

## モデルベース設計における初学者の誤り分析と それに基づく教育方法の検討 — クラス図の記述・読解を対象として —

増元健人†, 香山瑞恵†, 小形真平†, 伊東一典†, 橋本昌巳†, 大谷真†

本研究の目的は、初学者を対象としたモデルベース設計に関する教育方法論を探究することにある。初学者に対して「対象世界をある一定の書式に従い図として記述すること」を課した場合、どのような誤りを生じやすいのかを分析し、その結果に基づき初学者に対してモデルベース設計の基礎概念をより確実に定着させるための教育方法を具体化する。本稿では、クラス図を対象とした誤り分析と、その結果に基づく教育方法を考察する。

## A Basic Study of Teaching Methods for Model-Based Design with Error Analyses of Beginners — in the case of the class diagrams —

Kento MASUMOTO†, Mizue KAYAMA†, Shinpei OGATA†,  
Kazunori ITOH†, Masami HASHIMOTO† & Makoto OTANI†

Abstract : The purpose of this study is to explore the educational methodology about model-based design for beginners. When a novice learner create or read some UML diagrams, what kind of errors will happen? We want to collect and detect that kinds of typical errors, then try to develop the appropriate teaching methods for beginners based on the errors. In this paper, at first, we show the results of error analyses for creating or reading the class diagram. Then we discuss the teaching points about model based design for beginners.

### 1. はじめに

システム開発のプロセスは、上流工程と下流工程に分類される。上流工程では UML などのモデリング言語を用いたモデル図やアルゴリズムの設計が行われている。下流工程ではプログラミング言語を用いたプログラムコードの記述が中心である。それぞれのプロセスでは求められる能力と教育方法が異なる。上流工程では「モデル図やアルゴリズムを設計するための概念形成能力」、「ソフトウェア要求から必要な情報を読み取る要求分析能力」、「対象の特徴や本来の姿をより明確に示す抽象化能力」などが求められる[1,2]。それは開発者に限ったことではない。分析された要求の妥当性を確認する立場にあり、前提知識の乏しい顧客もまた読解を中心としたリテラシが求められる。故に、前提知識の乏

しい初学者への教育方法の充実化が重要となる。

しかし、前述の能力等に関する初学者向けの教育方法論は未だ確立されておらず[3,4]、研究が進められている (OOPSLA1997 年以降, ECOOP1998 年以降, MODELS2005 年以降に開催されている Educators' Symposium, ACM SIGCSE 等)。先行研究の主たる対象者は、各種プログラミングやオブジェクト指向設計・分析、データベース設計に関する学習を済ませた学部生や大学院生(ECOOP2004 レポートにある Target Group の枠組み[5]における CS Junior) と若手技術者(CS Senior)である[6,7,8]。前提知識がほとんどない対象者、例えば高校生(Pre Univ.)[9]、非 CS 系大学生(Non CS)[10]、入学直後の CS 系大学生(CS Junior [freshman])[11]等を対象とした研究も少数ながら報告されている。しかし、モデル図に基づく思考法を対象とした定量的な研究で、その後の教育カリキュラムとの関連を意識した研究はあまりみられない。

一方、モデル図作成における初学者の誤り分析も研究されている。ここでは、ユースケース図・クラス図・シー

†信州大学工学部。

〒380-8553 長野市若里 4-17-1.

Shinshu University, Faculty of Engineering.

Wakasato 4-17-1, Nagano, Nagano, 3808553 JAPAN.

ケンス図の全てあるいは一部を対象とした先行研究が多くみられる[12-15]。例えば、CS コースの大学 4 年生を対象とした分析報告[12]では、ユースケース図・クラス図・シーケンス図の記述に関する誤りのカテゴリを Syntactic, Semantic, Pragmatic の 3 種に整理し、各 13 ~ 35 の具体的なエラースキームを抽出している。また、高校生によるモデル図作成における誤り分析の例としては、ドイツでの研究プロジェクト[9]の分析報告[16]がある。ここでは、ビデオ解析に基づき、「イベントハンドリングが大きな障害である」と指摘しているが、その根拠を示す定量的な評価の結果が示されていない。

## 2. 本研究のアプローチ

### 2.1. 研究目的

本研究の目的は、初学者を対象とした、モデル図に基づく思考法に関する教育方法論を探究することにある。ここでの初学者とは、高校生や大学1年生など、専門的な勉強を始める前段階にある学習者(Pre-Univ. / Non CS / CS Junior [freshman])を対象としている。これらの初学者に対して、「対象世界を、ある一定の書式に従い、図として記述すること」を課した場合、どのような誤りを生じやすいのかを分析し、その結果に基づき、初学者に対してモデルベースでの思考の基礎概念をより確実に定着させるための教育方法を具体化する。

また、本研究では、対象の全体像を静的な特徴として表現するクラス図と、対象の動的な振る舞いを表現する状態遷移図によるモデリングを取り上げている。本稿では、クラス図の記述・読解における誤り分析と、その結果に基づく教育方法について考察する。

### 2.2. 研究方法

実験の被験者は、大学入学直後の1年生とする。工学的に問題をとらえる方法の1つとしてモデル図(クラス図と状態遷移図)を導入する<sup>1</sup>。すなわち、オブジェクト指向の概念把握を主眼とするのではなく、モデル図を用いた思考法の訓練を第1義とするものである。

