

生体信号から推定した映像酔いとそのきっかけとなった映像の動きベクトルの特徴

野村 恵里[†] 木竜 徹^{†,††} 中村 亨弥^{††} 飯島 淳彦^{†††}
板東 武彦^{†††}

Cybersickness Estimated by Biosignals and Features of Triggered Motion Vectors

Eri NOMURA[†], Tohru KIRYU^{†,††}, Yukihiko NAKAMURA^{††}, Atsuhiko IIJIMA^{†††},
and Takehiko BANDO^{†††}

あらまし 映像技術が目覚しく発展する一方で、映像酔い等、生体への影響が懸念されており、原因の解明と評価手法の確立が望まれている。本研究では生体影響の中でも特に映像酔いに注目し、生体情報と映像情報との関係から生体に影響を与えていると予想される特徴を動きベクトルで定量的に評価することを目的とした。まず生体信号から、設定した条件に当てはまる生体影響区間を定め、影響を受けたと想定されるトリガ時刻を定義した。その後、トリガ時刻近傍における映像の動きベクトルの時間周波数構造を調べ、単純類似度による評価を行った。更に、動きベクトルからシミュレーション映像（ランダムドットパターン）を制作し、実写映像との比較を行った。その結果、トリガ時刻での時間周波数構造は特定の成分をもち、0.3～2.5 Hzの周波数帯域に0.5以上の規格化パワーをもつ動きベクトルが生体に影響を与えている可能性が示唆された。

キーワード 動きベクトル、映像酔い、時間周波数解析、単純類似度

1. ま え が き

映像のデジタル化に伴い、DVDや液晶テレビ等が普及し、一般の家庭でも容易に大画面・高画質の映像を見ることが可能となってきた。また、3Dを駆使したより現実感のある映像を提供できるまでになっている。その一方で、映像による生体への影響に関する報告が散見されるようになり、この分野の研究が始まっている[1]。1997年、テレビアニメ「ポケットモンスター」を視聴していた多くの子供たちが身体の不調を訴え、約700名も病院に運ばれるという事件が起きた。この「ポケモン事件」では、赤と青の点滅刺激が原因となり、発作が起こったものとされた。続いて2003年には、授業用に撮影された非常に手ぶれの激しいビデ

オを視聴していた生徒約300名のうち、36名がめまいや吐き気を訴えた。これらはいずれも、私たちの日常生活の中で突然起こった出来事であり、予測し得たものではない。将来にわたり、このような事件を未然に防ぐためにも、映像が生体に影響を与えている様々な原因の解明や、それらの評価法を確立していくことが急務である。

最近では上記のような事件が背景となり、光過敏性発作、動揺病、眼性疲労の観点から映像の生体影響に関する研究が盛んに進められている。すなわち、心電図、血圧、呼吸のほか、身体動揺[2],[3]や眼球運動[4],[5]、胃電図[6],[7]等から生体影響の評価が行われている。ここで、映像酔いに関して動揺病の観点からの議論は多いが、映像の特徴を定量的にとらえ、映像酔いの原因を議論したものは少ない[2],[7],[8]。実際、全く同じ映像を視聴していた場合でも、酔いの度合は千差万別であり、必ずしも酔いが誘発されるというわけではなく、その日の被験者の体調や年齢、性格、過去の経験等が関係する。一方、映像に関してはコンテンツ、フレームレート、色、手ぶれ等、様々な要素が考えられ、映像酔いが生じた際の具体的な酔いの状

[†]新潟大学大学院自然科学研究科, 新潟市
Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata-shi, 950-2181 Japan

^{††}新潟大学超域研究機構, 新潟市
Center for Transdisciplinary Research, Niigata University, Niigata-shi, 951-8585 Japan

^{†††}新潟大学大学院医歯学総合研究科, 新潟市
Graduate School of Medical and Dental Sciences, Niigata University, Niigata-shi, 951-8510 Japan

態や原因となる映像の構成要素は明確になっていない。

映像酔いの有力な説には、感覚不一致説 [9] が知られている。これは、予測した感覚（視覚、前庭感覚、体性感覚）入力と実際の入力との間に矛盾が生じた場合、酔いが誘発されるとしたものである。氏家らは、酔いの原因を感覚不一致説にあるとし、身体運動等に影響を与えるオプティカルフローと眼球運動を用いた評価を行った [2]。そして、回旋眼球運動の持続性応答成分と主観評価値との間に有意な相関があることを示した。Soらはシミュレータ酔い以外の仮想環境における酔いを「Cybersickness」と定義し、映像の空間周波数を用いて映像を定量的に評価した [8]。その結果、空間周波数と主観評価値との間に強い相関があることを報告した。しかし、主観評価では酔いの度合やタイミングが定量的にあいまいである。これに対して、Huらは回転ドラムを用いてストライプの空間周波数やスピード等に対する胃電図への影響をさぐり、酔いの定量的な現象として、胃電図の 4~9 cpm パワーの増加を報告した [7]。しかし、これらの報告は実写映像を取り扱ったものとはなっていない。

