

システム開発
18-F-15

映像酔いガイドライン検証システムの開発に関する
フィージビリティスタディ
報 告 書
(要 旨)

平成19年3月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 社団法人 電子情報技術産業協会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。
URL : <http://keirin.jp/>



序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長：政策研究院 リサーチフェロー藤正 巖氏）を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「映像酔いガイドライン検証システムの開発に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が社団法人電子情報技術産業協会に委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成19年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

映像提示技術の飛躍的進歩により、映像情報メディア関連産業が発展し、映像の大型化・高精細化が進む中、「映像酔い」など映像の生体に及ぼす影響が社会問題となり、映像の生体影響に関する国際ガイドライン作成の機運が高まっています。

他方、映像技術の進展は、より現実感・臨場感あふれる映像制作を可能とし、人類がこれまで経験したことがない映像環境を創出するとともに、それらの技術はアニメーションやゲーム等のエンターテインメントはもとより、さまざまな分野への応用も期待されています。

このような現状に対し、日本の基幹産業である映像産業を守るという観点から、日本主導での国際ガイドラインの作成が推進され、平成 20 年度にはその数値化に向けた議論が本格的に進められようとしています。また、ガイドラインを先取りした訴訟を心配する産業界からは当該検証システムの早期実用化が待望されています。

上記のような現状をふまえ、この報告書は、財団法人 機械システム振興協会の委託により、当協会が実施した平成 18 年度事業「映像酔いガイドライン検証システムの開発に関するフィージビリティスタディ」の成果をまとめたものです。安心、安全な生活環境が求められ、映像の生体影響の重要性が注視されるなか、映像環境の変化が生体に及ぼす影響を正しく評価し、不要の事故の未全防止策を講じ、安全で安心な映像産業の発展に資することはもとより、映像産業関連の広い分野で議論され、国際的にも成果が生かされることを期待しております。

最後に、この研究の実施については、経済産業省商務情報政策局文化関連産業課（メディアコンテンツ課）、同産業技術環境局基準認証ユニット環境生活標準課推進室、さらには医学系・工学系大学の研究者の方々、関連企業や団体の皆様をはじめ、多くの方々にご協力をいただきました。

ここに謹んで、感謝の意を表するものです。

平成 19 年 3 月

社団法人 電子情報技術産業協会

委員長挨拶

日本では 2011 年 7 月でテレビ放送の完全デジタル化が終了する。ハイビジョンデジタル（1920×1080 ピクセル）の放送サービスが一般的になり、視聴者はより大きな画面で高画質な迫力のある映像を楽しめるようになった。フラットTVの低価格化も進み、家庭には 30 インチ以上の大型TVが普及しつつある。さらにハイビジョン画質の民生用ビデオムービーや次世代DVDレコーダーも発売され、臨場感映像を個人で手軽に楽しめるようになった。

映像制作の現場では、デジタル編集により現実をも越えるような今までにない迫力ある映像を追求できるようになり、その技術はアニメーション、ゲームなどの世界のみならず、教育、医療、福祉分野などへの応用もされつつある。

一方、われわれは、過去に特殊映像を集中して見ていた小児に光過敏性発作が誘発され入院騒ぎを起こした事件や、中高生多数が学校で手ぶれの激しい映像を鑑賞中、映像酔いと見られる体調不良を起こす事件を経験した。これらの原因究明と防止策は、映像関連産業の振興策と表裏一体で進めるべきものであり、日本はもとより欧米各国の現状も調査研究し、再発防止に努めてきた。

幸い、関連の研究グループは経済産業省（旧通産省）と財団法人機械システム振興協会から理解と支援が得られ、過去 10 数年にわたり医学、心理、工学の専門家による「映像生体影響研究委員会」や「基準認証開発委員会」を JEITA、産業総合研究所に設置、長期に研究を継続できた。それらの成果は、平成 17 年の国際標準化機構（ISO）による「Image Safety（生体の安全性）に関する国際合意文書 IWA 3」として結実し、本格的国際ガイドラインの第 1 歩を印すことができた。

わが国は、TV、モバイル端末など映像を中心とする情報家電で世界をリードしており、この優位性の確保には、車の両輪となる映像の安全性に関する国際標準化でも主導権を確保すべきである。そのためには平成 20 年 5 月にも開始される予定の本格的国際ガイドライン策定作業までに「映像酔いガイドライン検証システム」の世界に先駆けた開発が必要不可欠との認識から本スタディグループが組織されたものである。

平成 19 年 3 月

シャープ株式会社 先端映像技術研究所 千葉 滋

目 次

序

はじめに

委員長挨拶

1. スタディの目的	3
2. スタディの実施体制	4
3. スタディ成果の要約	
3-1 映像酔いガイドライン検証システムの開発	7
3-2 国際標準化の動向	32
3-3 ガイドラインの策定に向けて	34
4. スタディの今後の課題と展開	37

参考資料

「映像酔い研究」の国際動向に関する勉強会報告書(要約版)	43
------------------------------	----

【スタディ成果要旨編】

【参 考 資 料 編】

1. スタディの目的

本スタディは、映像酔いの防止を目的とした国際ガイドラインを検証するためのシステムを開発することを目的とする。

映像酔いを防止するために基準となる物理的条件の数値化に対して、これまでの研究で得られている科学的なデータは、わが国の研究成果の他に、米国、香港、英国、オランダ等の各研究グループからも報告されているが、いずれも実験用の映像で動きが単純化された映像で得られた基礎データに基づくものであり、複雑な運動で構成される一般の映像への適合性は明確ではない。本来基準となる数値は、さまざまな要因による映像酔いへの影響を統合する統合化モデルの確立が必要不可欠で、そのために大規模な被験者参加による評価実験を行う必要がある。

そこで、本スタディでは、統合化モデルを暫定的に構築し、基礎データに基づく数値化が、具体的にどの程度妥当かを評価できるような映像酔いガイドライン検証システムを構築する。このシステムは、国際標準化における基準数値の提案に対し、産業界に与える影響を評価し、必要に応じて修正を求めるための科学的根拠を与える有力なツールであり、必要不可欠である。

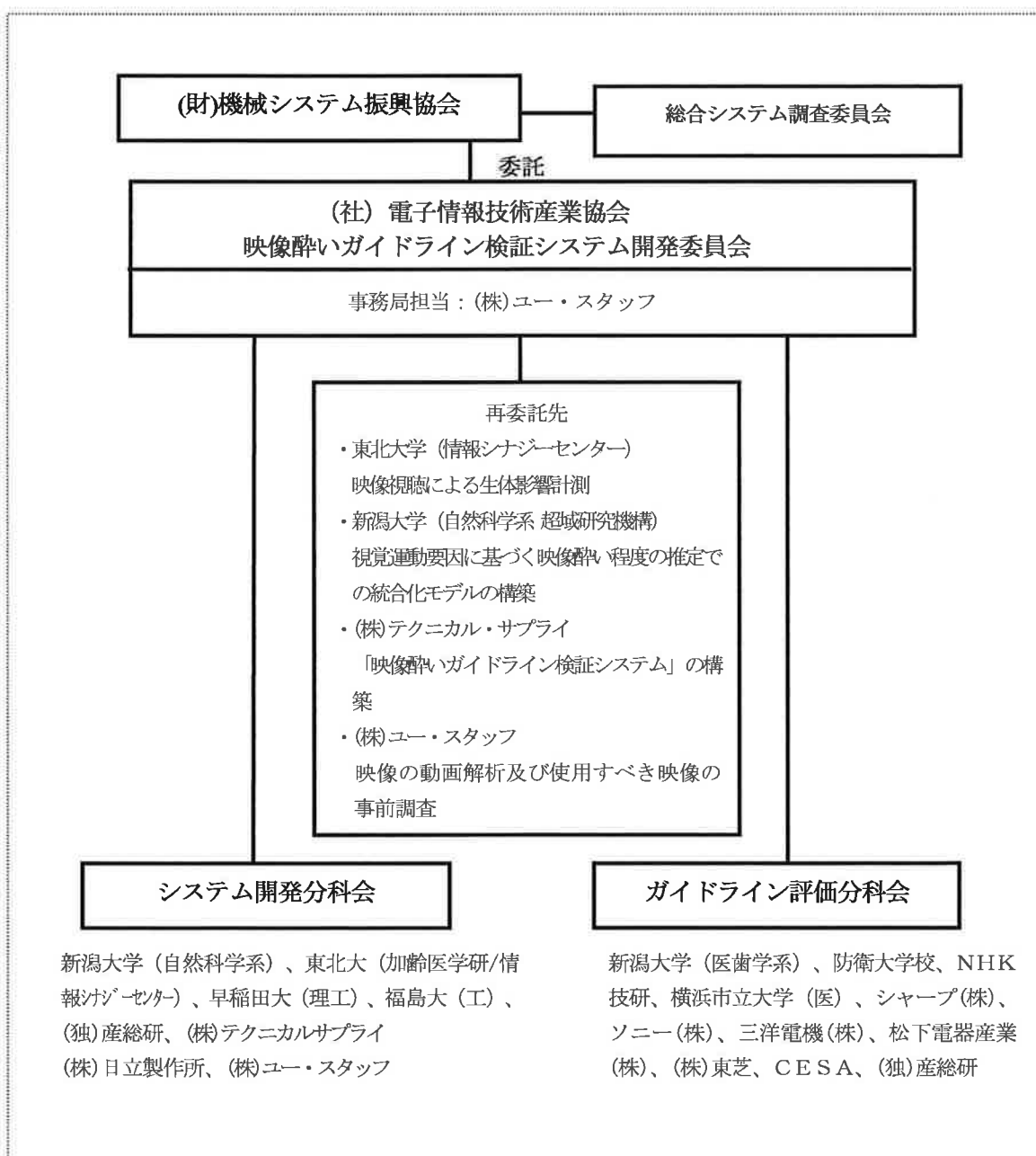
この映像酔いガイドライン検証システムの開発においては、一般の映像に含まれる運動成分を分析し、統合化モデルを用いて生体影響を推定するとともに、同一の映像による実際の生体影響を、多人数の被験者に映像を提示して計測し、比較を行う。また、統合化モデルのパラメータを変更することで、推定値と計測値の相違を検討し、パラメータの設定による影響を明らかにしておくことが必要である。こうした映像酔いガイドライン検証システムについては、国際的にも、まだ実現されていない。しかし、当研究グループやその関連研究機関は、映像生体影響プロジェクトや基準認証プロジェクトを実施する中で、こうした課題に必要な手法と経験を得てきた。そこで、他国に先駆けて開発できれば、わが国の産業界が、国際標準化を実質的にも先導することが可能となり、わが国の有力な産業である映像情報メディアとデジタル家電開発の健全な発展と保護につながることになる。

消費者がデジタル映像の醍醐味を正しく享受するためにも、新たな産業の基盤として、映像の安全性を確保するための事業を展開することは必要不可欠であり緊急性をもつ。本分野で世界をリードするとともにわが国の経済構造改革・新規産業創出の核をなす映像関連産業のバランスのとれた発展を促進することを狙うものである。

2. スタディの実施体制

本スタディを進めるにあたって財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、社団法人電子情報技術産業協会内に「映像酔いガイドライン検証システム」開発委員会を設置、その傘下に実際に研究を遂行する分科会及びその研究を専門的立場から検証する分科会を置く。この開発にあたっては、経済産業省の関係部局と連携をとりながら推進する。

映像酔いガイドライン検証システムの開発には高度に専門化された技術を必要とすること、心理・生理評価実験では、倫理委員会を備える研究機関の協力が必要不可欠なことから、一部業務については、大学、企業に再委託を行う。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

「映像酔いガイドライン検証システム開発委員会」委員名簿

(委員/ア行順・敬称略)

