

パーソナル・コンピュータ支援による 総合科目「数理科学の世界」の試み

理学部 長谷川 彰 ・ 理学部 竹内照雄
理学部 寺澤達雄

An Attempt of a Series of the Personal Computer Aided Lectures “World of Mathematics and Physics”

Akira HASEGAWA, Teruo TAKEUCHI, Tatsuo TERASAWA and Koji HONMA

A series of the personal computer aided lectures “World of Mathematics and Physics” was begun with the aim that students might get a deeper understanding of the basic concepts on mathematics and physics by numerical computations and also by visualizing theoretical results by the aids of the computer graphics techniques. The lectures consist of number theory, statistics, physical simulation and fractal. Details of each lecture and student's responses are reported.

Key words: Personal computer, Numbers, Statistics, Physical simulation, Fractal

§ 1. はじめに

平成元年2月、教養校舎A棟307教室に学生実習用としてパーソナル・コンピュータ20台が設置され、平成元年度より、教養科目の中に、この設備を利用して総合科目「数理科学の世界」が開講された。この講義は、パーソナル・コンピュータ実習を積極的に取り入れた数理科学教育を目指したもので、当初は、設備の関係から少人数のための実験的講義として発足した。平成4年度においては、3.5インチのディスク装置を各コンピュータに設置し、総合情報処理センターを併用して使えるようにした。平成5年度、総合情報処理センターに新システムが導入されたことに伴い、古くなった20台のコンピュータは総合情報処理センターの新しい50台（教師用1台を含む）のコンピュータと入れ替えられ、平成6年度より本格的な授業として実施されるようになり、現在に至っている。

平成元年度、この講義は、岡田美保子（統計学）、本間興二（物理学）、竹内照雄（数学）、長谷川彰（物

理学）の4名の教員により開講されたが、平成3年度、岡田教員が転出した後は寺澤達雄（統計学）が代わった。講義の目標は、「パーソナル・コンピュータを用いて、数理科学の分野に現れる様々な法則や現象を視覚的・数量的に把握し、それらに関する基礎理論への理解を深める」ことにおかれている。全学部を対象としているが、傾向としては工学部の学生が多い。具体的な講義内容は、「数と計算（ π を巡って）」、「パソコン統計解析」、「物理現象とシミュレーション」、「フラクタル」であり、それぞれ、竹内、寺澤、本間、長谷川が担当し、各人がこの順序で平均8コマを受け持ちつつ通年4単位の授業が行われている。

授業はコンピュータによるデモンストレーションを積極的に取り入れた講義が中心であるが、OHPもかなり利用されている。教材用プログラム、学生に提示する例題プログラム、テキスト等の作成や、OHP用の教材作りに力を入れ、効果的な授業を行うための工夫がなされている。その意味で、実験的な授業であるという性格は今も変わらない。新しい情報機器やソフ

トプログラムの発達を常に取り入れ、教育に生かすような試みが続けられている。

この授業では、聴講者はあらかじめコンピュータに習熟している必要はない。授業の初めに、準備として、BASIC言語の概略を学ぶことができるように配慮されている。成績評価は、出席状況とレポートの成績によって行っている。

これまで、4教員による多様な授業内容にも拘わらず、落伍する学生は少なく、コンピュータや数理現象を身近に感じるようになった学生は多いように思われる。また、かなり高度なレポートを提出する学生もあり、興味を引き出すことの重要性が感じられる。

聴講学生数については、学生用コンピュータが20台であった平成5年度までは、50名を許可し、コンピュータ1台に約2名の学生数として授業を行った。学生用コンピュータが49台となった平成6年度からは、各人が1台ずつコンピュータを使用できるように49名を許可している。毎年、2～3倍の聴講希望者が殺到するが、設備の関係で聴講者を制限せざるを得ず、多くの学生の受講希望に応じられなかったのは残念であった。

ここでは、総合科目「数理科学の世界」における各々の講義の目標と内容について説明し、授業中の学生の反応や、学生アンケートに見られた学生の感想を紹介し、さらに、今後の抱負などについて報告したい。

§ 2. BASIC入門

この講義では全くコンピュータに触れたことの無い学生も対象としており、準備として、計算機入門とBASIC言語の入門を行っている。計算機について短時間で修得するのはなかなか難しく、これをいかに効率的に学習させるかは、この講義を開講したときからの大きな課題の一つであった。

このためBASIC学習用の補助教材として、BASIC言語の解説から、実習、例題プログラムの実行まで、学生が自分のペースで学習できるソフトウェア<BASIC Tutor>を開発し(文献1)、利用している。<BASIC Tutor>は平成元年度から開発を始め、平成2年度より授業で利用しており、学生の反応を見ながら、毎年機能の向上を図っている。

