

インタラクティブ教材の開発と教育効果の実験的考察

福島高専・一般教科 西浦 孝治

Koji Nishiura, General Education, National Institute of Technology, Fukushima College

KeTCindy センター 高遠 節夫

Setsuo Takato, KeTCindy Center

木更津高専・電子制御工学科 白井 邦人

Kunihito Usui, Control Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College

沼津高専・教養科 鈴木 正樹

Suzuki Masaki, Liberal Arts, National Institute of Technology, Numazu College

1 はじめに

数学ソフトウェアの進歩によって、さまざまな教材を作成することができるようになった。アニメーションもその一つである。これに関しては、弧度法の定義についてのアニメーション教材、および三角関数の定義と三角関数のグラフを関連づけるアニメーション教材を作成し、その教育効果を検証した ([1])。アニメーション教材を教室のスクリーンに映して、学生に学習させた。これは受動的な学習であり、学生が自ら操作して学習した方が教育効果は大きいと考えられる。そこで、インタラクティブ教材を作成することとした。学生は各自のスマートフォンで、インタラクティブ教材を使用する。これは能動的な学習である。その有用性について、次のように検証した。

1. 理解度調査 → 2. 教材作成 → 3. 実験授業 → 4. 実験結果の分析

今回は対数関数の分野を取り上げた。対数関数は、指数関数よりも理解度が低いのではないかと考えていた。はじめに理解度調査を実施した。その調査結果から、対数関数のグラフの理解度が低いことがわかり、そのインタラクティブ教材を作成した。指数関数のグラフの理解度は高かったため、指数関数のグラフから対数関数のグラフを理解させるようにした。次に、インタラクティブ教材を使うグループと使わないグループに分けて、実験授業を実施した。最後に、その実験結果について、統計分析を行った。

教材作成と実験結果の分析では、高遠らが開発した数学ソフトウェア KeTCindy を用いた ([2])。実験授業では、インタラクティブ教材以外にも、音声付きスライド教材とテスト問題を使用した。それらはすべて KeTCindy を用いて作成した。また、KeTCindy は統計ソフトウェア R を呼び出す機能もあり、統計分析にも使うことができる。一連の過程において、KeTCindy は有用な役割を果たす ([3])。

本稿では、開発した対数関数のインタラクティブ教材と実験授業の分析結果について述べる。

2 理解度調査

対数関数の教材を作成するために、下記のように対数関数の理解度調査を実施した。

- 実施時期：2021年4月下旬～5月上旬
- 対象：福島高専2年生82名
- 方法：2回の試験を実施（試験時間は各15分）

対数関数は、1年生のときに学習している。2回の試験は、異なる日に実施した。2回目の試験問題の難易度は、1回目よりもやや高い。また、両方の試験には、指数関数の問題も含まれている。図1は、2回目の試験問題である。問題の横の数字は正解率で、0.7未満は下線を引いた。

1. 次の計算をせよ.			
(1) 2^{-3}	0.889	(2) 5^0	0.975
(3) $81^{\frac{3}{4}}$	<u>0.556</u>	(4) $\log_2 16$	0.975
(5) $\log_3 \frac{1}{9}$	0.877	(6) $\log_6 1$	0.914
(7) $\log_8 2$	0.753		
2. 次の式を満たす x を求めよ. ただし, $a > 0, a \neq 1$ である.			
(1) $a^2 \times a^{\frac{1}{4}} = a^x$	0.778	(2) $(a^2)^{-3} = a^x$	0.889
(3) $\log_a 3 + \log_a 4 = \log_a x$	0.741	(4) $\log_a 9 - \log_a 3 = \log_a x$	0.728
(5) $\frac{1}{3} \log_a 27 = \log_a x$	<u>0.605</u>	(6) $2 \log_a 3 + \log_a 5 = \log_a x$	<u>0.667</u>
3. 次の関数のグラフをかけ.			
(1) $y = 3^x$	0.827	(2) $y = \left(\frac{1}{3}\right)^x$	0.802
(3) $y = \log_3 x$	<u>0.605</u>	(4) $y = \log_{\frac{1}{3}} x$	<u>0.506</u>

