

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18625

研究課題名（和文）ペン入力を活用したオンライン学習システムの開発と学習行動のマイクロデータ解析

研究課題名（英文）Development of pen-based online learning system and micro data analysis of learning activities

研究代表者

中村 泰之（Nakamura, Yasuyuki）

名古屋大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：70273208

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：オンラインテストで、解答として数式を入力する形式のシステムが注目され、数式自動採点が可能となってきた。しかし、自動採点の対象となるのは、学生が思考した結果としての解答のみであり、その解答が誤答であった場合、どこで躓いているかを十分に把握することは困難であった。そこで、本研究では解答だけでなく、計算過程など、解答に至る思考過程を記述した手書きノートを提出する仕組みを構築することを目的とし、最終的に、手書きノートを写真撮影したもの、あるいはタブレット上での手書きノートを提出する仕組み、および、タブレット上での手書きノート作成では、ノートの筆記ログを蓄積することのできる仕組みを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オンラインテストで自動採点の対象となるのは、学生が思考した結果としての解答のみであり、思考過程までを十分に把握することは困難であった。本研究では解答だけでなく、計算過程など、解答に至る思考過程を記述した手書きノートを提出する仕組みを構築することにより、より詳細な学習者の理解を補助する仕組みを提供することができたことが学術的意義である。また、手書きノートの筆記ログを蓄積することにより、学習者の特性を把握することができ、熟達した教師であればノートを見ることによって把握できた学習者の特性をデータから推測することにより、経験の浅い教師への補助とし期待することができることが社会的意義と言える。

研究成果の概要（英文）：In online tests, attention has been paid to systems that enter mathematical expressions as answers, and automatic mathematical expression scoring has become possible. However, the automatic scoring is only for the answer as a result of the student's thinking, and when the answer is an incorrect answer, it is difficult to fully grasp where he/she stumbles. Therefore, the purpose of this study is to construct a mechanism for submitting handwritten notes describing not only the answer but also the thinking process leading to the answer, such as the calculation process. Finally, we developed a mechanism for submitting a photographed handwritten note or a handwritten note on a tablet. Furthermore, we have constructed a mechanism that can store the writing log of handwritten notes on a tablet.

研究分野：教育工学

キーワード：数学eラーニング 手書きデータ解析

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の通信環境の高速化・広帯域化、また様々なインターネット技術の開発に伴い、eラーニングを実施するためのシステムとして学習支援システム(LMS)が多くの機関で導入されている。LMSを導入することの利点の一つとして、オンラインテストという形式で、解答結果が自動的に採点され、学生の理解度を確認することができる。従来、そのオンラインテストで自動採点されるものの多くは、多肢・正誤選択形式、項目群の整合評価形式、数値入力形式などであったが、数式処理システムを応用して、解答としての数式の正誤評価を行う、数式自動採点可能なシステム(数学eラーニングシステム)が注目され、多くの機関で導入され始めている。しかし、これらのオンラインテストシステムで、自動採点の対象となるのは、学生が思考した結果としての解答のみであり、その解答が誤答であった場合、どこで躓いているかを十分に把握することは困難であった。

学生が解答として提出した数式の正誤評価を行う、数式自動採点可能なシステム(数学eラーニングシステム)は、欧米を始めとして、世界でも広く活用されており、日本国内でも少しずつ普及が進んできていた。数学eラーニングシステムとして、英国で開発されたSTACK(System for Teaching and Assessment using a Computer Algebra Kernel)、大阪府立大学で独自に開発されたMATH ON WEB、商用のMöbius(旧Maple T.A.)の利用が広まりつつあった。しかし、数学eラーニングシステムに限らず、LMS上のオンラインテストで自動採点されるのは、思考結果としての解答のみであり、解答が間違いであった場合など、思考過程のどこに問題があったのかを特定することは困難であった。その解決のために、オンラインテストでの解答の提出以外に、手渡しで計算ノートなどの提出を求めることで対応してきたが、解答とノートの該当箇所の照合、記述に時間を要した(思考錯誤した)ノートの箇所の特定、学生へのフィードバックの困難さなどから、十分な効果が得られたわけではなかった。

