

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02872

研究課題名(和文) タンジブルな数学教材の操作を再現するシステムの構築と学習者の思考過程の分析

研究課題名(英文) The construction of the system to restore learners' manipulation of mathematical content and its use to analyze their thinking process

研究代表者

金子 真隆 (KANEKO, Masataka)

東邦大学・薬学部・教授

研究者番号：90311000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、学習者が動的幾何システムで生成された数学コンテンツを操作した際のログデータを蓄積し、これを時系列的に分析することで思考プロセスを解明することを目指したものである。操作を再現するシステムの構築という当初の目的を変更し、プロセスの全体像を一目に把握できるシステムを構築した。協調学習の場面で用いた際の対話のログなどとの対照により、操作ログの特徴量の遷移をうまく把握することで、思考プロセスを解明できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ICTを用いた教育、とくに探究的な活動を伴う教育については、学習者に適切な学習支援を行う上で、学習者の利用状況を教授者が迅速に把握し、思考プロセスを的確に把握する必要がある。本研究は、数理モデルの動的な操作のログを蓄積し、そこから適切な特徴量を抽出することで、思考プロセスを把握できる可能性を強く示唆するものであり、数理科学におけるICTを用いた探究学習における学習支援を設計する上で、有益な指針を与えること期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed the system to accumulate the log of learners' manipulating mathematical content generated by dynamic geometry software and tried to analyze the data to elucidate their thinking processes. Changing the original goal to construct the system to restore the manipulation process, we constructed the system to visualize the whole process in a single view. By comparing the log of manipulation and the data of communication in case of the collaborative learning, it has been indicated that learners' thinking process can be elucidated by monitoring the transition of some characteristic signal of the log of manipulation.

研究分野：教育工学

キーワード：動的幾何システム 数学探究学習 操作ログの解析 Learning Analytics 対話分析

## 1. 研究開始当初の背景

ICTの発達に伴い、世界的に教育におけるICT利用が急速に進みつつあるが、教育工学分野のメタレビュー研究の中で、教育効果の検証手段がテストスコアの比較に偏っており、利用プロセスの検証が不十分であるとの指摘が相次いでいた。もとより、特に数理的なモデルの操作を伴う探究的な学習においては、学習者の利用状況を教授者が的確に把握した上で適切な学習支援を行うことが必要だが、操作ログなどに基づく客観的な検証が難しく、もっぱら学習者の行動を目で見て判断せざるを得ない状況であって、特に大人数の授業で即時的な支援を行うことが非常に難しいのが実態であった。ところが、研究開始の少し前に、HTML形式で作成された動的な数学コンテンツから操作ログを取り出せる可能性が示唆され、その活用を検討しているところであった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、Webベースで数理的モデルを操作できる動的幾何システムCindyJSにより生成されたコンテンツを学習者が操作した際に、そのログデータを取得し、それに基づいて操作プロセスを再現して、事後の検証を可能にするシステムを構築することである。また、ログデータに基づいて、操作中における学習者の思考プロセスを客観的かつ手軽に把握することも併せて目的とする。

## 3. 研究の方法

我々のこれまでの研究の中で、CindyJSをMoodle上で操作できるプラグインが構築されていたことをふまえ、操作ログをMoodle上にダウンロードして蓄積するシステムを構築した。

当初は、取得したログデータをもとに、操作プロセスを再現するシステムの構築を目指したが、これは変更を余儀なくされた。実際、プロセスを再現するシステムを教授者が確認するためには、全体が再現される間動きを観察し続ける必要がある上に、その解釈について、主観が入る可能性が否定できなかった。また、特にiPadなどのデバイスでは、画面録画が非常に手軽にできる状況になり、ファイルサイズも小さく抑えられるようになってきたため、新しいシステムを構築する必要性が薄れてきてしまった。

その一方で、世界的なLearning Analyticsの進展の中で、ログデータを一目で観察できる形に可視化した上で、そこから有意な特徴量を抽出し、学習者の思考プロセスを適切に把握できるようにすることへのニーズが高まってきたため、本研究の主目的を操作ログからの特徴量の抽出と、思考プロセスの解釈に関する裏付けへと変更した。

このために、協調学習の中で動的コンテンツを学習者のグループに操作させる形の実験授業を積み重ね、操作ログとメンバー間の対話の時間遷移を対照することにより、特定の操作パターンに付随する思考プロセスが追跡できないか、追究することとした。

