

数理情報学コースに適したアクティブ・ラーニングの探求

佐藤元彦、小泉真也

● 要約

知識・情報・技術が変化するスピードが格段に上がり続け、多様な価値観を認め合う現代、これに対応する問題解決能力の育成を目的として、文部科学省はアクティブ・ラーニングの導入を推進している。

著者のひとは数学(数学教育学)、もうひとは情報学を専攻しているが、例えば数学では“証明”のような、情報学では“写経型プログラミング”と称されるような、本来であれば思考の過程の性質を持つものを、結果そのものとして口伝する従来の授業形式から脱却を図るべく、それぞれが担当する講義において、アクティブ・ラーニング導入を試みた。本稿では著者らの2022年度の取り組みを記す。

● キーワード

アクティブ・ラーニング

オンライン授業

1. はじめに

我が国の社会構造は、生産年齢人口の減少やグローバル化の進展や絶え間ない技術革新によって大きく変化し予測不能な時代となっている。このような状況下、平成28年12月21日に「幼稚園、小学校、中学校、高等学校および特別支援学校の学指導要領の改善及び必要な方策等について（答申）」^[1]が示された。“よりよい学校教育を通じてより良い社会を創る”という目標を学校と社会が共有し、連携・協働しながら新しい時代に求められる資質・能力を子供たちに育む「社会に開かれた教育課程」の実現を目指し、学習指導要領が次の6つの枠組みを改善し、学校教育の改善・充実の好循環を生み出す「カリキュラム・マネジメント」の実現を目指すことが求められた：

- 1) 何ができるようになるか
- 2) 何をまなぶか
- 3) どのように学ぶか
- 4) 子供一人一人の発達をどのように支援するか
- 5) 何が身に付いたか
- 6) 実施するために何が必要か

文部科学省は以上を踏まえ、平成29年3月31日に幼稚園教育要領、小学校学習指導要領および中学校学習指導要領を、また、同年4月28日に特別支援学校用地部教育要領および小学部・中学部指導要領を公示した。高等学校については、平成30年3月30日に、高等学校学習指導要領を公示した^[2]。

今回の改定の基本方針の3)では、「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けた授業改善（アクティブ・ラーニングの視点に立った授業改善）の推進の中では、高等学校教育での、アクティブ・ラーニングの難しさへの言及があるが、今回の改定で高大接続改革、高等学校教育を含む初等中等教育改革と、大学教育の改革、そして両者をつなぐ大学入学選抜改革という一体的な改革が柱となっている。

しかしながら、改革の目玉であった大学入試改革、英語に民間試験の活用、共通テストに記述式問題の導入などは悉く失敗に終わっている。結局、共通テストの問題の中に思考力を問う問題が導入されるのみの入試改革となったが、学生の思考力の向上につながる改革であったかは今後検証されることになる。一方、大学教育改革として、アクティブ・ラーニングを導入した授業への移行が求められている。

本学、育英館大学は私立大学であるが、私学事業団からの補助金の対象として、2023年度以降、総授業の60%以上がアクティブ・ラーニング型の授業で行うことになる。著者らは、アクティブ・ラーニング型の授業への転換に必要な準備を数年にわたって研究してきたが、来年度（令和5年度）からの全ての担当講義をアクティブ・ラーニング型の授業で行う予定である。本稿では、2023年度からの本格的なアクティブ・ラーニングの導入を見据えて、著者らそれぞれが担当している講義についてアクティブ・ラーニングの実践の試みを記録し、および著者らが担当する数理情報学科目のアクティブ・ラーニング型の授業の在り方を考察する。

2. 育英館大学 2年“Web デザイン” の実践から

本章の著者である小泉は、2013年度から現在2022年度に至るまで、2年生に向けてWebデザインの講義（以下、本節では”本講義“という）を担当している。本講義の実施に至る背景は、おそら

くは社会要求の高まりに沿うものであろう。情報学を専攻する学生にとっては一つのキャリアパスとして有効である。そして、教職の単位でもあることは、学校現場での情報発信のスキルとして有効である。

