予測困難な事態における衝動性及び滑動性眼球運動の特性：衝動性眼球運動の潜時及び滑動性眼球運動の位相差に関する検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 国分, 充, 高峰, 亜希, 田村, 亜希子, 片桐, 和雄 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/20101

予測困難な事態における衝動性及び滑動性眼球運動の特性
―衝動性眼球運動の潜時及び滑動性眼球運動の位相差に関する検討―

国分　　充・高峰　亜希*・田村亜希子*・片桐　和雄

Some Characteristics of Human Eye Movements

Mitsuru KOKUBUN・Aki TAKAMINE・Akiko TAMURA・Kazuo KATAGIRI

I　目　　的

人間が行う主要な眼球運動に，衝動性眼球運動（saccade）と滑動性眼球運動（smooth pursuit）とがある。衝動性眼球運動は，視界に現れた対象を網膜中心窩でとらえようとするときに起こる非連続的で急速な眼球運動のことを，滑動性眼球運動は，眼前を移動する視標を常に網膜中心窩でとらえようとするときに起こる連続的で滑らかな眼球運動のことを言い，前者については，ひとたび運動が起こると終わるまで随意的に停止することができず，また，運動の速度も随意的に調節することができないことが，後者については，動く視標なしで随意的に行うことはできないことが大きな特徴としてよく知られている。その他，衝動性眼球運動に関しては，視標呈示から眼球運動が生起するまでの潜時や最大速度，眼球偏位量等，滑動性眼球運動に関しては視標と眼球運動の位相差や速度比，振幅差等のパラメータが，それぞれの眼球運動の特性を表すものとして，視標の移動振幅や周波数等の変化に対してどうふるまうかについての検討が進められている。

ところで，これらの眼球運動の特性を検討する際，その誘発方法としてとられることの多いのは，衝動性眼球運動の場合は，（点滅する）2点の交互の注視を求めることであり，滑動性眼球運動の場合には，正弦波（あるいは三角波）様に動く視標の注視を求めることである。そして，こうした事態では視標の速度や移動振幅が予測可能になっていることが多い。我々が日常的に行う眼球運動にとって，見るべきものに対する予測は，きわめて重要な役割を果していると見られるものではあるが，しかし，予測の意義を明らかにするためには一方で予測が困難な事態での眼球運動の特性も明らかにしておく必要がある。この点で衝動性眼球運動に関しては，視標の動きに関する技術的なコントロールが比較的簡単に行えるということもあって，視標の移動振幅及び2つの注視点の点滅間隔をランダムに変化させ視標の動きに関する予測を困難にしてその特性を調べた研究も見られているが（Baloh ら，1975；木村ら，1979），滑動性眼球運動に関しては移動振幅をランダムにした研究が見られる他（Ohashi ら，1987），予測の困難な事態でその特性を検討した研究はほとんどない。また，衝動性眼球運動で視標振幅及び2つの注視点の点滅間隔をランダムにしたとする研究においても，それらを広範囲に変化させているわけではなく，視標の動きに関する予測がきわめて困難になっているというわけではない。

そこで，本研究では，非予測的事態での両眼球運動の特性を明らかにすることを目指し，まず，視標の移動振幅及び周波数（衝動性眼球運動においては2つの注視点の点滅間隔となる）を，比較的広範囲に，ランダムに変化させ，視

平成5年9月8日受理
* 金沢大学教育学部平成4年度卒業

標の動きに関する予測がきわめて困難な事態を設定する。そして，上に挙げた両眼球運動の種々のパラメータのうち，衝動性眼球運動については潜時を，滑動性眼球運動については位相差を取り上げ，これらが視標の移動振幅及び周波数の変化に伴ってどのように変わるかを調べ，衝動性眼球運動及び滑動性眼球運動の特性に関する基礎的資料を得ることにする。

Ⅱ　方　　法

１．被 験 者

被験者は，健康な成人男子３名（20～22歳），女子７名（19～22歳）の計10名である。

２．誘発刺激

衝動性眼球運動を誘発するためには矩形波状に運動する視標（矩形波刺激）を，滑動性眼球運動を誘発するためには正弦波状に運動する視標（正弦波刺激）を呈示する。本研究で視標の呈示に用いるのは２次元眼球運動誘発装置（浜松テレビ製HTV-C773）で，これは内部に正弦波，三角波，矩形波等の発振器をもち，それによる視標の動き（水平，垂直の２方向（２次元））のコントロールが可能である他，外部入力によるコントロールも可能である。本研究ではこの外部入力により視標の動きをコントロールする。そのため，矩形波刺激，正弦波刺激ともに波形処理ソフト（WAVE MASTER Ⅱ，カノープス製）及びD/A 変換ボード（DAJ-98，カノープス製）を用いて，視標振幅３種（10°，30°，60° いずれも全幅），視標周波数３種（0.2Hz，0.5Hz，0.8Hz）を組み合わせた９種の波を，１周期ずつランダムにつないだ刺激系列を４つ作成し（矩形波刺激，正弦波刺激それぞれ４つずつ），視標の動きをコントロールするために用いた。被験者には，この矩形波刺激と正弦波刺激の合計８刺激系列をランダムな順序ですべて呈示する。Fig. 1 には矩形波刺激の例を示した。

