

数学におけるCBT (Computer Based Testing) 方式のシステム開発に向けて

明治大学大学院先端数理科学研究科

先端メディアサイエンス専攻

藤田 祥一

数式処理学会 第14期第3回 教育分科会

2020/2/24

目次

- 自身の研究テーマ紹介
- CBTとは
- 研究背景
- CBTの特徴
- 先行研究紹介
- CBT方式で出題が可能な大規模試験での新傾向の問題例
- 現在の悩み・迷い
- まとめと議論

自己紹介

- 氏名：藤田 祥一（ふじた しょういち）
- 所属：明治大学大学院先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻 阿原研究室
- 研究テーマ
 - 学校教育における数式処理ソフトの活用
 - 数学におけるCBT方式の試験実施に向けたシステム開発
- 略歴
 - 2013/3 東京都立北園高等学校 卒業
 - 2017/3 城西大学理学部数学科 卒業
 - 2019/3 城西大学大学院理学研究科数学専攻 修了（指導：大島利雄 教授）
修士研究：4段4次Runge-Kutta法の代数的考察
 - 現在 明治大学大学院先端数理科学研究科 D1（指導：阿原一志 教授）

現在の研究目標

大規模試験も想定した数学におけるCBT方式の 試験実施に向けた統合型システムの構築

- 試験実施者が問題作成，試験実施，採点などの試験工程を一通りコンピュータ上で簡単に行える数学のためのCBT方式の試験システムを作成したい
- 学校の期末試験レベルでの使用もできるようにしたい

CBT方式とは

- Computer-Based Testing（コンピュータ型テスト）
 - 試験における工程（作成，実施，採点など）を一通りコンピュータ上で実施する試験方式
 - 受験者はICT機器（タブレットなど）を用いて試験の解答を行う
- CBT方式が使われている試験
 - ITパスポート試験（国家試験）：多肢選択式
 - 漢字検定（2級～7級）：キーボード入力，多肢選択式，タッチペンでの記述
 - ビジネス数学検定：多肢選択式（5択）
 - OSCE（客観的臨床能力試験）：多肢選択式

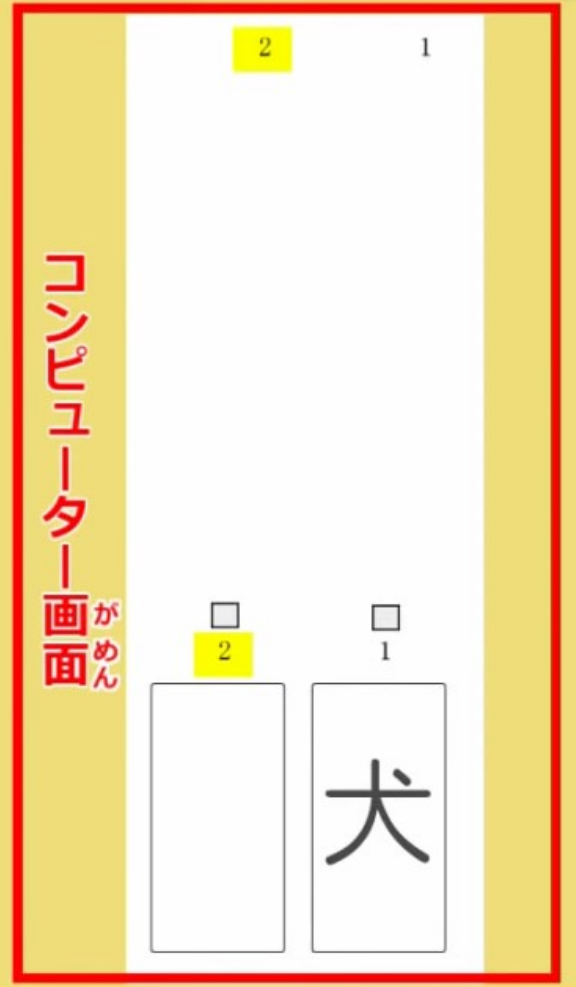
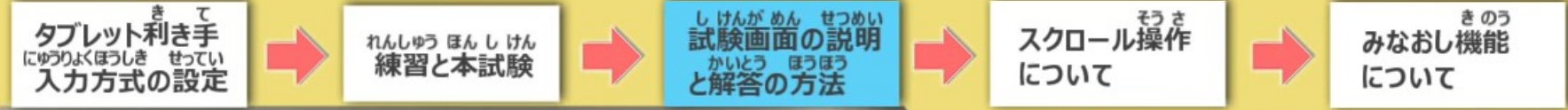
など

