

## 数学デジタル文書読み上げツールの開発

## Voice Reading Tool for Digital Mathematical Documents

長谷川 陽和†

原 知鈴†

福井 哲夫†

Hiyori Hasegawa

Chisuzu Hara

Tetsuo Fukui

## 1. はじめに

近年 STEM 教育が重要な課題とされている。また、新型コロナウイルス禍の影響から、教育においてもオンライン化が進み、2021 年度からは中学・高校で GIGA スクール構想によって、デジタルデバイスが全面導入されてきている。文部科学省はデジタル教科書の特徴の一つに、音声読み上げ機能を挙げている[1]。数学を学習する際に、目で読んで学習するだけでなく、音声でも確認することによって、より理解が深まる可能性がある。しかし、オープンな数学文書では、そこに含まれる数式を音声で読み上げることができないのが現状である。

そこで、本研究では、高校数学範囲の LaTeX をベースに記述された数学デジタル文書の音声読み上げツールの開発に取り組んだので報告する。

## 2. 解決すべき課題と方法

ここでは、数学文書のデジタル化事情を音声読み上げの観点で紹介し、解決すべき課題と方法について議論する。

## 2.1 数学文書の現状

数学文書のデジタル化は、ワープロソフトの普及と共に始まってはいるが、数式入力の煩わしさから、中学・高等学校の数学教育ではプリント教材作成などで使われる程度で、本格的な数学文書のデジタル化は大学の数学者などの専門家以外にはあまり進んでいなかった。数学教材や数学系論文作成などのための数学文書デジタル化技術として多くの数学・理学・工学研究者が LaTeX を利用している。一方、2020 年度から文部科学省が推奨し、教科書出版業者によるデジタル教科書が教師による電子黒板提示用に広がり始めている。しかし、音声読み上げに関してはデジタル教科書ごとに読み上げを工夫しているものの、特に数式の読み上げのための統一規格が無く、課題も多い。

一方、インターネット上では、数学文書のデジタル化が急速に進んでおり、2020 年度はコロナ禍の影響もあり、オンラインの数学文書が急速に普及しつつある[2]。その多くの Web コンテンツでは数式表示に MathJax というライブラリが使われている。しかし、そこに含まれる数式を音声で読み上げることはできない。

## 2.1.1 LaTeX 文書について

LaTeX とは、Donald E. Knuth 教授が開発した数式の組版ソフトウェアを、Leslie Lamport 氏が数学文書をデジタル化しやすくするために機能強化したソフトウェアを指す[3]。LaTeX を使って数学、特に数式表現を記述するために、特有の文法が定められており、数学文書テキストの一部に組版のための命令が埋め込まれたソーステキストを作成し、コンパイラ方式によって組版されたデータを生成する仕組み

みになっている。組版された数学文書は主に PDF 形式で出力し、利用されることが多い。

## 2.1.2 MathJax について

MathJax は Web ページに数式表示を可能とする JavaScript ライブラリーである。HTML ソースファイルに MathJax を読み込む `<script>` タグを含み、数式部分は `"\"` と `"\"` あるいは `"["` と `"\"` で囲まれた中に LaTeX の文法に則って作成する。表 1 は MathJax の利用例である。

表 1 MathJax の例

```
<body>
一次方程式 ( ax+b=0 ) の解は
\ [ x = -\frac{b}{a} ]
です。
</body>
```

## 2.2 解決方法

2.1 節で述べたように、専用の音声読み上げ情報を備えていない、一般の教師や研究者が作成した数学教材や数学文書でも音声読み上げができればとても便利である。本研究では、LaTeX ベースの数学文書に対して音声読み上げを可能とするツールの開発を目標とする。

## 2.2.1 方針

2012 年に筆者の一人、福井は数式入力を容易にする試みとして、数式の曖昧文字列変換方式を提案[4]し、MathTOUCH と名付けた。MathTOUCH は数式入力インタフェースとして機能するため、数式変換用辞書、数式の内部記録、数式組版表示機能を備えた数式入出力エンジンを実装している。本研究では、対象とする LaTeX ベースの数学デジタル文書に含まれる数式を処理するために MathTOUCH エンジンを利用する。

