

## じつきょう

## 数学資料

No. 88

## Contents

巻頭	音声認識で数学を学習できる IT環境をめざして……………	1
特集	高等学校数学科におけるCBTの展望 ……	5
仕事と数学	社会に数学を生かす、 アクチュアリーという仕事 ……	9
特集	数学を学んだ先にあるもの —「数理女子」を通して— ……	13

## 巻頭 音声認識で数学を学習できる IT 環境をめざして

武庫川女子大学・社会情報学部 教授 福井哲夫

大阪大学・サイバーメディアセンター 講師 白井詩沙香

## 1. はじめに

文部科学省の提言による GIGA スクール構想により、初等・中等教育における端末整備が進められる中、デジタル教科書をはじめとするデジタル教材の活用が推進されている。

中学・高等学校における数学教育においては、教科書の單元ごとに(1)学習項目の概念を説明し、(2)性質を洗い出し、(3)定式(公式)化し、(4)例題で確かめ、(5)類似問題でワークをさせて知識の定着を図る流れが一般的ではないだろうか。例えば、数学Iの「2次関数とそのグラフ」では、まず  $y=ax^2$  のグラフについて(1)～(5)のサイクルを学習し、一般式  $y=ax^2+bx+c$  まで徐々に発展させながら学習サイクルを繰り返し、「頂点」や「平行移動」、「最大・最小」などの概念を説明していくことになる。先生は電子黒板にデジタル教科書のその単元の解説や公式およびグラフを提示して教育を行うようになったが、生徒は、その問題ワークの段階では今なお、紙と鉛筆を使って行うことが多いと聞いている。一方、先生はプリント作成補助ツールを駆使して、ワーク用の印刷プリントを準備している方も多いのではないだろうか。その際、デジタル教科書からコピーできる数

学素材はよいが、独自に問題を作成しようとしたときに、数式入力やグラフ作成で困ったことはなかっただろうか。

## 2. インテリジェントな数式入力方式の提案

上記で述べたように、数式をデジタル端末に入力(構築)する形式には定番がないため、数学のプリント作成に戸惑う先生は少なくない。

大学の数理系研究者の間では、LaTeX形式が有名で、その文法に従ったテキストを専用ソフトで教科書通り(2次元表記)の数式に変換させて利用する。教育者の間でも利用者は増えているが、使いこなせるまでに少し手間がかかる。例えば、 $y=\frac{1}{3}x^2$  の場合、LaTeX形式では  $\$y=\frac{1}{3}x^2\$$  のようなコマンドを含むテキストで表す。このように、数式をテキストで入力して2次元数式に変換・構築する方式をテキストベース方式とよんでいる。

一方、Microsoft社のWordに備わる数式挿入機能を使う人も多いかもしれない。Wordの数式入力は、数式エリアの分数  や冪乗  などの数式構造を表すアイコンを選び、その後、分子・分

母や指数などの要素の入力を階層ごとに繰り返す。

テキストベース方式は数式を手早く入力できるが、文法を覚えるのと要素区切りのための中括弧の入力などが煩わしい。一方、構造ベース方式の操作は GUI (グラフィカル・ユーザインタフェース) のおかげでわかりやすいが、どのタイミングでどの構造を選べばよいか、数学が不慣れな利用者には難しく、入力に時間がかかる。

また、1人1台端末の活用が進む中、生徒自身もノートテイクや問題ワークなど、数式を扱う機会が増えると考えられ、生徒にとっても数式をスムーズに入力できることが望まれる。しかし、前述のテキストベース方式を生徒に扱わせる場合、数学の学びとは別に LaTeX 等の文法を覚えなければならず、混乱を招く懸念がある。構造ベース方式を採用する場合も、数式を読み書きする順番と構造を選ぶ順番が異なり、操作手順も多くなるため生徒の負担が増える可能性がある。これらの煩わしさを高めている原因は、機械が数式を構築しやすいように機械に合わせて人間が完全に指示を与えなければならない仕組みにある。

