

デジタルペンのストロークデータを用いた思考過程の可視化と分析

Visualization and Analysis of Thinking Process Using Digital Pen Stroke Data

山本 怜弥^{*1}, 中村 泰之^{*2}

Ryoya YAMAMOTO^{*1}, Yasuyuki NAKAMURA^{*2}

^{*1}名古屋大学情報学部, ^{*2}名古屋大学大学院情報学研究科

^{*1}School of Informatics, Nagoya University, ^{*2}Graduate School of Informatics, Nagoya University

Email: yamamoto.ryoya.f5@s.mail.nagoya-u.ac.jp

あらまし：タブレット端末を利用した学習では様々な学習ログが得られる。学習ログを活用することで、紙媒体のみでは把握できない特徴や習熟度の確認などが行える。本研究では、数式自動採点システムの一つである STACK を用い、タブレットを介して記述された数学の問題の解答過程から得られたデジタルペンのストロークデータをもとに、学生が最終的に提出した解答過程には残されていない、それまでの思考過程を可視化した。また、数多の思考過程の中でより確認が必要とされる解答を抽出するための指標を考察した。

キーワード：数式自動採点システム, STACK, ペンストロークデータ, 思考過程, 可視化

1. はじめに

新型コロナウイルスの流行によって教育分野におけるデジタル化に関する取組みが加速した。2019 年に文部科学省が打ち出した GIGA スクール構想⁽¹⁾は、教育機関における一人一台のタブレット PC の整備が進められている。タブレット PC を学習に利用することで得られた学習ログデータを分析することで、学生の理解度向上に向けた方針の策定に役立てることができる。

本研究では、数式自動採点システムの一つである STACK^(2,3)を用い、タブレットを介して記述された数学の問題の解答過程から得られた学習ログデータのうちのひとつであるペンストロークデータをもとに、解答を行った学生が最終的に提出した解答過程には残されていない、それまでの思考過程を可視化する。学生の試行錯誤を反映した思考過程を分析することで、学生の習熟度の確認や陥りやすい箇所、さらには問題ごとの特徴を把握し、各学生に適切なフィードバックを与えることが可能となる。また、より特徴的なノートデータを抽出するべく、新たな指標を考察する。

2. STACK の概要紹介

STACK は、英国バーミンガム大学の Christopher Sangwin が中心となり、2005 年に開発した数式自動採点システムであり、日本語版は2010年に実装された。

STACK には、ポテンシャル・レスポンス・ツリーと呼ばれる機構が存在し、事前に想定される誤答に対してフィードバックや部分点を与えるなど様々な機能がある。また、中村、中原によって、STACK に解答としての数式だけでなく、計算過程をタブレット上に手書きで記述したノートも紐付けて提出できる機能が開発された⁽⁴⁾。

3. ペンストロークデータについて

タブレットにデジタルペンで記述し、提出されたノートの例を図 1 に示す。ノートの左上部には、記述終了、全消去、ペンモード、消しゴムモードのアイコンがある。本研究で利用したペンストロークデータは、続いて並ぶリンクから取得する。

ペンストロークデータには時系列順にペンの状態が記録されている。図 2 は記録されたデータの一部である。Action の列でペンの状態、X の列、Y の列でペン先の座標、そして Time の列で Action の行われた時刻の UNIX 時間が表示されている。

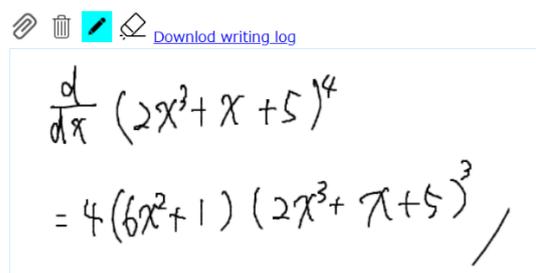


図 1 提出されたノートの画面

Action	X	Y	Time
start-drawing	50	26	1657392842946
move-drawing	49	25	1657392842949
move-drawing	48	21	1657392842971
move-drawing	49	20	1657392842977
move-drawing	50	20	1657392842991

図 2 ペンストロークデータ

4. 可視化方法

3 節で示したペンストロークデータを用い、Python のライブラリである Matplotlib を利用して以下の手順で思考過程の可視化を行う。なお、消された内容

