

動きベクトルを用いた要素分解による 自己運動感のある映像の生体影響評価

木竜 徹[†], 南保 洋子[†], 板東 武彦^{††}, 小林 直樹^{†††}

[†]新潟大学大学院自然科学研究科, ^{††}新潟大学大学院医歯学総合研究科, ^{†††}NTT 東日本

[†]〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町 8050

E-mail: kiryu@bc.niigata-u.ac.jp

あらまし 自己運動感のある映像を映像圧縮で利用される動きベクトルの要素で分解し、動きベクトルと血圧や呼吸等の生体信号との関係を調べた。この際、映像はマウンテンバイクに搭載したカメラからの映像、及び、同じ動きベクトルを持つランダムドットパターンとした。実写映像からは、映像酔いが見られた区間において、グローバル動きベクトルと血圧関連の Mayer 波との相関が強かった。その際、動きベクトルの周波数成分は 8–14Hz から 0.5–2Hz に変化し、また別の区間では 2–4Hz の成分を含んでいた。また、動きベクトルからランダムドットパターンによるシミュレーション映像を制作し、同様な方法で生体影響を調べた結果、ズームとパンの影響が強かった。

キーワード 自己運動感, 動きベクトル, 多変量生体信号, ランダムドットパターン, 時間周波数解析

Assessment of the Vection-Induced Image by Decomposing Factors with Motion Vectors

Tohru KIRYU[†], Yoko NAMBO[†], Takehiko BANDO^{††}, and Naoki KOBAYASI^{†††}

[†]Graduate School of Science and Technology, Niigata University, ^{††}Graduate School of Medical and Dental Sciences, Niigata University, ^{†††}NTT EAST

[†]8050 Ikarashi-2, Niigata 950-2181, Japan

E-mail: kiryu@bc.niigata-u.ac.jp

Abstract We investigated the influence of vection-induced images by decomposing image into the motion vectors and assessing autonomic nerves activity (ANA) related indices estimated from blood pressure and respiration. As images, a real image was a mountain bike riding video image photographed from a handle-attached camera, and a simulated image was a random dot pattern which motion vector was the same as that of the real image. While unpleasant intervals, the global motion vector was correlated to the Mayer wave, and the time-frequency representation of the motion vector switched the frequency bands from 8–14 Hz to 0.5–2 Hz or included 2–4 Hz components. Moreover, zoom and pan components of the motion vector affected ANA related indices.

Key words vection, motion vector, multivariate biosignals, random dot pattern, time-frequency analysis.

1. まえがき

自己運動感のある映像は実際に経験できない躍動感や楽しみを提供する。特に最近のゲーム、アニメーション、さらにCGによるSFX映画では躍動感を求めて、より自己運動感のある映像を長いシーンにわたって多用するようになってきた。しかし、その一方で自己運動感のある映像は、視覚と前庭感覚に関する不調和から、映像酔いが生じやすいとされている[1], [2]。自己運動感を引き起こす映像は予測を要求する要因を持っており、常に前庭感覚と視覚の不調和にさらされている。それにもかかわらず、視聴者のすべてが映像酔いを感じるわけではない。

さて、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成分として、時系列的な映像の構造的要素の変化がある。さらに、映像のコンテンツに関しては、シーンへの没入感と経験に関して、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。ここでは、映像要素として映像のデジタル化を見すえ、時系列的な映像の構造的要素の変化としてデータ圧縮技術に組み込まれている動きベクトルに注目する。

ところで、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の程度が異なる。ここで、神経生理学的な個人性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、更なる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。また、加齢や疾病による機能の変化がもたらす感覚系・筋骨格系・自律神経系などに起因する個人性がある。さらに、体調は個人性の平均的なレベルに重畳する変動である。ここで、感覚系の不調和は数10 msecオーダーであるのに対して、映像酔いの影響は数10 secオーダーの自律神経系生理指標で評価されてきた。したがって、これらを同時に取り扱った例は少ない。

