The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	視線移動の刺激依存性と中枢制御性
Author(s)	牧川, 方昭
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2040
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

視線移動の刺激依存性と中枢制御性

１９８５年　１月

牧　川　　方　昭

まえがき

本論文は筆者が昭和５７年１月まで大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程に在籍中に行った研究を、滋賀医科大学整形外科に在職する中でまとめたものである。

ここに記した内容はヒトの視知覚活動に関する研究であり、その中で視線移動ならびにその担い手である眼球、頭部の運動がどのようにコントロールされているのかを明らかにしようとするものである。

ところで視知覚活動に関するこれまでの研究を振り返ってみると、網膜に映った像からどのような処理を経て視対象を知覚あるいは認識しているのか等の視覚情報処理に関する研究は多くみられるが、そのような情報処理の中で視線移動あるいはその担い手である眼球、頭部運動がどのような役割を持ち、またどのようにコントロールされるのかについては十分な検討がなされていないように思われる。

もちろん眼球、頭部運動等の運動そのものの制御に関する研究、例えば運動開始以前にその運動全体が予め中枢性にプログラムされているのか、それとも末梢からのフィードバック情報を頼りに運動制御を行っているのか等については多くの研究がなされている。しかし網膜は脳の単なる出先機関であり、視線移動は周辺視野の見にくいところから情報を取り込むところにその役割があると考えられているためであろうか、それとも心理学のタキスト・スコープを用いた実験に示されるように、視線移動なしでも図形の知覚、認識にあまり支障を生じない場合があり、視覚情報処理に果す視線移動の積極的な役割が見い出せないためでもあろうか、これまでの研究では視覚情報処理における眼球、頭部運動の役割はむしろ２次的なものと考えられているように思われる。

しかし日常ヒトは視線移動なしに外界から情報を取り込むことは稀であり、視線移動を抜きにしてヒトの視知覚活動を議論することには問題があろう。このような観点からここでは視線移動ならびにその担い手である眼球、頭部運動に焦点を当て、視知覚活動におけるその役割ならびにコントロールの仕方について検討を加えた。

問題とするところは、題名が示す通り、何を見、何を行なうかは外部環境によって受動的に決定され、むしろヒトは制御されるのか（このような側面を視線移動の刺激依存性と呼ぶ）、すなわち工学の言葉で言えば、受容器から効果器までの神経の配線論理がどこまで固定的であり、外界からの刺激に対してどこまで定型的に反応するのか等の文字通りハードウェア的な側面と、何を見、何を行なうかはヒトの側から能動的に決定し、ヒトは自由であるのか（このような側面を視線移動の中枢制御性と呼ぶ）、すなわち工学の言葉で言えば、その配線論理の上でどこまで外界に積極的に働きかけ、環境に対していかに適応的に行動するのか等のソフトウェア的な側面の、２つの側面のかかわり合いを明らかにするところにある。

第１章は視知覚活動における眼球、頭部運動のコントロールに関する研究の歴史を振り返り、本研究の位置付けを行うとともにその意義、目的を明らかにした。

第２章はここで使用した視線移動の記録、解析システムについて記した。本研究では計算機を中心としたいわゆるラボラトリー・オートメションを心掛けたが、この章では計算機による刺激図形の発生方法、眼球、頭部運動の測定方法、データの処理方法が議論の中心となる。

第３章では刺激図形を提示した直後に生じる視線の第１移動を検討対象に、提示図形、視作業内容等からどのようにして新たな

注視点が決定されるのかを検討した。視線移動の決定は、明るさ、大きさ、提示位置等の、網膜に映った図形の持つ属性に直接影響されて機械的になされるのか、それともこのような図形の持つ属性に影響されることなく、視作業内容、視標の提示の仕方に応じて自由に視線移動を決定することができるのか等、視線移動決定の刺激依存性と中枢制御性が議論の中心となる。

第４章は、第３章で議論した視線の第１移動を含めた一連の視線移動において、新たな注視点がどのように順次決定されていくのかを検討した。注視順序あるいは視線移動経路は予め中枢性にシステマティックに決定されているのか、それとも新たな注視点は視線移動毎に網膜像から決定し直されているのか等、一連の視線移動における新たな注視点の決定過程が議論の中心となる。

ただこの章ではヒトの注視順序のシミュレーションを目的としたモデルを作成し、このモデルによってヒトの一連の視線移動がシミュレートしうるのかどうかを主に検討した。このような方法を用いたのは、個々の視線移動場面における新たな注視点の決定には多くの要素が関与していることが予想され、そのような個々の要素を分解、分析するだけでは一連の視線移動のコントロールの仕方を理解するには不十分であると考えたためであり、むしろ既に得られている視線移動決定に関する知見でもってヒトの一連の視線移動をシミュレートするモデルが構成可能かどうかを検討した方が視線移動のコントロールに対する理解をより深めることができると考えたためである。

このようないわゆる構成的解析法、すなわちＡＢＳ(Analysis By Synthesis) 法は自らの手で物を作り出すことによってはじめてその問題とする対象の十分な理解が得られるとする工学的な立場からの研究方法であり、生物を有機的な統一体として理解しうる最も有効な方法であると考えている。

第５章はこれまであまり顧みられなかった視知覚活動における頭部運動の役割ならびにそのコントロールの仕方について検討を加えた。眼球、頭部は解剖学的にも、運動学的にも大きくその特性を異にしており、視知覚活動におけるその役割、コントロールの仕方が異なることは容易に想像しうるところであるが、この章では視知覚活動における頭部運動の役割と、そのような役割を達成するために、提示図形、視作業内容等からどのように頭部運動がコントロールされているのかについて検討を加えた。頭部運動は視線移動範囲を広げるところにその役割があるのか等、眼球、頭部運動の視知覚活動における協調関係が議論の中心となる。

第６章は本研究の結論であり、本研究によって得られた知見の要約を記した。

本研究がヒトの視知覚活動に関する研究の一助になれば幸いである。

１９８５年１月

牧川　方昭

目　　次

まえがき　II

目次　VI

第１章　序論　1

第２章　視線移動の記録・解析システム　12

２－１．眼球、頭部運動の測定方法　13

２－２．計算機を中心とした視線移動記録・解析システム　18

第３章　視線の第１移動における注視点決定の刺激依存性と中枢制御性　21

３－１．刺激図形のもつ空間因子が視線移動に与える影響　22

＜３－１－１＞実験方法　22

＜３－１－２＞実験結果　24

< 3-1-2-1 > 近傍選択モード　24

< 3-1-2-2 > 方向選択モード　28

＜３－１－３＞視線の第１移動の決定過程のモデル　32

３－２．空間因子以外の因子が視線移動に与える影響　35

＜３－２－１＞実験方法　35

＜３－２－２＞明暗２視標に対する視線の第１移動　36

＜３－２－３＞大小２視標に対する視線の第１移動　41

＜３－２－４＞明暗、大小２視標に対する視線の第１移動　43

＜３－２－５＞視線の第１移動決定過程のモデルの拡張　44

第４章　複数視標順次注視時の視線移動　47

４－１．水平３視標に対する視線移動の解析　49

＜４－１－１＞実験方法　49

＜４－１－２＞実験結果 50
< 4-1-2-1 > 第１視線移動での結果 51
< 4-1-2-2 > 第２視線移動での結果 51
< 4-1-2-3 > 第３視線移動での結果 52
＜４－１－３＞注視順序シミュレータによる視線移動の解析 53
< 4-1-3-1 > 注視順序シミュレータの構成 54
< 4-1-3-2 > シミュレータの応答 61
＜４－１－４＞視線移動プロセスの検討 62
４－２．ランダム配置視標に対する視線移動の解析 64
＜４－２－１＞解析手順 65
< 4-2-1-1 > ランダム配置視標の提示方法 65
< 4-2-1-2 > 視線移動記録の処理 65
< 4-2-1-3 > 注視順序シミュレータの応答との自動照合 66
＜４－２－２＞解析結果 67
＜４－２－３＞視知覚活動における視線移動のコントロール 70

第５章　視線移動に伴う頭部運動 75
５－１．視標提示の空間的枠組に依拠した頭部運動 77
＜５－１－１＞実験方法 78
＜５－１－２＞実験結果 79
< 5-1-2-1 > 視線、頭部運動パターン 79
< 5-1-2-2 > 視提示の空間的枠組に依拠した頭部運動 80
＜５－１－３＞視知覚活動における頭部運動のコントロール 86
５－２．文読視作業時の頭部運動 90
＜５－２－１＞実験方法 90
＜５－２－２＞文読時の視線、頭部運動 91
＜５－２－３＞頭部運動の重心性応答と走査性応答 93
＜５－２－４＞頭部運動のコントロール・モデル 95

第６章　結論　100

謝辞　103

参考文献　104

第１章　序論

本を読む、テレビを見る、車を運転する等、日常の種々の場面でヒトは休むことなく眼球、頭部等を動かし、高い分解能を有する網膜中心窩ならびにその周辺部を通して外界から種々の視覚情報を取り込んでいる。本研究の目的は、このようなヒトの視知覚活動において新たな注視点がどのように順次決定され、また視線移動の遂行のためにその担い手である眼球、頭部運動がどのようにコントロールされていくのかを明らかにするところにある。

このような視線移動ならびにその担い手である眼球、頭部運動等のコントロールの仕方を明らかにすることは、ヒトの視線移動のメカニズムを明らかにしようとする行動研究に重要である（たとえば大谷,1966;芋阪,1970;渡辺ら,1977;伊藤ら,1978;田崎ら,1979）だけでなく、ヒトの適応的な視線制御機能を機械に移植しようとする工学的な立場からも重要であろう（たとえば笠井,1980; 前川ら,1980)。

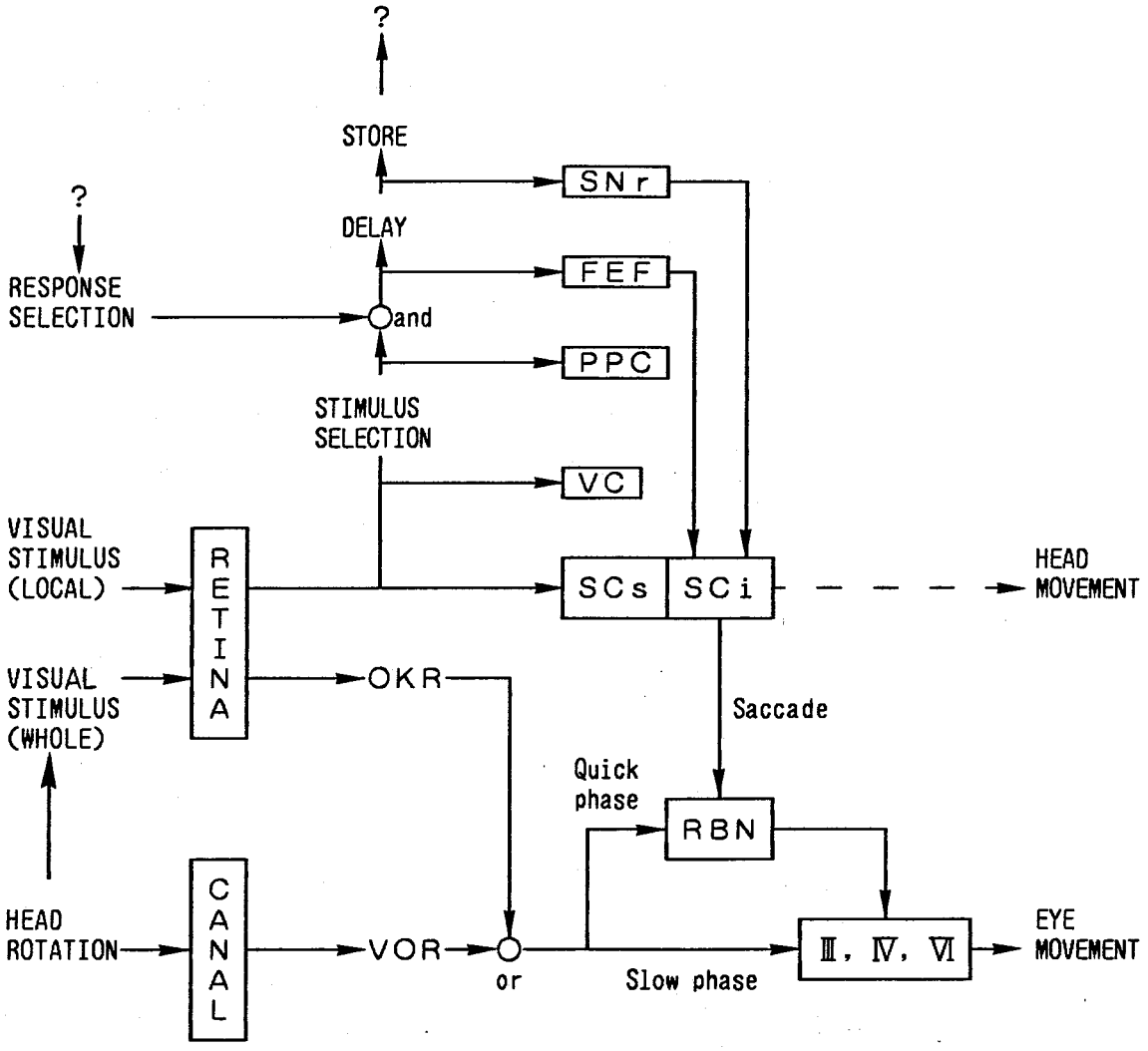
ところでNeisser のいうように、ヒトの行動がどのようにコントロールされるのかについては２つの側面があるように思われる(Neisser,1978)。１つは行動発現の原因は環境の内にある、すなわちヒトは環境によって制御されるという側面であり、もう１つは行動発現の原因はヒトの内にある、言い換えるとヒトは自ら行動を決定する存在であるという側面である。

今世紀初頭、Sherrington は感覚器への入力に対する単純なニューロン連鎖による反応、すなわち反射の運動における重要性を強調し、運動はこの反射を運動単位として、その適切な時間的、空間的配置あるいは統合(Integration) の結果として多くの運動が説明しうるとした。このような考え方はそれ以後のいわゆ

る反射学発展の基礎を成したが、このような研究はむしろ生物の行動が環境によって制御される側面を強調したものと言えよう。

また逆に同時代のBrown はイモリの末梢からの求心性入力ならびに脊髄以上の中枢を切断しても、脊髄へ適当な刺激を与えることによって歩行様の運動が起きることを、ネコについても末梢からの入力系を切断しても後肢筋はリズム活動をすることを明らかにした。そしてこれらの結果から歩行のリズム運動を発生する中枢は脊髄に内在し、上位中枢からの適当なトリガーによってこのリズム中枢が活性化されると結論づけた。この結果は更に生物の行動パターンは中枢性に予めプログラムされているとするいわゆる中枢プログラムの概念の基を成したが、このような概念は生物の行動は環境に対する単なる反射の連鎖ではなく、むしろ行動は生物の側から決定していくとする側面を強調したものと言えよう（たとえばBizzi et al.,1972;池田,1975;伊藤と島津,1976;Burke,1978;Evarts,1979）。

このように生物の行動は環境から受動的に制御される側面と、逆に環境に能動的に働きかける側面の２つの側面がみられるが、これから問題とするヒトの視知覚活動においても視線移動の決定にこのような２つの側面がみられる。すなわち網膜に映った像によって機械的に新たな注視点が決定される等の刺激依存的な側面と、むしろ詳細な情報を収集するために視対象の目的とする部分に積極的に視線を移動させる等の中枢制御的な側面である。しかしこれまでの研究を振り返ってみると、この２つの側面の一方から視線移動のメカニズムを明らかにしようとした研究は多くみられるが、これら２つの側面のかかわり合いを検討した研究はあまりないように思われる。以下にこれまで行われてきた視知覚活動に関する研究を概観する。



Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ：外眼筋運動ニューロン、ＦＥＦ：frontal eye fields、
ＰＰＣ：後頭頂連合領、ＲＢＮ：網様体バースト・ニューロン、ＳＣｉ：上丘中間層、
ＳＣｓ：上丘浅層、ＳＮｒ：黒質網様部、ＶＣ：視覚皮質、ＯＫＲ：optokinetic response、
ＶＯＲ：vestibulo-ocular reflex.

図１－１．随意性眼球サッケード発現の機構（彦坂，1984より）．

ところで代表的な随意性の眼球運動には跳躍運動(saccadic eye movement) と追従運動(smooth pursuit eye movement) があるが、これらの眼球運動では特に意識的な努力を払うことなく正確に次の目標位置にサッケードしうる、あるいは運動目標を追従しうることから、網膜上の次の目標位置までの誤差信号によって駆動される一種のサーボ・モデルとしてまず説明された(Young and Stark,1963;Robinson,1964,1966,1973;Jones and Milsom, 1965;Stark,1968;Prablanc and Jeannerod,1974,Morasso et al.,1977;Prablanc et al.,1978;Williams and Fender,1979; Bahill and Stark,1979;Bahill et al.,1980;Trouche and Beaubaton,1980;Heywood and Churcher,1981;Deubel et al., 1982;Bahill and McDonald,1983a,b) 。このような立場からの研究は、視線移動はむしろ環境によって制御される側面を明らかにした研究と言えよう。

ではなぜこのように網膜上での次の目標位置までの誤差によって眼球運動が直接駆動される、言い換えると網膜に映った像が眼球運動を直接駆動する考え方をとるのであろうか。それは1つにはこのようなモデルでは網膜上での誤差信号そのものを眼球運動制御系に送るだけで十分であり、視線が現に視対象のどこを向いているのか等を考慮する必要がなく、これが視線移動のメカニズムを説明する最も簡単なモデルであるからであろう。しかし更にもう1つの理由としては、このような考え方が神経生理学上の知見をよく説明するからでもある。

図1-1 は神経生理学的な知見から得られた随意的サッケードの発現機構のモデルである（彦坂,1984)。この図に示されるように、視刺激が網膜に入ってからそれが眼球運動に変るまでに様々な経路が階層をなして存在するが、このうち最下位の網膜から直接に上丘を介してサッケードを起こす経路、すなわち網膜の出力

が直接上丘浅層SCs に入力し、上丘中間層SCi の出力が眼球のサカディクな動きを生み出すのに必要なパルスを出力するバーストニューロンRBN に入力する経路は選択の自由のない反射とでもゆうべきルートと考えられている。そしてこの上丘表層の神経細胞を刺激するとサッケードが生起するが、そのサッケードは網膜座標系上でその大きさと方向が決定されていることが明らかとなっており(Gordon,1973;Shiller,1976;Tolkmitt,1977;大谷, 1977; Moors and Vendrick,1979;Collin and Cowey,1980;Harris,1980; Schiller et al.,1980; Vanni-Mercier and Magnin,1982; Schiller and Sandell,1983)、この経路に従うサッケードはあたかも網膜上の誤差信号によって駆動されるような振る舞いをすることが明らかとなっている。この神経生理学上の知見は先の網膜上での次の目標位置までの誤差信号が眼球運動を直接駆動するモデルの動作とよく一致するのである。

しかし図1-1 に示されるように眼球運動発現に関与する経路はこの網膜像に直接依存する経路以外にも大脳視覚領、後頭頂連合野等のより上位の中枢を介する経路が存在することが知られており、より上位の中枢が眼球運動の発現に関与していることが明らかとなっている(Evart,1974;伊藤,1975;Mountcastle et al., 1975;Keller,1976;Sparks and Pollack,1976;Glickstein and Gibson,1977;Raybourn and Keller,1977; 篠田,1980;鈴木,1980; Zeki,1980;Schlag et al.,1980;Wurtz et al.,1982; 酒田,1983; Zarzecki et al.,1983; 鈴木,1983;彦坂,1983)。ヒトの眼球運動が環境に対する単なる反射ではなく、そこには認識、記憶、学習、問題解決等のより高次の情報処理過程が関与していることはこの神経生理学の結果からも容易に想像し得よう。

実際、眼球のサカディクな動きについては、網膜に全く像が映らない暗闇下でも、予め記憶していた目標に修正サッケードを

伴って正確に視線移動しうる(Becker and Fuchs,1969)、サッケード開始直前に目標を最初の位置Bから他の位置Cにずらして瞬時点燈させた場合、眼球は最初の注視位置AからB、Cへ順次サッケードを繰り返すが、目標がCにある間は網膜誤差は距離ACであるにもかかわらず、第2番目のサッケードはBC間の距離を動き、これはサッケードが網膜誤差によって駆動されているとすることでは説明できない(Becker and Jürgens,1975,1979)、同様な実験状況下における眼球運動の検討(Hallet and Lightsone,1976a,b)等、種々の状況下で実験は行われ(Levy-Shoen and Blanc-Garin,1974;Frost and Popell,1976;Komoda et al.,1977;Hansen and Skavenski,1977;Findlay,1981)、サッケードは単に網膜上の誤差信号で駆動されるのではなく、眼球が現に今どこを向いているのか等の高次の空間知覚が関係することが明らかとなっている。

また眼球の追従運動については、実際に動く視対象がなくても振り子を想像することによって滑動性の眼球運動が生じうる(Deckert,1964)、暗闇下で自分の手の動きを目で追従しうる(Gauthier and Hofferer,1976)、運動している目標が不意に消えた後に残る眼の追従運動の持続時間はサーボ仮説では説明しえない(Mitrani and Dimitrov,1978)、運動する菱形の隠された角、仮想のころがる円周上の対称な2光点の動きからその仮想の円中心の動きを追従しうる(Steinbach,1976)、眼球運動に見合った分だけ刺激図形を動かし、刺激図形を網膜上に固定するオープン・ループ条件下での検討(Yasui,1967;Wyatt and Pola,1979,1983)、光点列を少し位置をずらして時間的に交互に提示する等、計算機によって発生された種々の特殊な図形を用い、眼の追従運動のコントローの仕方を検討した研究(田村ら,1979b; 牧川ら,1979c; 田村と牧川,1980a; 田村ら,1980b;Tamura et al.,

1981b;Ramachandran,1983)の他、仮現運動等を用い、運動知覚が成立することによって追従運動が生起するのか、逆に追従運動が生起することによって運動知覚が成立するのかを検討した研究等が散見される(Fleming et al.,1969;Lamontagne,1972;Berthoz et al.,1975;Coren et al.,1975;Sugie,1976;Festinger et al.,1976;Pantle and Picciano,1976;Grünau,1977;Winterson and Steinman,1978;Mack and Herman,1978;Holtzman et al.,1978;Nakayama and Tyler,1978;Gerrits,1978,1979;Morgan and Turnbull,1978;Petersik and Pantle,1979;Adler and Grüsser,1979;Behrens and Grüsser,1979;Burt and Sperling,1981;Mack et al.,1982;Kowler et al.,1984) が、いずれにしても眼球の追従運動も網膜上の誤差信号によって直接駆動されるのではなく、そこには目標がどのように運動しているのか等の高次の運動知覚が関与していることが明らかとなっている。

以上は比較的単純な視刺激図形を用いた研究であるが、ヒトの視知覚活動にみられる視線移動決定の刺激依存的な側面と中枢制御的な側面の２つの側面は、絵画の鑑賞、ヒトの顔の認識等のより複雑な視刺激図形についても検討されている。そこでは解析方法として主に刺激図形上の注視点の空間的な分布、あるいは視線移動軌跡等を測定し、図形のどのような箇所に新たな注視点が決定されるのかを検討しているが、幾何学図形等に対する注視点分布の検討から、注視点は角、境界、運動部分、点滅部等の図形のよく目立つ、いわゆる特徴部に集中することが多くの研究から明らかとなっている(Zusne and Michels,1964;渡部, 1964,1969;渡部ら,1965;Yarbus,1967;Williams,1967;Engel,1971,1977;Kessen, 1972;Buff,1974;Whiteside,1974;Pomerantz, et al.,1977; Findlay,1980) 。またこれらの研究成果に従って網膜像か

ら機械的に図形の特徴部を出力する、比較的単純で固定的な神経回路モデルを作成し、このモデルによって図形の特徴部への視線の集中を説明する試みもなされている（渡部,1964;Zavalishin, 1968; Božkov et al.,1977; 河原田と横沢,1980)。

いずれにしても以上の研究は視線移動が図形の持つ属性等、外部環境によって大きく影響される側面を明らかにした研究であると理解できよう。

また神経生理学的な研究においてもこのような図形の特徴部の知覚、認識に対する影響について多くの研究がなされ、例えば大脳視覚領には単純型、複雑型、超複雑型ニューロンと呼ばれる、特定の幅、長さ、角度、位置のスリットあるいはエッジにのみ反応するニューロンが存在し、特徴抽出を行なっていることが知られている(Hubel and Wiesel,1962,1965;Hubel,1963) 。

ではなぜこのような図形の特徴部によって視線がコントロールされる、あるいはそのような図形の特徴部に反応するニューロンの神経生理学的な同定がなされるのであろうか。その大きな理由はやはりそれがヒトの視知覚活動を理解する最も簡単な方法であると考えられるからであり、逆に記憶、学習、問題解決等のより高次の中枢活動があまりに複雑すぎて、どのように解析すればよいのか、その方法論が確立されていないためであろう。

しかし同じ絵画を見る場合にも、その絵の意味を異なって理解することによって注視点の集中する部位が異なることが知られている(Yarbus,1967;Kaufman,1969)。もちろんこの場合にも基本的には注視点は図形の特徴部に選ばれる傾向にあるが、図形のもつ意味の理解等の学習、記憶を必要とする高次の情報処理過程もまた視線移動の決定に関与していることを示している。また図形を眺める場合の注視点の空間的な分布については図形のいかんにかかわらず視野の上半面に集中する(Brandt,1940a,b,1941) 、ある

いは図形提示直後の視線の第1移動も視野の上半面に移動しやすいことが明らかとなっている（田村ら,1977c,d,e,1978a,b, c; Tamura et al.,1978d;田村ら,1978f, 田村,1979a）が、これは網膜の上半面の感度が高く、視線移動が刺激依存的に決定される側面を明らかにしているとも考えられるが、また視野の上半面に視線移動することが中枢性にプログラムされた視線移動の1つのストラテジーとも考えられる場合があることが様々な場面で明らかにされており、更に検討を要するところであろう。

ところでこのような視知覚活動における高次の情報処理過程の関与の仕方を明らかにした研究としては走査路仮説が知られている(Noton,1970;Noton and Stark,1971a,b;Locher and Nodie, 1974;Walker-Smith et al.,1977)。そこでは被験者にある図形を学習させ、いくつかの図形に混ぜて再度同じ図形を提示したのであるが、その結果、再認段階では学習段階と同じ視線移動経路が出現することを明らかにした。そしてその結果から、記憶の中には図形のいくつかの特徴部とそれらを結ぶ視線移動経路または走査路が貯えられており、再認段階ではこの記憶内の走査路に従って眼球が動いていくと考えた。視線移動はまさに中枢内の記憶の再現であるとの仮説である。複雑な図形に対する一連の視線移動における中枢制御的な側面を明らかにした研究といえよう。このような中枢が直接視線をコントロールするとする考え方は他にもフレーム理論(Minsky,1975) 等の計算機理論の発展の影響を受けた認知科学的な研究の中にもみられる（溝口,1979)。

以上、その歴史を概観してきたように視知覚活動における視線移動については刺激依存的に視線がコントロールされる側面と、中枢制御的に視線をコントロールする側面の2つの側面から研究がなされている。しかし刺激依存的な側面を強調した研究では眼筋がどのような特性を有し、どのような信号が眼筋に伝えられる

ことによって眼球の跳躍運動が発現するのか等、運動制御の解明に力点が置かれており、高次の情報処理過程の視線移動決定に対する影響はあまり考慮されていない。また視線移動の中枢制御的な側面を協調した研究では、力点は認識、記憶、学習、問題解決等の高次の情報処理過程の解明に置かれており、そこには視線移動決定の刺激依存的な側面は考慮されていない。このようにこれまでの研究では知覚系と運動系が分離して検討される傾向にあり、視線移動コントロールの刺激依存的な側面と中枢制御的な側面の２つの側面のかかわり合いを検討した研究はほとんどみられないようである。

本研究の大きな目的の１つはこのような運動系、知覚系の視線移動における役割を統合的に検討し、視線移動コントロールにみられる２つの側面、すなわち視線移動の刺激依存的な側面と中枢制御的な側面のかかわり合いを明らかにすることにある。

さて以上は視知覚活動における視線のコントロールについての研究であるが、そのほとんどは頭部、体幹を固定した状態で実験が行なわれており、視線移動に関する研究というよりはむしろ眼球運動に関する研究と考えた方がよいであろう。しかし通常ヒトは眼のみを動かして視作業を遂行することは稀であり、頭部、体幹等の動きも伴うのが常である。頭部等、他の視線移動の担い手についても、視知覚活動におけるその役割、コントロールの仕方について検討する必要があろう。

さて頭部運動に関するこれまでの研究であるが、頭部運動は眼球のサカディックな運動と同様に中枢性に予めプログラムされたバリスティックな運動であるのか、それとも末梢の受容器からのフィードバック信号が運動制御に役立っているのか等の運動制御そのものに関する研究(Bizzi,1974,1976;Bizzi et al.,1976,

1978; 清水,1983;Lestiene et al.,1984) 、ならびに頭部が動いた場合に視野を保持するために生じる眼球の前庭動眼反射(VOR)に関する研究(Morasso et al.,1973; 伊藤,1975;Robinson,1976; Duwaer,1982)等、頭部運動に関する研究の多くは主に運動制御の仕方そのものを明らかにすることに焦点が置かれている。

また図形を眺める等の通常の視知覚活動における頭部運動の役割、コントロールの仕方についてもいくつかの研究がみれら(Bartz,1966;Sanders,1970;Gresty,1974;Robinson et al.,1976; Warm and Wait,1976;Robinson et al.,1977;Funk and Anderson, 1977; 吉村,1979;Biguer et al.,1982) 、頭部運動コントロールのモデルもいくつか提案されている(Sugie and Wakakuma,1970; Shirachi et al.,1978;Zangemeister et al.,1981)。

しかしこれらの研究において頭部運動のコントロールの仕方については、網膜上の次の目標位置までの誤差信号を眼球ならびに頭部運動制御系が共に同様に使用している、またはそのような誤差信号によって頭部運動が直接駆動されると考えている。また視知覚活動における頭部運動の役割については、眼の眼窩内での可動域制限を広げ、より広い範囲に視線を向けるための補助的なものというように、いずれも視知覚活動における頭部運動の役割は２次的なものと考えられているようである。

眼球と頭部は解剖学的にも運動学的にもその特性は大きく異なるのであり、このような特性を生かして頭部運動がコントロールされていることは十分に想像できるところである。更に検討を要するところであろう。

本研究のもう１つの目的は視知覚活動における頭部運動のコントロールの仕方を検討することによって、視線移動を達成するために眼球、頭部運動がどのように協調的にコントロールされているのかを明らかにすることにある。

以下にこれまでの研究成果を踏まえ、視知覚活動における視線ならびにその担い手である眼球、頭部運動のコントロールの仕方について検討を加えた。

第２章　視線移動の記録・解析システム

あらまし　この章では本研究で使用した視線移動の記録、解析システムについて記す。計算機の進歩に伴って科学計測はますますＬＡ(Laboratory Automation)、すなわち実験室自動化の方向に向いつつある（南,1983)が、本研究においても眼球、頭部運動の測定装置、刺激図形提示装置、プリンター、プロッター等の処理結果出力装置は全て計算機とオンラインで接続し、視線移動記録、解析の自動化を計った。

本研究では眼球運動の測定方法として眼電位法を用いたが、このような計算機とのオンライン化を計った結果、眼電位法で問題となる眼電位のドリフトの補正が自動化しうる等、生体計測につきものの測定装置の零調、較正を簡素化することができた。更に刺激図形提示装置、測定装置を直接計算機と結びつけた結果、実験中の被験者の挙動が実時間でモニターしうる、実験の立案からデータのグラフ化までの時間が短縮され、実験の成否が即座に把握しうる他、被験者の挙動に従って実験中に刺激図形を順次、変更しうること等も可能となった。

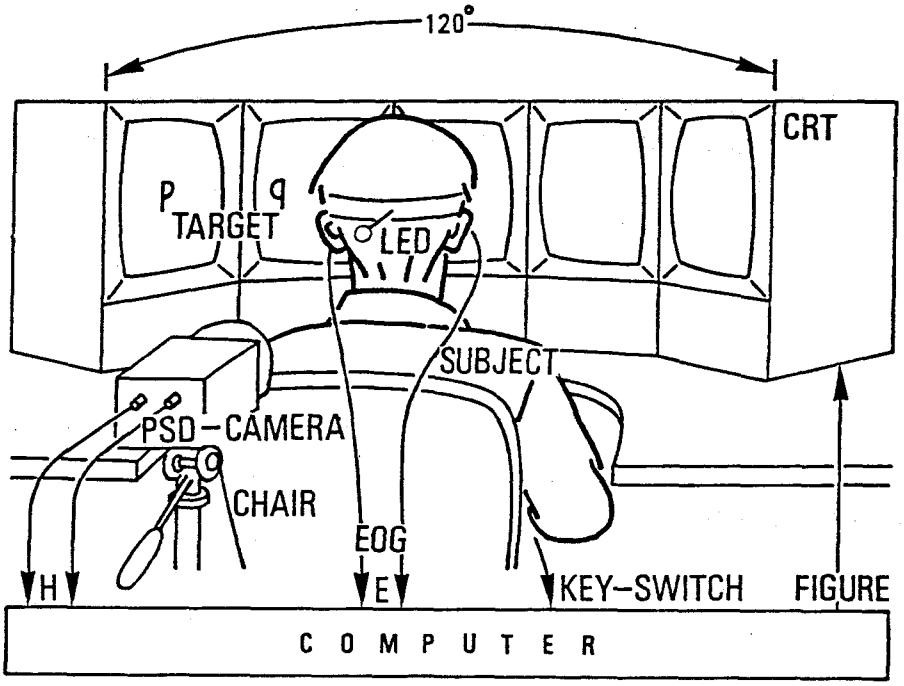

120°
CRT
P
q
TARGET
LED
SUBJECT
PSD－CAMERA
CHAIR
EOG
H
E
KEY－SWITCH
FIGURE
C O M P U T E R

図２－１．実験装置の概要．

２－１．眼球、頭部運動の測定方法

図2-1 に実験装置の概要を示す。図は実際の測定風景を実験装置の後方から眺めたものである。被験者は実験中の体幹の動きを抑える目的から背もたれつきの椅子に座らせ、被験者を中心とした円周上に刺激図形提示装置を並べた。この図ではランダム・スキャン型のＣＲＴを被験者を中心とした半径60cmの円周上に５台並べ、視角にして 120° の提示視野を構成した場合を示すが、実験によっては刺激図形提示装置をラスター・スキャン型の白黒モニターＴＶに置き替えた。

ところで眼球、頭部運動の測定方法としては様々な方法が考案されている（たとえばYoung,1975; 小沢,1975)が、本研究では被験者への不必要な拘束を避け、できるだけ自然な状態での眼球、頭部運動を測定する目的から、眼球運動は眼電位(EOG) 法により（田村,1977a，田村ら,1977b）、頭部運動については被験者の後頭部に取り付けた赤外発光ダイオード(LED) の出力光を後方から半導体位置検出素子(PSD-camera)で受けることにより、両眼視、頭無拘束の状態での眼球、頭部運動を測定した（牧川と田村,1978a,b)。これらの方法で測定された眼球、頭部運動データは実時間で計算機に入力され、表示面中心を原点とし、右方向を正、左方向を負、上方向を正、下方向を負とする表示面座標系上の視線、頭部運動位置に変換、記録される。

図2-2 a)に眼球運動測定システムの概要を示す。ここで使用した眼電位法は眼球の角膜が網膜に対して正に電荷していることを利用したもので、図に示すように両眼の両側に配置した電極間の電位差によって水平面内の眼球の回転運動を、眼の上下に配置した電極対によって垂直面内の眼球の回転運動を知ることができる。ただこの眼電位法では時間と共に零点がドリフトしていく眼

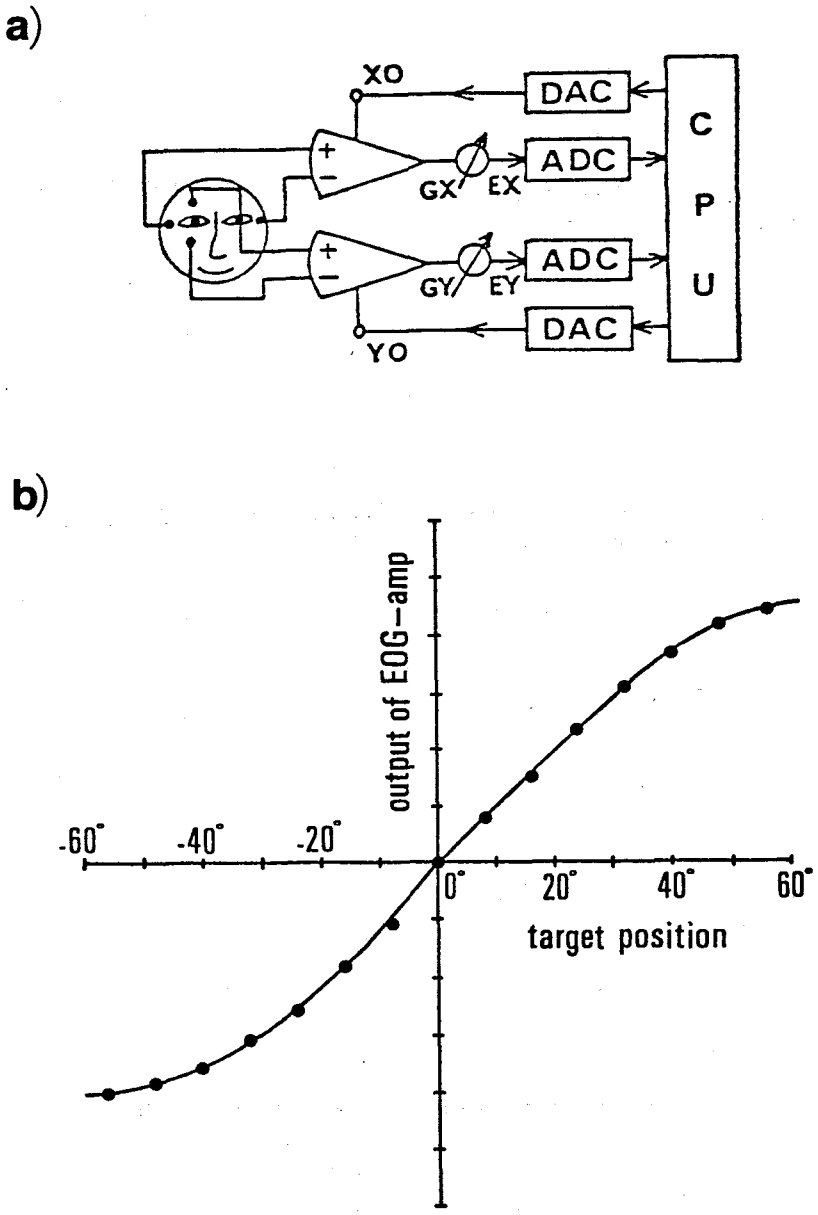


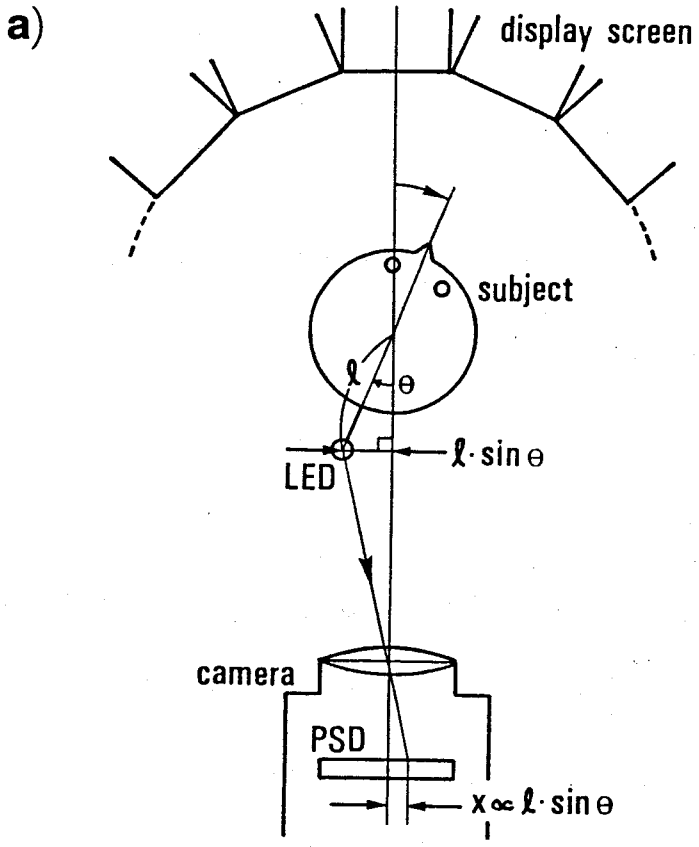
図２－２．a)眼球運動の測定方法（田村,1977aより）、b)眼電位アンプ出力の直線性．

