

アメリカの大学における数学教育について 一教員の視点から

Mathematics Education at an American University

エンブリー・リドル航空大学プレスコット校 渡邊立業

Tatsunari Watanabe

Embry-Riddle Aeronautical University, Prescott

Abstract

本稿では、アメリカの大学における数学教育について、一教員の視点から概観する。特に、大学の種類や学生背景の多様性、初年次数学科目の位置づけ、授業実践、現在直面している課題、および Embry-Riddle Aeronautical University Prescott 校における具体的な取り組みを紹介する。

1 はじめに

本稿では、日常的に大学で数学教育に携わる一教員の立場から、アメリカの大学における数学教育について概観する。筆者は、研究大学から教育を重視する大学まで、複数のアメリカの大学で学び、また教えてきた。そのため、本稿で述べる内容は、特定の一大学の制度や実践を紹介することだけを目的とするものではなく、複数の教育環境での経験を踏まえながら、アメリカの大学数学教育に見られる多様性と共通性を整理することを目的とする。

筆者は、カリフォルニア大学バークレー校で数学を専攻し、学部時代には微積分の授業において授業アシスタントとして主に宿題や課題の採点を担当した。その後、デューク大学大学院の数学博士課程に進学し、大学院生講師として微積分の講義を担当する機会を得た。博士号取得後は、パデュー大学で博士研究員として在籍し、主に工学系の学生に向けて線形代数や微分方程式を教えた。現在は、Embry-Riddle Aeronautical University Prescott 校において、工学系・理工系の学生を中心に数学教育に携わっている。

このように、筆者は採点を担当する補助的な立場から始まり、講義担当、そして現在の学部教育まで、さまざまな形でアメリカの大学数学教育に関わってきた。本稿は、こうした経験を通して感じてきたこと、考えてきたことを、一教員の視点から整理し、共有するものである。

以下、第2節では、アメリカの大学における数学教育の全体像について、大学や学生背景の多様性、単位制度、初年次数学科目の位置づけ、学習成果や修了率への関心といった観点から整理する。第3節では、実際の教室で行われている一般的な授業実践として、講義、課題・評価、オンライン教材の活用、学習参加型の活動を紹介する。第4節では、現在の大学数学教育が直面している課題について述べる。第5節では、筆者の所属する Embry-Riddle Aeronautical University における具体的な取り組みを一つの事例として紹介する。最後に第6節では、今後に向けて考え続けるべき論点を述べる。

2 アメリカの大学における数学教育の概観

本節では、アメリカの大学数学教育を理解するための背景として、いくつかの基本的な特徴を整理する。具体的には、大学の種類や学生背景の多様性、単位制度と授業時間、初年次数学科目の位置づけ、そして学生の学習成果や修了率への関心の高まりについて述べる。

2.1 大学の種類と学生背景の多様性

アメリカの大学における数学教育を考える際に、前提として重要になるのは、大学の種類や学生背景の多様性である。アメリカには、四年制大学に加えて、リベラルアーツ・カレッジやコミュニティ・カレッジなど、性格の異なる高等教育機関が数多く存在している。また、四年制大学の中にも、主に学部教育を担う大学と、修士課程や博士課程を含む大学院教育を併せ持つ大学があり、数学教育の位置づけや役割もそれぞれ異なる。

例えば、学部教育中心の大学やリベラルアーツ・カレッジでは、数学の専任教員数が比較的限られていることも多い。その分、各教員の専門性や大学の教育理念が、カリキュラムに反映されやすい傾向がある。また近年は、学生の関心や社会的な要請を背景に、応用数学、計算数学、統計、データサイエンスなどと接続した科目群やトラックを整備する動きも見られる。これは、数学の学びが卒業後の多様な進路とどのようにつながり得るかを、より明確に示そうとする工夫の一つである。

一方で、大学院課程を併せ持つ大学では、学部教育が研究活動や大学院教育との連続性の中で位置づけられることが多い。その結果、学部段階でも扱われる数学の分野が比較的幅広く、学生は自分の関心や進路に応じて多様な科目を選択できる場合がある。また、意欲のある学部生が大学院レベルの科目に挑戦できる仕組みが用意されている大学もあり、研究や高度な内容への入り口が早い段階から開かれている点も特徴の一つである。

さらに、同じ数学科目の中に、数学を専門とする学生だけでなく、工学、物理、化学、生物、コンピュータサイエンス、近年急速に拡大しているデータサイエンスなど、多様な専攻の学生が同時に在籍することも珍しくない。このように、大学の制度や教育段階、学生の専攻や目的が多様であることは、アメリカの大学数学教育の大きな特徴の一つである。したがって、この多様性を前提として、どのように授業を設計し、学生を支援するかが、数学教育を考える上での出発点となる。

2.2 単位制度と授業時間

大学の種類や学生背景には大きな多様性がある一方で、アメリカの大学には、比較的共通して用いられている制度もある。その一つが、単位制度に基づく授業時間の設定である。

一般に、1単位は週1時間程度の授業時間に対応するものとして扱われることが多い。多くの講義科目は3単位であり、週に3回、各50分程度の授業を行う形式がよく見られる。一方で、微積分のような基礎数学科目は、4単位として設定されていることが多く、通常の講義に加えて追加の授業枠が設けられる場合がある。

