

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——

水 野 り か¹

本研究の目的は、反復プライミングの原理を応用して分散効果の再活性化説を検証することにある。この説の基本的仮定は、後続提示時の作業記憶ないしは長期記憶の再活性化量(いずれが再活性化されるかは提示間隔によって異なる)が分散効果の大きさを決定するというもので、この再活性化量は、先行提示時に活性化された記憶が提示間隔内で減衰する分散提示で連続提示より大きくなるはずだからである。反復プライミングの原理とは、後続刺激の処理時間は先行刺激の活性度と反比例するというもので、ゆえに、後続刺激の処理時間はまさに再活性化量を反映しようと考えられた。提示間隔を独立変数とした実験では、各刺激の語彙判断時間と自由再生率が測定された。その結果、再活性化量の指標としての語彙判断時間と再生率には有意な相関があり、また、提示間隔によって、作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合があることが示された。これらの結果はみな再活性化説を支持するものであった。

キーワード：分散効果、再活性化、作業記憶、長期記憶、反復プライミング。

問 題

集中学習するよりも分散学習した方が再生率が高いことは、一般に広く認められている。この効果を分散効果と言う。

この分散効果の存在は非常に古くから知られており、最初に確認されたのは、1885年の Ebbinghaus の無意味綴りを用いた実験である (Ebbinghaus, 1913)。それ以来、分散効果は、技能学習から系列刺激の記憶や文章の学習に至るまでの実に様々な学習内容・材料で確認されており、しかもその効果は極めて高く、長期間存続するとされる。例えば、分散効果は、無意味綴りに始まり、絵 (Hintzman & Rogers, 1973)、顔 (Cornell, 1980)、単語刺激 (Glenberg & Lehmann, 1980)、テキスト (Glover & Corkill, 1987) に至るまでの様々な学習材料の記憶や、足し算 (Ruch, 1928)、理科の専門用語の意味 (Reynolds & Glaser, 1964)、数学の公式 (Gay, 1973) の理解などの極めて複雑な学習で、幅広く認められてきている。また、分散効果の大きさは極めて大きく、集中学習の約 2 倍もの再生率をもたらす場合がある (Dempster, 1987)。また、分散学習と集中学習の効果の差は、学習の反復回数が増すほど広がるとされる (Underwood, 1970)。また、短期的な分散学習でも長期的な分散学習でも一様に分散効果が認められている (Baddeley, 1990)。さらに、再

生までの時間が長くなると特に集中学習と分散学習の効果の差は顕著となり (Glenberg & Lehmann, 1980)、その効果が 8 年もの長い間存続することを示す実験結果もある (Bahrick & Phelps, 1987)。

分散効果がこれほどまでに頑健でしかも長期間持続しうるものであるにもかかわらず、教育現場では、生徒にも教師にも、それほど分散学習の有効性が認識されていないことを示す研究結果がある。例えば、Zechmeister & Shaughnessy (1980) は、生徒は、分散して学習するよりも集中して学習した方が効果的だと信じているという調査結果を報告している。また、Rothkopf (1963) は、経験を積んだ教師ですら、同じ内容が分散して繰り返し記述されているテキストよりも、集中して繰り返し記述されているテキストの方が効果的だと評定する傾向があるという調査結果を報告している。

こうした現状を招いた最も大きな原因は、数多くの教育心理学書に分散学習が有効だとは書かれていても、なぜそうなのか、どういう条件でより効果的なのかといった、分散効果の原因やメカニズムが明確に記述されておらず、教育実践に活かせるほどの説得力や具体性に欠けていたためではないかと考えられる。実際、分散効果の原因については、これまでに、符号化多様性説、処理不足説など、数多くの説が提出されてきた。しかしながら、いずれの説に対しても相反する実際結果が提出されており、現在でも統一した見解が出され

¹ 信州大学工学部

ていない (Greene, 1989 ; 水野, 1996)。例えば、符号化多様性説は、分散提示の場合は刺激が提示される文脈が提示ごとに異なるため、1つの刺激に多様な符号化が可能となり、再生率が高まると説明する (e.g., Glenberg, 1979)。しかしながら、Postman & Knecht (1983) は、異文脈で提示するよりも同一文脈で提示した方が再生率が優れるという、符号化多様性説と完全に矛盾する実験結果を示した。また、Bellezza & Young (1989) は、同一文脈で分散提示しても分散効果は生じるという実験結果を得て、符号化多様性ではなく提示間隔をあけること自体が、分散効果の必要十分条件であるとした。もう1つの処理不足説は、連続提示の場合は、刺激の提示間隔内でリハーサル等の処理が十分行えないため、分散提示よりも再生率が低くなると説明する (e.g., Rundus, 1971)。これに対し、Hintzman & Rogers (1973) はリハーサル不可能な図形を分散提示する場合でも分散効果は得られること、そして、Toppino (1991) は、意図的なリハーサルをまだ行うことができないような幼児でも分散効果が得られることを見だし、処理不足が分散効果の原因ではあり得ないと主張した。

このように、これまで得られた実験結果は、いずれの説とも矛盾している。しかし、教育的観点から見て極めて重要かつ貴重な分散効果を、このように原因不明のまま放置しておくことは教育心理学者として不本意である。この認識の低さを是正し、教育現場でも分散学習が活用されるようにするためには、まず、一刻も早く分散効果の原因を明確にし、それをもとに具体的な教育的示唆ができるような根拠を得る必要がある。

こうした観点から水野 (1997) は、矛盾をかかえた従来の説に固執するのではなく、1回目に提示された刺激の記憶の活性度が分散提示と連続提示ではどのように異なるかという全く新しい観点から、分散効果の原因を改めて考察し直した。分散効果の原因の記憶の活性度の観点からの考察は、当然のことながら、既に何人かの研究者によって試みられてきた (e.g., Bellezza & Young, 1989 ; Overton & Adolphson, 1979)。しかしながらこれを考慮すると、分散効果は、1回目に提示された刺激の記憶の活性度が低く再生率が低いほど2回目の提示後の再生率が高まる現象だという、いわゆる記憶強度の逆説 (paradox of memory strength) (Landauer & Bjork, 1978) に至ってしまうため、こうした試みは早くから断念された。しかし、水野 (1997) は、1回目と2回目の記憶の活性度の状態ではなく、1回目の記憶の活性度が低い場合の2回目の提示時の処理の大きさに着目した。そして、分散提示の場合は1回目に提示

