

聴覚刺激弁別作業時の閉眼状態における瞼の微小動きの分析 Analysis of Micro Movement of Eyelid Associated with Eye Closure during Auditory Discrimination Task

田邊 喜一十
Kiichi Tanabe

1. まえがき

人は、眼を閉じているときも、上眼瞼が微小に動くことが知覚できる。この微小な動きには瞬目（まばたき）が含まれる。Lawson は「ある一定の高さで覚醒水準が維持されている場合には、眼を閉じていても瞬目は消失しない」ことを報告していることから[1]、瞼の微小動きの主な生起要因は瞬目であると推測される。

さて、通常の自発性瞬目（以降、単に瞬目と記す）の性質については、これまで多数の報告があるが[2]、眼を閉じた状態での瞬目の特性については、その計測方法も含め、ほとんど明らかにされていない。そこで、筆者は、眼を閉じた状態で生じる自発性瞬目を「閉眼時瞬目」と呼び、まず、その計測方法を開発した[3],[4]。

本稿では、閉眼時瞬目の基礎特性を把握するため、聴覚刺激弁別課題を用いて、聴覚刺激に対する上眼瞼の微小な動きの特徴について分析する。

2. 実験の概要

本稿では、前報[4]で得られた実験データを用いる。前報[4]で行った実験の概要を以下に示す。実験条件は安静-開眼、安静-閉眼、聴覚-開眼、聴覚-閉眼の4条件であった。開眼条件は、通常の瞬目と比較するために導入した。実験参加者は12名であった。聴覚課題は3s間隔で600ms間持続呈示される音刺激{高音(1320Hz)、低音(440Hz)}を弁別する作業であった。実験参加者にはそれぞれの音刺激に割り当てられたマウスの左右ボタンを押下することにより回答してもらった。4つの実験条件共に、50s間の作業を2回実施した。

実験従事者の眼領域映像を120fpsのフレームレートでデジタルビデオカメラにより取り込み、時系列画像として一旦ハードディスクに格納した。上眼瞼の微小動きは、閉眼状態で現れる上眼瞼とまつげ領域の境界部分（上眼瞼境界線）の動きを画像解析に基づき抽出し、フレーム間における上眼瞼境界線の動き量として算出する方法[3]を用いた。

3. 上眼瞼の動きパターンの特徴

3.1 動きパターンの記述法

上眼瞼境界線の動きには通常の瞬目に見られる垂直方向への動きだけでなく、水平方向への動き成分も含まれていることを見出している[3]。そこで、フレーム間における上眼瞼の動きの大きさと方向を図1に示すような動きベクトルで表すことにする。

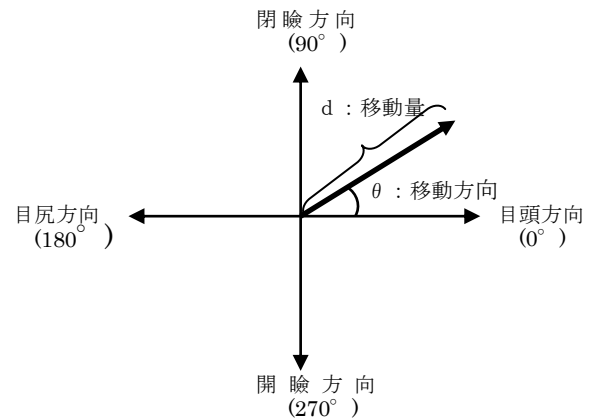


図1 フレーム間における上眼瞼の動き量の記述方法

3.2 動きパターンの事例

動きパターンを安定して抽出するため、4フレーム分を窓とし、窓内の動き量を水平・垂直方向成分毎に加算する処理を適用している[3]。この処理を適用した後の動きパターンの事例を図2に示す。図中の実線は動き量(画素)を表し、破線は図1の定義による動き方向(角度)を示す。

