

リレーショナルデータモデル学習支援のためのSVGを用いた解説表示機能の開発と運用評価

藤間 黄純¹ 岡田 信一郎²

概要：膨大なデータの調査や管理が必要とされる現代の情報社会では、データベースについて学習することの重要性は高いといえる。筆者らは、現代のデータベースの理論的基礎であるリレーショナルデータモデルについて習得するための「リレーショナルデータモデル演習システム」の開発と改良を行ってきた。本システムは、8種のリレーショナル代数問題と3種の正規化問題の自動生成と学習者解の正誤判定の機能を備え、多くの演習問題による学習を可能としている。また本システムは、本学情報工学科の2年生を対象に開講している「データベース論」の授業で運用評価を行ってきた。運用後にアンケートを行ったところ、正規化問題を難しいと感じる学習者から問題に関する解説が欲しいという意見が寄せられていた。そこで筆者らは、学習者の理解度向上のために、自動生成された個々の問題に合わせた解説をSVGを用いて生成、表示する機能の開発を行った。解説表示機能を実装した本システムを2021年度の「データベース論」の授業で運用したため、その結果を報告する。

Development and Evaluation of explanation display function using SVG for Learning Relational data model

1. はじめに

膨大なデータの調査や管理が必要とされる現代の情報社会では、データベースについて学習することの重要性は高いといえる。本研究室では、現代のデータベースの理論的基礎となっているリレーショナルデータモデルについて理解を深めるための「リレーショナルデータモデル演習システム」[1]を開発し、本学の情報工学科2年生を対象に開講されている「データベース論」の授業で運用と評価を行ってきた。本システムは、8種のリレーショナル代数問題と3種の正規化問題の自動生成と学習者解の正誤判定機能を備えており、多くの演習問題を繰り返し解くことによる学習が可能である。

データベース教育に関する関連研究としては、「情報システムにおけるデータベースの仕組みを学ぶ共通教科「情報」の授業の開発と評価」[2]などがあるが、本システムはデータベース初学者向けのシステムであるが、情報分野を

専門とする大学生を対象としており、リレーショナルデータモデルの理論を習得させ、技術者として活用できるまで習熟させることを目的としている。

評価実験の結果 [3]、本システム導入後も正規化問題を難しいと感じる学習者から問題に関する解説が欲しいという意見が寄せられていた。そこで今回筆者らは、学習者の理解度向上のために、自動生成された個々の問題に合わせた解説をSVGを用いて生成、表示する機能を提案し、試作した [4]。XMLに基づくマークアップ言語を使用した教材の関連研究としては、数式をコンピュータ上で記述するためのMathMLに関する「MathMLにおける一意な表現形式記述への変換ツールの開発」や「数式記述言語 MathMLの表現形式から意味形式への変換およびオンライン小テスト作問への応用」[5] [6]などがある。この研究は数式用に作られたMathMLを利用するものである。一方、筆者らの解説生成機能は、汎用のSVGを使った教材作成の試みとなる。今回は解説表示機能を実装した本システムを2021年度の「データベース論」の授業で運用したため、学習履歴をもとに評価を行った結果について述べる。

¹ 茨城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

² 茨城大学工学部
Faculty of Engineering, Ibaraki University

2. リレーショナルデータモデル演習システム

2.1 概要

本システムは、集合論に基づいて考案されたリレーショナルデータモデルの学習を支援するために開発されたデータベース初学者向けシステムである。「リレーショナル代数」と「正規化」に関する問題の自動生成機能と学習者解の自動判定機能を備えており、学習者はこれらの問題を繰り返し解くことでリレーショナルデータモデルについて理解を深めることができる。本システムはクライアントアプリケーションとサーバアプリケーションから構成されている。クライアント側は問題の生成と表示、解答の入力及び正誤判定を担当し、サーバ側は学習者の学習履歴と成績の管理を担当している。クライアントアプリケーションは JavaFX アプリケーションとして作成されており、GUI には JavaFX の標準コントロールを用いている。アプリケーションの実行画面例を図 1 に示す。

2.2 機能

- 問題生成機能

「リレーショナル代数」には「和演算」「差演算」「商演算」「共通演算」「直積演算」「射影演算」「選択演算」「結合演算」の 8 つの学習項目が、「正規化」には「第 2 正規化」「第 3 正規化」「ボイスコード正規化」の 3 つの学習項目がある。

