

## 情報処理教育における高級言語を用いた数理工学系アルゴリズム教育の改良

数理工学科 角田法也

### 1. 緒言

本プロジェクトの概要は、次のごとくである。今、工学部の数理工学（基礎）系の「ものづくり教育」としての情報処理教育は、計算機の発達に伴い重要視されつつある。ここでの目標は、従来の教え方を改良し、アルゴリズム教育を初年次から高級な数式処理言語で、少し高度なアルゴリズムの実際を学習し、2年次からの工学系における計算代数系の理論へと、より高度なアルゴリズムの容易な理解へ導く、教育改善の試みを行うこととする。このことは、座学で行う理論のみの講義と実際の計算機利用とをリンクさせる、改良された教育の試みともいえる。具体的には次の2点の目的を持って行った。

1点目は、座学で行う数理工学系のアルゴリズム教育は、学生の関心・積極的態度を引き出すという点で、ともすれば、おろそかになりがちであった。今回の計算機システムの数式処理など高級な言語を用いて実際の出力と理論をリンクさせることにより、この点で大きく前進した試みとする目的があった。

もう1点は、逆に初学での計算機を用いた実習的授業においては、学生の関心・積極的態度では十分だが、内容的にはあまりに簡単な使用法や、簡単な現象の実習に追われがちであった。今回のプロジェクトではその点の改良として、数式処理言語など高級言語を用いることにより、数理工学的に少し高度な現象のアルゴリズムを見せたりすることにより、安易な方向にながれないようにする目的もあった。

### 2. 具体的な改善方法1

1年次科目の「情報処理」（数理工学系のアルゴリズム教育）においては、従来の学科計算機のシステムを更新（OS: Windows vista, CPU: Intel Core2Duo）することで、従来よりも、使用電力が少なくなり、使用ソフトのバージョンもアップできて、処理速度・処理能力の点から、数理工学系のアルゴリズム教育環境が大幅に改善された。

また、そのことにより、学生の興味・関心がかなり進み、従来までの授業用プリント資料の内容も、より今日にふさわしく少し高いレベルまでの教育ができ、改善されるようになった。

実際例としては、次の3点が挙げられる。

#### (1) LaTeX2e の基礎の習得：

これは、数式を多用する論文作成などに不可欠である。LaTeX2e システムは日本語 pLaTeX2e、ビューアは dvipout および Adobe reader、エディターはドイツ開発の WinShell で行った。

#### (2) Mathematica 7（数式処理言語で代表的なものである）の基礎の習得：

これで、「微分積分学の記号計算」、「数列の一般項の処理（再帰的アルゴリズムと配列を用いた計算アルゴリズムの違いを学習する）」、「グラフィックス・プリミティブ（積（容易な計算）と素因数分解（困難な計算）を桁数について計算時間関数を2次元にプロットしてみる。積は線形、素因数分解は指数型のグラフが見える）」、「3次元ランダム・ウォーク（3次元のグラフィックス実習（マウスで主軸変換が行えて見る角度が変えられる）とランダム関数の seed がかわっていることを見る）」の実験などを行った。

#### (3)（仮称）十進 BASIC（他の BASIC と違い、JIS規格に対応した Full BASIC で行番号も必要としないので、アルゴリズム教育のためには良い言語である）：

これで、ランダムな数列の扱い（ランダム関数の取り扱いをより深く学ぶ。中心極限定理の実験、円周率を近似する実験（いずれもランダム関数がかかる）などを行った。

### 3. 具体的な改善方法2

2年次科目の「計算数学第一」（数理工学系のための代数学（計算代数））においては、代数学の群・環・体といった抽象的な概念を、工学系で使われるアルゴリズムの実際とリンクして、教育が行われることにより、学生も興味を持って、授業を受けることが改良された。

この授業では、数理工学系のプログラミングで現れる代数系の教育（拡張ユークリッド互除法や、一意分解整域における多変数多項式の因数分解の一意性など）いわゆる2年次における数理系アルゴリズム教育を行うが、その際、2.の項目で導入されたハードおよびソフトウェアを使えば、学生は、理論的な現象を直観的に身につけることができる。

