

## トレース表の記入順序に着目したプログラミング学習支援ツールの提案

橋浦研究室 119I218 横山拓実

### 1. はじめに

プログラミング学習において、プログラムの動きを正しく追うことと、ステップごとの変数変化を理解することは重要である。しかし、大学の授業で行われているプログラミング演習では、正当と一致するプログラムの実行結果が得られるかどうかのみで判断されることが多い。そのため、学習者がループ前後のプログラムの動きや変数変化を誤っていた場合、その誤りを自覚することなく学習が進んでしまう。

### 2. 研究目的

本研究の目的は「トレース表を用いて学習者のプログラムの動きを追う能力を向上させる」ことである。

本研究では、トレース表を用いて学習者がプログラムの変数変化をステップごとに学習できるツールを開発した。これを用いることで、学習者はプログラムの実行順序や変数変化をステップごとに学習できる。

### 3. 提案手法

本研究で検証する2つのRQを以下に示す。  
RQ1 学習前後でプログラムの動きを追う能力は向上するか

RQ2 本ツールは先行研究[1]のツールより有効か

トレース表とはプログラムのステップ処理に合わせて変数値などを記入していくものである。一般的に、トレース表にはプログラムのステップ数、変数値、出力などを記入するが、本研究ではトレース表に記入する内容を変数値、条件式の評価とする。

具体的には問題のプログラムを準備し、そのプログラムからトレース表を作成するまでの、プログラムの実行順序に合わせた手続き番号の選択、ステップごとの変数値と条件式の評価の学習支援を行う。表1に本研究で用いるトレース表の例を示す。

表1.トレース表の例

	変数	条件
5 int a=3;	5	
6 int b=2;	6	
7 if (a==3)	7	TRUE
8 a=b;	8	

本ツールは、学習者がトレース表を使って、

プログラムの変数変化をステップごとに学習することを想定している。以下が本ツールで実装した機能である。

- I. 手続き番号選択時の正誤判定
- II. ステップごとの変数値の正誤判定
- III. ヒント、解答の出力機能 (図1)

