

UMLとの比較評価に基づくオブジェクト指向分析設計 記述言語 OONJ の記述技法の特徴

池田 陽祐¹ 三塚 恵嗣² 上田 賀一³ 畠山 正行^{3,a)}

受付日 2012年5月21日, 再受付日 2012年7月25日,
採録日 2012年9月4日

概要: 記述言語 OONJ は大学院生向けの科学技術計算分野での教育目的の利用のために開発されてきた。本論文では OONJ 自体が記述言語として開発の狙いを実現しているかどうかについて客観的な評価を行う。そこで代表的なモデリング言語である UML を選び記述性の良さ等について比較検討した。比較には OONJ 記述と UML のクラス図, アクティビティ図, シーケンス図を用いた。比較の結果, 以下の記述技法の特徴が判明した。すなわち OONJ の想定ユーザと想定対象世界に対しては, OONJ が対象世界に対する記述力は UML とほぼ同等であり, 対象世界に対する記述しやすさと想定ユーザにとっての記述しやすさは UML よりも良好であると結論された。

キーワード: UML, オブジェクト指向, 科学技術計算, 分析設計記述言語, 教育と個人利用

The Features of the Descriptive Technique of the Object-oriented, Analysis and Design Descriptive Language OONJ Based on the Comparisons and Estimation with UML

YOUSUKE IKEDA¹ KEISHI MITSUKA² YOSHIKAZU UEDA³ MASAYUKI HATAKEYAMA^{3,a)}

Received: May 21, 2012, Revised: July 25, 2012,
Accepted: September 4, 2012

Abstract: The descriptive language OONJ has been developed for the education purposes of the graduate students in the fields of the scientific or engineering computations. An objective estimation has been needed whether OONJ has properly been designed and developed as the descriptive language. To attain the aim, we have compared and estimated with the representative modeling language UML. The class diagram, the sequence diagram and the activity diagram has been used for comparisons. As the results of various comparisons, it has been concluded that OONJ has equivalent descriptive power, and that OONJ has better descriptiveness than UML for describing the target worlds, and also for the assumed users of OONJ.

Keywords: UML, Object-Oriented, scientific and technical computing, analysis and design descriptive language, education and personal use

1. はじめに

実世界のある一部を対象世界の問題領域として分析・モデリングし, 最終的には科学技術計算やシミュレーションを実現するに至る技術は, 環境の負荷軽減の問題解決や大規模制御システムの安全性の検証等に応用されることで, 現代においてはますますその重要性を増してきている。そのような技術は大規模な科学技術計算や工学シミュレー

¹ 茨城大学大学院理工学研究科博士後期課程情報・システム科学専攻

Graduate School of Information and System Sciences,
Ibaraki University, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

² 株式会社日立システムズ

Hitachi Systems, Ltd, Shinagawa, Tokyo 141-8672, Japan

³ 茨城大学工学部情報工学科

Department of Computer and Information Sciences, Ibaraki
University, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

a) htkyama@mx.ibaraki.ac.jp

ションを扱う技術 [1] に発展している。しかしそのような技術の開発に携わる高度な技術と知識を持つ人材は不足している。そこで主に大学院生を対象（以下では想定ユーザと呼ぶ）とした教育 [2] を目的とし、将来の業務を見据えたプログラムの開発や設計等を行うための仕組みを開発してきた。

その1つが問題領域を分析・モデリングするための分析設計記述言語の開発である。具体的にはオブジェクト指向 (Object Oriented (以下 **OO** と略)) に基づいてモデリング [3], [4] を行い、構造化の仕組みである OOSF (OO Structured Frame) [5] を開発し、それを核とした OO 分析設計記述言語 OONJ (OO Natural Japanese) [6], [7] を開発してきた。

開発のそもそもの狙いから、1つには OONJ には想定対象世界の概念体系や特性要素に十分に適合した記述が可能で記述言語が必要である。もう1つはプログラミングが得意ではない想定ユーザでも十分容易に使いこなせて表現しやすい言語でなければならない。これらは記述性の良さというべきもので、以下の2種類が必要である。

- (1) 記述性 I: 対象世界を表現しやすく記述が理解しやすい性質を指す。対象世界の特性 (構造等) を良好に記述できる相応した性質を指し、対象世界と記述言語の特性要素の関係が単純であるほど、記述の複雑さが小さく対象世界を表現しやすい。
- (2) 記述性 II: 想定ユーザが表現しやすく記述が理解しやすいという性質を指す。想定ユーザが持つ対象世界のとらえ方の特性に適合する性質を指し、記述者が持つ概念要素と記述言語の特性要素との関係が単純であるほど想定ユーザは表現しやすい。

OONJ は大学院の講義や演習で改良しながら使用した結果として、受講者からのアンケートやレポートではこれらの点については良好である。しかし記述言語として確かに OONJ 開発の狙いが実現されているかどうかについて学術的な見地からの客観的な評価も不可欠である。記述言語を評価する際には、記述力の強さ*1と記述性の良さ等が必要である。

そこで本論文では UML を基準言語とし、UML との比較評価によって OONJ の記述技法*2の特徴を評価する方針とした。UML [8] は OMG で規格化された世界標準の言語 [9] である。そのために OONJ の記述技法の特徴の説明時や UML のダイアグラム等との比較時に、各節ごとに UML にはない特徴をとらえて【特徴 x.x】というマークを該当文の文尾に差し込み、後で抽出してまとめて考察を行う。記

*1 記述力とは、記述言語そのものが有する能力のことで、記述のための概念要素が豊富など記述力は強いといえる。書きやすいつかの確かな表現とかにはかかわらずとにかく「書けるか否か」の能力である。
 *2 記述技法とは記述力、記述性、理解容易性等の特性を發揮するための記述方法を指す概念とする。

述力その他についても並行して抽出し評価を行う*3。

本論文の対象世界の離散モデリングや想定ユーザについては、文献 [6] で示したものとおおむね同じではあるが違いもあり、本論文でも前提となるため2章で説明する。また記述技法として取り上げた OONJ は文献 [6] で提案しているが、読者の便宜のため改めて要点を3章に記す。以降、4章では階層構造の比較を、5章では動的側面の比較を行い OONJ を評価する。6章では特徴の分析や記述実験および考察を行う。7章で結論と今後の課題を述べる。

2. 対象世界とその離散モデリングおよび想定ユーザ

2.1 一次元衝撃波流れの定式化とその離散モデル*4

まず対象世界の具体例として「一次元衝撃波流れ」[10] を取り上げる。理由は超音速流体力学の専門分野では広く知られている古典的な問題であることと、シミュレーション計算式が簡単であるということにある。その現象の理解を得るために実世界の衝撃波管 (Shock Tube) を設定する。衝撃波管のイメージを図 1 (A) に示す。ただし簡単のため定立衝撃波が伝播する付近だけをモデリングの対象とする。この流れは数学的には二階の非線形偏微分方程式の初期値境界値問題として定式化される。数理計算的な立場からの離散モデリング結果の概略 [10] を表 1 に示す。

表 1 のセルは、想定ユーザも日常的に使う図 1 (B) の“セルモデル”と同じである。このセルモデルは差分方程式で表現された数理計算向けのモデルである。セルモデル

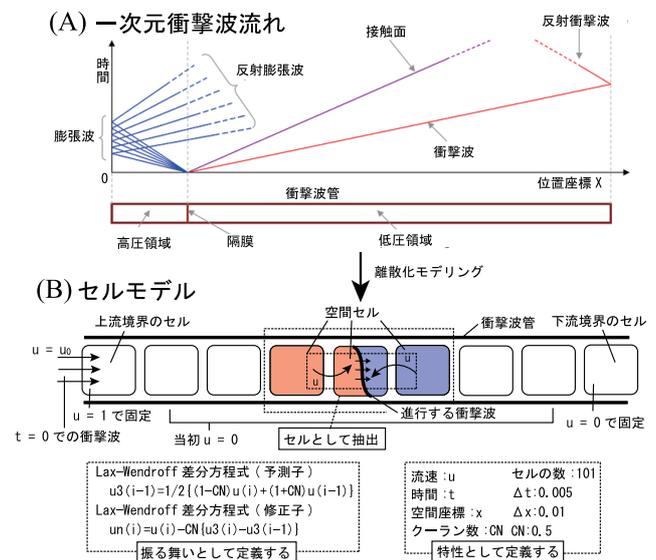


図 1 対象世界の概略とセルモデルの構成
 Fig. 1 Outline of the target world and the cell-model.

*3 以前の論文 [6] は記述力について評価したが、本論文ではそれ以外の特性である記述性 I (対象世界の表現のしやすさ) や同 II (想定ユーザの表現のしやすさ)、理解容易性等の特徴を抽出して評価することが主目的である。
 *4 本論文では文献 [6] と同じ対象世界を例として用いるため文献 [6] の 2.1 節の最初の 3 段落の文章を引用した。

表 1 一次元衝撃波流れの概念モデルとしてのセルモデル

Table 1 Cell model as the concept model for one-dimensional shock wave flow.

(A) モデリングの準備としての物理量の無次元化	
(1)	対象世界の属性 (物理量を表す変数相当) はすべて一定の基準物理量値で無次元化する. 時刻 t は $t_0=L/u_0$, 速度 u は流入する流れの音速 u_0 で空間座標 x は平均の分子間自由飛行距離 L で無次元化する.
(B) 一次元空間を離散化したセルモデルと, 離散単位セルの定義	
(2)	衝撃波管内の空間はセルという名称の番号付けされた微小空間に分割し, 各々を離散単位セルと定義する.
(3)	各セルは属性として衝撃波速度 u を持つ. ただし Solver 型等と異なり u のデータ配列はとらない.
(4)	衝撃波速度 u は, Euler 方程式を差分方程式化した Lax-Wendroff の予測子・修正子法を用いて計算する. 衝撃波速度 u はセルの振舞いと位置付けられる (差分方程式の導出等の詳細は省略する).
(5)	対象世界で共通な属性として, 空間セル幅 $\Delta x=0.01$, 時間幅 $\Delta t=0.01$, クーラン数 $Cn=\Delta t/\Delta x=1$ を持つ.
(6)	衝撃波の中間に位置するセルは $t=0.0$ で $u=0.0$ を与える.
(7)	境界のセルは, 流入口の $x=0.0$ においてはすべての時刻 t において $u=u_0$ の一定速度を持たせ, 流出口ではすべての時刻において $u=0.0$ であり, 左側から衝撃波が伝播してきた時点で計算を終了する.
(C) セル間の相互作用のモデリング	
(8)	セル間の相互作用は離散単位間の相互作用の情報を伝達するための情報モデルであるメッセージ・パッシング (message passing, 以降 mp) の形式にモデリングされ伝達される.
(9)	隣接セル間で行われる mp の伝達内容は自身の衝撃波速度 u であり, 影響をおよぼすセルへ伝達する.

