

数学教育支援システムQDBについて

楫取和明^{1†}, 青木邦匡², 伊藤宗平³

On CAI System QDB for Mathematics

Kazuaki Kajitori^{1†}, Kunimasa Aoki² and Sohei Ito³

Abstract : In recent years, we have been developing a system we call QDB which helps teachers conduct quizzes (especially online ones) and allows students do exercises online. We describe our system as a practical one which has been developed so that it satisfies the needs of our classes. In this paper, we summarize the characteristics and our evaluations of the system developed so far, and discuss how it can be upgraded to the next stages.

Key words : web, database, mathematics, online

数学教育支援システムQDBについて

1. はじめに

著者らは担当授業（主に数学と統計）における小テストと演習のオンライン化を主目的としたシステムQDBを開発してきた^{1,2,3)}。QDBの名前は小テストのデータベースという意味のQuiz DataBaseから来ている。QDBの開発は著者らの授業においてPlacementテストの結果を迅速に発表する必要性に端を発し、以後小テストや演習実施後のフィードバックにより改善を図ってきたものである。前報^{1,2,3)}で提示した課題を含む数々の機能改善を施した結果、現時点でQDBは一応当面の目的を果たせる段階に達したと見ている。一方では、当初の目的を越えた数々の課題が見えてきたことも事実である。本報では、前報^{1,2,3)}での結果を踏まえながら、最終報³⁾以降で明らかとなった事実も含め、現時点でのQDBの機能とその評価並びにその次の段階への発展性について論じ、現場のニーズに対応したコンパクトな数学教育支援システムとしての本システムの意義を論ずる。

2. QDBについて

本章では現時点でのQDBがどのようなシステムにでき上がっているかを述べる。

2.1 QDBのシステム構成

QDBの基本構成は、以下のとおりである (Fig. 1)。問題を集積したデータベースをPerlスクリプト・webブラウザを介してオンラインテスト・演習で利用するwebアプリケーションである。

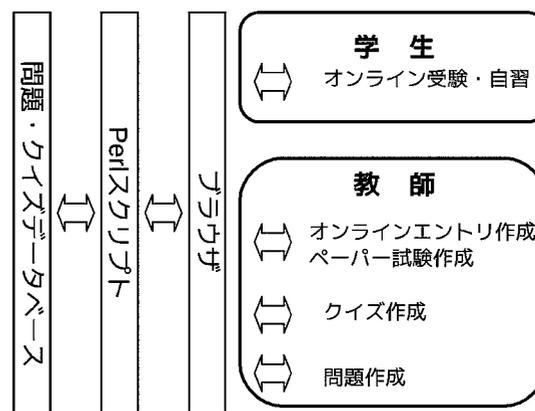


Fig. 1 Structure of QDB system

データベース・webサーバには、HP Proliant ML310 G5, CPU: Xeon E3110 3.00GHzを1台使い、OSとしてLinux Fedora 10を走らせ、その上でRDBとしてMySQL5.0.67を、HTTPデーモンとしてApache2.2.10を用いている。webスクリプト言語としてPerl5.10をApacheのmod_perl環

^{1, 2, 3)}水産大学校水産流通経営学科 (Department of Fisheries Distribution and Management, National Fisheries University)

[†]別刷り請求先: kajitori@fish-u.ac.jp

境で使っている。また解答の評価などに数式処理システム Maxima5.18.1を使っている。数式の表示にはウェブでの数式表示言語MathMLを使っている。

QDBでは、問題データベースの問題を（複数）選んでテストや演習やアンケートを構成できるが、そうして構成したものを総称してクイズと読んでいる。QDBの機能は、教師側の機能として(1)問題の作成・編集、(2)クイズの作成・編集・結果集計があり、学生側の機能として(3)クイズ（テスト・演習・アンケート）への解答・提出・結果確認がある。

教師用にはセキュリティと管理ユーザごとの環境のため管理者アカウントがあり、学生用には演習の履歴保持とテスト結果確認のため学生用アカウントがある。

2.2 問題の作成・編集

QDBの問題は階層構造のカテゴリに分類される。カテゴリは管理ユーザなら自由に作成可能である。問題の種類は、穴埋め式、選択式、記述式である。穴埋め式は主にオンラインテスト・演習に使われ、選択式はオンラインアンケート、記述式はペーパーテスト及び例題（後述）として使われる。

問題文はLaTeX（のサブセット）で記述される。解答欄は $\{i1\}$, $\{i2\}$, ...といったタグを問題文に埋め込むことで表示できる。係数などの数には $\{p1\}$, $\{p2\}$, ...といったタグで乱数を指定することもできる。問題が表示されるときは、matex.plというプログラムで数式部分のLaTeXコードがMathMLコードに変換されMathML対応ブラウザで表示される。問題の答は、PerlかMaximaの式で書かれる。解答評価時には、答に解答者の解答が代入され、それがPerlかMaximaで1と評価されれば「正解」と評価される。答をPerlで評価するかMaximaで評価するかは、答に $\{maxima\}$ と書くことなどで区別する。Fig. 2は、穴埋め式問題のプレビューであり、演習時にはタイトルを除いて同様に表示され、テスト時にはタイトルと下の3つのボタンは表示されない。



