

招待論文

CG 教育への提言

大 野 義 夫^{†1}

筆者はこれまで 40 年間にわたって、慶應義塾大学においていろいろの内容・レベルのコンピュータグラフィックス科目を担当してきた。その中で、現在担当している 2 科目と、数年前まで担当していた 1 科目について、その内容、とくに演習課題を中心に紹介する。また、それらの演習課題に対する履修学生の反応から、学生の興味を引いた課題として、(1) 実際に手にとって調べられる対象物の CG 画像作成、(2) アルゴリズムに工夫の余地のあるテーマ、があったことを述べる。

Proposals to CG Education

YOSHIO OHNO^{†1}

The author has been teaching various subjects on computer graphics in Keio university more than 40 years. Among the subjects, he picks up 3 courses, and explain their contents, especially their homeworks. The author also describes the homeworks that the students had much interest: (1) graphic image generation for objects that they can take in hand and measure directly, and (2) themes that require to construct students' own algorithms.

1. はじめに

筆者は 1970 年以降、これまで 40 年間にわたって、慶應義塾大学においていろいろの内容・レベルのコンピュータグラフィックス科目を担当してきた。初期には、まだコンピュータ (当時は「電子計算機」) 自体が珍しく、どんな目的であれ、コンピュータを使うために

はプログラミングが必須であった。また、画像を出力できる装置などほとんど存在しなかったので、ラインプリンタの文字を並べて画像を表現しなければならず、カラー画像の作成など、少なくとも日本では考えられなかった。

その後のハードウェアやソフトウェアの進歩、とくにパソコンの普及とネットワーク環境の充実により、画像の作成・出力にはまったく問題がない状況となった。しかしそれによってかえってコンピュータを使うことへの目新しさがうすれ、学生の興味をいかにしてつなぎとめるかに困難を感じる場面も多くなってきた。

そうした状況を背景として、本稿では筆者が本校で今年度担当した 2 科目 (情報処理応用 I, コンピュータグラフィックス特論) と、数年前まで担当していた 1 科目 (情報工学実験第一) について、その内容、とくに演習課題を中心に紹介するとともに、それらの演習課題に対する履修学生の反応から、演習課題の効果や、望ましい課題について考える。

2. 情報処理応用 I (コンピュータ・グラフィックス)^{*1}

この科目は、学部を問わない一般学生を対象としており、とくに文系の学生を想定している。微積分や行列の知識なしでも、自分の手で CG 作品を作る喜びを味わってもらうとともに、CG の基本的な手法についても学ぶことをねらいとした。このため、1 回 90 分のうち前半で CG の手法について講義し、後半で POV-Ray⁴⁾ を使った演習を行う、という構成をとった。特定の教科書は使わず、PowerPoint による教材を使用した。

毎週、演習で作成した POV-Ray ファイルを提出させ、提出確認と学生自身による自作のレベル認識を兼ねて、画像を上記 Web サイトに掲載している。各回の講義・演習内容は下記の通り。

第 1 回	CG 入門
第 2 回	物体の指定 (1)
第 3 回	CG の歴史、色の指定
第 4 回	カメラと照明の指定
第 5 回	CSG, 座標変換
第 6 回	シェーディング
第 7 回	テクスチャ
第 8 回	物体の指定 (2)

^{†1} 慶應義塾大学 理工学部

Keio University, Faculty of Science and Technology

^{*1} www.on.ics.keio.ac.jp/~ohno/hiyoshi/



図 1 歌川広重の名所江戸百景より
「猿わか町よるの景」¹⁾

Fig.1 Utagawa Hiroshige's "Saruwaka-cho"

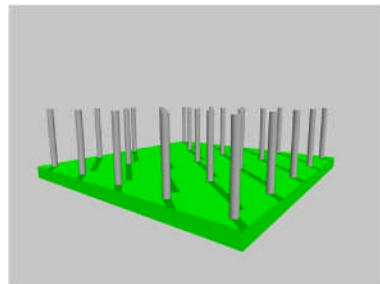


図 2 図 1 に相当する状況の CG による描画
Fig.2 CG image corresponding
to the situation of Fig. 1

- | | |
|---------------|--------------------|
| 第 9 回 | バンプマッピング |
| 第 10 回 | 透明物体の扱い |
| 第 11 回 | 繰り返しとアニメーション |
| 第 12 回 | 照明の指定 (2) |
| 第 13 回～第 15 回 | 課題 (自宅, 自分の部屋, など) |

