

まえがき

本書の主題は、複雑性という特徴を持つ社会システムをシステム科学の複雑適応システムの観点からモデル化し、社会的課題にアプローチするためのエージェントベース社会シミュレーションの方法論である。

ますます多様化し複雑化する社会の課題に対し、情報技術の進歩への期待が高まっている。しかし、大量のデータの処理技術がいかに発達しても、それらはシステム的な観点からは要素技術に過ぎない。今後、複雑化した社会的課題に取り組むためには、ますます全体的なシステム思考によって関係の複雑な変動過程を描くことが求められる。その基礎スキルとして社会システムのモデリングがある。社会システムのモデリングは、近年の SoS (system of systems) や Society 5.0,あるいはサイバー世界とリアル世界とを融合させたデジタルツインといった統合的な社会システムの構想における基礎技術でもある。

モデリングは、システムをモデルとして表現するプロセスであり、システム科学における探求で第一義的な意義を持っている。モデルおよびモデリングの役割はさまざまにあるものの、大きく分けるとシステムの理解とデザインである。モデルによって探求の対象を理解するということは、その対象をシステムとして認識して、その複雑な性質を理解することとほぼ同義である。そのことは同時に、モデリングプロセス自体がシステムの探求方法を与えていることを意味している。モデルの妥当性は、モデリングプロセスによる探求方法の妥当性と深く関連して理解されなければならない。IoT や AI などの情報技術が大きな注目を集め、社会システムが大きく変革している現代において、モデリングは目指すべき社会システムをデザインする鍵となる。データのみではできない現在の問題を理解し、未来の姿を描くのがモデルである。モデリングは単なる技法ではなく、システムのデザインのプロセスとなっている。

システムを適切に理解しデザインするためには、良いモデリングをしなければならない。しかし、アルゴリズムに従って数学の問題を解くようにモデリングが行えるわけではない。さらに、社会システムのモデリングでは、社会システム探

究のための特定の数理モデルがあるわけではない。そもそも何をどう表現したらよいのかすら迷うところである。これは、社会システムには自然科学のような第一原理がなく、人の意図が相互作用し、システムとその環境が複雑に変動することにも起因している。このような社会システムの複雑性とモデリングの特性から、社会システムのモデリングには誰でも結果を出せる一定の方法はなく、モデリングはそれを行う人の経験とスキル、そして多くの場合その人の価値観に大きく依存している。その意味で、社会システムのモデリングは一種のアート（芸芸）と言えるかもしれない。ここに社会システムのモデリングの難しさがある。

社会システムのモデリングに登場する具体的なモデルは多数ある。個々のモデルを知っただけでは、モデリングを実際に行うことはおそらくできない。解決したい社会的な課題があったとき、モデルはその状況の何を表現したらよいのか、シミュレーションによって何をどのように分析したらよいのか、これらに答えるには、社会システムのモデリングをモデルやシミュレーションの基本的概念から理解することが必要である。本書では、システム工学の書籍で一般的な、個々の数理モデルを順に説明するといったスタイルではなく、社会システムやモデルについての基本的な考え方をしっかりと押さえた上で、モデリングと社会シミュレーションの主要な分析技法をシステム科学の観点から関連付けながら説明する。本書の前半の概念的部分は、なかなか理解しづらいと感じる読者もいるかもしれない。しかし、社会システムモデリングや社会シミュレーションを実問題に適用する際は、対象の複雑性に翻弄されやすく、このようなとき、システムやモデルの基本的考え方に戻ることが助けになる。本書では、関係性と全体性に着目したシステム思考やモデルの基礎的な理解から、最新の社会システムのモデリングの方法とその適用事例までを一貫して理解できるように工夫した。

社会シミュレーションやエージェントに関連する用語が現れる分野は多岐にわたっていて、その使い方に混乱する人も多いだろう。社会シミュレーションは基本的に、社会的課題を社会システムのモデリングにより解決しようとするアプローチである。本書では、社会システムの複雑性に対して多元的アプローチを行う。多元的アプローチを実現する重要な考え方の一つが、エージェントである。したがって、本書で言及する社会シミュレーションは、エージェントの概念を用いたモデルを含むものが中心である。このような社会シミュレーションを、エー

エージェントを含むことを強調して、特にエージェントベース社会シミュレーションと呼ぶことがある。一般的には、社会シミュレーションと言ったときは社会システムを対象にしたモデリングを含んだシミュレーションを指しており、必ずしもエージェントの概念を含んでいない。歴史的にも、たとえばローマクラブがシステムダイナミクスの手法を用いて 1970 年代に行った成長の限界の研究は、その当時は社会シミュレーションという言い方はされていないものの、社会シミュレーションの典型例である。また、エージェントの概念を含んでいるシミュレーションを一般にエージェントベースシミュレーション、あるいはマルチエージェントシミュレーションという。エージェントの概念は情報システムなどでも重要な役割を果たしており、本書が対象とするような社会システムのモデルを含まないことも多い。以上のように、本書の社会シミュレーションは基本的にエージェントベースのものを指すが、モデルやシミュレーションについてはシステム科学の観点から広く一般的に捉えており、その考え方は社会システムだけではなくシステム全般に対しても妥当なものである。