そこで本研究では、生体情報には自律神経系に関連した生体信号、映像情報には実写映像の動きベクトルを取り上げ、両者の関係から、生体に影響を与えていると予想される動きベクトルの特徴を定量的に評価することを目的とした。具体的には、自己運動感のある大画面の映像を視聴している際の心電図、血圧、発汗、呼吸を連続計測し、心電図から算出した RR 間隔や血圧、呼吸の各時系列データを時間周波数解析することにより自律神経系の指標を抽出した。一方、映像からはグローバルな動きベクトルを抽出し、映像の特徴を定量化した。その上で、生体信号から求めた自律神経系の指標から、生体に影響を与えたと想定される時刻を求め、その時刻付近で映像の動きベクトルがもつ時間周波数構造を求めた。更に単純類似度によって、その動きベクトルの時間周波数構造の時間分布を調べた。また、映像視聴後のアンケートで不快と答えた被験者の最も多かった実写映像の動きベクトルを用いてシミュレーション映像を制作し、動きベクトルのみの影響を調べた。

2. 方法

2.1 生体情報

2.1.1 自律神経系指標の生体信号

計測した生体信号は心電図、血圧、呼吸、発汗であ

る。心電図と血圧はカットオフ周波数 30 Hz、呼吸はカットオフ周波数 1 kHz で低域フィルタを用いて雑音を除去した。その後、心電図から RR 間隔時系列を算出した。血圧は RR 間隔の範囲内における最大・最小値から求めた平均血圧とした。RR 間隔と平均血圧時系列は R 波出現時刻でのサンプルとなっているため、不等間隔である。そこで三次スプライン補間を施し、等間隔の時系列データとした。また、呼吸の信号は、1000 サンプルの区間長で移動平均処理を行った後、スプライン補間を施し、再サンプリングした。なお、ここでのサンプリング周波数は、映像のフレームレートが毎秒 30 フレームであるので、これと合わせ 30 Hz とした。

続いて、RR 間隔、平均血圧、移動平均処理した呼吸波形の各時系列データに対し、データの正規化（平均 0、分散 1）を行った。その後、Gabor 関数を Mother Wavelet とする連続ウェーブレット変換を行った。その際、血圧と RR 間隔時系列から、交感神経と副交感神経の両者の活動を反映しているとされる 0.1 Hz 付近の Mayer 波帯域、すなわち LF (0.04~0.15 Hz) 成分を推定した。また、呼吸と RR 間隔時系列からは、副交感神経の活動を反映しているとされる 0.3 Hz 付近の高周波数帯域、すなわち HF (0.15~0.45 Hz) 成分を求めた [10]。

ここで、 Q 値を一定とするフィルタで対象周波数領域 $[f_{\min}, f_{\max}]$ を分割するため、 k 番目のフィルタの中心周波数を以下の式で表し、

$$f_{c,k} = f_{\min} \left(\frac{1}{1-r} \right)^{k-1} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

帯域を $2rf_{c,k}$ とした（したがって、 $Q = 2r$ ）。ただし、 $f_{c,k}$ は $f_{\min} \leq f_{c,k} \leq f_{\max}$ とする。ここで、フィルタとして Gabor 関数 $\psi(t)$ のフーリエ変換を用い、 $\psi(t)$ の振幅が $1/\sqrt{2}$ 以上となる区間長に 1 波形を入れた場合、 $r = \log 2/p$ となる。その結果、 K は HF 成分の対象周波数帯域で 6、LF 成分の対象周波数帯域で 7 となった。

2.1.2 トリガ時刻の定義

心電図の RR 間隔、血圧、呼吸からは自律神経系関連の情報が得られる。ここでは、呼吸と RR 間隔の HF 成分 (HF_{RES} , HF_{RR}) と、血圧と RR 間隔の LF 成分 (LF_{BP} , LF_{RR}) を用いた。いま、映像視聴前の安静時 3 分間における HF、LF 成分のパワーの平均値を基準とし、生体が影響を受けたと想定される区間（生体影響区間 SSI : Some Sensation Interval）

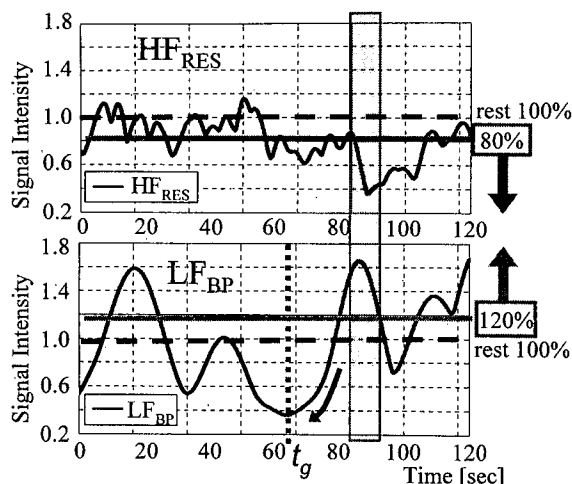


図1 生体影響区間の定義

Fig. 1 Definition of some sensation interval (SSI).

