

映像の安心な利用を可能にする映像酔い評価システムの開発

— 人間特性研究/映像分析技術/映像制作技術の融合による 安心・快適な映像を提供するための環境づくり —

氏家 弘裕

映像制作者が、自ら制作した映像によって生じ得る映像酔いの程度について、その時間推移を確認できる映像酔い評価システムの開発を行った。映像技術の進展に伴い映像酔いに対する社会的認知が広まりつつあり、娯楽や教育、医療など映像の有効な利用に対する可能性を損なわないために、映像制作者に理解を求めるためのツールとして本システムは有効である。この開発には、映像酔いの基礎特性を基盤として、これを一般の映像評価に適用するために、映像解析、映像制作、生体影響計測に関する研究協力が不可欠であった。

キーワード: 映像の生体安全性、映像酔い、生体影響、映像評価、映像ガイドライン

Developing an evaluation system of visually induced motion sickness for safe usage of moving images

– Fermentation of a social understanding to supply secure and comfortable images through integration of
researches on human characteristics, image analysis technique and image production technique –

Hiroyasu Ujike

We have developed an evaluation system of moving images by estimating temporal variations of discomfort levels of visually induced motion sickness (VIMS) caused by the images. The system is useful for making image producers understand the importance of reducing the possibility of VIMS. This activity will provide an environment that allows people to use moving images at ease in a variety of fields, such as entertainment, education and medical services. The system was developed by the collaborative research of image analysis, image producing and measurements of biomedical effects to apply the basic characteristics of VIMS for evaluating general images.

Keywords: Image Safety, visually induced motion sickness, biomedical effects, moving image evaluation, moving image guideline

1 はじめに

映像酔いとは、一般に映像シーンの動きが比較的頻繁に含まれる映像を視聴した時に、以下に挙げる体調不良の症状を発症する状態をいう^[1]。すなわち、めまいや発汗、眠気、唾液の増加、顔面蒼白、胃部不快感、吐き気、嘔吐など、運動酔い(いわゆる乗り物酔い)のような症状である。近年の映像メディア技術の革新的な発展は映像利用の可能性を飛躍的に増加させる一方で、同時に、この映像酔いに遭遇する機会をも増加させる可能性があり、早急な対策が必要である。

運動酔いについては、身体の動きに関する視覚情報や前庭情報など複数の感覚情報の間の関係が、身体の動きによって生じる通常の状態と異なる場合に、これを異変ととらえて症状が現れるとする考え方(感覚再配置説(Sensory rearrangement theory))^[2]が有力である。これと同じ考え方が映像酔いについてもできる。例え

ば、椅子に座って身体が静止している時に、身体が空間を移動しているかのような映像による動きを与えられると、酔いを生じることがある。身体が移動しているという視覚情報が与えられる一方で、ふだんはこれに伴う加速度によって生じる前庭感覚情報や、椅子との接触面での圧力変化に関する触感覚情報などが伴わないことが、酔いの原因と考えられる。

近年の映像メディア技術の発達によって、映像制作にコンピュータ技術が導入され、小型で高精細なデジタルビデオカメラが普及することで、これまでになくダイナミックで迫力ある映像シーンの表現が可能となった。また大画面・高精細ディスプレイが家庭にも急速に普及し、ダイナミックでリアルな映像シーンを視聴できるようになってきた。こうした映像シーンの動きは身体運動情報として処理される可能性がある。したがって何も対策をとらなければ映像酔いを発症する可能性が増加すると考えられるため、早急な対

策が必要である。

最近になって映像酔いと思われる事例がニュースメディアなどで報道されている。例えば2003年7月には、島根県内の中学校で授業中に講堂の大スクリーンにてビデオを視聴していた1年生294名のうち、36名が病院で手当を受けるといった事例が発生した^[3]。ビデオ映像は全編手持ちカメラで撮影されたもので、映像シーンに頻繁に含まれるさまざまな動きが映像酔いを発症した主要因であると考えられている。これとほぼ同様の事例は2006年11月にも三重県内の学校において発生している。

映像酔いは考えられている以上に影響が大きい場合がある。一般には、比較的軽度の症状の場合、映像視聴を中止することにより比較的短時間に症状が治まることが多いが、条件や人によっては耐え難い症状が1日程度継続することがある。こうした症状は業務によっては重大な危険につながる可能性があり、航空機シミュレータでの酔いの経験者はシミュレータ訓練後24時間以内の実機搭乗が禁止されている例もある^[4]。

映像技術の発展により、娯楽分野だけでなく、教育や医療、福祉分野などさまざまな分野で映像の有効な利用の可能性が広がりつつある。これらの恩恵をできるだけ多くの人々が享受できるためには、映像酔いなど映像による好ましくない生体影響をできるだけ発生させないための環境作りが必要不可欠かつ急務となっている。産総研ではこれを実現するための概念として「映像の生体安全性 (Image Safety)」なる語を創造し、映像ガイドラインの作成とその国際標準化活動とを推進している^[5]。この映像の生体安全性は単に映像の利用者にとって必要であるだけではない。日本の有力な映像産業がさらに健全に発展するためには、映像技術の開発と併せて車の両輪となるべきものであり、映像産業界関係者の視点でも必要不可欠なものである。したがって、映像の生体安全性は、映像制作や映像配信、映像表示機器開発など映像産業界の関係者との協力関係の下に進めていくべき課題であり、この問題に対するそれぞれの相互理解が必要不可欠である。筆者は、これを実現するためのツールである映像酔い評価システムについて、大学など外部研究機関や業界関係者との密接な協力・連携の下に共同研究を推進することで、その研究開発を進めてきた。本稿ではこの映像酔い評価システムの必要性とその開発に至るまでの研究シナリオを論じる。

2 研究開発の背景

2.1 研究開発に至る動機

映像酔いが生じる可能性を軽減するためには、映像酔いの影響要因とその影響の程度に関する客観的な知見に

基づいてガイドラインを作成することが必要である。しかしガイドラインがあれば十分というわけではない。ガイドラインは、国際標準化機構 (ISO) などで国際規格化が図られたとしても、基本的に強制力はない。

