

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—

水野 りか

This research proposes and tests a reactivation theory of spacing effects which assumes them to be caused by the reactivation of representations whose activation levels have decayed within spaces, and recall rates to increase as the amounts of the reactivation increase. According to this theory, therefore, recall rates are supposed to increase sharply when the spaces are small enough for the representations formed at the first presentation to remain in working memory because their activation would decay rapidly and, on the contrary, the amount of reactivation at the second presentation would increase rapidly. They also are supposed to be rather high and stable when the spaces are large enough for the representations to be transferred to and consolidate in long-term memory because their activation levels there would be relatively low and stable and the amount of reactivation would be relatively high and stable. Two experiments and two simulation were conducted to test this theory. In Experiment 1, recall rates at various spaces and presentation times were examined, using two-digit numbers for stimuli on which encoding variability should have little effect and the effects of spaces themselves should be clear, and the results were consistent with most of the suppositions above. In Simulation 1, a simulation model of the reactivation theory was made on the experimental data and a simulation was conducted to find the estimated recall rates approximated to the measured recall rates in Experiment 1. In Simulation 2, recall rates on various expanding space conditions in three-times presentation were predicted. Then in Experiment 2, recall rates on the same conditions with those in Simulation 2 were measured to find they are very close to the predictions in Simulation 2. Finally, this theory was applied to explain several previous inconsistent experimental results found under the other theories of spacing effects.

Keywords: spacing effects (分散効果), reactivation (再活性化), activation decay (活性化度の減衰), working memory (作業記憶), long-term memory (長期記憶)

1. 問題と目的

1.1 従来の説とその矛盾点

分散効果とは、同じ刺激が繰り返し提示される場合でも、提示間隔をあけない連続提示の場合は再生率は上昇しないが、提示間隔を

Exploring the cause of spacing effects: A test of a reactivation theory by experiments and simulations, by Rika Mizuno (Shizuoka Institute of Science and Technology (Current affiliation: Faculty of Engineering, Shinshu University, Matsumoto Branch)).

あけた分散提示の場合は再生率が上昇するという効果を指す。

分散効果の存在は、古くから数多くの追試によって確認されてきており、原因についても、数多くの説が提出されてきた。しかし、いずれの説もそれを支持するようない貫した実験結果が得られておらず、現在でも統一的見解が出されるに至っていない。

例えば、代表的な説の1つである処理不足説

では、提示間隔が短いと提示間隔内にリハーサルしたり注意を払うなどの処理を行うことができないので再生率が上昇しないが、提示間隔が長ければこれらの処理を十分行うことができるので再生率が上昇すると説明する (Johnston & Uhl, 1976; Rundus, 1971; Zimmerman, 1975).

しかし Challis (1993) は、偶発学習、すなわち、本来の学習目的が他の刺激にある場合に偶発的・無意図的に成立する学習でも、分散効果が得られることを見いだしている。したがって、意図的な注意やリハーサルがその原因だとするのは妥当ではないと考えられる。

また、もう1つの代表的な説である符号化多様性説では、提示間隔が短いと刺激が同一文脈で符号化されるので、再生手がかりが少なく、再生率が上昇しないが、提示間隔が長いと異文脈で多様な符号化がされるので、再生手がかりが多くなり、再生率が上昇すると説明する (Glenberg, 1979; Madigan, 1969; Melton, 1970).

この説を検証するために行われた実験の多くは、同一文脈と異文脈での分散効果を測定するものであり、異文脈下でのみ分散効果が生じるという実験結果がその証拠だとされてきた (e.g., Madigan, 1969)。しかしながら、同様の実験で Hintzman (1988) は、同一文脈の方がむしろ類似した項目の記憶が促進されて分散効果が得られやすいという、全く逆の実験結果を得ている。

これに対し、Greene & Stillwell (1995) は、Hintzman (1988) のように同一文脈の方が分散効果が得られやすかったのは、単に、符号化多様性と提示間隔の交互作用のためだと主張した。つまり彼らは、異文脈だと分散提示しなくとも多様な符号化が可能なので再生率が高いが、同一文脈だと分散提示した場合だけ多様な符号化が可能となり再生率が高くなるので、

同一文脈の分散効果の方が大きくみえたにすぎないと主張したのである。しかしながら、これ以前に、Elmes, Dye, & Herdelin (1983) は、同一文脈だと提示間隔をあけても分散効果が得られないことを見いだしている。したがって、Greene & Stillwell (1995) の見いだした符号化多様性と提示間隔の交互作用も、安定したものではないと考えられる。また、Bellezza & Young (1989) は、Greene & Stillwell (1995) とは異なり、Hintzman (1988) のような結果が得られたのは、分散効果が文脈ではなくむしろ提示間隔に依存しているためだという見解すら提出している。

従来の説には、こうした矛盾に加えて、さらに重大な問題点がある。それは、これらの説が、提示間隔による再生率の違いをきわめて大まかにしか説明できないことである。処理不足説に従えば、提示間隔があけば処理が十分行われうるので、提示間隔があくほど再生率は上昇することになる。一方、符号化多様性説では、提示間隔があくほど文脈が異なると明記されてはいないものの、仮にそうだとすれば、提示間隔があくほど多様な符号化が可能となり多くの検索手がかりを形成することができるため、再生率が上昇することになる。ところが、これまでに行われた Glenberg (1979), Madigan (1969), Melton (1970) の実験ではみな、提示間隔が開くとともにはじめは再生率が急速に高まり、その後上昇傾向が若干なだらかになった後、ある程度一定になるという結果が得られており、いずれの説もこうした変化を十分に説明することはできない。

1.2 再活性化説の提案

こうした様々な説に確証がなく、しかも提示間隔による再生率の違いを十分説明できない以上、再提示時の記憶表象の状態や再提示時の処理が、連続提示と分散提示だけでなく、

提示間隔ごとにどのように異なるのかという基本的な問題を、もう一度詳細に検討しなおす必要がある。

提示間隔ごとに異なると考えられる記憶表象の状態とは、記憶表象の活性化である。活性化拡散理論 (Collins & Loftus, 1975) によれば、意味ネットワーク内の記憶表象の活性化¹⁾は、拡散しながら減衰するとされている。現在では、この理論の妥当性は広く認められており、この理論を応用したプライミングもパラダイムとして確立している。また、記憶の減衰という考え方は、古くから記憶痕跡の減衰理論でも唱えられてきたことでもある。

しかし、分散効果にこの理論を適用すると、連続提示の場合より分散提示の場合の方が、1回目に提示された記憶の活性化が再提示時に減衰していることになる。すると、必然的に、2回目の再生確率が低い時点で提示されるほど最終的な再生確率が高いという、いわゆる、強度の逆説 (strength paradox) (Landauer & Bjork, 1978) が導かれてしまう。そのために、記憶強度や活性化といった観点から分散効果を説明しようとする試みは、早くから断念されてきた。

しかしながら、著者は、次に述べるように、視点を変えれば、分散効果を活性化の減衰という観点からでも説明可能だと考えた。活性化が減衰した時点での再生確率に着目すると、強度の逆説が生じてしまう。しかし、減衰した時点で行われる再処理に着目すれば、減衰しているほど再処理量は多くなり、減衰していなければ再処理量は少なくなる。したがって、もしも再処理量が多ければ再生率が上昇するとするならば、1回目に提示された記憶表象の活性化が減衰しているほど再生率が高くなる

ことになり、強度の逆説は逆説ではなくなる。

活性化が減衰した時点での再処理とは、その活性化を再度上昇させること、すなわち、再活性化に他ならない。Anderson (1983) の ACT* モデルでは、過去に頻繁に再活性化された概念ノードほど活性化されやすくなる、すなわち、再生されやすくなるようなプロダクション・ルールが設定され、この設定で再生率がうまく予測できることが明らかにされている。この設定は、見方を変えれば、再活性化の量、つまり、再活性化量が多ければ再生率が上昇することを実現したものと見なすことができる。

