

教えないプログラミング

寺尾敦^{*1}

Email: atsushi@si.aoyama.ac.jp

*1: 青山学院大学社会情報学部

◎Key Words プログラミング, MATLAB, 個人差, e ラーニング

1. はじめに

1人あるいは少数の教員およびティーチングアシスタントが担当する大学でのプログラミングの授業で、教員が苦心する問題のひとつは個人差への対応である⁽¹⁾⁽²⁾。プログラミング経験や理解の速さといった知識や能力が異なる、多くの受講者に対応しなければならない。授業の内容や進行の速さは、ある学生には容易すぎて(遅すぎて)、別の学生には難しすぎる(速すぎる)かもしれない。プログラミングはたいてい実習を含むため、(個人の能力に関係なく)偶発的に生じるエラーへの対処も個別対応の難しさとなる。例題の実行を学生に求めたとき、特に問題なく実行できてしまう学生がいる一方で、エラーが生じて自力では解決できない学生もいる。そのまま授業を進めると、エラーを解決できない学生は授業についていくことができなくなる。エラーが生じた学生に教員が対応しようとする、他の学生は何もすることなく待つことになる。

こうした個人差に対応するには、学習が順調に進んでいる学生を待たせることなく、一方で学習に躓いている学生を支援する必要がある。現実的ではないが、大勢のティーチングアシスタントを雇用できれば、個人差にはかなり対応できるだろう。学生数と同じだけの教員とティーチングアシスタントがいれば、マンツーマンの授業が可能なのだから、個人差の問題は対処可能となる。

学習者個人が自分のペースで取り組む e ラーニングは、マンツーマンの授業をテクノロジーで実現していると考えられる。プログラミング教育では、LIPS のプログラミングを教える知的チューターシステム (ITS: Intelligent Tutoring System) である LISP tutor⁽³⁾ が、1980年代から知られている。近年では、オープンコースウェア (OCW) や MOOC でプログラミングのコースが提供されている。

しかし、大学でのプログラミングの授業を担当する教員は、授業の設計者であるから、既存の e ラーニング教材を利用できないかもしれない。自分が教えたい内容と完全にマッチした e ラーニング教材はおそらく存在しない。それに、既存の e ラーニング教材に授業を丸投げすることは、大学においておそらく許されないだろう。

そうすると、授業を担当する教員が、自分ができることの範囲で、自分の授業にあわせた「ボトムアップな」⁽⁴⁾ e ラーニング (あるいは自習可能な) 教材の開発

を行うが必要になるだろう。「自分ができる範囲で」と書いたのは、教材開発に従事できるのは、教員自身と、せいぜい研究室のメンバーに限られるからで、大規模な教材開発をすることは難しいからである。

2. 目的: 「教えないプログラミング」の実効性

このような教材開発の考えに基づき、筆者は「教えないプログラミング」という授業を実践してきた。この授業では、教科書を使い、教科書の補足説明を書いたウェブページを作成する。教科書を使うのは、教材を作成する労力をかなり軽減できるからである。教科書を使ったプログラミングの授業で教員が説明していたことは、すべてウェブの補足教材に書く。これにより、教員は授業で「教える」必要はなくなり、学生は教科書とウェブ教材を使って自分のペースで学習を行うことになる。授業で教員が行うことは、学生からの質問への対応だけである。教員が授業で行う説明は、学生がすぐに理解できるとは限らないのに、その場限りの音声情報である。説明がすべてウェブに書かれていれば、いつでもこの情報にアクセスできる。

本論文では、心理学を専攻する学部3、4年生を対象にした、MATLAB の「教えないプログラミング」の実効性を検討する。この方法で MATLAB プログラミングを教育することが可能なのかを、授業の進行 (たとえば、大きな問題なく学生が学習を進められるか)、小テストの結果、コマンドの入力履歴、から検討する。この授業は筆者が非常勤講師として担当している。MATLAB を扱うのは非常勤先からの要請である。

本研究は「教えないプログラミング」と他の教育方法を比較する実験研究ではなく、統制群は設定されていない。この授業を行う前は、コマンドの入力履歴を提出することは求めておらず、小テストも実施していなかった。本研究は授業の改善と評価を繰り返すデザイン研究である。デザイン研究では統制実験を行わない(行えない)ことも多い。

