

# タブレット端末利用型 CBT の開発とモニター調査による評価

安野 史子 (国立教育政策研究所)

本研究は、CBT 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継続的に実施してきている。そこで、高校生を対象に、開発した問題を用いたモニター調査を 2019 年度に実施した。問題はすべてデジタルによるタブレット端末画面への提示で、解答については、オンラインによるタブレット端末へ直接入力する方式の冊子と、オフラインで解答用紙へ記入する方式の冊子の 2 種類を試みた。評価事項は、開発問題の評価、実施における諸課題の整理、解答入力に関する諸課題の整理、技術上の示唆が主である。本稿は、その報告である。

キーワード：CBT, タブレット端末, 数学, 物理, 化学, 手書き文字 (数式) 認識入力

## 1 研究の目的

本研究は、CBT (Computer-Based Testing) 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実施してきている (安野, 2017, 2018, 2020; 安野ほか, 2018; Yasuno et al., 2019)。具体的には、大学入学希望者の高等学校卒業段階の学習状況評価に資する問題を開発することとし、高等学校学習指導要領の数学及び理科の内容に即した映像, 3D, インタラクティブな動的コンテンツを含む問題の開発を進めてきている (安野, 2017, 2018; 安野ほか, 2019; 北野ほか, 2019; 高橋ほか, 2019; 右近ほか, 2019)。解答方式としては、2017 年度までは解答用紙による解答方式 (安野, 2017, 2018; 安野ほか, 2018) を採用, 小規模調査を経て、2018 年度以降は、解答形式が選択肢式と求答式の設問について、解答入力システムを試作し、タブレット端末に解答を入力する方式も試みている (安野, 2020)。

本稿では、高校生を対象に、開発した CBT を用いて、2019 年にモニター調査を実施した結果を中心に、問題の評価、実施における諸課題の整理、解答入力に関する諸課題の整理、技術上の示唆を報告する。

## 2 問題開発

CBT により「革新的な問題形式 (innovative itemformats)」を導入することができ、さらに従来の問題形式で測れない重要な特性 (attributes) を測定できる可能性もあるといわれている (Downing and Haladyna, 2006)。従来のペーパーテスト (PBT, Paper-Based Testing) での問題の提示は、テキストと図表 (写真を含む) に限定されるが、CBT では、音声、高解像度のコンピュータグラフィックス (CG) や映像 (写真, 動画), 動的オブジェクト等へと広がる。このように、CBT は、様々な可能性が期待されるが、本研究では、高大接続を視野に、高等学校学習指導要

領 (文部科学省, 2009) 準拠を前提とした数学及び理科 (物理・化学) の問題開発を試みている。表 1~表 3 は、これまでに我々が問題開発を行い、実証的に調査で用いた問題である。以下で、教科・科目別に、その特徴を概観する。

### 2.1 数学

数学は、現行 (平成 21 年告示) の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 2009) における数学の科目のうち、「数学 I」, 「数学 II」, 「数学 A」, 「数学 B」 (ただし、「(1) 確率分布と統計的な推測」を除く) の内容について開発を行ってきている。表 1 に示す 26 題すべてにおいて、動的オブジェクト (Dynamic Object) を含む問題、つまり、オブジェクトを移動, 変形させると数式も自動的に変更され、逆に、数式を変更するとそれに応じてオブジェクトも変形する機能を含む問題となっている。これによって、解答者は一定の条件下で図形やグラフをインタラクティブに動かして問題解決をしていく。こうした数学的活動を通して、数学における基本的な概念や原理・法則の体系的な理解、事象を数学的に考察し表現する能力を測ることを目指すものである。ただし、開発できたのは幾何の問題が多く、前述の範囲において、「数学 I」 (1) 数と式, 「数学 A」 (2) 整数の性質の問題は、現時点で開発できていない。

図 1 は、「数学 A」の (1) 場合の数と確率の「色玉の取り出し (9 個)」の問題に含まれる動的オブジェクトである。この問題は、赤玉, 緑玉, 青玉合わせて 9 個が一つの袋に入っていて、この袋の中から 2 個の玉を同時に取り出す試行を続けて 100 回ずつ繰り返すことができる。これを用いて、袋の中に入っている赤玉, 緑玉, 青玉の個数がそれぞれ何個かを求めるものである。問題の中で、動的オブジェクトがどのような働きをしようかを、図 2 に示された数学的活動のプロセス (中央教育審議会, 2016), すなわち、事象から

表 1 開発問題 (数学)