そこで、本研究では、再提示時の再活性化量に焦点を当て、分散効果が生じるのは、分散提示をすると以前提示された記憶表象の活性化が減衰しており、再提示時の再活性化量が多くなるためであるとする再活性化説を提起し、この説を実験的に検証することを目的とする。

1.3 活性化の変化、再活性化量、そして、再生率の予測

Anderson (1983) の ACT* モデルに代表される意味ネットワーク・モデルでは、長期記憶内の概念はノード、概念間の関係はリンクで表され、そのノードの活動状態が、活性化で表される。そして、処理によって特定のノードがアクセスされると、その活性化は高まる。そして、この活性化は、当該ノードがアクセスされない限り、活性化拡散理論で仮定されているように、拡散しながら緩和的に減衰するとされる。

水野・菅沼 (1994, 1995) は、この考え方に基づき、曖昧代名詞の指示語を特定し、省略語を補完し、次に来る語を予測する自然言語処理モデルを作成し、実験結果のシミュレーションを行った。そして、このモデルの能力だけでなくその限界をも人間に近づけるために

1) ここで言う活性化、および、本研究で扱う活性化は、意味ネットワークにおける概念ノードの活性化であり、コネクション・モデルにおけるユニット間の信号の授受によって変化する活性値とは異なる。

は、語の意味だけを考慮するのではなく、シグモイド曲線を描いて徐々に減衰するような活性度を仮定する必要があることを確認した。

また、作業記憶とは、活性度がある閾値以上で、すぐさま呼び出し可能であるような特殊な状態で保持されていることを指す (Anderson, 1990; Cantor & Engle, 1993)。したがって、この定義に基づけば、1回目に提示された刺激の記憶表象の活性度が閾値以上であれば、作業記憶が再活性化され、閾値以下であれば、長期記憶が再活性化されることになる。そして、1回目に提示された記憶表象の活性度は提示間隔が開くほど減衰することから、提示間隔がある程度短い場合は作業記憶が、ある程度以上長くなると長期記憶が再活性化されることになる。

そこで、こうした活性度の変化に関する知見をもとに、再活性化説に基づいて、再活性化量の増減と、それに伴う再生率についての具体的な予想を行った。

活性度の最大値を1.0と仮定すると、刺激が提示されると、特定のノード、すなわち、記憶表象が実際にアクセスされるため、その活性度は提示直後に1.0まで急速に上昇すると考えられる。したがって、この直後に再提示が行われる場合、つまり、提示間隔をあげない連続提示条件での再活性化量は、1回しか提示されない場合と同様、ほとんどないと考えられる。よって、再活性化説からは、再生率の上昇は見られないと予想することができ、これは従来知見 (e.g., Madigan, 1969) と一致する。

一方、分散提示条件では、2回目にアクセスされるまで、作業記憶の活性度が時間の経過とともにシグモイド曲線を描いて徐々に減衰していくと考えられる (水野・菅沼, 1994, 1995)。よって、再活性化量はこれとは逆に、急激に増大した後、緩やかに増大すると考えられるため、再生率も、急激に上昇した後、緩やか

に上昇すると予想される。

そして、さらに時間が経過すると、つまり、さらに提示間隔があげられると、活性度の減衰がさらに進行して閾値以下となる。すると、先述の定義 (Anderson 1990; Cantor & Engle, 1993) に従えば、再活性化される記憶は長期記憶となる。長期記憶の再活性化量の多少は、提示された刺激がどの程度長期記憶に定着していたか、言い換えれば、作業記憶に呼び出されたときの活性度がどの程度であったかによって異なる。また、これには、刺激についての既存の知識量や関連する知識量なども影響しうる。したがって、長期記憶が再活性化される場合の再生率を具体的に予想することは難しいが、少なくとも、長期記憶は作業記憶より安定しているので、その活性度は長い時間をかけて減衰することはあっても比較的安定した状態にあると考えられる。したがって、再活性化量にも大きな変化は生じず、再生率も安定すると予想される。

そして、以上の予想は、1.1の最後に述べた Glenberg (1979), Madigan (1969), Melton (1970) の実験結果とも、きわめてよく一致している。

2. 実験 1

2.1 目的

再活性化説の基本的妥当性を実験的に検証するとともに、続くシミュレーションでのモデル化のためのデータを得ることを目的とする。

分散効果に関する実験では、ほとんどの場合、単語が刺激として用いられてきた。しかしながら、単語は様々な意味属性を有するため、必然的に多様な符号化が可能となり、様々な文脈を形成しうる。したがって、従来の実験結果で文脈の影響の現れ方が一貫していなかったのは、こうした文脈の多様性のためである可能性がある。また、Greene & Stillwell

(1995)が主張したような、文脈と提示間隔の交互作用についても、文脈の影響が多様であれば、必ずしも一貫した結果が得られるとは限らず、果たして提示間隔が影響しているのか、文脈が影響しているのかすら不明確になってしまう。

再活性化説では、分散効果が生起する必要条件を、提示間隔だと仮定している。そこで、本実験では、従来のように単語を刺激とするのではなく、数字を刺激とする。数字は単語ほど多様な意味ないしは属性を持たないため、単語ほど多様な符号化をすることはできないし、文脈を形成することもほとんどないと考えられる²⁾。したがって、この刺激を用いることで文脈の影響をできるだけ排除することができれば、提示間隔自体の影響をより明確に把握することができる。そして、この刺激を用いても顕著な分散効果が得られれば、分散効果が生起するためには必ずしも符号化多様性は必要なく、先述したBellezza & Young (1989)や再活性化説が仮定するように、提示間隔をあけること自体が分散効果の生起する必要条件であることを示すことができる。さらに、もしもこの方法によって提示間隔の影響が明確になり、提示間隔が大きくなるほど再生率が上昇する傾向が見られれば、活性度が徐々に減衰することによってもたらされる再活性化量の増大が再生率を上昇させるという、再活性化説の妥当性にさらなる確証を得ることができる。

また、本実験では、提示間隔以外の独立変数として、繰り返し提示する回数を設定し、再生率への影響を見る。提示回数が増えた場合、処理不足説や符号化多様性説のもとでは全体

に再生率が上昇することが予想できるにすぎない。一方、再活性化説のもとでは、次のような具体的な予想を立てることができる。

Landauer & Bjork (1978)は、連続して刺激を提示する場合、挿入項目数を3, 3, 3, 3のように同じにするよりも、0, 1, 3, 8と徐々に広げていった方が再生率が高いことを実験的に明らかにし、これを延長リハーサル方略(a strategy of expanding rehearsal)と呼んだ。この原因を再活性化説で説明しようとした場合、回数が少ない場合は提示間隔が短くてもある程度の再活性化量があるが、回数が多くなるにつれて提示間隔が長くないと再活性化量が十分ではなくなった、すなわち、学習回数とともに活性度の減衰速度が緩やかになったためだと考えることができる。そして、この考え方が正しければ、2回提示の場合よりも、3回提示の場合の方が、再活性化量の増大がより挿入項目数の多い時点で生じ、再生率の上昇もより挿入項目数の多い時点で生じると予想される。

2.2 方法

2.2.1 被験者

大学生50名。

2.2.2 刺激

ある程度複雑にし、しかも、項目数を多くする必要のあることから、2桁の数字を用いた。ただし、10の倍数と11の倍数は記憶しやすい可能性があるので除外した。挿入項目数の条件は、Glenberg (1979)とMadigan (1969)で設定された条件を参考に、0, 1, 2, 4, 8, 20項目の6条件とし、新たに設けた提示回数の条件は3回までとした。

以上の条件を満たす45項目からなる系列は2種類作成され(付録)、25名ずつの被験者に割り当てられた。各条件に割り当てられる数

2) 確かに熟考すれば数字でも数値以外の何らかの意味を付与できる可能性は否めない。しかし、各数字の提示時間が短く、しかも、次々に別の数字が提示されていく実験条件では、他の意味を考えつく余裕はほとんどないと考えられる。

