

学習間隔に応じた得点計算法における 不正解時の学習意欲低下への対策

井桁 楽¹ 岡田 信一郎²

概要: 一般に、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方が学習効果が高いことが知られている。谷口らは間隔を空けた学習を評価する得点計算法を提案し、日置らは学習項目の学習完了率の向上を目的として計算法の初期値の改良を行った。実験によって、この計算法は学習の効果が高く、改良によって学習完了率の低さも改善されたことが確認されている。

さらに、石川らはこの改良された得点計算法を学習支援システムに適用し運用したが、システムの利用者からは、間隔を空けた後、正解なら最高得点が得られた上で得点が初期化されるが、不正解の場合には得点を得られないことなく得点が初期値に戻され、再び間隔を空けなければならないことへ、多くの不満が寄せられた。改良された得点計算法でも利用者の学習意欲に影響を与えている可能性がある。

この問題を解決するために、問題に不正解となった場合、そこから5分間だけ、正解時に得られるはずだった得点の0.7倍を獲得できるよう計算法の改良を提案する。

Countermeasures against loss of motivation for learning when answering incorrectly in the point calculation method according to learning interval

IGETA GAKU¹ OKADA SHIN-ICHIROU²

1. はじめに

一般に、間隔を空けずに行う反復学習(集中学習)よりも、間隔を空けて行う反復学習(分散学習)のほうが学習効果が高いということが知られている。しかし、学習者は集中学習を行う傾向が高く、また分散学習を評価するシステムの例も少ない。

分散学習の考え方を利用した関連研究には、水野の研究[1]と松浦の研究[2]、そしてCepeda N.J.らの研究[3]がある。水野は英単語、漢字、化学記号を学習対象として、再活性化説に基づいた短期的な分散学習を検討している。松浦は物理学基礎教育を学習対象として、理解度の低い学習項目を早く学習させるため、同一問題の学習回数に応じ

て得点を計算している。Cepeda N.J.らは32個の雑学を学習対象とした、長期的な分散学習を検討している。

これらの研究に対し、谷口らは日数単位の時間間隔を空けた分散学習を促すことを目的として、間隔を空けた学習を評価する得点計算法を考案した。そして、得点計算法の学習効果を検証するため、実験用学習システムを作成した。得点計算法を適用した学習システムによる実験の結果、学習効果の向上が確認されている。[4]

一方で、この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、日置らは得点計算法の初期値を改良し、改良された得点計算法を学習システムに適用して、その効果を検証した。日置らの実験の結果、改良された得点計算法は、谷口らの得点計算法に比べ学習効果を落とすことなく、学習完了率の向上が確認されている。[5]

また、本研究室ではSQLの学習支援を目的とした実習支援システムの開発を行っている。石川らは改良された得

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

点計算法を実習支援システムに適用し運用したが、システムの利用者から、間隔を空けた後、正解なら最高得点が得られた上で得点が初期化されるが、不正解の場合には得点を得られずに得点が初期値に戻され、再び間隔を空けなければならないことへ多くの不満が寄せられた。[6]

この結果から、初期値のみ改良された得点計算法は利用者の学習意欲に影響を与えている可能性があると考えた。そこで筆者らは、不正解時に得点が初期化されることに対する不満への対策として、不正解となった後に短時間だけ、正解時に得られるはずだった得点を一部獲得できる得点計算法を考案した。

この新しい得点計算法を検証するために、この得点計算法を導入した学習システムを用いて予備実験を行った。本稿では、その予備実験の結果について報告する。

2. 学習間隔に応じた得点計算法

はじめに、本研究には前提となる先行研究がいくつか存在するため、それらの研究内容について概要を説明する。

まず、学習間隔に応じた得点計算法について説明する。この研究では、学習項目ごとに問題を出題し、学習者は正解した時に得点（加算ポイント）を得られ、学習項目ごとの得点の合計（累積ポイント）が基準値（学習完了ポイント）を超えたときに、その学習項目の学習が完了したとみなす反復学習システムを想定している。

