

動く教材で学ぶ微分積分

—アニメーションの導入による理解促進の試み—

間田潤*

Learning Calculus through Dynamic Educational Materials : An Attempt to Enhance Understanding through Animation

Jun MADA*

Triggered by the COVID-19 pandemic, we shifted from a traditional blackboard-based lecture style to a simplified flipped classroom approach, in which students received pre-distributed note materials and prepared their own notes before attending class. As a result, lectures were conducted using slide materials. Taking advantage of this transition, we incorporated animations into the slides to dynamically visualize abstract concepts in calculus—such as limits—to enhance students' conceptual understanding. This report examines the educational effectiveness of introducing such dynamic instructional materials into the calculus classroom.

Keywords: Calculus, Dynamic Instructional Materials, Visual Understanding, Learning Support

1. はじめに

近年、ICTの進展と教育現場への導入に伴い、動画やアニメーションなどの動的教材を授業に取り入れる試みが各教育段階で進められている。特に新型コロナウイルス感染症の影響を契機として、対面授業の見直しやオンライン授業の導入が加速し、教材のデジタル化が急速に進展した。その中で、数学教育においても、抽象的な概念や動的な変化を視覚的に示すための動画教材の有効性が注目されつつある。また、文部科学省が推進するGIGAスクール構想¹⁾や、教員向けに提供されているICT活用指導資料²⁾⁻⁴⁾にも見られるように、教育現場における動画教材の活用は、今後一層重要性を増すと考えられる。

本研究は、そのような動向を踏まえ、微分積分学の学習において動画教材、特にアニメーションを用

いた動的表現が学習者の理解に与える影響を検討する。具体的には、授業内で極限や導関数、面積といった微積分の主要概念に対して、点の移動や図形の変化などの動きを用いたアニメーションを作成し、学習者に提示した。これにより、従来の静的な板書やスライドでは得難い直感的な理解が促されることが期待される。本稿では、簡易的な反転授業形式の導入により、従来の板書中心の授業からプロジェクターを用いた授業へと転換した実践をもとに、動画教材の導入が微分積分の学習に与える効果を報告し、動的教材の可能性と課題について考察する。

本学部には9学科があり理系科目への得意・不得意にもばらつきが見られる。そこで本研究では、令和3年度から令和6年度までの間、一貫して担当してきた1学科の1クラスを対象とする。対象科目は「微分積分学I」であり、1変数関数の微分および積分を扱う。当該クラスの受講者数は、令和3年度

*日本大学 生産工学部 教養・基礎科学系 教授

が46名、令和4年度が69名、令和5年度が49名、令和6年度が34名である。なお、令和4年度にはカリキュラム改定が行われ、それ以前はプレースメントテストによりクラス分けがなされており、令和3年度の対象はそのうち基礎学力を有するクラスであった。また、学科全体で約200名の学生に対して4クラスを編成していたが、カリキュラム改定直後は基礎クラスが廃止されたにもかかわらず、クラス数の補填が行われなかったため、令和4年度は1クラスあたりの受講者数が増加した。加えて、本学部ではクォーター制を採用しており、授業は週2回実施されていることを付記しておく。

2. 授業の実施方法

「微分積分学Ⅰ」の授業は、1回90分の授業を全15回実施する形で運用している。著者は、新型コロナウイルス感染症のオンライン授業の経験をもとに先行研究⁵⁾において、表1に示すように事前のノート作成を取り入れた授業運用への転換を行ってきた。具体的には、各回の授業を以下のような流れで進め、事前学修・事後学修を組み合わせ実施している。

- (1) ノート資料を Google Classroom を通じて事前に配信し、学生はその資料に基づいてノートを作成した上で授業に参加する。
- (2) 授業では、配信したノート資料を基にしたスライドを用いて説明を行い、必要に応じて補足的な内容も提示する。学生はこれをもとに、自ら作成したノートに加筆・修正を加えていく。
- (3) 上記の運用により、授業内に約30分程度の余裕が生まれ、演習問題に取り組む時間を確保できる。その時間を活用して、ペアワーク