そこで、我々は、数式の読みスタイル文字列 (以後、「数式文字列」と呼ぶ) から自動変換処理によって2次元数式の候補を算出し、所望の数式を選択してもらって構築する、いわば、かな漢字変換に似た手順で数式をデジタル入力できる方式を提案した。このアイデアは2011年に特許出願し、2015年に認められた (特許5761687号)。例えば、 $y = \frac{1}{3}x^2$  の場合、数式文字列は「y=1/3x2」となる。このように読む順番に対応する文字を並べるだけでよく、「わる」は「/」で表し、表記されない暗黙の積や要素の区切り括弧や冪乗の指示は不要である。ところで、日本では上記の例は普通「ワイイコール3分の1エックス2乗」と読む。実は、提案の数式文字列も「分の」を「\」で表し、日本式に「y=3\1x2」も受け付けるようにできている。しかし、同じ数式文字列であっても複数の候補が可能で、提案ルールには曖昧性がある。そこで、提案の数式入力 UI (ユーザインタフェース) は独自の AI を導入し、教科書に現れる約4千個

の数式を学習させて、優先度の高い順に候補を算出するようになっている。2017年の我々の研究ではベスト10以内の候補に所望の数式が含まれる確率が約85%であることを検証している。我々はこのインテリジェントな数式入力 UI を MathTOUCH とよぶ。

### 3. 数式入力 UI で広がる数学環境

我々がこれまでに取り組んできた MathTOUCH を活用した3つの応用例を紹介しよう。

#### (1) 数学 e ラーニングのオンラインテスト

多くの大学で広がりを見せている数学 e ラーニングのオンラインテストとは別名「数式自動採点システム」と呼ばれ、数学問題の解答形式として数式を直接答えさせ、正誤評価できるシステムのことを指す。例えば「関数  $y = ax^2 + bx + c$  ( $a \neq 0$ ) のグラフの頂点の  $x$  座標を係数  $a$ ,  $b$ ,  $c$  を使って答えよ。」という問題で、解答として  $-\frac{b}{2a}$  を解答させ、正しいかどうか評価することができる。ここで注目すべきは、生徒は模範解答通りに答えるとは限らないため、さまざまな数学的等価な式に変形して答えても正解と判定できる点である。しかし、フリーの LMS である Moodle のプラグインとして動作する数式自動採点システム STACK でこの式を生徒が解答するためには Maxima という数式処理システムの文法に従って入力する必要がある。そこで、我々は STACK の数式入力 UI として MathTOUCH を組み込み、スムーズに学習できることを確かめることができた。上記の例では従来「-b/(2\*a)」など入力する必要があるが、MathTOUCH では「-b/2a」でよく、入力画面では  $-\frac{b}{2a}$  を確認して送信できる。前者は分母の括弧や明示的な積記号 \* を省略できない。一方、MathTOUCH は人間に合わせて AI が候補を予測するので、心的負担が少ないのである。

#### (2) 数学文書エディタ

2つ目の応用例が我々のプロジェクトサイト (mathtouch.org) で公開している数学文書エディタ (MathTOUCH エディタ) である。図 1 のよ

うに数式混じりの文章が編集できて、その文章は Web コンテンツや LaTeX 形式で出力・保存が可能のため、上記の数学 e ラーニングにおける問題文の編集やプリント教材作成などに活用できる。

近年生成系 AI として注目されている ChatGPT は、さまざまな自然言語やプログラミング言語を理解し、自然な対話で情報を検索でき、文章をまとめる道具として便利であるが、LaTeX 形式の数式も理解できる機能があることをご存知だろうか。MathTOUCH エディタの LaTeX 形式出力機能を利用して、試しに図 2 のような文章を ChatGPT に問いかけてみたところ正しい回答が得られた。

### (3) 関数グラフ作成ツール

もう 1 つの MathTOUCH の応用として、関数グラフ作成ツール (MathTOUCH グラフ) を公開している。フランスではグラフ電卓を全生徒に配布するなど、数学教育においてグラフ作成を重要視している国は多い。しかし、関数の指定がコマンド的で独自のものが多く、自然 (教科書的) でない。MathTOUCH グラフは次の特徴をもつ。

