

# 物理世界記述用オブジェクトモデルと そのシミュレーション駆動評価

畠山正行

茨城大学工学部情報工学科

316 茨城県日立市中成沢町 4-12-1

e-mail: masayuki@cis.ibaraki.ac.jp

## 概要

物理世界をオブジェクト指向を用いて記述する際の”もの”、あるいは”シング (Thing)”モデルに対するオブジェクトモデルは殆ど知られていない。そこで本研究では、物理世界の”もの”、あるいは”シング”に対するモデル化の条件とそのモデル構成及びその詳細までを明らかにすべく考察・提案している。更にドメインユーザの便宜を考えて、その実装を UNIX ファイルシステム上に構築されたカプセル化を実現する機構 (OB 機構) 上に実現することを試みて成功させた。こうして構築されたプロトタイプベースオブジェクトモデルを用いて、流れの世界に対する再現シミュレーションを行い、その結果とモデルについて考察した。その結果、ドメインユーザに充分簡潔に利用できる複雑な集約階層構造も表現できるオブジェクトシステムの構築が確認された。

## A Proposal of an Object Model for Physical World and Evaluations by Simulating a Target World

Masayuki Hatakeyama  
(Ibaraki University)

### Abstract

The Object-oriented model and its realization methodology for the special purposes of the physical world have not been known to the domain users. In the present paper, at first, we have researched the conditions to be satisfied by the model of "the thing" in the physical world. Then, we have pointed out ten conditions for "the thing" model. Next, we have proposed a slightly new kind of prototype-based Object model called the Object-Based (OB) model. This OB model is implemented on the UNIX file system for the convenience of the domain users. To implement this OB model on the UNIX file system, we have already developed the OB mechanism to encapsulate the data and the method. The realization of the reconstruction simulation is successfully performed, and the usefulness of this OB model and the OB mechanism have been verified to be very simple to construct and to be very convenient for the domain users of the physical world.

## 1 まえがき

### —物理世界の”シング”単位のモデリング—

モデル化と再現シミュレーションの対象を物理世界とし、オブジェクト指向モデリングの概念を用いると [1][2]、対象世界の”もの”(付録参照) と、分析モデリング過程内の”シング(Thing)”モデル(付録参照)は、再現表現された”オブジェクト”(付録参照)に一対一対応させることが出来る。また、”シング”の集合や再帰的集約の表現やそれらの振舞い等の概念モデルも、オブジェクトから構成される相似な構造と振舞いで再現モデル表現が可能になる。そればかりか、モデリング単位が従来の手続き指向モデルとは全く異なり、”シング”のモデル化された単位がそのまま実装単位とすることが出来るため、人間の対象世界への認識モデル(イメージ)と記述モデルと再現実装の側面での相似性が従来よりも高く実現でき、従来の手続き型のモデル化では実現できなかった複雑な対象さえも簡潔に再現できたり、動的で自在なシステム構成や相互関係の変更を可能にしている [3][4]。

しかし、残念ながら「物理世界用オブジェクトモデル」は未だ詳細な形で提案された例がない様である。また、物理世界のオブジェクトモデルの起動や駆動・相互作用の詳細な機構、システムとして個別の”もの”あるいは”シング”単位での起動・駆動・制御・停止を実現した例、等はほとんど見当たらない。

そこでまず物理現象世界記述(専用)のためのモデリング方法を考察し、その上に構成されるべき”シング”モデルを構築そして変換して相似なオブジェクトモデルを考察・提唱する。しかし、このオブジェクトモデルに対する実現・実装をUNIX上に実装・駆動させるためにはUNIX-OS側になんらかの機構等が必須である。そこでその必要な機構と、実装されたオブジェクトモデルとの相補的な組合せのセットでオブジェクトシステムを実装し、駆動させて評価する。