谷口らは、このような学習システムでは学習者が分散学習を行わない可能性があるかと判断し、適切な間隔を空けて学習を行ったときに加算ポイントが大きくなるようにすれば、学習者は積極的に分散学習を行うようになると考え、効果的な反復学習を促す得点計算法（谷口案）を考案した。谷口案のポイント変化のグラフを図1に、累積ポイントの加算例を図2に示す。なお、学習完了ポイントは3ポイントとしている。

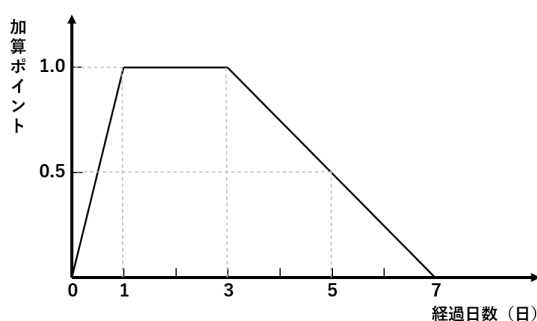


図1 谷口考案の得点計算法

考案した得点計算法を検証するために、谷口らは学習システムの実装を行った。学習システムは Android OS のタブレット端末で動作するシステムである。システムを用いた実験は、学習期間、休憩期間、最終テストの3つの期間

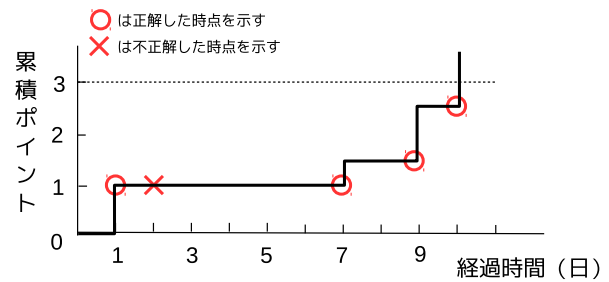


図2 累積ポイントの増加例

に分かれており、学習者はその順番で学習に取り組むことになる。学習システムの流れを図3に示す。

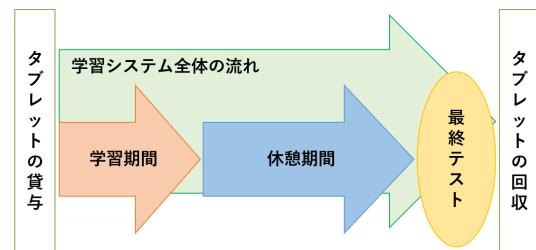


図3 実験のスケジュール

学習期間は、システムにより出題された項目を学習項目として学習する期間である。学習項目はシステムに登録された全項目から分野ごとに無作為に25項目が選ばれる。そして、学習者は期間にすべての学習項目の累積ポイントが学習完了ポイントを上回るように反復学習を行う。なお、学習者の知らない知識を学習対象とするため、学習項目を決定する際には1項目づつ問題として出題され、その問題に正解した場合には、その項目は学習項目に選ばれない。

休憩期間は、システムによる学習を一切行わない期間である。この期間にシステムを起動しても、学習ができないように設定されている。

最終テストは、システムでの学習の成果を確認するテストである。学習期間と同一のシステムを使用して、学習項目を記憶しているかどうかを確認する。

谷口らは、実装した学習システムに得点計算法を導入して実験を行った。実験条件として学習期間を7日間、休憩期間を7日間、14日間、28日間として休憩期間の違いによる学習効果の影響を検証した。実験の結果、谷口案を導入したシステムは、得点計算を固定（1ポイント）とした比較用の学習システムよりも学習効果が高いことが示された。

一方で、谷口案を導入した場合、学習期間内に学習が完了しない被験者が増加するという問題が発生することも示された。

3. 得点計算法の改良案

続いて日置らが考案した得点計算法について説明する。日置らは谷口らの実験結果を受けて、これまでの実験で得

た被験者の学習履歴から学習が完了しない場合の学習パターンの分析を行った。その結果、学習が完了しない場合の学習パターンを2つに分類した。

1つ目のパターンは「ポイント不足による失敗」である。このパターンは、問題を多く間違えた場合や、学習期間の後半に集中学習する場合に当てはまる。どちらの場合においても、想定された分散学習を行わず、適切な学習間隔を確保できないため、問題に正解してもポイントが貯まらず、学習が完了できないと考えられる。

