

初学者向け C 言語学習支援システムの詳細と評価

Details and Evaluation of C Language Learning Support System for Beginners

大下 昌紀[†] 買田 康介[†] 松本 慎平[†]

Masanori Ohshita[†] Kosuke Kaida[†] Shimpei Matsumoto[†]

[†] 広島工業大学

1 はじめに

大学などの教育機関において、プログラミング教育が行われており、プログラミング教育を向上させるためには、プログラミング初学者が適切に学習を行うことが可能な環境を構築すること、また、学習者の学習ログを収集し、分析することが可能なシステムを設計することが重要であると考えられる。なぜならば、このようなシステムを設計することにより、プログラミング学習とは関係のない非本質的な箇所での躓きの抑止につながることで、また、学習ログデータから学習者の理解度や進捗の認知、それを踏まえたうえでの学習者一人一人に対する適切な教授法を構築することが可能となるためである。これらの背景から、筆者らは Hello C クライアントおよび HelloC サーバを開発している [1]。(以降、これらを総称して Hello C と呼ぶ)。Hello C クライアントは、Windows 用 C 言語学習支援システムであり、プログラミング初学者が容易にプログラミング学習を行うことを目的に開発されたシステムである。また、Hello C サーバは、Hello C クライアントに問題を配信したり、Hello C クライアントを用いて学習を行った学習者の進捗状況を管理したりするためのシステムである。一般的に、大学でプログラミングを学習する際に、Linux などの専門的な環境のエディタを用いるか、リッチな統合開発環境を用いられている。しかしながら、プログラミング初学者には、ファイル概念を理解していない、タイピングに慣れていない、エディタの使いかたがわからないなどのコンピュータの扱いに慣れていない学習者も存在しており、それらの学習者にとっては、学習に対するハードルが高い [2]。現在の学習環境では、初学者によっては、困難な開発環境設定作業や、慣れないタイピング、エディタの使用など、プログラミング学習外の非本質的な箇所での躓きが発生する可能性があり、これらの躓きは、本質的なプログラミング学習の障害となり、その結果、学習者の学習意欲の定着の阻害、それに伴う知識不足の要因になりうる。しかしながら、Hello C を用いることで、このような問題を解決することが可能である。また、Hello C を用いることで、プログラミング初学者のログデータを収集、分析を行うことが可能となり、ラーニングアナリティクスに基づいたプログラミングの学習支援が従来よりも容易に実現可能となる。これは、プログラミング学習の質を向上させるために有用



図 1: Hello C クライアントの外観

である。本稿では、Hello C の機能の詳細について詳しく述べることを目的とする。また、それらを踏まえたうえで、Hello C の有用性について述べることにする。

2 Hello C

Hello C クライアントの外観を図 1 に示す。Hello C クライアントは、初学者がプログラミング学習を進めるうえでできる限り非本質的な認知負荷を利用者に掛けないよう、簡易プロジェクト管理機能、簡易デバッグ機能、静的解析機能、オートコンプリート機能、構文チェック機能、複数ファイルのコンパイル機能、ソースコード圧縮保存機能、練習問題取得機能などを提供している。Hello C サーバは、学習者のログデータを補完、分析するため、そして教授者が練習問題を作成する目的で作成されている。Hello C クライアントは、Visual Basic .NET Framework 4.5 を用いて開発されており、コンパイルと実行は、Windows 用 gcc で行う。また、Hello C サーバの対象 OS は Ubuntu16.04, Web サーバソフトウェアとして Apache2.4.29, データベース管理システムとして MySQL10.1.28 を用いて構築された LAMP 環境で動作し、開発言語は PHP7.1.11, アプリケーションフレームワークは CakePHP 3.6 により開発されている。