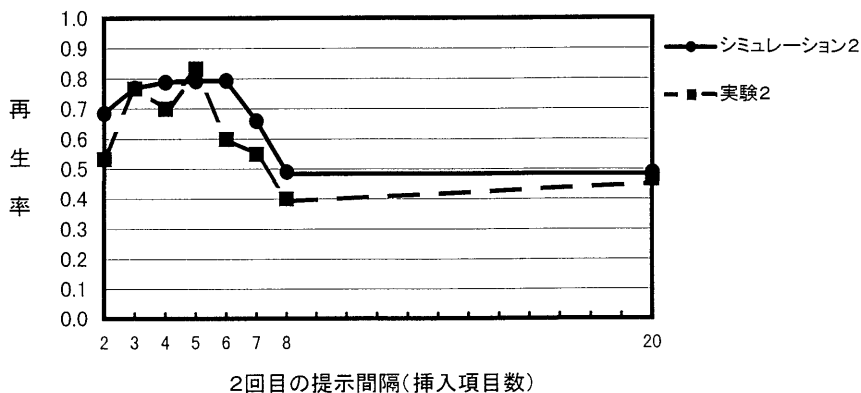


図1 提示間隔と提示回数を変化させた場合の各条件での平均再生率

字は被験者ごとにランダムとした。この系列の作成にあたっては、各条件の刺激が出現する系列位置に偏りが生じないように、条件ごとに系列位置の平均値を求め、その平均値の2系列の平均が、条件間で大きく異ならないよう留意した((挿入項目数, 提示回数):系列平均値 — (0,2):22.5, (1,2):23.0, (2,2):22.0, (4,2):22.5, (8,2):22.0, (20,2):21.5, (0,3):22.0, (1,3):22.5, (2,3):23.5, (4,3):22.5, (8,3):22.5, (20,3):23.0)。

2.2.3 手続き

1名約20分の個別実験で、各被験者は2種類のうちのいずれかの系列順序で、1秒につき1項目ずつCRT中央に提示される45項目の数字をできるだけ多く覚えるよう教示された。作業記憶から直接再生されるのを避けるために、最後の項目提示の15秒後に自由再生が開始され、被験者は、提示された数字をできるだけ多く思い出すよう教示された。再生時間に制限は設けなかったが、自由再生に要した時間はいずれの被験者も10分程度であった。

2.3 結果と考察

再生率の著しく低い1名のデータを除外し、49名のデータを分析の対象とした。図1にすべての提示回数条件の挿入項目数ごとの平均

再生率を示す。

2.3.1 連続提示の効果

挿入項目0(連続提示)の場合に繰り返し提示する効果があるか否かを、提示回数を独立変数とした1要因分散分析で検定した。その結果、有意な主効果は見られず($F(2, 96) = 0.39, ns$)、連続提示の場合は繰り返し提示しても再生率は上昇しないことが明らかとなった。

この結果は、再生率の上昇には提示間隔をあけることによる活性度の減衰が必要条件であり、これが満たされない場合は再提示時の再活性化量がほとんどないために再生率が上昇しないと1.3で述べた予想と一致する。

2.3.2 分散提示の効果

次に、2回提示の条件と3回提示の条件で、挿入項目数ごとの再生率の変化の様子が異なるか否かを見るために、提示回数と挿入項目数を独立変数とした2要因分散分析を行った。その結果、提示回数の主効果は有意ではなかったが($F(1, 48) = 2.28, ns$)、挿入項目数の主効果と($F(5, 240) = 9.54, p < .01$)、交互作用が有意であった($F(5, 240) = 2.71, p < .05$)。

このことは、文脈の影響の少ない数字を材料としても分散効果は生じること、そして、2

回提示と3回提示の場合では、全体としての再生率には違いはないものの再生率の変化した挿入項目数が異なることを意味しており、再活性化説のもとでの予想と一致する。

そこで、提示回数ごとの分散効果を見るために、まず、提示回数ごとに挿入項目数の単純主効果を求めた。その結果、両提示回数条件とも挿入項目数の主効果が有意で ($F(5, 480) = 6.80, p < .01, F(5, 480) = 6.18, p < .01$)、2回提示の場合も3回提示の場合も挿入項目数によって再生率が異なることが確認された。その上で、2回提示の場合と3回提示の場合の各々において、どの挿入項目数で分散効果が出現したのかを見るために、TukeyのWSD検定による提示回数ごとの挿入項目数間の再生率の差の多重比較を行った。その結果、2回提示の場合は挿入項目4の場合以外のすべての再生率が挿入項目0の再生率よりも高く(有意と判定された際のTukeyのWSDと有意水準; 挿入項目0-1: 0.30, $p < .01$, 挿入項目0-2: 0.31, $p < .01$, 挿入項目0-8: 0.23, $p < .05$, 挿入項目0-20: 0.24, $p < .05$)、その他では、挿入項目1と4の間と ($WSD = 0.29, p < .01$)、挿入項目2と4の間に ($WSD = 0.30, p < .01$)、有意な差が見られた。一方、3回提示の場合は挿入項目1と4以外で挿入項目0の場合よりも再生率が大きく (WSD と有意水準; 挿入項目0-2: 0.30, $p < .01$, 挿入項目0-8: 0.32, $p < .01$, 挿入項目0-20: 0.32, $p < .01$)、その他は挿入項目4と8 ($WSD = 0.30, p < .01$)と挿入項目4と20 ($WSD = 0.32, p < .01$)の間の再生率に、有意な差があった。

このように、2回提示の場合も3回提示の場合も、挿入項目2まで徐々に再生率が高くなっていったことは、こうした短い提示間隔では、作業記憶内の記憶表象の活性度の減衰が進行し、再活性化量が増大していった可能性を示唆している。さらに、2回提示の場合は提示間隔が

短い部分で再生率が上昇していたのに対し、3回提示の場合は提示間隔が比較的長くないと再生率が上昇しなかった。このことは、注意説や符号化多様性説のもとでは予想できなかったことであり、1.3で述べた予想、すなわち、提示回数が増すと活性度の減衰の仕方が緩やかになるので、再活性化量が多くなるためには提示間隔が長くなければならないはずだとする予想と一致するものである。

また、提示間隔が非常に長い場合に再生率が高いまま安定したのも、長期記憶が作業記憶に比べて安定しているため、再生率は比較的安定するであろうという再活性化説の予想と一致していた。

しかしながら、挿入項目4では、2回提示の場合も3回提示の場合も再生率が有意に低下しており、このようなことは予想されていなかったことである。よって、この問題については、次の2.4.1で詳しく考察する。

次に、両提示回数での再生率の差がどの挿入項目数で生じたのかをみるために、同じくTukeyのWSD検定による多重比較を行った。その結果、2回提示と3回提示の場合では、挿入項目8と挿入項目20で再生率に有意な差が見られた(ともに、 $WSD = 0.19, p < .05$)。

このように、挿入項目8と20という提示間隔が長い条件でのみ2回提示より3回提示の場合の方が再生率が同程度に高かったのは、長期記憶の活性度が作業記憶に比べて安定しているため、条件間に再生率の差がなく、提示回数の影響がそのまま再生率の差に反映されたためだと考えることもできる。しかしながら、再生率をよく見ると、長期記憶の再活性化の場合は3回提示の場合の再生率が絶対的に高いが、作業記憶の再活性化の場合は2回提示の場合と3回提示の場合の再生率がほぼ等しい。よって、この問題についても、次の2.4.2で詳しく考察する。

2.4 予想との一致・不一致

(a) 連続提示の場合の再生率が1回提示の場合と変わらないこと、(b) 提示間隔が比較的短く、作業記憶が再活性化される場合には、分散効果が提示間隔とともに増大すること、(c) 提示回数が増すと分散効果の得られる提示間隔が長くなること、および、(d) 提示間隔が非常に長い場合は、再生率が比較的高いまま安定したことは、すべて再活性化説のもとでの予想と一致し、再活性化説は支持的証拠を得ることができた。

