

# 電子書籍を利用したタブレット端末による CBTの数式入力システムの検討

国立教育政策研究所・教育課程研究センター・基礎研究部 安野 史子  
Fumiko Yasuno, Department for Curriculum Research, Curriculum Research Center,  
National Institute for Educational Policy Research

## 1 はじめに

コンピュータ技術の発展, タブレット端末の普及により, 近年, 教育の場面において, コンピュータを利用した評価が国内外で盛んに行われるようになってきている. 筆者らは, Computer-Based Testing(CBT) 開発の一環の中で, コンピュータの特性を活かした教科・科目ベースの問題を試作し, CBTで測れる能力を明確にすることを目的として研究を行ってきている [1, 2, 3, 4, 5]. これまで, 開発した問題を用いた調査では, 解答用紙による解答方式を採用してきた [1, 2, 3, 4] が, 2018年からは, 解答形式が選択肢式と短答式の設問について, タブレット端末に解答を入力するシステムを開発を試みている [5]. 本稿では, これまでに開発した問題および解答入力システムを用いた小規模パイロット調査結果を踏まえ, 入力システムと入力方法を検討する. 特に, 数式(数値を含む)を答えさせる短答式については, 手書き数式認識入力を試み, その有効性と問題点を探る.

## 2 解答入力システムの開発

これまでに開発してきた問題冊子は, 主に大学および高等学校の教員で構成される数学の作題委員が自ら作成できる環境として, 以下のような既存の(フリーあるいはOSに付随している)アプリケーションを組み合わせる手法で作成してきている. 問題冊子は, 紙媒体のものは用いず, 冊子自体を Apple Inc. が提供する電子書籍アプリケーション iBooks (現 Apple Books) による電子冊子とした. 作成においては, Apple Inc. が提供するツール iBooks Author (iBA) を用いている. iBAには電子書籍に簡単にインタラクティブオブジェクトを追加するためのさまざまなウィジェット(widget)が用意されている. そこで, 動的オブジェクト部分は, 動的数学ソフトウェア「GeoGebra」で作成し, HTML5ウィジェットに変換して「HTML5」として埋め込んでいる<sup>1</sup>.

本研究では動的オブジェクトを含む問題を開発 [2, 4, 5] し, それらの問題を従来型の Paper-Based Testing(PBT)の電子冊子版にすることを目指している. したがって, CBTの特徴として挙げられる問題の順番や時間の制御は行わずに, 受験者は既定の試験時間

<sup>1</sup>GeoGebraで作成したオブジェクトをiBooksに埋め込む機能は今後機能しない可能性が有り, GeoGebraでは, 現在この機能をサポートを行っていない(参照: [https://wiki.geogebra.org/en/Tutorial:iBooks\\_Author](https://wiki.geogebra.org/en/Tutorial:iBooks_Author)).

内に、任意の順番で解答することができたり、解答した問題に戻って解答を修正したりすることができる。

これまで開発した電子書籍版の問題冊子を活かすことを前提とし、問題提示と一体で解答入力システムを組み込むことにした。2017年までタブレット端末は問題を提示するのみであったため、筆者らはディスプレイサイズが7.9インチのタブレット端末(OS:Apple Inc. のiOS9)を用いることを前提に問題開発してきた。しかし、解答入力も同一画面上で一体で行うことを考慮すると、ディスプレイサイズが7.9インチでは小さいと判断し、9.7インチのタブレット端末(OS:Apple Inc. のiOS11以降)を用いることを想定して開発することにした。具体的には、開発問題の設問の中で、選択肢式と短答式による解答の問題のみを選出し、それらについて解答入力システムを試作した。選択肢式はHTMLのセレクトタブ<SELECT>によるプルダウンメニュー、短答式については手書き数式認識入力を採用し、どちらもiBAのウィジェット(widget)の中の「HTML5」で組み込んだ。本研究では、選択肢式、および数式を答えさせる短答式についての解答入力についての検討を行うことを目的としているため、入力した解答の収集に関わる部分ではできるだけ簡便であることを重視し、オンラインで解答収集することにした。

## 2.1 解答データの取り扱い

iBAでは、HTML5ウィジェットを作成し、埋め込むことができる。これにより、HTMLでJavaScriptを呼び出せば動的なこともある程度可能となる。端末側にデータを保持して、後でデータを取り出すことも検討したが、iBooksの仕様による制約があるため、HTML5ウィジェットを活用して、受験者情報や解答データをオンラインでやり取りをすることにした。

