

(様式 5)

2021 年 12 月 16 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 電子情報工学 専攻 (major) 2016 年度入学(Admission year) 学籍番号 16834306 氏名 長島 和平 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	並木 美太郎
論文題目 (Title)	オンラインプログラミング学習環境 Bit Arrow の研究と開発
論文要旨 ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in Japanese) 2022 年度から適用される学習指導要領により運用が開始される高等学校の教科「情報 I」ではプログラミング教育が必修化されることとなった。高等学校における授業で利用されるプログラミング学習環境は、この学習指導要領の適用に伴い文部科学省から公開された資料などで使われているプログラムに準じた内容を扱える必要がある。教科「情報」で学習する内容に関して、学習指導要領を調査したところ、プログラミングと関連した学習内容として、コンピュータアーキテクチャ、アルゴリズム、身近なアプリケーションの仕組み、Web アプリケーション、スマートフォンや組み込み機器での実行、ネットワークを経由したデータの蓄積・共有、Web API、データの統計処理といった活動が挙げられる。授業で利用されるプラットフォームには、これらの活動に対応できることが求められていることが分かった。 一般にプログラミングの授業では、学習者のエラー修正を支援したり、教員がエラーなどで困っている学習者を把握し適切に指導したりするための支援機能を持った環境が求められる。しかし、高等学校の現場では、プログラミング教育を支援する環境を演習用 PC インストールすることが難しいという問題がある。 プログラミング学習における学習者の支援に関する先行研究を調査したところ、これまでの研究では日本語の利用、課題テンプレートの利用、興味を惹く題材の適用、インストール不要、エラー修正の支援といった機能が提供され、それぞれ有益であるとされた。一方、既存研究では、処理系のエラーメッセージをそのまま表示していることが多かった。学習者が教育用でない言語の処理系が出すエラーメッセージから自力でエラーを特定し修正することは難しい。 また、高等学校の学習指導要領に掲載された「収集・整理・分析」に関連する題材を扱った先行研究の調査では、SSH(Super Science Highschool)指定された高校や、大学向けに行われた授業実践の報告は見つかった。一方、普通高校では、データを収集し、サーバに蓄積している実践はあったが、分析には表計算ソフトが用いられていた。データの収集、	

ネットワークを通じた蓄積、蓄積データのプログラムによる分析といった活動を統合的に行った研究はこれまでに行われておらず、指導要領で求められる活動を網羅できていないことが分かった。

さらに、教員による適切な指導の支援について先行研究を調査したところ、学習者のログを収集し提供する、進捗状況を算出する、エラーを分析する、授業の振り返りに利用するといったことへの支援が行われてきたことが分かった。しかし、これまでに行われてきた支援では、明確な正解を一つ設定したうえで学習者の進捗を管理している研究が多く、データの分析のように正解が定まらない課題などに対して教員が学習者の状況を把握することが難しいという問題点があることが明らかになった。

本研究では、先行研究の調査から明らかになった課題「初学者にとってエラー修正が困難な処理系・開発環境」「指導要領で求められる活動を網羅できていない」「教員によるつまずき把握が困難な演習内容」に対して、「打ち間違いによるエラー発生を防止する開発環境」「Web上で動作する独自の処理系」「データの収集・蓄積・共有機能」「プログラムからの蓄積データの利用ライブラリ」「ソースコードのログを用いた進捗状況の把握」というアプローチで解決を行うことを目標とし、プログラミング環境 Bit Arrow を開発した。Bit Arrow は「Webブラウザで実行できる」「複数のプログラミング言語に対応する」「エラーを減らすための入力支援やエラーメッセージの表示を行う」「IoT機器や外部データベースとの連携や、データ分析ライブラリを提供する」「学習者のログを収集し、教員に提供する」といった特徴を持つよう設計・実装した。

Bit Arrow が提供する IDE は、記号の入力や保存時の自動インデント機能を提供することでエラーの発生数そのものを減少させ、Web上で動作する独自の処理系を実装することで、初心者にもわかりやすいエラーメッセージを提示することができる。こうした実装が、エラーの発生防止や学習者による自力でのエラー修正に有益である。また、Web上で動作する独自の処理系は、インタラクションを含むプログラムを実行することができるなど、学習者にとって身近なアプリケーションの仕組みの学習にも役立つ。さらに、データの収集・蓄積・共有機能とプログラムからの蓄積データの利用ライブラリを提供することで、データの収集・整理・分析といった活動にも対応できる。これにより、高校の学習指導要領に対応した活動を網羅できる。ソースコードのログを用いた進捗状況の把握を行うことで、データ分析のように教員によるつまずき把握が困難な演習内容でもつまずきの発見を支援することができる。

Bit Arrow を高等学校の教科「情報」で利用することを想定し、文部科学省から公開されている資料の内容に対して、Bit Arrow で実装することができるソースコードや仕組みといった実例を調査した。その結果、アーキテクチャ、アルゴリズム、身近なアプリケーションの構築、Webアプリケーション、スマートフォンや組み込み機器での実行、ネットワークを経由したデータの蓄積・共有、Web API、データの統計処理といった学習内容について、掲載内容と同等のプログラムを実装できることが確認できた。このことから、Bit Arrow は高等学校の教科「情報」におけるプログラミングに関連する内容を網羅できることが明らかになった。

