



Title	EOGの合成による眼球運動軌跡の記録 : 実験ノート
Author(s)	柏原, 恵龍
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 1983, 9, p. 217-238
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/9514">https://doi.org/10.18910/9514</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# EOG の合成による眼球運動軌跡の記録

—実験ノート—

柏 原 恵 龍

- I 問題
- II 方法
  - 装置
  - ソフトウェア
- III 開眼時の眼球運動軌跡
  - 視角度と EOG 電位
  - 幾何図形の走査と眼球運動軌跡
  - 電極の位置と軌跡図
- IV 閉眼時の眼球運動軌跡
  - イメージの走査と眼球運動軌跡
  - 睡眠時の眼球運動軌跡
- V 要約
- VI 文献

## EOG の合成による眼球運動軌跡の記録

### — 実験 ノ ー ト —

#### I 問 題

「人間は視覚的動物である」といわれているが、人にとって環境認知に果たす視覚機能の役割はきわめて大きく、他の感覚器官の機能をはるかにしのいでいる。この視覚器官は単に情報を受身的に受容するだけでなく、眼球運動を伴うことによって能動的に対象にかかわってゆく。この眼球の動きをただ観察するだけでなく、より客観的に記録しようとする動きは今世紀初頭から Dodge, R によって始められ、現在までいろいろな試みがなされてきた。今日、眼球運動の記録に一般的に使用されている基本的な方法は、角膜反射による光学的な方法と電気生理学的な方法の二つである。

光学的な方法は、適当な光源からの光を角膜にあて、角膜表面からの反射光をレンズで集光し、写真フィルムやビデオカメラの撮像管に結像させることによって眼球の動きを記録しようとする。この場合黒目と白目の反射特性を利用したり、コンタクトレンズに小さな鏡をとりつけて記録されることもある。角膜反射による光学的方法は比較的精度が良く、眼球運動に関するデータの多くはこの方法によるものである。また頭上に固定したカメラによって撮影した対象物と角膜反射光を重畳させて 16 mm フィルムや VTR に記録する方法が開発されて以来、一般的な応用も広範囲にわたって行われるようになってきた。

しかし角膜反射法にもいくつかの限界がある。原理的に厳密にみると眼球は一つの中心による回転運動ではないために、反射方向の変化は眼球の回転によって生じた場合と中心位置の移動によって生じた場合とが区別できない。また角膜の作る曲面は視対象との距離によって変化するために、方向は同じでも距離が異なる二つの対象では反射光の方向がかわってしまう。測定に付随した問題点として、光学的方法は前述のように光を角膜で反射させるわけだが、あらかじめ光源、眼球、フィルム面の位置関係を厳密に調整しておかねば、視線の動きとフィルム面の記録位置との対応関係がとりにくい。このため被験者は記録中ある姿勢を保ち続けなければならないため、年少児での記録は難しい。次に光学的方法では照射した光が被験者の周辺視に入るために異和感があり、課題の内容によっては注意の集中が妨げられ、疲れ易く、長時間の記録は難しい。また暗室内での使用は特殊な方法が必要であるし、閉眼中の使用は不可能である。

電気生理学的な方法は、網膜の表と裏の間に存在し、眼球運動によって変化する電位差を、眼の左右及び上下に一对ずつの電極をとりつけてとり出そうとする。この電位差は数 mV にも及び、この記録法が EOG 法(electro-oculography)である。この方法は眼の周辺に電極を装着はするが、光の照射と比べると異和感が少なく、また自由な、楽な姿勢で記録ができるために、幼児や乳児、場合によっては動物での記録も可能である。EOG 法の最大の利点は閉眼時の眼球運動の記録が可能なことであろう。眼球運動は視覚対象のない状況でも起こる。眼は脳の出店といわれているが、このような場合の眼球運動は脳活動を反映していることが考えられ、閉眼時の眼の動きが注目される。この閉眼時でも眼球の動きを記録できる EOG 法は逆説睡眠期の研究 (Dement & Kleitman, 1957), イメージの研究 (Hale & Simpson, 1970; Jansen & Nodine, 1974), 半球優位性の研究 (Anderson, 1977; 柏原, 1982) などに道を開いてきた。

EOG 法はこのように光学的な方法では難しい状況での眼球運動の記録を可能にしたが、しかしいくつかの問題をかかえている。その一つは光学的な方法と比べて測定精度に影響を及ぼす要因が多く、精度が低いことである。生体に帰因する要因として、前述の眼球運動が1つの中心による運動でないことに加え、皮膚電気反射、筋電位、脳波、まばたきなどによるアーチファクトの混入があげられる。外的条件としては交流雑音、電極と皮膚との間の分極、増幅機のドリフトがあげられる。これらの要因をいかに克服するかが精度をあげるポイントになる。EOG 法の第二の問題点として、眼の上下及び左右から誘導された電位差は単独に時間軸にそって記録されて、空間的に二次元的な動きとして眼球の動きが記録されないために、記録内容が直観的にはわかりにくい点があげられる。

筆者はラテラルリティー研究の指標の1つとして脳波などとともに眼球運動の意義に着目しているが、本稿では眼球運動記録の情報価を増すために EOG 法の第二の問題点を検討してみることにした。眼の左右及び上下から誘導される EOG をX軸及びY軸の動きとして合成すれば、眼球運動が空間的に二次元的に記録できると考えられる。筆者は汎用のマイクロコンピューターに A/D (Analog to digital) コンバーターを接続したので、この眼の左右及び上下から誘導した EOG をマイクロコンピューターに入力して合成し、眼球運動の軌跡図を描かせることにした。もしこの方法でオフサルモグラフ (いわゆるアイカメラ) のように眼球運動の軌跡図が描けるとしたら、EOG 法は前述のように光学的な方法では難しい対象や状況でも使用でき、またこのシステムが数値変換機能、演算機能、制御機能を備えていることから、新たな研究の可能性を提供することが期待できるのではないかと思われる。

## II 方 法

## 装置

図1に機器構成のブロック図を示した。EOGは不分極電極(45160A, 三栄測器)を使用して誘導した。この電極は使用に先立って電極表面を紙ヤスリで研磨し, 飽和食塩水に数時間以上浸して使用した。電極糊はペントナイトを飽和食塩水で十分練って使用した。電極装着後数十分間ドリフトの収束するのを待って実験に入った。生体用増幅機は直流増幅の可能な補償回路付きの増幅機(三栄測器, 1117)を使用した。

