

## 3D エンジンを利用した C プログラミング教育用教材 Teaching Materials for C Programming using 3D Engine

堀田 忠義

Tadayoshi Horita

This paper reports teaching materials of C-programming for first-grade students of Polytechnic University of Japan. Our developed materials consist of 1) the programming software part, 2) a textbook for students, and 3) Moodle contents. The part 1) consists of the free version Microsoft Visual Studio, the free 3D engine "irrlight", and sample C source files which denote an RPG(role playing game)-like 3D visual world. In that world, a main character can act only by C-program codes typed by students, and some items such as a shotgun and a robot, an evil boss character, and events related to them are prepared. This means that students can check the correctness of their own programs by observing the acts and events. These characteristics in the part 1) gives some intrinsic motivations to students. The effectiveness of our developed materials are evaluated in classroom practices.

Keywords: C programming, teaching material, 3D engine, intrinsic motivation, cost-free

### 1. はじめに

職業能力開発総合大学校[1] (以下「PTU」と略記する)の総合課程(4年学修の学士課程)の1年生向けに開発した、C プログラミング教育のための教材について報告する。開発した教材は、1)教材システム部分、2)学生用の課題(実習用テキスト)および3)自動採点タイプの小テストのコンテンツから構成される。特に1)教材システム部分では、マイクロソフト社の Visual Studio[2](無償版)およびオープンソースの3Dエンジンである irrlight(イルリヒト)[3]を使用し、3D 仮想空間の設定および描画のための環境やプログラムのサンプルコードを開発している。また後で詳しく述べるが、それらは学生に対する内発的な動機付けの効果を期待できる。

開発教材を用いた授業実践も行っており、その手順は以下の通りである。実習形式の授業において、教材システムを使う必要のある学生用の課題を学生に課す。その授業の実施前と実施直後で、自動採点タイプの小テスト(Moodle[4])の小テスト形式を利用して開発)によるテストを学生に課す。そのテストの結果から得られたデータより、提案教材の有効性について述べる。

本論文は、文献[5]に更なる考察を加えて拡張したものである。

### 2. 教材システム部分の特徴

開発した教材の中の、特に教材システム部分の特徴を以下に列挙する。

#### 2.1 内発的な動機付けの要素

前述の「3D 仮想空間の設定および描画」は、授業対象の大半の学生が過去に遊んだ経験があるビデオゲーム(以下「ゲーム」と略記する)に見られる、いくつかの要素を提供している。例えば仮想空間においては、キャラクター(主人公、仲間および悪役)、アイテム、条件に応じたイベントの発生など、いわゆるロールプレイングゲーム(RPG)に見られるような設定が施されているため、学生の好奇心を掻き立てうる。また実行時の見栄えはリアルタイムな3DCGであるため、いわゆる CUI ベースの開発環境と比較してとても魅力的と言える。

加えて、この教材システムにおいて一般のゲームと大きく異なる点は、仮想空間内で主人公を動かす手段が、マウスやジョイスティックなどの道具(ツール)を用いるのではなく、学生が考えて入力するプログラムコードである点である。つまり学生は、前述の学生用の課題として仮想空間内で達成すべき「目標」を主人公が達成できるようにするために、正確なプログラムを考え入力したい、という動機付けを与えられる。そして学生は、主人公の「動き」およびそれに伴った仮想空間内で起こるイベントによって、自分が入力したプログラムが正しいかどうかを確認できる。

#### 2.2 無料であること

Visual Studioは無償版を使用し、irrlightはオープンソースであるため、提案教材システムの使用に際してはライセンス料を気にする必要がない。そのため Windows OS

が搭載されたパソコンに自由にインストールして使用できる。学生が個人所有のパソコンにインストールし、自宅で課題を実施する事も可能である。

### 2.3 Visual Studio を使用していること

マイクロソフト社の Visual Studio は、本校を含めて、プログラム教育を行うべき職業訓練施設、一般の大学、専門学校等の訓練用の大半の PC にインストールされている、非常に普遍的なソフトウェアである。従って、その使用経験のある学生にとっては、本教材は親しみやすいという利点がある。

### 2.4 C 言語の全ての機能をサポートしている

Visual Studio の C++コンパイラを教材のコンパイラとして使用しており、かつ C++は C 言語の上位互換な言語であるため、本教材では C プログラムの全ての機能を利用可能である（いわゆるミニ言語な環境ではない）。

