

第2章 社会・経済のモデル化とその分析方法

2.1 メタファーとしてのモデル

社会・経済を理解したいとき、社会科学では、対象となる現象の説明根拠を、その社会そのもの、あるいはそれを構成する人間に求め、その要因を把握することを試みる。もちろん実際には、「そのような要素は、具体的現象においては相互に入り組んでおり、ほとんどのばあい説明もできなければ把握できないほどに纏れ合っている」(Schumpeter, 1915) ため、本当の意味ですべての因果の連鎖を把握することは不可能である。それゆえ、本質的に重要だと思われる連関についての「モデル」を作成し、現象を理解したり予測したりすることになる(図 2.1)。

モデルとは何かという定義にはいろいろなものがあるが、ここでは Wilson (1990) による次のような定義を想定しておくことにしよう。「“モデル”とは、ある人間にとっての、ある状況、あるいは状況についての概念 (idea) の明示的な解釈 (explicit interpretation) である。モデルは、数式、記号、あるいは言葉で表すことができるが、本質的には、実体、プロセス、属性、およびそれらの関係についての記述 (description) である」(Wilson, 1990)。

このように捉えると、モデルという知的構築物は、メタファー (隠喩)⁽²⁾の役割を果たしていると考えることができる (Black, 1962; Hesse, 1966; Hesse, 1980)。ここでいうメタファーとは、単なる言葉の綾や修辭的な文飾のことではなく、人間の認知や思考に組み込まれた「見立て」の方法のことである (Lakoff and Johnson, 1980)。つまり、メタファーとは、「より抽象的で分かりにくいカテゴリーに属する対象を、より具体的で分かりやすいカテゴリーに属する対象に見立てることによって、世界をよりよく理解する方法」(瀬戸, 1995) である。メタファーの基本要素は、「たとえられるもの」と「たとえるもの」、「そのたとえの根拠」であるが、この場合、現実世界における対象が「たとえられるもの」、モデルが「たとえるもの」である。科学的研究とは、「たとえるもの」(モデル)を作成し、「そのたとえの根拠」を、実験などを通じて検証・確証・反証していくという営みということになる。

近年の科学哲学では、Hanson (1970) や Kuhn (1962) 等で主張されているように、科学的知識も客観的なものではなく、それぞれの科学者の認識の枠組みで解釈され構成されたものであると考えられている。観察行為というプリミティブな行為でさえ、

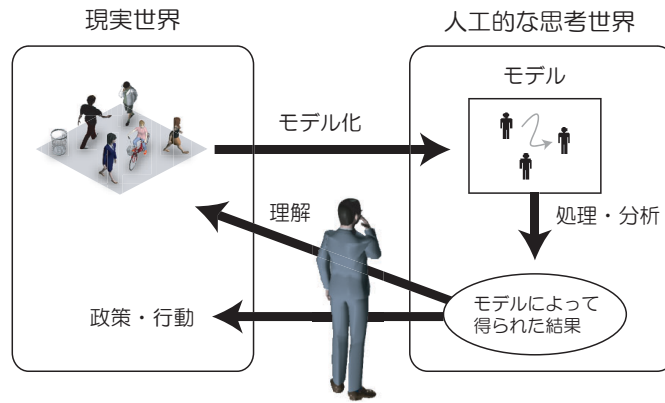


図 2.1: モデルによる思考

現実からありのままの「事実」を受動的に受けとっているのではなく、「～として見る」(seeing as) や「～ことを見る」(seeing that) というメカニズムが不可避免的に組み込まれているのである。そのため、私たちの思考の中の「たとえるもの」の表現力が貧弱であれば、分析によってわかることも貧弱なものにならざるを得ないということになる。「認識装置が新たに開発されてはじめて、既存のそれにはなかったリアリティが取りだせる」(今田, 1986, p.28) ことから、「たとえるもの」の表現力を上げていくことも、科学における重要な活動となる。

本章では、これまで社会科学において、社会・経済がどのようなメタファーで捉えられてきたかを明らかにし、本論文で扱おうとしている複雑系の捉え方までを概観する。本論文の目的は、複雑系のシステム観にもとづく思考の道具を構築することにあるが、「問題状況を記述する方法(モデル化言語)は、扱っている問題の本質にあったものでなければならない」(Wilson, 1990) ため、このような準備が不可欠となる。

2.2 いまどのようなメタファーが求められているのか

社会・経済のメカニズムの解明を目指し、「システム」の考え方を自覚的に適用するのが、社会・経済システムの考え方である。システムという語は多義的であり、分野や時代によって様々な意味で用いられてきているが、大方の共通する定義としては、「複数の諸部分が互いに関係をもって相互作用しており、より大きな全体として統合されている」という点である。

社会・経済システムの研究は、並行して発展してきたシステム論⁽³⁾の流れのなかでどの段階のシステム観を採用するかによって、さまざまな形態が存在する(図 2.2)。まず、社会有機体論や社会機械論から始まり⁽⁴⁾、その後、パーソンズによって社会システム論が打ち立てられた⁽⁵⁾。同時期に、サイバネティクス⁽⁶⁾や一般システム論⁽⁷⁾が発展し、それらの影響を受けて社会科学への導入も試みられてきた⁽⁸⁾。その後、システ

