

脳と電子計算機（後編）

——F. H. George 著：The Brain
as a computer にいふ——

三谷 恵 一

前編に続き、本書「電子計算機としての脳」の後半部に関する書評を記すが、今回該当する章は、第六章「電子計算機が学習する様にするプログラミング」、第七章「学習の心理学的理論」、第八章「行動と神経系」、第九章「神経系の理論とモデル」、第十章「知覚」、第十一章「知覚とその他の認知的機能」及び第十二章「要約」である。第六章迄は、著者の重点はサイバネティクス、論理網、電子計算機等に置かれ、本稿の題目とした「脳と電子計算機」に照らしてみれば、電子計算機の本質論に触れたものであるが、第七章以後は、脳の生理学的・心理学的機能の説明とそれを前半で明らかにした論理網その他の電子計算機理論により記述を試みることに焦点が置かれている。前編にない章を追って紹介して行くが、全体にもう少し簡単にしたいと思う。

第六章 電子計算機を学習する様にする

プログラミング

脳と電子計算機（後編）

八木によれば「学習とは経験の結果として生じる比較的永続的な行動の変容である」と定義されているが、これを機械に行わせ、電子計算機が次第に学習し、賢くなって行く様にさせる試みを行っているのが本章である。著者によればオエティンガー (Oettinger, 1952) はケンブリッジ大学のEDSACという電子計算機を使って、機械がやさしい操作を学習する様プログラミングすることが出来たと言われる。その際、入力テープ (input tape) を外的環境 (external environment) と考え、計算機本体が主体として学習者 (learner) に見立てるのが妥当であると考えられるが、EDSACのテープの読取り速度が遅いので、機械の半分を取られた。著者自身もこの例に従い、電子計算機が簡単なゲームを演じ、更に帰納的操作によってゲームをやる上での戦術 (tactics) を学習する様にプログラミングを紹介している。取り上げているのは "thoughts-and-crosses" と呼ばれる○と×でする児童の遊戯であり、著者はよく知られたものであるとして説明を省略しているが、無案内な筆者は研究社の新英和大辞典をひもどいてみた。それによると「一人は丸を他は十文字を九つの枠の内にはめて行き、先に三つの連続した枠を占めた者が勝となる五目並べに似た子供の遊び」と記してあるが、著者はこれを変えて、○と×の vari に数字を入れる様に工夫し、他に未使用の数字により早く和が十五になる三つの数字を発見したものが勝者となるとしている。こうしてゲームを数を入れていくこと (numbering) に改良し、計算機を学習

者にし、人間を環境又は教育者とすれば、教育者の方が論理的知能は高くても実行時間は学習者よりはるかに遅いため、今回は DEUCE という英国の中型汎用ディジタル計算機であるが、オペティングと同様にそれを α と β に折半する方法を採用している。今 α 部に試合をやる上での「規則 (rules)」と「戦術 (tactics)」を教えておいてやり、一方 β 部には規則のみ教え、試合の進行につれて β 自らが戦術を学習する様にする。その為には β は試合の刻々の結果を知り、どの動きが「勝」「負」又は「引分」であるかを知り、その後、負になる運動は避け、勝になる運動を繰返す様になさなければならない。この後半の機能は心理学では動機づけ (motivation) とか効果の法則 (law of effect) と呼ばれているものに相当する。

この様な操作をしていく様に問題を設定し、数値解法の計画を立て、流れ図 (flow chart) を作成し、最後に前編で述べた命令語と数値でプログラム (program) を作成することの全体を総称してプログラミング (programming) と呼んでいる。ここで流れ図とは、計算の原理と方法とが一見して分る様に、プログラムをブロック図に示したものであるが、流れ図を必ず作成した上で、厳密なプログラムを作成することが一般に望まれている。例として、「二本のベクトル (a_1, a_2, \dots, a_n) と (b_1, b_2, \dots, b_n) の内積 (inner product) $p = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i$ を求めよ」という問題を

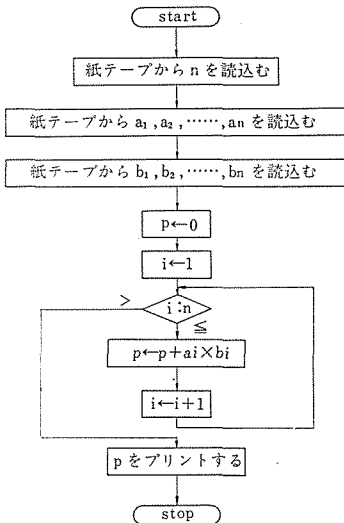


図1 二本のベクトルの内積を求めるための流れ図

考え、データはテープに、 $a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n$ の順にさん孔 (punch) してあるものとする。その流れ図は図一の通りである。ここで $P \uparrow 0$ とは P という記憶部分に 0 を入れる、つまり払う (clear) ということを意味し、 $i \leq n$ は i と n の大小の比較を意味している。この大小判別により、 $i \leq n$ の場合は、流れ図の中で論理の流れ方を示す矢印が環状線 (loop) を作ってフィードバックしているのが見られるであろう。その中で一回循環することに i は離散量 (discrete) の 1 だけ増加し、従って新しい積 $a_i \times b_i$ が次々と累積されていくのが見られる。この様なフィードバックを幾重にも高速に行うことにより、複雑な計算が実行されるのである。

さて、著者は例のゲームの応用を計算機にやらせたり、その戦術を学習させたりするプログラミングを、機種が異なるとプ

プログラムそのものも変化せざるを得ないため、非常に大まかな文章による流れ図により示しているのである。が、その完全な内容は筆者にはどうしても理解出来なかった。これは本稿の致命的な欠陥であるが、半分位しか理解出来ないものを紹介する訳にもいかず、本稿を参考に読者自ら原著にあたられることを希望する。なお、同様の流れ図は著者による別の著書「認知(cognition, 1962)」にも見られるし、又東大工学部の森口博士の電子頭脳の中には、九州大学の田町常夫教授が、外国語を電子計算機が翻訳する様に作るプログラミングの大筋が紹介されている。後者の場合も、電子頭脳が色々な例題に遭遇することにより、その経験の中から自ら法則性を発見し、文法として学習していくという帰納的操作を取っており、著者ジョージと同様な考え方で参考になると思われる。

こうして結論としては、計算機は一般的な原理 (general principle) を獲得し、それを別なものに汎化 (generalization) させた場合、洞察 (insight) という思考の一形態を示したことになるであろうと考えている。従って「重要なことは計算機の汎化力 (power to generalize) と言語使用力 (power to use language) である」と結んでいるが、最後の言語については説明が入用であろう。計算機内部での最終的な情報の処理は、前編で述べた通り、「1」と「0」というビットの配列により行われるが、これを「ソフトウェア」としては機械語 (machine language) と呼ぶ。所が機械語は人間にとっては極めて憶えにくく分りにくい上に、計算機の詳細な働き方迄いまいちプロ

グラムしなければならぬため、最近では、プログラマーである人間はもっと日常的な人間の言語、つまり自動語でプログラムし、計算機本体の中に入ってから、「コンパイラー」(Compiler) と呼ばれる翻訳プログラムが自動的に自動語を機械語に訳した上で計算を実行する方法が取られている。自動語の代表的なものには「IBM社が作った「フォートラン」(FORTRAN) と「一九六〇年国際会議で決められた「アルゲル」(ALGOL)」とがあるが、前者は数式翻訳 (formula translation) をつづめ、後者は算法定言語 (algorithmic language) をつづめたものであるという。図二にアルゲルによるプログラムの例を示したが、著者はこの様に言語はモデルを作る上に大切な機能をはたすと指摘している。なお、わが国の電子技術の立遅れの原因として、宇宙開発の後進性、

```

begin   integer V, W, Y;
        READ(V); READ(W);
        Y: = V+W
        PRINT(Y)
end

```

図2 アルゲルによる加算のプログラム
(VプラスWを求めている)

異なる研究領域の協力体制の不十分さも十分に考えられるが、最大の原因はソフトウェアと呼ばれるどんなプログラム言語を採用するか、いかなる運用方法を取るべきか等の、将来「思考科学」としての分野が全くといって良いほど遅れていることであると言われている。

第七章 学習の心理学的理論

本章の前半は学習心理学の紹介に当てられ、後半は学習心理学の諸分野において、工夫すればサイバネティクスが役割をはたし得ることを示している。前半は、著者の指摘通り心理学者には不要であり、特に知覚心理学者による学習心理学の紹介であるため、学習理論の専門家の立場からすれば、問題点はいくらでも出すことが出来るであろう。しかし、本書の目的が、認知 (Cognition) においてサイバネティクスが貢献出来ることを方法論を中心に示している時、認知の最初の分野として上げられている学習心理学そのものの厳密な批判はあまり生産的ではないであろうと思われる。結論として著者の述べていることは、強化 (reinforcement) は「置換 (substitution)」、「効果 (effect)」及び「期待 (expectancy)」と「三」の原理によって説明されて来たが、これは思った程相互に異なったものではないこと、及び学習理論の異なる代表とされているハル (Hull) とトールマン (Tolman) との相違は本質的なものではないことと二点である。

ハルとトールマンに関する著者の解説を引用すると「ハルが習慣強度 (SHR) と反応ポテンシャル (SHR) を区別したことにより、ハルの理論をトールマンのそれに近づけることになった」に始まり、「トールマンは環境を支配する生活体を強調し、ハルは生活体を支配する環境を強調する。これは強調点の相違にすぎないが、これは目的論者と機械論者という哲学的相

違に還元出来る」と述べ、要するに「両者の相違は単に言語の問題であってモデルそのものではない」と主張したい様である。この様に簡単に割切ることが厳密な学習理論からは非常に問題であるが、著者の意図は微妙な所で対立している諸理論を、もっと低次の段階で統合させ、単純化させることによって、サイバネティクスからの処理のやり易いモデル化の道が開けていることを示すことに一因がある様に思われる。このアプローチの一面には、現在迄に分っている基礎的事実を明確にするという積極性は十分に認められる一方、ややもすればモデル化しにくい理論を回避し、諸理論間での真剣で前向の論争に水を差すことになりかねない事を警告しておく必要があるであろう。事実、置換に関してはガスリー (Guthrie) 理論は批判されパブロフ (Pavlov) が取り上げられながら、第九章では「パブロフ説は過去に於てはかなり奉仕して来たが、もはやサイバネティクスや行動理論のモデルとしては十分に有用なものではないであろう」とされ、同様にヘップ (Hebb) も批判されている。次に、サイバネティクスの方法論を転移 (transfer)、後退禁止 (retroactive inhibition)、刺激汎化 (stimulus generalization)、学習の構え (learning set)、消去 (extinction)、部分強化 (partial reinforcement) 等に適用出来ることを示そうとしているが、図には誤りが認められたり、論旨はかならずしも明晰でなく難解であるが、例えば消去過程を図三の様な「状態行列 (status matrix)」で表現することを試みている。ここで、状態行列とは前編の図十二で紹介した入力行列と原理的に同じ

0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1
0	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

図3 消去過程を示す状態行列

であるが、今回は第一行から時間の連続 (t_0, t_1, \dots, t_n) を示し、第一列からは事象を示している。念のため、横の流れを「行 (row)」と呼び、縦の流れを「列 (column)」と呼ぶ。今、第一列から第六列迄が、各々事象 X、Y、Z、XUY、XUZ、YUZ を示すものとする。条件確率の考え方を入れることにより、それぞれの要素の状態を「1」又は「0」で図三の様に表現出来る。ここで事象「XUY」は、XとYとの同時生起が三度続いた後では、その後Yが欠けても二度迄「1」であるが、三度続けてYが欠けると「0」となり消去を示しているのが見られる。

又、二つの心理的事象 A 及び B が連合し、信念 (Belief) である $A \rightarrow B$ を作るためには、それらが時間的に接近していることが必要であるが、それが離れている場合にはガスリーの運動産出刺激 (MIPS: movement produced stimuli) にあたると A' を考え、 $A \rightarrow A' \rightarrow B$ とすれば良いとしている。この MIPS の系列を考えれば、例えば

$A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \dots N \rightarrow B$

と考え、前編の論理網で使用された記号「/」が「後に何々が続く (followed by)」であれば「//」で「後に直ぐ何々が続く (followed immediately by)」を表わすことにし、

$A // C // D // E // F \dots N // B$

脳と電子計算機 (後編)

とも表現出来ることになり、これは論理網に十分あてはめることが出来るとし、「時間のずれ」の問題は十分に解決されるであろうと述べている。

以上の要約として著者は「本章では論理網モデル (logical net models) と学習理論との結合を試み、我々のモデルは凡ての範囲の行動を再生 (reconstruction) することが出来ることを強調しよう」と試みたと述べているが、筆者の力の不足も手伝っているが、全体に期待はずれの感はまだぬがれない。しかしそれに対する答えになると思われる著者のことはを記すれば、「前述の計画を厳密に実行することは可能であろうが、それはどんなに労力を要するものであるかを読者が理解してくれることを信じ望んでいる。何となれば、その計画 (programme) を詳細に完成させる (carry through) のは本書の意図ではないからである」とある。

第八章 行動と神経系

本章の内容は三つに分けられるが、最初は神経系の微視的性質及び化学的問題に触れ、次に大脳研究の方法論を紹介し、最後に神経系全体に関しては無論であるが、特に大脳皮質と行動の関係を自動機械製作上の立場から検討しようとしている。

まず前編で紹介した論理網の要素を神経元 (neuron) と考えることは、多くの目的にとって望ましいだろうと考えている。マッカロ (McCulloch, 1959) は、「二状態スイッチ (two-state switch) を神経元として使用することをとがめられた時」「神

経元の行動を記述するためには八次微分方程式の様なもの (something like an eighth order differential equation) が必要である「ことを認めたと言われている。これに対して著者は、「これは記述の一水準としてのみ正しいのであって、我々は少なくとも最初は、神経元をまったく簡単な水準から記述するのが良からう」と考えている。なお、神経元の種類には色々あるが、論理網の単位は単一であることを断わっている。

さて神経元の発電機構として、ホジキン (Hodgkin, 1951, 1957) やエークルス (Eccles, 1953) により「イオン仮説 (Ionic Hypothesis)」がなえられた。これは神経活動を化学的に説明しようするものであるが、神経元の形質膜は一七〇オングストロームから二〇〇オングストローム ($1\text{A} \cdot 10^{-10}\text{m}$) という非常に薄いもので、これは脂肪酸と蛋白質よりなりイオンに対して選択的透過性を持っている。休止している膜は「ナトリウム・カリウム・ポンプ (sodium-potassium pump)」を作り、膜の外側はナトリウム・イオン (Na^+) が多く、カリウム・イオン (K^+) が少なくなっていて、内側は反対に K^+ が多く Na^+ が少なくなっている。従って形質膜の内側は外側に対して、 $-70 \sim -90\text{mV}$ の電位差を示し、この状態を形質膜が分極 (polarization) しているという。所が神経元に刺激が与えられると、膜の透過性が高まり、 Na^+ を非常に通しやすくなり、内外の関係が逆になり脱分極 (depolarization) が生じる。これが隣の部位に脱分極を次々と起させ、かくしてスパイク電位又はインパルスと呼ばれるものが神経元を伝導していくのであ

る。

ここで著者は、ソフトウエアの対としてのハードウエアの直訳「金物」からは想像しにくいハードウエアの製作の可能性に触れている。つまり金物らしくないハードウエアを作ることであるが、具体的には「化学的・コロイド状の計算機 (chemical-colloidal computers)」を作る努力がなされている。例えば計算機のリレーの代りに使用出来る人工細胞 (artificial cells) を化学的に製作するのであるが、それには細胞膜となる人工細胞膜の作製が急務であろう。ザンダー (Saunders) らは一九五三年頃から、卵黄より得られる複雑なコロイド状で燐脂質の代表的物質のレシチン・ゾル (lecithin sols) が二種の液体の間で強固な膜を形成することを発見した。そして、この膜は液間の中間面 (interfaces) に血液アルブミン (serum albumin) のゾルを注射することによって、より強固にされ得ることを発見した。この様な方法により、ビヤール (Beer, 1959) が「菌状システム (Fungoid System)」と呼んだものや、バスク (Pask, 1956) の化学的コロイド状計算機と呼ばれるものの実現に関心が寄せられている。なお、チャップマン (Chapman) の「成長モデル (growth model)」は成長の性格を持たせる様工夫されているといわれるが、それが化学的であるか否かは分らない。頁数は僅かであるが、本書が化学的計算機に注目しているのは高く評価して良いであろう。著者によれば「化学的計算機のサイバネティクスへの主要な重要性は、それは計数型計算機 (digital computer) と異なり、直接的様式で成長 (growth) を

示す点にあり、これは生物学的モデルの問題では早かれ遅かれ必要なものである」としている。この点は筆者も常々感じていたものであるが、その他に脳と電子計算機との対応において、後者が前者をはるかに凌駕する点が多いにもかかわらず、近代イレクトロニクスが成人の脳の働きをどうしてもシミュレート出来ない問題も又多い。第一に計数型計算機のある一部分品の故障は全体の機能を麻痺させてしまうが、大脳機能には局在説と並んで、脳損傷の量に比例して障害が現われると主張する量作用 (mass action) 説が存在する。この様な量作用を、最終的にはビットの処理のみによって作動している計数型計算機に期待することは出来ないが、これを化学的計算機又は何か液体の様なものによる計算機に期待出来そうに思われる。但し、一面に同質の電解質のみが存在していたのでは量作用は示しても、デジタル量を分化的 (differential) に処理することは出来ないであろうから、そこに多くの分離器 (separator) を必要とし、各要素は少しずつ異質の液体を含みつつ、しかも分離器又は膜にある種の分化的ないしは選択的透過性を持たせ、隣接要素に当該要素の機能を代行させる必要があるであろう。この様に、大脳の量作用一つを取りあげても、化学的計算機の開発にも問題は山積しているが、そこには多くの可能性が残されている様に思われる。

同様の問題の第二として、形態認識 (pattern recognition) がある。文字や図形を電子計算機に弁別させるのであるが、その方法には定点サンプリング法、交叉点サンプリング法 (ゾン

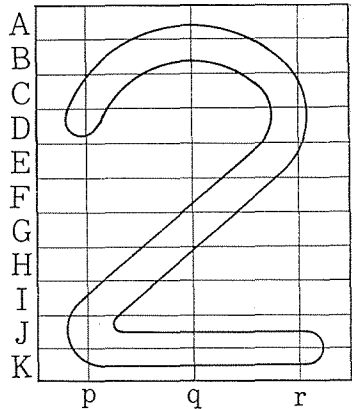


図4 数字「2」の特徴を二次元でとらえようとしている (森口, 1964年による)

デ法)、スリットサンプリング法等があるが、一例として京都大学工学部の坂井利之教授のアプローチを、森口教授の「電子頭脳」より紹介してみる。例えば図四の様に「2」という数字を描いて、その特徴を行列の概念でとらえ、各要素のビットを論理式で表現してみると、

Pでは $\sim AN (BUC) \sim EN \sim FN \sim GN (HUI)$
 $\sim (JUK)$

であり、同様に

Qでは $(AUB) \sim DN (FUGUH) \sim IN (JUK)$

Rでは $\sim ANCN DN \sim GN \sim HN (JUK)$
 となる。この様な三つの論理式が成立すれば、電子計算機はこの文字は「2」であると判断する様にすることが可能であ

る。但し、機械に見せられるものは十個の数字ならそれだけに限定し、又それぞれの特徴をとらえている論理式は相互に排斥でなければならぬであろう。なお、ここでビットの要点は論理積関係であって、論理和はいわば文字がある程度くずされていてもキヤッチすることが出来る機能を果している点が注目される。

なお、形態認識のその他のアプローチとして、「パーセプトロン(perceptron)」「パ・パ(PAPA)」「ニュー・パ・パ(New PAPA)」等があり、いずれも学習過程を含むものとして注目される。網膜に対応する感覚単位(sensory unit)を光電管等の配例により作り、それにaクラスの形態を有限回見せ、同様にクラスも見せると、新しい形態はいずれのクラスに属しているか等が判定出来るという。これらは、確率、ランダムネス(randomness)、白色雑音(white noise)、最善化(optimization)大小判別等の方法をうまく使っていて、学習完成後にはある程度の汎化や損傷への耐久機能を示すという。

所が、坂井教授の方法の場合には、あらかじめ定められた数字以外の文字を見せても機械は全く判定出来ない。同様にパーセプトロン等に、以前学習させたものと全く異質なものを見せても、それに対する判定は誤反応又は不明ということになるであろう。一方、生活体の場合には、以前経験したことが後の異質の行動に対しても何らかの影響を与えたと考えられ、経験を積むことにより汎化(generalization)と分化(differentiation)を獲得し、創造性(creativity)までが見られる様になるの

ある。エークルスは、ネコの脊髄の単シナプス反射を用いて、シナプスは使用すればする程伝達しやすくなり、逆に不使用であればある程伝達しにくくなることを示した。従って、「使用」(use)により機能の高まったシナプスが、全く別の学習行動の回路の一部分として使われ、その新しい学習を促進させる可能性は生理学的にもかなり考えられると思われる。心理学において、最近「初期経験(early experience)」とか「知覚学習(perceptual learning)」等と呼んでいる現象は、この様な考え方を支持すると思われる。

一方、計算機の各要素が「使用」に応じて機能そのものを高めていくことは全くなく、それは最初から終り迄ビットの処理を行うのみで変化は見られない。例えば坂井教授の場合、図四の「2」の文字部が当たった光電管が他の部位より機能を高めることは、細胞一つとしても無いし、その組合せとしても無いのである。同様にパーセプトロン等においても、細胞一つ一つが変化しないのは無論であり、その組合せとしては今問題にしている二種のクラスの形態に対しては機能を論理的に高めるが、それが新しいクラスの形態認識を何らかの意味で促進することは出来ないのである。これは「1」と「0」というビットを基礎にしている計数型計算機の大きな限界であると思われるが、それを乗切る可能性を持つものとして化学的計算機に期待される所が大きいであろう。

第三に、計算機の本質は前編で述べた通りソロバンに似ていて「おぼろぎ(clean)」が出来ることである。例えば或る日、

計算機の記憶能力のすべてを使ってフルに計算し、その結果が計算機の記憶装置一杯に入っていたとしても、次の計算のために新しいデータを入れると、前のデータを clear して新データが記憶されていくのである。これはソロバンから電子計算機まで同じことであって、どんなに大切で後々に役立つ情報が入っていても、clear すれば元の木阿弥である。その意味で計算機は瞬間的存在であり、プログラムの暴力によれば、常に過去を無視することが出来る。それに対して洗脳 (brain-washing) や催眠術 (hypnotism) をもってしても、脳完全に「おはらい」することは不可能であろう。つまり脳は経験を蓄積し、記憶し、記憶しない場合も当該要素の機能的促進と、う蓄積を行なうのである。これは計数型計算機には無理な注文であって (外部記憶によっても問題の本質は同じである)、ここでも化学的計算機に期待するところ多大である。形態認識等に見られる人間の能力のすばらしさに人工頭脳がもっと接近するためには、現在のハードウェアによる論理網を發展させる方法以外に、ハードウェアらしくない生理学的・生物学的・化学的「金物？」を使うことにも秘密と可能性が残っている様に見える。

次に神経元の特性として、①スパイク・ポテンシャル (spike potential) が見られ、②閾値 (threshold) が存在し、③悉無律が見られ、④主興奮直後の興奮の変化 (after-potentials) 及び⑤絶対不応期 (absolute refractory periods) と相対不応期 (relative refractory periods) 等が見られるとして居る。この

うち、④と⑤は論理網で触れられていないが、論理網に於ける遅延 (delay) は不応期に類似したものと考えられようとしている。同様に、「神経元間の伝達を司るシナプス (synapse) での部位的加重と時間的加重であるが、まず前者は論理網で容易に実現出来る。後者は、実際の神経では反響回路 (reverberatory circuits) によつてゐるらしいので、我々の論理網に近づく」と述べて居る。

この他、シェリングトン (Sherrington, 1906) の中枢興奮状態 (c.e.s.: central excitatory state) と中枢抑制状態 (c.i.s.: central inhibitory state)、ロント・ド・ノウ (Lorente de No, 1938, 1939) の介在ニューロン (internuncial neurons) 又は転輸ニューロン (shunt neuron) による遅延時間の問題の他に、抑制又は禁止 (inhibition) についてはやや詳しく触れている。例えば除脳ネロ (decebrate cat) の交叉伸筋反射 (crossed extensor reflex) は禁止されるか全くブロックされるし、シェリングトンによれば、膝蓋反射 (knee jerk) は押さえ得るといふ。禁止の理論として、フルトン (Fulton) は後角細胞 (ventral horn cell) が禁止の場であると考へ、ガーサー (Gasser) は禁止の反射に含まれている介在回路が非常に高められた閾値を持つと考へ、エークルスは膜の過分極 (hyperpolarization) と禁止シナプス棍状体 (inhibitory synaptic knob) により遊離されるある特定の伝達物質 (transmitter substance) であると考え居る。

なお、神経系と情報理論との関係で、例えば視覚における視

路 (visual path) による制限又は圧縮の姿、つまり「多者・単一関係 (many-one relations)」を図五の様に表現することが出来ることとなる。

最後にブロードマン (Broadman, 1909) の様に大脳皮質領野図を作る (mapping) 方法として、銀による特別技術 (specialized silver techniques) 生体内メチレン青法 (intravital methylene blue) 神経元検査法 (neuronography) 電気刺激法 (electrical stimulation) 実験的脳損傷 (experimental lesions) 事故による脳損傷 (accidental brain damage) 等があり、著者はこれらの方法により研究が進んできていると述べている。それに反して、局所解剖学 (topography) や組織染色法 (histological staining techniques) は、脳の機能や組

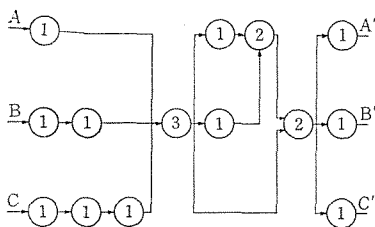


図5 圧縮を通じての発火の論理網

織を明らかにしていることは言いがたく疑わしい点もある。ここで神経元検査法はデュッセ・ド・ブランヌ (Dusser de Baronne) により発明され、彼とマツカロにより一九三七年以後に用いられたが、これは直接的神経結合を地図化するのに大変有用なものである。硫酸ストリキニン (strychni-

nine sulphate) に浸された濾過紙を皮質のある部位に貼ると、別の部位でストリキニン・スパイクを生じるのである。神経元検査法の中心仮定は、当該二領域にはシナプスめぎの直接的結合が存在するということで、確認出来る部位ではこの方法と解剖学的詳細の間には高い相関が存在するという。但し、フランケンホイザー (Frankenhuser, 1951) は、ある部位でスパイクが見られないことが、必ずしも直接的通路の欠如を意味しないと批判している。

さて、大脳皮質の行動理論からの検討が続くが、個々の詳しい紹介は紙面の関係もあるため省略する。前頭葉の研究として、フルトン (Fulton, 1949) 、『スタンレーとシェイネス (Stanley & Jaynes, 1949) 』、『クラークとランシントン (Clark & Lashley, 1947) 』、『クリューバー (Klüver, 1933) 』、『ヘブ (Hebb, 1949) 』、『ジャコブソン (Jacobson, 1931, 1935, 1936) 』、『チョー・ブラム及びブラム (Chow, Blum & Blum, 1951) 』の研究を紹介した後、次の様に結んでいる。「前頭葉は単に貯蔵領 (storage area) であろうと推定し、主に高次の統合活動にたずさわれると思われるが、皮質の網目 (networks) の中では他の自律機能や情緒的变化の様な特別な機能も持つと思われる。言語野も特殊であるが、これも貯蔵領と考える。以上は驚く程単純に見えるが、引用した実験の多くの結果からは、一般的にこれ以上ほとんど言えない」。但し、抑制領 (suppressor area) としての機能をも紹介しておきながら、制止を正面から取上げていないのは妥当であろうか。

同様に側頭葉については、ペンフィールドとロスマッセン (Penfield & Rasmussen, 1950)、「ライオベルら (Riopelle, et al., 1953)」、チエウ (Chow, 1952, 1954)、「マイヤー (1951, 1958) 等の研究より、「側頭葉は記憶 (memory) と知覚 (perception) に主に関連している」としている。又頭頂葉 (parietal area) は「大体ある種の機能を精巧にする (elavolution) ところである」とし、その他の一般的問題の参考として、ラッシュレイ (Lushley, 1950) の考え方や失語症 (aphasia) 等を紹介して本章を終っている。本章は、脳のメカニズムであるため記述には限りがないであろうが、脳波に於ける逆説睡眠や記憶のしくみとしての RNA や DNA 等の核酸、シナプスの使用・不使用による変化等に全く触れていないのはやや淋しい思いである。

第九章 神経系の理論とモデル

本章では、これ迄述べた生理学的証拠と理想化された概念体系との結合を試み、もっと全体的モデル (molar model) ないしは一般的モデル (general model) の紹介や問題提起を行っている。

まず神経生理学に近いものとして、パブロフ (Pavlov) 及びクルアスノゴルスキー (Krasnagorsky) の理論を述べた後、二人のパブロフ派理論の批判を行っている。例えば、「皮質の描き方が一般に曖昧で理想化され、やや実験的事実から離れている上、パブロフ流の興奮と制止は本質的に推測的過程である」と

か、「拡張 (irradiation) はパブロフの提案の様な形では証明出来ない。テュッセ・ド・バランス等による神経元検査法は、拡張には色々なタイプがあることを示した。ブロードマン領野の五、十七、十八及び十九野は事実上拡張を示さないし、他の領域に於ける波及効果も決してパブロフがいう様に単純で対称的なものではない」等である。結論として以前にも紹介した通り、「パブロフ説は適當ではない。何となれば、それは過去に於てはかなり奉仕をして来たが、もはやサイバネティクスや行動理論のモデルとしては十分に有用なものではないであろう」と述べているのは言い過ぎではなからうか。著者は論理網等で表現されたモデル、又は論理網で表現しやすいモデルを求めている様であるが、それは著者自身のモデルも含めてごく少数の理論家の、ある一定の問題に限り満足に近いものが考案されてきているのであって、しかもその成功の基礎にはパブロフ等から引きつがれた実験心理学の成果があることを忘れてはならないであろう。

次にコーノスキー (Konorski, 1948) は、条件刺激が中心となる放射中心 (emitting center) と無条件刺激が中心となる受容中心 (receiving center) を仮定し、この間に潜在的・電位的結合を仮定し、それはシナプスの成長と増殖 (growth and multiplication of synapse) を含むと考えている。これはカーパー (Kappers, 1936) の有名な神経成長 (neural growth) の理論に通じるものであるが、ヘップの理論と同様、実験的検証を欠いていると批判する。更に、使用に伴いシナプス棍状体の

感受性の増大が見られるというエークルスの研究を紹介した後、「これらのモデルはかなり一般化されていて、最近の網様体その他のもっと詳細な特定神経領域の分析を欠いているが、それにしてもこれらはサイバネティクスの言葉に翻訳され得るし、有限自動機械も、コーノスキーやエークルス型のモデルを容易に作る事が出来よう」と述べているが、そんなに簡単な問題であろうか。

ソープ (Thorpe, 1956)、ローレンツ (Lorenz, 1950)、ティンバーゲン (Tinbergen, 1951) 等の行動学者 (ethologists) の研究は著者は紙面の都合で省略し、ブル (Beurle, 1954)、アッシュビー (Ashby, 1947~1956) のモデルの簡単な記述の途中で、特にラッシュレイが「汎化を神経の基礎的特性と考えていること」及び「皮質の神経元は常に活動していて、複雑な交互作用 (interaction) が統合の基礎である」と述べていることに注意を喚起している。著者は「これは外界は神経系の中に特定の、相対的に孤立した通路によって神経系に移されるという説に反対するものであるが、経済的自動機械 (economical automata) にとっては重要なことであり、ヘップの説等と不一致ではない」とする。又、ペンフィールドやヘップの研究より、皮質の成長初期の破壊は成長後のそれよりも被害が大きいことから、自動機械でも「学習 (learning)」と「学習したものの (having learned)」との区別をすることを提案している。更に、皮質を自動機械の様に、凡て前もって配線されている (prewired) と考えることは良くなく、成長過程又は成長網 (growth nets) を

考えて行きたい様である。

さて、ヘップの細胞集成体 (cell assembly) や位相連鎖 (phase sequence) を中心とする理論を批判し、次の様に述べている。「彼の理論はあまりにも融通がききすぎ、その効果に欠点があり、数学的でないし、その上完全に正確でもない」。しかし、ミルナー (Milner, 1957) がヘップにより提案された神経仮定を条件として「The cell-assembly: Mark II」という論文で書いている仮定を著者自ら図六及び図七の様な論理網で表現する試みを行っていることは、本質的にはヘップの考え方をかなり評価していることになるものと思われる。ミルナーは

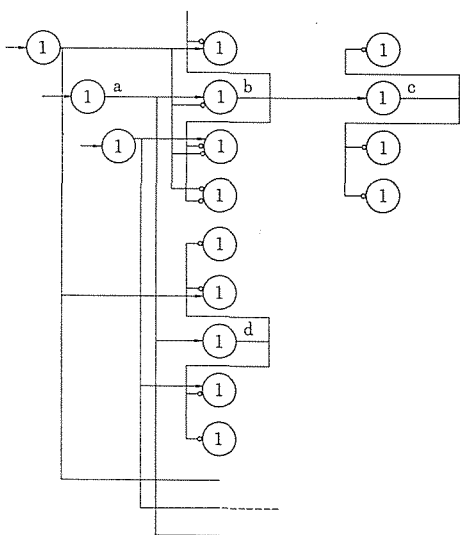


図6 ミルナーの細胞集成体システムを著者が論理網で表現したもの

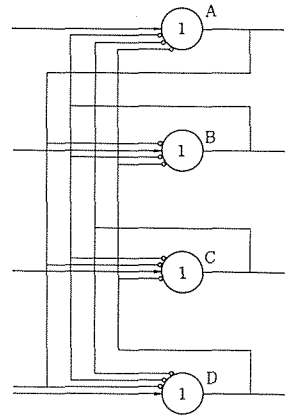


図7 ミルナーの細胞集集体を著者が論理網で表現したもの

長い軸索 (axon) を持った神経元は皮質間の結合 (cortico-cortico connection) を引き受け、短かい軸索を持った神経元は局部の禁止的結合 (local inhibitory connections) をつかさどると考えている。図六のアイディアは、長い軸索を持った神経元 a が発火すれば、同種の b, c, d を発火させるのは無論であるが、同時により近接している短かい軸索を持った神経元を発火させ、近接部はますます禁止的 (inhibitory) となるのである。同様に、図七は回帰性禁止結合 (recurrent inhibitory connections) が起こっていて、細胞 A が発火すれば、B, C 及び D を禁止するが、自分自身は禁止しないことを示している。著者によるこのミルナーのモデルは「独創的で生理的体裁も良い」と自ら称賛し、その基本的構造はプリブラム (Purpura, 1959, 1960) のモデルの中に入っていると述べているが、プリブラムとの関係は具体的に何を指すのか分らない。

最後に、プリブラムの理論を TOTE 段階反応 (graded

response) の網様体 (reticular formation) の大脳辺縁系 (limbic system) 等を中心にして、ラッシュェフスキー (Rashevsky, 1938) やハウスホルダー (Hausholder & Landahl, 1945) の数学的生物学 (mathematical biology) シモン (Simon, 1956) の神経の結合性の量化 (quantification) に簡単に触れた後、コーバン (Coburn, 1951, 1952) が脳の類推 (brain analogy) として十七の仮説にまとめているが、これは条件づけに忠実で、しかも正確に述べているので、論理網に翻訳することが可能であるとしている。なお、著者ジョージ (George, 1957, 1958, 1959, 1960) 自身のモデルは、前編の図十九との関連からは、C システムは大脳皮質と基底核 (basal ganglia) と見なし、入力は特定諸感覚と考へ、M システムは内的有機物の網様体を通しての視床 (thalamus) と視床下部 (hypothalamus) の効果と見、F システムは視床下部と自律システムと見なしている。以上は粗雑であるが、科学では最初から完全に正確なモデルは作れないのが通常であることわっているが、それにしても簡単すぎ淋しい思いがするのには筆者だけではないであろう。しかし、著者の意図は、何か完成した神経系モデルを提案するのではなく、色々の新しい情報を与えたのち、その整理のつきやすい事実や理論には論理網を適用する道が開けており、又それを実行することにより脳と計算機の間が少しずつ埋められて行くことを信じている様であり、その方法論中心の考察として本章も十分意義のあるものと思われる。

第十章 知 覚

知覚心理学専攻の著者であるが、本章も有機体を対象とするためか、特に注目すべき興味ある記述もなく、又分りにくい表現も多い。前半は知覚の問題一般を著者の考察をまじえつつ論じ、後半で著者のモデルを提案し図形残効等も説明出来ることを示そうとしている。

まず知覚の巨視的研究法として、恒常性等の「感覚」を重視するボーリング (Boiling, 1952) 等と、「対象」を重視するギブソン (Gibson, 1950) 等とが対立しているが、「いずれが有用であるかは決めがたく、又見かけ (appearance) と実在物 (reality) との区別は、二分法 (dichotomy) よりも解釈の連続又は程度の問題と考えた方が良であろう」としている。

次にサイバネティクスと知覚との関連で、前編で紹介した通り「人間の知覚は分類系に依存している」というヘイク (Hayek, 1952) の考えを支持し、アトリーの金物にも再び触れた後、「我々は分類の過程は何か処理することが可能であるという仮定の下で、知覚行動の鍵としての信号 (signal) の取り扱いに主に関心がある」と述べる。その為には、「記憶の問題、特にキルパトリック (Kilpatrick, 1953) 等のトランスアクトシオニスト (Transacionists) の主張する過程の文脈 (context of process) や以前の経験 (previous experience) に媒介された外界刺激の意味 (significance) を解釈する過程の問題と、時間的分脈 (temporal context) 及び効果的刺激 (effective

stimulus) 又は刺激対の特性 (property of stimulus object) 等、総合的な精神物理学的分析が要るとして、グラハム (Graham, 1952) の精神物理学的実験の一般形を示している。要するに、「効果的刺激の特質は、選択過程 (selective process) が働いているのであって、如何なる瞬間に、何がどの様な布置 (configuration) に現われるかという事はかりでなく、以前の刺激と共にあって構え (set) を作る記憶又は貯蔵 (store) に依存しているのである」と結んでいる。

この結びに至る途に、色々な問題に触れている。まず、認知には以前に記憶したものととの比較が根底にあるが、それには「短期記憶 (short term memory) と長期記憶 (long term memory) の二種が少くとも必要であろうとし、これは著者のモデルの中にも組込まれている (前編図十九)。又、サザランド (Sutherland, 1959) が、「異なる感覚終末 (sensory ending) は異なる種類の分類入力 (classified inputs) を持つと考え、特定の刺激分析器 (specific stimulus analyser) の必要性を主張する」と述べている点にも共鳴している様である。例えば、スペリー (Sperry, 1943) は、イモリのハエ取り行動は特殊分析器によることを示唆し、ヘオンら (Hernandos-Peon, Sherrer & Jovet, 1956) は「ネロのかちりとら音 (click) に対する蝸牛ポテンシヤル (cochlear potential) が、ハツカネズミを見せることによって完全に制止されたことから、周辺ブロッキング (peripheral blocking) の存在が示唆され、これは網様体の機能によると思われる」と述べている点等から、「段階づけ

られた感覚過程 (ordered sensory processing) の考えが支持されると考えている。

次に、機械の感覚装置、形態認識等に触れた後、プラインス (Price, 1953) が「一次的認知 (primary recognition)」と「二次的認知 (secondary recognition)」に分けてくることに注目し、「形態認識のたいの論文は一次的認知にたずさわっているが、本章での我々の主な分析は信念、構え、刺激の解釈に關連した二次的認知の問題である」とする。「つまり、一事象が起こると、有機体は次の事象が知覚されやすい確率を、己れの反応の知識及び前経験から得られた系列關係から与えられ、これが構えと呼ばれる」と考える。「今、一次的認知の要素を a, b, c, \dots で表現し、我々は一瞬にはある下位の組合せ (subset) を認識するのであって、全体を知るためには多くの瞬間を必要とすると仮定する。さて、 $adghjk$ という属性を B 列 (adeghjkmp) 又は C 列 (abghjkio) の二者いずれかに分類するとし、B 列である確率を P_1 、C 列である確率を q_1 とすれば、 $P_1 \vee q_1$ であれば B、逆であれば C ということになる。次の瞬間には当該属性に enp を加えて、 $adghjkemp$ とすると、C には不利になり、B の確率が大きくなり、つまり P_2 となる。そしてこの P_2 が B の凡ての属性を持つ迄発展し、 P_{n-1} となる。この様な P_1, P_2, \dots, P_n を分類反応 (categorizing responses) と呼び、その最終のものを最終分類反応 (F. C. R.) (final categorizing response) としよう。しかし、実際には時間的・空間的制限から F. C. R. 迄行かなさし、又そうであつて

も一般にその場の時間的分脈から対象を判断するのである。ここで、 h を正しい仮説、 e を証拠、 c を確認の程度 (degree of confirmation) とすれば、瞬間のセットである系列的分類反応は、

$$C_1(h_1 e_1), C_2(h_2 e_2), \dots, C_n(h_n e_n)$$

で表現出来る。以上は著者の整理であるが、論理網にかけやすい様処理し記述しているのは評価して良いであろう。

続いて、形態知覚 (form perception) に入り、ドイチ (Deutsch, 1955) カルバートソン (Culbertson, 1948) ラポポート (Rapoport, 1955) シェルフリッジ (Selfridge, 1956) ヘップ等の理論又はモデルを紹介した後、自らの知覚モデルを述べている。

カルバートソンによると、像を要素のセットから別のセットへ移す翻訳器 (Translator) 像を廻転する廻転器 (Rotator) 像を望みの大きさにする拡張器 (Dilators or Expanders) の三者を適正に結合し論理網で作られた形態抽象器 (form abstractors) によれば、形態を複写することが出来るという。これに対して著者は、「抽象器全体で 2×10^7 個の要素しかいらず (注、ヒトの大脳皮質には百四十億 (1.4×10^{10}) の神経細胞があるという) 又全ネットの反応時間は秒以下であること」に興味を持って居る。

ラポポートは、知覚モデルを論理網と情報理論より構成している。彼は網膜の光受容器層 (retinal photoreceptor layer) を球状の極座標 (spherical polar coordinate) を持ったモザ

イク (mosaic) であると見なし、細胞の最小不応期を時間の単位としている。今時間を考慮に入れなければ、 n 個の受容器より成る場合は n^2 個の情報を得られるという。

著者は、ラポポート批判の第一として、カジーヤ (Cajal, 1932) は光受容器数 $n \parallel 10^6$ とし、フルトン は 10^7 秒が平均不応期であると推定したが、受容器の独立性が維持されるとすれば、網膜に於ける情報の生産は毎秒 10^{12} ビットとなり、これは人間の視覚的刺激に対する能力に対してあまりにも大き過ぎるとしている。この問題は筆者にも興味があるが、そもそも生活体の受容器の単一細胞が一ビットの情報を貯えると考ええることは妥当であろうか。ヘップやミルナーの様な細胞集全体全体としてしかもっと長くなる場合も考えられると思われる。仮に一細胞一ビット仮説は、中心視 (foveal vision) では正しい可能性が考えられるとしても、周辺視 (peripheral vision) では急激に機能が落ちるのではあるまいか。我々が夜空にかすかにきらめくある星を注視する瞬間、その他の星はほとんどいわゆる「知覚」をされることもなく、記憶もされないであろう。所が、写真の場合は、視野に入った星は凡て原理的には平等にキヤッチされるのである。

この点は著者も考察していて、ラポポート批判の第二点として、つまり『びんの首効果 (Nottleneck effect)』というもので、網膜とそれを再現すると思われる十七野の間に存在するものについてである。ポリヤック (Poljak) によれば、 10^6

個の光受容器に対して 10^6 個の神経節細胞 (ganglion cell) があると言われ、一〇〇対一の割合で、従って狭い通路を通っているわけである。但し、これは平均であつて、中心窩 (foveal centralis) では一対一であるが、網膜の周辺部 (periphery of retina) では数百対一であると言ふ。ヘード (Head) の区別として、判別性視覚 (epiphric vision) にはびんの首効果はなく、原始感覺的視覚 (protopathic vision) にはびんの首効果が存在するのである。ここから、視覚系のモデルには少なくとも二つの符号 (two sorts of codes) が必要である様に思われるが、ラポポートもカルバートソンも触れていない」と批判している。なお、著者はこの「びんの首効果」を図五の様に表現する試みを行っている。

次にドイチが図の輪廓線の走査 (scanning) 又は精査 (perusal) は不要であると考えたのに対つて、クツプはゼンデン (Senden, 1932) やリーゼン (Riesen, 1947) の結果より、「図形知覚の学習には「角を計数する過程 (the process of counting corners)」又は「連続点を凝視して「クンク」 (fixating successive points)」が必要であるとしてゐる。これに対して、サザランドは「ヘップの理論は眼球運動を伴わない認知を説明出来ない」と批判して、コリーエ (Collier, 1931) は眼球運動なしで認知が可能であると主張しているが、そこには二つの困難な問題がある。第一は凡ての眼球運動が真に除かれているか否かの問題である。ヘロン (Heron) は瞬露露出器 (tachistoscope) を用いて百分の一秒以下の短時間に文字を呈示することによつて

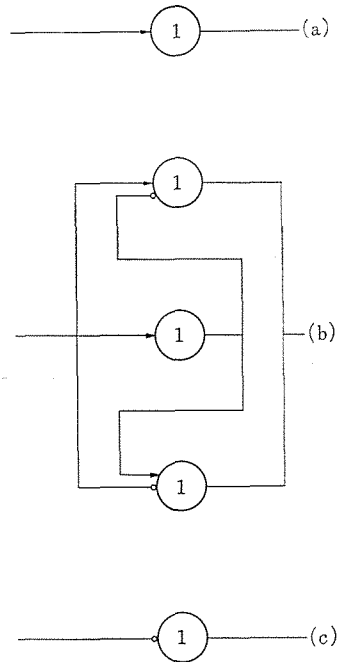


図8 著者の網膜網の要素 (aは 'on' element, bは 'on' and 'off' element, cは 'off' element を示す)

仮定する。これらの要素からの出力は配例の表面を横切って、盲点より漏斗状になって出て分類系に結合していると仮定し、更に別に、凡ての網膜要素は貯蔵系に直接に結合し、網膜名 (retinal name) により呼ぶことにする。」