また、オランダやイギリスのOpen Universityなどヨーロッパの9機関が中心となって、LACE(Learning Analytics Community Exchange)プロジェクト(<http://www.laceproject.eu/>)が進められていた。このプロジェクトでは、2025年までにペンやノートなど学習に用いられるあらゆるツールにセンサーを取り付けて学習データを取得するという方向性が示されていて、学習データ解析のトップカンファレンスの一つである、LAK(Learning Analytics & Knowledge Conference)でも、センサーデータを用いた研究発表が見られるようになり、テスト結果など学習の結果のみを解析の対象とするのではなく、センサーなどを使った学習のプロセスに関するデータを詳細に解析することは、今後の学習解析研究の主流になっていくと考えられていた。

### 2. 研究の目的

以上のような背景を踏まえて、本研究では「ペン入力を活用したオンライン学習システムの開発と学習行動のマイクロデータ解析」という課題に関して、関連テーマも含め、数学eラーニングシステムに焦点を絞り、次の内容を目的とした。まず、解答だけでなく、計算過程など、解答に至る思考過程を記述した、デジタルペン入力による手書きノートを提出する仕組みを構築する。そして、このような解答提出環境構築の土台の上で、手書きノートのデジタルデータを詳細に解析し、教師の「経験知」を活かしながら、誤答とその原因となった思考過程の躓きを明確にするための仕組みと解析手法の提案を目的とした。

### 3. 研究の方法

LMSのオンラインテストにおいて、結果としての解答だけでなく、デジタルペン入力により思考過程を記述した手書きノートも併せて提出することのできるシステムを、オープンソースのLMSであるMoodleに、新しい「問題タイプ」のプラグインとして実装した。なお、デジタルペン入力の容易さを考慮し、本システムはタブレットの利用を前提としている。また、このノートでは、手書きの各ストローク(筆記単位)をタイムスタンプを付して保存するものとする。さらに、タブレットを所有していない学習者を想定し、ノートをスマートフォンなどで写真撮影し、それをアップロードする仕組みも、プラグインとして実装することとした。

そして、構築したシステムを用いて、実際に何人かの学生に解答してもらいながら、解答データ、手書きノートデータの収集、蓄積を行い、そのデータの解析と、教師の経験に根ざした知識(経験知)を活用しながら、学生の思考過程の特徴を把握する

### 4. 研究成果

#### (1) 手書きノートの提出機能

手書きノートを写真撮影、あるいはタブレット上での手書きで提出する仕組みを、Moodleのquestion behaviorプラグインとして開発した。これにより、STACK問題タイプだけではなく、多肢選択式の問題にもノートを添付して提出することが可能となった。この利用方法は、次のとおりである。まず、STACK問題タイプ、多肢選択式を始めとする、あらゆる問題タイプの解答欄にカメラアイコン、ノートアイコンがあり、それらをクリック(タップ)することで、ノートの提出が可能になる。カメラアイコンを選択した場合、スマートフォン、タブレットの場合はカメラアプリが起動させてノートを撮影するか、すでに保存されている画像をアルバムから選択することにより、ノートを提出することが可能となる。提出したノートは、学生自らの解答画面に表示される(図1)。一方、ノートアイコンを選択した場合は主にデジタルペンの利用を想定し

て、タブレット上などで手書きによるノート作成が可能となり、提出したノートは、学生自らの解答画面に表示される (図 2)。

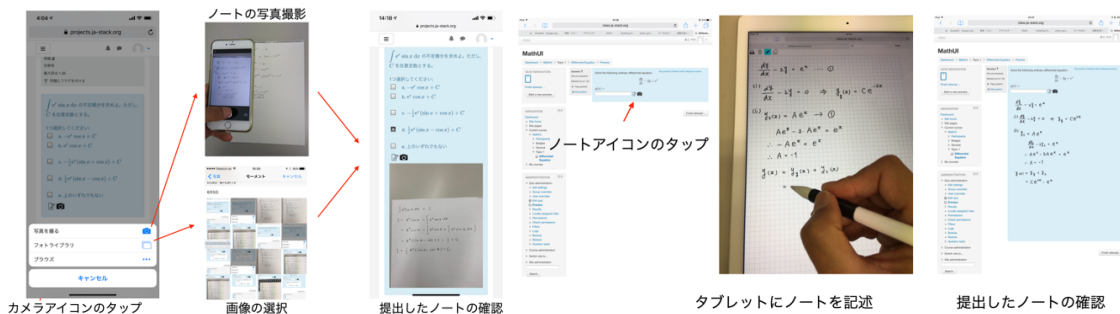


図 1

図 2

### (2) ノートの添削機能

前述のノート提出機能は主に学生が利用する機能であるが、教員側の機能としては、本節で紹介するノートの添削機能と、手書きノートのログ取得機能を開発した。

学生が提出したノートは、以下の手順で確認、および赤ペン添削が可能となる。まず、「受験結果」に「追加ノート」という項目を用意し、そこから、テストの点数と学生から提出されたノートの一覧を確認できる (図 3)。そして、提出されたノートに対して教員赤ペン添削を行い、学生はその結果を受験結果のプレビュー画面で確認することが可能となる (図 4)。

