

映像の定量化と動きベクトルによる 映像の生体影響評価

木 竜 徹*・小林 直樹**

1. はじめに

デジタルカメラ、DVD、そしてブロードバンドの普及により、様々なサイズ、分解能、フレームレートの映像が氾濫している。また、映像の3D化やCave等、空間を取り囲む様な表示方式が増えてきている。しかし、光過敏性や3Dの映像酔いに代表される映像の生体影響に関しては不明な点が多い。映像の生体影響を探る研究をかえりみると、生体影響を探るための映像の定量化をどの様に進めるべきかに関して十分な研究が進んできたとは言いがたい。また、映像酔いを生体信号処理から進めた研究^{1,2)}でも、感覚系の不調和を原因と考えながらも評価はまったく時間スケールの異なる自律神経系やアンケート調査などが中心である。

実際、映像に関する技術開発では、MPEG等の圧縮符号化分野を中心に映像の品質をSN比や解像度、フレームレート等で評価してきた³⁾。この分野においても、映像の圧縮率を一定した時に、解像度優先にした場合とフレームレート優先した場合で生体に与える影響が異なることは漠然と考えられている。しかし、実際の生体に与える影響に関する調査報告はない。一方、映像による認知空間を対象とするバーチャルリアリティの分野では、3Dによるシミュレータ酔いが報告されていた。この分野では、オブティカルフローと自己運動感(vection)の観点から研究が進められ⁴⁾、生理学的な議論はもっぱら視覚と平衡感覚にあった。さらに、ストレス評価で利用されている自律神経系の観点からシミュレータ酔いの研究¹⁾が行われたが、映像の定量化は不十分であった。

2. 映像の定量化

2.1 動きベクトル

MPEG-2やMPEG-4に代表される動画のディ

ジタル化、圧縮符号化技術で用いる動きベクトルに着目した。動きベクトルは映像圧縮符号化の際に利用される成分であるため、これに関係する映像定量化成分が生体信号と何らかの関係があることを示せば、デジタル映像制作時に生体影響を与えそうな成分を同時にチェックできることになる。

動きベクトルはローカル動きベクトル(LMV: Local Motion Vector)とグローバル動きベクトル(GMV: Global Motion Vector)の2種類がある。LMVを算出するブロックマッチング法⁵⁾では、スクリーン上で幾つかのピクセルから成るブロックと隣接するフレーム上の類似ブロックとのマッチングをはかることで上下左右方向のピクセルの移動量を求める。さらに、GMVの算出にはスプライトを使用したボトムアップ的なアプローチ⁶⁾をとる。したがって、GMVはLMVに共通に見られる動きであるためカメラモーションと関係しており、ズーム(焦点距離の移動)、パン(カメラの横振り)、チルト(カメラの縦振り)の3種類がある。

2.2 動きベクトルによるランダムドットパターン映像

映像生体影響の現れた実写映像区間での動きベクトルと同じ振る舞いをするシミュレーション映像を制作し、これを映像負荷とする生体影響を様々な生体信号として計測した⁷⁾。

ここで、動きベクトルに基づくシミュレーション映像はコンテンツ依存性のないランダムドットパターンとした。ランダムドットパターンはシーンやシナリオレベルのコンテンツを省いた映像となり、自己運動感のある映像であっても文脈の予測のできない場面で、視聴者への映像生体影響を探ることができる。なお、動きベクトルからランダムドットパターンを制作するにあたり、視覚刺激システム(VSG2/5, Cambridge Research Systems製)を用いて制作することにした。

* Kiryu T 新潟大学

** Komuro N NTT 東日本

3. 映像生体影響解析

3.1 映像酔いのモデル式

映像の定量化は解析方法（ここでは、動きベクトル）が決まれば、ひとつの映像に対して一律に求めることができる。しかし、実際には視聴者への影響は個人性が存在するがゆえに一律には論じられない。また、同じ視聴者でも体調など様々な時間スケールの中で影響は変化していくと考えるのが自然である。

