

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

日置 千仁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考案し、この計算法を適用した学習システムを用いた実験により、学習効果が向上することを示した。一方で、この計算法を適用した場合に、期間内に学習が完了しない項目が増える被験者が確認されている。

そこで、筆者らはこの学習未完了項目の増加への対策として、得点の初期値を変更する改良案を考案した。そして、この改良案を検証するため、改良案を適用した学習システムを用いた実験を行った。本稿では、実験の結果と、改良案の検証結果を報告する。

Evaluation of measures for failure of learning when using point calculation method that prompt effective repetitive learning

HIOKI YUKIHITO¹ OKADA SHIN-ICHIROU²

Abstract: In psychology, it is known that spacing repetitive learning is more effective than no spacing repetitive learning. Taniguchi and others proposed the point calculation method that prompt spaced repetition learning, and indicated that their calculation method improved learning effect in the examination using learning system that applied their calculation method. On the other hand, in case of this method is applied, examinees confirmed that increase number of learning items that cannot be completed in learning period. Therefore, we propose improvement plan that changes initial score to cope with the matter. Furthermore, to validate this plan, we experimented using a learning system that applied improvement plan. In this paper, we report the result of experiment and evaluation of improvement plan.

1. はじめに

心理学の分野では、間隔を空けて行う反復学習（分散学習）のほうが、間隔を空けずに行う学習（集中学習）よりも学習効果が高いとされている [1]。しかし、学習者は間隔を空けずに学習を行う傾向にあり、間隔を空けて行う学習を評価する学習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として、水野の研究 [2] と松浦の研究 [3]、そして Cepeda NJ らの研究 [4] がある。水野は英単語、漢字、化学記号を学習対象とした再

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、理解していない学習項目を早く学習させるために、同一問題の学習回数に応じてポイントを計算している。Cepeda NJ らは、32 個のトリビアを学習対象とし、長期的な分散学習を検討している。

これらに対し、谷口らは、効果的な反復学習を促す得点計算法を考案し、この計算法を適用した実験用学習システムを作成した。この計算法は、学習の間隔が一日程度と、中期的な分散学習を評価するものである。また、この学習システムを用いた実験により、学習効果が向上することを示している [6]。

一方で、この計算法を適用した場合、学習期間中に学習が完了しない項目が増える被験者が確認されている。そこで、筆者らは、この学習が完了しない項目が増える事象へ

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
Ibaraki University

の対策として、得点計算法の初期値を変更する改良案を考案した。そして、この改良案を検証するために、改良案を適用した学習システムを用いて実験を行った。本稿では、実験の結果と、改良案を検証した結果を報告する。

2. 効果的な反復学習を促す得点計算法の概要

本研究では、学習項目ごとに問題を出題し、学習者が正解するごとにポイント（加算ポイント）を与え、加算ポイントを学習項目ごとに合計したポイント（累積ポイント）が基準値を越えた時に、その学習項目の学習が完了したと判断する反復学習システムを想定している。

谷口らは、このようなシステムで使用する得点計算法に対し、適切な間隔を空けて学習を行ったときに付与する加算ポイントを大きくすれば、学習者は積極的に間隔を空けた反復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（従来手法）を考案した [5]。従来手法を図 1 に、累積ポイントの加算例を図 2 に示す。なお、学習完了の基準値（合格ライン）は 3 ポイントとしている。

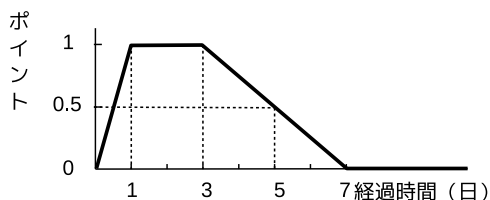


図 1 谷口考案の得点計算法（従来手法）

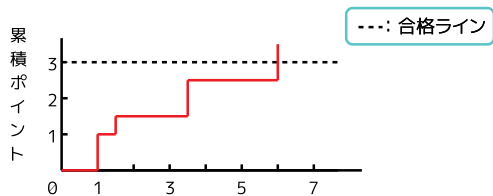


図 2 累積ポイントの例

谷口らは、この得点計算法を検証するための学習システムを実装し、システムを使用した実験を行った。まず、検証用の学習システムについて説明する。検証用の学習システムは、Android OS のタブレット端末で動作するシステムである。システムを用いた学習は、学習期間、休憩期間、最終テストの 3 つの期間に分かれており、その順で学習に取り組むようになっている。

