

自然な数学記述によるグラフ作成ツールの評価

武庫川女子大学・情報メディア学科 岩永 和好, 西田 ななみ, 藤井 志帆, 吉澤 知里
Wazuka Iwanaga, Nanami Nishida, Shiho Fujii, Chisato Yoshizawa, School of Human
Environmental Sciences, Mukogawa Women's University
武庫川女子大学・生活環境学研究科 福井 哲夫
Tetsuo Fukui, Graduate School of Human Environmental Sciences, Mukogawa
Women's University

1 はじめに

2011年4月に文部科学省により教育の情報化の促進に当たった基本的な方針として教育の情報化ビジョンが公表され、「デジタル教科書」の導入により教育の向上を目指すことが明らかにされた [1]。その中で文部科学省はデジタル教科書のメリットとして、デジタル教材と連携しながら一体的に使用することによって、教育活動の充実が図れることを謳っている [2]。具体的には理科であれば実験の様子を映像で見ることができ、英語であれば正しい発音を音声として聞くことが期待されている。そして数学においては、立体図形の展開や回転など図形・グラフを操作しながら理解を深めることが期待されている。すなわち、連携すべきデジタル教材としてグラフ作成ツールが重要であると考えられる。しかしながら、既存のグラフツールでは学校教育において使用するには問題が多々あり、今後の課題でもある。

この問題点を解決するために、2018年に我々は、「自然な数学記述によるグラフ作成ツール MathTOUCH グラフ」を提案した [3]。その特徴は、数式入力のしやすさや、グラフの描画命令が教科書と同じ自然な表現であることが挙げられる。

そこで、本研究では、MathTOUCH グラフを実際に生徒・学生に使用してもらい有効であるか実験・評価することを目的とする。

以下では、第2章で従来のグラフツールとその問題点について、第3章でその問題を改善したグラフツールの先行研究について解説し、第4章で MathTOUCH グラフが有効であるかを実験 I、実験 II に分け実施し、MathTOUCH グラフが有意に有効であったことを述べる。

2 従来のグラフツールと問題点

既存のグラフツールの有名なものとして、数式処理システム Mathematica のグラフ描画機能や、MacOS に付属するユーティリティソフト grapher [4]、世界中で利用者されている GeoGebra [5] があげられる。例えば GeoGebra の場合は、図 1 のようになっており、グラフをきれいに書くことができる。しかし、デジタル教科書とともに使用したとき、GeoGebra には次のような問題点がある。

1. グラフの関数式を入力するために、数式パレットで記号を選ぶか、LaTeX形式の文法に従って入力しなければならず、初学者にとっては負担である。例えば $\frac{1}{3}x^2$ は $(1/3)*x^{(2)}$, $\frac{\pi}{2}$ は $\backslash\text{frac}\{\pi\}\{2\}$ と表現する。
2. 数式ラベルをグラフ内に記述する際も数式入力の手間である。
3. 正確な数式で座標点を打つ際に面倒である。例えば $(\frac{\pi}{2}, 1)$ は LaTeX で打つ必要がある。最初はパレットから点ツールを選択し、マウスで目分量によってプロットする。しかし、 $(\sqrt{2}, 2)$ や $(\frac{\pi}{2}, 1)$ のような無理数の座標を正確に打つことは出来ず、数式入力が後で必要になる。