いま、映像酔いの強さを以下の様なモデル式で考える。

映像酔いの強さ = (自己運動感のある映像で予測を必要とする程度) × (映像コンテンツの身体的理解の程度) × (映像サイズや輝度などによる没入感)

このモデル式では、映像酔いの要因が複数あることを意図しており、動きベクトルは第1項に関係する要素を含んでいる。したがって、映像酔いの強い映像とは、視聴者に予測を強いる成分を含みながら予測しづらい映像（未経験な場面、予測に反する動きが持続する映像、視覚と前庭感覚に不一致をもたらす映像）で、没入感の高い表示装置を使っている場合と考えている。逆に、ひとつでも要件が満足されないと、映像酔いが現れ難くなることを意味している。例えば、よく言われる感覚系の不調和の影響もサイズの小さな映像では影響はでないであろう。

3.2 映像のレイティング

映像要素の特徴は抽象的な構造から意味のあるコンテンツまで幾層にも存在する。ここで、映像のシーンの流れに依存した比較的短時間に現れる時系列的な映像の構造的要素の変化（動きベクトル等）がある。さらに、映像のコンテンツに依存した特徴としては、シーンへの没入感と経験に関わる部分、長時間にわたって映像から受ける心理的、かつ蓄積的な影響がある。なお、Harding 指数⁸⁾は映像の輝度

や色彩に関して対光反射関連情報を表現したものである。以上の点を考慮に入れると、自己運動感のある映像を対象とする場合の映像要素の階層は図1の様になると考えられる。

3.3 個人性のレイティング

自己運動感を引き起こす映像は視覚情報に予測を引き起こす要因を持っている。この際、実際の運動時の状態とは異なり視覚と前庭感覚に不一致があり、その不一致が映像酔いの原因であるとの研究が従来からある^{1,2)}。しかし、同じ映像でも酔う人と酔わない人がいる。また、酔わない人は、酔いやすい映像に長時間さらされていても酔わないのであろうか。

つまり、映像が同じであっても視聴者の個人性によって映像から受ける影響が異なることが予想される。個人性は、神経生理学的には若い頃にどれほどの脳内内部モデルが形成されていたのか、また、運動を伴う経験によって内部モデル形成や機能向上（維持）がどれほど図れたのか（適応能力）に関係するだろう。さらに、加齢や疾病による感覚系・筋骨格系などの機能的変化によっても影響を受けるであろう。そして、自律神経系の調子を反映する体調も忘れてはならない。

現在、映像酔いの評価方法としてよく使われるのが心拍変動などによる自律神経系の情報である。すなわち、RR 間隔、血圧、呼吸の各時系列を周波数解析し、0.15 Hz 以下の帯域からは交感・副交感関連成分、0.3 ~ 0.5 Hz の帯域からは副交感関連成分が利用されている。この場合、感覚情報の不一致と個人性との複合作用として、自律神経系による体内調整が乱される状態を酔いと考えている。

4. 実験と計測条件

被験者は椅子に座った状態で、80 インチの大屏幕スクリーンに液晶プロジェクター（XGA 対応、1,024 × 768 ピクセル、1400ANSI ルーメン）で投影された乗り物感ビデオを、2 m 離れた位置から18 分間視聴した（前後に5 分間安静、映像負荷の前後で対光反射を計測）。その際、心電図、血圧、呼吸、発汗、血流を記録した後、PC に多変量生体信号を取り込み解析した⁷⁾。映像刺激として、自然を背景とし、主に車搭載カメラでボブスレー、マウンテンバイク、バイクレースなど動きの激しいスポーツを撮影した体感映像を用いた。

