

# 数式曖昧入力変換方式による音声入力機能の開発

白井 詩沙香<sup>1,a)</sup> 福井 哲夫<sup>2,b)</sup>

**概要:** 近年, 数学 e ラーニングにおいて, 数式による解答を評価できる数式自動採点システムが注目を集め, 国内外で運用が始まっている. 一方で解答の数式を入力する際の学習者の負担が大きく, 課題となっている. 数式入力時の負担を軽減し, 学習そのものに集中できるよう, 我々は, 数式を普段読むように入力し, 表示された変換候補から所望の数式を選択することにより, 数式入力ができる数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースを開発してきた. 近年, e ラーニング学習環境は, 情報通信技術の発展およびモバイル端末の普及により多様化している. 本研究では, 数学 e ラーニングにおける数式入力の煩わしさを軽減するための入力補助・入力手段の選択肢を広げることを目的に, 音声入力機能の開発を行ったので報告する.

SHIZUKA SHIRAI<sup>1,a)</sup> TETSUO FUKUI<sup>2,b)</sup>

## 1. はじめに

多くの教育機関において, Blackboard Learn や Moodle といった学習管理システム (Learning Management System, LMS) が導入されている. LMS は, 講義動画や講義資料といった教材の管理や配信, 教員と受講生および受講生同士のコミュニケーションを促進するためのフォーラム機能など, 対面授業・e ラーニングを問わず, 講義を円滑に進めるための様々な有効な機能を提供している. なかでも, 受講生の理解度を確認するためのオンラインテスト機能は, 有効な e ラーニングの特徴のひとつであり [1], LMS を用いた講義において欠かすことができない.

近年, 数学 e ラーニングにおいて, 数式を用いた解答の自動採点を実現したオンラインテストシステム (以下, 数式自動採点システム) が注目を集めている [2]. 数学の問題をオンラインテストで扱う場合, 項の並び順など数式の表現方法が違っていても同値であれば正解の場合があるため, あらゆるパターンの解答を事前に用意しなければならず, 教員の負担となっていた. 数式自動採点システムでは, 数式の正誤判定に数式処理システム (Computer Algebra System, CAS) を活用することで, これらの課題を解決している.

一方で, 解答の数式を入力する際の学習者の負担が大きく, 数式自動採点システムの課題の一つとなっている [6], [10]. これまでに筆者らは, 数式入力時の負担を軽減し学習そのものに集中できるよう, 数式を普段読むように入力し, 表示された変換候補から所望の数式を選択することにより, 数式入力ができる数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースを開発してきた [7], [8], [9].

近年, e ラーニング学習環境は, 情報通信技術の発展およびモバイル端末の普及により多様化している. 本研究では, 数学 e ラーニングにおける数式入力の煩わしさを軽減するための入力補助・入力手段の選択肢を広げることを目的に, 音声入力機能の開発を行ったので報告する.

## 2. 先行研究

ここではまず, 数学学習支援のために学習者が数式を直接解答できる数式自動採点システムの進展について解説し, 従来の数式入力方法の特徴と問題点について述べる.

### 2.1 数式自動採点システム

数式自動採点システムは 2000 年ごろから研究開発が始まり, 現在では欧州, 北米を中心に普及している. 代表的な数式自動採点システムとして, The University of Edinburgh の Chris Sangwin 氏によって開発された STACK (System for Teaching and Assessment using a Computer Algebra Kernel) が挙げられる [10]. STACK は, オープンソースの LMS である Moodle のプラグインとして利用でき, フィン

<sup>1</sup> 大阪大学  
Osaka University

<sup>2</sup> 武庫川女子大学  
Mukogawa Women's University

a) shirai@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

b) fukui@mukogawa-u.ac.jp

ランドの大学やイギリスの Open University を中心に、多くの高等教育機関で広く利用されている。国内では 2010 年に中村により日本語化が行われ [3]、高等専門学校や大学で利用されている。そのほか、大学初年次の数学を対象にした計算ドリル型 e ラーニングとして大阪府立大学で開発された Math on Web[12] や北米を中心に利用されている Maple 社の Möbius Assessment (旧 Maple T.A.) などがあり、国内でも利用が始まっている。