しかしながら、2回提示と3回提示の挿入項目4で再生率が急激に低下し、分散効果が見られなかったことは、本研究の予想とも従来の実験結果とも大きく異なっている。しかも、この現象は、単純な活性度の変化だけを仮定したのでは説明することはできない。また、長期記憶の再活性化の場合のみ提示回数の影響が現れたことも、予想していなかったことである。

そこで、これらの点については、再活性化説の観点からどのように解釈可能かを改めて考察した。

2.4.1 挿入項目4での再生率低下の原因

実験結果は、挿入項目4以前の、提示間隔が比較的短い場合は作業記憶が再活性化されていることを、挿入項目8以上の提示間隔が非常に長い場合は長期記憶が再活性化されていることを示していた。だとすれば、挿入項目4は、作業記憶と長期記憶という2つの記憶システムの狭間にあったのではないかと考えられる。実際、挿入項目4という条件では保持すべき情報が作業記憶容量の限界にあった可能性が高い。なぜなら作業記憶の容量は1桁の数字を1項目とした場合でも一般に 7 ± 2 であり、挿入項目4の場合、1回目に提示された項目と再提示された項目を同時に作業記憶に保った

上で再活性化するためには、少なくとも2桁の数字を6項目と、容量の限界に近い情報を保たねばならないからである。

そこで、この可能性を確認するために、実験と同じ2桁の数字を用いて、49名の被験者全員の作業記憶容量を測定する追加実験を行った。実験は恒常法によるコンピュータ制御の集団実験で、3項目から11項目の数字から成るランダム系列を10種類ずつ作成し、全被験者に同じものを用いた。被験者はCRT上に300msに1項目ずつ提示される数字を系列どおり記録し、直後に再生用紙に記入した。再生開始後10秒でピープ音となり、その直後に次の系列が開始される。スパンの判定は正規補完法によった。その結果、彼らの作業記憶容量の平均は5.02 (0.67)項目で、挿入項目4の場合に保持せねばならない6項目未満だったことがわかった。つまり、挿入項目4の時点では、以前提示された刺激の記憶表象の活性度が既に閾値以下に減衰しており、作業記憶になかったと考えられる。

また、挿入項目4での再生率の低下は、先述したGlenberg (1979), Madigan (1969), Melton (1970)などの単語を刺激としたこれまでの実験では見られなかった現象である。そして、本実験のこれまでの実験と大きく異なる点が数字を刺激としたことである以上、この違いは、刺激の性質の違いに起因していると考えられる。数字が単語と異なるのは、単語よりも多様な符号化が難しいこと、すなわち、関連概念の長期記憶量が少ないことである。そして、既存の長期記憶量が少ないと再生率が低下したということは、長期記憶の助けなしに作業記憶内で処理するのが難しかったことを意味する。したがって、挿入項目4での再生率の低下は、やはり、提示間隔が長くなったために記憶表象の活性度が減衰して閾値以下となり、作業記憶が再活性化できなかつ

たことが原因の1つだと考えられる。

しかしながら、挿入項目4では再生率が低かったが、挿入項目4以降では再び単語を刺激とした場合と同じように再生率が高くなっていった。このことは、既存の長期記憶量が少なくても、ある程度以上提示間隔が開けば、それ以外の長期記憶、すなわち、新たに形成された長期記憶の再活性化が可能となったためではないかと考えられる。

ある時点では新たに形成された長期記憶の再活性化が不可能でも、それ以上に提示間隔が開けば可能となるという現象を、きわめて合理的に説明することができるのが、固定説(Landauer, 1969)である。この説は、長期記憶に検索可能な形で情報が保持されるためには、ある程度の時間を要するとするものである。この考え方が正しいとすれば、挿入項目4で再生率が低下したのは、作業記憶が再活性化できなかつただけでなく、まだ長期記憶が検索可能な状態にまで定着しておらず、長期記憶も再活性化できなかつたためでもある可能性がある。実際、挿入項目4の再生率は、連続提示や挿入項目1という再活性化量がほとんどない状態の再生率とほぼ等しく、この可能性を示唆している。

この可能性を確認するためには、実験的な証拠があった方がよいことは言うまでもない。しかしながら、固定説に実験的な証拠がないという事実からも示唆されるように、こうした内的かつ動的なプロセスを把握するには、実験的方法では限界がある。よって、本研究では、ここで行った実験結果、および、考察に基づいて、長期記憶の固定にはある程度の時間を要し、そのために挿入項目4では作業記憶も長期記憶も再活性化できない状態にあると仮定してシミュレーションを行い、実験結果との照合により、この可能性を検証するものとする。

2.4.2 長期記憶の再活性化の回数と再生率の上昇

提示間隔が短く、作業記憶が再活性化されている場合には、提示回数を増しても、再生率の最大値にはほとんど差がなかったが、提示間隔が長く、長期記憶が再活性化されている場合には提示回数による再生率の差が有意であった。

この結果は、長期記憶の再活性化、すなわち、検索が、即座に使用できる状態で保持してある記憶表象をそのまま再活性化する作業記憶の再活性化とは性質が異なることを示唆している。

作業記憶内の再活性化は、いわゆる長期記憶への転送の前の再処理という意味では、リハーサルに類似している。したがって、提示回数の影響がほとんどなかつたのは、リハーサルが1度増えたぐらいでは再生率は顕著に高まらないこと(e.g., Hellyer, 1962)を反映しているのではないかと考えられる。一方、検索の繰り返しが再生率を高めることは、検索練習効果と呼ばれ(Baddeley, 1990), 1~2回程度でも、検索回数に従って再生率が有意に高まることが数多くの実験で確認されている(e.g., Allen, Mahler, & Estes, 1969)。

そこでシミュレーションでは、作業記憶の再活性化が生じた場合は1度の再活性化量から再生率を推定し、長期記憶の再活性化が生じた場合は、検索練習効果を再現するために、再活性化量を累積して再生率を推定する。そして、各々の結果を実験結果と照合することで、作業記憶の再活性化と長期記憶の再活性化の機能的な違いについても、検討するものとする。

3. シミュレーション1

以上の考察と実験データをもとに、まず、作業記憶の活性度の減衰の過程、および、その

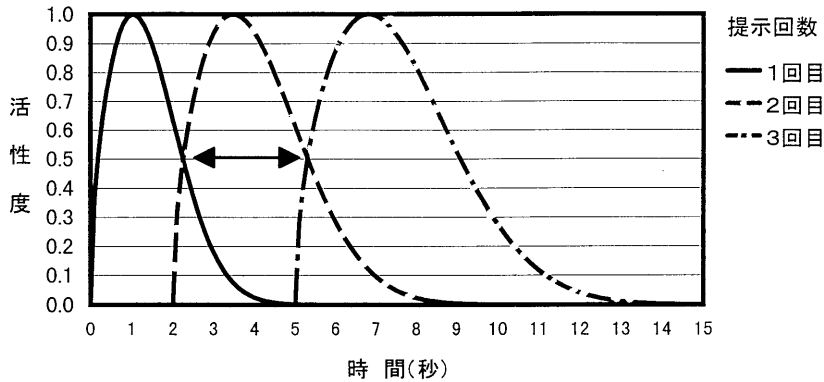


図2 作業記憶の活性度の変化

際の再活性化量と再生率の関係をモデル化する。次に、このモデルに基づくシミュレーションを行い、シミュレーションで得られた再生率の推定値と実験結果を照合することで、モデルの基本的妥当性を検証する。

挿入項目4については、2.4.1の考察が妥当か否かを、作業記憶の再活性化量、長期記憶の再活性化量を0と仮定した場合の再生率を推定し、これを実験結果と照合し検証する。

