

2021 年 1 月 7 日提出

修士論文

エンタテインメントを用いた
プログラミング初学者の
学習意欲促進システムに関する研究

指導教員：西田健志 准教授
副指導教員：大月一弘 教授

神戸大学大学院国際文化学研究科
グローバル文化専攻情報コミュニケーションコース
学籍番号・氏名 198c125c 岡 大貴

エンタテインメントを用いた プログラミング初学者の 学習意欲促進システムに関する研究

所属専攻・コース：グローバル文化・情報コミュニケーション

氏名：岡 大貴

指導教員氏名：西田 健志

内容梗概

プログラミングが重要視されている昨今では、プログラミングの授業が小学校に導入されるなど、プログラミングの一般教養化が推し進められている。しかしプログラミングを楽しむためにはある程度の習熟を必要とし、学習中に挫折してしまうプログラミング初学者も少なくない。プログラミングの楽しさを実感させるための初学者向けプログラミング学習コンテンツも存在するが、その多くは小・中学生を対象として設計されておりそれ以上の年代に対しては効果が薄い場合がある。またその多くがビジュアルプログラミング言語を用いているため、実践的なソフトウェア開発で用いるテキストプログラミング言語とは乖離がある場合もある。

そこで本研究ではテキストプログラミング言語を用いつつも、プログラムを書かずとも楽しめる初学者向けの学習・興味喚起を目的とした2つのアプリケーションを開発した。1つ目はエンタテインメントの要素を取り入れることによりコードリーディングを促進するソースコード閲覧システムである。このシステムではクイズ、占いといったエンタテインメントを交えてGitHubにあるソースコードを表示し、ユーザが読解それを読み解くことにより、楽しみながらコードリーディング・プログラムに関するコミュニケーションを促進することを目指した。実装したアプリケーションを使用し運用を行い、その後アンケート調査・ディスカッションを行った結果、クイズに関しては楽しかったという回答が得られたが、ややプログラミング初学者にとっては難解であるという意見が得られた。また表示するソースコードを選択するアルゴリズムの改善や、日常的な使用を促すために更なる工夫が必要であり、これらの問題点を今後改善し、より多くの初学者を対象にワークショップ等を行う予定である。

2つ目はリアルタイム性・アドリブを取り入れた対人形式のプログラミングゲームで

ある。このシステムでは習熟度の高いプログラマ2人がプログラミングスキルによって力量を競って勝負することができ、プログラミング初学者でも観戦して楽しむことができる。このゲームの観戦によってプログラミングへの好奇心を高めるとともに、習熟したプログラマへの憧れを創出することで、初学者のプログラミングに対する興味関心を高めることを目指した。評価実験では実際に2人のプログラマの対戦を初学者に観戦させ、プレイヤーであるプログラマと観戦した初学者の双方にアンケート調査を行った。実験結果としてゲームのプレイ・観戦は楽しく、プログラミングに対する興味が高まったなどシステムに対する肯定的な意見が多く得られたが、ゲームシステム・デザインの改善点に関するコメントも多く得られた。またプログラマがプレイ時に記述したプログラムを分析した結果、戦略の多様化・より可読性の高いプログラムの表示などいくつかの改善点が見つかった。

この結果を受け、今後は提案システムを改善すると共に、より多くのプログラミング初学者を含むプログラマにシステムを使用させ、フィードバックを得ることにより、より良いシステムの構築を目指す。

目次

1	はじめに	1
2	研究指針	3
3	コードリーディング支援システムの開発	5
3.1	研究背景	5
3.2	関連研究	5
3.2.1	GitHub 上のデータを利用した研究	5
3.2.2	ゲーミフィケーションを活用した研究	6
3.2.3	コードリーディング支援に関する研究	6
3.3	設計指針	6
3.4	提案システム	7
3.4.1	実装機能	7
3.5	プロトタイプシステム	8
3.5.1	ケーススタディ	8
3.6	Web アプリケーション	11
3.7	課題と考察	12
4	プログラミングに対する興味喚起を目的としたプログラミングゲームの開発	13
4.1	研究背景	13
4.2	関連研究・関連システム	14
4.2.1	プログラミングを用いたエンタテインメントシステム	14
4.2.2	初学者向けプログラミング学習支援システム	14
4.2.3	プログラミングゲームを用いた研究	14
4.3	設計指針	15
4.4	提案システム	16
4.4.1	自機プログラミングフェイズ	16
4.4.2	行動プログラミングフェイズ	18
4.4.3	ゲームフェイズ	18
4.5	評価実験	19
4.5.1	実験参加者	19

4.5.2	実験内容	20
4.5.3	アンケート結果	21
4.5.4	コードログ分析結果	23
4.5.5	評価実験に関する考察	29
4.6	今後の課題	30
4.6.1	プロトタイプシステムを基にした実環境での運用システムの構築	30
4.6.2	今後の研究	30
5	まとめ	32
	謝辞	33
	参考文献	34
	对外発表一覧	37

1 はじめに

高速に IT 化の進む近年では、IoT、AI、クラウドコンピューティングといった単語がメディアで散見されるようになり、誰もがスマートフォンを持ち、Twitter や YouTube などのソフトウェアを利用するようになった。家電や自動車、学校教育にもコンピュータが導入され、コンピュータが着実に人々の生活を満たしつつあるといえる。コンピュータが遍在する現代において、人とコンピュータの接点は圧倒的に多くなり、コンピュータを専門的に扱う人でなくともそれに触れて暮らすことが当たり前となっている。就労などの社会活動においても、あるソフトウェアを使いこなせたり、プログラミングができるなどコンピュータとの親和性が高いことがアドバンテージとなる場合もある。

近年ではその高速な社会の IT 化に伴い、プログラミングが重要性を増している。国際的には、ロシアでは 2009 年からプログラミング教育が導入され、英国では 2014 年から「Computing」というコンピュータサイエンス、情報技術、デジタルリテラシーの 3 分野からなる科目が導入されており [1]、日本においても今年度から小学校でのプログラミング教育が必修化されている [2]。以前は「プログラミングはエンジニアや理系の学生がやるもの」というような、専門家だけの技能であるという認識が強かったが、プログラミングが英語のように一般教養となり、プログラミングに関わる仕事に就かない人もある程度理解していることが求められている。

しかしプログラミング教育の現場やその学習教材では、プログラミングの機能にのみ焦点が当たりがちで、プログラミングの「楽しさ」が疎かにされていることが少なくない。プログラミングをする上で楽しさを感じることは、学習の観点からも重要である。松本らによる C 言語プログラミングの授業では、学習の楽しさや、プログラミングへの興味が高いほど授業の学習率が高いことが示されている [3]。

しかし最初から理解が容易で楽しさを感じやすい読み書きや運動とは異なり、プログラミングは楽しさを感じるまでにある程度の習熟を要する。よく書かれた小説などの文章やプロスポーツでのファインプレーには初心者でも心動かされるもので、そうした小説家やスポーツ選手への憧れが自ら書くことや体を動かすへの感心を高めるが、プログラミングの場合にはそのような憧れをもつ機会に乏しいのが現状である。

プログラミング初学者にプログラミングの楽しさを実感させるために設計された学習コンテンツは多数存在し、Scratch や Viscuit などのビジュアルプログラミング言語 (VPL: Visual Programming Language) がその代表的な例である。これらは実際に学校教育で導入され、小・中学生のプログラミング教育に貢献している。しかしそれらは小・中学生など若い年代をターゲットに設計されているため、高校生や大学生、それ以上の年代にとっては楽しさを感じにくい場合がある。また実践的なソフトウェア開発においてはテキストプログラミング言語 (TPL: Textual Programming Language) を

用いる場合がほとんどであるため、VPL と TPL の間に乖離があることも問題である。

本研究では従来のシステムがターゲットとしている世代よりも上の世代のプログラミング初学者を対象に、エンタテインメントの要素を用いることでプログラミングに対する抵抗感を減らし、プログラムを書かずともプログラミングを楽しんでもらうためのシステムの開発を目指した。具体的には初学者のコードリーディングを促進するアプリケーション、プログラミングゲームを用いてプログラミングに対する興味喚起を行うアプリケーションの2つを開発し、それぞれ初学者を対象に運用を行うことでその効果を検証した。

本論文では以降、2章で研究指針について述べた後、3章でゲーミフィケーションを用いたコードリーディング支援システムについて述べ、4章でプログラミング初学者の興味喚起を目的としたプログラミングゲームについて述べる。5章で本論文をまとめる。

2 研究指針

本研究の目的は、エンタテインメントの要素を用いてプログラミングを日常に馴染ませることで、プログラミング初学者のプログラミングに対する抵抗感を減らし、プログラミングに対する興味を高めることである。

初学者向けプログラミング学習システムの目的は多様であり、プログラミングスキルを向上させることだけでなく、論理的思考力を養うこと、プログラミングに対する興味関心を高めることなど様々である。その中で多く用いられるのはVPLであり、例えばScratchはプログラマの育成ではなく、自分の考えを表現するための手段・思考としてプログラミングを教えるために設計されており、Viscuitは子供や情報処理の専門家を目指さない大人に対して、プログラミングの楽しさを伝えるために設計されている。これらは小・中学校などで実際に教育に導入され、プログラミング教育に貢献している。

しかしながらこれらのVPLによる興味喚起は網羅的とはいえない。特に、より上の年齢層でプログラミング学習を始めた者などは、実践的な開発で用いられるTPLへのイメージとVPLの乖離から、興味を持っていない場合がある。

またTPLによるプログラミングを初めて学ぶ際は、初学者は「写経型学習」を経験する人が多い。岡本らは、プログラミング学習におけるもっとも重要な目的は、個々の宣言的知識を記憶することではなく、それらを整理、統合して有機的に結び付け、利用可能な知識として習得することであり、写経型学習過程は重要であるとしている一方で、その困難性についても指摘し、写経型学習における初学者のつまずきの事例を認知的負荷理論を用いて類型化している [4]。このつまずきにおいて共通しているのは、初学者は「分からない」ことから学習をやめてしまう、すなわちモチベーションの低下から挫折してしまうということである。

