

LISPの実習とアルゴリズムの教育

田中 一

要 旨

アルゴリズム教育について考察し、まずこれを事象アルゴリズム教育と言語アルゴリズム教育の二つに大別した後、さらにそれぞれを数個の段階に分け、LISPの講義と実習の履修中の学生の学習状況をそれぞれの段階に対応させることを試みる。この場合、学習状況とその効果を知るデータとしては、実習を数回行った後に実施した計4回の実習テストおよび最後に行ったLISP学習アンケート調査を用いる。この調査では、LISPの学習状況を学生の自己評価によって回答させているが、その結果は、実習テストの結果とよく対応している。最後にアルゴリズム教育は事象アルゴリズム教育と言語アルゴリズム教育の両面を密接に関連させながら独立に行うべきことを指摘する。

§1 はじめに

情報処理教育がプログラミングを含んでいるとき、アルゴリズム教育という一種の壁にぶつかることを指摘する声が多い。どのようにすればこの壁を超えていくことができるかという問題は、情報処理教育上の柱をなす課題であり、またこの研究会の主題でもある。

しかしながら、現在の所では、この課題自身の組立すらまだ明確でないように思われる。ここでは、私が1992年度に行ったLISPの実習を取り上げ、これをアルゴリズム教育と言語アルゴリズム教育と事象アルゴリズム教育の両面からなると仮定し、それぞれ幾つかの段階に分け実習の経過と対応させ、アルゴリズム教育に関する考察を行った。

§2 LISP学習のアウトライン

LISPの実習は、本学部の選択必修科目であるソフトウェア概論の一部として実施したものである。本学ではプログラム言語としてBASICやFORTRANおよびCOBOLを学習している。これらの言語は何れも計算的である。そこで、非計算的言語を経験し、プログラミングで取り上げる情報過程は計算的なものに限らず、広いものだという認識を持つことができるよう、LISP言語を取り上げた。ソフトはicLISPであるが、編集はラインエディット方式でそのレベルが相当低く、学生は途惑ったようである。

実際の学習では講義と実習を交互に行った。どちらの担当者も著者で、受講登録学生数は183人、実習に出席した学生数は常時150人から160人である。この間4回の実習

テストを行った。職員の協力は質問書の配布、テスト時および私の出張の際の質問書（実習記録）の受け取りのみであって、常時の実習の際には、予めシステムフロッピーを実習室に置いておくこと以上のことは求めなかった。

実習に際しては履修学生が任意に集まった3人を1組とし、各組のシステムフロッピーを配布した。この履修方式は、同時使用可能なFMR 70の数が120台程度に限られており、かつシステムの購入数が余り多くないために取らざるを得なかった処置であるが、一面では、3人一組の学習様式が学生同士の密な意見交換をもたらし、このことによって学習効果の上がることを期待した。図1の学生に対するアンケート方式の学習調査の結果、この様式に批判的な学生は8%で、62.3%の学生は積極的に評価しており、理由としてその82.6%が「お互いに意見を交換し合えたから」と答えている。受講学生の多くはこの方式に対して好感的であるように思われる。しかしながら、もし実習テストを加味しないでこの方式を採用すれば、積極的に実習する学生は各組の中の特定の学生に限られてくるかも知れない。

よく知られているように、LISPは階層的構造を持つリストの形式に表現し得る情報を処理する言語であるが、本学の学生にとってには馴染み難いものである。このことを予期して、クイズ「牧師と人喰い人種」の解法をプログラミングする場合、事態を表現する上でリストが有効適切であることを最初に述べ、LISPとはこのリストを処理する言語であることを説明し、この言語の異質感を除くことに努めたが、以下で述べる質問書を通じて学生からのレスポンスを見る限り、この方法によってLISPの特質に関する十分な理解が得られたようには思われなかった。この見込み違いの理由の一つは、学生にとって、クイズの理解がそう容易でなかったにも拘らず、説

明が余り丁寧でなかったためである。通算すると、リスプ言語の講義は5回、実習は9回を数える。

講義及び実習の終わりにはB5版の質問用紙に実習の記録や質問を記載させた。この方式は、私が当大学で用いている「会話型多人数講義」⁽¹⁾の方式である。ここでは、毎回の講義あるいは実習の最初に教務課の職員が質問用紙を配布する。講義に出席した学生は講義の内容に関する質問と質問の説明、あるいは実習上の疑問を記載し、講義終了時にこれを提出する。提出された質問の内、多くの質問書に共通する内容のものや重要な質問については、質問および解答を次回の講義の最初にプリントとして学生に配布する。通常40項から50項程度の質問を取り上げている。別に質問に対して0、0.5及び1の評価を行い、実習を伴わない講義科目ではこの点数のみで、実習を含むソフトウェア概論ではこれに実習テストの評価を加えて単位取得と評価点を決める。質問書は講義日毎にファイルされており、その総枚数は1992年末で、4万9千枚を超えている。ソフトウェア概論では実習室に接した講師準備室に呼び出し、個別的な質問に対して解答した。