科目	学習指導要領の内容	問題内容	オブジェクト (役割) <sup>a</sup>	難易度	2019 調査 <sup>b</sup>
I	(2) 図形と計量	三角形の敷き詰め	Dynamic (A)	標準	$\delta 3$
I	(2) 図形と計量	アポロニウスの円 (三角形)	Dynamic (B→A)	発展	$\beta 5$
I	(2) 図形と計量	正八角形に内接する三角形の面積 (最大)	Dynamic (B)	発展	-
I	(3) 二次関数	絶対値を含む関数の最大値最小値	Dynamic (B→C)	(基本)	-
I	(3) 二次関数	絶対値を含む関数	Dynamic (B→C)	標準	$\delta 1$
I	(3) 二次関数	二つのグラフの交点と共有点	Dynamic (C)	(基本)	-
I	(4) データの分析	データに基づく判別	Dynamic (C・D)	(基本)	-
II	(1) いろいろな式	4 次式の因数分解 (因数定理)	Dynamic (A→B)	標準	$\gamma 1$
II	(2) 図形と方程式	線分の midpoint の軌跡を表す方程式	Dynamic (A)	(基本)	-
II	(2) 図形と方程式	放物線の弦の midpoint の軌跡	Dynamic (A)	標準	$\alpha 1$
II	(2) 図形と方程式	線形計画法 (造花制作による利益)	Dynamic (C・D)	標準	$\beta 4$
II	(3) 指数・対数関数	計算尺の仕組み (対数尺)	Dynamic (A・D)	標準	$\beta 2$
II	(3) 指数・対数関数	対数関数と指数関数のグラフ	Dynamic (A)	標準	$\alpha 4$
II	(4) 三角関数	周期・周波数・角速度	Dynamic (A・D)	(発展)	-
II	(5) 微分・積分の考え	三次関数の決定 (導関数)	Dynamic (B)	発展	$\delta 2$
II	(5) 微分・積分の考え	球面に内接する円柱の体積 (最大)	Dynamic (B)	(標準)	-
A	(1) 場合の数と確率	色玉の取り出し (8 個)	Dynamic (D→B)	基本	$\gamma 5$
A	(1) 場合の数と確率	色玉の取り出し (9 個)	Dynamic (D→B)	標準	$\delta 5$
A	(1) 場合の数と確率	正十二角形の頂点からなる三角形	Dynamic (B→C)	発展	$\gamma 4 \cdot \delta 4$
A	(3) 図形の性質	3 辺上の正三角形 (フェルマー点)	Dynamic (A)	基本	$\gamma 3$
A	(3) 図形の性質	動点となす角の最大値	Dynamic (B)	標準	$\beta 1$
A	(3) 図形の性質	長方形上の 4 点からなる長方形	Dynamic (B)	発展	$\beta 3$
A	(3) 図形の性質	三角形内の点から各辺までの距離の和	Dynamic (B)	発展	$\alpha 3$
B	(2) 数列	漸化式 (薬成分の体内残存量)	Dynamic (C・D)	標準	$\gamma 2$
B	(3) ベクトル	ベクトル方程式	Dynamic (B)	発展	$\alpha 5$
B	(3) ベクトル	線分の長さの最大値・最小値	Dynamic (B)	発展	$\alpha 2$

<sup>a</sup> オブジェクトの役割 A:数学化 B:方略 C:数学的処理 D:意味付け (例えば, B→Cは図2におけるBからCを意味する。)

<sup>b</sup> 2019 年度調査における冊子種類 (4 冊子 :  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ) 及び問題番号 (大問 1~大問 5) [表 4 参照, 5.6 以下で詳述。]

課題を見いだしたり, 現実世界の問題を数学の問題として翻訳したりする「数学化」(A), 解決するための構想を立てる「方略」(B), 数学的に考察・処理する「数学的処理」(C), 数学的に得られた結果を事象に

照らして解釈する「意味付け」(D) の四つに分け検討し, 明確にした (表 1 のオブジェクト (役割))。

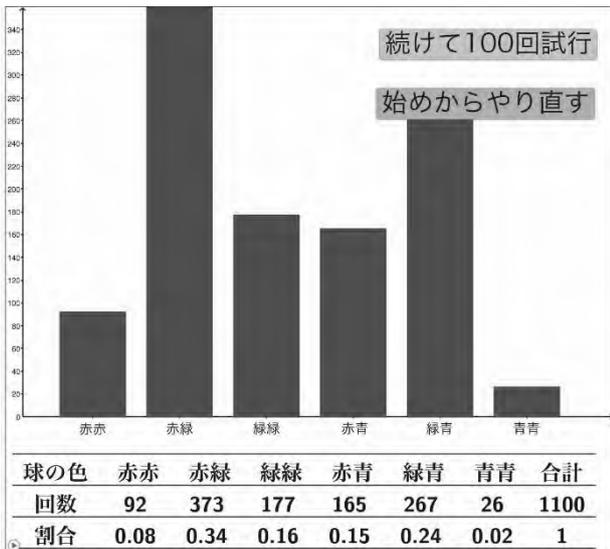


図 1 動的オブジェクトの例

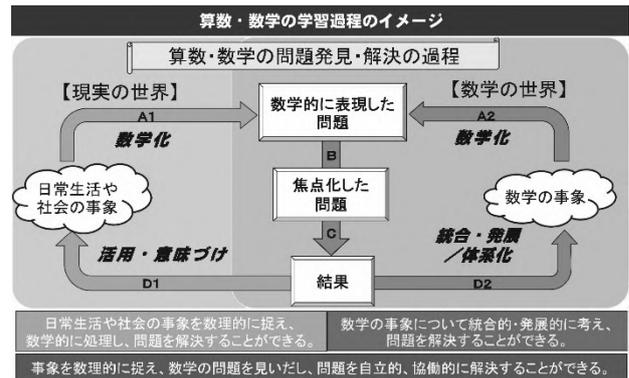


図 2 算数・数学の学習過程のイメージ

## 2.2 物理

物理は, 現行 (平成 21 年告示) の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 2009) における理科の科目のうち, 「物理基礎」及び「物理」の内容について, これまでに表 2 に示す 17 題<sup>1)</sup>を開発した。