この<BASIC Tutor>は元々N88-BASICの学習を目的として開発された。しかし、N88-BASICは現在ではかなり古くなった言語であり、現在では教育用として不適と思われる部分を含んでいる。そこで、<BASIC Tutor>の機能向上が一段落したのを機に、「より使いやすく」を目標にBASIC言語インタプリタを新たに開発することにした。平成5年度から開発にかかり、平成6年度からTiny Basic(文献2)として授業での利用を始め、現在に至っている。このTiny Basicは速度や機能はN88-BASICより劣るが、メニューによるLoadやオンラインマニュアルを組み込んだ「親切簡単Basic」を目指している。使用環境はN88-BASICとTiny Basicは少し異なるが、言語仕様はほぼ同じであり、例題プログラムは両方で動き、学生にはN88-BASICとTiny Basicどちらも使っても良いと指導している。

これらのソフトは、学生用実習システムとして、307講義室の他、情報処理センターの学生実習室にもインストールしており、授業時間外での学習にも利用されている。また、このシステム全体はフリーソフトとして配付もしており、自宅のパーソナルコンピュータにインストールして自習に利用している学生もいる。従って、PC-9801コンピュータを持っていれば、N88-BASICを購入しなくても、Tiny Basicを使って自宅でBASICを動作させることが出来る。授業ではこれらのソフトを積極的に利用したBASICの学習を行っており、授業時間外での活用も学生に勧めている。またマニュアル等のテキストは基本的にすべて印刷したものを配付し、ノート等を取ることは最小限にし、授業や実習に集中させる様にしている。

BASIC入門は平成6年度までは、6回程度の授業で、計算機の概要とダイレクトモードの実習、プログラム作成の概要と簡単なプログラムの実行、ファイル管理の概要とエディターの使い方、簡単な制御文とそれを使ったプログラムの実習、画面制御の概要まで一通り行っていたが、学生の負担を考慮して、平成7年度からはグラフィックなどの画面制御は後の授業の中で必要に応じて行うこととして、4回程度で基本的な制御文を使ったプログラミングまでを行うこととした。

この講義の聴講学生は既にコンピュータについてあ

る程度習熟した学生の他、全く未経験という学生もいる。このような様々な学生に対して均一の授業では、「難しすぎる」という意見がある一方、「易しすぎる」という意見もあり、内容の取舍選択は難しい。この講義では試験は行わず、レポートと出席によって評価を行うが、この問題については、レポートの課題として色々なレベルのものを提示し、それを各自選択させることで対応している。その結果かなり高度なレポートやプログラムを作成する学生も例年何人かいる。

この講義でのプログラミングはMS-DOS上のN88-BAISC或いは、そのサブセット・インタプリタTiny Basicを使っており、MS-DOS上の初級プログラミング教育としては、この学習システムでほぼ初期の目標を達しつつあるように思われる。しかし最近のコンピュータの発達が目覚ましく、現行のMS-DOS上のコンピュータシステムは遠からず、新しいよりビジュアルなコンピュータシステムに置き換えられるであろう。現在この講義で使用している教育ソフトは、PC-9801のMS-DOS上システムに深く依存しているので、これらがそのまま、次期のコンピュータシステムの上で動くことは考えられない。新しいコンピュータシステムの導入に備えて、これらの学習ソフト等今迄の資産を活かし、発展させていくかは現在の最も重要な課題の一つである。

§ 3. 数と計算 (π を巡って)

古来、大数学者の多くは計算好きで、膨大な数値計算を手計算で行い、色々な数値実験を試みた。現在我々はコンピュータという強力な道具を用いることによって、それ以上の計算を容易に実行できる。具体的な数値計算というある種の実験的方法を使えば、理論のみを扱うことに比べて、数学的事実をより身近に、深く理解することができる。

この講義では、 π を題材にして、それを幾通りかの方法で計算することによって、数値計算による数学の理解を体験するとともに、古代から現代に至る計算方法の進歩を辿ることにより、数学の発展進歩の流れを見ることを目的としている。

内容は、モンテカルロ法を使って円の面積を求める

方法、円に内・外接させた正多角形の辺の長さを求めることで、円周を求めるアルキメデスによる方法、微積分法を使って円の面積を求める数値積分法を使った方法、マチンの公式等アークタンジェントの級数展開など級数展開を用いた方法、そして現在でも π の高精度計算競争に使われている算術幾何平均を使った方法 (AGM法) を解説している。

これらかなり多くの内容を4、5回の講義という短時間に解説しなければならないことや、専門的にならないというこの講義の主旨から、授業では数学的な厳密な証明は避け、主に直観を使った幾何的な説明を行い、具体的な計算アルゴリズムを示して、その方法の特徴、本質を理解してもらうことにしている。更にそのアルゴリズムをBasicで実現したデモプログラムを提示して、実際に実行し、 π が計算されていく過程を目で見て理解を深めてもらう。このプログラムは可能な限りグラフィックを用いて視覚的に内容が理解できるようなものとしている。