本講義は2単位の講義として一学期の期間に全16回開講する。しかしながら、“Webデザイン”の範囲は極めて広く、“Webデザイナー”たるには、グラフィックデザイン的、工業デザイン的、情報デザイン的、そして情報アーキテクチャー的なスキルが求められる。こうした要求に対してわずか16回の講義では、それらすべてを網羅するのは極めて難しいのが実情である。よって本講義の対象範囲は、Web文書を構成する3つのコンピューター言語：HTML5、CSS3、そしてJavaScriptを軸に、Web文書のわかりやすさを裏打ちするヒューマン・インターフェースにとどまっている。

本講義は、2021年度までは、稚内キャンパスにおいて対面形式で実施していた。2022年度は京都サテライト校で対象学年となる学生たちがおり、ハイブリッド形式（稚内…対面形式、京都…オンライン形式）の講義として編成されたため、小泉は当初この方式で講義を実施していた。

プログラミングを含むコンピューター言語では、学習法のひとつとして、俗に“写経型”と呼ばれる過程が確立している。これは、例題を自らタイピングして作成し、それを実行するアプローチである。これまで小泉は、Webデザインのほかに、コンピューター言語を扱う教科を担当する際は、“写経”を取り入れ、例題の内容を判読して動作を予測して、結果を確認する形式を採用してきた。タイピングの速さには個人差があり、タイピングの遅れがそのままつまずきとならぬよう配慮も行った。つまりコンピューター言語の講義を“写経型”で行うことは、学生の作業の進捗、そして例題に従った作業をしているかを、講師の目で確認する必要があった。小泉は、現在の育英館大学の学習環境において、リアルタイムではこの確認をオンラインで行うことが困難であると予測した。これはZOOMによって、対面式講義のモデルの域を出ない形式であれば、受講生一人一人の進捗確認はチャットによるファイル送信か、一人ずつ画面共有をするかの手段しかなく、演習卓を見回るより多くの時間を要するとの予見による。そこで、コンピューター言語について学ぶ段階からは、ハイブリッドを止めて、稚内の学生もオンラインで受講することとし、いわゆる“写経”の成果は宿題として、アクティブ・ラーニングへの移行を試みた。

ただし、本講義をオンラインで実施したことによる問題点は、出席の確認にあることを事前に申し添えておきたい。本講義のオンライン授業は、ZOOMを用いて、ミーティング参加者は終始ビデオをオフにしている。これは本講義に限らず、育英館大学のオンライン授業全てで確認できる事例である。この環境下でチャット機能によって学籍番号と氏名を投稿する形で出席を確認している。ただしこれでは出席の前後に授業に参加しているかの確認ができない。途中で授業を離脱することは、むろん想定しており、実際に授業の終了やその後の呼びかけに反応せず、授業を途中で離脱したと思われるふるまいをしばしば確認した。遅刻の例も加え、受講生は授業者（本章の著者）の意図や趣旨を理解しきれない場合を憂慮すると、定例の授業でアクティブ・ラーニングを実施することに躊躇があった。

実際に、本講義でアクティブ・ラーニングに適う取り組みができたのは、最終課題レポートにおいてであった。ここで試みたアクティブ・ラーニングに共通するコンセプトは“あらかじめ結論・結果を明示して、これに至る筋道を答える”ことである。以下に、一部の問題を紹介する。

【問題例 1】 Web ブラウザで閲覧する様相を示し、“このように見える Web 文書を作成する” 問題

図 1 に、この問題における Web 文書の完成目標を示す。受講生はこの明確な目標を実現する筋道を報告書にまとめる。

図 1 の様相を実現するためのアプローチは、技術的には、スタイルシートの適用、または画像の参照、加えて HTML では非推奨だが表のセル結合など複数の方法を考えることができる。そして、おそらくクライアントにありがちな“このように見える”といった抽象的な要求を具象化するには、文字のフォントサイズおよびファミリー、矩形オブジェクトの位置・縦横のサイズ・左／中央／右寄せ・表示サイズを変更した場合にサイズが変化するかなど多岐にわたる方法を相互に比較検討する可能性を含む。

さらに、採用した方法それぞれについて“なぜそれを選択したか”、“その根拠はどのような裏付けによるか”、“その方法の利点／問題点”を述べることで設計ポリシーを明らかにし、最後に成果を提示して検証し、題意に対する妥当性を自ら評価して説明する。

