

処理水準の再活性化説による説明可能性の実験的検討¹

水野りか*

本研究は、処理水準説で説明されてきた形態・音韻・意味処理課題の再生率の違いが、分散効果の原因説として提起された再活性化説によって、より合理的かつより具体的に説明・予測できることを実験的に検証することを目的とした。実験では、形態・音韻・意味処理課題を、1回呈示した場合と様々な呈示間隔で反復呈示した場合の反応時間と再生率が測定された。処理水準説のもとでは、1. 浅い処理の場合は反復呈示しても再生率が上昇しない、2. 反応時間は再生率と相関しない、と予想された。一方、再活性化説のもとでは、1. いずれの処理も反復呈示によって再生率が高まる、2. 再生率が最大となる反復間隔は、意味処理ほど広い、3. 加重累積反応時間は再生率とロジスティックな相関を成す、と予想された。実験結果は、処理水準説のもとでの予想と相反し、再活性化説の予想を支持するもので、これらの課題を処理した際の記憶定着のメカニズムの説明には、処理水準説よりも、再活性化説を適用した方が妥当であることが示された。

キーワード：再活性化説, 処理水準説, 反復呈示, 再生率, 反応時間

問題と目的

心理学的知見の中で、教育への応用可能性が最も高いものの1つは、記憶定着に関する知見であろう。

記憶定着を促進する認知活動・要因・効果としては、リハーサル、処理水準、精緻化、検索練習効果、生成効果、分散効果、など、実に様々なものが見いだされてきた。そして、これらの知見は、これまで比較的独立な文脈で検討されてきた。

しかしながら、人間の脳や記憶の合理性や経済性を考えると、これらの様々な認知活動・効果が生起するメカニズムが、全く独立の、別個のものであるとは考えにくい。筆者は、その根底には記憶定着を促す共通のメカニズムが存在し、上記のような種々の認知活動や要因は、単にその共通のメカニズムを別の形で促進しているに過ぎないのではないかと考えた。

筆者は、記憶定着に関わる上記知見のうち、分散効果を生む要因についての研究を重ね、記憶の再活性化量が再生率に影響するとする再活性化説を提起・検証した(水野, 1996, 1997a, 1997b, 1998a, 1998b)。そして、この再活性化説が、その共通のメカニズムなのではないかと考えるに至った。

本研究では、種々の記憶定着の要因の中から、最も代表的な処理水準を取り上げ、この要因を再活性化説が、いかに合理的に説明可能かを実験的に検証することを目的とした。

分散効果の再活性化説

間隔をあげない集中呈示よりも間隔をあげた分散呈示の方が再生率が高くなるという分散効果は、古くから知られる極めて頑健な効果である(Dempster, 1996)。しかしその原因については、数多くの説が提案されてきたが、いずれの説にも反証があり、統一の見解が出されていなかった(Greene, 1989; 水野, 1996)。

水野(1996)はこの原因を、記憶活性度の観点から再考した。そして、分散呈示では集中呈示とは異なり、一旦減衰した記憶活性度が改めて活性化されると考えれば(FIGURE 1)、そして、この再活性化量が再生率に影響すると考えれば、これまでの多様な実験結果を一貫して説明できることを理論的に示し、この説を再活性化説と命名・提起した。そして水野(1998a)は、反復プライミングでターゲットの処理が早まるのは、プライムが当該刺激の記憶活性度をあらかじめ高めるからであること(太田, 1991)に着目し、反応時間を再活性化量の指標とし、これと再生率との相関関係を示すことで、この説の妥当性を検証した。

次に、水野(1998b)は、反復回数を3回にした実験で、2回目の呈示が効果的な間隔で行われた時ほど、最も効果的となる3回目の呈示間隔が広がったことから、学習時の再活性化量が多い時ほど活性度の減衰速

* 中部大学人文学部 〒487-8501 春日井市松本町1200
mizunor@isc.chubu.ac.jp

¹ 本研究は、著者を研究代表者とする平成14~16年度の科学研究費補助金(基盤研究(C)2)、課題番号14510130)の補助を受けた。

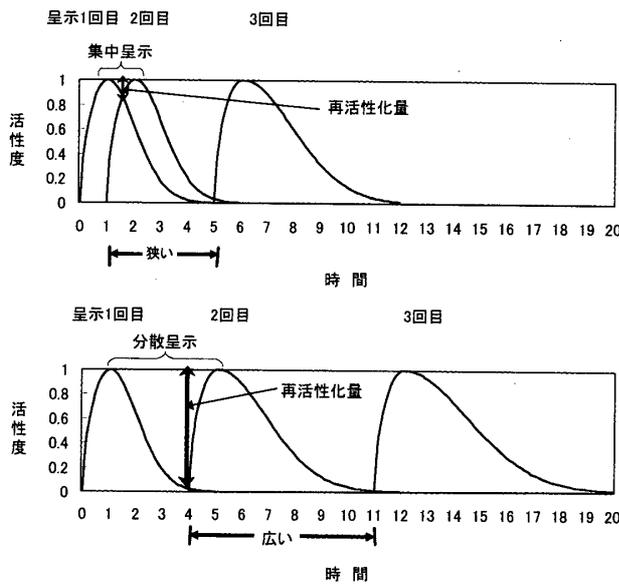


FIGURE 1 再活性化モデルで示された記憶活性化度の変化

度が遅いと考えた (FIGURE 1)。そして水野は (1997a, 1997b), そうした記憶活性化度の変化を数理モデル化し ((1)式), シミュレーションと実験結果を照合することで, この考え方が妥当であることを確認した。また, 1回目の呈示間隔が短く2回目の呈示間隔が長い場合の再生率が, その逆の1回目が長く2回目が短い場合よりもはるかに高かったことから, 最近の再活性化量の方が影響が大きいと考えた。そして最近の再活性化量ほど重みの大きい加重累積再活性化量が再生率と相関すること, その関係がロジスティックな相関関係 (FIGURE 2) であることをシミュレーションと実験結果を照合することで明らかにし, 記憶活性化度の変化式 ((1)式) と, 加重累積再活性化量と再生率の関係式 ((2)式) から成る再活性化モデルを構築した。

