

STACKによる数学eラーニングシステムにおける 数式入力方法改善の試み

白井 詩沙香^{1,a)} 仲村 裕子^{1,b)} 福井 哲夫^{2,c)}

概要: オープンソースとして開発が進められ、広く教育機関で使用されている Moodle の問題タイプに数式解答評価システム STACK がある。STACK は数式処理システム Maxima と連携することで、数式そのものを解答できるフリーのオンラインテスト評価システムである。現在 STACK では、学習者が数式を解答するために Maxima のコマンドを入力する必要がある。一方、我々が提案している数式入力インタフェース「MathTOUCH」は普段数式を読むように単純な文字列を入力し、かな漢字変換のように数式候補から該当の数式を選択することで、数式を入力できる特徴をもつ。そこで、本研究では「MathTOUCH」を STACK に実装し、入力方法の改善ができるかを試みる。実際、2013年10月～12月に本学2年生を対象に従来の Maxima コマンドの解答方式と本方式それぞれを実装した2種類の STACK を使い、数学eラーニングを実践した結果、従来の数式入力方式と変わらない解答時間で正常に解答し、学習することができ、さらにユーザビリティに関する満足度を改善できることを実証した。これによって、STACK における数式入力インタフェースの選択肢の1つとして「MathTOUCH」が利用可能であることを明らかにした。

1. はじめに

日本ではインターネット利用人口の普及率拡大と共に、2000年頃からeラーニングが普及するようになった[5]。eラーニングの普及とともに、数学分野においてもデジタル教材やシステムの研究・開発が行われている。例えば、CIST-Solomon は、中学校から高等学校、大学までの数学・物理・情報の分野を約20,000の豊富なコンテンツで体系的に網羅しており、Flash 動画を用いた教科書や演習、テストを取り揃えている[1]。また、2006年より高専IT教育コンソーシアムのコンテンツ開発プロジェクトのひとつとしてスタートした高専eラーニングでは、基礎力向上のための自学自習教材が用意されている[6]。PCと携帯電話から学習が可能で、公式や基礎事項の確認、演習を行うことができる。しかし、これらeラーニングシステムの演習やオンラインテストでの回答形式は、空所への数値入力であり、数学のような理数系科目の演習で求められる数式そのものを解答することはできない。

このように多くの数学eラーニングシステムの演習、オンラインテストでの回答形式は、空所補充や選択形式が多く、数式そのものによる解答ができない。数式による解答を実現するには、システムが数式を解釈し、正誤判定する必要がある。これは、数式処理システム(Computer Algebra System, 以下、CAS)と連携することで実現でき、こうした数式解答評価システムの代表的なものにSTACK[15]がある。STACKはLMSにMoodleを、CASにはMaximaを使用しており、全てオープンソースで開発されている。

現在STACKでは、学習者が数式を回答する際にテキストエリアにMaximaのコマンドを入力する必要がある。たとえば、 $\sqrt{2}$ と入力したい場合は、「sqrt(2)」と入力しなければならない。各数式に対応するMaxima独自のコマンドを覚えなければならない。このことは、Maximaの利用経験のない学習者に、数学学習以外の面で余計な負担をかける可能性がある。

そこで、本研究ではSTACKの数式入力インタフェースとしてMathTOUCH[7]を実装することで、STACKにおける入力方法の改善を試みる。MathTOUCHは、福井より提案された数式入力方式の1つである数式文字列変換方式[2]、[3]を実装した数式入力インタフェースである。数式文字列変換方式とは、普段数式を読むように単純な文字列を入力し、かな漢字変換のように数式候補から該当の数式を選択することで、数式入力ができる方式である。本方

¹ 武庫川女子大学大学院 生活環境学研究科
Graduate School of Human Environmental sciences, Mukogawa Women's University

² 武庫川女子大学
Mukogawa Women's University

a) mw419064@mukogawa-u.ac.jp

b) mw419227@mukogawa-u.ac.jp

c) fukui@mukogawa-u.ac.jp

式は入力時に特別なコマンドを習得する必要がないため、Maxima のコマンドを知らない学習者でも STACK で数学学習を行う際に有効に使えるのではないかと考えた。