ガイドラインが有効に生かされるためには、これを利用する映像プロバイダとよばれる映像制作や配信に携わる関係者との協力の下に、ガイドラインの作成や見直しを行うことが必要不可欠である。そのために留意すべき点はいくつかある。第一に、映像酔いは必ずしも無視できない影響があることを、映像プロバイダに理解してもらうことである。一般的には、映像酔いはたいした問題ではないとの認識をもたれる場合があり、その対処が軽視される可能性がある。しかし、先述の島根県の中学校の例でも1割を超える生徒が病院で手当を受けたり^[3]、状況によっては直後の業務において重大な危険につながる可能性がある。第二に、表現の自由や芸術的創造性の自由への十分な配慮が必要である。ガイドラインやその国際規格化は、しばしば映像制作への規制を生じるものと捉えられ、表現の自由や芸術的創造性の自由が不当に脅かされるのではないかという懸念が、映像プロバイダにはある。こうした事で映像の生体安全性に対する理解が妨げられないよう十分な配慮が必要である。その上で、以下の方法が有効であると考えられる。

(1) 映像酔い軽減に向けた映像ガイドライン作成に先立ち、こうした映像酔いを含む映像の生体安全性の問題の重要性を、さまざまな形で訴えていくこと。

(2) 個別の映像の視聴によって映像酔いがどの程度生じるのかを、具体的に映像プロバイダ自ら確認できる手法を開発し、その利用を通じて映像酔いに対する認識を深めてもらうこと。

(1) については、本稿の主題の範囲から外れるが、(2) については、本稿で述べる映像酔い評価システムの開発を目指すに至った原点である。

2.2 研究開発の必要性

映像酔い評価システムは映像が人々にどの程度映像酔いを発症させるかを評価するシステムであり、評価したい映像を入力することで、それを視聴する人の映像酔いの程度を映像の時間推移に応じて表示するものである。映像プロバイダの人々に映像酔いの重要性を認識し、今後作成される映像ガイドラインを活用して、映像酔いの発生を軽減させるために、特に以下の観点からこのシステムは必要不可欠なものである (図1)。

第一に、映像プロバイダに映像酔いが生じる条件とその程度とを具体的に把握してもらうためのツールとなる。さまざまな映像をシステムで繰り返し検討してもらうことで、一般にはわかりにくい映像酔いの程度やその時間推移が「見

える化」されれば、映像酔いに対する理解が深まると考えられる。

第二に、映像プロバイダらが制作または配信する映像を、客観的に評価するための手段となる。映像酔いは、後で述べるように個人差が大きく、また慣れが生じやすいため、例えば特定の個人などが個別に映像を視聴して一律に評価することは困難である。そこで、客観的に映像を評価するシステムの存在が必要になる。

第三に、映像制作に携わる人々が、制作した映像についてその対処方針を具体的に検討することを可能にする。映像酔いが生じやすい時間帯とその程度が明確になれば、これを参考にして映像編集することができる。したがって、映像の生体安全性を実現するための手段を提供するものである。

また、映像酔い評価システムは、ガイドラインの作成やその標準化において、ガイドラインの実効性を検証する強力なツールとなる。ISOでの議論^[6]では、筆者は単純な動きの映像を用いて明らかにしてきた基礎的なデータに基づいて(4.1節参照)ガイドラインの国際標準化を図っている。本システムは、こうした基礎実験データに基づくガイドラインが、複雑な視覚運動を含む一般の映像に対して適用可能であることを示すために必要不可欠である。また規格化議論では、理想論に基づいて、現実的には遵守が困難な、必要以上に厳しい基準が提案される場合がある。本システムは、種々の条件の映像を評価することで、こうした無用な基準作りを排し、遵守可能な必要最小限の要件を満たすガイドラインの作成に寄与するものである。さらに本システムは、映像ガイドラインの発行後、これを実際に遵守す

るための手段を提供する。ガイドラインに基づいた本システムによって映像を解析・評価し、個々の映像による酔いの程度を「見える化」することで、映像の制作・編集に対する方針を立てやすくなると考えられる。

映像酔い評価システムの開発については、これまでさまざまな場において関係各業界に情報を伝達する機会を得てきたが、実際に、多くの関係者から利用希望の声をいただいている。例えば、映像制作の現場で実際に映像酔いの軽減が課題となっており、経験的にどの程度動きを押さえるかを理解しているつもりでも、それを客観的に確認したいとの声もいただいている。したがって、映像酔い評価システムは映像酔い軽減の重要性を理解している人々にも必要性が高いと言える。

3 研究開発のシナリオ

映像酔い評価システムの開発は、(財)機械システム振興協会の委託事業として(社)電子情報技術産業協会「映像酔いガイドライン検証システムの開発(2006年度;2007年度は、同システムの実用化)に関するフィジビリティスタディ(2006~2007年度)」として行われた^[7]。この研究開発委員会では、映像酔いなどの生体影響に関する大学などの研究者の他に、映像酔いに関心のある映像メディア関連企業や映像制作者の参集が得られ、実際に研究開発の実施過程において、それぞれの立場からより具体的な協力や共同研究による連携を図ることができた。例えば、後述するように、本システムに不可欠な視覚的グローバル運動解析の高速化や、映像制作者による酔いやすい映像制作などでの協力である。これにより、当初の目標以上に、より実効性の高い映像酔い評価システムを開発することができた。

本システムの構成を図2に示す。この構成要素のうち、映像酔い評価モデルについては、単純な視覚的グローバル運動を用いて生体影響を計測した結果を基に出力するものであり^{[8][10]}、必ずしも、視覚的グローバル運動が複雑に混じり合う一般の映像に対して直ちに妥当な出力が保証されるわけではない。そこで、映像酔いの推定結果を、実際の生体影響計測によって較正する必要があり、そのために研究開発に当たっては以下の手順を採用した(図3)。

