

## 知能作用過程のシュミレーション

### その3 神経線維における情報の伝達と単語の意味の認知

寺岡 宏 \*矢吹 哲夫

この論文のシリーズは知能作用の過程をパーソナル・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対象とするものではなく、知能作用をより効果的に用いるための具体的問題を解明することにある。そのために、生理学的に解明されている脳の働きをモデル化し、コンピュータ画面において知能過程の進展状況を観察することを特徴とするものである。

前報(1)においては文字の読み取り過程における速度、疲労、心理効果、読み取りエラー、意味の照合と推察、知識の保有量と学習の効果などについてのシュミレーションがなされた。今回の論文はこれらの問題をより基本的な観点からモデル化するものである。すなわち、文字読み取りにおいては、神経線維における情報の伝達、文字の形と文字の意味の認知といった現象が進行する。これらの生理的現象の総合として読み取りの速度、疲労、読み取りエラー、意味の照合と推察などが成立する。それゆえ今回の論文は 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なった。

今回の論文の今一つの目的は人間の知能過程という極めて高度な生理的現象にパーソナル・コンピュータの働きをいかに近づけることが可能かということにある。そのため大脳中枢の働きや神経線維の数など予想される複雑な現象をできる限り単純化してモデルを構成し、大脳の認知作用に類似した働きをパーソナル・コンピュータに行なわせることを追求した。人間を用いた実験に比べ、その作用の進行が客観的に画像として観察されることが、かかる方法の利点として挙げられる。

今後 これらのモデルをより精密化して行くとき、認知における速度とエラーの関係、学習効率と記憶の保有量の関係、記憶の呼び出しに関する問題など、教育的な課題に対して有効な提言がなされるであろう。

#### 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なされ、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)。本論文においては以上の事実に基づき 文字読み取りのシュミレーションを図1の過程として構成した。

\*北海道大学・理学部・物理学科・大学院博士課程

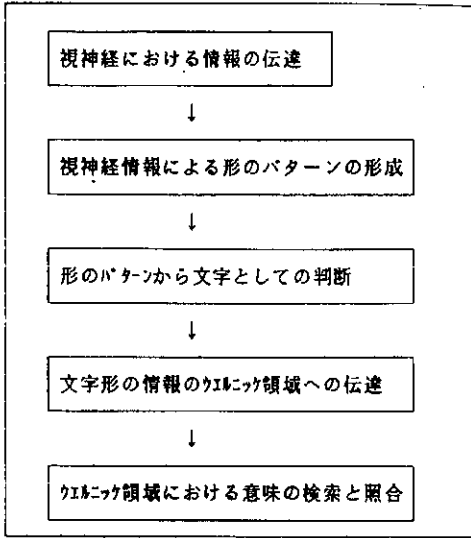


図1 文字読み取り過程のシュミレーション

以上の各段階をパーソナルコンピュータの画像、図2として図式化し、読み取りの過程の進行状況を観察することを目的とした。図2においては、視覚情報が、16本の視神経線維をとおして伝達され、図形のパターン化、形の認知、意味の認知を経て読み取りが完成されることを図示している。

**B：視神経における情報の伝達**

本研究のシリーズにおいては、文字として数字とA-Fまでの英字を用いた。今回の論文においては、同様に以上の文字を用い、これを4個乱数によって組み合わせたものを読み取りの単語として用いた。ウエルニック領域における記憶として保有する単語

