

電子機器を活用した有効な数学教育への準備

小西康文*

(2017年12月8日 受理)

Preparation of Effective Mathematics Instruction for Students with Their Own Device

Yasufumi Konishi*

(Accepted December 8, 2017)

はじめに

茨城大学では、2017年度から全学教育機構が本格的に動き出し、次の5つのディプロマ・ポリシー（学位授与方針）にそって、主に大学初年度生を対象とした基盤教育の充実を図っている。

- ① 世界の俯瞰的理解：自然環境、国際社会、人間と多様な文化に対する幅広い知識と俯瞰的な理解
- ② 専門分野の学力：専門職業人としての知識・技能及び専門分野における十分や見識
- ③ 課題解決能力・コミュニケーション力：グローバル化が進む地域や職域において、多様な人々と協働して課題解決していくための思考力・判断力・表現力、及び実践的英語能力を含むコミュニケーション力
- ④ 社会人としての姿勢：社会の持続的な発展に貢献できる職業人としての意欲と倫理観、主体性
- ⑤ 地域活性化志向：茨城をはじめとする地域の活性化に自ら進んで取り組み、貢献する積極性

これらのディプロマ・ポリシーを達成するための授業として、アクティブ・ラーニング型の授業が推奨されている。アクティブ・ラーニングの定義としては様々な定義が存在するが[1]、ここでは単純に、学生が主体的に授業に参加し、教員や学生同士が対話的に授業を進めることで、深い学びが得られるような授業をアクティブ・ラーニング型の授業と考える。こうしたアクティブ・ラーニング型の授業としては様々な形式の授業が提案されているが、学生のタイプや科目内容、そして担当教員の資質により適した授業形式は異なる。アクティブ・ラーニング型の授業は英語など語学系の科目だけでなく、理系科目に対しても効果的だと考えられている[2]。本稿では、大学教育において理系科目の最も基礎的な科目の一つである微分積分学の授業に対して、3つの異なるアクティ

* 茨城大学全学教育機構（〒310-8512 水戸市文京 2-1-1；Institute for Liberal Arts Education, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo Mito-shi 310-8512 Japan）.

ブ・ラーニング型の授業に対する実践報告を行う。また、アクティブ・ラーニング型の授業をより効果的かつ効率的に行えるように、ICT（情報通信技術）の活用に対する可能性を検討する。

アクティブ・ラーニング型の授業

本稿では、2015年度、2016年度、2017年度に行われた微分積分学の科目に対するアクティブ・ラーニング型の授業の実践報告を行う。これらの授業の主な対象は工学部の初年次年度学生である。工学部では、入学時にマークシート式の数学基礎テストを行い、習熟度に応じたクラス編成を行っている。特に、習熟度下位グループから構成されるクラスを微分積分(0型)クラスと呼び、週2回授業が行われる。本稿で取り扱うアクティブ・ラーニング型の授業を実施したクラスは、この微分積分(0型)クラスと微分積分(集中)クラスである。微分積分(集中)クラスは、工学部の微分積分学の再履修者を対象としたクラスである。

アクティブ・ラーニング型の授業として、2015年度は講義と演習時間の確保、2016年度は双方向対話型の講義、2017年度はグループ学習を中心とした授業を行った。これら年度ごとで90分授業の中で行われた典型的な授業内容を順番に記述する。

2015年度の授業では、初めの約20分間に前回の授業内容に対する小テストとその解説を行い、その日の講義を50分間ほど使って行った後、残った時間(約20分間)を演習時間とその解説とした。できる限り多くの演習時間を確保し、学生が主体的に学習できる環境を整え、演習時間中に質問を受け付けることで対話的で深い学びとなるように設計されている。また、eラーニングシステムを利用して授業外に復習する動機付けとして、前回の授業内容に対する小テストが行われている。

2016年度の授業でも、初めの約20分間に前回の授業内容に対する小テストとその解説を行い、その日の講義内容と演習を残った時間(約70分間)で行った。2015年度と異なり、双方向対話型の講義で学生と対話しながら進行していたため、進行速度は遅くなり演習時間があまり確保できなかったため、宿題を増やすことで対応した。この授業では、学生が主体的、対話的で深い学びとなる時間を小テストや演習時間だけに集中させるのではなく、授業全体をとおして能動的学習となるように設計されている。また2015年と同様に、eラーニングシステムを利用して授業外に復習させている。

2017年度の授業では、初めの約20分間にその日の講義内容を説明し、その後に50分間ほどグループ学習を行った。最後に残った時間(約20分間)を用いて、その日の学習内容に対する小テストとその解説を行った。この授業では、前年度までとは異なり、グループ学習を取り入れることで、学生同士がお互いに主体的、対話的に深い学びとなるように設計されている。また、グループ学習がうまく機能するように、この授業では次のような多くのルールを設定した。

- ① その日の講義内容に応じた重要問題をグループで相談し全員が理解し解けるようにする。
- ② 授業の最後には、その重要問題の類題を小テストとして個々の学生に解いてもらう。
- ③ グループ内で最も低い小テストの点数が、そのグループメンバー全員の小テストの点数となる。
- ④ 小テストの類題を宿題として提出し、宿題が小テストの点数を上回る場合は、その宿題の点数を小テストの点数と置き換える。※つまり、グループ全員が満点の場合は宿題がなくなる。
- ⑤ グループメンバーは前回の授業終わりに実施した小テストの点数に応じて毎回変更する。※た

だし留学生グループは学生の意見を取り入れほぼ固定メンバーとした。

⑥ 授業終了時に、その日に行った質問内容やその回答などを記載してもらう。

こうしたルールのもとでは、理解が不足している学生は自主的に質問し、理解できている学生はそれに積極的に答えるようになるため、グループ学習が十分に機能するようになる。非協力的な学生が存在しグループ学習が上手く機能しなかった場合に、グループ内のその他の学生が不満に感じないように宿題を提出することで対応している。また、数学が苦手なグループ内の他の学生に迷惑がかかることを負担に感じる学生のために、予習すべき教科書の範囲を毎回アナウンスし、大学院生に学習相談できる「理系質問室（あるいは科学の基礎質問室）」を紹介し、担当教員に直接質問できるようにオフィスアワーの時間も設けている。その他の授業外学習として、2017年度もeラーニングシステムを利用している。