図 1: 試験問題 2 回目

指数が分数の計算問題 1. (3), 2. (5) と対数関数のグラフをかく問題 3. (3), (4) の正解率が低いことがわかる。特に, $y = \log_{\frac{1}{3}} x$ のグラフをかくことができた学生は、半分しかいなかった。一方, 指数関数のグラフは, 8割以上の学生が正解であった。

1回目の試験でも同じような結果であった。グラフは $y = 2^x$ と $y = \log_2 x$ の2題を出題した。表で $y = 2^x$ は $x = -1, 0, 1, 2$, $y = \log_2 x$ は $x = \frac{1}{2}, 1, 2, 4$ のときの y の値を求めさせてから, グラフをかかせた。正解率は指数関数のグラフが 0.827, 対数関数のグラフが 0.691 であった。

3 教材

理解度調査から、指数関数のグラフの理解度は高いが、対数関数のグラフの理解度は低いことがわかった。そこで、対数関数のグラフを理解させる教材を作成することを目的とした。作成した教材は次の3つである。

- 指数関数のグラフから対数関数のグラフをかくインタラクティブ教材
- 対数の定義と対数関数のグラフを解説する音声付きスライド教材
- インタラクティブ教材の教育効果を検証するための教材

これらの教材は、数学ソフトウェア KeTCindy を用いて作成した。図2はインタラクティブ教材の初期画面と $a = 2$ を入力して、決定ボタンを押した画面である。