マイクロ・コンピュータは8 bitのワンボード・マイクロ・コンピュータ(TK 80, NEC)を, 増設メモリーボード(TK 20 KM, NEC)及びベイシックステーションと組み合わせて使用した。このシステムにはプログラム可能な入出力インターフェース用IC( $\mu$ PD 8255)が4個ついており, このICは各々3つの並列入出力ポートを備えている。この12個のポートのうち10個は自由に使用できるので, このシステムは入出力機器の接続が容易に行える。

生体用増幅機で増幅したEOGは多くの場合データレコーダー(R 80, TEAC)によって磁気記録しておき, off line方式で処理したが, 加算平均などを求める場合にはon line方式で処理した。アナログ情報であるEOGは逐次比較型, 変換時間25  $\mu$ sec, 分解能8 bit

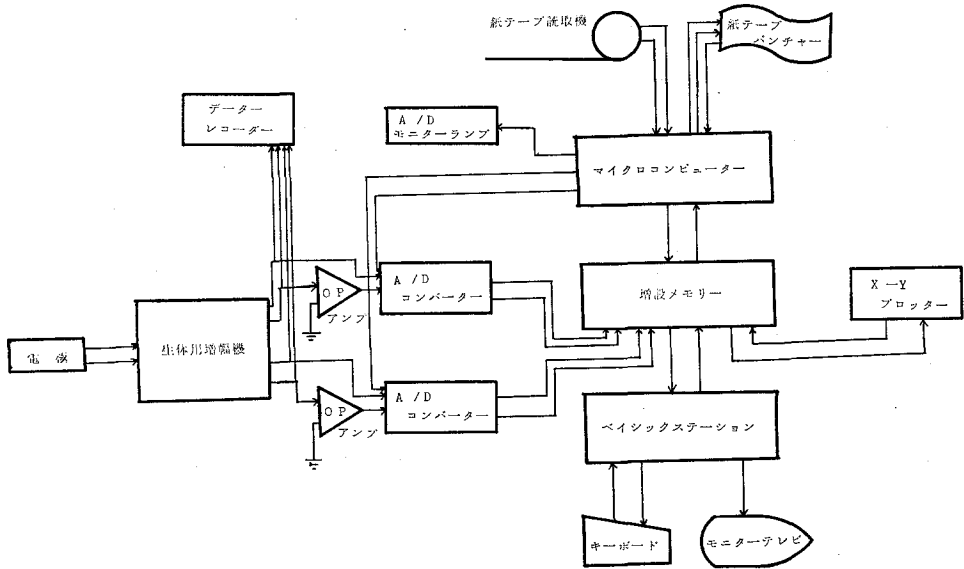


図1 ハードウェア

の A/D 変換用 IC (AD 570 JD, アナログデバイセス社) によってデジタルに変換し、マイクロ・コンピューターに入力した。この A/D コンバーターの分解範囲は  $\pm 5\text{ V}$  であるが、生体用増幅機の出力は  $\pm 1\text{ V}$  程度である。そこで A/D コンバーターの分解能を効率的に利用するために図 2 に示すように生体用増幅機の出力をオペアンプ (TA 7502, 東芝) によってさらに増幅した。オペアンプの利得は EOG を A/D 変換してマイコンに入力し、TK 80 の出力ポートに接続した 8 個の発光ダイオードからなるモニターランプに出力して、A/D コンバーターが有効に機能するように調整を行った。

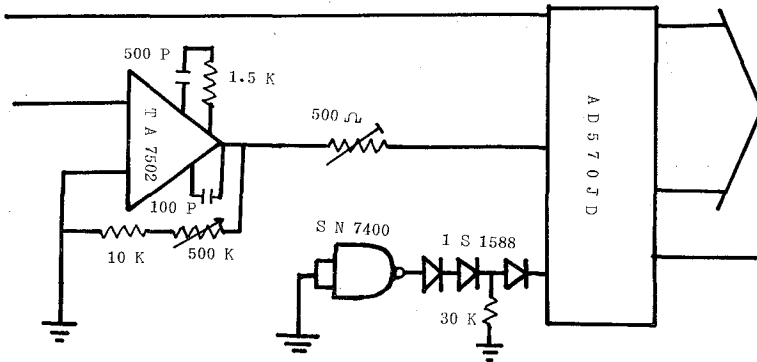


図 2 A/D 変換回路

コンピューターに入力された情報は数倍したうえで X-Y プロッター (WX 4675, 渡辺測器) に、EOG の左右の動きが X 軸に、上下の動きが Y 軸になるように出力した。この X-Y プロッターは D/A コンバーターを内蔵しており、マイクロコンピューターによって直接駆動することができる。

データは X-Y プロッターに出力して作図するとともに、必要に応じて TK 80 のコントロールする紙テープ穿孔機 (TEP-50 S, TOHO) により紙テープへ変換した。この紙テープに穿孔されたデータは、必要に応じて TK 80 のコントロールする紙テープリーダー (PTCR-35, リコー) によって TK 80 に入力し、演算処理を行った上で再び X-Y プロッターや紙テープ穿孔機に出力することができる。

このシステムはデジタル情報はもちろん、EOG だけでなく脳波、GSR その他のアナログ情報の処理が可能であり、処理結果に応じてその豊富なポートを通して、外部の機器を制御することができるなど、刺激の呈示、反応の処理、刺激の再呈示を手軽に自動化できる。

#### ソフトウェア

メインプログラム及びサブルーチンのフローチャートを図 3 に示した。メインプログラム

は BASIC 言語を使い、A、B の二つを作製した。サブルーチンは A/D 変換、X-Y プロッター、紙テープ穿孔機、紙テープ読取機用であり、機械語で作製した。

メインプログラム A は、加算回数とサンプリングの個数を指定し、入力媒体が A/D コンバーターか、紙テープ読取機かを指定して入力を開始する。次に A/D 変換されたデータの倍率を定め、X-Y プロッターの作図可能な範囲に入れるためのキャンセル値を定める。次にサンプリングされた 250 点のデータの中でプロットする位置の始点と終点の番号を入力する。プロッターによる作図が終了したら、倍率、キャンセル値、始点と終点の変更の有無、紙テープへの出力の有無、及びプログラムの終了を特定のコード番号を入力することによって選択する。このプログラムは所定のデータをサンプリングし、メモリーに保持した上で作図するプログラムであり、サンプリング間隔が一定で、数値が保持されているために演算も可能であるが、プロッターによる作図はサンプリングがすべて終了した後で始められる。データレコーダーを使用し、off line で処理する場合には問題は少ないが、使用された X-Y プロッターは最小速度 50 mm/sec と遅いので、on line で処理をする場合には作図時間がブランクとなり、限られた時間内に得られるデータが少なくなるだけでなく被験者は退屈する。また作図の途中でアーチファクトその他のトラブルが生じていることがわかった時の時間的損失は大きい。