学習期間は、システムにより学習対象となった項目を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学習項目から分野ごとにランダムに選ばれた 25 項目である。なお、学習項目を決定する際には確認テストが行われ、正解した項目は学習項目に選ばれない。^{*1}

^{*1} 今回の研究では、被験者が知らない知識を学習対象としているためである。

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。そのため、この期間にシステムを起動しても、学習が出来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。学習期間と同じシステムを用い、学習対象となった項目を記憶しているかどうかを確認する。

以上が、検証用の学習システムの概要である。

続いて、システムを使用した実験について説明する。実験の流れは、学習システムでの学習の流れに沿って行われ、図 3 のように行われた。なお、図中の「ポイント変化」は得点計算に従来手法を適用した実験、「ポイント一定」は比較用に得点計算を固定 (1 ポイント) とした実験である。

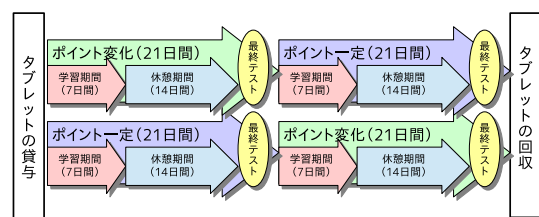


図 3 実験のスケジュール

3. 効果的な反復学習を促す得点計算法の研究

谷口らは、休憩期間を 1 週間とした実験を行った [6]。その後、筆者らが休憩期間を 2 週間とした実験 [7] を、平柳らが休憩期間を 4 週間とした実験を行った [8]。各実験の結果から、最終テストの正答率と学習に失敗した被験者数^{*2}を抜粋してまとめたものを、表 1 に示す。

表 1 これまでの実験の結果（一部抜粋）

休憩期間	被験者の人数	ポイント変化		ポイント一定	
		最終テスト正答率	学習失敗被験者数	最終テスト正答率	学習失敗被験者数
7 日	8	91.8	1	51.0	0
14 日	12	84.4	5	53.3	1
28 日	10	80.9	2	47.6	1

この結果から、従来手法を適用した場合のほうが、学習効果が高いということが示されている。しかし、従来手法を適用した場合、学習が完了しない項目数が増える、という問題点が判明している。ポイント変化において、学習に失敗した被験者は 36 名中 10 名であり、学習に失敗した被験者が多く存在している。

^{*2} 筆者らは、学習が完了した学習項目数が半数 (13 項目) 未満の場合に学習に失敗した、と定義している。

4. 改良案考案の過程

そこで、筆者らは、学習が完了する項目数を増やすことを目的として、得点計算法を改良することとした。はじめに、これまでの研究で得た被験者の学習履歴を用いて、学習が完了しない場合の学習パターンを分析した。その結果、学習が完了しない場合の学習パターンを、次の2つに分類した。なお、学習が完了する場合の学習パターンは、図2に示した通りである。

1つ目のパターンは、「ポイント不足失敗」(図4)である。この学習パターンは、学習期間中に問題に間違える回数が多い場合や、学習期間の後半に学習が集中する場合に当てはまるパターンである。そのため、得点が上昇するまでの時間を確保することが出来ず、問題に正解してもポイントが貯まりにくく、学習が完了できないと考えられる。

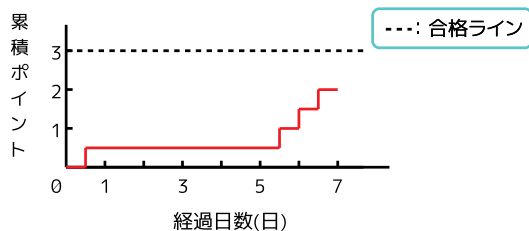


図4 「ポイント不足失敗」の例

2つ目のパターンは、「完全学習失敗」(図5)である。この学習パターンは、学習期間中にほとんど学習を行っていない場合、得点計算法の仕組みを理解していない場合に当てはまるパターンである。よって、ポイントをほとんど貯めることができず、学習が完了できないと考えられる。