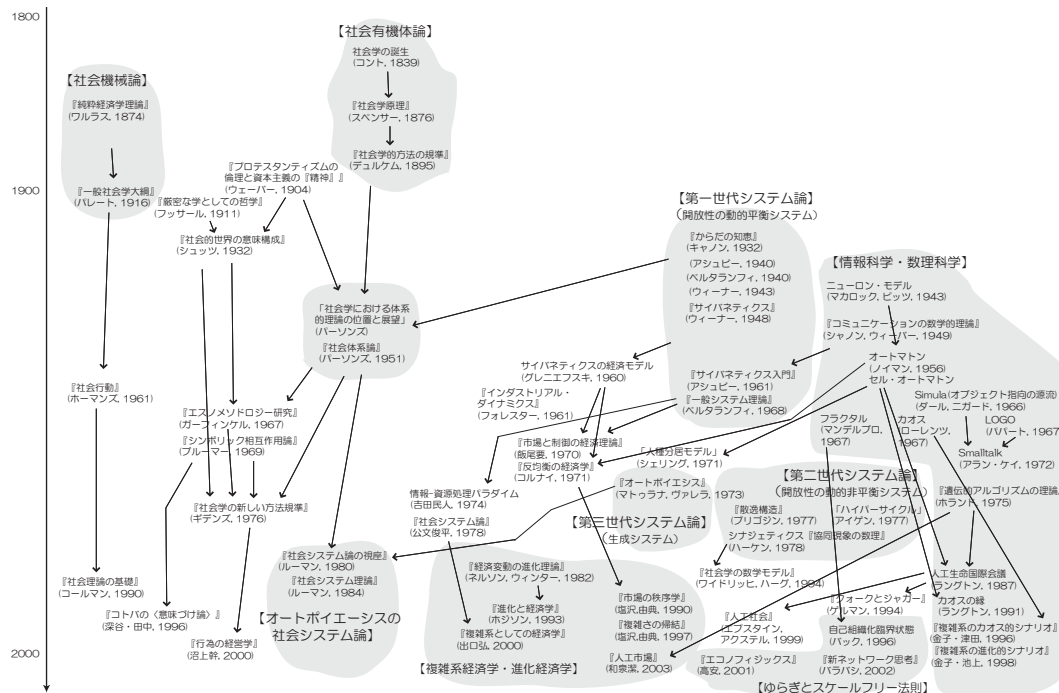


図 2.2: 社会・経済システム論の変遷の大まかな流れ

ム論では、第二世代といわれる「開放性の動的平衡システム」⁽⁹⁾、すなわち散逸構造理論⁽¹⁰⁾、シナジェティクス⁽¹¹⁾、ハイパーサイクルなどが登場する。これらの考え方は、社会シミュレーションのモデル化に導入されたほか (Weidlich and Haag, 1983)、社会科学や科学哲学における思想面で影響を及ぼしている。また、神経生理学において提唱されたオートポイエーシス (自己創出) 理論は、N. ルーマンによって社会システム論として展開されている。そして近年、これらのシステム論の流れと、分散人工知能などの情報科学の流れを受けて、「複雑系」のシステム観が登場する。

しかし、現在のところ「複雑系」という用語について確立された定義や明確な合意があるわけではない。複雑系という概念の定義は、研究者によって、あるいは時代によって、まったく異なる意味で用いられており、また、未定義語のまま使用されていることも多い。そこで本論文では、混乱した状況を整理して議論しやすくするために、ひとまずの定義を行うことにしたい。その定義とは、「内部状態をもつ構成要素が相互作用するシステム」(広義の複雑系)と、「構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム」(狭義の複雑系)という二つの定義である (図 2.3)⁽¹²⁾。これらは、明確に分けることはできないが、現段階における理解の助けとしては、有効な区分であると思われる。以下では、この二つの定義について述べた後、これらのメタファーに期待される分析対象についての考察を行う。

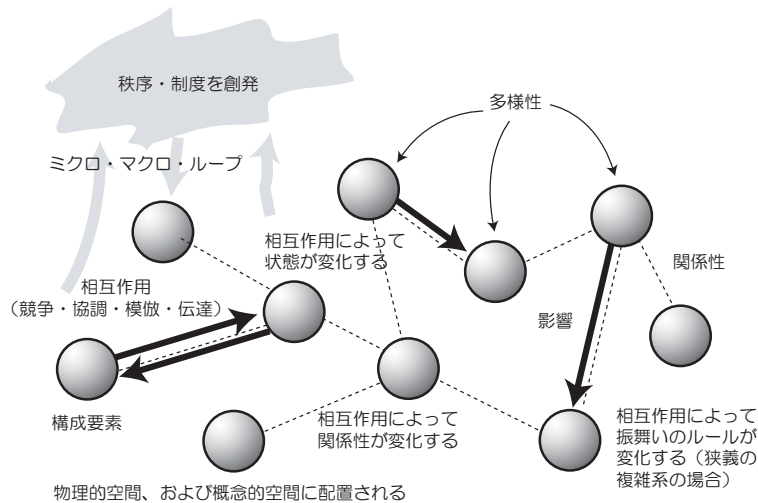


図 2.3: 複雑系のシステム観

2.2.1 広義の複雑系: 内部状態をもつ構成要素からなるシステム

本論文で定義する「広義の複雑系」とは、「内部状態をもつ構成要素からなるシステム」のことである。物理学をはじめとして自然科学では、対象をより小さな部分へと分解していくことにより、最終的には不変の最小単位(アトム)に到達すると考えられてきた。原子論的なアトムである構成要素は、全体から切り取られても、切り取る前の性質を保ったままである。それゆえ、対象を要素に還元して理解し、その後、要素を足し合わせて全体を理解するという理解の仕方が可能となる。

