

シミュレーション技法の発展に基づく モデロジーに向けて(1)

岡 田 勇

1 はじめに

計算機シミュレーションの発展は、社会科学におけるモデリングやシミュレーションアプローチにどのような貢献をもたらすのだろうか。本稿では、Lave and March (1975) をテキストとして、社会科学におけるモデリングの役割を概観し、モデロジー (Modelology, モデル学) への導入を試みる。

社会科学者が「科学」的研究を志す場合、それが思考実験にせよ、実験室実験にせよ、数理解析手法を用いるにせよ、あるいは本論が注目する計算機シミュレーションアプローチを採用するにせよ、適切な仮説を構築し、それを合理的な手段を用いて、一般読者を説得せしむる論理構築を施すプロセスが、その一大要素として考えられる。本稿では、この種の研究プロセスをモデリングの観点から再検討するものである。なぜ再検討が必要なのだろうか。それは、複雑系パラダイムの浸透とともに、社会科学に計算機シミュレーションアプローチが採用される研究が散見されるようになってきたことにある。しかしながら、新たなアプローチは一種のフレームワークの再構築を迫るものであるから、無用な誤解を生じやすい。シミュレーション技法についても、Axelrod (1997) では、帰納法、演繹法に並ぶ第3の技法であると定義して、その可能性について検討している。一方で、シミュレーションはその自由度の大きさから科学的な厳密性に耐えられないとの意見も存在している。このように評価が定まらないのは、まだシミュレーション技法の実態が正確に把握されていないからであり、このような研究手法の萌芽期である現在において、技法の基本的考察をしておくことは極めて有効である。

本稿では、シミュレーション技法の検討には、その前提としてモデリングに対する再検討が不可欠であると考え。なぜならシミュレーションが前提とする研究手法は、広義のモデリングの一要素に他ならず、我々の定義するシミュレーションは、複数モデルの比較実験のために存在する理論開発型アプローチ (Okada & Ohta, 2002) に位置付けられるからである。そのため、従来社会科学で検討されてきたモデリングを基本として、新たにモデロジー (Modelology, モデル学) なる用語を作り、モデロジーの検討を行っていきたい。本稿はその最初のステップとして、Lave and March (1975) をテキストとしたモデロジーを展開する。

2 モデルの定義

2.1 モデルの用例

モデロジーを展開するに当たって、なるべく平易な導入にするために、「モデル」の用法・用例の検討から始めたい。なぜなら、「モデル」という言葉は、比較的ごく普通に日常的に使用されているので、定義が多様化されている。定義の混乱はモデロジーに堅固な塔を建てるのに大きな障害となる。そこで、用例を整理することで、本稿の独自な概念として「モデル」を定義づけることが可能となる。

モデル (Model) という用語が日本語の日常でどのように使用されているのか考察する。表1はモデルの用法・用例を取り上げたものである。

表1 モデルの用法・用例

		用語の意味
プラモデル	→	模型
ファッション・モデル	→	理想的な
モデル都市	→	模範的な
実験で使うモデル	→	模型・模倣
新製品モデル	→	実現形態
ビジネスモデル	→	抽象概念の表象化

表1には様々な用例のうち、代表的な使用例について紹介している。この用例を整理すると、「モデル」という言葉のニュアンスとして次の4つの特徴が抽出されるであろう。

1. **表象化** ある実態を別の表現形式で表現する。ただし、これは広義のモデルを定義する場合の表象化をさす。表象化のうち、本来は物理記号系で表現されないものを物理記号系で表現する表象を、狭義の表象化とする。狭義の表象をモデルの定義に取り入れると、プラモデルはモデルではない。
2. **類似性** 「模」は似ているという意味をもつように、実物と似ているものをモデルと呼ぶ。ここから逆に、「実物」の存在が認識できる。
3. **本質的** 模範や理想といった意味は規範性を有していることを示唆している。実物に対して、その全体が表現されているのではないということは、モデルが合目的性を有していることが分かる。つまり、モデルには目的があるということである。
4. **単純性** 本質的ということは、裏を返せば、実物の一部のみが表現されており、それ以外の部分は捨象されていること意味する。

以上の用法から抽出された特徴から、本稿における、「モデル」に関する最初の定義を次のよ

うに記述することが出来るだろう。すなわち、モデルとは、現実世界に対してある目標を達成するために、表象された系である。ただし、現実世界の一部を単純化しているので、目標に適するように現実世界の特性をいくつかは備えているが、全てを備えているわけではない。

以上の定義を用いて、いくつかの事例について考察しよう。このことで、本稿で定義するモデルがより鮮明になるはずである。

Exercise 機関車の実物大モデルは、何が「実物」であり、「実物」に対して、どんな特性を有しており、どんな特性を有していないだろうか。

Answer 実物は機関車であり、形状に対して実物と同じ特性を有しているので、見た目が似ているだろう。しかし、性能といった特性は有していないので、機関車の馬力や速度、収容能力や機械の信頼性などは分からない。

Exercise 地図は、何が「実物」であり、「実物」に対して、どんな特性を有しており、どんな特性を有していないだろうか。つまり、地図もモデルである。

Answer 地図は「地表」のモデルといえる。この場合、地表の「絶対的位置」「相対的位置」といった特性をもっているが、「高さ」や「現実の距離感」といった特性をもっていない。

Exercise 特定の現象を説明するような理論 (theory) はモデルといえるだろうか。例えば、「人間は認知的不協和を解消するように行動する」という言明を理論と呼ぶとき、この理論はモデルと言えるだろうか。

