

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25年 6月20日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20300267

研究課題名（和文）アルゴリズムからプログラミングまでを対象とする学習者支援・
教師支援総合型教育環境

研究課題名（英文）Development of an Integrated Educational Environment for both
Learners and Teachers in Training of Algorithm and Programming

研究代表者

伊東 幸宏 (ITOHI YUKIHIRO)

静岡大学・法人本部・学長

研究者番号：20193526

研究成果の概要（和文）：アルゴリズム・プログラミング学習を対象として、学習者支援ツール群と教師支援ツール群からなる総合的な学習教育支援環境を構築した。学習者支援ツールとしては、学習者が自らのアルゴリズム理解内容を外化することを支援するツール、アルゴリズムとプログラムコードの関係を理解することを支援するツールを作成した。教師支援ツールとしては、模範アルゴリズムをプログラムコードから生成するツール、レポートの採点作業を支援するツール、プログラムを自動的に分類するツールを構築した。これらについて実験的な評価を行い、肯定的な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：In this research, we construct an integrated Educational Environment for algorithm and programming that consists of tools supporting learners and ones supporting teachers. For learners, we construct the following two tools:

(1) A tool supporting learners to externalize their understanding on a target algorithm.

(2) A tool supporting learners to understand relation between the target algorithm and a program code which represents the algorithm.

And for teachers, we construct the following three tools:

(1) A tool generating a standard algorithm representation from a program code.

(2) A tool supporting teachers to mark learners' reports.

(3) A tool classifying learners programs automatically.

We also conduct experimental evaluation of the tools and we find the tools have expected effects.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：情報工学

科研費の分科・細目：教育工学

キーワード：プログラミング教育支援，アルゴリズム教育，教師支援システム，
プログラム半自動評価，アルゴリズムの視覚化

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

本研究は、アルゴリズム教育からプログラミング教育までを一貫して支援する、学習者支援ツールならびに教師支援ツールからなる総合的な学習支援環境を構築することを目的とする。

はじめに学習者支援ツール群に関する研究の学術的背景について述べる。従来、情報処理教育において、アルゴリズムの設計方法の教育(アルゴリズム教育)と、プログラミング言語による実装技術の教育(プログラミング教育)を分離するべきであるという議論がある。特に初学者にとっては文法的に正しいプログラムを記述することの認知負荷が大きく、課題の本質であるアルゴリズムに関する思考が妨げられがちであるとされている。このため、演習においては実装に先立ってアルゴリズムを設計するよう指導すべきであるとされている。しかし、教育現場ではこのような指導はあまり徹底されていない。これは学習者がアルゴリズムを設計しても、それをプログラミング言語で実装してテストする以外にその妥当性を検証できないことに理由があると考えられる。

次に教師支援ツール群に関する研究の学術的背景について述べる。本研究における教師支援ツール群は、研究代表者が先行研究で開発した4フェーズチェックシステムを発展させるものである。先行研究ではシステムの基本機能を実現し、一部の機能について実運用を開始しているが、教師の作業コストをさらに下げることが望ましいとの評価を得ている。

2. 研究の目的

(1)学習者支援ツール群の開発

(1-1)学習者が理解・考案したアルゴリズムの外化支援、および外化されたアルゴリズムの自動評価を行うツールの開発

学習者がプログラミング言語を用いて実装する前の段階で、GUI上のオブジェクトをダイレクトマニピュレーションにより操作することでアルゴリズムの表現(外化)が可能な学習支援環境を構築する。また表現されたアルゴリズムの正しさを評価して学習者にフィードバックする機構を付与する。

(1-2)アルゴリズムとプログラムコードの対応の理解を支援するツールの開発

プログラムのソースコード、アルゴリズムに基づく操作の系列、それらにより操作される対象世界を並列に表示し、それらの対応関係を視覚的に提示する学習支援環境を構築する。

