

解説

映像酔い

Cybersickness : Visually Induced Motion Sickness

木竜 徹 小林直樹 飯島淳彦

Abstract

映像技術の進歩と汎用化に伴い、3Dに代表されるように臨場感を求めた映像や携帯デバイスによる一人称視点映像が登場し、更に身近で撮られた様々な映像を誰でもインターネットを通じて視聴できる時代となった。そして、CG映像技術が創り出す仮想空間は娯楽からリハビリテーションまでの幅広い分野で実社会を仮体験する手段として活用が期待されている。しかし、このような映像効果が感覚系を通じて生体に与える影響に関する議論は十分ではない。そこで、映像安全性の観点から現状を解説する。

キーワード：運動酔い、臨場感、感覚不統合、自律神経調整、動きベクトル

1. はじめに

この10数年、光の点滅や手振れのひどい映像を視聴した際に、目まいや吐き気などが引き起こされたとの報道が散見されたことから、臨場感を狙った映像効果をもたらす生体への影響が懸念され、様々な方面から研究が進んだ。例えば、産業技術総合研究所では、「映像の生体安全性評価法の標準化」(Image Safety)に取り組んだ⁽¹⁾。海外では、アミューズメントマシン乗車時の乗り物酔い関連の研究^{(2)~(5)}があり、運動酔い(Motion Sickness)との類似性を手掛かりに映像酔い(VIMS: Visually Induced Motion Sickness)の原因解明を目指した国際会議(VIMS 2007⁽⁶⁾など)が開催された。視覚に関係した運動酔い評価では大きく三つの点(酔い、眼精疲労、失方向)からのアンケート評価が主流であった。アンケート評価に対し、自律神経応答(自律神経が様々な刺激に対して生体機能を調整する応答)から運動酔いを評価した報告⁽⁷⁾がある。映像効果の安全性は制作時の課題であるが、映像酔いには個人差がある。そのような映

像酔い防止策として、カメラの手振れ防止機能が一般的となり、自律神経応答を活用しようとする研究がある⁽⁸⁾。

仮想高臨場感環境は様々な分野で活用が期待されている。例えば、身体に安全な仮想空間としてリハビリテーションでの機能回復訓練が報告され(Workshop, Virtual Reality and Robotics in Neurorehabilitation, IEEE EMBC'11)、導入が進んでいる。しかし、仮想空間では感覚と動作間の不一致による映像酔いの症状をもたらすことが懸念される。リハビリテーション活用は期待が大きい場面であればこそ、安全な仮想高臨場感空間であることが第一である。

映像酔いの発現メカニズムに関しては運動酔いに関連した論文が多く^{(3),(4)}、運動酔いは受動動作時の注視や姿勢の不安定が原因であり、注視の安定化と前庭系の感度を抑える慣れの訓練が効果的とある⁽⁵⁾。Cybersicknessとも称されるVIMSでは、視覚系と体性感覚系で実際の情報(real)と過去の経験から予期される情報(virtual)との不一致によって引き起こされるという説があるが十分ではない。この点に関する映像酔いの特集が幾つかの雑誌^{(9)~(13)}に掲載されている。

VIMS評価の定量化では自律神経応答を中心とする生理的評価よりも心理的評価が先行した。これは、1990年代頃から遊園地のジェットコースターでの乗り物酔いやシミュレータ酔いが問題となり、運動酔いの判断として、手軽なアンケート評価(SSQ: Simulator Sickness Questionnaire)^{(用語)(2)}が一般に受け入れられて、調査が

木竜 徹 正員 新潟大学大学院自然科学研究科電気情報工学専攻

E-mail kiryu@eng.niigata-u.ac.jp

小林直樹 正員 埼玉医科大学保健医療学部医学生体工学科

E-mail naoki_kb@saitama-med.ac.jp

飯島淳彦 新潟大学大学院自然科学研究科電気情報工学専攻

E-mail a-ijima@eng.niigata-u.ac.jp

Tohru KIRYU, Member, Atsuhiko IJIMA, Nonmember (Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata-shi, 950-2181 Japan), and Naoki KOBAYASHI, Member (Faculty of Health and Medical Care, Saitama Medical University, Hidaka-shi, 350-1241 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.96 No.1 pp.36-40 2013年1月

