

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—

水野りか*

(平成12年 5月31日受理)

Application to CAI Systems of a Cognitive Psychological Finding Concerning Effective Spaced Learning: A Test of the Effectiveness of CAI Systems in Distance Education

Rika MIZUNO*

The aims of this study were to develop an effective CAI system by applying a cognitive psychological finding regarding spacing effects, to examine its effectiveness by experiment and simulations. The psychological finding applied was the Reactivation Theory, and the learning method derived from this was called the Low-First Method. The Low-First Method is based on the following two principles: (a) sorting all the items at the end of each learning session by their weighted cumulative probabilities of recall (P_r s) in ascending order for the subsequent session; (b) omitting items whose P_r s have reached a certain level. The experimental results showed that the Low-First Method was the most effective and the most time-efficient. The results of the simulations closely approximated to the experimental results and, at the same time, revealed the mechanism making the Low-First Method the most effective. Finally, the merit of using a CAI system with the Low-First Method for distance education was discussed.

1. はじめに

昨今、大学をはじめとする高等教育機関においては、遠隔地学部間の、あるいは、学部横断的な講義による専門性の共有、大学間の交換講義と情報の共有、各種教育機関と地域社会を結んでの社会人の生涯学習、等のニーズに対応するため、種々の遠隔教育用情報ネットワーク・システムの整備が進んでいる。メディア教育開発センターのスペース・コラボレーション・システム(SCS: Space Collaboration System)、信州大学画像情報ネットワークシステム(SUNS: Shinshu University Network System)、東京工業大学の衛星通信遠隔教育システム(ANDES: Academic Network for Distance Education by Satellite)、豊橋技術科学大学のマルチメディア・ユニバーシティ・パイロット・システム(MUPS: Multimedia University Pilot System)等は、その代表的な例である。

ところが、こうしたシステムを用いた遠隔教育には、1) 画像の見にくさ、2) 参加意識・臨場感の欠如、3) 学生の反応/教官の指示の把握しにくさ、4) インタラクションの欠如、等の、特有かつ共通の様々な問題が見出されてきている^{1), 2), 3)}。

衛星通信教育振興協会⁴⁾は、こうした問題を解決する最も有効な手段の1つとして、教材や課題の提供、個々の学生のレスポンスの取得、個別フィードバックの提供等をリアルタイムで行うことのできるインターネットやCAI(Computer Assisted Instruction)の併用・活用を提案・推奨している。SUNSによる遠隔教育を行う信州大学でも、水野・大下^{5), 6)}が、見出された様々な問題がインター

* 社会開発工学科 助教授

ネット(LAN)や CAI の併用によって解決されるのではないかと考え、その実体験後の学生の感想調査・意識調査を行なった。その結果、学生はネットワークを介しての CAI やメールの利用が SUNS による遠隔教育の参加意識の欠如や一方向性といった様々な欠点を補いうると感じ、その併用に対して極めて肯定的な態度を有しているという研究結果を得た。また、中山・清水^{7),8)}は、通信衛星による講義と CAI を併用する遠隔教育システム、PINE-NET の効果を調べ、通常の講義よりも PINE-NET で学習した場合の方が学習成績が良く、しかも 1) 参加意識、2) コミュニケーション、3) 学習・理解、4) 明瞭度、5) 疲労感といった、まさに遠隔教育の問題点だとされていた点で、学生の評価が高いことを見出した。

このように、インターネットや CAI の併用は、遠隔教育の問題の多くを解決しうる可能性を有している。また、それに役立つような CAI の研究・発展は最近めざましく、一斉授業で使用しても個々の学生の回答に応じた最適な教材・課題を提供できるような、個別学習支援システムや知的個別指導システム(ITS: Intelligent Tutoring System)まで開発されている。例えば、磯本・山崎・吉根⁹⁾は、従来のフレーム型 CAI が形式的・機械的であることを受け、理解度の個人差に応じた柔軟な教材構造の定義方法と試行錯誤型の学習支援方略の定式化を行っている。また、許・繁柵¹⁰⁾は、項目反応理論に基づいて、階層構造化された教授内容の中から個々の学習者に最適な学習項目を選定・提示する方式を提案し、これを数学の CAI システムに適用して実験的に有効性を確認している。さらに、Anderson ら^{11),12)}は、認知心理学の領域で開発された ACT*理論(Adaptive Control of Thought)¹³⁾を ITS と融合させ、学習者との情報交換を通じてその知識状態を把握し、目標-手段分析等を通じてその知識を理想的状態に近づけるのに最適な問題を設定・提示していく、Lisp 学習や幾何学習用の ITS を開発している。