本研究ではTPLを用いつつも、より利用ハードルの低いシステムにより、初学者のプログラミングに対するモチベーションを向上させることを目指した。また初学者がプログラミング学習に挫折してしまうことを防ぐため、以下の指針を設けた。開発するシステムにはこれに基づいた設計指針を設ける。

1. 遊び(エンタテインメント)の要素を取り入れる

従来の学習システムでは、プログラミングそのものの楽しさを伝えることを重視していたが、本研究ではそれ以前にゲーミフィケーションなどのエンタテインメントの要素を取り入れることで、プログラミング以外の遊びによる楽しさを取り入れる。これにより、プログラムに触れることへの抵抗感を減らすとともに能動的な利用を促し、プログラムに触れることを楽しんでもらうことを目指す。

2. プログラムを書かずとも楽しめる

コンピュータを日頃使わない者にとって、プログラミングに触れる機会は少ないため、初学者はプログラミングに慣れておらず、少なからず抵抗感があると考えられる。従来のプログラミングすることが前提となっているシステムは、初学者にとって利用の心理的ハードルが高いため習慣的に取り組めない場合がある。本研究ではシステムをプログラミングを行わずとも楽しむことができ、日常的な利用を促進し、初学者がプログラミングと接する機会を増やすことを目指す。

3. 初学者と上級者をつなげる

プログラミングを学習する際に身近にプログラマがいない場合、学習方法が分からなかったり、分からない部分を質問したりすることができず、挫折してしまう場合がある。また初学者が手本となるプログラマを見つけることは、プログラミングの手法を参考にしたり、学習方法を真似るなどメリットが大きい。本研究では、プログラミング初学者とプログラマが関わりを持つための工夫を施すことにより、初学者のプログラミング学習を促進することを目指す。

研究指針と設計した各システムでの設計指針の関係を表1に示す。

表 1: 各システムでの設計指針

研究指針	コードリーディング 支援システム	プログラミングゲーム
遊びの要素を取り入れる	クイズ・占いをを用いる	駆け引き・アドリブを取り入れる
プログラムを書かずとも 楽しめる	プログラムを読んで楽しめる	観戦して楽しめる
初学者と上級者をつなげる	コミュニケーションを創出する	プログラマに対する 憧れを創出する

3 コードリーディング支援システムの開発

本項では、プログラミング初学者を対象としたコードリーディング支援システムについて紹介し、設計指針に基づくデザインの詳細、プロトタイプを用いたケーススタディとその後に開発した Web アプリケーションについて説明する。

3.1 研究背景

プログラミングの重要性の高まりに伴い、コンピュータに関連する分野を専攻していなくとも、プログラミングを独学で学ぼうとする人が増えている。そういった人はプログラミング学習用書籍や Web サイトを通して学ぶ場合が多い。初学者向けプログラミング学習コンテンツが普及し、プログラミングに入門するハードルは下がってきているものの、まだプログラミングを独習できる環境が整っているとは言えない。

プログラミング学習において重要とされるスキルは数多くあり、自分でアルゴリズムを考え実装する能力だけでなく、情報収集能力、コードリーディングスキルなど様々である。これらをコンピュータについての知識が乏しい者が独習するのはハードルが高い。初学者向け学習教材においては、写経型学習を主とし、プログラムを「書く」技能を磨かせるものが多い。プログラミング学習サイトである Progate[5] では、主要なプログラミング言語の文法やライブラリの用法など、「どうプログラムを書くか」を重点的に教えている。

しかし学習教材を用いた学習では、コードを「読む」技能、すなわちコードリーディングスキルが培われず、複数人で共同開発し他人の記述したプログラムを読解したり、ライブラリのソースコードにあたる際に苦労が生じる。また初学者向け学習教材では比較的平易なプログラムしか載っていないため、実践的なソースコードに触れ、内容を読解したり、他者のコーディングスタイルから学びを得る機会が生まれ辛い。

本項で提案するシステムでは、コードリーディングスキルに焦点を当て、エンタテインメントの要素を組み込んで初学者に実践的なプログラムを閲覧させることにより、初学者のコードリーディングを促進するシステムを実装した。

3.2 関連研究

3.2.1 GitHub 上のデータを利用した研究

GitHub を活用した研究はいくつかある。Guzman らの研究では GitHub 上のオープンソースプロジェクトにおけるコミットコメントから感情分析をし、その結果とプログラミング言語やコミットの時間などとの相関を調査している [6]。永野らの研究では

GitHub と StackOverflow のデータを用いて双方を利用するユーザについて調査している [7]. この研究ではユーザが GitHub で作成したりポジトリと StackOverflow への投稿のコンテンツの関連性について調べたもので、双方への投稿コンテンツに一定の相関があることを示している. また柴藤らは GitHub 上の断片データに関する情報を取得できるシステムを開発している [8]. このシステムではユーザが指定したソースコード中の一部の連続したコードに関するプルリクエストを取得できるというものであり、ソースコードを閲覧する際の利便性を高めている. これらの研究から GitHub のソースコードやコミットコメントには有益な情報が含まれていることが分かるが、これらを初学者のコードリーディング支援のために活用している例は見かけない.

3.2.2 ゲームフィクションを活用した研究

またエンタテインメントの要素、特にゲームフィクションを活用した研究も盛んである. 一ノ瀬らの研究 [9] ではソースコード上の技術的負債を可視化し、さらにゲームフィクションの要素を加えることで技術的負債の除去を促している. この研究ではソースコードのファイル構造を街のように可視化し、技術的負債が存在するファイルを目立たせ、さらに技術的負債を取り除いたユーザをランキング形式で表示することによって、ゲームフィクションの要素を活用し生産的な行動を促している. 三谷らの研究 [10] ではキャラクタをプログラムで制御するプログラミングゲームでプログラミングスキルの向上を図っており、筒井らの研究 [11] ではパズルゲームにより、初学者のオブジェクト指向の理解を深めるシステムを開発している. これらはプログラミングの上達あるいはソフトウェア開発のためにゲームフィクションを利用しているが、コードリーディングに着目し、初学者のコードリーディングを促進するためにゲームフィクションを利用したシステムは見かけない.

3.2.3 コードリーディング支援に関する研究

なおコードリーディング支援に関してもいくつか研究がなされており、大村らや石尾らはソースコードを読解する際のコードリーディング支援を行うツールを開発している [12][13]. しかし、これらの研究ではある程度プログラミングに習熟したプログラマがソースコードを読むという状況を想定しているため、初学者に向けコードに触れる機会を増やすための工夫は成されていない.

3.3 設計指針

システムを実装するにあたり、研究指針に基づいた3つの設計指針を設けた.

1. クイズ・占いをを用いる

コードリーディングはプログラミングにおいて重要なスキルの1つであるが、プログラムを読解した経験の少ないプログラミング初学者にとって、淡白なプログラムをただ読み込むことは心理的ハードルが高い。よって本システムではクイズ・占いといった誰もが知っているエンタテインメントの要素を付与してプログラムを読解させ、コードリーディングの心理的障壁を下げることを目指した。

2. プログラムを読んで楽しめる

本項で述べるシステムの目的は、初学者のコードリーディングを促進することである。プログラムを「書く」ことに焦点をおいた教材は他に多く存在するため、本システムではプログラムを「読む」ことのみに専念させ、余計な認知的負荷をかけずに読解に集中できるように設計する。また1つのプログラミング言語を読解するだけでなく、様々なプログラミング言語に触れることで、コンピュータを取り巻くプログラミング言語とそのライブラリ、エコシステムなどに触れ、プログラミングに対する興味関心を高めることが可能であると考え、1つのプログラミング言語のみを対象とした機能と様々なプログラミング言語に触れる機能を用意した。

3. **コミュニケーションを創出する** 初学者がプログラミングを独習する場合、プログラミングを学習している者とのコミュニケーションが発生しづらく、モチベーションが下がる場合がある。本項で提案するシステムでは、エンタテインメントの要素を用いるだけでなく、初学者同士あるいは初学者とプログラマのプログラミングに関するコミュニケーションのきっかけを与え、楽しく継続的なシステムの利用を促す。

3.4 提案システム

3.4.1 実装機能

提案システムに実装する、エンタテインメントの要素を用いた2つの機能について説明する。

● クイズ機能

この機能はユーザが使用した際に GitHub からランダムに取得したプログラムを表示する。プログラムの記述言語は多様であり、ユーザは表示されたプログラムを読み、どのプログラミング言語で記述されたプログラムかを回答する。正解し

た場合は得点が得られ、取得した累計得点の多さによるランキングが表示される。設計指針 2 で述べた様々な言語に触れられる機能に相当する。

● 占い機能

この機能をユーザが使用すると GitHub からランダムに得られたプログラムが表示され、ユーザはそれを読解し自分なりの解釈をすることで、その日の運勢を占う。表示されたソースコードの意味を解釈することが必要であるため、必然的にコードの読解が必要となる。この機能においては表示されるプログラムを JavaScript で記述されたものに限定した。

3.5 プロトタイプシステム

初めに、提案システムをチームコミュニケーションツールである Slack の bot として実装した。システムを利用する際は、この bot を導入しているチャンネルでコマンドを入力することで各機能を使用できる。利用可能なコマンドを表 2 に示す。

また表示するプログラムは内容が 1 つのファイルにまとまっていることが望ましいため、GitHub Gist からプログラムを取得した。クイズ機能を使用している様子を図 1 に、占い機能を使用している様子を図 2 に示す。

表 2: コマンド一覧

コマンド	説明
fortune	1 日の運勢を占うソースコードを表示
quiz	記述言語を問うクイズを出題
hint	クイズに関するヒントを表示
answer	クイズの回答を表示
score	各ユーザの累計得点を表示

