

## 1. シミュレーションの定義と分類, 目的

### 1.1 モデルとシミュレーション

シミュレーション (Simulation) は模擬実験である。シミュレーションの対象は、人口増減や交通流などの社会現象、政治経済、企業経営、輸送、物流、生産などの比較的マクロなシステムから、ナノテクノロジー技術を駆使したナノオーダの超微細領域での化学工学的、物理学的な挙動まで広範で多様である。また、これらの対象 (現象) を支配する原理なども人文学、社会学、理工学など広範である。私たちは、諸活動において、意識するしないにかかわらず、これらの対象と共生したり、対象物を制御、管理したりする必要が生じる。対象とする物や事柄などが永久不変と考える場合、私たちは、それに興味を持つことはあるが、それに働きかけることは少ない。対象が変化、あるいは、変化できると考える場合、それに直接的、あるいは、間接的に影響を与えようとすることは多く、このような変化対象はシステムと定義されている。とりわけ、人類の諸活動が、地球環境にどのような影響を与えるのかなど、現代社会の興味はつきない。また、対象に働きかけることで、工業有用性の高い現象を引出すことは、科学技術の進歩に直結していると言っても過言ではない。

シミュレーションの対象となる変化するもの、すなわち、システムは、多くの場合において影響力の強弱はあるものの、多数の影響因子によって複雑に構成されている。しかし、比較的軽微な影響因子を考慮せず、複雑なシステムを比較的単純なものとして簡易に扱い、効率的にシミュレーションを行うことが求められることも多い。このとき、複雑な対象からシミュレーションで扱える変換をしたものがシミュレーションモデルである。正確な挙動や解を得るために、モデルを使わず、対象となる実物とそれがおかれている環境において、実験をすることができればよい。しかし、現実には、対象について直接にアプローチすることにリスクがある場合、大規模なものであれば費用がかかったり、非常時に対象を安定化させることができず災害などが想定される場合などがあったり、対象となる実物とそれがおかれている環境において、実験することが困難な場合が多い。また、これから創り上げるために実物が存在しない場合などの状況に直面することがある。そこで、シミュレーションで用いるモデル、すなわち、シミュレーションモデルの確立が重要となる。

図 1.1 は、シミュレーションとモデルの関係を示したものである。シミュレーションとモデルの分類の仕方は、視点によって多様な表記が可能である。ここでは、リアルな物体を使ったものと、計算機によって創り上げられるバーチャルな空間でのものとに分類している。

リアルな物体を使ったシミュレーションでは、実物モデル、スケールモデル、類推モデルがある。実物を使った実物モデルのシミュレーションでは、例えば、実験室に外部環境と区切られた空間を作り、その空間の中に研究対象の実物を設置し、日頃起きえない状況、不安定な状況、研究したい環境を実現し、実験や試験を通して実物の

挙動を観察する。スケールモデルは、実物が使用できない場合に用いられる。例えば、巨大構造物を実物よりも小さなスケールの模型としたり、あるいは、微細な大きさの実物を研究者が取扱いやすい大きさへ拡大した模型としたりする。また、対象を物理的にまったく別なものに置換えた類推モデルによるシミュレーションも存在する。このモデルには、質量とばねと減衰で構成される機械系モデル、抵抗やコンデンサなどで構成される電気系モデルがある。

一方、リアルな物体を使ったものではなく、微分方程式や論理的に事象の発生などを記述するモデルを用いる計算機シミュレーションが存在する。計算機シミュレーションは、微分方程式などで記述されるモデル（数学モデル）を用いる連続系と離散系に分類される。

微分方程式を数学的に厳密に解くことは望ましいが、それができないことも多々ある。数学的に厳密に解くことができない微分方程式で記述されたモデルでは、有限要素法や境界要素法などの近似解法を適用した近似モデルでシミュレーション解析を行うことも多い。特に、連続系シミュレーションでは、モデルとなる微分方程式あるいは近似モデルに対して、微小時間  $\Delta t$  後の状態を繰返し計算し、時刻歴にモデルの応答を観察する。よく知られている時刻歴応答計算の技法には、Newmark  $\beta$  法、Wilson  $\theta$  法、Runge-Kutta 法などがある。