ただし、長期記憶の活性度については、1.3で述べたように、比較的安定していると仮定されているだけで、大きさについては具体的な仮定がない。よって、長期記憶については、実験1の結果に基づいて再活性化量を推定し、2.4.2で述べた長期記憶の場合は再活性化量が累積されているとする可能性を検討するとともに、長期記憶の再活性化による分散効果をも説明しうる基本モデル作成と、それに基づくシミュレーション2のためのデータを得る。

3.1 作業記憶の再活性化による再生率の推定

実験から、連続提示の場合は繰り返し提示の効果がまったくないことが明らかとなった。このことは、提示1秒後には活性度がほとんど減衰していないことを示唆している。また、挿入項目4の時点で再生率が低下したこと、そし

て、追加実験の結果、2桁の数字の作業記憶容量が平均5.02であったことから、1回目の活性度が完全に減衰するのに要する時間は5秒強であったと考えられる。よって、1回目の提示による作業記憶の活性度は、提示とともに急速に上昇して最大値となり、その後緩やかに下降して5秒前後で完全に減衰したと考えられる。

次に、実験結果では、3回提示の場合は2回提示の場合よりも活性度の減衰に時間がかかることが示され、3回提示の挿入項目2での再生率は、2回提示の挿入項目1での再生率とほぼ等しかった。したがって、2回目の作業記憶の活性度の減衰速度は、提示回数ごとにこの条件を満たすように緩やかとなった考えられる。

そこで、時間の経過にともなうこのような活性度の変化の過程を、(1)式のようにモデル化した。

$$act = \alpha \sqrt{t} \exp^{-\frac{(t-\beta)^2}{\gamma + 4.0(n-1.0)}} \quad (1)$$

ただし、

act : 記憶の活性度 ($0 \leq act \leq 1.0$)

t : 時間

n : 提示回数

α : 最大値を1.0とするパラメータ(下記の γ と共変する。ここでは $\gamma = 3.0$ 、ゆえに1.177)

β : 何秒後に最大値 1.0 をとるかを決定するパラメータ(ここでは1秒後、ゆえに 0.3)

γ : 何秒後に最小値 0をとるかを決定するパラメータ(ここでは5秒強、ゆえに 3.0)

(1)式は \sqrt{t} と正規型の指数関数との積で表されていることから、その曲線は急激に最大値まで上昇し、ピークを過ぎると正規型の広がりをもつ。そしてその広がり、右項の正規関数の分散値にあたる $\gamma + 4.0(n - 1.0)$ で決定される。

2回目の提示が挿入項目1、3回目の提示が挿入項目2の場合を例にとり、横軸を時間とした場合の(1)式の活性度の変化の様子を図示したのが図2である。ここに示すように、実験での各刺激の提示時間は1.0秒であったので、2回目の提示が挿入項目1の場合は、1.0秒の提示が終わってからさらに1.0秒後の2.0秒の時点から、3回目の提示が挿入項目2の場合は、2回目の提示が終了した3.0秒よりさらに2.0秒後の5.0秒から活性度が上昇したことになる。図2を見ると、(1)式では、挿入項目1で2回目が提示された場合の作業記憶の活性度と、挿入項目2で3回目が提示された場合の作業記憶の活性度がほぼ0.5と等しいため、再活性化量である $1.0 - 0.5$ の値も両条件で等しくなり、実験結果で示唆された減衰速度の条件が満たされていることがわかる。

次に、この図2をもとに、2回目の提示時の活性度が提示間隔によってどのように異なると考えられるかを解説する。2回目の提示が挿入項目0、つまり、連続提示の場合は、2回目の活性度が1.0秒の時点から上昇したはずなので、中央の曲線が左に1秒分ずれることになる。すると、1回目の曲線と交わる部分はまだ1回目の活性度の高い時点となり、その結果、再活性化量は少なくなったと考えられる。一

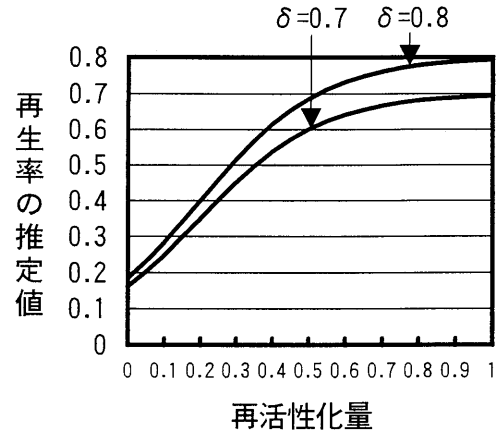


図3 再活性化量と再生率の関係((2)式)

方、2回目の提示が挿入項目2の場合は、2回目の活性度は3.0秒の時点から上昇したはずなので、1回目の曲線と交わる部分は1回目の活性度がきわめて低くなった時点となり、その結果、再活性化量は大きかったと考えられる。

そこで次に、この再活性化量と再生率の関係を推定した。再活性化量を軸とした場合、実験で得られた再生率の変化は、限りなく最大値に近づく成長曲線を描く。そこで、これを表すには、ニューラルネット等によく用いられる成長関数の1つである、ロジスティック関数が最も適当だと考えた((2)式、図3)。

$$Pr = \frac{\delta}{1.0 + \exp^{-\varepsilon(react-\zeta)}} \quad (2)$$

ただし、

Pr : 再生率の推定値

$react$: 再活性化量

δ : 最大値を決定するパラメータ(実験データから推定される最大再生率に基づいて設定され、例えば2回提示なら0.7、3回提示なら0.8となる)

どのような分散提示の場合も初回の活性化量は等しい。よって、初回の活性化によって実現される再生率を再生率の初期値とすれば、

表1 シミュレーション1での作業記憶の再活性化量と再生率の推定値, および, 実験での再生率の実測値

提示間隔 (挿入項目数)	0	1	2	4
シミュレーション1	2回提示条件			
再活性化量	0.191	0.501	0.828	0.000
再生率	0.340	0.601	0.684	0.162
実験1				
再生率	0.245	0.612	0.694	0.286
シミュレーション1	3回提示条件			
再活性化量	0.090	0.263	0.497	0.341
再生率	0.272	0.475	0.685	0.489
実験1				
再生率	0.306	0.469	0.612	0.388

再活性化量の影響だけを検討することができる。そして、その再生率の初期値は、実験で得られた1回しか提示されない条件、および、連続提示条件の再生率を参考にして、0.2前後に設定すればよい。さらに、(1)式および実験結果から、再生率は再活性化量が0.8前後で最大値をとることが明らかとなった。そこで、ロジスティック曲線の形状を決定するパラメータである ε と ζ は、これらの条件を満足するように、それぞれ6.0, 0.2に設定された。

以上のモデルをもとに、シミュレーションを行った。挿入項目0から2については、(1)式から再活性化量を推定し、これを(2)式に代入することで再生率の推定値を求めた。

2回提示の挿入項目4の条件では、2回目の提示時に1回目に提示された記憶表象を作業記憶内で再活性化するのは、2.4.1の実験の考察および2回提示のシミュレーションで述べたように、不可能だったと考えられた。そこで2回提示の挿入項目4の条件では、再活性化量を0として再生率を求めた。また、3回提示の挿入項目4の条件では、1回目に提示された項目が3回目に提示された項目の9項目前だったことから考えて、少なくとも1回目に提示された項目の記憶表象だけは、2回提示の挿入項目8と同程度に長期記憶に定着していたはずである。

したがって3回提示の挿入項目4については、再生率から再活性化量を推定するのではなく、むしろ次の説で述べる、2回目の挿入項目8と20の場合の長期記憶の再活性化量(0.341)を利用した方が正確だと考え、これをもとに再生率を推定した。

以上のシミュレーションで算出された各提示間隔条件での再活性化量と再生率の推定値と、実験1での再生率の実測値を表1に示す。両者がどの程度近似しているかを定量的に見るために、両者の相関係数を求めた。その結果、提示2回の相関係数は $r = 0.928$ 、提示3回の場合は $r = 0.947$ と高く、統計的検定では、傾向が認められた($t(2) = 3.525, 4.170, p < .1$)。