を, HF 成分のパワーの平均値の 80% 以下の時刻を含み, LF 成分のパワーの平均値の 120% 以上となる区間と定義する (図 1).

続いて, SSI の直前の LF 成分のパワーが極小点をとる時刻を, 生体に影響を与え始めたと想定されるトリガ時刻 t_g とした. ここで t_g は (HF_{RES}, LF_{BP}) から算出した時刻と, (HF_{RR}, LF_{RR}) から算出した時刻を併せて用いた.

2.2 映像情報

2.2.1 動きベクトル

映像の特徴を評価する指標として, MPEG-2 など画像圧縮の際に用いられている動きベクトル [11], [12] に注目した. 動きベクトルにはグローバルな動きベクトル (GMV: Global Motion Vector) とローカルな動きベクトル (LMV: Local Motion Vector) の 2 種類あるが, ここでは GMV を主に用いた. GMV はカメラの動きと関係しており, 静止している状態を除いて 7 種類の動きの成分がある. ここでは, カメラの撮像位置の移動を伴わない成分の中からズーム (画角の変化), パン (カメラの横振り), チルト (カメラの縦振り) の 3 成分を選択した.

各映像の GMV の 3 成分に対し, 正規化 (平均 0, 分散 1) を行った後, 0.01~15 Hz の対象周波数帯域を 31 分割し, Gabor 関数を Mother Wavelet とする連続ウェーブレット変換を行った. ここで得られたパワーを各々の成分の最大値で規格化し, 0.5 以上となる範囲がどの対象周波数帯域に最も集中しているかを評価した.

2.2.2 単純類似度による評価

単純類似度 [13] はパターン認識で用いられ, 任意に与えられた画像の特徴ベクトル g が, ある標準画像 g_0 にどれほど近い画像であるかを定量的に測る指標である. 類似度は 0 から 1 の値で表現され, g が基準となる g_0 に類似しているか否かを評価できる.

ここでは, t_g 付近における GMV の時間周波数構造を成分とするベクトル v_{ref} を基準とし, 他の時刻に類似した特徴があるか否かを, 以下の単純類似度

$$S = \cos^2 \theta = \left[\frac{v_{ref} \cdot v_t}{\|v_{ref}\| \|v_t\|} \right]^2 \quad (2)$$

で調べた. ここで, v_{ref} は, $[t_g - 3, t_g]$ の 3 秒間のパワーの平均値をズーム, パン, チルトの順に並べた 93 次元のベクトルとした. また, v_{ref} と比較するベクトル v_t は v_{ref} 以外の時刻における同様な成分をもつベクトルとした.

3. 実験

被験者は, 健康な成人男性 22 名, 女性 3 名 (21.8 ± 0.87 歳) の 25 名である. なお, 被験者には事前に実験内容を説明し, 実験内容への承諾を得た上で実施した.

3.1 計測条件

映像は 80 インチスクリーン上に液晶プロジェクタ (TH-L795J, XGA 対応, 1024 × 768, 1400ANSI ルーメン, 松下電器製) を 2 台用いて投影するか, 70 インチスクリーン上に輝度の高い液晶プロジェクタ (ELP-820, XGA 対応, 1024 × 768, 2500ANSI ルーメン, エプソン製) 1 台で投影した. 前者の投影方法では 8 名 (男性 7 名, 女性 1 名), 後者の方法では 17 名 (男性 15 名, 女性 2 名) の被験者に対してそれぞれ実験を行った. なお, スクリーン中央の照度は 10 ルックスに調整し, 映像提示サイズに対して画角を上下方向 17°, 左右方向 22° に保った. そのため, 被験者にはスクリーンから 2 m ないし 1.7 m 離れた位置で椅子に着座した状態で視聴してもらった.

心電図は胸部双極誘導により計測した. 血圧はトノメトリ法による連続血圧計測装置 (JENTOW7700, 日本コーリン製) を用い, 左手橈骨動脈圧を計測した. また, チューブ式呼吸ピックアップ (TR-755T, 日本光電製) を用いて腹部, 胸部, または鼻孔において呼吸を計測した. 更に, 左手母指球表面から発汗計 (SKA2000, スキノス製) を用いて, 発汗量をカプセル換気法により測定した. 心電図と呼吸は, 生体用アン

プ (AB-610J, 日本光電製) を用いて増幅度 26 dB, 帯域 0.53 Hz~1 kHz で差動増幅し, A-D 変換 PC カード (DAQCard-700, National Instruments 製) を介してサンプリング周波数 1 kHz, 量子化ビット数 12 bit でノートブック PC (PAL2060TN2L, 東芝製) に取り込んだ。