された刺激の記憶の活性度がある程度減衰しているため、再提示時の再活性化量が多くなるはずで (FIGURE 1), これが原因で再生率が高まるのだとすれば矛盾は解消され则认为、この考え方を分散効果の再活性化説と命名・提案した。そして、様々な提示間隔での分散効果を実験で測定し、そのデータをもとに記憶の活性度の変化をモデル化し、シミュレーションによって得られた再活性化量と再生実験で得られた再生率にロジスティックな関数関係があることを明らかにし、再活性化説の支持的証拠を得た。

ただし、水野 (1997) で採られた手法は、実験データに基づいて活性度の変化をモデル化し、このモデルに基づいて特定の条件下での再生率の変化を予想し、その予測を実験データと照合する、というものであり、活性度の変化を推定する方法自体は間接的なものと言わざるを得ない。そこで、本研究では、こうした間接的な手法によってではなく、より直接的な手法で、提示間隔に沿った記憶の活性度の変化と再活性化量を測定し、これと再生率の相関関係を明らかにすることで再活性化説に確証を得るとともに、そこから効果的な分散学習を可能にするような具体的な教育的示唆を得ることを目的とする。

本研究で用いようとする直接的な手法とは、反復プライミングという手法である。反復プライミング、あるいは、直接プライミング効果とは、直前に提示された先行刺激 (プライム) により、直後に提示される同一の刺激 (ターゲット) の処理が促進される効果を指す (Jacoby & Dallas, 1981 ; 太田, 1991)。この効果が生じる

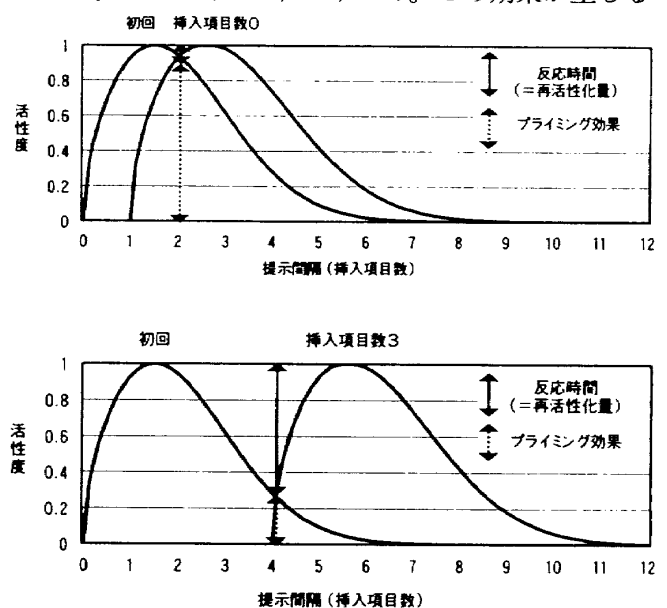


FIGURE 1 活性度の変化とプライミング効果・反応時間 (=再活性化量) の関係

原因は、活性化拡散理論 (Collins & Loftus, 1975) で仮定されているように、プライムによって当該刺激の記憶表象があらかじめ活性化されるためだとされており (Eysenck, 1994)、プライミング効果が大きいほど1回目の刺激提示によって活性化された記憶の活性度は高く、逆にプライミング効果が小さいほどその活性度は低いとされる。

したがって、1回目と2回目の刺激の提示間隔を独立変数とした反復プライミング実験で2回目に提示された刺激の処理時間を測定すれば、1回目に提示された刺激の記憶の活性度が提示間隔が広がるにつれてどのように減衰したかを知ることができることとなる。それだけでなく、この処理時間はまさに、2回目に提示された刺激の再処理に要した時間、すなわち、再活性化に要した時間に相当する (FIGURE 1 参照)。よって、反復プライミング実験での2回目に提示された刺激の処理時間は、まさに本研究で問題としている再活性化量の直接的な指標となる。

そこで本研究では、提示間隔を独立変数とした単語刺激の反復プライミング実験で2回目に提示された単語の処理時間を測定するとともに、同じ条件で再生率をも測定し、両者の相関関係を調べる。もしも処理時間と再生率に有意な相関が認められれば、分散効果の原因は再提示時の再活性化量にあるとする再活性化説の妥当性を検証することができる。

ただし、もう1つ考慮すべきは、再活性化される記憶が、作業記憶の場合と長期記憶の場合がありうるという点である。水野 (1997) の実験では、分散効果は、ある程度の提示間隔までは提示間隔とともに上昇するが、一定以上になると一旦低下した後ほぼ一定に落ち着くというように、2段階に変化することが見いだされた。そして水野 (1997) は、このような2段階の変化が生じるのは、提示間隔がある程度短く、1回目の記憶を2回目の提示時まで作業記憶内に保持しておける場合は、活性度が徐々に減衰していく作業記憶が再活性化されるが、それ以上提示間隔が開くと作業記憶ではなく、作業記憶から転送され定着した、活性度が比較的安定した長期記憶²が再活性化されるためではないかと考えた。そして、この考えを検証するために、実験と同一の刺激を用いて、同じ被験者の作業記憶容量を測定し、その作業記憶容量が、分散効果が大きく変化した提示間隔で保持されていたと考えられる刺激

の項目数とほぼ等しいことを見だし、この考えの支持的証拠を得た。そして、作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合の狭間に当たる部分で分散効果が一時的に低下するのは、これが作業記憶から長期記憶への過渡期にあたり、記憶が作業記憶から長期記憶に転送され定着するにはある程度の時間を要するため、一時的に作業記憶の再活性化も長期記憶の再活性化も困難になるからではないかとし、この考え方が、古くから唱えられている固定説 (consolidation theory) (Landauer, 1969)、すなわち、作業記憶から長期記憶への記憶の転送と長期記憶への記憶の固定 (定着) には、ある程度の時間を要するとする説と一致していることを指摘した。

