

画像に対する注視点解析

樋渡 涓二*

1. はじめに

最近通信工学や情報工学では機械と人間の関係を重視するいわゆるヒューマン・インタフェース (HI) の研究が盛んに行われている。本研究も画像と視覚のインタフェースに関するもので、特に人間の目が画像のどこを注視するかを客観的な方法で追跡し、さらに多くの被験者によって統計的な情報をも取得し、画像工学上の基礎的な資料を得るのが目的である。

人間を相手にする測定は個人差が少なくないので、なるべく多くの被験者の協力により、統計的な性質を抽出することが重要であり、そのためになりに多くのデータを積み重ねる必要がある。

本報告では紙数の関係もあり、すべてを網羅することは出来ないので、いくつかの要点に絞って測定結果について述べることとする。

2. 注視点と眼球運動

人間をふくめ高等動物ではものを見るのに目を動かす。目の動きだけでは足りないときにはさらに首や体を動かすことは例えば車の運転を考えればすぐ分かる。しかし一般に画像は視野に占める面積があまり大きくない場合はほとんど眼球運動だけで情報を獲得する

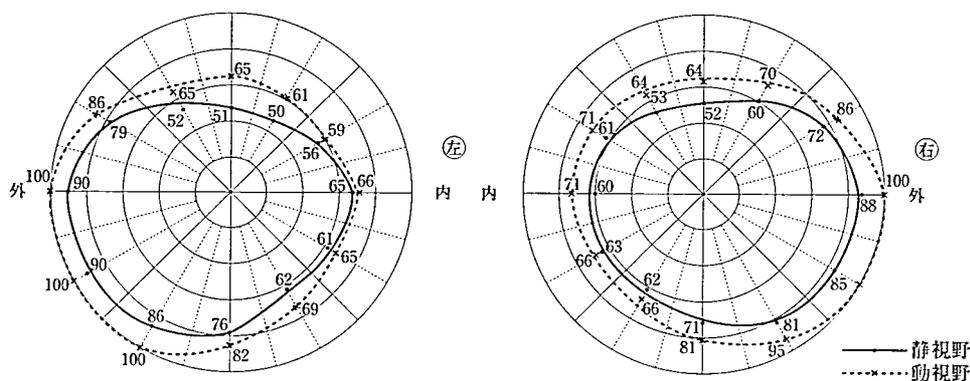


図1 視野の測定例：静視野は視線を中央に固定したときの見える範囲，動視野は頭部を固定し自由に目を動かして見える範囲，図中の数字は角度。

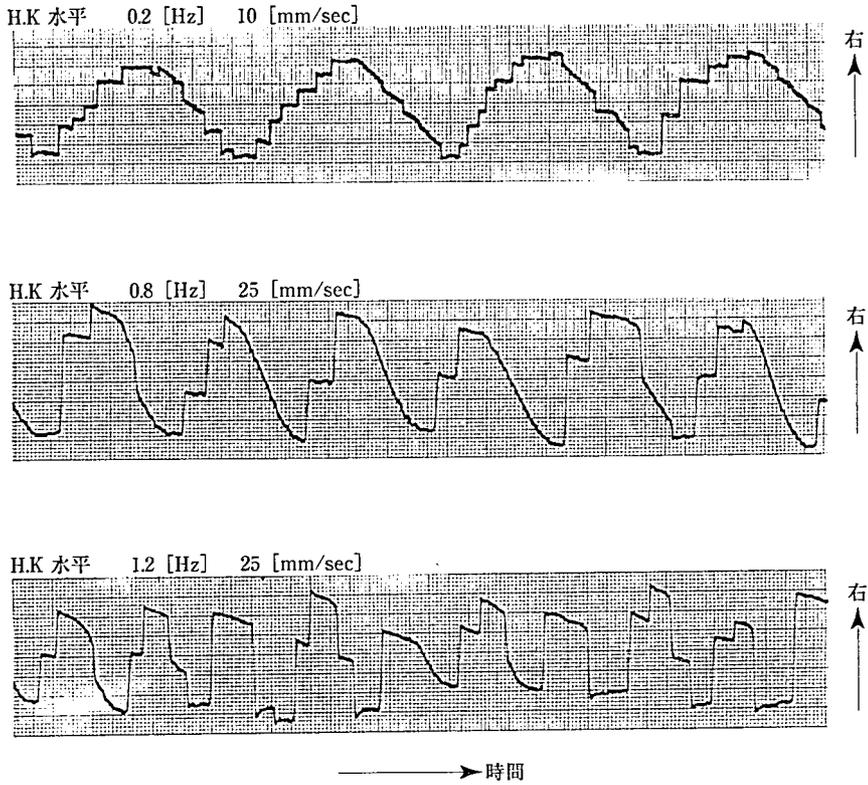


図 2 (a) 運動視標に対する目の動き：跳躍性と随従性の運動の割合が視標の方向と速度によって違うことを示す例。

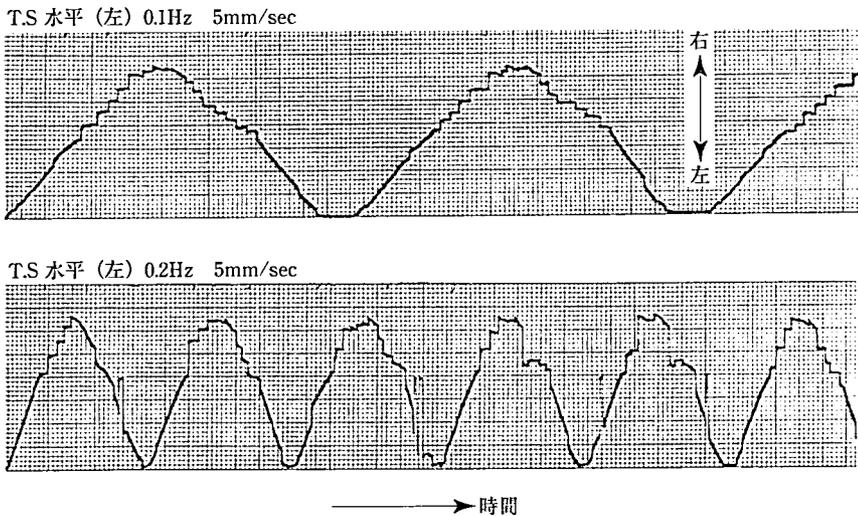


図 2 (b) 左右にゆっくり動く視標の右半分を遮蔽したときの目の動き；視標が見えなくなると随従性運動が消失する。

ことが出来る。人間の視野は視野計で測定できるが、例えば図1の実際の測定例に示すように、上方向に約60度、下方向に約75度、右方向は右目で、左方向は左目でそれぞれ100度以上も開かれている。しかし視力を測定すると昔から指摘されているように、視力のいいのは中心の数度以内の狭い範囲であるから、こまかく対象を見ようとする対象物を視力のいい中心視で見なければならず、そのために素早い眼球運動を行うのが普通である。