- (1) システム全体の構成を行う。
- (2) 酔いを生じやすい映像を用意し、これをシステムに入力した際の評価結果を得ると同時に、同一の映像を用いた視聴実験によって生体影響を計測し、両者を比較する。
- (3) 比較結果に応じて、システムの各構成要素を改良し

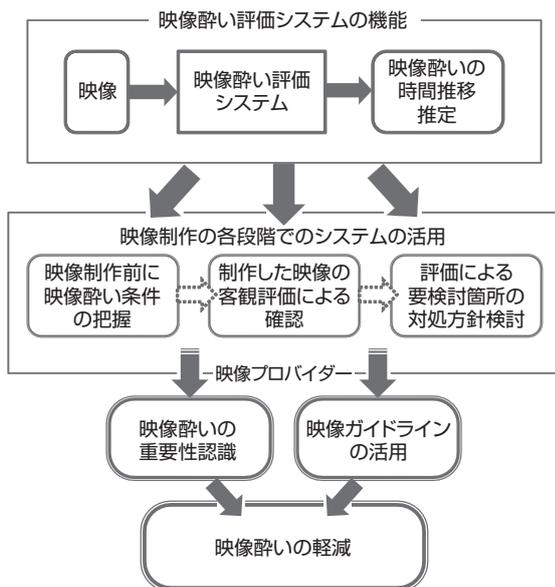


図1 映像酔い評価システムの利用による映像酔い軽減への効果

表1 映像酔いの影響要因

	一次要因	詳細項目	二次要因	詳細項目
映像コンテンツ	グローバル運動	運動種類、速度、時間周波数、振幅	3D空間	両眼立体視、透視図法の整合性、 その他奥行き手がかりの存在
	ローカル運動	速度の空間分布、時間周波数、振幅	2D空間	空間周波数成分、輝度、コントラスト、色度成分
映像表示条件			時間的	提示時間、予測情報
			空間的	視距離、環境照度、提示サイズ、空間解像度、 輝度/コントラスト/色度の範囲、両眼立体視
視聴者属性			時間的	時間解像度、表示器の携帯性(時間的位置変化)
			感覚系	前庭動眼反射や視運動性眼振の特性
			感受性	運動酔い感受性
			その他	性別、年齢、視聴の構え、姿勢

評価の精度を向上させる。

(4) (2) に戻ることを何度か繰り返す。

(5) 一定回数 (4) を経た後に、映像酔い評価システムを業界関係者に試用してもらい、その試用アンケートを基に、ユーザー・インタフェースの使いやすさの向上を図る。

研究開発の進め方によっては、一般的な映像における酔いの特性を、数多くの映像を用いて十分に検証しておく、これを基にシステムの構築を図る方法も考えられる。しかし、映像酔いには数多くの映像要因がかかわるとともに、その時間的順序効果もあり、本質的な影響要因の解明には無数の条件の組み合わせを実現した無数の映像を用いる必要が生じる。さらに、個人差の影響を考慮すると多人数の実験参加者が必要である。したがって、実験回数は膨大なものとなり、その実施はほぼ不可能であると言ってよい。このような検討結果から、本研究開発では迅速なシステム構築を目指すために、基礎実験で明らかにされた映像酔いの基本特性を基盤としてまずシステムを構築し、その上で酔いを生じやすい一般的な映像を用いてシステムの評価精度の向上を図る手法を採用した。

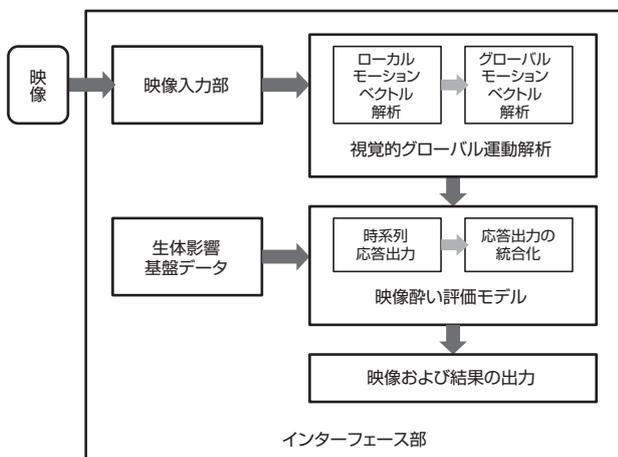


図2 映像酔い評価システムの構成

4 技術要素と課題

映像酔い評価システムの研究開発を実施するために選択した技術要素と課題は以下の四つである。システムの構築におけるこれら要素技術の関係を図4に示す。

- (1) 視覚的グローバル運動による生体影響に関する知見
- (2) 映像の視覚的グローバル運動解析
- (3) 映像酔い評価モデル
- (4) 映像制作手法に基づく酔いやすい映像制作
- (5) 映像酔い評価モデル精度向上のための生体影響計測

4.1 視覚的グローバル運動による生体影響に関する知見

映像酔いの影響要因として、さまざまなものが挙げられるが、映像酔い評価システムを構築するために対象とすべき第1の影響要因は視覚的グローバル運動である。視覚的グローバル運動とは、視野の大部分の領域に生じる全体としてまとまった動きのことで、基本的には、観察者の身体とその周囲の環境との相対的な運動によって生じる視野内の視覚的運動である。したがって、視覚的グローバル運動が大視野で提示されるとあたかも観察者自身が運動しているように感じられる。観察者と周囲環境との相対的な運動については、一般的に観察者を中心とする直交座標系に

