

プログラミング初学者向けコンテストシステム

坂本 一憲 鷲崎 弘宜 深澤 良彰

プログラミングコンテストは効果的にプログラミングを学習できる教育手法として注目を浴びており、様々な教育機関にてコンテストシステムの導入が進んでいる。一方、コンテストは企業の人材採用のために実施されていることが多く、プログラミングに習熟した学生やプログラマーを対象としたものが主であり、初学者を対象としたコンテストとコンテストシステムの普及が進んでいない。

本論文では、問題を解くプログラムのソースコードの代わりに、出力データの提出を求めるようなコンテストとシステムを提案する。提案コンテストではプログラムを作成して問題を解かなくとも、電卓や表計算ソフトで出力データを求めて解くことができる。提案コンテストを早稲田大学の学部 2 年生に対して実施して、その際のコンテストの事前と事後のアンケート調査の結果から有効性を評価する。

Programming contests are getting the attention of educators due to the educational effectiveness. Various educational institutions are employing programming contests for educational purpose. However, most existing programming contests target students and programmers who have high programming skills because such contests are held to hire excellent students and programmers. Thus, few programming contests for programming beginners exist.

In this paper, we propose a programming contest system for programming beginners. Our contest requires only outputs corresponding to problems and inputs instead of source code of a program which results the outputs. Contestants can solve problems in our contests by using calculators and spreadsheet software without coding. We hold a programming contest for bachelor students of the 2nd year degree at Waseda University with our contest and our system to evaluate them with questionnaire investigation.

1 はじめに

プログラミングコンテストは競争という概念をプログラミングに持ち込むことで、参加者の意欲を向上させる効率的なプログラミングの教育手法である [9,10]。競争はしばしばゲームの要素としても扱われており、ゲームの要素をゲーム以外の分野に導入することで、意欲の向上を図るゲーミフィケーションとして活用されることが多い [2]。また、プログラミングコンテストの有用性やコンテストにおいて勝利するための方

法が分析されている [3, 4, 11]。

プログラミングコンテスト(以降、コンテスト)にはいくつかの種類があり、入力に対して求めるべき出力の仕様が問題として与えられ、与えられた問題を解くプログラムを如何に正確かつ早く作成するかを競うコンテスト [1] や、与えられた問題に対してできる限り高速に動作するプログラムを作成するコンテスト^{†1}、与えられた問題に対してできる限り少ない字数でコードを記述するコンテスト^{†2}、与えられた問題に対してできる限り可読性の低いコードを記述するコンテスト^{†3}、もしくは、ゲームのコンピュータプレイヤーを操作するコードを記述して、ゲームの中で対戦させることで競い合うコンテスト [8, 12] などが存在

A Programming Contest System for Programming Beginners

Kazunori Sakamoto, 国立情報学研究所, National Institute of Informatics.

Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, 早稲田大学基幹理工学部情報理工学科, Dept. of Computer Science and Engineering, Waseda University.

†1 <http://sortbenchmark.org/>

†2 <http://codegolf.com/>

†3 <http://www.ioccc.org/>

する．本論文では最初に挙げた，与えられた問題を解くプログラムを正確かつ早く作成するコンテストを対象とする．なお，日本国内では競技プログラミングとも呼ばれている [?] ．

現在，教育目的で様々なコンテストが開催されている．例えば，著名なアメリカのコンピュータ学会 ACM (Association for Computing Machinery) では，国際大学対抗プログラミングコンテスト (International Collegiate Programming Contest; ICPC) [1] を毎年開催しており，2009 年度には全世界 82 国から 1,931 大学，約 22,000 人が世界各国で開催された ICPC の地区予選に参加した．なお，ICPC は 3 人 1 組のチームで競い合うため，作業分担やチームワークについて学習することもできる．その他にも，高校生を対象とした国際情報オリンピック^{†4}や，会津大学が主催するパソコン甲子園^{†5}や愛媛大学が主催する EPOCH@まつやま^{†6}などが挙げられる．

