

学習者対応型知的チュータシステム

An Adaptive Intelligent Tutoring System

横田 壽

芝浦工業大学工学部

Abstract: This paper first describes the class coordination and instructional designs we employed to improve students' understanding of Calculus. We performed linear regression analysis using their placement-exam scores and unified-exam scores, and we realized that students having trouble learning Calculus were not accustomed to self-study. We also found out students who studied with Calculus learning software did not give up studying in the midst of the semester. From this, we speculate learning Calculus using software is effective for acquiring self-study skill. Well known effective educational model for less well prepared students is one-on-one tutoring. But, one-on-one tutoring is not a realistic because of cost and effect. These factors lead us to hypothesize that if one-on-one tutoring is implemented into Calculus learning software JCALC and blended learning is utilized, less prepared students will acquire self-study skill and achieve better performance in learning Calculus.

In this article, we verify whether the hypothesis is true or not. To do so, we selected 36 students for JCALC use out of 220 students who failed to pass unified exam in the spring semester. Then we examine the difference of the slope of linear regression of the group with JCALC and the one without JCALC and learned that the hypothesis is valid.

Keywords: advisory system, blended learning, Calculus learning software

1. はじめに

多様化する学生をどのように教育すれば、自ら学び、問題を解決する力、および物事を系統立てて考える力を身につけることができるのか、多くの大学が直面している課題である。

その答えを模索する試みとして、2004年度～2006年度にかけて2学科の微分積分の授業を、三つの学習歴別クラスと二つの習熟度別クラスに分けて授業設計を行い、学期末の実力テストの成績と入学時のプレイスメント・テストの成績の比較により学習効果を調べた。

また、習熟度別クラスの一つで、独自に開発した記述式型の数学学習支援ソフトCAMLを用いて対面授業を行った。CAMLを用いたクラスと用いていないクラスの中で、習熟度が近いクラスの入学時のプレイスメント・テストと学期末の実力テストの成績の比較によ

り学習効果を調べた。

さらに、2006年度～2007年度にかけて11学科の学生およそ1,200人を、プレイスメント・テストの成績をもとに、週1回授業を行う標準クラス12クラスと週2回授業を行うインテンシブクラス7クラスに分けて授業を行い、学期末の統一試験の成績と入学時のプレイスメント・テストの成績の比較により学習効果を調べた。

その結果、入学時のプレイスメント・テストの成績が悪い学生の中には、クラス編成の工夫や授業設計では、効果の上がない学生が多数含まれていることが分かった。そして、学期末の授業アンケートにおける自宅学習時間の項目を分析することで、これらの学生の多くは自学自習の習慣がないことが分かった。また、CAMLを用いたクラスでは、習熟度と関係なく途中放棄する学生がいないことも分かった。このことは、これまでの教育経験から単なる対面授業では、どうしても避けることができないものと諦めていた。このことから自学自習の習慣を身につけるには、コ

ンピュータを用いた学習が役立っているのではないかと推測するに至った。

また、一般に個別対応学習は、授業形式の学習に比べ、習熟度を高める効果があることが知られている^[1]。そこで授業での演習用に開発したCAMLを改良し、個別対応学習の機能を組み込んだJCALCを用い、学習者の学習履歴から授業を組み立てるといふ授業設計を行えば、習熟度の低い学生でも自学自習の習慣を身に付けることができるとの仮説を立てた。

本研究では、この仮説が正しいのか検証する。そのための準備として、前期の統一試験で60%以上を確保することができずに、認定を得られなかった学生の中で、私の担当している再履修科目を選択した学生36人を被験者として抽出し、授業外でJCALCを利用した学習を行ってもらい、JCALCを用いていない学生と同一の統一試験を行い、成績の変化を調べた。

2. クラス編成による成績の変化

(1) 学習歴別クラス

学習歴別クラスでは、微分積分の学習歴の少ないほうから順にA・B・Cのクラスに分け、Aクラスでは基礎的な部分に力を入れるようなカリキュラム構成にし、授業を実施した。これらのクラスごとの成績の変化を調査するため、統一で行った入学時のプレースメント・テストの成績と学期末の実力試験の成績を散布図で表したのが図1である。