実習テスト4回のうちLISP言語のテストを3回行った。テストの実施方法はかなり厳重で、一人1台のFMR 70の画面に解答を出し、ハードコピーを提出させた。テストは正常に行われたものと思われる。第一回目はCAR CDR CONS APPEND LISTの問題、第二および三回目はCOND及び関数の定義とその使用であった。関数の定義には再帰法の簡単な利用が含まれる。問題はすでに学んだ例題の1部を変えたものを主とし、一回目と三回目にはかなりの応用問題を出題した。

§3 アルゴリズムの習得

私達は履修している学生に対してよくアル

ゴリズムが分かっていないという。このとき私達はどのような事態・現象を指しているのでしょうか、必ずしも明確ではない。教える側にも事態の実態がよく分かっていないことが多いのではないか。このことすら今後討論を重ねていくべき課題である。ましてアルゴリズムの効果的な学習の方法となると全く未検討の問題である。ここでは、まずアルゴリズムの学習が言語アルゴリズムの学習と事象アルゴリズムの学習という2つの面を持つことに注目し、それぞれを以下に示す幾つかの段階に分け、これに基づいてLISPの学習過程を分析することにする。ここで事象アルゴリズムの学習とは、現実の現象に含まれる手順であって、通常自然言語で表現されているものである。実際の学習過程はその相互の密接な関連の下で進行すべきものであろう。以下命令等という用語はプログラム言語の命令・コマンド等を意味するものとする。また自然言語の表現のことをNL表現と呼ぶ。ここで両者の学習過程が次のような段階からなるものとする。

言語アルゴリズムの学習過程

命令等の意味理解 → 命令等の使用
→ 置き換え課題の解 → 置き換え
結合課題

事象アルゴリズムの学習過程

NL表現の単純課題の解 → NL表現の二過程課題の解 → NL表現の多段階課題の解

上記の「置き換え課題」とは、講義等で述べた例題のなかの一命令等を置き換えた課題で、「置き換え結合課題」とは、このような置き換えを複数個行うのみならず、講義では例示しなかった他の命令等との結合を含む課題である。また単純課題とは推論過程がただ一個の課題であり、二過程または多段階課題とは同じく二個あるいは三個以上の推論過程を含む課題である。

学生によっては上記の始めの過程を忽ち通

過する。この種の学生には、あたかも最終段階のみが学習過程のように見えることもあるであろうが、このときでも、上記の各段階が存在することには変わりないのである。学習過程はつねに上記のように進展するものと思われる。

次に問題となるのは、これらの各段階の移行がどのように行われるかである。例えば、各命令やコマンドを理解した学生は自然にアルゴリズムを理解すると考えてよいであろうかということである。命令やコマンドの理解には、その意味の理解と使用方法の理解とがある。学生が命令やコマンドの意味の理解にとどまらず、使用例の理解という形式で命令等を理解したとき、この種の理解は自然に命令等の応用の可能性をもたらすであろうか。このことが学生の学習過程としてまず問題になることである。一般的にいえば、ある段階の学習が、自然的に次の過程の学習要件を準備するであろうかという問題である。このような要件を具備したとき、学生は自発的学習能力を持っているということができよう。報告者は多くの学生が複数の過程に対して自発的学習能力を有しており、この能力を形成するのに必要な外的条件を如何に設定するかは私達の仕事があると考えている。

しかしながら、私達は、学生の学習過程に付いてまだ十分な認識を有していないばかりではない。学生がこの世に誕生した後に受けた諸々の教育が自発的学習能力をかなりの程度歪めている可能性が強い。さらにアルゴリズム習得にも適性の程度の差があることであろう。これらのことのため、現実にはある段階の学習が常に次の段階の自発的学習能力を準備するとは期待することができない。このようなときには何らかの指導が必要になる。アルゴリズムの学習に必要な指導とは何であるかは明かでないが、それを見出す道は、単なる机上の評論や考察によるのではなく、実際の教育過程に惹起する出来事や経験のな

かに関連するものを発見し、これを評価し仕上げるところにあるのであろう。以下では、学生の LISP の学習過程をこのような考察の対象にすることにしよう。しかしながら、現段階で行い得ることはその序の口の序論に過ぎないことを予めお断りしておく。

