

状態遷移図作成に際する初学者の誤り分析と それに基づく教育方法の検討

香山瑞恵[†] 小形真平[†] 増元健人[†] 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振る舞いのモデリング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振る舞いのモデリング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、状態遷移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。

Teaching Methods for Behavioral Modeling using State Machine Diagrams with Quantitative Analyses of Errors made by Novices

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

The purpose of this study is to explore the educational methodology about behavioral modeling for beginners. When a novice learner creates or reads some UML diagrams, what kinds 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 state machine diagram. Then we discuss the teaching points about behavioral modeling for beginners.

1. はじめに

システム開発の上流工程では「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が重要となる。

しかし、これらの能力に対する初学者向けの教育方法論は未だに確立されておらず[3-6], 研究が進められている(OOPSLAでは1997年~, ECOOPでは1998年~, MODELSでは2005年~開催されている Educators' Symposium等[7]).

モデル図作成における初学者の誤り分析に関しては、オブジェクト指向分析・設計に用いるユースケース図, クラス図, シー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い[例えば, 8-11]. 先行研究における初学者とは、主として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[12]における CS Junior) と若手技術者(CS Senior)である。例えば, CS コースの大学4年生を対象とした分析報告[8]では, ユースケース図・クラス図・シーケンス図の記述誤

りカテゴリを 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として抽出している。しかし、対象の動的な振る舞いを記述するステートマシン(状態遷移)図の作成における、初学者の誤り分析の例はみられない。

一方、前提知識がほとんどない対象者、例えば高校生(Pre Univ.) [13], 非CS系大学生(Non CS) [14], 入学直後のCS系大学生(CS Junior) [15]等を対象とした研究報告も少数ながらもなされている。例えば、高校生によるオブジェクト指向開発におけるつまづき分析の例としては、[13]のプロジェクトの分析報告[16]がある。ここでは、ビデオ解析に基づき、「高校生にとって、イベントハンドリングは大きな障害である」と指摘している。しかし、この活動の中心は、プログラミング言語による実装であり、モデル図を用いた設計は分析対象とはされていない。

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、概念モデリングおよび振る舞いのモデリング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、すなわちシステム開発の手順やプログラミング等に関する前提知識を有していない学習者(Pre-Univ. / Non CS / CS Junior (特に Freshman))を対象としている。これらの初学者に対して、概念モデリングおよび振る舞いのモデリングとし

[†]信州大学工学部
Shinshu University, Faculty of Engineering.

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として具体化する。

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、対象の動的な側面である振る舞いを表現する状態遷移図をモデリングの記法として取り上げるものとする。本稿では、特に状態遷移図の記述・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。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、モデルベースでの思考の訓練を第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、クラス図と状態遷移図を用いて表現できること」とした。この目標を達成するよう、授業での説明内容が準備され、実験に先立っての講義で利用される。また、被験者には自身の記述した状態遷移図を実際の対象デバイス上で動作させ、図の妥当性を評価させている[17, 18]。

2.3 モデルの記述

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。そこで、本研究では、状態遷移図の記述要素として、状態（開始状態・終了状態を含む）、遷移、イベント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、その後に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、振る舞いのモデリングに関して、Pre-Univ./Non CS/CS Junior（特に、1年生）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、明らかになっていない。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、モデル図の読解。

なお、1.では、被験者の理解状態を確認するための実験（例えば、記述要素の名称の確認やモデル図から読み取れる情報の確認等）を含むものとする。また、5.のモデル図の読解では、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. 状態遷移図に関する分析

大学生1年生を対象とした状態遷移図の読解と記述の実験結果を示す。被験者の回答から初学者の誤りパターンを分析し、教育的対策を検討する。

3.1 基礎実験

3.1.1 実験方法

ここでは要求分析能力を問うものとする。状態遷移図の主要な3つの要素：状態・遷移・イベントに着目し、それぞれに対する知識レベルを分析する。

被験者は、工学部所属の大学1年生89名とする。実験時期は2012年6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やプログラミング、そしてモデリングに関する学習をまったく受講していない。

被験者に対して、本実験ではまず、懐中電灯を例にして、状態遷移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、状態遷移図の記法の解説と正しい状態遷移図の紹介を中心とした。すなわち、事前の説明では、誤りを含む状態遷移図の紹介・解説等は行なっていない。その後、記法を確認させる目的で、状態遷移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、状態遷移図に書かれている事柄に対する読解課題を課した。

3.1.2 実験課題

「ホテルの宿泊予約」に関する状態遷移図を提示し、記述されている事柄を読み取らせる。基礎実験に用いた問題は付録の図A-1に示す。課題は3問である。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。

