度設計のための社会実験シミュレーション

過去に事例がない制度を導入した時に得られる結果を今までの経験から類推することは困難である。しかし、経済制度の欠陥は社会に対して深刻な被害を与える可能性がある。そこで、新しい制度を実際に導入する前に、実験により制度が導入された後の世界をシミュレーションし、どのような事態が起りえるかを確認する必要性が増している。

実験室に被験者を集め行う「実験室実験」は、被験者が置かれる環境を厳密に統制しやすいというメリットがある。このような統制環境における実験結果は、分析が

比較的容易で、他の統制環境における実験との比較もできるため、信頼性が高い情報をえることができる。今後、理論モデルの分析がさらに進み、統制された実験結果を高い精度で再現するコンピュータシミュレーションを行うことができるようになれば、現実世界における制度設計への応用が可能となるであろう。

インターネット空間には、さまざまな仮想空間が構築されており、商用のインターネット空間が広がる一方で、非営利組織のインターネット利用も進んでいる。一般ユーザへのインターネット空間の普及とともに、インターネット空間上の仮想社会において実験を行うことができるようになった。仮想社会実験で得た知見は、地域 SNS (Social Network Service) など比較的小規模な SNS 上で新たな制度の導入の際に利用することが可能である。さらに、地域 SNS 上の制度設計で得た分析結果は、高度な電子政府作りの実現へとつながっていく可能性がある。

現実世界で行われる実験として、自然フィールド実験がある。実験室実験や仮想社会における実験を行い、その知見を元に、小規模グループに対して現実世界で実証実験を行うアプローチが考えられる。これによって、現実世界における結果と実験やコンピュータシミュレーションの結果を比較することができ、社会シミュレーションのさらなる発展に寄与できると考えられる。長期的には、大規模経済システムの設計を高い信頼性のもとに行うことが期待される。

上記の3つの実験法の違いを補いながら連携させることによって、社会実験シミュレーションが、新しい経済制度を作る事に貢献できると考えられる。

3.3 特定課題に関するロードマップ

(1) 経済行動シミュレーション

様々な経済活動における情報通信技術の急速な進歩や、センシングデバイスなどによる計測技術の発展により、経済的な選択を行う様々な場面での人間の行動を計測し記録する技術の観測範囲および精度は飛躍的に上昇してきている。実験室環境の中で擬似的な経済的場面を構築して、実験参加者に経済的選択を行わせる行動経済実験においても、経済行動の観測技術は大いに進んでいる。しかし、経済行動の背後にある、個人の認知機構や思考過程、行動決定ルールに関する観測技術は現状ではまだ不十分である。この点では脳科学の発達に期待される。

経済現象のマクロな観測技術は、現状でもある程度のデータ観測・蓄積は可能である。しかし今後30年の間に、ミクロな個人の経済行動からマクロな経済現象までに関する、高頻度で大規模な観測データが取得できるような技術が大いに進歩するであろう。経済データ取得と

経済シミュレーションの高速化によって、今後50年の間に、直近の経済状況から半歩先の経済状況の可能な状態を見せるような、リアルタイム経済シミュレーションが実現するかもしれない。

今までの経済行動シミュレーションには大きく分けてボトムアップとトップダウンの2つのアプローチがあり、それぞれに一長一短がある。今後10年から20年の間に、ミクロとマクロの経済現象に関するデータが詳細に取得できるようになれば、詳細で多層的なデータに基づいて、2つのアプローチを統合したシミュレーションが実現すると思われる。さらに、今後30年の間には、シミュレーションの高速化および基となるデータの詳細化・大規模化によって、直近のデータから構築されたシミュレーションモデルによって、半歩先の将来をリアルタイムに予測する技術まで進むかもしれない。

シミュレーション結果から「最適」と予測された経済行動を実行するには、大きな壁がある。しかし、今後50年の間には、日常生活での経済行動センシングと経済行動シミュレーションが現実世界に浸透し、リアルとシミュレーションの境界が取り払われていくような方向に進むであろう。その結果、経済シミュレータもユーザ自身も経験を積んで共進化することになる。

(2) ものづくり・サービスづくりシミュレーション

ものづくり・サービスづくりのシステムは人、物、金、情報に代表される要素により構成されている。これらのシステムは近年それ自体の規模の拡大とともに、システムを構成するプロセスやシステムからのアウトプットの社会・環境に対する影響がグローバル化している。ここでは、ものづくり・サービスづくりの特徴を考慮し、そのシミュレーションモデルの開発の方向として、企業・組織内モデル、企業・組織間モデル、社会・環境モデルの3つの軸を提案した。