§ 4 実習テスト

3 回行った実習テストの条件は、それぞれ異なっている。表 1 はそれらの条件を示す。表の内容の欄で異とあるのは、テストの際学生全体を 5 または 4 組に分け、組毎に難度を加えた問題を課したことを、また同は 2 組に分けたにも拘らず、同じ問題を用いたことを意味する。難度を加えたのは、後の組の学生

表 1 実習テストの条件

時日	問題数	テスト時間	内容
1 6/17	2	10 min	car cdr 異
2 10/07	2	15 min	cond 関数 異
3 11/04	3	30 min	cond 関数 同

表 2 実習テスト結果 数値は%

	欠席	0	1	2	3
1 回目	10.4	3.8	35.5	50.3	
2 回目	19.7	62.8	10.9	6.56	
3 回目	21.3	18.0	12.6	24.0	24.0

が実習テスト直前に別室で実習することができていることを考慮したためであるが、結果的には後の組ほどテストの難度が上がっているものと思われる。一回目および二回目の問題は、これまでに学習した例題を一部言い換えたものであるが、三回目の 3 番はかなりの応用問題である。10%の学生は最初から学習を放棄しており、さらに 10%はついて行けなくなり、講義にも出席していない。

表 2 の上段の 0, 1, 2, 3 はテストの評価を示す。0 は評価すべき内容がないことを意味し、1 は括弧や空白が落ちているため正解に達していない解答であって、命令等の意味はかなり理解している場合である。これに対して、一回目および二回目の 2 は 2 題ともほぼできている場合であり、3 回目では 3 題の内の 1 題が完全にできているものの割合で、三回目の 3 は 2 題または 3 題ともできていることを示す。3 の評価を得た解答の内の 1.6%は完解である。

テスト時間は比較的短かい。実際 10 分ないし 30 分の間で、1 題当たり 5 分あるいは 10 分間でトラブルを起こすことなく応用問題の解答を得ることは、そう簡単なことではない。10 分毎に 6 組の実習テストを行うことは、緩慢な動作を習性とする今日の学生に分刻みのスケジュールを求めることになり、試験する側の高い機敏性と運動性と活力が不可欠である。それはさておき、表 2 の結果は学習結果の加減を示すと考えてよいであろう。二回目の 0 が多いのは、cond や関数の定義に関する講義が 1 回、実習が 2 回という学習の初期の結果であるためで、その後、講義と実習を繰り返すことにより、簡単な応用問題を解く点に関しては、ほぼ一回目の結果を得たように思われる。しかし一回目のテストのとき 0 および 1 と評価されたもののうち、10%は学習を放棄し 14%は就いて行けなくなったようである。

この科目は選択必修であるので、或る程度

学習放棄者ができるのは避け難い。従って、学習内容を理解しこれをテストに示すことができる学生の割合が60%に達するばかりでなく、簡単な応用問題を解き得る学生がほぼ50%となることは、効果ある教育とみなすことができる。こうして次の結論を導くことができる。すなわち、通常の大学に於けるプログラム言語の学習に際して、命令等の学習を数度反復することにより、半数の履修学生が簡単な応用問題を解くにいたること、すなわち1ないし2個程度の段階を持つ言語アルゴリズムの問題を解くことは可能である。このうち半数はより高い学習の成果、すなわち数個の段階を持つ言語アルゴリズムを習得していると思われる。

§5 学習調査

図1の調査は12月2日の講義時に行ったものである。講義の出席者は158名であるが、調査に回答したのは138名で、20名は回答書を提出していない。質問書の提出に際して、調査用紙の持参を忘れ注意を受けて自席に取りに戻る学生があった。20名の内には回答を出し忘れた学生も含まれている。登録学生数が183名であるので、25名は13.7%に当たる。学習放棄者に通常の欠席者を含めた数と考えてよい。また調査では、講義あるいは実習の少なくとも何れか一つに不熱心であった学生数は26名に達しており、講義の欠席者と質問書を提出しなかった学生の合計45名を加えると71名で、残りの学生数は112名となる。調査項目D1には「もっと学習すればプログラムが組めるようになると思う」と答えた学生数101名、全体の55.2%はこの112名に近い。

第三回目のテストでは、登録学生中39.3%が欠席または0と評価されており、残りは60.7%である。このテストで1の評価の学生の半数を減ずれば、54.4%となって、この数字

にほぼ等しくなる。このように、テストの結果と調査とは相対応していて、学生の履修状況の概観を与える。すなわち、約55%は希望を持っており、5%はついて行けなくなり、40%は放棄している。もっともこの数字はやや厳しくみた結果であろう。