一連の思考の展開は、授業を通じて口伝したことの応用である。報告書は、自らの体験を教師に説明するようにまとめることで、知識の伝達と定着を図るためにある。

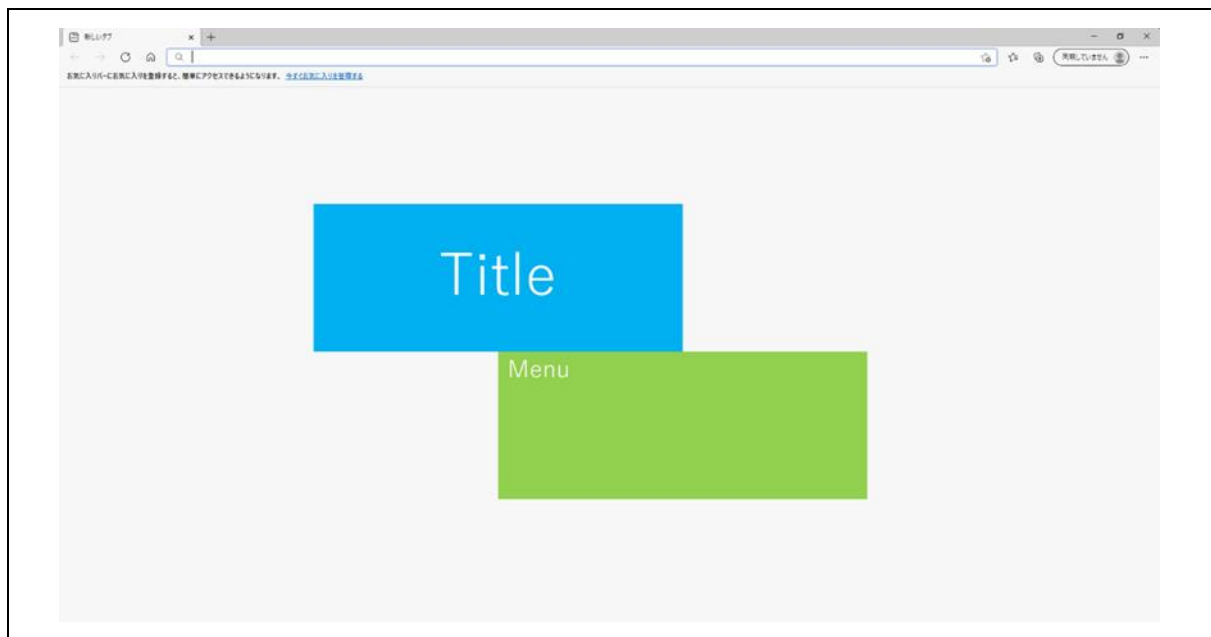


図 1 【問題例 1】 において要求する Web 文書の様相

【問題例 2】 授業で製作した Web 文書と同じ様相を示すように、“AI に指示して作成させる”

図 2 に、この問題における Web 文書の完成目標を示す。この文書は HTML5 に CSS3 形式のスタイルシートを適用する最初期の説明で用いており、受講生たちは演習・宿題を通じて、コーディングレベルで正解を知っている状況である。

ここで受講生は、Web デザイナーに文書製作を依頼するクライアントの視座に立って、AI Programmer というサービス (<https://aiprogrammer.hashlab.jp/>) に、図 2 の様相となるように Web 文書を作成させる。AI Programmer は、日本語で指示を出すだけで、コードを自動で生成するサービスで

あり、HTML&CSS をサポートする。

このような課題において、望ましいコーディングの結果を得るには完成目標のディテールを詳細につかみ、論理的に文書構造の説明ができなければならない。受講生は試行を繰り返して理想の様相に近づけていくこととなるが、その指示内容と成果を提示しての検証の移り変わりをすべて記録させる。最後に、AI によるコーディングについて精度を評価し、将来 AI がコーディングする時代においてヒトの役割を考察させる。

一連の過程は、既に見えている様相と、既にわかっている Web 文書のコード、その対応を自然言語表現に紐づけることによって、仕様書を書いたり、コーディングを分担したりする際の意志共有に対する意識を高めることを期待するものである。