著者等は、実写映像に対して映像の動きベクトルと多変量生体信号との関係を調べ、動きベクトルの特徴的な変化が血圧変化に影響を及ぼしていることをすでに示した[3], [4]。本報告では、実写映像の影響だけでなく、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ランダムドットパターンで制作し、これを映像負荷とする生体影響を調べる。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、視聴者への映像生体影響を探ることができる。

2. 方法

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)

このモデル式は、映像酔いの要因が複数あることを意図して作られている。また、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、映像酔いの強い映像は予測を必要とする映像であり、その予測結果と予測に伴う期待感とにズレがある映像であり、臨場感や没入感の高い映像と考えている。

2.1 動きベクトルによる映像の定量化

MPEG-2等で用いられる動きベクトルは、連続するフレーム間で映像の構成要素を比較することによって得られる映像の動き情報である。実際には、動画のデジタル化、圧縮符号化の際に用いられる。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では、隣接するフレーム間で類似の特徴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推定する。さらに、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種類の要素がある。

動きベクトルは、映像の構成要素が連続するフレーム間での動きやカメラの動きによって変化する量のみを表している。したがって、映像内にある物体の動きを追跡するオプティカルフローとは異なり、また、視覚実験で議論される湧き出しポイントを明確に表現するものではない。この様に、動きベクトルはカメラの動きやシーンの流れなどの時間的特徴のみの情報からなり、映像コンテンツの影響を受けない。以上の理由で、動きベクトルは映像を定量化するには適していると考えられる。なお、動きベクトルはモデル式での第1項に関係する要素である。

2.2 シミュレーション映像

映像刺激は視覚刺激システム (VSG2/5, Cambridge Research Systems) を用いて構築し, スキャンコンバータ (DSC-1042HG, SONY) で DV に落とし上プロジェクタに投影した. 視覚刺激映像は, 2次元の黒い背景上に配置されたランダムドットとした. ここでは, 奥行き感を出すために色と密度, 動きを変えた 2 種類のドットを作成して重ねた. GMV のパン, チルトはそれぞれ水平, 垂直方向に移動することで表現できるが, ズームは座標位置に応じた水平方向と垂直方向に変換する必要がある. そこで, ズームの中心を画面の中心と仮定し, 水平, 垂直方向に移動させ, ドットの大きさを拡大・縮小した. また, LMV では, 同様の 2 層空間を 25 個作成し, それぞれのセグメントの位置に配置し, セグメントごとに左右成分, 上下成分の移動を加えた. さらに, セグメント全体に GMV のズームにあわせてドットの大きさを拡大・縮小させた.

3. 実験

被験者は健康な男性 8 名, 女性 2 名 (22.5 ± 1.5 歳) である. 映像刺激として, 自然を背景とし, パラシュート, ポブスレー, ボート, カーレース, ハンググライダー, マウンテンバイク, バンジージャンプ, バイクレースなど動きの激しいスポーツを車搭載カメラ, 外部の固定カメラの双方で撮影した体感映像を用いた. また, 同じ動きベクトルを持ち, ランダムドットパターンで表現したシミュレーション映像を用いた. ここでは, 実写映像刺激の中で最も不快感が強かったマウンテンバイクの LMV, GMV を使用した. なお, マウンテンバイクの映像を動きベクトルでのみ表現したことにより, マウンテンバイクの映像とは認識できない映像となった.

3.1 実験条件

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) を用いて投影した. 被験者とスクリーンとの距離は 2m, 室内の明るさを 10 ルックスとした.

心電図はディスプレイ電極を用い, 胸部双極誘導により計測した. 血圧は橈骨動脈圧をトノメトリ法による血圧計測装置 (Jentow7700, 日本コーリン) を用いて計測した. また, チューブ式センサを用いて腹部, 胸部での呼吸を計測した. さらに, 左

手母指球表面からの発汗量をカプセル換気法により測定し, 左手母指球表面における末梢血流量をレーザードップラー法により測定した. 生体アンプで増幅度 26 dB, 0.53 Hz ~ 1 kHz の帯域で差動増幅し, サンプリング周波数 1 kHz, 量子化ビット数 16 bit で A/D 変換し, DAT に記録した.