3.2 長期記憶の再活性化量の推定

2.4.2で述べたように、長期記憶が再活性化される場合は、提示回数の再生率の影響、すなわち、検索練習効果が生じると考えられる。そして、この原因が、検索ルートが使用されるたびに強化されるためだとすれば(Baddeley, 1990)、再活性化量の影響は累積されると考えられる。そこで、長期記憶の場合は、再活性化量の総和が再生率に影響すると考えた。

ただし、1.3で述べたように、再提示時の長期記憶の再活性化量については何ら具体的な

仮定はされていない。したがって、ここでは、実験データをもとに2回提示と3回提示の場合の長期記憶の再活性化量を推定し、再活性化量が累積されている可能性を検討する。

まず、2回提示の場合は、挿入項目8, 20のときの再生率がそれぞれ0.490であった。したがって、(2)式より、長期記憶の再活性化量の総和は(ただし、この場合は1回だけしか長期記憶が再活性化されていないので、1回分となる)、いずれも0.341だったと推定される。

一方、3回提示の挿入項目8の場合の再生率の実測値は0.694であり、これを(2)式に代入した場合に得られる再活性化量の総和は0.513である。そして、2回目の提示時の再活性化量は0.341と推定されていることから、3回提示の際の再活性化量は0.172だと推定される。また、挿入項目20の場合の再生率の実測値は0.714で、(2)式に基づく再活性化量の総和は0.55である。そして、この場合も2回目の提示時の再活性化量は0.341と推定されていることから、3回目の再活性化量は0.182だと推定される。

このように、2回目の再活性化量の方が3回目よりも多かったのは、2回目の方が3回目に比べて学習が不十分で、長期記憶の活性度が低かったことを示唆している。また、3回提示の場合にやっと挿入項目20の方が挿入項目8よりも再活性化量が多くなったのは、長期記憶の活性度の減衰速度がきわめて緩やかだったことを示している。したがって、これらの再活性化量の推定値は不合理なものではなく、長期記憶の場合は再活性化量が累積されるという考え方は支持的証拠を得た。

3.3 実験1・シミュレーション1の総合的考察

以上、作業記憶内の再活性化によって生起する再生率に関しては、本モデルだけを利用して

実測値に近い推定値を算出することができた。しかし、長期記憶の再活性化については、再活性化量が累積されるという考え方の妥当性は示されたものの、その値については実測値をもとに推定したに過ぎない。本モデルの妥当性に確証を得るためには、長期記憶の再活性化による再生率を含めて、本モデルだけに基づいてすべての再生率を予測し、それが実験結果と一致することを示さねばならない。

そこで、シミュレーション2および実験2では、その予測と検証を行う。

4. シミュレーション2

ここでは、本モデルに基づいて特定の条件下で予想される再生率を、長期記憶の再活性化の場合も含め、すべて再活性化量をもとに推定し、その推定値を続く実験2での実測値と照らし合わせることで、本モデルの妥当性に確証を得るものとする。その特定の条件とは、次のようなものである。

実験1の冒頭で述べたように、Landauer & Bjork (1978)は、延長リハーサルの有効性を実験的に明らかにした。そして、実験1とシミュレーション1の結果から、提示回数が増すと作業記憶内の活性度の減衰の仕方が緩やかになることが明らかになり、この原因を再活性化量によって説明することが可能となった。

ただし、本モデルに基づけば、2つ目の提示間隔が非常に広く、2回目の提示では作業記憶が再活性化されても、3回目の提示では長期記憶が再活性化されるような場合は、3回目の長期記憶の再活性化しか再生率に影響しないと考えられる。よって、2つ目の提示間隔が非常に広い場合の再生率は実験1・シミュレーション1の2回提示の場合の挿入項目8, 20の条件の再生率とほぼ等しい、比較的低い値で安定すると予想される。

そこで、こうした予想をもとに、1回目の挿

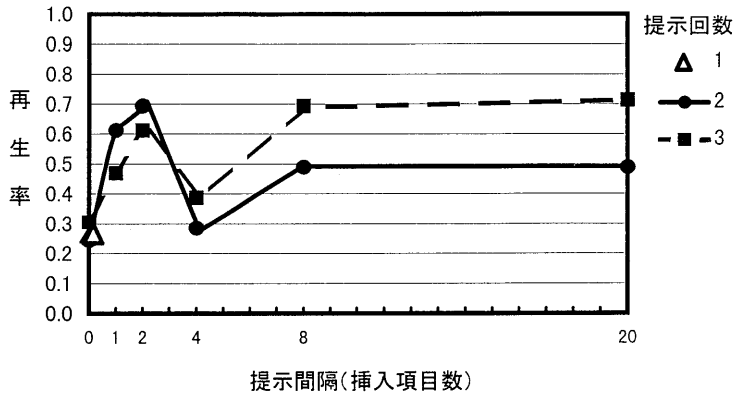


図4 1回目の挿入項目数2で、2回目の挿入項目数だけ変化させた場合のシミュレーション2と実験2での再生率

入項目数を2とし、2回目を2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 20とした場合のシミュレーションを行い、再生率を予想した(これ以下では、各々の条件を括弧でくくり、(1回目の挿入項目数, 2回目の挿入項目数)で表すものとする)。

4.1 作業記憶の再活性化による再生率の予測

本モデルの(1)式と(3)式から、3回目の提示時に作業記憶の再活性化が可能だと考えられる条件、つまり、2回目の活性化が0になっていない条件は(2,2) [活性化度 0.503], (2,3) [0.262], (2,4) [0.094], (2,5) [0.024], (2,6) [0.004]である。よって、これらの条件では2回目の作業記憶の再活性化量をもとに再生率を推定する。

ただし、(2,7)については、作業記憶の活性化度は0ではないものの、0.0006と極めて0に近い。このことと、追加実験での作業記憶容量の平均が5.02だったことを併せて考えれば、ほぼ半数の被験者は作業記憶を再活性化できなかった可能性がある。この考え方が正しければ、(2,7)の条件では、実験1・シミュレーション1の3回提示の挿入項目4の場合と同様、1回目に提示された刺激の長期記憶が再活性化されたことになる。

よってシミュレーションでは、(2,7)の条件

の再生率の推定値を、作業記憶の再活性化による再生率とシミュレーション1の3回提示の挿入項目4と同じ方法で求めた再生率の平均値とした。なお、この妥当性については、実験2のデータを得た後で詳しく検討する。

4.2 長期記憶の再活性化による再生率の予測

一方、(2,8), (2,20)では、作業記憶の活性化度は完全に0となる。よって、これらの条件では、3回目の長期記憶の再活性化がシミュレーション2での2回目の再活性化と同じ意味を持つため、その再活性化量を0.341として再生率を推定した。

すべてのシミュレーション結果を図4に実線で示す。この結果の考察は、実験2とシミュレーション2の総合的考察で実測値と比較しつつ行うものとし、次に、その比較のための実験2を行う。

5. 実験2

5.1 目的

シミュレーション2と同じ条件で自由再生実験を行い、各提示間隔条件での再生率を測定し、これをシミュレーション2の結果と比較する。

5.2 方法

5.2.1 被験者

大学生30名。

5.2.2 刺激

実験1と同様、10の倍数と11の倍数を除外した2桁の数字を用いた。

条件は3回提示で、1回目の挿入項目数は常に2、2回目の挿入項目数を2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 20の8条件とした。

以上の条件を満たす45項目からなる系列は2種類作成された(付録)。これらの系列の作成にあたっては、各条件の系列位置の平均値の、2系列の平均が、条件間で大きく異なるよう留意した((2,2):21.5, (2,3):23.3, (2,4):23.7, (2,5):22.5, (2,6):20.8, (2,7):21.7, (2,8):23.5, (2,20):21.5)。なお、各条件に割り当てられる数字は被験者ごとにランダムとした。

