

数式入力インタフェース MathTOUCH を応用した ドリル型数学学習システムの開発

武庫川女子大学大学院・生活環境学研究科 白井 詩沙香 仲村 裕子

Shizuka Shirai Yuko Nakamura

Graduate School of Human Environmental Sciences

Mukogawa Women's University

武庫川女子大学 福井 哲夫

Fukui Tetsuo

Mukogawa Women's University

1 研究の背景

1.1 数学への苦手意識

近年、国際教育到達度評価学会 (IEA) による国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) や OECD による国際的な学力到達度調査 (PISA) の結果を受け、教育現場における生徒の「数学嫌い」、「数学離れ」が議論されるようになった。TIMSS2011 調査 [5] では、数学が楽しい、好きだと答えた日本の中学生の割合は国際平均よりも低いと報告されている。これらの結果を受け、教育現場における「数学嫌い」、「数学離れ」の実状を探るため様々な調査が行われるようになった [10], [12]。内田らは、従来から用いられてきたアンケート形式による顕在意識調査に加え、潜在意識調査を行い、数学の成績が下位の生徒は顕在意識では数学嫌いが顕著である一方、潜在意識では成績上位群と差がないことを明らかにした [13]。成績が下位の生徒は、数学がそれほど嫌いであっても、成績が振るわない原因を「数学が嫌いだから」とすることで自己効力感や自尊心を守ろうとしている可能性があることを示し、潜在指標までマイナスとなる前に「できない＝嫌い」の悪循環を脱することの重要性を指摘している。

数学科目の学習は積み上げ型の知識獲得を特徴とするため、基礎的な知識や基本的な技能の習得が重要である。基礎知識が定着しない状態で次の単元に進めば、ますます理解することが難しくなり、内田らが示した悪循環に陥ると考えられる。2008 年 1 月の中教審答申でも基礎知識の習得が重要視されており、生徒がつまづきやすい内容の確実な習得を図るための繰り返し学習の重要性が述べられている [7]。しかし、限られた授業時間内では、繰り返し学習に十分な時間を割くことは難しい。

これを補う手段の一つとして、近年インターネットの普及とともに発展してきた e ラーニングが挙げられる。数学分野における e ラーニングでも学習内容の理解を支援することを目的に様々な教材やシステムの研究・開発が行われている。例えば、千歳科学技術大学の e ラーニングシステム CIST-Solomon [1] では、高大連携校や地元中学校教諭と連携して制作された豊富な数学教材や演習が用意されている。しかし問題の回答方法は、

用意されたテンプレートへの空所補充方式が中心となっており、数式そのものによる回答は行えない。eラーニングにおけるオンラインテストの回答形式は、空所補充、正誤選択、単一選択、多肢選択、記述、数値入力が多く、数学のような数理系科目の演習で求められる数式を直接回答できるものは少ない。

1.2 数式を回答できるeラーニングシステムに関する先行研究

数式による回答を実現するには、デジタルデバイスを介してシステムに数式を入力できることと、システムが入力された数式を解釈し、正誤判定できる必要がある。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STACK[8], [11]がある。ポテンシャルレスポンスツリーという機能を利用して、学生の回答に対して正誤評価や任意のコメント、採点結果などの細かなフィードバックを与えることができ、優れた学習支援になっている。数式入力方式には連携CASであるMaximaの文法に従い入力する方式（以下、コマンド記法入力方式）を採用している。コマンド記法入力方式はシステムが採用しているCASのコマンドを覚えなければならない点や入力した数式がイメージしづらいといった短所がある。しかし、STACKではリアルタイムに入力した数式を表示する仕組みがあり、一般的なコマンド記法入力方式よりユーザビリティの高いインタフェースとなっている。とはいえ、Maximaのコマンドは覚えなければならず、数学初学者を対象とした学習には余計な負担がかかるのではないかと考えられる。