本書の構成と用語など

本書は 3 部構成になっている。

第 I 部では、社会システムとモデルに関する基礎概念を、歴史的な背景や流れも踏まえて説明する。システムと社会システムの考え方、モデル概念とモデルの一般的妥当性などは、社会シミュレーションだけではなく、モデリング一般に共通する基本的な考え方である。また、サイバネティクスと複雑適応システムについての考え方は、本書全体にわたる基礎であり、社会システムのモデリングに対するシステム科学の観点からのアプローチの基礎でもある。

第 II 部では、社会シミュレーションの方法論について述べる。社会シミュレーションの方法論は各研究者が暗黙的に体得していることでもあり、全体を通した共通の枠組みを提示することはなかなか難しい。このことは、初学者が社会シミュレーションはわかりにくいと感じる理由でもある。本書で述べる方法論は、筆者らが社会シミュレーションに携わった 20 余年の経験を最大公約数的に整理したものである。

第 III 部では、第 6 章で導入したモデルの解像度に基づいて、ミドルレンジモ

デルの分析とファクシミリモデルの分析を3事例ずつ紹介する。加えて、現場介入における固有の話題として、問題関与者から実行承認を得る方法を3事例紹介する。第III部は、第II部で述べた方法論との対応を意識している。各事例では方法論との対応を明示するとともに、研究論文などでは通常説明されない実践テクニックを掲載している。読者は、第II部と第III部を相互に参照することで理解を深めることができる。

本書では、社会システムのモデリングに関する専門用語を可能な限り日本語で表現することを目指した。そのために、これまでは原語で語られていたいくつかの用語について新しく訳語を作った。たとえば「実行承認性」「境界判断」などである。いくつかの訳語候補を吟味して選択したが、かえって読者の理解が妨げられないことを願っている。原語を活かしたほうが理解しやすいと考えられるものはそのままカタカナとした。たとえば「アブストラクトモデル」「ミドルレンジモデル」「ファクシミリモデル」などである。

本書の趣旨からあえて詳細を説明していないことについて、いくつか注意をしておく。

まず、個別の具体的な数理モデルや、遺伝的アルゴリズムなど学習アルゴリズムについては、適用の場面における概要を説明しているが、その技術的詳細については説明を意図的に省いたところも多い。これは、本書がモデリングやシミュレーションの全体プロセスの理解に主眼を置いているためで、個々の手法の技術的詳細については対応する専門文献を参照していただければ幸いである。

社会システムのモデリングの実際の事例としては、適用範囲が限定的とも言える具体的な状況について紹介している。第6章で説明するモデルの解像度で言うとミドルレンジモデルやファクシミリモデルであり、社会システムのアブストラクトモデルに関する事例については、歴史的に重要ないくつかの事例以外はほとんど取り上げていない。これは、アブストラクトモデルが社会シミュレーションの対象として重要でないということではなく、近年の社会シミュレーション研究の発展から急速に知見が蓄積しているものの、整理された知識があまり紹介されていないことから、より実践的なモデリング方法論としてニーズが高まっているミドルレンジ、ファクシミリの解像度のモデルに焦点を当てたためである。

実際の個別の状況に対するモデリングとなるファクシミリモデルに関しては、

特に人流や個人行動特性などに代表されるさまざまな大規模データを利用したりアルスケールの社会シミュレーションが、昨今特に実際の社会的状況への課題解決の方法として注目を集めている。この話題については、本書の目的からは本来なら取り入れるべきではあるが、本書の執筆開始とほぼ同時に先端の研究の端緒が開かれたところであり、本書ではその内容に触れていない。この領域は今後社会シミュレーション研究の大きな柱の一つになるはずであり、それらについては別の機会に編まれるべきであろう。

本書の読み方

本書の対象読者としては、社会システムのモデリングや社会シミュレーションを基礎から習得することを目指す初学者から、社会シミュレーションの先端の研究動向や実際の課題への適用方法を広く理解したい実務家までを含んでいる。本書は基本的に大学院生以上を想定しているが、トピックスを選べば学部高学年から本書が役に立つだろう。

