

一貫性・明瞭性診断による 静的UMLモデリング学習支援システムの設計と評価

野沢 光太郎¹ 松澤 芳昭^{2,a)} 酒井 三四郎²

受付日 2013年8月19日, 採録日 2014年2月14日

概要: UML (Unified Modeling Language) によるオブジェクト指向モデリング初学者の最初の目標は「クラス図を用いた第三者との正確なコミュニケーション能力」の獲得である。本研究では、この目標に到達するための学習支援を目的として、UML 静的モデル (クラス図とオブジェクト図) の多重度を診断するシステムを開発した。本システムの特徴は、クラス図-オブジェクト図間の矛盾の指摘 (一貫性の診断) だけでなく、曖昧である箇所の指摘 (明瞭性の診断) を行うことにある。一貫性と明瞭性の2軸によってモデルを評価することで、初学者がモデルを曖昧にして矛盾を解消しようとするのを防ぐ。UML の入門教育を受講中の社会人 22 名を対象として、本システムの利用の有無による比較対照実験を行った。被験者には、継承、再帰関連、多重関連を含む 8 関連、9 クラスから構成される程度のモデルと、そのモデルの「読み」および「書き」能力を測定する問題が与えられた。その結果、「読み」「書き」とともに実験群は統制群より好成績を示した。実験群の解答過程を分析し、好成績の要因が提案する 2 軸の診断モデルが有効に機能した結果であることを示した。

キーワード: オブジェクト指向モデリング, オブジェクト図, 一貫性, 明瞭性, 学習支援

Design and Evaluation of Learning Support System for Static UML Modeling by Analyzing Consistency and Clarity

KOTARO NOZAWA¹ YOSHIAKI MATSUZAWA^{2,a)} SANSHIRO SAKAI²

Received: August 19, 2013, Accepted: February 14, 2014

Abstract: The first objective for beginners of object-oriented modeling using UML (Unified Modeling Language) is the acquisition of the skills “to accurately communicate with a third person using a class diagram”. To support this objective for beginners, we developed a system that diagnoses issues of multiplicity between a class diagram and instance diagrams. The system checks a given diagram to ensure that not only it is mutually consistent in multiplicity, but also that the multiplicity is unambiguous. The system was designed to prevent students from revising the model into an ambiguous model when in the process of solving inconsistencies. We conducted a controlled experiment with 22 students in which only the experimental group was allowed to use the proposed system. The tasks given to learners required relevant skills for “reading” and “writing” of the static models, and the model used in the task is composed of 9 classes and 8 relationships including several inheritances, and recursive relationships. The results of the experiment showed that for both “reading” and “writing” the scores for the experimental group were higher than the control group. We also confirmed by a qualitative analysis of students’ recorded procedures that the proposed functions for checking both consistency and clarity successfully supported students in the experimental group.

Keywords: object-oriented modeling, object diagram, consistency, clarity, learning support

¹ 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011, Japan

² 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011, Japan

1. はじめに

90 年代に UML (Unified Modeling Language) が登場

^{a)} matsuzawa@inf.shizuoka.ac.jp

し、オブジェクト指向に基づくソフトウェア設計の標準表記法として定まった。以来、オブジェクト指向概念に基づくモデリング能力育成は、世界でその重要性が認識されている [1]。UML を用いた概念モデルの読み書き能力は情報システムの発注者（施主）と開発者のコミュニケーションのために必要であるため、開発者だけでなく、発注者も含めた多くの人々に教育を提供していく必要がある。

その一方で、オブジェクト指向モデリング/プログラミングの教育は難しいともいわれている。その理由の1つとして品質評価の難しさがあげられる。Lindland らが提案するフレームワークでは、概念モデルには「構文上の (syntactic)」、 「意味の (semantic)」、 「実用性の (pragmatic)」の3つのレベルの品質がある [2]。Bolloju らは、このフレームワークに基づいてモデリング初学者の誤りについて分析を試み、すべてのレベルで誤りが起こることをまとめている [3]。早川らは正解の定義の難しさ、自己学習の難しさをあげている [4]。

オブジェクト指向モデリングのもう1つの難しさとして、クラス/インスタンスの概念や継承などのオブジェクト指向特有の概念を理解することがある。オブジェクト指向プログラミング教育では初学者がどのようにオブジェクト指向の概念を誤解 (misconception, または misunderstanding) するかという研究 [5], [6], や、初学者の理解のモデルとその変化の様子をとらえることを目的とした研究が行われている [7], [8]。これらの研究では、初学者においてクラス/インスタンスの概念の誤解が頻繁におこることが観察されること [5]、それらは学習者へのインタビューによっても確認されること [7] が報告されている。

我々が実践しているオブジェクト指向モデリング教育の現場においても、初学者のオブジェクト指向概念の誤解に基づくと思われるモデルが学習者によって記述される。よく見られる例として、(1) (意図的ではなく) 多重度が省略された図が記述される、(2) クラス図にクラスとインスタンスが混在している図が記述される、という問題がある。これらの問題は、学習者がオブジェクト指向の概念にたいして何らかの誤解をしており、クラスモデルをオブジェクトモデルへ展開できていないために生じるのではないかと我々は考えている。そのような状況の教育現場では、(1) 教師は多重度の欠落を指摘したりするなど低レベルのレビューに注力せざるをえなくなる、(2) モデルを利用したコミュニケーションができていないためピアレビューによる学習法などが意味を持たなくなる、が問題となる。

本研究の目的は、上記問題を解決し、初学者が「多重度」を使いこなし、正確なクラス図・オブジェクト図を書けるようになることを支援することである。本研究が最終的に目指す「クラス図を用いた第三者との正確なコミュニケーション」のモデルを図 1 に示す。クラスモデル A に対して書き手と読み手がいる。クラス図を用いて正確なコミュ

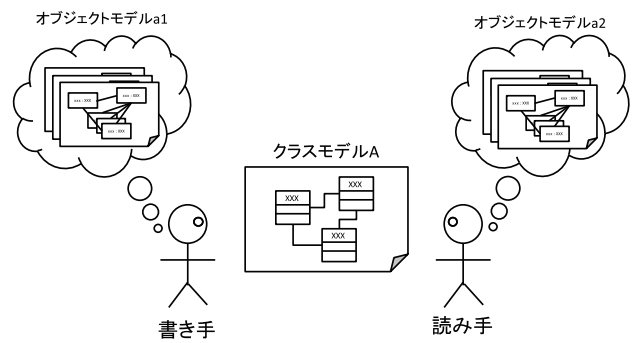


図 1 クラス図によるコミュニケーションモデル
Fig. 1 Communication model by class diagram.

ニケーションが行われている状態は、クラスモデル A について、書き手の想像するオブジェクトモデル a1 と読み手の想像するオブジェクトモデル a2 に乖離がない状態である。

このコミュニケーションモデルにおいて、オブジェクトモデル (図) による正確性検証を積極的に用いる理由を補足する。早川らの論文 [4] でも述べているように、オブジェクト図を利用したモデルの妥当性検証法や学習法は一般的とはいえないものの、複数の文献で提案されている方法である。たとえば、オブジェクト図を利用してクラス図の誤りを見つける方法 [9]、オブジェクト図とシナリオを利用して検証する方法 [10] が提案されており、制約 (多重度を含む) を遵守した正確な読解をするためにオブジェクト図が有効であるという主張もされている [11]。

さらに、筆者らがオブジェクトモデルを利用したこのコミュニケーションモデルを確立することが重要だと考えている 2 つの理由を述べる。1 つ目は初学者が記述したモデルを初学者自身が評価するのは難しいという理由である。より具体的には、オブジェクトモデルに乖離がある場合に、(1) 書き手の書いたクラス図の品質、(2) 書き手の (自ら) 読んだオブジェクトモデルの品質、または (3) 読み手の読んだオブジェクトモデルの品質、のいずれかに問題があるが、そのいずれかを特定するのが初学者には難しい、という問題である。

2 つ目の理由は、学習者がクラス図とオブジェクト図を相互変換するためには、クラス/インスタンスの概念、関連、多重度、汎化 (継承) の概念について、実際に適用できる手続き的知識として理解していることが要求されるためである。特に「多重度」を正しく使いこなして静的モデルを読み書きするためには、基本的なクラス/インスタンスの区別について理解していることはもちろんのこと、再帰関連や汎化などの概念も複合した場合についても正確にインスタンス/リンクを作れる必要がある。これは、多重度の宣言的知識、つまりその数がインスタンス数を表現している、ということだけを理解しているだけの初心者ではできないことである。

学習者がこのコミュニケーションモデルにおける読み手、

書き手の双方の能力を身につけることを促進するために、本研究では、静的モデル（クラス図・オブジェクト図）の診断をするシステムを提案する。多重度に注目し、一貫性の観点から矛盾を指摘することが基本機能であるが、初学者向けには曖昧な点も指摘する必要があることを論じる。

