

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

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

東京学芸大学・教育学部 西村 圭一 (Keiichi Nishimura)

Faculty of Education,

Tokyo Gakugei University

横浜国立大学・環境情報学研究院 根上 生也 (Seiya Negami)

Faculty of Environment and Information Sciences,

Yokohama National University

椙山女学園大学・教育学部 浪川 幸彦 (Yukihiko Namikawa)

School of Education,

Sugiyama Jogakuen University

名古屋大学名誉教授 三宅 正武 (Masatake Miyake)

Professor Emeritus of Nagoya University

1 はじめに

文部科学省が「教育の情報化ビジョン」([5])において発表した2020年度に向けた教育の情報化に関する施策等に沿って、学校現場では子どもたち1人1台の情報端末による教育の展開、デジタル教科書・教材の普及促進、情報端末・デジタル機器・ネットワーク環境の整備充実が推進され、近年、タブレット端末の導入が急速に進んできている。また、平成26年12月の中央教育審議会答申「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について」([2])、平成27年1月の高大接続改革実行プランに基づき、高大接続改革の実現に向けた具体的方策について、「高大接続システム改革会議」において検討がなされ、その議論の内容の「最終報告」が公表された([1])。その中に、「高等学校基礎学力テスト(仮称)」については、コンピュータ型テスト(以下、CBT, Computer-Based Testing)方式での実施を前提とし、コンピュータ適応型テスト(CAT, Computerized Adaptive Testing)の可能性も示唆がなされている。しかしながら、デジタルの特性をいかした教材開発は行われているものの未整備な状態であり、CBT導入に向けて、問題そのものがどうあるべきか、それによってどのようなことが評価できるのかといった教育学的議論や実証的な研究はほとんどされていない。そこで、筆者らは、高等学校の数学の内容で、動的オブジェクトを含む電子媒体を用いた評価問題の開発研究を行っている。本稿では、その試作問題についてタブレット端末を使用して行った調査の報告を行う。

2 数学試験のデザイン

CBT により「革新的な問題形式 (innovative itemformats)」と呼ばれる新しい問題形式が導入できる。標準化されたテストが現実的な方法で知識 (knowledge)、技能 (skills)、能力 (abilities) (KSAs) を測定していないという批判を永らく受けていたが、この「革新的な問題形式」はこの批判に対して応えうる可能性があるということや、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 [10] で述べられている。しかし、数学の評価問題は、他教科と比べて、従来型の問題、特に記述形式に対する試験への批判は少ないように思われる。

CBT は、従来のペーパーテスト (PBT, Paper-Based Test) と比較すると、問題の提示がテキストと図表 (写真を含む) から、音声、高解像度のコンピュータグラフィックス (CG) や写真、映像、動的オブジェクトといったものへと広がるとともに、解答がキーボード、マウス、タッチスクリーン等によるコンピュータ操作で可能となり、即時採点も可能となる利点がある。しかし、教科を数学に限定して考えると、問題が電子媒体になることによって、問題の図への書き込みができなく (あるいはしにくく) なる、解答がコンピュータの操作での入力になることによって、数式の入力や図による提示などがしにくくなる、といったように、必ずしも利点ばかりではない。

CBT の数学試験の先行事例は、2015 年よりコンピュータ型となった OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) ([3], [15])、米国の州規模の学力調査 (例えば、フロリダ州 [11]) 等が挙げられるが、その多くは「調査」であり、大規模なハイスタークス試験ではない。

上述のことを踏まえ、本研究では、高大接続を視野に入れ、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領 ([4]) に準拠することを前提として、数学の科目のうち、「数学 I」、「数学 II」、「数学 A」、「数学 B」の内容で、動的オブジェクトを含む問題、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を試作した。これらの問題は、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標とする。CBT は、上述のように「革新的な問題形式」たることと従来の問題形式で測れない重要な特性の測定が期待できるが、現段階では、問題を電子媒体で提示し、解答方式はコンピュータによる入力方式とはせず記述形式を採用し、どのような出題・解答形式が妥当であるかの示唆を得ることとした。