は従来の計算機能に着目した方法 (たとえば Solver [11] を用いる方法) であれば適切なデータ配列にとられるが, 本モデルでは表 1 の (2) のようにセルという名前の離散単位^{*5}として定義され, 表 1 の (3) のようにセルの属性として衝撃波速度を表す u が内部に定義される. u は表 1 の (4) にあるように Euler 方程式の差分方程式を導入してその時間と空間の変化を「離散単位の振舞い」として計算する. 初期値と境界値は表 1 の (6) と (7) のとおりである. セル間の相互作用は表 1 の (8), (9) のように情報伝達方式であるメッセージパッシング (mp, 3.2 節参照) により行う. ただし表 1 では日本語で書かれた概念モデルの概略はできているが, 骨格だけであり, さらに十分な肉付けをした分析「記述」に組み上げる言語が不可欠である.

また, 説明等の煩雑さを避けるために論文中では最も簡単な図 1(B) のような Lax-Wendroff の差分計算式を用いたが, 想定される対象世界においては通常は, 実世界の現象等の微分方程式の数理モデルや概念モデルを記述するためにはるかに高精度で複雑な計算式・論理式の群を扱う. したがって長く複雑な構造を持つ多数の計算式を直接に記述でき, 計算式間の構造や計算順序等も目に見える形で記

^{*5} オブジェクト指向ではインスタンスやクラスにあたる単位で, 離散的であることを強く意識した名前である.

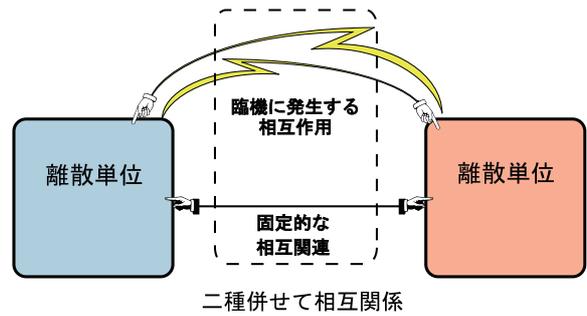


図 2 離散モデリングと構造化の基礎概念

Fig. 2 Fundamental concept of discrete modeling and its structures.

述できる構造化の仕組みが必須である【特徴 2.1】.

2.2 離散モデリングと構造化の基礎概念^{*6}

離散単位のモデリング結果の構造化の方法として図 2 のように離散単位とその構造化 [5], [12], [13] だけでとらえるという簡潔な原理を用いる【特徴 2.2-1】. 本論文での構造化は図 2 にあるように離散単位間に相互関係を付与する, との簡潔な方法を採用している (詳細は 3 章). この方法は離散構造化の方法^{*7}といい, 前節で述べた対象世界を離散化し差分方程式を用いて数値的に解く際にはほとんどがこの方法を用いている [10], [11].

前節で述べたように, 想定ユーザはこの離散構造化の方法を前提に対象世界を観察・分析し, モデリングする. したがって, 1 章で述べた記述性 II を実現するには, 理論的には離散構造化の方法を十分に反映させた記述言語が最良であることは明白である. 同様に「離散化され構造化された対象世界」を記述するゆえに, 記述性 I を実現するには離散構造化の方法を十分に表現可能に設計しなくてはならない. つまり, 2 つの記述性を十分に実現するには「離散構造化」を適切に表現可能な記述言語が必然的な結論である. そこで本論文では, 離散構造化の方法を基盤とした OONJ の記述技法を構築する【特徴 2.2-2】.

2.3 OONJ の想定対象世界と想定ユーザ^{*8}

UML と OONJ は表 2 にあげるように多くの点についてその狙い等に異なる場合が多い. 本論文ではこれらも考慮しつつ, UML の「言語としての特徴」に着目し, 汎用モデリング言語 UML との比較において離散構造化の方法

^{*6} 文献 [6] でも同様な離散モデリングの方法を用いているために, 文献 [6] の 2.2 節の 1 段落の文章の一部を引用した.

^{*7} 本論文で使っている範囲では, 離散構造化の方法は最も簡単なオブジェクト指向の方法 (パラダイム) と同等である. 具体的には, 図 2 を離散構造化ととらえるかオブジェクト指向ととらえるかの違いであり, 分析段階に限定して考える限り, 同じ結果を得る [12], [13], [14].

^{*8} 本論文が想定する対象世界やユーザは, 文献 [6] の 2.3 節で示したものとおおむね同じであるが, 考えの進んだ部分 (【想定ユーザ】の 2 項等) もあり, 目的を理解しやすく記すため, 一部を改変して引用した.

表 2 OONJ と UML (ソフトウェア開発) を取り巻く典型的な想定状況や環境の比較
 Table 2 Comparisons of typical assumptions or circumstances that surround OONJ and UML.

想定項目	OONJ の想定	UML (ソフトウェア開発) の想定
(1) 主な想定ユーザ	大学院生 (プロ訓練中), 教育目的	ソフトウェア開発技術者 (プロ)
(2) 対象世界	物理現象等の自然世界, 工学上の問題領域	企業・事業の業務 (経理, 人事)
(3) 記述の「直接」目的	対象世界の分析 (離散構造化モデリング) 結果の記述. その後プログラミング段階へ移行	業務の対象世界自体を理解する目的で描画・記述する.
(4) 記述の「最終」目的	科学技術計算, シミュレーション, 設計	業務支援処理, 大規模制御システム
(5) ニーズ発生源	研究・開発の必要上	顧客の発注
(6) マンパワー資源	個人単独	複数 (多数) の開発技術者
(7) 組織	すべて個人で	組織的協力
(8) 開発者とユーザ	ユーザ自身が開発者 (記述者という)	開発者と顧客 (ユーザ) は別人物
(9) 納期, 価格, 契約	無し	商品なのですべて実行される.
(10) 図やドキュメント	レポートや学会発表用資料程度, 個人用	大量の文書を作成して共有
(11) 開発環境	テキストエディタ, グラフィックツール	多様な統合開発環境
(12) 専門分野	工学, 理学, モノ製造技術	ソフトウェア開発技術
(13) 記述規模	2,000 行程度 (プログラム換算 5,000 行程度)	数万行以上数百万行におよぶことも
(14) 学習・習得のコスト	大学院での講義と演習での 1 コマ程度	本格的な講習と実務経験が必須

の記述に特化した OONJ を評価する。そのために、OONJ の想定する対象世界と想定ユーザを設定しておく。

【想定対象世界】：表 2 の想定項目 (2) と (4) より、理工学分野を対象世界とし、(先端的研究開発分野というよりも) 研究や技術開発のためのプロの養成教育を主目的とする。

【想定ユーザ】：想定項目 (1), (6), (8), (12) のように、大学院で研究開発のプロになる基礎訓練を受けており、最終的には 5,000 行~10,000 行程度のプログラム作成技術 (OONJ 記述換算で経験的には 2,000 行程度) の習得を目標としており*9、彼等は次の特徴も持つ。

1. 彼らは (3), (4), (5), (12) のように、必要上、自身でモデリングからプログラムまでを一貫して行い計算も行う。その計算結果から対象世界の知見や設計データ等を得る。
2. 彼らは自身の専門分野については項目 (12) により一応の水準の知識があり、分析や記述も十分に自力で行えるし、表 1 のようなモデルもすでに持っている。
3. 同じく想定項目 (5)~(8), (13) より、多くは手続き型の言語を 1 つ必要な範囲で知っており、ゼロから一貫して自主的に自分用の小規模のプログラムを作成する [16]。
4. 同じく (5), (10)~(12), (14) より、ソフトウェア開発は専門ではないので、ソフトウェア開発の膨大な知識や高い OO プログラミング技術は期待できない。

5. プログラム作成の負担は最小限に、問題点解決にかかる時間は最大限にする。

OONJ はこの想定ユーザと想定対象世界に特化し適合させた設計を行う。

2.4 記述性 I, II の具体的な説明と評価基準

本節では 2.2 節と 2.3 節を前提に、記述性 I, II の説明と評価基準をより具体的に述べる。

記述性 I：「対象世界である科学技術計算分野のモデル化に適していること」がより具体化した定義であるが、それは図 1 のように離散構造化の方法によるモデルを十分に表現可能で記述しやすいこと、と換言できる。評価基準としては図 2 のような離散化と構造化が記述できるように特化された言語であること、といえよう。

記述性 II：想定ユーザである大学院生は自身が以前数値計算等を行った経験で慣れている離散構造化の記述方法を要求する。そこで、彼等が慣れている記述方式に近い離散構造化を簡潔に (たとえば、相互作用の表記を 1 通りの形式に限定するとか) に表現できること、である。評価基準は離散構造化の概念を「想定ユーザがやさしく簡潔に表現できる」記述言語に特化されていることである。彼等は記述言語の経験が浅いので「学習負担が重くなく、容易に書ける」ことも重要である。

*9 想定ユーザの裾野や周辺には、研究室配属の 4 年生から研究員や助教クラスの人 [15] の一部も入る。

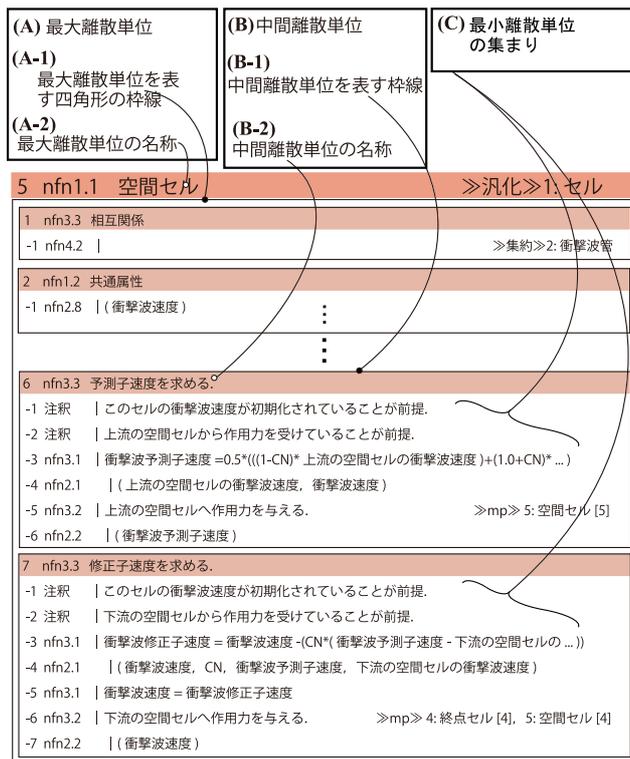


図 3 最大離散単位のセル (空間セル) の記述

Fig. 3 Description example of the maximum scale discrete unit "Space Cell".