による演習問題の相互採点や、気づきを促す課題にも取り組む。

- (4) 授業中に聞き逃した内容や、理解が不十分であった箇所については、Google Classroom から配信されている授業動画を視聴して補完する。

以上の実践により、学生の理解度を高めてきた。

そして、授業方法の転換に伴い、黒板を用いた板書中心の授業から、スクリーン上のスライドを活用する形式へと移行した。そこで、令和5年度から図1に示すように、静止画では説明が困難な内容に関しては、アニメーションをスライドに組み込んで提示する手法を導入した（動画の具体的な内容については、YouTube 上にて確認いただきたい）。

図1に示した例以外にも、スライドに組み込んだ動画については、シラバスの内容と対応させて表2に一覧として整理した。また、動画の一部については図2に例示している。これらの動画は、数式処理システムである「Mathematica」の「Animate」機能を用いて作成し、MP4 ファイルとしてエクスポートしたものである。さらに、事後学修に活用できるよう、令和6年度では作成した動画を YouTube にアップロードし、URL および QR コードを学生に公開している。

動画の教育的効果を検証するために、「内容を理解する上で、動画は役に立ちましたか？」という設問を用いて、6段階評価のアンケートを実施した。選択肢は、「大いに役に立った」「役に立った」「ちょっと役に立った」「あまり役に立たなかった」「役に立たなかった」「まったく役に立たなかった」の6項目で構成し、加えて自由記述欄に選択理由を記入してもらった。なお、このアンケートは第2回の授業終了後に1回、第4～6回のまとめとして1回、第9回および第10回のまとめとして1回、計3回実施した。

表1 事前学修および事後学修を含んだ授業スケジュール

	実施内容	配分
事前	Classroom から配信されるノート資料を基にノート作成	30分
	教科書の該当ページの予習など	60分
講義	ノート資料に基づく解説を基にポイントのノートへの書き込み	40分
	演習問題の解答+質問対応	20分
	演習問題の相互採点+自己添削	15分
	理解を深める課題（実施しない場合は演習問題に時間を割り振り）	15分
事後	授業内容の復習（授業動画の配信あり）	90分

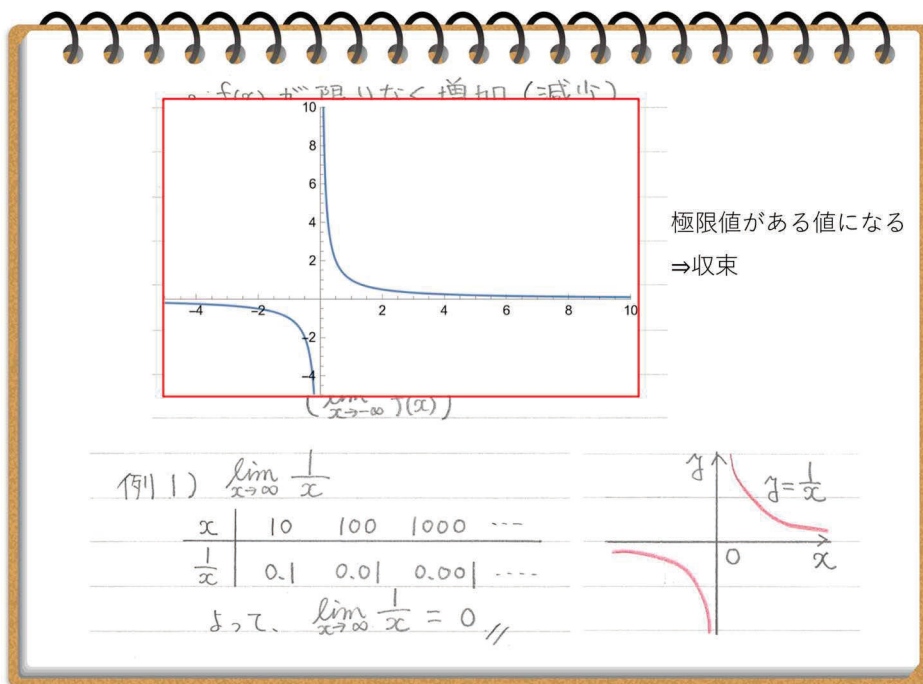
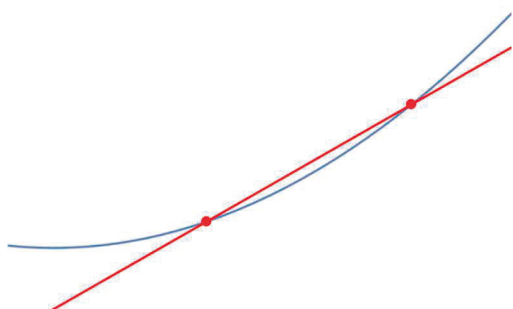