最終的な再活性化モデルは, 以下の通りである (水野, 2002b)。

$act = 1.0$ となる時間を T とすると,

$0 \leq t < T$ の時

$$act = \alpha \sqrt{t} e^{-\frac{(t-\beta)^2}{\gamma}}$$

$T \leq t$ の時

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

(1)

ただし, act : 記憶の活性化度 ($0 \leq act \leq 1.0$)

t : 経過時間

cum_react : 加重累積再活性化量
($= \sum w_i * react_i$)

w_i : 重み ($= 2^{-(n-i)}$)

$react_i$: i 回目の学習時の再活性化量

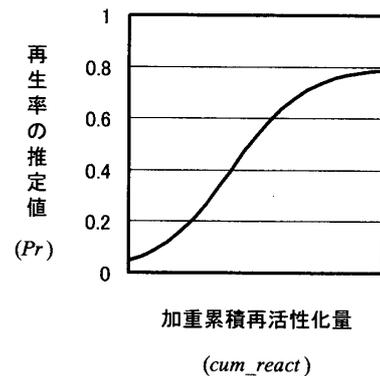


FIGURE 2 再活性化モデルで示された加重累積再活性化量と再生率の関係

n : 当該時点での総呈示回数

α, β, γ : 相互に関係しながら活性化度の変化の仕方を決定する parameter で, α は活性化度の最大値 (曲線の峰の高さ), β は最大値をとる時間 (曲線の峰の位置), γ は減衰速度 (曲線の右側の傾斜) に主として影響する

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

ただし, Pr : 再生率の推定値 ($0 \leq Pr \leq 1.0$)

δ : 再生率の推定値の最大値を決定する parameter ($0 \leq \delta \leq 1.0$)

ϵ, ζ : ロジスティック曲線の形状を決定する parameter で, ϵ は傾き, ζ は変曲点を決定する

さらに, Mizuno (1999), 水野 (2000, 2001, 2002a) は, この再活性化モデルをもとに, 学習毎の再活性化量ができるだけ多くすることで高い効果が得られる分散学習スケジュールを予測・検証し, その知見をもとに, 効果的かつ効率的でやる気も出る分散学習方式, Low-First 方式, 改良 Low-First 方式を考案し, その効果を種々の学習材料で実験的に検証した。

このように再活性化説は, 分散効果の原因を説明しただけでなく, 教育に応用できるような, 効果的な分散学習方式を開発するもととなった。

処理水準説

Craik & Lockhart (1972) によって提唱されたこの説は, 形態処理のような浅い処理が行われる場合は再生率が低く, 意味処理のような深い処理が行われる場合は再生率が高い, というように, 処理の深さの違いによって再生率の違いを説明しようとした説である。

この説を検証すべく行われた Craik & Tulving (1975) の形態, 音韻, 意味処理課題を用いた有名な実

験は、極めて再現性が高く、説得力があった。また、この説は非常に明解で汎用性が高く、様々な記憶現象を合理的に説明しえたため、一時期盛んに利用された。

しかしながら、この説には処理の深さを規定する具体的な指標がなく、様々な現象の事後説明はできても予想はできないという重大な欠点があった (Baddeley, 1978)。また、次に述べるような、数々の矛盾した実験結果が提出された。

Craik & Lockhart (1972) では、形態、音韻といった感覚レベルの浅い処理を繰り返しても再生率は上昇しないと述べられていた。ところが Nelson (1977) は、音韻処理課題が反復して呈示された場合でも再生率が上昇することを見だし、その反証とした。

また、Morris, Bransford, & Franks (1977) は、意味処理課題と音韻処理課題を実施した翌日に音韻を問うテストを行い、意味処理された項目よりも音韻処理された項目の方が再認成績が優れることを見だし、これを転移適切性効果と呼んで処理水準説への反証とした。

さらに、Slamecka & Graf (1978) は、音韻処理の必要な生成課題が意味処理の必要な読解課題よりも再生率を高めることを実験的に示し、これを生成効果と命名した。そして、記憶の定着の度合いは、処理水準説が仮定するような単なるモダリティの違いによってではなく、どの程度主体的に処理を行ったかによって規定されると主張した。

以上のような矛盾した実験結果に加えて、Craik & Tulving (1975) 自身も、後半の実験で、同じ課題内でも成績に差があること、Yes と答えた項目の方が再生率が高いこと、同じ意味処理課題でも文の複雑さが異なれば再生率が異なることなどを見だし、処理の深さという縦方向の考え方だけでは不十分だとして、横方向の、精緻化や差異性といった補正概念を追加した。

また、Craik & Lockhart (1972) は最初、形態、音韻、意味処理から成る一次元上の連続体を仮定していた。しかし、形態処理が終わらないと音韻処理が、音韻処理が終わらないと意味処理が行われないという考え方は、例えば、sail と sale が意味的に異なるか否かが最後までわからないという矛盾を生むため、Lockhart, Craik, & Jabocoy (1976) は、3つの領域は処理の深さに順位があるだけで、別個の領域である、というやや明解さに欠ける修正を施した。

こうして、最初は明解であった処理水準説は、部分的修正を施される毎にその明解さを失い、徐々に適用されなくなっていく。

再活性化説で仮定する処理間の違い

処理水準説の最大の問題は、形態・音韻・意味処理という区分の単純さにあると考える。これに対し、再活性化説では、より詳細に、1. 記銘対象となる概念には形態・音韻・意味を構成する複数の属性が存在し、それが並列的に処理される、2. 形態や音韻のような感覚レベルの情報の構成属性は少ないが、意味には数多くの構成属性がある、と仮定している。