3.2 実写映像

映像は, 自然を背景としたパラシュート, ボブスレー, ボート, ハングライダー, マウンテンバイク, バイクレースなど 10 種類からなり, 動きの激しいスポーツを 1 人称視点でカメラ撮影したスポーツ体感ビデオである。なお, この映像は興奮・移動感・不快感・めまい・酔いなどの強い情動反応や生理的反応が顕著に誘発されたものである [14]。映像の視聴時間は約 18 分であり, 視聴前後の 5 分間の安静時に生体信号を計測し, 体調に関するアンケートを行った。また体調に関するアンケートとは別に, 映像視聴後のアンケートでは, 10 種類の映像のうち, 不快な映像と不快でない映像を複数回答してもらった。

3.3 シミュレーション映像

実写映像には, 動きの要素以外にもコンテンツ, 輝度, 周波数, 色等, 様々な要素が含まれている。そのため, 臨場感や自己運動感を得やすく, 被験者の心理面, 精神面に影響を与えていると考えられる。

ここでは, 映像要素の中でも特に, 動きに焦点をあて, 実写映像の動きベクトルに基づいたシミュレーション映像を制作した。すなわち, 視覚刺激システム (VSG2/5, Cambridge Research Systems 製) により, 実写映像と同様な動きをするランダムドット映像を構築した後, スキャンコンバータ (DSC-1042HG, ソニー製) を用いてデジタルビデオテープに録画した。このランダムドットパターンは, 二次元の黒い背景上に配置されている。更に, 映像に奥行き感を出すため, ドットの色と大きさを変えた 2 種類のドット平面 (平面 1: 白, 4×4 ピクセルのドット 200 個, 平面 2: グレー, 3×3 ピクセルのドット 250 個) を重ね合わせた (ただし, 平面 1 に対して平面 2 の動きを 1/1.8 に縮小)。また, ドットの動きにはスポーツ体感ビデオに登場する映像の中で, 不快であると答えた被験者が最も多かったマウンテンバイク映像の GMV を用いた。ここでは, GMV のパン, チルトはそれぞれ水平, 垂直方向へのドットの移動とし, ズームはズームの中心を画面の中心と仮定して水平, 垂直方向に移動させ, ドットの大きさを拡大・縮小させるものとした。

実験プロトコルは, ズーム, パン, チルト成分すべてを含んだ動きをする映像 (2 分間) と, 3 成分のうち一つの成分を含まない動きをする映像 (2 分間) との繰返しとした。なお, 各々の映像後には 1 分間の静止画像を提示し, 映像の視聴時間を 18 分 (6 セッション) とした。また, 実写映像と同様, 映像の視聴前後 5 分間の安静時に生体信号を計測し, 体調に関するアンケートを行った。なお, このプロトコルでの被験者は, 健康な成人男性 14 名, 女性 2 名 (22.6±0.89 歳) の 16 名である。なお, ここでの被験者は, 実写映像視聴実験での 25 名のうちの 16 名であり, GMV のすべての成分を用いた映像視聴時のデータを使用した。

4. 結果

4.1 実写映像

映像視聴後のアンケートでは, マウンテンバイク映像が不快と答える被験者が最も多かった (表 1)。一方, 類似の映像構成であるボブスレーでは逆に快と答える被験者が多かった。なお, 以下では各々の映像セクションの開始を 0 として時刻を記述する。

4.1.1 マウンテンバイク映像

トリガ時刻 t_g は被験者 25 名で合計 36 箇所であった (一人当たり 1.4±0.9 箇所)。 t_g は特に 61~70 秒と 91~100 秒の時間セグメントに集中していた (図 2(a))。これらの時間セグメントで GMV が振動成分をもつ区間を定め (65~68 秒と 91~94 秒), 次にこれらの区間における GMV のパワー成分を v_{ref} とする単純類似度 S を求めた (図 2(b))。その結果, 65~68 秒の 3 秒間でのパワーを v_{ref} とした場合には 91~94 秒付近で, 91~94 秒でのパワーを v_{ref} とした場合には 65~68 秒付近で S が 0.9 付近の高い値を示し, 更に 30~40 秒付近や 80 秒付近で S が 0.4~0.5 まで減少するなど, 両者の時間的振舞いが類似していた。一方, t_g の時間分布では谷となった時間セグメントで 72~75

表 1 不快・不快でないと答えた被験者の人数
Table 1 Number of subjects with unpleasant for each video image section.

image section questionnaire	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
start point [min]	00'2	01'6	03'1	04'3	07'2	09'2	10'0	12'4	15'2	15'6
unpleasant	8	3	1	4	2	0	12	1	3	6
pleasant	4	7	8	7	4	17	1	7	7	3

section 1: parachute, 2: bobsleigh, 3: boat, 4: go-cart, 5: hung glider, 6: sea, 7: mountain bike, 8: time race, 9: bungee, 10: bike race