一方、実写映像の動きベクトルを用いたランダムドットパターン映像での実験プロトコルは動きベク

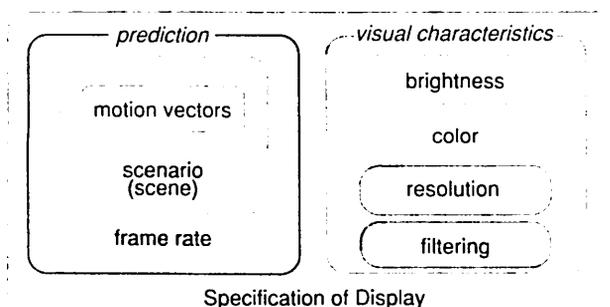


図1 動きベクトルから実映像に至るまでの映像要素の階層

トルの周波数成分や持続時間に関連した要因を探る様に設定した。すなわち、パラメータ（ズーム、パン、チルト）、動きベクトルの周波数、GMVとLMVとの違いの観点から映像生体影響を探れる様にした。

5. 結 果

解析が完全には終了している段階ではないので、それほど明確な表現はできないが、現在までに分かかってきたことを以下に述べる。バイクレースの映像において酔いの見られた区間における動きベクトル

を時間周波数解析した結果、動きベクトル時系列での8～14 Hzの激しい振動が0.5～2 Hzのゆっくりとした振動へ急に变化した時であった（図2）。実際、0.2 Hz程度の水平方向の揺れが動揺病を引き起こすとの報告があることから、動きベクトルの急激な周波数の切り替えや特定の低い周波数成分が生体に影響を与えている可能性がある。なお、この区間の映像はカメラのぶれやカーブシーンなどが多かった。

そこで、同じ動きベクトル成分からなるランダムドットパターンによるCG映像に対する影響を調べ

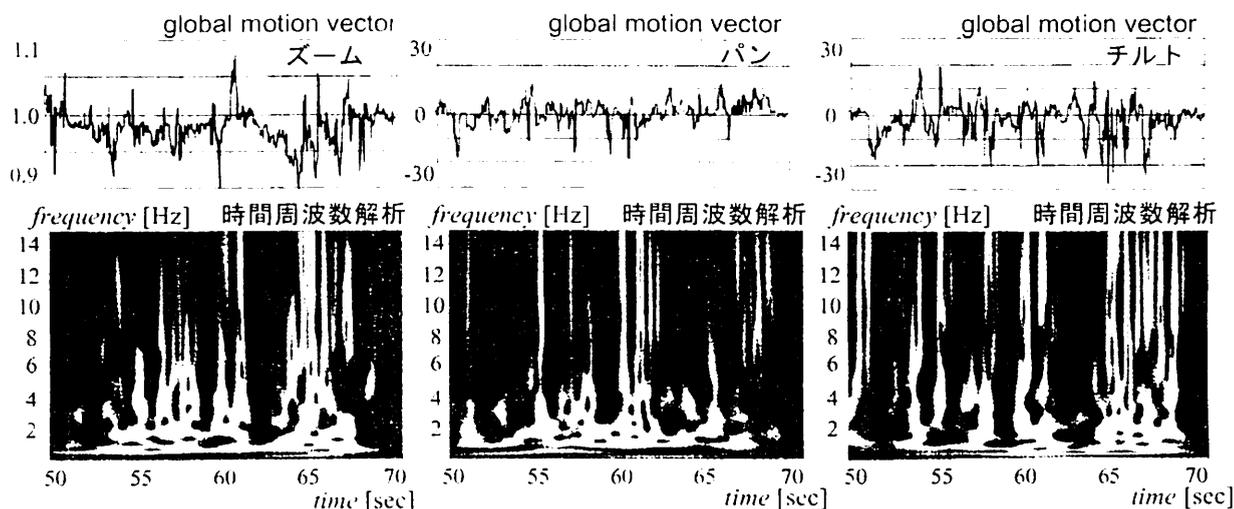


図2 映像酔いがみられたマウンテンバイク映像でのグローバル動きベクトル時系列と時間周波数解析結果

表1 実写とCG映像に対する被験者へのアンケート調査結果

Subject	KA	TF	TH	TM	YM	EN	SS	HS	KS	SW
Real Images	○	×	×	○	○	×	○	×	×	○
CG	×	○	○	×	○	×	○	×	×	×

