

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12265

研究課題名（和文）プログラミング演習における学習者の作業プロセスの分析に基づく学習教育支援システム

研究課題名（英文）Educational System based on analysis of learners' programming process in programming exercise

研究代表者

小西 達裕 (KONISHI, Tatsuhiro)

静岡大学・情報学部・教授

研究者番号：30234800

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：学習者のプログラミングプロセスを分析し、学習者・教員に有用な情報を抽出する手法について検討し、(1)演習時の学習者の挙動を観測する環境の開発(2)得られた情報を分析し、有用な情報を抽出する機構の開発、を行った。(1)については学習者のプログラム編集過程をリアルタイムでモニタリングしてデータを収集する機構を構築した。(2)については(1)で得られた編集履歴から学習者が行き詰まりを起こした時点と箇所およびそれに関連する学習テーマを同定する機構、及びその結果をクラス全体について俯瞰させることにより授業設計を支援する機構を構築した。これらについて実験的評価を行い肯定的な結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学習者のプログラムを分析して学習教育に役立てる研究としてはコンパイルエラー解消までのエラーメッセージを分析するものがある。しかしコンパイルエラー解消後の学習支援に役立たない。コンパイルエラー修正後も支援する研究では分析時点の最新プログラムのみを分析し、プログラム作成プロセスを分析しないものが多い。プログラム作成プロセスを分析する研究としてはソースコードの変化や編集パターンを分析するものがあるが、本研究はより多様な情報リソースに基づいて分析する点に新規性がある。本研究の成果はソフトウェア技術者教育の質の向上をもたらすため、近年のソフトウェア技術者の不足傾向を鑑みるに大きな社会的意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：We developed the following two educational environments for analyzing learner's programming process and for extracting various information being useful for learners and teachers. (1) An educational environment by which users can observe learner's behavior. (2) An educational environment by which users can analyze the observed behavior. As (1), we developed a system for collecting real-time data of learner's actions in editing his/her source codes. As (2), we developed two systems: (2-a) a system for detecting learner's being in impasse and finding which misunderstanding caused the impasse. (2-b) a system that helps teachers to design their lectures by giving overview of the result of the system (2-a).

We also conducted experimental evaluation of the systems and found they have a certain effectiveness for education.

研究分野：教育工学、ヒューマンインタフェース

キーワード：学習教育支援システム プログラミング教育 振り返り学習支援 教師支援 プログラミングプロセス分析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

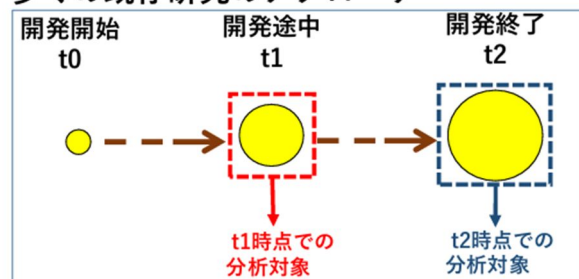
プログラミング演習支援のために、学習者が作成したプログラム(以下「学習者プログラム」)を分析して結果を学習者や教師に提示するシステムは内外で数多く開発されている。しかしながらこの種のシステムの多くにおいて、分析評価の対象が分析時点での最新の学習者プログラムに限定されており、演習開始から分析時点までの課題遂行のプロセスを対象にしていない(図1)。この課題遂行プロセスからは、学習者・授業担当教員(以下単に「教員」)の双方にとって重要な以下のような情報が得られると考えられる。

(1) 学習者にとっての情報：課題遂行プロセスから振り返り学習における適切な着目点が見える。例えば開発に行き詰った点はどこでその原因は何か、開発中にどのようなバグがあり何に気づいて修正できたか、開発中に参照して役に立った教材や参考資料は何か、等である。

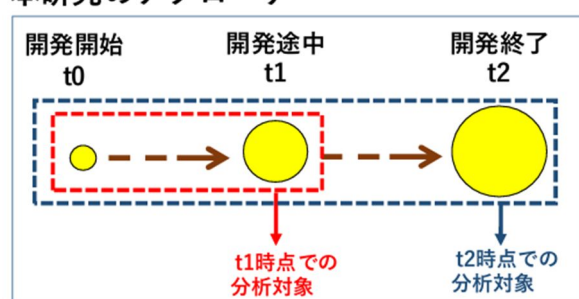
(2) 演習中に個別指導する教員にとっての情報：個別指導では、プログラム作成に行き詰っている学習者に単に正解を示唆するのではなく、行き詰まりの原因を推定してこれを取り除く助言を行うことが重要である。このとき学習者が辿ったプログラム編集履歴(たとえば試行錯誤的にプログラムの一部の追加・削除と実行結果のチェックを繰り返している、など)、コンパイルと実行結果の履歴、作業時間、演習中に参照した電子教材の項目などは行き詰まり原因を推定する重要なヒントとなる。