よって本研究でも、以上の考え方にのっとり、再活性化説の下位仮説として、反復提示時に再活性化される記憶の種類は提示間隔によって異なり、提示間隔がある程度短い場合は作業記憶が、それ以上の場合は長期記憶が再活性化されると仮定する。この仮定が正しいければ、提示間隔がある程度短く作業記憶が再活性化される場合には、作業記憶の活性度が徐々に減衰すると考えられるため、再活性化量は徐々に増大し、これと相関して再生率が高まると予想される。そして、その後作業記憶から長期記憶への過渡期で一旦低下した再生率は、さらに提示間隔が広まり1回目に提示された刺激の記憶が作業記憶から長期記憶へ転送され定着すると、作業記憶より活性度は低い (Cantor & Engle, 1993) 安定した長期記憶が再活性化されるため、再活性化量は比較的多いまま安定し、その結果、再生率も提示間隔によらずある程度高く、しかも、安定すると予想される。これだけでなく、水野 (1997) では、作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合では再活性化量が再生率に及ぼす影響が異なり、長期記憶が再活性化される場合には、いわゆる検索練習効果 (Landauer & Bjork, 1978)、すなわち、長期記憶の検索経路の強化による再生率の上昇が見られることが示唆された。よって、長期記憶の再活性化量は、作業記憶の再活性化量に比べて、より高い再生率をもたらすことが予想され、その結果、作業記憶と長期記憶の再活性化量と再生率の相関関係には、こうした微妙な違いが見られると予想される。

方 法

被験者 大学生28名。

課題 再活性化量の指標としての処理時間の測定には反復プライミング実験で一般的に用いられる単語か

² 本論文では便宜上、特に不明確でない限り、器としての記憶システムを指す場合にも中身である記憶表象自体を指す場合にも、作業記憶、長期記憶という名称を用いるものとする。

非単語かを判断する語彙判断課題を用い、提示ごとに語彙判断時間を測定する。2回目の語彙判断時間は再活性化量の指標となり、1回目の語彙判断時間は活性化度の初期値が条件によらず一定であることを確認するのに用いる。再生率の測定には自由再生課題を用いる。

条件 提示間隔は挿入項目数で操作し、0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 20語の10条件を設けた。例えば、A, A, B, C, B, D, C, …の場合、Aの提示間隔は挿入項目数0（以下、In0: Insertion 0）、Bの提示間隔はIn1、Cの提示間隔はIn2となる。

刺激 刺激系列は、各提示間隔条件が同じ回数だけ出現するよう作成せねばならない。また、系列の初頭部と新近部のデータは、系列位置効果の影響を受けるので分析から除外せねばならない。さらに、特定の提示間隔条件が現れる系列位置に偏りがあってはならない。そこで、刺激系列の60項目のうち、最初と最後の6項目ずつは、分析の対象としないフィラー単語と非単語の各6項目計12項目で構成されるようにした。また、分析の対象となる中央部分の48項目については、各提示間隔条件が1回ずつ出現し、なおかつ、反復提示を行わない統制条件が4回出現するように設定した。4回としたのは、最初と最後のフィラー単語を含めて反復提示されない項目数と反復提示される項目数を等しく10項目ずつにするためである。そして、分析の対象となる統制条件4語と各提示間隔条件10語の計14語の単語が、すべての条件に等しく出現するような設定ができるよう、上記の条件を満たす刺激系列をまず16種類作成し、その中から、できるだけプライムが出現する系列位置に偏りが生じないように、系列位置の分散が最小となる14種類の系列を選定した（APPENDIX）。

刺激については、語彙判断時間の測定と再生率の測定の2つのセッションの各々で、各被験者が60項目1系列の試行を2回ずつ行うため、分析の対象となる単語は、14語×2試行×2セッションの計56語必要となる。よって、まず、使用率順語彙表(国立国語研究所, 1984)から、同音異義語がなく、出現頻度がほぼ等しい2文字4拍からなる漢字表記の名詞語200語を選出し、その中から形態的複雑さに大きな違いが生じないように画数の合計が中程度の19画から25画の単語56語を、漢字が重複しないよう選出した（TABLE 1）。6語×2試行×2セッションの計24語のフィラー単語は、残りの144語のうち、上記56語と漢字の重複がないものの中からランダムに選出し、30語×2試行×2セッションの計120語の非単語は、上記80語と漢字が重複しないよう留意しながら、残りの120語の単語の1文字を別の単語の1文

TABLE 1 各セッションで用いた統制条件と反復提示条件の単語刺激

試行	語彙判断							
1回目	応援	開拓	民謡	洞窟	演奏	減税	建築	
	役割	農村	軍隊	通勤	年齢	訓練	運賃	
2回目	郵便	到達	財産	歓迎	番組	随筆	録音	
	動物	英雄	暖房	発電	診断	顔色	薬品	
試行	自由再生							
1回目	実現	往復	空想	提案	防衛	経歴	迷惑	
	満足	推測	風景	訪問	偶然	報道	困難	
2回目	偏見	作戦	造船	連絡	損害	栄養	栽培	
	論文	貿易	能率	分類	絶望	尊敬	道楽	

字に置き換えて作成した。

その上で、2つのセッションの各々で、分析の対象となる単語がすべての条件に1度ずつ出現するよう割り当てた14組を2試行分用意し、セッション間で同じ系列が割り当てられることのないよう留意しながら、各被験者に各試行1組ずつを、重複のないよう割り当てた。よって、いずれの実験でも、各条件に割り当てられた分析の対象となる単語は被験者ごとに異なるとともに、各単語は全条件に出現することになる。フィラー単語と非単語の割り当ては、被験者ごとにランダムである。