典型的な動きパターンを図2(a)に示す。動き量は、動きが生じ始めてから130msまでの前半部分と、その後、300msまでの後半部分にそれぞれピークを形成していることがわかる。前半部分の動き方向は60~80°の範囲内に収まっており、図1によれば、水平方向成分は目頭方向、垂直方向成分は閉瞼方向であり、やや垂直方向成分の動き量が大きいことがわかる。しかし、通常の瞬目では見られない、目頭方向に対する動きも生じていることが確認できる。一方、後半部分の動き方向は250~270°であり、水平方向成分は目尻方向、垂直方向成分は開瞼方向であり、垂直方向成分が大きいことが示される。垂直方向への動きパターンに着目すると、前半は閉瞼方向、後半は開瞼方向であることから、この動きパターンは通常の瞬目に相当すると見なすことができる。また、一連の動きパターンの持続時間は300msであり、この値は通常の瞬目の持続時間[5]にほぼ一致する。

次に、図2(b)に、同図(a)の動きパターンが連続して生じる事例を示す。通常の瞬目には、隣り合う2つの瞬目間の時間間隔が0.5s以内で生じる瞬目群発[6]が認められるが、閉眼状態でも同様な瞼の動きパターンが生じることがわかる。

更に、図2(c)では、前半部分の動き方向は、同図(a),(b)とは異なり、ほぼ10~30°の範囲内にあることから目頭方向への動き成分が大きく、閉瞼方向への動き成分が小さいことがわかる。また、後半部分の動き方向は190~

† 松江工業高等専門学校

200° の範囲内にあり，目尻方向への動き成分が大きく，開瞼方向への動き成分は小さいことがわかる．この事例は，通常の瞬目の動きとはその様相が異なっていることを示しており，興味深い知見を与える．

3.3 基礎データ

動きパターンの基礎データを得るために，移動方向を表 1 のようにコード化する．まず，あるしきい値以上の大きさを有する移動ベクトルの方向コード別の出現頻度について調べた．安静-閉眼，聴覚-閉眼条件毎に各フレームで抽出された動き量の平均値と分散を求め，平均値より 2σ 以上の大きさを有する動き量が算出されたフレームを，1 回の動きとして計数した．このとき，連続して抽出された同一の方向コードを有するフレームについてはこれを 1 回の動き生起として計数した．以上の手続きにより算出した各方向コード別の出現頻度を図 3 に示す．課題要因（安静，聴覚課題の 2 条件），方向コード要因（8 条件[方向コード：01, 02, 11, 12, 21, 23, 31, 32]）に対して二要因分散分析を適用した．課題要因の主効果は認められなかった($F(1,11)=0.358, p>0.5$)．一方，方向コード要因については主効果が有意であった($F(7,11)=5.588, p<0.01$)．下位検定により，方向コード 01 が方向コード{11, 22, 31, 32}よりも出現頻度が高いことが示された．すなわち，閉瞼・目頭方向に対する動きが多発することがわかる．

4. 瞼の動きの生起時点の特徴

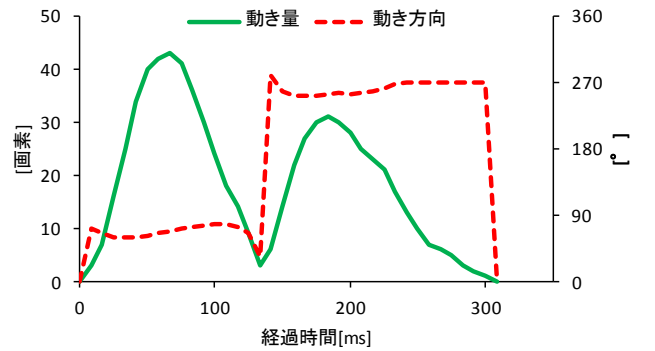
4.1 刺激呈示時点との関係

視聴覚刺激を用いた弁別課題では，刺激呈示後のある特定の時点で瞬目が集中して生じる傾向が知られている[7]．この傾向は，提示刺激に対する情報処理が完了した時点で瞬目が集中すると解釈されている[7]．そこで，閉眼状態における瞼の動きにも同様の傾向が示されるのかどうかについて分析した．