- 問題表示機能

クライアントアプリケーション画面に、問題生成機能で生成した問題を表示する機能である。問題文を表示するために Label コントロールを、問題リレーションを表示するために TableView コントロールを使用している。

- 解答入力機能

学習者が解答リレーションを入力するための機能であり、ドロップダウンリストかキーボードで入力する。

- 正誤判定機能

学習者が入力した解答リレーションと正解例リレーションを比較して正解かどうか判定する機能である。

- 正解表示機能

正誤判定機能による結果と正解例リレーションを表示する機能である。

- 学習履歴管理機能

学習者が解答した問題の履歴を学習履歴として管理、表示する機能である。学習履歴はデータベースに保管されていて、必要に応じて詳細を確認することができる。

- 成績管理機能

学習者の成績を管理、表示するための機能である。学

習項目ごとに「出題回数」「正解数」「加算得点」「累積得点」が表示される。トピックごとに学習間隔に応じた加算得点の累積得点が 3 点を超えると合格となる。

2.3 これまでの運用における要望

本システムは、本学情報工学科 2 年生を対象に開講されている「データベース論」の授業で演習課題として運用されている。学習者は本システムに関する説明を受けた後、自由時間に本システムを利用して学習を行う。演習課題の締め切りは提示日から 4 週間程度であり、期間内に全ての学習項目に合格することが求められている。運用後には本システムを利用した学生にアンケートを取り、システムの改良に役立っている。令和元年度に行った評価実験では、アンケート設問「その他、こうした方がいい、こうして欲しいと思う所、欲しい機能はありますか？」に対して、「なぜその何次正規形になっているかの解説が欲しかった。」「正規化の問題で、候補キーを与えたほうが良い。」といった意見が寄せられた。また、不合格のトピックがあった学習者から「正規化が正答できなかった」という回答があった。

3. 解説表示機能

3.1 目的

本システムは学習者の解答入力に対して自動で正誤判定を行うことが可能であるが、昨年度までの正解表示画面では正解か不正解かという判定結果と正解例リレーションが表示されるのみであった。学習者は、正解例と自身の解答を比較し不正解の原因を理解する必要があった。よって筆者らは、学習者の理解度向上を目的として、自動生成された個々の問題に合わせた解説を生成し、表示する機能の試作を行うこととした。解説は SVG を用いることとした。今回 SVG を用いた理由としては、HTML はテキストに意味を持たせて装飾は可能であるが、図形などが苦手で簡単なデザインしかできないこと。PNG や JPEG は動的な生成には向いていないこと。PDF は生成後に編集できず、アプリケーションに組み込みにくいことなどが挙げられる。SVG は XML をベースとした 2 次元ベクタ形式の画像ファイル形式の 1 つであり、XML に基づくマークアップ言語である。画像を図形の集合として表現するベクタ形成であるため拡大、縮小しても品質を損なうことがなく、レイヤ機能を有するため写真や挿絵などのビットマップデータと共存させることもできる。また、テキストデータとして、JavaScript で操作することも可能であるため、自動生成された問題に合わせた解説を生成するのに適切であると判断した。