表 2 開発問題 (物理)

科目	学習指導要領の内容 <sup>a</sup>	問題内容	オブジェクト <sup>b</sup>	難易度	2019 調査 <sup>c</sup>
物理基礎	(1) ア (ア) 様々な力 ア (ウ) 運動の法則	等加速度運動	M, P <sup>+</sup>	標準	$\alpha 4$
物理基礎	(1) ア (イ) 運動の表し方	速さ比べ	M <sup>+</sup>	標準	$\beta 3$
物理基礎	(1) イ (エ) 物体の落下運動	空気抵抗を受ける雨粒の運動	D	(発展)	-
物理基礎	(1) ウ (イ) 力学的エネルギー	力学的エネルギーの保存	I	発展	共 1(1)
物理基礎	(2) イ (イ) 音と振動	閉管内の気柱の振動, 共鳴	M <sup>+</sup>	標準	$\beta 5$
物理基礎	(2) イ (イ) 音と振動	閉管内の気柱の振動, 共鳴	M	発展	$\gamma 5$
物理基礎	(2) イ (イ) 音と振動	弦の振動, 定常波	M	(基本)	-
物理	(1) ア(イ) 斜方投射 <sup>d</sup>	自由落下・水平投射	M <sup>+</sup>	標準	$\gamma 2$
物理	(1) ア(イ) 斜方投射 イ(ウ) はね返り係数	水平投射したボールのはね返り	M <sup>+</sup>	発展	$\beta 2$
物理	(1) ウ (ア) 円運動	回転円盤上の物体	M	(基本)	-
物理	(1) ウ (イ) 単振動	振り子 (独立変数の決定, 対照実験計画)	D	基本	$\alpha 3$
物理	(1) ウ (イ) 単振動	振り子の運動	M, P	標準	$\gamma 4$
物理	(1) オ (ウ) 気体の状態変化	気体の状態変化, 断熱変化	M	標準	共 1(2)
物理	(2) ア (ア) 波の伝わり方とその表し方	水波投影機による水面波の反射	M, P <sup>+</sup>	発展	$\alpha 2$
物理	(2) ア (ア) 波の伝わり方とその表し方	水波投影機による水面波の屈折	M, P <sup>+</sup>	発展	$\gamma 3$
物理	(2) イ (イ) 音のドップラー効果 <sup>e</sup>	水波によるドップラー効果	P	基本	共 1(3)
物理	(3) 電気と磁気	モーター・コンデンサーと抵抗 (手回し発電機)	M	標準	$\beta 4$
物理	(3) ア (ア) 電荷と電界 <sup>f</sup>	静電気実験, 光電効果 (箔検電器)	M	標準	$\alpha 5$
物理	(3) ア (ア) 電気回路	電子部品 (トランジスタの選択)	P	標準	共 1(4)
物理	(3) イ (イ) 電流が磁界から受ける力	荷電粒子の運動, ローレンツ力	M	標準	共 1(5)
物理	(4) イ (イ) 原子核	原子核の崩壊系列	D	(発展)	-

<sup>a</sup> 「物理基礎」(1) 物体の運動とエネルギー (2) 様々な物理現象とエネルギーの利用  
「物理」(1) 様々な運動 (2) 波 (3) 電気と磁気 (4) 原子

<sup>b</sup> D:Dynamic (Simulation) I:Illustration M:Movie P:Photo (<sup>+</sup>:Measurement)

<sup>c</sup> 2019 年度調査における冊子種類 (3 冊子:  $\alpha, \beta, \gamma$ ) 及び問題番号 (大問 1~大問 5) [表 4 参照, 5.6 以下で詳述。]

<sup>d</sup> 「物理基礎」(1) イ (エ) 物体の落下運動 の内容を含む。

<sup>e</sup> 「物理」(2) ア (ア) 波の伝わり方とその表し方 の内容を含む。

<sup>f</sup> 「物理」(4) ア (イ) 粒子性と波動性 の内容を含む。

物理の問題は、問題に含まれるオブジェクトが、イラスト、映像 (写真, 動画), 動的オブジェクトと多岐に渡る。物理実験映像では、ハイスピードカメラでの撮影によって、スローモーション映像を用いることができる。図 3 に示すように、その映像や写真から時間やスケールを測定することができるようにしてあり、そこから得られたデータを活用して解く設問が特徴として挙げられる。特に、力学と波の問題で多用された。また、数学と同様に、図 4<sup>2)</sup> に示すような動的オブジ