これら3つの授業形式を比較したとき、年度が進むごとに学生が主体的、対話的に学ぶ機会は増加していると考えられる。なぜなら、2015年度では授業開始時に行う小テストと授業終了前に行う演習時間以外に対話的に学んだ学生はいないが、2016年度では、双方向対話型の講義を行ったことで、教員と学生間に対話的に学習する機会が増えたからである。また、2017年度にはグループ学習を中心に行ったことで、学生同士に対話的に学習する機会が圧倒的に増え、それぞれが質問を行い答えることで主体的に学ぶ機会も増えたと考えられるからである。つまり、2015年度から年度が進むごとに各授業のアクティブ・ラーニングの割合も高まったと考えられる。

授業アンケートの結果

上記の異なる3つのタイプの授業に対する学生の学習効果を、クラス GPA および茨城大学で行っている授業アンケートを通して算出されたクラス満足度と質保証度から分析する。クラス満足度と質保証度は次のアンケート項目の回答結果から算出されている。

・アンケート項目

回答が「はい」の人は1、「いいえ」の人は5を選んでください。どちらか決められないときは、どちらに近いかに応じて、中間の2、3、4から適当な番号を選んでください。

Q1 総合的に判断して、この授業を受講して有意義でしたか？

Q2 授業内容はおおむね理解できたように思いますか？

Q3 この授業を受けて、新しいものの見方や知識・技能を獲得した実感はありますか？

Q4 この授業では、目標に向けて課題や解説がうまく設定されていたと思いますか？

Q5 教員の声の大きさや言葉づかいはよかったですか？

Q6 教員の授業資料(プリント・板書・スライドなど)の提示や模範はよかったですか？

Q7 教員は受講生との意思疎通をはかりながら授業を行ったと思いますか？

Q8 教員は十分な準備と熱意で授業を行ったと思いますか？

Q9 授業への積極的な参加や自発的な学修を促すように工夫されていましたか？

Q10 この授業へのあなた自身の取り組み具合を総合的に自己評価して下さい。

G1 この授業のための授業時間外の学修に1回の授業あたり平均してどれくらいかけましたか？

- 1 : 4時間以上、
- 2 : 2時間以上4時間未満、
- 3 : 1時間以上2時間未満
- 4 : 30分以上1時間未満、
- 5 : 30分未満

これらのアンケート項目の回答の集計結果として、受講者満足度、クラス満足度、質保証という3つの指標が次のように定義されている。

- 受講者満足度：質問 Q1～Q10 への各回答に 0（否定）から 1（肯定）までの 5 段階の数値を対応させ、回答者ごとに計 10 問にわたって平均した値
- クラス満足度：受講者満足度を全回答者にわたって平均した値
- 質保証度：質問 Q2、Q4、Q10、G1 の項目別得点をそれぞれ $p[Q2]$ 、 $p[Q4]$ 、 $p[Q10]$ 、 $p[G1]$ とおくと、計算式 $p[Q2] \times 0.15 + p[Q4] \times 0.15 + p[Q10] \times 0.20 + p[G1] \times 0.50$ により算出された値

これらの定義から、クラス満足度は Q1～Q10 までの 10 個の視点で見た学生からの評価で、0～1 の間で 1 に近づくほど学生からの評価が高い授業だといえる。質保証度に寄与する要素の半分はクラス満足度を構成する要素 Q2、Q4、Q10 と同じであるが、もう半分はクラス満足度と独立な要素 G1 から構成されているため、クラス満足度が高ければ、同時に質保証度も高くなるというものではない。むしろ、G1 は授業外学習の時間を問う設問であるため、授業外学習があまり必要でない科目に対しては、G1 が小さくクラス満足度が高くなることも多い。

実際の調査結果は、2017 年度の微分積分（0 型）クラスのクラス GPA および微分積分(集中)クラスの質保証度を除き、年度が進むごとにクラス満足度、質保証度、クラス GPA が共に増加した。理系分野区分のクラス満足度の平均が 2015 年度には 0.731、2016 年度には 0.729、2017 年度には 0.763 であったことを考慮すると、2015 年度は平均並みであったクラス満足度は 2017 年度には大きく増加し、理系分野区分で上位 1 割程度に入ることとなった。前に言及したように、年度が進むごとにアクティブ・ラーニングの割合が高くなったとするならば、それに応じてクラス満足度が増加したと考えることもできる。しかしながら、いくつか注意点もある。一つがクラス人数である。微分積分（0 型）のクラス人数は、2015 年度には 60～50 名であったが、2016 年度には 50～40 名、2017 年度には 40～30 名と少なくともアクティブ・ラーニングが行いやすいクラス人数へとなくなっていった。ただし、微分積分（集中）のクラス人数は 3 年とも人数は少なかったものの 30 名前後と大きな変化はなかった。もう一つが教員自身の指導力の向上と授業準備に対する負担軽減である。毎年、内容を扱うため例題の説明や演習問題の解き方など、改善されている部分は多い。

質保証度は理系分野区分内において毎年高い値となっている。こうした高い値となっているのは、多くの課題を出しているからだと思定できるが、提出された課題を確認することができるのは、それぞれのクラス人数が 30、40 人程度であるからである。この人数でも毎回提出する課題のチェックには非常に多くの時間と労力が必要とるため、効率的に対処しなければならない。また、主体的、