しかし、こうした個別かつ最適な提示方法の研究のほとんどは、数学・理科のように教材に階層的・組織的構造のあるものを対象としており、そうした構造を持たない教材、例えば、英単語やコンピュータ・コマンドなどの教材の最適な提示方法については、ほとんど研究されて来なかった。実際、先に紹介した水野・大下^{5),6)}の研究で試用された CAI は、そうした構造を持たない HTML コマンドの学習用で、単純な系列提示・フィードバック方式を採用していた。そのため、学生からは、この CAI を反復して利用しても、「1. できない問題はいつまでたってもできないので、わからない問題についてだけ質問することができる通常の講義の方がよい」、「2. できる問題は毎回できるので、非常に煩雑で無駄である」、という批判的な内省報告が数多く得られた。しかしながら実際は、階層構造を持たない教材は非常に多く、また、そうした教材の機械的記憶や演習こそ、CAI のもとでの個別学習に任せるべきであり、むしろ、適しているとも考えられる。

そこで本研究では、CAI に効果的な分散学習に関する認知心理学的知見を適用することで、階層構造を持たない教材にも適用でき、しかも、上記 1, 2 の問題を解決しうる、効果的な CAI を開発し、その有効性を実験及びシミュレーションで検証することを目的とする。

2. 分散効果の再活性化説

その認知科学的知見とは、分散効果の「再活性化説」¹⁴⁾と呼ばれるものである。分散効果とは、学習と学習の間に時間的隔たりを設けない集中学習よりも、ある程度の隔たりを設けた分散学習の方が学習効果が高まる、という心理学的に極めて重要かつ頑健な効果を指す。その存在は、数多くの心理学実験で確認されてきているが^{15),16),17),18)}、その原因については、主に記憶強度の逆

説, すなわち, 「1回目の再生率が低いほど2回目の再生率が高くなる」という逆説が導かれてしまうために, 統一的な見解が得られてこなかった^{19),20),21)}.

再活性化説は, 記憶強度(活性度) 自体ではなく記憶の再活性化量に着目することでこの逆説を解いた, 全く新しい分散効果の原因説であり, その詳細は次の通りである.

「分散学習の場合は, 学習と学習の間に時間的隔りがある. このため, 学習と学習の間に, 前の学習時に最大値まで活性化された記憶の活性度がある程度減衰し, 再学習時の記憶の再活性化量が多くなる (Fig. 1 参照). この再活性化量が再生率に影響していると考えれば (Fig. 2 参照), 分散学習の方が集中学習よりも再生率が高くなる原因, すなわち, 分散効果の原因を, 矛盾なく説明することができる.」

この再活性化説の妥当性は, 数多くの心理実験とシミュレーションによって検証されてきており^{14),22),23)}, 実験で測定された記憶活性度の変化((1)式)から推定された, 再活性化量(厳密には, 加重累積再活性化量)と再生率の間には, ロジスティックな相関関係((2)式)があることも明らかにされている^{14),24),25)}. そして, これらの数理モデルは, 「再活性化モデル」と命名され, 数度の実験とシミュレーションとの照合を経て改良された結果, 高い信頼性を有することが確認されている^{26),27)}.

$$act = \alpha \sqrt{t} \exp \frac{-(t-\beta)^2}{\gamma(1.0+cum_react)} \tag{1}$$

ただし, act : 記憶の活性度 ($0 \leq act \leq 1.0$),
 cum_react : 加重累積再活性化量 ($= \sum w_i * react_i$)
 w_i : 重み ($= 2^{-(N-i)}$), $react_i$: 提示 i 回目の再活性化量.
 N : 提示回数, t : 経過時間, α, β, γ : parameters

