

## 標的固視の眼球運動特性

吉田 茂・篠田 伸夫

### Characteristics of fixational eye movements to a small stationary target

Shigeru YOSHIDA and Nobuo SHINODA

The present experiment was designed to examine the range of fixational eye movement and the effect of visual noise. Seventeen human subjects fixated to a small stationary target for ten seconds. Eye movements were recorded by the infrared reflex method from cornea and sclera. Mean radius (MR) of eye movement around the target was computed from digital data. The measurable difference was not discovered between the average MRs in normal and noise conditions (0.20, 0.17 deg in visual angle, respectively). Variance of MR in the noise condition was smaller than in the normal condition. Involuntary flick eye movement became dominant in the noise condition, for subjects blurred the focus to inhibit the eye movement without suffering from the visual noise. It was suggested that active and precise control of small saccade was necessary to keep high acuity to a small stationary target.

#### I はじめに

スポーツにおいて、視覚情報は大きな役割を担っている。その視覚情報を選択的に入力する働きを持つ眼球運動はとりわけ重要視されている。しかし、これまで余り研究されていないのが実情である。

その理由の一つとして、測定装置の問題があげられる。精密な基礎研究としてコンタクトレンズ法があるが、装着が困難である。また、角膜—網膜の電位差を利用する眼電位図があるが、対応関係に問題がある。角膜反射光を映像に写し込む方法はデータ解析が困難である。(Hallet, 1986; 大谷, 1975; 苧阪, 1975)

特にスポーツ場面では、状況の特性として眼球運動のランダムアクセスが多く、外界との対応を正確に行うのが困難である。さらに装置の重量が大きい場合には、頭部の微小な動きでも対応関係がくずれてしまうことがある。また、全体のシステムが大きくなり、フィールドに持ち出せないことも問題となっている。

しかし最近、角膜—強膜間の赤外線反射率の差を利用した眼鏡式の装置が開発された。これは軽

量でしかもアナログ出力があるので、デジタル変換をして定量分析ができる。コンピュータでグラフィック・スーパーインポーズができるので、近い将来スポーツ場面に応用できると思われ、大いに期待される。

我々は、この方式をもちいてスポーツ場面での眼球運動特性を検討していきたいと考えている。その第一歩として、今回は標的固視をとりあげた。本研究の目的は次の2点である。

- 1) 瞬きをしないで10秒間固視したときの眼球運動の範囲を調べる。
  - 2) 標的付近の視覚ノイズの影響を調べる。
- すなわち、眼球を固定する能力という意味の固視力について検討した。

#### II 方法

##### 被験者:

成人男子14名、成人女子3名、被験者が自己申告した視力は、コンタクトレンズ矯正を含めて0.7~1.5であった。その内、1名はコンタクトレンズではなく、裸眼(視力0.05)で測定した。また、利き眼は1名を除き右眼であった。

**刺激条件：**

**ノーマル条件：**スケール板をはずしたオシロスコープを、被験者の眼前57cmの位置に設置した。刺激面での1cmが、ほぼ視角1°に対応する。刺激面の中心に直径1mmの黒点（視角0.1°）をつけ、これを固視点とした。その上下左右1cm（視角1°）の位置に校正用の黒点をつけた。管面の輝度は20ft-Lであった。固視点の位置は、被験者の眼の高さで、両眼の中心となるように設定した。(Fig. 1, A)

**ノイズ条件：**ノイズとして、振幅2°で8の字形が変化するようなりサージュ図形を提示した。これは、50Hz近傍のサイン波の位相をずらして、XYに入力して作ったものである。(Fig. 1, B)

**測定装置：**

角膜一強膜反射式の、眼球運動記録器を用いた（竹井機器、眼球運動モニター装置）。利き眼を左右運動(X軸)の検出眼とし、反対眼を上下運動(Y軸)の検出眼とした。また、上下(Y軸)検出眼の上下に電極を装着し、瞬きのチェックをした(時定数1.5s)。眼球運動(X, Y軸)と瞬きの記録は、マイクロコンピュータでA/D変換し、ディスクに保存した。サンプリングは、10msごとに1,000ポイント、10s間行った。A/D変換の分解能は10V/12bitである。視角1°を2Vに校正したので、0.002°/bitの分解能となる。(Fig. 1, C)

**手続き：**

被験者は、瞬きチェック用の電極と眼鏡式の眼球運動モニター装置を装着し、頭部を顔面固定器

に固定した。額、頬、顎と固定器の間にパッドをいれ、ベルトで固定した。バイティングボードは用いなかった。記録開始は、被験者が自分の調子が整ったときにスイッチを押す、セルフペース方式とした。