## 3. 本研究の位置付け

一般的な事として、対象の学生にとって難易度が高いとされる学習内容を、学生が習得するに際して、学生はそれ相応の苦勞に伴うある種の「苦痛」を感じる。そのため、一部の受講者が学習の初期段階から授業内容に対して多少のネガティブな気持ちを持ってしまう事は、十分に予測できる。そのようなネガティブな印象は、しばしば後続のより高度な関連の技能習得に、悪影響を与える。著者のこれまでの教育的な経験から、本校の 1 年次の C プログラミング教育におけるこの種の悪影響への対処が必要と判断された。

先行研究として、リアルタイムな 3DCG 描画を利用した C プログラミング用の教材システムとしては「C-Sheep」[6]がある。プログラムの実行結果が、迷路マップの中での「sheep」の動きとして確認される。ただし、プログラム言語の仕様はミニ言語である。

提案教材は、ポインタや構造体といった、比較的難易度が高い C プログラミング要素についても、2.1 節で述べたような動機付けを与えるものである。このような特徴をもった他の教材は見当たらない。

ここで、ゲームソフトウェア作成を容易にする目的で、使用頻度が高いプログラムコードをまとめたものを、「ゲームライブラリ」と呼ぶ。そのゲームライブラリの中でも、3D 描画だけでなく、重力効果、マップや 3D モデル（キャラ）相互間の衝突効果などのいわゆる「物理エンジン」の要素を含むものを、特に「3D ゲームエンジン」（あるいは「3D エンジン」）と呼ぶ。irrlight 以外に、オープンソースでかつ C 言語を容易に扱える 3D エンジンは見当たらない。C 言語を扱えるフリーのゲームライブラリとしては、例えば DX ライブラリ[7], Siv3D[8], SFML[9]などがある。これらゲームライブラリによる 3D 描画を利用した動機付けを考慮し、ミニ言語ではない C 言語教育用の教材に関する他者研究は見当たらない。な

お、irrlight 以外のゲームライブラリを使用した場合の、動機付けを考慮した C 言語教育用の教材開発および本論文での提案教材との比較は、今後の検討課題である。

3D 仮想空間を利用したプログラミング用の教材システムとしては、「Alice」[10], Mana[11], 「ロボチャート」[12]などがある。これらは、プログラミングに必要な論理的思考のスキルを伸ばすのには一定の効果がある。しかし、本教材と比べて以下の欠点が考えられる。

- これらの教材での言語は C 言語ではないので、そこで得たスキルを C プログラミングに応用するには更なる学習を要することになる。
- 授業で使用可能するにはフル機能版が必要であるが、その大半は有償である。

またミニ言語ではない C 言語を使用するアプローチとして、例えばマイコンでモーターを制御する模型自動車、ロボットアーム、あるいはロボット(例えば Lego[13])など、実際に動くハードウェアを用意し、それらの動作に関する C プログラミングの課題を学生に課す手法がある。そのような教材は、実際に存在する「もの」を扱うため、提案教材システムのようなソフトのみの教材に比べて学生により大きなインパクトを与え、結果的に C プログラミング教育についてはより大きな教育効果を与えうるとも考えられるが、提案教材システムと比べて以下の欠点が考えられる。

- ハードウェアの設計、製作、および保守に関して手間が発生する。特に授業時のハードウェアの故障は、授業の進行に深刻な影響を与える。
- C プログラミングに加えて、センサからの信号の処理方法や制御理論など、難解な事項への理解が必要のため、主目的が C プログラミング教育だけの授業の場合にはその分学生への負担が大きくなり、不向きである。またそれらの難解な事項の学習の必要性は、学生のやる気をそぐ原因になりうる。

その他の、動機付けを考慮した C プログラミング教材としては、例えば恋愛 RPG ゲーム的なもの[14], ゲームを作りながら学ぶようなもの[15][16][17]などがある。前者は一般企業が提供している有償の教材である。無償部分もあるが、それは有償部分へ誘導するための機能限定版であるので、学士課程のような教育現場で学ぶには有償版が必要である。後者は、web で公開されているという面では無償である。両者に共通して言えることは、受講者が学べる C プログラミングの各要素とその分量が、課題内容により決まっているという事である。つまり、課題内容が含まないプログラミング要素を教える場合は、更なる教材が必要になる。加えて、学生に課題として与える「作るべきゲームの内容」と、「教えたいプログラミング要素やそれら相互の重み」を、学生への動機付け要素を保持させながら一致させる事は、極めて困難（ほとんどの場合無理）である。