これ対し、広義の複雑系の構成要素は、原子論的な意味でのアトムではなく、内部状態をもつという点に特徴がある。内部状態をもつということは、外から決めることのできない内部自由度をもっていることを表している。それゆえ、その振舞いを知るためには、いまどの状態にあるのかということを考える必要がでてくる。また、そのために、どのようにその状態に行き着いたのか、という文脈(コンテキスト)についても、注意を払う必要がある。

社会科学では、社会を構成する人間は「物理学的なアトムではない」ということが繰り返し強調されてきた⁽¹³⁾。人間は複数の内部状態をもっており、それらはその人が置かれている状況や役割、体調などの要因によって刻々と変化していく。そして、その内部状態に依存して、価値基準や判断が変化したり、状況の認知や他者との関係が影響を受けるのである。

このように構成要素を捉えることは、内部に自由度をもった主体が、相互作用を行ってその状態を変化させていく点に注目するという点である。このため、構成要素は、「自律的」(autonomous)であるといわれる。自律とは、外部からの作用が行なわれたとしても、自分自身の原理で処理することである⁽¹⁴⁾。

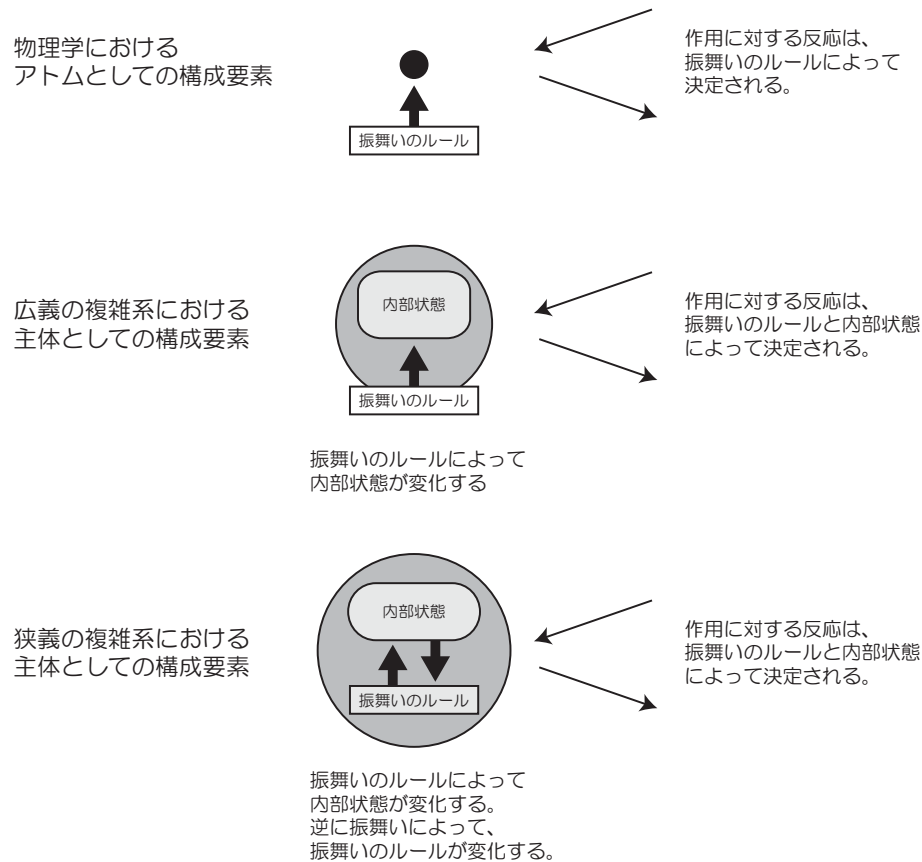


図 2.4: 物理学、広義の複雑系、および狭義の複雑系における構成要素の特徴

また、それぞれに状態が異なることから、それぞれの構成要素は、個性をもつことになり、それゆえマクロ的にみると多様性 (diversity) があるということになる。多様性というのは、同じ種類の主体同士であっても、それぞれがもっている特徴や置かれている社会的状況が様々であるということを示している。この意味で、広義の複雑系は「不均質なシステム」であるということができる。

2.2.2 狭義の複雑系: 構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム

本論文で定義する「狭義の複雑系」とは、システムが内部状態をもつ構成要素からなっているという広義の複雑系のなかでも、「構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム」のことである (井庭および福原, 1998)。

このような複雑系の定義を採用しているものには、Casti (1996)、塩沢 (2000)、安富 (2000)、出口 (2000) などがある。Casti (1996) は、「エージェントは一定のルールに従って決断を下し、そこで得られた新しい情報に基づいて自発的に行動ルールを修

