

# 物理世界記述用オブジェクトモデルとその駆動機構

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4-12-1

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

## 概要

オブジェクト指向パラダイムが広まって久しいが、物理世界用のオブジェクトモデルの提案は殆ど見当たらない。本研究は、そのドメインを物理世界に置くユーザ向けのオブジェクトモデルを提案すると共に、その構造の記述、駆動機構の構成とそれに基づく振舞いの起動と発現の仕掛を述べたものである。その基本モデルとしてプロトタイプベースのオブジェクトモデルを採用し、集約階層構造も実装可能にしたオブジェクトモデルであるOBモデルを提案した。そのOBモデルの構成を基礎にして、各(階層の)オブジェクトのインターフェイス機構、および相互関連の活性化機構、相互作用の伝達と振舞いの発現の機構と手順・順列について述べている。これらは内外相互関係機構とサブオブジェクトによって実現される。またこのモデルは不完全な形ながら既に実用されている。以上から、特定分野への詳細化を行ったオブジェクト指向(OB)モデルとその構造表現、振舞い発現機構、及びその応用についての合理性が検証された。

## A Proposal of an Object Model for Physical World and Its Behavior Generation Mechanism

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, we will propose a prototype-based object model with the aid of the encapsulation mechanism called the OB mechanism. This object model is called the OB model. In this model, the detailed descriptions of the object structures and of the mechanisms to generate the behaviors of the objects are shown. The hierarchical structures and the mechanisms to generate the behaviors of the OB objects are also proposed and constructed. The behavior generation procedures through the OB model structures are successfully realized. The reasonable behaviors of the object that are similar to the original target world are generated. Then the reasonability of this OB model is confirmed.

## 1 まえがき

オブジェクト指向モデリングパラダイムを用いると、対象世界の”もの”<sup>1</sup>（脚注1）と分析モデリング過程内の”シング”モデル<sup>2</sup>（脚注2）と再現表現された”オブジェクト”<sup>3</sup>（脚注3）を一一対応させることが出来る [1][2][3][4]。理論的な可能性・実現性の考察から言えば、オブジェクト指向パラダイムによる物理世界での再現記述（表現）の相似性（Similarity）実現の可能性は従来より高く出来る可能性が大きい。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であるオブジェクトを実装単位とすることが出来るため、人間の対象世界の認識モデル（イメージ）と再現実装モデルの一対一対応を従来よりも対応性を高く実現でき、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、動的で変更自在なシステム構成や相互関係（付録参照）の変更を可能にしている [3][4]。

そこで、”シング”単位のモデル化と”シング”単位での実装と駆動の実現を構想した。そのため、まず必須である物理現象世界記述（専用）のためのモデル構成を考察して、”シング”モデルと相似な”オブジェクト”モデルを考察・提唱する。このモデルの実現・実装にはUNIXシステム側に、ある特別の構造や機能を考案・実装・駆動させる必要がある。そのためにオブジェクトベース（OB）機構と称するシステムを付加して、その機構とオブジェクト（OB）モデルとの相補的な組合せの1セットで”シング”単位の”オブジェクト”モデルを基本とするオブジェクトシステムを構成した。

## 2 物理世界記述用オブジェクトモデルの条件

まず、最小単位の物理世界用オブジェクトに対する条件としては、実装モデリング段階にお

いては以下の様な条件が挙げられるであろう。

まず、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、及びアクセス制限によるカプセル化実現が必要であろう。

その他には、単位オブジェクト間でのインターフェイスや活性化の機構、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し利用するためのシステムティックな機構、そして、”シング”に対応する”オブジェクト”の単位での起動・駆動、といったものが必要である。

次に、複雑な対象世界全体を相似な複合集約階層構造オブジェクトへ構成するための条件を挙げよう。まず、階層構造間及び内の多様なカプセル化（アクセス制限）の相似性を実現することが第1に必要で、次に対象世界と相似な構造の構築が可能なことである。更には、”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、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、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、等の条件が満たされれば、複雑な階層構造オブジェクトの正確な表現が可能になろう。

以上の条件のうち、UNIXシステム側が受け持たなければ実現困難な最少必須条件は、カプセル化と、データとメソッドの一体化の条件の実現であると考ええる。それ以外はドメインユーザの側での実装が可能であるのでOBオブジェクトモデル内に表現すればよいと考える。

