

知能作用過程のシュミレーション

その4 文字のパターン認識と記憶回路の形成

Simulation of the Operating-processes of the Human Intellect

Part 4. Visual Pattern Recognition and Formation of Memory-Loop for Recognized Letters

Teraoka Hiroshi and Yabuki Tetuo

寺岡 弘 *矢吹 哲夫

This paper constitutes a model which simulates the processes from reading to memory for letters. Main points in this model are following:

1. One literal image on the retina breaks down into 49 dots of visual information which is transported on nerve fibers and used for pattern recognition.
2. In order to keep the recognized pattern, new nerve fibers elongate and form fibrous complexes corresponding to the literal image pattern.
3. The feedback reaction takes place among the fibrous complexes and mediates the output of a signal which has a specific waveform.
4. Corresponding to the signal from fibrous complexes, a memory-loop is formed in the memory field.

この論文のシリーズは文字の読み取りと認知にかかわる過程をパーソナル・コンピュータによってシュミレーションし、画像として表示することを内容とするものである。これは知能過程そのものを生理学的、あるいは心理学的に研究対象とするものではなく、知能作用をより効果的に働かせるための具体的方策の解明を目的とするものである。そのための第1段階として、生理学的

に解明されている脳の働きを出来るだけ、生体に近い状態においてモデル化することを課題とし研究を進めてきたが、今回の報告は前報(1)のモデルの改良を主な内容とするものである。すなわち、前報(1)においては 1. 神経線維における情報の伝達 2. 大脳左角回における文字の形の認知 3. ウエルニッケ中枢における単語の意味の認知の3つの現象を組み合わせ、その作用過程についてのシュミレーションを行った。その中で文字として数字とA-F

*北海道大学・理学部・物理学科・大学院博士課程

までの英字の16個が用いられ、各文字を4 bitの情報によって処理した。また神経線維によって伝達された視覚情報からの文字の認知は記憶として保有されている4 bitの情報との照合によってなされるものと仮定した。今回の論文は次の5点において前報のモデルを発展させたものである。

1. A-Zまでの英大文字26個の読み取り
2. 形の情報として文字を49個の点に分解
3. 形の情報からのパターン認識
4. パターン認識からの神経線維の形成と相互作用による信号の発信
5. 記憶回路の形成

上記3、4、5については脳の高次機能として生理学的説明が進められているが、この報告においては、現象の進行をシュミレーションとして視覚的に捉えることを目的とするため、いくつかの仮定に基づく現象の取り扱いがなされている。これらの仮定の妥当性については、今後実験データに基づく検証が望まれるものである。

A：モデルの構成

文字の読み取り過程において、視神経からパルスとして伝達される情報が最初、大脳の左角回において文字の形として判断され、この形の情報が聴覚記憶に関係するウエルニッケ領域に伝達され文字の持つ意味の判断がなされることが知られている(2)。本論文のシュミレーションは以上の事実に基づき文字読み取りの過程を図1のように構成した。

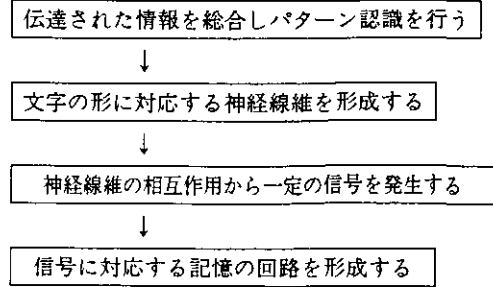
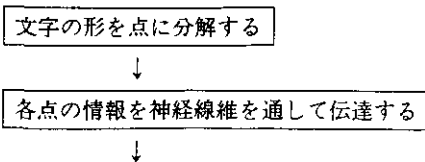


図1 シュミレーションの内容とその進行過程

以上の各段階を画像として図式化するために、パーソナルコンピュータとしてはFM R-50 FE 1を使用し、全体の過程は約40K Byteの「BASIC」によるプログラムによって構成された。

