

ヒトの固視微動の計測と解析

宮下 則俊[†] 川合 拓郎[‡] 相澤 啓助[‡] 佐藤 誠[‡] 張 曉林[†][†]東京工業大学 精密工学研究所 [‡]株式会社フォトロン

1.はじめに

近年、ヒトの優れた視覚機能をロボットに適用する様々な試みがなされている。しかし、ヒトの固視微動に関しては、映像からの特徴抽出^[1]やカメラからの距離測定^[2]を目的とした数少ない研究しかなされていない。また、固視微動には両眼が協調的に動く運動の存在が確認されているが、その視覚的役割については、本研究者らが提案した仮説以外にはまだ見当たらない^[3]。固視微動が未だにその詳細が解明されていない理由として、生理学実験が不十分、または実験の年代が古く、固視微動を正確に測定できる装置を利用していないこと、協調的な固視微動の役割に関する適当な生理実験の報告がなされていないことなどが挙げられる。そこで我々は最新技術を用いた新たな測定装置を構築し、固視微動の測定をすることでその役割の解明を進めることを本研究目的とした。

2.固視微動

固視微動とは静止物体を固視したときに不随意的に発生する眼球の微小振動のことで、我々が直接知覚することはない。固視微動を強制的に停止させ、静止した網膜上に結像するようにすると静止物体が見えなくなるということから、ヒトは生理的に網膜上で変化する像のみ知覚し、固視微動は静止物体を知覚するために必要な眼球運動であることが知られている。さらに、固視微動は microsaccade, tremor, drift の3つの微小振動で構成されている^[4]。それぞれの微小振動を模式的に描いた図を図1(a)に示す。3種の微小振動の中で振幅が約100[μm]超と最も大きいのが求心的直線運動を行う microsaccade で、発生頻度が1~5[Hz]、持続時間が約25[ms]である。次に振幅が大きいのが曲線運動を行う drift で約20[μm]の振幅を持つ。drift が生じている間、常に tremor が起きている。tremor の振幅は約2[μm]、発生頻度は30~90[Hz]と、固視微動の中で

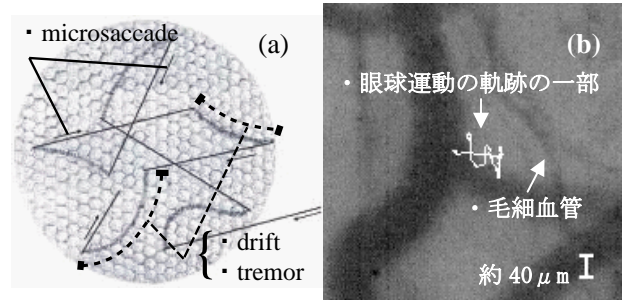


図1:固視微動

(a) Prichard^[5]による模式図(b)本研究測定結果

最も微細な振動である。さらに、microsaccade は左右の眼球においてランダムな方向に独立に発生するものとして考えられてきたが、近年の研究によると、左右の眼球で独立して運動していると考えられていた単眼 microsaccade が、ある確率(全体の運動の約4割)で互いに水平成分でオーバーラップする現象が確認・報告されている^[6]。これを両眼 microsaccade という。この運動が視覚に与える影響は、まだ解明されていない。

3.先行固視微動測定実験

固視微動測定の先行実験は多くあるが、その中では先に述べた microsaccade や drift を正確に観測するのに充分ではない測定装置を用いているものが多い^{[4]~[7]}。また、ヒト以外を対象とした実験では固視ができるのか、ヒトと同様の結果が得られるのかという疑問が残る。現在ではデジタルビデオカメラの発達により、時間的にも空間的にも十分な分解能を持った測定装置が存在し、今回はそのようなカメラを用いた。

4.眼球運動測定

4.1 測定方法

固視微動測定装置の模式図を図2に示す。測定装置は頭部固定台、照明、高速デジタルカメラ、光学拡大レンズからなる。高速デジタルカメラには Photron 社製高速度デジタルビデオカメラ FASTCAM 各種を使用した。FASTCAM は1000[fps]の映像を撮ることが可能であり、最も微小振動である tremor を観測する上でも十分な時間分解能を有すると考えられる。光学拡大レンズは光学倍率10倍であり、約2[$\mu\text{m}/\text{pix}$]の解像度を実現する。これは tremor を精密に測定する

Measurement and analysis of fixational eye movement

Noritoshi Miyashita Takuro Kawai Keisuke Aizawa Makoto Sato Xiaolin Zhang

[†]Precision and Intelligence Lab in Tokyo Institute of Technology[‡]Photron Ltd

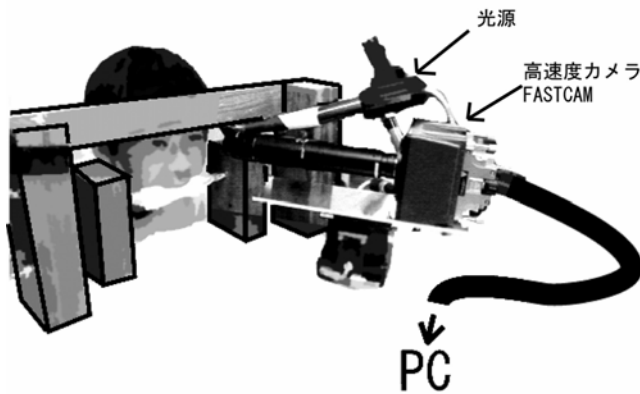


図 2:測定装置

ためには不十分であるが、他の固視微動を測るのには十分な空間的分解能を有する。測定箇所は眼球中心と同じ高さの強膜表面とした。視標は点、縦線、横線などを用意し、特に視標の種類によって固視微動の振舞いに変化するかどうかを調べた。この装置を用いて、まず単眼 microsaccade と drift の測定を行った。