## 2.2 数式自動採点システムにおける数式入力方法

これらのシステムは、前章で述べたように、数式の正誤判定に CAS を活用しており、解答の標準的な数式入力はそれぞれのシステムに依存する CAS の文法に従って、テキスト型で入力する必要がある。例えば、STACK はオープンソースの CAS である Maxima[13] を利用しており、 $2 - 48\sqrt{6}$  の場合、“2-48\*sqrt(6)” と線形文字列を入力しなければならない。CAS の文法は関数型であるため、演算子の指定などはオペランド範囲を括弧でくくり、積の場合も明示的なアスタリスク記号が必要なため、初学者が直感的に理解することが難しく [14]、入力時の負担となっている。

一方、Möbius Assessment をはじめ、一部の数式自動採点システムでは、初学者向けに数式構造や数学記号のテンプレートで数式入力ができる GUI 構造型の数式入力インタフェースも用意されている。筆者らの先行研究でも、前述のテキスト型の数式入力インタフェースの方が、入力効率がよいにも関わらず、初学者には GUI 構造型の数式入力インタフェースの方が満足度が高いという結果が得られている [9]。しかし、数式構造のテンプレートを選択するには、あらかじめ数式の全体構造を把握する必要があり、ユーザの負担になること [14] や構造の修正が難しいことなどが指摘されている [15]。

さらに初学者向けの数式入力インタフェースとして、中原らは STACK の数式入力インタフェースとして、手書き入力インタフェースを提案している [16]。本システムでは、MyScript 社 [17] の CDN と独自の変換フィルタを利用し、手書き数式から Maxima 書式の数式を得る仕組みとなっている。手書き入力は自然な数式入力手法であり、初等中等教育においてタブレット端末の導入が始まるなか、有効な手段であると言える。

しかし、入力エリアが限られたモバイル端末では、GUI 構造型や手書きの数式入力インタフェースは扱わず、別の初学者向けのインタフェースが求められる。

## 3. 数式曖昧入力変換方式による音声入力機能

本研究では、近年、モバイル端末向けの新たな入力方式として注目されている音声入力に着目し、モバイル端末向けの数式入力方法として音声による数式入力手法を提案



図 1 音声入力の手順

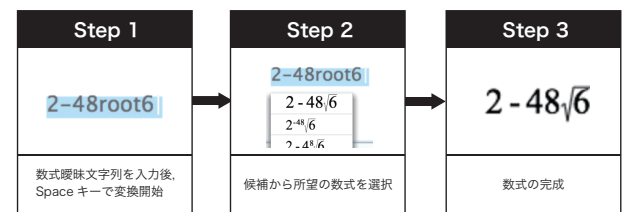


図 2 数式曖昧入力変換による数式入力の流れ

する。

### 3.1 概要

提案インタフェースは、次節で述べる筆者らが開発してきた数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースの音声入力機能として開発した。

図 1 に音声入力機能による数式入力の流れを示す。はじめに、キーボード下部の音声入力ボタンをタップすると、キーボードが音声入力モードに切り替わるため、数式を読み上げる。音声入力が完了すると入力エリアに数式曖昧文字列が入力され、変換候補欄に候補数式が表示されるため、所望の数式をタップするか、音声認識に失敗し、曖昧文字列が違っていた場合は、キーボードを使って文字列を修正する。

### 3.2 数式曖昧入力変換方式

数式曖昧入力変換方式は、数式を読み上げた時に現れる要素のみを入力し、仮名漢字変換のように入力要素から算出可能な数式候補を提示し、所望の数式をユーザに選択してもらうことによって、数式入力ができる方式である。たとえば、2.2 節の  $2 - 48\sqrt{6}$  の場合、図 2-Step 1 のように数式曖昧文字列は “2-48root6” と入力すればよく、暗黙積



図 3 モバイル端末用数式入力インターフェース

を表すアスタリスク記号や平方根の範囲を指定する括弧も不要である。入力した要素から変換候補が提示されるため、ユーザは候補の中から所望の数式を選択するだけでよい(図 2-Step 2)。候補算出には、構造化パーセプトロンによる機械学習技術を応用し、高等学校における数学の教科書 [18] に出現する 4000 個の数式サンプルを学習させた独自の AI アルゴリズムを利用している [19]。