Fig. 2 A preview of a problem

この問題のソースを示す：

【問題文】 次の空欄を数で埋めよ。

```
\[ \int x^{\{p1\}} \sqrt[\{p2\}]{x} dx = \left( \{i1:3\} \right) x^{\{i2:3\}} + C \]
```

【答】 $\{maxima\} i1=p2/(p1*p2+1+p2)$ and $i2=(p1*p2+1+p2)/p2$

ソース中 $\{i1:3\}$ は一個目の解答欄を表しており、 $:3$ はその解答欄の（HTML inputにおける）サイズを表している。

問題は更新・コピー・削除ができる。コピーは同様の問題を別に作成する時に使う。一旦テストに出題された問題は削除できないし、更新もタイトル・ヒント・例題のみとなる。

管理ユーザは、問題が属するカテゴリと、カテゴリごとの問題の並び順を自分用に変更することができる（変更しても他の管理ユーザの環境には影響しない）。Fig. 3はある管理ユーザのあるカテゴリの画面である。問題の並び順の変更はJavascriptを用いてマウスで行えるようになっている。

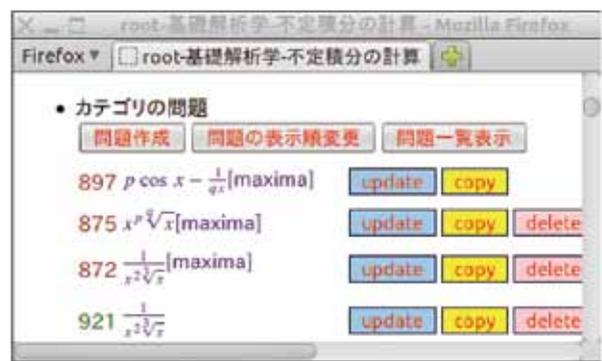


Fig. 3 Admin user's category screen

2.3 クイズの作成・編集・結果集計

クイズはFig. 4のような画面で、クイズのタイプを選び、出題したい問題の番号をコンマ区切りで書くことで作成される。



Fig. 4 Problem creation screen

作成時の機能として、試験前のクイズ非表示指定、受験後不正解問題を訂正して再提出できるかの指定ができる。また出題問題を変えながらプレビュー画面 (Fig. 6と同様の画面) で確認できる。

作成されたクイズは、Fig. 5のような画面で一覧表示される。「クイズ検索」入力欄に管理ユーザ名とキーワードを指定して検索すると、指定された管理ユーザが作成したキーワードを含むクイズのみが表示される。



Fig. 5 List of quizzes

問題と同様に一度でも実施されたオンラインテストやオンラインアンケートは削除できない。「作成」ボタンはオンラインテストやオンラインアンケートへのリンクを張ったHTMLページを作成するのと、ペーパー試験用のPDF (またはLaTeXソース) を生成するためのものである。オンライン演習へのアクセスポイントはHTMLファイルではなくPerlスクリプトの関数を呼ぶことで作成してい

る。「結果」ボタンは、オンラインテストの採点結果表示とオンラインアンケートの結果表示のためのものである。

2.4 クイズへの解答・提出・結果確認

オンラインテストとオンラインアンケートは、前項で作成したリンクから解答 (回答) 者がログインなしでアクセスできる (Fig. 6はオンラインテストの画面の一部)。

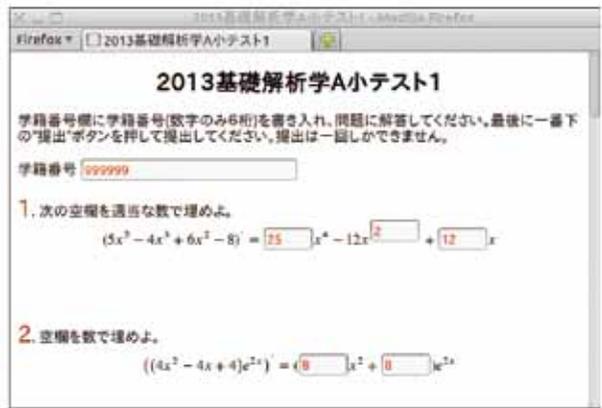


Fig. 6 Quiz screen

解答 (回答) 者はすべての問題の穴埋めが済んだら「提出」ボタンを押して提出し、即座に点数を確認できる。試験後受験者はFig. 7のように自分の解答と正答を照合できる (ログイン必要)。