次に物理世界のドメインユーザがオブジェクトシステムの環境として使う立場から見ると、

1. オブジェクトの生成方法は最終的にオブジェクトとして使えればどれでもよく、研究などでは再利用はあまり必要ない。
2. 現状のソフトウェア生成の最も多く使われる方法はコピー生産あるいは一品生産であり、試行錯誤をしながら作るのが常態である。その点クラス階層構造は事前の充分なかつ固定的な設計を必要としたり、充分な知識が無い対象世界のモデル化と構築を行うのは困難で煩雑に過ぎ、かつ継承関係などの変更もやっかいである。
3. 従来のシミュレーション駆動環境を変えた

<sup>1</sup>対象世界のモデル化単位の呼称

<sup>2</sup>分析モデリング過程内でのモデル化単位の呼称

<sup>3</sup>再構成モデリング過程内でのモデル化単位の呼称

くない、従来の使いやすいプログラミング環境・編集環境を維持したい、言語独立のシステムを望みたい、新規な言語の修得は回避したい、という要求などがある。

4. 実装オブジェクトモデルの詳細なガイドラインが必要。

以上の考察から自然に導かれる結論は、基本的にはプロトタイプとなるオブジェクトのコピーを行うことでオブジェクトを生成し、委譲(ハードコピー、リンクコピー)を行うことでメソッドコード量の減少を図るプロトタイプベース・オブジェクトモデルの採用である [4][5]。

この基本的なプロトタイプベースオブジェクトモデルにいくつかの特殊な要素を加え、かつOB機構と一セットで用いるのでこれをOBオブジェクトモデルと呼んで他のモデルと区別することにする。OB機構はOBオブジェクトをUNIXファイルシステム上でカプセル化し、データとメソッドを再一体化するための機構である。この点については文献 [5] を参考されたい。

### 3 OBオブジェクトモデル

本研究の焦点はどのようなオブジェクトモデルを構成し、かつ起動・駆動させる機構にすれば物理世界を精度良く記述できるか、を考察することにある。但しここで精度良くとは、対象である物理世界の振舞いと相似な振舞いが、相似な構造及び機構から相似な起動・発動順序を経て外部に出現して来ることを指す。さて、上記の物理世界用オブジェクトモデルの実装条件を満たすことを踏まえて、我々はオブジェクトモデルの以下の様な構成を提案する。

まず、再構成(設計)モデリング段階にある最小単位オブジェクトモデルを以下に示す。(図1参照)再帰的に無限の詳細さの記述及び無限小の粒度(OBモデル化単位の大きさ)を避けるため、最小単位OBオブジェクトは各ドメインユーザが適切に決定するものとする。

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)

+ (OB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:対内外相互作用記述)

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)) 単位の集合

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と同等である。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は次節に詳述する。静的な関係記述である内外相互関連記述とは ”シング” オブジェクトの構造表現そのものである。

サブオブジェクトとは完全な意味での構成の持つ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(図1)、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。物理世界用オブジェクトモデルにおいてはこのサブオブジェクトが重要な役割を為す。典型例でそれを示すと、例えばあるオブジェクトが三角形の板であるとし、これに粒子がぶつかるものとする。