- 第1問：状態に関する4つの記述から正しいものを全て選択する。図中の状態は3種。
- 第2問：遷移に関する7つの記述から正しいものを全て選択する。図中の遷移は6箇所。
- 第3問：イベントに関する6つの記述から正しいものを全て選択する。図中のイベントは5種類。

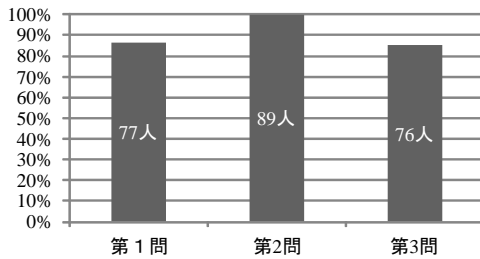


図 1. 基礎実験の各課題の正答率

Figure 1. Percentage (%) of questions answered correctly in a preliminary test.

3.1.3 実験結果

各課題の正答率を図 1 にまとめた。第 2 問 (遷移)・第 1 問 (状態)・第 3 問 (イベント) の順で正答率が高かった。状態に関する誤りは、モデルには表現されていない事柄であっても、既成概念として有しているものは「正解」であるとしている誤答が大多数を占めていた。例えば、図 A-1 では「宿泊中」状態がモデルになくとも、「宿泊中が状態として存在する」を正解としていた。これは、被験者の既成概念とモデルとの差異が要因を考えられる。イベントに関する誤りでは、異なる複数の遷移に同名のイベントが存在した場合、そのイベントを同一のものとみなすかどうかを問う問題を誤っていた。例えば、図 A-1 では「使用中に遷移するイベントは「宿泊する」以外にない。」を、不正解としていた。また、ある状態に対して、「そこへの遷移におけるイベント」と「そこからの遷移におけるイベント」を混同している誤りが見られた。例えば、図 A-1 では「予約中」状態では「宿泊する」と「予約をキャンセルする」のイベントにより遷移するにもかかわらず、「予約中では 2 つのイベントそれぞれにより遷移が起こる。」を不正解としていた。この結果から、被験者にとって、遷移よりもイベントの理解が難しいことがうかがえる。

3.2 記述実験

3.1 の結果をふまえ、状態遷移図の記述実験を行った。ここでは要求分析能力と概念形成能力を問うものとする。

3.2.1 実験方法

被験者は 3.1 と同じであり、実験時期は 3.1 の 1 週間後である。実験に先立ち、被験者全員に対して読解課題での誤り例を示しながら、レビューを行った。その後、再度、状態遷移図の記法を復習した上で、指定された要求を満たす状態遷移図を記述させた。

3.2.2 実験課題

課題は 4 問である。記述実験で用いた課題を付録の図 A-2 に示す。回答時間は 4 問で 45 分とした。課題形式は 2 種である。1 つ目は一部の要素は与えられており、不足している要素を追記する穴埋め型 (第 1 問と第 2 問)、2 つ目は状態遷移図の全ての要素を記述させる完全記述型 (第 3 問と第 4 問) である。各問題の概要を以下に示す。

表 1. 記述実験課題の特徴比較

Table 1. Features of each task in a creating-model test.

	記述実験			
	第1問	第2問	第3問	第4問
状態	○		○	○
遷移		○	○	○
イベント	○	○	○	○

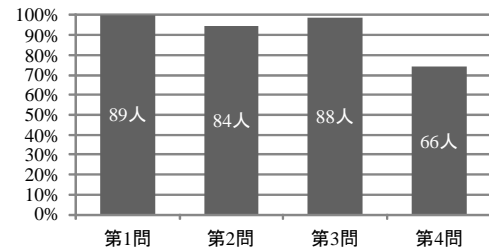


図 2. 記述実験の各課題の正答率

Figure 2. Percentage (%) of questions answered correctly in a model-creating test.

- 第 1 問: 「蝶のライフサイクル」をテーマに状態名とイベントを穴埋め形式で記述する。
- 第 2 問: 「事務職員のライフサイクル」をテーマに遷移とイベントを穴埋め形式で記述する。
- 第 3 問: 「ドアのライフサイクル」をテーマに、完全記述型で状態遷移図を記述する。示した要求は 3 文。
- 第 4 問: 「炊飯器のライフサイクル」をテーマに、完全記述型で状態遷移図を記述する。示した要求は 7 文。

表 1 に各課題の特徴をまとめた。イベントは他の要素 (状態と遷移) に比べて難しいことから、第 1 問ではイベントと状態を、第 2 問ではイベントと遷移とを穴埋めさせた。全ての要素を記述させる課題では、要求に示した状態数は第 3 問で 2 つ、第 4 問で 4 つであった。

