



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

ラーニングアナリティクスと説明できるAI

京都大学学術メディアセンター緒方研究室
高見享佑



Learning and Educational Technologies Research Unit




Evidence-Driven Education Research Council

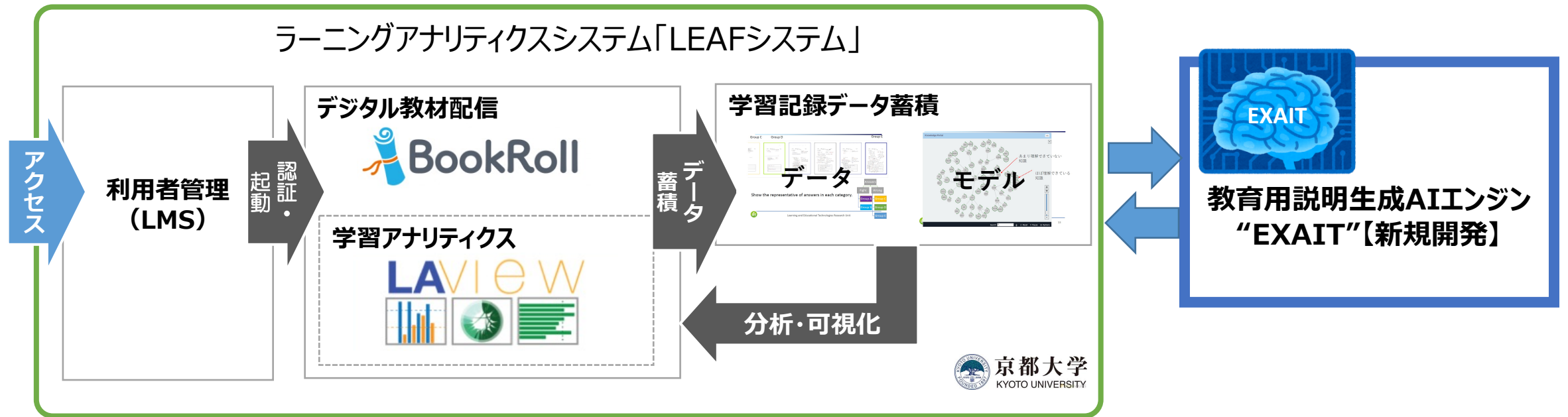
NEDO 「説明できるAI」 実証事業



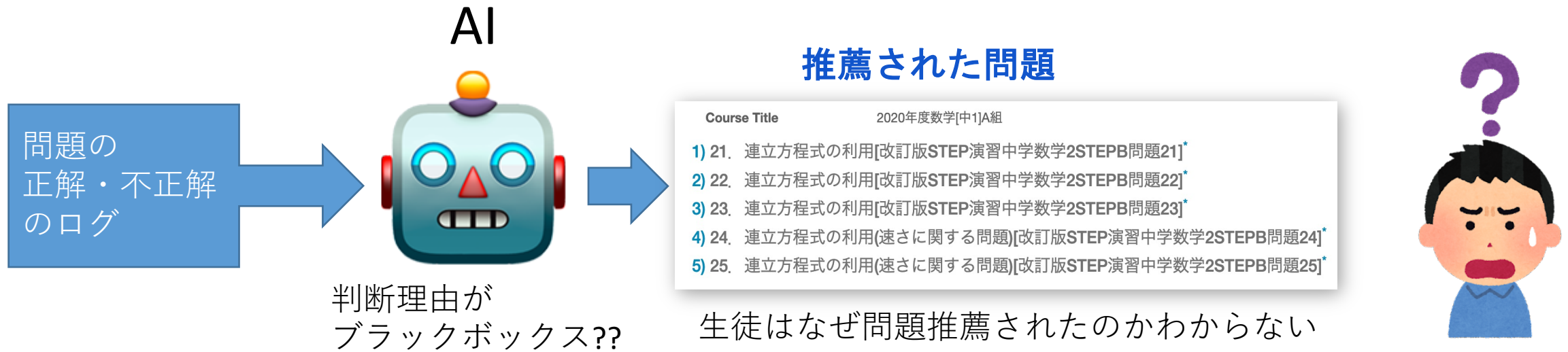
NEDO = 新エネルギー・産業技術総合研究開発機構



- 人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業に採択。
- 京都大学・（株）内田洋行がラーニングアナリティクスの学校現場導入 
- 京都大学で開発してきたデジタル教材配信＋分析システム「LEAFシステム」に追加する**問題推薦AIエンジン「EXAIT」**を開発する。
- 実証研究を実施する協定書を滋賀県及び京都市と締結（2020年～2025年予定）。



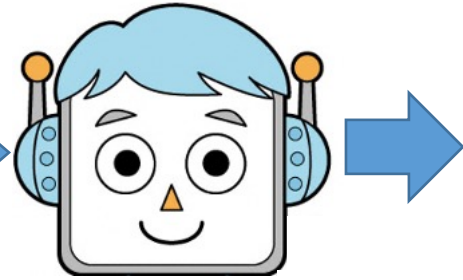
従来の問題推薦システムの問題点



説明できるAI (EXAIT)

問題の
正解・不正解の
ログ
手書きデータ
テキストデータ
(自己説明)