一方，コンテストは教育目的以外にも企業の人材採用活動の一環として開かれる場合や，ソフトウェアのコンポーネントの一部をコンテストを通して参加者に開発してもらおうコーディング作業のアウトソーシングの一環として開かれる場合がある．前者を目的としたコンテストとしては，Google 社の Google Code Jam^{†7}や，Facebook 社の Facebook Hacker Cup^{†8}，KLab 社の天下一プログラマーコンテスト^{†9}などがある．また，人材採用とアウトソーシングの両方を目的としたコンテストとして，TopCoder 社の TopCoder^{†10}がある．

上述のようなコンテストを実施するため，もしくは，自由に利用できる練習の場を設けるために，様々なコンテストシステムが開発されている [5-7] ．特に，Web 上で利用可能なコンテストシステムはオンラインジャッジシステムとも呼ばれ，オンラインジャッジシステムの運営団体により練習を目的としたコンテストが開催

されることもあれば，スポンサー企業を募り上述のような目的のためにコンテストが開催されることもある．現在，Web 上で利用可能なコンテストシステムとしては，北京大学の PKU Judge System^{†11}や，会津大学の Aizu Online Judge^{†12}，その他にも，UVa Online Judge^{†13}，Sphere Online Judge^{†14}，Codeforces^{†15}，Project Euler^{†16}，AtCoder^{†17}などがある．

一般に，コンテストは競争により勝者を決めるという性質から，プログラミング中級者以上を対象とした教育効果は見込めるものの，プログラミング初学者にとってはそもそも問題がまったく解けなかったり，あるいは，問題の解法が思い付いてもプログラムとして作成できなかったりするため，プログラミング初学者に対する教育として利用することが難しいケースがある．

そこで，本論文ではコーディング以外の方法でも解くことができる問題を用いたコンテストおよびコンテストを開催するためのコンテストシステム Waseda Programming Contest System (WPCS) を提案する．WPCS では，仕様となる問題文に加えて，具体的な入力を全て公開して，入力から求めるべき出力結果だけをシステム上で提出させる仕組みを提供する．そのため，参加者はプログラムを作成して出力結果を求めても良いし，もしくは，手計算や電卓，表計算ソフトなどを用いて出力結果を求めても良い．

WPCS は問題を解く手段をプログラミングだけに制限しないことで，プログラミングコンテストへの参加の敷居を下げ，加えて，プログラミングコンテストの雰囲気を経験したり，プログラミングによって解ける問題を別の手段で解けるようにする．これにより，WPCS および WPCS を利用するプログラミングコンテストが，1) プログラミングの面白さ，2) プログラミング習得の必要性，3) チームワークの重要性，4) チームワークの難しさについて参加者に学習

†4 <http://www.ioinformatics.org/>

†5 <http://web-ext.u-aizu.ac.jp/pc-concours/>

†6 <http://epoch.cs.ehime-u.ac.jp/>

†7 <https://code.google.com/codejam/>

†8 <https://www.facebook.com/hackercup>

†9 <http://tenka1.klab.jp/>

†10 <http://www.topcoder.com/>

†11 <http://poj.org/>

†12 <http://judge.u-aizu.ac.jp/onlinejudge/>

†13 <http://uva.onlinejudge.org/>

†14 <http://www.spoj.com/>

†15 <http://codeforces.com/>

†16 <http://projecteuler.net/>

†17 <http://atcoder.jp/>

させ、また、プログラミング習得への意欲を高めることが目的である。

WPCS の開発およびコンテスト用の問題作成などを含めた、コンテストの開催活動を早稲田大学基幹理工学部情報理工学科に所属する学部生 5 名、同大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻に所属する院生 4 名とともに、2013 年度の同学科学部 2 年生 100 名以上を対象としたオリエンテーションにおいて、実際に 1 時間半のコンテストを開催した。57 名から回収したアンケート調査の結果、参加した学部 2 年生において、コンテスト参加前と後で上述の 5 つの観点について改善が見られた。