## 4. 研究成果

研究期間を通じて最も頻繁に使用したのは、大学教養レベルの解析学で広く教えられている「関数の多項式近似」に関するシミュレーション用教材である(図1)。

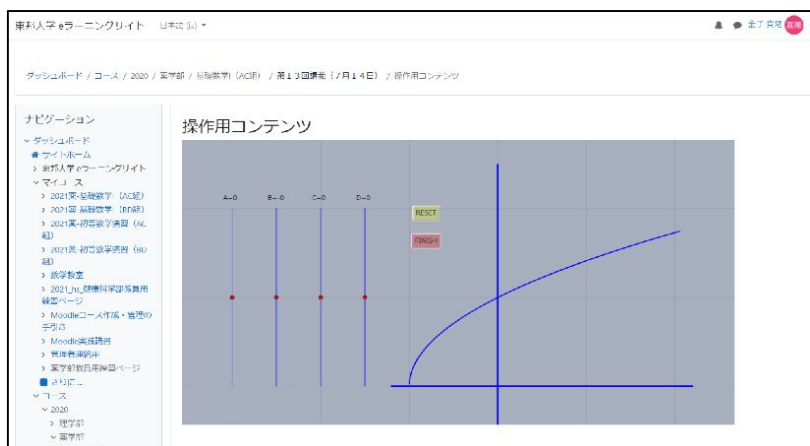


図1 多項式近似に関するシミュレーション用教材

図中のスライダーによって近似係数を動かせるが、その経過をタイムスタンプ付きで Moodle 上に蓄積できるようになっている。さらに、得られたログデータを JAVA のプログラムで処理し、特徴量の時間遷移を可視化できるようにした（図 2 に可視化した事例）。

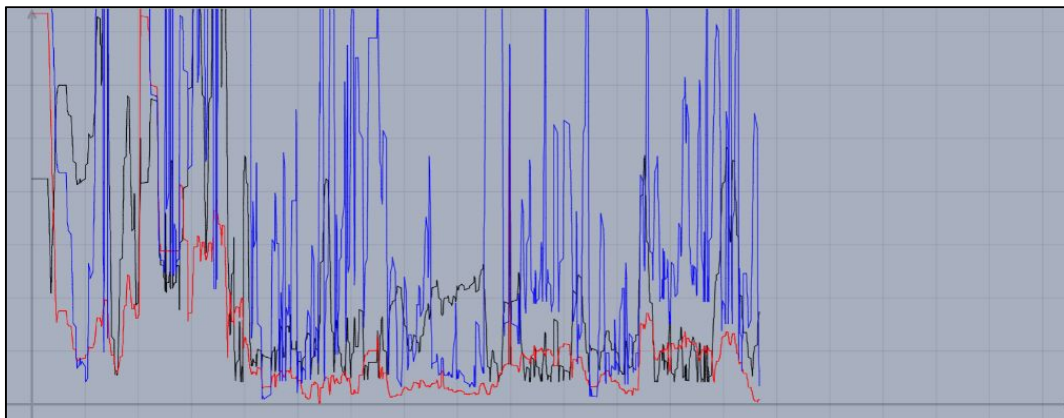


図 2 特徴量の時間遷移を可視化した事例

さらに、操作した係数の sequential なパターンを解析するため、キーの操作順序を可視化するプログラムも作成し活用した（図 3 に可視化した事例）。

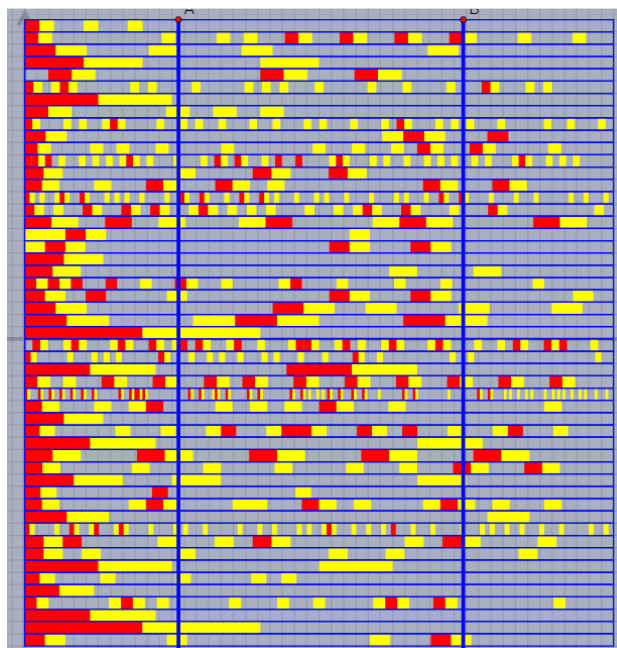


図 3 操作パターンの可視化

以上のシステムを用いて、協調学習の形で学習者のグループに操作させる実験授業を実施し、グループ内の発話内容の推移と操作パターンの遷移を対照することで、操作パターンから学習者の思考プロセスを把握できる可能性を追求することを試みた。たとえば図 4 は、被験者の発話全体と一部ジェスチャーをテキスト化したものにテキストマイニングの手法を適用し（KHcoder を使用）いくつかの特徴的なクラスターを抽出した上、対象となったすべてのグループの操作を 8 つのステージに分割し、各クラスターの発生頻度と低次の係数の操作頻度とをステージごとに可視化して比較できるようにしたものである。結果的に、特定の発話・ジェスチャーのクラスターの頻発に遅行して低次の係数の操作頻度が上昇していることが観察された。このことから、低次の係数の操作頻度によって、学習者が大域的な近似と局所的な近似のいずれを目指しているかという、学習者の思考プロセスの重要な特徴づけが得られる可能性が強く示唆された。