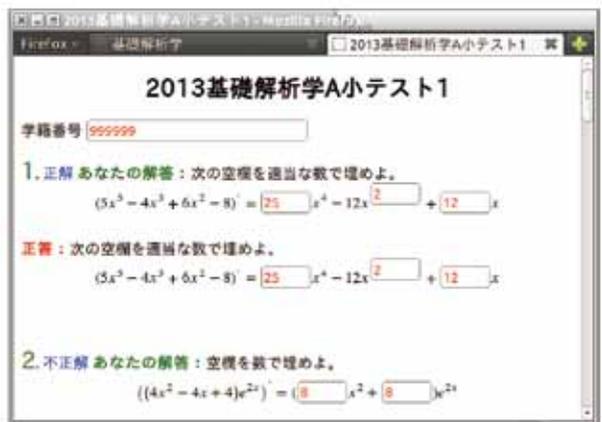


Fig. 7 Correct answers check screen

管理ユーザ (教師) はFig. 5の「結果」ボタンで試験後、各受験者の採点結果を集計することができる。集計結果はHTMLの表でありコピーして表計算のシートに張り付ければそのまま表計算の表として編集できる。またHTML表には各学籍番号にリンクが張っており、Fig. 7のように各受験者の解答を照合できる。

オンライン演習は、学生が科目のホームページに張った演習のボタンからログインすると、演習ページに入ることができる。自宅PCからでもスマートフォンからでもアクセスできる。演習ページはFig. 8のように問題が複数並んだwebページである。



Fig. 8 Exercise on PC screen

各問題ごとに学生が穴埋めをして「答合せ」を押すと、正解・不正解が表示され、「ヒント」を押すとヒントが表示され、「例題」を押すとその問題の類題（より基本的な問題）が表示されその解答を見ることができる。正解すると「済」と表示され、演習履歴が残るので次回以降のログインでも表示される。

全問「済」になると「祝完了!!」と出る (Fig. 9はスマートフォンの演習画面)。

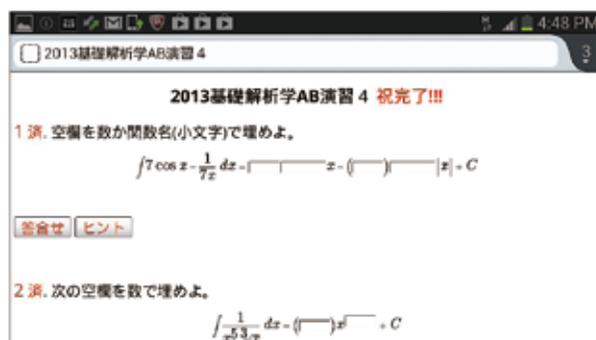


Fig. 9 Exercise on a smart phone screen

3. QDBの評価

3.1 システムについて

QDBシステムの中で我々が書いたコードはPerlのwebスクリプトであり、これらは現在総計約2600行である。オンラインテスト・演習の基本機能を備えたQDBの報告をした2年前に発表した論文²⁾では、これを約2000行と報告し

ており、以後主な機能だけでも以下のような機能を加えている。

- (1) 問題とサブカテゴリの表示順の並べ替えをJavascriptのライブラリを使ってマウスによるドラッグアンドドロップでできるようにした。
- (2) 問題中の定数を乱数によって変化させて出題できるようにした。
- (3) オンラインテスト受験者が受験後自分の解答と正答を照合できるようにした。
- (4) Maximaによる解答の評価を導入した。
- (5) Maxima形式による入力数式のチェックを行えるようにした。
- (6) 管理者ユーザごとの環境を設定できるようにした。
- (7) 小テスト提出後不正解答を修正してもう一度提出できるようにした。

前報²⁾で述べたように、QDBの開発方針は、

- コードは小さく単純な構造とし、変更しやすい状態に保つこと。このことによってユーザサイドでそのニーズに沿った開発が継続できる。
- 軽快に動く状態を保つこと。このことは現実に多くの科目で使用中のシステムとしては、利用者（教師および学生）の使用感にとって重要と考える。

である。動作の軽快さについては以下に述べる。

QDBの動作レスポンスについては前報²⁾で、MoodleのCloze（穴埋め問題）との比較を行っている。MoodleはLMS（Learning Management System）として日本でもよく使われているシステムである。本報では、Moodleの小テスト以外に数学のテストシステムとしてよく知られているStack⁴⁾を比較対象として選んでより多項目の比較をした。Stackの最新版（3.1）はMoodleのqtypeとして動くのでMoodleの小テストの1タイプとして使える⁵⁾。StackはMaxima流の数式表記を採用し、任意の数式を解答として評価できる。Moodleは規模の大きなシステムであり、機能を絞ったQDBに比べ遅くても不思議はない。以下の比較の意図は、よく知られたシステム⁷⁾と比較することと、QDBのようなシンプルなシステムのメリットを示すことに有る。

まずMoodle-StackとQDBを同じサーバマシンにインストールした。サーバと計測を実行したクライアントの環境は以下のとおり。サーバとクライアントは同じ学内LAN

の中にある。

【サーバ】：

Intel (R) Xeon (R) CPU E3-1220 V2 @ 3.10GHz
 HP ProLiant ML310e Gen8
 Centos 6.3 (Linux)
 Apache 2.2
 MySQL 5.1.67
 Perl 5.10.1
 PHP 5.3.3
 Moodle 2.5
 Maxima 5.28.0

【クライアント】：

Intel (R) Core (TM) i5 CPU 661 @ 3.33GHz
 Ubuntu 12.10 (Linux)