漢検

のこり時間
10:00

次の一線の漢字
【キーボード】

1 トキは天然記
2 遊び方を説明



漢検HPより

共通入試にCBT方式が検討されている経緯

- 2013年 教育再生実行会議の第四提言の中に「到達度テストにおいて将来的にCBT方式で試験を実施を目指す」とされていた

「達成度テスト（**発展**レベル）（仮称）は、その結果をレベルに応じて段階別に示すことや、各大学において多面的な入学者選抜を実施する際の基礎資格として利用することなど、・・・”中略”・・・試験問題データを集積し **CBT方式**で実施することや、言語運用能力、数理論理力・分析力、問題解決能力等を測る問題の開発も検討する。」（[1], p.7）

- 2016年 高大接続システム改革会議「最終報告」では「高等学校**基礎**学力テスト（仮称）」を将来的（2023年新学習指導要領まで）にはCBT方式で実施するとしていた

「平成**36**年度から始まると想定される**次期学習指導要領の下での**テストからCBTを実施することとし、現行学習指導要領の下での平成32～35年度間については、CBTの試行に取り組む。」（[2],p.59）

共通テストでもCBT方式の導入を検討している

- 新学習指導要領に合わせて共通テストの新設科目「情報Ⅰ」をCBTで実施するべく検討が現在進められている

「大学入学共通テストにおいて、平成36年度から必履修科目「情報Ⅰ」などの新学習指導要領に対応した出題科目とすることについて本年度中に検討を開始し、早期に方向性を示すとともに、コンピュータ上で実施する試験（CBT）などの試験の実施方法等について検討を進める。」（[3],p.102）

【2019年度 主な実施内容（予定）】

- 記述式問題を含めた作問・採点の方針、実施運営等に関する方針、障害者への配慮の方針等の策定
- 記述式問題等に対応したテストシステムの改修（成績処理関連、受験票関連、会場連携関係、統計処理関係等）
- 記述式問題に対応した解答用紙読取機（OMR）の整備
- 記述式問題の採点・検収システム（対採点機関）、障害者用受験システムの検証・開発
- 「未来投資戦略2018」で言及されている教科「情報」について、CBTを活用した試験の開発（モデル問題作成、システム開発、実証実験（5都県(10会場程度)×50名×3期）等）

[4]より

※大学入試センターでも2018/7に情報のCBT試験の開発に向けた問題素案の公募している

⇒ 他教科でもCBT方式の試験実施に向けてシステム開発が必要となってくる

CBT方式のメリット

- 全教科共通

- 動的オブジェクト（映像，音声など）を用いた出題が可能
- 項目ごとに制御や測定が可能
- 多肢選択肢式問題に最適，機械即時採点が可能
- 試験時間内の反復受験も可能になる

- 数学

- 動的幾何ソフトを動かす実験型の問題など求値にとらわれない新しいタイプの問題が出題できる
- 大規模試験でも数式の記述式問題が出題可能
- 数式記述の解答でも採点が即時にできる

など

CBT方式のデメリット

- 全教科共通

- コンピュータの操作能力に依存する可能性大
- 初期費用が割高（大量のタブレットの導入など）
- 問題やデータの流出の危険性大，セキュリティの構築が必須

- 数学

- 解答方法に慣れが必要（手書きインターフェースでも）
- 途中計算などのメモが問題用紙に（現時点では）書き込めない
- 証明などの長文記述の解答の採点は（現時点では）不可能