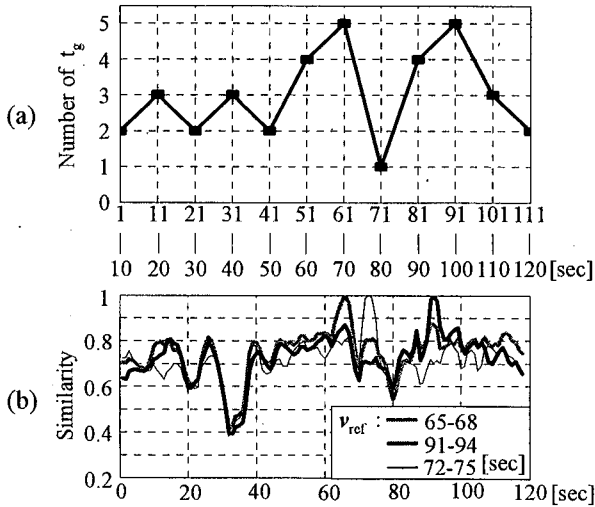


図 2 (a) トリガ時刻と (b) 単純類似度
Fig. 2 Distribution of trigger points (a) and similarity with respect to time (b).

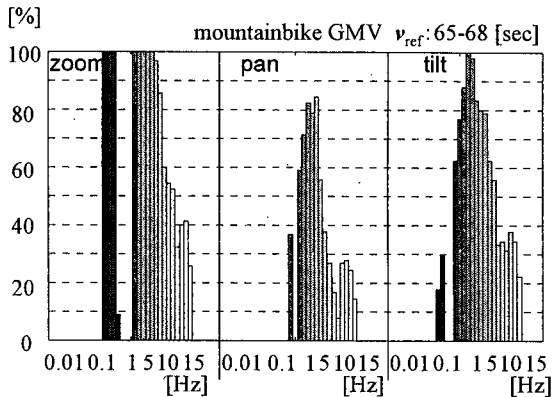


図 3 トリガ時刻で 0.5 以上を GMV の規格化パワーが占める割合
Fig. 3 Rate of GMV normalized power over 0.5 around trigger points (3-sec interval).

秒のパワーを v_{ref} とした場合、上述の 2 区間での S は各々 0.8, 0.7 付近となり、時間周波数構造の違いは明らかであった。このことから、 t_g の時間分布のピーク付近で求めた GMV は特定の振動成分をもっていた。そこで、65~68 秒の 90 サンプルに対して GMV の規格化パワーが 0.5 以上となるサンプルの割合を周波数帯域ごとに調べた (図 3)。その結果、特に 0.3~2.5 Hz の低周波帯域に 0.5 以上のパワーが多く分布していた。

更に、65~68 秒での GMV の成分ごとに単純類似度を算出し、成分ごとの時間的振舞いを調べた (図 4)。ここで、三つの成分すべてを含んだ S (図 4(a)) と比較すると、パン成分のみでの S は 0.6~1.0 の範囲で変動し、時間周波数構造にあまり大きな変化は見られ

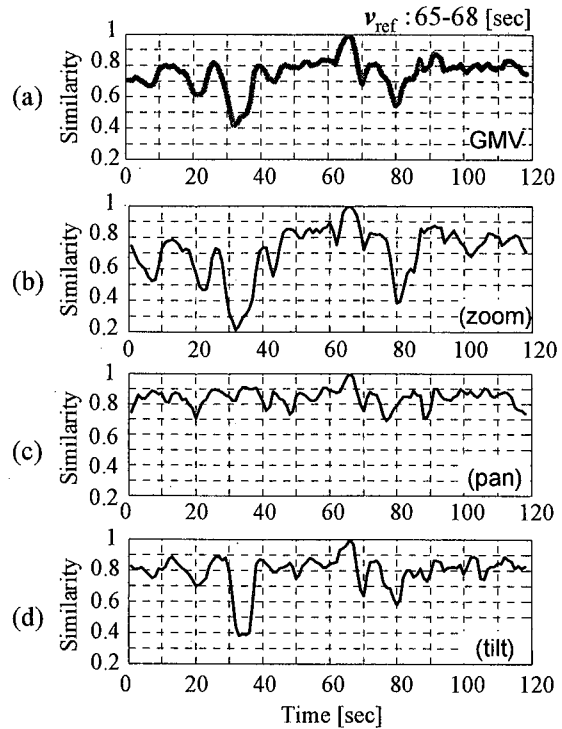


図 4 GMV 成分ごとの単純類似度
Fig. 4 Similarity for each GMV component.