3.2.3 実験結果

各課題の正答率を図 2 に示す。第 1 問と第 3 問は正答率がほぼ 100% であった。第 2 問では約 5% の誤答が生じた。誤りの内容は、状態遷移図としての記法ミスであった。第 4 問においては約 25% の誤答が生じた。誤りの内容は、遷移の過不足といった要求を満たしていない記述が目立った。

3.2.4 誤りの傾向

正答率の低い第 2 問および第 4 問の誤答を分析した結果、状態遷移図記述に際しての誤りパターンは大きく 2 つに分けられた。

1. 記法の誤り (以下、「記法誤り」と称す)
2. 課題文に示された要求を正確に読み取れなかったことが原因の誤り (「要求解釈の誤り」)

1. の記法誤りは、さらに 9 種の詳細パターンに分類される。これら 9 種は、状態に関するもの 4 種、遷移に関するもの 1 種、イベントに関するもの 3 種、その他 1 種に整理される (表 2 左 2 列を参照)。図 3 に記法誤りを生じている回答

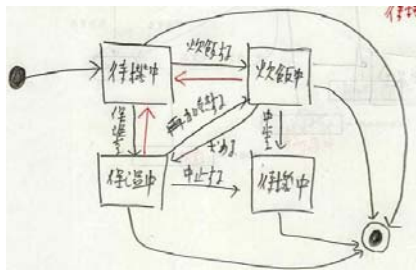


図3. “記法誤り”の詳細パタンの例：
 第4問の解答における「同じ名称の状態を複数記述」「イ
 ベント名未記入」

Figure 3. An example of errors types in a creating-model test
 (syntactic error at Q4).

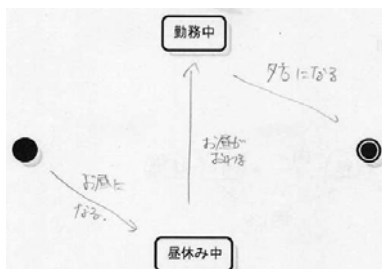


図4. “要求解釈での誤り”の詳細パターン例：第2問の解
 答における「遷移の過不足」

Figure 4. An example of errors types in a creating-model test
 (pragmatic error at Q2).

例を示す. ここでは, 状態に関する誤りとイベントに関する誤りを併発している.

2.の要求解釈の誤りは, さらに3つの詳細パターンに分類された. 「終了状態を見極められない」, 「状態の過不足」, 「遷移の過不足」である. 図4に“要求解釈の誤り”を生じている回答例を示す. この例では, 付録の図A-2中の問3に対して遷移が不足している.

各詳細パターンと, 記述課題の第2問と第4問での発生率を表2に示す. 2つの課題に共通して出現していたのは, 記法誤りでは「イベント未記入」と「独自の記法を採用」, 要求解釈の誤りでは「遷移の過不足」である. 第4問で発生率は高かったのは, 記法誤りの「遷移とイベントが1:1でない」35%と要求解釈誤りの「遷移の過不足」26%であった.

3.3 読解実験

3.2で得られた状態遷移図の記述に関する誤答パターンをふまえて, 状態遷移図の読解実験を行った. ここでは要求分析能力と概念形成能力を問うものとする.

3.3.1 実験方法

被験者は3.1と同じであり, 実験時期は3.2の記述実験の1週間後である. 実験に先立ち, まず, 状態遷移図の記法を再度復習した上で, 記述実験で確認された誤りに関するレビューを行った. その後, 3.2.4で示した記法誤り全9種中7種と, 要求解釈の誤り全3種中1種を含む状態遷移図の誤りを指摘させ, さらに状態遷移図を修正させる課題

表2. 記述実験における“記法誤り”と“要求解釈での誤り”の詳細パターンと, 詳細パターン毎の発生率
 Table2. Names of each error type in a creating-model test and percentage (%) of errors types occurred.

		記述	
		第2問	第4問
状態	記法誤り		
	同じ名称の状態を複数記述		9%
	終了状態が複数存在		17%
	開始状態がない		9%
	開始状態と終了状態の記法の混同		1%
遷移	遷移に方向がない		13%
イベント	イベント名未記入	20%	9%
	開始状態からの遷移にイベント名を記入	20%	
	遷移とイベントが1:1でない(複数の遷移に1つのイベント名を与える)		35%
その他	独自の記法の採用	60%	4%
		要求解釈の誤り	
		20%	43%
		終了状態を見極められない	
			9%
		状態の過不足	
			9%
		遷移の過不足	
		20%	26%

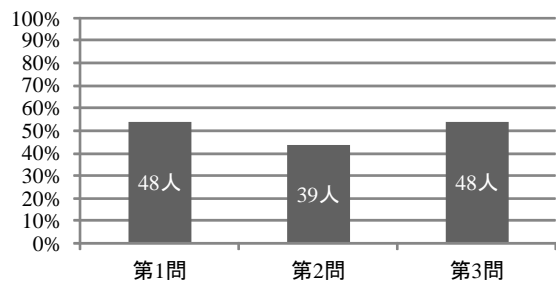


図5 読解課題での正答率

Figure 5. Percentage (%) of questions answered correctly in a reading-model test.