この講義を始めた頃はテキストやコンピュータ画面をOHPに投影して授業の説明をかなり行っていたが、画面が暗いことやカラーでないことなどの理由から、最近では、説明は主にホワイトボードを使い、デモは各学生のコンピュータで実行させていることが多い。学生各自が操作してデモプログラムを実行することは良いことではあるが、プレゼンテーションの効率としては、必ずしも良くない。新しい教師用プレゼンテーション設備が使え、目的に応じて、教師がデモプログラムを実行する様子も学生に提示できるようになることが望まれる。

テキストは比較的厳密な証明を含めたものを印刷し配付している。これにより、ノート等を取ることは最小限にし、授業や実習に集中させる様になっている。また詳しい証明を知りたい学生の便宜を図ることにもなっている。より詳しい説明のテキストが良いであろうという考えから、毎年テキストは書き足し、「 π の計算」の分だけで約60頁のものになっている。しかし、最近の学生は詳しいプリントの配布を必ずしも歓迎しないようである。もっとポイントを絞った、分かり易いものを求めているように思われる。これからは内容を増やすよりは、分かり易さを重視して内容をむしろ厳選

し、読みたくなるようなテキストを目指さなくてはならないかも知れない。

講義の内容に関する学生の反応は、概ね好評に思われる。モンテカルロ法は原理が簡単で汎用的であるが、意外に効率が悪い。比較してアルキメデスの方法は効率が良く、その方法が古代ギリシアの時代に既に得られていたこと、そして、それを本質的に越える方法は2000年近くも後になって始めて発見されたことに感心する学生は多い。更にマチンの公式が非常に良いこと、それにも増して、AGM法の強力さには殆どの学生は驚く。いくら高性能な計算機を使っても、素朴な方法でただ単に計算機を力任せに動かしただけでは大した計算は出来ず、数学的理論を上手に使うことによって初めて高精度な計算が可能なることを実感しているようである。このような個々の π の計算方法を理解して、面白く感じるばかりではなく、これほど長い間多くの人が π の計算に関わってきたという歴史の重さに圧倒されたと言う学生もいた。

最初に授業を始めた平成元年度の頃はプログラミングにかなり重点を置いた内容で、かなりハードな内容であったが、それにも関わらず聴講を途中放棄する学生は少なかった。しかし最近では多様な学生が聴講しており、「難しい」とか「量が多すぎる、速すぎる」といった声も多く聞くようになった。そして、それに合わせてレポートの課題の量も以前より減らす傾向にある。これからも、聴講学生の動向に合わせて、授業内容やレポート課題、評価について学生の個性に応じた方法を更に考えていく必要があると思われる。

§ 4. パソコン統計解析

情報・数値が氾濫しているような情報化時代といわれる今日、我々は身近なところでこれらのデータに何らかの影響を受けながら日常生活を営んでいる。データといっても質的なものと量的に測定されたものに分類されるが、しかし、何も整理・加工されない生のデータを直接目にするのは極めて少なく、質的データにはムード的な伝聞情報を含んでいたり、量的データでは調査を実施した人たちの目的に添って、統計的方法で処理・加工された受動的なものがマスコミによって

伝えられてくるというのがその殆どである。

このようないわゆる平均的な情報を活用することは、処理の手間もかからず効果的である反面、一般的な価値観というある種のフィルターがかかったものであり、ともすればその情報に振り回されて独自性が失われてしまう危険性を含んでいる。時には自らの意志でデータを集め、これだけ普及しているパソコンを使って自分なりの価値観に基づいて処理・分析することも必要であると思う。若いうちこそ、自由で独自性に富んだ発想が貴重である。

この授業では、そのきっかけ作りを目指しているものであるが、もうひとつ欲張って簡単な統計処理のプログラム作成を通じて、プログラミングの考え方やデータを蓄積し、それを適切に管理・活用する方法などを理解してもらうこともねらいとしている。

統計処理のプログラムは、アプリケーション・パッケージとしてこれまで最も市販、流通しているソフトの一つであるが、それらは初心者にとって必ずしも使いやすいものとは言えないのが現状である。実際の統計処理をパソコンで実行するには、事前の準備としてデータ整備といった事務処理が不可欠で、機能の充実したパッケージは幾つかのプログラムから構成されており、プログラムも長いものが多い。そのような流通ソフトを利用しデータの入力から出力までを一貫して行う場合はまだしも、別途作成したデータを利用するときなどは、プログラムの構造を調べたり、その整合性のチェックなどプログラミングの知識が必要となる。BASIC言語の概略を学んだ学生にとっては、自分ならこう処理すると簡単なプログラムを作成してみる方がわかり易い面もある。

授業の前半では、統計処理よりはむしろこれまでの復習を兼ねたプログラミングの考え方に重点をおいて、大きなプログラムも構造的に作成することによって小さなサブプログラムに分割できること、そのようなサブプログラムを構造的に積み上げてパッケージ・ソフトも構成できることを中心に、プログラムの構造化、プログラムの連結などの展開を試みている。作成するプログラムは、精々40~50ステップで作成できるものに機能を限定し時間内に完成してもらうことを目標とした。個人的にパソコンを所有している学生や興味を