このように仮定すれば、Nelson (1977) の音韻処理を反復した場合の実験結果については、少ない属性でも反復して再活性化すれば再活性化量が累積され、再生率が上昇したのだと説明することができる。また、Morris et al. (1977) の転移適切性効果も、同一の属性が処理されて再活性化されやすくなっていたためだと考えれば、矛盾なく説明することができる。同音異義語の意味処理の問題も、並列処理を仮定すれば自ずと解決する。また、同じ意味処理でも課題によって再生率の影響が異なることについても、再活性化される属性数が異なるためだと説明することができるし、Yes 項目の方が再生率が高かったことも、より多くの適切な属性が再活性化されたためだと説明することができる。そして、Slamecka & Graf (1978) が示した、音韻処理でも生成条件の方が再生率が高まることについては、生成にはより多くの属性の再活性化を必要とするためだと説明することができる。実際、Anderson & Reder (1979) は、生成効果が生じるのは、多様な検索経路(属性)の活性化²が再生率の上昇につながるためだとしており、これはまさに再活性化説の考え方と相通じる。

再活性化量の測定方法

処理水準説のもう一つの致命的な問題は、やはり、Baddeley (1978) が指摘した、具体的な指標のなさにあると考える。これに対し再活性化説には、先述したように、再活性化量という明確な指標がある。そして、意味処理のように属性数の多い処理ほど、限られた処理資源で数多くの属性を再活性化するので再活性化に時間がかかると仮定しているため³、反応時間は再活性化量の総和の指標となると考えられる。

興味深いことに、処理の深さも、最初は反応時間で測定されていた。Craik & Tulving (1975) は前半の実

² 再活性化説では、全く未知の情報の活性化以外には、再活性化という用語を用いている。これに対し、彼らの言う活性化は、未知・既知を問わず、記憶内の情報の活性化という意味で用いられている。したがって、彼らの言う活性化には、再活性化が含まれる。

験で、形態、音韻、意味処理時の処理の深さを反応時間で測定し、反応時間と再生率に相関があることを示し、処理によって深さが違うこと、そして、この処理の深さが再生率に影響することを示した。ところがその後半の実験で、難しい浅い課題では簡単な深い課題よりも反応時間は長いが成績が悪いことを見だし、再生率を決定するのは反応時間ではなく、課題の性質であり、反応時間は処理の深さの直接の指標とはならないと結論してしまったのである。

しかしながら、後半の実験で用いられた課題をよく吟味すると、難しい浅い課題は、例えば、brain という単語が CCVVC (子音, 子音, 母音, 母音, 子音) かどうかを判断するというもので、1文字ずつマッチングするのに時間がかかる。一方、簡単な深い課題は、文の空所に呈示された単語が当てはまるか否かを判断するというもので、これにはマッチングの必要はない。つまり、前者で反応時間が長かったのは、課題を解くのに時間がかかったためではなく、マッチングに時間がかかったためである可能性がある。

当時、こうした課題の問題点が見落とされた根本的な原因は、まさに Baddeley (1978) が指摘した通り、処理の深さに具体的な指標がなく、何に要する時間を測定すべきかが明確にされていなかったためだと考えられる。これに対し再活性化説は、再活性化量という具体的な指標を有しているため、再活性化量の指標としての反応時間を的確に測定すべく課題や呈示方法を吟味することができる。

そこで実験では、課題や呈示方法を十分吟味した上で、水野 (1998a) と同様、反復プライミングの原理に則り、形態・音韻・意味処理課題を反復した際の再活性化量を反応時間で測定するとともに再生率を測定し、それらを処理水準説のもとでの予想と再活性化説のも

とでの予想の各々と照らし合わせることで、処理による再生率の違いの説明には、処理水準説ではなく、再活性化説を適用した方が妥当か否かを検討する。

方 法

Nelson (1977) の実験を拡張し、音韻処理課題に加えて形態処理課題と意味処理課題を用い、これらを、反復呈示しない条件、集中反復呈示する条件、そして、種々の間隔で分散反復呈示する条件の、再生率と反応時間を測定する。

処理水準説のもとでは、以下の2つの予想が導かれる。 Craik & Lockhart (1972) では先述の通り、形態、音韻のような感覚レベルの浅い処理を繰り返しても再生率は上昇せず、より深い処理だけが再生率を上昇させると仮定されていることから、1. 形態処理や音韻処理を反復しても再生率は上昇しないと予想される。また先述の Craik & Tulving (1975) の、反応時間は処理の深さの指標とはならないという結論からは、2. 反応時間は再生率とは相関しないという予想が導かれる。

これに対し、再活性化説では、これらとは相反する、次のような、より具体的な3つの予想を導くことができる。再生率については、1. いずれの処理でも、反復呈示条件では再生率が高まる、2. 再活性化量が多いほど記憶活性度の減衰速度が遅いため、再生率が高くなる反復呈示間隔は、意味処理課題で最も広く、形態処理で最も狭く、音韻処理課題ではその中間となると予想される。そして、再生率と反応時間の関係については、3. 処理の種類にかかわらず、加重累積再活性化量、すなわち、加重累積反応時間と再生率は、ロジスティックな相関関係を成すと予想される。

なお、本実験では、各課題を別試行で行うものとした。これは、Craik & Tulving (1975) の実験のように3種の課題を混在させて行うと、定着の度合いの強い意味処理をした項目の記憶が他の処理をした項目の記憶を妨害または干渉し、その再生率を不当に低める可能性があると考えたからである。また、別試行とすることで、刺激を課題間で統一することもできる。

