

学習間隔に応じた得点計算法の運用評価 -SQL 実習支援システムへの適用-

石川 大輔¹ 岡田 信一郎²

概要: 心理学の分野では間隔を空けない反復学習よりも間隔を空けた反復学習のほうが効果が高いとされている。そこで筆者らは、学習者に間隔を空けた反復学習を促すため、学習間隔に応じた得点計算法を考案し実験を繰り返してきた。また、筆者らはデータベース操作言語である SQL を反復学習するための「SQL 実習支援システム」の開発・改良・運用も行っている。このシステムの学習履歴を調査したところ、学習者が短い間隔で学習を繰り返していることが分かった。そこで今回は、学習間隔に応じた得点計算法を SQL 実習支援システムへ適用し、動作を検証した。また、動作結果やアンケート結果をもとに考察を行う。

Evaluation of the point calculation method according to the learning interval - Application to the SQL exercise system -

ISHIKAWA DAISUKE¹ OKADA SHIN-ICHIROU²

1. はじめに

心理学の分野では間隔を空けない反復学習よりも間隔を空けた反復学習のほうが学習効果が高いとされている。しかし、学習者は間隔を空けずに反復学習を行う傾向にあり、学習者の間隔を空けた反復学習を評価するような学習システムの例は多くはない。そこで、谷口らは効果的な反復学習を促す得点計算法を考案し、この得点計算法を導入した学習システムを作成した [1]。本得点計算法は、学習間隔が 1 日程度の中期的な反復学習を評価するものであり、得点計算法を導入したシステムを使用した実験により、実際に学習効果が向上することが確認されている。一方で、本得点計算法を導入したシステムでは、学習期間内に学習を終えることができない学習者が多く存在した。この問題を解決するため、日置らは得点配分を調整することで学習効果を落とすことなく学習完了率を上げることに成功した [2]。

関連する研究として、分散学習または分散効果の学習支援システムへの適用には水野 [3] による英単語、漢字、化学記号を学習対象とした再活性化説に基く事例、松浦 [4] による物理基礎教育を対象とした事例がある。それらに対し筆者らの得点計算法は、一般語の学習を対象に 1 日程度の中期的な学習間隔を促すこと、実際の学習間隔の決定は学習者自身の判断に委ねられている点を特徴とする。

また、筆者らはデータベース操作言語である SQL を反復学習するための「SQL 実習支援システム」の開発・改良・運用も行っている [5][6]。SQL はデータベースを操作するための言語であり、情報システムを構築するためには習得が欠かせない。本システムはその学習を支援する目的で開発され、現在本学の「データベース論」の講義で課題として実際に使用されている。本システムは SQL を効率よく学習するために、問題を解く形式で SQL 文を入力実行し、実際に SQL の動作を確認しながら学習することができるよう設計されている。本システムの特徴としては、問題の作成、正誤判定を可能な限り自動で行うことが挙げられる。これにより、指導者の問題作成、正誤判定に掛ける負担が軽減される。学習者はその場で解答の正誤がわかり、問題

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

の追加を待つ必要がないため正解するまで繰り返し学習を行うことができる。

データベースを対象とした学習支援システムには長瀧らの sAccess[7] の事例があり、高校生を主な対象とし、視覚的に理解しやすいことを特徴としている。それに対し筆者らの SQL 実習支援システムは、SQL に習熟した情報技術者を育成するための実習環境であり、効果的な反復学習の実現を技術的な目標とした改良を続けている点に特徴がある。

SQL 実習支援システムの学習履歴を調査したところ、学習者が短い間隔で学習を繰り返していることが分かった。本稿の冒頭で述べたように、反復学習では間隔を空けて学習を繰り返す方が学習効率が高いとされている。そこで、このシステムに本得点計算法を導入し、学習者に間隔を空けた反復学習を促すことにした。

本稿では学習間隔に応じた得点計算法を SQL 実習支援システムに導入し、運用結果をもとに考察を行う。また、その考察をもとに今後の方針についてまとめる。

2. 学習間隔に応じた得点計算法について

2.1 想定する学習

本得点計算法は反復学習を行う学習システムにおいて使用することを想定して考案されたものである。この学習システムでは学習項目ごとに問題が出題される。学習者は出題された問題に解答し、その結果に応じて得点を得る。そのようにして得た得点が一定の基準点を超えたとき、その学習項目における学習が完了したと判定される。