既に MathTOUCH は、Microsoft Office の数式エディタとのユーザビリティ比較調査において、入力効率の高さが示されている [2]。また、数式による解答ができる独自の e ラーニングシステム DigitalWork に MathTOUCH を実装し、短い時間ではあるが中学 3 年生 21 名に使用してもらった結果、問題なく使用できることを確認した [14]。

本研究の目的は、(1)STACK の数式入力インタフェースを MathTOUCH による数式文字列変換方式に置き換えたシステムで、従来システムと同様に長期にわたって有効に数学学習が行えるか検証することと (2)MathTOUCH による数式文字列変換方式によって STACK における数式入力のユーザビリティを改善できるかを検証することである。

本論文では、第 2 章で本研究の関連研究を述べ、第 3 章では MathTOUCH による数式入力の特徴と STACK への実装について説明する。また第 4 章では比較検証実験の概要、測定方法を、第 5 章では結果について述べ、第 6 章でそれに対する考察を述べる。最後に第 7 章において、まとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では、数式の正誤判定を実現した e ラーニングシステムの代表的なものについて述べ、本研究の対象である STACK と比較する。さらに、STACK が抱える課題について述べ、本研究が改善しようとしている課題について述べる。

2.1 数式を解答できる e ラーニングシステム

数式による解答を実現するには、数式を解釈し、正誤判定させる必要がある。例えば、 $x^2 + 2x + 1$ と $1 + 2x + x^2$ など、多項式における降べきの順、昇べきの順、もしくはその他の順をすべて同一の式と判定するには、通常それぞれを正解として準備しなければならない。この方法では、式が複雑になると正解パターンも増え、全て準備することは容易でない。しかし、数学的に等価であることが判定できれば、1つの正解式を準備するだけで正誤判定ができる。

これを CAS と連携させることで実現した e ラーニングシステムがいくつか存在し、代表的なものに MapleT.A.[8] と STACK がある。MapleT.A. は CAS に Maple を利用したシステムで、米国数学教会による数学レベル判定テストにも採用されている [11]。また、Waterloo 大学や Guelf 大学など様々な教育機関で利用され、実績を挙げている [9], [10]。数学的等価の自動判定以外にも特定のパターンから自動で問題を作成する機能や部分点加点の評価機能など有用な機能を備えている。また、Blackboard および Moodle との接続機能により他の LMS との連携も可能で、完成度

表 1 STACK における Maxima コマンド方式の数式入力例

入力したい数式	入力コマンド
x^2	<code>x^2</code>
$2x$	<code>2 * x</code>
\sqrt{x}	<code>sqrt(x)</code>
$\sin x$	<code>sin(x)</code>
$\sin^2 x$	<code>sin(x)^2</code>
$\frac{x+1}{y-2}$	<code>(x + 1)/(y - 2)</code>

の高いシステムである。しかし、CAS には有償の Maple を使用している。

一方、STACK は CAS, LMS 共に全てオープンソース・ソフトウェアで開発している。STACK は英国バーミンガム大学の Christopher Sangwin が中心となって開発した数式解答評価システムである。ポテンシャルレスポンスツリーという機能を利用して、学生の解答に対して正誤評価や任意のコメント、採点結果などのフィードバックを与えることができる。CAS には Maxima が、LMS には Moodle が使われている。Moodle は 1999 年に開発が開始されて以来、世界各国で利用され、2014 年 1 月 1 日時点で登録サイトだけで 235 カ国 67,634 サイトが存在する。STACK3.0 以降はこの Moodle の問題タイプの 1 つとして組み込むことが可能となった。

日本における STACK は、2009 年より中村らにより日本語化作業が行われ、日本での普及が進められている [4], [11]。中村らは STACK 普及のための課題として、(1) インストールの難しさ、(2) Moodle と STACK の言語環境の非連携の問題、(3) 問題提示、正誤判定処理における動作速度の問題、(4) 数式の入力方法の問題、(5) 問題作成の難しさを挙げている [12]。(4), (5) 以外の課題は、STACK のバージョンアップや日本語化作業の中で改善された。また、(5) については、STACK 用問題作成支援ツールの研究開発が進められている [12], [16]。しかし、(4) 数式の入力方法の問題は、未解決の状態である。