本論文は全7章からなる。2章で先行研究のレビューを行う。3章では、筆者らが提案するシステムの目的と基本設計、診断項目、インタフェースについて述べる。4章では評価実験の方法、5章ではその結果を報告する。6章で考察を行い、7章で成果をまとめる。

2. 先行研究

2.1 プロフェッショナル向けのモデル一貫性保持支援研究

オブジェクト図以外のプロフェッショナル向けの UML モデル一貫性保持支援ツールは多くのものが提案されている。Lucas らは UML モデルの一貫性保持支援ツールについて体系的にレビューを行っている [12]。レビューしている 42 の論文のうち、約 50% はクラス図とシーケンス図、ステートチャート図といった静的なモデルと動的なモデルの間の一貫性の保持支援をするものである。本研究で扱うオブジェクト図を扱うツールは、1 件のみ [13] であり、この Haussmann らの研究でも、クラス図の多重度に注目していない。その他、クラス図とコミュニケーション図の一貫性保持支援ツールの提案が 3 件ある [14], [15], [16]。しかしながら、そのいずれもコミュニケーション図の動的側面しか扱っていない。国内の研究では、大西が UML におけるモデル一貫性検証支援システム [17] を提案し、その試作品を開発しているが、オブジェクト図は取り扱っていない。

この中に、クラス図とオブジェクト図に焦点を当てた一貫性保持支援ツールは存在しない。この理由は 2 つ考えられる。1 点目は、プロフェッショナルは 1 章で述べたモデルによるコミュニケーション能力が前提とされているためである。2 点目は、プロフェッショナルレベルで扱われるモデルにおいては、下記に述べる OCL (Object Constraint Language) による、汎用的なレベルでオブジェクト図との検証が必要なためである。

2.2 CASE ツールが提供する一貫性保持支援機能

一般的にオブジェクト指向モデリングによる設計に利用される CASE (Computer Aided Software Engineering) ツールに搭載されている一貫性保持支援機能について述べる。

Change Vision 社の「astah*」では、クラス図とシーケンス図間で不整合検出機能が提供されている。これは、ライブラリのベースとなるクラスの存在やメソッドの存在、クラス間の関係、可視性についての不整合を検出する。Egyed は、UML モデル間の一貫性チェックツール「UML/Analyzer」を開発している [18], [19]。UML/Analyzer は、あらかじめ

定義されたルールにのっとって、図間に一貫性がとれているかをチェックする。UML/Analyzer は、「IBM Rational Rose」と連携して動作する。Sparx Systems 社の「Enterprise Architect」では、クラス図とシーケンス図間の一貫性をチェックする「シーケンス図チェックアドイン」が提供されている。これは、シーケンス図内の要素がクラス図と対応がとれているかどうかを検証する。ステートマシン図と状態遷移表を連携させることで、ステートマシン図内の考慮漏れや抜けを排除するための検証支援も行っている。このように、クラス図とシーケンス図間の一貫性保持支援機能はほとんどの CASE ツールで提供されているが、静的モデル間の一貫性保持支援機能を提供する CASE ツールはなく、多重度に関する一貫性保持支援は行われていない。

Chiorean らは、OCLE (Object Constraint Language Environment) を利用した UML モデル間の一貫性保持について述べている [20]。OCLE では、OCL を利用することでプロジェクトごとの実情に合わせた細かい制約による一貫性を検証できることが利点である。しかしながら、教育現場での利用に際しては、初学者が OCL を記述しなければならないシステムは難易度が高いため利用することができない。

2.3 教育向けの UML モデリング支援ツール

Ramollari らは、教育向けの UML モデリングツール「StudentUML」を開発し、その評価を行っている [21], [22]。StudentUML にはクラス図とシーケンス図の一貫性チェック機能、矛盾の自動修正機能を提供しており、学習者が簡単に使えることを目標としている。上記の研究は、モデル間の一貫性に注目している点は本研究のアプローチと同様である。本研究はオブジェクト指向の概念理解を目指して静的モデル間の一貫性診断を行う点、および明瞭性 (3 章で詳説) を診断することで学習者が作成するモデルの質の向上を目指している点が新規性を主張する点である。

早川らは、クラス図から多重度を考慮したオブジェクト図自動生成システムを提案している [4]。オブジェクト図自動生成システムでは、利用者がすでに自分でクラス図を展開したオブジェクト図を作成できることが前提にある。そのため、学習者が多重度の意味を理解していなかった場合、自力でオブジェクト図を作成することができず照合が不可能となり役に立たない。そのため教育現場では、多重度の意味を理解できていない初期のうちには、本システムを利用して学習することで多重度の意味を学習する必要があると考える。オブジェクト図自動生成システムと本システムの対象範囲にも違いがある。本システムは、再帰関連や多重関連の含まれるクラス図に対しても診断を行うことができる。現状のオブジェクト図自動生成システムでは、そのような関連が含まれるクラス図のオブジェクト図を作成することは困難であるため、そのような高度なモデルに対

応することができる点も違いがある。

3. システムの設計

3.1 システムの目的

1章で述べた「クラス図を用いた第三者との正確なコミュニケーションモデル (図1)」における読み手, 書き手, 双方の能力育成支援が, 本システムの最終目標である。

ここで, それぞれの能力は,

クラスモデル読解能力 第三者が記述したクラス図が与えられ, そのクラス図が正しいと仮定したとき, そのクラス図の作成者が意図したとおりのオブジェクト図を作成できる能力,

静的モデル記述能力 第三者が記述した静的モデルの自然言語による記述*1が与えられ, その記述が正しいと仮定したとき, その記述の作成者が意図したとおりの静的モデル (クラス図・オブジェクト図) を作成できる能力,

と定義する。ただし, 「作成者が意図したとおり」とは, 多重度のみで記述できる範囲で, かつ Lindland らのフレームワーク [2] でいう, syntactic (多重度の記述方法が正しい) と semantic (多重度とインスタンスの数に矛盾がない) レベルの問題である。学習者が syntactic と semantic レベルでモデルの自己評価ができ, 品質を向上させることができれば, 対面による学習現場ではより高次 (pragmatic レベル) の品質向上に専念できるようになる。

3.2 システム概要と診断項目

3.2.1 システム概要

本システムは, 任意のクラス図 (複数可) とオブジェクト図 (複数可) を入力として, それらに含まれる多重度とインスタンスのリンク数を抽出・比較し, その一貫性と明瞭性の診断を行う。多重度未記述など, 診断を行う前提条件が充足されているかどうか診断する。本節では一貫性, 明瞭性, 前提条件未充足の定義について以下の項で説明し, その後 3.3 節でその背後にあるモデルを述べる。

3.2.2 一貫性診断

一貫性の診断は, 以下の2種類の「矛盾」について行う。

- (1) 多重度矛盾
- (2) 関連-リンク矛盾

2種類の矛盾の例を図2に示す。「多重度矛盾」とは関連の多重度と1つのインスタンスが特定のクラスのインスタンスにつながっているリンクをまとめたもの (以下, リンク束と呼ぶ) のリンク数が多重度の上限下限を逸脱している状態をさす。図2の例では, クラス「A」から見てクラス「B」の多重度は「1」とクラス図では表記されている。オブジェクト図ではクラス「A」のインスタンス a1 からク

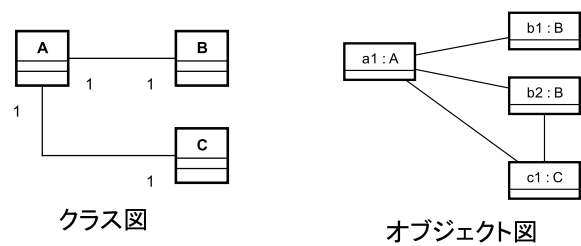


図2 矛盾の例

Fig. 2 Example of inconsistency.

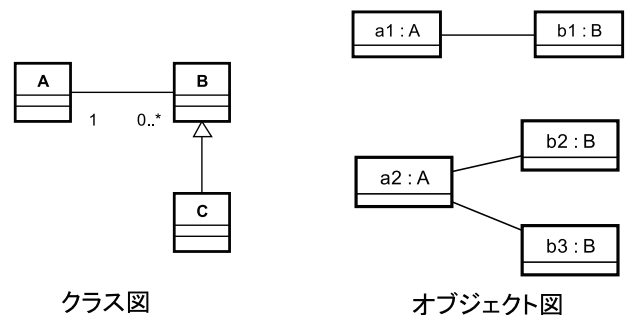


図3 曖昧の例

Fig. 3 Example of ambiguity.