図1は各章の関係を表している。本書は、読者の関心に応じて章を選択して読むことができる構成をとっている。たとえば以下のような読み方がある。

- 社会システムのモデリングや社会シミュレーションを基礎から本格的に習得を目指す場合には、第I部から第III部までの各章を順に読んでいくこと

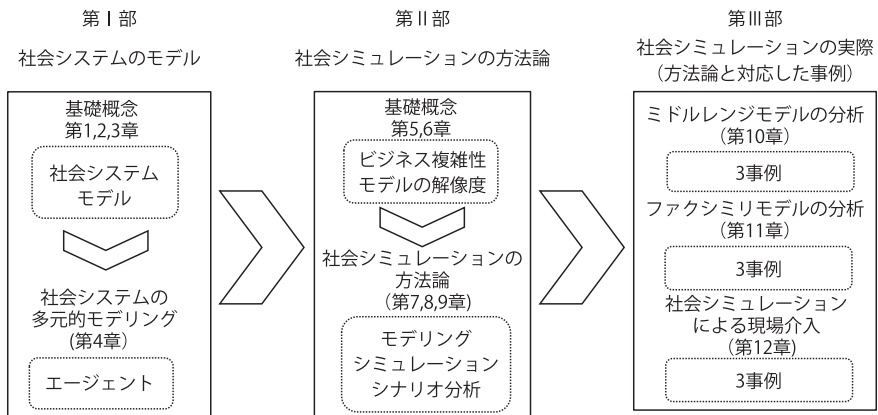


図1 本書の構成

を勧める。社会シミュレーションでどのようなことができるのかをまず理解するために、第 10 章と第 11 章を最初に読んでもよい。

- 社会シミュレーションを用いた具体的な方法については、第 II 部から第 III 部までを一通り読んだ後に、実際にモデリングやシミュレーションに取り組みながら、第 II 部の方法論の章（第 7 章～第 9 章）と第 III 部の適用例における対応箇所を逐次行き来して、理解を深めるとよい。特に第 III 部の実践テクニックは、具体的なモデリングの指針を与えてくれるだろう。社会システムやモデルの基礎に立ち戻りたいときは、第 I 部を参照するとよい。
- 社会シミュレーションの先端の研究動向については、第 II 部の方法論の章（第 7 章～第 9 章）と第 III 部の事例から関心のある箇所を読むことで概観できる。また、第 III 部の各事例に記載されている実践テクニックは、通常論文には記載されないノウハウを確認する機会となるだろう。

なお本書では、モデルの記述や事例分析に用いる数学的記法や統計分析などについて一定の前提知識を必要としているところもある。それらについては、関連文献などを参照していただきたい。

謝辞

社会システムのモデリングについて、基本概念から実践事例までを一貫して説明した成書の必要性を感じ、執筆に着手したものの、内容を整理しようとすればするほど、その困難さに気づかされた。本書は、これまでの筆者らの研究生活で関わった方々からの支援がなければ完成していなかった。紙幅の都合ですべての方の名前をここに記すことができないことをお許しいただきたい。間違いなく、筆者らのシステム観はご指導いただいた高原康彦氏（東京工業大学名誉教授）と高原・中野研究室出身の皆さんにより培われた。特に中野文平氏、木嶋恭一氏、出口弘氏、佐藤亮氏、飯島淳一氏、旭貴朗氏、渡邊慶和氏、柴直樹氏らシステムファミリーの皆さんには、研究生活全般にわたって影響を受けた。計測自動制御学会社会システム部会の寺野隆雄氏、喜多一氏、倉橋節也氏、高橋大志氏、村田忠彦氏、菱山玲子氏、兼田敏之氏、中井豊氏、松井啓之氏、石野洋子氏、田名部

元成氏、李皓氏、佐々木晃氏、在間敬子氏、小山友介氏、市川学氏、山田隆志氏、原田拓弥氏ら部会の諸氏とは、日本の社会シミュレーション研究の推進の一端をご一緒させていただいている。また、計測自動制御学会スマートワールドに関する調査研究会における貝原俊也氏、相吉英太郎氏、黒江康明氏、下原勝憲氏をはじめとする諸氏との議論は、システム研究の本質に触れるもので大変貴重なものとなっている。本書の一部の原型は、早稲田大学大学院経営システム工学専攻の授業にある。授業にご協力いただいている富士通の山根昇平氏、山田広明氏、NTT データ数理システムの嶋田佳明氏に深謝する。フィールドでの事例研究は、田原敬一郎氏、前波晴彦氏、三浦政司氏をはじめ、これまでの筆者らの研究室メンバーやフィールドの皆さんのご協力がなければ進められなかった。

共立出版の山内千尋氏にはなかなか執筆が進まない中、本書を出版する意義に改めて気づかされ、また原稿に対して適切なアドバイスをいただいた。共立出版の石井徹也氏にも企画の段階から理解いただき、大変勇気づけられた。

最後に、執筆を陰に陽に支えてくれた筆者らの家族に感謝したい。

2021 年 12 月 著者一同