2.2 STACK における従来の数式入力方式

現在 STACK で使用されている数式入力方法は、Maxima のコマンドをテキストエリアに入力するものである (以下、Maxima コマンド方式)。入力例を表 1 に示す。

Maxima コマンド方式のように、マークアップ言語や CAS の文法に従って数式を入力する方式は、一般的に各コマンドを覚えなければならないことに加え、WYSIWIG ではないため、自分が入力した数式をイメージしづらく、コンパイルやタイプセットなど変換操作を行うまでは入力ミスに気づきづらいという短所を抱えている。

しかし、STACK における Maxima コマンド方式はコマンドを入力し始めるとテキストエリア直下に表示されるエリア (以下、確認エリア) により短所を補っている (図 1)。この確認エリアはリアルタイムで Maxima コマンドの

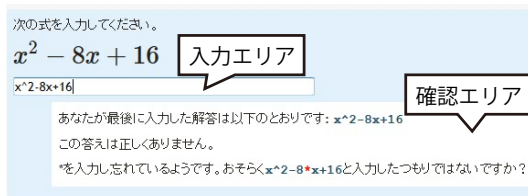


図 1 Maxima コマンド方式の確認エリア

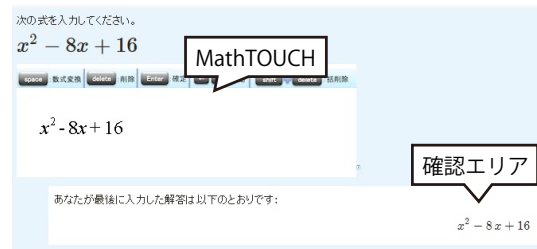


図 3 STACK に組み込んだ MathTOUCH

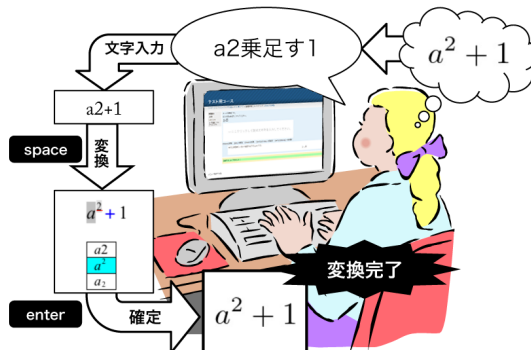


図 2 MathTOUCH による数式入力方法の概念図

2次元表記をフィードバックする機能をもつ。また、積記号（アスタリスク）や括弧忘れをフィードバックにより助言する機能もあり、ユーザーフレンドリーである。

しかし、入力時に通常は数式に表記されない記号（ \wedge , $*$, $\sqrt{\quad}$ など）が必要でわずらわしい点と全体構造を把握し、システムが理解できるよう入力するといった数学とは異なる処理系の考え方が必要となる点は、変わらず学習者に負担をかける可能性がある。

3. MathTOUCH の実装

本章では、MathTOUCH による数式入力の特徴および STACK への実装について述べる。

3.1 MathTOUCH による数式入力の特徴

我々が提案する MathTOUCH は、図 2 のように $a^2 + 1$ と入力したい場合は、“a2乗す1”と普段数式を読むように入力し、かな漢字変換と同様に Space キーを押し、変換候補の中から所望する数式を選択することで、数式を入力する数式文字列変換方式を実装した数式入力インタフェースである。

本方式の特徴の 1 つは、普段数式を読むとおりに入力できることである。つまり入力すべき数式文字列は、全体構造を把握する必要はなく、読む順番の要素にだけ着目すればよいので、処理系に不慣れなユーザーにとって負担の少ない入力方法と期待できる。特に、暗黙積やべき乗など表記されない記号は入力する必要がないので入力文字に無駄がない。