また、新たに LaTeX の文法に則った数式テキストを解析し、MathTOUCH の数式内部表現に記録するための LaTeX パーサーを開発した。このパーサーは高校数学だけでなく、線形代数や微積分など大学数学にも対応している。

本研究における、数式の音声読み上げを実現させる重要なポイントは、LaTeX による数式を読み上げ言葉に言い換えた日本語テキストに変換することにある。そうすれば、音声合成技術は既存の自然言語の読み上げエンジンを利用するだけで十分である。本研究では音声合成エンジンとして JavaScript のライブラリーで Google LLC によって提供されている Cloud Text-to-Speech API[5]を採用した。数式読み上げテキストの実際については第 3 章で詳しく解説する。

## 3. 数学デジタル文書読み上げツール

本研究の数学デジタル文書の読み上げツールは、LaTeX ベースの数学文書を対象に読み上げることが可能である。ここでは読み上げツールの概要および処理プロセスと評価テストについて解説する。

† 武庫川女子大学 Mukogawa Women's University

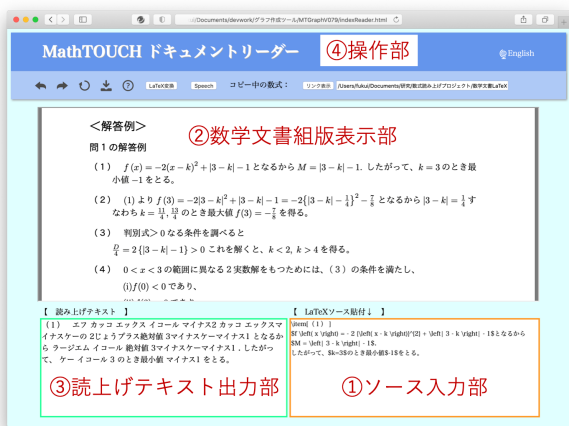


図 2 数学文書音声読み上げツール

3.1 音声読み上げツールの概要

本研究における読み上げの対象は、数式混じりの数学文書である。その中でも表 1 に示したような LaTeX をベースに作成されたデジタル文書の構築元であるソーステキスト(.tex ファイルや.html ファイル)を扱う。図 2 は本研究で開発した数学文書音声読み上げツールの実行画面である。

3.1.1 全体構成

数学デジタル文書読み上げツールの全体構成は図 2 のように、①ソース入力部、②数学文書組版表示部、③読み上げテキスト出力部、④操作部からなる。

3.1.2 ユーザモデル

本ツールを利用するユーザモデルは、(1) 数学文書を構成している LaTeX または HTML ソースの読み上げさせたい部分テキスト(文字列)をコピーし、ソース入力部(図 2 ①)に貼り付ける。次に(2) 操作部にある読み上げ変換ボタンを押すと変換が開始され、(3) 組版表示部に数式等が教科書通りに組版された数学文書が表示され、(4) 音声により読み上げさせることができる。その際、(5) 「読み上げテキスト」が左下の出力部に表示され、どのような読み方をしているのかが記述を見ればわかるようになっており、テキストは独立して再利用可能である。

「読み上げテキスト」とは、表 2 の 4 列目に示すように、 $x$  は「エックス」、 $\pi$  は「パイ」などと、数式の読み上げを想定していないような通常の日本語音声読み上げエンジンでも読み上げられるように、数式を日本語の読み言葉に変換したものを指す。「読み上げテキスト」のルールは文献[7,8]などを参考に、本研究において独自に開発したものである。

3.2 システムの処理プロセス

本システムの処理プロセスは次項の 1)~5) からなる。

3.2.1 処理プロセス

- 1) テキスト処理により日本語と LaTeX 命令の分離を行う
- 2) LaTeX 形式の数式部分は前述の LaTeX パーザーによって数式(木)内部表現に記録する
- 3) 数式(木)内部表現を「数式読み言葉」に変換(次項参照)
- 4) 1)で分離した数式部分を「数式読み言葉」に埋め戻す
- 5) 音声合成エンジン(Text-to-Speech API[5])を操作して、音声で読み上げる