## 2 物理世界記述用の広義のオブジェクト指向モデルの条件

物理的な対象世界には、集約階層構造(集合も含む)や種々の関連のみで結合される構造の対象世界が多い。ドメインユーザの見る対象世界は通常多用されている狭義のオブジェクト指向パラダイムに基づくクラス階層構造であるよりむしろ、インスタンスオブジェクトのみであるという事実を考えると、プロトタイプベースモデルの方がより近い。そこで、モデリングパラダイムとして物理世界用に詳細化したプロトタイプベースのオブジェクトモデルを採用した。これをとくにオブジェクトベース(OB)モデルと称する。

### 2.1 ”シング”モデルとしての満たすべき条件

”シング”のモデル化は、対象世界の”もの”単位での構造モデルの記述をすべきであり、物理世界という特定ドメイン用のオブジェクトモデルとしての詳細な定義及び記述法について十分に言及したものが必要である。そこで、以下の条件を提案する。

1. 記述の二側面(データとプログラム)の再一体化と一セットモデル記述。
2. ”もの”と同等であることを離散的に認識出来るIdentity境界を実現する単位。
3. モデルの内部構造及び相互作用記述の対象世界との相似性。
4. ”シング”モデル単位毎の起動・駆動

### 2.2 OB オブジェクト実装モデルとしての要求条件

前節の条件を実装オブジェクトモデルの条件に変換すると次のような条件になると考察した。

[条件1] データとメソッドの再一体化と再一体化オブジェクト単位での管理。

[条件2] アクセス制限による多様なカプセル化実現。

[条件3] 単位オブジェクト間でのインターフェイスの”シング”モデルとの相似性。

[条件4] オブジェクト内外との相互関係をオブジェクトの内部に記述。

[条件5] オブジェクト単位での起動・駆動。

これは最小単位OB オブジェクトモデルに対する要求条件である。以上の条件を図に示すと図1である。

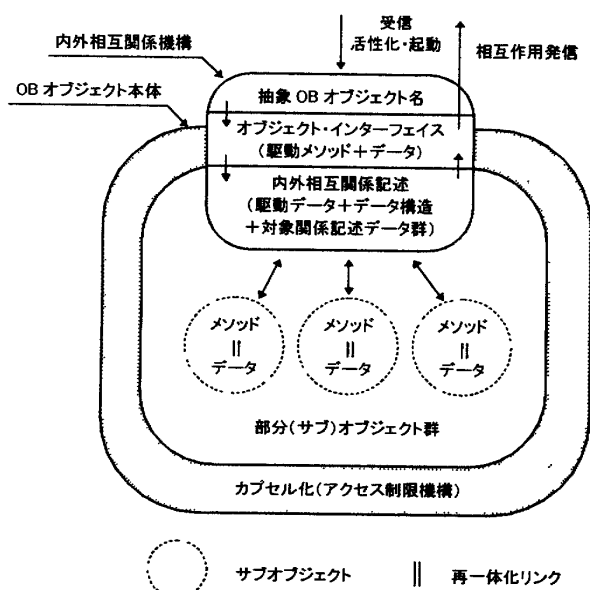


図 1: 最小単位 OB オブジェクトモデル

### 2.3 対象世界全体のモデル化方針と OB モデル

次に、同様な手順で複雑な対象世界全体を相似な世界に再構成・駆動する。まず、要求事項は

1. 最小単位オブジェクトを極力細粒度で実装し、その内部に非”もの”的な実装特性を可能な限り閉じ込め、シングモデルの近似記述精度を高める。
2. その単位を用いて対象世界と相似な構造・機構を持つ様に構成する。
3. 実装された複合再現世界を起動・駆動する仕掛(機構)を”もの”(物理)世界の記述と