2つ目のパターンは、「学習回数不足による失敗」である。このパターンは、学習期間中にほとんど学習を行っていない場合に当てはまるパターンである。これにより、ポイントを獲得することが困難となり、学習が完了できないと考えられる。

2つの学習失敗パターンが行われた場合の、累積ポイントの増加例を図4に示す。

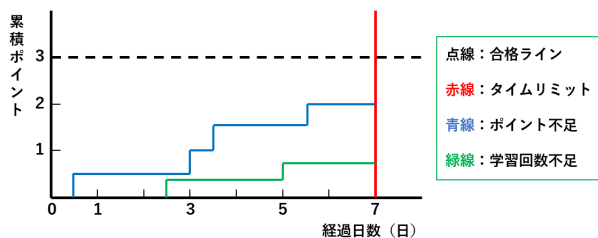


図4 学習失敗パターンの例

日置らは、2つの学習パターンのうち「ポイント不足」のパターンを改良の対象とした。もう一方の「学習回数不足」のパターンは得点計算法の改良のみでは目的の達成が困難であることが予想されたため、改良の対象外とした。

このような学習失敗パターンの分析結果から、日置らは谷口案を改良した得点計算法（日置案）を考案した。日置案は得点上昇開始位置（初期値）を上昇させるものである。日置案は谷口案に比べて得点の上昇を待つ時間が減少し、より学習が完了しやすくなる効果がある。

一方で、初期値の設定により、前回の学習から間隔を空けずに正解した場合にもポイントが加算されるため、学習者に集中学習を許すことになる欠点も存在する。日置らはこれらのバランスを考慮して、初期値を0.2ポイントとする日置案1と、初期値を0.3ポイントとする日置案2を考案した。これら2つの日置案のポイント変化のグラフを図5に示す。

日置らは学習システムに2つの日置案を導入して実験を行った。谷口案の実験と同じく、実験条件として学習期間は7日間、休憩期間は14日間、28日間として休憩期間の違いによる学習効果の影響を検証した。実験の結果から、日置案1、日置案2ともに谷口案と比較して、学習効果を低下させることなく、学習が完了した項目数を増加させる効果があることが示された。

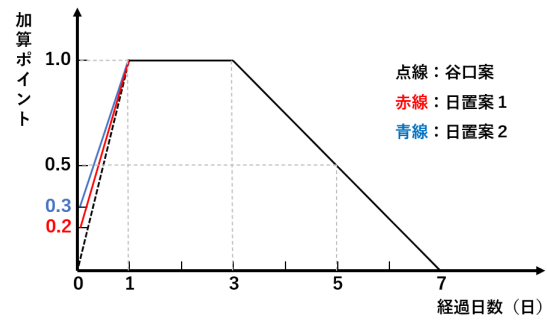


図5 日置考案の得点計算法

4. SQL 実習支援システムへの得点計算法の適用

最後に、SQL 実習支援システムについて説明する。本研究室では、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・運用も行っている。このシステムは SQL の学習支援を目的に開発され、本学の「データベース論」の講義で課題として使用されている。

このシステムでは、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 の基礎を固めることができる。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、解答の正誤判定はシステムが自動で行う。このシステムは 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可能である。

従来の実習支援システムでは、学習履歴の調査によって、学習者が短い間隔で学習を繰り返していることが確認されていた。そこで、石川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実習支援システムに適用した。

適用された得点計算法のポイント変化のグラフを図6に示す。なお、適用された得点計算法は初期値を0.3ポイントとする日置案2を基に、演習日程の都合から最高得点を得られる期間を1日伸ばしている。

石川らは、得点計算法を適用した SQL 実習支援システムの運用を19日間行った。その結果、得点計算法を導入する前の実習支援システムと比べて、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、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いうことが示された。