○：気持ち悪くない ×：気持ち悪い（軽度）

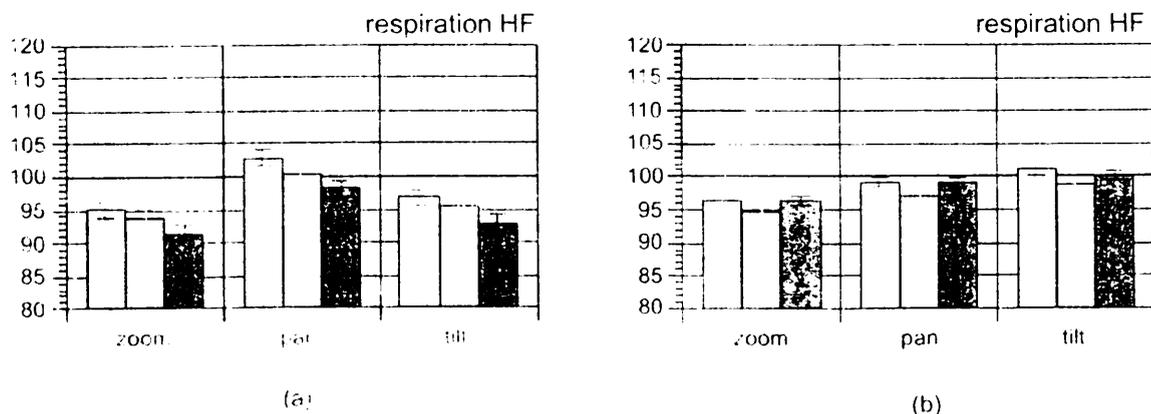


図3 ランダムドットパターンによるCG映像のグローバル動きベクトル成分の影響
すべての成分ありの状態に3回計測し、なしの状態からの変化率を呼吸波形の0.15～0.45 Hz成分から求めた。(a)映像酔いなし、(b)映像酔いあり。

た。その結果、マウンテンバイクの実写映像は気持ち悪くないのに対して、CG映像で気分が悪くなった例があった。一方、マウンテンバイクの実写映像は気持ち悪いのに対して、CG映像は気持ち悪くない例もあった。以上の実験をアンケート調査した結果を被験者毎に表1に示す。

CG映像では、動きベクトルの成分毎に影響を評価できる。すなわち、動きベクトルから特定の成分を除くことによる影響をCG映像によって調べた³⁾。その結果、酔わなかったグループではすべての成分で実験のくり返しによる系統的な変化が見られたのに対して、酔ったグループではその様な特徴は見られなかった。また、特定の成分なしの状態を基準に特定の成分ありの状態との比率を自律神経評価指標で見ると、ズームによる影響が100%から一番大きく離れていた(図3)。

6. 今後の課題

映像のデジタル化が進み、インターネットなど様々なチャンネルを通じて映像が配信されるようになった。その結果、ハイビジョンなどの鮮明な映像の一方で、滑らかな動きでない映像、色彩の異なる映像等、様々な品質の映像を作りだし、さらに、携帯機器や液晶テレビの出現によって、あらゆる場所に映像を氾濫させてきている。特に、携帯電話で送信される映像の品質は粗い映像、滑らかでない動き、そして付属するカメラでとらえた視点が定まらない映像等の生体への影響が懸念される。また、バーチャルリアリティ応用の場面では様々なシミュレータで酔いの報告があり、特に、将来的に必要な性の高いバーチャル手術では大きな問題となることが予想される。以上の様に、映像生体影響を調べる必要性がある場面が増えている。しかし、映像生体影響を調べる装置は存在していない。

そこで、今後、必要と思われる「映像生体影響自動評価システム」への課題をリストアップすると以下の様になる。

1. 映像の特徴付けとライブラリ化：例えば、動きベクトルを使って映像の特徴付けを行う。すなわち、GMVやLMVの時系列解析、スクリーン上の空間的特徴などをライブラリ化する。
2. CG映像から実写映像迄の階層性への対応：映像生体影響の出現が確認されている実写映像から動きベクトルを抽出し、算出した動きベクトルからランダムドットパターンによる