姓 / 名	メールアドレス	状態	開始日	受験日	時間	得点	Q.1	Q.2
ATCM 99	ynakamura@nagoya-u.ac.jp	受験をレビューする	2019年02月28日	2019年02月28日	10分00秒	5.00	10.00	5.00
ATCM 99		受験をレビューする	2019年02月28日	2019年02月28日	9分28秒	0.00		
ATCM 99		受験をレビューする	2019年02月28日	2019年02月28日	09:48			
全平均						5.00 (0)	2.50 (0)	2.50 (0)

図 3

教員

提出されたノート

学生

図 4

ノートの添削機能はクイズモジュールのレポートタイププラグインとして開発され、これも問題タイプによらず、汎用性が担保されている。したがって、これまで多肢選択式では、考えて正答を選択したのか、当てずっぽうで選択したのかわからなかったが、思考の根拠としてのノートを提出することができるようになった。

構築しているが、いずれも、ノートは画像として保存されており、解析を行うには不十分である。そこで、二年度目は、詳細な手書きノートの解析のために、ノートの筆記ログ (タイムスタンプとともに保存される、筆記データ、消去行動データ) を蓄積することのできる仕組みを構築し、その試行を行うことができた。以前は STACK の解答タイプの一つとして開発していたため、手書きノートは STACK 以外の問題タイプでは利用できなかった。今回は、LMS の一つであることにより、また、

### (3) 手書きノートのログ収集機能

手書きノートの解析のために、ノートの筆記ログ (タイムスタンプとともに保存される、筆記データ、消去行動データ) を収集することのできる仕組みを構築した。そのログの一部を図 5 に示す。例えば、start-drawing はペンがタブレット上にタッチされ、書き始めを意味する。その右側に、書き始めの座標、および、右端カラムにその時の時刻が表示されている。その他、start-drawing はペンの移動、changettoeraser は消しゴムが選択されたこと、start-erasing は消しゴムによる消去開始、move-erasing は消しゴムの移動を意味し、同様にそれらの座標とイベントが生じた時刻が記録されている。

```

User, Attempt, Note, Action, X, Y, Time
"ATCM 99", 3, 38, start-drawing, 59, 30, 1551318597839 書き始め
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 60, 30, 1551318597849
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 60, 29, 1551318597871
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 59, 29, 1551318597912 ペン位置
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 57, 30, 1551318597929
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 56, 32, 1551318597937

( 中略 )

"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 51, 86, 1551318598095
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 51, 85, 1551318598104
"ATCM 99", 3, 38, start-drawing, 77, 59, 1551318598483
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 76, 60, 1551318598501

( 中略 )

"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 279, 118, 1551318706929
"ATCM 99", 3, 38, move-drawing, 280, 118, 1551318706937
"ATCM 99", 3, 38, changetoeraser, 0, 0, 1551318711509 消しゴム切り替え
"ATCM 99", 3, 38, start-erasing, 273, 112, 1551318712048 消し始め
"ATCM 99", 3, 38, move-erasing, 271, 112, 1551318712054
"ATCM 99", 3, 38, move-erasing, 269, 113, 1551318712060 消しゴム位置
"ATCM 99", 3, 38, move-erasing, 268, 115, 1551318712060