3. OONJ の概略と特徴的な記述技法^{*10,*11,*12}

3.1 OONJ の最大離散単位の記述技法

OONJ では対象世界を離散化し、その離散単位ごとに記述する。それは図 1(B) にセルという形で示された。最大の離散単位はクラス相当の離散単位であるセルである。これを OONJ では最大離散単位と呼ぶ。その一次元衝撃波流れの空間セル^{*13}の記述例を図 3 に示す。図 3(A) は図 1 のセルを具体的に (A-1) のように四角形の枠線を用いて離散単位のイメージで記述する。最大離散単位の名称は (A-2) で示すように枠外の上部に記述する。

次にセルの内部には表 1 のセルモデルから振舞いや特性を抽出し、空間セル内部に四角形の枠線を設けてその内部に記述する。これを中間離散単位と呼び、図 3(B) に差分方程式の計算を 1 つの振舞いととらえた記述例を示してある。中間離散単位は (B-1) のように細長い四角形の枠線

^{*10} 表 2 の (2) 項より想定ユーザは対象世界のモデルをすでに構築しており、常時持っている。彼らが OONJ に求めるのは、モデリングよりもむしろ「記述のためのテクニック (技法)」である。

^{*11} 本章は文献 [6] で提案した記述技法 OONJ の事前理解を図るため、文献 [6] の 3 章と 4 章から簡潔に改変し引用した。

^{*12} 本論文でも文献 [6] と同一の対象世界を扱っているが、本論文では文献 [6] と異なって 4 章で汎化階層構造 (クラス階層構造) に 4.4 節で言及し、図 8 においても抽象クラス “セル” を表現している。そのため、対象世界のモデリングを少し変更し、抽象的な離散単位を扱うモデリングに変更した。

^{*13} 図 1 セルモデルの方法にも複数種ある [11]。本論文では階層構造を使う必要があるため、空間セルの方法を用いた。

で囲み、枠線内の最上部に総称する日本語文 (総称文) である (B-2) を 1 つと、総称文に集約される図 3(C) の日本語文が複数集約される。

この個々の日本語文は最小離散単位として扱われる。日本語文は、1 つの “モノや概念、事物” をイメージでき、一意に指すような単文、または計算式・論理式等で記述する^{*14}【特徴 3.1-1】。日本語文や計算式には日本語の文法や数学以外の新たな制約はまったくなく、想定ユーザ自身が決めた適切な形式で書けばよい【特徴 3.1-2】。OONJ では 3 つの相互に内包関係にある離散単位を枠線で視覚的に表現する。

OONJ では対象世界内部の離散単位すべてを一意に識別する方法が必要である。そこで最大離散単位ごとに、中間離散単位ごとに、そして最小離散単位ごとに付した「一連番号の組」と「種類を示す記号 (facet number, fn と略記する [5]。OONJ では特に “nfn” を用いる。)」をセットにした識別子を用いて区別する方式をとっている。最大離散単位と中間離散単位の左上の番号、最小離散単位の左側の番号各々がそれである。図 3 の記述例では、たとえば衝撃波修正子速度の式は「5: 空間セル [7-3]」とすればよい。

3.2 相互関係を用いた構造の記述技法

想定ユーザは 2.2 節で述べた離散化とその構造化をオブジェクト指向モデリングの一部と理解し、その一部を利用する [11], [13]。OONJ の構造部分を定義する OOSF [5] では、離散単位間に相互関係を付与する形式を採用している。この相互関係は静的な関係である「相互関連」と、動的な関係を表す「相互作用の情報伝達するモデル」をあわせて呼び名である [5]。

[a] 相互関連とは主として集約や汎化等に代表される固定的なかかわりを指す。

[b] 相互作用とは一般には相手に臨時的に影響を与えることであるが、OONJ では表 1 の (C) 項 (8) の相互作用情報伝達 (message passing (略して mp)) を指す。

相互作用と相互関連の記述構成はともに同じで、相互関係の「向き」と「種類」、「相手先の一意な特定」の 3 項目を用いて記述する。相互作用 (mp) の例を図 4 に示す。相互関連も同様なので省略する。図 4(A) は mp の主文と呼ばれる。図 4(B) の記述は、左から相互関係の向きを示す 2 つのギョメ「<<」、「>>」を使い、「>> >>」は発信を、「<< <<」は同じく受信を意味する。2 つのギョメに挟まれた「mp」は相互関係の種類で、名詞を用いて「mp」や「集約」等のように記述する。最後の部分は「相手先」を示している。相手先の特定には図 4 で示したように「5: 空間セル [5]」のように記述する。以上のように OONJ では振舞いが元々持っている意味内容を検討し、相互関係として

^{*14} 想定ユーザは、自身の専門の内容については自在に書ける能力を持つと想定している。

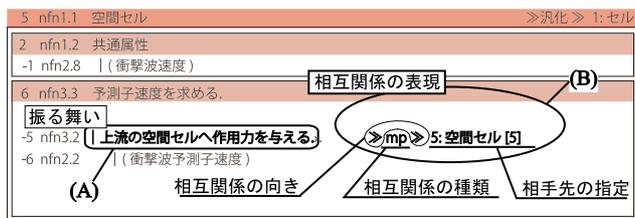


図 4 相互関係の記述技法

Fig. 4 Description technique to describe the mutual relations.

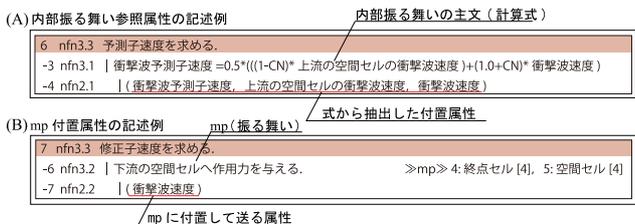


図 5 OONJ における付置特性の記述例

Fig. 5 Description examples of attached attribute in OONJ.

改めて抽出して付与することで、対象世界が持つ構造を明示することができる。

以上から構造の記述技法の特徴は、離散単位に付与するという簡単な 1 種類の形式に限定したこと【特徴 3.2-1】. 図 2 に見るように、相互作用と相互関連とを統一した【特徴 3.2-2】. 「相互作用の複雑さ等にかかわらず」記述は一定の形式である【特徴 3.2-3】. これらは、想定ユーザ自身が再度その相互作用を分析して必ず記述できる実力を持つ (2.3 節の想定ユーザの特徴 1., 2. より) という前提で設計した*15.

3.3 日本語文間および日本語文内の構造の記述技法

日本語文で書かれた最小離散単位間の集約*16は、集約される方の離散単位の前に全角 1 個分の字下げと縦棒線 (“|”) の記号を付与する方法を設計した. これは日本語文間を相互関連の 1 種である縦棒線を用いて構造化する方法である【特徴 3.3-1】. 次節の図 6(G) の (2) で示している繰返し構造等の日本語文間の構造も同様に記述可能である.

また、OONJ ではこの表現方法を利用して日本語文内部に存在し、将来的にはローカル変数等とすべき特性を抽出して別置して明示化する【特徴 3.3-2】. それは日本語文の直下に“付置する形で”記述する (付置特性 (造語) と呼ぶ). この具体例を図 5 に示す.

【1】内部振舞いの付置特性の記述

内部振舞いとは離散単位の外部との相互作用情報伝達 (mp) がない振舞いである. 付置特性が図 5(A) のように複数であればコンマで区切って並べ、全体を括弧

*15 この前提なしでは相互作用ごとに異なる多種類で詳細な表記法が必要となり、複雑化・煩雑化する.

*16 最小離散単位も再分析して内部に集約するものを見出せるし、本節のような意味での広くとらえた集約もありうる.

表 3 対象世界共通オブジェクト群

Table 3 World common objects in the target world.

代表的な対象世界共通オブジェクトの記述内容
<初期条件>: 時刻 $t=0.0$ の各属性の実値を与える.
<境界条件>: 空間的な境界における実値を与える.
<対象世界共通変数>: 対象世界に共通な変数, 定数等.
<シナリオ>: 世界を起動し, 各離散単位の起動手順を示す.
<時間と空間定義オブジェクト>: 時刻や時間スケール, 空間座標系の定義等.
<スクリプトオブジェクト>: 対象世界全体を定義し, 世界を起動する main 相当.

で括る.

【2】相互作用情報伝達 (mp) の付置特性の記述

送る側の mp 文 (mp を行う振舞い文の意) から抽出されて相手に送られる情報やデータ, モノ等を記述するための付置特性である. 記述例を図 5(B) に示す.

このように“付置”という相互関連を用いて日本語文中の特性を構造化表現する.

3.4 対象世界共通オブジェクト群

対象世界には実在しないが、必要となる特別な最大離散単位がある. たとえば微分方程式を解く際の初期条件や境界条件であり、世界が動く順序を示すシナリオである. これらのよく使われる例のいくつかとその記述例を表 3 と図 6 に標準的に示し想定ユーザにガイドラインとして提供する【特徴 3.4】. 図 6 には図 3 の空間セル以外のすべてが含まれている.

なお、記述例の図 6(F) ではすべての初期条件が 1 つの最大離散単位内部に集中的に定義されているが、これらは一意に定義されているわけではないので、分割・分散して配置されてもよい. 表 2 の (1)~(4) から想定ユーザならば自身の分野に応用できるし、この 1 種のガイドラインはプロ訓練中の大学院生には有用な情報提供でもある.

3.5 最大離散単位の構成や離散単位の種類のガイドライン

OONJ では適用する対象世界を科学技術計算やシミュレーションの世界に限定している. したがって最大離散単位の定義は“モノや概念”等である. そこで、モノや概念の内部構成や構造についてある程度固定的にガイドラインとして一定の形式に制約した設計ができる【特徴 3.5-1】. 図 3 はその例である. 空間セルの内部には振舞いを表す中間離散単位が複数定義され、それらの振舞いや式が共通に使う特性が中間離散単位として定義され、振舞いを表す中間離散単位の内部に複数の最小離散単位が存在する、と設計した.