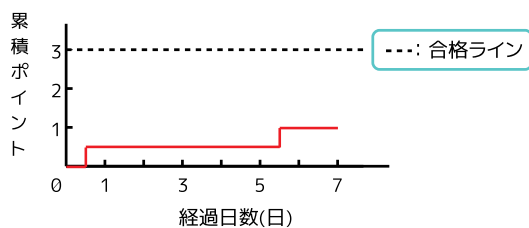


図5 「完全学習失敗」の例

完全学習失敗パターンは、得点計算法の改良のみで本研究の目標を達成することは困難であるため、改良案の対象外とした。そのため、今回の研究では、ポイント不足失敗パターンが改良案の対象となる。

5. 得点計算法の改良案

この分析結果を基に、筆者らは従来手法の改良案を考案した[9]。改良案は、従来手法の得点上昇開始位置(初期値)を変更するものである。従来手法は、前回学習した時点からの経過時間を用いて、正解時に付与する得点を計算

している。そのため、学習者が問題に解答すると、加算ポイントが0に戻るようになっていた。この仕様により、解答が一度不正解になってしまうと、加算ポイントの上昇を待つ時間が増加する。よって期間内に学習が完了しにくくなる、という問題点が存在していた。この問題点により生じる学習パターンが、ポイント不足失敗であると考えられる。

今回の改良案では、初期値の変更により、学習者が問題に解答すると、設定した初期値から得点が上昇するようになる。そのため、従来手法に比べ、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ことが期待される。一方で、解答した直後に正解した場合にも得点が加算されるため、従来の得点計算法よりも学習者に集中的な学習を許しやすくなる、という欠点も存在している。

初期値が大きすぎる場合、繰り返し回数が少なくなり、学習者に間隔を空けた反復学習を促しにくくなると考えられる。反対に初期値が小さすぎる場合、学習の繰り返し回数が多くなりすぎ、学習者への負担が大きくなると考えられる。これを踏まえ、初期値の案として、0.2ポイントとするものと、0.3ポイントとするものの2案を考案した。考案した得点計算法の改良案を、図6に示す。

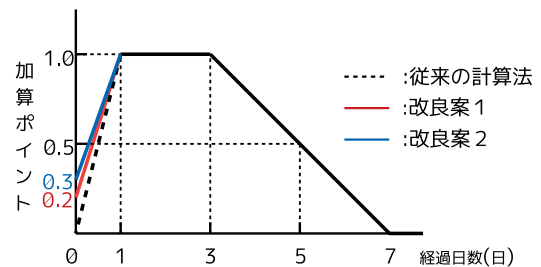


図6 得点計算法の改良案

6. 実験

改良案の検証のために、ポイント計算を改良案で行うよう変更した実験アプリケーションを使用して実験を行った。初期値を0.2ポイントとした改良案を用いた実験を改良案1、初期値を0.3ポイントとした改良案を用いた実験を改良案2とする。

6.1 実験条件

以下に実験条件を示す。

- 被験者:茨城大学の学生9名
- 学習機器:Nexus7(2012):Android4.4.3
- 全学習項目:企業の採用試験等で出題される一般常識用語を元に作成した問題
 - 改良案1:200問
 - 改良案2:201問
- 学習対象:それぞれの全学習項目の中からランダムに

25 問ずつ

6.2 実験手順

被験者全員に実験アプリケーションがインストールされたタブレット端末を貸与し、タブレット端末を用いた学習を依頼した。被験者には、7日間の学習期間内にそれぞれのアプリケーションで25項目すべての学習を完了させ、14日間の休憩期間の後に、学習効果を確認するための最終テストを受験するように指示した。一方、学習期間内の学習をどのように行うかは、被験者の自由とした。

なお、すべての被験者が改良案1と改良案2の両方の実験に参加したが、実験の順番による影響を平均化するため、被験者01,03,05,08の4名は改良案1、改良案2の順に実施し、反対に被験者02,04,06,07,09の5名は改良案2、改良案1の順に実施した。

