

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24300282

研究課題名(和文) 実践的有用性の高いアルゴリズム・プログラミング学習教育支援環境の構築

研究課題名(英文) Constructing an educational environment that has higher practical effectiveness for algorithm and programming

研究代表者

伊東 幸宏 (ITO, Yukihiro)

静岡大学・法人本部・学長

研究者番号：20193526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：申請者らが本研究以前に開発したアルゴリズム・プログラミングを対象とする学習者・教師総合支援システムに対して、実用上の問題点を改善することにより、より高い実践的有用性を持つシステムを実現した。具体的には[1]アルゴリズム理解に困難を感じる学生の支援のために、プログラムの挙動を教師がデザインした見え方で視覚化するツールの開発、[2]学習支援ツールを使用している個々の学習者の学習状況データをリアルタイムで収集・分析する教員向け学習状況把握支援ツールの開発、[3]ツール[1]を用いて初級から中級の各種アルゴリズムを教育するための教材DBの開発、を行った。

研究成果の概要(英文)：We have constructed an educational environment that has higher practical effectiveness for algorithm and programming, considering weakness of environments that we constructed in our previous researches. Concretely saying, the following tools and database are constructed: [1] A tool visualizing behavior of programs using flexible styles that teachers can design freely. [2] A tool gathering data on status of each learners that are learning using our educational environment, and visualizing the data in order to help teachers for analyzing tendency of learners' understanding in classroom. [3] Database of educational materials for the tool[1] on typical algorithms.

研究分野：人工知能

キーワード：学習支援システム プログラミング教育 アルゴリズム教育 教師支援システム 自動評価

## 1. 研究開始当初の背景

申請者は本研究開始以前に、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の構築を行ってきた(科学研究費基盤研究(B)「4フェーズチェックによるアルゴリズム/プログラミング学習・教育支援環境の構築」H17-H19 研究代表者 伊東幸宏、ならびに同基盤研究(B)「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」H20-H24:継続中 研究代表者 伊東幸宏)。これまでの主要な成果は以下の通りである。

### [学習者支援ツール群]

(S1)アルゴリズムをPAD表現により図的に記述できるエディタ(「アルゴリズムエディタ」)

(S2)(S1)により記述したアルゴリズムから実行ファイルを生成する「アルゴリズムコンパイラ」

(S3)記述したアルゴリズムもしくはソースコードからその意味を説明するテキストや、その振る舞いを示すアニメーションを生成するツール(「アルゴリズムアナライザ」)

### [教師支援ツール群]

(T1)学習者が(S1)を用いて記述したアルゴリズムやソースプログラムを、課題の標準的なアルゴリズム表現と突き合わせ、その一致部分を抽出するツール(「半自動プログラム評価器」)

(T2)上記(T1)の評価結果を図的に表示するビューワ(「評価結果ビューワ」)

(T3)学習者からネットワークベースでアルゴリズム・ソースファイルを受け取って管理する「提出プログラム管理システム」。教師はこのシステム上で提出物に対する採点・コメント付与を行える。また学習者はそれらの情報をネットワーク上でいつでも・どこでも参照できる。

国内外においてこれら個々のツールに対応する研究は行われているが(例えば(S1)、(S2)はCMUで開発されたAliceなどのビジュアルプログラミング環境、(S3)はアルゴリズム視覚化システムTANGO[Stasko90]など、(T1)はプログラミング評価支援システム[渡辺01]など)、本研究の独創的な点はこれらを総合的な学習教育支援環境として統合し、連携させることを指向した点にある。

[Stasko90] Stasko, John T., "TANGO: A Framework and System for Algorithm Animation", IEEE Computer, Vol. 23, No. 9, pp. 27-39(1990).

[渡辺01] 渡辺博芳, 荒井正之, 武井恵雄: 事例に基づく初等アセンブラプログラミング評価支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.1, pp.99-109 (2001).