対話的に授業を行うためには、教員の解説や授業進行も効率的に行って行かなければならない。こうした課題に対する解決策の一つとして ICT の活用が考えられる。

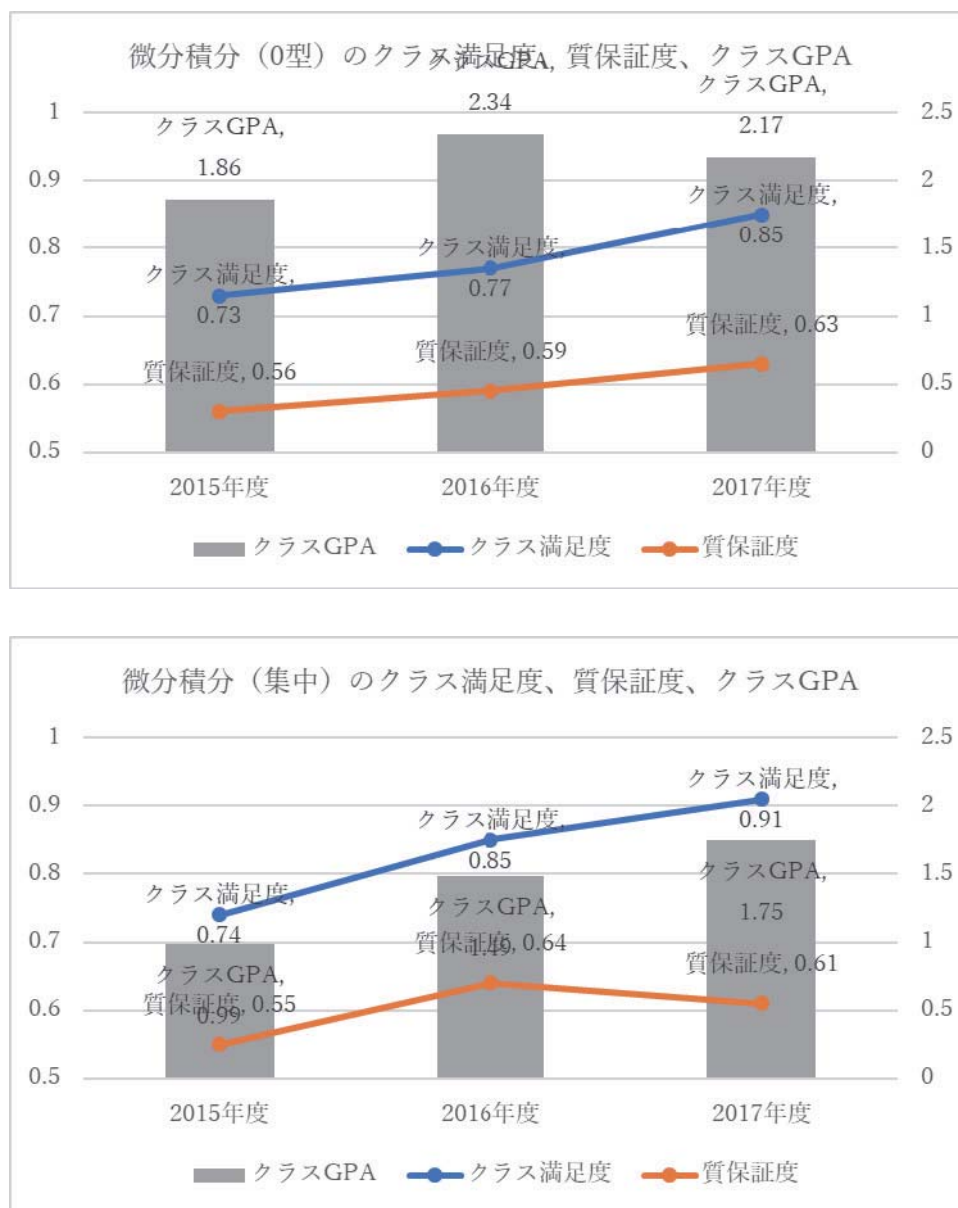


図1 微分積分 (0型) および微分積分 (集中) のクラス満足度、質保証度、クラス GPA : 上下両方のグラフで、折れ線グラフで表されているクラス満足度および質保証度は左側の目盛りに対応しており、棒グラフで表されているクラス GPA は右側の目盛りに対応している。

ICTの活用

茨城大学では、学生が所有するノートパソコンのようなモバイル電子機器を大学教育で活用してもらいBYOD(Bring Your Own Device)の導入を考えている。こうしたモバイル電子機器などのICT活用は授業改善のために役立つという意見が多く存在する一方で、これまでのような紙媒体を中心とした授業の方が知識や技能の定着率がよいといった意見もある。ここでは、次の三つの点に注意し工学部の学生を対象とした数学教育におけるICTの活用を検討する。

1. 情報技術の発展と教育現場の環境
2. 授業に参加している学生の情報技術に対する知識や電子機器の操作能力
3. 授業を担当する教員の情報技術に対する知識や電子機器の操作能力

まず前提として、今後はますます情報化社会が進み、今以上に電子機器の利便性が高まることが予想できる。こうした社会的背景の中では、今までの紙媒体による教育教材の有利性がなくなっていく可能性が高い。例えば、文字や写真を中心に構成されるレポートの作成において、手書きのレポートの優位性はほとんどなくなっているが、イメージ図を描き、計算式を一行一行記載していくような計算を中心とした理数系の学生レポートでは、Wordの数式エディタやLaTeX等を利用し作成するよりも手書きによる優位性は高い。しかしながら、機械学習の進展により、現在は手書き文字を認識し変換してくれる技術が充実している(図2)。