2.1 学習の流れ

Hello C では、C 言語初学者が学習を円滑に行えるよう、練習問題を用いて学習を行うことが可能な機能を有している。Hello C で学習を行う際の画面遷移図を図 2 に、学習の流れを図 3 に示す。学習者は、学習を行うさい、Hello C クライアントにログインを行う。ログインに成功したら、問題選択画面に移行する。問

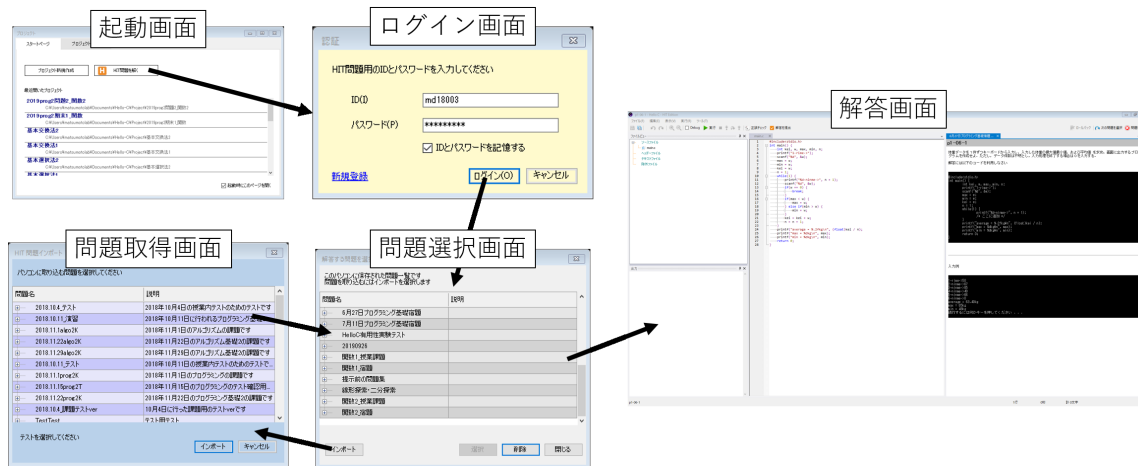


図 2: 画面遷移図

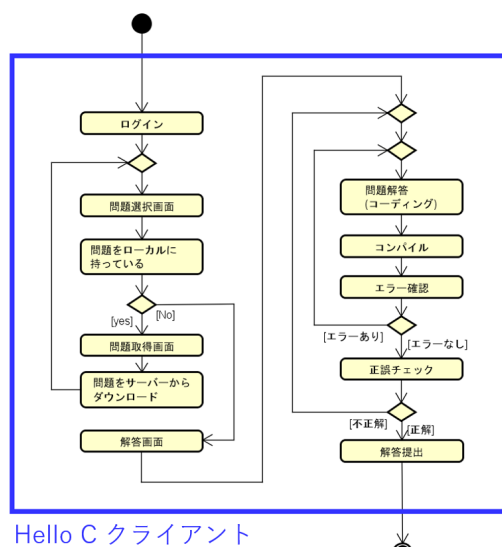


図 3: 学習の流れ

問題選択画面には、あらかじめローカルに保存してある問題が表示されており、それらの問題を解答することで学習を行うことが可能である。また、問題選択画面から、問題取得画面に移行することも可能である。問題取得画面では、サーバーにあらかじめ保存されている問題を取得し、ローカルに保存することが可能である。また、取得可能な問題は、Hello C クライアントにログインを行った際のアカウントに依存している。そのため、学習者の学習度合いや学習進度に応じた問題を取得することが可能である。問題選択画面から、問題を選択すると、問題解答画面に移行する。問題解答画面では、問題内容に応じたコードのコーディングを行い、実行、変更を繰り返すことで、学習を行う。また、正誤判定機能や自動問題取得機能も有しており、これらの機能を用いながら学習者は学習を行うことが可能である。