これらの問題点は GeoGebra に限らず Mathematica や他のグラフツールでも同じことが言える。

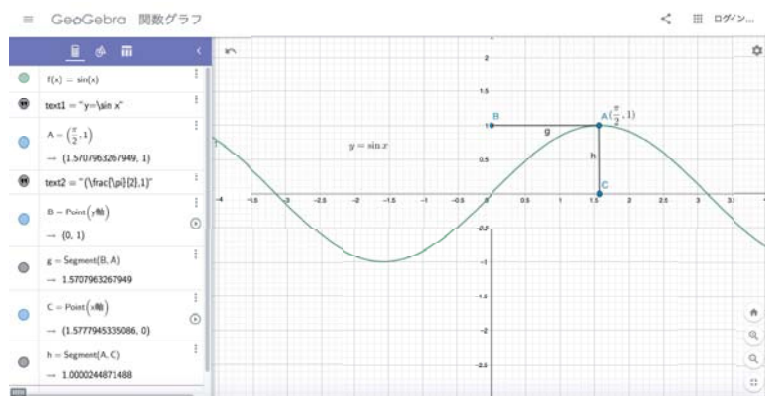


図 1: GeoGebra によるグラフ作成画面

3 先行研究

第2章でも述べたように、これまでの既存のツールでは関数のグラフを定義する数式の入力は、初学者にとって不自然で負担が大きい。そこで、この問題を改善するため2012年に著者である福井により、システムが最適候補を予測して入力できるインタフェース MathTOUCH を提案した。例えば、 $1/a^2+3$ といった曖昧な文字列を打つと自動で最適な数式 (例: $\frac{1}{a^2+3}$) を予測し、候補を出し変換することができる。この MathTOUCH を使用して、2018年に富永・遠藤・福井によって、自然な数学記述によるグラフ作成ツール「MathTOUCH グラフ」が試作された [3]。

ここでは2018年に作製された「MathTOUCH グラフ」の利便性向上のため改良した部分について MathTOUCH そして MathTOUCH グラフの使い方と共に解説する。しかし、数式入力時の MathTOUCH ウィンドウとグラフ作成ウィンドウが異なり、切替が

面倒であったことや数式記号のキーワードがわからないといった問題点があった。一方、グラフ作成にも、グラフ要素を指示するスクリプトの編集操作が煩雑でもあった。本研究では MathTOUCH の改善点を 3.1 節で、グラフツールの改善点を 3.2 節で説明する。

3.1 数式入力改善

MathTOUCH は JavaScript で開発され、Web ブラウザ上で動作する Web アプリケーションとして利用できる。数式の入力を、キーボードにより仮名漢字変換のように変換候補を選択しながら入力することができる。数式は一般的に 2 次元コードをもち、1 次元的な文字列だけで扱うことはできない。MathTOUCH では図 2 のように、1) 数式を線型文字列で入力すると、2) システムが候補を予測しリストで表示する。3) リストから所望の数式を選択することで二次元表記の数式が得られる。

今回、改善点としては図 3 のような「数式入力パレット」の追加を行った。これは、数字、数式、数学でよく行われるアルファベットやギリシャ文字、さらに入力が必要な Enter ボタンや移動ボタン、バックスペースボタンが配置されており、各ボタンをクリックすることで視覚的に数字や数式などを入力し、確定/削除を行うことが可能である。この機能を追加した目的はキーボードで入力することになっていないユーザや数式の読み方がわからない人に対して利便性を高めるためのものである。2018 年に行われた総務省の「平成 29 年通信利用動向調査」によると、本研究のターゲットである中高生（13～19 歳）のスマートフォン利用率は 82.2 % で、その次に利用率の高いのはパソコンであるがその割合は 56.6 % とスマートフォンに比べて 20 % 程度も低いという結果が出ている [6]。すなわち本研究のターゲット世代は普段はスマートフォンのフリック入力を使用するため、パソコンでのキーボード入力に不慣れであると予測できる。また、キーボードやパソコン操作に弱いパソコン初心者や数学で使用されるさまざまな数式や文字を入力することに抵抗がある者に対して、この数式入力パレットは有効であると考えられる。