メインプログラム B は倍率やキャンセル値を事前に決めてからサンプリングをするが、この数値がプロットされるまで次のサンプリングを行わないために作図時間によってサンプリングの時間間隔が異なる。しかし被験者のその時の状態がただちにプロットされるために、被験者の状態と記録との関係が理解しやすく、記録のための校正や被験者のモニターには有用である。

A/D 変換サブルーチンは、左右及び上下の一組のサンプリングが終了したら主プログラムにひきわたす方式で作製した。TK 20 KM の初期化に続いて TK 80 により 2 個の A/D コンバーターへ変換開始の信号を出力する。続いてデータを一時記憶する番地を指定し、データを読み込んでストアする。この操作を二回路分行う。データの読みとりやメモリーへのストアには、このように EOG の左右及び上下の処理に前後関係があり厳密には同時ではないが、変換開始の信号は同時に出力されており、異なった A/D コンバーターで処理され、処理時間は  $\mu\text{sec}$  オーダーなので同時とみてよからう。サンプリング間隔はタイマー・サブルーチンによって調節できる。このサブルーチンは 4.5112, 9.0176, 27.0176 msec の 3 種類が ROM から呼び出せる。最少サンプリング間隔はこのサブルーチンをぬいた状態で 32 msec であり、その間の動きは無視される。しかしこの研究の目的からはこれで十分であり、通常は 59.0176 msec が使用された。サンプリング間隔をさらに小さくするには、このサブルーチン内で必要なサンプリングをすべて行い、メモリーにストアしてお

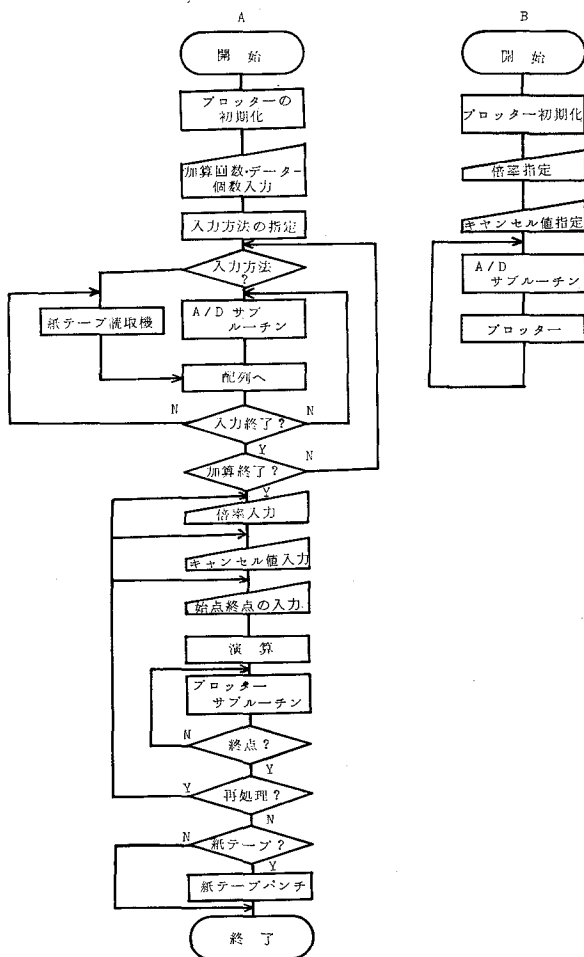


図3 プログラムのフローチャート A、B—メインプログラム、  
C—A/D変換サブルーチン D—紙テープ穿孔機サブルーチン  
E—紙テープ読取機サブルーチン

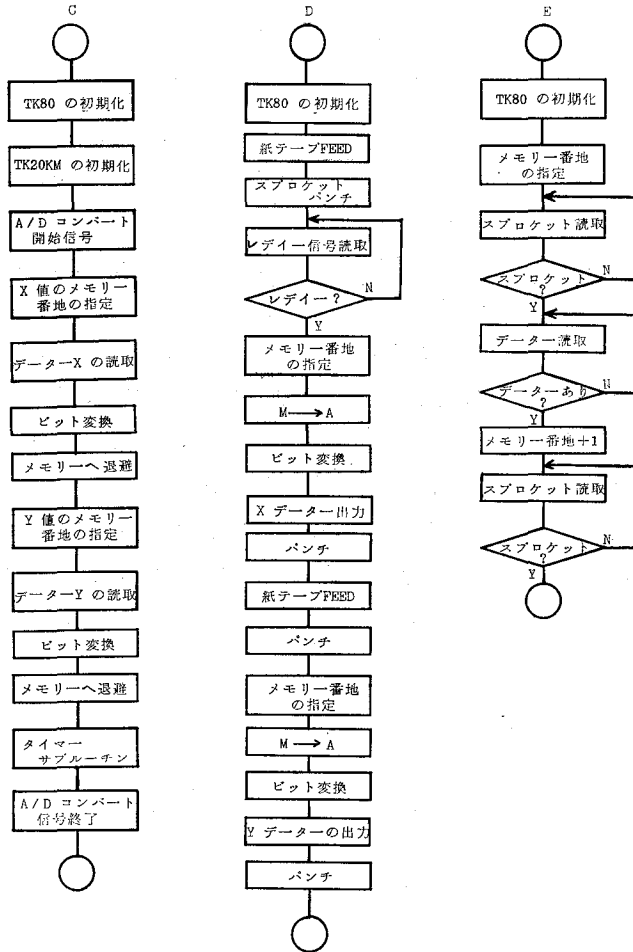
いて、主プログラムとリングすれば  $\mu\text{sec}$  オーダーの間隔でサンプリングが可能である。

紙テープ穿孔機及び紙テープ読取機用サブルーチンのフローチャートは図3のとおりであり、X-Yプロッターのサブルーチンは渡辺測器作製のものをそのまま使用した。

### III 開眼時の眼球運動軌跡

眼の左右及び上下に装着した電極から誘導した EOG を、各々X軸及びY軸の動きとして合成した時、いわゆるアイカメラのように視線の軌跡を描かせることができるものである





うか。ここでは標準的なデータを得ることよりもその可能性をさぐることを目的とし、1名の被験者を対象にして、視角度と EOG 電位の関係、幾何図形の目による走査と軌跡図の体制化の様子、電極の装着部位と軌跡図との関係をみてみた。

### 1. 視角度と EOG 電位

眼の左右及び上下間の EOG 電位を合成して眼球運動軌跡を描かせようとする場合、視角度に対応した EOG 電位が発生していることが前提となるが、この電位は視角度と対応関係にあるのであろうか、上下の動きにはまぶたの影響が考えられるけれども左右と上下の