3.5.1 ケーススタディ

このシステムを筆者が所属する研究室で運用している Slack のチャンネルに導入し、システムの効果を調査するため、研究室のメンバーを対象としたケーススタディを行った。研究室のメンバーは 3 名のプログラミング初学者であり、主に JavaScript や Google Apps Script を使用している。ケーススタディの内容としては、1 週間自由に機能を使用してもらい各コマンドの使用回数を調べ、アンケートによって所感を調査した。アンケートの項目を以下に示す。



図 1: クイズ機能の様子



図 2: 占い機能の様子

- どのような状況で機能を使用したか
- 占い機能について、楽しかったか (5段階評価, 1: 楽しくなかった, 5: 楽しかった)
- 占い機能について、 どのような点が楽しかった (楽しくなかった) か
- クイズ機能について、楽しかったか (5段階評価, 1: 楽しくなかった, 5: 楽しかった)
- クイズ機能について、 どのような点が楽しかった (楽しくなかった) か
- 機能を使用したことによって学びがあったか
- どのような学びがあったか
- コードを読むことへの抵抗は減ったと感じるか (5段階評価, 1: 減らなかった, 5: 減った)
- 今後も機能を使いたいのか

また各コマンドの使用回数を表3に示す。

表 3: 各コマンドの使用回数

コマンド	使用回数
fortune	9
quiz	43
hint	27
answer	3
score	33

コマンドの使用回数に関しては、クイズ機能に関連した機能が多い結果となり、占い機能に関しては使用回数が少なかった。なお期間中の最初の3日間ほどは頻繁にシステムが使用されていたが、期間の後半においてはあまり活発に使用されていなかった。またどの機能も個別に使用するより、ユーザが実際に会って集まっている際にコミュニケーションを交えて使用されることが多く、コミュニケーションを促進できていたと考えられる。

次にアンケート結果を表4に示す。

まず占い機能に関してだが、使用する楽しさの評価は低い結果となった。ユーザの意見には「提示されたプログラムをどう解釈すればいいのか分からなかった」「占いという感触があまりなかった」などがあり、プログラミング初学者にとってプログラムを読解して独自の解釈を持たせることは難しく、面白みに欠けているようだった。

またクイズ機能に関しては楽しさに関して高い評価が得られた。その理由として「スコアがあると、競争している感が出るのが楽しく感じた」「みんなで一緒にやっていて競争っぽくなるのが楽しかった」などの意見があり、スコアを用いたゲーミフィケーション、競争の要素がシステム使用のモチベーションを高めていたと考えられる。

なお「以前に出た言語の特徴に似ていると感じ、調べずに答えて正解したとき楽しかった」という意見が得られ、クイズを通したコードリーディングによってプログラミング言語の特徴を捉え、それに楽しみを感じていることが分かった。

「機能を使用したことによって学びがあったか」という質問には全員が「あった」と回答し、「どういう学びがあったか」という質問には「言語ごとの文法の特徴が何とな

表 4: アンケート結果

インタビュー内容	被験者 A	被験者 B	被験者 C
占い機能は楽しかったか	1	2	3
クイズ機能は楽しかったか	4	4	5
コードへの抵抗感は減ったか	3	5	5

く分かってきた」「いろんな言語の存在を知ることができました」「今まで聞いたこともなかったプログラミング言語の名前を知り、親近感をもった」という回答があり、各プログラミング言語の特徴について理解するとともにプログラミングに対する親近感を抱かせることができていた。

またプログラムへの抵抗感に関する質問でも肯定的な評価が得られ、「今後も機能を使いたいか」という質問に対して全員が「使いたい」と回答した。なおシステムの改善点に関して「プログラムのある GitHub のページへのリンクを表示して欲しい」「占いの際にラッキーアイテムなどを表示して欲しい」等の意見が得られたため、アンケート結果を元にプロトタイプを改善したシステムを開発した。

3.6 Web アプリケーション

プロトタイプシステムを用いたケーススタディで得られた結果を元に、プロトタイプシステムを改善し、Web アプリケーションとして再実装した。Web アプリケーションとして実装したのは Slack bot よりも開けたコミュニティでより多くのユーザーの意見を取り入れるためである。

このアプリケーションでは指定の URL にアクセスすることでクイズ・占いの機能を使用でき、ユーザー登録をしログインすることでクイズ正解時に得た得点の累計によるユーザーのランキングを閲覧することができる。またクイズ機能においてはそのクイズに対するユーザーの正答率、占い機能においては選ばれたプログラムに含まれているコメントの量、宣言された関数の数などから独自に算出した対人運、仕事運、コメントなどを表示するようにした。クイズ機能の様子を図 3 に、占い機能の様子を図 4 に示す。



図 3: クイズ機能の様子



図 4: 占い機能の様子

また実装したアプリケーションを Ubiquitous Wearable Workshop2019[14] にて参加者に使用させ、議論を行った。占い・クイズ機能ともに使用され、表示されたプログラムを見せ合うなどシステムを介したコミュニケーションが見られたが、「クイズが難しすぎて逆にプログラムに対する抵抗感が生まれた」というコメントもあった。

3.7 課題と考察

提案システムのプロトタイプ及びそれを元にした Web アプリケーションの実装と運用を通して、エンタテインメントの要素やコミュニケーションの要素、特にクイズの要素を交えてプログラミング初学者のコードリーディングを促進することは、有効な方策であると考えられる。またその中で他者と競争するゲーミフィケーションはシステムを使用するモチベーションとなり、これをプログラミング学習コンテンツに取り込むことで有益な学習コンテンツを作成できると感じた。しかし、現状実装したアプリケーションには不十分な箇所が多く、より適切なゲームデザイン、ユーザがシステムを使い続けるための工夫、どのようなアルゴリズムでプログラムを選び、初学者に提示するかなど課題は多い。

今後はこのシステムを通して得られた課題・観点を元に、より良いプログラミング学習コンテンツを作成していく。またアンケート調査に止まらず、ユーザのコードリーディングに関する行動の追跡的な調査をし、システムに関する客観的な評価を行っていききたい。

4 プログラミングに対する興味喚起を目的としたプログラミングゲームの開発

本項では，プログラミング初学者の興味喚起を目的としたプログラミングゲームのプロトタイプについて紹介し，設計指針に基づくデザインの詳細や行った評価実験と見つかった課題，実験に関する考察について議論する．

4.1 研究背景

プログラミングの重要性が高まり，プログラミング学習を始める人は増えているが，その中で挫折する者も多い．写経型学習では楽しさを感じにくく，またプログラミングの楽しさを感じるためには，ある程度プログラミングに習熟することが必要であることがその要因の1つであると考えられる．

プログラミングにおける難解な部分を隠蔽・抽象化することで，初学者でもプログラミングの楽しさを実感できることを目指したシステムはいくつかある．Scratch や Viscuit などの VPL がその代表的な例である．しかしこれらは小・中学生など若い世代をターゲットとして作成されているため，高校生や大学生，あるいはそれ以上の年齢の層に対して，十分な興味喚起ができていないとも言えない．またこれらは初学者向けにデザインされた VPL のため，Python や C 言語といった実践的な TPL との乖離が大きいう問題もある．

本項で述べる研究では，実践的な TPL による初学者への興味喚起を行うため，リアルタイムな対戦型プログラミングゲームを開発した．このゲームではリアルタイムにエージェントのアルゴリズムをプログラミングし，戦わせる．この対戦型のプログラミングゲームを習熟したプログラマ同士にプレイさせ，対戦させる．これを初学者に観戦させることにより，プログラミング言語の基礎的な文法を理解しつつ，習熟したプログラマへの憧れを創出し，プログラミングへのモチベーションを向上させることを目指した．習熟したプログラマのプログラミングの様子を観察することで，プログラミングの手順・デバッグの手法を学ぶこともできると考えられる．またゲームをターン性にしたことで，アルゴリズムを考え，実装し，実行，改善するというプロセスを見て学ぶことができると思われる．

4.2 関連研究・関連システム

4.2.1 プログラミングを用いたエンタテインメントシステム

プログラミングとエンタテインメントを掛け合わせたコンテンツはいくつか存在する。TopCoder[15]などの競技プログラミング、コードゴルフ[16]やSECCON[17]などのハッキングコンテストが有名であり、これらはプログラマの間でも根強い人気がある。またプログラミングゲームとしてはRobocode[18]が有名である。しかしこれらはある程度プログラミングに習熟したプログラマ向けのコンテンツであり、利用にはプログラミングスキルだけでなく数学やセキュリティ、コンピュータサイエンス等の知識を要するためプログラミング初学者が参加するにはハードルが高い。

4.2.2 初学者向けプログラミング学習支援システム

初学者向けプログラミング学習支援システムは数多く存在する。Scratch[21],Viscuit[22]などはその代表的な例であり、低年齢層をターゲットにした設計でブロックや絵を並べることでプログラミングでき、初学者にプログラミングの楽しさを伝えるためにデザインされている。塚本らの研究では、テキストベースのプログラミング言語による小学校でのプログラミング教育の可能性を示唆しているが、テキストベースのプログラミング言語とビジュアルプログラミング言語を用いた小学生向けの授業を比較し、ビジュアルプログラミング言語を用いた場合の方がモチベーションを向上させることができたと述べている。[19, 20] またドリトル[23]は中学校・高等学校での教育目的に使える環境を目指し、テキストベースでプログラミングさせつつも柔軟かつ小さい言語仕様により、初学者にプログラミングの楽しさを伝えることを目指している。しかしこれらは対象がやや若年層向けであり、プログラマに対する憧れを創出し、プログラミングへのモチベーションを高めるという本研究のアプローチとは異なる。

4.2.3 プログラミングゲームを用いた研究

プログラミングゲームはいくつか存在するが、その中でも有名なのがRobocodeである。これはJavaでロボットを制御するプログラムを記述し戦わせるゲームであり、JuがRobocodeコミュニティを対象に行った調査では、ユーザの多くがRobocodeによりプログラミングスキルが向上したと回答し、Robocodeの楽しい点としてアルゴリズムを見つけることとアーキテクチャのデザインが挙げられていた[26]。