B：視神経における文字の分解と情報の伝達

網膜上に投影された文字をグラフィック画面上の (X, Y) の位置に $\text{SYMBOL}(X, Y)$ 、 $I, I, 7$ を用い表示した。この場合1個の文字は縦横共に7ドットの枠内に書かれるが縦の第1列目は左側の文字の間隔として用いられている。この文字を $\text{GET}@A(X, Y)$ 、 $A\%$ 、 G を用いて1ドット毎に分解し49個の値を取り出した。この値を神経線維を伝達する視覚パルスとして用いた。

図2はこの方法によって取り出された各文字の情報を示す。図下の1列-6列は文字を左側から順に縦1ドット幅に分解した列、すなわち画面上の $(X, 1)$ から $(X, 7)$ の列を示す。左側第1列はすべて空白のため値を省略し、2列目を第1列として表示した。図下1-7の数字は各列毎に上から下に向かったの1ドット毎に分解した点、すなわち Y 列の $(1, Y)$ から $(7, Y)$ の点を示す。 $\text{GET}@A(X, Y)$ 、 $A\%$ 、 G の値は点が画面上の $(X,$

Y) の位置に無い場合には0を示すが、その他点の周辺部分で128の値を示すことがある。そのためGET@A(X, Y), A%, Gの値が

128の点も空白部分とし、パルスの発生はないものとして扱った。

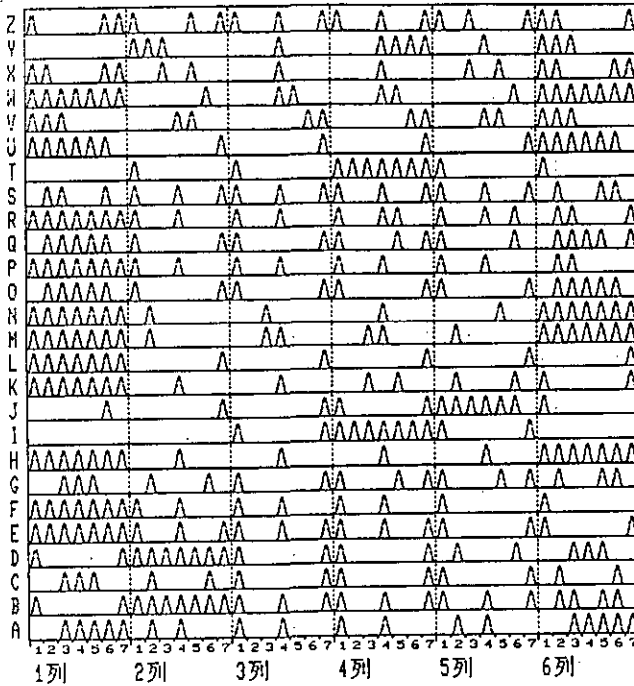


図2 各文字の形の視覚情報

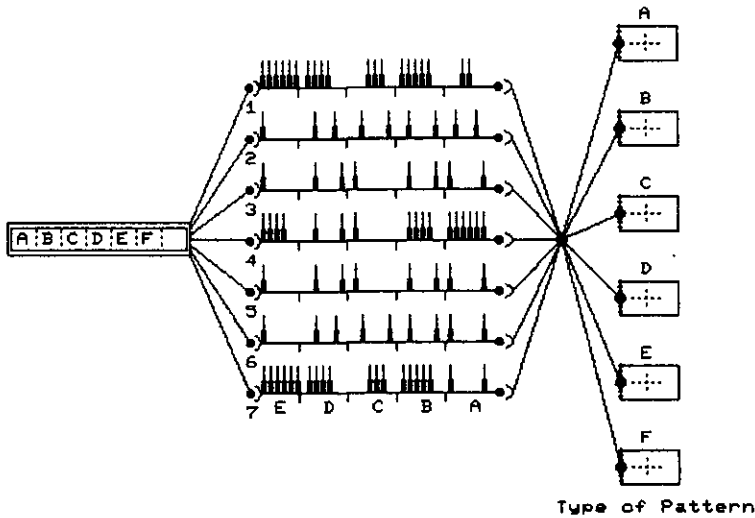


図3 神経線維上での視覚情報の伝達のモデル

図3は一例として文字「ABCDE」の情報の伝達される状況を示す。実際の神経線維においては網膜上の各点の情報が1本の神経線維を通して、伝達されることが考えられる。今回のモデルでは文字を読み取る時の目の動