被験者

大学生72名を24名ずつ、形態、音韻、意味処理課題を行う3群にランダムに配置した。

刺激

天野・近藤 (2000) の単語頻度データベースから、使用頻度が50~350と中程度の3文字のひらがな表記語とカタカナ表記語を各20個、計40個を選定した。

³ ただし、属性に重要度の違いがある可能性を否定しているわけではない。基本的な必須属性は、一般属性、あるいは、特殊属性よりも先に活性化されるかもしれないし、属性の活性化されやすさも、過去の学習頻度、文脈、等により変化すると考えている。実際、最近、Coll & Coll (2001) の提唱した Progressively Finer Attributes Theory では、概念の記憶は、大まかで一般的な属性から、詳細で特殊な属性へという属性次元に沿って生成されていくと仮定・検証し、これが処理の深さのメカニズムと一致すると述べている。

しかしながら、実際にどのような属性があるのかを知ることには不可能に近い。また、属性の一般性・特殊性を安易に決めてしまうのは危険で、ある属性が一般的か否か、重要か否かは、概念毎、文脈毎に異なりうる。

そこで現時点では、属性をあえて区分することなく、総数の違いだけを仮定して実験を行うものとした。

反復条件の呈示間隔は水野(1997a)の分散効果の実験での呈示間隔を参考に、挿入項目数 0 (集中呈示), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 項目の 8 種類とした。

1 試行の刺激系列は 48 項目で、最初と最後の各 4 項目、計 8 項目は、分析の対象から外すダミー項目とし、Yes 反応項目と No 反応項目を半数ずつとした。中心の 40 項目は、半数の 20 項目が 8 種の反復条件の Yes 反応項目 16 個と反復しない条件の Yes 反応項目 4 個、残る半数の 20 項目は反復しない条件の No 反応項目とし、当該刺激に関係した属性だけが再活性化される Yes 反応項目だけを分析の対象とした。したがって、分析の対象となるのは反復呈示の 8 条件各 1 項目と反復呈示しない条件の 4 項目で、計 12 項目となる。

この 12 項目に単語が満遍なくかつ等しく割り当てられるよう、各条件の呈示位置の平均・分散がほぼ等しい 12 系列を用意した。そして形態・音韻・意味処理課題の各々で、1 系列に 2 名の被験者を割り当てた。

課題

形態処理課題は呈示される単語がひらがなかカタカナかを問うもの、音韻処理課題はその単語内に特定の音韻が含まれるか否かを問うもの、そして、意味処理課題は「～の名前ですか」というカテゴリを問うものとした。なお、音韻処理課題では、問う音韻の系列内の位置を満遍なく均等にし、反復の際は同一の音韻を問い、そして、形態的一致で音韻処理課題を解くことのないようカタカナ表記語の場合はひらがなで、ひらがな表記語の場合はカタカナで音韻を問うものとした。

手続き

呈示間隔を 1500ms, 2000ms, 2500ms とした予備実験の結果、2500ms 未満では考える時間がないという印象を与えることがわかり、2500ms を採用した。また、妨害課題の所要時間は約 1 分であることを確認した。

本実験は、3 名から 5 名の集団実験で、被験者は、Web サーバに保存された JavaApplet の実験制御プログラムに、ブラウザでアクセスして課題を行った。

本番は 48 試行で、その前に、2 文字単語で作成した練習項目を 8 項目試行し、手続きに慣れさせた。

練習・本番ともに、開始の合図とともに ENTER

キーを押し一斉に試行を開始した。質問文と単語は対にされ、15inch モニタの中央の 500 ピクセル×650 ピクセルの白い枠内に 2500ms 間隔で 1 つずつ呈示されていった。被験者には最後の再生課題が課されることは告げず、質問が正しければ右手の人差し指でキーボードの J を、誤りならば左手の人差し指でキーボードの F を、できるだけ早く正確に押すよう教示した。キーを押すと、反応が正しければピンポン、誤りならばブーという音が呈示されるとともに刺激が画面から消え、2500ms 後に次の刺激が呈示された。

48 項目の試行が終了すると、10 項目の 3 桁の足し算から成る妨害課題の画面が呈示された。妨害課題の所要時間は予備実験と同様、平均約 1 分で、妨害課題の開始 2 分後に自由再生用紙を配布し、今見た単語をできるだけたくさん思い出して書くよう指示した。全所要時間は平均約 15 分であった。

結果と考察

8 項目のダミー項目のデータは、分析の対象から除外した。また、それ以外の項目の反応時間についても、個人の平均反応時間から $\pm 3SD$ 以上逸脱したものは反応ミスの可能性が高いと判断し、除外した。

参考までに、すべての条件を込みにした各課題の平均反応時間と平均再生率を TABLE 1 に示す。これを見るとわかるように、Craig & Tulving (1975) の前半の実験結果と同様、いわゆる深い処理ほど反応時間が長く、再生率が高くなっている。

ただし本実験では、反復なし、集中反復呈示、分散反復呈示条件が設けられており、加えて、分散反復呈示間隔も操作されているため、これ自体を分析しても意味がない。よって次項以下で、再生率、反応時間、及び、両者の関係を、これらの条件・要因を考慮に入れて詳しく分析する。

再生率

3 種の課題の各呈示条件の平均再生率を TABLE 2 に示す。まず、第 1 の予想を検証するために、3 種の課題×反復呈示なし、集中反復呈示、分散反復呈示条件での再生率の差を 2 要因分散分析で調べた。その結果、課題の主効果 ($F(2, 69) = 21.70, p < .01$)、呈示条件の

TABLE 1 形態・音韻・意味処理課題の平均再生率と平均反応時間 (括弧内 SD)

	形態処理		音韻処理		意味処理	
再生率	0.11	(0.08)	0.21	(0.08)	0.35	(0.13)
反応時間	796.20	(199.54)	837.89	(139.09)	854.21	(222.04)