1.で述べた概念形成能力を、本研究においては「記法を正しく用いて作図する能力」、要求分析能力を「課題の要求に矛盾することなく作図する能力」、そして抽象化能力を「モデル化の対象に不要または不適切なクラスや属性の定義を回避する能力」とする。そして、モデル化の対象はコンピュータ上で動作可能なサービス

<sup>1</sup> クラス図においては「属性の型を省略する」や「汎化関係を扱わない」等、状態遷移図においては「終了状態は必ず1つとする」や「条件分岐を考慮しない」等、学習者が理解容易となるような記法の限定化・簡潔化の工夫を一部導入している。

に限定せず、日常世界に存在する事物全般とした。その理由は、プログラムや実行コードを意識せずに、対象をモデル図で表現することに注力させるためである。この実験的教育活動における当初の教育目標は、「対象事物を、記法的な誤りなく、クラス図を用いて表現できること」とした。この目標を達成できるよう、授業での説明が準備され、実験に先立つ講義で利用される。

### 2.3. モデルの記法

UML は ISO のみならず JIS でも標準化され、システム開発や関連研究に幅広く用いられている。そのため、そのリテラシーを高める意義は大きい。しかし、UML の構文は多様かつ複雑であり、理解が困難であるといわれる。また、一般的に、要求分析では、分析対象(業務等)に関する情報の構造を概念モデル[15,17]として定義する。概念モデルの記述の際には、実装技術に依存しない用語を用いることとなる。本研究では、概念モデルの範囲でクラス図を扱い、記述要素はクラス、属性、関連(関連名、多重度)のみに着目することとする。

### 2.4. 研究方針

一般に、新しい概念の習得には、まず適当なサンプルを読解させ、その後記述させるというアプローチがとられる。しかし、これまでに、概念モデリングに関して、Pre-Univ. / Non CS / CS Junior [freshman]である初学者を対象とした定量的な誤り分析は報告されておらず、どのようなサンプルが読解に適しているのか、明らかにされていない。そこで、本研究では、まず被験者がどのような誤りを生じやすいのかを把握する必要があると考え、以下のステップで研究を進めることとした。

1. 講義者による、モデル図を利用する意義や記法の説明。
2. 被験者による、モデル図の記述。
3. 分析者による、記述モデルの分析および誤りパターン抽出。
4. 講義者による、誤りに関するレビュー。
5. 被験者による、クラス図の読解。

このうち、5.のクラス図の読解では、誤りの指摘とモデル図の修正を行わせることとした。このモデル図の修正には、モデル要素を記述する行為を含む。

## 3. クラス図に関する基礎的実験

2011 年度入学の大学 1 年生を対象としたクラス図の記述と読解に関する基礎実験について示す。結果を集計するにあたり、採点基準を明確にし、その基準に基づき分析した。これにより、クラス図の記述と読解に関して、初学者が誤りやすい箇所を明らかにする。

### 3.1. 記述実験

#### 3.1.1. 実験方法

ここでは概念形成能力と抽象化力を問うものとする。被験者は、工学部所属の大学1年生87名とする。実験時期は2011年7月である。被験者はこの時期までに、アルゴリズム的思考法(変数, 変数の演算と代入, 繰返しと判断の操作を含む)について既習であった(学習時間は7週×90分×3コマ分)。しかし、プログラミングやモデリングの学習は未受講な段階である。

このような被験者に対して、本実験ではまず、自転車为例にして、クラス図の意義や記法に関する45分間の説明を与えた。ここでの説明は、クラス図の記法と正しいクラス図例の紹介を中心とした。すなわち、事前の説明では、誤りを含むクラス図の紹介・解説は行っていない。その後、記法を確認させる目的で、人間の手に対するクラス図を記述させ、いくつかの記述結果を全被験者にレビューした。その上で、クラス図の記述に関する理解を確認するための課題提出を課した。

#### 3.1.2. 実験課題

実験に用いた読解課題は5問である。回答時間は5問で90分とした。各設問の概要を以下に示す。

- 問1: 2つのクラスからなり、多重度が1:1となるクラス図(以下, "1:1"と称する)。
- 問2: 2つのクラスからなり、多重度が1:多となるクラス図("1:多")。
- 問3: 2つのクラスからなり、多重度が多:多となるクラス図("多:多")。
- 問4: 2つのクラスからなり、1つ以上の関連を有するクラス図("自由記述")。
- 問5: 犬のクラス図。2クラス(足, 舌)を例示し、これらを含む複数のクラスで構成されるモデルを記述("犬モデル")。

#### 3.1.3. 誤りパターン

クラス図記述に際しての誤りパターンは大きく3つに分けられた。

1. 記法の誤り(記法誤り)。
2. クラスの属性に関する誤り(属性誤り)。
3. 関連に関する誤り(関連誤り)。

1.の記法誤りには、指定した記法に則って記述されていないクラス図が含まれる。

2.の属性誤りは、さらに5種の詳細パターンに分類される。

- 属性の記述がないもの(「属性なし」)。
- 2つ以上のクラス内に全く同じ属性が記述されているもの(「属性同じ」)。



図1. 「具体値」誤りの例  
(属性が「平たい」「細長い」「がたい」.)