4.2 画像処理

得られた映像から眼球表面の動きを追跡する。映像はほぼ一枚の眼球表面画像の平行移動、回転とみなせるので、ブロックマッチング法を採用する。今回得られた映像はゲインアップによる大きなノイズと、照明による明るさの偏りという特徴が存在したので、それらを考慮した次のような処理を行う。得られた映像の各フレームを図 3 のように眼球表面画像とゲインによるノイズの足し合わせに光の重みを掛けたものとしてモデル化する。得たい画像は眼球表面なので、得られた映像から光の重みを割り、ノイズをつぶすのに十分なぼかしをかける。ただし、眼球表面にかかる光の偏りは事前に用意しておく。以上の処理を行ったフレーム間でマッチングをして追跡を行う。測定の結果例を図 1(b) に示す。

$$\text{撮影映像} = \left(\text{眼球表面} + \text{ノイズ} \right) \times \text{光源の偏り}$$

図 3:画像処理による眼球運動解析

4.3 測定結果と考察

今回 20 回以上の測定を行った。測定結果の例として、撮影映像上での眼球表面の相対平行移動量を図 4 に示す。約 250[ms] 間隔で大きな跳躍的な運動が起こっているが、これは microsaccade と考えられ、先行実験の値とも合う。また microsaccade の間隙に見られる曲線的な動きは drift と

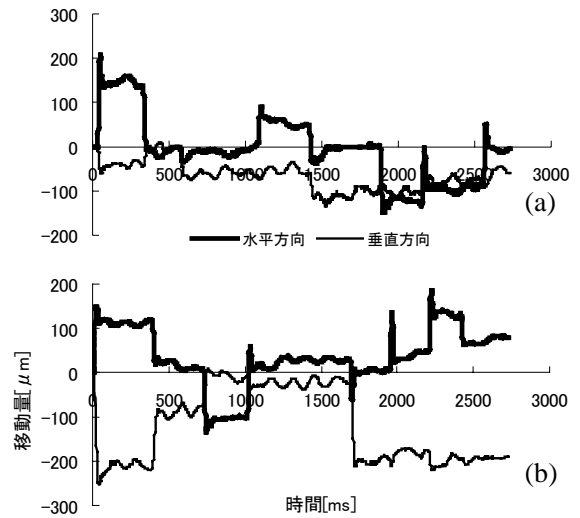


図 4:固視微動の測定結果
(a)水平線視標 (b)垂直線視標

推測される。図 4(a)と(b)は視標が異なるが、その移動量をみると視標が水平線の場合は垂直方向の microsaccade が発生しているが、視標が垂直線の場合は水平方向にも発生している。この傾向は他でもみられる。これらの結果から、視標に垂直方向の輪郭線が多い場合水平方向の microsaccade が起こり、逆に視標に水平方向の輪郭線が多いものを設定すると垂直方向の microsaccade が起こるのだと考えられる。

5.まとめ

本報告で視標と固視微動の相関性を示唆した。これからはさらに実験回数を増やして今回の示唆をより確かなものにし、さらに両眼を測定することで両眼 microsaccade の特性を調べたい。

最後に本研究のために多大な協力をいただいた(株)Photron に感謝の意を表したい。

文 献

- [1]本谷秀堅,来海暁,安藤繁.固視微動型イメージセンサとその応用,情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア研究会,Vol.99-CVIM-118,pp.9-16(1999).
- [2]山本高裕,工藤博章,大西昇.固視微動に示唆を得たビジョンシステムによる奥行方向の位置合せ.電子情報通信学会論文誌,Vol.J85-D-II No.5,2002.
- [3]張曉林,川合拓郎,熊澤逸夫,佐藤誠."両眼固視微動を用いた立体エッジ画像生成法".画像センシングシンポジウム講演論文集,303-306.(June.2005).
- [4]Susana Martinez-Conde, Stephen L. Macknik and David H. Hubel. THE ROLE OF FIXATIONAL EYE MOVEMENTS IN VISUAL PERCEPTION, Nature Neuroscience, vol5, March 2004.
- [5]Pritchard, R. M. Stabilized images on the retina. Sci. Am. 204, 72-78 (1961).
- [6]Ralf Engbert and Reinhold Kliegl. Using microsaccades to study binocular coordination.(2003).
- [7] Ditchburn, R. W. & Ginsborg, B. L. Vision with a stabilized retinal image. Nature 170, 36-37 (1952).