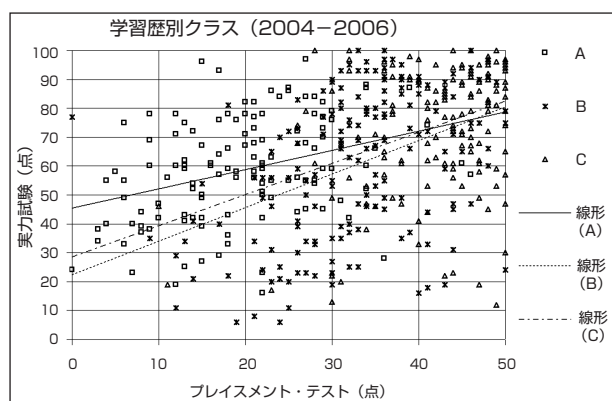


図1 実力試験散布度と線形回帰直線

これまでの教育経験から、微分積分のように高校でも学んでいる科目の学生の成績は、入学時の習熟度との相関が強いと考えられる。そこで、クラスごとの比較をするため、それぞれのクラスの点数をもとに散布図で表した。その後、それぞれのクラスの成績の変化を調べるため、回帰分析を行った。ここで、線形回帰のP-値はどの場合も0.0001未満という結果を得ることができたため、データの分析には線形回帰直線を用いることにした。

Aクラスの回帰直線は、Aクラスの習熟度の点数の分布する範囲で、他の2直線より高い位置にある。このことは、プレースメント・テストで習熟度が同程度だった学生達と比較して、Aクラスの学生は相対的に成績が向上していることを表している。また、B、Cクラスの回帰直線がほぼ等しいことから、この二つのクラスのカリキュラムは、再度点検が必要であることを示唆している。

(2) IT活用クラス

習熟度別クラスでは、入学時のプレースメント・テストの点数により二つのクラスに分けて授業を行った。さらに、習熟度の高いクラスでは、コンピュータを用いた授業設計を行った。授業中に、コンピュータによる学習支援システムCAMLを用いて演習を行った。そこで、習熟度が高くCAMLを用いて授業を行ったITクラスの成績と比較するため、前節の学習歴別クラスの中で、学習歴の最も多いCクラスのプレースメント・テストと実力試験の点数を表したのが図2である。

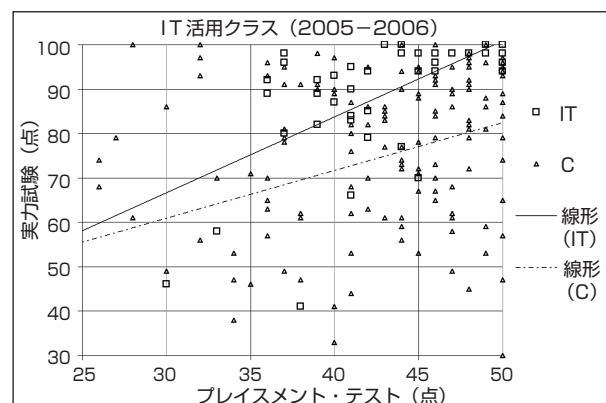


図2 習熟度 - 実力試験と線形回帰直線

CAMLを用いたクラスの実力試験と図1の実力試験は同一試験である。CAMLを用いたクラスと比較するため、図1のプレイスメント・テストの成績が最も高いCクラスのデータを で表示した。図1のときと同様に、線形回帰のP-値は、0.0001未満という結果を得ることができたため、線形回帰直線を用いてデータ分析を行う。

すべての範囲でITクラスの回帰直線が高い位置にあり、さらに傾きが大きいことから、Cクラスと比較して、成績が向上していることが分かる。また、ITクラスの最低点は、図1の履修歴別クラスのどのクラスの最低点よりもだいぶ高いことが分かる。このことから、CAMLを用いた学習は、授業とは関係なく自学自習の習慣を身につけることができ、その結果学生が途中で授業を投げ出す可能性の低いことが読み取れる。

(3) 習熟度別クラス

2006年度からは、工学部全体のFDとして、工学部の新入生全員を対象に、プレイスメント・テストを行い、その結果により週1回授業の標準クラス(S)と週2回授業のインテンシブクラス(I)の2種類の授業設計を行った。対象者はおよそ1,200人で、それらの学生を11のSクラスと8のIクラスに分けて講義を行った。週2回の授業がどのような効果をもたらすのか、入学時のプレイスメント・テストと統一試験の結果を表したのが図3である。