2.2 自動問題取得機能および問題提出機能

複雑なファイル操作による学習者の負荷を軽減するため、学習者は Hello C サーバの存在を意識することなく、練習問題とそのテストケースを Hello C クライアントのメニューからダウンロードできる。ダウンロード後、学習者は練習問題で指示された要件を満たすようなプログラム開発に取り組む。その際、コンパイルなどのソースコードと実行結果(エラー出力)を Hello C サーバに都度送信する。この情報を教授者は一元的に把握できるため、授業の進捗計画や学習者の個別対応など学習支援に活用できる。なお、送受信共に、JSON 形式でデータの受け渡しを行っている。また、練習問題の配信のみならず、Hello C は練習問題の自動採点を行うことができる。教授者は、問題を作成する際は、問題名や問題内容のほかに、いくつかのテストケースを設定し、そのテストケースを用いてテストを行うことで正誤判定を行っている。自動採点機能については、悪意のあるプログラム実行や無限ループなど Hello C サーバ側の負荷を考慮し、すべて Hello C クライアントで行うようになっている。このような仕組みを採用しているため、Hello C サーバに負荷が集中することはまれである。

2.3 正誤判定機能

Hello C では正誤判定には、通常確認と書式確認の2種類を準備している。通常確認では、準備しているテストケースと、出力結果が完全一致していた場合、正解とする。一方書式確認では、出力した際の変数部分および改行部分のみの一致度を確認する。正誤判定は、一般的に通常確認が行われている。しかしながら、C 言語初学者に、テストケースと完全一致で正誤判定を行った際、学習目的は達成しているにもかかわらず不正解であるという判定がレスポンスされ、混乱する学習者が多く見られた。例えば、四則演算を学ぶという目標のもと、課題に取り組む際、図 6 の解答は本質的には両者とも正解であり、学習目標は達成しているといえる。にもかかわらず不正解となる判定がレスポンス

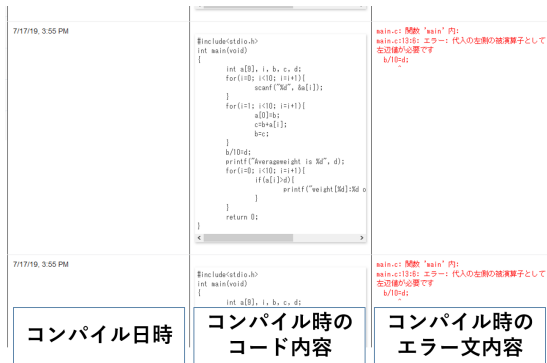


図 4: ログ確認画面



図 5: リアルタイムビューワの外観

スされ、混乱する学習者が多く見られた。これらの混乱は学習者の学習を阻害する恐れがあるため、学習目的を達成しているかどうかを判定できるような判定手法を提案した。また、ラーニングアナリティクス研究の観点で見ると、この不正解のログデータは研究を行う妨げとなるデータともなりうる。これらの問題を解消するため、Hello C では、通常確認と書式確認の2種類の判定手法を搭載している。

2.4 ログイン機能

C 言語学習環境を向上させるために様々なラーニングアナリティクス研究が行われている [3]-[5]。ラーニングアナリティクス研究を行うためには、多数のデータが必要であり、C 言語学習に関する研究には、一般的に学習者の学習ログデータが活用される。そこで Hello C には、教授者が、学習者一人一人に適切な教授法に関するラーニングアナリティクス研究を行うために、ログイン機能も提供している。ログデータとしては、問題を提出した学習者データや問題データ、提出時のコードや時刻データのほかに、コーディング過程において行われたコンパイル時の時刻データ、コード、コンパイルによって発生したエラーログなどがあり、これらのデータを解答提出時に自動的にデータベースに保存する。また、保存したデータに関して教授者はウェブブラウザから閲覧が可能である。この機能により、教授者は学習者の解答状況の確認はもちろんのこと、正誤判定結果や学習者の進捗状況を都度把握できるようになる。そのため、クラス全体の進捗具合や、学習者ごとの進捗具合を把握することが容易となり、講義をより円滑に進めることが可能となる。