など

数学のCBT方式に向けた先行研究

- 安野史子氏（国立教育政策研究所）、西村圭一氏（東京学芸大学）らによって現在も開発・モニター調査が進められている
- 研究主題
 - 動的オブジェクトを含む問題の開発
 - 動的オブジェクトを含む問題を従来の紙試験(PBT)の電子冊子版にする
 - CBTで測れる能力の明確化
- 出題範囲：高等学校学習指導要領(H21)の数学Ⅰ・Ⅱ・A・B
- 開発環境
 - 問題冊子はiBooks Authorを用いて作成
 - 動的オブジェクト部分はGeoGebraで作成し、HTML5として冊子に埋め込む
 - 解答者への問題提示はiPadを用いてApple Booksによる電子冊子で提供

2017年3月のモニター調査

- 調査対象：9高等学校 第2学年（若干3学年） 256名
- 問題提示・解答方法：7.9インチのiPad mini2・紙の解答用紙（記述式）
- 設問数・解答時間：大問5問・50分
- iPadへ事前に電子ファイルを入れておき，試験中はオフラインで行った

表1 問題の試案例 (数学)

冊子	問題番号	内容	昨年度からの改作の有無	
			オブジェクト	改題
$\alpha\beta\gamma$	第1問	図形と方程式	図形の軌跡を表す方程式	
	第2問	図形と計量	正八角形に内接する三角形の面積 (最大値)	✓ ✓
α	第3問	微分	球面に内接する円柱の体積 (最大)	✓ ✓
β	第3問	3次関数	3次関数の決定 (導関数)	(新規)
γ	第3問	図形と方程式	放物線の弦の中点の軌跡	(新規)
α	第4問	数と式	線形計画法	✓ ✓
β	第4問	データの分析	データに基づく判別	(新規)
γ	第4問	漸化式と数列	薬の体内残存量に関する漸化式モデル	✓ ✓
α	第5問	図形と計量・平面図形	動点となす角の最大値	(新規)
β	第5問	図形と計量	三角形の敷き詰め	
γ	第5問	三角関数	周期・周波数・角速度	(新規)

2018年7月のパイロット調査

- 調査対象：大学生 27人
- 問題提示：9.7インチのiPad
- 解答方法：iPad上に指又はタッチペンで解答（多肢選択・**短答記述式**）
- 設問数・解答時間：大問6又は7問（物理，化学の問題も含む）・60分
- 受験者情報や（各解答欄の）解答データを**オンライン**でやりとりを行った

表 1: パイロット調査冊子の構成

冊子	B	第1問	数学：関数(絶対値)		○	$x, x - a , x - a - a, a < 0, \frac{a}{2} < x$
A	B	第2問	数学：微分		○	$\frac{7}{2}, -\frac{9}{4}, \frac{1}{3}x^3 - \frac{7}{2}x^2 + 10x$
A	B	第3問	数学：平面図形(三角比)		○	$2.06, \frac{4+3\sqrt{2}}{4}$
A	B	第4問	数学：確率	○		
A	B	第5問	化学	○	○	
A	B	第6問	化学	○	○	
A	B	第7問	化学	○	○	

解答欄

(i) (2) $f(x)$ を表す 3 次式を求めなさい。

$f(x) =$

↓

(ii)

↓

(iii) $\frac{1}{3}x^3 - \frac{7}{2}x^2 + 10x$

↓

(iv) $\frac{1}{3}x^3 - \frac{7}{2}x^2 + 10x$

を敷き詰めることができたところから、問題文を再読し、解答を選択...

5

図 2: 短答式の設問例 (数学)

(数学)

CBT方式を入試で導入している例（佐賀大学）

- 推薦入試やAO入試で以下の3つのタイプのCBT方式の入試で活用
 - 基礎学力・学習力テスト（2017年度より推薦入試Ⅰで導入）
各教科・科目の教科書に掲載されているような**基礎的な問題**を一定数出題
 - 思考力・判断力・表現力等を問うテスト（2018年度よりAO入試で導入）
化学（実験分野），人文・社会科学分野において**動画**や**資料**等を利用した総合問題
 - 英語技能テスト（2018年度よりAO入試で導入）
4技能の測定に留まらない「コミュニケーション能力」の評価に重点を置いたテスト
- CBT方式のための**独自のアプリ**を開発
- 受験者情報登録・問題提示・解答は全てiPad上で行う
- 設問は多肢選択式またはキーボード記述式問題？

問題例

TestFlightに戻

問題1-1.