この追加時間の使い方は、大学や科目によってさまざまである。単なる問題演習に限らず、講義内容を補う例題を扱ったり、少し難しい問題を丁寧に解いたり、応用課題に取り組んだりすることもある。例えば、筆者が学部時代を過ごしたカリフォルニア大学バークレー校では、この追加枠は大学院生インストラクターが担当し、講義内容を補う形で、より多くの例題を扱ったり、難しめの問題演習に取り組んだり、小テストを行ったりする時間として運営されていた。

一方、デューク大学では、この追加枠が微積分ラボとして位置づけられていた。そこでは、教員が作成したラボ専用の教材を用いながら、実社会の題材に関連づけた課題に取り組む形式が取られていた。学生はグループでテーマごとに作業し、その内容を短いレポートと

してまとめる。このように、同じ追加の授業枠であっても、補習的に使う場合もあれば、応用や活動を組み込む場合もあり、単位制度の中で柔軟な授業設計が行われている。

日本の大学では、1科目が週1回90分という形式が多いと聞く。それと比較すると、アメリカの大学では、同じ科目に対して週に複数回接する機会があることが多く、授業のリズムや学習の進め方にも構造的な違いがあると言える。

2.3 初年次数学の位置づけ

次に、初年次の基礎数学科目が、アメリカの大学教育の中でどのような役割を担っているかを考える。特に STEM 分野との関係において、微積分、線形代数、微分方程式といった科目は、多くの学生が入学後比較的早い段階で履修する重要な科目である。

これらの科目は、数学専攻の学生だけでなく、工学、物理、コンピュータサイエンス、データサイエンスなど、多くの理工系分野にとって前提科目として位置づけられている。さらに重要なのは、これらの数学科目が専門科目と並行して履修されることが多い点である。そのため、数学での理解が十分でない場合、同じ学期に履修している工学や物理の授業、実験、プロジェクトなどにも早い段階で影響が現れる。

また、多くの STEM 系の学科では、微積分などの基礎数学科目において一定以上の成績を修めることが、次の専門科目への進級や専攻継続の条件となっている場合がある。このように、初年次基礎数学は、内容面で STEM 学習全体を支える基盤であるだけでなく、制度面でも進級や修了に関わる重要な科目である。その意味で、これらの科目はしばしば「ゲートウェイ科目」としての性格を持っている。

2.4 学習成果と修了率への関心

近年のアメリカの大学における数学教育を考える上で、学生の学習成果や修了率への関心が高まっている点も重要である。多くの大学では、授業を「どこまで進めたか」だけでなく、学生が実際に何を理解し、どのようなことができるようになったのか、すなわち学習成果を重視するようになっている。

これは数学科目に限らず、他分野の基礎科目でも同様である。数学科目においても、まず「この科目を通して学生が何をできるようになるべきか」を学習目標として明確にし、それに対応する形で、課題、小テスト、試験などの評価方法を設計する、という考え方が強まっている。さらに、評価の結果や学生の反応を手がかりに、授業の進め方、評価方法、必要に応じた支援の仕組みを見直すという改善のサイクルも意識されるようになっている。

この背景には、微積分などの基礎数学科目における成績や履修状況が、その後の専門科目の履修や学習継続と関係するという認識がある。数学は初年次に履修されることが多いため、この段階でのつまずきが、進路選択や学習継続に影響する可能性がある。そのため、単に内容を教え終えることよりも、学生が学習目標を達成し、次の段階へ進める状態になっているかどうか、重要な関心事となっている。

また近年は、STEM 分野を中心に、学生が授業に主体的に関わる学習方法への関心も高まっている。この点については、次節でアクティブラーニングを含む教室での具体的な実践として述べる。以上のように、アメリカの大学数学教育は、内容そのもののだけでなく、学習成果をどのように可視化し、評価し、改善につなげるかという観点からも捉えられるようになっている。

3 教室で行われている一般的な実践

本節では、アメリカの大学における数学の授業で比較的良好に見られる一般的な実践について述べる。多くの授業では、講義を中心とした授業構成が現在でも基本となっている。一方で、

それに加えて、定期的な課題や評価、オンライン教材・課題システムの活用、そして学生の参加を促す学習参加型の活動などが組み合わされている。

ただし、これらの実践はすべての大学や授業で同じ形で行われているわけではない。大学の規模、科目の性格、受講生の専攻、教員の教育方針によって、その具体的な形は大きく異なる。以下では、講義、課題と評価、オンライン教材、学習参加型の活動という四つの観点から整理する。

3.1 講義を中心とした授業構成

数学の授業では、現在でも講義が授業の基本的な方法として用いられることが多い。特に、定義、定理、証明の考え方といった内容について、全体像や論理構造を示しながら説明する上では、講義形式は今でも有効な手段の一つである。

ただし、講義といっても、その進め方は一様ではない。伝統的に黒板やホワイトボードで板書しながら進める授業もあれば、PowerPointなどのスライドを用いて、要点や図を提示しながら説明する授業もある。また、ワークシートや配布プリントを授業内で使用し、説明と演習を短いサイクルで繰り返す形式も見られる。