主効果 ($F(2, 138) = 5.65, p < .01$) が有意で、課題と呈示条件の交互作用は有意ではなかった ($F(4, 138) = 0.65, ns$)。そして、課題間の多重比較では、すべての課題間に有意差があり ($HSD(0.05) = 0.065, HSD(0.01) = 0.081$; 意味-音韻: $p < .05$; 意味-形態: $p < .01$; 音韻-形態: $p < .01$)、呈示条件間の多重比較では、反復なし条件と2つの反復呈示条件の間に有意差が認められた ($HSD(0.05) = 0.134, HSD(0.01) = 0.168$; 反復なし-集中反復呈示: $p < .05$; 反復なし-分散反復呈示: $p < .01$)。

両反復条件の再生率が反復なし条件よりも高かったことは、処理水準説の予想1と相反しており、再活性化説の予想1を支持している。ただし、集中反復呈示条件と分散反復呈示条件の間には有意差がなく、これは従来の分散効果の知見と相反する。

本実験で集中反復呈示条件の再生率が予想外に高かった理由としては、以下の2点が考えられる。

1. 水野 (1997a, 1998a) の実験では、集中呈示条件と分散呈示条件の再生率に有意差があった。ただし、前者では2桁の数字が1000ms毎に、後者では漢字2文字の単語が1500ms毎に呈示された。一方、本実験の刺激は文と単語から成るために、呈示間隔を2500msと、それらよりかなり長くせざるを得なかった。この間隔は集中呈示の間隔としてはかなり長い間隔のため、その間に記憶活性度が減衰し、ある程度の再活性化量が得られたために再生率が高くなってしまった可能性が高い。事実、Nelson (1977) でも本研究と同様、集中反復呈示と分散反復呈示では同じように再生率が上昇したとされているが、その実験で設定された呈示間隔は5000msと非常に長かった。したがってこれは、文を読んで単語と照合し反応するという課題を用いるこの種の実験では、避けがたい結果だと考えられる。

2. 交互作用は有意ではなかったが、TABLE 2を見ると、形態、音韻、意味処理の順に、徐々に集中反復呈示より分散反復呈示の方が効果が高くなり、分散呈示ほど課題間の再生率の差が大きくなっている様子が認められる。これは、形態処理のように再活性化量の少ない場合は活性度の減衰速度が早く、2500msもの

TABLE 2 3種の課題の反復なし条件、集中反復呈示条件、分散反復呈示条件での平均再生率 (括弧内SD)

	反復なし	集中呈示	分散呈示
形態処理	0.05 (0.10)	0.21 (0.16)	0.14 (0.19)
音韻処理	0.14 (0.41)	0.25 (0.44)	0.24 (0.49)
意味処理	0.14 (0.12)	0.38 (0.12)	0.42 (0.23)

間隔を置いた集中呈示では活性度が既に減衰しているため、ある程度の再活性化量が得られるためではないかと考えられ、それでむしろ、非常に間隔の狭い集中呈示条件の再生率の方が高まったのではないかと考えられる。逆に、意味処理のように再活性化量が多い場合は活性度の減衰速度が遅く、2500msの間隔ではまだ活性度が減衰していないために、集中呈示条件で、再活性化量が少なく、再生率が低かったのではないかと考えられる。

ただし、統計的には有意でなかったため、この考え方の妥当性については、後の再生率と反応時間の関係の分析で、改めて検討する。

次に、集中、分散を含めた反復呈示条件で、呈示間隔によって再生率がどのように異なるかを分析した。

FIGURE 3に、3種の課題の集中呈示条件 (挿入項目数0)、分散呈示条件 (挿入項目数1~7) を含めた反復呈示間隔毎の平均再生率を示す。これを見ると、意味処理課題では挿入項目数2、音韻処理では挿入項目数1、形態処理では挿入項目数0で再生率が最も高くなっており、意味処理のような深い処理ほど再活性化量が多いため、活性度の減衰速度が遅く、より呈示間隔の広い条件で再生率が高まるという第2の予想と一致するとともに、形態処理は2500msでも活性度が減衰し、分散効果が得られたのではないかとする先の考察とも一致している。

しかしながら、3種の課題×呈示条件の2要因分散分析では、課題の主効果 ($F(2, 69) = 18.86, p < .01$) は有意で、意味と形態、音韻の双方の間には有意差があったが ($p < .01, HSD(0.01) = 0.132$)、形態と音韻の間にはその傾向しかなく ($p < .10, HSD(0.10) = 0.092$)、呈示条件の主効果 ($F(7, 483) = 0.84, ns$) 及び交互作用 ($F(14, 483) = 0.75, ns$) は有意ではなかった。

このように、呈示間隔条件による差が有意にならなかった原因としては、先の分析で示唆されたように、

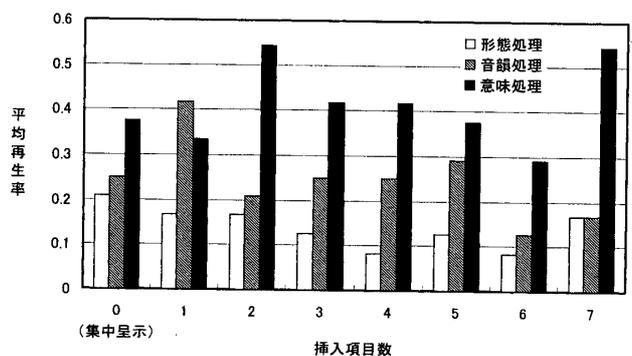


FIGURE 3 3種の課題の反復呈示間隔毎の平均再生率

形態処理条件では集中呈示条件でも既に活性度が沈静化してしまっていて、呈示間隔による再活性化量の違いがほとんどなく、意味処理課題では逆に活性度の減衰速度が非常に遅く、呈示間隔毎の再活性化量の違いはわずかだった可能性が考えられる。