$$Pr = \frac{\delta}{1.0 + \exp^{-\epsilon(cum_react - \zeta)}} \tag{2}$$

ただし, Pr : 再生率の推定値, δ, ϵ, ζ : parameters

3. CAI に適用する知見と原理

今回, CAI に適用する分散学習方式を考案する基となったのは, 再活性化説を再活性化モデ

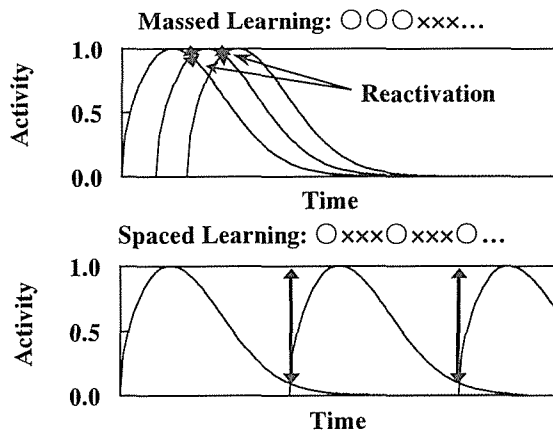


Fig. 1 Difference of reactivation between in massed learning and in spaced learning.

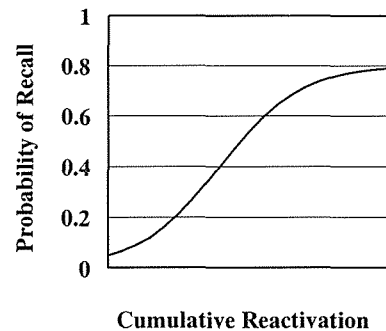


Fig. 2 The logistic correlation between cummulative reactivation and probability of recall.

ルとして具体化する中で見出された、次の2つの知見である。

3.1 1つ目の知見と原理1

1つ目は、「学習回数が増えると、記憶の活性度の減衰速度が緩和する。この緩和の程度は、それまでの学習での加重累積再活性化量((1)式, *cum_react*)に依存する(Fig. 3 参照).」という知見である。

この知見は、学習量が多いほど記憶が減衰しにくいことを意味するものであり、よく学習したことほど忘れにくいという、我々の直感ともよく一致する。

この知見に基づけば、学習時の再活性化量が少ない場合は、学習した記憶の活性度の減衰速度が速いため、あまり間隔を開けないで再学習する必要があることになる(Fig. 3, A 参照)。また、逆に、学習時の再活性化量が多い場合は、その活性度の減衰速度が遅いため、あまり早く再学習しても再活性化量は多くならないことから、ある程度の間隔を開けて再学習する必要があることになる(Fig. 3, B 参照)(ただし、以前の活性度が減衰しきってしまっている場合は、再活性化が不可能になることに留意されたい)。

この知見と、先の再活性化量と再生率の相関関係を併せて考えれば、再生率の低かった学習内容はすぐに、再生率の高かった学習内容はある程度の時間をおいてから再学習した方が、再活性化量が多くなり、再生率が高まるということになる。

この考察から導かれた原理1は、次の通りである。

「原理1: 複数の項目をまとめて反復学習する場合、2回目以降の学習順序を再生率の低い順に並べ替える。」

この原理1により、すべての項目の記憶の再活性化量は可能な限り多くなり、全般的な再生率が高まるはずである。とりわけ、できなかった項目ほど早く再学習することから、できなかった項目の再活性化量の増大が期待できるため、1. はじめに述べた、「1. できない問題はいつまでたってもできない」という問題が解決されうると考えた。

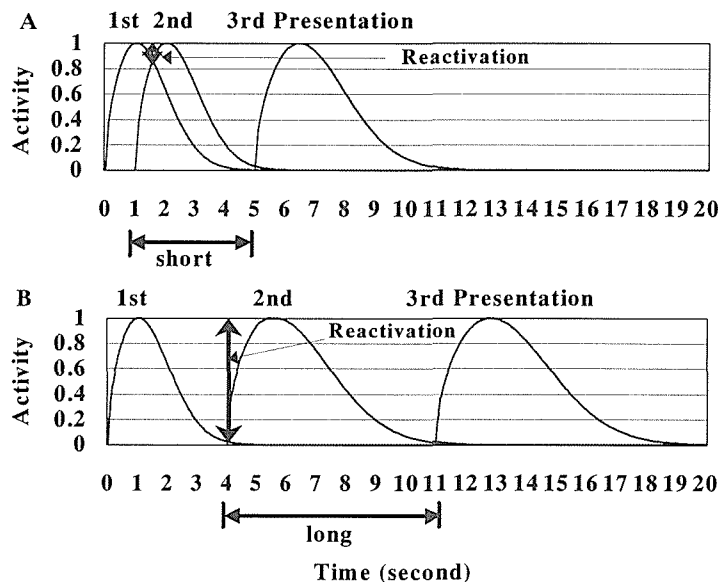


Fig. 3 Difference of memory decay speed and the most advantageous spaces dependent on reactivation at learning.