離散系モデルによるシミュレーションは、時間経過に伴い変化するシステムおよびシステムを構成する個々の要素の変化に着目しながら、モデルの時刻歴応答を観察するものである。

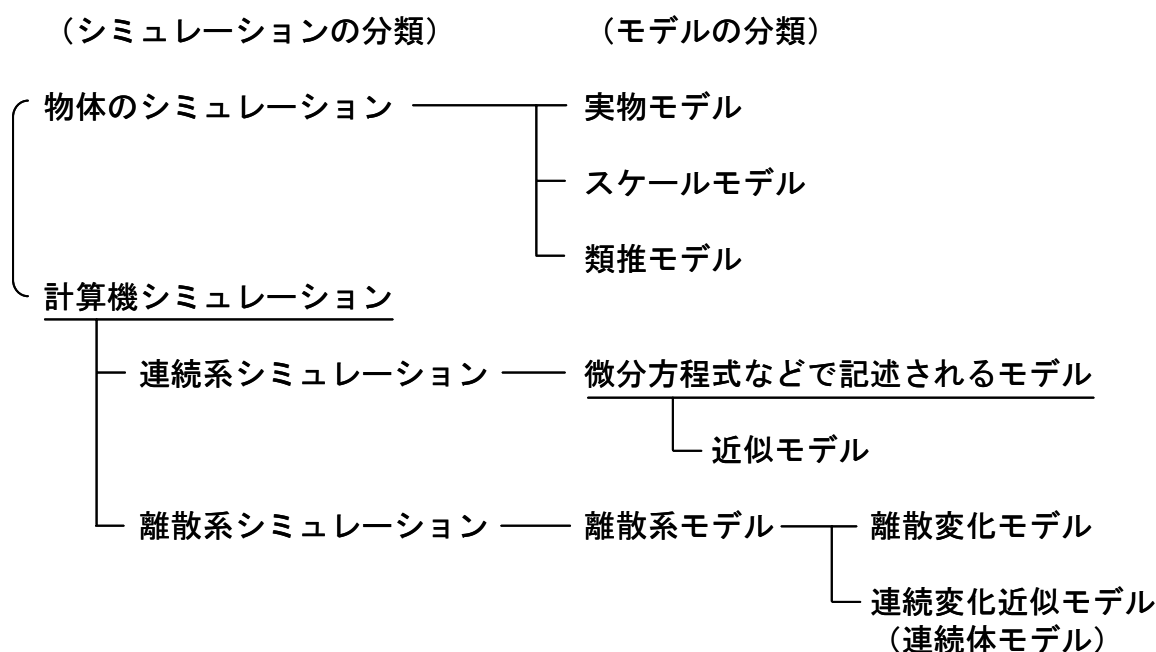


図 1.1 シミュレーションとモデルの分類

## 1.2 シミュレーションの目的と手順

シミュレーションの目的には、対象システムのメカニズムの理解、それにかかわる人間同士の相互理解を深めるためのコミュニケーション、システムの挙動予測、システムパラメータの最適化といった観点がある。

シミュレーションを行うためには、まず、シミュレーションモデルが必要である。複雑に見える現象や事物を観察し、KISS (Keep It Simple and Stupid) ルールなどに基づき、シミュレーションで明らかにしたい事項を明確にし、それに影響する要因を絞込み、システムの挙動を再現できるモデルをつくらなければならない。影響の少ない要因は無視できるものとして省き、整理整頓された単純化されたモデルを作成する。このモデルを作成すること、すなわち、モデリング自体に意味があり、モデルを作成することで事象のメカニズムを明らかにしたり、理解を深めたりすることになり、それが課題解決への糸口となり、シミュレーションを行う目的となりえる場合も多い。また、対象となるシステムに対して、それに携わる人間同士が、モデルと解析結果を同期した場において、コミュニケーションを深めるためにシミュレーションを使う場合も多い。