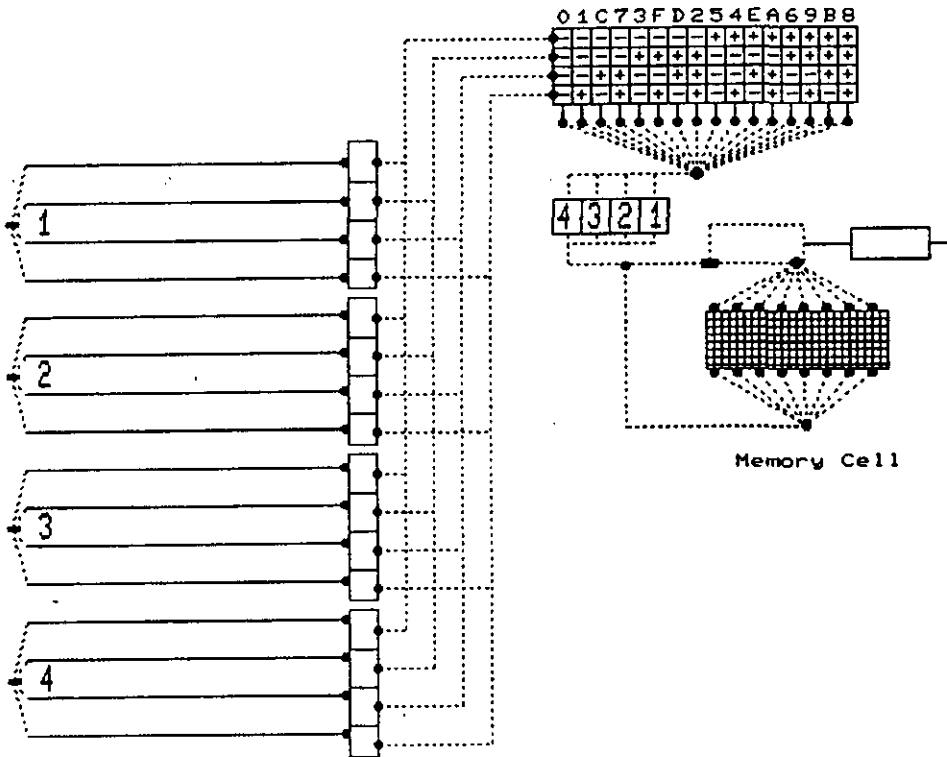


図2 モデルの構成図

も同様の方法によって構成されたものである。

網膜上の4点1-4に単語を構成するそれぞれの文字が投影され、その情報が視神経を通して伝達されるとする。図3は一文字の映像が4個の部分に分割され、4文字分の16本の神経線維上をパルスとして左から右側に伝達される状況を示す。実際の神経線維においては1個のパルスが移動する時、その前のパルスは消滅するが図3においては、パルスの移動状態を見易くする便宜的な理由から、前の部分のパルスは消さないで残してある。一般に刺激による活動電位は100mV以下とされている。本研究においても最高値を100

mVと設定した。

一般的に自然現象とともに各種の生体反応においてもその示すゆらぎが、パワースペクトルにおいて「1/fゆらぎ」の性質を示すことが知られている(4)。

神経細胞における刺激の伝達において、ある一定の大きさのゆらぎが作用し、これが情報伝達における安定性とともエラーの発生に関わることが推察される。この変動が「1/fゆらぎ」の性質を示すものと仮定し、神経線維を移動するパルスの大きさを乱数とサイン関数の組み合わせによって規定した。上記、サイン関数の周期を $1-60 * 2\pi / k$ の範囲で変化させ、そのパワースペクトルが「1/