Answer 本稿の定義によれば、モデルとは表象化された系である。上記の理論は、特定の社会事象を表現しているので、モデルといえる。ただし、実際の社会が「人間は認知的不協和を解消するように行動する」社会でない場合、このモデルは社会事象を表現しているといえるだろうか。モデルか否かは何が真理であるかに依存することを意味するのだろうか。モデルの定義を厳密に検討すると、真理であるか否かはモデルの必要条件ではない。すなわち、理論とそれを否定する理論は、両方ともモデルであり、それがゆえにモデルは、その正当性を検証しなければならないのである。

Exercise 頭の中で行っている推論はすべてモデルといえるだろうか。例えば、女性に花束を贈るときに、その女性が喜ぶかどうかを検討することはモデルといえるだろうか。

Answer 何をモデルと呼ぶのかに注意する必要がある。この場合は「女性に花束を贈ると、彼女は喜ぶ」という言明がモデルである。このモデルについて検討することは、モデルの評価を行っていることである。

2.2 なぜモデルが必要か

モデルを用いることでどのようなことが明らかになるのか。地図という地表のモデルを例に考えてみよう。

まず地図を用いることで、現在位置に関する状況、すなわち、ここがどこであるのかを説明す

ることが出来る。説明とは、実物に対する理解の方式であり、この場合、地表に関する特定の理解が可能であることを意味する。次に、目的地までの道のりについて、予測することが出来る。ここで予測という言葉を用意的に用いている。予測とは、実物に関する将来の言及である。すなわち、実際には目的地にたどり着く前に、どのようにしたら目的地にたどり着くのかの道のりを提示することで、未来の行動を予測しているのである。ここで我々は説明と予測の区別をしなければならない。説明は実物の過去に関する言及であり、予測は実物の未来に関する言及である。時間概念が生じたことは、モデルがシミュレーションの道具として使用可能であることを意味する。シミュレーションについては、次稿で考察することにする。

また、地図を用いることで、例えば、都市づくりに関するビジョンを描くことが出来る。実物だけでは予期し得なかった地理的特性を新たに発見するといったことである。この種の推論を含意を導出と呼ぶことにする。含意とは、モデルから導出された命題である。予測と含意は完全に異なるものでなく、共通するものであるが、本稿では一応区別する。含意は予測よりも複雑な推論を必要とし、それがゆえに導出されたという用法を用いることにする。

以上をまとめると、モデルによって以下の推論 (deduction) が可能となることが明らかになった。

- 説明 (Explanation)
- 予測 (Prediction)
- 含意の導出 (Derivating Implications)

前述の通り、モデルは理論を含む広義の概念である。それどころか、推論のためのモデルは、あらゆる人間生活や学問の発展にとって中心的な役割をもっている。我々は、日常的に無意識のうちに多数のモデルを用いて推論しているのである。

2.3 社会科学におけるモデル

広義のモデルを定義したので、ここで社会科学におけるモデルの特徴を考察する。社会科学とは何であるかを本稿のうちに定義付けることは不可能であるが、暫定的に、人間を含んだ系における人間を主体とした行動に関する科学とみなすことにする。

物理学で用いられるモデルは社会科学におけるモデルより単純であるというのが、本稿の主張である。例えば、月に向かうロケットの軌道は、ニュートン力学に基づいたある方程式群の理論によって、ほぼ正確に計算できる。この現象におけるモデルとは、物理的世界に成立する諸法則群に他ならない。確かに、それらは複雑な計算式で記述されるが、計算可能であるがゆえに、本稿では単純なモデルであると見なされる。

一方、社会科学のモデルはより複雑である。人間の完全なモデルなどというものは存在しない。社会科学の困難性は、モデルの目的のひとつである予測に限っても明らかである。先のロケットの軌道は予測可能であり、おそらくそれは正しいだろう。しかし、ある人物の次の瞬間の行動はほとんど予測不可能であるに違いない。

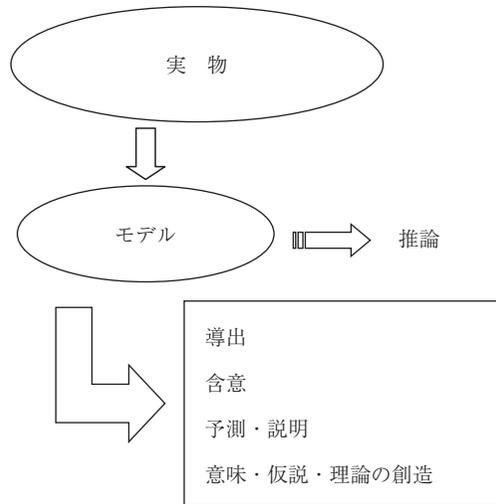


図1 理論開発のツールとしてのモデル

そのような理由から、逆説的に社会科学におけるモデルの重要性が明確になるであろう。この場合は、モデルを一意に決定することが出来ないゆえに、モデル構築に対しては、ある種のセンスが必要とされる。計算機シミュレーションによって、モデルの記述性や操作性が格段に向上した現在において、モデルは仮説検証の道具として、あるいは、理論開発ツールとして、その重要性を増しつつあるといえる。この場合、モデルの定義をやや狭めたほうが以後の議論が容易になる。社会科学においては、狭義の表象化をモデルの要件とすべきである。

以上の議論を整理して、モデルの役割についてまとめた（図1）。

3 モデルの構築

モデルの重要性が確認されたところで、モデルの構築について考察を行う。モデル構築にとって重要な概念である同型対応について考察する。

「同型対応」という言葉は、二つの複合構造について相互に重ね合わせることができ、一つの構造のどの部分にももう一つの構造の対応する部分があり、しかも「対応する」部分どうしがそれぞれの構造の中でよく似た役割を果たしている場合に、用いることができる。「同型対応」という言葉のこの用法は、数学におけるより精密な概念から導き出されたものである。