EOG 電位は視角度が同じなら発生電位も同程度のものなのであろうか、もし異なるとしたら介在させているマイクロ・コンピューターの演算機能によって補正を行えるものなのであろうか。また前述のように EOG 法は光学的な方法と比べると精度が落ちるといわれているけれども、加算平均を求めた場合 EOG 法では視角の変化を何度から検出できるものであろうか、またその精度に左右と上下では差がみられるものであろうか、などを確かめるために次の実験を行った。

方法 黒いペークライト板に、その中心点を凝視した状態で前方 1 m の位置から左右及び上下で視角 1 度から 10 度まで、1 度間隔になるように赤色の発光ダイオードをとりつけた。この発光ダイオードはマイクロ・コンピューター (TK 85, NEC) を使い、中心点より右、あるいは上の 8 個 ( $10^{\circ}8^{\circ}6^{\circ}\sim 1^{\circ}$ ) を中心点と交互に順次点滅させた。点燈時間は 1 秒であり、被験者は顔面固定器に顔面をおいて光点の移動を注視した。不規則な動きを相殺するために TK 85 による刺激の呈示と TK 80 による EOG の A/D 変換の開始は同期をとられ、TK 80 によって 5 回の加算がなされた。A/D 変換はサンプリング間隔 68 msec とし、250 点がとられた。EOG 法ではまばたきは大きな障害となるため、できるだけしないように教示し、実験前に濃い緑茶を飲ませておいた。この処置により、まばたきの回数はかなり

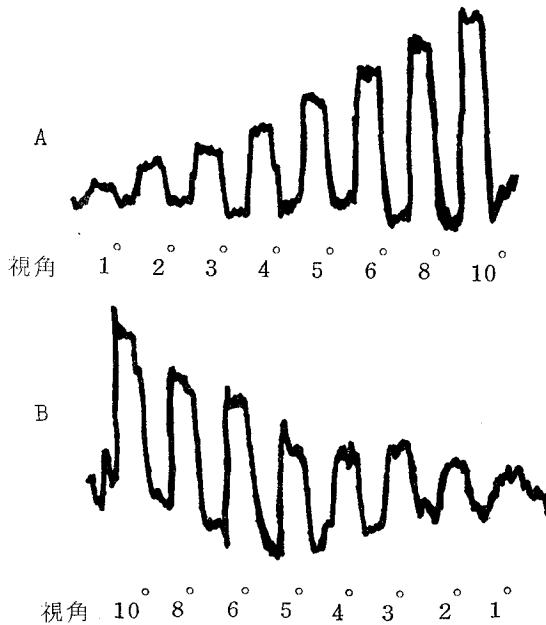


図4 視角度と EOG の関係

視角は A の場合中心点から右へ、B の場合中心点から上への視角を示しており、各々 5 試行の加算平均を求めたものである。A は視角が漸増状態で、B は漸減状態で記録された。

改善されたが、なお生じた場合にははじめからやりなおした。また途中で大きな基線の変動が生じた場合にも同様に処置した。

結果 中心より右あるいは上へ移動する光点を追視した時の EOG 電位を図4に示した。Aは視角度が漸増状態、Bは漸減状態で記録されているが、いずれも視角1度が識別でき、また視角度の増加につれて EOG 電位が漸増している。

左右と比べて上下の EOG には基線変動が目につき、不安定である。このような傾向はまばたき時はもちろん、その前後にしばしば観察されることから、眼瞼の動きと密接な関係があるように思われる。

AとBの電位を比べてみるとAの方が明らかに高い。この点に関しては後述するが、電極の位置が関係するものと思われる。

## 2. 幾何図形の走査と眼球運動軌跡

EOG 電位の変化は視角度1度から10度の間で視角にはほぼ対応していた。そこでこのEOGを合成して空間的に二次元的な運動軌跡を描かせることにした。この場合、絵や写真を自由にみさせて、倍率を調節し、軌跡を描かせ、重畳させると刺激図形と軌跡図の対応がとれるように思えるが、この場合眼球の運動が正確に軌跡図として描かれているか否かの判定は難しい。そこでここでは眼球運動の側を規制し、特定のパターンを眼で走査させることによって眼球運動軌跡が原図形をどの程度再現しうるかをみることにした。この実験では水平線、垂直線、斜線、曲線、角度がどのように軌跡図に現われるかをみるために、二等辺三角形、正方形、菱形、円を刺激パターンとして使用した。

方法 刺激となるパターンは、1mの位置より左右及び上下ともに視角20度になるように白色のケント紙に描いて呈示した。被験者には合図とともに図形の上部あるいは右側上部より左まわりにできるだけ正確に眼で走査するよう教示した。時間の制限はなかったが連続して20回行った。

結果 図5は左側が三角形、正方形、菱形、円を眼で走査中の EOG 変化を示している。2行のうち、上側は眼の左右の、下側は左眼の上下の EOG 電位の変動である。この例は基線の動揺やまばたきの比較的少ない記録であるが、しかし基線の動揺がなおいくらかみられている。走査の対象となる刺激のパターンによって EOG の波形に違いがあることはよくわかるが、波形だけによって原刺激を推定することは難しい。図5の中央は EOG の一部を合成して、眼球運動を空間的に、二次元的に表わした軌跡図である。各々の軌跡図は原刺激をかなり忠実に再現しており、軌跡図から原刺激の推定は容易にできる。右側の合成図は3個の図形を重ね書きしたものである。正方形の場合3個がうまく重畳しているが、円ではずれている。左側の EOG 図をみると円の場合わずかながら右あがりの基線の変動がみ