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、それぞれの実験における学習履歴の集計結果を提示する。

6.3.1 改良案1

改良案1の学習回数、学習が完了した学習項目数、最終テストの正解数と正答率を表2に示す。最終テストの結果は、学習が完了した項目に対する最終テストの正解数と正答率となっている。また、図7にすべての被験者の経過時間ごとの学習回数を示した。なお、被験者07は、学習システムの不具合により、23項目までしか学習できなかった。^{*3}

表2 改良案1の実験結果

被験者	学習回数	完了した 学習項目数	最終テスト	
			正解数	正答率
01	172	25	23	92.0
02	152	8	7	87.5
03	173	25	13	52.0
04	124	25	17	68.0
05	160	13	11	84.6
06	206	25	16	64.0
07	105	23	19	82.6
08	162	25	25	100.0
09	151	25	21	84.0
平均	156.1	21.6	16.9	79.4

6.3.2 改良案2

改良案2の学習回数、学習が完了した学習項目数、最終テストの正解数と正答率を表3に示す。

^{*3} 学習項目は、分野ごとに設定された割合に従い適切な分野の問題を出題している。しかし、被験者の学習状況の関係上、システムにおいて問題を出題できない事象が発生したためである。

改良案1同様、最終テストの結果は、学習が完了した項目に対する最終テストの正解数と正答率となっている。また、図8にすべての被験者の経過時間ごとの学習回数を示した。

表3 改良案2の実験結果

被験者	学習回数	完了した 学習項目数	最終テスト	
			正解数	正答率
01	148	25	25	100.0
02	260	25	19	76.0
03	156	25	12	48.0
04	138	8	8	100.0
05	201	25	16	64.0
06	264	25	11	44.0
07	138	25	24	96.0
08	193	25	15	60.0
09	151	25	23	92.0
平均	183.2	23.1	17.0	75.6

6.4 アンケート

2つの実験終了後、被験者にアンケートを行った。その集計結果の一部を表4に示す。

表4 アンケートの結果

1. 学習期間は適切でしたか。		
(1) 改良案1	長かった	1人
	適切だった	8人
	短かった	0人
(2) 改良案2	長かった	0人
	適切だった	7人
	短かった	2人
2. 学習時間は合計でどれくらいでしたか。		
(1) 改良案1	最長	560分
	最短	60分
	平均	233分
(2) 改良案2	最長	300分
	最短	60分
	平均	186分
3. どちらの学習方法が学習しやすかったですか。		
改良案1		3人
改良案2		6人
4. 学習はどのようなときに、どのような場所で行いましたか。		
時間帯	昼間	4人
	夜間	4人
	空き時間	1人
場所	自宅	6人
	移動中	2人
	研究室	2人

