

状態遷移図モデリング過程における誤り構造分析に関する基礎的検討

A Fundamental Study on Error Structure Analysis
in the Modeling Process Using State Transition Diagrams佐々木 龍也^{*1}, 永井 孝^{*1,2}, 舘 伸幸^{*1}, 各務 正太郎^{*3}, 朴 時穩^{*3}, 香山 瑞恵^{*1}Tatsuya SASAKI^{*1}, Takashi NAGAI^{*1,2}, Nobuyuki TACHI^{*1}, Seitaro KAKUMU^{*3}, Shion PAK^{*3}, Mizue KAYAMA^{*1}^{*1} 信州大学^{*2} ものづくり大学^{*1}Shinshu University^{*2}Institute of Technologists^{*3} 信州大学大学院総合理工学研究科^{*3}Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

Email: 22t2077g@shinshu-u.ac.jp

あらまし：状態遷移図を用いたモデリング学習では、完成結果だけでなく学習過程の分析が重要である。本研究では、学習者の状態遷移図作成過程に着目し、過程モデルに基づく誤り構造の分析を行った。分析の結果、冗長構造、誤イベント、構造的不整合といった誤りを抽出・整理できることを示した。特に冗長構造は、学習者が理解を深める途中段階の痕跡として捉えられる誤りであり、完成モデルのみでは把握しにくい特徴であることが示唆された。

キーワード：状態遷移図、モデリング学習、誤り分析、学習過程分析、教育支援

1. はじめに

状態遷移図は、システムの振る舞いを表現する代表的なモデルであり、情報教育やモデリング学習において広く用いられている⁽¹⁾。状態や遷移を明示的に記述することで、対象の構造的な理解を促すことができるとともに、状態遷移図を用いたモデリングは、Computational Thinking やプログラミング的思考における抽象化や構造化の学習^(2,3)とも関連している。

一方、学習者が作成した状態遷移図の評価は、完成結果の正誤に基づいて行われることが多く、どのような過程を経てモデルが構築されたのかを把握することは困難である。特に、途中で試行錯誤された構造や、最終的には修正されなかった構造は、学習者の理解状態を反映している可能性があるにもかかわらず、評価や分析の対象から外れてしまう。

本研究では、状態遷移図を用いたモデリング学習において、学習者の作成過程に着目し、過程モデルに基づいて誤り構造を分析する手法について検討する。完成結果だけでなく、モデリング過程に現れる誤りの特徴を整理することで、学習者理解の把握に資する知見を得ることを目的とする。

2. 関連研究と本研究の位置づけ

状態遷移図を用いたモデリング学習に関しては、完成したモデルを対象とした誤り分析に関する研究が行われてきた。例えば、Model Driven Development の考え方を導入した初学者向けモデリング教育において、完成した状態遷移図の構造的な特徴に基づき、状態や遷移の記述における不適切さや過剰さといった誤りを分析している⁽⁴⁾。この研究では、動作としては正しく振る舞うにもかかわらず、構造的には誤りを含むモデルが存在することが指摘されており、完成結果に基づく誤り分析の有効性が示されている。

一方、近年ではモデリング学習の過程に着目し、

プロセスマイニングを用いた分析も試みられている。モデル図の構造変化を対象としたプロセスマイニングでは、学習者がどのような構造のモデルを経由して完成に至ったかを可視化することが可能である⁽⁵⁾。また、モデル作成時の操作ログに基づくプロセスマイニングでは、操作系列の分析を通じて学習者の行動パターンや試行錯誤の様相を捉えることができる⁽⁶⁾。

しかし、これらの研究はいずれも、構造または操作のいずれかに着目した分析にとどまり、モデル構造の誤りがどのような過程で生成・蓄積されるかを直接的に説明するものではない。本研究では、状態遷移図の作成過程を過程モデルとして再構成し、その推移に基づいて誤り構造を分析することで、完成結果のみでは捉えにくい誤り形成の特徴を明らかにする点に特徴がある。

3. 対象と分析方法の概要

本研究では、状態遷移図を用いたモデリング学習を対象とする。学習者は、提示された課題に対して状態および遷移を段階的に追加・修正しながら状態遷移図を作成する。各操作履歴は時系列データとして記録され、学習者の作成過程を過程モデルとして表現することが可能である⁽⁷⁾。

過程モデルでは、状態や遷移の追加・削除といった操作を追跡することで、完成結果に至るまでの構造変化を把握できる。本研究では、この過程モデルと模範解答との対応関係に基づき、学習者の作成過程に現れる構造的な誤りに着目する。過程において判断可能な誤りを対象とすることで、完成結果のみでは捉えにくい誤りの特徴を分析する。

本研究では、複数の演習課題に対して学習者のモデリング過程を分析した。その結果、余計な状態や遷移を配置する誤りは多くの学習者に共通して確認され、正しい遷移に対して誤ったイベントを割り当

てる誤りは特定の課題条件において集中的に出現する傾向が見られた。また、これらの誤りが複合的に生じた場合には、全体構造に矛盾を含むモデルが形成されることが多かった。