シミュレーションでは、モデルを様々な環境、条件で挙動させ、その振舞いを観察する。とりわけ、非定常状態や限界状態など通常では入手できない状況において対象がどのように挙動するのか検討し、将来起こりえるかもしれない状況を予測することを目的とすることが多い。

また、図 1.2 のように、シミュレーションでは、考慮する条件において、目的関数

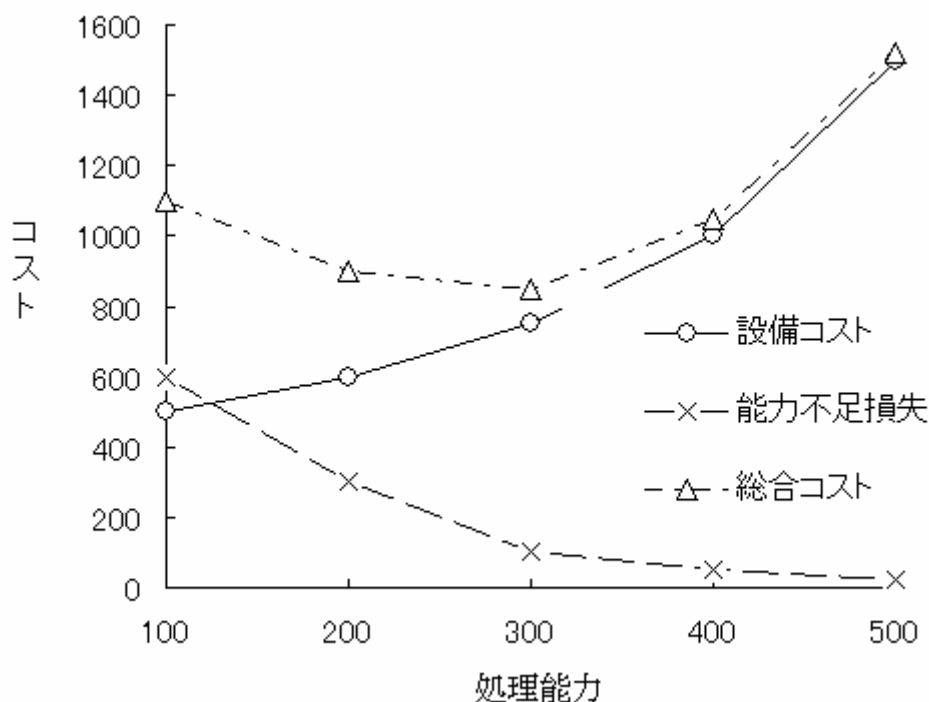


図 1.2 コストと処理能力の関係

を最大化あるいは最小化できるモデルの最適化を目的とすることも多い。図1.2では、目的関数をコストと考え、このコストの値を最小化する荷役機械の処理能力を求める事例の検討結果である。簡易な待ち行列モデルでモデリングできる場合には、待ち行列理論など、理論的計算によって最適処理能力を算定できる場合もある。多重の待ち行列系や特別な運用規則があるようなシステムで、シミュレーションによる解析を必要とする場合も多い。処理能力の高い荷役機械は、生産性が高いものの、設備投資やメンテナンスにおいて比較的高いコストを見積もる必要がある。一方で、コストが抑制されている低処理能力機械は、生産性が低く、利益も高くない。このような荷役機械のトレードオフ問題において、最適な処理能力を導出するために、シミュレーションを行う場合も多い。

これらの目的を達成するために、図1.3に示す手順でシミュレーションを活用する。まず、対象となるシステムが選定される。システムの選定は、研究者自身が興味と課題を持って選択する場合、ユーザーやお客様などが興味や不満などに基づき選択する場合がある。対象となるシステムは、シミュレーションで挙動を明らかにする対象部分とそれを取巻く外部の部分(外部環境)との境界を明確に区分しなければならない。

