

肢体不自由児向け数式エディタ latexkbd

宇野 伸一郎

日本福祉大学 健康科学部

渡辺 崇史

日本福祉大学 健康科学部

大場 和久

日本福祉大学 健康科学部

宮田 美和子

日本福祉大学 健康科学部

A formula editor for children with physical disabilities

Shin'ichiro Uno

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Takashi Watanabe

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Kazuhisa Oba

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Miwako Miyata

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Abstract: We are developing a formula editor for children with physical disabilities. The formula editor named "latexkbd" is designed for students of elementary and junior high schools and can be operated using mouse or single key input. Latexkbd describes not only formula but also reduction of a fraction or calculation with figures. Easiness or number of keys on software keyboard can be adjusted to a learning level or grade of students. In the current version, performance of latexkbd is relatively slow. Before releasing this software, we will extend its functions and reflect field test results.

Keywords: マルチメディア, 肢体不自由, 学習支援, 数式記述

1 導入

肢体不自由のある学生が、勉強したり受験する際には、代筆、用紙の拡大印刷、試験時間の延長などの様々な合理的配慮がなされている¹⁾²⁾。また、近年のパーソナルコンピュータの普及により教育現場においても情報機器を用いた様々な配慮が工夫されてきている³⁾⁴⁾。

しかしながら、算数・数学においては、数式の演算・展開・解答記入など、手書きによらなければならないものが多く配慮手段に限りがあるため、十分な配慮ができていない状況にある。例えばワードプロセッサなどによる数式入力はひとつの配慮手段ではあるが、専用の数式エディタモードを起動するなどの操作が多く、肢体不自由者にとってはハードルの高いものとなっている。その中でも小中学生の数式入力は、専用ソフトウェア等は存在せず、学習上のハードルとなっている。小学校低学年の段階で数式が書けないために算数を不得手としてしまうと、その後の数学の学習に困難を抱えることが多く、改善が望まれている。

本研究では、合理的配慮のひとつの手段として、パーソナルコンピュータ上で少数のキーを押すだけで数式を記述できる小学校・中学校の児童生徒対象のソフトウェアの開発を行い、状況の改善を図ることを目的とする。

本論文では、第2章で数式入力ソフトの現状を概観し、第3章及び第4章で試作したソフトウェアについて記す。その上で、第5章で試作したソフトウェアの技術面について考察を行う。また、本ソフトウェアを試用したユーザ評価等を渡辺他⁵⁾で報告する。

2 背景

2.1 数式入力ソフトウェア

肢体不自由者用の数式入力補助ソフトウェアは、現在複数のもので存在する。代表的なものには MathNote⁶⁾、mathtype⁷⁾、InftyEditor⁸⁾ などがある。これらのソフトウェアは「マウスのみ」、「キーボードのみ」もしくはその複合などの方法で、肢体不自由者が高度な数式入力をできるように設計されている。中でも InftyEditor は TeX コマンドを直接キーボードから入力できるなど高機能で、複雑な数式を記述することに優れている。ただし、どのソフトウェアも初学者、特に小学校・中学校の児童生徒を対象とした設計とはなっていないため、筆算や分数の約分を簡単に入力する機能はない。

2.2 TeX/LaTeX

TeX は数学者 Donald E. Knuth によって開発された組版処理ソフトウェアである。TeX は数式入力にも優れており、数学系理工系の論文でも多く用いられている。LaTeX は TeX をベースに Leslie Lamport によって開発された組版処理システムで、TeX より手軽に扱うことができる。

LaTeX はテキストファイルで書かれたソースコードを入力として、pdf や dvi といった表示形式の出力を得る。入力テキストファイルには、文書に現れる文字だけでなく、段組などの情報や数式コマンドが記述される。通常これらの入力テキストファイルは、テキストエディタを用いて編集する。

3 製作

本研究は、肢体不自由者でも数式の入力できるソフトウェアを試作した。要求事項は以下の通りである。

- ・マウスもしくはキーひとつで操作ができる
- ・パーソナルコンピュータ上で稼働する
- ・小学生・中学生レベルの計算、数式の入力ができる
- ・筆算など算数の初歩で用いる書式が扱える
- ・数式を計算する機能は持たない（利用者自身で解く）
- ・利用者の学習レベルに応じて複数段階のインターフェースがある

