

## 映像コンテンツ視聴時の生体信号計測・評価

### Bio-signal measurement and analysis of subjects viewing video contents

鎌田幹夫, 板東武彦<sup>1)</sup>, 黒岩義之<sup>2)</sup>

ソニー(株) インターネット研究所 AIC Pj.

1) 新潟大学大学院医歯学総合研究科統合生理学分野

2) 横浜市立大学医学部神経内科

KAMADA Mikio, AIC Pj., Internet laboratories, Sony Corp.

BANDO Takehiko, Department of Physiology, Niigata University School of Medicine

KUROIWA Yoshiyuki, Dept. of Neurology, Yokohama City University School of Medicine

#### 概要:

生体信号計測・評価は,映像コンテンツ視聴による生体への悪影響に関する知見を得る上で有効である.この方向性にそった二つの研究:動きのある映像による自律神経系への影響についての研究,及び,ポケモン事件に関連した映像刺激における色の効果に関する研究について述べる.更に,生体情報を利用した新しいアプリケーションへの試みとして,コンテンツのメタ情報生成の為の生体信号計測・評価について紹介する.

#### はじめに

視聴覚刺激時における生体信号計測評価には,大きく分けて二つの意義がある.一つは,ポケモン事件(1998年)に代表されるような,映像刺激による生体への悪影響についての知見を得ることであり,もう一つは,生体信号から得られる情報そのものを何らかのアプリケーションに結びつけることである.

前者については,電子情報技術産業協会などが中心となり,医学系及び工学系の研究者が共同で研究を進めている<sup>1)</sup>.ここでは主に,3次元立体視やHMD(Head Mounted Display)・CG(Computer Graphics)を用いた場合の問題を取り扱っている.最終的には,これらの映像による生体影響についての知見を蓄積し,安全な映像についてのガイドラインを作成することを目標としている.本報告では,これら一連の研究から,動きのある映像視聴時における自律神経系の挙動に関する研究を紹介する( ).

社会的に非常に大きなインパクトがあったポケモン事件の際には,厚生省特別研究班が召集され,この問題についての分析と対応が議論された.我々は,光感受性発作を誘発する光刺激の物理的特性と生体に与える影響を検討する基礎検討班において,赤や青の光刺激による

誘発電位の計測から,これらの色がそれぞれの色覚中枢に対して異なる興奮性反応をもたらすことを明らかにした( ).

以上は,生体への悪影響を評価する為の研究であるが,生体信号そのものを,むしろ楽しさにつながるようなアプリケーションの為に用いようとする試みもある.生体信号を手掛かりに心身の状態制御を行うBio-feedback<sup>2)</sup>は,この方向性に近いものであるが,訓練という色彩が強い「楽しい」と言えるアプリケーションは,Human-Computer Interactionと呼ばれる分野において発展しつつある.例えば,筋電図などの信号から動作を抽出し,その信号をもとにMIDI(Music Instruments Digital Interface)によって音楽を創造するもの<sup>3)</sup>,複数人の心拍の同期性に依じてCGが変化するもの<sup>4)</sup>,などである.我々は,更に異なる視点から,生体信号を利用する試みを行っている.それはコンテンツ視聴者の生体信号を用いて映画等のコンテンツを特徴付けるメタ情報を生成するというものであり,このコンセプトをMPEG-7(MPEG; Moving Picture Expert Group)に提出した<sup>5)</sup>.これに関する実験の結果について,において述べる.

#### 計測方法

《 -1 》計測法

本研究では、以下の計測を行った。

- 心電図
- 筋電図
- 脳波（のみ）
- 呼吸
- 発汗量
- 末梢血流量
- 血圧
- 頭部運動
- 瞬目（のみ）

このうち ~ は、それぞれ、心臓の活動、筋肉の活動、脳神経活動、によって生体表面に誘起される電位差を計測するものである。

呼吸の計測には幾つかの方法があるが、本研究では、胸部又は腹部に巻いたベルトの伸縮を電気的信号に変換することにより計測した。

発汗量の計測には、発汗による皮膚表面の電気伝導性の変化を計測する GSR(galvanic skin reflex, 皮膚電気反射)が一般的によく用いられている。しかしながら、この方法は、精度及びリニアリティに問題があるので、本研究では、カプセル換気法を用いた。これは、乾燥空気を皮膚表面に送り、発汗により生じた汗を蒸気として取りだし、その量を湿度計で計測する方法であり、発汗量にほぼ比例した情報を取り出すことが出来る。精神性発汗は、手のひら、足のうらなど、人体の限られた部位でしか生じないが、本研究では、手のひらの左手母指球を用いている。

末梢血流量は、レーザードップラー法により計測した。この方法では、1 対の光ファイバーが用いられる。片方の光ファイバーによって体表面から入射されたレーザー光は、散乱を繰り返して、その一部は体表面に到達してもう片方の光ファイバーに入射する。一連の散乱過程には、速度を持つ血液による散乱も含まれている。その為、戻ってくるレーザー光にはドップラーシフトを生じ、そのスペクトルは広がりを持つ。その情報から平均的な血流量を推定することが可能である。この方法では、皮膚表面付近深さ数 mm の範囲における血流量のみが評価される。計測部位は左手母指球表面である。

血圧については、光電容積脈波法を利用した容積振動法により、1 分間隔で左人差し指における最高・平均・最低血圧を計測した<sup>6)</sup>。

頭部運動の計測には、所謂 Polhemus センサと呼ばれているものを用いている。変動磁

場発生源を基準位置に設置し、帽子上のセンサに生じる誘導電流を計測することによって、相対位置座標と回転の情報を得るものである。

瞬目の評価には、赤外線カメラで撮影を行い、次に、画像処理によって瞼の高さを抽出した。そのデータをもとに、瞬目を行ったタイミングを決定した。

これらのデータのうち、 ~ については、データレコーダに一括して、その他のデータは個々に記録された。計測系全体の概念図を図-1 に示す。

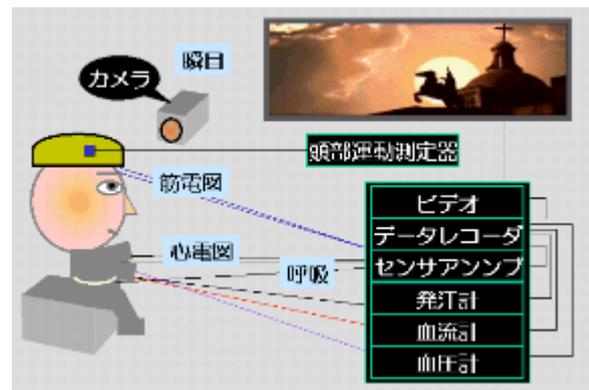


図-1 計測系全体の概念図。

## 《 -2 》音響信号による映像と計測の同期

映画などのコンテンツを視聴している被験者の生体信号を採取する際、コンテンツで定義される時間と、計測時間とを同期させる必要がある。そもそも映画などのコンテンツでは、どこが開始時点なのかが曖昧であるという問題がある。そこで一旦コンテンツを MPEG-1 に変換する。これによって、コンテンツにおける時間が MPEG-1 上の時間として定義される。MPEG-1 の画像は、その画質に問題があるので実験にそのまま用いることは出来ないが、時間の定義として意味がある。計測時に記録しておいた VTR などからの音響信号と MPEG-1 から抽出した音響信号を比較することにより、計測上の時間と MPEG-1 で定義される時間との対応関係を得られる。

計測では、データレコーダ等により多チャンネルの同期記録が行われており、音響信号と生体信号データは同期が取れている。MPEG-1 から特徴的な部分(主に silence の後の台詞や足音)の音声信号 5 秒間分のデータを切りだし、計測時記録された音響信号との相関関数を計算した。図-2 に計算例を示す。上から、計測時記録された音響データ、MPEG-1 から切り出

された音響信号データ, 相関関数, である. 相関関数上では非常に鋭いピークがみられ, 両者が同期する点である.