ラス「B」のインスタンスへのリンク束のリンク数は2であり, 「1」 (すなわち「1..1」という範囲を逸脱している。

「関連-リンク矛盾」とは, リンクに対応する関連が存在しない状態をさす。図2の例では, オブジェクト図内のクラス「B」のインスタンス b2 とクラス「C」のインスタンス c1 のリンクについて, クラス図には対応するクラス「B」とクラス「C」の間に関連がない状態となっている。

3.2.3 明瞭性診断

明瞭性の診断は, 以下の2種類の「曖昧」について行う。

- インスタンス例不足
- 派生クラス例不足

2種類の「曖昧」の例を図3に示す。「インスタンス例不足」とは, ある関連に対応するリンク束と多重度の上限と下限を比較した際, 多重度の上限または下限と一致するリンク数のリンク束がない状態をさす。多重度の上限が「*」だった場合は下限より多いリンク数のリンク束が存在していないとき, 「インスタンス例不足」と診断される。図3の例では, クラス「A」から見たクラス「B」への多重度は「*(0..*)」となっている。オブジェクト図では, クラス「A」のインスタンスからクラス「B」のインスタンスへのリンク束のリンク数がそれぞれ1つと2つの場合の例のみしかなく, 下限である0の場合の例がない。したがって, 「インスタンス例不足」と診断される。

「派生クラス例不足」とは, あるクラスがサブクラスを持つとき, そのクラスまたはサブクラス (これらを派生クラスと呼ぶ) をベースクラスとするインスタンスをリンク先とするインスタンス例が存在しない状態をさす。図3の例では, クラス図において, クラス「B」はクラス「C」の

*1 記述例を4章に被験者が行う課題として示す。

スーパークラスである。オブジェクト図では、クラス「C」のインスタンスにクラス「A」のインスタンスがリンクしている例はなく、「派生クラス例不足」と診断される。

3.2.4 前提条件充足診断

本システムは、「矛盾」と「曖昧」を診断する情報が欠落している場合には前提条件未充足という診断を行う。前提条件未充足は、(1) 関連に多重度がつけられていない「多重度未記述」、(2) クラス間の関連が2つ以上あるときに、ロール名が重複している「ロール名重複」、(3) インスタンスに関する不備がある「インスタンス不備」の3種類がある。このとき、「インスタンス不備」とは、(3.1) インスタンスにベースクラスとなるクラスが決められていない、(3.2) 抽象クラスのインスタンスがある、(3.3) ベースクラスがクラス図に存在していない、(3.4) 1つのオブジェクト図内に同じインスタンス名で、同じベースクラスのインスタンスが2つ以上存在している、という4種類がある。

3.3 静的モデルの品質モデル

本システムの特徴として、静的モデルの一貫性だけでなく、明瞭性も診断することがある。本節では、本システムが一貫性と明瞭性の2軸による診断モデルを採用する理由を述べる。

一貫性のみを診断モデルでは、学習者が一貫性があるようにモデルを修正した際に明瞭性がなくなることがある。その例を図4に示す。学習者は、「店舗」クラスから「従業員」クラスへの多重度と、「店舗」クラスから「管理人」クラスへの多重度について「矛盾」を指摘される。このとき、学習者が、すべての多重度を「*」にして、図4内における修正後のクラス図のように修正を行うと、クラス図とオブジェクト図の間に矛盾は発生しなくなる。しかしながら、このようなクラス図は読み手側がクラス図の意図するオブジェクト図を作ることが困難な「曖昧」なモデルとなる。

明瞭性のみを診断モデルでは、明瞭性を高めるために学習者がモデルを修正した際に発生した矛盾に気付けないおそれがある。例を図5に示す。図5の例では、「店舗」クラスから「従業員」クラスへの多重度が曖昧であると指摘される。学習者は、明瞭にするために新たにオブジェクト図を追加することで、クラス図の多重度が適切であることを示した。しかしながら、追加したオブジェクト図には「店舗」クラスから「管理人」クラスへの多重度に関して「矛盾」が発生している。このような場合に、学習者は自分で「矛盾」に気付けないことがある。以上のことから、一貫性と明瞭性の2軸による診断が必要である。

一貫性と明瞭性の有無によって静的モデルを評価するモデルを図式化し図6に示す。一貫性のないモデルは、「誤りのあるモデル」である。この場合、クラス図とオブジェクト図の間には関連性がないことになる。一貫性があって

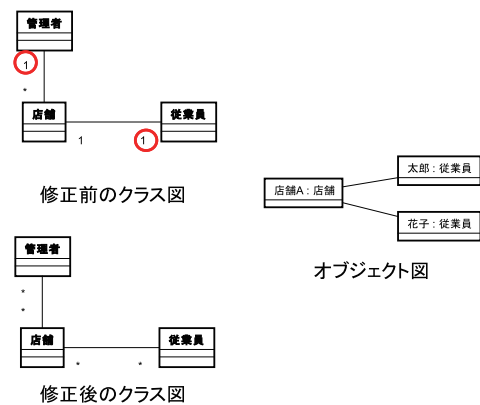


図4 矛盾修正による明瞭性喪失の例
Fig. 4 Example of losing clarity caused by correction for inconsistency.

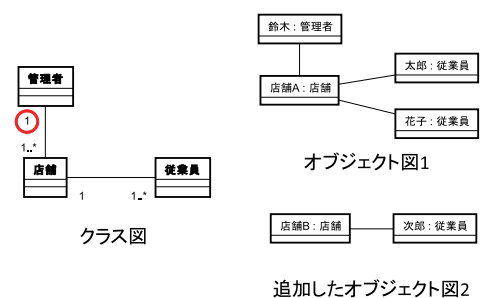


図5 曖昧修正による一貫性喪失の例
Fig. 5 Example of losing consistency caused by correction for ambiguous.

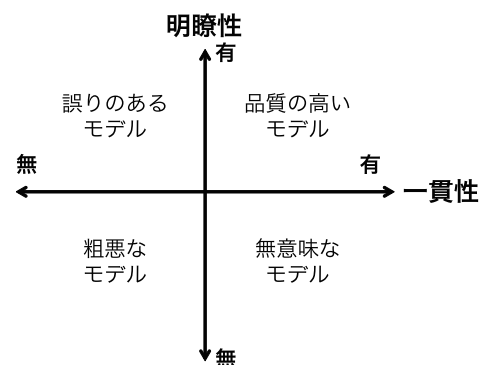


図6 モデルの品質モデル
Fig. 6 Model of quality model.

も、明瞭性がないモデルは「無意味なモデル」である。明瞭性がないということは、モデルの表記に曖昧な部分があり、モデルの意図が明確にならないということである。モデルに一貫性と明瞭性の双方があるとき、「品質の高いモデル」の前提条件を満たしているという。本システムの目的は、学習者が作成したクラス図-オブジェクト図が「品質の高いモデル」の前提条件を満たせるように、支援することである。

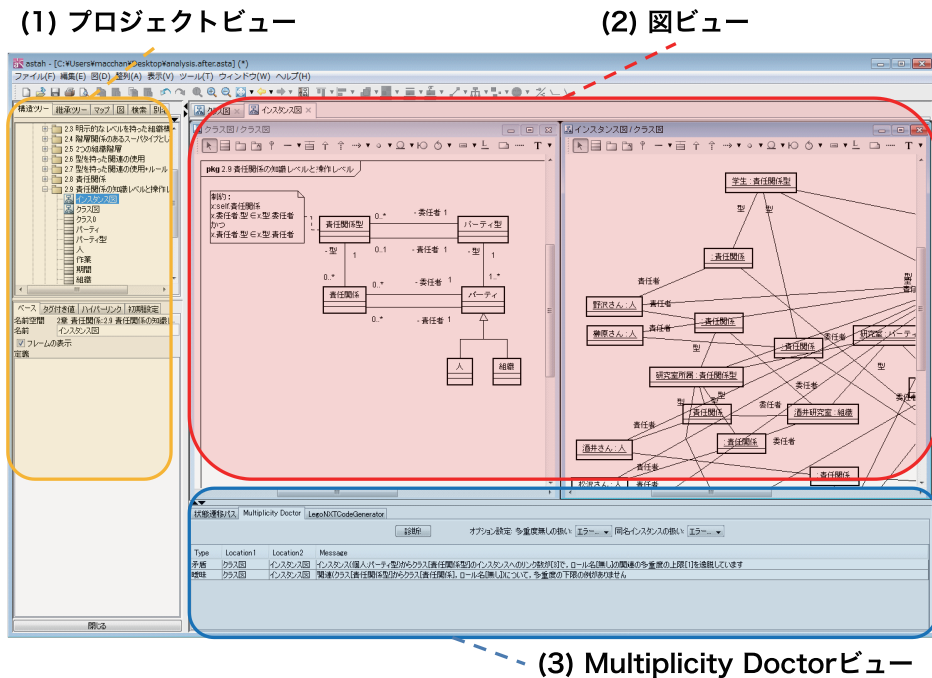


図 8 本システムの画面構成 (プロジェクトビューと図ビューは astah*と同様である)

Fig. 8 Interface the proposed system inside astah*.