以上により、プログラミング・アルゴリズム学習教育支援環境の実現に一定の目処が立った。しかしながら上記の成果を教育現場

に導入する準備を進めるうち、プログラミング・アルゴリズム教育に携わる教師との意見交換を通じて、以下のような実践上の問題点が明らかになった。

### (P1)より基礎的なレベルからのケア拡充

アルゴリズムエディタ(S1)は課題アルゴリズムを一般的手順として理解できている学生には有用だが、アルゴリズムの挙動そのものを正しく理解できない学生は(S1)を使ってもアルゴリズムが全く書けない。その種の学生には、処理対象であるデータ群で構成される世界を視覚化し、この世界上でアルゴリズム(プログラム)の挙動を再現してみせることが有効である。

### (P2)教員向け学習状況把握支援機能

これまでに開発した学習者支援ツール群は、学習者がアルゴリズムの設計、テスト実行、デバッグを行う各ステップを支援する機能を持ち、また適宜誤り修正・助言を行う。これを実際に使用させると、学生は教員に質問する代わりにツールからフィードバックを得てしまうため、結果として教師が個々の学習者の学習状況を把握しにくくなる。ツール自身は個々の学習者の学習状況を把握しているのだから、その情報を教師に提供する機能を実現すべきである。

### (P3)教材アーキテクチャのオープン化

現在のシステムでは教材のカスタマイズが困難である。例えばアルゴリズムの振舞いを視覚化するツールにおいて、データ構造の見え方を変えるためにはシステム開発者が持つノウハウが必要になる。そのため、現場教師にとっては課題などを自由な発想で改善しにくい。

以上のことから申請者らは、これまでに構築した学習教育支援環境を実践的に真に有用なものとするために、次項で述べるような技術を開発する必要があるという考えに至った。

## 2. 研究の目的

### (1)プログラム挙動視覚化ツールの構築

上記問題点(P1)への対処のために構築するプログラム挙動視覚化ツールは以下の2つの条件を満たす必要がある。

- ・対象データが可変であること。すなわち、ある初期データを処理する過程の固定的な映像を作成するのでは不十分であり、初期データを変えればその後の挙動も変わるようにする必要がある。

- ・世界を視覚化する際のレイアウトが、教科書やアルゴリズム説明に用いた図のレイアウトに一致すること。同一のデータ構造であっても、扱うアルゴリズムにより最適なレイアウトは異なる(たとえばスタックを1次元配列で実現した際には要素を盾に並べる方が挙動をイメージしやすいが、その他の場合には横に並べることが多い)。そのために、教材作成者からレイアウト情報を受け取ってその通りに描画できる必要がある。

## (2)学習状況データの収集・自動分析を行う教師支援ツールの開発

上記問題点(P2)への対処として、学習者が学習者支援ツールや一般のプログラミング環境を使用したログを収集・自動分析し、教師にとって有用な情報に整理して授業中にリアルタイムで提供するツールを開発する。その際、分析結果を教育に有効に活用するためには、単に学習者のプログラミング活動の表面的な振る舞いだけでなく、学習者の認知状況に踏み込んで、プログラミング工程上の行き詰りを検出できることが望ましい。そのための行き詰り検出機構も併せて開発する。

## (3)教師に対してオープンな教材アーキテクチャおよび標準的教材 DB の開発

(P3)の問題は主として、データ構造の振舞いを視覚化する GUI が配列やリストなど特定のデータ構造のみを対象としており、かつ表示デザインが固定的であることによる。本研究ではデータ構造を視覚化する機構を部品化し、その部品の組み合わせで GUI を駆動するアーキテクチャを開発するとともに、これに基づいて教師が比較的自由に視覚化方法を指定できる教材エディタを開発する。また現場教師が利用できる標準的教材データ集を開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) アルゴリズム理解支援ツールの実現のための検討

初級・中級のアルゴリズム教育の対象となるモデルアルゴリズムと、それを説明する図の収集を行った。その結果に基づいて、ツールが生成するオブジェクトの種類を整理した。オブジェクトには変数オブジェクト、変数間の関係を示す結線オブジェクト、状況説明のためのメッセージオブジェクト、図に親しみやすさを増すためのアイコンオブジェクトなどがある。また各オブジェクトのアトリビュート(色、大きさ、リンクの有無など)についても整理した。これらのオブジェクトに対して、プログラムの処理の進行に応じて生成・削除・アトリビュートの変更を行うルール(プログラム挙動視覚化ルール)の書式を定めた。このルールを解釈し、対象プログラムの処理の進行に応じてオブジェクトを書き換える機構を構築した。