受験

2 Dia

解答した:

C: Hello. How can I help you?

S: _____



大学の講義でのCBT方式実践例

■山陽小野田市立山口東京理科大学 亀田 真澄 氏

- 線形代数学の講義の期末試験をMoodleを用いてブラウザ上で行った
- ランダム化された（一人ひとり違う）問題を11題出題
- 試験時間は120分であるが、反復受験が許可されている
（受験毎の所要時間は最大60分、
全受験者が2回以上受験した）
- 教員の監督下の教室で学生が所持しているノートPCを専用サイトに接続して受験
- 問題と解答はブラウザ上で計算用紙としてA4紙（複数枚）を渡した
（試験終了後に用紙を提出する）

期末試験のオンライン化

	期末試験 概要 (e-Examination)
大問数	11題 ベクトル空間・行列の階数・固有値・固有ベクトル
試験期間	11月15日(水) 10:40 ~ 12:40
受験時間	最大 60分/回
提供回数	1回 ※試験期間内の反復受験を許可
延べ受験回数	77回/37人 ※2回反復: 34人, 3回反復: 3人
集計(SD)	最高評点に対する平均 63.4点(17.1)

問題例

【1次変換】

【問題】1次変換 $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ を

1. ベクトル \mathbf{x} の1次変換

2. 次の図形(直線) ℓ の1次変換の方程式を入力せよ。係数

$\ell: 0$

ここでは x の係数が

3. 次の図形(円) C の1次変換の方程式を入力せよ。係数

$C: 0$

ここでは x^2 の係数が

次に、 \mathbb{R}^2 の1次変換 g は次のように定義される。

- 1次変換 g の表現行列
- 合成変換 $g \circ f$ の表現行列

【固有値】 - 固有ベクトル

問題の抜粋 | 問題のテストとデプロイ

【問題】 固有値を求めよ。

[2014/01/15:09:55UP] 正解を唯一にするために、求めるベクトルの第1成分が、最小、かつ正の整数となるように、模範解答を再設定しました。

1. 次の2次正方行列 A について答えよ。

$$A = \begin{bmatrix} 4 & -1 & -2 \\ 2 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

◦ 固有値 $\lambda_1 = 1$ に対する固有ベクトル $\mathbf{x}_1 = c_1 \mathbf{a}_1$ (c_1 は任意定数, $c_1 \neq 0$) を求めよ。

$$A \mathbf{x}_1 = 1 \mathbf{x}_1$$

$$\mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \end{bmatrix}$$

◦ 固有値 $\lambda_2 = 2$ に対する固有ベクトル $\mathbf{x}_2 = c_2 \mathbf{a}_2$ (c_2 は任意定数, $c_2 \neq 0$) を求めよ。

$$A \mathbf{x}_2 = 2 \mathbf{x}_2$$

$$\mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \end{bmatrix}$$

問題文の 1/3 抜粋

掃き出し法 (2)

問題の抜粋 | 問題のテストとデプロイ

【問題】 次の連立1次方程式について答えよ。

$$\begin{cases} 2x - y - 7z = 6 \\ x - y - 5z = 5 \\ -3x + y + 9z = -7 \end{cases}$$

1. 連立1次方程式に対応した係数行列 A 、拡大係数行列 $A' = [A | \mathbf{b}]$ を求めよ。

$$A = A_1, \quad A' = A_2$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} \text{ } & \text{ } & \text{ } \\ \text{ } & \text{ } & \text{ } \\ \text{ } & \text{ } & \text{ } \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \text{ } & \text{ } & \text{ } & \text{ } \\ \text{ } & \text{ } & \text{ } & \text{ } \\ \text{ } & \text{ } & \text{ } & \text{ } \end{bmatrix}$$

2. 未知数の個数 n 、2つの行列の階数 rank を求めよ。

$$n = A_3, \quad \text{rank}(A) = A_4, \quad \text{rank}(A') = A_5$$

$$\begin{matrix} A_3 = \\ A_4 = \\ A_5 = \end{matrix} \begin{bmatrix} \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \end{bmatrix}$$