数学者が二つの既知の構造の間の同型対応を発見すれば、それは喜びをもたらす。それはしばしば「青天の霹靂」であり、驚嘆の源となる。既知の二つの構造の間の同型対応を認識することは、知識の重要な進歩なのである—そして私は、そのような同型対応の認識こそ、人の心に**意味**を創造する、と主張したい。同型対応の認識について最後のひと言—比喩的にいって、同型対応はいろいろな形と規模をもつものであるから、同型

対応を本当に見つけたのかどうかはいつも全く明白とはかぎらない。だから「同型対応」には言葉が普通もっている曖昧さのすべてが具わっている—これはひとつの欠点であるが、また長所でもある。 ([Hofstadter, 邦訳, p. 66])

このように、モデルとは、現実との「同型対応」を目指す一方、新たに導き出されたモデルの性質から再び現実を再認識することによって、新しい「意味」を創造することができる可能性を秘めている。この意味こそ導出された含意に他ならない。

モデルは、現象の単純化された表現である。重要なことは、現象の生起を説明するプロセスの理解である。プロセスとは、現象の記述ではなくて、現象の生起理由に注目するための認識パターンである。生起理由であるから、当然ダイナミズムを伴う。

モデル構築になされる標準的なステップを整理する。

1. 現象の観察
2. 現象が生起したプロセス（モデル）の推論
3. モデルから得られる含意の導出
4. 含意の検討
5. (必要に応じて) モデルの再構築
6. モデルの一般化

このステップをいくつかの事例で確かめる。

3.1 学生の交友関係 (Lave and March (1975) による)

学生集団を観察した結果、交友関係に一定の特徴があるとする。例えば、学生寮内における友人関係をアンケートなどで調査する。この結果、友人同士は互いに近くに住む傾向があることが観察されたとしよう。この観察がモデル構築の出発点となる「現象」である。本質的には、我々は「現象」が真実であるか否かを検討する必要がある。「友人同士は互いに近くに住む傾向がある」という現象は正しく社会現象を観察した言明であるのかについて、吟味しなければならない。しかし、この吟味はモデロジーの外部の議論である。なぜなら、現象の吟味とは、現象の言明をモデルそのものとする推論作業であるので、「現象＝モデル」の無限退行を誘発することに他ならない。そこで、現象の言明そのものは真なるものとして受け入れる必要がある。この制約は、もちろん、現象の言明に関して議論することの有益性が認められるときに、その価値を否定するものではない。

現象の観察がなされたので、なぜ「友人同士は近くに住むのか」を説明するプロセスを考察する。これがモデル構築の核にあたる。次のようなモデルを構築したとしよう。

モデル1) 1年に一度行われる部屋替えのときに、友人同士は、互いに隣に住むように図る
 モデル1は現象とは無関係なプロセスである。もしモデル1が現実の世界を適切に現していたならば、観察された現象はモデルの論理的な帰結と一致するはずである。しかし、そもそもモデル1は現象をその論理的帰結として満たすように構築されている。すなわち、**必ずモデルは現象を説明している**のである。すると、モデル1は現象が生起したプロセスであるので、現象を説明するモデルの一つであるといえる。しかし、これはこのモデルが正しいモデルであるか、あるいは、良いモデルであるかを示していない。モデルの必要条件が満たされたに他ならない。

モデルの評価は次節に譲るが、ある程度の目安をつけておく必要がある。モデル1は確かに現象を説明しているが、どのくらい良いモデルかをどのように判定できるのだろうか。それがステップ3と4の意味である。モデル1は単なるプロセスの記述に過ぎないので、これが含意するものは、現実に存在している現象だけではない。現象とは異なるような含意を導出することは、モデルの正当性を保証する上で重要な作業である。そこで、次のような含意を導出したとしよう。

含意1) 在校生の寮生の友人関係パターンは現象の通りであるが、新入生は互いに知り合い
 というのではないはずであるから、**現象が観察されないはずである**

これはモデル1から導出される含意である。しかし、含意1は否定されたとしよう。つまり、新入生の寮であっても、友人同士は近くに住んでいることが観察されたとしよう。この場合、含意1はモデル1から論理的に帰結されたものであるから、含意1の否定はモデル1の否定に直結する。このことはモデル1は現象を説明可能なモデルであるが、現象を説明したモデルとはいえないということが示されたことになる。すなわち、ステップ5、モデルの再構築が必要となるのだ。そこで次のモデルを構築しよう。

モデル2) 学生は似たような出身背景をもつので、共通の経験や、価値観を有しており、し
 たがって、潜在的に友人になる可能性がある。近くに住む学生は互いに接触する機
 会が多いので、**お互いの共通の特徴に気づきやすい**

モデル2は、モデル1と同様に現象の説明モデルとして認められるであろう。しかし、モデル1で議論したように、これはモデル2の信憑性とは無関係である。モデル2から導出される含意の検討が必要である。

含意2-1) 新入生や在校生にかかわらず、友人同士は近くに住む傾向がある

含意2-1は否定されなかった。これはモデル2はモデル1よりすぐれたモデルであることを示している。しかし、これはモデル2がより確からしいことを示しているだけである。我々は他の含意も導出しなければならない。

含意2-2) 時間がたつにつれて接触の機会は増えるので、同じ学年であっても4月より9
 月のほうが、9月より1月のほうが友人集団は大きくなる

含意2-2はどのように検証されるか。異なる時点における友人関係のアンケート調査を実施することで検証されるであろう。このようにして含意2-2の正当性も確かめられたとしよう。これはモデル2の正当性をより強固にすることを意味するのである。