この場合目の動きには一般に跳躍性と呼ばれる注視点間をすばやく飛ぶ動きと、随従性と呼ばれる視対象の動きに追従する滑らかな動きとが共存している。いずれも自動制御的な働きであるが、前者は位置制御、後者は速度制御であるといわれている。この2つはそれぞれ跳躍性運動 (saccadic movement)、随従性運動 (smooth pursuit movement) と呼ばれている。

上下左右の運動では比較的遅く滑らかに運動する視対象を追うときのみ随従性運動が発生し、視対象がきわめて速く動く場合や逆に静止している場合には能動的に目をなめらかに動かそうとしても随従性運動は生じない(たとえば読書時など)。ところが遠近方向に目を動かすとき(輻輳運動)は逆に随従性のみで跳躍性運動は生じない。

図2は連続的に水平にゆっくり動くオシロスコープのスポットの右半分を目から遮蔽したときの眼球運動をしめしたもので、遮蔽部分では随従性運動が消失することを示したものである。

さていろいろ測定してみると、眼球運動にはつぎの3種類が混在していることが分かる。

1. 視覚刺激に対して反射的に(無意識に)目がそちらに向くという運動
2. 意識的に視対象を読み取ろうとする能動的な運動
3. 視対象とは無関係にランダムに動く運動

これらを厳密に区別して測定することはほとんど不可能で、せめて対象画像の種類によって、1と2との違いを知る程度である。

3. 眼球運動の測定法

目の動き、あるいは注視点移動の測定は昔からいろいろ試みられている。現在下記の約5種類ほどの測定法が開発されている。

a. 角膜反射法 小光源からの光を角膜に斜めにあて、目の動きによってその反射光の方向が変わることを利用する方法

b. 強膜反射法 小光源(赤外線)を目の表面にあて、黒目と白目の境界部からの反射光量が目の動きによって変わることを利用する方法

c. EOG (electro-oculogram) 法 目の近傍に電極を貼り付け、目の動きによって電極から生ずる小電位の変化をとらえる方法

d. コンタクトレンズ法 コンタクトレンズに小さな鏡を付着し、これに外から光を当てその反射方向の変化をとらえる方法

e. サーチコイル法 コンタクトレンズに小さなコイルを付着し、大きなマグネットによる磁界の中で目の動きによりコイルに生ずる小電位変化をとらえる方法

本研究では主としてbを、ときにはcを使用した。この2つは図3、図4に具体的に示されている。

写真1はbの方法に使用するセンサーつき眼鏡であり、写真2はcの方法の具体的なありさまを示す。

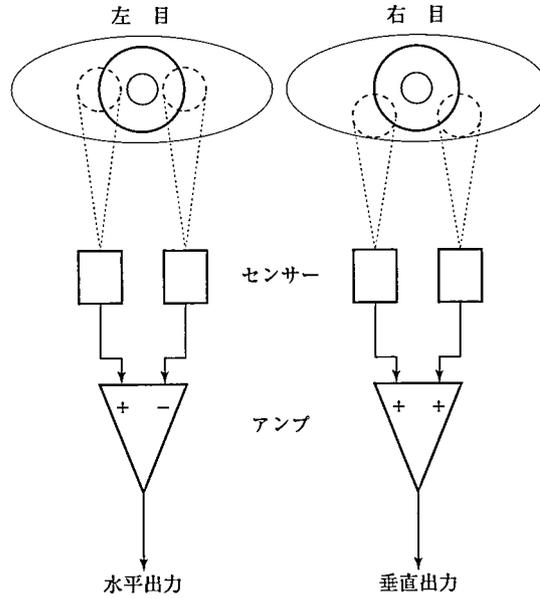


図3 強膜反射法による眼球運動の検出
 (2つのセンサーの間から発光ダイオードにより赤外線が目の表面に当てられている)

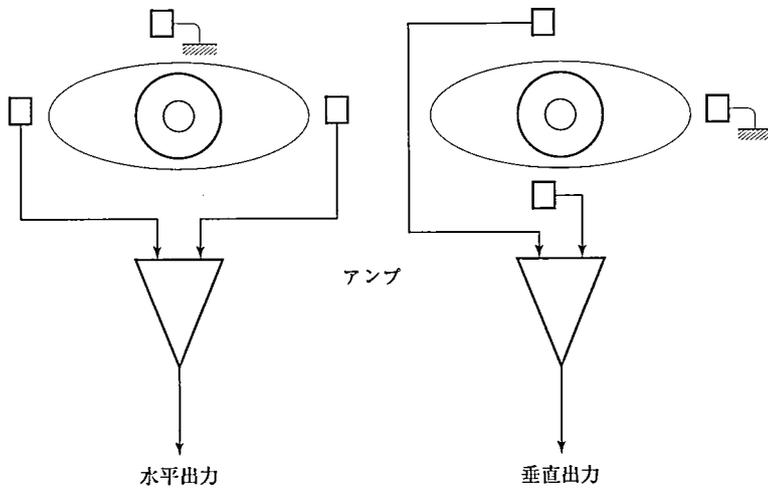


図4 EOG (electro-oculogram) 法による眼球運動の検出 (四角のものは電極)

被験者はすべて22歳前後の卒研の学生である。なおbの方法には普通の耳にかける眼鏡は使えないので近視者などにはコンタクトレンズを使用させる。



写真1 強膜反射法におけるセンサつき眼鏡
(右は眼鏡を装着し顔面固定したところ)



写真2 EOG法による電極の装着
(首につけているのは首の動きを測定するEMG用電極)

4. 注視点分布の測定システム

4.1 システムの概要

強膜反射法を用いた注視点分布測定システムの概要を図5に示す。まず視対象画像を作るために各種のテレビカメラ、VTR、ビデオディスクが用意されており、AVセレクトラでそ