5.2.3 手続き

1名約35分の個別実験で、1系列の記銘と再生を1セッションとし、各被験者は2セッション行った。その際、系列1から系列2の順で行った被験者が15名、系列2から系列1の順で行った被験者が15名であった。その他の手続きについては、実験1に準ずる。

5.3 結果と考察

結果は、図4に波線で示すとおりである。

2回目の挿入項目数による再生率の差を調べるために、個人の各条件の2セッション分の再生個数をもとに、1要因分散分析を行った。その結果、2回目の挿入項目数の主効果が有意で($F(7, 203) = 6.35, p < .01$)、個体差は有意ではなかった($F(29, 203) = 1.27, ns$)。そこで、どの条件間に差があるかを見るために、HSD法による多重比較を行った。その結果、 $HSD = 0.255, p < .05; 0.296, p < .01$ で、挿

入項目3-8 ($p < .01$)、挿入項目4-8 ($p < .01$)、挿入項目5-2 ($p < .01$)、5-7 ($p < .05$)、5-8 ($p < .01$)、5-20 ($p < .01$)の間に有意な差が見られた。この結果は、再活性化量が挿入項目3, 4で中程度、挿入項目5で最大、そして、挿入項目7で若干少なくなり、挿入項目8および20ではさらに少なくかつほぼ一定となったことを示唆しており、これまでの予想とも、シミュレーション2での推定値とも一致するものである。ただし、挿入項目6では若干再生率が低下し、再活性化量が少なくなった可能性がある。よって、この点については、次のシミュレーション2の結果との比較で、特に詳しく考察するものとする。

5.4 実験2・シミュレーション2の総合的考察

実験2の結果とシミュレーション2の推定値の近似度を定量的に調べるために、両結果の相関係数を求めた。その結果、相関係数は $r = 0.853$ と高く、検定結果も有意であり($t(6) = 4.003, p < .01$)、両者がきわめてよく近似していることが明らかとなった。

ただし、シミュレーション2で再生率が最大となると予想された(2,6)の実験2での再生率は最大とはならず、(2,7)での再生率と同程度に若干低下していた。これは、(2,6)でも(2,7)の場合と同様、被験者によっては作業記憶を再活性化するのが困難で、しかも、長期記憶にも記憶が定着していなかった可能性を示唆しており、むしろ4.1で述べた、(2,7)の設定が適切だったことを示している。この結果は、これらの条件が実験1・シミュレーション1の挿入項目4と同様、作業記憶から長期記憶へ記憶が移行する狭間であり、しかも、固定説での主張通り、長期記憶への記憶の定着にはある程度の時間を要することを示していると考えられる。

6. 総合的考察

実験1とシミュレーション1からは、分散効果が生起するか否かは再活性化量に依存するとする再活性化説の基本的妥当性が示され、作業記憶と長期記憶の再活性化量から提示間隔ごとの再生率の大きさを推定するモデルを作ることができた。また、実験2とシミュレーション2では、モデルに基づく具体的予想が検証され、再活性化説の妥当性が示されただけでなく、長期記憶の定着にはある程度の時間を要するとする固定説の考え方は支持的証拠を得ることができ、モデルの総体的妥当性を示すことができた。

そこで最後に、再活性化説によって従来の多様な説や実験結果を理論的かつ合理的に説明可能か否かを考察した。

6.1 処理不足説

処理不足説の、提示間隔が短いとリハーサルや注意量が少なく、再生率が上昇しないという実験結果は、不足した処理が再活性化であったと考えれば、再活性化説でも説明可能である。一方、処理不足説への反証としての、偶発学習でも分散効果が得られるというChallis(1993)らの実験結果については、次のような説明ができる。すなわち、活性度の減衰は、リハーサルなどとは異なり、注意や意図性を必要としない。したがって、当然偶発学習でも生じうると考えられるため、減衰した結果再活性化量が多くなり再生率が高まったという再活性化説の考え方をそのままあてはめることができる。

6.2 符号化多様性説

分散効果はもともと、単語の反復学習の効果を明らかにしようとして見いだされたものであるため(Young & Bellezza, 1982)、多く

の研究が単語を刺激としており、そうした場合は提示間隔と文脈の影響を別個にとらえることは難しかった。しかし、その中でBellezza & Young (1989)は、同一文脈でも提示間隔さえあれば分散効果は得られるという実験結果を得て、分散効果の大きさは文脈よりもむしろ提示間隔に依存すると主張した。そして、本研究で、単語ほど文脈の影響のない数字を刺激としても分散効果が得られたことは、文脈よりもむしろ提示間隔が分散効果に影響するという彼らの主張を裏づけていると言えよう。

ただし、冒頭で書いたように、符号化多様性説のもとで行われた実験で、実際、同一文脈では分散提示しても分散効果は得られないが異文脈だとかなり提示間隔が短くても分散効果が得られるという結果や(e.g., Madigan, 1969)、異文脈の場合はあまり提示間隔をあげない方が再生率が高いが同一文脈の場合はかなり提示間隔をあげた方が再生率が高いという結果(Greene & Stillwell, 1995)が得られている。したがって、文脈も分散効果に影響していることは、確かだと考えられる。だとすれば、こうした文脈の分散効果への多様な影響がどのようなプロセスで生じたのかも、再活性化説によって説明できなければならない。

そこで、こうした文脈と提示間隔の双方が影響した多様な実験結果を再活性化説でどのように説明できるかを考察した。

文脈の活性度への影響の理論的解釈は次のようになる。活性化拡散理論によれば、1つの概念が活性化されるとその近傍概念にも活性度が拡散してゆくとされる。だとすれば、同一文脈では、当該概念の近傍の概念が常に活性化されているため、当該概念の活性度が低下しにくく、その減衰速度は緩やかだと考えられる。逆に、異文脈では、当該概念の近傍の概念は活性化されないため、当該概念にも活性度が伝播されることはほとんどない。し

かも、人間が一度に活性化しておける容量は限られている (Anderson, 1983). したがって、当該概念と無関係な部位が活性化されれば、当該概念の活性度はむしろ抑制され (Conway & Engle, 1994; 水野・菅沼, 1994), その減衰速度は同一文脈の場合に比して速いと考えられる。

そして、この理論的解釈が正しければ、同一文脈では分散提示しても分散効果が得られないが異文脈だとかなり提示間隔が短くても分散効果が得られたという実験結果は (Madigan, 1969), 次のように説明することができる。同一文脈では活性度の減衰速度が緩やかで、かなり提示間隔をあけても再活性化量が多くなるために再生率が高くなる。一方、異文脈では活性度の減衰速度が速く、提示間隔をあまりあけなくても再活性化量が多くなり、再生率が高まったのだと考えられる。

さらに、異文脈の場合は間隔をあけない方が再生率が高いが同一文脈の場合は間隔をあけた方が再生率が高いという符号化多様性と提示間隔の交互作用の得られた実験結果については (Greene & Stillwell, 1995), 次のように説明することができる。こうした結果が得られた実験で設定された同一文脈の影響は、上の研究より微弱だった可能性が考えられる。その場合は、活性度の減衰速度があまり遅くならなかったために、ある程度提示間隔をあければ同一文脈でも活性度が十分減衰し、再活性化量が多くなり、再生率が高まったのだと考えることができる。

このように、再活性化説は多様な実験結果を一貫した枠組みで説明する潜在的能力をもっている。そして、この潜在的能力が確実なものか否かを確認するために、その前提となる、文脈の活性度への影響の理論的解釈の妥当性を実験的に検証することを、今後の課題としたい。

謝 辞

本研究は、平成7年度の文部省科学研究費 (奨励研究 (A)), 研究代表者水野りか、課題番号 07710065) の補助を受けました。記して感謝の意を表します。

文 献

- Allen, G. A., Mahler, W. A., & Estes, W. K. (1969). Effects of recall tests on long-term retention of paired associates. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **8**, 463-470.
- Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1990). *Cognitive Psychology and its Implications*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human Memory: Theory and Practice*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Bellezza, F. S. & Young, D. R. (1989). Chunking of repeated events in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 990-997.
- 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.
- Challis, B. H. (1993). Spacing effects on cued-memory test depend on level of processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **19**, 389-396.
- Collins, A. M. & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, **82**, 407-428.
- Conway, A. R. A. & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, **123**, 354-373.
- Elmes, D. G., Dye, C. G., & Herdelin, N. J. (1983). What is the role of affect in the spacing effect? *Memory & Cognition*, **11**, 144-151.