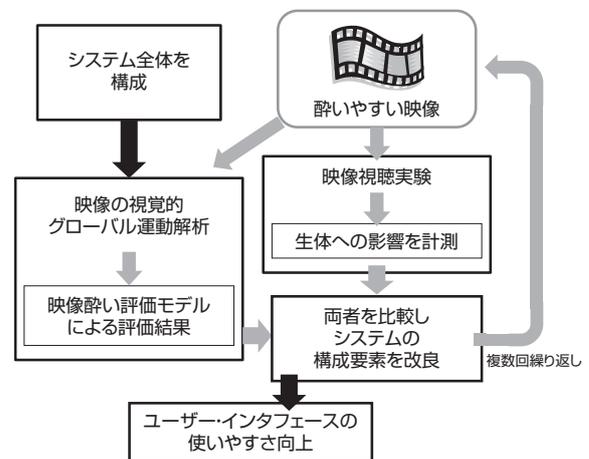


図3 映像酔い評価システムの研究開発手順

おけるヨー軸(垂直方向の軸)、ピッチ軸(左右に水平な軸)、ロール軸(前後に水平な軸)に対して、並進運動と回転運動とが挙げられる。したがって、視覚的グローバル運動もこれらに対応した運動を考えることができる。

映像酔いの影響要因は、表1に示すとおり、映像コンテンツ、映像表示条件、視聴者属性に分類されるとともに、映像酔いのきっかけとなる一次要因と、それを増強・減弱させる二次要因とに分類される。この表によれば、映像酔いのきっかけとなる一次要因は映像コンテンツに分類される視覚的グローバル運動である。この基本には、冒頭で述べた感覚再配置説の考え方があり、実際には身体が静止している状態で与えられる視覚的グローバル運動が身体の運動情報となって、体性感覚や前庭系からの感覚情報との間に乖離を生じることで酔いが生じるとする考え方^[2]に基づく。そこで映像酔い評価システムでは、視覚的グローバル運動に関わる生体影響についての知見を第一の構成要素

として選択した。

視覚的グローバル運動による生体影響の基本特性については、経済産業省基準認証研究開発事業「映像の生体安全性評価法の標準化（2003～2005年度）」において、筆者らが明らかにしてきた。筆者らは実験においてCGにより仮想的な部屋を設定し、その中心に観察者が立位する状況を想定した。ここで、観察者の頭部の中心で直行する3軸（前述のピッチ、ヨー、ロールの各軸）を設定し、各軸回りの往復回転運動（振動）が与えられた際に観察される映像をCGによって作成し観察者に提示した。提示視野サイズは82 deg × 67 deg、提示時間は約1分間として、観察者から映像酔いに関連する11段階の主観評価を求めた。その際に、各軸回りの往復回転運動の条件として、2種類の振幅（30, 90 deg）と6種類の時間周波数（0.03, 0.06, 0.12, 0.24, 0.49, 1.0 Hz）を用いた。この結果、図5に示すように、映像酔いの影響