手続き パーソナル・コンピュータ（NEC PC9821Xa）による個別実験を行った。

大学生3名を被験者とした提示時間2000msの予備実験で、語彙判断時間が1500msを上回ることではないことが確認されたので、各刺激の提示時間は1500msとした。最初の語彙判断時間を測定するセッションでは、被験者は、短い練習の後、3分の休憩をはさんで2つの試行を行った。各試行で被験者は、刺激が1500msごとに1項目ずつ、ディスプレイ（飯山電機 MF8617）中央に提示されてゆくので、提示された語が単語だと思ふ場合はYes、非単語だと思ふ場合はNoのキーをできるだけ早く正確に押すように教示された。また、反応とともに単語は両面から消えるが、次の提示は反応時間に関わりなく1500ms後に提示されるので、1500ms以内に答えられない場合は、無解答となって次の単語が提示されることをあらかじめ注意した。反応と反応時間はすべてコンピュータに記録された。ここまでの所要時間は、約20分であった。その後、5分の休憩を置いて自由再生のための記録のセッションが開始された。このセッションでも被験者は短い練習の後、3分の休憩をはさんで2つの試行を行った。試行

ごとに被験者には、1500ms ごとにディスプレイ中央に提示されてゆく単語をできるだけたくさん覚えるよう教示した。各試行後は、作業記憶からの再生を妨害するために、分析の対象とならない最後の6項目分の提示時間が9秒間だったので、さらに、11秒間数字の逆算課題を行わせ、その後自由再生用紙への記入開始を促し、終了したら手を挙げるよう教示した。自由再生に要した時間は1セッションにつき、約5分であった。再生実験の所要時間は約30分で、全実験の所要時間は平均約55分であった。

結果と考察

語彙判断時間

正答率の平均は92.3% (6.7) であり、以下の分析では、正答の反応時間だけを用いた。

FIGURE 2 には、統制条件の全反応時間の平均と、反復提示条件の1回目提示時と2回目提示時の反応時間の提示間隔ごとの平均を示す。

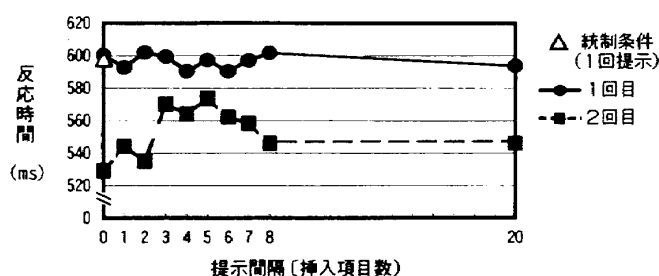


FIGURE 2 反復プライミング実験での提示間隔ごとの平均反応時間の変化

まず、1回しか提示されない統制条件での平均反応時間が、単語の反復提示条件の1回目と2回目の平均反応時間とどのような関係にあるかを対応のある t 検定で検討した。その結果、統制条件の反応時間は、1回目の平均反応時間とは有意差がないが ($t(27)=0.25$, ns), 2回目の平均反応時間とは有意差があり ($t(27)=6.80$, $p<.01$), 2回目の反応だけが促進されていることが確認された。

そこで、反復条件の平均反応時間が、提示回数と提示間隔によってどのように異なるかを見るために、各被験者の各条件の2試行の平均反応時間をもとに、提示回数 (2) × 提示間隔 (10) の被験者内2要因分散分析を行った。その結果、提示回数の主効果には傾向があったが ($F(1,27)=3.13$, $p<.1$), 提示間隔の主効果は有意ではなく ($F(9,243)=0.79$, ns), そして、交互作用は有意であった ($F(9,243)=4.61$, $p<.01$)。

そこでまず、提示間隔ごとの提示回数の単純主効果を検定したところ、In3 ($F(1,270)=1.24$, ns) を除いたすべての提示間隔条件で有意であった (In0-In2, In4-In20 の順に, $F(1,270)=51.34$, 23.69, 45.09, 7.00 (以上 $p<.01$), 5.59 ($p<.05$), 7.98, 15.21, 31.18, 31.72 (以上 $p<.01$))。したがって、提示回数の主効果が傾向有りにとどまったのは、In3で提示回数の差がなかったことが影響したからにすぎず、ほとんどすべての条件で2回目の提示時の反応時間の方が早く、反復プライミング効果が認められたことになる。

また、提示回数ごとの提示間隔の単純主効果の検定では、1回目の平均反応時間の単純主効果は有意ではなく ($F(9,486)=0.25$, ns), 2回目の平均反応時間の単純主効果は有意であった ($F(9,486)=2.84$, $p<.01$)。この結果は、1回目の提示前の記憶の活性度の初期値には条件間に差がなく、2回目の提示前の記憶の活性度には差があったことを示しており、2回目の平均反応時間を再活性化量の指標と見なすための前提が満たされたと言える。

次に、この2回目の平均反応時間が提示間隔によってどのように異なるかを見るために、TukeyのHSD検定による多重比較を行った。その結果、HSD ($p<.05$) = 24.77, HSD ($p<.01$) = 32.55となり、2回目の語彙判断時間は、In0とIn3, In4, In5, In6 (以上 $p<.01$), In7 ($p<.05$) の間、In1とIn3, In5の間 (ともに $p<.05$), In2とIn3 ($p<.01$), In4 ($p<.05$), In5 ($p<.01$), In6 ($p<.05$) の間、そしてIn5とIn8, In20の間 (ともに $p<.05$) で有意に異なっていた。

この結果は、再活性化量は、In0の連続提示条件と、In1, In2という提示間隔が極めて短い分散提示条件で非常に少なく、In3からIn5ないしはIn6にかけての中等度の提示間隔条件で多くなり、In8, In20という提示間隔の長い条件で再びやや少なく一定となったことを示しており (FIGURE 2 参照)、冒頭で述べた、作業記憶が再活性化される場合の再活性化量の変化と長期記憶が再活性化される場合の再活性化量の変化の予想と一致した。

また、この結果から、作業記憶から長期記憶に記憶が転送され定着する過渡期は、In6ないしはIn7の周辺で、これ以前の条件では作業記憶が、これ以降は長期記憶が再活性化された可能性が示唆された。よって次の再生率、及び、語彙判断時間と再生率の関係の分析では、この可能性を念頭に入れ検討を行った。