©電子情報通信学会 2013

進んだことによる。その後、乗り物酔いでは自律神経応答を探る研究が登場した。その時点までは乗り物酔いの議論であったが、誰でも撮れる映像やCG映像技術は新たな映像酔い（VIMS）を引き起こした。国内で問題が報告された2003～2006年では件数が少なかったが、高臨場感環境を追求する様々な機器の登場で、以前よりも多くの場面でVIMSに対する懸念が広まり、生体信号を計測してVIMSを評価しようとする研究が報告されるようになった^{(14)～(17)}。最近では映像の定量化と合わせ、SSQと自律神経応答評価指標の振舞いから総合的にVIMSを予測しようとするアプローチの報告がある⁽¹⁸⁾。

自律神経系の評価法は幾つかあるが、R-R間隔（RRI）時系列の変動（心拍変動：HRV）の周波数パワーから求める研究が多い。HRVには、呼吸に同期した約0.3Hzを中心とした呼吸性成分（HF成分）と血圧調整に関わるMayer波関連の約0.1Hzの成分（LF成分）が顕著に含まれる⁽¹⁹⁾。ここで、HF成分は副交感神経系を、LF成分は交感神経系と副交感神経系の両方を反映し、LF/HFは交感神経系指標として多くの応用が報告されている。VIMS評価でも映像酔いの被験者群においてLF/HFが増加したとの報告がある⁽⁷⁾。しかし、心拍変動は呼吸による影響を非常に大きく受けるとの報告があり⁽¹⁷⁾、呼吸を考慮した自律神経系の評価が必要である。そこで、周波数領域ではなく時間領域の評価指標で心拍変動を解析しようとする方法が登場している。

元々生体システム応答の定量化は難しい。生理的応答は定量化できるにしても、心理的応答は個人性が関与したアンケート調査となる。最近、心理的応答を生理的応答で裏付ける等の方策が報告された⁽¹⁸⁾。

以下では、映像酔いの要因、映像酔いの計測・評価を解説し、結果とその考察、更に、今後の課題について述べる。

2. 方 法

2.1 映像酔いを引き起こす要因とその定量化

映像酔いを引き起こす映像要因を明らかにし、定量的に示すことが、その予防にとって重要である。本節では、主要な要因と考えられる一人称視点映像及びインタラクティブ映像の動きとその定量化手法を述べ、要因発生から映像酔い発症までのモデルを示す。

■ 用語解説

SSQ 映像酔いの不快感を主観評価するための指標。疲労感、吐き気など18項目の症状を4段階で評価し、その合計値によって点数化する。

2.1.1 一人称視点映像における映像の動きの定量化

映像酔いを引き起こす映像特徴の指標として、カメラ動作などに伴う映像の動きに注目する。映像の動きのほとんどが撮影対象が動く場合であるが、臨場感を求める映像では被写体を追尾するカメラモーションで捉えた映像となり、代表例が一人称視点映像である。映像酔いは、一人称視点映像の視聴時に起こされやすく、一人称視点映像の動きを定量化し、視聴時の生体影響を探る必要がある。

カメラ動作などの映像に含まれる動きの定量化手法として、映像データ圧縮の際に用いられる映像の動きベクトルがある。動きベクトルは大局的動きベクトル（GMV:Global Motion Vector）と局所的動きベクトル（LMV:Local Motion Vector）の2種類である。GMVはカメラ動作と関係しており、静止状態を除いて6種類の動きの成分（ズーム、パン、チルト、ドリー、トラック、プーム）がある⁽²⁰⁾。一方、一人称視点映像の動きを、映像で認識する空間の特徴（自己運動感など被写体から受ける動き感覚）を空間周波数で定量化し、映像酔いを議論した報告もある⁽¹⁵⁾。