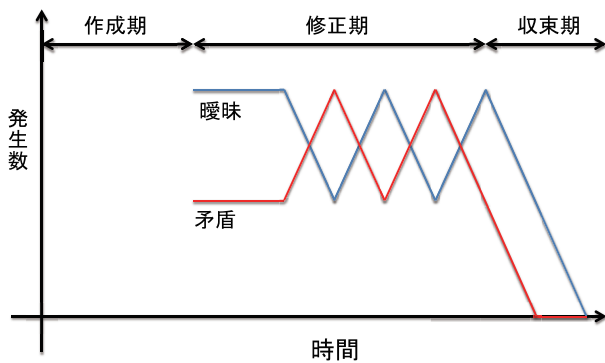


図 7 学習者による課題解答過程モデル

Fig. 7 Model of correction process expected to be appeared in the learners' task solving.

3.4 学習者の解答過程仮説

本システムの診断により、学習者による「品質の高いモデル」の作成過程モデルを図 7 に示す。図 7 内の横軸は時間経過、縦軸は「矛盾」、「曖昧」の発生数を表す。グラフ内の赤線が「矛盾」、青線が「曖昧」を表す。

本モデルでは、「作成期」、「修正期」、「収束期」の3つのフェーズがある。「作成期」は、課題を解き始め初期成果物のクラス図とオブジェクト図が作成されるフェーズである。学習者は「作成期」の最後に本システムによる診断を行う。次に「修正期」は本システムを利用しながらクラス図とオブジェクト図を修正するフェーズである。「修正期」では、学習者が多重度やオブジェクト指向の概念についての理解が曖昧な場合、修正が試行錯誤的に行われることを想定したものである。したがって、「矛盾」を修正したら「曖昧」が増加し、「曖昧」を修正したら「矛盾」が増加する

といったことが繰り返されることが想定される。その後の「収束期」は徐々に「矛盾」と「曖昧」の発生数が0へ収束していくフェーズである。この過程を経て、学習者は図 6 における「品質の高いモデル」の前提条件を満たすに至る。

3.5 インタフェース

本システムは、ChangeVision 社のソフトウェア設計支援ツール「astah*」のプラグインとして実装された*2。本システムは、astah*で編集されたクラス図とオブジェクト図に対して一貫性と明瞭性の診断が可能である。本システムのユーザインタフェースを図 8 に示す。図内の、数字を記入した場所の名称と機能を以下に列挙する。

(1) プロジェクトビュー

同一プロジェクト内に保存されている図やモデルがツリー上に表示される。

(2) 図ビュー

astah*を利用して作成されるクラス図やオブジェクト図はここに表示される。

(3) MultiplicityDoctor ビュー

MultiplicityDoctor というのは本システムの名称である。上部中央にあるボタンが、クラス図とオブジェクト図間の一貫性と明瞭性の診断を実行するボタンである (以下診断ボタンとする)。診断結果が下部に表示される。

診断結果の出力例を図 9 に示す。診断結果の表示エリアは以下の構成で成り立っている。

2 ChangeVision 社は astah API を提供している。

Type	Location1	Location2	Message
矛盾	クラス図	インスタンス図	インスタンス(個人パーティ型)からクラス[責任関係型]のインスタンスへのリンク数が[3]で、ロール名[無し]の関連の多重度の上限[1]を逸脱しています
曖昧	クラス図	インスタンス図	関連(クラス[責任関係型]からクラス[責任関係], ロール名[無し])について、多重度の下限の例がありません
曖昧	クラス図	インスタンス図	クラス[責任関係]のインスタンスからクラス[パーティ]の派生クラス[パーティ]のインスタンスに禁がるリンク例がありません
曖昧	クラス図	インスタンス図	クラス[責任関係]のインスタンスからクラス[パーティ]の派生クラス[パーティ]のインスタンスに禁がるリンク例がありません
曖昧	クラス図	インスタンス図	関連(クラス[パーティ型]からクラス[パーティ], ロール名[無し])について、多重度の下限の例がありません
曖昧	クラス図	インスタンス図	クラス[パーティ型]のインスタンスからクラス[パーティ]の派生クラス[パーティ]のインスタンスに禁がるリンク例がありません

図 9 診断結果の出力例

Fig. 9 Example of showing diagnosis results.

- Type: 「矛盾」, 「曖昧」, 「前提条件未充足」のいずれの問題かを表示する.
- Location1: 問題の発生しているクラス図を表示する.
- Location2: 問題の発生しているオブジェクト図を表示する.
- Message: 問題の内容を表示する.

表示されたメッセージをクリックすることで、図ビューに Location1 と Location2 の図を表示する.

4. 実験方法

本章では、本システムの評価実験の方法について述べる. 本実験の目的は、オブジェクト指向モデリングの初学者が本システムを利用して、3.4 節で述べた解答過程を経て「品質の高いモデル」の前提条件を満たせるかどうかを検証することである.

4.1 実験課題

本システムの評価のために実施する課題として、「UML モデリングの本質 良いモデルを作るための知識と実践 [9]」, 「アナリシスパターン [23]」, 「UML モデリング技能認定試験入門レベルの問題集 [24]」を参考に筆者が作成したものを利用した. 作成した課題は、「クラスモデル読解課題」, 「静的モデル記述課題」の 2 種類である. 以下、それぞれの課題について問題例を用いて説明する. 実験に使用した全問題文を付録に示す.

4.1.1 クラスモデル読解課題 (TaskA)

クラスモデル読解課題の目的は、図 1 における学習者の「読み」の能力を測定することである.

クラスモデル読解課題は、クラス図とモデルのユースケースのある時点での一場面の記述 (以下、場面記述と呼ぶ) に矛盾しないようにオブジェクト図を作成する課題である. 作成するオブジェクト図は 2 つであり、場面記述が与えられるのはオブジェクト図 1 つ分だけである. 被験者は、矛盾だけでなくインスタンス例不足、派生クラス例不足が発生しないように、場面記述を自分で設定してオブジェクト図を作成する必要がある.

クラスモデル読解課題の評価基準は、(1) クラス図と作成したオブジェクト図の間に「矛盾」がないこと、(2) クラス図と作成したオブジェクト図の間に「曖昧」がないこと、(3) 作成したオブジェクト図に「前提条件未充足」がな

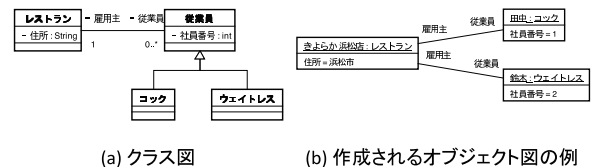


図 10 TaskA: クラスモデル読解課題

Fig. 10 TaskA: Task of reading class model.

いことである. 以下に実験時、課題説明に用いた例題を示す. 解答の一部を図 10 (b) に示す.

<TaskA> 図 10 (a) のクラス図のオブジェクト図を作成せよ.

場面記述

- (i) レストランの「きよらか 浜松店」では、コックの「田中」とウェイトレスの「鈴木」が従業員として雇用されている.

図 7 の課題解答過程モデルによる想定する学習者の本課題の解答過程を述べる. 「作成期」で学習者はオブジェクト図を作成する. 「修正期」になり、学習者は「矛盾」と「曖昧」の修正を行う. このとき、修正する対象はオブジェクト図のみである. 本課題における「矛盾」の原因はクラス図の多重度の読み間違いであり、「曖昧」の原因はインスタンス例の記述不足に限定される. 「修正期」の途中で、「曖昧」の解消のために新たにオブジェクト図を作成することもある. これらを経て「収束期」に入り、作成したオブジェクト図はクラス図との間に一貫性と明瞭性のあるものになる.

4.1.2 静的モデル記述課題 (TaskB)

静的モデル記述課題の目的は、図 1 における学習者の「書き」の能力を測定することである.

静的モデル記述課題は、抽象的にモデルを説明した記述 (以下、モデル記述と呼ぶ) と場面記述に矛盾しないようにクラス図とオブジェクト図を作成する課題である.

静的モデル記述課題の評価基準は、(1) クラス図がモデル記述の内容を表現していること、(2) 作成したクラス図とオブジェクト図の間に「矛盾」がないこと、(3) 作成したクラス図とオブジェクト図の間に「曖昧」がないこと、(4) 作成したクラス図とオブジェクト図に「前提条件未充足」がないことである. 以下に実験時、課題説明に用いた例題を示す. この問題の解答例を図 11 に示す. オブジェクト図 1, 2 はそれぞれの場面記述 (i), (ii) に対応したもので

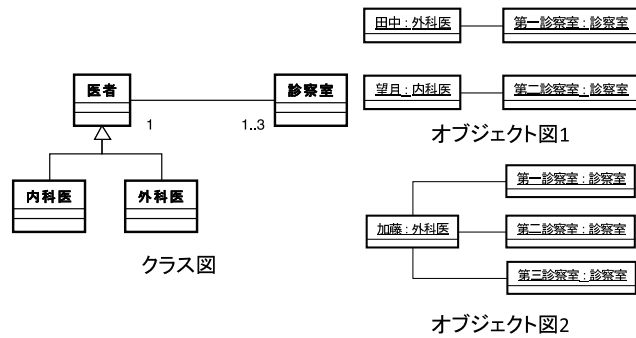


図 11 TaskB：静的モデル記述課題解答例
Fig. 11 TaskB: Task of creating static model.