3. この連立方程式における未知数の個数 n 、階数の状況により、解は存在するが、無数の解を持つことになる。

消去法(すなわち掃き出し法)を用いて連立方程式の解 $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ は次のように与えられる。ただし変数 $z = c$ (c は任意定数) とおいている。

$$\mathbf{x} = c \mathbf{A}_6 + \mathbf{A}_7$$

CBT方式で出題可能であろう新傾向の問題

- 数式や用語を記述させる短答式問題
- 求値がメインではない問題
 - ▶ 作図などの制作物で解答させる問題
 - ▶ 証明の穴埋め問題
 - ▶ 解答者の思考過程を問う問題
- 一人ひとり関数や式の係数が異なる問題
 - ▶ 解答者が関数や式などを設定する問題
- 数値実験や図を動かすなどの体験型の問題
- 電卓や数式処理を活用する問題

解答者の思考過程を問う問題（例）

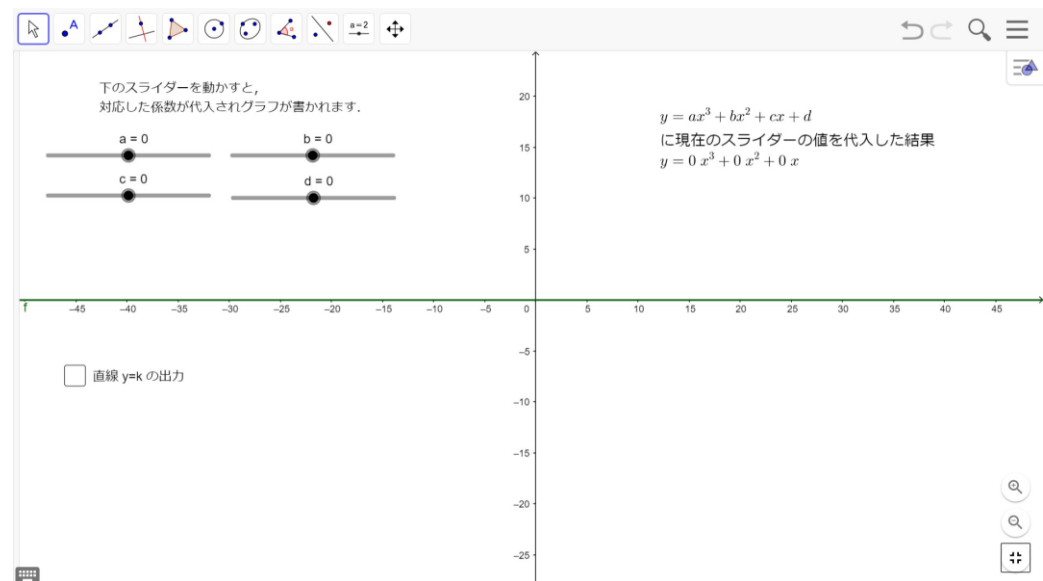
問 なぜ三角形の外心を先ほどの方法で作図をしたのか。
理由として最も近いものを選択せよ。

1. 3本の垂直二等分線が1点で交わる点が三角形の外心だと思ったから。
2. 3本の角の二等分線が1点で交わる点が三角形の外心だと思ったから。
3. 3本の中線が1点で交わる点が三角形の外心だと思ったから。
4. 3本の垂線が1点で交わる点が三角形の外心だと思ったから。
5. 3本の適当な直線が1点で交わる点が三角形の外心だと思ったから。

解答者が関数や式などを設定する問題（例）

以下の条件を満たすある3次関数 $f(x)$ について各問に答えよ。

1. $f(x)$ は極大値をとるとき x の値は正である。
2. $f(x)$ と y 軸との交点の y 座標が負である。
3. $f(x)$ と y 軸との交点が3つ存在する。
4. $f(x)$ のどの項の係数も0ではない。