2.2 学習間隔に応じた得点計算法

先に述べた様な学習システムにおいて学習者は間隔を空けない反復学習をする傾向にある。そこで谷口らは効果的な反復学習を促す得点計算法を考案した。これは、同じ学習項目の繰り返しにおいて前回の学習からの経過日数に応じ、問題解答時に得られる得点が増加するものである。その得点の変化を表すグラフを図 1 に示す。まず、前回の学習から 1 日の間では得られる得点が経過日数に比例して最大 1.0 点まで増加していく。次に、学習間隔が 1 日から 3 日の間では得られる得点は 1.0 点で一定となる。そして、学習間隔が 3 日を超えると得られる得点は減少して行き、7 日以降は 0.0 点となる。

学習者が問題に正解したとき図 1 によって算出された得点を得られ、その得点は学習項目ごとに累積していく。これを累積ポイントと呼ぶ。図 2 はある学習項目における累積ポイントの変化をグラフ化したものである。図 2 のように問題に正解したときに学習間隔に応じた得点が加算され、累積ポイントが一定の基準点（ここでは 3.0 点となっている）を超えるとその学習項目の学習は完了したと判定される。学習者は基準点を超えるまでその学習項目の学習

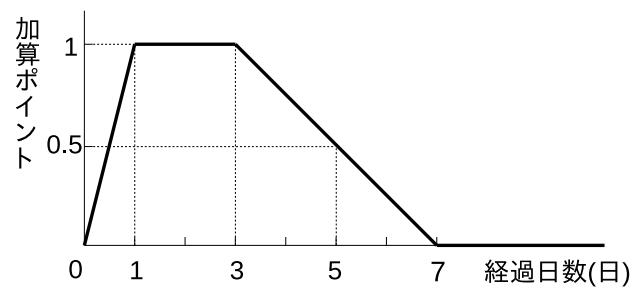


図 1 加算ポイントの変化

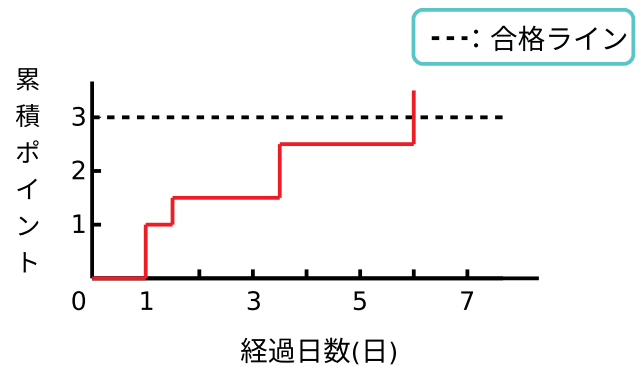


図 2 累積ポイントのグラフ

を自由に行うことができる。

3. SQL 実習支援システムについて

3.1 システム概要

SQL 実習支援システムは、データベース操作言語である SQL の学習のために作成された学習支援システムである。本システムでは、SQL の文法に関する基礎的な問題が多数出題され、それらの問題を繰り返し学習することで SQL に対する理解を深めることができる。出題される問題は学習者の理解状況に合わせて決定され、問題は自動生成される。学習者は解答として SQL 文を入力、実行することが可能であり、解答の正誤判定はシステムが自動で行う。このため、指導者の問題作成及び採点にかかる負担を軽減することができる。

また、本システムは JavaFX アプリケーションとして実装されており、アプリケーションをダウンロードすることで学習者個人が所有するノート PC で学習を行うことができる。これにより、学習者は自らのペースで繰り返し学習を行うことができる。図 3 に本システムの画面例を示す。

3.2 学習項目間の包含関係

本システムでは効率よく SQL の学習を進めるため、学習項目間の包含関係に着目し総出題件数の削減を行っている。例えば SQL では

(1) SELECT 種類 AS 種別 FROM 寿司;



図 3 SQL 実習支援システム

- (2) SELECT 種類 FROM 野菜 GROUP BY 種類;
(3) SELECT 母星 AS 星 FROM 衛星 GROUP BY 母星;
のような文を記述することができる。

この例では、AS と GROUP BY の構文を使用している。しかし、これらの構文はすべてそれ単体では使用することはできず、SELECT FROM の構文と併用する必要がある。よって、(1) を学習した場合は SELECT FROM の構文と AS の構文を、(2) を学習した場合は SELECT FROM の構文と GROUP BY の構文を同時に学習していることになる。さらに、(3) を学習した場合は SELECT FROM の構文と AS の構文、GROUP BY の構文すべてを学習していることになる。