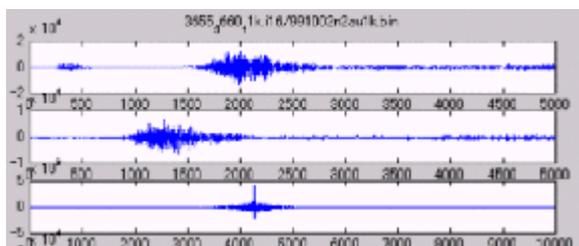


図-2

上: 計測時記録された音響データ.  
中: MPEG-1 から切り出された音響信号データ.  
下: 相関関数.

切り出した音源にも依存するが, sampling frequency=1kHz の音響信号を用いれば, 時間合わせの精度として, 実験上十分な値:  $\pm 0.01$  秒が得られた.

## 映像刺激による自律神経系活動への影響

### 《 -1 》 背景

我々人間は, 視覚や平衡感覚から空間像 (空間識と呼ばれることもある) を構成しているが, 3次元立体映像や動きのある映像のような不自然な情報を用いる場合には, 空間像を構成することが困難となり, その結果として“酔い”のような症状を生じることがある. 本研究で取り扱う乗り物体験ビデオ画像は, 視聴者がその乗り物に乗っている場合の視点から見た映像に近いものではあるが, 実際に乗っている場合と比較すると, 平衡感覚への刺激が欠落しているという重大な差異がある. 生体はこれらの互いに矛盾した知覚刺激を統合して空間像を形成するが, その際, 生体の情報処理系には, 通常時と比較して大きな負荷が加わると考えられる.

このような負荷に対応する為に, 自律神経系は交感神経活動性優位となるが, その負荷に耐えられなくなる状態に陥ると, “酔い”などの症状が生じると考えられている. この時, 自律神経系は副交感神経活動性優位となる.

従って, 映像刺激の生体への影響を調べるには, 自律神経系の活動性を評価することが有効である. 本研究では, 様々な自律神経系の指標を計測・解析した. 又, 被験者は座っているという制限内において自由な運動が許されているが, その運動の仕方によって, 視覚系・平衡

系への刺激は大いに異なる. そこで, 頭部運動を同時に計測し, 被験者が視聴中に如何なる動きをしているかをモニターした.

本研究では, 更に刺激情報であるところの映像そのものの性質を定量的に評価する為に, 画像情報からカメラ視点の定量的位置推定を試みた. この様な映像では, 視聴者があたかもカメラ視点に存在するかの様に錯覚するので, このカメラ位置座標の推定は, 生体への映像刺激負荷を考える上で, 非常に重要なパラメータと考えられる.

### 《 -2 》 実験方法

用いたビデオ画像は “体感ビデオ百科2” (パイオニア社) である. このビデオは, パラシュート, ポブスレー, ボート, レーシングカーレース, トラックレース, パラグライダー, マウンテンバイク, カーレース, ダイビング, オートバイレース, 以上の異なる乗り物のシーンで構成されており, 各シーンの時間は 1 分 30 秒から 3 分 30 秒の長さで, 全体が 36 分 30 秒間である.

この画像を液晶プロジェクターにより 80 インチのスクリーン上に投影した. 被験者は約 2m の距離のところで視聴するが, 座るという制限以外の動作は許されている. 計測した項目は以下の通りである.

- 心電図
- 末梢血流
- 血圧 (1 分間隔)
- 呼吸
- 発汗量
- 頭部運動

実験に参加した被験者は健康な学生 (男 4 人, 女 1 人) であり, 年齢は 21 歳から 33 歳であった. すべての被験者からインフォームド・コンセントを得た. 又, 視聴前後に体調, ビデオの感想, 一般質問などのアンケートを行っている. なお, 本研究は新潟大学医学部倫理委員会の承認を得ている (認可番号: 58.平成11年9月3日).

### 《 -3 》 結果

#### (1) カメラ視点位置の推定

MPEG 画像に圧縮した際に生成される motion vector から, カメラ視点位置等を推定

するアルゴリズムが、Srinivasan らにより報告<sup>7)</sup>されている。実験に用いた映像を一旦 MPEG-1 のフォーマットに変換し、そのデータに対して Srinivasan らと同様の計算を行った。その結果を図-3 に示す。横軸は時間で 36 分 30 秒間、縦軸は上から水平、垂直、ズーム、回転 1 (tilt)、回転 2 (pan)、回転 3 (roll)、それぞれの速度の相対値である。

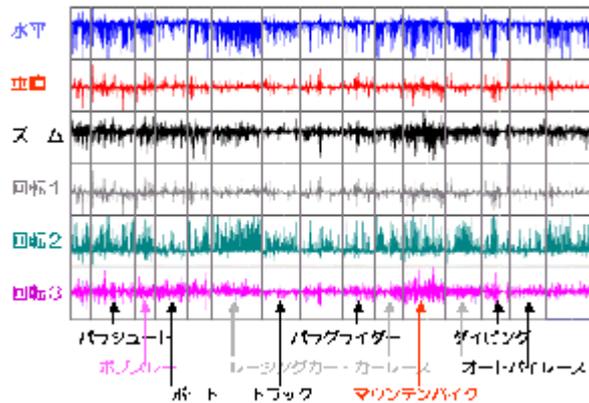


図-3 計算により推定したカメラ位置の水平、垂直、ズーム、回転 1 (tilt)、回転 2 (pan)、回転 3 (roll)、それぞれの速度の相対値。横軸は時間で全 36 分 30 秒間である。

この図は、それぞれの異なる乗り物の運動の特徴を良く表している。例えば、レーシングカーレースでは、左右方向の運動が大きい、上下方向は小さいという特徴が良くみとれる。この傾向は、引き続き提示されるトラックレースにも当てはまるが、その振幅はレーシングカーレースのそれと比較して非常に小さくなっている。この様に、本計算手法によって、乗り物体験ビデオ画像の動きに関して、定量的な評価が為し得ることが確認された。この手法は、今後その精度の評価や向上が必要と思われるものの、生体刺激の入力情報を把握するという点において、非常に強力な武器になるものと考えている。

これらカメラ視点速度の計算結果の中で、一番特徴的なのは、マウンテンバイクのシーンである。水平・垂直・前後方向の速度全ての振幅が大きく、roll 方向の回転速度も大きい。提示時間が少ないが、ボブスレーも類似した特徴を有している。これらのシーンの提示においては、生体への影響が大きい可能性が考えられよう。

## (2) アンケート結果

視聴前後のアンケートの結果を表-1 にまとめ、5 名中 4 名の被験者において、マウンテンバイクのシーンにおいて、何らかの不快感を訴えている。

この結果は (1)「カメラ視点位置の推定」においても指摘した様に、『マウンテンバイクのシーンでは、カメラ視点位置が、水平・垂直・前後方向速度及び roll 方向の回転速度も大きい』という著しい特徴と関係があるものと考えられる。被験者 C では、ボブスレーのシーンにおいても同様の症状を訴えているが、これについてもマウンテンバイクに類似したカメラ視点運動であることは既に述べた通りである。