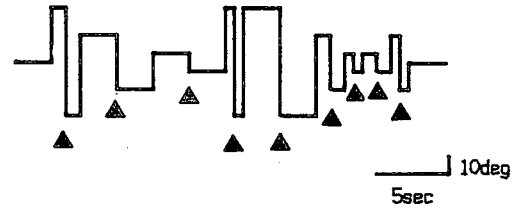

Fig. 1　Stimulus for Saccade
▲ indicates the measuring points.

３．手 続 き

上で述べた２次元眼球運動誘発装置により，直径20mm（視角2.3度）の赤色円形視標を，被験者の50cm前方の透過スクリーン（自作）に被験者前方から投影し，水平方向に運動させた。被験者の頭部は顎台で固定し，視標が眼の高さになるように顎台の高さを調節した。被験者に与えた教示は，「今からこの赤色円形視標が動くので，それを注視してください。」というものである。上述のように矩形波刺激と正弦波刺激で合わせて８刺激系列をランダムな順序で呈示したが，１刺激系列を終えるごとに休憩をとった。

４．記録及び処理

水平，垂直方向の眼球運動を眼電位図法により導出し，視標の運動波形（２次元眼球運動誘発装置の外部出力）とともに紙及び磁気記録した。処理は，波形処理ソフト（WAVE MASTER Ⅱ，カノープス製）及びA/D変換ボード（ADJ-98，カノープス製）を用い，磁気記録をサンプリング周波数100HzでA/D変換し，calibration 等の処理を行い，衝動性眼球運動については，視標が動きだしてから眼球が動くまでの潜時を，ＣＲＴ上で計測した。滑動性眼球運動については，視標の動き，水平方向の眼球運動ともにA/D 変換したデータを磁気ディスクに格納した後，視標の動き半周期分と水平方向

の眼球運動との相互相関関数を自作のプログラムにより求め（ずらし時間10msec），相関係数が最大となる時間を位相差とした。

こうして，ひとりの被験者の，衝動性眼球運動あるいは滑動性眼球運動の１種の波につき４つの計測値が得られることになるが，それらの平均値を被験者の代表値とした。

Ⅲ　結　　果

１．衝動性眼球運動の潜時

Fig.2 に，９つの刺激波形の全被験者の平均値，標準偏差を，刺激周波数ごとに示した。これを見ると，同じ周波数の場合は振幅が大きくなるにつれて潜時は延長し，同じ振幅の場合は周波数が高くなると潜時は短縮する傾向がわかる。視標振幅と周波数を２要因とする３×３の分散分析を行ったところ，振幅と周波数いずれにも有意な効果が見られた（振幅;F（2/18）＝17.45，P<0.05：周波数;F（2/18）＝15.7，P<0.05）。

２．滑動性眼球運動の位相差

９つの刺激波形と記録された眼球運動との最大の相関係数は，振幅10度の時及び周波数0.2 Hzの時に低く平均で0.8弱程度であったが，他の場合は0.9を越えてきわめて高かった。

Fig.３には，９つの刺激波形について最大の相関係数が得られた時のずらし時間，すなわち位相差の全被験者の平均値，標準偏差を，刺激周波数ごとに示した。これを見てはっきりわかるのは，周波数の高低によって，振幅の影響が逆になっているということである。すなわち，周波数が低い場合には振幅が大きくなるにつれ