AIの判断理由
を解釈
+
解釈をもとに
説明を生成・提示



EXAIT(Educational Explainable AI Tools)
教育用説明生成AIエンジン

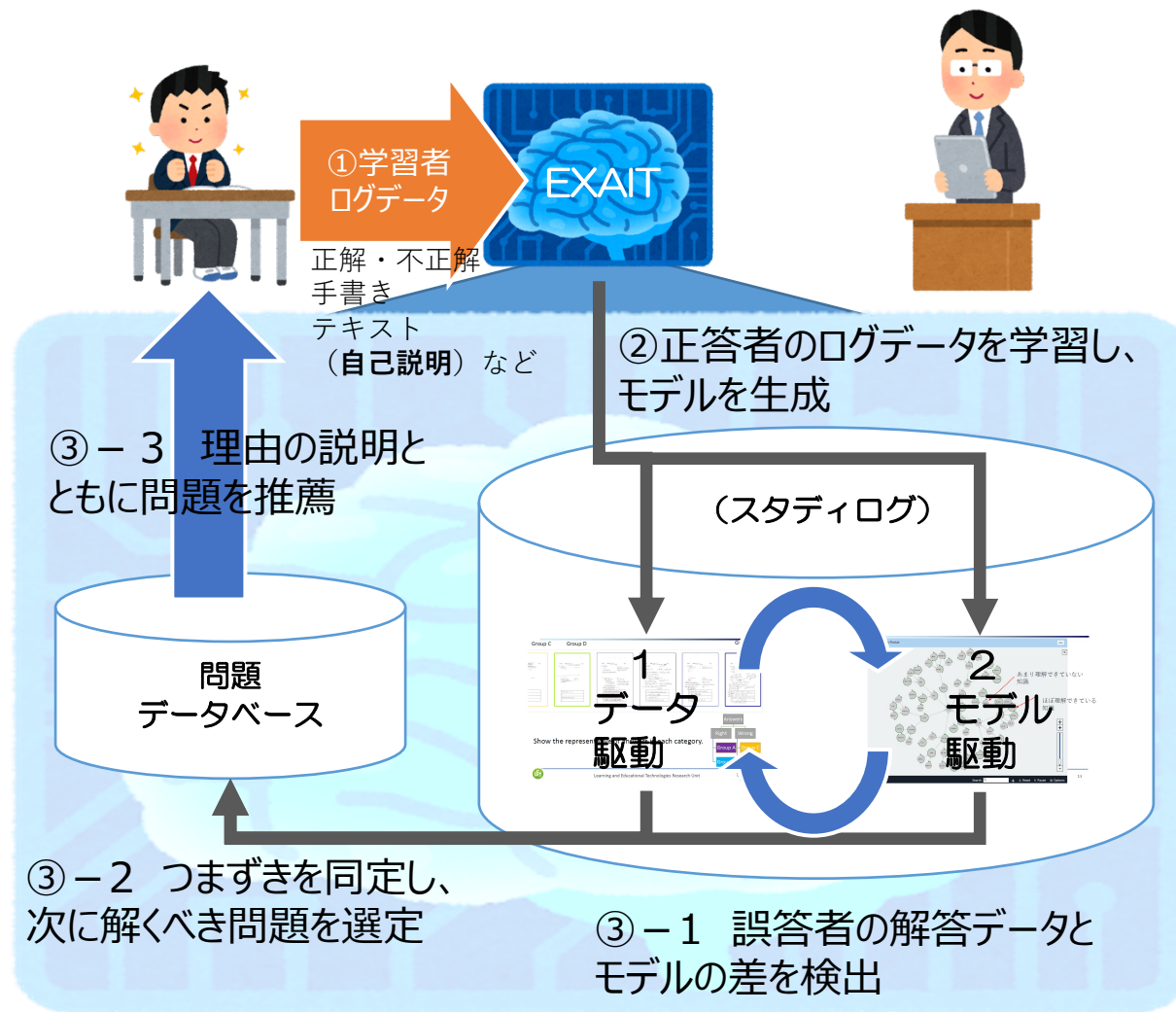
推薦の理由の説明

Course Title	2021年度数学[中2]A組
1) 5. 平行線と同位角,錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEPA問題5]*	推薦の理由: この問題は応用問題を解くために必要なスキルだよ!
2) 9. 平行線の性質の利用[改訂版STEP演習中学数学2STEPB問題9]*	推薦の理由: これまでの知識を必要とする応用問題だよ。じっくり取り組もう! ケアレスミスに要注意!
3) 8. 平行線と同位角,錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEPB問題8]*	推薦の理由: この問題が解けると応用問題にスキルアップできるよ!
4) 7. 平行線と同位角,錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEPB問題7]*	推薦の理由: 基本ができていないみたいだから、この問題で、基本から押さえよう!
5) 14. 平行線の性質と三角形の内角と外角[改訂版STEP演習中学数学2STEPB問題14]*	推薦の理由: これまでの知識を必要とする応用問題だよ。じっくり取り組もう!

納得感の向上↑
学習意欲の向上↑
AIへの信頼性向上↑



開発する問題推薦AIエンジン「EXAIT」のイメージ



1 データ駆動
学習ログを蓄積し、学習ログからボトムアップに説明を生成

2 モデル駆動
教材や知識マップをもとに次に学ぶべき事項や解くべき問題を理由とともに推薦

**3. 自己説明による
つまづきポイントの
自動検出**

- 1. データ駆動AI推薦
- 2. モデル駆動AI推薦
- 3. 自己説明によるつまづきポイントの自動判定

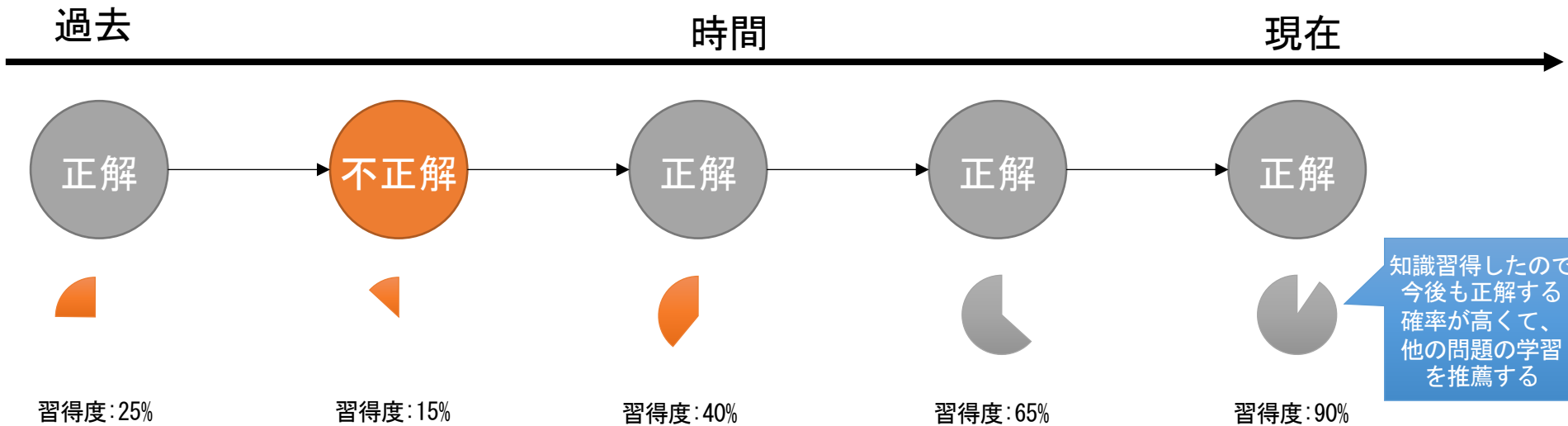
1. データ駆動AI推薦

学習ログを蓄積し、学習ログから
ボトムアップに推薦・説明を生成

データ駆動のBKT（知識状況推定モデル）

- 知識は潜在的であり、すなわち知識は直接に測れない
- ある知識が持っているかどうかはその知識についての回答歴から推定は可能
- 代表的な知識状況推定モデル：Bayesian Knowledge Tracing (BKT)

