

動的モデルとしての振舞いモデリングに際する初学者の誤り分析

- プログラミング未習群と既習群とによる比較 -

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動的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、プログラミング未習群と既習群に対する同一課題実験の結果から振舞いのモデリングにおける初学者の誤り分析と、それに基づく教育的考察を試みる。

Quantitative Analyses of Errors made by Novices in Behavioral Modeling using State Machine Diagrams

Kento MASUMOTO[†], Mizue KAYAMA^{††}, Shinpei OGATA^{††},
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

問題解決すべき対象をモデリングする際には、一般的に「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」、「課題文などの要求から必要な情報を読み取る要求分析能力」、「対象の特徴や本質的な姿をより明確に示す抽象化能力」などが求められる[1,2]。これは開発者のみならず情報化社会を生きる全ての者に必要なリテラシでもある。特に、技術的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。また、対象の動的モデルとしての振舞いを記述する状態遷移図は、情報専門教育の主要5分野(CS・IS・SE・CE・IT)はもとより、一般情報教育(GE)および高等学校での情報科におけるモデリング領域に関連する。しかし、これらの能力育成に関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]、国内外において長年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],[8-11])。しかし、現在までに状態遷移図の作成における初学者の誤り分析の例はない。

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リングに関する

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、専門的な勉学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を対象としている。これらの初学者に対して、静的モデルとしての概念モデリングおよび動的モデルとしての振舞いのモデリングとして「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、教育的考察を試みている[12,13]。本稿では、特に状態遷移図の記述・読解における誤り分析の結果を示す。実験の被験者は、プログラミングに関する学習経験が異なる2グループとする。大学入学直後の1年生と、プログラミングを学んだ後の2年生に対する同一課題実験の結果を比較することで、モデリング初学者における誤りの傾向を考察し、その結果に基づく教育方法について検討する。

2.2 研究方法

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、指定された

[†] 信州大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University.

^{††} 信州大学工学部
Faculty of Engineering, Shinshu University.

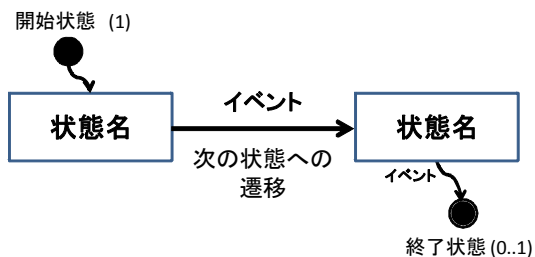


図 1. 本研究で用いた状態遷移図の記法

Figure 1. Notation of the state machine diagram in this study.

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、講義で利用される。

2.3 モデルの記述

UML は ISO や JIS で標準化され、システム開発や関連業務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、理解が難しい。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（図 1 参照）。

2.4 研究方針

これまでに、振舞いのモデリングに関して、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学習に適しているのか、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、モデル図の意義や記法の説明。
2. 被験者による、モデル図の読解。
 - I. 分析者による、回答分析。
 - II. 講義者による、誤りに関するレビュー。
3. 被験者による、モデル図の記述。
 - I. 分析者による、回答分析と誤りパターン抽出。
 - II. 講義者による、誤りに関するレビュー。
4. 被験者による、モデル図の修正。

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等）を含むものとする。2.では、要求文とモデル図との差異の読取や、モデル図から読取れる情報の記述等を含むものとする。3.では、要求文に対応する完全なモデル図を記述することのみならず、一部が空欄となっているモデル図の穴埋めも含むものとする。4.では、要求文とモデル図の差異の指摘と、正しいモデル図の記述を行わせるものとする。

3. 状態遷移図に関する分析

プログラミングに関する学習経験の異なる 2 つの被験者群を対象とした状態遷移図の読解・記述・修正の実験結果を示す。被験者の回答から初学者の誤りパターンを分析する。

3.1 被験者

3.1.1 被験者 A 群

被験者 A 群は、工学部情報系学科所属の大学 1 年生 89 名とする。実験時期は入学直後の 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、モデリングに関する学習をまったく受講していない。この群に対して、必修科目の新入生ゼミナールの一環として、モデリングを導入する。ここでは、オブジェクト指向の概念把握を主眼とするのではなく、UML によるモデルベースの思考訓練が第 1 義とされる。