正できる」(邦訳 p.4)とし、特に「複雑系におけるエージェントは、グローバル(全体的)な情報ではなくローカル(局地的)な情報に基づいて決断を下し、みずから行動ルールを更新していく」としている。塩沢(2000)は、「人間はその内部(すなわち脳内)に外部世界(すなわち環境)に関する仮説を構築し、外部世界を観察するとともに、その状況に応じて仮説を修正し、行動パターンを変える存在である」(p.61)と捉えることが「人間という行為主体をふくむ相互作用システムを複雑系とみる」ということであると指摘している。また、安富(2000)は、「要素の性質が変化するとシステムも変化せざるをえないが、要素はその変化に対応して再度変化することができる」システムとし、出口(2000)は「主体のような自律的エージェントは、固有の活動ルールを持ち、それがさらに学習や創発、進化などにより変化する」(p.38-39)としている⁽¹⁵⁾。

2.2.3 進化: 変異を伴う複製

狭義の複雑系は、行動の「進化」という捉え方と関連が深い。経済学では近年、最適化原理における合理性の考え方に変わる枠組みとして、進化経済学という領域ができてきた(進化経済学会, 1998; 進化経済学会および塩沢, 2000; 江頭, 2002)。複雑系の場合と同様、進化経済学とは何かという確立された定義や明確な合意があるわけではないが、ひとまず「進化経済学は、制度・組織・技術・システムなどの多様性に注目し、内生的に進化するものとしてそれらを分析・研究しようとする」(有賀ほか, 2000)アプローチだと考えてよいだろう。産業化の経済学における進化論的アプローチの必要性を指摘した村上(1994)は、河田(1989)を引用して「進化とは、世代を通じて受け継がれていく生物の性質が変化していくこと」であるとし、次のような説明を加えている。「変わらないものが変わっていくというパラドックスが進化なのである。変わるものが変わるのは、単なる変化であって進化ではない。不変性を貫こうとする力とその不変なるものを変える力が絡み合う二重の機制が、進化に他ならない」(村上, 1994, p.119)。社会・経済においてこのような進化の対象だと思われるものには、制度、組織、技術、作業ルーティン(Nelson and Winter, 1982)、定型行動(塩沢, 1998)、習慣、知識、商品(Witt, 1997; Witt, 1998)、戦略などがあるだろう。進化的な視点で捉えるということは、生成されるものがまったくの無から生まれると考えるのではなく、既存のものを組み合わせたり、土台としてその上に新たなものを構築したりすることで生まれると捉えることになる。

2.3 複雑系と進化のメタファーに期待されていること

複雑系と進化というメタファーによって、私たちは社会・経済のどのような側面をより深く理解することができるのだろうか。ここではその期待される分析対象について整理することにしたい。

2.3.1 戦略とルーティンの進化

まず第一に戦略やルーティンが進化することの分析があげられる。ヴェブレン⁽¹⁶⁾などの古典的な進化経済学を現代的に復活させたネルソンとウィンターの『経済変化の進化理論』(Nelson and Winter, 1982)では、企業の決定ルールが基本的な操作概念として扱われている。この決定ルールは、「ルーティン」となって日々繰り返される⁽¹⁷⁾。ルーティンとは、「ものを作るための高度に特殊化された技術的手順や、雇用と解雇の手続きを通じた新規の在庫の指示、需要の多い項目の生産の増大といったことから、投資政策、研究開発、宣伝、製品の多様化と海外投資に関するビジネス戦略まで」(Nelson and Winter, 1982)⁽¹⁸⁾を含めた概念である⁽¹⁹⁾。このようなルーティンは、成功しているうちは維持されるが、業績悪化などを契機として再考され、組み替えられたり改良されたりすることになる。これを、進化的な視点でみると、「行動の代替的諸様式が相互に競争し、適切さの劣るものをふるい捨てる傾向をもつ淘汰過程が体系的に、また理解可能なかたちで作用する」(Nelson, 1998, p.8)と捉えることができるのである。このような視点は、人間や組織の意思決定を、その場その場の選択ではなく、それらの選択パターンの選択という、一段抽象度の高いレベルで捉えなおすということの意味している(塩沢, 1998)⁽²⁰⁾。

2.3.2 意味と解釈を扱う社会モデルの構築

コミュニケーションにおける意味と解釈という問題、そして主体における世界像の問題を扱う道が開けてくる。知識は、「分散された諸断片としてだけ存在する」(Hayek, 1945, p.53)のであるが、人びとはそれらをコミュニケーションによって伝達する。コミュニケーションでは、伝達された情報をもとに、受け手は自らの解釈体系(知識、メンタルモデル)を用いて意味を理解する。そのため、必ずしも意図した意味が伝達されるとは限らず、むしろあらゆる場合において、厳密に正確な伝達は不可能であるともいえる。従来の社会・経済システム論では、情報が多くの場合シグナルとして用いられてはいるものの、あらかじめその情報の意味が外生的に与えられてきた。これに対し、広義の複雑系では、構成要素に内部状態を想定することにより、同じ情報を受け取っても、受け手(の内部状態)によって、異なる意味を得るということを含むモデルの探求を行うことが期待される。

