

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11586

研究課題名(和文) 部品の段階的拡張手法とその支援システムによるプログラミング学習支援

研究課題名(英文) A Programming Learning Support System with Building Method that Realizes Organizing Components

研究代表者

東本 崇仁 (Tomoto, Takahito)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：10508435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：プログラミング学習において、従来は文法知識や諸概念の獲得に関する研究が多かったが、ものづくり等の実際の問題解決の場面においては、使える手段を如何に事前に獲得しているかが大切であり、その手段の粒度を適切に切り替えることが重要である。このような使える手段を本研究では部品の知識と定義し、その獲得を支援する手法や学習モデル、システムを多数開発し、国内外で発表した。特に、ソースコードの構造がどのようになっているか、構造によりどのように実行された振る舞いに変化するか、その振る舞いはどのような機能を果たすかの3視点で部品を定義したモデルを開発し、漸進的学習のためのシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プログラミング学習の必修化やComputational Thinkingの獲得の重要性が知られているが、その獲得支援方法についての研究は多くは存在しない。本研究では、部品とその粒度について提案し、その学習の支援システムを開発した。これにより、単にプログラミングの授業で与えられる問題の解決だけでなく、大きな塊での使える部品の知識の獲得が支援され、システム開発などのモノづくりの観点で有益な学習支援が行われる。また、どのような構造だから、どのようにふるまい、結果としてどのような機能になるかを学ぶことで、自身の部品知識を修正し、多くの文脈で使えることが支援される。

研究成果の概要(英文)：In the past, most of the research on programming learning has focused on the acquisition of grammatical knowledge and various concepts. However, in actual problem solving situations such as manufacturing, it is important to acquire usable knowledge in advance, and it is important to switch the granularity of the knowledge appropriately. In this research, we define such usable means as component knowledge, and have developed a number of methods, learning models, and systems to support the acquisition of such knowledge, which have been published both in Japan and overseas. In particular, we have developed a model that defines components from three perspectives: how the structure of the source code is, how the executed behavior changes depending on the structure, and what function the behavior performs, and developed a system for progressive learning.

研究分野：知的学習支援システム

キーワード：プログラミング学習 問題解決能力 Computational Thinking 構造的理解 知識の部品化

1. 研究開始当初の背景

近年、需要が高まるプログラミング教育において、特に求められる事柄は、文法知識の習得ではなく、アルゴリズム構築能力や設計能力の育成である。従来の研究では、文法知識の学習やプログラミングにおける概念(オブジェクト指向など)の理解、あるいはプログラミングにおけるふるまいの理解や、ソフトウェア工学的見地に基づいたトップダウン式の機能設計の学習支援が多く行われている。しかしながら、本来システムを設計するためには、設計する際に用いることができる部品(物理でいえば物理公式や微分方程式といった基礎的な知識やそれらの組み合わせ)について理解していることが前提である。特に、プログラムにおけるステートメントレベルでの部品は汎用性が高く、多くのシステム開発に利用可能である一方、ある抽象的な機能を実現するために個別のステートメントレベルの知識から設計することは現実的ではない。事実、我々は、システム開発中に「配列のソート」や「画像の二値化処理」などの機能が必要になるであろうと考えたとしても個別のステートメントレベルでの思考はしないことが多い。これはこの粒度の部品まで具体化すればその後は実装できると知っているからである。このことから、汎用的な細かい粒度での部品の知識(ステートメントレベルなど)も、大きな粒度での部品の知識もともに必要であり、これらが適切につながれて、構造化されていることが望まれる。このような適切な粒度で知識を使えることは Computational Thinking においても重要であることが指摘されながらも、その支援方法はこれまであまり研究されてこなかった。

“Computational thinking is using abstraction and decomposition when [...] designing a large complex system. [...] It is having the confidence we can safely use, modify, and influence a large complex system without understanding its every detail.”

