

ゲーミフィケーションを活用した 数学学習を支援する Web アプリ開発

中村 晃輔¹ 松尾 洋幸² 吉田 裕行³ 日熊 隆則⁴ 岡本 牧子⁴ 宮田 龍太^{3,a)}

概要: 本研究では、数学の苦手な中学生が苦手の克服に必要な演習回数をかせぐためにスマートフォンやタブレットによりゲーム感覚で小学校の算数や中学数学に取り組める Web アプリケーションを開発する。具体的には、単純に問題を解くだけでなく、自分の分身となるキャラクターでダンジョンマップを進める中で、敵キャラクターとともに問題が出題される。その問題に正解すると敵を倒す演出が表示されるゲーム要素を加えた。最後に、開発したアプリを日熊らの補習に参加している中学生にモニターとして使用してもらいイベントを実施した結果について述べる。

NAKAMURA KOSUKE¹ MATSUO HIROYUKI² YOSHIDA HIROYUKI³ HINOKUMA TAKANORI⁴
OKAMOTO MAKIKO⁴ MIYATA RYOTA^{3,a)}

1. はじめに

沖縄県は中学生の全国学力・学習状況調査の数学の成績が11年連続最下位である。これを受けて沖縄県教育庁は全国学力テストの最下位脱出を最重要課題としてかかっている。

その問題を改善すべく、これまでの研究 [1] で、数学学習を支援するアプリケーションの開発を行い、日熊らが行っている数学の補習に導入し、数学の習熟度向上の効果を検証した。このアプリの課題を最後まで達成する生徒もいたが、問題点として途中でアプリの利用をやめる生徒がいた。そこで本研究では、このような途中でやめてしまう生徒を減らすべく、数学に苦手意識をもつ中学生が数学の基礎である小学算数から学び直す Web アプリケーションを開発する。これまでのアプリでは、問題に正解しても次の単元の問題に挑戦できること以外にフィードバックが与えられていなかった。しかし、本研究で開発したアプリでは自分自身の分身となるキャラクター（アバター）に加え、このア

バターでダンジョンマップを進めていくことや問題に正解することで敵キャラクターを倒す演出といった仕様を追加することで、数学問題の演習の更なるゲーミフィケーションを図った。

2. アプリケーション

2.1 アプリ仕様とゲーミフィケーションとの対応

ゲーミフィケーションとは、「日常生活の様々な要素をゲームの形にする」ことである [5]。ここで述べるゲームとは、Suits が定義した「取り組む必要のない障壁を、自発的に越えようとすること」を指す。さらに、McGonigal はゲームの特徴として、以下の4項目を定義した：

ゴール プレイヤーが達成すべき目標

ルール プレイヤーがゴールに達する上での制約

即時フィードバック プレイヤーのゴールまでの進捗状態

自発的な参加 プレイヤーによる上記3項目の理解・受容

この4項目のうちとくに即時フィードバックが従来の学習では不足している。この点を開発したアプリではダンジョンの階層や敵を倒す演出といった視覚効果により対応づけた。具体的な上記4項目とアプリ効果との対応は下記の通りである：

ゴール アプリで出題されるすべての単元の問題が解ける

ルール 制限時間内に Web アプリ上で解答送信。計算には紙とペンを使うことを推奨

即時フィードバック 敵を倒す演出、ダンジョン攻略度や

¹ 琉球大学大学院理工学研究科
Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

² 琉球大学大学院教育学研究科
Graduate School of Education, University of the Ryukyus

³ 琉球大学工学部
Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

⁴ 琉球大学教育学部
Faculty of Education, University of the Ryukyus

a) miyata26@tec.u-ryukyu.ac.jp

アイテム取得状況等のステータス

自発的な参加 日熊らの補習でアプリで遭遇した疑問点を質問

2.2 アプリ開発環境

本研究ではアプリを Unity[2] を用いて開発し、WebGL 形式でビルドすることで Web アプリケーションとした（詳細は例えば [3] を参照）。この Web 形式により Web サーバーへ設置することで、PC やスマートフォンなど使用するプラットフォームを限定せず Web ブラウザを通して使うことができる。