ある。
 <TaskB>以下の問題文を表現する静的モデルを記述しなさい。ある病院の医者を管理するシステムのモデルである。

モデル記述

- (A) 「医者」には「内科医」と「外科医」がいる。
- (B) 「医者」は1-3 部屋の「診察室」を担当する。
- (C) 「診察室」には必ず1人、医者がいる。

場面記述

- (i) 外科医の田中は第1 診察室を担当する。内科医の望月は第2 診察室を担当する。
- (ii) 外科医の加藤は第1 診察室、第2 診察室、第3 診察室を担当する。

図 7 の課題解答過程モデルによる想定する学習者の本課題の解答過程は、クラスモデル読解課題とほぼ同様である。異なる点として、「作成期」で作成する対象がクラス図とオブジェクト図になっていること、「矛盾」と「曖昧」の発生原因についてクラスモデル読解課題で述べた原因に加えてクラス図そのものが間違っていることがあるため「修正期」ではクラス図を修正する可能性もあることがあげられる。これらの理由で、静的モデル記述課題には「読み」と「書き」の両方が求められ、クラスモデル読解課題より難易度が上昇している。

4.2 実験計画

実験は、課題・難易度別の全3問について、システムを利用して問題を解く実験群と利用しない統制群を用いた計画で実施された。

4.2.1 問題の難易度と出題順

実験に用いた問題の概要を表 1 に示す。問題は全3問であり、クラスモデル読解問題を2問（以下、TaskA-1, TaskA-2）と静的モデル記述課題を1問（以下、TaskB）実施した。問題は両群で、TaskA-1からTaskBまで昇順に解答する。TaskA では1問目から2問目へ、難易度が上昇する。TaskA-1 から TaskA-2 ではクラス数は減少しているが、関連数が増加し、継承に加え多重関連（2クラス間に

表 1 出題課題の概要

Table 1 Tasks for the experimental study.

問題	制限時間	出題内容
TaskA-1	20分	9クラス、4関連（継承含む）からなるモデル
TaskA-2	25分	5クラス、8関連（継承、多重関連含む）からなるモデル
TaskB	25分	8クラス、5関連（継承含む）程度で作成できるモデル

2つ以上の関連があること）が含まれるためモデルの複雑さが増している。問題の難易度による被験者の正答率の変化を比較することで、本システムの適用範囲を明確にすることが目的である。問題の順序による学習効果については両群同条件であるため比較した際の結果に影響しないと考えた。

4.2.2 問題の採点方法

採点はすべての課題において同様のルールで行った。ルールとは、100点満点からの減点方式で、1つの「矛盾」につき-10点、1つの「曖昧」につき-5点、1つの「前提条件未充足」につき-50点、作成された図面が場面記述、モデル記述の要件を満たしていない場合は-100点（0点）とした。採点は筆頭著者が1名で行った。統制群については最終的なモデルを対象とし、実験群についてはシステムを利用して診断した時点の中から、最も得点が高くなる時点のモデルを対象とした。

これらの配点は、重要で基礎的な問題であるほど大きな減点をするという方針で設定した。場面記述、モデル記述の要件を満たしていなければ図面が意味を持たないので0点とした。前提条件未充足は多重度の欠落など図がそもそも評価不能であるので-50点とした。「矛盾」と「曖昧」については、「矛盾」は誤りのあるモデルであり必ず避ける必要があるが、「曖昧」については例がないのみで、多重度はあっている可能性もあることを考慮して、2倍の差を付けることにした。数量的にも、課題解答の過程で「曖昧」は「矛盾」の約2倍程度の数が出現することがもう1つの理由である。

4.2.3 被験者の選定と振り分け方法

本実験は、社会人向けの組込みシステムアーキテクトの養成プログラムを受講中の22名を対象に行った。被験者は、オブジェクト図とクラス図の記述（多重度、属性、操作、継承）について学習を終えている初学者である。

被験者は、条件を等質化するためにランダム・サンプリング法を用いて実験群11名、統制群11名に振り分けた。さらに、振り分けられた被験者が等質化されているかどうかを確認するために事前試験を行った。事前試験はクラスモデル読解課題である。この課題の目的は「実験群と統制群の等質を確認すること」、のほかに「実験において被験者がastah*を利用した作図作業がスムーズに実施できるようになること」がある。本課題は、両群で本システムを利用しない。制限時間は15分とした。課題の規模は、クラス数4、関連数4（多重関連含む）である。事前試験の平均点

は 100 点満点中、実験群が 91.8 点 (sd=24.00)、統制群が 89.1 点 (sd=30.15) であり、t 検定 (以下、断りのない限り Welch の法による) を行った結果、平均の差は有意でなかった (両側検定: $t(19.04)=0.23, p > .10$)。この結果より、被験者の等質化はなされていると判断した。

ただし、実験説明の手違いで、TaskB に関して実験群に指定されている被験者 2 名が実際にはシステムを利用していなかったことが後から判明したため、TaskB の分析については当該 2 名を除いた 9 名を実験群の被験者とした。

4.2.4 実験の手順

本実験の手順を以下に示す。括弧内の数字は計画した時間である。

- (1) 実験の説明・準備 (15 分): 本実験の内容、課題の内容と採点基準、必要なファイルのダウンロード、実験中のスクリーンキャプチャソフトによる録画方法について説明を行う。
- (2) システムの使い方の説明 (5 分): デモ動画を用いて、本システムの astah*への導入方法と利用方法について説明を行う。
- (3) TaskA の説明 (5 分): クラスモデル読解課題の解法について説明を行う。
- (4) 事前試験 (15 分): 両群ともシステムを使わず解答を行う。
- (5) TaskA (45 分): 実験群のみシステムを利用。
- (6) TaskB の説明 (3 分): 静的モデル記述課題の解法について説明を行う。
- (7) TaskB (25 分): 実験群のみシステムを利用。

実験手順に関する補足事項は以下のとおりである。

- 解答は、与えられた astah*ファイルを編集することで行う。与えられるファイルには、必要なクラス図やオブジェクト図があらかじめ記載されている。
- 実験群と統制群の両方について、各問の終了直後に正解提示はしない (実験終了後、全問の解説と解答例を提示する)。

本実験は、(1) 実験中のコンピュータ操作のスクリーンキャプチャソフトによる録画記録、(2) 実験監督者による観察記録によって記録した。

5. 実験結果

5.1 クラスモデル読解課題 (TaskA) 結果

クラスモデル読解課題の結果を表 2 に示す。表 2 はクラスモデル読解課題における被験者の 100 点満点中の平均点、標準偏差 (sd)、および満点を達成した人数を示したものである。TaskA-1 について、実験群の平均点は 83.1 点、統制群は 86.8 点であった。t 検定の結果、実験群と統制群の平均の差は有意ではなかった (片側検定: $t(19.88)=0.27, p > .10$)。TaskA-2 について、実験群の平均点は 60.5 点、統制群は 35.5 点であった。t 検定の結果、実験群と統制群

表 2 クラスモデル読解課題 (TaskA) 結果

Table 2 Results for TaskA.

	A-1		A-2	
	平均点 (sd)	満点	平均点 (sd)	満点
実験群 (n=11)	83.1 (31.7)	6	60.5 (35.5)	3
統制群 (n=11)	86.8 (29.3)	4	35.5 (39.4)	1

表 3 静的モデル記述課題 (TaskB) 結果

Table 3 Results for TaskB.