図2. 「数量」誤りの例 (属性が「数」.)

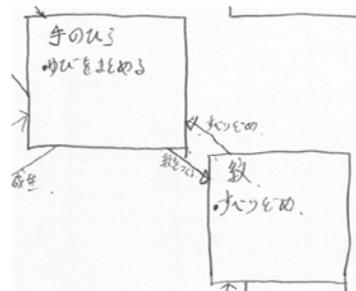


図3. 「メソッド」誤りの例  
(属性が「ゆびをまとめる」.)

- 属性に具体値やクラスを構成する部品を記述しているもの(「具体値」. 図1参照)。
  - 属性にクラスの数量に関する記述(本来は、多重度として表現されるべき)があるもの(「数量」. 図2参照)。
  - 属性にクラスを利用して実現したいメソッドが含まれるもの(「メソッド」. 図3参照)。
- 3.の関連誤りは、関連名と多重度に関するものがあり、各2種の詳細パターンに分類される。
- 関連名の記述がないもの(「関連名なし」)。
  - 関連名として不適切な記述が含まれているもの(「不適切な関連名」)。
  - 多重度の記述がないもの(「多重度なし」)。
  - 多重度が誤っているもの(「不適切な多重度」)。

### 3.1.4. 実験結果

課題毎の正誤割合を図 4 にまとめた。誤りを含まないモデルを回答した被験者は全体の 30%~40%である。一方、全体の約 60%以上の被験者には誤りが発見された。5 つの設問のうち、自由記述に対する回答にもっとも多く誤り(約 70%)が含まれており、次に 1:1 課題での誤り(約 66%)が多かった。

誤答回答に対して、3.1.3 に示した誤答パターン毎の発生率を図 5 にまとめた。記法誤りはどの設問においても 10%程度含まれていた。関連誤りの発生が最も多

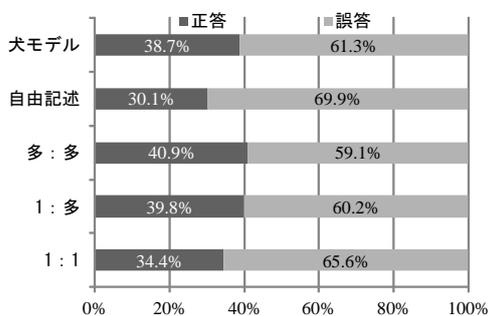


図 4. 記述課題毎の正誤割合

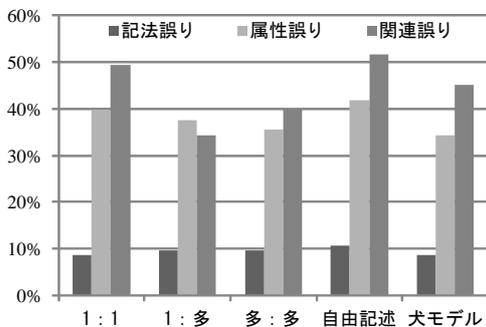


図 5. 誤りパターン毎の発生率

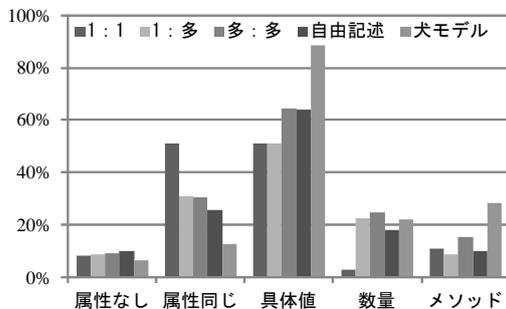


図 6. 属性誤りにおける誤り詳細パターンの発生率

い傾向にあり、その発生率は平均で 44%となった。また、属性誤りの発生率は平均で 37%であった。

3 種の誤答パターンの中で最も発生率が高い関連誤りは、その内容分析に特に注意を要する。関連名と多重度共に「記述なし」の誤答詳細パターンは明確に同定可能である。今回の実験では「関連名なし」が 45.7%(平均発生率)、「多重度なし」が 32.7%であった。しかし、「不適切な関連」および「不適切な多重度」に属する回答の同定は、今回の記述結果のみからでは判断が難しい。なぜなら、被験者に自由にクラス図のみを描かせたため、「どのような対象をモデル化しようとしたのか」を実験者が推察せざるを得ないからである。個々の被験者から、モデル化の対象やオブジェクト図との対応等の付加情報を得て、それらと記述結果とを組み合わせることで、その分析が可能であるが、今後の課題とする。

本稿では属性誤りに関して詳細に分析するものとする。設問毎の属性誤りにおける 5 種の誤答詳細パターンの発生率を図 6 に示す。5 つの詳細パターンの平均発生率は「属性なし」8%、「属性同じ」30%、「具体値」64%、「数量」18%、「メソッド」15%であった。この中で、一番多く発生していた「具体値」に関しては、全ての課題において全誤答の 50%以上で確認された。特に、犬モデル課題では約 90%の回答でこの誤りがみられた。2 番目に発生率が多かった「属性同じ」でも、特に 1:1 課題で誤答の 50%を超える回答で確認されている。「数量」については、1:1 課題以外の 4 課題で、誤答の約 20%の回答で確認された。「メソッド」については、犬モデル課題における誤答の約 30%の回答で発生していた。

