

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

1. はじめに

職業能力開発総合大学校[1] (以下「職業大」と略記する) の総合課程 (4 年間の学士課程) 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) 開発環境に関わる部分、2) 実習用テキストおよび 3) Moodle[2] コンテンツから構成される。特に 1) 開発環境に関わる部分では、マイクロソフト社の Visual Studio[3] (フリー版) およびフリーの 3D エンジンである irrlicht (イルリヒト)[4] 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。

なお、対象の授業の概要を以下に示す。

- 対象の学生：職業大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 35 名
- 対象の授業：「プログラミング実習」(後期 2 単位)。
- 実施形態：200 分/回の 9 回分、計 30 時間分。
- 教材が扱う範囲：繰り返し (1 重、2 重)、条件分岐、関数 (引数と戻り値)、ポインタ、構造体、ファイル (詳細は後述する)。
- 前提：学生は 1 年時の「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。

Moodle の小テスト形式の多くのコンテンツの作成も行い、実習の 1 日目と 8 日目にそれを利用した小テストも実施している。そこ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]の拡張版である。

2. 開発教材の特徴

開発した教材の中の、特に開発環境に関わる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ような、コンピュータゲーム (以下「ゲーム」と略記する) に見られるような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、主人公や悪役のキャラクタ、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) 的な設定が施されているため、学生の好奇心を掻き立てる。また実行時の見栄えは、3D でカラーグラフィカルであるため、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。

[†] 職業能力開発総合大学校, PTU

加えて、この開発教材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は、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、仮想空間内で設定された「目的」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、という動機づけを与えられる。そして学生は、課題が要求するプログラムを、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確認できる。

2.2 無料であること

Visual Studio (無料版) および irrlicht は無料であるため、本教材はライセンスを気にする必要がなく、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。学生の自分のそのようなパソコンにインストールし、自宅での宿題のような課題の実施も可能である。

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、専門学校での訓練用の PC に大抵はインストールされているような、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. 背景、新規性、必要性など

一般的な事として、対象者にとって難解であるとあらかじめ分かっている内容を教えるに際しては、技能習得のためには通常の授業以上の「苦労」が必要なため、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、十分に予測出来る。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。

3D 仮想空間を利用した C プログラミング学習教材としては「C-Sheep」[6]がある。プログラムの実行結果が、3D グラフィカルな迷路的な仮想空間の中での「sheep」の振る舞いとして確認される。ただし、ミニ言語環境である。

3D 仮想空間を利用したプログラミング学習教材としては、「Alice」[7]、Mana[8]、「ロボチャート」[9]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。
- 授業で使えるようなフル機能版は多くの場合有償である。

また C 言語をそのまま使用する文献[6]以外のアプローチとして、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[10])など、実際に動くハードウェアを用意し、それらの動作をマイコン上の C プログラムとして受講者に作らせるようなものが考えられる。そのような教材は、実際に存在する「もの」を扱うため、本教材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 言語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、本教材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大きな手間が発生する。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 言語に加えて、センサからの信号の処理方法や制御理論など、あまり易しくない事項への理解が必要のため、主目的が C 言語だけの授業の場合にはかえって学生への負担が大きくなり、不向きである。またそれらの追加的内容についての学習の必要性は、学生のやる気をそぐ原因になりうる。

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、かつ後に組み込み開発の教育につながるような、C 言語の基本を直接学ぶための適当な教材は、現時点では見当たらない。よって、提案教材を開発するに至った。

4. 開発環境部分の概要

開発環境における仮想空間は、2通りのものを用意し、実習内容に応じて使い分けるようにした。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、開発した教材の開発環境の仮想空間 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 画面窓右端付近の女性型キャラクター)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、Gina さんを動かすために `user.c` 内で使用できるライブラリ関数であり、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出来る。



図 1 仮想空間 A での実行の様子

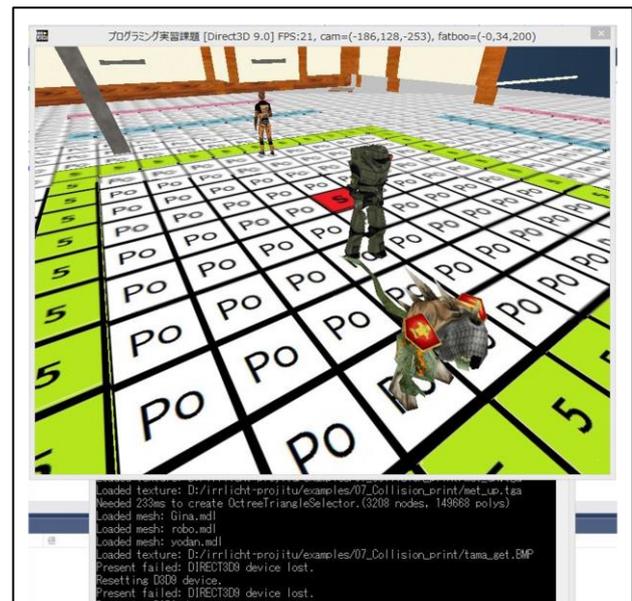


図 2 仮想空間 B での実行の様子

- 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ー(ロボ君=図 1 の左端付近のロボット)に接近すると、そのキャラクター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出来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ーのジーナさん、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ー、仮想空間 A でのキャラクターと同一) に対応しており、それぞれの関数で指定した引数の歩数だけそれぞれのキャラクターが移動 (図で置く方向が正、手前方向が負) 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 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」する事が出来る。