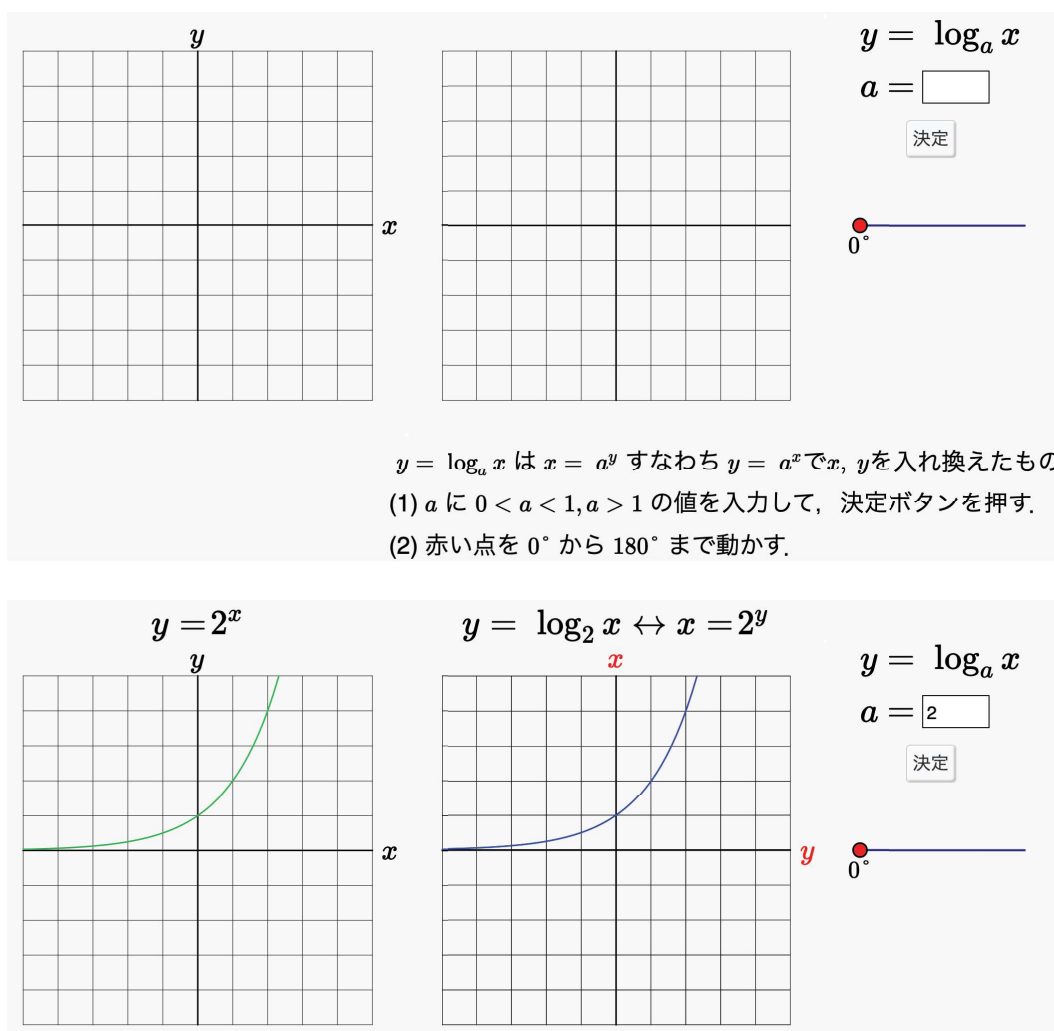


図 2: インタラクティブ教材の画面 1

図3はインタラクティブ教材の右側部分にある角度の点を動かした画面である。この点を動かすと、右側の図が手前に向かって、直線 $y = x$ を軸として、 0° から 180° まで回転する。