3.2 開発方針

自動生成された個々の問題に合わせた解説を表示することで、学習者が各トピックについて理解することの手助

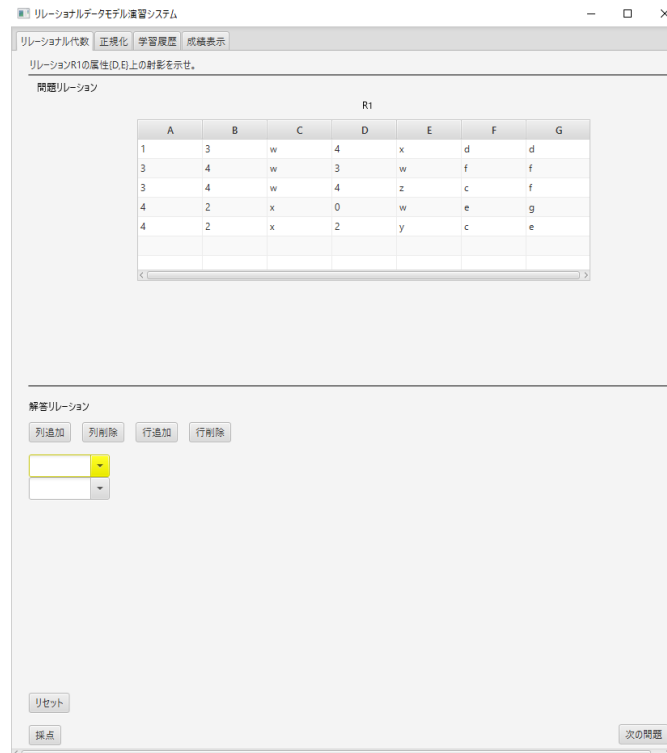


図 1 実行画面例

けとなることを目指す。本システムは、「データベース論」の教科書 [7] や講義資料を参考に問題を解くことを想定しているため、講義資料の記述に合わせて、問題を解く際に注目すべきタプルや属性の強調表示や演算前と演算後のリレーションの関係の表示を中心に解説を生成することとした。

解説表示機能を実装するにあたって、SVG 形式の解説を表示するために WebView コンポーネント [8] を用いることとした。WebView コンポーネントは JavaFX の UI コンポーネントの 1 つであり、HTML5 の機能をサポートしているため、SVG タグ要素の描画が可能である。

3.3 解説生成

生成する解説の SVG データの大まかな構造は図 2 のようになっている。一番外側の要素は svg 要素であり、画像データとしてのサイズ定義などの設定をしている。リレーションは問題リレーションと正解列リレーションのように複数存在するため、それぞれを g 要素を用いてグループ化している。グループ化しておくことで、リレーション単位での検索や操作が可能となっている。リレーションの属性名やセルは rect 要素と text 要素を組み合わせることで表現している。これらの要素もまた、g 要素でグループ化しているため、属性名単位やセル単位での操作が可能である。defs 要素は解説要素として使用する矢印といった描画オブジェクトを定義しておくための要素である。グループ化したリレーションは原点座標を基準に描画した後、transform

属性を設定することで適切な位置になるよう移動している。リレーションとリレーションの関係性を示すための矢印などの要素は、グループ化してしまうと transform 属性と一緒に移動してしまい、表示が崩れるので、svg 要素の下に配置している。SVG 要素の生成には、Apache Batik の提供するライブラリ [9] を用いており、SVG を Document データとして生成し、それを HTML のコンテンツとして WebView コンポーネントに表示する。

4. システムによる学習の流れ

本システムにログインすると図 3 に示すように解答する問題を選択するダイアログが表示される。なお、問題トピック名を表示してしまうと最大正規形を答える問題の答えとなってしまうため、トピック名は表示していない。今年度より、学習間隔に応じた得点計算法を適用したため、トピックごとに前回の解答日時、加算得点、累積得点が表示されている。学習者は、全てのトピックにおいて学習間隔に応じて与えられる加算得点の累積得点が 3 点を超えるように学習しなければならない。

一覧からトピックを選択すると、選択したトピックに応じて自動生成された問題文と問題リレーションが表示される。表示される画面の例を図 4 に示す。赤枠部分が問題文表示エリアと問題リレーション表示エリアであり、青枠は解答入力エリアである。