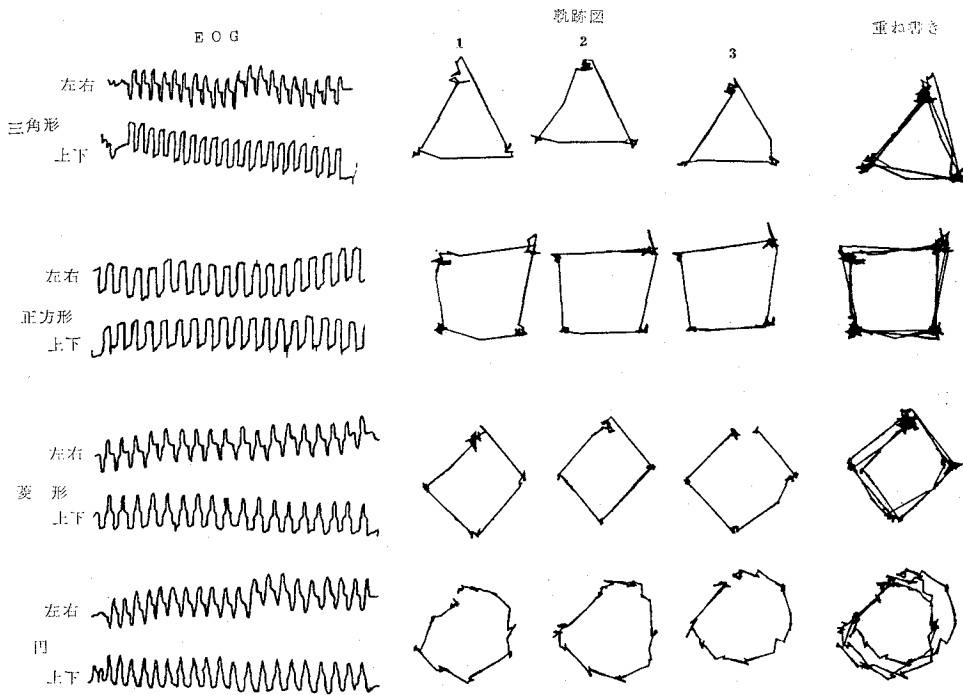


図5 幾何図形走査時の EOG と眼球運動軌跡図及びその重ね書き

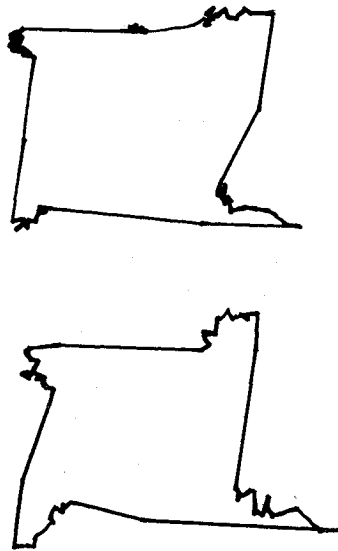


図6 時定数 3.0及び1.5で増幅した 正方形走査時の EOG 合成図 (上-3.0, 下-1.5)

られており、このためにずれが生じたと考えられる。円の軌跡図の1と3の上部が離れて起点と終点が一致していないのもこれが原因である。緩徐な基線の変動は時定数を加えると消失するが、時定数 3.0 及び 1.5 で記録した場合、図 6 に示すように静止部分である 4 つの角に歪みがみられた。図 5 の三角形の軌跡図の 1, 正方形の 1, 2, 3, 菱形の 1, 2 の頂点部図 4 の b に電位のあがりすぎが認められる。これは Ford (1959) によると EOG 特有の上方への歪みであり（下方に表われることもある）真の軌跡ではないという。

以上の結果から眼の走査によって描かれた軌跡図は、ドリフトの問題が解決すれば原刺激をかなり忠実に再現することがわかった。ただこの図形の場合視角度が 20 度と大きいことを考慮しておく必要がある。

### 3. 電極の位置と軌跡図

電極の装着状態は EOG の記録に大きな影響を与えるが、電極の装着位置も被験者毎、実験毎に微妙に異なる恐れがある。眼の左右の位置はめじりが基準にでき、まばたきしても電位変動が生じない位置として定位できるが、眼の上部あるいは下部の電極は適正な位置よりも右や左へずれる恐れがある。そこでここでは眼の上部及び下部に複数の電極をとりつけ、その組み合わせによって上下の EOG を誘導し、位置を固定されている左右の EOG と合成して軌跡図を描かせ、電極の相対的な位置と軌跡図のゆがみとの相互関係をみてみることにした。

方法 図 7 に示すように電極をとりつける位置として眼の上部は目頭と目尻の上部、及びその中間の 3 カ所、眼の下部は上部と比べて狭いので、上部 3 カ所の中間の垂線上の 2 カ所に電極をとりつけた。電極は相対的な関係がわかりやすいように実験に先立ってすべてを装着しておき、順次 1-A, 2-A, 3-A, 1-B, 3-B の順に、左右の EOG と合成して軌跡図を描かせた。刺激は前実験で使用した黒色のベークライト板の、左右、上下ともに視角で 10 度となる位置を通る垂線及び水平線の交点となる 4 カ所につけた赤色の発光ダイオードであり、マイクロコンピューター TK 85 によって右上から左まわりにほぼ 5 秒の周期で点滅させ、被験者に追視させた。

結果 図 7 は各々の組み合わせの軌跡図の中で特徴のある再生図を 4~6 個示したものである。EOG の記録だけでは定位しにくい特徴が空間的に二次元的に表わすことによって直感的によくわかるようになってきた。この図の中で 1-B, 3-A の場合、垂直線の再現性はよいけれども、水平線が右上りあるいは右下りの傾向を示している。1-A, 3-B は垂直、水平ともに比較的正確であるが、横に比べて縦の長さが短く、長方形となっている。この後者は 1-B, 3-A にも共通した特徴である。この組み合わせの中で 2-A は比較的原刺激の再現性がよい。

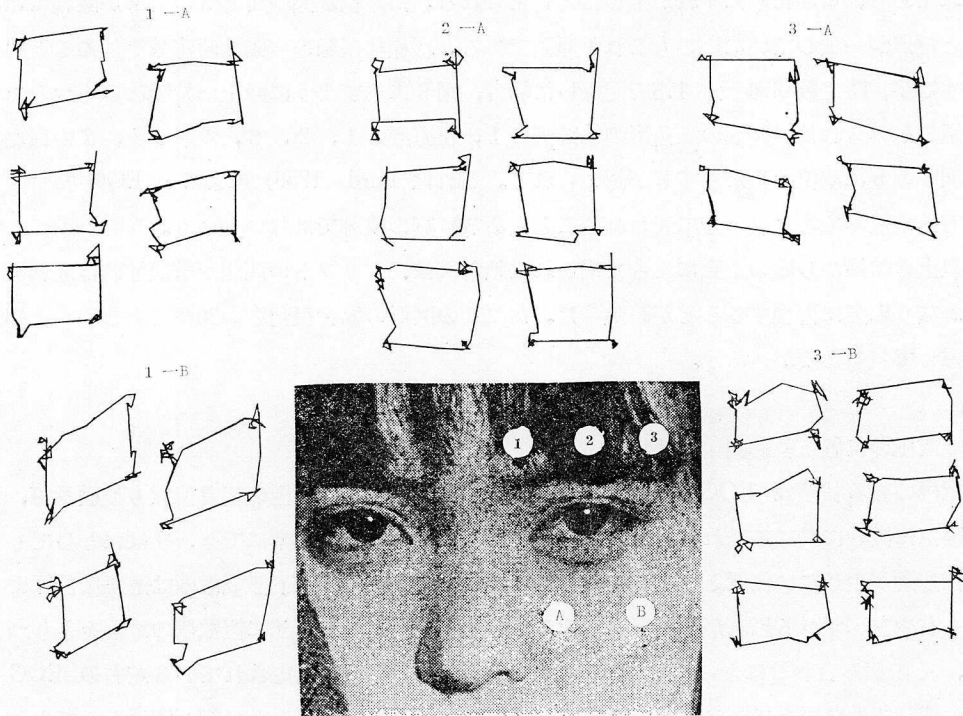


図7 電極の位置と軌跡図。①②③は眼の上部の、A、Bは下部の電極の位置を示す。

これらの結果から、上下の電極の位置が適切な位置より右か左にずれば上下の EOG の電位が減少して長方形となり、その場合上と下が反対にずれば右あがりか、右さがりの軌跡図が描かれることがわかった。この結果は電極の位置の適正さをみる場合、正方形の走査が有効であることを示している。