CG映像を制作する。さらに、ランダムドットパターンのサイズ、輝度、色彩による肉付け作業を階層的に行う。これによって、動きベクトルだけのCG映像に映像要素を様々に加えて実写映像に近づけることで、映像のどの要素が生体に影響を与えるのかを調べる。当然、個人性が影響を与えているであろう。

3. 生体信号による個人性の計測：マウンテンバイクやCG映像などの映像酔いを起こしやすい標準映像を準備し、心拍変動、血圧、呼吸、発汗、眼球運動、頭部動揺等を計測し、自律神経系や視覚の特性を推定する。自律神経系においては心拍変動、血圧、呼吸などの時系列を解析する。
4. 個人性のデータベース化：個人性の解析結果を個人性レイティングの際のデータとしてデータベース化する。なお、履歴データベースが作成された後、データマイニングなどの方法によるクラスタリングが必要であろう。
5. 映像生体影響予測式の推定：動きベクトルなどの映像要素とその映像に対して計測された個人性のパラメータとから時系列解析や多変量解析などによって、映像生体影響予測式を推定する。この際、映像の動きベクトルを入力とし、自律神経系の概周期的な生体信号(心拍変動や呼吸波形、血圧波形など)を出力とするモデル推定が役立つかもしれない。

7. まとめ

IT関連技術の流れは急であるが、氾濫する情報を取り込む感覚系への刺激が生体にどの様な影響を及ぼすのか十分に分かっていない。この様なIT関連技術と神経科学とを複合させた様な分野の研究には、様々な分野の研究者の参加が必要である。この解説では、最も強い影響を与えそうな視覚刺激について検討してみた。その結果、自己運動感を引き起こす映像刺激によって映像酔いが生じ、自律神経系の評価指標に影響を与えていることが分かった。しかし、自律神経系へ強い影響を与える要因は視覚刺激以外にもあるだろう。この意味でも、感覚系への刺激が生体に与える影響に関しては、どの刺激が生体機能のどの部分に強い影響を与えるのか、生体機能が生命を維持する上でどの刺激への対応に優先度を高くしているのかなどの観点から、さらなる議論が必要であると考えられる。

なお、映像による視覚刺激に関しては、年齢(経

験), 生活習慣病の程度, 体調などの評価指標と感覚刺激との関係を探ることで, どの程度の映像までは酔いの影響が抑えられるのかを, 個人毎に予測できる方法を明らかにする予定である。

謝 辞

動きベクトルの算出にあたり NTT サイバースペース研究所 秦泉寺久美氏のご協力に感謝致します。

文 献

- 1) 中川千鶴, 大須賀美恵子: VE 酔い研究および関連分野における研究の現状. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 **3**: 31-39, 1998
- 2) 高木陽子, 上條憲一, 山崎敏正: 危険映像緩和フィルタ(ビデオハザードブロッカー)を適用した映像の主観評価. 第 16 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 2001 95-98
- 3) 熊田純二: 画質評価の最近の動向. 映像情報メディア学会誌 **53**: 1184-1189, 1999
- 4) 井野秀一: VR 刺激の生体への影響. バイオメカニズム学会誌 **25**: 75-80, 2001
- 5) 安田 浩, 渡辺 裕: デジタル画像圧縮の基礎. 日経 BP 出版センター 東京 1996 44-47
- 6) 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. 電子情報通信学会論文誌 **J82-D-II**: 1018-1030, 1999
- 7) 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, 2002 143-144
- 8) Harding GF: TV can be bad for your health. *Nat Med* **4**: 265-267, 1998
- 9) 野村理恵, 木竜 徹, 中村亨弥, 板東武彦: 動きベクトルのパラメータ変化による生体影響評価. 電子情報通信学会技術研究報告 **MBE2003-64**: 45-50, 2003