Vol.2016-CE-133 No.5
2016/2/13

項目応答理論による自動評価機能を有した数学オンラインテスト用コンテンツバンクの開発

中村 泰之[1,a)]　谷口 哲也[2,b)]　中原 敬広[3,c)]

概要：我々は，数学オンラインテストシステム STACK 用の問題の蓄積，共有を目的としたコンテンツバンクシステム Mathbank の開発を行ってきた．開発にあたり，次の 3 つのフェーズを経てきている．(1) 問題の収集，(2) 蓄積された問題の利用，(3) 問題バンクの更新．まず，Moodle をベースに登録者が誰でも問題を登録・共有することができる仕組みを構築し（フェーズ 1），ゲストアカウントでも問題の利用が可能となるようなカスタマイズを行った（フェーズ 2）．そして，蓄積された解答データをもとに問題の難易度の自動更新を行う仕組みを実装してきた（フェーズ 3）．

Math e-Learning Contents Bank System with Auto-Rating Function using Item Response Theory

Yasuyuki Nakamura[1,a)]　Tetsuya Taniguchi[2,b)]　Takahiro Nakahara[3,c)]

1. はじめに

近年，多くの教育期間で学習管理システム（LMS, Learning Mangement System）が導入され，教育，学習に運用されている．LMS の重要な機能の一つとして，オンラインテストがあるが，教師側には，受験データにより学生の受験の有無，理解度の把握を行うことができるという利点があり，学生側には，（オンラインテストの設定にも依存するが）自動採点・即時フィードバックによる正誤の確認，ドリル的な繰り返し学習を行うことができるという利点がある．

オンラインテストでは，正誤判定型，多肢選択型，数値回答型，空欄補充型，項目群の整合評価形式などが主流であったが，我々は，数式を扱う課題をオンラインテストで課し，解答として提出された数式の正誤評価を可能にするシステムとして，元々英国で開発された STACK(System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel, https://github.com/maths/moodle-qtype_stack)[1] というシステムを整備，拡張し，数式評価可能なオンラインテストを LMS 上に構築してきた [2]．このシステムを利用することにより，例えば，ある微分の計算問題を解く課題が出された時，与えられた複数の候補の中から正解を選択する形式（これは従来の選択形式として自動評価可能）ではなく，受講者の導き出した答えそのものを数式として評価でき，その結果が成績として LMS に集計・統合されることが可能となった．同様の数式の自動評価可能なオンラインテストシステムとしては，Maplesoft 社で開発された Maple T.A.[3] や大阪府立大学で開発された MATH ON WEB[4] などが国内でも利用され，普及しつつあるが，これは理数系科目における e ラーニングの利用の関心の高まりを示すものであると考えられる．

我々は，このような数式自動評価オンラインテストシステムが普及されるためには，次の 5 つの課題を解決する必要があると考えてきた．（課題 1）システム構築の容易さ，（課題 2）日本語での利用可能性，（課題 3）ストレスなく利用可能な動作速度，（課題 4）問題作成の容易さ，（課題

[1] 名古屋大学
Nagoya University, Nagoya, Aichi 464–8601, Japan
[2] 日本大学
Nihon University, Itabashi, Tokyo 173–8610, Japan
[3] 三玄舎
Sangensha LLC, Chitose, Hokkaido 066–0054, Japan
[a)] nakamura@nagoya-u.jp
[b)] taniguchi.tetsuya@nihon-u.ac.jp
[c)] nakahara@3strings.co.jp

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

5）解答のための使いやすい数式入力インターフェースの提供．課題 1〜3 については，システムのバージョンアップとともに解決されてきて，前述のとおり同種のシステムが普及しつつあることにつながっていると考えられる．しかし，課題 4 と課題 5 については，明確な解決策が提示されているとは言い難いが，課題 5 の解決方法としては，モバイル端末での利用を想定したものも含み，近年様々な数式入力インターフェースが提案されている [5], [6], [7] ことなどから，課題の解決に向けて様々な取り組みがなされていると言える．

本報告では，主に課題 4 に対して，オンラインテスト用の問題を共有することのできるシステムを利用することによる解決方法の一つを紹介する．

2. 問題共有システムの必要性

前節で，数式自動評価オンラインテストシステムが普及されるために解消しなければならない課題の一つとして，問題作成の容易さを挙げた．それぞれのシステムごとに問題作成のためのインターフェースは異なるが，我々は独自に STACK 用の問題作成インターフェースを作成し，オフラインで利用が可能であること，解答の部分点評価方法の設計のための可視化を可能にしたことなどにより，問題作成のためのハードルを下げることができた [8]．