ある知識についての問題の回答歴



BKTモデルの内部パラメータ

- **Known** : ある知識をすでに習得ができた確率
- **Learn** : 学習の機会があれば、ある知識を習得できる確率
- **Guess** : ある知識を持たないのに、その知識についての問題解答に正解した (まぐれで正解)
- **Slip** : ある知識を持つはずなのに、その知識についての問題解答に不正解した (ケアレスミス)

データ駆動のAI問題推薦

AIが学習することで個別最適な問題推薦

推薦された問題

- | Course Title | 2020年度数学[中1]A組 |
|--|----------------|
| 1) 5. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題5] | |
| 2) 9. 平行線の性質の利用[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題9] | |
| 3) 6. 平行線の性質の利用[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題6] | |
| 4) 8. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題8] | |
| 5) 7. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題7] | |

① 問題を選んで解答。



55. 立体の切断と体積[改訂版 STEP演習 中学数学3 STEP B 問題55]

右の図の台形 ABCD を、辺 AB を軸として 1 回転させてできる立体の体積を求めなさい。

問題文
55. 立体の切断と体積[改訂版]

選択回数
4

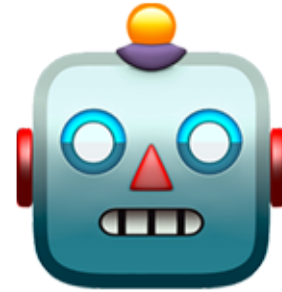
手書き欄を有効

正解
選択肢 1
 正解
選択肢 2
 不正解

② 正解か不正解かのみを入力

③ 正解不正解のデータをもとに正解率を計算

④ 正解率が50%推薦される。
問題の特徴のパラメータ
Guess : まぐれで正解
Slip : ケアレスミス
推定される。



$$P(L_{n-1}|Correct_n) = \frac{P(L_{n-1}) * (1 - P(S))}{P(L_{n-1}) * (1 - P(S)) + (1 - P(L_{n-1})) * P(G)}$$

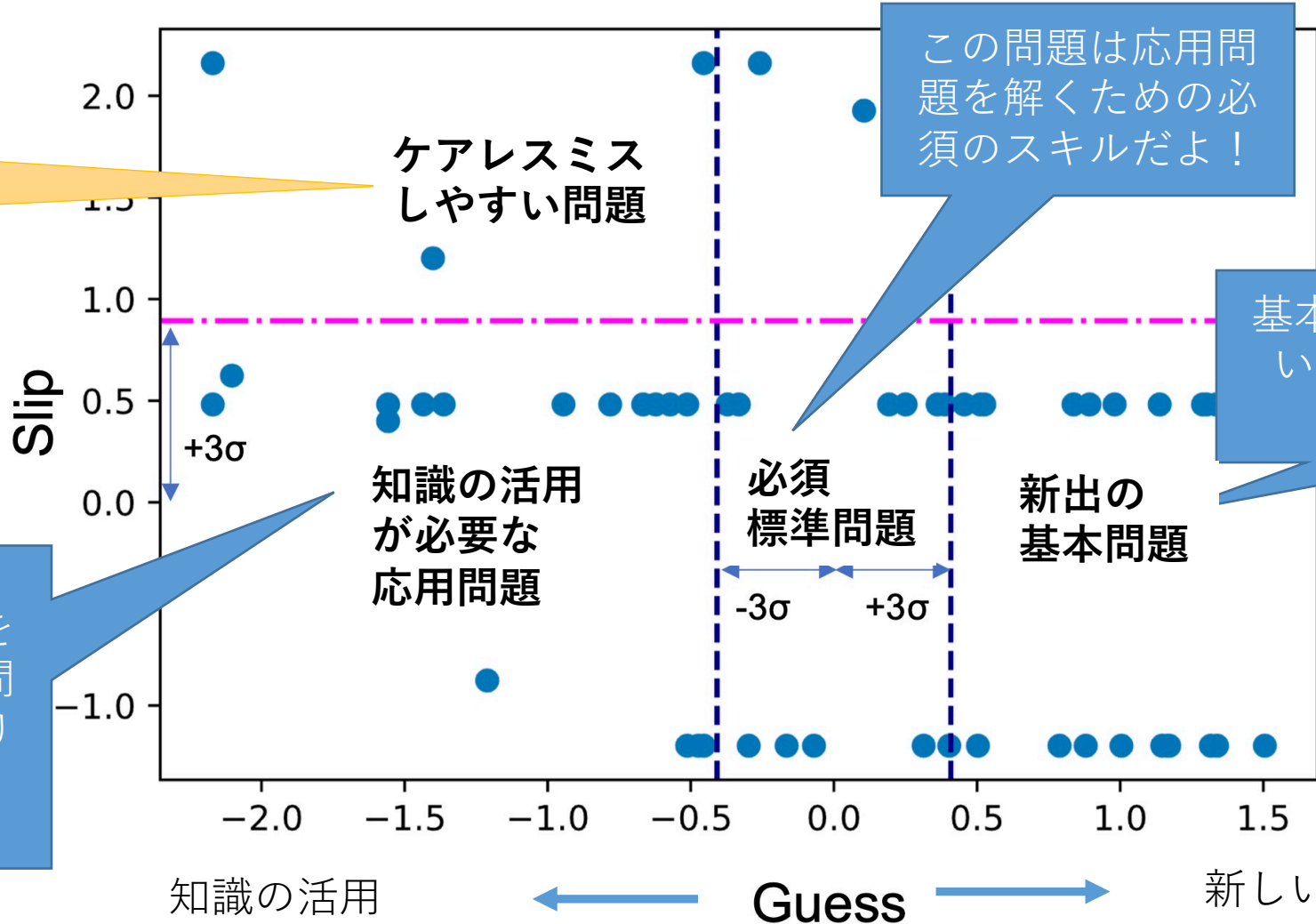
$$P(L_{n-1}|Incorrect_n) = \frac{P(L_{n-1}) * P(S)}{P(L_{n-1}) * P(S) + (1 - P(L_{n-1})) * (1 - P(G))}$$

$$P(L_n|Action_n) = P(L_{n-1}|Action_n) + ((1 - P(L_{n-1}|Action_n)) * P(T))$$

BKTパラメータによる説明生成方法の開発

ケアレスミスに
要注意!

これまでの知識を
必要とする応用問
題だよ。じっくり
取り組もう!



この問題は応用問
題を解くための必
須のスキルだよ!