すなわち、AS や GROUP BY の構文を学習する場合は必ず SELECT FROM の構文も学習することになる。これは、SELECT FROM の構文が AS や GROUP BY の構文に包含されることを示しており、このような関係は SQL の多くの構文に見られる。

本システムでは使用する SQL の構文ごとに学習内容を学習項目にまとめている。例えば、(1) の例は「SELECT FROM AS」、(2) の例は「SELECT FROM GROUP BY」、(3) の例は「SELECT FROM AS GROUP BY」となる。また、本システムには「SELECT FROM」という学習項目が存在する。構文の包含関係の点からこれらの学習項目

を見た際、先にあげた 3 つの学習項目すべてに「SELECT FROM」が包含されていると言える。これが、学習項目間の包含関係という考え方である。

よって、「SELECT FROM」の学習項目に 1 回は正解する必要があるものの、2 回目以降の学習は学習項目間の包含関係を利用し「SELECT FROM AS」や「SELECT FROM GROUP BY」などの学習項目の学習を「SELECT FROM」の得点計算の範囲に含めることで代用することが可能である。

このようにして、学習項目間の包含関係を利用し各学習項目の過剰な繰り返し学習を削減することで総出題件数の削減を行っている。過去に高橋らが行った実験では、本手法導入前である 2015 年度と比較して 2016 年度で 29%、2017 年度で 26.2% の一人あたりの出題数の削減に成功している。

4. 学習間隔に応じた得点計算法の SQL 実習支援システムへの導入

SQL 実習支援システムの学習履歴を調査したところ、学習者が短い間隔で学習を繰り返していることが分かった。図 4 は 2018 年度の運用結果から学習項目間の包含関係を考慮して集計した学習間隔の分布を示すグラフである。冒頭で述べたように、間隔を空けない反復学習よりも間隔を

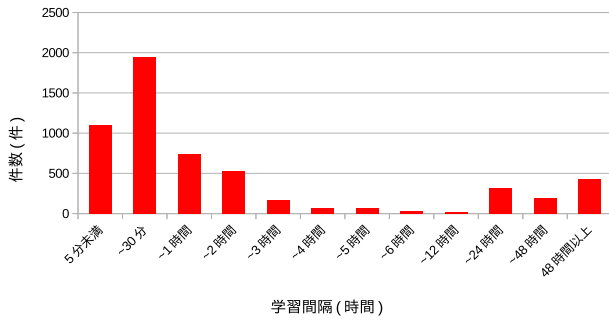


図 4 2018 年度における包含関係を考慮した学習間隔

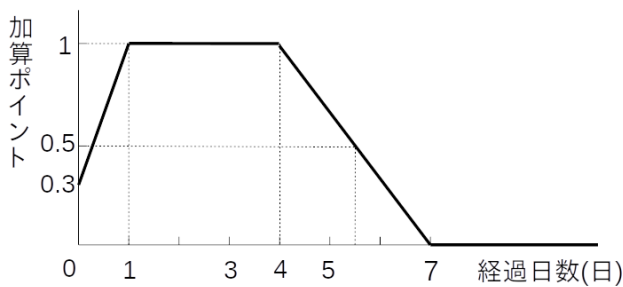


図 5 修正後の加算ポイントのグラフ

空けた反復学習のほうが学習効果が高いとされている。そこで、学習者の間隔を空けた反復学習を促すため学習間隔に応じた得点計算法を本システムに導入することとした。

筆者らは以前の研究 [8] において本計算法の導入のために学習項目の学習完了判定法及び得点計算法を決定した。さらに、学習パターンの検証を行い初期得点を 0.3 点とした際に本得点計算法を導入した場合でもすべての学習項目の学習を終えることができることを検証した。ただし、以前の研究では前回の学習から 1 日から 3 日で得られる得点を 1.0 としていたが演習日程の都合上 1 日から 4 日と変更した。これは、現在本システムが学内ネットワークからしか利用することができず、土日を挟んだ場合前回の学習から 3 日以上経過する可能性が高いと判断したためである。この修正を加えて本システムに導入する得点計算法のグラフを図 5 に示す。

5. システムの運用と結果

5.1 運用

これらの修正を加えた本得点計算法を SQL 実習支援システムに実装し、実際の授業の課題として運用評価を行った。

本システムの運用期間は 2019 年 10 月 9 日から 10 月 28 日の 19 日間とし、対象者は本学情報工学科で開講している「データベース論」の講義を受講している生徒とした。学習履歴や定期試験の得点率のデータについては、研究利用に同意した学生 81 名分のデータを得た。また、本得点計算法導入前のシステムと比較を行うため 2018 年の運用