なかった。ズーム成分やチルト成分のみでは、それらの時間的振舞いは S とほぼ一致していた。

4.1.2 ポブスレー映像

ポブスレー映像での t_g は合計 12 箇所となり、 t_g が集中した時間セグメントは 51~60 秒となった。そこで、55~58 秒の GMV を v_{ref} として S を算出したが、 t_g の数が少ない時間セグメント (11~20 秒) と S の小さい時間セグメント (31~40 秒付近) とは一致しなかった。更に、55~58 秒で GMV の規格化パワー 0.5 以上が占める割合を周波数帯域ごとに調べた結果、ズーム成分は 0.2~5 Hz 付近の低周波帯域、パン、チルト成分は 4~11 Hz 付近の高周波帯域に多く分布していた。

4.2 シミュレーション映像

GMV は実写映像の場合と同じであるため、 S による評価は省き、 t_g の結果のみ述べる。 t_g は被験者 16 名で合計 63 箇所であり、特に 51~60 秒と 81~90 秒の時間セグメントに分布が集中していた (図 5)。10 秒程度の時間進みがあるものの、 t_g の時間分布が実写映像 (マウンテンバイク映像) の t_g の時間分布とほぼ一致した。

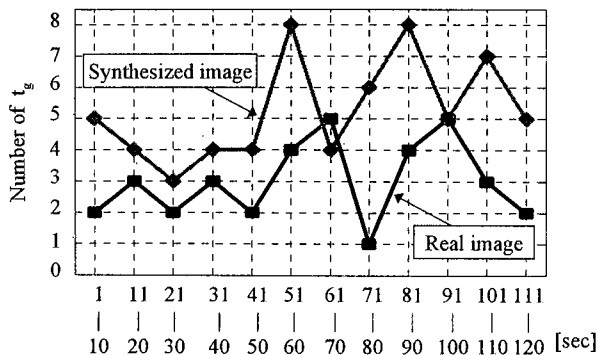


図5 実写映像とシミュレーション映像でのトリガ時刻の時間分布

Fig.5 Distribution of trigger points for real and synthesized video images.

5. 考察

5.1 トリガ時刻の定義

映像視聴後のアンケートでは、マウンテンバイク映像が不快と答える被験者が最も多かった(表1)。しかし、その前後の映像では逆に快と答える被験者が多かった。ここで、不快と答えた被験者の人数と t_g の数とに関係があるか否かを検討するため、スポーツ体感ビデオ内の各映像セクション(10種類)に対し、1分当りの t_g の数を算出し直し、アンケート結果との比較を行った(図6)。その結果、不快と答えた被験者の人数が全被験者数の20%を超えた場合、不快度の高い映像ほど t_g の数が増加する傾向にあった。逆に20%以下では不快度の低い映像ほど t_g の数が増加していた。このことから、 t_g は自律神経系に何らかの影響を与えたトリガ時刻であるが、快不快に転じる要因はほかにもあった可能性がある。

ところで、実用面を考慮すれば心電図から求めたRR間隔のみで評価できることが望ましいが、図2、図5では、 t_g は(HF_{RES}, LF_{BP})から算出した時刻と、(HF_{RR}, LF_{RR})から算出した時刻を併せて用いた。実際には、A:(HF_{RES}, LF_{BP})、B:(HF_{RR}, LF_{RR})、C:(HF_{RR}, LF_{BP})、D:(HF_{RES}, LF_{RR})を組み合わせた6通りがある。ここで、不快と答えた被験者が最も多かったマウンテンバイク映像で、1分当りの t_g の数が他の映像よりも多い組合せは[A, B]と[A, D]であった。このように、血圧や呼吸の情報を加えることにより各映像セクションに対する t_g の数の差が明確になった(図6)。

5.2 トリガ時刻でのGMVの時間周波数構造

マウンテンバイク映像の場合、 t_g の2個所のピー

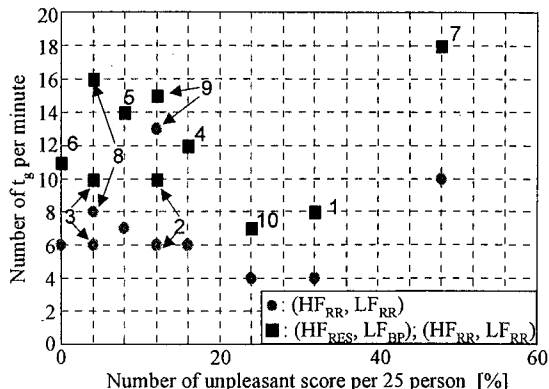


図6 不快のスコアと各映像のトリガ時刻の数
Fig.6 Unpleasant score and number of t_g points.

クでGMVの時間周波数構造は類似しており、ある特定の周波数成分(約0.3~2.5 Hz)をもっていた。これは、Goldingらの報告にある動揺病を引き起こす周波数に近い[15]。しかし、ボブスレー映像ではより高い周波数成分(4~11 Hz付近)となった。

ところで、マウンテンバイク映像の場合、 S が0.8以上の値をもつ時刻は t_g が集中していた時間帯以外にもいくつか存在していた(図2)。そこで、 S が0.8以上であるが、 t_g の数が少なかった時間帯でGMVの各周波数帯域におけるパワーを調査し、比較を行った。その結果、このような時間帯では、GMVの3成分とも特定の周波数帯域に集中しているのではなく、より広範囲な周波数成分をもっていることが分かった。一方、ボブスレー映像では、このような大きな違いは見られなかった。以上のことから、GMVの各成分のパワーがある特定の周波数帯域に集中している場合に、生体に不快感を与えたようである。しかし、実写映像の例数が少ないので、更に様々な実写映像に対してGMVの時間周波数構造を調べ、ライブラリ化を検討する必要がある。