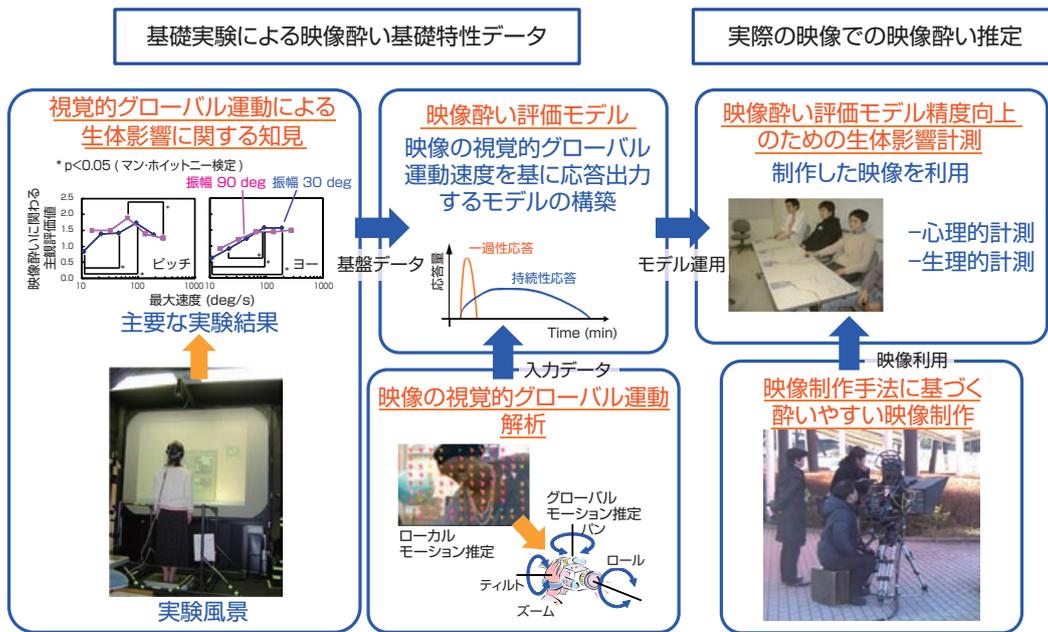


図4 映像酔い評価システムにおける要素技術の関係

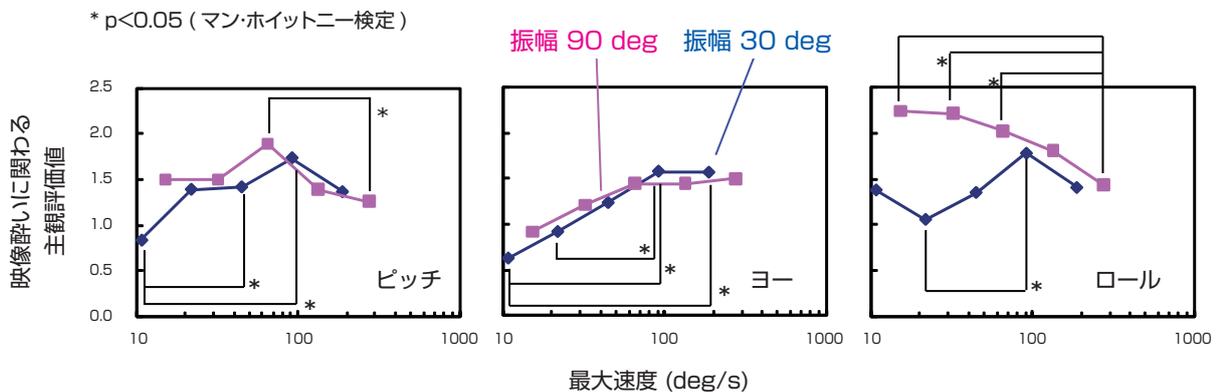


図5 視覚的グローバル運動による映像酔いへの効果

の大きさは映像中の視覚的グローバル運動の時間周波数成分ではなく、主として速度成分によって支配される^[10]ことが明らかになった。したがって、映像に含まれる視覚的グローバル運動の速度が、図5の縦軸に示される生体影響レベルが一定以上となる帯域に含まれる場合に、生体影響が生じると考えることができる^[11]。

映像酔い実験において留意すべき点は、映像酔いに対する慣れへの影響であり、これをできるだけ少なくするために、実験参加者は実験参加後に最低2週間をあけて次の実験に参加するという手続きをとる必要があった。図5の組み合わせ条件は最小限に抑えたものであるが、40名以上の実験参加者と2週間の間隔を開けるという手続きによって、この結果を得るのに半年以上を要している。

4.2 映像の視覚的グローバル運動解析

評価の対象とする映像に含まれる視覚的グローバル運動の種類と速度の時間的推移が明確になれば、前節で述べた知見に基づいて、どの程度の映像酔いが生じるかについての評価が可能になる。したがって、映像酔い評価システムでは、まず対象とする映像の視覚的グローバル運動を解析し、映像中に含まれる運動の成分およびその速度を抽出し、その速度の時間推移を求めることが必要である。これを実現する技術として、映像圧縮に関する研究での技術を応用したものが存在する^[12]。そこで、この技術を映像酔い評価システムの構成要素として選択するとともに、研究開発段階においてこの技術を専門とする関係者やこれを実現する企業の本システム開発への参画を得た。

視覚的グローバル運動解析技術は、その過程に2段階がある。第1段階では、映像領域を例えば縦と横で16×16に分割し、各領域が次の映像フレームでどこに移動したかをパタンマッチングにより探索する。そしてこの移動量と方向を各領域の動きベクトル（ローカル・モーション・ベクトル、またはLMV）として算出する。第2段階では、各領域のLMVの成分をクラスタ解析し、パン、チルト、ロール、ズームなどカメラの基本運動に対応するグローバル・モーション・ベクトルを算出する。これが本システムでの視覚的グローバル運動に対応する。

この視覚的グローバル運動解析技術について検討すべきことは、解析時間と解析精度のトレードオフの問題である。本システム構築の初期段階では、各技術要素の精度向上を図るために、運動解析精度の高い手法を組み込むことでシステム全体としての精度の向上を図ったため、映像1フレームあたり15秒程度の解析時間を要した。しかし、実用面を考えると、少なくとも映像再生時間と同程度の速度で解析が行われることが望ましい。そこで、開発の後期では解析時間の縮小を図るために

LMV算出の手法を改善し、同時に解析精度について実用上問題が無いことを確認することで、視覚的グローバル運動解析技術の実用性を実現した。この解析技術は、以上のような過程で協力を得た(株)日立コンサルティングによって実現することができた。

4.3 映像酔い評価モデル

映像酔い評価システムでは、その核となる部分において、入力を映像中の視覚的グローバル運動の種類と速度の時間的推移とし、出力を発生し得る映像酔いの程度についての時間推移としている^[13]。この入出力の間には、映像酔いの基礎特性に基づく推定が必要であることから、これを実現する映像酔い評価モデルを構築した。この映像酔い評価モデルは、以下の二つの観点から重要である。

- (1) 本システムが、映像酔いの程度の時間的推移を推定するのに対し、4.1で述べた生体影響に関する知見には時間的要因が含まれていない。したがって、これを含めたモデルを構築するためには映像の提示時間による影響を検討する必要がある。
- (2) 本システムは、複雑な視覚的グローバル運動を含む一般の映像での映像酔いの推定を目的としているが、4.1で述べた生体影響に関する知見は単純な視覚的グローバル運動のみを用いている。この基礎的知見に基づいて一般の映像の映像酔いの程度を推定可能であるか、検証する必要がある。

そこで、まず(1)の観点から、映像中の視覚的グローバル運動の速度が、映像酔いを生じる可能性のある速度帯域に含まれる際の、映像酔いに関わる不快度の推移を検討した。その結果、その速度帯域に該当する視覚的グローバル運動の存在によって、短時間のうちに不快度が上昇する一過性の反応と、そうした視覚的グローバル運動の消失後もしばらく不快度が低下しない持続性の反応とが存在することが明らかとなった^[13]。そこで、映像酔い評価モデルでは、これら二つの要因を組み込むことで、視覚的グローバル運動の種類ごとに、それが一定時間だけ該当する速度帯域に含まれるたびに一過性の反応と持続性の反応を出力する。

次に、(2)の観点から、映像酔い評価モデルの精度向上を図るため、4.4節に述べる映像酔いを生じやすい映像を用意し、映像酔い評価モデルによって映像酔いの程度の時間変化に関する評価値を求めるとともに、4.5に述べる手続きにより同一の映像を用いた映像視聴によって生体影響を計測し、両者を比較する。この結果に基づいて映像酔い評価モデルの各パラメータの調整を図った。

