

Google フォームを用いた e-learning 教材の開発と実践 ～微分積分の計算力向上を目指して～

Development and practice of e-learning teaching materials using Google Forms ～Aiming to improve the skills of differential and integral calculation～

矢吹 康浩¹⁾

Yasuhiro Yabuki¹⁾

要旨：微分積分の計算力向上を目的とした e-learning 教材（アプリケーション）を開発した。この e-learning 教材を開発するにあたり、学生が短時間で意欲的に学習を進めることができる教材となるよう工夫した。また、Google フォームを用いることで、Google クラウドを通じて、幅広く活用できるようにすることを目指した。今回、東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科（以下、「本科」という）の 3 年生を対象とした実践結果について考察する。

キーワード：微分積分, e-learning, Google フォーム, 計算力向上, 学習意欲の向上

1. はじめに

近年、学生の学習意欲の低下が問題視されている。国際数学・理科教育動向調査では、中学校数学において平均得点は高い水準であるものの「勉強は楽しい」「数学を勉強すると、日常生活に役立つ」と答えた児童生徒の割合は、国際平均を下回る状況が続いている[1]。そのため、本科に入学した学生も、試験の得点に関わらず、数学に対するポジティブなイメージが持てないことから、数学を学ぶことへの意欲低下が起こっても不思議ではない。

筆者が担当する数学科目においても、授業や課題への取り組み意欲が低く成績が不良である学生の数は、増加傾向にあると感じる。特に、昨年から続くコロナ禍の影響で断続的にオンライン授業が実施されているが、オンデマンド型の授業では自主性が求められるため、学生の学習意欲により知識の習得に格差が生じる問題があった。実際に、本科 3 年生の学生を対象とした微分積分の計算力確認テストを実施したが、結果は改善を要するものであった（3. 実施及び結果、表 1 参照）。

「微分積分」は、工学を学ぶ上で基礎となる重要な科目であり、本科 2 年生を対象に通年科目として開講されている。工学的な応用として様々な分野に活用されるため、1 年という長い時間をかけて科目内容が教授されているが、微分積分の計算技術だけに限れば、覚えるべき法則や公式はそれほど多くはない。そのため、覚えるべき法則や公式に特化した教材を開発することで、学生が法則や公式を使いこなし、計算力向上につながる学習システムをつくることができるのではないかと考えた。また、微分の逆算が積分であるから、微分の計算力を向上させるための学習を、積分の計算力を向上させるための学習と結び付け、効率的に学習させることができるのではないかと考えた。加えて、学生が「問題が解けて楽しい」と感じ、主体的に学習ができる仕組みをつくることはできないだろうか考えた。

以上のことから、今回 Google フォームを用いて、微分積分の計算力向上を目的とした e-learning 教材（アプリケーション）を開発することとした。Google フォームを用いた理由は、スマホ等があれば学生がいつでもアクセスでき簡便な教材となることやアプリ利用者の情報を分析し傾向を把握しやすいこと、汎用性が高いことからである。また、既存の e-learning 教材は、単元ごとにまとめられていることで習得するのに時間を要するため、開発にあたっては、覚えるべき法則や公式に重点を置き、学生が短時間で意欲的に微分積分の計算力を向上させることができる教材を目指した。

本稿では、開発した e-learning 教材について紹介し、本科 3 年生の学生を対象として実際に使用した結果について考察する。

2. 開発した e-learning 教材の紹介

この教材は、「微分（学習用）」「微分（理解度チェックテスト）」「積分（学習用）」「積分（理解度チェックテスト）」の 4 つのアプリケーションで構成されている。学習用で一通りの計算法則や公式を学び、理解度チェックテストで理解度を確認できるようになっている。学習用は 13 問、理解度チェックテストは 15 問の択一問題とした。また、学生の学習

¹⁾東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科, 一般科目

意欲を高めることも課題であったため、ARCS モデル[2]を取り入れた教材となるよう作成した。以下、ARCS モデルの 4 つの側面から教材の概要を紹介する。

(1) 「注意喚起 (Attention)」の側面

学生の興味を引き出せるよう学習への取り組みやすさを重視した。数学への苦手意識が強い学生も多いことから、問題数を絞り「全何問」とあらかじめ提示した (図 1)。また、すべて択一問題とし、内容について他の教材を持ち出さなくても済むよう、なるべくセルフコンテインド (自己完結型) になるように心がけた (図 2)。これにより、短時間にクイズ感覚でまとまった学習をすることができる。「選択するだけであれば」「このくらいの問題数であれば」と取り掛かりやすく、学習していくうちに「問題が解ける」「面白い」と知的好奇心が刺激されることをねらいとした。