また、WPCS の開催およびコンテスト開催に携わった 9 名に対して、気付きや意識の変化についてインタビューを実施したところ、ソフトウェア開発における意識の改善が見られた。したがって、WPCS および WPCS を利用したコンテストは、参加者のプログラミングおよびチームワークに関する学習に効果がある上、また、学生によるコンテストの開催活動は一種のプロジェクト・ベースド・ラーニングであり、参加者と主催者の両方にとって高い学習効果のある教育活動であることが分かった。

本論文の主要な貢献点は以下の通りである。

- プログラムの代わりに出力結果のみの提出を求めるコンテストシステム WPCS の開発した点。
- Gmail や Facebook アカウントの OpenID によるログイン機能を備え、早稲田大学の学生以外も利用できるオープンソースソフトウェアとして公開している点^{†18}。
- WPCS を活用して 100 名以上の大学 2 年生を対象としたコンテストを開催した点。
- コンテスト参加者へのアンケート調査によりコンテストがプログラミングおよびチームワークに関する学習において有効であることを明らかにした点。
- 開催に携わった学生へのインタビュー調査によりコンテスト開催活動がソフトウェア開発に関する学習において有効であることを明らかにし

た点。

また、本論文が掲げる 2 つの研究課題 (Research Question; RQ) は以下の通りである。なお、1 つ目の研究課題はより粒度の小さい 5 つの研究課題に分けることができる。

- RQ1: WPCS を利用した出力結果のみの提出を求めるコンテストを通して、参加者が RQ1.1) プログラミングの面白さ, RQ1.2) プログラミング習得の意欲, RQ1.3) プログラミング習得の必要性, RQ1.4) チームワークの重要性, RQ1.5) チームワーク構築の難しさについて学習することができるか?
- RQ2: WPCS の開発およびコンテストの開催を通してソフトウェア開発に関する気付きが得られるかどうか?

2 プログラムの代わりに出力結果の提出を求めるプログラミングコンテスト

本節では、早稲田大学基幹理工学部情報理工学科の 2 年生を対象としたコンテストを開催にするにあたり、コンテストの目的・狙いとそれを満たすための問題およびルールの設計について議論する。

前節で述べたように既存のコンテストは優秀な参加者を見出すという目的を兼ねていることが多く、以下の様な特徴を持っていることが多い。

- ソースコードを提出して、コンパイルして得られたプログラムの出力結果で正誤判定を行う。
- コンテストで提示される問題数が少なく、各問題の難易度が高い。
- チームでの参加が認められない、もしくは、3 名で 1 組である。
- コンテストの実施時間が長く、3 時間を超えている。

前節で述べた全てのコンテストがソースコード提出を求めている。また、前節で述べた全てのコンテストのうち、ACM ICPC のみが、10 問以上の問題を与えて、かつ、チームでの参加を認めている。それ以外のコンテストは全て 10 問以下で個人参加のみが認められている。なお、いずれのコンテストも 3 時間以上を要する (ただし、予選は除く)。

^{†18} <https://github.com/TakenokoChocoHolic/wpcs>

一方、本論文が提案するコンテストでは、学部 2 年生のようなプログラミング初学者に対して、前節で述べた 4 つの要素を学習させ、また、プログラミング習得への意欲を高めることが目的である。特に、プログラミングの面白さや必要性に関しては、コンテスト中で問題を解いたという成功体験により、効果的に学習できると考えられ、したがって、上述のような特徴は提案コンテストには不向きである。また、成功体験を得るといった目的が最も重要であり、プログラミングにより問題を解かなくとも、電卓や表計算ソフトなどを用いて問題を解くことで、他の参加者とともに競い合ったという実感を得て、さらに、プログラムが問題を解く手順を自分で実施することでアルゴリズムについて学習できると考えられる。我々はこのような体験がその後のプログラミング学習において効果的な影響を与えたと考えた。