3.1.2 被験者 B 群

被験者 B 群は、工学部情報系学科所属の大学 2 年生 80 名とする。実験時期は 2012 年 10 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モデリングの基礎、そしてプログラミングに関する学習を、それぞれ必修科目（あるいは必修科目の一部）として学習済みである。アルゴリズム的思考法の学習は 1 年前期に 90 分×21 回、モデリングの基礎は 1 年前期に 90 分×11 回、プログラミングは 1 年後期と 2 年前期にそれぞれ講義 90 分×15 回と演習 90 分×15 回である。モデリングの基礎の学習内容と学習時間は、クラス図による概念モデリング 90 分×6 回、状態遷移図による振舞いのモデリング 90 分×3 回、状態遷移図に基づき実機を動作させる MDD (Model Driven Development) の体験 90 分×2 回である。この群に対しては、形式的システムモデリングという選択科目内で実験を行う。ここでは、システム設計の基礎学習が第 1 義とされる。

3.2 読解実験

3.2.1 実験方法

この実験では、要求分析能力を問うものとする。状態遷移図の 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。

両被験者群に対して、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。

3.2.2 実験課題

「ホテルの宿泊予約」に関する状態遷移図を示し、要求文と図とを対比させる（図 A-1 参照）。課題は 3 問であり、回答時間は 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

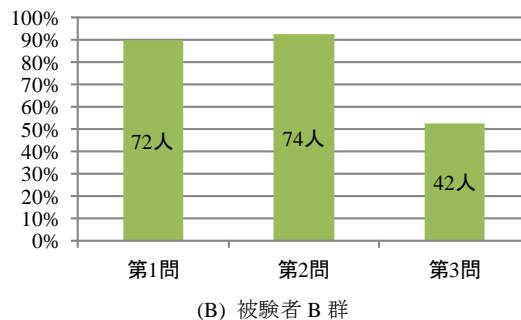
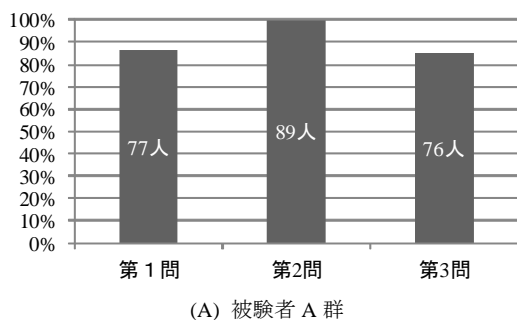


図 2. 読解実験の各課題の正答率

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

全て選択する。図中のイベントは 5 種類。

3.2.3 実験結果

各課題の正答率を図 2 にまとめた。図中 (A) が被験者 A 群、図中 (B) が被験者 B 群の結果である。両群に共通して、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、「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のみならずかどうかを問う問題を誤っていた。例えば、「使用中に遷移するイベントは「宿泊する」以外にない。」という記述を、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、「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。

3.3 記述実験

前節の結果をふまえて、状態遷移図の記述実験の課題を設計した。この実験では、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

実験時期は両群共に 3.2 の読解実験の 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。

3.3.2 実験課題

課題は 4 問である (図 A-2 参照)。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

表 1. 記述実験での課題の特徴比較

Table 1. Features of each task in a model creating 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	○	○	○	○

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。

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。要求文は 3 つ。

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。要求文は 7 つ。

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。

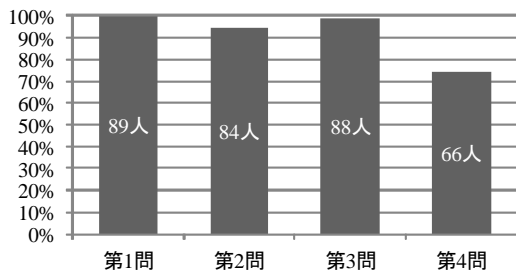
3.3.3 実験結果

各課題の正答率を図 3 に示す。図中 (A) が被験者 A 群、図中 (B) が被験者 B 群の結果である。両群共に、第 1 問と第 3 問は正答率が 90% を超えている。特に、A 群の正答率はほぼ 100% であった。第 2 問では両群の平均で約 10% 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が中心であった。第 4 問においては A 群で約 25%、B 群においては約 40% 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文を満たしていない記述が目立った。

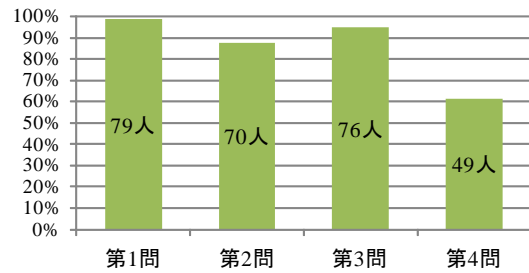
3.3.4 誤りの傾向

正答率の低い第 2 問と第 4 問の誤答を分析した結果、状態遷移図記述時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”)



(A) 被験者 A 群



(B) 被験者 B 群

図 3. 記述実験の各課題の正答率

Figure 3. Percentage (%) of questions answered correctly in a model creating test.