演習は極力、その週の講義内容が生きるようなテーマを取り上げるようつとめた。講義部分でも、CG 手法の説明だけでなく、学生が興味をもてそうな関連する話題を加えるようつとめた。

例 1. 浮世絵における影や投影法の矛盾 (第 4 回)

この回には、カメラや光源の指定方法とともに、透視投影や影付けについても説明する。そこで広重の名所江戸百景「猿わか町よるの景」を取り上げて、簡略化したシチュエーションに対する CG 画像と比較している (図 1, 図 2)。またこれに関連して、当時の絵師たちの制作状況を説明し、著作権に対する当時の考え方にも言及する。

また、透視投影と平行投影が混在した浮絵という作品を紹介し、そうした特殊な投影によって得られる効果に言及する (図 3)。

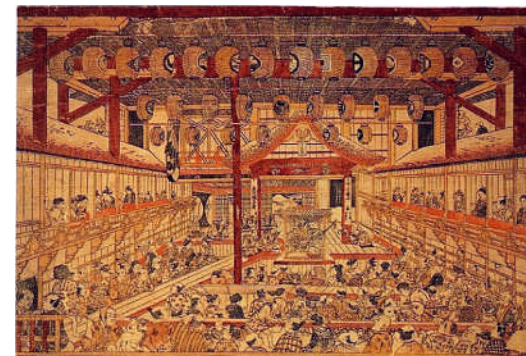


図 3 奥村政信「芝居狂言舞台顔見世大浮絵」²⁾
Fig.3 Okumura Masanobu's "Ukie"

例 2. 鏡を利用したマジック (第 6 回)

この回は、シェーディングモデルとともに、レイトレーシングにおける反射光の追跡についても説明する。このテーマに関連する演習課題として、鏡を利用した消失マジックの道具³⁾を CG で再現させている。また、特殊な鏡の反射画像をテーマにした小説「鏡地獄」(江戸川乱歩)を紹介し、その状況を CG で再現した動画を紹介^{5),6)}している。

この科目は多くの学部で自由選択科目という扱いで、卒業単位にカウントされず、さらに授業料とは別に 5,000 円の受講料を払わなければならない、という不利な条件であったが、それだけに履修する学生は非常に熱心で、授業時間内にできなかった部分を自宅などで改良して、翌週までにメールで送ってくる学生が多かった。また、POV-Ray が簡単にインストールできるフリーソフトであることが、そのような、自宅などでの追加作業を可能にした。

3. 情報工学実験第一

情報工学科 3 年生を対象とした必修科目で、半年間に 6 テーマを実施する。そのうちの 1 テーマがコンピュータグラフィックスで、これも POV-Ray を用いた画像作成を行った^{*1}。

この実験を履修する学生は、この時点ではコンピュータグラフィックスの講義を受けていない。そこで午前中の 1 時間強で、実験に必要な内容をコンパクトにまとめて講義し、午後

*1 現在は担当を交代しており、筆者は担当していない。

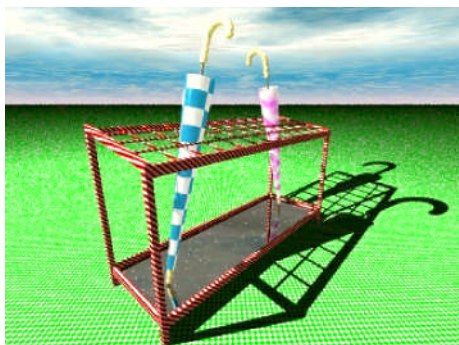


図 4 情報工学実験第一の作品例
Fig.4 A student's work

の3時間強で作品作成を行った。

演習の題材は毎週変え、極力、手にとってあるいは手にふれて形や大きさを測定できるものを取りあげた。たとえば実験室内にある机や椅子、おもちゃなどで、CSGで構成しやすい形状の物体を取り上げるようにつとめた。典型的な作品の例を図4に示す。

対象物体がひとつとおりできると、周囲に関連物体を配置したり、照明効果を工夫したりして、時間の経過を忘れて熱中する学生がいる反面、週によって課題の難易度にばらつきがあり、このことに関する苦情は少なくなかった。

4. コンピュータグラフィックス特論^{*1}

理工学研究科の修士課程学生を対象とした科目で、国際コースに含まれているため、講義は英語で行った。また、「高度IT技術者育成プログラム」の一環でもあるため、矢上キャンパスだけでなく、遠隔講義として、慶応の藤沢キャンパス(政策メディア研究科)、早稲田大学基幹理工学研究科、中央大学理工学研究科、情報セキュリティ大学院大学情報セキュリティ研究科にも配信した。ただし、他キャンパスでの受講者はきわめて少数であり、その多くが途中で落伍したことは残念である。