3. 2 2つ目の知見と原理2

基となった2つ目の知見は、先述した、「再活性化量と再生率はロジスティックな相関関係にある(Fig. 2 参照)」というものである。

再生率は、再活性化量がある程度以上になると、天井効果を示す。この知見は、人間の再生率は機械のそれとは異なり100%とはならないため、ある程度以上の再生率を示した時点で学習が完成したと判断すべきこと、そして、それ以上学習を無駄に繰り返しても必ずしもその労力に見合うだけの再生率が得られないことを示している。

ここから導かれた原理2は、次の通りである。

「原理2：一定の再生率に達した項目を除外してゆく。」

これにより、無駄な反復学習を避けつつ、できる限り高い再生率を得ることができると考えられ、1. はじめに述べた、「2. できる問題は毎回できるので大変煩雑で無駄である」という問題が、解決されうると考えた。

4. 新しい提示方式、Low-First 分散学習方式の詳細

著者は、この提示方式を、原理1にちなみ、Low-First 方式と命名した。そして、これをCAIに適用すべく、細部に検討を加えた上で、次のように手続きを具体化した。

複数の学習項目から成るCAIを反復分散学習させることで、全項目の完全学習を目指す。まず、最初のセッションでは、すべての項目を任意の順序で系列的に学習させる。その上で、それらを重みづけ累積正答率、 P_n (3式)、の小さい順に並べ替えた上で、次のセッションの学習を行わせる。この手続きを、続くすべてのセッションで繰り返す。尚、 P_n の値が等しい項目の提示順序は、前回の提示順序に従うものとする。

$$P_n = \sum 2^{-(n-i+1)} p_i \quad (3)$$

ただし、 P_n ： n 回目のセッション後のある項目の重みづけ累積正答率。

n ：現セッションの回数。

p_i ： i 回目のセッションのある項目の正答率($1 \leq i \leq n$)。

P_n はいわば、ある時点での記憶の定着度の指標である。最近の正答率ほど大きな重みを付けたのは、最近の再活性化量ほど再生率、すなわち、記憶の定着度への影響が大きいことが見出されているからであり^{14),23),26),27)}、また、ある項目の記憶は、最初は再生されずその後再生された場合の方が、その逆の、最初は再生されその後再生されなかった場合よりも、より定着している可能性が高いからである。

原理2の P_n の上限は0.75に設定した。この設定は、連続して2回再生できた項目が3回目に再生できない確率はほとんどないという実験結果²⁸⁾に基づくものである。

5. 実験

5. 1 目的

CAIの学習方式に、単純反復方式の統制条件、 P_n の低い順に並べ替える原理1だけを適用した原理1条件、 P_n が0.75以上の項目を除外する原理2だけを適用した原理2条件、原理1・原理2を組合わせたLow-First条件の、計4条件を設定し、学習後のテスト結果を比較することで、Low-First方式の有効性を検討するとともに、それぞれの原理の効果を明らかにする。

5.2 方法

被験者 大学1年生40名. 10名ずつを上記4条件にランダムに割り当てた.

材料 10項目から成るJavaScript学習用のCAI (Table 1 参照).

手続き CAIはApplet化し, Webサーバに保存した. 学習中の提示順序の変更・項目の削除等はApplet内で行われるよう設定し, 学習過程のデータは学習終了後にAppletからCGI scriptを呼び出してサーバに保存できるよう設定した.

被験者は, 総合情報処理センター松本分室の端末を使用し, ブラウザで講義用のホームページにアクセスし, そこからCAIを呼び出して実験学習を行った.

被験者はまず, 学習手順の説明画面で氏名を入力した後, 10項目の学習に入る. 各項目は, 解説画面と問題画面(Fig. 4 参照)から成り, 解説画面を読んで十分理解できたら, 「次へ」をクリックして問題画面へ進む. 問題画面では, 空所に適語を補充し確認ボタンを押すと正誤のフィードバックが行われ, 誤答の場合には正答も表示される. この手順で10項目を一通り学習すると(1セッション), 各条件に従い, 項目の並べ替え・削除が行われ, その後, 次のセッションに進む.