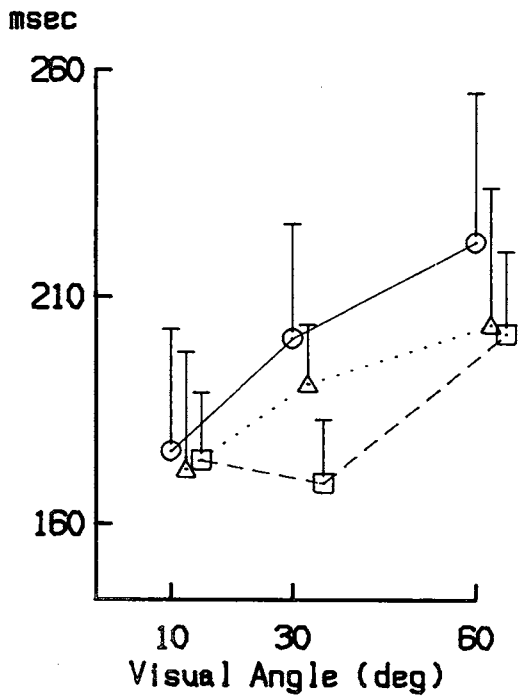

Fig.2　Latency of Saccade

⊙-⊙ 0.2Hz　△-△ 0.5Hz　⊡-⊡ 0.8Hz

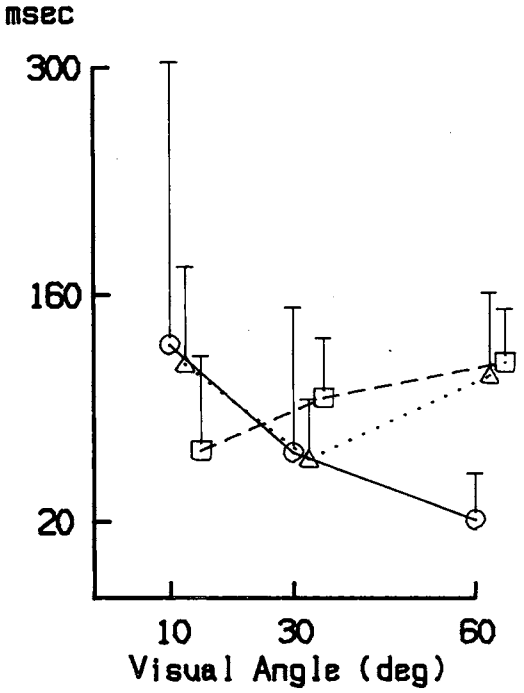

Fig.3　Phase Delay of Smooth Pursuit

⊙-⊙ 0.2Hz　△-△ 0.5Hz　⊡-⊡ 0.8Hz

て位相差は小さくなるのに対し，周波数が高い場合には振幅が大きくなるにつれて位相差が大きくなっている。これについても，視標振幅と周波数を２要因とする３×３の分散分析を行ったところ，振幅と周波数の交互作用に関してのみ有意な効果が見られた（F（4/32）＝3.46，P<0.05）。

Ⅳ　考　　察

１．衝動性眼球運動について

結果に示したように，衝動性眼球運動の潜時には視標振幅，周波数の効果が認められ，視標振幅については，振幅が大きくなるにつれて潜時は延長し，周波数については周波数が高くなると潜時は短縮した。振幅と潜時との関係に関して，これまでの研究を見ると，振幅とは無関係とするもの（Westheimer，1954；五十嵐，1985；平木，1985 等）と振幅が大きくなるほど潜時も増大するとするもの（White ら，1962；Bartz，1962；Saslow，1967等）とがある。その中で，本研究と同様に予測ができにくい事態で潜時計測を行ったBaloh ら（1975），木村ら（1979）は潜時とは無関係としている。しかし，彼らがコントロールした視標振幅及び周波数は，Baloh らが３～36度，0.2～１Hz，木村らが10～60度，0.16Hzと0.25Hzで，Baloh らの場合は視標振幅が，木村らの場合は周波数が限られた範囲となっており，本研究と直接比較するのは困難で，今後さらなるデータの蓄積が必要である。一方，周波数との関係は振幅との関連に比べ言及されることが少ないのではあるが，視標跳躍頻度，視標点滅時間間隔という変数として検討したものを見ると，周波数が高いほど潜時が短いという本研究で得られたのと一致するとみなし得る資料が得られている（平木，1985；山田，1990等）。上で引いた木村ら（1979）も，その差を特に注目しているわけではないが，視標点滅時間間隔が短いほど，すなわち，周波数が高いほど潜時が短いと見ることのできるデータを提出している。なお，一般に衝動性眼球運動の潜時とされているのは200ミリ秒で（篠田，1985），この点で本研究で得られた結果に大きな不一致はなかった。

ところで，本研究の結果では取り上げなかったが，衝動性眼球運動の最大速度については，振幅が大きくなると増大するということが，これまでの研究で一致をみている（篠田，1985等）。そこで本研究で得られた資料に関して最大速度を計測したところ，振幅が大きくなるにつれて，これまでの研究で言われているのと同様の傾向が明瞭で（Fig.4），視標振幅と周波数を２要因とする分散分析では，振幅に有意な効果が見られた（F（2/14）＝74.13，P<0.05）。このことと振幅と潜時の関係に関して本研究で得られた結果を合わせるなら，視標の振幅が大きい場合には潜時は延長するが最高速度は速くなり，視