ェクトを用いた、物理シミュレーションの問題も出題可能であることが特徴として挙げられる。他にも、従

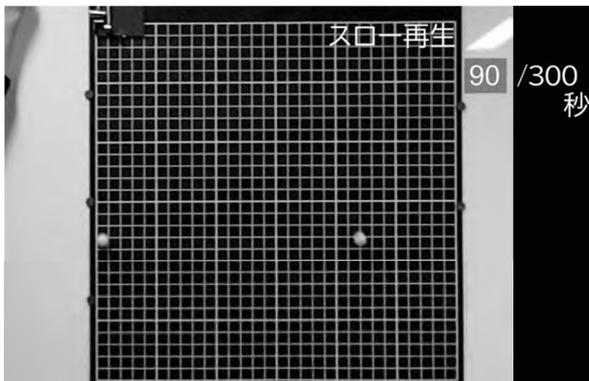


図 3 スローモーション映像の例



図 4 物理シミュレーションの例

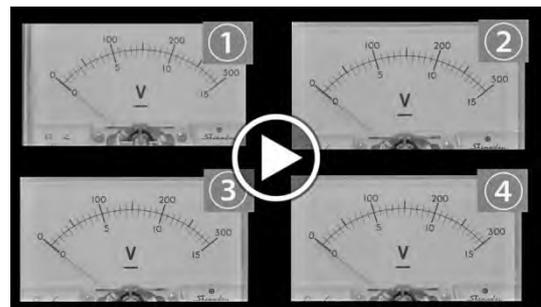


図 5 映像を用いた選択肢例

表 3 開発問題 (化学)

科目	学習指導要領の内容	問題内容	オブジェクト	難易度	2019 調査 <sup>a</sup>
化学基礎	(1) 化学と人間生活 イ (ア)	分留 (実験装置の組み立て)	Photo	基本	$\beta$ 1
化学基礎	(1) 化学と人間生活 イ (イ)	液体窒素	Movie	標準	$\gamma$ 3
化学基礎	(2) 物質の構成 イ (ウ)	極性分子の性質	Movie	(標準)	-
化学基礎	(3) 物質の変化 ア (ア)	溶液 (NaOH) の調製 (実験操作)	Movie	(基本)	-
化学基礎	(3) 物質の変化 ア (イ)	炭酸カルシウムと塩酸の反応	Movie	標準	$\gamma$ 4
化学基礎	(3) 物質の変化 ア (イ)	化学反応と量的関係	Dynamic	(発展)	-
化学基礎	(3) 物質の変化 ア (イ)	化学反応と量的関係 (発泡性入浴剤の合成)	Dynamic	(標準)	-
化学基礎	(3) 物質の変化 イ (ア)	酢酸水溶液の中和滴定 (器具・操作)	Movie	基本	$\gamma$ 2
化学基礎	(3) 物質の変化 イ (イ)	イオン化傾向	Movie	(標準)	-
化学	(1) 物質の状態と平衡 ア (ア)	蒸気圧と沸騰 (水の沸騰)	Movie	標準	$\beta$ 3
化学	(2) 物質の変化と平衡 ア (ア)	ヘスの法則	Dynamic	標準	$\alpha$ 5 $\beta$ 5
化学	(2) 物質の変化と平衡 ア (イ)	気体の体積と温度 (ボイル・シャルルの法則)	Animation	(基本)	-
化学	(2) 物質の変化と平衡 ア (イ)	電気分解	Movie	標準	$\alpha$ 2(2)
化学	(2) 物質の変化と平衡 ア (ウ) <sup>b</sup>	電池のしくみ	Movie	(標準)	-
化学	(2) 物質の変化と平衡 イ (ア)	反応速度	Dynamic	(発展)	-
化学	(2) 物質の変化と平衡 イ (イ)(ウ) <sup>c</sup>	共通イオン効果 (醤油)	Movie	標準	$\alpha$ 4
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)	薬品の保存方法 (自然発火・酸化・潮解)	Movie	標準	$\gamma$ 1
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)	キップの装置	Movie	標準	$\alpha$ 1
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)	希硝酸と銅の反応 (NO の反応)	Movie	標準	$\alpha$ 3
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)(イ)	化学物質の同定	Movie	標準	$\alpha$ 2(1)
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)(イ)	沈殿反応	Movie	(発展)	-
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (ア)(イ)	金属イオンの系統分離	Movie	(発展)	-
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (イ) <sup>d</sup>	成分元素の検出 (使い捨てカイロ)	Movie	基本	$\beta$ 4
化学	(3) 無機物質の性質と利用 ア (イ) <sup>e</sup>	酸化剤	Movie	標準	$\beta$ 2
化学	(4) 有機化合物の性質と利用 ア (ア)(イ)	有機化合物の構造と分析 (官能基・構造式)	3D	標準	$\gamma$ 5

<sup>a</sup> 2019 年度調査における冊子種類 (3 冊子 :  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) 及び問題番号 (大問 1~大問 5) [表 4 参照, 5.6 以下で詳述.]