3.2 学生の交友関係モデルの一般化

前節でステップを追いながら、具体的なモデル構築の事例を紹介した。しかしモデルは一般化されることで豊富な含意を導出することが出来る。本節でモデル2の一般化例を紹介する。

モデル3) (モデル2の一般化) 大抵の人間は共通の経験や価値観をもっているので、友人になる可能性がある。近くに住む人間は互いに接触する機会が多いので、お互いの共通の特徴に気づきやすい

モデル3はモデル2のうち、学生として限定されていた部分を人間全体に一般化した言明である。これはモデル3はモデル2を含意として導出出来ることを意味する。するとモデル2が正しければ、モデル3の正当性はやや保証される。今までと同様のステップに従い、モデル3から異なる含意を導出してその正当性を検証しなければならない。

含意3) 混在地域の黒人と白人のほうが、隔離地域の黒人と白人よりも友好的な関係が構築されている

モデル3はさらに一般化できないだろうか。モデル3は学生から人間への一般化によって構築されたが、モデル3の言明を考えると、更なる一般化が可能であることに気づく。例えば、近くに住むという言明は制約的であるが、モデル3では接触・コミュニケーションが重要なキー概念であるので、この部分は一般化可能である。

モデル4) (モデル3の一般化) 大抵の人間は共通の経験や価値観をもっているので、友人になる可能性がある。二人の人間は、互いにコミュニケーションする場合に、お互いの共通の特徴に気づきやすい

モデル4になると、住む必要がなくなるので、対面、手紙や電話、あるいはテレビを使ったコミュニケーションにまで予測することが出来るようになる。さらに、共通の価値観が友人になる可能性をもたらすとすれば、異なる価値観は敵になりやすいという一般化をすることも出来るだろう。

モデル5) (モデル4の一般化) 二人の人間は、コミュニケーションによって、お互いの共通点や相違点に気づくので、友人になりやすいし、敵にもなりやすい

モデル5は、コミュニケーションを行わない二人の人間に比べ、コミュニケーションを行う二人の人間のほうが、友人関係に対して白黒が付きやすくなることを示している。これは、かなり一般的であり、さらに刺激的なモデルといえよう。モデル2からモデル5に従って、対象範囲が拡大されただけでなく、興味深さも増大していることが分かるであろう。一般化することはモデル構築にとって重要な作業なのである。

3.3 モデル構築における注意点

具体的なモデル構築を示したが、ここからいくつかの発見が出来る。現実世界とモデル世界の相互作用によって、日常的な思考を体系化する一般的な手続を提示することが出来る。体系化によって、創造的な思考がもたらされ、知的な発展への可能性が開かれることになる。このような

モデル構築は、日常的なそれとの差異を明確化する上でも、いくつかの注意点を指摘する必要があるだろう。

まず重要なポイントは、モデルのプロセスを意識することである。静的なモデルは、現象の記述に過ぎず、それは観察の域を出ていない。プロセスとは、なぜ現象が観察されたのかに関する説明である。事例を挙げてみよう。「大学生は、学年が進むにつれて、授業態度が不真面目になる」という言明はモデルである。これは一見プロセスが記述されているように見える。すなわち、1年生の授業態度と4年生のそれとを比較することで、モデルの正しさが示されるからだ。この比較はある現象のプロセスを反映していると感じられる。しかし、これでは、モデルの正しい範囲がモデルの言明しているもの以外に広がることが出来ない静的なモデルである。このモデルが対象とした現象とはなんであろうか。それはモデルで記述した言明そのものである。すなわち、モデルから新たな意味、含意を導出することが出来ないのである。そのため、次のようなプロセスを付加してみる。「人間は自分の生活パターンに慣れてくると、その生活パターンに魅力を感じなくなる傾向がある。大学生は新入生の間は、授業が珍しいので授業態度が真面目になるが、学年が上がるにつれて授業に慣れ、結果的に授業態度が悪くなる」。このモデルは、「なぜ」授業態度が悪くなるのかに対する答えとして、プロセスが含まれている。すると、このモデルから新たな含意を導出することが出来る。例えば、このモデルが正しければ、会社でも同じような現象が見られるのではないかという含意を導出できる。

次に、興味深い含意を導出できるようなモデルを構築することである。モデル構築の最も重要な効果は、直観的ではない含意を導出したり、あるいは直観的な含意であっても、その導出が学問的な美しさを有していたりしているかにかかっている。そのため、大抵のモデル構築者は興味深い含意を導出することを基本目標においている。しかし、含意の中には実現が極めて困難なものも多数存在する。これは含意としては興味深いかもしれないが、実際に価値がある含意かどうかは疑わしい。そのため、含意を導出するために、モデルに含まれるプロセスにとって重要な変数が自然に変化するような例を考える必要がある。例えば、強制的に新たな生活パターンを獲得することは出来ないが、自発的に新たな生活パターンが生まれる世代に注目することで、前段の含意は検証できる。このことは「自然な実験が可能である」ということを意味しており、4節で詳説する。

最後に、モデルを一般化させることである。モデルは、一般的に適用範囲が広いほど、様々な興味深い含意を導出できるので、良いモデルの可能性が高い。一般化の常套手段としては、固有名詞の普通名詞化、普通名詞の抽象化、動詞の抽象化がある。前段の例では、大学生の生活パターンの変化を大学生から一般的な生活パターンへの変化として一般化している。