そこで、提案コンテストでは、プログラミング初学者が上述の項目について効果的に学習できるよう、以下のような特徴を備えている。

- 要求されている出力結果のみを提出して解答の正誤判定を行う。
- コンテストで提示される問題数が多く、各問題の難易度が低い。
- 3 名から 5 名程度のチームでの参加を認める。
- コンテストの実施時間が短く、2 時間以下である。
- 各問題に付き手計算や表計算ソフトで容易に解答できる入力と、プログラムを記述しなければ解答が難しい入力の 2 種類を用意する。

実際に、学部 2 年生に対して実施したコンテストは、上記すべての特徴を備えている。システムの使い方の説明したチュートリアル問題 2 問に加えて、17 問の問題を与え、1 時間半で 3 名から 5 名程度のチームで出力結果のみの提出で問題に取り組ませた。また、各問題に付き Small と Large という 2 種類の入力を用意した。つまり、合計 34 種類の正しい出力結果を投稿することで全問正解可能な問題を与えた。

3 プログラミングコンテストシステム

WPCS

前節で述べた特徴を備えたコンテストを開催するために、オープンソースなコンテストシステムである WPCS を Web アプリケーションとして開発した。

図 1 でコンテスト開催者と参加者が WPCS を利用するプロセスを示す。図 1 のように、WPCS では以下で挙げる 3 種類のユースケースが存在している。

- 1) 開催者が問題および出力結果データを登録する、
- 2) 参加者が登録された問題データを閲覧する、
- 3) 参加者が問題に対する解答として出力結果データを投稿する、

である。WPCS は Ruby on Rails を用いて開発されており、問題や正しい出力結果のデータを MongoDB に格納して保存している。開催者はコンテストの事前に必要なデータを登録しておき、コンテストでは参加者が問題を閲覧して、プログラム記述や電卓、表計算ソフトなどで出力結果を生成して、それを WPCS に投稿する。WPCS は単純に登録している正解の出力結果と照合して、同じであれば正解、そうでなければ不正解としてユーザに報告する。

Google Code Jam を初めとするいくつかのコンテストでは、問題の難易度と経過時間に基いて得点計算をして、合計得点によって競う仕組みを利用している。WPCS も同様の仕組みを持っており、各問題の Small と Large に対して点数を設定しておき、経過時間に応じて線形に得点が減っていき、コンテスト直後であれば設定した点数を、コンテスト終了直前であればその半分の点数が得点となる。

図 2 で WPCS が提供する Web ページ間の遷移図を示す。図 2 のように、WPCS では複数のコンテストを開催することを前提として作っており、各コンテストの中に複数の問題が存在している形式を取っている。また、チームでの参加を前提としているため、ユーザーページとグループページの両方が存在する。ログインする際はメールアドレス、ユーザー名、パスワードの入力を必要としており、メールアドレスが得られる Google と Facebook アカウントの OpenID でもログインおよびサインインが可能である。なお、管理者として WPCS にログインすると、コンテストや問題の編集機能が提供される。