図 2 [問題例 2] において要求する Web 文書の様相

3. 北海道大学 1 年線形代数学 II および微分積分学 II

本章の著者である佐藤が、北海道大学の非常勤講師として担当する 1 年次開講の線形代数学 II、および微分積分学 II でのアクティブ・ラーニングの試みは、そもそも米国でのアクティブ・ラーニングが目指した、科学技術力向上のための、教育法の改善にあたる内容である。

育英館大学では、本章で対象とする 2 科目を受講する学生は多くても 10 名程度である。高校数学 II を履修していない学生も受講することから、微分積分学の講義の場合、多項式の微分・積分法から解説を始める必要がある。線形代数学の講義の場合、高校数学のベクトルの内容から解説から始める必要がある。学力差の開きが大きいため、個別最適化を意識した授業展開とならざるを得ない。アクティブ・ラーニングの授業となると、学力の近いグループごとに問題設定し、グループごとに設

定した問題について発表するという形になる。

著者は2022年度まで、北海道大学で非常勤講師を行っており、線形代数学Ⅱ、微分積分学Ⅱを担当する機会に恵まれた。受講生は高校の数学Ⅲの受験レベルまで十分に訓練された学生である。アクティブ・ラーニングの授業の導入を目指したが、2020年からの新型コロナパンデミックの影響で、対面授業からオンライン授業となりグループでの討論・発表などの形態を授業に取り入れることは不可能となった。その影響は現在（2022年3月）まで続いている。

パンデミック以外に、アクティブ・ラーニング型の授業を困難にしている理由として、授業内容がシラバスで厳格に決められている点があげられる。通常は、解説のみに特化した授業を行ってもシラバスの達成率100%はかなり難しい。シラバスの達成率を下げずに、アクティブ・ラーニング型の講義を導入することで、学生の数学の理解向上に寄与できる講義の開発・工夫に取り組んできた。

この2022年度、北海道大学では、線形代数学Ⅱで一部の授業で、反転授業が行われたと聞いている。反転授業の場合、教員、学生双方の負担に負担が生じ、その負担に見合った学習効果が期待できるか、また、大学組織として反転授業の推奨が期待される場合のみに行われているものと考えている。

著者が、北海道大学の線形代数学Ⅱを担当した際に導入しようとしたアクティブ・ラーニングの授業は、15回の通常授業において、「省エネ型」のアクティブ・ラーニングというべきものだった。ここで、「省エネ型」と表現したのは、従来型の授業をコンパクトにして、章ごとに、振り返りを行う授業（討論型）を挿入することを、反転授業のような大きな負担を回避する狙いがある。

対象の科目は、簡約化を行う連立方程式や行列の対角化ができるようになることが目標となっている科目であるが、その目標達成のために、ベクトル空間や写像の概念、必要最低限の定義と幾つかの重要な定理の証明を行って準備することになる。線形代数学Ⅱは、大学で数学を学び始めた学生の最初の躓きとして、長い準備を重ねないと目標の定理に辿りつけず、準備のための準備が続いているような錯覚に陥る（数学科で展開されていく科目においては、それが通常の形態）科目である。

ベクトル空間の章の定義・定理の準備が意味を理解する問題を用意し、グループで討論し、その後発表してもらって理解を深める企画を準備した。例えば、次元は一次独立な列（行）でベクトルの数であるが、行列単位における次元はそれらと異なる。対角行列や、交代行列が行列単位の部分空間となり、一組の基を考えてもらう。同じように、写像の理解が抽象的で難しいと感じている学生も多いが、抽象的な内容もその内容が意味する全体像の理解にふさわしいような問題を通しての振り返りの議論のグループ発表は、15回のうち、3回程度の導入は可能であろうと思っている。新型コロナの問題や非常勤を行える日程の関係で、結局、線形代数学Ⅱの「省エネ型」のアクティブ・ラーニング授業が実施できず、成果・効果の確認を行うことができず残念な結果となった。

また、2021年度と2022年度には、北海道大学で、微分積分学Ⅱ(1変数関数の積分法と重積分法)を講義する機会を持った。高校の数学Ⅲまでの理解において、全く問題のない学生を前にして、アクティブ・ラーニング型の授業の可能性を考慮しながらの授業展開となったが、結論から述べると、線形代数学Ⅱのような、授業の振り返りに適した”良い問題”というものはほとんどなく、議論を通じたアクティブ・ラーニング型の授業の導入の必要性は全く感じられなかった。