また、アプリケーションは PHP を介して MySQL で構築したデータベース（図 1）と連携することで、ユーザー情報（ユーザー名やパスワードなど）の参照や問題の解答履歴といったアプリの使用履歴の保存を行う。図 2 は Web ブラウザからアクセスしたアプリのログインページである。ユーザー名およびパスワードは事前に生徒たち各々に 4 文字以上 16 文字以内の英数字の範囲で希望をきき作成した。これらユーザー名およびパスワードをログインページ（図 2）で入力することでログインする。

2.3 アプリで出題される算数・数学の単元

アプリ内で出題される学習対象単元を表 1 に示す（小河式 [4] を参考にした）。No. 1 から No. 5 までは小学算数の範囲、No. 6 以降は中学 1 年生で習う数学の範囲である。問題は数値や演算子、問題文（比の問題や割合の問題など）をランダムに変化させて出題され、数値まで含めた同一の問題が続けて出ないように配慮する。

2.4 アプリ仕様

開発したアプリにログインすると、まずタイトル画面が表示される（図 3(a)）。画面をタッチすることで、ロード画面（図 3(b)）に遷移し、その後ステージ選択画面（図 3(c)）に遷移する。ロード画面は画面遷移の動作軽量化およびデータベースにアクセスして必要なユーザー情報の取得のために用意した。そのため、画面を遷移する際には基本的に毎回ロード画面を経由する。ステージ選択画面（図 3(c)）ではユーザーのアバターが表示されており、行き先をタッチすることでアバターがその場所まで移動する。移動が終わると、ロード画面（図 3(b)）を経由して、目的のステージ画面へ遷移する。

開発したアプリケーションが持つ主な機能として、次の 4 つのステージがある：

- (1) テスト形式の問題の出題・解答する機能（図 3(c) 学校マーク）
- (2) ダンジョンマップを進めながら、敵とともに問題が出題される機能（図 3(c) ピラミッドマーク）
- (3) 問題の種類を選び、練習する機能（図 3(c) 花畑マーク）

- (4) アプリのプレイ状況やランキングなどを確認する機能（図 3(c) 家マーク）

2.4.1 テストステージ

1 つ目テストステージは、小学算数から中学数学の 1 年生までの内容から全 18 問の問題（表 1 の単元ごとに 2 問ずつ）が出題される（図 4(a)）。テストステージでは制限時間（20 分）を設定しており、右上に表示される、制限時間内では紙のテストと同様に自分が解ける問題からタッチにより選択し、解答することができる。

解答の入力は画面下部のキーボードボタン群から行う。分数の解答には「/」を使い、「27/4」のように入力することで、図 4(b) の Q5 の解答「 $\frac{27}{4}$ 」のように分数表示に切り替わる。なお、これら解答の入力方法および表示の仕組みはこのステージに限らず共通である。

また、図 4(a) および (b) の上部にある「全て解答」ボタンは全 18 問の解答入力後に一度に全ての解答結果を表示することができる。図 4(c) 回答結果画面では、問題ごとに正誤に応じて○×が付けられる。間違っている場合には、回答欄横に赤字で正解が表示される。

2.4.2 ダンジョンステージ

2 つ目は、問題をただ解くだけでなく、自分の分身となるキャラクター（アバター）を操作して、ダンジョンマップを進めていくステージである（図 5(a)）。進めていく中で敵が問題とともに出現し、解答する（図 5(b)）。問題に正解すると敵を倒す演出がなされ先に進めるが（図 5(c)）、不正解の場合には元の位置に戻ってしまう。

マップには隠された階段が 1 つあり、そこまで進めると階段を守る敵（ボス）と戦うことになる（図 6）。ボス戦では問題が 3 問出題され、全て正解することでボスを倒すことができ、次の階層へ進める。出題される問題により制限時間があらかじめ決められているものに従う。階層を進めるごとにマップが大きくなり、制限時間が短くなっていくことで難易度を表している。ただし、アプリの動作性の関係からマップサイズには上限、難易度の関係から制限時間には下限を設定している。なお、階層自体の限界についてはプログラムの仕様上は制限がない。

