Osaka University Knowledge Archive

Title	中心視における継時処理と同時処理
Author(s)	乾, 敏郎
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 1978, 4, p. 295-321
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/12604
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

中心視における継時処理と同時処理

乾　　敏　郎

中心視における継時処理と同時処理

あ ら ま し

比較的小さな図形を短時間提示された時でも，その図形の各部に注意を向ける事が可能である。我々はこのような図形の走査を眼球運動による走査と区別して，メンタルスキャンニングと呼んだ。中心窩に提示された図形の走査に関する心理実験を行なった。被験者に提示されたパターンが，すべて同じ図形から構成されている（ＳＰ）か，一つだけ異なる図形が混ざっている（ＤＰ）かを判定させた。その結果，ＳＰの場合，75%閾が構成数とともに増加するが，ＤＰの場合は，構成数と無関係であった。このようないくつかの実験から，中心視の走査に２種類のモードが存在する事が明らかにされた。すなわち，全体を同時に情報処理するモードと，各部分を継時的に処理するモードである。前者によってパターンの異質な部分をすばやく見つけ，その点から後者の走査が始まる。この機構を生理学的事実に基づいて，モデル化した。すなわち，Ｘ型ニューロンとＹ型ニューロンから成る２層神経回路場によって上述の２種類の処理モードが実現されると考えた。位相面解析と数値計算からモデルが上述の実験結果を説明することが判明した。さらに神経生理学の最近のデータをもとにモデルのサブシステムの部位について推論した。本論文は，中枢での走査機構の話題を中心に視覚系の概観を述べる。

Key Word. 静止網膜像—メンタルスキャンニング—同時処理と継時処理—前注意過程と集中的注意の過程—Ｘ型，Ｙ型ニューロン—上丘，視床枕系

1. 視覚系の概要

通常，網膜に入った光情報は電気信号に変換された後，外側膝状体と呼ばれる中継核を経て，大脳の視覚領に達する。10万本の視神経は，外側膝状体で５倍に枝分かれし，さらに，17野では約10倍に枝分かれする。複雑だが秩序立った神経回路網を経て，大脳の視覚領においては，既に位置，大きさ，色などの情報がある程度処理されていると考えられている。

各ニューロンは，網膜において受光領域をもっており受容野（receptive field, RF）と呼ばれている。すなわち，各ニューロンは網膜上の特定の位置をモニターしている。Hubel & Wiesel (1959, 1962, 1965, 1968) は，視覚領のニューロンを，ＲＦと機能的特性（functional characteristics）によって，分

類した。すなわち，単純型細胞 (simple cell)，複雑型細胞 (complex cell)，低次複雑型細胞 (lower order hypercomplex cell)，高次複雑型細胞 (higher order hypercomplex cell) の4つである。詳しい説明はここでは省略するが，これらは，端点やある特定方向の線を検出しているらしい (edge detector. line detector)。RFの位置がほぼ同じで，同じ方向特性 (preferred orientation) を持つニューロンは，皮質表面に垂直な小柱 (column) をなしている。各 column のニューロンの preferred orientation は，皮質表面にそって徐々に変し (continuous representation, Albus, 1975)，300〜500μm の中にすべての方向の小柱が含まれている (Albus, 1975)。

一方，心理学的研究によれば，網膜に入った情報は一旦 VIS と呼ばれるバッファメモリに貯蔵され，そこから特徴が抽出されると考えられている。(Sperling, 1963, 彼のデータによる情報処理モデル Rumelhart, 1970) VIS は，最大持続時間は約270ms であり，未だ意識にのぼらない段階であるが，既に位置，大きさ，色の処理は終わっているらしい (Von Wright, 1968 ; Turvey and Kravetz, 1970)。VIS は，大脳の視覚領あるいはそれ以下の部位をも含んだ系に対応すると考えられている (生理学的研究 Bridgeman, 1975 ; 心理学的研究 Turvey, 1973)。VIS に貯蔵された情報は視覚的に符号化され統合されて形の知覚が生ずるらしい。この過程において，後述する注意 (attention) や記憶系が介入する (Rumelhart, 1977)。形成された視覚像は，文字の場合約1.5秒持続すると言われている (Posner et al. 1967, 69)。文字の場合も，naming ができないようにして視覚像維持に注意を集中させると，約9秒間持続する (Parks et al. 1972)。

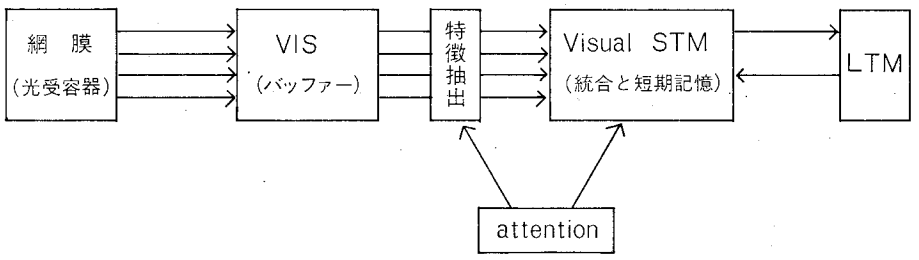


図1 視覚系情報処理の概要

Posner ら (1967) の実験は次の通りである。1つのアルファベットが提示された後，0〜2秒たって，第2のアルファベットが提示される。被験者は，2つの文字が大文字，小文字にかかわらず同一の名前であるかどうかを判定する。この時，2つの文字の提示時間間隔をパラメータにして，反応時間を測定した。その結果，物理的照合 (たとえばA—Aのように形が同一の場合) の方が，名前による照合 (たとえば，A—aのように名前が同一の場合) より速く応答できた。しかしこの差は，提示時間間隔の増加とともに小さくなり，間隔が約1.5秒で差がなくなった。もし，文字の名前だけが記憶に貯えられていたのなら，このような差は出ないはずである。彼らはこの事実から，視覚像が約1.5秒の間，有効に利用され，その後は，名前が有効に利用されると考えた。さらに Posner らは，この記憶像が，マスキングされない点あ

るいは，挿入課題によって大きく影響される点などから，ＶＩＳの情報とは異なるものであると言っている。通常視覚的短期記憶（Visual STM）と呼ばれている。

最近の生理学的研究によれば，下部側頭葉，20野，21野が視覚情報の統合および短期貯蔵に関与していると言われる。

VIS の情報はどのように視覚的に符号化されるのか，又，視覚像はどのような性格をもっているのであろうか。

2. 静止網膜像

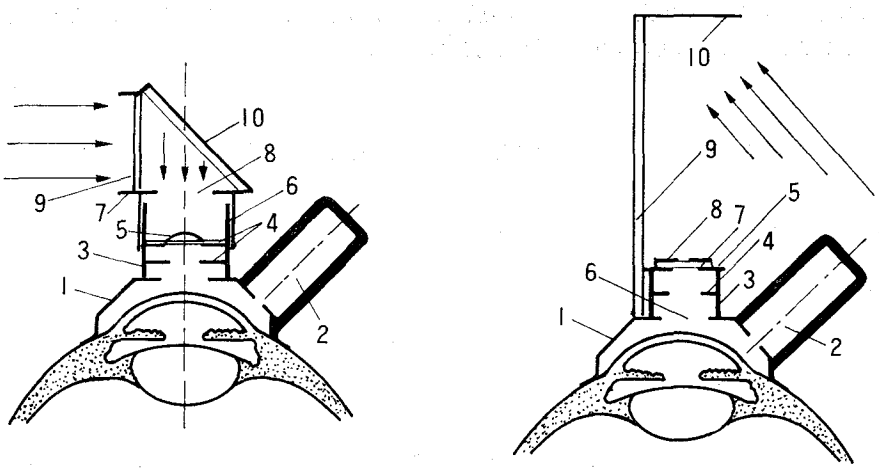
我々が一点を注視している時でも，眼球は微小運動をしており，固視微動と呼ばれている。この固視微動を止めると視覚像は１～３秒で消失し，見えなくなってしまう。そして，ちょうど目をとじた時に感ずる暗灰色のようになる。この現象は，Ditchburn-Riggs 効果と呼ばれている。

後の議論のために，少し詳しく説明しておく。一点を注視すると周辺の物体が消えて見えなくなる事は，古くから知られており，Troxler 効果（1804）と呼ばれていた。

近年，多くの研究者が種々の方法で静止像の観察を行なっている。方法としては，ミラーを用いたもの（Ratliff and Riggs, 1953；Clowes and Ditchburn, 1959），キュラーレにより動眼神経を麻痺させるもの（Hechenmuller, 1965），コンタクトレンズによるもの（Yarbus, 1967；Pritchard, 1961）がある。ここでは Yarbus の方法を説明する。

Yarbus（1967）は，実験目的に合わせて８種類の cap（静止網膜像用のコンタクトレンズ）を考案している。図２(a)は，P_6 cap の構成図である。P_6 cap は視野全体を静止させるために用いられる。１はジュラルミンの枠で，底の部分は直径が11.4mm であり，２はゴムのバルブで眼球との密着を助ける。３はジュラルミンの筒で直径が５mm，５は凸レンズで焦点距離は５～８mm である。焦点の位置は８の所にある。８の位置にテストパターンを置き，それを10の鏡で反射した光で照射する。９は拡散光にするためのすりガラスである。図２(b)は，P_8 cap の構成図である。P_8 cap は視野の一部を静止させたい時に用いる。７はガラス，８は0.2～0.5mm のアパーチャー，９は長さ20～25mm の棒で，10が静止パターンである。