2.1.2 インタラクティブ映像における動きの定量化

映像酔いを引き起こす映像としては、ゲームなど操作を伴うインタラクティブ映像も存在する。インタラクティブ映像においても、映像の動きは酔いの原因となり得るが、操作ごとに変動するため、定量的な計測を行う場合には、この点を考慮する必要がある。具体的にはGMVが設定しきい値を超える区間の総時間により、映像全体の動き量を定量化して評価する方法が提案されている⁽²¹⁾。

2.1.3 時変要因モデル

上記の映像酔いの要因が発生から映像酔い発症までを想定したモデルを図1に示す。

このモデルでは、時間経過に伴う不快感の蓄積要素

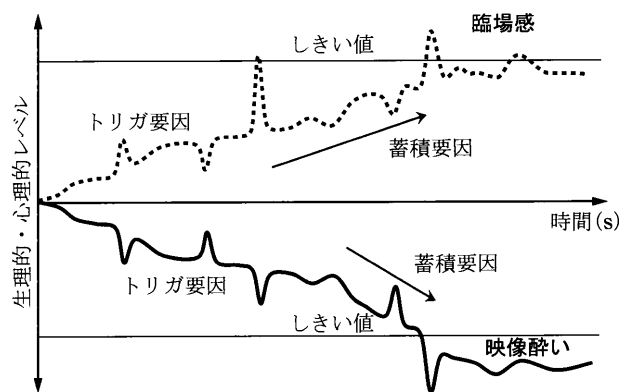


図1 時変要因モデル 刺激要因と蓄積要因からなる臨場感と映像酔いの時系列モデル。

と、何らかの気分を意識させるきっかけとなるトリガ要素を想定する。これらの二つの要因の時間的振舞いによって「不快感の強さ」があるしきい値を越えたときに、映像酔いが発症するものと考えた。これを映像酔いの時変要因モデル⁽²²⁾とする。

2.2 映像酔いの計測

映像酔いを引き起こすとされる検証済みの映像（自然を背景とした荒野をマウンテンバイクで下る2分間のぶれの強い一人称視点映像⁽¹⁷⁾）、更に、最近の携帯デバイス（iPod nano 5G, 36.4g）を頭部に付けて、自転車走行時のぶれのある一人称視点映像を撮影し、その2分間の映像からGMVを推定して撮影した映像を定量化した。

視聴環境は約25m²の個室であり、プロジェクタ投影時の椅子と70インチスクリーンとの距離は1.7m、映像の解像度は720×480ピクセル、フレームレートは30フレーム/秒である。生体影響は数分から数十分の時間を要するため、2分間の映像を繰り返し5回提示し、計10分間の映像とした。映像視聴時の視聴覚以外を原因とする生理的生体影響を抑えるため、座位でビデオ視聴した際の生体信号を計測し、心理的評価にはSSQを用いた。なお、被験者は17名（22.7±2.5歳）、映像の内容に関する事前の告知はしなかった。

撮影者（21歳）を被験者とし、座位と立位で自ら撮影した携帯デバイス映像を視聴してもらった。なお、被験者には日常的な運動習慣はない。実験シーケンスは体感映像視聴実験と同様である。更に、視聴実験経験のない被験者1名と視聴実験の経験はあるがこの映像を初めて見る被験者3名にも実験に参加してもらい、合計5名の男性（23.7±1.0歳）で生体影響を生理的・運動学的側面から計測した。

2.3 映像酔いの評価

2.3.1 一人称視点映像

自律神経系指標を推定するため、不等間隔となるRRI時系列に三次スプライン補間を施して等間隔時系列とした後、映像のフレームレートである30Hzでリサンプリングした。その上で、等間隔RRI時系列に対し連続ウェーブレット変換でパワースペクトル推定し、オーバーラップなしの区間長30サンプル（1秒）ごとにHF帯域（0.15～0.45Hz）とLF帯域（0.05～0.15Hz）でのパワー成分（HF, LF）の時系列を求めた。ここで、呼吸周期が長くなりRRI時系列のLF帯域内に含まれた場合にLF成分が増加するとの報告がある⁽¹⁶⁾。そこで、時間領域の評価値としてRRIの標準偏差（SDNN: Standard Deviation of the NN(RR) Intervals）と隣接したRRIの差の二乗平均平方根（RMSSD: Root Mean Square Successive Differences）を算出した⁽²³⁾。映像視