<sup>b</sup> 「化学基礎」 (3) 物質の変化 イ (イ) の内容を含む。

<sup>c</sup> 「化学」 (1) 物質の状態と平衡 イ (ア) の内容を含む。

<sup>d</sup> 「化学基礎」 (1) 化学と人間生活イ (イ) 及び「化学」 (2) 物質の変化と平衡 イ (ア) の内容を含む。

<sup>e</sup> 「化学基礎」 (3) 物質の変化 イ (イ) の内容を含む。

来のペーパーテストとは異なる出題が可能となった。例えば、図 5 に示すように、電圧計の様子を答えさせるのに、映像を選択肢にしたり、定常波を図 6 のような動的オブジェクト<sup>3)</sup>を用いて解答させたりといった出題である。

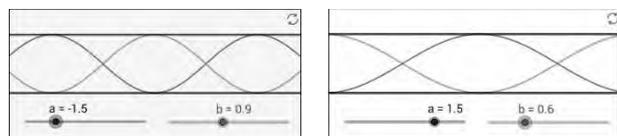


図 6 動的オブジェクトを用いた解答方法の例

## 2.3 化学

化学は、現行 (平成 21 年告示) の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 2009) における理科の科目のうち、「化学基礎」及び「化学」の内容について、これまでに表 3 に示す 24 題<sup>4)</sup>を開発した。

化学の問題は化学実験映像 (写真, 動画), 特に動画を含むものが中心で、映像以外には、アニメーション

や 3D を用いた化学現象のモデリング, 動的オブジェクトを用いた化学実験シミュレーションが主である。以下で、四つの特徴に分けて後述するが、それらを用いることによって、化学的な解釈や説明をする能力, 物質の変化の結果を予測する能力, 事物・現象を分析的, 総合的に考察する能力といった広範な能力が測れることが期待できる。

### 2.3.1 化学現象の再現

化学実験映像の特徴としては、映像を倍速再生するタイムラプス映像を用いて、リアルタイムでは観察できない化学現象や危険を伴う実験等の再現が挙げられる。水酸化ナトリウムの潮解のタイムラプス映像から画面キャプチャした図 7 が前者の例にあたり、実際に高等学校では実験を行わないが、黄燐の自然発火の様子映像が後者の例にあたる。これらの設問では、どちらも物質名は明示せず物質の変化を見て、どのような保存方法が適切かを問うている。

### 2.3.2 化学現象のモデリング

肉眼では見えない化学現象のモデリングとして、ボイル・シャルルの法則での分子の動きのアニメーションや、図 8 に示すような有機化合物の構造の 3D モデルが挙げられる。

### 2.3.3 試行の繰り返し

物理同様に、動的オブジェクトを用いたインタラクティブな実験シミュレーションとして、化学反応と量的関係や反応速度の問題を開発した。限られた試験時間内での試行の繰り返しを行うものである。

### 2.3.4 事物・現象の観察

本研究では、受験者の ICT スキルの影響をできるだけ軽減させるために、タブレット端末を利用した CBT を提案している。タブレット端末は、基本操作を「タップ」で行うが、特徴的な機能として、「ピンチイン」及び「ピンチアウト」によって、拡大・縮小が容易に行える。そこで、この機能も化学の事物・現象の観察で役立つと考え、様々な方向から撮影した蒸留装置の画像を拡大・縮小して観察する問題も開発した。2.3.2 での 3D モデルでも同様のことが行える。

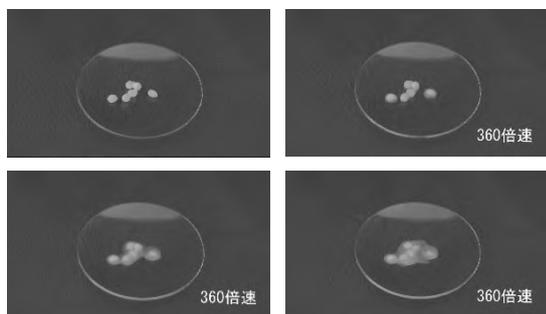


図 7 タイムラプスの例

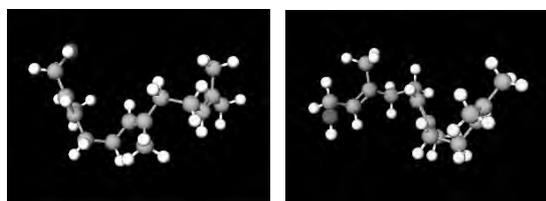


図 8 3D の例

## 3 解答方法

問題開発の初期の段階では、CBT 特有の問題開発に主眼を置き、解答形式は限定せず、すべて解答用紙による記述での解答とした。数回の調査を経て、その結果を分析し、記述式とほぼ同等の測定が可能な設問については、選択肢式に変更した。その後、選択肢式と、

