

カード操作方式によるプログラミング学習支援システムでの 学習過程の可視化方法の提案

Proposal of Visualization Method for Card Operation-Based Programming Learning Support System

森永笑子^{1*} 松本慎平² 村上瑠香² 林雄介³ 平嶋宗³
Shoko Morinaga¹ Shimpei Matsumoto²
Ruka Murakami² Yusuke Hayashi³ Tsukasa Hirashima³

¹ 広島工業大学大学院工学系研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology

² 広島工業大学情報学部

² Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

³ 広島大学大学院工学研究科

³ Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Abstract:

To support the appropriate allocation of cognitive load in programming learning, a card operation-based programming learning system has been developed which focuses on thinking between the relations of parts. The main target of this paper is college students who are programming beginner and want to start learning in computer science. The user of this system can make a program by rearranging each card. Until now, a large number of educational improvements have been attempted by statistically analyzing learning history data. Therefore, since the analysis of learning logs is considered to be effective for improving learning support using the card operation-based system, we set it as the purpose of this paper. In this paper, we propose the new concept of distance modified by Levenshtein distance for visualizing the operations of cards. It reveals that there is a characteristic pattern depending on the learner by using the concept of the proposed distance.

1 はじめに

プログラミングは様々な能力や活動を必要とするため、コンピュータに不慣れた初学者にとっては学習の負担が特に大きく、認知資源を本質的学習にうまく配分できていないと言われている [1]. プログラミングは本来高い内在負荷を持つため、できる限り学習者の外在負荷を減らす必要があるとされている [2]. そこで、部分間の関係を考えることに焦点を当てたプログラミング学習において、非本質的な認知負荷の影響をできる限り減らすため、カード操作方式の学習支援システムが開発されている [3]. これは、学習課題のフレームと学習活動のパターンを制限し、意図した学習に認知資源を集中させることを目指したプログラミング学習シ

ステムのひとつの形である。カード操作方式の学習支援システムは、プログラムの部分と部分の関係を考えることに集中させることで、プログラムの構造を意識する習慣、全体の構造を把握する力の習得を狙いとしたものである。大学講義でカード操作方式の学習支援システムを導入した結果、非本質的な認知負荷 [4] を減らしながら、教授者が意図した学習活動に集中できていたこと、とりわけ初学者にとって有効な学習方法であることが示唆された [3]. また、カード操作方式の学習支援システムは、従来のコーディング主体の学習と同等の学習効果を有しながら、従来よりも学習時間を短縮できる効率的な学習方法であることが明らかにされた [5]. 一方で、カード操作方式の学習支援システムの学習ログについては十分に分析されていない。教育機関を対象とした Learning Analytics の事例には、脱落のおそれがある学習者を発見し、特定の講座におい

*連絡先：広島工業大学情報学部知的情報システム学科
〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅 2-1-1
E-mail: md18006@cc.it-hiroshima.ac.jp

て失敗しないように配慮を受けられるようにするシステムがある [6][7]。これらのように、これまで学習履歴データの集計と統計による提示により、数多くの教育改善が試みられている [8]。よって、学習ログの解析は、カード操作方式を用いた学習支援に有効であると考えられるため、これを本研究の目的とする。本研究では、カード操作のログを分析するための距離の概念を提案した。そして、それを用いて特徴的なパターンを発見し、以上により提案法の有効性を明らかにした。