学習者が解答を入力し、採点ボタンを押すと正誤判定が行われ、正誤判定画面 (図 5) が表示される。問題に対す

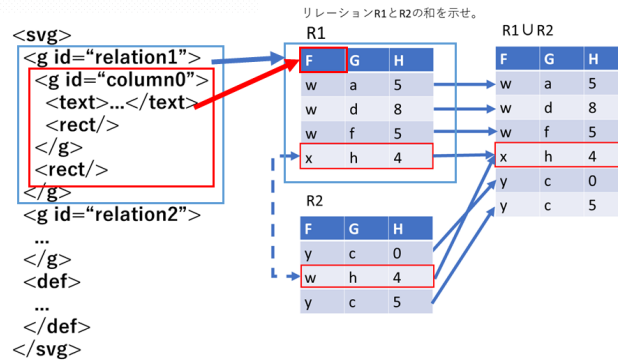


図 2 SVG データの構造



図 3 問題選択画面



図 5 解説表示前

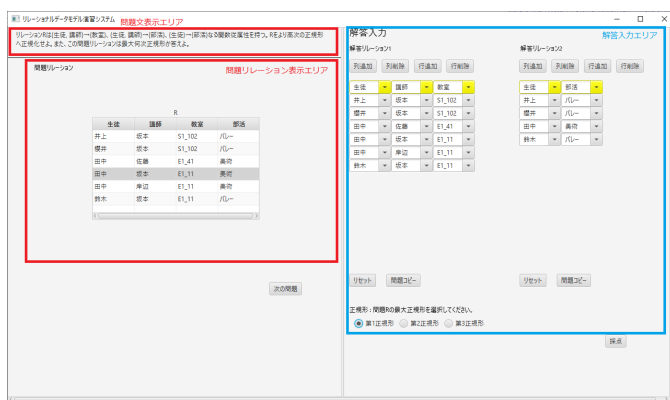


図 4 問題表示画面



図 6 解説表示後

る解説は初期状態では非表示であり、「表示」ボタンを押すことで表示されるようになっている。解説表示後の画面を図 6 に示す。正誤判定は学習履歴として保存されているため、学習者はいつでも学習履歴管理機能(図 7)を用いて確認可能である。学習者が学習履歴の一覧から問題を選択し、詳細ボタンを押すと正誤判定画面が表示される。正誤判定画面の次の問題ボタンが押されると、再度解答する問題を選択するダイアログが表示される。

4.1 トピックごとの解説

今回実装した解説生成機能で、問題トピックごとにどのような解説を表示するのか以下に述べる。試作段階では rect 要素と矢印など図形による解説が中心であったが、吹き出しによる注意すべき要点的説明やトピックに関する簡単な説明文を追加した。

履歴		
解答時刻	トピック	判定結果
2022/01/09 12:24:50	ボイスコード正規化	不正解
2022/01/09 12:24:12	第3正規化	不正解
2022/01/09 12:23:09	第2正規化	不正解
2022/01/09 12:22:24	商演算	不正解
2022/01/09 12:21:51	結合演算	不正解
2022/01/09 12:21:17	選択演算	不正解
2022/01/09 12:20:44	射影演算	不正解
2022/01/09 12:20:13	直積演算	不正解
2022/01/09 12:19:34	共通演算	不正解
2022/01/09 12:18:47	差演算	不正解
2022/01/09 12:18:07	和演算	不正解
2022/01/09 10:43:06	第2正規化	正解
2022/01/09 10:38:24	第3正規化	不正解
2022/01/09 10:30:57	和演算	正解
2021/11/14 17:56:12	和演算	不正解
2021/11/14 17:18:48	直積演算	不正解
2021/11/14 17:18:24	直積演算	不正解
2021/11/14 17:05:56	共通演算	不正解
2021/11/14 17:05:48	結合演算	不正解
2021/11/14 17:05:35	選択演算	不正解

図 7 学習履歴

4.1.1 リレーショナル代数

リレーショナルデータモデルではリレーションに対する演算として、4つの集合演算と4つのリレーショナル代数特有の演算を定義している。これらの演算によって、リレーショナルデータベースのデータを操作することが可能である。リレーショナル代数問題において、演算の対象となるリレーションをそれぞれ R_1, R_2 と表記する。

(1) 和集合演算

図 8 に和集合演算で表示する解説の例を示す。問題文は「リレーション R_1 と R_2 の和を示せ。」である。解説は図 8 のように、 R_1 と R_2 のタプルを比較し、重複タプルが存在したら rect 要素で強調表示するとともに矢印でどれとどれが重複しているのか視覚的に示している。吹き出しはマウスオーバーのイベントを検知して重複タプルは許されないといった内容のメッセージを表示する。

R1			R1∪R2		
A	B	C	A	B	C
0	w	c	0	w	c
3	x	f	3	x	f
4	w	c	3	y	e
7	z	d	4	w	c
			7	z	d

R2		
A	B	C
3	x	f
3	y	e
4	w	c

図 8 和集合演算例

(2) 差集合演算

図 9 に差集合演算で表示する解説の例を示す。問題文は「リレーション R_1 と R_2 の差を示せ。」である。解説は図 9 のように、 R_1 と R_2 のタプルを比較し、重複タプルが存

在したら rect 要素で強調表示するとともに矢印で視覚的に示している。吹き出しは R_2 に含まれているタプルであるといった内容のメッセージを表示する。

R1				R1-R2			
D	E	F	G	D	E	F	G
b	z	7	7	b	z	7	7
c	w	7	6	d	w	4	4
d	w	4	4				
d	z	6	6				