また、システム運用後に行われたアンケートでは、学習間隔に応じて得られる得点に変化することについて自由記述形式で調査が行われた。そこでは「時間を空けつつ、一定的に行えるため、記憶の定着が良いと思う」や「間隔を

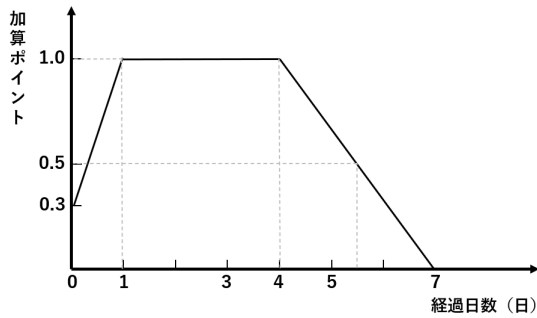


図 6 SQL 実習支援システムに適用された得点計算法

開けることで分かったつもりになっている部分が出てきた。良かった」など、得点計算法に対して肯定的な意見が多く見られた。

一方で、「良いと思ったが、漢字等のミスで 0.3 点に戻るの少し気になった。」や「間隔をあけた後の問題で間違えると点数が初期値に戻ってしまうことが少し残念」などの否定的な意見も見られた。

5. 不正解時の学習意欲低下を対策する 得点計算法の改良

SQL 実習支援システム運用後のアンケートに見られた否定的な意見には、間隔を空けた後、正解なら最高得点が得られた上で得点が初期値に戻されるが、不正解なら得点が得られることなく得点が初期値に戻され、再び間隔を空けなければならないことへの不満が特に多く見られた。

これは学習者が問題に解答した時点で、加算ポイントを初期値に戻すようになっている日置案の仕様が原因と考えられる。この仕様により、学習者は小さなミスで不正解となった場合でも、初期値から加算ポイントの上昇を待たなければならない。これによって、日置案を基にした得点計算法は学習者の学習意欲を低下させてしまう可能性があり、それが否定的な意見としてアンケート結果に現れたのだと考えられる。

この分析結果を基に、筆者らは不正解時の学習意欲低下への対策を目的として、日置案を改良した得点計算法（改良案）の考案を行った。この改良案は、学習者がある学習項目に不正解となった場合、その学習項目に正解していた場合に得られていた加算ポイントを保存し、その後、短時間の間に同じ学習項目を解答する場合（再学習時）に 1 度だけ、加算ポイントを初期化せずに、保存した加算ポイントを一定の割合で減少させる（減少割合）。そして、そのポイント（減少ポイント）を正解時に与える、というポイントの変化を日置案に追加するものである。改良案で追加されたポイントの変化を図 7 に示す。

不正解となった時点で、保存された加算ポイントの値が小さい時は、再学習時に減少ポイントが初期値を下回ることもある。この場合には、加算ポイントが初期値から徐々

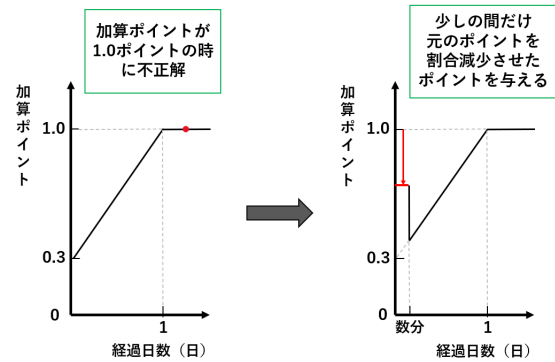


図 7 改良案で追加されたポイントの変化

に上昇するという日置案と同じ仕様にすることで、減少ポイントが初期値を下回ることを防いでいる。この場合のポイントの変化を図 8 に示す。

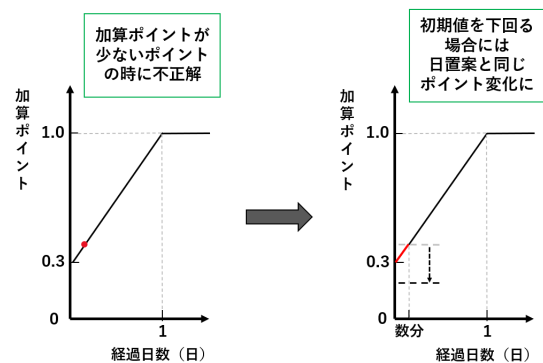


図 8 改良案で追加されたポイントの変化
(初期値を下回る場合)