また、情報は、単に主体のもっている解釈体系によって解釈されるだけでなく、解釈体系の変化を促す可能性ももっている。つまり、知識は社会を認識し思考するための枠組みを構成し、人々の行動に影響を与えるのである。そのため、「コミュニケーションは単に情報を伝達するのではなく、それは知識体系の発展と伝達に資することを理解することが重要である」(Boulding, 1985, p.150)のである。

このような、社会科学の文脈関係で考えてみると、現象学の影響を受けた社会学理

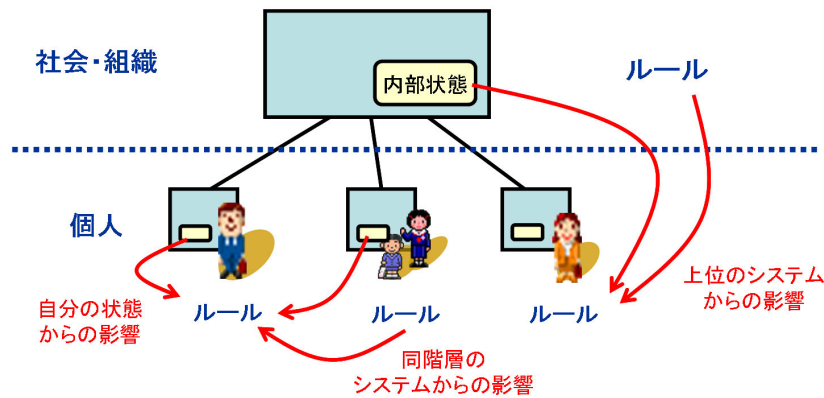


図 2.5: マクロからミクロへの影響

論などに関連が深いことがわかる。シュッツの現象学的社会学、バーガー＝ルックマンの知識社会学 (Berger and Luckmann, 1966)、生活世界論などでは、主体による世界像の構築が重視されている。しかし、「現象学的社会学やエスノメソドロジーのように主体のリアリティの構成を重視する領域と社会システム論では、互いの概念に相互翻訳可能性がない状況が続いてきた」(出口, 2000, p.63) のであり、複雑系はこの二つの流れを接続するということが期待されている⁽²¹⁾。

2.3.3 制度と行動の関係の探究

社会科学において、このような狭義の複雑系が問題となるのは、主体の行動の結果生まれた秩序や制度が、また主体の行動に影響を及ぼすという循環的な関係を捉える必要があるからである(図 2.5)。このような要素(部分)とその上位の階層(全体)の間に循環的な関係があるからこそ、複雑系という対象は、要素還元的には理解し得ないことになる。なぜなら、部分に分けた時点で、その振舞いのルール(機能)を規定するメカニズムを、取り除いてしまうことになるからである。現在の行動は、これまでに起こったことの結果として採用されているのであり、状況からばらばらに切り離して考えることはできないのである。

秩序や制度の創発という問題は、これまでも社会科学では自己組織化の文脈の中で取り上げられてきた。自己組織化とは、システムが自身の構造をつくり替え、新たな秩序を形成することをいうが、自然科学における自己組織化と、要素が思考する社会科学における自己組織化は、同じ用語を用いていても異なる概念であるという点に注意が必要である。今田(1986)は、「社会システムにおける創発特性は、その構成要素である人間個人が創発特性事態を主題化することにある。これは要素がシステムの全体を主題化することでもあり、人間行為者の自省作用によってはじめて可能である。」(p.186)と指摘している。つまり、秩序(上位の階層)が形成された場合、物理・化学

であればそこまでであるが、社会システムを考えたときには、構成要素である人間が、その秩序を認識し、それをもとに行動を変えるといったことが起こる。それゆえ社会科学では、散逸構造やシナジェティクスなどで展開された形態形成としての自己組織化の理論で満足することはできず、さらに狭義の複雑系の自己組織化論へと展開されなければならないのである⁽²²⁾。その点、社会学においては他の社会科学と異なり、この今田の自己組織性の社会理論やルーマンの社会システム理論などのような独自に発展してきた理論をもっており、これが狭義の複雑系と社会科学との接点となるだろう。

2.4 複雑系の記述と分析に関する課題

これまで、多くの研究者によって、複雑系や進化するシステムの捉え方の重要性が指摘されてきた。ところが、それは多くの場合問題意識として、あるいは認識の枠組みとして導入されているに過ぎない。このようなシステム観に則って社会科学研究を行おうとするならば、私たちは実際にシステムのモデルを記述し、操作できる必要がある。まさに現在、このような複雑系としての社会・経済を記述し操作する手段が求められているのである。

しかし、このような複雑系のモデルを厳密に記述するためには、従来の力学系を超えて、相空間の次元やルールなどの点で「開いた力学系」(金子および池上, 1998)の開発が必要となるが、現在のところ、そのような記述体系は考案されていない。また、これらの記述力に加えて、そのモデルの「操作性」が容易であり効率的である点も重要となる。モデルを操作する人間の能力は限られているため、モデルの操作性は社会科学にとって本質的に重要な点である。

さらに、モデル化の容易さや可読性の観点から、人間の「経験的感覚との対応」が取りやすい方法が望ましいといえる。それは、把握した社会のイメージを素直に、かつ直接的にモデルに表現できるならば、そのイメージとモデルの間に歪みが生じる可能性が少なくなるためである。厚東(1991)は、「想像力なしには「社会」を認識することはできない」と指摘した上で、「モデルは、想像力を生き生きと活動させるための触媒」であるとし、「重要なのはモデルの導入によって、想像力が解放されるかどうかである」という。その点、わかりやすく記述されたシミュレーションモデルであれば、動的に変化する現象の表現力や説得力の面で優れているといえるだろう。