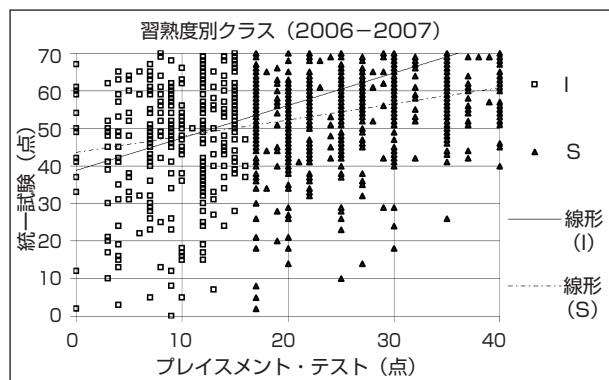


図3 統一試験散布度と線形回帰直線

Iクラスの学生の回帰直線の傾きはSクラスの学生の回帰直線の傾きよりも大きく、プレイスメント・テストの点数が近いところでは、Iクラスの回帰直線がSクラスの回帰直線の上にあることから、プレイスメント・テスト20点前後の学生の成績の伸びは、Sクラスの20点前後の学生の伸びに比べ、大きいと判断できる。しかし、各クラスにおける習熟度の差は、Sクラスの学期末の統一試験の平均が58.5でIクラスの平均が47であることから解消されていないと思われる。ただ、Sクラスのプレイスメント・テストの平均が28.5だったのに対してIクラスの平均は8であったことから、週2回の授業により入学時の習熟度が低かった学生もある程度、学習習慣が身につけていると考えることができる。したがって、習熟度の低い学生に週2回の授業を行うクラス編成はそれなりに意味があると言える。

学習歴別クラスおよび習熟度別クラス編成で気になるのが、左下隅の習熟度も実力試験の点数も低い学生の多さと、入学時の習熟度の割に実力試験の点数が低い学生である。左下隅の学生は、自ら学ぶということをこれらの授業で習得することができなかつたと考えられる。また、入学時の習熟度に比べ実力試験の点数が低い学生は、対面授業だけで行う今の授業設計が合っていないと考えられる。

3. 知的チュータシステム

多様化する学生に如何にして力をつけるかと、1999年から2007年までの9年の間に、履修歴別クラス分け、習熟度別クラス分け、コンピュータを用いた授業と色々試みたが、学生の理解度を確実に上げる方法を見つけることができなかった。しかし、図1, 2, 3の分析から分かるように、これらのクラス編成法は、多くの学生の習熟度を上げることにある程度貢献していると言える。

本章では、これらの分析から対応型数学学習支援機能が習熟度の低い学生に対して、自学自習の習慣を身につける効果があるかを検証するための準備として、CAMLを改良し開

発した学習者対応型数学学習支援ソフト JCALC に、どのように知的チュータ機能を組み込んだか紹介する。

(1) JCALC の特徴

JCALC の特徴は、単文形式および重文形式の微分積分学の記述式問題を自動生成し、学習者の解答を読み取り自動正誤判定を行う他に、学習者の記述した解答から理解度診断を行う。その上で学習者が自宅で自学自習が可能のように、ヒントという形で問題の解法が学べる知的チュータ機能を備えていることである。知的チュータは人間のチュータが行う学習者の解答の正誤判定および助言という機能を模したものである^[2]。

人間のチュータは、学習者の間違っただけの解答を見ると、それまでの教育経験からある程度学生の習熟度を把握することができ、さらに間違いの原因となっている学習者のつまづきも推測できる。この能力は長年の教育経験により培われるものである。この能力を模したものを JCALC で実現するために、学習者の入力した解答が不正解の場合、JCALC は生成された正解と学生の解答を、ある点で計算し以下の値 rd によって、学習者の理解度を判断するという方法をとっている。

$$rd = \begin{cases} \text{学習者の入力値と自動生成正解値の差} \\ \text{学習者の入力値と自動生成正解値の比} \end{cases}$$

もう少し詳しく説明するために例を用いる。例えば、自動生成された問題が “ $3(x^2+3x)^4$ の導関数を求めよ” で、学習者により入力された答えが “ $3(x^2+3x)^3(2x+3)$ ”，また、自動生成された正解が $12(2x+3)(x^2+3x)^3$ だとする。ここで、学習者の入力式を $x=1.1357$ において評価すると、1638.64617、正解を同じ値で評価すると 6554.58469 となる。このとき、この二つの値の比をとると、その一つの相対距離 rd は 4.00000 となる。この相対距離は整数に近いことから、この学習者は合成関数の微分法を理解していると判断する。このように判断するのは、二つの式の比が整数になるのは、微分係数などの定数をかけ忘れた場合などケ

アレスミスの場合だからである。

次に、相対距離が整数ではなく、相対距離をその評価値で割った相対誤差が小さいとき、学習者はある程度合成関数の微分法を理解しているが、十分ではないと判断する。このように判断する理由は、合成関数の微分法で括弧内の関数の導関数の微分を忘れた場合など、簡単な微分はできても合成関数の本質が理解できないときに発生する間違いだからである。

最後に、相対距離が整数でなく、その相対誤差が大きいとき、学習者は合成関数の微分法をほとんど理解していないと判断する。

IT を活用した学習における問題の一つにソフトウェアのインストールが複雑すぎて、学習以前に時間がかかり過ぎるというものがある。特に、JCALC は授業外での利用を想定しているので、ソフトウェアのインストールが簡単であることが重要である。そこで、JCALC にはインストーラを用意し、マウスをクリックしていくだけでインストールが完了するようにしてある。