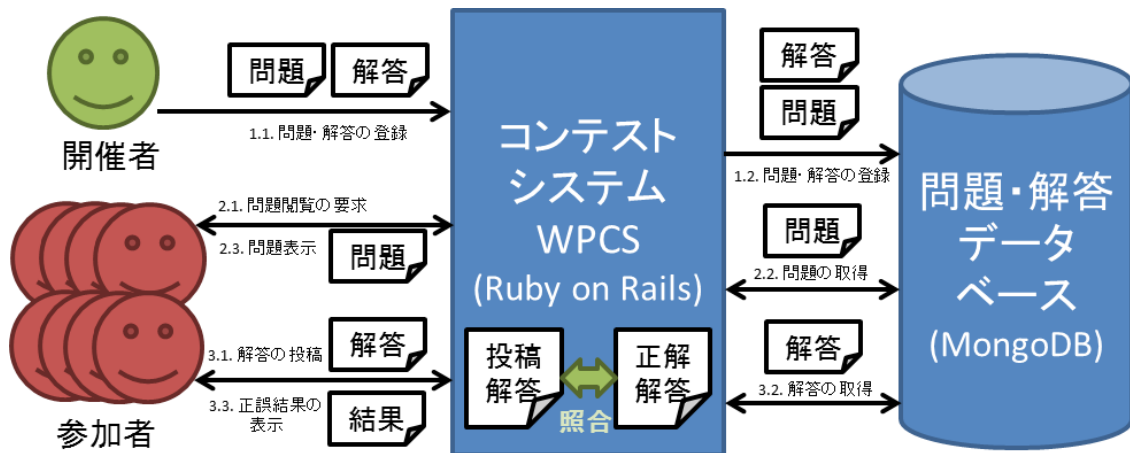


図 1 コンテスト開催者と参加者による WPCS の利用プロセス

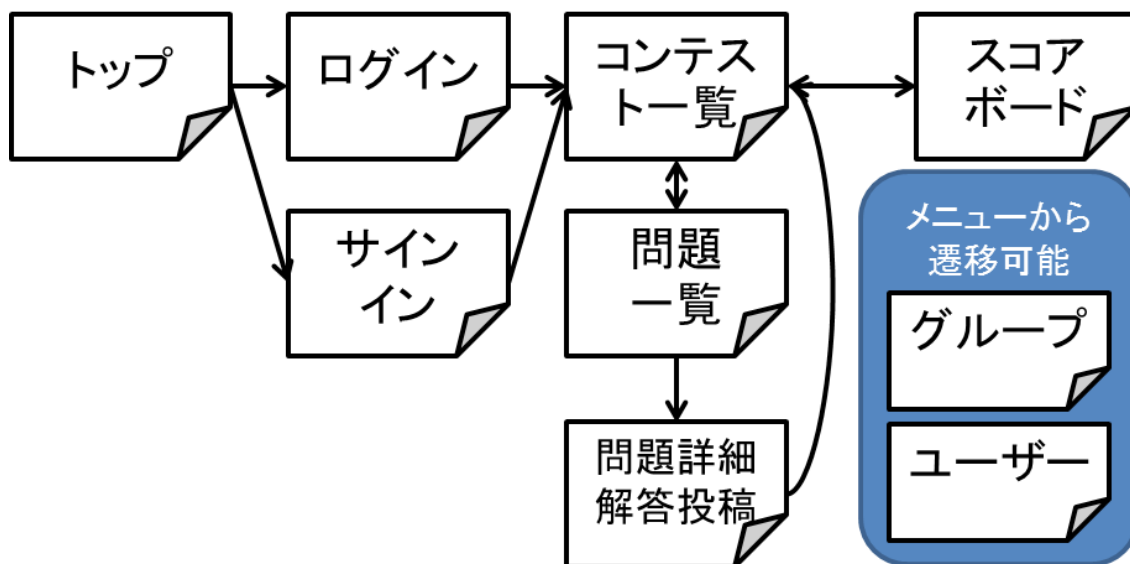


図 2 WPCS が提供する Web ページ間の遷移図

4 WPCS およびプログラミングコンテストの評価

4.1 早稲田大学の二年生オリエンテーションにおけるプログラミングコンテスト

早稲田大学基幹理工学部情報理工学科の 2 年生に対するオリエンテーションにてプログラミングコンテストを開催した。全部で 17 問の問題を用意して、そのうちの 2 問は解説用のチュートリアル問題である。表

1 でチュートリアル問題以外の用意した 15 問の問題の概要を示す。表 1 の Small と Large では正解チーム数と提出チーム数を記載しており、スラッシュ('/')の左側が正解チーム数で右側が提出チーム数を表している。なお、本コンテストには 43 チームの参加があった。