R2			
D	E	F	G
b	x	5	5
c	w	6	6
c	w	7	6
d	x	4	7
d	z	5	6
d	z	6	6

図 9 差集合演算例

(3) 共通集合演算

図 10 に共通集合演算で表示する解説の例を示す。問題文は「リレーション R_1 と R_2 の集合共通演算の結果を示せ。」である。解説は図 10 のように、 R_1 と R_2 のタプルを比較し、重複タプルが存在したら rect 要素で強調表示するとともに矢印でどれとどれが重複しているのか視覚的に示している。吹き出しは R_1 と R_2 に含まれているタプルであるといった内容のメッセージを表示する。

R1				R1∩R2			
E	F	G	H	E	F	G	H
4	w	4	b	4	x	4	d
4	x	4	d	5	z	6	b
5	z	6	b	7	w	6	c
7	w	6	c	7	w	7	b
7	w	7	b				
7	x	4	c				

R2			
E	F	G	H
4	x	4	d
4	z	5	c
5	z	6	b
7	w	6	c
7	w	7	b
7	w	7	e

図 10 共通集合演算例

(4) 直積集合演算

図 11 に直積集合演算で表示する解説の例を示す。問題文は「リレーション R_1 と R_2 の直積を示せ。」である。解説は図 11 のように、演算後のリレーションのどの要素がどの R_1 のタプルと対応しているのか、また同様に R_2 のどのタプルが対応しているのか矢印及び吹き出しで表示している。

(5) 射影演算

図 12 に射影演算で表示する解説の例を示す。解説例での問題文は「リレーション R_1 の属性 A,B,C,E 上の射影を示せ。」であるが、指定される属性は問題によって異なっている。射影演算は、 R_1 の属性を指定してリレーションを縦方向に切り出す演算である。そのため解説は図 12 のように、切り出す属性を強調表示し、解答リレーションはこれらの

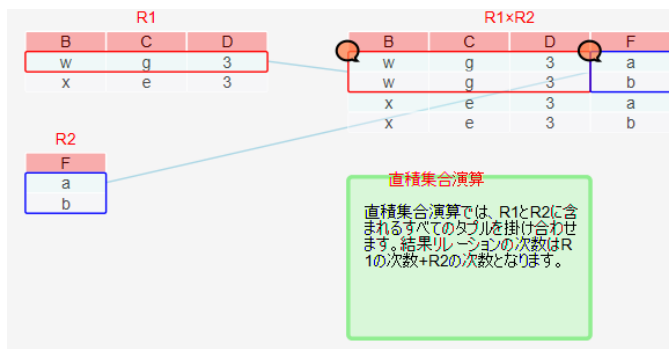


図 11 直積集合演算例

属性を合わせたリレーションであることを示している。

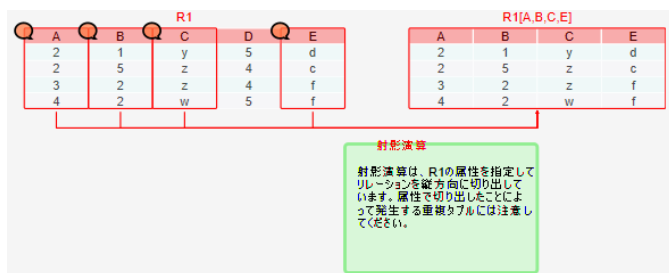


図 12 射影演算例

(6) 選択演算

図 13 に選択演算で表示する解説の例を示す。選択演算には、リレーションの属性と属性を比較するパターンと属性と固定値を比較するパターンがある。解説は図 13 のように、条件を満たしているタプルを強調表示し、演算後のリレーションの関係を矢印で表示している。

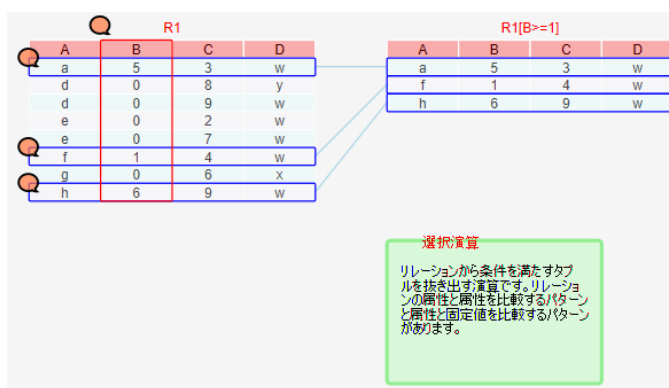


図 13 選択演算例

(7) 結合演算

図 14 に結合演算で表示する解説の例を示す。解説は図 14 のように、結合属性として指定された R_1 の属性と R_2 の属性のうち条件を満たしている要素を強調表示している。結合演算では、指定された R_1 と R_2 の属性において条件を満たしているタプル同士を繋げることを吹き出しで説明している。

