

# 初学者向けC言語学習アプリの開発と利用状況の分析に関する研究

宇野 健・竹森 智也

Research on development of C language learning app for beginners and  
analysis of usage status.

Takeshi UNO and Tomoya TAKEMORI

## 要旨

本研究ではC言語の初学者向けに、プログラミング知識やルール、コンパイルエラー対応などについて、一問一答形式で学習可能なWebアプリケーションを開発した。プログラミングの学習はソースコードを作成することも重要だが、それ以上にエラー対応に時間がかかることも多い。また、自学習の際に書籍やWebを検索するにも、正しい用語がわからないと自分の求めている情報にたどり着くことが困難となる。このようなプログラミング初学者の直面する問題に対して、ソーシャルゲームのレベルやランキングといった要素を取り込み、動機をもって学ぶことが可能なアプリとした。また、スマートフォンに対応させることにより、どこでも手軽に利用可能とした。開発したアプリを実際の講義の補助アプリとして利用・分析することにより、一定の効果を確認することができた。また、成績上位者と下位者に分けた分析では、回答状況の違いが認められ、授業進行中の成績不振者の検出に期待が持てることが分かった。

## 1. はじめに

2020年度からの初等中等教育における必修化に伴い、プログラミング教育の注目度や認知度が向上している。プログラミングの学習では、座学での知識習得と、プログラミング言語を用いた演習が必要となる。これらにより、単にプログラミングの能力だけでなく、論理的思考や問題解決力などを養うことができる。しかし、クラス共通の進捗で進められる学習内容に理解が追い付かなかったり、苦手意識を持ち、学習意欲が低下してしまう学生も少なくない[1][2][3][4]。

このような状況に対応するため、我々はこれまで、ブラウザ上でC言語プログラムのコーディング、コンパイルが可能なプログラミング演習システムの開発を行い、運用を行ってきた[5][6]。学内・学外場所を問わずにC言語のプログラミング学習を可能とし、サーバに蓄積されるログデータの分析から、学生個別の進捗状況や、よくあるミスなどの把握が容易とした。そして、これらのデータを分析することにより、授業進行中の成績不振兆候者の検出を可能とした [7]。

しかし、セメスター制からクォーター制に移行する中、授業期間の短縮と演習の密度が高く

なったことにより、これらの検出精度が困難となった。また、プログラミングの学習では、演習で得られるスキル以外にも、用語や理論などの基礎知識の習得や、エラーへの対応力の強化なども行う必要がある。

そこで、本研究では一問一答形式の新たなC言語学習アプリを開発する。C言語の基礎知識や、ソースプログラムの穴埋め、エラー探しなど、隙間時間を活用してC言語初学者が必要な能力を身につけさせる。また、スマートフォン用のインターフェースの構築と、ソーシャルゲームの要素を取り入れ、利用頻度の向上を試みる。そしてこのアプリを実際の授業の補助アプリとして運用実験を行い、アプリの有効性を検証する。また、これによって得たログデータを分析し、学生の学習特性と成績との関連などから、成績不振兆候者の早期検出の可能性について検証する。

## 2. 初学者向けC言語学習アプリの開発

### 2.1 アプリの概要

今回開発を行うC言語学習アプリは、プログラミング初学者を対象に、C言語の文法や命令文のルールなどの基礎知識や、一般的なコンパイルエラーの対処法やC言語に対する基礎知識や論理的な思考力を身につけさせることを目的としたWebアプリケーションである (Fig.1)。また、毎日継続的に利用させるために、一般的なソーシャルゲームで用いられる経験値やランク、ガチャなどの概念を導入した。PCだけでなく、スマートフォン用のインターフェースを開発することにより、時間や場所に依存せず、隙間時間の利用を促進する。アプリの開発後は、県立広島大学地域創生学部の情報コアユニット科目である「プログラミング」の受講者を対象とした運用実験を行う。

今回開発した本アプリの主な機能は、学習機能、ソーシャルゲーム機能、スマートフォン用インターフェースなどがある。以下、これらについて述べる。



Fig.1 初学者向けC言語学習アプリのTOPページ

### 2.2 学習機能

この機能では、学習を通してC言語の基礎知識を習得することを目的とした。出題する問題はC言語の文法やルール、命令文の穴埋め、エラー箇所の指摘、エラー原因の発見などのから構成される。解答方法は4択問題の他、より学習効果の高いことが知られている記述問題（一行程度）[8]としており、短時間でできるだけ多くの問題を解くことができるような方式を採用し

