

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01023

研究課題名(和文) 学習・教育支援機能を有する初学者向けビジュアルプログラミング環境の開発

研究課題名(英文) Development of a Visual Programming Environment for Novices

研究代表者

國宗 永佳 (KUNIMUNE, Hisayoshi)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：90377648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題の研究期間開始前に開発していたプロトタイプシステムを用いた授業実践を実施し、ユーザからの評価を含むデータの収集を行った。ここで収集したデータに基づいて基本的な機能を備えるシステムを開発し、さらにこのシステムを授業実践において運用し、改善を行った。改善後のシステムについても、授業実践において運用を行い、改善前後の比較評価を行った。その結果、プロトタイプシステムに比べて、操作性などの面で学習者から高い評価を得ることができた。これらの授業実践については、情報系および非情報系の複数の高等教育機関において実施した。

研究成果の概要(英文)：We introduced a prototype system of a visual programming environment into some actual classes, and collected the data including users' evaluation for the system. After that, we developed the system, which offers the functionalities for teaching and learning fundamental concepts in programming. Then, we introduced the system into actual classes in several higher educational institutes, and conducted evaluations. The evaluational results shows that the system is highly evaluated from the teachers and students than the prototype system.

研究分野：教授・学習支援工学

キーワード：プログラミング教育 ビジュアルプログラミング環境 初学者向け 概念理解 教授・学習支援システム

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、大学の情報系学科においてプログラミング初学者を対象としたプログラミング教育を行っている。しかし、先行研究では、プログラミングを習得することの困難さが指摘されており、研究代表者らが実施する授業でも、演習や試験などにおいて与えた課題を場当たりの試行錯誤で解決しようとする者が多く存在する。

プログラムを作成する際には、与えられた問題をあるプログラミングパラダイムにおいて実現可能な形に分解・整理し、プログラミング言語によって記述するという過程を経る。分解・整理の過程については、Wing が Computational Thinking という考え方にまとめている。また、Google 社では Computational Thinking を(1) 問題の分解 (decomposition), (2) パターンの発見 (pattern recognition), (3) パターンの一般化と抽象化 (pattern generalization and abstraction), (4) アルゴリズムの設計 (algorithm design) からなる技能であるとしている。両者ともにこれらの技能は、計算機科学を専攻する者以外にとっても必要な技能であり、初等・中等教育から導入する必要性を指摘している。

従来のプログラミング教育においては多くの場合、プログラミング言語の文法・パラダイムなどの技術的要素を明示的に教授するとともに、演習等を通して暗黙的に分解・整理の方法を習得させる形態をとっていたが、場当たりの解決を図る学生の多くは分解・整理の方法を十分に習得していない。また、プログラミング言語は形式言語であるため、予約語や変数名等の綴り誤りや、括弧の対応誤り、カンマなどの特殊記号の記述忘れなど、プログラミング言語の文法に起因する、プログラミングの本質とは異なる部分の修正に労力を割かれる場合がある。この教育方法では、プログラミング言語の文法・記法の誤りと、アルゴリズム自体の誤りが混在した状態で発見・修正する必要がある。

これらの問題に対して研究代表者らは、プログラミング言語教育の実施前に、特定のプログラミング言語に依存しない分解・整理の方法を明示的に教授することを試みている。当初、この試みでは日本語で手順を書き下していたが、処理の粒度統制が困難であり、また記述した手順をコンピュータで実行することは不可能である。そのため、学生にとって振る舞いを正しく検証することは困難であり、教員にとっても個別指導に大きな労力が必要となった。

プログラミング言語を用いずに、図形の組み合わせによってコンピュータ上で実行可能な手順を記述することを可能とする、ビジュアルプログラミング環境 (以下 VP 環境) を有するシステムが多数開発されている。既存のシステムはプログラムを作成するために十分な機能を備えているが、授業内でプロ

グラミング演習を実施する上で必要となる、教員から学習者への課題提示、課題に対して学習者が作成したプログラムの学習者・教員間での共有、教員から学習者への評価と個別指導を実現する機構を有していない。プログラミング言語学習の支援システムでは、このような機構を有するシステムが多数提案されているが、VP 環境と組み合わせたシステムの例はなかった【問題点 1】。

VP 環境の導入により言語を習得せずにプログラムを作成することができ、作成したプログラムの自動実行を通して (環境によってはステップ実行や変数の状態の表示なども行い) その振る舞いを確認することが可能となる。しかし、これは作成されたプログラムについて行われることであり、作成中に問題を分解・整理する過程に対する学習支援は行われていなかった【問題点 2】。