図1 動画埋め込み画面の一例（極限の説明，赤枠内が動画の部分）
 動画は YouTube 上でも視聴可能（<https://youtu.be/CbOTLHhfNSU> もしくは QR コード）

表2 微分積分学 I シラバスおよび動画

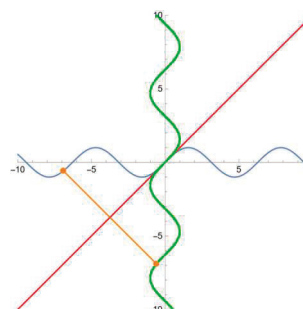
授業回	授業内容	動画
第1回	指数関数・対数関数・三角関数の問題演習（基礎知識の確認）	
第2回	微分① 関数の極限，導関数（1）	関数の極限 微分係数と接線の傾き
第3回	微分② 導関数（2）	
第4回	微分③ 合成関数の微分法，逆関数の微分法（逆関数の復習を含む）	逆関数のグラフ
第5回	微分④ 逆関数の微分法（逆三角関数を含む），ロピタルの定理	逆三角関数のグラフ 不定形の極限
第6回	微分⑤ 高次導関数，テイラー展開	関数の近似 関数の重ね合わせ
第7回	第1回～第6回までの問題演習	
第8回	達成度確認試験1および復習	
第9回	微分⑥ 関数の増減とグラフ	接線の傾きとグラフの形 増減表の書き方 グラフの概形の描き方
第10回	積分① 積分とは？，不定積分，部分積分法	面積と積分
第11回	積分② 置換積分法，定積分（1）	
第12回	積分③ 定積分（2），定積分の応用（面積のみ）	
第13回	第9回～第12回までの問題演習	
第14回	達成度確認試験2および復習	
第15回	総括	

微分係数と接線の傾き



<https://youtu.be/1ChHw2Wzj50>

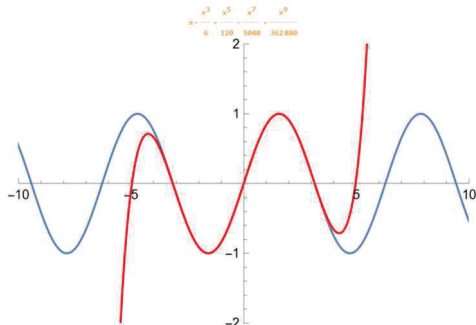
逆関数



<https://youtu.be/dUZZFu1TEqg>

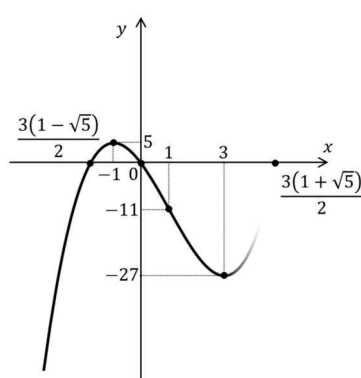
関数の近似 (マクローリン展開)