また OONJ ではモデリングすべき離散単位の種類を想定ユーザの世界に近い用語を使ってリストアップ (その一

(A)セル

1	nfn1.1	セル	<汎化> 3.始点セル4.終点セル5.空間セル
-1	nfn3.3	共通属性	
-1	nfn2.1		(衝撃波速度)

(B)衝撃波管

2	nfn1.1	衝撃波管	
1	nfn1.2	内部構成	
-1	nfn4.2		4.終点セル5.空間セル

(C)始点セル

3	nfn1.1	始点セル	>汎化> 1.セル
1	nfn3.3	相互関係	
-1	nfn4.2		>集約> 2.衝撃波管[1-1]
2	nfn1.2	共通属性	
-1	nfn2.8		衝撃波速度
-2	nfn2.8		下流のセル
3	nfn3.3	初期化	
-1	nfn2.2		(衝撃波速度の初期値, 下流のセルの初期値)
-2	nfn3.1		衝撃波速度 = 衝撃波速度の初期値
-3	nfn3.1		下流のセル = 下流のセルの初期値
4	nfn3.3	下流へ影響を与える。	
-1	nfn3.2		1つ下流の空間セルへ衝撃波速度を与える。
-2	nfn2.2		(衝撃波速度)

(D)終点セル

4	nfn1.1	終点セル	>汎化> 1.セル
1	nfn3.3	相互関係	
-1	nfn4.2		>集約> 2.衝撃波管[1-1]
2	nfn1.2	共通属性	
-1	nfn2.8		衝撃波速度
-2	nfn2.8		上流のセル
3	nfn3.3	初期化	
-1	nfn2.2		(衝撃波速度の初期値, 上流のセルの初期値)
-2	nfn3.1		衝撃波速度 = 衝撃波速度の初期値
-3	nfn3.1		上流のセル = 上流のセルの初期値
4	nfn3.3	上流からの影響を受ける。	
-1	nfn2.2		(上流の空間セルからの衝撃波速度)
-2	nfn3.1		上流の空間セルの衝撃波速度 = 上流の空間セルが...
-3	nfn3.1		衝撃波速度>0.0ならば終了する。

(E)対象世界共通変数

5	nfn1.2	対象世界共通変数	
1	nfn1.2	対象世界で共通な変数	
-1	nfn2.8		空間セルを101個だけ作成する。
-2	注釈		衝撃波管の内部を101セルに分割する。
-3	nfn2.8		dt
-4	nfn2.8		dx
-5	nfn2.8		time
-6	nfn2.8		CN

(F)初期条件

7	nfn1.5	初期条件	
1	nfn3.3	オブジェクトの初期化	
-1	注釈		先頭の空間セルを初期化する。
-2	nfn3.2		先頭セルを初期化する。
-3	nfn2.2		(1.0,1つ後ろのセル)
-4	注釈		最終の空間セルを初期化する。
-5	nfn3.2		最終セルを初期化する。
-6	nfn2.2		(0.0,1つ前のセル)
-7	注釈		空間セルを初期化していく。
-8	nfn3.2		99個の空間セルを初期化する。
-9	nfn2.2		(0.0,1つ前のセル,1つ後ろのセル)
2	nfn3.3	初期化設定	
-1	nfn3.1		dt = 0.005
-2	nfn3.1		dx = 0.01
-3	nfn3.1		CN = dt/dx

(G)シナリオ

8	nfn1.8	シナリオ	(3) 振る舞いの集約構造
1	nfn3.3	シナリオ	
-1	nfn3.1		(1) (反復)出口のセルが1.0になるまで
-2	nfn3.2		先頭セルが下流に影響を与える。
-3	nfn3.1		(反復)99回
-4	nfn3.2		空間セルの(2) 繰り返しの
-5	nfn3.2		空間セルの(2) 制御構造

図 6 空間セルを除く全オブジェクトの記述例

Fig. 6 Description examples of all objects except the space cell object in the target world.

部を表 4 に示す) しておき, 想定ユーザが対象世界と見比べて抽出する離散要素を探してはモデリングする際のガイドラインとしている【特徴 3.5-2】。

4. 集約と汎化の階層構造の記述技法と比較

4.1 OONJ における集約階層構造 [5]

OONJ の離散単位の構造定義を UML メタモデル表記

表 4 離散単位の種類 (OONJ 用)

Table 4 Kinds of discrete unit for OONJ.

nfn1 離散単位
nfn1.1 モノや概念 / nfn1.2 属性 / nfn1.3 振舞い
nfn1.4 相互関係 / nfn1.5 初期条件
nfn1.6 境界条件 / nfn1.8 シナリオ (他は省略)
nfn2 属性
nfn2.1 振舞い参照属性 (nfn3.1 参照)
nfn2.2 mp 付置属性 (nfn3.2 参照) / nfn2.8 共有属性
“注釈” (ファセット記号と置換) (他は省略)
nfn3 振舞い
nfn3.1 内部振舞い
nfn3.2 相互作用→相互作用情報伝達 (mp)
nfn3.3 振舞い総称文 (他は省略)
nfn4 相互関係→構造 (化) に用いる。
nfn4.1 相互作用情報伝達 (mp) / nfn4.2 集約
nfn4.3 汎化 / nfn4.4 実値化 / nfn4.6 展開
nfn4.7 詳細化 / nfn4.12 引用 (他は省略)

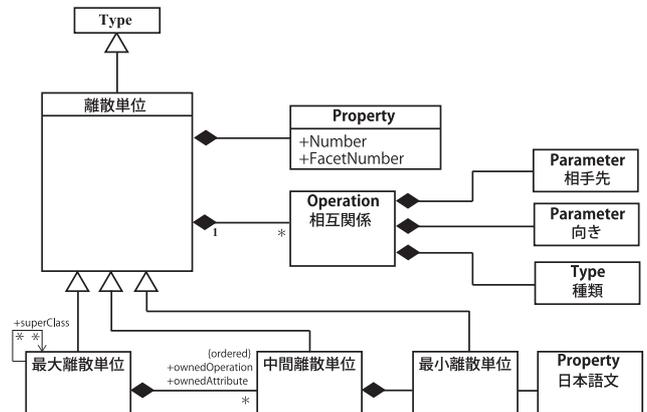


図 7 OONJ の離散単位の構造定義

Fig. 7 Structure definition of the discrete units for OONJ.

法 [17] を使って図 7 に示す。図 7 から OONJ は最大離散単位, 中間離散単位, 最小離散単位の 3 種類の離散単位を定義し, 離散単位の概念と汎化関係にあることを示している。図の下部には, 3.1 節の図 3 で述べた 3 種類の離散単位が “has-a” の集約階層をなすことを示している。

各最大離散単位の内部には, 複数の中間離散単位が集約 (has-a 関係) されており, 中間離散単位には同様に複数の最小離散単位が集約されている。

最小離散単位には図 7 右下に見るように日本語文 (あるいは計算式や論理式等) を格納する。図 3 の 3 階層の集約は, ちょうど “モノ” が複数の特性や振舞いを格納した構造を持つ実世界に対応させた構成に設計した。

これ以上の階層を想定ユーザが使うことはあまり多くはないが, 拡張は可能なように作られてある。それは複数の最大離散単位を集約 (has-a 関係) した複雑な離散単位や, 最小離散単位の内容を改めて詳細にモデリングし, 表 4 にある相互関連 (“展開” や “詳細化”) で結んで最大離散単

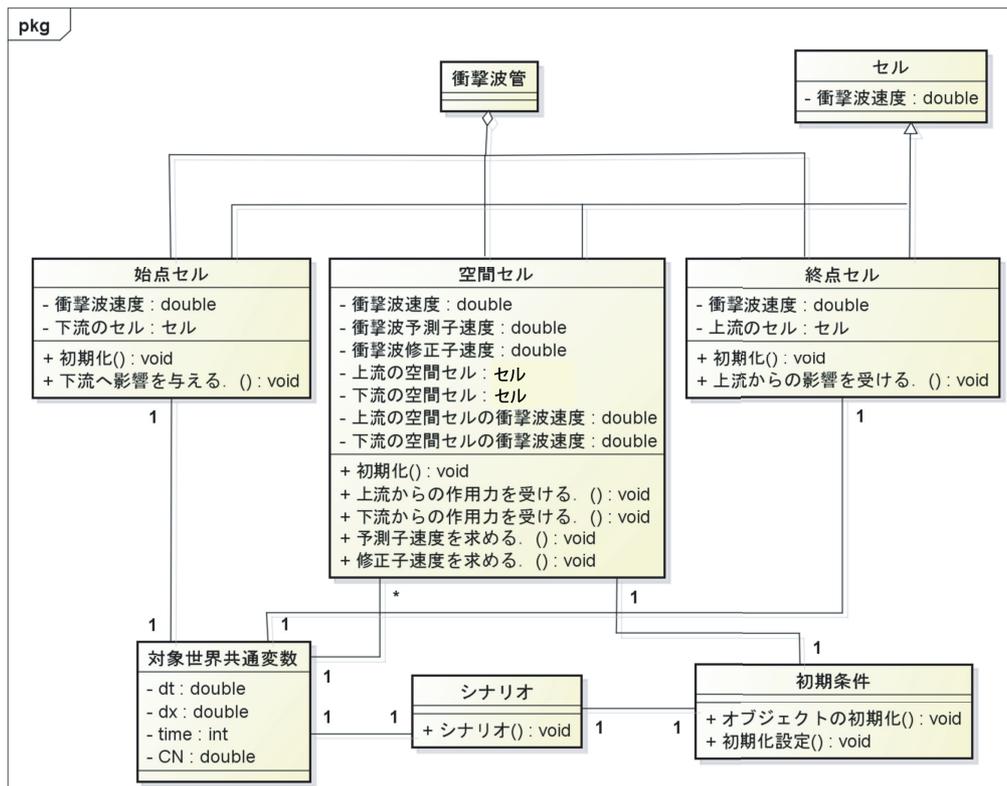


図 8 一次元衝撃波流れの対象世界のクラス図

Fig. 8 Class diagram for the target world of one-dimensional shock wave flow.