比較する項目は、前報²⁾では小テストの表示のみであったが、今回は、(1)~(3)問題の作成・更新・削除の速度、(4)小テストの表示速度、(5)小テストの解答の数式チェックの速度、(6)小テスト解答の提出・採点の速度、である。

小テストは同じ3題の導関数の計算問題からなるものをStackでもQDBでも作成する。各問題は、Fig. 10 (QDBの小テストの画面)のようにある関数の導関数を一つの解答欄にMaxima流の表記で入力するもので、解答の採点はStackでもQDBでもMaximaを使用し、受験者は解答欄にMaxima流で書いた数式が数式として正しいか(自分の意図したものであるか)チェックできる(QDBの場合、Fig. 10でポップアップウィンドウで数式のチェックがされている)。Maximaの記法にしたがっていないときには警告が出るのはStackでもQDBでも同様である。

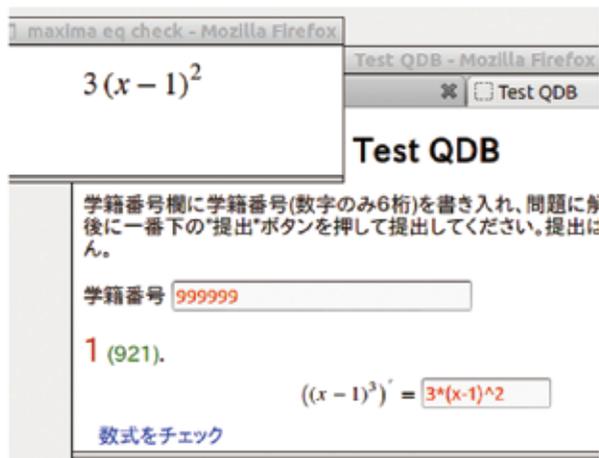


Fig. 9 Exercise on a smart phone screen

Table 1の時間計測にはクライアント上でFirefox 23.0のapp.telemetryというアドオンを使用し、Table 1に各項目について5回の計測の平均と標準偏差を記した。各計測間ではブラウザの履歴の消去(クッキー以外)をしている。単位はミリ秒。

Table 1. A comparison of responses

	Stack-Moodle		QDB	
	Avg.	Std.	Avg.	Std.
(1)問題作成	7310	439	559	42.9
(2)問題更新	3469	107	213	17.2
(3)問題削除	3154	163	222	18.3
(4)小テスト表示	2425	124	153	19.1
(5)数式チェック	2433	111	276	15.2
(6)提出・採点	2074	29	393	34.3

結果を見ると、(1)~(4)ではQDBの方が10数倍速いことが分かる。(4)については前報²⁾での比較とほぼ同様である。(5)、(6)ではQDBにおいてもMaximaを使用しており差は縮まっているがそれでも5~8倍以上QDBの方が速い。

3.2 オンラインテスト・演習について

前報^{2,3)}ではオンライン教育に関するアンケートをしているが、今回も同じ科目(基礎解析学)の学生に対し同様のアンケートを実施した(Table 2)。この科目ではこれらのアンケートをした年度ではいずれもPlacementを含め3回のオンライン小テストを実施している。各設問は1から5で回答し数字が大きいほどオンラインへの評価が高い点も前回と同様である。各設問の右の欄の数値は回答者平均値である。ただし前報³⁾と違ってオンライン演習に関する設問(Q13~19)の回答者平均値についてはオンライン演習未使用者は除いている。回答者数は212人(うち演習使用者182人)である。

Table 2. Result of Questionare

Q1 オンラインのテキストが存在することは有用であると思いますか	3.77
Q2 印刷物のテキストは必要であると思いますか	4.26
Q3 ウェブブラウザFirefoxを選択して立ち上げるのに戸惑いはありませんでしたか	3.63
Q4 オンラインテストにおいて、テストページにアクセスするのに戸惑いはありませんでしたか	3.66
Q5 オンラインテストにおいて、「提出」~「採点結果確認」までの操作に戸惑いはありませんでしたか	3.80

Q6 オンラインテストにおいて、解答提出後すぐ採点結果がわかるのがよかったですか	4.43
Q7 オンラインテストは易しかったですか	2.69
Q8 オンラインテストの問題内容は適切であったと思いますか	3.86
Q9 オンラインテストの問題で数値がランダムに変わるのによいと思いますか	3.77
Q10 オンラインテストの自分の解答と正答を照合できるのによいと思いますか	4.39
Q11 全体の評価におけるオンライン小テストの比重を増やしてほしいと思いますか	3.30
Q12 オンライン演習をよく使いますか	3.17
Q13 オンライン演習において、ウェブブラウザFirefoxを選択して立ち上げるのに戸惑いがありましたか	3.70
Q14 オンライン演習ページにログインするのに戸惑いはありませんでしたか	3.77
Q15 オンライン演習のために学習の理解が進んだと思いますか	3.90
Q16 オンライン演習で、正解した問題には「済」が表示され、すべて正解すると「祝完了」が出るのによかったですか	4.14
Q17 オンライン演習で、ヒントボタンや例題ボタンは役に立ちましたか	4.00
Q18 オンライン演習の問題で数値がランダムに変わるのによいと思いますか	3.83
Q19 演習をするのにスマホを使いますか	2.37
Q20 最後に、オンラインテストやオンライン演習に関する自由な感想を述べてください	