5.3 トリガ時刻の時間分布

シミュレーション映像での t_g の時間分布は、実写映像のマウンテンバイク映像の場合と類似しており、10秒ほど早い時間に t_g が集中していた(図5)。映像の動きは同じであるが、コンテンツや色等の違いから両映像間に影響の違いが現れたものと思われる。シミュレーション映像の利点は、他の映像要素の影響を抑えた形で動きによる影響のみを評価できる点にある。しかし、実写映像と同程度の不快感が得られず、中には映像視聴中に眠くなる被験者もいた。実写映像には臨場感、自己運動感が得られ、また色の変化などもある

が、シミュレーション映像として用いたランダムドットパターン映像は画面全体が暗く、実写映像よりも輝度変化が少ない（輝度変化による影響は、文献[16]参照）。輝度変化による影響は、今後検討する必要がある。

3.2 で用いた実験プロトコルは、実写映像と同じGMVをもつランダムドットパターン映像が3分間隔で3回繰り返し提示されるものであった。ここで、 t_g の時間分布を回数ごとに追って見ると、はじめは81~90秒付近に t_g が集中し、その後51~60秒付近に t_g の集中が加わり、最終的に図5のような時間分布となった。そこで、経過時間や慣れの影響を見るため、18分間の実写映像のうちボブスレー、マウンテンバイク、バイクレースの映像セクションのみをランダムドットパターン映像に代えて視聴させる予備実験を行った。なお、被験者は健康な成人男性7名、女性1名(21.5±0.5歳)である。その結果、マウンテンバイク映像での t_g は40~60秒付近に集中した。このことから、実写映像の t_g の時間分布に現れた前半のピーク(図2(a))は経過時間の影響を受けていたのかもしれない。これらの予備実験だけでは経過時間やコンテンツに関する議論をすることは、まだできない。しかし、シミュレーション映像でも、様々な条件で繰り返し t_g の集中した時間帯が存在したことを考えると、GMVの特定の時間周波数構造が生体に強い影響(不快とは関係なく)を与えていた可能性が高い。

そこで、更にGMVの各成分ごとにランダムドットパターン映像を制作し、アンケート調査で比較してみた[17]。ただし、被験者は健康な成人男性7名、女性3名(21.8±0.8歳)である。その結果、パン成分のみの映像に対して映像視聴後に不快感を示した被験者が多かった[17]。パン成分の時間周波数構造は0.6~1Hzの振動成分をもち(図3)、時間的な変化がほとんどなかった(図4(c))。したがって、継続的なパン成分の揺れが続いている中でチルト成分などに特定の振動が加わることで、不快を感じる相乗効果が生じていたのかもしれない。実際、これまでの研究では映像酔いなどは10~20分の映像刺激提示によって生じるといわれている[2],[6]~[9]。以上のことから、経過時間に現れる継続的な成分とトリガ時刻との関係を調べることで、更に検証を進めていく予定である。

6. むすび

自己運動感のある映像視聴時の生体信号を計測し、

それらの信号から生体が影響を受け始めたと想定されるトリガ時刻を定義した。一方、映像からは動きベクトル(GMV)を抽出し、トリガ時刻付近におけるGMVの時間周波数構造を調べた。更に、トリガ時刻が集中していた区間におけるGMVの時間周波数構造を基準として単純類似度でGMVの時間的振舞いを求めた。その結果、不快度の高い映像ほど、トリガ時刻の時間分布にピークが現れ、その付近でGMVに特徴的な振動が見られた。更に、実写映像から抽出したGMVを用いて制作したシミュレーション映像で同様な実験、解析を行った結果、実写映像とほぼ同等な結果が得られた。よって、生体への影響を映像のGMVにより事前に評価できる可能性が示唆された。

今後は、様々な映像に対して更なる検証実験を行い、経過時間に関連してトリガ時刻の動きを明確にしていく必要がある。また、被験者の年齢や性格なども考慮した議論を行っていくことも今後の課題の一つである。