電位のドリフト現象、ならびに眼球の回転角と出力電圧の間の直線性が頭正中線に対して左右に約30°の範囲に限られる等の問題がある。

本システムではこれらの問題を解決するため、まずドリフト現象に対しては毎回、刺激図形提示直前に表示面中心に視角にして1°の大きさの十字を提示し、これを正面視することを被験者に求めた。この時点で計算機からD／A変換器(DAC)を介して眼電位アンプの出力が零となるようにバイアス電圧をかけ、この時点での眼電位アンプのドリフトを除去した。ここでは刺激図形の提示時間は高々15秒程度であるが、この眼電位の零調操作以後の刺激図形提示時間内の眼電位のドリフトは測定時間が比較的短いためほとんど問題とならなかった。

更に眼電位の直線性の問題であるが、図2-2 b)は表示面水平軸上の種々の位置に提示された目標をできるだけ正確に注視することを求めた場合の目標位置（横軸）と、その時の眼電位アンプの出力（縦軸、相対値）の関係を示したものである。このように眼電位法では眼球が眼窩内の周辺に移動するに従って直線性を失い、出力が飽和する傾向にある。そこで計算機内部で図2-2 a)の逆関数を発生させ、入力される時々刻々の眼球運動データをプログラムによって実時間で補正し、その直線性を確保した。

つぎに頭部運動の測定方法について記す。図2-3 a)は頭部運動の測定システムの概要を測定装置の上方から眺めたものである。被験者後方の頭部運動記録用カメラの受光部にセットされた半導体位置検出素子(PSD)は、図2-4に示されるように、半導体表面における光起電力効果を利用したもので、入力光によって発生した電荷が下部抵抗層両端に取り付けられた信号読み出し用の電極に流れ出す際、光スポットの入力位置によって電極間の電流の大きさが異なることを利用したものである(Kelly,1976;倉沢と



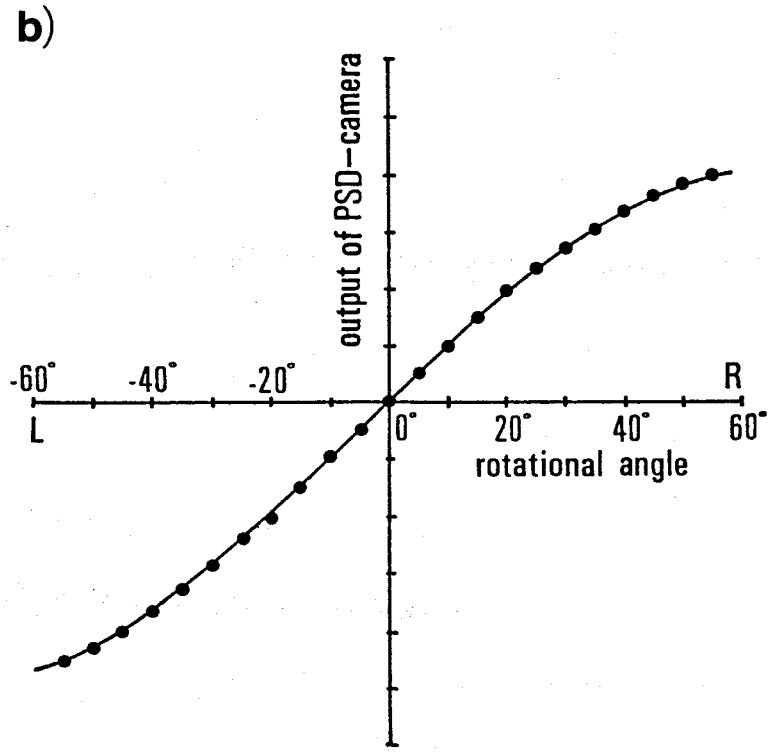


図２－３．a)頭部運動の測定方法、b)PSD-camera出力の直線性。

山本,1981)。そのため工業用テレビカメラ、ＣＣＤ等とは異なり、素子上の受光スポットの２次元位置を直接アナログ量として出力し、複雑な画像処理を行うことなくセンサー上のスポットの動きを実時間で知ることができる。ここでは被験者の後頭部に取り付けた発光ダイオード(LED) の動きをこのセンサーで受けることによって、水平、垂直面内の頭部の回転運動を測定した。

具体的には、頭部の水平面内の回転運動については、図2-3 a)に示すように、頭部の回転角をθとすると、センサー上のスポット位置ｘとの間には$x \propto \sin\theta$で表わされる単純な関係があり、この式から頭部の回転角θを知ることができる。図2-3 b)は頭部の模型を使って本測定方法の特性を調べたもので、横軸は頭部模型の水平面内の回転角θ、縦軸はカメラの出力ｘ（相対値）を示したものである。両者の間には$x \propto \sin\theta$の関係が確認された。ただ実際の測定では頭部回転角とカメラの出力との間の直線性を確保する目的から、眼電位法と同様に計算機内部で図2-3 b)の逆関数を発生させ、入力される時々刻々の頭部運動データをプログラムによって実時間で補正し、直線性を確保した。以上の操作によって頭部の水平面内の回転運動を実時間で測定することができたが、また同様な操作によって垂直面内の頭部の回転運動も実時間で同時に測定することができた。

しかし実際にはこの頭部の水平、垂直面内の回転運動以外にも頭部の側屈、あるいは体の移動に伴った頭部の水平、垂直面内の平行移動が存在し、これを発光ダイオード１個で分離、測定することはできない。もちろん例えば頭頂部、側頭部に発光ダイオードを追加装着してこれらの量の影響を除去することは可能である（牧川と田村，1978a)。しかし実際には体は背もたれつきの椅子によって頭部の水平、垂直面内の動きが制限されている、側屈は発光ダイオードの取り付け位置がその回転中心付近であるため、

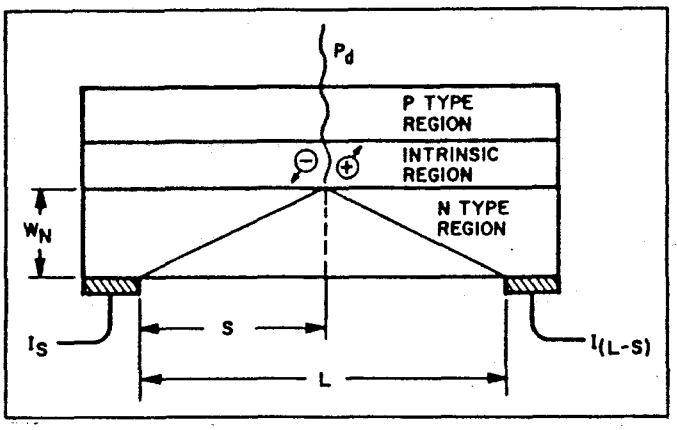


図２－４．半導体位置検出素子の動作原理(Kelly, 1976より).

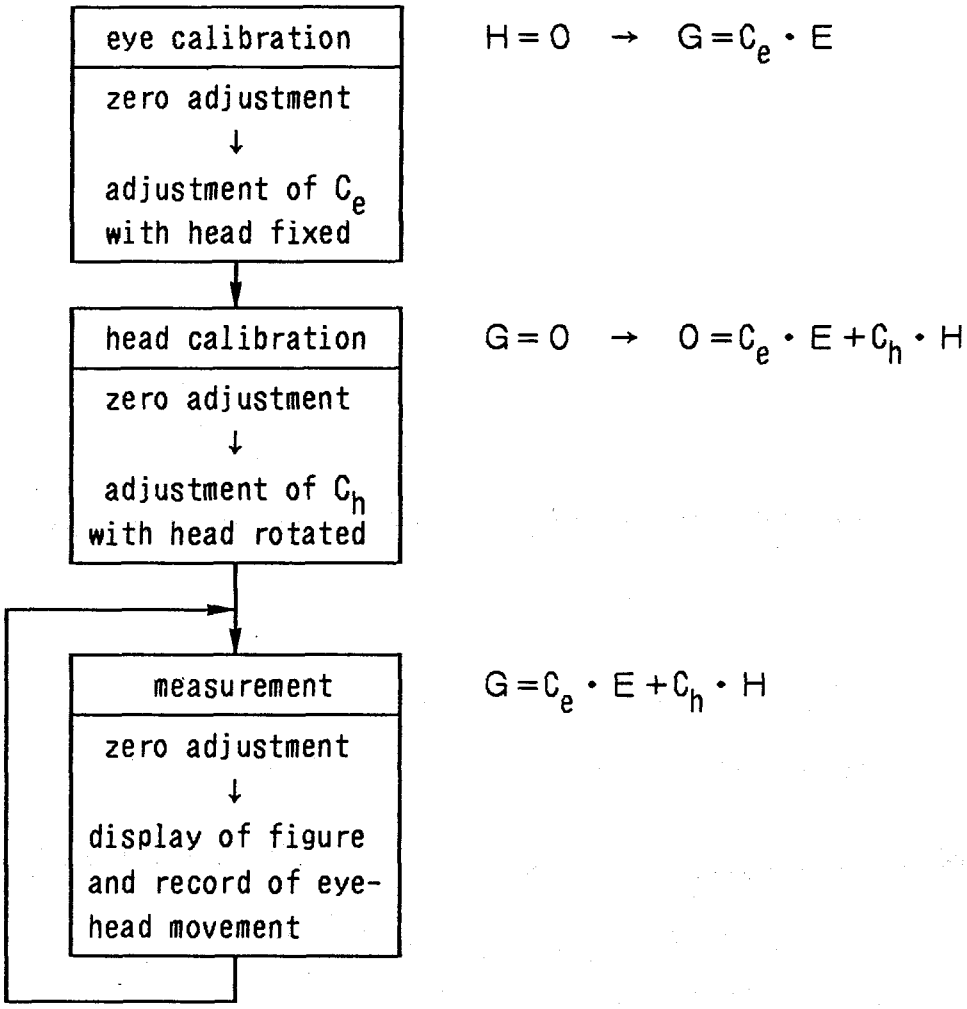


図２－５．眼球、頭部運動測定の手順.

その影響をある程度除去し得、また被験者にそのような運動をすることを避けるように求めた結果、本研究のような単時間提示の刺激図形に対する頭部運動を測定する上ではあまり問題とならなかった。

さて以上のような方法によって得られた眼球、頭部運動から実際に表示面上のどこに視線が向いているのかの計算方法であるが、これは基本的には後頭部に取り付けた発光ダイオード(LED)の動きによって知りうる頭部の回転角と、眼電位法によって知りうる眼球の回転角の線形和で表わすことができ、図2-5 右の最下式に示すように、表示面座標系上の視線移動位置Gは、表示面座標系上の頭部移動位置Hと、頭部座標系上の眼球移動位置Eの線形和として表わすことができる。

ここにC_e、C_hは定数であり、実験の前に予め適当な較正によって決定しておく必要がある。そこでこれらの係数を決定するため、本実験システムでは図2-5 左のフローチャートに示されるように、係数C_eを決定する眼球運動測定法の較正、係数C_hを決定する頭部運動測定法の較正の2段階の較正を経て実際の測定に臨んだ。ただ眼電位のドリフトを除去する目的から、眼球、頭部運動測定法の較正、本実験の各試行の直前には必ず表示面中心に提示された十字を被験者に注視させ、先に記した眼電位アンプ零調の操作を行った。

具体的な測定方法の較正であるが、まず係数C_eを決定する眼球運動測定法の較正ではヘッド・レストで被験者の頭の動きを抑え、表示面上に格子状に並べられた複数の目標を眼球運動のみで順次注視することを被験者に求めた。この時の注視位置が目標位置に一致するように眼電位アンプのゲインを調整することによって係数C_eを決定することができる。

また係数C_hを決定する頭部運動測定法の較正では表示面中心に

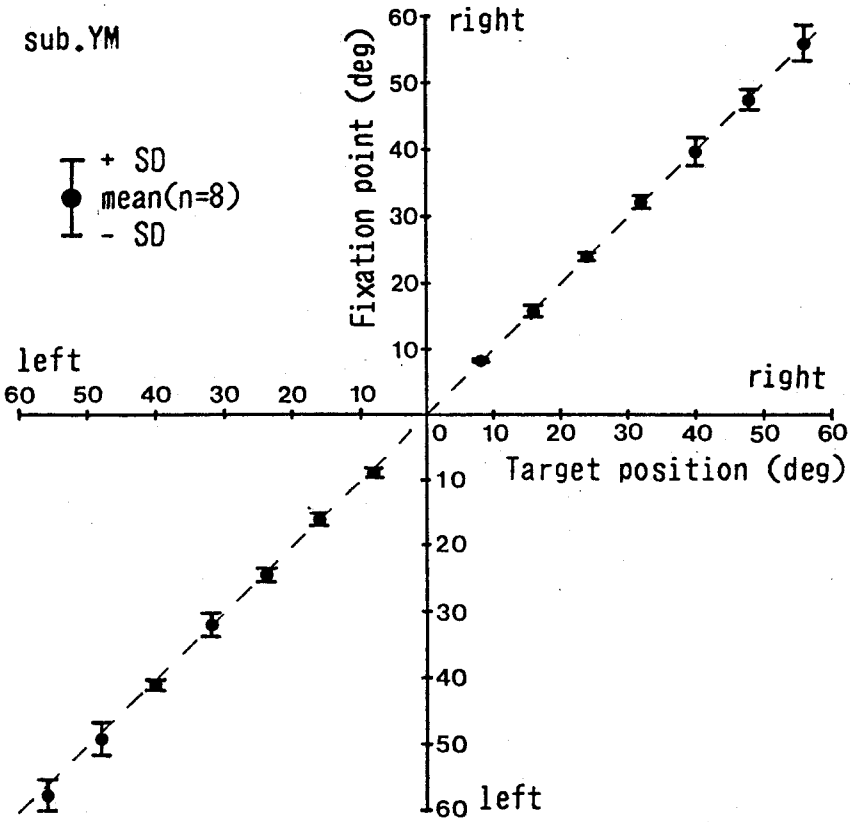
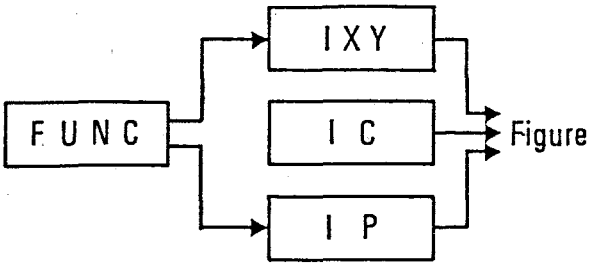


図２－６．視線移動計測の精度と直線性測定の一例．

目標を１つおき、被験者にはこれを注視した状態で自ら頭を振ることを求めた。このとき前庭動眼反射によって眼球が頭部と反対方向に動くが、それにもかかわらず視線が表示面中心にあるように頭部運動測定用カメラの出力ゲインを調整し、係数C_hを決定する。

さて図2-6 はこのようにして得られた測定結果の一例で、表示面水平軸上の種々の位置（横軸）に提示された目標に対する視線移動位置（縦軸）を示したものである。図は目標位置毎の８試行の平均値と標準偏差を円と横棒で示したものであるが、この測定例に示されるように本システムでは視線移動を視角にして約２°の精度で測定することができ、左右±60°の表示面全範囲に渡ってその直線性を確認した。

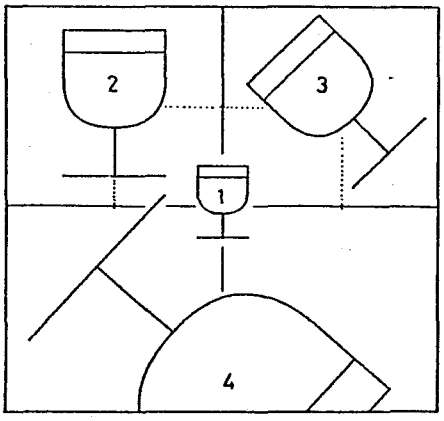
a)



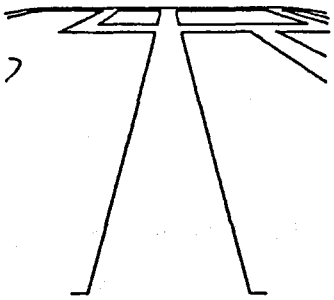
d)

fi	function	discription
f1	t	F1
f2	a × b + c	F2(a,b,c)
f3	a × b / c	F3(a,b,c)
f4	a·sin(b·t+c)	F4(a,b,c)
f5	b c a	F5(a,b,c)
f6	c a b	F6(a,b,c)
f7	b a	F7(a,b)
f8	-b b a	F8(a,b)
f9	b a	F9(a,b)
f10	c d e a t b	F10(a,b,c,d,e)

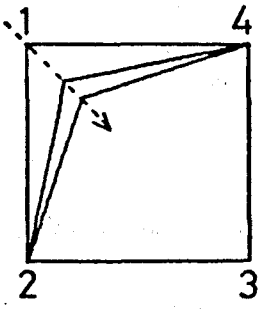
b)



c)



e)



f)

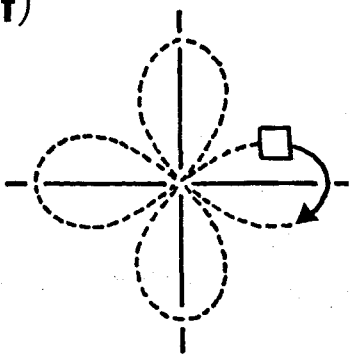


図２－７．刺激図形の発生法と発生例（田村と馬場,1978eより），

a)図形発生のソフトウェア，b)静止図形の発生例，c)透視図形の発生例，

d)基本運動関数，e)変形する図形の発生例，f)複雑な運動をする図形の発生例．

２－２．計算機を中心とした視線移動記録、解析システム

さて以上のように眼球、頭部運動測定装置を計算機とオンラインに結びつけることにより、測定装置の較正、零調を簡素化することができ、また視線移動を実時間に記録あるいはモニターすることが可能となったが、更に視線移動記録、解析の自動化を計るためには刺激図形の発生方法についても検討を加える必要があろう。特に刺激図形が単なる光点である等、比較的単純なものであれば特に考慮を払う必要はないであろうが、試行毎に全く異なる種類の複雑な静止図形あるいは運動図形を刺激図形として用い、しかも刺激図形と視線移動経路との整合性を同時モニターする、あるいは測定結果を実験後、即座にプレイバックするためには刺激図形の発生法にも工夫を加える必要があろう。このような観点から本研究では計算機による刺激図形の発生法についても検討を加えた（田村と馬場,1978e）。

図2-7 に計算機による図形発生の概要ならびに発生した刺激図形の一例を示す。図形発生法の詳細についてはここでは省略するが、基本的には直線、曲線等の発生ルーチンならびに運動図形発生用のいくつかの運動関数を予め用意しておき、図形の端点とそれらを直線または曲線で結ぶかの指定、図形を表示面上のどこに、どの位の大きさで、どの程度傾けて描くのかの指定、どのような運動をさせるのかの指定等、比較的単純なパラメータ、あるいは運動関数の組み合せの指定によって複雑な図形を表現しようとするものである。

図形の発生に際してはまず図形の端点の位置とそれらを直線、曲線で結ぶのかを指定する。図2-7 a)のソフトェアの構成ではIXY が端点の位置を格納する場所であり、ICがどの点とどの点を結ぶのかの指定を格納する場所である。以上の２つの指定で例え

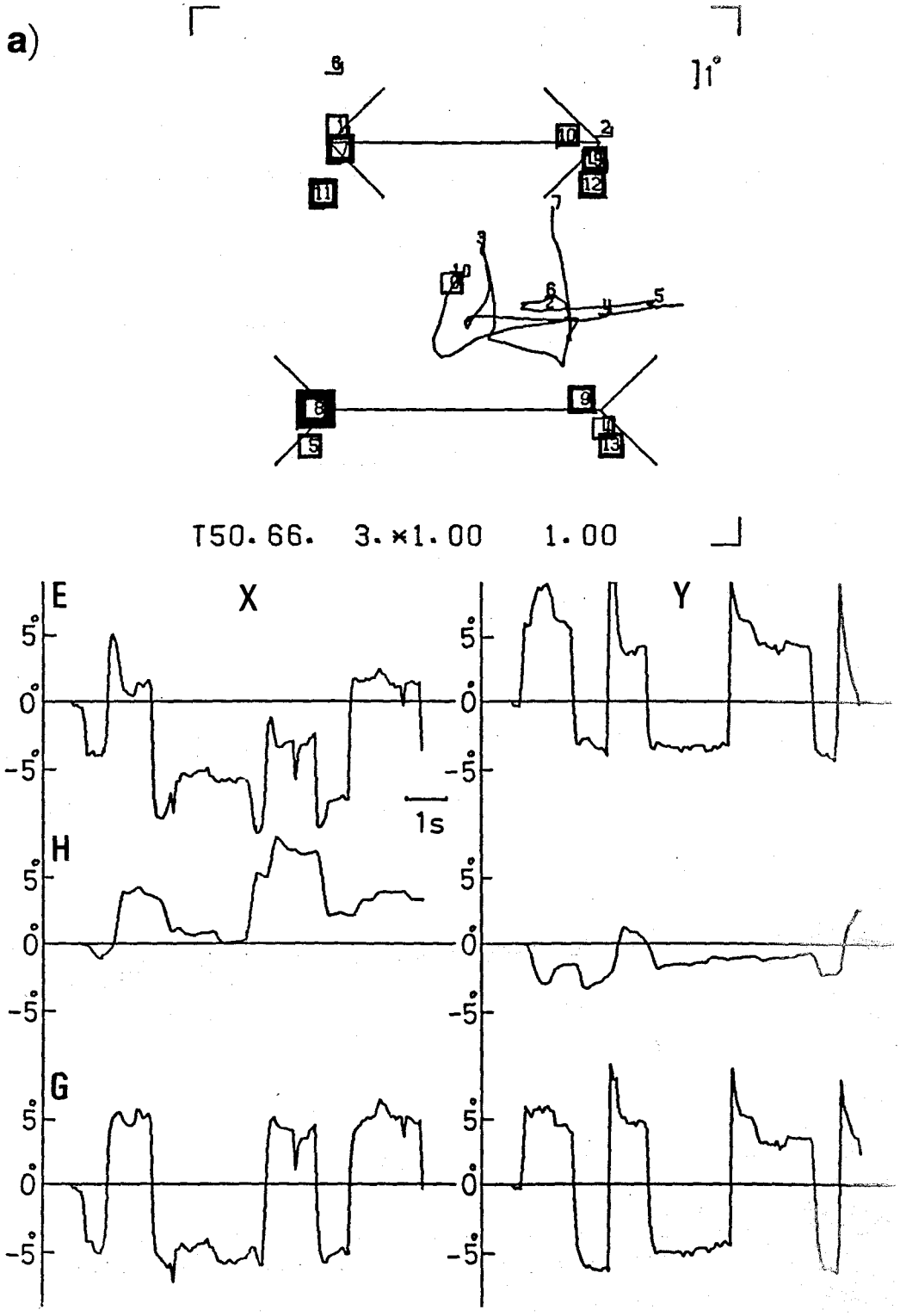


図２－８．視線、眼球、頭部運動の測定例．

ば同図b)中心のグラス型図形１を発生することが可能であるが、更に同図b)のグラス型図形２、３、４、のように、この図形を表示面上のどこに、どの位の大きさで、どの程度傾けて提示するのかも指定できるようにした。このような指定を格納する場所が図2-7 a)のIPである。以上が静止図形を発生する方法であるが、更に同図c)に示すように本システムではこの基本図形を透視変換することによって透視図形も発生しうるようにした。

また運動図形を発生させる場合には図2-7 d)のようないくつかの基本的な運動関数を用意しておき、この関数を組み合せることによって複雑な運動関数を発生させるようにした。同図a)のFUNCはこのような基本関数の組み合せを指定する場所で、このFUNC内での計算結果を用いてIXY 内の端点の位置を動かす、あるいはIP内の基本図形の中心位置、大きさ、傾きを時間変化させることによって、同図e)のような変形する図形、f)のような複雑な運動をする図形を発生することが可能となった。

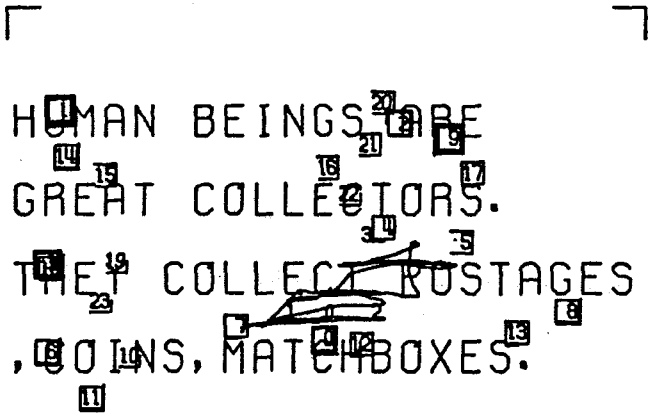
以上の図形発生法は主にランダム・スキャン型のＣＲＴ上に線画を発生するために開発したが、更に、ラスター・スキャン型のモニターＴＶ上への図形の発生についても同様な方法を採用し、更に塗りつぶし図形も表現しうるようにした。

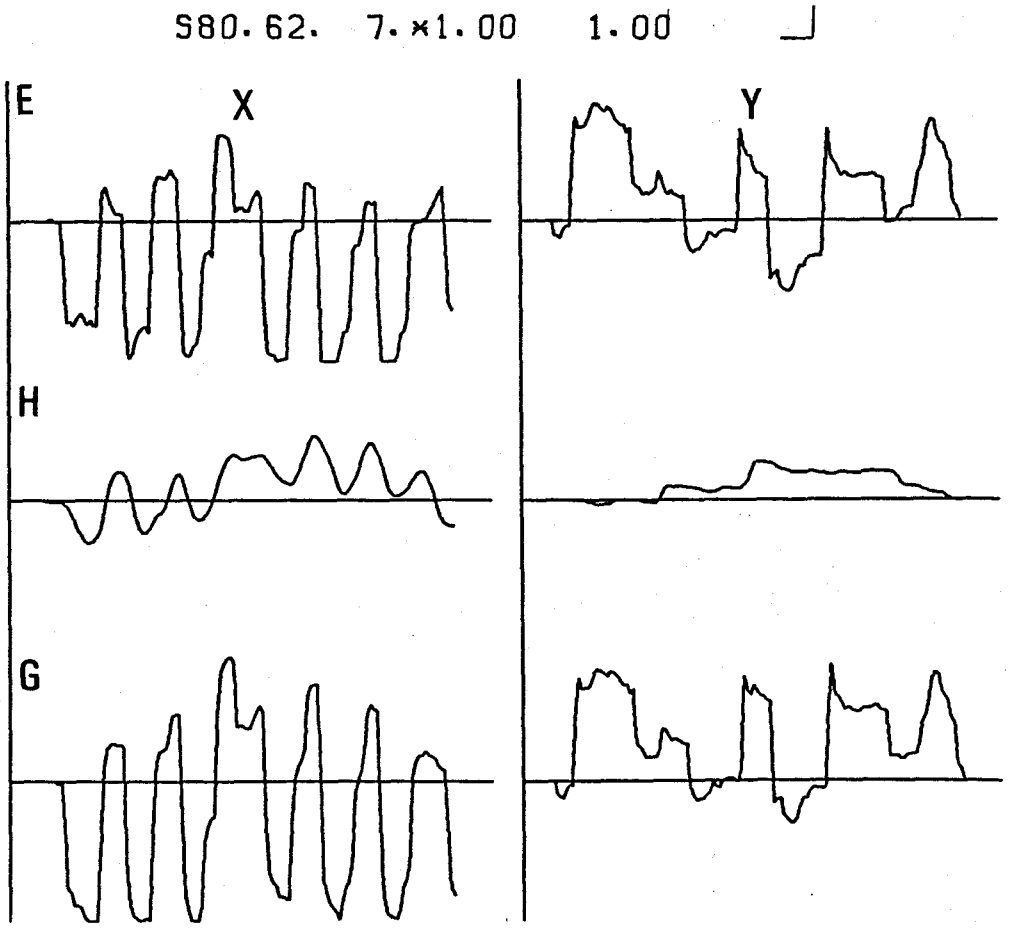
以上のように、計算機を用いて刺激図形を発生させた結果、かなり複雑な刺激図形を比較的簡単なパラメータ等の指定だけで表現することが可能となり、実験毎にプログラム全体を変更する等の必要がなくなった。

図2-8 a)、b)、c)の上半分はこのようにして発生した錯視図形、英文章ならびにペンローズの三角形に対する視線、頭部運動を提示図形に重ね書きしたものである。

ところでこのような静止図形を眺める際の視線移動は頭部運動が伴う、伴わないに拘らず、視線は次の注視位置までの跳躍運動

b)

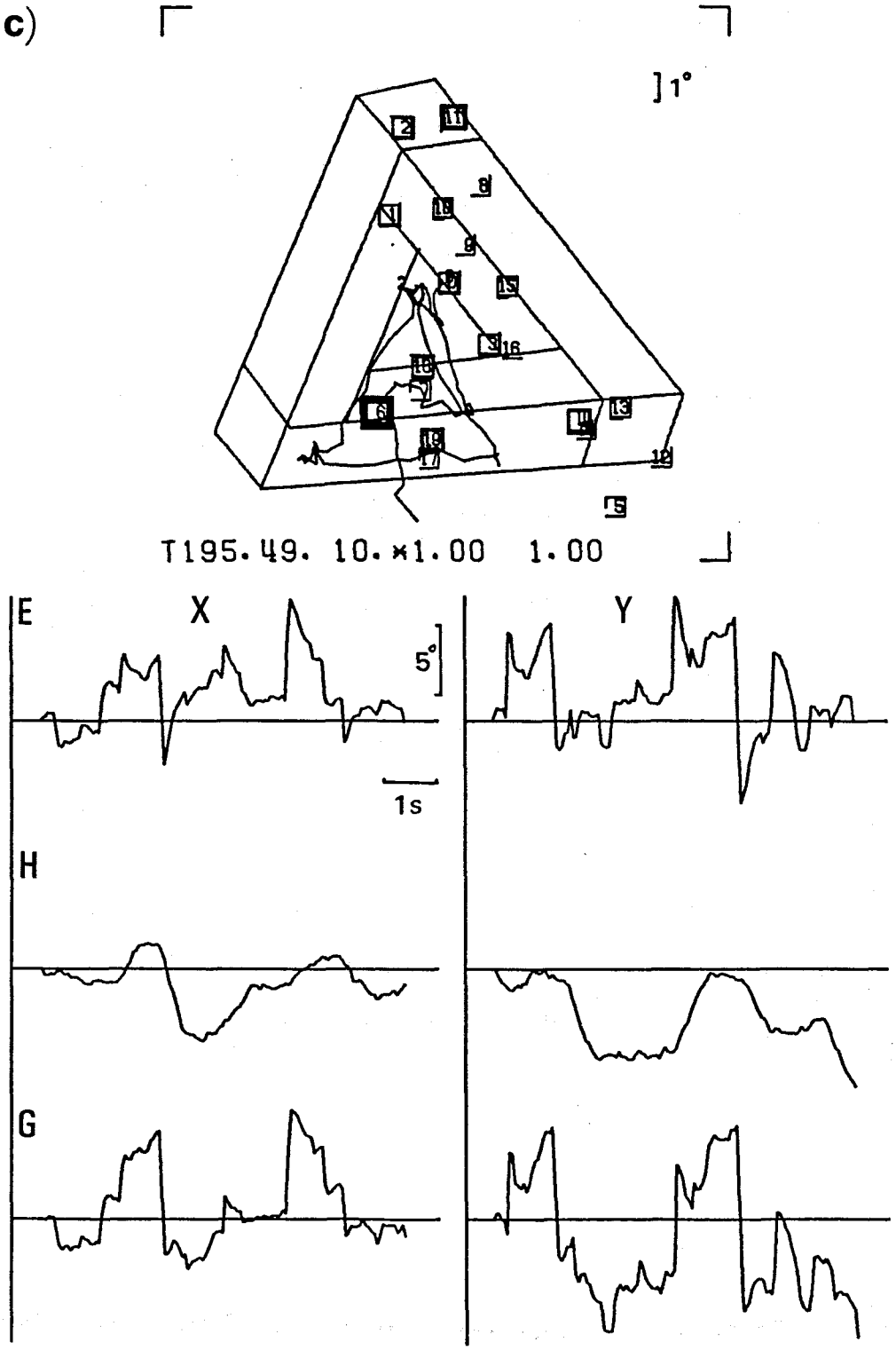

HUMAN BEINGS ARE
GREAT COLLECTORS.
THEY COLLECT POSTAGES
,COINS, MATCHBOXES.


S80.62. 7.×1.00 1.00
E
X
Y
H
G

と静止を繰り返す。そこでこれらの例では測定結果を視覚化するために、刺激図形上の注視位置、注視順序ならびに注視時間を番号とそれらを囲む正方形の枠の太さで示した。また中心付近の蛇行線は頭部運動の軌跡で、比較的ゆっくりとした動きの相をその出現順序に従って番号で示した。更に同図の下半分は同記録の視線G、頭部H、眼球Eの各運動の時間波形で、左は水平面内、右は垂直面内の記録である。いずれも横軸は時間、縦軸は、視線移動G、頭部運動Hについては表示面座標系上の移動位置、眼球運動Eについては頭部座標系上の移動位置を示す。

このように本システムでは眼球、頭部運動の測定だけでなく刺激図形の発生にも計算機を利用した結果、測定後に即座に結果をプレイバック、あるいはプリントアウトすることが可能となった。以下にこの実験システムによって得られたヒトの視知覚活動に関するいくつかの知見について記す。

c)



第３章　視線の第１移動における注視点決定の刺激依存性と中枢制御性

あらまし　視知覚活動における視線移動のコントロールの仕方を明らかにする目的から、刺激図形提示直後に生じる視線の第１移動に着目し、提示図形、視作業内容等からどのようにして最初の注視点が決定されるのかを検討した。

この視線の第１移動は提示図形の違い、視作業内容の違い等によって種々異なると思われるが、ここでは表示面の水平軸上に同じ大きさの２視標（水平２視標）あるいは表示面中心に対して対称な位置に明るさの違う２視標（明暗２視標）、大きさの違う２視標（大小２視標）等を提示し、その提示位置、視標の明るさ、大きさ、視作業内容等を種々変化させ、どのようにして最初に注視すべき視標が決定されているのかを検討した。

実験の結果は、最終的な注視視標の決定は２視標の位置関係等の刺激力学的な場の釣り合いによって機械的になされるが、単に刺激に対する受動的な反応ではなく、２視標の配置条件等に関する知識や練習等から、視標提示以前に視標選択の大まかな方向づけが行なわれていることを示すものであった。以上の結果から、視線の第１移動の決定過程は、刺激図形から受動的に新たな注視点を決定する機構と、この機構に対するより上位の中枢からの実験状況に応じた機能修飾の２つから成るモデルによって説明することができた。

３－１．刺激図形のもつ空間因子が視線の第１移動に与える影響

第１章でも検討したように、ヒトの視知覚活動には、角、境界部、運動部分、点滅部分等のいわゆる図形の特徴部によって視線が受動的に制御される側面や、視対象の詳細な情報を収集したい部分に積極的に視線を移動させる側面等、種々の側面がみられる。しかしこれまでの研究では注視点の空間的な分布や視線移動軌跡等を測定するというように、主に刺激図形とのマクロな対応は求めているものの、個々の注視点の決定に図形の特徴部がどのような影響を与え、またその中で視作業を遂行するために視線がどのようにコントロールされているのか等のミクロな立場からの検討は必ずしも十分になされていないように思われる。

そこでここではこのような観点から、個々の注視点がどのようにして決定されているのかを検討するため、刺激図形を提示した直後に生じる視線の第１移動を取り挙げ、表示面の水平軸上に同じ大きさの２視標（水平２視標）を提示し、その配置条件、視作業内容を変化させた場合、最初にどちらの視標に視線が第１移動するのかを検討した（牧川と田村,1980c,1981a,1982b）。この視線の第１移動は刺激図形、視作業の違いによって種々異なるものと考えられ、視線のコントロール方法を検討するに多くの知見を与えてくれるものと期待される。

＜３－１－１＞　実験方法

水平２視標実験では刺激図形提示装置としてランダム・スキャン型のＣＲＴを５台を用いた。これを被験者を中心とする半径60cmの円周上に並べ、視覚にして 120° の提示視野を確保した。

まず水平２視標の提示方法であるが、ここでは視標として、視

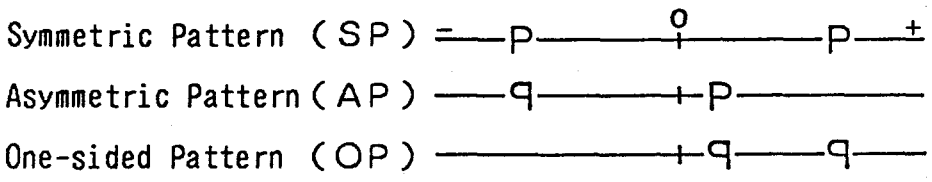


図３－１．水平２視標の提示例．

角にして1°の高さの英小文字pまたはqを用いた。試行毎にこの2文字の任意の組み合わせを表示面水平軸上の2点に提示する。ここでは下記のように2視標配置条件の異なる3シリーズの実験を用意した。

- SPシリーズ：表示面の左54°の位置より12°おきの10ヶ所から、必ず2視標が表示面中心に対して対称となるように2点を選び、全ての位置の組み合わせ ${}_5C_1 = 5$ の8回分、40試行から成る。
- SP＋APシリーズ：左54°の位置より8°おき（原点は除く）の14ヶ所から、必ず表示面の左半面から1点、右半面から1点を選び、全ての位置の組み合わせ ${}_7C_1 \times {}_7C_1 = 49$ 試行から成る。
- SP＋AP＋OPシリーズ：上と同じ14ヶ所からランダムに2点を選び、全ての位置の組み合わせ ${}_{14}C_2 = 91$ 試行から成る。

すなわち図3-1のように、今2視標が表示面中心に対して対称に提示される場合をSP（対称）パターン、表示面の左右各半面に1視標ずつ非対称に分離提示される場合をAP（非対称）パターン、表示面の右または左の片半面に2視標がともに提示される場合をOP（偏心）パターンと呼ぶと、上記のSPシリーズではSPパターンばかり40試行、SP＋APシリーズではSPパターン7組とAPパターン42組の49試行、SP＋AP＋OPシリーズではSPパターン7組、APパターン42組とOPパターン42組の91試行から成ることになる。

以上の各シリーズで、提示位置、提示パターン、文字の組み合わせは試行毎にランダムに選ばれ、結局SPシリーズでは2視標が対称に提示されること、SP＋APシリーズでは左右に1視標ずつ分離提示されること、SP＋AP＋OPシリーズでは2視標が提示される

こと以外、どこにｐ、ｑのどのような組み合わせが提示されるのかは不明な状況にある。

視標の提示時間は３秒で、各試行の直前、直後には表示面中心に１°の大きさの十字を約１秒間提示する（試行直前の十字の提示は２章に記した眼電位アンプ零調のためである）。またすみやかな２視標の順次注視を達成させる目的から、被験者には、”十字が消え、同時に２視標が提示されたら出来るだけ早く文字ｑを見つけ、手に持った応答キーを押す”ことを求めた。この迅速な判別のみを求める場合を自由視と呼ぶが、更に表示面の右半面に提示された視標から見る等の視方向を指示した場合の視線移動も検討した。

各シリーズの前には”２視標が対称に提示される”（SPシリーズ）、”左右各半面に１視標ずつ分離提示される”（SP＋APシリーズ）、”どこに提示されるのかは不明”（SP＋AP＋OPシリーズ）といったように、２視標配置についての説明を行い、10試行程度の練習を設けた。