きを縦7ドット幅で左から右に向かって移動するものとし、各列共通に縦列を構成する7個の点の情報が7本の神経線維を通して伝達されるものとした。

表1 線とその組み合わせの種類

線の種類		線と線の組み合わせの種類				交差点
A		A	A, B	G	B, F ₁	1...4...7 2...5...8 3...6...9
B	—	B	A, C	H	B, F ₂	
C	/	C	A, D	AD	A, C, D	
D	\	D	C, D	FC	E ₂ , D	
E _{1,2}	へとこ	E	A, E ₁	GC	F ₁ , D	
F _{1,2}	いとこ	F	A, E ₂			

C：視神経情報によるパターンの認識

図3の神経線維の情報は、一定距離の移動の後、特定の組織に入力され統合される。その後、ピークの位置関係から表1に示されている6種類の線とそれを構成するドット数に解析されるものとした。プログラムとしては一文字の情報を7列7行の配列に入れ、配列の値が列として連続する部分を縦線、行として連続する部分を横線、対角線的な連続が見られる部分を斜線とするなどの方法で線の分析を行った。表2の「線の種類」はA-Zの文字について以上の方法による分析の結果を示す。表中のA-Fの記号は線の種類、記号後の数字は線を構成するドット数を示す。

次にA-Fの線の組み合わせ方を表1の11種類のパターンに従って解析した。2種類の線が共有する点の位置を表1の1-9の数字で示した。すなわち縦横7ドットの正方形を

設定し、左上隅の点を中心とした半径1ドットの範囲を1、その対角線上の右下隅の点を中心とし半径1ドットの範囲を9とした。同様に2、5、8は各点を中心半径1ドットの範囲を示す。表2の「線と線の組み合わせ」はA-Zの文字について以上の方法による解析の結果を示す。この方法によって各文字の形の特徴がパターンとして認知されることになる。例えば「T」の場合縦線、横線の長さに関係無く、縦線と横線が4の位置で直交する場合「T」として認知される。最も複雑なケースである「B」では、7種類の形の組み合わせとなるが、他の文字との比較のためには「G5G6」の有無だけで区別が可能となる。同様に「Q」「R」についても「FC9」「GC5」が区別の対象として用いられる。

人の手で書かれた文字の場合、形における「あいまいさ」を伴うが、この方法はある程度の許容幅において文字の判断を可能にするものである。

表2 各文字のパターン認識の内容

	線の種類	線と線の組合わせ
A	B6A5A5C3D3	A2A8B2D4C8
B	A7B5B5B4F4F4	A1A2A3G4G5G5G6
C	E5E5A3B3B3C3	B2E2F2
D	A7F7B4B4A3D3	A1A3G1G3
E	A7B6B6B4	A1A2A3
F	A7B6B4	A1A2
G	E5E5A3B3B3B3	B2E2F2FA8
H	A7A7B6	A2A8
I	A7B3B3	A4A6
J	A6E5B3B3	A7F9
K	A7C4D4B3C3	A2D5
L	A7B6	A3
M	A7A7C4D3	B7C1D5
N	A7A7D6	C1C9
O	E6E6A5A5B4B4	E1E7F3F9
P	A7B5B5F4	A1A2G4G5
Q	A5E5A4B4B3D3	F3E1E7F8FC9
R	A7B5B5D4F4	A1A2G4G5G6
S	B4B4B4F4F4	G5G6H1H2
T	A7B5	A4
U	A6A6E6B4	F3F9
V	A3A3C3D3	D6
W	A7A7C4D4	B3D5C9
X	C3C3D3D3	D5
Y	A4A3A3B3	A05
Z	B6B6C3C3	B7B3

D: パターン認識された文字の形の記憶

文字の形として認知された情報は、次に形の記憶を形成する場に伝達される。この部分は、大脳の左角回に相当するものと推察される。この部分のモデルとして横230ドット、縦200ドットによって構成される場を設定した。この領域を横45個、縦80個、総計3600個の点に分解し、この点を $K(45, 80)$ の配列で示すこととする。 $K(I, I)$ の点は、左下隅の点とする。それぞれの点に乱数によって0から50の範囲の固有値をあたえた。図4はこの場合の一部として横45個、縦40個の各点の値を図示するものである。各点の固有値が生理的にいかなる意味を持つかが問われるが、ここでは神経線維の形成に関係するパラメータとして、「ブラックボックス」的な扱いをした。

図4の基底線部分を通して情報が記憶形成の場に入力されるものと仮定し、基底部分

にはN番目の値が $0.6 - 0.0125 \cdot N$ を示す45個の通路が横1列に順に並んでいるものとした(図4の横軸の値)。各文字の情報はそれぞれ固有の通路を経過して記憶形成の場に伝えられるものと仮定した。

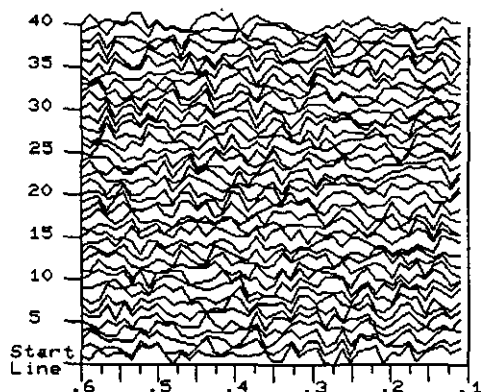


図4 神経線維の伸長が行われる場の模式図

文字の形に対応した神経線維の形成は、先

頭の文字から1文字ずつ次の段階に従ってなされるものとした。

1 : 文字に対応した基準値を設定する。基準値はアルファベット順の値として $A=2$, $B=4$, …… $Z=52$ とする。

2 : $K(X, I)$ において $I=1 \leq X \leq 45$ の範囲で基準値 (例えばAのときは2) に最も近い値を持つ点を探す。この点を $K(X, I)$ とする。 $K(X, I)$ を通過して情報が入力されるものとする。

$K(X, I)$ からの神経線維の伸長

3 : $K(X-3, I)$, $K(X+4, I)$ の範囲で基準値に最も近い値を持つ点を探す。この点を $K(X, I+1)$ とする。

4 : $K(X, I-1)$, $K(X, I+1)$ の範囲で基準値に最も近い値を持つ点を探す。この点を $K(X, I+1)$ とする。

5 : $K(X, I+1)$ の点に向かって $K(X, I)$ の点から神経線維形成がされる

$K(X, I+1)$ からの神経線維の伸長

6 : $K(X-3, I+1)$, $K(X+4, I+1)$ の範囲で基準値に最も近い値を持つ点を探す。この点を $K(X, I+2)$ とする。

7 : $K(X-3, I+1)$, $K(X+4, I+1)$ の範囲で基準値に最も近い値を持つ点を探す。この点を $K(X, I+2)$ とする。

8 : $K(X, I+2)$ の点に向かって $K(X, I+1)$ の点から神経線維形成がされる。

以後6、7、8の方法にしたがって神経線維の伸長がなされ、基底線からの垂直距離が50ドットに達した時点で伸長を終了し、次の文字に対応する神経線維の伸長過程に入る。

神経線維形成に用いられた点はその後再び線維形成に用いられないようにした。なお横8点の範囲において最小値を求めるとき、最小値の点以外に基準値との差が3以下の点がある場合はその等の点にむかって神経線維形成がされるものとした。この結果線維の形に枝別れが見られることになる。

以上の方法に基づく神経線維の形成を図5、6に示す。図5は一例として「HHHH」、 「FFFF」の様に同一文字が並ぶ場合、先頭からの位置によって線維の形が異なること、図6は「IACGW」「TMOB」を例とした場合の神経線維の形を示すものである。

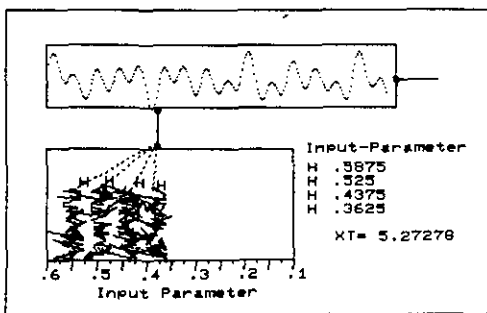


図5-A 文字パターンHHHHにおける神経線維の形

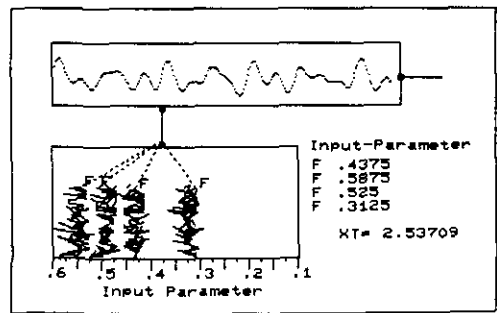


図5-B 文字パターンFFFFに対応する神経線維の形

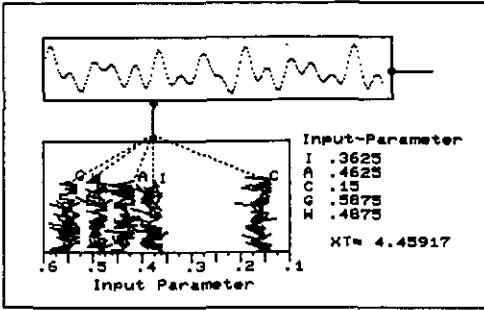


図6-A 文字パターン IACGM に対応する神経線維の形

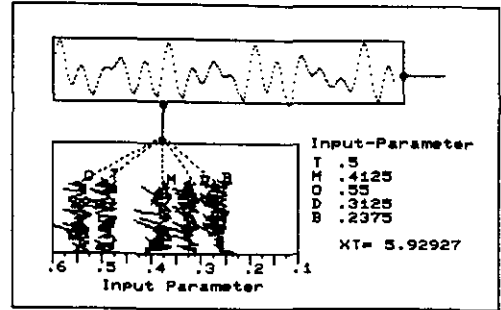


図6-B 文字パターン TMODB に対応する神経線維の形

E: 神経線維の相互作用と信号の発信

以上の方法による神経線維はその形成の場において次の内容の相互作用を及ぼし、その結果一定の信号を発信するものとした。

1: 各線維の $K(X, 1)$ の点における X_1 を用い $A = 0.6 - 0.0125 \cdot X_1$ の値を求める。A は記憶形成の場に入る情報の通過口の値であり、各線維の相対的位置関係を係数化したものである。

2: 線維の伸長がなされた N 個の点 $K(Xn, Yn)$ の値の平均値 (H) を求める。 $Y = (A \cdot H) / 20$ を各線維の特性を反映するパラメータとして用いた。

3: 各文字の使用頻度の順位 (F)、単語中での先頭からの位置 (M) をパラメータとして文字の入力情報 $Z(M)$ を次の式で計算した。

$$XX = (3I - F) / 45$$

$$XY = 2.04 \cdot XX - (XX) / 2$$

$$Z(M) = XY \cdot (26 - M) / 20$$

これらの式は相互作用の結果、値の発散を避けるように調整された仮定上のものである。表3に各文字の $Z(M)$ の値を示す。

4: $X(n)$: N 番目の神経線維の出力

始めに各線維の出力として

$X(n) = 0.2$ の値を与える

$Y(n)$: N 番目の線維の

$Y = (A \cdot H) / 20$ の値

$Z(n)$: N 番目の線維に入力される文字情報パラメータ

N 個の神経線維の相互作用を次の式で求める。

$$X(1) = Y(1) \cdot (X(2) + X(3) + \dots + X(N)) \cdot Z(1)$$

$$X(2) = Y(2) \cdot (X(1) + X(3) + \dots + X(N)) \cdot Z(2)$$

$$X(n) = Y(n) \cdot (X(1) + X(2) + \dots + X(N-1)) \cdot Z(N)$$

$$XT = X(1) + X(2) + \dots + X(N)$$

以上の計算の過程において、新しく求められた $X(n)$ の値を次の $X(n+1)$ の計算に用いる。 $X(n)$, XT の値が求められた後、再び $X(1)$ からの計算を繰り返す。計算の繰り返しにおいて XT の値の変化が 0.05 以下になった場合、計算を終了し、 XT の値を神経線維間の相互作用を示すパラメータとして用いた。

XT は多くの場合、10 以下の値となり小数点以下 5 桁までを用いた。 XT を構成する各桁数の数字を $XT = A_1, A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$ とする。各桁の数を用いて次の関数による信号を発生させた。

$$F(t) = 2 \cdot A_1 \cdot \sin(t \cdot \pi/4) + A_2 \cdot \sin(t \cdot \pi/5) + A_3 \cdot \sin(t \cdot \pi/7) + A_4 \cdot \sin(t \cdot \pi/9) + A_5 \cdot \sin(t \cdot \pi/11)$$

表3 各文字の入力情報 (Z(M)) の値

	1 番目	2 番目	3 番目	4 番目	5 番目	6 番目	7 番目	8 番目	9 番目	10 番目
A	1.07	.96	.86	.75	.64	.53	.43	.32	.21	.1
B	.46	.42	.37	.32	.28	.23	.18	.14	.09	.04
C	.73	.66	.58	.51	.44	.36	.29	.22	.14	.07
D	.8	.72	.64	.56	.48	.4	.32	.24	.16	.08
E	1.13	1.02	.91	.79	.68	.56	.45	.34	.22	.11
F	.69	.62	.55	.48	.41	.34	.27	.2	.13	.06
G	.5	.45	.4	.35	.3	.25	.2	.15	.1	.05
H	.87	.79	.7	.61	.52	.43	.35	.26	.17	.08
I	1.01	.91	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1
J	.26	.23	.21	.18	.15	.13	.1	.07	.05	.02
K	.38	.34	.31	.27	.23	.19	.15	.11	.07	.03
L	.84	.75	.67	.59	.5	.42	.33	.25	.16	.08
M	.66	.59	.52	.46	.39	.33	.26	.19	.13	.06
N	.97	.88	.78	.68	.58	.48	.39	.29	.19	.09
O	1.04	.93	.83	.73	.62	.52	.41	.31	.2	.1
P	.54	.49	.43	.38	.32	.27	.21	.16	.1	.05
Q	.3	.27	.24	.21	.18	.15	.12	.09	.06	.03
R	.91	.82	.72	.63	.54	.45	.36	.27	.18	.09
S	.94	.85	.75	.66	.56	.47	.37	.28	.18	.09
T	1.1	.99	.88	.77	.66	.55	.44	.33	.22	.11
U	.77	.69	.61	.54	.46	.38	.3	.23	.15	.07
V	.42	.38	.34	.3	.25	.21	.17	.12	.08	.04
W	.62	.56	.49	.43	.37	.31	.24	.18	.12	.06
X	.34	.31	.27	.24	.2	.17	.13	.1	.06	.03
Y	.58	.52	.46	.41	.35	.29	.23	.17	.11	.05
Z	.22	.19	.17	.15	.13	.11	.08	.06	.04	.02

図5、6における波は以上の方法による各神経線維の相互作用の結果を示すものである。この波は文字の組み合わせによって構成される単語の形に関わる特徴を表現するものであり、意味領域に向けての信号として用いられる。

F：記憶の場における回路の形成

以上の方法による信号波は記憶領域に伝えられ、新しい記憶の形成や、過去の記憶を呼び覚ますことに用いられるものと推察される。そのために信号波は特定の領域において固有の回路の形成し、その回路を循環することによって機能を発揮するものと仮定した。以上の回路形成の場として図7の構造をもつ場を設定した。図7の場は、A、B、C、Dの4層の部分を示し、各部分はおのおの

A (5, 80)、B (5, 40)、C (5, 20)、D (20, 14) (横の点の数 縦の点の数) の点によって構成されるものとした。各点に0から50までの値を乱数によって与えた。図7は各点の値を左右の左方向を+として表示したものである。

信号を図7のInput点より回路形成の場に入力する。回路形成の時間をtとする。文字読み取りの場合使用頻度の高い文字ほど、認知の反応は短時間となるが、このモデルにおいては神経線維の相互作用値XTは大きな値を示す。それゆえ、XTを6段階に区別し、XTと反比例の関係で回路形成の時間を設定した。

- XT > 5.0 のとき 1 ≤ t ≤ 20
- XT > 1.0 のとき 1 ≤ t ≤ 32
- XT > 0.75 のとき 1 ≤ t ≤ 40
- XT > 0.50 のとき 1 ≤ t ≤ 52

$XT > 0.30$ のとき $1 \leq t \leq 60$

$XT < 0.30$ のとき $1 \leq t \leq 68$

t の最大値を T_{max} とし、 $TP = T_{max}/2$ とする。

$1 \leq t \leq T_{max}$ の範囲で t を変化させ、 $ABS(F(t \cdot 3) \cdot 2)$ の値を求めた。この値に、最も近い値を示す点を場 A, B, C, D の次の範囲において求め、それぞれの点を結び回路を形成した。

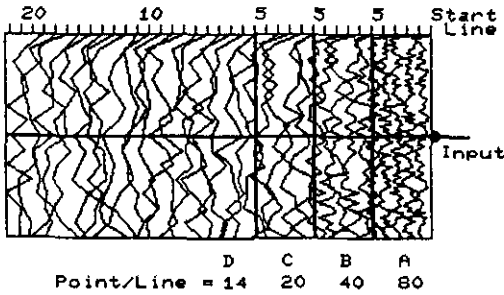


図7 記憶回路の形成が行われる場の構成図

$t \leq TP$ かつ $0 < t < 6$ のとき

$$A(t, 1) \Rightarrow A(t, 40)$$

$t \leq TP$ かつ $5 < t < 11$ のとき

$$B(t, 1) \Rightarrow B(t, 20)$$

$t \leq TP$ かつ $10 < t < 16$ のとき

$$C(t, 1) \Rightarrow C(t, 10)$$

$t \leq TP$ かつ $15 < t < 36$ のとき

$$D(t, 1) \Rightarrow D(t, 7)$$

$t > TP$ かつ $T_{max} - t > 15$ のとき

$$D(T_{max} - t, 8) \Rightarrow D(T_{max} - t, 14)$$

$t > TP$ かつ $10 < T_{max} - t \leq 15$ のとき

$$C(T_{max} - t, 11) \Rightarrow C(T_{max} - t, 20)$$

$t > TP$ かつ $5 < T_{max} - t \leq 10$ のとき

$$B(T_{max} - t, 21) \Rightarrow B(T_{max} - t, 40)$$

$t > TP$ かつ $0 < T_{max} - t \leq 5$ のとき

$$A(T_{max} - t, 41) \Rightarrow A(T_{max} - t, 80)$$

以上の方法による、 XT に対応する回路の

具体例を図8-1、2、3に示す。 $XT = 1.80642$ とした場合、この値を中心として $+1, +0.1, +0.0001$ の変化によって回路の形には変化が観察され、このモデルに用いられた回路形成の場が鋭敏な反応性を示すことが認められる。各回路の形は文字のパターン認識、神経線維の形成、線維の相互作用のプロセスを経過して構成されたものであり、最終的には文字の読み取りによって作られた神経組織における構造と考えられるものである。この回路が循環的に作用し、一定期間その構造を保つことは文字の内容が記憶として保有されることを意味するものとされる。

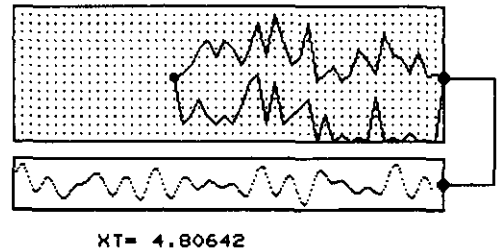
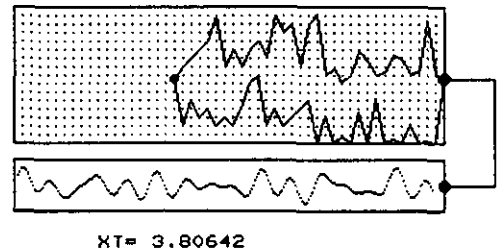
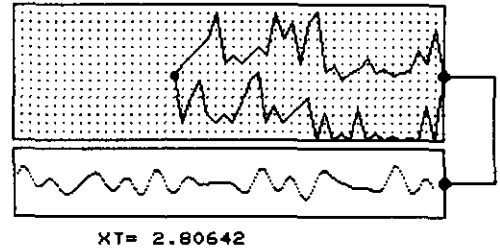


図8-A 神経線維間の相互作用値 (XT) と記憶回路の形の比較

(XT の値: 1 位の値の変化の場合)

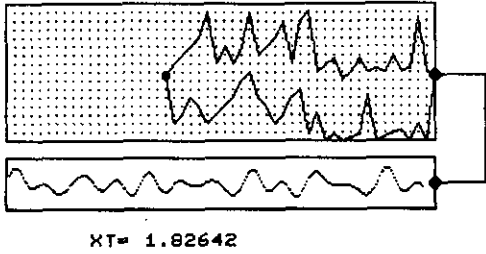
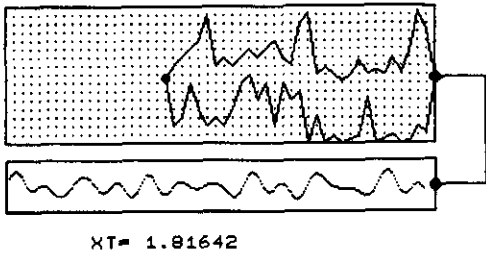
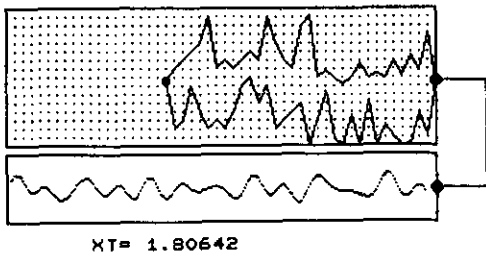


図8-B 神経線維間の相互作用値 (XT) と記憶回路の形の比較

(XTの値: 小数点以下2位の値の変化の場合)

G: 今後の課題

以上設定されたモデルには神経線維の形成や回路形成の場などに仮定に基づく構造が設定され、さらに場を構成する各点には乱数による固有値が与えられている。脳の組織においてはこれらの場は機能と関連した高い構造的秩序性を示すものと考えられる。モデルの内容を高めるためには、これらの仮定をより実際の状態に近づけることが今後の課題として求められる。

今回のモデルは文字読み取りの基本的過程を構成することが主目的であった。そのため具体的問題としての読み取り速度、疲労、正確さ、意味の認知、学習の効果などを対象と

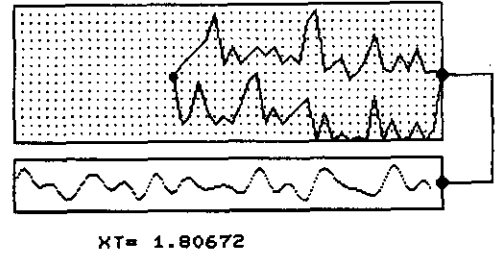
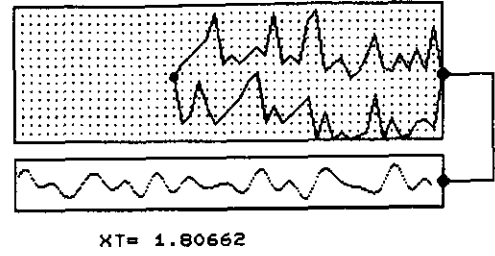
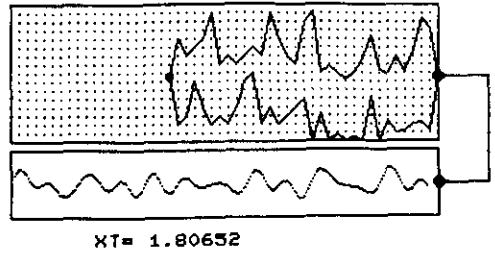


図8-C 神経線維間の相互作用値 (XT) と記憶回路の形の比較

(XTの値: 小数点以下4位の値の変化の場合)

することは避けた。これらの問題を扱うためには、さらに個人の条件に対応する種々のパラメータを追加することが必要となる。このモデルには内容的にこのような条件を付加する余地が残されており、この面におけるモデルの整備が課題として残されている。

引用文献

- (1) 寺岡、矢吹 1993 知能作用課程のシュミレーション (その3) 北星学園女子短期大学紀要 29, 75-83
- (2) 岩田 1992 神経文字学-脳における日本語の読み書き 科学 162-8 498-509 岩波書店