4.4 映像制作手法に基づく酔いやすい映像制作

映像酔い評価モデルの精度向上に利用する映像酔いの

要素を含んだ映像については、映像制作の専門家である映画プロデューサーの協力を得て、制作を依頼した。このような映像制作には、複雑な視覚運動を含んだ単純なコンテンツのCG映像や、研究者自らが撮影した実写映像などを用いることも可能であるが、これらを用いた場合には必ずしも映像制作の専門家に受け入れられないことがある。例えば、映像酔いを生じる基本的な要因が含まれている映像であったとしても、専門家の手にかからない映像には専門家が制作する映像効果や手法が必ずしも盛り込まれないために、映像制作者に対する説得力を低下させる要因となり得る。このあたりは、論理的に説明することが必ずしも容易ではなく、また技術的議論の枠を超えた話ではあるが、映像産業界関係者に映像の生体安全性についての理解と協力を求める上では重要な点である。

制作する映像の条件として、映像酔いを生じる基本的な要因が含まれていることに加えて、実際に評価対象として想定され得る実写映像であることを条件とした。前者の観点では、映像酔いの基礎特性に関する知見にもとづいて、カメラの基本運動であるパン、チルト、ロール、ズームの運動速度の影響を検討するために、これらを映像中に含めることを試みた。ただし、後者の観点から実写映像としており、その撮影現場ではカメラの動きの速度を計測しにくいいため、映画プロデューサーとの協議により、以下の手順を用いた。まず、カメラの基本運動それぞれに対して、5段階の速度を設定する。具体的には、パン、チルト、ロールの場合、微速 7.5 deg/s、低速 15 deg/s、中速 30 deg/s、高速 60 deg/s、超高速 80 deg/s とし、ズームの場合、フレーム間の拡大率（および縮小率）として、微速 1.15 (0.86)、低速 1.30 (0.77)、中速 1.50 (0.67)、高速 1.75 (0.57)、超高速 2.00 (0.50) とした。次に、特殊撮影 (SFX) により、これらの速度を一定にして、始めの 8 秒間に一方向に運動し、次の 8 秒間に逆方向に運動する、往復で 16 秒間の基本映像を制作する。4 種類の基本運動についてそれぞれ 5 段階の速度であるため、20 種類の映像となる。最終的に実写映像には、この 20 種類の基本映像で表現されたそれぞれの速度に対応するシーンが含まれるように、シーンごとに撮影に用いたカメラの動きをそれぞれの基本映像のカメラの動きと対応させた。

こうした映像で重要な点は、実験の際に実験参加者に飽きさせず映像を視聴してもらうことであり、そのために今回の映像制作では最低限のストーリー性が加えられた。ただし、このストーリー性が情緒的な影響を与えることで生体計測に影響することがないように、必要最小限にとどめる必要があった。そのためにも映画プロデューサーの協力が不可欠であった。

4.5 映像酔い評価モデル精度向上のための生体影響計測

映像酔いに関する生体影響計測では、一般に、主観評価を中心とする心理的計測と、自律神経系への影響を調べる生理的計測とがある。既存の研究においては、いずれか一方の計測を主体とする事が多く、両者の関係を映像酔いの時間推移に対して検証するという事は、これまであまり行われていない。しかし、主観評価は評価に対する性癖の個人差の問題が残るため、客観的なデータの裏付けができる限り求められる。一方、生理的計測はその値に変化によって何が示されているかを検討するために、主観評価との突き合わせが必要になる。したがって、映像酔いの計測データの信頼性を向上させるためには、両者の計測が不可欠である。

映像酔い評価システムの開発にあたっては、心理的計測と生理的計測を同時に実施し、両者の時間推移の関係にまで踏み込んで検証を行った。生理的計測については、その計測法開発に経験豊富な東北大学、新潟大学、福島大学の協力を得て、映像視聴中の主観評価の時間推移と生理指標との関連を検証した^{[14][17]}。なお、これを実施するために、上述の大学と産総研とで実験プロトコルを共通化し、計測データを共有化することで、効率よく多数の実験参加者のデータを収集することができた。こうした生体影響計測により、血圧-心拍数間の最大相互相関関数である ρ_{\max} が、主観評価の時間推移とともに 1 分程度の時間的ずれをもって変化すること、また心電図と指尖光電脈波の計測による複数の生理指標により、主観評価値の時間推移の推定が可能であることが、東北大学や福島大学により明らかにされた^{[14][17]}。

映像酔い評価モデルでは、4.3 節に述べたとおり、視覚的グローバル運動が一定時間だけ該当する速度帯域に含まれるたびに、一過性の反応と持続性の反応を出力する仕様とした。このモデルの出力については、4.4 節で述べた映像を複数利用して実施した生体影響計測の時系列データから推定したインパルス応答関数に近似させることで、その精度向上を図った。その際に、生体影響計測の時系列データとして、1 分ごとに計測した主観評価を用いたが、上述のとおり複数の生理指標によって主観評価値の時間推移の推定が可能であることから、この映像酔い評価モデルは生理学的計測指標によっても裏付けられていると言える。

5 技術要素の連携と評価

5.1 技術要素の連携による特徴

前章の技術要素の組み合わせにより、映像酔い評価システムの構築を行った (図 6)。本評価システムはソフトウエ

アであり、構築作業は福島大学が中心となって行った。こうした技術要素を連携させることで、本システムは以下のような特徴をもつ。

第1に、個別の技術要素を統合し、連携させることで初めてその精度向上を図ることができる構成となっている。そのため、映像酔いの一次要因である視覚的グローバル運動による影響とは独立に、二次要因として欠くことのできない視聴環境条件の影響を盛り込むことが可能である。視聴環境条件として、映像の表示サイズや視距離、輝度レベルや周囲の明るさなどが上げられる。実際に、これらの条件を操作して、同一の映像を用いて生体影響計測を実施し、その結果に基づいて本システムの出力を修正することで視聴環境条件の影響に対応できるように試みられている。

第2に、映像酔いのきっかけとなり得る映像の視覚的グローバル運動をリスト化し、それらの動きが含まれない場合の映像酔いの程度を評価することが可能となった。本システム内部の映像酔い評価モデルでは、映像中の視覚的グローバル運動が一定時間特定の世界帯域に含まれるたびに一定の応答（一過性の反応と持続性の反応）を出力する。そのため、特定の視覚的グローバル運動が存在しないと仮定することにより、これに対応するモデルからの出力を遮断することで、この影響を確認することができる。この機能により、映像制作者は影響の大きいと思われるシーンを編集しながら、映像酔い軽減の効果を確認することができる。