聴実験は一つのタスク（120秒）を5回繰り返し、タスクごとに上記の指標を推定した。

数十分の映像視聴前後で、映像酔いの症状（吐き気や不快感）と関連があると考えられるSSQのNauseaスコア N_s から映像視聴前後の差分値（ $\Delta N = N_{s,post} - N_{s,pre}$ ）を求め、 $\Delta N \geq 25$ の被験者を“酔い群”、 $\Delta N < 25$ の被験者を“非酔い群”として群分けした。しきい値は約50名から求めたスコアの分布から2群に分割できる値として選んだ⁽²⁴⁾。

2.3.2 インタラクティブ映像

インタラクティブ映像では、操作ごとに映像が異なるため、生体影響は生体信号の影響区間で定量化した。すなわち、心拍変動のLF成分が平均の120%以上、HF成分が80%以下となる区間を生体影響区間とし、その始点（トリガポイント: TP⁽²⁰⁾）の個数を指標として求めた。実験では、被験者にゲームを行わせ、ゲーム画面をPCにキャプチャする。次にキャプチャ映像を受動的に視聴させて、同じ映像でのインタラクティブ視聴時と受動視聴時での生体影響の差を比較することを可能とした⁽²¹⁾。

3. 結果

被験者を酔い群8名、非酔い群9名に分類し、映像視聴中の各タスクでLF/HF, RMSSD及びSDNNの平均値を求めた（図2）。酔い群と非酔い群においてタスク間で1要因分散分析を行い有意差が見られたので、多重比較（Turkey法）を行った。なお、有意水準1%で有意差ありとした。