＜３－１－２＞　実験結果

まず自由視の場合の結果については、各被験者ともほぼ２視標上に順次注視点を移動しているが、２視標のうちのどちらに視線が第１移動するのかについては２視標の相対的な位置関係が重要な要因となっていた。そしてこの２視標の配置条件の違いにより、視野中心により近い視標の選択、左または右の一方の視標の選択の２つの視標選択方法が存在することが明らかとなった。

＜ 3-1-2-1 ＞　近傍選択モード

まず自由視の状態でSP＋AP＋OPシリーズ、すなわちどこに２視

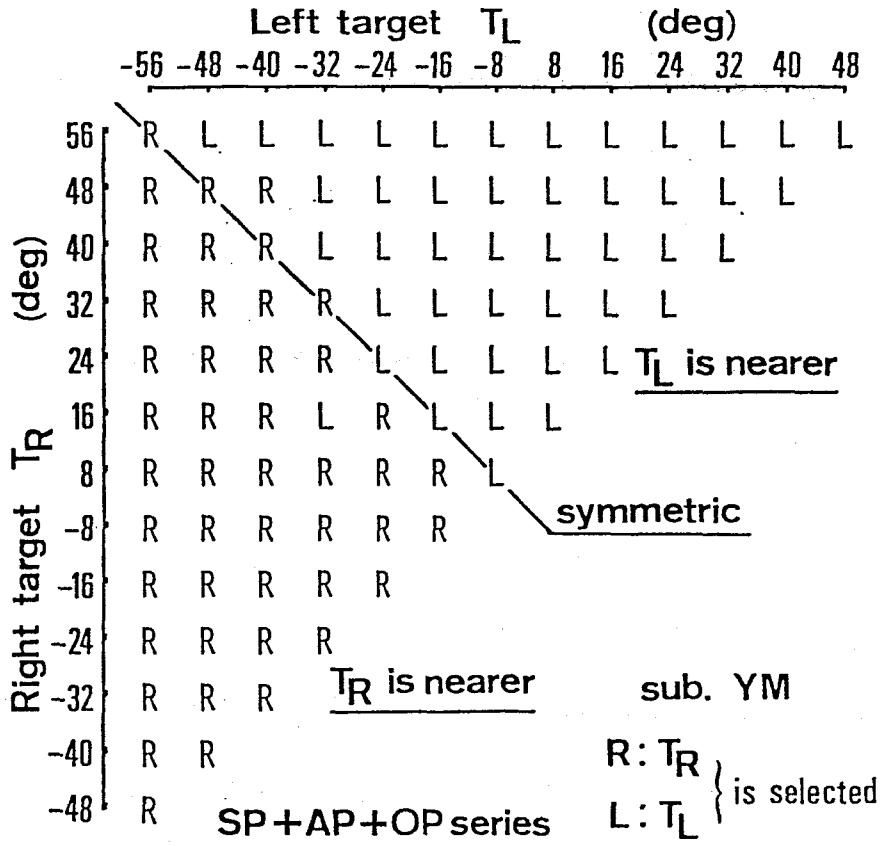


図３－２．視標の１次選択傾向例．

表３－１．各被験者の１次選択傾向と指示履行率

sub	ＳＰ＋ＡＰ＋ＯＰシリーズ 自由視 近傍選択率 (AP,OP)	方向選択率(SP) （右）	（左）	ＳＰ＋ＡＰシリーズ ”遠方から早く” 指示履行率 （ＡＰ）
ＡＯ	98%	57%	43%	41%
ＭＷ	94	43	57	71
ＨＳ	95	71	29	52
ＹＭ	98	57	43	86
ＨＫ	91	71	29	62
ＴＯ	--	--	--	45

標が提示されるのかが不明な状況で視標を提示した場合の視線の第１移動における視標選択（以下、１次選択と呼ぶ）傾向について記す。図3-2 は自由視の状態でSP＋AP＋OPシリーズを１回行ったときの視標の１次選択傾向の例である。

横、縦軸は各々２視標中、相対的に左、右に位置する視標位置T_L、T_Rを示し、各格子上の文字Ｒ、Ｌは各々T_R、T_Lを1 次選択したことを示す。例えば$(T_L,T_R)=(8°,24°)$の試行ではＬ、すなわち相対的に左に位置する表示面上右８°の位置の視標を１次選択したことになる。また実線上のデータは２視標が表示面中心に対して対称、すなわちSP（対称）パターンに対する結果を示し、実線より右上半面のデータは$(T_L,T_R)=(-16°, 32°)$といったようにT_Lが表示面中心に近い場合、左下半面のデータは逆にT_Rが近い場合の結果を示す。結局この被験者の場合、左の視標が視野中心に近ければ左から見、右が近ければ右から見、対称な場合にはどちらから見る傾向は顕著ではない。すなわち視野中心により近い視標を１次選択したということになる。

このSP＋AP＋OPシリーズ実験に参加した５人の被験者の自由視下における１次選択傾向を表3-1 左欄に示す。表中の近傍選択率は対称(SP)パターン以外のAP、OPパターンに対して、表示面中心により近い視標から見た割合（該当パターン発生数n=84）を示し、方向選択率は対称(SP)パターンに対して右、左から見た割合(n=7) を示す。結果はこの表が示すように、２視標が対称でない場合（AP、OPパターン）にはどの被験者も高い割合で視野中心により近い視標を選択しており、また対称(SP)パターンに対しては、どの被験者も右または左の一方から見る傾向は近傍選択率ほど顕著ではなかった。ここではこの視野中心により近い視標の選択傾向を近傍選択モードと呼ぶ。

このように視野中心により近い視標の選択方法が明らかとなっ

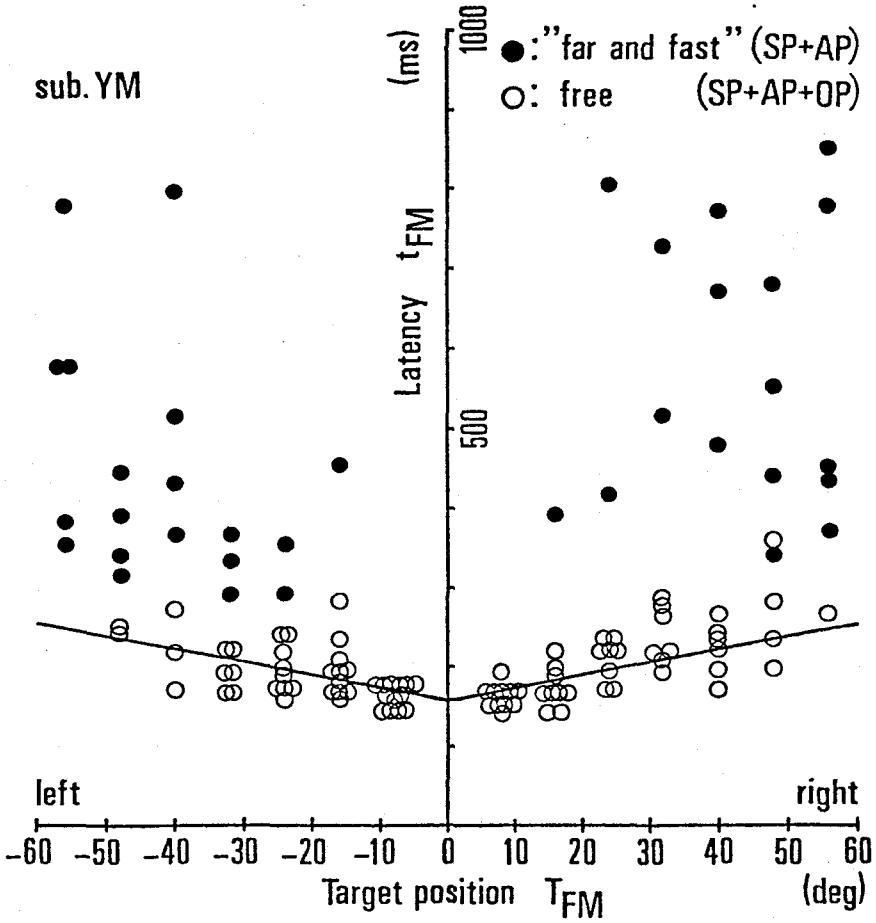

sub. YM
●:"far and fast" (SP+AP)
○: free (SP+AP+OP)
Latency t_{FM} (ms)
1000
500
left
right
-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60
Target position T_{FM} (deg)

図３－３．１次移動潜時例．

たが、次にこの選択方法が意識的に変更可能かどうか、すなわち2視標に遠近の差がある場合、近傍視標の選択以外の選択方法が採りうるのかどうかについて検討した。刺激図形としてはSP＋APシリーズを用い、迅速な2視標の識別以外に”相対的に遠方に位置する視標より見る”ことを求めて1シリーズ行った。

表3-1 の右欄に非対称(AP)パターンに対する各被験者の指示履行率(n=42)を示す。結果は同表の左欄の近傍選択率と比較して、被験者によって程度の差はあるものの、いずれの被験者においても迅速な視線移動が求められる状況下では遠くから見ることが困難な視作業であることを示している。

次に以上のことを1次移動潜時の面から検討を加えた。ここに1次移動潜時とは2視標提示開始から視線移動開始までの時間をいう。図3-3 にその結果の一例を示す。横軸は1次選択視標位置 T_{FM} 、すなわち視線が第1移動した視標位置を示し、縦軸は1次移動潜時 t_{FM} を示す。また図中の○印はSP＋AP＋OPシリーズでの各試行毎のデータ、すなわち近傍選択モードにおけるデータであることを示し、●印はSP＋APシリーズで遠方から見ることを求めた場合の指示が守られた試行のデータであることを示す。

まず近傍選択モードにおける1次移動潜時の特性としては、どの被験者も図3-3 の○印に示されるように、1次選択視標位置が表示面の周辺であるほど、潜時は長くなり、1次移動潜時と1次選択視標位置の間には線形な関係がみられた。このことから図中

$$\hat{t}_{FM} = K \times | T_{FM} | + t_0 \qquad (3\text{-}1)$$

$$SD = \sqrt{Var.\ (t_{FMi} - \hat{t}_{FM})} \qquad (3\text{-}2)$$

表３－２．各被験者の１次移動潜時

sub	SP+AP+OPシリーズ 自由視 K	t_0	SD	SP+AP シリーズ ”遠方から早く” $\overline{t_{FM}}$	SD
ＡＯ	2.1	171ms	36ms	323ms	84ms
MW	2.0	166	37	301	55
ＨＳ	1.2	157	23	244	35
ＹＭ	1.6	157	32	502	171
ＨＫ	0.6	181	33	249	39
ＴＯ	---	---	--	277	70

の実線に示されるように、各被験者の１次移動潜時を示す表3-2の左欄には前頁の(3-1) 式で与えられる回帰直線の傾きＫと表示面中心付近での潜時を表すt_0を記した。またデータのばらつきを表す指標としては(3-2) 式に示すように、試行毎の潜時t_{FMi}と、(3-1) 式で計算される試行毎の推定潜時$\hat{t}_{FM}$ の差をとり、この値の標準偏差ＳＤを記した。これは回帰直線を中心とした上下方向の潜時のばらつきをよく表現する。

次に遠方から見ることを求めた場合の潜時であるが、図3-3 の●印のように、この場合には近傍選択モードでみられたような一定の傾向はみられなかった。そこで各被験者の１次移動潜時を表す表3-2 の右欄には指示が守られた試行の潜時の平均値$\overline{t_{FM}}$ とその標準偏差ＳＤを記した。結果は、近傍選択モードでは潜時の長くなる表示面周辺への視線の第１移動の場合でも250ms 前後で、ばらつきも30ms前後であるが、遠方から見ることを求めた場合には潜時が長くなり、ばらつきも大きくなる被験者が現れた。

またこの潜時と表3-1 の右欄の指示履行率を比較してわかるように、最も指示が守られた被験者YMでは潜時が長く、最も潜時の短い被験者HSでは逆に指示が守られていない等のように、１次移動潜時においても迅速に遠くから見ることが困難な視作業であることを確認した。

実際、実験終了後、被験者に内観報告を求めたところ、自由視の場合には”視方向について特に意識しなかった”が、遠方から迅速に見る場合には”毎回２視標の遠近を比較しなければならないし、つい近くを見てしまった”と報告している。

以上のように近傍選択モードでは近傍視標が無意識的に選択され、また視野周辺への視線の第１移動の場合ほど、潜時が長くなるというように、１次選択視標位置と潜時の間に一定の関係がみられるが、逆に遠方から見ることを求めた場合には意識的に２視

表３－３．各被験者の視標の１次選択傾向と指示履行率

sub	ＳＰシリーズ 自由視 方向選択率 (SP) （右）	（左）	ＳＰ＋ＡＰシリーズ 自由視 近傍選択率 (AP)	方向選択率 (SP,AP) （右）	（左）	”右、左から” 指示履行率 (SP,AP) （右）	（左）
ＡＯ	12%	88%	88%	39%	61%	100%	92%
MW	0	100	57	6	94	96	100
ＨＳ	2	98	91	59	41	100	100
ＹＭ	100	0	98	55	45	100	100
ＨＫ	100	0	76	66	34	100	100
ＴＯ	90	10	88	61	39	100	96

標の遠近の比較を行う必要があり、また指示も守りにくく、潜時も長く、ばらつきも大きくなるとの結果であった。

このように近傍選択モードでは意識的な遠近の比較等の高次の情報処理の結果として近傍視標が選択されるとは考えにくい。むしろ網膜に映った像から機械的に近傍視標が選択される傾向にあり、網膜上での２視標の位置関係に依存して自動的に近傍視標を選択する一定のメカニズムを求める必要があろう。ここではこの機構を近傍選択機構と呼ぶ。そして表3-1 の左欄の方向選択率が示すように、近傍選択モードではこの近傍選択機構を介して視標が選択されたため、対称(SP)パターンに対して一定の選択傾向がみられなかったとすることができ、また遠方から見る場合にはこの機構が直接使えないため意識的な遠近の比較を必要とし、この機構の働きを完全に停止できない場合に、つい近くを見てしまったと理解することができよう。

< 3-1-2-2 >　方向選択モード

前節のように、自由視下で２視標がランダムな位置に提示される場合には視野中心により近い視標が１次選択されていたが、次に２視標が常に対称、すなわち２視標に遠近の差がない場合の視標選択方法について検討を加えた。

刺激図形としては対称(SP)パターンのみから成るSPシリーズを用い、被験者AO、TOについては２シリーズ、他の被験者については１シリーズ行なった。表3-3 の左欄に自由視下での結果を示す。表中の（右）、（左）の欄は各々、全試行中(n=40 または 80：１または２シリーズ）、右、左に位置する視標を１次選択した割合（方向選択率）を示す。結果は表中の下線に示されるように上３人については左、下３人については右の視標が高い割合で選択されていた。ここではこの右または左の一方に位置する視標

の選択傾向を方向選択モードと呼ぶ。

以上のように自由視下では方向選択モードと近傍選択モードの２つの視標選択方法の存在が明らかとなったが、次にこの２つの視標選択法のうちどちらの選択方法がどのような場合に用いられるのか、その採用基準について検討を加えた。

さて２つのモードが現われたSPとSP＋AP＋OPシリーズの２つのシリーズで異なっているのは提示パターンのみである。従って２つのモードの採用基準も提示パターンに求める必要があろう。このとき採用基準として第１に提示パターンの対称性が挙げられる。すなわち２視標が対称(SP)に提示される場合には右または左の一方に位置する視標を選択し、非対称(AP)、偏心(OP)提示であれば近傍視標を選択するのではないかということである。しかし表3-1 の左欄の方向選択率に示されるように、同じSPパターンに対してもSP＋AP＋OPシリーズに含まれる対称(SP)パターンに対しては、右または左の一方から見る傾向はSPシリーズほど明確ではなかった。

第２にSPシリーズでは必ず表示面の左右各半面に２視標が分離提示されることがある。すなわちSPシリーズでは視野の右または左の片半面に提示された視標から見ることが可能であるが、SP＋AP＋OPシリーズでは偏心(OP)提示が含まれているため、右または左の一方から見ようとしても不都合が生じるということである。

このことを確認するため、この偏心(OP)パターンを含まないSP＋APシリーズを１回行い、自由視下での１次選択傾向を確認した。結果を表3-3 の中欄に示す。表中の近傍選択率は非対称(AP)パターンに対して近くから見た割合(n=42)を示し、方向選択率は全試行(n=47)中、右、左から見た割合を示す。これらの割合は近傍選択モード　下では近傍選択率は100%、方向選択率は（右）、

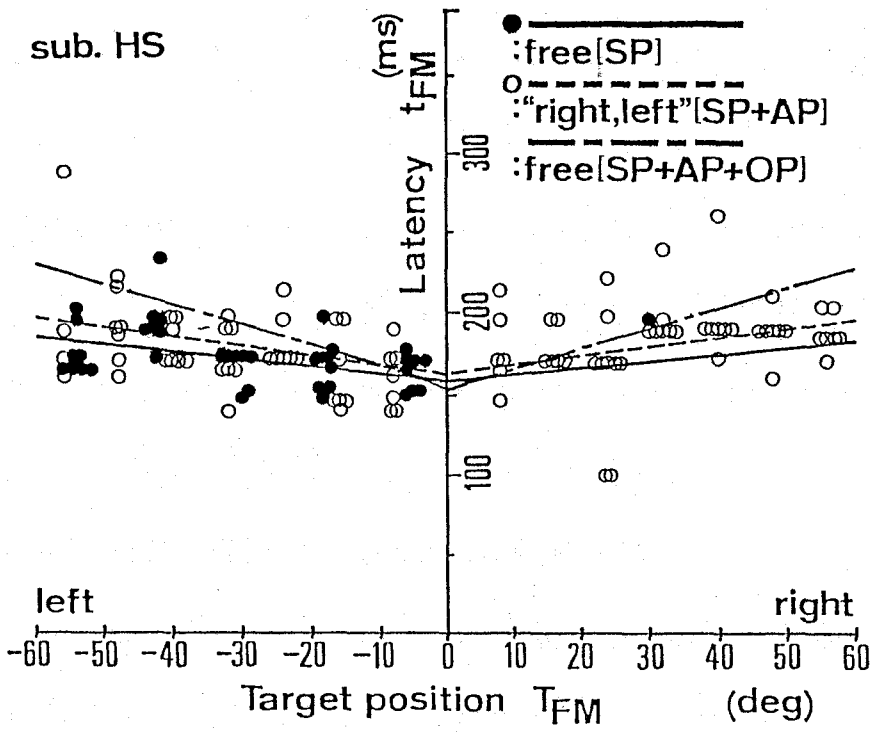

sub. HS
Latency t_{FM} (ms)
:free[SP]
:"right,left"[SP+AP]
:free[SP+AP+OP]
300
200
100
left
right
-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60
Target position T_{FM} (deg)

図３－４．１次移動潜時例

（左）の欄とも50% の値を示し、方向選択モードの下ではこの逆の値を示すことが見込まれる。結果は被験者MWでは左から、他の被験者では近くから見るというように、SP＋APシリーズでは２つのモードの出現が確認された。

更にこのSP＋APシリーズにおいて意識的に右、左から見ることが可能かどうかを検討するため、”右、左から迅速に見る”ことを求めて１シリーズ行なった。結果を表3-3 の右欄に示す。表中の指示履行率は各々右、左から見ることを求めた場合の指示履行率(n=49)を示すが、同シリーズ下で遠くから見ることを求めた場合（表3-1 の右欄）と異なり、迅速な識別に視方向の制限が加わっても指示はほぼ完全に守られた。

以上の結果からSP＋APシリーズのように視野の左右各半面に２視標が分離提示される場合には、右または左の一方から見ることが可能な状況であることを示している。そしてSP＋AP＋OPシリーズでは視野の片半面に２視標が提示される偏心(OP)パターンが含まれており、右または左の一方から見ることに不都合が生じるため近傍選択モードが、SPシリーズでは２視標間に遠近の差がないため方向選択モードが、SP＋APシリーズではどちらのモードでも問題が生じないため両モードが出現したと理解できる。

更に以上のことを１次移動潜時の面から検討を加えた。図3-4 に１次移動潜時の測定例を示す。横軸は１次選択視標位置T_{FM} 、縦軸は１次移動潜時t_{FM} である。図中の●印はSPシリーズ、すなわち方向選択モードにおける各試行毎のデータであることを示し、実線は(3-1) 式で計算されるその回帰直線を示す。○印はSP＋APシリーズで右、左から見ることを求めた場合のデータであることを示し、破線はその回帰直線を示す。また一点鎖線は表3-2 の左欄から求めたこの被験者の近傍選択モードにおける１次移動潜時の特性を示す。

表３－４．各被験者の１次移動潜時

sub	ＳＰシリーズ 自由視 K	t_0	SD	ＳＰ＋ＡＰシリーズ ”右、左から” K	t_0	SD
ＡＯ	0.4	195ms	25ms	0.8	192ms	37ms
MW	1.3	163	35	1.0	178	24
ＨＳ	0.4	160	17	0.6	162	25
ＹＭ	0.6	186	25	1.0	156	38
ＨＫ	1.2	126	36	0.7	149	19
ＴＯ	0.8	189	27	1.1	164	33

結果は図が示すように、方向選択モードおよび右、左から見ることを求めた場合の潜時の特性が近傍選択モードのそれと同程度、あるいはむしろ短くなっていることを示している。また1次選択視標位置が視野の周辺であるほど潜時が長くなる等、近傍選択モードにおける潜時の特性とよく類似している。

表3-4 の左欄は方向選択モード、右欄は右、左から見ることを求めた場合の各被験者の1次移動潜時である。各数値は(3-1)、(3-2) 式による計算値であるが、表3-2 の左欄の近傍選択モードにおける1次移動潜時の特性と比較して、各被験者とも回帰直線の傾きKは多少小さくなるものの、視野中心付近での潜時t_0はよく一致し、データのばらつきも同程度に小さい。

ところで前節3-1-2-1 の近傍選択モードの結果が示すように、近傍視標の選択に際しては無意識的に近傍視標を自動選択する機構が用いられると考えられたが、このような潜時の特性はこの機構における視標選択の時間特性を反映していると考えられる訳で、以上の方向選択モードならびに近傍選択モードにおける潜時の特性の類似性から、方向選択モードにおいてもやはり近傍選択機構が用いられたとすることができよう。そして近傍選択モードでは近傍選択機構の特性がそのまま現れて視野中心により近い視標が選択されるが、方向選択モードでは右又は左の一方の視標から見ようとしていたと考えられ、視野の右または左の片半面に位置する視標が選択されやすいようにこの近傍選択機構に対してその機能に修飾を加えているとすることができる。このように近傍、方向選択の2つのモードの違いはこの近傍選択機構に対する機能修飾の違いに起因すると説明することができる。ここではこの機能修飾を空間プリセットと呼ぶ。

そして同じSP＋APシリーズに対しても、右または左から見ることが容易（表3-3 の右欄の指示履行率）なのに対して、遠方から

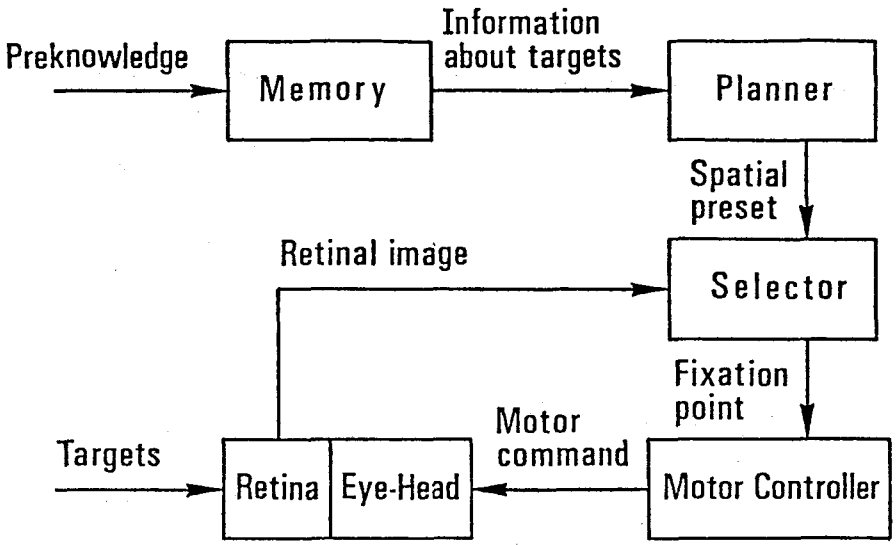


図３－５．視線の初期移動決定のモデル．

見ることが困難（表3-1 右欄の指示履行率）であったのは、右または左から見る場合には視野の右または左の片半面を視標を選択すべき範囲として近傍選択機構に設定しうるが、逆に遠方から見る場合には指示自体が２視標の相対的な位置関係の比較を強要するものであり、視標を選択すべき範囲が予め設定できないため指示が履行しにくかったと理解しうる。

＜３－１－３＞　視線の第１移動の決定過程のモデル

以上の結果は図3-5 の視線の第１移動決定のモデルにまとめることができる。

ところで視線のコントロール方法については図形の角等の特徴部に視線が集中することから、従来、特徴抽出機構によって網膜像から特徴点が抽出され、それが運動制御機構に与えられることによって視線移動が生起するとされてきた。視線移動決定の刺激依存的な側面ということである。今回の水平２視標実験においても、3-1-3-1 節の近傍選択モードの結果が示すように、視野中心に近い視標ほど高い被選択優先権を有しており、このことから視野中心により近い視標を自動選択する機構が存在し、この機構を介して視標が選択されるのではないかと考えられた。

図3-5 のモデルでは自動注視点選択機構(Selector)がこれに当り、網膜に映った２視標から近傍視標を選択し、運動制御機構(Motor Controller)に注視位置を伝える。この機構は3-1-3-1 節に記した近傍選択機構に対応するが、方向選択モードでも使用されるとの推測から、ここでは自動注視点選択機構(Selector)と呼ぶ。

しかしながら同じ対称(SP)パターンに対しても、SP＋AP＋OPシリーズに含まれるSPパターンに対しては右、左の一方から見る傾

向は顕著ではないが（表3-1 の左欄のSPに対する方向選択率）、SPシリーズを構成するSPパターンに対してはどの被験者も高い割合で右または左の一方の視標が選択されている（表3-3 の左欄の方向選択率）。また同じ非対称(AP)パターンに対しても、SP＋AP＋OPシリーズに含まれるAPパターンに対しては高い割合で近傍視標が選択されていたが（表3-1 の左欄のAP、OPに対する近傍選択率）、SP＋APシリーズに含まれるAPパターンに対しては、２視標の遠近にかかわらず高い割合で左の視標を選択する被験者もみられる（表3-3 の中欄のSP、APに対する被験者MWの方向選択率）。

このように視標の選択方法は実際に視標が提示された後に個々の提示パターンに応じて決定されているとは考えにくく、むしろ２視標配置に関する前知識、実験前の練習等から実験前に予め視標を選択すべき範囲が決定されていると考えられた。すなわち視標選択の方向づけが行われているということである。

そして先の自動注視点選択機構とこの視標選択の方向づけとの関連については、近傍および方向の両選択モードにおける潜時の特性がよく類似していることから、自動注視点選択機構に対する機能修飾の違いがこの２つのモードの違いとして現れたのではないかと推測された。すなわち方向選択モードでは視野の右または左の片半面から視標が選択されやすいように、近傍選択モードでは視野全体から視標を選択するように自動注視点選択機構に対し予め視標を選択すべき範囲をセットしていたのではないかという訳である。そしてSP＋AP＋OPシリーズでは２視標がどこに提示されるのか不明な状況であり、視野全体が視標を選択すべき範囲となっていたため近傍選択モードが、SPシリーズでは２視標間に遠近の差がないため視野の右または左の片半面が選択範囲となり方向選択モードが、SP＋APシリーズではどちらでも問題が生じないため両モードが出現したと理解しうる。

言い換えると自動注視点選択機構なる特徴抽出機構の特徴抽出方法は常に同じなのではなく、状況に応じて修飾を受け、変化するのではないかということである。図3-5 のモデルではSelectorに対する空間プリセット(Spatial preset)がこの機能修飾に当り、視標選択の範囲をSelectorに伝える。また視線の第1移動の決定においては、モデル内のPlanner のように、記憶(Memory)内の2視標配置に関する前知識から視標を選択すべき範囲を決定する機構を考慮する必要がある。

以上のように水平2視標に対する視線の第1移動の決定過程は、網膜像から近傍視標を自動選択する機構と、その機構に対する実験状況に応じた機能修飾の2つから成るモデルによって説明することができた。

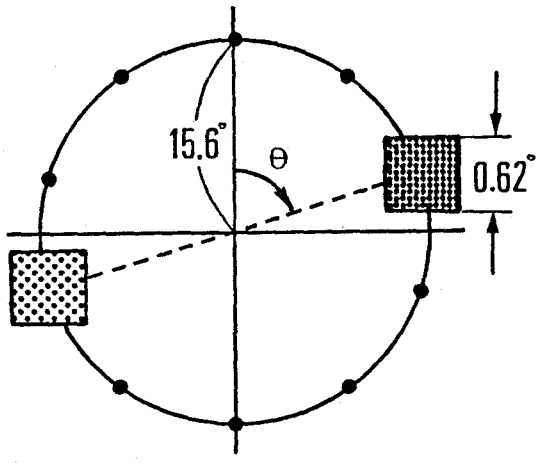


図３－６．２視標の提示方法．

３－２．空間因子以外の因子が視線移動に与える影響

前節では表示面水平軸上に提示された２視標に対する視線の第１移動の決定過程について検討を加え、結果として視野中心により近い視標を選択する等、視線移動の決定に視標の提示位置といった図形の持つ空間的な因子が大きな影響を与えていることが明らかとなった。しかしそこで用いたのは同じ大きさ、明るさの２視標であり、この空間因子以外の刺激図形の持つ属性、例えば視標の明るさ等が視線移動の決定にどのような影響を与えるのかについても検討する必要があろう。

そこで次に空間因子以外の図形の属性として視標の明るさ、大きさを取り挙げ、これらの因子が視線移動の決定に与える影響について検討を加えた（牧川と田村,1981b; 岡,1982)。

＜３－２－１＞　実験方法

図形の明るさ、大きさ等の属性が視線移動の決定に与える影響を調べる際、まず網膜上の種々の位置で明るさ、大きさに対する感度が異なることを考慮に入れる必要があろう。そこでここではこのような網膜上の感度の不均一性を除去する目的から、図3-6に示すように、表示面中心を中心とする円周上に対称に２視標を提示し、２視標の明るさ、大きさを種々に変化させた場合に最初にどちらの視標に視線が移動するのかを検討した。

視標は塗りつぶした正方形または前節3-1 の水平２視標実験と同じ英小文字ｐまたはｑで、刺激図形提示装置としては明るさを変化させる実験（明暗２視標実験）ならびに明るさ、大きさの両方を変化させる実験（明暗、大小２視標実験）では白黒のラスター・スキャン型モニターＴＶを１台使用し、大きさを変化させ

る実験（大小２視標実験）ではランダム・スキャン型のＣＲＴを１台使用した。

いずれの実験においても２視標対は表示面の垂直軸の上方向となす角θが０°から$\pi/5$間隔の５通りとし、この提示角θおよび２視標の明るさ、大きさの組み合わせは試行毎にランダムに選んだ。視標提示直前、直後には表示面中心に十字を約１秒間提示し、被験者にはこれを注視することを求めた。この十字が消失した時点で２視標が２秒間提示され、２視標が消失した時点で再度、十字が表示面中心に提示される。被験者への指示等の実験状況の詳細は各実験毎に記したが、これらの実験では２視標の提示範囲が比較的狭いので頭部をヘッド・レストで固定し、眼球運動のみで視作業を遂行させた。

＜３－２－２＞ 明暗２視標に対する視線の第１移動

視線の第１移動決定に対する視標の明るさの影響を検討する実験（明暗２視標実験）では刺激図形提示装置としてラスター・スキャン型モニターＴＶを１台用いた。図3-6 は明暗２視標提示の一例である。２視標対としては一辺視角にして0.62°の塗りつぶした正方形を用いた。この２視標対の各々の明るさと提示角を試行毎に種々変化させた訳であるが、視標の明るさとしては 1、4、16、31(lux) の４段階とした。各試行毎にこれら明るさのランダムな組み合わせを半径15.6°の円周上の$\pi/5$毎の５通りの提示角から任意の提示角に、２視標対が表示面中心に対して対称になるように提示した。

１シリーズの実験は同じ明るさの２視標対を含む明るさの組み合せ ${}_4C_1 \times {}_4C_1$ ×位置の組み合せ ${}_5C_1 = 80$試行から成る。被験者へは２視標対が提示されたら即座に２視標を順次注視する

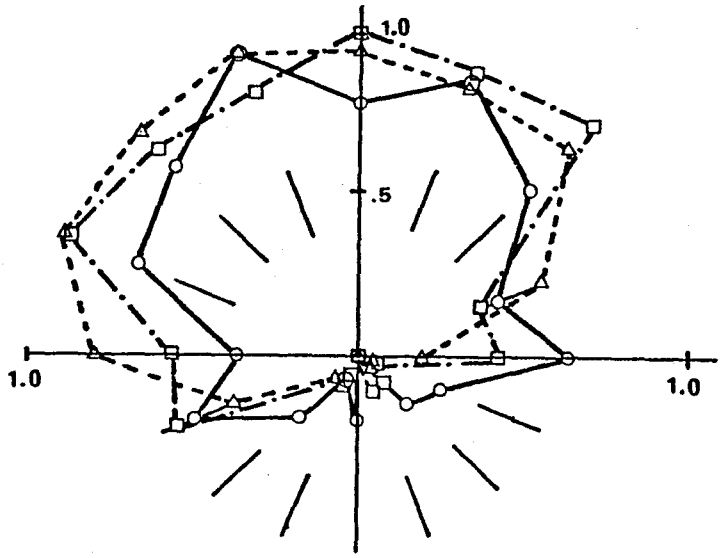


図３－７．同一輝度の対称２光点に対する視線の初期移動（田村ら,1977dより）.

表３－５．明暗２視標に対する視標選択傾向と潜時

sub	方向選択性		明るさ選択性	潜時 (SD)
	ANGLE(deg)	POWER(%)	(%)	(ms)
1 YO	93.8	15.7	51.2	257.3 (66.9)
2 KK	34.9	37.7	50.0	288.3 (91.0)
3 AF	29.9	27.2	78.8	249.0 (48.8)
4 TO	-23.2	93.6	8.8	191.0 (39.3)
5 YM	41.0	88.0	5.6	174.2 (48.6)

ことを求めたが（この指示を自由走査と呼ぶ）、更に”２視標対の暗い方の視標からできるだけ早く見る”、自由走査の結果に応じて”視野の上半面に提示された視標からできるだけ早く見る”、あるいは”明るい視標からできるだけ早く見る”ことを求めた（この指示を指示走査と呼ぶ）。各指示に対して２～４シリーズの実験を行った。

まず自由走査時の結果を表3-5 に示す。ところで図3-7 は今回の実験と同様に、視野中心を中心とした半径５°の円周上の$\pi/8$毎の８方向に同じ明るさの２光点を対称に提示し、各方向にどの位の割合で視線が第１移動したのかを示したものである（田村ら，1977d)。この図に示されるように、同輝度の２光点に対しては視野の上半面に提示された視標から見る等、前節3-1 の水平２視標実験の場合と同様に、視標の空間的な配置が視線の第１移動決定に大きく影響することが明らかとなっている。そこでこの結果を踏まえ、今回の明暗２視標実験のデータの処理に当っては、視標の提示位置といった空間因子が視線の第１移動決定に与える影響と、視標の明るさが与える影響の、両者の影響について検討を加えた。

表3-5 は実験に参加した５人の被験者の、このような視野の特定方向から見る傾向（方向選択性）と、明るい視標から見る傾向（明るさ選択性）を示したものである。更に表の右端には２視標提示から眼球運動開始までの潜時も併記した。

さて各欄の数値の意味であるが、この内、方向選択性の欄の選択方位角ANGLE（3-3式ではθ_0)は視標が選択されやすい方向を表わしたもので、(3-3) 式で計算したものである。

ここにθ_iは表示面垂直軸の上方向を基線とする各視標の提示

$$\sum_{i=1}^{10} P_i \cdot \sin(\theta_i - \theta_0) = 0 \qquad (3\text{-}3)$$

角であり、P_iは各θ_i毎にその提示角に提示された視標が選択された割合を示す。この選択方位角は、例えば必ず視野の上半面に位置する視標から見る等、視野の特定半面に位置する視標が選択される場合には、その視標が選択される視野特定半面の中心線の方位角を示すことになる。

また表3-5 の選択強度POWER はこの方向選択性がどの程度強いかを示したもので(3-4) 式によって計算したものである。

$$POWER = \sum_{i=1}^{10} P_i \cdot \cos(\theta_i - \theta_0) / P_m \times 100\% \quad (3\text{-}4)$$

ここにP_mは視線の第1移動が全てある特定空間半面に提示された視標に向う場合の選択強度で、提示角を5方向に選らんだ場合には(3-5) 式で与えられる値をとる。

$$P_m = \sum_{i=-2}^{2} \cos(\pi \cdot i/5) = 3.24 \quad (3\text{-}5)$$

従ってPOWER の値は0から100%までの値をとり、POWER =100では必ず視野の上半面に提示された視標から見るというように、視線の第1 移動において視野の特定半面に提示された視標に視線移動する傾向が顕著であることを示し、POWER =0ではそのような傾向が全くないことを示す。

次に表3-5 の中欄の明るさ選択性N_{LT} は視線移動の決定に視標の明るさがどの程度影響したのかを示す指標であり、明るさの異なる2視標対の総数をN、明るい視標に視線が第1移動した回数をN_L、暗い視標に第1移動した回数をN_Dとし、(3-6) 式で計算したものである。

ここにN_{LT} は-100～100 までの値をとるが、100 では明るい視標を選択する傾向が顕著、0では視線の第1移動決定に対する2

視標対の明るさの影響が特にみられない、-100では暗い視標を選択する傾向が顕著であるということになる。

$$N_{LT} = (N_L - N_D) / N \times 100\ \% \qquad (3\text{-}6)$$

さて結果であるが、表3-5 に示されるように、明暗２視標に対しては、自由視の下で２つの異なるタイプの視標選択傾向がみられた。１つは明るい視標から見る傾向で、表の上３人、１～３の被験者がこれに当る。またもう１つは視標の明るさよりは視標の提示位置が視線の第１移動の決定に影響し、特定方向に提示される視標に視線が第１移動する傾向で、被験者４、５がこれに当る。被験者４の場合にはANGLE= -23.2° で視野の左上半面、被験者５の場合にはANGLE = 41.0° で視野の右半面に提示された視標に視線が第１移動する傾向が顕著であった。

また同表右欄に示されるように、眼球運動開始までの潜時は方向選択性の強い被験者群の方が僅かに早くなる傾向にあった。以上のように明暗２視標に対しては特に指示を与えなくても明るい視標から見る傾向にある被験者がみられたが、このことは視標の提示位置といった空間的な因子以外の図形の属性もまた視線の第１移動の決定に影響することを示している。

さて自由走査下で視線移動に影響を与えた図形の属性以外の属性を手掛りとして視線の第１移動を決定することができるかどうか、次にこの点を確認した。指示としては明るい視標から見る傾向にあった被験者１～３に対しては”視野上半面に提示された視標から迅速に見る”ことを、方向選択性の強かった被験者４、５に対しては”明るい視標から迅速に見る”ことを求め、更に被験者全員に”暗い視標から迅速に見る”ことを求めた。

このような指示走査時の指示履行率と眼球運動開始までの潜時

表３－６．各指示走査時の指示履行率と潜時

sub	sub 1-3 ：”上方から” sub 4,5 ：”明るい方から”		”暗い方から”	
	指示履行率 (%)	潜時（SD） (ms)	指示履行率 (%)	潜時（SD） (ms)
1 ＹＯ	99.3	232.0 (50.8)	75.9	298.9 (79.0)
2 ＫＫ	96.3	239.8 (70.9)	71.8	301.4 (57.0)
3 ＡＦ	97.8	237.8 (48.7)	86.7	308.3 (70.3)
4 ＴＯ	88.3	221.9 (38.4)	78.8	248.9 (49.5)
5 ＹＭ	75.6	223.0 (52.5)	71.6	247.1 (53.4)

を表3-6 に示す。結果は”上方の視標から見る”という指示に対しては、実験に参加した３人の被験者とも指示履行率はほぼ100%に近く、指示はよく守られた。また表3-5 に示されるように、これらの被験者では自由走査時には明るい視標から見る傾向が顕著であったが、視線移動開始までの潜時については自由走査時よりも指示走査時の方が短くなる傾向にあり、自由走査時に方向選択性が顕著であった被験者と同程度の潜時を示した。

また”明るい視標から見る”という指示を与えられた被験者についても指示は比較的よく守られているが、潜時は自由走査時よりも30～50ms程度長くなり、自由走査時に明るさ選択性が顕著であった被験者と同程度の潜時を示した。しかし”暗い視標から見る”という指示では被験者全員、上方の視標あるいは明るい視標から見る指示よりも指示履行率は低下し、潜時も長くなる等、比較的履行しにくい指示であることが明らかとなった。

さて以上のように明るい視標から見る、あるいは特定方向に位置する視標から見ることは容易に達成しうる、あるいは特に指示を与えなくても自然な状態で容易に発現しうる選択法であるが、逆に暗い視標から見ることは意識的な努力を必要とし、また指示の守り難い選択法であった。このようにヒトの視線移動は全く自由に決定できるのではなく、そこには視標の明るさ等、刺激図形の持つ属性が大きく影響する。前節3-1 の水平２視標実験では視野中心により近い視標を機械的に選択する機構を用いて注視視標を決定していると考えられたが、この刺激図形の空間因子に影響される機構以外にも視標の明るさに影響されて注視視標を決定する刺激依存的な機構もまた考慮する必要があろう。

しかし完全に刺激図形に依存して視線移動が決定される訳でもなく、例えば自由視下で明るさ選択性が顕著である被験者も上方に位置する視標を選択する方法に容易に切り換えることができ

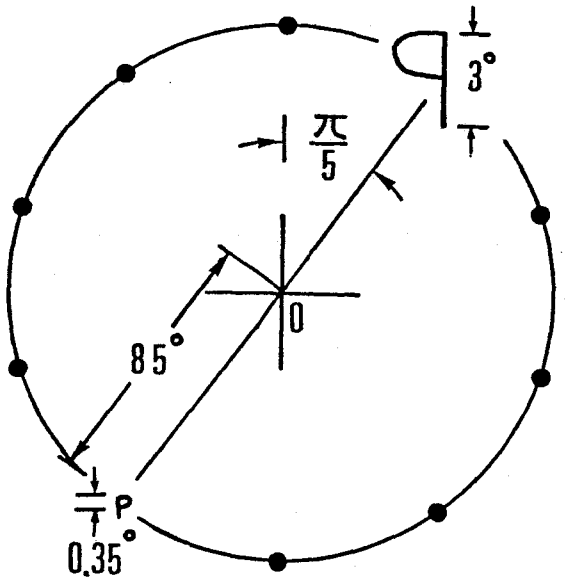


図３－８．大小２視標の提示例．

表３－７．大小２視標に対する視標選択傾向と潜時

sub	方向選択性		大きさ選択性	潜時 (SD)
	ANGLE(deg)	POWER(%)	(%)	(ms)
ＡＯ	2.3	91.7	17.4	195.3 (42.5)
ＴＯ	-15.7	95.2	7.4	166.7 (30.3)
ＹＭ	85.5	84.9	12.4	163.0 (40.5)
ＹＨ	-68.7	99.7	12.4	222.9 (41.3)
ＫＫ	20.5	44.5	5.0	257.2 (60.6)

る。このように視標の明るさ、提示位置が視線移動の決定に大きく影響するにしても、その中でどちらを視線移動決定の基準とするかはヒトの側から自由に選択することが可能である。むしろ自由視下で明るい視標の選択、特定方向の視標の選択の２つの視標選択方法がみられたのは視線移動決定に対する図形の属性の利用の仕方の自由性を示していると理解できよう。

このように明暗２視標実験においても視線移動の決定に刺激依存的な側面と中枢制御的な側面の、２つの側面がみられた。

＜３－２－３＞　大小２視標に対する視線の第１移動

次に大きさの異なる２視標（大小２視標）に対する視線の第１移動について記す。使用した刺激図形提示装置は前節3-1 の水平２視標実験で使用したものと同じランダム・スキャン型のＣＲＴで、この上に図3-8 に示すように、表示面中心を中心とした半径8.5°の円周上に$\pi/5$毎の５通りの方位に大きさの異なる２視標対を対称に提示した。視標として用いたのは高さ３°および0.35°の英小文字ｐまたはｑである。２視標対の一方は必ず3°、他方は0.35°であるようにしたが、これら２視標対の提示角、文字の種類は試行毎にランダムに選び、実験は位置の選び方$_5C_1$×16回分＝80試行から成る。被験者には文字ｑを迅速にみつけることだけを求めた（これを自由走査と呼ぶ）が、更に大または小視標から見る等、視方向に対する指示を与えた場合（これを指示走査と呼ぶ）の視線移動についても検討を加えた。

まず自由走査時の結果を表3-7 に示す。データの処理に当っては、先程の明暗２視標実験と同様に方向選択性と大きさ選択性の両者について検討を加えた。表の左欄は表3-5 とそれと同じ方向選択性を示したもので、(3-3)、(3-4) 式から計算される選択方

表３－８．各指示走査時の指示履行率と潜時

sub	”大きい方から”		”小さい方から”	
	指示履行率（%）	潜時（SD）（ms）	指示履行率（%）	潜時（SD）（ms）
ＡＯ	92.5	217.3（40.7）	70.0	241.7（36.6）
ＴＯ	97.5	200.9（21.6）	85.0	206.1（25.3）
ＹＭ	87.5	181.2（31.6）	75.0	189.7（30.4）
ＹＨ	98.8	227.6（29.4）	95.0	225.8（27.9）
ＫＫ	100.0	245.6（30.9）	100.0	266.0（32.7）

位角とその選択強度を示した。また表の中欄の大きさ選択性N_{SZ}は２視標対の総数をN、大きい視標に視線が第１移動した回数をN_L、小さな視標に第１移動した回数をN_Sとして(3-7) 式で計算したものである。

$$N_{SZ} = (N_L - N_S) / N \times 100\ \% \qquad (3\text{-}7)$$

ここにN_{SZ}は-100から100 までの値をとるが、100 では大視標選択性が顕著、 0では視線の第１移動決定に対する視標の大きさの影響は顕著でない、-100は小視標選択性が顕著であるということになる。

結果は自由走査の場合、実験に参加した５人の被験者とも大視標あるいは小視標から見る傾向はみとめられず、視野の特定半面に提示された視標に視線が第１移動する傾向が顕著であった。

更に大きな視標から見る、あるいは小さな視標から見ることを求めた場合の指示履行率と眼球運動開始までの潜時を表3-8 に示す。結果は表の指示履行率に示されるように、どの被験者も大視標から見ることは容易に達成し得、被験者からも”簡単である”との内観報告を受けている。しかし小視標から見ることを求めた場合には大視標から見る場合と同程度指示が守られる被験者もみられたが、30% 程度誤り、”多少困難である”と報告する被験者も確認された。ただ眼球運動開始までの潜時については自由走査時、大小視標から見ることを求めた指示走査の場合とも大きな違いはみられなかった。

さて以上のように、自由視下では視標の大きさは視線移動の決定に影響は与えていなかった。しかし指示走査の結果が示すように、大きい視標から見ることは意識的な努力をすることなく容易に達成することができる選択法であるが、小さい視標から見るこ

表３－９．明るさ、大きさ、方向の変化する２視標に対する視標選択傾向と潜時

sub	方向選択性 ANGLE(deg)	方向選択性 POWER(%)	明るさ選択性 (%)	大きさ選択性 (%)	潜時 (SD) (ms)
YO	-111.3	32.2	42.6	67.4	258.2 (64.4)
KK	52.5	45.8	35.2	23.8	266.5 (77.5)
AF	-9.3	15.9	64.8	48.6	282.5 (66.4)
TO	-9.6	75.3	9.2	10.4	190.8 (37.4)
YT	52.4	46.0	29.6	-2.8	258.2 (55.5)

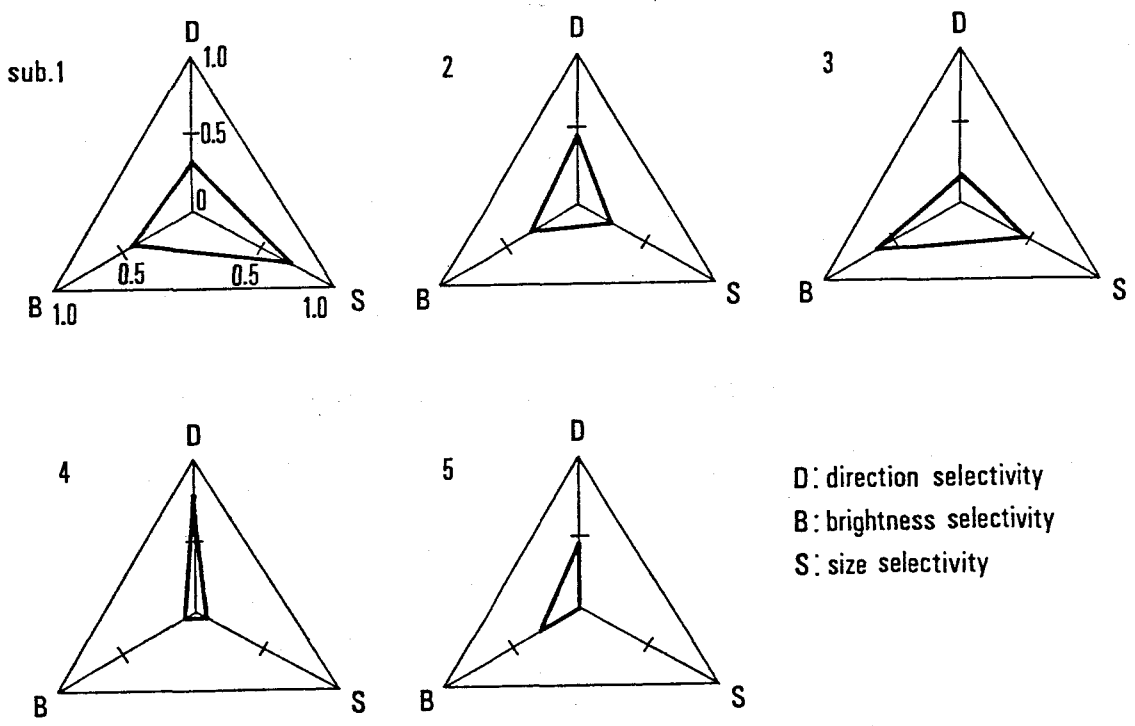


図３－９．各被験者の視標選択時における図形の属性利用状況．

は意識的な努力を必要とし、また指示の守り難い選択法であった。このようにヒトは視標の大きさを視線移動決定の基準とする場合、自由に大きな、あるいは小さな視標から見ることができる訳ではない。既にその存在の必要性を検討したように、視標の提示位置、あるいは視標の明るさに従って機械的に注視視標を選択する機構以外にも、視標の大きさに従って機械的に注視視標を選択する機構もまた考慮する必要があろう。

＜３－２－４＞　明暗、大小２視標に対する視線の第１移動

さて最後にこれまで検討してきた視標の提示位置、明るさ、大きさの３つの属性を組み合せた場合の視線の第１移動について検討を加えた。

刺激図形提示装置としてはラスター・スキャン型のＣＲＴを１台用い、図3-6 の明暗２視標実験と同様に、半径15.6° の円周上にπ/5毎の５通りの提示角に２視標対を提示した。視標は明るさが 1、31 (lux)の２段階、大きさも一辺が0.42° 、1.34° の２段階の正方形とした。これら大きさ、明るさの任意の組み合せを試行毎に５通りの提示角にランダムに提示した。実験はこの明るさ、大きさの組み合せ $_2C_1$ ×位置の組み合せ $_2C_1$ ×４回分＝80試行から成る。被験者へは２視標を迅速に順次注視することを求めた（これを自由走査と呼ぶ）が、更に”明るい方の視標から迅速に見る”、”大きい方の視標から迅速に見る”、”上方に位置する視標から迅速に見る”ことを求めた（これを指示走査と呼ぶ）。

まず自由走査時の結果を表3-9 に示す。表中の方向選択性、明るさ選択性、大きさ選択性はこれまでのそれと同様に、(3-3) ～(3-7) 式によって求めたものであり、２視標対提示から眼球運動

表３－１０．各指示走査時の指示履行率と潜時

sub	”明るい方から”		”大きい方から”		”上方から”	
	指示履行率 (%)	潜時 (SD) (ms)	指示履行率 (%)	潜時 (SD) (ms)	指示履行率 (%)	潜時 (SD) (ms)
ＹＯ	94.4	270.8 (78.2)	94.3	261.5 (77.1)	89.9	216.2 (46.1)
ＫＫ	97.1	268.5 (45.5)	88.4	250.5 (50.3)	100.0	247.1 (51.3)
ＡＦ	97.2	288.9 (66.6)	91.4	317.8 (81.8)	98.8	261.0 (54.0)
ＴＯ	91.7	203.8 (31.0)	80.5	208.3 (43.9)	100.0	180.3 (37.0)
ＹＴ	94.4	245.1 (37.7)	82.9	235.7 (36.7)	100.0	198.7 (49.7)

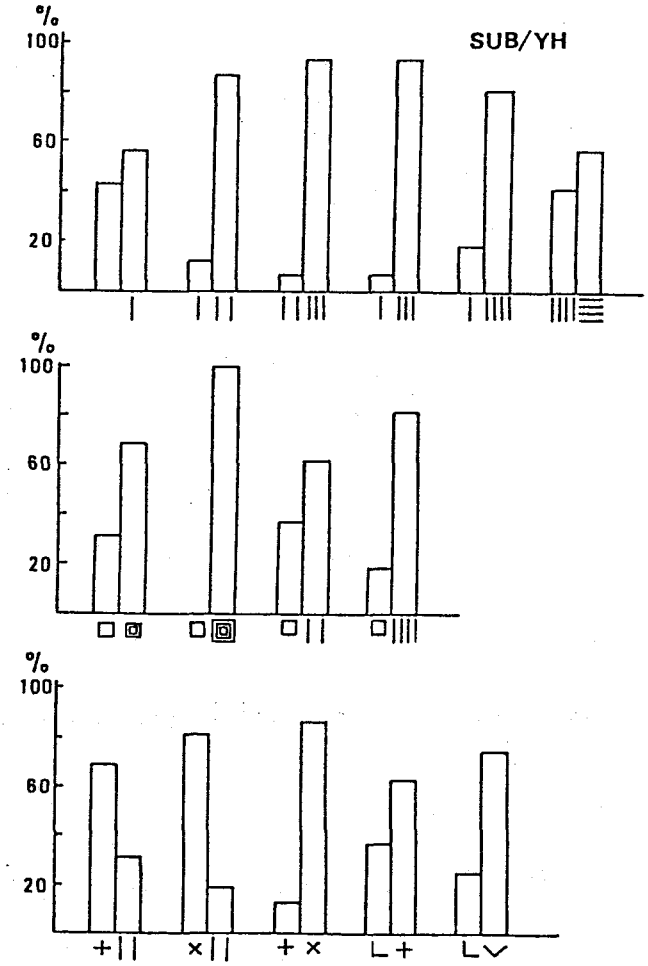


図３－１０．種々の図形に対する視線の初期移動（田村ら,1978bより）.

開始までの潜時も併記した。

結果は、実験に参加した被験者５人で視標選択傾向は様々であった。図3-9 は以上の結果を更に見やすくするため、各被験者の方向選択性、明るさ選択性、大きさ選択性の相互の比率を三角形で表現したものであるが、この図に示されるように、被験者１は大きさ選択性が顕著、被験者３は明るさ選択性が顕著、被験者４は方向選択性が顕著であり、被験者２は３属性の折衷型、被験者５は大きさ選択性の顕著でない方向、明るさ選択型であった。しかしいずれの被験者においても暗い視標から見る、あるいは小さい視標から見る等、これまで意識的な努力を必要とすることが判明している視標選択方法を自由視下で採る被験者はみられなかった。

また表3-10は指示走査時の指示履行率、潜時を示したものである。表の左から順に”明視標から見る”、”大視標から見る”、”上方に位置する視標から見る”ことを求めた場合の結果を示す。結果は、いずれの指示においても、どの被験者も高い指示履行率を示し、複数の属性が混在する場合にも、その内の１つの属性を基準として視標選択が可能であることが確認された。また潜時については上方から見る場合のそれが各被験者とも最小になる傾向にあった。

＜３－２－５＞　視線の第１移動決定過程のモデルの拡張

さて以上の結果は図3-5 のモデルを更に詳細にした図3-11のモデルにまとめることができる。

ところで視線の第１移動決定に対する空間因子以外の図形の属性の影響については他に比較的単純な幾何学図形に対する図形選択性が検討されている（田村ら,1978b）。そこでは今回の実験と

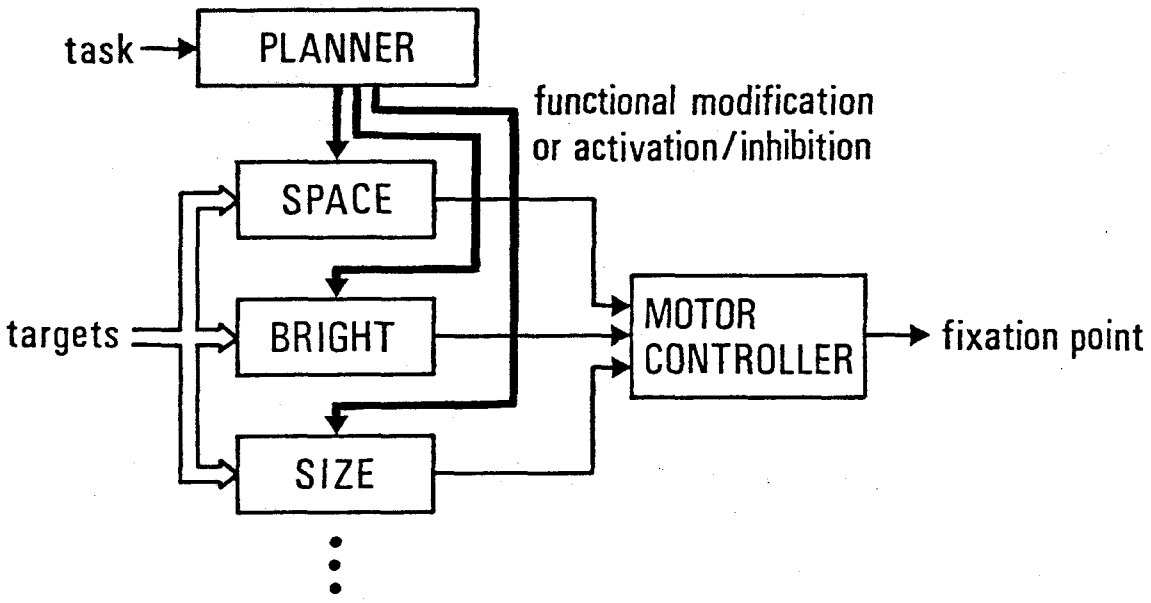


図３－１１．視線の第１移動における視標選択のモデル．

同様に、表示面中心に対して対称な位置に、２視標として図3-10の各グラフの下に示すような点と縦線、縦１本線と縦２本線等を提示し、最初にどちらの視標に視線が１次移動するのかを検討しているが、その結果、図3-10の図形選択性に示されるように、より複雑な図形、より大きな図形に最初に視線が移動する被験者が確認されている。

いずれにしてもこの実験結果ならびに今回の明暗、大小２視標実験の結果は、明るい視標、大きな視標、複雑な視標から見るというように、いわゆるよく目立つ図形の属性が視線移動の決定の基準となる、あるいはいつでも視線移動決定の基準となりうることを示している。

しかしこのことは視線移動の決定に際して、意識的に２視標の明るさの比較、大小の比較を行なっているとするには問題があろう。暗い視標から見る、小さな視標から見ることは明るい視標から見る、あるいは大きな視標から見る場合と異なり、意識的な努力を必要とする比較的困難な視標選択方法であった訳で、逆に以上のことは明るい視標、大きな視標、複雑な視標の選択方法を高次の情報処理の結果、あるいは視線移動のソフトウェアとして理解するには無理があろう。むしろ以上の結果は視線移動の決定に網膜に映った図形の持つ属性が大きく影響していることを示しており、前節3-1 で検討したように、網膜像に依存して機械的に視線移動を決定する一定のハードウェアを求める必要があろう。

図3-11のモデルでは網膜像から運動制御機構に新たな注視点を送る３つの経路がこの刺激依存的な側面を表しているが、図3-5のモデルのSelectorと異なり、明るさ、大きさ、方向等の各々の図形の属性に機械的に反応する複数のチャンネルを仮定した。

しかし以上の結果はまた視線移動が全く刺激依存的に決定されていることも意味しない。例えば表3-9 の明暗、大小２視標に対

する指示走査時の指示履行率が示すように、明るい視標から見る、大きい視標から見る、あるいは上方の視標から見る指示は容易に変更、達成しうる指示であったが、このことは視標の選択方法はある範囲内では変更可能であることを示しているだけではなく、同時に、例えば明るい視標から見る場合には視標の大きさ、その提示位置等の視線移動に影響する他の図形の持つ属性の影響を完全に止めてしまうことが可能であることを示している。ここに視線移動決定の中枢制御的な側面をみることができよう。

図3-11のモデルでは図形の属性に従って機械的に視標を選択する各チャンネルの機能を上位中枢が活性化、あるいは抑制しうるとして、この視線移動決定の中枢制御的な側面を表現した。そしてこのモデルでは、例えば明るい視標の選択法では、明るい視標を選択するチャンネルの機能だけを活性化し、他のチャンネルの機能を抑制しているため大きさ、提示位置等の図形の他の属性に影響されることなく明るい視標が選択されるのではないかと説明することができる。

ただ上位中枢がこのようなチャンネルの機能を活性化する、あるいは抑制することによってのみ視線移動をコントロールしているのか、それとも前節3-1 の図3-5 のモデルの空間プリセットのように、例えばある明るさ以下の視標、ある大きさ以下の視標を選択するように明るさ、大きさ選択の範囲をセットしうるのかどうか等はまだ明らかではない。また果して明るさ、大きさ、方向のチャンネルの分け方が妥当であるのかについても更に検討を要するところであろう。

いずれにしても明暗、大小２視標に対する視線の第１移動においても視線移動決定に刺激依存的な側面と中枢制御的な側面の２つの側面が認められた。

第４章　複数視標順次注視時の視線移動

あらまし　前章では刺激図形提示直後に生じる視線の第１移動を対象に、最初の注視点がどのようにして決定されているのかを検討した。本章ではこの視線の第１移動をも含めた一連の視線移動において、新たな注視点がどのようにして順次決定されていくのかを検討するため、表示面水平軸上に提示された３視標（水平３視標）ならびに表示面全体にランダムに配置された最高６個の複数視標（ランダム配置視標）に対する視線移動について検討を加えた。

まず水平３視標実験の結果であるが、３視標に対する第１、第２、第３の各視線移動場面には網膜中心に最も近い視標を見る等の注視視標選択の規則性が認められ、またこの規則性は前章3-1節の水平２視標に対する視線の第１移動でみられた規則性と類似したものであった。すなわちこの水平３視標に対する一連の視線移動がこれら水平２視標実験で得られている視標選択規則の連鎖として記述しうる可能性がある訳で、これらの規則を組み込んだ注視順序のシミュレーション・モデルを計算機上に構成しこの点を確認した。その結果、注視順序シミュレータの応答はヒトのそれとよく整合し、水平３視標の順次注視においては、いくつかの視標選択規則が順次適用されることによって視線移動が進んでいくのではないかとの推測を得た。

また更に複雑な刺激図形に対しても、同様に注視点決定の規則の連鎖として視線移動が記述しうるのかどうかを検討するため、ランダム配置視標に対する視線移動を検討した。そこでは主に注視順序シミュレータとヒトの応答の整合性を検討したのであるが、結果は、これまで確認された以外の視標選択の規則性の存在

が視線の第1移動において確認されたものの、この規則をモデルに組み込むことによって両者の応答はよく整合し、ランダム配置視標に対する一連の視線移動もまたいくつかの視標選択規則の連鎖として記述しうることが確認された。

4－1．水平3視標に対する視線移動の解析

ヒトが物を見る場合、注視点が図形上のどこに選ばれるのか等の注視点選択の空間的な分布に関しては従来から興味を持たれ、多くの研究がなされているが、注視順序すなわち注視点選択の時間的な順序を議論するには至っていないように思われる。視線移動を伴う知覚形成は1つの時間過程と考えられ、この注視点選択の時間的な順序についても検討する必要があろう。

このような観点から前章ではまず刺激図形提示直後に生じる視線の第1移動に着目し、表示面上に提示された2視標の提示位置、明るさ、大きさ等を種々変化させ、最初にどちらの視標に視線が移動するのかを検討した。その結果、視野中心により近い視標から見る等のいくつかの規則的な視標選択方法が存在することが明らかとなった。

しかしこれら視線の第1移動は刺激図形提示直後に生じる視線移動であり、いささか特殊な状況下での視線移動といわねばならないであろう。更に視線の第2移動以降にもこれら第1移動で認められたような視線移動決定の規則性が存在するのかどうかを検討する必要があろう。そこでここでは視標の数を1つ増して、表示面の水平軸上に提示された3視標（水平3視標）に対する第1から第3までの一連の視線移動を検討対象に、新たな注視点がどのような過程を経て順次決定されていくのかを検討した。（牧川と田村,1981c; Makikawa and Tamura,1982a;牧川と田村,1983)。

＜4－1－1＞　実験方法

刺激図形提示装置としては前章3-1節の水平2視標実験と同様にランダム・スキャン型のＣＲＴを5台用い、水平方向、視角に

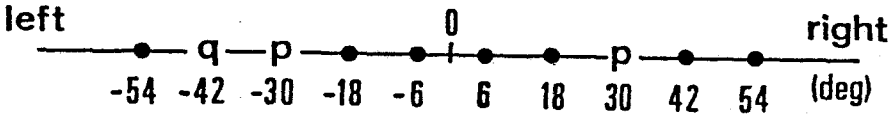


図４－１．水平３視標の提示例．

sub YM (TYPE A)

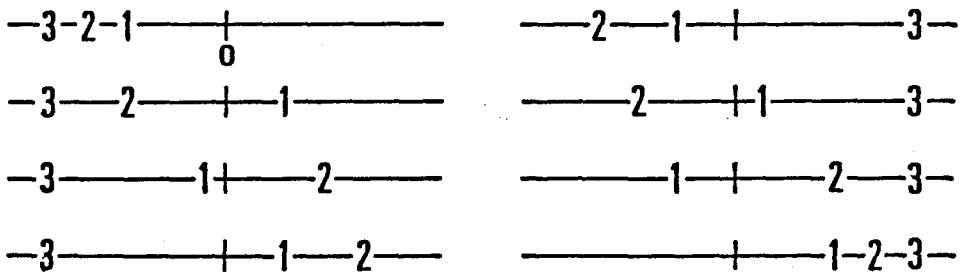


図４－２．水平３視標の注視順序例．

して 120° の提示視野を確保した。水平３視標の提示例を図4-1に示す。視標は大きさ１°のｐまたはｑの英小文字で、この２文字のランダムな組み合せを試行毎に表示面の水平軸上の３点に提示する。その提示位置は左 -54° の位置から12° おきの10点より試行毎にランダムに３点を選び、実験はこの位置の選び方$_{10}C_3$－1 = 119(記録媒体の容量制限により１試行削除）から成る。

視標の提示時間は３秒で、提示直前、直後には表示面中心に十字を提示し、これを見ることを求めた。また本実験が注視順序に関する実験であることを被験者に悟らせないようにする目的から”十字が消え、同時に３視標が提示されたら各視標がｑであるのか否かを判断し応答キーを押す”ことを被験者に求めた。結局、本実験では試行毎に３視標が提示されること以外には、その提示位置および各視標がｐ、ｑのいずれであるのかは不明な状況にある。また実験前には３視標の提示方法、視作業の説明を行い、10試行程度の練習を設けた。

＜４－１－２＞ 実験結果

まず視作業の遂行に当っては、実験に参加した６人の被験者とも３視標上に順次注視点を移動させているが、文字ｑだけを選択的に見る等の視標の文字の種類と視線移動経路の間の特別な関係は認められず、本実験では新たな注視点の決定に視標の文字の種類が関係していないことを確認した。

３視標注視順序の一例を図4-2 に示す。これは被験者YMの視線移動記録の内、代表的な８試行での結果を示したもので、表示面（横軸）上の各視標位置に注視順序を番号で示した。結果はこの被験者の例に示されるように、３視標相互の位置関係によって注視順序は一見異なるようにみえるが、以下に示すように、第１、

表４－１．視線の第１、第２、第３移動における視標選択傾向

sub	第１移動			第２移動			第３移動
	最近視標１個(n=99)	最近視標２個(n=20)		近傍視標１個	近傍視標２個		(n=119)
	最近視標	左視標	右視標	近傍視標(n)	左視標	右視標 (n)	未注視視標
ＡＯ	94%	90%	10%	97% (110)	22%	78% (9)	86%
ＨＳ	88	20	80	91 (112)	43	57 (7)	92
ＹＭ	98	40	60	96 (112)	71	29 (7)	99
ＨＫ	80	90	10	86 (112)	14	86 (7)	97
ＴＯ	94	60	40	94 (109)	50	50 (10)	91
MW	81	25	75	--	--	--	71

第２、第３の各視線移動場面には規則的な視標選択傾向が確認された。またこのような傾向は実験前の練習にも共通していた。

＜ 4-1-2-1 ＞　視線の第１移動での結果

表4-1 の左の欄に各被験者の視線の第１移動における視標選択傾向を示す。表中”最近視標１個”の欄は表示面中心に最も近い視標が１つだけの場合の、その視標に視線が第１移動した割合（該当パターン発生数 n=99)を示す。結果は表に示されるように、どの被験者も最近視標を選択する傾向が顕著であった。また”最近視標２個”の欄は最近視標が表示面中心に対して対称に２つある場合(n=20)であり、その内の左、右視標を選択した割合を示す。結果は、左または右の一方から見る傾向が顕著な被験者から、そうでない被験者まで様々であった。

＜ 4-1-2-2 ＞　視線の第２移動での結果

視線の第２移動においては図4-3 a)、b)に示されるように、２種類の異なる視標選択傾向が確認された。いずれの図も視線の第１移動で注視された視標を原点、右方向を正とする網膜座標系上で、２未注視視標中、相対的に左に位置する視標位置T_Lを横軸にとり、右の視標位置T_Rを縦軸にとった。また図中の○印は視線の第２移動において右の視標T_Rを選択したことを、●印は左の視標T_Lを選択したことを示し、例えば$(T_L, T_R)=(-24°, 48°)$の組み合せは全試行中に２回出現し、その２回とも左の視標T_Lを選択したことを示す。

ところで太線で分けられた右上の象限①は欄外に模式的に示すように、第１視線移動注視視標▲の右に２未注視視標■が位置する組み合せで、中上の象限②は左右に１視標ずつ分離して位置する組み合せであるが、これら①、②では相対的に左に位置する視

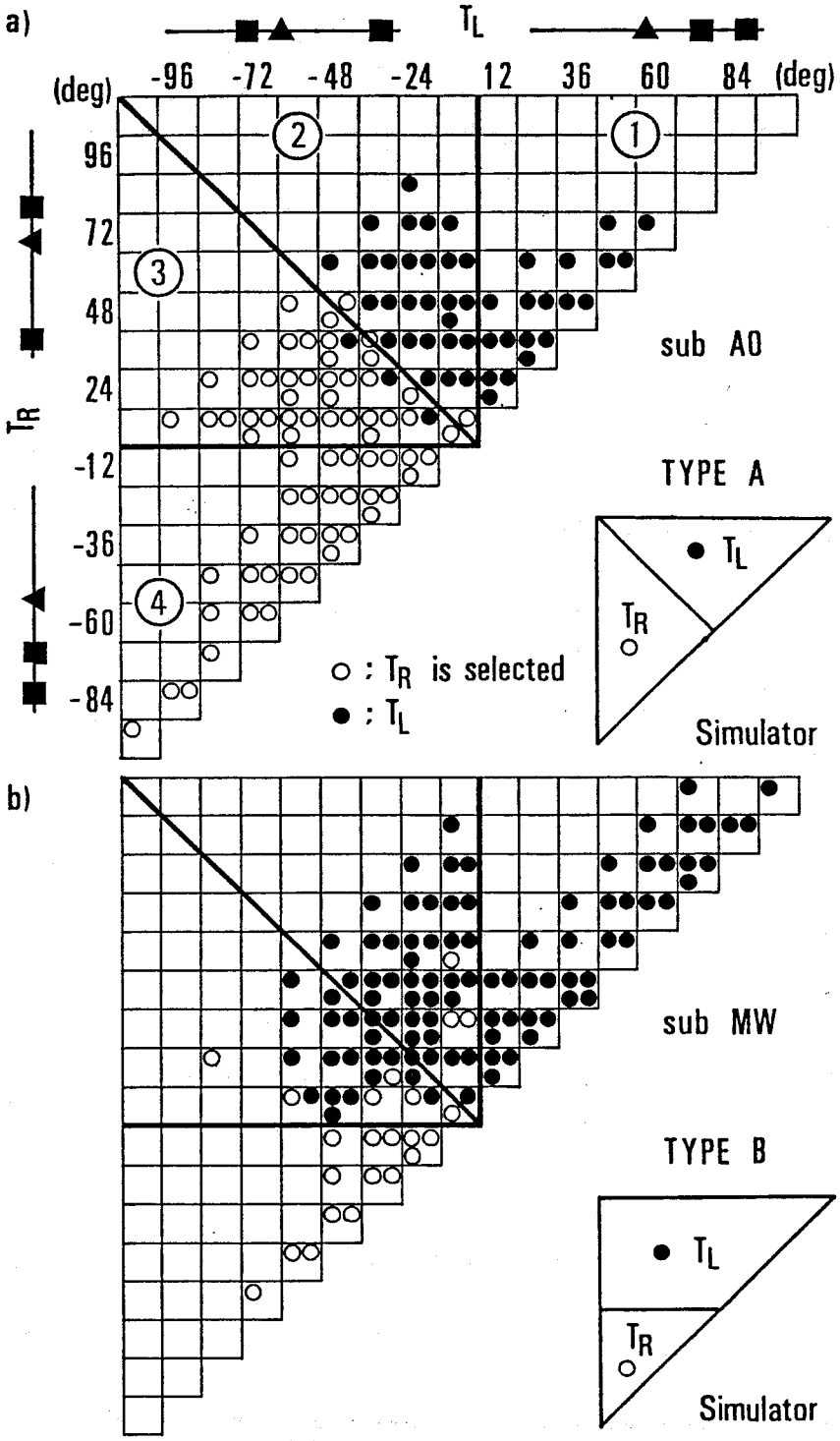


図４－３．視線の第２移動での視標選択傾向．

標T_Lが第１視線移動注視視標▲により近い。また中下の③は②と同様に２未注視視標が左右に分離位置する組み合せで、左下の④は注視位置の左に２視標がともに位置する組み合せであるが、①、②と異なり③、④では相対的に右に位置する視標T_Rが第１視線移動注視視標▲により近い。

さて図4-3 a)の視標選択傾向であるが、この場合には左の視標T_Lが注視位置により近い象限①、②ではT_Lを選択し、右T_Rがより近い象限③、④ではT_Rを選択するというように、第１視線移動注視視標位置により近い、すなわち網膜中心により近い視標を視線の第２移動で選択する傾向がみられた。このような傾向は被験者MWを除く５人の被験者で確認された。

表4-1 の中欄にこれら５人について、網膜中心により近い視標（近傍視標と呼ぶ）が１個の場合の近傍視標選択率、対称に２個ある場合の右、左視標の選択率および各々の該当パターン発生数ｎを示す。結果は、”近傍視標２個”の場合には右または左の一方から見る傾向は被験者によって異なるが、”近傍視標１個”の場合には５人の被験者とも高い割合で近傍視標を選択していた。

また図4-3 b)の他の被験者と異なる視標選択傾向を示した被験者MWでは、２未注視視標が共に第１視線移動注視視標の左に位置する象限④では相対的に右に位置する視標T_Rを選択し、それ以外では左の視標T_Lを選択する傾向にあった。

< 4-1-2-3 >　視線の第３移動での結果

第１、第２と視線移動した結果、視線の第３移動においては未注視視標は唯一である。表4-1 の右欄に第３視線移動において、その未注視視標を選択した割合(n=119) を示す。結果は、被験者によって差はあるものの、どの被験者も既に注視した視標の再注視の例は少なく、未注視視標が選択される傾向が顕著であった。

表４－２．水平２視標に対するいくつかの視標選択規則

実験	２視標の提示条件	視標選択規則
Ⅰ	視野中心に対して対称に提示	左または右の一方の視標を選択
Ⅱ	視野の左右各半面に１視標ずつ分離提示	(type A) 視野中心により近い視標を選択 (type B) 左または右の一方視標を選択
Ⅲ	視野の任意の２点に２視標を提示	視野中心により近い視標を選択

＜４－１－３＞ 注視順序シミュレータによる視線移動の解析

さて以上のようにこの水平３視標実験においては、第１、第２、第３の各視線移動場面に規則的な視標選択傾向が確認された。ところで前章の結果が示すように、視線の第１移動においてはいくつかの規則的な視標選択方法が存在がする。これらのうち前章3-1 節の水平２視標実験で得られた視標選択規則を表4-2 に示す。視標選択傾向は２視標の提示条件、被験者の違いによって変化したが、一実験内では各被験者とも一定した傾向を示していた。

すなわち２視標が常に対称に提示される実験Ｉでは、どの被験者も左または右の一方の視標に視線が第１移動し、２視標が視野の左右各半面に分離提示される実験Ⅱでは、視野中心により近い視標を選択する被験者(type A)と、左または右の一方の視標を選択する被験者(type B)がみられ、２視標がどこに提示されるのか不明な実験Ⅲでは、どの被験者も視野中心により近い視標を選択していた。

さて表4-1 の結果が示すように、この水平３視標実験においても、網膜中心に最も近い未注視視標を選択する等、第１、第２、第３の各視線移動場面には表4-2 の水平２視標に対する視線の第１移動でみられたものと類似した視標選択の規則性がみられる。そこで次に今回の水平３視標に対する一連の視線移動がこれら水平２視標実験で得られている規則の連鎖として記述しうるのかどうかを検討する目的から、表4-2 の規則を組み込んだ注視順序シミュレータを計算機上に構成し、その応答を確認した。今回の水平３視標の順次注視においては、いくつかの視標選択規則が順次適用されることによって視線移動が進んでいくのではないかということである。

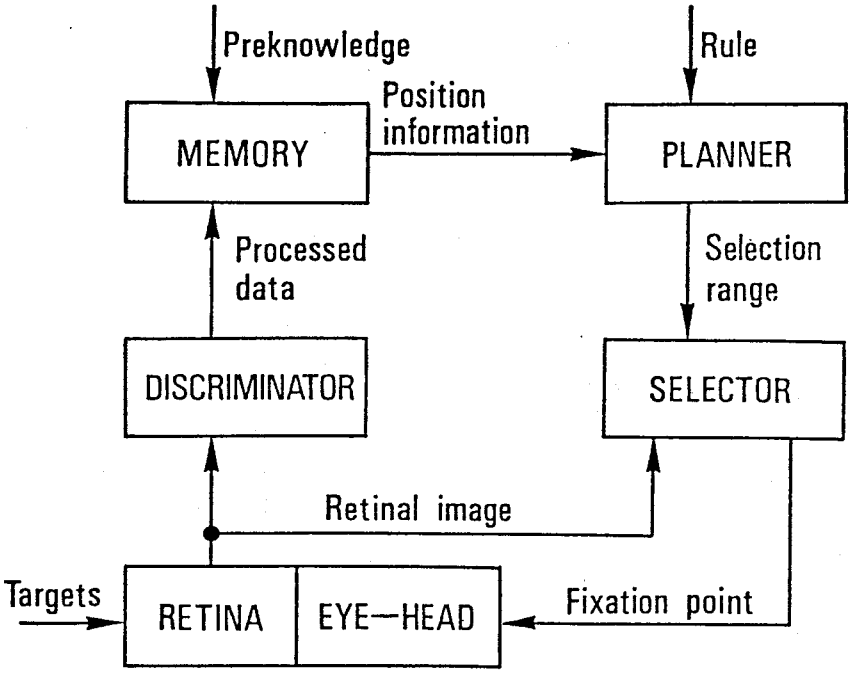


図４－４．シミュレータの概要．

< 4-1-3-1 >　注視順序シミュレータの構成

注視順序シミュレータの概要を図4-4 に示す。これは前章3-1節の図3-5 の水平２視標に対する視線の第１移動の決定過程のモデルを拡張し、計算機上に具体化したものである。シミュレータの詳細を記す前に、まず水平２視標実験の結果について再度検討する。

ところで水平２視標に対する視線の第１移動においては注視視標の決定に２つの異なる側面が認められた。第１は図形の特徴部等によって視線が受動的に制御される等の、視線移動決定の刺激依存的な側面である。水平２視標実験では視野中心により近い視標ほどより高い被選択優先権を有しており、視線の第１移動の決定に際しては機械的に網膜中心により近い視標を選択する機構が使用されると考えられた。図4-4 ではSELECTORがこれに当り、網膜(RETINA)に映った像から機械的に注視視標を選択し、効果器(EYE-HEAD)に伝える。

また第２は高次の認知活動に従ってヒトの側から積極的に視線を制御する等の視線移動決定の中枢制御的な側面である。水平２視標実験では、例えば右または左の一方の視標選択傾向の場合には視野の右または左の片半面に出現した視標から見てやろうといったように、実験状況に応じて視標を選択すべき大まかな位置の範囲(Selection range) が視標提示以前に予め決定されていると考えられた。そして表4-2 の視標選択方法の違いはこの視標選択の方向づけの違いと考えられた。

またこの２つの異なる側面の関係については、図4-4 のように、機械的に視野中心により近い視標を選択するSELECTORをより上位の中枢(PLANNER) が記憶(MEMORY)内の実験状況に関する前知識(Preknowledge)に応じて機能修飾するモデルによって統合的に説明しうることを示した。すなわち注視点決定機構SELECTORは常

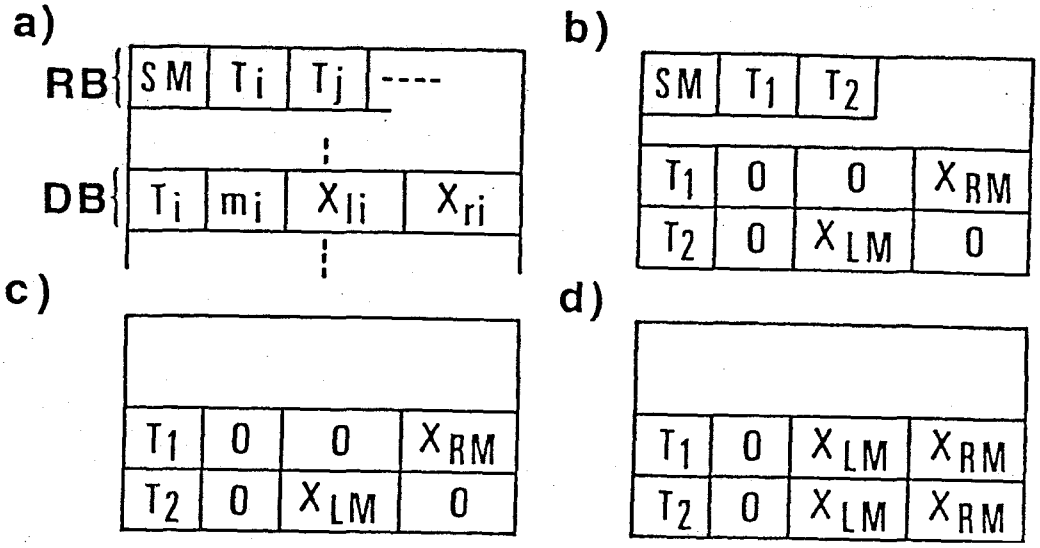


図４－５．MEMORYの構造と初期値設定例．

に視野中心により近い視標を選択するのではなく、状況に応じて、例えば右または左の片半面に出現する視標を選択しやすいように、予めPLANNER から選択範囲(Selection range) Rの形で機能修飾を受けるというモデルである。そして注視順序をシミュレートするに当り、ここでは表4-2 の規則をこの選択範囲Rの決定則と考え、PLANNER にこの決定則を組み込んだ。

以下、各機能ブロックの詳細を記すが、シミュレータを計算機上に具体化するに当り、新たにDISCRIMINATOR を付け加えた。これは視線移動完了毎に網膜像から記憶(MEMORY)内の情報を書き換える機能を有する。

(1) MEMORYの構造

MEMORYはどの視標が注視済みであるのか等の情報を格納する場所で、図4-5 a)のようにデータ・ブロック(DB)と関係ブロック(RB)の２つから成る。更にデータ・ブロックはｉ番目の視標T_iが注視済みであるのか否かを示す指標m_i(=0:未注視、=1: 注視済み)と、それらがどの辺に提示されるのかを示す位置情報Position information (X_{li},X_{ri}) とから成る。この内、位置情報に設定する初期値、すなわち視標がどのように提示されるのかについての前知識Preknowledgeとしては、本実験のように視標提示以前に正確な視標位置が不明な状況では左右端位置(X_{li},X_{ri}) の幅を持った範囲として設定するが、正確な視標位置X_{Ai} が判明するとDISCRIMINATORにより(X_{li},X_{ri})=(X_{Ai},X_{Ai}) に修正される。ただヒトが視線移動に伴って表示面が移動するとは感じないように、MEMORY内の位置情報も視線移動に伴って移動しないものとし、X_{li} 、X_{ri} は表示面座標系上の値を持つとした。また表4-1 の結果が示すように、本実験のような環境下では視標の位置情報のみが注視点決定に重要と考え、各視標の文字の種類、大きさ等の情

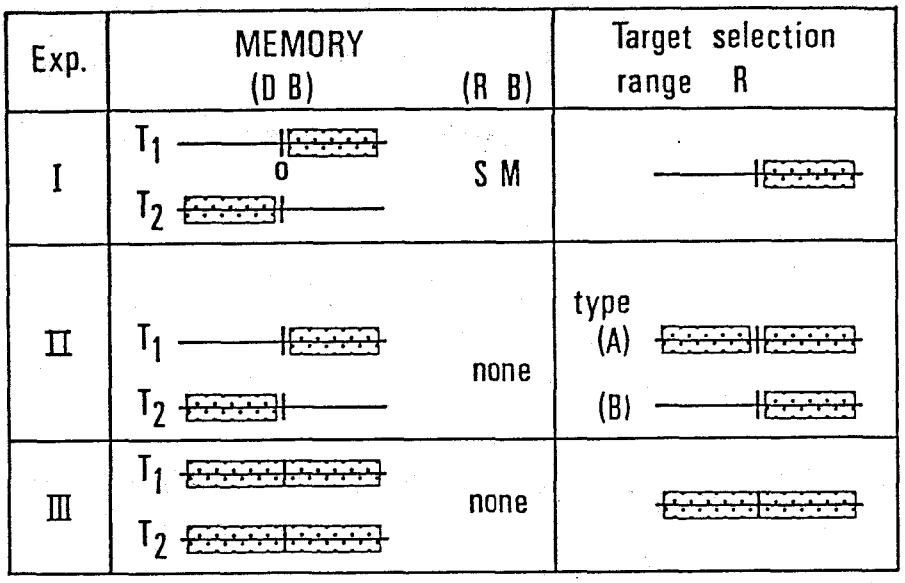


図４－６．位置情報と選択範囲の関係．

報はMEMORYから省いた。

MEMORYへの初期値の設定例を図4-5 b)、c)、d)に示す。ここにX_{LM}、X_{RM}は各々表示面の左右端位置である。同図c)は表4-2の実験IIの”視野の左右各半面に1視標ずつ分離提示される”を入力した場合で、視標T_1が右半面$(0,X_{RM})$、T_2が左半面$(X_{LM},0)$に提示されると入力しうる。また同図d)は実験IIIの”任意の2点に2視標が提示される”を表現した場合で、2視標がどこに提示されるのか不明な状況にあるので、T_1、T_2ともに表示面全体(X_{LM}, X_{RM})を位置情報の初期値としている。同図b)は実験Iの”2視視標が対称に提示される”を入力した場合で、T_1、T_2の位置情報はc)と同様に入力しうる。しかしこの場合、これだけでは不十分で、2視標の対称性もまた考慮する必要がある。この対称性は2視標相互の位置関係を表すものと考えられるが、このような視標相互の関係を記述するのが関係ブロック(RB)である。b)ではRBにT_1、T_2が対称(SM)と入力した。

(2) PLANNER の機能

PLANNER は視標選択の方向づけを行うところであり、記憶(MEMORY)内の情報から次に視標を選択すべき大まかな位置の範囲(選択範囲、Selection range)Rを決定することをその役割とする。そして今回は表4-2の水平2視標実験で得られている選択範囲決定の規則が組み込まれることになる。

具体的な組み込み方を示す前にまず図4-6に表4-2の水平2視標実験でみられた、視標提示に関する前知識、すなわち位置情報の初期値と、視標選択範囲R、すなわち視標選択の方向づけの関係を示す。図の左欄は表4-2の実験番号を、中欄は図4-5 b)、c)、d)に対応したMEMORYの内容を、右欄は選択範囲Rを、いずれも横軸(表示面水平軸)上に長方形で囲った範囲として模式的に

示した。ただ水平２視標実験では、右または左の一方の視標選択傾向の場合には視野の右または左の片半面が、視野中心により近い視標の選択傾向の場合には視野全体が選択範囲となっていると考えられた。

そしてこの両者の入出力関係をPLANNER に組み込む訳であるが、このとき選択範囲Rが視標の位置情報の集合 $\{(X_{li}, X_{ri})\}$ の部分集合になっていることに気付く。すなわち具体的な選択範囲の決定則は個々の被験者、実験状況によって異なるが、(4-4) 式、(4-5) 式に示すように、基本的には記憶内の位置情報の集合Sの内、(4-1) 式で表される特定の部分集合S_1を選択範囲Rとする場合と、(4-2) 式に示すように位置情報の集合SそのものS_2をRとする場合の２つが使い分けられているのではないかということである。そしてX_{LM}、X_{RM} を視野の左右端位置とすると、各位置情報が(4-1) 式の部分集合S_1の要素となるか否かの条件X_{LS} およびX_{RS} は、実験Ｉで右の視標を選択する傾向にある被験者においては$X_{LS}=0$、$X_{RS}=X_{RM}$ で与えられ、左の視標を選択する傾向に

$$S_1 = \{(X'_{li}, X'_{ri})\} \subset S', \quad X_{LS} \leqq X'_{li}, X'_{ri} \leqq X_{RS} \qquad (4\text{-}1)$$

$$S_2 = S' \qquad (4\text{-}2)$$

$$S' = \{(X_{li} - X_F, X_{ri} - X_F)\}, \text{ただし } m_i \neq 0 \qquad (4\text{-}3)$$

$$\text{(type A)} \quad R = \begin{cases} S_1, & \text{(if SM in RB)} \\ S_2, & \text{(others)} \end{cases} \qquad (4\text{-}4)$$

$$\text{(type B)} \quad R = \begin{cases} S_1, & \text{(if } S_1 \neq \phi) \\ S_2, & \text{(others)} \end{cases} \qquad (4\text{-}5)$$

表４－３．各被験者の選択範囲決定則

被験者(type)	AO (A)	HS (A)	YM (A)	HK (A)	TO (A)	MW (B)
(X_{LS}, X_{RS})	$(X_{LM}, 0)$	$(X_{LM}, 0)$	$(0, X_{RM})$	$(0, X_{RM})$	$(0, X_{RM})$	$(X_{LM}, 0)$
R決定条件	SM in RB	SM in RB	SM in RB	SM in RB	SM in RB	$S_1 \neq \phi$

ある被験者においては$X_{LS}=X_{LM}$ 、$X_{RS}=0$で与えられる。

ただ今回の水平3視標実験の結果が示すように、実際の視標選択は網膜座標系上で行われると考えられ、視標選択範囲Rもまた網膜座標系に変換される必要がある。そこでS_1、S_2を計算するに当っては(4-3) 式のように、表示面座標系上の値をもつMEMORY内の各視標の位置情報から表示面上の注視位置X_Fを引き、網膜座標系上での位置情報の集合S'を作った。

そして最終的な選択範囲Rの決定は、type Aの被験者ではS_1をRとするのは2視標が対称に提示される実験Ⅰのみであり、これは(4-4) 式のようにMEMORY内のRBブロックにSMと入力されているときのみS_1をRとすると表現しうる。また実験Ⅱ、Ⅲで左または右の一方の視標を選択する被験者(type B)ではできるだけ左または右の一方の視標から見ようとする傾向にあり、(4-5) 式のように部分集合S_1が空集合φでない限りS_1をRとすると表現しうる。

以上今回シミュレータに組み込んだ各被験者の選択範囲Rの決定則、すなわち(4-1) 式のX_{LS} 、X_{RS} および(4-4) 、(4-5) 式のSM in RB、$S_1 \neq \phi$を表4-3 に記す。この表に示されるように、規則は被験者によって異なるが、共通の規則として(4-3) 式に示すように、既に注視済み($m_i=1$)の位置情報は選択範囲Rには入らないものとした。これは一度見た視標は二度と見ないことに役立ち、結果として全視標を一通り見終り、Rが空集合になった時点でシミュレータは動作を停止する。

(3) SELECTORの機能

SELECTORは網膜像より機械的に網膜中心に最も近い視標を選択することをその役割とし、PLANNER から選択範囲Rの形で機能修飾を受ける。具体的には図4-7 、(4-6) 式に示すように、網膜座標系X_r上、原点（網膜中心）に近い視標ほどより大きな重みVを

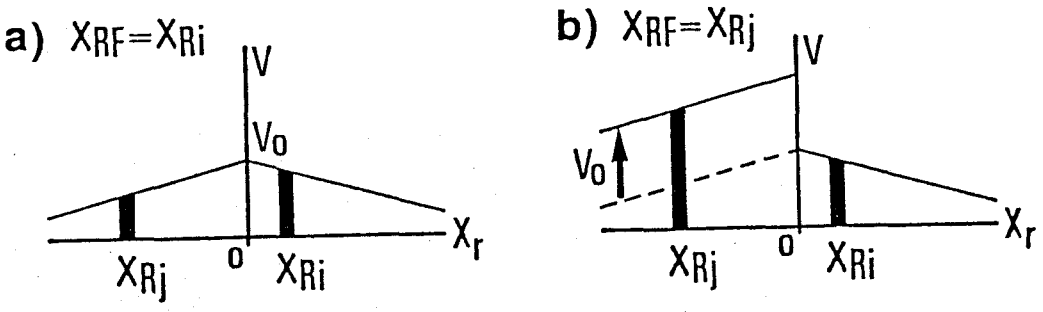


図４－７．SELECTORによる注視点の決定．

持つとし、最大の重みをとる視標が次の注視視標位置 X_{RF}となるとした。またこのSELECTORに対するPLANNER からの機能修飾の方法としては、(4-7) 式のように選択範囲R内に位置する視標はより選択されやすいように重みVがV_0だけ増すとした。図4-7 b)では網膜の左半面が選択範囲Rの場合であり、a)ではX_{Ri} がX_{Rj}より大きな重みを持つが、b)ではX_{Rj} がより大きな重みを持つことになる。ただ最大の重みを示す視標が複数個ある場合には乱数によって内1つを注視位置として出力する。

(4) 視線移動

本シミュレータは注視順序のシミュレーションを目的としており、物理的な眼や頭は備えていない。そこで視標位置データ $\{X_{Ai}\}$ を入力することで、シミュレータへの図形の提示を表現し、(4-8) 式のように表示面上の注視位置X_FにSELECTORが出力した網膜上での新たな注視視標位置X_{RF} を加え、表示面上での新たな注視位置X_Fを計算することで視線移動を表現した。また(4-9)式のように、入力視標位置データ $\{X_{Ai}\}$ と注視位置X_Fより新たな網膜上での視標位置 $\{X_{Ri}\}$ を作ることで新たな網膜像の獲得を表現した。

$$V(X_{Ri}) = V_0 - K * |X_{Ri}| \quad (K,\ V_0:\ 正定数) \qquad (4\text{-}6)$$

$$V(X_{Ri}) = V + V_0 \quad (\text{if } X_{Ri} \text{ in } R) \qquad (4\text{-}7)$$

$$X_F = X_F + X_{RF} \qquad (4\text{-}8)$$

$$\{X_{Ri}\} = \{X_{Ai} - X_F\} \qquad (4\text{-}9)$$

(5) DISCRIMINATOR の機能

DISCRIMINATOR はMEMORY内の各視標T_iの位置情報と注視済みの指標m_iの修正をその役割とする。具体的には(4-10)式のように、網膜上での視標位置X_{Ri} と注視位置X_Fより表示面座標系上の視標位置X_{Ai} を計算し、更に(4-11)式に示すように、各X_{Ai} に対応する位置情報(X_{li}, X_{ri})をMEMORY内より探し出し、これを視標位置X_{Ai} に修正する。また現に注視している視標の注視済みの指標m_iを注視済み(m_i=1)とする。

以上が５つの機能ブロックの詳細であるが、これらのブロック動作の時間的な順序については”→行動の方向づけ→探索行動、情報の獲得→記憶の修正→”のいわゆる知覚循環(Neisser,1978)に従うとし、以下の８つの過程を順次実行するとした。

① s t a r t
② 視標提示に関する前知識、視標選択規則を各々MEMORY、PLANNER に入力、注視位置を表示面中心X_F=0とする。
③ 視標位置データ $\{X_{Ai}\}$ をシミュレータに入力。
④ PLANNER はMEMORY内容より選択範囲Ｒを決定。
⑤ Ｒが空集合ならstop、それ以外は⑥へ。
⑥ SELECTORは網膜像と選択範囲より次の注視位置を決定。
⑦ 効果器の移動と新たな網膜像の獲得。
⑧ DISCRIMINATOR は網膜像よりMEMORY内容を修正。
⑨ ④へ。

$$\{X_{Ai}\} = \{X_{Ri} + X_F\} \qquad (4\text{-}10)$$

$$(X_{li}, X_{ri}) = (X_{Ai}, X_{Ai}), \text{ if } X_{li} \leqq X_{Ai} \leqq X_{ri} \qquad (4\text{-}11)$$

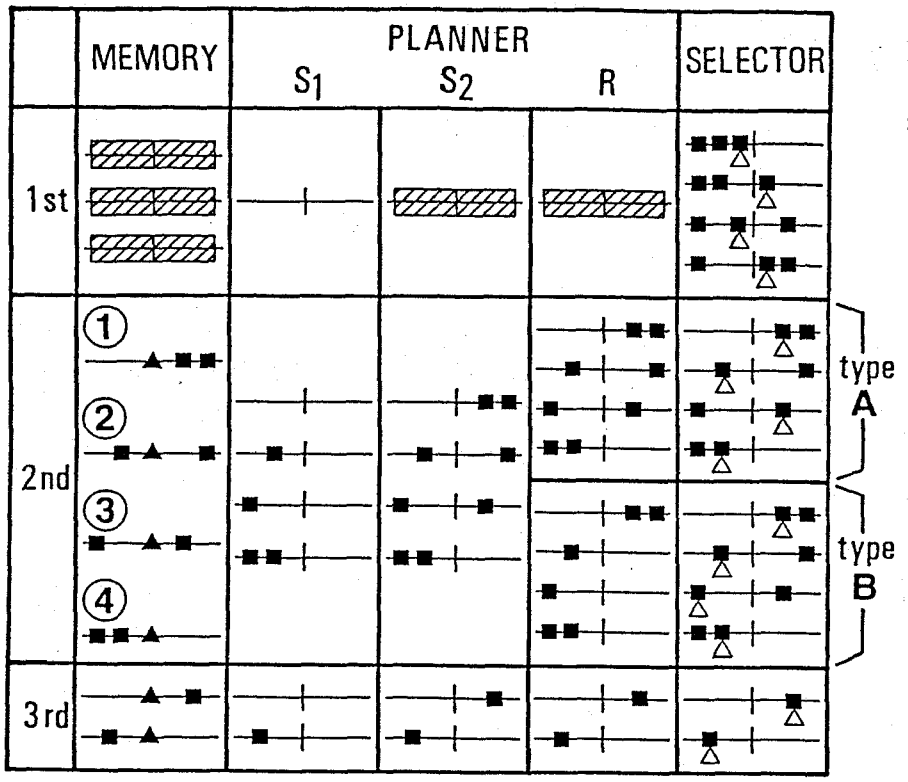


図４－８．視線の第１、第２、第３移動におけるシミュレータの応答．

< 4-1-3-2 >　シミュレータの応答

図4-8 の上、中、下段に第１、第２、第３の各視線移動場面におけるシミュレータの応答を示す。いずれも左欄はMEMORYの内容、中欄はPLANNER において計算される(4-1) ～(4-5) 式のS_1、S_2および選択範囲R、右欄はSELECTORによって出力される注視決定視標を示すが、図4-6 のようにこれらを表示面水平軸（横軸）上に長方形で囲った範囲または▲、■印で示す位置として模式化した。ただ今回の水平３視標実験では各視標がどこに提示されるのかは不明な状況にあるので、MEMORY内の初期値としてはDBブロック内の位置情報には(4-12)式のように３視標とも表示面全体を設定し、RBブロックは空とした。

まず図4-8 上段の視線の第１移動での結果であるが、この場合、右欄の４つの例に示すように、下に△印をつけた表示面中心に最も近い視標■が選択され、これは表4-1 左欄の”最近視標１個”の場合の最近視標選択傾向とよく一致する。また最近視標が対称に２個ある場合には、SELECTORは各々50% の確率で左右の視標を選択するが、これは表4-1 左欄の”最近視標２個”の場合の左または右の一方から見る傾向が顕著でない被験者の応答と一致する。結局、視線の第１移動では最近視標が対称に２つある場合の左または右の一方の視標選択傾向をシミュレートするには至らなかったが、それ以外はヒトの応答とよく整合する応答をシミュレータは示した。

次に図4-8 中段に視線の第２移動における結果を図4-3 のtypeの異なる２人の被験者AO、MWについて示す。図中の①～④は図4-3 の４つの象限に対応し、各々１例ずつについてその結果を示した。結局、最終的な注視決定視標は右欄の下に△印をつけた視

$$T_i:\ m_i = 0,\ (X_{li},\ X_{ri}) = (X_{LM},\ X_{RM}),\ i = 1,2,3 \quad (4\text{-}12)$$

標■になるが、これらの結果を図4-3 a)、b)の右にヒトの応答と対応させて模式化した。いずれも横、縦軸はヒトのグラフのそれと同様に相対的に右、左に位置する視標を選択したことを示し、○、●印は各々その範囲の2未注視視標の組み合せに対して相対的に右、左に位置する視標を選択したことを示す。このようにシミュレータは第2移動においてもtypeの異なる2人の被験者で各々よく整合する応答を示した。また残り4人のtype Aの被験者についても、表4-3 の選択範囲決定則の違いにかかわらず、最終的な注視決定視標は表4-1 中欄の”近傍視標1個”の結果に一致して近傍未注視視標となった。ただ近傍視標が網膜中心に対して対称に2個存在する場合にはSELECTORは各々50% の確率で左右の視標を選択するが、これは表4-1 中欄の”近傍視標2個”の場合の被験者HS、TOの視標選択傾向と一致するものの、他の被験者の右または左の一方の視標選択傾向までは説明し得なかった。この点を除いてシミュレータは視線の第2移動においてもヒトの応答とよく整合する応答を示した。

最後に視線の第3移動での結果であるが、図4-8 下段の2例に示すように、第1、第2と視線移動した結果、MEMORY内の未注視視標■は唯一である。このような場合、シミュレータは各被験者の規則の違いにかかわらずこの未注視視標（下に△印をつけた視標■）を注視決定視標とし、視線の第3移動においてもシミュレータは表4-1 右欄の未注視視標選択傾向とよく一致する応答を示した。

＜4－1－4＞　視線移動プロセスの検討

さて前章3-1 節の水平2視標実験でも検討したように、ヒトの視知覚活動における視線のコントロールには網膜に映った像に

よって注視点が決定される、すなわち刺激図形といった外部環境によってヒトが制御される側面をもつが、表4-1 の結果が示すように水平３視標実験においても視線の第１移動において全員で、第２移動において被験者MWを除く５人で網膜中心により近い未注視視標が選択されるというように網膜中心に近い視標ほどより高い被選択優先権を有している。

このようにヒトの視知覚活動における新たな注視点の決定過程を議論する場合、注視点決定の刺激依存的な側面を無視することはできない。本シミュレータではSELECTORがこの刺激依存的な側面を表現しており、網膜中心により近い視標を機械的に次の注視点とする。

しかし一連の視線移動において注視点が刺激依存的に次々と決定されていくとも考えにくく、もし視線移動が全く刺激依存的になされるのであれば、例えば網膜中心に最も近い視標を注視した後は、その視標が網膜中心に最も近い視標であり、二度とその視標から抜けて視線移動を起すことはないであろう。それにもかかわらずヒトは３視標を順に注視するのであり、このことはどの視標が既に注視済みであるのか等の高次の判断もまた視線のコントロールに関与していることを示す。

このように注視順序をシミュレートするには視標選択の中枢制御的な側面もまた考慮する必要がある。本シミュレータでは刺激依存的に注視点を決定する機構SELECTORに対してより上位の中枢PLANNER がMEMORY内容に応じて視標選択の方向づけを与えられるとした。そしてここでは先の水平２視標実験で得られている方向づけの規則をPLANNER に組み込み、シミュレーション実験によって水平３視標に対する一連の視線移動がこれらいくつかの規則の連鎖として記述しうることを示した訳である。

4－2．ランダム配置視標に対する視線移動の解析

ヒトの視知覚活動における視線移動のコントロールの仕方を明らかにする目的から、前節では表示面の水平軸上に提示された3視標に対する注視順序を取り挙げ、シミュレーション実験の結果、一連の視線移動がいくつかの規則の連鎖として記述しうることを示した。ここではより複雑な図形に対する視線移動を解析する目的から、更に視標の数を増し、また提示位置も表示面の水平軸から表示面全体に拡張して、そこにランダムに配置された最大6個の複数視標（ランダム配置視標）に対する一連の視線移動を検討した。ランダム配置視標に対する一連の視線移動はやはり視標選択規則の連鎖として説明しうるのか、もしできないとすればそれは用いた視標選択規則以外の規則がそこに存在するからであるのか等を主な検討点とした。

ただ視線移動の解析にあたっては、前節で行なったような1つ1つの視線移動場面における注視点の決定過程について検討を加える方法はとらず、一連の視線移動を一括して前節4-1 に記した注視順序シミュレータの応答と、ヒトの視線移動記録との自動照合を試みた。これは実験状況が複雑になるに従って注視点の決定に影響する要素が増加し、視線移動場面毎の注視点の決定過程を検討するよりは、むしろ一連の視線移動全体をシミュレートするモデルが構成可能かどうかを検討した方が、視線移動のコントロールについてより深い理解が得られると考えたためである。シミュレータの応答とヒトの視線移動記録の照合の自動化を計った結果、ヒトの一連の視線移動がこれまで明らかとなっている注視点決定規則の連鎖として記述しうるのか、それともそこには別の新たな規則性が存在するのか等を容易に解析することができた（牧川と田村，1981d)。

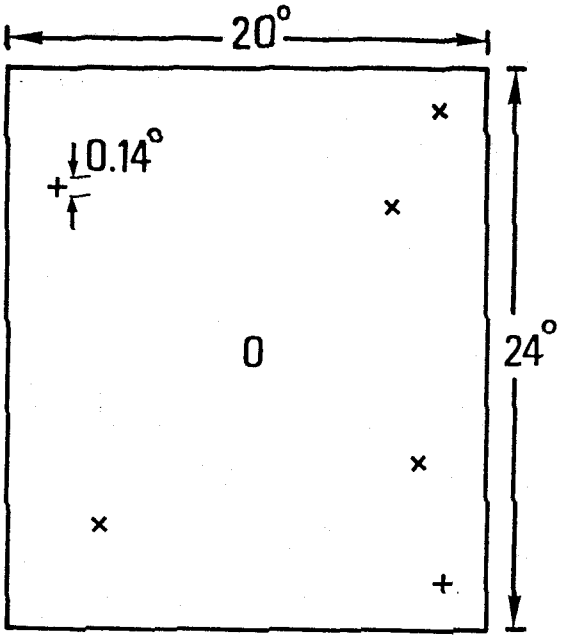


図4－9．ランダム配置視標の提示例．

＜４－２－１＞　解析手順

注視順序シミュレータによるヒトの視線移動記録の解析は以下に示すように、ヒトの視線移動の記録、自動照合のための視線移動記録データの処理、注視順序シミュレータの応答との照合の、３つの段階を経て行われる。

＜ 4-2-1-1 ＞　ランダム配置視標の提示法

ランダム配置視標の提示例を図4-9 に示す。用いた視標は記号＋または×で、これを視角にして横20°、縦24°の提示視野を有するランダム・スキャン型ＣＲＴの上に試行毎に１～６個を配置する。視標の大きさは0.14°で、これは視標の極めて近くに網膜中心窩がなければ識別が困難な大きさである。提示位置は表示面の中心および各視標位置から 2.3°以内に他の視標が提示されないことを条件として、試行毎に表示面上のランダムな位置に配置した。提示したパターンは視標１個から成るものが５種類、２個が10種類、３個が15種類、４個が20種類、５個が25種類、６個が30種類であり、実験はこの 105種類の提示パターンから成る。

提示時間は５秒間で、提示直前には表示面中心に十字が提示され、被験者にはこれを見ることを求めた。被験者への指示は十字が消え、同時にパターンが提示されたら各視標が記号×であるのかどうかを識別し、応答キーを押すというものである。結局、本実験では視標の数、視標の配置状況は試行毎に不明な状況にある。被験者は２人で、頭部をヘッドレストで動かないようにした状態で眼球運動のみで視作業することを求めた。

＜ 4-2-1-2 ＞　視線移動記録の処理

ヒトの視線移動データと注視順序シミュレータの照合の前に、

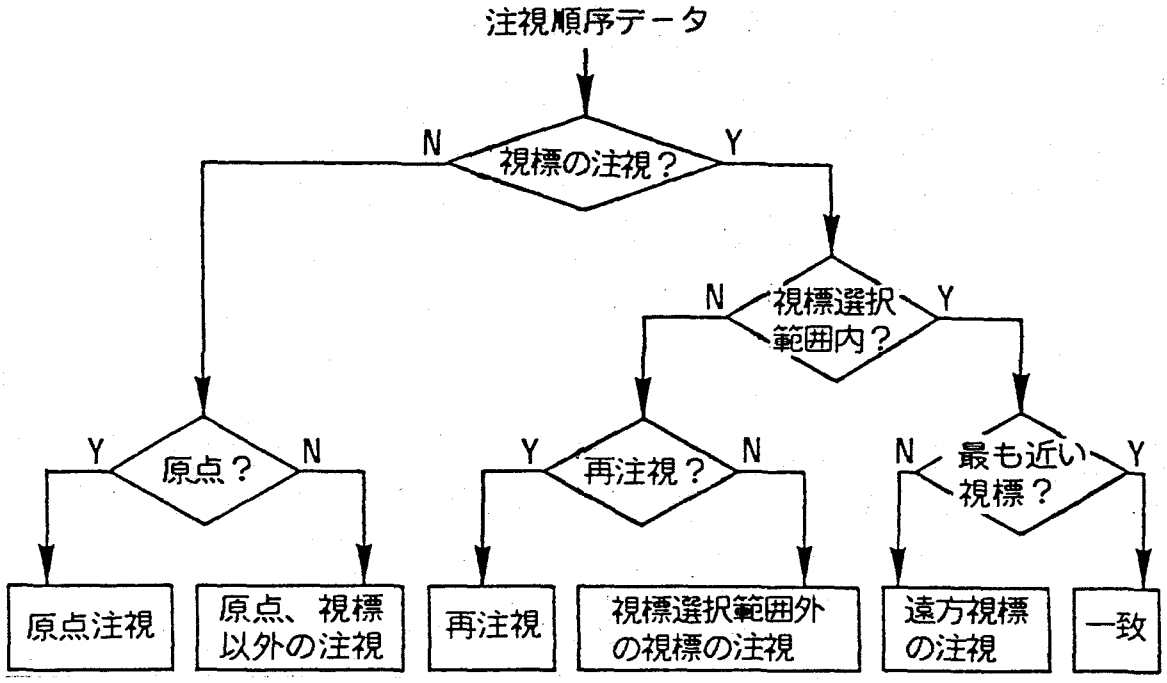

注視順序データ
視標の注視？
N
Y
視標選択範囲内？
N
Y
原点？
Y
N
再注視？
Y
N
最も近い視標？
N
Y
原点注視
原点、視標以外の注視
再注視
視標選択範囲外の視標の注視
遠方視標の注視
一致

図４－１０．判定基準．

まず視線移動記録データを視標の注視順序データに変換する必要がある。このためまず約20msのサンプル時間間隔で得られたヒトの視線移動記録データから相前後する2サンプル点間の距離が1.8°以下（眼球運動速度に換算して90°/s以下）であるような点列データの重心位置を注視点とみなした。次に各視標位置から2.3°以内にこの注視点があればその視標を対応する注視視標とし、表示面中心から2.3°以内にあれば原点注視とし、それ以外はその注視点に対応する視標なしとした。

この手続きによってヒトの視線移動記録は視標を一通り見終るまでの視標の注視順序データに圧縮される。ただ眼電位のドリフトが原因と思われる異常データがいくつか認められたので、実際にはこれらのデータを除き、約80%の試行データを注視順序シミュレータの応答との照合の対象とした。

＜4-2-1-3＞　注視順序シミュレータの応答との自動照合

ここで用いた注視順序シミュレータは前節4-1の水平3視標実験で使用したものと基本的には同様であるので詳細は省くが、先の水平3視標実験と異なり今回のランダム配置視標実験では2次元の視線移動を取り扱う。そこでシミュレータも2次元データを取り扱えるように変更を加えた。

さて上記の手順で処理されたヒトの視標順次注視データと注視順序シミュレータとの照合であるが、これは視線移動開始から一通り視標を見終るまでの1つ1つの視線移動について行われる。また照合は単に両者が一致するかどうかだけではなく、図4-10の判定基準に従って、視標を注視しているのか、それが図4-4のモデルの視標選択範囲(Selection range)内の視標であるのか、すなわちシミュレータが予測する視標選択の方向づけの範囲内にあるのか、またその選択範囲内で視野中心に最も近い視標を選択し

たのか等を順次自動的に判定し、図4-10最下段の6種類の照合結果を出力する。

＜4－2－2＞ 解析結果

視線移動記録とシミュレータの応答との自動照合に際しては、まず視標提示に関する前知識と視標選択範囲の決定則を各々図4-4のモデルのMEMORYとPLANNERに入力する必要がある。ここでは先の水平3視標に対する注視順序のシミュレーション実験で用いたパラメータを流用した。

まず視線の第1移動決定に必要な前知識の与え方であるが、水平3視標の場合には3視標とも水平軸上のどこに提示されるかは不明な状況にあり、表示面の水平軸全体を視標提示範囲としてMEMORYへ入力した。今回のランダム配置視標の場合にも同様に各視標が表示面のどこに提示されるかは不明な状況にあることから、(4-13)式に示されるように、各視標が表示面全体を提示範囲とするとしてMEMORYへの前知識とした。

$$T_i = (X_R, X_L, Y_U, Y_D), \quad i = 1, 2, 3, \ldots \qquad (4\text{-}13)$$

ここにX_R、X_L、Y_U、Y_Dはそれぞれ表示面の右、左、上、下の端の位置を示す。

次に視標選択範囲Rの決定則であるが、水平3視標実験においては、今回のランダム配置視標実験に参加した2人の被験者はともに視線の第1、第2、第3移動のいずれにおいても未注視視標中、視野中心に最も視標が選択されており、PLANNERに組み込む視標選択範囲の決定則としてはMEMORY内の未注視視標提示範囲T_i全てが視標選択範囲Rに含まれるとした。今回のランダム配置視

表４－４．シミュレータとの照合結果

sub.ＴＯ　No.	1	2	3	4	5	6	計
原点注視	0	0	0	0	0	0	0
原点、視標以外の注視	1	0	0	0	0	0	1
再注視	0	0	1	0	3	1	5
視標選択範囲外の視標の注視	0	0	0	0	0	0	0
遠方視標の注視	38	15	7	4	1	0	65
一致	45	64	62	50	28	14	263

sub.ＹＭ　No.	1	2	3	4	5	6	計
原点注視	0	0	0	0	0	0	0
原点、視標以外の注視	0	0	0	0	0	0	0
再注視	0	0	0	0	0	0	0
視標選択範囲外の視標の注視	0	0	0	0	0	0	0
遠方視標の注視	31	11	0	1	2	0	45
一致	56	71	72	57	37	7	310

表４－５．シミュレータとの再照合結果

sub.ＴＯ　No.	1		計
原点注視	0		0
原点、視標以外の注視	1		1
再注視	0		5
視標選択範囲外の視標の注視	8		8
遠方視標の注視	2		29
一致	73		291

ＹＭ	1		計
	0		0
	0		0
	0		0
	8		8
	17		31
	62		316

標実験においても同様に複数視標がランダムな位置に提示されることから、決定則としては同じくMEMORY内の未注視視標提示範囲T_i全てが視標選択範囲Rになるとした。

シミュレータによる照合結果を表4-4 に示す。ただ提示視標数の違いによる照合結果の差は認められなかったので、全てのデータをまとめて集計した。各行は図4-10の判定基準に従った6つの照合結果であることを、各列は上段の番号に従い視線の第1移動から第6移動までの各視線移動場面の結果であることを示し、各数値はその視線移動場面での各照合基準に合致する視線移動の頻度を示す。結果は2人の被験者とも視線の第1移動での不整合データが最も多く認められた。

次にこれら不整合データの内容であるが、2人の被験者はともにほぼ全視標を順次注視しており、視作業中に原点を注視する、視標または原点以外を注視する、あるいは一度見た視標を再注視する例はほどんどみられなかった。そこで表4-4 の4行目、5行目の視標選択範囲外の視標の注視と遠方注視のデータについて検討を加えた。

まず不整合が最も多く見られた視線の第1移動についてであるが、被験者TOについては不整合データ38中、32のデータで視標が視野の上半面にあればその視標に視線が第1移動する傾向がみられた。またその32データの内、実験前半のデータは、視標が視野の左上4半面にあればその視標を見、後半では視標が視野の右上4半面にあればその視標を見るといったものであった。

このような視線の第1移動における視標選択傾向は例えばMEMORYに与える視標提示に関する前知識を変更することによって実現しうるが、この視線の第1移動における視野の特定方向に位置する視標の選択傾向の確認のため、実験前半の30データについては$T_i=(0,X_L,Y_U,0)$、すなわち視野の左上4半面を視標選択範囲

とし、後半53データについては$T_i=(X_R,0,Y_U,0)$、すなわち視野の右上4半面を視標提示範囲としてMEMORYへの前知識を入力し、再照合を行った。結果を表4-5 に示す。結果は、84データ中73データが一致するというように多くのデータがシミュレータの応答と一致した。

また被験者YMについても不整合データ31中27データで視標が視野の右半面にあればそれを見るというように、視野の特定方向に位置する視標の選択傾向が見られた。そこで$T_i=(X_R,0,Y_U,Y_D)$、すなわち表示面の右半面を視標提示範囲としてシミュレータへ入力し再照合を行った。結果は表4-5 に示すように、一致データ数は57から62とあまり変化はみられなかったが、視標選択範囲外の視標の注視の欄に示されるように、右半面に視標が存在するのに左半面に位置する視標の選択は8データのみであり、右半面に位置する視標の選択傾向が確認された。

ところで今回のランダム配置視標実験の場合、約 65%の試行では視野の右上、右下、左上、左下の各4半面に必ず1視標は存在するが、表4-5 の結果が示すように、2人の被験者はともに視線の第1移動においては視野の特定方向に位置する視標の選択傾向が顕著であった訳で、このことから視標が全空間にほぼ均等に分散提示される場合には視野の特定方向に位置する視標から見るのではないかと推測できよう。

次に視線の第2移動以降の不整合データについてであるが、これについては2人の被験者ともその中に一定の傾向を見い出すことは出来なかった。結局、今回の照合実験では表4-5 の右端の全データの合計に示されるように、被験者TOでは87.1% 、YMでは89.0% のデータがシミュレータの応答と一致した。

以上のように今回のランダム配置視標に対しては、視線の第1移動においては視野の特定方向に位置する一番近い視標を選択

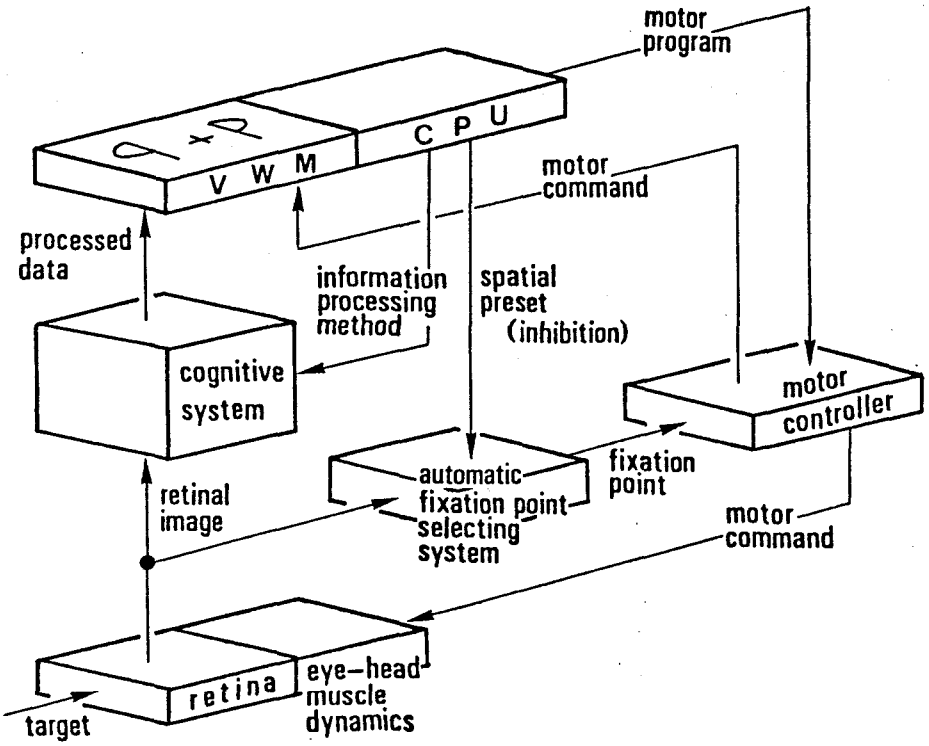


図４－１１．視線移動コントロールのハードウェア・モデル．

し、第２移動以降においては視野に一番近い未注視視標を選択しており、ランダム配置視標に対してもやはり各視線移動場面には視標選択の規則性が認められ、一連の視線移動がこれら視標選択規則の連鎖として記述しうることが確かめられた。

＜４－２－３＞　視知覚活動における視線移動のコントロール

さて前章3-1 節の水平２視標実験ならびに3-2 節の明暗、大小２視標実験、更に本章4-1 節の水平３視標実験ならびに本節のランダム配置視標実験の結果が示すように、ヒトの視知覚活動における各視線移動場面には注視点決定の規則性が認められ、またシミュレーション実験の結果が示すように、一連の視線移動はこれら規則の連鎖あるいは順次適用として説明することが可能である。

では何故このように注視点決定に規則性が認められたのであろうか。既に検討したように、視線移動の決定にあたっては、網膜に映った像から、提示位置、明るさ、大きさ等の図形の属性に従って機械的に注視点を選択する機構が存在し、この刺激依存的に注視点を選択する機構を介して新たな注視点が決定されると考えられたが、基本的にはここにみられた注視点決定の規則性はこの自動的に注視点を決定する機構の特性を反映したものと考えることができよう。

図4-11は図3-5 、図4-4 のモデルを書き直したものであり、網膜(retina)と効果器(eye-head muscle dynamics)、網膜像から新たな注視点を機械的に決定する自動注視点選択機構(automatic fixation point selecting system)(図3-5 、図4-4 ではこれをSELECTORと呼んだ) 、運動制御機構(motor controller)、パターン認識機構(cognitive sytem) 、ならびにこれらを統合、管理す

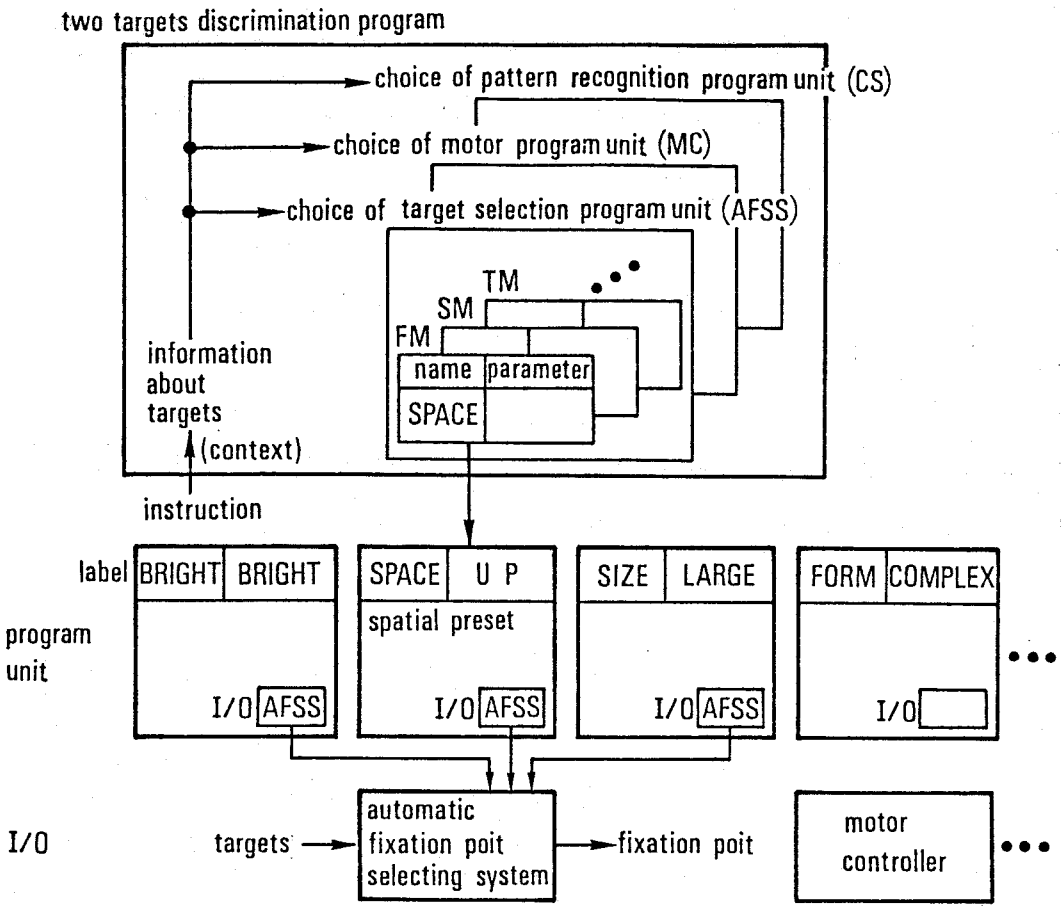


図４－１２．視線移動コントロールのプログラム・ベース．

る中枢制御機構(CPU) (図3-5 、図4-4 ではこれをPLANNER と呼んだ) と付属の視覚情報記憶場所(VWM) から成るが、注視点の決定は基本的には、この図の最下段の網膜→自動注視点選択機構→運動制御機構→効果器の経路を経てなされているとすることができよう。

では自動注視点選択機構、運動制御機構等は視知覚活動においてどのようにコントロールされているのであろうか。この問題に十分に答えることは現段階ではできない。しかし図4-11の視線移動のハードウェア・モデルを中枢制御機構CPU と視覚情報記憶MEMORYから成る一種の計算機とみなせば、網膜、自動注視点選択機構等を計算機に付随する一種の周辺装置I/O とみなすことができ、視線移動のコントロールの問題にある程度の示唆を与えることができる。

すなわち、例えばグラフィク・ターミナル等、種々の周辺機器を計算機に接続する場合には必ずそれらを直接制御するサブルーチン・プログラムが同時にサポートされる、あるいは作成する必要があるが、図4-12に示すように、自動注視点制御機構等の周辺装置にも本研究で認められた規則的な視標選択方法に対応したサポート・プログラムが存在し、実際の視作業にあたってはこれらサポート・プログラム単位の内から適当なものを順次選んでいくことによって視線移動が進んで行くのではないかと考えるのである。

図では最下段が周辺装置、言い換えると視線移動のハードウェアであり、中段がこれら周辺装置と密接に結びついてこれらを直接制御する単位的なサブ・プログラム、上段が視作業内容に従って形成される視線移動のソフトウェアである。これら周辺機器に密接に関係したプログラム単位はハードウェア的な要素とソフトウェア的な要素を合せ持つという意味から、視線移動のファーム

ウエアと呼ぶことができよう。またこれらの周辺装置を直接制御するファームウェアを仮定することによって、図上段の視作業に際して作成される視線移動のソフトウェアは、基本的にはこれらファームウェアの中から適当なものを適当な時期に選びだすだけで十分であり、視線移動に当ってはヒトは周辺装置動作の詳細を知る必要はない。

このように本モデルでは、視線移動のコントロールの仕方は基本的にはこれらファームウェアの選び方として説明できると考えており、視線移動のソフトウェアの論理的な構造を示すという意味から、このモデルをデータの論理的な構造を示すデータ・ベースなる言葉に対応させて視線移動のプログラム・ベースと呼ぶことができよう。

では視線移動のファームウェアとしてはどのようなものが考えられるであろうか。現段階では図4-12中段に示すように、少なくとも４つを仮定することができる。１つは図形の提示位置等の空間因子に従って注視点を選択するファームウェアであり、これをここではSPACE と呼んでいる。これは上方、近傍、左右の特定方向に提示される目標を選択することに機能するファームウェアであり、視野の上半面(UP)を選択範囲パラメータとして設定すれば自動的に視野の上半面に位置する視標を新たな注視点として出力するといった具合に、視線を移動させたい空間的な範囲または位置をパラメータとして与えることによって機能するファームウェアである。また更に視線移動の決定に明るさ、大きさ、複雑さ等の図形の属性が影響することから、これらの属性に従って注視点を決定するファームウェアBRIGHT、SIZE、FORM等も仮定する必要があろう。

そして図4-12の最上段に示すように、実験状況、被験者への指示等の視作業内容(context) に従って形成される視線移動のソフ

トウェアではこれらいくつかのファームウェアの中から第1視線移動(FM)、第2視線移動(SM)毎に適当なものを選択し、パラメータを設定することによって視線移動が進んでいくという具合である。しかし既に検討したように本実験のような環境下では視線移動場面毎に視標選択規則が順次適用されることによって一連の視線移動が進むと考えられた訳で、刺激図形提示以前に一連の視線移動の仕方が予め決定されているとは考えにくく、ファームウェアの選び方、その使用の詳細が予め決定されているとは考えにくい。むしろどのファームウェアをどのように使用するかは視線移動毎に決定し直していると考える方が適当であろう。

このようにヒトの視知覚活動は視線移動毎に視線移動のハードウェアに密接に結びついたファームウェアの中から適当なものを順次選択していると考えることができ、プログラムの実行中にプログラム自身を変更していくいわゆるダイナミック・プログラムの様相を呈していると理解できる。今後更にダイナミック・プログラムの観点から視線移動を検討していく必要があろう。

また今回の結果から、例えば自動注視点選択機構なる周辺機構の機能は常に同じなのではなく、状況に応じて変化すると考えられたが、パターン識別機構、運動制御機構等の他の周辺機器の機能も同様に、状況に応じて変化することは十分に考えられるところである。例えば10°の周辺視野に提示される1°の大きさの文字の識別を求めた場合、最初は必ず視線を移動しているが、やがて視線移動を止め、周辺視で識別が行なえるようになることが知られており（田村ら,1978c,d; 田村,1979a）、このことは識別に必要な情報処理の方法が質的に変化しうることを示していると理解できよう。更にそのハードウェアの詳細を明らかにするとともに、そこに単位的なパターン認識、運動制御のファームウェアが存在するのか、もし存在するとすればどのようなファームウェア

がどのような場面でどのように使用されるのか等を明らかにする必要があろう。

以上のように複数視標に対する一連の視線移動はいくつかの視標選択規則の連鎖として理解することが可能であるが、ヒトの顔の識別、絵画の鑑賞、車の運転等、より複雑な視作業環境下における視線移動のコントロールについてはどうであろうか。もちろんこの場合には図4-12最上段の視線移動のソフトウェアは記憶、学習、問題解決等、高次の認知活動に影響され、複雑な様相を呈することは容易に想像しうる。しかしNoton が明らかにしたように、同一の図形を見る場合にはヒトは同様な視線移動経路パターンを示すのであり(Noton,1970;Noton and Stark,1971a,b)、このことは同じ規則が順次同様に適用されたためであるというように、今回示した規則の連鎖としての視線移動といった観点から複雑な図形に対する一連の視線移動が説明しうる可能性を示している。

今回の結果を更により複雑な視作業環境下で検討する必要があろう。

第５章　視線移動に伴う頭部運動

あらまし　ヒトが物を見る場合には網膜の中心窩を視対象のいろいろな場所に向けるべく眼球が動くが、単に眼球のみが動くのではなく、頭部等のいくつかの運動要素を同時に動かしてヒトは視作業を遂行している。前章まではこれら眼球、頭部運動の区別をつけずに視線移動として一括してそのコントロールの仕方について検討を加えてきたが、ここでは視線移動の担い手の１つである頭部運動を対象に、視知覚活動において眼球、頭部がどのように協調的にコントロールされているのかを検討した。前節4-2 の図4-11、図4-12のモデルでは運動制御機構内の運動制御ファームウェアの一端を明らかにしようということになろう。

具体的には表示面水平軸上に提示された単一ならびに２視標の識別視作業、あるいは文章を黙読する際の頭部運動のコントロールの仕方について検討を加えた。結果は、まず単一視標に対しては表示面周辺部に提示された視標に対する視線移動に頭部運動が伴い、中心付近の視標に対する視線移動には伴わないことが明らかとなったが、更に２視標識別実験等の詳細な検討から、このような頭部運動は網膜周辺への視線移動、眼球の眼窩内周辺への移動、あるいは体周辺への視線移動に伴って生起するのではない。すなわち眼球、頭部、体幹等の物理的な身体座標系を基準として、その周辺部に提示された視標に対する視線移動に頭部運動が伴うのではなく、むしろ実際の視作業対象である表示面座標系を基準として、その周辺部に提示された視標に対する視線移動に伴って生起する傾向にあった。

表示面座標系といったヒトが視標の提示の仕方に応じて作り出した仮想の視作業空間に頭部運動が大きく影響されるとの結果で

あり、頭部運動のコントロールに高次の空間知覚が関与していることが明らかとなった。

更により複雑な図形に対する視作業として文読視作業を取り挙げ、文章黙読時の頭部運動のコントロールの仕方についても検討を加えた。結果は、文読視作業時の頭部運動は文章の長さ、すなわち視作業範囲の大きさ、文章の中心位置、すなわち視作業範囲の表示面上での提示位置によって大きく影響されることが明らかとなり、文読視作業時の頭部運動もやはり文章の長さ、その提示位置の把握等、高次の空間知覚に大きく影響されることが確認された。

5－1．視標提示の空間的枠組に依拠した頭部運動

ヒトの視知覚活動における眼球、頭部運動の協調関係を考える場合、それらが形態学的、運動学的に大きく異なっており、その機能的役割、コントロールの仕方が異なることは自ずと想像しえよう。

ところでこの視知覚活動における眼球、頭部運動の協調関係についてはSanders の研究がある(Sanders,1970)。そこでは視野の種々の位置に視標を提示し、その識別を被験者に求めているが、正答率、反応時間の検討から、視野は中心窩から視角にして約30°以内の眼球、頭部運動なしに識別可能なvisual field、約80°以内の頭部運動なしに識別可能なeye field 、それ以遠の眼球、頭部運動を必要とするhead fieldの3つから成ることを明らかにしている。これはむしろ眼球運動は網膜周辺の識別能力低下のカバーに、頭部運動は眼窩内の眼球の運動域制限のカバーに機能するといったように、各機能要素の能力不足を補うべく他の要素の運動が生起するとする立場からの研究といえよう。

しかし30°視野内では眼球、頭部運動なしに識別可能といっても、静止画を見る際には約15°の大きさの眼球運動が最も頻度高く観察されることが(Yarbus,1976)、また日常の生活においては眼球運動の大きさは15°以内に限られること(Bahill,1975)が知られており、このことは単に能力不足のカバーといった立場からの研究では眼球、頭部運動等のコントロールの仕方を明らかにするには不十分であることを示している。更に一連の視知覚活動の中でその役割なり、コントロールの仕方を検討する必要があろう。

ここでは視知覚活動における頭部運動のコントロールの仕方を検討すべく、頭部運動の水平面内の回転運動を取り挙げ、表示面

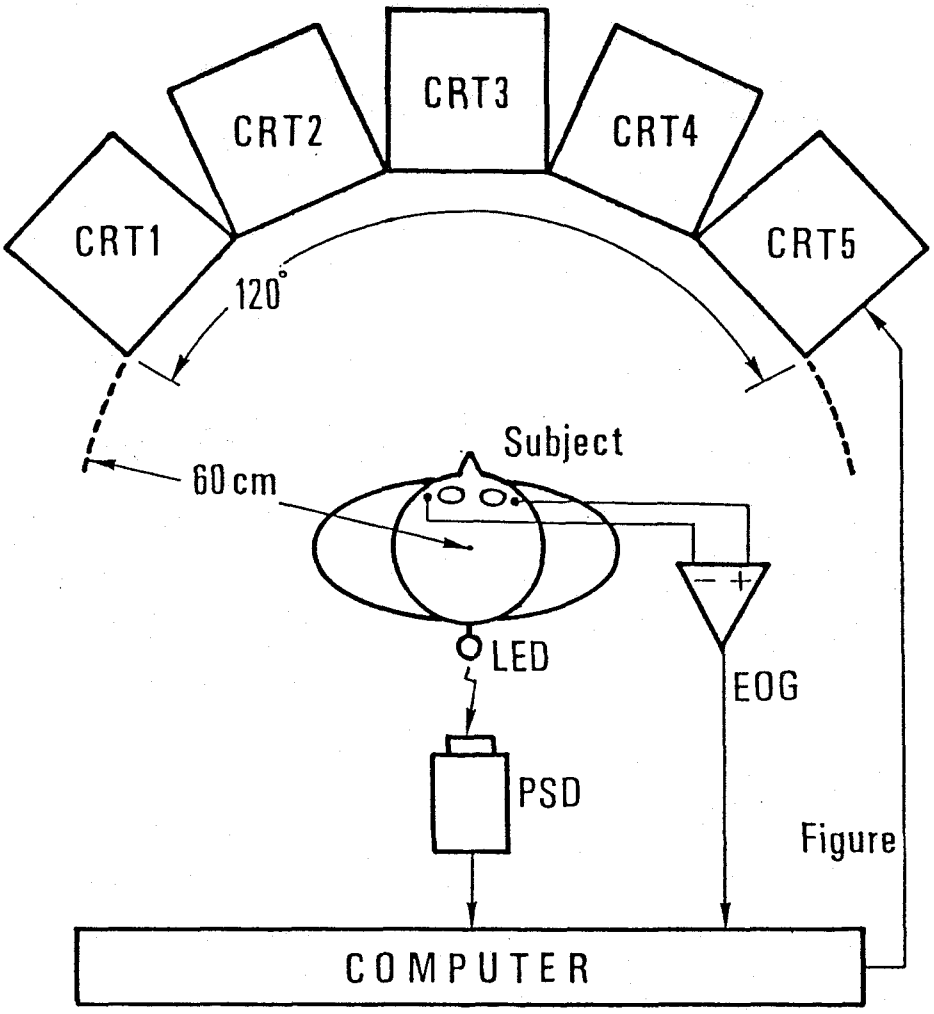


図５－１．実験装置を上方から眺めた様子．

の水平軸上に提示された単一および２視標の識別視作業に伴う視線、頭部運動を記録、解析した（牧川と田村,1980b,1984)。

＜５－１－１＞　実験方法

まず刺激図形の提示装置であるが、これは前章4-1 節の水平２視標実験の場合と同様に、ランダム・スキャン型のＣＲＴを５台用い、図5-1 に示すようにこれらを被験者を中心として半径60cmの円周上に並べ、視角にして 120° の提示視野を確保した。

単一視標および２視標の具体的な提示の仕方については以下に詳述するが、これらの視標は計算機によりＣＲＴ上に発光する像として提示される。また実験は薄明りの中で行われ、ＣＲＴの枠がぼんやりと見える環境下で行われた。

次に視標の提示方法であるが、単一視標識別実験の場合には表示面水平軸上、左 -56° の位置から８° おきの計15ヶ所から試行毎にランダムに１点を選び、ここに大きさ１° の英小文字ｐまたはｑ、あるいは記号⊥または⊤を 1.5秒提示した。試行数は 119 (=位置の選び方15通り×８回－記録媒体容量制限１）で、被験者には提示視標がｑあるいは⊥であれば手に持たせた応答キーを押すことを求めた。単一視標識別実験では試行毎に視標の種類、提示位置は不明な状況にある。

また２視標識別実験の場合には、単一視標の場合と同じ表示面上の15ヶ所から試行毎に２ヶ所を選び、ここに大きさ１° の英小文字ｐ、ｑの任意の組み合せを３秒間提示する。試行数は 105 (=位置の選び方$_{15}C_2$ ）で、被験者の仕事は文字ｑをみつけ次第に応答キーを押すというものである。２視標識別実験では試行毎に２視標の文字の組み合わせ、各視標の提示位置は不明な状況にある。

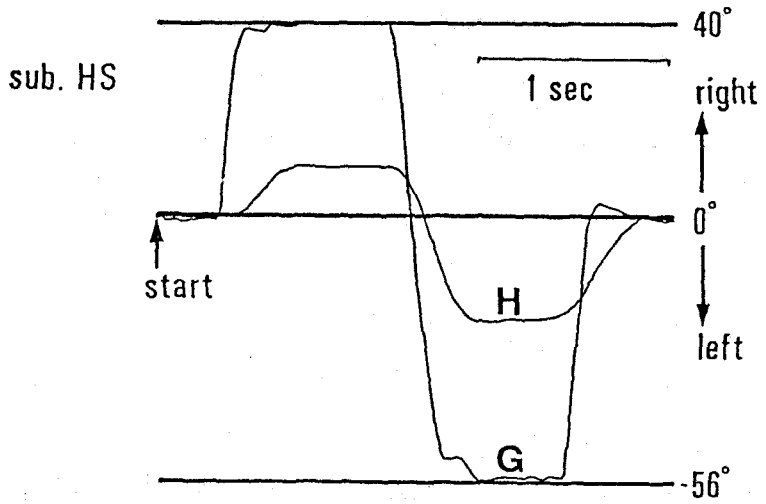


図５－２．視線、頭部運動の測定例．

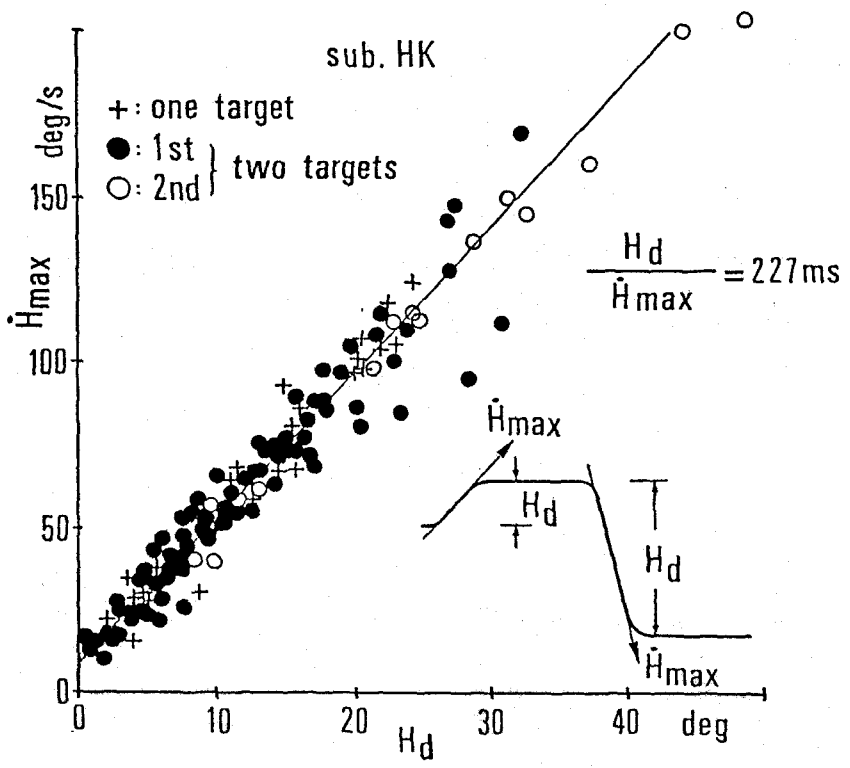


図５－３．頭部移動量と最大速度の関係．

このような視作業を被験者に課したのは本実験が頭部運動に関する実験であることを被験者に悟らせないためである。いずれの実験においても各試行の直前、直後には表示面中心に十字を約1秒間提示し、被験者にこれを正面視することを求めた。この十字は視標提示時点で消失し、各試行終了後の視標消失時点で再度提示される。また本実験の前には30試行程度の練習を行った。

＜５－１－２＞　実験結果

＜ 5-1-2-1 ＞　視線、頭部運動パターン

まず識別視作業に伴う視線、頭部運動パターン測定の一例を図5-2 に示す。これは２視標識別実験の例で、右40°、左 -56° の２ヶ所に提示された２視標に対する視線移動Ｇおよび頭部運動Ｈの時間変化を示したものである。横軸は時間軸、縦軸の上方向が表示面の右方向に対応し、start の時点で２視標が提示された。

この例では被験者は２視標上に順次視線を移動させて視作業を遂行しているが、このような傾向は全ての被験者に共通しており、どの被験者も単一視標および２視標識別実験を通して各視標上に順次視線を移動させることによって識別視作業を遂行しており、視標の読み飛ばし等はほとんどみられなかった。

また図5-2 に示されるように、視線が階段状にその位置を移動させるのに呼応するように頭部運動はその波形がステップ状であるのが特徴的であった。図5-3 はこのようなステップ状の頭部運動の特性を明らかにするため、頭部移動量H_d、すなわち図右下に模式的に示すように、頭部のある静止位置から次の静止位置までの距離と移動中の最大運動速度$\dot{H}_{max}$の関係を示したもので、十字印は単一視標への視線移動、●印は２視標に対する視線の第１移動、○印は同じく２視標に対する視線の第２移動に伴う頭部運動

表５－１．各被験者の頭部移動量と最大速度の関係

sub	AO	HK	MW	HS	YM
t_h (ms)	302	227	224	315	220
r	0.97	0.95	0.91	0.93	0.97

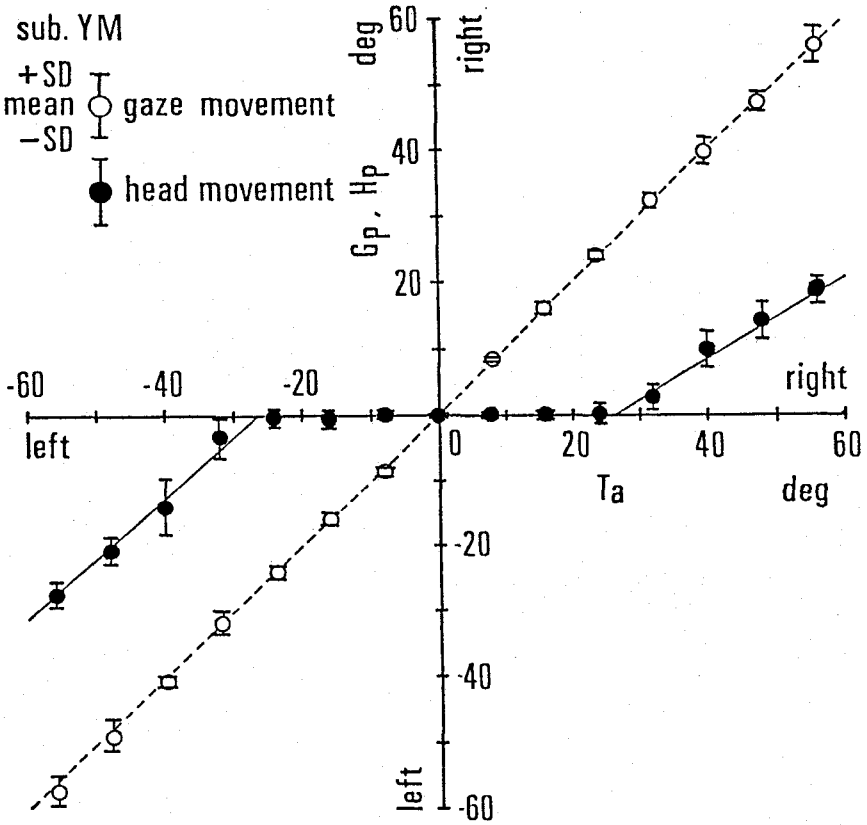


図５－４．単一視標に対する頭部運動の特性．

のデータであることを示す。

視線の第1移動に伴う頭部運動と異なり、視線の第2移動に伴う頭部運動の開始位置は様々であるが、結果は図が示すように運動開始以前の頭部静止位置に無関係に頭部移動量とその最大速度の間にはほぼ比例関係が認められ、頭部運動時間に対応するこの直線の傾きの逆数は頭部運動開始位置に無関係に一定である傾向にあった。

表5-1 に各被験者のこの直線の傾きの逆数t_hと、頭部移動量H_dと最大速度$\dot{H}_{max}$の間の相関係数 r を示すが、t_hは 220～ 315msと被験者間のばらつきがみられるものの、相関係数 r は0.91～0.97と両者の相関は高く、全ての被験者でこの等時性を確認した。

しかし図5-2 の視線、頭部運動の測定例に示されるように、頭部移動量と視線移動量は必ずしも一致する訳ではなく、このことは眼球と頭部に異なる移動量がプログラムされていることを示している。ここで問題とするのは、このような頭部移動量が提示された視標位置、実験状況等からどのように決定され、頭部運動の開始から整定までを直接制御する中枢（以下、頭部運動制御中枢と呼ぶ）にプログラムされるのかということである。

< 5-1-2-2 >　視標提示の空間的枠組に依拠した頭部運動

このことを調べるため、まず最も簡単な場合として視野周辺に提示された単一視標の識別に伴う頭部運動について検討を加えた。結果の一例を図5-4 に示す。横軸は視標位置T_a、縦軸は視線、頭部の移動位置G_p、H_pを示し、各視標位置毎の視線、頭部移動位置の8試行での平均値と標準偏差を○、●印と横棒で示した。結果は図に示されるように、視線はほぼ視標上にあるものの、頭部は視野周辺に提示された視標への視線移動の場合に生起しており、(5-1) 式で表現されるようないわゆる不感帯特性を示

表５－２．各被験者の頭部運動の不感帯特性

sub	AO	HK	MW	HS	YM
θ_r	19.7°	26.4°	38.9°	24.0°	26.4°
θ_l	19.3°	19.3°	44.2°	22.7°	26.5°
K_r	0.85	0.57	0.81	0.54	0.62
K_l	0.65	0.60	0.87	0.60	0.93

していた。ここに(5-1) 式のθ_r、θ_lは各々頭部運動が生起し始める右、左視野の視標位置を示し、K_r、K_lは右、左視野における直線の傾きを示す。このような不感帯特性は全ての被験者で確認された。

$$H_p = \begin{cases} K_r \cdot (T_a - \theta_r) & T_a > \theta_r \\ 0 & -\theta_l \leqq T_a \leqq \theta_r \\ K_l \cdot (T_a + \theta_l) & T_a < -\theta_l \end{cases} \qquad (5\text{-}1)$$

表5-2 は各被験者のθ_r、θ_l、K_r、K_lを示したものである。これらの値は非線形最小自乗法の1つであるシンプレックス法によって、(5-1) 式と実測値の誤差の自乗が最小になるようにして求めた。結果は、頭部運動が生起し始める視標位置θ_r、θ_lは19.3°～44.2°で、直線の傾きK_r、K_lは0.54～0.93と様々であった。そこで以下ではこれらのパラメータの定量的な検討は行わず、なぜこのような不感帯特性が生じるのか等、主に定性的な面について検討を加えた。

さて図5-4 に示されるような不感帯特性が生じる原因であるが、まず視標を大きく移動させなければならない場合に頭部運動が伴うのではないかということが考えられる。すなわち視線移動量と頭部移動量の間には密接な関係があり、次の頭部移動量は次の注視位置までの視線移動量から直接計算されるのではないかということである。

そこで視線移動量と頭部移動量の間に関係があるのか否かを検討すべく、2視標識別実験の視線の第2移動に伴う頭部運動について検討を加えた。これは図5-2 の視線、頭部運動の記録例に示されるように、この視線の第2移動においては第1視線移動位置と第1頭部移動位置の種々の位置の組み合せが得られ、視線移動

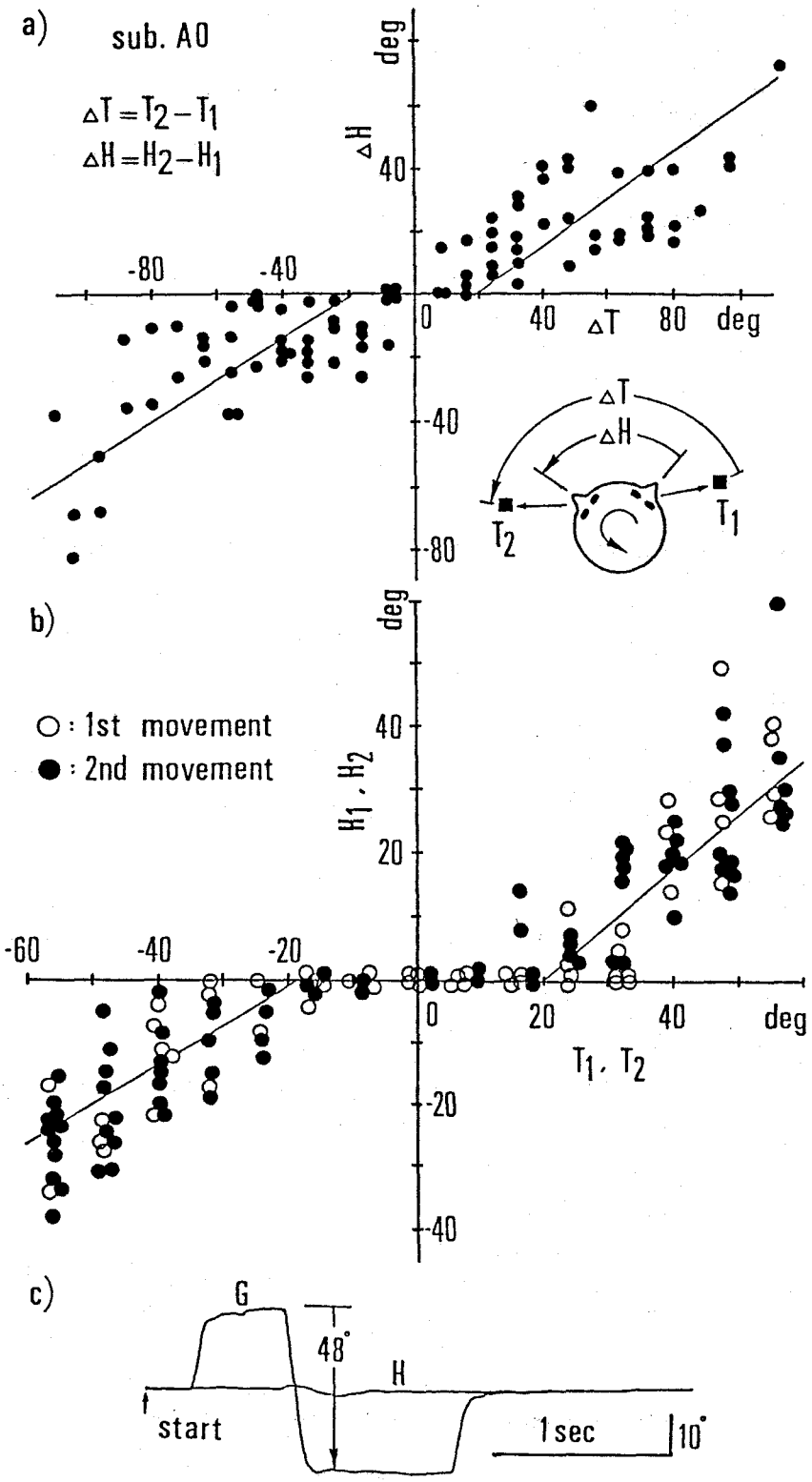


図５－５．２視標に対する頭部運動の特性．

量と頭部移動量の間の関係を確認するのに適していると考えられたためである。

図5-5 にその結果の一例を示す。図5-5 a)は横軸に視線の第2移動において移動させなければならない視線移動量△T 、すなわち第2注視視標位置T_2と第1注視視標位置T_1の差を示し、縦軸は視線の第2移動に伴った頭部の移動量△H 、すなわち第2頭部静止位置H_2と第1頭部静止位置H_1の差をとったものである。また図中の直線は単一視標識別実験にみられたこの被験者の不感帯特性をあてはめたものであるが、この被験者の場合、視線移動量と頭部移動量の間には図5-4 のような不感帯特性はみられない。

図5-5 c)はこのことを端的に示す視線、頭部運動の記録例である。視線の第2移動において視線移動量は48° に及ぶにもかかわらず頭部はほぼ表示面中心に向って静止したままである。

また図5-5 b)は同じa)のデータに更に視線の第1移動のデータを加え、横軸に表示面座標系上の第1、第2注視視標位置T_1、T_2をとり、縦軸に第1、第2頭部移動位置H_1、H_2をとって書き直したものである。○印は第1移動、●印は第2移動におけるデータであることを示し、図中の直線は同図a)のそれと同様にこの被験者の単一視標識別実験にみられた不感帯特性を示す。結果は図が示すように、表示面座標系上での視線移動視標位置と頭部移動位置の間に図5-4 にみられたような不感帯特性が観測された。このような傾向は全ての被験者で確認され、視線移動量と頭部移動量の間よりはむしろ視線移動位置と頭部移動位置の間に一定の関係が認められた。

ところでサルでは頭部は常にほぼ視線と同じ方向を向くが、これは初めの視線移動位置と次に注視すべき目標位置の間の距離、すなわちここでいう視線移動量を眼球運動制御中枢と頭部運動制御中枢の両者が共に同様に利用しているためであるとされている

(Bizzi,1974)。頭部移動量と視線移動量の間には密接な関係があるとの仮説である。しかし図5-5 の結果が示すように、今回の識別視作業では頭部移動量と視線移動量の間には特定の関係は認められず、むしろ視線移動位置と頭部移動位置の間に一定の関係が認められた。すなわち以上の結果は、頭部移動量は次の注視位置までの視線移動量から頭部移動量が直接計算されるのではなく、むしろ次に頭部を移動すべき位置がまず決定され、その位置と現に今いる頭部位置との差が頭部運動制御中枢に送られることを示していると考える方が適当であろう。そしてそのため図5-5 b)に示されるように、2視標識別実験では表示面周辺への視線移動の場合に頭部運動が伴うというように、表示面座標系上で頭部運動に一定の規則性が認められたと理解することができる。

しかし表示面周辺に提示された視標への視線移動の場合に頭部運動が生起するといっても外界に表示面中心とか周辺といった頭部運動を規定する物理的な座標系は存在しない。このような座標系はヒトの内に求める必要がある。ではこのような座標系は具体的な身体の一部を基準としているのかどうか、次にこの点を検討した。

ところで視線移動を担う身体運動座標系としては大きく眼球、頭部、体幹の3つが挙げられる。ここではこの3つの身体座標系のどれに頭部運動が規定されるのか、すなわち3つの身体座標系のうちどの座標系上で図5-4 のような不感帯特性がみられるのかを検討した。ただこのうち眼球、すなわち網膜座標系上で頭部運動が規定されないことは図5-5 a)に明らかである。図5-5 a)の水平2視標に対する視線の第2移動では視線移動量と頭部移動量の間には特定の関係はみられなかったが、この視線移動量はそのまま網膜座標系上での次の視線移動位置に対応し、そこに一定の関係が認められないとの結果は網膜座標系上で頭部運動が規定され

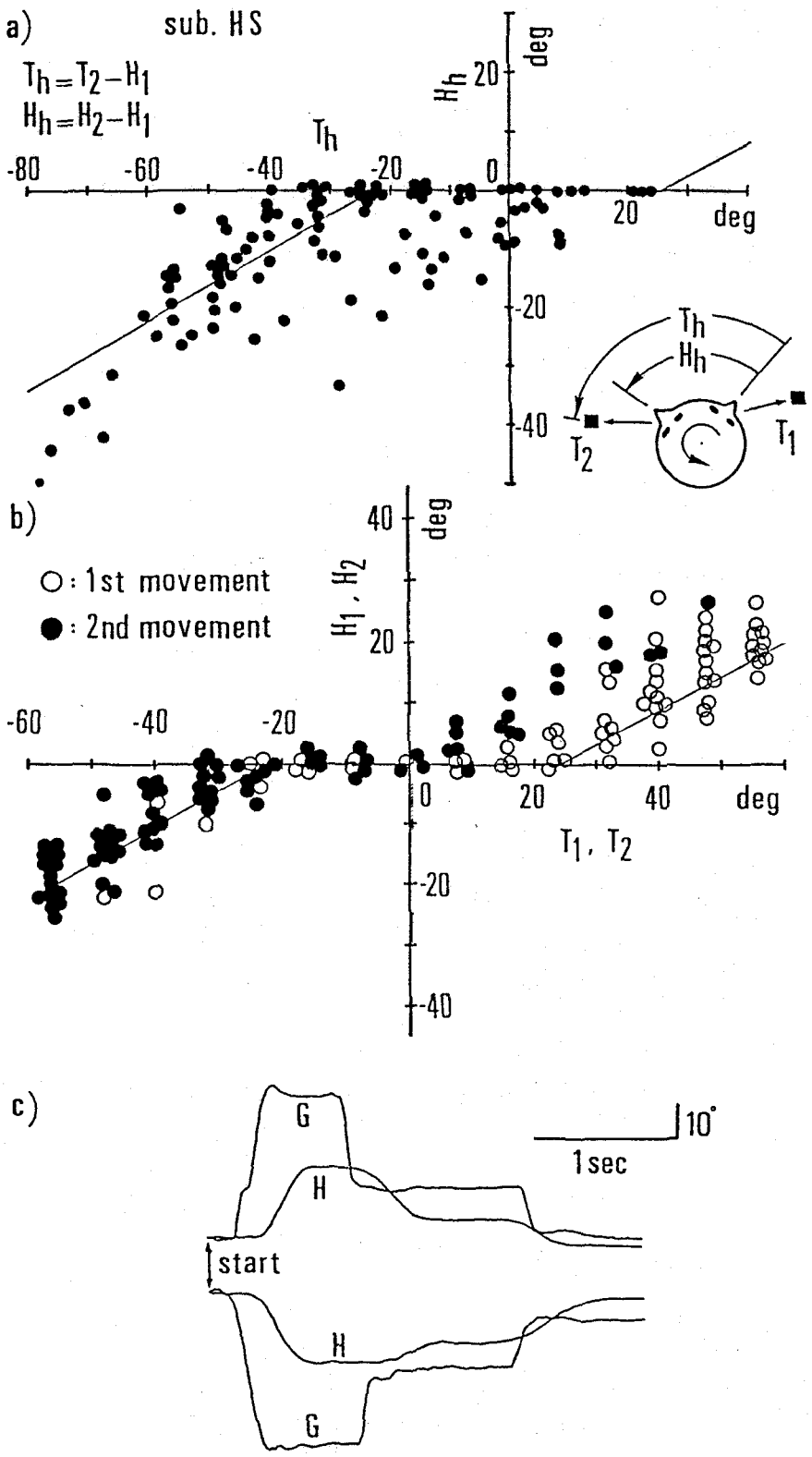


図５－６．注視順序指定時の２視標に対する頭部運動の特性．

ていないことを示している。そこで以下では主に頭部、体幹座標系上で頭部運動が規定されているのかどうかを検討した。

まず最初の検討点はこの座標系が頭部を基準としているのかどうかである。すなわち頭部座標系の周辺に提示された視標に視線が移動しなければならない場合に頭部運動が伴う、言い換えると眼球が眼窩内の周辺に移動しなければならない場合に頭部運動が生起するのかということである。

このことを検討するためには頭の正中線に向う、あるいははずれる方向に視線が移動する場合に頭部運動が伴うのかどうかを検討すればよいが、先の２視標識別実験ではどの被験者も表示面中心に近い視標から見る傾向にあり、視線の第１、第２移動とも眼球は頭部の正中線からはずれる方向に向い、このことを検討するには不適当であった。そこで新たに”相対的に右あるいは左に位置する視標から見る”ことを被験者に追加指示して２視標識別実験を行った。この指示を加えることによって頭の正中線に向う、あるいははずれる方向の視線移動を解析することができた。

図5-6 は相対的に右に位置する視標から見ることを求めた場合の結果である。図5-6 a)は頭部座標系上で視線移動と頭部運動の間に一定の関係がみられるか否かを検討するため、横軸に頭部正中線を原点とする頭部座標系上の第２注視視標位置T_h、すなわち表示面座標系上の第２注視視標位置T_2と第１頭部移動位置H_1の差をとり、縦軸は頭部座標系上の第２頭部移動位置H_2と第１頭部移動位置H_1の差をとった。ここに図中の実線はこの被験者の単一視標識別実験での不感帯特性をあてはめたものである。

結果はこの図が示すように、頭部座標系上では視線移動と頭部運動の間には一定の関係は認められず、頭部の正中線付近に次に見るべき視標が存在する場合にも頭部運動は生起している。

図5-6 c)はこのことを端的に示す視線、頭部運動の記録例であ

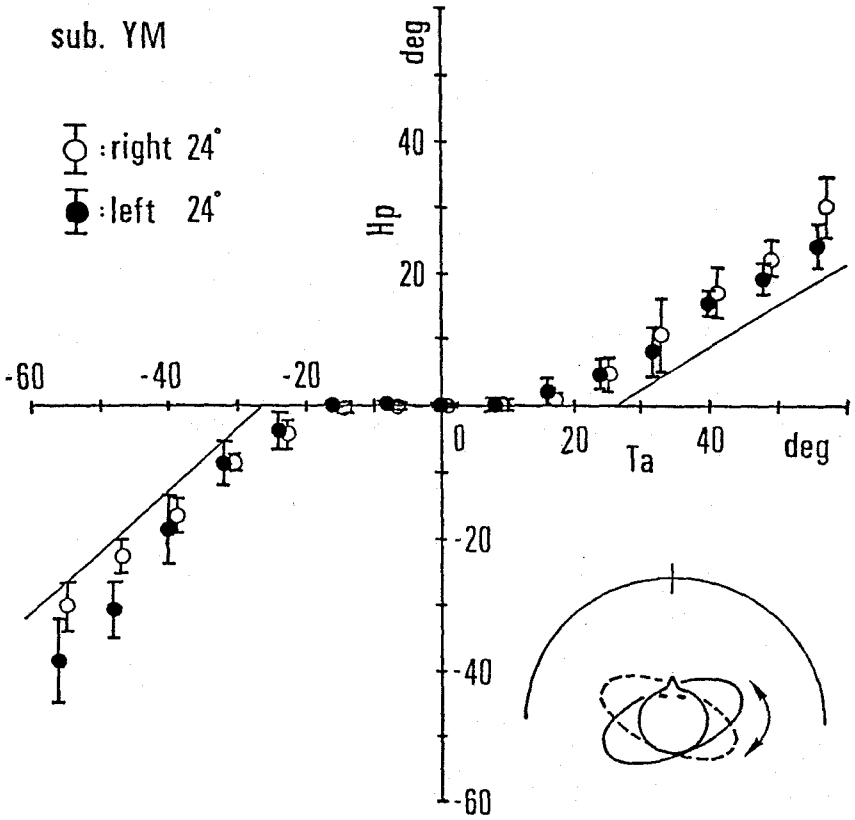


図５－７．体回旋時の単一視標に対する頭部運動の特性．

り、いずれの場合も視線の第２移動と２視標注視終了時の表示面中心への視線移動において、視線は頭部正中線方向に向うにもかかわらず頭部運動が生起している。

また図5-6 b)は同じデータに視線の第１移動でのデータを加え、横軸に表示面座標系上の第１、第２注視視標位置T_1、T_2を、縦軸に第１、第２頭部移動位置H_1、H_2をとって書き直したものである。○印は第１移動、●印は第２移動におけるデータであることを示し、図中の直線は同図a)のそれと同じくこの被験者の単一視標識別実験における不感帯特性を示す。

結果は、視線の第２移動に伴う頭部運動が全体的に左方向に多少シフトしているものの、やはり表示面座標系上で視線移動位置と頭部移動位置の間に不感帯特性が認められた。このように頭部運動は眼球が眼窩内の端へ動かなければならない場合に生起するものでもないことが示された。以上の結果は全ての被験者で確認された。

更に最後に頭部運動が体幹座標系上で規定される、すなわち体の周辺に提示された視標に視線が移動しなければならない場合に頭部運動が生起するのか否かを検討した。このことを検討するため体の正中線を表示面中心に対して傾けた状態で単一視標識別実験を行った。

結果の一例を図5-7 に示す。これは図中に模式的に示すように、被験者の座る椅子を回すことによって体を表示面に対して右または左に24° 傾けた場合の結果で、横軸は表示面座標系上の視標位置T_a、縦軸は表示面座標系上の頭部移動位置H_pである。データは各視標位置に対する８試行の平均値と標準偏差を円と横棒で示し、体を左に24° 傾けた場合の結果を○印、右に傾けた場合の結果を●印で示す。また図中の直線はこの被験者の表5-2 の単一視標識別実験でみられた不感帯特性で、体の正中線を表示面中心

に向けた場合の結果ということになる。

結果は図が示すように、体の正中線を表示面に対して左右に傾けた状態でも表示面中心を向いた場合と同様で、頭部運動の特性にほとんど変化がみられない。すなわち以上の結果は頭部運動が体座標系上で規定されておらず、体の周辺に提示された視標に視線が移動する場合に頭部運動が生起するのでもないことを示している。以上の傾向は全ての被験者で確認された。

＜５－１－３＞　視知覚活動における頭部運動のコントロール

さて以上のように頭部運動は網膜周辺への視線移動、眼球の眼窩内周辺への移動、または体周辺への視線移動に伴って生起するのではない、すなわち眼球、頭部、体幹等の物理的な身体座標系を基準として、その周辺部に提示された視標に対する視線移動に伴って頭部運動が生起するのではなく、むしろ実際の視作業対象である表示面座標系を基準として、その周辺部に提示された視標に対する視線移動に併起する傾向にあった。

ではこのような一連の頭部運動は視標が提示された段階でプログラムされるのであろうか、それとも次の注視視標の選択、頭部運動の必要性の有無等は視線移動完了毎に決定し直されるのであろうか。特に、もし視標提示時点で一連の頭部運動がプログラムされるのであれば、図5-5 ならびに図5-6 に示される実験では視標提示時点では眼球、頭部、体幹は全て表示面の中心を向いており、必ずしも視線の第２移動に伴う頭部運動が表示面座標系に影響されるとするには問題があろう。

しかしながら３章の水平２視標実験、４章の水平３視標実験の結果に示されるように、このような視作業環境下では視線移動完了毎に視標選択規則が順次適用されて視線移動が進むと考えられ

たのであり、視標提示時点で一連の眼球、頭部運動全体が決定されているとは考えにくいであろう。

また実際、例えば図5-6 c)では第1、第2視線移動および視作業終了時の表示面中心への視線移動の3つの視線移動に伴った頭部運動がみられるが、図5-4 に示されるように、このような実験状況下ではヒトはできるだけ頭を動かさないでおこうとする傾向にあり、もし視標提示時点で一連の頭部運動がプログラムされるとするならば、1回の頭部運動で視作業が遂行しうるように2視標の中心位置に対して頭部運動位置をプログラムする、あるいは視線の第2移動では頭部を表示面中心に戻す等、なぜできるだけ頭部を動かさないようなプログラミングがなされていないかが逆に問題となろう。いずれにしても今回のような視作業環境下では常にその位置が変化する眼球、頭部等の各身体運動要素を基準とするというよりは、むしろ実際の視作業対象である表示面座標系上で頭部運動がコントロールされていると考える方が適当であろう。

さてではなぜ頭部はできるだけ動かすことなく、また眼球、頭部、体幹等の物理的な身体座標系を基準としていないのであろうか。このうち前者の頭部運動の定量的な側面については、どの位の周辺視野を注視する場合に頭部運動が伴うのかについていくつかの報告がある。その結果によるとヒトでは80°以遠の周辺視野に視標が提示された場合に頭部運動が伴う(Sanders,1970)、40°以遠で伴う(Gresty,1974)、10°以遠で伴う(Bartz,1966)等、結果はまちまちであり、また視作業内容、年令によっても異なることが知られている(吉村,1979)。

今回の実験においても表5-2 に示されるように、20°以遠の周辺視野へ視線移動する場合に頭部運動が伴う被験者から、45°以遠でないと伴わない被験者まで頭部運動が生起する視標位置は

様々である。しかしいずれにしてもヒトでは視線の向く方向と頭部が向く方向が一致することはなく、できるだけ頭部は動かさないでおこうとする傾向にある。

これは眼球に比して頭部の質量が大きく、その運動に大きなエネルギーを必要とするが、逆に頭部は約 140° の広い回転可動域を有しており、頭部運動なしに広い範囲の目標に視線を移動させることには不都合が生じる等、形態学的、運動学的な兼ね合いから図5-4 のような不感帯特性が生まれたと理解しえよう。

しかし逆に頭部をできるだけ動かすことなく、しかも眼球、頭部運動の協調関係を維持するためには頭部運動のコントロールに工夫を凝らす必要がある。すなわち視線と頭部が常に同じ方向を向くならば、眼球運動制御中枢にプログラムされる次の注視位置までの距離と同じ視線移動量を頭部運動制御中枢が直接利用するだけで十分な協調関係が保たれる。すなわち網膜座標系上で頭部運動がコントロールされるだけで十分である。しかし視線移動情報を直接利用し、しかも大きな視線移動以外は頭をできるだけ動かさないようにするならば、例えば周辺視野へ小刻みに視線を移動させようとする場合、頭部が動くことなく周辺に視線は到達し、極端な横目使いの状態に至ってしまうであろう。

また他の身体座標系を基準としない理由としては、眼窩内周辺部に提示された視標への眼球運動の場合に頭部運動が生起するという規則では、例えば図5-4 に示される不感帯特性を持つ被験者が右60° の位置に視線移動し、それにつれて頭部が右20° の位置に移動した後は、その頭の向く方向から左右約25° の範囲内は頭部運動なしに視線移動しなければならず、後の表示面中心付近での視作業は横目使いの状態で行わなければならなくなるであろう。

更に体周辺への視線移動の場合に頭部運動を生起させるという

規則では図4-7 の表示面に対して左に24° 体を傾けた状態では表示面の右半面の視線移動は必ず頭部運動が伴うものの、左半面での視作業はほとんど頭部運動なしに横目使いで視作業を遂行しなければならなくなるであろう。

いずれにしても眼球、頭部、体幹等の常に動く身体座標系を基準として頭部運動がコントロールされる場合には不都合な協調関係に至る可能性がある。これを避けるためには目標がどこにあり、どこに視線が移動しており、それに対して頭部がどこを向いているのか等、目標位置、視線移動位置、頭部移動位置が空間的に統合されている必要があり、表示面への視標の提示方法に見合った適切な眼球、頭部、体幹運動の協調関係を予め決定しておく必要があろう。そしてこれが今回、常にその位置を変化させる身体座標系よりも、むしろ表示面座標系上で頭部運動に一定の規則性が認められた原因であると理解することができる。

すなわち今回の実験では表示面であるＣＲＴの枠が薄明りの状態で識別しうる、各試行の前後には表示面中心に十字が出現し、それを正面視することが求められている、本実験の前に30試行程度の練習を行っており、どのように視標が提示されるのかを予め学習しうる等のことから、被験者が表示面のどの辺に視線を移動する場合にはどの程度、頭を動かせばよいかを予め決定していたのではないかということである。

外界のどこにどのような視対象が存在し、それに対して視知覚活動の担い手である各運動要素がどのように位置し、またどのような協調関係を保つのかを決定するためには、知覚あるいは認知過程と運動制御過程が密接に結びつく必要があり、一定の空間の中で知覚系と運動系が有機的に統合されている必要がある。知覚－運動統合空間とでも呼ぶべき空間知覚中枢の必要性が示唆された。

５－２．文読視作業時の頭部運動

前節では表示面の水平軸上に提示された単一および２視標の識別視作業に伴う頭部運動のコントロールの仕方について検討を加え、その結果、頭部運動は表示面上への視標の提示の仕方に対応してヒトが作り出した仮想の視作業空間座標系を基準として、その周辺部に提示された視標への視線移動の場合に頭部運動が生起する傾向にあった。表示面上に視標がどのように提示されるのか等の視標提示の枠組に従って頭部運動がコントロールされる傾向にあった訳で、視作業空間の認識といった高次の認知活動が頭部運動のコントロールに関与していることが明らかとなった。

しかしそこで用いたのは単一、２視標というように、視刺激は一目で識別可能な比較的単純な図形であり、より複雑な視作業環境下における頭部運動のコントロールの仕方についても検討する必要があろう。そこでここでは複雑な視作業環境下における頭部運動のコントロールの仕方を検討すべく、表示面水平軸上に提示された英語あるいはカナ文字文章を用い、文読視作業時の頭部運動について検討を加えた（牧川ら，1979b)。このように文章を刺激図形としたのは視線の移動経路がある程度規定でき、頭部運動のコントロールの解析を容易にすることができると考えたためである。

＜５－２－１＞　実験方法

まず刺激図形提示装置としては前節5-1 と同様にランダム・スキャン型ＣＲＴを５台用い、表示面の水平軸上に種々の長さの文章を提示した。ただＣＲＴの枠を考慮して、ここでは文章は１つのＣＲＴ画面を単位として、１画面分の長さの文章（視角にして

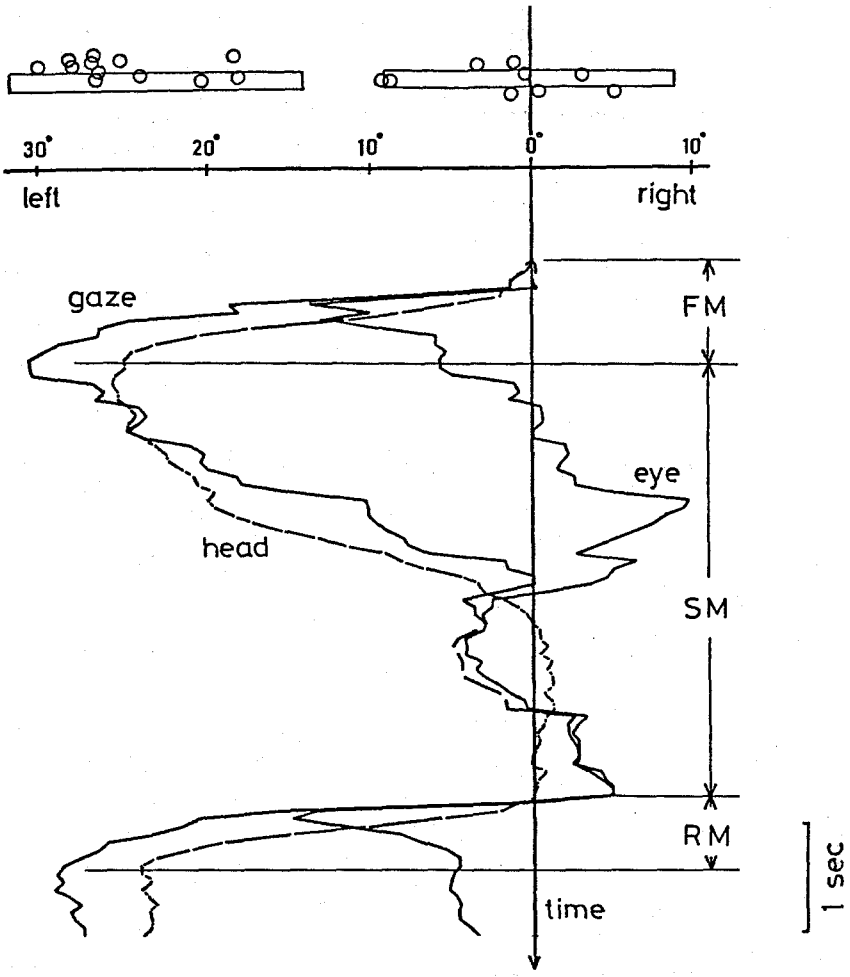


図５－８．文読視作業時の視線、頭部運動の記録例．

19°の長さ)、2画面分(43°)、3画面分(67°)、4画面分(91°)、5画面分(114°)の5種類とした。従ってCRTの中心またはつなぎ目である0°、±12°、±24°、±36°、±48°の位置が文章の中心位置T_gとなる。使用した文章は英語または日本語であり、そこに使用した文字は視角にして高さ1°の英文字またはカナ文字である。

ただし日本語文の場合には、英文の場合と逆に文頭を右端においた。同じ長さの文章を同じ位置に提示した場合でも、英語の場合には左から右へ、日本語の場合は右から左へ視線を移動しなければならない。実験は文章の長さ、提示位置の組み合せである15種類の提示パターンから成り、日本語、英語の2シリーズを行なった。文章の長さ、提示位置は試行毎にランダムに選ばれる。

被験者は2人で、被験者には文章が提示されている間、提示文章を繰り返し黙読することを求めた。

<5-2-2> 文読時の視線、頭部運動

図5-8に文読時の視線、頭部運動の記録例を示す。これは図の上部に文章の提示位置を細長い長方形で示したように、表示面の左-12°の位置に2画面にわたる43°の長さの英語の文章を提示した場合のものである。文読時の注視位置を図中に○印で示した。また図の下部に示したものは同記録データから縦軸を時間軸に、横軸を表示面水平軸にとって、水平軸上の視線G、頭部運動Hの時間波形を各々実線、破線で示したものである。

この例のように、文章が提示されると、まず約250msの潜時で文頭に視線が移動し、更に約50ms遅れて急速な頭部運動が生起する。この文頭への視線移動に伴った急速な頭部運動を頭部の第1移動(FM)と呼ぶ。その後文読の為の視線移動が始まると、頭部は

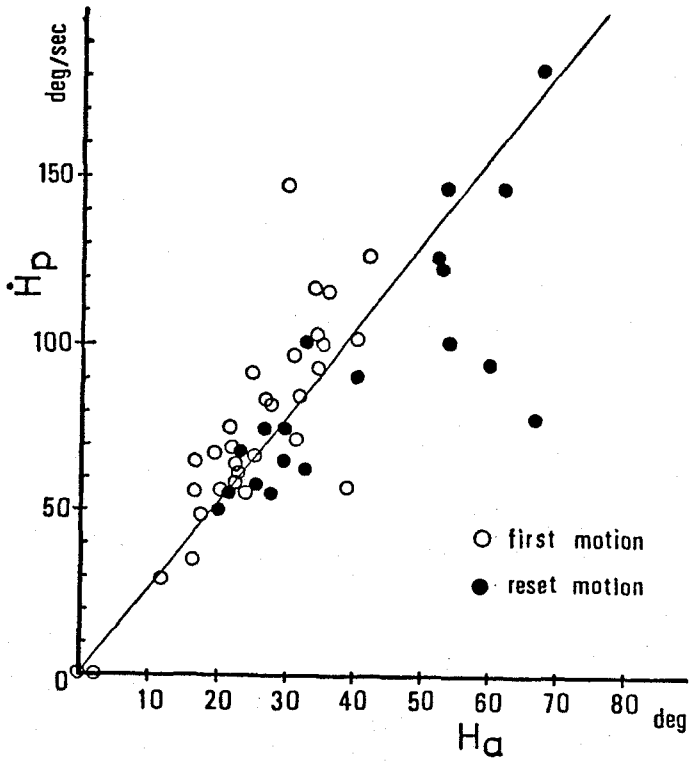


図５－９．頭部の初期、復帰移動時における頭部移動量と最大速度の関係．

比較的ゆっくりとした運動を開始する。この時期の遅速な頭部運動を頭部の走査移動(SM)と呼ぶ。そして文読が一通り終了すると再び文頭への視線移動が生じ、それに伴った急速な頭部運動が生じる。この急速な頭部運動を頭部の復帰移動(RM)と呼ぶ。この復帰移動時の眼球と頭部の移動潜時は視線の第1移動の場合と異なり、ほぼ同時か頭部運動が先行する場合もみられた。

このように文読視作業時の頭部運動は、文頭への視線の第1移動あるいは復帰移動に伴った急速な運動と、文読中の視線の小さな動きに伴った比較的ゆっくりとした運動から成る。このうち頭部の走査移動に対してはその運動開始位置、終了位置が必ずしも明確でないため頭部運動の特性を明らかにするのは困難であるが、第1移動、復帰移動については頭部移動量H_aとその最大運動速度$\dot{H}_p$の間には前節5-1の単一、2視標に対する頭部運動の場合と同様に線形な関係が認められた。

図5-9は横軸に頭の移動量H_a、縦軸にその最大運動速度$\dot{H}_p$をとったもので、頭部の第1移動におけるデータを○印で、復帰移動におけるデータを●印で示した。この内、第1移動のデータでは頭部運動開始位置は必ず表示面中心付近であるが、復帰移動のデータについては運動開始位置は様々である。

結果はこの図に示されるように、頭部運動開始位置にかかわらず頭部移動量と最大運動速度の間には直線関係が認められ、前節5-1でも検討したように、このことは運動の立ち上りや整定時間を除いた頭部運動の主要な時間が、その移動量にかかわらず一定であることを示している。文読視作業に伴う頭部の第1、復帰移動についても前節の単一、2視標に対する頭部運動と同様に、運動の開始から整定までがよくプログラムされた運動であると考えることができよう。

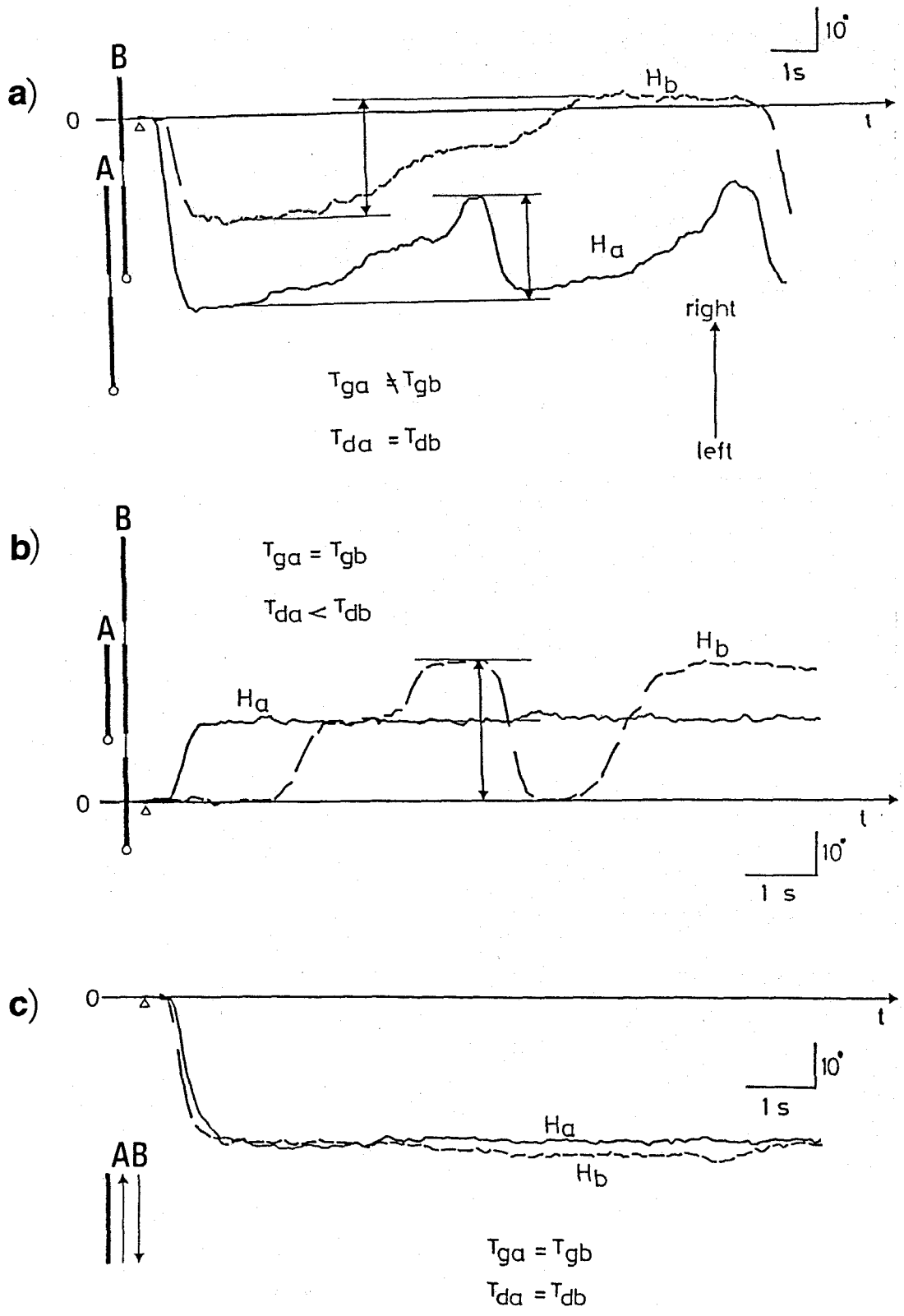


図５－１０．文読視作業時の視線、頭部運動の記録例．

＜５－２－３＞　頭部運動の重心性応答と走査性応答

さて前節5-1 の単一、２視標実験の結果が示すように、複数視標に対する頭部運動は、視標の表示面上への提示の仕方に大きく影響される傾向にあったが、今回の文読視作業についても同様に頭部運動は表示面上への文章の提示の仕方に大きく影響される傾向にあった。

図5-10a)、b)、c)に測定結果の一例を示す。いずれも横軸は時間軸で、縦軸は上を右、下を左とする表示面座標系上の頭部運動位置を示す。また文章の提示範囲をグラフの左端に黒塗りの棒で示し、文頭位置に○印をつけた。同図a)は文章の中心位置T_gは異なるが、文章の長さT_dが等しい文章T_a、T_bに対する頭部運動、b)は文章の中心位置T_gは同じであるが、文章の長さT_dが異なる２つの文章T_a、T_b、c)は文章の中心位置T_g、長さT_dは同じであるが、一方は日本語、他方は英語であるため、文頭の位置が異なる文章T_a、T_bに対する頭部運動の記録例である。

結果は、図5-10a)に示されるように、文章の長さT_dが同じ場合にも、文章の中心位置T_gが視野中心よりずれて提示される場合には頭部の動く範囲もその方向に全体的に移動する傾向にあった。文章の提示位置、すなわち表示面上に提示された視作業範囲の位置が頭部運動の決定に影響を与えていることを示していると理解することができよう。

また図5-10b)に示されるように、文章の中心位置T_gが同じ場合でも、文章が短い場合には、文章中心に向った頭部運動範囲のシフトはみられるものの、文読に従った頭部の走査移動はみとめられなかった。文章の長さT_d、すなわち視作業範囲の大きさもまた頭部運動の決定に影響を与えていると理解することができよう。

更に同図c)に示されるように、文章に英語、日本語の違いがあ

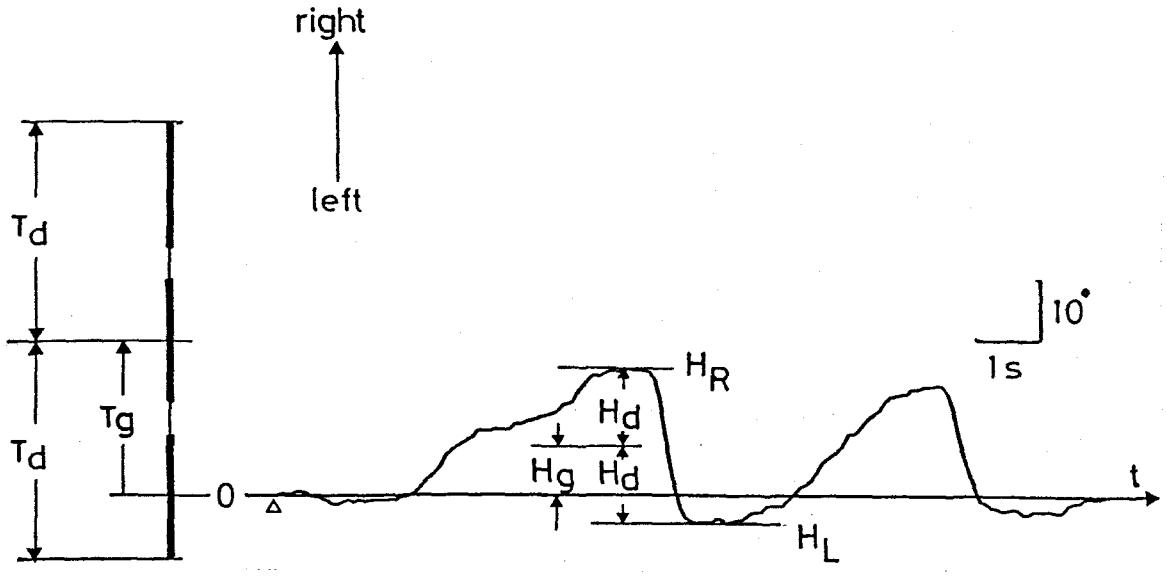


図５－１１．頭部運動の重心性応答と走査性応答．

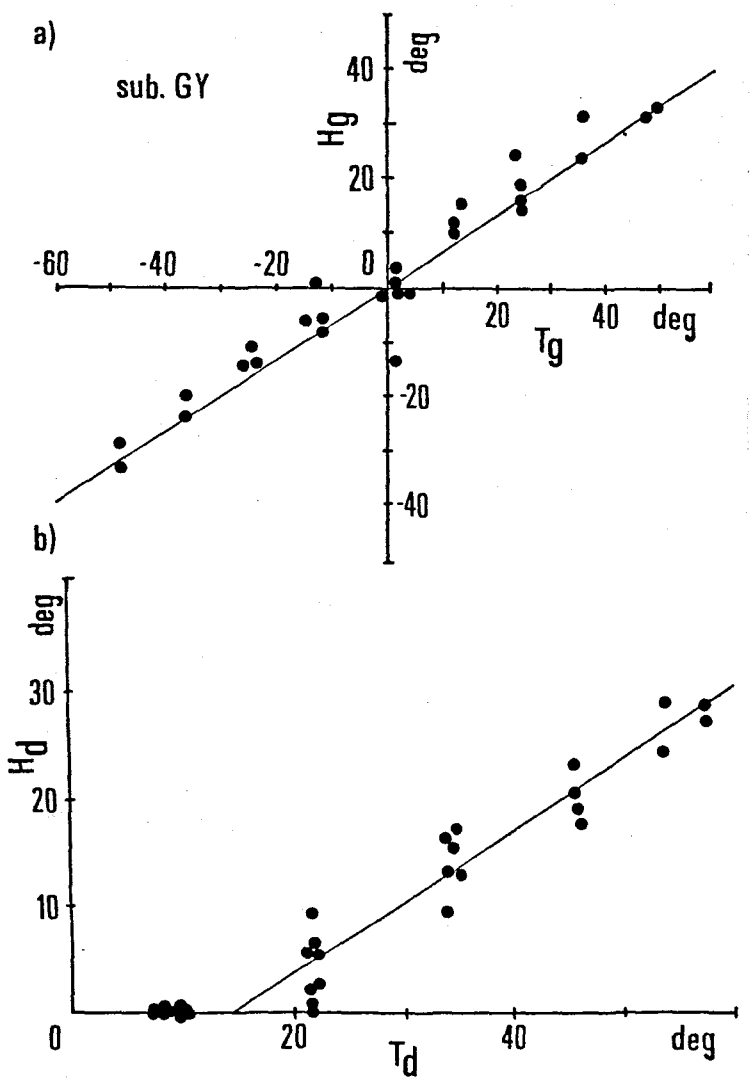


図５－１２．文章の中心位置、長さと頭部の重心性、走査性応答の関係．

るため文頭位置が異なり、結果として視線の第1移動位置が違っても、同じ位置に同じ長さの文章が提示される場合には頭部運動の仕方に大きな違いは認められなかった。これは頭部の第1移動が視線の第1移動位置に直接影響されない、すなわち視線の第1移動位置は文頭位置に設定されるが、頭部の第1移動位置はこの文頭位置ではなく、むしろ文章の長さ、その提示位置によって決定されていることを示していると理解することができよう。

以上のように文読視作業時の頭部運動は文章の長さT_dならびにその中心位置T_gに大きく影響されている。そこでこの文読視作業時の頭部運動を定量化するため提示図形の大きさ、その中心位置に対する頭部運動の走査性移動量H_d、重心性移動量H_gを(5-2),(5-3)式のように定義した。

$$H_g = (H_R + H_L) / 2 \qquad (5\text{-}2)$$

$$H_d = (H_R - H_L) / 2 \qquad (5\text{-}3)$$

ここにH_gは図5-11に示されるように頭部の動く範囲の中心位置であり、表示面中心を原点とし、右方向への頭部の最大変位位置をH_R、左方向への最大変位位置をH_Lとして、H_RとH_Lの平均値として表現した。またH_dは頭部の動いた幅の半分を示しており、H_RとH_Lの差の半分で与えられるものとした。

図5-12a)、b)はこの文章の中心位置T_gと頭部の重心性移動量H_gの関係、ならびに文章の長さT_dと頭部の走査性移動量H_dの関係を示したものである。結果は、まず図a)の文章の中心位置T_gと頭部の重心性移動量H_gの関係に示されるように、頭部の移動範囲の中心位置と視作業対象である文章の中心位置の間に一定の関係が認められ、視作業対象である文章が視野周辺にシフトするに従って頭

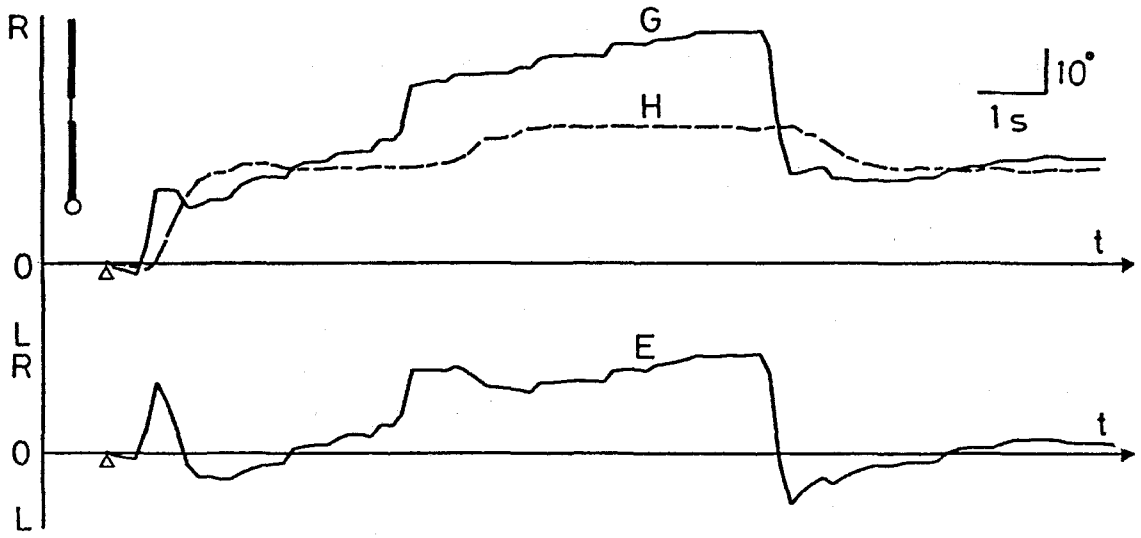


図５－１３．文読視作業時の視線、頭部運動の記録例．

部の動く範囲もその方向へシフトする傾向にあった。

また同図b)に示されるように、文章の幅T_dと頭部の走査性移動量H_dの間にも一定の関係が認められ、視作業範囲が広く、視線を広い範囲に動かさなければならないほどそれにつれた頭部運動の動く範囲も大きくなる傾向にあった。また特にこの頭部の走査性移動量と文章の幅との間には前節5-1 の単一ならびに２視標識別実験でみられたものと同様な頭部運動の不感帯特性が認められた。

＜５－２－４＞　頭部運動のコントロール・モデル

ところで図5-13は右24°の位置に長さ43°の英文章を提示した場合の視線G、頭部運動Hならびに頭部座標系上での眼球運動Eの記録例である。文章が提示されると視線は文頭付近に移動し、少し遅れて頭部運動が開始するが、その頭部の移動位置は文頭位置を越え、結果として頭部の第１移動量は視線の第１移動量よりも大きなものとなっている。もし文章の替りに２視標を文頭位置T_1、文末位置T_2に提示した場合には、前節の単一ならびに２視標識別実験の結果が示すように、T_1への視線の第１移動に伴った頭部運動はほとんどみられない、あるいはみられても比較的小さく、決して視線の第１移動位置を越えて頭部が移動することはないであろう。このように文読視作業時の頭部運動と単一ならびに２視標の順次注視に伴う頭部運動とは異なる特性を示し、そこには異なるコントロールの仕方が働いていることが想像される。

では単一ならびに２視標識別視作業と今回の文読視作業の違いはどこにあるのであろうか。唯一の違いは視作業対象が幅を持っているということであり、少数の視標に視線を順次移動する場合と異なり、長時間に渡って視線を小刻みに動かしていく必要があ

るということである。

先にも検討したように、ヒトの場合はできるだけ頭部は動かさないでおこうとする傾向にあった。今回の文読視作業実験においても図5-12a)、b)に示されるように、頭部の重心性移動量、走査性移動量は共に提示文章の中心位置、長さを下回っており、これはこのできるだけ頭部は動かさずに視作業を遂行しようとしていることを反映していると理解できよう。

しかしできるだけ頭を動かすことなく視作業を行おうとして単一、2視標識別視作業で用いた頭部運動のコントロールの仕方と同じストラテジーを用いて文読視作業時の頭部運動をコントロールするには問題が生じる。例えば図5-11b)の文章T_aに対する頭部運動に示されるように、視野表示面周辺に提示された短い文章に対しては視線移動開始直後の頭部運動がみられるだけであるが、単一、2視標識別視作業にみられたものと同じ頭部運動のコントロールの方法を用いるならば、文読のための表示面周辺方向への小刻みな視線移動に従って小刻みに頭部を動かし続ける必要が生じよう。

では文読視作業時の頭部運動を極力押えるためにはどのようなストラテジーをとればよいのであろうか。そのような方法の1つとして、まず視作業範囲全体を見越して視野を確保するように頭部を移動する方法が考えられる。視野を確保した上で視作業範囲が小さければ頭部を動かさず、視作業範囲が大きいときに初めて頭部運動を生起させることによって頭部運動を極力押えようとするストラテジーである。そしてこれが図5-12のように文章が長いほど視線移動に伴って頭部の動く範囲が大きくなり、文章が視野周辺に提示されるほどそれに従って頭部の動く範囲の中心もその方向に変位した原因であると理解することができよう。

このようにある幅を持った領域の中で視作業を行う場合、でき

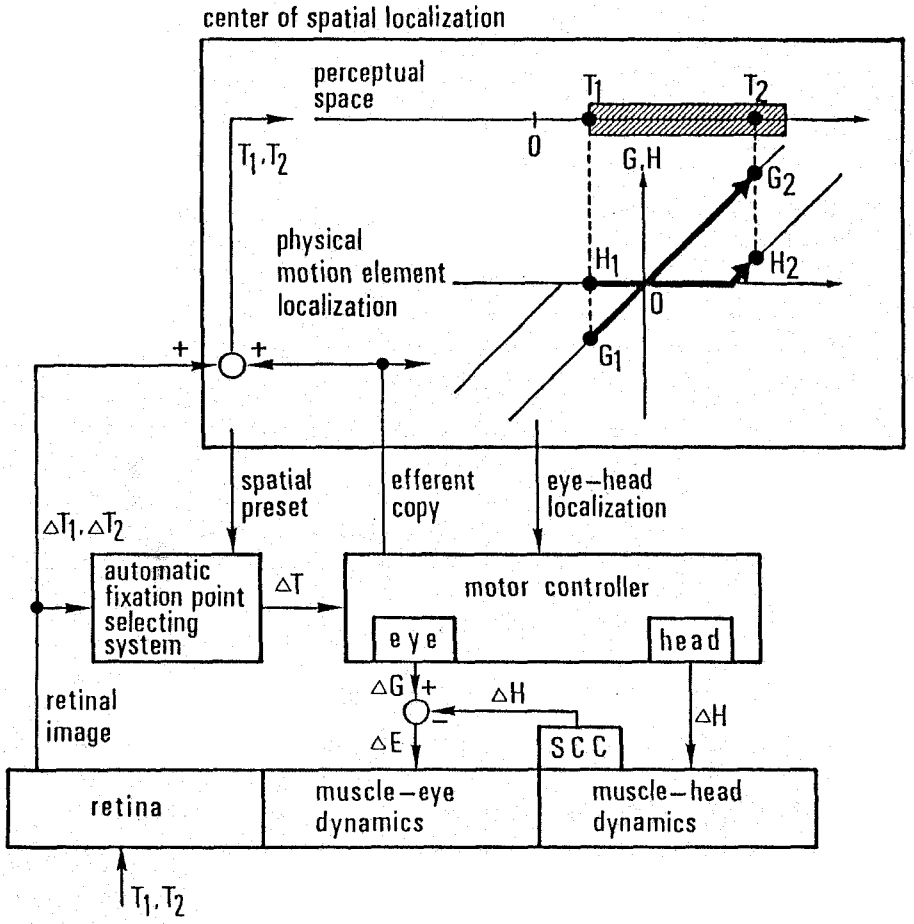


図５－１４．視線移動に伴う頭部運動のコントロール・モデル．

るだけ頭部を動かさないようにするためにはその視作業領域の大きさとその視作業領域の位置を考慮して頭部運動をコントロールする必要がある。

更に図5-12b)の頭部の走査性移動量には、単一ならびに2視標識別実験にみられたものと同様に不感帯特性がみとめられたが、単一ならびに2視標実験の場合、このような不感帯特性は必ず表示面座標系を基準として、その周辺への視線移動の場合に頭部運動が生起するというように、頭部運動は表示面座標系上でコントロールされていた。しかし図5-11に示されるように、図5-12b)にみられた不感帯特性は頭部の重心性変位であるH_gを基準としており、表示面座標系を基準としている訳ではない。むしろ文読視作業時にはまず文章の中心に応じて頭部をシフトさせ、前節でその存在が必要とされた空間知覚中枢をリセットし、その新たな座標系上でできるだけ頭を動かさないでおこうとしていると理解する方が適当であろう。

図5-14に示されるように頭部運動のコントロールは、前節5-1でその存在の必要性が示唆された知覚－運動統合空間(center of spatial localization) の中で行われると考えられたが、以上の結果はこの内の運動制御空間座標系(physical motion element localization) はその原点を表示面と提示視標の脳内表現である知覚空間座標系(perceptual space)の任意の位置に必要に応じてその原点を移動させることができるとすることで説明することができよう。そして運動制御空間座標系ではその周辺に頭部を移動させる場合に頭部運動を生起させるというように、予めこの運動制御空間の中で頭部運動の役割が決定しており、前節5-1 の単一ならびに2視標実験ではこの運動制御座標系の原点と知覚空間の原点が一致しているため、あたかも表示面の周辺に視線を移動させなければならない場合に頭部運動が生起するようなデータを示

し、逆に本節の文読視作業実験の場合には文章、すなわち視作業範囲に見合ってこの運動制御座標系をずらしたため、単一ならびに２視標実験と異なり、表示面座標系よりはむしろ文章の長さと頭部の走査性変移量との間に頭部運動の不感帯特性が認められたと理解できる。以上のように、文読視作業実験においても知覚－運動統合空間とでも呼ぶべき空間知覚中枢の存在の必要性が示唆され、その中で各運動要素の協調関係がコントロールされていることが示唆された。

また更に図5-14の下半分は網膜に映った像が実際の眼球、頭部運動に変わるまでをモデル化したものである。最下段は網膜－効果器系であり、中段はそれら効果器の運動開始から整定までの運動全体を直接制御する運動制御機構motor controller、および３章、４章に記した網膜像から機械的に次の注視点を決定する自動注視点選択機構automatic fixation point selecting system である。

ところで前節5-1 の図5-3 、本節の図5-9 の結果が示すように、頭部運動は運動開始位置に無関係にその移動量に一定の特性を見い出すことができるが、このことから本モデルではこの頭部の移動量△Ｈが運動制御機構から頭部運動に関係した筋に与えられるとした。また眼球運動についても同様に視線移動量△Ｇが運動制御機構から眼筋に与えられるとした。

ただ実際にはこの視線移動量△Ｇは頭部運動によって引き起こされる前庭動眼反射によって頭部運動量分△Ｈだけ小さな値として眼筋に伝えられるが、実際の視線移動量△Ｇはこの頭部運動量△Ｈと眼球運動量△Ｅの和で与えられるので視線は正確に目標を補足しうる。

そして実際の視線移動に当っては、まずこの空間知覚中枢から、次に視標を選択すべき範囲を指定された自動注視点選択機構

が次の注視視標を決定し、それを運動制御機構に伝え、更にこの運動制御機構は空間知覚中枢からの眼と頭の協調関係の指定に従って眼球、頭部を動かす信号△G、△Hを出力する。そして同時に運動制御機構から視線をどのように動かしたかの遠心性コピー信号(efferent copy)は網膜に映った視標位置と加え合わされた上で知覚系にその詳細な情報を伝え、更に視線移動が進むといった具合である。

以上のように視知覚活動における頭部運動は表示面にどのように目標が存在し、それに対して眼球、頭部、体幹等がどこを向いているのか等、高次の空間中枢の中でコントロールされていることが示唆された。

第６章　結論

本研究の目的はヒトの視知覚活動において新たな注視点がどのように順次決定され、また視線移動を遂行するためにその担い手である眼球、頭部運動がどのようにコントロールされていくのかを明らかにするところにあった。以下に本研究で得られた知見について要約する。

本研究では提示図形、視作業内容等からどのようにして新たな注視点が決定されるのかを検討するため、まず第３章で刺激図形提示直後に生じる視線の第１移動を取り挙げた。提示図形、視作業内容を変化させることによって視線の第１移動は種々異なることが予想され、視線移動のコントロール方法を検討するに多くの知見を与えてくれると期待されたためである。

具体的には表示面水平軸上に提示された２視標、あるいは表示面中心を中心とした対称な位置に明るさならびに大きさの異なる２視標を提示し、最初にどちらの視標に視線が移動するのかを検討したのであるが、その結果、視野中心により近い視標から見る、明るい視標から見る等、いくつかの規則的な視標選択方法が存在することが明らかとなった。

また更に詳細な検討から、これら視線の第１移動においては、最終的な注視視標の決定は２視標の位置関係等の刺激力学的な場の釣り合いによって機械的になされるが、単に刺激に他する受動的な反応ではなく、実験状況に応じて視標提示以前に視標選択の大まかな方向づけが行なわれていることを示すものであった。以上の結果から、視線の第１移動にみられた規則的な視標選択方法は網膜から機械的に次の注視視標を選択する機構とこの機構に対するより上位の中枢からの実験状況に応じた機能修飾の２つから成るモデルによって説明しうることが示された。

また以上の視線の第1移動も含めた一連の視線移動において新たな注視点がどのように順次決定されていくのかを検討したのが第4章である。そこでは表示面水平軸上に提示された3視標ならびに表示面全体のランダムな位置に配置された複数視標に対する一連の視線移動を検討したのであるが、実験の結果、視線の第2移動以降の各視線移動場面にも視標選択の規則性が認められることが明らかとなった。

またこれら各視線移動場面にみられた視標選択の規則性は第3章の視線の第1移動でみられた規則性と類似したものであったため、これら視線の第1移動で明らかとなっている視標選択規則の連鎖として一連の視線移動が記述しうるのかどうかを確認する目的から注視順序シミュレータを計算機上に構成した。結果はシミュレータの応答がヒトのそれとよく整合し、一連の視線移動がこれらいくつかの単位的な注視点決定規則の順次適用として記述しうることが示された。

第5章ではこれら一連の視知覚活動の中で視線移動の担い手である眼球、頭部運動がどのように協調的にコントロールされているのかを検討した。そこでは表示面の水平軸上に提示された単一ならびに2視標の識別視作業、あるいは文章黙読時の頭部運動について検討を加えたのであるが、その結果、頭部運動は眼球、頭部、体幹等の物理的な身体座標系を基準としてコントロールされているのではなく、むしろヒトが表示面への視標の提示の仕方に対応して作り出した仮想の視作業空間座標系を基準として、その周辺への視線移動の場合に頭部運動が生起する、あるいは文章の長さ、その提示位置に応じて頭部運動がコントロールされていることが明らかとなった。視標、文章提示の枠組の中で頭部運動がコントロールされる傾向にあった訳で、高次の空間知覚中枢の中で頭部、眼球が組織的にコントロールされていることが明らかと

なった。

以上がヒトの視知覚活動における視線移動ならびにその担い手である眼球、頭部運動のコントロールの仕方に関して本研究で得られた知見である。今後更により複雑な図形、より複雑な視作業環境下で以上の結果を検討する必要があろう。

謝辞

本研究は筆者が大阪大学大学院基礎工学研究課博士課程（物理系生物工学専攻）在籍中に田村博助教授の御指導の下に行われたものである。

この間、本研究を行う機会と場を与えて頂くとともに終始適切な助言を頂いた田村博助教授に慎んで感謝の意を表します。

また本論文は滋賀医科大学整形外科に在職する中でまとめたものである。本論文をまとめる機会を与えて頂いた七川歓次教授に慎んで感謝の意を表します。

更に第２章は馬場章夫氏（現三菱電機）、第３章の一部は岡賢一郎氏（現三菱電機）との協同研究の成果であります。同氏ならびに研究を進めるに際し、心良く実験に協力を頂き、またたえず有益な御討論を頂いた田村研究室諸氏に深く御礼申し上げます。

参考文献

Adler,B. and Grüsser,O.-J.(1979) Apparent movement and appearance of periodic stripes during eye movements across a stroboscopically illuminated random dot pattern. Exp.Brain Res. 37, 537-550.

Bahill,A.T., Adler,D. and Stark,L.(1975) Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less. Investigative Ophthalmology 14, 468-469.

Bahill,A.T., Iandolo,M.J. and Troost,B.T.(1980) Smooth pursuit eye movements in response to unpredictable target waveforms. Vision Res. 20, 923-931.

Bahill,A.T. and McDonald,J.D.(1983a) Smooth pursuit eye movements in response to predictable target motions. Vision Res. 23, 1573-1583.

Bahill,A.T. and McDonald,J.D.(1983b) Model emulates human smooth pursuit system producing zero-latency target tracking. Biol.Cybern. 48, 213-222.

Bahill,A.T. and Stark,L. (1979-3) 眼球の飛躍運動. サイエンス 9, 20-31.

Bartz,A.E.(1966) Eye and head movements in peripheral vision - Nature of compensatory eye movements. Science 152, 1644-1645.

Becker,W. and Fuchs,A.F.(1969) Further properties of the human saccadic system - Eye movements and correction saccades with and without visual fixation points. Vision Res. 9, 1247-1258.

Becker,W. and Jürgens,R.(1965) Saccadic reactions to double-step stimuli - Evidence for model feedback and continuous information uptake. In Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications (edited by Lennerstrand,G. and Bach-y-Rita,P.), 519-524. Pergamon Press, New York.

Becker,W. and Jürgens,R.(1979) An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. Vision Res. 19, 967-983.

Behrens,F. and Grüsser,O.-J.(1979) Smooth pursuit eye movements and optokinetic nystagmus elicited by intermittently illuminated stationary patterns. Exp.Brain Res. 37, 317-336.

Berthoz,A., Pavard,B. and Young,L.R.(1975) Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (Linearvection) - Basic characteristics and visual-vestibular interactions. Exp.Brain Res. 23, 471-489.

Biguer,B., Jeannerod,M. and Prablanc,C.(1982) The coordination of eye, head and arm movements during reaching at a single visual target. Exp.Brain Res. 46, 301-304.

Bizzi,E., Kalil,R.E., Morasso,P. and Tagliasco,V.(1972) Central programming and peripheral feedback during eye-head coordination in monkeys. Bibl.Ophthal. 82, 220-232.

Bizzi,E.(1974-12) 眼と頭の動きの協応. サイエンス 4, 64-75.

Bizzi,E., Polit,A. and Morasso,P.(1976) Mechanisms underlying achievement of final head position. J.Neurophysiol. 39, 435-444.

Bizzi,E. (1976) 中枢プログラミングと末梢フィードバック. 生体の科学 27, 315-319.

Bizzi,E., Dev,P., Morasso,P. and Polit,A.(1978) Effect of load disturbances during centrally initiated movements. J.Neurophysiol. 41, 542-556.

Božkov,V. Bohdanecký,Z. and Radil-Weiss,T.(1977) Target point selection during scanning eye movements, Biol.Cybern. 27, 215-220.

Brandt,H.F.(1940a) Ocular patterns and their psychological implications. Am.J.Psychol. 53, 260-268.

Brandt,H.F.(1940b) Ocular patterns as an index of the attentional value of size. Am.J.Psychol. 53, 564-574.

Brandt,H.F.(1941) Ocular patterns in visual learning. Am.J.Psychol. 54, 528-535.

Buff,H.A.(1974) Infant visual fixation - The effect of concentricity, curvlinearity, and number of directions. J.Exp.Child Psychol. 17, 460-473.

Burke,R.E. (1978) 運動単位と運動. 生体の科学 29, 425-434.

Burt,P. and Sperling,G.(1981) Time, distance, and feature trade-offs in visual apparent motion. Psychol.Rev. 2, 171-195.

Collin,N.G. and Cowey,A.(1980) The effect of ablation of frontal eye-fields and superior colliculi on visual stability and movement discrimination in rhesus monkeys. Exp.Brain Res. 40, 251-260.

Coren,S., Bradley,D.R., Hoenig,P. and Girgus,J.S.(1975) The effect of smooth tracking and saccadic eye movements on the perception of size - The shrinking circle illusion. Vision Res. 15, 49-55.

Deckert,G.H.(1964) Pursuit eye movements in the absence of a moving visual stimulus. Science 143, 1192-1193.

Deubel,H., Wolf,W. and Hauske,G.(1982) Corrective saccades - Effect of shifting the saccade goal. Vision Res. 22, 353-364.

Duwaer,A.L.(1982) Assessment of retinal image displacement during head movement using an afterimage method. Vision Res. 22, 1379-1388.

Engel,F.L.(1971) Visual conspicuity, directed attention and retinal locus. Vision Res. 11, 563-576.

Engel,F.L.(1977) Visual search and fixation tendencies of the eye. Vision Res. 17, 95-108.

Evart.J. (1974-5) 視覚と行動の神経生理. サイエンス 4, 18-27.

Evarts,E.V. (1979-11) 運動の脳内機構. サイエンス 9, 114-124.

Festinger,L., Sedgwick,A. and Holtzman,J.D.(1976) Visual perception during smooth pursuit eye movements. Vision Res. 16, 1377-1386.

Findlay,J.M.(1980) The visual stimulus for saccadic eye movements in human observers. Perception 9, 7-21.

Findlay,J.M.(1981) Spatial and temporal factors in the predictive generation of saccadic eye movements. Vision Res. 21, 347-354.

Fleming,D.G., Vossius,G.W., Bowman,G. and Johnson,E.L.(1969) Adaptive properties of the eye-tracking system as revealed by moving head and open-loop studies. Ann.New York Academy of Sciences 156, 825-850.

Frost,D. and Poppel,E.(1976) Different programming modes of human saccadic eye movements as a function of stimulus eccentricity - Indications of a functional subdivision of the visual field. Biol.Cybern. 23, 39-48.

Funk,C.J. and Anderson,M.E.(1977) Saccadic eye movements and eye-head coordination in children. Percept.Mot.Skills 44, 599-610.

Gauthier,G.M. and Hofferer,J.-M.(1976) Eye tracking of self-moved targets in the absence of vision. Exp.Brain Res. 26, 121-139.

Gerrits,H.J.M.(1978) Differences in peripheral and foveal effects observed in stabilized vision. Exp.Brain Res. 32, 225-244.

Gerrits,H.J.M.(1979) Apparent movements induced by stroboscopic illumination of stabilized images. Exp.Brain Res. 34, 471-488.

Glickstein,M. and Gibson,A.R.(1977-1) 視覚情報を筋肉に伝える脳橋. サイエンス 7, 82-91.

Gordon,B.(1973-2) 感覚をつかさどる脳の上丘. サイエンス 3, 62-73.

Gresty,M.A.(1974) Coordination of head and eye movements to fixate continuous and intermittent targets. Vision Res. 14, 395-403.

Grunau,M.W.von(1977) Dissociation and interaction of form and motion information in the human visual system. Vision Res. 18, 1485-1489.

Hallett,P.E. amd Lightstone,A.D.(1976a) Saccadic eye movements towards stimuli triggered by prior saccades. Vision Res. 16, 99-106.

Hallett,P.E. and Lightstone,A.D.(1976b) Saccadic eye movements to flashed targets. Vision Res. 16, 107-114.

Hansen,R.M. and Skavenski,A.A.(1977) Accuracy of eye position information for motor control. Vision Res. 17, 919-926.

Harris,L.R.(1980) The superior colliculus and movements of the head and eyes in cats. J.Physiol. 300, 367-391.

Heywood,S. and Churcher,J.(1981) Saccades to step-ramp stimuli. Vision Res. 21, 479-490.

彦坂 (1983) 随意的眼球運動における黒質の役割. 生体の科学 34, 381-390.

彦坂 (1984) 随意性の眼球運動. 神経進歩 28, 138-152.

Holtzman,J.D., Sedgwick,H.A. and Festinger,L.(1978) Interaction of perceptually monitored and unmonitored efferent commands for smooth pursuit eye movements. Vision Res. 18, 1545-1555.

Hubel,D.H.(1963) The visual cortex of the brain, Sci.Am. 209, 54-62.

Hubel,D.H. and Wiesel,T.N.(1962) Receptive fields, binocular interaction and fuctional architecture in the cat's visual cortex. J.Physiol. 160, 106-154.

Hubel,D.H. and Wiesel,T.N.(1965) Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual patterns. J.Neurophysiol. 28, 819-831.

池田 (1975) プログラムされた神経活動とコマンド・インターニューロン. 生体の科学 26, 396-407.

伊藤 (1975) 眼球運動と小脳. 臨床生理 5, 298-304.

伊藤 (1975) 小脳のはたらきとその神経機構 - 前庭動眼反射系との関連を中心に. 神経進歩 19, 627-632.

伊藤，小幡，田崎，塚原，松尾編 (1978) 感覚と知覚，脳の統御機能３，医歯薬出版.

伊藤，島津編 (1976) 高次脳機能と中枢プログラミング，現代の神経科学３，産業図書.

Jones,G.M. and Milsum,J.H.(1965) Spatial and dynamic aspects of visual fixation, IEEE Biomed.Engr. BME-12, 54-62.

笠井 (1980) 眼球運動の制御機構. 計測と制御 19, 760-771.

Kaufman,L.(1969) Spontaneous fixation tendencies for visual forms. Percept.Psychophys. 5, 85-88.

河原田，横沢 (1980) 視覚神経系モデルによる注視点の検出. 信学誌論 J63-A, 719-725.

Keller,E.L.(1976) The role of the brain stem reticular formation in eye movement control. In Eye movements, Proc.ARVO Symposium, 105-126. Plenum Press, New York.

Kelly,B.O.(1976-3) Lateral-effect photodiodes. Laser Focus Magazine, 38-40.

Kessen,W., Salapatek,P. and Haith,M.(1972) The visual response of the human newborn to linear contour. J.Exp.Child Psychol. 13, 9-20.

Komoda,M.K., Festinger,L. and Sherry,J.(1977) The accuracy of two-dimensional saccades in the absence of continuing retinal stimulation. Vision Res. 17, 1231-1232.

Kowler,E., Martins,A.J. and Pavel,M.(1984) The effect of expectations on slow oculomotor control IV - Anticipatory smooth eye movements depend on prior target motions. Vision Res. 24, 197-210.

倉沢, 山本 (1981-3) 非走査形ポジションセンサー. OE 16, 79-87.

Lamontagne,C.(1972) A new type of apparent motion as a measure of human visual tracking, Bionics Res.Lab.Edinburgh Univ.memo, Percept. 9.

Lestienne,F., Vidal,P.P. and Berthoz,A.(1984) Gaze changing behavior in head restrained monkey. Exp.Brain Res. 53, 349-356.

Levy-Schoen,A. and Blanc-Garin,J.(1974) On oculomotor programming and perception. Brain Res. 71, 443-450.

Locher,P.J. and Nodine,C.F.(1974) The role of scanpaths in the recognition of randam shapes, Percept.Psychophys 15, 308-314.

Mack,A. and Herman,E.(1978) The loss of position constancy during pursuit eye movements. Vision Res. 18, 55-62.

Mack.A., Fendrich,R. and Wong,E.(1982) Is perceived motion a stimulus for smooth pursuit. Vision Res. 22, 7-82.

前川, 平岡, 森田, 藤井, 江見 (1980) 視線, 視野制御機能をもつ画像処理システム. 信学誌論 J63-D, 843-850.

牧川, 田村(1978a) 光学的方法による頭部運動の記録と視線解析への応用. JAACE学講予稿 M-1.

牧川，田村(1978b) 視線移動時における眼球および頭部運動の同時記録．
人間工学全大予稿 IID-13.

牧川，田村，堀井(1979b) 文読作業における頭部運動の２つの動作様式．
信学会情報・システム全大予稿 S5-12.

牧川，田村，堀井(1979c) 滑動性眼球運動指令の網膜依存性．電気関係学会
関西大予稿 S7-1.

牧川，田村(1980b) 識別視作業に伴う頭部運動様式．信学技報 MBE80-38.

牧川，田村(1980c) 複数視刺激に対する視線の初期移動選択様式．
生体システム・バイオメカニズム学講予稿 1205.

牧川，田村(1981a) 水平２視標に対する視線の初期移動の決定法の多様性と
その選択論理．信学技報 MBE81-2.

牧川，田村(1981b) 大小２視標に対する視線の初期移動とその変更可能性．
信学会情報・システム全大予稿 242.

牧川，田村(1981c) 複数視標に対するヒトの注視順序のシミュレーション・モデル．
信学技報 MBE81-42.

牧川，田村(1981d) 注視順序シミュレーターランダム配置視標への適合．
人間工学関西大予稿.

Makikawa,M. and Tamura,H.(1982a) Modelling of visual scanning sequence to
multiple targets. Proc.IEA'82, 388-389.

牧川，田村(1982b) 水平２視標に対する視線の初期移動の決定過程．
信学誌論 J65-A, 1077-1084.

牧川，田村 (1983) 水平３視標順次注視時の視線移動の解析．信学誌論 J66-A,
769-776.

牧川，田村 (1984) 視標提示の空間的枠組に依存した頭部運動．信学誌論 J67-A,
1115-1122.

南 (1983-2) 科学計測とラボラトリ・オートメーション．インターフェイス 69,
170-180.

Minsky,M.(1975) Framework for representing knowledge. In The psychology of
computer vision (Edited. by Winston,P.H.), McGraw-Hill, New York.

Mitrani,L. and Dimitrov,G.(1978) Pursuit eye movements of a disappearing moving target. Vision Res. 18, 537-539.

Moors,J. and Vendrik,A.J.H.(1979) Responses of single units in the monkey superior colliculus to moving stimuli. Exp.Brain Res. 35, 349-369.

溝口 (1979-7) 人間の記憶内の知識表現形式 - 知識データの性質と記憶の処理プロセス. 数理科学 193, 22-29.

Morasso,P., Bizzi,E. and Dichgans,J.(1973) Adjustment of saccade characteristics during head movements. Exp.Brain Res. 16, 492-500.

Morasso,P., Sandini,G., Tagliasco,V. and Zaccaria,R.(1977) Control strategies in the eye-head coordination system. IEEE Syst.Man Cybern. SMC-7, 639-651.

Morgan,M.J. and Turnbull,D.F.(1978) Smooth eye tracking and the perception of motion in the absence of real movement. Vision Res. 18, 1053-1059.

Mountcastle,V.B., Lynch,J.C., Georgopoulos,A., Sakata,H. and Acuna,C.(1975) The posterior pariental association cortex of the monkey - Command functions for operations within extrapersonal space. J.Neurophysiol. 38, 871-908.

Nakayama,K. and Tyler,C.W.(1978) Relative motion induced between stationary lines. Vision Res. 18, 1663-1668.

Neisser,U. (1978) 認知の構図 (古崎他訳) , サイエンス社.

Noton,D.(1970) A theory of visual pattern perception. IEEE Syst.Sci.Cybern. SSC-6, 349-357.

Noton,D. and Stark,L.(1971a) Eye movements and visual perception, Sci.Am. 224, 34-43.

Noton,D. and Stark,L.(1971b) Scanpaths in eye movements during pattern perception. Science 171, 308-311.

大谷 (1966) 眼球運動をめぐる心理学的諸問題. 心理学評論 10, 149-161.

大谷 (1977) 上丘の構造. 生体の科学 28, 117-124.

岡 (1982) 視線の1次移動決定における視標属性の役割. 阪大基礎工卒論.

芋阪 (1970) 眼球運動と形態知覚, 心理学4知覚 , 東大出版.

小沢 (1975) 眼球運動の測定法. 生体の科学 26, 96-100.

Pantle,A. and Picciano,L.(1976) A multistable movement display - Evidence for two separate motion systems in human vision. Science 189, 500-502.

Petersik,J.T. and Pantle,A.(1979) Factors controlling the competing sensations produced by a bistable stroboscopic motion display. Vision Res. 19, 143-154.

Pomerantz,J.R., Sager,L.C. and Stoever,R.J.(1977) Perception of wholes and of their component parts - Some configural superiority effects, J.Exp.Psychol. 3, 422-435.

Prablanc,C. and Jeannerod,M.(1974) Corrective saccades - Dependence on retinal reafferent signals. Vision Res. 15, 463-469.

Prablanc,C., Masse,D. and Echallier,J.F.(1978) Error-correcting mechanisms in large saccades. Vision Res. 18, 557-560.

Ramachandran,V.S.(1983) Extrapolation of motion path in human visual perception. Vision Res. 23, 83-85.

Raybourn,M.S. and Keller,E.L.(1977) Colliculoreticular organization in primate oculomotor system. J.Neurophysiol. 40, 861-878.

Robinson,D.A.(1964) The mechanics of human saccadic eye movement. J.Physiol. 174, 245-264.

Robinson,D.A.(1966) 眼の動きを操る神経信号. 生体の科学 10, 149-161.

Robinson,D.A.(1973) Models of the saccadic eye movements control system. Kybernetik 14, 71-83.

Robinson,D.A.(1976) Adaptive gain control of vestibuloocular reflex by the cerebellum. J.Neurophysiol. 39, 954-969.

Robinson,G.H., Koth,B.W. and Ringenbach,P.(1976) Dynamics of the eye and head during an element of visual search. Ergonomics 19, 691-709.

Robinson,G.M., Koth,B.W. and Ringenbach,J.P.(1977) Dynamics of the eye and the head during an element of visual search. J.Suppl.Abst.Service of APA, 1407.

酒田 (1983) 頭頂連合野と空間視. 神経進歩 27, 809-821.

Sanders,A.F.(1970) Some aspects of the selective process in the functional visual field. Ergonomics 13, 101-117.

Schlag,J., Schlag-Rey,M., Peck,C.K. and Joseplh,J.-P.(1980) Visual responses of thalamic neurons depending on the direction of gaze and the position of targets in space. Exp.Brain Res. 40, 170-184.

Schiller,P.H.(1976) The primate superior colliculus and its sensory inputs. In Eye movements, Proc.ARVO Symposium, 437-448. Plenum Press, New York.

Schiller,P.H., True,S.D. and Conway,J.L.(1980) Deficits in eye movements following frontal eye-field and superior colliculus ablations. J.Neurophysiol. 44, 1175-1189.

Schiller,P.H. and Sandell,J.H.(1983) Interactions between visually and electrically elicited saccades before and after superior colliculus and frontal eye field ablations in the rhesus monkey. Exp.Brain Res. 49, 381-392.

清水 (1983) 中枢障害例における眼と頭の協調運動. 神経進歩 27, 906-911.

篠田 (1980) 大脳皮質運動野の最近の知見. 生体の科学 31, 482-495.

Shirachi,D.K., Monk,D.L. and Black,J.H.(1978) Head rotational spectral characteristics during two-dimensional smooth pursuit task. IEEE Syst.Man Cybern. SMC-8, 715-724.

Sparks,D.L., Pollack,J.G. and Mays,L.E.(1976) The neural control of saccadic eye movements. In Eye movements, Proc.ARVO Symposium, 179-220. Plenum Press, New York.

Stark,L.(1968) Neurological control systems. Plenum Press, New York.

Steinbach,M.J.(1976) Pursuing the perceptual rather than the retinal stimulus. Vision Res. 16, 1371-1376.

Sugie,N.and Wakakuma,M.(1970) Visual target tracking with active head rotation. IEEE Syst.Sci.Cybern. SSC-6, 103-109.

Sugie,N.(1976) Investigation of visual perception of position based on the reafferent theory. Biol.Cybern. 21, 17-22.

鈴木 (1980) 連合野の機能区分. 生体の科学 31, 496-503.

鈴木 (1983) 前頭前野と注視行動. 神経進歩 27, 822-829.

田村(1977a) 眼電位法による視線の二次元解析. 信学会総合全大予稿 S8-6.

田村, 高木, 馬場(1977b) スライド表示図形に対する視線移動の記録解析システム. JAACE 学講予稿 K2.

田村, 高木, 馬場(1977c) 注視時間分布と視線の移動経路. SICE学講予稿 3600.

田村, 馬場, 高木(1977d) 視線の1次移動における方位選択性. SICE学講予稿 3607.

田村, 高木, 馬場(1977e) 視線の移動経路と姿勢. 自動制御連講予稿 2015.

田村, 馬場, 高木(1978a) 順次提示光点に対する視線の1次移動. ME学会全大予稿 17.

田村, 高木, 馬場(1978b) 視線の1次移動における図形選択性. 信学技報 MBE77-61.

田村, 馬場, 高木(1978c) 視線移動のプログラム性とその意識的選択. 信学技報 MBE77-62.

Tamura,H., Bamba,T., Makikawa,M., Shimizu,K. and Furukawa,T.(1978d) Hierarchical control of eye movement with and without visual discrimination task. Proc.ICCS, 191-195.

田村, 馬場(1978e) 視覚実験用運動図形の発生法. 信学技報 IE78-71.

田村, 馬場, 広瀬(1978f) 視覚識別応答における視線移動. JAACE 学講予稿 M2.

田村(1979a) 視線移動の中枢プログラム. バイオメカニズム学会誌 3, 1-6.

田村, 牧川, 山田, 大槻, 堀井(1979b) 交互提示光列により誘起される静・動知覚と視線移動. 信学会情報・システム全大予稿 S5-10.

田村, 牧川(1980a) ＣＲＴ表示面への運動図形の提示方法についての考察. 人間工学全大予稿 T1.

田村, 山田, 牧川(1980b) 視覚的な図形整合と動知覚. 信学会全大予稿 1280.

田村, 山田, 牧川(1981a) 図形の親和性と視線移動. 信学会情報・システム全大予稿.

Tamura,H. and Makikawa,M.(1981b) Role of eye movement in the perception of moving images generated on a multi CRT display system. In Human factors in man-machine systems. Proc.IFAC Control Science and Technology, 3489-3494. Pergamon Press.

田崎，大山，樋渡編 (1979) 視覚情報処理，朝倉書店.

Tolkmitt,F.J.(1977) A computer simulation model of the afferent part of the visual foveation system. Biol.Cybern. 25, 195-203.

Trouche,E. and Beaubaton,D.(1980) Initiation of a goal-directed movement in the monkey. Exp.Brain Res. 40, 311-321.

Vanni-Mercier,G. and Magnin,M.(1982) Retinotopic organization of extra-retinal saccade-related input to the visual cortex in the cat. Exp.Brain Res. 46, 368-376.

Walker-Smith,G.J., Gale,A.G. and Findlay,J.M.(1977) Eye movement strategies involved in face perception. Perception 6, 313-326.

Warm,J.S., Wait,R.G. and Loeb.M.(1976) Head restraint enhances visual monitoring performance. Percept.Psychophys. 20, 299-304.

渡部 (1964) テレビ画像の注視点. テレビジョン誌 18, 611-614.

渡部，樋渡，畠中，田中 (1965) 画像と注視点の分布. NHK 技術研究 17, 4-20.

渡部 (1969) 物の見え方と眼の動き. NHK 技研月報 3, 9-16.

渡辺，森田，伊藤，天野編 (1977) 感覚と認識，神経科学講座３，理工学社.

Whiteside,J.A.(1974) Eye movements of children, adults, and elderly persons during inspection of dot patterns. J.Exp.Psychol. 18, 313-332.

Williams,L.G.(1967) The effects of target specification on objects fixated during visual search. Acta Psychologica 27, 355-360.

Williams,R.A. and Fender,D.H.(1979) Velocity precision in smooth pursuit eye movements. Vision Res. 19, 343-348.

Winterson,B.J. and Steinman,R.M.(1978) The effect of luminance on human smooth pursuit of perifoveal and foveal targets. Vision Res. 18, 1165-1172.

Wurtz,R.H., Goldberg,M.E. and Robinson,D.L.(1982) 視覚的注視の脳内機構. サイエンス 12, 62-73.

Wyatt,H.J. and Pola,J.(1979) The role of perceived motion in smooth pursuit eye movements. Vision Res. 19, 613-618.

Wyatt,H.J. and Pola,J.(1983) Smooth pursuit eye movements under open-loop and closed-loop conditions. Vision Res. 23, 1121-1131.

Yarbus,A.L.(1967) Eye movements and vision, Plenum Press, New York.

Yasui,S.(1976) Perceived visual motion as effective stimulus to pursuit eye movement system. Science 190, 906-908.

Young,L.R.(1975) Survey of eye movement recording methods. Behav.Res.Method.Instrument. 7, 397-429.

Young,L.R and Stark,L.(1963) Variable feedback experiments testing a sampled data model for eye tracking movements, IEEE Hum.Factors Electron. HFE-4, 38-51.

吉村 (1979) ヒトの眼球－頭部協調パターンの諸特性 - その年令差と制御機構に関する研究. 人間工学 15, 265-270.

Zangemeister,W.H., Lehman,S. and Stark,L.(1981) Simulation of head movement trajectories - Model and fit to main sequence. Biol.Cybern. 41, 19-32.

Zarzecki,P., Blum,P.S., Bakker,D.A. and Herman,D.(1983) Convergence of sensory inputs upon projection neurons of somatosensory cortex - Vestibular, neck, head and forelimb inputs. Exp.Brain Res. 50, 408-414.

Zavalishin,N.V.(1968) Hypothesis concerning the distribution of eye fixation points during the examination of pictures. Automation and Remote Control 12, 1944-1951.

Zeki,S.M.(1980) 大脳皮質における視覚機能の地図描写. 生体の科学 31, 459-465.

Zusne,L. and Michels,K.M.(1964) Nonrepresentational shapes and eye movements. Percept.Mot.Skills 18, 11-20.