企業・組織内モデルは、ものづくり・サービスづくりの企業・組織内（生産現場）のシミュレーションを行うためのシステムである。ものづくりの分野では、現在すでにその一部はソフトウェアとして開発されている。現在は時間・納期（D）を主体としたモデルであり、ものベースのシステムである。将来には時間からコスト（C）、品質（Q）へと発展させ、さらに作業者の安全性（S）やモラル（M）も含めたモデルの展開が期待される。そのためには、作業者（人）の思考プロセスが再現できる、作業者のシミュレーションモデルの開発が必要である。

企業・組織間モデルは、ものづくり・サービスづくりの企業や組織の連鎖を考慮したシミュレーションを行うためのシステムである。ものづくりにおけるサプライチェーンに対する管理技術が研究され、その基礎ができつつある。このような状況を考慮し、企業・組織の連鎖

によるシミュレーションを行えるシステムが必要とされる。基本はQCDへの影響の各特徴をもつモデルが開発され、最終的にはそれらが結びついて様々な評価指標の検討ができるシステムへと発展すると考えられる。

社会・環境モデルは、ものづくり・サービスづくりにおける製品やサービスが、社会や環境へ及ぼす影響についてシミュレーションを行うためのシステムである。ここでは、生産プロセスが社会・環境へどのような影響を及ぼすかという観点からのシステムと、そのアウトプットである製品が社会・環境へどのような影響を及ぼすかという観点からのシステムに分け規模の拡大の順に配置した。さらに、それらが統合化され、プロセスと製品の両面から、また連鎖の長さが広がる方向に拡大して検討できるシステムへと発展する。

(3) 防災・安全シミュレーション

日本は世界有数の地震大国であるが、地震以外にも多くの災害が発生している。さらに、テロなどにより引き起こされる事故・災害も対策として考慮せざるを得なくなっている。災害が発生した際の避難行動を、被災場所や被災者の属性を考慮しつつ予測しておくことは、防災対策を行う上で重要である。しかし災害時の人の動きを実際に検証することは難しく、さらに避難行動を検証するにはかなりの手間や時間、危険が伴うため、研究者たちによって理論的な避難行動モデルやコンピュータシミュレーションが開発されている。

防災分野の社会シミュレーションを行う理由としては、他に有効な代替手法がないことがあげられる。現実には多くの被災者や災害想定者を動員しての避難訓練には、時間・コストがかかるし、夜間や大雨、洪水などを想定した環境コントロールが難しい。そこで避難心理から来る行動特性を考慮した避難モデルを構築し、実際にある公共施設を簡略化した空間において、現実に取りうる状況を考慮したシミュレーションを、エージェント・ベース・アプローチなどを用いて実装し、そして施設配置を変化させるなどの比較検討を行う研究が必要となっている。

防災分野の社会シミュレーションの適用範囲は広く、さまざまな災害内容や想定場所をコンピュータ上の人工社会、仮想空間の中で発生させ、現実起きた場合の被害を少なくすることに応用が可能である。将来的には、建築CADや地理情報システム(GIS)、グローバル・ポジショニング・システム(GPS)と連携して、建物の設計段階での安全性評価すなわち建物設計時におけるCAD上での避難動線の設計に応用できると考える。諸条件の変化に即時対応できるシステムを構築するためには、エージェント・ベース・モデルだけではなく、実際の住民が参画する形のゲーミングなどの意思決定手法も必要となってくる。

研究対象を避難者の動きから、防災教育、防災政策へ拡張するに当たり考慮すべき問題として①コンピュータの能力、②プライバシーの問題、③研究者をどのように増やしていくのか、④モデルの妥当性、⑤モデルの利用法があげられる。現状での技術限界を認識し、責任限界を明示した上での研究発展が望まれる。

(4) 文化・風土醸成のための参加型シミュレーション

環境、安全、エネルギーなどに関わる問題は、個人や組織の力ではなく、社会全体の共通の意識やモチベーションのもとではじめて、具体策の実現が可能となる。言い換えれば、今後、社会全体で取り組むべき課題に対して、根づかせるべき文化や風土があると考えられる。社会において、このような文化・風土を醸成するためには、いわゆるトップダウンの先導力だけでなく、ボトムアップの参加が不可欠である。そこで、ある問題に対して、個人が持つそれぞれの体験や知識を入力とし、全体としての解決に向けて個人が持つべき意識の示唆を出力とする参加型シミュレーションが考えられる。