(8) 商演算

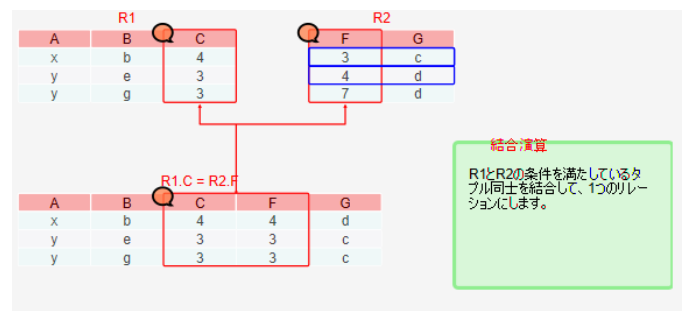


図 14 結合演算例

図 15 に商演算で表示する解説の例を示す。解説は図 15 のように、 R_2 の属性の値を組として条件を満たしている R_1 のタプルを強調表示し、演算後のリレーションのどのタプルに対応しているかを矢印で表示している。

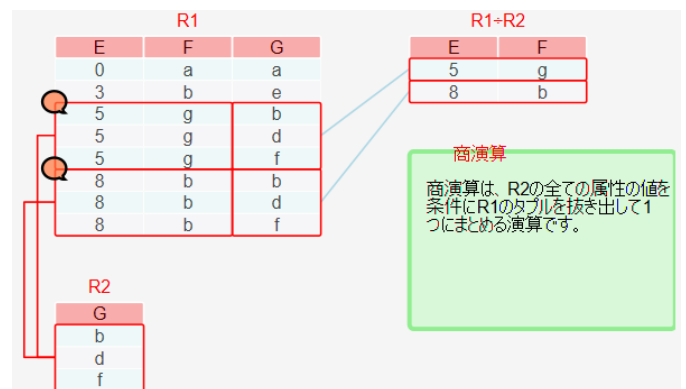


図 15 商演算例

4.1.2 正規化

正規化問題を解くには、リレーションがどのような候補キーを持っているか理解することが重要となる。候補キーとは、その値の組がリレーションのタプルを唯一に識別できる属性の組のうち、1 つでも欠けると一意識別能力を持たなくなる属性の組のことである。候補キーはリレーションに少なくとも 1 つ存在し、2 つ以上の属性の組となる場合もある。本システムでは、まず解答リレーション R_1 , R_2 を生成し、それらを結合することで問題リレーションを生成している。2 つの解答リレーションをそれぞれ問題の条件に合わせた関数従属性が存在するように要素が設定されており [1], 結合条件に対応する属性を持っている。またこのとき、問題リレーションと解答リレーションの間には、情報無損失が成り立っている。

それぞれ図 16, 図 17, 図 18 に第 2 正規化, 第 3 正規化, ボイスコード正規化で表示する解説の例を示す。

(1) 第 2 正規化

この問題には第 2 正規形違反となる部分関数従属が存在している。矢印と吹き出しで候補キーの一部からの部分関数従属の存在と、それを取り除くことで第 2 正規形に正規化が可能であることを解説している。

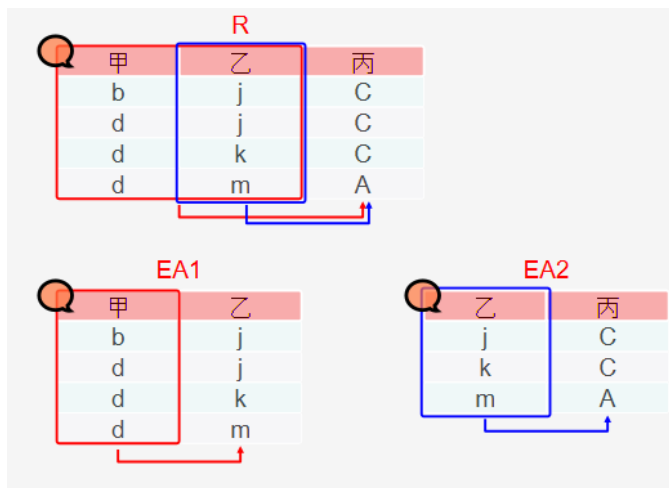


図 16 第 2 正規化例

(2) 第 3 正規化

この問題には、第 3 正規形違反となる推移関数従属性が存在している。矢印と吹き出しで推移的関数従属性の存在と、それを取り除くことでより高次の正規形へ正規化できることを解説している。