他にもMoodleなどのLMSプラグインとして利用できるシステムにWIRIS quizzesがある[14]。このシステムではCASに独自のWIRIS casが使われ、数式入力方式にはGUIテンプレート方式を採用している。GUIテンプレート方式は、操作が作図に近いので数学初学者にとって理解しやすく、ワープロにおける数式入力の主流の方式である。しかし、キーボードとマウスを併用しなければならず、ドリル学習のように多くの問題を繰り返し解き、数式を入力する必要がある場合はわずらわしく感じる可能性がある。

そこで、本研究では数学初学者を対象とした数式を回答できるeラーニングシステムとして、MathTOUCH[6]を応用した数学ドリル型学習システムDigitalWorkを提案する。MathTOUCHは2011年に福井より提案[2], [3]された数式入力方式で、図1のように a^2 と入力したい場合は、“a2”と普段数式を読むように入力し、仮名漢字変換と同様に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、数式を入力する方式である。これを以下では、「数式文字列変換方式」と呼ぶ。本方式は、コマンド記法入力方式のように特別なコマンドを覚える必要がなく、WYSIWYGであるため入力している数式をイメージしやすい。さらに、キーボードとマウスを併用する必要がないため、操作毎にデバイスを持ち替えるわずらわしさが無い。タイピングゲームのような感覚でリズムカルな操作が可能のため、より楽しく繰り返し学習に取り組めるのではないかと考えた。

本研究の目的は、MathTOUCHを応用した数式を直接回答できるドリル型数学学習システムが、数学初学者にどれだけ受け入れられるかを教育実践することによって確かめることにある。2013年7月に中学3年生を対象とした補習授業で実践し、一定の成果

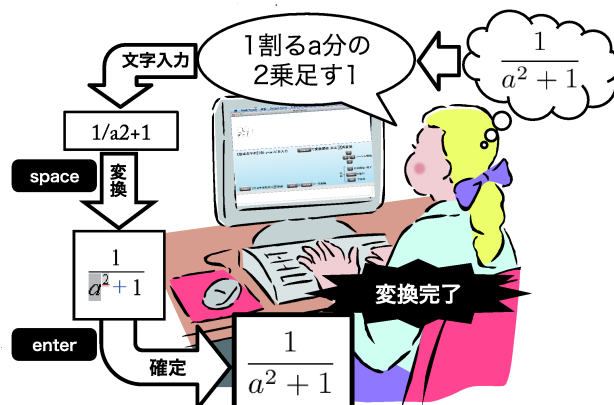


図 1: 数式文字列変換方式の概念図

を得たので報告する。

2 システムの仕様

ここでは DigitalWork の仕様について述べる。

2.1 学習サイクルと各機能

ドリル型数学学習システムの学習サイクルユーザモデルを次のように設計する。

リスト 1 ドリル型数学学習システムの学習サイクルユーザモデル

Step1 提示された問題の確認

Step2 (必要なら) ヒントの確認

Step3 答えを考え、回答入力

Step4 Enter キーで答案提出

Step5 正誤結果確認

Step6 Enter キーで次の問題へ

※ドリルが終わるまで Step1~6 を繰り返す

学習者はまず提示された問題を確認し、必要であれば問題とともに表示されているヒントを確認する。そして数式回答エリアに回答を入力する。入力後は Enter キーで答案を提出する。すると正誤結果が表示されるので、答えを確認する。そして Enter キーを押して次の問題に進む。開発途中のユーザ調査において、多くの e ラーニングシステム