(3) 演習におけるクラス全体の学習状況を把握して授業改善を行う教員にとっての情報：授業改善のためには演習課題の難易度の評価が必須である。しかし最終成果物(レポート)はほとんどの場合課題の要求を満たしたプログラムに整えられており、学習者にとって難易度がどうだったかを推定するのは難しい。課題遂行プロセスから、最終成果物としての学習者プログラムのどこに多くの労力が費やされているかを読み取り、また多くの学習者が行き詰った原因を抽出すれば、授業改善に直接的に役立つ情報が得られる。

多くの既存研究のアプローチ



本研究のアプローチ



● 学習者プログラム

図1 本研究における分析対象

2. 研究の目的

以上の研究背景に基づき、本研究の目的を以下のように定めた。

(A) プログラミング演習における学習者の課題遂行プロセスをモニタリングし、学習者および教員にとって有用な分析結果を抽出する手法を明らかにする。具体的には以下の通り。

(A-1) プログラミング演習における学習者の挙動をモニタリングする環境を開発する。本研究ではアイトラッカーや脳波センサなど一般的な教育現場で利用困難なセンサ類は用いない。

(A-2) モニタリング環境から得られた情報を分析し、課題遂行プロセスを俯瞰的に分析して学習教育上有用な情報を抽出する機構を開発する。

(B) 課題遂行プロセスの分析結果を有効に活用できる学習支援システム・教育支援システムを開発する。具体的には以下の通り。

(B-1) 学習者が(A-2)から得られた情報をもとに、自らの課題遂行プロセスを振り返り、自らの弱点や十分理解できた事柄を再確認する振り返り学習支援環境を構築する。

(B-2) 演習中に個別指導を行う教員が(A-2)から得られた情報をもとに、学習者の課題遂行プロセスを俯瞰し、行き詰まり原因を同定することを支援する教育支援環境を構築する。

(B-3) 演習後に授業改善を行う教員が(A-2)から得られた情報をもとに、各学習者にとっての課題難易度とそのクラス内分布を把握したり、学習者の行き詰まりの原因のうち頻度が高いものを把握することを支援する教育支援環境を構築する。

(B-4) (B1) ~ (B3) で開発した各環境を研究代表者・分担者やその同僚が担当する実授業に試験導入し、その効果を評価する。試験導入結果を踏まえてシステムの改善を繰り返す。

### 3. 研究の方法

本研究は上記研究目的 (A) (B) それぞれにつき以下の方法で遂行した。

#### (1)研究目的 (A) について

(A-1)については、本研究で想定する(B1)～(B3)の使用場面につき、特に課題遂行プロセスから読み取りうる有用な情報のタイプを整理し、それらの情報を抽出するために観測すべき情報のタイプを明らかにした。具体的にはソースコードの編集パターンその他、コンパイル・実行結果の履歴、編集や実行の時刻情報(作業に要した時間)等が有用と考えた。これらの情報をモニタリングする機構を一般的なプログラミング環境にサブシステムとして組み込んだ。

(A-2)については、上記で得られたモニタリング機構から得られた情報を分析して有用な情報を抽出する機構を開発し、出力結果の妥当性を実験的に評価した。

#### (2)研究目的 (B) について

(B-1)については、学習者プログラムの開発プロセスを時系列に沿って見える化するとともに、その過程で学習者が行き詰ったと推定できる時区間を強調表示して困難だった点に気づかせる GUI と、気づきを記録(外化)させるワークシートの組み合わせを構想している。

(B-2)については、机間巡視する教員の保持するタブレット上で指導対象学生のプログラムを表示するとともに、学習者の理解度が低いと推定される事柄を編集履歴の特徴(例:プログラムの同一箇所の場合当たりの編集など)からヒューリスティクスによって推定した結果を教師に示唆することを構想している。

(B-3)については、提出されたプログラムの各部の開発に要した時間を学習者毎にヒートマップ化して表示すること、これをクラス全体について重積して表示すること、(B-2)で述べた学習者の理解度が低いと推定される事柄の推定結果をクラス全体について集計して表示することを構想している。

(B-4)については、各年度までに開発した学習教育支援環境を実授業で使用し、(B1)については学習者の主観評価アンケートおよび振り返り学習の成果の評価を、(B2)(B3)においては教員の主観評価アンケート及び開発した環境が役立った事例の蒐集を行う。また評価結果に基づいてシステムの改善・再開発を行う。