位や中間離散単位を新たに定義することもできる。

OONJ の対象世界内部には複数の最大離散単位が存在し、相互に固定的な構造（相互関連）を結び、あるいは互いに相互作用の情報を伝達しながら自身の特性を更新して動くことで対象世界全体の動きを形成する。OONJ では離散単位を基本単位とし、想定ユーザと想定対象世界に適合させた 3 階層の集約階層構成を構成した【特徴 4.1】。

4.2 UML のクラス図と OONJ 記述の比較評価

図 3 と図 6 の OONJ 記述に対応する UML のクラス図 [18] を図 8 に示す。UML のクラス図は対象世界の静的な側面を記述するダイアグラムであり、OONJ 記述は静的な側面だけでなく動的な側面も記述する。この両図の比較から最大離散単位にはクラスが相当し、中間離散単位には属性と操作（メソッド相当）が相当し、クラス間の関係は最大離散単位間における相互関連の付与で表現することが可能である。したがって静的な側面においては OONJ から見て UML とほぼ同等な記述内容と構造（記述力）を持っている【特徴 4.2-1】。

長い OONJ 記述の場合は個々の最大離散単位を見出し難くなるので、院生たちも OONJ 記述に添付してクラス図を相互関連図として提出することも多い（ただしデータ型等は書かない）。この事実は記述性 I と II についても UML と OONJ がほぼ同じ程度の記述性の良さを示している

評価できよう【特徴 4.2-2】。ただしクラス図の方が対象世界全体を俯瞰しやすく、その「理解性」は OONJ 記述よりも優れている【特徴 4.2-3】。

4.3 UML と OONJ における集約階層構造の比較

UML では図 8 に示したようにクラスを基本対象として集約を表現しており、OONJ の最大離散単位間における集約構造に相当する。図 8 の上部に「衝撃波管」に始点セル、終点セル、空間セルの 3 つが集約されている。OONJ 記述では図 6 の (C) 始点セル、(D) 終点セル、および図 3 の空間セルが (B) 衝撃波管に“集約”されている。

OONJ の集約階層は UML と違って、離散単位すべてに集約という相互関連の付与が可能である。つまり UML のクラス定義内部にも集約表現を許す。表 4 に集約という相互関連名を定義し、複数の記述例と集約の考え方を提供するだけである【特徴 4.3】。

4.4 UML と OONJ における汎化階層構造とその記述技法の比較

想定ユーザはまず実在の“モノや概念”をモデリング（着目・抽出・名前付け）[3] し、それらを抽象化（汎化）していく。OONJ における汎化では条件の一部を削除したり統一したりすることにより一般的な概念やルールを形成し [19]、抽象階層、類型階層、実値階層の 3 つの階層を用

いている [20]. この3つの汎化階層はUMLの抽象クラス、クラス、インスタンスに相当する. 実値階層の最大離散単位の記述はオブジェクト図に相当し, 類型階層, 抽象階層の最大離散単位の記述はクラス図に相当する*17.

図8の上部にセルクラスと始点セル, 終点セル, 空間セルの間に汎化関係が示されている. これと同様な表現はOONJ記述では図3と図6で示されるように相互関連を汎化とすることによって表現し, UMLとOONJでは同様の汎化階層が構築される【特徴4.4】.

5. UMLとOONJの動的な側面に関する記述の比較と評価

5.1 UMLのBehaviorとOONJの振舞いの比較評価

動的な側面の構成要素の比較には, UMLのSpecification [18]のSubPartII Behavior内のActions, Activity, Common Behaviors (p.225~p.472)を対象とする. そこで規定される31個の基本概念(Basic Action, Basic Activity, FundamentalActivities, Basic Behaviorに分類される要素)とOONJの構成要素とを比較する(詳細は参考文献[6]を参照).

まず, Behaviorの基本概念であるActionと比較する. 基盤となるOpaqueAction, InvocationActionの振舞いとその子要素は離散単位に相当する. MultiplicityElement, SendSignalActionに直接相当する構成要素はなかったが, 最小離散単位を用いることで記述可能である. 次にOONJとActivityの構成要素間の対応関係は少数であった. これらはOONJでは不要である. 振舞いの詳細を定義するCommonBehaviorとはOONJの振舞いの種類を特定する指定子に対応した. これらは動的側面の特性の対応を示している.

以上からUMLとOONJ間のすべてではないが, 基本要素であるAction, CommonBehaviorに分類される基本概念とは必要なほぼすべての対応関係が存在する. 両者の構成要素と基本概念の対応関係はほとんど見出すことができた. これらから両言語は同等の記述力を推測できる【特徴5.1-1】. また, 振舞いの種類とその用語・用法の面でUMLよりも制限が少なくOONJの方が表現しやすい【特徴5.1-2】.

5.2 UMLのアクティビティ図とOONJ記述の比較評価

まず図9に示したアクティビティ図は, 次元衝撃波流れの全体のプロセスを表現しており, OONJ記述と対応関係が分かるようにスイムレーンを使用してパーティションを最大離散単位ごとに分割してOONJ記述に近づけ, 比較しやすい表現にしてある. そのパーティションごとにアクションを記述し, 表1を参考に適切にコントロールフ

ローを記述している. アクションとコントロールフローは, OONJ記述でのmpに相当する. アクティビティ図のコントロールフローがOONJ記述のmpに相当するという事実から, OONJ記述中にアクティビティ図相当のプロセスが内包されていることが分かる.

アクティビティ図はその源流のフローチャートのように[21], 内部振舞いや相互作用(mp)の連鎖を中心としたプロセスを表現するので, 振舞いの全体像を俯瞰する観点からはOONJ記述よりも理解性に優れており有用である【特徴5.2-1】. 一方OONJでは振舞いは一連の流れではなく, 離散単位間の(単発の)mpで表現している. それはOONJが離散単位ごとの振舞いを十分に記述することがより重要であると考えての選択である. それゆえに振舞いを一連の(全体的な)流れにはあえて表現しない/できないのである.

しかしこの図9がOONJ記述と図1や表1の情報を抽出して描かれた事実を考慮すれば, 記述性Iに関しては同等であることが十分に推定できる【特徴5.2-2】. 結論として両者は表現形式の一部は異なるが, 動的な側面における対応関係だけでなく記述内容についても同等に近い記述力と記述内容を持つといえよう【特徴5.2-3】.

5.3 UMLのシーケンス図とOONJ記述の比較評価

シーケンス図はOONJ記述*18のmpに着目した追跡(トレース)の表現に相当し, 情報交換の順序を簡潔に表現する. 次元衝撃波流れのシーケンス図を図10に示す. シーケンス図には図3と図6のすべてのオブジェクトが現れ, その間の相互作用(mp相当)も現れるので, OONJ記述を知る者にとってはクラス図に次いで分かりやすい図である. シーケンス図の表現は, OONJでいえば実値階層の最大離散単位(インスタンス相当)から構成される場合にはかなり近い記述が可能になる. シーケンス図では内部振舞いに相当するActionは書かれないので, アクティビティ図を参照しながら読むと, 正確で十分な情報が記述されていることが確認でき, 記述性Iについてはほぼ同程度の評価になろう*19【特徴5.3-1】.

ただし図10では, 全部で99個のオブジェクト(インスタンス)の生成とそれと同数の衝撃波速度の計算処理の表現を記述するのが難しい. もちろん複合フラグメントLOOPを使えば書けるという知識を持っていれば書けるが, それには深い知識とスキルと経験が必要である. そこまでの知識が必須ということでは想定ユーザには差分方程式や有限要素法の利用をさせるのは難しそうである. つま

*17 OONJでは実値階層の記述も, クラス図を実値階層と混合した記述も推奨されていない.

*18 推奨される類型階層と抽象階層の最大離散単位からなるOONJ記述の場合のみ.

*19 ただしOONJ記述では図10のように時間を軸とした表現ができない. さらにOONJでは図10で規定されているCreate, Destroy, 同期・非同期等は(特に必要がなければ)記述はされない.

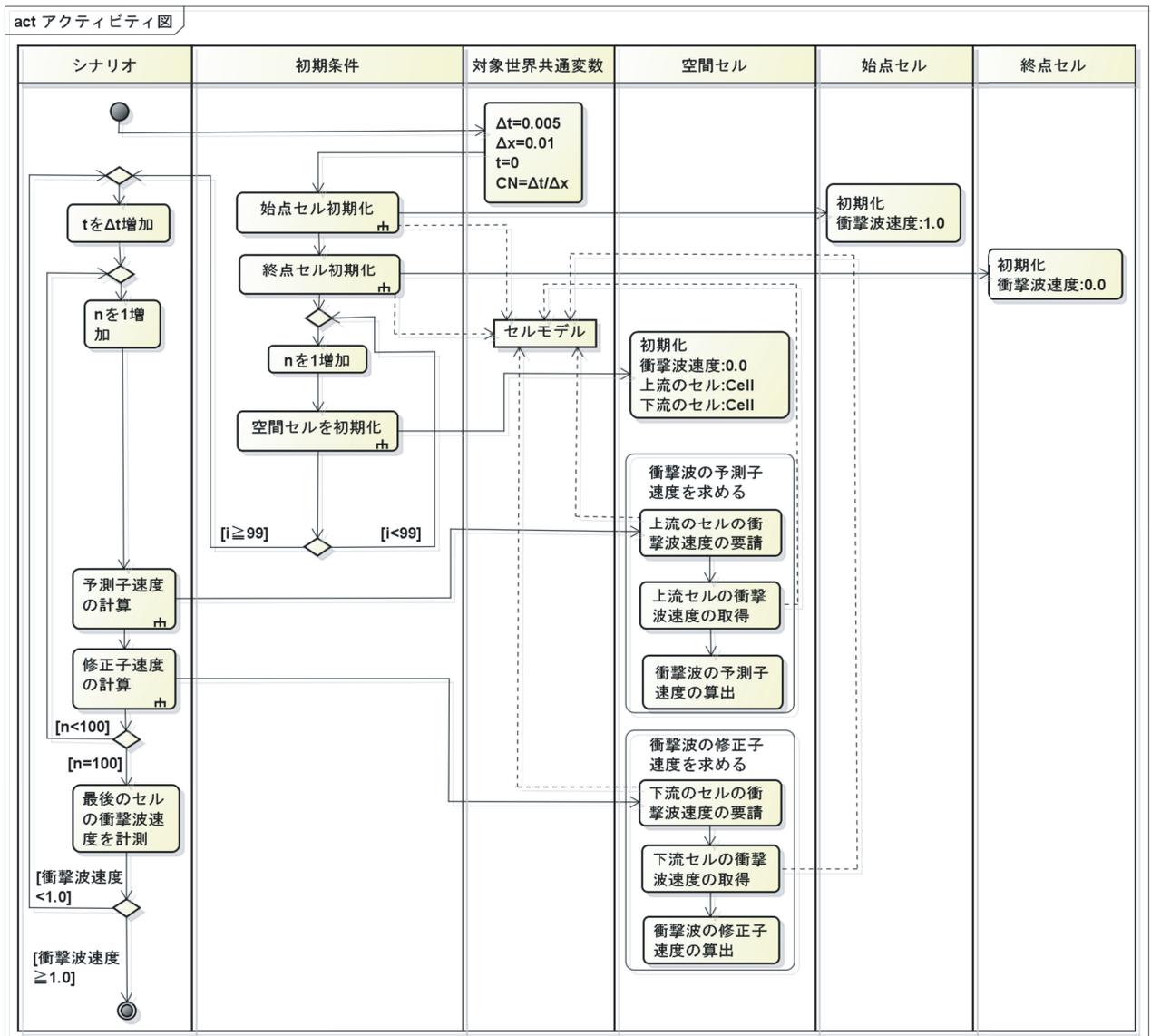


図 9 一次元衝撃波流れの対象世界のアクティビティ図
 Fig. 9 Activity diagram for the target world of one-dimensional shock wave flow.