(1) 図形のための数式入力がしやすい

(2) グラフ要素の指定記述が自然である



図 1 MathTOUCH による数学文書エディタ

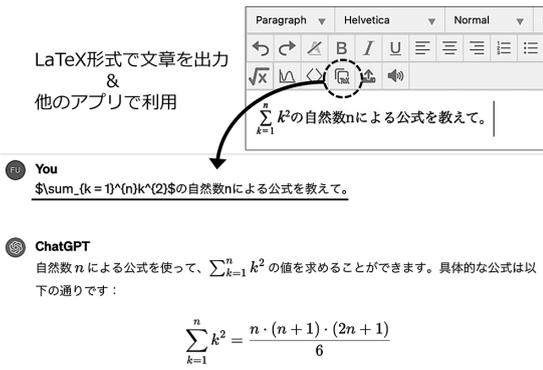


図 2 数式を含む ChatGPT への質問

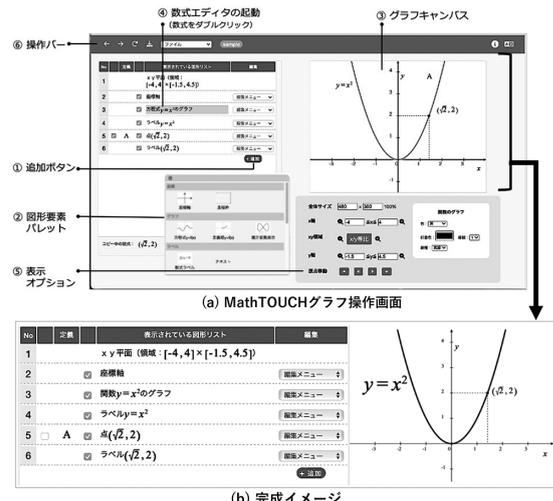
(3) 座標などを数値・数式で正確に指示できる

(4) グラフキャンバスに数式を配置できる

図 3(a) が MathTOUCH グラフの実行画面である。まず、①の追加ボタンを押し、②の図形要素パレットから所望の要素 (関数グラフ、点、数式ラベルなど) を選び、③のグラフキャンバスに表示させる。関数などは④の MathTOUCH 数式エディタを使い、目的の関数を入力するとグラフに反映される。表示範囲や図形の色や幅などは⑤の表示オプションで設定できる。表示したグラフの保存や PNG 画像として出力する時は⑥の操作バーのメニューを実行する。図 3(b) は 2 次関数のグラフを描いた場合の図形リスト (左) とグラフキャンバス (右) で、点の座標が  $(\sqrt{2}, 2)$  と式で指定され、MathTOUCH グラフの特徴をあらわしている。

## 4. 音声認識による数式入力 UI への挑戦

GIGA スクール構想により児童・生徒に一人一台の多様な端末が整うようになった。幸い、MathTOUCH および MathTOUCH を応用したツールは Web アプリケーション (HTML+CSS+JavaScript) として動作するため、OS に依存せず利用可能であり、図 1 のように、タブレット端末用の独自のソフトキーボードにも対応できている。しかし、現状の提案システムは主にキーボードベースの入力を予測変換する



(b) 完成イメージ

図 3 MathTOUCH グラフの実行画面

方式であり、小学校や中学校などのITスキルが十分でない初学者には向いていない可能性がある。そこで我々の研究の挑戦は、多様な入力方式の選択肢を提供するため、音声による数式入力の実現に向けた取り組みを進めている。2023年3月には中学校数学レベルの数式まで認識できるようになった。2024年1月現在、高校数学I,A,IIレベルに拡張しようとしているところである。

仕組みはとてもシンプルで、既存の日本語認識エンジンをそのまま利用し、数式の読み上げ音声を一旦日本語として認識させ、その認識文字列をMathTOUCH用の数式文字列に変換し、キー入力の代わりにMathTOUCHに渡す方法をとる(図4)。

例えば図5のように、① MathTOUCHの音声認識開始ボタンを押し、②「ワイコール3分の1エクス2乗」と発音すれば、③ MathTOUCHに数式文字列が入力され、④候補が提示されるので、その後の入力手順はこれまでと同じである。