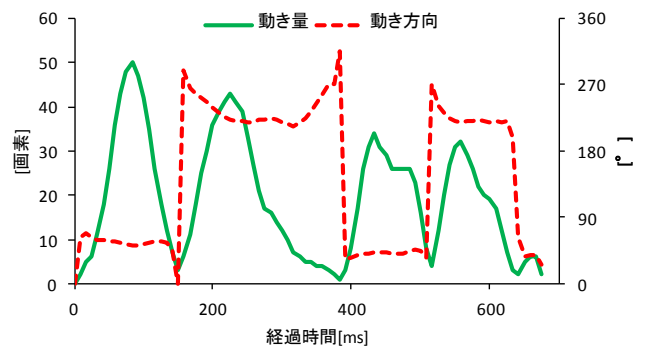
まず，方向コードを区別せず，全ての動きを込みにしたときの集計結果を図 4 (a) に示す．この図は，刺激呈示時点を起点として，500ms の間隔で各方向コードの生起回数を集計し，その結果を 1 分あたりの生起回数に換算した値を表す．課題要因（安静，聴覚課題の 2 条件），経過時間要因（6 条件[0.25, 0.75, 1.25, 1.75, 2.25, 2.75s]）に対して二要因分散分析を適用した．要因間の交互作用が有意であり($F(5,55)=3.472, p<0.01$)，聴覚課題条件において，0.75s 付近での瞼の動きが 1.25, 1.75, 2.75s よりも頻出していることが示された．これにより，閉眼状態における瞼の動きは刺激呈示に対して同期するかのよう出現することが認められた．

次に，閉眼時瞬目に相当すると考えられる閉瞼方向に関係する方向コード{01, 02, 11, 12}のみについて集計した結果を図 4 (b) に示す．分析の結果，要因間の交互作用が認められ($F(5,55)=3.944, p<0.01$)，聴覚課題条件において 0.75s 付近での瞼の動きが，残りの全ての経過時間条件よりも頻出していることが示された．

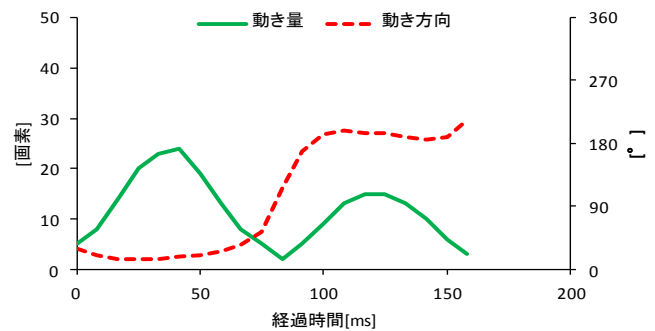
以上より，閉眼状態における瞼の微小動きは，提示刺激に対して為された情報処理の終了に関与していることが示唆される．



(a) 事例 1



(b) 事例 2



(c) 事例 3

図 2 動きパターンの事例

表 1 移動方向のコード化

コード	方向[°]	対応する瞼の動き
01	0~45	閉瞼(動き成分小)・目頭(動き成分大)方向
02	45~90	閉瞼(大)・目頭(小)方向
11	90~135	閉瞼(大)・目尻(小)方向
12	135~180	閉瞼(小)・目尻(大)方向
21	180~225	開瞼(小)・目尻(大)方向
22	225~270	目尻(小)・開瞼(大)方向
31	270~315	目頭(小)・開瞼(大)方向
32	315~360	目頭(大)・開瞼(小)方向

4.2 マウスボタン押下時点との関係

通常の瞬目は、キー押し等の運動反応の直後に生起する性質が知られている[8]。今回の実験では、聴覚-開眼条件を実施しているため、まず、通常の瞬目の生起時点とマウスボタンの押下時点との関係について調べた結果を図5に示す。横軸は、マウスボタン押下時点を中心とし、押下後に生じた動きを正の経過時間、押下前に生じた動きを負の経過時間として表している。瞬目の動きの生起時点は 500ms 間隔で集計した。縦軸は、瞬目率(回/分)を示す。図5よりマウスボタンの押下後 250ms の時点で瞬目が集中することが視認される。瞬目の生起時点を変因とする分散分析を適用した結果、その主効果が示され ($F(11,121)=10.248, p<0.01$)、下位検定により、経過時間 250ms における瞬目率は 750ms を除く全ての経過時間よりも高いことが認められた。これより、通常の瞬目は、従来の報告[8]と同様に、マウスボタンの押下という運動反応の直後に集中する傾向が確認された。

次に、閉眼状態における瞬目の動きが生じた時点とマウスボタン押下時点との関係を分析した。分析対象とする瞬目の動きは閉眼時瞬目に相当すると考えられる閉眼方向に関係する方向コード{01, 02, 11, 12}とした。集計した結果を図6に示す。横軸は図5と同様である。縦軸は、各時点で生じた瞬目の動きの回数を1分あたりの生起回数に換算した値を示す。経過時間を要因とする一要因分散分析を適用した結果、主効果が認められた ($F(11,121)=25.74, p<0.01$)。下位検定により、経過時間: -250ms における瞬目の動きの出現回数は残りの全ての経過時間よりも多いことが示された。すなわち、瞬目の動きは、マウスを押下時点よりも 250ms 程早い時点で集中して生じることが示された。

以上の分析結果により、通常の瞬目はマウスボタン押下という運動反応の直後に集中する傾向があるが、閉眼状態における瞬目の動き(閉眼時瞬目)は運動反応の直前に集中する傾向が示された。このことは、マウスボタン押下という運動反応の前に、提示刺激に対して為された情報処理の終了時点で、閉眼状態での瞬目の動きが生じることを示唆する興味深い知見を与える。

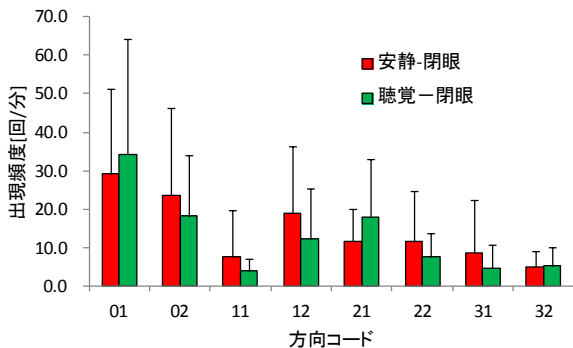
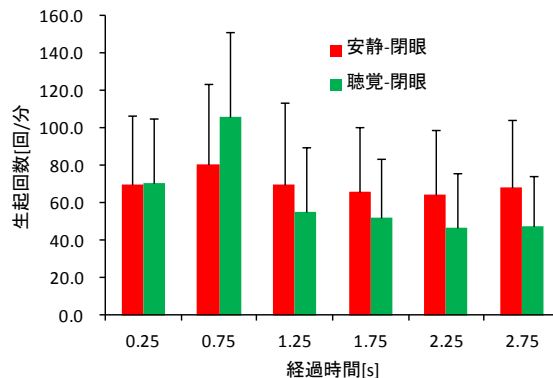
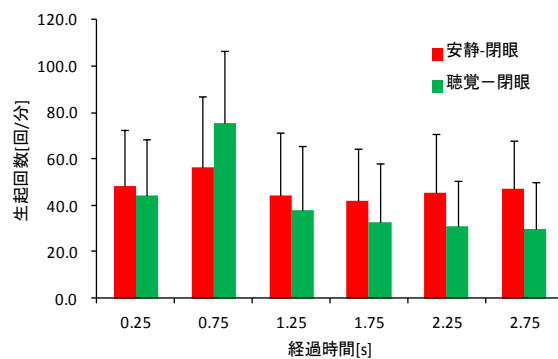


