

随意性瞬目と自発性瞬目の識別に関する検討
 A study on discrimination of voluntary eyeblink from spontaneous eyeblink.

松野 省吾[†] 阿部 清彦[‡] 佐藤 寛修[‡] 大井 尚一[†] 大山 実[†]
 Shogo Matsuno Kiyohiko Abe Hironobu Sato Shoichi Ohi Minoru Ohyama

1. はじめに

コミュニケーションにおける緊張度や、運転中の疲労度について瞬目から推定するといった、瞬目と認知状態の関係が心理学実験によって指摘されている[1][2]。このような、瞬目に関する研究における共通の課題として、意識的に行なわれる瞬目と無意識的に行なわれる瞬目との自動識別の実現が望まれている。しかし、瞬目の発生には個人差によるばらつきが大きく、瞬目の検出やその種類の識別を自動化することは困難である。そのため、現在までほとんどの場合、瞬目の識別は手作業で行なわれている。そこで、筆者らはコンピュータインタフェースへの実装を念頭に置き、これら瞬目検出および種類の識別の自動化を目指し、研究を進めている。

随意性瞬目の自動検出法として、眼球近傍の皮膚に電極を張り付け角膜網膜電位の変化を検出する EOG 法を用いる方法が提案されている[3]。しかしながら、EOG 法は皮膚に直接電極を装着する必要があるなど、一般的なインタフェースとして用いるには困難がともなう。

本研究ではビデオ画像から瞬目の計測を行なう VTR 法を採用している。従来、VTR 法を用いた瞬目検出ではサンプリング点の不足により精度が低くなるため、自動検出は困難であった。しかし、筆者らの提案するフィールドを分割したインタレース画像を用いることにより、市販の NTSC ビデオカメラを用いても、通常の 2 倍の時間分解能の確保が可能である。本稿では、市販の NTSC ビデオカメラを用いて撮影した動画画像のインタレース画像を解析することにより、瞬目波形を検出し、さらに随意性瞬目と自発性瞬目の識別を試みたので、その結果を報告する。

2. VTR 法を用いた瞬目波形の自動検出

瞬目の時間的な進行過程を正確に計測できれば、瞬目を波形として表すことが可能である(以下、瞬目波形と呼ぶ)。生じた瞬目の種類を識別するためには、まずこの瞬目波形の取得が必要となる。瞬目波形を取得する代表的な手法としては、EOG(Electrooculography: 眼球電図)法と VTR(Video tape recording: ビデオ撮影)法が挙げられる。前者は眼球近傍の皮膚に電極を張り付け、角膜網膜電位の変化を記録することで瞬目波形を取得する[4]。現在までに、この手法を用いた随意性瞬目の自動検出法が提案されている。しかし、EOG 法は専用の機器が必要となる上に電極を直接皮膚に装着しなければならず、簡易なインタフェースとして用いるには適しているとは言えない。また、生体ノイズが混入し易いなどのデメリットも存在する。