視覚像が消失する過程は，きわめて興味深い。視覚像は一様に消えるものでもなく，又，ランダムに消失するものでもない。必ず，意味のある部分がまとまって，消えていく。この現象は，視覚像がある程度まとまりをもった部分ごとに処理されている事を示唆している。Hebb（1972）は，静止網膜像の消失が，パターンの部分処理をになう細胞集成体の活動の



(a)　　(b)

図2　Yarbus の考案した静止網膜像用のコンタクトレンズ（Yarbus, 1967より）

停止であるという。このように考えると，消失過程を詳しく調べる事によって，逆に視覚像形成の過程がわかるかも知れない。

Pritchard ら（1960）によると，部分的に出現，消失を繰返し，最後に消失するという。しかし，Yarbus（1967）は，一度消失した部分は決して再出現しないと述べている。おそらく再出現したのは，コンタクトレンズのずれのためであろう（Yarbus, 1967; Barlow, 1963)。Pritchard ら（1960）は，消失過程を次のようにまとめている。(i) 短い線分は，単位として消失あるいは再現する。(ii) 図における平行線は，互いに相関をもって活動する。(iii) 意味のある図は，ないものより長時間消失しない。(iv) ぎざぎざのものは，丸いものより見えの変化が激しい。(v) ある部分の図の存在が，近くの図の部分の活動に影響を与えるような場がある。

3.　メンタルスキャンニング

複雑な図形もしくは，いくつかの図形から構成されるパターンを認識するためには，パターン全体の中から適当な部分を選択し，それらを継時的に走査しなければならない。これは，パターン認識のプロセスに継時的処理が含まれる事を意味する。

U. Neisser（1967）以後，入力パターンのある限られた領域に知覚機能を割り当てる事を，集中的注意（focal attention）と呼んでいる。この集中的注意を払う領域を移動させる事によって，パターン認識が可能となる。比較的大きなパターンで，しかも提示時間が長い場合

は，眼球運動が重要な役割を果たす。しかしながら，比較的小さなパターンを短時間提示した時でも，各部分に注意を向ける事は可能なので，眼球運動とは異なる何らかの走査機構が働いているにちがいない。

このような走査機構の存在を示唆するような研究が，いくつか報告されている。その一つは，G. Sperling (1960) の全体報告実験と部分報告実験である。前者の場合たとえば，3×3のマトリクス状に文字列を短時間提示した後，被験者に，読み取る事のできた文字をできるだけ多く報告するよう求める。又，後者の場合は，文字列提示後に一つの行を指定する cue を出し，被験者にその指定された行の文字をできるだけ多く報告するよう求める。Sperling によれば，一行を指定する cue が与えられると，その行の報告率が上昇するという。これは，おそらく文字列提示後，集中的注意によって，指定された行に情報処理が限定されたためと考えられる。もう一つの例は，Zinchenko & Vergiles (1972) による静止網膜像を利用した研究である。第2節で述べたように，像の位置を網膜上に完全に固定すると，像が消失して見えなくなるので，光源から出る光にカラーフィルターをかけ，色を変化させて形の知覚を持続させた。このような条件下（静止条件）で，視角にして7°～8°の漢字を憶えさせる。静止条件なので，眼球運動による走査は考えられない。しかし，このような条件下でも，被験者が自由に目を動かす事を許されている時は，漢字の各部分に注意を払う事が可能となる。一方，同じ静止条件下でも，目を動かしてはいけないと言われると，各部に注意を向けられず，漢字が学習されなかった。この場合でも，一見無意味とも思える眼球運動が必要であるらしい。おそらく静止条件下では，通常の中心窩とは異なる何か機能的中心窩 (functional fovea) とも呼ぶべきものが，視野の中を移動して各部分の継時的処理を可能にしたと考えられている。

静止条件下での眼球運動は，自由視の条件下での眼球運動ときわめて類似していた。しかしその大きさは，指示された文字の大きさの½～⅓であった。Hall (1974) によれば，部分報告実験においても，同様な眼球運動 (posttachistoscopic eyemovement) が観察された。この場合も，瞬間提示なので眼球運動による走査は有り得ない。

このような中枢部における走査を眼球運動と区別して，メンタルスキャンニングと呼ぶ事にする。メンタルスキャンニングの機構を明らかにするため，心理学的実験を行ない，これらの結果を説明するための神経回路モデルを提案した（乾ら，1977)。まず実験Ⅰでは，中心視の種々の位置における単一図形の認知に要する時間を測定した。実験Ⅱでは，中心視に提示されたいくつかの図形の走査実験を行ない，実験Ⅰの結果と合わせて，中心視での走査様式を調べた。さらに次節では，これらの結果を説明するため，最近の生理学的知見に基づく神経回路モデルを提案する。

3－1　実　験　I

中心窩の範囲内で，単一図形の認知に要する時間と網膜上の中心からのずれ（eccentricity）の関係を調べた。

3－1－1　方　法

装置；3視野タキストスコープを用いた。各視野の大きさは視角で12°×12°であった。

刺激；刺激図形として，白色ケント紙に黒インクで書かれた円および正方形を用いた。図形の大きさは，タキストスコープに提示された時0.3°，線の太さは2′であった。又，マスクパターンとしては，LETRA-SET No. 16 Screen-Tone を採用した。

手続；被験者を，約5分間暗順応させる。用意の合図で，視野の中央に見える＋印（視角0.5°の大きさ）を凝視する。スタートの合図の後100msecたって，視野の中心，又は，中心から1°，1.5°，2°，2.5°ずれた9種類の位置に，円又は正方形が1個瞬間提示され，その後直ちにマスクパターンが提示される。被験者は，提示された図形が円か正方形かを答える。もしわからない時は，わからないと答えてもよい。刺激図形の提示後間は，20msec，30msec，40msec，50msecの4通り，マスクパターンの提示時間について，それぞれ図形および提示位置をランダムに変化させた20試行，合計80試行についてテストを受けた。

被験者；大学生10名。いずれも正常な視力を持ち，左右とも裸眼で1.0以上であった。

3－1－2　結　果

被験者間に大きな差が見られなかったので，データをすべて平均した。提示時間と正答率の関係を図3に示す。これらの回帰曲線から75%の正答率を得るために必要な提示時間を算出し，これを75%閾と呼ぶ事にした。中心からのずれと75%閾の関係を図4に示す。図形の提示位置が中心からずれるとともに75%閾が上昇する事がわかった。刺激図形提示後，マスクパターンを提示する事によって，実質情報処理可能な時間を制御している。視覚マスキン

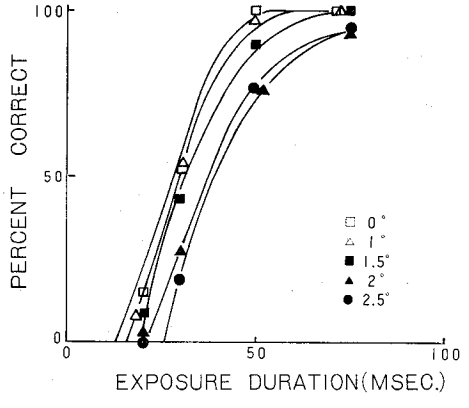


図3　提示時間と正答率

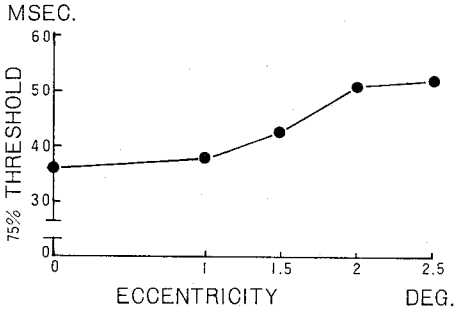


図4　中心からのずれと75%閾

グは，VIS と呼ばれるバッファーからの情報抽出を妨害する作用を持つからである。もしマスクパターンが提示されないと，バッファーメモリによって提示時間を越えて情報処理が可能となる。したがって本実験の結果は，図形が中心からずれるにつれて，情報処理に必要な時間が増加する事を示しているといえる。

3－2　実　験　Ⅱ

中心視の範囲において，メンタルスキャンニングがどのようになされているかを検討するため，制限された時間内に複数個の図形から成るパターンを示して，異同判定を行なわせ，その成績を調べた。

3－2－1　方　法

装置；実験Ⅰと同じ。

刺激；刺激パターンとして，円，正方形又は三角形を構成図形とするパターンを使用した。パターンはすべて同じ構成図形から成るもの(ＳＰ)と一つだけ異なる図形を含むもの（ＤＰ）に分けられる。構成図形の数は２個，４個，８個で，それらの配置は，２個の場合は左右又は上下，４個，８個の場合は，図５のように円上に等間隔に並べている。図形の大きさは，視角にして0.3°で，eccentricity は，構成数が２個，４個の場合は，0.5°，1°，1.5°，2°，2.5°の５通り，構成数が８個の場合は，1°，1.5°，2°の３通りである。マスクパターンは実験Ⅰと同じである。

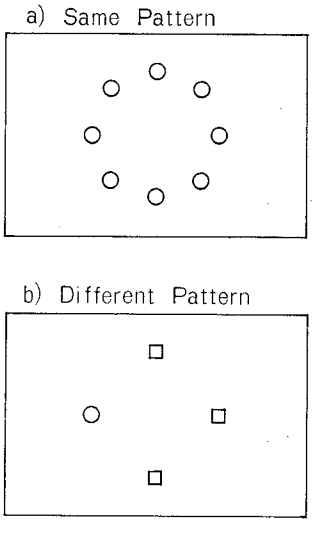


図５　刺激パターンの例

手続；実験Ⅰとほぼ同様である。構成図形が２個の場合は水平，垂直は別々のシリーズに分けて行なわれた。一つのセッションは，５通りの eccentricity のＳＰ，ＤＰを２枚づつ用意し，それをランダムな順序で提示する計20回の試行から成る。各セッション内では，提示時間は一定である。この提示時間を，30msec，50msec，75msec，100msec の４通りに変えて１シリーズの実験を終わる。構成図形が４個，８個の場合は構成数，eccentricity の異なるＳＰ，ＤＰを各32枚用意し，これらをランダムな順で提示する。各セッション内では，提示時間は一定である。提示時間は，30msec，50msec，75msec，100msec，200msecの５通りであり，１セッションは，64試行から構成されている。被験者は，提示されたパターンがＳＰかＤＰかを答える。もしわからなければ，わからないと答えてもよい。

