

# オブジェクト指向データベースを利用した 現象の再現シミュレーションの試み

畠山 正行  
茨城大学工学部情報工学科

オブジェクト指向的なアプローチにより、対象と考える世界（原世界）の概念的及び論理的モデリング過程、数値シミュレーション過程、データベース（DB）構築過程とDBシミュレーション過程、およびグラフィックス表現過程により再現（数値）シミュレーションを計画している。先ず、対象の原世界を「モデリング」によって考察し、最も抽象的あるいは最外殻に当たる過程モデルを構築した。そうしたモデリング過程の方法論をベースとし、又、比較・評価の基準とし、オブジェクト指向のモデリング過程を構築してみた。具体的には、流体力学に関する問題を対象として、特にオブジェクトDBを利用したシミュレーションについて論じる。

## A TRIAL OF OBJECT-ORIENTED DIRECT SIMULATION USING AN OBJECT-ORIENTED DATABASE

Masayuki Matakeyama

Department of Information Science, Ibaraki University  
Hitachi-shi, Ibaraki 316, Japan

We are trying to perform a numerical-direct simulation of natural phenomena; for example, the Monte-Carlo method direct simulation in the field of the fluid dynamics. We try to built-in an object oriented DataBase (DB) to use the objects in the DB as the simulation elements into our simulation environments. We first established a generalized modeling methodology to transform a real world into expressions in the logical world in a computer. Next, an object oriented modeling method is applied to the real world. An actual object oriented model of the natural phenomena is constituted.

## 1. はじめに

我々は現在次のような主な4つの過程を経て、対象世界（具体的には自然現象であるところの流体现象の世界）の忠実な再現シミュレーションを計画している。

1. オブジェクト指向モデリング過程
2. オブジェクト指向数値シミュレーション過程
3. オブジェクト指向データベース構築過程とデータベースシミュレーション過程
4. オブジェクト指向グラフィックス表現過程

我々がこの研究テーマに取り付いたそもそもの動機は次のようなものである。即ち、原世界（“指向して”いる対象世界の事）を”情報”と言う観点から見て、情報を表現媒体及び手段として、忠実かつ必要十分な別表現・変換・写像をつくることで原世界を情報世界に持ち込んでシミュレーションなり、解析なりを試みる。その時の最重要な指向項目として、

原世界からの変換・写像の際の情報落ち・無関係な情報の添加を無くしたい、又は、それが無理ならばせめて情報落ち・情報添加の程度を予め定量的にか定性的にでも評価しておきたい、

という事を考えたのが動機であった。そのため我々は対象世界を変換・写像する過程そのものにまず指向し、その評価方法自体を問題にしかかったのである。その最初の考察がまず「モデリング」と言う概念で原世界を”指向”して変換なり写像なりをしようと言う考え方であった（参考文献1）。

モデリングという考え方で世の中を見ると、言語そのものも、抽象的な概念も、人間の脳の認識も、文字、絵、記号、設計図、更にはスポーツ等々・・・すべて、モデリングによ

り生じた結果としてのモデル以外の何物でもないといえる。モデリングという視点から原世界からの連続的な（not Continuous but Continual）別表現への変換・写像を考えると、どの程度に情報落ちのある変換が行われたか、についての考察が常に意識的に行われなくてはならなくなる。従って我々はまずこの視点から原世界の変換・写像を行うことを考えてみた。

先ず、そのモデリングがどのような過程を通して変換・写像されて表現され再現されるかについて最も抽象的・概括的なあるいは再外殻に当たるモデリング過程について考察した。次にそのモデリング過程内側に沿う形で、より具体的なモデリング方法論を考察した。その際には情報世界におけるプログラミングの可否について考慮しなかった。ここで作られたモデリング手法、モデルそのもの、それらの表現記号体系（言語）、及びそれらが形成する連続する変換・写像世界のシリーズは論理的な厳密な表現体系のみを要求されている。そうしたモデリング過程の方法論をベースとして、又、比較・評価の基準として置き、オブジェクト指向のモデリング過程を構築してみた。その具体的なモデリング例として、流体力学に関する自然現象の解析と再現シミュレーションを実際に取り上げてモデリングを試みている。