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



<https://youtu.be/WL2Rs4q4yhc>

グラフの概形



https://youtu.be/OWGIIdD_0bWU

図2 動画の一例

さらに、令和4年度の新カリキュラム以降、先行研究⁵⁾にて報告した授業方法の工夫について、最終アンケートにより効果測定を行っている。このアンケートでは、「この科目で行った工夫のうち、理解を深めるのに役立つと感じた内容をすべて選んでください。」という設問のもと、「事前のノート作成」、「短時間集中のスライド講義」、「授業内の演習解答+自己添削」、「相互採点や相互理解」、「探求課題(学科の科目調査、作問と相互解答)」、「トピックス課題(アキレスと亀、髪長さ、池の大きさ)」、「復習用の授業動画」、「プラスアルファの演習問題」、「基礎数学演習の教材」、「その他(自由記述)」の選択肢を提示した。令和5年度からは、これらに加えて「授業内での動画による解説」を新たに選択肢に加え、その効果を検証した。

3. 教育効果の検証

履修者の成績状況について、単位修得者、再評価対象者、不合格者に分類して表3にまとめた。

表3 履修状況

	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
履修者数	46	69	49	34
単位修得者数	43 (93.5%)	59 (85.5%)	40 (81.6%)	33 (97.1%)
再評価合格者数	2 (4.3%)	8 (11.6%)	9 (18.4%)	1 (2.9%)
不合格者数	1 (2.2%)	2 (2.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
プレテ未受験者数	2	0	5	0

※括弧内は履修者数に対する割合

今後、プレースメントテスト(以下、PT)との相関についても議論するため、表3にはPT未受験者の人数も記載している。なお、冒頭でも述べたように、令和4年度にカリキュラム改定が行われた。令和3年度までは習熟度やコースに応じたクラス編成がなされており、筆者は上位クラスを担当していた。そのため、令和4年度以降は再評価対象者が増加しているように見える点には留意が必要である。

学生に対して実施した「内容を理解する上で、動

画は役に立ちましたか？」というアンケートの結果を図3に示す。詳細は内容によって異なるが、概ね8割程度の学生が「役に立った」と感じていることがわかる。また、令和5年度においては、取り組みの初期よりも後半に作成した動画の方がクオリティが向上し、学生の理解の促進にも寄与したことがうかがえる。さらに、令和6年度には、動画の動きや配色の工夫、およびYouTubeによる再視聴環境の整備を行い、その効果はアンケート結果にも反映されている。

自由記述欄に寄せられた意見については、図4に示すようにテキストマイニング⁶⁾を用いてワードクラウドとして可視化した。その結果、「動画による理解」に関するキーワードが多く含まれ、動画が学生の学修支援に一定の効果を与えていることが確認できた。

また、最終アンケートでは、「この科目で行った工夫のうち、理解を深めるのに役立ったと感じた内容をすべて選んでください」という設問に基づき、各工夫の効果に関する順位付けを行った結果を表4に示す。令和3年度についてはカリキュラム改定前

のため結果は存在しないが、令和4年度以降においては、「事前のノート作成」「相互採点や相互理解」「演習解答+自己添削」の3項目が不動の上位を占めている。そこに続いて、「授業内での動画による解説」が第4位となっており、授業内のさりげない工夫であっても、印象に残るほど効果的であったことがうかがえる。

最後に、動画導入の工夫が実際に成績へどのような影響を与えたかを検討するため、図5のように入学時の基礎学力を測るPTと微分積分学Iの成績評価との相関を分析した。微分積分学Iでは、定期試験の結果だけでなく、各回の授業内容の理解度を確認するための演習の取り組み状況も評価に加えており、平常時の学修効果も含めた成績を反映している。

令和3年度は習熟度別のクラス編成がなされており、PT下位層が比較的少ないクラスを担当していた。そのため、全体として成績は良好であった。一方、令和4年度以降はカリキュラム改定により、多様な学力層を含むクラス編成となった。各年度におけるPTと微分積分学Iの成績との相関係数を算出した結果、令和3年度では $r = 0.52$ と中程度の正の相関