近年では、タブレットを用いて手書きで説明し、その画面をスクリーンに投影する形式も増えている。この方法では、板書の柔軟さを保ちながら、図や色分けを用いた説明、資料の共有、さらにオンライン授業や録画配信への対応もしやすい。そのため、対面授業とオンライン授業の両方に対応しやすい授業形式として利用されている。

このように、授業の中心に講義がある点は共通していても、使用する道具や授業の組み立て方には幅がある。また、講義だけで完結するのではなく、課題、評価、学生参加型の活動と組み合わせながら授業全体が構成されることが多い。

3.2 定期的な課題と評価

アメリカの大学では、宿題、小テスト、中間試験、期末試験といった定期的な課題や評価が、コースの中に組み込まれていることが一般的である。特に毎週出される宿題は、学生が授業内容を実際に手を動かしながら確認する重要な学習機会となっている。科目や教員によっては、講義のたびに宿題を課す場合もある。

小テストや中間試験は、学生自身が自分の理解度を確認するための機会であると同時に、教員にとっても、授業の進め方や説明のペースを見直すための重要な情報源である。例えば、ある単元で多くの学生が共通してつまづいている場合には、次回以降の授業で補足説明を行ったり、追加の例題を扱ったりすることができる。

このような定期的な課題や評価は、学生の学習のペースを保つ役割も果たしている。学期末の試験だけで成績が決まる形式では、学生が学期途中で自分の理解不足に気づきにくい場合がある。これに対して、宿題や小テストを継続的に実施することで、学生は学期の途中で自分の理解度を確認し、必要に応じて早い段階で支援を求めることができる。

ただし、課題や評価の量、形式、重みづけは、科目や教員の方針によって大きく異なる。計算練習を重視する科目もあれば、概念理解や説明能力を重視する科目もある。また、オンライン課題を中心にする場合もあれば、手書きの解答を提出させ、途中式や考え方を詳しく評価する場合もある。

3.3 オンライン教材・課題システムの活用

大学の基礎数学コースでは、教科書に付随したオンライン教材や課題システムが、授業運営の一部として広く用いられている。例えば、WebAssign や Pearson などのオンライン課題シ

システムが利用されることがある。これらは一例であるが、多くの大学で同様の仕組みが導入されている。

オンライン課題システムでは、課題の提出、自動採点、即時のフィードバックが可能である。学生は解答後すぐに正誤を確認でき、場合によっては類似問題に再度取り組むこともできる。このような仕組みは、基礎的な計算練習や反復練習において一定の効果を持つ。

また、これらのシステムには電子版の教科書や補助教材が含まれていることも多い。そのため、紙の教科書を購入せず、電子教材を利用する学生も増えている。教員にとっても、学生の提出状況、正答率、取り組み時間などのデータを通して、学習状況を把握しやすくなるという利点がある。

さらに、大学や科目によっては、授業時間内にオンライン形式で小テストや中間試験を実施する教員もいる。これは、LMS、すなわち学習管理システムやオンライン課題システムと連携させることで、出題、採点、結果の分析を効率的に行えるという利点があるためである。ただし、このような授業内オンライン試験が、すべての大学で一般的に行われているわけではない。特に STEM 分野を中心に、一部の大学や教員の間で見られる実践と考えるのが適切である。

このように、オンライン教材や課題システムは、単なる補助的な道具ではなく、課題、評価、教材提供、学習状況の把握に関わる授業設計の一部として活用されるようになっている。一方で、どこまでオンラインシステムに依存するかは、科目の性格や教員の方針によって大きく異なる。

3.4 学習参加型の活動の導入

近年、オンライン教材や課題システムの活用に加えて、授業中に学生がどのように学ぶかを見直す動きも強まっている。特に STEM 分野を中心に、講義を基盤としつつ、授業の一部として学習参加型の活動、いわゆるアクティブラーニングを取り入れる形が広がっている。実際、Freeman らによるメタ分析では、大学の STEM 分野の授業において、従来型の講義と比較してアクティブラーニングを取り入れた授業の方が、学生の試験成績が高く、不合格率が低い傾向にあることが報告されている [1]。

アクティブラーニングというと、授業全体を大きく作り替える改革を想像しやすいが、実際には、講義の途中に数分だけ取り入れられるような小さな活動も多い。例えば、Think-Pair-Share のように、まず学生が個人で考え、次に隣の学生と共有し、最後に全体で確認する活動がある。この方法では、学生がすぐに答えを聞くのではなく、自分の考えを一度言語化し、他者の考えと比較する機会を持つことができる。

また、授業中に短い問題や例題をその場で解かせ、数名の学生に解法や考え方を発表してもらう活動もある。グループで解法を比較したり、互いに説明し合ったりすることで、学生は単に答えを得るだけでなく、なぜその方法が有効なのかを考える機会を得る。さらに、成績への影響を小さくした低リスクの小テストを授業の最後に実施し、学生自身がその日の理解度を確認できるようにする工夫も見られる。

筆者が担当する微積分の授業でも、こうした方法を部分的に取り入れている。例えば、質問に対してすぐに一人の学生を指名するのではなく、まず何人かの学生が手を挙げるのを待ち、その中から、まだ発言していない学生を指名して意見を聞くことがある。その後で、引き続き手を挙げている学生にも意見を求め、考え方の共通点や違いを共有する。このような小さな工夫によって、特定の学生だけでなく、より多くの学生が授業に関わる機会を作ることができる。