学習者に対する支援機能の検証のため、Bit Arrow を高等学校で行われた実践授業で利用した。この授業における学習者の学習履歴を調査し、これまでの教科書で使われていたテキストエディタとブラウザを用いた環境との比較を行った。演習では教育用 JavaScript を使って奇偶判定、じゃんけん、FizzBuzz のプログラムを作成させた。その結果、Bit Arrow を用いることでエラーの発生が減少したことや、エラー発生時にそれを修正する時間が短くなったことが分かり、学習者支援の成果が明らかになった。また、簡単なゲームを制作

する教材を作成し、高校生の演習に用いたところ、配列などが使われる難易度の高いプログラムであっても多くの学習者が教材通りに演習を進めることができた。アンケート調査から、エラーの表示や記号の入力補助などが使いやすかった点として挙げられた。

2016年の一般公開後の利用状況を調査すると、1時間あたりの最大の利用数は86人の学習者によって8956件のアクセスがあり、1日あたりの平均アクセス人数は8142.1人と、大人数の利用でも安定してサービスを提供できた。高等学校の教員からは2019年度と2020年度にそれぞれ45件ずつの利用申請があった。高等学校における利用言語を調査したところ、実装した言語がそれぞれ利用されていた形跡があり、また、実習内容に応じて複数の言語を使い分けていたクラスもあった。

1章では、本研究の背景として、新しく導入される学習指導要領の学習内容や支援環境を導入しにくいこと、教員が学習者の状況を把握することが難しいといった、現在の高等学校におけるプログラミング教育の現状を述べる。

2章では、高校の教科「情報」の指導要領の調査を通じて、必要となる学習プラットフォームについての要件を整理する。3章では、プログラミング教育を支援するための先行研究を、学習者に対する支援と教員に対する支援に分類し、既存研究が行ってきた支援の手法をまとめ、プログラミング学習環境に必要な特徴を整理する。2章と3章から、Webベースのプログラミング学習環境への要求として「高等学校や大学の授業の学習内容や目的に応じて適したプログラミング言語を利用できる」「高等学校で行われるデータの収集・整理・分析という学習を統合的に支援する」「学習者自身によるエラー修正を支援する」「教員による学習者の状況把握を支援する」があることが分かった。

4章では、3章までで明らかになった課題を受け、「エラーの発生防止とエラーからの復帰の支援」「高等学校の学習指導要領に対応した活動の支援」「教員による学習者の進捗管理支援」を行えるオンラインプログラミング学習環境の開発を本研究の目標として示す。

5章では、要求を踏まえ、「Webブラウザで実行できる」「複数のプログラミング言語に対応する」「エラーを減らすための入力支援やエラーメッセージの表示を行う」「IoT 機器や外部データベースとの連携や、データ分析ライブラリを提供する」「学習者のログを収集し、教員に提供する」という機能を持ったプログラミング学習環境 Bit Arrow の設計を述べる。

6章では、5章の設計に沿った Bit Arrow の実装について述べる。

7章では、Bit Arrow を高等学校の教科「情報」で利用することを想定し、文部科学省から公開されている資料や現行の教科書の内容に対して、Bit Arrow で実装することができるソースコードや仕組みといった実例を調査し、高等学校での授業で利用可能であることを示す。

8章では、学習者に対する支援機能を検証するため、Bit Arrow を高等学校で行われた実践授業で利用した結果を示す。この授業における学習者の学習履歴を調査し、これまでの教科書で使われていたテキストエディタとブラウザを用いた環境と比べて学習者自身によるエラーの修正を支援することができていたことを示す。また、教員への支援として提供しているログを用いた学習者の状況把握について、授業で運用されている実例を示し、提供しているログの有用性を示す。

9章では、本研究が学習者自身によるエラー修正の支援、学習指導要領で求められるプログラミング活動の支援、教員による学習者の状況把握の支援について寄与した成果についてまとめ、最後に今後の課題について述べる。

(3942文字)

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

In Japan, programming education will become a compulsory subject in high schools in accordance with the Courses of Study to be applied from the year 2022. For this reason, it is necessary to have a programming learning environment that can handle the same content as the programs used in the materials recommended by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) in accordance with the application of the Courses of Study. However, at high schools, it is difficult to install an environment that supports programming education on exercise PCs.

In this study, we developed a programming learning environment, Bit Arrow.

Based on previous research and a survey of the Courses of Study, we designed Bit Arrow to meet the following requirements: it can be run in a Web browser; it supports multiple programming languages; it provides input support and shows error messages to reduce errors; it links to IoT devices and external databases and provides a data analysis library; and it collects learner logs and provides them to teachers.

Assuming that Bit Arrow would be used in high schools, we investigated whether the programs in the recommended material of MEXT could be implemented in Bit Arrow.

As a result, it was confirmed that Bit Arrow is capable of implementing programs equivalent to the content of the recommended material in the following areas: architecture, algorithms, construction of familiar applications, web applications, execution on smartphones and embedded devices, data storage and sharing via networks, web APIs, and statistical processing of data. This indicates that Bit Arrow is capable of covering the contents of high school programming courses.

In order to verify the effectiveness of the support functions for learners, Bit Arrow was used in a high school class. In this class, we compared learners who used Bit Arrow with learners who used the conventional environment. The results showed that the use of Bit Arrow reduced the occurrence of errors and shortened the time required to correct errors when they occurred. In addition, we created a teaching material to create a simple game and used it for high school students' exercises. Many students were able to follow the teaching material even though the program used difficult concepts such as arrays. A questionnaire survey of the students showed that the error display and symbol input assistance were easy to use. These results demonstrate the effectiveness of the learner support provided by Bit Arrow. (401 words)