5.2 本システムの評価

本システムの利便性の向上を目標として、3章に述べた研究開発委員会において、関係者の協力の下、試用アンケー

トを実施した。アンケート対象者は映像産業界の関係者12名であり、そのアンケート結果によれば、解析速度や表示内容について概ね良好であった。ただし、表示される用語などが専門的でわかりにくいとするもの、表示の内容がわかりにくいなどのコメントも寄せられたため、できるだけ平易な言葉を用い、必要に応じてマニュアルに用語集を添付したり、表示内容を改善したりするなどが行われた。

6 今後の展開

映像酔い評価システムは、現時点ではプロトタイプ段階であり、さらに精度向上と試用アンケートの蓄積により利便性を向上させる予定である。また、映像酔いの程度に関する評価は生体影響計測の平均値レベルに合わせている。これまでに、実写映像による本システムの検討には200名以上の実験参加者のデータを蓄積してきたが、さらに大規模なデータを蓄積することで、一定の不快症状を示す人の割合などを推定したり、一定の割合の人々が体験し得る不快症状のレベルなどを推定したりすることを図っていく。

冒頭でも触れた映像の生体安全性に関する国際規格化が進められており、2010年中に映像酔いガイドラインのISO規格化提案を検討している。提案前にも本システムを映像産業界関係者に配布して映像酔いの問題に対する理解を求めるとともに、規格化審議においても、提案する規格化内容の妥当性を示すために本システムを活用する予定である。

さらに、本システムを発展させ、立体映像に対する生体安全性を評価する立体映像評価システムへの展開を進める予定である。立体映像では、立体特有の視覚疲労が存在

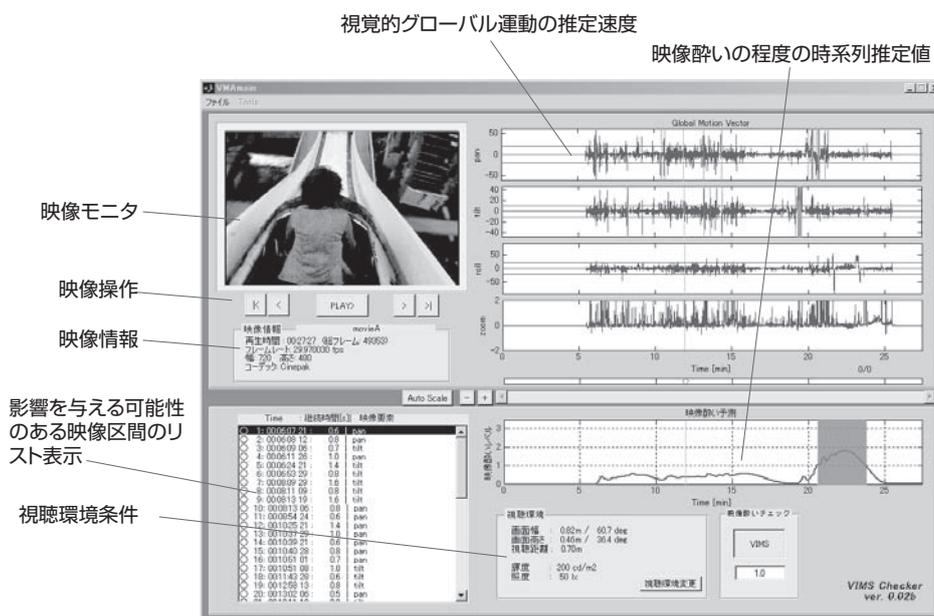


図6 映像酔い評価システムの操作画面

する一方、臨場感の向上により、さらに映像酔いに対する十分な対策をとる必要がある。

立体映像については、2009年のハリウッド立体映画の大ヒット、2010年の立体テレビの発売などにより、本格的な立体映像市場が形成されつつある。こうした状況において、2010年4月に、3Dコンソーシアム、(社)電子情報技術産業協会、産総研が連携して、立体映像ガイドラインや、その基盤となる文献抄録集の公開を行った。その結果、短期間のうちに幅広いマスメディアを通じて立体映像の生体安全性に関する社会的な認識が広まった^[18]。これは、映像酔い評価システムの研究開発およびそれに至る長期の過程において培われた人的ネットワークが有効に機能したこと、またこれを基盤として、その研究開発過程を立体映像に対して容易に展開・適用することができたこと、さらにこれら一連の連携・協力による活動が、政府機関や関係各団体による理解につながり、立体映像の生体安全性に対する活動に道筋ができたことによるものである。

立体映像は、これまでにもおよそ10年周期で盛衰を繰り返していると言われてきたが、十分な市場に発展しなかった主な理由は、立体映像による不快症状を軽減するための対策が不十分であったためであるとも考えられる。今後、さらに大学など外部研究機関や業界関係者らとの密接な連携の下に、本システムを発展させた信頼性の高い立体映像評価システムを共同で研究開発することで、立体映像の生体影響に対する理解をさらに広め、また同時に、立体映像の評価を行えるようにすることで、立体映像の生体安全性に関する課題の解決に寄与していきたい。

謝辞

本発表の一部は、(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、2007年度「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」として実施しています。

また、映像酔い評価システムの開発にあたり、共同研究などご尽力いただいた当該委託事業研究開発委員会関係者に感謝します。

参考文献

- [1] International standard organization: IWA3:2005 Image safety - Reducing the incidence of undesirable biomedical effects caused by visual image sequences (2005).
- [2] J.T. Reason and J.J. Brand: *Motion sickness*, Academic Press (1975).
- [3] H. Ujike, K. Ukai and K. Nihei: Survey on motion sickness-like symptoms provoked by viewing a video

movie during junior high school class, *Displays* 29, 81-89 (2008).