「今、中もつまった三角形 (solid triangle) を網膜にあてると、境界線内の on-element と on-off element は発火し、off-element は発火しない。」
 の様な三角形セット (triangle set) とも呼ぶべきものが発火する様になる。これが再び発火すると、同一反応 (三角形の知覚) を生じ、これを繰返すことにより、貯蔵系の結合の性質から、全三角形のサブセット (subset of total triangle) が、三角形反応を生み出すことが出来る様になる」と考えている。これはヘップの考え方と非常に類似しているが、一方は生理的変化、他方はハードウェアの結合変化を中心に行っているのが仕事の局面での相違であろうか。著者は続けて「ここで問題は学習された三角形よりも少し大きいか、又は少し小さい三角形の場合は、第一のセットと共通要素は一つも無い故、走査が必要になって来る。眼球運動は走査の直接的結果であると推定し、凝視していても走査はあり得ると考える。これは、今ある所以外に最高の興奮を示すところがある場合、そこに中心化反応 (centring response) を起すのである」としているが、後半部の説明は理解しにくく、又掲げられている図も理解に苦しむ。それにしても、最初と少しでも大きな異なる solid triangle

て、この様な短時間でも眼球運動の生じていることを肯定する実験を示している。第二に、学習には眼球運動が必要でも、認知過程では不要であるかも知れないことである。ヘップも、位相連鎖の完成した「t」では決まった眼球運動が伴わないと述べている。

さて、以上の準備の後に、著者自身がブリストル大学で建設中の作業モデルの概要を紹介している (George, 1956, 1960)。まず網膜モデル (retinal model) として図八を示している。網膜には三つの要素が含まれていると考え、a の 'on' element は刺激されれば常に発火し、b の 'on' and 'off' element は刺激のついた瞬間及び停止した瞬間にのみ発火し、c の 'off' element は刺激されると発火しないことを示している。著者は次の様に続ける。「これらの要素が、大体球状の殻 (spherical shell) の内側に正方配列をなす様ランダムにぎっしりつまっている」と

が来た時、どうして共通要素は一つも無いことになるのであろうか。

こうして著者自らが詳しく書いていないため分りにくいモデルであるがこれで図形残効 (figural after effect) や対比効果 (contrast effect)、更には恒常性や明るさの弁別を説明した様である。著者は図形残効に関するオスグッドとヘイヤー (Osgood & Heyer, 1952) の理論を視皮質への形態の伝達のモデルとして最適であると考え支持し、その影響も受けている様である。著者を離れて、ケーラー効果 (Köhler effect) に対する彼等の考え方を紹介してみよう。彼等の説は統計的理論 (statistical theory) とも呼ばれ、マーシャルとタルボット (Marshall & Talbot, 1942) の考え方にしたが、場の理論

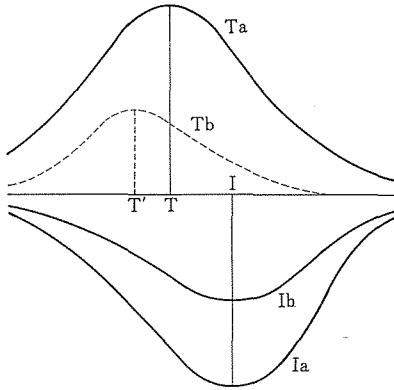


図6 図形残効の説明図
(Osgood & Heyer, 1952, 本文参照)

に反対して、十七野への輪廓の提示は、興奮の正規分布 (normal distribution of excitation) である等の仮定を考えた。図

九において、「I_a」は「凝視図形 (IF: inspection figure) の長期凝視直後の十七野における on-off 過程の仮説的分布であり、「I_b」は検査図形 (TF: test figure) 提示後、凝視されるまでに I_a の平坦化が起ったものを示している。同様に「T_a」は TF による興奮であり、「T_b」は T_a が I_b により平坦化されたものである。ここで彼等は、「主観的視野に於ける見かけの輪廓の位置づけ (localization) は十七野に於ける最大興奮部位と一致する」と仮定し、従って T_a から T_b へ変位 (displacement) が起るのであるとする。著者ジョージは、最大の興奮部へ向けて眼球運動が見られ、それにより図形残効が生じると考えているのである。

第十一章 知覚とその他の認知的機能及び

第十二章 要約

要約は省略するが、十一章では十章で提案したモデルに多くの研究者が疑惑と欠点を指摘したと述べている。その代表的なものは眼球運動及び走査についてであった。しかし、著者は結局眼球運動を認めたい様である。又網膜細胞の疲労 (fatigue) ということを考えることにより、運動残効もオスグッド・ヘイヤー説で説明出来ることとしている。但し、扇風機が止まると逆の方向の運動が見られることは簡単に説明出来ても、渦巻の中心から放射状に残効を示すものは説明しにくいとしている。その

他ことばの知覚 (speech perception)、思考と刺激との関係、計算機の自動化、知覚学習の重要性でドリーバー (Dreyer, 1960) に賛意を示しつつ本書を終っている。

本稿をとじるにあたって本書の簡単な批評を記すと、論理編を取り上げ、多くの工夫をなしているのが本書の最大の貢献であろう。その努力は方法論に向けられているため、読者に完成したものは何も提供してくれないが、こうした抽象的アプローチは、心理学の様な対象が複雑で進歩の遅い学問にはかなり積極面を提供してくれると思われる。又、著者の心理学者としての研究領域の広さ、深さには心を打たれるものがある。大切なのは本書を消化した後の我々読者の研究であり、その過程に於ける著者の論理網を中心とする方法論の適用であることを思う時、本書の欠点、難解さ、ミスプリント、ある種の物たりなさ等をことさらに指摘する勇気がなくなって来るのを感じるのは筆者一人ではないであらう。

参考文献 (前編に掲げたものを除く)

1 Osgood, C. F. & Heyer, A. W. JR. A new interpretation of figural after-effects. *Psychol. Rev.*, 1952, 59, 98~118.

- 二 加藤勝治 医学英和大辞典、一九五八、南山堂
- 三 時実利彦 脳の話、一九六二、岩波書店
- 四 時実利彦編 現代人間学3 人のこころ1、一九六〇、みすず書房

五 日本生物物理学会編集 神経の生物物理、一九六六、吉岡書店

六 日本電気株式会社 2203 NARC 説明書

七 日立製作所 HITAC 5020 FORTRAN (HARP)、一九六四

八 Hebb, D. O. 著、白井常訳、行動の機構、一九五七、岩波書店

九 Hebb, D. O. 著、白井常、他訳、行動学入門——生物学としての心理学——、一九六三、紀伊国屋書店

十 平沢 興、岡本道雄著、解剖学2——脈管学・神経系、一九五〇、金原出版株式会社

十一 Magoun, H. W. 著、時実利彦訳、脈のはたらき、一九五九、朝倉書店

十二 森口繁一著、FORTRAN IV 入門、一九六五、東京大学出版会

十三 山田常雄、他 岩波生物物理学辞典、一九六〇、岩波書店

十四 湯川秀樹、園原太郎、対談 ことばのこころ——図形認識・創造性・記憶——、図書、1966, 9, 27-47、岩波書店

(本稿は前編と同様、園原教授、本吉助教授、大羽助教授の御指導をいただいた。)

(筆者 岡山大学法文学部〔心理学〕助教授)