[†] Tokyo Denki University

[‡] Kanto Gakuin University

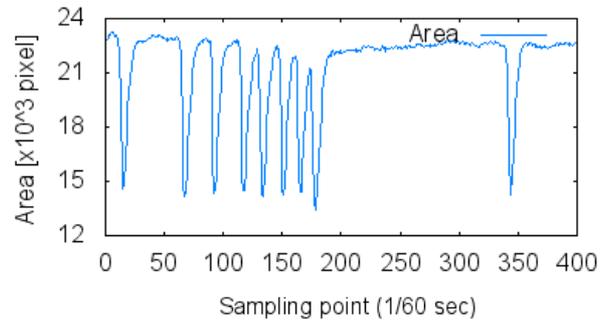


図 1: 眼球開口部面積の変化

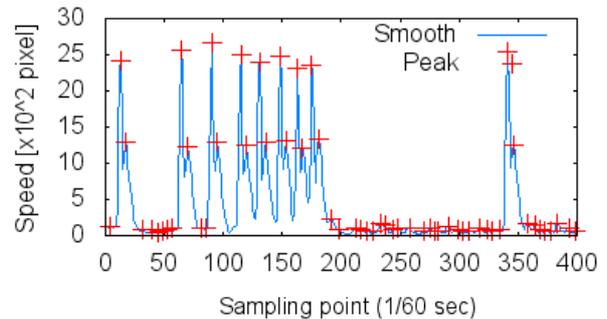


図 2: 瞬目速度の極大値座標

一方で本研究に用いる VTR 法は、眼球近傍をビデオカメラで撮影するという非接触な手法であるため、利用者にストレスを与えにくく、利便性などの点からもコンピュータインタフェースに用いるに適した手法といえる。しかし、瞬目は高速な動作であるため、30 フレーム/秒である市販の NTSC カメラではその変化の過程をとらえることが困難である。そこで、特殊な高速度カメラを用いて瞬目過程を分析しようとする試みも行なわれている[5]。また、瞬目波形は個人差によるばらつきが大きく、複数人の瞬目波形を自動検出することは難しい。そこで、筆者らは次のようなアルゴリズムを開発した。

まず、ビデオカメラにより撮影した眼球近傍の動画画像に画像解析を施し、眼球開口部面積(画素数)の変化を記録する。この中に瞬目波形が含まれている。これには文献[6]のアルゴリズムを使用し、フィールドを分割したインタレース画像を用いることで NTSC 方式により撮影した動画画像から 1/60 秒間隔のサンプリングで、眼球開口部面積を取得している。

ここで得られた眼球開口部面積の変化を図 1 に示す。続いて、取得した眼球開口部面積を平滑化微分し、以後の処理の簡単化のためにその絶対値を求める。これに更に 2 次微分を行い、正から負の値に反転するサンプル点を極大値座標として記録する。ここで、大きな値を取る極大値座標が瞬目における瞼を閉じる動作と開ける動作

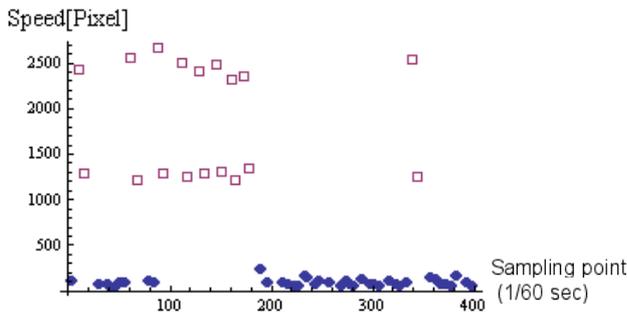


図 3: クラスタリング結果

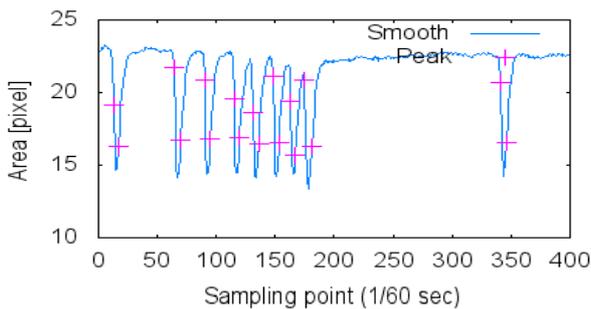


図 4: 眼球開口部面積上の極大値座標

を示している(図 2)。しかし、図 2 から判るように、この段階では微細な変化も極大値座標として記録してしまう。そこで、このようなノイズとなる座標を除去するために、k-means 法による分割最適化クラスタリング処理を施す。ここでは、必要データ部とノイズ部の 2 つのクラスターでクラスタリングを行うことでノイズを除去する。図 3 にノイズ除去後の極大値座標の分布を示す。また、図 4 には極大値座標を図 1 の眼球開口部面積の変化図に合わせたものを示す。

ところで、瞬目途中にぶれが生じることで、一度の瞬目中に 3 箇所以上の極大値が出現する場合がある。この場合はクラスタリング処理を施しても余分に極大値座標が取得されてしまい、正常に瞬目波形を取得することができない。そこで、クラスタリング処理後、極大値座標が短い時間に連続して現れた場合、後に現れた極大値座標はノイズとして排除することで解決できる。