(2)教師支援ツール群の開発

(2-1)模範アルゴリズム作成ツールの開発

評価の基準となる模範アルゴリズム作成作業を支援するため、模範アルゴリズムをソースコードから自動生成する機構を開発する。

(2-2)レポート採点支援ツールの開発

予め典型的誤りとそれに対するコメントを用意すると、学生レポートに半自動でコメントを付加できる機能を追加する。

(2-3)プログラム自動分類ツールの開発

模範アルゴリズムとの差異が類似しているプログラム群の検出機能を実現し、教師によるコメント付与作業を効率化する。

3. 研究の方法

(1) 2. で述べた学習者支援ツールについては、学習者が困難を感じると思われるステップに留意しつつ学習者行動フローを整理し、フロー中の各行動が円滑に行われるようなユーザインタフェースを設計した。これに基づいてシステムを設計した。設計したシステムを用いて実学習者による評価実験を行い、学習支援効果を検証した。

(2) 教師支援ツールについては、レポートの採点に携わる教員へのインタビューを通じてシステム仕様を策定し、これを実装した。教師の使用感については模擬的に採点作業を再現する評価実験を行い、主観評価により採点支援効果を評価した。自動分類の精度については、過去に提出された学習者プログラムに対してシステムの分類結果と手作業による分類結果を比較して評価した。

4. 研究成果

(1) 学習者支援ツール群の開発

(1-1)学習者が理解・考案したアルゴリズムの外化支援、および外化されたアルゴリズムの自動評価を行うツールの開発

初級アルゴリズムである単純ソーティング、および中級アルゴリズムであるリンクドリスト処理を対象として、GUI上に対象データを再現し、それをマウス操作により動かすことで学習者が理解している対象アルゴリズムの外化を支援するツールを構築した。このツールは標準ソースプログラムを解析して正しい手順を生成でき、これをもとに学習者の操作を評価することができる。このツールを用いた学習者と印刷資料を用いて学習した学習者の理解度を比較し、ツール使用者の方が理解度が高いことを確認した。

以上の成果は雑誌論文①、②、③、⑤にて採択された。また学会発表①、②、③として

発表した。②は研究奨励賞を受賞した。

(1-2)アルゴリズムとプログラムコードの対応の理解を支援するツールの開発

GUI上にプログラムコード、操作対象のデータを示す図形、アルゴリズムに従った操作手順の3者を並列に表示し、プログラムコードもしくは操作手順をトレースすると、両者の関係を図示するツールを開発した。このツール上で意味のまとまりをもつ操作群をグループ化する作業を通じて、学習者は各操作とプログラムコード中のステートメントが持つ抽象度のギャップを埋めることができ、両者の関係を理解しやすくなる。このシステムを使用した学習者と印刷物により学習した学習者の理解度を比較し、ツール使用者の方が理解度が高いことを確認した。

以上の成果は雑誌論文⑥にて採択された。また学会発表⑤として発表した。⑤は大会優秀賞を受賞した。

(2) 教師支援ツール群の開発

(2-1)模範アルゴリズム作成ツールの開発

ある問題の解を求めるプログラムコード群を入力すると、それらの処理手順を包含した標準アルゴリズム記述を生成するツールを作成した。このツールが本研究で基盤とするプログラム半自動評価システムを使用する教師にとっての省力効果を持つことを教師へのインタビューにより確認した。

(2-2)レポート採点支援ツールの開発

あらかじめ採点基準と、各基準毎に定義された定型コメントを登録しておくこと、教師が採点すると同時に定型コメントを学習者レポートに挿入するツールを開発した。このシステムは各採点基準に対する評価に基づいて総合点を算出することもできる。このツールによって複数の教員が行う採点作業や、多数の学生に対する採点作業であっても、均一性が高い評価を行うことができる。このシステムの作業支援効果を教師へのインタビューにより確認した。