3.1 ソフトウェアの構成

ソフトウェアは以下の3段階から構成される。

1. キーボード/マウスによる入力を受け付け、キー入力の解析と LaTeX のソースファイルを生成する入力インターフェース
2. LaTeX の文法チェック/コンパイルなどを行うバックエンド
3. 結果表示用インターフェース

キー入力となされると、本ソフトウェアが LaTeX のコマンドを生成し、そこから数式作成、文書の組版、表示用 DVI ファイルの作成を一連の自動操作で行う。作成された数式は、本ソフトウェアの表示画面において、キー入力ごとに自動更新され表示される。ユーザーは、バックエンドで動いている LaTeX を意識することなく、キーを入力すると画面に対応した数式が現れるように見えることになる。

第一段階の入力インターフェースでは、言語は perl

及び perl-tk を用いた。perl は Larry Wall 氏によって開発されたプログラミング言語である。perl は、言語処理、テキスト処理に優れているという特徴があり、本研究で用いる L^AT_EX のソースファイルを自動編集するなどの場合に適した言語のひとつである。本研究で開発に用いた perl のバージョンは v5.10.1 である。Tk は GUI 用のオープンソースのウィジェットツールキットで、perl-tk は perl から Tk を操作するモジュールをさす。開発に用いた Tk のバージョンは 8.4.19、perl-tk のバージョンは 804.030-1 である。

バックエンドでは組版システム L^AT_EX を呼び出している。開発に用いた L^AT_EX のバージョンは pTeX 3.141592-p3.1.11 である。

数式表示部分は開発効率の観点から独自開発とはせず、L^AT_EX 標準のビューワ xdvi を用いた。xdvi は L^AT_EX によってコンパイルされた画像ファイルを表示するだけでなく、再コンパイルに対して画面を自動更新するなど、有用な機能を有しているためである。

3.2 開発環境

開発は複数の PC を用いて行われた。表 1 に開発に用いられた主なパーソナルコンピュータの諸元を記す。

昨今の個人用コンピュータの高性能化により、本研究程度のソフトウェアは、通常市販されているコンピュータ上で動作させることができる。ただし、後述するように入力レスポンスの早さを要求する場合などでは、より高性能のコンピュータを用いる必要がでてくる。

4 システムの機能

本研究により、キーボードもしくはマウスだけで、数式入力が行えるソフトウェアの製作を行った。コマンド名は latexkbd とした。以下に実装されている主要機能を記す。

4.1 起動

起動は、デスクトップアイコンのクリックもしくは、コマンドラインからのコマンド入力で行う。OS のユーザ補助機能が稼働していれば、起動/終了もマウスのみもしくは 1 キーストロークのキーボード操作のみで行うことができる。

起動すると、2 画面のウィンドウが現れる。一方は、結果表示画面で、もう一方はキー入力を行うためのソフトウェアキーボード画面である。結果表示画面には、当初カーソルのみが表示される。図 1 に起動状態の一例を示す。入力はソフトウェアキーボードもしくはハードウェアキーボードで 1 キーずつ行い、1 操作ごとに対応する数式が結果表示画面に現れる。その際、マウスカーソルを移動する等の操作は必要ない。

4.2 キーボードと難易度

算数や数学では、学年や学習内容により使用する演算記号/関数が異なる。本研究では、難易度レベルを分けることにより選択できる演算キーを増減すること

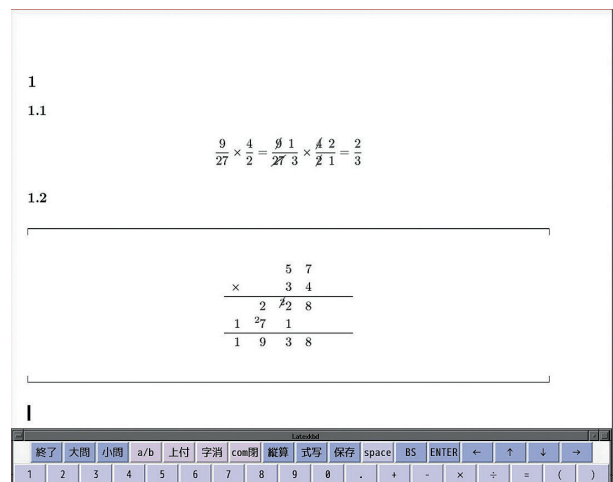


図 1 : latexkbd (難易度 1) で分数と算入を入力した例。結果表示は拡大してある。

表 1 : 開発 PC 諸元

PC	IBM Think Center	panasonic cf-j10
CPU	Intel Core i7-2600S / 2.80GHz	Intel Core i5-2450M / 2.50GHz
memory	8 G byte	4 G byte
hard disk	1 T byte HDD	128G byte SSD
OS	debian GNU / Linux ver 7.6 (wheezy) kernel 3.2.0-4-amd64	debian GNU / Linux ver 7.6 (wheezy) kernel 3.2.0-4-amd64

