

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月13日現在

機関番号：55201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650139

研究課題名（和文） 閉眼時瞬目の基礎特性の解明とその入眠推定への応用に関する研究

研究課題名（英文） Analysis of basic property of blink associated with eye closure and its application to estimation of sleep onset.

研究代表者

田邊 喜一（TANABE KIICHI）

松江工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：20413825

研究成果の概要（和文）：画像処理を用いた閉眼時瞬目の抽出方式を提案した。聴覚課題に基づく実験を実施した。第1に、刺激呈示後の特定の時点で閉眼時瞬目が集中する。第2に、閉眼時瞬目は弁別結果回答用のキー押下の直前に生じる。この現象は、閉眼時瞬目がキー押下という運動反応要因を反映せず、聴覚刺激に対して為された情報処理の終了などの認知的要因を反映することを示唆する。更に、仮眠中には経過時間による眼瞼の動き回数の変動が見られた。

研究成果の概要（英文）：A method for extracting eyeblink associated with eye closure (ECBL) is developed. Auditory task are introduced to clarify the relationship between cognitive process and ECBL. First, ECBL frequently occurs just after stimulus onset. Second, ECBL tends to occur just before key press for discrimination of stimulus. This tendency suggests that ECBL does not reflect motor response but reflect cognitive process. Next, variance of the number of eyelid movements over time during a nap is observed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：瞬目、睡眠

## 1. 研究開始当初の背景

通常、瞬目とは眼を開いている状態で上眼瞼が素早く上下動する運動のことを意味する。しかし、眼を閉じた状態でも瞼の微小な運動が生じることは誰でも経験できる。筆者は、このような微小な眼瞼運動も一種の瞬目として捉えている。以降、閉を閉じた状態で生じる瞬目を閉眼時瞬目と呼ぶことにする。

これまで、閉眼時瞬目については、視察による分析結果については報告されてはいるものの、その基礎的特性を定量的に検討した

事例は見られない。通常の瞬目は認知過程や覚醒水準と深い関係にあることが知られている。もし、閉眼時瞬目が通常の瞬目と同様の性質を有することが明らかにされれば、閉眼時瞬目を、閉眼状態における認知過程を推定するための生体指標として利用できるものと期待される。

また、閉眼時瞬目は睡眠状態を評価するための指標として有効である可能性が指摘できる。その根拠として、閉眼時瞬目は閉眼覚醒時には抑制されず、入眠後の閉眼睡眠時に

は完全に消失するとの興味深い性質が示唆されていることが挙げられる。この知見によれば、閉眼時瞬目の生起頻度の減少傾向を観測することにより、閉眼状態における入眠時点の特定が可能になるのではないかと期待される。

## 2. 研究の目的

本研究は、閉眼時瞬目の基礎特性を把握することを第一の目的とする。第二の目的は、それを入眠時点推定用の指標として応用することの実現可能性について検討することである。

以上の目的を達成するためには、まず、閉眼時瞬目を計測・解析するシステムを構築する必要がある。具体的には、動画像処理手法を応用した上眼瞼の微小動き抽出法を提案する。次に、微小動きパターンに基づき、閉眼時瞬目を特定する手法を提案する。

第一の目的である閉眼時瞬目の基礎特性を把握するために、聴覚課題を用いた実験を遂行し、聴覚情報処理と閉眼時瞬目との関係について考察する。

第二の目的を検討するため、覚醒状態から睡眠に至るような、比較的長時間の計測を実施し、閉眼覚醒状態から睡眠状態へと移行するときの閉眼時瞬目の基礎特性の変動について分析する。それにより、入眠時点推定用の指標としての応用可能性を評価する。

## 3. 研究の方法

### (1) 閉眼時瞬目計測・解析システムの開発

#### ① 微小動きの抽出

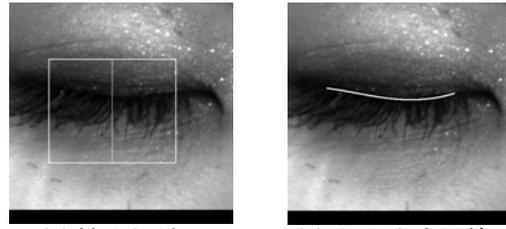
上眼瞼の微小移動をビデオ映像から計測するため、120 フレーム/秒で撮影可能な高速デジタルビデオカメラを用いて、片方の目領域をクローズアップ撮影した。取得した映像は、時系列画像として一旦ハードディスクに格納した。得られた各フレームに対して画像処理手法を適用し、上眼瞼とまつげ領域の境界線を抽出した。境界線のフレーム間での移動量を上眼瞼の動き量として算出するアルゴリズムを考案した。

