

タブレットと電子ペンを用いた計算論的思考能力の推定 Estimating Computational Thinking Ability Using Tablets and Electronic Pens

裏山 昂平[†] 島川 博光[†]
Kohei Urayama Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

解決策を段階的に順序立てて計画する計算論的思考能力を育むことは重要である。計算論的思考能力とは、構成要素を組立てて問題を解決する過程の見通しをつける力を指す。教育においてこの能力は 21 世紀の標準となりつつある[17]。既存の文献は、初等教育に計算論的思考を含めることを支持している[12]。また Sue[16]は教育における計算論的思考の重要性について議論している。イギリスでは 2014 年から国家カリキュラムの必須科目として導入された。

コンピュータを用いた計算論的思考の教育方法が提案されている。しかし、コンピュータの使い方がままならない学生へのアプローチは模索中である[12]。計算論的思考が、新しい世代の学生がコンピュータベースの世界を完全に理解して参加するために習得しなければならない一連の問題解決スキルとして生まれつつあると Marcos ら[11]は主張している。ただし、心理的な定義と評価はまだ初期段階である。そしてコーディングを学習する前であっても、計算能力の高い学生を検出する方法が必要であると述べている。

本研究では、手書きログを用いた計算論的思考テストの手法を提案する。これにより、プログラミング技術を持たない学生に対して計算論的思考の教育を施すことが期待できる。また、市販のデバイスを用いることで導入が容易になる。

2. 手書きログの有用性

2.1 タブレットと電子ペンを用いた教育

特定の状況下では、pen-based tablets を用いた学習は、従来の紙と鉛筆で学ぶ方法と同じくらい効果的であることが示されている[5, 10, 15]。そのため、pen-based tablets を用いた学習方法の研究は盛んである。また、タブレット端末は紙や PC と比べて飽きにくいメディアである[7]。

2.2 手書きログと計算論的思考能力の関係

Christian ら [3] は、計算論的思考能力はアンブラグドアプローチが有効であると示している。小西ら [14] は、ヒトの生体情報から心理的評価に基づく学習行動を推定する手法を提案している。浅井ら [1] は、手書き入力可能なデバイスを利用して得られるオンライン手書きデータから、学習者のフラストレーションと支援要求状態を検出する手法を提案している。計算論的思考において、見通しが立っているかどうか判定するためにはフラストレーションは重要な要素であると考えられる。丸一ら [13] は、pen-based tablet から取得した手書きログのみを使用して、学習者の自信を推定する手法を提案している。自信は学習において重要な役割を果たす [8]。またタブレットと電子ペンを用いて取得した手書きログから、被験者の学習取り組み状態や創造性を計測できることが示されている[4, 9]。

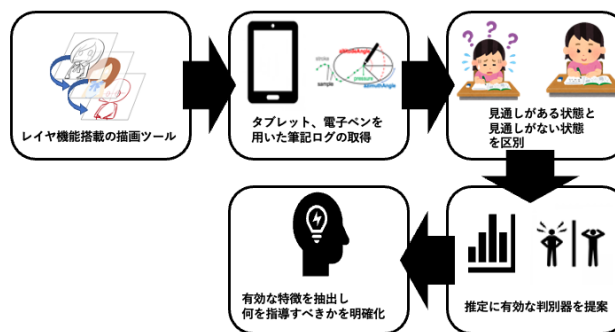


図 1 手法概要図

計算論的思考能力とは、目的にむけて見通しをつけたあと、工程を組み立てる能力である。上記の先行研究から、手書きログから計算論的思考能力を推定できると考えられる。

3. レイヤ遷移頻度からの計算論的思考能力の推定

3.1 計算論的思考時のレイヤ遷移

本研究では、デッサン、線画、着色、部品のレイヤを用いる制約を与え描画させ、対象者の計算論的思考力を推定する。部品とは描画対象をパーツに分けたものである。見通しをつけて描画するユーザは、デッサン時に見通しを立てると考える。よって、彼らはデッサン、線画、着色、部品の順にレイヤを進み、後戻りが少ない。逆にデッサンに戻った場合、見通しがなかったと判断できる。