これらの処理により得られた瞬目途中の極大値座標は、微分値を評価することで、負であれば閉じる動作、正であれば開ける動作の途中であると判断できる。このことから、図 4 に示すように、極大値座標をもとに瞬目の開始点と終了点を求め、瞬目持続区間を決定する。

3. 随意性瞬目の形状特徴パラメータ

瞬目は命令下あるいは意識的に行なわれるものを随意性瞬目、光刺激や電気刺激といった外的刺激により生起するものを反射性瞬目、それ以外の無意識的に生起するものを自発性瞬目と分類するのが一般的である[7][8]。

本稿では、この中で随意性瞬目と自発性瞬目の識別を目的としている。自発性瞬目の波形ではさまざまな大きさの瞬目が見られ、随意性瞬目、反射性瞬目と比較して

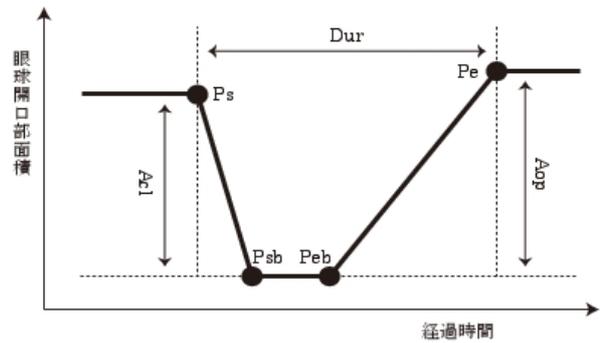


図 5: 瞬目波形の形状特徴パラメータ

特に個人によるばらつきが大きい。一方、随意性瞬目は完全に瞼を閉じる状態に至ることがほとんどであり、同人物の瞬目波形であれば、比較的ばらつきは少ない。そこで、文献[9]を参考にして、閉瞼時・開瞼時振幅と瞬目持続時間に注目した(図 5)。ここで、閉瞼時振幅 A_{cl} は閉瞼過程開始時点 p_s から、閉瞼過程終了時点 p_{sb} と開瞼過程開始時点 p_{eb} 間で眼球開口部面積の最小となる点 p_{min} までの高さとする。同様に、開瞼時振幅 A_{op} は p_{min} から、開瞼過程終了時点 p_e までの高さとする。また、瞬目持続時間 Dur は特徴点 p_s から p_e までのサンプル数とする。

4. 形状特徴パラメータ抽出実験

4.1 実験システム概要

実験システムのハードウェアは眼球近傍画像を取得する家庭用デジタルビデオカメラ(SONY 製:HDR-HC9)1 台と、画像解析と瞬目波形解析を行うパソコンを使用する。本カメラは HD 画像も撮影可能であるが、実験では SD 画像を使用した。実験は一般的な室内照明(蛍光灯照明)に加え、LED 照明(LPL 製:LED ライト VL-300C L26811)を使用した。

撮影時には、できる限り太陽光の入らないよう設定した室内において、蛍光灯照明に加え、被験者の正面約 60cm 程度の距離に LED 照明を設置した。また、被験者はビデオカメラから約 20cm の距離となるよう椅子に座り、頭部が大きく移動しないよう、補助器具により後頭部を軽く支えるようにした。この状態でビデオカメラは被験者の正面下側から仰角約 45 度に設定し、左眼の眼球近傍画像を拡大して撮影する。なお、眼鏡を着用している被験者には外した状態で撮影を行なった。撮影画像はインタレース画像であり、解像度は水平 720×垂直 480 画素で、30 フレーム/秒で記録されている。

4.2 瞬目波形の自動検出実験

瞬目波形の形状特徴パラメータの抽出を行なう前処理として、5 名の被験者(20 代男性 4 名、30 代男性 1 名)に対して 2 章で述べた手法を用いた瞬目波形の自動検出に対する評価実験を行なった。

