学生視点を取り入れた学科独自の 数学問題集半自動生成システム構築

Construction of Semi-automatic Generation System of Mathematical Exercise Book
Unique to Department with Student Viewpoint

井 上 淳^{※1}
Jun INOUE

In this paper, we describe the approach that the systematized the process of student created mathematics exercises and answers and updating the contents of the mathematical exercise book. This effort was made to solve the problem that in general exercise book does not correspond to the learning content of the department or the level of the student. This effort led students to grasp the parts that they did not understand by making mathematics exercises and commentaries, and to review the contents learned in the past. Furthermore, based on the learning items of each subject, it can select necessary mathematics exercises and respond to the rapid change of the departmental situation such as curriculum change. As a result of this effort, the pass rate of mathematics subjects improved and the retention rate of learning contents increased.

Keywords : Teaching Improvement, Basic Education, Self Education, Active Learning, Original Exercise Book

キーワード : 教育改善, 基礎学力, 自己学習能力, アクティブラーニング, 独自問題集

1. はじめに

技術革新やその応用がめまぐるしく進行する社会において、その担い手は理工系の技術者である。それらの技術者は大学で学んだ内容だけでなく、社会に出て学び続けることが求められている。その一方で、新しい技術を学ぶにあたり、基礎となる科目の正確かつ深い理解も必要であることから、技術者養成を行う大学には質の高い教育が求められている。文部科学省の、「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」においても「技術者は、基礎知識や専門知識を実際に用いて社会・産業の現実問題に応える研究開発や設計、製品の製造等を行うことが期待されているのであり、技術者の養成には、必要な基礎学力を明確にし、現場、現物、現実を踏まえ、自然科学等の知識を適切に応用できるようにする実践的な教育が重要である。」と指摘されている¹⁾。

これら専門知識を学ぶ専門科目は多種多様なものがあるが、その基礎になる部分は数学である。数学の理解不足は専門科目の理解に自信が持てないことに直結する。しかし、理工系を目指す高校生の全てが数学を得意とするわけではなく、数学が苦手な学生は毎年一定数入学する。数学に関する自信の不足はやる気の減退を招き、学習全体に対する意欲を低下させてしまう。学生に聞き取りを行うと、数学の学習が進まない大きな原因として、問題演習に対する無力感が挙げられる。一般的に、数学

が得意な学生は「問題演習を行うと理解が深まり、成績が上がる」といった成功経験を積むことで、さらに学習に自信を持って理解を深めていく。これに対し、数学が苦手な学生は、その対極に位置する、「問題演習を行っても理解が進まず、成績が悪いまま」という悪い意味での失敗経験を積むことで、無力感を抱える要因となる。問題演習は学習内容の定着に重要な要素であるため、この失敗経験が学生の学習意欲低下の大きな要因となる。

この問題は、一般に販売されている問題集では学科独自カリキュラムや学生のレベルへの対応が難しい上、解説が数学の苦手な学生の理解力に対して不十分で、時には省略されてしまうことに一因がある。学生は学科の学びに必要な分野範囲や難易度範囲が明確にならないことから、自らの意思で先に進もうという意欲が湧かない上、不確実な理解を積み上げていくことで、問題に対する応用力が弱くなる。

これらを解決するために「学生が達成度を自覚できる」「学科に必要な数学を過不足なくカバーしている」「解説が略されておらず、1行ずつ読めば必ず理解できる」問題集、言い換えると、「演習をすればするだけ大学での成績が上がるのが保証されている」問題集が必要である。ただし、コストと売り上げ数の関係で、出版社に依頼することは困難である上、教員が全てを作るには膨大な労力を必要とし、現実的にはこの問題集の作成は不可能であった。