2 カード操作方式によるプログラミング学習システム

カード操作方式は、プログラムコードが書かれたいくつかのカードを学習者に提供し、カードを並び替える操作によってプログラムを組み上げる演習である。これは、プログラミングをいくつかの学習活動に分割した後、一部の学習活動を extraneous 負荷として間接的に減らしながら、狙いとする学習活動に認知資源を集中させることを狙いとしている。プログラミング学習活動は、1行1命令で構成されるプログラムを想定したとき、プログラムの各行の意味や処理を考えることを主とした“行内を考える学習活動”と、1行以上の命令で構成される部分同士の間隔を考えることを主とした“行間の間隔を考える学習活動”に大まかに分割できると考えられている [3]。カード操作方式は、コーディング演習を中心とした一般的な教授方式、すなわち、ソースコードの打ち込み・実行を主とする講義において、タイプミス等による文法エラーが多発することで知識の獲得・確認の活動中に“行間の間隔を考える学習活動”が不十分となっている点に注目し、“行間の間隔を考える学習活動”である4種類、アルゴリズム：効率的な処理手順を設計・理解する学習活動、デザインパターン：適切な処理順序を設計・理解する学習活動、トレース：データの変化を正しく追跡する学習活動、論理デバッグ：複数命令の処理の間隔を理解し修正する学習活動、を支援するものである。そして、カード操作方式により、アルゴリズムのコードレベルでの表現法(処理手順)の確認、命令、あるいは部分間隔の順序を意識する力の獲得を目指した学習活動を支援できる。カード操作方式の目標は、時間対学習効果の向上である。

カード操作方式による学習支援システムでは、まず、問題文と1つ以上の命令のプログラムコードが書かれたカードを用意する。次に、学習者は問題文の処理に合うようにカードを選び、並び替えることで回答を行う。回答の正誤は、その場で確認できる。選択肢のカード群は、回答に用いるカードと回答に必要なないダミーカードで構成されている。なお、並び替えるプログラムは全体ではなく部分的とする。その外観を図1に示



図 1: 演習画面の説明

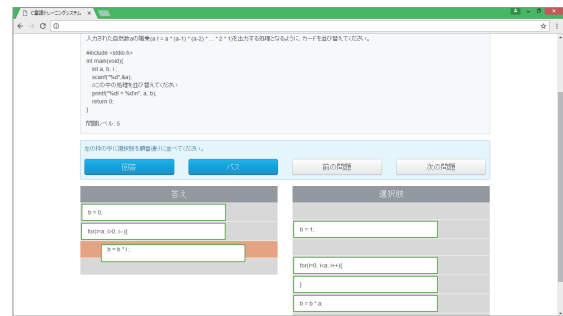


図 2: プログラム組立の様子

す。学習者用の画面では、演習時、上部に問題文、中央に各種ボタン、右側にカードの選択肢欄、左側に回答欄が表示されている。問題文の中には、“//この中の処理を並び替えてください”と書かれた記述を含んだプログラムが掲載されており、この部分に当てはまる命令を考え、カードを適切な順番で回答欄に配置することが目標となる。図1の場合、“入力された整数aが5以上なら“優秀”を、3以上5未満なら“合格”を、それ以外なら“不合格”を出力する処理になるようにカードを並び替えてください”といった問題が与えられている。回答欄の行数は、回答に必要なカードの枚数を表している。図1の場合、1カード1命令のみで構成されており、回答欄は7行、3つのダミーカードを含み10種類のカードが与えられている。カードの中身について



図 3: 演習のフィードバック例

は、“printf(“優秀\n”);”, “if(a >= 5){”, “} else if(a >= 3){” などと書かれている。なお、提案システムでは、1 カード 2 つ以上の命令を含める問題や、指定箇所にカードを固定する問題 (変数宣言や画面出力を行う命令を含んだカードを回答欄の上部や下部に固定させること) も可能である。

カードは、マウスのドラッグ&ドロップの操作で動かすことができ、右側から左側にカードを移動し、プログラムを組み立てる (図 2 参照)。その際、カードの前にインデントを付けて配置することができる。なお、正誤はカードの順序によって判定されるため、インデントの有無が採点結果に影響を与えることはない。組み立てが終わった際、回答ボタンを押すことで正誤判定を自動で受けることができる。回答ボタンを押した際、正解、不正解の判定結果と共に、ヒントや出題の意図など正誤それぞれの場合に応じたフィードバック文を画面に表示する (図 3 参照)。なお、フィードバック文は、教授者が演習問題作成の際にあらかじめ登録する必要があるが、空白も可能である。全ての問題の回答が終了したとき、各問題で学習者が行った回答の全てと、そのときのカードの並び、正誤を問題ごとに振り返ることができる。なお、振り返り画面は、正しいソースコードの確認というよりも、正解となる適切なカードの配置の確認を目的としている。したがって、カードの並びという最低限の情報の伝達を意図しているため、インデントなどは表示されない。その代わりに、インデントが付与された模範のソースコード全文は、リンクをたどることでダウンロードできる。

