

クラス図のレイアウトを用いたモデリング初学者支援手法[†]

齊藤 悠太*

A Support Method for Novice Modeling Learners Using Class Diagram Layout

Yuta Saito

1 はじめに

高等教育機関における情報教育では、ERD や DFD、UML（クラス図）等の図式言語を用いたモデリング演習が実施されている。モデリング演習は、構成主義的な学習活動を通じて、学習者が抽象的な概念を具体的なモデルへと変換する過程で知識を経験的に積み重ねていくことを目的としている。しかし、モデリング未経験の初学者にとって、課題の要求文から抽出した概念を適切に構造化する作業は認知負荷が高く、難易度が高い。その結果、初学者は要素の欠落や論理的な誤りを含む成果物を繰り返し作成してしまう傾向がある[1]。このような誤りの連鎖は、自己修正を困難にし、演習の進行が停滞する「行き詰まり(Impasse)」の状態を引き起こす要因となる。

このような課題に対し、先行研究では、正解例との違いの明確化や数値指標によるフィードバックを提供し、学習者の自己修正を支援する手法が提案されている[2][3]。しかし、先行研究[2]では演習中にフィードバックを使用することは想定されていない。また先行研究[3]ではフィードバックへの過度な依存が指摘され、フィードバックの効果が学習者の特性や行動に依存するという問題が存在する。

本研究の目的は、モデリング演習中の初学者支援が有益なフィードバックとなるかを明らかにすることである。本論文では、図のレイアウトを用いて学習者のモデリングを支援する手法を提案する。この手法は上述の問題を解決するために、クラス図（正解例）のレイアウトを支援に用いる。本論文におけるレイアウトとは、クラスの配置を指す。

2 提案手法：レイアウトの自動変換手法

モデリング演習中の初学者を支援するために本研究クラス図のレイアウトをフィードバックに用いる。クラス図のレイアウト（クラ

スの配置）は可読性に影響を与えることが明らかになっている。本研究では、そのレイアウトをフィードバックに用いることで、初学者は欠落したクラスや関連、余分な要素に気づくことができる。またレイアウトでは、数値のような直接的なフィードバックを得ることができないため、フィードバックへの依存が起こらないと考えられる。

本研究では、レイアウトを用いたレイアウト自動変換手法を提案する。さらに、手法の活用を支援するための支援も行う。

学習者がフィードバックを活用する際の学習者の心理・行動プロセスの流れ[4]は以下の通りである。

1. フィードバックの要求：様々な情報源からフィードバックを引き出す
2. フィードバックの理解：フィードバックの内容・意図を理解する
3. フィードバックの利用：フィードバック情報に基づき行動する
4. 感情の管理：ネガティブな感情を経験しても、フィードバックに関わる行動を継続する

本研究では、レイアウトの自動変換によってフィードバック環境を提供する。そして、流れ 1 のフィードバックの要求を支援する定期的な困難チェックによってフィードバックの利用促進を行い。さらに、流れ 2 のフィードバックの理解を支援するためにライフタイム分析に基づくレイアウトによってレイアウトの意図の解釈支援を行う。

2.1 教授者のレイアウトの自動変換

最初の支援として、学習者の成果物を教授者が作成した正解例のレイアウトへ自動変換する手法を提案する（図 1）。

本手法は以下の 3 工程で構成される。

1. 対応のあるクラスの探索：クラス名や属性の類似度 CS[5]に基づき、成果物と正解例のクラスを同定する
2. クラスの再配置：同定されたクラスを正解例の座標へ移動させる。対応のないクラスは座標(0,0)へ集約し、識別性を高める。
3. 関連の復元：クラス間の接続関係を維持したまま描画を更新する。