#### ② 動きパターンからの閉眼時瞬目の選出

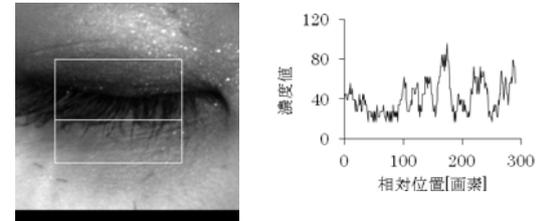
①で抽出した各フレームにおける微小動きには眼球運動などの閉眼時瞬目によらない成分が含まれているため、閉眼時瞬目に相当するフレームのみを切り出す必要がある。そのため、連続する複数枚のフレームにおける微小動きのパターンに着目して、閉眼時瞬目に相当する動きパターンのみを選出するためのアルゴリズムを考案した。

#### (2) 実験 1: 閉眼時瞬目の基礎特性の把握

課題として聴覚刺激弁別課題を導入した。実験条件として、安静-開眼、安静-閉眼、課題-開眼、課題-閉眼の4条件を設定した。なお、安静-開眼、課題-開眼条件では、通



(a) 抽出領域 (b) 上眼瞼境界線  
図 1 上眼瞼境界線の抽出



(a) まつげ領域上の水平線 (b) 濃度分布  
図 2 まつげ領域上の濃度分布

常の瞬目（開眼時の）を採取した。これは、通常の瞬目と閉眼時瞬目を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(1,320Hz)、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種類の実験条件共に、50s間の作業を2回実施した。実験1では、主として閉眼時瞬目の刺激呈示に対する生起タイミングとマウスボタン押下に対する生起タイミングについて通常の瞬目と比較分析した。

#### (3) 実験 2: 入眠移行過程の分析

閉眼覚醒状態から睡眠状態へ移行するときの閉眼時瞬目の基礎特性を分析するため、1時間程度の仮眠におけるデータを取得した。実験参加者は3名であった。実験参加者にはリクライニングチェアをできるだけ水平に倒した状態で仰向けに寝てもらい、超小型カメラ(NTSCコンポジット方式)を取り付けた特殊なメガネを装着してもらった。映像信号はmpeg2の形式で取り込んだ。実験2では、予備的検討として、瞼の動き量の時間的な変化について分析した。

## 4. 研究成果

### (1) 閉眼時瞬目計測・解析システムの開発

#### ① 微小動きの抽出

目を閉じた状態では、上眼瞼とまつげで覆われている下眼瞼の領域(まつげ領域)との間に比較的明瞭な境界(上眼瞼境界線)が生じる。その微小な動きを算出した。

まず、目領域上に図1(a)に示すような矩形の抽出領域を設ける。抽出領域内に引いた垂直ライン上の濃度分布では、眼瞼上の濃度値はまつげ領域よりも高いことから、上眼瞼と

まつげ領域の境界付近において最小値が生じる。抽出領域内に収まる各垂直ライン上の最小値となる点を求め、これに4次多項式を最小二乗近似で当てはめることにより、上眼瞼境界線を生成する(図1(b))。以上の処理を時系列画像の各フレームに対して順次適用する。2枚のフレーム(現・次フレーム)間で上眼瞼境界線の照合を行い、その両フレーム間での上下方向の動き量を算出する。

予備的観察の結果、上眼瞼の移動には左右方向に対する成分が含まれていることが判明した。そこで、図2に示すように、まつげ領域を横断する水平ライン上の濃度分布を用いて左右方向への動き量を算出する方法を考案した。

### ②動きパターンからの閉眼時瞬目の抽出

瞼の動きは単純な上下運動ではなかったため、フレーム間における上眼瞼の動きの大きさと方向を図3に示すような動きベクトルで表すことにした。動きパターンの事例を図4に示す。図中の実線は動き量(画素)を表し、破線は図3の定義による動き方向(角度)を示す。動き量は、動きが生じ始めてから130msまでの前半部分と、その後の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 $60\sim 80^\circ$ の範囲内に収まっており、図3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いことがわかる。一方、後半部分の動き方向は $250\sim 270^\circ$ 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、垂直方向成分が大いことが示される。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にほぼ一致する。