左右上下の眼球運動電位の校正の後、2回の固視練習記録を行った。その後、本記録を10回繰り返した。これを、ノーマル条件、ノイズ条件について行った。指示は、「10秒間、できるだけ瞬きをしないで、中央の固視点を見つめていて下さい。」とした。さらにノイズ条件では、「ノイズに惑わされないように」と付け加えた。この手続きで、17名の被験者について眼球運動を記録した。その内、2名については、1日1回のペースで5回、ノーマル、ノイズの条件の順序を交替して記録した。測定終了後、眼の状態、見方および見え方について内省報告を記録した。

**III 結果**

例として、1名の被験者の固視状態の眼球運動の軌跡を、XY平面に表示したものが、Fig. 2のAである。座標の原点は、1,000ポイントのデータの平均値である。Fig. 2のBは、原点からの距離の平均を半径とした円を表示したものである。これを、平均半径と呼び、MR (mean radius) で表した。算出法は、以下の通りである。

$$MR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i$$

ここに

$$R_i = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$N = 1000$$

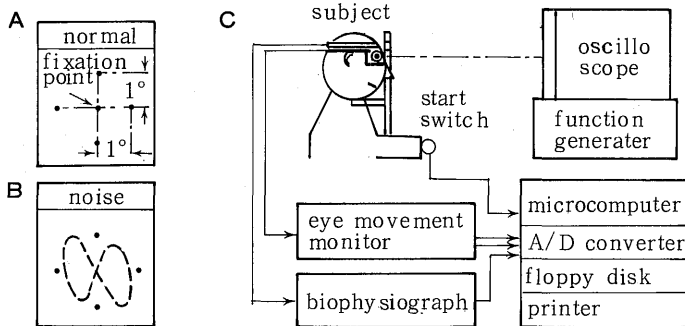


Fig. 1 Stimulus displays in normal (A) and noise (B) conditions, and recording system of fixational eye movements (C).

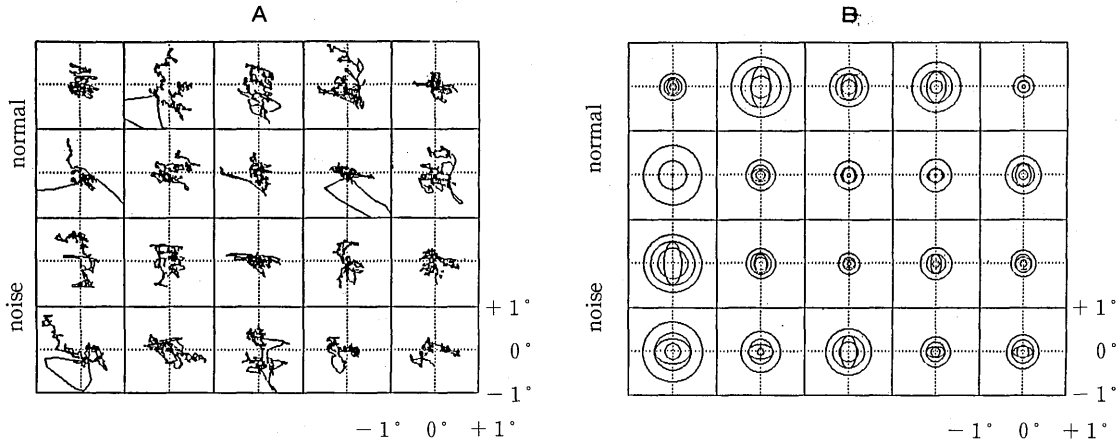


Fig. 2 Data of fixational eye movement (A) and MRs±SD (B).

MRの円の内側と外側に、MR±SDの円を表示した。中央の楕円は、横軸径にSDx、縦軸径にSDyをとって描いたものである。

瞬きの記録を参照して、瞬きや大きな変動のないサンプルの中から、MR最小のものを各被験者の代表値とした。したがって、17名中5名のデータが分析からはずされた。有効な12名のMRは0.3°以内であった。

Fig. 3のAは、12名の被験者のMRをノーマル、ノイズ条件に分け、その対応関係を表示したものである。三角印は、全被験者のMRの平均である。ノーマル条件ではMR=0.20°、ノイズ条件ではMR=0.17°であった。ノーマルとノイズの条件におけるMRの差は、対応のあるt検定の結果、有意差はなく、ノイズの影響はみられなかった。ただし、分散の差は、F検定の結果、有意差がみられた(F(11, 11)=2.87, p<0.05)。つまり、図にみられるように、ノイズ条件では、MR=0.17°に集中していた。