### 3.2. 読解実験

3.1 で得られた、クラス図記述の誤答パターンをふまえて、これらの誤りを含むクラス図の読解実験[18]を行った。

#### 3.2.1. 実験方法

ここでは要求分析能力を問うものとする。被験者は、3.1.1と同様である。実験時期は 2012 年 1 月(3.1 の実験から半年後)である。被験者には、復習を目的としてクラス図の記法に関する 10 分間の説明を与えた。その上で、属性誤りの 3 種の詳細パターンを含むクラス図を与え、クラス図としての特徴を読み取る課題と、誤りを指摘する課題とを課した。

#### 3.2.2. 実験課題

「テレビが映る仕組み」に関する、属性誤りを含むクラス図を用いて、3 問の読解課題を与えた。被験者に与えたクラス図のイメージを図 7 に示す。回答時間は 3 問で 30 分とした。各設問の概要を以下に示す。

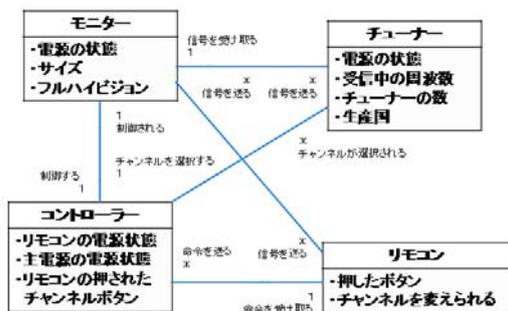


図 7. 読解課題のクラス図

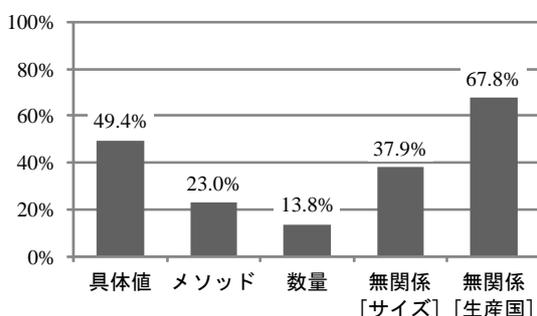


図 8. 読解課題第 3 問における誤り属性毎の指摘割合

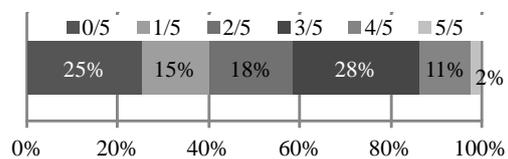


図 9. 5 つの誤り属性に対する指摘数毎の割合

問 1: 与えられたクラス図に対して、クラス図を構成する要素名を回答する。

問 2: 与えられたクラス図から、指定された関連の多重度を回答する。

問 3: 与えられたクラス図から、不適切な属性を回答する。

問 1 は、クラス図の記法に関する理解を確認する設問である。問 2 は多重度の読み取りを確認する設問である。問 3 では、3.1.3 の誤答詳細パターンのうち、属性に具体値やクラスを構成する部品を記述している「具体値」、属性にクラスの数量に関する記述がある「数量」、属性にクラスを利用して実現したいメソッドが含まれる「メソッド」に関する誤りを意図的に含めた。

さらに、今回は「テレビ」という対象物を取り上げ、モデル化したいサービスとして「テレビが映る仕組み」を指定している。このサービスに係る属性と、テレビ

には関連するが今回のサービスには関係しない属性を、クラス図中の不適切な属性として含めた。これらの不適切な属性を「無関係」と称する。今回は 2 種の誤り属性「無関係[サイズ]」と「無関係[生産国]」を含めた。

### 3.2.3. 実験結果

問 1 の正答率は 100%であった。このことから、今回扱ったクラス図の記法に則った基本要素の読解には問題ないと考えられる。しかし、問 2 の正答率は 40%であり、多重度の理解が不足していることがわかった。

問 3 において、5 つの誤りを過不足なく指摘できた回答は全体の 2%であった。残り 98%の誤答において、5 種の誤り属性毎に、指摘割合を図 8 に示す。誤り属性毎に大きくばらついている。最高は「無関係[生産国]」の 67.8%であり、「具体値」も約 50%が指摘できている。最低は「数量」の 13.8%であり、その上の「メソッド」でも 23%の指摘にとどまる。

また、5 つの誤り属性に対する指摘数毎の割合を図 9 に示す。指摘数で比較すると、5 つ中 3 つ指摘した回答が 28%と最も多く、続いて 1 つも指摘できなかった 0 が 25%である。被験者の約 1/4 が誤り属性を 1 つも指摘できていない。一方、5 つの誤り中 3 つ以上指摘できたのは約 40%であり、これらの回答に対する分析では、より指摘されにくい誤り属性は「メソッド」であった。

### 3.3. クラス図に対する初学者の理解の特徴

上記の結果より、クラス図の記述・読解に際して、以下に示す事柄に留意する必要性が指摘できる。

- 必要な要素の記述モレ (記法誤り・属性誤り・関連誤り)。
- 多重度の理解 (関連誤り)。
- 複数クラスでの同一属性 (属性誤り)。
- 属性としてのメソッドの記述 (属性誤り)。
- 属性としての具体値の記述 (属性誤り)。
- モデル化の目的や対象に適した属性への意識 (属性誤り)。