しかし，確かに問題作成のための技術的なハードルを下げることはできたかもしれないが，問題作成にあたってより本質的なことは，いかに良い問題を設計するかということである．数学など理数系のオンラインテストの場合，学生が提示した解答に対して正解か不正解かだけでなく，部分点を考慮しなければならない場合も多い．例えば，微分方程式

$$\frac{d^2y}{dx^2} + 4\frac{dy}{dx} - 5y = 0 \qquad (1)$$

を解く問題の場合，正解は $y = Ae^x + Be^{-5x}$ であるが，任意定数の有無，独立な基本解で構成されているかどうか，$y = 0$ などの自明な解を解答としていないかなど，学生からの様々な解答の可能性を考慮する必要がある．STACK には，学生からの様々な解答を適切に採点し，必要に応じて部分点やフィードバックを返すことのできるシステムとして，ポテンシャル・レスポンス・ツリーという機構が存在し，同類のシステムの中でも大きな特徴の一つとなっている．学生からの解答がどのようなものであるかを，様々な判定条件を用いて特定し，部分点を考慮しながら採点するものである．例えば，前述の微分方程式の問題を採点する場合には，図 1 のようなポテンシャル・レスポンス・ツリーが考えられる．図中のグレーの部分は学生からの解答が $y = e^x + e^{-5x}$ であった場合の，採点の流れの例である．この場合は，二つの異なる基本解で構成されているものの，任意定数が抜けているので，1 点満点で 0.5 点の部分点が与えられている．

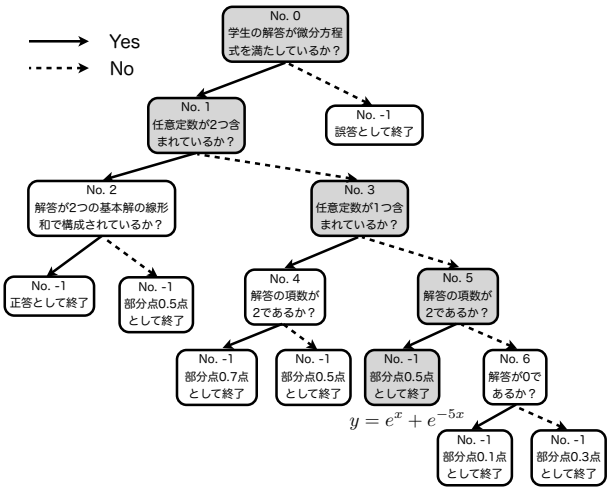

図 1 微分方程式 $\frac{d^2y}{dx^2} + 4\frac{dy}{dx} - 5y = 0$ に対する学生の解答を採点するためのポテンシャル・レスポンス・ツリーの例．

Fig. 1 An example of potential response tree to treat several students answer for solving the differential equation $\frac{d^2y}{dx^2} + 4\frac{dy}{dx} - 5y = 0$.

STACK ではポテンシャル・レスポンス・ツリーを含む問題を作成する場合，問題作成のインターフェースはオンラインで提供され，全体の構造が俯瞰しにくいという欠点があった [*1]．我々は STACK を利用することを前提に，問題点 4 の解決方法の一つを想定して，問題作成インターフェースを開発した [8]．これにより，確かに問題作成の技術的なハードルは下がったかも知れないが，より重要なのは，一つの問題に対して様々な想定される解答に対して適切に採点を行うことのできるように，ポテンシャル・レスポンス・ツリーを慎重に設計することである．さらに，採点するだけでなく，様々な解答に対して適切なフィードバックを学生に返すことにより，学生に気づきを与え，自習を促すことができるように設計することも可能である．このように，適切に設計された問題は，それ一つを通して様々な学習効果を期待することができ，そのような良質な問題は貴重な教育資源であると言える．

我々は，一つ一つの問題の作成のハードルを下げることも重要であるが，貴重な育資源としての問題を共有することにより，教師の労力を分散させることが重要であると考え，まず，STACK の問題を共有するためのデータベースとして「問題バンク」の構築に着手した．このような問題バンクとして，Maple T.A. 用の問題も Maple T.A. Question Content[9] で数多く提供され，Maple T.A. Could[10] により容易に利用が可能となっており，その重要性は認められていると考えられる．