これらを踏まえ、本論文では、社会・経済を複雑系として「擬似的に記述する」ための体系について提案することにした。

2.5 シミュレーションによる計算と分析

2.5.1 シミュレーションと計算科学

本論文の対象である広義の複雑系や狭義の複雑系のモデルは、解析的に解くことが非常に困難であるか、あるいは不可能であるため、コンピュータ・シミュレーションによってモデルの特徴を理解するという方法がとられることが多い。シミュレーションとは、用意したモデルと初期条件からそのモデルを時間的に展開させるということであり、それを通じて、モデルの特徴についての経験的な知見を得ることができる⁽²³⁾。また、シミュレーションでは、モデルの設定や条件などを変更して試すことが容易であり、頭の中ではもはや自由に操作することのできないような大規模で複雑なモデルを扱うことも可能となる。そのため、現在の科学研究においては、シミュレーションは理論を発展させるための非常に重要な方法となっているのである。

コンピュータ・シミュレーションを用いた科学研究は、1986年にK. G. Wilsonによってその必要性が提唱されて以来、「計算科学」(computational science)として発展しつつある⁽²⁴⁾。計算科学は、「科学や工学の問題を解決するため、シミュレーションや実験データ解析にコンピュータを積極的に利用して、理論や実験と補完し合う手段(実験と理論的アプローチの間にあるギャップを埋める)」(田子, 1998)というものであり、科学研究の両輪と言われる「理論」と「実験」に加えて「計算」を重視する。なお、シミュレーションをコンピュータ上における「実験」と捉えることもあるが、シミュレーションは現実内における実験とは性格が異なることに注意が必要である。実験は、現実世界の中で対象によって現象を生成し、それを仮説と比較することによって経験的な知見を得る手段である。これに対し、シミュレーションは、人工的な思考世界の中で仮説モデルから現象を生成し、それを現実世界の現象と比較することによって、経験的な知見を得る手段である。この違いは、得られた結果の妥当性と関係するため、意識する必要がある。

2.5.2 科学研究におけるシミュレーション利用

科学研究におけるシミュレーションの利用法には、大きく分けて次の3つのアプローチがある。第一のアプローチは、対象の将来に関する「予測」である。予め妥当と思われるモデルがあり、それを時間経過させることによってどのような結果になるのかを観察・分析するというものである。つまり、過去のデータを用いてシミュレーションを行うことによって、将来の動向を予測するのである。第二のアプローチは、対象の「特徴についての理解」である。部分モデルの振る舞いがわかっている場合に、それらを組み合わせると全体としてどのような振る舞いをするのかを観察するために用いられるのである⁽²⁵⁾。第三のアプローチは、対象の「内部メカニズムについての理解」である。これは、全体的な振る舞いがわかっているが、内部のメカニズムがわかっ

ていないという対象を理解したい場合に行われる。内部メカニズムの仮説的なモデル(構成モデル)を作成し、その振る舞いと対象を比較して改良し、徐々にモデルを対象に近づけていくのである。

これらのアプローチの中で、特に「予測」については、ビジネスや政策分析からの現実的要請として求められることが多いものの、シミュレーション研究者の中では、このような利用の効果を疑問視する声も多い。社会シミュレーションの先駆者である J. W. Forrester も、予測については、当初から懐疑的な意見を述べている。「とくに注意したいのは、将来の特別な時点における 特定の事象 の定量的な予測が、モデルの目的には含まれていないということである。従来、有用なダイナミック・モデルならば、ある将来の時点におけるシステムの特定の状態を予測できなければならないということは自明である、と間違えて考えられてきた。これは望ましいことかもしれないが、モデルの有用性は、未来における特定の進路を予測する能力にかかっている必要はない。」(Forrester, 1961, 下線は原文より)。また、Gilbert and Troitzsch (1999) も、「従来の社会科学の科学哲学では、説明と予測を過剰に関係づけてきたと言えるだろう。つまり、理論をテストするのに、その理論がうまく将来を予測できるかどうかで判断される傾向があるのである。これは非線形理論、特にミクロレベルにおいては、適切な判断基準であるとはいえない。」と注意を促している。

これらの指摘からもわかるように、現在では、理論を発展させるための方法として、「特徴についての理解」や「内部メカニズムについての理解」に重きが置かれることが多い。「特徴についての理解」というのは、例えば、現象の発生頻度やネットワーク構造などについてのマクロ的な特性を知ることである。多数の要素が相互作用するシステムでは、べき乗法則という特性がよくみられる。例えば、砂山における雪崩の規模と頻度、地震の規模と頻度、そして価格変動の規模と頻度の関係は、べき乗法則に従っていることが知られている。また、最近のネットワーク理論では、友人関係や経済ネットワーク、ワールド・ワイド・ウェブ(WWW)など、成長するネットワークにおいても、べき乗法則が見られることが明らかになっている。しかし、私たちが知ることができるのは、このような全体的な特性とそのメカニズムのみである。どのタイミングでどの規模の現象が起きるのかということや、どの点とどの点がリンクされるのかというミクロレベルの予測は非常に困難、もしくは不可能である。