“要素の記述モレ”は、属性においても関連においても数多くみられた。モデル図として必要な要素の徹底がさらに意識される必要がある。

“多重度の理解”に関しては、「数量」誤りと読解課題問 2 の結果から指摘できる。「数量」の誤りは、クラス図の構成要素の一つとしての多重度の理解が不足していることが要因と考えられる。これに対し、クラス同士の数量関係は多重度で定義されるべきであり、クラスの属性に数量を用いる際には、クラス間の数量関係は含めないことを意識的に指導する必要がある。

“同一属性”は、特に 1:1 課題で多くみられた。初学

者においては、属性としてクラスとなる対象が備える特徴を並べるだけの意識に傾きがちであろうことが推察される。属性として記述すべき事柄は、他のクラスと区別するための特徴である。より適切な属性を含む事例を提示するなどすることで、特徴的な属性を検討する意識付けが可能となろう。

“メソッドの記述”は、「メソッド」誤りに関連する。これはクラスの属性の性質が正しく理解されなかったために生じたと考えられる。クラスには、名詞で表現できる属性に関するより直観的な説明が必要であろう。

“具体値の記述”は、「具体値」誤りに関連する。「具体値」の誤りは、型にあたるクラスと、具体物となるインスタンスとの違いについてする説明不足に起因すると考えられる。継承に関わる、より直観的な説明を追加することが有効ではないかと考える。

“モデル化の目的や対象に適した属性への意識”は、「無関係」誤りが関連する。あるクラスにおける属性の適切さは、その属性のサービスの実現への寄与や状態遷移図などにおける利用の有無等に依存する。「モデル化の目的」や「モデル化している対象」をより一層意識させること、あるいは指導者が意図的に限定してしまうことが必要となろう。

## 4. クラス図に関する追試

3章に示した結果に基づき、3.3で述べた問題点への対策を陽に含むように教育方法を修正し、2012年度の新入生対象に追試を行った。

### 4.1. 教育方法の修正

2011年度に用いた教育方法に対して、3章に示した誤りや問題点を特に意識した修正を加えた。すなわち、“必要な要素の記述モレ”に対しては、「クラスには必ずクラス名と属性があり、関連には関連名と多重度が必須である」ことを強調し、多様な対象における表記例を示した。“同一属性”については、「属性とは、他のクラスと区別するための、そのクラス特有の特徴である」ことを重ねて説明し、身近な事例を題材としたサンプルを提示することとした。“多重度の理解”を改善するために、クラス図で用いる「多重度」を意図的に4種(1, 0..1, \*, 1..\*)の組合せのみに限定し、同一事例において各多重度を用いた場合の解釈の差異を、数多く、繰り返し例示した。これにより、クラスの属性として他のクラスとの数量に関する情報は、多重度で表現されうることの意識付けを行った。“属性とメソッドの区別”については、「属性は、必ず名詞で表現する」こと、「各属性にはそれぞれ対応する具体値が存在する」こと、「属性と具体

値が異なる」ことを強調した。さらに、“インスタンスとクラスの区別”については、1つの対象に対して異なる抽象度でのモデル図を複数示すことで、要求として示される具体例(インスタンス)とモデルとして整理するクラスとの違いを意識させた。そして、“モデルに適した属性の設定”については、モデル図を作成する際に、モデル化した対象に関する説明(モデルのタイトル等)を付記させることとした。

### 4.2. 実験方法

被験者は工学部所属の大学1年生93名とする。実験時期は2012年5月である。被験者はこの時期までに、プログラミング、モデリング、アルゴリズム的思考法等の学習は未受講な段階である。

被験者には、まず「クラス図の意義や記法に関する説明(90分×2時限)を与えた。ここでの説明は、クラス図の記法の解説と正しいクラス図の紹介を中心とした。その後、記法を確認させる目的で、クラス図の構成要素の名称を回答させ、正解を全被験者にレビューした。その上で、2011年度と同様の問題で、クラス図の記述課題(最長90分)を与えた。翌週、記述課題に対する回答のレビュー(90分×1時限)と、2011年度および2012年度の記述課題の回答における誤り例の紹介と誤りの解説等(90分×1時限)を行った。その後、読解課題(最長90分)に解答させた。

### 4.3. 記述課題

#### 4.3.1. 実験課題

実験課題は2011年度の実験と同様の5題である。

#### 4.3.2. 実験結果

各課題の正誤割合を図10にまとめた。正答率は平均して約62%である。先行研究結果と比べて、正答率は2倍に高まった。前回の実験において、5つの設問の内、回答にもっとも多くの誤りが含まれていた自由記述では、誤答の割合が約60%から35%へ、次に誤りが多かった1:1課題では66%から39%へと、概ね半減した。しかし、犬モデルの誤答率は2011年度と2012年度と差がなく、約40%である。2012年度では、犬モデルに対する誤答が5つの設問中最も多くなった。

これらの誤答回答からは、2011年度と同じ誤りパターンが検出された。各誤答パターンの発生率を図11にまとめた。記法誤りは平均して約4%程度含まれている。2011年度の10%と比べて改善の傾向が示された。