また、ダンジョンの探索中にアイテムが手に入ることがある。手に入るアイテムには種類があり、ランキングに関係するコレクション用のものとダンジョンステージで階段の位置がわかるもの（図 6）がある。

2.4.3 練習ステージ

3 つ目は、問題の種類を選び、集中的に練習することができる（図 7）。このステージでは、制限時間は設定していないため、時間をかけて問題の解答を考えることができる。

2.4.4 ステータスステージ

4 つ目は、問題の解答履歴（図 8(a) および (b)）やプレイ状況のまとめ（図 8(c)）、プレイ状況に応じて手に入る称号（図 8(d)）、獲得したアイテム（図 8(e)）、他のユーザーとの

ランキングを確認することができる (図 8(f)).

図 8(a) では, テストステージの履歴が確認できる. 上部には過去のテスト結果が折れ線グラフで表示される. 下部には各回の全ての問題と解答, 正解の履歴が表示される.

図 8(b) では, ダンジョンステージの問題解答履歴が表示される. 履歴は最近 10 件の問題が解答と正解とともに表示される.

図 8(f) ではランキングを確認することができ, 他のユーザーとの進捗の比較ができる. ランキングの種類は図 8(f) に表示されている称号の獲得数に加え, ダンジョンステージの問題数やテストステージの実施回数などの主に図 8(c) で確認できる項目がある.

3. 補習への導入

10 月 27 日に開発したアプリケーションを日熊らの補習に参加する 8 名の中学 1 年生 (男子 7 名, 女子 1 名) へ導入した. アプリの説明を約 15 分を行い, その後生徒たちに実際に 1 時間程度使用してもらった. その時の様子を図 9 から図 12 に示す. モニターは補習の教師としてボランティア参加する教育学部学生の所有するスマートフォンを生徒たちに貸し出して行った.

普段, この生徒たちはワークと呼ばれる問題集に取り組んでいるが, すぐに集中が途切れて進みが悪い. しかし, 本研究のアプリを使用してもらったところ, 集中的に取り組んでいた. このため, 当初予定していた 30 分のモニター時間を延ばし, 1 時間程度行った.

4. おわりに

本研究では, ゲーミフィケーションを活用した数学学習を支援する Web アプリを開発した. また, 開発したアプリを日熊らの行う数学の苦手な中学生を対象とした補習に導入した. その結果, アプリに真剣に取り組む一方で, すぐに解けない問題からは「逃げる」を選択する生徒たちがいた. 今後の課題として, このような生徒たちを問題に取り組みたくなるようなアプリの工夫 (例えば, 対戦機能など) やアプリのログ解析が挙げられる. また, 補習とアプリの相互作用についても調査していきたい.

謝辞 本研究にご協力いただいた沖縄市立美東中学校の生徒たちおよび関係者の皆様に深謝する.

参考文献

- [1] Nakamura K., Furuta R., Irei T., Matsuo H., Hinokuma T., and Miyata R.: *A case study to find an effective re-learning order of arithmetic for junior-high school students*, Winter Workshop on Mechanism of Brain and Mind 2018, P1-1 (2018).
- [2] Unity Technologies: Unity, <https://unity3d.com/jp> (2018.11.07).
- [3] 北村愛実: Unity5 の教科書 2D & 3D スマートフォンゲーム入門講座, SB クリエイティブ (2016).

- [4] 小河勝: 小河式プリント中学数学基礎篇改訂新版 (未来を切り開く学力シリーズ), 文藝春秋 (2010).
- [5] McGonigal J: *Reality is broken : Why games make us better and how they can change the world*, Penguin Books (2011).

←T→	userid	username	grade	avatar	rate	n_login
<input type="checkbox"/>	100	btdcyj2018	99	15	1500	4
<input type="checkbox"/>	101	sin515	99	0	1500	3
<input type="checkbox"/>	102	KANON	1	18	1500	16
<input type="checkbox"/>	103	Akari	1	20	1500	9

図 1 アプリのユーザー情報などを管理するデータベース (一部抜粋). ログインページ (図 2) の入力内容 (ユーザー名およびパスワード) はここを参照することでログインを許可/拒否できる.

👤 ユーザ名

🔒 パスワード

図 2 アプリのログインページ.