またプログラミングゲームを盛り込むことでプログラミング学習を促進しようとした研究は多くある。Shiらはプログラミングゲームを用いてプログラミング初学者の問題解決能力を向上させるためのシステムを作成している[27]。Morenoらはボクシング

型の競争ゲームを用いてプログラミングスキルの向上を図っている [28]。水口の研究ではプログラミングの講義における成績評価にロボットバトルシミュレーション型のプログラミングゲームを活用している [29]。なお増谷らの開発した VLogic[30] では VR 空間上にブロックベースのプログラミングゲームを実装することで手足を使ってプログラミングを体験することができ、プログラミングに対する興味喚起を行っている。これらはプログラミングの習熟度が高くなくても使用できるが、従来のプログラミングゲーム同様静的なゲーム展開であり、プログラマ同士のリアルタイムな駆け引きやアドリブといった観戦を楽しむ設計は成されていない。

4.3 設計指針

提案システムの実装にあたり、初学者の興味関心を高めるために 3 つの設計指針を設けた。

1. 駆け引き・アドリブを取り入れる

多くの人は野球やサッカー、ラグビーなどのスポーツや将棋、麻雀などのテーブルゲーム、昨今ではストリートファイターに代表される e-sports などの競技を、自分がプレイヤーでなくとも観戦することを好む。これらの競技の試合は、研磨された戦法の型がありつつも、プレイヤー同士のリアルタイムな駆け引きやアドリブを伴って進行する予測不可能性が魅力の 1 つであり、プレイするだけでなく観戦するという行為によって古くから親しまれてきた。本項の提案システムにおいてもこのリアルタイムな駆け引き・アドリブの要素を生かし、ゲームを観戦して楽しめるようデザインし、初学者のモチベーションを高めることを目指す。

2. 観戦して楽しめる

初学者にとってプログラミング学習をする際に環境構築や普段使用しない独自ソフトウェアのインストールは手間がかかり、学習のモチベーションを下げかねない。今回は提案システムを JavaScript によって制御可能な Web アプリケーションとして実装し、初学者が実際にプログラミングを行わずともプログラミングしている様子を観戦するだけで利用できるように設計した。

3. プログラマに対する憧れを創出する

提案システムでは習熟したプログラマ同士のスキルを対戦に反映させることで、習熟したプログラマとその洗練されたプログラムに対する憧れを創出し、そのプログラミングスタイルを学ぶことで、プログラミングに対するモチベーションを向上させることを目指した。

4.4 提案システム

本研究で提案するシステムでは、プログラミング初学者の興味喚起をするためにいくつかの工夫を施した。今回実装したシステムは、プログラマ同士がリアルタイムにプログラミングを行うことでキャラクタを制御し、対戦するという対人形式のプログラミングゲームである。この対戦の様子を初学者に観戦させることで、初学者のプログラミングに対する興味を高める。プログラミングゲームとして実装した理由としては、キャラクタがプログラムによって動作するというゲームの視覚的な出力が、初学者にとってプログラムの出力を理解する助けになると考えたためである。ゲームジャンルとしては、シューティングゲームの体裁をとった。これはシューティングゲームが「敵の攻撃を避けて、敵を攻撃する」というプリミティブなゲームシステムであり、見ていて展開を理解しやすいと考えたためである。

ゲーム UI は LivecodeLab[24] や Hydra[25] などのビジュアルライブコーディング環境を踏襲し、ゲーム画面上にエディタを重畳することで、プログラムとその出力の双方を同時に見ることが可能なように設計した。またゲーム3つのフェイズに分かれており、以下で各フェイズについて説明する。大まかなフェイズ遷移の様子を図5に示す。

なお2人のプレイヤーが対戦する「vsPlayer」モードと1人のプレイヤーがCPUと対戦する「vsComputer」モードを実装した。

4.4.1 自機プログラミングフェイズ

プレイヤーが「vsPlayer」モードを選んで相手プレイヤーとマッチングする、または「vs-Computer」モードを選ぶとこのフェイズに移行する。プレイヤーには1か2の番号が振

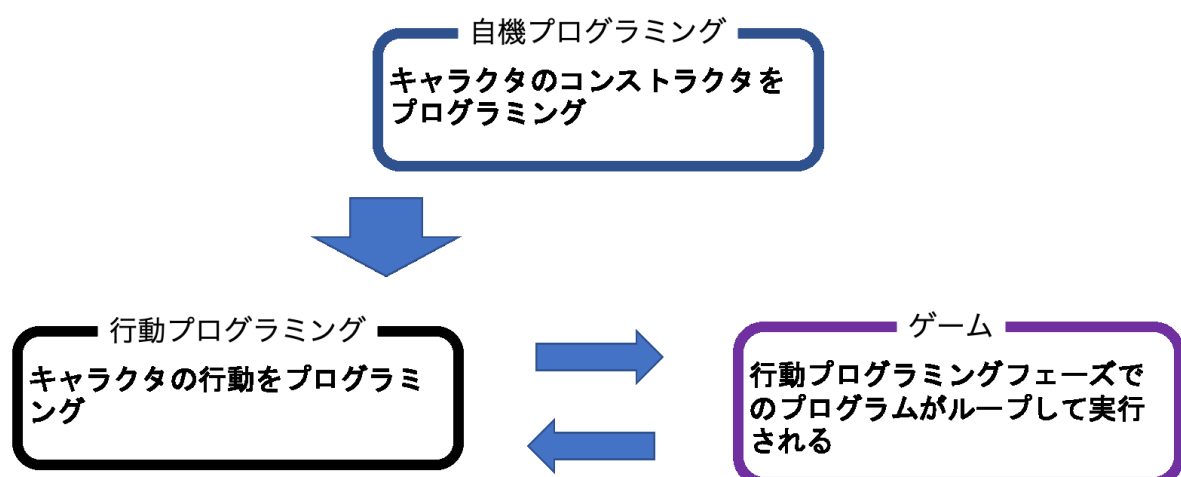


図 5: フェイズ遷移図

られ、番号に応じて画面の背景色や制御するキャラクタの番号が異なる。このフェイズの様子を図6に示す。



The screenshot shows a dark-themed interface. At the top, there is a menu with a checkbox for 'hard mode' and four radio buttons for 'attack', 'speed', 'tank', and 'custom' (which is selected). Below the menu is a code editor displaying the following Java code:

```

1 class Fighter extends TextFighter1 {
2     constructor() {
3         super();
4         this.appearance = "🚀";
5         this.life = 40;
6         this.clock = 30;
7         this.power = 30;
8     }
9 }
10 player1 = new Fighter();
  
```

図 6: 自機プログラミングフェイズの様子

ここでは予めエディタにプレイヤが操作するキャラクタのコンストラクタが記述されており、プレイヤはパラメータを書き換えることができる。具体的なパラメータには appearance, life, clock, power がある。appearance はキャラクタの外見であり、文字列を指定できるため、絵文字などを使ってプレイヤの好きな見た目を選ぶことが可能である。life はキャラクタの体力であり、いわゆる HP(ヒットポイント) を表している。非負の整数を指定でき、この値が0以下になるとプレイヤはゲームに敗北する。clock はキャラクタが行動できる回数の多さを表しており、非負の整数を指定できる。プレイヤは後述する行動プログラミングフェイズにおいて自分のキャラクタを制御するプログラムを記述し対戦するが、その際に記述したプログラムは10秒間ループして実行される。このループのインターバルを決めるのがclockであり、値が大きいほどインターバルは短くなる。power はキャラクタの攻撃力を表しており、これも非負の整数を指定できる。この値が大きいほど、自分が操作するキャラクタの攻撃が相手キャラクタに命中した際に削る life の値が大きくなる。双方のプレイヤが各パラメータを記述し終わると次の行動プログラミングフェイズに移行する。

4.4.2 行動プログラミングフェイズ

このフェイズに進むと、自機プログラミングフェイズで記述したコンストラクタを元に両プレイヤーが操作するキャラクタのインスタンスが作成され、ゲーム画面が表示される。このフェイズの様子を図7に示す。両プレイヤーはプログラムをエディタに記述し、作成したキャラクタを操作する。エディタにはプレイヤーに割り振られた番号に応じて「player1Loop」または「player2Loop」という名前の関数が予め用意されている。この関数が本フェイズ終了時にループして実行されることとなる。プレイヤーは条件分岐や繰り返しなど従来の JavaScript の文法の他に独自に用意されたプロトタイプメソッドを使うことができる。用意したメソッドにはキャラクタを移動するメソッド (moveUp(), moveDown(), randomMove()) とキャラクタが攻撃を行うメソッド (shot()) などがある。またプログラム内で各キャラクタのパラメータを参照することもできる。両プレイヤーがプログラムを記述し終わると次のゲームフェイズに移行する。なおこのフェイズでは相手プレイヤーがどのようなプログラムを記述しているかを見ることはできない。



図 7: 行動プログラミングフェイズの様子

4.4.3 ゲームフェイズ

このフェイズでは行動プログラミングフェイズで記述したプログラムが10秒間ループして実行され、ゲームが進行する。このフェイズの様子を図8に示す。このフェイズに移行した段階で、両プレイヤーは相手プレイヤーが記述したプログラムを閲覧することができる。このフェイズにおいて相手キャラクタを攻撃し、lifeの値を0以下にしたプ

レイヤの勝利となる。勝敗が決まらない場合はプログラム終了時の各パラメータを引き継いだまま行動プログラミングフェイズに戻り、再度プログラミングしゲームフェイズに移行するという過程を勝敗が決まるまで繰り返す。