委員長	シャープ(株) 技術本部先端映像技術研究所 所長	千葉 滋
主 査	新潟大学大学院 自然科学研究科情報理工学専攻 教授	木竜 徹
主 査	新潟大学 副学長 (医学博士)	板東 武彦
委 員	三洋電機(株) 研究開発本部デジタルシステム研究所 プロジェクトシステム開発部 主任研究員	安東 孝久
委 員	新潟大学大学院 医歯学総合研究科 助手	飯島 淳彦
委 員	NHK放送技術研究所 人間・情報 部長	伊藤 崇之
委 員	早稲田大学 理工学部応用物理学科 教授	鵜飼 一彦
委 員	(独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学部門 マルチモダリティ研究グループ グループ長	氏家 弘裕
委 員	(株)日立製作所 中央研究所 組込みシステム基盤研究所 担当部長	木村 淳一
委 員	松下電器産業(株) 映像デバイス開発センター ディスプレイデバイスグループ グループマネージャー	熊川 克彦
委 員	横浜市立大学 医学部神経内科 教授	黒岩 義之
委 員	防衛大学校 応用科学群応用物理学科 教授	斎田 真也
委 員	福島大学 共生システム理工学類 助教授	田中 明
委 員	東京西徳洲会病院 小児難病センター 神経・発達科長	二瓶 健次
委 員	(株)東芝 研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー 研究主幹	平山 雄三
委 員	北京電影学院 映画・映像全般 客員教授	古澤 敏文
委 員	(株)テクニカル・サプライ 代表取締役	茂呂 哲男
委 員	シャープ(株) 先端映像技術研究所第4研究室 室長	山中 篤
委 員	東北大学加齢医学研究所 病態計測制御研究分野 教授	山家 智之
委 員	東北大学 情報シナジーセンター先端情報技術研究部 教授	吉澤 誠

3. スタディ成果の要約

3-1 映像酔いガイドライン検証システムの開発

3-1-1 映像酔いガイドライン検証システムの概念設計

映像酔いの主要因は、映像に含まれる視覚的運動であると考えられるが、この他にも映像の特性（物理要因）、視聴環境の物理要因、視聴者属性（感覚特性や自律神経特性）などさまざまな要因の影響を受けることが知られている。なお、これらのモデルはそれぞれ得意とする時間スケールが異なることにも注意が必要である。本スタディでは、この主要因である映像中の視覚的運動に焦点をあてる。

今年度は、これまでの研究成果を整理したうえで、一連の「映像酔いガイドライン検証システム」のプロセスを体験できるプロトタイプシステムを構築した。すなわち、個々の解析法をユーティリティとしてGUIを設計し、互いのデータを共有することで、それらをシームレスに使えるようにした。各ユーティリティは単独でも動作するが、さまざまな組み合わせで解析や評価を進めることができる。これによって、任意の映像を解析し、既存ライブラリを参照にした映像酔いのチェックや自律神経系評価指標の推定を可能とするシステムをめざした。映像特性ユーティリティでは映像ファイルを入力とし、カメラの動作を解析したさまざまな映像特性を表示するようにした。また、生体機能を計測することで、自律神経関連の評価値等を表示できる。ファイル構成は映像関連ファイル、生体影響評価関連ファイル、映像酔いの刺激ライブラリなどからなる。図 3-1-1 に開発した「映像酔いガイドライン検証システム」の概念設計を示す。

ムアップ的手法であり、もう1つは、映像の動きを画面全体を変形させてフレーム間でマッチングすることで求めるトップダウン的手法である。前者は、映像中の局所的な物体の運動など本来のグローバル運動とは異なる運動を比較的排除しやすいが、輝度勾配の変化に乏しい領域が存在する場合、動きベクトルが正確に算出し難い。一方後者は、局所的に輝度勾配の変化に乏しい領域が存在してもその影響は排除されるが、局所的な物体の運動の影響を受けやすい。

本スタディでは、動きベクトルの算出を行うボトムアップ的手法を採用する。この手法で実施する動きベクトル算出は大きく2つに分類されると言われる。1つは、ブロックマッチング法で、あるフレームで特定の領域をテンプレートとし、次のフレームでこれに一番類似する領域を探索する手法である。もう1つは、勾配法で、画像上の位置の時間微分による拘束方程式に仮定条件を加え、これを解くことで動きベクトルを求める手法である。本スタディでは、ブロックマッチング法を用いる。

3-1-1-1-2 グローバル運動推定における基本概念

カメラ要素運動の推定にあたり、基本となる透視射影のカメラモデルを定義する。視点Oによる特徴点P(X, Y, Z)は、Z軸に垂直な距離Dの投影面上の点p(x, y)に投影される。ここで、pとPとの関係は式3-1-1で表せる。

$$(x, y) = \frac{D}{Z}(X, Y) \quad \text{式 3-1-1}$$

動画解析ソフトウェアでは、複数の点(x, y)の動きから複数の点(X, Y, Z)の変化をオプティカルフローとしてとらえ、その基になるカメラの要素運動を推定する。この要素運動として、パン、チルト、ローテイト、トラック、ブーム、ドリー、ズームがあり、これらはカメラの位置変化の有無の観点と、視覚運動の種類による観点とで分類できる。本スタディでは、カメラの位置変化の有無について区別せず、位置変化のないパン、チルト、ローテイト、ズームによる分類までを行う。

3-1-1-1-3 ソフトウェアの基本構造

カメラ要素運動推定のソフトウェアでは、ここまでに述べた手法と基本概念に従って、ブロックマッチングによる動きベクトルに基づいて、カメラ要素運動を推定する。まず映像をAVIファイルとして入力した後、ブロックマッチングを行うためのウィンドウを開き、マッチング要素数の設定やパタンマッチング範囲の設定を行う。そして次に、

カメラ要素運動推定を行うためのウィンドウを開き、推定区間等の設定を行い、推定を実施する。具体的な構成と操作方法については、3-1-4に詳述する。

3-1-1-2 ブロックマッチングとそのパラメータの検討

本スタディでのブロックマッチング法では、テンプレートの画像と次フレームでの画像とで、各画素の値に対し、相関係数を算出し、その値が最大となる次フレームの画像をマッチング位置として決定する。なお、カラー画像の場合には、r g bの各値に対して相関係数を計算した後、その平均値を評価の対象とする。

ブロックマッチングで設定する主なパラメータは以下のとおりとする。

- (1) 探索開始フレーム： 解析処理を開始するフレーム
- (2) 探索終了フレーム： 解析処理を終了する1つ手前のフレーム
- (3) 探索フレーム間距離： 解析を実施する2枚のフレーム間の距離
- (4) ブロックサイズ： 動きベクトルを求める際のブロックの画素サイズ
- (5) 探索範囲： 動きベクトルを求める際のブロックのマッチングの範囲
- (6) 色処理指定： 画像をグレースケールに変換して処理するか、r g b値で処理するか。

このうちブロックサイズと探索範囲について、以下のとおり検討した。

3-1-1-2-1 ブロックのマトリクス数の検討

MPEG 等ではブロックマッチングの要素数として、 16×16 が用いられている。要素数が大きく、ブロックサイズが小さいと、局所的な動きの影響が少なく、マッチングの精度が向上するが、探索時間が増加する可能性がある。そこで、実際に解析処理を行い、精度をある程度維持できる比較的大きめのブロックサイズを検討した。

映像はローテイト映像とし、映像サイズは 640×480 ピクセル、フレームレート30 fps、フレーム数30フレームにおいて、29, 38, 50, 100, 128ピクセル（ブロック要素数は 22×16 , 16×12 , 12×9 , 6×4 , 5×3 ）の5種類のブロックサイズで得られたカメラ速度の標準偏差を求めた（図 3-1-2）。その結果、ブロック要素数の減少とともに標準偏差値が増加するが、 12×9 までは標準偏差値がある程度維持されることがわかった。従って要素数は 12×9 程度が妥当と考えられる。

3-1-1-2-2 探索範囲の検討

映像酔い事例で視聴された映像酔いしやすい典型的な映像に対して、カメラ要素運動を推定した結果、映像が 640×480 ピクセルの場合、1 フレームあたり、パン方向では 29 ピクセル程度、チルト方向では 14 ピクセル程度の変化が確認された。従って、これがある程度カバーする範囲で設定すればよいことが明らかになった。そこで、探索範囲は、この値に 1 割増した 32 ピクセル程度で妥当だと考えられる。

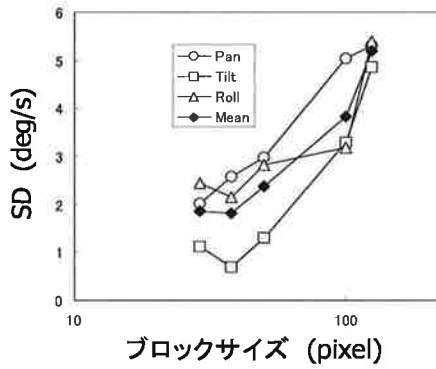


図 3-1-2 ブロックサイズと推定標準偏差値との関係

3-1-1-3 カメラ要素運動の推定

カメラの要素運動については、既に定式化が行われている。ここでは、それらの概要を述べる。画像 1 の点 $p1(x, y)$ から画像 2 の点 $p2(x', y')$ への動きベクトルは、

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x' \\ y - y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{zoom} & b_{rotate} \\ -b_{rotate} & a'_{zoom} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{pan} \\ d_{tilt} \end{pmatrix} \quad \text{式 3-1-2}$$

で記述される (式 3-1-2)。ここで、

$$a_{zoom} = A \cos \theta \quad b_{rotate} = A \sin \theta \quad a'_{zoom} = a_{zoom} - 1$$

ただし、 A をカメラのズームでの倍率、 θ をカメラの回転角度とする。また、 a_{zoom} 、 b_{rotate} 、 c_{pan} 、 d_{tilt} は各々カメラの要素運動 (ズーム、ローテイト、パン、チルト) を表すパラメータである。さらに、カメラ位置の変化するカメラ要素運動の項も加えると、最終的に動きベクトルは以下の式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{zoom} & b_{rotate} \\ -b_{rotate} & a'_{zoom} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{pan} \\ d_{tilt} \end{pmatrix} + \frac{1}{z} \left\{ \begin{pmatrix} a'_{doly} & 0 \\ 0 & a'_{doly} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{track} \\ d_{boom} \end{pmatrix} \right\} \quad \text{式 3-1-3}$$

そこで、カメラの要素運動は以下のとおり推定される。

まず、上述の式 3-1-3 において、動きベクトルの u と v を各々 x と y とで偏微分し以下を得る。

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = a'_{zoom} + \frac{1}{z} a'_{doly} \quad \text{式 3-1-4}$$

従って、 $\frac{\partial u}{\partial x}$ と $\frac{\partial v}{\partial y}$ の特徴空間上で、動きベクトルの偏微分値が $\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial u}{\partial x}$ の直線付近に存在する時、それらはズームを反映するとする。

次に、前述の式 3-1-4 において、動きベクトルの u と v を各々 y と x とで偏微分し以下を得る (式 3-1-5)。

$$\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x} = b_{rotate} \quad \text{式 3-1-5}$$

従って、 $\frac{\partial u}{\partial y}$ と $\frac{\partial v}{\partial x}$ の特徴空間上で、動きベクトルの偏微分値が $\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$ の直線付近に存在する時、それらは回転の視覚運動成分を反映することになる。

さらに、上述の式 3-1-3 において、拡大・縮小成分と回転成分とを消去すると以下の式が得られる。

$$\begin{pmatrix} b_{pan} \\ b_{tilt} \end{pmatrix} + \frac{1}{z} \begin{pmatrix} b_{track} \\ b_{boom} \end{pmatrix} \quad \text{式 3-1-6}$$

この動きベクトルを、 u と v の特徴空間上で表現した時、 $v = \alpha u + \beta$ の直線付近に存在することになる (式 3-1-6)。

上述の方式では、各カメラ要素運動に関わる動きベクトルの分布が画面上で締める大きさに応じた判断をしていないこと、またそれとベクション等の知覚との関係が明らかでないことがあり、今後解決されるべき課題と言える。

参考文献

- 1) 秦泉寺, 渡辺, 小林, スプライト生成のためのグローバルモーション算出法と符号化への適用, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J83-D-II:535-544, 2000.