実際、こうした再生率のわずかな違いを統計的に検出することは難しい。しかし、たとえ差がわずかでも、それらの再生率と反応時間に相関が認められるなら、その差は意味があることになる。

そこで、次に、各課題の反応時間の変化、及び、その反応時間と再生率の関係を詳しく検討する。

反応時間

各課題の、1回目と2回目の呈示間隔毎の反応時間をFIGURE 4に示す。このデータを課題×呈示回数×呈示条件の3要因分散分析で解析した。その結果、課題の主効果($F(2, 69) = 0.76, ns$)、呈示条件の主効果($F(7, 483) = 0.68, ns$)、課題と呈示条件の交互作用($F(14, 483) = 0.76, ns$)、呈示回数と呈示条件の交互作用($F(7, 483) = 0.97, ns$)、及び、3要因の交互作用($F(14, 483) = 1.53, ns$)は有意ではなく、呈示回数の主効果($F(1, 69) = 95.91, p < .01$)、及び、課題と呈示回数の交互作用($F(2, 69) = 18.86, p < .01$)のみ有意であった。

そこでまず、呈示回数毎の課題の単純主効果を検定した結果、1回目の反応時間には課題差があり($F(2, 69) = 3.79, p < .05$)、意味処理課題の方が音韻処理課題よりも($p < .05$)、音韻処理課題の方が形態処理課題よりも($p < .01$)長かったが($HSD(0.05) = 44.07, HSD(0.01) = 55.48$)、2回目の反応時間には課題差はなかった($F(2, 69) = 0.13, ns$)。また、課題毎の呈示回数の単純主効果は、意味処理課題($F(1, 69) = 12.59, p < .01$)と音韻処理課題($F(1, 69) = 4.87, p < .05$)で有意で、形態処理課題では有意ではなかった($F(1, 69) = 0.16, ns$)。

この結果はいわゆる深い処理ほど1回目の反応時間が長かったこと、音韻と意味処理では1回目より2回目の方が反応時間が早かったことを示している。

1回目の反応時間からも明らかのように、本来、いわゆる深い処理ほど反応時間が長くかかるはずである。にもかかわらず、最も深い意味処理や中間の音韻処理の2回目の反応時間が形態処理の反応時間と同じ位に早くなったのは、再活性化モデルで仮定するように、深い処理が行われるほど1回目の処理後の記憶活性度の減衰速度が遅く、2回目の処理時にはまだ活性度が高かったためだと考えられる。

ただし、再生率の分析からも明らかのように、2回目の反応時間が短くなったからといって、音韻処理と

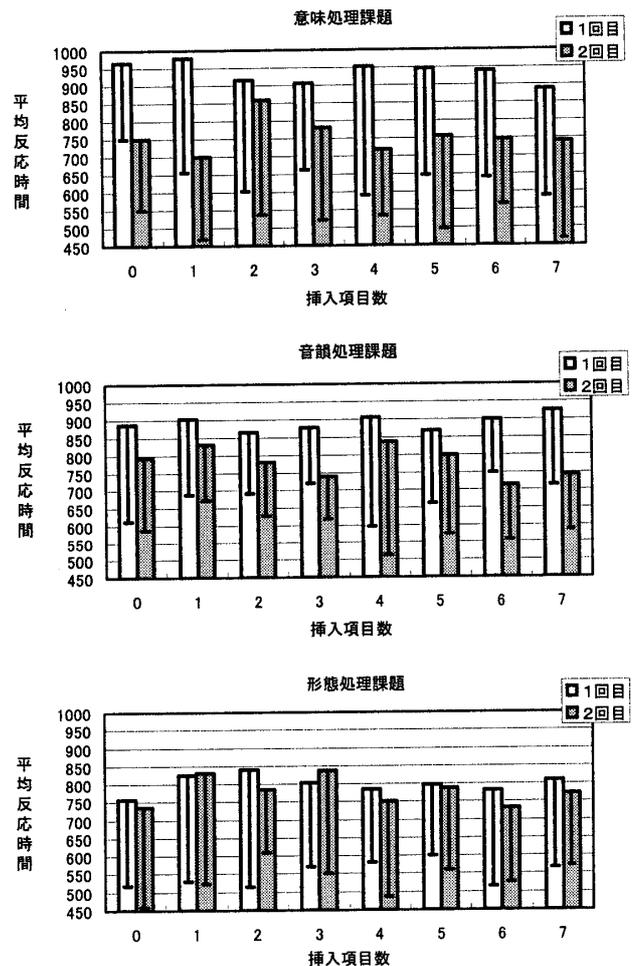


FIGURE 4 各課題の反復呈示間隔毎の平均反応時間

意味処理の再生率が低くなったわけではない。

そこで次に、再活性化モデルで想定されている通り、この反応時間を加重累積した値と再生率に、ロジスティックな相関関係があるか否かを分析する。

再生率と反応時間の関係

課題間に再生率の差はあったが反応時間の差はなかったことから考えても、単なる平均反応時間と再生率の相関を求めても無意味なことは明らかである。先述の通り再活性化モデルでは、(2)式に示した加重累積再活性化量が再生率とロジスティックな相関関係を有すると仮定されている。そこで、再活性化量の指標である反応時間を(2)式に当てはめ、その加重累積反応時間と再生率の間の相関関係を調べた。

FIGURE 5が、課題毎の加重累積反応時間と再生率の散布図である。まず、両者の直線的な相関係数を求めたところ、 $r = 0.52$ と、有意な相関があった($t(22) = 2.82, p < .01$)。