### (2)教師支援ツール実現のための検討

準備として、一般的プログラミング環境(エディタ、コンパイラ)にサーバへのデータ送信機能を付与し、学習者のプログラミング中の挙動を比較的短いスパンで観測できる機構を構築した。得られたデータから、個々の学習者の演習課題進行度を推測するために、あらかじめ用意した課題の標準的回答プログラムと学習者が現在までに構築し

たプログラムを比較する手法を開発した。また学習者の行き詰りを検出する機構を構築するために、行き詰り状態に陥ったプログラムの挙動パターンを分析し、これをルール化することにより行き詰り検出機構を開発した。

### (3)教材 DB 構築のための検討

上記(1)で収集したモデルアルゴリズムについて、我々が開発したプログラム挙動視覚化ルールの形式で教科書等の図に沿ったレイアウトの定義ができることを確認し、実際にルールを記述して教材 DB を構築した。この過程で、ルールの記述には GUI ベースのオーサリングツールが必要であるとの着想を得て、これを開発した。

## 4. 研究成果

### (1) アルゴリズム理解支援ツールの実現

3.(1)の方法に基づいて、プログラム挙動視覚化ツール TEDViT を開発するとともに、これを実際のプログラミング教育の現場に導入して評価を行った。その成果は、5.で述べる雑誌論文、および学会発表にて公開した。

### (2) 教師支援ツールの実現

3.(2)の方法に基づいて、学習者から収集したプログラミング中の挙動データを分析して演習の進行度や学習者の行き詰りを把握し、教師の机間巡視などを支援するツールを開発した。その成果は、5.で述べる雑誌論文、および学会発表にて公開した。

### (3) 教材 DB と GUI ベースのオーサリングツールの構築

3.(2)の方法に基づいてプログラム挙動の視覚化のための教材集を構築した。その過程で、GUI を用いて教材を作成できるオーサリングツールを開発し、ツール無しでの作業時と比べて作成時間・修正時間が改善されることを示した。その成果は、5.で述べる雑誌論文にて公開した。

## 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 14 件)

Koichi YAMASHITA, Ryota FUJIOKA, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUUCHI, Tatsuhiko KONISHI, Yukihiro ITOH, "Practices of Algorithm Education based on Discovery Learning using a Program Visualization System, "Research and Practice in Technology Enhanced Learning (RPTEL), 2016 (accepted for publication),査読有

Koichi YAMASHITA, Takamasa NAGAO, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Code-reading support environment visualizing three fields and educational practice to understand nested loops," Research and Practice in Technology Enhanced Learning (RPTEL), 査読有, 11(1), pp.1-22, doi:10.1186/s41039-016-0027-3, (2016)

Raiya YAMAMOTO, Yasuhiro NOGUCHI, Satoru KOGURE, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "A Design of a Learning Support System and a Lecture to Learn Systematic Debugging Process for Novice Programmers" Proceedings of ICCE 2016, 査読有, pp.276-281 (2016).

Yasuhiro NOGUCHI, Ryota OSAWA, Koichi YAMASHITA, Satoru KOGURE, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Networked Tutoring Support System for a Programming Class based on Reusable Tutoring Content and Semi-automatic Program Assessment" Proceedings of ICCE2016, 査読有, pp.252-257 (2016).

Koichi YAMASHITA, Ryota FUJIOKA, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Learning Support System for Visualizing Memory Image and Target Domain World and Classroom Practice for Understanding Pointers" Proceedings of ICCE2016, 査読有, pp.521-530 (2016).

Daiki TEZUKA, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "GUI Based Environment to Support Writing and Debugging Rules for a Program Visualization Tool" Proceedings of ICCE2016, 査読有, pp.303-305 (2016).

Satoru KOGURE, Riki NAKAMURA, Kanae MAKINO, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Monitoring system for the effective instruction based on the semi-automatic evaluation of programs during programming classroom lectures," Research and Practice in Technology Enhanced Learning (RPTEL), 査読有, Vol. 9, No. 3, (2015).

Koichi YAMASHITA, Ryota FUJIOKA, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Educational Practice of Algorithm using Learning Support System with

Visualization of Program Behavior," Proceedings of ICCE2015, 査読有, pp.632-640 (2015).