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4に記法誤りを生じている回答例を示す。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5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、第2問に対する「遷移の過不足」が生じている。すなわち、過剰な遷移が書かれており、要求に対して必要とされる遷移が不足している。

各詳細パターンと、正答率の低かった記述課題の第2問と第4問での発生率を表2に示す。ここでは、各問に誤答した回答に占める各パターンの発生割合を示している。A群では記法誤りの発生率が高く、B群では記法誤り・要求解釈の誤りの両方の発生率が高い傾向がみとれる。特に、第4問においては、記法誤りの発生率が両群で約70%、要求解釈の誤りも両群で40%を超えている。また、2つの被験者群に共通して一定割合出現していた誤り詳細パターンは、記法誤りでは「終了状態が複数存在」と「遷移に方向がない」(共に第4問)、そして3種のイベントに関連する記法誤りであった。要求解釈の誤りでは「遷移の過不足」である。特に、正答率の低かった第4問で発生率は高かった詳細パターンは、被験者A群では記法誤りの「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%であるのに対して、被験者B群では要求解釈の誤りの「遷移の過不足」69%であった。

3.4 修正実験

3.3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、状態遷移図の修正実験を行った。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。

3.4.1 実験方法

実験時期は、両群共に3.3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、3.3.4で示した記法誤り全9種中7種と、要求解釈

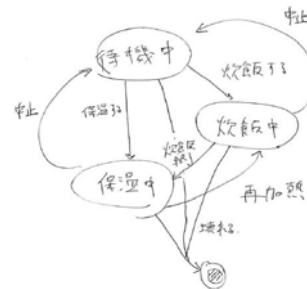


図 4. 記法誤りの詳細パターンの例: 第4問の回答における「開始状態なし」「遷移とイベントは1:1でない」
Figure 4. An example of errors types in a model creating test (syntactic error at Q4).

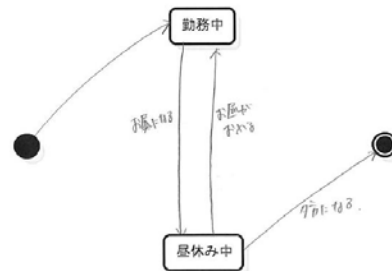


図 5. 要求解釈の誤りの詳細パターン例: 第2問の回答における「遷移の過不足」
Figure 5. An example of errors types in a model creating test (pragmatic error at Q2).

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、さらに正しい状態遷移図を記述させる課題を課した。

3.4.2 実験課題

課題は3問(図A-3参照)、回答時間は3問で30分とした。各設問の概要(含めた誤り詳細パターン)を表3に示す。

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。

3.4.3 実験結果

各課題の正答率を図6に示す。図中(A)が被験者A群、図中(B)が被験者B群の結果である。ここでの正答率は、

表 2. 記述実験における“記法誤り”と“要求解釈の誤り”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 model creating test and percentage of errors types occurred.

	A群		B群	
	第2問(5)	第4問(23)	第2問(10)	第4問(31)
記法誤り	100%	70%	40%	71%
状態	同じ名称の状態を複数記述	9%		
	終了状態が複数存在		17%	26%
	開始状態がない		9%	6%
	開始状態と終了状態の記法の混同			10%
遷移	遷移に方向がない	13%		13%
	イベント名未記入	20%	9%	10%
イベント	開始状態からの遷移にイベント名を記入	20%		30%
	遷移とイベントが1:1でない		35%	13%
	独自の記法の採用	60%	4%	
要求解釈の誤り	20%	43%	70%	42%
終了状態を見極められない		9%		19%
状態の過不足		9%	10%	13%
遷移の過不足	20%	26%	70%	42%

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。正答率に差があるものの、両群共通して、第3問、第1問、第2問の順で正答率が高い。