前報^{2,3)}に続いて回答平均が高いのは、「即時採点機能」(Q6)であり、これは学生にとっても教師にとっても共通のメリットである。前報³⁾に続いて評価が高いのは「印刷物のテキストの必要性」(Q2)であり、対象を今回オンライン演習使用者に絞って評価が高く出たのは「演習における済と祝完了の表示」(Q16)である。また前報³⁾でアンケート評価の結果に応じて課題として挙げた「ヒント・例題機能の充実」を実現した結果それがQ17で評価されている。

逆に評価が低いのは「オンラインテストの易しさ」(Q7)と「演習におけるスマホの使用」(Q19)の今回新たに設けた設問である。

オンラインテストは今回は一昨年度と昨年度(前報^{2,3)}の対象年度)に比べ著者が作問に慣れてきた分作問が緻密になり結果としてやや難しくなったかと思う。この3年間学期中に行った二つの小テストの平均点は前二年度の60点台後半から今年度は60点台半ばに落ちている。これはシステムの問題ではなく作問の問題であり、評価が高い(易

しいと評価される)ほどよいというわけではない。

演習におけるスマートフォンの使用について見る前に、まず演習使用全体について見る。演習使用者についてはMySQLに残された履歴のベースで、(演習に解答を提出したことがある学生の人数) / (小テストを受験した学生の人数) の比は二つの小テスト終了時点で、昨年度144人 / 246人 = 59%から今年度166人 / 237人 = 70%と上昇している。これはヒントと例題表示を充実して学生が前へ進めないときの対処(最終報³⁾で課題としたこと)を実現したことが効いていると思われる。

演習におけるスマートフォンの使用について述べる。昨年度後学期は確率統計学、線形代数、解析学の3科目のそれぞれで二回のオンライン小テストを行った。3科目の履修者数は合計で243人で今年度前学期の基礎解析学の履修者数(演習対象者数)にほぼ匹敵する。webのログで昨年度後学期と今年度前学期のスマートフォンによる演習アクセス数(Android端末とiPhoneからのアクセス)とPCも含めた全体の演習アクセス数を比べたのがTable 3である。

Table 3. Number of accesses to online exercises

	2012年度後学期	2013年度前学期
スマートフォン	2081	3152
全体	32639	32673

学生のスマートフォン所持率は年々上がっており、一般に学生はPCよりスマートフォンを使う傾向がある。今年度は著者の一人がスマートフォンを導入してオンライン演習がスマートフォンで使用可能であることを確認し学生に紹介した。今回のアンケートの結果では、スマートフォンを「PCよりよく使う」学生は36人おり、「ときどき以上使う」学生は71人おり、「たまに以上使う」学生は125人いる。スマートフォンからの使用はPCからの使用に比べて表示や入力の手で不便なことが多い。Table 3で全体のアクセスはほとんど増えていないにもかかわらずスマートフォンからのアクセスは増えていることが、演習をPCで行っていた分が一部スマートフォンに移ったということだとすれば、演習の効率の面ではマイナスになっていないか気になる場所である。さらにPCよりスマートフォンを使用する傾向が強まることは、QDBへの評価自体に影響しかねないことが懸念される(QDB全体への学生の評価については後述)。

演習の学習効果については、前報³⁾と同様に基礎解析学

の授業におけるPlacementテストの点数と二回の小テストの平均点の散布図を演習多使用組 (■) と演習未使用組 (×) に分けてプロットしたものがFig. 11である。基礎解析学の授業は二クラスに分かれており、Placementテストの内容は共通であるが小テストの内容と平均値は異なるので図はクラスごとに作成した。

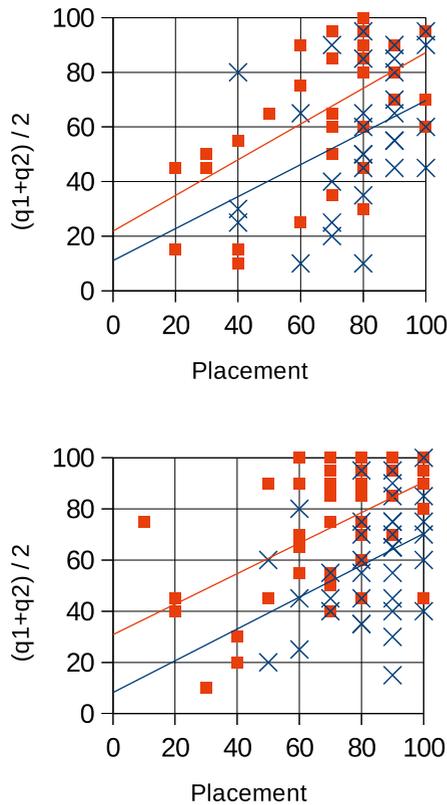


Fig. 11 The relationship of Placement test and quizzes q1,q2. (Red represents students using online exercises more than 40 times, × represents students not using online exercises.) The lines are the regression lines.