又、被験者 A は、視聴途中で不快感を自己申告しており、その程度が最も大きかったと観察された。

| 被験者 | 症状             | 対象となるシーン               |
|-----|----------------|------------------------|
| A   | 気分が悪い。<br>吐き気。 | マウンテンバイク               |
| B   | 何も感ぜず。         |                        |
| C   | 頭が回転する感じ。      | マウンテンバイク<br>ボブスレー      |
| D   | 頭が重い。吐き気。      | マウンテンバイク               |
| E   | 気分が悪い。         | マウンテンバイク<br>カーレース(後走行) |

表-1 映像視聴による体調の変化に関するアンケートのまとめ。

## (3) 頭部運動

刺激映像に対して、被験者の頭部運動がどの様に追従するかは非常に興味深い。その運動の仕方によって、被験者が受ける視覚刺激及び平衡感覚刺激は大きく異なるからである。実際に、5 名の被験者の頭部運動を計測してみると、その挙動は被験者によって、又、シーンによって様々である。その解析・比較は進行中であるが、ここでは、シーンにより頭部運動の違いが非常にはっきりしている例を紹介する。

図-4 は、被験者 A について、その頭部位置(上から左右・前後・上下方向)を二つのシーン(合わせて約 5 分間)にまたがって示したものである。レーシングカーのシーンに比較して、マウンテンバイクのシーンでは、上下及び前後動が大きくなっているという顕著な差がみられる。これは、図-3 に示したごとく、このシーンのカメラ視点の動きの特徴と一致する。実際に観察したところ、この被験者はカメラ視点に良く

追従して体を動かしていたが、これが必ずしも一般的な振る舞いという訳ではない。カメラ視点への追従については、個人差が非常に大きい。本研究ではまだ十分な解析は出来ていないが、このような追従の仕方が、不快感の発生と大いに関係がある可能性がある。頭部運動の計測は、このような激しい動きのある動画像の生体への影響評価において、非常に重要な意味があると考えられる。

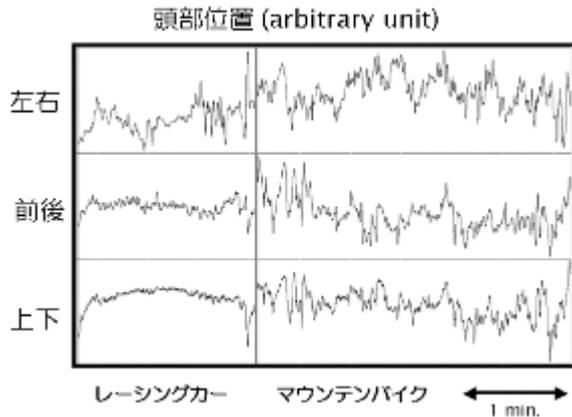


図-4 被験者 A について、その頭部位置 (上から左右・前後・上下方向) を 2 つのシーン (合わせて約 5 分間) にまたがって示した。

#### (4) 自律神経系指標の計測と解析

図-5 に計測データの一例を示す。横軸は、映像視聴時間 (この図では 1 分間のデータが表示されている) であり、上から、呼吸曲線、心電図、発汗量、末梢血流量を示している。

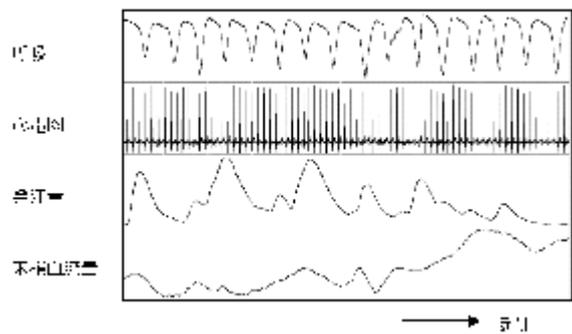


図-5 生体信号計測データの一例。上から、呼吸曲線、心電図、発汗量、末梢血流量 (いずれも相対値) である。発汗量、末梢血流量については、左手母指球において計測した。全時間区間は 1 分である。

呼吸曲線においては、極小値が吸気しきった時に対応するが、2 つの隣接する極小値の midpoint において、極小値間の時間をもって呼吸間隔を

定義した。

又、心電図からの R 波 (QRS 群) の検出を行い、2 つの隣接する R 波の midpoint において心拍間隔とした。これらは、時系列データ中の特定の時点でのみしか定義されない関数であり、その後の信号処理には都合が悪い。そこで、以下の様な手順で、re-sampling を行った。すなわち、吸気時又は R 波の時点の midpoint において呼吸間隔又は心拍間隔を Y 軸値とする関数を作り、これらの頂点を spline 補間し、更に一定間隔で re-sampling を行った。こうすることによって、仮想的に sampling された呼吸間隔・心拍間隔のデータ列が出来上がる。

図-6 は、呼吸曲線と心拍間隔との関係の一例を示したものである。呼吸リズムが、心拍間隔変動に現れている様子が良く分かる。呼吸周波数よりもゆっくりした変動もみられている。

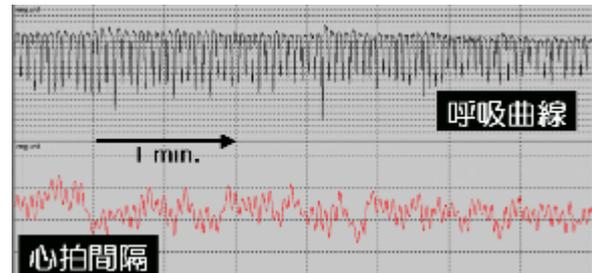


図-6 呼吸曲線と心拍間隔との関係の一例。

図-7 は、Burg 法により計算したパワースペクトル密度を示したものである。ここでは、2 分毎の変化を表示している。おおよそ呼吸周期に対応した成分と、0.1Hz 程度の低周波成分、以上 2 つのピークが観測される。これは、図-6 においてみられた 2 つの周期性に対応したものである。

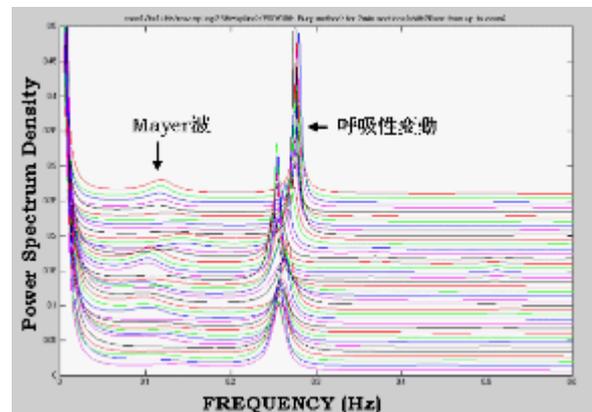


図-7 心拍間隔変動のパワースペクトル密度 (2 分間毎)。呼吸性変動と Mayer 波が観測される。

図-7の結果は、心拍変動(揺らぎという表現も多くみられるが、生理学の分野では変動; variability と称することが多い)の周波数解析において知られている結果と良く一致している<sup>8)</sup>。高周波成分は、脳幹呼吸中枢からの遠心性放電と、肺の伸展受容体からの心臓血管中枢への入力により、迷走神経(副交感神経系)出力が呼気時に増大・吸気時に減少することによって考えられている。この迷走神経支配は抑制系であるので、心拍間隔は呼気時に増大・吸気時に減少する。この周波数が0.2Hz以下になると、交感神経系の寄与が無視できなくなるが、呼吸周波数が0.2Hz以上である場合には(通常はこの条件が満たされることが多い)、呼吸に基づく心拍変動の高周波成分は副交感神経活動の指標となる。

