

# 数学教材における視線移動の定量的分析について

福島高専・一般教科 西浦 孝治

Koji Nishiura

General Education, National Institute of Technology, Fukushima College

函館高専・生産システム工学科 東海林 智也

Tomoya Tokairin

Production Systems Engineering, National Institute of Technology, Hakodate College

## 1 はじめに

教員はある意図を持って、授業を設計し、また教科書や教材を作成する。しかし、その意図通りに学生が学習するかどうかを把握することは難しい。文章をすべて丁寧に読み、図も参照しているかなどについてである。学習者の視線移動の特性を捉えることは、学習過程を把握することに有用であると考えられる。これによって、文章や図の内容とそれらの配置を改善することができる。

これまで図を含む数学教材について、視線移動の定性的分析を行なった ([1])。それによって、教材の中でじっくりと読んでいる部分、読んでいない部分などが分かる。また、図を見ていない、図の着目してほしい部分を見ていない、などが分かる。しかし、視線移動の特徴や時間を明確に捉えることはできない。著者の一人（東海林）が2020年に開発したプログラムによって、視線移動の定量的なデータも取得可能となった。それは視線の位置座標と時刻のデータである。これらのデータをどのように活用するかについて研究し、次の3つの方法を考えた。

- 視線移動と時間を示す連続な図による分析
- 視線の位置を示す時系列のグラフによる分析
- 時間による分析

はじめの2つの方法では、得られたデータをグラフによって視覚化する。3つ目の方法では、教材の中の区分けしたブロックごとに、そこに視線がある合計時間を求める。今回、対数関数のグラフについての教材を用いて、視線計測実験を行った。そして、これらの3つの分析方法を試みた。

このような実験のときには、教材も重要である。そのため視線移動の特徴を捉えるのに適した教材を作成した。その際、数学ソフトウェア KeTCindy を用いた ([2])。さらにデータ処理とそれらのグラフによる視覚化も KeTCindy によって行った ([3])。

本稿では、視線移動の定量的分析方法とそれを用いた視線計測実験の結果について述べる。

## 2 視線計測

今回の視線計測は、27インチモニターの下部に取り付けられた視線測定機によって行った(図1)。被験者の角膜に近赤外線を照射し、眼球の動きを映像解析する。そして、被験者の注視点がアイマークとしてスクリーン上に表示される。これまでは、視線が図1の灰色のアイマークの曲線内にあるという情報しか得られなかった。しかし、図1のモニターの画面の左上に表示されている視線の位置座標と時刻のデータを新たに取得できるようになった。ただし、この画面は視線計測後に解析して、表示したものであり、被験者からは位置座標と時刻は見えない。

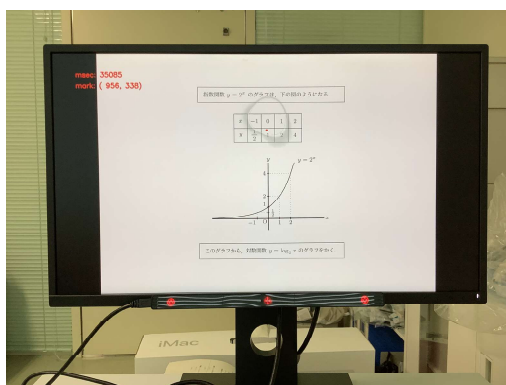


図 1: 視線測定機とモニター

使用した教材は対数関数のグラフについてである。この分野については、2021年に実験授業を行った([4])。このときの教材を基本として、視線計測に適した教材を作成した(図2~図5)。

指数関数  $y = 2^x$  のグラフは、下の図のようになる。

$x$	-1	0	1	2
$y$	$\frac{1}{2}$	1	2	4

このグラフから、対数関数  $y = \log_2 x$  のグラフをかく。

図 2: 教材ページ 1

対数の定義は  $y = \log_a x \iff x = a^y$  である.

[例]  $2^3 = 8$  より  $\log_2 8 = 3$  となる.

$y = \log_2 x$  は  $x = 2^y$  である.

すなわち,  $y = 2^x$  で  $x$  と  $y$  を入れ換えたものである.

縦軸を  $x$  軸, 横軸を  $y$  軸とすると,  $x = 2^y$  のグラフは下の図のようになる.