Fig. 3のBは、2名の被験者で繰り返し測定した結果を示したものである。繰り返した5回の結果のうち、第1回目の測定結果はAの方に含め、Bには参考のため点線で示したが、分析の対象とはしなかった。分散分析した結果、測定順序、条件差、および交互作用のいずれにも有意差はみられなかった。

内省報告をまとめると、以下のものであった。眼の状態：「疲れる。しみる。涙が出る。ちかちかする。大丈夫。」

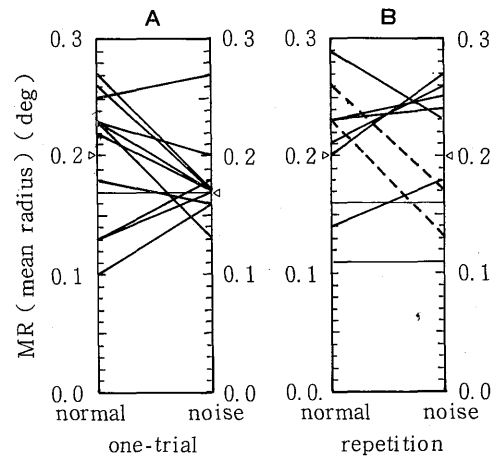


Fig. 3 Changes of MRs and average MRs (triangles) in one-trial (A) and repetitive (B) measurements.

見えの変化：「ぼやける。ノイズが気になる。休憩時によく見える。見ようとすると点が二重に見える。ノイズ条件で、点が薄くなる。固視点が消える。」

固視する方法：「見つめる。瞬きしない。固視点のさらに中心を見つめる。点から何か出てくるように思う。点の縁に沿って目を動かす。ぼかしてみる。5つの点全体を見る。トンネルに入っていく感じ。固視点に向かっていく感じ。点を前に持ってくる感じ。」

#### IV 考 察

MRについて：

本研究では、眼球運動の固視における測度として平均半径を用いた。従来は、SDx, SDyあるいは方向を含めて確率楕円を描いている。そして、一般にはY軸方向の変異が大きいといわれている (Hallet, 1986)。ただし、視力と同じように、評価値を1つにしようとする場合には、X, Yを含めた平均距離で表現するのがよいと考えられる。またこれは、簡単に計算でき、イメージがつかみやすいことも利点である。

条件差について：

MRの条件差はみられなかったが、ノイズ条件で、MRが $0.17^\circ$ に集中する傾向がみられた。一般に、フリック (flick) の振幅は $0.3^\circ$  ( $20'$ ) である (渡辺, 1979)。固視点を中心に振幅 $0.3^\circ$ でフリックが起こると、その半径は $0.15^\circ$ となり、MR =  $0.17^\circ$ に近い値となる。被験者は、ノイズ条件では妨害を抑えようとしてぼかして見るなど、受動的な見方となり、個人差が小さくなったと考えられる。つまり、不随意的なフリックが優勢になったことが考えられる。ノーマル条件の場合にはMR =  $0.20^\circ$ であり、よく見ようとして、むしろ能動的に微少なサッカド (saccade) を行っていたと考えられる。裸眼視力 $0.05$ の被験者の場合、ノーマル、ノイズともMR =  $0.17^\circ$ であった。内省報告が、「固視点自体はよく見えなかったが、5点全体の中心部をみていた」ということから、このような被験者の見方の影響も十分考えられる。

固視の能力は、測定時間が400msでは、 $0.004^\circ$  ( $0.25'$ ) の標準偏差を持つ (Barlow, 1952)。本研究では、10sという長時間であったので種々の眼球運動が入り、MRが $0.20^\circ$ 近くになったと考えられる。

繰り返し測定：

分散分析の結果、測定順序、条件差、交互作用において、MRに有意差がみられなかった。これは、12名の1回測定において測定順序の影響がないということに有利な結果である。しかし、Fig. 3のBを検討すると、繰り返し測定することによってMRは $0.25^\circ$ 付近に集まるようである。つまり、実験慣れあるいは見方の構えなどが変化する可能性があると考えられる。これは、測定に重大な影

響を及ぼすので、今後十分に検討する必要がある。

見えの変化：

ノイズの条件の場合、「固視点や周りの点がぼやける、薄くなる、あるいは消える」という見えの変化が報告された。これは、固視によって、局所的順応が起きたものと考えられる。一般には、視野内の刺激が動く場合には追従眼球運動が起こるのであるが、本実験の結果ではとらえられなかった。ノイズの効果が薄かったか、あるいは被験者の構じた対策のためかは不明である。また、輻輳、調節機能については記録できなかったので、ぼけ、二重像に関しては評価できない。