0.1Hz付近の成分は、Mayer波と呼ばれているものであり、血圧変動が圧受容体反射(血圧の上昇が感知されると、その情報は中枢に伝えられ、中枢は血圧を下げようとする)を介して心拍に反映される為に生じると考えられている。この周波数帯では、交感神経系・副交感神経系の両方が関与している。以上の知見から、心拍間隔変動高周波成分(略してHF)は、副交感神経活動性の指標と考えられ、又、LF/HF(LFは、心拍間隔変動低周波成分:Mayer波成分)を交感神経活動性の大きな指標と考えることが出来る。

上述した様に、心拍変動の低周波・高周波成分の分離においては、Mayer波周波数と呼吸周波数とが分離していることが望ましい。今回の被験者については、その呼吸周波数の平均は、0.25~0.41Hzの範囲にあり、通常良く行われている様に0.15Hzを境界とすることで、上記条件は満足される。以下では、心拍間隔の時間変化データに対し、1次のButterworth bandpass filterを通し、0.04~0.15Hzの範囲を低周波成分、0.15~0.9Hzの範囲を高周波成分と定義して議論を進める。

#### (5) 自律神経系指標の挙動

以上の解析をまとめた一例を図-8に示す。この図は上から、

- 呼吸間隔
- 血圧(最高・平均・最低)
- 心拍間隔
- HF(心拍間隔変動高周波成分):  
副交感神経活動性指標

- LF/HF(LF:心拍間隔変動低周波成分):  
交感神経活動性指標
- 発汗量
- 末梢血流量

であり、全画像提示時間36分30秒間分を示している。

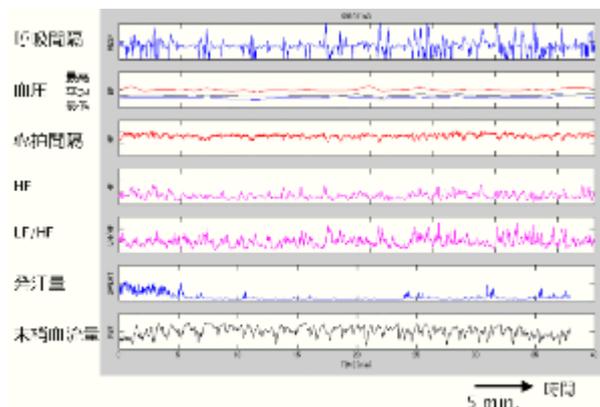


図-8 生体信号計測データ及びその解析データの一例(被験者E)。呼吸間隔、血圧(最高・平均・最低)、心拍間隔、HF(心拍間隔変動高周波成分):副交感神経活動性指標、LF/HF(LF:心拍間隔変動低周波成分):交感神経活動性指標、発汗量、末梢血流量(いずれも相対値)である。全画像提示時間36分30秒間分を示す。

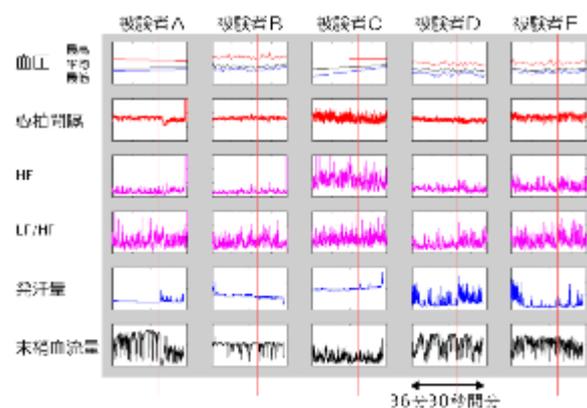


図-9 生体信号計測データ及びその解析データ。5名の被験者について、全画像提示時間36分30秒間分のデータを圧縮して示したものである。血圧(最高・平均・最低)、心拍間隔、HF(心拍間隔変動高周波成分):副交感神経活動性指標、LF/HF(LF:心拍間隔変動低周波成分):交感神経活動性指標、発汗量、末梢血流量(いずれも相対値)。図中、縦線はマウンテンバイクのシーン開始時点を表している。

図-9は、図-8に相当するデータを5名の被験者について並べたものである。図中、被験者AとCについての血圧が直線的に変化している様にみえるが、これは映像提示直前と直後に

しか計測しておらず、そのデータを直線で結んだことによるものである。全体的にみると、血圧や心拍間隔の変動はさほど大きくはないことが分かる(ただし被験者Aでは、明らかに心拍間隔が減少する部分があり、これについては後述する)。それに対して、HF(心拍間隔変動高周波成分)：副交感神経活動性指標、LF/HF(LF：心拍間隔変動低周波成分)：交感神経活動性指標、発汗量、末梢血流量は非常に激しく変動している。

発汗量については、スパイク状のデータが得られているが、被験者間での違いが大きい、及び、発汗が生じない時間区間がしばしばみられるという特徴がある。これは、精神性発汗が独立に生じるのではなく、温熱性発汗がある時又は発汗しかけている時にのみ精神性発汗反応が認められる、という知見<sup>9)</sup>より説明しうる。

末梢血流量は、皮膚交感神経活動を反映して、発汗とほぼ同期して変化するという特徴がある。図-10は、この傾向が非常にはっきりとみられた被験者Dの例である。発汗波が生じるところで末梢血流量が減少している様子がみとれる。岩瀬・間野<sup>10)</sup>によれば、発汗波及び末梢血流量減少の直前に、皮膚交感神経活動がみられる。この活動量積分量は、発汗加速度(発汗量と時間との関係における傾きに相当する量として定義される)にほぼ比例する。従って、これらのデータから、皮膚交感神経活動量を見積もることも原理的に可能である。

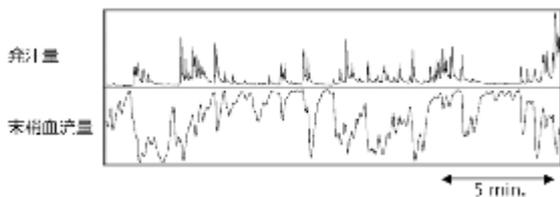


図-10 被験者Dについて、映像視聴中 20 分間の発汗量と末梢血流量(いずれも相対値)を示したもの。非常に強い相関がみられる。

次に、特に強い映像刺激に対する反応について述べる。図-9において、生体信号の全体像をみると、被験者Aにおける心拍間隔の減少と、被験者A・C・D・Eにおいて、ほぼ同じ時間に発汗が生じていることが特徴的である。対応するのは、マウンテンバイクのシーンであった(図-9中、縦棒がこのシーン開始点を現している)。この4名はいずれもアンケートにおいて何らかの不快感を訴えており、ただ一人