### 4. 研究成果

本研究の主な研究成果を、上記研究目的 (A) (B) それぞれにつき述べる。

#### (1)研究目的 (A) について

(A-1) 学習者の挙動を観測する環境を開発した。

プログラミング開発環境上での学習者のプログラム編集過程をリアルタイムでモニタリングし、サーバにログデータを自動的にアップロードする機構を開発し[NOGUCHI2022]、100名弱のプログラミング演習クラスにて無理なくデータの収集ができることを確認した。

(A-2) 得られた情報を分析し、有用な情報を抽出する機構を開発した。

先行研究で開発した学習者の行き詰まり検出機構をもとに、教師にとって有用な以下の3レベルの情報を引き出す解析手法を提案しシステムに実装した[NOGUCHI2020]。実装したシステムについて実授業環境でテストを行い、想定通りの機能を持つことを確認した。

(A-2-1) 学習者の行き詰まりが生じた時間帯と収集したログから、完成プログラムのどの箇所の作成で行き詰っていたかを判定する機構。これにより教師は、完成プログラムを採点するだけではわからない学習者が感じた困難を推定できる。

(A-2-2) 学習者プログラムと教師が用意した標準アルゴリズムを突き合わせて、学習者の行き詰まり箇所が標準アルゴリズムのどの箇所にあたるかを推定する機構。これにより教師は、クラス内の学生が標準アルゴリズム中のどの箇所の実装で行き詰ったかの分布を俯瞰できる。

(A-2-3) 標準アルゴリズム中に埋め込んでおいたタグ情報を手掛かりに、学習者がどの学習項目について理解が不十分だったか推定する機構。これにより教師は、ある学習テーマの理解度について、複数の演習問題の解答ログを総合的に分析して判定できる。

#### (2)研究目的 (B) について

(B-1) 演習中に個別指導を行う教員が行き詰まり原因を同定してクラス全体の指導に役立てることを支援する教育支援環境を構築した。

具体的には、演習を受講している学生のリスト表示機能、学生リスト上で行き詰まりを起こしている学生を強調表示する機能、行き詰まりを起こしている学生のプログラムソースコードを表示したうえで行き詰まり箇所を強調表示する機能、学生が行き詰っている箇所に対応する学習テーマをクラス全員分集計して頻度分布を表示する機能、を有するシステムである。これらの機能は、教員による机間巡視中の学生への声かけ、個別指導時の学生が行き詰まりの円滑な把握、クラス全体の指導のための理解状況の傾向把握、などに役立てることができる。

構築したシステムの有用性についてプログラミング演習を担当する教員およびTA経験者に評価してもらったところ、肯定的な評価を得た。

(B-2) 机間巡視する教員およびTAを携帯端末上で支援する環境を構築した。

具体的には、机間巡視する教員の保持する携帯端末上で指導対象学生のプログラムを表示するとともに、学習者の理解度が低いと推定される事柄を編集履歴の特徴(例:プログラムの同一箇所の場当たりの編集など)からヒューリスティクスによって推定した結果を教師に示唆するシステムを開発し、機能評価を行った[IKEGAME2021]。

(B-3)本研究で開発した各システム・学習支援環境を研究代表者・分担者やその同僚が担当する種々の実授業に試験導入し、その学習教育支援効果を評価し、肯定的な結果を得た。

(3)その他の関連する研究成果について

当初の研究構想になかった検討課題として、新型コロナウイルスの流行により従来対面授業形式で行われていたプログラミング演習がオンライン・オンデマンド形式で行われるようになったことを踏まえ、これらの形式で行われる演習を担当する教師を、課題遂行プログラムの分析結果に基づいて支援する枠組みを整理した[池亀 2021]。この成果は本課題の研究計画最終年度前年度の応募研究課題(採択済み。R5年度~R9年度)に接続される。

さらに当初の研究目的としては直接言及していないが、プログラミング教育を支援するシステムとして、ソフトウェア設計プロセス学習支援システム[NOGUCHI2019]、デバッグ学習支援システム[山本 2020] [山本 2023]を設計開発した。これらは本研究で学習者のプログラミングプロセスをモニタリングする際のプラットフォームになりうる。