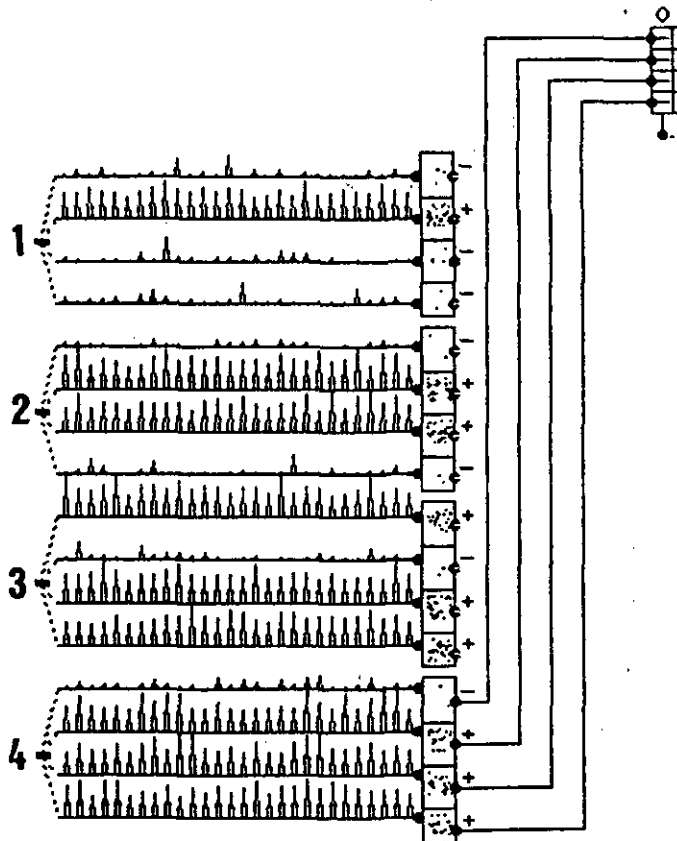


図3 神経線維におけるパルス・文字のパターン・4文字目のパターンの左角回への情報の伝達

「ゆらぎ」の性質を示すように式(1)によつて調整した。神経線維の基底状態の示すゆらぎの大きさを50mV以下とし活動状態の活動電位は50mV-100mVの範囲で変化するものとして取り扱った。

Aの値 パルスするとき 100  
 基底状態のとき 50  
 $K=0.284$   
 $t$  = 伝達時間 m sec  
 P 時刻  $t$  におけるパルスの大きさ

$$\begin{aligned}
 X &= \text{INT}(60/(50-\text{RND}(1)*49)) \\
 Y &= \text{INT}(\text{RND}(1)*10+1) \\
 Z &= A / \text{SQR}(X^2+Y^2) \\
 P &= \text{ABS}(Z*\text{SIN}(X*K*t)+Z*\text{COS}(Y*K*t)) \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

以上の結果作られたパルスが図3に描かれている。図3に見られる神経線維の基底状態および活動状態のパルスの大きさの分布を図4、5に、パルスを規定するサイン関数の周期を図6に示す。

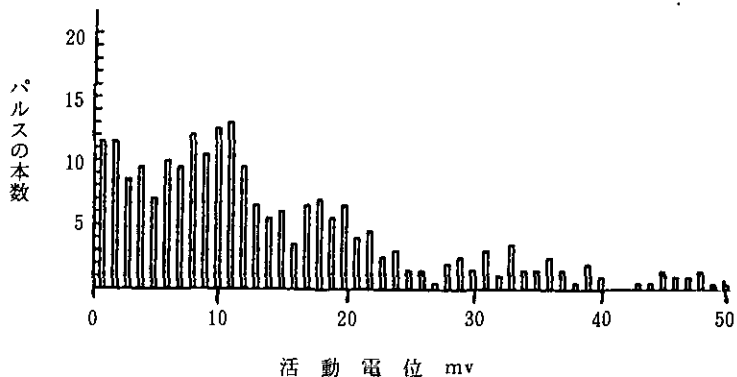


図4 神経線維の基底状態におけるパルスの分布

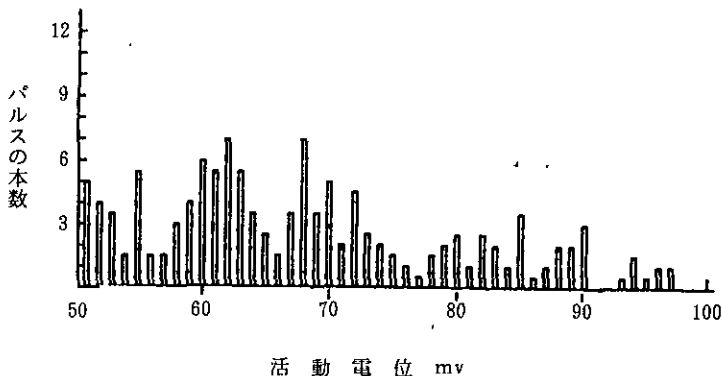


図5 神経線維の活動状態におけるパルスの分布

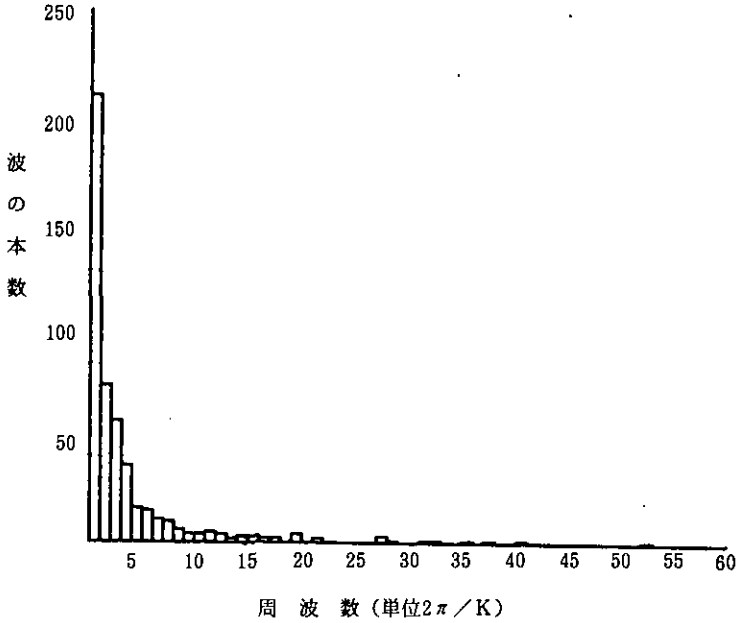


図6 神経繊維のゆらぎの周波数

**C : 視神経情報による形のパターンの形成**

視神経のパルスを伝達する神経線維の先端にパルスを入力し、刺激の大きさによって+と-の2つの状態をとりうる感知部分(図2、3における神経線維右側の4角形)を設置した。この部分にパルスの入力が行なわれるとき、パルスの強さを総合し、総合値が一定の値以上に達した時+それ以下の時は-として、伝達された情報を判定するものとした。この+と-の判定に関わる閾値は生理学的に重要な意味を持ち、文字の読み取り速度、エラー発生に関与する要素と推察される。今後シュミレーションの中で追求される課題である。

さらに感知部分に、入力した信号値1mV毎に点を記入し、入力の状態を観察できるようにした。以上の結果読み取り情報は、4

個の+、-の組み合わせによって規定されることになる。この組み合わせと文字との関係を表1に示す。

表1 文字とそのパターンの関係

0	1	C	7	3	F	D	2	5	4	E	A	6	9	B	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

D：形のパターンから文字としての判断

4個の+のパターンは次に、形の記憶を保有する部分に伝達される。この部分は、大脳の左角回に相当することが知られている。

図3は4文字目の感知部分からの情報が記憶部分に伝達されている状態を示している。伝えられた情報と表1のパターンとの照合結果、相当する文字の形としての認知が成立することになる。形の情報は次に図7のA点

から取り出され図7のB領域に一文字ずつに相当する新しい情報として入力される。表2は1からFまでの16種類の文字の形の情報が5本の横線の組み合わせによって作られることを示す。この横線は情報伝達に参与する細胞の示す状態を模式化したものであり、形の特徴を5つのパラメータによって構成しようとするものである。

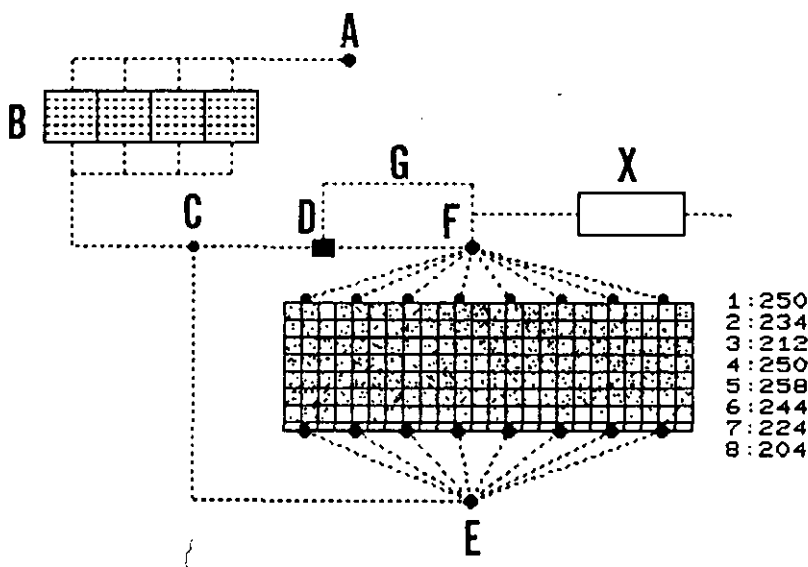


図7 ウエルニッケ中枢を中心としたモデルの構成図

表2 文字の形のあらわし方

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

**E : 文字形の情報のウエルニック領域への伝達**

B領域に入力された文字情報は、次に意味の照合に用いられるため、新しい波として取り出され、文字の記憶に関わる領域に伝えられる。新しい波は、4個の文字で構成される単語を16進法の数字とし、これを10進法に転換した。

この数字の各桁の値を振幅とする波をつくった。その一例を図8に示す。図8では、「3DA2」の文字を10進法に転換し「15778」とし、振幅として1、5、7、7、8をもつ波が左側から右側に移動している状況を図示している。この波は図7のC点からE点を通して記憶領域に伝達されるとともに、C点からD点に伝えられ、D点において記憶領域から出力された波との照合に用いられる。

**F : ウエルニック領域における意味の検索と照合**

ウエルニック領域に1000個の単語が記憶として保持されているとする。この単語は、前報(1)において作成されたものであり、Zipfの法則(3)に基づき使用順位が決定されているものである。単語は最初の文字によって8グループ(最初の文字0、1、2

3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、Fのグループ)に分類されてそれぞれに相当する領域に格納されているものとする。このグループ分けは単語の意味に基づく分類をモデル化したものである。

さらに各グループは上下7段に区分され、単語はその使用頻度150位毎にそれぞれ上から順に格納されているものとする。ウエルニック領域への単語の入力に際し、それぞれの単語の規定された領域に、点を記入した。領域内の点の位置は、乱数を用いて決定した。図7は以上の方法によって作成された、記憶領域の内容を図示する。図の横にある数字は、各グループに入力された単語の総数を示す。以上の方法によって読み取りを行なう人間の記憶の状態を観察することができる。

B領域からの波は点Eを通過し、先頭部分の信号によって8つの領域の1つを選び、ウエルニック領域に入力される。この中で文字の長さが等しく(4文字長)、かつ先頭の文字が入力の文字と等しい単語を選び、これを図8と同様の方法で波形化し、F点に出力させる。