基本ができていないみた
いだから、この問題で
基本を抑えよう

Slip Guessの値に応じて
問題の特徴分類

説明生成を推薦システムに実装

Analysis Tool Data exchange

- [Analyze Logs](#)
[Analyze Knowledge](#)
[Recommend](#)
[DicoDico \(Dictionary\)](#)
[Stroke Analytics](#)
[Group Learning \(Student\)](#)
[アクティブリーディング](#)

Boll Visualization

Course Title 2021年度数学[中2]A組

- 1) 5. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題5]*
 推薦の理由: この問題は応用問題を解くために必要なスキルだよ!
- 2) 9. 平行線の性質の利用[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題9]*
 推薦の理由: これまでの知識を必要とする応用問題だよ。じっくり取り組もう! ケアレスミスに要注意!
- 3) 8. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題8]*
 推薦の理由: この問題が解けると応用問題にスキルアップできるよ!
- 4) 7. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題7]*
 推薦の理由: 基本ができていないみたいだから、この問題で、基本から押さえよう!
- 5) 14. 平行線の性質と三角形の内角と外角[改訂版STEP演習中学数学2STEP B問題14]*
 推薦の理由: これまでの知識を必要とする応用問題だよ。じっくり取り組もう!

推薦された問題の理由説明

推薦される問題

自分の解いた問題

クラスメートの学習状況

問題	自分の解いた問題				クラスメートの学習状況		
	あなたの解いた回数	正解	不正解	正解率	解いたクラスメート数	クラスメートの解いた回数平均	クラスの正解率
1. 対頂角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題1]	1	1	0	100%	12	1.1	85%
2. 同位角と錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題2]	1	1	0	100%	11	1.0	100%
3. 同位角と錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題3]	1	1	0	100%	11	1.1	75%
4. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題4]	1	1	0	100%	10	1.0	90%
5. 平行線と同位角, 錯角[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題5]	0	0	0	0%	10	1.0	80%
6. 平行線の性質の利用[改訂版STEP演習中学数学2STEP A問題6]	1	1	0	100%	11	1.0	100%