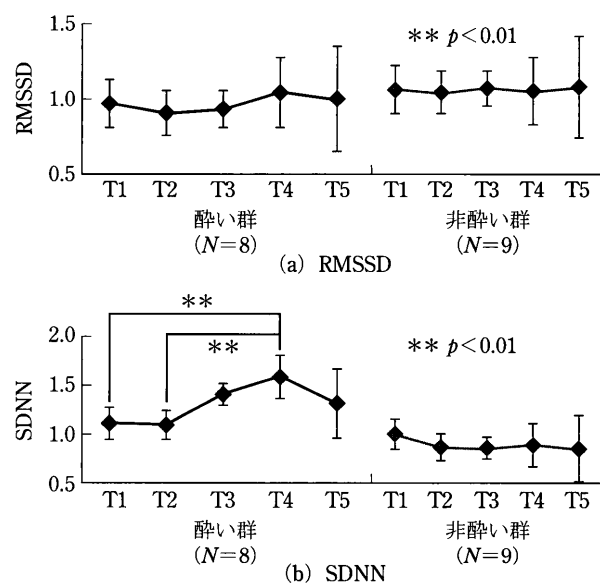


図2 酔い群と非酔い群でのタスクごとの映像酔いの評価値の推移

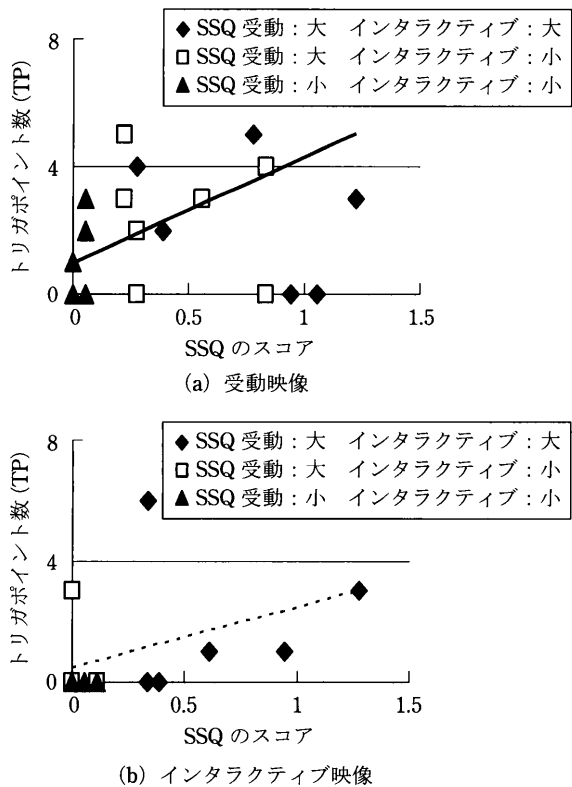


図3 受動映像とインタラクティブ映像の生体影響の違い

その結果、LF/HF では酔い群、非酔い群共にタスク間の変化は見られなかった。RMSSD では酔い群と非酔い群共タスク間の変化は見られなかった。一方、SDNN では酔い群の T1・T2 と T4 のタスク間で有意な増加が見られたが、非酔い群のタスク間の変化は見られなかった。

バイク搭乗体感映像と携帯デバイス映像のパン方向の動きベクトルの持つ周波数パワーを算出した結果、バイク搭乗体感映像では (0.3~2.0 Hz) の周波数帯域が顕著であったのに対し、携帯デバイス映像では (0.5~1.0 Hz) の周波数帯域が顕著であった。

これら映像による生体影響で映像酔いの程度を分類した結果、バイク搭乗体感映像では、5名中2名が酔い群に分類されたのに対し、携帯デバイス映像では、座位と立位での視聴で5名中3名が酔い群に分類された。また、被験者全体の平均値では、バイク搭乗感映像よりも携帯デバイス映像での ΔN のスコアが低く、座位での視聴よりも立位での視聴での ΔN のスコアが低かった。

図3は受動映像とインタラクティブ映像における生体影響の指標 (TP) と主観評価との関係の違いを表したものである。この結果から、受動映像の場合インタラクティブ映像よりも主観評価及び生体影響共に、映像酔いを示す値が高くなっている。また、受動映像において主観評価では映像酔いのない被験者でも生体影響としての変化が測定されている⁽²¹⁾。

4. 考察

安静時の副交感神経活動による変調は HRV の HF 成分に現れ、HF 成分の増加は副交感神経活動の指標となることが知られている。これは主に安静時の呼吸周期の変動に起因するため、運動などによって呼吸周期が激しく変化すると HF 成分にも影響が見られる。呼吸統制実験によると、呼吸周期が HF 成分以外にある場合、その影響は HF 成分には見られず、他の帯域に現れることが確認された。

0.125 Hz で呼吸統制を行った際に、LF 帯域内にゆっくりとした呼吸周期が含まれることにより、LF/HF が増加した。運動後の回復を HRV から評価するには周波数帯域を限定した HF 成分に比べ帯域を限定しない RRI の SDNN などが自律神経活動を反映しているとの報告がある⁽²³⁾。このように呼吸の周波数が LF 帯域内に含まれる場合は、呼吸の影響を非常に大きく受けるため、呼吸を考慮した評価を行わなければならない。

運動後の副交感神経亢進の効果が示唆されている⁽²⁵⁾ことから、呼吸周期変動に大きく影響するのは運動であろう。しかも、視聴前での事前運動が映像酔い防止に効果があったとの報告がある⁽⁸⁾。ここで、事前運動の効果は運動時の交感神経亢進後に呼吸を落ち着かせる副交感神経亢進への切り換わりを促す効果⁽²⁶⁾ではないだろうか。また、注視実験で注視しているほど頭を動かし注視と姿勢が不安定だと酔いの症状が出るが⁽⁵⁾、慣れることで酔いを回避できたとある⁽²⁵⁾。映像酔いが発生しやすい映像にはブレがあり、そのブレをバイク搭乗体感映像で動きベクトルの周波数で調べると 0.3~2.5 Hz の周波数帯域であった⁽¹⁷⁾。また、運動酔いでの頭部動揺との関係⁽⁶⁾から映像酔いを評価するには、神経筋活動と姿勢動揺の同時計測可能なワイヤレスセンサの適正な貼付位置の更なる検討が必要である。

一方、インタラクティブ映像では受動映像より映像酔いの生体影響は小さくなっていると思われる。これは、車の運転者は車酔いしにくいのと似ており、重心移動や予測の影響も含め、より詳しく調べる必要がある。

近年、3D 映像技術の進歩も目覚ましく、立体感を伴った映像には特徴的な生体反応が見られる⁽²⁷⁾。3D と 2D の条件の違いも今後精査が必要であろう。

5. 今後の課題

映像酔いは期待した映像効果が得られないために生じる。その原因や症状を定量化し、生理的な値を自覚的酔いの程度と関連付けることで、映像酔い防止策を練る必要がある。更に、映像酔いを事前に予測するには幾つかの時間スケールが異なる要因からなる生理指標の時変要因モデルのようなモデルが必要となる。また、映像酔い

の原因を身体動揺から調べたところ、関連はありそうであるが更なる調査が必要であった。

大形スクリーンでの3D映像や携帯デバイスによる一人称視点映像を含む高臨場感映像が多くなってきていることから、今後、高臨場感映像の生体影響を視聴覚だけでなく身体性の評価とあわせた研究が必要と考える。それによって、適正な酔い防止策の提案をすることが今後の課題である。

謝辞 本研究は、(財)JKAの機械工業振興事業補助金の交付を受けて行った(財)機械システム振興協会の委託による事業であり、平成21年度「映像刺激を用いた心理的負荷測定システムの開発に関するフィージビリティスタディ」として実施したものである。また、その後の研究では第25回(平成20年度)中谷医工計測技術振興財団より援助を頂き、実施したものである。

文 献

- (1) 氏家弘裕, 鶴飼一彦, 齊田真也, “映像酔いに対する運動パタンと映像コンテンツの影響,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 9, no. 4, pp. 377-386, 2004.
- (2) R.S. Kennedy, N.E. Lane, K.S. Berbaum, and M.G. Lienthal, “Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness,” The International Journal of Aviation Psychology, vol. 3, no. 3 pp. 203-220, 1993.
- (3) J.F. Golding, “Motion sickness susceptibility,” Auton Neurosci, vol. 129, no. 1-2, pp. 67-76, Oct.2006.
- (4) W. Bles, J.E. Bos, B. de Graaf, E. Groen, and A.H. Wertheim, “Motion sickness: only one provocative conflict?,” Brain Res. Bull., vol. 47, no. 5, pp. 481-487, Nov. 1998.
- (5) L.J. Bouyer and D.G. Watt, ““Torso rotation” experiments; 2: Gaze stability during voluntary head movements improves with adaptation to motion sickness,” J. Vestib. Res., vol. 6, no. 5, pp. 377-385, 1996.
- (6) S. Section, “The first international symposium on visually induced motion sickness, fatigue, and photosensitive epileptic seizures (VIMS2007),” Appl. Ergon, vol. 41, no. 4, pp. 491-521, 2010.
- (7) N. Himi, T. Koga, E. Nakamura, M. Kobashi, M. Yamane, and K. Tsujioka, “Differences in autonomic responses between subjects with and without nausea while watching an irregularly oscillating video,” Auton Neurosci, vol. 116 no. 1-2, pp. 46-53, 2004.
- (8) 蘇日塔拉図, 外山 寛, 小杉 剛, 木竜 徹, 林 豊彦, 飯島 淳彦, 前田義信, 山崎 健, “事前運動と映像注視が映像酔いおよび心拍に与える影響,” 日本生体医学論文誌, vol. 48, no. 1, pp. 95-105, 2010.
- (9) “ユビキタス映像社会における健康と安全,” BME, vol. 18, no. 1, pp. 1-49, 2004.
- (10) “サイバー空間の安全・健康・快適性,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 9, no. 4, pp. 343-429, 2004.
- (11) “Cybersickness,” Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 4, pp. 34-39, 2007, <http://www.jneuroengrehab.com/search/results?terms=cybersickness>
- (12) “Health and safety aspects of visual displays,” Displays, vol. 29, no. 2, pp. 45-184, 2008.
- (13) “Visual image safety,” Displays, vol. 32, no. 4, pp. 151-224, 2011.
- (14) Y.Y. Kim, E.N. Kim, M.J. Park, K.S. Park., H.D. Ko, and H.T. Kim, “The application of biosignal feedback for reducing cybersickness from exposure to a virtual environment,” Presence, vol. 17, no. 1, pp. 1-16, 2008.
- (15) R.H. So, W.T. Lo, and A.T. Ho, “Effects of navigation speed on motion

sickness caused by an immersive virtual environment,” Hum. Factors, vol. 43, no. 3, pp. 452-461, 2001.