ヒントボタン

条件: 「i」が3より小さかったら「t」。

答えボタン

条件: t。

手続き... ソースコード

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    4 int a = 2;
    5 for(int i = 1; i < 3; i++){
```

図1.本ツールのヒント、解答機能の使用例

学習者は本ツールの手続き番号の正誤判定機能を利用することでプログラムのステップごとの実行に合わせて、トレース表を作成することができる。また、ステップごとの変数値の正誤判定機能により、プログラムの動きをステップごとに正しく追うこともできる。学習者が解答を誤った状態で、ヒントボタンを押すとヒント箇所のマスに色が付きヒントが表示される。また、学習者が同じ解答行を3回以上誤った状態で、答えボタンを押すと答え箇所のマスに色が付き答えが表示される。

### 4. 実験

RQを確認するために日本工業大学先進工学部データサイエンス学科に所属する1年生、15名を被験者とする実験を行った。被験者を学習者として、学習時に本ツールで学習するグループ(以下、実験群という)と、先行研究ツールで学習するグループ(以下、統制群という)に分けて実験を行う。学習は2回行い、学習の前後でテストを行った。

実験の流れは以下のとおりである。

- a. 実験の概要説明
- b. テストの説明

- c. テスト 1 回目
- d. ツールの説明
- e. 例題を使い学習ツールの使い方を実演
- f. 学習 1 回目
- g. 学習 2 回目
- h. テスト 2 回目

手順 a の前に実験グループと実験の流れについて記載されたメモ用紙を配布する。被験者はこの用紙を実験終了時まで見ることができる。手順 e では、著者がツールの説明をしつつ使い方を実演する。その後、学習者はテストと学習を行い、テスト 2 回目の終了時に本実験は終了する。

### 5. 実験結果と考察

図 2 は実験群の学習 1 回目と 2 回目での手続き番号の間違い回数を比較したものである。1 回目と 2 回目で手続き番号の間違い回数が少なくなったことを確認するために対応ありの t 検定を行った結果、有意な差が認められた ( $\alpha = 0.05$ ,  $p = 0.0359$ )。1 回目の平均値は 3.125, 2 回目の平均値は 1.875 である。

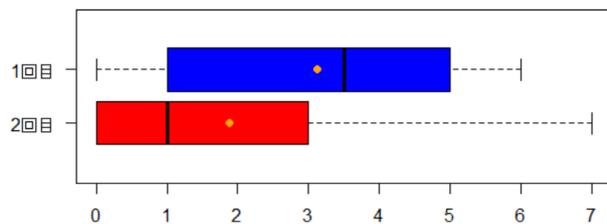


図 2. 実験群の学習 1 回目と 2 回目での手続き番号の間違い回数の比較

よって、本ツールを利用して学習することで手続き番号選択の能力の向上に寄与できることが確認できた。

図 3 はツール学習 2 回目の実験群と統制群の間違い回数を比較したものである。ツールの違いにより間違い回数に差が出ることを確認するために対応なしの t 検定を行った結果、ツールの違いにより間違い回数に有意な差が認められた ( $\alpha = 0.05$ ,  $p = 0.00105$ )。実験群の平均値は 4.375, 統制群の平均値は 29.5 である。

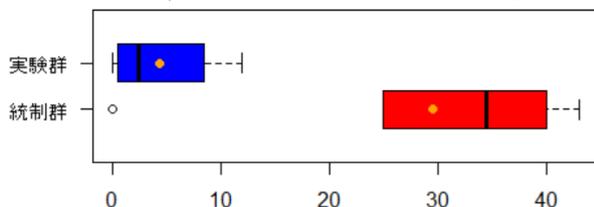


図 3. 学習 2 回目の実験群と統制群の間違い回数の比較

よって、本ツールを利用した学習では先行研究ツールでの学習よりも間違い回数の減少に

寄与できることが確認できた。

図 4 は学習後の実験群と統制群のテスト結果を比較したものである。ツールの違いにより間違い回数に差が出ることを確認するために対応なしの t 検定を行った結果、ツールの違いによりテスト結果に有意な差が認められた ( $\alpha = 0.05$ ,  $p = 0.16$ )。実験群の平均値は 5.25, 統制群の平均値は 4.16 である。

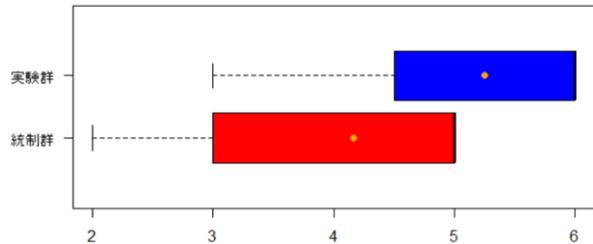


図 4. 学習後の実験群と統制群のテスト結果の比較

前述したことをもとに RQ について回答する。RQ1 について学習 1 回目と比較し学習 2 回目での手続き番号選択の間違い回数が減少したことから、学習者はプログラムの実行順序を正しく選択できるようになったといえる。RQ2 について学習するツールの違いで、学習後のテスト結果の向上とツール学習での間違い回数の減少に寄与できたといえる。

本ツールを利用した学習支援を行うことにより、プログラムの実行順序を正しく理解すること、プログラムのステップごとの変数値を正しく解答する補助になったと考えられる。

### 6. まとめと今後の課題

実験結果から本研究のツールがプログラムの実行順序とステップごとの変数変化を正しく追う能力に寄与することが確認できた。しかし、ツール学習と学習前後のテスト結果には有意な差が検出されなかった。

今後の課題として、本ツールと先行研究ツールで間違い回数に差が出た原因を追究していくことが挙げられる。

### 謝辞

研究を進めるにあたり、貴重な助言をいただいた橋浦弘明准教授に感謝いたします。また、実験に協力してくださった日本工業大学の学生の皆さんに感謝いたします。

### 参考文献

[1] 尾崎弘幸, 橋浦弘明, "トレース表の作成過程を利用した学習者のプログラム理解過程の分析," 日本ソフトウェア科学会第 8 回実践的 IT 教育シンポジウム (rePiT2022) 論文集, pp. 50-59, 2022 年 2 月。