どちらのクラスでも■の方がPlacementテストからの進歩が見て取れるのは前報³⁾と同様である。ただし、今回は小テストの難度が上がったため低得点層が振るわない。アンケートのフリーコメントではヒント・例題のいっそうの充実や解説・正答を要望したものが20例見られた。問題の難度が上がればその分学生が困ったときのサポートもより必要になると認識したい。

アンケート全体としてのQDBへの評価を見るために、前報³⁾と同様、主成分分析を行った。Q3~Q11のオンラインテストに関する設問について194人分の無欠損レコード(無回答の設問がない)、Q12~Q19のオンライン演習に関する設問について演習使用者176人分の無欠損レコー

ドに対し、Rのprcompをscalingなし、centeringありで適用した。その結果として、主成分 (Table 4, 5) とbiplot (Fig. 13, 14) を掲げる。表中太字は主成分の解釈に関わる絶対値の大きな成分であることを示す。

Table 4. Principal components of online quizzes

	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	寄与率
Pc1	0.56	0.58	0.47	0.21	0.02	0.11	0.17	0.14	0.14	0.36
Pc2	-0.21	-0.14	-0.13	0.18	0.44	0.35	0.53	0.13	0.53	0.20

Pc1 and Pc2 represent 1st and 2nd principal components

Table 5. Principal components of online exercises

	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	寄与率
Pc1	-0.18	-0.63	-0.58	-0.23	-0.31	-0.10	-0.20	0.21	0.35
Pc2	0.58	-0.35	-0.08	0.22	0.28	0.28	0.40	0.41	0.19

Pc1 and Pc2 represent 1st and 2nd principal components.

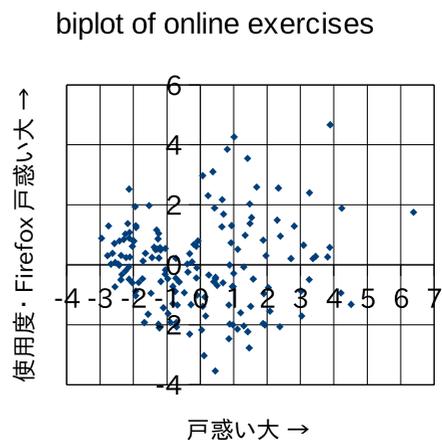
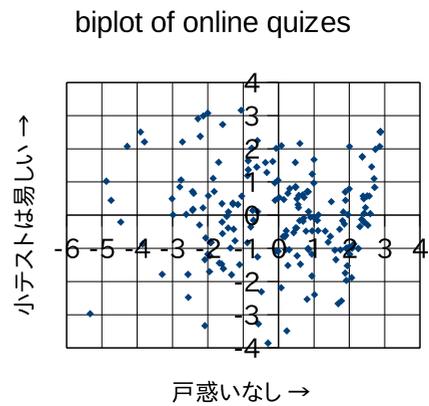


Fig. 12 biplots of principal component analysis

オンラインテストについては前報³⁾の主成分分析の結果と似かよっている。オンラインテストの第一主成分では、すべての成分が正であるので全体として肯定的な方向を向いている中で戸惑いに関する設問(Q3、Q4、Q5)の成分の値が大きくなっており、第二主成分ではQ7「オンラインテストの易しさ」ほかオンラインテストを歓迎する方向(Q8、Q9、Q11)に高い値が出ている。第一主成分に関しては、この方向に分散が大きいことは、PCについてのリテラシーにばらつきがあることを示しているように思われる。しかしMathML対応の点でブラウザを依然としてFirefoxと指定せざるを得ないことや、解答入力での戸惑いが解答欄の設け方によることがあるなどシステムとして改善されるべき点もある。ブラウザのMathML対応などウェブ上の数式表示の標準確立が進まないのは、HTML5が次期HTML標準として立ち上がり損ねていることなどの要因があろう。第二主成分に関してはテストの結果により左右されると思われるので小テストの問題の難度が影響していると思われる。

オンライン演習の第一主成分では、Firefoxの使用とログインにおいて戸惑う方向に高い値が出ており、第二主成分はスマートフォンでFirefoxの使用にやや戸惑いつつも演習を積極的に利用する方向になっている。演習の使用率は前述のように昨年度より上がったが、第一主成分の意味するところは使用者の間でもまだ戸惑いの度合いに開きがあるということであり、オンラインテストと同様である。第二主成分からはスマートフォンで演習を利用しようとした学生が多く、Firefoxに関してうまくいったりいかなかったりしたことがうかがえよう。AndroidではFirefoxインストール後アドオンでMathML用のフォントをインストールする必要があるため戸惑う学生が多くなったのかもしれない。

biplotを見るとどちらの場合も集団から離れたいくつかの点が分散を高めていることがわかる。オンラインテストの場合、第一主成分得点が小さい点が左に離れて目立つし、オンライン演習の場合は、右上に離れた点が目立つ。どちらの場合も戸惑いを強く感じた学生が主成分の分散を高めていたということになる。個別の対応を工夫すれば戸惑いの問題は改善する可能性を示唆しているものと考えられる。