相似になるような内外相互関係をつくる。

このような複合集約階層構造オブジェクトへの構成条件は、次のように纏められた。

[条件6] 対象世界と相似な構造を実装可能

[条件7] 階層構造間及び内の多様なカプセル化(アクセス制限)の相似性を実現

[条件8] ”シング”モデルと相似な対内外インターフェイス&活性化機構

[条件9] 上下階層間・同一階層内オブジェクトの相似な相互関係記述

[条件10] 階層構造オブジェクト単位での起動・駆動機構とその再帰的伝播

以上の10個の条件を表現したのが図1と図2の一セットである。

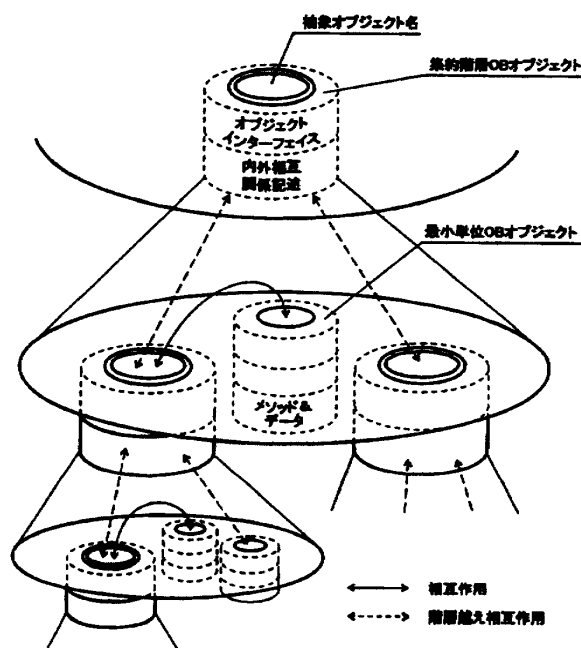


図 2: 集約階層 OB オブジェクトの構成

これらの条件のうち、OB オブジェクトだけでは実装不可能である故に外部に装備した機構側で実現すべきの最少必須条件は、UNIX 上での実装であることを考慮すると、[条件1,2]、[条件6,7]であると考えられる。それ以外はOBモデルの側での実装が可能であると考えられるのでOB オブジェクトモデルの構成内で表現する。

### 3 OBオブジェクトモデルの構成

前章までの実装条件とプロトタイプベースオブジェクトモデルの特性を考えて次のような最小単位OBオブジェクトモデルの構成を提案する。

最小単位OBオブジェクト

= (抽象オブジェクト名)  
+ (部分オブジェクト群) + (内外相互関係機構)

内外相互関係機構

= (内外相互関係記述)  
+ (インターフェイス&活性化機構)

内外相互関係記述

= (静的な関係: 内外相互関連記述)  
+ (動的な関係: 内外相互作用記述)

部分 (サブ) オブジェクト群

= ((部分属性・部分構造)  
+ (最小単位振舞い記述)) の群、即ち集合

部分 (サブ) オブジェクトとは完全な意味での構成のOBオブジェクトではなく、単に再一体化された属性とメソッドのブロック単位を指すのみであり、主として相互作用や振舞いを現出させる。従って例えば、独自のインターフェイス機構等も持たない。最小単位OBオブジェクトはその単位で (つまり外からみれば) "シング" オブジェクトの最小単位である。従って、その内側 (内部構造) は "シング" オブジェクトではなく "シング" モデルの部分部品を構成要素とし何等かの構造を形成している。

上記の内外相互関係機構の静的な関係記述である内外相互関連記述とはオブジェクトの構造表現そのものであり、動的な関係である対内外相互作用記述はオブジェクト間の相互作用や振舞いを記述したものであり、インターフェイス&活性化機構により起動される。この機構は外部からの相互作用 (メッセージ等) を解釈して起動順序等を定めて実行する。

対象世界全体は図2にあるように、例えば集合・集約階層構造で表される。抽象オブジェクト名を下の階層へと辿って行くと参照先の内部には、その抽象的な構造や機構&振舞いをより詳細に記述した参照抽象オブジェクト名とその構成・相互関連 (リンク)、選択・制御・手順等が再帰的に相似に記されている。