[Wing, 2006]

Wing, J. M.: Computational thinking, Communications of the ACM, Vol. 49, No. 3, pp. 33–35, (2006)

2. 研究の目的

そこで、本研究では、ソースコードやフローチャートにおける小さな部品(ソースコードでいえばステートメントやそれを構成する要素)の習得からはじめ、その部品を徐々に拡張していくボトムアップの学習方法を提案し、設計するための前提知識として必要な部品の構造的理解の促進を目指す。また、このような学習においては学習者が行き詰ったときや誤ったときの診断・フィードバック機能や、適切に部品を拡張するための適応的な課題系列の提示のための課題の構造化が必要となる。本研究では、これらの機能を備えた学習支援システムの開発と、現場での実践運用を通じた評価を行う。

3. 研究の方法

本研究では期間内に下記を実現する。

- (i) 部品の段階的拡張を支援する学習支援システムの開発
- (ii) 上記学習支援システムの部品の思考の態度や能力の育成の評価
- (iii) 処理と振る舞いの関係づけ支援システム
- (iv) プログラミングにおける課題の構造化(マイクロワールドグラフをベースとする)
- (v) 構造化した課題の実装および適応的な課題系列の生成の確認
- (vi) 評価実験(実験室環境および実践)による効果検証

(i)は、図1のような学習を支援するためのインタフェースと、誤りに対する診断・フィードバック機能を備えた学習支援システムの開発である。

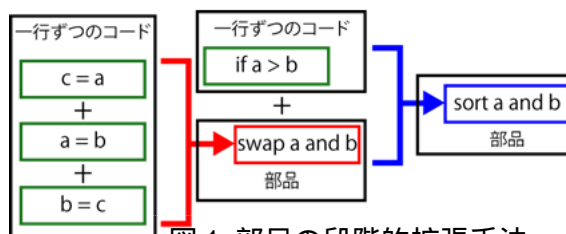


図1 部品の段階的拡張手法

(ii)は、上記システムは限定された領域において部品の蓄積や拡張、活用が促されることが確認されたが、汎用的な態度や能力の育成は未検討であり、この評価を行う。この方法として、ある領域において学習した学習者が、未知の領域においても部品を自身で作成し、活用していく態度が見られるか、またそれが実現できる能力が備わっているかを確認する。

(iii)は、本研究では処理(操作系列)をベースに学習を進めていくが、ある処理がどのようなふるまいをするのか、あるいはどのような機能に値するのかについて十分に理解できていないケースが存在する。そのため、処理を見て、ふるまいを理解させるための支援システムが重要となる。

(iv)は、課題の特徴記述の枠組みとその枠組みに従って実際に課題の構造化を行う必要がある。研究代表者はこれまでマイクロワールドグラフを始めとし、様々な知識の構造化に関する研究

を推進してきており、これらの手法や知見に基づいて実現する。実現範囲は、アルゴリズムの理解が重要であり、また段階的な理解が求められるソートの範囲について最初に検討を行い、その後他の領域への拡張を目指す。

(v)では、モデルとして生成された課題の構造をシステムに実装し、適応的な課題系列の生成について確認する。また、それらのシステムを統合し、(vi)評価を行う。

具体的には、初年度(平成30年度)は、(i),(iii)は既にプロトタイプシステムがあり、これを元に拡張し、(ii)評価する。また、良く知られたソートのアルゴリズムのいずれか(たとえば単純ソート)に対する(iv)課題の構造化を実現する。次年度(平成31年度=令和元年度)は、課題の構造化の発展を行い、様々なソートを包含した課題の構造を作成し、(v)課題系列の生成が実現可能かを評価する。最終年度(平成32年度=令和2年度)は、(vi)これらを統合したシステムを開発し、研究代表者が担当する情報系科目における実践を実施し、その効果について評価を行う。

4. 研究成果

それぞれの年度で以下のように達成したため成果として報告する。

○初年度(平成30年度)

初年度(平成30年度)は、予定していた(i)部品の段階的拡張を支援する学習支援システムと、(iii)処理と振る舞いの関係づけ支援システムを改良し、(ii)の評価について充足した。特に、従来のように参考書を用いて学習を行った群と、提案手法を実現したシステムを用いて学習した群、さらに誤り箇所についてのフィードバック機能を加えたシステムを用いて学習した群で評価したところ、フィードバックの有無にかかわらず提案手法を実装したシステムそのものが一定の学習効果を導くこと(特に部品を拡張的に表現する能力の向上)を確かめた。さらに、記憶の定着には誤り箇所を振り返るためのフィードバック機能が有効に働くことを確認した。さらに、単純ソート、バブルソートについて、構造・振る舞い・機能の3観点で構造化を行い、関係性を明らかにした。以上の業績について、国内学術論文2本、国際会議2本で報告した。