こういった注意点は他にもいくつか考えられるであろう。いずれにせよ、モデル構築にとって有益な観点を列挙することで、更なる体系化が期待できる。

ここで、モデル構築に関するいくつかの事例について考察しよう。

Exercise 女性の社会進出が盛んになってきている。その理由について考えなさい。この説明がモデル構築の出発点となる。次に、それを出来るだけ一般的で抽象的なモデルへの変化させなさい。すると、興味深い含意がいくつか導出されるはずである。

Exercise レポートは締め切り日の直前に提出される。これについても前問と同じようにモデル化しなさい。

Exercise あることがらを解決するために、2つのグループが作られた。グループAは5名からなるチームであり、Bは17名からなるチームである。両チームとも構成する人間に能力的な差はないとする。このとき、人数が多ければ多いほど、有効な解決策が提示されるはずであるという予想を裏切った現象が観察された。すなわち、グループAはいくつかの有効な解決策を提示したのに、Bはほとんど何もすることが出来なかったのである。これは大変興味深い観察である。そこで、モデル構築によって、その理由を考えてみよう。

4 モデルの評価

本節では、構築された複数のモデルのうち、どれが「良い」モデルであるかを識別するための、モデル評価について考察する。

4.1 妥当性

まずはじめに、モデルの真実性についてである。モデルが正しいモデルであるほど、良いモデルという評価尺度である。これはモデル内部の一貫性を担保する正当性（verification）とモデルと現実との整合性を担保する妥当性（validity）の2つが考えられる。正当性とは、モデル内部の論理的整合性に矛盾が生じていないかを確認する指標であるが、これは複雑なシミュレーションを行うことを想定されて構築されたモデルに関して、モデル内部で使用されている変数の妥当性や、モデル内部のダイナミズムの妥当性を意識している。つまり、シミュレーションアプローチにとって重要な概念であるので、本稿では詳論せず次稿に譲る。一方、妥当性とは、モデルと観察された現象とが整合しているかを確認するための指標である。モデルの妥当性を評価するためには、モデルの帰結と現実世界の現象とが比較可能であることが必要である。このことから、妥当性検証のための第1公準として「モデルの検証可能性」が必要となることが分かる。

検証可能であるというのは、例えば次のような循環モデルを排除する必要があることを意味する。

モデル6） 参加者が全員純粋な心をもっている集団が雨乞いをすると雨が降る

モデル7） 人間行動の動機には自己利益の追求がある

両方のモデルとも検証可能性が満たされていない。モデル6では、もし雨が降らなかったら、邪な心をもっていた参加者がいたことになり、何が起ころうともモデルで説明可能である。モデル7では、ある行動からその人の価値観を推測し、その推測した価値観によって同じ行動を予測するので、何をしてもモデルの説明範囲に納まってしまふ。両者とも、結果に合うようにモデルの

仮定を変えることをモデルが認めているので、モデルと現象が循環する。このような循環モデルは第1公準を満たしていないので、良いモデルといえない。

モデルが検証可能であると、モデルの妥当性が評価できるが、この場合、2種類の妥当性の違いを意識しなければならない。第1レベルの妥当性とは、観察された現象から記述されたモデルが、観察された現象そのものをその含意として導出可能であるか否かを検定することである。これは通常、モデルの仮定を検証することになるので、観察された現象から記述されている限りにおいて、観察された現象そのものが含意として導出されることは自明である。そのため、第1レベルの妥当性は、満足されることが当然であるという種類の評価尺度である。そこで第2レベルの妥当性が必要となる。

第2レベルの妥当性とは、モデルから導出された含意のうち、観察された現象そのものではない含意に対して、その正しさを評価することである。第2レベルの妥当性では、モデルの正しさをモデルそのものからではなく、モデルから導出された含意を用いて行うので、間接的であり、納得できる水準に妥当性を満足することが困難であると思われる可能性がある。モデルは現象から切り離された表象に過ぎないことから、直接モデルを用いて証明することは出来ない。しかし、間接証明であっても納得できる水準に達することは出来る。なぜなら、検証のための含意としては、モデルのプロセスに含まれる変数が変化する場合に導出できるものが該当する。このため、第2レベルの妥当性は、ある程度の含意の導出でモデルの妥当性証明のための十分な検証が可能となるからである。

例えば、先の「モデル5：二人の人間は、コミュニケーションによって、お互いの共通点や相違点に気づくので、友人になりやすいし、敵にもなりやすい」について考える。モデル5がもつ重要な変数は、コミュニケーションの頻度や量、共通点や相違点への認知、友好の度合の3つである。そのため、これらの変数が動くような含意を導出して、その妥当性を評価することで、十分な水準であることが言える。例えば、モデル5では、次のような含意がそれにあたるであろう。

含意5-1) コミュニケーションが進むにつれて、友人である二人は、より親密になり、敵である二人は、逆にますます敵対する

含意5-2) コミュニケーションが増えるほど、相手の特徴と自分との差や共通点について理解する

含意5-3) 人は共通点の多い人ほど深い友人関係になる

4.2 決定的実験

前述の含意をどのように検証するのか、第2レベルの妥当性を確認するために推奨される検証手続は実験と呼ばれる。すなわち、含意の検証はそれに適した実験によって行われる。本稿では、複数モデルに優劣をつけるための特殊な実験について考察する。これは単一モデルの検証よりも、複数モデルの検証の方が、比較優劣の判断を伴うことが出来るので、より容易であるからである。複数モデルの比較をする上で重要となる実験を決定的実験という。決定的実験とは、ある現象を

説明するモデルを複数構築した場合に、そのどちらにより妥当性が見いだされるかを確認する実験である。すなわち、異なるモデルの答えが異なるような新しい問題を設定することである。このために次の事例を挙げる。