階層構造複合OBオブジェクト

= (抽象オブジェクト名)  
+ (最小単位OBオブジェクト群)  
+ (下の階層のOBオブジェクト名称群)  
+ (内外相互関係機構)  
+ 部分 (サブ) オブジェクト群

振舞いの生起については、その階層オブジェクト固有の振舞いでない限り、最小単位OBオブジェクトの最小単位振舞い記述の起動に再帰的に還元され、その階層構造に沿った関連の活性化と、相互作用の起動・駆動の組立によって再構成・発動される。従って、複合オブジェクト対象世界全体の複雑な振舞いは、最小単位振舞い記述ブロックの複雑な階層構成とその各階層の内外相互関係機構の記述とその実行によってはじめて実現される。

## 4 OBモデルのシミュレーション 駆動

### 4.1 OB機構

前章で提案したOBモデルは条件1、2、及び条件6、7は対象世界の実装側では実現が難しいものであるとされた。そこでこれらの機能を機構を実装されたOBモデルの外部に作成する。この機構をOB機構と称する。このOB機構はUNIXファイルシステム上に構築される。

- (1) UNIXファイルシステムにおけるディレクトリをオブジェクトとして捉える。その様な見方をした場合のUNIXシステムとOBオブジェクトシステムの対応関係を表1に示す。これにより条件1及び6が満たされる条件が整った。
- (2) オブジェクトへのアクセスを同一ディレクトリ内に実行可能ファイルから生成されたプロセスのみに制限する。この機能の実現により、各オブジェクトのカプセル化が実現する。これにより、条件2、および7が満たされる条件が揃った。詳細な議論については参考文献 [5] に譲る。

表 1: UNIX システムと最小単位オブジェクトの対応関係

UNIX	最小単位 OB オブジェクト
最下位 ディレクトリ ファイル群	最小単位 OB オブジェクト オブジェクトの構成要素
ディレクトリ名 データ・ファイル 実行可能ファイル	上位ディレクトリでの 抽象 OB オブジェクト名 属性・データ構造定義 メソッド記述 オブジェクト・ インターフェイス 内外相互関係 記述メソッド 個々の振舞い 記述メソッド 特定構造記述 モジュール
UNIX プロセス プロセス間通信	オブジェクトの振舞い 単位 OB オブジェクト 間相互作用
関数コール記述	単位 OB オブジェクト 内相互作用

## 4.2 OB シミュレーションの実現

3章で簡単に述べた様に、内外相互関係機構により各オブジェクト間の相互作用即ち振舞いは起動・駆動する。図3にその駆動例を示す。

## 5 OB シミュレーション評価と考察

以下の評価や考察は、既に実装後2年間以上の応用・計算運用実績があり、それらから得られた成果を考察・要約した結論である。

## 5.1 OB モデルの構成の考察

本研究のOBモデルは、狭義のオブジェクト指向で言うインスタンスのみに対して定義した(広義の)オブジェクト指向であり、十分にシンプルで条件の緩やかなモデル構成である。またOBモデルの構成そのものは、従来のオブジェクトモデルに物理世界記述用に充分適合するようにその内部要素を分化・詳細化したのみである。

このOBモデルが“シング”モデルとしての表現力の可能性とその精度・特徴について言えば、率直に言って構造表現するには充分ではない。オブジェクトインターフェイス部分、内外相互関係記述部分などに理論的改善及び設計・実装モデルの改善の余地は残っている。最小単位OBオブジェクト内では結果論的な振舞いの記述をまだ許している、という問題も残している。

## 5.2 OB ソフトウェアアーキテクチャ

OBモデル及びOB機構等は「OBオブジェクトをモデル化し実装する」という特定の目的のために用いられる共通のモデリングの概念構造やある種の機構、手続手順やテンプレートの群を含んだ1セットの「仕掛」である。従ってこれは一種のソフトウェアアーキテクチャ(オブジェクトベース(OB)アーキテクチャ)とも考えることが出来る。具体的な構成要素は以下のようなものである。