表 1 早稲田大学の二年生オリエンテーションにおけるプログラミングコンテストで使用した問題

問題	概要	Small	Large
C	整数列の中の最大値を計算	41 / 41	40 / 40
D	二次元平面上の 2 つの円の衝突を判定	35 / 39	22 / 30
E	文字ごとに 2 文字スキップした部分文字列を計算	38 / 41	7 / 10
F	整数列の各整数の頻度を計算	33 / 35	11 / 12
G	速度と時間が与えられて距離を計算 (ひっかけ問題)	20 / 32	7 / 10
H	小さな正三角形を正三角形として組み上げたときの正三角形の数を計算	39 / 40	25 / 29
I	石取りゲームにおける勝敗を判定	30 / 35	8 / 13
J	的当て投球のシミュレーション	30 / 34	1 / 7
K	整数の二次元配列において隣り合わせの数字の合計が 7 になる組み合わせ数を計算	31 / 33	2 / 5
L	ある文字列中から特定のパターンを満たす最長の部分文字列長を計算	28 / 28	13 / 16
M	離散的な二次元座標上で障害物の要素を導入して、将棋の飛車の移動可能な範囲を計算	28 / 31	18 / 19
N	惑星が直列に並ぶ周期を計算	3 / 4	3 / 3
O	プログラムを最適化する問題 (戻り値が同じ関数呼び出しを削除)	4 / 12	0 / 2
P	離散的な二次元座標上で特定の条件を満たす経路を動的計画法で計算	20 / 25	2 / 7
Q	有向グラフにおけるループの有無の判定	0 / 6	0 / 0

4.2 プログラミングコンテスト参加者へのアンケート調査

プログラミングコンテスト参加者に対してコンテストの事前と事後でアンケート調査を行った。表 2 と 3 にて、事前および事後のアンケート調査結果を示す。表中の列の 1,2,3,4,5,6,1-3 はそれぞれ、とてもそう思う、そう思う、少しそう思う、少しそう思わない、そう思わない、とてもそう思わない、とてもそう思う・そう思う・少しそう思うのいずれかの項目の回答率を示している。事前アンケートでは 125 名からの回答、事後アンケートでは 57 名から回答を得た。なお、アンケートは 2 年生のオリエンテーション全体に対する項目について調査をしており、プログラミングコンテストのみについて調査を行っている内容ではない。このことから、68 名の学生からは回答を得られていないが、一概にコンテストに対して、批判的な回答を持つ学生が無回答であったと捉えることはできないと思われる。

表 2 にて現れる全ての項目について、とてもそう思う・そう思う・少しそう思うのいずれかに対する回答率が向上しており、RQ1.1) プログラミングの面白

さ、RQ1.2) プログラミング習得の意欲、RQ1.3) プログラミング習得の必要性、RQ1.4) チームワークの重要性、RQ1.5) チームワーク構築の難しさ、についてそれぞれ学習効果が見られた。

一方で、とてもそう思うと答えた学生数が減っている。事前アンケート調査で強くポジティブな回答を出せる学生は、初学者ではなく他の学生よりも高いスキルを持っている学生と考えられる。本コンテストが初学者を対象としているため、かえってネガティブな効果をもたらしたと考えられる。

また、WPCS は十分なパフォーマンステストを実施しなかったため、コンテスト本番にて 100 名以上の同時接続に耐えることができず、しばしば Web アプリケーションが応答しなくなる問題が発生した。そのため、事後アンケート調査にてコンテストシステムが使いにくかったという回答が多数を占めている。一方、コンテストが面白いと答えた学生は 77.2% もおり、問題が起こったのにも関わらず良い結果が得られたことは、コンテスト自体は成功であったと言える。

