

多重ループの理解を支援するコードリーディング支援環境の構築と評価

Construction and Evaluation of a Code Reading Support Environment for Understanding Multi-loop

長尾 貴正^{*1}, 小暮 悟^{*1}, 野口 靖浩^{*2}, 山下 浩一^{*3}, 小西 達裕^{*1}, 伊東 幸宏^{*4}
 Takamasa NAGAO^{*1}, Satoru KOGURE^{*1}, Yasuhiro NOGUCHI^{*2}, Koichi YAMASHITA^{*3}, Tatsuhiro KONISHI^{*1}, Yukihiko ITOH^{*4}

^{*1} 静岡大学大学院情報学研究科

^{*2} 静岡大学情報学部

^{*1} Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{*2} Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{*3} 浜松大学ビジネスデザイン学部

^{*4} 静岡大学

^{*3} Faculty of Business Design, Hamamatsu University

^{*4} Shizuoka University

Email: gs12028@s.inf.shizuoka.ac.jp

あらまし：本研究では、以下を支援する多重ループ理解支援環境を構築した。①反復的処理の抽象化とソースコードへの対応付け②多重ループの典型的な 2 つの特徴を捉えることによる挙動と実装パターンとの関係の理解。本支援環境を実授業の中で実践評価し、一定の学習支援効果があることを確認した。
 キーワード：プログラミング学習支援, アルゴリズム学習支援, 多重ループ学習支援

1. はじめに

先行研究⁽¹⁾で、プログラムの実行プロセスの操作列としての表現(操作系列)を抽象化して、これとソースコードの対応関係を理解させるシステムを構築し、評価した⁽²⁾。その結果得られた知見として、多重ループの学習において操作系列とソースコードの間の抽象度のギャップが行き詰まりの原因となっているため、これを解消する支援(抽象化支援)が必要である。また、多重ループのコードと挙動の関係を想起できない学習者が多く、これは多重ループの典型的な特徴 2 つを捉えることにより容易になる(特徴学習支援)。本研究では、これら 2 つの支援を行う学習支援システムを構築し、実践的に評価を行う。

2. 学習支援システム

2.1 反復的処理の抽象化支援

ソースコードにおけるループの記述では変数(多くは制御変数)を用いて「配列の i 番目に 0 を代入する」のように、本来複数回行われる操作を一般化・抽象化して表現する。このことから、操作系列とソースコードの抽象度のギャップを埋めさせるには操作系列の役割を制御変数を用いて表現させることが有効であると考えた。学習支援の手順を図 1 に示す。<A>はソースコード、は対象世界、<C>は操作系列である。初めに、操作系列の抽象度を上げるために、全体でひとつの役割を担う複数の操作をグループ化させ、役割を示す名前を付けさせる。図 1 では、<C>の※の操作 4 つをまとめて「空白を 4 個出力する」と名付ける。同様に「空白を 3 個出力」「空白を 2 個出力」…という操作群が抽出される。次に、これらの操作群を一般化した表現(一般項)を考えさせる。そのためにシステムは一般項の雛形「空白を○個出力」を生成し、○をソースコード中の制御変数を使って表現するよう促す。以上の方法で、上述のギャップを埋めることができると考えられる。



図 1 学習支援システムの概観

2.2 多重ループの特徴学習支援

多重ループには表 1 に示した 2 つの典型的タイプがあり、ソースコード上の特徴に注目すれば容易に判別できる。しかし、初学者の多くはこの特徴に注目できないので多重ループの挙動の再現や要求仕様に沿った多重ループの実装に困難を感じる者が多い。そこで以下の手順で学習させる。①多重ループのソースコードを学習者に示し、表 1 の各々のタイプに属するかを答えさせる。②答えられない場合、ソースコードのどの部分に着目すれば判定できるか示唆する。③更に答えられない場合、着目させた部分からどんな特徴を読み取るべきか示唆する。④更に答えられない場合、特徴を読み取った結果を示唆する。

表 1 多重ループの特徴

タイプ	ソースコードの特徴	操作系列
内容変化型多重ループ	外側制御変数が処理内で参照される。	処理内容が 1 回ずつ変化する
回数変化型多重ループ	外側制御変数が内側ループの終了条件式で参照される。	処理回数が増える。

3. 教育実践に基づく評価

3.1 評価仮説

(仮説 1) 多重反復処理の制御変数と終了条件式の意味を理解するために、抽象化支援機能が有効である。

(仮説 2)多重ループの挙動と実装の関係を把握させる上で特徴学習支援機能が有効である。

3.2 実験方法

本実験では講義 60 分、プレテスト 15 分、学習 60 分、ポストテスト 15 分を行った。講義では、単一ループや多重ループの復習を行い、また多重ループの典型的タイプについて講述した。学習では、実験群は学習支援システムを用い、2 章で述べた方法で学習した。統制群は教科書等の閲読や、課題プログラムのトレースなどの学習をした。被験者は 浜松大学 ビジネスデザイン学部 2 年生(プログラミング学習歴 1 年未満)17 名(実験群 12 名, 統制群 5 名)である。