内容は学部3年の選択科目「コンピュータ・グラフィックス」の続編という位置づけで、前半でモデリング関連の話題を取り上げ、後半ではレンダリング関連の話題を取り上げた。

各回の内容は下記の通りである。

第1回～第2回	曲線の表現
第3回	曲面の表現
第4回～第5回	測定にもとづくモデリング
第6回～第7回	構造を反映したモデリング
第8回～第9回	動きデータの取得
第10回	レンダリングの高速化
第11回～第13回	写実的なレンダリング
第14回～第15回	写実的でないレンダリング

この科目では、毎年3回の課題を出したが、その中で、学生の興味を引いたものを2つ紹介したい。

4.1 三角形ストリップの生成

多数の三角形ポリゴンからなるモデルを与えて、それらの三角形をできるだけ少数の三角形ストリップにまとめるアルゴリズムを工夫させる。

この課題に対してある学生は、任意の三角形から出発し、渦を巻くようにストリップをのばしていく、というアルゴリズムを提案した。この方法によって、3866個の三角形を126本のストリップにまとめることができ、最長ストリップの長さは2187であった(図5)。

4.2 緩和法によるパッキング

正方形領域の中にあらかじめ個数を決めた同一半径の小円をランダムに配置したパターンを与え、緩和法によりそれら小円の重なりをできるだけ除くアルゴリズムを工夫させる。

与えた初期状態を図6に示す。これに対して数人の学生から、各円を、その周囲にある円からなるべく離すように移動する、というアルゴリズムが提案された。その中でも、移動量を少な目に抑える方法がよい結果を得た。この方法で得られたパッキングを図7に示す。

別の年には、対象領域を正方形ではなく、円領域とした。初期状態を図8に示す。このときには、近接している円を一方向的に遠ざけるのではなく、遠ざけた後でうまくパッキングできる位置に戻す作業を行い、この組み合わせ作業を繰り返すことによって非常によいパッキングを得る方法が提案された。この方法で得られた状態を図9に示す。このアルゴリズムは正方形領域の場合には思いつきにくく、領域が円であって初めて着想されたものと考えられる。

課題に対して提出されたレポートは、各学生のアプローチを分類し、それぞれのアプローチの特徴、結果の優劣を講義の中で説明した。

^{*1} www.on.ics.keio.ac.jp/~ohno/cgsp10/

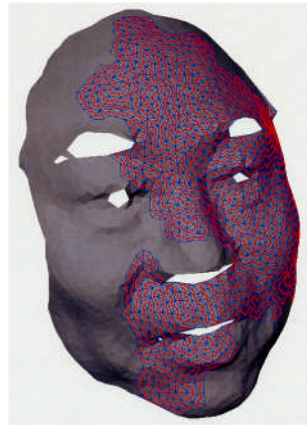


図 5 三角形ストリップの構成 (最長ストリップを示す)
Fig.5 Construction of triangle strips (the longest strip is shown here)

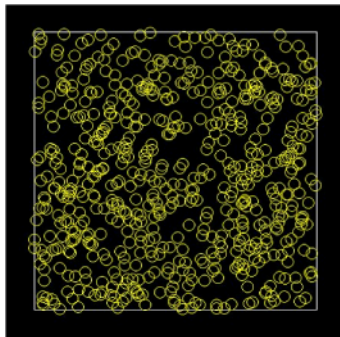


図 6 初期状態 (正方形領域)
Fig.6 Initial placement (square area)

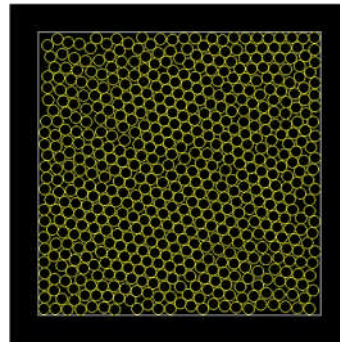


図 7 提案アルゴリズムによる結果
Fig.7 Obtained placement

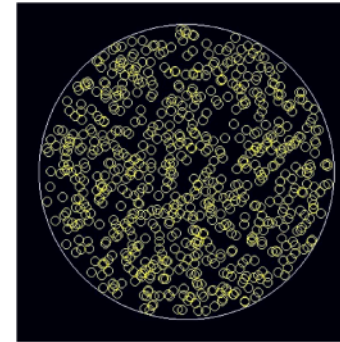


図 8 初期状態 (円領域)
Fig.8 Initial placement (circle area)