カード操作方式が有する機能を以下にまとめる。

1. プログラムを直接打つ必要がない。タイプミスに起因する文法エラー等が発生しないため、教授内容を確認する場合や、理解度を自己評価する際、文法やタイピングに関する認知負荷を減らすことができる。
2. 目標とするプログラムが選択肢によって固定されているため、良いデザインパターンを学ぶことができる。
3. 各問題の採点時に、正誤判定やヒント等、フィードバックを都度返すことができる。
4. 正誤判定のみならず、回答に至るまでのカードの動きをログとして残すことができる。これは、カード操作方式と同様の学習フォーマットで学習支援を試みている先行研究 [9][10] にはなかった新しい機能であり、更なる学習支援に役立つものである。

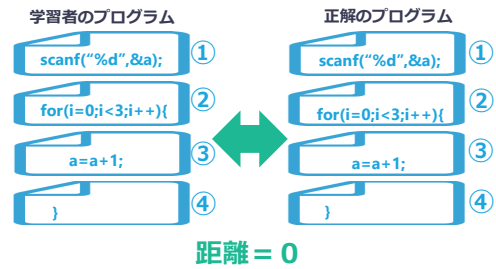


図 4: カード配置を距離で評価するための基準 (距離 0) の位置付け

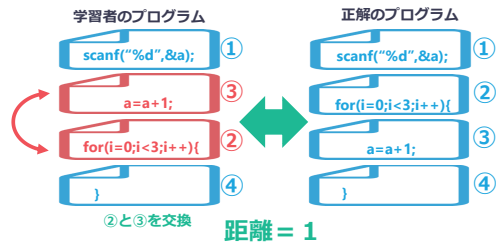


図 5: 距離の考え方 (距離 1 の場合)

3 提案

本研究では、学習ログ解析の一例として、正解に至る過程の可視化に取り組んだ。可視化を行うにあたって、レーベンシュタイン距離 [11] に着目し、それを応用した新たな距離概念を提案する。レーベンシュタイン距離とは、ゴールまであと何手で行けるかを数字で表したものである。例えば “kitten” を “sitting” に変更させるとする。その場合 “kitten”, “sitten”, “sittin”, “sitting” と変更していくことができ、レーベンシュタイン距離は 3 となる。レーベンシュタイン距離では文字の挿入、削除、置換、を 1 手として考え、編集にかかる距離を測定するものである。本研究では、学習過程のカードの並びを評価可能とするため、レーベンシュタイン距離をカード操作方式学習支援システムに応用することを試みる。具体的には、図 4 に示すとおり正解のカードの配置を距離 0 として考え、正解に近づくまでに必要なカードの操作回数をレーベンシュタイン

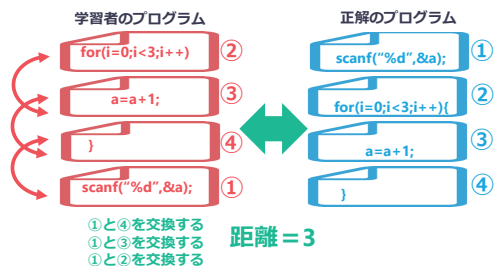


図 6: 距離の考え方 (距離 3 の場合)

