

数学 e ラーニングシステムの 国内外の動向と今後の展望

中村泰之

名古屋大学

Covid-19 による教育環境の変化

Covid-19 による影響で、2020 年度の教育・学習の状況は一変し、多くの教員がデータダイエットを意識しながら、講義のためのオンライン教材の作成に追われる日々だった。2 年近くが経過し、対面講義も多くなりながらも、コロナ前の教育・学習のスタイルに戻るのではなく、この期間蓄積した教材とノウハウを活用して、新たな教育・学習スタイルを追求していくことも大切になる。この 2 年で大きく変化したことの 1 つは、学習管理システム (Learning Management System, LMS) の利用状況であろう。筆者の所属機関でも 2022 年度春学期の LMS の利用率は前年度のほぼ 2 倍となった。

そこで、本稿では、これからますます LMS の利用は「普通」になってくることを見据え、主に理数系分野での活用を意識した、数学 e ラーニングシステムについて、国内外の利用動向も含め概観する。

数学 e ラーニングシステムとは

数学 e ラーニングシステムの明確な定義があるわけではないが、数学 e ラーニングシステムとは、オンラインテストで数式による解答を自動採点する「数式自動採点システム」を核として、数式入力支援、問題作成支援、学習データ分析支援の各種ツールのほか、数式を含むメッセージを送受信できるコミュニケーションツール、デジタル教科書などを統合した、理数系科目の学習を支援するためのシステムと、筆者は考えている。

その中でも、核となる数式自動採点システムについて、その歴史と基本的な機能を概観する。

□ 数式自動採点システムの歴史

数式自動採点システムは、オンラインテストにおいて、計算問題などに数式で解答し、その正誤評価を自動的に行うことのできるシステムである。従来のオンラインテストでは、正誤選択式、多肢選択式、数値入力式、短答入力式などが自動採点の対象であったが、正誤選択式、多肢選択式では当てずっぽうで正解する場合もあることを考えると、個々の問題を理解しているかどうかについては、その問題の正誤結果からのみでは明確なことは言えない。計算問題などの場合、数式で解答を提出する形式にすればその懸念が解消できると期待され、そのような背景の元に生まれてきたのが数式自動採点システムであると考えられる。

ここでは、数式自動採点システムのいくつかを紹介する。筆者の知る限り、現在でも広く利用されているシステムの中で最初に開発されたものは 1995 年に米国のロチェスター大学で開発された WeBWorK であろう。1999 年にはベルギーのゲント大学で AIM (Alice Interactive Mathematics) が開発され、その後、英国シェフィールド大学で AiM (Assessment in Mathematics) として継続された。このシステムは数式の採点に数式処理システム (Computer Algebra System, CAS) の Maple が利用されていた。AiM は 2005 年に英国バーミンガム大学で開発された STACK^{☆1} に影響を与えている。以

☆1 <https://stack-assessment.org/>

上のシステムはいずれもオープンソースのシステムであるが、商用システムとして、同じ頃 Maplesoft 社から Maple T.A. (現 Möbius) が発表された。また、忘れてはならないのは、国内でも 2002 年に大阪府立大学で MATH ON WEB^{☆2} が発表されたことである。このシステムは webMathematica が利用されていた。このように 2000 年前後に発表されたシステムの多くが改良を重ね、現在でも利用されている。また、近年では 2010 年に英国ニューカッスル大学で Numbas というシステムも発表されている。

これらの数式自動採点システムのうち、日本では、主に Möbius, WeBWorK, STACK が利用されており、筆者の知る限り、STACK の利用数が最も多いと考えられる。そこで STACK を例に、次節で数式自動採点システムの具体的な動作を紹介する。

□ 数式自動採点システムの動作概要

— STACK を例に —

前述のように、STACK は 2005 年に当時英国パーミンガム大学の Christopher J. Sangwin 氏によって開発された¹⁾。2010 年に STACK2.0 が日本語化され²⁾、さらに STACK3.0 で問題タイプの一つとして Moodle に統合されたことをきっかけに日本でも利用が徐々に広まっていった。