この数式曖昧入力変換方式による AI アルゴリズムを実装したキーボードベースの数式入力インターフェースが「MathTOUCH」であり、現在、数式自動採点システム STACK で利用できるほか、入力確定した数式は LaTeX, MathML, JPG, EPS, Maxima, Mathematica, Maple 形式で出力可能であるため、これらの出力形式に対応した数式自動採点システムへも実装が可能である。

また、インターフェースは図 2 に示した PC 用のインターフェースと図 3 に示すソフトキーボードを実装したモバイル端末用インターフェースがあり [20]、音声入力機能は、このモバイル端末用インターフェースを拡張する形で開発を行った。モバイル端末用インターフェースでは、入力エリアをタップすると、ソフトキーボードがスライドインで表示され、数式曖昧文字列を入力すると、リアルタイムで変換候補が表示される仕組みになっている。従来の CAS 文法に従った入力インターフェースと違い、オペランド範囲を表す特殊記号の入力が不要であり、2次元形式で表示された数式をリアルタイムで確認しながら入力できるため、入力時の負荷を軽減することができる。

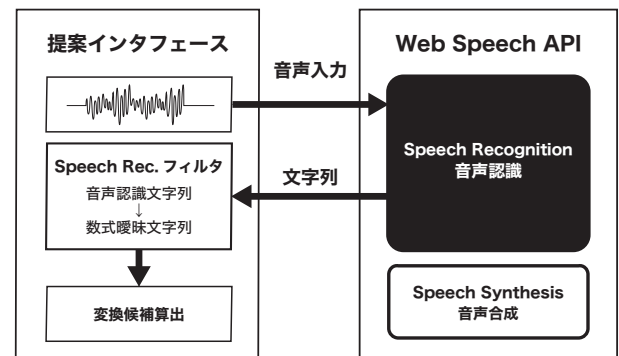


図 4 システム構成図

### 3.3 音声入力機能の実装

モバイル端末用インターフェースの機能として、音声入力機能を実装した。音声入力機能のシステム構成の概要を図 4 に示す。音声入力機能は、音声を変換する音声認識部分と文字列を数式曖昧文字列に変換し、インターフェースに受け渡す部分から構成される。音声認識部分は、無料で利用でき、ブラウザのネイティブ API のため扱いやすいことから、W3C が仕様策定している Web Speech API の Speech Recognition API (音声認識) を利用した [21]。ただし、现阶段では Android 端末の Chrome 上でしか動作しないことが欠点として挙げられる。

数式曖昧文字列への変換部は、表 1 に示すように、音声認識時に含まれる不要な文字列の除去や数式曖昧文字列のキーワードにあわせて、文字列を変数に置き換える等の役割を担っている。表 1 の 1 列目は、人が数式を読み上げたときの音声をひらがなで表しており、それを音声認識部で認識した文字列が 2 列目に示されている。そして 3 列目に、変換フィルターによる対応する数式曖昧文字列が示されており、表 1 の例では、正しく認識・前処理されていることが判る。

最後に、認識・変換された数式曖昧文字列は MathTOUCH の数式候補算出エンジンに渡され、図 1 のようにソフトキーボード上の候補選択リストに数式候補が提示される。実際、図 1 の例では、(2) の音声入力でも表 1 の 4 行目のサンプルが読み上げられ、(3) のようにキーボードでタップしなくても数式曖昧文字列が認識され、所望の候補をタップするだけで正しく  $(x+1)^2$  が構築できている(図 1-(4))。

## 4. まとめと今後の課題

本稿では、モバイル端末における数式自動採点システム利用時の数式入力の煩わしさを軽減するための入力補助・入力手段の選択肢を広げることを目的に、開発を行った数式曖昧入力方式による音声入力機能について報告した。

開発した音声認識機能は、提案インターフェースの音声認識には、Web Speech API を利用しており、利用できる OS、ブラウザが限定されているため、音声認識も含め、提案インターフェース内で処理できるようにすることが課題で

表 1 変換フィルターの例

音声	Web Speech API による音声認識文字列	変換フィルターによる数式曖昧文字列
るーとさん	ルート 3	root3
えっくすじじょう	x 二乗	x2
にぶんのいち	1/2	1/2
かっこえっくすたすいちかっことじじじょう	かっこ x +1 かっことじ二乗	(x+1)2