解答者のデータは、インターネットを通じてオンラインでやり取りをし、基本的にすべてサーバ側でデータの管理を行う。解答前に、受験者は受験者情報(受験番号、学校コード、クラスコード、出席番号)を入力し、その情報を登録(サーバに送信)してから、問題の解答を開始する。受験者情報が登録完了していないと、選択肢式設問も短答式設問も解答入力ができない状態となる。他の受験者と受験者情報が重なった場合は、受験者情報の登録ができない仕様としている。

試験中のトラブルを考慮して、解答データは基本的にサーバで保持する仕組みとしている。選択肢式ではセレクトタブのプルダウンメニューで選択がなされたタイミングで、短答式では手書き数式認識が実行がなされたタイミングで、サーバにデータ送信される。解答を変更した場合には、その都度同様にデータが書き換えられる。入力した解答は、iBooksの仕様により、ページ移動したり一定時間が経過したりすると電子書籍上に表示されなくなる。その対策として、非表示になった際には、その部分をタップすると、その受験者の解答がサーバから送られてきて再表示されるようにしてある。端末に不具合が発生し、再起動した場合も、再度同一の受験者情報を入力すれば、それまでに解答した解答データを表示することができるようにしてある。

## 2.2 選択肢式の設問

選択肢式の設問は、単純に、HTMLのセレクトタブ(属性でプルダウン形式のメニューを指定)による作成とした。ただし、選択肢の内容がテキストで、かつ1行以内に表現可能であればプルダウン形式のメニューに含めるが、選択肢の内容に数式が含まれる場合、あるいはすべてテキストで表現可能であっても選択肢の内容が長い場合は、図1に示すようにメニューは選択肢番号のみとし、内容は問題文中に別途表示した。なお、オフライン状態であるとセレクトタブの選択肢は表示されない仕様としている。

(1) 正三角形どうしが重なることなく、一つの凸多角形を敷き詰めることができたすると、その凸多角形は何角形になるか。次の①～⑤の中から正しいものを選びなさい。

① 三角形    ② 四角形    ③ 五角形    ④ 六角形    ⑤ 上のいずれでもない

(2) (1)の状態が実現できる倍率 $\lambda$ が満たす等式はどれか。正しいものを1つ選びなさい。

①  $\lambda : \lambda^5 = 2 : 1$     ②  $\lambda : \lambda^5 = 3 : 1$     ③  $\lambda : \lambda^5 = 4 : 1$     ④  $\lambda^2 - \lambda + 1 = 0$     ⑤  $\lambda^3 + \lambda^2 - 1 = 0$

解答を選択...

①  
②  
③  
④  
⑤

図 1: 選択肢式の設問例 (数学)

## 2.3 短答式の設定

数式(数字を含む)を答えさせる短答式の設定に関して、手書き数式認識入力を試みた。一般的にキーボード(あるいはフリック)による数式入力は、既定の入力規則にしたがって入力する必要が生じるため、事前にその入力規則を理解していることが前提となる。よって、キーボード入力(フリック入力)では、分数、記号、添え字などを含む数式の入力が煩雑となる。ところが手書き数式認識入力は、紙筆と同じ感覚の手書きで入力できることから、入力が容易である。また、手書き数式認識入力は、ストロークデータによる認識であるため、紙筆の手書きの解答を後からOCRで電子化するよりも、認識率は各段に高い。手書きのストロークデータのみを保持するところでとどめるか、受験者が認識されたテキストデータを確認しながら解答入力すべきかは、議論の余地があるが、本研究では後者を採用した。後者は、誤認識トラブルが大幅に軽減される利点がある。

今回は、プロトタイプとしての開発であるということもあり、できるだけ容易に、できるだけフリーの環境で開発できることを目指し、手書き認識の部分は、MyScript社のMyScript CDK(Cloud Development Kit)を使って、クラウドベースの認識サービスによる手書き認識を電子書籍に統合させている。