- Glenberg, A. M. (1979). Component-levels theory of the effects of spacing of repetitions on recall and recognition. *Memory & Cognition*, **7**, 95-112.
- Greene, R. L. & Stillwell, A. M. (1995). Effects of encoding variability and spacing on frequency discrimination. *Journal of Memory and Language*, **34**, 468-476.
- Hellyer, S. (1962). Frequency of stimulus presentation and short-term decrement in recall. *Journal of Experimental Psychology*, **64**, 650.
- Hintzman, D. L. (1988). Judgements of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, **95**, 528-551.
- Johnston, W. A. & Uhl, C. N. (1976). The contributions of encoding effort and variability to the spacing effect on free recall. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **2**, 153-160.
- 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. 625-632.
- Madigan, S. A. (1969). Intraserial repetition and coding processes in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **8**, 828-835.
- Melton, A. W. (1970). The situation with respect to the spacing of repetitions and memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **9**, 596-606.
- 水野 りか・菅沼 義昇 (1994). 人間の学習モデル CORES による代名詞と省略語の処理. 『人工知能学会誌』, **9**, 436-446.
- 水野 りか・菅沼 義昇 (1995). CORES による自然言語処理における予測—文脈と助詞の影響の実現— 『人工知能学会誌』, **10**, 421-428.
- Rundus, D. (1971). Analysis of rehearsal processes in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, **89**, 63-77.
- Young, F. S. & Bellezza, F. S. (1982). Encoding variability, memory organization, and the repetition effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **8**, 545-559.
- Zimmerman, J. (1975). Free recall after self-

paced study: A test of the attention explanation of the spacing effect. *American Journal of Psychology*, **88**, 271-291.

(1996年10月8日受付)

(1997年3月28日採録)



水野 りか (正会員)

1981年東京外国語大学英米語学科卒業。1986年名古屋大学大学院教育学研究科博士課程前期課程修了。1989~90年UCLA 文部省交換留学。1991年名古屋大学大学院教育学研究科博士課程後期課程単位修得退学。博士(工学)。1991年静岡理工科大学知能情報学科助手。1995年同講師。現在信州大学工学部助教授。学習、記憶、言語に関する認知心理学、認知科学、および人工知能の研究に従事。日本認知科学会、日本心理学会、日本教育心理学会、人工知能学会、東海心理学会各会員。

付 録

A. 実験1に用いた2種類の刺激系列

系列位置	系列 1		系列 2	
	条件	刺激	条件	刺激
1	(20,3) ^{a)}	34 ^{b)}	(-,1)	13
2	(1,3)	47	(-,1)	86
3	(4,2)	58	(20,3)	97
4	(1,3)	47	(2,3)	12
5	(-,1)	12	(20,2)	28
6	(1,3)	47	(-,1)	76
7	(-,1)	91	(2,3)	12
8	(4,2)	58	(-,1)	51
9	(-,1)	67	(8,2)	57
10	(-,1)	39	(2,3)	12
11	(8,3)	16	(-,1)	68
12	(0,3)	32	(-,1)	61
13	(0,3)	32	(0,2)	49
14	(0,3)	32	(0,2)	49
15	(-,1)	48	(-,1)	76
16	(-,1)	53	(8,3)	63
17	(20,2)	81	(4,3)	84
18	(4,3)	49	(8,2)	57
19	(-,1)	72	(1,2)	29
20	(8,3)	16	(2,2)	17
21	(2,2)	23	(1,2)	29
22	(20,3)	34	(4,3)	84
23	(4,3)	49	(2,2)	17
24	(2,2)	23	(20,3)	97
25	(1,2)	89	(8,3)	63
26	(8,2)	17	(20,2)	28
27	(1,2)	89	(4,3)	84
28	(4,3)	49	(-,1)	23
29	(8,3)	16	(-,1)	59
30	(-,1)	92	(0,3)	91
31	(0,2)	93	(0,3)	91
32	(0,2)	93	(0,3)	91
33	(-,1)	79	(-,1)	48
34	(-,1)	31	(8,3)	63
35	(8,2)	17	(-,1)	53
36	(2,3)	57	(-,1)	48
37	(-,1)	46	(4,2)	81
38	(20,2)	81	(-,1)	38
39	(2,3)	57	(1,3)	19
40	(-,1)	13	(-,1)	41
41	(-,1)	86	(1,3)	19
42	(2,3)	79	(4,2)	81
43	(20,3)	34	(1,3)	19
44	(-,1)	63	(-,1)	83
45	(-,1)	29	(20,3)	97

a) ()内は、挿入項目数、提示回数を表す。(-,1)は提示1回の場合。

b) 数字は被験者ごとにランダムであるため、これは1例にすぎない。

B. 実験2に用いた2種類の刺激系列

系列位置	系列 1		系列 2	
	条件	刺激	条件	刺激
1	(-, ^{a)}	36 ^{b)}	(-, ⁻⁾	15
2	(-, ⁻⁾	24	(-, ⁻⁾	86
3	(-, ⁻⁾	31	(-, ⁻⁾	97
4	(-, ⁻⁾	89	(-, ⁻⁾	12
5	(-, ⁻⁾	75	(-, ⁻⁾	28
6	(-, ⁻⁾	43	(2,4)	76
7	(-, ⁻⁾	12	(2,7)	12
8	(-, ⁻⁾	14	(2,8)	51
9	(2,20)	19	(2,4)	76
10	(2,2)	69	(2,7)	12
11	(-, ⁻⁾	66	(2,8)	51
12	(2,20)	19	(2,6)	61
13	(2,2)	69	(-, ⁻⁾	49
14	(2,5)	31	(2,4)	76
15	(-, ⁻⁾	48	(2,6)	61
16	(2,2)	69	(2,20)	63
17	(2,5)	31	(-, ⁻⁾	84
18	(-, ⁻⁾	49	(2,7)	12
19	(2,3)	76	(2,20)	63
20	(-, ⁻⁾	46	(2,8)	51
21	(2,6)	58	(2,3)	29
22	(2,3)	76	(2,6)	61
23	(2,5)	31	(2,5)	17
24	(2,6)	58	(2,3)	29
25	(-, ⁻⁾	95	(-, ⁻⁾	62
26	(2,3)	76	(2,5)	17
27	(2,7)	27	(2,2)	84
28	(-, ⁻⁾	82	(2,3)	29
29	(2,8)	41	(-, ⁻⁾	59
30	(2,7)	27	(2,2)	84
31	(2,6)	58	(-, ⁻⁾	91
32	(2,8)	41	(2,5)	17
33	(2,20)	19	(2,2)	84
34	(2,4)	72	(-, ⁻⁾	67
35	(-, ⁻⁾	17	(-, ⁻⁾	52
36	(-, ⁻⁾	57	(-, ⁻⁾	48
37	(2,4)	72	(-, ⁻⁾	81
38	(2,7)	27	(-, ⁻⁾	38
39	(-, ⁻⁾	53	(-, ⁻⁾	19
40	(-, ⁻⁾	13	(2,20)	63
41	(2,8)	41	(-, ⁻⁾	16
42	(2,4)	72	(-, ⁻⁾	87
43	(-, ⁻⁾	34	(-, ⁻⁾	23
44	(-, ⁻⁾	63	(-, ⁻⁾	83
45	(-, ⁻⁾	29	(-, ⁻⁾	97

a) ()内は、1回目、2回目の挿入項目数を表す。(-,⁻⁾は提示1回の場合。

b) 数字は被験者ごとにランダムであるため、これは1例にすぎない。