問1 上記の条件を満たす3次関数 $f(x)$ を1つ定めよ。

ただし、関数の係数及び定数項は全て -20 以上 20 以下の整数とする。

また、解答の際には提示されている動的幾何ソフトを使用しても良い。

問2 前問で定めだ関数 $f(x)$ の極値を求めよ。

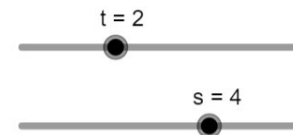
数値実験や図を動かすなどの体験型の問題

図のように点A(0,0)点B(4,6)を結ぶ格子状の線がある。
また、その中に点P1(1,t)と点P2(3,s)が存在する。
ただし、 t, s は $0 \leq t \leq 6$, $0 \leq s \leq 6$ を満たす整数である。
今、始点をAとして $A \Rightarrow P1 \Rightarrow P2 \Rightarrow B$ と順番に点を通る
線上の最短の道を考える。

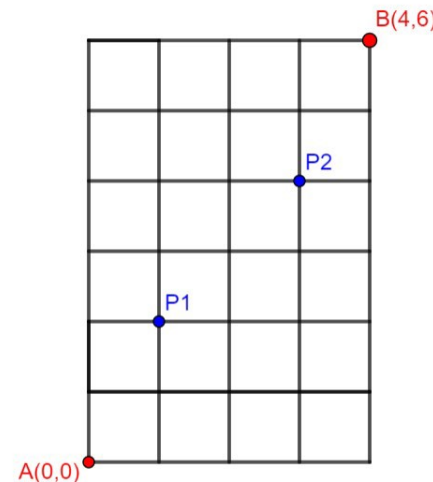
問1 $A \Rightarrow P1 \Rightarrow P2 \Rightarrow B$ へ行く道は何通りあるか。
 t, s を用いて答えよ。

問2 $A \Rightarrow P1 \Rightarrow P2 \Rightarrow B$ への行き方が最も
少ないときとの点P1, P2の座標と
そのときが何通りになるかを求めよ。

下のスライダーを動かすと点P1, P2の位置が変わります。
また、各スライダーは0から6の間を動かします。



現在の点の位置での
A => P1への行き方：3通り、
P1 => P2への行き方：6通り、
P2 => Bへの行き方：3通り、
A => P1 => P2 => Bへの行き方：54通り。



現在の研究目標（再掲）

- 大規模試験も想定した数学におけるCBT方式の試験実施に向けた統合型システムの構築
- 問題開発
 - 前スライドで示した新傾向の問題開発
 - 乱数を用いて数値を変えても難易度がある程度一定になる問題の開発
- システム開発
 - 受験者情報の登録，制限時間の管理，問題の難易度など公平性をある程度保って試験を行え，かつ前スライドの問題を出題できるシステム環境開発
 - 手書き解答を念頭においた短答式設問にも対応した解答欄の実装
 - 数式処理を利用した数式，用語の自動採点の実装

システム開発への方策

- 安野 氏らのシステムを用いて開発する
 - iBooks Authorで試験環境の管理や手書きの解答欄などは実装できることが分かっている
 - 現在のCBT方式の試作では数式処理との連携がまだできていない
 - iBooks Authorに数式処理を埋め込み，問題文の数値変更や自動採点を実装する
- 山口大学の北本卓也 氏が開発した「JavaScriptを用いた教材作成ツール」を応用してシステムを開発する
- 名古屋大学の中村泰之 氏らが開発した「STACKとMoodleを組み合わせたe-ラーニングシステム」を改良してシステムを開発する

JavaScriptを用いた教材作成ツール

- ブラウザ上で使える数学の教材作成システム
- 「現場の教員が自分で簡単にWeb教材を作成・使用できる」をコンセプトに設計されているので、操作がWordのように易しい
- **htmlファイル**と**JavaScriptのライブラリ**のみで構成されているため、ブラウザが動作するパソコン・スマホなどであれば動作する
- 動的幾何オブジェクトとして**Cinderella**が、数式処理として**Algebrite**（JSのCASライブラリ）が組み込まれている

問題1

Javascript (1)

```
a=ranint(2,5);  
b=ranint(2,5);  
c=ranint(2,5);
```

Sans Serif Normal B I U S A

≡ ≡ ≡ ≡ ↶ ≡ 🔍 📄 📄 f_x T_x

次の関数 $f(x)$ を微分しなさい。

$$f(x) = \cos([a]x^2 + [b]x + [c])$$

STACKとMoodleを組み合わせたe-ラーニング

- 数学オンラインテスト・評価システムであるSTACKとe-ラーニングシステムであるMoodleを組み合わせた数学の演習・テストの作成，解答，採点・成績処理を一通り行えるシステム
- 以下が全て可能
 - GUIによる解答入力
 - 係数をランダムに変化させる問題の作成
 - 詳細なフィードバック
 - 部分点も含む自動採点
 - 解説の表示