STACK を始めとする数式自動採点システムの動作は次のようなものである。たとえば、対数関数 $\log(x)$ の積分の問題に、学習者は $x \cdot \ln(x) - x + C$ と入力すると、**図-1**のように「正解」と判定される。もし、 $-x + x \cdot \ln(x) + A$ のように項の順番が異なったり、積分定数として別の文字を用いて入力されたりしたとしても、正解と判定される。この実現のために、STACK では CAS として Maxima が利用されている。数式自動採点システムでは、このように CAS あるいはそれに代わるものを利用して、学習者の解答を代数的に評価している。また、**図-2**のように積分定数を忘れた場合には、「部分正解」のような部分

☆2 現在は STACK に移行

点評価も可能となっている。さらに、**図-3**のように不正解であっても、今回の例のように部分積分の公式の適用で符号を間違うといった、よく見られる誤答の場合は、解説を加えることも可能である。

問題を作成するにあたっては、係数をランダムに

次の不定積分を求めよ。 STACKの問題の整備 | 問題にはテストケースが不足しています。

$$\int \ln(x)dx = x \cdot \ln(x) - x + C$$

あなたの入力した数式は次のとおりです：
 $x \ln(x) - x + C$
 あなたの解答の中で使われている変数は[C, x] です

✓ よくできました。正解です!

正解は $x \ln(x) - x + C$ で、次のように入力します: $x \cdot \log(x) - x + C$

図-1 STACKの採点画面(正解の場合)

次の不定積分を求めよ。 STACKの問題の整備 | 問題にはテストケースが不足しています。

$$\int \ln(x)dx = x \cdot \ln(x) - x$$

あなたの入力した数式は次のとおりです：
 $x \ln(x) - x$
 あなたの解答の中で使われている変数は[x] です

⚠ 惜しい! 部分的に正解です。
 積分定数を忘れていませんか?

正解は $x \ln(x) - x + C$ で、次のように入力します: $x \cdot \log(x) - x + C$

図-2 STACKの採点画面(部分正解の場合)

次の不定積分を求めよ。 STACKの問題の整備 | 問題にはテストケースが不足しています。

$$\int \ln(x)dx = x \cdot \ln(x) + x + C$$

あなたの入力した数式は次のとおりです：
 $x \ln(x) + x + C$
 あなたの解答の中で使われている変数は[C, x] です

✗ 残念、間違いです。
 部分積分の公式を確認しましょう。

$$\int f'(x)g(x)dx = f(x)g(x) - \int f(x)g'(x)dx$$

$$\int \ln(x)dx = x \cdot \ln(x) - \int x \cdot \frac{1}{x} = x \ln(x) - x + C$$

正解は $x \ln(x) - x + C$ で、次のように入力します: $x \cdot \log(x) - x + C$

図-3 STACKの採点画面(不正解の場合)



指定して出題することができる。こうすることにより、オンラインテストをドリル的に練習問題として取り組むような環境を提示することが可能になる。また、STACKの特徴であるが、図-1～図-3のような評価のために、図-4に示すポテンシャル・レスポンス・ツリー (PRT) が用いられており、各ノードと分岐は表-1のような構成になっている。

数学 e ラーニングシステムの最近の動向

前章に紹介した数式自動採点システムの開発動向をはじめ、各種支援ツールの開発、活用事例の共有など数学 e ラーニングに関して、国内外のさまざまな会議で情報交換されているが、中でも、EAMS (E-Assessment in Mathematical Sciences) ^{☆3}、International Meeting of the STACK Community ^{☆4} (以前の International STACK Conference, 以後 STACK Conference とする) は、最も活発に情報交換されている会議である。EAMS は 2016 年から 2 年に 1 回開催されており、数学 e ラーニング全般についての発表がある。2000 年からはオンラインで毎年の開催となっている。STACK Conference は 2018 年から毎年開催されており、STACK に特化した会議である。