表 1 2018 年度と 2019 年度の運用結果の比較

	2018 年度	2019 年度
学習者数 (人)	85	81
総問題数 (問)	6605	10457
一人あたりの出題数 (問)	77.7	129.1

表 2 定期試験における得点率の比較

成績評価	2018 年度	2019 年度
学習者の平均得点率	80.3	80.7

このシステムを使用した時間の合計はどのくらいですか？

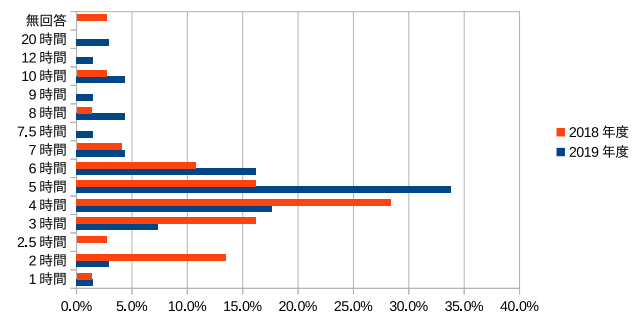


図 6 システム使用時間についてのアンケート結果

データも使用している。

システムの運用終了後にはデータの研究利用に同意した学習者を対象にアンケートを実施し、68 名からの回答を得た。

5.2 結果

表 1 は 2018 年度と 2019 年度の運用結果の比較である。一人あたりの出題数が 2018 年度の 77.7 問から 2019 年度は 129.1 問となり、66.2%の増加となった。

表 2 はシステム運用後に行った定期試験の SQL に関する問題における得点率の表である。得点率は 2018 年度が 80.3%、2019 年度が 80.7%となり大きな変化は見られなかった。

また、図 6 はシステム運用後に行ったアンケートでのシステム利用時間に関する項目の集計結果である。グラフを見ると、2018 年度では 4 時間が最も多く 3 時間や 2 時間などの回答も見られたのに対し、2019 年度では 5 時間が最も多く 2 時間や 3 時間といった短時間の回答はあまり見られず長時間使用したとの回答がより多く見られた。これは、表 1 を見ても分かるように一人あたりの出題数が増加したことが原因であると筆者は考えている。

同じく、アンケートで学習間隔に応じて得られる得点が増えることについて自由記述形式で調査を行った。ここでは、「時間を空けつつ、定期的に行えるため、記憶の定着が良いと思う」や「間隔を開けることで分かったつもりになっている部分が分かって良かった」など、本得点計算法に対して肯定的な意見が多く見られた。

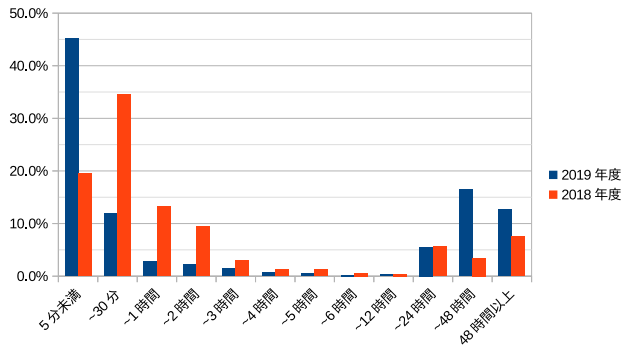


図 7 学習間隔比較

6. 考察

本章では、学習間隔に応じた得点計算法を SQL 実習支援システムに導入した結果どのような効果があったのかを本得点計算法導入前である 2018 年度の運用結果と比較し考察を行う。

6.1 学習間隔の調査

はじめに、本得点計算法を導入したことにより学習者の学習間隔は変化したかどうかを検証する。図 7 は 2018 年度と 2019 年度の学習間隔を集計しグラフ化したものである。このグラフを見ると、前回の学習からの間隔が 24 時間から 48 時間つまり 1 日から 2 日の学習履歴が大きく増加していることがわかる。よって、学習者の間隔を空けた反復学習を促すという目的は達成することができたのではないかと筆者は考えている。

6.2 検定

2018 年度と 2019 年度に得られた「合格項目数」「出題数」「得点率」において、統計的な変化があったと言えるかどうかを有意水準 5% で検定する。検定には統計ソフト「R」を使用した。