4. モデリング過程における誤り構造の分類

図1に、模範解答と構造的な不整合を含むモデルの例を示す。構造的な不整合なモデルでは、冗長構造として状態過剰や遷移過剰が生じるとともに、誤イベントが付与されている様子が確認できる。過程モデルに基づく分析の結果、学習者が作成する状態遷移図には、いくつかの特徴的な誤り構造が確認された。本研究では、モデリング過程において判断可能な誤りに着目し、誤り構造を冗長構造、誤イベント、構造的な不整合の3種類に分類する。

第一に、冗長構造は、本来不要な状態や遷移が追加される誤りである。学習者は振る舞いの網羅性を意識するあまり、同じ意味を持つ状態や遷移を重複して記述する傾向が見られた。これらの冗長な構造は動作結果に直ちに影響しない場合も多いが、モデル全体の見通しを悪化させ、後続の修正や拡張を困難にする要因となる。

第二に、誤イベントは、状態間の遷移は成立しているものの、遷移条件として付与されたイベントが不適切な誤りである。本来想定されていないイベントによって遷移が生じるなど、状態遷移の意味づけに誤りが含まれる場合が確認された。これは、記号的な操作と対象の振る舞い理解とのずれが表れた誤りと捉えられる。

第三に、構造的な不整合は、冗長構造や誤イベントといった局所的な誤りが複合的に生じた結果として、全体構造に矛盾を含む誤りである。循環構造の不整合や到達不能状態の発生などが確認され、この誤りは完成した状態遷移図だけでは把握しにくく、モデリング過程の分析により明確になる特徴を持つ。

なお、本研究では、モデリング過程の途中段階における欠落構造については、将来的に補完される可能性を含むため、誤り分類の分析対象とはしていない。一方で、最終的に完成した状態遷移図において欠落が残る場合には、結果としての誤りとなり得る。

5. 考察

本研究で抽出された誤り構造のうち、特に冗長構

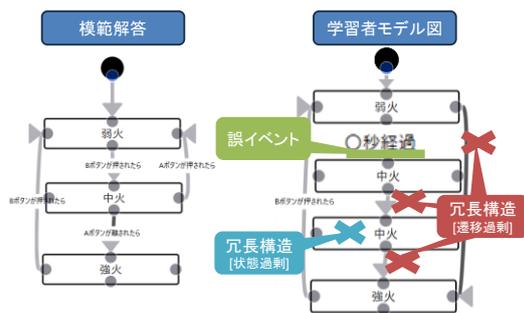


図1 模範解答と構造的な不整合を含むモデルの例

造は、状態遷移図モデリング学習における初学者の特徴をよく反映していると考えられる。冗長構造は、学習者が振る舞いを漏れなく表現しようとする過程で生じることが多く、動作結果に直ちに影響しない場合もある。そのため、完成したモデルのみを評価対象とした場合には見逃されやすい誤りである。一方、過程モデルに基づく分析を用いることで、冗長構造が付加・蓄積される過程を把握することが可能となり、冗長構造を学習者がモデルを理解しようとする途中段階の痕跡として捉えることができる。

また、誤イベントは、状態間の対応関係自体は理解されているものの、遷移条件の意味づけが不十分な場合に生じる誤りであり、冗長構造と組み合わせることで構造的な不整合を引き起こすことがある。構造的な不整合は、局所的には正しい記述を含みながらも全体として矛盾を生じる点に特徴があり、モデリング過程の分析によって初めて顕在化する誤りである。さらに、学習者のモデリング過程には、短時間で修正可能な誤りと、同じ誤りを繰り返し固定化する誤りが存在することが確認され、誤りの種類に応じた支援の必要性が示唆される。

6. おわりに

本稿では、状態遷移図を用いたモデリング学習において、学習者の作成過程に着目し、過程モデルに基づく誤り構造を分析した。その結果、冗長構造や誤イベントといった誤りがモデリング過程において生じ、それらが複合的に現れることで全体構造に矛盾を含むモデルが形成されることを示した。特に冗長構造は、学習者が理解を深める過程で生じる特徴的な誤りであり、完成結果のみでは捉えにくいことが明らかとなった。今後は、これらの誤り構造に基づくフィードバック方法を検討し、モデリング学習支援への応用を進める予定である。

謝辞：本研究は科研費 23K24957 に支援された。

参考文献

- (1) Object Management Group : OMG UMLanguage, Version 2.5.1. <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/> (参照 R8.2.2).
- (2) J.M.Wing : Computational Thinking, CACM, 49(3):33-35, 2006.
- (3) 文部科学省 : 情報教育の推進, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1369613.htm (参照 R8.2.2)
- (4) M. Kayama, et al : Effectiveness of Model-Driven Development in Conceptual Modeling Education for University Freshmen, IEEE EDUCON2015, 274-282, 2015.
- (5) 朴 他: モデリング学習支援環境における小学生のモデリング過程についてのプロセスマイニングによる基礎的検討, JSiSE2024 学生研究発表会, 北信越 04, 2025.
- (6) 小川 : プロセスマイニングを用いた UML モデリング学習の評価に関する基礎的検討, 2023 年度信州大学総合理工学研究科工学専攻電子情報システム分野修士論文, 2024.
- (7) 丸山 他: 中学校技術課での利用を想定したモデリング学習支援環境とその授業実践, IPSJ-DP, 4(2):85-97, 2023.