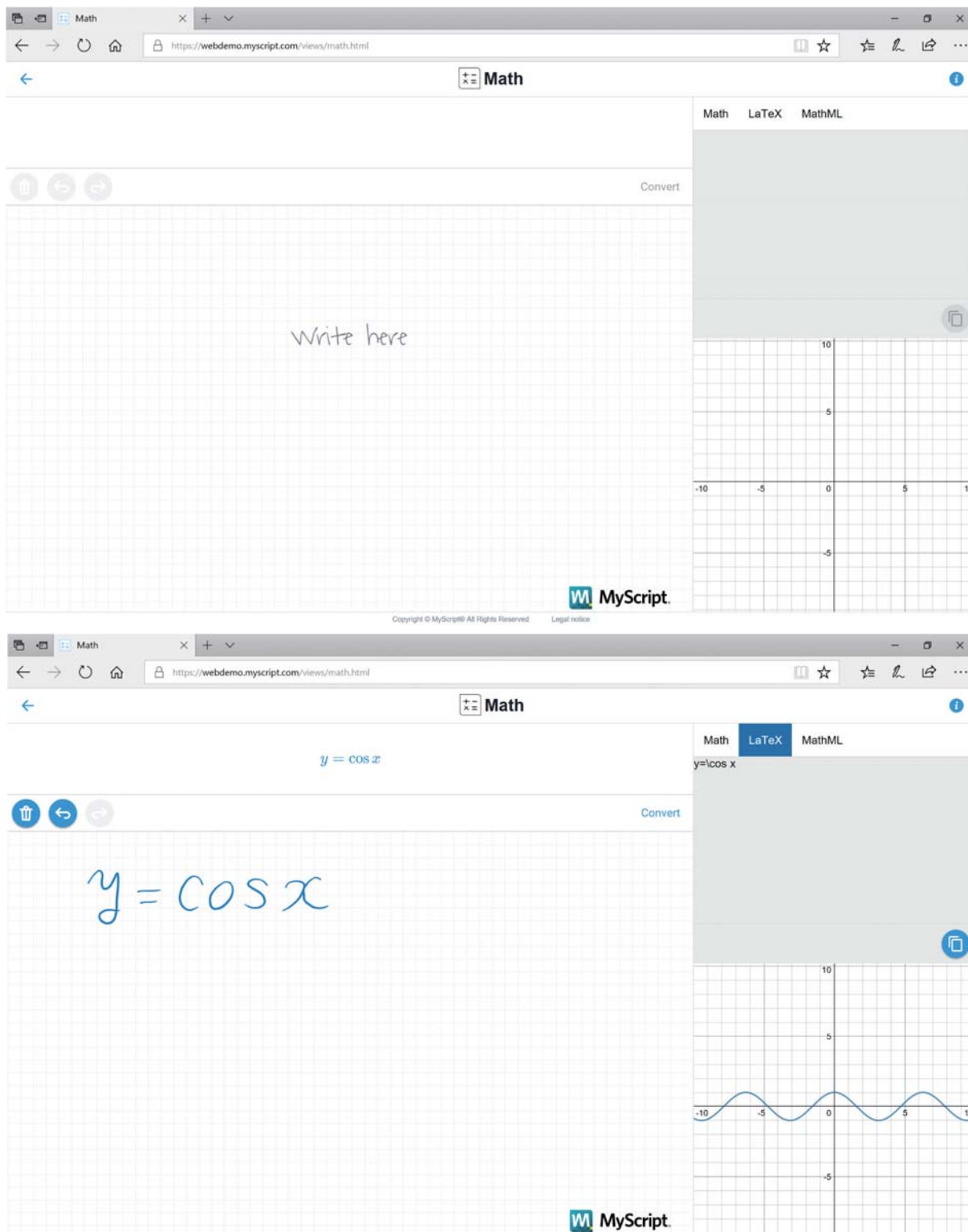


図2 Web サイト MyScript (<https://webdemo.myscript.com>) を用いた手書き入力: 上図で「Write here」と書かれたところに数式を手書き入力すると、下図のように手書き入力した数式（ここでは $y = \cos x$ ）に対して認識された数式が上に表示され、その LaTeX コマンドが右上に、グラフが右下に表示される。

もちろん、こうした電子機器を紙媒体と全く同じ感覚で利用できるわけではなく、紙媒体になじみ深い人にとっては違和感があり書く内容に集中できない可能性も高い。いくら便利な電子機器があっても、それを利用する学生の情報技術に対する知識や電子機器の操作能力がなければ授業内容に集中することはできない。同様のことは教員に対しても言える。多くの教員が紙媒体の教材を用いて教育されてきた背景を考えると、大学教育におけるデジタル化に対して長所よりも短所の比重が大きくなると感じる可能性も十分にある。したがって、ICTの活用に対する学内環境が整っており、学生の電子機器に対する操作能力が十分に備わっている状況で、教員がICTの活用を行うならば、従来の紙媒体による授業よりも良い教育効果が得られる可能性はある。こうした条件の中でも、特に授業を進行する教員がICT活用に利点を見いだせないのであれば、良い教育効果が得られる可能性は非常に低くなる。

そこで、実際にICTの活用方法として幾つかの例を紹介する。まず、大学初年次生が微分積分学を学ぶ中で、つまずきの原因との一つにマクローリン展開がある。例えば $y = \sin x$ をマクローリン展開すれば、次のような無限級数となる。

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots + \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{(2n+1)!} + \dots$$

このマクローリン展開の特徴の一つとしては、低次の項を順番に付け加えていくことにより $x = 0$ を中心に $y = \sin x$ へ近づいていく。この様子は教科書[3]に記載されているが、 $y = \cos x$ や $y = \frac{1}{1-x}$ のような他の関数に対しては、紙面の都合上のこともあり具体的な様子は記載されていない。ここで、上で紹介した MyScript (<https://www.myscript.com>) を利用すれば動的かつ効率的にこうした関数のマクローリン展開による近似の様子を例示できる。(図3、図4、ここでキャプションに記述されている色は、webサイト上で表示される色を表している。)