以上のように、プログラミング学習支援のための優れた教材は既に多くあるが、本校の学士課程という教育現場で、学生の興味を大きく掻き立てる可能性を持ち、か

つCプログラミングの基本だけでなくポインタや構造体のような比較的難易度が高いCプログラミング要素までを学ぶための適当な教材システムは、現時点では見当たらない。よって、提案の教材システムを開発するに至った。

## 4. 教材システム部分の概要

教材システム部分では、著者らは以下に説明する2通りの仮想空間を実現するサンプルプログラムファイルを開発し、学生向けに提供している。学生は実習内容に応じてそれらを使い分けることを求められる。それぞれを仮想空間 A および B とよぶ。

### 4.1 仮想空間 A

図1に、開発した教材の仮想空間 A における実行の様子を示す。図1にあるように、画面は3D表示窓(上部, 3D仮想空間を表示)とテキスト表示窓(下部, テキストメッセージを表示)から構成される。学生はCソースファイル user.c を適宜編集する事により、主人公(ジーナさん=3D表示窓右端付近の女性型キャラクタ)を、課題が指定する通りに3D仮想空間内で動かす事を求められる。ここで、以下の4つの関数を、「基本命令4関数」と呼ぶ。

- go\_fwd\_1po(); // 前に1歩進む
- turn\_left5(); // 左に5度回転する
- turn\_right5(); // 右に5度回転する
- turn\_back(); // 反対方向を向く

これらの関数は、ジーナさんを動かすために user.c 内で使用できる関数であり、これらと標準のC言語の命令を組み合わせる事により、課題を進める。

また仮想空間内の設定の概要を以下に示す。

- 主人公があるアイテム(図1の範囲外)の場所まで移動すると、主人公がそのアイテムを所持できる。
- 主人公があるアイテムを所持した状態で別のキャラクタ(ロボ君, 図1の左端付近のロボット)に接近すると、そのキャラクタが主人公の仲間になる。
- ある条件が満たされた状態ならば主人公が悪役(ヨダン君, 図1の範囲外)を倒せる。

また3D描画やこれら設定のためのプログラムは user.c 以外のファイルに記述されているので、学生は自分が打ち込むべきプログラム部分のみに集中できるようになっている。

### 4.2 仮想空間 B

図2に仮想空間 B における実行の様子を示す。

この空間で使用可能な関数は以下の通りである。

- print\_Gina()
- print\_Robo()
- print\_Yodan()

これらの関数はそれぞれキャラクタのジーナさん、ロボ君、ヨダン君(図2の奥, 中ほど, 手前のそれぞれのキャラクタ, 仮想空間 A でのキャラクタと同一)に対応しており、それぞれの関数で指定した引数の値の歩数だけそれぞれのキャラクタが移動(図2で奥方向が正の値, 手前方向が負の値にそれぞれ対応)する。図2での引数はこの順でそれぞれ4, -2, および-4に設定されている。空間内の床のタイル1枚が1歩分を意味(白地に



図1 仮想空間 A での実行の様子



図2 仮想空間 B での実行の様子

「Po」と表示)し、さらに、5 歩目、10 歩目、15 歩目にはそれぞれの歩数の数字が書かれた別の種類のタイルが表示されている。

つまり、これら3つの関数を使用する事によって、3つの異なる値を3D空間内に「表示」する事ができる。

この空間では、前述の「基本命令4関数」は使用できない。RPGに見られるような設定も特に設定されていないことに注意しておく。

#### 4.3 仮想空間の開発方法

ウェブサイトで配布されている irrlicht のライブラリデータの中には、サンプルプログラム(examples フォルダ内)とその関連のチュートリアルが含まれている。これらは、irrlicht の使い方を使用者が学習するためのものである。開発した仮想空間 A および B のプログラムファイルは、サンプルプログラム中の「07\_Collision」をベースに開発された。