図3 各方向コードの出現頻度



(a) 全ての方向コードを込みにしたとき



(b) 方向コード{01,02,11,12}を対象にしたとき

図4 聴覚刺激呈示時点に対する瞬目の動きの時間分布

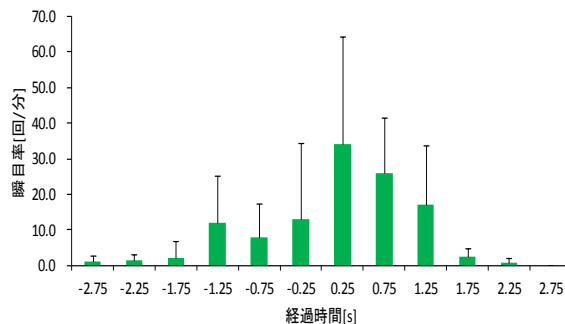


図5 マウスボタン押下時点に対する瞬目率時間分布

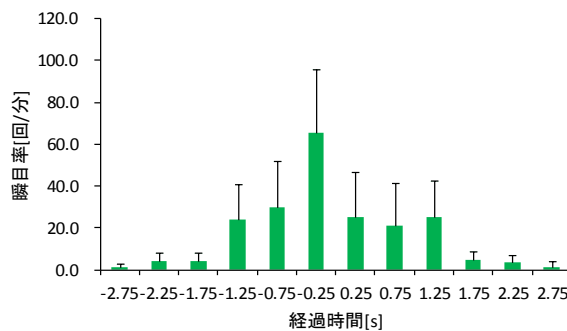


図6 マウスボタン押下時点に対する瞬目の動きの時間分布

5. まとめ

閉眼状態で生じる上眼瞼の微小動きの特徴について分析した結果、以下の知見が得られた。第 1 に、閉眼時瞬目に相当する瞼の動きは、聴覚刺激呈示後の 750ms 付近で集中して生じる傾向が見られた。第 2 に、閉眼時瞬目に相当する瞼の動きはマウスボタンの押下時点より 250ms 手前の時点で生じることが示された。

本稿では、瞼の動きの方向を 8 種類の方向コードに分類して分析したが、今後は、方向コードの出現順序等の動きパターンの特徴についても、更に分析を進める予定である。

謝辞

本研究は科研費(課題番号:22650139)の助成を受けました。記して感謝します。

参考文献

- [1]R.W.Lawson, “Blinking and sleep”, Nature, 4185, 81-82 (1950).
- [2]田多英興, 山田富美雄, 福田恭介編, “まばたきの心理学”, 北大路書房(1991).
- [3]田邊喜一, “眼領域画像を用いた閉眼時瞬目の抽出”, 人間工学, 48, 2, 86-90(2012).
- [4]田邊喜一, “瞼の動きパターンに基づく閉眼時瞬目の抽出に関する研究”, HCG シンポジウム 2011, 304-307(2011).
- [5]中村芳子, 松田淳平, 鈴木一隆, 豊田晴義, 袴田直俊, 嶋元孝純, 木下茂, “瞬目高速解析装置を用いた自発性瞬目の測定,” 日眼会誌, 112, 12, 1059-1067 (2008).
- [6]藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男編, “新生理心理学”, 277, 北大路書房(1998).
- [7]k.Fukuda, K.Matsunaga, “Changes in blink rate during signal discrimination tasks”, Japanese psychological research, 25, 140-146(1983).
- [8]福田恭介, 松尾太加志, “キョー押し反応に伴う瞬目”, 福岡県立大学紀要, 6, 1, 101-109(1997).