また、表3右部には各課題の誤答回答における、誤り詳細パターン毎の指摘割合を示す。両群において80%以上の被験者から指摘された誤り詳細パターンは、第2問における「開始状態がない」「遷移に方向がない」である。一方、両群において指摘割合が50%未満であったのは、第1問の「開始状態からの遷移にイベント名を記入」と第2問の「遷移とイベントが1:1ではない」である。

特に、第3問は1種の誤り詳細パターンしか含んでいない。表3の数値は「(課題に含まれていた)4つの誤りを(過不足なく)全て指摘したが、正しい状態遷移図が描けていない」回答の割合と解釈できる。残りの誤答(誤りを指摘できず、正しいモデル図も記述できなかった回答)の内訳を図7に示す。図中(A)が被験者A群、図中(B)が被験者B群の結果である。課題に含まれていた誤りに対して指摘が少ない回答(不足)と、誤りでない遷移を誤りだと指摘した回答(過剰)、それら両方を含む回答(両方)の3つに整理した。両群に共通して、過剰な回答が最も多い。

4. 教育的考察

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。

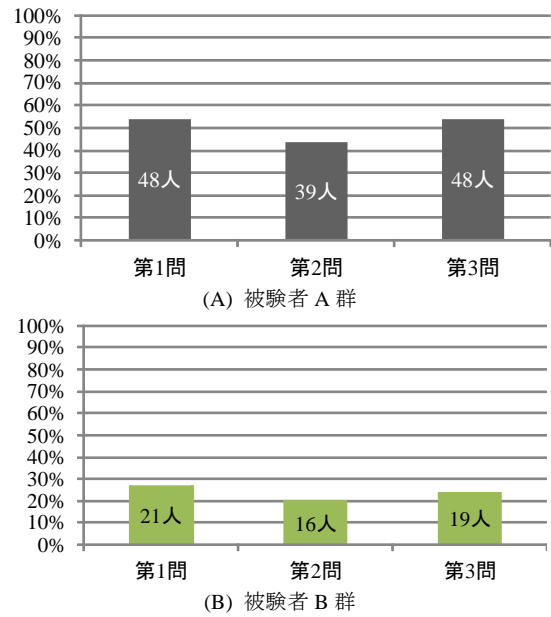


図 6. 修正課題の正答率

Figure 6. Percentage of questions answered correctly in a model modification test.

表 3. 修正問題の特徴比較と誤り詳細パターン毎の指摘割合
Figure 3. Features of each task in model modification test and percentage of correct answers with incorrect diagram.

	A群			B群		
	第1問(41)	第2問(50)	第3問(41)	第1問(59)	第2問(64)	第3問(61)
記法誤り						
状態	同じ名称の状態を複数記述	77%		58%		
	終了状態が複数存在		54%		41%	
	開始状態がない		96%		94%	
	開始状態と終了状態の記法の混同					
遷移		84%			80%	
イベント	イベント名未記入	44%		74%		
	開始状態からの遷移にイベント名を記入	32%		25%		
	遷移とイベントが1:1でない		18%		6%	
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%			57%

- 記法誤り
- 同じ名称の状態を複数記述
- 開始状態と終了状態の見極め
- 要求に対する遷移の不足・過剰
- 要求文に対応するようにモデル図を修正すること

“記法誤り”に対しては、モデル図を提出する際の表層的なチェックおよび誤りの指摘により、解決すると考える。そのためには、例えば、モデル記述の自由度を制限し、予

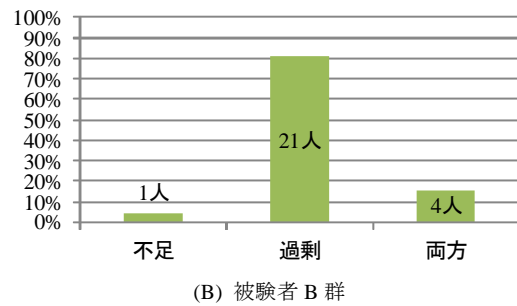
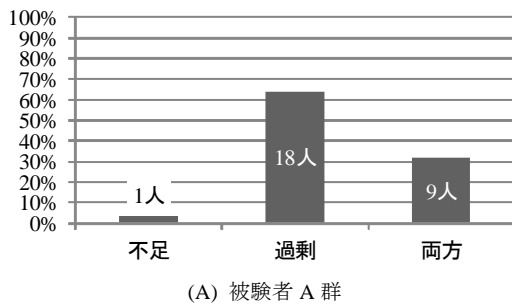


図 7. 第 3 問における誤りパタンの内訳

Figure 7. Percentage (%) of errors types occurred at Q3 in a model modification test.