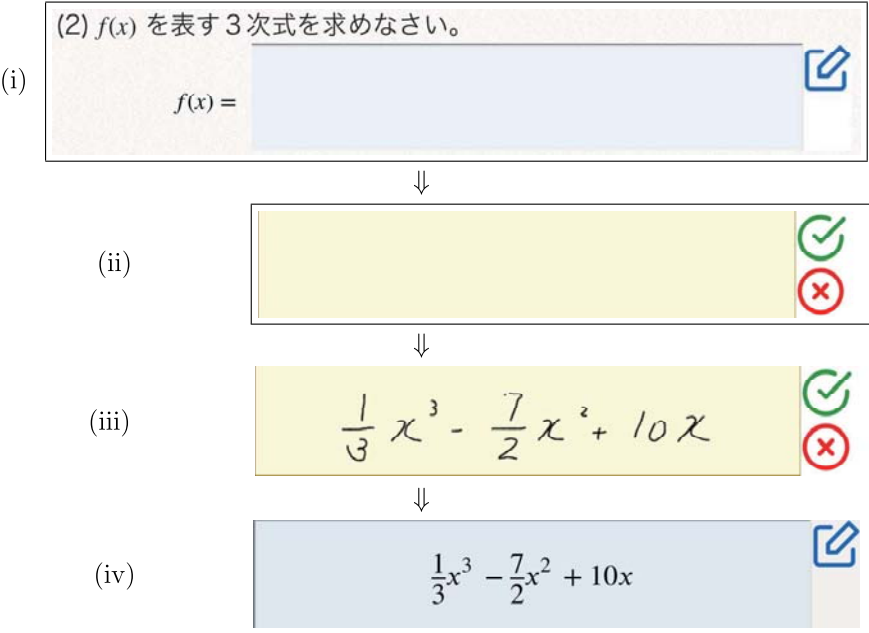


図 2: 短答式の設問例 (数学)

図 2 は、数学の短答式の設問の手書き数式認識入力による解答欄部分である。解答欄 (図 2 (i)) をタップすると、手書き入力画面 (図 2 (ii)) に遷移し、その画面に指またはタッチペンで手書きで入力 (図 2 (iii)) し、緑色のボタン  をタップして認識させると、認識結果が表示 (図 2 (iv)) される。正しく認識されなかったり、解答を修正したい場合は、赤色のボタン  をタップして、書き直す。書き直しは、一筆ごとに戻ることも可能であるが、今回は短答式のみを扱うことから、入力方法を煩雑にするよりも、単純化することを優先し、修正するときは全て書き直すという仕様としている。なお、電子書籍の性質上、タブレット端末で表示ページを左右にスワイプするとページを進めたり戻ったりできるため、表示されている解答欄に直接手書き入力も可能であるが、手書きの際にページが左右に揺れて書きにくいいため、解答枠を全画面にして手書き入力するように促している。

3   パイロット調査

3.1   調査目的

選択肢式と短答式の解答入力方法および解答入力システムの改善に資する。

表 1: パイロット調査冊子の構成

| 冊子 | 番号    | 内 容             | 選択 | 短答 | 手書き数式認識による正解例 (数学)                                                 |
|----|-------|-----------------|----|----|--------------------------------------------------------------------|
| A  | 第 1 問 | 数学：関数 (絶対値)     | ○  |    |                                                                    |
| A  | 第 2 問 | 数学：4 次関数 (因数分解) | ○  | ○  | $(x - 11)(x - 23)(x - 29)(x - 111)$                                |
| A  | 第 3 問 | 数学：平面図形         | ○  |    |                                                                    |
| A  | 第 4 問 | 数学：場合の数         |    | ○  | 220, 4, 5, 12                                                      |
| A  | 第 5 問 | 物理              | ○  | ○  |                                                                    |
| A  | 第 6 問 | 物理              | ○  |    |                                                                    |
| B  | 第 1 問 | 数学：関数 (絶対値)     |    | ○  | $x,  x - a ,  x - a  - a, a < 0, \frac{a}{2} < x$                  |
| B  | 第 2 問 | 数学：微分           |    | ○  | $\frac{7}{2}, -\frac{9}{4}, \frac{1}{3}x^3 - \frac{7}{2}x^2 + 10x$ |
| B  | 第 3 問 | 数学：平面図形 (三角比)   |    | ○  | $2.06, \frac{4+3\sqrt{2}}{4}$                                      |
| B  | 第 4 問 | 数学：確率           | ○  |    |                                                                    |
| B  | 第 5 問 | 化学              | ○  | ○  |                                                                    |
| B  | 第 6 問 | 化学              | ○  | ○  |                                                                    |
| B  | 第 7 問 | 化学              | ○  | ○  |                                                                    |