一方で、大学のカリキュラムの関係から、数学系科目は学部低学年に集中していることが多く、専門科目を学

2019年1月31日受付

※1 東京電機大学

ぶ高学年になるまでに学習した内容が不確かになってしまふことが専門科目の理解を困難にする要因である。「知識の獲得」から時間的な経過の後「知識の活用」ではなく、「知識の獲得」に平行した「知識の活用」が深い学びを生起させるということも指摘されている²⁾。これに対しては、定期的に復習を行うことが必要であるが、カリキュラムとしてそれを行わせることは難しい。長期休暇等の際に問題演習を課す手法も考えられるが、正解が決まっている一般的な課題を出しても、必ずしも学生全員が毎回勉強をするわけではないという調査結果も存在する³⁾。そのため、問題演習を行う一般的な課題を出すことで学科全体の数学の理解度を向上させることは困難であると考えられる。

そこで、これらの問題を全て解決するため、著者の所属する東京電機大学未来科学部ロボット・メカトロニクス学科では、学生が問題・解説作成に参加する形で数学問題集を毎年更新することで、常に最新の学科カリキュラムに必要な演習問題を学生に提供し、かつ、問題作成という形で正解が一つに定まっていない復習課題を課す新しい手法を実施している。

本手法の特徴の一つとして、学生が試験問題を作成するMIT（マサチューセッツ工科大学）の講義・学科試験で用いられている「MIT方式」⁴⁾を応用していることが挙げられる。学生が数学の演習問題・解説作成を行い、その内容を上の学年の学生がチェックして良問を選択する手法をとっている。さらに、もう一つの特徴として、その良問の中から教員が問題集に追加する問題を選択する際、学科カリキュラムや学習到達度試験（アチーブメントテスト）の結果を用いて、現在の学科・学生の状況に合わせた問題を選択していることが挙げられる。また、特定の科目を受講している学生だけでなく、全ての学科所属学生が問題・解説作成に参加することで、学科全体の学生の教育改善に繋がっている。

問題集に対する学生の満足度は非常に高く、講義範囲外の問題や興味のある分野の問題を自ら探して取り組むなど、積極的な自主学習に活用されている。その効果として数学科目の単位取得率の向上や学習内容の定着率の上昇が得られた。

以下、2章で手法の詳細について述べ、3章でその成果について述べる。

2. 問題集更新手法

本取り組みでは、年間を通して、図1に示すような4つのブロックからなるサイクルを回して問題集を利用している。本章では問題集の更新について、問題・解説作成、良問選定、採用する問題の選定、学科カリキュラムと連動した問題集の利用の4つに分け、具体的な手法とそのねらいについて述べる。

2.1 問題・解説作成

問題および解説の作成においては、MIT方式を応用した。MIT方式とは、マサチューセッツ工科大学で実施された試みで、講義を受ける学生が自ら試験問題を作成するものである。学生が試験問題を作成する中で、わ

図1 問題集更新手順

図2 学習ピラミッド

からない部分を明確化させることや、解説を作ることによって理解が進むという教育効果があり、図2に示すような、学習ピラミッドの最下段にあたる「人に教える・説明する」ことに繋がることから、理解の深化を目指したものである⁵⁾。

具体的には、夏季課題として1年生には高校数学と大学数学の基礎範囲、2年生には微積分学と線形代数の範囲など、各学年のカリキュラムで一年間に学習した内容に関して学科から範囲を指定し、問題作成を課す。また、問題作成だけでなくその解説を学生が自ら作成するという方法を取った。

この手法のねらいとしては、一年間の勉強の振り返りを自然に行い、数学知識を確実に身につけることと、一般的な問題演習では得られない、問題構造の把握による理解の深化を目指した。学生は問題を作成する際、ゼロから作成することは稀であり、教科書や既存の問題を参考にすることがほとんどである。ただし、単なる解答ではなく、他人が理解できる解説の作成も同時に課しているため、既存の問題の数字を適当に変えただけで提出するということが出来ないようになっている。すなわち、解が得られる問題を作成し、友人と互いの問題についてディスカッションする必要があることから、なるべくわかりやすい解説を作成するようになる。

さらに、解説を作成する手間を考えて、綺麗な解答になるように調節したり、途中の式変形が複雑にならない問題の作成を試みる学生が多い。ここで学生は、問題条件

と解答の関係性を把握することができる。たとえば微分方程式であれば、係数や初期条件を変化させた際に、最終的な解答に与える影響等が試行錯誤的に理解できる。これは、問題をパターン分けして一定の解き方に沿って解答するだけでは得られない、問題の本質に一步近づいた内容の理解であり、専門科目で必要になる、実問題への応用にも大きく貢献する。