3.2 映像と映像負荷のシーケンス

実写映像, 及び実写映像と同じ動きベクトルを持つ CG 映像の画面サイズ (解像度) は 352 × 288 pixel, フレームレートは 30 frame/sec である. 実写映像からは LMV を 8 × 8 pixel のブロック毎に求め, シフト長を 4 pixel とした. さらに, 映像の遠景, 中心, 近景での動きベクトルを大きく区分するために画面を 5 × 5 のセクションに分け, そのセクション毎に動きベクトル成分 (上下左右方向) の平均をとり LMV 成分時系列とした [5]. 一方, LMV から GMV (ズーム, パン, チルト) をボトムアップ的なアプローチで推定した [6].

実写映像に対して, 被験者は椅子に座った状態で, まず 5 分間の安静, その後, スクリーンに投影された乗り物体感ビデオ (映像) を 18 分間視聴した後, 2 分間安静とした. シミュレーション映像に対しては, 目的がそれぞれ異なる 5 種類の実験を行った. 映像刺激は, はじめの 3 分間はランダムドットが停止し, その後, 2 分間移動, 1 分間停止を繰り返すものとした. 但し, 2 分間の移動では, 目的に応じて動きベクトルの条件を変更した. 実験の目的は, 1. GMV と LMV の比較, 2. GMV でのパラメータの比較, 3. LMV でのパラメータの比較, 4. 周波数の比較, 5. 周波数の切り替えレンジの比較である. また, 映像視聴前後に 3 分間の安静を行った. 実験タスクの組み合わせは, fMRI で用いられている逐次エポック型パラダイム [7] を参考に設定した.

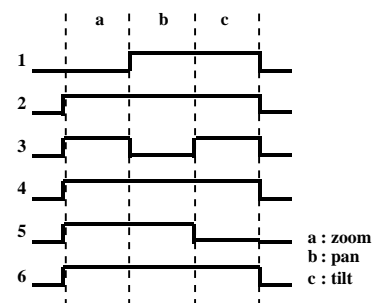


図 1 実験プロトコル

図 1 に実験プロトコルを示す. 4. では, 0 ~ 8Hz, 0 ~ 4Hz, 0 ~ 2Hz, 0 ~ 1Hz の周波数帯域について比

較した．これは，動きベクトルにフィルタを通すことにより帯域を絞り込んだ．5. では，0~8Hz と 0~4Hz の切り替え，0~8Hz と 0~2Hz の切り替え，0~8Hz と 0~1Hz の切り替えの 4 条件を比較した．高周波成分が 8 秒間，低周波数帯域が 5 秒間の切り替わりとした．

3.3 信号処理

心電図をローパスフィルタで処理しアーチファクトを除去した後，閾値法にて隣接する R 波のピーク時間間隔 (RR 間隔) を求めた．なお，動きベクトルと同じサンプリング周波数 30 Hz でリサンプリングすることで，等間隔 RR 間隔時系列を得た．また，血圧，呼吸も同様にカットオフ周波数 1 Hz となる移動平均で平滑化を施した後，3 次スプライン補間してから映像のフレームレートである 30 Hz でリサンプリングした．なお，自律神経系への影響を心拍変動の周波数成分から推定するため，Gabor 関数を Mother Wavelet とする連続 Wavelet 解析を用いた．これによって，自律神経系に関連があると思われる Mayer 波帯域 (0.04~0.15 Hz) と呼吸性洞性不整脈 (RSA) 帯域 (0.16~0.45 Hz) を調べた．

各生体信号の時系列と動きベクトル成分時系列との相関係数 r の時間変化を区間長 3 sec (90 point)，シフト長 1 point として求めた．得られたサンプル数に対して相関の有意性の検定を行ったところ， r が $-0.1134 < r$ または $0.1134 < r$ の範囲で有意であっ