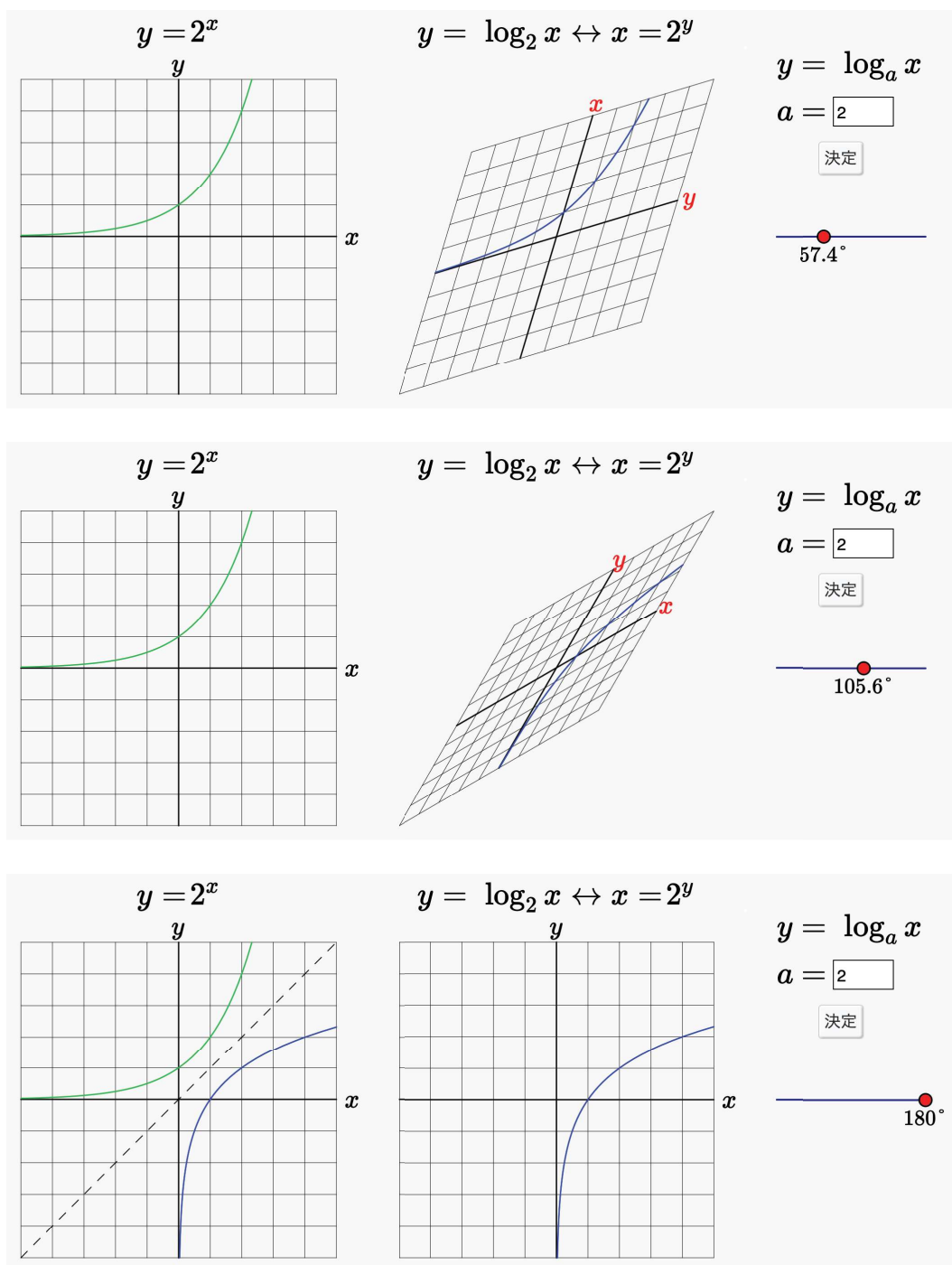


図 3: インタラクティブ教材の画面 2

理解度が高い指数関数のグラフと対数関数の定義から、対数関数のグラフを理解させる教材である。

また、対数の定義と対数関数のグラフを解説する音声付きスライド教材を作成した。教材の前半で、対数の定義、後半で、対数関数のグラフを解説している。時間は約6分間である。図4はスライド教材の1枚である。インタラクティブ教材と同様に、指数関数のグラフを回転させることによって、対数関数のグラフを解説している。