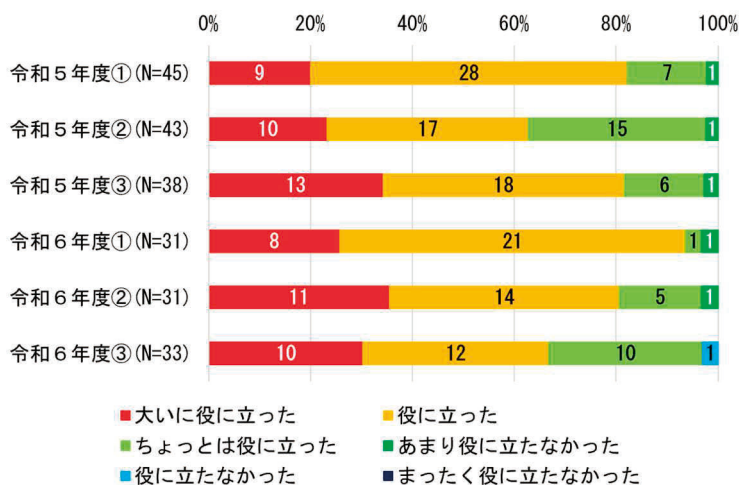


図3 内容を理解する上で、動画は役に立ちましたか？

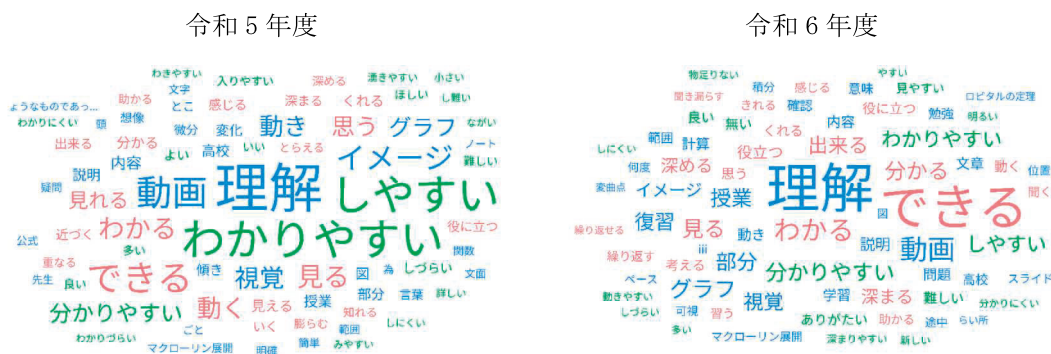


図4 ワードクラウドによる自由記述の分析

表4 授業の工夫の有用性

	令和4年度 (N = 69)	令和5年度 (N = 49)	令和6年度 (N = 36)
1位	事前のノート作成 (48)	相互採点や相互理解 (31)	演習解答+自己添削 (21)
2位	相互採点や相互理解 (40)	事前のノート作成 (28)	事前のノート作成 (19)
3位	演習解答+自己添削 (34)	演習解答+自己添削 (20)	相互採点や相互理解 (18)
4位	探求課題 (24)	授業内での動画 (15)	授業内での動画 (12)
5位	トピックス課題 (18)	探求課題 (9)	探求課題 (9)
6位	スライド講義 (12)	プラスアルファ問題 (9)	スライド講義 (8)
7位	プラスアルファ問題 (12)	スライド講義 (8)	プラスアルファ問題 (7)
8位	復習用授業動画 (10)	復習用授業動画 (5)	復習用授業動画 (4)
9位	フォローアップ教材 (10)	フォローアップ教材 (5)	フォローアップ教材 (3)
10位	その他 (0)	トピックス課題 (0)	トピックス課題 (0)
11位		その他 (0)	その他 (0)