提案手法の概要を図 1 に示す。レイヤ機能搭載の描画ツールを用いる。ユーザに課題を与え、タブレット、電子ペンを用いて筆記ログを取得する。対象者に見通しがある状態とそうでない状態を人手でラベル付ける。筆記ログとラベルから計算論的思考能力を推定する機械学習モデルを得る。モデルにおける推定に有効な特徴を抽出し、計算論的思考力を育成するには何を指導すべきかを明らかにする。

3.2 手書きログ

本研究では iPad と Apple Pencil を用いる。

レイヤ機能と筆記ログ計測機能を搭載した描画ツールを用意する。レイヤとは描画用の透明な仮想シートである。それぞれ役割が決まっており、何枚も重ねることでイラストを作成する。本研究ではデッサン、線画、着色、部品ごとにレイヤを用意する。

本研究では電子ペンから取得した位置座標、筆圧、高度角、方位角を計測する。0.1 秒ごとに、Apple Pencil が iPad に触れているときだけデータを取得する。位置座標とは電子ペンの描画可能領域において、電子ペンが触れている箇所を、左上を原点、水平方向を x 軸、鉛直方向を y 軸として、x 座標と y 座標を小数点第一位まで記録したものである。筆圧

[†] 立命館大学 Ritsumeikan University

とは電子ペンがタブレットを押した力を数値化したものである。小数点第二位まで記録し、最大値は 4.17 である。高度角とは、タブレットとペンの角度をラジアン値で表したものである。最大値は $\pi/2$ である。方位角とは、ペンが倒れている方向をラジアン値で表したものである。ペンを x 軸方向と平行に傾けると 0 になり、時計回りに回転させると増加し、逆時計回りに回転させると減少する。最大値は 2π である。筆圧、高度、方位角はそのまま特徴量として使用する。また、位置座標の差分から電子ペンが動いた速度を導き、それを特徴量として使用する。

3.3 計算論的思考能力の判別

計算論的思考能力推定には、状態遷移の頻度を調べることが有効である[6]。見通しがある場合、ユーザはデッサンに戻らず線画を終え、着色に移行する。計算論的思考能力の有無でデッサンに戻る頻度に違いが現れると考えられる。

レイヤ変更頻度から見通しがあるユーザとないユーザを目視でラベル付けする。そして見通しのある状態とない状態を区別する判別器をトレーニングする。見通しの有無により異なるユーザの特徴を抽出する。この特徴を調べることにより、計算論的思考力の育成のために何を指導すべきかが判明する。

4. レイヤを用いた評価環境

4.1 作業環境

レイヤ機能を搭載した市販ソフトウェアからはログが収集できない。そのため本研究では操作を限定した描画ツールを実装する。

描画ツールでは、ペンの色は数個のみ選択できる。また、あらかじめレイヤごとに描く部品を指定し、レイヤにタイトルをつけ、ユーザがレイヤを選択することを促す。

4.2 課題と収集データの分析

計算論的思考能力は「Decomposition(分解)」「Pattern recognition(パターン認識)」「Abstraction(抽象化)」「Algorithms(アルゴリズム)」の4個に分類され、それらが合わさって計算論的思考能力を形成すると定義されている[2]。被験者に課す課題はこれらの分類に従った出題にしなければならない。

実験では、被験者にタブレットと電子ペンを与え、デッサン課題を課す。複数の被験者の計算論的思考力を公平に比較するために、部品は指定する。被験者は、部品ごとにレイヤを変え描画する。この間の筆記ログが記録される。見通しがある被験者とない被験者をラベル付けし、これらの判別器を機械学習により得る。グループの識別に有用な特徴を変数重要度より抽出する。

5. おわりに

プログラミング方法を知らない学生に対して計算論的思考能力を育成する方法はない。本研究では、タブレットと電子ペンを用いて能力の推定を行う手法を提案する。これにより、専門技術を必要としない計測が可能となる。