まず、各データが正規分布に従っているかどうかの検定を行う。本稿で使用するデータは 2018 年度が 85 人分、2019 年度が 81 人分である。よって、本研究ではデータ数が少ない場合に一般的な正規性の検定手法である Shapiro-Wilk 検定を使用した。Shapiro-Wilk 検定の帰無仮説は「正規分布に従う」であり、 $p < 0.05$ の場合に正規分布とは言えないことを意味する。

2018 年度は、合格項目数が $p < 2.2e-16$ 、出題数が $p = 7.776e-07$ 、得点率が $p = 2.032e-12$ 、2019 年度は、合格項目数が $p = 2.886e-16$ 、出題数が $p = 9.608e-06$ 、得点率が $p = 1.415e-12$ であった。この結果から、取り扱うデータはすべて正規分布に従っているとは言えないことが分かった。表 3 に結果をまとめる。

次に、2018 年度と 2019 年度の統計的な変化の有無を検定

表 3 Shapiro-Wilk 検定の結果

	合格項目数	出題数	得点率
2018 年度	$p < 2.2e-16$ (正規性なし)	$p = 7.776e-07$ (正規性なし)	$p = 2.032e-12$ (正規性なし)
2019 年度	$p = 2.886e-16$ (正規性なし)	$p = 9.608e-06$ (正規性なし)	$p = 1.415e-12$ (正規性なし)

表 4 MannWhitney U 検定の結果

	合格項目数	出題数	得点率
検定結果	$p = 0.6364$ (有意差なし)	$p < 2.2e-16$ (有意差あり)	$p = 0.9697$ (有意差なし)

する。正規分布に従っているとは言えないデータであるため、一般的なノンパラメトリック検定である MannWhitney U 検定を有意水準 5% で行った。MannWhitney U 検定の帰無仮説は「両標本が同じ母集団から抽出された」ことであり、 $p < 0.05$ の場合に二つのデータに有意差があることを意味する。

2018 年度と 2019 年度の比較では、合格項目数が $p = 0.6364$ 、出題数が $p < 2.2e-16$ 、得点率が $p = 0.9697$ であった。この結果から、合格項目数と得点率に有意差はなく、出題数に有意差があったことが分かる。表 4 に結果をまとめる。

以上の結果から、統計的に見た際、出題数は増加したが得点率に変化は見られなかったと言える。

出題数が増加した要因として考えられることは二つあげられる。一つ目は、学習項目に合格するために必要な正解数が増加したことである。本計算法導入前のシステムでは、最少で 2 問正解した時点でその学習項目に合格することができた。しかし、本計算法導入後のシステムでは、合格のために最少でも 3 問正解しなければならなくなっている。そのため、出題数が増加したのではないかと考える。

二つ目は、後少しの得点で学習項目に合格できる場合やシステム運用終了直前などにおいて学習間隔を空けるのではなく連続して学習を行っている学習者が存在することである。問題に連続して解答した場合得られる得点は 0.3 点となってしまう必然的に出題数も多くなってしまう。

以上二つの要因から出題数が増えたのではないかと考える。

得点率に変化が見られなかったことについては、日置らの先行研究との環境の違いに原因があったのではないかと考えている。環境の違いとして考えられることの一つとして、本得点計算法導入前の時点で定期試験の得点率が高いことがあげられる。ここで、2018 年度(図 8)と 2019 年度(図 9)の得点率の分布を見てみる。2018 年度、2019 年度ともに得点率が 90% から 100% の学習者が最も多く 60% 未満の学習者はほぼ存在しない。そのため、ここからさらに得点率を上げることは難しいのではないかと筆者らは考えている。