め与えたパーツのみでモデルを構成させることや、チェックリストの利用等が考えられる。本研究では、机上での学習の後に、ICT 環境でのモデル図操作を提案したい[14,15].

“同じ名称の状態を複数記述”は、表層的なチェックにより、誤りを指摘することも可能ではある。しかし、モデル化する対象により、異なる役割で同名の状態を利用したいとするニーズも生じる。これは、今回の実験中にも被験者から実際に要望された事柄でもある。それゆえ、状態の名称のみを示す(あるいは記述する)現行の記法を拡張し、当該状態において実行される処理(アクション)も示す(あるいは記述する)ことを導入したい。

“開始状態と終了状態の見極め”は要求解釈の誤りの「終了状態を見極められない」や、記法誤りにおける「終了状態が複数存在」・「開始状態がない」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、開始状態や終了状態を見極められない誤りは、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。

“遷移の過不足”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、修正させる演習の積極的導入が必要と考える。

また、読解を中心としたリテラシ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、要求文に対応する状態遷移図を記述することよりも、状態遷移図の不適切な箇所を見出し正しく修正することの方が難しいことが示された。これに対しては、例えば、要求文のみを最低限満足するモデルや、要求文も満足するが記述されていない事柄までも満足するモデル等、同一の要求文から記述されるモデル図が複数存在することを示し、当該

表 4. 読解実験と記述実験のクロス集計

Figure 4. Cross tabulation for model reading test and model creating test.

(A) 被験者 A 群

(B) 被験者 B 群

		読解	
		正答	誤答
記述	正答	53.5%	17.4%
	誤答	18.6%	9.3%

		読解	
		正答	誤答
記述	正答	26.3%	28.8%
	誤答	13.8%	31.3%

のモデル図では表現できないことや要求文との矛盾の有無を検討させる演習等の導入を提案したい。

4.2 プログラミングに関する知識の有無との関係

[3]での議論には、“良いモデラは良いプログラマであることが多いが、良いプログラマは必ずしも良いモデラであるとは言えない”や“プログラミングの知識は、適切なモデリングを阻害する”等の意見も出されている。プログラミングとモデリングの学習時期に関しても、結論が得られているわけではない。

2.4 に示した 1.の実験(被験者の理解状態を確認するための実験)では A 群と B 群において統計的に等分散・等平均であることが確認されている。その上で、今回の読解・記述・修正実験を鑑みる。まず、表 4 に両群における読解課題と記述課題の正誤に関するクロス集計の結果を示す。ここでの正答とは各実験課題の全てに正答した回答の割合である。両実験において共に正答であった回答が被験者 A 群では 50%を超えているのに対して、B 群では 26%であった。両実験共に誤答であった回答は A 群で 10%を割っているのに対して、B 群では 30%を超えている。実験を実施した科目として、A 群は必修、B 群は選択という違いがあるものの、両群の成績には大きな差が確認できる。

プログラミングに関する前提知識が異なる 2つの被験者グループを用いた今回の実験を通して、特にモデル図の読解実験と記述実験において、各課題に対する正答率や生じる誤りパターンに共通点が数多く見いだせた。同時に、記述実験の結果から、プログラムの知識のない A 群では記法誤りが特に多く、プログラミングの知識を有する B 群では記法誤りと要求解釈の誤りのいずれかに偏ることはなかった。また、修正実験においては、状態・遷移・イベントに関する

る記法誤りにおいて両群に共通する傾向はさほど確認できなかった。これらから、モデル図の読解や記述において、プログラミングの知識は必ずしも支えとは成り得ないことを示していると考えられる。

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的考察を試みた。状態遷移図の記述と読解に関する誤り分析の結果から、特に留意を要する5項目への配慮を指摘し、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。本稿の被験者はプログラミングに関する学習経験が異なる2グループであった。対象の振舞いをモデル化する状態遷移図に関する知識とプログラミングの知識との関係の整理には、今後の更なる検討が求められる。

今後は、これらの結果をふまえ、状態遷移図に関する誤り指摘の自動化等の学習環境の充実と、学習者自身によるモデル図の評価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。

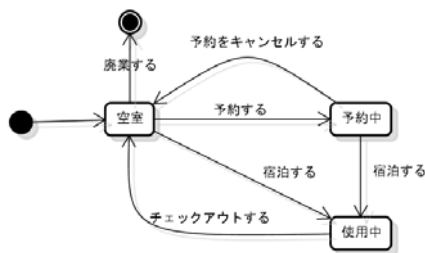
参考文献

- 1) スティーブ J.メラー他：“Executable UML”，翔泳社（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）。