再生率

統制条件の平均再生率、及び、反復条件の提示間隔ごとの平均再生率を FIGURE 3 に示す。

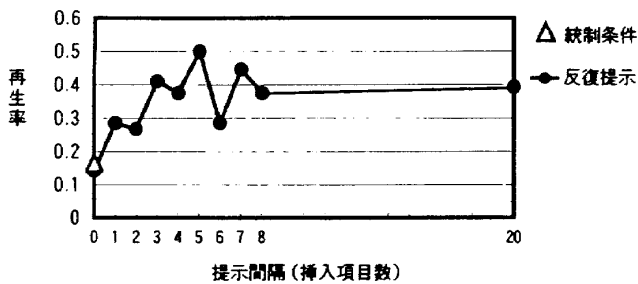


FIGURE 3 再生実験での提示間隔ごとの再生率の変化

まず、1回しか提示されなかった統制条件の平均再生率と反復条件の提示間隔ごとの平均再生率を対応のある t 検定で比較した。その結果、統制条件と In0 から In2、及び In6 との間には有意差がなく (この順で、 $t(27) = 0.44, 1.86, 1.82, 1.89, ns$)、In3 から In5 及び In7 から In20 までとの間には有意差があった (この順で、 $t(27) = 3.46, 2.93, 5.25, 4.12, 3.20, 3.53, p < .01$)。つまり、連続提示 (In0) や提示間隔が短い場合は、1回しか提示しない場合とほぼ同じ効果しか持たなかったことになり、これはこれまでの研究結果と一致している。

この結果を再活性化説によって解釈すれば、連続提示や提示間隔の短い分散提示の場合は、1回目の記憶の活性化がまだほとんど減衰していないために、再活性化量がほとんどなかったためだと考えられ、事実、上述の語彙判断時間の分析で、こうした条件の語彙判断時間は極めて短かく、再活性化量が少なかったことも、この解釈の妥当性を示している。

次に、反復条件の再生率が提示間隔によってどのように異なるかを見るために、個人の条件ごとの2試行の再生得点の平均をもとに、提示間隔 (10種) を要因とする1要因の被験者内分散分析を行った。その結果、被験者の主効果は有意ではなかったが ($F(27, 243) = 1.14, ns$)、提示間隔の主効果 ($F(9, 243) = 2.69, p < .05$) が有意であり、提示間隔によって再生率が異なることが明らかとなった。そこで、どの提示間隔条件間に差があるのかを見るために、Tukey の HSD 検定を行った。その結果、 $HSD (p < .05) = 0.247$ で、In3, In5, In7 の再生率が In0 より有意に高く、その他に有意差は見られなかった。

ただし、本研究では、提示間隔間の再生率の有意差を仮定しているのではなく、再活性化量に応じた再生率の漸進的な変化を仮定している。よって、こうした変化が生じたか否かは、次の語彙判断時間と再生率の関係の分析で詳しく検討・考察する。

また、語彙判断時間の分析の結果、作業記憶から長

期記憶への過渡期だと考えられた In6 ないしは In7 のうち、In6 については、統制群との比較でも提示条件間の比較でも一貫して再生率が低かった。このことは、その過渡期が In6 であったことを示唆しており、この点についても、語彙判断時間と再生率の関係の分析で詳しく検討するものとする。

語彙判断時間と再生率の関係

FIGURE 4 に全条件の語彙判断時間と再生率の散布図を示す。

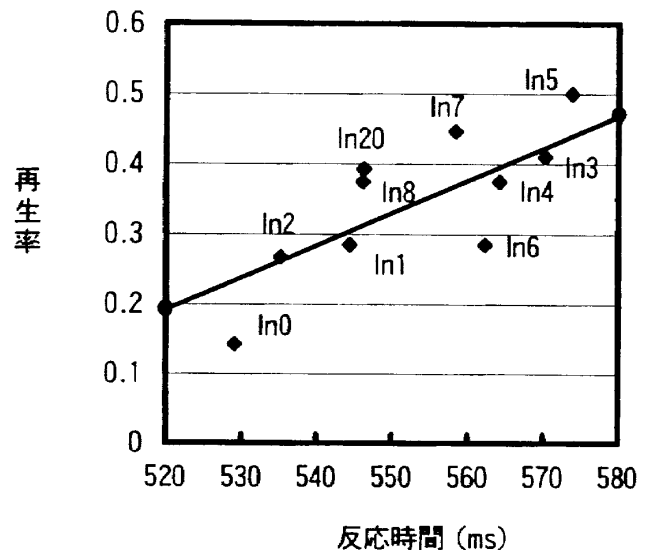


FIGURE 4 反応時間 (再活性化量) と再生率の関係

全体での語彙判断時間と再生率の相関係数は $r = 0.778$ と有意に高く ($t(8) = 3.505, p < .01$)、再活性化量と再生率の強い相関関係が明らかとなった。したがって、再活性化量が再生率に影響するとする再活性化説は、支持的証拠を得たと言えよう。

次に、この語彙判断時間と再生率の関係が、作業記憶が再活性化される場合、過渡期、そして、長期記憶が再活性化される場合で、予想したように異なるか否かを詳しく検討した。FIGURE 4 の回帰直線を利用しつつそれぞれの場合の散布点を詳しく見ると、作業記憶が再活性化されたと考えられる In0 から In5 までと比べて、In6 では、反応時間に比して再生率が低いことがわかる。これは、In6 が作業記憶から長期記憶への過渡期にあたるとした先の考察を裏づける結果であり、また、こうした過渡期にはいずれの再活性化も難しく、そのために再生率が低下するとした、水野 (1997) の見解とも一致するものである。また、In6 よりも提示間隔が長く、長期記憶が再活性化されたと考えられる In7, In8, In20 では逆に、In6 未満の提示間隔条件に比べて反応時間に比して再生率が高く、しかも、散布点が固まっ

ていることがわかる。これは、長期記憶が再活性化される場合には、語彙判断時間、再生率ともに比較的安定し、しかも、検索練習効果の影響で、作業記憶が再活性化される場合よりも再生率が全体的に高くなるという予想と一致している。