被験者；大学生６名。いずれも正常な視力を持ち，左右とも裸眼で1.0以上であった。

3－2－2　結　果

被験者間に大きな差が見られなかったので，データをすべて平均した。構成数２の75％閾を調べた結果，同じ，eccentricity でも，垂直の方が水平よりも閾が高い。例えば，１°の位置では，水平のＳＰに対し39msec，上下に対しては44msce，1.5° では水平45msce，垂直

56msce の結果を得た。この事からメンタルスキャンニングの場が，わずかに横広がりである事がわかった。又，被験者の内観報告によれば，左よりも右が，又，下よりも上の方が，閾が低い。

次に構成数4と8の場合について，正答率と提示時間の関係の一例を図6に示す。

ＤＰであると判断する場合は，30msec と50msec の間で急に正答率が上昇しているのに対し，ＳＰであると判断する場合は，提示時間が長くなるとともに連続的に上昇している。又，eccentricity 2.5° の場合は2°以下の場合に比べて，正答率がかなり低かった。この事はメンタルスキャンニングの場が，2°程度である事を示唆していると思われる。次にＳＰであると判断した場合について，75%閾を算出し，構成数，eccentricity との関係を調べた（図7）。構成数1の75%閾は，実験Ｉで求めたものである。各 eccentricity での単一図形認知閾を基準にして，75%閾が構成数とともに増加している事がわかる。次にＤＰであると判断する場合について，同じ関係を調べた（図7）。この場合も構成数1の75%閾は，実験Ｉで求めたものである。ＤＰの場合はＳＰと異なり，75%閾が構成数と無関係である事がわかる。

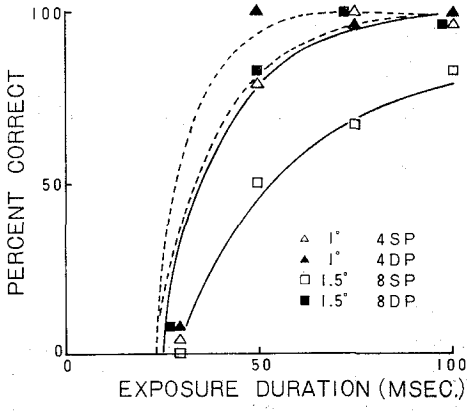


図6　正答率と提示時間

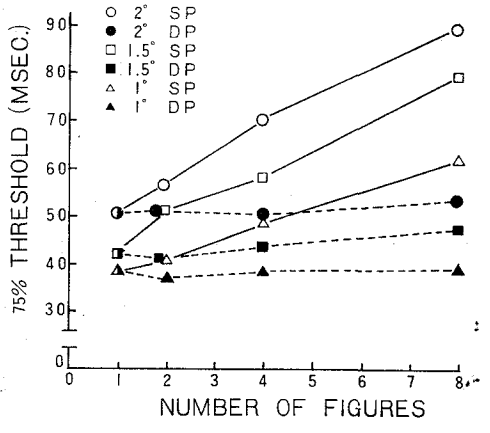


図7　構成数と75%閾

3－3　考　察

まず，実験Ｉ及びⅡで得られた結果をまとめておく。

a）単一図形認知閾は，中心視内であっても eccentricity とともに上昇する。

b）メンタルスキャンニングの場は，円形でなく横広がりの楕円形であり，大きさは4°程度である。

c）ＳＰの場合は75%閾が構成数とともに上昇する。

d）ＤＰの場合は75%閾が構成数と無関係であった。

e）ＤＰの場合の正答率は，提示時間の増加とともに急上昇する。

f）ＳＰの場合の正答率は，提示時間とともに比較的ゆっくりと上昇する。

網膜に入った情報は，ある程度の前処理を受けながら，並列に中枢に達し，そこで一旦バッファーに貯えられ，ここから特徴が抽出されて形が認知されると考えられている。本実験では，パターンの提示時間とバッファー出力の持続時間がある程度比例するようマスキングを用いている。その結果，ＳＰとＤＰで情報処理の様式が上述の如く異なる事が明らかにされた。上述の結果から，スキャンニングの機構は次のように解釈される。テストパターンが提示されると，まず異質な図形の位置を見つける機能が働き，そこから図形のチェックが始まる。異質な図形が見つからない時は，偶然に決まる位置から逐次図形をチェックする。このようにスキャンニングに２つのモードが存在する。この２つの処理モードは，Neisser の言う前注意過程と集中的注意の過程に対応できよう。我々は本論文において，この注意の過程を神経の興奮及び抑制という観点から論ずる。

4. メンタルスキャンニングの生理学的モデル

視覚神経系は，網膜，外側膝状体及び視覚領において，Ｘ型とＹ型の経路に分類される。Ｘ型ニューロンは，光刺激に対して持続型の放電を示し，受容野は比較的小さく解像力は高いが情報伝送速度は遅い。一方Ｙ型ニューロンは，一過性の放電を示し，受容野は比較的大きく解像力は低いが，情報伝送速度は速い (Ikeda and Wright, 1975 a. b)。Ｘチャンネルでは詳細な形の情報が比較的ゆっくりと処理され，一方Ｙチャンネルでは位置や変化の情報が速やかに処理されると考えられる (Ikeda and Wright, 1972; Breitmeyer and Gantz, 1976)。人間の視覚系にも，この二つの経路が存在する事が示唆されており，(King-Smith and Kulikowski, 1975; Tolhurst, 1973)，このような考えを間接的に支持する現象がいくつか見い出されている (Breitmeyer and Gantz, 1976; Weisstein, 1973)。

表Ｉ　ネコ17野における持続型（Ｘ型）ニューロンと過渡型（Ｙ型）ニューロンの割合。中心窩ではほぼ同数存在するが，周辺では，過渡型（Ｙ型）ニューロンがほとんどである。(Ikeda & Wright, 1975b)

Type of cell	A All projections	B (a) central 5°	 (b) 15°-20° superior retina
Total 'sustained'……	47	29	3
Total 'transient'……	73	28	37

まず Enroth-Cugell and Robson (1966) により神経節細胞（ギャングリオン細胞）の分類が行なわれた。正弦波格子をネコの眼前で順次移動しながら点滅させ，その反応を調べた。X-細胞では，格子模様の明から暗への移行部がちょうどＲＦの中心に重なると模様の明滅に対して全く放電しない。これは，ＲＦ中心からの入力と周辺からの入力が〝線型〟に加算されるためと考えられる。一方，Y-細胞では，入力の加算が〝非線型〟であるため格子模様の位置にかかわらず放電することがわかった。又，X-細胞はＲＦが比較的小さく網膜中心部に分布している事がわかった。Fukada (1971)，Cleland ら (1971) はX細胞の軸索伝導速度は約26m/sec Y細胞のそれは39～40m/sec でY-細胞の伝導速度の方が速い事を明らかにした。さらにX-細胞では，定常光のオンあるいはオフの期間持続的に放電がみられるが，Y-細胞では，オンあるいはオフの最初に一過性にしか応答しない事がわかった。Fukada らは前者を "tonic"，後者を "phasic" と呼び，Cleland らは "sustained" "transient" と呼んだ。この２つの分類は LGN でもみつかっているし (Cleland, Dubin and Levick 1971; Hoffman, Stone and Sherman 1972)，又，視覚領でもみつかっている (Ikeda and Wright, 1974, 1975a, 1975b)。そして sustained retinal ganglion-cell は sustained LGN neuron に，さらに sustained striate neuron につながっている。transient も同様である (Hoffman and Stone, 1971)。視覚領の過渡型細胞の光刺激に対する潜時は 50msec のオーダーであり，一方持続型単純細胞の潜時は約100msec であった (Dow, 1974)。

心理学的研究について簡単にふれておく。通常，この種の実験は，正弦波格子 (sine wave grating) が用いられる。その理由として，正弦波があらゆる形の最も基本的なパターンである (Fourier 展開) という事と人間の視覚系を Black-box としてその系の特性が記述できるという点が挙げられる。図８にデ

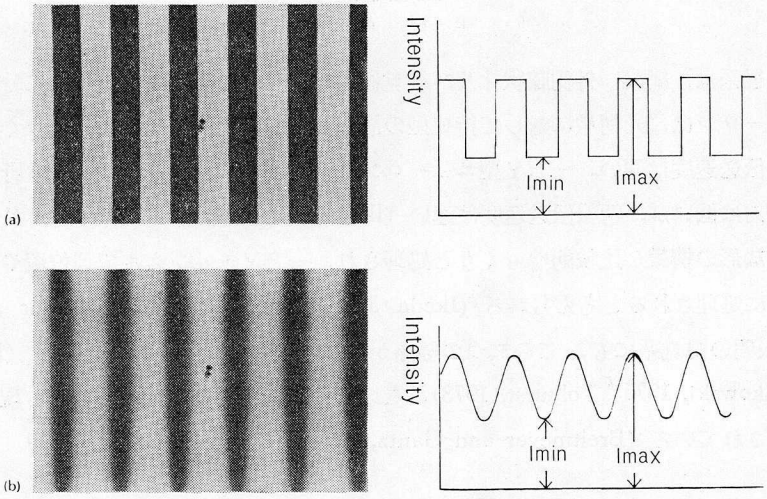


図８　ディスプレーに提示された矩形波格子と正弦波格子とその輝度分布

ィスプレーに提示された矩形波格子と正弦波格子とその輝度分布を示す。この時，Lmax+Lmin/2 が平均輝度レベルになる。Lmax−Lmin/Lmax+Lmin をコントラストと定義し，種々の条件下でこのコントラスト閾を測定する。Blakemore & Campbell (1969) は静止した，ある空間周波数（視角1°当りのパターンのくりかえし数）の正弦波格子に順応させた後，種々の空間周波数の正弦波格子に対して，コントラスト閾上昇率を調べた。その結果，順応格子の空間周波数の部分をピークにして，その周波数を中心に約１オクターブの範囲で閾値上昇が見られた。しかしながら，順応格子の空間周波数が，3c/deg 以下の時は，順応周波数でコントラスト閾の上昇が最大にならず，常に 3c/deg の周波数で閾値上昇が最大に

なった。Tolhurst (1973) によれば定速度で動く正弦波格子に順応させると，順応周波数が 3c/deg 以下の時も，順応周波数でコントラスト閾上昇が最大となった。しかも閾上昇は順応格子の動く方向に特異的であった。この事実から，3c/deg 以下の低周波に応答するチャンネルは，動きに対して特異的である事がわかった。Kulikowski & Tolhurst (1973) によれば，正弦波格子に対する形の検出閾の時間的周波数特性は，low-pass filter 型であり，フリッカー検出閾（正弦波がちらついて見えるのに必要なコントラスト閾）は，5～6 Hz をピークとする band-pass filter 型であった。彼らは，他の実験結果と総合して，形を検出するチャンネルは持続型の応答を示し，動きや変化を検出するチャンネルは過渡型の応答をするという事を明らかにした。又，Tolhurst (1975) は反応時間を測定する事によって同様な結論を得た。さらにX型の線形加重，Y型の非線形加重が人間の X-channel, Y-channel でも存在する事が，King-Smith & Kulikowski (1975) によって示された。

これらの事実をふまえて，メンタルスキャンニングについての次の特徴を実現する神経回路を考える。

a）入力を同時に処理する前注意過程によって，異質な領域を検出する。

b）異質な領域が検出されると，メンタルスキャンニングは，その領域から始まる。

c）もし，異質な領域が検出されず又，構成図形が機能的に等価な eccentricity を持っている時には，メンタルスキャンニングは偶然決まる位置から始まる。

d）メンタルスキャンニングは，集中的注意の過程で，各図形に注意を集中させ遂次処理を実行する。

4－1　二層神経回路網

前述の2つの処理モードが以下に述べるようなX型ニューロンとY型ニューロンから成る神経回路によって生ずると考える。図9に，二層神経回路網を示す。

i）網膜上の情報は，Y型経路を経てY型ニューロン層（Y層）に過渡的な刺激として入力する。一方X型ニューロン層（X層）には，X型経路を経て，遅れて持続的な刺激が入ってくる。

ii）X層，Y層のニューロンは上述のX型，Y型ニューロンの性質をすべて持っている。

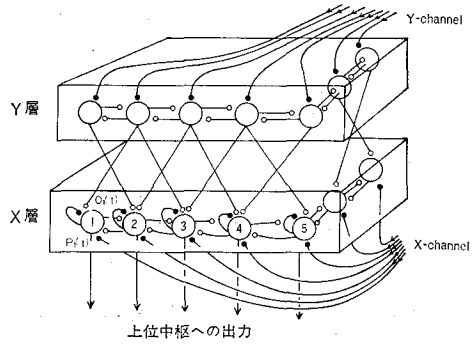


図9　二層神経回路網

iii）Y層の異なる方向特性を持つニューロン間には側抑制が存在する。

iv）X層のニューロン間の結合は，自己に興奮性に回帰し，周囲に抑制性の結合をしている。

v）Y層のニューロンは，ほぼ同じ受容野を持つX層のニューロン以外のニューロンに抑制性の結合をする。

iii) iv) に関しては，視覚系の種々の位置で側抑制が見出されており，不自然な仮定ではない。又v) に関しては，外側膝状体及び，視覚領において類似の結合が見出されている (Singer and Bedworth, 1973; Stone and Dreher, 1973)。

Phillips & Singer (1974a) は，心理学的実験を通して ON-中心型ニューロンと OFF-中心型ニューロンの間に側抑制が働いていると考えた。彼ら (1974 b) がネコの LGN を調べたところ，実際に ON-中心型と OFF-中心型の間に側抑制が働いている事が明らかになった。Blakemore ら (1970, 71) と，Carpenter & Blakemore (1973) は，いわゆる Gibson-Blakemore の錯視の研究から，視覚領の orientation column の間には側抑制が働いていると考えた。Blakemore & Tobin (1972) は，事実，複雑型細胞レベルにおいて側抑制を見出している。又，Benevento (1972) や Creutzfeldt ら (1974a, b) はネコ17野を詳細に調べた結果，orientation column 間に側抑制が働いていると考えた。事実，Rose & Blakemore (1974) や Sillito (1975) によると，抑制性シナプスの伝達物質を抑えるアルカロイドの一種 bicuculine によって単純型，複雑型及び超複雑型細胞の機能がそこなわれる。又，Tolhurst (1972) や Dealy & Tolhurst (1974) によって空間周波数チャンネル間にも側抑制が存在するのではないかと言われている。

ＳＰが提示されると，Ｙ層では刺激をうけた細胞は，等して興奮して，同じ受容野を持つＸ層の細胞以外の細胞に抑制性の刺激を出す。一方，ＤＰが提示されるとＹ層の相互抑制の結果，唯一異なる図形に対応するＹ細胞のＸ層への抑制性の出力は，他のＹ層のそれより小さくなる。このようなＳＰとＤＰでのＹ層からＸ層への出力の相違がＸ層でのメンタルスキャンニングにどのような影響を与えるであろうか。

4－2　状態方程式

Ｘ層のニューロン小集団の活動度は相対不応期を考慮すれば次のような微分方程式系で近似的に記述できる。

$$\tau \frac{dX_i(t)}{dt} = -X_i(t) + S\left[b_i X_i(t) - \sum_{j \neq i} c_{ij} X_j(t) - \int_{-\infty}^{t} R_i(t-t', X(t'))dt' + P_i(t) + Q_i(t) - \theta_i\right]$$

$$i = 1, 2, \cdots\cdots, n \qquad (1)$$

ただし，$X_i(t)$は時刻 t での i 番目のニューロンの小集団の平均活動度（小集団のどれくらいのニューロンが発火しているかを示し，$0 \leq X_i(t) \leq 1$）を集わす。S (u) はシグモイド関数であり，$S(0) = \frac{1}{2}$, $S(\infty) = 1$，$S(-\infty) = 0$ である。さらに変曲点は $u = 0$ にあり，

その点での傾きはaとする。b_i は i 番目のニューロン集団の自己興奮性の結合の平均化した結合荷重である。c_{ij} は j 番目のニューロン集団から，i 番目のニューロン集団への側抑制の平均結合荷重である。R_i $(t-t', X_i(t'))$ は，時刻 t' のニューロン集団の活動度 $X_i(t')$ が現在の活動度に及ぼす相対不応性の影響を示す量である。Rは非負の関数であり，$(t-t')$ の減少関数で，$X_i(t')$ の増加関数である。$P_i(t)$ は i 番目のニューロン集団へのX型経路からの入力刺激であり，興奮性に作用する。$Q_i(t)$ はY型経路からの入力刺激で抑制性に作用する。$P_i(t)$, $Q_i(t)$ は共に非負である。θ_i は i 番目のニューロン集団の全体の閾値に相当するようなもので，シグモイド関数の変曲点の位置を示す。

系(1)のような微分方程式系で，ニューロン集団の活動度が記述できる事は，Cowan (1971) や Wilson & Cowan (1972) による。但し，相対不応性の項は，Griffith (1971) の単一ニューロンに対する考察を，近似的にニューロン集団に適用したものである。

神経方程式は，本質をそこなわない限りにおいて，簡単でなければならない。微分方程式(1)は，興奮性及び抑制性の結合がランダムであるようなニューロンの小集団の活動度を記述したものである。ニューロン集団の活動度を記述する微分方程式は，いくつか考えられているが，ここでは，Wilson & Cowan (1972) のものを簡単に説明しておく。まず，E(t)を，時刻 t で単位時間に発火している興奮性ニューロン (E-cell) の割合と定義する。絶対不応期を r (msec) とすれば，時刻 t で不応期にある E-cell の割合は

$$\int_{t-r}^{t} E(t')dt' \text{ (時刻 } t' \text{ で興奮したものは } t'+r \text{ まで絶対不応期である) である。}$$

従って，時刻 t で sensitive な E-cell の割合は，

$$1-\int_{t-r}^{t} E(t')dt' \text{ (絶対不応期にないもの) である。}$$

$S(x)$を今，ニューロン集団での平均の入力 x の関数として，単位時間に興奮するニューロンの割合の期待値とする。この時，各ニューロンの閾分布が正規分布 $D(\theta)$ である事を仮定すると，$S(x)$ はシグモイド関数になる事がわかる。なんとなれば，平均の入力 $x=x_0$ の時 $\theta \leqq x_0$ なる閾値をもつニューロンはすべて興奮しているはずだから，$S(x)=\int_0^x D(\theta)d\theta$ となるからである。時刻 $t+\tau$ で発火している興奮性ニューロンの割合は，時刻 t で sensitive でかつ，t で興奮するであろうニューロンの割合であるから，

$$E(t+\tau)=\left[1-\int_{t-r}^{t} E(t')dt'\right]\cdot S(x(t))$$

ここで Taylor 展開すると

$$\tau\frac{dE}{dt}=-E+\left[1-\int_{t-r}^{t} E(t')dt'\right]\cdot S(x(t))$$

前述の微分方程式(1)では，絶対不応期 r を無視し，そのかわりに相対不応期が考慮されている。

さて，このような系は，ある条件下で一種の振動現象（順次的発火）を示す（たとえば，Suzuki ら，1971)。

n = 2 の場合には，この現象は図式的に説明される。次のような系を考えよう。

$$\begin{cases} \tau \dfrac{dX(t)}{dt} = -X(t) + S\left[bX(t) - cY(t) - \displaystyle\int_{-\infty}^{t} R(t-t', X(t'))dt' \right. \\ \left. + Px(t) - Qx(t) - \theta \right] \\ \tau \dfrac{dY(t)}{dt} = -Y(t) + S\left[bY(t) - cX(t) - \displaystyle\int_{-\infty}^{t} R(t-t', Y(t'))dt' \right. \\ \left. + P_Y(t) - Q_Y(t) - \theta \right] \end{cases} \tag{2}$$

ここで外部入力刺激と不応性の項を無視する。さらに次のように変数変換する。

$$\begin{cases} Z(t) = 2\left(X(t) - \dfrac{1}{2}\right) \qquad W(t) = 2\left(Y(t) - \dfrac{1}{2}\right) \\ S^*(u) = 2S\left(\dfrac{u}{2}\right) - 1 \end{cases} \tag{3}$$

すると $-1 \leq Z(t) \leq 1$，$-1 \leq W(t) \leq 1$ となり $S^*(u)$ もまたシグモイド関数となる。但し $S^*(0) = 0$，$S^*(\infty) = 1$，$S^*(-\infty) = 1$ となる。ここで特に $\theta = (c - b)/2$ とする。すると系(2)は次のように変換される。

$$\begin{aligned} \tau \frac{dZ(t)}{dt} &= -Z(t) + S^*\left[bZ(t) - cW(t)\right] \\ \tau \frac{dW(t)}{dt} &= -W(t) + S^*\left[bW(t) - cZ(t)\right] \end{aligned} \tag{4}$$

系(4)の isocline から，平衡点の種類と個数が表Ⅱのように決まる。但し定数 k はパラメータ a，b，c やシグモイド関数のさらに詳細な形によって決まる定数である。

表Ⅱ

		安定結節点	鞍　点	不安定結節点
(イ)	b-1/a>k	4	4	1
(ロ)	k>b-1/a>c	2	2	1
(ハ)	c>b-1/a>o	2	1	0
(ニ)	o>b-1/a>−c	2	1	0
(ホ)	−c>b-1/a	1	0	0

2つの集団のうち，どちらか一方だけが興奮し，他方は抑制されている状態だけが安定平衡点になっているのは(ロ)，(ハ)，(ニ)つまり，k > b − 1／a > − c の場合で，これらの場合に

は，不応性の項が十分に大きければ，次のように振動現象が生ずる。さてパラメータが(ハ)の場合に，不応性の項を考慮して振動現象を図式的に示そう。簡単のために変数変換後のZ－W平面で説明する（図10）。

今，系(2)の（変数変換した）解が安定平衡点Pに把えられたとする。するとZが大きくなるために系(2)の第1式のシグモイド関数の中の不応性の項が増大する。不応性の変化の時定数が活動度の時定数τに比較して十分大きいとする。すると，不応性の項を短時間内では一定と考えて，短時間内での isoline $dZ/dt=0$ が考えられる。これは，図10に示すように不応性の項が増大するにつれてW軸の負の方向へ移動する。それに伴ない，短時間内での意味の安定平衡点は $P\to P'$，$Q\to Q'$，不安定平衡点は $R\to R'$ と移動する。やがて平衡点 R' と Q' とが融合して不安定となる。そのため解は P' を離れ，Q' に落ち込む。解が Q' に落ち込むと，今度は系(2)の第2式の不応性の項が増大し，第1式の不応性の項は減少していき，やがて，今度は Q' が不安定になる。このようにして振動現象が説明される。一般にn個のニューロンの集団が相互作用する場合にも同様な振動現象が見出せる。

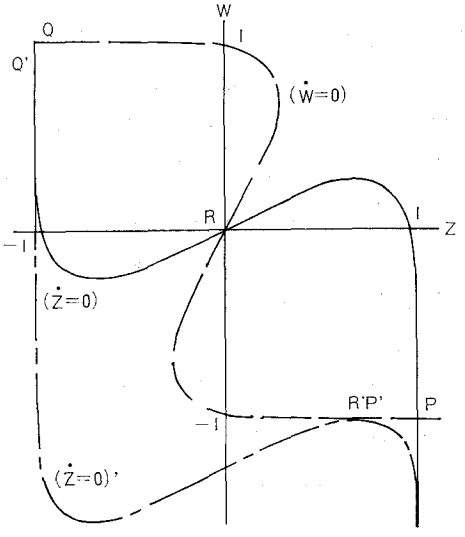


図10　位　相　面　図

4－3　シミュレーションとその解釈

特に $n=3$ の場合に実験と対応させて，シミュレーションの結果を示して，回路の振舞を説明する。

今，3個の図形を含むSPあるいはDPが提示されたとする。そのそれぞれの図形の網膜上の位置に対応するX層のニューロン集団に1，2，3と番号を付けよう。但しSPの場合には唯一つ異なる図形に対応する集団に1と番号を付ける。さらに3つの集団の性質は等しいとする。つまり $c_{ij}=c$，$\theta_i=\theta$，$R_i(t-t', X_i(t'))=R(t-t', X_i(t'))$ とする。

さて外部入力刺激 $P_i(t)$，$Q_i(t)$ の時間的変化を考えよう。パターンの提示後まずY細胞経路から信号が到着し，$Q_i(t)$ が増加する。そのX細胞経路から，X細胞層に信号が到着し $P_i(t)$ が増大する。$Q_i(t)$ は相動性であり，$P_i(t)$ は持続的である。$P_i(t)+Q_i(t)$ の持続時間はマスクパターンの提示のために，パターンの提示時間に大体比例していると考えられる。SPが提示された場合の $P_i(t)$，$Q_i(t)$ の時間的変化は図11—(1)のようである。但し，この場合は，外部入力刺激はiによらず同一である。

一方ＤＰが提示された場合には，Ｙ細胞層の異なる方向特性を持つニューロン間には抑制が働くために，ＤＰの唯一つ異なる図形に対応するＹ細胞層のニューロンの出力は他の多数の細胞の出力より小さくなる。つまり唯一異なる図形に対応するＸ細胞層の集団への抑制性の入力刺激が大きくなる。この場合の外部入力刺激の変化は図11—(2)のようだろう。

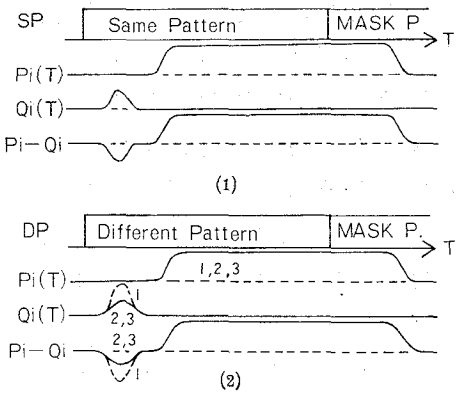


図11

さてこの外部入力刺激を矩形波で近似し，それが与えられたときの系の振舞を数値計算で解いた。数値計算にあたり，特に $R(t-t', X(t')) = \exp\{-d(t-t')\}eX(t')$ と仮定した。この場合 $R(t)=\int_{-\infty}^{t} R(t-t', x(t'))dt'$ は次の微分方程式を満たす。

$$\frac{d}{dt}R(t) = -dR(t) + eX(t) \qquad (5)$$

数値計算の結果を図12に示す。ＳＰの場合には各集団の性質が全く等しいため，初期条件が最小の集団から発火が生ずる。実際の発火順序は，集団の性質の違い，外部入力刺激の違い，あるいはニューロンの雑音等によって決定されるのであろう。ただし，順次的発火の順序は相対不応性によって規制されていて，ある集団がまだ興奮していないのに同じニューロン集団が二度興奮する事はない。例えば，図12—(1)のＳＰの場合には１→３→２→１→３→２→と発火が繰り返される。こうしてＳＰのすべての図形に対応するニューロン集団が一度興奮し，あるいは最初に興奮したニューロン集団が再び興奮したとき，被験者は与えられた

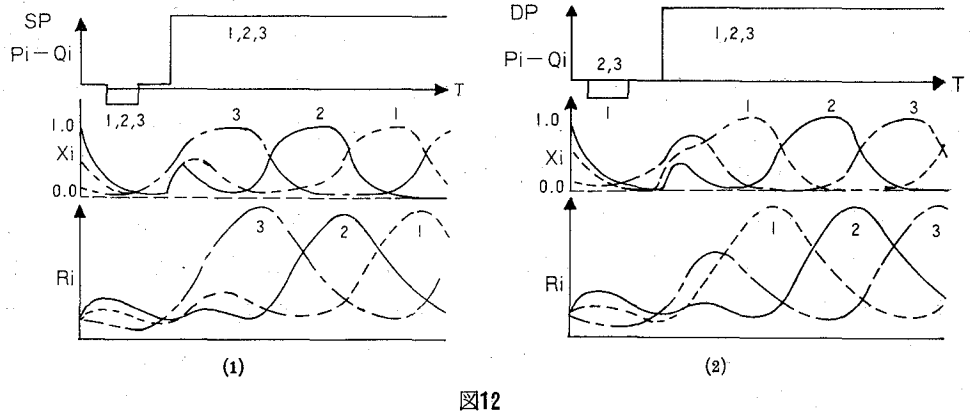


図12

パターンがＳＰである事を認識する。そのため，ＳＰに含まれる図形の数が増加するにつれて，認識に要する時間は増える。ところが，図12—(2)のＤＰが提示された時には，集団の性質や，初期条件があまり大きく異ならない限り，発火前の期間に１のニューロン集団が大きな抑制性入力を受け，不応性の項が小さくなるので，順序的発火は必ず１のニューロン集団から始まり次に他の図形に対応するニューロン集団のいずれかが興奮する。この時，被験者はＤＰである事を認識する。ＤＰの中に含まれる図形の数が増加しても，認識に要する時間は変化しない。

パターンに含まれる図形の数や eccentricity が一定の場合，提示時間と正答率の間の関係について考える。ＤＰの場合には，もし実験条件のゆらぎや，個人のゆらぎ，あるいは個人差がなく２つのニューロン集団が順次興奮するに要する時間が一定であれば，提示時間と正答率との関係は図13の破線のように階段関数になると考えられる。しかし実際には上述の各種のゆらぎのために２個の集団の発火に要する時間が図のような分布をなしその結果，実線のグラフが得られる。

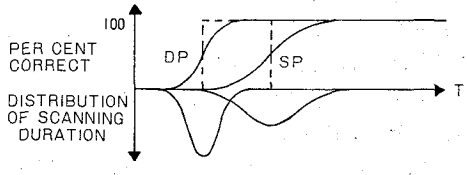


図13

一方ＳＰの場合にはそもそも何個の集団が発火した時ＳＰと認識するかという規準が上位中枢であいまいなため，認識に要する時間の分布の分散が大きく図の点線のようになる。以上の結果，実験事実(c)，(d)，(e)，(f)が説明された。

４—４　グローバルモデル

現実にＸ層，Ｙ層がどの部位に相当するかは，次のように想像される。高等動物の視覚系には，外側膝状体—有線領系と上丘—視床枕系の２つのサブシステムが存在する。前者では，周波数と方向の検出ニューロンによる受動的な処理がなされ，後者は視覚的注意に関与していると言われている。

上丘は，古くから感覚と運動の情報を統合する部位であると考えられていた。上丘表層部のニューロンは，視覚領のニューロンと同様，ＲＦを持っている。各ニューロンは，ＲＦ内に光が提示されると応答し，さらに，その方向に眼球運動（saccade）を起こす時，より大きな放電が見られる（Goldberg & Wultz, 1972)。しかし表層部の上¼mm にあるニューロンでは，眼球運動による増強は起らない（Wurtz & Mohler, 1976)。中間部にあるニューロンは，ある特定の方向に特定の距離だけ saccade する時，眼球運動に先立って放電する。このように saccade の行き先の位置が各ニューロンでそれぞれ決まっており，移動野（movement field, MF）と呼ばれる。各ニューロンを電気刺激すると，決まった saccade が生ずる。又，多くのニューロンはＲＦももっており光がＲＦ内に入ると応答する（Wurtz & Goldberg, 1972)。このように中間部のニューロンは眼球運動ニューロンと呼ばれ，表層部の視覚ニューロンと機能的に区別された。表層部と中間部の間にはターゲットに向けられた眼球運動に先立って応答するが，自発

的な（spontaneous）眼球運動の前には応答しないニューロンがある（Mohler & Wultz, 1976)。深層部のニューロンは，MFのみをもっており眼球運動に先立って放電が見られる。これらのニューロンは，自発的な眼球運動の前にも応答する（Wurtz & Goldberg, 1972)。各層のニューロンの潜時から，表層からの光情報と，深層からの運動情報が表層と中間層の間にあるニューロンに収束していると考えられている（Mohler & Wultz, 1976)。ここにおいて，感覚と運動が統合される。

さらに，これらのニューロンの活動は予期（anticipation）とも関係する（Mohler & Wultz, 1976)。

視床枕は，その下部，中部，側部において，視覚ニューロンが存在するが，特に下部視床枕（ＩＰ）に多く存在する（Mathers & Rapisardi, 1973)。そして，それらのニューロンは，retinotopic に並んでいる（Allman ら，1972)。サルの弁別学習の研究によれば，ＩＰは，特に注意を必要とするような瞬間提示弁別に重要な役割を果たしていると言われる（Chalupa ら，1976)。そして，彼らは又，注意の機構が重要となるような視覚情報の統合に下部視床枕が関係しているらしいと考えている。

側頭葉下部（ＩＴ）を切除すると，視覚弁別学習が困難になるが，他の感覚については何ら欠陥が生じなかった（Gross, 1972)。Gross ら（1969，72）は，リーザスザルについて，ニューロンが視覚刺激のみに応答する事を発見した。通常，ニューロンのＲＦは中心窩を含み，両側の半視野を含む大きいものである（Gross ら，1972)。多くのニューロンは，選択性が広いという点で視覚領のニューロンよりも，上丘のニューロンに似ている。ＩＴは，視覚領から入力をうけ，視覚情報の統合と貯蔵の役割を果しているらしい（Gross, 1972)。

サルの視覚弁別学習の研究によれば，ＰＨ領野（37野）を破壊する視覚刺激の特徴抽出機能障害に基づく視覚失認が生じ，一方ＴＥ領野（20+21野）を破壊すると，連合機能障害もしくは，刺激情報の意義づけの障害に基づく視覚失認が生ずる（岩井，1971)。

上丘へは，網膜から直接に来るＹ経路と，17野，18野，19野を経て来るＹ経路とがある（Hoffman, 1973; Macilwain, 1977)。ＩＰの頭部は上丘から入力を受けており（Benevento and Fallon, 1975)，又その尾部からは，21野へ出力を送っている（Rezac and Benevento, 1975)。21野は，視覚領とＩＰからの投射をうけている（Rocha-Miranda, Bender, Gross and Mishkin, 1975)。サブシステム間の相互連絡のダイヤグラムを図14に示す。Rocha-

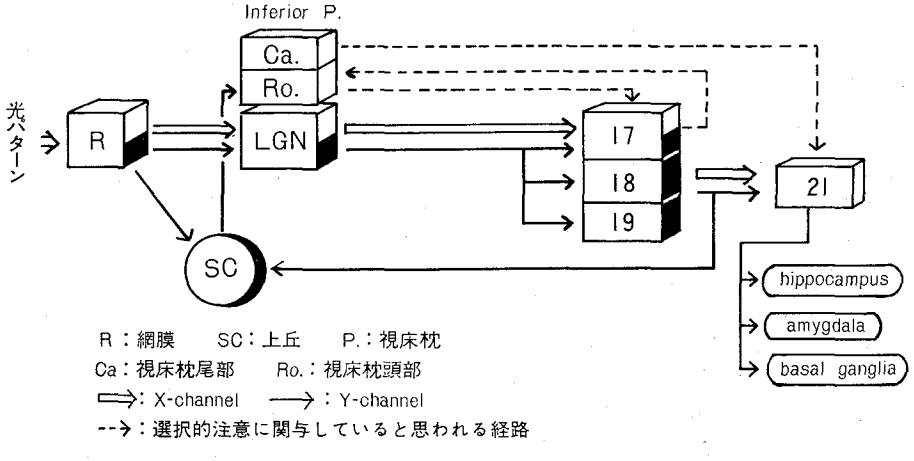


図14　視覚系のブロックダイヤグラム

Mirand ら（1975）はＩＰ尾部切除により，21野のニューロンの受容野が大きくなると報告しており，これはこの経路が21野に対して抑制性に働いている事を示唆している。すなわち，視覚領を通して21野に送られてきた情報はこの経路を通る信号によって選択されると考えられる。このような事実と前述のモデルを考えあわせると，視床枕尾部がＹ層に，21野がＸ層に対応しよう。視覚情報は，視覚領から並列に一定時間21野に送られているが，上丘―視床枕系によって，注意を向けるべき部分が選択される。

上丘は眼球運動を引き起こす部位であると考えられていたが，上丘を破壊しても断続性運動（saccade）は正しく引き起こされ，ただその潜時が大きくなるだけであった（Wurtz と Goldberg, 1972(b)）。従って，上丘は行動上重要であると認知した刺激に対して注意を向ける事を促進する機能をもっているらしい。前述の如く，mental scanning をしている時も一見無意味と思われる眼球運動が生ずるのは scanning を制御している眼球運動ニューロンが刺激されて，動眼神経系に信号を送るためであると考えられる。

一方，Rumelhart（1970）や Weisstein（1966）は，VIS からの特徴抽出は並列処理であると考えたが，この事は本モデルでは，視覚領の出力は並列に一定時間21野に送られている事に対応しよう。

5. 議　　論

中心窩に短時間提示された図形の走査機構に関する心理実験を行なった結果，中心視の走査に２種類のモードが存在する事が明らかにされた。すなわち，全体を同時に情報処理するモードと，各部分を継時的に処理するモードである。我々は心理実験で得られた事実を説明

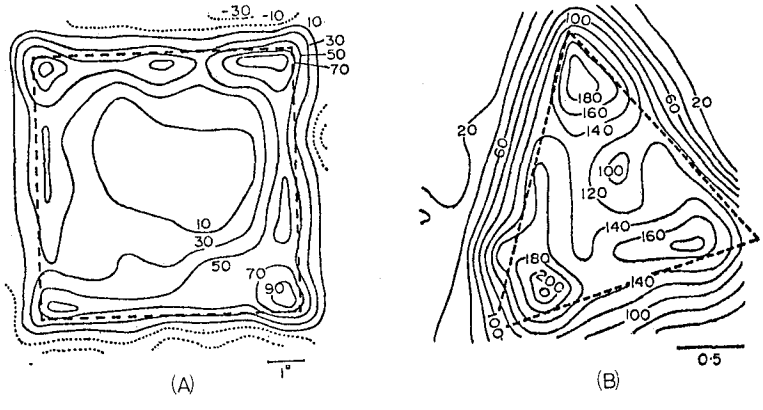


図15　ネコに図形を提示した時の LGB ニューロンの応答。(A)太い破線が提示された正方形で一辺が７°×７°，実線と破線は，それぞれ正及び負の on―反応，数値は平均パルス頻度である。(B)一辺2.1°の三角形（Kaji et al., 1974より）

するため，生理学的事実に基づく神経モデルを提案した。そこでは，神経回路場の平衡状態の破局（catastrophe）がスキャンニングに対応した。従来，眼球運動のモデルは多数考案されてきたが，中枢におけるスキャンニングに関するモデルは，私が知る限り，本論文が最初である。私は，本論文でいくつかの分離した図形から成るパターンに対するメンタルスキャンニングを研究したが，この手法は，中心窩に入る程度の大きさの連結した図形などに対しても適用できる。Kaji ら（1974）は一辺2.1°～2.5°の三角形や，一辺7°の正方形をネコに見せ，外側膝状体での応答を調べた。その結果，図15のように，端点や角で特に強い応答が見られた。この応答パターンは藤井ら（1967）の側抑制モデルで予想されたものとほぼ一致している。比較的大きな図形が与えられると，神経興奮の場が生じ，端点，交点，角など，興奮の極大値に対応するニューロン集団が順次，交互に興奮するであろう。すなわち，この場合のメンタルスキャンニングは，特に，図形の端点，交点，角に集中するものと思われる。これは図形の大きさに依存するが，この事は又，前述のモデルで言えば，ニューロン集団間の側抑制がどの程度に広がっているかに依存している。

それでは，面の知覚はどのようにして形成されるのであろうか。これに関して重要な示唆を与える研究がある。それは，Yarbus（1967）の Filling-in 過程である。図16—Aのよう

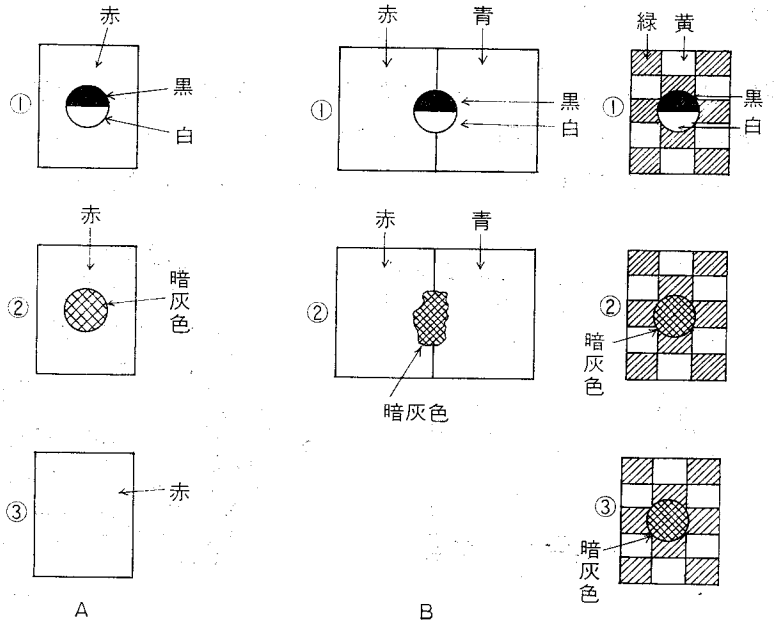


図16　Filling-in 過程。白黒の円板のみを静止させ背景は静止させていない。(A)背景が一様であると Filling-in 過程がみられる。(B)背景が一様でないと Filling-in 過程は生じない。この現象から中枢神経系の情報処理に関して重要な示唆が得られる。（Yarbus, 1967）

なパターンを第2節で説明した P_8 cap で観察する。真中の白黒の円だけが，静止像で周囲の赤い面は，網膜に対して静止していない。観察結果は提示後数秒で②のように円が暗灰色になり，次の瞬間に③のように円は消えて，全体が赤色になってしまう。しかし図16—Bのように背景が一様でない時は，暗灰色のまま残る事がある。

Filling-in 過程を説明する生理学的モデルがいくつか提出されている（Gerrits and Vendrik, 1970；杉江，1973)。彼らは，面の情報がすべて中枢に伝わるのではなくて，明るさなり，色なりが変化している境界部分の情報だけが中枢に伝わり，中枢ではこれをもとに中味をうめこんで面の知覚が形成されると主張している。すなわち，面の知覚に際しても上述のように角等を走査して，さらにこれらの情報にもとづいて，面の知覚が形成されるのであろう。そのような図形に対するメンタルスキャンニングは角，交点などの情報の高い部分を順次操作するものであろう。

6. む　す　び

Hebb, D.O. (1949), Hochberg, J. (1968), Noton, D. (1970, 71) らは，パターン認識における継時的な性質の重要性を強調している。従来，この分野では眼球運動の測定がさかんに行なわれたが，眼球運動の軌跡が複雑であるというだけでなく，注視点での情報処理様式についてわからない事が多かったため，視線移動の研究からは，ほとんどパターン認識のアルゴリズムを解明する事はできなかった。我々は中心視におけるスキャンニングの機構を調べる事によって，この問題の解明の糸口を得ようとした（乾，川人，鈴木，1977)。

本論文は，この研究をもとにして，現段階における視覚システムに関する私の考えの概要をまとめたものである。ここで提案した二層神経回路網モデルによって，さらにいくつかのゲシュタルト要因も説明できると考えるがその問題については，稿を改めて論じたい。継時的に処理された部分情報がいかにして統合されて全体のパターンが認知されるのか，又，全体の認知が部分情報の認知にどのように影響するのかという事については，現在研究中であり，後日報告の機会を得たいと思っている。

謝辞

終始，本研究に協力して下さった本学基礎工学部鈴木良次教授，川人光男氏に感謝します。

参 考 文 献

1) Albus, K. (1975) J. Exp. Brain Res. **24** p181
2) Allman, J.U., Kaas, J.H., Lane, R.H. and Miezin, F.M. (1972) Brain Res. **40** p291
3) Barlow, H.B. (1963) Q. J. Exp. Psychol. **15** p36
4) Benevento, L.A. and Fallon, J.H. (1975) J. Comp. Neurol. **160** p339
5) Benevento, L.A., Creutzfeldt, O.D. and Kuhnt, U. (1972) Nature **238** p124
6) Blakemore, C. and Campbell, F.W. (1969) J. Physiol. **203** p237