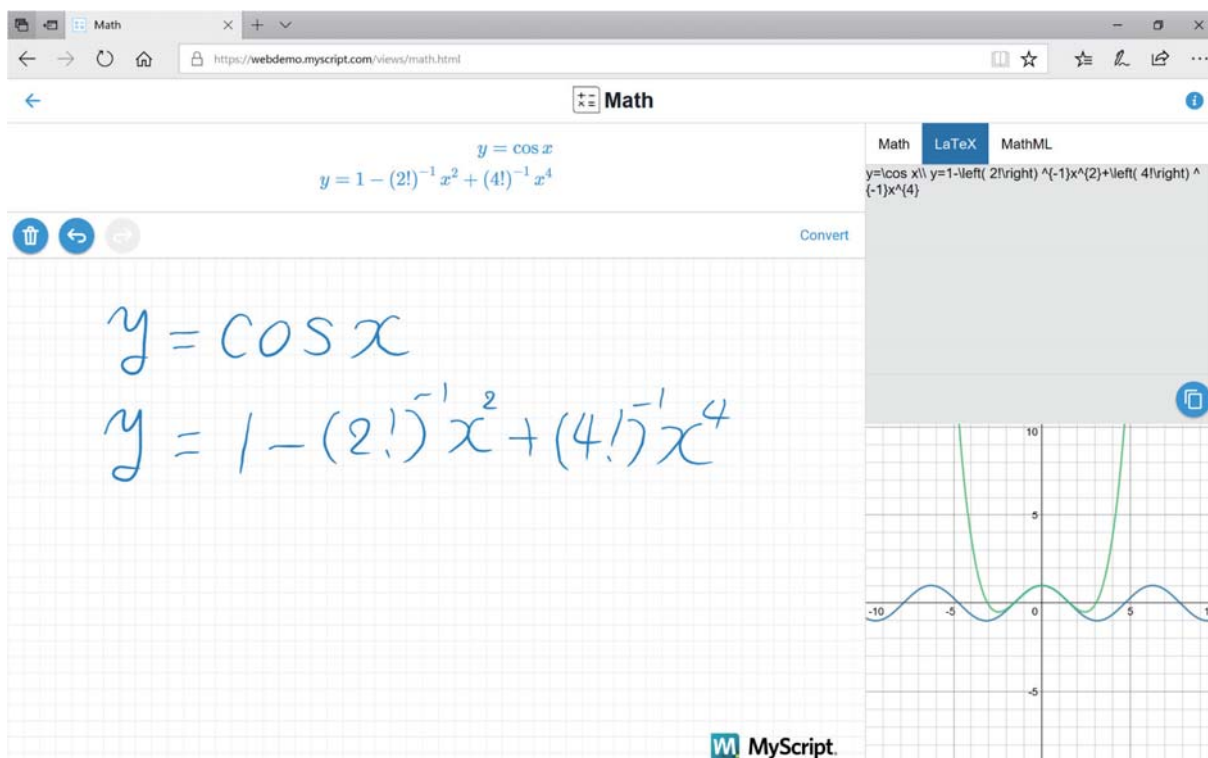
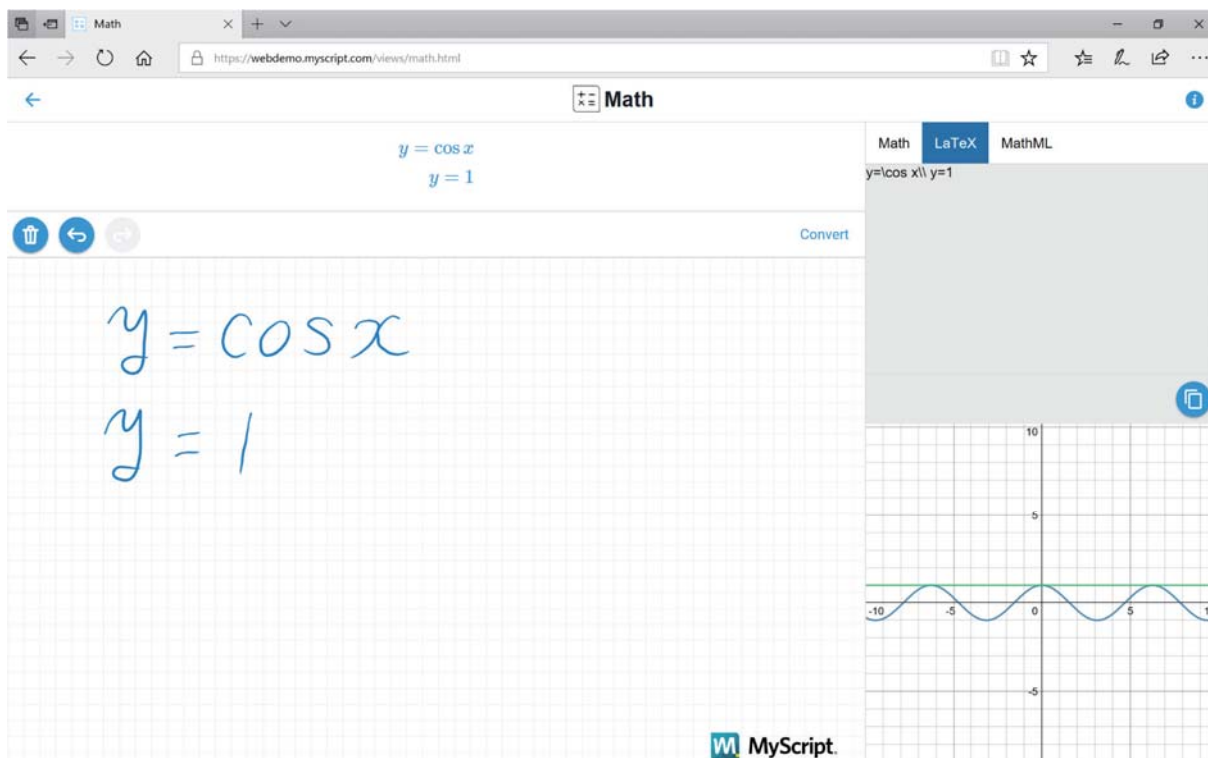


図 3 マクローリン展開を用いた関数 $y = \cos x$ の近似式：青色のグラフが関数 $y = \cos x$ で、緑色のグラフがマクローリン展開による関数 $y = \cos x$ の近似式である。マクローリン展開の高次の項を増やしていくことで、 $x = 0$ 付近で関数 $y = \cos x$ との近似がよくなる。