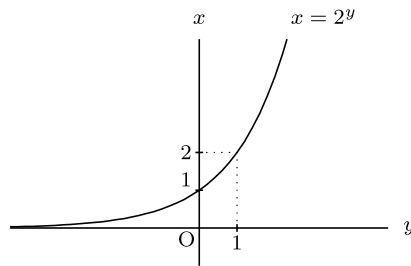
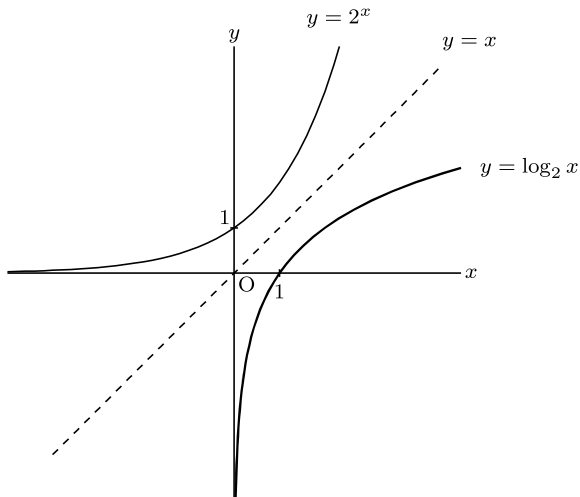


図 3: 教材ページ 2

対数関数  $y = \log_2 x$  のグラフの性質

(1) 指数関数  $y = 2^x$  のグラフと直線  $y = x$  に関して対称である.



(2) 定義域は  $x > 0$  である.

(3) 値域は実数全体である.

(4) 単調に増加する.

(5) 点  $(1, 0)$  を通る.

(6)  $y$  軸を漸近線とする.

図 4: 教材ページ 3

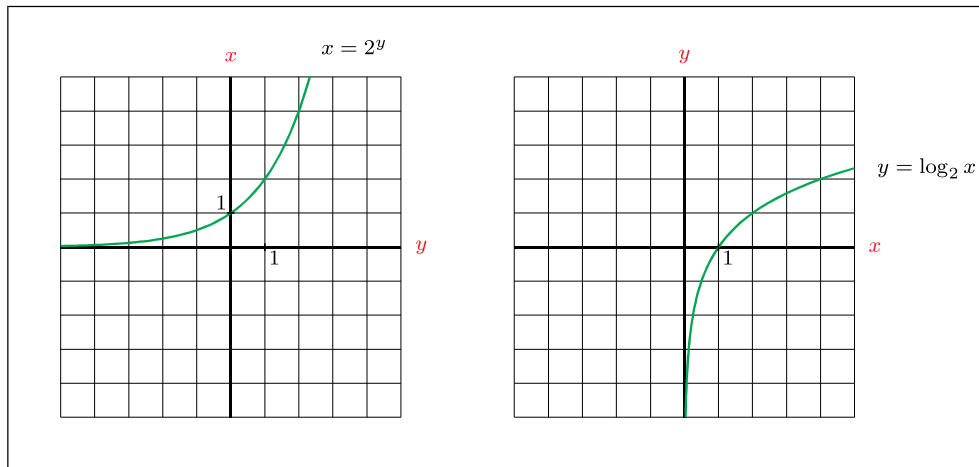


図 5: パラパラ動画

ページ 1 は指数関数のグラフの例で，導入部分である（図 2）．ページ 2 は対数関数のグラフの説明で，この教材の主となる部分である（図 3）．最後のページ 3 はまとめである（図 4）．また指数関数のグラフが直線  $y = x$  を軸に回転し，対数関数のグラフになるパラパラ動画も作成した（図 5）．図 5 の左の図が回転し，右の図になるものである．これはページ 2 とページ 3 の間に置いた．

視線の位置を明確にするために，各ページはいくつかのブロックに分けて四角の枠で囲んだ．また，それぞれの間隔を広くとった．例えば，図 3 のページ 2 は 4 つのブロックと 1 つの図から構成されている．

この教材を用いて，次のように視線計測実験を実施した．

- 実施日：2022 年 6 月 17 日 14 時 45 分～16 時 10 分
- 場所：福島高専 ゼミ室
- 対象：福島高専 3 年生 6 名
- 実験の進行
  1. 視線計測の説明（約 1 分）
  2. キャリブレーション（約 1 分）
  3. 計測（2 分 7 秒）
    - ページ 1（30 秒）→ ページ 2（40 秒）→ パラパラ動画（17 秒）→ ページ 4（40 秒）
  4. 感想などの聞き取り（約 1 分）