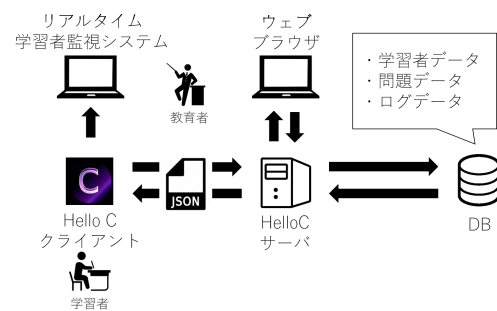


図 6: Hello C のシステム相関

2.5 リアルタイム学習者監視機能

Hello C は、教授者がリアルタイムに学習者の学習状況に関する情報を取得する機能がある。リアルタイム監視システムの外観を図5に示す。リアルタイムな情報は、“ログインしているユーザー”、“そのユーザーが現在説いている問題”、“そのユーザー解いている問題のコンパイル回数”などがあり、これらのデータは Hello C クライアントから直接取得する。この機能により、教師はリアルタイムに学習者を監視することができる。Kurasawa らはプログラミング学習支援のためのリアルタイムモニタリングシステムの研究を行っており、リアルタイムモニタリングの重要性を主張している [6]。Hello C には、先述した通り、ラーニングアナリティクス研究が容易になるという機能がある。それらの機能に追加し、リアルタイムに学習者の監視を行うことが可能になると、更なる研究につながると考えられる。以上から、更なる学習支援につながると考えられる。リアルタイム学習者監視機能は、Node.js および Socket.io を用いて開発されている。

以上から、Hello C のシステムの相関は図6のようになる。

3 システムの有用性検証

著者らは、本校の大学1年生の講義である“プログラミング基礎I”において、Hello C を用いて講義を行った。この講義の学習目標は、C 言語の基本的な記述方法の確認から始まり、入出力、演算、選択処理、反復処理、配列操作、文字列操作を行えるようにすることである。昨年と同講義との違いは利用するシステムのみとした。授業内容は、通常の講義に加え、講義中に Hello C を活用して教科書の課題を解く、参考プログラムを写経的にコーディングするという学習を行ったほか、2週間に1度、計7日分、1問から2問の計13問課題を提示した。なお、課題を提示する際は、昨年まで利用していた Hitweb という課題提出機能に加え、Hello C の自動問題取得機能および提出機能を活用して行った。Hitweb とは、本校のポートフォリオシステムである。提示した課題の例を図7に示す。

