

多重ループの動作可視化を用いたプログラミング学習支援ツール

橋浦研究室 120I131 高橋典大 120I186 松下智二郎

1. はじめに

プログラミングにおいて、多重ループは様々なアルゴリズムに関わる重要な構文である。しかし、プログラミング初学者は、多重ループのフロー、スコープ、非定数形ループ(初期化, 継続条件, 演算にループ実行数が変化する変数や関数を含むループ)について理解不足であることが指摘されている[1][2]。非定数形ループの例を図1に示す。これにより、ソート等の多重ループを使用するアルゴリズムの学習に悪影響が発生する。

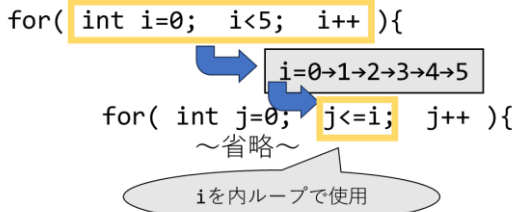


図1. 非定数形ループの例

2. 研究目的

本研究の目的は多重ループのフロー、スコープ、非定数形ループに対する学習支援を行うことで初学者の多重ループへの理解不足を解決することである。本研究では、多重ループの動作を細かく分解し、それぞれを可視化して表すことで、初学者が理解可能な単位で学習を行えるツールを開発した。

3. 提案手法

本研究のRQは以下の2つである。

RQ1: 本ツールを用いた学習による多重ループの理解に影響はあるか

RQ2: 多重ループの理解度によって、学習者の特徴に差が生じるか

本手法では初学者の理解が容易なように外ループ(以下, OL)と内ループ(以下, IL)を初期化, 継続条件, 演算, 処理の要素に分解, 可視化し, スコープの可視化と合わせて学習を行う。学習した要素を利用し, フロー, 非定数形ループの学習を可視化して行うことで学習者は多重ループを総合的に理解することができる。表1に本ツールの学習手順ごとの学習項目を示す。

具体的には, 学習者は図2の作成を行うことで多重ループを学習する。図2は上部の四角がOL制御変数, 右部の四角がIL制御変数, 矢印が演算, 縦線がOL, 横線がILを表す。作成した図は学習者が縦線を左から順に矢印を追うこ

とでフローの各項目を視覚的に確認できる。また, IL初期化やIL継続条件が変化していることや非定数形ループも同時に確認できる。

表1. 学習手順ごとの学習項目

#	学習項目
1	OL 演算
2	OL 初期化, OL 継続条件
3	スコープ
4	IL 演算
5	IL 初期化, IL 継続条件, 挙変要素
6	IL 継続条件
7	総合的なフロー

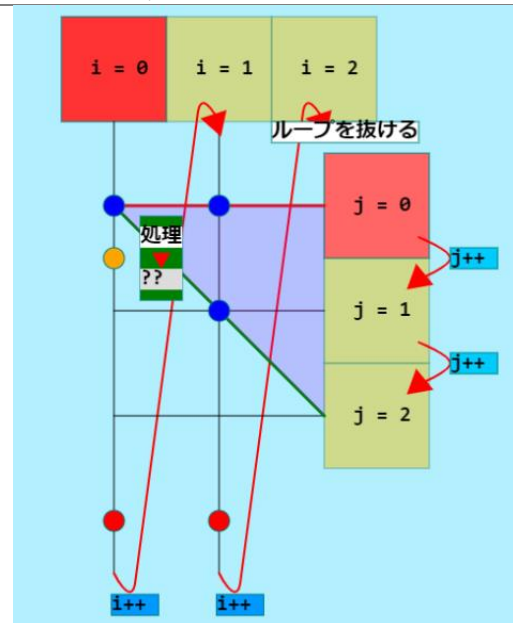


図2. 多重ループの可視化

4. 評価

RQを確認するためにプログラミング経験のある日本工業大学の学生, 24名を被験者とする実験を行った。被験者は学習時に本ツールを用いた学習を行い, 学習の前後で効果を確認するためのテストを行った。