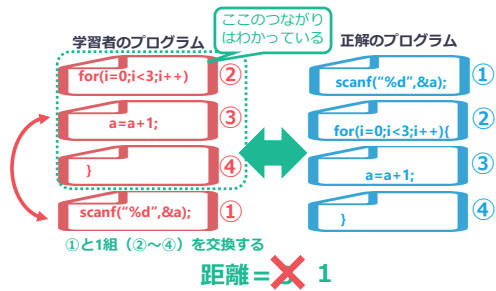


図 7: 正しい順番で配置された複数枚のカードがある場合の距離の考え方

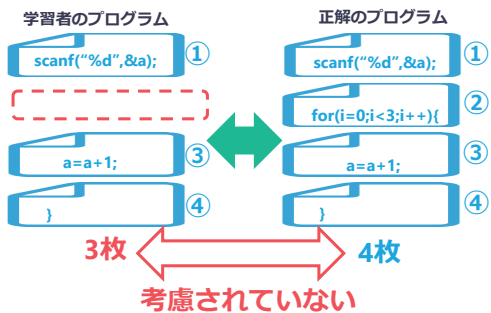


図 8: 先行研究 [12] で考慮できていなかった距離の考え方

距離と同様に数値化する。例えば図5の場合、2番と3番のカードを交換すれば正解のカードの配置を得られるため距離は1となる。同様に、図6の場合であれば正解の並びを得るまでに3回のカード操作が必要となるため距離は3となる。ただし、一部レーベンシュタイン距離はカード配置の評価とそぐわない部分がある。従って、レーベンシュタイン距離を発展させた距離の考え方を新たに設計する。

先行研究 [12] では、石井の研究 [13] で得られたログデータを分析するため、交換、複数枚グループでのカード移動を1手として考えている。例を図7に示す。この場合、レーベンシュタイン距離と同様の考え方で距離を計算すると正解を得るまでに3手必要であるため

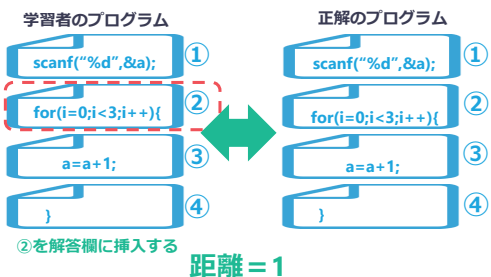


図 9: カードの挿入を考慮した距離の考え方 (距離1の場合)

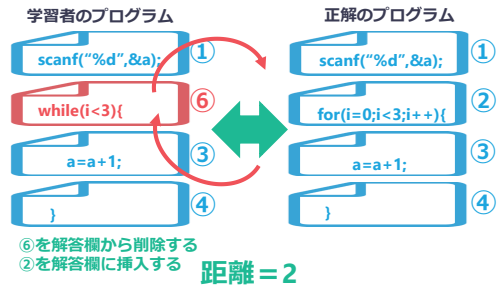


図 10: カードの入れ替えの例

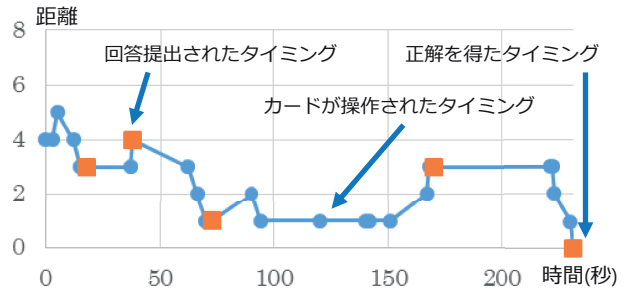


図 11: 提案法による学習過程の可視化結果の一例

距離は3となるが、先行研究ではこの距離を1としている。図7の場合、カード操作方式による学習システムでは1番のカードを最上部に挿入できる。したがって、この仕様を考慮したものが図7の新たな考え方となっている。先行研究の時点でレーベンシュタイン距離とは異なった距離の考え方であるが、先行研究では図8に示すようなカードの挿入を考慮できていなかった。具体的には、カード操作方式による学習システムの仕様を考えた場合、図8の配置の1番と3番のカードの間に2番のカードを挿入するだけで正解の並びを得ることができる。したがって、図8の配置から学習者は正解の並び(図9参照)を1手で設定できるため、距離1としなければならないと考えられる。しかし先行研究では、この状態から正解の並びを得るために3手必要であると考え距離3としていた。そこで本研究では、図9に示すとおり、カード操作方式による学習システムの仕様に合わせた距離の考え方を新たに導入した。この挿入を発展させた操作として、カードの入れ替えがある。その例を図10に示す。図10では、6番のダミーカードを適切なものに入れ替えることで正解の並びを得ることができる。この場合、不適切なカードを取り除く操作と、適切なカードを挿入する操作の2手が必要となるため、距離2と考える。