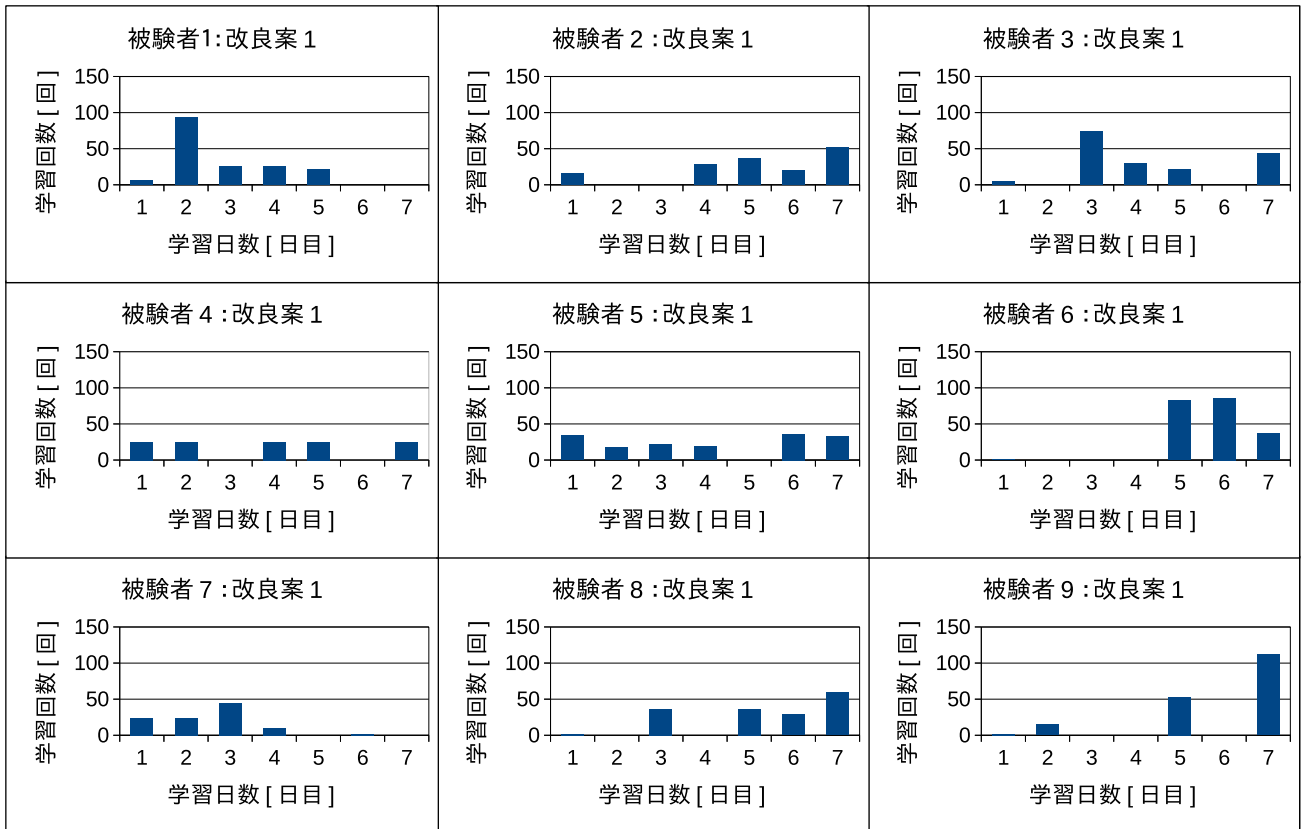


図 7 経過時間ごとの学習回数 (改良案 1)