提案手法で述べたフローに関する効果を確認するため, 被験者にテストで多重ループのプログラムを初期化, 継続条件, 演算, 処理に分解したトレース表を作成させた。また, スコープの理解を確認するために, OLやILそれぞれのループの実行範囲をプログラム上で図示させた。被験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。

具体的な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. ツールを用いた学習
- f. テスト 2 回目

5. 結果と考察

フローのツール学習の影響を確認するため、学習前後のフローの各項目の正解と不正解の人数を集計し、マクネマー検定を行った。その結果、一部に有意な差が認められた ($\alpha=0.05$, p 値は表 2 を参照)。図 2 は学習前後でフローの理解に影響があった箇所をまとめたものである。

表 2. 影響のあったフローの項目

#	影響のあった箇所	p値
1	OL 継続条件→IL 初期化	0.0077
2	IL 継続条件→OL 処理	0.0077
3	IL 継続条件→IL 処理	0.0094
4	IL 演算→IL 継続条件	0.0455

```

for ( i=0; i<2; i++){
    for ( j=0; j<=i; j++){
        printf("*");
    }
    printf("\n");
    
```

図 3. 学習前後で影響のあった箇所の例

これらの箇所は分岐や後ろに戻る処理など、順次処理を行わないフローである。影響のあった項目は正解になった人数が不正解になった人数より多いため、本ツールを用いた学習で順次処理を行わないフローへの学習効果が確認できた。これらの箇所に効果があった理由は、初期化と継続条件、フローの学習ステップで正しい継続条件の分岐やフローを可視化、分解することで理解可能な単位で学習することができたからだと言える。

多重ループを理解している学習者と理解不足の学習者で特徴に差があるか確認するため χ^2 検定を行った。その結果、継続条件(T)→処理を誤答と演算→継続条件を誤答する特徴に関連がないことが明らかになった ($\alpha=0.05$, p 値は表 3 参照)。

表 3. 差が出た特徴の項目

#	影響のあった箇所	p値
1	継続条件(T)→処理を誤答	0.041
2	演算→継続条件を誤答	0.0077

上記の特徴に関連がないことから学習者の理解

不足の問題点は上記の特徴であると言える。前述したことをもとに RQ について回答する。RQ1 についてテスト 1 回目と比較しテスト 2 回目での一部のフローの間違いが減少したことから、本ツールを用いた学習によって多重ループの理解に良い影響があったと言える。RQ2 について多重ループを理解している学習者と理解不足の学習者の差は継続条件(T)→処理を誤答と演算→継続条件を誤答することである。

6. 関連研究

関連研究として、時田と不破[1]がある。この研究ではループの深さに応じた音を鳴らすことで、多重ループの挙動を可聴化した。本研究では図 2 の様な可視化を行うことで学習支援を行った。また、他の可視化支援として古宮ら[2]の研究がある。この研究ではプログラムの挙動を見せることで帰納的な学習を行わせたが、本研究は記述させることで演繹的な学習を行わせた。

7. まとめと今後の課題

実験結果より本ツールを用いた学習は多重ループのフローの理解に一定の効果があることが明らかになった。また、学習者の問題点は継続条件(T)→処理と演算→継続条件のフローに対する理解不足であることが明らかになった。

今後の課題として、OL 継続条件(F) → NL へのフローや、OL 演算→OL 継続条件へのフローの間違いが多かったが、これらについては学習前後で本ツールを用いた学習によって影響を与えることができなかった。これらは学習者の本質的な問題点だと考えられるため、多重ループの分岐や後ろに戻るフローへのさらなる学習支援の必要性が明らかになった。

謝辞

本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] 時田 真美乃, 不破 泰, “初学者向けプログラミング基礎教育における可聴化を用いた多重ループの効果的な学習方法,” 教育システム情報学会誌, 38(1), pp.49-54, Jan. 2021.
- [2] 古宮 誠一, 今泉 俊幸, 橋浦 弘明, 松浦 佐江子, “プログラミング学習支援環境 AZUR—ブロック構造と関数動作の可視化による支援—,” 情処研報ソフトウェア工学(SE), 2014-SE-183(10), pp.1-8, Mar. 2014.