	B	
	平均点 (sd)	満点
実験群 (n=9)	81.6 (34.6)	5
統制群 (n=11)	35 (35.4)	0

の平均の差は有意傾向であった (片側検定: $t(19.79)=1.56, .05 < p < .10$)。

実験群の TaskA-1 における誤答の原因として、「前提条件未充足」が 2 件、「曖昧」を解消できなかったものが 3 件であった。「矛盾」の発生による誤答者はいなかった。「前提条件未充足」が発生した 2 件は、両者とも抽象クラスのインスタンスを生成してしまっていたことによるものであった。解答の様子を記録した動画を確認したところ、メッセージを読み修正を試みているが修正方法が分からず課題解答を終了してしまっていた。「曖昧」が発生していた 3 件の内容はすべて共通したものであった。いずれも修正を試みていたがメッセージの読み違いにより、修正はなされなかった。統制群の誤答の原因として、「前提条件未充足」が 1 件、「矛盾」を解消できなかったものが 1 件、「曖昧」を解消できなかったものが 5 件であった。減点数の高い「前提条件未充足」が実験群で 2 件発生したことが、統制群が実験群を平均点で上回ったことの原因であると考えられる。

実験群の TaskA-2 における誤答の原因として、「矛盾」と「曖昧」の両方を解消できなかったものが 6 件、「矛盾」を解消できなかったものが 1 件、「曖昧」を解消できなかったものが 1 件であった。TaskA-2 は多重関連が複数使われており、複雑なモデルであるためメッセージを認識しても試行錯誤の結果、修正方法が分からなかったというパターンがほとんどであった。「曖昧」を解消できなかった 1 件については、「矛盾」をすべて解消後、インスタンス例を増やし「曖昧」を解消しようと試みたところ、「矛盾」や「曖昧」が増えてしまったところで制限時間切れとなっていた。統制群の誤答の原因として、「前提条件未充足」が 4 件、「矛盾」と「曖昧」の両方を解消できなかったものが 3 件、「矛盾」を解消できなかったものが 2 件、「曖昧」を解消できなかったものが 1 件であった。

5.2 静的モデル記述課題 (TaskB) 結果

静的モデル記述課題の結果を表 3 に示す。表 3 は静的

モデル記述課題における被験者の100点満点中の平均点、標準偏差(sd), および満点を達成した人数を示したものである。実験群の平均点は81.6点で満点達成者が5名であった。統制群の平均点は35点で満点達成者は0名であった。t検定の結果、実験群と統制群の平均の差は有意であった(片側検定: $t(17.37)=2.97, p < .01$)。ただし、4.2.3項で説明した理由で該当の2名の成績は考慮していない。

実験群の誤答の原因として、「前提条件未充足」が1件、「多重度」と「曖昧」の両方が解消されていないものが1件、「曖昧」が解消されていないものが2件であった。「前提条件未充足」の内容としては、同名同クラスのインスタンスが存在していたことがあげられる。実験群では、クラス図とオブジェクト図を作成するのに大きく時間が割かれたため、診断を行う機会が少なかったことに加え、修正が間に合わなかった様子が見られた。統制群のTaskBにおける誤答の原因として、「前提条件未充足」が6件、「多重度」と「曖昧」の両方が解消されていないものが4件、「矛盾」が解消されていないものが1件であった。「前提条件未充足」の内容としては、同名同クラスインスタンスが存在していたこと、多重度をつけられていないことがあげられる。

5.3 個別の解答過程分析結果

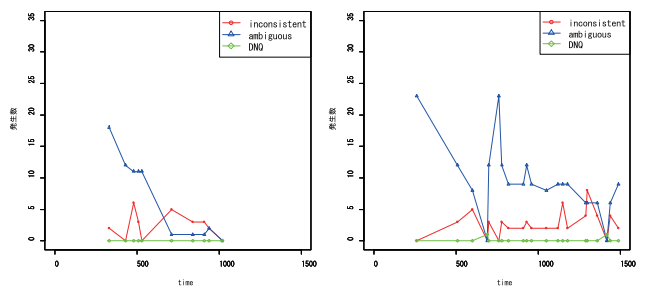
実験群の被験者の個別の解答過程についての質的分析を行った。分析結果により、被験者がシステムを利用してどのような解答過程を経たのかを示す。

5.3.1 TaskA における被験者の解答過程

TaskA における実験群の被験者の課題解答過程をグラフにしたものを図12に示す。グラフの横軸は時間を示しており、単位は秒である。縦軸は矛盾(inconsistent), 曖昧(ambiguous), 前提条件未充足(DNQ)の発生数である。グラフ上の赤線が「矛盾」、青線が「曖昧」、緑線が「前提条件未充足」の発生数を表す。グラフ上のプロットは、被験者がシステムによってクラス図とオブジェクト図間の一貫性と明瞭性を診断したポイントである。

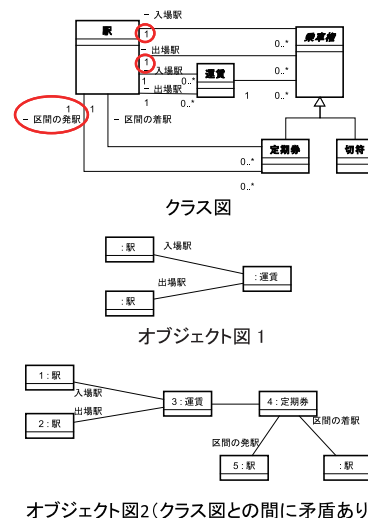
図12の左側のグラフより、被験者3の解答過程を分析する。課題開始から約350秒は「作成期」であることが分かる。そこからしばらく矛盾が減少したり、曖昧が減少する際に矛盾が発生したりといった様相がある。このことから、被験者3は「修正期」に入り修正を行っているといえる。「矛盾」と「曖昧」の発生数は増減を繰り返しながらも徐々に減少してゆき、課題開始から950秒ほどのところから、「矛盾」と「曖昧」が0へ収束しているため、このときが「収束期」であるといえる。したがって、被験者3はTaskA-2において図7のモデルに合った解答過程を経ている。

図12の右側のグラフより、被験者9の解答過程を分析する。課題開始から約250秒が「作成期」であることが分かる。そこからしばらく「修正期」に入り、「矛盾」と「曖昧」



被験者3の解答過程 (TaskA-2) 被験者9の解答過程 (TaskA-2)

図12 TaskA における被験者の解答過程
Fig. 12 Correction processes by subjects in TaskA.



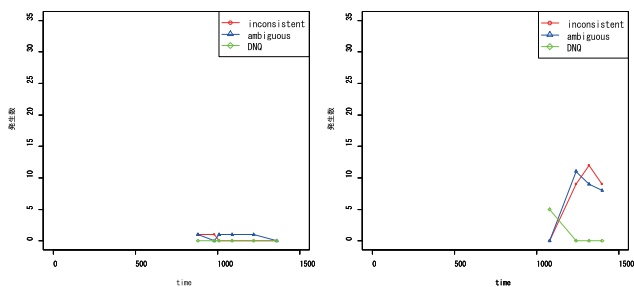
オブジェクト図2(クラス図との間に矛盾あり)

図13 曖昧の修正による矛盾の発生例

Fig. 13 Example of inconsistency caused by correction for ambiguous.

」の発生数が増減していることが分かる。被験者9はその後「収束期」に入ることなく課題の正答に成功していない。しかしながら、「修正期」における「矛盾」と「曖昧」の発生数は徐々に減少している傾向にあることがうかがえる。このことより、被験者9はそのまま課題解答を続けた場合、「収束期」に至り一貫性と明瞭性のあるようにオブジェクト図を作成できると推察する。

課題解答の過程で実際にどのように修正が行われているかを、被験者3の実例で紹介する。被験者3のTaskA-2における実例を図13に示す。被験者3は与えられた場面記述とクラス図からオブジェクト図1を作成している。システムによる診断と修正を繰り返し、クラス図とオブジェクト図1の間の「矛盾」を解消している。このとき、「曖昧」はまだ数多く発生している。被験者9は「曖昧」を修正するために、新たにオブジェクト図2を作成してインスタンス記述例を増やしたところ、「曖昧」の発生数は1つにまで減少したが図13のクラス図における赤い丸の箇所について「矛盾」が新たに5つ発生している。被験者9はその後、「矛盾」の修正に取り組んでいる。



被験者 7 の修正過程 (TaskB) 被験者 3 の修正過程 (TaskB)

図 14 TaskB における被験者の解答過程

Fig. 14 Correction processes by subjects in TaskB

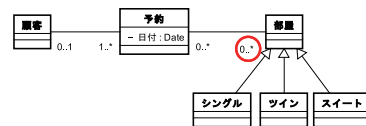
5.3.2 TaskB における被験者の解答過程

TaskB における被験者の課題解答過程をグラフにしたものを図 14 に示す。各グラフの見方は上述のグラフと同様である。

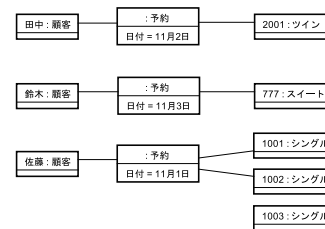
図 14 の左側のグラフより、被験者 7 の解答過程を分析する。課題開始約 800 秒までクラス図とオブジェクト図を作成している「作成期」であることが分かる。最初の診断の時点で、「矛盾」と「曖昧」がそれぞれ 1 つずつのみの発生であった。ここから順に、「曖昧」の修正、「矛盾」の修正、「曖昧」の発生が起きていることから「修正期」であるといえる。その後、「矛盾」は発生せず「曖昧」をすべて解消する段階つまり「収束期」に入っていることが読み取れる。被験者 7 は「矛盾」と「曖昧」の発生数自体は少なく、診断回数も多くはないが、それぞれの発生数の増減を見ることで「修正期」に解答過程モデルで想定した過程を経ていることが分かる。