本研究で明らかになった育成方法を、市販ツールとともに用いることにより、諸島教育現場での計算論的思考能力の育成が可能になると期待できる。

参考文献

- [1] Asai, Hiroki, and Hayato Yamana. "Detecting student frustration based on handwriting behavior." Proceedings of the adjunct publication of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology. 2013.
- [2] BBC: "Introduction to computational thinking", <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zp92mp3/revision/1>
- [3] Christian P. Brackmann, Marcos Román-González, Gregorio Robles, Jesús Moreno-León, Ana Casali, and Dante Barone. 2017. Development of Computational Thinking Skills through Unplugged Activities in Primary School. In Proceedings of the 12th Workshop on Primary and Secondary Computing Education (WiPSCE '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 65–72. <https://doi.org/10.1145/3137065.3137069>
- [4] Goshima, R. (2021). Extracting Features of Solving Behavior in Handwriting on Tablets. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 8(2), 178–193.
- [5] Herodotou, Christothea. "Young children and tablets: A systematic review of effects on learning and development." *Journal of Computer Assisted Learning* 34.1 (2018): 1-9.
- [6] Ito, Hiroki & Shimakawa, Hiromitsu & Harada, Fumiko. (2023). Estimation of Programming Understanding by Time Series Analysis of Code Puzzles. 10.1007/978-981-19-2394-4_44.
- [7] K. Akahori, "Do digital devices work better than paper materials for learning," *International Journal for Educational Media and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 4–10, 2014.
- [8] Kleitman, Sabina, and Lazar Stankov. "Self-confidence and metacognitive processes." *Learning and individual differences* 17.2 (2007): 161-173.
- [9] Kohei Urayama, Hiromitsu Shimakawa and Fumiko Harada, Estimating creativity drawing features from hand drawing logs, Proc. of 9th IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (IEEE CSDE 2022), 5 pages, Gold Coast, Australia, Dec.2022.
- [10] Mann, Anne-Marie, Uta Hinrichs, and Aaron Quigley. "Children's Creativity Lab: Creating a Pen of the Future." Proceedings of the 2014 Workshops on Advances in Computer Entertainment Conference. 2014.
- [11] Marcos Román-González, Juan-Carlos Pérez-González, Jesús Moreno-León, Gregorio Robles, Can computational talent be detected? Predictive validity of the Computational Thinking Test, *International Journal of Child-Computer Interaction*, Volume 18, 2018, Pages 47-58, ISSN 2212-8689, 17.
- [12] Marcos Román-González, Juan-Carlos Pérez-González, Jesús Moreno-León, Gregorio Robles. Can computational talent be detected? Predictive validity of the Computational Thinking Test. *International Journal of Child-Computer Interaction* Volume 18, November 2018, Pages 47-58
- [13] Maruichi, Takanori, Shoya Ishimaru, and Koichi Kise. "Self-confidence estimation on vocabulary tests with stroke-level handwriting logs." 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition Workshops (ICDARW). Vol. 3. IEEE, 2019.
- [14] R. Konishi, R. Shimmura, K. Nakajima, R. Hayashi, and T. Sato, "A study on unconscious learning behaviors and psychological evaluations using biological data for an image-based vocabulary building application," in *E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2017, pp. 798–803.
- [15] Read, Janet C. "A study of the usability of handwriting recognition for text entry by children." *Interacting with Computers* 19.1 (2007): 57-69.
- [16] Sue Sentance. Moving to mainstream: developing computing for all. WiPSCE'19: Proceedings of the 14th Workshop in Primary and Secondary Computing Education, October 2019, Article No.12, Pages 1–2.
- [17] Yadav, A., Gretter, S., Good, J., McLean, T. (2017). Computational Thinking in Teacher Education. In: Rich, P., Hodges, C. (eds) *Emerging Research, Practice, and Policy on Computational Thinking*. Educational Communications and Technology: Issues and Innovations. Springer, Cham.