#### IV 閉眼時の眼球運動軌跡

どの程度対応関係があるのかは別にして、ある種のイメージ活動に伴なって眼球運動が生じることは睡眠中の REM (Rapid Eye Movement) 期と夢の密接な関係 (Aserinsky & Kleitman, 1953) などから考えて無理のない推測であろう。このイメージ活動を客観的な方法でとり出すことは心理学研究者にとっても大きな夢のひとつであるといえるが、イメージ研究の1つの方法として眼球運動がしばしば用いられてきた。竹田 (1977, 1981) はこの眼球運動を光学的な方法でとらえようとした。光学的な方法は眼球運動を空間的に二次元的な動きとしてとらえることができ (竹田, 1977 は異なる)、動きの内容が直観的にもわかりやすい利点がある。しかしこの方法では開眼状態で記録することになるが、その場合外部の刺

激によって自由な眼球運動が妨げられることが考えられる。たとえ暗室や単調な部屋をしつらえても、周辺視に呈示される角膜ランプの光はイメージ活動に制約を及ぼすことが考えられる。EOG 法は閉眼でも記録ができるのでイメージ研究にも多くの人達によって使われてきた (Brown, 1968; Decker, 1964; Hale & Simpson, 1970; Marks, 1973)。しかし眼球の左右及び上下の動きが単独にしか表わせないため、その内容が直観的にはわかりにくい点に問題がある。そこで筆者は前述の開眼時と同様に、閉眼時にも EOG の左右及び上下の動きを合成して眼球運動を空間的に二次元的な軌跡として描かせることを試みた。ここでは閉眼状態で想起したイメージを走査させた時、眼球運動の軌跡図がイメージ内容をどの程度再現するかを確かめ、続いて睡眠時の眼球運動軌跡を描かせることを試みた。

### 1. イメージの走査と眼球運動軌跡

EOG を記録する際、閉眼状態は開眼状態と比べてまばたきとそれに付随した電位変動が少ない利点はあるが、眼瞼を閉じた場合、眼球の運動が抑制されることが考えられる。また閉眼時には視角度や形などを統制した刺激を呈示して走査させることはできないので、イメージに浮かべた対象を走査させることになるけれども、その場合、軌跡図が十分体制化されなかった時、イメージが問題なのか、眼球運動が問題なのかを判定することが難しい。そこでここではイメージに浮かべやすく、また開眼時との比較も可能なように幾何図形をイメージ材料として用いることにし、そのイメージ材料を走査させた時、眼球運動の軌跡図がイメージ内容を推定できる程度に体制化されるか否かをみようとした。

**方法** できるだけ楽な姿勢でソファーにすわり、頭を背もたれにつけた状態で実験を行った。イメージの対象となる幾何図形は三角形、正方形、菱形、円の4種類であった。実験に先立ちケント紙に書いた4種類の図形の1つを呈示し、閉眼させ、合図とともにその図形のイメージを浮かべさせて、上あるいは右上の位置より左まわりに10回連続して走査させた。時間の制限はせず、できるだけ忠実にイメージを走査するように教示した。

**結果** 結果の1部を図8に示した。イメージ走査時の EOG の変化は開眼時の図形走査時ほど規則的でないためにドリフトとの区別がしにくい。走査前の EOG のゼロ点と、走査後の EOG のゼロ点のずれが少ないものを選んで左右と上下の EOG を合成した。1周到る時間は開眼状態と比べて2倍程度多くかかっているが、これはイメージの鮮明さと関係するのではないかと思われる。軌跡図をみると、開眼状態と比べればその体制化の程度はかなりおちるが、正方形、菱形、円は原イメージを想定できる程度には体制化されている。細かくみていくと正方形の場合長方形に見えるが、これは上下の眼球運動が閉眼のため眼瞼によって抑制されているためではないかと思われる。菱形や三角形では縦と横の比に大きなゆがみはみられていないが、これらの図形の場合上端、下端が角になっており、その走