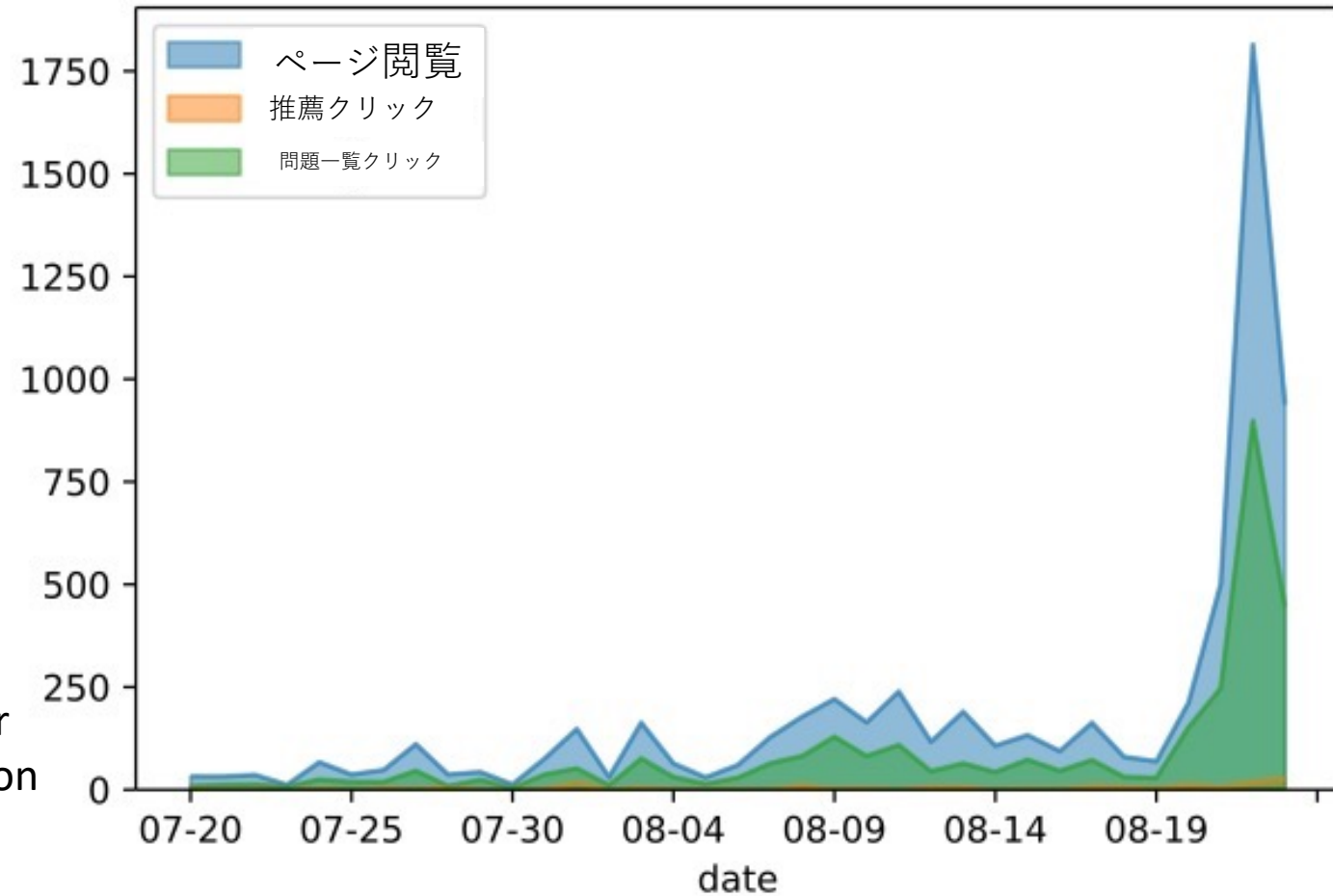
単元の
問題一覧

夏休みでの利用

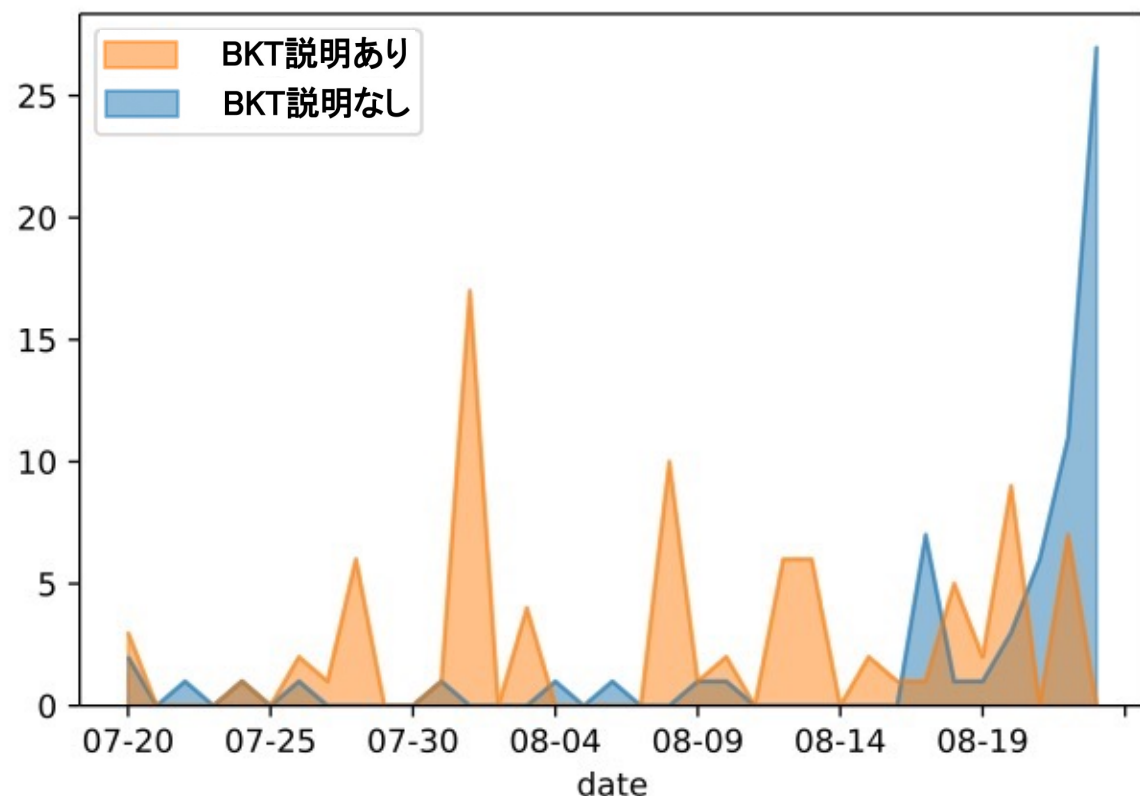
- 夏休みの宿題で説明あり推薦機能を実証実験
- 対象：高校1年生
- 243人(6クラス)
- 期間：2021年夏休み(7.20-8.23)
- 3クラス(123人):BKT説明あり
- 3クラス(120人):BKT説明なし

Takami et al. 2022. Educational Explainable Recommender Usage and its Effectiveness in High School Summer Vacation Assignment. 12th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK22)採択

全体のアクセス数



推薦問題クリック数



説明ありのクラスで推薦問題のクリック回数が多い

クリック数の比較

	推薦問題	問題一覧	CVR**
BKT説明あり	87	1323	6.17%
BKT説明なし	66	1725	3.68%

CVR = 推薦問題クリック数 / (推薦問題クリック数 + 問題一覧クリック数)

カイ2乗検定 P** = 0.001068

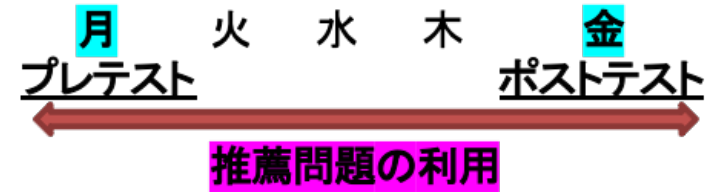
理由説明は推薦問題クリック数に影響を与える。

→説明は生徒の納得感を高めることが期待できる

学習理解への効果

説明できるAI推薦の学習効果検証、京都市内中学校2年生・数学3クラス

できなかった問題が、できるようになったかを同様の内容の問題を用いて、2回のプレ・ポストテストで評価。教師は生徒たちに、毎日推薦問題を3問以上解きましょうと指示。



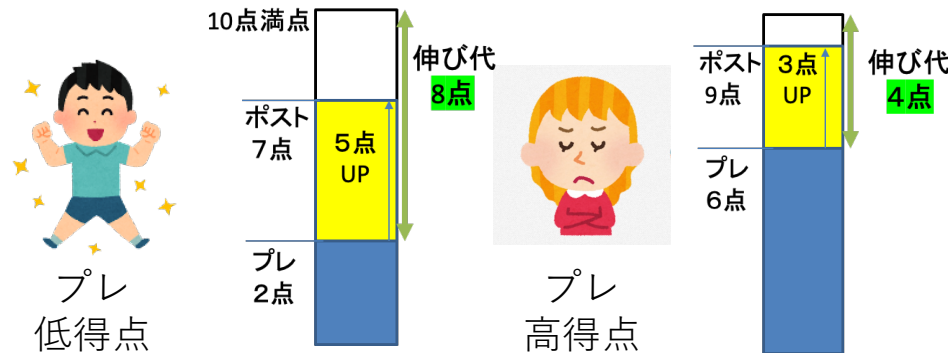
学習理解に関する指標

$$\text{学習理解度の向上率} = \frac{\text{ポストテストの点数} - \text{プレテストの点数}}{\text{満点} - \text{プレテストの点数}}$$

プレテストで低得点の生徒は伸び代が大きく 成績が伸びやすい
 プレテストで高得点の生徒は伸び代が小さく 成績が伸びにくい

→ 伸び代で正規化

例) 10点満点のテスト



学習理解度の向上率

$$5 \div 8 = 0.625$$

$$3 \div 4 = 0.75$$

できなかった問題が
 できるようになった
 かを定量化

学習理解度の向上率

未公開データ

推薦問題をクリックすることは学習理解の向上率と有意な正の相関
推薦問題をクリックすることと解いた問題数は有意な正の相関
しかしながら、解いた問題数と学習理解度の向上率は相関しない。

(論文投稿準備中)

学習理解度の向上率



未公開データ

推薦された問題を介して問題を解くことが学習理解度の向上に寄与する傾向が見られる。

単にたくさん問題を解くのではなく推薦された問題を解くことが重要

(論文投稿準備中)