もって意欲的に取り組んでいる学生などはほぼ時間内に完成させていたが、手こずっている学生も多少みられた。

次の展開はデータファイルに関するものである。データファイルの作成とそのメンテナンスは、統計処理にとって不可欠な要素であるが、この部分が一番の難関でもある。初めの頃は順編成ファイルと乱編成ファイルの両方の作成、検索を扱うプログラムを作成してもらうことを試みた。しかし、時間的に見てとても無理であり、現在では順編成ファイルに限定している。その際に問題となるのがデータのメンテナンスであるが、これにはテキスト・エディターを利用して対処している。ワープロを使える学生が多くなってきたせいか意外と抵抗が少ない。この部分については、当初のねらいのデータの蓄積、管理の面では問題があり、今後、データベース・ソフトを利用するなど、どのように展開し充実させるかが課題の一つであると考えている。

授業の後半は、記述統計を中心とする基礎的な統計処理プログラムの作成に必要な統計的方法を説明した後、入力と出力の部分は予め作成してあるが、統計処理の計算部分を抜いた未完成なプログラムを4本ほど提示して、それを完成してもらうことにしている。高校での統計科目が大学受験にあまり深く関わっていないせいか、基本的な統計手法の理解に戸惑っている学生もいる。レポートは完成したプログラムとこれらを連結するメニュー・プログラムの作成を最低限度の提出課題とし、処理すべきデータの収集とデータファイルの作成は独自のものを求めたが、残念ながらこれまでのところでは、どれも平凡なものだけであった。自由問題として中央値や最頻値を求めるプログラムの作成もあるが、この数年間ここまで作成した学生は極めて少なかった。

プログラムの作成では、入力情報が少なく結果の出力情報が豊富なものや、手計算では時間がかかりすぎてしまうが、コンピュータでは素早く鮮やかに計算が完了するものなどが初心者にとってインパクトも強く歓迎もされる。翻って統計処理では、比較的大量のデータを対象とし結果の出力も集約されて少ないのが一般的な傾向で地味なものである。プログラミングの入門

段階での統計処理のプログラム作成は、プログラムの検証の面で難があることは否めない。しかし、長年民間にあってプログラム作成に従事してきた私としては、統計処理が情報処理の根幹の一つであり、わかりやすくバグを見つけやすいプログラムとテストデータの作成を入門段階から訓練しておくことも大切な要素であると考えている。反面、学生の反応として「プログラムが短いわりには作るのが難しかった」、「内容が多すぎる」などと言われ、いささか盛り込みすぎたかと反省している。

今後の課題としては、他の人の作成したデータファイルを活用したり、ネットワークを利用してデータを収集し、データの再入力を省くことやいろいろな統計グラフを作成し視覚的に訴えること、既存の統計パッケージ・ソフトも導入して学生のプログラム作成の負担を少なくするなど、CAI的な要素を加味した授業展開に努力したいと考えている。

§ 5. 物理現象とシミュレーション

物理学はその発展の歴史をひもといて知られるように、数学の発展と密接に関わってきた。それは、物理現象の本質的な理解のためには、現象を正確に記述して行くための数理が必要だったからである。こうした意味で、数学は物理学を学ぶ上での「言語」と言っても言い過ぎではない。現象を物理の視点で説明する際に、それを構成している「条件」と数理的処理による「結果」で概説する事はできても、深い理解にはつながらない。「条件」と「結果」の間にどのような「懸け橋」を懸けることができるか、これを煩雑な、あるいは、難解な数学的手続きに依らずに、簡明に達成する方途の一つがコンピュータシミュレーションといえよう。シミュレーションでは現象の進行過程を逐一画面に表示する事により、いいかえれば、コンピュータ上で模擬実験を行う事により、説得力を持った授業展開が可能である。ここでは、物理的条件を正確に設定することにより再現することが可能な「決定論的現象」と、「正確な再現」が不可能な確率論的事象としての「非決定論的現象」を題材にして、コンピュータ実験による再現を試みながら、これらの現象を支配してい

る基本法則と物理的条件を学ぶことを目指している。

コンピュータシミュレーションは広範に活用され、物理教育の分野でも例外ではない。物理現象をコンピュータでシミュレーションするためのテキストは数多く出版されている。しかしながら、これらのテキストの多くはシミュレーションのために必要な手続きである、①微分方程式の数値解法、②プログラミング、ならびに、③プログラムの解説に重点が置かれており、その記述内容は教養教育としての物理学を一度学んだ学生を対象にしている様に見受けられる。これは、「物理現象を構成している条件」とその「結果」の間をコンピュータシミュレーションで結ぶにしても、そのための手続きを欠いては「懸け橋」となりえず、一方、テキストとして物理学の全体を網羅する必要性から取られた構成であろう。

この授業では授業時間の制限もあり、題材を「決定論的現象」と「非決定論的現象」から少数を精選し、そこに必要とされる物理学の方法を初歩の段階から解説する事にした。対極にある二つの現象を題材に選んだのは、現象にアプローチするための「物理学の方法」の多様性に触れたいと考えたからである。授業プログラムは次の通りである。