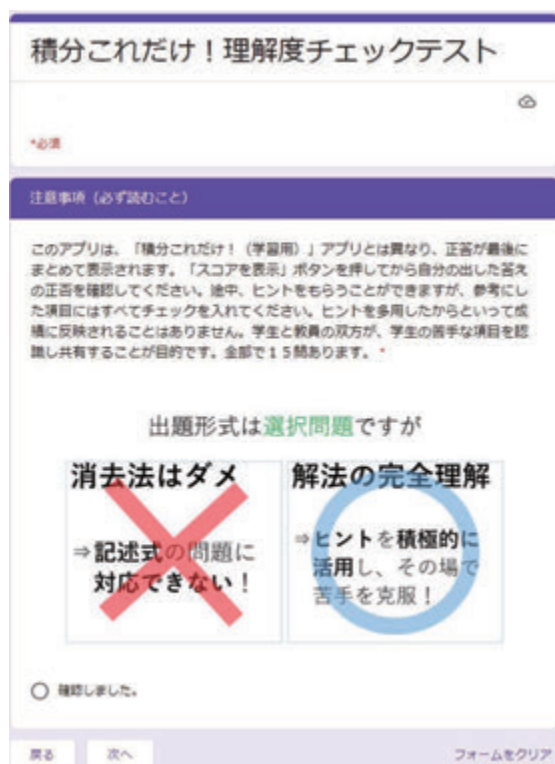


図 1 問題に取り組む前の注意事項

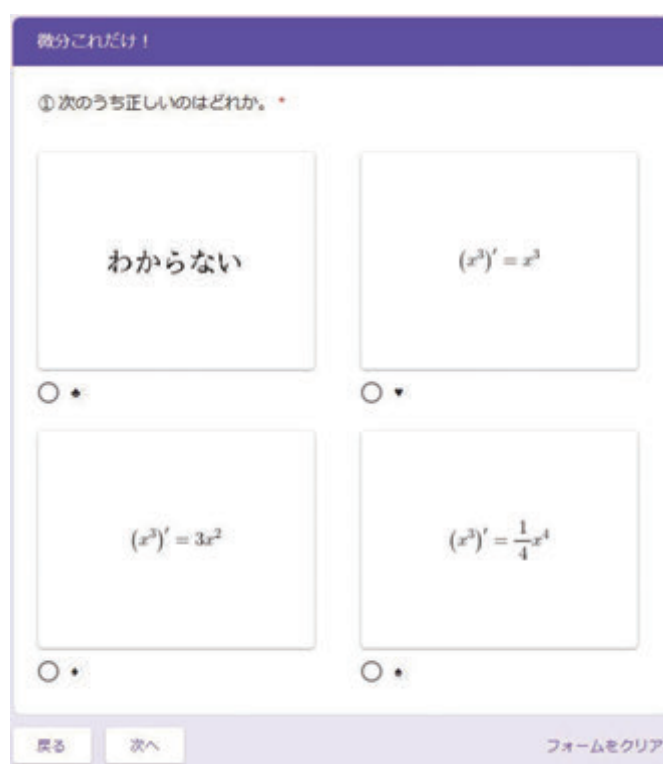


図 2 問題例

(2) 「関連性 (Relevance)」の側面

学習を始める際に、どのような公式・法則があり、どうなることが目的かを提示した (図 3)。これにより、教材を使用して学習することに意義を持たせ、取り組む意欲を高めることをねらいとした。

また、学生はヒントを用いることができる (詳細は (3) 参照)。学生が用いたヒントの情報は、教員側にも共有される。学生が苦手とするところを把握することができるため、その集団の状況に応じた指導方針を検討する際にも活用が可能である。実際に、教材を利用した学生に多くみられた誤答をもとにして、公式に色付けするなど教材自体の改善を行った (図 4)。

(3) 「自信 (Confidence)」の側面

学習用は、各問の選択肢の中に「わからない」の項を設けた。この選択肢を選んだ場合および不正解の選択肢を選んだ場合にヒント・解説画面へ誘導される (図 2, 図 5)。その後、問題を解き直し、正解をすれば次の問題に進める。理解度チェックテストは、各問の選択肢の中に「ヒント」を加えた。この選択肢を選んだ場合に、ヒント・解説画面へ誘導され、再度問題を解き直すと、次の問題に進める。ヒントの中には、計算法則や公式の他、解の方針など問題を解くために必要な道具一式が用意されており、その中から自分が参考にしたいものを選択することができる (図 6)。