り記述性 II については、それに必要な知識を教えられたり、完成図を見せられて説明されたりすれば理解可能になるが、自力で書き上げるのは困難であり、記述性 II はあまり良くないといえよう【特徴 5.3-2】。

一方、図 10 の下部に示されている同期のメッセージ交換は、OONJ 記述における一連の mp の追跡の表現がちょうどシーケンス図に見合った表現になることが分かる。また、そのメッセージ交換の表現には相手先と向きが表現されていることが分かる。またアクティビティ図同様に、このシーケンス図の動的な側面の対応関係は OONJ と同等に近い記述力と記述内容を持つ【特徴 5.3-3】。また、振舞いの一連の流れに起因する世界全体の動的な側面の理解しやすさには OONJ 記述よりも優れているといえよう【特徴 5.3-4】。

6. 記述技法の考察、記述実験による裏付け

6.1 UML にはない OONJ の記述技法の特徴とその考察

本節では他節と異なり、UML にはなくて OONJ には存在する記述技法を扱う。したがって「UML との比較評価に基づかない」考察となる。そこで評価は各特徴項目の有効性等を本文中で論理的に説明あるいは理由付けをするとともに、その特徴が貢献している記述性に言及し、「記述性 I に貢献する」と表現する。

まず 2 章～5 章の各節からの特徴項目をまとめて分類し表 5 に示す*20。特徴項目 (1), (2), (3) は、図 2 や OONJ を代表する 3 つのキーワードで分類した。

*20 ただし各々の項目は引用元の「1 文」を短くまとめ直したり、複数項目を合併させたりした文もある。

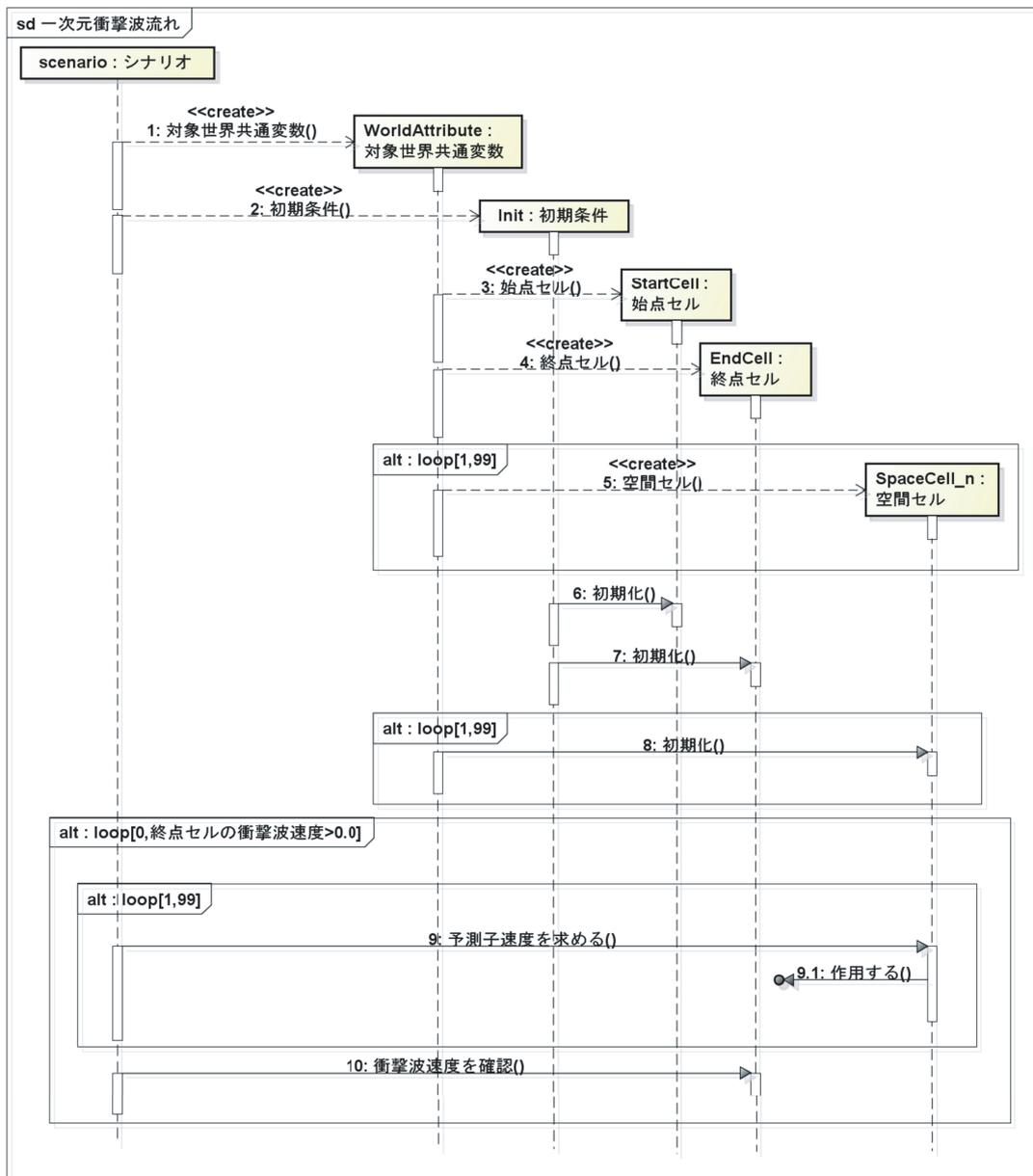


図 10 一次元衝撃波流れの対象世界のシーケンス図

Fig. 10 Sequence diagram for the target world of one-dimensional shock wave flow.

6.1.1 離散単位の表現技法

表 5 の分類 (1) 離散単位については，“モノ，概念，事物”を最大離散単位とし【特徴 3.1-1, 3.5-1】【特徴 4.1】，それをクラス定義に重ね【特徴 4.2-1】，図 3 にあるような枠線を使う等で離散単位のイメージを強調して表現している．これは離散単位を実世界の“モノ，概念，事物”とクラス定義との三者の共有イメージとする表現技法で，主として記述性 I の向上に貢献する．

【特徴 4.1】の集約階層数の「3」はクラス定義とのアナログ【特徴 4.2-1】および大学院生との議論を通じて設定された．標準値を設定することは，科学技術計算ユーザの場合には構造化の迷いをなくする効果があり，記述性 II に貢献する．また計算式も離散単位扱いにしたうえで構造化を

行って複雑な計算系を扱えるようにしている【特徴 2.1】．これは記述例の図 3 からも多少とも読み取れるように計算系の構造が（“|”の集約表現を読み取ることで）論理的な可視化効果があり，記述性 I の向上に貢献する．複雑な計算系の構造を表現する機構を現実に想定ユーザがいつでも使える形で提供しておくのは記述性 I, II を実現する最低必須条件である．

また記述規則で縛るよりもガイドラインを多く設けて【3.4】【3.5-2】大学院生の記述容易性を支援し記述性 II の向上に貢献している．

6.1.2 構造化の表現技法

まず構造化の方法を図 2 をそのまま表現するかのような表現技法【特徴 2.2-1, 2.2-2】を基本としている点が特徴

表 5 OONJ の記述技法の特徴事項の纏めと分類
Table 5 Summary and Classification of description technique of OONJ.

<p>(1) 離散単位</p> <p>【特徴 2.1】 計算式も離散単位として扱い，相互関係で構造化して複雑な計算系を構成可能にした。</p> <p>【特徴 3.1-1, 3.5-1】 離散単位を“モノ，概念，事物”の内部構成や構造に適合するように設計した。</p> <p>【特徴 3.4】 対象世界共通オブジェクト等を想定ユーザの標準的なガイドラインとして提供する。</p> <p>【特徴 3.5-2】 離散単位の種類を対象世界に近い用語を使って表形式であげ，ガイドラインとした。</p> <p>【特徴 4.1】 想定ユーザに合わせてよく使う“モノ”を表すような 3 階層の集約階層に設計した。</p> <p>【特徴 4.2-1】 最大離散単位を UML のクラス定義とほぼ同等の内容と構造を持たせた。</p>
<p>(2) 構造化</p> <p>【特徴 2.2-1, 2.2-2】 図 2 が表す離散構造化の原理を記述言語設計の方針として採用する。</p> <p>【特徴 3.2-1】 構造化は離散単位に相互関係を付与する簡単な 1 種類 (図 2) の形式に限定した。</p> <p>【特徴 3.2-2】 図 2 に見るように，相互作用と相互関連とを統一した。</p> <p>【特徴 3.2-3】 相互関係 (特に mp) の複雑さ等にかかわらず唯一の記述形式に絞った。</p> <p>【特徴 3.3-1】 日本語文の間を相互関連表す縦棒“ ”を付与して集約構造を表す。</p> <p>【特徴 3.3-2】 日本語文中の特性を抽出・別置し，相互関連 (付置) で結んで構造化して明示する。</p> <p>【特徴 4.3, 4.4】 集約と汎化の階層構造は相互関連名と構造化のガイドラインのみを設定した。</p>
<p>(3) 日本語文</p> <p>【特徴 2.1】 個々の日本語文も計算式も離散単位として扱う。</p> <p>【特徴 3.1-2】 文法制約なしの日本語文で専門分野特有の表現や計算式も自由に書けるようにした。</p> <p>【特徴 5.1-2】 振舞いの種類とその用語・用法の面で UML よりも制限が少ない。</p>

である。これは離散構造化の方法の理解を助けており，記述性 I, II 両方に貢献している。

【特徴 3.2-1】 のように簡単な 1 種類の方法に限定して記述の負荷を減らすとともに相互作用と相互関連を統一して扱えるようにしている【特徴 3.2-2】。また，実世界では本来複雑な相互作用をあえて唯一の記述形式に絞ることで表現技法を単純化している【特徴 3.2-3】。その分だけ分析が必要となるが，大学院生は当然に分析力を持つ前提なので問題ない (2.3 節【想定ユーザ】 2. 項目)。この特徴は記述性 II の向上に大きく貢献していると考えられる。

日本語文は離散単位扱いをするので，日本語文「間」の相互関連を付与する場合【特徴 3.3-1】と，日本語文「中」の特性を付置という特別な相互関連記号“|”を用いる表現技法【特徴 3.3-2】を工夫している。この作業は多少煩雑となるが，後でプログラミングの段階に入ってから大きく役に立つ。広い意味で記述性 II に貢献する。つねに利用されるので，すでに組み込まれている「集約」と，逆に想定ユーザの利用が少ない「汎化」の階層構造は簡単な相互関連の付与の仕方のみを紹介している【特徴 4.3, 4.4】。