2011年度の実験では関連誤りの発生が最も多い傾向(44%)にあったが、2012年度の結果では平均で12%となり、大きく改善していることが読み取れる。関連誤りの内容を、記述要素の有無のみに限って整理した。今

回の「関連名なし」の平均発生率は 29%(2011 年度は 46%)であり、「多重度なし」の平均発生率は 12%(同 33%)であった。誤答の割合自体が減少しており、さらに誤り詳細パターンにおける誤答の割合も減少している。

一方、属性誤りの発生率は平均で 30%であり、3 種の誤りの中で最も高い。2011 年度には 37%であり、2012 年度の改善の程度は大きいとはいえない。属性誤りに関して詳細に分析する。設問毎の属性誤りにおける 5 種の誤答パターンを図 12 に示す。各詳細パターンの平均発生率は、「属性なし」4%、「属性同じ」53%、「具体

値」31%、「数量」13%、「メソッド」5%であった。

ここで、発生率の高い「属性同じ」、「具体値」について考察する。犬モデル以外の 4 課題に特に多くみられた。これら 4 種の課題と犬モデルの違いは、モデル化の対象を具体的に与えたか否かである。当該の 4 課題では多重度の条件のみを与えており、モデル化する対象は被験者自身で考えだす必要がある。クラスとして取り出したオブジェクトの属性を、“他のクラスと区別するために必要な属性”として設定することの困難さがうかがえる。特に、1:1 課題や多:多課題での発生数は、2011 年度より悪化していることは注目に値する。

1:1 課題では対になるような対象(例えば、男女・左右などを 1:1 対応のクラスとして記述することが多かった。一方、「具体値」誤りは犬モデルのみ顕著に発生しており、誤答中 77%で確認された。具体的には、「つめ」「嗅覚(あるいは聴覚)」などが属性として記述されている。犬モデルでは、モデル化の対象としての「犬」に加え、クラス図に必ず含めるクラスとして「足」と「舌」を指定している。被験者自身のモデル化の方針と、「足」「舌」という身体部位とのミスマッチも考えられる。

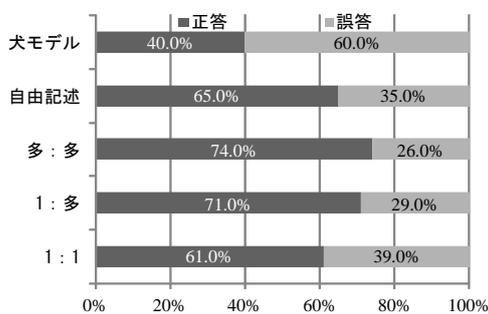


図 10. 記述課題毎の正誤割合[追試]

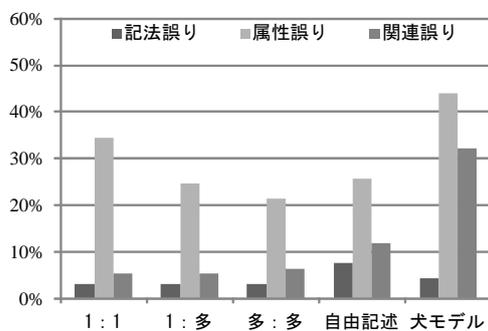


図 11. 誤りパターン毎の発生率[追試]

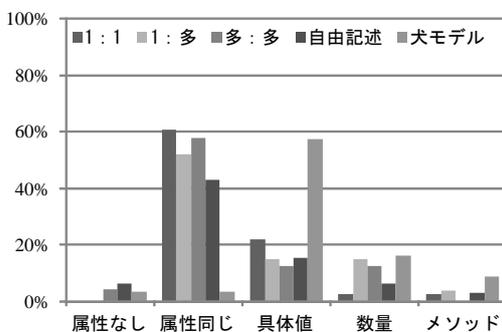


図 12. 属性誤りの誤り詳細パターンの発生率[追試]

#### 4.4. 読解課題

##### 4.4.1. 実験課題

この実験に用いた課題は 6 問である。各課題は 2011 年度の実験結果および 2012 年度の記述実験の結果をふまえ、記法誤り・属性誤り・関係誤りを含むように設定した。各問題の特徴を以下に示す。

- 問 1: 関連誤りを含む課題(多重度と関連の不足)。
- 問 2: 属性誤りを含む課題(属性に具体値を含む)。
- 問 3: 関連誤りを含む課題(2 つのクラス間の多重度が逆)。
- 問 4: 関連誤りを含む課題(関連名なし)。
- 問 5: 記法誤りを含む課題(余剰な多重度を含む)。
- 問 6: 抽象度を変更する課題(与えたクラス図の抽象度を高める)。

被験者には、問 1 から問 5 までは誤りを含むクラス図を示し、図中の誤りを文書で記述させた上で、正しいクラス図を別途記述させた。問 6 については、抽象度の低いクラス図を示した上で、抽象度を高めたクラス図を別途記述させた。

##### 4.4.2. 実験結果

各課題の正誤割合を図 13 にまとめた。ここでは、正しいクラス図を記述できていたものを正答としている。具体的には、問 1 から問 5 までは誤りを文章で指摘できているが、別途記述させてクラス図が正しくないものは、誤答としている。文章で指摘できていなくても正しいクラ