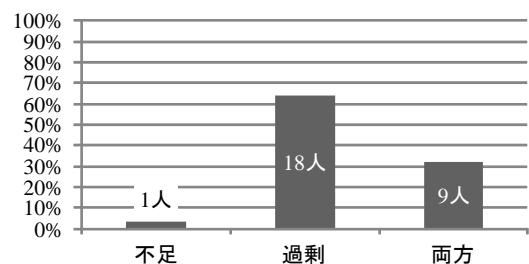


図6. 第3問における誤りパタンの内訳

Figure 6. Percentage (%) of errors types occurred at Q3 in a reading-model test.

を課した.

3.3.2 実験課題

課題は3問である. 読解実験で用いた課題を付録の図A-3に示す. 回答時間は3問で30分とした. 各設問の概要(含めた誤りパターン)を表3に示す.

表 3. 読解問題の特徴比較と、
 誤り詳細パタン毎の指摘割合

Figure 3 Features of each task in reading-model test
 and percentage(%) of errors types occurred.

		読解		
		第1問	第2問	第3問
記法誤り				
状態	同じ名称の状態を複数記述	46%		
	終了状態が複数存在		54%	
	開始状態がない		96%	
	開始状態と終了状態の記法の混同			
遷移	遷移に方向がない		84%	
イベント	イベント名未記入	80%		
	開始状態からの遷移にイベント名を記入	34%		
	遷移とイベントが1:1でない(複数の遷移に1つのイベント名を与える)		80%	
その他	独自の記法の採用			
要求解釈の誤り				
終了状態を見極められない				
状態の過不足				
遷移の過不足				32%

- 第 1 問：3 種の記法誤りを各 1 つ含んだ状態遷移図から誤り箇所を指摘し、図を修正する。
- 第 2 問：4 種の記法誤りを各 1 つ含んだ状態遷移図から誤りを指摘し、図を修正する。
- 第 3 問：1 種の要求解釈の誤りを 4 つ含んだ状態遷移図から誤りを指摘し、図を修正する。

3.3.3 実験結果

各課題の正答率を図 5 に示す。ここでの正答率は、意図的に含めた誤りを修正した状態遷移図を記述できていた回答の割合である。第 1 問と第 3 問は約 54%、第 2 問では 44% であった。

表 3 右部には各課題の誤答回答における、誤り詳細パタン毎の指摘割合を示す。80%以上の被験者から指摘された誤り詳細パタンは、第 1 問では「イベント名未記入」であり、第 2 問では「開始状態がない」「遷移に方向がない」「遷移とイベントが 1:1 ではない」である。一方、第 1 問では「開始状態からの遷移にイベント名を記入」は 34%、「同じ名称の状態を複数記述」は 46%、第 3 問では「遷移の過不足」は 32%の指摘にとどまる。特に、第 3 問の指摘割合は「4 つの誤りを全て指摘したが、正しい状態遷移図が描けていない」回答の割合である。残りの 68%の誤答の内訳を図 7 に示す。誤りでない遷移を誤りだと指摘した回答(過剰)が最も多く、誤りを 4 つ未満しか指摘できない回答が最も少ない。

4. 教育方法の提案

4.1 状態遷移図に関する教育的問題

上記の結果から、状態遷移図の記述と読解に際して、以下の事に留意して教育する必要が指摘できる。

- 既成概念とモデル図との区別
- 状態変化のシナリオと状態遷移の区別
- 遷移の過不足
- 状態の過不足
- 開始状態と終了状態の見極め

“既成概念とモデル図との区別”は、要求解釈の誤りに関連する。常識や既成概念にとらわれずに、モデル図を正確に解釈することが重要である。すなわち、図から読み取れる情報と、図からは読み取れない情報を、確実に認識させる必要がある。これには、本稿で示した基礎実験のような課題による演習等が有効ではないかと考える。

“状態変化のシナリオと状態遷移の区別”は、「同じ名称の状態を複数記述」誤りに関連する。この問題を解決するには、状態遷移図では同じ状態名の状態は複数存在し得ないこと、同名の状態を複数記述しなくても対象をモデル化できることを、具体的な例と共に示し、被験者に修正させるような学習活動が有効ではないかと考える。