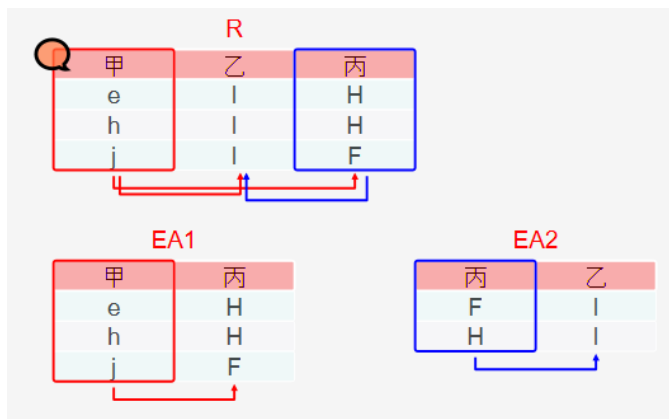


図 17 第 3 正規化例

(3) ボイスコード正規化

非キー属性から候補キー属性に関数従属性があり、これを取り除くことでボイスコード正規形違反を解消できることを矢印と吹き出しで解説している。

5. 運用評価

解説表示機能を実装した本システムを 2021 年度の「データベース論」の授業で運用した。対象は本学情報工学科の「データベース論」を受講している学生であり、本システムは演習課題として提示された。課題の提示日は 2021 年 12 月 3 日であり、締切日は 12 月 24 日である。対象となる学生は、授業内にリレーショナルデータモデルと本システムについて説明を受けている。本システムを使用した学生のうち、同意を得られた学生 56 名が期間内に本システムを使用した履歴を学習履歴データとして収集した。アン

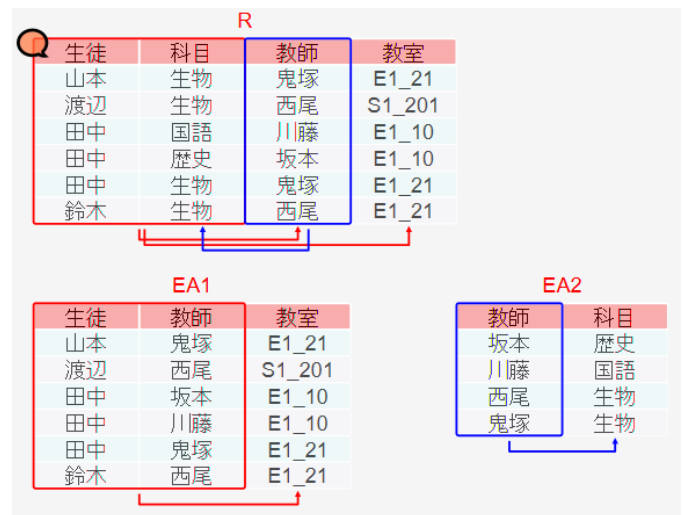


図 18 BC 正規化例

ケートに関しては、授業スケジュールの関係で回収が間に合わなかったため、発表時に補足説明する。

6. 結果

運用期間に不具合の報告はなく、機能は正常に動作したと思われる。学習履歴の集計結果を 1 に示す。同意を得られた学生 56 名の学習履歴を集計したが、全トピックに合格することのできた学生は 51 名、できなかった学生は 5 名いた。そのうち、明らかに学習回数の足りない学習者は 2 名であった。

一度でも解説を表示したことがある学習者は 44 名であり、約 8 割の学習者が解説を表示していた。トピックごとの表示率は、代数演算では和演算が最も高いという結果になった。正規化問題は全体的に表示率が高く、総学習回数も多かった。表示率は、一度でも表示した人数/全学習者 (56 名) で算出した。学習者ごとの解説の表示回数には偏りがあり、全トピックで表示している学習者と和演算及び第二正規化問題で一度表示した以外に表示していない学習者がいた。代数問題では同一トピックで複数回表示されることは少なかったが、正規化問題では同一トピックで複数回解説を表示している学習者がいた。学習者のうち、解説を表示した回数で最も多かったのは 37 回であった。なお、解説が表示された総数は 430 であった。