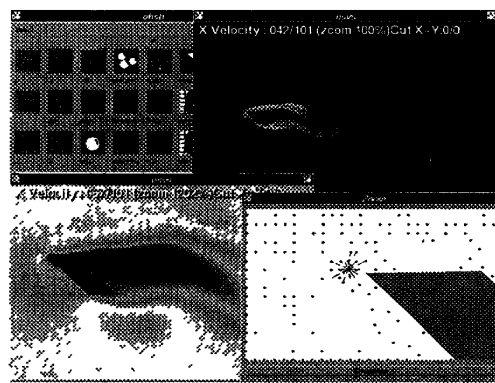


図 3: OB モデルと OB 機構に基づくシミュレーション例

- 10 個の OB オブジェクト構成要件
- OB オブジェクトモデル
- OB 機構 (現状では 2 種類)
- 実際の構築例・駆動例の群 [3][4]
- 基盤となる OB 一貫モデリング過程論 [4]

実際にリアリティ高くシミュレーションを行うには多くの支援環境も必要である [4]。

### 5.3 ドメインユーザの要求記述への解答

ドメインユーザにとっては、OB オブジェクトの各条件 [1~10] を満たした実装 (プログラミング) が得られたので、従来の実装やオブジェクトの起動・駆動等よりは遥かに”シング”らしいある意味で高度に相似なモデルが実現できる可能性が示された。既に実証された OB シミュレーションでのドメインユーザの大きなメリット [3][4] をも勘案すると物理世界記述用オブジェクトモデルとしてドメインユーザに対する十分な有用性と意味とを持つと判断出来ると考える。

## 6 結論

本論文では例えば流体のドメインユーザが殆ど知らなかったオブジェクトシステムの構築方法を従来 UNIX 環境上に構築可能なことを指摘しシミュレーション実現例も示すことで、ドメインユーザに対する大きいメリットが生まれることを指摘できた。

### 付録: 用語の定義

**相互関連:** 複数要素間の静的な関わり。

**相互作用:** 要素間の動的な関わり。

**相互関係:** 相互関連+相互作用の総称。

**構造:** 複数要素とそれらの間の静的相互関連の 1 セット。

**オブジェクト・システム:** オブジェクトを基本単位としたシステム全般を指す広い用語

**オブジェクトベース (OB) シミュレーション:** オブジェクトを基本単位とし、OB 機構

の助けを借りてオブジェクト間の相互作用でシミュレーションを実現する方式

”もの”: 対象世界のモデル化単位の呼称

”シング”: 分析モデリング過程内でのモデル化単位の呼称

オブジェクト: 再構成モデリング過程内でのモデル化単位の呼称

## 参考文献

- [1] 所真理雄他編:オブジェクト指向コンピューティング (岩波コンピュータサイエンスシリーズ)、岩波書店、1993 年 11 月。
- [2] 米沢明憲、柴山悦哉:モデルと表現 (岩波講座ソフトウェア科学 17)、岩波書店、1992 年 4 月。
- [3] M.Hatakeyama,I.Kaneko,H.Uehara, "DS MC Analyses for Highly Complicated and Interactive Flow Based on the Object-Based Mechanism and GUI Environments", Proceedings of the 19th RGD Symposium, Vol.2, pp.1175-1181,Oxford University Press, 1994.
- [4] 畠山正行、金子勇、渡辺正雄:物理世界のオブジェクト指向分析・設計・実装・シミュレーション駆動の実現, オブジェクト指向'96 シンポジウム、in 「オブジェクト指向最前線 (朝倉書店刊)」, pp.147-154、情報処理学会・ソフトウェア工学研究会、1996 年 7 月。
- [5] 金子 勇、畠山正行:オブジェクトベースモデルに基づくシミュレーション駆動機構の構築」、第 1 回情報処理学会プログラミング研究会報告、Vol.95,No.21,pp.1-8,1995 年 6 月。