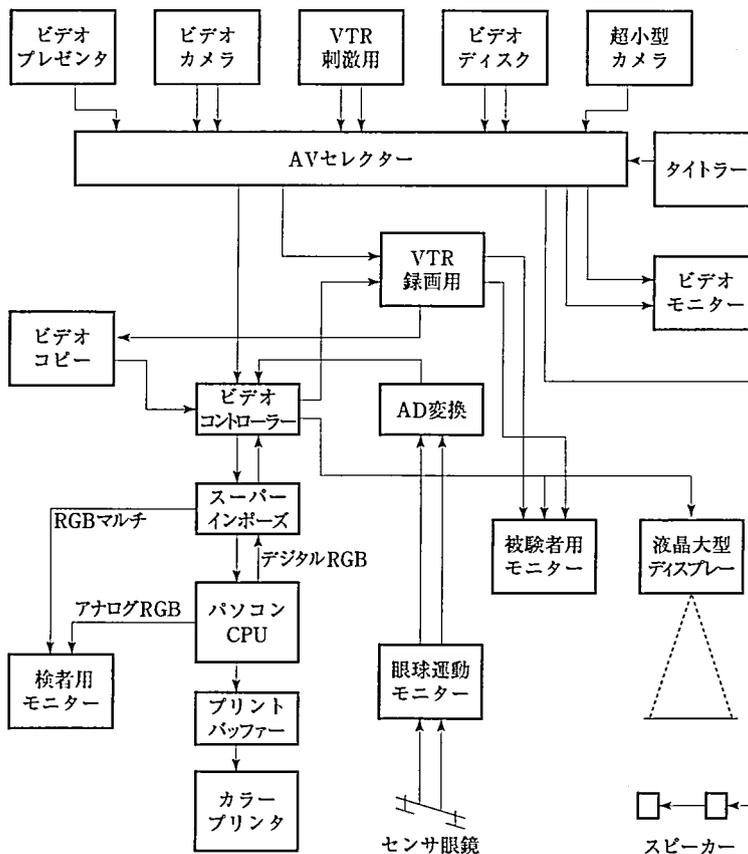


図5 注視点分布測定・処理システム

のいずれかを選ぶ。この画像は被験者用モニターに写し出される。一方被験者は顔面固定器で首の動きを固定し、眼球運動の検出センサー用の眼鏡を掛け、モニターから一定の距離で画面を観察する。センサーからの上下、左右の動きに応じたアナログ出力は眼球運動モニター装置で調整された後、AD変換器を経てパソコンに取り込まれる。パソコンは注視点のxy座標を判断し、あらかじめ指定されたサンプリング時間、サンプリング数に従い注視点の軌跡のほか、移動距離、注視時間、移動速度を計算し、その度数分布さらに全体の平均値、標準偏差、平均移動方向などいろいろの必要なデータを求めディスプレイする。なおここでは左目から水平方向の動きを、右目から垂直方向の動きを検出した。

またこの注視点の軌跡は入力画像とミックスされ、リアルタイムで画像の上に注視点軌跡を重ね被験者用モニターにディスプレイする。注視点における注視時間や注視点間の移動速度はその時間や速度の違いを色で表示する。

この画像は必要に応じてビデオコピーやVTRに、またパソコンのデータはフロッピーディスクやプリンターに記録される。

4. 2 解析用ソフトウェア

(1) 校正 被験者の装着するセンサー付き眼鏡には1個の赤外線発光ダイオードとそ

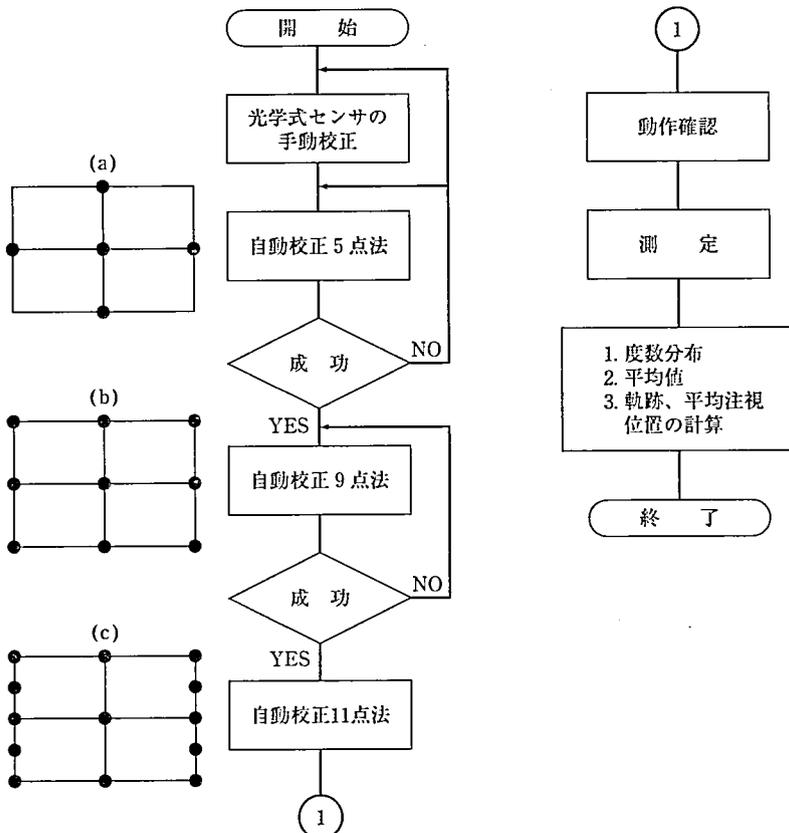


図6 校正用パターンと校正・測定の手順

の反射光をとらえる2個の光センサーが一体となって左右眼それぞれに付いていて、水平方向用の左目センサーは黒目の左右からの反射光を捕らえ、垂直方向用の右目センサーは黒目の下縁部分からの反射光を捕らえる。この2つの出力はパソコンによって画面上に一つの青い点となって現れる。これをアイマーカーと呼ぶ。このアイマーカーが確実に視対象に対する被験者の注視点と一致させるのが校正である。はじめ手動によってセンサーの上下左右と前後や傾きをアイマーカーを見ながら粗調整する。だいたい合ったところではパソコンにより自動調整に入る。

3種類の校正用パターンが用意されていてこれを図6に示す。これらの点は一定の時間間隔で一つずつ点滅するからその都度被験者はその点を注視する。図6のa(5点法)で位置の校正を、b(9点法)でリニアリテー(上下左右の動きを等間隔にする)とクロストーク(例えば右目に左目の情報が混入する)を除去する。c(11点法)で眼の動きのU字ひずみなどを除去する。こうしてアイマーカーが視対象に対する被験者の注視点に確実に一致させるのである。

(2) データ処理 パソコンのソフトウェアではいろいろなデータを処理するようになっているが、その主なものは

注視点の軌跡(注視点の注視時間と注視点間の速度が色で区別される)

度数分布(注視点の移動距離、注視時間、移動速度の度数分布が計算される)

統計値(全体の移動距離、注視時間、移動速度の平均値と標準偏差を計算する)

ここで図7に目の動きを示すが、人間の目は一点をじっと注視していても目はランダムな微小の動き(固視微動という)をしているから、これまでデータにとりこまないように

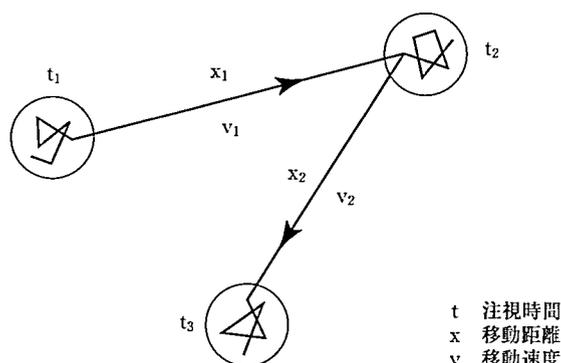


図7 視線の動き(円は固視微動を除去する範囲)

ある範囲(約1度)をかこんでこれを一つの注視点としなければならない。

5. 視対象画像の種類

実験に使用した画像の種類はつぎのとおりである。

(1) 写実的画像(普通テレビに出てくるような一般的画像)

イ. 動画(音のある場合とない場合)

ロ. フラッシング画像(数秒毎の静止画の連続)

ハ. 静止画(顔写真のようなもの)

イではなるべく動きの速いもの(例えば「ターミネータ2」「dreams come true」「競馬」などをビデオディスクで再生する。ロはイの画像をビデオディスクでフラッシングする。ハは普通の写真をビデオプレゼンタで再生する。

(2) 人工的な静止画(人が描いたイラストなど)

イ. 幾何学図形(円, 三角, 十文字, アルファベットの1文字, 錯視図形, ランダムドットなど)

ロ. 特種図形(隠し絵, マンガ, 十二支動物を沢山ランダムに配列したものなど)

(3) 日本語文章

イ. 文字の大きさを変えたもの(したがって文字数が変わる)

ロ. 横書きと縦書き

ハ. 白地に黒文字(ポジ)と黒地に白文字(ネガ)

ニ. 文章の文字配列をランダムに置き換えたもの(意味が通じないもの)

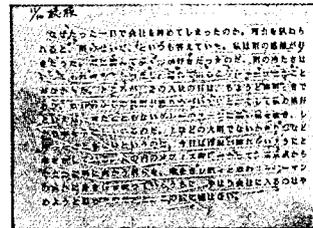
提示時間は場合によって異なるが, サンプリング数が2000~5000(サンプリング時間は50ms一定), したがって観察時間は100~250秒(1.67~4.17分)である。

6. 注視点の軌跡

写真3にいくつかの注視点軌跡の例をあげた。以下この軌跡について測定によって分か



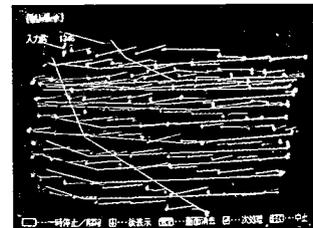
(a) 静止画



(d-1) 横書きの日本語文章



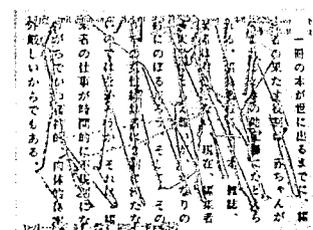
(b) 動画



(d-2) (d-1)の軌跡のみ示



(c) 文字パタン



(e) 縦書きの日本語文章

写真3 注視点軌跡の例

ったことを列挙する。

1. 動画像では特に動く物体や人間にすばやく視線が追隨する。この場合の画面上の軌跡の広がりには広いものではない。これは番組自体が重要なものを画面の中央に据えながらカメラを動かしているせいでもある。

音のあるなしは番組にもよるが、音があった方が多少広がる傾向があるがあまり大きな違いはない。

2. おなじ番組をフラッシングにして静止画の連続にすると画面上で軌跡が広がる。時間の余裕があるために必要なもの以外にも能動的に目を動かすためである。

3. 静止画では顔のクローズアップでは確実に相手の目を見、ついで口とか顔の輪郭に行く。また幾何学図形などでは図形の交差点、角部、端点に集中する。これは注視点が図形の中の特徴部分に集まることを意味する。

アルファベットの太文字などでは視線の軌跡は実際の文字より小さくなる。円図形では注視点は円の中を走る。

4. 錯視図形（例えばミュラー・レイヤーの図形）では目は錯視のとおりは動かず、物理的な図形の特徴に従う（ミュラー・レイヤー図で長さが違って知覚しても視線は同じ長さに従う）。

5. 日本語文章では文字が大きい場合は行の方向での視線の動きは行の両端までは行かない。中央部分に行の長さの1/2~2/3だけ動く。文字が小さい場合は動く範囲これより広がる。大きい文字では視線が忠実に文字を追わなくとも読んでしまうためである。改行の方向にはよく視線が行をなぞって行く。なお被験者によっては中央から右とか左に偏って視線が集まる者もいる。これはその人の目の性質であろう。

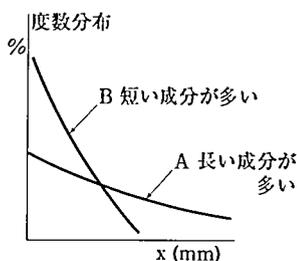
7. 度数分布と統計値

すでに述べたようにここでは図8に示すような3つの度数分布と統計値（平均値と標準偏差）を求める。なお特別の場合を除き被験者用のモニターは26インチのTVモニターで視距離は1mとする。度数分布については

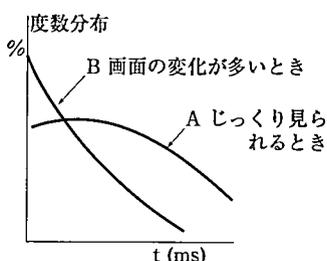
a. 移動距離(x)：画面上の距離(mm)に対する度数をパーセントで示す。これも既に述べたように固視微動を除くため横軸の最低値を10mm（視角0.6度）とする。

b. 注視時間(t)：注視点における注視時間の度数分布で横軸はmsである。度数分布のグラフは単調減少の場合とピークが生ずる場合があることに注意する。

移動距離 x (画面上の距離mmでしめす)



移動距離 t (msでしめす)



移動距離 v (視角・度/秒でしめす)

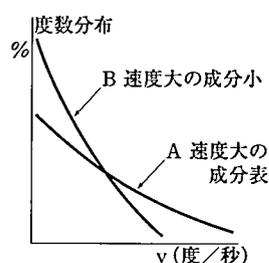


図8 3種類の度数分布

C. 移動速度 (v) : 注視点間の速度の度数分布で速度は度/秒であらわす。

7. 1 移動距離

図9に何人かの動画と静止画(文章)の移動距離の度数分布の例を示す。かなりの個人差があることが分かる。それに例えば同じ動画(普通のテレビ番組のような)でも番組の種類によって異なるのは当然である。しかしだいたい画面上の距離に対する変化は一様である。以下このような測定から見いだされた幾つかの結論を述べる。

(1) 画像の内容にかかわらず度数分布は画面上の距離に対して単調減少する。

(2) 統計値(平均値)については一般の動画は10~20mm, フラッシング画像はこれよりもやや大で15~20mm程度であり, 顔写真などの静止画ではやや短くなり5~10mmとなる。前二者では画面の急激な変化に追従するため大きくなり, 後者では自発的に細かに画像を見るため小さくなるものと考えられる。

(3) 漢字交じり日本語文章

イ. これまでの研究で注視点の間隔は文字の数(5~7個)に対し一定であるというのが定説であった。しかしわれわれの測定では画面一杯の字数が130, 209, 475(したがっ

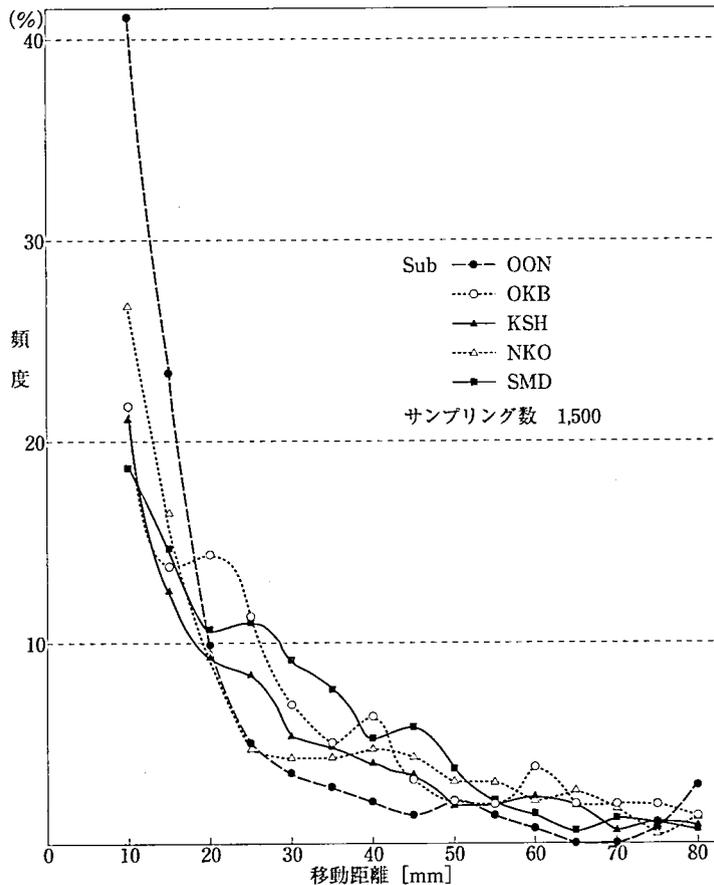


図9 移動距離の度数分布の測定例, 個人差を示す。

て文字の大きさも3種類に変わる)の場合では文字が小さいほど移動距離も小さくなる傾向は見られるものの全体として大きな変化はなく, その平均値は画面上の寸法でほぼ一定であった(平均値で10~20mm)。これはむしろ前節にのべたように文字が大きいときは視線の範囲が狭くなるために移動距離と相殺していると考えられる。

ロ。横書きと縦書きの違いについては多くの被験者で調べて見ると, 縦書きの方が横書きよりも移動距離が大きい者が多い。被験者の内省報告によっても縦書きの方が読みやすいという(平均値で縦書きは横書きの約20%大)。

ハ。漢字交じり文とひらがなだけの文ではあきらかに後者の方が移動距離が小さい。

ニ。ポジ像(白地に黒文字)とネガ像(黒地に白文字)ではやはり後者の方が小さい。このことはネガ像の方が読みにくいことを示す。

7. 2 注視時間

図10にある被験者の動画, 静止画(顔写真, 日本語文章)についての注視時間の度数分布の例を示す。動画ではピークはなく, 顔写真ではピークが出かかり, 文章では明確にピークが出ており, その値は125msとなっている。

多くの被験者で多くの種類の画像について調べた結果では, 動画ではほとんどピークは

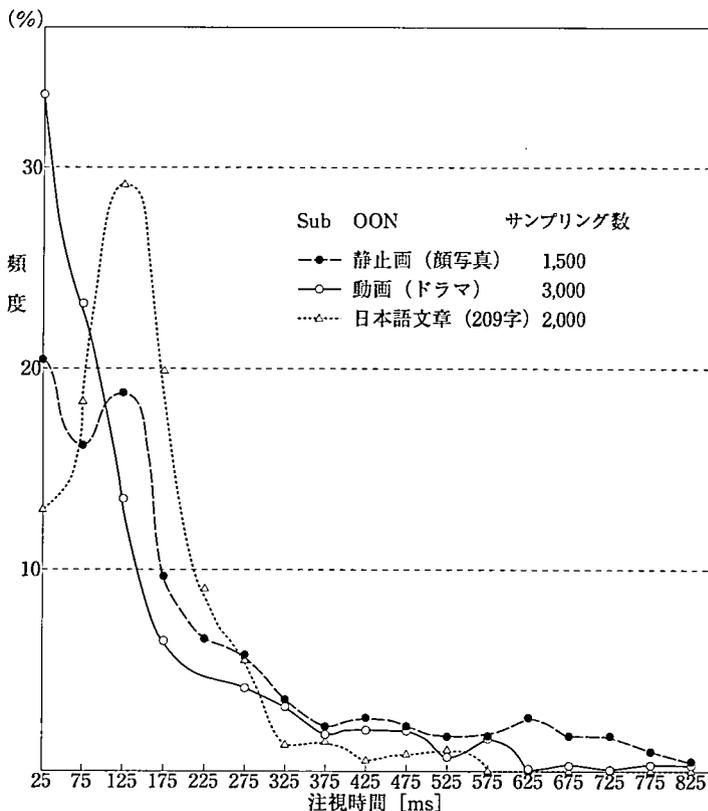
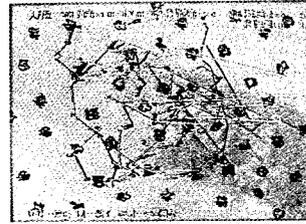


図10 注視時間の測定例。視対象による違いを示す。



(a) 隠し絵 (犬が隠されているのを探させる) 左は分からない被験者, 右は分かった被験者



(b) 十二支動物パタン (十二支動物のランダム支配列から特定の動物を探させる)

写真 4

出ず、能動的に画像から何かを読み取る場合にピークが出、しかもピークの時間は意味を読み取る必要があるほど明確に出るが、その値は約0.2秒が限度である。たとえばA：隠し絵 (よく見ると犬が隠されている, 写真 4 a) とB：十二支パタン (十二支の動物がランダムに配置された図, 写真 4 b) についてピークの生ずる注視時間は

被験者	1	2	3	4	
A	175	125	175	225	ms
B	75	75	75	125	ms

となり、画像Aの方がBより時間が長い。また日本語文章でC：横書き、D：縦書きについて

被験者	1	2	4	
A	175	125	125	ms
B	125	125	175	ms

となった。つまりよく画像内容から読み取る必要度の大きい方が注視時間が長く、しかも最大値は約200msであることがわかる。この時間は情報を脳で処理してものを認識するための時間であるらしい。上の例では縦書きと横書きとでは人によって違うことが分かる。なお注視時間の平均値は約150~300msであった。前記の文字の3種類の大きさについては文字の小さい方が注視時間も長い、文字数が135とその3倍のとで平均して20%程度の差であった。

7. 4 移動速度

図11に移動速度の度数分布の例を示す。移動速度の分布形には動画と静止画などの画像の種類による大きさ差はない。ただ個人差は大きく、平均値では人により約2倍の違いがある。すなわち同一番組に対する個人差は2倍以上(例えば12~30度/秒)、個人の番組差は約1.5倍程度(例えば9.0~13.0度/秒)であった。

日本語文章では文字数(文字の大きさ)により若干速度が異なり、例えば文字数が135と365とでは後者が20~30%遅い。一般に移動距離が短い方が速度は遅くなる傾向はある。

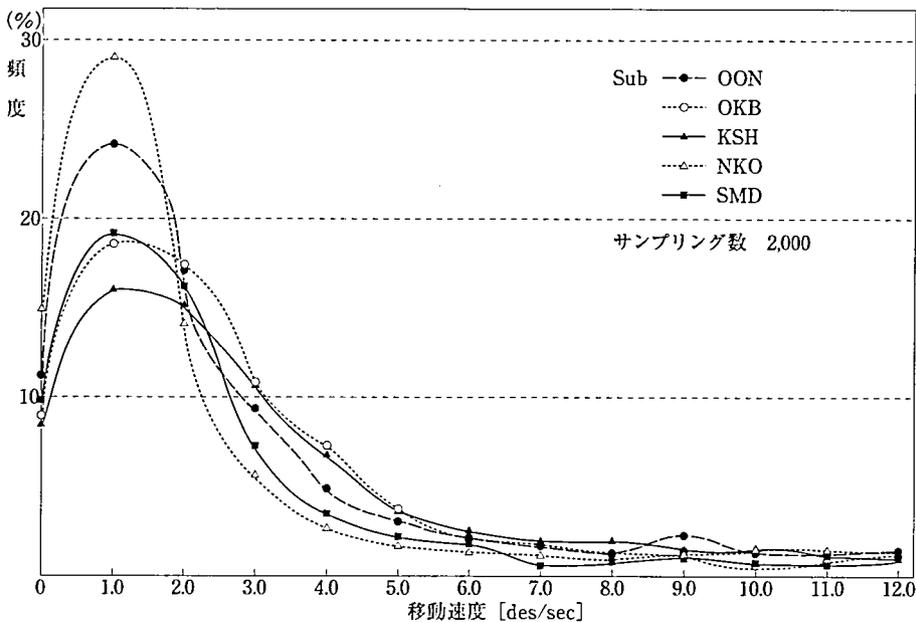


図11 移動速度の度数分布の例。

7. 5 視距離あるいは画面の大きさ

視距離や画面の大きさを変えた場合についても測定された。視距離が2倍(200cm)になると平均値として移動距離は大、注視時間も大そして移動速度は小さくなる。この傾向は画面を小さくしても同様である。一方画面が大きくなりすぎると、画面の大きさの割りに移動距離、したがって移動速度も増えない傾向がある。

8. 運動知覚と眼球運動

8. 1 運動画像に対する眼球運動の随従性成分

これまで述べたデータは主に画像に対する眼球運動の跳躍性運動を対象にしてきた。しかし動画では滑らかに動く視対象があるから随従性成分が加わっている。ところで動いて見えるという運動知覚には、対象物が実際に動いているとき動いて知覚される実際運動(real movement)と、対象物は動いていないのに動いて見える仮現運動(apparent movement)があることは知覚心理学の教えるところであり、一般にテレビなど動く画像は後者によっている。ただ実際運動でも視対象の動く速さがある程度速くなると随従性成分は次第に減少し、やがては跳躍性成分のみとなる。この研究では以上の2つの運動知覚に対する目の動きを測定した。

8. 2 測定法と測定結果

(1) 実際運動

図12に実際の測定法を示す。実際運動の測定では大型のオシロスコープに幅が24cmの水平または垂直に動く三角波のスポットを出し、被験者は50cmの視距離でこのスポットを追う(視角で27度)。このときの眼球運動を強膜反射法によって検出しパソコンに導く。パソ

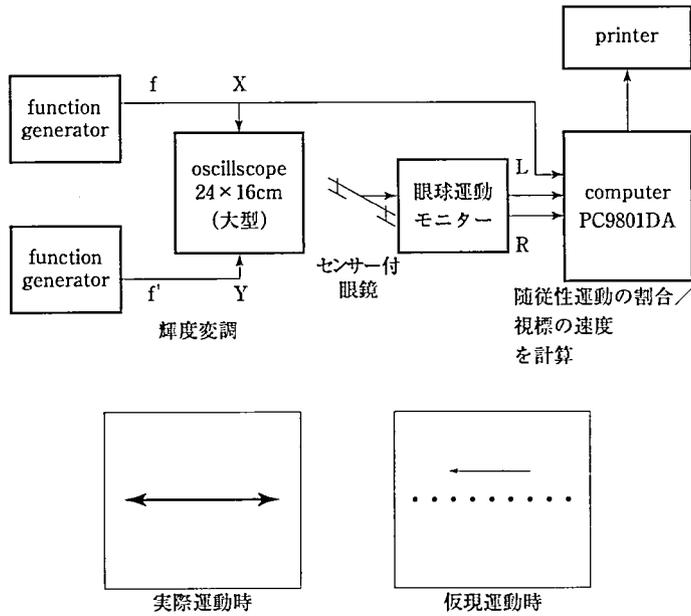


図12 運動する視標に対する眼球運動の測定法

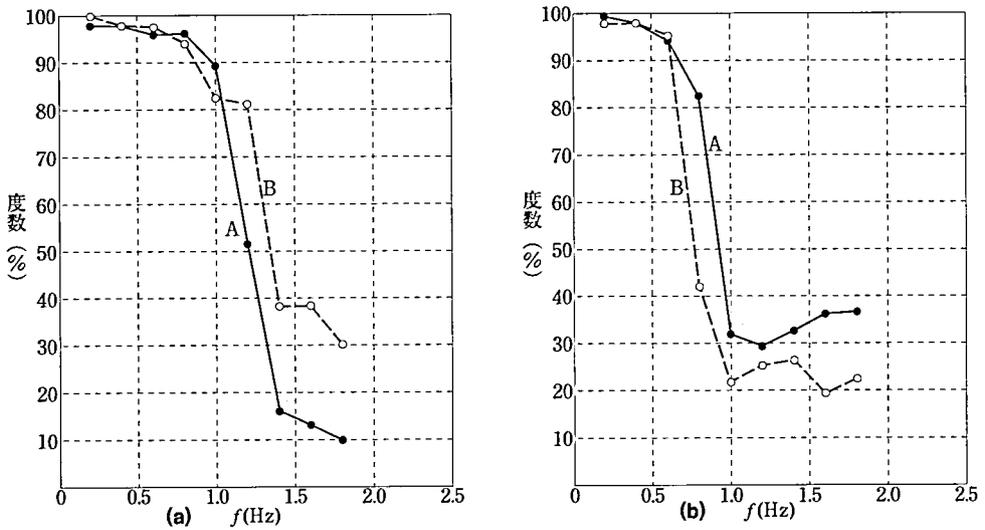


図13 実際運動に対する眼球運動の測定例 (三角波)
 (a) は水平方向 (Aは左から右, Bは右から左)
 (b) は垂直方向 (Aは上から下, Bは下から上)

コンは各周波数について右から左, 左から右, 上から下, 下から上の各方向について随性成分の割合 (%) の10回の試行の平均を計算する。この結果の一例を図13に示す。なおここに1Hzのときの角速度は54度/秒である。4人の被験者で随従性成分が50%となる周波

数は下記の通りであった（単位はHz）。

被験者	水平方向		垂直方向	
	右から左	左から右	上から下	下から上
A	1.0	1.3	0.7	1.0
B	1.0	1.3	0.9	0.65
C	1.2	1.2	1.0	1.15
D	1.35	1.2	0.9	0.8

これを見ても分かるように水平方向よりも垂直方向の方が随従性成分が少ない。また個人により方向によってその量が多少違うことが分かる。

(2) 仮現運動

仮現運動では画面上に孤立したスポットを点滅させたものを視対象とする。時間軸にはノコギリ波（周波数 f ）を出し、これをパルス波形（周波数 f' ）で輝度変調する（図12）。画面では右から左方向に n 個の輝点が点滅することになる。被験者にはまずこの場合の動きを5点法の評価カテゴリーで評価させる。図14にこのカテゴリーと4人の被験者の評価結果の合計を合わせて表示されている。図で横に太い点線の直線にそって実際運動と同様なプログラムで随従性成分を測定した一例を図15に示す。ここで分かることは、仮現運動時でも滑らかな動きが知覚されれば随従性運動が現れることである。ただ評価結果と随従性成分の割合とは必ずしも対応はしていない。

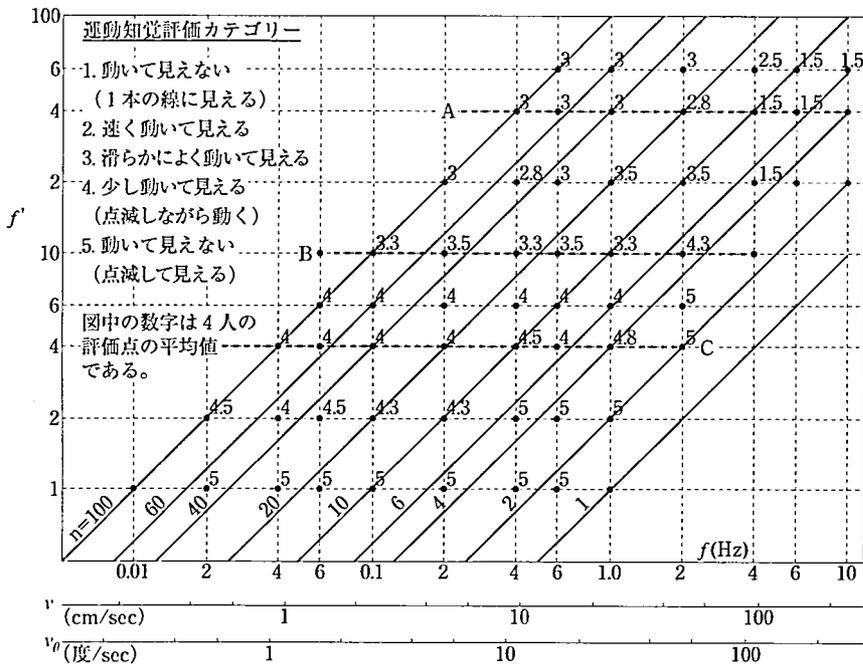


図14 仮現運動の評価カテゴリーと主観評価結果

(黒点の近傍の数字は4人の評価の平均値, A, B, Cの横線は測定場所をしめす)

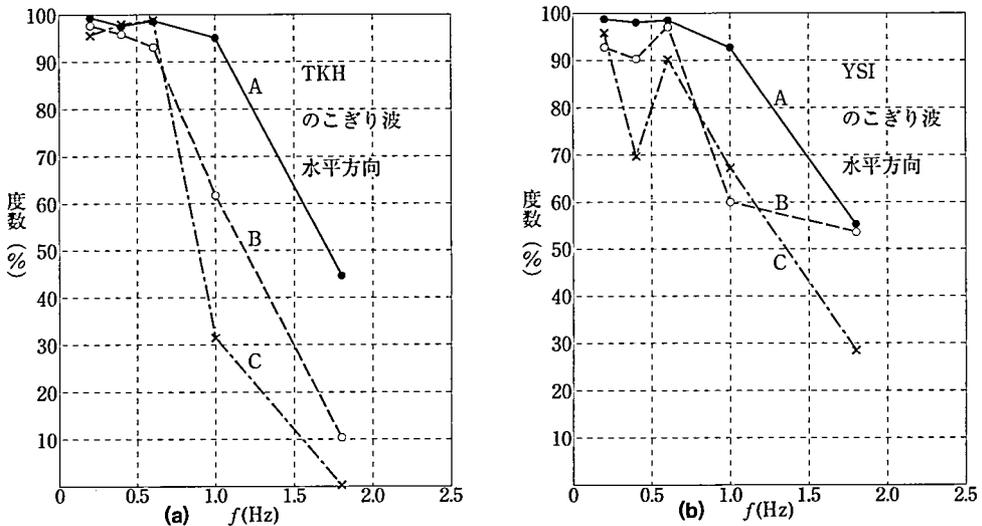


図15 仮現運動に対する眼球運動の測定例 (のこぎり波)

(a) は被験者TKH,

(b) は被験者YSI, いずれもAは $f=40\text{Hz}$, Bは $f=10\text{Hz}$, Cは $f=4\text{Hz}$

9. 目の動きと首の動き

これまでの実験は被験者は顔面固定器で首の動きが固定されていた。そこでここでは画面観察時の首の動きがどの程度あるかを測定しておく必要がある。

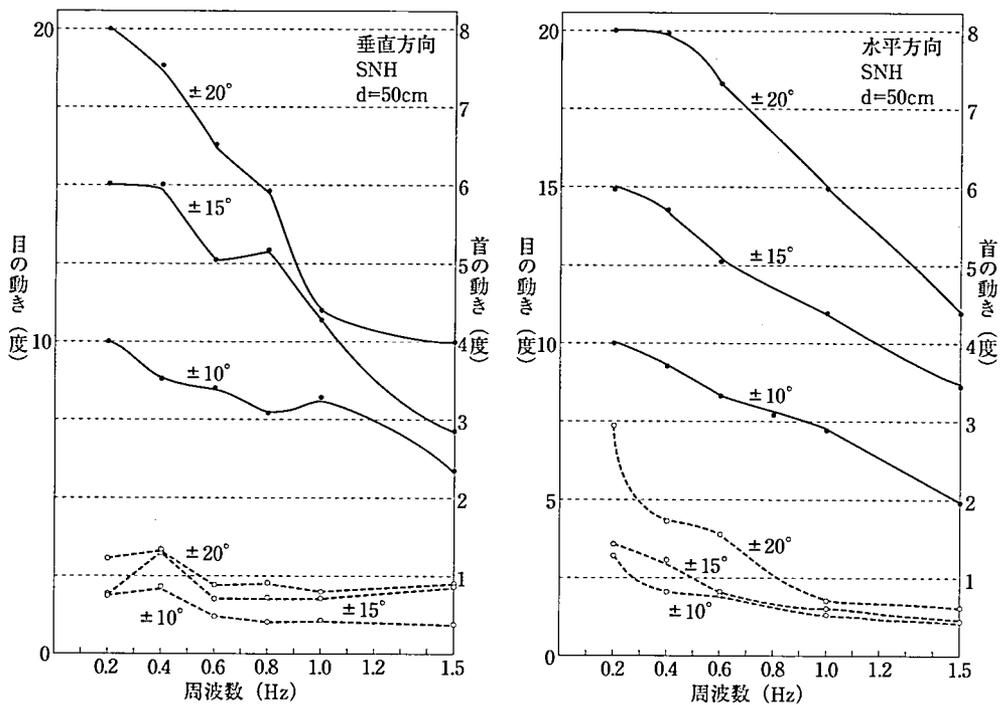
測定は2つの方法で行われた。一つはこれまでと同じ強膜反射法で、あらかじめ校正したあと首をフリーにし、発光ダイオードの赤い光スポットが一定周期で左右(上下)に動く装置(ニスタグモ刺激装置)を用い、動くスポットを追わせる。一方被験者が装着した眼球運動検出センサーつき眼鏡に超小型CCDカメラを取り付け、ニスタグモ刺激装置を撮像する。こうすることにより眼球の動きをペンレコーダで記録すると同時に、超小型CCDカメラの出力をテレビ画面に出すと首の動きにもなって動く画面が現れるから、この動きの振幅を測定すればよい。