3-1-2 視覚運動要因に基づく映像酔い推定での統合化モデル構築

映像が生体に与える影響や効果を探る場合、映像特性、感覚（視聴覚）特性、自律神経特性を統合して議論する必要がある。ここでは、映像酔いのモデルとして3つの要素を統合的に取り扱おうとする2つのモデルを紹介する。

3-1-2-1 時変要因モデル

3-1-2-1-1 モデルの提案

時変要因モデルでは、映像酔いの発生モデルとして酔いが引き起こされるまでの蓄積（アキュムレーション）要因と酔いのきっかけ（トリガー）要因の2つの要因を考える（図3-1-3参照）。すなわち、ゆっくりとした自律神経系の変化を背景とするアキュムレーション要因に対して、あるタイミングや間隔で加わる視覚への複数のトリガー要因により、生体の状態が変化し、ある閾値を超えることで不快な状態に陥ると想定する。

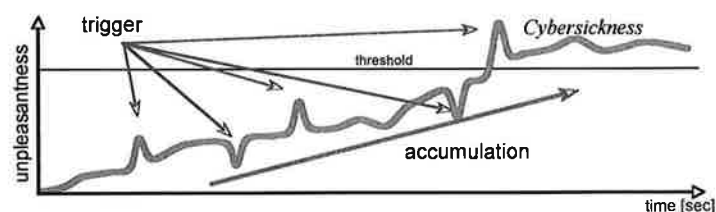


図 3-1-3 時変要因モデル

3-1-2-1-2 検証実験

時変要因モデルを検証するために、明らかに不快な影響を与えた1人称視点（first-person-view）の映像（視聴時間120秒）を5トライアル繰り返し呈示する実験を行った。この映像は、マウンテンバイクで坂を下り降りる映像を車載カメラで捉えたもので、解像度は352×240ピクセル、フレームレートは30フレーム/秒である。ここで、5トライアル（T1～T5）の映像視聴前後に被験者の安静状態の生体信号を5分間計測した。なお、映像視聴中の迅速的な主観的判断として、不快を感じた際に主観ボタンを押してもらった。

映像は 70 インチスクリーン上に輝度の高い液晶プロジェクタ（E L P-8 2 0、X G A 対応、1024×768 ピクセル、2500 A N S I ルーメン、エプソン製）で投影した。なお、室内の明るさは 10 ルックスとし、被験者はスクリーンから 1.7m 離れた位置で椅子に着座した状態で視聴してもらった。画角は上下方向に約 17°、左右方向に約 22°である。視覚運動要因として、映像のカメラワークに関連した特性と感覚特性としての眼球運動を計測した。映像の動きベクトルには、カメラワークに関連したグローバル動きベクトルのうちズーム、パン、チルトを用いた。さらに、感覚特性としての眼球運動の計測にはリンバストラッカー（P-E O G、はんだや製）を用いた。

一方、自律神経特性は心拍変動、呼吸変動、血圧変動から推定した。ここで、心電図はディスポーザブル電極を用い、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（J E N T O W 7700、日本コーリン製）を用い、左手橈骨動脈圧を計測した。その他、呼吸波形や発汗量を測定した。

3-1-2-1-3 評 価

自律神経特性は時間スケールが異なるため、トリガー要因とアキュムレーション要因とを想定した解析を行い、その時間分布や時間変化に注目した。

映像視聴前の安静時 3 分間における H F、L F 成分のパワーの平均値を基準とし、H F 成分のパワーの平均値の 80% 以下の時刻を含み、L F 成分のパワーの平均値の 120% 以上となる区間が 300 ミリ秒以上継続した場合、その区間を、生体は何らかの影響や効果を受けたと想定される区間 S S I（Some Sensation Interval）と定義した。その上で、S S I の直前の L F 成分のパワーが極小点をとる時刻（S S I 開始から 10 秒前以内）を、生体に影響を与え始めたと想定されるトリガー時刻 t_g とした。

以上のように、トリガー要因としてはトリガー時刻の時間分布を調べた。実際にはトリガー時刻付近での映像特性、例えば G M V（Global Motion Vector）が候補となる。一方、アキュムレーション要因として、R R 間隔時系列から求めた L F / H F を用いた。

3-1-2-1-4 結 果

被験者は健常な男性 15 名（平均年齢 21.9 歳 ± 0.9）である。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。主観ボタンを押したかどうかで、酔いを知

覚した群（9名）と酔いを知覚しなかった群（6名）に分けた。図 3-1-4 に結果を示す。

トリガー時刻 t_g は被験者数 15 名で合計 73 箇所であった。トライアル内では 2 つのピークが見られた。前半のピークでは、トライアル毎にほぼ線形的に増加していた。一方、後半のピークでは、前半のトライアルでは t_g は検出されていないが、後半の 3 トライアル目から急激に t_g が多く検出されていた。一方、LF/HF の時間変化を比較すると、酔いを知覚した群の方が時間につれて上昇していた。さらに 2 群の間ですべての時刻（1～600 秒）での変化の有意差検定（ $p < 0.01$ ）を行った結果、後半のトライアルになるにつれて有意差が認められる区間が長くなった。特に、T4 はほとんどの区間で有意差が認められた。また、この区間において主観評価ボタンを押した被験者が多くいた。

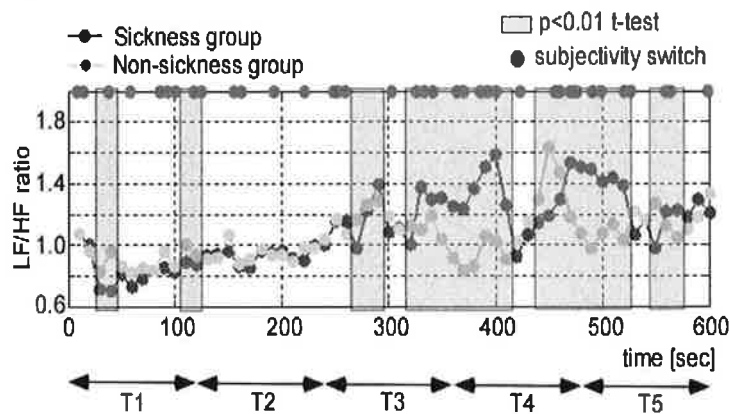


図 3-1-4 両群における LF/HF の変化

3-1-2-1-5 まとめ

トリガー要因は視覚へ直接起因している要因である可能性が示された。一方、アキュムレーション要因として、酔いを知覚した群において LF/HF は有意な変化をしており、時間につれて上昇していた。これらの実験結果をふまえ、時変要因モデルの更なる検証を進める予定である。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所，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：4-6，2005.

- 2) 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, 第 21 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 553-556, 2006.
- 3) 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, 電子情報通信学会論文誌 D, J89-D, 3, 576-583, 2006.

3-1-2-2 感覚特性モデル

感覚特性モデルは、実験心理学的手法による基礎データに基づいて構築した。ここでは基礎データを概観し、映像視聴での計測データとモデルの推定結果とを比較する。

3-1-2-2-1 これまでに報告された基礎データ

本スタディでは、映像酔いを起こしやすい視覚運動の種類や速度などを明らかにするために、コンピュータ・グラフィックスにより、仮想環境中で運動させたカメラによる映像を作成し、実際に観察者に提示するなどの実験を行ってきた。カメラは、そのヨー軸やピッチ軸、ロール軸まわりに一方向に回転させたり、往復回転させたりといった状況をシミュレートし、また生体影響については、これまでに延べ 400 名以上の観察者により、主観評価や身体動揺、頭部動揺、眼球運動などの計測を主として用いた。

こうした実験で明らかになってきたこととして、以下のような点があげられる。

- (1) ヨー、ピッチ、ロールなど軸回りの回転をシミュレートした映像の中では、比較的ロールによる影響が大きい。
- (2) 回転速度については、いずれも酔いを生じやすい最適な速度帯域が存在し、共通する帯域は 30~70 deg/s 付近である。
- (3) 酔いを生じやすい速度帯域では、比較的ベクシオンも生じやすく、さらに身体動揺も大きくなる傾向がある。
- (4) 視覚的に与えられるロール運動によって生じる回旋眼球運動の変位は、酔いの程度が大きくなるほど増加する傾向が見られた。

例えば、一方向に回転する場合の、回転速度の影響については、図 3-1-5 に示すように映像酔いに関わる主観評価値と、ベクシオン強度についての主観評価値ともに、

回転軸によらず、いずれも、回転速度が 30 から 70 deg/s で、最大となった。また、最大の値は、ロール、ピッチ、ヨーの各軸に対する回転の順となった。

なお、一方向回転でも、往復運動でも、主観評価値が相対的に高い値を示す速度帯域がほぼ共通することがわかった。この速度帯域では、いずれの回転軸に対しても、一方向回転運動が往復運動かによらず、身体動揺が大きいことも明らかになっている。

そして、これらの結果で最も重要なことは、一方向回転運動でも往復運動でも、影響の大きい条件を、共通して速度で表現できることである。これらのデータは、以下で説明する映像酔いの程度を推定する感覚特性モデルにて、有用となる。

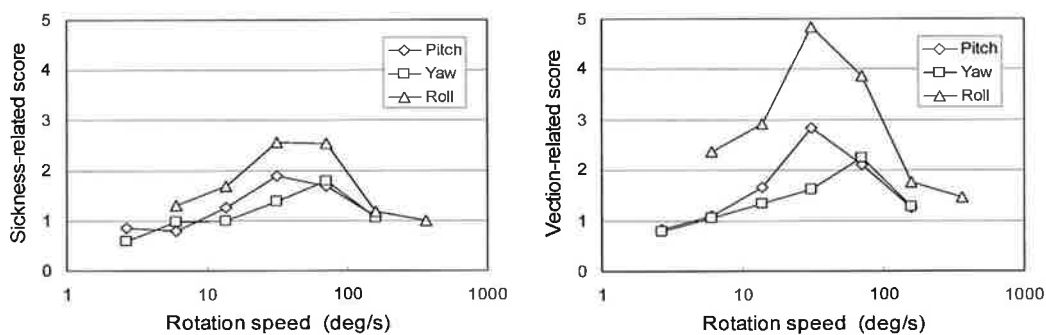


図 3-1-5 一方向回転速度の効果 (a)映像酔いに関わる主観評価値、(b)ベクション強度の主観評価値

3-1-2-2-2 感覚特性モデルの構築

映像のグローバルモーションを解析し、そのカメラの動きから、映像酔いに関連する不快レベルを時々刻々推定するための感覚特性モデルを提案した。このモデルは、推定したカメラ運動（パン、チルト、ロール、ズーム）の速度に応じて、一過性の反応と持続性の反応を示し、その反応量に応じて不快レベルが決定される。

モデルの構築にあたり、2003年に島根県の中学校における映像酔い事例で視聴された映像の運動を動画解析し、推定したカメラの動き（ロール、パン、チルト、ズーム）をもとに、コンピュータ・グラフィックスにより仮想的に構築した3次元空間内のカメラの運動を決定して作成し、これを観察者に視聴してもらった。観察者は、映像視聴中1分おきに、4段階の不快度評価を行った。その結果、カメラ運動が0.5秒以上、一定の運動速度（運動要素ごとに異なる）を越えた場合の映像のフレーム数をカウントした結果と、不快度の平均値とを時系列的に比較した場合、カメラ運動の増加が見

られる時間帯で、主観評価値の増加が見られること（一過性要因）、また映像視聴時間の増加とともに、不快度の評価値の増加が見られること（持続性要因）がわかった。

そこで、カメラ運動が一定時間以上、一定の運動速度を超えた場合に、図 3-1-6 に示すような一過性応答(transient response)と持続性応答(sustained response)を出力するモデルを構築する。この出力の大きさと持続時間とは、カメラ運動の速度と持続時間に応じて決定される。最終的には、図 3-1-7 のように、各々のカメラ運動に対する応答を統合し、酔いの不快レベルについての最終的な出力を得るものとする。