表 2：難易度と学習内容

難易度	内 容	キーの例
0	: 足し算, 引き算	+ , -
1	: 四則演算, 分数	× , ÷ , 「筆算」, 「分数」 「字消し」
2	: 数の大小	< , > などの不等号
3	: 百分率, 比例	% , :
4	: , を用いた式	, , , (,)
5	: 円周率, 平方根, 記号の計算	, , a, b, c, x, y 「上付き」
6	: 三角関数, 数列の和	sin, cos, tan,
7	: 対数, 微分積分	log,

で、ユーザビリティの向上を図った。キー入力ウィンドウは、起動時のオプションにより、記述する数式の難易度を選択することができる。また、これらは難易度別に複数のアイコンを割り当てることにより、アイコンによる起動の場合でも、難易度の選択が可能である。

難易度は、学習内容に応じて0から7の8段階に分類している。難易度0の場合、足し算、引き算だけを想定し、「0」から「9」の数字、「+」「-」の演算記号、「筆算」キーなどが配置されている。難易度1の場合、数字の他に、四則演算記号などや筆算、分数計算のための「字消し」などのキーが用意されている。図1は、難易度1の例を示している。0~7の各難易度と対応する学習内容とキーの例を表2にまとめる。また、各難易度において、数式入力キーの他に「保存」「印刷」などの機能キーや、問題番号の区別をする「大問」「小問」キーなどが配置される。図2に難易度7の場合のソフトウェアキーボードの例を示す。

難易度0, 1, 2, 3の場合、画面上のキーは、ハードウェアキーボードのキーに対応しており、数字キーやエンターキーなどは、ユーザが通常使用しているキーをそのまま使用することができる。「大問」などのキーは、ファンクションキーに割り当ててある。

難易度4, 5, 6, 7の場合、sin cos などの三角関数や、などの記号、変数を記述するための x, y, a, b などのキーが現れる。これらの難易度の場合、必要とされる数学記号に対してハードウェアキーボードのキーが不足する。このため、ハードウェアキーボードを使う場合は、アルファベットキー等を再定義して用いている。

また、難易度7で使用する場合を想定して、視覚的にキーと記号の対応をとれるようにキーラベルを書き



図 2：latexkbd 難易度7のスクリーンキーボード



図 3：作成したラベル付きキーボードの例

換えたキーボードを作成した。作成したキーボードの一例を図3に示す。このキーボードは、通常使っているパーソナルコンピュータに本キーボードをUSB接続することで使用することができる。また、USB HID クラスのデバイスを改造して作成したため、特別なドライバソフトウェアのインストールは必要としない。

4.3 筆算・分数

本ソフトウェアでは、筆算・分数の計算式入力機能を実装した。分数、特に約分の記述や、筆算の記述は、既存の数式入力ソフトウェアには無い機能である。図

1 は分数及び筆算を入力した例である。

4.3.1 分数

分数の記述を行う場合、「分数」キーを押してから分母分子それぞれにカーソルの移動を行い数を入力する。分母、分子内にカーソルがある時に「分数」キーを使えば、繁分数も入力できる。

分数の入力、特に小学校で分数を扱う場合には、約分、それも複数回の約分を記述させる必要がある。このため、本ソフトウェアでは、「字消し」を用意した。これは「直前の数字の上に斜線を入れる」機能であり、字消し直後に続く文字は、上付きの一回り小さいフォントで表示される。なお、字消しキーで字消しを行うのは、「数字の1文字以上の繰り返し」とし、複数桁の数字も一本の斜線で字消しできると同時に、分数内に変数や算術記号があってもこれら字消しすることは避けている。