以上の成果は学会発表④として発表した。

(2-3)プログラム自動分類ツールの開発

模範アルゴリズムとの差異パターンを登録しておくことにより、この差異パターンを持つプログラムを学習者プログラムから自動的に抽出するツールを作成した。このツールにより、ある種の誤りを含むプログラムを自動的に分類することができる。学習者が提出したプログラムをこのシステムで分類し、人手で分類した結果と比較したところ、一定の実用性ある精度で分類できることが確認された。

以上の成果は雑誌論文④にて採択された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

① S. KOGURE, M. OKAMOTO, Y. NOGUCHI, T. KONISHI, Y. ITOH: "Programs and Algorithm Learning Environment by Visualizing Relations among Program Codes, Operations and World Model", Proceedings of ICCE2011, pp. 302-306, (2011.12).

② Y. NOGUCHI, S. KOGURE, T. KONISHI, Y. ITOH: "Algorithm Learning Environment for Linked List with Programmers' Perspective", Proceedings of ICCE2011, pp. 330-332, (2011.12).

③ Satoru KOGURE, Hiroyasu TAKATSU, Tatsuhiko KONISHI, Yukihiro ITOH: "Development and Evaluation of Learning Support System based on Automatic Classification of Students' Programs according to Difference from Standard Algorithm," Proceedings of ICALT2010 (The 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies), pp. 227-228 (2010.7).

④ Yasuhiro Noguchi, Takeharu Nakahara, Tatsuhiko Konishi, Satoru Kogure, Yukihiro Itoh: "Construction of a Learning Environment for Algorithm and Programming Where Learners Operate Objects in a Domain World", International Journal of Knowledge and Web Intelligence, Volume 1, Number 3/4, pp. 273-288, (2010).

⑤ T. Nakahara, T. Konishi, S. Kogure, Y. Noguchi, Y. Itoh: "Learning Environment for Algorithm and Programming where Learners Operate Objects in a Domain World using GUI", Proceedings of ICCE2009, pp. 59-66 (2009.12).

⑥ Tatsuhiko Konishi, Toshikazu Kawai, Satoru Kogure, Yukihiro Itoh: "Extension of the educational system that can generate explanation of programs - For handling programs in which pointers are used-", Proceedings of ICCE2008, pp. 147-151, (2008.10).

〔学会発表〕（計 5 件）

①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・操作系列の対応を視覚化するプログラミング・アルゴリズム学習環境”, 第 36 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp446-447 (2011. 9). (大会優秀賞受賞)

②中村李紀, 小暮悟, 小西達裕, 伊東幸宏:” プログラミング教育における学生レポートの自動分類・手動分類に基づく総合評価支援”, 第 36 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp. 204-205 (2011. 9).

③小西 達裕, 伊東 幸宏: “対象世界モデルと学習支援”, 日本教育工学会第 26 回全国大会, pp. 175-178 (2010)

④中原 丈晴, 小西 達裕, 小暮 悟, 伊東 幸宏: ” GUI を用いた対象世界の操作に基づくアルゴリズム・プログラム学習環境の設計と構築”, 教育システム情報学会第 3 回研究会, vol. 24, no. 3, pp. 14-19 (2009. 9).

⑤中原 丈晴, 小西 達裕, 小暮 悟, 伊東 幸宏: ” GUI を用いた対象世界の操作に基づくアルゴリズム・プログラム学習環境の構築”, 教育システム情報学会第 34 回全国大会講演論文集, pp. 194-195 (2009. 8). (研究奨励賞受賞)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊東 幸宏 (ITOH YUKIHIRO)

静岡大学・法人本部・学長

研究者番号: 20193526

(2) 研究分担者

小西 達裕 (KONISHI TATSUHIRO)

静岡大学・情報学研究科・教授

研究者番号: 30234800

酒井 三四郎 (SAKAI SANSHIROH)

静岡大学・情報学部・教授

研究者番号: 70170553

祓川 友宏 (HARAIKAWA TOMOHIRO)

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号: 90324326

小暮 悟 (KOGURE SATORU)

静岡大学・情報学研究科・講師

研究者番号: 40359758