ただし、FIGURE 5の○で囲まれたデータ、すなわ

ち、意味処理条件の呈示間隔7のデータは、かなり逸脱している。意味処理課題でのみこの最大呈示間隔で逸脱したデータが得られたことについては、水野(1997a)及び水野(1998a)の知見が参考となる。水野(1997a)では、呈示間隔がある程度以上に大きくなると、再生率が再度高まることを見いだされた。実際、分散効果の古典的な実験であるGlenberg(1979)などの実験でも、こうした現象は見られていた。そこで水野(1997a)は、ある程度時間が経過すると記憶が長期記憶に定着するのではないかと考え、呈示間隔が短い場合と長い場合を区分してシミュレーションを行った。その結果、短い場合は作業記憶の再活性化、呈示間隔がある程度以上の場合は長期記憶の再活性化を仮定することで、こうした変化を合理的に説明しうることを明らかにした。また、水野(1998a)は、今回と同様、様々な呈示間隔で反復呈示した場合の語彙判断時間と再生率の関係を検討し、同様の現象を見いだした。そして、この場合も、ある程度以下の呈示間隔では作業記憶の再活性化が、ある程度以上の呈示間隔では長期記憶の再活性化が生じると考え、両者では別個の相関関係を仮定すべきと結論している。

今回、意味処理課題でのみこうした著しい逸脱が生じたのは、意味処理のように十分な再活性化が行われた場合のみ長期記憶への情報転送が起こる可能性を示唆している。また、だとすれば、処理の深い、再活性化量の多い場合が、長期記憶に情報を転送する、いわゆる精緻化リハーサルである可能性もある。

いずれにしても、今回の場合は、このデータのみ長期記憶の再活性化に関係するデータである可能性がある。そこで、これだけを除外して改めて相関係数を求めたところ、 $r=0.62$ と、除外しない場合の0.54よりか

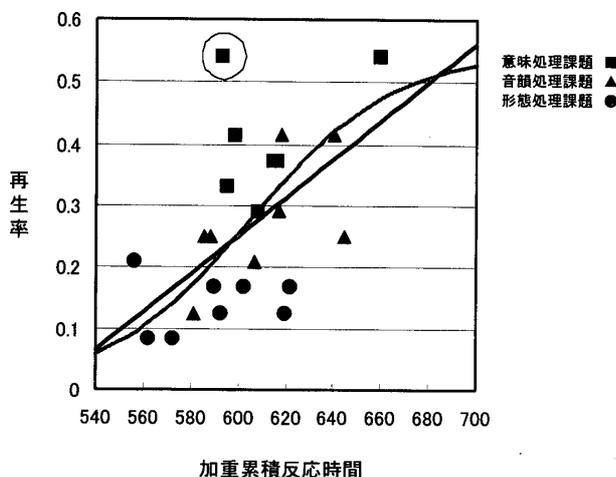


FIGURE 5 加重累積反応時間と再生率の関係

なり高く、有意な相関が認められた ($t(22)=3.70, p<.001$)。したがって、この逸脱データはやはり、異質のデータだった可能性が高い。

次に、この相関関係が再活性化モデルで仮定するロジスティックなものだと言えるか否かを検討した。

上記の相関係数から求めた直線回帰式は、 $y=0.0031x-1.6093$ で (FIGURE 5, 直線), $R^2=0.38$ であった。一方、最小自乗法によって求めた近似ロジスティック曲線の式は(3)式のようになり (FIGURE 5, 曲線), $R^2=0.41$ で、直線回帰よりもさらに高い説明率を有することが明らかとなった。

$$Pr = \frac{0.55}{1.0 + e^{-0.033(\text{cum_react} - 604.61)}} \quad (3)$$

よって、再生率と反応時間は相関しないとする処理水準説の予想は妥当ではなく、両者はロジスティックな相関関係にあるとする再活性化説に基づく第3の予想は検証された。

以上、実験結果は、再活性化説の予想1と3を支持するものであり、予想2を間接的に支持していたが、処理水準説の予想1と2とは完全に相反していた。よって、処理水準説で説明されていた形態・音韻・意味処理課題での再生率の違いが再活性化説で、より具体的かつ合理的に説明可能であることの支持的証拠が得られたと言えよう。

討 論

処理水準説には、後に様々な反証が見いだされたものの、様々な実験結果を明解に説明しえたことは確かであり、事実、これを支持する実験結果も多かった(e.g., Hyde & Jenkins, 1969)。このことは、処理水準説が本質的には誤りではないことを示唆していると考えられ、ただ当時は深さを具体的に定義するための概念や知見がまだ少なくそれが不可能だったために、別の条件下での再生率を正確に予想できなかったり、反応時間の測定するものを具体的に仮定することができなかったに過ぎないのではないかと考えられる。

再活性化説はある意味では、この処理の深さを新しい概念や知見を利用して具体的に定義しなおした説だとみなすことができる。そしてそのおかげで、異なった条件下での再生率をある程度正確に予測したり、これを測定するのに適した課題と方法を選定することが可能となったのだと考えられる。

これまでの処理水準説からは、記憶の定着を促すには深い処理をすればよい、意味的な処理をすればよい、という位の教育的示唆しかできなかった。しかし本研

究でその深さをより具体的に定義しなおしたことで、記憶の定着を促進するには、できるだけ多くの再活性化量を得るべく、形態処理のような単純な処理が必要な課題の場合は狭い間隔、意味処理のように複雑な処理が必要な課題の場合は広い間隔というように、課題に応じた適切な間隔で反復学習すると良い、あるいは、一度しか学習しない場合は、できるだけ多くの属性を再活性化させるべく、学習事項の意味を様々な側面から考えたり、時にはイメージ化を行ったり、あるいは、他の事項との意味的関連づけを積極的に行ったりといった工夫をした方がよい、というように、より具体的な教育的示唆を行うことが可能となった。

冒頭に書いたように、記憶定着の本質的メカニズムが見いだされた知見毎に大きく異なるとは考えられない。ただし、この再活性化説がその本質的メカニズムを示すものであるか否かを見極めるためには、今回扱った処理の深さ以外の精緻化、リハーサルなどの記憶定着に関する様々な知見をも再活性化説で説明できるか否かを、さらに実験的に検討・吟味していく必要がある。