図 3: 数式パレット

図 2: MathTOUCH による数式の変換

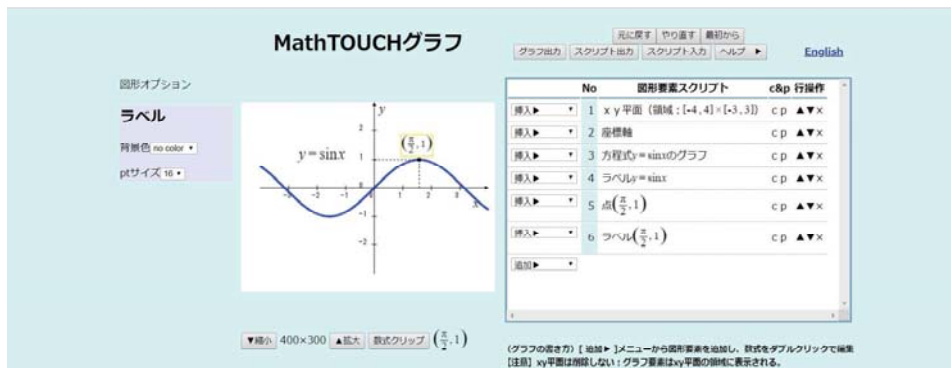


図 4: MathTOUCH グラフの実行画面

3.2 グラフツールの改善

ここではグラフ作成ツールの MathTOUCH グラフについて解説する。MathTOUCH グラフの実行画面は図 4 のようになっている。右側に描画するための図形要素スクリプト記述エリア，中央にそのスクリプトにより描画されたグラフが表示され，その左側に表示オプション設定エリアが位置する。図 4 の例では，「x y 平面」，「座標軸」，「方程式のグラフ」，「数式ラベル」と「点」の 5 つの図形要素が記述されている。図 2 のように図形要素スクリプト左側にある「挿入／追加 →」ボタンはプルダウンメニューになっており，選択した「図形要素スクリプトサンプル」がその行に挿入され，同時にその図形要素がグラフ表示キャンパスに描かれる。

例えば，記述する図形要素スクリプトは，[方程式 $y = \sin x$ のグラフ] のように自然な記述で入力できるようになっている。この $y = \sin x$ のようなグラフや点座標のための数式は，ダブルクリックすることによって，図 2 のように MathTOUCH が起動し，キーボードまたは数式入力パレットで所望の数式に編集して入力することができる。すると，入力した式がグラフ表示キャンパスに表示される。また，数式はコピー&ペーストで置換することも可能である。図形要素スクリプトの順番は，どの図形要素も xy 平面上に描く必要があるため，必ず先に xy 平面の表示範囲を定義し，その後，そのほかの図形要素を記述する。記述した図形要素は上から順に描画され，複数の要素を表示することができる。表示オプション設定エリアでは，線の太さや色など図形要素に応じた表示オプションパラメータを変更することができる。グラフ表示キャンパスにある点やグラフの線を選択すると，それぞれに応じた表示オプションが表示される。例えば，グラフの線をほかの色に変更することや，点の補助線を追加することができる(図 4)。他には数式ラベルのフォントサイズやグラフの線の太さを変更することが可能である。さらに図形要素スクリプト記述エリアの上にある「グラフ出力」ボタンによって，作成したグラフの保存や Word や PowerPoint などに貼り付けることもできる。この機能は，生徒だけでなく教員のテストやプリント作成時にも役立つはずである。

4 MathTOUCH グラフの評価

ここでは、第2章で述べた問題点をどの程度改善できているのか、グラフツールとして十分に使うことができるのか、MathTOUCH グラフの有効性を確かめるため、高校生に対してツールを使った教育実践を行い反応をみる（実験Ⅰ）、および大学生に対して MathTOUCH グラフと GeoGebra を使ったグラフ作成タスクによる比較実験（実験Ⅱ）を行ったので報告する。

4.1 実験Ⅰの評価の方法

実験Ⅰでは MathTOUCH グラフの本来のターゲットである高校生 40 人にグラフ作成指導と演習及び 8 つの項目（(1) 容易な数式入力, (2) きれいな数式表示, (3) 座標の指定のしやすさ, (4) 図形記述の読みやすさ, (5) 修正のしやすさ, (6) 操作のスムーズさ, (7) 容易な操作ルール, (8) 再利用意向）でアンケートを実施し、主観満足度を測り有効性を確かめた。始めに手本のグラフの作成演習をし、その後自由グラフの課題演習を行った。図 5 は本研究に参加した高校生が MathTOUCH グラフを利用して、模範図形を作成したグラフの一例である。主観満足度を評価するためのアンケートを以下に示す。

[アンケート原文]

- (1) 数式の入力はしやすかったですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (2) 数式はきれいに表示できましたか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (3) $(\sqrt{2}, 2)$ や $(\frac{\pi}{2}, 1)$ など、点の座標は指定しやすかったですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (4) 図形要素スクリプト（グラフや点の指示文）は読みやすかったですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (5) ミスしたときのやり直しは面倒ではなかったですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (6) スムーズにグラフを描くことができましたか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (7) 操作のルールは馴れやすかったですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う
- (8) 今後もグラフを描く機会があったときは、またこのツールを使ってみたいですか？
① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う