*本研究の一部は以下において発表した

・情報処理学会 第 86 回全国大会

・日本ソフトウェア科学会 第 41 回大会

・日本ソフトウェア科学会 第 42 回大会

・日本ソフトウェア科学会 第 12 回実践的 IT シンポジウム

*電子情報メディア工学専攻 2248010 橋浦研究室

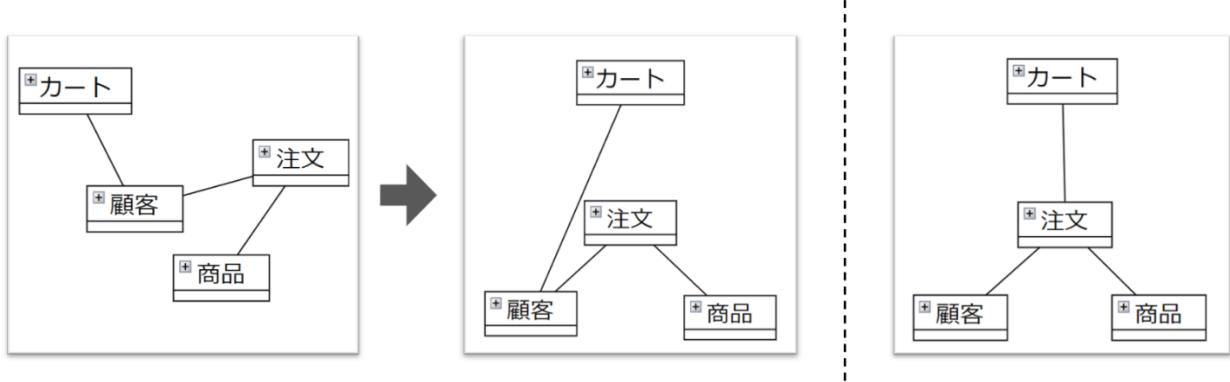


図 1.レイアウトの自動変換(左:成果物, 中央:レイアウトの自動変換後の成果物, 右:正解例)

2.2 困難検知による自動フィードバック

フィードバックの要求を促進するための支援として、初学者の学習状況を定期的にチェックし、「困難」の条件に一致した場合、自動的にフィードバック(レイアウトの自動変換)を発動させる手法を提案する。困難の条件は 1 分前よりもクラス図の評価指標である CDS[5]が、0.05 以上向上していない状態である。手法の流れのイメージを図 2 に示す。

図 2.定期的な困難チェックの流れ

2.3 ライフタイム分析に基づくレイアウト

フィードバックの理解を支援するために、自動変換後のレイアウトを可読性を重視した美的なレイアウトではなく、意図を含む意味的なレイアウトを利用する。本手法では、大木が提案したライフタイム分析[6]と 3.1 章で前述したレイアウトの自動変換を組み合わせた手法を提案する。ライフタイムとは、属性に値が設定されてから意味を失うまでの期間を指す。本手法では、描画画面をセクション分けし、ライフタイムの開始順(時系列順)のレイアウトに自動変換する。図 3 の場合、クラスは初期値の設定タイミングの順番通り、支店→顧客→口座の順番で左から並び変えられる。

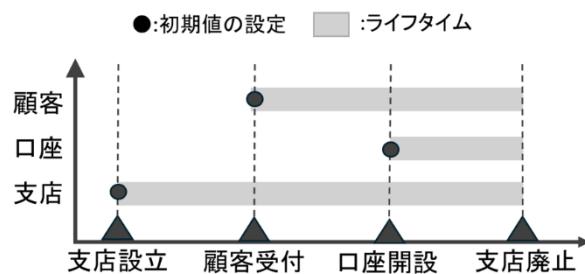


図 3.ライフタイム

3 評価

初学者の成果物の進捗を客観的に評価するためにCDS[5]を用いる。CDSは正解例と成果物のクラスや関連の一致度を数値化して 0~1 の範囲で表す評価資料である。

3.1 RQ

RQ1: レイアウト自動変換は初学者の CDS の向上を支援するか?

RQ2: 困難チェックによるフィードバックの増加は、フィードバックを十分に活用しない初学者の行動にどのような変化をもたらすか?

RQ3: ライフタイム分析に基づくレイアウト(意味的なレイアウト)は教授者のレイアウト(美的なレイアウト)と比較して初学者の行動にどのような変化をもたらすか?