7. 考察

解説表示機能を実装した本システムを「データベース論」の授業で運用した結果、解説を表示した学習者が 44 名、解説を一度も表示しなかった学習者は 12 名であった。和演算と第 2 正規化の表示率が他のトピックより高くなっているが、代数では和演算が、正規化では第 2 正規化がトピックの一覧の先頭になっているためであると考えられる。解説表示回数が 2 回以下の学習者は 9 名であり、一度も表示しなかった 12 名と合わせて 21 名の学習者が解

表 1 学習履歴の集計結果

トピック名	表示数	表示者数 (人)	表示率 (%)	総学習回数
和演算	40	28	50	326
差演算	26	21	37.5	340
共通演算	17	14	25	314
直積演算	20	15	26.8	302
射影演算	27	20	35.7	307
選択演算	18	14	25	309
結合演算	23	17	30.4	312
商演算	35	17	30.4	352
第二正規化	93	34	60.7	543
第三正規化	61	27	48.2	438
ボイスコード正規化	70	26	46.4	522

説を必要としなかった可能性がある。なぜ解説を表示しなかったのかに関しては、アンケートの設問の回答を参考に解析を進めたい。

8. まとめ

本研究では学習者の理解度向上のために、自動生成された個々の問題に合わせた解説を SVG を用いて生成、表示する機能の開発をリレーショナルデータモデル演習システムに対して行った。解説表示機能を実装した本システムを 2021 年度の「データベース論」の授業で運用し、問題に対応した解説を生成して提示することができた。学習履歴を解析した結果、6 割程度の学習者が解説表示機能を利用していった。代数問題に比べて正規化問題の解説を表示した学習者の割合が高くなっており、正規化問題を難しいと感じている学習者が解説を表示していたと思われる。また、正規化問題の解説を何度も表示していた学習者がいたことから、様々なパターンの解説を確認していたと考えられる。解説が一つのパターンのみである場合には、一度確認すればよいので、SVG を使用して自動生成された問題に合わせて動的に解説を生成することは実用性があると思われる。今後は解説表示機能に関するアンケートの回答を参考に、機能の改善を行っていきたいと考えている。

参考文献

[1] 伊藤豪, 岡田信一郎, “リレーショナルデータモデル演習システムの試作と評価,” 2014 年電子情報通信学会総合大会, D-15-7(2014).

[2] 白井詩沙香, 長瀧寛之, 竹中一平, 武本康宏, 田邊則彦, 兼宗進, “情報システムにおけるデータベースの仕組みを学ぶ共通教科「情報」の授業の開発と評価,” 情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ, Vol.5, No.3, pp.23-34, (Oct.2019).

[3] 岡田信一郎, 阿部孝昭, 山縣大輔, “リレーショナルデータモデル演習システムのための正規化問題生成機能の開発と運用評価,” 情報処理学会研究報告, Vol.2017-CE-138, No.17, 2017 年 2 月.

[4] 藤間黄純, 岡田信一郎, “リレーショナルデータモデル学習支援のための SVG,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-CE-159, No.13, 2021 年 3 月.

[5] 八巻澄奈, 浅本紀子, “MathML における一意な表現形

式記述への変換ツールの開発,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-CE-161, No.2, 2021 年 10 月.

[6] 内橋夏実, 浅本紀子, “数式記述言語 MathML の表現形式から意味形式への変換およびオンライン小テスト作問への応用,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-CE-161, No.3, 2021 年 10 月.

[7] 増永良文: データベース入門 [第 2 版], サイエンス社 (2021)

[8] 4 アプリケーション・シーンへの WebView コンポーネントの追加 (リリース 8) 入手先 <<https://docs.oracle.com/javase/jp/8/javafx/embedded-browser-tutorial/add-browser.htm>> (2022 年 1 月閲覧)

[9] Apache™ Batik SVG Toolkit 入手先 <<https://xmlgraphics.apache.org/batik/>> (2021 年 2 月閲覧).

[10] 田島新, 岡田信一郎, “リレーショナルデータモデル演習システムのための正規化問題生成機能の改良,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-CE-159, No.18, 2021 年 3 月.

[11] 増永良文: リレーショナルデータベース入門 [第 3 版]—データモデル・SQL・管理システム・NoSQL—, サイエンス社 (2017).