次に、対象システムの十分な調査を行う。シミュレーションで挙動を明らかにする対象部分と外部環境、それらの境界部分について、聴き取り調査、ワークサンプリング調査、場合によってはアンケート調査なども行う。時系列にシステムの挙動をフローチャートで記述したり、システム内で能動的、受動的に機能する要素とそれらの挙動をUML(Unified Modeling Language)で記述したりするなどして、調査結果をまとめていく。システム内のそれぞれのプロセスにおいて、不確定なものについて考察し、ワークサンプリングなどに基づきデータを採取しておく。

この調査では、同時に、対象システムがどのような位置付けになっているかを考察し、シミュレーション解析を活用して、どのような提案を展開するかの想定を始める。

対象システムのしくみが、そもそも不明瞭な状況で、調査、モデリング、シミュレーション解析を依頼される場合もある。対象システムのしくみが不明瞭なものについては、大枠でシステムをとらえることから始めなければならない。また、しくみが確立されているシステムでは、非効率なものであるか、あるいは、十分に高い効率で運用されているかを見極めることが大切である。非効率なシステムであれば、部分的な構造変更や運転方法の改善などを検討する。十分に効率の良いシステムであり、改善すべきことが無い場合には、時には、それまでの発想に縛られず、生産性の高い新しいしくみの提案を行うことも必要である。

システムモデリングでは、シミュレーションで用いるシステムのモデルを構築する。シミュレーションモデルを作成する者が、直接、対象システムを調査した者である場合と調査していない者である場合が想定される。どちらにも特長があり、対象システムを調査した者がモデリングをする場合、誤った情報の伝達がなく、直感的な作業を行うことができる。一方、シミュレーションモデルを作成する者が、調査報告書を見聞したり、調査員から知見を教示してもらったりしてモデリングする場合、実地調査