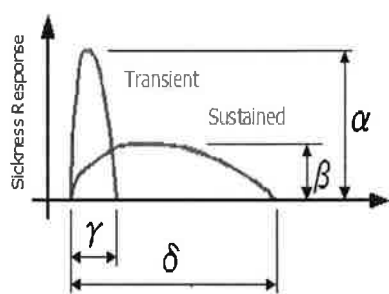


図 3-1-6 感覚特性モデルによる
2種類の応答

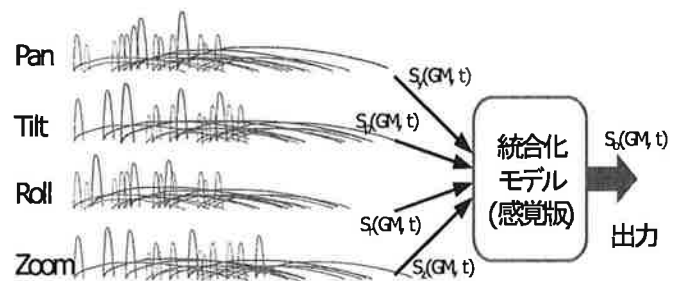


図 3-1-7 感覚特性モデルにおける各運動成分への応答
の統合

このモデルでは、図 3-1-6 の各パラメータや、図 3-1-7 の各成分の足し合わせについての重み量、また応答が形成される各要素運動の速度範囲などを設定可能なパラメータとする。この速度範囲の設定の根拠となるデータは、先述の主観評価値の結果である。

構築されたモデルで、実験の映像に対する映像酔いの程度の推定値を出力した結果を図 3-1-8(b)に示す。図 3-1-8(a)は、主観評価値の結果である。その結果、推定値の時間推移がある程度主観評価値と対応する一方、映像後半でのそれまでの累積的影響による増加を加味する必要があることが示唆された。今後、さらに改良していく必要がある。

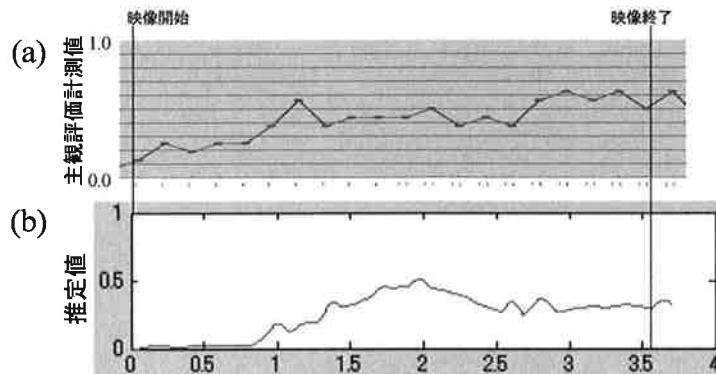


図 3-1-8 主観評価値(a)と感覚特性モデルによる時系列推定値(b)との比

3-1-2-3 相互作用・時間要因検討

3-1-2-3-1 時変要因モデルからの検討

これまでに、実写映像の動的特徴（動きベクトル）と自律神経系に関連した生体信号とに何らかの関連性があると推測し、生体信号から生体影響区間と影響を受け始めた時刻（トリガー時刻）の決定方法を提案した。しかし、トリガー時刻は必ずしも映像酔いのきっかけとなると言い切ることはできなかった。

ここでは、18 分間のスポーツ体感ビデオ（1 人称視点の映像）を視聴した際の健康な成人男性 28 名、女性 3 名（平均年齢 22.1 ± 0.89 歳）を被験者とした結果、トリガー時刻 t_g は合計 131 箇所であった。それぞれの映像のセクションには、トリガー時刻の時間分布に固有のピークが現れていた。さらに、不快と答えた被験者の人数とトリガー時刻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セクションに対し、1 分間あたりのトリガー時刻の数を算出し直し、アンケート結果との比較を行った。その結果、不快感の最も高かったマウンテンバイク映像は、トリガー時刻も多く検出されていた。しかし、不快感があまりなかったタイムレース映像もトリガー時刻が多く検出されていた。不快感のあまりなかった映像に関しては、むしろ負の相関の傾向が見られた。すなわち、トリガー要因の数のみでは映像酔いの指標にはならないことがわかる。

ここで、スポーツ体感ビデオの範囲であるが、映像酔いの強い場合と映像酔いのない場合の動きベクトルの時間周波数構造が異なることがわかっている。以上のことか

ら、映像酔いの報告された映像からトリガー要因となる動きベクトルの特定の時間周波数構造をみつけだし、ライブラリ化することで、任意の映像のリスク度を推定できる可能性がある。

3-1-2-3-2 感覚特性モデルからの検討

3-1-2-2 で構築された感覚特性モデルでは、映像視聴による主観評価値との比較から、モデルによる2種類の応答、すなわち一過性応答と持続性応答についての応答時間幅を各々50秒と480秒として、主観評価の時系列変化に近いモデルの出力値が得られた。しかしこうした時間は、個人差がかなり大きいと思われる。図3-1-9(a)は、島根県の事例で視聴された映像を、実験室で視聴直前と視聴直後から15分おきに3回まで、合計4回、シミュレータ酔いアンケート(SSQ)を実施し、その合計値の観察者間での平均値を示したもので、視聴直後に最大スコアとなり、時間とともに単調減少している。しかし、視聴後にスコアが最大となった時間帯は観察者ごとに異なっており、その時間帯別にプロットしたものが(b)である。こうした個人差に配慮していくことも今後必要になると考えられる。

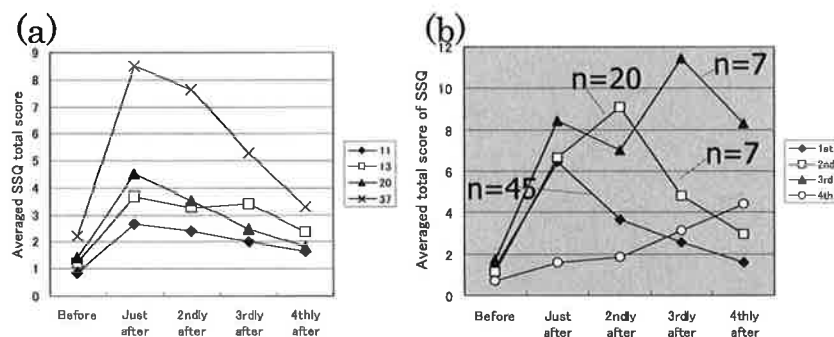


図 3-1-9 映像視聴直前と直後及びその後15分ごとのSSQスコア
(a) サイズによる効果、(b) 視聴後スコアが最大となる時間帯別プロット

3-1-2-3-3 まとめ

以上のように、時変要因モデルではトリガー要因の特徴と視聴覚特性との相互関係まで踏み込んだ解析が必要であり、検証実験によって、このような特徴を加えた統合化モデルの構築が急務である。

3-1-3 映像酔いの生体影響計測

3-1-3-1 心理的計測手法

映像酔いの生体影響計測手法のうち心理的計測手法として、主観評価値の計測がある。ここでは、それらの方法を概観し、さらにこれを用いた実験とその結果を述べる。

3-1-3-1-1 心理的計測手法の分類

映像酔いの主観評価計測として大きく2種類がある。1つめは計測軸を主としたもので、もう1つは複数の項目による総合的な計測を主としたものである。

前者の例として、産業技術総合研究所で用いている11段階の評価があげられる。この評価では、各段階に該当する主観的状态が明記されている。これにより、観察者間での評価値の変動をできるだけ低減することを試みている。これは、Wertheim et al. (1998)のMISC[1]を参考にし、予備実験での観察者の内観報告をもとに決定した。

後者の代表的なものは、シミュレータ酔いアンケート(SSQ)である。これは、16項目を4段階で評価するもので、Kennedy et al. (1993)[2]が考案したものである。この他には、鵜飼ら(2000)[3]が、過去に提案されている評価項目を参考にして28項目を選択し、各項目について7段階評価するものがある。

3-1-3-1-2 心理的計測手法に基づく生体影響計測

本スタディでは、統合化モデルの構築により、特定の映像による映像酔いの程度を推定し、同一の映像により生体影響計測を行い、その結果を比較する必要がある。ここでは、その生体影響計測の概要を述べる。

本実験では、島根県の中学校での事例で視聴された映像を解析し、グローバル運動を推定して、これを仮想環境でのカメラ運動として再現し、CG映像として制作した。なお、カメラ運動の再現では、運動種別ごとに変化量を操作し、その影響を調べた。実験では、125名の観察者(女性92名、男性33名;年齢19~72歳、平均36.2歳、標準偏差9.74歳)が実験に参加した。刺激映像は、2003年に島根県の中学校における映像酔い事例で、中学生の視聴した映像の運動を解析し、カメラの動き(ロール、パン、チルト、ズーム)を推定し、その動きを仮想的にコンピュータグラフィックス

で構築した3次元空間内のカメラの運動として再現した20分間の映像とで、以下の4種類とした。

- (1) パンとチルト（ヨーとピッチ）のみを1/3まで減少させた映像
- (2) ロールのみを1/3まで減少させた映像
- (3) ズームのみを1/3まで減少させた映像
- (4) カメラの動きを全て減少させることなく提示した映像

観察者は、映像視聴中1分ごとに4段階の不快感評価を行うとともに、映像視聴直前と視聴直後及びその後15分ごとに、SSQを実施した。

映像視聴中の1分ごとの不快感評価の変化を、ディスプレイサイズごとに、図3-1-10に示す。このグラフでは、横軸の時間は、映像刺激において、実際に動きのある映像の提示開始時刻を0分としている。縦軸は、4段階の不快感評価値の条件ごとの平均値である。これによると、全般的には、映像提示開始直後からある程度の値の増加が見られ、映像提示開始5分後に大きな増加が見られており、そこからさらに13分後まである程度の値を維持した状態が続く。そして、14分後に一旦値が大きく低下した後、15分後から映像提示の終了する20分後まである程度の値を維持した状態が続くといった状況である。ただし、条件別にはさらに細かい違いが存在する。

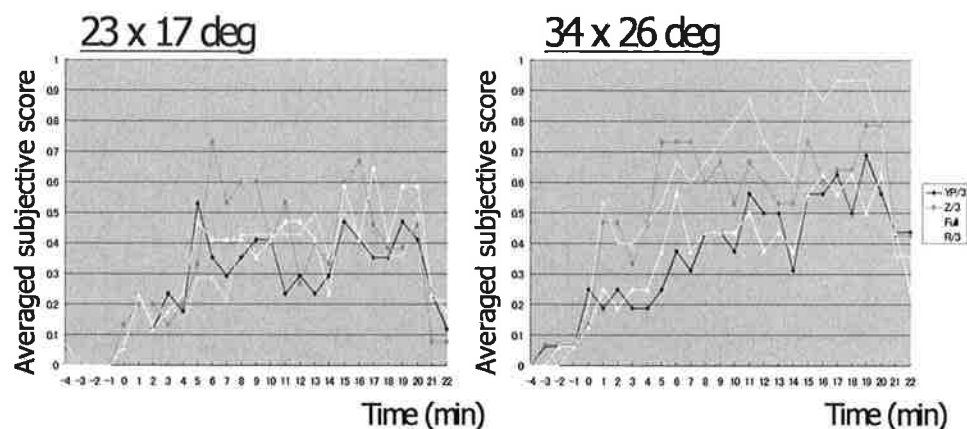


図 3-1-10 映像サイズ別の映像視聴時1分ごとの不快感評価値

カメラの特定の動きを1/3に減少した映像での主観評価値が、他の条件に比べて相対的に、ある時間帯で減少した場合、それはカメラの動きを1/3に減少させることで、その影響が低下したためと考えられる。例えば、ロールを1/3に減少させた条件とズ

ームを 1/3 に減少させた条件とで主観評価値の変化を比較してみると、図 3-1-10 の両パネルに示すように、映像提示開始後 5～8 分の間にロールを 1/3 に減少させた場合の主観評価値の低下が見られる。そして、この時間帯のカメラのロール運動を図 3-1-11 で見てみると、同じ時間帯でロール運動が大きく生じていることがわかる。

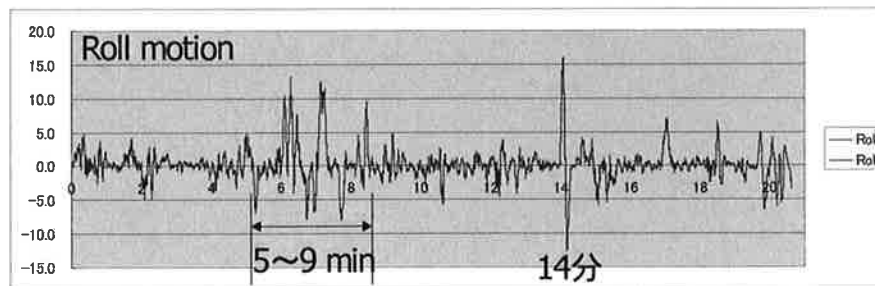


図 3-1-11 刺激映像に含まれていたロール運動成分

3-1-3-1-3 計測値と推定値との比較

今回の計測により、カメラの運動によって主観評価値が影響を受けることが示され、映像を撮影したカメラの動きを抽出、または推定することで、少なくとも主観評価の値がどのように変化するかを予測できることが明らかになった。実際に構築した感覚特性による統合化モデルでの推定値とここに述べた計測値との比較を行っている。今後、より精度の高い推定値を得るために、さまざまな映像でこうした比較を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) Wertheim, A. H., Bos, J. H. & Bles, W., Contributions of roll and pitch to sea sickness. Brain Research Bulletin, 47:517-524, 1988.
- 2) Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G., International Journal of Aviation Psychology, 3:203-220, 1993.
- 3) 大野さちこ, 鵜飼一彦, 映像情報メディア学会誌, 54:887-891, 2000.