見方について：

「焦点をぼかす」、つまり「調節機能の焦点を、少し遠くに持っていくことによってノイズの影響を避けることに注意した」という報告があった。眼球を固定しようとする見え難くなり、よく見ようすると眼球が動いてしまうという、矛盾がみられた。注意しなければならないのは、眼球が動かないからといって、よく見据えているとは限らないことである。よく見るための方策としては、むしろ、固視点のまわりに沿って積極的にたどるように動かそうとしたほうがよいようである。つまり、局所的順応を避けるためには、網膜投射位置をすこしずつ動かさなければならない。また、漫然と一点を見つめるのではなく、積極的な姿勢で、なにものかがかそこから出てくるような、あるいはそこに向かっていくという、能動的な注意の向け方が必要になってくる。不随意的な固視微動に頼るのではなく、積極的な随意的な眼球の使い方が大切である。「ランダムネスをともなった中心化」という眼の使い方が必要であると考えられる。

瞬きについて：

本実験では、10秒間、瞬きをしないように教示した。これは大変な負荷であった。5秒ほどの測定時間にすべきと思われる。普段我々は、2~3秒の間隔で瞬きをして角膜をほどよく潤している。瞬きをしないと、涙が出て見えが悪くなることになる。大きな眼球運動を行っているときには、周りから少しずつ潤すことになり、ある程度瞬きなしでいられる。瞬きをすることにより、100~300

msの暗闇時間がとられることや、眼球上転が起こり、再度注視するときには時間がかかるなど、不利益な場合が多い。したがって、瞬きを抑制する能力も固視力の中に含めて検討すべきであろう。

#### 固視力について：

以上のように、固視力という用語は、単に眼球の動きを抑制する能力という意味だけではなく、見方に関する「注意」をも含めなければならない。積極的な眼球微動を行う方法や、焦点を遠くに持っていくという、いわゆる「遠山の目付」的な見方などの観点からも、再度検討されなければならない。眼球運動半径が小さいからといって、よく見えているとは限らない。見えのすどさを含めた固視力を考慮すべきである。つまり、固定して視る能力と共に、固視するときの視力という意味でも、固視力を考えていかなければならないであろう。ただし、ランドルト環視力あるいは副尺視力などの測定を連続的に記録することは、現在のところ困難である。

#### V ま と め

本研究は、10秒間標的を固視する際の眼球運動の範囲とノイズの影響について、見方、見え方とともに、探索的に検討した。

眼球運動は、角膜—強膜反射式のものを用い、顔面を固定して測定した。眼球運動の平均半径をMR (mean radius) として、固視力の一つの測度とした。

ノーマル条件、ノイズ条件のMRの平均はそれ

ぞれ、 $0.20^\circ$ 、 $0.17^\circ$ であった。両者の間に有意差はなかった。ただし、ノイズ条件での分散が小さく、有意差がみられた。これは、ノイズの影響を避けるため、被験者の多くが受動的見方を取り、不随意的なフリックが優勢となって、個人差が少なくなったためと考えられた。

内省報告から、一点をよく見続けるためには、眼球を能動的に微小移動させる方法が示唆された。このように、固視力を、単に眼球を固定できる能力とするのではなく、よく見続ける能力として検討していく必要がある。

本研究の一部は、昭和60年度筑波大学学内プロジェクト奨励研究費の補助を受けた。

#### 文 献

- Barlow, H. B., 1952, "Eye movements during fixation." *Journal of physiology*, 116: 290-306.
- Hallet, P. E., 1986, "Eye movements," pp. 10.1-10.112, In Boff, K. R., Kaufmann, L., and Thomas, J. P. (Eds), "Handbook of perceptual and human performance, Vol. 1, Sensory processes and perception," John Wiley & Sons.
- 大谷 璋, 1975, EOGによる眼球運動の測定法, pp. 18-35, 苧阪良二編, 心理学研究法3, 実験II, 東京大学出版会.
- 苧阪良二, 1975, 角膜反射による眼球運動の測定法, pp. 1-17, 苧阪良二編, 心理学研究法3, 実験II, 東京大学出版会.
- 渡辺 叡, 1979, 視覚系における制御機構, pp. 367-390, 田崎京二・大山 正・樋渡潤二編, 視覚情報処理, 朝倉書店.