※複数回答可, 括弧内が回答数

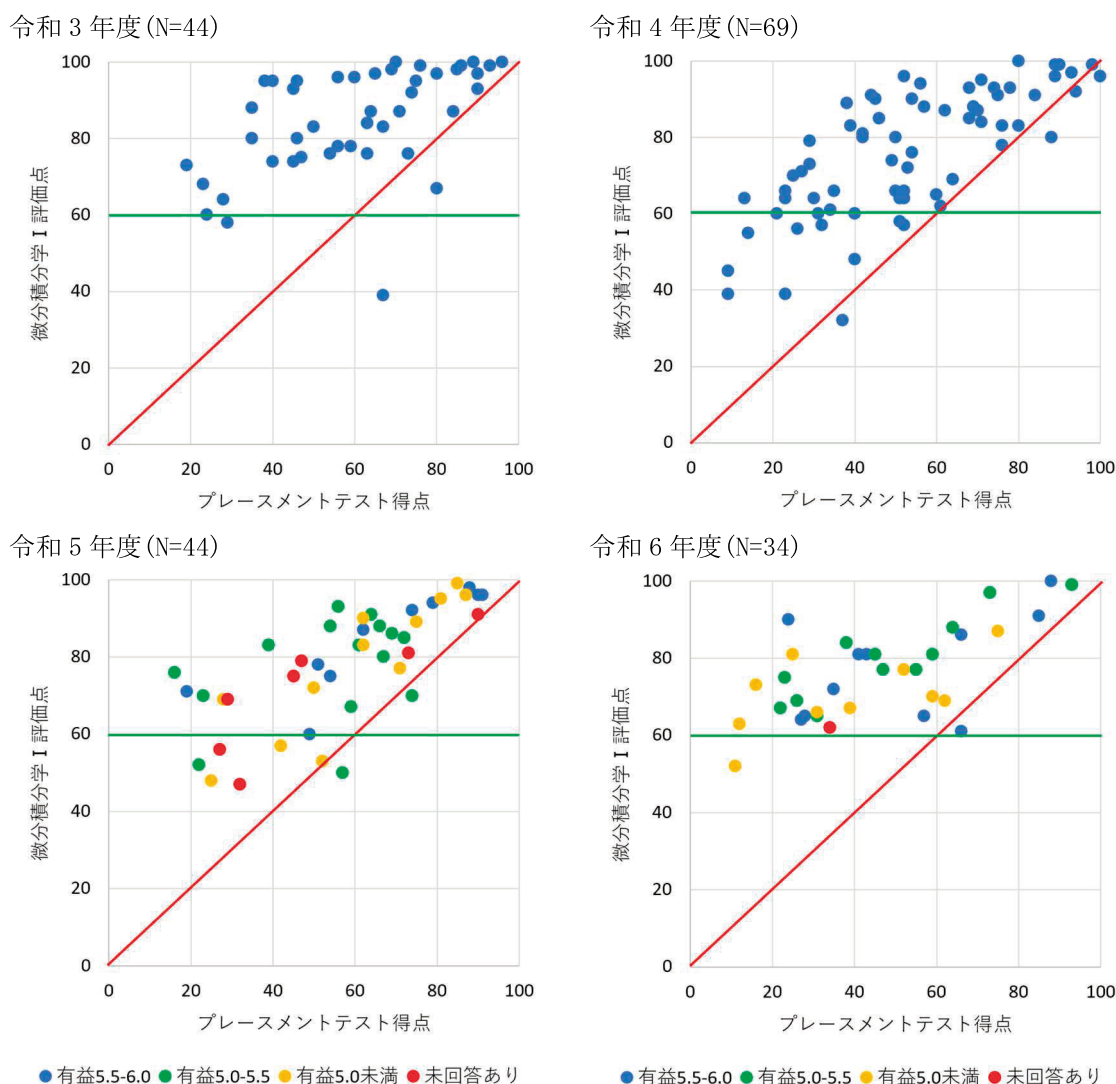


図5 プレースメントテスト得点と微分積分学I評価点の相関

有益の値は図3の「大いに役に立った」を6点, …, 「まったく役に立たなかった」を1点として3回もしくは2回の平均値をとったものである。未回答が2回以上あった学生は「未回答あり」としている。相関係数は, 令和3年度 $r = 0.52$, 令和4年度 $r = 0.74$, 令和5年度 $r = 0.72$, 令和6年度 $r = 0.66$ であった。