引用文献

- 天野成昭・近藤公久 2000 NTT データベースシリーズ 日本語の語彙特性 第7巻 単語頻度三省堂 (Amano, S., & Kondo, T. 2000 *NTT Database Series, Lexical Properties of Japanese : Vol.7, Frequency*. Sanseido.)
- Anderson, J. R., & Reder, L. M. 1979 An elaborate processing explanation of depth of processing. In L. S. Cermak & F. I. M. Craik (Eds.), *Levels of processing in human memory*. Hillsdale, NJ : Erlbaum. Pp.385-403.
- Baddeley, A. D. 1978 The trouble with levels : A re-examination of Craik and Lockhart's framework for memory research. *Psychological Review*, **85**, 139-152.
- Coll, J., & Coll, R. 2001 Support for the progressively finer attributes theory : Two experiments. *Psychological Reports*, **88**, 203-225.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. 1972 Levels of processing : A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **11**, 671-684.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. 1975 Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, **104**, 268-294.
- Dempster, F. N. 1996 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.
- Glenberg, A. M. 1979 Component-level theory of the effect of spacing of repetitions on recall and recognition. *Memory & Cognition*, **7**, 95-112.
- Greene, R. L. 1989 Spacing effects in memory : A two-process account. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 371-377.
- Hyde, T. S., & Jenkins, J. J. 1969 Differential effects of incidental tasks on the organization of recall of a list of highly associated words. *Journal of Experimental Psychology*, **82**, 472-481.
- Lockhart, R. S., Craik, F. I. M., & Jacoby, L. 1976 Depth of processing, recognition, and recall. In J. Brown (Ed.), *Recall and recognition*. New York : Wiley. Pp.75-102.
- 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. (Mizuno, R. 1996 Theories of spacing effects : Review and proposal of a new theory. *Bulletin of Shizuoka Institute of Science and Technology*, **5**, 181-197.)
- 水野りか 1997a 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. (Mizuno, R. 1997a Exploring the cause of spacing effects : A test of a reactivation theory by experiments and simulations. *Cognitive Studies : Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, **4**(2), 20-38.)
- 水野りか 1997b 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. (Mizuno, R. 1997b A test of the modified reactivation model of the spacing effect : The comparison of experimental results and simulations. *Educational Psychology Forum Report*, FR-97-003.)
- 水野りか 1998a 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. (Mizuno, R. 1998a The cause of the

- spacing effect : A test of the influence of reactivation amount. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **46**, 11-20.)
- 水野りか 1998b 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. (Mizuno, R. 1998b Realization of an effective spaced learning schedule based on a reactivation theory of the spacing effect. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **46**, 173-183.)
- Mizuno, R. 1999 A test of the effectiveness and efficiency of the Low-First Method derived from a reactivation theory of spacing effects. *Proceedings of the Joint Conference of the 2nd International Conference on Cognitive Science and the 16th Annual Meeting of the Japanese Cognitive Science Society*, 1076-1079.
- 水野りか 2000 Low-First 分散学習方式の効果のCAIでの実験的検討 日本教育工学会誌, **24**(2), 111-120. (Mizuno, R. 2000 A test of the effectiveness of the Low-First Spaced Learning Method with CAI. *Japan Journal of Educational Technology*, **24**(2), 110-120.)
- 水野りか 2001 作業記憶容量の個人差に応じた効果的な分散学習方式の開発 認知科学, **8**(4), 431-443. (Mizuno, R. 2001 Development of an effective spaced learning method adaptive to individual differences in working-memory capacity. *Cognitive Studies : Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, **8**(4), 431-443.)
- 水野りか 2002a 分散効果の知見に基づく効果的、効率的で、やる気の出る反復学習方式の考案と検証 教育心理学研究, **50**, 175-184. (Mizuno, R. 2002a Mechanism of spacing effects : Exploration of an effective, time-efficient, motivating learning method. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **50**, 175-184.)
- 水野りか 2002b 最適分散学習方式, 改良 Low First 方式の効果の持続性—実験的検証と予測モデルの構築— 認知科学, **9**(4), 532-542. (Mizuno, R. 2002b The durability of the effect of an optimal spaced learning method, the Modified Low-First Method : Demonstration and development of a predictive model. *Cognitive Studies : Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, **9**(4), 532-542.)
- Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. 1977 Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **16**, 519-533.
- Nelson, T. O. 1977 Repetition and depth of processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **16**, 151-171.
- 太田信夫 1991 直接プライミング 心理学研究, **62**, 119-135. (Ohta, N. 1991 Direct priming. *Japanese Journal of Psychology*, **62**, 119-135.)
- Slamecka, N. J., & Graf, P. 1978 The generation effect : Delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, **4**, 592-604.

(2002.11.8 受稿, '03.12.23 受理)

Application of reactivation theory to the explanation of processing levels

RIKA MIZUNO (CHUBU UNIVERSITY) *JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY*, 2004, 52, 33–43

The present experiment was conducted to explore the adequacy of a reactivation theory of spacing effects as an explanation of processing levels. Participants in the research were university students ($N=72$). Orthographic, phonological, and semantic tasks were presented once or repeated with various spacings, and reaction time and probability of recall were measured. A levels of processing theory predicts that the repetition of orthographic and phonological tasks would not lead to an improvement in memory performance, and that processing time would have no relation to memory performance. Reactivation theory predicts that repetition of a task would lead to an improvement in memory performance, that the most advantageous repetition space would be largest for semantic tasks and smallest for orthographic tasks, and that weighted cumulative response time would be logistically correlated with probability of recall. All results of the present experiment supported the predictions of reactivation theory, and were contrary to the predictions of the levels of processing theory. The conclusion was that reactivation theory could be used to explain processing levels.

Key Words : reactivation theory, levels of processing theory, repetition, reaction time, probability of recall