

数式曖昧検索技術を用いた数学学習環境の構築に向けて

Toward Synthetic Math Learning Environment with Searching Algorithm for Math Expressions

宮崎佳典^{*1}, 田中 省作^{*2}

Yoshinori MIYAZAKI^{*1}, Shosaku TANAKA^{*2}

^{*1} 静岡大学大学院情報学領域

^{*1} College of Informatics, Shizuoka University

^{*2} 立命館大学文学部

^{*2} College of Letters, Ritsumeikan University

Email: yoshi@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし：本研究の目的は、近年世界の潮流となりつつある STEM 教育に資する、同教育を構成する全科目のインフラストラクチャーである数式に対して検索技術を提供し、その応用として、同技術を核とした数学学習環境を構築することである。このような実用性の高い数学学習環境を Web アプリケーションとして構築し、常に学習者に利用可能なサービスを提供することで、理系学部の学生のみならず、数式を扱う全学習者の数学教育に資することを目指す。

キーワード：数学学習環境、数式検索、正規表現、公式検索、数式変形、証明問題

1. はじめに

本研究の目指すものは STEM 教育の全科目に関わるインフラストラクチャーと言ってよい数式に対して検索技術を提供し、その応用として同技術を核とした数学学習環境を構築することである。具体的には、世界で未だ途上段階と言わざるを得ない、曖昧検索を含めた数式検索技術の確立を行い、今後普及することが確実にされる電子書籍などにおける数式検索の利便性を向上させ、理科系科目学習の根本である数式に対するサービスを押し上げる。また、数式検索技術の応用として、初学者に対し、与えられた数式が含む学習項目要素を提示することで学習への足掛かりを与える。さらに数式変形問題や数学証明問題において関連する公式や等式を自動表示することで学習の停滞防止をサポートする。以上のような実用性の高い数学学習環境を Web アプリケーションとして構築することで、理系学部の学生のみならず、数式を扱う全学習者の数学教育に資することも本研究の副次的目的である。

2. 現状の課題

近年、Google をはじめとした検索エンジンにおいて、文字検索機能だけでなく、画像検索、動画検索、音声検索など、マルチモーダルな検索技術が開発されている。これに対し、数式の検索技術は未だ研究開発段階にあり、特にパターンマッチングに基づく曖昧検索技術は実用性を鑑みれば克服しなければならない技術でありながら、部分的な機能の実装の域を出ていないように見受けられる。正規表現を用いると、柔軟に多彩なパターンを記述することができるようになるため、本研究では数式検索にも実現させることを想定している。先行研究には、与式の部

分的情報をベクトル化して数式間の類似度を計算するものなども存在するが、数学学習機能として考えると、実用性に乏しいと言わざるを得ない。加えて、数式は抽象化された記号を用いて一般的には構成されることを考慮すると、式中出现する特定の変数や演算などが、その文脈の中でどのような意味で使われているのかを判別する、いわゆる語義曖昧性解消技術などは必須と考えられる。しかし、実用レベルで数式の持つ情報に対して同技術を駆使している実装例は研究事例としてもほとんど見当たらない。

3. 数式検索技術を核とした数学学習環境

数式の曖昧検索技術を基礎技術として開発し、さらに同技術を核とした、学習者のための数学学習環境を構築することが本研究のテーマである。これが実現すると、その応用として、数学学習環境としての種々の学習援用機能が考えられ、(1) 初学者に対し、与えられた数式が含む学習項目要素を提示することで学習への足掛かりを与える学習項目抽出機能、(2) 与えられた数式の一部を矩形選択することでその変形候補を提供する数式変形援用機能、(3) 教育現場の教員が数学の証明図を構造的に作成するのを助ける数学証明図作成援用機能、などを実装し、数学や STEM 学習者に資する環境を足場かけとして提供する。特に、(1)、(2) については、学習者の学習傾向を分析するために LA (Learning Analytics) に資する各種学習履歴データを取得している。これら応用機能の成否には、(4) 検索する数式やデータ内の抽象化された記号に対する語義曖昧性解消や機械学習の技術も重要な役割を担うと考えられ、もともと自然言語の分野で開発・発展して得られた知見を数式データに適用を試みることで自然言語と数式の融合