アクティブラーニングは、講義を否定するものではない。むしろ、講義によって内容の全体像や理論的な構造を示しながら、その途中に学生が考え、説明し、確認する時間を組み込むことで、授業全体の学習効果を高めようとするものである。数学の授業では、定義や定理

を正確に提示する時間と、学生が実際に考え、使い、説明する時間の両方が必要であり、そのバランスをどのように取るかが重要である。

4 現在直面している課題

本節では、現在のアメリカの大学数学教育が直面している課題について述べる。もちろん、課題の現れ方は大学の種類、学生の背景、科目の性格によって異なる。しかし、学生の学力・準備状況のばらつき、数学への不安感や苦手意識、基礎数学科目における不合格や履修中断、そして限られた授業時間の中での深さとカバー範囲のバランスは、多くの大学で共通して意識されている問題である。

4.1 学生の学力・準備状況のばらつき

第一の課題は、学生の数学的な準備状況のばらつきである。これは、授業運営や学習支援のあり方に強く関係するため、多くの大学で重要なテーマとなっている。

このばらつきには、入学者選抜の仕組みも関係している。アメリカの大学では、日本の多くの大学のように、各大学が独自に学力水準を設定した入学試験を行い、その結果によって学生を選抜するという仕組みは一般的ではない。SATなどの標準化テストは存在するが、入学の可否は、高校での成績や履修内容、課外活動、推薦状、志望理由など、複数の要素を総合的に評価して判断されることが多い。また近年では、SATなどの標準化テストを出願時に必須としない、いわゆるテスト・オプションを採用する大学も増えている。

その結果として、大学入学時点での数学の学習歴や理解度には、もともと幅が生じやすい。同じ微積分のクラスであっても、高校で十分に準備してきた学生もいれば、前提となる代数や三角関数の理解に不安を抱えた学生もいる。したがって、教員は同一クラス内のレベル差を前提として授業を設計しなければならない。

こうした背景を受けて、多くの大学では、入学前あるいは学期開始前に数学のプレースメントテストを実施している。これは合否を決める試験ではなく、学生がどのレベルの数学科目から始めるのが適切かを判断するためのものである。例えば、十分なスコアが確認できれば微積分から始めることができるが、それに達しない場合には、Precalculusなどの補習的・準備的な科目の履修を勧められることがある。大学や専攻によっては、このような準備科目の履修が実質的に必須となる場合もある。

さらに最近では、Precalculusを履修しながら微積分Ⅰを並行して受講できるような設計を採用している大学もある。これは、学生の進級を大きく遅らせないようにしつつ、必要な基礎を補うことを目的としている。このように、準備状況のばらつきそのものを完全になくすことは難しいため、そのばらつきを前提として、どのように適切なコース配置を行い、どのように学習を支えるかが重要な課題となっている。

4.2 数学への不安感と苦手意識

第二の課題は、学生の数学への不安感や苦手意識である。アメリカの大学では、数学に対して「自分は数学が苦手である」「間違えるのが怖い」「授業中に発言する自信がない」といった意識を持つ学生が少なくない。

このような不安感は、必ずしも実際の学力と一致しているとは限らない。他の科目では積極的に発言している学生であっても、数学の授業では質問や発言に心理的なハードルを感じることがある。数学では正解・不正解がはっきりしているという意識や、間違えたときに自分の能力そのものを否定されたように感じるのが、発言を控える行動につながっている可能性がある。

数学への不安感や苦手意識は、単に授業中の雰囲気の問題にとどまらない。それは、学生がどの程度授業に参加するか、わからないところを質問できるか、課題に粘り強く取り組めるか、さらには数学科目の履修を継続するかどうかにも影響する。そのため、数学教育においては、内容を分かりやすく説明するだけでなく、学生が安心して質問し、間違いを通して学べる環境を作ることも重要である。

例えば、授業中に学生同士で考えを共有する時間を設けたり、低リスクの小テストを用いて理解度を確認したりすることは、学生の参加への心理的ハードルを下げる一つの方法になり得る。また、教員が間違いを単なる失敗としてではなく、理解を深めるための手がかりとして扱うことも重要である。数学への不安感を完全に取り除くことは容易ではないが、授業設計や教室内のコミュニケーションによって、学生が学習に参加しやすい環境を作ることは可能である。

4.3 基礎数学科目における不合格と履修中断

第三の課題は、初年次の基礎数学科目における不合格や履修中断である。すでに述べたように、微積分などの初年次・基礎的な数学科目は、多くの STEM 系学生にとって重要な分岐点となる。これらの科目でつまずくと、その後の専門科目の履修、進級、専攻の継続、さらには学位修了までの計画に影響が及ぶ。

そのため、初年次数学科目における成績分布や履修状況は、個々の教員だけでなく、大学全体にとっても重要な関心事である。特に、D、F、W の割合、すなわち DFW 率が注目されることがある。ここで D は低い合格成績、F は不合格、W は履修中断を意味する。STEM 系以外の専攻では D が単位として認められる場合もあるが、STEM 系の専攻では、次の科目に進むため、あるいは専攻要件を満たすために、C 以上の成績が求められることが多い。そのため、D は形式上は合格であっても、実質的には十分な合格とはみなされにくい場合がある。