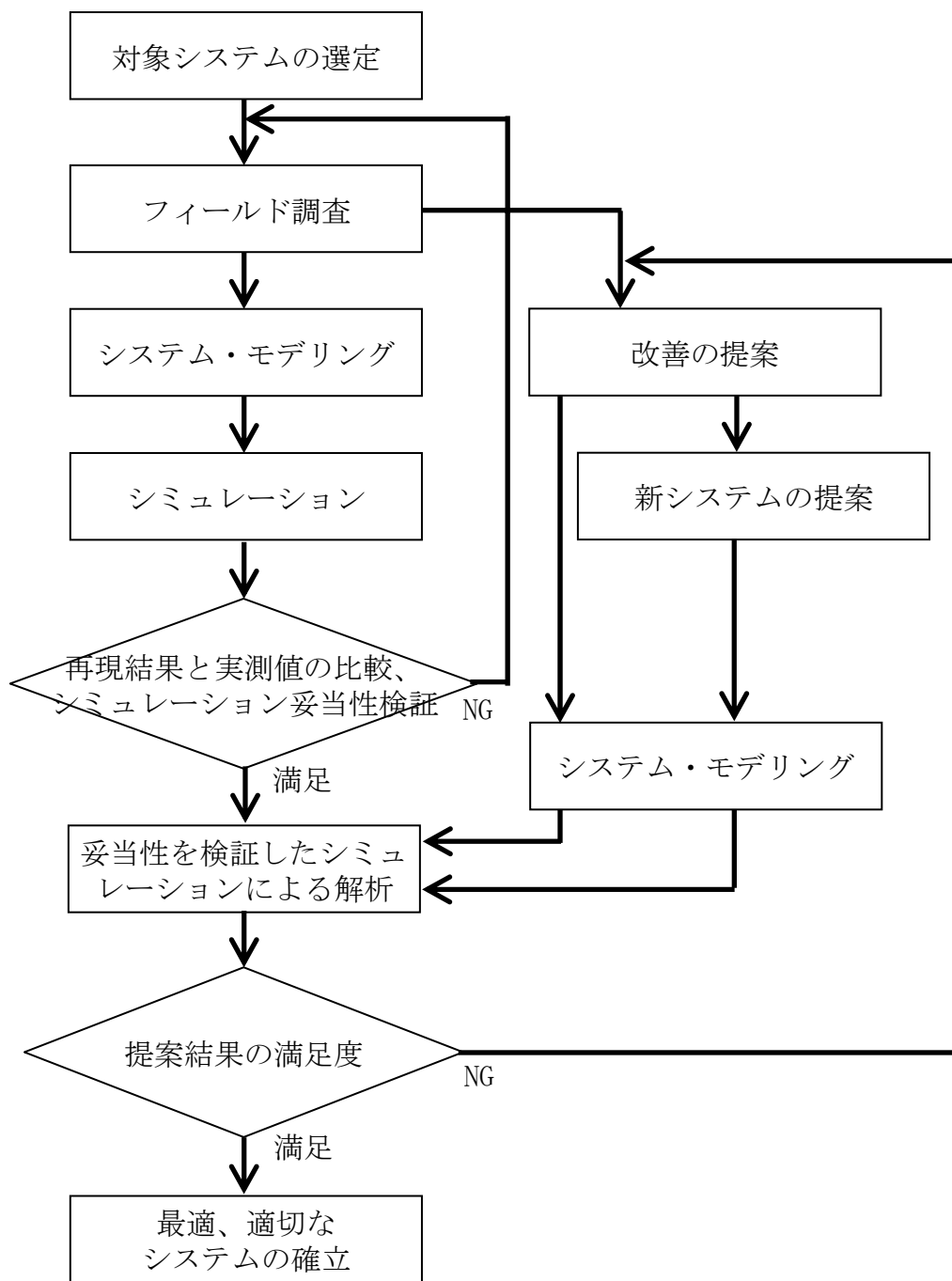


図 1.3 シミュレーションを活用して適切なシステムを確立する手順

に熟練した者の優れた鑑識に注目した優れたモデリングを可能にすることも多い。特に、モデルの作成者が、対象システムの調査において、混乱したり、小さな要因を課題に評価してしまったりするなど、実地調査に不慣れである場合、モデルの作成者とシステムの調査者を分けることは有効である。

システムのモデルには、確定的に挙動するシーケンスモデルと不確定に挙動するモデルがあり、これらのモデルを組合わせて、対象となるシステムの総合モデルを構築することが一般的である。不確定なモデルは、確率分布に応じた挙動をするものや推論を応用したものなどがある。

シミュレーションとは、構築したモデルを動かすことである。例えば、離散系シミュレーションでは、時間の経過に伴う事象（イベント）の変化を追っていく。確率分布にしたがって挙動する確率モデルは、乱数を用いるモンテカルロ法によって挙動が決定される。モンテカルロ法を用いた場合には、1回のシミュレーションでは、偏った現象が再現されてしまう可能性もあるため、複数回のシミュレーション結果の平均値と標準偏差などのばらつき具合を併記したものを解析結果とする必要がある。

シミュレーションによる解析結果と実地調査結果を比較し、その差異が小さい場合、有効なモデルとシミュレーションによる解析が確立されたと理解する。差異の大きさと解析の有効性については、明確ではなく、産業分野や研究の進捗などの状況によって暗黙知とされている。シミュレーション解析結果と実地調査結果の差異が大きく満足できない場合には、モデルを見直し、場合によっては実地調査が正しく行われたのかをチェックする。

シミュレーション解析結果と実地調査結果の差異を小さいと認識し、有効なモデルとシミュレーションによる解析が確立したと判断した場合、システムの勘所となるモデルのパラメータ、外部環境、入力条件などを変更し、対象となるシステムがどのように挙動するか検討したり、その結果を用いて最適設計の資料を作成したりする。また、モデルの一部を変更し、改善の提案や新しいシステムの有効性を評価する。これらの作業を通して、最適、適切なシステムの検討、提案が可能となる。