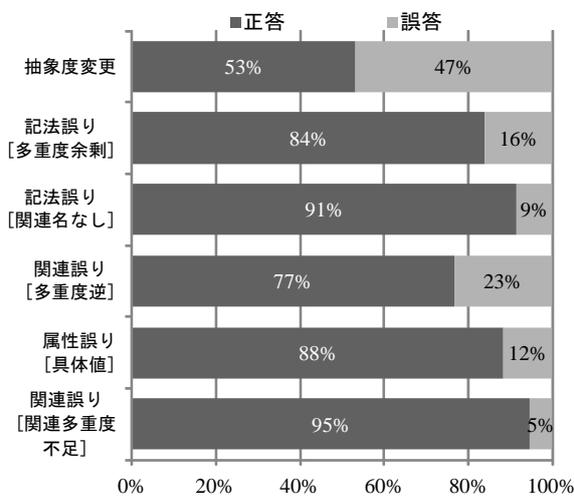


図 13. 読解課題毎の正誤割合

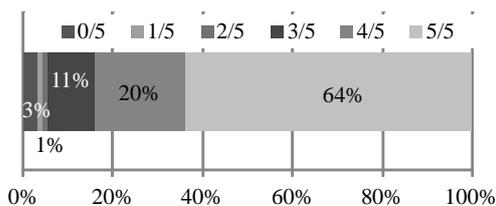


図 14. 問 1~5 における正解数毎の割合

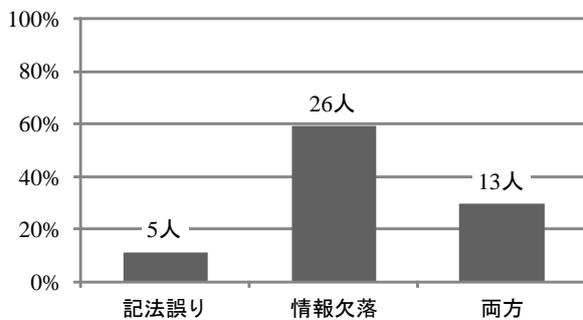


図 15. 問 6 における誤りの内訳

ス図が別途記述されている場合には、正答とした。問 6 については、回答として記述されたクラス図に記法誤りがある場合と、抽象度を高めた図において元のクラス図に含まれていた情報が欠落している場合(以下、情報欠落を称す)を誤答とした。

問 1 (関連誤り)・問 4 (関連誤り)・問 2(属性誤り)・問 5(記法誤り)・問 3(関連誤り)・問 6(抽象度変更)の順で正答率が高かった。正答率の高い問 1 と問 4 は、必要な要素が欠けている関連誤りであった。一方、問 2・問

5・問 3 は、記述されている要素が不適切な例である。属性に具体値を含む問 2(88%)に比べ、多重度が逆になっている問 3 での誤りの指摘割合(77%)は高くない。これにより、多重度に対する曖昧な理解が示唆されたと考える。また、抽象度を変更する課題は約半数の正答であった。

また、問 1 から問 5 に対する正解答数の割合を図 14 に示す。5 問全てに正答した者は 64%であった。4 問以上正答した者は全体の 86%となり、大多数の被験者は、クラス図に含まれる誤りを正しく指摘できていたと判断できる。一方、全てに誤答した者は 3%、1 問あるいは 2 問のみ正答した者は各 1%、3 問のみ正答した者は 11%であり、全体の 16%はクラス図に含まれる誤りを正しく指摘できていない。

最も誤答率が高かった問 6 の回答には記法誤りと、抽象度の変更に伴う情報の欠落といった 2 種の誤りが含まれていた。それぞれの誤りの発生を分析すると、図 15 のようになった。記法誤りを発生していた回答は誤答回答中 41%であり、情報欠落を発生していた回答は約 90%であった。

この課題は、与えられたクラス図を読解し、さらに抽象度の異なるクラス図を記述するという複合問題と考えられる。この課題においては、記法誤りと情報欠落の両方を発生していた被験者は、問 1 から問 5 においては、ほぼ全員が 3 問以上の正答である。このことから、誤りを指摘できる力と、情報を欠落することなく抽象度を変更する力とは関連がないことが示唆される。このことは、インスタンスからクラス図を記述することや、オブジェクト図の特徴をクラス図での属性へと整理することは、今回の被験者にとって難しいことであるとも考えられる。

## 5. 教育方法の提案

上記の結果より、クラス図に関する初学者への教育上の特徴を考察する。

学習者の成績の悪さは、2 つの要因に起因することが知られている。1 つは指導法の問題であり、もう 1 つは学習者の認識の問題である。2 カ年にわたる実験で、基本的な課題における記法誤りと関連誤りに関しては、指導法の改善が成績の向上につながったと考える。また、特に、記法誤りと、属性誤りおよび関連誤りにおける必要要素の記述モレについては、ICT ベースの演習環境の導入による即時の指摘が可能となろう。