“遷移の過不足”は、「遷移の過不足」誤りに関連する。また、“状態の過不足”は、「状態の過不足」誤りに関連する。これらを改善するには、作成したモデル図と要求とを比較しながら、表現モレや表現誤り、余計な表現を発見させ、修正させる演習等が必要であろう。

“開始状態と終了状態の見極め”は「終了状態を見極められない」誤り、「終了状態が複数存在」誤り、「開始状態がない」誤りに関連する。終了状態が複数存在する誤りについては、各終了状態への遷移を 1 つの終了状態に集約させれば、表層的には解決する。しかしながら、開始状態および終了状態を見極められない誤りについては、例えば「開始(あるいは終了)状態がありません。」といった指摘だけで解決する問題ではないと考える。この問題の解決には、モデル化する対象での開始状態およびそこから遷移する最初の状態、そして終了状態とそこへ遷移する(複数の)状態を同定するには、例えば、要求文からモデルを作成する過程で、それらだけは特に意識して別途記述させる等の演習を導入することが有益ではないかと考える。

また、読解を中心としたリテラシーを必要とする顧客の立場としては、不正な図に対して的確に誤りを指摘できることが重要である。しかし、本稿で示した実験を通して、状態遷移図を正しく記述できたが、不正な状態遷移図を見抜くことはできなかったことが示された。それゆえ、その適切な指導方法は探求すべき課題として示唆されたものと考える。

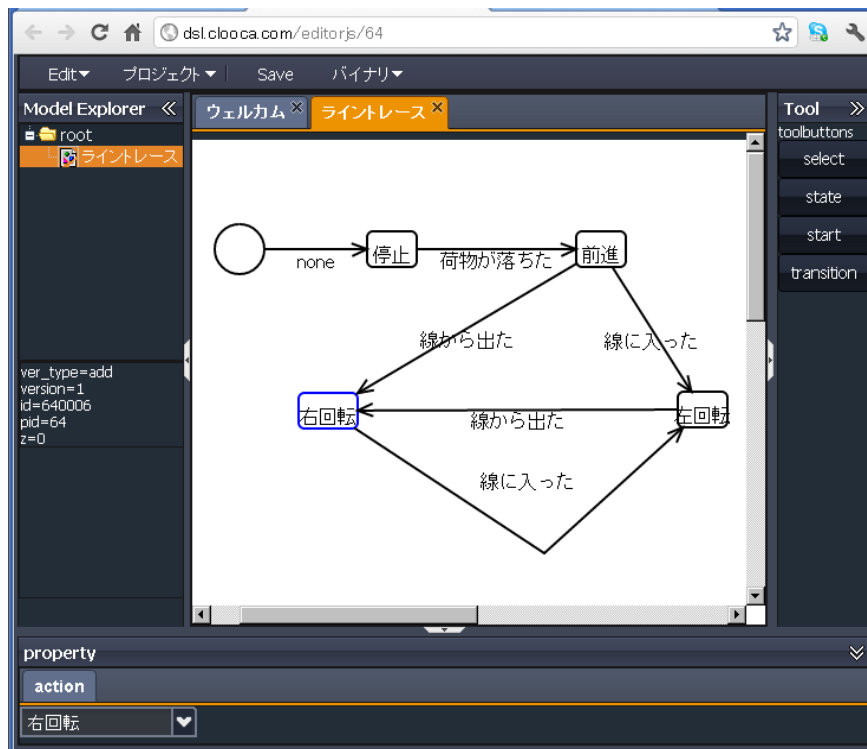


図 7. モデル・エディタ上でのライントレース飛脚型ロボットの状態遷移図
 Figure 7. An example of screen interface of the proposed learning tool named “Clooca”
 (in this case, a state machine diagram is created in a model editor page).



図 8. 状態の語彙
 Figure 8. An example of the given (teacher-defined) vocabularies for each state in a state machine diagram.

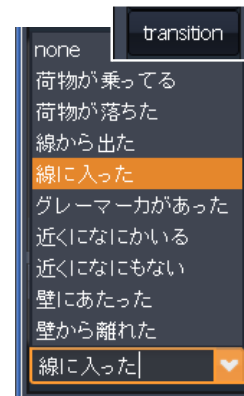


図 9. 遷移の語彙
 Figure 9. An example of the given (teacher-defined) vocabularies for each transition in a state machine diagram.

