

数式自動採点システムの解答データを用いた Bayesian Knowledge Tracing による理解状況分析

Comprehension analysis by Bayesian Knowledge Tracing using answer data
from the automatic equation grading system

伊藤 明日歌^{*1}, 中村泰之^{*2}

Asuka ITO^{*1}, Yasuyuki NAKAMURA^{*2}

^{*1}名古屋大学情報学部自然情報学科

^{*1}School of Informatics, Nagoya University

^{*2}名古屋大学教養教育院

^{*2}Institute of Liberal Arts and Sciences

Email: ito.asuka.g0@s.mail.nagoya-u.ac.jp

あらまし：数式自動採点システム STACK の解答データに対し、Bayesian Knowledge Tracing(BKT)を用いてスキル(知識)習得状況を分析した。BKT は解答履歴からスキルの習得状況の推定ができ、今回は BKT 用 Python ライブラリである pyBKT を使用して分析を行なった。STACK では、非循環有向グラフであるポテンシャル・レスポンス・ツリー(PRT)により、解答を分類することができる。分類した解答とスキルを対応付けることで、従来では BKT は問題とスキルが一对一対応するところ、一对複数の問題に対し BKT を適用し、部分点を含む問題に対する BKT の適用可能性について検証を行い、有用性が示唆される結果を得ることができた。

キーワード：e ラーニング, STACK, Bayesian Knowledge Tracing, ポテンシャル・レスポンス・ツリー

1. はじめに

近年教育分野に ICT の活用が広まり、その中でも学生の知識の理解状況を知る手段の一つのオンラインテストにおけるデータ収集・分析が注目されている。

数式自動採点が可能なオンラインテストシステムの一つである STACK^(1,2)には、ポテンシャル・レスポンス・ツリー(PRT)と呼ばれる非循環有向グラフにより、設定した各ノードでの判定結果から解答の分類を行うことができる機構がある。これを用いることにより、単なる点数の平均ではなく、当てずっぽうな解答やケアレスミスなどを考慮した理解度推定を行うことができなかつたかと考えた。

理解度推定の手法の一つとして、Bayesian Knowledge Tracing(BKT)⁽³⁾があるが、STACK の解答データの分析に用いられている例はない。従来の BKT では大まかな単元でしかスキルを分けていないが、細分化されたスキルでの理解度を求めることが可能ならば、より良いと考えた。そこで、STACK の PRT で解答の分類ができることに着目した。PRT での解答の分類と細分化させたスキルを対応させて、複数のスキルを持つ問題を少ない解答数で分析できると、効率的に学生の理解度推定が行えるのではないかと考えた。

2. 数式自動採点システム STACK と PRT

STACK は、数学の問題やテストを提示し、その解答を数式で正誤評価を行うことができる e ラーニングシステムである。様々な解答方式を設定することができ、多肢選択式や解答を学生が入力するよう

に選ぶことができる。STACK の特徴の一つに、ポテンシャル・レスポンス・ツリー(PRT)が設定できる。PRT により学生の解答データを自動分類することができる。PRT は非循環有向グラフで表される(図 1)。PRT の各ノードには様々な条件が設定されており、その条件を満たすか満たさないかに応じて終了または次のノードに移動し、条件判定を重ねることで、解答の分類を行なう。

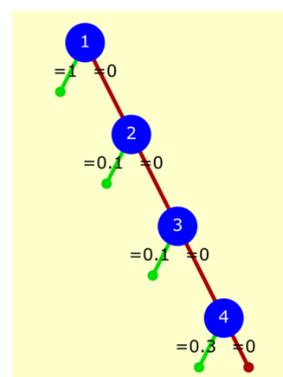


図 1 PRT

3. Bayesian Knowledge Tracing の概要

BKT は、学生の習得状況を推定するために教育データマイニングで広く利用される確率的モデルである。このモデルは、学習過程における生徒のスキル(知識)習得状況の変化を隠

れマルコフモデルで表現している。BKT では、学生が特定のスキルを習得している状態を「1」、未習得の状態を「0」で表し、各スキルに関する学生の正誤データを元にして、学生 u のスキル k の習得確率 $P(L^{k,u})$ を求めることが目的である。