これらの内容はアクティブラーニングの中の「Student-Generated Questions」および「Peer teaching」に当たり⁶⁾、自ら学びを深めるほか、授業時間外に学生同士で勉強を学ぶ習慣づけができる。

2.2 良問選定

学生によって夏季休業中に作成された問題と解説は、質的保証を図るため、そのチェックと良問選択を行う必要がある。MIT方式では教員が試験問題のチェックと選定を行うのが一般的であるが、本システムでは問題のチェックを行うにあたり、学生に取り組ませることとしている。本学科の取り組みとして、月曜から金曜までの夕方90分間、学部4年生が質問に来る下級生に勉強を教える、よろず相談室というものがある。その担当学生が、問題のチェックと良問の選定を、質問対応をしていない時間に行う。この際、チェック項目として、表1に示す内容を指示している。

また、選定した中で、解説に不足があればその部分を補うところまでを学部4年生の作業内容としている。そのため、修士に進む直前の段階でそれまでの数学知識を復習することになり、高学年で低下しがちな数学力を再獲得することができる。また、自分が低学年の頃に理解が難しかった問題など、学科の学びに役に立つ問題を学生目線で選定することが可能である。

また、問題集作成後、次年度前期には、学年が変わって入れ替わったよろず相談室の学生に、問題集と回答集を渡し、表1に示すように追記された解説の間違いの有無や、問題の分類が適切かどうかなどについて再度確認させる。このことにより、後期に問題をチェックするための準備を行う事が可能である。

2.3 採用する問題の選定

(1) 専門科目につながる問題の採用

学科のカリキュラムをカバーする問題集を制作するため、機械・電気・情報・制御・専門数学すべての分野において、各科目の担当教員から表2に示すような講義に関連する数学学習項目（キーワード）を収集している。このキーワードとその科目の学習内容に沿って、学部4年生によって選定された良問の中から、問題集に追加するものを絞り込むことが可能である。さらに、キーワードと併せ、学生にとって理解の難しい事項も各科目担当から聞き取りを行うことで問題選定に反映させることができる。

(2) 学生の苦手克服のための問題の採用

(1)で挙げた問題以外に、学生全体の苦手部分の底上げを目的として、アチーブメントテスト（学習達成度試験）の結果を用いて問題を採用する。アチーブメントテストとはロボット・メカトロニクス学科・専攻の全員が

表1 学生による問題のチェック項目

	チェックタスク
後期	①問題に誤りがないか
	②解説が分かりやすいか
	③学生視点で見て学科の学びに役に立つか
	④自分が過去につまずいた問題かどうか
	⑤問題を單元ごとに分類
前期	①後期に追加された解説に間違いがないか
	②問題の分類は適切かどうか

表2 各専門科目の関連数学学習項目（一部抜粋）

分野	科目名	学習キーワード	関連数学学習項目
機械	材料力学	応力とひずみ、フックの法則、ポアソン比、はり、剪断力、曲げモーメント	微分・積分法
	機械製図Ⅱ	CAD、寸法公差、はめあい、幾何公差、表面性状、ねじ、歯車、継手、キー・キー溝	微分・積分法、確率分布、数列
電気	電気回路Ⅱ	複素数、正弦波のフェーザ、インピーダンス	三角関数、複素数、複素数平面、微分・積分
	信号処理	正弦波、フーリエ級数展開、複素フーリエ級数展開、OFT、スペクトル解析	三角関数、複素数、ベクトル、微分法・積分法、確率分布
制御	制御工学Ⅰ	システムの応答、ブロック線図、周波数応答と周波数伝達関数、ゲインと位相、ボード線図、安定性	指数関数・対数関数、三角関数、複素数、微分法・積分法
情報	情報理論	情報量、エントロピー、情報源と通信路、情報源符号化、通信路符号化	集合、指数・対数関数、確率