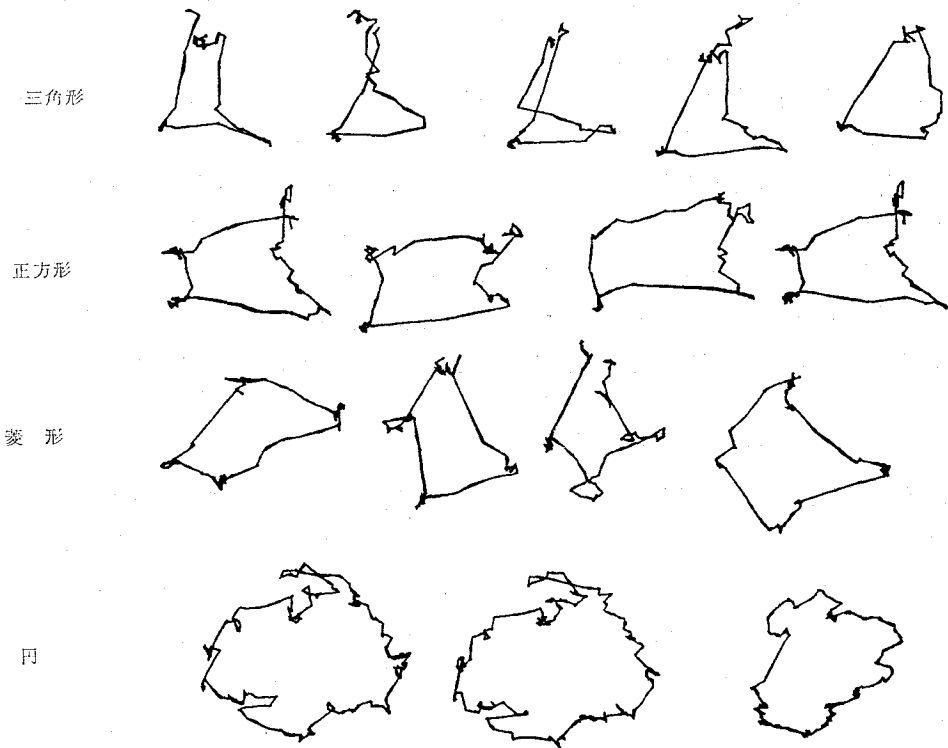


図8 イメージにうかべた幾何図形の走査時の眼球運動軌跡

査のためには一時的に眼球に力を入れればよいけれども、正方形では眼瞼に抗して一定時間緊張を維持することが必要であり、それが困難なためではないかと思われる。

三角形、正方形、菱形の場合、左右対象であるにもかかわらず、左半分比べて右半分の体制化がいくぶんおちる。ラテラルティイー研究の知見によると (Newcombe & Ratcliff, 1979), 右半球は左半球と比べてイメージ活動で優位し、パターン認知は右半球の方が優位であるというが、図8の結果は右半球と関係の深い左側のイメージの鮮明さを反映しているためなのかもしれない。この点は右まわりに走査させたり、イメージを浮かべる位置を指定することなどによって確かめることができよう。

図8はイメージ走査に伴う眼球運動で原イメージがある程度再現されることを示しているがこのイメージの鮮明さには個人差が大きい。またイメージ活動も原刺激を呈示された場合と、単なる想起では異なり、原刺激を呈示された場合でもそのイメージ価は時間の経過につれて衰えてくることも考えられる。またイメージを走査する場合にその走査の手がかりが純粹にイメージだけにあるのではなく、眼球運動の運動感覚、あるいは眼瞼との緊張関係の中にもあるのかもしれない。いずれにしてもイメージ操作による眼球運動の軌跡図の体制



化のされ方については被験者を増して標準的なデータを得る必要がある。

## 2. 睡眠時の眼球運動軌跡

睡眠中に周期的に活発な眼球運動がみられるいわゆる REM 期は Aserinsky & Kleitman (1953) によって見出されたが、REM (急速眼球運動) 期におこして内省報告を求めると夢を見ている場合が多い。しかし夢はオーソ睡眠時にもみており、また REM 期は乳児にもみられることから、夢だけによって急速眼球運動が生じるとはいえないようである。

ここでは幼児と精神内容の乏しい乳児の睡眠中の眼球運動を EOG によってとらえ、空間的に二次元的な眼球運動軌跡として描かせることにより、深睡眠期と REM 期の違いはどうか、幼児と乳児ではその軌跡に何らかの特徴の違いがみられるかどうかをみてみた。

方法 6カ月児と4才児を対象にして、入眠期に電極を装着し、約6時間連続して EOG を誘導し、眼球運動軌跡を描かせた。マイクロ・コンピューターの主プログラムは図3のBを使用し、on line 方式で3分間ずつの記録を行った。このプログラムは前述のようにサンプリングの時間間隔は不規則であるが、連続的に記録でき、REM 期に生じやすい被験者の体の動きをチェックできる。

図9と図10に乳児と幼児の眼球運動軌跡図の一部を示しているが、ともに眼球運動の活発な時期と少ない時期が周期的に、はっきりと現われた。乳児と幼児の軌跡図にはいくつかの特徴の違いがみられた。幼児の EOG と乳児の EOG はその増幅率は同じであるにもかかわらず、図に示されているように深睡眠期と REM 期ともに幼児の電位が大きかった。REM 期を比較してみると乳児の場合、比較的直線的で、往復的な動きが特徴的であるが、幼児の場合連鎖的な動きが特徴的であった。幼児の REM 期で図10の右側のような動きはドリフトの混入も考えられはするが、深睡眠期にはみられていないこと、REM 期にはこのような

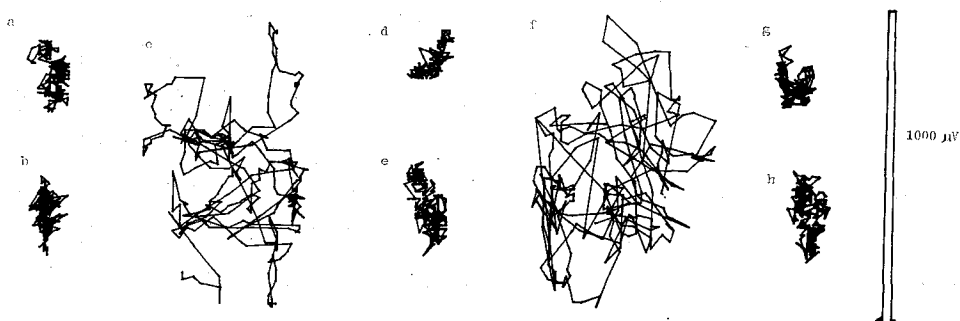


図9 乳児の睡眠中の眼球運動軌跡。数時間にわたって記録された軌跡図の一部である。a, b, c... は時間的順序を示しており 各々約3分間の記録であるが、この中で a, b, d, e, g, h は深睡眠期, c, f は REM 期の軌跡図である。



図10 幼児の睡眠中の眼球運動軌跡

大きな動きがみられてもある程度時間が経過すると復帰してくることから、実際の眼球運動であろう。たとえドリフトであったとしても機械的、あるいは電極の装着状態の悪化によるものではなく、精神活動による GSR の混入によるものと思われる。

## V 要 約

マイクロ・コンピューターにA/Dコンバーターを接続したので、眼の左右及び上下より誘導した EOG を A/D 変換して合成し、眼球運動軌跡を空間的に二次元的に描かせることができるか否かを確かめてみた。記録は開眼時と閉眼時で行った。

開眼状態では視角度と眼球運動量、幾何図形の目による走査と軌跡図の再現性の程度、電極の装着位置と軌跡図の再現性との関係をみた。その結果、EOG は加算平均を求めれば視角1度からその動きが識別できること、幾何図形の目による走査によって描かれる眼球運動軌跡は特定の次元にバイアスを加えなくても再現性が良いこと、眼の上下に貼付する電極の位置は正方形を走査した場合、最適の位置よりも右か左にずれると、縦が縮小して長方形となる。その場合ずれる方向は上と下が逆であれば右あがり、あるいは右下がりとなることがわかった。

閉眼状態での眼球運動の空間的に二次元的な運動軌跡の記録は、幾何図形イメージの走査と睡眠時で試みた。幾何図形のイメージ走査による眼球運動軌跡図は開眼状態でのそれと比