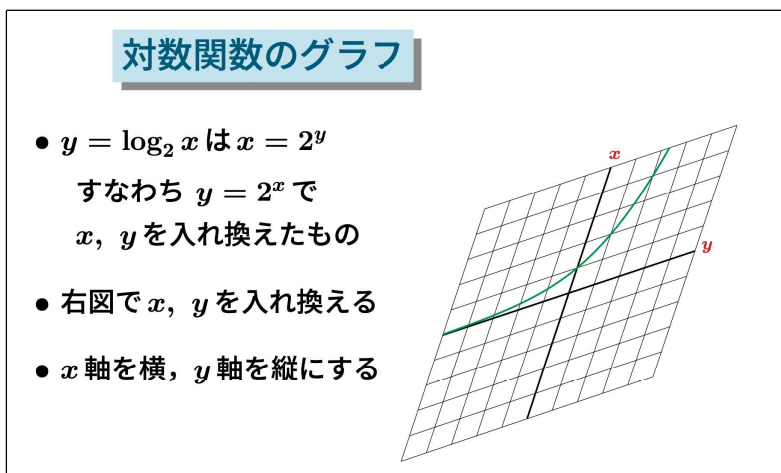


図 4: スライド教材

さらに、インタラクティブ教材の教育効果を検証するための教材を作成した。4題の大問から構成されている。図5はその中の対数の定義に関する2題の問題である。

P1 対数の定義

問題 1 $\log_2 \square{\text{ア}} = 4$

(1-1) 2 (1-2) 4 (1-3) 8 (1-4) 16

問題 2 $\log_3 9 = \square{\text{イ}}$

(2-1) 2 (2-2) 3 (2-3) $\frac{1}{2}$ (2-4) $\frac{1}{3}$

問題 3 $\log_{10} \frac{1}{100} = \square{\text{ウ}}$

(3-1) $\frac{1}{10}$ (3-2) $\frac{1}{1000}$ (3-3) -2 (3-4) -3

問題 4 $\log_2 \sqrt[4]{8} = \square{\text{エ}}$

(4-1) $\frac{1}{4}$ (4-2) $\frac{3}{4}$ (4-3) $-\frac{1}{4}$ (4-4) -4

P2 対数の定義

問題 1 $\log_2 7$ について、 $2^2 < 7 < 2^3$ より、 $\square{\text{ア}}$ が成り立つ。

(1-1) $2 < \log_2 7 < 3$ (1-2) $3 < \log_2 7 < 4$
 (1-3) $4 < \log_2 7 < 6$ (1-4) $6 < \log_2 7 < 8$

問題 2 $\log_2 9$ について、 $\square{\text{イ}}$ が成り立つ。

(2-1) $2 < \log_2 9 < 3$ (2-2) $3 < \log_2 9 < 4$
 (2-3) $4 < \log_2 9 < 5$ (2-4) $8 < \log_2 9 < 10$

図 5: 対数の定義の問題

図6は対数関数のグラフに関する2題の問題である。

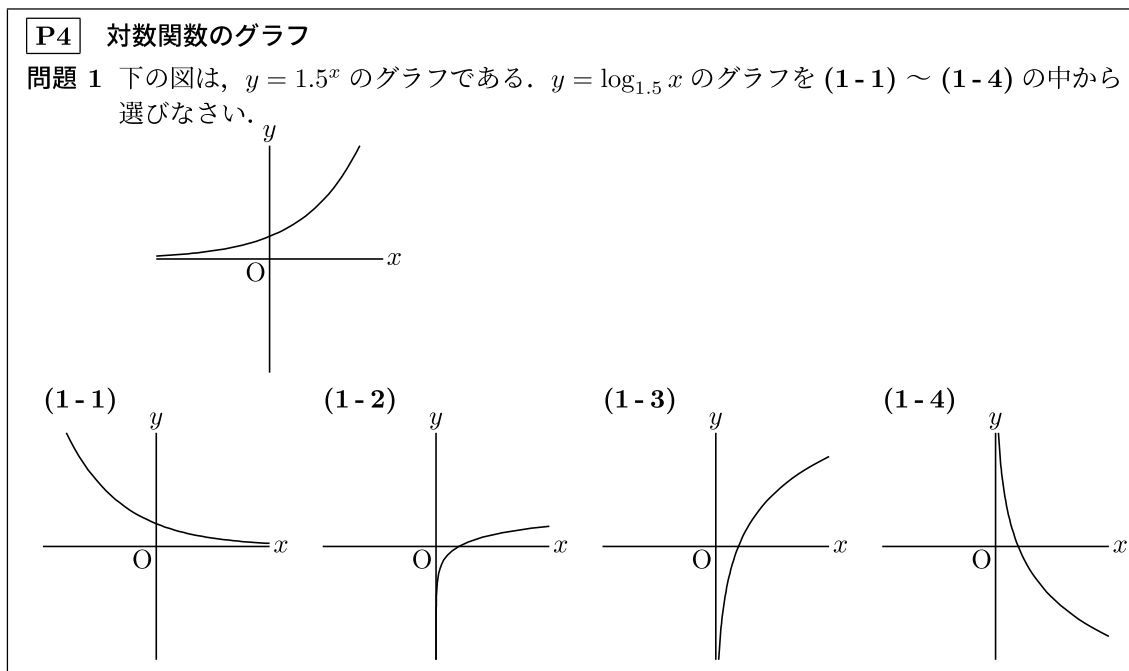
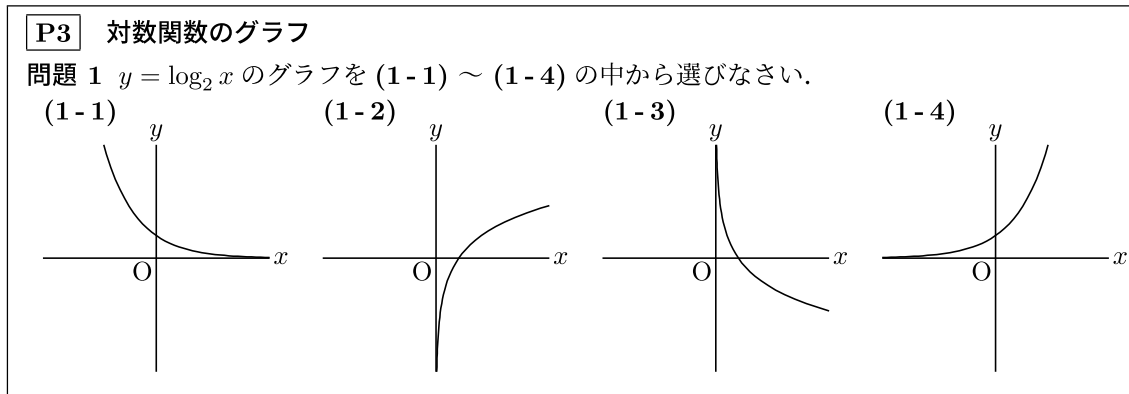