また画面の下には擬似的なコンソールを配置しており、プログラムの実行時に発生したエラーが表示されるため、開発者ツールを開かずとエラーを確認できるようになっている。



図 8: ゲームフェイズの様子

4.5 評価実験

提案システムの使用・観戦に関する感想や影響，その用法を調査するために評価実験を実施した。システムを用いて対戦するプログラマと対戦を観戦するプログラミング初学者を集め，システムでの対戦と観戦を実施し，アンケート調査と実際に対戦で使用されたプログラムのログを分析することでシステムを評価した。

4.5.1 実験参加者

実際にゲームをプレイするプログラマとしては，著者の知人であり，プログラミング(主にオブジェクト指向言語)の経験が3年以上ある大学院生2名(男性)に声をかけた。2名とも日常的にアクションやシューティング等のジャンルのゲームをプレイするため，システムをプレイする際にゲームに不慣れなためハンデが生まれることはないと思われる。また両者とも3年以上JavaScriptを使用した経験がある。

プレイを観戦するプログラミング初学者は、神戸大学国際人間科学部にて開講されていた講義「プログラミング基礎演習 1」の受講者を対象とした。この講義はオンラインで行われ、実験に参加した者には授業の成績に加点があると説明し、参加者を募った。受講者のうち、実験に参加した者は 77 名であり、うち 37 名が男性、40 名が女性であった。またこの講義では JavaScript における変数、条件分岐、繰り返しなどの基礎的な文法を教えており、実験参加者は実験を行う時点でこれらを学習済であった。なお、うち 23 名は授業以前にプログラミングを学習した経験があったが、プログラミングによってソフトウェア開発を行った経験のある者はいなかった。

またプログラマ含む実験参加者の全員が、競技プログラミングやプログラミングゲームなどのプログラミングを題材としたエンタテインメントシステムを使用した経験がなかった。

4.5.2 実験内容

本実験は、プログラマ 2 人による対戦と初学者による対戦の観戦に別れている。本来ならばリアルタイムなプログラマ同士の対戦を生で初学者に観戦させることが望ましいが、感染症対策などの影響によりその機会を儲けることが困難であったため、対戦の様子を録画したものを初学者に観戦させる形とした。

初めにプログラマ 2 人にプログラミングやゲームの経験に関する簡単な事前アンケートを行った。そして提案システムにある程度慣れ、用法を理解してもらう必要があるため、システムの練習をするための期間を設けた。システムの使用方法、ゲームシステム、独自に用意したメソッドなどについて説明した後、2020/11/13 から 2020/11/19 の 1 週間システムを自由に使用させた。また、ただシステムを使用させただけではゲームに対する理解が深まらない可能性があるため、期間中に 2 つのタスクをこなさせた。1 つは 1 人以上とシステムを使った対人戦を行うことであり、もう 1 つは相手がランダムな戦略を実行してくる対 CPU 戦において、勝率が高いと考えられるプログラムを作成することである。

なお期間中はシステムに関する意見・疑問を Scrapbox と LINE にて逐次報告させ、システム使用における問題を改善した。またプログラマがシステムを使用する際に利用する Web ブラウザは Google Chrome に統一した。

練習期間が終わった翌日に、プログラマ同士の対戦を行った。対戦はシステムに関するプログラマ同士のコミュニケーション等の所作を観察するため、感染症対策を徹底した環境で対面にて行った。両者の対戦時の画面を録画し、対戦後にシステムに関する事後アンケートを行った。なお練習期間中・対戦中にプログラマが記述した全てのコードのログを収集した。

そして「プログラミング基礎演習1」の最終講義で受講者にプログラミング経験等に関する簡単な事前アンケートを行った後、初学者が観戦しやすいように対戦動画を編集したものをzoomを介して閲覧させた。またその後にシステムに関する事後アンケートを行った。アンケート項目を以下に示す。なお全てのアンケートはGoogle Formにて行った。

- Q1. ゲームを観戦するのは楽しかったか
- Q2. ゲームの出力はプログラムを理解する助けになったか
- Q3. 観戦によってプログラミングに対する興味関心は高まったか
- Q4. 観戦によってプログラミングに関する理解が深まったか

またライブでの観戦が実施できなかったため、プレイヤ(プログラマ)に対する憧れなどについては質問項目を設けていない。

4.5.3 アンケート結果

対戦を観戦したプログラミング初学者に対する事後アンケートの内容及び結果を表4に示す。このアンケートに回答したのは実験参加者のうち74名であった。

表 5: 初学者に対する事後アンケート結果

Q	質問項目	評価分布					平均
		1	2	3	4	5	
Q1	ゲームを観戦するのは楽しかったか	3	6	33	27	5	3.34
Q2	ゲームの出力はプログラムを理解する助けになったか	0	9	25	30	10	3.55
Q3	観戦によってプログラミングに対する興味関心は高まったか	1	11	23	33	6	3.43
Q4	観戦によってプログラミングに関する理解が深まったか	1	23	29	17	4	3.00

(1:全くそう思わない, 5:とてもそう思う)

まずゲーム観戦の楽しさに関して(Q1)であるが、実験参加者の多くが肯定的な回答を示した。またキャラクタが攻撃、移動するなどのゲームの出力がプログラム理解の助けになったかという質問(Q2)に関しても3以上の評価が多かった。さらに観戦によりプログラミングに対する興味関心が高まったかという質問(Q3)についても、3以上

の回答が多くなった。また観戦によってプログラミングに関する理解が深まったかという質問(Q4)に関しては、やや低い評価が多い結果となった。なおこれら以外にも以下の質問をした。

- Q5. このゲームを実際にプレイしたいか(プレイしたい/プレイしたくない)
- Q6. このゲームに他にどのような機能が欲しいか
- Q7. このゲームに関する意見

まずこのゲームを実際にプレイしたいかという質問(Q5)に関しては64.9%がプレイしたいと回答した。またこのゲームに他にどのような機能が欲しいかという質問(Q6)に関しては「色んな技が繰り出せるような機能」「通常攻撃以外にため技のようなものが欲しいと思った」「回復アイテム的なものや必殺技」「攻撃を受けたときの衝撃波」などの回答があり、キャラクターの行動、エフェクト、アイテムの概念の追加などを求める意見が多く見られた。また「プログラム内容を解説する機能が欲しい」という意見も複数あり、Q4の結果にも見られるように、プログラムの内容をより分かりやすくする工夫が必要だと考えられる。なおこのゲームに関する意見(Q7)としては、「自分のプログラミングのレベルを上げたいと思った」「面白い」「プログラミングを楽しみながら学習できる」という点でとても面白いと感じた」などゲームに対する肯定的な意見が多く得られた。

しかし「プログラミング初心者には少し難しかった」「楽しめるようになるまでのハードルが高そうだった」「今持っている知識では自分では動かすことが出来ないと感じた」など現状の自分のプログラミングスキルではゲームをプレイするのは難しそうに感じる反応も多く得られた。

またシステムをプレイしたプログラマにも同様に事後アンケートを行った。その内容・結果を表6に示す。

表 6: プログラマに対する事後アンケート結果

Q	質問項目	参加者	
		A	B
Q1	システムをプレイするのは楽しかったか	4	5
Q2	ゲームの出力はプログラムを理解する助けになったか	4	5
Q3	プレイすることでプログラミングに対する興味関心は高まったか	3	5
Q4	プレイによってプログラミングに関する理解が深まったか	1	3

(1:全くそう思わない, 5:とてもそう思う)

この結果についても初学者に対する事後アンケートと同様の傾向があり，Q1，Q2，Q3については肯定的な評価が得られたが，Q4に関しては相対的に評価が低かった．またそれら以外にも以下の質問をした．

- Q5. 累計何時間程度システムを使用したか
- Q6. ゲームの難易度は自分にとって適切だったか
- Q7. どのような点が簡単 (難しい) と感じたか
- Q8. ゲームに他にどのような機能が欲しいか
- Q9. 今後もこのゲームを使用したいか
- Q10. ゲームに関する意見

累計何時間程度システムを使用したかという質問 (Q5) に関しては1名が2時間，1名が6時間と回答した．またゲームの難易度は自分にとって適切だったかという質問 (Q6) に関しては1名が適切だった，1名がやや難しかったと答えた．具体的には (Q7) 「リファレンスが乏しくプログラムを書きづらかった」「現状のシステムではある程度システムを使い込んだ人を想定した作戦を立てづらかった」と回答した．ゲームに他にどのような機能が欲しいかという質問 (Q8) に対しては，「オブジェクトが持っている値を確認できるリファレンスのようなものが欲しい」「横移動ができれば，被弾しやすいリスクと引き換えに，敵が来そうな位置で敵より先に弾を打ち込めるチャンスが増える」と回答していた．また今後もこのゲームを使用したいか (Q9) という質問には2名とも「使用したい」と回答した．なおゲームに関する意見は「相手のコードを読んで対処するという部分をもっと積極的にするべきだったかもしれない．ただし，相手の位置に近づくようにプログラムすれば確実に自分が先に被弾するので，自分は動かずに相手が近づくのを待つプログラム以外最良の手がないようにも思う．」というものが得られた．

4.5.4 コードログ分析結果

練習期間中・対戦中にプログラマが記述したプログラムのログ，提出したプログラムを分析することで，システムがどのように利用されているか，どのようなプログラムが記述されているかを調査した．分析手法としては各プログラムをパースし，プログラム中のキーワードを抽出した．パーサには JavaScript パーサのデファクトスタンダードである Espria[31] を用いた．また各プログラムの可読性についても分析した．そ

の指標として McCabe の循環的複雑度 [32] と SLOC(source lines of code) を用いた。循環的複雑度とはソフトウェア開発におけるソフトウェア測定法であり、プログラム中の分岐の数からプログラムの複雑さを算出する。SLOC はソースコードの行数を意味し、今回は空行やコメント行などを除いた値である論理 LOC を用いた。またこれらのパラメータの算出には JavaScript 抽象構文木のソフトウェア複雑性分析ツールである escomplex[33] を使用した。

対 CPU 戦におけるプログラム分析

まず vsComputer モードで使用されたプログラムの分析結果について述べる。このモードで使用されたコードは合計 327 件である。全てのプログラムに含まれていたキーワード(演算子を除く)の個数をグラフ化したものを図 9 に示す。