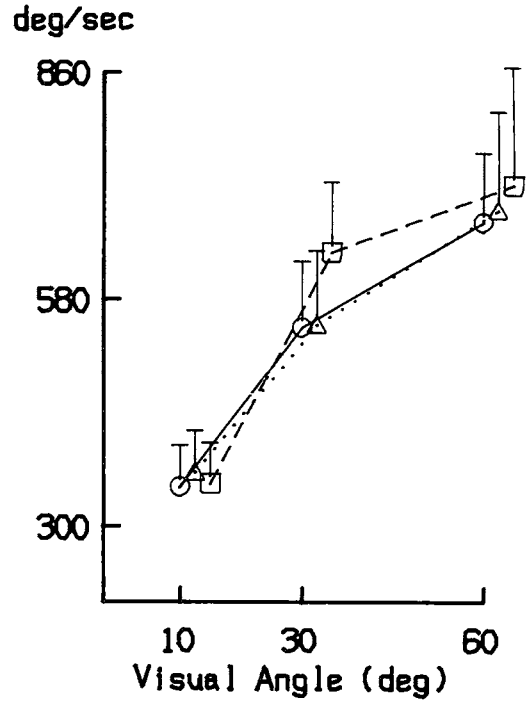

Fig.4　Maximal Velocity of Saccade
⊙-⊙ 0.2Hz　△-△ 0.5Hz　⊡-⊡ 0.8Hz

標の振幅が小さい場合には潜時は短縮するが最高速度は遅くなるということになる。つまり，刺激を入力してから眼球が動き出すまでの時間が長ければ，それを補うかのように眼球の最高速度は増し，時間が短ければ最高速度は減ずるということである。すると，衝動性眼球運動には，刺激を入力して眼球がその刺激に到達するまでの時間を常に一定に保とうとする特性があるかのようである。ただし，視標までの到達時間を測定してみると，持続時間が視標振幅の増大につれて線形に増加し（周波数の影響はほとんど見られない），視標までの到達時間も増大した。すなわち，刺激を入力してからそこに到達するまでの時間は実際には一定ではない。

なお，本研究で衝動性眼球運動の潜時やここで取り上げた諸指標に関して，計測をおこなったのは左右で動く視角が等しくなるところであり，Fig. 1で言うならば黒三角で記したところである。視標の移動視角が左右で等しくなるところであるために，視標の位置に関しては予測が可能なところである。しかし，実験後の被験者の内省報告をみるかぎりこの点に関して視標の位置が予測可能であることに気づいたと思われる者はいなかったことを付記しておく。

2．滑動性眼球運動について

滑動性眼球運動の視標との位相差は，周波数が低い場合には振幅が大きくなるにつれて小さくなり，周波数が高い場合には振幅が大きくなるにつれて位相差も大きくなった。そして，分散分析の結果は，振幅と周波数の交互作用が有意であるというものであった。

正弦波及び三角波を繰り返し呈示して，眼球運動と視標との位相差を調べた大橋ら（1982）は，視標速度が増加するにつれて，位相差は小さくなる傾向が認められたとしている。そこで，本研究で用いた正弦波9種の平均速度をそれぞれ求め，それを横軸にとって，それぞれの場合の位相差をプロットしたのがFig. 5である。このようにしてみると，位相差はV字型を描くことがわかる。すなわち，視標平均速度がおよそ24度/秒（振幅60度，周波数0.2Hz）の時に最小値（21msec）をとり，その両側では位相差は増大している。この図を見るならば，滑動性眼球運動には，きわめて小さい位相差で追従できる速度，いわば最適視標移動速度というものがあることを考え得る。なお，大橋ら（1982）は，8～38度/秒の範囲にある7種の速度について調べており，本研究で調べた速度に比して，特にそれが大きいほうでの幅がせまくなっている（24度/秒を越える速度は38度/秒の1つしか調べていない）。そのため，彼らが調べた速度の範囲で位相差が小さくなる傾向が認められたということは，本研究におけるこの結果と大きく矛盾するものではない。