何の不快感も訴えなかった被験者Bだけはこの時間帯において発汗を生じていない。

この4名の中でも、症状が最も強かった被験者Aについての生体信号を図-11に示す。

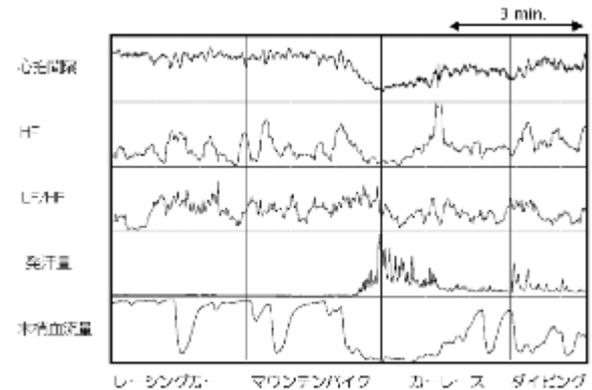


図-11 被験者Aにおける、マウンテンバイクシーン前後の生体信号計測データ及びその解析データ。心拍間隔、HF(心拍間隔変動高周波成分)：副交感神経活動性指標、LF/HF(LF：心拍間隔変動低周波成分)：交感神経活動性指標、発汗量、末梢血流量(いずれも相対値)である。

この図において、マウンテンバイクのシーン開始約2分後に、次の様な特徴的振る舞いがみられる。

- ( ) 心拍間隔の減少
- ( ) 副交感神経系活動指標とされる心拍間隔変動高周波成分の減少
- ( ) 発汗量の増加
- ( ) 末梢血流量の減少

この後、約1分でマウンテンバイクのシーンは終了し、次のカーレースのシーンに切り替わる。このシーン切り替わりを境に、定常値への回復がみられるが、この間約2～3分を要している。( )から( )の特徴は全て、自律神経系活動が交感神経系優位になったことを表しているが、これに近い知見が平衡神経科学において得られているので、参考の為、紹介しておく。すなわち、矛盾する視覚系と平衡神経系からの情報を統合して空間像を作る際の混乱により、

交感神経活動上昇を導く。

この交感神経活動上昇は刺激に対する適応反応であるが、閾値を超えなければ自律神経症状は発生しない。

症状が発生すると、副交感神経活動上昇の場合がある。

と考えられている<sup>11)12)</sup>。本実験における被験者 A の挙動は、上記の知見にそって以下の様に解釈しうる。

視覚刺激からは実際に乗り物に乗っている様な情報が与えられる一方、その動きに本来付随するはずの平衡感覚刺激が欠落しており、その矛盾が生体にとって新たな刺激となる。その刺激に対する適応反応として、交感神経系活動が上昇する。

この例では、2～3分で定常状態への回復がみられており、述べた副交感神経活動上昇までには至っていないものと考えられる。

#### 《 -4 》 まとめ

##### カメラ視点位置の推定

生体モニタリングシステムの実現の為には、出力である生体信号だけではなく、刺激情報としての画像の性質を把握することが重要である。本研究では、提示画像の動画としての性質に関し定量的評価を試みた。これは、MPEG 画像に圧縮した際に生成される motion vector からカメラ視点位置速度を推定するものであり、被験者があたかもそのカメラ位置に存在するかの様に錯覚することから、生体反応を検討していく上での非常に良い指標になるものと考えられる。計算結果は、異なる乗り物の運動の特徴を良く現しており、例えば、レーシングカーレースのシーンでは左右方向の運動が主であること、マウンテンバイクのシーンでは左右・前後・上下全ての方向についての速度が大きいこと等が示された。

##### 頭部運動の計測

刺激映像に対して、頭部運動がどの様に追従するかによって、被験者にとっての視覚情報及び平衡感覚情報は異なってくる。従って、乗り物体験ビデオ視聴時の生体信号の変化を調べていく上で、貴重な情報となりうる。5名の被験者の頭部運動を計測してみると、その挙動は被験者によって、又、シーンによって様々であった。被験者によっては、カメラ視点に良く追従して頭部運動を行っていることが分かった。この被験者は、もっとも強い不快感を示したが、この頭部運動追従と関係がある可能性も考えられる。まだ十分な評価・解析は出来ていないが、頭部運動の計測は、この様な激しい動きのある動画の生体影響評価において、非常に重要な意味があるものと考えられる。

##### アンケート調査

5名中4名の被験者が、マウンテンバイクのシーンにおいて、何らかの不快感を訴えた。マウンテンバイクのシーンは、カメラ視点位置速度が大きいという著しい特徴をもっており、その事実との関連が注目される。

##### 生体信号の変化と生体への影響

アンケート調査及び映像視聴中の呼吸、心電図、発汗量、末梢血流量、及び頭部運動の計測を行い、心電図の解析から得られた心拍間隔からその変動の高周波・低周波成分を見積もった。

マウンテンバイクのシーンにおいて、アンケートにおいて何らかの不快感を訴えていた4名の被験者において発汗のスパイクが観測された。不快感が最も強い被験者においては、自律神経系の活動に特徴的な振る舞いがみられた。すなわち、マウンテンバイクのシーン開始約2分後に、心拍間隔の減少、副交感神経系活動指標とされる心拍間隔変動高周波成分の減少、精神性発汗の増加と末梢血流の減少が観測された。これらは自律神経系活動が交感神経系優位になったことを表している。それから約1分間後のシーン切り替わりから1～2分間で定常値への回復を示した。映像刺激に対する自律神経系活動性の変化に関しての一つの典型的な例が見出されたものとして非常に興味深い。

##### 本研究の意義

本研究は、小規模なものであるが、生体の状態を評価するという観点において、従来の研究において不足していた部分を補強したところに大きな意義がある。映像提示という刺激と、生体信号という出力から生体の状態を推定するに当たって、これまで評価されていなかった画像の動きの定量化を試みたこと、及び被験者が感じる視覚刺激と平衡感覚刺激に直接関係する頭部運動の計測を行ったこと、それにより入力情報・運動・生体信号という全ての必要な情報を揃えたという点である。

## 映像刺激における色の効果

#### 《 -1 》 背景

1998年12月16日(火)、テレビ東京で放送された「ポケットモンスター」第38話を見ていた一部の視聴者が、気分が悪くなるなどの症状を起こした。消防庁の調べ(98/12/17 17p.m.)では、何らかの症状をきたし医療機関に搬送された人は685人にのぼる。これが

いわゆる『ポケモン事件(ポケモンショック)』である。その後、郵政省と厚生省が連動してこの事件の分析を行う為、厚生科学特別研究-光感受性発作に関する臨床研究-が召集された<sup>13)</sup>。その結果、事件の主たる原因は「12Hzの青/赤の繰り返し画像が誘起した光過敏性てんかん」であると推定され、その対策としての新たなガイドラインが作成された。これは、Prof. Harding (Aston University)の一連の研究<sup>14)</sup>をベースとして作成された ITC (Independent Television Commission) のガイドラインに色彩の要素を付加したものとなっている。

平成9年度厚生科学特別研究-光感受性発作に関する臨床研究-は、以下の3つの班で構成されている。

**実態調査班**

アニメ番組「ポケットモンスター」による症状の発生頻度とその背景因子の解明を行う為の疫学的研究。

**症例検討班**

症状発現者についての医学的検討を行う。光過敏性てんかんの臨床医で構成されている。

**基礎検討班**

光感受性発作を誘発する光刺激の物理的特性と生体に与える影響を検討する。評価手法は、VEP (Visual Evoked Potential, 視覚誘発電位)、及び、f-MRI (Functional Magnetic Resonance Imaging, 機能的磁気共鳴画像)である。

我々は基礎検討班に所属し、色による効果に関する実験を行った。

《 -2 》問題画像の分析とテスト画像の作成

我々は、テレビ東京と厚生省の許可を得て、「ポケットモンスター」のオリジナルテープを入手し、問題となった6:50pmに放映された画像を詳細に解析した。

テレビアニメの作成においては、最初にセル・アニメを毎秒24コマで撮影し、それを更に毎秒30コマのNTSCフォーマットに変換する。従って、もともと単純な赤・青の繰り返しとして作成されたセル画像は、最終的なテレビ画像となる際には、1/60秒のfield単位で記述すると、[赤-赤-赤-青]、[青-赤-赤-赤]、[青-青-赤-赤]、[赤-赤-青-青]、という複雑なパターンに変化してしまう。

実際のアニメ画像は、更に、色、明るさ、点滅の速度、パターンなど、様々な要素が組み合わさった複雑なものであり、それからどの要素

を抽出して実験を行うべきかについては、熟慮せざるを得なかった。最終的に、色、刺激時間、呈示周波数、色の組み合わせ、が重要な要素と判断し、放映されたアニメと全く同じ色彩を用いて、単純化されたテストパターンを作成した。図-12にその例を示す。この図では、パターンの単位を1 frame (1/30秒)として書いてある。

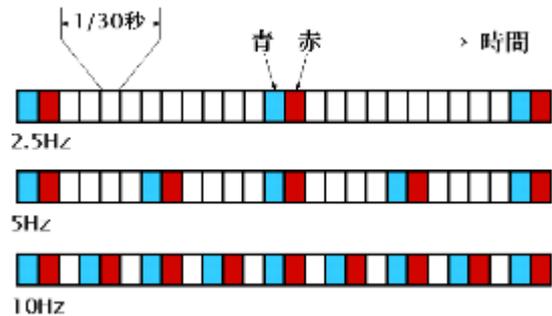


図-12 実験に用いたテスト刺激パターン例。

《 -3 》視覚誘発電位の計測評価

これらの刺激パターンを用いて得られた視覚誘発電位の結果の一部を紹介する<sup>13) 15)</sup>。被験者は18~26歳の健康な男性である。波形は全て光刺激開始時間をトリガとして積算平均した信号であり、刺激に対する脳電位の応答特性である。電極は両耳朶を短絡し、耳朶とOZ(脳波電極配置の標準である国際10-20法の定義による<sup>16)</sup>、正中後頭部)間の電位を計測している。上向きが陰性に対応する。

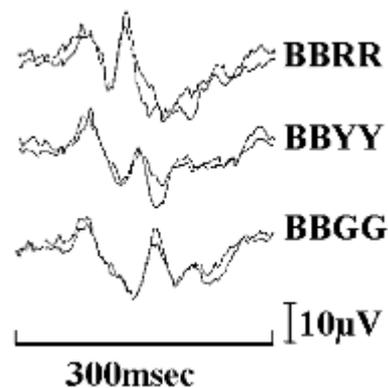


図-13 「青青赤赤」、「青青黄黄」、「青青緑緑」を刺激パターンとした時の視覚誘発電位。周波数は1Hzである。

図-13に視覚誘発電位のデータ例を示す。BBRRはそれぞれ1-field(1/60秒)の「青青赤

赤」刺激を 1Hz の周波数で繰り返し与えた場合を示している。1/60 秒は前図刺激パターンの単位の更に半分の長さであることに注意されたい。以下、BBYY は「青青黄黄」、BBGG は「青青緑緑」に対応する。全て 2 峰性のピークを持つが、「青青赤赤」の場合の第 2 ピークの潜時(刺激開始からの時間)が短いという特徴が見られる。

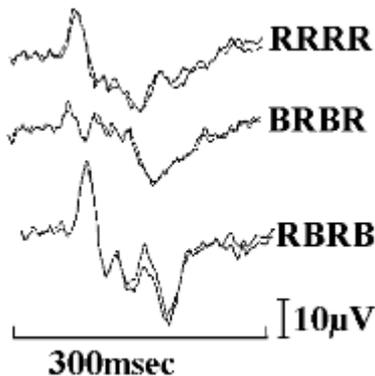


図-14 「赤赤赤赤」、「青赤赤赤」、「赤青赤青」を刺激パターンとした時の視覚誘発電位。周波数は 1Hz である。

図-14 は、RRRR:「赤赤赤赤」、BRBR:「青赤赤赤」、RBRB:「赤青赤青」の結果である。青刺激が 1/60 秒先行する場合(青赤赤赤)には視覚誘発電位の抑制が、又、赤に 1/60 秒遅れて青が混在(赤青赤青)する場合には、促進効果が見られる。又、白灰色刺激との比較からも、赤の刺激が脳内で特別に速く処理されているということが結論出来る。又、青の効果は単なる抑制ではなく、赤とのコンビネーションによってむしろ促進効果をもたらすことは、注目すべきである。

更に、多チャンネル視覚誘発電位の計測より、赤色刺激は灰色刺激と比較して、脳内の比較的深部を興奮させる事が分かった。この様に、健常者の視覚誘発電位をみても、赤という色の特殊性が明らかとなり、光感受性発作の発生に関しても、この特性が重要な一因となっている可能性が示唆される。

## エンターテイメントへの応用

### 《 -1 》背景

近年、コンテンツとユーザを結びつける情報としてのメタ情報が注目されている。現在主に検討されているのは、コンテンツデータを信号

処理することによって、ショットの境界、登場人物の出現時間、車音の抽出、などを行うものである。これらのメタ情報をを多数生成し、コンテンツとリンクさせれば、ユーザがコンテンツを選択したり、ブラウズする際に非常に有益な情報となりうる。

しかしながら、信号処理だけでは、人間がコンテンツから感じられること全てを抽出することは不可能である。より人間の感性にあったメタ情報が必要となる。その為には、実際に人間がコンテンツを鑑賞した時の反応を取り入れる必要がある。我々が MPEG-7 (MPEG; Moving Picture Expert Group) に提出したコンセプト<sup>5)</sup>は、映画等のコンテンツをシーンという単位に分割し、そのシーン毎に人間の反応に基づくメタ情報を付加していくというものである。図-15 にその概略を示す。図中一番下には、シーン毎に 2 種類のメタ情報(棒線・斜線)が例として表示されている。例えば、棒線を生体信号から得られた興奮度としてみよう。この様な情報があれば、ユーザがコンテンツを実際に視聴する前の段階で、「そのコンテンツがどの程度興奮するものであるのか」、「興奮度の抑揚が大きなコンテンツなのか」などが分かる。この様な情報は、ユーザがコンテンツを選択する際に非常に有益である。又、興奮度の時間変化の情報があれば、コンテンツのダイジェスト版や予告編を自動的に作成したり、コンテンツ選択の為のブラウジングを効率的に行うことが可能になる。

この様なメタ情報は、複数あることが望ましい。例えば、瞬きの頻度、笑いの頻度や強さ、など様々なものが考えられる。メタ情報を組み合わせることにより、ユーザは自分の好みにあったコンテンツを、より適確に選択することが可能になる。