もっとも多いキーワードは myself というものであるがこれは自キャラクタのインスタンスを代入するための変数として使われていた。プロトタイプシステムではプレイヤーが player1 になるか player2 になるかがランダムに決定されていたため、それによってプログラムの内容を書き換えなくて済むように初めに myself に割り当てられたインスタンスを代入していたと思われる。次に player1 というインスタンスを参照するキーワードが多く見られ、次いでインスタンスの座標を参照するキーワードである y, 条件分岐に用いられる if のキーワードが多く見られた。

プログラムの内容を観察するとキャラクタの座標を参照し、その値によって処理を分岐するプログラムが多く見られ、キーワードの分析結果と一致した。また「0x」で始まるキーワードがいくつか散見されるが、これはプレイヤーが難読化ツールを用いてプログラムの難読化を試みた際に現れたキーワードである。

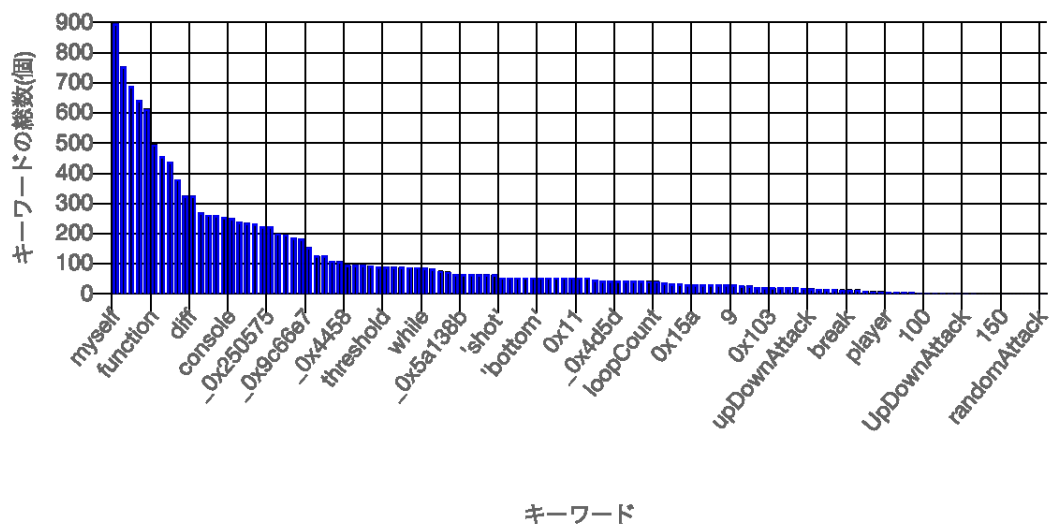


図 9: vsComputer におけるキーワード分析

次に vsComputer モードで投稿された各プログラムと SLOC をグラフ化したものを図 10 表示する。全体として徐々に SLOC が増加する傾向にあり、ゲームに習熟するほどコードの量が長くなっていったのだと考えられるが、無尽蔵にコードの量が増えていく傾向は見られなかった。しかし最大で 30 行前後のプログラムを初学者が短い時間で読解できるかは議論の余地がある。

また SLOC が平行線をたどっている部分はプレイヤーが難読化ツールを使用した部分である。

次に vsComputer モードにおける各プログラムごとの循環的複雑度を計測したグラフを図 11 示す。このグラフを観察すると各プログラムの循環的複雑度は概ね 10 以下に収まっていた。McCabe によると循環的複雑度が 10 を超えるプログラムはモジュール化などの工夫が必要であると述べられているため、今回分析したプログラムは分岐によりプログラムの可読性を大きく損なっていることはないと考えられるが、プログラムを実行する際に循環的複雑度が大きいと実行できないといったような制限を設け、プログラムの可読性が下がらないようにする工夫を設けても良いかもしれない。

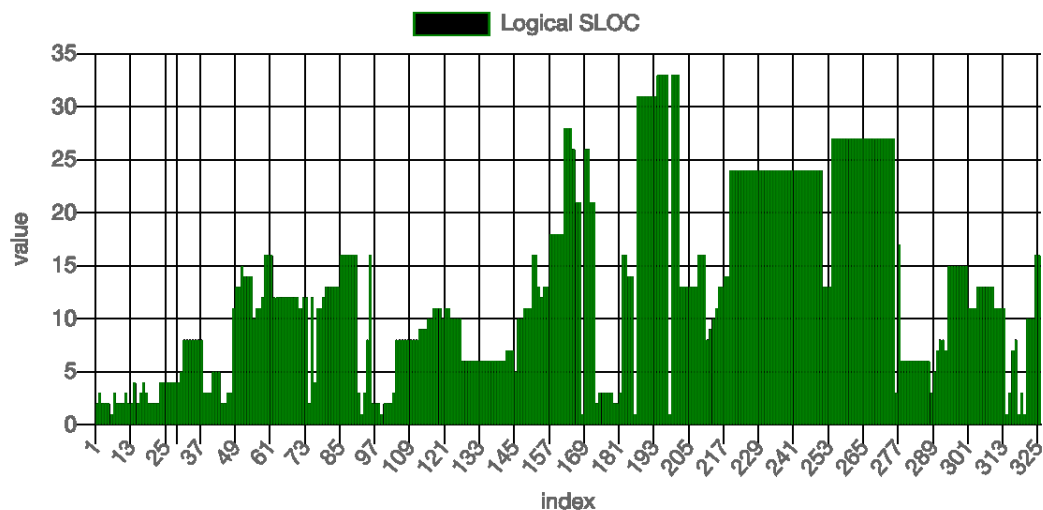


図 10: vsComputer における SLOC

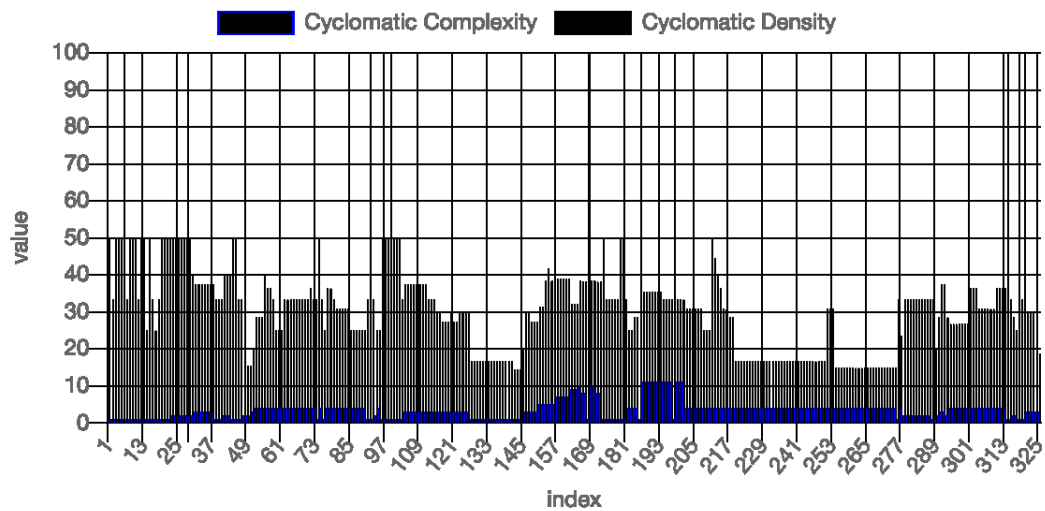


図 11: vsComputer における循環的複雑度とその密度

対人戦におけるプログラム分析

次に vsPlayer モード (対人戦) において使用されたプログラムの分析結果について述べる。このモードで使用されたコードは合計 185 件である。

全てのプログラムに含まれていたキーワード (演算子を除く) の個数をグラフ化したものを図 12 に示す。

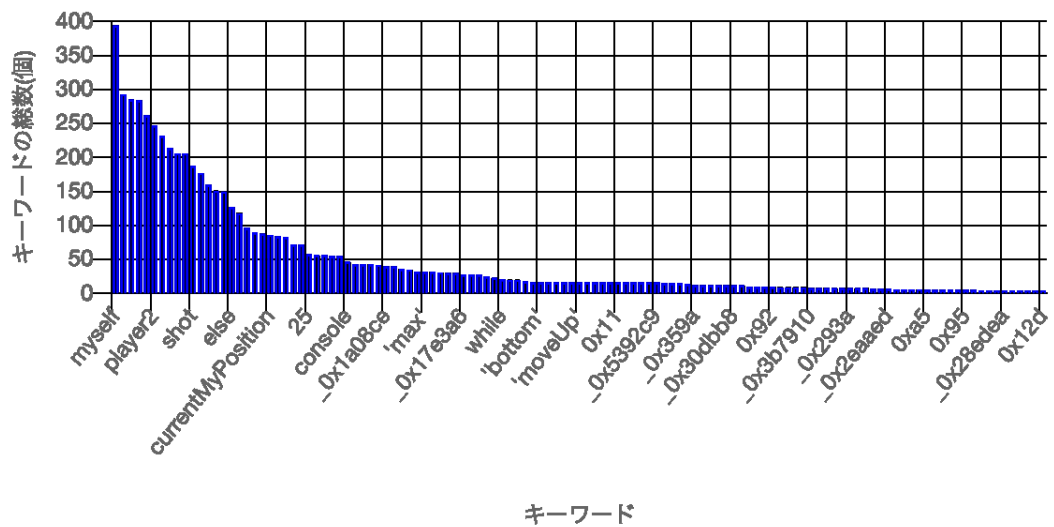


図 12: vsPlayer におけるキーワード分析

vsPlayer モードにおいて多かったキーワードは上から myself, if, y であり, vsComputer モードと同様の傾向が見られた。プログラムの内容も vsComputer モードでのプログラムと大きく変わっておらず, 対人戦で使用するプログラムを vsComputer モードで試していたと考えられる。

また各プログラムと SLOC をグラフ化したものを図 13 表示する.