4.2 実験Ⅰの結果

実験Ⅰのアンケートによる主観満足度の結果を表 1 に、その割合のグラフを図 6 に示す。表 1 の各アンケート項目に対し、①～⑤の 5 段階の度数を記した。(1)「容易な数式入力」においては「強くそう思う」「そう思う」をあわせて全体の 74 %、(2)「きれいな数式表示」では 74 %、(4)「図形記述の読みやすさ」が 61 %、(6)「操作のスムーズさ」

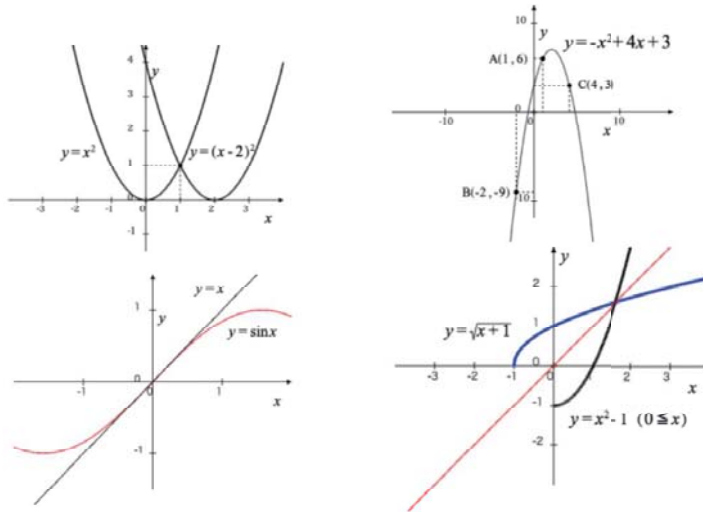


図 5: 実験 I の作図練習グラフ

が 62%，(7)「容易な操作ルール」が 77%と、全体的に高い評価を得られた。特に、もう一度 MathTOUCH グラフを利用したいという (8)「再利用意向」は、87%という高い評価を得た。しかし、(5)「修正のしやすさ」においては「強くそう思う」「そう思う」が 28%と満足度が低く、課題が残る結果となった。

表 1: 実験 I の主観満足度結果

評価項目	①(人)	②(人)	③(人)	④(人)	⑤(人)
(1) 容易な数式入力	0	3	7	25	8
(2) きれいな数式表示	0	1	6	23	13
(3) 座標の指定しやすさ	0	2	10	26	5
(4) 図形記述の読みやすさ	0	2	15	17	8
(5) 修正のしやすさ	4	12	12	11	4
(6) 操作のスムーズさ	1	1	13	16	12
(7) 容易な操作ルール	0	5	9	19	10
(8) 再利用意向	1	1	6	24	11

① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強くそう思う

4.3 実験 II の評価の方法

実験 II では大学生 38 人に、方程式 $y = \sin x$ のグラフ上に点や数式ラベルを含めた図 1 あるいは図 4 と同様のグラフをそれぞれ GeoGebra と MathTOUCH グラフを利用して作成してもらい、それぞれに掛かったタスク時間を測定した。また、GeoGebra と MathTOUCH グラフの主観満足度についてもアンケートによって比較評価してもらった。

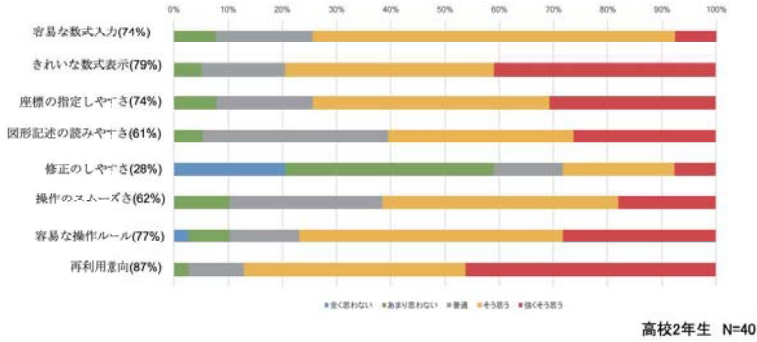


図 6: 実験 I の結果

4.4 実験 II の結果

同一内容のグラフを 2 つのグラフツールで作成した各タスクの平均時間は、GeoGebra では 234 秒、MathTOUCH グラフでは 124 秒で、GeoGebra は MathTOUCH グラフの約 2 倍もの時間がかかっていることがわかった。さらにグラフを作成後、実験 I と同様の 8 つの項目における主観満足度アンケート結果は表 2 のようになった。「GG」が GeoGebra の結果、「MT」が MathTOUCH グラフの結果である。2 つのグラフを見てみると、おおむね項目 (3) の「座標の指定のしやすさ」以外は「強く思う」「そう思う」あわせて 70~80% の割合を占めている。表 2 の 11, 12 列目が MT, GG の 5 段階評価の平均値である。有意差の有無をウィルコクソンの符号付順位検定で確認し、表 2 の 13, 14 列目にまとめた。

