

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12557

研究課題名(和文) ペン型デバイスによる学習者の筆記行動取得と理解度のモデル化

研究課題名(英文) Acquisition of writing behavior and modeling of learners' comprehension using pen device

研究代表者

伊藤 雄一 (Itoh, Yuichi)

大阪大学・情報科学研究科・招へい准教授

研究者番号：40359857

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、筆記量や筆記速度といった筆記行動をセンシング可能なペン型デバイスを実装し、筆記行動と理解度の関係をペン型デバイスを用いて明らかにすることを目的とする。60名の被験者に対し、解答した問題の正誤判定と学習者の解答に対する自信度を組み合わせて評価する統合評価法を用いた理解度推定を行い、理解状況は、特に解答時間やペン把持力の平均変化量に表れ、ペン把持力には自信度の影響が強く表れていることが分かった。理解状況の推定精度を評価したところ、ペン把持力から得られる情報と解答用紙から得られる情報(正誤判定)を組み合わせることで72.1%の推定精度が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aim to clarify the relationship between writing behavior and learners' comprehension degree by using pen device. The pen device can sense writing behavior such as writing amount and writing speed. For 60 subjects, learners' comprehension degree estimation was performed by using an integrated evaluation method that evaluates accuracy by judging whether the answered question is correct or not and the confidence degree of learners' answer in combination. It is revealed that the average variation of the answer time and force of pen grip explains the learners' comprehension degree and learners' confidence affects on the force of pen grip. As a result of evaluating the accuracy of estimation of learners' comprehension degree, we obtained an estimation accuracy of 72.1% by combining the pen gripping force and correctness judgment from the answer sheet.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：学習支援システム ヒューマンインタフェース ペン型デバイス

1. 研究開始当初の背景

教育現場でよく見られる一斉授業では、生徒の理解度を確認する方法として1人の教師が、質問や机間巡視を実施するが、これらの方法では全ての生徒の理解度を把握するのは難しい。また、家庭学習では、そもそも教師の目が届かない範囲での学習であるため、生徒の学習内容や学習過程を把握することはできない。その結果、生徒の学習内容に対するつまずきに教師が気づくことができず、生徒の学習の遅れにつながってしまうおそれがある。しかし近年、情報技術を用いた学習支援システムが発達し、学習者から得られるデータを用いた理解度の推定について研究されている[1]。生徒の理解度を定量的にデータ化することで、生徒本人につまずき箇所を自覚させたり、教師の指導方法を支援したりすることができるかと期待されている。一方、現在最も普及している学習方法はペンを用いてノートに筆記するものである。筆記量と理解度には相関があると言われており[2][3]、筆記量の測定ができれば、前述のように生徒の理解度の定量的な評価およびその評価を用いた様々な応用が可能になると考えられる。また、筆記量だけではなく、筆記速度のような別の特徴量を用いたり、これら筆記行動の時系列変化を調査することで、学習や理解度に関する新たな知見が得られる可能性がある。

2. 研究の目的

本課題では、筆記量や筆記速度といった筆記行動を身体的・精神的負担をかけることなく、また学習環境に影響することなくセンシング可能なペン型デバイスを提案し、これを用いて学習者の筆記行動から得られるデータから、学習者の様々な状態や状況の取得を試みる。さらに、これら筆記行動取得に加え、理解状況の推定も試みる。織田らの報告によると、正確な学習者の理解状況には、問題の正誤判定と解答に対する自信度が必要であるとされており、これらを組み合わせて理解状況の評価する統合評価法を提案している[4]。本課題では、この知見を応用し、ペン型デバイスによって得られるデータと、学習者の問題解答の正誤判定および自信度との関連を調査し、より高い精度で理解度状況推定