またこの文字が選ばれた場所に小円形を記入し記憶領域中の検索ができるようにした。

この波をD点に送り文字の形を伝える波と照合させた。照合の方法としては2つの波に

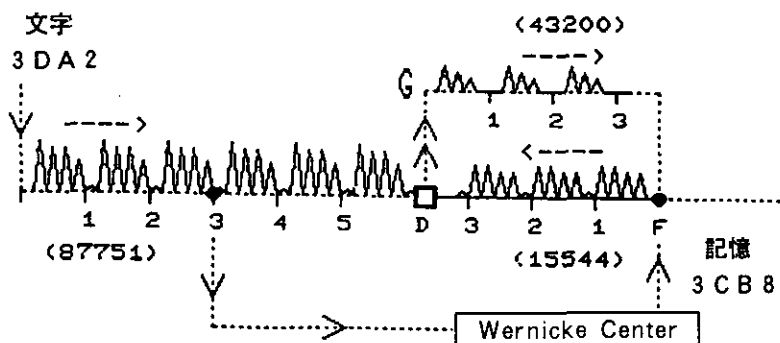


図8 文字の形の情報・記憶内容を示す情報・文字の形情報と記憶内容の照合を示すモデル

ついて、先頭から順に各ピークの振幅の引き算をし、その絶対値を振幅とする波を図7のG部分に書き出した。以上の状況を図8に示す。図8では文字形「3DA2」によって記憶領域から「3CB8」が選ばれ、これが1、5、5、4、4の振幅を持つ波としてD点に伝えられ、文字の波との照合の結果0、0、2、3、4の振幅を持つ波が生じることを示している。

2つの波が完全に等しいとき、G部分には直線が記されることになる。このときの時のウエルニッケ領域からの意味内容が図7のXに記入され、照合は完了する。2つの波の波形が完全な一致を示さない場合は、2つの波の差の最も小さいときの情報がXに記入される。

#### G：おわりに

網膜上の4点に投影された文字を意味として認知するプロセスが3段階のステップをとおして、シュミレーションされた。この過程においてパルスの示す「 $1/f$ 」ゆらぎが神経線維の情報の伝達に関して扱われた。一般に生体における固有のゆらぎのなかに、多様な状況に対する順応性や安定性、バランス性などを期待することができる。今回の論文においては形や意味の認知に対してはゆらぎの効果の導入はなされなかったが、この面においても「 $1/f$ 」ゆらぎは、重要な意味を持つものと推察される。今後の課題として残さ

れている。

今回のシュミレーションにおいては読み取りにおける基本がモデル化され、これに対して個人の特性をパラメータとして組み込むことはしなかった。網膜からの信号におけるゆらぎの大きさ、信号を+に変換する閾値、ウエルニッケ領域における検索の速度、信号変換における精度、文字の形や意味の認知における許容されるゆらぎ幅など個人の特性を反映させる余地がこのモデルに残されている。これらの要因を係数化するとき、今回のシュミレーションは文字読み取りに関わる具体的問題に対して、有効な対応を果たすものとなるであろう。

今回のシュミレーションはすべてBASICによってプログラミングされ、その容量は約17K Byteである。

#### 引用文献

- (1) 寺岡、 矢吹 1991 知能作用過程のシュミレーション(その1) 北星学園女子短期大学紀要 28, 113-128
- (2) 岩田 1992 神経文字学-脳における日本語の読み書き 科学 Vol62, No. 8 498-509 岩波書店
- (3) G. K. Zipf 1949 Human behavior and the principle of the least effort. Addison, Wesley Press Inc.
- (4) 武者 1980 ゆらぎの世界 5:人間とゆらぎ 135-186 講談社



## Simulation of the Operating-processes of the Human Intellect

### Part 3. Transport of Literal Information on a Nervous Fiber and Recognition of a Word's Meaning

Hiroshi Teraoka and Tetuo Yabuki

This paper constitutes a model which simulates the processes from transport of literal information on a nervous fiber to recognition of a word's meaning in the Wernicke center.

An active potential on nervous fiber was modeled to have  $1/f$  fluctuation and displayed on the computer-monitor.

The active potential on a nervous fiber was transformed to a pattern which was composed of + and- status.

The pattern was recognized as the word's shape through the next step in which the pattern was checked and identified with the memory of word's shape.

Then the information of word's shape was transformed to the word's meaning through the Wernicke center in which the information of word's shape outputs the pulses correspond to word's meaning from the memory cells.

These simulations will be used to solve the problems concerned with reading and recognition of literal information.