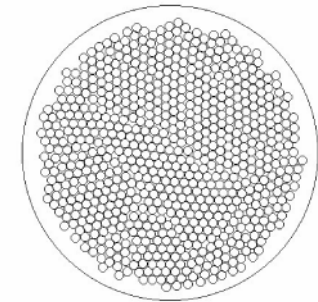


図 9 伸縮アルゴリズムによる結果
Fig.9 Obtained placement by expand/shrink algorithm

ここにあげた以外の他の課題としては、次のようなものを出題した。

ベジエパッチによるトーラス面の近似

2次元点列の、ベジエ曲線による最小自乗近似

2次元Lシステム

2次元逆運動学

2次元ラジオシティ法

2次元フォトンマッピング

レイトレーシングに対する空間分割法の効果の評価

履修学生が必ずしも情報分野とは限らないので、負担を減らすために、3次元を避けて2次元ですませた課題が多い。ただ、学生が解法に独自の工夫を行えるような課題を十分にそろえられなかったのが残念である。

また、失敗例も1つ紹介しておきたい。

4.3 トーラス面上の一様点のサンプリング

まず正方形領域と円領域、それに球面上で点を一様にサンプリングするさまざまなアプローチについて解説した後でこの課題を与えた。しかし、学生からの解答の約半分は、素朴なアルゴリズムによるポアソンディスク法であった(図10)。わかりやすく、実装も楽であったためである。

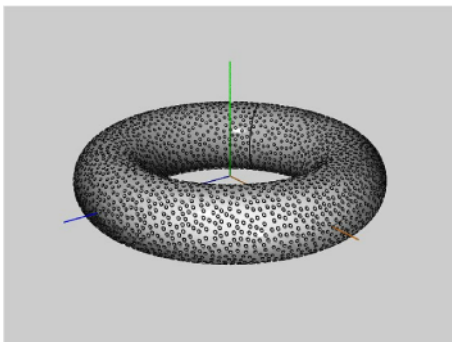


図 10 トーラス面上の一様サンプリング
Fig.10 Uniform sampling on torus surface

5. ま と め

5.1 POV-Ray の使用

現在、市販 CG ソフトの多くがメニュー選択やマウス入力を中心とした、直接的なモデリング法を採用しているのに対し、POV-Ray は文字入力によるモデリング法を採用している。このため、物体や光源、カメラの位置は座標を数値として入力することになる。そこで、とくに文系の学生の中には、カメラの向きがわからなくなって、画像に何も描かれず、とまどうこともあったが、なれるにしたがって、物体の位置や大きさなどを厳密に配置でき、さまざまな物体を自在に配置できるようになった。

POV-Ray が簡単にインストールできるフリーソフトであることも、教育上、きわめて効果的であった。

5.2 課題の内容

とくに大学院科目「コンピュータグラフィックス特論」では、解が唯一ではなく、自分で新たなアルゴリズムを工夫できるようなテーマを出すようにこころがけた。また、そのアルゴリズムの有効性を数値で比較できるようにすることにも努力した。このような課題では、結果を Web で提出させ、その評価を定量的に行った。そのことにより、学生の競争心を刺激できたのではないかと考えている。

参 考 文 献

- 1) 広重の大江戸名所百景散歩, 人文社 (1996).
- 2) 小林忠: 浮世絵の歴史, 美術出版社 (1998).
- 3) ジム・ステインメイヤー: ゾウを消せー天才マジシャンたちの黄金時代, 河出書房新社 (2006).
- 4) www.povray.org
- 5) http://members.at.infoseek.co.jp/uteba/p_kagami.html (現在は閉鎖されている)
- 6) www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~nagatani/SphereInside/

(平成 20 年 11 月 26 日受付)

(平成 20 年 11 月 28 日採録)



大野 義夫 (正会員)

1946 年生。1970 年慶應義塾大学大学院工学研究科修士課程管理工学専攻修了。1973 年同博士課程単位取得退学。工学博士。1970 年慶應義塾大学情報科学研究所助手。1989 年同大学理工学部電気工学科助教授。現在同大学理工学部情報工学科教授。1978 年～1980 年米国ユタ大学工学部および理学部訪問研究員。コンピュータグラフィックスの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、日本ソフトウェア科学会、芸術科学会、画像電子学会、映像情報メディア学会、ACM、IEEE Computer Society 会員。