また、数式を構築する際にユーザーは 2 次元で提示された数式要素の候補を選択すればよい。しかし、数式文字列の

情報だけでは所望する数式を完全に構築することはできないため、ユーザーに候補選択などの指示を要求することになる。それでも本方式の候補選択操作は、Space キーと Enter キーだけで行えるため単純である。

短所は、分数における分母の範囲のような配置対象（オペランド範囲）を現時点（2014 年 1 月 16 日）では、正確に予測する仕組みがないため、ユーザーが所望するオペランド範囲を調整する必要がある。この操作は既存の入力インタフェースで類似の操作がないため、説明を要する。

3.2 STACK への組み込み

STACK へは問題作成時に入力形式として MathTOUCH を選択できるように実装した。これにより、教師は従来の問題作成手順と変わりなく、MathTOUCH を入力形式とした問題を作成することができる。

また、確認エリアは MathTOUCH で入力する際も表示するようにした。本来、MathTOUCH はインタフェース自体が 2 次元で数式を表示しているため、確認エリアは不要である。しかし、STACK の確認エリアは既約分数確認や禁止ワードのフィードバックメッセージの表示にも使用しているため、表示させた状態で検証を行う。なお、確認エリアの表示・非表示は、既存機能として STACK の問題作成時に選択できるようになっている。

STACK に実装した MathTOUCH を図 3 に示す。

4. 比較検証実験の方法

4.1 比較検証の概要

第 1 章で述べた本研究の目的 (1), (2) を検証するために、STACK の Maxima コマンドによる従来の数式入力方式を使った学習を基準とし、入力インタフェースのみを MathTOUCH に置き換えたシステムで数週間にわたって数式計算問題練習をしてもらい、その差を測ることとした。

具体的には、被験者を 2 グループに分け、一方を従来方式、もう一方を MathTOUCH による入力方式で、1 回につき 10 問、約 10 分の数式計算問題練習を 12 週にわたり行い、その間の正答率および 10 問当たりの解答時間を測定する。また、両インタフェースのユーザービリティに関する被験者の主観満足度を実験後のアンケート結果によって比較する。

表 2 問題例

単元	問題例	解答例
四則の混じった計算	$2 + \frac{12}{7} \div (-6)$	$\frac{12}{7}$
式の展開	$(3x + 5y)(3x - 3y)$	$9x^2 + 6xy - 15y^2$
平方根の計算	$\sqrt{45} - 2\sqrt{5} + \frac{10}{\sqrt{5}}$	$3\sqrt{5}$

表 3 事前ペーパーテストの結果

単元	正答率 (%)
四則の混じった計算	76.3
式の展開	90.4
平方根の計算	37.3
総合	61.6

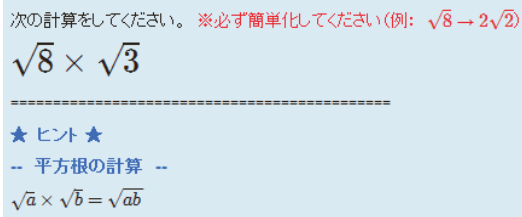


図 4 出題画面

本実験で採用した12週にわたる学習とは、プログラミングを学ぼうとする大学2年生の被験者に対して、リメディアルを目的とした簡単な数式計算問題練習で、中学数学の中から「四則の混じった計算」、「式の展開」、「平方根の計算」の復習問題を各4週ずつ繰り返すものである。毎回練習する問題は10問で、被験者は画面に提示された問題を見て、答えを机上の紙と鉛筆によって計算し、再びキーボードとマウスを使って答えの数式を入力し解答する。もし、解き方をマスターしていない場合は、画面に提示されている解き方のヒントを参考に、学習に取り組めるようになっている。出題画面の様子を図4に示す。また、問題は表2の問題例に示したようなレベルが中心である。1回の学習で被験者が行動する基本的なユーザモデルをリスト1のように仮定する。