4.3.2 筆算

本ソフトウェアでは、和差積算の筆算の実装を行った。除算は和差積算とは書式が違い、桁揃えなどの為にカーソル移動が煩雑となってしまうため、現時点では除外してある。

本ソフトウェア実行中に「筆算」キーを押すと、筆算モードに移行する。このモードでは表のマスの中に数字や記号を入力することで筆算の記述を実現している。「0」から「9」の数字や「+」「-」などの記号は通常モードと差はない。ただし「=」記号は横線が引かれる等の差異がある。

筆算モードでは、ひとマスに入る数字/記号は基本的に1文字に制限される。ひとマスに二桁の数字が入ることはなく、二桁の数字は二マスを使って記述する。ただし、筆算は繰り上がりの処理などが必要となるため、「字消し」「上付き文字」などは1マスの中に入るようにしてある。

4.4 ソフトウェアの構造

L^AT_EX は L^AT_EX コマンドのかかれたソースファイルをコンパイルして、組版された文書ファイルを出力する。本ソフトウェアの入力部分は、この L^AT_EX のソースファイルを生成するインタープリターの役割を果たしている。その際、ワンキーストロークごとに

L^AT_EX コマンドを自動生成し、コンパイル/表示する。これにより、ユーザは L^AT_EX のコマンドを意識することなく実質的に L^AT_EX を扱うことができるようになっている。

L^AT_EX のコマンドは、例えば「 ∞ 」を入力するなら「`\infty`」とするなど、「バックスラッシュ+コマンド」という形をしている。また、平方根や分数など引数が必要なコマンドは、「`\sqrt{数}`」や「`\frac{分子}{分母}`」のように中括弧で引数を受け付ける。中括弧は入れ子にすることができる。

本ソフトウェアは入力を受け付けると、コマンドの区切りごとにひとつの配列要素に格納する。数字、変数などは一文字が1要素となっている。引数がある場合は、中括弧を区切りとして複数の配列要素に格納している。入力を訂正する場合などは、これらの配列要素を削除することにより対応している。入力、削除の折にはコマンドや中括弧の整合性を自動的にチェックし、コマンドミス、括弧の組み合わせ不一致などのエラーを低減している。

4.5 ブート用 USB メモリー

本ソフトウェアは、L^AT_EX 一式及び perl-tk が動く Linux システム上であれば動作させることができる。一方、市販されているパーソナルコンピュータ・IBM PC/AT 互換機の多くは MS ウィンドウズがブライインストールされている。これらに Linux をインストールすることも可能であるが、ユーザ環境によっては OS のインストールまではできない場合もある。

このため、本研究では、Linux を起動して、その中で本ソフトウェアを使用できるような USB メモリーを作成した。これにより、多くのパーソナルコンピュータで、既存のデータ内容を変えることなく、本ソフトウェアを使用することができる。このような USB メモリーからパーソナルコンピュータを起動するシステムは、多くの OS やシステム管理の場面で用いられている。

なお、外部の USB メモリーからブートする方法は、内蔵ハードディスクからブートする場合に比べて遅くなる。本システムでは速度向上のため USB 3.0 のものを用いた。

5 考察

5.1 筆算などの入力ができるデバイスの必要性

本研究では、指一本のみもしくはマウス・スクリーンキーボードのみで数式の入力ができるソフトウェアの試作を行った。特に、分数の約分や筆算がキーひとつの操作で表記できることは、既存のソフトウェアにない点である。肢体不自由者にとっては、小学校の段階で筆算や分数を書けるか否かで、算数ができるかできないかの分かれ目となってしまう場合もあるため、筆算などが記述できるソフトウェアの必要性は高いと考える。実際に、これら本ソフトウェアを試用したユーザの反応等については、渡辺他⁵⁾に詳述されている。

5.2 難易度・学習レベルに応じたキー選択

本ソフトウェアは、学年や難易度・学習レベルに合わせて入力キー（ソフトウェアキーボードに現れるキー）が変化することを、ひとつの特徴としている。これは小学校低学年から中学まで、ひとつの入力ソフトウェアでカバーするための試みである。

低学年児童が本ソフトウェアを使う場合に不要なキーが多すぎると混乱のもととなるし、単純なキーだけでは高学年になってから使うことができなくなってしまう。このため、キーの数は特定せず、利用者の学習段階に合わせて調整していくことは、入力補助ソフトウェアとしては有効であると考えられる。