IT を活用した数学の学習における問題には、数式の入力の難しさもある。JCALC は学習者の習熟度をその解答から推測するため、答えは記述式である。そこで、学習者が簡単に JCALC を使えるように、JCALC にはマウスやペンタブレットによる手書き数式入力の機能を用意している。

(2) JCALC による自学自習

JCALC は、自ら学ぶ力を身につけることを目的としているので、正規の授業では用いない。代わりに、履修歴をサーバに送信することを条件に、学習者はホームページからインストーラをダウンロードするか、初回の授業で配布されるインストーラの入った CD を利用し、JCALC をインストールする。

インストールが終わると、デスクトップに JCALC のアイコンが表示される。学習者が学習単元を選択し、学生番号を記述し、開始ボタンを押すと、問題が生成され表示される。学習者は、問題の答えを作成し解答欄に記述

すると、コンピュータがチュータの代わりに、正誤判定を行い、答えが間違っていたら、学習者の理解度を把握し「もう少し注意深く」か「不正解です。ヒントを見ますか」を提示する。このときのヒントは、教授知識をもとに生成されるので、チュータが横にいて、間違いを指摘した上で問題を解くのに似た感覚である。

学習履歴

学習者が学習を続けるためには、学習者が自分の成績を確認できることが大事であることが知られている。JCALCでは成績の表示メニューを押すと、自動的にサーバに接続した後、学習者が自分の学習履歴を教師側のサーバにアップロードできるようになっている。

ブレンディッド学習

送られてくるデータは学習者データに付与されている3段階の習熟度情報および学習者によって入力されたすべての不正解情報を含んでいる。この情報をもとに、教育者はテストの採点を行いながら、学生の理解していないところを把握するのと同じ要領で、学習者の誤り分析を行い、翌週の授業設計を行うというブレンディッド学習を行った。学習効果の比較のために、この被験者と同様に、前期の統一試験で認定を受けられず、ITを用いなかった172人の前期統一試験の点数と後期統一試験の点数を で表し、被験者36人の前期の統一試験の結果と後期の統一試験の点数を で表したのが図4である。

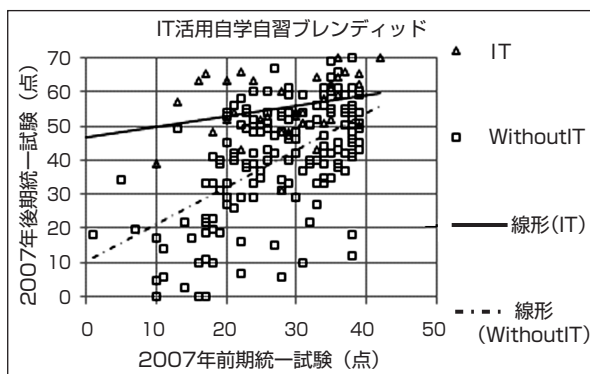


図4 JCALC使用前 - 使用後の回帰直線

IT活用自学自習ブレンディッド学習を行ったクラスの回帰直線の方程式は、 $y=0.313x + 46.52$ であり、ITを用いなかったクラスの回帰直線の方程式は $y=1.074x + 10.64$ である。この回帰直線から、IT活用自学自習ブレンディッド学習を行うと、前期の統一試験でとても低い点を取った学生でも、少なくとも46.52点を取る可能性があることを表している。また、ITを活用しなかった場合は、傾きがほぼ1で、y-切片が10.64から、全体に前期の得点から10点近く成績が良くなっていることが分かる。

ここで、IT活用の授業設計は、学習者の自学自習の習慣を身に付けるに有効であったか、回帰直線の傾きの差とy-切片に有意差があるかを検定することで検証する。もし、有意差がなければ回帰直線の傾きを残差で割った値は、ほぼ同じであると仮定できるので、これを帰無仮説とする。

両側検定を行うと有意差5%のt-値は1.973で与えられるので、回帰直線の傾きに有意差があると言える。同様に、y-切片にも有意差があることが言える。

4. まとめと今後の発展性

学習者は個別対応学習の機能を模したJCALCを自学自習で使い、教育者はJCALCによる習熟度分析を参考に授業を進めるという授業設計を行った。その結果、3(2)で示したように、IT活用自学自習ブレンディッド学習を行った学生は、回帰直線の傾きおよびy-切片の差の検定から、これまでなかなか成果の上がらなかった自学自習の習慣を身につけさせるという効果があることを示すことができた。このことから、他の大学でJCALCを利用しても同様の効果が期待できる。

参考文献

- [1] Bloom, B. S.: Taxonomy of Educational Objectives. Pearson Education Boston, MA, 1984.
- [2] Heffernan, N. T, and Koedinger, K. R.: An Intelligent Tutoring System Incorporating an Experienced Human Tutor. Springer Berlin, 2004.