表 1 アプリケーションの学習対象単元 ([4] を参考).

No.	単元	例題
1	整数の四則演算	$67 + 13 = ?$
2	小数の四則演算	$4.5 \times 14 \div 0.9 = ?$
3	分数の四則演算	$\frac{3}{5} + \frac{3}{4} = ?$
4	百分率, 四捨五入, 倍数, 約数	次の 2 つの数の最小公倍数を求めなさい 4, 6
5	比, 比例, 割合, 濃度	水槽に毎分 4L 入る水道がある. 2 分後には何 L になっていますか
6	正の数・負の数	$-4 \times (-2 - 5) - 2 = ?$
7	文字と式	$-x \times (-x) = ?$
8	一次方程式 (基本)	次の方程式を解きなさい $3x = 7x$
9	一次方程式 (応用)	次の方程式を解きなさい $-\frac{2}{5}x = 4$



図 3 (a) タイトル画面 (b) ロード画面 (c) ステージ選択画面

図 3 アプリの (a) タイトル画面および (b) ロード画面, (c) ステージ選択画面. (a) はログインすると最初に表示されるアプリのタイトル画面である. お知らせ欄より上部をタッチすることで, (b) ロード画面を経由して (c) ステージ選択画面に遷移する. (b) ロード画面は画面遷移の動作軽量化およびデータベースにアクセスして必要なユーザー情報の取得するために用意した. そのため, 画面を遷移する際には基本的に毎回ロード画面を経由する. なお, 十分なネット環境下であれば十数秒程度で次の画面に遷移する. (c) ステージ選択画面の左中央の白い鳥はユーザーの分身であるキャラクター (アバター) を表す. 黒い 4 つのマーク (学校・ピラミッド・花畑・家) はステージの行き先を表す. 学校マークはアプリ上でテスト形式で問題に取り組めるステージである. ピラミッドマークはダンジョンマップを進める中で敵とともに問題が出題されるステージである. 花畑マークは単元 (表 1) を選んで集中的に学習に取り組めるステージである. 家マークはステータス (アプリの使用状況) やランキングを確認するステージである. 行き先をタッチすることでアバターが行き先のマークまで移動し, 画面が遷移する.



図 4 (a) テスト画面 (b) 分数の解答入力・表示 (c) 解答結果画面

図 4 アプリのテストステージ画面. このテストステージでは制限時間 (20 分) を設定しており, (a) 問題解答画面では右上に表示される, 制限時間内では紙のテストと同様に自分が解ける問題からタッチにより選択し, 解答することができる. 解答の入力は画面下部のキーボードボタン群から行う. 分数の解答には「/」を使い, 「27/4」のように入力することで, (b) の Q5 の解答「 $\frac{27}{4}$ 」のように分数表示に切り替わる. なお, これら解答の入力方法および表示の仕組みはこのステージに限らず共通である. また, (a),(b) の上部にある「全て解答」ボタンは全 18 問の解答入力後に一度に全ての (c) 解答結果を表示することができる. (c) 回答結果画面では, 問題ごとに正誤に応じて○×が付けられる. 間違っている場合には, 回答欄横に赤字で正解が表示される.



図 5 アプリのダンジョンステージ画面. (a) 初期状態では中央部のマップの左上に自分の分身となるキャラクター (アバター) が位置している. アバターの位置から上下左右に隣接する●が表示された地点をタッチすることで, アバターが移動する. 移動後には敵と遭遇することがあり, 遭遇すると (b) の戦闘 (問題出題) 画面に切り替わる. (b) で出題される問題はランダムに単元が選ばれる. 出題される問題には「攻撃 (解答)」するもしくは「逃げる」ことができる. 「攻撃」すると正誤判定がされ, 正解すると (c) に切り替わり, アバターの位置がタッチした隣接地に移動が完了する. 一方で, 不正解や「逃げる」をした場合は, アバターの位置は移動前の (a) の状態に戻る. また, 敵と遭遇しなかった場合はアバターはそのままタッチした隣接地 (c) に移動を完了する.