「内部メカニズムについての理解」は、複雑系研究でよく行われており、「構成的手法」や「構成による分析」(analysis by synthesis)と呼ばれている。従来のような還元的方法では分析できない複雑系のモデルを、コンピュータ上にヴァーチャルに構成し、そのシミュレーションの振る舞いを観察しながらモデルを修正していくのである。

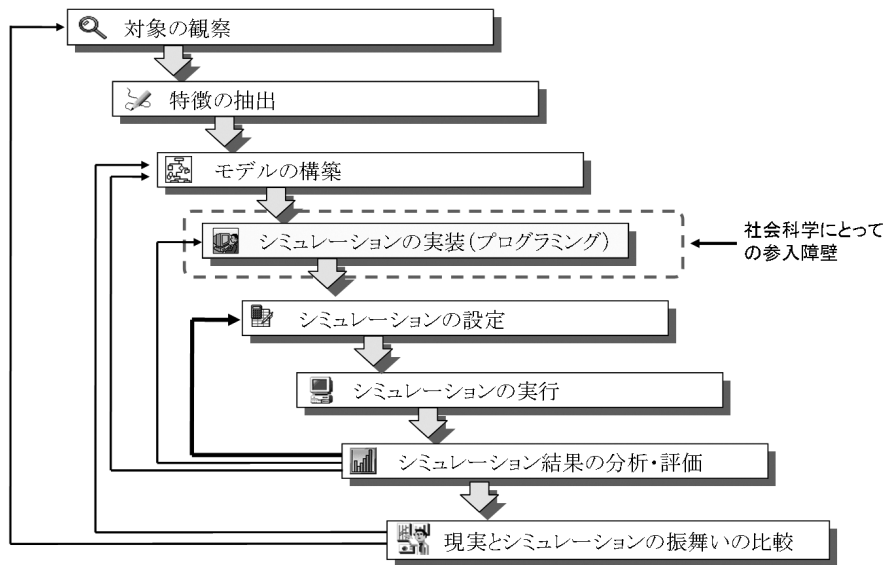


図 2.6: シミュレーション研究の典型的なフロー

2.6 シミュレーションの作成に関する課題

シミュレーションによる研究方法には特有の問題が存在する。それは、コンピュータ・シミュレーションが一種のコンピュータ・プログラムであるため、モデルだけでなくプログラムについても注意を払う必要があるという点である。シミュレーションによる研究プロセスは、一般に、「対象の観察」、「特徴の抽出」、「モデルの構築」、「シミュレーションの実装(プログラミング)」、「シミュレーションの設定」、「シミュレーションの実行」、「シミュレーション結果の分析・評価」、「現実とシミュレーションの振舞いの比較」というフェーズで構成されている(図 2.6)。このように、社会科学理論以外の作業が多く存在する。それゆえ、シミュレーションを作成するためのプログラミングや、研究分野全体におけるプログラムの共有や蓄積までを含めて考えなければならないのである。

プログラミングの必要性は、シミュレーションのソフトウェア品質に必要な技術を含めると、社会学者などが参加する際の障壁となっている。シミュレーションが正しくプログラムにコード化されているかどうかの判定を「正当性の検証」(verification)というが、シミュレーションの場合、モデルが複雑になるほど結果の事前予測が難しくなり、プログラムの正当性の検証が困難になる。そのため、事後的に正当性をテストするという方法に頼るのではなく、シミュレーションの開発プロセスの中にソフトウェア品質を確保するための仕組みを導入する必要がある。一般にソフトウェアには潜在欠陥はつきものであるため、開発過程や保守過程における徹底的な品質管理が重

要となる。言うまでもなく科学的研究や政策分析で用いられる場合、「正しさ」に関する品質はゼロ欠陥であることが求められる。ところが、このゼロ欠陥というのは、専門的なプログラムでさえ実現が難しい要求である⁽²⁶⁾。潜在欠陥はソフトウェアの規模が大きくなるほど増大するが、欠陥除去率は規模が大きくなるにつれて低下することが知られているため、今後シミュレーション・プログラムにおいても問題が深刻化することは必至である。そのため、研究者への負担は最小限に留めたままで、ソフトウェア品質の高いシミュレーションを作成することを支援する仕組みが求められる。

また、従来のシミュレーション支援システムでは、作成したモデルの一部を他の研究者と交換したり再利用したりすることを支援する仕組みは提供されていない⁽²⁷⁾。そのため、シミュレーションにおけるモデルの再利用はほとんど行われず⁽²⁸⁾、その都度ゼロから作られることが多い。実際、これまで作成されてきたシミュレーションモデルを調べてみると、モデルの構成単位レベルでは共通部分が多いため、これらを重複して開発するというのは非効率であることがわかる(表 2.1, 2.2, 2.3)。このようにその都度ゼロから作るという開発方法は、モデルが大規模になるようになるにつれて開発時間とコストの面で限界が生じることが予想される。これはまさに、シミュレーション分野における「ソフトウェア危機」と言えるだろう。このような状況に対し、開発時間の短縮とコストの低減のために、モデルの再利用や複数の開発者による独立した並行開発などの対処が課題となっている。