コンテストの難易度に関しては概ね好意的な回答が多いが、否定的な回答をした学生の中では、難しす

表 2 プログラミングコンテスト参加者への事前アンケートの調査結果

アンケート内容	1	2	3	4	5	6	1-3
プログラミングを面白いかな?	18.4	28.8	34.4	12.8	2.4	3.2	81.6
プログラミングを学習したいかな?	27.2	42.4	24.8	2.4	0.0	3.2	94.4
プログラミングが自分にとって役立つ技術かな?	25.6	45.6	19.2	5.6	1.6	2.4	90.4
チームワークの重要性を感じているかな?	23.2	36.0	29.6	5.6	4.0	1.6	88.8
あなたにとってチームワーク作りは難しいかな?	11.2	16.8	37.6	22.4	9.6	2.4	65.6

表 3 プログラミングコンテスト参加者への事後アンケートの調査結果

アンケート内容	1	2	3	4	5	6	1-3
プログラミングを面白いかな?	15.8	40.4	35.1	5.3	1.8	1.8	91.2
プログラミングを学習したいかな?	22.8	50.9	21.1	3.5	0.0	1.8	94.7
プログラミングが自分にとって役立つ技術かな?	21.1	54.4	21.1	0.0	3.5	0.0	96.5
チームワークの重要性を感じているかな?	24.6	42.1	22.8	7.0	3.5	0.0	89.5
あなたにとってチームワーク作りは難しいかな?	14.0	24.6	36.8	15.8	8.8	0.0	75.4
プログラミングコンテストは面白かったかな?	12.3	33.3	31.6	14.0	1.8	7.0	77.2
コンテストの難易度は適切だったかな?	0.0	35.1	35.1	21.1	7.0	1.8	70.2
コンテストシステムは使いやすかったかな?	0.0	8.8	8.8	42.1	24.6	15.8	17.5
チームでの作業分担は上手かったかな?	0.0	15.8	50.9	10.5	19.3	3.5	66.7
来年度の 2 年生もコンテストに参加すべきかな?	15.8	14.0	38.6	8.8	10.5	12.3	68.4

ぎると答えた学生が 78.9%で、簡単すぎると答えた学生が 21.1%いた。どちらの学生も一定数いることから、コンテストの問題の難易度設定が難しいことが分かる。今後は、どちらの学生も満足できるような問題を揃えることを検討したい。

チームワークに関して作業分担が上手かったと答えた学生は 66.7%いるが、その一方で、チームワーク作りが難しいと答えた学生の回答率は増えている。本コンテストではチームワーク作りの難しさを伝えることを目的としており、学生が当初考えている以上にチームワーク作りが難しいということを学習させることに成功した。

事後アンケートに回答した 57 名の学生のうち、20 名 (35.1%) は来年度のコンテストに向けてコンテスト開催の協力に興味があると答えており、今後は、新 3 年生が新 2 年生のために WPCS を改善するというプロセスをとることで、プログラミングコンテストを継続性のあるイベントにしていきたい。

4.3 プログラミングコンテスト開催者へのインタビュー調査

WPCS の開発に携わったもしくはコンテストの問題を作問した 7 名の学生にインタビュー調査を行った。主要な意見を以下で取り上げる。主にソフトウェア開発の難しさに対する再認識が気づきとして得られた。したがって、RQ2 のソフトウェア開発に関する気づきを得ることができた。

- プログラミングが得意なメンバーが集まっていた、素晴らしいシステムが完成すると想像していたが、思うようなシステムを開発できなかった。自分たちが手を抜いていたわけではなく、ソフトウェア開発の難しさを改めて認識した。
- 作問をする際に参加者にとって理解しやすい問題文を記述することが難しかった。
- 開発メンバーの中でプログラミングに関して自分とは違う好みや作法を持つ者がいて、その多様性に驚いた。

- 初めてコードレビューを活用したソフトウェア開発に携わったが、非常により手法だと感じた。
- 開発メンバーの中で初心者に対して指導することが難しく、改めて複数人でのソフトウェア開発の難しさを実感した。
- もともと複数人での開発の難しさを感じていたが、開発チーム内でのコミュニケーションの重要性を再認識した。