○令和元年度(申請書では平成31年度)

課題の構造化の発展を行い、様々なソートを包含した課題の構造を作成した。さらに、(iii)の発展形として、研究を進めるうえで明らかになった機能と振る舞い、振る舞いと構造を関係づけるための問題解決モデルが新たに明らかになり、その支援システムの着手も行った。これは令和2年度(旧平成32年度)に予定していた(vi)統合システムの足掛かりとなるシステムであった。さらに、当初予定していた(v)課題系列の生成について、実際の大学の授業において系列の有効性についての評価を行い、その有効性の確認まで遂行できた。さらに、新たに問題文や要求分の分析に関する学習支援システムの研究や、既存の部品の読み取りと活用方法についての研究も遂行中であり、本課題に大きく関与する成果を上げている最中である。本業績について、国際会議1本、国内学術論文1本の成果を上げており、国内外にその成果を明らかにできたといえる。

○令和2年度(申請書では平成32年度)

(vi)統合したシステムを開発し、研究代表者が担当する情報系科目における実践を行った。具体的には、令和元年度に開発を行った機能とふるまいの関連付けの理解のためのフィードバックメッセージを、通常の誤り箇所の指摘と比べて、どちらのほうが良いかを情報系科目の学生100名程度相手に評価をし、本システムにより生成されるメッセージのほうが学習に有益であることを確認した。本成果は、国際会議1件、国内学術論文1本の成果として掲載された。さらに、本システムの活用を通して、学習者の知識不足とリソース不足についての学習者モデルを構築し、適応的な診断システムを開発し、評価した。本内容については既に国内研究会にて発表を行っており、また2021年は国際会議での発表も行う(採択済み)。