リスト 1 1回(10問)の学習時のユーザモデル

- Step1 Moodleの小テスト画面で[問題を受験する]をクリック
- Step2 提示された問題の確認
- Step3 (必要なら)ヒントの確認
- Step4 答えを考え、机上の紙と鉛筆で計算する
- Step5 数式入力インタフェースを使い、解答を入力し、正しく入力されていることを確認エリアで確認する。
- Step6 [次へ]ボタンを押し、次に進む
(Step2~Step6を10問目まで繰り返す)
- Step7 受験の要約画面でステータスを確認する(未解答問題があれば、問題に戻り修正する)
- Step8 [すべてを送信して終了する]ボタンを押す

4.2 被験者対象

検証実験を行った被験者は、前期にJavaに関するプログラミングの基礎授業を受けた武庫川女子大学生活環境学部情報メディア学科2年生134名の内、欠席やシステムトラブルで無効となったデータを除く全38名(MathTOUCH

方式:21名, Maxima方式:17名)を対象とした。ただし、Maximaを含むCASを使用した経験者がいないことは確認済みである。

なお、被験者の知識レベルの確認のためと、分けた2グループ間で偏りがないかを確認するために、学習項目と同種のペーパーテストを事前に行った。その結果、文理融合型の学科であるせいか、正答率は表3に示すようになり、「平方根の計算」が苦手であることが分かった。グループ間についてはt検定の結果、正答率に有意な差は見られなかった($t(36)=-0.36, n.s.$)。

また、本研究の主目的が数式入力インタフェースの使いやすさであることから、タイピングスキルの偏りに関しても調べるため、特殊記号を含むランダムタイピングテストを行った。対応のないt検定の結果、2グループ間で打鍵時間に関しても有意な差は見られなかった($t(36)=1.40, n.s.$)。

4.3 測定方法

(1) 測定環境

数式計算問題練習の定量的測定に使用したサーバシステムは、LinuxのCentOS6.4上で動作するMoodle2.5.2+である。STACKは3.1を、Maximaは5.23.2を使用した。学習者側の端末環境はHP Z400 Workstationで、OSはMicrosoft Windows7 Professional、WebブラウザはInternet Explorer 8である。

(2) 定量的測定

測定した内容は、1回(10問)当たりの正答率と解答時間である。

解答時間とは、リスト1に示したユーザモデルにあるStep1からStep8が完了するまでの時間であり、Moodleが自動的に計測する。1問の答えを数式入力インタフェースを使い入力する時間はStep5の部分のみで、大半は問題を頭で考え、机上で計算していることになる。ただし実際には、数式を入力するところをつまづいて、やり方を実験者に尋ねる場面もあり、それに要した時間も含まれている。

測定データは、「平方根の計算」の単元(9週~12週)の全4回を採用する。その理由は、初期の学習時は異なる入力システムの使い方の説明のわかりやすさに差が生じるかもしれない点を避けるためと「四則の混じった計算」と「式の展開」の単元は事前ペーパーテストで正答率が高いため、正答率が低く、学習効果を期待しやすい後半の単元を比較対象とする方が検証精度が高いと考えたからである。

表 4 正答率の結果 (%)

回数	MathTOUCH		Maxima		t 値
	平均	SD	平均	SD	
1 回目	87.6	14.1	87.6	25.1	
2 回目	93.8	9.2	92.9	9.2	
3 回目	95.7	6.8	92.4	9.0	
4 回目	94.3	6.8	92.9	7.7	0.57

表 5 解答時間の結果 (秒)

回数	MathTOUCH		Maxima		t 値
	平均	SD	平均	SD	
1 回目	536.90	174.80	572.71	186.55	
2 回目	455.24	163.32	479.35	131.22	
3 回目	425.05	133.18	425.53	98.24	
4 回目	389.10	104.31	399.76	116.04	-0.30

(3) ユーザビリティ測定

両インタフェースのユーザビリティに関する被験者の主観満足度は、実験後のアンケートによって測定する。

アンケート項目はヤコブ・ニールセンが提唱したユーザビリティ 5 原則 [13] から各インタフェースの学習しやすさ、効率性、記憶しやすさ、間違えにくさを問う 4 項目と、総合評価として「数式を入力するときに今後も使いたいのか?」という項目の計 5 項目とした。アンケート内容を表 6 (1 列目) に示す。回答は「非常に同意できる」(5 点)、「同意できる」(4 点)、「どちらともいえない」(3 点)、「同意できない」(2 点)、「全く同意できない」(1 点) の 5 件法であてはまるものを選ぶよう求めた。