た。1セット5問を解答するようにし、解答終了後には正誤判定画面（Fig.2）を表示する、また、正解不正解に関わらず1問解答するごとに解答解説画面を、ポップアップ形式で画面に出力するようにした（Fig.3）。



Fig.2 正誤判定画面の一例

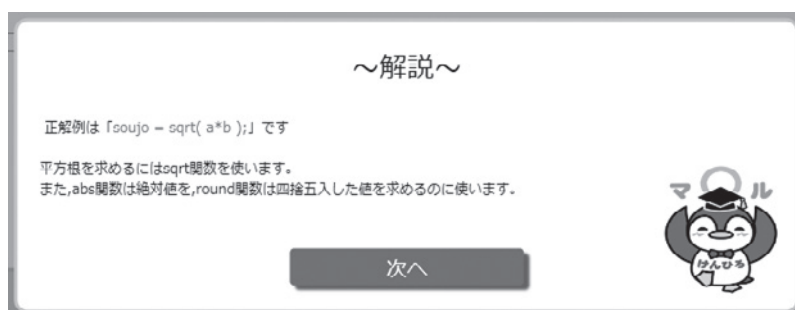


Fig.3 各問ごとの解説ウィンドウ

授業の単元（2022年度は12単元）と中間試験・期末試験向けの14の問題集のために、合計問題数は777問作成した。出題方式については、各単元の問題を選択して解答できる単元別問題集と、単元に関係なくこれまで学習した範囲内から出題されるランダム方式がある。さらに過去不正解だった問題からのみ出題される苦手問題集と、全体の正答率が一定以下の問題のみ出題される高難易度問題集も併せて開発した。これにより、利用者の理解度のレベルに合った学習を可能とした。

また、コンパイルエラーの自己解決と対応を促進するため、エラー学習問題を作成した。問題文として記述に誤りのあるソースプログラムを提示し、誤っている箇所を選択させる。出題方法については、ソースプログラムの何行目にエラーの原因があるかを特定させるものや、エラーの原因となる説明として正しいものを選択させる形式の問題を作成した。

### 2.3 ソーシャルゲーム機能

本機能は利用者のアプリ利用促進のために、ソーシャルゲームの要素を取り入れた。上記の機能の利用やログイン回数に応じて経験値ポイントとして与え、獲得したポイントに応じてレベルやランクをアップし、学習者の学習意欲を向上させる。また、アプリ利用の敷居を下げ、ゲーム感覚で気軽に学習を行えるアプリとなるよう工夫を施した。ソーシャルゲーム機能は、レベル・

ランク機能、ランキング機能、実績機能、ガチャ機能の4つから成る。

レベル・ランク機能は学習等で得られるポイントを利用した機能であり、主に学習機能の利用により獲得することができる。獲得するポイントは2種類に分別されており、それぞれ経験値、ランクポイントとした。そして、経験値が蓄積すると学習者のレベルが上昇し、ランクポイントが蓄積するとランクが上昇する。

これら2つはそれぞれ独立しており、レベル機能は、獲得した経験値が一定値に達するとレベルが上昇する。経験値の主な獲得手段は学習機能を利用することであり、基本的には学習を繰り返すことでレベルが上昇する。レベルが上昇するたびに次のレベルアップに必要な経験値が上昇するため、高レベルを目指す場合は学習を何度も行う必要がある。なお、一度獲得した経験値は減少することはなく、蓄積され続ける仕様となっている。これにより、レベル機能は自身でどれだけ学習を積み重ねてきたかを示す1つの材料となる。

ランキング			
経験値	: 45 (71776Exp)	現在4位	
ランク	: ゴールド (2625RP)	現在7位	
総正解数	: 257問	現在5位	

Fig.4 個人のランキング画面

	ユーザー名	レベル	経験値
👑	恋人の聖地ソロランナー	Lv52	95440Exp
👑	meme	Lv51	91063Exp
👑	ばいとリーダー	Lv51	90252Exp
4	テストユーザー2	Lv45	73854Exp
5	さ	Lv45	69494Exp
6	いぬいどんどんすきになる	Lv40	57521Exp
7	未完成	Lv39	54773Exp
~	...	...	...
4	テストユーザー2	Lv45	73854Exp