これらの選択肢を設け、解き直しをさせることで、自力で解けない問題があっても、諦めることなく、自らの不得意な個所を認識しながら、問題を解決するために解法を組み立てていくことができる。これにより、正答率が上がり「問題が解けた」という成功体験を、多くの学生が積めることをねらいとした。また、このような仕様にすることで、偶然正解を出してしまい

理解しないまま先へ進んでしまうという、択一問題のデメリット解消も考慮した。



図3 目的提示例

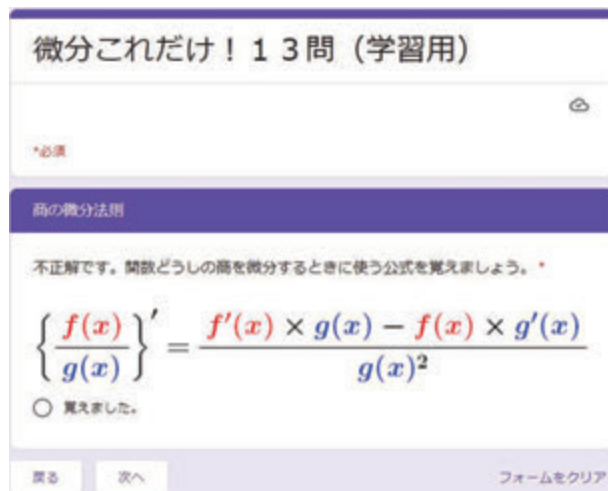


図4 アプリケーションの改善例

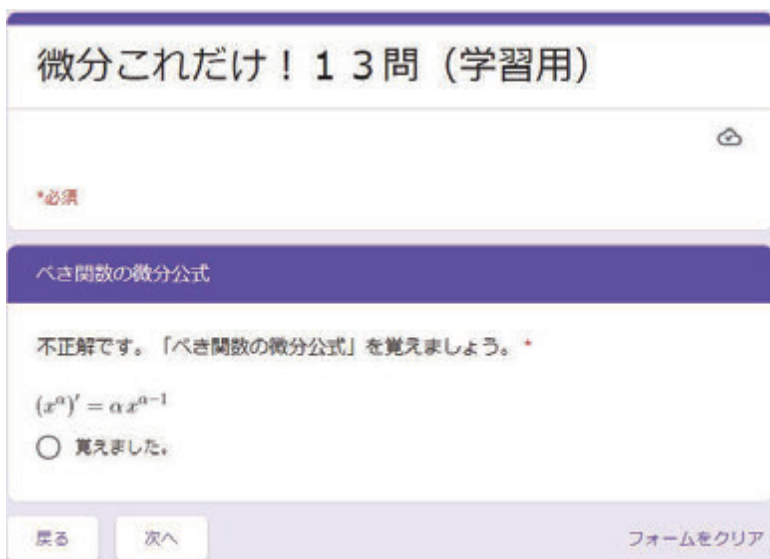


図5 ヒント・解説画面例（学習用アプリ）

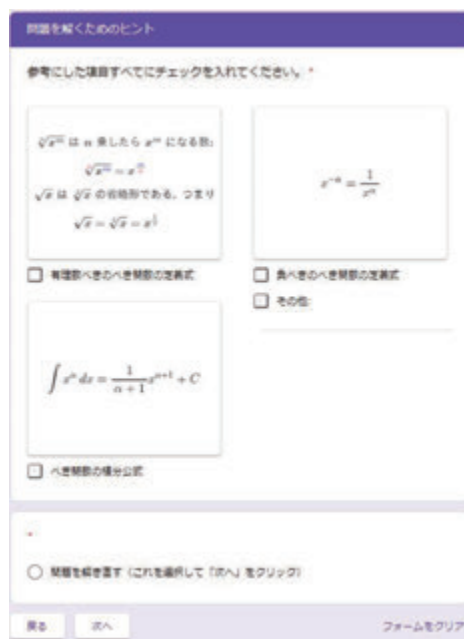


図6 問題を解くためのヒント例（理解度チェックテスト）

(4) 「満足感 (Satisfaction)」の側面

学習用・理解度チェックテストともに、各問の不正解の選択肢には、学生がしやすいミス解答を採用した。問題を解く際に正解と不正解の選択肢を比較検討することで学生が自身の間違いを認識し、修正しやすい構造になっている（図2）。これにより、自分のミス傾向を自覚し、「ここに躓きやすいのか、知ることができて良かった」「やってよかった」と学習自体に満足できることをねらいとした。