た．なお，特徴のみられた区間に対して動きベクトルの時間周波数解析 (Wavelet 変換) を行った [1]．ここで，ローカル動きベクトルに対して求めた結果は個人毎及び映像のセクション (14×17 pixel) 毎に異なることが予想されるため，相関係数の大きさを 256 段階でカラー表示し，映像にスーパーインポーズした．これによって，どのセクション (遠景，中心，近景) からの影響を受けているかを表示した．

4. 結果

バイクレースの映像において動きベクトルと血圧信号との相関が強かった区間における GMV を時間周波数解析した結果 (図 2)，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ときに相関が強くなっていた．また，2~4 Hz の成分が観測されたときにも相関が強くなっていた．なお，これらの区間では，カーブシーンなどが多かった．このことから，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った．

一方，視聴者が映像のどの部分の影響を強く受けているかを調べるため，LMV と血圧との相関係数をスクリーン上の遠景，中心，近景毎に相関係数の大きさをカラー表示し，連続するシーンにスーパーインポーズした．その結果，映像酔いを示した被験者の例では，近景での相関係数が高かった．

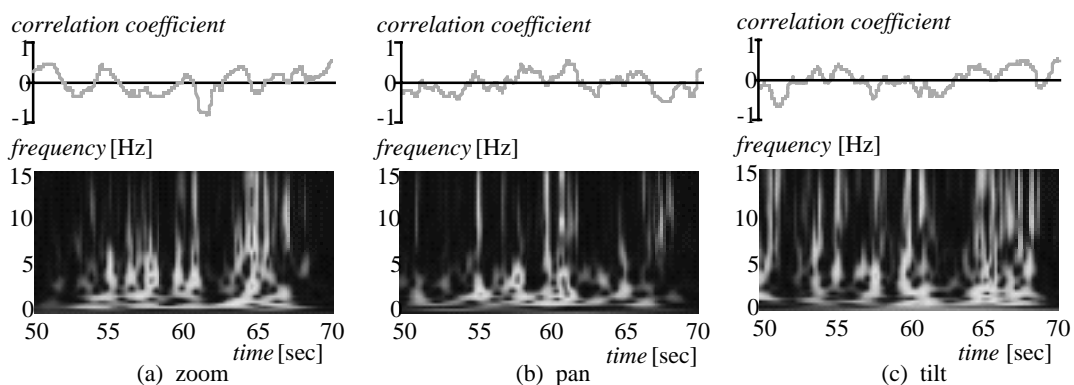


図 2 動きベクトルと血圧波形の相関係数及び動きベクトルの時間周波数解析

次に、実写映像の動きベクトルを用い、ランダムドットパターンで制作した CG 映像に対して実験を行った(図3)。実験条件は実写映像の場合と同様である。その結果、マウンテンバイクの実写映像は酔いが生じないのに対して、シミュレーション映像で気分が悪くなった例があった。この例では、CG 映像で呼吸性洞性不整脈(RSA)関連成分が時間軸上でより不連続となっていた。一方、マウンテンバイクの実写映像は酔いが生じるのに対して、シミュレーション映像は気持ち悪くない例もあった。この場合、実写映像に対する血圧の生体信号で RSA 成分が消失し、Mayer 波関連成分が顕著に現れた。この特徴は CG 映像では消失していた。これらの特徴を RSA 成分と Mayer 波関連成分のみを抽出して表した結果、気持ちが悪い場合に Mayer 波関連成分が

増加するか、RSA 成分の時間変化が不連続となる特徴が見られた。

以上の結果を 10 名の被験者に対して自律神経系の成分毎に調べてみると、GMV の成分のうちズームとパンは LF (Mayer 波帯域相当(0.04-0.15 Hz)) や LF/HF を増加させ(HF は低下)、チルトは HF (RSA 帯域相当(0.16-0.45 Hz)) や LF を増加させた(LF/HF は低下)(図4)。さらに、LF/HF に注目して GMV の各成分の有無の影響を図5に示す。その結果、実写映像に対して LF/HF が高い被験者は同様にランダムドットパターンに対しても LF/HF が高く、さらに、実写映像で酔いを示さなかった被験者でもズームやパンの影響を受けていた。