キャラクタのデータについては、両仮想空間において、ModDB[18]からダウンロードしたフリーのモデルデータ素材を使用している。

マップデータ(キャラクタが立つ床や壁といった、いわゆる「建物」のデータ)については、仮想空間 A では、07\_Collision にもともとあるものをそのまま使用している。仮想空間 B のマップデータは、LVLworld[19] からダウンロードしたフリーのマップデータ素材を使用している。床のタイルデータを Windows のペイントツールで作成の上、フリーのマップデータのエディタツールである GtkRadiant[20]を使用して、床タイルデータを埋め込んだ。

SkyBox(マップ外のはるか遠くの風景画像)の画像データは、CMM[21]からダウンロードしたフリーのデータを使用している。

## 5. 学生用の課題の概要

### 5.1 学生向けの実習用テキスト

学生向けの実習用テキストは、Microsoft Word 2013 (以下では「ワード」と略記する)で作成したものと、Microsoft PowerPoint 2013 (以下では「パワーポイント」と略記する)で作成したものと、2種類用意している。

ワードのテキストでは、実習や教材の目的や背景から始めて、各実習課題の要求内容、さらには教材システムを用いた教材開発の方法の詳細に至るまでを紹介している。A4 で 23 ページからなる。授業の1日目に学生に配布する。

パワーポイントのテキストは、その日の実習部分のみについて、前述のワードのテキストの「解説書」であり、実習内容や課題の説明をしている。授業の各回の冒頭で学生にその回の分のみ学生に配布する。各回で約 30 ページである。教員はその日の授業の冒頭で、このテキストを使って 30 分程度の説明を行う。

これらのファイルは全て pdf ファイル形式に変換され、電子ファイルの状態に配布され、学生はパソコンの画面上で閲覧する。

### 5.2 課題が扱う C プログラミング要素

課題が扱う C プログラミング要素は、おおまかには以下の通りである。

- パート1: 変数の宣言, 代入と四則演算, 繰り返し (1重, 2重), 関数と引数と戻り値, if の条件
- パート2: ポインタ, 構造体, ファイル処理

### 5.3 実習課題の例

「繰り返し」関連では、例えば以下のような実習課題が設定されている。

- 「ジーナさんがショットガンの弾丸をゲットし、またもとの場所に戻り、その後最初時の向きに向く」という動作を2回繰り返すようにプログラムしなさい。ただし、記述可能な「基本命令4関数」は2個までである。

この課題では、「基本命令4関数」が2個までという条件から、学生は繰り返しのための記述およびそれに必要なカウンタ用の変数の宣言を行うように促されている。

「ポインタ」関連では、例えば仮想環境を使った以下のような実習課題が設定されている。

- 3種類の値を計算する関数 P を定義する。その3つの値はポインタ変数で返すようにし、関数 P を呼び出す別の関数では、それら3つの値を、それぞれ仮想空間 B のジーナさん、ロボ君およびヨダン君の位置として表示する。

ここまでは、学生全員が必ず終わらせなければならない「必須課題」の概要説明である。

一方で、以下では「オプション課題」について説明する。これは、必須課題が早くできた学生に対する追加の課題であり、できた学生には成績を加点する。その課題の例を以下に示す。

- 「繰り返し」関連では、「基本命令4関数」についてのある制約条件のもとでの、ジーナさんの少し複雑な動作をある回数繰り返すような、繰り返し(2重)を理解するための課題がある。

このような課題の他に、SkyBox の画像データの変更や、キャラクタデータの変更といった、仮想空間の設定の変更の課題もある。これらの課題で使用するデータも、前述の各ウェブサイトからダウンロードしたフリーの素材データを使用している。これらの課題は C 言語の文法の学習とはあまり関係がないが、学生の動機付け要素となりうる課題である。

## 6. 自動採点タイプの小テストの概要

### 6.1 小テストコンテンツの概要

開発した自動採点タイプの小テストのコンテンツについて、出題範囲は 5.2 のパート1と2の範囲と同じである。以下のカッコ内に、それぞれの要素に対する問題数を示す。

- パート1：変数の宣言(6)，代入と四則演算(4)，繰り返し(1重(4)，2重(2))，関数と引数と戻り値(5)，ifの条件(4)
- パート2：ポインタ(10)，構造体(4)，ファイル処理(6)

```

/* 2つの変数e, fについて、2つとも7以上の時だけ「処理2」が実行されるように、<A>の部分のC言語記述をタイプしなさい。(余計な空白はタイプしないで下さい) */

/* プログラムの一部 */
if(<A>){
    処理1;
}
else{
    処理2;
}

解答:
    
```