まず、昨年と同講義における課題提出状況の推移と、今年の講義における課題提出状況の推移を比較した。課題の提出状況の推移を図8に示す。グラフの横軸は

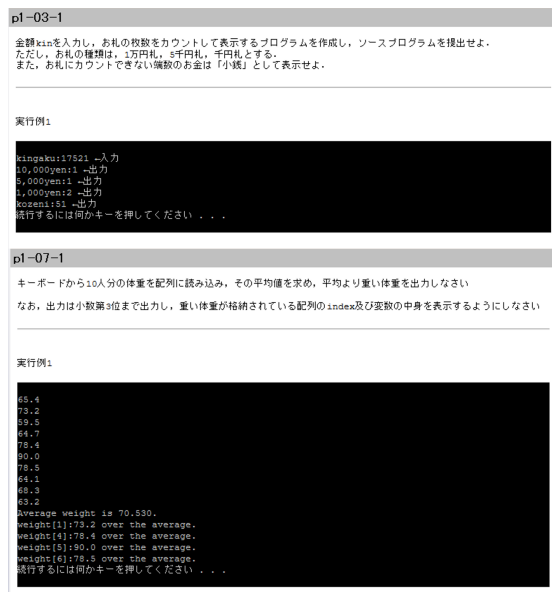


図 7: 提示した課題の例

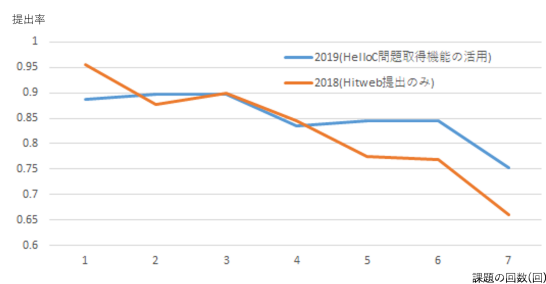


図 8: 課題提出状況の推移

課題提示の回数、縦軸は提出率を表し、提出率は講義の全受講者数を母数とし、提出者数を標本数としている。結果として、学習者の課題提出状況が向上したことが確認された。この結果から、Hello C は昨年利用したシステムに比べ、課題に対する意欲を向上させたことが確認された。また、昨年は講義後半になるにつれ課題の提出率が極端に低下していたのに対し、今年は低下の傾向が緩やかであったことがグラフから見て取れる。このことから、Hello C を用いることで課題に対するモチベーションが低下することを抑制させる効果があると推察される。

次に、昨年の同講義における学期末の習熟度確認テストの成績を今年の講義のものと比較した。習熟度確認テストの難易度は昨年と今年ともにほぼ同等であり、問題数も同数である。また、昨年今年ともにテストにシステムは利用せず、筆記形式でテストを行った。その結果、学期末の習熟度確認テストの成績が向上したことが確認された。

4 今後の展望

今後の展望として、学習形式の多様化が考えられる。現在、問題形式はコーディング形式のみとなっているが、その他の学習手段として、空欄のあるプログラムのソースコードを提示し、空欄を補填する問題を解くことで学習を行うことができるようにする。学習手段を多様化することで、学習者の学習目標によって学習手段を使い分けることが可能となり、さらなる学習効果の向上につながると推察される。

5 おわりに

本研究では、プログラミング初学者のための C 言語学習環境である Hello C のコンセプトや諸機能などの詳細を述べた。また、Hello C を用いて本校の講義を行い、講義の内容と得られた成果について明らかにした。その結果、Hello C の機能は C 言語初学者の理解度を向上させつつ、課題に対する意欲を向上させたことが示唆された。

謝辭

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業（基盤研究（C）17K01164, 19K02987）及びFOST 公益財団法人科学技術融合振興財団平成 30 年度補助金助成による助成を受けて実施した成果の一部である。

参考文献

- [1] 買田康介, 大下昌紀, 松本慎平, 大学生のための C 言語エディタの開発, 2017 年度教育システム情報学会学生研究発表会 (2018)
- [2] 岡本雅子, はじめてのプログラミングとつまずき, ペタ語義, 情報処理, Vol.56 No.6 pp580-583 (2015)
- [3] 加藤利康, 石川孝, プログラミング演習のための授業支援システムにおける学習状況把握機能の実現, 情報処理学会論文誌, Vol55, No8, pp.1918-1930 (2014)
- [4] 市村哲, 梶並知記, 平野洋行, プログラミング演習授業における学習状況把握支援の試み, 情報処理学会論文誌, Vol54, No12, pp.2518-2527 (2013)
- [5] S. Kogure, R. Nakamura, K. Makino, K. Yamashita, T. Konishi, Y. Itoh, Monitoring System for the Effective Instruction based on the Semiautomatic Evaluation of Programs during Programming Classroom Lectures, Research and Practice in Technology Enhanced Learning, Vol.10, No.18, pp.1-12 (2015)
- [6] Y. Miyadera, K. Kurasawa, S. Yokoyama, S. Nakamura, N. Yonezawa, A Real-time Monitoring System for Programming Education using Program Animation Systems and Compile-Errors Records, Tenth International Conference on Information Visualisation(2006).