

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03056

研究課題名(和文) プログラミング教育における細粒度活動履歴に基づくラーニングアナリティクス

研究課題名(英文) Learning Analytics based on Fine-Grained Activity History in Programming Education

研究代表者

三浦 元喜 (MIURA, MOTOKI)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：00334053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：従来のテキスト型プログラミング環境におけるタイピングの影響を緩和するため、自動補完機能を導入したプログラミング学習環境を構築した。また、プログラミング学習者のソースコード編集時のキャレット移動を含む、細粒度の活動ログを取得し、学習成果との関連について分析を行った。自動補完の使用回数と成績との有意な相関はみられなかったが、補完機能を用いることで括弧やカーリーブラケット等のシフトキーを使用して入力する記号の入力回数が有意に減ることが確認できた。また、キャレット移動を含む細粒度活動ログから、キャレット移動が頻繁なほど、回答に有効な入力文字数が少ない傾向があった。

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者のソースコード編集時のキャレット移動を含む、細粒度の活動ログを取得・分析することで、プログラミング学習支援の多様化および高度化を目指した研究である。キャレット移動そのものはソースコード自体には反映されない操作ではあるが、その記録をとらえることで学習者の学習状況や傾向との関連について分析することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：In order to mitigate the influence of typing in the conventional text-type programming environment, we built a programming learning environment that introduced an auto-completion function. In addition, we acquired fine-grained activity logs, including caret movements when editing source code for programming learners, and analyzed their relationship with learning outcomes. There was no significant correlation between the number of auto-completion usages and the learner score. However, it was confirmed that the number of times of inputting symbols that must be input using shift keys such as parentheses and curly brackets is significantly reduced depending on the setting of the completion function. In addition, from the fine-grained activity log including caret movement, the more frequently the caret movement, the smaller the number of valid character inputs necessary to answer assignments.

研究分野：情報教育

キーワード：プログラミング学習 Web IDE ソースコード編集 キャレット操作

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初行われていたコンピュータサイエンス教育やプログラミング教育における学生の学習を改善する研究としては、新しいプログラミング方法（例えば、ペアプログラミングや CS unplugged）に関する研究や、新しい教育ツール（例えば、ブロック言語の導入や、有益なコンパイラエラーメッセージの生成、ロボットやセンサーといったハードウェアを援用した体験型の学習）に関する研究が盛んに行われていた。

また、2022 年度からの小学校におけるプログラミング的思考を取り入れた教科教育の流れや、高校における教科情報新課程の導入などをふまえ、Scratch や Google Blockly といったブロック記述方式のビジュアル言語や、初学者向けのビジュアルプログラミング環境が登場し、利用されるようになっていた。一方で、従来のテキスト型のプログラミングによる利点もあり、用途によってこれらは使い分けられていた。また、ビジュアル型からテキスト型への接続をスムーズに行うため、相互に変換する学習環境も提案されていた。

これらの学習環境は、当時から Web ブラウザ上で動作するものが主流となっており、学習者は環境構築・導入のための特別な手順を行わなくても、簡単に学習環境を利用できるようになった。

2. 研究の目的

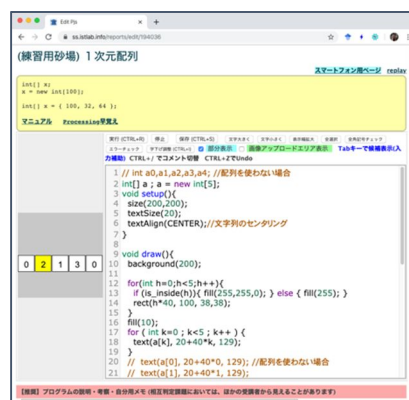
従来のテキスト型プログラミング環境においては、ソースコードの編集においてキーボード入力が必要となるため、タイピング能力が学習成果に影響を及ぼす可能性があった。そこで、そのタイピングの影響を緩和するため、自動補完機能を導入したプログラミング学習環境を構築した。自動補完機能とは、関数名や変数名の一部を入力したときに候補が表示され、それを選択することによって全体が入力される機能である。これにより、タイプする文字数を減らしたり、タイプミスが減らしたりする効果が期待できる。

また、プログラミング学習者のソースコード編集時のキャレット移動を含む、細粒度の活動ログを取得し、学習成果との関連について分析を行った。キャレットとは、エディタのテキスト入力エリアに文字入力を行う際の入力位置を示すもので、通常縦棒で表示される。キャレットの移動は、エディタに対するマウス操作やカーソルキー操作によって行われる。キャレット移動そのものは、ソースコード本体の内容に影響しないが、その移動ログを含めたソースコード編集履歴を分析することによって、これまでよりもきめ細やかな学習者の状況把握や支援につながる可能性があると考えた。

3. 研究の方法

研究代表者が構築した Web IDE（右図）に、自動補完機能と、細粒度の編集操作ログを記録する機能を追加した。具体的には、CodeMirror エディタに Processing のキーワードやよく使われるコードスニペットを登録し、Tab キーによって補完候補を表示し、Enter キーまたはマウスクリックで候補確定できるようにした。また、キー入力イベントやマウスによるキャレット移動を記録し、MySQL サーバに送信する機能を追加した。

編集操作ログを記録する機能を追加した Web IDE は、研究代表者が講義で利用している LMS に組み込まれ、担当する複数のプログラミング講義において使用された。具体的には、複数の言語（Processing、C、Fortran 等）に基づく演習や試験、小テストの活動において運用した。ただし、2020 年度はコロナの影響により、オンラインでの講義となったため、大学支給の iPad を利用して上記活動を行った学生も半数程度みられた。



