

## OpenGL を用いた PBL 型ソフトウェア開発演習の実践と課題

佐藤 和彦 工藤 康生 倉重 健太郎 蓮井 洋志 島田 浩次 佐賀 聡人

室蘭工業大学工学部 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1

E-mail: {kazu, kudo, kentarou, hasui, shimada, saga}@csse.muroran-it.ac.jp

あらまし 近年, 多くの高等教育機関において PBL(Problem Based Learning)型の教育が取り入れられてきている。本学情報工学科においても, 平成 18 年度より PBL 型のソフトウェアを開発演習を実施している。この演習では, 4 名程度の学生がグループを組み, 与えられた課題に対して自分たちで企画・設計・分担などを行いながら計画的にソフトウェアを開発する。本論文では, 2 年間実施された PBL 型ソフトウェア開発演習の内容と課題について報告する。

### A Practice of Problem-based Learning for Exercise of Software Development using OpenGL

Kazuhiko SATO, Yasuo KUDO, Kentarou KURASHIGE, Hiroshi HASUI,  
Kouji SHIMADA, Sato SAGA

Faculty of Engineering, Muroran Institute of Tech., 27-1 Mizumoto, Muroran-shi, Hokkaido, 050-8585 Japan

E-mail: {kazu, kudo, kentarou, hasui, shimada, saga}@csse.muroran-it.ac.jp

**Abstract** Recently, the problem-based learning (PBL) has been taken in many universities in Japan. In our department, a computer exercise of the software development based on PBL style has been executed since 2006. In this exercise, four or five students make a group, and each group develops original software in group work. The student learns basic techniques of the software development such as a planning, a designing, a developing, a scheduling, and a cooperating. In this paper, results of the computer exercise in 2007 and 2008 are reported.

#### 1. はじめに

近年, PBL(Problem Based Learning)型の教育への関心が高まり, 多くの高等教育機関において PBL 型演習が取り入れられてきている。PBL 型演習は, 問題解決能力の育成を目的としている。そのため, PBL 型演習では, 与えられた課題に対して, ゴールに到達するための手順を学生は自分で探し出し, 解決していかなければならない。また, 与えられる課題もより実践的な内容にすることで, 単なる技術の習得に留まらず, 現実の問題に対する解決能力や応用能力を身につけさせる効果が期待されている。

室蘭工業大学情報工学科 (以下, 本学科) においても, 平成 17 年度のカリキュラムからいくつかの PBL 型の実験や演習を導入している。その一つに, プログラミングに関する学生の実践応用力と問題解決能力の向上を目的とした PBL 型のソフトウェア開発演習 (以下, 本演習) がある。本演習では, 学生は 4~5 人のグループを組み, グループで協調しながらソフトウェア開発を行う。全てのグループに共通のサンプルプログラムが課題として与えられる。学生はそれを基に自分たちのアイデアで進化させ 1 つのソフトウェアとして完成させる。本演習では, どのようなソフトウェアと

して完成させるのか、どのように開発を進めていくのかといった、計画・設計・実装・テストなどのソフトウェア開発の各工程について全て自分たちで考え、限られた時間の中で作業を進めて行かなくてはならない。

また、本演習の課題では OpenGL という 3D グラフィックスを描画するためのインタフェースを用いている。受講する学生のほとんどは OpenGL に関する知識を全く持っておらず、知識の習得も演習と同時に自分たちで進めていく必要がある。

本演習は、平成 18 年度、平成 19 年度の 2 年間実施された。本論文では、各年度に実施された演習の内容とその結果、そして結果から見えた新たな課題について報告する。