また、ワープロ付属のエディタや専門の補助ソフトウェアなど、学習レベルごとに新しいソフトウェアの使い方を覚えるのは、利用者の負担増ともなる。利用者の本来の目的は算数・数学を学習することであって、入力補助ソフトウェアの使用方法を覚えることではない。ひとつのソフトウェアで簡単な四則演算から中学レベルの数式までカバーできると、ソフトウェアの使用感覚が変わらないまま、上級の算数へ移行することができるため、こういった負担も軽減できると期待する。

5.3 実行速度 / 高速化

本ソフトウェアの問題点のひとつに、実行速度の遅さがある。本ソフトウェア実行時に、キーひとつを押してから画面に数字が表示されるまで、短かければほぼタイムラグなしに数字が現れたが、長い時は体感で数百ミリ秒から1秒程度のタイムラグが生じていた。

実行速度は、主に

1. L^AT_EX コンパイル・ファイル書き出しにかかる時間
2. L^AT_EX コンパイル終了と x_dvi の画像更新のタイミング

に依っている。

L^AT_EX コンパイル・ファイル書き出しにかかる時間については、本ソフトウェアでは、1 キーストロークごとに L^AT_EX ソースファイルをコンパイル・書き出ししていることが、速度低下の原因に挙げられる。現時点では、既存の L^AT_EX ソフトウェアをそのまま利用しているためにこのような構成になっている。

カーソルのある位置に1文字（もしくは1記号）ずつしか入力が行われない本ソフトウェアの場合、本来はソースファイル全てをコンパイル・書き出しする必要はなく、編集の行だけをコンパイルすることができれば、その分速度向上が見込めると思われる。また、組版ほどの仕上がりを要求せず、L^AT_EX のソースファイルは数式コマンドの解析表示目的に特化するという方法も検討された。ただし、それには L^AT_EX のコンパイラや画像ビューワ等を独自開発する必要が発生し、開発効率が劣ることになる。

5.3.1 高速化

既存の構成のまま高速化するため、本ソフトウェアでは、以下のような対策を行った。

- ・ L^AT_EX ソースファイルや中間ファイルなど全てをハードディスクではなく RAM ディスク上に展開
- ・ x_dvi の画像更新タイミングを 0.05 秒に設定（デフォルトは 2.5 秒）

これらの対策の結果、本ソフトウェアの現行バージョン (ver 0.9.1) では、タイムラグは数百ミリ秒以下にまではなっているが、まだ高速化の必要があると考える。

6 結論

肢体不自由児向け数式エディターの試作をおこなった。キーボードもしくはマウスだけで数式の入力だけでなく、分数の入力や約分、筆算などができる。また、児童・生徒の学習レベル・難易度に応じてキーを変化させることで、同じソフトウェア・使用感で、小学校から中学まで対応可能である。ソフトウェアの高速化等が課

題となっている。

謝辞

プロトタイプ段階で本ソフトウェアを試用し、有意義なコメントをいただいた日本福祉大学の鈴木隆宏教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本福祉大学障害学生センター年報
<http://www.n-fukushi.ac.jp/shientcenter/index.htm>
- 2) 平成 27 年度大学入学者選抜大学入試センター試験実施要項
http://www.dnc.ac.jp/center/shiken_jouhou/
- 3) 深谷達史, 武長龍樹, 巖淵 守, 中邑賢龍 (2013) 一斉授業におけるデジタル教科書の活用による読み困難の支援 - 3・4 年生の国語説明文単元を対象として -, 日本教育工学会第 29 回全国大会論文集, pp. 591-592
- 4) 高橋麻衣子・巖淵 守・中邑賢龍 (2012) タブレット PC をベースにしたデジタル教科書による小学生の読解学習支援 ~ 読みパターンのログの分析から ~, 信学技報, Vol. 112, no. 46, pp. 223-227
- 5) 渡辺崇史他: 筆記が困難な子ども達における諸問題と代替手段の提案. 日本福祉大学健康科学論集. 第 18 巻, pp. 69-79, (2015)
- 6) "MathNote"
<http://homepage2.nifty.com/autumn-soft/mathnote.htm>
- 7) "mathtype"
http://www.senko-corp.co.jp/software/mathtype/mac_default.htm
- 8) "InftyEditor"
<http://www.sciaccess.net/jp/InftyEditor/index.html>