動きパターンから閉眼時瞬目に相当する動きパターンを切り出すために、移動方向を表1のようにコード化する。このとき、方向コード{01, 02}に属する動きパターンが通常の瞬目の閉瞼方向に対応し、方向コード

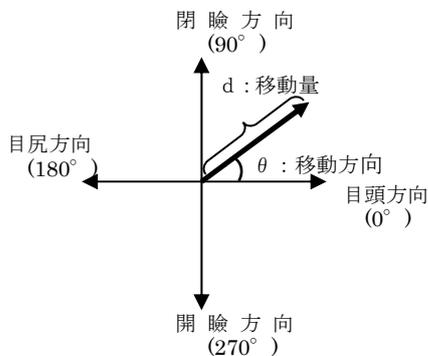


図3 動き量の移動ベクトル表示

表1 動き方向のコード化

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

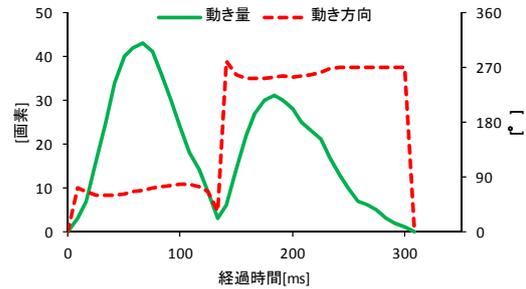


図4 典型的な動きパターンの事例

{21, 22}が通常の瞬目の閉瞼方向に相当する。すなわち、方向コード{01, 02}と{21, 22}が一定の時間内で対をなしている動きパターンを閉眼時瞬目として抽出すればよい。具体的には以下の手順で閉眼時瞬目を選出した。まず、各実験条件におけるすべてのフレームについての動き量の平均値と標準偏差を求め、{平均値+標準偏差}以上の動き量が出現したフレームを抽出する。次に、閉瞼に相当する方向コード{01, 02}が出現したフレームを発見する。そのフレームから300ms(36フレームに相当)以内に開瞼に相当する方向コード{21, 22}が発見された場合、1回の閉眼時瞬目の生起と判定する。以降、(2)では、この基準により選出された閉眼時瞬目を分析対象としている。

### (2)実験1: 閉眼時瞬目の基礎特性の把握

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。この現象については、呈示刺激に対する情報処理が完了した時点で瞬目が多発すると解釈される。閉眼時瞬目も同様な傾向を示すのかどうか、検討した。

安静-閉眼条件、課題-閉眼条件について、各刺激の呈示開始時刻を時間原点に取り、各刺激に対して500msの間隔で閉眼時瞬目が生じた回数を数える。図5に生起頻度(回/分)の時間分布を示す。横軸のラベルは集計した各区間の中央の時間を表す。課題(2条件[安静, 課題]), 経過時間(6条件[0.25~2.75s])

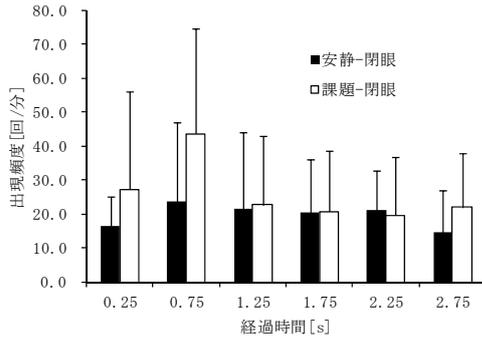


図5 閉眼時瞬目の生起時点分布

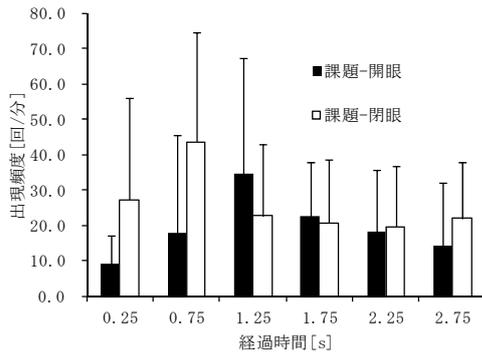


図6 閉眼時瞬目と通常瞬目の比較

を要因とする分散分析を適用したところ、課題要因、経過時間要因の主効果が共に有意であり ( $F(1, 11)=5.40, p<0.05, F(5, 55)=5.34, p<0.01$ ), また、要因間の交互作用も有意であった ( $F(5, 55)=3.27, p<0.01$ ). 課題-閉眼条件において、経過時間 0.75s [0.5~1.0s] での生起頻度が残りの全ての経過時間よりも有意に高かった。これにより、閉眼時瞬目も開眼時の瞬目と同様に、刺激呈示後のある特定の時点で集中して生じることが明らかにされた。