3. 方法

3.1 参加者

専修大学人間科学部で心理学を専攻する3年生あるいは4年生で、2017年度から2019年度の「情報処理心理学実習」を受講していた学生に、研究への参加を依頼した。各年度の履修登録者はそれぞれ、14名、18名、15名であった。研究に用いるデータはすべて授業中に

収集された。研究の目的を説明し、小テスト、および、授業課題として提出されたコマンド入力履歴をデータとして用いることへの同意が得られた、35名（各年度の参加者はそれぞれ、14名、12名、9名）が参加者となった。欠席のため小テストを受験していない学生と、データ使用の同意が得られなかった学生は、研究への参加者とならなかった。

3.2 材料

参加者は、授業ウェブ⁵⁾を参照しながら、指定されたテキスト⁶⁾の第1章を学習した。

授業ウェブは、高校1年生程度の数学の知識がある、プログラミング初心者らを想定して、テキストの補足説明を行っていた。授業ウェブの記述量は、HTMLファイルでおよそ1万行、ブラウザで表示してA4用紙に印刷するとおよそ70ページであった。数式はMathMLで書かれた。

授業ウェブにはプログラミングの学習方略についての教示が含まれていた。たとえば、新しい例題に取り組むときには前の例題で作成した変数を消去しておくこと（MATLABのワークスペースを空にする）、プログラムを理解するために一部だけを実行したり変数の内容を表示したりすること、長いプログラムは部分的に書いてテストを繰り返しながら完成させること、などの教示が適当な場所で行われた。

3.3 手続き

参加者は、授業ウェブを参照しながら、指定されたテキストの第1章を4週にわたって学習した。第1章はMATLABでどのようなことができるのかを概観する章であった。1週あたりの授業時間は90分であった。授業の最初にその週の学習範囲が明示され、学生は自分のペースで学習を行った。そのため、90分より早く学習が終わる学生もいれば、90分を超える学生もいた。各週の主な学習内容を表1に示す。学習範囲の設定は「教えないプログラミング」ではなかったときの授業進行と同一であった。

授業はすべてPC教室で行われた。学生は1人1台のPCを使用することができ、それぞれのPCにはMATLABがインストールされていた。

授業を担当した教員は1名で、本論文の著者であった。テキスト第1章の範囲で「教えないプログラミング」を実施することが初回の授業で説明された。教員は授業としてテキストの説明を行うことはしなかった。学生から質問があった場合にはそのつど対応した。

毎回の授業において、指定された範囲の学習が終わると、学生はMATLABのコマンドウィンドウへの入力履歴をすべてコピーして、テキストファイルあるいはWordファイルとしてLMSから提出した。LMSは専修大学で導入されているCourse Powerであった。

第3回の授業の最後には小テストが行われた。第3週の学習が終わったとき、5項目から構成される小テストが実施された。小テストの項目を表2に示す。第2問から第4問はMATLABを用いて解答する問題であった。テキストは行列とベクトルの基本的知識を仮定して書かれていたので、こうした知識のない学生が

第1問（逆行列の定義）、第3問（逆行列の確認）、第5問（行列とベクトルの積）に解答するには、授業ウェブを参照する必要があった。小テストへの解答に時間の制限は設定されなかった。

表1 各週の主な学習内容

週	内容
1	MATLABの起動 実習用ディレクトリの作成 プログラムの実行方法
2	数の計算（四則演算、べき乗、階乗など） ベクトルの使用 関数の使用 for文
3	グラフ表示 行列による一次方程式の解法
4	GUI 関数（サブルーチン）の定義

表2 小テストの項目

項目	問題文
逆行列の定義	逆行列とは何か、言葉で説明してください。数式を使うと思いますが、式を書くだけでなく、日本語を使って説明すること。
逆行列の計算	MATLABを利用して、行列 $A = [2\ 5\ 0; 3\ 3\ 8; 1\ 2\ 1]$ の逆行列 A^{-1} を求めてください。
逆行列の確認	MATLABを利用して、上の問題2で求めた A^{-1} が行列 A の逆行列であることを確認してください。逆行列の定義（問題1）に従って確認すること。
連立方程式	MATLABを利用して、以下の連立方程式を解きなさい。行列とベクトルを使用すること。 $\begin{aligned} x + y - z &= 5 \\ x - 2y - 2z &= 2 \\ 2x - y + 2z &= -1 \end{aligned}$
行列とベクトルの積	行列 $A = [1\ 1\ 3; 2\ 5\ -3; 7\ 9\ 1]$ と列ベクトル $b = [1\ 0\ 1]^T$ を掛け算すると、 $Ab = [4\ -1\ 8]$ となります。行列とベクトルの掛け算の規則に従って、 $(4, -1, 8)$ はどのような計算の結果得られた数値なのか、具体的に示してください。