ある学生の時刻 t における結果 obs_t ($obs_t = 1$ の時正答, $obs_t = 0$ の時誤答)を用いて、時刻 t における学生 u のスキル k の習得確率 $P(L_t^{k,u})$ は、四つのパラメータ(学生 u , 時刻 t には依存しない) ;
 $P(L_0)$: 初期スキル習得確率, $P(T^k) = P(L_{t+1}^{k,u} = 1 | L_t^{k,u} = 0)$: 学習により習得できる確率, $P(G^k) = P(obs_t^{k,u} = 1 | L_t^{k,u} = 0)$: 当てずっぽうで正答する確率, $P(S^k) = P(obs_t = 0 | L_t^{k,u} = 1)$: ケアレスミスで誤答する確率)と以下のベイズの定理に従って計算される:

$$\begin{aligned} P(L_t^{k,u} | obs_t = 1) &= \frac{P(L_t^{k,u})(1 - P(S^k))}{P(L_t^{k,u})(1 - P(S^k)) + (1 - P(L_t^{k,u}))P(G^k)} \\ P(L_t^{k,u} | obs_t = 0) &= \frac{P(L_t^{k,u})P(S^k)}{P(L_t^{k,u})P(S^k) + (1 - P(L_t^{k,u}))(1 - P(G^k))} \end{aligned}$$

事後確率を元に、以下の式でスキルの習得率が更新される。元々の習得率と、学習によってスキルを習得する確率が足し合わされる:

$$P(L_{t+1}^{k,u}) = P(L_t^{k,u} | obs_t) + (1 - P(L_t^{k,u} | obs_t))P(T^k)$$

4. pyBKT を用いた STACK のデータ解析

pyBKT^(4,5,6)は、BKT による学生の理解度推定研究の支援を目的に、2021年にPythonのライブラリとして実装された。pyBKTでは標準的なBKTを基準とし、BKTの拡張モデルも考慮して設計されており、拡張モデルも利用可能である。そして、データを元に学生の理解度を推定する他、予測精度を検証することもできる。

5. 結果

本研究では、名古屋大学で開講された2021年度の数学入門(文系学生向け一般教養科目)のオンラインテストで得られた解答データをpyBKTを用いて理解度推定を行なった。学生100人の42問の問題に対する解答結果を対象に分析をした。習得率を推定したスキルは18種類である。

図2は、学生S001のスキル理解度の推定結果である。この結果から、学生S001は高校で習ったスキルは身につけているが、大学に入ってから学んだ「双曲線関数」に関連するスキルについては、まだ身につけていないことがわかる。

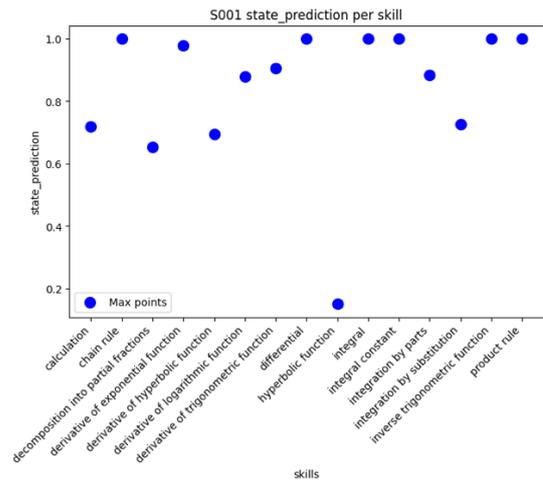


図2 学生 S001 のスキル理解度

6. まとめと考察

本研究では、STACKで行なったオンラインテストで得た解答データを、PRTによって解答を分類し、標準的なBKTモデルを用いて分析することが可能であるとわかった。しかし、スキルによって理解度と実際の正誤との乖離具合が異なる場合があり、今後の研究ではその乖離度の違いを探りつつ、BKT拡張モデルでも解答データを分析したい。これにより学生の得手・不得手が解析できるので、オンラインテストを受験した後に、自動で「あなたの弱点は○○です。」と表示できるようなSTACKの機能拡張を視野に今後の研究を続けたい。

参考文献

- (1) 中村泰之, 「数学eラーニング数式解答評価システム STACKとMoodleによる理工系教育」, 東京電機大学出版局, 2010.
- (2) STACK, <https://www.ed.ac.uk/mathstack>, 参照 2025年1月17日.
- (3) Albert Corbett, John Anderson, “Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge”, User Modeling and User-Adapted Interaction, vol. 4, no. 4, pp. 253-278, 1995.
- (4) Anirudhan Badrinath, Frederic Wang, Zachary Pardos, “pyBKT: An Accessible Python Library of Bayesian Knowledge Tracing Models”, In Proceedings of the 14th International Conference on Educational Data Mining, Virtual Event, pp. 468-474, 2021.
- (5) CAHLR/pyBKT, <https://github.com/CAHLR/pyBKT>, 参照 2024年10月11日.
- (6) Okan Bulut, Jinnie Shin, Seyma N. Yildirim-Erbaşlı, Guher Gorgun, Zachary A. Pardos “An Introduction to Bayesian Knowledge Tracing with pyBKT”, Psych, 5, pp.770-786, 2023.