もう一つの方法はEOGで目の動きを捕らえるとともに、首の筋肉の上に同じ電極を装着し、筋電図(EMG)を取ればよい。ただこの場合は目と首の動きの関係を校正しておかなければならない。

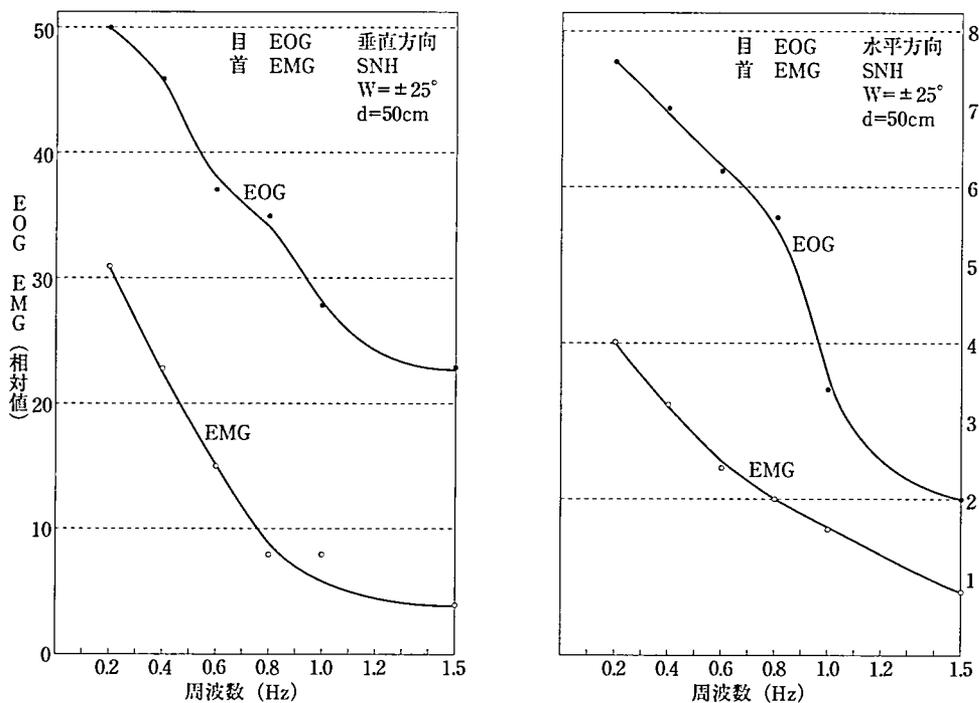
図16に測定結果の一例を示す。他の被験者もだいたいこれと似た特性を示した。このデータから視対象のスポットの動きが速くなると目は十分に追従出来なくなること、またこの画像観視条件では首の動きが目の動きの10分の1以下であることが分かる。

10. おわりに

本研究は画像に対する人間の注視点の振る舞いについて、おもに強膜反射法を用いて記録し、かつ統計的に処理した結果について述べたものである。画像としては一般的な動画や静止画、イラストや幾何学図形、日本語文章などを対象にした。この研究は当大学の学生を相手に数年にわたって行ったものであるからそのデータは山積しているのであるが、紙数の都合でごく結論的にまとめざるを得なかった。



(a) 強膜反射法とテレビ画面による



(b) EOG法とEMG法による

図16 目の動きと首の動きの測定例

人間の目はあるときは画像に追隨して受動的に動くが、あるときは自ら情報を獲得すべく能動的に動く。受動的な場合は一般に視線の軌跡は狭く、注視時間も特定の値にピークを持たないが、能動的に情報を獲得しようとするときは軌跡も広がり、かつ注視時間が特定の値にピークを持つようになる。このことは本研究ではじめて明らかになった事実である。このことはテレビ番組のような動画と、日本語文章のような静止画を比べるとよく分かる。

漫画、イラスト、幾何学図形などでは目は反射的に図の中の特徴部分に集中する。これは脳の中にもそのような特徴抽出ニューロンが発見されており、脳の中で特徴情報を再構成してイメージをつくるという話とも照合する。

また目の動きは視対象より狭い範囲に動き、少ないエネルギーで情報を獲得しようとする。たとえば文章で文字が大きいときは視線の軌跡は狭くなるが、文字が小さくなるに従い広くなることでも納得する。縦書きが横書きより読みやすいというのは興味ある事実であるし、ネガ像がポジ像よりも読みやすいのは最近のコンピュータではポジ像が増えたことにも関係するだろう。

運動する視対象では速度が比較的遅いときのみ随従性運動が現れ、これが仮現運動でも現れるということは、随従性運動は物理的な動きにではなく、運動知覚に直接関係することを意味する。

なお最後に首の運動に触れたが、画像に対する普通の観視条件では首の動きは極めて少ないことが分かった。

謝 辞 本研究はここ数年間に亘って4年生の卒業研究として多くの学生の協力によって行われた。またデータの取りまとめに当たっては修士課程だった内田 宏君の努力に負うところが大きい。ここにあらためて感謝する次第である。

参考文献

1. 渡部; 眼球運動の制御機構, NHK技術研究, 18 (1966) pp94~116
2. L.Stark; Neulogical Control System Studies in Bioengineering, Plenum Press (1968)
3. Young,L. & Sheena,D.; Survey of Eye Movement Recording Methods, Behav. Res.Meth.Instrum. 7, 5 (1975) pp397~429
4. Ikeda,M. & Saida,S.; Span of Recognition in Reading, Vision Res. 18 (1978) pp83~88
3. 田崎・大山・樋渡編; 視覚情報処理, 朝倉書店, (1979) pp375
4. 福田, 山田; 新しい視線運動分析装置とその放送への応用, バイオメカニクス学会誌, 19, 4 (1985) pp162~167
5. 安田, 福田; 運動視と眼球運動, テレビ学会誌, 40, 4 (1986) pp266~273
6. 山田, 福田; 視線の動きを用いたTV画像の分析, テレビ学会誌, 40, 2 (1986) pp121~128
7. 大串, 中山, 福田; 画質と音質の評価技術, 昭晃堂, (1991) pp102~142
8. 芋阪・中溝・古賀; 眼球運動の実験心理学, 名大出版, (1993)
9. 内田・樋渡; 画像に対する注視点の度数分布, TV学会技報, 17,19 (1993) 17~18
10. 内田・樋渡; 同上 (第2報) TV学会技報, 18,24 (1994) pp1~6