[1] 初歩の力学：運動の法則

- (1) 運動、速度、加速度
- (2) 運動方程式：万有引力
- (3) 運動方程式の積分：保存則
- (4) 位置エネルギー

[2] シミュレーション

- (1) 関数のグラフ表示
- (2) 微分方程式の数値解法 (I)：オイラー法
- (3) 微分方程式の数値解法 (II)：ルンゲ・クッタ法
- (4) 微分方程式の数値解法 (III)：2元連立常微分方程式
- (5) 応用例

[3] 確率的事象

- (1) ブラウン運動：酔歩の問題
- (2) 平均自由行程

[4] 課題演習

[1] 初歩の力学では、物体の運動の記述から、ニュートンの運動方程式、それを展開した各種の保存則、ならびに、物体の運動を規定する諸条件を扱う。シミュレーションに必要な手続きは、微分方程式の数値解法を主体に [2] シミュレーションで扱う。ここの、(5) 応用例では、「決定論的現象」を題材にした例題プログラム (①バネの減衰振動、②抵抗力を考慮した放物運動、③静止衛星、④月ロケット、⑤電場・磁場の中におかれた荷電粒子の運動) による演習を行う。[3] 確率的事象ではブラウン運動を題材にした「非決定論的現象」を扱う。規則性を持たない乱れた現象においても、微細な過程で「揺らいでいる量」が時間平均と空間平均で一致して行く様子をシミュレーションを通して概観する。[4] 課題演習は例題プログラムを応用しながら、その題材に含まれる物理量を抽出し、解釈を加えたレポートである。

授業の展開は、コンピュータのグラフィック機能を使う必要性から、プログラムの順序を変えて [2] シミュレーションから始め、授業時間の後半にコンピュータ演習を行っている。授業内容と演習課題を整合させるためには、それなりの工夫が必要である。また、授業内容が多いためにOHPを利用し、学生がノート取りに追われて話の筋道を聞き逃すことがないように、そのコピーを配布している。これは、授業内容をその場で理解させたいとの思いがあつての方便でもあり、熱心な学生には好評である。一方、プリントさえ手に入れば後からでも追いつけると思うのか、話に集中しない学生も散見する。例題プログラムの題材は、極めてありふれてはいるが、学生が興味を覚えるように、③静止衛星、④月ロケットでは、地上からロケットを発射し飛行状態を判断して加速(減速)を行い軌道に乗せる等の工夫を施している。また、ブラウン運動では、色素粒子(水に溶いたポスターカラー粒子)の動きの顕微鏡像をビデオに取り、テレビ画像で見る実際のブラウン運動による粒子の動きとシミュレーションでの粒子の動きが対比できるようにしている。

演習時の学生の対応は様々で、まるで想定していないパラメーターを平気で入力する。結果は無惨に終わることが大半であるが、時には、予想もしていなかった見事な物体の運動のグラフを描き出すことがあり、

教えられることもある。題材に応じたプログラムを作り、予想される結果ができるように条件を決めたわけだが、出来上がったプログラムはかなりの普遍性を持っている。学生は、様々なパラメーターを試しながら物理的条件の意味を探っていくことになる。レポートに「物理学は奥が深い」と感想を述べてきた物理学科の学生は、シミュレーションを通じて今まで思い描いてきた物理学の別の一面を見ることができたのだと想像している。

この授業に携わって何年か経過した。授業内容は年々増加し、限られた授業時間内に終わることが困難になりつつあり、講義と演習共に授業内容を精選、整理する必要に迫られている。また、物理学への学生の興味と関心を引き出すために、例題プログラムに新しい題材を加え、実際の現象を映像化しシミュレーションと対比する等の工夫を重ねることが必要である。例えば、「決定論的現象」の題材として「剛体の運動」、「非決定論的現象」の題材として、過程の可逆・不可逆性を主題にした「気体分子の運動」等を検討したいと考えている。

§ 6. フラクタル

フラクタルという概念は、「特徴的な長さ」をもたないような図形、構造、現象などを理解するために、1975年、フランスの数学者マンデルブロートにより創り出され、今日では自然科学のさまざまな分野で適用されているばかりでなく、他の学問分野にまで広く影響を及ぼしている。この授業では、フラクタルの基礎を学び、グラフィックスを利用することによって理解を深め、この概念がいろいろな分野においてどのように用いられているかを概観することを目指している。私は、コンピュータ・グラフィックスで表現されたマンデルブロート集合を初めて目にしたとき、シンプルなプロセスによって極めて複雑な内容を含む図形が得られることに驚き、この新しい科学をテーマとし、理学系学生ばかりでなく文学系学生にも聴講してもらえようという授業をぜひ開講してみたいと思った。