実際に121個のテスト数式の約95%が音声認識に成功している。それらの数式例を表1に示す。ただし、日本の数式読み上げ方は確定したものがないのが実情である。我々は認識精度を高めるため、括弧および絶対値の終わり部分を明示的に「括弧閉じる」などと読み上げる独自のルールを採用した。それ以外は、表1のように、できるだけ教科書通りの読み方になるようになっている。

## 5. おわりに

「音声認識による数式入力UI」の重要な着想は、本来のMathTOUCH方式が数式読み言葉と非常に親和性が高いことにある。このUIはこれまでのMathTOUCHに機能追加されるので、第3章で紹介した応用ツールにも利用可能となる。今後は、数学教育を受けやすい環境構築のため、新たな数学チャットシステムに応用する計画である。

しかし、数式の音声認識にはc(シー)と4(し)など似たような発音が多く、人の喋り方の違いによっても認識結果が違いため、100%の認識率を目指すには限界がある。故に、実用的UIを目指

すためには音声のみに限定せず、ユーザの状況に応じてキーボードやタッチ操作などが自由に選べるマルチモーダルなUIを提案して、終わりとする。

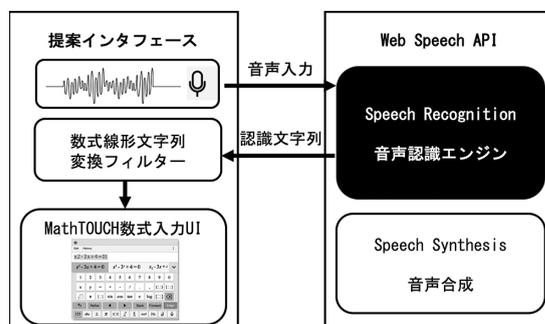


図4 音声認識による数式入力の仕組み

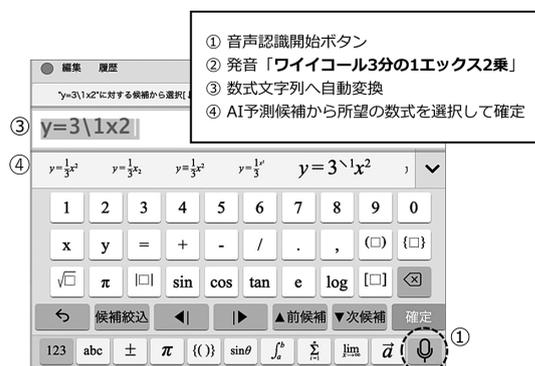


図5 音声認識による入力例

表1 音声認識による数式例

分類	認識テスト数式	数式の読み上げ音声
等式	$a = b$	エー イコール ビー
不等式	$a > b$	エー だいなり ビー
比例式	$a : b$	エー たい ビー
分数	$\frac{1}{2}$	2 ぶんの 1
平方根	$\sqrt{2} = 1.41421356\dots$	ルートにイコールいってんよんいち よんにいちさんごろくてんでん よんこエックス マイナス エー かっことじにじょう プラス ビー マイナス ビー プラス マイナス
多項式	$(x - a)^2 + b$	ルート ビーにじょう マイナス よんエー シー わるにエー かっことじにじょう プラス プラス ビー プラス マイナス
方程式	$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	ルート ビーにじょう マイナス よんエー シー わるにエー かっことじにじょう プラス プラス ビー プラス マイナス
直角 球体積	$\angle A = 90^\circ$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$	パイ イコールさんぶんのよん パイ アールさんじょう
三角比	$\tan 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}}$ $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$	タンジエントさんじょう イコール ルートさんぶんのいち サインにじょう シータ プラス コサインにじょう シータ イコールいち
絶対値	$\sqrt{(-3)^2} =  -3 $	ルート かっことじにじょう とじるにじょう イコールぜったいち マイナスさんぜったいちとじる
集合	$A \cap B$	エー かっつ ビー
三角形	$\triangle ABC \equiv \triangle DEF$	さんかっけいエービーシーごうどう さんかっけいディーイーエフ
ベクトル	$\vec{a}$ $\vec{0}$	ベクトルエー ゼロベクトル