図 6: 対数関数のグラフの問題

指数関数のグラフと対数関数のグラフが直線 $y = x$ に関して対称であるということは、重要な性質である。最後の問題 P4 は、このことを理解しているかどうかについて確認するための問題である。

この教材（問題 P）は学生がインタラクティブ教材、スライド教材で学習する前に用いた。また学習後に用いる教材として、問題 P の類似問題から構成される教材（問題 T）を作成した。問題 T も対数の定義の問題が 2 題、対数関数のグラフの問題が 2 題の合計 4 題である。対数関数のグラフは $y = \log_3 x$ と $y = \log_{2.5} x$ についてである。問題 P と問題 T は紙媒体の教材である。

実験授業では、これら 3 つの教材、インタラクティブ教材、音声付きスライド教材および問題からなる教材を用いた。

4 実験授業

インタラクティブ教材の教育効果を検証するために実験授業を実施した。学生は問題に解答するときに、認知検出クリッカー Cognitive Detection Clicker（以下、CDC）を用いた。CDCには、問題番号を回答する4つのボタンと答えを回答する4つのボタンがある（図7）。

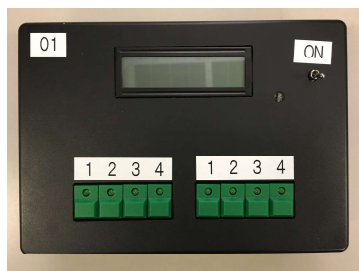


図 7: CDC

ボタンの選択番号と回答時間は、親機のコンピュータに無線通信で送られる。学生はコンピュータを使用しないため、一般の教室で実験授業を行うことができる。すなわち、通常の学習環境下で実験が可能である。

実験授業は、インタラクティブ教材を使うグループ A と使わないグループ B に対して、下記のように実施した。2つのグループの学力は同程度である。

- 実施日：2021年7月8日 グループ A ， 7月14日 グループ B
- 場所：福島高専教室
- 対象：福島高専2年生
グループ A 40名，グループ B 39名
- 実験授業の進行
 1. CDCによる回答の練習
 2. 事前テスト 問題 P（8分）
 3. スライド教材で学習（約6分）
 4. インタラクティブ教材で学習（約6分） グループ A のみ
 5. 確認テスト 問題 T（8分）

インタラクティブ教材での学習において、学生は各自のスマートフォンを使用した。また、アクセスが集中して通信の問題が起こることを防ぐために、インタラクティブ教材を複数のwebサイトに置いた。学生にはアクセスするwebサイトをそれぞれ指定した。