4. 研究成果

まず、自動補完を導入した講義における学習者への影響について述べる。補完候補は Tab キーを押さないと表示されないことから、学習者 48 名のうち、11 名は一度も使用しなかった。また、演習課題・試験ごとに、補完機能を使用した場合の使用回数と、当該演習課題・試験のスコアとの相関を調べたが、相関係数はもっとも大きい場合で 0.14 であり、有意な相関はみられなかった。また、自動補完使用頻度とタイピングスキルとの相関も -0.13 であり、有意な相関はみられなかった。ただし、補完機能を使用することによって、特に for 文や if 文の補完候補で登録していたスニペット（ソースコード断片）に含まれる括弧（ ）やカーリーブラケット { } の入力回数

有意に減少することが確認できた。これらの記号はシフトキーを使用しないと入力できないことから、タイピングに不慣れな学習者にとっては補完機能によってこれらのキー入力操作を軽減できることは一定の意義があると考えられる。同時に、Enter キーやカーソルキーの入力回数は有意に増加していた。これは補完候補の選択・確定操作によるものや、for 文や if 文のスニペット内を編集する際に必要な操作が影響していると考えられる。また、for 文のスニペットを挿入することによって、無限ループエラーの回数が有意に減少することも確認できた。

次に、キャレット操作を含む細粒度ログを含めたエディタの操作種別と、学生の演習・試験の成績との相関について調査した。学生の活動については(1)試験(2)演習(3)初期創造課題の3つに分けて分析した。試験は他者との相談なしで、制限時間内に回答する課題である。演習は必要があれば他者と相談することができ、回答時間の制約が強い課題である。初期創造課題とは、学生が講義の初期段階において、主体的にテーマを決め、プログラム命令によって表現する作品を作成する課題である。初期創造課題を独立させた理由は、学生の意欲や態度がソースコード編集の量に反映され、影響を受けやすいと考えたためである。これらの活動別に、エディタ操作に含まれる総イベント数(マウスクリックを含む)、Tab キー/文字キー/カーソルキー/括弧キー/Enter キーの押下数を集計した。全体的な傾向として、文字キーと括弧キー、Tab キーと Enter キーの正の相関と、文字キーと総イベント数/カーソル押下数の負の相関が顕著であった。文字キーと総イベント数/カーソル押下数については、マウスクリックやカーソルによるキャレット操作が頻繁なほど、有効な入力文字数が少ないことを示唆しているとも考えられる。

さらに詳細に分析を行うため、活動内容と実施条件が比較的統一されている「試験」のデータに着目した。エディタ操作量の特性を調べるため、2018年と2019年の中間試験・期末試験のログについて、BS・DEL キー/Enter キー/カーソルキー/文字キーの押下数/保存回数/操作イベント数が、どの程度成績に寄与しているかを決定木で分析した。その結果、BS・DEL キーの使用が86回より少なく、Enter キーの使用が多く、操作イベント数が少ない場合に高成績グループに分類されることがわかった。またカーソルキーの押下数そのものが全体の成績に寄与する割合はあまり高くはないが、BS・DEL キーの使用が多く、保存回数が少ない回答群については、カーソルキーの使用が多い回答のほうが良い成績になるという結果が得られた。

上記の検討においては、学習者の最終成績や課題のスコアに基づいて分析を行ったが、より詳細な分析を行うためには、課題のスコアよりもさらに短い期間での評価指標が必要になると考えた。そこで、ソースコードのコンパイルエラーの有無に着目したデータセットを構築した。これは、ソースコード自体の内容が書き変わる単一のキー入力およびコピーペースト操作ごとに、ソースコードのコンパイル結果とエラーの有無および種別を記録したものである。これによって、コンパイルエラーが継続して発生している状況では、学習者がプログラムの記述に不慣れであるか、または想定していない状況にあるといったことが推測できるようになる。また、編集操作とキャレット操作の遷移や割合といった活動履歴と、学習者の状況を紐づけて分析することができるようになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 三浦 元喜	4. 巻 37
2. 論文標題 初学者向けProcessingプログラミング環境におけるコード補完機能の導入と効果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育システム情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 167-172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14926/jsise.37.167	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6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 三浦 元喜
2. 発表標題 高解像度ディスプレイを最大限に利用するPDFビューアの開発
3. 学会等名 日本創造学会第42回研究大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦元喜
2. 発表標題 プログラミング講義における活動種別を考慮したエディタ操作と学生パフォーマンスの分析
3. 学会等名 情報処理学会インタラクション2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoki Miura
2. 発表標題 Augmented classrooms and creative thinking workspaces: Introducing digital pens for realizing instant communication and collaborations
3. 学会等名 14th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Manabu Ito, Motoki Miura
2. 発表標題 Segment Markers: Improvement of Random Dot Marker to Extend Recognition Distance
3. 学会等名 14th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoki Miura
2. 発表標題 Analysis of student performance and mutual evaluation activity in creative project-based learning using LEGO mindstorms
3. 学会等名 The 41st Annual Conference of Japan Creativity Society
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦元喜
2. 発表標題 プログラミング教育における剰余演算子活用能力を高めるドリル型記述演習問題の導入
3. 学会等名 情報処理学会情報教育シンポジウム(SSS2019)
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
---------	---------