領域に踏み込む。図1は数式検索 Web アプリケーションのインターフェースであり、 α 部は正規表現の説明、下の角丸四角形内はいわゆる“相加・相乗平均(の不等式)”の一般形の検索式を表す。

図1 数式検索 Web アプリケーション

4. 公式検索ならびに依拠公式表示機能

上記で説明した数式検索システムは、正規表現を組み合わせることで、様々なパターンの数式を一般に検索させることができる。これを応用したものが公式検索である。パターン化された公式を、数式検索システムで実装されている正規表現を用いて表現する。これを利用することで、数式変形が特定の公式適用に依拠していることを学習者に提示することができるようになる。公式例を表1に示す。

表1 登録されている公式に対応するクエリの例

加法定理 (正弦)	$\sin(\text{①} \oplus \text{②}) = \sin \text{①} \cos \text{②} + \cos \text{①} \sin \text{②}$
log 底の変換公式	$\log_{\text{①}} \text{②} = \frac{\log_{\text{③}} \text{②}}{\log_{\text{③}} \text{①}}$
ド・モアブルの定理	$(\cos \text{①} + i \sin \text{①})^{\text{②}} = \cos \text{②} + i \sin \text{②}$

ピタゴラスの定理 $\text{③}^2 = \text{①}^2 + \text{②}^2$

5. 数式変形サポート機能

数式変形サポート機能は2つの画面で構成される。数式変形画面(図2)には変形の対象となる数式が表示され、学習者はマウスのドラッグアンドドロップにより数式中の変形したい部分を矩形選択する。矩形選択が完了すると選択された部分がハイライトされ、適用可能な変形候補の一覧が表示される。学習者が一覧から変形候補を選択すると、対象となっている数式に適用されて変形が行われる。学習者は矩形選択と変形候補選択を繰り返して数式変形を進める。変形履歴画面(図3)には学習者が行った変形の履歴が数式をノードとする樹形図で表示される。

図2 数式変形画面

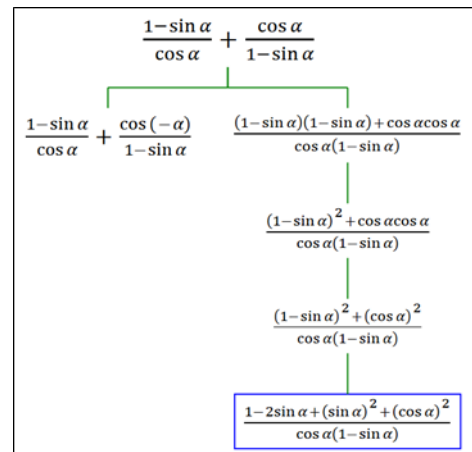


図3 変形履歴画面

参考文献

- (1) 渡部孝幸, 宮崎佳典, 正規表現を用いた数式検索手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.5, pp.1417-1427 (2015)
- (2) Y. Miyazaki, Toward Synthetic Math Learning Environment with Searching Algorithm for Math Expressions, IC-TECS2017 (keynote speech), (2017)
- (3) Y. Miyazaki, K. Shinshi, Searching Mathematical Expressions with Regular Expressions Tool and Its Application to Extract Mathematical Concepts, Proceedings of SITE 2017, pp. 1974-1978 (2017)
- (4) Y. Miyazaki, Web-based Application to Aid the Learning of Mathematical Proofs Using Logical Diagrams and Its Potential, SITE 2016, pp. 965-968 (2016)
- (5) 宮崎佳典, 粥川佳哉, 田中省作, 正規表現機能付き数式検索手法ならびに学習項目抽出への応用, 電信会技術研究報告 信学技報 117 (83), 41-44 (2017)