以上の結果は、より一般に、動的数学コンテンツの操作ログの特徴量の時間遷移をモニターすることにより、学習者の操作方略・思考プロセスを把握できる可能性を強く示唆する。

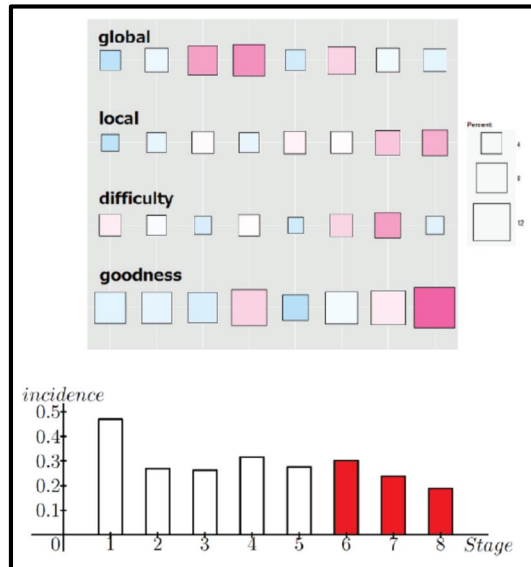


図4 操作パターンと発話クラスターの時間遷移に関する可視化

研究の最終年度にあたる2020年度においては、新たなコンテンツを投入し、より幅広い分野で同様の可能性を探ることを目指していたが、新型コロナウイルスの感染拡大によって対面授業の中での教育実験に大きな制約が加わったため、Moodleを用いた学習者個人単位での遠隔授業における実験を行わざるを得ず、また利用するデータも操作ログに限られるという状況に陥った。そこで、研究の設定を切り替えて、特定の教育的介入用ビデオを視聴することによる教育効果を、操作ログから裏付けられる可能性について追究してみることにした。図5は、ビデオを見せた群と見せなかった群とで、いくつかの条件を満たす操作の発生頻度を比較したものであるが、表面的な探索結果には結びつかないものの、学習目的に照らして実施が望ましい種類の操作が前者の群で優位に多く発生していることが確認された。