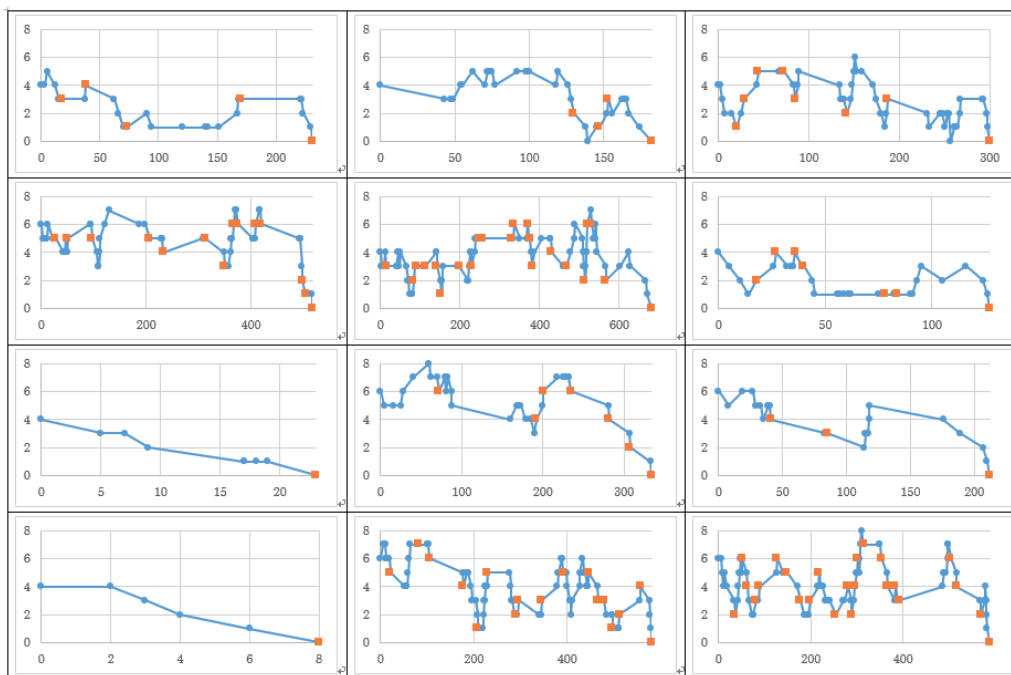


図 12: 提案法による学習過程の可視化結果 (12 名)

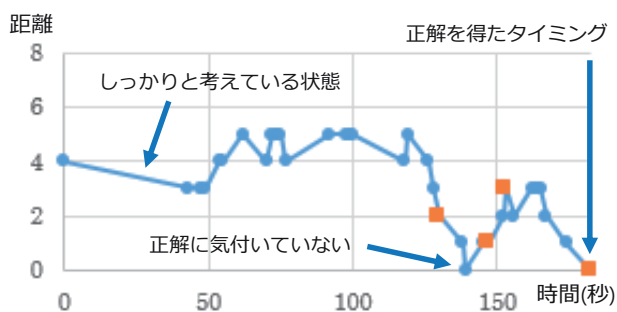


図 13: 学習過程における注目すべき振る舞い

4 結果

以上の提案法を用いて学習過程を可視化した一例を図 11 に示す。これはある学習者 1 名のログであり、図 11 では、回答が提出されたタイミングを橙色で表記し、カードが操作されたタイミングを青色で示している。なお、縦軸は距離、横軸は時間 (秒) となっており、正解を得る (回答が送信されかつ距離 0 を得た瞬間) までの距離の時系列変化を示したものである。同様の手法を用いて、石井の研究 [13] で先行研究で用いられたログデータのうち、ある 1 問について 12 人分のデータを取得し距離遷移を可視化したものが図 12 である。この図から、学習者の解決過程に特徴があることを確認した。具体的には、短時間のうちにカードを複数回操作する動作や、逆にじっくり考えている時間、あるいは脈絡もなくカードを操作している様子を見て取るこ