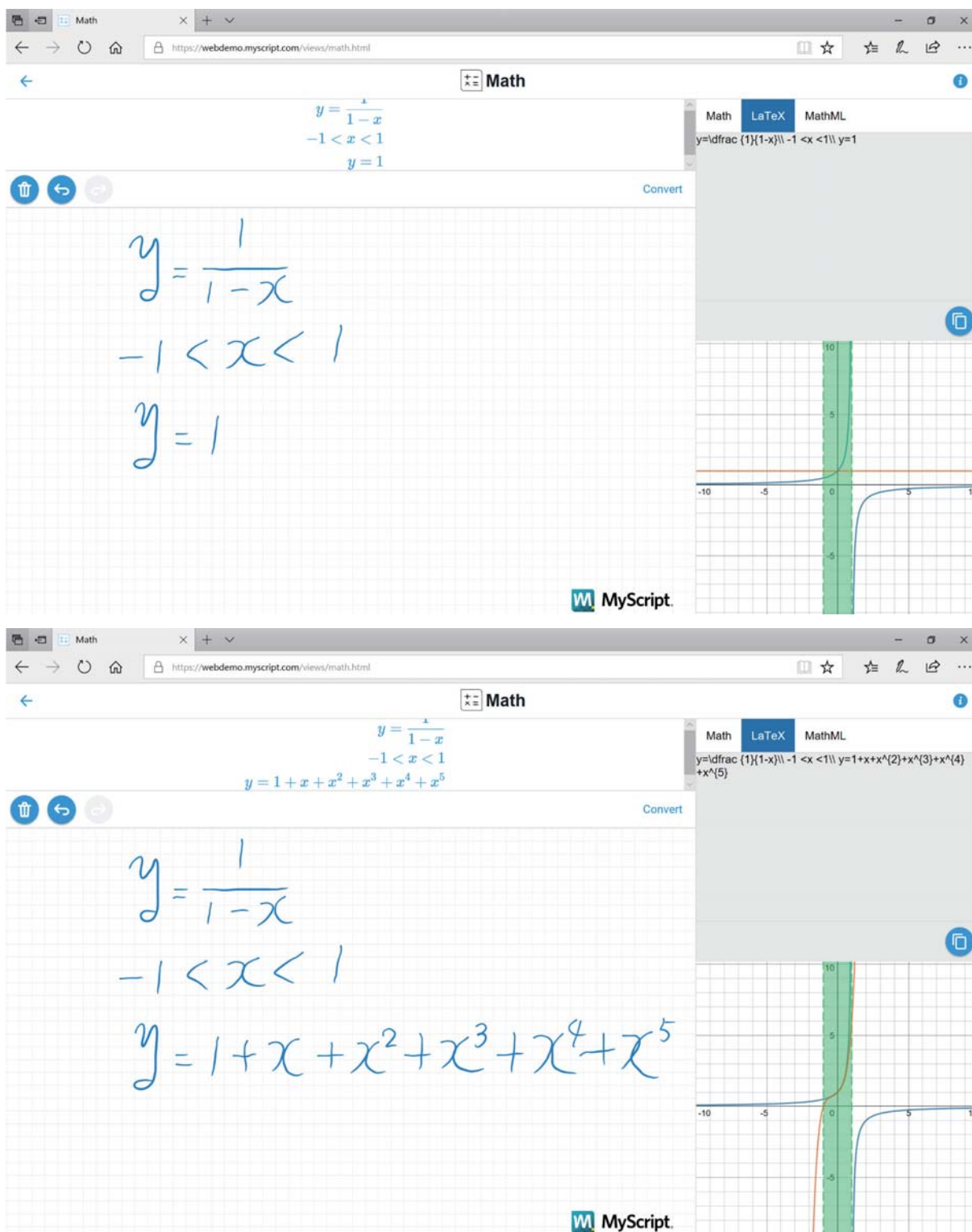


図 4 マクローリン展開を用いた関数 $y = \frac{1}{1-x}$ の近似式：青色のグラフが関数 $y = \frac{1}{1-x}$ で、オレンジ色のグラフがマクローリン展開による関数 $y = \frac{1}{1-x}$ の近似式である。緑色の領域 $-1 < x < 1$ の範囲内において、マクローリン展開の高次の項を増やしていくことで、 $x = 0$ 付近で

関数 $y = \frac{1}{1-x}$ との近似がよくなる。

また、Wolfram|Alpha (<https://www.wolframalpha.com>) を利用すれば関数の様子や計算の答えも google (<https://www.google.com>) のように検索できる。複雑な計算問題を実行してくれる計算ソフトは数多く存在するが、その計算ソフト独自のコマンドを使いこなす必要があるため、不慣れた利用者が微分や積分などの計算問題を実行することは通常難しい。しかしながら、Wolfram|Alpha は一部 LaTeX コマンドに対応しているため、MyScript で数式を手書き入力することで表示される LaTeX コマンド (図 5) を Wolfram|Alpha にコピー&ペーストするだけで、簡単な微分や積分の計算であれば実行してくれる (図 6)。さらに、有料ではあるが、Wolfram|Alpha Pro にアップグレードすれば、英語ではあるが途中計算までも表示してくれる。ただし、現在利用している e ラーニングシステム上のテストで、選択式の計算問題を与えているため、こうした活用方法の紹介には注意が必要である。