4.2 ICT を用いた学習環境の提案

一般に、モデル図に対する自己評価は難しい。初学者においては一層の困難を伴うものである。そこで、本研究では状態遷移図の妥当性の評価の方法として、Executable UML および MDD (Model Driven Development) の手法を利用することとした。状態遷移を考える対象物を、視覚的に確認できる振る舞いをする事物に限定すれば、その実際の動作からモデリングの評価が可能となる。

紙ベースでの一般対象物のモデリングにより、状態遷移図に関する記法を理解させた後に、MDD に基づく学習環境において、具体的な動作対象を想定した、特定ドメインのモデル図を作成させる。このモデル図は、学習環境内のモデル・コンパイラによりソースコードに変換され、さらにコンパイル・サーバで Executable UML として解釈され、対象デバイス上で実行可能なコードへと変換される。学習者は、学習環境内で生成された実行コードを対象デバイスに転送し、実際に動作させることで自身の状態遷移図の正しさを検証するのである。

また、モデル図作成に利用するモデル要素には、個々の課題に則した表現が望まれる。モデル化する対象世界、す

なわちドメインに依存した言語である DSL (Domain Specific Language) を用いて、課題および、課題を解くために利用する記述要素を提供することで、学習者をモデル化作業により集中させることができると考えた。そこで、本研究では、前述の学習環境に対して、課題毎に DSL を定義するための機能を具備した。

本研究で提供する学習環境の機能を以下に示す。

(1) モデル・エディタ

Drag & Drop 操作でモデル図の記述要素を配置できるエディタ (図 7 参照)。学習者によるモデル図記述、および指導者による課題モデル図作成に利用する。

(2) モデル・コンパイラ

モデル・エディタで記述されたモデルをプログラムコード (C++ 等) へ自動変換する機構。学習者によるメニュー操作により、動作する。また、学習者からの指示により、生成コードを学習者端末にダウンロードできる。

(3) コンパイル・サーバ

プログラムコードから実行コードを生成し、学習者端末にダウンロードする機構。学習者によるメニュー操作により、動作する。生成された実行コードは学習者端末に自動

でダウンロードされる。

(4) コード転送ツール

実行コードを対象デバイス（例えば、Lego Mindstorms NXT（以下、NXT）等）へ転送する仕組み。学習者端末で動作するアプリケーションである。

(5) メタモデル定義エディタ

モデル・エディタにおいてモデル図を記述する際に用いる描画要素を表現するシンボルと役割，そして表現語彙を定義するエディタ（図 8, 9 参照）。指導者が，学習者に与える課題を定義する際に利用する。

上述の機能を有する提案環境を，本稿で述べた実験後の授業に適用した。授業者は予め，メタモデル定義エディタを利用して，各課題で利用する状態とイベントに関する表現語彙と，モデル・コンパイラで利用するアクション言語との対応付けを定義しておいた。図 8 および図 9 に示す例では，タッチセンサを 2 つ，光センサと超音波センサを各 1 つ備えた，3 輪走行する NXT を想定した語彙定義をしている。授業者はこのメタモデルを用いて，4 つのセンサから少なくとも 1 つのセンサを利用した複数の課題を本環境に登録した。学習者は，授業者が登録したメタモデルを用いて，モデル・エディタ上で振る舞いのモデルを記述する。記述されたモデルは，モデル・コンパイラとコンパイル・サーバにより実行コードへと変換される。学習者端末から NXT に転送された実行コードを RUN させることで，NXT がモデルで指定された振る舞いを実現する。この動作を観察することからモデル図の妥当性を評価させた。この時，NXT を実際に動かすことで，モデル図の誤りや冗長性に気付く，モデル図を改良し，再度の動作を確認するといったレビュー活動が，ほぼ全学習者において確認された。本環境の導入により，モデル図を「眺める」ことによる評価ではなく，モデル図を「動作させる」ことによるモデル評価が可能になり，振る舞いモデルの品質が向上した。

5. おわりに

本稿では，状態遷移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。状態遷移図の記述と読解に関する誤り分析の結果から，「既成概念とモデル図の区別」「状態変化のシナリオと状態遷移の区別」「遷移の過不足」「状態の過不足」「開始状態と終了状態の見極め」に関する教育への配慮を指摘した。また，これらの問題点を解決するための教育方法を考察し，よりモデル化という行為に特化し，かつ確実なモデル評価を可能とする学習環境を提案した。

今後は，これらの結果をふまえ，誤り指摘の自動化等の学習環境の充実と，学習者自身のレビュー能力の向上を意識した授業設計を目指す。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 22300286 の助成を受けたものです。