```

図 5

これらのログを解析することにより、例えば、筆記速度、消しゴムの利用回数、(図 5 の例には含まれないが) 全消去の回数などを特徴量として設定し、学習者の特性との関連性を推測することが可能になることが期待される。これは、経験を積んだ教師であればノートを見るだけで学習者の特性をある程度把握することができるかもしれないが、経験の浅い教師に、データの解析結果を参考情報として示すことにより、学習者の特性の把握の補助となることが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara	4. 巻 0
2. 論文標題 NOTE-SUBMISSION FUNCTION FOR MOODLE QUIZ AND COLLECTING PEN-STROKE DATA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS International Conference Mobile Learning 2019	6. 最初と最後の頁 163 - 164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Yasuyuki, Yoshitomi Kentaro, Kawazoe Mitsuru, Fukui Tetsuo, Shirai Shizuka, Nakahara Takahiro, Kato Katsuya, Taniguchi Tetsuya	4. 巻 0
2. 論文標題 Effective Use of Math E-Learning with Questions Specification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Distance Learning, E-Learning and Blended Learning in Mathematics Education	6. 最初と最後の頁 133 ~ 148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-90790-1_8">https://doi.org/10.1007/978-3-319-90790-1_8</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Yasuyuki, Nakahara Takahiro, Kaneko Masataka, Takato Setsuo	4. 巻 10407
2. 論文標題 Authoring Quizzes with Interactive Content on the Mathematics e-Learning System STACK	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 273 ~ 284
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-62401-3_21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Yasuyuki, Nakahara Takahiro	4. 巻 15
2. 論文標題 A New Mathematics Input Interface with Flick Operation for Mobile Devices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 MSOR Connections	6. 最初と最後の頁 76 ~ 76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21100/msor.v15i2.413	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kaneko Masataka	4. 巻 10407
2. 論文標題 Using Tangible Contents Generated by CindyJS and Its Influence on Mathematical Cognition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 199 ~ 215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-62401-3_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計14件(うち招待講演 1件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 中村泰之, 中原敬広
2. 発表標題 数学オンラインテストにおける手書きノート提出・ログ収集機能
3. 学会等名 Educating, Learning and Assisting 研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara
2. 発表標題 Note-Submission Function for Moodle Quiz and Collecting Pen-stroke Data
3. 学会等名 Special Seminar of Mathematical User Interface (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara
2. 発表標題 NOTE-SUBMISSION FUNCTION FOR MOODLE QUIZ AND COLLECTING PEN-STROKE DATA
3. 学会等名 IADIS International Conference Mobile Learning 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Masataka Kaneko, Setsuo Takato
2. 発表標題 Analyses of pen-based input data as an answer to the question from mathematics e-Learning system STACK
3. 学会等名 International Congress on Mathematical Software (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村泰之, 中原敬広
2. 発表標題 ペン入力解答データ解析のための特徴量に関する検討
3. 学会等名 PCカンファレンス北海道2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Yuko Ichikawa, Takahiro Nakahara, Yoshinori Miyazaki, Saburo Higuchi, Kentaro Yoshitomi
2. 発表標題 STACK: an online assessment system for mathematics
3. 学会等名 The 23rd Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村泰之, 中原敬広
2. 発表標題 小テストにおけるノート提出機能と手書きノートのログ取得機能の開発
3. 学会等名 日本MoodleMoot 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Masataka Kaneko, Setsuo Takato
2. 発表標題 Authoring Quizzes with Interactive Content on the Mathematics e-Learning System STACK
3. 学会等名 International Conference on Computational Science and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara
2. 発表標題 Development of note-submitting function of mathematics e-Learning system STACK
3. 学会等名 The 12th Workshop on Mathematical User Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村泰之, 中原敬広
2. 発表標題 STACK における計算過程ノート提出機能の開発と簡易評価
3. 学会等名 RIMS 共同研究「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara
2. 発表標題 Enhancement of Input Type for Math e-Learning System STACK
3. 学会等名 INTERNATIONAL WORKSHOP MATHEMATICAL EDUCATION FOR NON-MATHEMATICS STUDENTS (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 中村泰之, 中原敬広
2. 発表標題 STACKIにおける解答過程の提出・採点プラグインの開発
3. 学会等名 Moodle Moot 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kaneko Masataka
2. 発表標題 Using Tangible Contents Generated by CindyJS and Its Influence on Mathematical Cognition
3. 学会等名 Using Tangible Contents Generated by CindyJS and Its Influence on Mathematical Cognition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子真隆, 中原敬広, 中村泰之
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツのWeb上での利用について
3. 学会等名 RIMS 共同研究「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高遠 節夫  (Takato Setsuo)  (30163223)	東邦大学・理学部・訪問教授    (32661)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	金子 真隆  (Kaneko Masataka)  (90311000)	東邦大学・薬学部・教授     (32661)	