そこで、全体の相関関係に含めるのではなく、作業記憶が再活性化される場合、過渡期、長期記憶が再活性化される場合の各々の相関係数を別個に求め、上記のような特性を反映した相関関係の微妙な違いが見られるか否かを検討した。その結果、作業記憶が再活性化された In0 から In5 までの条件だけでの相関係数は、 $r=0.955$ と全体の相関係数よりさらに高く、有意な値となった ($t(4)=6.546, p<.01$)。また、In6 が過渡期にあたり、他の異質な関係にあることを確認するために、全体から In6 だけを除いた相関係数を求めたところ、 $r=0.864$ と、これも全体の相関係数よりも高い、有意な値となった ($t(7)=4.546, p<.01$)。そして、残りの In7, In8, In20 という長期記憶が再活性化された条件だけでの相関係数も求めたところ、 $r=0.973$ と極めて高い値となったが、データ数が 3 と少ないため、検定では傾向だけが認められた ($t(1)=4.178, p<.01$)。さらに、作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合の相関関係の特性を明らかにするために、各々の回帰直線式を求めた。その結果、作業記憶の場合は $y=5.227x-2.559$ (ただし、 x は反応時間(second), y は再生率)、長期記憶の場合は $y=3.438x-1.487$ で、FIGURE 4 と言えば、520ms での再生率はそれぞれ 0.159, 0.301, 580ms での再生率はそれぞれ 0.473, 0.507 となり、長期記憶が再活性化される場合の方が、反応時間に比して再生率が全般的に高いことを示していた。

このように、全体として再活性化量と再生率に強い相関関係が認められ、しかも、作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合の相関関係に各々その特性を反映した微妙な違いが認められたことは、分散効果は再活性化量に起因するとした再活性化説の基本的仮定のみならず、再活性化される対象は提示間隔によって作業記憶の場合と長期記憶の場合があるとした再活性化説の下位仮説の妥当性を示すものである。

討 論

本研究では、反復プライミングの手法を応用することにより、分散効果は記憶の再活性化量が原因となって生起し、提示間隔によって作業記憶が再活性化される場合と長期記憶が再活性化される場合があるという

再活性化説に、より直接的な証拠を得ることができた。

このように再活性化説が検証され、再活性化量が再生率に影響することが明らかになったことで、また、再活性化説が提示間隔による再活性化量の変化を予測できるような具体性を備えているからこそ、以下に述べるような、効果的な分散学習を実現するための応用研究に向けての具体的な予想や、教育心理学的示唆を提供することができる。

短期的な分散学習の場合は、再活性化量を多くするには、以前学習した材料の作業記憶内の記憶活性度が減衰し、長期記憶へと移行する直前で教材を再提示するのが最も有効だということになる。その学習スパンは学習材料によっても作業記憶容量の個人差によっても異なると考えられるため、事前に特定することは難しい。しかしながら、提示回数を増した場合の効果的な分散学習スケジュールについては、次のような一般的な予想が導きうる。

水野 (1997) の研究では、提示回数 2 回だけでなく 3 回までの分散効果の大きさが検討された。そして、本研究と同様の自由再生実験の結果、提示回数が増えても単純に再生率が上昇するわけではないこと、そして、提示回数が増えると再生率の上昇にはより広い提示間隔が必要なが見いだされた。この結果の示唆することは、提示回数が増えると、記憶活性度の減衰速度が緩やかになり、以前と同じだけの再活性化量を得るためには、より広い提示間隔をあけなければならない可能性がある、ということである。これが確かだとすれば、必然的に、提示回数を増やすごとに徐々に提示間隔を広げてゆく分散学習スケジュールが最も有効なのではないかという予測が成り立つ。

よって今後は、本研究と同様、反復プライミングの原理を応用し、さらに提示回数を増やした場合の刺激の語彙判断時間を測定することで、提示回数ごとの記憶の活性度の変化を明らかにし、提示回数とともに減衰速度が緩やかになるという直接的な証拠を得る。その上で、提示回数ごとに最も再活性化量が多くなる提示間隔を調べ、その提示間隔で徐々に学習間隔が広がっていく分散学習スケジュールが最も効果的になることを確認することができれば、再活性化説の妥当性にさらなる確証が得られるだけでなく、最も効果的な分散学習スケジュールの実現に関して、教育現場ですぐにも活かすことができるような、具体的な示唆が得られるであろう。

一方、長期的な分散学習の場合は、長期記憶の再活性化が可能なぎりぎりの限界で教材を再提示すること

が最も効果的となると予想することができる。実際、先述した検索練習効果の研究でも、検索可能なぎりぎりの時点で検索させることが、最も再生率を高めることが明らかにされている (Landauer & Bjork, 1978)。そして、その検索可能なぎりぎりの時点とは、再活性化量が最も多くなる時点に他ならない。逆に、再活性化説からは、再活性化が不可能なほど学習間隔があいた場合には、再学習の効果がほとんどないであろうという予想も導くことができる。直感的にも、全く思い出すことのできないことをもう1度教えられても、初めて学習するのと何ら変わらないと考えられる。

これらを総合すると、長期的な分散学習の場合、教師は、子供が完全に忘れる直前に再学習させることを目指して学習スケジュールを設定すべきだということになる。そして、たとえ子供によって学習の深度が異なり、それを一律に設定することが不可能な場合でも、教師は、子供たち1人1人の学習深度をできるだけ見きわめた上で、以前の授業の内容を、覚えていそうな子供には質問し、覚えていそうな子供には再提示するといった工夫をすることで、学習効果を高めることができると考えられる。

様々なアプローチによって再活性化説の基本的妥当性が確認された今、教育現場で活用されることを目指してこうした長期的な分散学習の有効性の検討をさらに進めてゆくためには、もはやこれまでのように単純な刺激を用いた厳密な条件設定のもとでの活性度の変化や再活性化量にとらわれるのではなく、より現実的で複雑な学習材料を用いた、より長期的なスパンでの教育効果を、巨視的な観点から検討するといった方向の研究が必要であり、より生産的となろう。