表 1: 瞬目検出実験の結果

	手動計測数 (個)	エラー数(個)		一致率 (%)
		検出見落とし	誤検出	
被験者V	12	0	0	100.0
被験者W	4	0	0	100.0
被験者X	4	2	2	50.0
被験者Y	2	0	0	100.0
被験者Z	4	0	0	100.0
合計	26	2	2	92.3

4.2.1 実験方法

被験者にはあらかじめ「ビデオカメラ上部に設置した目印に注目すること」「無意識に生じる瞬目を我慢する必要はないこと」を教示した。撮影前に1分間の安静時間を取り、その後10秒程度の撮影を行った。この動画画像から画像解析によって取得した眼球開口部面積の変化から、提案手法を用いて瞬目波形の自動検出を行なった。

この実験では意識的に瞬目をするような命令を出していないため、得られた波形は自発性瞬目がほとんどであり、一部に随意性瞬目が混在していると考えられる。また、瞬目波形の自動検出で得られたデータは動画画像を直接、目視によって照合することで検証を行った。

4.2.2 実験結果

被験者5名に対する瞬目の自動検出回数と、目視により確認した瞬目回数との比較を表1に示す。瞬目検出の一致率は平均92.3%となり、前処理としては十分な数値を得た。被験者Xの検出率は50.0%と低いものであったが、これは瞬目速度が極大値の付近で不規則に変化したため、1回の瞬目中に極大を3箇所以上検出してしまったことで瞬目の終了点を正しく取得できなかったことが原因である。これは2章で述べた極大値座標が短い時間に連続して現れた場合に、後に現れた座標を排除する処理により解決できた。

4.3 瞬目波形の形状特徴パラメータ抽出実験

4.2節の評価実験の結果を踏まえ、10名の被験者(4.2節で述べた5名の被験者とは全て異なる:20代男性9名,20代女性1名)に対して3章で述べた瞬目波形の形状特徴パラメータの抽出実験を行なった。

4.3.1 実験方法

4.2節の実験と同様に、被験者にはあらかじめ「ビデオカメラ上部に設置した目印に注目すること」「無意識に生じる瞬目を我慢する必要はないこと」を教示した。加えて、音声による指示があったとき、「しっかりと瞬目を行う」よう教示した。これらの教示により、随意性瞬目と自発性瞬目の区別が可能となる。指示の音声はタイマーを使用し、4~8秒程度の間隔でランダムになるように設定した。この条件の下、撮影前に1分間の安静時間を取り、その後約1分間の撮影を行なった。

4.3.2 実験結果

取得した瞬目波形の一例を図6に示す。また、本実験で得られた随意性瞬目と自発性瞬目の形状特徴パラメータ集計結果を被験者ごとに表2に示す。表2では被験者A~Jのそれぞれに対し、左側の列が自発性瞬目の平均値、右側の列が随意性瞬目の平均値である。

平均値を見てみると、全ての被験者に共通した特徴として、随意性瞬目の形状特徴パラメータは自発性瞬目と比較してほぼ大きい値を記録している。被験者Hの閉眼時振幅は自発性瞬目が大きな値を記録しているが、これは今回の実験では自発性瞬目の回数が少ないためであり、更に長時間の撮影を行なった場合には随意性瞬目の方が大きくなると考えられる。また、振幅比率では被験者Fに自発性瞬目の方が大きい値が記録された。振幅比率においても概ね随意性瞬目の値が自発性瞬目の値を超過するが、被験者Cや被験者Eのように比率がほぼ変わらない場合もよく見られるため、振幅比率を瞬目識別のためのパラメータとして用いることは難しい。