事前テストと確認テストの解答時間は、1問（1枚）につき2分間である。2分経過後にページをめくるように指示した。また、2分間の解答時間内であれば、CDCを使った解答は何回でも訂正することができる。

スライド教材は教室前方のスクリーンに映し、音声はスピーカーを使って流した。

5 検証結果

実験授業の結果を検証した。確認問題 T4 に不備があったため、P4 と T4 は検証の対象外とした。はじめに、グループごとの学習前後の正解率について、有意水準 5% で対応のある片側検定をした。表 1 はその検定結果である。

表 1: 学習前後の正解率についての検定

	グループ A				グループ B			
	<i>t</i> 値	<i>p</i> 値	平均差	有意差	<i>t</i> 値	<i>p</i> 値	平均差	有意差
P1-T1(1)	-0.33	0.37173	-0.03	なし	1.14	0.86891	0.08	なし
(2)	-1.53	0.06670	-0.12	なし	-1.53	0.06672	-0.13	なし
(3)	-2.21	0.01649	-0.17	あり	-2.08	0.02197	-0.10	あり
(4)	-0.83	0.20613	-0.07	なし	-1.28	0.10502	-0.10	なし
P2-T2(1)	0.44	0.66978	0.03	なし	0.00	0.50000	0.00	なし
(2)	-2.73	0.00478	-0.20	あり	-1.97	0.02833	-0.15	あり
P3-T3	-3.67	0.00036	-0.30	あり	-0.83	0.20622	-0.08	なし

P1-T1(3) と P2-T2(2) は、両方のグループで有意差がある。対数の定義に関する問題であり、これはスライド教材による学習効果と考えられる。P3-T3 は、グループ A のみに有意差がある。対数関数のグラフに関する問題であり、インタラクティブ教材による学習効果と考えられる。スライド教材でも対数関数のグラフについて解説しているが、それだけでは学習効果は不十分であった。

グラフの問題 P3 と T3 の結果について、さらに詳しく検証する。表 2 は P3 と T3 について、正解した学生と誤りであった学生のグループごとの度数 (人) である。

表 2: P3 と T3 の正誤の度数

グループ A		P3			グループ B		P3		
		正	誤	計			正	誤	計
T3	正	23	13	36	T3	正	22	8	30
	誤	1	3	4		誤	5	4	9
	計	24	16	40		計	27	12	39

誤りから正解になった学生は、グループ A では 13 人、グループ B では 8 人であった。

次に、解答が改善された学生の解答までに要した時間について検証した。図7と図8はグループ A, B について、それぞれ誤りから正解になった学生の解答の時系列のグラフである。横軸は時間、縦軸は学生を表している。