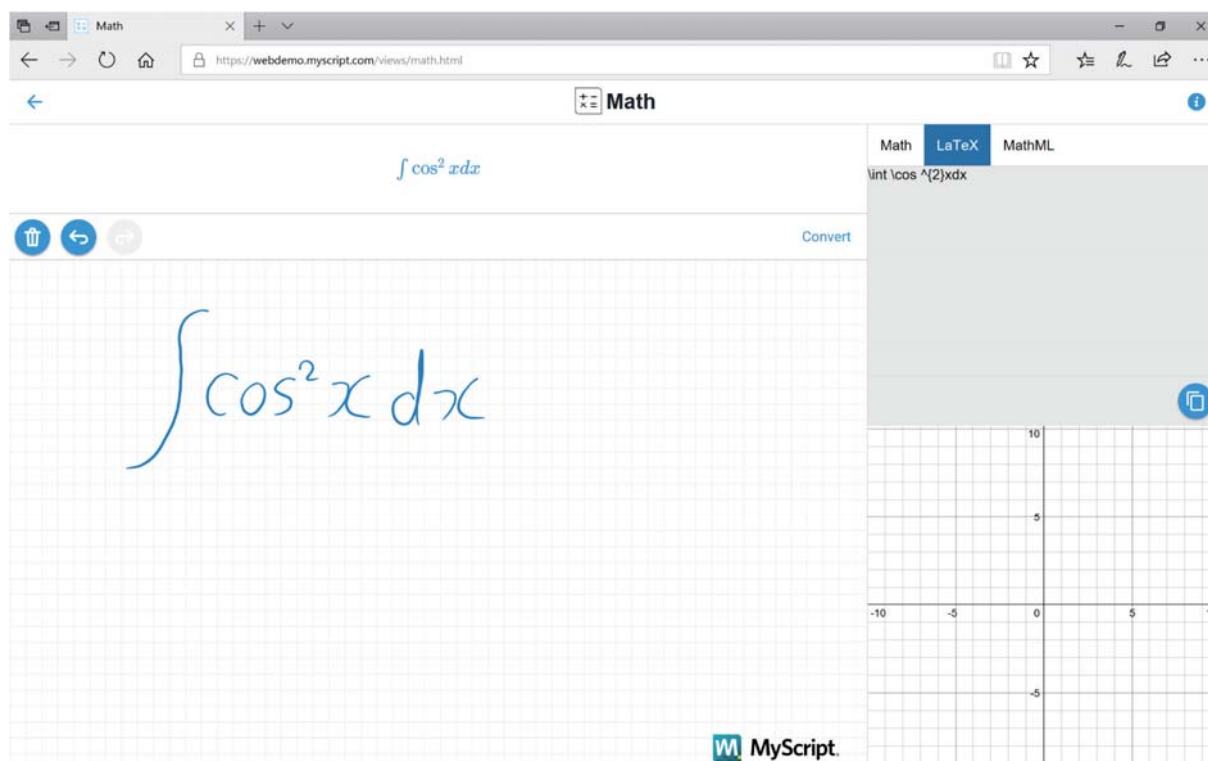


図 5 MyScript で手書き入力した積分の計算問題：手書き入力した不定積分の LaTeX コマンドが右上に表示されるので、この LaTeX コマンドをコピーし Wolfram|Alpha に活用する (図 6 参考)。

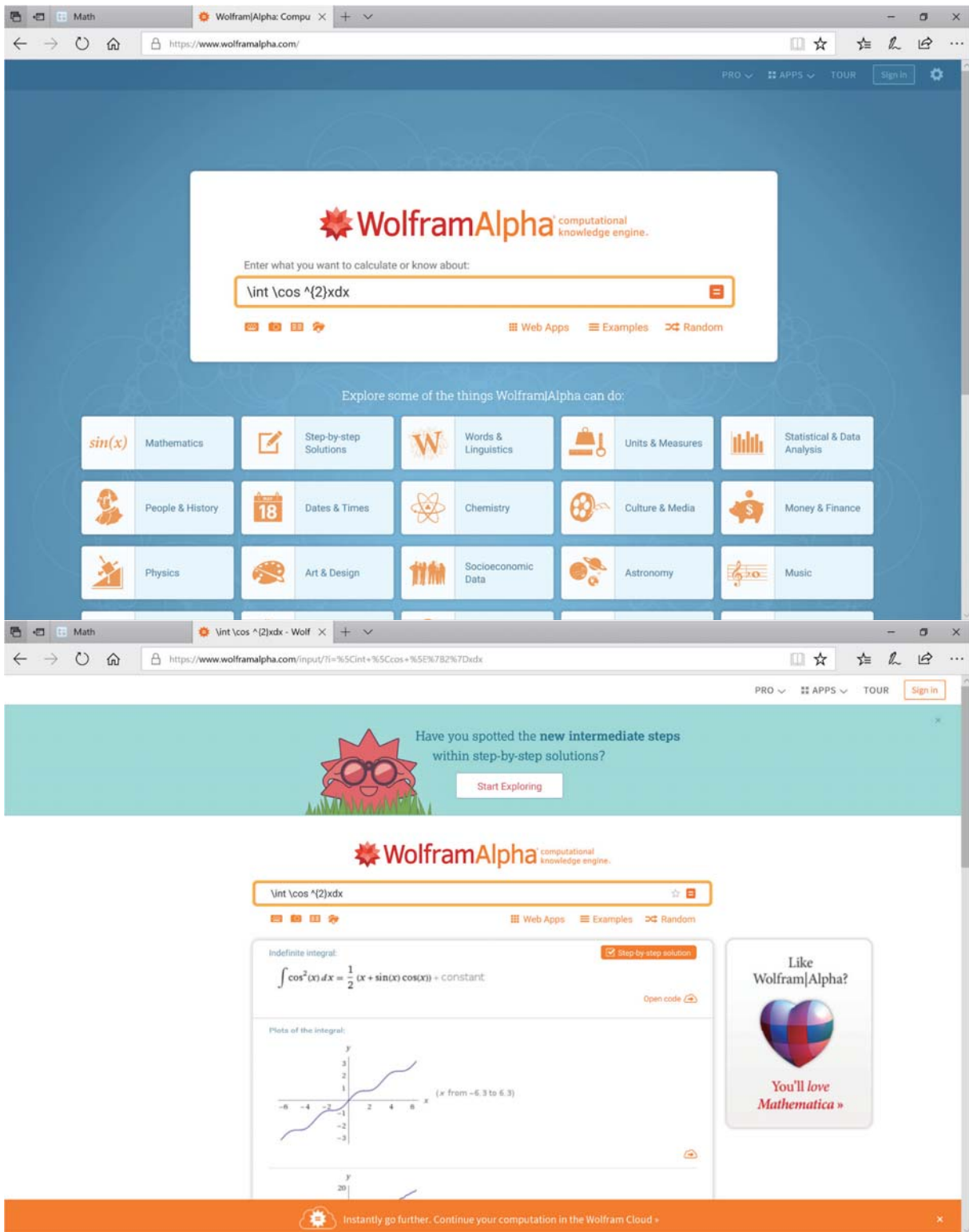


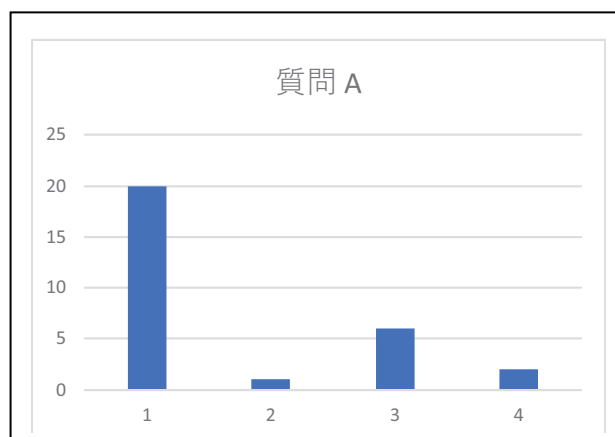
図6 Wolfram|Alphaの活用例：図5で手書き入力した不定積分のLaTeXコマンドをコピーし、Wolfram|Alphaの検索ボックスにペーストし実行すればその解が表示される。ただし、複雑な計算式のLaTeXコマンドになれば、その計算式が認識されないことも多い。