参加型シミュレーションは、①みずからの体験や知識を提供する市民層拡大による膨大なデータ収集、②データベースの充実によるシミュレーション精度の向上、③フィードバックに個別対応性や現実性が増すことによる個人の意識やモチベーションへの実効性の発生、④市民意識、モチベーションの方向性獲得による問題解決の風土・文化の定着の段階で発展するであろう。

参加型シミュレーションは、解決の対象とされる問題の規模によって、コミュニティレベル、自治体レベル、国家・地球レベルに大別できる。コミュニティレベルにおいては、課題に関連する要因を、個人が提供する情報項目として適切に設定することで、各人の特性に対応した示唆のフィードバックが可能になる。自治体レベルになると、モバイル端末の親和性の向上やコピキタネットワークの整備によって、日常に溶け込んだシステムとして成熟していくと期待される。国家・地球レベルでは、提供する情報項目を詳細に設定することは難しいが、地域や国家の枠を超えて、人々の意識やモチベーションを一定の方向に揃えていくような助言や示唆は、問題解決の土台を築くものとなる。

参加型シミュレーションが担うべき役割は、誰もが社会全体にとって漠然と「そうなることが望ましい」と認識する課題に対し、達成に向けた助言や示唆を個人の特性や背景に応じて与え、それによって自発的に芽生える意識やモチベーションの集合を文化・風土として根づかせることである。人々を主体とした社会全体の最適化に対するシミュレーションの寄与が期待される。

(5) 超高齢社会にむけた身体特性シミュレーション

人間の自立には経済的、身体的、精神的、社会的など、さまざまな切り口が考えられるが、身体的自立は自

立の基盤をなす重要な切り口と言えよう。我が国の高齢者の身体能力が、将来においては、現在以上に低下することが懸念され、高齢者の身体的自立を支援するための方策が検討されて久しいが、それらは主に既に高齢である人々の自立支援であり、また「モノを変える」視点であった。これに対して「将来の高齢者」の自立の可否に視点を移すとき、長期的視野に立って国民の将来の身体特性のシミュレーションを行い、その結果に基づいて国民の身体特性を変えていく「ヒトを変える」視点での対策も重要である。

将来の身体特性のシミュレーションを行うためには、①身体特性のデータを大規模かつ継続的に取得し、②身体特性変化に追従したモデル化を行って将来を予測し、③将来に備えて若年群や壮年群の身体特性を向上させるといふ、一連のプロセスが必要となる。このようなシミュレーションの基盤として、大規模かつリアルタイムに国民を把握する身体特性データベースが必須となり、自動的にデータが計測・集積される自己増殖データベースのしくみ作りが必要となる。

身体特性の加齢シミュレーションは、その規模から個人レベル、集団レベル、社会レベルの3つのフェーズに整理することができる。個人レベルの加齢シミュレーションでは、個人レベルのモデル化によって数十年先の個人の身体特性を予測することになる。また、集団レベルの加齢シミュレーションでは、個人データを集約し、ある母集団における身体特性の加齢シミュレーションを行う。これらの集大成として、社会規模の加齢シミュレーションが可能となる。さらに、加齢シミュレーションモデルの構築にあたっては、リアルタイムに取得されたデータに対応するため逐次学習型とすることで、時代推移に追従したモデル構築とシミュレーションが実現する。

その実現に向けては、国民ひとりひとりのモチベーションに帰するところが大きく、その意味でも国民が自らの身体特性データを計測し、個別の処方箋を得ることができるような、いわばボトムアップのサービスのしくみ作りが有効と考えられる。

3.4 社会学的課題

本節では、社会シミュレーションにかかわる社会学的課題について論じる。社会シミュレーションの目的には、社会的な現象の予測や説明のためという純粋に学問的な目的と、モデリングやシミュレーションの結果をもとに「社会をよりよくする」ためという工学的目的がある。しかしながら、これらの2つの目的には、いずれも考慮すべき問題がある。