今日では、フラクタルに関する解説書は数多く出版されている。また、テレビでも見ることができ、コン

ピュータ関連の雑誌にも特集が組まれたりするので、美しいカラーでフラクタル図形を楽しむことができる機会は多くなった。しかし、授業の初めに学生に尋ねても、フラクタルという言葉がこれまでに聞いたことがある学生は殆どいない。多分、受験勉強で忙しく、見聞する機会はなかったのであろう。講義では、学生がフラクタルに関しては何も予備知識をもっていないという想定の下で話を進めている。

この授業の前半のねらいは、コンピュータが作り出すいろいろなフラクタル図形を実際に見てもらい、規則的なフラクタルがもつ「自己相似性」を視覚によって把握し、さらに、フラクタル図形の複雑さを測る尺度としての「相似性次元」を理解してもらうことである。基本的なフラクタルとしては、コッホ曲線、カントール集合、シンピンスキーのギャスケット、ド・ヴィースのフラクタル、セル・オートマン、などを用意した。

私が担当する頃になると、学生もコンピュータの使い方にはかなり慣れてきているので、演習として、簡単なフラクタル図形を画面上で描くプログラムを作ってもらおうことにしている。ド・ヴィースのフラクタルやセル・オートマンなどは手頃な課題である。ド・ヴィースのフラクタルは岩石の中に含まれる鉱物の分布を表すモデルであり、セル・オートマンは細胞の自己増殖に対する最も簡単なモデルである。そのような背景を説明した後、各自がプログラムを作り、基本的なグラフィックス機能を用いて、画面上に作図してもらおう。プログラム文としては短いものであるが、繰返し文のようなコンピュータ特有の手法を理解し難い学生もいる。自分で作ったプログラム文と完成した図形のハードコピーに考察を添えて提出することをレポートの課題とした。生成の過程は全く異なるにも関わらず、セル・オートマンはシルピンスキーのギャスケットと同じようなフラクタルとなることが興味深い。

授業の後半は、自然界に見られるいろいろなフラクタルをOHPを利用することによって示し、これらの不規則的なフラクタルの次元を決める方法として、図形の粗視化を利用する方法を説明する。例としては、アマゾン川の支流、リアス式海岸に見られる海岸線、銀河の分布、体内の血管、などを文献から選び、図を用いながら説明した。また、細胞学への応用例として、

耐性菌（抗生物質に耐性をもつ）として大きな問題となっていると言われるセラチア属のある菌の増殖過程がフラクタル構造をもつことを示した図を仲川洋治先生から拝借し、授業で紹介させていただくことにした。学生には、いろいろな分野にフラクタルの概念が用いられていることを知ってもらいたいと思っている。

最後は、有名なマンデルブロート集合として知られている奇怪な蟻地獄に似たフラクタル図形である。この図形は今日ではコンピュータ関連の雑誌などによく見かけるが、この図形を見たことのある学生は殆どいない。この図形の作り方を理解するためには、複素数と級数の収束、発散に関する基礎知識を理解できれば十分である。実際、プログラム自体は非常に簡単なものであるが、コンピュータ上で色彩豊かな鮮明な絵を描くためには、級数の収束、発散の微妙な判定を行う必要があり、これにはかなりの計算力が必要である。また、ディスプレイの高い解像度も要求されるので、現在307号室に設置してあるコンピュータの性能では少し物足りない。これまでの授業では、総合情報処理センターの大型コンピュータによって得られた計算結果を学生に示した。マンデルブロート集合に多少なりとも関心を持って貰うことができれば、私の授業の目的はほぼ達せられたと思っている。

学生の反応はさまざまである。数学科や物理学科の学生は、もともと興味があるのであろうか、課題を解くスピードははやい。工学部の学生も同様である。文科系学部の学生の中にも興味をもって最後まで聴講し、課題をやりとげる学生はいる。授業内容について、「いろいろな図形を鑑賞することができてよかった。」という単純な反応から、「プログラムを作るのが難しかった。」「複雑な図形が簡単なルールから作られることがわかり、感銘を受けた。」など、さまざまである。学生の中には、かなり興味を示す者もいて、与えられた課題に答えるばかりでなく、図形を生成する規則を自由に変えることによって、いろいろな図形を完成し、レポートに添付してくる学生も何人かいた。

この授業に関する今後の抱負としては、例示するフラクタル図形の数を増やしたいと考えている。マンデルブロート集合の他にもジュリア集合などを加えたい。フラクタルと密接な関係があるカオス理論の基礎を加

えてみたいとも思っているが、現在の授業の枠内で行うのは時間的に余裕がない。若い世代は、パターン意識が優れていると言われているので、コンピュータ・グラフィックスに支援された授業を工夫することはこれからはますます必要となるのではないだろうか。

§ 7. 学生向けアンケートより

この講義に関する聴講学生の感想や意見については、各テーマ毎に § 2～§ 6 ですですでにいくつか紹介してきたが、この章では、この講義全体に対して聴講学生が抱えている感想や意見を、平成6年度の学生へのアンケート集計結果から紹介し、いくつかの問題点の存在をまとめてみたい。