## 2. PBL 型ソフトウェア開発演習の概要

### 2.1. 演習の概要

本学科における PBL 型演習は「情報工学 PBL: システム開発演習」という科目名で、2 年次後期に開講されている必修の科目である。

本演習では、OpenGL を用いた 3 次元ビューアソフトウェアの開発を課題として、3 次元 CG プログラミングと、ソフトウェア集団開発で用いられる支援ツールの使い方などを修得する。受講学生は 4~5 人のグループを組み、グループで協調しながらソフトウェア開発における基本工程である計画・設計・実装・テストといった作業について実践的に体験する。演習課題は、例えば「地震源ビューアを開発する」といった大きなテーマと、テーマに関する最低限の機能を実装した雛形プログラムだけが与えられる。各グループは、その雛形を基にして、限られた期間内に、自分たちのアイデアで与えられた雛形プログラムを進化させ、自分たちの企画によるソフトウェアを完成させることがゴールとなる。本演習は 15 週で構成されており、表 1 に示すような計画で実施される。

第 1 週から第 5 週は導入教育として、演習で使用する開発支援ツール、開発するソフトウェアの雛形プログラムの内容についての説明と操作実習を行い、開発環境に慣れてもらう。この際、ツールを使用する演習課題として、雛形プログラムを改良する課題を与えることで、ツールの使用方法を覚えると同時に、開発するプログラムの内容理解を同時に進めている。

第 6 週から第 8 週では、グループごとに開発コンセ

表 1 情報工学 PBL: システム開発演習の授業計画

第 1 週	演習内容の概要説明
第 2 週	サンプルプログラムの解説
第 3 週	バージョン管理システム SVN の利用実習
第 4 週	デバッグツール GDB の利用実習
第 5 週	サンプルプログラムの動作解析実習
第 6 週	オリジナルプログラムの企画立案
第 7 週	オリジナルプログラムの基本設計
第 8 週	作業分担と開発工程の検討
第 9 週	グループ開発作業 (1)
第 10 週	グループ開発作業 (2)
第 11 週	中間結果発表と企画・基本設計・開発工程の再検討
第 12 週	グループ開発作業 (3)
第 13 週	グループ開発作業 (4)
第 14 週	最終結果発表とオリジナルプログラムの取扱い説明書の作成
第 15 週	レポートの作成

プトの決定、基本設計、作業分担といった開発計画の立案を行なう。ここでは、授業時間内に時間を限って企画や設計方針に関する議論を行なわせ、限られた時間で何らかの意思決定をさせることを目的としている。そのために、企画立案シート、作業分担シートといった記録用紙を用意し、その日の議論の結果を文書としてまとめさせる。その際、採用されなかった途中のアイデアも全てメモを残させ、思考の過程を忘れないようにさせると共に、後日、それをヒントに新たなアイデアが生まれることを期待している。ここで決められた方針や設計はあくまで 1 つの結果であり、作業を進める過程で適宜変更や修正が行なわれる。また、演習時間外に思いついたアイデアについても全てメモを残し、後に活かせるように指導している。

そして、第 9 週から第 13 週の期間でソフトウェアを開発する。途中、第 11 週目に中間発表会を開催し、他グループの進捗や開発内容について情報交換を行なう。最後に、第 14 週目に成果報告会を開催すると共に、第 15 週目に報告書を作成し、完成したソフトウェアと共に提出するといった流れとなっている。

### 2.2 グループ編成と演習環境

演習の作業単位であるグループは、4~5 名の学生で 1 つのグループを構成する。グループの編成は、学生の自主性に任せ、自分たちで好きなメンバーでグループを組ませている。2007 年度の演習からは各グループにリーダーを置き、最終的な意思決定権を持たせると共に、グループ全体の進捗管理、作業記録の管理の



図1 演習室での演習風景 (2007年度)

責任を負わせている。

本演習の実施環境は、情報工学科棟の計算機演習室を使用している。ここには、学生1人1台の教育用計算機 (iMacG5/MacOS10.4.5) が備えられており、学生はグループ毎に隣接した座席に座り、互いにコミュニケーションを取り易い環境下で演習を進めることができる。また、演習時間外の空き時間を利用して、各グループで演習室に集まって作業を進めることもできる。演習室での作業の様子を図1に示す。