この改良によって、学習者が学習項目に不正解となった場合でも、間隔を空けた学習をしていたのであれば、ある程度の得点を得られることになり、学習者の学習意欲の低下を防止できると考えられる。

不正解時には 1 度の学習である程度のポイントを得られること、正解時や集中的な学習を行う場合は日置案と同じポイントの変化をすることから、日置案よりも集中的な学習を許しやすくなる、という影響はほとんどないと考えられる。

6. 実験

改良案により学習者がどのような進め方で学習を行うのかを確認するため、ポイント計算を改良案で行うように変更した学習システムを使用して予備実験を行った。

ここで、今回の予備実験に使用した改良案のポイント変化のグラフを図 9 に示す。なお、初期値は SQL 実習支援システムに導入された得点計算法に合わせて 0.3 ポイントと設定した。また、不正解後に加算ポイントを保存しておく時間は 5 分と設定し、初期値と最大加算ポイントの 1.0

ポイントを考慮して、加算ポイントの減少割合は0.7倍と設定した。

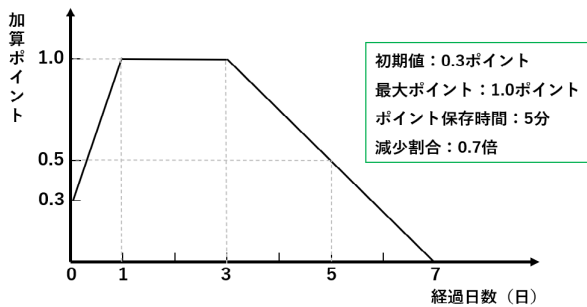


図 9 実験に使用した得点計算法

6.1 実験条件

以下に実験条件を示す。

- 被験者：茨城大学工学部の学生 3 名
- 学習機器：Lenovo Tab M8 (Android 10.0)
- 全学習項目：企業の採用面接等で出題される一般常識用語を基に作成した問題 250 問
- 学習対象：それぞれの全項目の中からランダムに 25 問

6.2 実験手順

被験者全員に学習システムの実験アプリケーションをインストールしたタブレット端末を貸与し、タブレット端末を使用した学習を行うように依頼した。被験者には、7 日間の学習期間内に 25 項目の学習項目すべてを学習完了ポイントの 3.0 ポイントまで到達させるように指示した。

一方、学習期間内の学習の進め方は被験者の自由としたが、学習計画を誤ると学習が完了しない旨を助言した。

実験終了後、貸与したタブレット端末は回収し、すべての学習履歴をタブレット端末から取り出し、集計を行った。

6.3 実験結果

この節では、予備実験における学習履歴の集計結果を提示する。すべての被験者の学習回数、学習が完了した学習項目数、再学習が行われた回数、各学習項目ごとの正答率の平均を表 1 に示す。また、図 10 にすべての被験者の経過時間ごとの学習回数を示す。

表 1 改良案の実験結果

被験者	学習回数	完了した学習項目数	再学習の回数	各学習項目の正答率の平均
01	199	25	59	64.2
02	114	25	1	90.4
03	116	25	6	93.7