5. 結果

12 週にわたり実施した結果について、解答時間と正答率といった定量的測定結果とアンケートによる主観満足度に分けて報告する。

5.1 定量的測定結果

全 4 回(「平方根の計算」の単元)の計算練習に対する平均正答率の結果を表 4 に示す。また、その時の平均解答時間の結果を表 5 に示す。4 回の正答率は 87.6~95.7%で、解き方のヒントを問題とともに表示していたため、1 回目からある程度理解できている。しかし解答時間は 1 回目に約 9 分かかっていたものが 4 回目には約 6.5 分に縮まり、主に答えを導く計算時間が短くなり、学習が進んでいる様子が判る。平均正答率および平均解答時間の 4 回の推移をグラフにしたものをそれぞれ図 5 および図 6 に示す。

4 回とも平均値では MathTOUCH の方が若干速いものの、ほとんど差はなく、実際、4 回目の正答率と解答時間は、MathTOUCH が 94.3%、389.10 秒、Maxima コマンド方式は 92.9%、399.76 秒となった。対応のない t 検定を行った結果、正答率に有意な差は見られなかった ($t(36)=0.57, n.s.$)。また、解答時間についても有意差は見られなかった ($t(36)=-0.30, n.s.$)。

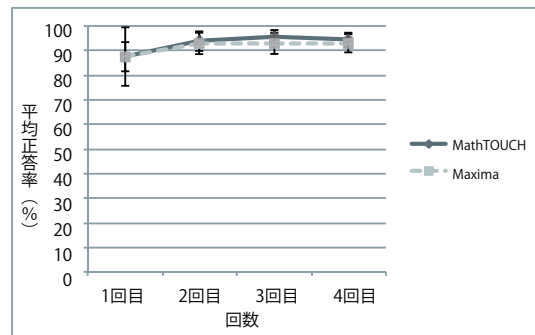


図 5 正答率の推移

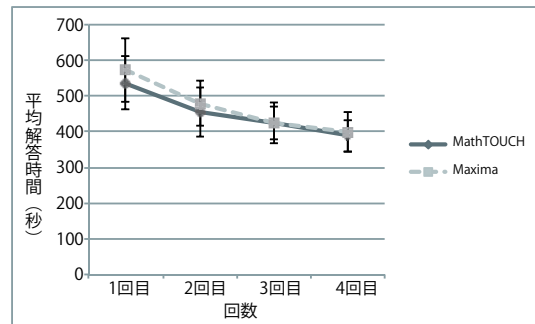


図 6 解答時間の推移

5.2 アンケートの結果

12 週の数式問題計算練習を終えた被験者に対し、数式入力インタフェースのユーザビリティ 5 原則に基づくアンケートを行った結果は表 6 のようになった。その 5 つの指標の平均値をレーダーチャートで表したものが図 7 である。

それぞれマン・ホイットニーの U 検定を行った結果、学習しやすさ、効率性、間違えにくさについては、MathTOUCH と Maxima コマンド方式の中央値には有意な差は見られなかった。

一方、記憶しやすさについては、MathTOUCH の平均値は 4.24、中央値は 4、Maxima コマンド方式の平均値は 3.71、中央値は 4 となり、両群の中央値に有意な差が認められた ($U=113.0, p<.05$)。MathTOUCH の方が記憶しやすさに関する満足度が有意に高い結果となった。

また、総合評価も MathTOUCH の平均値は 3.57、中央値は 4、Maxima コマンド方式の平均値は 2.88、中央値は 3 で、両群の中央値に有意な差が認められた ($U=111.5, p<.05$)。したがって、「答えの数式を入力するときに、今後もこのエディタを使いたいのか?」という総合評価も、MathTOUCH の方が有意に高い結果となった。