Fig.5 全体のランキング画面

ランキング機能は、設定された項目の数を利用者同士で競う機能であり、アプリ利用促進の一環として開発した (Fig.4, Fig.5)。表示する項目は総獲得経験値、総獲得ランクポイント、総正解数の3つであり、実施期間は2022年10月5日13時~10月26日11時59分までと、10月26日12時~11月23日23時59分までの2回に分割して開催した。ランキングで上位入賞をした学習者には、限定のスタンプを獲得することを可能とした。これにより、他者のポイント等が確認できるようにし、学習機能利用の増加を促すだけでなく、上位になることで限定のスタンプを入手できるという新たな利用動機となることが期待される。

実績機能は、アプリ利用者の利用状況に応じて実績が解除される機能であり、実績が解除されると専用のスタンプを獲得することができる。また、達成状況は実績ページから達成状況を確認することが可能となっている。ページ内では各実績の達成率も同時に表示されており、自身の進捗状況が全体のどれくらいかの把握を行うことができる (Fig.6)。

実績機能にて獲得できるスタンプは、スタンプの画像は県立広島大学のイメージキャラクターのabee教授を利用しており、それぞれの実績において全て別々の絵柄とした。ソーシャルゲームにおけるコレクション要素として、様々なabee教授の画像を集めさせることにより、アプリを利用する動機付けする機能の開発と実装を行った。



Fig.6 個人の実績表示画面

## 2.4 スマートフォン用インターフェース

本アプリの利用形態は、スマートフォンでの利用が多くなると想定される。そのため操作の異なるPC用のインターフェースだけでなく、各機能の配置や配色の見直しを行ったスマートフォン用のインターフェースを開発した。スマートフォンの操作に合わせるためにメニューバーを画面下部に配置し、アビー教授の画像をボタンとしてタップしやすい位置に配置することで、各項目の操作内容を分かりやすさと操作性の向上を図った (Fig.7)。

また、このアプリはWebアプリケーションであるため、利用するためには一旦Webブラウザを起動し、URLの入力などが必要になる。また、ブラウザのメニュー画面などが表示されるため、アプリ内の情報の表示エリアが減ることや、ブラウザバックなどのブラウザの操作メニューの誤操作などの問題が懸念される。そこで今回は、PWA (Progressive Web Apps) を導入した。これはネイティブアプリと同様にホーム画面のアイコンから起動を可能とするものである (Fig.8)。これにより、起動時間の大幅な短縮を可能にすると同時に、全画面でのアプリ画面表示が可能となった。



Fig.7 スマートフォン版の画面



Fig.8 ホーム画面の起動アイコン

### 3. 運用実験

#### 3.1 実験概要

開発したアプリを用いて、県立広島大学2022年度第3クォーター配当科目である「プログラミング」(履修者35名)にて運用実験を行った。運用期間は10月5日～11月23日の計50日間であった。運用中は、ログデータの集計及び問題と新機能の追加、不具合の修正を行い、10月26日の中間試験後と、11月17日の期末試験後の2回アンケートを実施した。運用実験終了後はアンケート及びログデータの分析を行った。

#### 3.2 実験結果

##### 3.2.1 ログデータ分析

運用実験終了後に、ログイン状況と学習機能の利用数、問題の解答数について、ログデータの分析を行った。総ログイン日数が523日、学生一人当たりの平均が14.9日、中央値が13.0日となった。学習機能の総利用回数は4923回、学生一人当たりの平均利用回数が140回、中央値は133回であった。また、各問題の総解答数は24609問、正答率は77%となった。特に中間試験と期末試験前にログインと回答数が大きく向上していることが分かった。利用される端末は、PCとスマートフォンの比率は61:39となり、思ったよりPCでの利用が多いことが分かった。これは授業当日のPCでのログイン回数が多くなっていることから、授業開始前の利用が多いためと考えられる。

##### 3.2.2 アンケート分析

中間アンケートでは、主に学習の効果やアプリの各機能の利用について問うた。「単元別問題集でC言語の文法や語句に関する知識が身についたと思うか」という問いでは、9割以上の学生が、「そう思う」「どちらかといえばそう思う」を回答した (Fig.9左側)。また、「本アプリの利用によって、C言語の知識定着につながったか」という問いには、「そう思う」「どちらかといえばそう思う」の回答が100%となった。これにより、C言語の基本知識の習得という点については、一定の効果があったと考えられる。