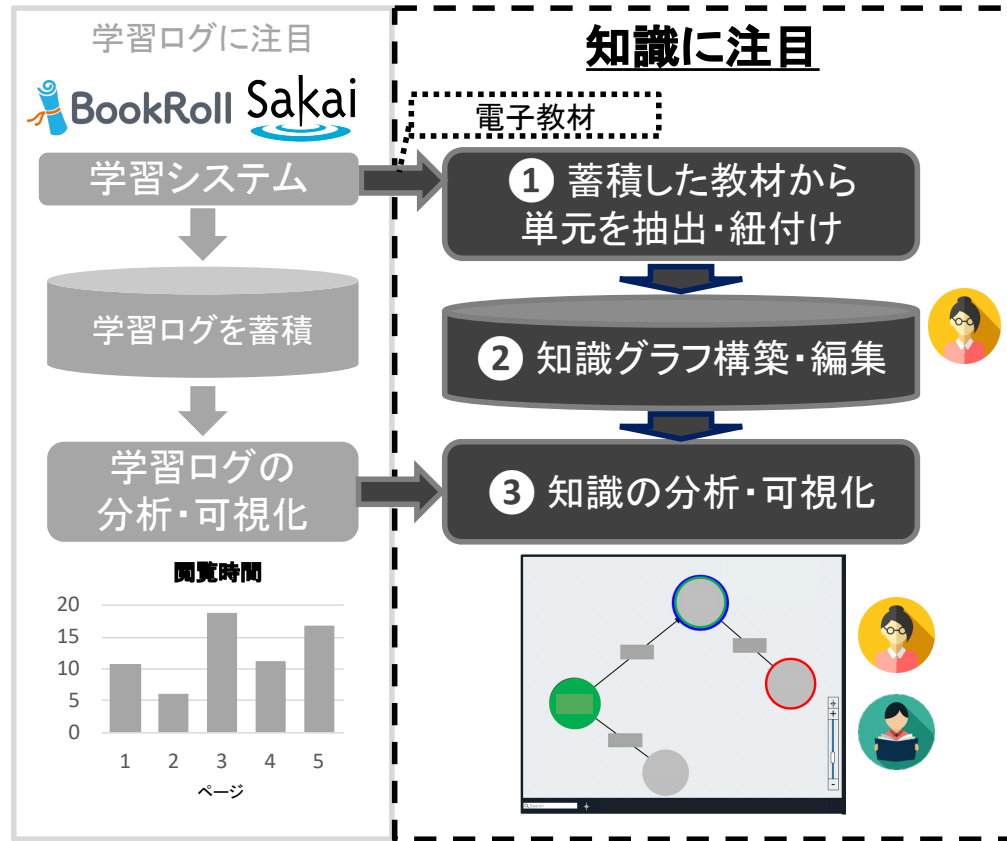


2.モデル駆動のAI問題推薦

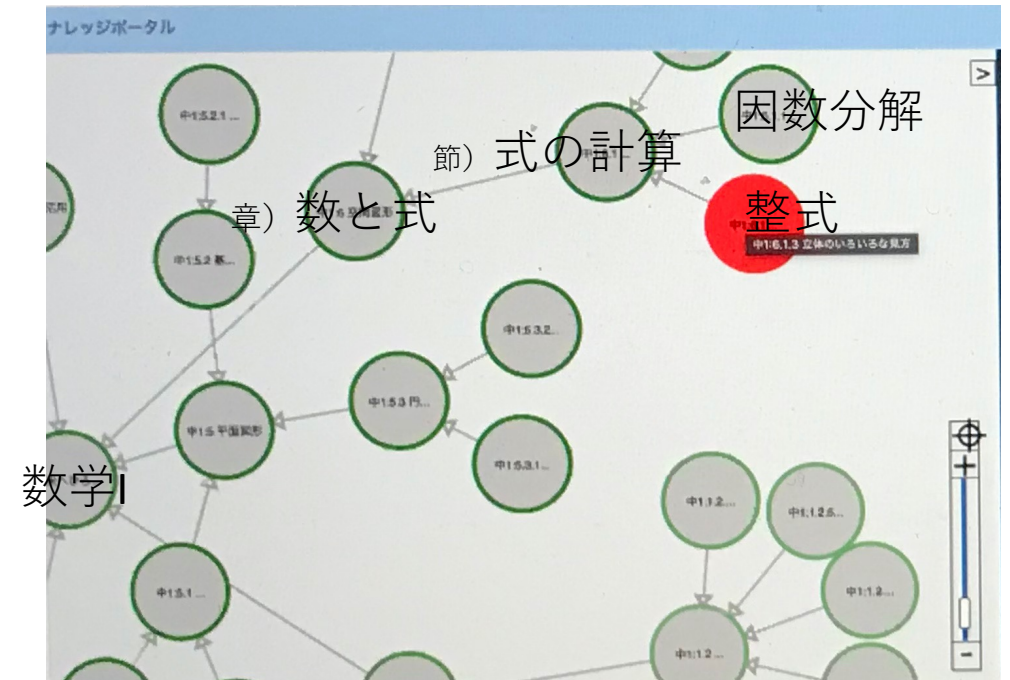
教材や知識マップをもとに次に
学ぶべき事項や解くべき問題を
理由とともに推薦

モデル駆動による推薦

教材や知識マップをもとに次に
 学ぶべき事項や解くべき問題を
 理由とともに推薦



知識マップ



単元・知識要素の構造的なつながり

モデル駆動による推薦

AI推薦システムの使い方

概念の理解度

- 辺
偶数
進数
奇数
倍数
等式
線分
集合
外接円
確率
合同式
最大公約数
数
積
証明
方程式
総和
整数
図形
自然数
約数
- 分数
正方形
順列
三角形
頂点
立体
重複組合せ
倍
数字
正三角形
二等辺三角形
回転
直角三角形
位置
中心
八角形
交点
同値
- 対角線
完全順列
斜辺
三角柱
鈍角三角形
符号
部分集合
五角錐
鋭角三角形
素数
四角形
逆

推薦問題

1) **41. 長さの最小：折れ線APQB(A,Bは角の内部,P,Qは辺上)の最小**[改訂版青チャート数学A 例題81]

推薦理由：この問題の推定難易度は**中**です。正解したら以下の概念への理解度が上がりますよ。 交点 (0.0%→70.0%) 位置 (13.5%→28.8%)

2) **60. 方べきの定理利用：線分の長さ**[改訂版サクシード数学A 問題373]

推薦理由：この問題の推定難易度は**中**です。正解したら以下の概念への理解度が上がりますよ。 交点 (0.0%→72.7%) 線分 (83.3%→95.4%)

3) **79. 9個の点から選んだn個の点のうち3点を通る直線の数の確率**[改訂版青チャート数学A 総合演習8]

推薦理由：この問題の推定難易度は**中**です。正解したら以下の概念への理解度が上がりますよ。 交点 (0.0%→78.5%) 確率 (79.5%→80.0%) 数 (74.3%→74.4%)

4) **32. チェバの定理,メネラウスの定理利用：線分比**[改訂版青チャート数学A 練習76]

推薦理由：この問題の推定難易度は**中**です。正解したら以下の概念への理解度が上がりますよ。 交点 (0.0%→80.8%) 線分 (83.3%→88.7%) 辺 (92.8%→94.0%)

5) **109. 分数の小数表示と記数法**[改訂版サクシード数学A 問題481]

推薦理由：この問題の推定難易度は**低**です。正解したら以下の概念への理解度が上がりますよ。 分数 (58.7%→82.7%)