調査項目C1ではLISPについて分かったまたは何となく分かったと答えたものが29名で、全登録学生数に対しては15.8%にあたる。LISPが分かったと感じているときにはNL表現の課題に自発的に移行する条件を有しているかも知れない。このことに関する詳細な統計をとるには到っていないが、学生の質問書の内容に先のクイズやその他の応用に言及したものがあることから推測することができる。

また第三回のテストで、3の評価を受けた学生の割合は24%であるが、これを先の15.8%、すなわちLISPが分かったとという回答の割合と比較すると約8%の差がある。この差はあるいは言語学習過程の最後の段階の差に対応しているかも知れない。

学習時間が限られている上報告者にとって初めての講義実習でもあって、始めに挙げたクイズの解には到らなかった。そのためアルゴリズム習得には到らなかった。しかしながら今年の試みの結果は、来年度に以下のような試みをする事を可能にしたように思われる。すなわち言語アルゴリズムの学習と事象アルゴリズムの学習との両面を分けることなく、早い段階から対応させること、すなわち、言語アルゴリズムの学習の各段階に対応してNL表現の課題を加えたうえで、その履修状況を把握する試みである。この試みによって事象アルゴリズムの習得の程度を見ることを期待している。

§6 結論

最後に以上の所論を纏めておく。

図1 LISP 学習調査結果

調査目的 L I S P 学習方式と学習内容に関する受講生の受け止め方の把握
 調査日時 1992年12月2日3講時 調査場所 札幌学院大学D302教室
 調査者 田中 一
 調査対象 札幌学院大学社会情報学部学生ソフトウェア概論12月2日受講者 158名
 回答数 138名 内 男子学生 112名 女子学生 26名
 回収率 87.34%

	全(百分率)	男	女
B 3人一組の実習について			
B1 どのような方法をとりましたか。			
大体3人で実習した。	98(71.5%)	75	23
3人の中で見ていることが多かった。	24(17.5%)	22	2
大体一人で実習した。	15(10.9%)	14	1
B2 この実習の形式は自分にとって			
よかった。	84(62.3%)	68	18
よくなかった。	11(8.0%)	8	3
どちらとも言えない。	41(29.7%)	36	5
B3 よかったと答えた人に			
お互いに意見を交換したり教え合えたから。	71(82.6%)	53	18
気楽だったから。	11(12.8%)	11	0
その他	3(3.5%)	3	0
B4 よくなかったと答えた人に			
時間が足りなかった。	3(27.3%)	3	0
自分の思うように自由にはできなかった。	5(45.5%)	3	2
その他	2(18.2%)	2	0
C L I S P について			
C1 どのような言語であるか			
充分または何となく分かった。	29(21.0%)	25	4
まだよくつかめない。	97(70.3%)	75	22
全く分からない。	12(8.7%)	12	0
C2 充分または何となく分かったと答えた人に			
簡単な関数であるなら自分で定義できる。	7(24.1%)	7	0
関数の定義を見れば理解することはできるが、自分で定義できそうにない。	14(70.3%)	11	3
もっと実習すれば自分で定義できるようになる。	8(8.7%)	7	1
C3 まだよくつかめないまたは全く分からないと答えた人に			
真剣に実習したが、実習時間が充分でない。	33(30.3%)	28	5
熱心に講義を聴講し実習したが頭に入らない。	49(45.0%)	34	15
講義は熱心に聞いたがあまり実習しなかった。	9(8.3%)	8	1
講義の聴講にも実習にも熱心でなかった。	17(15.6%)	17	0
D L I S P でプログラムが組めますか。			
組める。	0(0%)	0	0
簡単なものは組める	80(58.0%)	67	13
組めない	58(42.0%)	45	13
D1 簡単なものは組めるまたは組めないと答えた人に			
もっと実習すれば組めるようになると思う。	101(73.2%)	81	20
実習以外に必要なことがある。	13(9.4%)	10	3
どうしても組めるようにはならない。	17(12.3%)	14	3

1. アルゴリズム学習の壁とは何であるかを具体的に把握する必要がある。
2. 文系の比重の高い通常の程度の大学で、150人程度の履修学生を対象としたLISPの学習に関して60%程度の学習効果を挙げることは可能である。このことは言語アルゴリズムの学習が、現実の教育条件のもと相当の結果を挙げ得ることを意味する。
3. 言語アルゴリズムと事象アルゴリズムの学習の各段階とその移行条件を仮定し、これらを実際の教育活動を通じて検討し、効果的な移行条件を確立して行くことが必要である。

文 献

- (1) 田中 一：会話型多人数講義と情報学教育の現実的目標, 情報科学, Vol. 10, pp. 1-13, 札幌学院大学情報科学研究所, 江別, (1990)