また、D を取った学生が形式上は次の数学科目に進める場合でも、前提となる内容の理解が十分でないまま次の段階に進むと、次の科目でさらに苦勞する可能性が高い。その結果、再び低い成績を取ったり、履修を中断したりする悪循環に陥ることもある。この意味で、基礎数学科目におけるつまずきは、一つの科目の成績だけの問題ではなく、学生の学習経路全体に関わる問題である。

準備状況のばらつきや数学への不安感も、この不合格や履修中断の問題と無関係ではない。十分な前提知識を持たないまま授業に入る学生や、分からないことを質問できずに抱え込む学生は、学期の途中で大きく遅れてしまう可能性がある。そのため、多くの大学では、初年次数学教育をどのように設計し、どの段階で支援を入れ、どのように学生の学習状況を把握するかが継続的に議論されている。

4.4 深さとカバー範囲のバランス

第四の課題は、限られた授業時間の中で、内容の深さとカバー範囲のバランスをどのように取るかである。これは、大学数学教育において常に存在する問題であるが、学生の準備状況のばらつきや、専門科目との接続を考えると、より難しい問題となる。

準備状況に差がある学生を支援しようとするれば、前提内容の確認、追加の練習、質問の時間、学生同士の対話や活動の時間をどこかに組み込む必要がある。しかし、授業時間は限られている。理解の定着を重視すれば進度が遅れやすくなり、進度を優先すれば、一部の学生が十分に理解しないまま次の内容に進んでしまう可能性がある。

また、数学科目は多くの STEM 専門科目の前提となっているため、他分野の教員から、特定のトピックをより深く扱ってほしいという要望を受けることもある。例えば、工学、物理、コンピュータサイエンス、データサイエンスでは、それぞれ重視する数学的内容が異なる。

る。そのため、一つの数学科目の中で、すべての分野の要望に十分に応えることは容易ではない。

この問題は、単に「どの教え方がよいか」という方法論だけの問題ではない。むしろ、科目全体をどのように設計するか、どの内容を必須の共通部分として位置づけるか、どの内容を応用例や発展的内容として扱うかという、カリキュラム設計上の問題である。したがって、個々の教員の工夫だけでなく、学科や大学としての方針、後続科目との関係、学生の実際の学習状況を踏まえた継続的な見直しが必要となる。

以上のように、現在のアメリカの大学数学教育が直面している課題は、学生個人の努力不足として単純に説明できるものではない。大学の制度、学生の背景、科目の位置づけ、授業設計、学習支援のあり方が複雑に関係している。次節では、こうした背景を踏まえた一つの事例として、筆者の所属する Embry-Riddle Aeronautical University における具体的な取り組みを紹介する。

5 Embry-Riddle Aeronautical University における取り組み

本節では、ここまで述べてきた背景を踏まえ、筆者の所属する Embry-Riddle Aeronautical University Prescott 校における数学教育の取り組みを、一つの大学の事例として紹介する。ここで述べる内容は、アメリカのすべての大学にそのまま当てはまるものではない。しかし、初年次・基礎数学科目の重要性、多様な学生背景への対応、授業改善への関心、そして専門分野との接続という点では、多くの大学と共通する問題意識の中に位置づけることができる。

ERAU では、Center for Teaching and Learning Excellence、すなわち CTLE との連携を軸にしながら、初年次の微積分コース全体を見渡す仕組み、授業内での学習支援、授業外での学習支援、さらに一部科目の授業設計やカリキュラムの見直しといった複数の取り組みを組み合わせることで数学教育を支えている。以下では、CTLE との連携、コースモニター制度、チューデント・パートナー制度、数学チューターセンターとオフィスアワー、そして線形代数の改訂について順に述べる。

5.1 CTLE との連携と中間フィードバック

ERAU には、Center for Teaching and Learning Excellence、すなわち CTLE という教育支援組織がある。CTLE は、教員による授業改善を専門的な立場から支援する組織であり、授業設計、教育方法、学生からのフィードバックの活用などについてさまざまなサポートを提供している。

その取り組みの一つに、Mid-Semester Feedback、すなわち学期途中の中間フィードバックがある。これは、学期末に行われる通常の授業評価とは別に、学期の途中で学生から授業に関する意見を集め、必要に応じてその学期中に授業改善へつなげるための仕組みである。

中間フィードバックでは、学生が教室でオンライン上のアンケートに匿名で回答する。その回答は、個々の学生が特定される形で教員に渡されるのではなく、CTLE によって取りまとめられ、分析された上で、授業全体の傾向や代表的なコメントとして教員に共有される。また、このフィードバックは成績評価や人事評価を目的とするものではなく、あくまで授業を学期途中で改善するための情報として位置づけられている。

さらに、教員の希望があれば、CTLE のスタッフが授業を訪問し、授業の様子を観察したり、必要に応じて講義を録画したりした上で、授業構成や学生とのやり取りについて専門的な視点からフィードバックを行うこともある。このように、授業改善が個々の教員の自発的な努力だけに委ねられているのではなく、大学として専門部署が継続的に関与している点に特徴がある。