ができる方法を新たに検討する。

3. 研究の方法

(1) 理解状況評価

学習者の理解状況の評価方法として、統合評価法がある[4]。この手法では、表1に示すように、テスト問題の正誤判定だけでなく、学習者の解答に対する自信度も加味して理解状況の評価する。問題に正解していたとしても、自信なく解答している場合(R2)や、自信を持って解答したにも関わらず、誤答であった場合(R3)には完璧に理解しているとは言い難い。また、自信を持って解答した問題は、自信なく解答した問題に対して、後日解きなおしても高い正解率を維持できていることが確認されているため、理解状況の評価するうえで自信度を考慮することは有効であると考えられる。そこで、本課題では統合評価法に基づいて理解状況の評価する。

学習者の理解状況は筆記行動に表れると考えられる。つまり筆記行動を取得することにより、学習者の理解状況を推定できると言える。

(2) 筆記行動の取得

筆記行動として、ペン把持力の時間変化を利用する。ペンのような細い筆記具は、親指の腹、人差し指の腹、中指の第一関節周辺で、3方向から1箇所を支えるように持つのが一般的である。筆記は、ペンをこの3点で支持しながら動かすことでなされている。そこで、各指がペンに接する部分に圧力センサを取り付け、その圧力値(ペン把持力)の時系列変化を取得することで、筆記行動を取得する。本手法は、把持部分に圧力センサを装着するため、鉛筆やシャープペンシルなど、様々な筆記具に対応可能である。また、正しい筆記体勢時以外は圧力を取得することができないため、ペン回しのような筆記していない状態を筆記状態として誤認識することはない。本研究で使用するペン型デバイスを図1に示す。予備実験より、筆記行動は特に親指と人差し指からの把持力に表れることが分かったため、親指と人差し指がペンに触れる2箇所に圧力センサを装着している。また、ユーザ間でのペンの持ち方、及び各指への力の入れ具合の差をなるべく小さくするために、市販のペングリップをシャープペンシルに装着している。センサ値は20HzでAndroid端末にBLE(Bluetooth Low Energy)によって送信する。

(3) 実験

ペン型デバイスを用いて、実験参加者に、難関高校入試向けの英語と数学の模試問題を解いてもらった。参加者は大阪大学の大学生

表1 理解状況評価

	自信あり	自信なし
正答	R1 確実な理解	R2 不確実な理解・偶然の正答
誤答	R3 誤った理解・ケアレスミス	R4 理解されていない

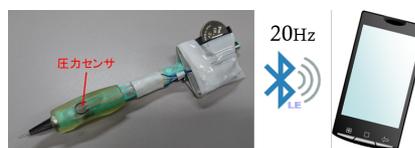


図1 実装したペン型デバイス

および大学院生 60 名（男性 43 名，女性 17 名，平均年齢 23.3 ± 3.9 歳）であった。参加者の専攻分野は様々であり，文系学部 19 名，理系学部 41 名であった。本実験に採用した問題は，義務教育で学ぶ範囲内からの出題であり，特別な専門知識を必要としないため，すべての参加者が解け得る問題である。また，比較的容易に解ける問題から難解な問題まで幅広く含むように，模試問題集の正答率を参考に抜粋して使用した。

図 2 に実験環境を示す。本実験ではペン把持力に加え，各問題の解答にかかった時間も計測するために，問題はすべて PC 上に 1 問ずつ表示し，問題が表示されている時間を，その問題を解答している時間（解答時間）とした。別の問題に移る前に，直前まで解答していた問題に対し，正解している自信があるかどうかを 7 段階で参加者に評価してもらい，PC 画面に表示されたスライダを用いて入力してもらった。また，筆記行動が確認できるように，解答時の様子も同時に撮影している。実験は，英語，数学の順に行った。英語は，単語や文法に関する問題 30 問を制限時間 40 分で解いてもらった。数学は，関数や図形の問題が含まれている問題 18 問を制限時間 90 分で解いてもらった。本実験では，早く解けるかどうかではなく，解答過程の取得が目的であるため，余裕をもって解答できるように制限時間は長めに設定している。また，分からない問題は理解できていないと判断できるため，無理に解く必要はないと実験参加者に伝えている。