また、最後に発展問題を加えた。公式や法則の使い方に慣れてきた段階で、少し難しい問題に触れさせ、基礎力がついてきた学生にはチャレンジ問題として、基礎力の高い学生には更なる興味・関心を向上させることを目的とした。また、計算力確認テストとe-learning（理解度チェックテスト）の結果を配付し、自分の弱点を自覚できるようにした（図7）。

氏名	ID番号	微分										積分										小計	合計			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
基礎力確認テスト(筆記)	1	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	合計	
		正否	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	3	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	2	5	
7月21日(水)																										
チェックテスト(アプリ)	1	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計		
		正否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	14	○	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	8	
2021/8/12(木)																										
チェックテスト(アプリ)	2	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計		
		正否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	8	
2021/9/15(水)																										
基礎力確認テスト(筆記)	2	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	合計	
		正否	○	○	○	○	×	○	×	○	○	×	7	○	×	×	×	○	○	○	○	×	×	5	12	
9月22日(水)																										
チェックテスト(アプリ)	3	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計		
		正否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	8	
基礎力確認テスト(筆記)	3	問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	小計	合計	
		正否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	8	

ペー変換
多変数分
関数の
微分
ベクトル
の
微分
形式

ペー微分
関数の
微分
形式
ベクトル
の
微分
形式

三角関数の微分公式
指数関数の微分公式
対数関数の微分公式
逆三角関数の微分公式
合成関数の微分公式
積の微分公式
商の微分公式
部分積分法
置換積分法
不定積分法
微分方程式

ペー変換
多変数分
関数の
微分
ベクトル
の
微分
形式

ペー微分
関数の
微分
形式
ベクトル
の
微分
形式

三角関数の微分公式
指数関数の微分公式
対数関数の微分公式
逆三角関数の微分公式
合成関数の微分公式
積の微分公式
商の微分公式
部分積分法
置換積分法
不定積分法
微分方程式

ペー変換
多変数分
関数の
微分
ベクトル
の
微分
形式

ペー微分
関数の
微分
形式
ベクトル
の
微分
形式

三角関数の微分公式
指数関数の微分公式
対数関数の微分公式
逆三角関数の微分公式
合成関数の微分公式
積の微分公式
商の微分公式
部分積分法
置換積分法
不定積分法
微分方程式

ペー変換
多変数分
関数の
微分
ベクトル
の
微分
形式

ペー微分
関数の
微分
形式
ベクトル
の
微分
形式

三角関数の微分公式
指数関数の微分公式
対数関数の微分公式
逆三角関数の微分公式
合成関数の微分公式
積の微分公式
商の微分公式
部分積分法
置換積分法
不定積分法
微分方程式

図7 学生に配付した計算力確認テスト及びチェックテストの結果

(5) その他

微分の逆算が積分であるから、積分公式あるいは積分法則を、微分公式あるいは微分法則とリンクさせて学習していけるよう工夫した。例えば、積分法則の「部分積分法」や「置換積分法」は、それぞれ微分法則の「積の微分法則」や「合成関数の微分法則」と双対の関係にある。これらの積分法則を学習する場面では、関連性がわかりやすいような説明や例を付けた(図8, 図9)。

部分積分法 (積の積分法則)

不正解です。関数どうしの積を積分するときに使う公式を覚えましょう。*

$$\int f(x) \times g(x) dx = f(x) \times G(x) - \int f'(x) \times G(x) dx$$

ただし、 $G(x) = \int g(x) dx$ である。

(例) $\int x e^x dx = x e^x - \int 1 \times e^x dx = x e^x - e^x + C$

○ 覚えしました。

図8 部分積分法と積の微分法則の関連性提示

置換積分法 (合成関数の積分法則)

積分するのが難しそうな関数でも、関数の一部をuと置くことで、xについての積分をuについての積分に変換して積分を求められる場合がある。*

(例) $\int e^{2x} dx$ を求めよう。

u = 2x において、この両辺をxについて微分すると

$$\frac{du}{dx} = 2 \quad \therefore dx = \frac{1}{2} du$$

$$\therefore \int e^{2x} dx = \int e^u \cdot \frac{1}{2} du = \frac{1}{2} \int e^u du = \frac{1}{2} e^u + C = \frac{1}{2} e^{2x} + C$$