以下ではそのモデリングの概要と特にオブジェクトデータベース（オブジェクトDB）を利用したオブジェクトDB・シミュレーションの可能性について論じている。モデリングそのものについて特に紙面を割くのは、原現象のオブジェクトDB化、及びオブジェクトDB・シミュレーションの可否、構造や機構そのもの、及び、再現シミュレーションの精度に決定的な影響を及ぼすと考えるからである。最終目標は一貫したモデリング・パラ

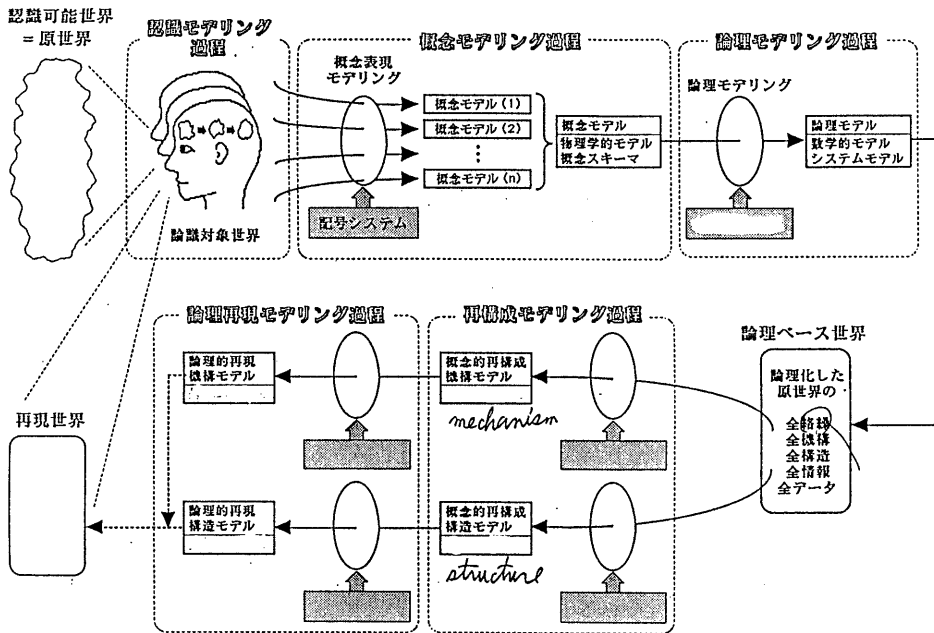


図1 対象世界のモデリング過程

タイムに依る原世界の忠実な変換・写像と再現の手法の確立にある。

## 2. オブジェクト指向のモデリング

原世界からの情報落ち・情報添加を無くしたい、又は、情報落ち・情報添加の程度を予め定量的にか定性的にでも評価しておきたい、というのが再重点として考えると、従来におけるこれらのモデリング過程に関するパラダイム（規範）はモデル化から再現に至るまでの諸過程は個々各々にバラバラであり、個々のモデリング過程内部がたとえ良くてもモデリング間の変換において情報落ちが本質的に避け得ない、と言う避けることの出来ない全体構成から見れば、欠陥を有するパラダイム体系であると言わざるを得ない。そのパラダイム間変換ギャップに関しては当然ながら統一的なパラダイムによりその愚を避けるべきであろうと言うことは誰にでも解る。統一的にモデリング出来るとしたら、現実問題と

して考えるならば、「オブジェクト指向」であろう事も常識的判断であろう。

そのような事情にあるモデリングパラダイムであるが、その様子を明らかにするために、先ずそのもっとも基礎的・根底的なところから出発しよう。つまり、原現象そのものがどのような過程を通して変換・写像されて表現され再現されるかについて最も抽象的・概括的なあるいは再外殻に当たる「モデリング過程そのもの」について我々は考察した（参考文献1）。それが図1の対象世界のモデリング過程である。