被験者は対数関数について，1 年生のときに学習している．6 名の内訳は，学力上位者，中位者，下位者がそれぞれ 2 名である．以下，学力が高い順に被験者 1，被験者 2，…，被験者 6 とする．被験者ごとに眼球の大きさや位置が異なるため，計測前にキャリブレーションを行う必要がある．計測では，モニター上にパラパラ動画を含む教材を自動でページ送りして映した．

### 3 視線移動の定量的分析

#### 3.1 視線移動と時間を示す連続な図による分析

視線移動と時間を示す連続な図による分析では、視線の移動を矢印で、また視線がそれぞれの位置にある時間を円の大きさで表す図を作成した。図6は被験者1のページ2の57枚の連続な図の中の2つの図である。ページ2ではブロック1を3つの部分、ブロック2を2つの部分、ブロック3を4つの部分、ブロック4を4つの部分に分けた。また図も指数関数のグラフ、 $x$ 軸、 $y$ 軸、7つの文字の部分に分けた。

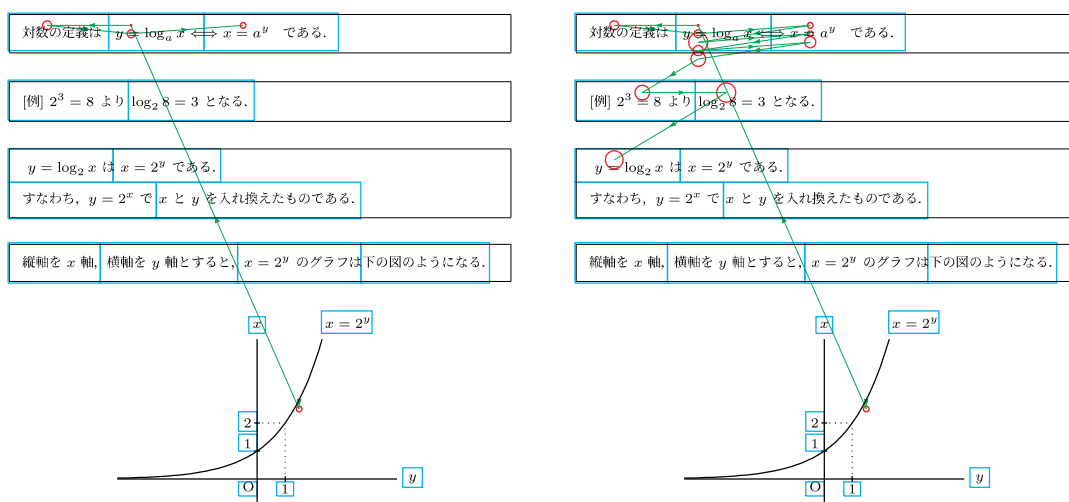


図 6: 視線移動と時間を示す図

図6の右の図から、被験者1はブロック1の2番目と3番目の部分を3回往復して見ている。また、円の大きさから1回目よりも2回目、3回目の方が時間をかけている。その後、ブロック2の例を1回読み、ブロック3に移動している。この連続な図から視線移動の大局的なようすを捉えることができる。紙面では明示することはできないが、被験者ごとに視線移動の速さや大きさなどの特徴が分かる。例えば、被験者1は視線移動の速さは遅く、移動の大きさは小さい。すなわち、文書や図を1つ1つ丁寧に、順番通りに見ている。

#### 3.2 視線の位置を示す時系列のグラフによる分析

視線の位置を示す時系列のグラフによる分析では、横軸が時間、縦軸がページ内の各部分のグラフを作成した。図7と図8はページ2(40秒)のそれぞれ被験者1と5のグラフである。縦軸は、上からブロック1の3つの部分から始まり、グラフの各部分までを表している。したがって、ページ内の上から下、左から右の順番になっている。また、枠で囲ったブロックについて1つおきに色分けした。これによって、ブロック間の移動が分かりやすくなる。