6. 考察

全 4 回に対する平均正答率および平均解答時間に Maxima コマンド方式と MathTOUCH で全く有意差がなく、学習が進行したことから MathTOUCH をインタフェースとする STACK が十分学習に使えることを実証した。

次に、数式入力インタフェースのユーザビリティについ

表 6 数式入力インタフェースのユーザビリティに関する主観満足度の結果

アンケートの質問文	平均 (SD)		
	Math TOUCH	Maxima コマンド方式	U 値
数式の入手順をマスターするのは簡単だ (学習しやすさ)	3.81(0.81)	3.41(1.00)	139.0
数式を早く, スムーズに入力できる (効率性)	3.38(1.07)	2.88(0.93)	123.5
入力ミスが少なく, 間違えても修正は簡単だった (間違えにくさ)	3.24(0.89)	3.41(0.94)	155.0
トレーニングを行ったとき, 説明された入力方法をそれ以降も覚えていた (記憶しやすさ)	4.24(0.54)	3.71(0.85)	113.0*
答えの数式を入力するときに, 今後もこのエディタ (入力方法) を使いたいと思いますか? (総合評価)	3.57(0.81)	2.88(1.17)	111.5*

* $p < .05$

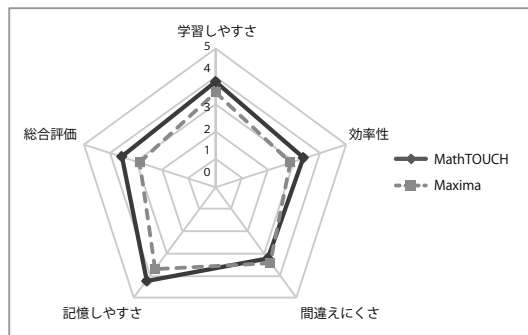


図 7 ユーザビリティ評価のレーダーチャート

てのアンケート結果は, 記憶しやすさと総合評価において, MathTOUCH の方が有意に満足度が高い結果となった. Maxima コマンド方式の記憶しづらい入力方法について, 平方根を表す $\sqrt{\quad}$ というコマンドやアスタリスクの入力位置について覚えることが難しいという意見があった. また, 全体の感想欄では実際に紙で書く場合と同じように, 例えば $3*a$ ではなく $3a$ で入力できるようになればもっと使いやすいという意見もあり, MathTOUCH の特徴である「普段読む通りに入力できる」ことが, 有意に満足度が高い結果に繋がったと考えられる.

一方, 効率性については両群間に有意差はなかった. 主観評価満足度の平均は 3.6 が目安のため [13], 両インタフェース共に満足度はやや低い結果である. Maxima コマンド方式については, 括弧やルートの入力が面倒であるという意見があった. MathTOUCH については, 変換の際の分子や分母といった範囲指定が慣れるまでややこしかったという意見があり, 今後, この点を改善する必要がある.

また, 間違えにくさについても両インタフェース共にやや低い結果となった. Maxima コマンド方式については, あまり打ったことのない記号や単語が多いため, 入力ミスが多かったという意見があった. 一方, MathTOUCH は間違えた際に全体を入力し直さないといけないため面倒だったという意見が多かった. 実際 MathTOUCH には, 全て打ち直さなくても必要な箇所のみ修正できる機能があるが, 今回は修正機能について説明をしなかったため, このような結果となった. Maxima コマンド方式はテキストベースでの入力のため, 修正の際に特別な説明は不要であるが, MathTOUCH は全く新しいインタフェースのため, 直感

的に修正する方法を見つけることは現段階では難しく, 説明を要する. 今後は変換時の範囲指定や修正機能など説明なしに使用できるよう改善していきたい.

しかし, 現段階においても総合評価は Maxima コマンド方式より MathTOUCH の方が有意に高い結果となり, STACK における数式入力時の学習者の主観満足度を改善することができたことを示している.

7. まとめと今後の課題

本研究では, STACK において Maxima コマンドを使った従来の入力方式と提案手法である数式文字列変換方式を使った MathTOUCH という 2 つの数式入力インタフェースを用いて, 異なるグループに数式計算問題練習を行ってもらった比較検証実験によって, 次のことが明らかとなった.