[*1] STACK バージョン 3 以降で改善はされた．

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

3. 問題バンクの構築

3.1 問題バンクの概要

我々は，問題バンク Mathbank[11] を，Collect（問題の収集），Use（問題の利用），Build Up（問題バンクの発展）の 3 つのフェーズで開発を進めてきた [12]．Collect は共有すべき問題を蓄積するフェーズであり，XML 形式の STACK の問題をアップロードできる仕組みを提供している。Use は蓄積された問題を利用し，各問題の受験データを収集するフェーズある。そして Build Up は Use フェーズで蓄積された受験データをもとに，問題の難易度の最設定を行うフェーズである．

Mathbank は学習管理システム Moodle のプラグインとしての「拡張問題バンク」ブロックとして開発されており，STACK の問題だけでなく，その他の問題タイプのものについても登録・利用が可能となっている．また，問題を個別にエクスポートすることが可能である点など，従来の Moodle の「問題バンク」に比べて柔軟な利用が可能となっている．

以下で，各フェーズについて説明を行う．

3.2 問題の登録・検索

Collect（問題の収集）フェーズでは，Mathbank に問題を自由に登録することを実現した．Mathbank にログインした後，「問題を登録する」タブから問題の登録が可能であるが，Moodle プラグインとしての「拡張問題バンク」ブロックを開発したことにより，前述のように STACK の問題だけでなく，その他の問題タイプについても登録することが可能である（図 2）．問題をアップロードする際，メタデータとして「科目」「分野」「難易度」「公開範囲」「キーワード」を登録し，XML 形式のファイルをドラッグ&ドロップし，「登録」ボタンをクリックすることにより，登録が完了する．また，管理者であれば，「設定」タブからメタデータのそれぞれのカテゴリに含まれる項目を追加することが可能となっている．なお，「難易度」についてはあくまでも登録者の主観で指定するものであるが，3.4 節で後述するように，実際の受験データを元にして，難易度が随時更新されるしくみも提供している．図 3 は，微分方程式の問題を登録する様子である．

登録された問題は，「問題を探す」タブから検索することにより所望のものが見つかれば，ダウンロードし各自の Moodle のオンラインテストとして利用することが可能である．図 4 には，「科目」として「大学数学」，「分野」として「常微分方程式」を指定して検索された結果である．検索結果の一覧の右端のアイコンで，ダウンロードやプレビューができる他，自分自身が登録した問題については，編集や削除などの変更も可能となっている．

図 2 登録する問題タイプの選択．
Fig. 2 Options of question type.

図 3 問題の登録画面．
Fig. 3 Screenshot of registering questions.

図 4 「大学数学」の「常微分方程式」を指定した検索結果．
Fig. 4 Search result with options “Ordinary differential equations” of “Colledge mathematics”.

現状では，192 題の問題が登録され，今後は問題数の充実が待たれるところである．

3.3 問題の利用

Use（問題の利用）のフェーズは，登録された問題を受験し，その受験データを蓄積するフェーズであり，問題受験インターフェースを設計した（図 5）．「演習」タブを選択すると，これまでの受験履歴が表示され，受験する分野を選択すると，登録されている問題の中から複数の問題がランダムに提示されるので，受験者はそれに取り組んでいくことになる．問題の受験は通常の Moodle のインターフェースで行われる．また，受験するには Mathbank にログインする必要はなく，ゲストとしても受験することが可能であり，その受験データも蓄積されるようにカスタマイズされている．個別のアカウントでログインした場合には，図 5

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

図 5 問題受験インターフェース.
Fig. 5 Interface for solving problems.

に示したように，それまでの受験履歴・受験状況が表示され，新たに受験する分野を選ぶ際の参考にすることが可能となっている.