図 3 1行だけキーボード入力させる問題例1

```

/* 以下のプログラムを実行すると、結果が以下になるように、<A>の部分のC言語記述をタイプしなさい。(先頭のインデント部分は含まない) */

/* プログラム */
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int i;

    <A> /* ここ！ */
    printf("%d\n",i);
}

/* 実行結果
4
3
2
1
*/

解答:
    
```

図 4 1行だけキーボード入力させる問題例2

上記の各問題のタイプについて、正解の記述に正規表現を扱える Regular expression プラグインを利用し、ソースコードを1行分だけキーボード入力させるタイプの問題が大半を占めている。その例を図3と4に示す。学生は「解答」の次の行の白枠の中にキーボード入力して回答する。

その他は、多岐選択形式を使用し、ポインタそれ自体や変数についての概念を問う問題(5題)や、構造体の用語を問う問題(2題)を設定している。その例を図5に示す。学生は各選択肢の左端の丸印をマウスでクリックする事により回答する。

```

struct ZZZ {
    int num;
    double len;
};

struct ZZZ ab;

であるとき、abの説明として正しいものを下から選びなさい。

1つ選択してください:
 1. 構造体タグ
 2. 構造体の要素
 3. 構造体
 4. 構造体変数
 5. 構造体タグ名
 6. 構造体変数名
 7. 構造体の要素名
    
```

図 5 多岐選択問題例1

表 1 対象の授業の概要

学生	PTU 総合課程電子情報専攻1年生. 平成28年度授業実施時は19名 平成29年度授業実施時は37名
授業	「プログラミング実習」(1年後期2単位)
実施形態	200分/回の8回分
前提	学生は前期の「組込みプログラミング基礎実習」(72時間)にて、繰り返し、条件分岐、関数を含む、Cプログラミングの基本事項を既に学習している

## 7. 授業実践と考察

### 7.1 授業実践の概要

対象の授業の概要および授業の日程を、表1および2にそれぞれ示す。

学習内容について、2~4日目の課題の範囲は5.2で述べたパート1部分であり、かつ学生が以前の他の授業で学んだ内容である。ゆえに、最初から仮想空間を用いる課題となっている。

一方で、5～7 日目の課題の範囲は 5.2 で述べたパート 2 部分であり、学生にとって初めて学ぶ内容である。そのため、その概念の説明を教員が行う。同時に、その学ぶべき記述を含む簡単な内容のコンソールアプリケーション(仮想空間を使わない CUI なプログラム)タイプのサンプルプログラムのファイルをいくつか配布する。そのファイルは編集の必要がなく、ただコンパイルして実行するだけのものである。各学生がそれらを実行し、理解を深めるようにしている。

授業においては、開発教材に加えて、C 言語の文法書として「苦しんで覚えるC言語(苦C)ダウンロード版」[22]を学生が閲覧できるようにしている。

自動採点タイプの小テストについて、パート 1 の部分は実習 1 日目と 8 日目の両方の授業で実施される。1 日目と 8 日目の問題の傾向は同じだが、別の問題を出題している。一方でパート 2 の部分は、実習 8 日目の授業のみで実施される。

表 2 授業の日程

日	内容
1	実習の概要説明, 自動採点タイプの小テストの実施(学生が以前の授業で学んだ内容), 開発環境の構築(実習用にカスタマイズされた irlicht アーカイブファイルの展開, Visual Studio での初期設定)
2	条件分岐, 繰り返し(仮想空間 A)
3	関数の引数(仮想空間 A)
4	関数の戻り値(仮想空間 B)
5	ポインタ(仮想空間 B)
6	構造体(仮想空間 A)
7	ファイル処理(仮想空間 B)
8	自動採点タイプの小テストの実施

7.2 実施結果と考察

表 3 小テストの正解率

小テスト課題の範囲	正解率の平均(%)	
	H28	H29
パート 1 (1 日目)	52.3	47.9
パート 1 (8 日目)	65.5	63.8
パート 2	58.4	56.1

1 日目と 8 日目に行った自動採点タイプの小テストの結果を表 3 に示す。同表での値は、各項目の出題範囲での全学生の正解率の平均値である。また「H28」と「H29」はそれぞれ授業実施年度である「平成 28 年度」および「平成 29 年度」を示し、これ以降の表においても同じ意味を示す。