年に一度同時期に受験する試験で、英語、数学と専門科目の学修到達度を測るものである。どの学年も同じ試験内容であり、自分の学力が全学年でどの程度の位置にあるかを把握することができる。数学の試験は毎年、11分野に分けて問題を作成しており、その中で学生の正答率の低い分野の問題を、2で選定された問題の中から重点的に問題集に追加することで、学生のレベルにあった問題集の構築を図り、問題集の陳腐化を防ぐことができる。この手法で問題を追加することで、高校の学習指導要領の変化に伴う新入学生の数学知識の変化など、学生を取り巻く教育環境にも素早く対応することが可能である。

また、問題の採用を教員が実施することで、最終的な問題のチェックも兼ねている。

2.4 学科カリキュラムと連動した問題集の利用

上記段階を経て完成した問題集を、推薦入試等で合格した学生には事前送付し、自分の所属する高校で3月末までに学ぶ範囲の問題を全て解答して入学時に提出させる。このことにより、一般入試で合格して入学してくる学生との学力格差を縮小させることを目指す。

また、4月以降は全学生に配布し、専門科目の進行に合わせて問題を解かせることで、数学力の底上げを図る。また、学生にはどの問題を解いても学科の学びに役に立つことを伝えてあるため、授業外でも学習の役に立てる

ことができる。

講義で主に利用するのは1, 2年生の通期で行われるメカトロニクスワークショップという科目における数学演習である。この科目は学科の学びに必要な基礎知識をオムニバス形式で学ぶ講義で、2週に1度、1, 2年生交互に数学演習回を設けている。その中で、数学科目の進度に合わせて解く問題を設定したり、他専門科目の担当教員から次の週に学ぶ事項に関連する演習問題の依頼を受けて学生に解かせるなど、学科カリキュラムと有機的に結びついた弾力的な運用ができています。また、この講義中に学生の苦手な問題を把握することで次年度以降の問題構成に活かすことができる。これらは、市販の問題集では行うことが不可能な運用の仕方であると考えられる。

3. 問題集実施による成果

本取組みは2013年から改良しながら実施しており、初年度に2年生として講義で問題集を利用し始めた学生が2018年3月に修士2年生として卒業した。そこで、本手法実施による教育改善効果の評価を行った。

本手法を採用したことにより、進級率の劇的な向上、学生の自学自習意欲の向上、学科専門科目カリキュラムとの連動、数学系科目の理解度上昇、数学知識定着率の向上の5つの効果が得られた。これらは、本取り組みの元となったMIT方式にはなかった効果であり、継続的に本手法を実施することによる効果は非常に高いものと考えられる。

3.1 進級率の向上

ロボット・メカトロニクス学科は新設されて数年間、4年卒業率がやや低かったが、現在では学部との平均値と同程度まで向上した。これは学生の数学力の改善により、数学科目だけでなく、専門数学、数学が基礎となる専門科目も含めて理解が深まり、全体の単位取得率が向上したことによる効果である。さらに、本システムの中で全学生に問題・解説を作成させることで、学生が学習内容の振り返り・理解の深化を行うことができたことも理由だと考えられる。この結果から、本手法が数学の苦手な学生に対する効果が大きいことがわかる。

3.2 学生の自学自習意欲の向上

本問題集の利用に関して、講義で使用している1, 2年生計232名に対してアンケートを行ったところ、88%が「ロボット・メカトロニクス学科数学問題集が使いやすい」と回答した。さらに、講義で指定された範囲外の問題も自発的に解いたという回答が43%あり、その中でも特に、まったく未学習の中から自分の興味の向く問題を自ら探して解いたという回答も16%あった。学生の問題集に対する満足度が高いことと、自学自習意欲が高まっていることが本システムの成果として挙げられる。そのため、学年が上がっても講義内容を忘却せず、より高い位置からのスタートを切ることができる。この結果から、本問題集が数学の苦手な学生だけでなく、数学の得意な学生に対しても学びの役に立っていることがわかる。学生からの意見として「専門科目の授業に入る前に必要な