(引用論文の書誌情報については本成果報告書「5. 主な発表論文等」を参照のこと)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koichi YAMASHITA, Miyu SUZUKI, Yusuke KITO, Yusuke SUZUKI, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITO	4. 巻 18
2. 論文標題 Interaction Support Systems Between Teachers and Visual Content for Effortless Creation of Program Visualization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning (RPTEL)	6. 最初と最後の頁 1-31
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 Koichi YAMASHITA, Yusuke SUZUKI, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH	4. 巻 1
2. 論文標題 Learning Support System Visualizing Relationships Among Classes and Objects Based on Teacher's Intent of Instruction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2022	6. 最初と最後の頁 314 - 316
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 Yasuhiro NOGUCHI, Kanta INOUE, Satoru KOGURE, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI	4. 巻 1
2. 論文標題 Monitoring of Learners' Activities' in Software Structure Design Exercises	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2022	6. 最初と最後の頁 259-261
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 Tomoki Ikegame, Yasuhiro NOGUCHI, Satoru KOGURE, Koichi YAMASHITA, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI and Yukihiro ITOH	4. 巻 1
2. 論文標題 Instruction Support System using Impasse Detector and Major Failure Diagnoser for Programming Exercises	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 WIPP Proceedings of ICCE2021	6. 最初と最後の頁 700-702
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 Koichi YAMASHITA, Miyu SUZUKI, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI and Yukihiro ITOH	4. 巻 1
2. 論文標題 GUI Based System for Effortless Program Visualization Creation Using Time Series Information	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2021	6. 最初と最後の頁 579-588
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 Hiroyuki SOMA, Satoru KOGURE, Yasuhiro NOGUCHI, Koichi YAMASHITA, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI and Yukihiro ITOH	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Mapping Function between Variable Value and Object Properties for Program Behavior Visualization Tool TEDViT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 WIPP Proceedings of ICCE2021	6. 最初と最後の頁 694-696
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 Yasuhiro NOGUCHI, Kousei AYABE, Koichi YAMASHITA, Satoru KOGURE, Raiya YAMAMOTO, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental Design of Automated Extraction for 3-Level Tutoring Support Information in Programming Exercises	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2020	6. 最初と最後の頁 255-260
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 Kanako SUZUKI, Tatsuhiro KONISHI	4. 巻 -
2. 論文標題 An Educational System with Functions of Guidance and Adaptive Advice to Support Problem Solving based on Basic Concepts of Statistics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2020	6. 最初と最後の頁 295-300
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 Yasuhiro NOGUCHI, Daiki IHARA, Satoru KOGURE, Koichi YAMASHITA, Tatsuhiro KONISHI, Yukihiro ITOH	4. 巻 -
2. 論文標題 Learning Support System for Software Component Design based on Testability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of ICCE2019	6. 最初と最後の頁 306-311
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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山本 頼弥, 野口 靖浩, 小暮 悟, 山下 浩一, 小西 達裕, 伊東 幸宏
2. 発表標題 場当たりのなデバッグを行ってしまう学習者向け体系的デバッグ手順学習支援環境の複数関数を含むプログラムへの対応
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 2023年

1. 発表者名 池亀 智紀, 野口 靖浩, 小暮 悟, 山下 浩一, 山本 頼弥, 小西 達裕, 伊東 幸宏
2. 発表標題 プログラミング演習における行き詰まり検出に基づく個別指導支援システムのオンライン・オンデマンド型演習への対応
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 2021年

1. 発表者名 池亀 智紀, 野口 靖浩, 小暮 悟, 山下 浩一, 山本 頼弥, 小西 達裕, 伊東 幸宏
2. 発表標題 プログラミング演習における行き詰まり検出器と静的解析器を利用した個別指導支援システムの構築
3. 学会等名 教育システム情報学会第46回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相馬 洸希, 小暮 悟, 野口 靖浩, 山下 浩一, 山本 頼弥, 小西 達裕, 伊東 幸宏
2. 発表標題 プログラム挙動視覚化ツールTEDViT におけるオブジェクトプロパティへの変数値写像機能の構築
3. 学会等名 教育システム情報学会第46回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 頼弥, 野口 靖浩, 小暮 悟, 山下 浩一, 小西 達裕, 伊東 幸宏
2. 発表標題 アルゴリズムとコード間の関係に着目したデバッグ活動の学習を支援するシステムの検討
3. 学会等名 人工知能学会 第88回 先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2020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
研究分担者	山下 浩一  (YAMASHITA Koichi)  (30340110)	常葉大学・経営学部・教授   (33801)	
研究分担者	小暮 悟  (KOGURE Satoru)  (40359758)	静岡大学・情報学部・教授   (13801)	
研究分担者	野口 靖浩  (NOGUCHI Yasuhiro)  (50536919)	静岡大学・情報学部・准教授   (13801)	

#### 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
---------	---------