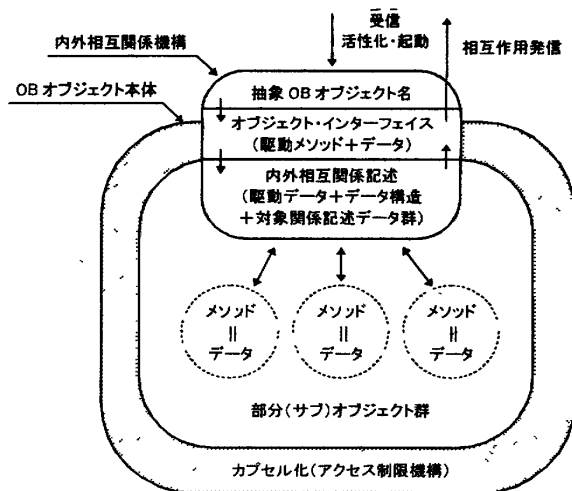


図1: 最小単位OBオブジェクトモデル

この三角形オブジェクトは粒子との相互作用により、粒子を跳ね返すが、どの様に跳ね返すかについてのデータを粒子に渡す必要がある。その様な計算を内部的に実行する際にこのサブオブジェクトを利用し、三角形と粒子との衝突と反発に関する計算を全てここで引き受けて実行する。その結果、このサブオブジェクトは外部からみると、三角形オブジェクトと粒子の衝突と反発に関する機構だけに関して一般的な機構を全て持っていることと同等の実装をしていることになる。我々はこれを特定機構記述と呼んでいる。その他に静的な相互関連のみを返す特定構造記述もある。

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  
 当該階層よりも下の階層のOBオブジェクト

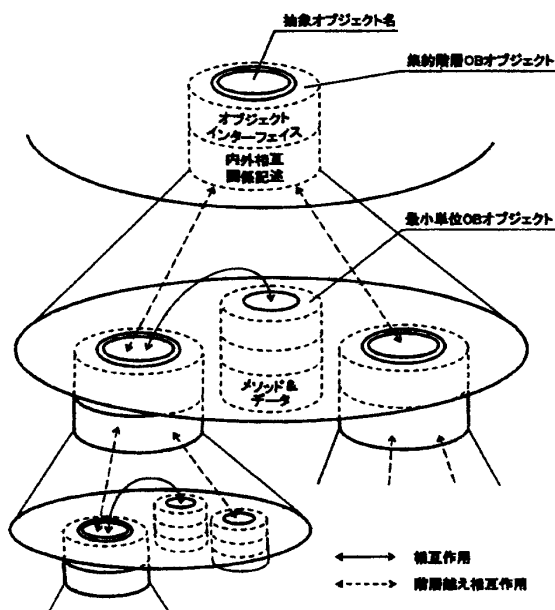


図2: 集約階層OBオブジェクトモデル

は、抽象化されたオブジェクト名称のみの記述しか無い。従って最小オブジェクトから構成される最初の上位階層で初めての記述上の”シング”モデルと同等のオブジェクトとなる。

振舞いの記述は、その階層の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ブロック（サブオブジェクト）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・駆動の組立順序によって再構成・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これらの最小単位振舞い記述ブロック（サブオブジェクト）の集合を要素に持つ最小単位オブジェクト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依って実現される。これらの記述に沿って活性化された各段階のすべてのオブジェクトの構造（付録参照）の変容・動きが即ち「結果として生じる振舞い」であり、振舞いの連鎖反応が起こって対象世界全体の振舞いシミュレーション駆動が始まる、というモデル表現である。

更に最小単位OBオブジェクトが微細粒度化され、従って再現実装が高階層構造化されれば、モデル記述の抽象化の層（いわゆるソフトウェアの皮）の数を重ねてしまい、個々のオブジェクトはもちろんオブジェクトの振舞いの選択肢の組合せ数を飛躍的に増大させて従って複雑・多様な、対象世界と近似的に相似な振舞いの生起を期待できる。

## 4 オブジェクトの持つ構造と機構の表現：内外相互関係機構

物理世界用のOBオブジェクトモデルを”シング”モデルと同等たらしめるには、実はかなりの部分が内外相互関係機構を如何に構成するか集約される。

### 4.1 内外相互関係記述

個々のオブジェクトの構造や機構、振舞いの発動等の順序などを記述したモジュール。記述

方式はリストやリレーション等であり、通常のUNIXファイルである。

1. モデルの構造表現部分である相互関連記述。内外部の相互関連相手とその関連リンク種類（属性）の記述。
2. モデルの振舞い表現部分である相互作用記述。内・外部の相互作用相手と対応する起動メソッド名、記述相互作用メソッド間の順序を含めた関連（直列リスト、分岐リスト、等）も記述。
3. 内外部の相互関連の活性化相手リストとその活性化種類等の記述。
4. 相互作用を起動すべき（伝達すべき）相手オブジェクトの名前・エントリの記述。