合計 3 回の実験によってRQに回答する

3.2 実験構成

RQ を確認するために、計 3 段階の実験を実施した。各実験の条件および対象とする RQ の対応関係を表 1 に示す。

表 1.実験の目的と条件の比較

#	比較項目	実験 1	実験 2	実験 3
1	目的	RQ1 の確認	RQ2 確認	RQ3 の確認
2	実験環境と被験者数	個別 (n=20)	授業 (n=121)	授業 (n=127)
3	独立変数	自動変換の有無	定期的な困難チェックの有無	自動変換後のレイアウト

実験 1 では RQ1、実験 2 では RQ2、実験 3 では RQ3 の確認を行う。実験 1 では被験者を実験群と統制群に無作為に割り振っている。一方、実験 2, 3 は授業内で実施しており、学習機会の平等性を確保する目的で 2 つの群に分けることは行っていない。実験 2, 3 に関しては、1 回目の演習を統制群、実験群としている。順序効果による学習の影響を最小化するために 2 つの演習の間に解説や正解例の提示を行っていない。なお、全実験の実施に先立ち、対象となるツールおよび手法に関する十分なチュートリアルと事前演習を実施した。これにより、被験者

間の操作習熟度の差異を解消し、統制条件の時点ですべての被験者が基本機能を習得している状態を担保した。

3.3 RQ1

実験 1 の結果を図 1, 2 に示す。t 検定の結果、レイアウト変換を利用した群(実験群(赤))は、利用しない群(統制群(青))と比較して CDS が高い($p=0.0235$)。この結果は、レイアウトによるフィードバックが CDS の向上に寄与したことが示された。これは、視覚的なレイアウトの変化が成果物の状態を客観視させるフィードバックとして機能したためと推察される。

一方で、フィードバックを発動させた回数と CDS の間に正の相関が認められ、個人差が顕著であった。特に、フィードバックを十分に活用せずに行き詰まりを見せる学習者の存在も確認された。これらの学生はフィードバックを活用するプロセスの 1 つ目である、フィードバックの要求の段階で課題を抱えている可能性が高い。

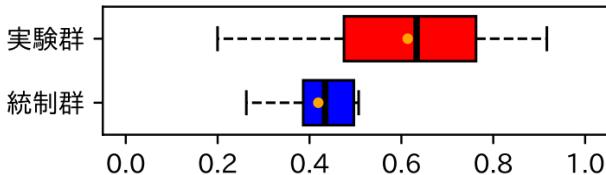


図 4.CDS の比較(実験 1)

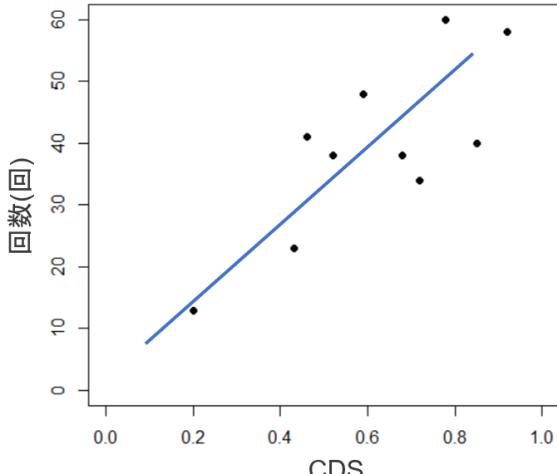


図5.実験群の学生の分布

3.4 RQ2

実験 2 では、実験 1 の結果に基づき、フィードバックを十分に活用しない初学者を CDS が 0.3 未満かつフィードバックの発動回数が 20 回未満と定義した。この定義に一致する学生 121 人を対象に実験群と統制群の比較を行った。結果を表 2 に示す。フィードバックの発動回数が平均約 24 回と増加し、その他にも自発的にフィードバックを発動させた回数が増加していることから、困難チェックがプロセス 1 のフィードバックの要求のハンドルを下げる介入として有効であることが示された。さらに、操作回数が向上していることから、フィードバックの増加により、試行錯誤が活発になり、結果として CDS を向上させたと考えられる。