我々の具体的なテーマである、物理的な自然現象（流体现象を念頭に置く）の直接数値シミュレーションと言うテーマに沿って、その解析過程との対応を考えてみる。

## 概念モデリング過程

- 原世界の自然言語による  
概念表現（物理モデル）

## 論理モデリング過程

- 微分方程式、シミュレー  
ションモデル（数学モデル）

## 論理ベース世界

- 原世界を再現表現可能な論  
理情報及びデータの1組  
FORTRAN 等の手続き型プロ  
グラム、原現象の全数値デ  
ータ、その他付加情報等

## 再構成概念モデリング過程

- データベースの概念モデリ  
ング過程

## 再構成論理モデリング過程

- データベースのデータ  
（論理）モデリング過程

## 再現世界

- グラフィックス表現の世  
界、再現数値シミュレー  
ション、オブジェクトDB  
再現シミュレーション

ここに示した対応関係は、最もグローバルにモデリング過程を見たものであり、例えば、データベースの構築に関して、図1の全ての過程にDB化の各過程を対応させることもでき、それも上記の対応関係と同様に成立する。つまり、階層的に構成されている事になる。

## オブジェクトデータモデル

我々が考えているオブジェクトデータモデル（「データ」モデルという表現は正確ではないと考えるが一応慣習に従う）とは簡単に言うと次の様なものである。構成材料は

1. オブジェクト（基礎要素）
2. クラス及びそのクラス階層構造
3. メッセージパッシング機構

の3つである。1. のオブジェクトは対象世界構成の最小単位から全体構造までの階層に存在する共通の「まとまりを工作する」ための基礎的な枠組み要素である。2. のクラス及びクラス階層構造は多数のオブジェクトをもって構成される。複雑な対象世界の構造のうち、オブジェクトというまとまり概念だけでは表現しきれない「静的構造」を表現するための階層構造の枠組みである。3. のメッセージパッシング機構は対象世界の動的な振舞いおよびカラクリをも表現するための要素である。2. と3. を連結してうまく使えば、対象世界の「意味的な振舞い・反応」構造機構をもっとうまく表現できるような、いわば新たな意味データモデルとしてのオブジェクト・モデルもメタモデルの形で構築できるのではないかと考えている。もちろん自然現象の数値シミュレーションという分野に限っての事であるが。

## 3. オブジェクト指向シミュレーション

一般にシミュレーションには、支配法則記述型シミュレーションとモデル記述型シミュレーションとがある。支配法則記述型シミュレーションとは、通常、微分方程式と言う形の「支配法則」により記述し、それを再現する。しかしこれは数値計算に近いとも言える。モデル記述型シミュレーションとは「モデリング」により対象の構成要素の内部構造とその内部状態変化や要素相互の関係を記述し、実際の原現象に出来る限り近い形で稼働させることを試みるものである。この手法のシミュレーションについては、モデル化作業がほとんどそのままプログラミング作業と同等になるオブジェクト指向のモデリングとシミュレーションの方法が適している。

シミュレーションを扱う場合、「環境」と「ターゲット」を分離しつつシステム環境を構築して行くことが汎用のシミュレーション環境を構築して行く上でオブジェクト定義前に最も重要な事項である。

#### ターゲットモデル・オブジェクトの定義

1. 構成要素記述  
(スタティクな構造記述)
2. 状態変化記述  
(ダイナミックな機構記述)

#### シミュレーション環境記述

3. 時間及び空間の座標系及び座標の定義  
・管理・変更機能
4. オブジェクト空間及び時間の（間隔やメッシュ）の設定
5. 環境の境界、内部の条件及びデータの  
設定、及び初期条件の設定
6. 配列・集合、乱数その他多くのライブラリー・オブジェクト
7. 統計処理・集約計算・編集機能

このシミュレーション・モデルの定義に従ってモデルを構成するには、1. の構成要素に適切なまとまりのオブジェクトを対応させ、その内部属性として、他のオブジェクトとの静的・動的関係を記述する。次にその集合体として「部分クラス」を作り、その部分クラスをも1つのオブジェクトとして他の部分クラス・オブジェクト及びより一階層上のクラスとの部分-全体関係について静的・動的関係を記述する、---というオブジェクト・モデルを構築する事により原現象が素直に又、簡潔に表現できている。

次に2. の状態変化の記述に関しては、各インスタンス・オブジェクト内、及び各レベルのクラス・オブジェクト内に既に記述されている動的振舞の関係記述と、それらをクラ

ス及びオブジェクト・ライブラリとして利用しつつ現象をシミュレートするメインオブジェクトの命令及び情報・データ伝達メッセージにより内部変数の値を変化させ、トータルな動き、即ち状態変化が記述させる事になる。