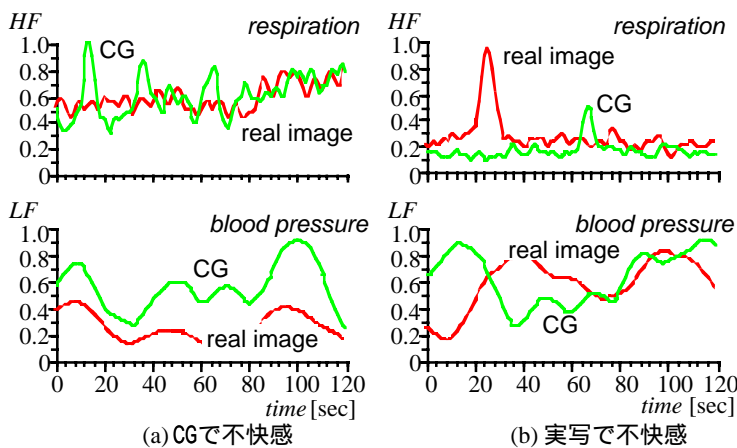


図3 実写映像とCG映像に対する規格化 HF, LF 成分

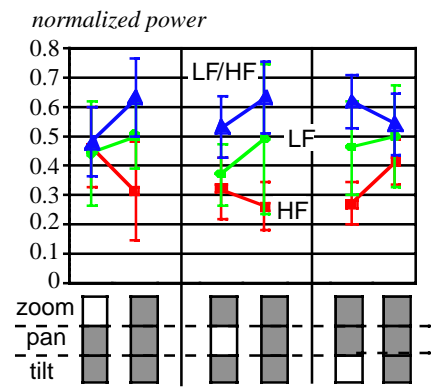


図4 GMV 各成分が自律神経系関連指標へ与える影響

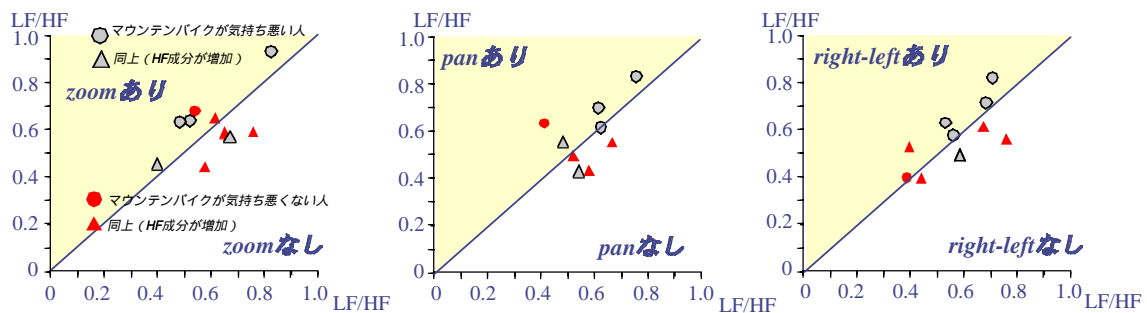


図5 ランダムドットパターンでの GMV 成分の有無と自律神経系パラメータ

5. 考察

自己運動感のある映像酔いでは、予測に反して急に映像が変化するため、視覚と平衡感覚との間に情報のミスマッチが起こり、さらに、ある程度その状態が持続した結果、不快感が生じた可能性が高いと

思われる。例えば、バイクレースの映像において動きベクトルと血圧との相関が強かっ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によれば、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変化したとき

に相関が強くなった。また、2-4 Hz の成分が観測されたときにも相関が強くなっていった。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に関しては、さらに統計処理を進める必要がある。また、アイカメラや fMRI 等によって、視覚と平衡感覚に関わる自己運動の予測とその自律神経系への影響に関する研究が必要であろう。