べると体制化はよくなかったが、正方形、菱形、円の場合には軌跡図から原イメージを推定できる程度には体制化されていた。睡眠時の眼球運動軌跡図には REM 期と深睡眠期の特徴が顕著に表われ、また REM 期の幼児と乳児の軌跡図には特徴の違いがみられた。

いくつかの実験の結果、EOG を合成することにより空間的に二次元的な眼球運動の軌跡を描かせられることができた。そして眼球運動を新たな問題に適用できる可能性が拓がった。しかし実用上はドリフトと開眼時のまばたきの問題を解決する必要がある。

### 文 献

- Anderson, S. W. 1977 Language-related asymmetries of eye-movement and evoked potentials. In Harnad, S. et al. (Eds.) *Lateralization in the nervous system*. Academic Press.
- Aserinsky, E. & Kleitman, N. 1953 Regularly occurring periods of eye motility and concomitant phenomena during sleep. *Science*, 118, 273-274.
- Brown, B. B. 1966 Specificity of EEG photic flicker responses to color as related to imagine ability. *Psychophysiology*, 2, 197-207.
- Brown, B. B. 1968 Visual recall ability and eye movements. *Psychophysiology*, 4, 300-306.
- Decker, G. H. 1964 Pursuit eye movements in the absence of a moving stimulus. *Science*, 143, 1192-1193.
- Dement, W. C. & Kleitman, N. 1957 The relation of eye movements during sleep to dream activity. An objective method for the study of dreaming. *Journal of experimental psychology*, 53, 339-346.
- Ford, A. 1959 Significance of terminal transients in electro-oculographic recordings. *A. M. A. Archives of ophthalmology*, 61, 899-906.
- ガザニガ & レドゥー 柏原恵龍他 (訳) : 1980 二つの脳と一つの心, ミネルヴァ書房 (Gazzaniga, M. S. & LeDoux, J. E. 1978 *The integrated mind* Plenum Press)
- Goldthwait, C 1933 Relation of eye-movements to visual imagery. *American journal of psychology*, 45, 106-110.
- Hale, S. M. & Simpson, H. M. 1970 Effects of eye movements on the rate of discovery and the vividness of visual images. *Perception and psychophysics*, 9, 242-246.
- Hebb, D. O. 1968 Concerning imagery. *Psychological review*, 75, 466-477.
- Janssen, W. H. & Nodine, C. F. 1974 Eye movements and visual imagery in free recall. *Acta psychologica*, 38, 267-276.
- 柏原恵龍 : 1981 マイクロコンピューターを利用した EOG による眼球運動軌跡の記録, 関西心理学会93回大会発表論文集
- 柏原恵龍 : 1982 Lateral Eye Movement の検討, 日本教育心理学会24回総会論文集
- 北村晴郎 : 1982 心像表象の心理, 誠信書房
- Lenox, J. R., Lange, A. F. & Graham, K. R. 1970 Eye movement amplitudes in imagined pursuit of pendulum with eye closed. *Psychophysiology*, 6, 773-777.
- Marks, D. F. 1973 Visual imagery differences and eye movements in the recall of pictures. *Perception and psychophysics*, 14, 407-412.
- Newcombe, F. & Ratcliff, G. 1979 *Long-term psychological consequences of cerebral lesions*. In Gazzaniga, M. S. (Ed.) *Handbook of behavioral neurobiology*, Plenum Press.
- 大谷 璋 : 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 璋 : 1973 EOG による眼球運動測定法, 心理学研究法3 東大出版会, 18-35.
- 宇阪良二 : 1973 角膜反射法による眼球運動の測定法, 心理学研究法3 東大出版会, 1-17.
- Senders, J. W., Fisher, D. F. & Monty, R. A. 1978 *Eye movements and the higher*

*psychological functions*. John Wiley and Sons.

竹田真理子：1977 視覚心像と眼球運動——心像の大きさの効果——，*心理学研究* 48, 281-288

竹田真理子：1981 眼球運動と覚醒時における視覚イメージ，*和歌山大学教育学部紀要*，30集，35-42

Venable, P. H. & Martin, I. 1967 *A manual of psychophysiological methods*. North Holland Publishing Company.

Yarbus, A. L. 1965 *Eye movements and vision*. Plenum Press.

## Eye-Movement-Locus Recording by EOG Synthesis

Eryu KASHIHARA

Recording of eye movements is at present achieved mainly by two methods. One is the corneal reflection method and the other electro-oculography (EOG). One of the advantages of the former is that it allows spatially two-dimensional recording of eye movements, while it is unable to record movements of closed eyes. Conversely, while the latter does not permit spatially two-dimensional recording, it has an advantage of recording eye movements in a state of closure. If such spatially two-dimensional recording of eye movements is coordinated in EOG, the method will have an extensive applicability. The purpose of the present investigation is to evaluate the possibility of eye-movement-locus recording by synthesizing EOGs. Using analog-digital converters connected to a microcomputer, horizontal and vertical EOGs were converted into digital data. The data were fed into a microcomputer for recording the loci of eye movements by synthesizing the data. The loci of eye movements in both opened and closed states were recorded.

With eyes opened, three experiments were undertaken to determine how the visual-scanning corresponded with the recording of eye-movement loci by EOG synthesis. The results obtained showed that the amplitude of horizontal and vertical EOGs rose with the increase in a visual angle, allowing distinction of eye movement by one degree of visual angle, as averaged from 5 trials, in both horizontal and vertical EOGs. The eye-movement loci of geometric figures (triangle, diamond, circle and square) were found to reproduce the original figures precisely. However, when the electrodes that induced vertical EOGs were deviated from the optimum positions, the amplitude of vertical EOGs decreased, reducing the vertical locus length of a square visually scanned. Deviation of the upper and lower vertical electrodes from the optimum positions to opposite directions caused ascent or descent of the right side of eye-movement loci.

With the eyes closed, the loci of eye movements were recorded during visual scanning of imagined figures and during sleep. In a test of visual scanning of imagined geometric figures (triangle, diamond, circle and square), the loci of eye movements reproduced the original imagined figures to the extent that figures originally imaged could be fairly discerned. In case of a regular square, however, the figure reproduced by loci was rectangleshaped. This seems to show the effect of closed eyelids. Recording of EOGs of a child (age 4 years) and an infant (age 6 months) during sleep produced

characteristic differences in the eye-movement loci between the states of ortho-sleep and para-sleep. Some characteristic differences were also noted in eye-movement loci between the child and infant. In para-sleep, the former presented chain-reacting responses and the latter to-and-fro responses.

A series of experiments in this study demonstrated that synthesis of EOGs allowed spatially two-dimensional recording of eye-movement loci. This may contribute to expansion of the area of investigation by use of an eye-movement index but in practical application, there still remains drifting of EOG to be solved.