表 2 数式読み上げテキストの例

No.	数式例	LaTeX形式	読み上げテキスト
1	$x$	$x$	エックス
2	$\pi$	$\backslash pi$	パイ
3	$ax^2 + bx + c = 0$	$ax^2 + bx + c = 0$	エー エックス 2じょうプラスビー エックスプラスシー イコール 0
4	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	エックス イコール 2 エー ぶんの マイナス ビープラスマイナスルート ビー 2じょうマイナス4 エー シー
5	$\sin(\theta + \frac{\pi}{4}) = \frac{1}{2}$	$\sin(\theta + \frac{\pi}{4}) = \frac{1}{2}$	サイン カッコ シータプラス4 ぶんの パイ イコール 2 ぶんの 1
6	${}_5C_2 = 10$	$\binom{5}{2} = 10$	5 シー 2 イコール 10
7	$\log_{10} \frac{n+1}{n}$	$\log_{10} \frac{n+1}{n}$	ログ10 エヌ ぶんの エヌプラス1
8	$\int_a^b f(x) dx$	$\int_a^b f(x) dx$	エーから ビーまでの エックスにおける エフ カッコ エックスの積分

3.2.2 読み上げテキスト変換エンジンについて

数式を 3)の「読み言葉」に変換するため、本エンジンには変数および特殊記号に対する「読み言葉」テーブル(辞書)が登録されている。加減乗除や関数・積分などの演算子構造をもつ複雑な数式は、7つのタイプの演算子構造(前置単項型、後置型、括弧、内挿2項型、前置2項型、前置3項型、行列)に分けて対処する仕組みになっている。様々な数式の「読み上げテキスト」変換例を表 2 に示す。

3.3 評価テスト

まず、数式のみ音声読み上げが正しく実現しているかテストするために、高校数学の教科書「数学 I, A, II, B, III」[6]に現れる全ての数式(約 4000 個)を MathTOUCH を使って入力し、音声読み上げエンジンを通じて確認した。

次に、大学入試問題(過去問)の解説文書を LaTeX 形式で作成し、それら約 36 問の読み上げテストによって、高校数学レベルの読み上げが正しいことを検証した。

4. おわりに

本研究では LaTeX ベースの高校数学レベルの数学デジタル文書に対する音声読み上げを実現することができた。

本ツールによって、読み上げテキストを貼り付けることで、オンライン数学教材の作成に利用できる。また、初学者や視覚障害者の数学デジタル文書による学習時の読み上げ支援や、数式の読み方の支援に役立つことが期待できる。

今後は、選択部分の読み上げなど操作性の向上を図りたい。また、現在は読み上げ言語は日本語のみであるため、英語対応にも取り組みたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K12117 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 文部科学省, ”学習者用デジタル教科書の効果的な活用の在り方等に関するガイドライン(改)”, <https://www.mext.go.jp/>, (2021).
- [2] 理系ラボ, ”高校数学公式解説集”, <https://rikeilabo.com/mathematics-formula>, (2021).
- [3] 奥村晴彦, 黒木裕介, ”改訂第 8 版 LATEX2e 美文書作成入門”, 技術評論社, (2020).
- [4] 福井哲夫, ”数式のインテリジェントな線形入力方式”, 京都大学数理解析研究所講究録, Vol.1780, pp.160-171(2012).
- [5] Google LLC, ”Cloud Text-to-Speech”, <https://cloud.google.com/text-to-speech?hl=ja>, (2021).
- [6] 俣野博, 河野俊丈, 他 27 名, ”数学 I, A, II, B, III”, 東京書籍, (2012).
- [7] 銀林浩, 銀林純, ”基礎から分かる数・数式と図形の英語”, 日興企画, (1999).
- [8] 鶴沼仁, ”知りたいことがすぐわかる数・式・記号の英語”, 丸善出版, (2003).