今までの履歴から推定した各概念への理解度。

緑：60%-99%,
赤:1%-59%

理解度から計算した問題の**難易度**と期待される**理解度の上達度**を基準に問題が推薦される。

3.自己説明によるつまづきポイントの自動検出

自己説明

• 自己説明とは

自分自身への**説明**

分子をxとおいて、
両辺に3をかけて
通分して、。



not self-explaining

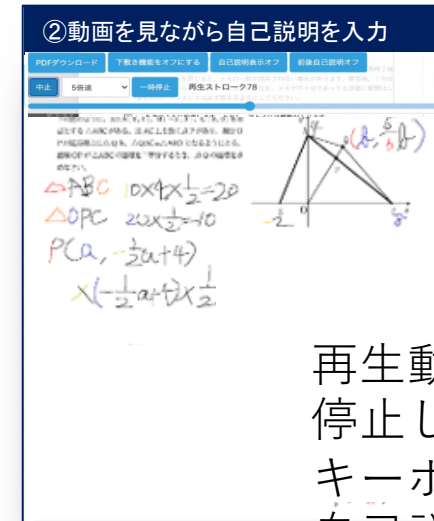
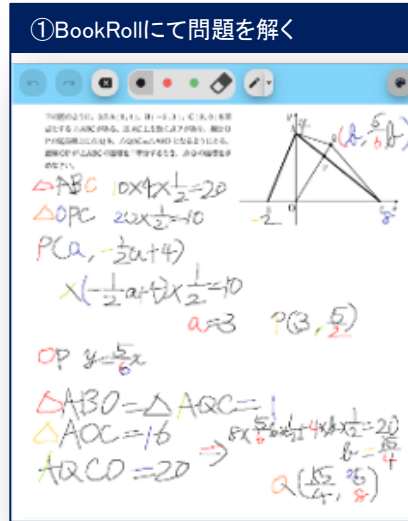


自己説明中

メタ認知能力、表現力、思考力を鍛えることができる。

- わからないところの明確化
- 点の知識を関連づけることができる。

自分の回答を後から、プレーバックして説明を加えることで、単に特だけでなく、



再生動画を
停止しながら
キーボードで
自己説明を入力

タッチペンで手書き入力

From Understanding How We Learn: A Visual Guide. By Yana Weinstein and Megan Sumeracki, with Illustrations by Oliver Caviglioli (1).

64の研究報告から効果の高い学習手法(Bisra 2018)

LEAFシステムでの自己説明機能

PDFダウンロード 下書き機能をオフにする 自己説明表示オフ 前後自己説明オフ

再生 5倍速 一時停止 再生ストローク0

日本語 ログアウト

クラスタ2
クラスタ5
クラスタ8

分子をXとする

以下の問いについて、指定された日時までに解答しなさい。

答終了後

を閉じると、メモの一部が保存されない場合があります。解答後、1分ほ

から再生ストローク0。なお、メモが不十分であっても評価に影響はし

ませんが、リコメンドは必ず答えるようにしてください。

2 () を次のように約束します。ただし、アヒイには整数が入ります。

$$\left\langle \frac{ア}{イ} \right\rangle = \frac{1}{ア+イ}$$

たとえば、

$$\left\langle \frac{3}{4} \right\rangle = \frac{4}{3+4} = \frac{4}{7}$$

となります。

$\left\langle \left\langle \frac{\square}{5} \right\rangle + 1 \right\rangle = \frac{2}{5}$ のとき、 \square にあてはまる整数を求めなさい。

【豊島岡女子学園中学2021年改題】

Handwritten solution:

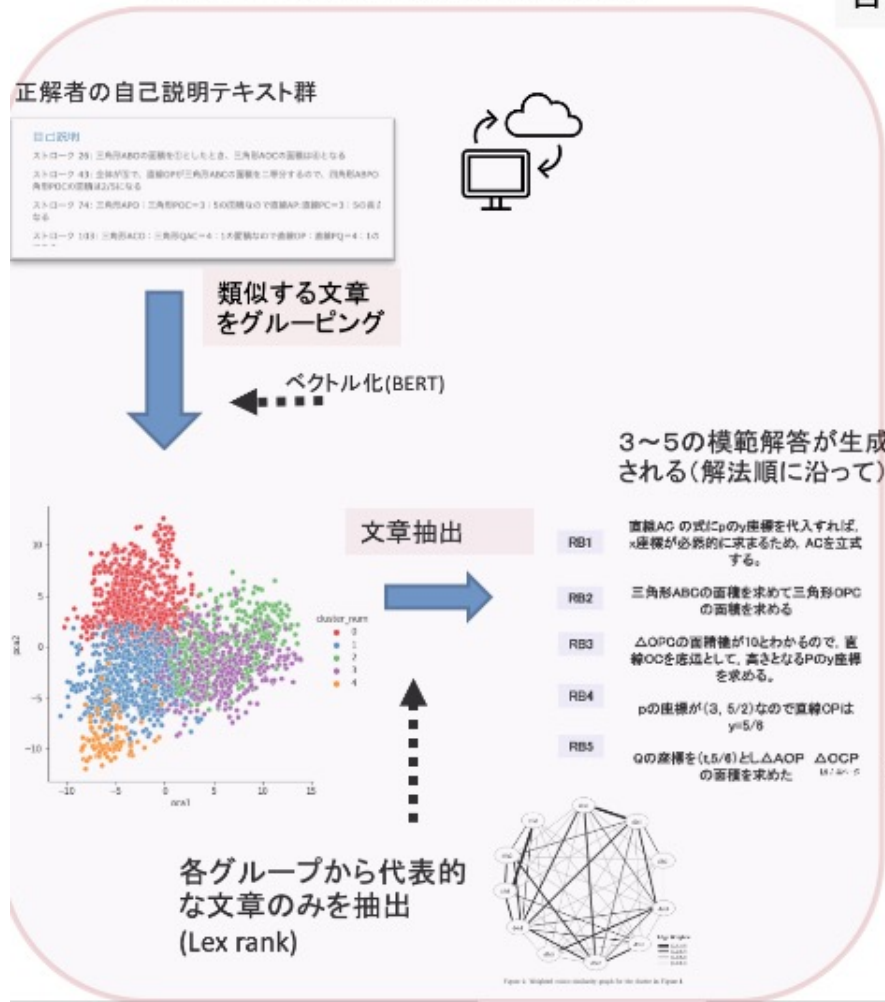
$$\begin{aligned} & \frac{x}{5} = \frac{1}{5+x} \\ & x(5+x) = 5 \\ & 5x + x^2 = 5 \\ & x^2 + 5x - 5 = 0 \\ & x = \frac{-5 \pm \sqrt{25 + 20}}{2} = \frac{-5 \pm \sqrt{45}}{2} \end{aligned}$$

Since x must be an integer, we check values of x that satisfy the equation. From the handwritten work, it appears the student is testing values and finding that x=2 works.