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、部屋は業務においての役目を終える

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。

- 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) 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>
- 9) 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）。
- 10) 長尾祐樹他：“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）。
- 11) 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）。
- 12) 増元健人他：“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）。
- 13) 香山瑞恵他：“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”，情処研報，2012-CE-117(7), pp.1-9（2012）。
- 14) 香山瑞恵他：“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）。
- 15) Educational Clooca,; <http://www.clooca.com/>

付録

読解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、修正実験の課題を図 A-3 にそれぞれ示す。

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。

- a. 予約中は状態として存在する。
- b. 予約のキャンセルは状態として存在する。
- c. 宿泊中は状態として存在する。
- d. 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。

- a. 遷移は全部で8本である。
- b. 使用中からは空室と予約中に直接遷移できる。
- c. 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。
- d. 開始状態の直後の部屋の状態は空室である。
- e. 終了状態の直前の部屋の状態は空室である。
- f. 空室から直接遷移する状態は必ず終了状態になる。
- g. 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。

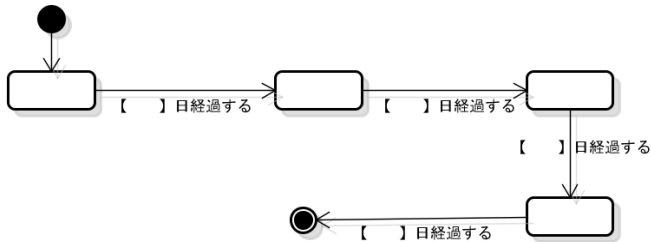
- a. 予約中では2つのイベントそれぞれにより遷移が起こる。
- b. 使用中に遷移するイベントは「宿泊する」以外にない。
- c. 使用中から予約中に遷移するためのイベントがある。
- d. 予約中の状態が変わるためのイベントの1つは「チェックアウトする」である。
- e. 予約中の状態と「予約をキャンセルする」のイベントは無関係である。
- f. 上記のいずれも正しくない。

図 A-1. 基礎実験の課題

Figure A-1. Tasks in the model reading test.

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。

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。

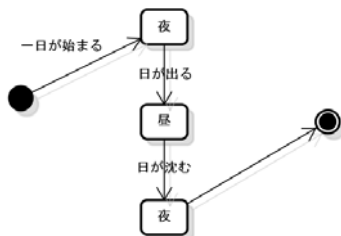
- 炊飯器は待機中から始まる。
- 待機中に炊飯すると、炊飯中になる。
- 待機中に保温すると、保温中になる。
- 炊飯中や保温中に中止すると、待機中に戻る。
- 保温中から再加熱すると、炊飯中になる。
- 炊飯中に炊飯が終わると、保温中になる。
- どの状態からでも炊飯器は壊れると、役目を終える。

図 A-2. 記述実験の課題
Figure A-2. Tasks in the model creating 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。

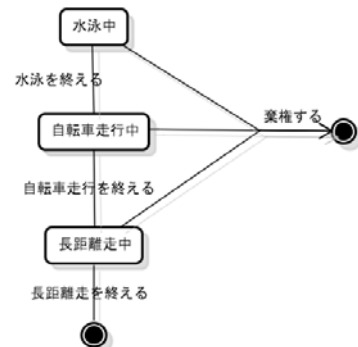
問1 以下の簡条書きを満たそうと作成された日本における昼夜(1日)の状態遷移図

- 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。



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。



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

- となる。
 - 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。

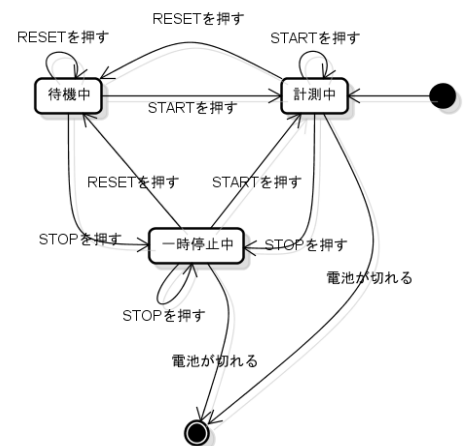


図 A-3. 読解実験の課題
Figure A-3. Tasks in the model modification test.