上記の研究を通して、当初の目的は達成され、さらに当初予定していた以上の学習者モデルに基づいた適応的なフィードバックまでの手がかりを得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 古池謙人, 久世泰成, 東本崇仁	4. 巻 J104-D
2. 論文標題 Error-based Simulationと概念マップを用いたメタ認知駆動学習を促すシステムの開発と評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2020JDL8020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 35
2. 論文標題 プログラミング学習における再利用性を指向した知識組織化のための知的支援: 機能・振舞い・構造の観点に基づく問題解決過程のモデル	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 C-J82_1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.35-5_C-J82	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁	4. 巻 J103-D
2. 論文標題 Error-based Simulation (EBS)における学習者の誤り傾向に基づく問題の行詰まり解決支援システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 D	6. 最初と最後の頁 644-647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2020JDL8002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 36
2. 論文標題 プログラミングの構造的理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 190 ~ 202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14926/jsise.36.190	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koike Kento, Tsuji Yuya, Tomoto Takahito, Katagami Daisuke, Obo Takenori, Ogai Yuta, Sone Junji, Udagawa Yoshihisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Academic Emotions Affected by Robot Eye Color: An Investigation of Manipulability and Individual-Adaptability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Computer Science and Applications	6. 最初と最後の頁 none
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14569/IJACSA.2019.0100450	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 36
2. 論文標題 プログラミングの構造的理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 東本 崇仁、赤倉 貴子	4. 巻 J101-D
2. 論文標題 提案するプログラムトレース課題のための学習支援システムの開発とその実践	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 810 ~ 819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2017LEP0010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁	4. 巻 35
2. 論文標題 プログラミングにおける構造的理解のための部品の段階的拡張手法の提案とそのシステムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 215-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Koike, K., Fujishima, Y., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T
2. 発表標題 Learner Model for Adaptive Scaffolding in Intelligent Tutoring Systems for Organizing Programming Knowledge
3. 学会等名 HCI International(Accepted) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aikawa, N., Koike, K., and Tomoto
2. 発表標題 Analysis of Learning Activities with Automated Auxiliary Problem Presentation for Breaking Learner Impasses in Physics Error-based Simulations
3. 学会等名 Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koike, K., Mogi, T., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.
2. 発表標題 Compogram: Development and Evaluation of ITS for Organizing Programming-Knowledge by Visualizing Behavior
3. 学会等名 HCI International 2020- ; Late Breaking Papers: Interaction, Knowledge and Social Media (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 座間出実, 古池謙人, 東本崇仁:
2. 発表標題 部品の利用と組み合わせを指向したプログラミング学習支援システムの開発と評価
3. 学会等名 人工知能学会第91回先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤島優希, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 知識の再利用性向上を目的としたプログラミング学習における理解状態に基づく適応的フィードバックの開発と評価
3. 学会等名 人工知能学会第91回先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田新太郎, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 ロボットプログラミングを題材にした競争型知識共有プラットフォームの提案と実装
3. 学会等名 人工知能学会第91回先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田新太郎, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 競争型知識共有プラットフォームを用いたロボットプログラミングによる学習支援システムの検討
3. 学会等名 JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松翔平, 東本崇仁
2. 発表標題 アルゴリズム的思考の獲得のための具体物ベースの学習支援システムの提案
3. 学会等名 JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 座間出実, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 プログラミングにおける部品の利用と合成を指向したプログラミング学習支援システムの開発
3. 学会等名 人工知能学会第89回先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 術仕様書における処理と対象に焦点を当てた文章読解の能力を育成する学習支援環境の検討
3. 学会等名 人工知能学会第89回先進的学習科学と工学研究会,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koike, K., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.
2. 発表標題 Supporting Knowledge Organization for Reuse in Programming: Proposal of a System Based on Function Behavior Structure Models,
3. 学会等名 Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, U., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.
2. 発表標題 A Support System for Learning Physics in Which Students Identify Errors Using Measurements Displayed by a Measurement Tool
3. 学会等名 Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田大輔, 東本崇仁
2. 発表標題 数学問題における論理構造の可視化機能を用いた学習支援システムの開発
3. 学会等名 教育システム情報学会2019年度第6回研究会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 高野勇人, 東本崇仁
2. 発表標題 Pepperによる学習者の理解状況に基づく応答・教授環境の実現
3. 学会等名 教育システム情報学会2019年度第6回研究会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 久世泰成, 東本崇仁
2. 発表標題 Error-based Simulation (EBS) と概念マップを用いてメタ認知活動における抽象化操作を促すシステムの開発と評価
3. 学会等名 教育システム情報学会2019年度第6回研究会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 学習者のパラメータ探索を通じた故障診断による力学学習支援システムの開発
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会Vol. 88
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 相川野々香, 東本崇仁
2. 発表標題 Error-based Simulationにおける学習者の誤り傾向に基づく適応的な補助問題提示システムの開発と評価
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会Vol. 88
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 要求分析能力の獲得支援を指向した学習環境に対するフィードバック機能による効果の検証
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会Vol. 88
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 相川野々香, 東本崇仁
2. 発表標題 EBSにおける学習者の誤り傾向に基づく問題の行詰まり解決支援システムの提案と予備的評価
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会Vol. 87
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 要求分析における処理の明確化を指向した学習環境における学びの検証と行き詰まり箇所の考察
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会Vol. 87
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 学習者による観測器の活用を通じた解答の検証を指向する力学学習支援システムの試作
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 86
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミングにおける学習者の部品構築プロセスを考慮した学習支援システムの提案
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 86
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁
2. 発表標題 システム開発における要求具体化タスクと支援環境の提案
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 86
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Koike, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima
2. 発表標題 Proposal of an Adaptive Programming-Learning Support System Utilizing Structuralized Tasks
3. 学会等名 Int. Conf. Comput. Educ. ICCE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kurokawa, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima
2. 発表標題 Development of a Mathematical Solution Environment to Understand Symbolic Expressions in Mathematics
3. 学会等名 Int. Conf. Hum. Interface Manag (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Koike, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima
2. 発表標題 Proposal of a Framework for Stepwise Task Sequence in Programming
3. 学会等名 Int. Conf. Hum. Interface Manag (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミング課題を構造化することによる理解状態に適応した課題提示方法の検討
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミングにおける部品の獲得・拡張活動プロセス
3. 学会等名 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------