3.4 問題バンクの発展：項目応答理論による難易度自動評価

Mathbank に登録された問題の難易度は，登録時に投稿者が主観で設定したものであるが，これは必ずしも利用者が感じる難易度とは一致しない場合がある．そこで，我々は，Build Up（問題バンクの発展）のフェーズとして，登録された問題の受験データを元に，項目応答理論を利用して難易度を自動更新できるような仕組みを導入した．項目応答理論のモデルとしては，次式で示されるラッシュモデル（1 パラメータ・ロジスティックモデル）を現在は採用している.

$$p_j = \frac{1}{1+\exp(-(\theta - b_j))}. \tag{2}$$

ここで，p_j は能力パラメータ θ を持つ学生が，難易度パラメータ b_j の項目（問題）j に正答する確率である．Use（問題の利用）フェーズで蓄積された受験データを元に，項目ごとに難易度パラメータ b_j を推定していく．具体的には，Moodle のプラグインとして開発した「拡張問題バンク」ブロックに，ラッシュモデルにもとづいて能力パラメータ θ，難易度パラメータ b_j を推定する，統計解析ソフトウェア R のパッケージである eRm[13] を呼び出すプラグインを追加し，毎日一回，自動的に更新を行うようにしている．その結果は，図 6 のように，問題の検索結果一覧の「難易度(rasch)」欄に記載されるようになっている．問題に難易度が記載されていないのは，受験データが揃っておらず，解析が行われていないためである.

なお，現在は難易度評価のためにラッシュモデルを使用しているが，解析を行う部分もプラグイン化しているため，今後，より適切なアルゴリズムがあれば，それを利用することも可能である.

図 6 難易度自動評価の結果表示.
Fig. 6 Result of auto-rating of difficulties of questions.

4. まとめ

我々は，数学オンラインテストシステム STACK 用の問題の蓄積，共有を目的としたコンテンツバンクシステム Mathbank の開発を行った．開発は Collect（問題の収集），Use（問題の利用），Build Up（問題バンクの発展）の 3 つのフェーズで行われ，STACK の問題が共有化されるとともに，項目応答理論を用いて，各問題の難易度を自動評価することができた．項目応答理論を用いた難易度評価には，現在ラッシュモデルを採用しているが，今後よりよいアルゴリズムがあれば，それを採用，実装したいと考えている.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25350353 の助成を受けて行われたものです.

参考文献

[1] Chris Sangwin: *Computer Aided Assessment of Mathematics*, Oxford University Press (2013).
[2] 中村泰之: 数学 e ラーニング, 東京電機大学出版局 (2010).
[3] 樋口三郎: 数式入力による数学評価システム Maple T.A. を利用した理工系学部での基礎育, 数理解析研究所講究録 1978「数学ソフトウェアとその効果的育利用に関する研究」, 発行予定.
[4] 川添充, 吉冨賢太郎: webMathematica による数学学習支援サイト MATH ON WEB の構築と運用, 数式処理, 発行予定.
[5] 白井詩沙香, 福井哲夫: 数式自動採点システム STACK における数式入力方法の改善, コンピュータ & エデュケーション, Vol. 37, pp. 85–90 (2014).
[6] 中村泰之, 稲垣佑亮, 中原敬広: MathDox を活用した STACK への数式入力インターフェースの追加, 2014PC カンファレンス論文集, pp. 188–191 (2014).
[7] 中村泰之, 中原敬広: モバイルデバイス用数式入力インターフェースの開発, 第 40 回育システム情報学会全国大会講演論文集, pp. 401–402 (2015).
[8] 中村泰之, 大俣友佳, 中原敬広: STACK の問題作成ツールの開発と STACK3 に向けて, 数式処理, Vol. 19, No. 2, pp. 33–36 (2013).
[9] Maplesoft: Maple T.A. Question Content Thousands of Questions for your Maple T.A. Implementation (online), 入手先 ⟨http://www.maplesoft.com/products/MapleTA/content/index.aspx⟩ (2016.01.17).
[10] Maplesoft: Maple T.A. Clound (online), 入手先 ⟨http://www.maplesoft.com/products/mapleta/mainfeatures.aspx#Cloud⟩ (2016.01.17).
[11] Mathbank (online), 入手先 ⟨https://mathbank.jp/⟩ (2016.01.18).
[12] Yasuyuki Nakamura, Tetsuya Taniguchi, Takahiro Nakahara: Item Bank System for the Mathematics e-Learning System STACK, Research Journal of Mathematics &

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 77–85 (2014).
[13] Patrick Mair and Reinhold Hatzinger: Extended Rasch Modeling: The eRm Package for the Application of IRT Models in R, Journal of Statistical Software, Vol. 20, Issue 9 (2007).

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan