

## 短期記憶の連続時間モデルにおける干渉係数の検討

正員 横井 博<sup>†</sup> 正員 斎藤 正男<sup>††</sup>

A Study of Interference Coefficients in Time Continuous Model of Short-term Memory

Hirokazu YOKOI<sup>†</sup> and Masao SAITO<sup>††</sup>, Members<sup>†</sup>九州工業大学工学部電気工学科, 北九州市Faculty of Engineering, Kyusyu Institute of Technology,  
Kitakyushu-shi, 804 Japan<sup>††</sup>東京大学医学部医工電子研究施設, 東京都

Faculty of Medicine, The University of Tokyo, Tokyo, 113 Japan

あらまし 短期記憶の連続時間モデルにおける干渉係数として7種類の関数形を考え、それぞれの場合のシミュレーション結果と実験結果とを比較したところ、順向干渉度が10以下であれば、正規関数で表すのが最も妥当であることが明らかになった。

## 1. まえがき

短期記憶の忘却の原因として、現在、受動的崩壊、順向干渉、逆向干渉の三つが明らかにされているが、特に、後の二つが主要なものである。しかしながら、どのようにして干渉が生じるのかその過程についてはほとんどわかっていない。

従来から短期記憶のモデルとしてよく用いられてきたスロットモデルにおいては、新しい項目が入力されたときにだけ、その項目とすでに短期記憶の中に存在している項目との間に干渉が生じるとしている。このスロットモデルでは、短期記憶の諸特性を十分に説明できないので、筆者らは先に、新しく入力された項目も含めて短期記憶内のすべての項目間に干渉が生じるとし、しかもこれらの干渉が時々刻々、時間的に連続して起きると仮定して、短期記憶の連続時間モデルを提案した<sup>(1)</sup>。また、筆者の一人は、文字列の最適提示速度の決定に、このモデルを適用し、モデルの有効性のある程度確認した<sup>(2)</sup>。

ところで、本モデルは以上述べたことのほかに、干渉係数が二つの項目の情報が入力されるときの時間差の正規関数に比例することを仮定している。正規関数と仮定して、実験結果と良い一致を示すことは文献(1)と(2)で既に示されているが、正規関数とした場合が実験結果と最も良く合うかどうかについては、まだ確かめられていない。干渉の働き方がどのような関数で近似できるかを明らかにすることは、今後、短期記憶の更に下位のレベルのモデル、例えば神経回路網モデルを構成していく上で参考になると思われる。

本論文では、干渉係数をいくつかの関数で表し、それぞれの場合についてシミュレーションを行い、その結果と実験結果との残差自乗和を調べることで、どの関数が最も妥当であるかについて検討する。そのために、文献(2)で述べた、同一位置に提示された文字列の再生実験の結果を用いるが、このほかに、横一列に提示された文字列の再生実験を新たに行い、この結果も利用する。

## 2. 短期記憶の連続時間モデル

$p$ 番目に短期記憶に入力された項目の表象強度を $V_p$ 、受動的崩壊係数を $x$ 、 $q$ 番目の項目から $p$ 番目の項目への順向干渉係数を $\rho_{pq}$ 、 $r$ 番目の項目から $p$ 番目の項目への逆向干渉係数を $\rho_{pr}'$ 、 $V_p$ の強化率を $K_p$ として、連続時間モデルは次式によって記述される。

$$\begin{aligned} V_p(t) = & \phi \left[ \int_0^t \{ K_p(t) - x V_p(t) \right. \\ & - \sum_{q=1}^{p-1} \rho_{pq} V_q(t) \\ & \left. - \sum_{r=p+1}^L \rho_{pr}' V_r(t) \} dt \right] \quad (1) \\ & (p=1, 2, \dots, L) \end{aligned}$$

但し、 $L$ は短期記憶に入力された項目の総数で、ほとんど完全に忘却された項目も含む。 $\phi[\ ]$ は次のような関数である。

$$\phi[x] = \begin{cases} 1, & 1 \leq x \\ x, & 0 \leq x < 1 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

$x$ の値は0.005、 $K_p$ の値は、 $p$ 番目の項目が短期記憶に入力中のとき100、それ以外のとき0である。

ここで、干渉係数 $\rho_{pq}$ 、 $\rho_{pr}'$ に関して、次のような関数形を考える。

$$\left. \begin{aligned} \rho_{pq} &= R e^{-\frac{(T_p - T_q)^2}{2\sigma^2}} \\ \rho_{pr}' &= R' e^{-\frac{(T_r - T_p)^2}{2\sigma'^2}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$(1 \leq q \leq P-1, P+1 \leq r \leq L)$$

但し、 $R$ 、 $R'$ は順向干渉度および逆向干渉度、 $\sigma$ 、 $\sigma'$ は順向干渉範囲および逆向干渉範囲、 $T_p$ は $p$ 番目の項目が短期記憶に入力される時の入力開始時刻と入力終了時刻のちょうど中間にあたる時刻である。文献(1)および(2)では $\alpha=2$ としたが、本論文では $\alpha=1, 2, \dots, 7$ として、7種類の可能性を考える。

### 3. 干渉係数の検討

#### 3.1 文字列の再生実験

7種類の関数形の中で、どの関数形が干渉係数として最も妥当なものであるかを次に検討する。そのため本論文では、文字列を同一位置に順次提示する場合と横一列に順次提示する場合の再生実験の結果を利用する。

前者の実験については既に行っており、文献(2)で詳しく述べた。この実験は、CRT ディスプレイのスクリーンの中央付近の特定の位置に、英大文字を1個ずつ計6個あるいは7個順々に提示し、全部提示し終わった直後に被験者にそれらを再生させるものである。1文字の提示時間は100ミリ秒から700ミリ秒まで7通り変えられた。また、最後の文字の提示直後には、マスク刺激(ドットパターン)を500ミリ秒提示し、視覚情報貯蔵に視覚的表象が残らないようにした。文献(2)では、7名の被験者それぞれについて、縦軸を再生文字数の平均値、横軸を1文字の提示時間として実験結果を示した、ここでは、これら7名の被験者の実験結果の平均値を用いる。これは、図1の破線で示されている。

後者の横一列に提示する実験については、5名の被験者を用いて新たに行った。図2に示されているように、CRT ディスプレイのスクリーン上に英大文字を1個ずつ順に計6個あるいは7個横一列等間隔に提示する。各文字の提示直後にはマスク刺激がそれぞれの文

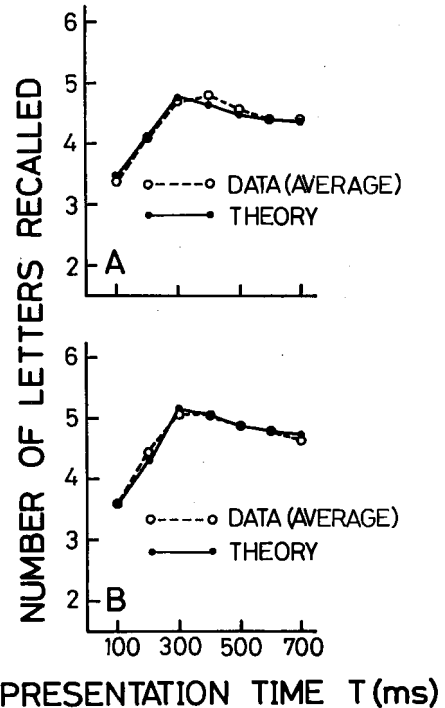


図1 同一位置に提示された場合の提示時間の関数として表された再生文字数(図1Aと1Bはそれぞれ6文字と7文字の場合の実験結果を表す)

Fig. 1 Number of letters recalled as a function of the presentation time for presentation in the same position (Fig. 1A and 1B represent experimental results for 6 and 7 letters respectively).