観察事象：大抵の人は弁護士よりも医者を尊敬する

モデル8-1) 人間は日頃から接触しやすい人を尊敬する。ほとんどの人は医者と接触するが、弁護士と接触しないで一生を終える人は結構いる

モデル8-2) 人間は、口先だけの人よりも実行できる人を尊敬する。弁護士は口先でどうにでも主張できるというイメージがあるので、行為に信頼がおけないと思われる。医者は、治る治らないが彼らの技術に依存するので、結果に疑いがなく、結果的に病気を治してくれた実行力に尊敬がなされる

これら2つのモデルは観察事象を導出できるので、第1レベルの妥当性は充足される。決定的実験とは、両モデルで結果が相反するような問題であるので、例えば次の含意がそれにあたるであろう。

含意8-1) 医者よりも弁護士と接触する頻度が高い人は、医者よりも弁護士を尊敬する

含意8-2) 医者よりも弁護士と接触する頻度が高い人でも、弁護士は口ばかりというイメージがあるので、弁護士よりも医者を尊敬する

ここで挙げられている実験、すなわち、医者よりも弁護士と接触する頻度が高い人の尊敬を観察することが、2つのモデルにおいて答えが異なる、決定的実験である。このように決定的実験を見つけてくるのが出来れば、複数のモデルにおける、第2レベルの妥当性の比較を行うことが出来る。しかし、決定的実験であっても、その実現性に困難が伴うようであれば、比較できないので、「自然な実験」である必要がある。自然な実験とは、モデル構築者が観察対象を意図的に変化させなくても、モデルの重要な変数が自然に変化するような状況を観察できる実験のことである。つまり、実験室で行われる、モデル構築者の完全な支配下にある実験とは異なる。先の決定的実験は、最近弁護士との接触が増えた人を探すことで、自然な実験となるだろう。

4.3 反直観性

モデルの正しさ、妥当性はモデル評価の重要な指標であるが、唯一絶対ではない。それどころか、場合によっては、最重要な指標でもない。モデルが理論開発のための手段であるとするときには、妥当性よりも本節で紹介する反直観性の方が重要視されることもある。モデルの反直観性とは、モデル構築によって得られる、知的な驚きのことであり、それゆえ、モデルの美的側面を表しているとも言える。しかし、それゆえ、モデルの妥当性よりは客観的な指標とはなりにくい側面がある。本稿では、モデルに驚きを与える幾つかの性質について概説する。

まずはじめに、モデルは単純であるほうが良い。モデル構築の分野で有名はKISS原理は、もともとは軍隊用語であったものをAxerlod(1984)がこの分野に援用したものだが、Keep It Simple, Stupidとは、モデルは出来るだけ単純であれとのスローガンである。これは、同じだけ

の説明能力を有するモデルでは、内部メカニズムが単純であるほど、モデルのプロセスが現象への説明を直接的に行っているため望ましいからである。これは、システム論において、環境適合したシステムがなるべく最少の多様度をもつという Ashby の法則と比定されるだろう (Ashby, 1956)。

ここで注意しなければならないのは、単純なモデルは、しばしば直観的な含意しかもたない場合があるという点である。寺野 (2003) では、このことに関して、「モデルが単純であれば結果は当たり前に見えるし、現象を理解しようとするほどモデルが複雑になり、KISS 原理から遠ざかってしまう」と主張している。単純であればあるほど、モデルのプロセスは自明となり、結果的にモデルはトートロジーを表現する公理系に過ぎなくなる危険が存在する。その点、複雑なモデルは多くのプロセスをモデルに取り込み、相互作用のための変数の組み合わせ爆発を可能にし、結果として、一見すると反直観的な含意を導出することが容易である。しかし、この種のモデルは、モデルが現象を説明するのにあまりにも複雑になりすぎてしまい、モデル構築者自身がモデルを正しく扱えず、プロセスを制御できなくなってしまう。そういったモデルから反直観的な含意を導出しても、結局何もいえずに、モデルの再構築を余儀なくされてしまうのである。単純さを保ちつつ、しかも反直観的な含意を導出可能なプロセスを内包させることこそ、モデル構築のセンスが問われるところであろう。

次に、モデルの一般性は高いほうが良い。モデルが個別的な現象に対する表象であると、モデルの適用範囲はおのずから小さくなる。この場合は、モデルから導出できる含意の幅が狭くなることを意味する。例えば「A氏は、怒ると、飼っている猫を蹴る」というモデルでは、一人の人間における一つの感情に対する一つの生物への反応に過ぎない。これを抽象化して「不幸な人々は仕返しできない対象に感情をぶちまける」というモデルへ一般化することによって、その適用範囲は格段に広がる。さらにこのモデルからは興味深いいくつかの含意を導出することが出来る。ここでやっているモデルの一般化は、モデルを構成している変数を、モデルの主要なプロセスを傷つけずに、より一般的な言葉に置き換えることである。ところで、モデルが一般的であることは、モデルが多産になることでもあるが、過度の一般化はやはりモデルをトートロジーに落としてしまう可能性がある。先のモデルを更に一般化して「人間は他者に接触する」というモデルを作ったとしよう。確かにこれはより一般化されたモデルではある。しかし、これでは抽象的過ぎて、有効な含意を導出できない。すなわち、良い一般化の程度というものが存在する。この場合の望ましさは、やはり反直観的な含意を導出可能なプロセスを内包させることである。一般性を保ちつつ、反直観的であるためには、やはりモデル構築に対するセンスの良さが必要となるのである。

ところで、反直観的である、というのはモデルの言語に対する優位性を示唆している。日常的な言葉は反直観性を示すためのあまり効果的な手段ではない。モデルには、精密に論理を記述でき、しかも操作性に富んでいるという、高度な分析能力を有しているので、反直観的な記述を可能にしている。この点を踏まえると、モデル構築の目的は反直観的、すなわち、驚きを与えるた

めである、というような表現が可能になるだろう。であるからこそ、本節の冒頭に述べたように、モデルの正しさを犠牲にしても、モデルの反直観性に関心を払うことが重要な場合があるのである。

4.4 倫理性

最後の指標として倫理性を挙げるが、これは、前の2つに比べて、理念の側面が強いので客観的な指標になりづらく、やや説得力が弱いかもしれない。しかし、モデルが表象であり、構築者の自由な記述が許されるので、同じように妥当であり、反直観的な2つのモデルの間では、倫理性の優れているモデルのほうが良いモデルとなる。なぜ価値自由を標榜する科学において、倫理が評価尺度であるのか。事例を挙げて説明する。

観察事象：あるマジョリティが人口の大半を占めている文化圏に存在する学校において、マイノリティの学生の成績が良くない傾向が認められる

モデル9-1) 2つの文化には相違点が多い。ところで、学校はマジョリティの文化の中に存在しているため、教育内容がマジョリティ文化の価値観に基づいている。マイノリティの学生にとっては、別の文化基準で成績が評価されるため、低くなってしまう

モデル9-2) マイノリティはマジョリティよりも、もともと知性の面で劣っている

この2つのモデルに適切な決定的実験を構築するのは難しい。モデル9-1では異なる文化集団の比較が必要となるが、それらをまとめる「共通の」評価方法が存在しにくいからである。しかし、モデルの含意となると、両者には大きな違いが認められる。例えば以下のような含意を導出しよう。

含意9-1) マイノリティの文化に適合した学校の建設や、多文化教育などの政策によって、マイノリティの成績は向上するだろう

含意9-2) マイノリティは劣っているのだから、彼らでも出来る単純な職業を作る必要があるだろう

一見して明らかなように、モデルの倫理性から評価すると、モデル9-2は問題がある。含意はともに、実際の行動を促す政策を提案しているが、そもそもこの政策行為自体が社会にもたらす結果は、モデルの真偽とは無関係である。さらにモデルをどれだけ真実に近づける努力をしても、ここで取り上げている問題を解決することは出来ない。この場合、モデルの効果は説明から予測的な行動を包含することになる。そして、そうであるならば、モデル9-1は9-2と比べて、より良い行動を導くために、良いモデルであると主張できるのである。

モデル構築にある程度の倫理性が必要であるからといって、善性に働きかける含意の導出はそれほど単純なことではない。ましてそれに基づいて人間行動を変化させるためには、更なる努力が必要になるだろう。つまり、それほど単純に倫理性を満足するモデルは構築できないであろう。しかしながら、次のようなスローガンはモデル構築者の暗黙の仮定として認識してもいいと思わ

れる。すなわち、構築するモデルから導出される含意を人間の集団が受け入れるならば、彼らの行動はより人間らしくなり、社会に善がひろまる助けになるだろうかということ。

Exercise 1960年代に起きた学生運動を説明するために次のようなモデルを構築した。人々は欲求不満になると理性を失うものである。学生が大学改革をしようとしても、当局から無視されることが多かったので、学生は欲求不満が高まり、学生運動となったのである。このモデルは興味深いモデルであるので、妥当性を検証しよう。次のような検証方法は良い方法であるか。悪いと思うならばどういう検証方法が望ましいか提案せよ。「多くの大学における学生運動の記録を調査する」

Answer これは良くない検証方法である。なぜなら、記録を調べたところで何がどうであればモデルの妥当性を示すことになるのかの情報が提示されていないからである。良い検証方法としては、例えば、大学改革を主張する学生の試みの成功率と学生運動の発生率との関係を調べる、というのが挙げられる。

Exercise 試合に負けたサッカーチームの監督がインタビューに答えて次のように言ったとする。「残念である。敗因は選手に勝とうという意志が欠けていたことである」これはチームが負けたという現象に対するモデルと見なすことが出来るが、これは良いモデルかどうか判断せよ。

Answer このモデルからは、もしチームが勝ったならば、選手に闘争心があったことになり、負けたならばなかったというように、いずれの場合でも説明できる循環モデルであるので、モデルの検証可能性が満たされておらず、悪いモデルであるといえる。

Exercise 手近にある現象を観察してモデリングの構築と評価をしてみよう。まず現象を説明するようなモデルを2つ構築してみる。次のそれらのモデルを評価してみよ。評価尺度としては、本節で挙げられた、モデルの検証可能性、第1レベルの妥当性、第2レベルの妥当性、反直観性、倫理性を考慮すること。

5 エージェントベースドモデリングに向けて

本稿は、ABM (Agent Based Modeling) の意義や有効性を考慮する準備として、モデロジーの概観を行った。ABM とは、集団から個々の主体に立ち返って、エージェントと呼ぶ個性をもった個体が集団としてどう振舞うかに注目するアプローチである (寺野, 2003)。ところで、コンピュータシミュレーションの発展にとって、なぜモデル学の再検討が重要であるかといえば、シミュレーションのもつダイナミクスこそが新たな意味の創造、理論仮説に大きな可能性をもっていると考えられるからである。現代企業行動論の泰斗である Cohen&Cyert (1961) が「コンピュータ・モデルは、そのモデルが、動態的過程 (dynamic process) を描き、また時系列の形で数値的解答が望まれる場合には、最も効果的なアプローチであるかもしれない (邦訳, p. 369)」の助動詞に may を使ったのは、故なきことではない。彼は続けて、この手法が、OR (オペレーションズ・リサーチ) では総合的 (synthesis) 目的として、複合単位対の行動が高度の