この結果、項目 (3) の「座標の指定のしやすさ」において p 値 = 0.002 という有意差がみられ、それ以外の 7 項目は差がなかった。したがってこの 7 項目は GeoGebra と同等の評価を得、3 番目の項目である「座標の指定のしやすさ」は MathTOUCH グラフの方がより評価が高かった。

表 2: 実験 II の主観満足度比較結果

評価項目	①(人)		②(人)		③(人)		④(人)		⑤(人)		平均値		U 検定	
	MT	GG	MT	GG	MT	GG	MT	GG	MT	GG	MT	GG	z 値	p 値
(1) 容易な数式入力	2	0	6	7	14	13	15	13	2	6	3.23	3.46	-1.335b	0.182
(2) きれいな数式表示	0	1	1	1	10	8	20	18	8	11	3.9	3.95	-.791b	0.429
(3) 座標の指定しやすさ	3	4	2	12	10	12	17	8	6	3	3.55	2.85	-3.052c	0.002**
(4) 図形記述の読みやすさ	1	2	4	7	19	13	12	13	3	4	3.31	3.26	-.296b	0.767
(5) 修正のしやすさ	5	2	17	17	8	11	9	7	0	2	2.54	2.74	-.375b	0.708
(6) 操作のスムーズさ	3	4	6	3	8	14	14	14	8	4	3.46	3.28	-.507c	0.612
(7) 容易な操作ルール	2	1	5	6	13	12	12	17	7	3	3.44	3.38	-.652b	0.514
(8) 再利用意向	1	1	8	6	8	14	19	14	3	4	3.38	3.36	-.157c	0.875

① まったく思わない ② あまり思わない ③ 普通 ④ そう思う ⑤ 強く思う (**有意差有)

5 結論

MathTOUCH グラフと GeoGebra を評価した結果、グラフ作成にかかる時間として MathTOUCH グラフは 124 秒、GeoGebra では 234 秒と MathTOUCH グラフが速かった。そして、2つのグラフツール間で主観満足度 7 項目において有意差はなく、座標の指定のしやすさは MathTOUCH グラフの方が有意に評価が高いことがわかった。したがって、実験タスクで行ったグラフ作成においては MathTOUCH グラフは GeoGebra と同等以上の使いやすさと満足度が得られることを示すことができた。また、座標点を正確に描画することの重要性を示唆することができた。

しかし、満足度評価におけるミスした時の修正のしやすさにおいてはいずれのツールも満足度が低く、課題が残った。それを改善するために、今後の課題としてアンドゥ機能、さらに MathTOUCH グラフを広めるための公開サイトの作成を行いたい。

参考文献

- [1] 文部科学省公式サイト：「3. デジタル教科書の制度化について」,
http://www.mext.go.jp/a/_menu/shotou/kyoukasho/gaiyou/04060901/1349317.html
(2018.10.11 参照).
- [2] 文部科学省公式サイト：「『デジタル教科書』の位置付けに関する検討会議 最終まとめ」 p2 II. デジタル教科書に関する基本的な考え方より抜粋,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/110/houkoku/_icsFiles/afieldfile/2017/01/27/1380531_001.pdf(2019.10.30 参照).
- [3] 富永侑里, 遠藤菜津美, 福井哲夫：「自然な数学記述によるグラフ作成ツールの提案」,
数理解析研究所講究録 「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
2105, 69-78, 2019.
- [4] Apple：「Grapher ユーザガイド」,
<https://support.apple.com/ja-jp/guide/grapher/welcome/mac>—(2018.10.11 参照).
- [5] GeoGebra：「GeoGebra 数学アプリ」,
<http://www.geogebra.org/> (2018.10.11 参照).
- [6] 総務省「情報通信白書」第 4 章第 2 節 1-(1) インターネット利用の広がり
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd142110.html>
(2019.10.9 参照).