謝辞 本研究の一部は、経済産業省・基準認証研究開発事業「映像の生体安全性評価法の標準化」の委託事業として実施したものである。

文 献

- [1] “映像の生体安全性評価法の標準化,”平成16年度経済産業省基準認証研究開発事業報告書, pp.4-6, 産業技術総合研究所, 2005.
- [2] 近江政雄, 氏家弘裕, “映像情報による自己定位と映像酔い,” BME, vol.18, no.1, pp.31-39, Jan. 2004.
- [3] 尾島修一, 矢野澄男, “両眼融合視画像における奥行き感が重心動揺に与える影響,” 信学論(A), vol.J79-A, no.2, pp.354-362, Feb. 1996.
- [4] 鶴飼一彦, “瞳孔・調節・眼球運動計測と映像による生体影響評価,” BME, vol.18, no.1, pp.2-7, Jan. 2004.
- [5] 板東武彦, “ユビキタス情報社会と健康安全,” 自律神経, vol.41, no.1, pp.1-6, Feb. 2004.
- [6] 中川千鶴, 大須賀美恵子, 竹田 仰, “動揺病発症時に見られる体幹部電位変動低周波数成分の発生機序の検討,” 第18回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.207-210, Oct. 2003.
- [7] S. Hu, M.S. Davis, A.H. Klose, E.M. Zabinsky, S.P. Meux, H.A. Jacobsen, J.M. Westfall, and M.B. Gruber, “Effects of spatial frequency of a vertically striped rotating drum onvection-induced motion sickness,” Aviat Space Environ Med., vol.68, no.4, pp.306-311, 1997.
- [8] R.H.Y. So, A. Ho, and W.T. Lo, “A metric to quantify virtual scene movement for the study of cybersickness: Definition, implementation, and verification,” Presence, vol.10, no.2, pp.193-215, April 2001.
- [9] J.T. Reason and J.J. Brand, Motion Sickness, London, Academic Press, 1975.
- [10] 早野順一郎, 安間文彦, “自律神経と心拍変動,” 医学のあ

ゆみ, vol.198, no.4, pp.285-290, July 2001.

- [11] 秦泉寺久美, 石橋 聡, 小林直樹, “カメラモーション抽出によるスプライト自動生成,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.6, pp.1018-1030, June 1999.
- [12] 木竜 徹, 南保洋子, 野村恵里, 板東武彦, 小林直樹, “自己運動感を伴う映像の動きベクトルによる生体影響評価法,” 日本バーチャルリアリティ学会誌, vol.9, no.4, pp.361-368, Dec. 2004.
- [13] 飯島泰蔵, “識別理論,” パターン認識理論, pp.111-119, 森北出版, 1989.
- [14] 南保洋子, 木竜 徹, 板東武彦, 小林直樹, “自己運動感を伴う映像の動きベクトルによる生体影響,” 第 17 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.143-144, Sept. 2002.
- [15] J.F. Golding, A.G. Mueller, and M.A. Gresty, “A motion sickness maximum around the 0.2 Hz frequency range of horizontal translational oscillation,” Aviat Space Environ Med, vol.72, no.6, pp.188-192, 2001.
- [16] 駒形成司, 飯島淳彦, 木竜 徹, 鶴飼一彦, 板東武彦, “瞳孔径—輝度変化のコヒーレンス関数による映像生体影響の評価,” 第 20 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.117-118, Sept. 2005.
- [17] 内山絵里, 木竜 徹, 飯島淳彦, 板東武彦, “実写映像と同じ動きベクトルを持つシミュレーション映像による動きベクトル成分の映像酔いへの影響評価,” 信学技報, MBE2005-2, May 2005.

(平成 17 年 3 月 1 日受付, 7 月 25 日再受付)



野村 恵里

平 15 新潟大・工・福祉人間卒. 平 17 同大大学院修士課程了. 在学中, 映像の動きベクトルの時間周波数構造と自律神経関連指標の対比による映像酔いの研究に従事.



木竜 徹 (正員)

昭 52 新潟大学大学院工学研究科了. 同年同大助手を経て, 平 7 同大学院教授, 現在に至る. 工博. 生体信号 (表面筋電図や心拍変動など) から見たリアルとバーチャルな運動における生体機能の解析, 及び, 健康支援システムの開発に関する研究に従事.

従事.

中村 亨弥 (正員)



平 4 新潟大・工・情報卒. 平 6 同大学院工学研究科了. その後, 工業技術院生命工学工業技術研究所, 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門を経て, 平 14 新潟大脳研究所統合脳機能研究センター研究員, 平 16 同大学超域研究機構助手, 現在に至る. 工博. 主に, 生体信号の計測や解析に関する研究等に従事.



飯島 淳彦

平 11 慶大・理工・電気卒. 平 13 同大学院理工学研究科了. 平 15 同大基礎理工学博士課程了. その後, 日本学術振興会特別研究員, 早大・理工総研客員研究員を経て, 平 16 新潟大大学院医歯学総合研究科助手, 現在に至る. 工博. 主に, 視覚入力に対する視覚系, 自律神経系活動, 脳活動に関する研究, 中枢性疾患, 精神疾患と眼球運動・瞳孔機能に関する研究に従事.



板東 武彦

昭 49 東京大大学院博士課程・医学研究科了. 昭 47 大阪大学助手. 昭 55 山梨医科大学助教授. 昭 62 新潟大学教授, 現在に至る. 医学博士. 専門領域: 神経生理学. 眼球運動系を中心とした脳神経機能・自律神経機能の解析に関する研究に従事.