4セッションで学習終了とし, この時点で学習過程での解答・時間などのデータがサーバに送られ, 保存される. その後, 作業記憶からの再生を妨害する加算課題10項目を行い, それが終了すると, 10項目から成るテスト画面となり, 解答の後「送信」をクリックすると, 解答と時間がサーバに送られ, 保存される.

5.3 結果と考察

学習過程 参考としてTable 2に, 各条件のテスト得点が中央値の被験者の学習過程を示す.

テスト得点 結果はFig. 5に示す通りで, 4条件を比較するための2要因分散分析の結果, 原理1の主効果が有意で($F(1, 36) = 5.94, p < .05$), 原理2の主効果と交互作用は有意ではなかった($F(1, 36) = 1.49, ns; F(1, 36) = 0.17, ns$).

この結果は, 並べ替えの原理1に, テスト得点を高める効果があったことを示している.

学習時間 項目を除外していく原理2にはテスト得点を高める効果自体は認められなかった.

Table 1 Topics of the materials

Topics
1. Event Handlers
2. Objects and Properties
3. Objects and Methods
4. Loops
5. Conditionals
6. Functions
7. Array Object
8. String Object
9. Form Object
10. Prompt Method

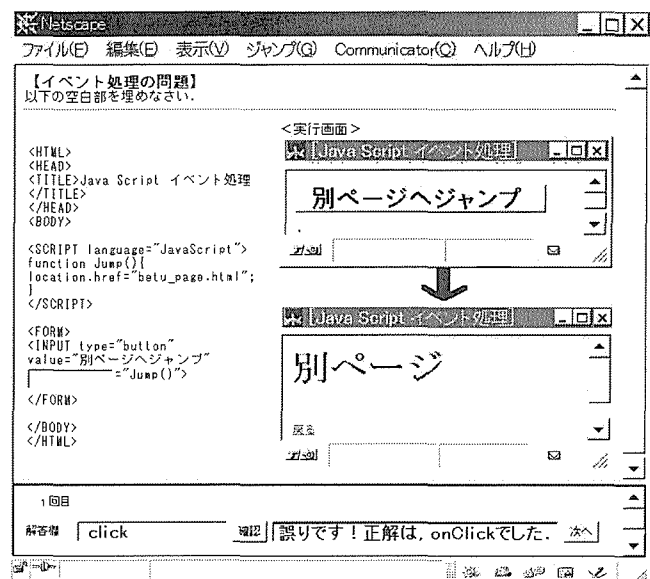


Fig. 4 An example of a practice page.

Table 2 Learning process and test result in each condition for a participant selected at random.

Control Condition																				
Session	Item No.										Presentation Order									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	Score: 6									

1st Principle Condition																				
Session	Item No.										Presentation Order									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	3	4	5	6	7	8	10	2	9
3	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	4	5	7	8	10	1	3	6	2	9
4	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	8	10	1	4	5	7	3	6	2	9
Test	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Score: 7									

2nd Principle Condition																				
Session	Item No.										Presentation Order									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	0	-	0	0	1	1	0	1	1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	
4	1	1	-	1	1	1	0	1	-	0	1	2	4	5	6	7	8	10		
Test	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	Score: 6									

Low-First Condition																				
Session	Item No.										Presentation Order									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	3	4	5	7	8	9	10	6
3	1	1	1	1	1	-	1	1	1	0	3	5	7	9	1	2	4	8	10	
4	-	-	1	-	1	-	1	-	1	1	10	9	3	5	7					
Test	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	Score: 8									

しかしながら、除外していてもテスト得点が低くならなかったことを考えれば、無駄だと判断することはできない。むしろ、除外することによって学習の所要時間が減少したならば、学習効率が上昇したことになる。

そこで、初期画面にアクセスしてからテストにアクセスするまでの時間を学習に要した時間と見なし、これを4条件で比較した。結果は Fig. 6 に示す通りで、2 要因分散分析の結果、原理 1 の主効果は有意ではなかったが($F(1, 36)=1.53, ns$), 原理 2 の主効果と交互作用が有意だった($F(1, 36)=6.41, p<.05$; $F(1, 36)=4.31, p<.05$)。そこで、原理 1 の適用あり、なし毎に原理 2 の単純主効果を検定したところ、統制条件と原理 2 条件間に有意差は認められなかったが($F(1, 36)=0.10, ns$), 原理 1 条件と Low-First 条件間に有意差が認められた($F(1, 36)=10.61, p<.01$)。