(1) 講義内容の一貫性について

複数の教員がリレー式で行う授業については、講義内容全体にわたり一貫性が保たれているかどうか問われる。我々の講義では、数理科学の分野において、なるべく高校では習わなかったいろいろな新しい側面を紹介し、コンピュータを使うことによって理解を深めてもらうことができればよいと思っている。明確なテーマの下で4人の教員の講義内容に密接な関連を持たせる方がよいのか、あるいは、関連はあまり気にせず興味あるいろいろなテーマを用意した方がよいのか、学生の希望をも考慮しつつ、今後も検討を続けたい。

この点については、「大きな不整合はなかった」という感想はあるが、「究極の目標が分からず戸惑った」という批判もある。「いろいろなお話が聞けてよかった」、「興味を持てるテーマもあった」など様々である。「先生によって必要とされる基礎知識が異なった」が良くなかった点に上げられたことは重要な問題点と思われる。

(2) コンピュータ実習について

この講義の聴講者はあらかじめコンピュータに習熟していなくてもよい。最初に担当する竹内教員が、初めてコンピュータにふれる学生にもその後の講義の実習を行うための最少の知識を身につけさせるために、数回にわたり、パーソナルコンピュータの取り扱いから始め、BASIC言語の基本的な文法を説明している。

そのために、グラフィックスなどの、さらに進んだテクニックは、その後の講義の進行に合わせて順次教えて行くことが容易になる。

元来この講義は、[情報処理科目]とは異なり、コンピュータの使い方や数値計算の実習に重点を置いている訳ではないが、最終的には、かなり多くの学生がコンピュータの使い方の基礎をよく身につける。学生アンケートでは、この講義を聴講して良かった点に、「コンピュータを使えるようになった」ことを上げた学生の数は多い。しかし、当然ながら、上達の速さには個人差はある。「コンピュータについてもっと初歩的などころを教えて欲しかった」という感想も少数ある。

(3) 成績評価について

成績評価は出席状況とレポートにより行い、筆記試験は行わない。「テストがないこと」を良かったと思う学生もいれば、「レポートが多くて大変だった」と負担に思う学生もいる。出席を重視することは始めに説明済みである。高学年の学生の聴講も許可しているが、所属学部の専門科目の都合で欠席することが多いのは困る。

(4) 授業方法について

自由意見の中には、「専門用語を使いすぎる」、「もっと基礎的なところを多くして欲しい」、「パソコン経験者と全くの初心者に分けた授業にして欲しい」などの指摘や要望が見られる。これは、学生の持っている基礎知識をもっと良く把握し、授業の達成度を確かめながら、授業を進めることが必要であることを示している。

§ 8. 学生の聴講状況と単位取得状況について

平成4年度～平成6年度における我々の講義の聴講状況を表1に示した。表1には、定員数(A)、聴講者数(C)、途中で放棄したために評点を与えられなかった学生数(D)が示されている。また、初めの1、2回を出席した後で聴講を取り消した学生数(B)も加えた。聴講取り消しを届けた学生(B)と途中で放棄した学生(D)の間には、聴講期間の違いはあるかも知れないが、最後までやり遂げる努力をすることが結局できなかったという

表1. 総合科目「数理科学の世界」における最近の聴講状況及び単位取得状況

この表の中で、D及びEに対する平成7年度の数値は、平成8年1月現在における推定値である。

年度	A 定員数	B 聴講取消し	C 聴講者数	D 評点なし	E=B+D(E/A) 単位未取得者数
4	50	5	45	1	6(12%)
5	50	7	43	12	19(38%)
6	49	7	42	6	13(29%)
7	49	4	45	>20?	>24(49%)?

点で本質的に同等であると見なし、最後の欄に単位未取得者として両者を加え ($E = B + D$)、定員に対する比率 (E/A) をカッコ内に百分率で示した。表1には、平成7年度の数値も示されているが、現時点(平成8年1月現在)では、未だ評価前なので、評点を与えられない学生数(D)と単位未取得者(E)についてはあくまでも推定値である。

表1に示されたように、平成4年度では、最終的に単位を取得しなかった学生の定員数に対する比率は12%であり、この数値は決して高くない。4教員による多様な内容とかなりの数の課題を考えれば、途中放棄した学生の割合は非常に少なかったと言うべきである。特に、平成4年度においては、コンピュータは2人に1台の時代であったことを考えると、学生側の努力を高く評価したいと思う。

ところが、この比率は平成5年度では急に倍以上に増え、平成6年度ではほぼ横這いした。昨年度の授業経験や学生へのアンケート調査の結果から判断し、我々は平成7年度の授業内容や課題の量などを少し軽減することにした。それにも拘わらず、平成7年度においては、平成8年1月現在、驚くべきことに半数近くの学生が途中放棄する気配が濃厚である。