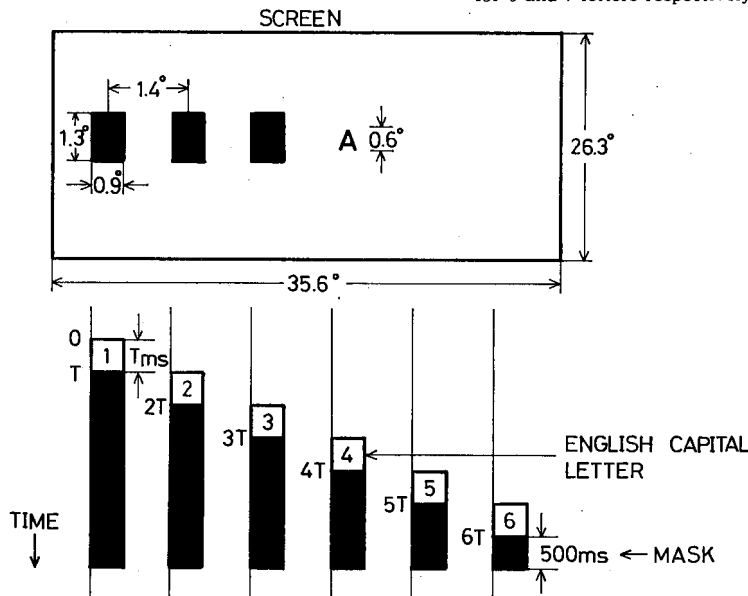


図2 横一列に提示された場合の再生実験の方法  
Fig. 2 Method of recall experiment for presentation in a row.

字の提示位置に与えられ、最後の文字マスク刺激（提示時間 500 ミリ秒）の提示が終了するまで続く。被験者は九州工業大学の男子学生 3 名、男子職員 2 名の計 5 名である。男子職員 2 名は 30 代、男子学生 3 名は 20 代である。視力は全員正常（矯正も含む）である。その他の点については同一位置に提示する場合の再生実験と全く同じで、文献(2)に述べたとおりである。図 3 の破線は 5 名の被験者の平均値である。

### 3.2 シミュレーション

式(2)の  $\alpha$  の値が 1 から 7 までのそれぞれの場合について、文献(2)と全く同様に、干渉の四つの定数 ( $R$ ,  $\sigma$ ,  $R'$ ,  $\sigma'$ ) の値を変えてシミュレーションを行い、再生文字数の理論値が実験値に最も近くなる場所を最小自乗法により求める。微分方程式の数値計算には Runge-Kutta 法（時間  $t$  のきざみ幅は 0.01 秒）を用い、最小にすべき量  $P$  を文字数 6 個の場合の残差自乗和  $P_6$  と 7 個の場合の残差自乗和  $P_7$  の和とする。表 1 と表 2 は、それぞれ同一位置の場合と横一列の場合において  $P$  が

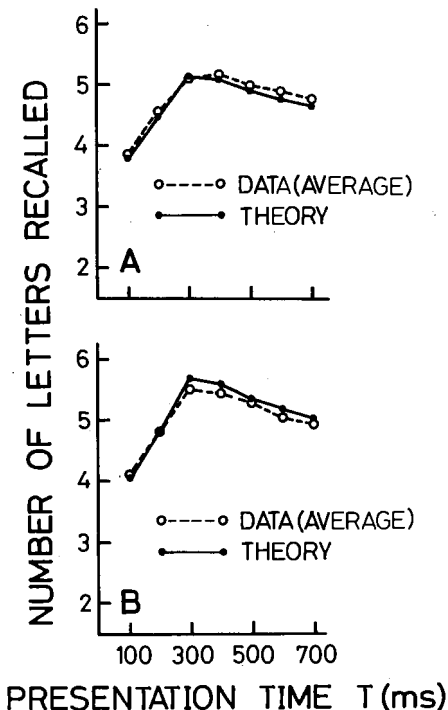


図 3 横一列に提示された場合の提示時間の関数として表された再生文字数（図 3 A と 3 B はそれぞれ 6 文字と 7 文字の場合の実験結果を表す）

Fig. 3 Number of letters recalled as a function of the presentation time for presentation in a row (Fig. 3A and 3B represent experimental results for 6 and 7 letters respectively).