中間フィードバックの質問項目には、例えば、個人作業や小グループ活動を通してすべての学生の参加が促されているか、授業内容が研究動向や実社会の例と結びついているか、学生の質問や発言が歓迎されているか、教員とのコミュニケーションが開かれているか、Canvasなどの学習管理システムやマルチメディア、投票ツールなどのテクノロジーが学習を支える形で効果的に使われているか、といった観点が含まれている。このように、中間フィードバックでは、授業内容そのものだけでなく、学生との関わり方や学習環境全体を振り返るための視点が用意されている。

筆者自身も、主に微積分や微分方程式のコースにおいて、毎学期この中間フィードバックを実施してきた。正直に言えば、学期の途中で授業の進め方や教材を大きく変えることは、現実的には簡単ではない。また、中間フィードバックが学期末の授業評価にどの程度直接つながっているかを明確に測定することも難しい。しかし、学生の声を学期途中に受け取るとは、学生との距離を縮める上で大きな意味を持つと感じている。

特に数学の授業では、学生が静かになりがちであり、教員が学生の学習体験をつかみにくいことがある。その意味で、学期途中に学生の率直な反応を知るとは、説明のペース、授業内活動、課題の出し方などを見直す重要な手がかりとなる。同じ科目であっても、受講者が変われば、見えてくる課題や反応は変わる。その時点での学生の声を踏まえながら、次にどこを改善の焦点にするかを考えることができる点で、中間フィードバックは有用な取り組みである。

5.2 微積分コースにおけるコースモニター制度

ERAU では、微積分のような複数セクションを持つ基礎数学科目において、コースモニターと呼ばれる教員が、コース全体の状況を把握する役割を担っている。大規模な基礎科目では、同じ科目名であっても、複数の教員が異なるセクションを担当することが一般的である。そのため、授業進度、課題の内容、評価方法などに一定の一貫性を保つことが重要になる。

コースモニターは、各セクションの授業進度や課題、評価方法について情報を共有し、必要に応じて教員間で調整を行う。また、共通期末試験を用いる場合には、試験範囲や難易度、評価基準について教員間で確認する役割も担う。このような仕組みは、成績分布の公平性を保つ上でも役に立つ。

ただし、この制度は個々の教員を評価したり、授業を細かく管理したりすることを目的とするものではない。むしろ、コースとしての一貫性を保ち、学生の学習経験を支えることを目的としている。学期の途中で課題や問題点が見えてきた場合にも、教員が個人で抱え込むのではなく、コース全体として情報を共有し、チームとして対応できることが、この制度の大きな利点である。

基礎数学科目、とりわけ微積分は、多くの STEM 系学生にとってゲートウェイ科目である。したがって、一つのセクションの問題に見えることが、実際にはコース全体、あるいは後続科目との接続に関わる問題である場合もある。コースモニター制度は、そのような問題を早い段階で共有し、継続的な改善につなげるための仕組みとして機能している。

5.3 スチューデント・パートナー制度

授業内での学習支援の一つとして、ERAU ではスチューデント・パートナー制度が用いられることがある。この制度では、CTLE が教員と学生パートナーをつなぎ、最初の顔合わせや活動の進め方の確認を支援する。活動中も、必要に応じて相談や調整を行う。

学生パートナーは、以前にその科目を履修した学生であり、授業中の個人作業や小グループ活動の際に、受講生の質問に答えたり、ディスカッションを促したりする役割を担う。ただし、学生パートナーは教員の代わりに授業を行うわけではない。また、成績評価や授業内

容の決定を行う立場でもない。あくまで、授業を支える補助的な役割として位置づけられている。

この制度の特徴は、教員と受講生の間に、もう一つのつなぎ役が入ることである。学生パートナーは、受講生に近い立場から質問を受けたり、課題や説明の分かりにくい点について教員にフィードバックを伝えたりする。学生によっては、教員には質問しにくい基本的な内容であっても、少し年上の学生や以前同じ科目を履修した学生には相談しやすい場合がある。その意味で、この制度は、学生の数学に対する不安感や質問への心理的ハードルを下げる一つの方法になり得る。

もちろん、この制度はまだ実験的な側面を持っており、数学教員全員が利用しているわけではない。希望する教員が、授業の性格や活動内容に応じて取り入れている段階である。しかし、学生の参加を促し、授業内での学習支援を厚くする方法として、今後も検討に値する取り組みである。

5.4 数学チューターセンターとオフィスアワー

授業外での学習支援として重要なのが、数学チューターセンターと教員のオフィスアワーである。ERAUの数学チューターセンターは、基礎的な数学科目や初級レベルの微積分科目を中心に、理解に不安のある学生や学習につまずいている学生を対象としている。ここでは、工学系・理工系の学生だけでなく、航空関係の専攻を含む幅広い学生が支援の対象となる。

チューターセンターでは、数学科教員の推薦を受けた学生チューターが、授業内容に関する質問や課題に取り組む中での疑問に対応する。この支援は、正規の授業や補講に代わるものではない。むしろ、学生が自主的に利用できる相談の場として位置づけられている。授業中には質問しにくい内容や、基本的な確認についても、比較的気軽に相談できる点が特徴である。

加えて、教員のオフィスアワーも、授業外支援の重要な柱である。例えば、1学期に12単位程度を担当している教員であっても、週に7時間から8時間程度のオフィスアワーを設定し、学生が個別に質問や学習相談をできる時間を確保している。オフィスアワーでは、課題の質問だけでなく、試験準備、学習方法、専攻や進路に関する相談が行われることもある。