- (16) 大須賀恵美子, “映像酔い発症時の自律神経指標変化について,” 生体・生理シンポジウム論文集, pp. 315-316, 2009.
- (17) 野村恵里, 木竜 徹, 中村亨弥, 飯島淳彦, 板東武彦, “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,” 信学論 (D), vol. J89-D, no. 3, pp. 576-583, March 2006.
- (18) S. Bruck and P.A. Watters, “The factor structure of cybersickness,” Displays, vol. 32, no. 4, pp. 153-158, 2011.
- (19) 早野順一郎, 安間文彦, “自律神経と心拍変動,” 医学の歩み, vol. 98, no. 4, pp. 285-290, 2001.
- (20) T. Kiryu, E. Nomura, T. Bando, and N. Kobayashi, “Time-frequency structure of image motion vectors around cybersickness intervals determined with biosignals,” Displays, vol. 29, no. 2, pp. 176-183, 2008.
- (21) N. Kobayashi, M. Hamada, S. Ochiai, D. Nagamine, “Evaluation method of visual induced motion sickness by interactive video using time-variant biosignals,” J. Inst. Image Electron. Eng. Jpn., vol. 40, no. 1, pp. 159-167, 2011.
- (22) 内山絵里, 神保昌弘, 木竜 徹, 飯島淳彦, “時間スケールの異なる時変要因モデルによる映像刺激効果の検討,” 生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 553-556, 2006.
- (23) 小杉 剛, 飯島淳彦, 木竜 徹, “高臨場感映像のダイナミクスが心拍変動に与える影響の評価法に関する検討,” 第25回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 103-104, 2010.
- (24) “映像酔いガイドライン検証システムの実用化に関するフィージビリティスタディ報告書,” システム開発, vol. 19-F-7, 2008.
- (25) M. Takahashi, K. Watanuki, and T. Ikeda, “Sensation and action during active and passive movement,” Acta Otolaryngol, vol. 119, no. 2, pp. 121-125, March 1999.
- (26) J.J. Goldberger, F.K. Le, M. Lahiri, P.J. Kannankeril, J. Ng, and A.H. Kadish, “Assessment of parasympathetic reactivation after exercise,” Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol., vol. 290, no. 6, pp. H2446-H2452, June 2006.
- (27) A. Iijima, S. Komagata, T. Kiryu, T. Bando, and I. Hasegawa, “Vergence eye movements signifying 3D depth perception from 2D movies,” Displays, vol. 33, no. 2, pp. 91-97, 2012.

(平成24年6月20日受付 平成24年7月17日最終受付)



木竜 徹 (正員)

昭50新潟大・工・電子卒。昭52同大学院了。同年新潟大助手を経て、平7新潟大大学院教授、工博。生体信号(表面筋電図や心拍変動など)から見た生体機能の解析、及び、支援システムの開発に関する研究に従事。著書「表面筋電図」など。



小林 直樹 (正員)

昭54東工大・理・応物卒。昭56同大学院院情了。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。平12新潟大大学院博士課程了。NTT研究所を経て、平20埼玉医大・教授、博士(工学)。画像符号化、映像の生体影響解析、医用画像処理の研究に従事。画像電子学会、生体医学学会名会員。



飯島 淳彦

平11慶大・理工・電気卒。平15同大学院博士課程了、博士(工学)。日本学術振興会特別研究員を経て平16新潟大・助手、現在同大学院助教。視覚系の神経生理学、自律神経計測、霊長類の脳機能解析などの研究に従事。