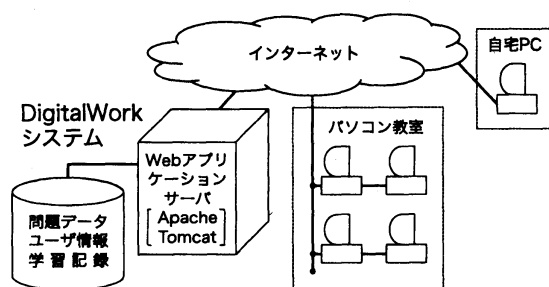


図 2: システム構成図

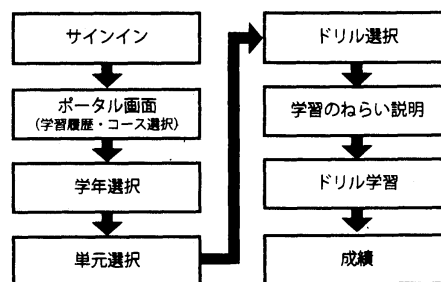


図 3: 画面遷移図

が採用している「次へボタン（次の問題へ進むためのボタン）」や「回答提出ボタン（回答を入力した後、正誤判定に進むためのボタン）」がわずらわしいという意見があったため、本システムでは、Enter キーで正誤判定し、次のページへ移行できるようにした。こうすることで、数式文字列変換方式の特性を活かし、ドリル学習中は全ての操作をキーボードで行えるようになっている。

また、ドリル学習に必要と思われる次の3つの機能を実装した。

学習履歴機能

個人ページにて自分の学習履歴（学習日時、学習内容、点数、間違えた問題）を閲覧できる。

ミス問題の再学習機能

ドリル終了後、間違えた問題の再学習ができる。また、学習履歴から過去に間違えた問題を再学習できる。

ランダム出題機能

ドリルを行う毎に、用意された複数の問題の中からランダムに出題される。

2.2 システム構成

本研究のeラーニングシステム DigitalWork のシステム構成図を図2に示す。

システムは Web サーバと連携する Web アプリケーション (Tomcat, MySQL) として構築しており、インターネットを経由してほとんどのパソコン端末で動作する Web ブラウザ上で数学のドリル学習が行える。これにより学校のパソコン教室だけでなく自宅のパソコンからでも学習ができる支援システムを実現している。DigitalWork の画面遷移図を図3に示す。まず始めにトップページから自分の ID とパスワードでサインインし、マイページに入る。ここでは、学習履歴の確認と利用できるコースが選択できる(図4)。今回利用できるコースは、数式入力変換方式の練習ができる「MathTOUCH 基礎練習」コースと「学習ドリル」コースである。「学習ドリル」コースを選択すると学年選択画面に移り、学年を選択するとさらに単元を選択する画面に移る。単元および学習内容は文部科学省検定済教科書である中学校数学3[9]を参考に作成した。単元を選択すると練習



図 4: マイページ

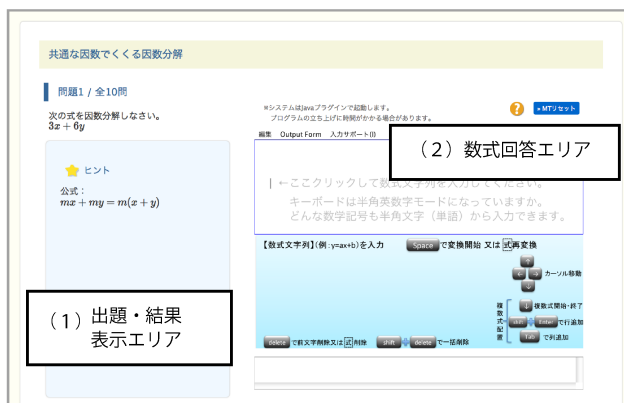


図 5: ドリル学習画面

ドリル一覧が表示される。そして最終的に 1 つのドリルを選択するとそのドリルで学ぶ学習のねらいが表示され、開始ボタンを押すとドリル学習が開始する。

このドリル学習がリスト 1 に示した学習サイクルをドリル問題の数だけ繰り返す。ドリル学習の画面を図 5 に示す。主に次の 2 つのエリアから構成される。

出題・結果表示エリア

出題・結果表示エリアには、ドリルの問題と回答後は正誤判定結果が表示される。文中の数式は MathJax で表示しており、問題文とヒントには図を付けることも可能である。また、ヒントの表示・非表示はドリル学習開始前に選択できる。