に注目するべく消しゴムの使用直前と使用直後を画像として出力するコードを2種類作成した。

- 1) ペンストロークデータを時系列順に読み込む。
- 2) 記述開始 `start-drawing` から始まり、記述中 `move-drawing` の記録が続く限り座標同士を結んで一筆を再現する。
- 3) 途中で消去開始 `start-erasing` が読み込まれた場合、この x , y 座標と以降に続く消去中 `move-erasing` の x , y 座標のうち最大値と最小値を取得する。消しゴムの使用直前を出力する。消しゴムの使用直後を出力するコードでは、ここまでの描画を出力する。
- 4) 得られた座標の範囲に上から白色の四角形を重ねることで擬似的に消去する。また、全消去 `allclear` は同様の方法でノート全範囲を対象とする。消しゴムの使用直後を出力するコードでは、ここまでの描画を出力する。
- 5) 以降は記述終了 `savenote` が読み込まれるまで2)~4)の手順を繰り返す。

5. 可視化

4節で示した可視化方法を、数学Ⅲ程度の微分・積分の問題を解答した学生3名のペンストロークデータに適用した。図3, 4, 5はそのうちの1問における一人の学生の思考過程の一部を時系列順に並べたものである。

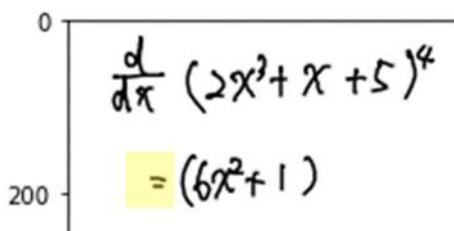


図3 学生の思考過程(1)

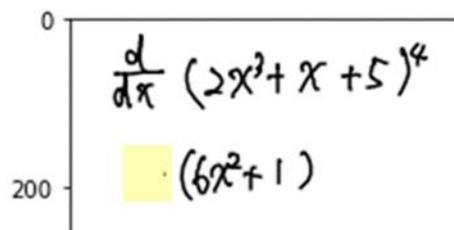


図4 学生の思考過程(2)

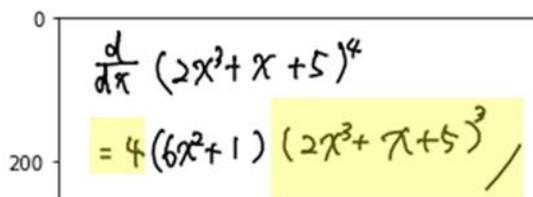


図5 学生の思考過程(3)

図3から、微分において数式の右肩の次数を係数とすることを失念しており、図4と図5にかけて修正しているのがわかる。微分の問題における初歩的なミスではあるが、指導の際には次数の処理についても押えておく必要がある。また、この学生が最終的に提出したノートの画像が図1で紹介した画像にあたり、図1のみでは正答しているというフィードバックしか与えられないものの、このように思考過程を確認することで正答した学生を達成感に満たされたまま放置することなく、より習熟度を上げられるような対応がとれる。

6. 補助的な指標

学生の思考過程を確認することで、習熟度の確認やミスが頻出する箇所を把握できるが、学生数によってはその全ての思考過程を確認することは難しく、限られた時間の中でより優先して確認すべきノートを抽出する必要がある。そのため、得られたペンストロークデータに含まれる情報から、ノートを抽出する際の指標を考察した。この指標を決定づける要因を変えていき、抽出されるべきノートにおいて高い数値を示す指標を模索したが、強く相関を示す指標は作成できず、有効性を示す指標は得られなかった。

7. まとめ

本研究では、STACKを用い、タブレットを介して記述された数学の問題の解答過程から得られたデジタルペンのストロークデータをもとに、学生が最終的に提出した解答過程には残されていない、それまでの思考過程を可視化した。思考過程を確認することで学習方針の改善や学生ごとに適切なフィードバックが与えられると考えられる。また、思考過程を確認する際に、特徴的な思考過程を抽出するための指標を考察したが、有効性を示す指標は得られなかった。ノートの抽出するための指標は教師の時間的な制約の下、必要とされる機能であるため、データを得る学生の数を増やした上で複数の要因を組み合わせ、それぞれを重視する度合いを調整するなどの手段を用いて作成したい。

参考文献

- (1) 文部科学省:「GIGA スクール構想」について、https://www.mext.go.jp/kaigisiryō/content/20200706-mxt_syoto01-000008468-22.pdf, 参照 2023-2-6
- (2) Christopher Sangwin: “Computer Aided Assessment of Mathematics”, OUP Oxford, (2013)
- (3) STACK | The University of Edinburgh, <https://www.ed.ac.uk/math/stack>, 参照 2023-2-6
- (4) Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara: “NOTE-SUBMISSION FUNCTION FOR MOODLE QUIZ AND COLLECTING PEN-STROKE DATA”, Proc. of IADIS International Conference Mobile Learning, pp.163-164 (2019)