3.2 調査対象者

高等学校の学習内容を履修し終え，大学入学試験において理科の科目が試験科目となっている理系学部 of 大学生を調査対象とし，本稿での報告は，首都圏の私立 S 大学工学部での結果のみを扱う．

3.3 調査問題

前述のようにこれまでに開発してきた数学の問題の中から，選択肢式と短答式の設問のみで構成されている問題を選び出し，短答式は，正解例が数字・数式の表記にバリエーションを持つように織り交ぜるという方針で，数学と物理を合わせた数理 A 冊子と，数学と化学を合わせた数理 B 冊子を作成した．なお，物理は数式文字認識による数値，化学では手書き文字認識による用語，および数式文字認識による化学 (反応) 式が含まれるが，本稿では数学のみに言及する．

表 1 は各冊子の問題構成を示したものである．手書き数式認識入力による設問は，表 1 の「短答」の列に○が付してある数学問題に含まれ，最右列に正解例が示してある．このように，数学では正解例に，数値 (整数，小数，分数，平方根)，数式 (文字式，不等式，絶対値を含む式) を含めた．なお，解答時間はいずれの冊子も 60 分とした．

3.4 質問 (アンケート) 項目

手書き数式認識入力がうまくいかなかった場合に備え，解答用紙も別途作成し，そこに，手書き数式認識入力について，4 択 (ア 簡単に入力できた イ 何度か書き直して入力できた ウ 入力できなかった エ 問題が解けなかった) で尋ねる質問項目と，気が付いたこと (特に，手書き認識入力) についての自由記述を付与した．

3.5 調査実施

- (1) 調査日：2018 年 7 月 12 日および 16 日
- (2) 調査人数：
- 7 月 12 日 A 冊子 5 人 B 冊子 4 人 (大学 3 年生)
- 7 月 16 日 A 冊子 13 人 B 冊子 5 人 (大学 2 年生)
- (3) 調査方法：問題冊子 (iBooks による電子冊子) が取り込んである 9.7 インチのタブレット端末 (Apple Inc. の iPad, OS : iOS11), タッチペンを配付し, 学生の所属大学の講義室で実施した. 入力うまくいかなかった場合に備え, 解答用紙 (含: 質問項目) も配付した. なお, 端末は, WiFi ルータ経由 (通信事業者: Softbank) でインターネットに接続した状態で配付している. 実施中に, 監督者は Apple Inc. のアプリケーション「クラスルーム」にて, 受験者の画面をモニタし, 受験者の進み具合を確認可能とするとともに, Web 経由でサーバにアクセスし, その時点の解答状況も確認可能としている. 調査終了後タッチペンを除く全ての配付物を回収した. また, 調査終了後に, 受験者に対して簡単なインタビュー調査を行った.

4 調査実施結果

調査実施自体は, システムのトラブルなく実施できた. 受験者側の入力については, 選択肢式の設問では問題が発生しなかったが, 受験者登録と手書き数式認識入力については問題点が明らかになった.

受験者情報を登録する部分では, 受験者情報登録ボタンをタップしないままの受験者が 1 人いた. 受験者登録情報の画面上にボタンはあるもののタップしなさいという指示が記載されていなかったことに起因すると思われる. 実施開始直後に, 監督者のサーバでの確認で判明し, タップするよう指示したため, 実施への影響はなかった. 小規模