3-1-3-2 生理的計測手法

3-1-3-2-1 目的

本スタディでは、生理的パラメータのうち非侵襲的かつ比較的簡単に計測することのできる血圧や心拍数などから、映像酔いが自律神経系へ及ぼす影響を客観的・定量的に評価する有効な方法を開発し、これを映像酔い評価システムに組み込むことを目的としている。0.1Hz 付近の Mayer 波帯域における血圧と心拍数の間の相互相関係数の最大値である $\rho_{\max}$ を経時的に求める方法は、映像酔いの定量的評価に有効であることが検証されつつあり、この生理的指標を採用する。ただし本方法では、心電図と連続血圧の計測が必要であるため、被験者数を増やすことが困難であった。そこで、本スタディでは、心電図と連続血圧を計測する代わりに、計測がより容易な光電脈波信号のみを計測するだけで従来と同様な評価が可能となる生理指標が得られるかどうか検討した。

3-1-3-2-2 提案方法

3-1-3-2-2-1 脈波伝播時間を用いる方法

心電図のR波から指先などで計測した光電容積脈波の立ち上がり時刻までを脈波伝播時間(pulse transmission time : PTT)と呼ぶ。これは、大動脈基始部で脈波が発生してからこの部位に到達するまで遅れであり、血圧との間に負の相関があることが知られている。本方法では心電図計測が依然として必要である。

3-1-3-2-3-2 規格化拍内積分値を用いる方法

動脈血による拍動成分に注目し、血圧の代用となる情報を得ることを考える。脈波における拍内の拍動成分の振幅の積分値 PW_{area} を一拍の間隔で規格化することにより得る値を、規格化拍内積分値(Normalized Pulse Wave area : NPW_{area} [相対値])として計算する。

3-1-3-2-3-3 脈波ピーク時間差を用いる方法

容積脈波の第1波は、心臓の拍動が直接指先に伝播する進行波である。第2波は下肢側でのインピーダンスの不整合により生じる反射波であり、その波が指先へと伝播

し進行波と重なる。進行波が指先まで伝播する時間と反射波が指先まで伝播する時間の差は、下行大動脈を拍動が往復する時間に等しい。第1波のピークと第2波のピークの時間差を脈波ピーク時間差 ΔT_{DVP} として計算する。

3-1-3-2-3-4 独立成分分析を用いる方法

脈波信号に独立成分分析を適用することを考える。いま、脈波の波形を特徴付ける要素からなるベクトル $x(k)$ が、要素が互いに独立な未知ベクトル $s(k)$ と混合行列 A で $x(k)=As(k)$ のように表されると仮定する。本スタディではFastICAというアルゴリズムで A 及び S を推定する。推定された S のうちのどの要素の時系列を採用するかは、血圧-心拍数間の $\rho_{\max}$ である $\rho_{\max}(k, BP)$ と、独立成分-心拍数間の $\rho_{\max}$ である $\rho_{\max}(k, IC_n)$ の2乗誤差が最小となるように選ぶ。

3-1-3-2-3-5 簡易型心電・脈波計測装置

本スタディでは、上述の諸量を求めるために必要となる心電図及び脈波を計測するための小型の心電・脈波計測装置を製作した。本装置は簡易型心電・脈波計測装置とそれに付随する指尖脈波センサからなる。装置内には計測データをデジタルデータとして保存するためのメモリも含まれている。さらに、無線モニタリング装置を接続しパソコンなどの外部機器を用いて、波形のモニタリング並びに内部時計の設定などが行えるようになっている。

3-1-3-2-4 結果及び考察

図 3-1-12 に独立成分分析による $\rho_{\max}(k, IC_{n*})$ を示す。これは手振れ映像（古澤映像）を14名の被験者に見せ、これらの被験者をSSQのTSが高いグループ7名と低いグループ7名の平均値に分けて示したものである。この結果は、脈波の特徴ベクトルの選び方を1種類に絞ることなく複数選ぶことによって、酔いの症状の強さを敏感に反映する生理指標が新たに得られる可能性を示唆している。また、これ以外の3つの生理指標もおおむね良好な結果を与えることが確認できた。

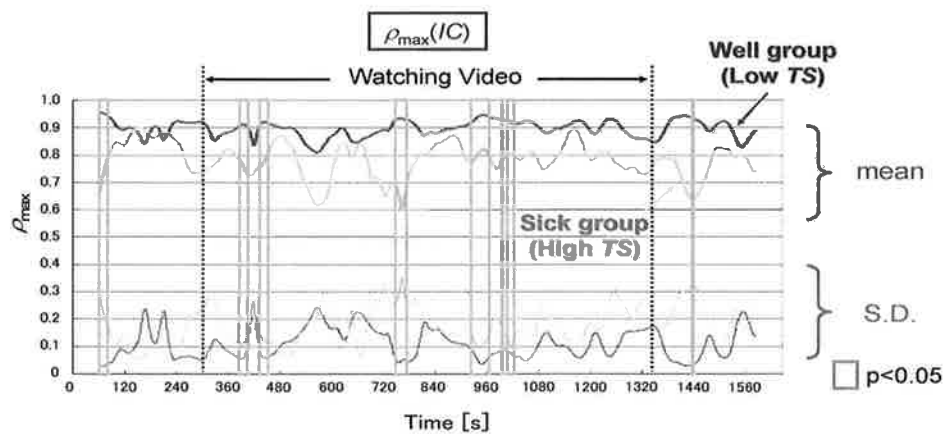


図 3-1-12 独立成分分析による $\rho_{\max}(k, IC_n^*)$

3-1-3-2-5 結 論

以上の結果は、一度に多くの被験者を対象として映像酔いの影響を評価できることを示唆するものであり、映像酔い評価システムにおけるリスク度の判定のための資料を与えるものとして有用である。

3-1-4 統合化モデルの構築

映像酔いに関与するさまざまな要因を統合し、映像酔いのリスク度を評価する統合化モデルの構築をめざしている。これによって、任意の映像の動きベクトルを推定することで、既存の映像評価ライブラリを参照にした映像酔いのリスク度推定を実現する。さらに、自律神経系の振る舞いから映像酔いの生体への影響を推定する方法を提供する。

3-1-4-1 システムの構成

設計した「映像酔いガイドライン検証システム」は、映像関連ユーティリティ、生体影響評価関連ユーティリティ、映像刺激ライブラリからなる。ファイル構成は映像関連ファイル、生体情報関連ファイル、映像酔いの刺激要因ライブラリファイルなどからなる（図 3-1-13）。ここで、映像関連ユーティリティには映像特性解析、視点体感シミュレーション、映像動きベクトルの解析の機能がある。データの流れとしては、映像ファイル（AVIファイル）を入力とし、LMV (Local Motion Vector)の推定を経て、GMV (Global Motion Vector)を推定する。現在、ソフトウェアで推定しているので、LMVの推定にはかなりの時間を要する。いったん、映像の動きベクトルが推定できれば、映像の動きやカメラの動作に関するさまざまな映像特性を解析できる。また、生体機能を計測することで、自律神経関連の評価値等から映像のリスク度を推定するための映像刺激ライブラリを作成できる。

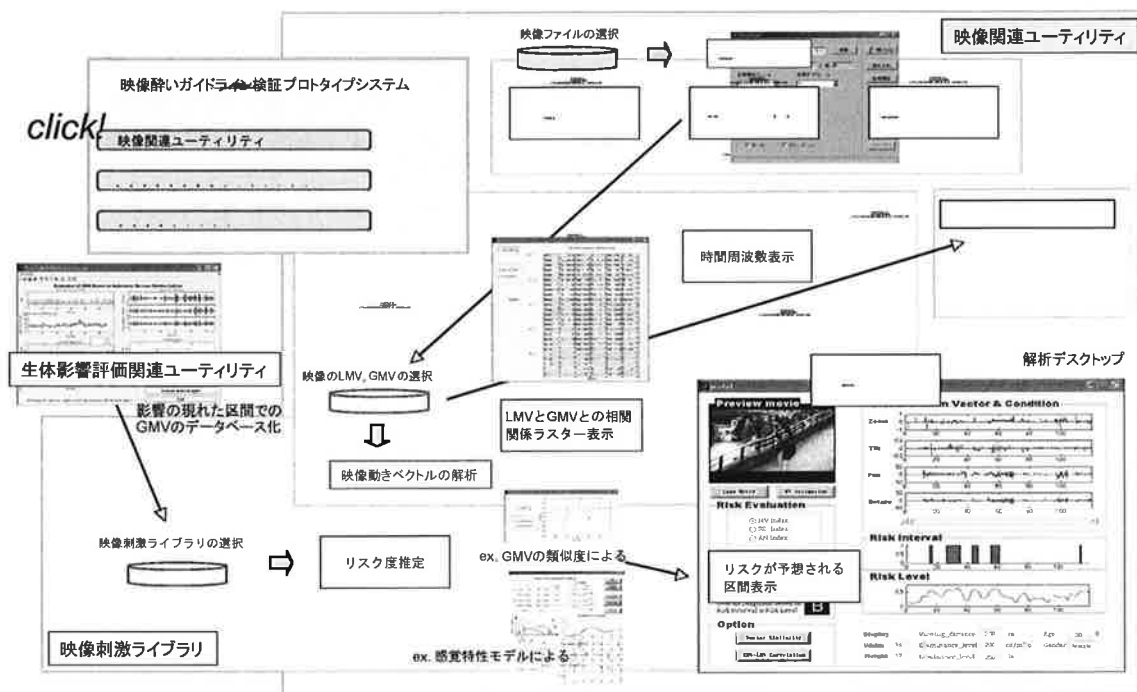


図 3-1-13 システム構成の概要

■ 映像関連ユーティリティ

(1) 映像動きベクトル推定

映像ファイルをAVIファイルとし、映像ファイルからLMV推定、GMV推定を行う。LMV推定にあたっては、推定ブロックのサイズ、ブロックのシフト長を設定する。また、LMVからGMVを推定する。

(2) 視点体感シミュレーション

- ① ランダムドット映像：LMVやGMVを基に、ランダムドット映像へ変換する。
この際、ズーム、パン、チルトなどの各成分を調整した映像が制作できる。
- ② 視線体感映像：LMVやGMVを基に、任意の映像空間でカメラ操作の効果を探る。

(3) 映像特性解析

- ① 時系列表示：推定した動きベクトルの各成分を時系列表示する。これによって、各成分との時間的関係を探る。
- ② 時間周波数表示：映像酔いのきっかけは単なる動きベクトルの周波数成分だけではなく、時間につれてどのような動きなのかが重要ではないかと考えており、ト