さらに詳細な解析を進める必要があるが、以上の結果はランダムドットパターンによるスクリーニング映像制作の有効性、さらに新たな客観的データに基づく映像生体影響評価法の手がかりを示唆している。映像生体影響は個人性のレイティングが関係することから同じ映像（同じ動きベクトル）でも、コンテンツや個人性の違いによって影響の程度が異なるだろう。したがって、映像の動きベクトル推定が制作時に完了するとしても、生体への影響は個人性に関わる様々な条件でその場その場の対応が必要となる。そこで、自己運動感のあるスクリーニング映像を手軽に視聴し、その際の視聴者の体調を見て判断できる評価法が好ましい。その意味でも、映像生体影響の現れた実写映像と同じ動きベクトルでランダムドットパターンによるシミュレーション映像を制作し、これを映像負荷としてスクリーニング映像を制作する方式は好ましい選択であろう。

6. むすび

自己運動感のある映像要素を動きベクトルのレベルで分解し、自律神経系の評価指標から映像酔いと関連を調べた。すなわち、実写映像からは自律神経系の指標の影響を及ぼす区間での動きベクトルの時間周波数構造を明らかにし、同じ動きベクトルを持つランダムドットパターンからは動きベクトルの構成要素毎の生体影響を調べた。その結果、実写映像の動きベクトルでは、その周波数の切り替わり、また、その持続時間が映像酔いと関係があった。また、個人性と関連して映像シーンの中心や周辺のどの様な部分の動きが影響を与えているのか等が明らかになった。さらに、ランダムドットパターンからはグローバルな動きベクトル成分のうち、ズームとパンが血圧波形にみられる Mayer 波帯域のパワーを増加させていた。

映像酔いは、仮想現実感 (VR: Virtual Reality) の技術開発が進むにつれて大きな問題となってきており、健康や安全の面での議論が進んできている[8]。

さらに、生体モデルからの研究も報告されている[2]。しかし、映像の定量化に基づく研究はオプティカルフローがあるのみで実写映像を対象としたものはなく、最近になって空間速度が提案された[9]。しかし、カメラの動きを推定する動きベクトルは映像圧縮技術のコアでもあり、より実用的と考えている。

今後、蓄積されたデータをデータマイニングなどの方法により解析することで、どれくらいの年齢(経験)や体調ならば、どの程度の映像までは影響が抑えられるのかを予測できる生体影響予測式が明らかになってくるであろう。また、危険度自動評価システムの具体的な開発も可能になるものと考えている。

謝 辞

本研究は社団法人電子情報技術産業協会からの委託によるものである。また、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いたします。

文 献

- [1] J. J. Reason and J. J. Brand, *Motion Sickness*. London: Academic Press, 1975.
- [2] W. Bles, J. E. Bos, *et al.*, "Motion sickness: only one provocative conflict?" *Brain Res Bull*, 47, 5, pp. 481-487, 1998.
- [3] 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, 2002.
- [4] T. Kiryu, Y. Nanbo, N. Kobayasi, and T. Bando, "Relationship between Motion Vectors of Vection-Induced Image and Multivariate Biosignals under Visual Tasks," in *Proc. 4th International Workshop on Biosignal Interpretation*, Como, Italy, pp. 517-520, 2002.
- [5] 安田浩, 渡辺裕, デジタル画像圧縮の基礎, pp.44-47, 日経 BP 出版センター, 東京, 1996.
- [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, J82D- , 6, pp. 1018-1030, 1999.
- [7] 鈴木清隆, 木竜 徹, 田中 力, "ブラインド信号分離と fMRI 画像解析への応用", *BME*, vol.16, no.5, pp. 24-31, 2002.
- [8] S. Nichols and H. Patel, "Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence," *Appl Ergon*, 33, 3, pp. 251-71, 2002.
- [9] R. H. Y. So, A. Ho, W. T. Lo, "A metric to quantify virtual scene movement for the study of cybersickness: Definition, implementation, and verification," *Presence*, 10, 2, pp. 193-215, 2001.