しかし、図 6 に示す通り、一部の被験者において CDS の向上が限定的であり、ばらつきが確認された。これらの被験者はフィードバックを利用する段階には至っているものの、フィードバックを活用するプロセスの 2 つ目である、フィードバックの理解の段階で課題を抱えている可能性が高い。

表 2. 実験結果(実験 2)

#	評価項目	統制群	実験群	変化量
1	FB 発動回数	7.39	23.58	+16.19 **
2	自発的な FB 発動回数	7.39	10.59	+3.20 *
3	操作回数	86.1	135.5	+49.4 **
4	CDS	0.15	0.49	+0.34 **

※FB=フィードバック

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

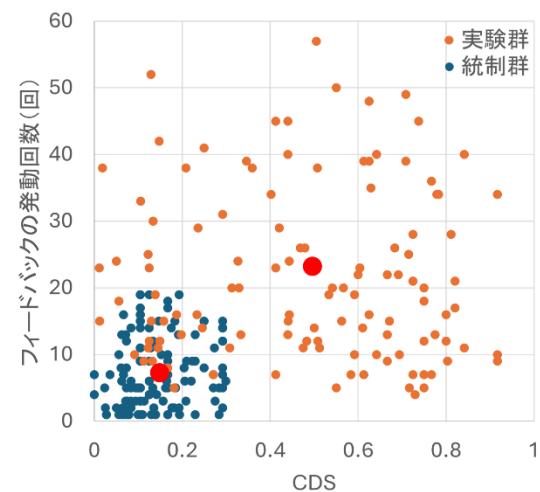


図 6. 実験群の学生の分布

3.5 RQ3

実験 3 の結果を表 3 に示す。

表 2. 実験結果(実験 2)

#	評価項目	統制群	実験群	変化量
1	FB 発動回数	11.86	5.86	-6.00 **
2	操作回数	91.4	83.7	-7.7
3	CDS	0.59	0.66	+0.07 **

※FB=フィードバック

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

t 検定の結果、ライフタイム分析に基づくレイアウトを用いた実験群は、従来の教授者のレイアウトを用いた統制群と比較して CDS 高いことが示された。さらに、実験群ではフィードバックの発動回数において、統制群と比較して有意な減少がみられた。これは、提案手法が最終的な成果物の質を高めるだけでなく、試行錯誤を効率化したことを示唆している。

これらの結果は、ライフタイム分析に基づく意味的なレイアウトが、教授者の美的なレイアウトよりも、初学者の意味的なつながりを想起しやすい、質の高いフィードバックとして機能したことを見ている。これは、フィードバックの活用のための 2 つ目の

プロセスであるフィードバックの理解を乗り越えやすくしていると考えられる。

4 関連研究

4.1 レイアウトの種類

クラス図のレイアウトはモデルの理解に強い影響を与えることが明らかになっている [7]. クラス図のレイアウトについては、多様なアルゴリズム・ルール・基準が存在しており、大まかに分けると、美的なレイアウトと意味的なレイアウトの 2 つに分類できる。前者は、関連線を直角に折る、要素同士を重ねないなど、可読性の向上を目的とした視覚的整形を重視する。一方後者は、クラスの役割に応じた位置・色の指定や、クラス間距離に意図を持たせるなど、図面に意味的構造を付与するものである。

4.2 モデリング支援

ソフトウェア工学教育において、学習者が作成したモデルに対して、教授者や専門家がレビューを行い、誤りの指摘や改善提案を行うインスペクションが有効である。しかし、このような人力によるフィードバックを用いる場合、高等教育機関の講義で行うモデリング演習では、教授者数人に対して、学生が数十人以上参加しているため、大量の時間と大きな労力を要する。このような背景から学習者がフィードバックを得られるように、学習のフィードバック・評価を自動化する研究が行われている。