6.1.3 日本語文の扱い

日本語文に関する制約は「離散単位表現にする」というだけであり【特徴 2.1】【特徴 3.1-2】，UML よりも制約が少ない【特徴 5.1-2】。その理由を強制的に言えば，OONJ では「ユーザ自身が分かればよい」程度の重要度だからである。ただし，第三者が読むなら別である。

すなわちまずは全体の構造化記述の構築を重視し，その

完成後に個々の最小離散単位 (日本語文) を正確に書き直せばよい，というのが効率的な記述技法である。構造記述は全体に影響するが，個々の日本語文の影響は局所にとどまる。したがって日本語文自体の記述性は特に考慮されていないが，彼らは十分に必要な事象を書けるであろう。

ただし，日本語文の採用は OONJ の記述規則を単純化し，通常の言語に見出せる 1 つの statement 中の微細な記法に類する事項をほとんど日本語文に封じ込めてしまって離散化と構造化の規定だけに絞っている。そのこと自体が OONJ の記述性 II の向上に貢献しているといえよう。

6.1.4 OONJ の記述技法全体についての理由付け

すでに 2.2 節の 2 段落で述べたことを要約すると，良好な記述性 I, II を実現するには想定ユーザが要求する離散構造化の方法を十分に反映させた記述言語を構築すればよい。なぜならば，科学技術計算のほとんどに使われている「離散構造化の方法」を想定ユーザたる大学院生が容易に利用できるようにするために記述性 I, II を評価基準として設定したからである。それに加えて想定ユーザの実力を考慮した記述容易性を加えた設計を行った。

その結果，離散化とその構造化の仕組み自体は基本的に記述性 I に貢献し，日本語文や相互関係の書き方等は主として記述性 II の向上に貢献していることを示した。また表 5 には離散構造化の方法を記述言語という形で構築した特徴が多く現れており，定性的には離散構造化の方法を表現する記述言語として構築されていることを示した，と本節での仮の結論としてよいであろう。

表 6 UML との比較における OONJ の記述性の評価のまとめ
 Table 6 Summary of the description technique estimations of OONJ compared with UML.

<p>(4) 記述力, 理解性, 記述性 I, II の比較評価</p> <p>【特徴 4.2-1】クラス図は静的な側面において OONJ とほぼ同等な記述力を持っている。</p> <p>【特徴 4.2-2】クラス図は記述性 I, II の両方については同等な良好さを持つ。</p> <p>【特徴 4.2-3】クラス図の方が世界全体を俯瞰しやすく, 「理解性」が OONJ より良好である。</p> <p>【特徴 5.1-1】UML の基本要素と OONJ の振舞い記述 (mp 含む) は同等の記述力を持つ。</p> <p>【特徴 5.2-1, 5.3-4, 6.3-3】振舞い全体はアクティビティ図やシーケンス図が理解性に優れる。</p> <p>【特徴 5.2-2, 5.3-1】OONJ とアクティビティ図やシーケンス図の記述性 I は同等である。</p> <p>【特徴 5.2-3, 5.3-3】アクティビティ図とシーケンス図は OONJ と同等の記述力と内容を持つ。</p> <p>【特徴 5.3-2, 6.3-4, 6.3-5】想定ユーザには UML は記法の煩雑さ等難点が多くて使い難い。</p> <p>【特徴 6.3-1】OONJ の方が直接的に最終成果 (プログラム) に近い。</p> <p>【特徴 6.3-2】記述性 II はアクティビティ図とシーケンス図よりも OONJ の方が良好である。</p>	<p>記述力△ I △, II △ 理解性× 記述力△ 理解性× I △ 記述力△ II ○ I ○, II ○ II ○</p>
<p>(5) OONJ 単独の記述例データを基にした評価本項目は想定ユーザ評価のみ, 6.4 節参照。</p> <p>【特徴 6.4-1, 6.4-2】記述が自身の構造イメージと重なる。他院生の記述も読みやすく理解しやすい。</p> <p>【特徴 6.4-3】1,000 行規模記述の例は OONJ の記述力の強さや記述性 II の良さを示している。</p> <p>【特徴 6.4-4】「OONJ の枠組みにきれいにあてはめられるので, いくらでも書ける。</p>	<p>(別途評価) 理解性, I 記述力, II I, II</p>

(注) 右段の I ○と II ○は OONJ の記述性 I, II が UML よりも良好なことを示す。記述力△は OONJ の記述力が UML と同等であることを示す。理解性×は OONJ 記述の理解容易性が UML よりも劣ることを示す。

6.2 UML との比較に基づく評価と考察

UML の 3 種の図との比較した結果から導いた評価を表 6 の (4) に示す。まとめると,

- (1) 記述力はどの項目でも UML と同等 (△) である。
- (2) 記述の理解容易性は 3 つの図すべてが OONJ 記述よりも高い。
- (3) クラス図の記述性は I, II とともに同等である。
- (4) アクティビティ図とシーケンス図の記述性 I は OONJ と同等である。
- (5) アクティビティ図とシーケンス図の記述性 II に関しては OONJ の方が良好である。

両言語における理解容易性と記述性の評価の大きな差は, (2.3 節にも見出せるように)

- (A) UML では扱う対象が複雑な世界である場合が多いゆえに, 表現系として多種類のダイアグラムを用いて多様な側面への正確な理解容易性を実現している。
- (B) OONJ では, 想定ユーザは対象世界のモデルについてはすでに表 1 のように十分熟知しているゆえに表現系を 1 種類に絞って記述容易性を実現している。

という狙いの差に起因するということが理由の 1 つとして考えられる。

6.3 記述実験を通しての UML と OONJ の比較

記述技法の比較評価のために想定ユーザ 4 人を対象として記述実験を行った。4 人とも OONJ 記述と UML のダイアグラムに近い図は書いた経験があった。まず UML のクラス図とアクティビティ図とその周辺知識, 一次元衝撃波流れの概念モデル (図 1 と表 1) とについて, 想定ユーザ

に匹敵する程度の予備知識を与えた。以上の準備の後に, 本論文で記述例に使っている一次元衝撃波流れを対象世界とし, OONJ 記述と UML のクラス図とアクティビティ図を全員に書いてもらった。

OONJ 記述とクラス図については全員が問題なく作成した。アクティビティ図についてはソフトウェア工学が専門の院生がシナリオと空間セルの一部を書けたのみで, 他はほとんど書けなかった。そこで実験後に著者たちの描いた OONJ 記述とクラス図, アクティビティ図を広げて比較しながら院生たちと話し合った。その発言の中から比較事項をまとめたのが表 7 である。さらに後日, 被験者たちへの追加の聞き取り調査を行った。

彼らの両言語に対する対比的な認識は表 7 の 1 項目のようであった。つまり, OONJ の方が直接的に最終成果 (プログラム) に近い, という意見だった【特徴 6.3-1】。2 項目と 3 項目を簡単にまとめると, 必要なルールが簡単なので書きやすい OONJ と【特徴 6.3-2】。完成ダイアグラムは分かりやすい (理解容易である) が, 書くには多くの知識・スキル・経験・学習等が必要な UML【特徴 6.3-3】。ということであった。ほとんどが書けなかったアクティビティ図については「結果の図を見れば理解できるが, 我々 (想定ユーザ) が当初から自力で自身の専門分野のダイアグラムを書くのはまず無理だと思う。シーケンス図も同様である」という意見で一致した【特徴 6.3-4】。

また, 表 7 の 4 項目の 4.1 と 4.2 にあるように, 複雑な科学技術関連の計算式や (再帰的な) 繰り返し等に関する UML の記述の方法が, 中級程度のテキストや Web 上等では簡単には見出せなかった。これは想定ユーザには UML の煩

表 7 OONJ と UML の記述実験のコメントや感想

Table 7 Comments and Impressions of description experiment using OONJ and UML.

1. 両言語の対比的な位置付け	
1.1 OONJ は UML との比較でいうと、よく知っている世界のプログラミングに近い。	
1.2 UML は知らない世界をはじめて学習して分析あるいはモデリングしている感じがする。	
2. 必要な学習や知識等	
2.1 OONJ は記述内容を熟知していれば、UML と比べて必要な知識は少なく簡単に書ける。	II ○
2.2 UML は詳細で特殊な用語、記法・記号等が多くあり、十分な知識と経験がないと難しい。	II ○
2.3 UML は OONJ に比べて書法や記法が煩雑なので、そのスキルや経験によってモデルの粒度、詳細さ、正確さ、内容が大きく異なる。そのままプログラムにすることは難しい。	II ○
3. 書き易さ、読みやすさ、理解しやすさ	
3.1 OONJ は日本語が多いので事前の知識があまりなくても理解しやすく書きやすい。	II ○
3.2 OONJ の構造表現はただの文字列なので、UML よりは見た目で直観的には理解し難い。	理解性×
3.3 UML の方がダイアグラムなので知識があればパッと見で理解しやすい。アクティビティ図やシーケンス図が持つ動的な側面全体の理解のしやすさは OONJ にはない。	理解性×
4. その他特別なコメント	
4.1 微分方程式の差分近似計算等を支援する特別なダイアグラムやライブラリが欲しい。	
4.2 UML の図の一部には繰り返しの多い処理や再帰的な振舞いが書き難い場合がある。	I ○, II ○
4.3 UML が多面的に分析できるのは長所でもあるが、多面的に見なければ OONJ のように一本化した記述が書けない点は短所と感じた。OONJ は無駄なく直裁に書ける。	II ○

表 8 OONJ の記述例データ

Table 8 Data of description examples using OONJ.