(注) 不定積分は微分の逆算であるから、この程度の問題であれば次のようなステップを踏んで暗算で解くほうが望ましい。

$$(e^{2x})' = 2e^{2x} \quad \therefore \left(\frac{1}{2} e^{2x}\right)' = e^{2x} \quad \therefore \int e^{2x} dx = \frac{1}{2} e^{2x} + C$$

○ 理解しました。

図9 置換積分法と合成関数の微分法則の関連性提示

3. 実施及び結果

第3学年の83名を対象とし、2021年7月～2021年11月を実施期間とした。計算力確認テストとe-learning教材の実施日程は、表1の通りである。

表1 計算力確認テスト及び e-learning 教材の実施日程

日付	実施したこと	平均点 (20 点満点)
7 月 21 日	初回：計算力確認テスト (筆記)	9.28
8 月 11 日～	「微分 (学習用)」 (1 回目【①】) 「微分 (理解度チェックテスト)」 (1 回目【②】)	
8 月 20 日～	「積分 (学習用)」 (1 回目【③】) 「積分 (理解度チェックテスト)」 (1 回目【④】)	
9 月 14 日～	「微分 (学習用)」 (2 回目【⑤】) 「微分 (理解度チェックテスト)」 (2 回目【⑥】)	
9 月 24 日～	「積分 (学習用)」 (2 回目【⑦】) 「積分 (理解度チェックテスト)」 (2 回目【⑧】)	
9 月 29 日	中間：計算力確認テスト (筆記)	12.54
11 月 5 日	計算力確認テストと e-learning (理解度チェックテスト) の結果を配付	
11 月 5 日～	「微分 (学習用)」 (3 回目【⑨】) 「微分 (理解度チェックテスト)」 (3 回目【⑩】) 「積分 (学習用)」 (3 回目【⑪】) 「積分 (理解度チェックテスト)」 (3 回目【⑫】)	
11 月 10 日	最終：計算力確認テスト (筆記)	14.34

e-learning 教材への取り組み状況として、4 つのアプリケーションごとに、各回 1 回以上実施した学生の割合を算出した (表 2)。その結果、1 回以上実施した学生の割合は各回 83.1%～98.8%で推移した。全ての回を通じて平均 91.6%の学生がアプリケーションに取り組むことができていた。また、自主的に 2 回以上、繰り返し実施する学生も確認された。

表2 アプリケーション (表1【】内の番号) ごとの取り組み割合 (%)

	【①】	【②】	【③】	【④】	【⑤】	【⑥】	【⑦】	【⑧】	【⑨】	【⑩】	【⑪】	【⑫】
0 回	24	48	84	84	12	24	12.0	13.3	10.8	10.8	9.6	16.9
1 回	92.8	90.4	88.0	89.2	95.2	91.6	80.7	79.5	83.1	83.1	83.1	80.7
2 回	3.6	4.8	3.6	2.4	3.6	6.0	4.8	6.0	4.8	4.8	7.2	2.4
3 回	0	0	0	0	0	0	2.4	1.2	0	0	0	0
4 回	1.2	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	0	0
1～4 回 計 (%)	97.6	95.2	91.6	91.6	98.8	97.6	88.0	86.7	89.2	89.2	90.4	83.1

次に、e-learning 教材の取り組み回数と計算力確認テストでの得点を比較した。

<初回と中間の計算力確認テストにおける得点の増減>

アプリケーション 2 回目の実施後に、中間の計算力確認テストを行った。そのため、アプリケーション計 8 回の実施を目標回数とし、各取り組み回数と計算力確認テストにおける得点の増減を算出した (表 3、テスト当日に欠席した学生はカウントから除外)。

目標回数未満の取り組み状況では、計算力確認テストにおいて平均 2.2 点増加していた。目標回数以上の取り組み状況では、計算力確認テストにおいて平均 3.5 点増加した。更に、目標回数を超えて (9 回以上)、自主的に取り組んだ学生は、計算力確認テストにおいて平均 4.9 点増加した。

<初回と最終の計算力確認テストにおける得点の増減>

アプリケーション 3 回目の実施後に、最終の計算力確認テストを行った。そのため、アプリケーション計 12 回の実施を目標回数とし、各取り組み回数と計算力確認テストにおける得点の増減を算出した (表 4、テスト当日に欠席した学生はカウントから除外)。