この急変とも見える現象の原因は一体何であろうか。学生の学力が急激に低下しつつあるとは考え難い。また、我々教員側は毎年授業方法の改善に励んでいるので、教員側に特別な落ち度があったとも考え難い。このような現象が起きつつある理由を探る上には、新潟大学全体で平成5年度から実施に移され、現在も推進されつつある教養教育におけるカリキュラム改革を背景として考慮に入れる必要があるであろう。

まず、平成4年度までは、教養科目の必修単位数が

43単位と決められ、また、系列別にも必修単位数（各系列で8単位）の枠が決められていた。我々の「数理学の世界」を聴講して取得した単位は、希望するならば、自然科学系列の単位に振り替えることが認められていた。学生は、我々の講義が自然科学系列としての色彩が濃い講義であるとの認識の下に受講し、他の自然科学系列の授業に対すると同様に努力したに違いない。そのために、表1で示された平成4年度の単位未取得者数の比率は、自然系列科目と比較しても遜色ない結果となったのではないであろうか。

ところが、平成5年度になると、カリキュラム改革により必修単位数は30単位に減らされ、系列の枠は外されてしまった。こうなると自然科学系列の単位に振り替えること自体が意味を失ってしまったので、そのような制度も廃止され、我々の講義は通常の総合科目と見かけ上区別はつかなくなってしまった。従って、学生側は我々の授業が自然科学系に分類されていないという理由から、むしろ、文科系の講義に近いという先入観をもち、選択したと思われる。しかし、我々の授業では依然として出席が重視され、また、多くのレポートが課せられていた。シラバスにはこのような我々の授業方針を説明してはあるが、実際に受講してみると、実態は自然科学系の講義そのものであった、という印象を学生に与えたのではないかと思う。そのために、途中で放棄する学生が増えたのかも知れない。このような状況は平成6年度も続いた。表1に見られる単位未取得者が平成5年度になって倍増したことは、この年度から実施されたカリキュラム改革と密接に関係があると考えらるのである。

平成7年度には全学的な方針として、総合科目の開講科目数が大幅に増加された。それにより、学生は以前に比べいろいろな内容の講義を選択することができるようになった。しかし、それと同時に、我々の講義と学生の認識の間のギャップはますます大きく広がり、学生は授業が少し難しく感じられると、努力するよりは途中で放棄し、気軽に別の授業に切り替えるような傾向が強くなってきているのではないであろうか。このような理由から、平成7年度に単位未取得者の大幅な増加が起きると予想されるのである。

このように、我々の講義のあり方について再検討を

迫られているのが現状である。現在検討中ではあるが、次のような方法が考えられる。一つのやり方は、もしも可能ならば、我々の科目を自然科学系列に移すことにより、学生には他の自然科学系の科目と同列にあるとの認識の下に聴講してもらうことであろう。しかし、現在のところ、自然科学系列には総合科目的な性格をもつ科目が入る余地はないので、これは実現の可能性はない。また、別のやり方としては、これまでのテーマをもっと肩のこらないものに改め、文科系の学生にも気楽に聴講してもらえるような、デモンストレーションを中心とした講義に変えて行くことであろう。後者に関して言えば、我々はすでに、平成7年度第2学期から、このような主旨の「数理学科への誘い」（半期2単位）と名付けた文科系向けの総合科目を新たに開講することにした。この新しい講義に対する学生の反応は悪くないが、これについては、学年末に実施されることになっている学生向けアンケートの結果が待ち望まれる。その結果を考慮しつつ、我々の講義の今後のあり方を慎重に検討して行きたいと考えている。

§ 9. おわりに

すでに§ 2で説明されたように、この授業科目の達成度を高めるために、BASIC言語を基礎として特別な教育用プログラムが開発された。このプログラムは現在も改良が加えられつつあるが、この内容は新潟大学総合情報処理センターの年報に報告されている〔文献1及び2〕。また、これらの成果は文部省の主催により最近開催された情報教育に関する研究会においても発表された。

これまでコンピュータの設置台数が少ないので、毎年、多くの聴講希望者の希望に答えることができなかったことを考え、平成7年度の第2学期から、主として文科系学部の学生を対象とした別の総合科目「数理学への誘い」を新たに開講することにした。この授業では、「数理学の世界」の内容のエッセンスの部分を中心に講義することにし、コンピュータは主にデモンストレーション用として使い、実習は省いた。この新しい授業に対する学生の反応や授業目標の達成度などについては、次の機会に報告したい。

謝 辞

旧教養部時代に、この授業の開設を強く推進して下さいました元教養部長の矢野 教教授に心から感謝いたします。また、307号室の管理について日頃お世話になっている、総合情報処理センター及び大学教育開発研究センターの教職員の方々にも心から感謝いたします。

[参考文献]

- [1] 竹内照雄：BASIC 自習システム <BASIC Tutor>について、新潟大学総合情報処理センター年報Vol.4 (1993), pp.22-28
- [2] 竹内照雄：教育用 BASIC インタプリタ Tiny Basicについて、新潟大学総合情報処理センター年報Vol.6 (1995), pp.75-84