- (1) 数式入力インタフェース MathTOUCH を実装した STACK は, 従来の入力方式と変わらず有効に数式計算問題練習を行える
- (2) 12 週の長期にわたり, MathTOUCH を実装した STACK で学習した後のアンケートによるユーザビリティに関する主観満足度は, 従来の入力方式に比べ, MathTOUCH の方が記憶しやすさと総合評価の点で有意に高い

以上のことから, 女子大学のような文理融合型学科の大学生へのリメディアル教育的な数式計算問題練習においては, 数式解答評価システム STACK の数式入力方法を数式入力インタフェース MathTOUCH によって, 改善できることを実証した.

今回は, 学習で扱う数式が易しかったため, 入力効率や解答時間の優劣を判別できるまでには至らなかった. また, 被験者対象も偏っているため, 今後, より一般的な生徒を対象とした検証を行っていく必要がある. また, 数式入力インタフェースとしての効率比較に特化した検証を行っていきたい.

参考文献

- [1] 千歳科学技術大学情報・メディア教育センター, 小松川研究室: 千歳科学技術大学 eラーニングシステム CIST-Solomon(online), 入手先

- (<http://himemasu.chitose.ac.jp/CIST-Shiva/Index>)
(2014.01.16).
- [2] 福井哲夫：数式のインテリジェントな線形入力方式と評価，数式処理，Vol.18，No.2，pp.47-50 (2012).
- [3] 福井哲夫：インテリジェントな数式ユーザインタフェース (Web アプリケーション版数式エディタの開発)，情報処理学会シンポジウムシリーズ，Vol.2013，No.1，2EXB-50，pp.537-540 (2013).
- [4] Ja STACK.org：Ja STACK.org(online)，入手先 (<http://ja-stack.org/>) (2014.01.16).
- [5] 特定非営利活動法人 日本イーラーニングコンソシアム：eラーニング白書 2008/2009 年版，東京電機大学出版局 (2008).
- [6] 高専 IT 教育コンソーシアム：高専 eラーニング (online)，入手先 (<http://math.kosen-it.jp/>) (2014.01.16).
- [7] MathTOUCH プロジェクト，福井研究室：数式エディタ MathTOUCH(online)，入手先 (<http://math.mukogawa-u.ac.jp/>) (2014.01.16).
- [8] Maplesoft:Maple T.A.(online),available from (<http://maplesoft.com/products/mapleta/>) (2014.01.16).
- [9] Maplesoft:Use of Maple T.A. at the University of Guelph reduces drop-out rates by more than 10%(online), available from (<http://www.maplesoft.com/company/publications/articles/view.aspx?SID=137276>) (2014.01.16).
- [10] Maplesoft:University of Waterloo Improves Learning while Saving Money with Maple T.A.(online), available from (<http://www.maplesoft.com/company/publications/articles/view.aspx?SID=102384>) (2014.01.16).
- [11] 中村泰之：数学 eラーニング数式評価システム STACK と Moodle による理工系教育，東京電機大学出版局，東京 (2010).
- [12] 中村泰之，大俣友佳，中原敬広：STACK の問題作成ツールの開発と STACK3 に向けて (第 21 回日本数式処理学会大会報告)，数式処理，Vol.19，No.2，pp.33-36 (2013).
- [13] ヤコブ・ニールセン：ユーザビリティエンジニアリング原論，東京電気大学出版局 (2002).
- [14] 白井詩沙香，仲村裕子，福井哲夫：数式入力が容易なドリル型数学学習システム「DigitalWork」の開発と評価，情報処理学会研究報告，Vol.2013-CE-121，No.14，pp.1-8 (2013).
- [15] Sangwin,C.:STACK(online), available from (<http://stack.bham.ac.uk/>) (2014.01.16).
- [16] 袁雪，原田実里，浅本紀子：LMS を用いたオンラインテストシステムの活用，2012 PC CONFERENCE 論文集，pp.67-68(2012).