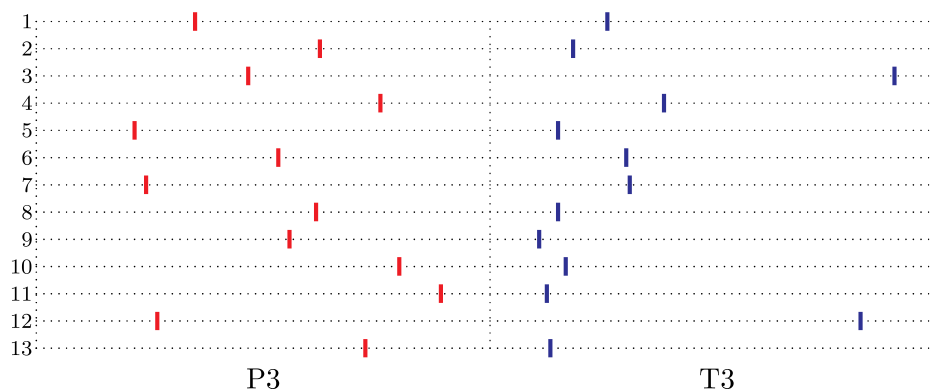


図 8: グループ A で誤りから正解になった学生の解答の時系列のグラフ

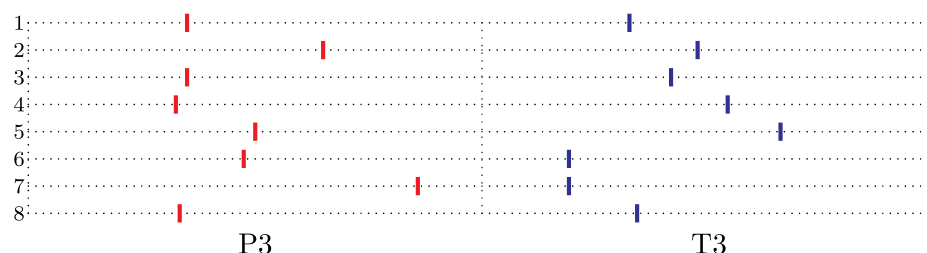


図 9: グループ B で誤りから正解になった学生の解答の時系列のグラフ

図8からグループ A は、スライド教材とインタラクティブ教材での学習の前後で、解答時間が短くなっていることがわかる。一方、図9からグループ B は、スライド教材での学習の前後で、解答時間はあまり変化していない。

さらに、解答が改善された学生の学習前後の解答時間について、有意水準 5% に対応のある片側検定をした。表 3 はその検定結果である。

表 3: 解答が改善された学生の学習前後の解答時間についての検定

	グループ A				グループ B			
	t 値	p 値	平均差	有意差	t 値	p 値	平均差	有意差
P3-T3	2.13	0.02724	28.38	あり	0.87	0.20750	10.50	なし

グループ A のみに有意差がある。インタラクティブ教材での学習によって、解答が改善されるとともに、解答時間も短くなる。すなわち理解度がより高くなると考えられる。

6 まとめと今後の課題

今回の実験授業では、音声付きスライド教材とインタラクティブ教材を用いた。スライド教材による学習は、通常の授業や遠隔授業と同じ形態であり、学生は受動的に学習する。一方、インタラクティブ教材による学習は、学生自身が自由に図形を動かし、能動的に学習する。対数の定義に関する問題では、スライド教材で学習したことによって、改善された問題があった。対数関数のグラフに関する問題では、スライド教材だけでは十分に理解させることはできず、インタラクティブ教材で学習したグループにおいてのみ、正解率が改善された。さらに解答時間についても短くなった。これまで微分積分の授業などをしていて、対数関数のグラフの理解があまり定着していないのではないかと捉えていた。実験結果からインタラクティブ教材によって、その理解度を高めることができると考えられる。

スライド教材については、問題点を検証する必要がある。学習は授業が基本であり、スライド教材による学習効果の検証が授業改善につながる。そのために同様のスライド教材を用いて、視線計測実験を行う。学生の視線を追うことによって、文章と図の配置および説明方法を改良する。また、対数関数以外の分野のインタラクティブ教材も作成していく。これらをwebサイトに置き、学生が授業の予習と復習で利用できるようにする。授業とインタラクティブ教材を効果的に組み合わせることによって、学生の理解度を高めていきたい。

7 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K03021 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 西浦孝治, 高遠節夫, 白井邦人, 鈴木正樹, 三角関数におけるアニメーション教材の開発と実験授業による検証, 京都大学数理解析研究所講究録 2178, pp.11-20, 2021.
- [2] M. Kaneko, S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, Y. Nakamura, U. Kortenkamp, S. Takato: KeTCindy –Collaboration of Cinderella and KeTpic, The International Journal for Technology in Mathematics Education, 22-4, pp.179–185, 2015.
- [3] 西浦孝治, 高遠節夫, 白井邦人, 鈴木正樹, 実験授業における KeTCindy の効果的利用, 城西大学数学科数学教育紀要 2, pp.42-48, 2021.