5 まとめと今後の展望

本論文ではコーディング以外の方法でも解くことができる問題を用いたコンテストおよびコンテストを開催するためのコンテストシステム WPCS を提案した。WPCS では、問題に解答する際にソースコードの提出を求めず、電卓や表計算ソフトで求めた出力結果であっても提出が可能である。参加者にコーディングを強制しないことでコンテスト参加への敷居を下げ、その結果、RQ1.1) プログラミングの面白さ、RQ1.2) プログラミング習得の意欲、RQ1.3) プログラミング習得の必要性、RQ1.4) チームワークの重要性、RQ1.5) チームワーク構築の難しさにおいて学習効果があることをコンテストの事前 (125 名)・事後 (57 名) のアンケート調査にて明らかにした。また、WPCS の開発およびコンテストで出題する問題の作成に携わった学生 7 名にインタビュー調査を行ったところ、RQ2) 複数人でのソフトウェア開発の難しさを改めて認識するという気付きを得られたことが分かった。以上から、プログラミングコンテストの開催は開催者と参加者の両方に学習効果のある活動であると言える。

謝辞 WPCS の開発およびコンテストの問題の作成にご協力頂いた谷口直輝氏、佐藤靖治氏、高沢亮平氏、杉本元気氏、津村耕司氏、小林純一氏、木戸将貴氏、片山大地氏 (早稲田大学)、大田大地氏 (株式会社 ACCESS) に感謝する。また、コンテストに参加して頂いた早稲田大学基幹理工学部情報理工学科学

部 2 年生に感謝する。

参考文献

- [1] ACM: The ACM-ICPC International Collegiate Programming Contest Web Site sponsored by IBM.
- [2] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L.: From game design elements to gamefulness: defining "gamification", *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, MindTrek '11, ACM, 2011, pp. 9–15.
- [3] Forišek, M.: The Difficulty of Programming Contests Increases, *Proceedings of the 4th International Conference on Informatics in Secondary Schools - Evolution and Perspectives*, ISSEP '10, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010, pp. 72–85.
- [4] Gulley, N.: Patterns of innovation: a web-based MATLAB programming contest, *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, ACM, 2001, pp. 337–338.
- [5] Kurnia, A., Lim, A., and Cheang, B.: Online Judge, *Computers Education*, Vol. 36, No. 4(2001), pp. 299 – 315.
- [6] Leal, J. P. and Silva, F.: Mooshak: a Web-based multi-site programming contest system, *Softw. Pract. Exper.*, Vol. 33, No. 6(2003), pp. 567–581.
- [7] Luo, Y., Wang, X., and Zhang, Z.: Programming grid: a computer-aided education system for programming courses based on online judge, *Proceedings of the 1st ACM Summit on Computing Education in China*, SCE '08, ACM, 2008, pp. 10:1–10:4.
- [8] Sakamoto, K., Ohashi, A., Washizaki, H., and Fukazawa, Y.: A Framework for Game Software Which Users Play through Artificial Intelligence Programming (in Japanese), *IEICE Transactions*, Vol. 95, No. 3(2012), pp. 412–424.
- [9] Salenieks, P. and Naylor, J.: Professional skills assessment in programming competitions, *SIGCSE Bull.*, Vol. 20, No. 4(1988), pp. 9–14.
- [10] Shilov, N. V. and Yi, K.: Engaging students with theory through ACM collegiate programming contest, *Commun. ACM*, Vol. 45(2002), pp. 98–101.
- [11] Trotman, A. and Handley, C.: Programming contest strategy, *Computers Education*, Vol. 50, No. 3(2008), pp. 821 – 837.
- [12] 坂本一憲, 大橋昭, 志水理哉, 高橋周平, 村上真一, 鷲崎弘宜, 深澤良彰: コンピュータプレイヤー同士の対戦を通じたプログラミングコンテストのパターンランゲージ, *Proceeding of the 2nd Asian Conference on Pattern Languages of Programs*, AsianPLoP, 2011, pp. 1–18.