ある。さらに、今後は数式自動採点システムへ実装するとともに、評価実験により、本機能の有効性を検証していきたい。

謝辞 本研究は JSPS KAKENHI Grant Number 16K16178 および 17K00501 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] Clarck, R. C. and Mayer, R. E.: *e-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*, Jossey-Bass/Pfeiffer (2003).
- [2] Nakamura, Y., Yoshitomi, K., Kawazoe, M., Fukui, T., Shirai, S., Nakahara, T., Kato, K. and Taniguchi, T.: Effective Use of Math E-Learning with Questions Specification, Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education, ICME-13 Monographs, pp.133-148 (2018).
- [3] 中村泰之:『数学 e ラーニング 数式解答評価システム STACK と Moodle による理工系教育』, 東京電機大学出版局, 2010.
- [4] 谷口哲也, 根本洋明, 五十嵐正夫:「数学教育における Moodle と STACK の利用」, 数理解析研究所講究録, No.1865, pp.121-129, 2013.
- [5] Sangwin, C. J., Ramsden, P.: Linear syntax for communicating elementary mathematics, Journal Article Journal of Symbolic Computation, Vol.42, No.9, pp.920-934 (2007).
- [6] 樋口三郎:「数式入力による数学評価システム Maple T.A. を利用した理工系学部での基礎教育」, 数理解析研究所講究録, No.1978, pp.72-78 (2015).
- [7] Shirai, S., Fukui, T.: *MathTOUCH: Mathematical Input Interface for E-Assessment Systems*, MSOR Connections, Vol.15, No.2, pp.70-75 (2016).
- [8] 白井詩沙香, 福井哲夫:「数式自動採点システム STACK における数式入力方法の改善」, コンピュータ&エデュケーション, Vol.37, pp.85-90, 2014.
- [9] 白井詩沙香, 仲村裕子, 福井哲夫:「数式自動採点システムにおける数式入力インタフェースの提案と評価」, 情報処理学会論文誌「教育とコンピュータ」, Vol.1, No.3, pp.11-21, 2015.
- [10] Chris Sangwin : Computer Aided Assessment of Mathematics, Oxford University Press (2013).
- [11] Maplesoft: Maple T.A.(online), 入手先 (<http://maplesoft.com/products/mapleta/>) (2019.02.23).
- [12] 大阪府立大学 高等教育推進機構: MATH ON WEB(online), 入手先 (<http://www.las.osakafu-u.ac.jp/lecture/math/MathOnWeb/>) (2019.02.23).
- [13] Maxima: Maxima(online), available from (<http://maxima.sourceforge.net/>) (2019.02.23).
- [14] Pollanen, M., Wisniewski, T., Yu, X.: *XPRESS: A Novice Interface for the Real-Time Communication of Mathematical Expressions*, In Proceedings of MathUI200 (2007).
- [15] Smithies, S., Novins, K., Arvo, J.: *Equation Entry and Editing via Handwriting and Gesture Recognition*, Behaviour and Information Technology, Vol.20, No.1, pp.53-67 (2001).
- [16] 中原敬広, 中村泰之:手書き解答数式オンラインテスト環境の試作, 数理解析研究所講究録, pp.157-163 (2017).
- [17] MyScript : MyScript Developer, available from (<https://developer.myscript.com>), (2019.02.23).
- [18] 俣野博, 河野俊丈, 他 27 名: 高等学校数学用文部科学省検定済教科書 数学 I・A・II・B・I・II, 東京書籍 (2014).
- [19] Fukui, T. and Shirai, S.: *Predictive Algorithm for Converting Linear Strings to General Mathematical Formulae*, Human Interface and the Management of Information: Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10274, Springer, pp.15-28 (2017).
- [20] 白井詩沙香, 福井哲夫:「数式曖昧入力変換方式による数式入力インタフェースのスマートデバイス向け UI の試作」, 第 43 回教育システム情報学会全国大会 講演論文集, pp.277-278 (2018).
- [21] W3C : Web Speech API Specification, available from (<https://w3c.github.io/speech-api/speechapi.html>), (2019.02.23).