Raiya YAMAMOTO, Yasuhiro NOGUCHI, Satoru KOGURE, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Construction of an Environment to Support Learning Systematic Debugging Process with Worksheets and Synchronized Observation Tool," Proceedings of ICCE2015, 査読有, pp.269-274 (2015).

Koichi YAMASHITA, Takamasa NAGAO, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "An Educational Practice Using a Code Reading Support Environment for Understanding Nested Loop," Proceedings of ICCE2014, 査読有, pp.848-857, (2014.12).

Satoru KOGURE, Ryota FUJIOKA, Yasuhiro NOGUCHI, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Code Reading Environment by Visualizing both Variable's Memory Image and Target World's Status," Proceedings of ICCE2014, 査読有, pp.343-348, (2014.12).

Satoru KOGURE, Makoto OKAMOTO, Koichi YAMASHITA, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Evaluation of an Algorithm and Programming Learning Support Environment based on Classroom Practices." Proceedings of ICCE2013, 査読有, pp.418-424, (2013. 11)

Satoru KOGURE, Riki NAKAMURA, Kanae MAKINO, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Monitoring System for the Semi-Automatic Evaluation of Programs Written During Classroom Lectures ." Proceedings of ICCE2013, 査読有, pp.339-347, (2013. 11)

Satoru KOGURE, Makoto OKAMOTO, Yasuhiro NOGUCHI, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH, "Adapting Guidance and Externalization Support Features to Program and Algorithm Learning Support Environment." Proceedings of ICCE2012, 査読有, pp.321-323 (2012. 11)

〔学会発表〕(計 8 件)

杉山匠, 小暮悟, 野口靖浩, 山下浩一, 小西達裕, 伊東幸宏: "プログラミング演習におけ

る迷い検出に基づく学習教育支援システムの構築”, 電子情報通信学会 教育工学研究会 (2017.1.28), 国立特別支援教育総合研究所 (神奈川県横須賀市)

藤岡僚太, 小暮悟, 野口靖浩, 山下浩一, 小西達裕, 伊東幸宏: “プログラムの挙動を教師の説明意図に基づいて視覚化する学習支援環境の構築と実践授業における活用”, 電子情報通信学会 教育工学研究会 (2016.1.30), 関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市)

山下浩一, 藤岡僚太, 小暮悟, 野口靖浩, 小西達裕, 伊東幸宏: “プログラムの挙動を視覚化する学習支援システムを利用したアルゴリズム教育の実践”, 教育情報システム学会第 40 回全国大会 (2015.9.1), 徳島大学 (徳島県徳島市)

山本頼弥, 野口靖浩, 小暮悟, 山下浩一, 小西達裕, 伊東幸宏: “ワークシートと同期観察ツールを用いた体系的デバッグ手順学習支援環境の構築”, 電子情報通信学会教育工学研究会 (2015.6.8), 三重大学 (三重県津市)

山本頼弥, 野口靖浩, 小暮悟, 山下浩一, 小西達裕, 伊東幸宏: “初学者に体系的デバッグ手法を学ばせるための学習環境” 教育システム情報学会第 39 回全国大会 (2014.9.12), 和歌山大学 (和歌山県和歌山市)

藤岡僚太, 小暮悟, 野口靖浩, 山下浩一, 小西達裕, 伊東幸宏: “対象世界におけるプログラムの挙動を視覚化する教材の作成支援環境” 教育システム情報学会第 39 回全国大会 (2014.9.11), 和歌山大学 (和歌山県和歌山市)

王子真, 小暮悟, 小西達裕, 伊東幸宏: “学習者プログラム半自動評価システムへの動的解析の導入”, 教育システム情報学会第 38 回全国大会 (2013.9.3), 金沢大学 (石川県金沢市)

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”, 教育システム情報学会第 38 回全国大会 (2013.9.3), 金沢大学 (石川県金沢市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等  
なし

#### 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・情報学部・教授  
研究者番号: 30234800

小暮 悟 (KOGURE, Satoru)  
静岡大学・情報学部・講師  
研究者番号: 40359758

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

##### (4) 研究協力者

( )