なお，本実験は大阪大学大学院情報科学研究科研究倫理委員会の審査・承諾のもとに実施された。

4. 研究成果

(1) 取得データ

表 1 に示した，解答の正誤判定と自信度を組み合わせた 4 パターンの理解状況を推定する。自信度は 7 段階のうち 5 以上を自信あり，4 以下を自信なしとした。60 名の解答データの内訳は，R1 が 1400 個，R2 が 426 個，R3 が 416 個，R4 が 905 個であり，データに偏りがあるため，Balanced Random Forest を用いて理解状況を推定する。

まず，ペン把持力から理解状況を説明するのに有効な特徴量を検討する。目的変数を理解状況とする分類問題に対して，ランダムフォレストを用いて得られた変数の重要度を算



図 2 実験環境

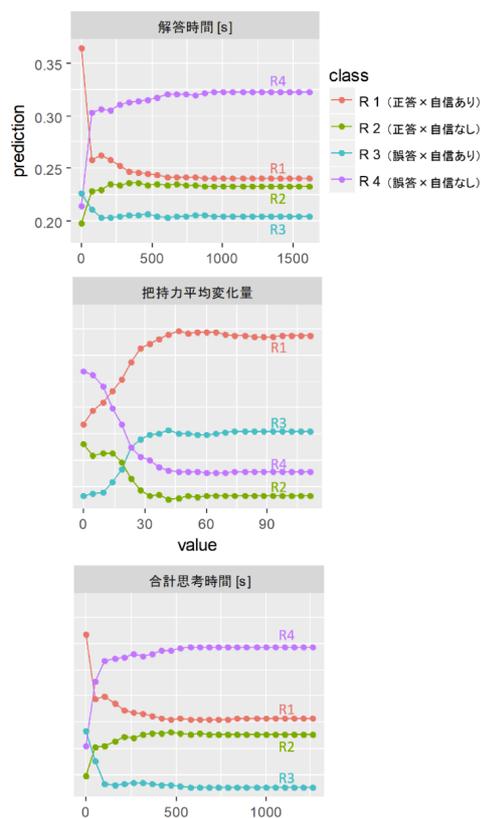


図 3 理解状況に対する部分従属プロット

出したところ，解答時間の重要度が最も高く，続いて把持力平均変化量，合計思考時間の重要度が高いことが確認された。次に，各変数がどのように分類に寄与しているかを調べた。特に重要度が高かった変数の部分従属プロットを図 3 に示す。部分従属プロットとは，Friedman によって提案された，説明変数が目的変数に対してどのように寄与しているかを可視化する手法である。縦軸の prediction の値が大きいほど，部分従属度が高く，その理解状況に分類される可能性が高いことを示している。図 3 を見ると，R1 が増加しているときは R3 も増加し，R2 が増加しているときは R4 も増加しているように，部分従属度が R1 と R3，R2 と R4 でほぼ同じように変化することが分かった。これは他の変数でも同様の傾向が確認された。すなわち，自信度が等しい理解状況同士で部分従属度

		予測			
		R 1	R 2	R 3	R 4
正解	R 1	0.79	0.21	0	0
	R 2	0.42	0.58	0	0
	R 3	0	0	0.62	0.38
	R 4	0	0	0.27	0.73