正確さをもって知られる場合に、トータルシステムの運営上の特性を理解することに長けていることや、社会科学では、行動は観察可能であり、特性の構成関係を引き出すことにあるので、シミュレーションは分析 (analysis)、モデルによって研究される内生変数に対する一組のタイムパスこそがアウトプットである、といった主張によって、現在の我々と同じ問題意識をもっていた。そして、このアプローチの将来として、次のように期待している。

コンピュータ・モデルは、実験的作業と理論的作業とをかけ渡す橋となる。コンピュータ・モデルの必要条件は、実験的研究のための理論的フレームワークを提供することが出来るが、そのかわり、その実験的情報は、そのモデルのためのフロー・ダイアグラム (流れ図) を展開するとき利用される (略) コンピュータ・モデルは、実験データを利用することについて、このように大きな力をもっているために、実験的情報の現実の収集に責任がおかれるかもしれない。我々は企業内とか、あるいは消費者の頭の中に存在する情報を集めるための最適の手続きについて何も知らない。それにもかかわらず、これは経済学者たちが望んでおり、またコンピュータ・モデルが容易に処理できる種類の情報なのである

([Cohen & Cyert, 邦訳, p. 382])

エージェントベースモデリングで議論しておくべき課題に、抽象代数的定義の分析がある。すなわち、例えば、オートマトンやその他の表現形式は、抽象代数的に記述可能であり、それゆえ、そこから派生したセル・オートマトンは統一的な表記手段をもちやすい特質を備えている。モデリングの表現手段として、本稿では、普通言語による記述を行ってきたが、数理的表現が可能なモデルも数多く存在する。マルチエージェントシステムでは、エージェントの初期状態や状態遷移関数が、あるいは、環境やエージェント間との相互作用関数を記述することで、表現できる可能性が認められる。エージェントベースモデリングにおいても、そういったシステム論的記述の検討が必要であろう。他にも、方法論上の諸問題は検討課題である。関数形式の特定は、単純化の必要がないので、関数形式の自由度が大きいという特徴をもっており、パラメータの測定と並んで、モデルの正当性検証にとって重要な考察課題である。

6 終わりに

本稿では、モデルへの新たな可能性を追求する準備として、モデロジーの試みを行った。ここでは、特にコンピュータを用いたエージェントベースアプローチを意識している。なお、コンピュータを利用したモデルは、エージェントアプローチだけではない。例えば、UML (Unified Modeling Language) とは、1980年代終わりから90年代初めにかけて登場した一連のオブジェクト指向分析・設計方法論を継承するモデリング言語 (modeling language) の一つで特にプロセスに注目している。モデリング言語とは、設計を表現するために方法論で使用される、主にグラフィカルな記法である。ここでは、プロセスとは、設計を行うために踏むべき手順に関する、方

法論の中の指示の部分の意味しており、本稿で考察するモデロジーの対象内であるが、ここでは詳述しない。

本稿を踏まえて、シミュレーションに関する基礎的考察、エージェントベースドアプローチの概観、数理表現との接近、エージェントベースドモデリングの統一的な視点や評価指標の提案などが、将来の研究課題として挙げられるであろう。これらは広く計算組織理論 (Computational Organization Theory) の理論的支柱として、その重要な役割を果たしていくことが期待される。

参考文献

- [Ashby, 1956] Ashby, W. R., *An Introduction to Cybernetics*, Chapman & Hall.
- [Axelrod, 1984] Axelrod, R., *The Evolution of Cooperation*, New York, Basic Books.
- [Axelrod, 1997] Axelrod, R., *Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences*, Simulating Social Phenomena, pp. 21-40.
- [Cohen & Cyert, 1961] Cohen, K. J. and R. M. Cyert, *Computer Models in Dynamic Economics*, Quarterly Journal of Economics, 75, pp. 112-127. (邦訳, 松田武彦, 企業の行動理論, ダイアモンド社, 1967)
- [Eriksson, et. al., 2000] Eriksson, Hans-Erik and Magnus Penker, *Business Modeling With UML : Business Patterns at Work*, John Wiley & Sons, Inc. (邦訳, 鞍田友美他, UMLによるビジネスモデリング, ソフトバンク, 2002)
- [Fowler & Martin, 2000] Fowler, Martin, *UML Distilled, 2nd edition*, Addison Wesley Longman, Inc. (邦訳, 羽生田栄一, UMLモデリングのエッセンス第2版, 翔泳社, 2000)
- [Hofstadter, 1979] Hofstadter, D. R., *Gödel, Escher, Bach*, Basic Books, Inc. (邦訳, 野崎昭弘, はやしはじめ, 柳瀬尚紀, ゲーデル, エッシャー, バッハ, 白揚社, 1985)
- [Lave & March, 1975] Lave, C. A., and J. G. March, *An Introduction to Models in the Social Sciences*, New York : Harper & Row. (邦訳, 佐藤嘉倫他, 社会科学のためのモデル入門, ハーベスト社, 1991)
- [岡田, 2000] 岡田勇, 操作的オーガニゼーション指向モデルに基づく組織硬直化と再組織化に関する研究, 電気通信大学博士論文.
- [Okada & Ohta, 2002] Okada, Isamu and Toshizumi Ohta : *Development of an Operational Organization Oriented Simulator*, In Proceedings of the SCI2002 (6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics), pp. 2 / 504-509.
- [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, 18 (6), pp. 710-715.