数学チューターセンターとオフィスアワーは、互いに補完的な役割を持つ。チューターセンターは、学生にとって比較的アクセスしやすい日常的な相談場所であり、オフィスアワーは、担当教員と直接話しながら授業内容や評価に関する具体的な質問をする場である。このように、授業外にも複数の支援の入口を用意することで、学生が一人で抱え込まずに学習を進められる環境を作ることができる。

5.5 線形代数の改訂とデータサイエンスとの接続

最後に、科目設計の見直しの例として、線形代数コースの改訂について述べる。ERAUでは、データサイエンスでの活用を意識して、線形代数の扱う内容、例題、演習の構成を見直し、応用とのつながりがより見える形に再設計する取り組みが進められている。

従来、この線形代数コースは、主に物理分野への応用を想定した構成であった。もちろん、物理や工学との接続は現在でも重要である。しかし近年、データサイエンス関連科目が増えていることを受けて、線形代数がデータサイエンスや機械学習の基礎としてどのように用いられるのかを、より明確に示す必要が高まっている。

今回の改訂では、データサイエンス分野の教員の意見も取り入れながら、主成分分析、すなわちPCAや最小二乗法など、機械学習やデータ解析と関連の深い話題を線形代数の理論と結びつけて扱うことを目指している。また、学生がPythonを用いて実際に計算を行い、その結果を解釈する活動も想定されている。

ただし、この改訂は、線形代数を単なる応用科目に変えることを目的としているわけではない。理論的な厳密性は維持しながら、学生がその理論の使われ方を理解できるように、接続の方向を広げることが目的である。つまり、抽象的な概念を学ぶことと、具体的な応用を理解することを対立的に捉えるのではなく、両者を相互に補い合うものとして設計することが重要である。

5.6 共通する課題意識の中での位置づけ

ここまで、ERAU におけるいくつかの取り組みを紹介してきた。これらは一つの大学の事例ではあるが、その背後にある課題意識は、多くの大学に共通している。第一に、初年次・基礎数学科目をゲートウェイ科目として位置づけ、重点的に設計し、支援することである。第二に、数学を工学、理学、情報系、データサイエンスなどの専門分野とどのように接続するかである。第三に、多様な学生背景にどのように対応するかである。そして第四に、学生の声や学習状況を踏まえながら、授業を継続的に改善していくことである。

中間フィードバック、コースモニター制度、スチューデント・パートナー制度、チューターセンター、オフィスアワー、カリキュラム改訂は、それぞれ別個の取り組みに見えるかもしれない。しかし、いずれも学生の学習経験を支え、基礎数学教育をより効果的なものにするという点でつながっている。もちろん、運用方法や制度の形は大学ごとに異なる。それでも、ERAU の例は、アメリカの大学数学教育が直面している共通の課題に対する一つの実践例として位置づけることができる。

6 今後に向けた論点

本節では、これまで述べてきた内容を踏まえ、今後の大学数学教育に向けて考え続けるべき論点を整理する。ここで述べる問いは、筆者個人の経験から生じたものであると同時に、アメリカの大学数学教育に携わる多くの教員にとっても共有され得る課題である。

6.1 支援と自立の境界

第一の論点は、学生への支援をどこまで制度化し、どこから学生自身の自立を求めるべきかという問いである。チューターセンター、オフィスアワー、中間フィードバック、学生パートナー制度、オンライン教材など、学生を支える仕組みは以前よりも充実してきている。これらの仕組みは、学生が学習上の困難を一人で抱え込まず、必要なタイミングで助けを得るために重要である。

一方で、支援を厚くすることが、常に学生の学習を深めるとは限らない。数学を学ぶ上では、自分で考える時間、試行錯誤する時間、分からない状態に一定時間向き合う経験も必要である。あまりに早く答えや手順が与えられると、学生が自分で問題を分析し、方針を立て、誤りを修正する機会が失われてしまう可能性がある。

したがって、大学数学教育では、支援を提供することと、自律的な学習者を育てることのバランスを慎重に考える必要がある。支援は、学生の代わりに学習を進めるためのものではなく、学生が自分で学習を進められるようになるための足場であるべきである。この足場をどの段階で、どの程度与え、どの段階で少しずつ外していくのかは、今後も考え続けるべき重要な課題である。

6.2 共通到達目標と柔軟性

第二の論点は、多様な学生背景の中で、共通の到達目標をどこまで、どのように共有できるのかという問いである。多くの大学では、各科目に公式の学習目標が定められている。した

がって、教員が完全に自由に目標を設定しているわけではない。しかし、その学習目標は一定の幅を持って設計されており、どのトピックをより深く扱うか、どのような例を用いるか、理論と応用のどちらに重点を置くかについては、教員にある程度の裁量がある。

この柔軟性は、教員の専門性や創意工夫を活かす上で重要である。一方で、同じ科目を履修した学生の間で、学習経験や到達度に大きな差が生じる可能性もある。特に、微積分、線形代数、微分方程式のように、後続科目の前提となる基礎数学科目では、一定の共通部分を明確にすることが必要である。