図 4 Confusion Matrix

が同じように変化する。したがって、ペン型デバイスで取得したデータには、自信度が強く影響していることが考えられる。

推定精度の評価には交差検証の一種である OOB (Out-Of-Bag) エラー率を用いる。ペン把持力のデータのみで推定した場合の OOB エラー率は 51.7%であり、R2 が R4 に、R3 が R1 に多く誤ることが確認された。これは、上で述べたように、ペン把持力には自信度が強く表れているため、自信度の推定は可能だが、自信度が等しい理解状況同士をうまく推定することは困難であるからだと考えられる。そこで、ペン把持力のデータと解答用紙から得られる問題の正誤判定を組み合わせて理解状況を推定したところ、OOB エラー率は 27.9%であった。Confusion Matrix を図 4 に示す。正誤判定を加えなかった場合、R2 と R3 はほぼ推定できなかつたが、正誤判定を加えて推定することで、推定率が向上した。この結果より、ペン把持力から得られる情報と解答用紙から得られる情報を組み合わせると、72.1%で推定できることが分かった。教師は約 70%の精度で、学生がその問題を正答できそうかどうか判断できると報告されている [5]。自信度を加味して、より適切に理解状況 (4 パターン) を推定している提案手法の推定率は 70%を超えているため、有効な手法であるといえる。しかし、本実験の実験参加者は大阪大学の学生であり、学力がほぼ等しい集団であった。学習者の学力が大きく異なる場合、本実験で構築したモデルでは同様に推定できない可能性がある。例えば、もともと計算速度が遅い学習者は、理解していても解答時間が長くなると考えられる。そのため、推定する学習者に合わせてモデルを構築する必要があると考えられる。

また、部分時系列の特徴パターンを各理解状況で抽出したところ、自信度によって明らかな違いが確認された。図 3 より、把持力平均変化量が大きく、合計思考時間が短いほど R1 や R3 に推定されやすいことから、自信がある場合は、スラスラと解答できているため、ペン把持力が活発に変化する特徴パターンが抽出されたのだと考えられる。一方、自信がない場合は、解答の導出方法が分からず、ペンを動かしていない時間が長い時間、ペン把持力の変化が少ない特徴パターンが抽出されたと考えられる。また R2 においても、やや活発に変化する特徴パターンが抽出された。R2 は自信がないが、正答している状況であるため、正答を導出するだけの最低限の筆記は行われていたからだと考えられる。さらに、R3 では把持力があまり変化していない特徴パターンも抽出された。R3 は自信があるが、誤答している状況であり、ケアレスミスがあることや誤って理解していることが考えられる。ケアレスミスをしている場合、途中の計算が複雑になってしまうことがあるため、思考時間が長くなり、特徴パターンとして抽出されたと考えられる。これらの結

果より、ペン把持力の変化量を見ればリアルタイムでも理解状況を推定できることが示された。

<引用文献>

- [1] 浅井洋樹, 野澤明里, 苑田翔吾, 山名早人, “筆記情報と時系列モデルを用いた学習者つまずき検出”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.269, pp.65-70, 2012.
- [2] 熊谷紀男, “ノートテイキングと成績の相関からみた授業開発について”, 常葉学園大学研究紀要 (教育学部), Vol.25, pp.299-308, 2005.
- [3] 岸俊行, 塚田裕恵, 野嶋栄一郎, “ノートテイキングの有無と事後テストの得点との関連分析”, 日本教育工学会誌, Vol.28, pp.265-268, 2004.
- [4] 織田守矢, 下村勉, 概念形成と評価 (教育情報工学シリーズ), コロナ社, 東京, 1989.
- [5] R. D. Hoge and T. Coladarci, “Teacher-based judgments of academic achievement: a review of literature,” Review of Educational Research, Vol.59, No.3, pp.297-313, 1989.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 山下真由, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 尾上孝雄, “ペン把持力のセンシングによる筆記量推定手法,” ヒューマンインタフェース学会研究会研究報告集, Vol.18, No.5, pp.3-8, 2016. (査読無)
- ② 山下真由, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 尾上孝雄, “学習者の自信度と筆記行動の関係に関する検討,” ヒューマンインタフェース学会研究会研究報告集, Vol.19, No.7, pp.71-76, 2017. (査読無)
- ③ 山下真由, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 尾上孝雄, “ペン把持力のセンシングによる理解状況推定,” 電子情報通信学会技術研究報告 (ヒューマンコミュニケーション基礎研究会), Vol.117, No.509, pp.47-52, 2018. (査読無)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 筆記装置およびコンピュータプログラム

発明者: 伊藤雄一

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2016-135917

出願年月日: 2016 年 7 月 8 日

国内外の別: 国内

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://yuichiitoh.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤雄一 (Yuichi Itoh)

大阪大学・大学院情報科学研究科・招へい准
教授

研究者番号：40359857