北海道大学では、2年の学科選択において、1年次の成績の結果が直結しており、学習へのモチベーション自体が常に高い状況にある。その意味で従来型の授業展開で充分であり、微分積分学Ⅱの授

業の中に敢えてアクティブ・ラーニング的要素の導入は不要であるという感触を得た。シラバス達成率を考慮しても、効果の期待できないアクティブ・ラーニング型の導入は逆効果となる可能性が高いと思われる。学習に対する熱意が低くなっている科目で、刺激を与えて授業に向かわせるという技法が必要なところでは、アクティブ・ラーニング型の授業の導入が有効に働く可能性があり、検討の余地はありそうである。

4. 育英館大学2年次開講の確率統計学

育英館大学で、2年生を開講年次とする確率統計学（以下、本節では”本講義“という）は、2022年度、稚内キャンパスの対面型と京都サテライト校のオンライン講義を同時並行で行うハイブリッド型で実施した。本講義は本章の著者である佐藤の担当であるが、統計理論の表現にプログラミング言語Rを用いることを構想し、小泉がRのサポートおよびオンラインの補助役として参加した。

ハイブリッド型授業、およびオンライン型授業の問題点は、本講義を通じて顕在化しており、2章のWebデザインの講義において予見される問題の回避に有益なノウハウであった。Rの活用は本講義のアクティブ・ラーニングには特段貢献しなかったため、本稿での詳細は省略する。

育英館大学の場合、入学生の数学の学力差の開きが大きいいため、アクティブ・ラーニング導入の意義は、学生達の授業への参加意欲の向上に力点をおいている。授業を録画した動画は、LMSにアップし、オンデマンドの受講も可能にする。ただし、授業に参加し、その授業での課題を参加者全員で共有し、積極的に発表した学生に高いレポート課題点を与える。解答できる段階まで達していない学生には、正しいと思われるどの回答を支持するかを、チャットで答えさせるなど、授業への参加を重視する。

5. おわりに

本稿では、本学、育英館大学におけるアクティブ・ラーニング導入の本格化を見据えて、当2022年度の著者らによる“数理情報系のためのアクティブ・ラーニング”の試行を紹介した。

今後は、当年度の取り組みの体系化を進めて、学生たちの学習効果を如何に測るかが課題となる。

以下、5.1.節に佐藤の、5.2.節に小泉の考察を示し本稿の結びとする。

5.1. 数学系講義実践の視座から

育英館大学での微分積分学、線形代数学の講義は2014年が最後になる。十数名の学生への一斉授業でアクティブ・ラーニング型の授業は行ってはいない。演習の講義時間があり、演習の時間は必然的にアクティブ・ラーニング型の授業になる。サテライト校ができてから、これらの講義科目はZOOMによるオンラインの形態となった。2章でも述べたオンラインならではの問題点が起こっていることは予想される。演習の授業はオンライン授業で行っていない。従って、サテライトの学生の学習も考慮すると、講義の段階で、問題を与え、それに回答させ、理解の定着を促す場面を複数回作るなどの工夫を行い実施していく必要がある。また、留学生が多数受講する可能性があり、日本語能力の問題も考慮にいたった慎重な授業展開となる。その意味でも講義をアクティブ・ラーニング型に変えていくことは重要であると考えている。

北海道大学の微分積分学Ⅱの授業で”振り返り”に適する良い問題がないと書いたが、北海道大学では、重要例題、代表的な問題は、すべて解説で説明した上で章末問題を課題としてレポートや自習課題とした。しかし、育英館大学では、テキストの重要例題を授業参加の学生全員に考えさせ、回答させ、また“振り返り”に扱う問題もテキストの代表的な問題を効果的に利用していく考えである。

育英館大学では、数学の教員免許を取得することが可能であり、理学部数学科などで講義される数学専門科目のうちの一部の主要科目について単位取得する必要がある。数学の科目では、物理的背景などに基づいた定義と、その定義から派生する重要な定理の証明を理解して、自ら再現できる能力を獲得することが目的と言ってよい。一方、数学科を除く、理工系の学科では、定理の細部にわたる厳密な証明が再現できなくとも、数学で得られた定理の方向性の意味するところを理解できて応用できる学生は極めて優秀な学生に分類される。数学科で要求される学力と、それ以外の学科では、数学の理解に求められているものに質的な違いがある。