## 4.2 OBインターフェイス&活性化機構

以下の機構あるいは機能を持たせる。

- (1) 内外部とのコミュニケーションインターフェイス機構
  - 相互作用の受信・伝達機能
  - 受信メッセージの解釈機能
  - メッセージ組立・送信機能
- (2) オブジェクト単位の活性化機構  
個々のオブジェクトに相互作用の送受動作を可能状態にする機能。構造表現の一部である相互関連のリンクを辿って実行。
- (3) 相互作用開始のメッセージ送信伝達機能。  
オブジェクトの場合、指定メソッドの起動機能即ち起動命令と同じである。
- (4) 自身の活性化機構（自身も一個のサブオブジェクトである）

このような機構あるいは機能の具備により、以下のような振舞いを実現している。

### 相互作用受信段階

- メッセージ（相互作用）を受ける。
- 解釈する。

### 相互作用相手の活性化命令発信段階

- 内外相互関係記述を参照することで、転送する内外相手を選定する。
- 相互作用内容を送る前に、転送すべき相手全てに活性化命令（メッセージ）を送り、転送相手を全て活性化させる。

### 相互作用送信段階

- 相互作用内容を相互作用伝達（リンク、メッセージなど）に組み立てた後に送る。
- 階層構造オブジェクトであれば各階層オブジェクトが再帰的にこの作業を繰り返す。

## 4.3 内外相互関係機構

前節の連鎖的な変化・動きの発現の結果がメソッドの起動及び駆動である。即ち、外部からみればオブジェクトの振舞いとして観測される。実体としての起動・駆動の大部分は各オブジェクト内のメソッドの内部で為される故にこれだけが振舞いの内容全てではないが、内外相互関係機構は、従ってOBオブジェクトの振舞いの発現と駆動・制御を支配・規定する機構の記述そのものである。

階層構造のオブジェクト（図2）の場合も同様である。差があるのは内外相互関係の記述が複合階層構造の上下両方向の階層構造に対しても再帰的にかつ連鎖的に適用・発現される、という点のみである。

## 5 OBモデルの構成と振舞いの起動機構の考察

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反するものではなく、物理世界記述用に充分適合するようにオブジェクトモデルの内部要素を分化・詳細化したのみである。特に、内外相互関係機構と特定構造用の部分オブジェクトを形式上のデータとメソッド群から特別に切り離して詳細化しモデル構成の特別な部分要素として具体表現化した。

このOBモデルが”シング”モデルと同等の表現力と精度・特徴を持っているか否かについては、現状で考え得る要素を全て含めた積もりであるが、結果的には率直に言ってまだ”シング”を完全な構造表現するには充分ではない、と思われる。オブジェクトインターフェイス部分、内外相互間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。振舞いの細粒度階層構成に関しては実装例が少ない。

## 6 結論と今後の展望

オブジェクト指向モデリングパラダイムが現象解析や複雑な対象世界の再現シミュレーションに利用された例は殆ど見当たらなかった。そこで、”もの”と”シング”と相似なモデルであり、それを実装モデルでもあるOBモデルを提案し、構成・実現・駆動することを試みた。

結論として、近似的な構造表現と駆動・手続き・振舞いの記述が常時一セットになったOBオブジェクトの表現・記述が実現し、”シング”モデルであるOBオブジェクトの静的な側面である近似的な構造記述、動的な側面である相互作用を表現する記述や実装が詳細に構成され、近似的に”シング”の振舞いの起動と駆動が”シング”らしく実現出来る様になった。

本研究で提案したOBモデルは現状の実装としては未だ試験的なものに留まっており、今後はこれに対する本格的な構成とシミュレーションにまで持ち込んでの性能等の実証が必要であり、現在それらを進めつつある。

### 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。振舞いを発動させる原因。

**相互関係:** 相互関連と相互作用を二つのサブセットとする統合化概念。

**構造:** 複数要素とそれらの間の静的関連の1セット。

**機構:** まず構造記述されたモデルまたは実装の存在を前提とし、構造と相互作用の中から特定の原理と狙いで人為的に着目・選択された特別な部分の記述の1セット。

**振舞い:** 機構の活性化及びそれらによる相互作用の発現結果として、外部から観測可能な構造の時間軸上の変動の順序列パターンの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を指す広い用語

## 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、1992年。
- [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.1 175-1181, Oxford University Press, 1994.
- [4] 金子 勇、島山正行: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、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。
- [5] 島山正行、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。