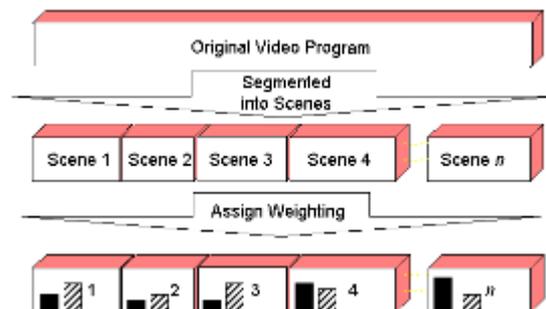


図-15 シーン毎に定義されたメタ情報の概念図。

コンテンツと人間の相互作用の結果を観測する方法としては、

(1) 主観検査

(2) 生体信号計測・解析

の二つが考えられる。(1)には様々な手法があるが、どの手法でも、質問を行うことにより、必要とする様々な観点の情報が得られるという利点がある。我々は、生体信号計測との統合活用を視野に入れつつ、主観検査法として、シーンごとの複雑化・解決化評価から物語の全体構造を浮かび上がらせる Semantic Score Method<sup>17)</sup>を導入し検討を行っている。しかしながら、主観検査は、本質的に review 検査であり、データ作成に手間がかかり、AV コンテンツのどの時間帯の情報かを確定することが難しい、という一般的な短所がある。

その点、生体信号計測は本質的に real time 計測であり、かつそのデータから自動的に必要な情報を生成しうる可能性を持っている。これは、その処理が簡便になるだけでなく、メタ情報をリアルタイムに配信する仕組みにも対応することが出来るという利点につながる。更に重要なのは、その時間精度が高いことであり、この特質はダイジェスト版の作成やブラウジングを行う上で非常に有益である。

このような背景の中、メタ情報として如何に有益な情報が得られるかを明らかにする為、実際に映画を視聴している際の生体信号計測・解析を試みた。

《 -2 》 実験方法

この実験における計測手法は、ほぼ の実験と同様である。実験に参加した被験者は健康な

学生6名であった。すべての被験者からインフォームド・コンセントを得た。又、視聴前後に体調、映画の感想、一般質問などのアンケートを行っている。なお、本研究は新潟大学医学部倫理委員会の承認を得ている(認可番号:58.平成11年9月3日)。又、視聴した映画は、Tristar Pictures: "The Mask of Zorro" (136分)である。

《 -3 》 実験結果 -筋電図-

図-16に、顔において計測された筋電図活動性を示す。計6名のうち、図に示した3人の被験者において、特徴的なピークがみられた。この時間帯は、『主人公の Zorro(2代目)が馬に飛び乗ろうとし、失敗して地面に叩き付けられる』というユーモラスなシーンである。撮影画像から、これらの被験者がうす笑いをしていることから、これらの筋電図活動性のピークは、笑いに対応していることが分かる。

顔面の筋電図から表情を読み取るには、表情筋(皺眉筋・大頬骨筋・オトガイ筋・口輪筋・笑筋・眼輪筋・前頭筋)それぞれの活動性比率を調べるのが一般的である<sup>18)</sup>。しかしながら、本実験の様に、呈示映像の内容が明確な場合には、生体信号の解釈は遥かに容易である。今回の場合は笑いを誘発する映像であるが、この場合には、顔面の一点において計測した筋肉活動をもって、それが笑いの強さを表していると言える。笑いがこの様に定量的に評価出来るということは、コンテンツの評価上非常に有益であると考えられる。

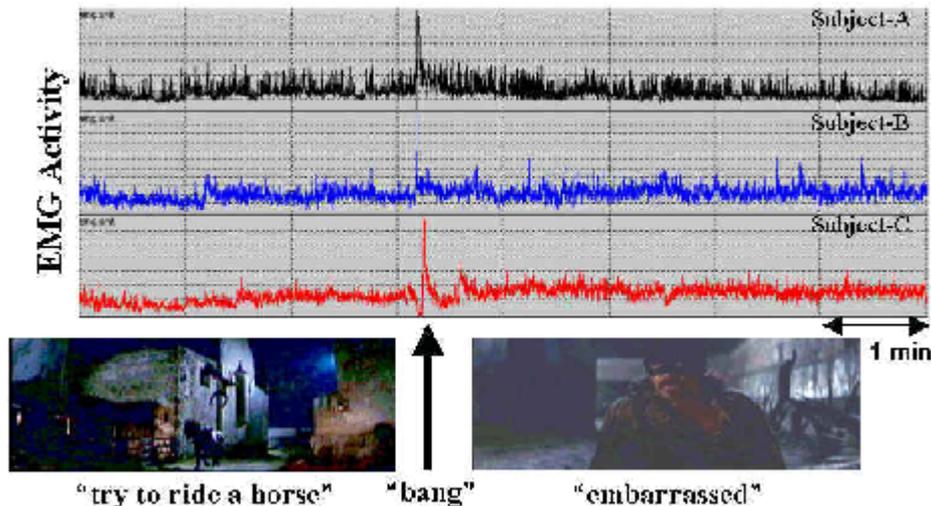


図-16 映画: "The Mask of Zorro" 視聴時における顔において計測された筋電図活動性。3人の被験者についてのデータを示す。

#### 《 -4》 実験結果 -瞬目-

前述した様に、ビデオ画像から瞬目の抽出を行った。次に、全 zero 値の時系列データ上に、瞬目が生じた時点にのみ有限値を配置し、瞬目を表すデータとした。図-17 (上図)に例を示す。

次に、瞬目が生じた時点間の時間を算出する。これは目が開いた時間(以下、無瞬目時間と呼ぶことにする)に相当する。中図ではこの値を2つの瞬目時点の midpoint に定義している。下図は、無瞬目時間を、2つの瞬目時点間で柱状グラフとして表示したものである。以下では、この表示を用いる。

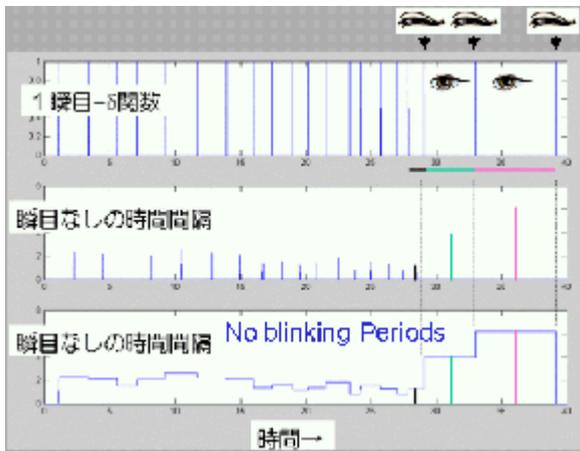


図-17 無瞬目時間の定義の説明。

上図：瞬目時点の時系列データ上に表す。

中図：無瞬目時間を2瞬目時点の midpoint に表す。

下図：無瞬目時間を2瞬目時点間で柱状グラフ状に表す。

図-18 は、一人の被験者について、その無瞬目時間を全映画視聴時間についてプロットしたものである。この被験者の場合、無瞬目時間は平均3秒程度であるが、15秒を超える無瞬目時間帯が数点存在する。図では、この非常に長い無瞬目時間に対応する映画画像を示しているが、この被験者の場合、特に戦闘シーンにおいて、瞬目をせず画面を見つめ続けていることが分かる。この様に、無瞬目時間は、被験者の映像に対しての興味を如術に反映していると考えられる。

#### 《 -5》 まとめ

メタ情報としての生体信号に可能性について検討した。ここで紹介した筋電図活動性のピークは、このコンテンツに関しては、笑いの非常に良い指標となりえることが分かった。又、瞬目のデータは、映像への興味度を強く反映している。このように、本研究で得られたデータは、コンテンツを記述する情報として、非常に有益であると考えられる。