4. 結果

4.1 授業の進行

授業は4回とも大きな混乱なく進行した。教えないプログラミング」を実施していなかったときと同じペースで教科書を進めることができた。

2017年度の小テストはほぼ授業時間内に終わったが、2018年度と2019年度は授業終了時間をかなり超えた学

生が何人かいた。特に、2019年度はほとんどの学生が授業時間を超過した。

授業中にはたいはい数回の質問がなされ、教員はそれに対応した。テキストの出力例と実際の出力が少し異なることや、エラーに対処できないなど、プログラミング初心者の場合にはもっともな質問があった。その一方で、テキストあるいはウェブに書いてあることを読めば解決する質問もいくつかあった。たとえば、テキストのプログラムに誤植があったのでウェブでは修正を指示していたのに、修正を行わずに生じたエラーに対処できずに質問するということがあった。

4.2 小テスト

第3回の授業で行った小テストは、それぞれの問題について正解を1点とし、5点満点で採点した。MATLABを用いる問題(第2問から第4問)では、提出された入力履歴において、正しい計算がなされていれば正解とした。5点満点の小テストの平均点は3.3点、標準偏差は1.2点であった。

いくつかの問題では不完全な正解に部分点(0.5点)を与えた。テスト項目ごとの解答分布を表3に示す。行列Aの逆行列の定義を述べる第1問では、Aとかけ算すると単位行列が得られるということ述べた解答を正解とした。「行列での逆数」と書いてあるが、単位行列に言及していない解答は不完全正解とした。逆行列を具体的に求める第2問では、MATLABでは正しい計算を実行していたものの、解答用紙にまったく異なった結果を書いていた1名を不完全な正解とした。連立一次方程式を解く第3問では、行列あるいはベクトルの入力ミスのために答えが異なってしまった2名を不完全な正解とした。

表3 テスト項目ごとの解答分布 (%)

項目	完全		不正解
	正解	不正解	
逆行列の定義	45.7%	42.9%	11.4%
逆行列の計算	94.3%	2.9%	2.9%
逆行列の確認	62.9%	0.0%	37.1%
連立方程式	54.3%	5.7%	40.0%
行列とベクトルの積	48.6%	0.0%	51.4%

4.3 学習方略の実行

授業ウェブにはプログラミングの学習方略についての教示が含まれていた。たとえば、関数(サブルーチン)を定義して比較的長いプログラムを書いた第4週の授業では、プログラムを部分的に書いてテストしながら完成させること、プログラムの理解のために一部だけを実行することが教示された。

プログラム全体を一度に書かず、テストを繰り返して完成させる学習方略については、helix関数とsinc関数のグラフをGUIで描く関数ex1701subの定義を部分的に書き、これに引数を与えて実行することが指示されていた。具体的には、switch文でhelixのcaseとその他のcaseだけを書いておき、ex1701sub('helix')としてテストを行う。うまく動作したら、一度ex1701sub('exit')でFigureウィンドウを閉じる。

次に、sincのcaseを書いてex1701sub('sinc')で実行する。

プログラムを理解するために一部だけを実行する学習方略については、テキストで提示されていたプログラム冒頭の1文を実行して動作を確認することが指示された。具体的には、figure('position',[150 150 500 400])という1文を実行し、figure関数は所定の場所に所定の大きさのFigureウィンドウを表示することを理解する。この指示の後には、「プログラムを理解するために、その一部をキーインして実行するのはよい方法です」と書かれていた。

学習者がこれら2つの方略を指示されたとおりに実行していたかどうかを確かめるために、提出されたコマンドウィンドウへの入力履歴を調べた。プログラムを部分的に完成させる方略の実行率は57.1%、プログラムを理解するために一部だけを実行する方略の実行率は68.6%であった。