表 3 のデータより、以下を確認できる。

- 両年度において、パート 1 の正解率の平均値に関しては、1 日目と比べて 8 日目の方が 13%以上数値が高く、かつ 60%を超えている。
- Microsoft Excel 2013 (以下では「エクセル」と略記する) の T 検定ツールを使用して、パート 1 の 1

日目と 8 日目の平均値の差の検定を行った結果、両年度において、「有意水準 0.01 で差が 0 ではない」という結果を得られた。

- パート 2 の正解率の平均値は、56%以上である。
- 上記より、提案教材は、それらの内容を教えるという観点から有効であると考えられる。

表 4 印象の変化(平均値)

調査項目	H28		H29	
	前	後	前	後
C プログラミング全般	3.8	4.2	3.8	4.1

表 5 動機付け要因の調査結果(H29)

項目	件数
仮想空間内の設定(アイテムを集めないと敵を倒せない)	19
3D 仮想空間内の設定を、プログラミングで変更できる事	30
自分の好きなキャラに変更可能な事	12
キャラのテクスチャを変更可能な事	8
主人公がジーナさんである事	6
ダンジョンのようなマップ	12
プログラムでマップを変更可能な事	13
Moodle の小テストがある事	4
オープニングビデオ(おもしろ工学館用だったけど)	6
Visual Studio の統合開発環境を使用している事	11
面白いと思えた要因、事項は無い(何も楽しくなかった)	0
その他(次の「感想、改善点提案」に具体的に記入して下さい。)	2

Moodle の小テスト形式を使用して、C プログラミング全般に対する「印象」について調査した結果を表 4 に示す。実習を受講前と受講後のそれぞれの印象を(1=とてもつまらない, 2=つまらない, 3=普通, 4=面白い, 5=すごく面白い)という意味で 1~5 の数値を入力する形式で行った。表の値はその平均値である。両年度において、0.3 ポイント以上の改善が見られる。ただしエクセルの T 検定ツールによる、有意水準 0.05 での受講前後間の平均値の有意差は、両年度において認められなかった。

数値で 3 未満の値は「ネガティブな印象」、3 より大きな値は「ポジティブな印象」を意味するが、表 2 のデータが意味するのは、実習を境にして学生の C プログラミングに関する印象がよりポジティブに変化したという事である。

Moodle の小テスト形式を使用して、「動機付け要因」(「あなたにとって C プログラミング学習への興味の維

持／増進につながった要因」という問いに対する回答)について調査した結果を表5に示す。平成29年度でのみ調査を行ったため、表5はそのデータを示している。同表の「項目」の欄にある12個から複数選択可能な多岐選択問題形式として学生に提示した。「件数」は、学生がその項目を選択した数を意味する。従って回答数が0は、学生のうちだれもその項目を選択しなかった事を意味するが、調査時に選択肢として提示したという意味で参考までに同表に掲載している。

同表のデータより、以下を確認できる。

- 表の項目の上から1, 2, 3, 6および7番目の件数が10件以上と多い。これらの項目はリアルタイムな3DCGに関連しているため、このような類の技術要素の効果的な使用が、多くの学生の実習内容についての内発的な動機付けにとっても役に立つ。
- 項目の上から10番目の件数が11件以上と多いことから、Visual Studioの使用も教育効果を高めうる。
- 項目の上から11番目の件数が0件であることから、提案教材を使用した実習全般に対する学生の印象はおおむね良好だった。

表6 「提案や感想」の分類結果

コメントの種類	件数	
	H28	H29
リアルタイムな3DCGによる動機付け要素に肯定的	0	21
リアルタイムな3DCGによる動機付け要素に否定的	0	1
自動採点タイプの問題訂正指摘, 授業改善提案	1	6
その他の肯定的コメント	9	5
その他の否定的コメント, 愚痴	5	2

Moodleのプレーンテキスト入力で自由に入力可能な小テスト形式を利用して、実習全体に関わる「提案や感想」について調査し、コメント毎にその内容を分類し集計した結果を表6に示す。