4. QDBの発展性

QDBはPlacementテストの効率的な実施に始まる効率重

視のシステムとしてここまで発展してきた。コードの複雑化、速度の低下を伴う変更は意図的に回避してきた。しかし技術の発展を考慮すればそのような変更がいつまでも非効率的であるとは限らない。この最後の章では将来を見据えてQDBにどのような発展が考えられるかを検討したい。

4.1 数式入力方法、解答評価方法について

数学の学習評価としては記述式テストが欠かせないと考え、基礎解析学では期末試験は記述式のペーパー試験で行っている。また導関数の計算などの計算問題をオンラインで穴埋めで行う場合でも、答えの導関数を一つの解答欄にすべて表記させる方が望ましい。現状ではQDBによる出題はFig. 2やFig. 6などのように等式の右辺の数式内に設けられた複数の空欄を埋める方式が多いが、この方法では答えの式の形を覚えてしまうことになるばかりでなく、それは同時に答えの数式を限定することで他の答え方をできなくしてしまう。また答えの数式のどこに空欄を設けるかで出題側も頭を悩ますことになる。QDBもStack⁴⁾のように答えの数式をすべて一つの空欄に書かせるような出題ができる(Fig. 10)。しかし、この出題方法では解答者はMaxima流の数式の表記を覚えなければいけない。これは解答者にとって大きな負担になると考え、現状の科目の小テストでは用いていない。QDBもStackも解答者の数式をチェックして警告やアドバイスを表示するが、学生はPC画面上に表示されるメッセージを読まない傾向が強い。現状のオンラインテストでは空欄に入力するのは、数か一次単項式(2xなど。掛け算記号は省略)か単純な分数(1/2、-x/3など)か関数名か符号に限定しているにもかかわらず、今回のアンケートでも9例ではあるが、解答入力に対する不安を訴えるフリーコメントが見られる。科目の評価にかかわるテストで

$$\frac{1}{x^3 - \sin x}$$

のような単純な関数でもその導関数をMaxima流に

$$-(3*x^2 - \cos(x))/(x^3 - \sin(x))^2$$

と書かせるのは教師が随伴してサポートしてもかなり無理があると判断せざるを得ない。すなわち計算が正しくできても表記にてこずることが頻発することは疑いない。またマウスを使ったGUIで数式を書く方法もいくつかあるが、

Maxima流より簡単であるとはとても思えない。

PC上で数式を書くということがコンピュータリテラシーとして確立することが根本的な解決である点はブラウザ上での数式表示の標準確立と同様である。入力ミスによる減点を避けるために数式のチェック以外に不正解の問題はもう一度トライできる機能を使うことも考えられる（この機能はこれまでのような簡単な入力の小テストでも得点を改善する効果がある）。

解答評価方法については任意の数式を解答として想定するならば、Perlでは無理がありMaximaなど数式処理による評価にならざるを得ない。Table 1にあるようにMaximaを評価に使っても3問からなる小テストの採点結果を得るのに1秒かからないので、Maxima評価でも受験者側からは速度は問題にならない。しかしながら教師がある程度まとまった人数の採点結果を集計すると大きな差が出てくる（Table 6）。QDBではオンラインテストの結果は解答欄に対する解答をそのままデータベースに格納し集計時にはそれらのデータから採点している。Table 6は基礎解析学の小テスト1（10問すべてPerlで評価）と小テスト2（10問すべてMaximaで評価）を60人分採点するのにかかった時間である（Table 1のようにapp.telemetryを用いて3回ずつ計測。単位はミリ秒）。

Table 6. Time needed to evaluate quizzes

小テスト1	1610	1548	1609
小テスト2	31607	31901	31771

小テスト1（導関数の計算）と小テスト2（積分の計算）では問題はもちろん違いますが各問とも等式の右辺の数式に穴埋めする形式は同じであり、おおよそMaximaを使うと20倍近く評価に時間がかかると見てよいだろう。テストの集計は頻繁に行う作業ではないが、30秒はさすがに長く感ずる。とはいえPerlでは分数や少数の評価を正確に行うことは難しい（浮動少数点のためと思われる）ことなど、作問に支障をきたす点があることがわかっており我々もMaxima評価を基本とすることに傾いている。

4.2 その他、部分点など

QDBには部分点を与える機能はない。部分点の機能はStackのそれを見ても想像できるように設計も実装も簡単ではなく、QDBでは必要性を認めながらも実装を見送っているところである。Fig. 2のソースの答えはA and Bの

形の論理式であるが、A, B毎に点を与える方法など、比較的簡単に実装できて効果的な方法を探りたい。

QDBは数学の教育支援を目指したものであるが、原理的に他分野科目で使えないというわけではない。2013年度の前学期にコンピュータ基礎という情報の科目で実際に使った。すると、あるカタカナで答える設問で正答した学生も含め全員が不正解になった。原因はシステムで学生の解答にある全角文字を一様に半角変換していたため、全角カタカナが半角カタカナに変換されて不正解となったものであった。数学ではカタカナを使うことがほとんどない一方、数字や数式を全角で入力する学生がいるため学生の解答を半角に変換してから評価していた。数学では全角をすべて半角に変換することでも済むが数学以外の科目が入ったためかなりきめ細かな変換規則を書くことになった。さらに別の分野の科目を扱えばまた別の問題が生じるだろう。分野ごとに別のルーチンを組む方が現実的かもしれないと考えている。