今回は範囲が多項式と簡単なため、正解式と代数的に等価な回答を独自の処理プログラムを使って正解と判定できるようにした。また、結果表示には模範解答として 1 つの問題に対し、5 つまで異なる正解が登録できる。

数式回答エリア

数式文字列変換方式を実装した数式エディタ MathTOUCH が表示される。数式を入力し、確定した段階で Enter キーを押すとシステムに数式が送られ、正誤判定の結果が出題・結果表示エリアに表示される。

3 本システムの実践

2013 年 7 月 22 日、23 日に武庫川女子大学附属中学校で行われた中学 3 年生の数学補習授業 2 コマ × 50 分において、本システムを導入し、DigitalWork を利用してドリル学習を行った。今回実施した被験者は当該中学校の 3 年生約 400 人の内、夏休みに補習が必要と判断された生徒 21 人である。なお、内 1 人が初日の補習授業を欠席したため、分析には欠席者を除く 20 人のデータを使用した。本章では、実践授業の概要と評価方法および授業の最後に行ったアンケート結果について述べる。

3.1 実践授業の概要と評価方法

授業の初日は、DigitalWorkの紹介とMathTOUCHを使った数式入力練習を行った。数式入力練習は、プロジェクタに教師の画面を映しながら説明し、足し算、かけ算、分数、べき乗の一通りの練習を一斉に各PCで行った(図6)。2日目は補習範囲である中学3年の1学期に学んだ単元「多項式の計算」の範囲をそれぞれのペースでDigitalWorkを使い学習してもらった。ドリル学習に使った問題例を表1に示す。

授業の最後にアンケートを取り、主観満足度の評価を行った。調査項目は、DigitalWorkとMathTOUCHに関する9項目と総合評価を設定した。DigitalWorkについては、主観的な学習効果と各機能(ミス問題の再学習機能、結果表示)、デザイン、そして紙の問題集との比較満足度について質問した。MathTOUCHについては、ヤコブ・ニールセンが提唱したユーザビリティ5原則[4]から、学習しやすさ、効率性、記憶しやすさ、間違えにくさの4項目について主観満足度を質問した。アンケート内容を表2(2列目)に示す。回答は「とてもそう思う」(5点)、「ややそう思う」(4点)、「どちらともいえない」(3点)、「あまりそう思わない」(2点)、「全然そう思わない」(1点)の5件法であてはまるものを選ぶよう求めた。



図 6: 授業風景

表 1: 問題例

単元	問題例	回答例
単項式と多項式の乗法	$-3(2x + 3)$	$-6x - 9$
$(x + a)(x + b)$ の展開	$(x + 1)(x + 4)$	$x^2 + 5x + 4$
$(x + a)^2$; $(x - a)^2$ の展開	$(x - 5)^2$	$x^2 - 10x + 25$
$(x + a)(x - a)$ の展開	$(x + 1)(x - 1)$	$x^2 - 1$

4 結果

表2 (3-4 列目), 図7に補習授業終了後のアンケート結果を示す。図7は,「とてもそう思う」,「ややそう思う」を「良い」に,「どちらともいえない」を「普通」,「あまりそう思わない」,「全然そう思わない」を「悪い」とし, 回答者数の割合を示したものである。

DigitalWorkに関する質問では, 平均が4.12となった。1が最低点で5が最高点の場合の主観評価満足度の平均は3.6が目安のため[4], 主観満足度は高いことがわかる。実際に,「デザインの良さ」を除く全ての項目で8割以上の生徒が良いと回答している。特に, 紙の問題集との比較満足度を問う質問では85%の生徒がDigitalWorkを使って公式の練習をするのが楽しいと回答した。

MathTOUCHに関する質問では, 平均が3.84となった。主観満足度の一般的な平均値よりやや高い結果となった。全ての項目で60%以上の生徒が「良い」と評価した。