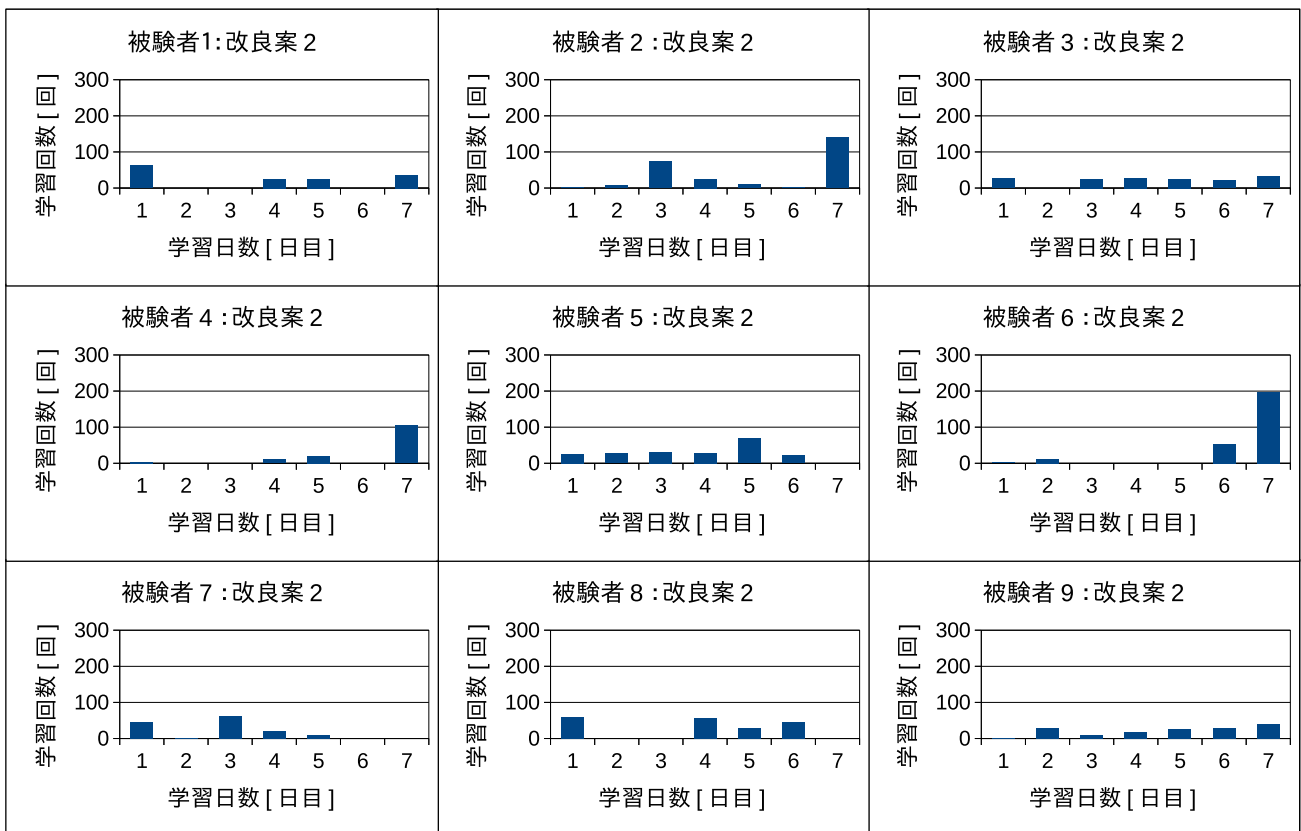


図 8 経過時間ごとの学習回数 (改良案 2)

6.5 考察

学習が完了しない項目数の変化

はじめに、これまでの研究と今回の実験において、学習完了項目数の平均値と学習に失敗した被験者の全体に占める割合を、表5に示す。なお、表5中のポイント変化およびポイント一定の数値は、過去の研究で実施したすべての実験の合計となっている。

学習完了項目数を比較すると、ポイント変化に比べ、どちらの改良案も学習完了項目数が増加していることがわかる。また、これまでの研究と今回の実験の間で、学習に失敗した被験者数を確認すると、ポイント変化に比べ、どちらの改良案も学習に失敗した被験者の割合が下がっている。このことから、学習が完了しない学習項目を減らす、という改良案の目標はどちらの改良案でも達成できていると言える。

改良案1と改良案2を比較すると、改良案2のほうが学習完了項目数の平均値が高い結果となっている。このようになった理由として、改良案2のほうが初期値が大きく、学習を完了させやすかったためであると考えられる。

表5 学習に失敗した被験者の割合

得点計算法	学習完了項目数の平均値	学習に失敗した被験者の割合
改良案1	21.6	11.1%
改良案2	23.1	11.1%
ポイント変化	17.2	26.7%
ポイント一定	23.4	6.7%

学習効果

休憩期間を2週間としたポイント変化・ポイント一定の実験結果と、改良案1・改良案2の実験結果を比較する。表6に、学習回数の平均値と、各実験の最終テスト正答率を示す。なお、各実験ともに、最終テストの正答率は学習が完了した項目のみを計算対象とし、学習に失敗した被験者は平均から除外されている。

表6 休憩期間2週間の実験の最終テスト正答率

得点計算法	平均学習回数	最終テストの平均正答率
改良案1	156.6	78.4%
改良案2	188.9	72.5%
ポイント変化	156.1	84.4%
ポイント一定	164.2	53.3%

改良案とポイント変化の正答率を比較すると、改良案1で6.0ポイント、改良案2で11.9ポイントの減少となっている。この結果より、ポイント変化と比べ学習効果が低下しているものの、どちらの改良案もポイント一定より正答率が高いことが確認できる。また、平均学習回数を比較すると、ポイント変化と改良案1は同程度であり、改良案2はポイント変化の約1.2倍となっている。この結果より、

改良案1は初期値設定後も学習回数に影響が出にくいものの、改良案2は学習回数を増加させる効果がある、と考えられる。

改良案1と改良案2を比較する。正答率と学習回数を比較すると、改良案1のほうが正答率が高く学習回数が少ないことがわかる。よって、今回の実験では、改良案1のほうが学習効果が高いと考えられる。