リガー要因となる動きベクトルの時間周波数構造を明らかにする。

- ③ LMVとGMVの相関係数ラスター表示：GMVはカメラ全体の動きであるが、映像の中での物体の動きが影響を与えている可能性がある。そこで、画像をいくつかの区間に分割して求めたLMVとGMVとの相関係数をラスター表示する。
- ④ リスク表示：任意の映像からGMV時系列や時間周波数構造を推定し、これらを映像刺激ライブラリに登録されているトリガー要因の特徴と比較する。客観的な比較結果をもとに、映像酔いの確率やさまざまな視聴環境を考慮したリスク度の時系列を推定する。また、一定閾値を設定して、実際のシステムではリスク度の高い区間をわかりやすく表示する。これによって、映像の動きベクトルから酔いの可能性を予測することをめざす。

■ 生体影響評価関連ユーティリティ

(1) 自律神経評価

- ① 自律神経系評価パラメータ推定：心拍、血圧等の時系列を入力とし、自律神経系の評価指標を推定する。
- ② 時系列表示：自律神経系評価指標はさまざまな時間スケールからなるので、互いに比較するための時系列表示を行う。

(2) 映像酔いの主観評価

- ① SSQによる評価：SSQの項目を表示し、回答をキー入力することでデータベース化を図る。
- ② その他の主観評価

■ 映像刺激ライブラリ

- ① 映像酔いを発症する可能性のある映像ライブラリ
- ② 映像酔いを発症する可能性のあるGMVのライブラリ
- ③ 映像酔いを発症する可能性のあるGMVの動きの範囲

3-1-4-2 システムの操作方法

■ 映像関連ユーティリティ

(1) 映像動きベクトル推定

映像ファイルからLMV推定、GMV推定を行う。映像ファイルはAVIファイルとし、760×480 ピクセル、30 フレーム/秒とする。LMV推定はブロックマッチング法による。LMV推定にあたっては、探索ブロックのサイズ、探索範囲を設定する。このようにして算出された領域と探索ブロックとの水平、垂直位置のズレを、そのフレーム間でのLMVとする。一方、GMV推定はボトムアップ法による。現在、推定法に時間がかかるため、ハードウェアも含め処理法を検討中である。

(2) 映像特性解析

解析デスクトップ「映像酔いガイドライン検証システム」の中心的存在として、パラメータを調整しながら映像酔いのリスクを評価できる「解析デスクトップ」を作成した。推定した映像動きベクトルを使い、映像特性解析や映像刺激ライブラリとあわせた映像のリスク度を評価する。最初に、解析する映像を読み込むと右上にその映像が表示される。さらに、推定した動きベクトルの各成分を時系列表示する。これらの表示によって、GMVの各成分の時間的關係を探ることができる。この際、時間軸に映像のフレームと連動したスライダーが用意されており、気になる動きベクトルがどのような映像から構成されているかを調べることができる。

リスク度評価では、3種類のオプションを用意した。1つは映像酔いのトリガー要因の特徴からリスク度を評価する方法で、時変要因モデルに基づいている。もう1つは視聴環境を含めた感覚特性モデルに基づく方法である。ここで、3種類の視聴環境サンプルを用意した。リスク度は時系列表示されるとともに、一定の閾値を超えた区間を赤く表示し、リスク区間とする。その区間の比率に応じて、最終的なリスク度をA、B、C、Dと表示する。

なお、これらのサンプル映像、動きベクトル、映像酔いを引き起こす可能性のある動きベクトルの特性などは、映像刺激ライブラリにおさめられている。

(3) リスク度評価

時変要因モデルによるリスク度推定では、類似度を推定することで、任意の映像にあらかじめ映像刺激ライブラリに登録されたトリガーとなる可能性のある動きベクト

ルの特徴が含まれているか探るとともに、従来の映像生体影響で得られた酔いの現れる確率から、個別のリスク度を推定する。酔いの現れる確率は、現時点ではユーザーの判断に任されているが、生体影響評価のデータがそろい次第、裏付けデータに基づく確率が自動的に埋め込まれるようにする予定である。

感覚特性モデルに基づくリスク度推定では、さまざまな視聴環境を考慮したリスク度を推定する。すなわち、映像の動きベクトルを視聴者の座標軸で評価した際に映像酔いの予想される範囲を参考に、一過性の刺激が加わる時点を推定する。これらの一過性の要因である映像刺激に対して、時間スケールの長い持続的な要因が蓄積されることでリスク度が評価する。従って、一過性の刺激が加わる時点が多いほど、持続的な要因による蓄積効果が現れる。なお、映像酔いの予想される範囲は映像刺激ライブラリに蓄積しておく。

■ 生体影響評価関連ユーティリティ

(1) 自律神経評価

被験者を対象とする実験において計測された心電図信号・光電脈波信号・イベント信号の時系列に対応するファイルを入力とし、自律神経機能の評価指標の1つである $\rho_{\max}$ などを計算・表示するとともに、各結果をテキスト形式のファイルとして出力する。パラメータは変更可能である。また、自律神経系評価指標はさまざまな時間スケールからなるので、互いに比較するため、推定結果の時系列表示を行う。

■ 映像刺激ライブラリ

- ① 映像酔いを発症する可能性のある映像ライブラリ：港、横浜の風景を、ハンディカメラで撮影した著作権フリー（一部、音楽に著作権あり）の映像ライブラリ。
これまで映像酔いが知られているカメラワークで撮影されたもの。推定したGMVも含む。
- ② 映像酔いを発症する可能性のあるGMVのライブラリ：時変要因モデルによる解析結果から取り出した映像酔いを引き起こす可能性の高いGMVの3秒間の参照データファイル
- ③ 映像酔いを発症する可能性のあるGMVの動きの範囲：感覚特性モデルで使用する映像酔いを引き起こす可能性の高いGMVの動きの範囲データファイル

3-2 国際標準化の動向

3-2-1 映像の生体安全性に関する昨年度までの動向

映像に関する革新的な技術開発とその普及により、映像視聴に関する最近の環境は、以前とは比較にならないほど急速な発展を遂げており、利用者にさまざまな恩恵を与える。一方、状況によっては、映像視聴による生体への好ましくない生体影響が発生する可能性がある。例えば、英国で1993年にテレビのコマーシャルで発生した事例や、日本で1997年にテレビのアニメ番組によって発生した事例では、その直後に各国内で放送業界向けガイドラインが作成された。また2005年に国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）より光感受性発作向けの新勧告が発効した。

これに対し、放送業界向けの光感受性発作対策だけでなく、幅広い領域の映像に対し映像酔いや立体映像による視覚疲労等のリスク軽減のための対策が求められる。日本国内では、国内の放送業界やITU-Rの動きに先駆けて、ここ10年間に亘り複数のプロジェクトを推進し、特に立体視眼精疲労と映像酔いに対する影響解明が行われた。そしてこれらの成果を基に、2004年12月に日本工業標準調査会と（独）産業技術総合研究所の主催によるISO国際ワークショップが開催され、この参加者の合意事項が、2005年9月に国際ワークショップ合意文書（IWA3:2005）として発行された。

これは、さまざまなメディアにおける3つの生体影響のリスク軽減を対象とした初めての国際合意文書である。この中では、今後、国際規格化に向けての議論のために、ISOでのアドホック・グループ設置を謳っている。これを受けて、2005年に国際照明委員会（CIE）に、映像の生体安全性に関わる科学的知見を集約する場として、技術委員会TC1-67「動的及び立体による映像の健康への影響」が設置された。

3-2-2 映像の生体安全性に関する今年度の動向

映像の生体安全性に関するISOスタディグループの設立：（独）産業技術総合研究所はISOに国際標準化の枠組みを議論するアドホック・グループの設置を要望し、2006年8月1日にスタディグループ（ISOのために設立されたスタディグループ、以下、SGという）が設立された。ISO/TC 159/SC 4では映像の生体安全性はWG2の課題

であると受け止めており、WG 2 との連携が求められている。

ISO/TC 159/SC 4/WG 2 会議での説明： SG 設立の背景と、今後の活動の方向性を紹介したところ、これはWG 2 の仕事ではないのかとのコメントがあった。基本的に、関係者の間では、この問題は ISO/TC 159/SC 4/WG 2 の課題という意識があり、こうした議論は、今後も再燃する可能性がある。

ISO スタディグループ（SG）の活動状況： 第1回会合が2006年10月27日に、ドイツ規格協会（DIN）にて開催された。SGは、親委員会である ISO/TC 159/SC 4 の総会にて映像の生体安全性に関する国際標準化のストラテジーに関するレポートを行った時点での活動終了が確認された。

CIE TC1-67 の活動状況： 第1回会合（2006年5月カナダ国立研究機構/NRC）では、映像酔いの基礎的知見の報告や技術レポート発行手続き等について議論が行われた。第2回会合（2006年10月パリ自然史博物館）では、光感受性発作の視覚要因に関する基礎特性についての報告があり、技術レポートの目次案を決定した。

今後の国際標準化の動向： 国際標準化目標として、「2011年9月までに、少なくとも国際規格案（DIS）化する。」ことが想定されている。これをクリアする1つの方法は、2007年11月に国際標準化を提案し、2008年5月の ISO/TC 159/SC 4 総会にて、作業文書（WD）を提出することが考えられる。

3-3 ガイドラインの策定に向けて

3-3-1 背景—快適な情報社会と安全安心

われわれは、情報社会の中でネットワーク環境を利用して快適な生活を送っている。この環境はビジネス、日常生活、教育、エンターテインメントなど生活のあらゆる面に広がっているが、種々のビジネスにより支えられ、全体として「ユビキタス」通信環境を形作っている。これらの環境が普及するとともに、種々の安全を確保することが重要な課題となった。安全安心には情報安全とともに、健康安全がある。一般に、情報ネットワーク環境の中では、情報が満ち溢れ、アピール性の少ない情報は無視される傾向にあるため、どうしても、強い臨場感やどぎつい表現が求められる。極限を追及するあまり、1993年のイギリスにおけるテレビ広告での光感受性発作事件、1997年の日本でのポケモン事件のように、健康に大きな影響を与えた事件も発生した。さらに2003年、2005年に学校現場で映像酔い事件が発生した。このような健康被害は映像を見た際の「脳や身体」の変化を良く知った上で、映像作品を制作したり、提示したりすることによって、十分に防げる範疇のものであると考えられる。

3-3-2 ガイドラインの条件

ガイドラインは、第1に健康安全を守るために妥当なものでなくてはならない。しかし、同時にわれわれは石器時代に戻るわけにはいかないから、情報社会を支える仕組みを維持しながら、健康安全を守る工夫が必要である。単なる規制の一人歩きは避け、理想論に陥らない実務上の配慮が不可欠である。一方、企業は訴訟対策等を考え、ガイドラインにとかく反対の姿勢をとりがちである。しかし、守るべきガイドラインがコンセンサスに基づいて制定されている場合には、逆に対策が立てやすいといえる。

これらの環境を考慮すると、ガイドラインに述べられる内容は容易に測定できるものでなければならない。さらに、指針として用いられるパラメータは、科学技術データによってその妥当性が保証される必要がある。ガイドラインへの適合性を統合的に判断することは容易ではないので、ガイドラインへの適合性を検証するための標準的な評価装置が求められることになる。当然、基準的な測定条件を定めることも必要

となる。以上述べたことをまとめると、指針として妥当性が大きいかな否かは科学技術的に検証される必要があり、さらに関係者の間で妥当なコンセンサスが得られることが、遵守される国際標準を制定するための基礎的な条件である。

3-3-3 被験者データの収集

映像を視聴する場合に視聴者に起こる影響を知るためには、映像の分析とともに、視聴者側の反応についても分析が必要である。このような分析に必要なデータは、被験者の主観的判断に基づく心理検査によっても、身体パラメータの客観的検査（医学・生理学的検査）によっても得られる。心理検査は用意した質問表に被験者の答えを求めるアンケート形式のものが多いため検査にかなり時間がかかり、刺激曝露の前後での比較に止まることが短所（刺激中に変化を直接測定することが難しい）であるが、非侵襲的に高度の機能を検査できるという利点を持つ。これまでに心理検査を用いた「映像の生体影響」についての研究は多く知られており、興味ある成果が得られてきた。しかし、心理検査は主として被験者の意識にあがった変化のみを扱うことになり、また、身体の状態を被験者が主観的に把握することは必ずしも可能ではない。このために、心理検査と医学・生理学検査の両方を併用することが望ましい。