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) 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）。
- 5) J. Kramer：“Is Abstraction The Key To Computing? ”，Vol.50, No.4, pp.37-42, CACM（2007）。
- 6) 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）。
- 7) Institutionen för datavetenskap - Computer Science Education Group：Workshops on OO Education
<http://www8.cs.umu.se/research/education/ooEduWS.html>
- 8) N. Bolloju et. al.：“Assisting Novice Analysis in Developing Quality Conceptual Models with UML”，CACM, Vol.49, No.7, pp.108-112（2006）。
- 9) 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）。
- 10) 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）。
- 11) 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）。
- 12) J. Borstler 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）。
- 13) 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（2002），
<http://www.uni-paderborn.de/cs/ag-schaefer/Veroeffentlichungen/Quelle n/Papers/2002/PTLOOC2002.pdf>
- 14) 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）。
- 15) 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）。
- 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) 香山他：“ロボットでの動作シミュレーションが可能なシステムモデリング用 Web 教材”，第 5 回日本情報科教育学会全国大会講演論文集，p.54（2012）。
- 18) Educational Clooca,
<http://www.clooca.com/>
- 19) 増元他：“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—”，組込みシステムシンポジウム 2012 論文集，pp.101-109（2012）。

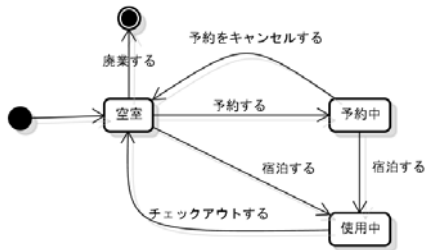
付録

基礎実験で用いた課題を図 A-1 に，記述実験の課題を図 A-2 に，読解実験の課題を図 A-3 にそれぞれ示す。

あるホテルが提供する部屋（1部屋）は、業務において次のようなライフサイクルを持つ。

- 予約すると部屋は予約中となる。
- 予約をキャンセルすると、部屋は空室となる。
- 予約中の部屋に宿泊すると部屋は使用中となる。
- 空室でも宿泊すると部屋は使用中となる。
- チェックアウトすると部屋は空室となる。
- ホテルが廃業となれば、部屋は業務における役目を終える

部屋のライフサイクルをモデル化したところ下記の図のようになった。このモデルに沿って以下の問いに答えなさい。



※ライフサイクルとは、インスタンスの一生（生まれてから消えるまで）を意味します。

図 A-1. 基礎実験の課題

Figure A-1. Tasks in preliminary test.

問1 状態に関する記述について正しいものを全て選びなさい。

- 予約中は状態として存在する。
- 予約のキャンセルは状態として存在する。
- 宿泊中は状態として存在する。
- 上記のいずれも正しくない。

問2 遷移に関する記述について正しいものを全て選びなさい。

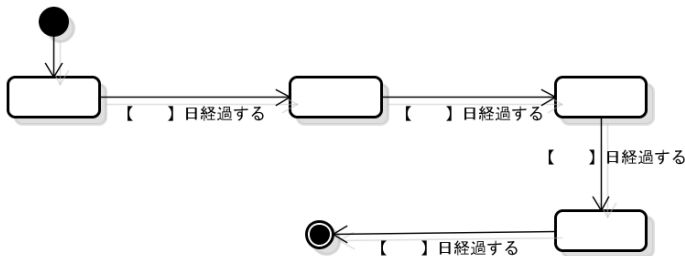
- 遷移は全部で8本である。
- 使用中からは空室と予約中に直接遷移できる。
- 予約中から空室に遷移するまでに使用中の状態を経由しない場合がある。
- 開始状態の直後の部屋の状態は空室である。
- 終了状態の直前の部屋の状態は空室である。
- 空室から直接遷移する状態は必ず終了状態になる。
- 上記のいずれも正しくない。

問3 イベントに関する記述について正しいものを全て選びなさい。

- 予約中では2つのイベントそれぞれにより遷移が起こる。
- 使用中に遷移するイベントは「宿泊する」以外にない。
- 使用中から予約中に遷移するためのイベントがある。
- 予約中の状態が変わるためのイベントの1つは「チェックアウトする」である。
- 予約中の状態と「予約をキャンセルする」のイベントは無関係である。
- 上記のいずれも正しくない。

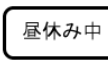
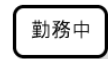
問1 時間経過に着目した場合に蝶のライフサイクルについて、以下の記述を満たすような状態遷移図の状態名とイベントを記述しなさい。

- 蝶は卵の状態から始まる。
- 蝶は4日で卵から幼虫になる。
- 蝶は16日で幼虫からサナギになる。
- 蝶は8日でサナギから成虫になる。
- 蝶の寿命は成虫になってから30日である。