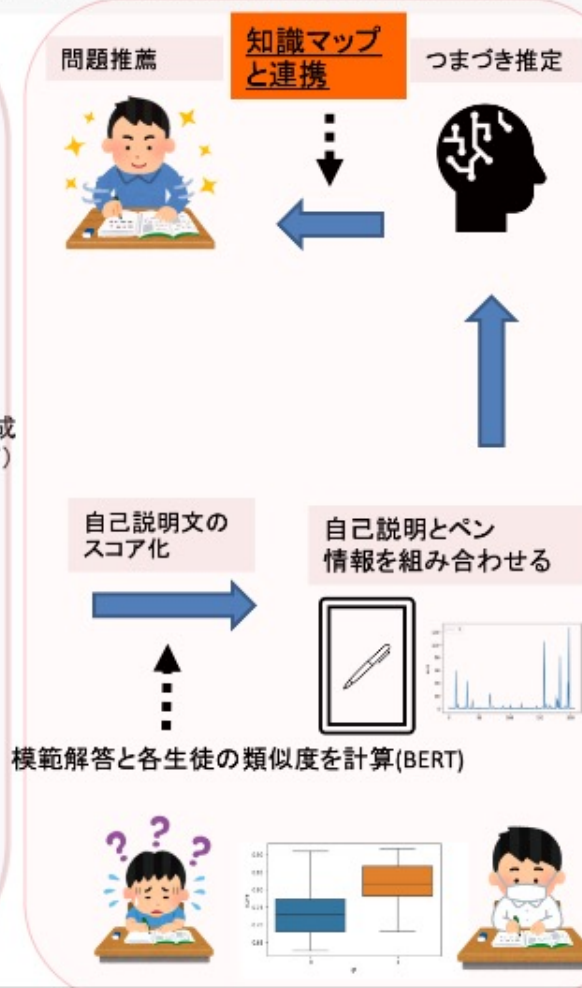
$$\left\langle \left\langle \frac{2}{5} \right\rangle + 1 \right\rangle = \frac{2}{5}$$

自己説明分析とつまづきポイント自動判定

(1)全体:
自己説明文章から、模範解答文自动生成 (ASSG)



(2)個人:
自己説明スコア+行動ログからつまづき推定



Ryosuke Nakamoto, Brendan Flanagan, Kyosuke Takami, Yiling Dai, Hiroaki Ogata, Identifying Students' Stuck Points Using Self-Explanations and Pen Stroke Data in a Mathematics Quiz, ICCE 2021, 2021.11.22-26.

自己説明分析とつまづきポイント自動判定

再生
1倍速(通常) ▾
一時停止
再生ストローク0
AI先生の採点を始める

採点結果を非表示

(1) AI先生が検出したあなたのつまづきポイント：
「答えに係る単元（例: くふうして行う数の計算、さまざまな因数分解など）」

(2) みんなの自己説明と解法ステップ

この問題を解くために、3つのステップに分けて解いた人が多かったようです。以下の表はクラスが各ステップをどのような公式や手法で解いたかをみんなの自己説明文章から推測し掲載しています。今後の学習の参考にしてください。

自己説明文章とストロークの解析から、あなたのつまづきポイントは第3ステップであると判断しました。

解法	みんなの自己説明	あなたの自己説明	AI予測
1step	同類でまとめる	同類でまとめる	○
2step	まとめた同類を計算する	まとめた同類を計算する	○
3step	答えが出ました	答えが出ました	✔ つまづき検出ポイント

Ryosuke Nakamoto, Brendan Flanagan, Kyosuke Takami, Yiling Dai, Hiroaki Ogata, Identifying Students' Stuck Points Using Self-Explanations and Pen Stroke Data in a Mathematics Quiz, ICCE 2021, 2021.11.22-26.

人とAIの共進化

自己説明できている

①

自己説明
 ストローク 514: 三角形ABCの面積は $10 \times 4 \div 2 = 10$
 ストローク 530: 線OPは三角形ABCを二等分するから、三角形OPCの面積は $20 \div 2 = 10$
 ストローク 546: 点Pの座標を $(a, -1/2a+4)$ とする
 ストローク 569: $8 \times -1/2 + 4 = 2 = 10$ の方程式を解くと $a=3$ 、よって点Pの座標は $(3, 5/2)$
 ストローク 602: 線OPの式は $y=5/6x$
 ストローク 610: 点Qの座標を $(b, 5/6b)$ とする
 ストローク 656: 三角形ABOは三角形AQCだから三角形AQCの面積は $2 \times 4 = 4$ 、三角形AOCの面積は $8 \times 4 \div 16 = 2$ 、よってAQCOの面積は、 $4 + 2 = 6$
 ストローク 695: 三角形AQCの面積は $4 \times b \div 2$ 、三角形OCQの面積は、 $8 \times 5/6b \div 2$ 、これらの合計が20だから $b=15/4$ 、よって点Qの座標は $(15/4, 25/8)$ 。

②

自己説明
 ストローク 34: 三角形ABCの面積を求めた。
 ストローク 60: 三角形ABOの面積を求めた。
 ストローク 182: 点Pの座標を求め、直線OPの式を求めた。
 ストローク 201: Qの座標を文字で表した。
 ストローク 291: kの値を求めた。
 ストローク 316: kの値を代入し、答えが出た。

問題の後半で計算間違い

自己説明により
 →論理的な思考能力や表現力、メタ認知能力の向上
 →生徒どうしの自己説明を比較させることで学習理解度が向上

自己説明の大量のデータにより
 →つまづき箇所の検出精度の向上
 →AI問題推薦と説明生成の精度を向上

問題に正解

他者の自己説明を参照

問題に不正解

③

自己説明
 ストローク 125: 一回書き直した
 ストローク 149: Pのy座標をtで置いた
 ストローク 197: tを求めた

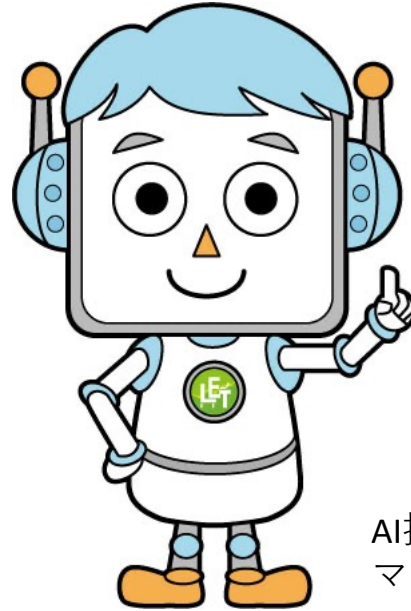
④

自己説明
 ストローク 178: qのx座標をkとおき、y座標を $5/4k$ とした。

基礎的な公式不理解

自己説明うまくできていない

- ご清聴ありがとうございました。



AI推薦
マスコットキャラ

本研究はNEDOの支援を受けて実施しております。
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業」
「説明できるAIの基盤技術開発／学習者の自己説明とAIの説明生成の共進化による教育学習支援環境EXAITの研究開発」
2020年7月～2022年2月