※有益の値による色分けは図示上の区別であり, 相関係数は当該年度全体のデータを用いて算出した。

が認められたのに対し、令和4年度は $r = 0.74$ 、令和5年度は $r = 0.72$ 、令和6年度は $r = 0.66$ と、いずれも比較的強い正の相関が確認された。これらの結果から、令和4年度以降は入学時の学力（PT得点）が成績により強く反映される傾向が示唆される。

次に、成績分布の傾向を確認すると、PT下位層において再評価や不合格に至る学生が相対的に多いことが視覚的に確認された。しかし、動画を取り入れ始めた令和5年度には、再評価の対象者は一時的に増加したものの、PT下位層における成績の向上が確認できた。また、令和6年度にもPT下位層における成績向上の傾向が見られ、再評価対象者が減少していることがうかがえる。これらの観察結果を踏まえると、PT下位層の学習成果がどのように変化しているのかを、入学時学力の影響を考慮した上で定量的に検証する必要がある。そこで、令和3年度から令和6年度までのデータを統合し、PT60点未満の学生（ $N = 103$ ）を対象として重回帰分析を実施した。目的変数には成績の伸びを設定した。本研究における成績の伸びとは、微分積分学Ⅰの評価点からPT得点を差し引いた値（微分積分学Ⅰ評価点 - PT得点）として定義した。説明変数には、PT得点、群（令和3・4年度 = 0、令和5・6年度 = 1）、および動画資料の有用性評価点を用いた。分析にあたってはPT得点の影響を統制し、令和3・4年度（動画資料導入前）を基準群とすることで、動画資料導入後（令和5・6年度）の効果を検討した。有意水準は5%とし、分散分析表における有意Fによりモデル全体の有意性を確認した。その結果、有意Fは 1.62×10^{-8} であり、重回帰モデルは統計的に有意であった。なお、本研究における β は各説明変数の偏回帰係数（他の変数の影響を一定としたときの効果量）を表す。また、各説明変数の統計的有意性は、各偏回帰係数に対するP値（有意確率）に基づいて評価した。

その結果、PT得点の偏回帰係数は $\beta = -0.58$ （ $p < 0.001$ ）であり、成績の伸びに対して有意な負の影響を示した。この結果は、PTの得点が1点高い学生ほど、成績の伸びが平均して約0.58点小さくなることを意味しており、初期得点が高い学生ほど伸び幅が相対的に小さくなる、いわゆる回帰効果（天井効果）が統計的に明確に確認されたことを示す。なお、この関係は高い有意性を示しており（ $p < 0.001$ ）、本分析において最も安定した影響要因であった。

一方、動画資料の有用性評価点の偏回帰係数は

$\beta = 5.02$ （ $p = 0.073$ ）であり、5%有意水準では統計的に有意とはならなかったものの、10%水準では成績の伸びに対して正の影響を示す有意傾向が認められた。これは、有用性評価点が1点高い学生は、PT得点および群の影響を考慮した上でも、成績の伸びが平均して約5点大きい傾向にあることを意味する。この効果量は教育的観点から見ると無視できない大きさであり、学習成果に対する実質的な影響を示唆している。したがって、有用性評価と成績の伸びとの間には一定の関連が存在する可能性が示唆された。

以上より、PT下位層においては、動画資料を有用であると高く評価した学生ほど成績の伸びが大きい傾向が認められ、動画資料の有用性認知が学習成果の向上と関連する可能性が示唆された。ただし、その効果は統計的に強固なものとは言えず、今後さらなるデータの蓄積と検証が必要である。