求答式及び短答の記述式問題の一部について、受験者がタブレットへ直接解答を入力する方式を試みた。現時点では、解答用紙による記述解答以外に、以下の 2 種類の方法を採用している。

### 3.1 選択肢式設問のオンライン解答

HTML のセレクトタグ<SELECT> (属性でプルダウン形式のメニューを指定) による。ただし、選択肢の内容がテキストかつ 1 行以内であればプルダウン形式のメニューに含めるが、長い、あるいは数式が含まれる場合は、メニューは選択肢番号のみとし、選択肢の内容は問題文中に別途表示することとした。

### 3.2 求答式設問のオンライン解答

求答式 (用語 (テキスト)、数字・数式等) の一部の設問に関して、キーボード入力やフリック入力の採用の可否について議論したが、手書き認識入力を試みるという結論に至った。その理由は、漢字変換の辞書において、学習機能や推測変換・連想変換といった機能がオンでは知識を問う問題が出題し難くなり、オフだと変換に時間を要する。一方、手書き認識入力は、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 で読みとるよりも認識率は各段に高く、紙筆の記述により近いという特性がある。数字・数式については、キーボード (フリック) 入力やパレット入力では分数、記号、添え字などの入力が煩雑であるが、手書き数式認識入力により容易となる。さらに、本研究では、受験者が認識されたテキストを確認しながら解答入力する方式を採用したため、誤認識トラブルは大幅に軽減される利点がある。

## 4 システム開発

本研究では、2 で示した問題を従来型の PBT の電子冊子版として実装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、受験者は決められた試験時間内に、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。

問題冊子は、電子書籍アプリケーション Apple Books<sup>5)</sup> による電子冊子とした。なお、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「HTML5」ウィジェットで統合させた。

## 5 モニター調査

調査の概要は以下の 5.1~5.8 の通りである。

表 4 モニター調査結果

Booklet	Mean (Score Rate(%))	SD	IQR	0%(Min)	25%	50%	75%	100%(Max)	n
数学 $\alpha$ 冊子	54.5 (36.3%)	26.7	37.50	5	38.25	52.5	75.75	121	44
数学 $\beta$ 冊子	63.9 (42.6%)	23.1	28.00	13	51.00	64.0	79.00	122	40
数学 $\gamma$ 冊子 *	87.5 (58.3%)	23.3	36.50	42	69.25	88.5	105.75	120	28
数学 $\delta$ 冊子 *	68.9 (46.0%)	33.4	48.00	5	48.00	62.0	96.00	142	43
物理 $\alpha$ 冊子 *	78.1 (52.1%)	21.5	31.75	47	63.00	73.0	94.75	122	46
物理 $\beta$ 冊子 *	57.0 (38.0%)	23.1	35.50	20	37.50	55.0	73.00	120	58
物理 $\gamma$ 冊子 *	48.2 (32.1%)	23.3	30.50	17	34.50	46.0	65.00	88	54
化学 $\alpha$ 冊子	61.4 (40.9%)	31.2	48.25	6	36.00	61.0	84.25	129	96
化学 $\beta$ 冊子	66.7 (44.5%)	18.6	21.50	14	55.50	68.0	77.00	122	95
化学 $\gamma$ 冊子 *	63.1 (42.0%)	18.5	25.50	27	50.00	62.0	75.50	114	131

\* はオンライン実施冊子

### 5.1 調査目的

開発した CBT の総合的な検証及び改善に資するため。

### 5.2 調査時期

2019 年 7 月下旬～11 月上旬

### 5.3 調査対象者

高等学校（全日制普通科）第 3 学年（数学は第 2 学年を含む）の生徒で、数学は、「数学 I」「数学 II」「数学 A」「数学 B」を、物理は、「物理基礎」「物理」を、化学は、「化学基礎」「化学」を履修している（した）生徒。

### 5.4 調査実施校

県立高等学校：9 校（3 県）

### 5.5 調査実施者数

530 人（高 2：38 人，高 3：492 人）

### 5.6 調査問題冊子

表 4 の第 1 列に示す計 10 冊子で、1 冊子あたり 5 題、解答時間は 50 分間、配点は 150 点満点（1 題 30 点）とした。各冊子の問題構成は、表 1～表 3 の最右列に冊子と問題番号を示してある。なお、数学及び化学の  $\alpha$ ,  $\beta$  冊子は解答用紙、それ以外の冊子はオンライン解答としている。ただし、数学の  $\gamma$ ,  $\delta$  冊子は、難易度が異なるよう構成している（ $\delta$  冊子の方が難）。学級単位で、1 受験者が数学、物理、化学のうち 1 ないし 2 とし、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  は無作為に割り振った。

### 5.7 質問（アンケート）項目

問題の解答終了後に、問題に関する簡単なアンケートを実施した。質問項目は、「各問題の難易度」、「問題

の意味」、「オブジェクトの有用性」、「映像時間」、「映像の見易さ」、「解答時間」、「操作性」について選択肢式の質問と、感想や気が付いたことについての自由記述の質問で構成されている。