図 14 の右側のグラフより、被験者 3 の解答過程を分析する。被験者 3 は「作成期」が終了する時点で課題開始から約 1,100 秒経過しており、クラス図とオブジェクト図の作成に非常に時間をとられたことが分かる。さらに、最初の診断で「前提条件未充足」が指摘されたため、その修正に時間をとられた。その結果、課題解答時間内に十分な期間の「修正期」をもって修正が行えなかったため、課題の正答に失敗している。

課題解答の過程で実際にどのように修正が行われているかを、被験者 7 の事例で紹介する。被験者 7 の TaskB における事例を図 15 に示す。被験者 7 は「修正期」の初めに 1 度「曖昧」の発生数を 0 にして、「矛盾」が 1 つだけ発生している。被験者 7 は「矛盾」に対して、クラス図の「予約」クラスから「部屋」クラスへの多重度を「1」から「0..*」に修正している。システムによる診断を行ったところ、「0 の場合のインスタンス例が存在していない」と「曖昧」を指摘されている。被験者 7 はしばらく試行錯誤をした後、場面記述に記載されていた「予約」インスタンスから「部屋」インスタンスへのリンク数が 0 の場合の見落としに気付いたのか、その例をオブジェクト図に加えている。その結果、「曖昧」が解消されている。このように、本シ



クラス図



オブジェクト図

図 15 矛盾の修正による曖昧の発生例

Fig. 15 Example of ambiguous caused by correction for inconsistency.

ステムの指摘をきっかけとして、クラス図とオブジェクト図、双方の修正が行われていることが確認できた。

6. 考察

6.1 本システムの目標達成度

実験の結果を、3.1 節で述べた 2 つのシステムの目的（クラスモデル読解能力、静的モデル記述能力）と照らしあわせ、それぞれの目標達成度を考察する。

クラスモデル読解能力の測定を意図した問題は TaskA-1、TaskA-2（クラスモデル読解課題）であった。TaskA-2 における実験群と統制群の平均点の差は実験群は統制群の 1.7 倍と大きく、統計的検定の結果は有意傾向であった。満点者数も実験群により多く見られた。これに、この結果が本システムの寄与によるものであることが回答過程の質的分析により明らかであることを加味することで、本システムによるクラスモデル読解能力育成支援に関して一定の効果が主張できると考えられる。TaskA-1 においては、実験群と統制群の成績に差がほとんどないため、本システムの利用有無で得点に顕著な差が出るには、一定以上（中級以上）の難易度が必要であったのではないかと筆者らは評価している。

静的モデル記述能力の測定を意図した問題は TaskB（静的モデル記述課題）であった。TaskB では、実験群と統制群の平均点の差に 1%水準で有意差があり、満点達成者数に顕著な差（統制群は 0 名、実験群は 5 名）が見られたため、十分な成果が得られたと評価できる。静的モデル記述の課題にクラスモデル読解要素も含まれることは自明であるため、TaskB の結果はクラスモデル読解能力を学習者が身につけるために本システムが有効であることを補強する結果である。

6.2 一貫性・明瞭性による品質モデルの妥当性

提案システムの特徴である 3.3 節で提案した「一貫性・明瞭性による品質モデル (図 6)」によるシステム設計について考察する。実験では、2 軸によるモデルの評価によって想定される学習者の課題解答過程モデル (図 7) と被験者の課題解答過程のグラフと実情を照らし合わせた結果、課題解答過程モデルで定義した「作成期」、「修正期」、「収束期」の各フェーズに該当する部分が被験者の課題解答過程に存在したことが確認された。実験群の被験者のすべての解答過程のうち、約 89% で「修正期」に該当するフェーズがあった。残りの約 11% については、「修正期」がなく「収束期」のみの場合であった。これは被験者が一貫性と明瞭性を理解しているためスムーズに「矛盾」と「曖昧」を修正できたためと考えられる。

具体的な修正事例についても 3.4 節で想定した「矛盾」の修正によって「曖昧」が発生した事例と、「曖昧」の修正によって「矛盾」が発生した事例を確認した。つまり、一貫性と明瞭性の 2 軸による診断が有効に機能したため、このような事例が発生し実験群は好成績をおさめたと考えられることができる。

6.3 本システムの問題点

本実験の過程を実験担当者が観察した結果、最も危惧した問題点は、修正意欲が削がれ課題の解答を途中で停止してしまった被験者が複数いたことである。本システムは、クラス図の関連の多重度に注目して診断を行うため、関連数が多くなればなるほど予測される「矛盾」と「曖昧」の発生数は増加していく。その結果、一度に表示されるメッセージが大量となり学習者の修正意欲が削がれてしまうという問題があることが分かった。

実験担当者の観察によれば、指摘を見ても修正方法が理解できない学習者に上記のような問題が起きやすいようである。このような学習者は修正を行ったときに逆に「矛盾」や「曖昧」が増加してしまうことが、解答過程のグラフからも読み取ることができた。したがって、本システムを教育現場で導入する場合には、そのような学習者に対して学習意欲が削がれてしまわないように指導者によるフォローを行う必要があることが分かった。

6.4 本システムによる学習効果

本研究で行った実験結果は、システムを利用したことによって、syntactic (多重度の記述方法が正しい) と semantic (多重度とインスタンスの数に矛盾がない) というレベルでモデルの品質が向上した、という結果を示している。教育現場で高次の議論をする前提を提供するという意味での有用性は明らかになったといえる。ただし、本システムは誤りを指摘する種類のソフトウェアであり、システムを利用した状態でモデルを作成できる実験群は明らかに有利で

ある。そのため、本システムの利用で利用者が「静的モデルの正確なコミュニケーション」をどの程度学習できたのか、ということについては検討の余地がある。

実験群の学習効果を正確に測定するために、実験群の学習者がシステムを利用した後、システムを利用しない状態で統制群と比較すべきである、という批判は考えられる。しかし、本システムは学習者が今後モデルを記述していくうえで特に取り外す必要がないシステムであり、仮に実験群の学習者の高得点がシステムに頼りきった結果であっても、それを現在の能力、または将来の能力と置き換えて学習効果を考察できる、と我々は考えている。以下では、その 2 つの理由を述べる。

第 1 の理由は、本実験では特に修正の方法は特に指示していないにもかかわらず、システムを利用した実験群の学習者はシステムが出力する矛盾や曖昧の指摘を読み解き、モデルの品質を高める作業を行い、実際に一定の成果を出すことできたという事実である。本システムは学習者に品質を考えるきっかけを提供し、学習者はそのきっかけさえ与えられれば、自発的に目標としたモデルの品質が得られるような努力が行われる。その努力の結果として得られた本実験での得点は、教育者が修正方法を直接教授してできた成果の得点とは大きく意味が異なると我々は考えている。ただし、6.3 節で述べたように、自力では修正できない学習者も存在するため、学習者自身の努力に頼るだけの教育モデルは修正される必要があり、その方法については今後の課題である。

第 2 の理由は、学習者のモデル改善の努力の過程で、我々が想定した「学習者の解答過程仮説」(3.4 節)における「修正期」が観察されたという事実である。3.4 節で述べたように、「修正期」が発現するのは、学習者が試行錯誤するために起こる初学者特有の現象であり、この仮説が正しければ、学習の進行につれて「修正期」が短くなっていく現象が観察でき、これが長期的な学習効果としてとらえることができるようになると考えている。この過程でオブジェクト指向の概念の理解がより明確になる効果や、本システムを利用することによって正確なモデルを書くメンタリティが身につく効果があり、長期的に大きな効果が生まれると我々は考えている。しかし本実験で直接のデータは得られていないため、教育現場での中長期的な利用によるメカニズムの解明が今後期待される。

7. おわりに

本研究では、UML によるオブジェクト指向モデリング初学者の「クラス図を用いた第三者との正確なコミュニケーション能力」の獲得という最初の目標に到達するための学習支援を目的として、UML のクラス図-オブジェクト図間の多重度を診断するシステムを開発した。本システムはクラス図-オブジェクト図間の矛盾の指摘 (一貫性診断)

だけでなく、曖昧である箇所の指摘（明瞭性診断）を行うことが特徴である。一貫性と明瞭性の2軸によるモデルを評価することで、初学者が矛盾を解消するために曖昧なモデルを作成することを防ぐ。

初学者の社会人22名を対象として、本システムの利用有無による比較対照実験を行った。被験者には、継承、再帰関連、多重関連を含む8関連、9クラスから構成される程度のモデルに対して、クラスモデル読解能力、および静的モデル（クラス図・オブジェクト図）記述能力を測定する問題が与えられた。その結果、2つの課題において実験群は統制群より好成績を示した。実験群の課題解答を分析した結果、実験群のすべての解答過程のうち約89%で想定した解答過程モデルにおける「修正期」に該当するフェーズがあった。このことから、2軸によるモデルの診断が有効に機能し、学習者は修正を繰り返すことで矛盾や曖昧な箇所がないクラス図とオブジェクト図を作成することに成功していたことが分かった。

参考文献

[1] Beziniv, J., France, R., Gogolla, M., Haugen, O., Taentzer, G. and Varro, D.: Teaching Modeling: Why, When, What?, *MODELS 2009 Workshops*, LNCS 6002, pp.55-62 (2010).