7) Blakemore, C., Carpenter, R.H.S., and Georgeson, M.A. (1970) Nature **228** p37
8) Blakemore, C. and Tobin, E.A. (1972) Exp. Brain Res. **15** p439
9) Bridgeman, B. (1974) In: Advances in Cybernetics and Systems Gordon and Breach Science Pub., New York
10) Bridgeman, B. (1975) Vision Res. **15** p91
11) Breitmeyer, B.G. and Ganz, L. (1976) Psychol. Review **83** p1
12) Campos-Ortega, J.A. and Hayhow, W. R. (1972) Brain Behav. Evol. **6** p394
13) Carpenter, R.H.S. and Blakemore, C. (1973) Exp. Brain Res. **18** p287
14) Chalupa, L.M., Coyle, R.S. and Lindsley, D.B. (1976) J. Neurophysiol. **39** p354
15) Cleland, B.G., Dubin, M.W. and Levick, W.R. (1971) J. Physiol. **217** p473
16) Clowes, M.B. and Ditchburn, R.W. (1959) Opt. Acta, **6** p128
17) Cowan, J.D. (1971) Proceedings of the International Union of Pure and Applied Physics Conference on Statistical Mechanics p109
18) Creutzfeldt, O.D. Kuhnt, U. and Benevento, L.A. (1974) Exp. Brain Res. **21** p251
19) Creutzfeldt, O.D., Innocenti, G.M., and Brooks, D. (1974) Exp. Brain Res. **21** p315
20) Dealy, R.S. and Tolhurst, D.J. (1974) J. Physiol. **241** p261.
21) Dow, B.M. (1974) J. Neurophysiol. **37** p927.
22) Enroth-Cugell, C. and Robson, J.G. (1966) J. Physiol. **187** p517
23) 藤井克彦，松岡章，森岡龍弥 (1967) 医学電子と生体工学，第5巻，p117
24) Fukada, Y. (1971) Vision Res. **11** p209
25) Gerrits, H.J.M. and Vendrik, A.J.H. (1970) Exp. Brain Res. **11** p411
26) Goldberg, M.E. and Wurtz, R.H. (1972) J. Neurophysiol. **35** p542
27) Gross, C.G., Bender, D.B. and Rocha-Miranda, C.E. (1969) Science **166** p1301
28) Gross, C.G. (1972) In: Handbook of Sensory; Vol. Ⅶ/3B p451 Springer
29) Gross, C.G., Rocha-Miranda, C. E. and Bender, D.B. (1972) J. Neurophysiol. **35** p96.
30) Griffith, J.S. (1970) Mathematical Neurobiology, Academic Press
31) Hall, D.C. (1974) J. Exp. Psychol. **103** p852.
32) Hebb, D.O. (1949) The Organization of Behavior
33) Hebb, D.O. (1972) Textbook of Psychology, W.B. Saunders Company,
34) Hechenmuller, E.G. (1965) Psychol. Bulletin **63** p157
35) Hochberg, J. (1968) In: Contemporary theory and research in visual pereception New York; Holt, Rinehart andWinston p309.
36) Hochberg, J. (1976) In: Handbook of Perception Vol. I Academic Press p180.
37) Hoffman, K.P., Stone, J. (1971) Brain Res. **32** p460
38) Hoffman, K.P., Stone, J. and Sherman, S.M. (1972) J. Neurophysiol. **35** p518
39) Hoffman, K.P. (1973) J. Neurophysiol. **36** p409
40) Hubel, D. and Wiesel, T. (1959) J. Physiol. **148** p574
41) Hubel, D. and Wiesel, T. (1962) J. Physiol. **160** p106
42) Hubel, D. and Wiesel, T. (1965) J. Neurophysiol. **28** p229.
43) Hubel, D. and Wiesel, T. (1968) J. Physiol. **195** p215
44) Ikeda, H. and Wright, M.J. (1972) J. Physiol. **227** p769
45) Ikeda, H. and Wright, M.J. (1974) Vision Res. **14** p133.
46) Ikeda, H. and Wright, M.J. (1975a) Exp. Brain Res. **22** p363.
47) Ikeda, H. and Wright, M.J. (1975b) Exp. Brain Res. **22** p385
48) 乾敏郎，川人光男，鈴木良次 (1977) 電子通信学会論文誌，投稿中。
49) 岩井栄一 (1970) 神経進歩，第15巻，p71。
50) Kaji, S., Yamane, S., Yoshimura, M. and Sugie, N. (1974) Vision Res. **14** p113.
51) King-Smith, P.E. and Kulikowski, J.J. (1975) J. Physiol., **249** p519.
52) Kulikowski, J.J. and Tolhurst, D.J. (1973) J. Physiol., **232** p149.
53) Macilwain, J.T. (1977) J. Neurophysiol. **40** p189.
54) Mathers, L.H., and Rapisardi, S.C. (1973) Brain Res. **64** p65.
55) Mishkin, M. (1972) In: Brain and Human Behavior New York: Springer. p187

56) Mohler, C.W. and Wultz, R.H. (1976) J. Neurophysiol. **39** p722
57) Neisser, U. (1967) Cognitive Psychology Prentice Hall New York.
58) Noton, D. (1970) IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics, **6** p349
59) Noton, D. and Stark, L. (1971) Vision Res. **11** p929
60) Parks, T.E. Kroll, N.E.A., Salberg, P.M. and Parkinson, S.R. (1972) J. Exp. Psychol. **92** p437.
61) Phillips, W.A. and Singer, W. (1974) Exp. Brain Res. **19** p493.
62) Posner, M.I. and Keele, S.W. (1967) Science **158** p137.
63) Posner, M.I., Boies, S.J., Eichelman, W.H. and Taylor, R.L. (1969) J. Exp. Psychol. **79** p1
64) Pritchard, R.M., Heron, W. and Hebb, D.O. (1960) Canadian J. Psychol. **14** p67.
65) Ratliff, F.A. and Riggs, L.A. (1950) J. Exp. Psychol. **40** p627.
66) Rezac, M. and Benevento, L.A. (1975) Anat. Record. **181** p461
67) Rocha-Miranda, C.E., Bender, D.B., Gross, C.G. and Mishkin, M. (1975) J. Neurophysiol. **38** p475.
68) Rose, D. and Blakemore, C. (1974) Nature. (Lond.) **249** p375.
69) Rumelhart, D.E. (1970) J. Math. Psychol. **7** p191.
70) Rumelhart, D.E. and Siple, P. (1974) Psychol. Review **81** p99
71) Rumelhart, D.E. (1977) An Introduction to Human Information Processing, Wiley
72) Schiller, P.H. and Stryker, M. (1972) J. Neurophysiol. **35** p915
73) Sillito, A.M. (1975) J. Physiol. **250** p287
74) Singer, W. and Bedworth, N. (1973) Brain Res. **49** p291
75) Singer, W. and Phillips, W.A. (1974) Exp. Brain Res. **19** p507.
76) Sperling, G. (1960) Psychological Monogr. **74** p1.
77) Sperling, G. (1963) Human Factors **5** p19.
78) Stone, J. and Dreher, B. (1973) J. Neurophysiol. **36** p551
79) 杉江昇 (1973) 電子技術総合研究所彙報，37巻，3号，p272
80) Suzuki, R., Katsuno, I. and Matano, K. (1971) Kybernetik 8 p39.
81) Tolhurst, D.J. (1972) J. Physiol. **226** p231.
82) Tolhurst, D.J. (1973) J. Physiol **231** p385.
83) Tolhurst, D.J. (1975) Vision Res. 15 p1143.
84) Turvey, M.T. (1973) Psychol. Review **80** p1.
85) Turvey, M.T. and Kravetz, S. (1970) Percept. and Psychophysics **8** p171.
86) Von Wright, J.M. (1970) Acta Psychologica **33** p280.
87) Weisstein, N. (1966) J. Exp. Psychol. **72** p232.
88) Weisstein, N. (1973) In: Contemporary Issues in Cognitive Psychology, V.H. Winston & Sons, p17.
89) Wilson, H.R. and Cowan, J.D. (1972) Biophysical J. p1.
90) Wurtz, R.H. and Goldberg, M.E. (1972) J. Neurophysiol. **35** p575.
91) Wurtz, R.H. and Mohler, C.W. (1976) J. Neurophysiol. **39** p745.
92) Yarbus, A.L. (1967) Eye Movements and Vision, Plenum Press, New York
93) Zinchenko, V.P. and Vergiles, N. Yu. (1972) Formation of Visual Images, Consultants Bureaw, New York-London.

On the mechanisms of sequential and parallel processing in foveal vision

In order to perceive a visual pattern which includes several figures or objects, the perceiver must allot most of his cognitive resources to suitably selected parts of the pattern and scan them in sequence. This means that the processes of pattern recognition are, in general, partly sequential.

The allotment of attention to a limited region of the input at a time is called 'focal attention' after U. Neisser (1967). In these sequential shifts of the region of focal attention, eyemovement, of course, plays an important role, in case of the large field and long exposure duration. Even if the field is small and eye-movement is not requred, some scanning mechanism must operate.

The existence of this mechanism has been suggested through studies by several workers. One of them is Sperling's 'report experiment' (1960). Another example is the study by Zinchenko and Vergiles (1972). Zinchenko and Vergiles examined the attentional process under stabilization conditions where visual images are stabilized on the retina. They imagined that a functional fovea moves over the field of perception under stabilization condition, and that stabilization of the image relative to the anatomical fovea is functionally released. This mechanism enables the subject to perceive successively information falling different parts of the retina. We called this mechanism "mental scanning".

In the present paper, after I described an outline of the visual system, some psychological experiments were designed to reveal the mechanisms of mental scanning. Then, based on the results of these experiments and on the neurophysiological knowledges, a conceptual model is proposed.

Our psychological experiments are concerned with visual perception where a stimulus pattern includes several figures and falls into the central fovea. The central fovea is thought to have high visual accuity and ability of pattern recognition. It is refered the central range of the retina covered 2.6 degree in radius.

In experiment I, the exposure duration required to identify one target pattern projected on several points within the central fovea was measured. There were three independent variables in this experiment: (a) retinal eccentricity of the position of the figure, those are 0°, 1°,1.5°, 2°, 2.5°. (b) the shape of the figure, circle or square. (c) exposure duration, 20msec, 30msec, 40msec, 50msec.

In experiment II, the exposure durations required to identify whether the stimulus pattern is consisted of the same picture elements or not was measured. There were

four independent variables: (a) retinal eccentricity of the position of the picture element; 0.5°, 1°, 1.5°, 2°, 2.5° in case of the stimulus pattern consisted of 2 or 4 elements. 1°, 1.5°, 2° in case of the stimulus pattern consisted of 8 elements. (b) number of picture elements; 2 or 4 or 8. (c) exposure duration; 30msec, 50msec, 75msec, 100msec, 200msec, totaling 5 cases. (d) SP or DP

Main findings are as follows;

i) 75% threshold duration to identify one target pattern increases monotonically with retinal eccentricity.

ii) 75% treshold for SP is proportional to the number of elements, based on the threshold for one target at each retinal eccentricity.

iii) Threshold for DP is independent of the number of elements, based on the threshold for one target.

iv) The field size of mental scanning is less than 2.5° in radius, since percent correct even for the long exposure duration (200msec) did not reach at 100% level. The shape of the field is oval rather than circular.

It was appeared from our psychological experiment that two modes of mental scanning exist. One is serial scanning for the same pattern (SP) and the other is parallel processing for the different pattern (DP). The latter is executed to find irregularity or heterogeneity rapidly. We may start mental scanning at the irregular point, other things being equal.

Two cooperative processing enable the complete pattern recognition, one of which is wholistic and another is partly sequential. I considered in the next section how two modes of processing can be realized in the central nervous system. First, I summarized the neurophysiological knowledge about geniculo-cortical system and colliculus-pulvinar system. Then, I modeled the two modes of processing mentioned above by the bi-layer neural network consisted of X-and Y-type neurons.