QDBはテストと演習の機能しか持っておらず、Moodleのような履修登録、科目のHP、コミュニケーションなどの機能は持たない。我々の考えとしては、全学的に全科目にLMSなどの統合的な環境を導入して科目ごとではない統一したCAI環境を学生に提示するのは意味のあることであるが、教務課の履修登録と成績処理と連動しないと真に統一したものとはいえない。科目のHPは我々は一つのCSSに基づくHPを各科目で設置していてシンプルで使いやすいと学生からは好評である。コミュニケーションについては、学生の学習成果に対してポジティブであるという報告⁶⁾もあるが、数学に関しては数式の入力が難しい以上どこまで実効性があるのか疑問である。すべての科目への対応や事務方のシステムとの統合あるいは連動など統一したシステムへの進歩はQDBの完成度がさらに高まったときに目指すべき次段階の課題と考えている。

テストと演習だけに関してもQDBには多くの追加機能が考えられる。一つは本論で行ったような自習履歴と小テストの結果の分析を自動化することである。現状ではQDBを使っている教師は3人で、全員SQLの使用ができるため、種々の集計は直接MySQLの機能を使い、その後表計算とRで処理しているが、やるが決まってきたるのであれば、自動化するに越したことはない。

また、QDBを使っているうちに教師側にも学生側にもよくあるミスが見えてきたのでそれらを事前に警告する機能は充実させたいと考えている（ある程度は実装済み）。

統合化の他にも、適応型システムや学習コンテンツの共有といった方向もある^{8,9)}。QDBはこれらについては何も手をつけていない。QDBが研究・実験用のシステムではなく実践的なシステムとして発展してきたからともいえるが、演習時の学生支援をこれ以上向上させるには何か新しいものが必要であるし、QDBの問題数が多くなってきた（もうすぐ1000を越す）現在、その有効利用を考えないわけにもいかない。これまでの枠組みにこだわらずにQDBを考えることが必要になってきたと認識している。

マニュアルは機能を追加する度に書き足してきているが、開発者の備忘録のようなものでまだ十分なものではない。またTable 1とTable 5のベンチマークのためにQDBとMoodle-Stackを同一マシンにインストールしたが、QDBの移植は1時間程度で済んだ。しかしこれは開発した本人が移植したからであって、特定のディレクトリ依存を設定ファイルに回すなどコードを整備しておく余地は多分にある。

スマートフォンについては、AndroidのPlayストアで「数学」を検索するとアプリが250ヒットする（2013年12月3日現在）。ゲームも多いが、中学・高校数学の問題集やテキストが多いのは受験用を意識してのものであろう。他にもMaximaのAndroid版まである。スマートフォンは字の小さいことと入力不自由であることの反面、気軽に手に取れるメリットは著者（の一人）自身が享受しているところである。授業中に自作のオンラインテキストを参照するのに使うほか、QDBについてもPCがそばに立ち上がっていない時にスマートフォンを使うことがある。PCアプリを使わせながら講義資料や課題をスマートフォンに表示するという興味深い使い方もある¹⁰⁾。QDBのPCアプリとしての評価が下がろうと、ユビキタスな要請下でのPCアプリの補助的な使い方としてのスマートフォンの活用を考慮に入れていくべきであると考ええる。

参考文献

- (1) 楫取和明, 青木邦匡: 数式記述言語MathMLによる数学問題データベースの活用. 水大校研報, 59(2), 85-91 (2010)
- (2) 楫取和明, 青木邦匡: 数学問題データベースによる数学の試験実施支援, 教育システム情報学会誌, 29(2), 24-29 (2012)
- (3) 楫取和明, 青木邦匡: 数学系科目における情報技術利用に関する一考察, 水大研報, 61(3), 182-189 (2013)
- (4) Stack: "System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel", <http://stack.bham.ac.uk/>
- (5) "Stack question type for Moodle", https://github.com/maths/moodle-qtype_stack
- (6) S. L. Hoskins, J. C. Van Hooff: "Motivation and ability: which students use online learning and what influence does it have on their achievement?", British Journal of Educational Technology, 36(2), 177-192 (2005)
- (7) 放送大学学園: "ICT活用教育の推進に関する調査研究", 文部科学省先導的の大学改革推進委託事業報告書, (2011)
- (8) 吉田賢史, 宮崎光二, 中上香代子, 中山弘隆: e-Learningにおける適応的コンテンツ配信制御. メディア教育研究, 2(1), 81-91 (2005)
- (9) 仲林清, 森本容介: 拡張性を有する適応型自己学習支援システムのためのオブジェクト指向アーキテクチャの設計と実装. 教育システム情報学会誌, 29(2), 97-109 (2012)
- (10) 伊藤一成: "高等教育におけるスマートフォン活用と展望", 情報システム学会 第5回全国大会・研究発表大会, (2009)