次に、課題-開眼条件と課題-閉眼条件を比較した結果を図6に示す。眼の開閉(2条件[課題-開眼, 課題-閉眼])と経過時間(6条件[0.25, 0.75s, ~2.75s])を要因とする分散分析を適用したところ、経過時間要因の主効果と交互作用が有意であった ( $F(5, 55)=2.93, p<0.05, F(5, 55)=5.89, p<0.01$ ). 課題-開眼条件では、経過時間 1.25s [1.0~1.5s] での生起頻度が経過時間 0.25s よりも有意に高いことが示されたが、統計的には経過時間 1.25s に明確な生起頻度のピークが形成されるとは言えない。しかし、経過時間 1.25s 以降において生起頻度のピークが生じる実験参加者が12名中11名であったことから、課題-閉眼条件よりも遅延して瞬目が多発する傾向にはあると言える。以上の分析により、閉眼時瞬目は、開眼時の瞬目より、少なくとも約500ms程早い時点で集中して生じるとの知見が得られた。

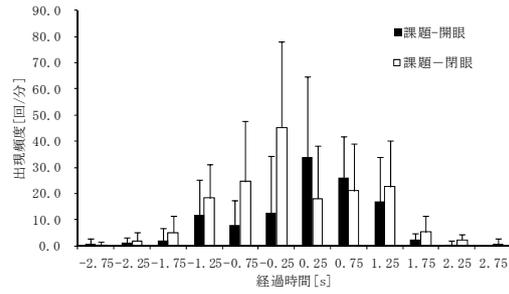


図7 キー押しに対する生起時点分布

開眼時の瞬目は、キー押し等の運動反応の直後に生起する。閉眼時瞬目も同様な傾向を示すのか、検討した。課題-開眼条件、課題-閉眼条件について、マウスボタン押下時点と瞬目の生起時点の関係を図7に示す。横軸は、マウスボタンが押下された時刻を時間原点に取り、瞬目がマウスボタン押下後に生じたときは正の経過時間、マウスボタン押下前に生じたときは負の経過時間として表している。なお、瞬目の生起時点は500ms間隔で集計した。

眼の開閉(2条件[課題-開眼, 課題-閉眼]), 経過時間(12条件[±0.25~±2.75s])を要因とする分散分析を適用したところ、経過時間要因の主効果と交互作用が有意であった ( $F(11, 121)=9.99, p<0.01, F(11, 121)=9.66, p<0.01$ ). 課題-開眼条件では、経過時間 0.25s での出現頻度が、経過時間 0.75s, 1.25s を除く残りすべての経過時間よりも有意に高い。この結果は、マウスボタン押下という運動反応の直後に開眼時の瞬目が生じること示す。一方、課題-閉眼条件では、経過時間 -0.25s での出現頻度が経過時間 0.75s, 1.25s を除くすべての経過時間よりも有意に高い。これは、閉眼時瞬目がマウスボタン押下の直前に集中して生起することを示す。

開眼時の瞬目が刺激呈示後のある特定の時点で集中する現象は、認知的要因と運動反応要因により解釈可能である。認知的要因からは、聴覚刺激に対する情報処理の終了時点で瞬目が集中すると解釈される。また、運動反応要因からは、マウスボタン押下という運動反応の直後に瞬目が集中すると説明できる。閉眼時瞬目は前者の認知的要因を反映する生体反応であることが示唆される。

### (3) 実験2: 入眠移行過程の分析

長時間の連続的な計測を行うため、図8に示す、超小型CCDカメラと特殊メガネを組み合わせた計測器具を作製した。このカメラの出力はNTSCコンポジットである。カメラのサイズは直径:7.7mm, 長さ:42mm, 重さ:50gと軽量である。出力信号はUSB接続ビデオキャプチャーを用いてmpeg2形式で保存した。解析の際にはビットマップ形式の時系列画



図 8 実験環境

像に変換した後、上眼瞼の微小動きを算出した。実験協力者は3名で実験時間は1時間程度であった。まず参加者には特殊メガネを着用してもらい、参加者の目領域に合うように調節した。準備が完了次第リクライニングチェアに仰向けの状態で寝てもらい、その間の目領域を録画した。

本研究では、予備的検討として、実験開始直後の5分間（開始）、30分が経過した時点（中間）での5分間、及び実験終了前の5分間について、上眼瞼の微小動きの生起状況について分析した。分析方法としては、各5分間内に生じた動き量の平均値と分散を求め、{平均値+標準偏差}以上の動きが生じたフレームの出現回数により評価した。

実験結果を図9に示す。図によれば、3名の実験参加者間に共通する傾向は見られない。しかし、経過時間により大きく動き量が異なっているとの傾向は3名の実験者に共通する。すなわち、経過時間による覚醒水準の変化が動き量の変動に反映されていることが示唆される。しかし、本実験では、脳波計等の覚醒水準が計測可能な装置を併用していないため、覚醒水準の高低と動き量との関係については言及できない。ただ、覚醒水準と動き量については、図10に示すようなモデルを仮定している。このモデルによれば、実験参加者Aは実験の後半には入眠していた可能性が指摘できる。また、実験参加者Cについては、実験の途中で入眠しかけたが、仮眠の後半で、再び覚醒水準が高くなってしまった等の推察が可能である。

#### (4) 今後の展開

本研究により、閉眼時瞬目と認知過程との間には通常の瞬目と同様に、一定の関係があることが明らかにされた。しかし、通常の瞬目とは異なる性質も認められたため、今後更に実験的な検討を進めると共に、相違が生じた要因やメカニズムについても考察を深めて行く必要がある。

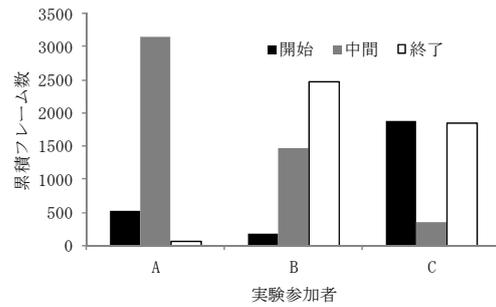


図 9 時間帯による動き量の差異

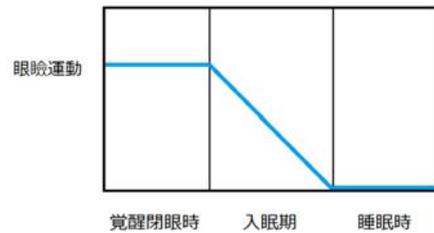


図 10 予想される動き量のモデル

覚醒水準と閉眼時眼瞼運動の生起頻度については、実験参加者に共通する傾向を把握するには至らなかった。今後は睡眠のステージが判定できる脳波等の他の生体指標も併用することにより、入眠時点を推定可能な閉眼時瞬目の有効な測度について、実験的に探索して行く必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 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, 査読有, Vol. 48, No. 2, 2012, pp. 86-90

[学会発表] (計8件)

- ① 田邊喜一, 閉眼時眼瞼運動の計測とその認知処理との関係の分析, DIA2013 動的画像処理実利用化ワークショップ, 平成25年3月25日, 静岡県浜松市
- ② 田邊喜一, ビデオカメラで撮影した顔画像から瞬目行動を科学する, 日本心理学会第76回大会WS, 平成24年9月12日, 神奈川県川崎市
- ③ 田邊喜一, 視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, 第11回情報科学技術フォーラム, 平成24年9月4日, 東京都小金井市
- ④ 田邊喜一, 画像処理による閉眼時瞬目の抽出, 日本心理学会まばたき研究会 2011年

度年次大会，平成 24 年 3 月 25 日，東京都文京区

- ⑤田邊喜一，聴覚刺激弁別課題を用いた閉眼時瞬目の分析，電子情報通信学会 2012 年総合大会，平成 24 年 3 月 20 日，岡山県岡山市
- ⑥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検討，HCG シンポジウム 2011，平成 23 年 12 月 7 日，香川県高松市
- ⑦田邊喜一，画像処理による閉眼時瞬目の検出に関する試み，日本人間工学会第 52 回大会，平成 23 年 6 月 7 日，東京都新宿区
- ⑧田邊喜一，閉眼時の自発性瞬目を検出するための予備的検討，電子情報通信学会 2011 年総合大会，平成 23 年 3 月(予定)，東日本大震災のため開催中止

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田邊喜一 (TANABE KIICHI)

松江工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号：20413825