BYOD に向けての現状調査

学生のモバイル電子機器の必携化、いわゆる **BYOD** が完全実施されれば、上記のような活用方法以外にも **OneNote** 等クラウド上のサービスや電子教科書を利用し、より良いグループ活動を行う選択肢が増える。しかしながら、実際に利用する学生が **ICT** の活用に対して否定的でなるなら、その教育効果は限定的なものとなる可能性が高い。そこで、**2017** 年度前学期に行った微分積分 (0 型) の最後の授業で電子教科書に関してアンケートを行い次のような結果が得られた。

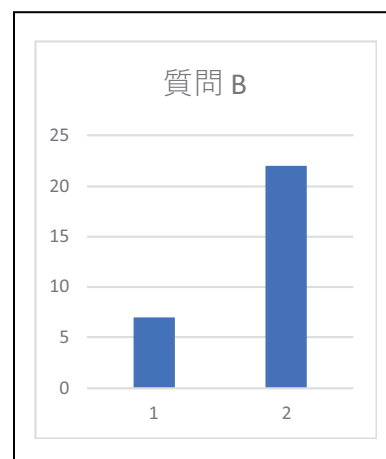
質問 A: あなたの所有しているスマートフォン以外のモバイル電子機器に対して、もっとも適切な項目を一つお選びください。

1. ノート PC(2 in 1 ノート PC を含む)のみを所有している.
2. タブレットのみを所有している.
3. ノート PC(2 in 1 ノート PC を含む)とタブレットを所有している.
4. どちらも所有していない.



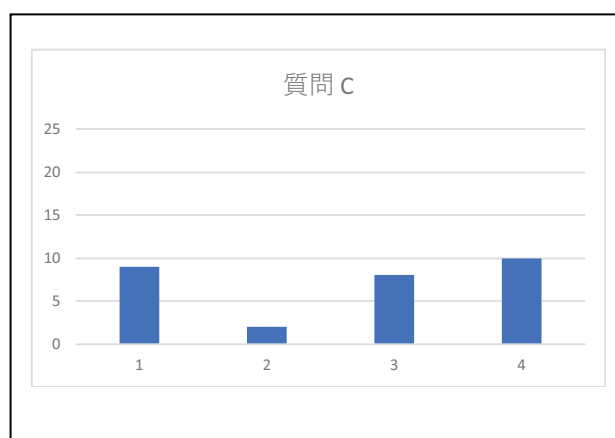
質問 B: いままで授業の中で電子教科書を使用したことがありますか.

1. 使用したことがある.
2. 使用したことがない.



質問 C: 使用する教科書に関して、もっとも適切な項目を一つお選びください.

1. 電子教科書を使用したい.
2. 既存の紙媒体の教科書を使用したい.
3. 電子教科書と紙媒体の教科書をどちらも使用したい.
4. どちらでもよい.



工学部では **2017** 年度から **BYOD** 実施を進めていることもあり、モバイル電子機器の所有率は非常に高い結果となった。電子教科書を今まで利用したことがない学生が多いにもかかわらず、電子

教科書の利用に対して否定的な意見は少ない。電子教科書には様々な機能が付いているが、それらの機能を有効に活用するためには、授業に参加する学生すべてが電子機器を使えなければならない。上記のアンケート結果によるとモバイル電子機器を所有していない学生が一部いるため、現時点で電子教科書の機能を十分に活用した授業を行うことはできない。しかしながら、反転授業のための予習用教材として電子教科書を活用する程度であれば、紙媒体の教科書のみを利用する学生に対して不利になるような授業とはならない。反転授業を行うためには、著作権処理を行った教材をeラーニングシステム上に公開する必要があるが、著作権処理を行うためには多大な労力と時間が必要となる。すでに出版されている教科書を電子教科書として利用する分にはこうした問題は生じず、重要部分にコメントやマークをつける等することで十分予習用教材として活用できると考えられる。さらに、MyScript や Wolfram | Alpha 等による学習サポートがうまく機能すれば、学習効果が上がることも期待できる。ICT の活用により自分で計算することなく計算問題の答えがわかるため、学生が計算問題を解く必要性を見失い計算能力が養われない危険性はあるが、計算問題の多くをICT の活用で補うことができれば、授業時間には証明問題など論理を中心とした大学数学に時間をさける可能性もある。したがって、BYOD 完全実施にむけ、電子機器が良い方向に利用されるようにICT の活用方法を考えていかなければならない。

考察

2015年度、2016年度、2017年度で異なる形式のアクティブ・ラーニング型授業を行った。2015年度は演習時間を確保し、2016年度は双方向対話型の講義、2017年度はグループ学習を中心に行い、年度が進むごとにアクティブ・ラーニングの度合いが強い授業形式へと移っていた。茨城大学で行っている授業アンケートから算出されたクラス満足度および質保証度で各年度の授業を評価すると、年度が進むごとに学生による評価が高まったことから、アクティブ・ラーニングの度合いが強いグループ学習中心の授業が学生に望まれている可能性が高い。しかしながら、グループ学習を十分に機能させるためには、教員の負担が大きくなる。この解決方法の一つとしてICT の活用が考えられる。ICT の活用に関しては賛否両論があるが、この情報化社会がますます発展していくことを考えると、情報リテラシーを養うためにも有用なものは取り入れていくべきだと考えられる。もちろん、実際にICT を活用する学生や教員が十分に電子機器を操作できない場合には逆効果となる可能性も高いが、今回行ったアンケートでは電子教科書に対して否定的な学生は少なかった。このことを踏まえ、来年度からは電子教科書を一部導入し、反転授業に近い形の授業形式としたい。つまり、電子教科書を予習用の教材とし、授業中に行う教員の説明を簡略化することで、グループ学習の時間を有意義なものとしたい。また、本稿で紹介したMyScript や Wolfram | Alpha などの使用に関する簡単なガイドラインを作成し、デジタル教科書の付録とすれば、学生の時間外学習に役立つ情報を提供していけるのではないかと期待する。

引用文献

- [1] 中井俊樹. (2015) 「シリーズ大学の教授法3 アクティブラーニング」玉川大学出版部.
- [2] エドワード・F・レディッシュ. (2012) 「科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践」
- [3] 茨城大学大学教育センター 理系基礎教育部 微分積分I教科書編集委員会. (2013) 「数理解析への「微分積分の基礎」」学術図書出版社.