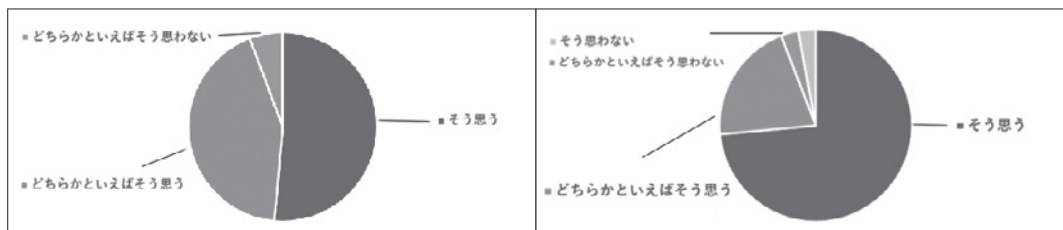


Fig.9 単元別問題集でC言語の文法や語句に関する知識が身についたと思うか (左), 「ランキング機能があることでアプリを利用しようと思ったか」(右)

ソーシャルゲーム機能については、レベルやランクについては高評価を得たが (Fig.9右側)、ログインボーナスやガチャ機能については半分程度の高評価しか得ておらず、機能の周知や改善が必要であることが分かった。

授業期間終了後に実施した期末アンケートでは、中間アンケートの結果からの改善に注目したが、結果としては大きな変化はなかった。ログインボーナスやガチャ機能、高難易度問題集につ

いては、機能についての周知や経験値ポイントの増量などの対策を行ったが、評価には大きな変更はなかった。これらについては、中間アンケートから期末アンケートまでの期間が3週間しかなかったこともあり、機能改善の効果が出るまでの十分な時間がなかったことが考えられるが、ソーシャルゲームの要素については根本的な見直しが必要と考える。

### 3.2.3 中間試験結果に基づいた解答分析

次にログデータと中間試験（以下試験）結果の分析結果を行った。本アプリの記述問題形式は、中間試験問題の一部をベースとし、試験の過去問や類題も導入している。中間試験の当該部分の結果から、学生を3つのグループに分割した。その中から、満点を取った「成績上位者（以下上位者）」10名と、平均点未満の「成績下位者（以下下位者）」8名の2つのグループについて、試験までのアプリ利用の状況分析を行った。

#### (1) グループごとの解答数と正答率分析

上位者の利用回数は、1週間前の48回から1118回となった。これに対し、下位者の利用回数は51回から156回となり、上位者と大きな差があった。正答率に関しても、上位者は日を重ねるごとに正答率が上昇していたが、下位者には大きな変化は見られなかった。以上より、上位者の解答数と正答率は上昇していることがわかった。

#### (2) 不正解時の原因分析

次に、不正解の原因を調べるため、試験までの単元別正答率を分析した。最も正答率の低かった単元は二次元配列で、その次に低い単元が関数（引数）であった。これらの単元は、元々難易度が高いことや、試験の1週間前に学習する単元であるため、対策する時間が不足していたからではないかと考えられる。また、グループごとで苦手とする単元を明らかにするため、試験までの単元別正答率の分析を行った。その結果、上位者と下位者の間には、同じ単元の正答率に差があることが分かった（Fig.10）。この差は、講義が進行するにつれて、大きくなっていった。さらに、学生がどのような間違えをしやすいのか分析するため、グループごとで記述問題を対象とした誤解答の原因の集計を行った。分析の結果から、上位者の未入力の割合は4%に対し、下位者は15%と高いことがわかった。続いて誤解答となる文法を特定するため、誤解答を文法ごとに集計してその割合を分析した。その結果、どちらのグループも解答にprintfが含まれた問題の誤解答が最も多いことが分かった。これに着目し、解答にprintfの含まれる誤解答について単元別の集計を行った。