対象世界	最大離散 単位の数	記述 行数	記述量 (KB)	分析時間 (時間)	記述時間 (時間)	経過期間 (日)	記述 速度
(1) 英日翻訳システムの分析	31	824	278	73 程度	94	25 程度	8.8
(2) 視覚のメカニズム	23	523	76	20 程度	40 程度	14 以上	13.1
(3) 感情ロボットの仕組み	14	809	266	65 程度	45 程度	28	13.5
(4) ヒトの免疫の仕組み	28	563	89	20 程度	40 程度	14 以上	14.1
(5) 化学プラントの制御	21	712	368	10 以下	50 程度	40 以上	14.2
(6) DNA 計算 (加算)	43	1188	234	10 以下	80 程度	25 以上	14.9
(7) 真核生物の細胞	73	1051	229	20 程度	70	12 程度	15.0
(8) 二次元粘性流れ	13	473	194	45	18	10	16.7
(9) 基板検査装置	18	928	276	15	59	27	18.4
(10) 遠隔料理システム	15	2703	1321	12	59 (記録)	18 以上	45.8
(11) 水の大気循環現象 (*)	36	904	147	20	40	6	22.6
平均値 (整数で表示)	29	971	316	28	54	20	18

(*) 印の記述例は当研究室の大学院生によって書かれた。また記述速度は、行/hour である。

雑さとか難しさを印象させる可能性が高い【特徴 6.3-5】。なぜならば想定ユーザは利用技術には熱心ではない (想定ユーザの特徴の 4. と 5. 項) からである。その傾向は表 7 の 4 項目の 4.3 にも見出せる。

6.4 OONJ 単独の記述実験データからの考察

本節では想定ユーザによる 1,000 行規模の OONJ 記述例 [22] の記述実験データを使って記述技法の考察を行う。想定ユーザは表 8 に掲載した平均 1,000 行規模の記述例を完成したという実績のうえで述べているので、彼らのコメ

ントも重視して分析し、記述性の評価を行う。本節は UML との比較評価ではなく、想定ユーザの OONJ への単独評価である。これは表 5 の分類 (1)~(3) の OONJ の特徴項目に対する評価と考察の裏付けとして必須である。

対象世界と記述イメージの近さ：記述性 I OONJ 記述のレポートから見出せる個別の感想は「OONJ の表現が対象世界についての自分のイメージとかなり近い」と何人もが述べた点が注目される。「ヒト免疫システム」を書いた院生も中間離散単位の内容を 1 つ 1 つ確認して、最後に全体を見渡すと「自分の描いた構造イメージとちょうど重な

表 9 UML との比較における OONJ の記述技法の特徴総合評価
 Table 9 Estimation of the good description characteristics of OONJ compared with UML.

節	評価項目	記述性 I	記述性 II	記述力	理解性
4.2	クラス図との比較	△	△	△	×
5.1, 5.2	アクティビティ図やシーケンス図との比較	△	○	△	×
6.1	UML にはない OONJ の諸特徴 (表 5)	○ (ユーザ)	○ (ユーザ)	△	評価なし
6.2	UML との比較評価 (表 6)	○	○	△	評価なし
6.3	記述実験から見た比較	評価なし	○ (注 1)	評価なし	×
6.4	OONJ 記述のみの想定ユーザのコメント	○ (ユーザ)	○ (ユーザ)	評価なし	○ (参考)

(注) UML に比べて OONJ の記述技法が、○印は良好であることを、△は同等を、×は不良であることを示す。
 (ユーザ)とは比較評価ではなく、想定ユーザの評価に基づいていることを示す。
 (注 1) UML が想定ユーザには知識やスキルの点で使い難い点も考慮に入っている。

る」ともコメントした。他の院生が書いた記述の読みやすさと記述内容の理解しやすさも複数例が指摘された【特徴 6.4-1】。これらのコメントはユーザ自身の離散化と構造化の概念的なイメージに近く記述できることを、すなわち記述性 I の良好さを示唆する【特徴 6.4-2】。

想定ユーザの書きやすさ：記述性 II 院生たちが表 8 のように多様な専門性を持つ OONJ 記述約 1,000 行を書いたという実績、分析時間を含めて平均で 83 時間を使った院生が一定数以上いるという事実は大きい。この事実は OONJ の記述力の強さや想定ユーザに対する記述性 II の良さを示している【特徴 6.4-3】。別の院生は「書きたいことが OONJ の枠組み(彼はそういう言葉を使った)にきれいにあてはめられるので、興味のある世界でもあるし日本語文でもあるので、いくらでも書けた【特徴 6.4-4】」とコメントした。正確で深い知識とイメージを持つ院生は、言葉どおり長目の記述を作って表 8 のデータと表 6 の分類 (5) の評価を出した。

結論としては (UML との比較評価ではないが)、少なくとも想定ユーザの院生たちにとっては、記述力は【特徴 6.4-3】から、記述性 I は【特徴 6.4-2】【特徴 6.4-4】から、記述性 II は【特徴 6.4-3】【特徴 6.4-4】から、理解性は【特徴 6.4-1】、【特徴 6.4-2】、【特徴 6.4-4】から、それぞれ良好であったことは確かである。

UML は本来プロの業務用で、想定ユーザは 2.3 節の特徴の 4. と 5. から見て UML への豊富な知識や学習負担には耐え難いと考えられるゆえに、さらには汎用の UML が本論文の想定ユーザの院生向けに特化した表現を整備したとは考え難いゆえに、記述性 I, II とともに、特に記述性 II は OONJ の方が良好とする結果になるのは妥当な結論であると考えられる。

7. 結論と今後の課題

本論文では、記述言語 OONJ の記述技法の特徴を客観的に評価するため、UML との静的・動的その他の面からの比較を行って検討した。その結果、2.3 節の想定ユーザと想

定対象世界に限定すれば表 9 のように、記述力は前報 [6] と同じく UML と同等であり、本論文では新たに記述性 I と II は (言語の使いやすさも含めて) OONJ が良好、完成記述の理解容易性は UML という結果が得られた。

したがって OONJ 設計の当初の狙いは実現し、OONJ は UML なみの記述力があり、対象世界の記述しやすさと想定ユーザにとっての書きやすさは UML よりも良好であるという記述技法の特徴が明らかになった。

今後は実用化の観点から記述例やライブラリ等の蓄積、記述支援環境の構築、プログラムに向けた変換機構の開発等を行う予定である。

参考文献

- [1] 日本計算工学会 (編)：工学シミュレーションの標準手順 JSCCESS-HQC002: 2011 A Model Procedure for Engineering Simulation, 日本計算工学会 (May 2011).
- [2] 早川義一：名古屋大学工学研究科の大学院教育—現状と課題, 入手先 (<http://www.cshe.nagoya-u.ac.jp/publications/journal/no8/05.pdf>) (参照 2012-04-08).
- [3] 畠山正行：オブジェクト指向分析モデリングの明示形式化・詳細化・手順化, シミュレーション学会誌, Vol.21, No.4, pp.295-309 (2003).
- [4] 有沢 誠, 齊藤鉄也：モデルシミュレーション技法, 共立出版 (July 1997).
- [5] 畠山正行：オブジェクト指向自然日本語構造化フレーム OOSF の設計と表現技法, シミュレーション学会誌, Vol.22-4, pp.195-209 (Dec. 2004).
- [6] 池田陽祐, 三塚恵嗣, 加藤木和夫, 大木幹生, 上田賀一, 畠山正行：UML との比較に基づくオブジェクト指向分析設計記述言語 OONJ の評価, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, Vol.5, No.3, pp.63-78 (Sep. 2012).
- [7] 松本賢人, 畠山正行, 安藤宣晶：オブジェクト指向分析記述言語 OONJ の設計原理構築と記述環境開発, 第 150 回 SE 研究会報告, 2005-SE-150, pp.57-64 (Nov. 29, 2005).
- [8] Object Management Group: Introduction To OMG's Unified Modeling Language, Object Management Group (online), available from (http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm) (accessed 2012-04-08).
- [9] Object Management Group; UNIFIED MODELING LANGUAGE, Object Management Group (online), available from (<http://www.uml.org/>) (accessed 2012-04-08).

- [10] 廣瀬直喜, 池川昌弘, 登坂宣好, 久保田弘敏, 本間弘樹: 圧縮性流体解析: (数値流体力学シリーズ 2), 第 2 章, 東京大学出版会 (1995).
- [11] 峯村吉泰: 流体・熱流動の数値シミュレーション, 森北出版 (株) (Oct. 2001).
- [12] 青木 淳: オブジェクト指向システム分析設計入門, 第 2 章: 広義のオブジェクト指向, (株) ソフトリサーチセンター (1993).
- [13] パートランド・メイヤー (著), 酒匂 寛 (訳): オブジェクト指向入門, 原則・コンセプト, 第 2 版, 株式会社翔泳社 (Jan. 2007).
- [14] 米澤明憲, 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 (Apr. 1992).
- [15] 畠山正行, 池田陽祐, 三塚恵嗣: ドメインユーザ・プログラミング: 記述言語をベースとする仕組みの提案, 第 125 回 HPC 研究会報告, 2010-HPC-125 (June 2010).
- [16] 磯田定宏: 実世界モデル化有害論—オブジェクト指向モデリング技法の解明, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-I, No.9, pp.946-959 (2000).
- [17] Object Management Group: “Infrastructure” Ver2.4.1, Object Management Group (online), available from http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#UML (accessed 2012-04-08).
- [18] Object Management Group: “Superstructure” Ver2.4.1, Object Management Group (online), available from http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm#UML (accessed 2012-04-08).
- [19] 日本認知科学会: 認知科学辞典, 共立出版 (2002).
- [20] 三塚恵嗣, 池田陽祐, 畠山正行: オブジェクト指向記述言語 OOJ における汎化階層と実値化の方法, 第 167 回 SE 研究会報告, 2010-SE-167-20 (Mar. 2010).
- [21] Miles, R., Hamilton, K. (著), 原 隆文 (訳): 入門 UML2.0, オライリー・ジャパン (2007).
- [22] 畠山研究室: OONJ の参考記述例, 畠山研究室 (online), 入手先 (<http://gaea.cis.ibaraki.ac.jp/?OONJ>) (参照 2012-04-08).



上田 賀一 (正会員)

1961 年生。1989 年名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士後期課程修了。同年同大学工学部電気情報工学科助手。1990 年茨城大学工学部情報工学科講師。2002 年同大学助教授, 後に准教授。2012 年同大学教授, 現在に至る。ソフトウェア工学, 組込みソフトウェアに関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, ACM, IEEE Computer Society 各会員。



畠山 正行 (正会員)

1947 年生。1976 年東京大学大学院博士課程 (航空学専攻) 修了。工学博士。東京都立航空高専を経て, 1990 年 10 月茨城大学工学部情報工学科専任講師, 同助教授, 後に准教授, 現在に至る。この間, 超音速凝縮流れ等の非連続気体流れの力学の研究に従事。次いで数値シミュレーションのユーザ向けの計算機環境, オブジェクト指向に基づくシミュレーション計算の方法, 離散構造化モデル記述言語系 OOJ とその記述環境等の研究開発に従事。日本シミュレーション学会, 日本機械学会, 日本航空宇宙学会の各正会員。



池田 陽祐 (学生会員)

1984 年生。2008 年茨城大学工学部情報工学科卒業。2010 年同大学大学院修士課程修了。同年同大学院博士後期課程入学。オブジェクト指向分析設計記述言語等の研究・開発等に従事。



三塚 恵嗣

1986 年生。2009 年茨城大学工学部情報工学科卒業。2011 年同大学大学院修士課程修了。同年日立情報システムズ (現, 日立システムズ) 入社。製造業の物流管理システム開発・保守に従事。