総合満足度では, 70%の生徒がまた授業で使ってみたいと回答した。

表 2: アンケート結果 (N=20)

質問対象	アンケートの質問文 (質問の意図)	平均	SD
DigitalWork	公式を覚えることができた (主観的な学習効果)	4.05	1.00
	間違った問題を繰り返し学習できるのが良い (ミス問題の再学習機能)	4.35	1.04
	テスト結果がすぐにわかるのでよい (結果表示機能)	4.40	1.05
	デザインがよい (デザインの良さ)	3.55	1.05
	紙の問題集と比べて, DigitalWork を使って公式の練習をするのは楽しい (紙との比較満足度)	4.25	1.02
MathTOUCH	数式の入力手順を覚えるのは簡単だ (学習しやすさ)	3.80	1.47
	スムーズに数式を入力することができた (効率性)	3.65	1.23
	2日間ドリルを使ったが, 2日目も数式の入力手順を覚えていた (記憶しやすさ)	3.90	1.07
	ミスした時のやり直しは簡単だった (間違えにくさ)	4.00	1.03
システム全体	授業で DigitalWork をまた使ってみたいですか? (総合評価)	4.05	1.32
DigitalWork に関する質問の平均		4.12	1.06
MathTOUCH に関する質問の平均		3.84	1.20

5 考察

DigitalWorkに関する質問の平均値は4.12となり, 主観満足度は高い結果となった。85%の生徒が紙の問題集と比べ, DigitalWorkを使って公式の練習をするのは楽しいと回答しており, すぐに結果を確認し, 間違えた問題を再学習できるeラーニングでこそ実現できるドリル学習の機能が生徒の満足度として好評を得ていることが判った。

しかし「デザインの良さ」については, 主観満足度は3.55となり, 生徒の満足度を満たすレベルには達していないことが判った。デザインは生徒のモチベーションに影響を与える大切な要素の一つであるため, 今後改善が必要である。

MathTOUCHに関する質問の平均値は3.84となり, 主観満足度として悪くない結果となった。前述したDigitalWorkの結果とMathTOUCHの結果から, 数式文字列変換方式による数式入力がドリル学習の妨げにならず, 有効に使えていたことが判る。しかし, スムーズに入力できたかどうかの「効率性」についての満足度は3.65となり, やや低い結果となった。ドリル学習中に生徒がEnterキーを異常に連打したことでエラーが