この結果は、原理 2 だけでは必ずしも学習時間の短縮に役立たず、原理 2 が原理 1 と組み合わせられてはじめてその効果が現れることを示している。これは、原理 1 のおかげで正答した項目が増加したため、正答した項目の無駄な繰り返しを避ける原理 2 が学習時間を短縮し、極めて効

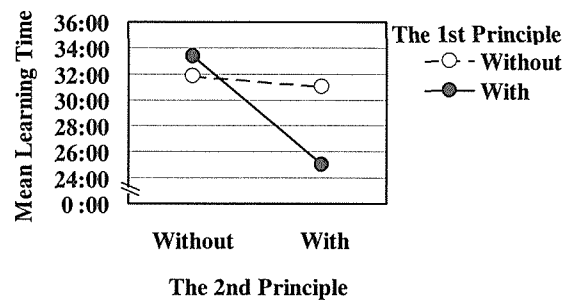
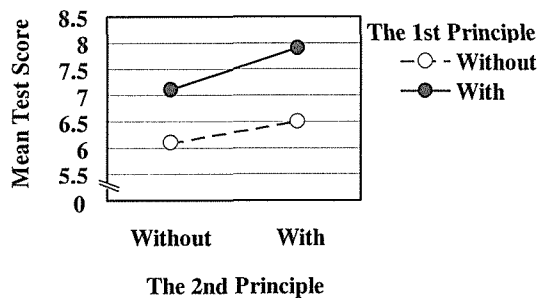


Fig. 5 Mean test score in each condition.

Fig. 6 Mean learning time in each condition.

率的な状況をもたらしたためだと考えられる。

6. シミュレーション

6.1 目的

再活性化モデルを用いて全被験者の全項目の学習過程のシミュレーションを行い、そこで得られた4条件の再生率の推定値((2)式)の平均と、実験でのテスト得点とを比較する。

もしも両者がよく一致したならば、どのようなプロセスで4条件のテスト得点に差が生じたのかを明らかにすべく、4条件のテスト得点が中央値の被験者の、記憶活性度の変化、並びに、再活性化量の得られ方を、詳細に吟味・検討する。

6.2 方法

提示順序や提示項目数等、各被験者の学習過程は、各項目への解答の正誤によって異なる。よってシミュレーションでは、実験で得られた各被験者の正誤データをもとに、その学習過程を忠実に再現する。

6.3 結果と考察

再生率の推定値 4条件の再生率の推定値の平均を Fig. 7 に示す。Fig. 5 の実験でのテスト得点と比較するとわかるように、両者は極めてよく近似していた。

学習過程 各条件でテスト得点が中央値だった被験者のデータをもとに(Table 2)、各条件での特徴的な学習過程を吟味した。Fig. 8 には、各条件の特徴的な学習過程を経た項目(Table 2、□囲み部分)のシミュレーション例を示した。

これらの例を見ると、統制条件では、1回目の学習時に再生できなかった項目は、学習間隔に変化がなく、なおかつ、活性度の減衰速度も緩和しないため、いつまでたっても再活性化されず、再生できないままであったことがわかる。原理1条件の図からは、1回目に再生できなかった項目の2回目までの学習間隔が、他にも再生不可能な項目が多いために狭まらず、2回目も再活性化されなかったこと、そして、3回目は再生可能な項目が増えて提示間隔がある程度狭まったため再活性化可能となった様子がわかる。ところが、3回目で再生可能となると、活性度の減衰速度が緩和されても、並べ替えによって4回目までの学習間隔が広がってしまい、4回目に再び再活性化不能となり、再生できなくなってしまったようだ。原理2条件の図からは、再生できた項目が削除されたことにより、4回目にやっと学習間隔が十分狭まり、再生可能となった様子がわかる。そして Low-First 条件の図からは、原理1条件と同様、3回目には学習間隔が狭まり、再活性化可能となって再生されたが、原理1条件とは異なり、原理2の削除の効果のおかげで再生できた項目の4回目までの学習間隔がさほど広がらず、しかも活性度の減衰速度が緩和され