演習で用いる教材や資料、配布物などは、本学科が独自に開発した講義テキスト作成支援 Web システム (通称: はたおり虫) を利用し、Web コンテンツとして学生に提供している。グループへの個別指導の内容のうちで全学生に対しても有効と思われるアドバイス等についてもスタッフが各自で資料をまとめ、適宜、掲載している。また、2007年度においては、2006年度の学生達が参考にした参考書や Web サイトを資料としてまとめ、知識の継承にも利用している。

### 2.3 受講学生のスキル

本演習の受講学生が演習開始時に持っているスキルについて述べる。全ての受講学生は、1年次の前期に演習室の教育用計算機の基本操作に関するリテラシー

を修得し、1年次後期にC言語の基本文法を講義と演習で修得している。また、2年次前期にはデータ構造とアルゴリズムの講義と演習を必修で履修している。さらに、2年次後期には本演習と並行してソフトウェア工学が必修講義として開講されており、本演習と連携を図りながらソフトウェア開発に関する基本知識を学習していく構成となっている。

一方で、本演習の課題達成に必須となる OpenGL を使用した 3次元 CG プログラミングに関する知識や、集団開発支援ツールについては、ほぼ全ての学生が未経験の状態では演習が開始される。本演習では、これらの知識については、最初に配布する雛形プログラムの内容を理解するために必要な最低限度の資料と解説だけを学生に与え、それ以上の自分たちの開発に必要な知識については、各グループでそれぞれ調査、学習していくように指導している。

### 2.4 教員と TA の役割

本演習は、教員6名 (准教授1名、講師1名、助教4名)、TA5名、技術職員2名の13人のスタッフで運営されている。基本体制として、教員1名とTA1名がペアを組み、それぞれ4グループ程度を専任で担当する。演習を統括する准教授は演習室全体を回って指導に当たる。技術職員は、演習環境を維持するために、機器のトラブルへの対応などの支援を担当する。

本演習における学生の作業に対する指導方針として、助言や意見は与えるが直接的な指示を出すことは避け、「意思決定は学生達に行なわせる」ことを重視している。演習の序盤は学生も不慣れであるため、簡単なことでも教員やTAを頼ることが多く見られる。しかし、自分たちで調べさせることを徹底することで、作業の後半に進むにつれて、学生達は自主的に作業を進めて行くことに慣れ、スタッフは作業状況の確認と助言を行なう程度の負担で済むようになる。また、学生の理解度、作業進度に合わせた指導にも心がけ、高度な機能や技術にチャレンジする学生に対しては指導の手間を惜しまず、できるかぎり能力を伸ばせるように指導を行なっている。

### 2.5 演習の評価方針

本演習の特徴的な評価方針として、「完成したソフトウェアそのものの出来については評価対象としない」ことが挙げられる。本演習では、制作物の「完成度」

ではなく「製作過程」に重きを置き、企画、設計、実装の各工程で、どのような作業が行なわれ、どのような分担で協調作業が実施されたのかを評価対象としている。担当グループの作業状況を巡視すると共に、毎週の作業結果について記録シートを書かせることで、グループメンバーの作業分担が適切かどうかを評価する。また、記録シートの内容を毎週点検することで、そのことを学生自身に意識させ、特定の学生ばかりが作業を行なう「ぶら下がり」や、できる学生が手を抜くような状況が発生しにくい環境を実現している。また、プログラミングスキルが低いメンバーで構成されるグループに対しては、自分たちのスキルレベルなりに努力し、企画、設計、分担がきちんと行なわれ協調作業が実現されたならば、高いレベルの成果を上げたグループ同様に評価を行うこととしている。

一方で、本演習では、成果物に対するグループによる自己評価と、学生同士による相互評価も取り入れている。第11週目の中間発表においては、自分たちの途中成果を報告すると共に、強い関心を持った他グループの成果や考え方については中間発表シートに記録させ、自分たちの作業の再計画や応用に役立たせている。