引用文献

- Baddeley, A.D. 1990 *Human Memory : Theory and Practice*. Boston, MA : Allyn and Bacon.
- Bahrick, H.P., & Phelps, E. 1987 Retention of Spanish vocabulary over 8 years. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 13, 344—349.
- Bellezza, F.S., & Young, D.R. 1989 Chunking of repeated events in memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 12, 496—508.
- Cantor, J., & Engle, R.W. 1993 Working memory capacity as long-term memory activation : An individual-differences approach. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1101—1114.
- Collins, A.M., & Loftus, E.F. 1975 A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407—428.
- Cornell, E.H. 1980 Distributed study facilitates infants' delayed recognition memory. *Memory & Cognition*, 8, 539—542.
- Dempster, F.N. 1987 Effects of variable encoding and spaced presentations on vocabulary learning. *Journal of Educational Psychology*, 79, 162—170.
- Ebbinghaus, H. 1913 *Memory* (H.A. Roger & C.E. Bussenius, Trans.). New York : Teachers College.
- Eysenck, M.W. 1994 *The Blackwell dictionary of cognitive psychology*. Oxford : Blackwell Publishers.
- Gay, L.R. 1973 Temporal position of reviews and its effect on the retention of mathematical rules. *Journal of Educational Psychology*, 64, 171—182.
- Glenberg, A.M. 1979 Component-level theory of the effect of spacing of repetitions on recall and recognition. *Memory & Cognition*, 7, 95—112.
- Glenberg, A.M., & Lehmann, T.S. 1980 Spacing repetitions over 1 week. *Memory & Cognition*, 8, 528—538.
- Glover, J.A., & Corkill, A.H. 1987 Influence of paraphrased repetitions on the spacing effect. *Journal of Educational Psychology*, 79, 198—199.
- Greene, R.L. 1989 Spacing effects in memory : A two-process account. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15, 371—377.
- Hintzman, D.L., & Rogers, M.K. 1973 Spacing effects in picture memory. *Memory & Cognition*, 1, 430—434.
- Jacoby, L.L., & Dallas, M. 1981 On the relationship between autobiographical memory and perceptual learning. *Journal of Experimental Psychology : General*, 3, 306—340.
- 国立国語研究所 1984 現代雑誌九十種の用語用字 第1分冊 総記および語彙表, 第4版 国立国語研究所報告 21 秀英出版

- Landauer, T.K. 1969 Reinforcement as consolidation. *Psychological Review*, **76**, 82—96.
- Landauer, T.K., & Bjork, R.A. 1978 Optimum rehearsal patterns and name learning. In M. M.Gruneberg, P.E.Morris, & R.N.Sykes (Eds.), *Practical aspects of memory*. London : Academic Press. Pp. 625—632.
- 水野りか 1996 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.
- 水野りか 1997 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.
- 太田信夫 1991 直接プライミング 心理学研究, **62**, 119—135.
- Overton, R.C., & Adolphson, C.J. 1979 Multiple-trace retrieval : A trace-to trace retrieval process? *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, **5**, 485—495.
- Postman, L., & Knecht, K. 1983 Encoding variability and retention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **22**, 133—152.
- Reynolds, J.H., & Glaser, R. 1964 Effects of repetition and spaced review upon retention of a complex learning task. *Journal of Educational Psychology*, **55**, 297—308.
- Rothkopf, E.Z. 1963 Some observations on predicting instructional effectiveness by simple inspection. *Journal of Programmed Instruction*, **3**, 19—20.
- Ruch, T.C. 1928 Factors influencing the relative economy of massed and distributed practice in learning. *Psychological Review*, **35**, 19—45.
- Rundus, D. 1971 Analysis of rehearsal processes in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, **89**, 63—77.
- Toppino, T.C. 1991 The spacing effect in young children's free recall : Support for automatic-process explanations. *Memory & Cognition*, **19**, 159—167.
- Underwood, B.J. 1970 A breakdown of the total-time law in free-recall learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **9**, 573—580.
- Zechmeister, E.B., & Shaughnessy, J.J. 1980 When you know that you know and when you think that you know but you don't. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **15**, 41—44.

謝 辞

実験結果の統計処理に関して貴重なご助言をいただきました、名古屋大学教育学部、村上隆教授に、厚く御礼申し上げます。

また、実験装置の移転をご考慮くださいました、前所属先である静岡理工科大学の理事長、学長、ならびに、事務職員の方々に、記して感謝の意を表します。

(1997.6.13 受稿, 11.15 受理)

The Cause of the Spacing Effect : A Test on the Influence of Reactivation Amount

RIKA MIZUNO (FACULTY OF ENGINEERING, SHINSHU UNIVERSITY) JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 1998, **46**, 11—20

This study aims at testing a reactivation theory of the spacing effect by reference to the principle of repetition priming. Its basic assumption is that the amount of reactivation of either working or long-term memory, which is determined by space size, at the time of succeeding presentation determines the size of the spacing effect, which should be larger in distributed presentation than in massed presentation as the memory activated at the preceding presentation decays within the space. The principle of repetition priming is that the processing time of succeeding stimulus is in inverse proportion to the activation level of preceding stimulus ; therefore, it was thought that processing time could reflect exactly the amount of reactivation. In the experiment with space as an independent variable, lexical decision time and free recall rate of each stimulus were measured. The results showed that lexical decision time as an index of the amount of reactivation and recall rate correlate significantly, and that the space size determined whether working or long-term memory were reactivated. All of these results support the assumptions of the reactivation theory.

Key words : spacing effect, reactivation, working memory, long-term memory, repetition priming.