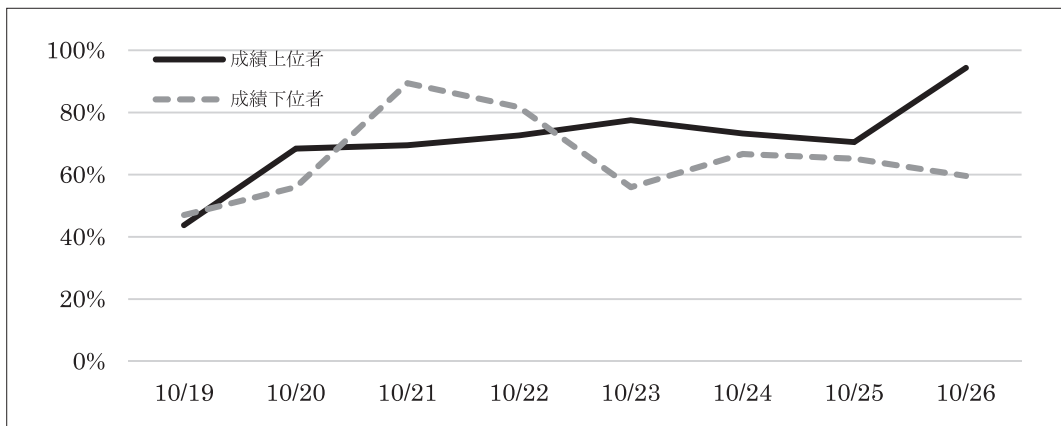


Fig.10 2つのグループの記述問題の正答率(%)の時系列推移

その結果、上位者はプログラミングの基礎の割合が28%で、データの入出力は27%だったが、下位者はプログラミングの基礎が35%、データの入出力が36%となっていた。これらより、下位者は基礎的な単元で特に間違えやすいことが判明した。

以上より、上位者は試験が近づくにつれて、解答回数が増えるとともに、正答率も増加するが、下位者は解答数と正答率が上昇しないことが分かった。また、下位者は序盤の単元で既に苦手とする内容に直面していたことが明らかとなった。このように、上位者と下位者の解答状況の特徴が見られたことから、試験前の早い段階において、成績不振となる学生の早期発見に繋げる事ができるのではないかと考える。

#### 4. まとめ

本研究では、C言語初学者を対象とした学習アプリの開発を行い、実際の講義にて運用実験を行った。実験から得たログデータの分析と、2回のアンケート分析の結果から本アプリの有用性の検証と、利用と成績の関係についての分析を行った。その結果、本アプリはC言語の文法や語句などの基本知識の習得に対しての有用性が確認された。また、成績上位者と成績下位者の解答データの分析・比較によって学生がつまづく原因の一端を確認できた。これにより、成績不振兆候の早期発見の可能性があることが確認ができた。しかし、利用回数の促進を狙って開発したソーシャルゲーム機能については、評価された部分と評価されない部分がくっきりと分かれており、運用途中で改善を施したものの、当初の想定ほどの効果を得ることができなかった。

今後の課題は、分析の精度を向上させるための利用回数の向上である。今回は中間・期末試験前の利用が多かったことから、毎週の小テストの実施が効果的と考えられる。これにより、短いスパンでの上位者と下位者の分析が可能となることが期待できる。そのため、小テストをアプリの機能として開発・実装し、運用・分析を行う予定である。また、ソーシャルゲーム機能については改善の余地が大いにあるため、利用回数向上のための効果的な機能の改善と研究を行う。さらにアプリの運用を行ってデータとその分析量を増やすことで、データと予測の信頼性の向上と新たな知見の発見を行い、プログラミング学習に躓く初学者の減少を実現したい。

#### 参考文献

- [1] 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, 54 (12), pp.2518-2527 (2013)
- [2] 王文涌, 池田満, 李峰榮, プログラミング教育における動機づけ教授方法の提案と評価, 日本教育工学会論文誌, 31(3), pp.349-357 (2007)
- [3] 辻康孝, 大人数クラスにおけるプログラミング演習の実施と学習者の学習意欲の維持, 基幹教育紀要, 4, pp.77-88 (2018)
- [4] 田口浩, 糸賀裕弥, 毛利公一, 山本哲男, 島川博光, 個々の学習者の理解状況と学習意欲に合わせたプログラミング教育支援, 情報処理学会論文誌, 148, pp.958-968 (2007)
- [5] 宇野健, 畝川みなみ, C言語学習支援のためのWeb上でのプログラミング環境の開発(2), 県立広島大学経営情報学部論集, 6, pp.35-42 (2014)
- [6] 宇野健, 畝川みなみ, プログラミング演習のための学習状況のリアルタイムフィードバック



クシステムの開発，県立広島大学経営情報学部論集，7，pp.163-170（2015）

- [7] 畝川みなみ，宇野健，プログラミング演習支援システムの定量的学習データを用いた成績不振兆候者の早期発見に関する研究，第77回情報処理学会全国大会講演論文集（2015）
- [8] 安野史子，宮埜寿夫，数学試験の解答形式に関する一考察－記述形式の解答方略に着目した分析－，データ分析の理論と応用，6(1)，pp.47-61（2017）