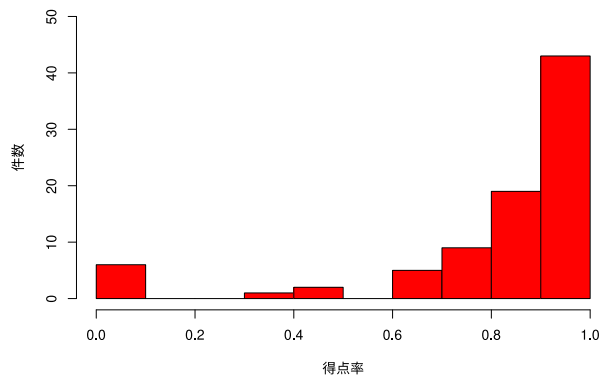


図 8 2018 年度試験得点率分布

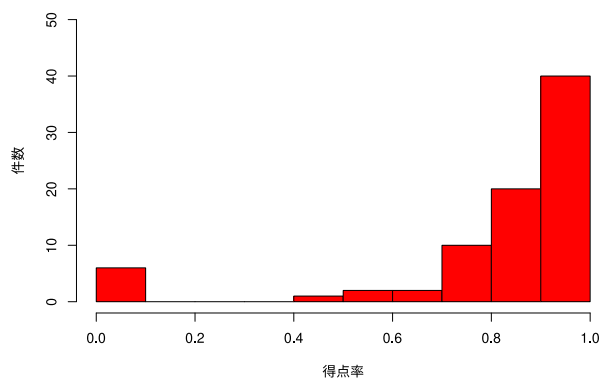


図 9 2019 年度試験得点率分布

講義の課題として実施していることも環境の違いである。日置らの先行研究では講義や成績とは関係がない環境で学習間隔に応じた得点計算法の実験を行っていた。しかし、本研究では講義の課題としてシステムを運用した。先行研究では学習期間が終了した後は確認テストまでの間追加の学習は行わない。本研究では、確認テストを講義の定期試験としたため試験前に学習者が復習を行っていた可能性が存在する。

システムでの学習内容も異なっている。日置らの先行研究では学習者が知らない一般教養問題を対象にしており、それらの問題は独立している。本システムで対象としているものは SQL の文法であり、システムを使用する前に一度講義で学習している。また、SQL の文法は全てが独立しているわけではなく、包含関係にあるものが存在する。

以上の環境の違いから、本得点計算法を本システムに導入した際に期待した学習効果の向上が得られなかったのではないかと考える。

7. まとめ

本研究では、筆者らが提案した学習間隔に応じた得点計算法を学習者の間隔を空けた反復学習を促すために SQL 実習支援システムへ導入し、運用と考察を行った。

本得点計算法導入前である 2018 年度と比較すると、前回の学習からの間隔が 1 日から 2 日である学習履歴の増加が見られた。この点から学習者の間隔を空けた反復学習を促すという目的は達成できたと言える。

また、学習者一人あたりの総問題数は 2018 年度と比較して 66.2%増加した。これは、本得点計算法導入により学習項目の合格判定を従来の最低 2 問正解から最低 3 問正解に変更したことが影響を与えている。

一方で、間隔を空けた反復学習を促すことに成功し、一人あたりの総出題数が増加したにもかかわらず、試験の得点率に有意差は見られなかった。これは、日置らの先行研究との環境の違いに原因があるのではないかと筆者らは考えている。環境の違いとして、すでに試験の得点率が十分高く有意差が出るほど得点率を上げることが難しいこと、学習期間が終了した後も学習者が学習を行える状況であるということ、学習項目が独立しておらず、一度講義でその内容について学習していることがあげられる。

今後は、アンケートで得られた問題点の改善を行い、システムの運用を続け、さらなるデータの集計を続けたい。さらに、本得点計算法を別のシステムへ導入し、環境の違いにより学習効果への影響が変化するか検証を行いたい。

参考文献

- [1] 谷口岳紀, 岡田信一郎, “効果的な反復学習のための学習間隔に応じた得点計算法の検討と Android タブレットを用いた検証”, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-CE-131, No.5, pp. 1-7, 2015.
- [2] 日置千仁, 岡田信一郎, “効果的な反復学習を促す得点計算法の学習失敗への対策とその検証”, 情報処理学会研究報告, vol.2018-CE-146, no.2, 2018.
- [3] 水野りか, “効果的な分散学習に関する認知心理学的知見の CAI への応用—遠隔教育用 CAI への適用とシミュレーションによる実証—”, 信州大学工学部紀要 83, pp.1-10, 2000.
- [4] 松浦執, “分散型反復学習アドバイスを活用した e-learning による初等物理の学習促進”, 論文誌 IT 活用教育方法研究, vol.8, no.1, pp.16—20, 2005.
- [5] 松本拓也, 岡田信一郎, 石井智佳, 柿沼有希, “SQL 実習支援システムのための教授戦略生成法”, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-CE-108, No.4, 2011.
- [6] 高橋正行, 岡田信一郎, “SQL 実習支援システムのための反復学習回数削減法の検討”, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D-15-37, 2016.
- [7] 長瀧寛之, 中野由章, 野部緑, 兼宗進, “データベース操作の学習が可能なオンライン学習教材の提案”, 情報処理学会論文誌, vol.55, no.1, pp2—15, 2014.
- [8] 石川大輔, 岡田信一郎, “SQL 実習支援システムへの効果的な反復学習を促す得点計算法の導入”, 2019 年電子情報通信学会総合大会, D-15-32, 2019.