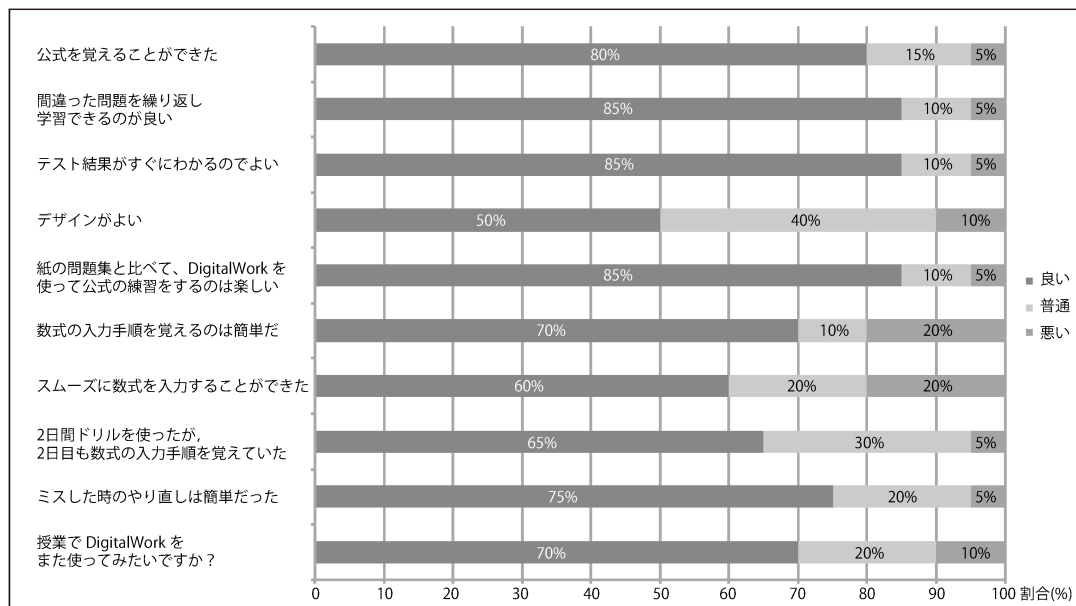


図 7: アンケート結果 (N=20)

起きる場面があり、評価が下がった可能性がある。ユーザの思わぬ操作でもシステムが安定して動作するように改善する必要がある。

自由記述の感想欄では、「紙を使ってやるより楽しかった。なんだかスツと考えられた気がする」や「早くこうしたシステムを使って勉強したい」、「とても楽しかったです」などの感想があった。以上のことから、本システムは数学ドリル学習の教育実践へ導入しても受け入れられることが確認できた。

6 まとめと今後の展望

本論文では、数式入力インタフェース MathTOUCH を応用した数式を回答できるドリル型学習システム DigitalWork を開発し、教育実践を行い数学初学者の受容度を検証した。

実践授業を行い、主観満足度を測定した結果、数式文字列変換方式は数式を回答する数学ドリル学習において有効に使用できることが確認できた。また、70%の生徒がまた授業で DigitalWork を使ってみたいと回答し、数学ドリル学習に特化した数式を直接回答する e ラーニングシステムの有効性も確認できた。

今後、被験者数を増やし、本方式を採用したドリル型学習システムでの学習効果を測定し、客観的な評価を行う必要がある。また、数学 e ラーニングシステムについては、想定外のユーザ操作にも対処できるように安定化させること、ゲーミフィケーション手法を取り入れ「デザインの良さ」を含めた改善を行うことが課題である。

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」, <http://solomon.mc.chitose.ac.jp/CIST-Shiva/Index>, 2013.11.21.
- [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 18(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] 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.
- [5] 国立教育政策研究所, 「TIMSS2011 国際比較結果の概要・問題例」, http://www.nier.go.jp/timss/2011/T11_gaiyou.pdf, 2013.11.21.
- [6] MathTOUCH プロジェクト, 福井研究室, 「数式エディタ MathTOUCH」, <http://math.mukogawa-u.ac.jp/>, 2013.11.21.
- [7] 文部科学省, 中央教育審議会答申「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」, 文部科学省, 2008.
- [8] 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, 2010.
- [9] 岡部恒治, ほか 14 名, 「文部科学省 検定済教科書 中学校数学 3」, 数研出版, 2012.
- [10] 大家まゆみ, 藤江康彦, 「小学校から中学校への移行期における理数科の動機づけー算数・数学の動機づけ尺度の作成ー」, お茶の水女子大学子ども発達教育研究センター紀要 4, pp.75-81, 2007.
- [11] Sangwin, C., 「STACK」, <http://stack.bham.ac.uk/>, 2013.11.21.
- [12] 洲脇史朗, 宮地功, 「数学が好きになる要因から見た日本の中学校数学教育への提言ー第 3 回国際数学理科教育調査を用いてー」, 教育情報研究, 日本教育情報学会学会誌 16(1), pp. 3-10, 2000.
- [13] 内田昭利, 守一雄, 「中学生の「数学嫌い」「理科嫌い」は本当かー潜在意識調査から得られた教育実践への提言ー」, 教育実践学論集 (13), pp.221-227, 2012.
- [14] WIRIS quizzes, 「WIRIS quizzes」, <http://www.wiris.com/en/quizzes>, 2013.11.21.