一方、属性誤りやより高度な課題(例えば、記述課題の犬モデル、読解課題の抽象度を変化させる課題)に対しては、指導法の改善に加え、演習等によるモデ

ル記述の経験がさらに必要であるとする。具体的には以下に示す事柄への更なる留意が必要であろう。

- ・複数クラスでの同一属性。
- ・属性における具体値の記述。
- ・モデル化の目的や視点への意識。

“同一属性”に関しては、記述課題における「属性同じ」誤りに関連する。今回の実験では「クラスには必ず属性が必要」であり、「属性とは、他のクラスと自クラスとを区別するためのもの」とであると指導した。「異なるクラスに同じ属性を持たせることは不適切である」と説明したが、被験者からは同じ概念を異なるクラスで表現した回答が数多く提出された。これは、どのような対象をクラスとするのか、といった本質的な課題を含んでいる事柄であるとする。そこで、この課題を改善するために、モデル化の視点やモデル化する抽象度を意図的に変更させるなどしつつ、自らの気づきに基づく修正ができるよう教授者がガイドすること等が考えられる。

“具体値の記述”に関しては、記述課題における「具体値」誤りが関連する。属性と具体値との区別は、説明を聞くだけでは、深く定着しないことが示唆された。これを改善するためには、例えば、属性のみを記述させるのではなく、その属性に対応する具体値とペアで記述させる等、の演習が考えられる。

“モデル化の目的や視点への意識”は、クラス図の妥当性をより厳密に評価するために必要となる。現行では、モデル図にタイトルを付与させたが、さらに記述したクラス図で表現しようとした対象や状況等、モデル化の考え方に関する情報を得たことが必要となる。そうすることで、記述されたモデル図の妥当性等、質的な評価が可能となる。

## 6. おわりに

本稿では、クラス図を対象とした誤り分析の結果を示し、それらに基づく教育方法について考察した。まず、クラス図に関する誤り分析の結果から、記法誤り・属性誤り・関連誤りの3カテゴリを抽出し、それぞれのエラースキームを整理した。2011年度の実験から得られた問題点に基づき、教育的な配慮を検討した。その結果を2012年度の実験に反映させ、指導法の工夫で改善できる問題と、学習者の活動の改善が必要な問題とを具体化した。

今後は、これらの結果をふまえ、誤り指摘の自動化および学習者自身のレビュー能力の向上を意識した授業設計および学習環境の整備を目指す。

## 参考文献

- [1] スティーブ J.メラー他:“Executable UML”, 翔泳社, 東京, 2003.
- [2] S. Sendall : “Model Transformation : The Heart and Soul of Model Driven Software Development”, IEEE SOFTWARE , Vol.20, No.5, pp.42-45, 2003.
- [3] J. Bezivintal et. al., : “Teaching Modeling : Why, When, What?”, pp.55-62, MODELS 2009, 2009.
- [4] J. Kramer : “Is Abstraction The Key To Computing ? ”, Vol.50, No.4, pp.37-42, CACM, 2007.
- [5] J. Börstler et. al., : “ECOOP 2004 Workshop Report: Eighth Workshop on Pedagogies and Tools for the Teaching and Learning Object-Oriented Concepts”, ECOOP 2004 Workshop Reader, LNCS 3344, Springer, pp.36-48, 2004.
- [6] 独立行政法人情報処理推進機構 : “モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査 調査報告書”, 2012.
- [7] S. Moisan et. al., : “Teaching Object-Oriented Modeling and UML to Various Audiences”, Educators' Symposium at MODELS 2009, LNCS6002, Springer, pp 40-54, 2010.
- [8] 中尾信明:“オブジェクト指向、UMLに関する教育の視点と分析”, 情処研報, 2004-CE-74(2), pp.9-16, 2004.
- [9] J. Niere et. al., : “Thinking in Object Structures: Teaching Modeling in Secondary Schools”, The 6th ECOOP Workshop on Pedagogies and Tools for Learning Object-Oriented Concepts, <http://www.uni-paderborn.de/cs/ag-schaefer/Veroeffentlichungen/Quellen/Papers/2002/PTLOOC2002.pdf>, 2002.
- [10] H.C. Cham et. al., : “An evaluation of Novice End-User Computing Performance : Data Modeling, Query Writing and Comprehension”, J. of the American Society for Information Science and Technology, Vol.56, No.8, pp.843-853, 2005.
- [11] 長尾他:“初心者用UMLの提案とその評価”, 情処研報, 2008-CE-97(7), pp.45-52, 2008.
- [12] N. Bolloju et. al., : “Assisting Novice Analysis in Developing Quality Conceptual Models with UML”, CACM, Vol.49, No.7, pp.108-112, 2006.
- [13] 小木他:“学生向けモデリング演習支援システムの開発と評価”, 情処研報, 2011-CE-109(5), pp.1-9, 2011.
- [14] 佐藤他:“UML 設計を対象とした品質評価モデルの検討”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.7, pp.2319-2327, 2008.
- [15] 大木他:“概念モデリングにおける判断基準の提案とその有効性評価”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J86-D-I, No.6, pp.723-735, 2001.
- [16] J. Niere et. al., : “Avoiding anecdotal evidence : An experience report about evaluating an object-oriented modeling course”, MoDELS/UML 2005 Educator's Symposium, pp.63-70, 2005.
- [17] 児玉公信:“情報システム設計における概念モデリング”, 人工知能学会誌, Vol.25, No.1, pp.139-146, 2010.
- [18] R. M. Fuller et. al.,:“The effects of data model representation method on task performance”, Information & Management, No.47, pp.208-218, 2010.