### 5.8 調査実施方法

調査実施者が所属の高等学校の教室にて、電子問題冊子を取り込んである 9.7 インチのタブレット端末（iPad<sup>®</sup>, OS:iOS11）、タブレットペン、解答用紙あるいはメモ用紙を配付し実施した。なお、オンライン実施冊子については、各端末を LTE の WiFi ルータ経由でインターネットに接続した状態で実施した。調査終了後タブレットペンを除く全ての配付物を回収した。

## 6 調査結果処理

調査結果は、オンラインで収集した結果データ（理由を書かせる短答記述式は除く）については、コンピュータ上で採点をし、それ以外については作題委員が作成した解答類型をもとに、採点作業を行った。なお、ベリファイチェックを行っている。

## 7 調査実施結果

表 4 は、各冊子の平均点（得点率平均（%））、標準偏差、4 分位範囲、4 分位点、人数を示した表である。また、各大問の得点率平均によって問題を 3 レベルに分類し、表 1～表 3 の難易度の列に示してある。なお、履修状況等で、数学と理科（物理・化学）の調査実施集団が若干異なるため、原則として得点率平均が数学は 70%以上が「基本」、40%以上 70%未満が「標準」、40%未満が「発展」とし、理科は 60%以上が「基本」、30%以上 60%未満が「標準」、30%未満が「発展」とした。2019 年調査で使用しなかった問題については、過去の調査結果をもとに分類を行い括弧を付している。

## 8 結果の評価

### 8.1 問題の評価

学習指導要領の内容について、数学は大項目、理科(物理・化学)は中項目を網羅するという方針で問題開発を行ってきたが、実際に調査実施までに至らなかった内容項目の問題が少なからずあり、作題しやすい内容とし、難しい内容が明らかになってきた。なお、作題で想定していた難易度と結果が乖離している問題の多くは、受験者が初見であったり、見慣れていなかったりであることから、問題の改善を図るだけでなく、高等学校での不断の授業改善において、日常的に ICT を活用した指導を行っていくことが必要であると考えられる。

#### 8.1.1 数学

数学は、前述のとおり動的オブジェクトの特性上、幾何や関数のグラフが作題しやすく、数と式、整数の性質が現時点で未開発である。また、データの分析等統計関連が CBT と親和性が高いと考えられるが、実際には動的オブジェクトの作り込みが複雑であったり、受験者の操作スキルに依存するという問題がある。

#### 8.1.2 物理

物理は、開発の着手が他より遅く、問題数も少ないが、開発中の問題が多数あり、今後内容の幅は広がると考えられる。難易度調整が必要な問題や、作業量が多く解答時間を要する問題等、改良が必要な点が見受けられる。また、画像や映像から時間やスケール(長さ・角度)を測定させその値を利用する設問が含まれるが、撮影の際の歪みに注意を払う必要があることが実証的に明らかとなった。物理は、オブジェクトの種類が最も多く、数学や化学に活かされると期待される。

#### 8.1.3 化学

化学は、オブジェクトの特徴が分類できている(2.3 参照)が、内容に偏りがみられ、内容の幅を広げることが課題である。設問については、観察、実験などを通して探究するものが多く、その解答が記述であるため、採点に労力が必要となる点をどう解消していくかが問題である。また、実験映像を多用しているが、一部の問題で映像が不鮮明、例えば気体発生で気泡の大きさによっては非常に見にくいものや、ガラス器具への反射や映り込みといった問題があることが実証的に明らかとなった。化学は、今後 3D やオブジェクト VR といったデジタルコンテンツの利用が期待できる。

表 5 手書き認識入力エラー

エラーの種類	手書き認識入力			計	
	文字	数値	数式		
ノイズ	書き始め	2	10	2	14
	書き終わり	4	18	3	25
小数点	,(コンマ)	-	87	1	88
	.(中点)	-	25	1	26
1	/	-	7	0	7
		-	2	0	2
	!	-	1	0	1
その他		1	5	1	7
解答入力欄のべ数*		1,402	1,920	357	3,679

\*「解答入力欄数 × 調査人数」により算出。

### 8.2 実施における諸課題の整理

受験者のタブレット操作に特段大きな問題はなかったが、受験者からは、問題の中に書き込みがしたいという声があった。タブレットペンである程度書けるようにすることは可能であるが、オブジェクトが動的なものがほとんどであるため、オブジェクトと書き込みの関係については十分な検討が必要である。

数学、理科ともに、受験者が必要に応じて電卓を使用できるように冊子の先頭部分に電卓を配置したが、その部分に移動するのが大変であるという意見が多かった。電卓利用を想定する問題のみに配置することは避けたいため、どの問題からも電卓が起動できるように改良する必要がある。

### 8.3 解答入力に関する諸課題の整理

選択肢式設問のオンライン解答は、ウィジェットとして組み込んだことと、実施中のトラブルを考慮して、解答データをサーバで保持する仕組み(安野, 2020)としたことにより、プルダウン形式のメニューが開くまでの動作がやや緩慢であり、改善の余地がある。