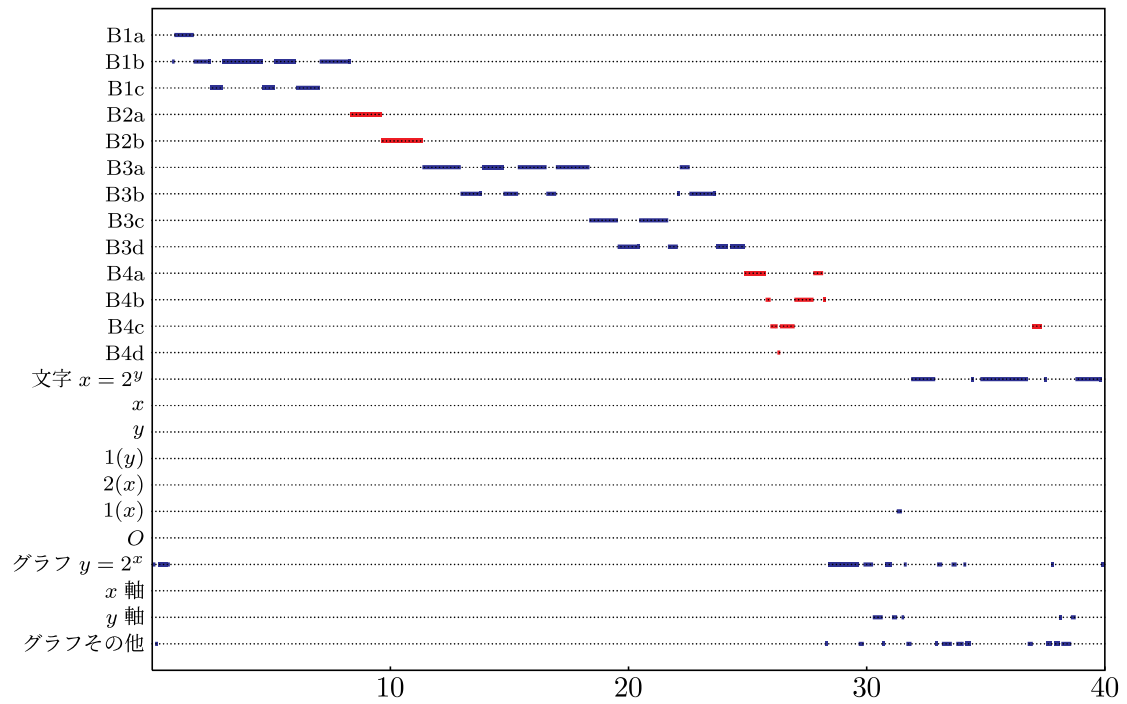


図 7: 視線の位置を示す時系列のグラフ (被験者 1)