また、最終発表においても、他グループの成果に対する感想を評価シートに記録させると共に、開発コンセプトや実装した機能が近いグループの成果と自分たちの成果の比較評価などを行わせている。その際、相対評価を行わせるだけでなく、自分たちが優れている点、不足している点、努力した点など、自分たちの作業成果について客観的な評価も行わせている。これら評価内容と、開発期間における各個人の作業分担について作業報告レポートとしてまとめさせ、それを本演習の評価に用いている。

### 3. 実施内容と成果

2006年度、2007年度に実施された演習の内容と結果について紹介する。

#### 3.1 2006年度の演習内容

2006年度は受講学生数92名が23グループに分かれて演習を行った。課題として与えたテーマは「地震源ビューア」の開発。震源位置（緯度、経度、深さ）とマグニチュードからなる地震源に関するデータの集合を読み込み、それを3次元CGでグラフィカルに表示するアプリケーションプログラムを開発する。学生に

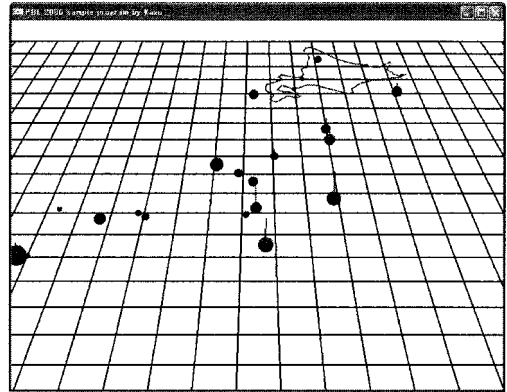


図2 サンプルプログラムの実行画面（2006年版）

サンプルプログラムを配布し、それを基にして、各グループのアイデアで地震源ビューアを進化させることが課題である。

学生に配布したサンプルプログラムには、以下の機能が実装されている。

- ・データファイルの読込
- ・格子状の平面上に北海道の輪郭線を描画
- ・地震データ（初期30件）を赤丸で表示
- ・カーソルキーで視点の高度と緯度を移動
- ・qキーで終了

サンプルプログラムと共に、北海道の輪郭を表示するためのデータファイルと、地震源データファイルを配布した。地震源データは防災科学研究所で提供されているデータを基に作成し、初期配布の地震源データファイルには30件の地震源データが入っている。これとは別に、より多くの震源データについて表示する機能の実装を希望するグループに対しては400件程度の地震源データの入ったファイルを提供した。初期状態のサンプルプログラムを実行した画面を図2に示す。

#### 3.2 2006年度の成果

各グループの成果のうち、実装したグループが多かった機能は以下のとおりである。

- (1) 日本全国の地図を表示
- (2) マウス操作によるインタフェース
- (3) 日本の主要都市への注視点の移動
- (4) 400件（追加データ）の震源を表示
- (5) 震度・地域別などによる震源データの検索・選択表示

このうち、全国地図の表示はほぼ全てのグループが採用した。この機能の実装方法には、グループごとに違いが大きく現れた。国土地理院のWebサイトなどか

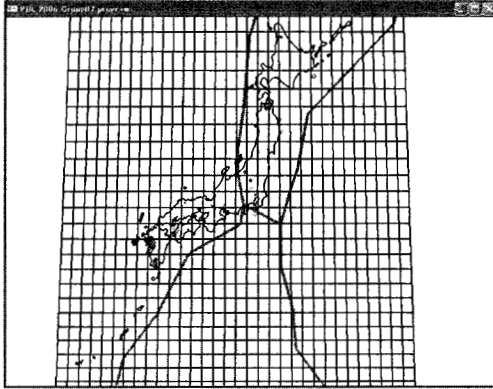


図3 学生の作成したビューアの例

ら取得した地図データを軽量化して用いたグループから、緯度経度の値が取得できる Web の地図サイトを利用して輪郭線の 1 点 1 点の座標を手作業でデータ化するグループまで様々であったことが特徴的だった。