ができる。その中でも興味深い振る舞いが示されており、それを図 13 に示す。図 13 では、正解の並びを得たにも関わらず回答を送信していない状態を確認できる。これは正解に気付いていない状態であると考えられる。その理由として、先入観や思い込みで学習者が正解だと考えたパターンがすでにあり、その配置に変更する過程で正解が得られていた場合が考えられる。あるいは要件 (問題) に対する解について、要件 (問題) とそれに対応する解をプログラムの形 (パターン) で憶えており、問題文を読んでアルゴリズムを設計せずにパターンで回答しようとしていた過程が時系列変化に現れているのではないかと考えられる。いずれにせよ、このような振る舞いが可視化された点はプログラミングを不得意とする学習者の特徴をより深く知るうえで意義があると考えられるため、提案法は更なる学習者の支援に向けて有用であると考えられる。

5 おわりに

本研究では、カード操作方式による学習支援システムの学習過程を分析するため、レーベンシュタイン距離の概念を応用した距離を定義し、それを用いてカード操作ログの変化を可視化した。そして、それを用いて特徴的なパターンを発見し、以上により提案法の有用性を確認した。今後は、図 14 に示すとおり、学習過程をパターンと捉てクラスタリングや多変量解析に利用し、提案手法の有用性をより確かにしていきたい。

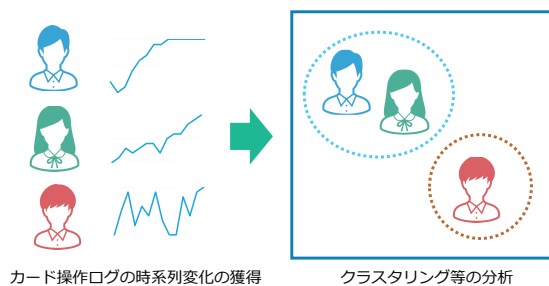


図 14: 時系列変化をパターンと捉えたうえでの学習者の分析

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)16K01147, 17K01164)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] S. Lisack, Helping Students Succeed in a First Programming Course: A Way to Correct Background Deficiencies, Int. Association for Computer Information Systems Conference, Mexico. 1998.
- [2] S.Garner, A Tool to Support the Use of Part-Complete Solutions in the Learning of Programming, Proceeding deconference, pp.222-228(2001).
- [3] 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, 部分間の関係を考えることに焦点を当てたカード操作によるプログラミング学習システムの開発, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.138, No.8, pp.999-1010 (2018).
- [4] J.Sweller, J.Van Merriënboer, F.Paas, Cognitive architecture and instructional design, Educational psychology review, Vol.10, No.3, pp.251-296 (1998).
- [5] 村上瑠香, 森永笑子, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード操作方式によるプログラミング学習システムの学習効果, 2016 年度 JSiSE 学生研究発表会講演論文集, pp.203-204 (2018).
- [6] Course Signals - Stoplights for Student Success, <http://www.itap.purdue.edu/learning/tools/signals/> (Retrieved February 11, 2014).
- [7] K. E. Arnold, M. D. Pistilli: Course signals at Purdue: using learning analytics to increase student success, Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge, pp.267-270 (2012).
- [8] 植野真臣, e ラーニングにおけるデータマイニング, 日本教育工学会論文誌, vol.31, no.3, pp.271-283 (2007).
- [9] S. Garner, A Tool to Support the Use of Part-Complete Solutions in the Learning of Programming, Proceeding de conference, pp.222-228 (2001)
- [10] D. Parsons, P. Haden, Parson's programming puzzles: a fun and effective learning tool for first programming courses, Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education, Vol.52, pp.157-163 (2006)
- [11] V. Levenshtein, Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals, Doklady Akademii Nauk SSSR, 163(4), pp.845-848, (1965).
- [12] 大下昌紀, 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード演習方式によるプログラミング学習支援における学習活動の分析, 2016 年度 JSiSE 学生研究発表会講演論文集, pp.203-204 (2017)
- [13] 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, プログラミングを苦手とする学習者のための学習支援システムの検討, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 410. 情報その他, A4-59, pp.202-205 (2016)