Ichinohe ら [8] は正解例と成果物の類似度 (0.0~1.0) をフィードバックとして学習者に返すツールを開発した。これにより、モデリング中に学習者はフィードバックを受け取ることが可能になった。一方で、フィードバックが学習者の実感と乖離している場合、安定して類似度を向上させることは難しいと述べている。これらの手法では、常時フィードバックを得ることが可能である。

Sarah ら [3] は、UML データベース設計図の自動生成と採点を行うシステム「AutoER」を提案した。この手法は、学生が問題文中の単語やフレーズを直接選択することで設計図の要素を追加し、システムがその回答をリアルタイムで視覚的に表示とともに、いつでも即座に数値によるフィードバックを提供する。AutoER を使用した学生は、使用しなかった前年度の学生に比べて課題の成績が高い傾向が見られた。また、近年では AI を用いたフィードバックも行われている [27] [28] [29]。しかし、実証実験等はまだ行われていない。

6 結論

本研究では、初学者のモデリング演習を支援する目的で、クラス図のレイアウトを用いた 3 段階の支援手法を提案した。3 つの実験による検証により以下のことが明らかになった。

1. レイアウトによるフィードバックの有効性を確認した
2. 困難検知による自動フィードバックによって、行き詰まつた学習者の試行錯誤を促進することを示した

3. ライフタイム分析に基づく意味的レイアウトが、美的なレイアウトよりも初学者の支援効果が高いことを示した
今後の課題として、学習効果の確認のための理解度テストの実施や初学者のモデリング能力に応じた支援の検討が挙げられる。

参 考 文 献

- 1) S. Chren, B. Buhnova, M. Macak, L. Daubner, and B. Rossi, 'Mistakes in uml diagrams: Analysis of student projects in a software engineering course,' in Proc. of the 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET) (online), pp.100–109, May. 2019. (DOI:10.1109/ICSESEET.2019.00019)
- 2) Schots, M., Rodrigues, C. S. C., Werner, C., and Murt a, L.: A Study on the Application of the PREViAAppr oach in Modeling Education, Proc. of the XXIX Intern ational Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC2010), pp. 96–101, Nov. 2010.
- 3) Sarah Foss, Tatiana Urazova, and Ramon Lawrence , "Automatic Generation and Marking of UML Database Design Diagrams," ACM Technical Symposium on Co mputer Science Education - Volume 1 (SIGCSE), vol.1, pp.626–632. Feb. 2022. (<https://doi.org/10.1145/347843.13499376>)
- 4) T. Little, P. Dawson, D. Boud, J. Tai, "Can students' feedback literacy be improved? A scoping review of interventions," Assessment and Evaluation in Higher E ducation, vol. 49 , no.1 , pp. 1-14, Feb. 2023. (10.10 80/02602938.2023.2177613)
- 5) 田中昂文、橋浦弘明、櫻山淳雄、古宮誠一、「学習者のクラス図作成過程における成果物と正解例との類似度の変遷を用いた進捗状況可視化手法の提案」、情報処理学会ソフトウエアエンジニアリングシンポジウム 2015 論文集, pp.206-07, Aug. 2015.
- 6) 大木幹雄、小峯嘉明、データベース技術、伏見博之（編）、株式会社 日本理工出版会, Nov. 2006.
- 7) B. Sharif and J. I. Maletic, "An eye tracking study o n the effects of layout in understanding the role of d esign patterns," 2010 IEEE International Conference on Software Maintenance, pp. 1-10, Sep. 2010. (doi: 10.1109/ICSM.2010.5609582)
- 8) Y. Ichinohe, H. Hashiura, T. Tanaka, A. Hazeyama, a nd H. Takase, 'Effectiveness of automated grading too l utilizing similarity for conceptual modeling,' Knowle dge-Based Software Engineering: 2018, Proc. of the 1 2th Joint Conference on Knowledge-Based Software E ngineering (JCKBSE 2018) Corfu, Greece. (online), pp. 117–126, Springer, Aug. 2018.(DOI:10.1007/978-3-319-9 7679-2_12)

指導教授	審査委員（主査）	准教授	橋浦 弘明
	審査委員（副査）	教授	条野 文洋
	審査委員（副査）	准教授	加藤 利康