問2 ある事務職員さんの勤務（1日）のライフサイクルについて、以下の記述を満たすような状態遷移図の遷移とイベントを記述しなさい。

- 事務職員さんは勤務中の状態から始まる。
- 事務職員さんはお昼になると昼休み中になる。
- 事務職員さんはお昼が終わると勤務中に戻る。
- 事務職員さんは夕方になると1日の勤務を終える。



問3 ドアの開閉に着目した場合にドアのライフサイクルについて、以下の記述を満たすような状態遷移図を記述しなさい。

- ドアは最初閉まった状態である。
- ドアは開けると開いた状態となる。
- ドアは閉めると閉まった状態となる。

※終了状態は考慮しなくて良い。

[状態遷移図]

問4 炊飯器のライフサイクルについて、以下の記述を満たすような状態遷移図を記述しなさい。

- 炊飯器は待機中から始まる。
- 待機中に炊飯すると、炊飯中になる。
- 待機中に保温すると、保温中になる。
- 炊飯中や保温中に中止すると、待機中に戻る。
- 保温中から再加熱すると、炊飯中になる。
- 炊飯中に炊飯が終わると、保温中になる。
- どの状態からでも炊飯器は壊れると、役目を終える。

[状態遷移図]

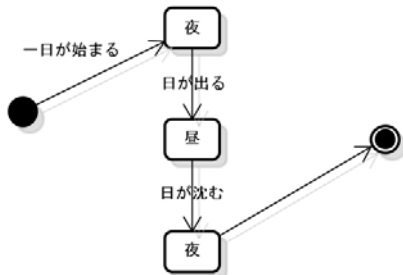
図 A-2. 記述実験の課題

Figure A-2. Tasks in creating-model test.

問1～問3の状態遷移図において、**不適切な箇所とその理由**を説明しなさい。
 また、**不適切な箇所を修正した状態遷移図**を書きなさい。
 修正した図は、余白に記述すること。

問1 以下の簡条書きを満たそうと作成された日本における
 昼夜（1日）の状態遷移図

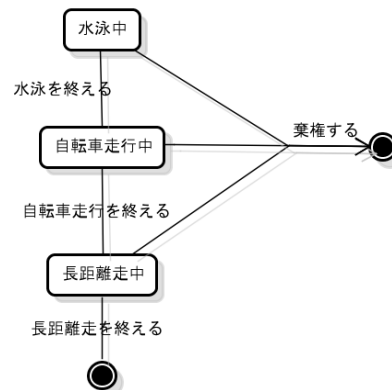
- 一日は夜から始まる。
- 日が出ると昼になる。
- 日が沈むと夜になる。
- 夜の状態で、日が変わると一日が終わる。



【不適切な箇所とその理由】

問2 以下の簡条書きを満たそうと作成された
 トライアスロンの競技者の状態遷移図

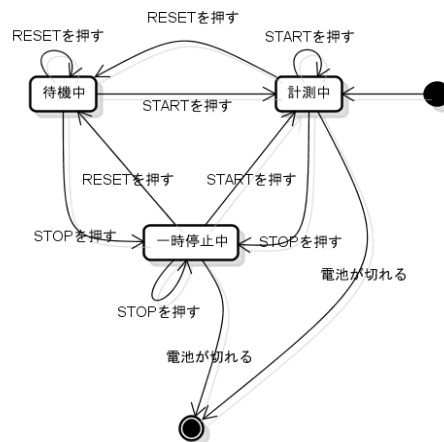
- 水泳から始まる。
 - 水泳を終えると、自転車走行に移る。
 - 自転車走行を終えると、長距離走に移る。
 - 長距離走が終わると、競技が終わる。
 - 競技者はいつでも棄権でき、競技を終えることができる。
- ※トライアスロンとは、水泳、自転車、長距離走をこの順で連続して行う耐久競技である。



【不適切な箇所とその理由】

問3 以下の簡条書きを満たそうと作成された
 ストップウォッチの状態遷移図

- 最初は待機中から始まる。
 - 待機中から、STARTを押すと計測中となる。
 - 計測中から、STOPを押すと一時停止中となる。
 - 一時停止中から、STARTを押すと計測中となる。
 - 一時停止中から、RESETを押すと待機中となる。
 - 各状態から START, STOP, RESET それぞれを押すことができるが、上述したもの以外では状態は変わらない。例えば、待機中に RESET を押しても待機中のままとする。
 - どの状態からでも電池が切れるとストップウォッチは役目を終える。
- ※「待機中」とは、計測を開始していない（0秒と表示されている）状態を指す。
 ※「状態は変わらない」とは、遷移元と遷移先を同じ状態とする（自己遷移と呼ぶ）ことで表現できる。



【不適切な箇所とその理由】

図 A-3. 読解実験の課題

Figure A-3. Tasks in reading-model test.