5. 考察

「教えないプログラミング」は実効性のある教育方法なのだろうか? 結果のセクションでの報告に基づいて考察する。

大きな混乱なく4回の授業が成立しており、「教えないプログラミング」以前と同じ進捗で教科書の内容を学習できたことから、少なくとも効果の検証と学習の詳細の分析に進むに足る方法であると言える。ベクトルと行列という、文系学生には難しいと思われる内容が含まれていたものの、学生は最後まで学習を進めることができた。学生からの質問は1週の授業あたり数回で、教員が十分に対応できる数であった。学習内容の難しさ、教科書の記述、ウェブ教材の記述に依存するが、これらに大きな問題がなければ、「教えないプログラミング」の授業を実施することが可能である。

教科書やウェブを読めば簡単に解決することについての質問がいくつか出たことは、教材のデザインを考慮する必要性を示唆する。教材と授業ウェブをあわせると情報は相当な量になり、学生はここから必要な情報を読み取って、理解を構成する必要がある。これはかなり難しい作業である。マルチメディア教材のデザイン原理について多くの研究を行っているRichard Mayerは、雷の発生メカニズムの学習において、完全なテキストを読んだ学生よりも、スライドのような短い説明付きの図を学習した学生の方が、テストの成績がよかったことを報告している。大量の情報の中から重要な(あるいは、必要な)情報を探し、理解を構築できるよう、ウェブ教材のデザインを工夫する必要があるだろう。

5点満点の小テストの平均点は3.3点、標準偏差は1.2点であった。「教えないプログラミング」ではない授業方法で小テストを行ったデータがないので相対的な比較はできないが、ベクトルと行列の知識もプログラミングの経験も乏しい文系学生の成績としては悪くないと考えられる。完全正解と不完全正解をあわせた正答率が極端に低い問題項目はなく、最も低い項目で48.6%(第5問)であった。第1問で不完全正解が多く

なったのは授業ウェブでの記述に原因があると考えられる。授業ウェブでは、連立方程式を解くという文脈において、「行列での逆数」を使えば方程式が解けるということを書いて、逆行列という概念を導入していた。元の行列との掛け算の結果が単位行列となるということはその後で述べられていた。

ウェブ教材で明確に指示された2つの学習方略の実行率は57.1%と68.6%で、低いわけではない。しかし、これら学習方略の実行はウェブ教材でかなり明確に指示されていたので、もう少し高い実行率であってもよさそうである。まったく「教えない」のではなく、少しだけ教員からの働きかけも必要なのかもしれない。

6. おわりに

大学でのプログラミング教育で学生の個人差に対応するために「教えないプログラミング教育」を工夫した。授業で使用しているテキストの補足解説を掲載したウェブ教材を用意し、授業で教員が説明していた内容はすべてそこに含めた。学生はテキストとウェブ教材を使用して自分のペースで学習を進める。教員は基本的に説明を行わず、学生からの質問に対応する。

授業の進行、小テストの結果、コマンドの入力履歴からは、「教えないプログラミング教育」は実効性のある方法であることが示された。ウェブ教材に書かれていることを学生が見落とすことや、必ずしも教示に従わないということについては、教材や教示の工夫で改善を図る必要がある。

謝辞：本研究は科研費（課題番号：16K01125，研究代表者：寺尾敦）の補助を受けて実施された。

参考文献

- (1) 三河佳紀：“プログラミング教育の改善に関する研究—Visual Basic を導入時に適応する効果—”，コンピュータ&エデュケーション，14，pp.71-78（2003）。
- (2) 生田目康子：“ピア・レビューをとまなうグループ学習の評価—斉型プログラミング授業への適用”，情報処理学会論文誌，45，pp.2226-2235（2004）。
- (3) Anderson, J. R., Conrad, F. G., Corbett, A. T.: “Skill acquisition and the LISP tutor”, *Cognitive Science*, 13, pp.467-505 (1989).
- (4) 曾我聡起, 中原敬広, 川名典人, 布施泉, 中村泰之: “ボトムアップから始めるデジタル教科書を用いた授業の実践と提案”, *コンピュータ&エデュケーション*, 41, pp.14-21 (2016).
- (5) 授業ウェブ:
<http://terao.akiba.cocac.jp/lecture/senshu/info.html>
<http://www.cc.aoyama.ac.jp/~t41338/lecture/senshu/info.html>
- (6) 上坂吉則：“MATLAB プログラミング入門 [改訂版]” 牧野書店（2011）。
- (7) Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R., & Tapangco, L.: “When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons”. *Journal of Educational Psychology*, 88, pp.64-73 (1996).