3 数学問題の試作

2 に示した試験を開発するにあたって、我々は具体的な問題を作題することをまず試みた。それらのプロトタイプ作成に当たっては、作題委員で作成できる環境として、汎用的な (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こととし、以下の手法をとった。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 ([6]) による電子冊子とし、作成において Apple Inc. が提供するツール iBooks Author (以下、iBA) ([7]) を用いた。iBooks Author の特徴としては、操作やインタフェースがワードプロセッサと類似しており、ドキュメ

表 1: 試作した数学問題

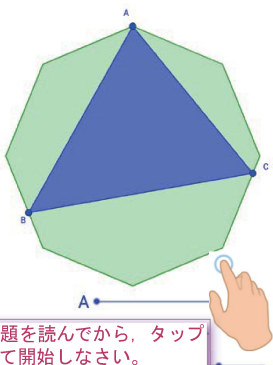
問題番号	冊子	内 容	備 考
第 1 問	共通	二次関数	二つのグラフの交点と共有点
第 2 問	共通	図形と方程式	図形の軌跡の方程式
第 3 問	α	図形の計量	三角形の敷き詰め
		β 図形の計量	正八角形の内部に接する三角形の面積の最大値
第 4 問	α	数と式	線形計画法
		β 漸化式と数列	薬の体内残存量を題材にした漸化式モデル
第 5 問	共通	微分積分	球に内接する円柱の体積の最大値

ントのテキスト，数式，画像・動画の挿入，インタラクティブな図表，3D オブジェクトなどの配置といった面が WYSIWYG 方式で編集可能である．特に，iBA の数式は，`blatex` [9] を使って MathML に変換可能なすべての LaTeX コマンドがサポートされ，そのほかにも，[8] で紹介している LaTeX の拡張機能がサポートされている．

また，電子書籍の特徴である映像や動的オブジェクトの挿入は，ウィジェット (widget) と呼ばれるツールで行うことができ，iBA では現在 9 種類用意されている．そこで，2 に示した動的オブジェクト部分については，iBA のウィジェットの中の HTML5 ウィジェットを使って埋め込むことを試みた．HTML ウィジェットの基本構造は HTML と Java Script の組み合わせである．動的オブジェクト部分となる HTML5 ウィジェットは，動的数学ソフトウェア「GeoGebra」[12] で作成し，iBA の HTML ウィジェットに変換して iBA に埋め込むこととした [13]．

第3問

下の図のスライダーを指で動かすと，3点A, B, Cは一辺の長さが1の正八角形の周上を動かすことができる。三角形ABCの面積を考える。以下の問いに答えよ。



(1) 面積が最大となる三角形ABCを図示せよ。

(2) 三角形ABCの面積の最大値を求めよ。

問題を読んでから，タップして開始しなさい。

5

図 1: 問題例

この手法で、表 1 に示す大問 7 題を調査までに作題し、内容的なバランスを考慮し、 α 冊子、 β 冊子の 2 冊子 (解答時間: 50 分/冊子) を作成した。それらの問題は、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問題で、動的オブジェクトがなくても問題としては成立する。

具体的な例として、図 1 に β 冊子の第 3 問を示す。この問題の動的オブジェクトは、タブレット端末上で、図の下部にあるスライダーを指で動かすと、三角形の頂点が正八角形の周上を動くようになっていて、三角形 ABC を変形することができる。図 2、図 3 は具体的に動かした例である。この問題のように、動的オブジェクトがなくても問題として成立するが、ないと難度が上がってしまう。動的オブジェクトがあることによって、測定できる能力も異なると考えられる。

4 調査実施

2016 年 2・3 月に 3 で試作した問題を使って、高等学校第 2 学年 (一部第 3 学年も含む) の生徒を対象 (5 校 135 名) に調査を実施した。調査で用いたタブレット端末は、Apple Inc. の iPad mini2 (7.9 インチ) 16GB で、OS は iOS9 である。実施の際には、アクセスガイドを行って、iBooks 以外は使用できないように制限した。実施場所は、各学校の教室で行い、Wi-Fi 等ネットワークは使用していない。