2. 研究の目的

本研究課題では、上述した【問題点 1】と【問題点 2】を解決するために、以下のことを実施することを目的とした。

(1) 学習・教育支援機能を備える VP 環境の開発

開発する VP 環境では初学者を対象にするため、プログラムを作成するために導入する必要のある概念を極力少なくすることを要件とする。この要件を満たすために、初学者向けの題材として与えられることが多い探索・整列などの基本的なアルゴリズムを表現するために最低限必要な、単純な対象世界を実現することにする。この対象世界では、データ構造として数値を値として持つ変数と配列が用意され、構造化プログラミング (逐次・分岐・反復) を実現する if-else タイプの分岐と while および for タイプの反復構造を備える。また、演算については 2 項の算術演算 (加減乗除・剰余算) と比較演算 (大小・等価) を備え、変数への値の入力と出力も可能である。

作成したプログラムの自動実行を行う際に、任意の箇所で行を実行を一時的に停止するステップ実行機能を有し、各箇所における各変数の値を逐次表示することで、プログラムの振る舞いの理解を支援する。また、分解・整理の過程を支援するために複数のブロックのまとまりを作り、そのまとまりの意図を記述する機能を導入する。この機能では、具体的な処理の過程を隠し処理の大まかな内容・意図だけを表示した状態と、具体的な処理を表示した状態を切り替えることができる。そのため、処理の大まかな内容を提示し、実際に処理を行う図形は隠した状態で、粒度の大きい処理内容の整理のみに着目しつつ、自動実行が可能なアルゴリズムを作成することができる。また、処理の大まかな内容を記述した図形を望ましい順番で配置して与えることで、大まかな処理の分解・整理を考

える過程を省き、具体的なプログラムを作成する過程のみを学習することもできる。以上のように学習者に様々な粒度の課題を提示することで、分解・整理の過程を異なる粒度から検討することを可能にする（【問題点2】の解決）。

一般的なビジュアルプログラミング環境では、多様な処理を実現する様々な図形が用意されているが、学習の途上において未学習のものを含む全ての図形から必要なものを取捨選択することは、学習者の認知的負荷を増大させる。このことを防ぐために使用可能な図形を制限する機能を設ける。

プログラミングの演習を含む授業を運営する上では、「教員が課題を定義する」、「学習者が課題に対して解答を作成する」、「学習者が作成した解答を保存・提出する」、「教員が提出された解答を評価する」、「学習者が教員からの評価を参照する」という一連の過程が遂行される。本研究課題で開発するシステムではこのことを支援するために、教員による課題の管理、学習者による成果物の管理と、教員・学習者間での課題と成果物の共有を実現する。この機構を活用し、システム上での演習問題の作成・提示や、作成したプログラムの提出、採点機能、提示した課題や学生が作成した解答の分析機能などの具体的な支援機能を開発する（【問題点1】の解決）。

(2) 授業実践を通じたシステムの評価と改善

本研究課題で開発するシステムは、研究代表者および分担者らが所属する大学の情報系学科におけるプログラミング初級教育を対象としている。高等学校の普通教科情報「情報の科学」や中学校の技術・家庭科などでも、コンピュータによるプログラムの自動実行に関する学習項目が盛り込まれている。これらの学習項目の教授にも、開発するシステムを適用可能であると考えている。

よって、開発するシステムを大学におけるプログラミング初級教育の授業および、中・高等教育における関連する授業へ導入し、システムが有する学習・教育支援機能およびシステム自体の評価を行う。また、得られた評価結果に基づいてシステムの改善を行う。

3. 研究の方法

平成 27 年度には、プロトタイプシステムを用いた授業実践を通してデータの収集を行った。また、収集したデータについて、学生にとって習得が困難な概念や操作および、システムのユーザビリティ・機能に関する分析を行った。これと並行してシステムの開発を進めた。

平成 28 年度には、前年度後半に行われた実践で得られたデータの分析を行った。また、分析したデータから得られたプロトタイプシステムの評価を反映しつつ、システムの基本的な機能の開発を完了した。また、開発を終えたシステムを用いた予備実験を行った。

平成 29 年度には、前年度の予備実験で得られた評価に基づくシステムの改善を行った。また、改善前後のシステムについて授業実践の場において評価実験を行った。

4. 研究成果

「2. 研究の目的」に記した(1) 学習・教育支援機能を備える VP 環境の開発、(2) 授業実践を通じたシステムの評価と改善 2 点について、概ね達成することができた。

本研究課題の研究期間開始前に開発していたプロトタイプシステムを用いた授業実践を実施し、ユーザからの評価を含むデータの収集を行った。ここで収集したデータに基づいて基本的な機能を備えるシステムを開発し、さらにこのシステムを授業実践において運用し、改善を行った。改善後のシステムについても、授業実践において運用を行い、改善前後の比較評価を行った。その結果、プロトタイプシステムに比べて、操作性などの面で学習者から高い評価を得ることができた。これらの授業実践については、情報系および非情報系の複数の高等教育機関において実施した。