表 2.1: 先行研究のモデルにおけるエージェント (1)

モデル化の対象	実装言語	エージェント	エージェントの行動
株式市場 (Palmer et al., 1994)	Objective-C, Swarm	トレーダー	株価予測, 注文, 株売買
株式市場 (山本ほか, 2001)	C++(X-Mart)	トレーダー	売買のタイミング決定, 注文, 株売買
株式市場 (横田および小林, 2001)	VC++	投資家	株価予測, 注文, 株売買
株式市場 (Iba, 1999)	Java	トレーダー	株価予測, 注文, 株売買
先物取引市場 (佐藤ほか, 2001)	Java(U-Mart)	取引所会員	株価予測, 注文方法・注文量・注文価格決定, 注文, 売買
外国為替市場 (和泉および植田, 1999)	Pascal	ディーラー	レート予想, 戦略決定, レート・注文量決定, 注文, 売買
商品市場 (水田ほか, 2000)	Java, Java (ASIA)	生産者 投機家 オークション仲介者	生産, 消費, Bid, 売買 価格推定, Bid, 売買 Bid 要求, Bid 集計, 価格決定
オンラインオークション (水田, 2001)	Java, Java (ASIA)	買い手 オークショナー	状況確認, Bid, 購入 Bid 要求, Bid 集計, 落札者・落札価格決定
排出権取引市場 (Mizuta and Yamagata, 2001)	Java (ASIA)	Nation COP	国内削減量決定, Bid, 取引 Bid 要求, Bid 集計, 価格決定, 取引許可
サプライチェーン (谷口ほか, 2001)	IF/Prolog	工場 事業部 販社	生産, 在庫, 出荷 調達, 在庫, 出荷 調達, 在庫, 販売
規格競争 (VCR)(井庭ほか, 2001)	C, Java(BESP)	消費者	欲求認識, シェア認知, 商品購入
規格競争 (フリーソフトウェア)(Dalle and Jullien, 2000)	MATLAB	潜在的採用者	シェア認知, 商品購入
環境マーケティング (石川および寺野, 2000)	Delphi	消費者 生産者	商品購入 商品企画, 商品販売, 倒産, 行動の模倣, 行動規範の模倣

表 2.2: 先行研究のモデルにおけるエージェント (2)

モデル化の対象	実装言語	エージェント	エージェントの行動
貨幣の自生と自壊 (安富, 2000)	C	経済主体	財の生産, 物々交換, 記憶
社会 (Sugarscape) (Epstein and Axtell, 1996)	C, Java (Ascape)	架空の主体	移動, 収集, 消費, 生殖, 文化伝播, 略奪, 価格交渉, 物々交換, 融資, 返済, 疾病感染, 免疫応答
市場経済 (吉地および西部, 2000)	C, C++	企業 消費者	稼働率調整, 価格調整, 生産, 販売 購入
ケインジアン経済 (Bruun, 1997)	Pascal	消費者 消費財生産者 資本財生産者	消費, 労働, 商品購入, 許容証券価格決定, 証券売買 生産, 雇用, 投資決定, 商品配送, 証券発行, 許容証券価格決定, 証券売買 生産, 雇用, 投資・注文決定, 資本財引渡, 証券発行, 許容証券価格決定, 証券売買
アメリカ経済 (AS-PEN) (Basu et al., 1998)	C, C++	家計 食品製造業 非耐久財製造業 自動車製造業 住宅建設業 銀行 政府 連邦準備 不動産業 資本財製造業 「金融市場」	労働, 商品購入, 貯蓄・引出, 国債売買, 納税, 失業保険受取, 社会保障受取, ローン借入・返却 生産, 価格決定, 設備投資, 雇用, 販売, 納税, ローン借入・返却 生産, 価格決定, 設備投資, 雇用, 販売, 納税, ローン借入・返却 生産, 価格決定, 設備投資, 雇用, 販売, 納税, ローン借入・返却 生産, 価格決定, 設備投資, 雇用, 販売, 納税, ローン借入・返却 預金・引出受入, 貸出・返却受入, 国債売買, 雇用, ローン貸出・返却受入, 中央銀行への準備預金預入・引出 徴税, 失業保険支給, 社会保障支給, 国債発行, 雇用 銀行への貸出・返却受入, 国債売買 賃貸料徴収, 雇用, 納税 生産, 雇用, 販売, 納税 国債取引の調整

表 2.3: 先行研究のモデルにおけるエージェント (3)

モデル化の対象	実装言語	エージェント	エージェントの行動
バーチャル経済 (出口, 2000)		政府	公共投資, 雇用, 有利子国債発行・償還受入, 国債発行・償還受入, 徴税, 税率決定, 国債金利決定, 補助金支給
		銀行	預金・引出受入, 貸出・返却受入, 中央銀行からの借入・返却, 中央銀行への準備預金預入・引出, 預金金利決定, 貸出金利決定
		中央銀行	国債引受・償還, 銀行への貸出・返却受入, 銀行からの準備預金預入・引出受入, 公定歩合決定
		パン製造業	価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取
		製粉業	価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取
		農家	価格決定, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取
		機械製造業	価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取
		製鉄業	価格決定, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取
		家計	労働力供給, 購入, 住宅投資, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取