学生の準備状況、専攻、進路希望、学習スタイルは大きく異なる。理論に強い関心を持つ学生もいれば、応用や計算を重視する学生もいる。また、STEM系の学生であっても、数学そのものへの関心が必ずしも高いわけではない学生もいる。その中で、「この科目を修了した学生には、少なくともこの力は身につけてほしい」という共通のゴールをどこに置くのかは簡単ではない。

先に述べたコースモニター制度は、この共通部分を確認し、コースとしての一貫性を保つための一つの方法である。しかし、すべてを細かく統一してしまうと、教員の専門性や授業上の工夫が活かしにくくなる。したがって、すでに定められた学習目標を前提としながら、その運用の中でどこまで柔軟性を持たせるのか、そしてどこを共通部分として保つのかというバランスが重要である。

6.3 テクノロジーへの依存

第三の論点は、テクノロジーへの依存が、学生の学習を強めているのか、それとも弱めているのかという問いである。LMS、オンライン課題システム、電子教科書、自動採点、学習データの分析などは、現代の大学教育において重要な役割を果たしている。これらは、課題提出の管理、即時フィードバック、学習状況の可視化という面で大きな利点を持つ。

一方で、便利さがそのまま深い理解につながるとは限らない。オンライン課題では、答えの正誤はすぐに分かるが、学生がどのような過程でその答えに到達したのか、どこで誤解しているのかが見えにくい場合がある。また、学生がシステム上のヒントや再試行機能に頼りすぎると、自分で方針を立てて考える力が十分に育たない可能性もある。

実際、オンライン課題システムを利用しながらも、別に手書きの課題を回収して採点する教員は少なくない。これは、計算過程、論理の流れ、説明の仕方を確認するためである。数学では、最終的な答えだけでなく、そこに至る過程が学習の中心である。そのため、テクノロジーを利用する場合でも、学生の思考過程をどのように可視化し、評価するかを意識的に設計する必要がある。

したがって、テクノロジーは、学習を効率化するための道具であると同時に、使い方によっては学習のあり方そのものを変えるものである。重要なのは、便利だから使うということではなく、その道具がどのような学習行動を促し、どのような学習行動を見えにくくしているのかを考えることである。

6.4 AI 時代の数学教育

第四の論点は、AI時代において、数学で何を学び、何を評価すべきかという問いである。近年、生成AIは数学の問題を解き、解答の説明を生成し、学生の質問に対して即座に応答できるようになってきている。この状況は、大学数学教育にとって大きな変化である。

AIが計算や説明の一部を担える時代に、数学教育は何を中心にすべきなのか。計算力なのか、概念理解なのか、証明を書く力なのか、あるいは適切な問いを立てる力なのか。また、学生がAIを利用できることを前提にしたとき、宿題、試験、レポート、口頭説明などの評価方法をどのように設計し直すべきなのか。これらは、今後避けて通ることのできない課題である。

筆者自身も、現在の授業において、学生が AI ツールを使って理解を深めたり、自分の解答を確認したりすることを一定程度前提にして授業を組み立てている。例えば、複素解析の授業では、宿題提出の際に、AI をどのように使ったのか、どの点で役立ったのかを学生に簡単に説明してもらうことがある。これは、AI が学習を助けている部分と、逆に学生の思考が省略されてしまっている部分の両方を知るためである。

AI の利用を認める以上、学生が本当に理解しているかを確かめる場として、授業内での小テスト、口頭説明、板書による解答、学生同士の議論などの重要性は高まる。AI を使えることを前提にするならば、評価は単に正しい答えを提出できるかどうかだけでは不十分である。学生が解法の意味を説明できるか、別の状況に応用できるか、AI の出力の誤りや不十分さを判断できるかも重要な評価対象になる。

したがって、AI 時代の数学教育において重要なのは、AI を禁止するか許可するかという二択だけではない。むしろ、AI が存在する環境の中で、学生にどのような数学的理解を身につけてほしいのか、その理解をどのような方法で確認するのかを改めて設計することである。

6.5 おわりに

本稿では、アメリカの大学における数学教育について、一教員の視点から概観した。大学の種類や学生背景の多様性、初年次数学科目の重要性、教室での一般的な実践、現在直面している課題、そして Embry-Riddle Aeronautical University における具体的な取り組みを紹介した。

アメリカの大学数学教育は、多様な学生を受け入れながら、共通の学習目標をどのように実現するかという課題に向き合っている。その中で、授業設計、学習支援、テクノロジーの活用、専門分野との接続、AI 時代の評価方法など、考えるべき問題は多い。これらの課題に対する唯一の解答があるわけではない。しかし、学生の学習経験を丁寧に見つめ、授業とカリキュラムを継続的に見直していくことは、今後も大学数学教育において重要であり続けるだろう。

本稿が、日本で大学数学教育に携わる教員にとって、アメリカの大学数学教育の一側面を理解するための一つの参考となれば幸いである。

謝辞

本稿は、2026年3月4日に京都大学数理解析研究所において開催された研究集会「教育数学の一側面 – 高等教育における数学の多様性と普遍性 –」での講演内容に基づくものである。研究集会の主催者および参加者の皆様に感謝申し上げる。

References

- [1] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth, Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (2014), no. 23, 8410–8415. doi:10.1073/pnas.1319030111.