プレ/ポストテストの問題パターンはいずれも以下の通り(対象とするプログラムは各々異なる)。(Q1)多重ループの終了条件を読み取り、制御変数を考慮しつつ処理結果を再現する問題。(Q2-1~Q2-3)Q1 のプログラムの内側ループの終了条件を、制御変数を考慮しつつ、指定された結果を出力するように変更する問題。(Q2-4)同じく外側ループの終了条件式を変更する問題。(Q3)出力結果を見て、多重ループのタイプを答える問題。

3.3 仮説の検証と結果の考察

プレテストからポストテストまでの得点の伸びに基づいて、構築したシステムの学習効果を評価する。
仮説 1 の検証(Q1,Q2-1~Q2-4 の得点より)

実験群と統制群の得点の伸びを対応のない t 検定に適用した結果、有意差は認められなかった。実験群の被験者にはシステムの抽象化支援機能を十分に使用していない者が見られた。そこで、抽象化支援機能を利用した群(○群)としなかった群(×群)に分けて分析した。抽象化支援機能に対応する学習行動(Act)を 18 種類抽出し、更に両群の人数が 4 人以上のもの(表 2 に示す 5 種類)を対象とした。

表 2 学習行動と得点向上が期待される問題番号

	学習行動の内容	得点向上
Act1	対象世界や操作系列を観察してステップ実行したか。	Q1
Act2	内側ループに対応する操作全てをグループ化したか。	Q2-1~Q2-3
Act3	グループ間の共通性を見つけだすためにシークバーを左右に 2 回以上動かしたか。	Q2-1~Q2-3 Q2-4
Act4	外側ループに対応する一般項の式を誘導する説明文から正しく写せたか。	Q2-4
Act5	一般項の式とソースコードの対応関係を視覚化する対応箇所強調機能を利用したか。	Q2-1~Q2-3 Q2-4

結果を表 3 に示す。○群と統制群の得点の伸びを比べると○群が高く、対応のない t 検定を適用すると、表 3 に太枠で示した問題について有意水準 5% 以下で有意差があった。また、○群と×群の得点の伸びを比べると、○群が高く、対応のない t 検定を適用すると、表 3 に灰色の背景で示した問題について有意水準 5%以下で有意差があった。

表 3 Act1~Act5 の各群の得点の伸び

		Q1	Q2-1~Q2-3	Q2-4
Act1	○	1.43	1.57	1.29
	×	0.00	-0.50	-0.75
Act2	○	0.80	2.60	0.60
	×	1.00	-0.67	0.50
Act3	○	2.00	2.00	0.75
	×	0.29	0.14	0.43
Act4	○	1.17	1.67	1.50
	×	0.60	-0.20	-0.60
Act5	○	1.25	1.25	0.75
	×	0.00	-0.33	0.00

表 3 から、抽象化支援機能の以下の学習効果が示唆された。Act1 は多重ループの終了条件式の意味の理解に効果的。Act2 は内側ループの、Act4 は外側ループの終了条件式の意味の理解に効果的。Act3,Act5 は、期待した Q2-1~Q2-4 の得点向上に有意差はなかったが、Q1 には有意差があった。総合的に、Act1~Act5 は多重反復処理の制御変数と終了条件式の意味の理解に効果を持つことが示唆された。

仮説 2 の検証(Q3 の得点より)

実験群に、特徴学習支援機能を利用しなかった者が 4 名いたため、実験群全体・特徴学習支援機能利用者・非利用者・統制群の 4 群に分けて、プレ/ポストテスト間の得点の変化を集計した(表 4)。

全員と統制群・機能利用者と統制群の得点の伸びを比較すると、いずれも統制群が低く、対応のない t 検定を適用すると、いずれも有意水準 5%以下で有意差が認められた(表 4 太枠)。また、機能利用者と非利用者の得点の伸びを比較すると、機能利用者が高く、対応のない t 検定を適用すると、有意水準 5%以下で有意差が認められた(表 4 灰色背景)。この結果から、特徴学習支援機能の、多重ループの挙動と実装の関係を把握させる学習支援効果が示唆された。

表 4 Q3 の各群の得点の伸び

		Q3
実験群	全員(12 名)	1.50
	機能利用者(8 名)	2.63
	非利用者(4 名)	-0.75
統制群(5 名)		-5.70

4. 今後の課題

今後は、システムの学習支援機能を活用しない学習者が生じにくいような効果的な学習支援方針や学習者誘導機能を検討する。

参考文献

- (1) Kogure, S., Okamoto, M., Noguchi, Y., Konishi, T., Itoh, T: "Adapting Guidance and Externalization Support Features to Program and Algorithm Learning Support Environment", Proc. of ICCE2012, pp.321-323 (2012)
- (2) 山下浩一, 岡本真, 小暮悟, 野口靖浩, 小西達裕, 伊東幸宏: "対象世界・プログラム・操作系列の視覚化に基づく多重ループ教育の実践", 第 38 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.383-384(2013)