[2] Lindland, O., Sindre, G. and Solvberg, A.: Understanding quality in conceptual modeling, *Software*, Vol.11, No.2, pp.42-49, IEEE (1994).

[3] Bolloju, N. and Leung, F.S.: Assisting novice analysts in developing quality conceptual models with UML, *Comm. ACM*, Vol.49, No.7, pp.108-112 (2006).

[4] 早川 勝, 野沢光太郎, 松澤芳昭, 酒井三四郎: オブジェクト指向モデリング教育のためのオブジェクト図自動生成システムの設計と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.54, No.1, pp.66-79 (2013).

[5] Holland, S., Griffiths, R. and Woodman, M.: Avoiding object misconceptions, *ACM SIGCSE Bulletin*, pp.131-134 (1997).

[6] Turner, S.A., Quintana-castillo, R., Pérez-Quinones, M.A. and Edwards, S.H.: Misunderstandings about Object-Oriented Design: Experiences Using Code Reviews, *ACM SIGCSE'08*, pp.97-101 (2008).

[7] Eckerdal, A. and Thuné, M.: Novice Java programmers' conceptions of object and class, and variation theory, *ACM SIGCSE Bulletin*, pp.89-93 (2005).

[8] Sajaniemi, J., Kuittinen, M. and Tikansalo, T.: A study of the development of students' visualizations of program state during an elementary object-oriented programming course, *Journal on Educational Resources in Computing*, Vol.7, No.4, pp.3:1-3:31 (2008).

[9] 児玉公信: UML モデリングの本質—良いモデルを作るための知識と実践, 日経 BP 社 (2004).

[10] Diethelm, I., Geiger, L. and Zundorf, A.: Whats a Good Model and How to Teach It? - Introducing object oriented modeling by using scenarios, *Proc. LYICT 2008, Joint Open and Working IFIP Conference: ICT and Learning for the next generation* (2008).

[11] Chiorean, D., Ober, I. and Petrascu, V.: Avoiding OCL specification pitfalls, *7th Educators' Symposium@MODELS 2011 - Software Modeling in Educa-*

tion, pp.7-16 (2011).

[12] Lucas, F.J., Molina, F. and Toval, A.: A systematic review of UML model consistency management, *Information and software Technology*, Vol.51, pp.1631-1645 (2009).

[13] Hausmann, J., Heckel, R. and Sauer, S.: Extended model relations with graphical consistency conditions, *Proc. UML 2002 Workshop on Consistency Problems in UML-based Software Development*, pp.61-74 (2002).

[14] Lucas, F. and Toval, A.: A precise approach for the analysis of the UML models consistency, *BP-UML'05: 1st International Workshop on Best Practices of UML, in 24th International Conference on Conceptual Modeling (ER 2005)*, Springer (2005).

[15] Paige, R., Brooke, P. and Ostroff, J.: Metamodel-based model conformance and multiview consistency checking, *ACM Trans. Softw. Eng.*, Vol.16, No.3 (2007).

[16] Laleau, R. and Polack, F.: Using formal metamodels to check consistency of functional views in information systems specification, *Inf. Softw. Technol.*, Vol.50, No.7-8, pp.797-814 (2008).

[17] 大西 淳: UMLにおけるモデル整合性検証支援システム, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J84-D-I, No.6, pp.671-681 (2001).

[18] Egyed, A.: Instant consistency checking for the UML, *Proc. 28th international conference on Software engineering*, pp.381-390 (2006).

[19] Egyed, A.: UML/Analyzer: A Tool for the Instant Consistency Checking of UML Models, *Proc. 29th International Conference on Software Engineering*, pp.793-796 (2007).

[20] Chiorean, D., Pasca, M., Carcu, A., Botiza, C. and Moldovan, S.: Ensuring UML Models Consistency Using the OCL Environment, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol.102, pp.99-110 (2004).

[21] Ramollari, E. and Dranidis, D.: StudentUML: An Educational Tool Supporting Object-Oriented Analysis and Design, *Proc. 11th Panhellenic Conference on Informatics* (2007).

[22] Dranidis, D.: Evaluation of StudentUML: An Educational Tool for Consistent Modeling with UML, *Proc. Informatics Education Europe II Conference* (2007).

[23] Fowler, M.: *Analysis Patterns: Reusable Object Models* (邦題: アナリシスパターン), Addison-Wesley (1996).

[24] 竹政昭利: UML モデリング技能認定試験<入門レベル(L1)>問題集—UML2.0 対応, 技術評論社 (2007).

付 録

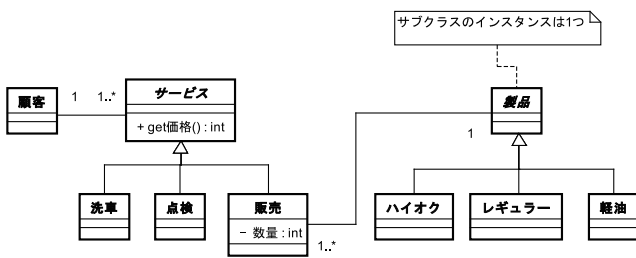
A.1 TaskA-1

問題 以下のクラス図のオブジェクト図を作成しなさい。

オブジェクト図1の場面記述

- 顧客の「田中」さんはガソリンスタンドで、車にレギュラーを24リットル入れた。
- 顧客の「山田」さんは車に軽油を10リットル入れた。

クラス図



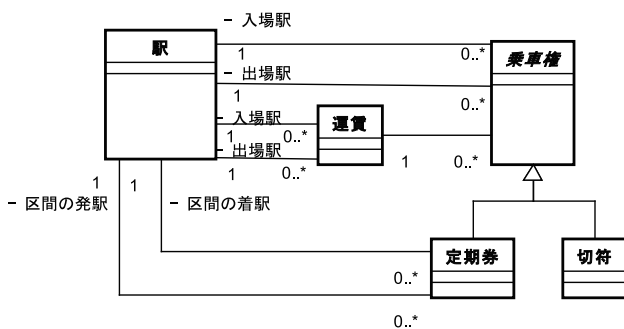
A.2 TaskA-2

問題 以下のクラス図のオブジェクト図を作成しなさい。

オブジェクト図1の場面記述

- 浜松駅から静岡駅までの切符
- 浜松駅から静岡駅までの運賃は 1280 円になる（※定期券は、発駅と着駅の区間内なら自由に乗り降りできる）。

クラス図



A.3 TaskB

問題 以下の問題文を表現する静的モデル（クラス図とオブジェクト図）を記述しなさい。あるホテルの部屋予約管理システムである。

モデル記述

- (A) 「顧客」は「予約」1つにつき、「部屋」を1つ確保できる。
- (B) 「顧客」は複数、「予約」することができる。
- (C) 「予約」には宿泊する「日付」が必要である。
- (D) 「日付」が違えば、同じ「部屋」を予約できる。
- (E) 「部屋」ごとに「部屋タイプ」がある。
- (F) 「部屋タイプ」は「シングル」、「ツイン」、「スイート」の3種類にわけられる。

場面記述 1

- (i) 顧客の佐藤は、11月1日に1001号室と1002号室を予約した。
- (ii) 1001号室、1002号室、1003号室はシングルタイプの部屋である。1003号室には予約がない。

(iii) 10月31日は予約が1つもない。

場面記述 2

- (i) 顧客の田中は、11月2日にツインタイプの2001号室を予約した。
- (ii) 顧客の鈴木は、11月3日に2001号室と、スイートタイプの777号室を予約した。



野沢 光太郎 (正会員)

2011年静岡大学情報学部卒業。2013年静岡大学大学院情報学研究科修士課程修了。現在、株式会社静岡情報処理センターに在職中。在学中は、UMLによるオブジェクト指向モデリングの教育に関する研究に従事。



松澤 芳昭 (正会員)

2000年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2002年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。2007年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程所定単位取得退学、博士（政策・メディア）。2008年より静岡

岡大学情報学部特任助教。現在、静岡大学情報学部助教。オブジェクト指向技術を応用したソフトウェアの設計と開発、情報教育、情報システム開発教育の研究に従事。日本教育工学会、情報システム学会各会員。



酒井 三四郎 (正会員)

1984年静岡大学大学院電子科学研究科博士後期課程修了。学習院大学、新潟産業大学、静岡大学工学部を経て、1998年静岡大学情報学部助教授。現在、同学部教授。工学博士。ソフトウェア開発支援環境、プログラミング

学習支援環境、遠隔学習、協調学習に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会、教育システム情報学会各会員。