☆3 <https://eams.ncl.ac.uk/>

☆4 <https://stack2023.com/>

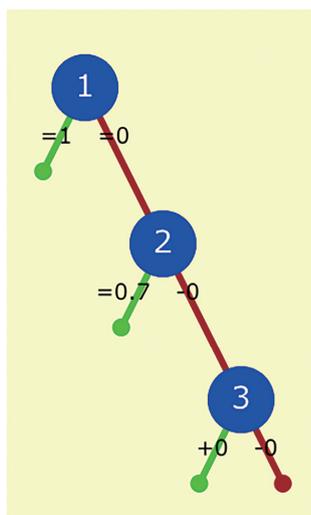


図-4 ポテンシャル・レスポンス・ツリー

EAMS と STACK Conference の最近の発表からいくつか紹介することにより、数学 e ラーニングシステムの利用動向の紹介としたい。

□ EAMS

● グラフツールの利用

“WeBWorK Development Update” の発表では、WeBWorK の開発の進展について紹介があり、従来の計算問題に加えて、グラフ描画ツールを用いることで、指定された方程式のグラフを描かせる問題などが可能になった。ほかの発表で、Numbas でも JSXGraph を利用することにより、同様の問題の作成の可能性についても紹介されていた。

● 解答データの分析

数式自動採点システムの解答データの分析に関する発表は、STACK Conference も含めあまり見られなかったが、2022 年開催の EAMS では 2 件の発表が見られた。“Measuring learning gain in multi-attempt quizzes”, “Analysis of students' answer process based on STACK answer data” などである。解答データの分析については、STACK Conference でも 2 件の発表が見られた。

□ STACK Conference

● オンラインテストの実施方法

“Use of small tests to enhance students' performance” では、ノルウェーのアグデル大学での数学オンラインテストの実施事例が紹介されている。基礎的な小さなテストを繰り返し課すというもので、そのテストの結果は最終成績には影響しないが、最

表-1 ポテンシャル・レスポンス・ツリーの動作

ノード	分岐	結果
1. 積分定数も含めて正解か?	True (緑)	正解 (1点)
	False (赤)	ノード 2 へ
2. 積分定数忘れによる誤答か?	True (緑)	部分正解 (0.7点)
	False (赤)	ノード 3 へ
3. 部分積分の符号の誤りか?	True (緑)	不正解 (0点) 解説提示
	False (赤)	不正解 (0点)

終試験までに合格点はクリアしなければならないという方法であった。

● 演習問題付きテキスト

“Developing interactive online workbooks for the mathematical education of engineering and general STEM students”では、エディンバラ大学の「代数と解析の基礎」で用いられている、STACKを用いた演習問題付き Web テキストが紹介された。STACKの問題の中に、テキスト、解説の動画などが組み込まれた演習問題付きのオンラインテキストである。

数学 e ラーニングシステムの定着に向けて

非常に簡単ではあるが、数式自動採点システムの歴史と、STACK を例にその動作概要、また EAMS と STACK Conference の発表例をいくつか紹介することで、数式自動採点システムを活用した数学 e ラーニングの動向を概観した。日本では 2002 年に MATH ON WEB が先駆的に開発されたが、当時日本での数学 e ラーニングの機運はまだ高まっていなかったように感じられる。一方で、2000 年代前半には欧米ではさまざまな議論がすでになされていた。たとえば、筆者が 2005 年に参加した Maple Conference 2005 では、すでに Maple T.A. (現 Möbius) の問題の開発について活発な議論が行われていたことが印象深い。

今後、日本で数学 e ラーニングが定着するために必要であると筆者が考えることは、次の 2 点である。まず最も重要なことは、良質な問題が蓄積され、それが共有される仕組みが作られることである。そのために、数学 e ラーニングのための問題の共通仕様によりシステムの壁を越えて共有できればより理想的であろう。筆者らも MeLQS³⁾ という仕様を提案している。もう一点は、学習データの分析に基づいた数学 e ラーニングの運用モデルの確立である。数式で解答されたデータを元に、学習者はどのように誤答を経て正答に至ったかという理解過程を踏まえてこそ、適切な問題提示を行うことができると考えるからである。

本稿で数学 e ラーニングシステムに興味を持つ方が増え、利用が広まるきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- 1) Sangwin, C. : Computer Aided Assessment of Mathematics, Oxford (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) 谷口哲也 他: 標準仕様による数学オンラインテストの問題実装と実用性の検証, コンピュータ & エデュケーション, Vol.48, pp.47-52 (2020).

(2022 年 12 月 6 日受付)

中村泰之 (正会員) nakamura@nagoya-u.jp

名古屋大学大学院情報学研究科准教授。博士 (工学)。京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修了後、名古屋大学情報文化学部助手、同大学院情報科学研究科准教授を経て現職。CIEC (コンピュータ利用教育学会) 副会長理事。