被験者実験では、できるだけ異なる側面を代表する多くの生体パラメータを同時に測定することが望まれる。なぜなら、映像視聴に伴う感覚刺激が単一の臓器に働くのではなく、複合的な影響が脳を通じて多くの臓器に反映すると考えられるからである。これらのデータを総合的に分析して、その機構を明らかにする工夫が求められる。脳波、脳血流、心電図や血圧、瞳孔、汗など自律神経系を中心として映像視聴により起こる変化を定量的に捉える努力がいくつか行われている。

3-3-4 今後へ

映像酔いについてのデータ収集は近年進んでいるが、さらに収集を行う必要があることは、2005年のISOの国際規范文書IWA3で指摘されているとおりである。2009年にISOのSC4での討議が開始されることを考慮すると、今後1～2年で収集されるデータを見込んで根拠資料を見定める必要がある。

I S OのS C 4に置かれたS G（I S Oのために設立されたスタディグループ、詳細は3－2参照）の結論が2009年にS C 4に報告され、SC4WG2のような既存の組織で「映像の生体影響」ガイドライン制定が検討されるか、新しいWGを作り、そこで検討されるか、あるいはガイドラインを制定しないかが決まると考えられる。すでにS Gの活動は始まっているが、2007年～2009年にかけて、世界各国の関係者が協議を続けるとともに、データ収集、評価装置の完成が図られることになろう。この中で、日本がどの程度、主導的な役割を担えるかが決まってくる。中心的グループから外れた場合には、結果として日本側には中味の分からない評価装置（日本側からみればブラックボックス）によって評価が行われる可能性もあり、今後2年間は重要な時期であると考えられる。

4. スタディの今後の課題と展開

I S Oで進められている映像の安全性 (Image Safety) に関する国際ガイドラインは、今後、数値化の議論が行われる予定で、2008 年 5 月ごろまでに各国は、これまでの研究データをそれぞれの視点でまとめた数値化ガイドラインの提案を行うことになると見られる。安全を確保するための数値化は、ガイドラインを作成する方針によってそのベースラインは大きく変化する。

例えば、絶対的な安全性を確保するという方針で臨めば、映像を提供する側にとって非常に厳しいものになり、表現の自由は大きく損なわれてしまうだろう。一方、無制限な自由を主張すれば、映像視聴で体調不良を起こす人が増えてしまう。また、世の中には、映像に影響を受けやすい人から受けにくい人までさまざまな視聴者が存在する。実験データが、議論の出発点になるのは当然としても表現の自由の最大限の確保、健康被害の防止、映像産業の健全な発展を考えたバランスの良い数値設定が望まれる。また、国際標準となる数値は、しばしば、非関税貿易障壁のような政治的意図の入った恣意的な設定となることがあり、注意を要する。すなわち、日本の映像関連産業が世界をリードしている状況に、負の影響を与えようとすれば、関連企業に受け入れがたい厳しいガイドライン数値にすれば良いわけである。問題は、数値だけを見ても産業界に与えるインパクトがどれくらいあるものか俄かには判定できないことである。そのため、現状流通しているビデオ映像にどれくらいの影響を与えるかをアセスメントが容易にできるツールを開発しておくことが必要不可欠となる。

映像の安全性に関するガイドラインのうち、光過敏性発作については、既に I T U で作成されたガイドラインがあり、それに基づいた評価装置も開発されており懸念する要素はない。また、立体映像に関しても一般市場への普及が遅れているため恣意的な意図が入る可能性はない。もっとも、懸念されるのは映像酔いに関する数値ガイドラインということになる。

それは、とりもなおさずガイドライン数値の映像への影響を自動的に推定するシステム、すなわち、映像酔いガイドライン検証システムを世界に先駆けて実用化しておけば、国際標準化の数値化で国益まで考えた有利な展開が可能になることを意味する。

映像の大型高精細化が進む中、映像酔いの増加が懸念する研究者が存在し、業界からもガイドラインを先取りした訴訟を心配する声が聞かれる中、当検証システムの早

急な実用化が待望されている。

上記の背景から、平成 18 年度は、

- (1) 映像酔いガイドライン検証システムのプロトタイプ開発
- (2) システム実用化のための映像酔いに関する生体影響データベースの強化拡充を推進した。

平成 19 年度は、映像酔いガイドライン検証システムを世界に先駆けて実用化することが第 1 の重要な目標となる。そのシステムをツールとして、わが国の映像関連産業の保護と育成を考慮した日本主導の国際ガイドライン数値標準化を数年かけて着実に進めることが、第 2 の目標である。

具体的には 18 年度開発の「映像酔いガイドライン検証システム」のリアルタイム化、高精度化を平成 20 年 5 月の国際標準化策定作業開始に向け達成することが最大の課題となる。

海外では、米国の Kennedy らのグループが、主観評価に基づく映像酔いの計測手法を千数百名の被験者データを基に開発中である。英国の Howarth、オランダの Bos、香港の So らの各グループも、映像の運動成分、提示時間の影響、眼球運動との関係など基礎研究を行い、提案準備を進めている。ただ、当委員会が進めている映像酔いの影響を推定するシステムの開発には至っておらず、日本が標準化のリーダーシップをとれる状況にある。

映像酔いガイドライン検証システムは、平成 18 年度の成果に基づき、以下の手順で開発し、早急に実用化を図りたい。

(1) 動画解析の処理速度向上と酔いを誘発しやすい映像要素の推定精度向上

画像圧縮で使用されている動きベクトルの抽出処理過程を詳細に検討し、グローバルモーション推定のリアルタイム化を図る。また、基礎的実験から報告されている酔いやすい映像の特徴だけでなく、一般の映像に含まれ得る酔いやすい映像の特徴を明らかにする調査を映像制作者とともにを行い、こうした特徴の盛り込まれた標準映像の制作を行う。

(2) 視覚運動要因及び、その他の視聴条件に基づく生体影響を基礎的知見に基づき推定、これに複数の要因の統合化モデルを適用して、映像酔いの程度 A を推定

映像中の視覚運動要因や映像の輝度レベル・コントラスト、視距離や表示サイズ、年齢・性別などの視聴者の個人特性に対する映像酔いの程度を統合化モデルにより推定する。統合化モデルは、以下の観点でモデルの妥当性を検討し、適宜修正する。

- a) 検討対象の要因についての映像酔いへの影響に関する科学的知見の適用可能性
- b) 検討対象の要因による映像酔いの相互作用の分析と時間要因の検討

(3) 同一の映像・条件で被験者に提示、映像酔いの程度 B を生理・心理指標により計測

動画解析を行った映像を、多数の被験者に提示し、映像酔いの程度を、心理的計測手法と生理的計測手法とを用いて生体影響計測を行う。

(4) 映像酔いの推定値 A と計測値 B とを比較し、統合化モデルを修正

統合化モデルにより推定した生体影響の結果と映像視聴による生体影響の結果とを比較検討し、統合化モデルのパラメータを必要に応じて修正する。

以上の検討に基づき、映像酔いガイドライン検証システムの高精度化を実現する。

(5) さまざまな映像で、上述の(1)～(4)を繰り返し、統合化モデルのパラメータを調整

動画解析の速度向上、統合化モデルに基づく映像酔い推定の精度向上、生体影響計測結果との比較によるモデル修正を1つのシステムとして実現し、その実用化を図る。

本システムは、映像制作者に有用な映像酔いガイドライン遵守を確認するためのチェックシステムへ容易に転用可能である。

「映像酔い研究」の国際動向に関する

勉強会報告書

(要約版)

1. 日時：平成19年2月7日 13時30分～18時

2. 場所：総評会館 205 会議室

3. スケジュール

13:30～14:40 講演：Dr. Richard So

テーマ：「最近の映像酔いに関する研究と、アジア(香港)、
米国の映像酔い研究の動向」

14:40～15:30 ディスカッション

15:30～16:00 コーヒーブレイク

16:00～17:10

講演：Dr. Peter Howarth

テーマ：「視覚誘導性映像酔い：神経反応に関する理論的・
実践的解釈」

17:10～18:00 ディスカッション



リチャード・ソウ博士

Dr. Richard So

英国サザンプトン大学電子工学学士、同大音響振動研究所（ISVR）人間工学博士号を取得。バーチャル・リアリティ・システムによる生体反応実験研究に関して16年を越す経験がある。博士号取得に際しては、ライト・パターソン空軍基地附属航空医学研究所（現アームストロング研究所）の後援を得て、頭部計測システムの動特性最適化研究を行った。以来、疾病症状のモデル化及び予測レベル、頭部制御バーチャル・リアリティ・システムによる動作特性を研究し、同分野で30以上の論文を発表している。特に、視覚運動計測基準の開発に成功し、映像酔い効果値（CSDV）の明確化基準として使用した。

1995年、香港科技大学助教授、2001年に同学準教授となった。近年、人間的なコンピュータ・モデル構築による人間研究を提唱し、「コンピューテーショナル・エルゴノミクス」と呼ばれる分野で活躍している。

ソウ博士は、Ergonomics Society 会員、Journal of Industrial Engineering Design の共同編集者でもある。

<http://www-ieem.ust.hk/dfaculty/so>

視覚誘導性映像酔いに関する近年の研究、 およびアジア（香港）、米国の研究動向

香港科技大學生産管理工学部コンピューテーショナル・

エルゴノミクス・リサーチ・チーム

リチャード H. Y. ソウ

広い視野でダイナミックに動いているものを、身体が静止したまま視聴することにより、何%かの人々が映像酔いの症状を見せる報告がある。この症状はサイバーシクネスまたは視覚誘導性映像酔い（Visually-induced motion sickness、以下VIMSという）と呼ばれている。

- | |
|---|
| 1. 感覚転移理論（神経不整合理論または感覚不一致理論）
(Reason & Brand, 1975; Reason, 1978)
2. 起立性不安定理論 (Riccio & Stoffregan, 1991)
3. 眼外筋求心性仮説（眼球運動仮説）(Ebenholtz, et al., 1994) |
|---|

表 参-1 米国におけるVIMS研究動向

表 参-1 では、特に理論を中心とした米国のVIMS研究動向を紹介している。3つの理論は一般的に運動酔いに関する理論で、とくに映像誘導性酔いのみに限った理論ではない。

第1の感覚転移理論では、身体が静止し、耳（前庭系）から通常の一定重力以外の信号が入らないにもかかわらず視覚的に運動の信号が入る場合には自己運動感を感じる。これをベクシオンと呼ぶ。実際には動いていないが動いているという信号が長期間入ることによって映像酔いが発生するが、この映像酔い型の映像酔いの観点から第2の起立性不安定理論を見ると、人はどこかから落ちるといった感覚を持ったときに、映像酔いという感覚を覚えることになる。第3の眼外筋求心性仮説によれば、例えば人が静止し、眼筋をリラックスさせ、かつ、ものを見る、意識もあるという状態であれば、酔うという現象は起こらないと予測される。最近の傾向としては、今あげた各理論を検証する研究が増えている。詳細はインターネットですぐに閲覧できるので、ここでは割愛する。

香港における研究	
1.視覚誘導数量化インデックスの開発	
2.VIMSの予知を目的とするDOSEの開発	
3.VIMSの生物学的コンピューテーショナル・モデルの開発	

表 参-2 香港における研究

香港の研究は表 参-2 のように3段階で、現在、さまざまな理論をベースに生物学的なVIMSのコンピューテーショナル・モデルの構築を行っている。私どもが提案しているのは空間ベロシティ（spatial velocity）という考え方で、これには2つの成分がある。場面の複雑性（scene complexity）と場面の運動速度、すなわちベロシティ（scene velocity）である。ベロシティは垂直と横の軸、前後の軸、ロール、ヨー、ピッチの6軸をもつ。場面の複雑性は空間周波数（spatial frequency、以下、SFという）に置き換えている。これは、本来、複雑な映像を対象にインデックスをあてはめていく必要がある。

図 参-1 はSFの測定例である。同図の左側画像には白い1本の線が引いてある。この白い線のみを抽出し、プロットしたのが右の図である。いったん白黒グレイスケールに変換した後でプロットをした。グレイスケールは0が黒、白が255の数値となる。画素では横軸が640ピクセルである。こうして1本の線を変換し、信号処理を行うと図 参-1 の下に示した周波数の範囲収まる。ヘルツとしているが、実際にはCPD（cycle/degree）である。