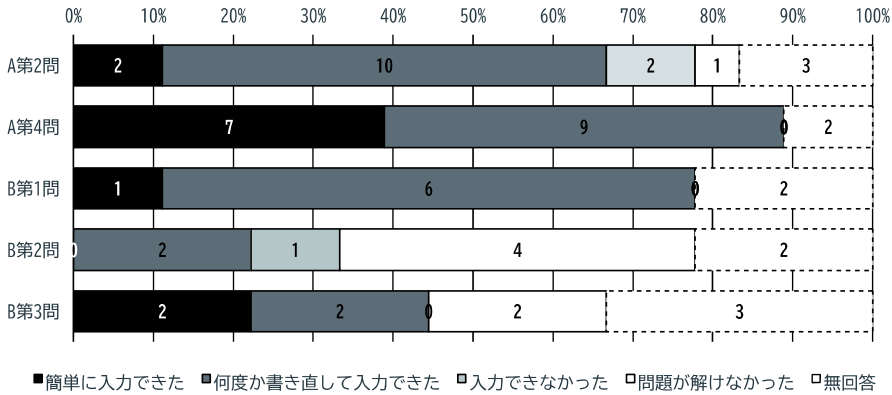


図 3: 質問：手書き数式認識入力について

によるパイロット調査であるため参考程度になるが、図3に4択の質問項目の結果を示した。B冊子の第2問および第3問は、「問題が解けなかった」と「無回答」の合計が半数を超えているが、受験者が解答入力にまで至った問題については、大方、「簡単に入力できた」あるいは「何度か書き直して入力できた」であった。

具体的には、解答入力欄に触れてしまった結果、細かい点が付き、それも一緒に数式認識され、書き直しになるという指摘が複数あった。実際に数式認識された解答結果の中に、「1,21」、「0・3907」等が観察され、小数点が「,」（コンマ）や「・」（中点）と認識された事例が複数見受けられた。また、(数字の)「1」と「|」（パイプ）と「/」（スラッシュ）の間の誤認識が複数見受けられた。例えば、A冊子第2問の数式の係数の「111」が「///」「N」と誤認識されている。この問題は、正解の式の長さの割に、解答欄が狭かったことにより書き直しが生じたという指摘もあった。参考までに、化学におけるテキスト(用語)での手書き文字認識入力については、日本語の認識率が高く受験者には好評であった。

## 5 まとめと今後の課題

本研究では、CBTの特性を生かした教科・科目ベースの問題で、解答形式が選択肢式と短答式の設問に対するものへの解答入力システムを開発し、タブレット端末に解答を入力する方式を試みた。小規模パイロット調査の結果、手書き数式認識入力は、キーボードで入力が困難な数式記号などを受験者が容易に入力できるという点において、CBTの解答入力として、非常に有効な方法であることが確認できた。今回は、汎用的なクラウドベースの認識サービスを利用したが、小数点に「,」（コンマ）を用いる国もあるため、日本人の表記にしたがった認識エンジンにすればより精度が上がるであろう。ただし現時点で、数式とテキストが混在する解答についての自動認識、「 ${}_5C_2$ 」のように添え字から始まる数式の認識ができないという問題点があることを付け加えておく。

引き続き問題開発を行いながらCBTで測れる能力を明確化していくことを目指し、併せて、この結果を参考に解答入力方法の改善等を行い、高校生および大学生を対象にしたモニター調査を行っていく予定である。

## 註

iPad, iPad mini, Apple Books, iBooks, iBooks Author は、米国および他の国々で登録された Apple Inc. の商標である。

## 附 記

本研究は JSPS 科研費 JP17H00822, JP18K18684 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 安野史子：「高大接続を視野に入れたタブレットを用いる評価問題の試作 ―映像や動的オブジェクトを含む問題―」,『大学入試研究ジャーナル』 Vol. 27, pp.71 – 79, 2017.
- [2] 安野史子, 西村圭一, 根上生也, 浪川幸彦, 三宅正武：「高大接続に資する動的オブジェクトを含む数学の評価問題の開発」, 京都大学数理解析研究所 講究録 No.2022, 「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, pp.177–184, 2017.
- [3] 安野史子：「高大接続を視野に入れたタブレットを用いる評価問題の試作 (2) ―映像や動的オブジェクトを含む問題―」,『大学入試研究ジャーナル』 Vol. 28, pp.155 – 162, 2018.
- [4] 安野史子, 西村圭一, 根上生也, 祖慶良謙, 高橋広明, 浪川幸彦, 伊藤仁一, 三宅正武：「動的オブジェクトを有する CBT 数学問題の開発」, 日本数学教育学会誌, 第 100 巻 第 5 号,『数学教育』 72-3, pp.2 – 14, 2018.
- [5] Yasuno,F., Nishimura,K., Negami,S. and Namikawa,Y. : Development of Mathematics Items with Dynamic Objects for Computer-Based Testing Using Tablet PC, International Journal for Technology in Mathematics Education, 26(3), 132-137, 2019.