目標回数未満の取り組み状況では、計算力確認テストにおいて平均 4.4 点増加していた。目標回数以上の取り組み状況では、計算力確認テストにおいて平均 5.3 点増加した。更に、1 回以上取り組んだ学生は、計算力確認テストにおいて平均 5.1 点増加した。目標回数を超えて (13 回以上)、自主的に取り組んだ学生は、計算力確認テストにおいて平均 6.6 点増加した。

また、アプリケーション 2 回目の実施を終え、1 回目と 2 回目ともに正答率が低かった法則 (商の微分法則) について、e-learning 教材の改善を実施した。具体的には、左辺と右辺に現れる関数の対応を間違える学生が多かったため、色付けにより計算の順番を視覚的にわかりやすく示した (図 4)。これにより、最終の計算力確認テストでは、この間違いをする学生を 1 名程度まで減少させることができた。

表3 アプリケーションの取り組み回数と計算力確認テストにおける得点の増減（初回・中間の比較）

取り組み回数 (回)	割合 (%)	平均増減 (点)	
0	13	1.0	平均 22 点増加
1	0	—	
2	0	—	
3	13	3.0	
4	13	2.0	
5	26	1.0	
6	77	2.5	
7	13	3.0	
8	615	2.9	平均 35 点増加
9	167	4.4	
10	38	6.3	平均 4.9 点増加
11	0	—	
12	0	—	
13	0	—	
14	13	4.0	
15	13	8.0	

表4 アプリケーションの取り組み回数と計算力確認テストにおける得点の増減（初回・最終の比較）

取り組み回数 (回)	割合 (%)	平均増減 (点)		
0	0	—	平均 44 点増加	平均 5.1 点増加
1	0	—		
2	0	—		
3	0	—		
4	13	1.0		
5	13	8.0		
6	5.1	3.8		
7	0	—		
8	5.1	4.8		
9	2.6	5.0		
10	2.6	2.5		
11	3.8	5.7	平均 53 点増加	
12	52.6	4.7		
13	192	5.7		
14	2.6	9.0		
15	0	—		
16	1.3	12.0		
17	0	—		
18	0	—		
19	0	—		
20	0	—		
21	1.3	9.0	平均 6.6 点増加	
22	0	0		
23	0	0		
24	1.3	8.0		

4. 考察

1 回以上 e-learning 教材に取り組んだ学生は、計算力確認テストの得点増加につながっていることがわかる。特に、目標回数を超えて自主的に取り組んだ学生は、計算力確認テストにおける得点増加が大きくなっていることから、e-learning による効果であると考える方がよいであろう。計算力確認テストの答案を採点していても、覚えたい法則や公式を活用できる学生が増加し、計算力は向上していると考えられる。

学生の取り組み割合としては、3 回とも比較的高い水準を維持していた。普段、手書きの課題を提出しない学生も、アプリケーションは実施できていたことから、多くの学生にとって取り組みやすい教材となっていたと考えられる。しかし、アプリケーション 3 回目の取り組み割合が、2 回目までよりも若干低下した。これは 2 回目までの実施で「内容は理解した」と学生が自ら判断し、取り組まなかった可能性が考えられる。そのため、実施回数が少なかった数人の学生も含めて、より多くの学生が取り組みやすく飽きのこない内容の教材を更に検討していきたいと考える。

今回は日程の都合上、配付した計算力確認テストと e-learning (理解度チェックテスト) の結果を学生が活用できていたのか等、効果判定を行えていない。今後の課題として、学生にアンケートを実施し引き続き調査をしたい。また、このアンケートの結果やデータをより詳細に分析し、アプリケーションや授業等における指導を改善していく予定である。

開発した e-learning 教材は、Google クラウドルーム内で簡単に配信することができるため、要望に応じ教科の枠を越えて幅広く活用ができたかと考えている。今後も、学生の数学力の向上を目指した様々な方略を検討し、授業を実践していきたい。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所編, TIMSS2019 算数・数学教育/理科教育の国際比較-国際数学・理科教育動向調査の 2019 年調査報告書, 明石書店, 2021, ISBN9784750351827
- [2] John M. Keller, 学習意欲をデザインする-ARCS モデルによるインストラクショナルデザイン, 北大路書房, 2010, ISBN 9784762827211