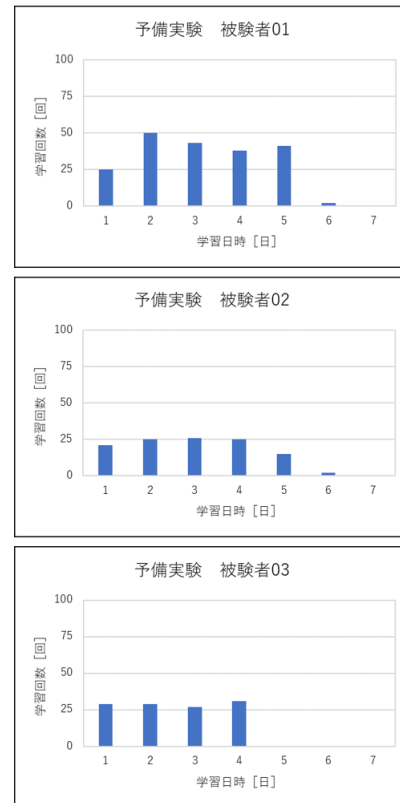


図 10 各被験者の経過時間ごとの学習回数

6.4 考察

改良案の実験結果 (表 1) と各被験者の経過時間ごとの学習回数 (図 10) から、被験者がとった学習方針を考察する。

今回の実験では、被験者 3 名全員がすべての学習項目の学習を完了している。

被験者 02 と被験者 03 は経過時間ごとの学習回数が均等であることから、間隔を空けた反復学習を行っていると言える。また、各学習項目の正答率の平均が高いこと、再学習回数が少ないことから、学習期間中に不正解になることがほとんどなかったと言える。

一方で、被験者 01 は各学習項目の正答率の平均が低いこと、再学習回数が多いことから、他の被験者よりも学習期間中に不正解になることが多く、再学習を行うことも多かったと言える。しかしながら、総学習回数は増えているものの経過時間ごとの学習回数に大きな偏りがなく、全学習項目の学習が 5 日程度で完了していることから、被験者 01 は改良案のポイントの変化を活用しながら、間隔を空けた反復学習を行っていると言える。

これらの結果から、改良案のポイントの変化を活用して間隔を空けた反復学習を行った場合には、総学習回数は増加するものの、再学習時にある程度の加算ポイントが得られる。これより、改良された得点計算法は、不正解時の加算ポイントの初期化によって被験者の学習意欲を低下させることなく、間隔を空けた反復学習を促すことが可能であると考えられる。

7. まとめ

石川らは、学習間隔に応じた得点計算法を SQL 実習支援システムに適用し運用を行ったが、システムの利用者から、不正解の場合には得点を得られずに得点が初期値に戻され、再び間隔を空けなければならないという得点計算法のポイント変化に、多くの不満が寄せられた。

本稿では、この問題により学習者の学習意欲を低下させてしまう可能性があると考え、それに対処するための得点計算法の改良を行い、その得点計算法を用いた予備実験の結果を報告した。

予備実験で使用した得点計算法は、学習者がある学習項目に不正解となった場合、その学習項目に正解していた場合に得られていた加算ポイントを保存し、その後、5分以内に同じ学習項目を解答する場合に1度だけ、加算ポイントを初期化せずに、保存した加算ポイントを0.7倍の割合で減少させ、そのポイントを正解時に与える、というポイントの変化を日置らが考案した得点計算法に追加するものである。

この改良した得点計算法を用いてポイント計算するように設定した学習システムを用いて、茨城大学工学部の学生3名を対象に、被験者がどのような進め方で学習を行うのかを確認するため予備実験を行った。

実験の結果、改良案のポイント変化を利用して間隔を空けた反復学習を行った場合には、総学習回数は増加するが、再学習時にある程度の加算ポイントが得られるため、不正解時の加算ポイントの初期化によって被験者の学習意欲を低下させることなく、間隔を空けた反復学習を促すことが可能であると考えられる。

今回の実験では、学習期間のみの実験であったこと、また被験者数も少なかったことから、より多くの被験者や異なる条件での実験により、改良案の効果を検証することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 水野, "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.
- [2] 松浦, "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.
- [3] Cepeda, N.J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J.T., & Pashler, H., "Spacing effects in learning: A temporal ridge-line of optimal retention.," *Psychological Science*, 19(11), 1095-1102, 2008.
- [4] 谷口他, "効果的な反復学習のための学習間隔に応じた得点計算方法の検討とAndroidタブレットを用いた検証," 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2015-CE-131(5), 2015.
- [5] 日置他, "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," 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2018-CE-146(2), 2018.

- [6] 石川他, "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-" 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2020-CE-153(11), 2020.