各オブジェクト及び全体システム（現象）の変化は各モデルオブジェクト（インスタンス・オブジェクト、各クラスのクラスオブジェクト）の状態変化、即ち内部属性値の変化として記述（記録）されている。従って原現象の変化は各々の（インスタンス・及びクラス・）オブジェクトの内部属性値を「モデル化現象の構造」に従って集約・統計・編集処理をする事で原現象の変化をユーザに解る形で捉えるデータが得られる。

この形式のシミュレーションにおいて重要な事は、

- (1) ターゲットモデル（階層化されたオブジェクト群から成る）系内は1つのシステムとして自律的に駆動させること。
- (2) 環境も自律的に作動していること。
- (3) ターゲットと環境の「干渉関係」についてはメッセージパッシングに依ってすべて表現すること、

である。従ってすぐに、この手法がモデリングの枠組みを構築する手法としてまさしく最も自然な記述の1つで (one-of-the best modeling framework) である事が納得されよう。

#### 4. オブジェクト指向DB

現在我々が使用しているのはオントロジック社の ONTOS というオブジェクトデータベースである。ONTOS の持つ機能と我々の目指す「データベースシミュレーション」がうまくかみ合うか否かについては未だ調査中・構築中であり、結論は出ていない。エン

ドユーザからみると(“実現”がどうなっているかはよく見えていないという意味)、C++のオブジェクト機構・構造・シンタックスがかなりそのまま利用されているモデルがこのONTOSのオブジェクトモデルであるようである。従ってC++で書かれたアプリケーションプログラムとDBのインターフェイスがC++で自然に記述出来るようである。C++のオブジェクト機能はそのままDBで使える。DBを構築し更にはオブジェクトDBシミュレーションのベースシステムとして利用する立場から注目すべき点は、

(1) パーシステントオブジェクトの概念により、多くのオブジェクトに分割されてもやむを得ないから、膨大になる可能性のきわめて大きい配列・集合・構造体(Cのstruct)の数値データをそれへの操作・手続き・一貫性制約条件の確保と共にオブジェクト内に格納されること。この事の実現だけでもシミュレーションの実現にとっては大幅な効率化とシミュレーションの原世界へのより精度の高い近似性とその検証のたやすさが得られる。いわば自動起動の超高速データファイルアクセス・システムのごとき道具として(オブジェクトアイデンティティも利用)の機能である。しかも動的な操作や手続きが内封出来るという、極めて有用な拡張機能付きである。

更には、そのアクセス速度の程度に依っては、もし格納されているデータが極めて大量のCPU時間を消費する計算の結果だったとしたら、ミニスーパークラスのマシンと同等の計算シミュレーションが実現できたのと同等の成果を生むことも出来る。もしそうならば、現在のUNIX環境における解析・分析機能の豊富さと合わせることで素晴らしい研究・開発環境が得られる可能性が高い。

(1)' 上記の件に関係してのもう一つの特長は汎用的なミニ世界を構築できることである。それは、Smalltalkで言えばOBJECTを頂点とするクラスライブラリーに対応するものを営々と蓄積的に構築でき、永続的世界として利用できると言う点にある。

(2) 動的結合機能の利用により、データ型やメッセージ形式に捕らわれなくても(多少ではあるが)てもよくなる。これは人間のコミュニケーションに近い表現法となり、それだけでもメリットがある。更にはオブジェクト間のより複合的な構造関係記述、機構関係の記述・駆動が可能になる。これは忠実な再現シミュレーションは勿論、人工的に構造や機構を自在に変更しての試行(戦略的モデル構築)においても柔軟な記述の可能性が増すわけであり。シミュレーション技術からみて大きな福音である。

## 5. まとめ

現状における本研究の中で成果として記述が可能と言えるものはまだ無い、と言って良い。しかしここでまとまって言及できる事がある。それは、自然現象の解析・シミュレーション・再現という過程の世界と、オブジェクト指向モデリングパラダイムの関係についての議論と考察であろう。