手書き認識入力を採用した求答式設問のオンライン解答については、日本語の文字認識率の高さが受験者からも高評価であるが、数行にわたる文を書き直す GUI には工夫が必要である。数式文字認識も容易に入力ができるという点で、有効性の確認はできたものの、いくつかの課題も明らかになった。

表 5 には、求答式の設問における手書き認識入力エラーの種類と数を示した。受験者が解答入力欄に触れてしまった結果、細かい点が付き、それも認識されるといった、書き始め、書き終わりのノイズが 39 (のべ数 3,679 の約 1%) あった。採点では、ノイズは無視した。数式認識入力(数値及び数式)は、何度か書き直せば

入力できた受験者が多かった。ただし、小数点が「,」（コンマ）や「・」（中点）と認識された事例が 114（のべ数 2,277 の約 5%）確認された。海外の認識エンジンを使用したことにより、小数点に「,」（コンマ）を用いる国があることに起因する。日本人の表記に合致した認識エンジンにすれば解消される可能性があるエラーである。それ以外として、（数字の）「1」と「l」（スラッシュ）, 「|」（パイプ, 縦棒）, 「!」の間の誤認識が 10 例確認されたが、数としては僅かである。

#### 8.4 技術上の示唆

本研究では、タブレット端末の Multi-Touch ディスプレイの特性を活かし、直感的な操作でオブジェクトを動かしたり、解答入力したりすることができる CBT のプロトタイプの開発を行った。様々なオブジェクトの挿入のしやすさから、電子書籍フォーマットをベースに開発を進めてきたが、アプリケーションによる制限やブラウザ（HTML ウィジェット）のセキュリティ関係による制限もあり、様々な OS での利用を前提にすると、HTML と JavaScript の組み合わせでの Web 版が最適と考えられる。現在、開発した問題を学習管理システム（Learning Management System）の小テストに移行し、その可能性も検討している。ただし、本研究でその有効性が確認できた手書き文字・数式認識入力の組み込みは課題となっている。

#### 注

- 1) 2019 調査の欄に共 1 と記載がある問題は全冊子共通の小問集合（5 問）問題で、これらを 1 題とみなす。
- 2) 単振り子の糸の長さ、振り子の質量、重力加速度の大きさ等を変えて周期を測定するシミュレーションで、実行することにより、対照実験を計画する能力を見る。
- 3) 動的オブジェクトを用いることによって、これまではいくつかの図を提示して選択させる設問を、変数を変化させて定常波を決定し、その変数を答えさせる形式にできる。
- 4) 2019 調査の欄に  $\alpha 2$  と記載がある問題は内容が異なる小問集合（2 問）問題で、これらを 1 題とみなす。
- 5) iPad, Apple Books は、米国および他の国々で登録された Apple Inc. の商標である。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H00822 の助成を受けたものである。また、本研究を遂行するにあたり、各教科の作題委員、調査実施高等学校の関係者に感謝申し上げる。

#### 参考文献

- 中央教育審議会算数・数学 WG (2016). 算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りまとめ.
- Downing, Steven M. and Haladyna, Thomas M. (Eds.) (2006). Handbook of test development, Lawrence Erlbaum Associates.
- 北野賢一・長谷川拓・松高和秀・岩城圭一・合志恭・山下卓弥・柳澤秀樹・林誠一・松原静郎・安野史子 (2019). 化学のタブレット型試験の開発, 日本科学教育学会第 43 回年会論文集, pp.199-200.
- 文部科学省 (2009). 高等学校学習指導要領平成 21 年 3 月告示, 東山書房.)
- 高橋聡・安野史子・西村圭一・根上生也・祖慶良謙・高橋広明・伊藤仁一・浪川幸彦・伊藤伸也 (2019). 高大接続を視野に入れたタブレット端末利用型 CBT の開発 - 数学問題の開発と改良 -, 日本科学教育学会第 43 回年会論文集, pp.193-194.
- 右近修治・小林雅之・中村泰之・岡本英治・猿田祐嗣・寺崎清光・安田淳一郎・安野史子 (2019). タブレット端末を用いた映像や動的オブジェクトを含む CBT 物理問題の開発, 日本科学教育学会第 43 回年会論文集, pp.195-198.
- 安野史子 (2017). 「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』 27, pp.71-79.
- 安野史子 (2018). 「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』 28, pp.155-162.
- 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 (2018). 「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.
- Yasuno, F., Nishimura, K., Negami, S. and Namikawa, Y. (2019). Development of Mathematics Items with Dynamic Objects for Computer-Based Testing Using Tablet PC, International Journal for Technology in Mathematics Education, Vol 26, No3, pp.131-137.
- 安野史子 (2020). 「高大接続を視野に入れたタブレット端末利用型 CBT の解答入力システムの開発と検討 - 手書き認識入力を中心に -」『大学入試研究ジャーナル』 30, pp.112-117.