一方、初等・中等教育機関における協力者を得ることができず、これらの教育機関における実践を通じたシステムの評価・改善については実施することができなかった。この点については、本研究課題の研究期間が終了した後にも、引き続き協力者を募り実践を通じた評価・改善を行っていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- (1) 華山宣胤, 野上竜一, 「ゲーム制作総合演習」による教育事例報告, 尚美学園大学教職課程年報, 第 2 号, pp. 43-54, 2017. 査読有
- (2) 須藤智, 華山宣胤, 「デジタルコンテンツクリエイターの育成を目指すプログラミング教育の取り組みと分析」, 尚美学園大学教職課程年報, 第 2 号, pp. 21-30, 2017. 査読有
- (3) Nao Kono, Hisayoshi Kunimune, Tatsuki Yamamoto, Masaaki Niimura, “Development and Evaluation of Functions for Elementary/Secondary Programming Education: The Visual Programming Environment “AT””, International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning, vol. 7, no. 1, pp. 13-23, 2017. 査読有
- (4) Minori Fuwa, Mizue Kayama, Hisayoshi Kunimune, Masami Hashimoto, David K. Asano, “A Program Complexity Metric Based on Variable Usage for Algorithmic Thinking Education of Novice Learners”, Proc. of 12th International Conference on Cognitive

and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA2015), 262-266, 2015. 査読有

[学会発表] (計33件)

- (1) 横山貴志, 國宗永佳, 新村正明, 「情報技術演習における演習状況可視化手法の提案」, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2018.
- (2) 牧野拓也, 國宗永佳, 新村正明, 「プログラミング作問学習の例題・問題間の状況差異推定機能における抽出品詞の検討」, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2018.
- (3) 鬼塚洋斗, 小尻智子, 「研究活動リフレクションのためのアイディアマップ再構成支援システム」, 情報処理学会第80回全国大会, 2018.
- (4) 渡邊雄大, 小尻智子, 「ロジカル・プレゼンテーションのためのコンテンツ選択支援システムの構築」, 第8回知識共創フォーラム, 2018.
- (5) 西村弘太, 小尻智子, 「階層型読解モデルに基づいた論文読解支援システム」, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2018.
- (6) 華山宣胤, 「オセロゲーム棋譜データの統計解析結果に基づく優勢/劣勢表示方法の提案」, 情報処理学会第80回全国大会, 2018.
- (7) 小西庸介, 國宗永佳, 山本樹, 新村正明, 「プログラム動作を表出する課題における入力支援機能の実装」, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2017.
- (8) Takeshi Morishita, Takashi Yokoyama, Masaaki Niimura, Hisayoshi Kunimune, Yoshinori Higashibara, “Development of an Analyzing System for Student’s Learning Characteristics by Visualization of Learning History”, World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2017 (E-Learn 2017), 2017.
- (9) 上島駿, 國宗永佳, 新村正明, 「ビジュアルプログラミング環境 AT による Wi-Fi を用いた外部ハードウェア制御機能の開発」, 教育システム情報学会第42回全国大会, 2017.
- (10) 山本樹, 國宗永佳, 「プログラミング初学者に対するアルゴリズム的思考法を用いた授業実践報告」, 教育システム情報学会第42回全国大会, 2017.
- (11) Nobutane Hanayama, “Effective Experience Analysis of Age-by-period Data for Breast Cancer for Japanese Elderly Women”, The 61st ISI World Statistics Congress, 2017.
- (12) Nobutane Hanayama and Ryuichi Nogami, “A Method for Illustrating Shogi Postmortems Using Results of Statistical Analysis of Kifu Data”, The 16th ICEC, 2017.
- (13) Nobutane Hanayama, “Estimating the Upper Limit of Lifetime Probability Distribution Based on Data on Japanese Centenarians with discussions of trends in labor force population aged 60 and over in Japan”, BIT’s 5th Annual World Congress of Geriatrics and Gerontology, 2017.
- (14) 浦辻大地, 徳竹圭太郎, 小尻智子, 「状態変化に基づいた歴史事象パズルピースを用いた因果関係図作成支援」, 日本教育工学学会研究会, 2017.
- (15) 徳永悠作, 小尻智子, 「プレゼンテーションスキル育成のためのコンテンツ印象診断システム」, 日本教育工学学会研究会, 2017.
- (16) 山本樹, 華山宣胤, 國宗永佳, 「プログラムの動作理解を表出する課題の実践と評価」, 教育システム情報学会研究会, 2017.
- (17) 清水利音, 國宗永佳, 新村正明, 「プログラミング演習におけるレポートの類似性に着目した採点支援システムの開発」, 電子情報通信学会 教育工学(ET)研究会, 2016.
- (18) Masaaki Niimura, Takashi Yokoyama, Hisayoshi Kunimune, “Proposal for a Study of a Method for Monitoring Study Progress in Database Exercises in the Classroom using the Audit Log”, 20th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2016), 2016.
- (19) 國宗永佳, 河野直, 新村正明, 「ビジュアルプログラミング環境 AT における Arduino 制御機能の開発」, 教育システム情報学会第41回全国大会, 2016.
- (20) 山本樹, 國宗永佳, 河野直, 「アルゴリズム的思考教育を支援するビジュアルプログラミング環境の評価」, 教育システム情報学会第41回全国大会, 2016.
- (21) 湯沢航太, 國宗永佳, 新村正明, 「プログラムの動作理解を表出する課題形式の提案」, 電子情報通信学会 教育工学(ET)研究会, 2016.
- (22) 小尻智子, 坂田梨紗, 「英文添削事例の共有による協調的英文作成知識構築システムとその評価」, 電子情報通信学会教育工学(ET)研究会, 2016.
- (23) Mizue Kayama, Minori Fuwa, Hisayoshi Kunimune, Masami Hashimoto, David. K. Asano, “Assessing your algorithm: A program complexity metrics for basic algorithmic thinking education”, 11th International Conference on Computer Science & Education, 2016.
- (24) 但馬 将貴, 香山 瑞恵, 小形 真平, 橋