積分 - 受験 1

1 次の積分を計算せよ。
得点: 0.5/1

$$\int (2 \cdot x^2 + 5 \cdot x^3) dx$$

あなたの解答

$$\frac{1}{2} \cdot x^4 + \frac{5}{3} \cdot x^3$$

正解: $C + \frac{2}{3}x^3 + \frac{5}{4}x^4$
入力すべき値: $C+x^4/2+5*x^3/3$

正しい! 部分的に正解です。
積分定数を忘れていませんか? 積分定数を追加すれば正解です。あなたの得点は 0.5。● 採点と以降の結果とあわせて、1点満点中 0.5点です。

解答の手引き

x^n の積分が $\frac{1}{n+1}x^{n+1}$ であることを思い出しましょう。項別に積分をすることにより、

$$\int 2 \cdot x^2 + 5 \cdot x^3 dx = \frac{x^3}{2} + \frac{5 \cdot x^4}{3} + C$$

となる。ただし、 C は積分定数である。

戻る 採点結果を見る 正解の解答を見る

現在の悩み・迷い

- CBTに関する現在の（日本での）研究状況について自身の知見が少なく、現実的にどこまでCBTが実施可能なのかが分からない
- どんな環境（プラットフォーム）で開発をした方が自分が考えているCBT方式のシステムを実現できるか
- そもそも、自分の技量でシステム開発ができるのか
（開発のために学ばなければいけないことは何か）
- 自分のバックグラウンドでCBT方式の開発に貢献できることは何か

参考文献

- [1] 首相官邸, 高等学校教育と大学教育との接続・大学入学者選抜の在り方について, 教育再生実行会議 (第四次提言), 2013.
- [2] 文部科学省, 高大接続システム改革会議「最終報告」, 2016.
- [3] 首相官邸, 未来投資戦略 2018 - 「Society 5.0」 「データ駆動型社会」 への変革-, 2018.
- [4] 文部科学省, 高大接続改革の進捗状況について, 中央教育審議会初等中等教育分科会, 2019.
- [5] 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第27号, 71-78, 2017 .
- [6] 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第28号, 155-162, 2018 .
- [7] 安野史子, 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, 京都大学数理解析研究所 講究録 No.2142 「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2019 .

[8] 西郡大（他8名），デジタル技術を活用したタブレット入試の開発～多面的・総合的評価に向けた技術的検討～，大学入試研究ジャーナル第27号，63-69，2017.

[9] 佐賀大学 アドミッションセンター，佐賀大学版CBTの開発・実施，http://www.sao.saga-u.ac.jp/admission_center/reform/cbt/

[10] 亀田真澄，宇田川暢，期末試験のオンライン化について～「行列の階数」「固有値」「固有ベクトル」～，京都大学数理解析研究所 講究録 No.2142「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」，2019 .

[11] 北本卓也，Javascriptを活用した教材作成，京都大学数理解析研究所 講究録 No.2142「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」，2019 .

[12] 中村泰之，中原敬広，秋山實，STACKとMoodleによる数学eラーニング，数理解析研究所講究録 第1735巻（pp.9-16），2011.

まとめ及び議論

• まとめ

- 大規模試験も想定した数学におけるCBT方式の試験実施に向けた統合型システムの構築を現在目指している
- 先行研究や関連研究からCBT方式に必要な機能は**技術的に可能**である（動的オブジェクトの使用，解答データのやりとり，自動採点など）
- 開発環境が決まっていない(自身の技術力も不安)

• 議論

- どの**開発環境**でどんなタイプ（オンラインorオフラインなど）のCBTシステムを開発したら良いか
- 動的オブジェクトの導入，時間管理，手書き解答欄，自動採点，成績処理などの**他に加えた方がよい機能**とは
- 数学のCBT方式により，出題が可能になりえる**新たな問題**とは
- CBT方式で**問える数学力**とは