知識を再確認することができた」「これをやれば学科に必要な数学知識が手に入るといったことがわかったので、安心して問題集を解くことができた」などが得られた。一方で、問題をチェックする側の学部4年生からは「忘れていた部分が思っていたよりも多く、チェックをすることで自分たちのほうが勉強になった」「解説の上手な学生、下手な学生両方の作った問題を見ているうちに、どうやれば相手にうまく教えられるかが理解できた」などの意見が得られた。

3.3 学科専門科目カリキュラムとの連動

本問題集を講義中に用いる科目のメカトロニクスワークショップは、1年生と2年生の前期と後期に開講される。その中で数学演習を実施しており、専門科目の講義計画にあわせて関連する演習問題を配置するなど、柔軟な組み立てを行っている。これにより、学生が数学系科目で学んだ問題に対する解法を、専門科目で学ぶ応用的な問題に適用するための架け橋の役割を果たす事ができた。これは、問題更新時の各教員からのキーワード収集と、キーワードおよび担当教員への聞き取りの結果を用いた問題の配置によって実現したものであり、学科カリキュラム全体の連動を図り、学びの底上げを行うことが可能となった。

3.4 数学系科目の理解度上昇

本問題集利用の短期効果として、1年生の数学科目である線形代数学Iと微分積分学および演習Iの不合格者数の推移に着目した。表3および図3に示すように、2012年度の不合格者率は線形代数学が28.0%、微分積分学および演習Iが12.8%だったが、本取組みを始めた2013年度から順調に下がり続け、2017年度には線形代数学は8.7%、微分積分学および演習Iは4.7%と大幅に減少した。この数字には休学者や体調不良で試験を受けられなかった学生なども含まれているため、実数はさらに小さいものになる。この結果から、入学後すぐの1年生に対して、

表3 数学系科目 1年次終了時点での不合格者数

入学年次	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
微分積分学 および演習 I	17	17	11	5	7	6
線形代数学 I	37	25	23	19	18	11
学生総数	132	138	129	143	125	127

図3 1年生数学科目学生数に占める不合格者の割合

表4 学部1年生と修士1年生の平均点と比率

試験年度	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
学部1年生	45.4	39.5	30.0	25.5	30.5	30.6
修士1年生	46.8	39.9	30.9	26.6	36.7	40.5
成績比率	1.03	1.01	1.03	1.04	1.2	1.32

図4 修士1年生と学部1年生の平均点比率

入学前教育とこの問題集の利用が教育改善として有効に働いていることが明らかになった。

3.5 数学知識の定着率上昇

長期効果として、本学科で実施しているアチーブメントテストの結果に着目した。アチーブメントテストの問題は毎年変わり、平均点や難易度を一定にすることはできていないため、修士1年の数学平均点を学部1年生の数学平均点で割った成績比率に着目したところ、年々上昇してきていることがわかった。表4および図4に示すように、2012年には修士1年生の数学平均点は学部1年生の平均点の1.03倍であり、学習の効果が見られなくなっていた。上昇を続け、2017年には1.33倍まで向上した。これは、一般的には高学年で忘却しがちな、低学年で学んできた数学の基礎知識が定着することで、解答できる問題が増加していることを意味している。この基礎知識の定着は問題・解説のチェックで得られることの教育効果も要因であると考えられるため、問題のチェックを行う学年を拡大することで、更なる効果が得られることが予想される。

3.6 問題・解説作成の教育的効果

本取組みの中の、問題・解説作成の部分の教育効果を計るため、課題を実施してから半年後に追加アンケートを実施した。

「問題・解説の作成による新しい発見があったか」の問いに対しては、65%が新しい発見があったと回答した。中でも1年生に新しい発見があったという回答が多く、学ぶ場が高校から大学が変わって勉強の仕方がわからなくなっていた学生にとって有意義であったというコメントなどが得られた。「数学の夏季課題として、一般的な問題演習と問題・解説の作成課題はどちらが勉強になるか」の問いに対しては、60%が問題・解説の作成の効果が高いと答えた。問題・解説の作成も勉強になる一方で、問題演習も平行して実施することが必要であると感じてい