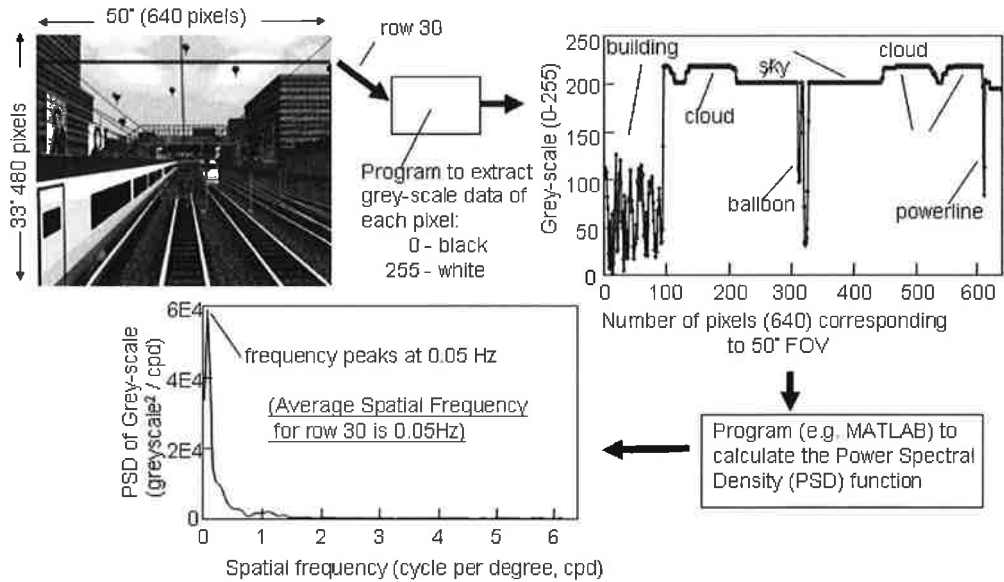


図 参-1 映像複雑性=空間周波数、測定例

映像酔いにならない人がなぜいるのか？は興味深い問題である。その答えはまだ出ていないが、それを解き明かす方向性としては、生物的部分にもっと焦点を当てることになる。バーチャル・リアリティのディスプレイ、人には身体的な運動があり、場面にも運動もあり、運動酔いが発生する。図 参-2 は生物学的コンピューショナル・モデル構築の概念図である。同モデルは人にかわって同じ信号を同じように受け取り、その結果どのような症状になるのかを予測するのが目的でオプティカル・フロー・アルゴリズムを取り入れ、分析のアルゴリズムを介して、6つの軸上でのナビゲーション速度を推定したい。

さらなる目標は、オープンソース・ベースでVIMSを予測するコンピューショナル・モデルの開発である。

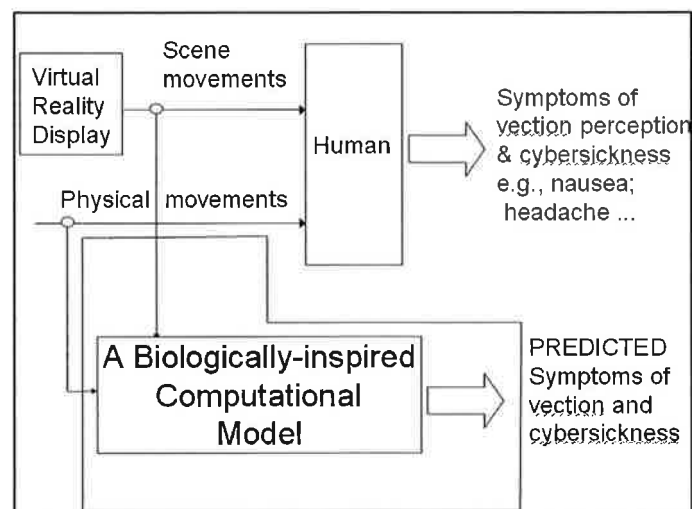


図 参-2 VIMS予測の生物学的コンピューショナル・モデル



ピーター・ハワース博士

Dr. Peter Howarth

英国ラフバラ大学視覚エルゴノミクス・グループ主幹

検眼医（Ophthalmic Optician）の訓練を経て、エルゴノミクスでラフバラ大学理学修士号取得により視覚研究分野の造詣を深め、さらにカリフォルニア大学バークレー校で生理光学研究により博士号を取得した。ローレンス・バークリー照明研究所における生体と照明に関する研究成果により、ラフバラ大学人間科学学部講師に任命された。

検眼医（Ophthalmic Optician）からスタートした視覚研究のキャリアは 25 年以上にわたる。「不快な点滅と毛様筋」と題した修士論文は、不快感と眼球の調節運動間の関連性研究である。博士論文では眼球 不快感を取り上げ、点滅照明に対する人間の瞳孔反応を研究した。現在、視覚環境開発の特定の利用、自発運動感覚を起こす運動映像により生じる症状を研究している。また、視覚刺激を原因とする疾病におけるジェンダー間の相違に関する調査を実施し、一般的な身体変化が視覚不快に与える影響を研究中である。

ハワース博士は、American Academy of Optometry、British College of Optometry、Ergonomics Society の会員である。

<http://www.lboro.ac.uk/departments/hu/staff/huph.html>

視覚誘導性運動酔い（VIMS）研究と 欧州の研究トレンド

英国ラフバラ大学視覚エルゴノミクス・グループ

主幹 ピーター・ハワース博士

ラフバラ大学では、イギリス政府からの「バーチャル・リアリティ機器利用における健康と安全性」に関する委託研究を契機として、VIMS研究を行った。研究結果では、症状パターンのばらつきが非常に大きく、ハードウェアまたはソフトウェアによってもさまざまなパターンがみられたが、結果としては、体質が原因ではなく、複数の要因が関与して起きる複合的なものであるという結論に至った。

研究を進めるにあたり、治験を通してヘッドマウントディスプレイ(HMD)を付けているにもかかわらず吐き気などの症状が現れないゲームが1つだけあることに注目した。このゲームの特徴は、キャラクターの動きが前進のみであったため、ラフバラ睡眠研究所において、被験者に運転シミュレーターを用い一直線の高速道路を運転させたが、ほとんど吐き気が見られなかった。この結果、自分自身は静止しているが自己運動感をもたらすような視覚的刺激を視聴している時になぜ何らかの症状が出るかを考える場合、実際に自分が動いている時に運動酔いになる理由（例、船酔い）を検証する必要があることがわかった。

さまざまな文献を見ると、運動知覚に関して前庭系の記述が多数あるが、現実では前庭系よりも視覚系の影響力が大きい。自分の位置認識に使われるのは、視覚系、前庭系、2つの感覚系である。前庭系には2つの要素があり、1つは耳石で水平方向の加速度の信号（前後の運動または左右の運動）、もう1つは三半規管で回転方向の加速度の信号である。視覚系も視覚と眼球運動の2側面がある。これら2感覚系は、脳の別々のところで制御され感覚統合処理により人間は自己運動感をもつ。この解釈において、ラフバラ大学ではneural expectation「神経系予測」の観点を選択した。

また、慣れは実際に身体の運動がある時に起こるが、視覚的な刺激だけの時にも起こるのか、さらに、それとVIMSとの関係についての実験を行った。

70人の被験者に10回の実験セッションを行った。実験概要は表 参-3のとおりである。

ハードウェア/ソフトウェア	
・HMD	Cybermind HiRes 800 bi-ocular Head Mounted DisplayHMD (非トラックキング、FOVは水平方向28度、垂直方向24度)
・ソフトウェア	パソコンゲーム 'Killer Loop'™ (非立体映像の ホーバークラフト競争ゲーム。前後左右、ロールの各方向の運動が可能。とくに吐き気をもよおしやすい)
・コントローラー	Power Pad (personal viewing system)
測定データ	
・客観データ	調節近点、輻湊近点、調節比(AC/C ratio)、視力、斜視
・主観データ	視聴中にstandard motion sickness scaleで質問、視聴前後にアンケート
測定方法	1日の同じ時間帯に実験セッションを行った。被験者は毎日10人で、毎日視聴した被験者、2日ごとに視聴した被験者から7日ごとに視聴した被験者までそれぞれ10人

表 参-3 VIMS実験概要

結果では、客観的な側面で視力と眼球斜位では若干の低下があったが、10回の実験セッションで変化の幅に差異はなかった。主観的な側面で10回のセッション後に全グループで症状の発生率、度合いが有意に低下した。またセッション回数が重要で、セッションの間隔は重要なファクターでなかった。さらに、症状が最初に現れるまでの時間がセッションを経験するに従い伸びた、すなわち慣れが起きた。結論として眼球の変化では説明できず、神経活動的な変化が想定される。被験者は静止しているので、慣れは視覚信号に対する慣れである。

生理学的なメカニズムのモデリングのため、まず慣れは脳のどこの部分が司どるのか、次に視覚信号に対する慣れと前庭系信号に対する慣れは相互に独立して起きているのかの2点の疑問が生まれた。これら疑問、さらに2つの知覚系不一致について回答を得るため、シェル・デイルズと運動方向の影響に関する実験を行った。ここで重要となるのは、前庭系は変化または加速度の信号であり、速度の信号ではない。なお、刺激と視覚系、前庭系の関係は表 参-4のとおりである。

運動刺激と視覚系、前庭系の関係			
刺激条件	前庭系の信号	視覚系の信号	不一致の可能性
静止(S)	なし	あり	
前進(F)	なし	あり	
後退(B)	なし	あり	
前後(FB)	あり (耳石)	あり	あり
ロール(R)	あり (耳石)	あり	あり

表 参-4 実験の前提条件

運動方向の実験概要	
リアルタイム	60Hzのフレーム率、Matlab (version 6.5)
映像を逆投影	タンジェントスクリーン(190cmx145cm)、日立CP-X958W/E プロジェクター(1024 x768pix)
ディスプレイ	500の白いドット(輝度は10.82cd/m ²)を無作為に黒い背景(0.35 cd/m ²)に写す
ドットのベロシティとサイズ	機能指数間数的に異なる。眼域のドットサイズは眼の中間位置の0.22°から端では2.97°
視覚刺激の5条件	静止(S) 白点の静止
	前進(F) 一定の速度
	後退(B) 一定の速度
	前後(FB) 正弦軸にそって振動する前後運動、速度はF, Bと同じ
	ロール (R) 縦軸に周りを同じ速度で揺れて、回転する
被験者	12人。大型スクリーンの前にヘッドレストに頭をささえてすわる
測定データ	実験中に1分間隔で症状を評価。standard motion sickness scaleを使用

表 参-5 運動方向の実験概要

表 参-5 の条件で実験を行った。実験結果は、12 人の被験者のうちシックネス・レイティング が2までいったのは2人しかいなかった。後ろ方向に動いたときには3人の不快感が強まった。ロールの場合、不快感が増したのは8人だった。しかし、正弦曲線のF Bの場合、一定速度での運動と比べても酔いを発生させる要素がほとんど変わらなかった。不快感が増したといった人は12人中4人しかいなかった。

刺激条件とVIMS症状では、FBとR（ロール）の2条件が他と比べて症状の増え方の度合いが高かった。ただし、眼精疲労に関してはどの条件下でもみられた。特に、吐き気“nausea”、ふらっとするようなめまい“dizzy”、回転性のめまい“vertigo”の症状に関しては条件により差があった。静止の条件下では、これら症状は見られなかった。ここで、VIMSはどのくらいの度合いで周波数に依存しているのか、視覚系と前庭系の相互作用は周波数に依存しているかという問題が浮かびあがる。これらは今後の研究による説明が必要となる。

— 禁無断転載 —

システム開発 18-F-15

映像酔いガイドライン検証システムの開発に関する
フィージビリティスタディ報告書
(要 旨)

平成19年3月

作 成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03-3454-1311

委託先 社団法人 電子情報技術産業協会
東京都千代田区神田駿河台三丁目11番
TEL 03-3518-6427

18
F
15

映像酔いガイドライン検証システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書（要旨）

平成
19
年3月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 社団法人電子情報技術産業協会