これらの結果を踏まえると、抽象的な数学的概念を静止画のみで提示することには一定の限界が存在し、その補完手段として動画を活用することが学習成果の向上と関連する可能性が定量的に示唆されたと考えられる。とりわけ、基礎学力の低い学生層においては、動画資料を有用と認知した学生ほど成績の伸びが大きい傾向が確認されており、動画を用いた説明方法が学習支援の一手段として機能する可能性が示された。全入学時代を迎えるこれからの高等教育において、多様な学力層に対応する教育方法の検討は喫緊の課題であり、本研究はその一端を示す知見を提供するものである。

4. まとめ

本研究では、ICTの進展と教育現場への導入や文部科学省も推進する動的教材の活用を背景に、視覚的理解を促す手段として動画を授業スライドに組み込む実践を行った。その結果、SNSなどで動画に親しんだ学生にとっては、理解を助ける有効なツールとなることが、アンケートおよび成績評価からも示唆された。特に基礎力が不足している学生に対しては、数式の背後にあるイメージを補完する手段として有効であることが確認された。

さらに、取り組みを開始した令和5年度以降、生成AIの飛躍的な進化により、これまで数式処理ソフトウェアを用いて手作業で作成していたような動画も、短時間で直感的に作成できる環境が整いつつある⁷⁾。こうした技術進展と、本研究で示された動

画による理解促進の成果は、今後の高等教育における動的教材の本格導入を後押しする契機になると考える。

一方で、本稿で示した取り組みにはいくつかの限界も存在する。特に、動画教材が教員主導で一方的に提供されている点や、学生個々の理解度や進度に対応したインタラクティブ性に乏しい点は、今後の改善の余地として挙げられる。動画視聴による受動的学習だけでは、深い理解に到達するには限界がある。そこで今後は、学習者自身が教材制作に関与するような能動的学習の導入が重要であると考えられる。例えば、学生が自ら生成 AI を活用して、特定の概念を説明する動画を制作する課題などは、理解の可視化・共有・深化につながり、アクティブラーニングの一形態として非常に有効である。また、こうした取り組みは、将来的な理数系リテラシーの育成にも資すると思われる。

本研究で示した抽象的な数学的概念の理解における動画活用の有効性をもとに、今後の教育における新たな教材設計と学習者参加型の教育手法への可能性も見出すことができたと考えられる。動的教材の導入が学習効果の向上だけでなく、学生の学びへの能動的な関与を促進する契機となることを期待したい。

References

- 1) 文部科学省『GIGA スクール構想の実現へ』, 2020/6/25,
https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_1.pdf
- 2) 文部科学省『GIGA スクール構想のもとでの高等学校数学科の指導について』, 2021/6/9,
https://www.mext.go.jp/content/20210609-mxt_kyoiku01-000015480_rk.pdf
- 3) 文部科学省『高等学校1年・数学・図形と計量「正弦定理の証明」』, 2021/6/10,
https://www.mext.go.jp/content/20210610-mxt_kyoiku01-000015480_jk.pdf
- 4) 文部科学省『高等学校1年・数学・データの分析「仮説検定の考え方」』, 2023/6/23,
https://www.mext.go.jp/content/20230623-mxt_kyoiku01-000015480_jk.pdf
- 5) 間田潤「事前ノート作成による簡易反転授業の実践—コロナ禍の経験を活かした微分積分学の授業改善—」, 『日本大学 FD 研究』11号, 日本大学 FD 推進センター, 2023, pp.1-8.
- 6) ユーザーローカル『テキストマイニングツール』, AI テキストマイニングサイト,
<https://textmining.userlocal.jp/>
- 7) 吉田亘克, 山城昌志, 岡野諭「大学の教育・研究における生成 AI の利活用」, 『第 57 回日本大学生産工学部学術講演会講演概要集』, 日本大学生産工学部, 2024, pp.614-615.

(R 7 . 8 . 8 受理)