図5 個人にマッチした演習問題集の構築

ることが伺える。「作成問題作成だけでなく、解説を作成したことによる学びへの効果」については、92%が解説を追加で作成することが学びへの効果を高めると回答した。自由記述では「自分が理解できていなかったことを認識することができた」「問題・解説作成の際に昔のノートを見返したら記憶から抜け落ちている知識が思ったより多いことに気づいた」「解説を作成することで論理的に説明する能力が付いた」というコメントが得られた。

これらの回答から、問題演習だけではなく、自らの手で問題・解説まで作成することで、知識の振り返りを行う事ができ、数学の学びに対して有効だと学生が感じていることが明らかになった。

4. まとめ

数学力強化を目指した問題集構築システムとして、MIT方式を応用し、学生自身が問題および解説を作成・良問の選定を行うことで、学科・学生の状況に柔軟に即応可能な問題集更新システムを構築した。その結果として、学生が安心して問題集を利用することができるようになった上、アクティブラーニングや学習内容の振り返りを自然に行う事が出来るようになり、自学自習意識の向上・成績の向上・進級率の向上と、数学系科目だけにとどまらない大きな教育改善効果を生んだ。

さらに、本業績はその、組織ごとに学生たちによる問題作成によって独自の問題集を構築するという特色から、学生のレベルによらず、また中学・高校・大学のあらゆる学校組織での数学力の強化・専門科目の基礎となる数学知識の定着に利用できることにその大きな価値がある。さらに大切な点として、普通の方法では教員の負荷が大きく実現できなかった各組織独自の問題集構築が、本手法を用いることで現実的になったことが本取組みの一番の効果であると考えられる。

今後の展望として、現在学部4年生のみで実施している問題のチェックを学生全体で相互に実施するなど、教育課程としての取組みをより強化し、数学知識の定着力上昇をより確かなものにしていく。さらに、図5に示すように、現在の各組織へマッチするシステムから、個人へマッチするシステムへの応用を検討している。今までは画一的かつ、数年間変わらない演習問題が当たり前で

あった。しかし、本取り組みでは学科の状況と学生のレベルに合わせた演習問題集を作ること成功した。今後はコンピュータを使うなどして、問題の利用状況・解答状況の収集をすることで個人の学習状況に合わせた問題の提示が可能なシステムへのアップグレードを検討している。例えば、個別の学生の解答状況を集めることによって、ある問題群が苦手な学生は別の問題群も苦手であるという事前情報が構築できる。新たに問題を使用する学生の解答状況から、一人ごとに適切な問題を提示するソフトウェアを構築するなど、情報工学的アプローチの適用を目指す。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省：大学における実践的な技術者教育のあり方, 大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議, 平成22年6月3日, Webページ, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/41/index.htm, 参照日：2018-1-30
- 2) 谷口哲也：高次のアクティブラーニングの評価, 工学教育, 61-3, p.10-13, 2013
- 3) 吉田 博, 戸川 聡, 金西計英：大学の授業における学生が授業外学習を行う要因, 日本教育工学会論文誌, 35巻Suppl.号, pp.153-156, 2011

- 4) 青木雅子, 奥野順子, 関森みゆき, 日沼千尋, 櫻田章子：学生が試験問題を作成するアクティブラーニングの展開, 東京女子医科大学看護学会誌, 11-1, pp.54-60, 2016
- 5) 土持ゲーリー法一：ラーニング・ポートフォリオー学習改善の秘訣, 東信堂
- 6) Jenny A. Van Amburgh, John W. Devlin, Jennifer L. Kirwin, and Donna M. Qualters：A Tool for Measuring Active Learning in the Classroom, American Journal of Pharmaceutical Education, 71-5, 2007

著 者 紹 介

井上 淳

学 歴 2013年 早稲田大学大学院卒
 学 位 博士（工学）
 所 属 東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 助教
 専 門 福祉工学・情報工学
 所属学会 日本機械学会, 電気学会, IEEE, 生活支援工学会他
 連絡先 inoue.jun@fr.dendai.ac.jp