本 昌巳, 「モデリング学習用モデルコンパイラを用いた IchigoJamBASIC コード生成ツールの開発」, 教育システム情報学会第 41 回全国大会, 2016.

- (25) 香山瑞恵, 但馬将貴, 橋本昌己, 「概念プログラミング: フローチャートからのプログラムコード生成-IchigoJam Basic を対象に-」, 日本情報科教育学会第 9 回全国大会, 2016.
- (26) 香山瑞恵, 不破みのり, 國宗永佳, 橋本昌己, 「アルゴリズム学習における誤答推移の分析」, 日本情報科教育学会第 9 回全国大会, 2016.
- (27) 山本樹, 片桐恭弘, 國宗永佳, 須藤智, 「文系学生を対象としたビジュアルプログラミングを用いたプログラミング初学者に対する教育の実践と評価」, 教育システム情報学会, 2016.
- (28) 長谷川理, 新村正明, 鈴木彦文, 不破泰, 今井順一, 小松川浩, 「学習行動の特徴分析による成績不振者の早期発見手法の検討」, 教育システム情報学会, 2016.
- (29) 河野直, 雄城遼, 國宗永佳, 新村正明, 「ビジュアルプログラミング環境 AT~初等・中等教育への展開に向けた機能の開発~」, 電子情報通信学会, 2016.
- (30) 清水利音, 國宗永佳, 新村正明, 「プログラミング演習におけるレポートの類似性に着目した採点支援手法の提案」, 電子情報通信学会, 2016.
- (31) 坂田梨紗, 小尻智子, 「英作文用例辞書作成のための添削共有環境の構築」, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 2016.
- (32) 若松伶奈, 小尻智子, 「相互理解のための感性語辞書作成支援システムの構築」, 2016 年電子情報通信学会総合大会, 2016.
- (33) 香山瑞恵, 但馬将喜, 永井孝, 小形真平, 國宗永佳, 橋本昌己, 「小学生によるロボット動作モデリング学習を支援する環境」, 教育システム情報学会第 40 回全国大会, 2015.

[図書] (計 1 件)

- (1) Nobutane Hanayama and Ryuichi Nogami, “A Method for Illustrating Shogi Postmortems Using Results of Statistical Analysis of Kifu Data”, Entertainment Computing - ICEC 2017 16th IFIP TC 14 International Conference, Springer, 277-283, 2017.

[その他]

ホームページ等

<https://at.elt.net.it-chiba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國宗 永佳 (KUNIMUNE, Hisayoshi)
千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号 : 90377648

(2) 研究分担者

香山 瑞恵 (KAYAMA, Mizue)
信州大学・学術研究院工学系・教授
研究者番号 : 70233989

新村 正明 (NIIMURA, Masaaki)
信州大学・学術研究院工学系・准教授
研究者番号 : 20345755

小尻 智子 (KOJIRI, Tomoko)
関西大学・システム理工学部・准教授
研究者番号 : 40362298

山本 樹 (YAMAMOTO, Tatsuki)
創価大学・教育・学習支援センター・助教
研究者番号 : 30535266

華山 宣胤 (HANAYAMA, Nobutane)
尚美学園大学・情報芸術学部・教授
研究者番号 : 20299853
(平成 29 年度より研究分担者)