また、独創的な機能にチャレンジしたグループとしては以下のようなものがみられた。

- (a) 日本近海のプレートによる震源データの分類
- (b) カメラ位置・光源を考慮した線の見え方の工夫
- (c) GLUT ライブラリを使用した GUI インタフェースの実装

(a)の機能を実装したグループの実行画面の例を図 3 に示す。今回の演習では、地震ビューアとして進化させるという課題を指示したため、ほとんどのグループがビューアとしての機能を考え実装したため、個性的な機能はそれほど多くは無かった。

### 3.3 2007 年度の演習内容

2007 年度は受講学生数 90 名が 22 グループに分かれて演習を行った。課題として与えたテーマは「バブルビューア」の開発。本学応用工学科の研究室から提供された、コンピュータシミュレーションにより計算で求められた液体中の「泡」の形状データを 3 次元 CG としてグラフィカルに表示するアプリケーションプログラムを開発する。本年度も、学生にサンプルプログラムを配布し、それを基にして、自分達のアイデアでプログラムを進化させる課題を与えた。本年度は、バブルビューアとして進化させることには限定せず、グループごとに開発コンセプトを決めさせ、そのコンセプトに沿って自由な発想で開発することを認めた。

各グループに対して、1 つの泡データのファイルと

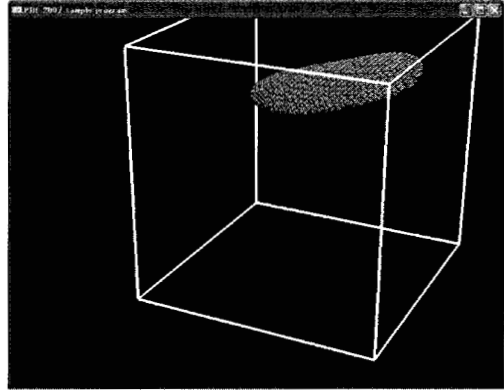


図4 サンプルプログラムの実行画面（2007 年版）

それを 3 次元 CG として描画するだけの機能を持ったサンプルプログラムを配布した。

泡データは、水槽中の各ボクセル（水槽を x 軸、y 軸、z 軸の 3 方向に 3 次元格子状に細かく切り分けた立方体の一つ一つ）における「液体の存在比」および「泡境界面までの符合付き距離」の情報で構成されており、1 つのファイルが、ある瞬間の水槽の状態を表している。泡のアニメーション表示などに挑戦する学生のために泡ファイル 100 個を用意した。

学生に配布したサンプルプログラムには、以下の機能が実装されている。

- 泡を含んだ水槽のデータファイルを読み込む
- 液体の存在比の低い（泡である）ボクセルを泡粒で表示
- 水槽の外周を示すに枠線を表示
- キーボード操作（+、-）でカメラの注視点（原点）からの距離を変更
- q キーで終了

初期状態のサンプルプログラムを実行した画面を図 4 に示す。

### 3.4 2007 年度の成果

本年度はバブルビューアに限定せず自由なアイデアで改良を加えて良いこととしたため、個性的な機能が多く実装された。その中であって、多くのグループが取り入れた機能は以下のようなものがある。

- (1) マウス操作によるインタフェース
- (2) 泡のアニメーション
- (3) 泡データの軽量化・表示や読み込みの高速化
- (4) 柔軟なカメラ操作・光源操作

また、独創的な機能にチャレンジしたグループとしては以下のようなものがみられた。

- (a) Windows 環境を開発環境とするための移植改良
- (b) 水槽をリアルするための水表現の工夫
- (c) 泡粒の集合を1つの滑らかな泡に見せる工夫