最小になるときの諸定数の値と残差自乗和  $P_6$ ,  $P_7$  を示したものである。但し、順向干渉度  $R$  の大きさを 10 以下に限定した。

表 1 と表 2 から、同一位置の場合も横一列の場合も共に  $\alpha=2$  のときに  $P$  が最も小さくなることがわかる。これは、順向干渉度  $R$  の大きさが 10 以下の範囲にあれば、干渉係数を正規関数で表すのが妥当であることを示している。表 3 は、 $\alpha=2$  のときの同一位置に提示する場合と横一列に提示する場合における干渉の諸定数の値を示したものである。図 1 と図 2 の実線はこれらの値を用いてシミュレーションを行ったときの再生文字数の理論値である。

ところで、 $R$  が 10 よりも大きいところで、 $P$  が極小になる諸定数の値をいくつか求めてみると、 $R$  が大きくなっても、 $R'$  と  $\sigma'$  はほとんど変わらず、 $\sigma$  がわずかに小さくなる程度であることが明らかになった。表 1 や表 2 を見てもわかるように、順向干渉度  $R$  と逆向干渉度  $R'$  は大きさがかなり異なっている。従って、 $R$  の

表 1 最小 2 乗法によって得られた同一位置の場合の諸定数の値と残差 2 乗和

$\alpha$ の値	諸定数の値				残差 2 乗和		
	$R$	$\sigma$	$R'$	$\sigma'$	$P_6$	$P_7$	$P$
1	10	0.04	0.09	1.4	0.132	0.153	0.285
2	9	0.09	0.11	1.2	0.052	0.044	0.096
3	7	0.12	0.10	1.4	0.079	0.069	0.148
4	6	0.14	0.10	1.4	0.068	0.083	0.151
5	6	0.15	0.10	1.4	0.067	0.088	0.155
6	5	0.16	0.10	1.4	0.075	0.087	0.162
7	8	0.16	0.10	1.4	0.091	0.093	0.184

表 2 最小 2 乗法によって得られた横一列の場合の諸定数の値と残差 2 乗和

$\alpha$ の値	諸定数の値				残差 2 乗和		
	$R$	$\sigma$	$R'$	$\sigma'$	$P_6$	$P_7$	$P$
1	7	0.04	0.07	1.6	0.164	0.095	0.259
2	5	0.10	0.06	2.2	0.057	0.106	0.163
3	3	0.13	0.08	1.4	0.175	0.107	0.282
4	3	0.15	0.07	1.7	0.156	0.084	0.240
5	3	0.16	0.07	1.7	0.172	0.097	0.269
6	4	0.16	0.07	1.7	0.183	0.139	0.322
7	3	0.17	0.07	1.7	0.169	0.100	0.269

表 3  $\alpha=2$  のときの諸定数の値

文字の提示方法	諸定数の値 ( $\alpha=2$ )			
	$R$	$\sigma$	$R'$	$\sigma'$
同一位置	9	0.09	0.11	1.2
横一列	5	0.10	0.06	2.2

値がこれ以上大きくなると両者の違いは極端に大きくなってしまい、よって、 $R$  が実際 10 以下の値をとる可能性は高く、この範囲で干渉係数を正規関数で表すことが妥当であることは、干渉係数が事実正規関数の形になることを示唆しているように思われる。

#### 4. む す び

文字列を横一列に提示した場合の再生実験を、1 文字の提示時間を 100 ミリ秒から 700 ミリ秒まで 7 通り変えて行った。次に、短期記憶の連続時間モデルにおける干渉係数として 7 種類の関数形を仮定し、それぞれの場合についてシミュレーションを行い、既に行った文字列を同一位置に提示した場合の再生実験と新たに行った横一列に提示した場合の再生実験との残差自乗和を求めたところ、いずれの場合も、順向干渉度を 10 以下とすれば、正規関数のときが最小になり、この

範囲では干渉係数を正規関数で表すことが妥当であることが示された。順向干渉度が実際 10 以下になる可能性は高いので、この結果は干渉係数が事実正規関数の形になることを示唆しているように思われる。

今後は、より多くの実験結果を用いて、干渉係数についての検討を更に進めていきたい。

謝辞 終りに、実験およびシミュレーションに御協力いただいた九州工業大学吉野、久間両氏に厚くお礼申し上げる。

#### 文 献

- (1) 横井、斎藤：“人間と情報端末の整合性のモデル”，第 4 回医療情報連合大会論文集，pp. 372-377 (昭 59)。
- (2) 横井、久間：“短期記憶の連続時間モデルに基づいた文字列の最適提示速度”，信学論(D)，J70-D, 11, pp. 2327-2337 (昭 62-11)。

(昭和 63 年 1 月 25 日受付)