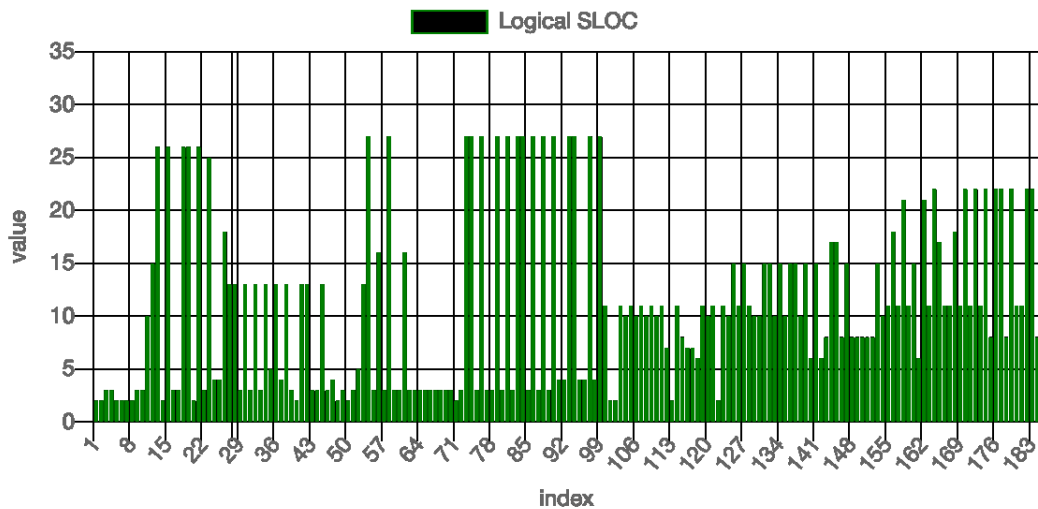


図 13: vsPlayer における SLOC

次に vsPlayer における各プログラムの循環的複雑度を計測したグラフを図 14 示す. vsPlayer においても循環的複雑度の最大値は 11 であり, 複雑な分岐はプログラム内に見られなかった.

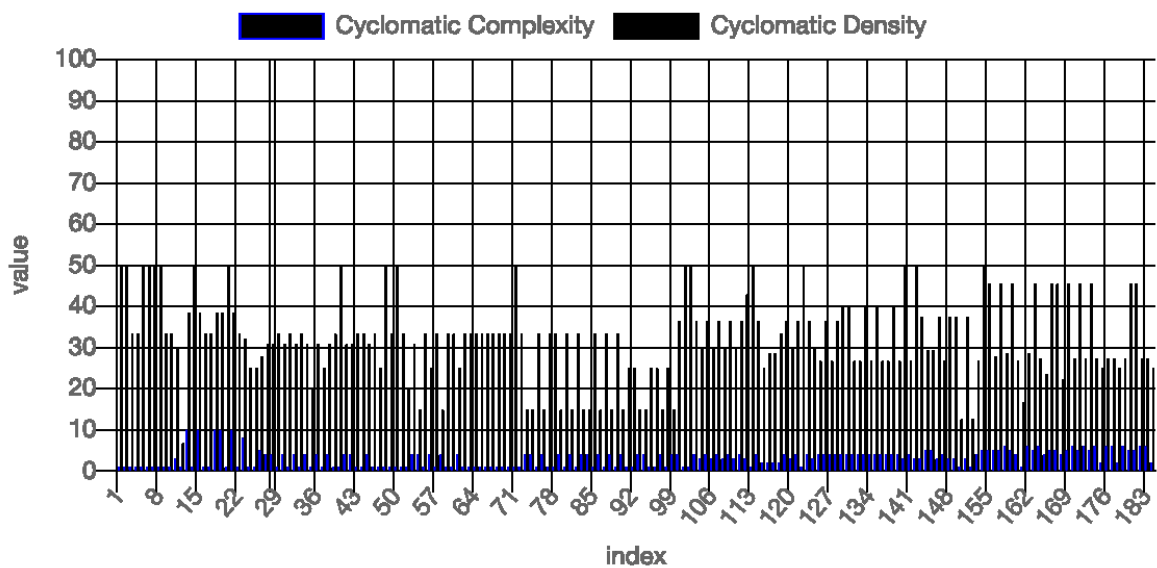


図 14: vsPlayer における循環的複雑度とその密度

提出プログラムの分析

実験に参加したプログラマが提出した, 対 CPU において勝率が高いコードをソースコード 1,2 に示す.

ソースコード 1: プログラム A

```

1  const opponent = player1;
2  const me = player2;
3  let currentPlayer2Position = 240;
4  let currentMyPosition = 240;
5  function player1Loop() {
6      if (currentPlayer2Position === currentMyPosition){
7          currentMyPosition - 30 < 0 ? player1.moveDown() : player1.
            moveUp();
8          player1.shot();
9      } else {
10         currentMyPosition < currentPlayer2Position ? player1.
            moveDown() : player1.moveUp();
11         player1.shot();
12     }
13
14     currentPlayer2Position = player2.y;
15     currentMyPosition = player1.y;
16 }

```

プログラム A の記述したプログラムは、相手キャラクタと自キャラクタの位置関係によって処理を分岐している。大まかな戦略としては、相手キャラクタと自キャラクタの座標を比較し、同じ位置にいれば上あるいは下に動いて攻撃し、違う位置にいれば相手キャラクタのいる方向へ移動し攻撃する、というものである。

ソースコード 2: プログラム B

```

1  const threshold = { min: -17-25, max: 9+25 };
2  const myself = player1;
3  const enemy = player2;
4  function player1Loop() {
5      var diff = enemy.y - myself.y;
6      var direction = enemy.direction;
7      console.log(diff);
8      if (diff > threshold.min && diff <= threshold.max) {
9          if (direction === "top") {
10             myself.moveUp();
11         } else if (direction === "bottom") {
12             myself.moveDown();
13         }
14     } else {
15         if (diff < threshold.min) {
16             myself.moveUp();
17         } else if (diff > threshold.max) {

```

```

18         myself.moveDown();
19     }
20 }
21     myself.shot();
22 }

```

プログラマBのプログラムもプログラマAと同様、キャラクタの座標を用いた処理を行っているが、キャラクタの向きを表すパラメータである `direction` も使用している。自キャラクタと相手キャラクタの座標の差分が閾値の範囲内であれば、相手の `direction` を参照して相手と同じ進行方向に移動し攻撃、自キャラクタと相手キャラクタの差分が閾値の範囲より大きく異なれば、相手キャラクタから逃げて攻撃するというものである。

初学者が読解するという観点から考えると、これらのプログラムはあまり長くなくネストも深くないため、認知的負荷はそれほど大きくないが数値を用いた条件分岐や三項演算子などは読解する際に慣れが必要なため、やや読解に労力を要すると考えられる。

4.5.5 評価実験に関する考察

評価実験に関する考察について述べる。プログラマ同士の対戦においては、行動プログラミングフェイズにおいて設定した相手の `appearance` パラメータについて「かわいい」などとコメントする様子が見られた。また対戦後にお互いの記述したプログラムの内容や今までのプログラミング経験等に関するコミュニケーションが行われており、システムがコミュニケーションのきっかけを作ることができていた。また両者の対戦を観察した結果、プログラマがどういったプログラムを記述するか、どうプログラムを変更するかなどについて悩んでいる時間が多いため、リアルタイムな観戦においては、観戦者が飽きないように解説のような機能を入れたり、プログラミングする時間に制限を設けるなどの工夫が必要であると感じた。なおプログラムの内容や戦略がやや一辺倒になってしまっていたため、1つの強い戦略が生まれてしまわないようにより多様なメソッドや強い戦法にリスクを持たせるなどして、多様な戦略を使わせる工夫をする必要があった。さらにプログラマがプレイの際に開発者ツールのコンソールを使用している様子が見られた。観戦する際にコンソールを使用している様子はやや初学者にとって内容が分かりづらくなるため、よりシステム画面上のコンソールの機能を拡充し、開発者ツールを使用せずとも対戦できるように設計したい。各々の対戦に着目すると、一方のプログラマの書いたプログラムが他方より圧倒的に強い場合は1ターンで決着がついてしまい、ターン性がうまく機能していない場合があったため、パラメータバランスを調整する必要がある。またプログラマの記述したプログラ

ムを見ると、キャラクタの座標を用いた処理の際に数字を用いていたが、実際にプレイをしたことのない観戦者にとっては数字から具体的な座標をイメージするのが難しいため、極力不要な数値を用いずにプログラムできるように設計することが必要であると感じた。プログラムを開示する際により平易なプログラムに書き換えても良いかもしれない。

初学者の対戦の観戦においては、ライブでプログラマ同士が対戦している状況を用意することが困難であったため今回は動画を閲覧するという状況を用意したが、動画を見ただけでは実際に人が対戦しているという感覚が希薄であり、「プログラマがプログラミングしている」場面を見せるためには更なる工夫が必要であると感じた。

また今回の評価実験において、システムに対する肯定的な評価が得られたものの、どのような要素が初学者のプログラミングに対する興味に影響を与えていたのか、特に提案システムにおいて独特な要素であるリアルタイムな駆け引き・アドリブを誘発する要素の影響について調査する必要があると考えられる。