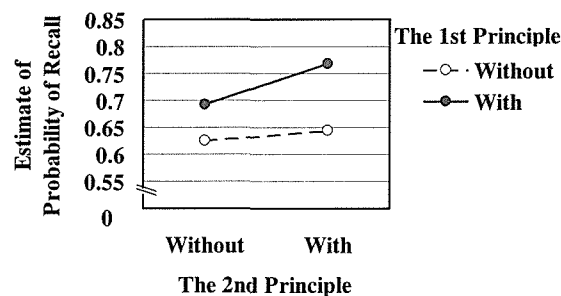
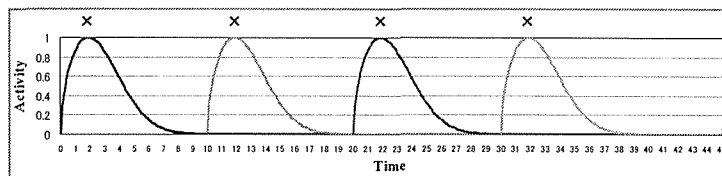
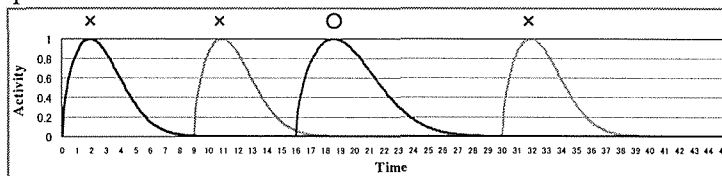


Fig. 7 Mean estimate of probability of recall in each condition.

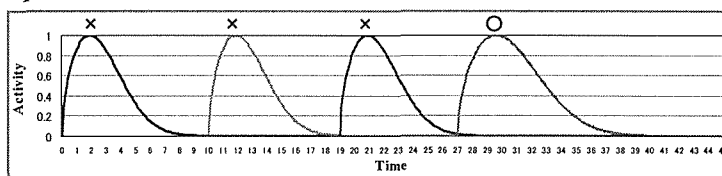
Control Condition



1st Principle Condition



2nd Principle Condition



Low-First Condition

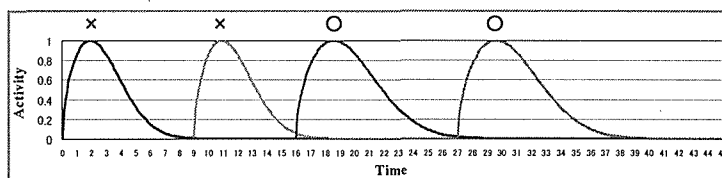


Fig. 8 Typical Learning processes in 4 conditions.

ているため、4回目も再生可能だった様子が窺われる。

以上の分析から、原理1と原理2を組み合わせることにより、Low-First方式がより効果的かつ効率的となるプロセスが浮き彫りとなった。

7. 総合的考察

本研究では、従来のCAIに、Low-First方式を適用することで、より効果的かつ効率的なCAIを構築しうることが明らかとなった。

冒頭に述べたように、学生は、SUNSによる遠隔教育でのCAIの併用に対し極めて肯定的で、遠隔教育における参加意識の欠如や一方向性といった、様々な問題を解決しうると感じていた。したがって、そのCAIをできるだけ効果的かつ効率的なものにし、遠隔教育の補助教材として活用すれば、遠隔教育の効果を通常の講義のそれに限りなく近づけることも可能だと考えられる。

よって、今後は、遠隔教育支援のための、様々な教材のLow-First方式CAIを開発し、その有効性を実践的に検証していきたい。

謝 辞

本研究は、平成11年度の信州大学の、「SUNS、SCSによるマルチスクリーンとコンピュータネットワークを併用した遠隔講義システムに関する研究」と題する教育改革・改善プロジェクトのため

の教育改善推進費, 及び, 平成 11・12 年度文部省科学研究費(基盤研究(C), 課題番号 11610111, 研究代表者:水野りか)の補助を受けた. 尚, Abstract をご高閲いただきました信州大学教育システム研究開発センター, D. E. Ruzicka 先生に, 記して感謝の意を表します.