また、問題の解答の後、以下の 1.~3. の内容の質問紙調査も併せて行った。

1. 問題について (主観的難易度、動的な図の有益性、主観的解答時間)
2. タブレット端末の操作性
3. その他 (自由記述)

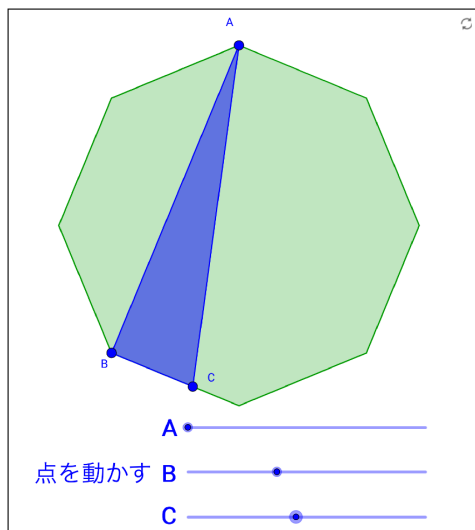


図 2: 動的オブジェクト例 1

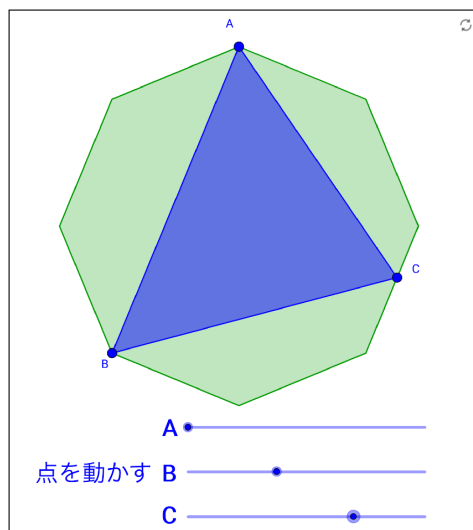


図 3: 動的オブジェクト例 2

表 2: 調査結果

問題	配点	平均点	標準偏差	α 係数	I-R 相関
α 冊子	100	33.1	24.7	0.75	
第1問	20	12.2	9.8	0.79	0.39
第2問	20	8.5	4.9	0.67	0.70
第3問	20	6.2	5.4	0.70	0.55
第4問	20	2.8	6.9	0.70	0.52
第5問	20	3.4	6.8	0.67	0.61
β 冊子	100	36.6	18.7	0.53	
第1問	20	12.9	9.6	0.56	0.26
第2問	20	8.0	5.5	0.34	0.54
第3問	20	7.1	4.9	0.61	-0.02
第4問	20	6.2	5.7	0.39	0.44
第5問	20	2.4	4.7	0.43	0.41

(α 冊子 : 67 人, β 冊子 : 68 人)

5 調査結果

表 2 は各冊子あるいは各大問の平均点・標準偏差, 各冊子のクロンバック (Cronbach) の α 係数 (信頼性係数) あるいは各大問を順に取り除いた残りの大問の信頼性係数 (Reliability deleting each item in turn α), 及び各大問 (item score) とその大問を除いた残りの項目の合計得点 (remainder score) との相関係数 (I-R 相関) を示した表である。

冊子全体の平均点は, α 冊子が 33.1 点, β 冊子が 36.6 点で, 想定より低かった。特に, 受験者にとって初見であったと思われる問題は想定よりも大問別の平均点が低い傾向がみられた。また, α 係数, I-R 相関ともに, β 冊子第 3 問が特異な結果となっていることがわかる。この問題は, 小問の正答率が (1) 69% (2) 4% (理由の部分は正答者 0 名, 部分点が与えられた者 3 名) で, 大問全体で見ると平均得点率が 0.36 となる。(2) が論証であったことから, 高難度の問題となってしまった結果と思われる。

表 3 は, 数学の大問別の, 「平均得点率」, 質問紙調査における「主観的難易度」及び「動的な図 (オブジェクト) の有益性」, それら質問項目と得点との相関を順に示したものである。ただし, 2 冊子共通の問題は合算した結果である。

問題の難易度については, 大学入試センター試験の数学の難易度を想定して作成に当たったが, 結果的にはそれよりも難しく, 第 3 問～第 5 問はすべて平均得点率が 0.4 に満たなかった。質問紙調査に, 「各問題の難易度について, あなたがどのように感じたか」 (主観的難易度) を 5 択で尋ねた質問項目がある。1 (易しい), 0 (難しい) の間を選択肢番号の順に等間隔になるように変換した数値で見ると, 平均値は実際の平均得点率と同じような傾向であった。大問得点と質問項目の回答との相関を見ると, β 冊子第 3 問のみが相関係数が 0.11 と低い。これは, 前述のとおり (2) が極端に難しかったことにより, 受験者の多くが (2) に引っ張られて第 3 問が難しいと感じたと思われる。このことによって, 相関係数が低下したと推察できる。

表 3: 質問紙調査結果

問題 番号	冊子	人数	平均 得点率	難易 度	有益 性	得点との相関	
						難易度	有益性
第1問	共通	135	0.63	0.59	0.78	0.67	0.60
第2問	共通	135	0.41	0.36	0.67	0.59	-0.09
第3問	α	67	0.31	0.16	0.63	0.52	0.28
	β	68	0.36	0.12	0.54	0.11	0.23
第4問	α	67	0.14	0.11	0.35	0.62	0.45
	β	68	0.31	0.08	0.44	0.41	0.44
第5問	共通	135	0.14	0.19	0.36	0.60	-0.21

問題は、動的オブジェクトを適切に利用すれば正答につながる。そこで、ここでは調査目的に鑑み、動的オブジェクトがどの様に解答を得るのに寄与したのかに限定して、受験者の意識と客観的結果とを示す。質問紙調査に、「各問題の図やグラフは、問題を解くのに役立ったか」を4択で尋ねた質問項目がある。同様に、1(とても役に立った)、0(全く役に立たなかった)の間を選択肢番号の順に等間隔になるように変換した数値で見ると、第1～3問と比べて第4、5問は有益性が低いという結果であった。しかし、第4問は α 冊子(線形計画法)、 β 冊子(具体的な漸化式のモデル)ともに問題そのものが初見であった受験者が多かったことにより、動的オブジェクトを使うか否かよりも問題の意味理解が不十分であったことに起因していると思われる。また、第5問は与えられた動的オブジェクトから求める最大値の場合を視覚的にとらえることができないことに起因していると思われる。大問得点と質問項目の回答との相関を見ると、第1問、 $\alpha \cdot \beta$ 冊子第4問については、動的オブジェクトの有益性に肯定的な受験者ほど得点が高い傾向が強いが、第2問及び第5問は相関係数が負の値となった。特に、第5問は、前述のように体積が最大となる図が動的オブジェクトにより視覚的にとらえることができるわけではなく、微分しグラフをかき最大値を求めるのが自然であることから、このような結果が見られたと考えられる。これに対し、第2問の場合には、解そのものを見出すには確実に役立っているはずであるにもかかわらず、論証には役立たないために、このような意識とのずれが生じたと考えられる。

解答時間はどちらの冊子も50分間で実施した。質問紙調査に、「全体として、調査問題を解答する時間について、あなたがどのように感じたか」を5択で尋ねた質問項目がある。前出と同様に、質問紙の項目の値は、1(長すぎる)、0(短すぎる)の間を選択肢番号の順に等間隔になるように変換した数値で見ると、 α 冊子が0.43、 β 冊子が0.37で、どちらの冊子も、50分間の解答時間はちょうどよい(0.5)～やや短い(0.25)の間で、 β 冊子の方が若干時間が短いという結果であった。しかし、冊子の得点と主観的解答時間との相関を見ると、相関係数が α 冊子-0.18、 β 冊子-0.17で、相関がないという結果であった。