同表より、以下を確認できる。

- 平成29年度では「リアルタイムな3DCGによる動機付け要素に肯定的」が21件と多く、かつそれに否定的なコメントは1件であることから、特に平成29年度の学生に対しては、このような技術要素の使用が内発的な動機付け要因として有効である。
- 授業改善提案が各年度で数件寄せられているが、その大半は好印象の中での改善提案と見えるものであるため、教材の教育効果に関する本質的な内容ではない。
- その他の肯定的なコメントが、その否定的なコメントよりも多いことから、提案教材および教授法が、学生に好意的に受け止められている。

## 8. まとめ

提案教材を使用した実習によって、Cプログラミングについて学生のスキル向上が確認できた。Cプログラミングについての学生の印象の改善も確認された。さらに、動機付け要因に関わる調査結果や「感想や提案」に対するコメントの分類結果から、提案教材に使われているリアルタイムな3DCGの技術要素が、学生への内発的な動機付けを与えていることも確認された。このようにして、提案教材の有効性が示された。受講学生の約40%が将来職業訓練指導員として職業訓練施設で活躍する事を考えると、提案教材の波及効果は決して小さくないと思われる。

今後の課題として、以下が挙げられる。

- 学生のより高いスキル向上効果を目指した教材開発および教授方法の改善。
- 提案教材を発展させた指導員研修用の教材開発。
  - 各地の職業訓練指導員が、研修という形で提案教材の使い方および同種の教材開発の方法を習得し、実際の訓練現場で使用する事による波及効果は大きいと期待できる。
- irrlicht以外のゲームライブラリを使用した場合の、動機付けを考慮したCプログラミング教育用の教材開発および本論文での提案教材との比較。

## 謝辞

本研究でのデータ収集に関連して、プログラミング実習を受講したPTU総合課程電子情報専攻1年生に深く感謝する。

## 参考文献

- [1] 職業能力開発総合大学校ホームページ, <http://www.uitec.jeed.or.jp/>
- [2] Visual Studio homepage, <https://www.microsoft.com>
- [3] Irrlicht Engine homepage, <http://irrlicht.sourceforge.net>
- [4] Moodle homepage, <https://moodle.org>
- [5] 堀田忠義, “3Dエンジンを利用したCプログラミング教育”, FIT2016第15回情報科学技術フォーラム講演論文集, pp.325-328, 2018
- [6] C-Sheep homepage, <http://www.c-sheep.org>
- [7] DXライブラリ置き場 homepage, <http://dxlib.o.oo7.jp>
- [8] Play Siv3D! home page, <https://play-siv3d.hateblo.jp>
- [9] Simple and Fast Multimedia Library homepage, <https://www.sfml-dev.org/index.php>
- [10] Alice homepage, <http://www.alice.org>
- [11] Mama - an educational 3D programming language homepage, <http://www.eytam.com/mama>

- [12] ロボチャート homepage, <http://www.suzukisoft.co.jp/products/robochart>
- [13] Lego.com MINDSTORMS homepage, <http://mindstorms.lego.com>
- [14] paiza オンラインハッカソン 7 プログラミングで彼女を作る homepage, <https://paiza.jp/poh/ando>
- [15] C 言語 コンソール ブロックパズルの作り方 homepage, [http://petitotech.com/c\\_block\\_puzzle/c\\_block\\_puzzle\\_index.shtml](http://petitotech.com/c_block_puzzle/c_block_puzzle_index.shtml)
- [16] C/C++言語と DX ライブラリでゲーム作成入門 homepage, <http://ponk.jp/cpp/dxlib/>
- [17] 新ゲームプログラミングの館 homepage, <https://dixq.net/g/>
- [18] ModDB homepage, <http://www.moddb.com/>
- [19] LVLworld homepage, <https://lvlworld.com/>
- [20] GtkRadiant homepage, <http://icculus.org/gtkradiant/>
- [21] Custom Map Makers homepage, <http://www.custommapmakers.org/skyboxes.php>
- [22] 苦しんで覚える C 言語ダウンロード版 homepage, [http://www.geocities.jp/oosaka010bear/c\\_guide/index.html](http://www.geocities.jp/oosaka010bear/c_guide/index.html)

(原稿受付 2018/11/6, 受理 2019/3/25)

---

\*堀田忠義, 博士 (工学)  
 職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:horita@uitech.ac.jp  
 Tadatoyoshi Horita, Faculty of Human Resources Development,  
 Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,  
 Kodaira, Tokyo 187-0035.