実際例としては、次の3点が挙げられる。

(1) 群 (置換群 (対称群), 正規部分群, 剰余類計算 など) :

これらは, 符号理論, 暗号理論などに応用されることを体験して理解できるようになった。(対称群は行列式の定義や後述のガロア理論に現れる。剰余類の計算や性質の学習は工学的な応用に欠かせないが, これは「正規部分群」の概念を用いて定義されるので, その学習も必要である。

(2) 環 (単項イデアル整域, 一意分解整域など) :

これは例えば, 多項式環の因数分解の計算実験例により, 同様な応用への理論の重要性を体験できるようになった。例 :

$\text{Factor}[x^2y^2 - y^2x^3 + 2x^2 - x] = -(x-1)(x^2 - y^2 - x)$   
理論的には, 上記の例のような (多変数の整数係数) 多項式の因数分解の一意性は, 明らかではなく, 授業中の「ガウスの補題」の一般化を学習して, これがわかることになる。(座学と実際の計算とのリンクがなければ, 理解はむずかしい。) なお, このような計算には「グレブナー基底」が使われるのであるが, ここでは難しさと時間の関係上, グレブナー基底は学習しない。

(3) 体 (複素数体が代数的に閉体であること (すなわち  $n$  次の代数方程式には, 重複を込めて  $n$  個の解が存在すること), および, ガロア理論 (5 次以上の代数方程式には, 「べき根による公式が存在しない」こと) :

これも, 同様に計算機により根の公式を出力することにより, 体験的に理解できるようになった。

例えば, Mathematica7 を使って, 2 次, 3 次, 4 次の記号変数の方程式を入力すれば, 公式として出力を返してくるが, 5 次方程式を入力したとき, (上記のごとく解は存在するが, 「公式」がないので,) 答になっていないおかしい記号列を返してくることがわかる。5 字以上の代数方程式の解は「数値計算」が必要であることも実体験できた (数値計算の重要性)。

ちなみに, 今回は 1 年次情報処理の (仮称) 十進 BASIC で, 代数方程式の数値解を求めるニュートン法の実習を取り入れてみた。(数値計算は別分野の授業テーマなのでここでの学習効果は見られなかった。)

#### 4. 結論

本プロジェクト実行前は, 学習時間について, 時間的には大幅に制限があり自由に空いた時間に学科計算機を使うことはできなかったが, 今回, より時間的に余裕を持って学習できる環境にあるので, その面で学習効果は上がっていると思われる。

空間的には, 実行前は少し制限があり, 特にプロジェクターの出力が見えにくいとか, 問題を残していた

が, この学習環境整備により, これらの制限も大きく緩和して学生の学習効果はこの面でも上がっていると思われる。(逆に, 解決すべき問題点はあらたに出つつある。問題点については今後, 少しずつ出てくる課題なので, ここで取り上げるものは, まだない。しかし, 情報セキュリティの面では, 復元プロテクトソフトを導入し, 再起動により元の環境に戻るのに, ウイルス (特にブラウザー・クラッシュ) 持ち込みにはガードを強くして, それも含めて, 学生が体験することにより副産物として, 情報セキュリティ教育も改善されていることは述べておく。)

これらの背景のもとで, 本題の情報処理教育における高級言語を用いた数理工学系アルゴリズム教育の効果は, 2 節, 3 節で述べたような具体的なテーマについて, おおの学生の関心・学習効果・積極的態度を精密に調べると, 先に述べた別分野の数値計算をのぞいて, 全体で効果が上がっている。

このことは, 工学的な応用には重要だが, 理解はなかなか進まないような, 抽象「代数学」の概念も, その応用を具体的に, 数式処理など高級な言語でのアルゴリズム教育を改良することにより, 学生の学習効果などが上がる事例となったといえよう。

また, 学生と教員の相互間の評価も改善されるようになり, さらなる課題が今後出てくることも含めたい。今回の, 数理工学系のものづくり教育としてのアルゴリズム教育の改良, および, そこから導かれる抽象代数概念の直観的な理解は, 本プロジェクトにより大きく進んだものと結論づけられよう。