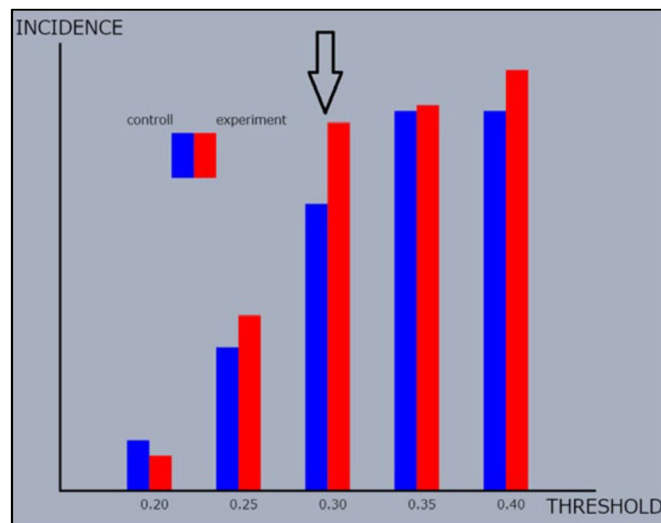


図5 2群での操作状況の比較

この結果は、教授者による授業設計の効果について、動的コンテンツの操作ログを分析することで検証できる可能性を示唆するものである。これが可能になれば、大人数を対象とした探究学習の場面で、学習者の操作状況から思考の進展や躓きを短時間に診断し、必要な支援を即時に行える可能性が広がることが期待され、今後追究すべき課題であると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 M. Kaneko, T. Nakahara, T. Noda	4. 巻 -
2. 論文標題 Temporal analytics of log data derived from students' manipulating mathematical objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Companion Proceedings of LAK2020	6. 最初と最後の頁 86-88
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 金子真隆, 野田健夫, 中原敬広	4. 巻 2142
2. 論文標題 CindyJSによるコンテンツのweb上での操作ログの解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 23-32
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 無
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 S. Takato, J. A. Vallejo	4. 巻 14-2
2. 論文標題 Using Oshima Splines to Produce Accurate Numerical Results and High Quality Graphical Output	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematics in Computer Science	6. 最初と最後の頁 399-413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11786-019-00443-2	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 北本卓也	4. 巻 2105
2. 論文標題 Javascriptを用いたE Learningシステムについて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 99-105
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 無
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 T. Noda, M. Kaneko	4. 巻 10931
2. 論文標題 Collaborative use of mathematical content generated by CindyJS on tablets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 379-388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-96418-8_45	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 S. Takato, J. A. Vallejo	4. 巻 -
2. 論文標題 Hamiltonian dynamical systems: symbolical, numerical and graphical study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematics in Computer Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11786-019-00396-6	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 該当する

1. 著者名 T. Kitamoto, M. Kaneko, S. Takato	4. 巻 -
2. 論文標題 E-Learning system with computer algebra based on JavaScript programming language	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of ATCM2018	6. 最初と最後の頁 123-132
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Kaneko, T. Noda	4. 巻 2105
2. 論文標題 Learning descriptive statistics with the use of dynamic content generated by CindyJS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 137-145
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 無
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 北本卓也	4. 巻 2105
2. 論文標題 Javascriptを用いたE-Learningシステムについて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 99-105
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 無
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 高遠節夫	4. 巻 2105
2. 論文標題 大島スプライン曲線の応用とKeTCindyプログラミング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 126-136
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 無
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 金子真隆, 中原敬広, 野田健夫	4. 巻 2178
2. 論文標題 Moodle 上でのCindyJS を用いた探求学習におけるログデータのアナリティクスから 学習支援へ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 114-123
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 無
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 北本卓也	4. 巻 2
2. 論文標題 オンラインの教材作成パッケージについて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 城西大学数学科数学教育紀要	6. 最初と最後の頁 49-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20566/sugakukyoiku-2_49	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 高遠節夫, 北原清志	4. 巻 2
2. 論文標題 KeTCindy による Free Wolfram Engine(WE) の呼び出し機能と教材作成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 城西大学数学科数学教育紀要	6. 最初と最後の頁 25-34
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 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 S. Takato
2. 発表標題 Development and Applications of KeTCindyJS
3. 学会等名 Application of Computer Algebra (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北本卓也
2. 発表標題 数式処理ツールによる教材作成
3. 学会等名 数式処理学会教育分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子真隆, 中原敬広, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた学習活動の高粒度な操作ログデータを用いた分析
3. 学会等名 日本教育工学会2020年春季全国大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 金子真隆, 江木啓訓, 中原敬広, 野田健夫,
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた協調学習における操作と対話との連関の追跡 ( )
3. 学会等名 日本教育工学会2019年秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田健夫, 金子真隆
2. 発表標題 動的幾何システムを用いた証明活動のethnomethodologyによる分析
3. 学会等名 日本科学教育学会第43回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子真隆, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた強調学習における操作と対話の連関の追跡
3. 学会等名 日本教育工学会第34回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子真隆, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた強調学習における操作と対話の連関の追跡 ( 続 )
3. 学会等名 日本教育工学会研究会18-5・学習データ分析
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田健夫, 金子真隆
2. 発表標題 CindyJSによる数学コンテンツと対話の影響
3. 学会等名 日本科学教育学会第42回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kaneko, T. Noda
2. 発表標題 Students' operating CindyJS materials and detecting their reasoning
3. 学会等名 Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takato, Y. Kubo, M. Kaneko
2. 発表標題 Usage and recent development of KeTCindy
3. 学会等名 Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子真隆, 江木啓訓, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによる動的数学コンテンツを用いた協調学習における細粒度音声ログデータを用いた学習者の思考過程の追跡
3. 学会等名 日本教育工学会2020年秋季全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子真隆, 中原敬広, 野田健夫
2. 発表標題 3次元図形の数学学習者自身による操作を通じた観察が概念理解にもたらす影響に関する調査
3. 学会等名 日本教育工学会2021年春季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田健夫, 金子真隆
2. 発表標題 Moodle上での数学学習に関するログデータが物語ること
3. 学会等名 日本科学教育学会第44回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kitamoto, M. Kaneko, S. Takato
2. 発表標題 Web-based system for teachers to create teaching materials on a browser
3. 学会等名 ATCM2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高遠節夫, 濱口直樹
2. 発表標題 Web 利用の理数教育に役立つ数式送受システムの開発
3. 学会等名 RIMS共同研究(公開型) 「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 2020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)	
研究 分担者	北本 卓也  (Kitamoto Takuya)  (30241780)	山口大学・教育学部・教授   (15501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------