今後、様々な生体信号を計測し、それらの情報を組み合わせることにより、視聴者にとってより意義のあるメタ情報を生成することが可能となるであろう。

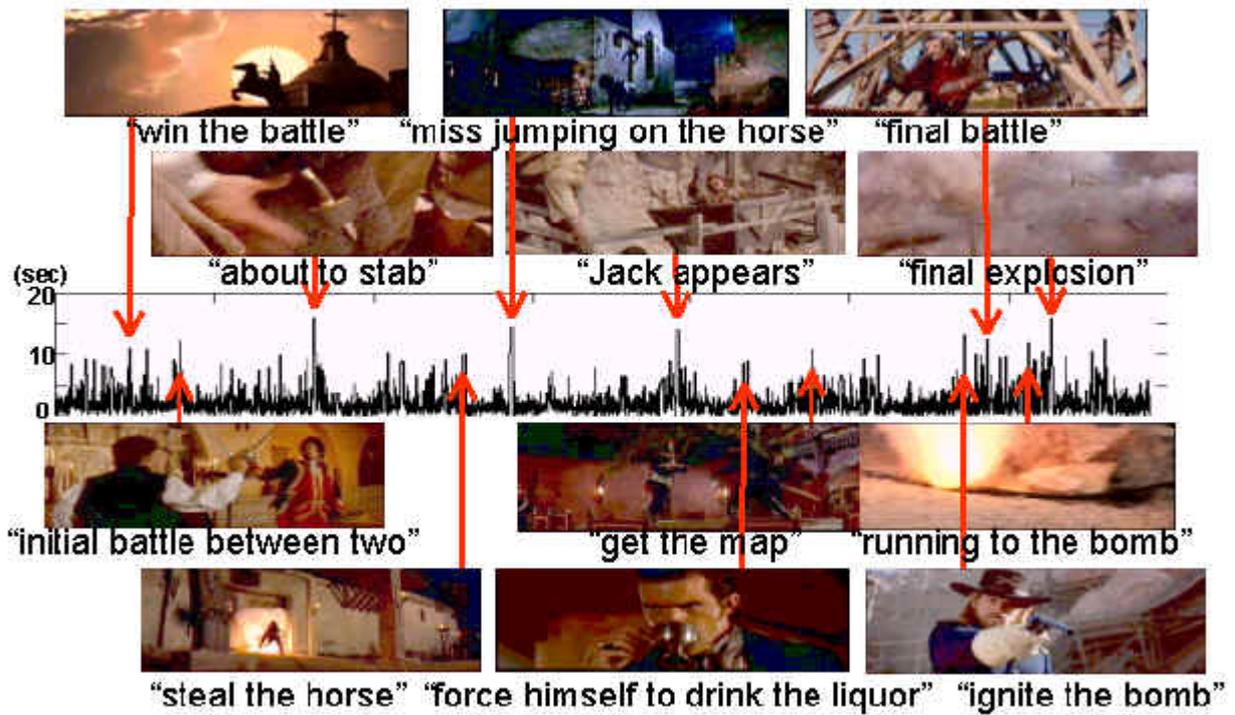


図-18 映画：“The Mask of Zorro”視聴時における無瞬目時間の一例。挿入図は、非常に長い無瞬目時間に対応する映画画像である。各画像には、シーンの簡単な説明を書いている。

## まとめ

生体信号の計測・評価により，人間に関する様々な情報を得ることが出来る．

研究( )では，不自然な映像刺激の生体への影響を，自律神経系の情報によって良く記述出来ることが分かった．人工的な映像の影響を定量化していく上で有効な評価方法であると言える．

研究( )では，視覚誘発電位の計測から，視覚情報処理における色の効果についての知見を得ることが出来た．光感受性発作の発症に関わる重要な知見である．

研究( )では，生体信号によってコンテンツを記述するという，新しい応用の可能性を示した．幾つかの生体信号が，メタ情報として有益であることが確認された．

生体信号は，センサ及び生体信号解析手法の発展，それに加えて生理学的知見の解明により，その意義はますます増大していくであろう．それに伴い，その応用範囲もますます広がって行くものと期待される．

謝辞：

camera motion の計算( )は，Dr. Peter M. Kuhn, Sony Corp. にして頂きました．又，メタ情報としての生体信号( )に関しては，研究仲間である Takahashi, Y., Shibata, Y., M., Osawa, E., Kimura, H., Sony Corp. さんとコンセプトを發展させてきました．以上の方々のご協力に感謝します．

## 参考文献

- 1) (社)電子情報技術産業協会 映像生体影響研究委員会 (2001 年度)．“3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィジビリティスタディ報告書” (平成 11 年 6 月発行)．
- 2) 例 えば ， Schwartz, Mark S. (Edt), “Biofeedback : A Practitioner's Guide” 2nd Edition, Guilford Pr Published, 1999/03.
- 3) Marrin, T. and Picard, R., “The Conductor's Jacket: a Testbed for Research on Gestural and Affective Expression.” Presented at the XII

Colloquium for Musical Informatics, in Gorizia, Italy, September 1998.

- 4) Tosa, N. and Asukai, M. et al., “Unconscious Flow”, SIGGRAPH 99 ART Show, Los Angeles, 1999.
- 5) Shibata, Y., Takahashi, Y., Kamada, M., Osawa, E., Kimura, H. and Miura, M., “Weight DS Extension for Affect-based Content Characterization”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG 99/M5481, December, 1999, Maui, USA.
- 6) 例 えば ，山越憲一・戸川達男，“生体用センサと計測装置”，コロナ社，2000.
- 7) Srinivasan, M. V., Venkatesh, S. and Hosie, R., Pattern Recognition, 30-4, 593-606, 1997.
- 8) 早野順一郎，“心拍のゆらぎと自律神経”，Ther Res, 17, 163-235, 1996.
- 9) 小川徳雄，“発汗と自律神経”，医学のあゆみ, 98-5, 417-422, 1976.
- 10) 岩瀬敏，間野忠明，“皮膚交感神経活動と発汗”，神経内科, 44-2, 121-130, 1996.
- 11) 松永亭，“めまいの発生機序 -自律神経系の関与について-”，第 84 回日本耳鼻咽喉科学会総会宿題報告, 1983.
- 12) 檜學，“めまいの科学 -心と身体の平衡-”，(1992) 朝倉書店.
- 13) 平成 9 年度厚生科学特別研究研究報告書「光感受性発作に関する臨床研究」(1998 年 5 月 31 日)
- 14) Harding, G. A., “TV can be bad for your health.”, Nature Medicine, 4-3, 265-267, 1998.
- 15) 黒岩，日下部，鎌田，山崎，上條，剣持，“高頻度複合色視覚刺激による視覚大脳誘発電位；光感受性発作との関連”，臨床脳波, 42-5, 325-332, 2000.
- 16) 例 えば ，大熊輝雄，“臨床脳波学”，医学書院, 35, 1991.
- 17) Yasushi Takahashi, Yoshiaki Shibata, Mikio Kamada and Hitoshi Kimura, “The Semantic Score Method for Quantitative Evaluation of Video Contents by Viewers”, Proc. Of IEEE 2001 International Conference on Consumer Electronics (ICCE) 358-359, June, 2001.
- 18) 角述豊，精神神経学雑誌, 69, 1967.