この空間では、前述の「基本命令 4 関数」は使用出来ない。RPG 的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

web サイトで配布されている `irrlight` 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、`irrlight` 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 は、サンプルプログラム中の「07_Collision」をベースに開発された。

キャラクターのデータについては、両仮想空間において、ModDB[11] 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 (キャラクター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[12] 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[13] 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[14] 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. 実習日程と実習課題の概要

5.1 実習の日程

実習の日程について以下に列挙する。

- 1 日目： 実習の概要説明、Moodle 小テストの実施 (おさらい的な内容)、開発環境の構築 (実習用にカスタマイズされた `irrlight` アーカイブファイルの展開、`visual studio` での初期設定)
- 2 日目： 条件分岐、繰り返し (仮想空間 A)
- 3 日目： 関数の引数 (仮想空間 A)
- 4 日目： 関数の戻り値 (仮想空間 B)
- 5 日目： ポインタ (仮想空間 B)
- 6 日目： 構造体 (仮想空間 A)

- 7 日目： ファイル処理 (仮想空間 B)

- 8 日目： Moodle 小テストの実施

学習内容について、2～4 日目は以前の他の授業で学んだおさらい的な内容であり、4～6 日目は、この授業で新たに学ぶ内容である。

Moodle 小テストについて、1 日目では、以前に学んだ内容を問う問題であり、8 日目では、それに加えてこの実習で新たに学ぶ内容を問うている。

5.2 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。

2～5 日目の課題はおさらい的な内容である事から、最初から仮想空間を用いる課題となっている。

一方で、6～8 日目の課題は、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。

その上で、例えば「ポインタ」関連では、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。

ここで、本提案教材では、ポインタや構造体といった内容に対しても、このように内発的な動機付け要素を持たせた教材を提供可能である事に注意しておく。

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、必須課題が早く出来た学生に対する追加の課題であり、出来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、キャラクター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 web サイトからダウンロードしたフリーの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、学生の動機づけ要素となりうる「遊び心」的な課題である。

6. Moodle 小テスト

6.1 小テストコンテンツの概要

開発した Moodle 小テストのコンテンツについて、出題範囲は以下の通りである。カッコ内の数字は問題数である。

- 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)

パート1は2～4日目のおさらい的な内容に対応し、実習1日目と8日目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は、5～7日目の新たに学ぶ内容に対応し、実習8日目の授業のみで実施される。

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行分だけタイプさせるようなタイプの問題が大半を占めている。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。

6.2 実施結果

表1 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9日目に行った Moodle での小テストの結果を表1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1のデータより、以下を確認出来る。

- 両年度において、パート1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%を超えていることから、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2 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

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2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。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。

7. 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。さらに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。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。

今後の課題としては、学生のより高いスキル向上効果を目指した教材、教授方法の改善が挙げられる。さらに、提案教材を発展させた指導員研修用の教材開発も、今後の課題である。各地の職業訓練指導員が、研修という形で本研究で開発した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出来る。

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職業大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] Moodle homepage, <https://moodle.org>
- [3] Visual Studio homepage, <https://www.microsoft.com>
- [4] Irrlicht Engine homepage, <http://irrlicht.sourceforge.net>
- [5] 堀田忠義, 秋葉将和, 寺内美奈, “3D ゲームエンジンを利用したCプログラミング教育”, 職業大フォーラム講演論文集, pp.1-2, 2014
- [6] C-Sheep homepage, <http://www.c-sheep.org>
- [7] Alice homepage, <http://www.alice.org>
- [8] Mama - an educational 3D programming language homepage, <http://www.eytam.com/mama>
- [9] ロボチャート homepage, <http://www.suzukisoft.co.jp/products/robochart>
- [10] Lego.com MINDSTORMS homepage, <http://mindstorms.lego.com>
- [11] ModDB homepage, <http://www.moddb.com/>
- [12] LVLworld homepage, <https://lvlworld.com/>
- [13] GtKRadiant homepage, <http://icculus.org/gtkradiant/>
- [14] Custom Map Makers homepage, <http://www.custommapmakers.org/skyboxes.php>