4.6 今後の課題

提案システムの開発・評価実験で明確になった情報を基に、今後こういった研究を行っていくかについて述べる。

4.6.1 プロトタイプシステムを基にした実環境での運用システムの構築

評価実験でのアンケート結果・コードログの分析結果を鑑みてより良いゲームデザインが必要であると感じた。まずパラメータバランスを調整し、1ターンで終わるなどすぐにゲームが終わって終わらないようにする。またプレイヤ同士の対戦において圧倒的に力の差がある場合でも逆転できるような要素を加えることで、プレイヤ・観戦者がより楽しめるようにする。さらにこのゲームにおける強さがプログラマのスキルに比例し、かつ観戦者にとっても可読性の高いプログラムを表示できるよう、最大コード長に制限を設けたり、循環的複雑度の最大値に制限を儲けるなどの工夫を加える。またプロトタイプシステムではエラーを画面にそのまま表示するだけだったが、プレイヤを積極的にデバッグに向かわせる工夫を加える。これらの工夫に伴いUIを設計し直すとともにキャラクタのエフェクトも観戦に適切なものを採用する。なおvsComputerモードでの対戦に、より戦略的なゲームAIを実装する予定である。さらにユーザログインを実装し、ランキング機能やGitHubアカウントを紐付けてプログラマ同士の交流を図るなどの機能も追加していきたい。

これらの改善を施した上で、実環境で運用するシステムを構築し、より多くのプログラマを対象に利用を呼びかける。

4.6.2 今後の研究

今後はシステムに改善を喰えながらより多くのユーザを対象としたワークショップ・実験を行う。より多くの習熟したプログラマを対象とした調査だけでなく、初学者にもゲームをプレイさせ、初学者にとっての影響も調査する。プログラミング言語の基礎的な文法の理解を促すチュートリアルを実装し、プログラミング学習コンテンツとしての効果も調査していきたい。またライブでの対戦を初学者に観戦させ、本システムの特徴であるリアルタイム性・アドリブによる影響を重点的に調査する。なおどうすれば観客が内容を理解し、盛り上がるのかといったライブコーディングの見せ方についても調査を行う予定である。さらにリアルタイム性・アドリブが興味喚起に良い影響を及ぼしていたのなら、より若い世代に向けての興味喚起も可能かもしれない。ブロックベースでの制御や、ロボットなどフィジカルなものを制御する試みも行いたい。

今回はリアルタイムなシューティングゲームとしてシステムを実装したが、将棋の対戦に見られるようなプレイヤの熟考と解説者の解説を交えたプログラミングゲームも実現可能かもしれない。より幅広いジャンルのシステムを開発することで、プログラミング初学者向けコンテンツの拡充を目指す。

5 まとめ

本論文では、テキストプログラミング言語によるプログラミング初学者の学習促進・興味喚起をするための2つのアプリケーションを提案した。

1つはクイズ、占いといったエンタテインメントを交えてGitHubにあるソースコードを初学者に読解させることでコードリーディングを促進するものであり、筆者の所属する研究室でケーススタディを行い、得られた問題点を改善したものをWebアプリケーションとして実装し直し、UWW2019にて議論を行った。結果、肯定的な反応が得られ、プログラミング言語への理解が深まったという意見が得られたり、プログラミングにまつわるコミュニケーションを促進できている様子が確認されたが、コードリーディングに対する抵抗感が強くなったといったネガティブな意見もあり、表示プログラムの選択アルゴリズムや継続的な利用を促す工夫など、いくつかの改善点が見つかった。

また2つ目のアプリケーションは、ライブコーディングのようなりアルタイム性・アドリブの要素を取り入れた対人形式のプログラミングゲームである。これを習熟したプログラマにプレイさせ、その対戦を初学者に観戦させることで初学者のプログラミングに対する興味関心を高めることを目指した。初学者を対象に評価実験を行った結果、肯定的な評価が多く得られ、初学者のプログラミングに対する興味喚起に成功したがゲームシステム・デザインに改善すべき点が見つかった。

今後はこの2つのシステムを通して得られた結果・意見を基に、ScratchやViscuitなどを用いてもプログラミングに対する興味を持たない層、特に高校生・大学生のプログラミング初学者を対象にプログラミングに楽しく取り組める学習コンテンツを拡充し、より広い層を対象にシステムの評価を行う。また本研究の結果を元に、より若い世代に対してのプログラミング学習システムの構築も視野に入れている。

謝辞

本研究を行うにあたり，日頃より御指導，御激励を賜り，数々の御教示を頂きました西田健志准教授に深甚なる謝恩の意を表します．また神戸大学大学院国際文化学研究科に在学中，御教示，御激励頂いた神戸大学大学院国際文化学研究科の諸先生方に感謝すると共に，諸職員の方々に感謝いたします．日頃より数々の御助言を下さいました諸先輩方，快適な環境を作って頂いた研究室の皆様方，実験に協力頂いた実験参加者の方々に深く感謝いたします．特にシステムの評価における多くのサポートを頂いた工学研究科の清水友順氏，国際文化学研究科の三嶋哲也氏に深く感謝いたします．

参考文献

- [1] 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/08/10/programming_syogaikoku_houkokusyo.pdf.
- [2] 小学校プログラミング教育の手引 (第三版), https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf.
- [3] 松本絵里子 et al: C 言語の概念と実行過程を可視化するプログラミング学習用アプリケーションの開発, 専修ネットワーク&インフォメーション, No.24, pp.15–26 (Mar. 2016).
- [4] 岡本雅子, 喜多 一: プログラミングの「写経型学習」における初学者のつまずきの類型化とその考察:, パイディア: 滋賀大学教育学部附属教育実践総合センター紀要: memoirs of the Center for Educational Research and Training, Shiga University, 2014, 22, pp.49–53 (Mar. 2014).
- [5] Progate, <https://prog-8.com/>.
- [6] E.Guzman et al: Sentiment analysis of commit comments in GitHub: an empirical study, In Proceedings of the 11th Working Conference on Mining Software Repositories, 2014, pp. 352–355 (May. 2014).
- [7] 永野真知, 早瀬康裕, 駒水孝裕, 北川博之: GitHub と StackOverflow におけるユーザ行動の統一的な分析, 情報処理学会第 79 回全国大会, pp. 363–364 (Mar. 2017).
- [8] 柴藤大介, 有菌拓也, 宮崎章太, 矢谷浩司: CodeGlass:GitHub のプルリクエストを活用したコード断片のインタラクティブな調査支援システム, 情報処理学会インタラクシオン, vol.2019, pp.159–16 (Mar. 2019).
- [9] 一ノ瀬智浩, 畑 秀明, 松本健一: ソースコード上の技術的負債除去を活性化させるゲーミフィケーション環境の開発, 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, vol.2016, (Sep. 2016).
- [10] 三谷将大, 寺田 実: Web アプリケーションによるゲーミフィケーションを用いたプログラミング上達支援システム, 第 27 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, (Sept.2018).

- [11] 筒井 優, 岩澤京子: 初心者向けオブジェクト指向プログラミング学習ゲームの開発, 第76回全国大会講演論文集, 2014, pp. 631–633 (Mar. 2014).
- [12] 大村 裕, 渡部卓雄: プログラム理解のためのコードリーディング支援ツールの提案と実装, 日本ソフトウェア科学会講演論文集, vol.31, pp.44–446, (Sep. 2014).
- [13] 石尾 隆, 田中昌弘, 井上克郎: ソースコード上での情報タグ伝播によるコードリーディング支援, ウィンターワークショップ論文集, vol.2008, pp.31–32, (Jan. 2008).
- [14] Ubiquitous Wearable Workshop 2019, <http://cse.eeddept.kobe-u.ac.jp/uww2019/>.
- [15] Topcoder, <https://www.topcoder.com/>.
- [16] 浜地慎一郎: Code Golf, http://shinh.skr.jp/dat_dir/golf_prosym.pdf.
- [17] SECCON, <https://www.seccon.jp>.
- [18] Robocode, <https://robocode.sourceforge.io/>.
- [19] H.Tsukamoto et al: Programming education for primary school children using a textual programming language, In 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), vol. 2015, pp. 1–7 (Oct. 2015).
- [20] H.Tsukamoto et al: Textual vs. visual programming languages in programming education for primary schoolchildren, 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), IEEE, vol. 2016. p. 1–7 (Oct. 2016).
- [21] M.Resnick et al: Scratch: programming for all, Communications of the ACM, 52(11), pp. 60–67 (Nov. 2009).
- [22] 原田康徳: 子供向けビジュアル言語 Viscuit とそのインタフェース, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), vol. 2005, pp.41–48 (Nov. 2005).
- [23] S.Kanemune et al: Dolittle: an object-oriented language for K12 education, EuroLogo, vol. 2005, pp. 144–153 (Aug. 2005).
- [24] LivecodeLab, <https://livecodelab.net/>.
- [25] Hydra, <https://hydra.ojack.xyz/>.

- [26] L.Ju: Just For Fun: using programming games in software programming training and education, Journal of Information Technology Education: Research, 2007, pp. 279–290 (Jan. 2007).
- [27] J.Shi et al: Pyrus: Designing A Collaborative Programming Game to Promote Problem Solving Behaviors, Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 656, pp. 1–12 (May. 2019).
- [28] J.Moreno: Digital competition game to improve programming skills, Journal of Educational Technology & Society, vol. 15(3), pp. 288–297 (July. 2012).
- [29] 水口 充：成績評価のためのプログラミングゲームの設計と実践, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), vol. 2016, pp. 1–7(July. 2016).
- [30] 増谷海人, 赤澤紀子：仮想現実を用いた初学者向けプログラミング学習システムの提案, 2018 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, vol. 2018, (Sep. 2018).
- [31] Esprima, <https://esprima.org/>.
- [32] T.J.McCabe: A complexity measure, IEEE Transactions on software Engineering, vol. 1976, pp. 308–320 (Dec. 1976).
- [33] escomplex, <https://github.com/escomplex/escomplex>.

対外発表一覧

- [1] 岡 大貴, 西田健志: ゲーミフィケーションによるコードリーディングの促進, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, vol. 2019, pp. 346–349(Sep. 2019).
- [2] 岡 大貴, 西田健志: エンターテインメントを用いたコードリーディング促進手法の提案, ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2019 論文集, vol. 2019, p.59(Dec. 2019).
- [3] 岡 大貴, 西田健志: 競技性・観戦性を拡張したプログラミングゲームの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, vol. 2020, pp.166–169(Sep. 2020).