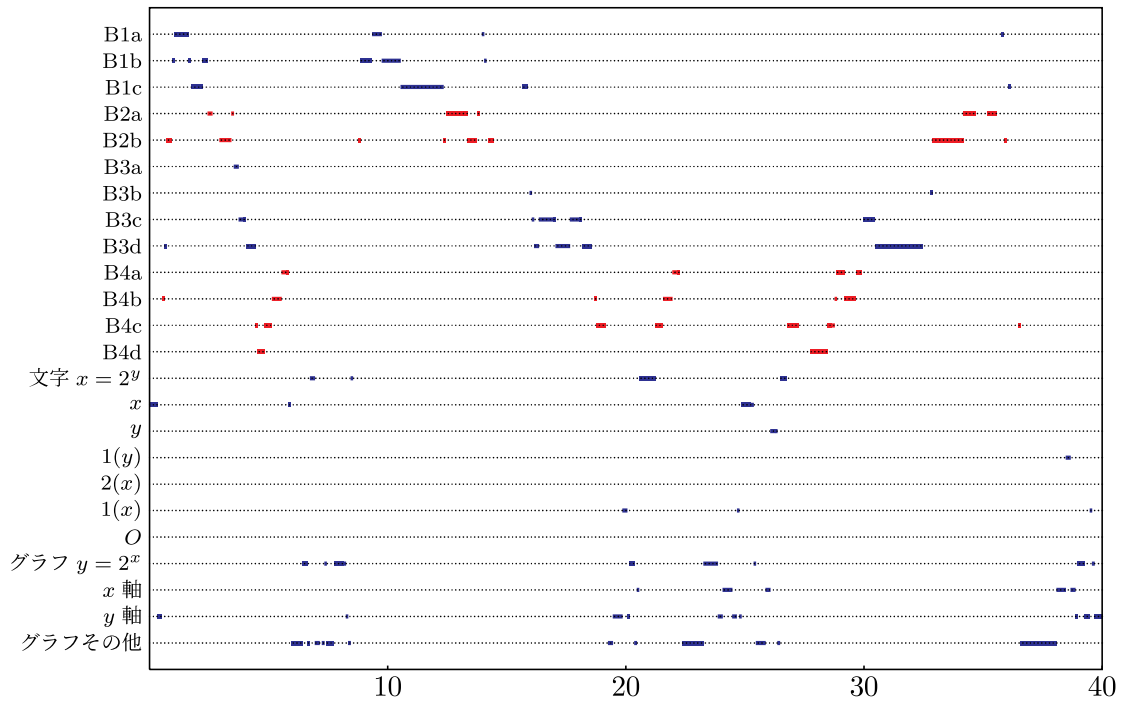


図 8: 視線の位置を示す時系列のグラフ (被験者 5)

被験者1 (図7) と被験者5 (図8) を比較すると、次のような視線移動の特徴が得られる。

- 被験者1の視線は上から下、左から右へと移動しているが、被験者5は、必ずしもそのようになっていない。
- 被験者1はそれぞれの部分に時間をかけてから次に移動している。すなわち、じっくりと読んでいることが分かる。一方、被験者5は各部分の時間が短く、視線の移動が速い。

### 3.3 時間による分析

時間による分析では、各ブロックと図に視線がある合計時間の表を作成した。表1はページ2 (40秒) についての6人の被験者の結果である。

表 1: 時間の表

被験者	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	図	合計
1	7.5	3.0	13.4	3.8	8.8	36.5
2	3.4	2.9	9.7	9.6	9.0	34.6
3	5.5	4.9	9.2	6.0	8.2	33.8
4	2.6	3.8	13.9	5.7	4.4	30.4
5	5.6	5.1	6.2	5.7	8.1	30.7
6	8.9	8.7	5.8	3.9	1.2	28.5
平均	5.6	4.7	9.7	5.8	6.6	32.4

(単位：秒)

表1から時間について、次のことが分かる。

- 図について、被験者4, 6の時間が短い。他の4人は約8秒であるが、被験者4は4.4秒、被験者6は1.2秒である。
- ブロック3と4は、ページ2の主となる部分であるが、その2つの合計時間について、被験者5, 6が短い。特に被験者6は基礎的なブロック1と2に多くの時間をかけている。
- 合計について、被験者4, 5, 6の時間が短い。ページ2の時間は40秒であるが、そのうちの25%にあたる約10秒は、視線が文章や図の部分にない。同様の傾向がページ1と3でも見られた。

## 4 まとめと今後の課題

視線移動の定量的なデータを用いる3つの分析方法について考察した。これらの方法によって、被験者ごとに視線移動の傾向があり、数学の学力と視線移動の特徴の関係を考察することができた。視線移動と時間を示す連続な図による分析と視線の位置を示す時系列のグラフによる分析では、読む（見る）順番、速さについての傾向が分かった。また、時間による分析では、教材の主要部分である難しいところを読んでいる時間や実際に読んでいる正味の時間についての傾向が分かった。今回の視線計測実験で改善するところは、理解度を確認するためのテストを行わなかったことである。教材の効果を分析する実験ではないが、視線計測の前後で問題を解かせ、教材の理解度と視線移動の特徴の関係を考察した方がよかった。

定量的なデータの分析方法が確立されつつあるが、さらに改善する。また別の分析方法についても考える。そして、次のような視線計測実験を行い、これらの方法を用いて分析する。

- 教材のページ全体ではなく、教材作成者が読んでほしい部分だけを順番に映していく教材を用いた実験
- 解説音声を含む教材と含まない教材を比較する実験
- 文章および図が異なる配置の教材を比較する実験

さまざまな視線計測実験によって、学生の学習行動を分析する。その分析から学習支援と教授法構築へと結びつけていきたい。

## 5 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, 視線測定に基づく図の効果的利用, 京都大学数理解析研究所講究録 2105, pp.160-169, 2019.
- [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.
- [4] 西浦孝治, 高遠節夫, 白井邦人, 鈴木正樹, インタラクティブ教材の開発と教育効果の実験的考察, 京都大学数理解析研究所講究録 2178, pp.11-20, 2021.