引用文献

- 1) 守一雄, 野村彰夫:信州大学画像情報ネットワークによる遠隔講義の効果 信州大学教育学部紀要, **71**, 53-63 (1990).
- 2) 大下眞二郎, 守一雄, 笈昭一:信州大学画像情報ネットワークによる遠隔講義とその評価(1) 電子情報通信学会研究会資料, ET90-63, 33-40 (1990).
- 3) 河村壯一郎:テレビ会議システムを用いた遠隔教育実施例とその評価 日本教育工学会論文誌, **23**(1), 59-65 (1999).
- 4) 衛星通信教育振興協会技術検討委員会:遠隔教育の統合システム 衛星通信教育振興協会 (1998).
- 5) 水野りか, 大下眞二郎:画像情報ネットワーク・システムを用いた遠隔教育でのインターネット併用の効果と可能性 教育システム情報学会誌, **17**(1), 30-40 (2000).
- 6) 水野りか: SUNS による遠隔講義における LAN とパソコンの活用に向けて 信州大学教育システム研究開発センター紀要, **5**, 99-110 (1999).
- 7) 中山実, 清水康敬:通信衛星による講義と CAI を併用する遠隔教育システム(PINE-NET)の学習成績による評価 日本教育工学会論文誌, **17**(2), 85-92 (1993).
- 8) 中山実, 清水康敬:衛星通信教育システム(PINE-NET)における学習者の主観評価と成績に関する検討 電子情報通信学会技術研究報告, ET97-51, 79-86 (1997).
- 9) 磯本征雄, 山崎初夫, 吉根勝美:フレーム型 CAI におけるコースウェアのシナリオと試行錯誤型学習 日本教育工学会論文誌, **17**(1), 29-38 (1993).
- 10) 許紅, 繁榊算男:項目反応理論と教授内容の階層的構造表現による問題項目の提示順序の最適化. 日本教育工学会論文誌, **14**(2), 73-80 (1990).
- 11) Anderson, J. R, Farrel, R. G., and Sauers, R.: Learning to program in LISP. *Cognitive Science*, **8**, 87-129 (1984).
- 12) Anderson, J. R., Boyle, C. F., and Reiser, B. J.: Intelligent tutoring systems. *Science*, **228**: 456-462 (1985).
- 13) Anderson, J. R.: *The Architecture of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1983).
- 14) 水野りか:分散効果の生起過程の解明—再活性化説の実験とシミュレーションによる検証— 認知科学, **4** (2), 20-38 (1997).
- 15) Baddeley, A. D.: *Human Memory: Theory and Practice*. Boston, MA: Allyn and Bacon (1990).
- 16) Gay, L. R.: Temporal position of reviews and its effect on the retention of mathematical rules. *Journal of Educational Psychology*, **64**, 171-182 (1973).
- 17) Glenberg, A. M., & Lehmann, T. S.: Spacing repetitions over 1 week. *Memory and Cognition*, **8**, 528-538 (1980).
- 18) Reynolds, J. H., & Glaser, R. : Effects of repetition and spaced review upon retention of a complex learning task. *Journal of Educational Psychology*, **55**, 297-308 (1964).
- 19) Dempster, F. N. : Distributing and managing the conditions of encoding and practice. In E. L. Bjork & R. A. Bjork (Eds.), *Memory*. San Diego, CA: Academic Press. Pp. 317-344 (1996).
- 20) Greene, R. L.: Spacing effects in memory: A two-process account. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 371-377 (1989).
- 21) 水野りか:分散効果—展望と新たな説の提案— 静岡理工科大学研究紀要, **5**, 181-197 (1996).
- 22) 水野りか:分散学習の有効性の原因—再活性化量の影響の実験的検証— 教育心理学研究, **46**, 11-20 (1998).
- 23) 水野りか:再活性化説に基づく効果的な分散学習スケジュールの実現 教育心理学研究, **46**, 173-183 (1998).
- 24) 水野りか:分散効果の生起過程—2段階再活性化モデルの認知科学的検討— 日本認知科学会第 13 回大会発表論文集, 38-39 (1996).
- 25) 水野りか:分散効果の 2 段階再活性化モデルのプライミング実験による検証 日本認知科学会第 14 回大会発表論文集, 88-89 (1997).
- 26) 水野りか:分散効果の再活性化モデルの改良と検証—これまでの実験結果とシミュレーションとの照合— 教育心理学フォーラム・レポート, FR-97-003 (1997).
- 27) 水野りか:分散効果の再活性化モデルの発展 日本認知科学会第15回大会発表論文集, 88-89 (1998).
- 28) 水野りか:再活性化モデルから導かれた効果的で柔軟な分散学習方式の検証と提案 日本心理学会第 63 回大会発表論文集, 634 (1999).