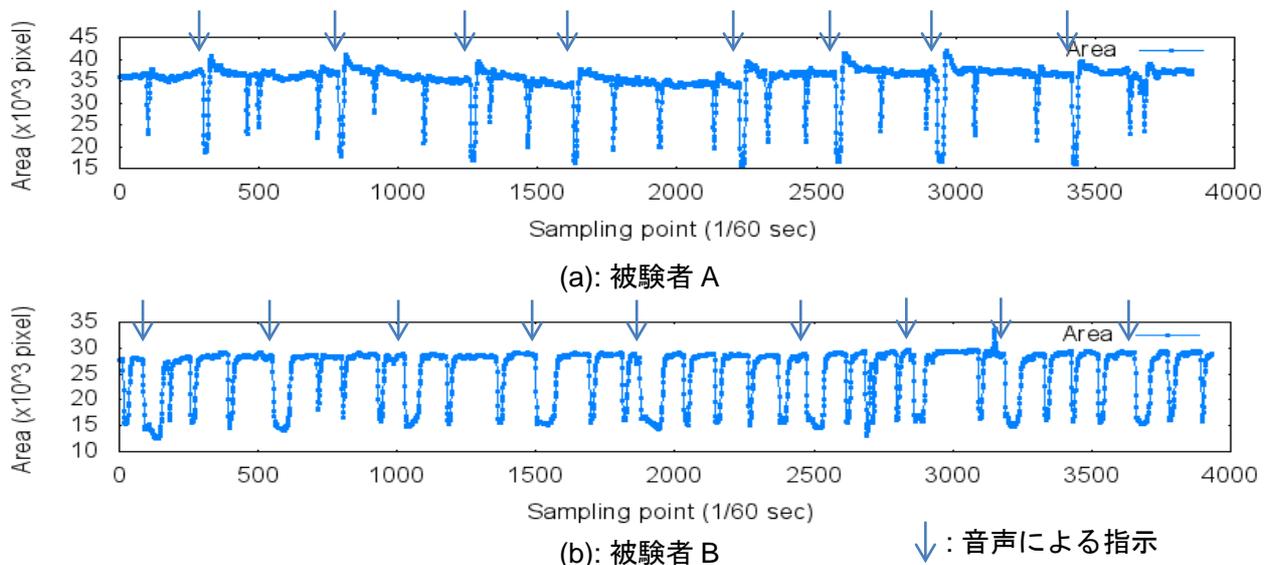


図 6: 形状特徴パラメータ抽出実験により取得した波形

表 2: 抽出実験により得た形状特徴パラメータの比較

パラメータ名	被験者A		被験者B		被験者C		被験者D		被験者E	
瞬目回数	19	8	25	9	27	9	3	9	30	9
閉瞼時振幅 [pixels]	14589	19249	13024	14016	15830	16354	15562	16581	5043	8712
開瞼時振幅 [pixels]	14964	23379	12076	13281	15190	15908	12635	15155	2962	5320
振幅比率	1.025	1.214	0.927	0.947	0.959	0.972	0.811	0.914	0.587	0.610
持続時間 [ms]	335.83	545.83	490.67	1238.8	356.67	396.17	422.17	762.83	197.67	214.67

パラメータ名	被験者F		被験者G		被験者H		被験者I		被験者J	
瞬目回数	15	9	3	9	2	9	21	9	16	9
閉瞼時振幅 [pixels]	10138	12482	9397	12370	11006	10459	11799	19724	10039	13581
開瞼時振幅 [pixels]	10453	11434	9352	12688	10720	11045	10474	17667	10318	12741
振幅比率	1.0311	0.916	0.9952	1.0257	0.974	1.056	0.8877	0.8957	1.0278	0.9381
持続時間 [ms]	556.67	737	394.3	474	358.3	785.2	506.3	588.8	534.3	498.2

各項目で左列は自発性、右列は随意性瞬目のデータを示す。(瞬目回数以外は平均値)

次に、瞬目持続時間に関してはほぼ全ての被験者に有意な差がみられた。特に、被験者 B や被験者 H では、随意性瞬目の持続時間は自発性瞬目と比較し、2 倍以上の値を記録している。被験者 E に関しては持続時間の差が比較的小さいが、閉瞼時・開瞼時振幅に大きな差が記録されている。一方で、被験者 J に関しては自発性瞬目と比較して随意性瞬目の持続時間が短くなっている。その理由としては、被験者 J は他の被験者と比較して眼球運動を伴う瞬目が多数観測されたことが挙げられる。集計上、音声による指示があった場合のみを随意性瞬目として扱っているため、実際には、自発性瞬目としてカウントされた中でも随意性瞬目が多数含まれている可能性が高い。それに加え、眼球運動により眼球開口部面積の変化する時間も延長することが考えられる。