まず、社会学理論を利用したシミュレーションの予測と説明にかかわる問題を考察する。

おそらく社会モデリング・シミュレーションを行うとする工学者は、人間行動・人間関係・社会制度に関する理論を、既存の社会科学理論に求め、モデル構築に適切と思われる理論をいくつか選び、モデル構築を行うと思われる。しかし、社会学や社会心理学における理論は、一般的に理工学の理論がそう思われているほどに精度の高いものではない。

社会学や社会心理学の理論の精度が低い理由は大きく2つ考えられる。第一に、人々の行動や思考に関する理論を実証的に検討しようとする場合、人々の置かれたさまざまな社会・環境要因を十全に統制することは難しい。第二に、人々にはパーソナリティの違いがあり、一時的な気分によって応答が変わることもある。実験室環境では変数の統制がある程度可能であり、人間行動を支配するファースト・プリンシプルのようなものが解明できるかもしれない。しかし、その結果を現実社会の問題に適用したとたんに、さまざまな社会・環境的要因が効いてきて、実験室で得た効果は大きな意味を持たない可能性が大きい。

また、社会科学の理論によって予測可能な未来はそれほど遠くまでではないことにも注意すべきである。経験的な社会科学は、あくまでも現在ないし過去の経験的データを分析することによってしか、理論を作ることができない。これは、未来におけるイノベーションや、それともなっていく別の社会的な変化を予測することの根本的な不可能性を意味している。社会のモデル化に社会学や社会心理学の理論を応用しようとする場合、以上のような限界を認識しておくことが必要である。

つぎに、社会をよりよくするためという目的自体に存在する根本的な困難さについて指摘する。

社会科学は、社会を対象としているため、そこには、研究者自身が研究されるべき対象として含まれているという問題がある。このため、社会学者は価値自由であることを求め、社会实践を避ける傾向があるが、工学者は社会に対して積極的にアプローチしてきている。そこで問題となるのは、研究者が社会はこうあるべきだと思っても、それは他の人々にとってもそうであるとは限らない(認識の恣意性)ということである。また「社会をよりよくする」という場合、どのような「よさ」、難しくいえば「正義」を社会に実現するのがよいかという問題がある。

さらに、シミュレーションを活用して新しい社会制度を設計する場合に、なぜ特定の専門家に制度設計を委ねることが社会的に許されるのかという問題があり、そのようなことをよしとしない人々もいる。医師が生命倫理について考えないわけにはいかないように、社会工学者も社会の正義や決定の公正について折々に考えることが求められる。

4. まとめ

本稿では、システムのモデリング・シミュレーションに関するアカデミック・ロードマップを紹介した。前半ではモデリング・シミュレーションの一般的なアプローチを中心とする領域を、また後半ではより特定の課題に関する領域を扱った。また、社会システムをモデリング・シミュレーションの対象とするにあたって、考慮しなければならない課題を社会学の視点から論じた。

一般的な技術展望として、センシング・情報通信技術の進歩によってモデリングの基礎となる人間行動や社会システム挙動に関する観測データが、容易に、大量に、しかも実時間で入手可能になるであろう。その結果、モデリング・シミュレーションの精度・信頼性の大幅な向上が期待できる。また、本稿で紹介したように、社会実験、ゲーミング、参加型シミュレーションなどのコンピュータシミュレーションに限定されない、新しい、多様なアプローチが試みられている。このため、社会システムのモデリング・シミュレーションの可能性は広がっていくであろう。

科学的知見を社会システムという複雑系に適用し、合理的に社会制度を設計するためには、さまざまな理論を動員し、それらを有機的に関連づけながら予測を行える方法論が必要である。モデリング・シミュレーション技術は、その最も有力な候補である。

社会システムのモデリング・シミュレーションにおいては、社会学的課題として述べたような困難な問題があることも事実である。しかし、これらの問題を常に念頭に置きながら進む限り、社会システムのモデリング・シミュレーションは、「少しでもよい社会」を実現するための十分に強い技術になり得る。典型的な横幹技術として、今後とも本分野の発展が強く期待される。

参考文献

- [1] 横断型基幹科学技術研究団体連合：社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野のアカデミック・ロードマップ、分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書, pp. 85-269, 2009.

古田 一雄



1986年東京大学大学院工学系研究科原子力工学専攻博士課程修了。工学博士。1999年東京大学大学院新領域創成科学研究科教授、2004年同工学系研究科教授、現在に至る。認知システム工学、社会デザイン、サービスデザインなどの研究に従事。計測自動制御学会、ヒューマンインタフェース学会などの会員。