今回の実験は、9名の被験者を対象に行われた実験である。そのため、改良案の学習効果を検証するために、より多くの被験者を対象として実験を行う必要がある。

被験者の学習方針

各実験の経過時間ごとの学習回数(図7、図8)より、被験者が取った学習方針を考察する。

改良案1については、被験者2,4,5,8が間隔を空けて学習している傾向にあり、被験者1,3,6,7,9がある期間に集中して学習を行っている傾向が見られる。

被験者1は2日目に、被験者3は3日目に学習が集中していることがわかる。これは、一度集中的に学習することにより記憶を維持しやすくし、時間が空けて再び学習するときに正解しやすくする学習方針を取ったためであると考えられる。

被験者6,9は学習期間の後半に学習が集中していることがわかる。これは、学習期間の後半に学習を行うことで、最終テストを実施するまでの記憶の保持期間を短くすることを目的とした学習方針を取ったためであると考えられる。被験者7は、被験者6,9と反対に、学習期間の前半に学習が集中していることがわかる。被験者7の学習履歴より、各項目の学習は間隔を空けて行われていること、学習期間中にほとんど不正解になることがなかったことの2点が確認できた。このため、記憶への定着が早く学習が早期に完了したために集中的な学習のようになっていると判断した。

改良案2については、被験者1,3,4,7,8,9が間隔を空けて学習している傾向にあり、被験者2,5,6がある期間に集中して学習を行っている傾向が見られる。

被験者2,6は、学習期間の最終日に学習が集中していることがわかる。これは、改良案1の被験者7と同様の学習方針を取ったためであると考えられる。

被験者5は、5日目に学習が集中していることがわかる。これは、改良案1の被験者1と同様の学習方針を取ったためであると考えられる。

集中して学習を行った被験者のうち改良案1の被験者1,6,9および改良案2の被験者2,6は、ポイント不足失敗の学習パターンに当てはまる学習方針を取ったと考えられる。今回の研究では、このパターンを改良案の対象としている。この結果より、改良案1では、ポイント不足失敗の学習パターンを取る被験者が学習を完了しやすくなったと言える。

7. まとめ

本稿では、効果的な反復学習を促す得点計算法を使用した場合に、学習が完了しない項目が増える被験者が確認されることに対処するための改良案を用いた実験の結果と、改良案を検証した結果の報告を行った。

本稿の実験で使用した改良案は、従来の得点計算法の初期値を変更するものである。この得点計算法を用いて得点計算を行うよう設定した学習システムを用いて、茨城大学工学部の学生9名を対象に、改良案に学習が完了しない項目を減らす効果があることを確認するため、また学習効果を検証するために実験を行った。

実験および検証の結果、改良案には学習が完了しない項目を減らす効果があること、また従来の得点計算法に比べ若干低下するものの、学習効果を得ることができていることが確認された。

今回の実験では、被験者数が少なく、改良案の効果検証は不十分であると考えている。そのため、より多くの被験者や異なる条件下の実験により、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] Frank N. Dempster, "Distributing and Managing the Conditions of Encoding and Practice," *Memory*, Elizabeth Ligon Bjork, Robert A. Bjork, pp.314-344, Academic Press, 1996
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T., & Pashler, H. "Spacing effects in learning: A temporal ridge of optimal retention.," *Psychological Science*, 19(11), 1095-1102. 2008.
- [5] 谷口他, "分散学習を促す簡易ポイント計算法の提案," *電子情報通信学会2015年総合大会講演文集*, D-15-27, 2015.
- [6] 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.
- [7] 日置他, "学習間隔に応じた得点計算法の効果の検証-休憩期間2週間の結果-, " *電子情報通信学会2017年総合大会講演論文集*, D-15-37, 2017.
- [8] 平柳他, "学習間隔に応じた得点計算法の効果の検証-休憩期間4週間の結果-, " *電子情報通信学会2018年総合大会講演論文集*, D-15-39, 2018.
- [9] 日置他, "学習失敗時の救済を目的とした効果的な反復学習を促す得点計算法の改良案の提案," *電子情報通信学会2018年総合大会講演論文集*, D-15-40, 2018.