特に、(c)に挑戦したグループはマーチングキューブ法というアルゴリズムを勉強し、実装を目指したが残念ながら完成には至らなかった。今回の特徴として、純粋なバブルビューアとしての進化を目指したグループは少なくなった一方で、データの軽量化や他環境への移植など見えない点での改良に着目するなど、優れた発想と挑戦が数多く見られる結果となった。

#### 4. 学生による授業評価結果

本学では、各学期末にほぼ全ての講義・演習に対して学生による授業評価アンケートを実施している。2006年度、2007年度のそれぞれの演習に対するアンケートの結果について述べる。アンケートの項目は多岐に亘るが、ここでは本演習の内容そのものに関する設問のみを示す。

- Q1. この実験・実習で課された課題の量はどうか？  
(1:多い～5:少なすぎた)
- Q2. あなたはこの実験・実習に意欲的に取り組みましたか？  
(1:意欲的でない～5:非常に意欲的)
- Q3. あなたはこの実験・実習の内容をどの程度理解できましたか？  
(1:全く理解できなかった～5:十分理解できた)
- Q4. 実験・実習の目的・方法・内容など、テキストの記述は適切でしたか？  
(1:全くそう思わない～5:強くそう思う)
- Q5. 実験・実習によって現象・技術・原理に対する理解が深まりましたか？  
(1:全くそう思わない～5:強くそう思う)
- Q6. 総合的に見て満足のいく実験・実習でしたか？  
(1:全くそう思わない～5:強くそう思う)

上記設問に対する、各年度の評価結果は表2の通りである。数値は全回答の平均点を表している。

#### 5. 考察

アンケート結果からも見られるように、本演習に対する学生の評価は概ね高い結果を得た。初めての内容を与えられ、しかも、手法や手順を全て自分たちで学んでいかななくてはならないため、初めは戸惑う学生が多く見受けられたが、慣れるに従って、自分たちのペースで自由に演習を進められるという本演習のスタイルは学生達に好感を得られた。また、他の計算機演習と比較して、演習時間外に自主的にプログラム作成を行なう学生が多く見受けられた。さらに、Q1やQ3に見られるように、1年目は全くのゼロからのスタートであったため学生への負担は大きかったが、2年目は

表2 授業評価アンケートの結果

	2006年度	2007年度
Q1	3.2	4.0
Q2	3.8	3.8
Q3	3.6	4.0
Q4	4.0	4.0
Q5	3.8	4.0
Q6	4.0	3.0

1年目の成果を例に示すなどしたことで導入や理解がスムーズになるなどの結果も出た。

しかしながら、2年間実施した中でいくつかの検討すべき課題が生じている。1つは、実質的な実装時間の不足である。サンプルプログラムや支援ツールの説明に前半多くの時間を要するため、実装のための時間が少なくなり、学生達からも演習時間を増やして欲しいという要望が多く上げられた。また、グループ形成方法や、次年度以降の演習課題の選定についても検討すべき課題が挙げられた。

#### 6. 終わりに

本論文では、本学で実施しているPBL型のソフトウェア開発演習の取組みについて報告した。PBL手法を用い問題発見解決能力を育成することにより、学生は高い関心を持って演習に取り組み、グループによる協調作業を通じて、コミュニケーション力やチームワーク力を獲得した。今後さらに演習を継続しながらPBL型演習の教育的効果を検証していくと共に、より効果的な演習課題の調査などを行なっていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 吉田一郎, 大西弘高, “実践PBLチュートリアルガイド”, 南山堂, 2004.
- [2] 中鉢欣秀, “プロジェクト型教育(PBL)用インフラストラクチャの構築”, 情報処理学会研究報告(CE), 2008-CE-93, pp.101-105, 2008.
- [3] 井上明, “PBL 情報教育の学習効果の検証”, 情報処理学会研究報告(IS), 2007-IS-99, pp.123-130, 2007.