APPENDIX 刺激系列

系列位置	系 列 番 号													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	N ^{a)}	N	F	F	N	F	N	N	F	F	F	N	F	N
2	F ^{b)}	F	N	F	F	N	F	F	N	N	N	F	N	N
3	N	F	F	N	F	N	F	F	F	N	N	N	F	N
4	F	N	N	N	F	N	N	N	F	N	F	N	N	F
5	F	F	F	F	N	F	N	F	N	F	N	F	F	F
6	N	N	N	N	N	F	F	N	N	F	F	F	N	F
7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
8	N	N	N	N	N	N	C	N	N	N	(6,1)	N	C	(0,1)
9	C ^{c)}	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	(0,2)
10	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	(7,1)	N	N	N
11	N	N	N	N	N	N	(0,1)	C	C	N	N	N	(1,1)	(2,1)
12	N	(3,1)	C	N	N	N	(0,2)	N	N	N	N	C	N	C
13	(5,1) ^{d)}	N	(7,1)	(2,1)	N	C	N	N	N	(8,1)	N	N	(1,2)	N
14	N	N	N	N	N	N	N	(6,1)	(5,1)	N	(20,1)	N	N	(2,2)
15	N	N	(6,1)	N	(4,1)	N	N	N	N	N	(6,2)	(0,1)	(2,1)	N
16	(1,1)	(3,2)	N	(2,2)	(2,1)	N	N	N	C	(0,1)	C	(0,2)	N	(4,1)
17	N	N	C	N	N	C	N	N	N	(0,2)	N	N	N	(1,1)
18	(1,2)	C	N	N	C	N	N	(0,1)	N	N	(7,2)	N	(2,2)	N
19	(5,2)	N	(4,1)	C	(2,2)	(3,1)	(1,1)	(0,2)	N	N	N	N	(7,1)	(1,2)
20	N	C	N	N	(4,2)	(8,1)	C	N	(5,2)	C	(5,1)	C	N	N
21	C	N	(7,2)	N	(0,1)	N	(1,2)	(6,2)	(3,1)	N	N	N	C	(4,2)
22	N	C	(6,2)	N	(0,2)	N	N	N	N	(8,2)	N	(7,1)	N	(3,1)
23	N	(7,1)	N	C	(5,1)	(3,2)	N	(4,1)	(7,1)	N	C	N	N	N
24	(6,1)	N	(4,2)	(8,1)	N	N	(8,1)	N	N	C	N	N	N	(5,1)
25	N	(1,1)	(5,1)	C	N	(20,1)	(2,1)	(20,1)	(3,2)	N	(4,1)	(3,1)	(20,1)	N
26	N	N	(1,1)	(3,1)	(1,1)	(5,1)	(7,1)	(3,1)	N	N	(5,2)	N	(6,1)	(3,2)
27	N	(1,2)	(20,1)	(4,1)	(20,1)	(0,1)	N	(8,1)	(20,1)	(7,1)	N	C	(7,2)	N
28	N	(20,1)	(1,2)	N	(1,2)	(0,2)	(2,2)	(4,2)	(1,1)	N	(8,1)	N	N	C
29	(20,1)	(8,1)	N	(20,1)	(5,2)	(8,2)	(20,1)	(7,1)	N	(20,1)	N	(3,2)	N	N
30	(4,1)	N	(2,1)	(3,2)	N	N	N	(3,2)	(1,2)	(6,1)	(4,2)	(7,2)	N	(5,2)
31	(6,2)	(7,2)	(5,2)	(6,1)	C	N	N	C	(7,2)	(1,1)	N	(20,1)	N	N
32	N	(6,1)	N	(4,2)	N	(5,2)	(3,1)	N	N	N	C	N	N	N
33	C	(0,1)	(2,2)	(8,2)	N	N	(8,2)	(5,1)	(0,1)	(1,2)	N	(4,1)	(6,2)	(20,1)
34	N	(0,2)	N	N	(8,1)	(6,1)	(7,2)	N	(0,2)	(5,1)	(3,1)	(8,1)	N	N
35	(4,2)	N	(3,1)	(1,1)	(6,1)	(4,1)	(6,1)	C	(2,1)	(7,2)	N	N	(3,1)	C
36	(2,1)	(4,1)	N	(7,1)	N	(7,1)	(3,2)	(8,2)	(4,1)	(4,1)	(20,2)	(2,1)	C	N
37	(7,1)	(2,1)	C	(1,2)	C	N	N	(7,2)	(8,1)	(6,2)	(8,2)	N	N	N
38	(8,1)	(8,2)	(8,1)	(6,2)	N	C	N	(2,1)	(2,2)	N	(3,2)	(4,2)	(5,1)	(6,1)
39	(2,2)	(6,2)	(3,2)	(5,1)	(7,1)	(2,1)	N	(5,2)	N	C	N	(2,2)	(3,2)	N
40	(3,1)	(2,2)	N	(0,1)	(3,1)	(4,2)	(4,1)	N	N	(5,2)	N	N	N	(7,1)
41	N	(4,2)	N	(0,2)	N	(6,2)	C	(2,2)	(4,2)	(4,2)	N	(6,1)	(0,1)	N
42	(0,1)	(5,1)	N	N	(6,2)	(2,2)	(6,2)	(1,1)	(6,1)	N	(2,1)	N	(0,2)	(8,1)
43	(0,2)	N	N	N	(8,2)	N	(5,1)	N	N	(3,1)	N	(8,2)	N	C
44	(3,2)	N	N	(7,2)	(3,2)	(7,2)	N	(1,2)	C	N	C	(5,1)	(5,2)	N
45	(7,2)	N	C	(5,2)	C	N	(4,2)	N	N	(2,1)	(2,2)	N	(8,1)	(6,2)
46	N	C	N	N	N	(20,2)	N	(20,2)	(8,2)	N	N	N	(20,2)	N
47	(8,2)	N	(8,2)	N	(7,2)	(1,1)	C	N	N	(3,2)	(1,1)	(1,1)	(4,1)	N
48	N	(5,2)	(20,2)	N	(20,2)	N	N	C	(20,2)	(2,2)	N	(6,2)	N	(7,2)
49	N	(20,2)	(0,1)	C	N	(1,2)	(5,2)	N	(6,2)	N	(1,2)	(1,2)	N	N
50	(20,2)	N	(0,2)	(20,2)	N	N	(20,2)	N	N	(20,2)	N	(5,2)	C	N
51	N	N	N	N	N	C	N	N	N	C	N	N	N	(8,2)
52	C	N	N	N	N	N	N	N	N	N	(0,1)	(20,2)	(4,2)	N
53	N	N	N	N	N	N	N	N	C	N	(0,2)	N	N	N
54	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	(8,2)	(20,2)
55	N	F	N	N	F	F	F	F	F	N	N	N	N	N
56	F	N	F	F	N	N	N	N	N	F	F	F	N	N
57	F	F	N	N	F	N	N	N	N	F	F	N	F	F
58	N	N	F	F	N	F	N	F	N	N	F	F	F	F
59	F	F	N	N	F	F	F	N	F	N	N	F	N	F
60	N	N	F	F	N	N	F	F	F	F	N	N	F	N

^{a)} N：非単語(nonword), ^{b)} F：フィラー(filler), ^{c)} C：統制条件単語(control), ^{d)} (提示間隔, 提示回数)