6 今後の課題

現在、調査問題を精査し、動的オブジェクトの有益性があまり見られない問題の改善を図るとともに、新たな問題の作題に取り組んでいる。その一方で、動的オブジェクトの改良も試みている。例えば、図2、図3は、スライダーを動かすのではなく、頂点を指で動かすといったようにである。また、そもそも各問題が意図した能力を測ることができているのか、問題の動的オブジェクトの有無で何が異なるのか、といった検証を行う必要があると考えている。それらの検証のために、今後、高大接続の両者にあたる高校生及び大学1年生を対象とするモニター調査を行い、その結果を分析・評価し、実現可能性等の検討を行う予定である。

さらに、問題提示システムにも課題がある。3で述べたように、動的オブジェクト部分については、GeoGebraで作成し、iBAのHTMLウィジェットに変換してiBAに埋め込みでいるが、iBAにGeoGebraCoreウィジェットファイルを挿入する必要がある([13])。GeoGebraウィジェット自体はファイルサイズが小さいが、GeoGebraCoreウィジェットは圧縮された状態でファイルサイズが約10MB(展開後、約35MB)と大きく、タブレット端末のスベックが低いと、操作中にiBooksが落ちてしまうという問題が確認されている。現在、GeoGebra以外でも作成できるよう、動的数学ソフトウェア作成者に協力を仰いでいる。最終的には、iBAではなくIDPF(International Digital Publishing Forum)による標準化された電子書籍フォーマットePUB (Electronic PUBlication)への移行を考えている。

注

iPad mini, 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、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (A) 高大接続に資する多面的・総合的な学力評価・測定を行うための新たな技術的基盤の構築 (平成 25～29 年度, 課題番号 25242016) の成果の一部である。

参考文献

- [1] 高大接続システム改革会議：高大接続システム改革会議「最終報告」, 2016.
- [2] 中央教育審議会：新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について (答申)(中教審第 177 号), 2014.
- [3] 国立教育政策研究所編：生きるための知識と技能 6 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) —2015 年調査国際結果報告書, 明石書店, 2016.
- [4] 文部科学省：高等学校学習指導要領 平成 21 年 3 月 告示, 東山書房, 2009.

- [5] 文部科学省：教育の情報化ビジョン ～21 世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～, 2011.
- [6] Apple Inc. : iBooks, <<http://www.apple.com/jp/ibooks/>> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [7] Apple Inc. : iBooks Author, <<http://www.apple.com/jp/ibooks-author/>> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [8] Apple Inc. : iBooks Author での LaTeX と MathML の対応について, <<https://support.apple.com/ja-jp/HT202501>> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [9] David Harvey and Gilles Van Assche : Blatex and Blatexml version 0.9 manual, <<http://gva.noekoon.org/blatexml/blatexml-0.9-doc.pdf>>.
- [10] Steven M. Downing, Thomas M. Haladyna(Eds.) : Handbook of test development, Lawrence Erlbaum Associates, 2006.
- [11] Florida Department of Education : Florida Standards Assessments(FSA), <<http://www.fsassessments.org/>> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [12] Markus Hohenwarter et al : GeoGebra, <<http://www.geogebra.org/>> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [13] Markus Hohenwarter et al : Tutorial:iBooks Author, <https://www.geogebra.org/manual/en/Tutorial:IBooks_Author> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [14] National Assessment of Educational Progress, National Center for Education Statistics, National Assessment Governing Board, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education : Science2009, Interactive Computer and Hands-on Tasks, <http://www.nationsreportcard.gov/science_2009/ict_tasks.asp> (2016 年 12 月 5 日閲覧).
- [15] OECD : PISA 2015 DRAFT MATHEMATICS FRAMEWORK, 2013.