図 6 階段が見つかった状態のダンジョン画面。階段は通常隠されており（図 5）、アイテムを使うまたはマップの探索により見つけるのいずれかによりマップ上に表示される。

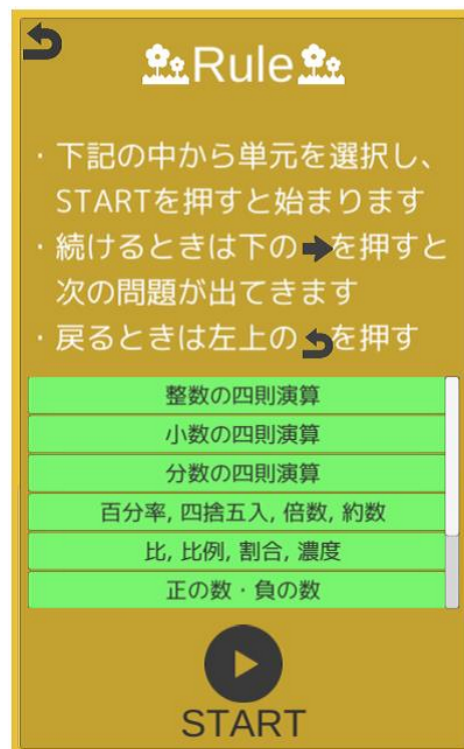


図 7 アプリの練習問題選択画面。緑色のボタンが表 1 の単元を選択するボタンである。単元を選択後、下部の START ボタンをタッチすることで問題が出題される。



図 8 アプリのステータスステージ画面。この画面では、共通して上部にユーザーの分身となるキャラクター（アバター）が表示される（図では白い鳥）。(a) テストステージの履歴画面では、上部に過去のテスト結果が折れ線グラフで表示される。下部には各回の問題と解答する履歴が表示される。(b) ダンジョンステージの問題解答履歴では、最近 10 件の問題とその解答・正解が表示される。(c) プレイ状況のまとめでは、各ステージのプレイ状況・進捗状態を数値で表示される。(d) ユーザーの称号の獲得状況の一覧では、称号は前述のアバターと 1 対 1 で対応しており、設定した称号に応じてアバターも変更される。現在設定されている称号はアバターの下方に表示された「Quiz ☆☆」である。この下に一覧表示された称号は、獲得済のものは色付きのキャラクター画像と称号名、概要が表示される。一方、未獲得の場合は画像がシルエットとなり、ゲージが表示される。このゲージの青色は称号獲得までの進捗率を表しており、右端に達すると獲得となる。(e) ユーザーが所持するアイテム一覧画面。所持しているアイテム（隠された階段の位置が表示されるなど）が表示される。(f) ランキングでは、他のユーザーと自分との進捗の比較ができる。ランキングの種類は (f) に表示されている称号の獲得数に加え、ダンジョンステージの問題数やテストステージの実施回数などの主に (c) で確認できる項目がある。人型のシルエットの下に表示された「1 位: 17」は自分の順位とスコア（この場合は称号の所持数）を表す。この下に一覧表示されているのは、自分または他のユーザーの「順位: スコア 設定アバター画像 ユーザー名」を表す。



図 9 生徒たちにアプリを説明中の様子.



図 10 生徒たちのアプリ試用の様子.



図 11 生徒たちにアプリのテストを実施中の様子.

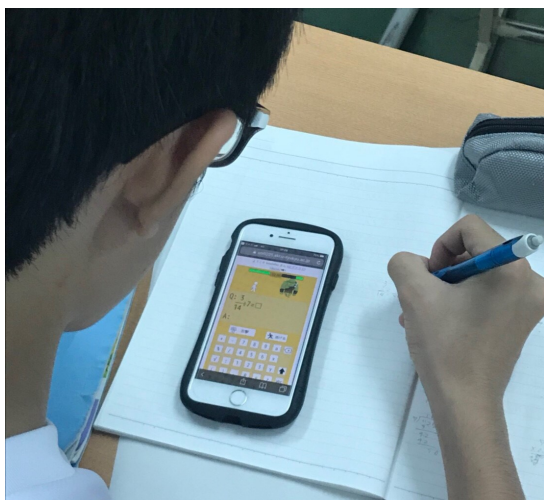


図 12 生徒たちがアプリのダンジョンをプレイ中の様子.