従来から人工構築物(例えばVLSI)に関するオブジェクト指向的なアプローチ(ECAD、ソフトウェア開発技術)は数多くあったが、自然現象に対してのオブジェクト指向パラダイムに依るアプローチは数少ない。しかし我々の考え方に依れば、本来的には自然現象の人間の認識過程から始まる図1の一連のモデル過程は、そもそも自然現象、もっと広く言えば人間を含み人間を取り巻く環境全てに関するもっとも自然かつ正確な「モデリングという過程」の表現であること。それ

を前提にした上で、1つの狭義の定義による典型としてオブジェクト指向モデリングがあり、その表現手段としてオブジェクト指向プログラミング言語があると考えられるべきであると思う。極論すれば、「世界」は人間の識を含め、モデリング過程またはモデリング方法及びモデリング化されたモデル、という概念ですべて「理解すること」は可能であると考えられる。従って、オブジェクト指向のそもそもの原型かつ汎型は自然現象のモデリング方法論過程にあるのであって、決してオブジェクト指向プログラミング言語にその源があるのではない、と確信して断言できる。不幸にして、実用上の概念及び技術であるオブジェクト指向及び、その実現言語である、オブジェクト指向プログラミングと言う分野が先行してしまっているのが事実である。

自然現象の方が人工構築物に比べて確かに構造や機構も複雑怪奇であり、表現方法自体未解明の部分も多く、表現方法は複雑にならざるを得ないので遅れてしまったという事情はあろう。しかし、オブジェクト指向モデリングのパラダイム（モデリング、シミュレーション、DB、再現表現（通常はグラフィックスによる））が適用可能という観点においては自然現象、人工世界の落差はない。

さて、具体的な可能性として指摘可能なものは、

1. 対象世界のモデリング過程を根本から再検討する事が充分以上の意味と果実を期待できるものであることが見えてきたこと。

2. それに伴って、新しいシミュレーションの方式があり得ることが確認されたこと。

3. オブジェクトデータベースならば

- (1) オブジェクトDBシミュレーションと言う形のシミュレーションが可能である事が確認された。

- (2) 従来のリレーショナル型DBでは全

くと行ってよいほど可能性が薄かった配列・集合・構造体データ型等がエンドユーザが自由に使えることが解った。これにより自然現象の解析・シミュレーションの分野においてもDBが従来考えられていたものよりもずっと広く、又、原世界をより忠実に再現しつつ使えることが解った。

## 6. 今後の展望

- ・対象世界のミニ世界としてのクラス階層の設計と実装。即ち、特定のターゲットに対してでもよいから、ターゲットに関するクラスのサンプル的なミニ界を構築してみる。これは将来的な構築に関してぜひ必要と考えられる。

- ・自然現象の解析・シミュレーションのための「環境」クラスライブラリーを整備して行く事。

- ・自然現象をオブジェクト指向で記述して行く方法論なり方式を確立すること。これは、オブジェクト指向が原世界を従来より忠実な記述をすればそれでよいという事である事からすれば、奇妙に聞こえるが、モデリング過程におけるパラダイムギャップに汚染されて当然の空気のごとくに馴らされてしまったエンドユーザには必要である。特に最終的にはプログラミング言語で記述して行く事が解っている解析・シミュレーション世界においては、特に顕著である。そのような事情は「オブジェクト指向」のみではなく、「並列」パラダイムにによる自然現象の記述に関しても似たような事情にある。いずれも「ノイマンのくびき・頸木」に汚染されて来た後遺症である。

終わりに当たり、本資料においては冒頭に挙げたテーマについての研究成果が直接表現できていない。それ故、特に具体的なクラスの構成、オブジェクトの選択・記述、等についての結果は講演当日に差替え・追加資料を配布したい。又、オブジェクト指向の考え方、特に思考表現の技法（我々の言葉で言えば、モデリングの技術）であるという点について参考文献2の大きな影響を受けた。末尾ながら記して謝辞としたい。

参考文献1：島山正行、野口宏、上田賀一、田中健次、「原世界から再現世界に至るモデリング方法論――モデリング過程へのオブジェクト指向的アプローチ――」、茨城大学工学部研究集報 第39巻、平成3年12月掲載予定。

参考文献2：春木良且、「オブジェクト思考への招待、――思考表現のための新しい技法――」、1989年、啓学出版。