また、被験者間でパラメータの比較をしてみると、図 6-(a)の、随意性瞬目の振幅に大きな差が現れるタイプ(被験者 A,E,G,I,J)、図 6-(b)の、随意性瞬目の持続時間に大きな差が現れるタイプ(B,D,F,H)、そして振幅と持続時間の両方で差が現れるタイプ(C)に分類された。

このことから、各被験者の形状特徴パラメータの個人的傾向を個々のタイプに分類し、大きな差の現れるパラメータに重みを乗せて学習させることにより、随意性瞬目の自動識別が可能になると期待できる。加えて、今回用いなかった閉瞼・開瞼速度といったパラメータを検討することで、更に細かい分類が可能となり、識別の精度を向上できると予想される。

5. まとめ

各種の瞬目研究において、課題となっている随意性瞬目と自発性瞬目の自動識別を目的とした検討を行った。従来は、EOG 法を用いた自動識別、また特殊な高速度カメラを用いた自動識別の可能性が示唆されていた。本稿では、家庭用ビデオカメラのフィールド分割したインタレース画像を用いて自動識別の可能性を示した。まず、撮影した SD 動画画像から画像解析によって眼球開口部面積の変化を記録し、そこから瞬目波形を自動検出するアルゴリズムを提案した。提案手法の評価実験を行なったところ、平均で 92.3% という瞬目検出率を実現できた。

加えて、自発性瞬目と随意性瞬目の差異を検討するため、音声指示に同期して、「しっかりと瞬きをする」よう教示することで随意性瞬目と自発性瞬目の動画画像を取得し、提案アルゴリズムを用いてそれぞれの瞬目波形の形状特徴パラメータの抽出実験を行なった。取得した形状特徴パラメータの傾向を分析したところ、随意性瞬目のパラメータは自発性瞬目に比べて大きくなること、特に瞬目持続時間には大きな差が現れやすいこと、各被験者によって特徴が大きく出るパラメータが異なることが判明した。一方で、振幅比率に関しては共通した差は見られず、識別に用いるには難しいパラメータも存在することが判った。これらのことから、瞬目持続時間と閉瞼時・開瞼時振幅といった形状特徴パラメータをもとに、随意性瞬目と自発性瞬目の自動識別が可能となり得ることを示した。

今後は閉瞼・開瞼速度といった形状特徴パラメータに関しても検討することにより、さらに高精度な分類を目指す。加えて、各被験者を形状特徴パラメータの個人的傾向から自動的に個々のタイプに分類する手法についても検討を進める予定である。

参考文献

- [1] 田多英興, 山田富美男, 福田恭介, “まばたきの心理学”, (1991).
- [2] 杉山和彦, 水野守倫, 中野倫明, 山本新, “画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知”, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.31, No.2 pp.51-60 (1996)
- [3] 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正志, “眼電図を用いた随意性瞬目によるスイッチ操作の研究”, 生体医工学, Vol.46, No.2, pp.254-260, (2008)
- [4] 湯瀬裕昭, 田多英興 “瞬目の自動検出と波形解析”, 人間工学, Vol.30, No.5, pp.331-337, (1994).
- [5] 田邊喜一, 安井淳美, “加算作業による瞬目波形の変化について” 人間工学, Vol.46, No.2, pp.180-183.(2010).
- [6] 阿部清彦, 大井尚一, 大山実, “フィールドを分割したインタレース画像を用いた瞬目自動計測法”, FIT 情報科学技術レターズ, 6, pp.303-304, (2007)
- [7] 山田富美雄, “瞬目反射の先行刺激効果:その心理学的意義と応用” (1993).
- [8] 新井田孝裕, “1.8 瞬目”, 視覚情報ハンドブック, pp44-51. (2000)
- [9] 田邊喜一, “入力インタフェースのための瞬目に関する基礎的検討” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.94, No.2, pp.505-508, (2011)