大学における数学教育の歴史になるが、30年以上昔は、微分積分学では、 ϵ - δ 論法で、前期2コマ、後期2コマの1年間で4コマの授業が行われていた。現在のように計算過程を説明する機会はほとんどなく、論理の完結を目指す、定理の証明することに授業の時間が割かれていた。また、線形代数学でも、前期2コマ、後期2コマで、現在は数学科で行っているようなシグマ記号の利用の習熟とジョルダン標準形の理論に繋ぐまでに必要な定理の証明を徹底的に行っていた。当時は、定理の証明を学生に完全に提示することで数学の授業の完成ということになっていたが、物理的な背景などの解説や具体的な計算過程の紹介が行われることはなく、大学の教養課程段階としての備えておくべき、数学の計算力の全くできない学生が多数出現する事態が全国的に起きた。それを受けて、高校の数学Ⅲの延長としての、 ϵ - δ 論法を用いない微分積分学、証明する定理の解説を大幅に減らし内容的に圧縮された現在の線形代数学の講義に改められた。

数学という科目は、出席できなかった授業をオンデマンドなどの利用で理解をするような、地道な努力を一旦怠ると、その後の授業が全く理解できなくなる難しさがある。これは、中学校、高等学校の数学でも事情は同じであり、学力差の開きの大きい場合、大学の数学の講義の扱いは極めて難しいのが現状である。

数学科の数学科目でアクティブ・ラーニング型の授業を行うことが難しいのは、単に反転授業を行ったとしても理解できる学生は少なく、反転した教材と授業を基に、自力で理解できない証明部分を理解できるまで長時間かけて理解していく作業がどうしても必要となる。理学部数学科の授業では、単に、授業の中にプレゼン、発表、学生との対話といった高等学校までの手法では、ほとんど解決が不可能であるのが現状である。数学科の授業でアクティブ・ラーニング型の授業となる瞬間は、ゼミを行っているときに限定されるであろうと思われる。

5.2 情報学系講義実践の視座から

情報学系の講義のうち、プログラミングや、コンピューター言語を用いた文書は、アクティブ・ラーニングとの相性が良いと推察する。具体的に実施可能なアクティブ・ラーニング型の授業形式としては、以下の2つのアプローチが考えられる：

〔形式例 1〕 結論・結果をあらかじめ明示して、その結果に辿り着く過程を実践する

この形式は、小泉が開講した Web デザインで実践済みである。“このような答えを示す、このように動作する、このように表示される”と明示した結果は、学習目標の役割として位置づけられ、受講生の作業が適切であるか否か自ら評価することを容易にする。およそ、結論・結果にたどり着く筋道は一つではなく、その方法を選択した理由や、その方法の利点・注意点といった思考の展開に導きやすい。

〔形式例 2〕 受講者それぞれの成果を全員で共有して、相互に評価することによって、受講者自身の認識を更新する

今年度、小泉はこの形式を本格的には実施していない。小泉は、この形式を満たすようなサービス・プラットフォームとして“LearnWiz One”（<https://learnwiz.one/>）に関心を寄せて、確率統計の授業に試験的に導入した。確かに LearnWiz One は受講者の考えを共有して相互に評価できるが、ファイルの共有機能がないためソースコードやレポートの相互比較・評価に向かないこと、何より使い方の理解に説明が必要であり、有効活用の筋道は立てられていない。

● **参考文献**

- [1] https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm
- [2] https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm

● **英文タイトル**

Exploring Active Learning Appropriate for Mathematical Informatics Courses

● **英文要約**

The time has come, in which the speed of change in knowledge, information, and technology continues to grow dramatically, and in which diverse values are accepted. The Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) is promoting the introduction of active learning to foster problem-solving skills to produce human resources who can react to this unpredictable era.

One of the authors majored in mathematics (mathematics education) and the other in informatics. Conventional teaching is a kind of oral transmission of the results of what is essentially a process of thinking: "proofs" in mathematics, "transcribing program source" in informatics. Active learning demands a shift in thinking about traditional classroom formats.

This paper is a record of an attempt to introduce active learning in a course that each author oversees in the academic year 2022.