この最適視標移動速度ということについては，今回の場合，視標振幅，周波数のいずれも変化

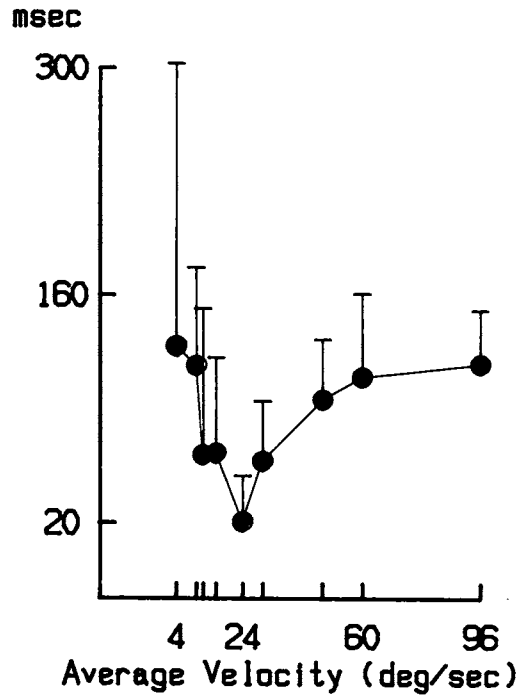

Fig.5 Phase Delay of Smooth Pursuit

させているため，はっきりしない点がある。例えば，位相差が最小であった24度/秒より遅い方の４速度のうち（それらでは位相差は増大する）３つまでが振幅10度の時のものである（24度/秒以下の速度は，４度/秒，10度/秒，12度/秒，16度/秒の４つで，順に振幅10度で周波数0.2Hz，振幅10度で周波数0.5Hz，振幅30度で周波数0.2Hz，振幅10度で周波数0.8Hzの時のものである)。視角で10度というのはほとんど中心視の範囲内であり，この程度の視角では，視標を明視するための正確な追視は必ずしも必要ではなく，そのため，位相差が大きくなったということも考え得る。また，結果でふれたが，振幅10度の時には最大相関係数は他に比較して低い傾向にあった。こうしたことがあるため，今後同一振幅（それもそれほど狭くない範囲）で視標速度を変化させ，それに対して位相差がどのように変わるかを調べる必要がある。

V　結　論

非予測的事態での衝動性眼球運動及び滑動性眼球運動の特性に関する基礎的資料を得るため，健康な成人10名を対象として，注視すべき視標の移動振幅及び周波数を比較的広範囲にランダムに変化させ，視標の動きに関する予測をきわめて困難にし，衝動性眼球運動については潜時，滑動性眼球運動については視標との位相差が，視標の移動振幅及び周波数の変化に伴ってどのように変わるかを調べた。その結果，衝動性眼球運動の潜時については，視標振幅が大きくなるにつれて潜時は延長し，視標の周波数が高くなると潜時は短縮することが明らかになり，滑動性眼球運動の視標との位相差については，周波数が低い場合には振幅が大きくなるにつれて小さくなり，周波数が高い場合には振幅が大きくなるにつれて位相差も大きくなることが明らかになった。また，滑動性眼球運動の位相差は，視標の移動速度を横軸にとるとV字型を描いた。

引用文献

Baloh RW et al. 1975 Quantitative measurement of saccade, amplitude, duration, and velocity. Neurology 25, 1065-1070.

Bartz AE 1962 Eye movement latency, duration, and response time as a function of angular displacement. J Exp Psychol 64, 318-324.

平木真滋 1985 健康成人における水平性衝動性眼球運動の定量的分析．耳鼻咽喉科臨床 78 増４，1746-1757.

五十嵐秀一 1985 不規則跳躍視標追跡検査による衝動性眼球運動の定量分析．耳鼻咽喉科臨床 78 増３，1683-1709.

木村 洋ら 1979 衝動性眼球運動の定量的分析．日本耳鼻咽喉科学会会報 82, 647-655.

大橋直樹ら 1982 滑動性眼球運動分析 ―正弦波刺激と三角波刺激との定量的比較検討―．Equilibrium Research 41(2), 242-245.

Ohashi N et al. 1987 Prediction in smooth pursuit. Acta Otolaryngol 103, 131-136.

Saslow MG 1967 Latency for saccadic eye movement. J Opt Soc Amer 57, 1030-1033.

篠田義一 1985 眼球運動の生理学 眼球運動の神経学．医学書院 1-147.

Westheimer G 1954 Mechenism of saccadic eye movements. Arch Ophthalmol 52, 710-724.

White C et al. 1962 Latency and duration of-eye movements in the horizontal plane. J Opt Soc Amer 52, 210-213.

山田 理 1990 衝動性眼球運動の年齢変化．米子医学雑誌 41, 44-51.

付　記

本研究の一部は科学研究費補助金（平成５年度一般研究Ｂ課題番号04451144，平成５年度一般研究Ｃ課題番号05680204）に拠った。また，本研究を進めるに当たっては，東北大学大学院教育学研究科の葉石光一君，奥住秀之君の協力を得た。記して謝意を表する。