- [4] U.S. Navy: OPNAVINST 3710.7T. (2004).
- [5] 氏家弘裕: 人にやさしい映像の視聴環境づくりをめざす, *産総研Today*, 6(3), 28-29 (2006).
- [6] 氏家弘裕: 第3編7章映像の生体安全性 in *FPDガイドブック -2009年版-*, JEITA, 東京(2009).
- [7] (財)機械システム振興協会:(社)電子情報技術産業協会「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 (2008).
- [8] 氏家弘裕, 鶴飼一彦, 斎田真也: 映像酔いに対する運動パター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*, 9, 377-386 (2004).
- [9] H. Ujike, T. Yokoi and S. Saida: Effects of virtual body motion on visually-induced motion sickness, *Proc. IEEE EMBS 2004*, 2399-2401 (2004).
- [10] H. Ujike, R. Kozawa, T. Yokoi and S. Saida: Effects of rotational components of yaw, roll and pitch on visually-induced motion sickness, *Proc. HCII 2005*, 2353-2356 (2005).
- [11] H. Ujike: Effects of global motion included in video movie provoking an incident on visually induced motion sickness, *Lecture Notes in Computer Science*, 4563, 392-396 (2007).
- [12] 泰泉寺久美, 渡辺裕, 石橋聡, 小林直樹: スタティック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, *電子情報通信学会技術研究報告*, PRMU, パターン認識・メディア理解, 98 (206), 47-53 (1998).
- [13] H. Ujike: Estimation of visually induced motion sickness from velocity component of moving image, *Lecture Notes in Computer Science*, 5622, 136-142 (2009).
- [14] N. Sugita, M. Yoshizawa, A. Tanaka, M. Abe, S. Chiba, T. Yambe and S. Nitta: Relationship between physiological indices and a subjective score in evaluating visually induced motion sickness, *Lecture Notes in Computer Science*, 5622, 114-119 (2009).
- [15] 外山寛, 木竜徹, 岩城護, 飯島淳彦: 自律神経系指標の時間推移からみた映像酔いの評価, *電子情報通信学会技術研究報告*, 109 (406), 85-89 (2010).
- [16] 飯島淳彦, 鶴飼一彦, 木竜徹, 長谷川 功, 板東武彦: 映像の動き成分が脳血流に与える影響, *生体・生理工学シンポジウム論文集*, 21 (2009).
- [17] A. Tanaka, N. Sugita, M. Yoshizawa, M. Abe and T. Yambe: Interpolation of the subjective score of visually-induced motion sickness by using physiological parameters, *Proc. IEEE EMBS 2008*, 4595-4596 (2008).
- [18] 朝日新聞社: 「目に優しい3D」指針, *朝日新聞関東版*2010年4月10日朝刊1面 (2010).

執筆略歴

氏家 弘裕 (うじけ ひろやす)

1991年、東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。1995年、工業技術院生命工学工業技術研究所入所。現在、産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門マルチモダリティ研究グループ、グループ長。視覚の心理物理学を基盤として、運動立体視、奥行き知覚の基礎的研究に関わるとともに、これらを発展させて、映像の生体安全性に関する研究開発に携わり、快適な映像環境の普及に貢献するよう努めている。映像酔い評価システムは、そうした活動の中で、大学関係者、業界関係者との連携の下に、共同開発を推進した。また、ISO/TC 159(人間工学)/SC 4(人間とシステムのインタラクション)/WG 12(映



像の生体安全性)の議長を務めるなど、映像の生体安全性に関する国際標準化活動にも従事している。

査読者との議論

議論1 全体構成

コメント (中島 秀之:はこだて未来大学)

全体としては著者のとった研究シナリオが良く分かるように書かれています。研究内容が書かれている第4章が核心ですから、読者としては早くここに到達したい気がします。第2章は、研究シナリオが映像プロバイダーの理解を得られることを強く意識して構築したことを説明することがポイントだと思いますので、そこを明確に、かつ簡潔に記述していただくと読み易くなります。

回答 (氏家 弘裕)

ご指摘ありがとうございます。この研究の成果は最終的なユーザーである映像プロバイダーの方々に使ってもらわなければ意味がないので、そのことを強調したいあまりに、第2章ではやや冗長な内容になってしまいました。なるべく簡潔になるように、修正いたしました。

議論2 研究シナリオの全体像

コメント (赤松 幹之:産総研ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

映像酔い評価システムをどのように社会で使ってもらおうと考えたのかという目標の設定が2.2節に述べられており、シンセシオロジーの論文としてのポイントが明確です。この目標設定が読者に分かり易くなるように、開発したシステムの位置付けを図示したら良いと思います。

また、研究開発の成果の評価に関して、評価システムを実際に使って改善につなげた例が既にあるのでしたら記載してください。また、システムを使いたいといった声から制作現場からきているかなど、ユーザーサイドからの評価についても記載してください。

回答 (氏家 弘裕)

2.2節の文意に沿って、図1を加えました。成果についてですが、これまでに評価システムを紹介する場などで、ぜひ利用したいという声を多くいただいていますので、その点を2.2節の最終段落に加えました。なお、実際に評価システムを使って改善につなげた例は今後現れてくるものと思います。

議論3 酔いの要因

質問 (赤松 幹之)

表1に示されている各要因について、それぞれの要因がどのような条件の時に酔いが発生するのか(周波数やサイズなど)教えてください。また、グローバル運動と比べた時、その影響はどの程度なのでしょう。

回答 (氏家 弘裕)

表1の各要因が酔いを生じやすい条件についてですが、視覚的グローバル運動に対する他の要因の影響の程度については、以下の点から、これについてお答えするのは必ずしも容易ではありません。

1. 視覚的グローバル運動は、その存在によって酔いが誘引されるきっかけ要因(一次要因)であるのに対し、基本的にはその他の要因は、生じている酔いを増幅/減衰させる二次要因であり、酔い

に対する影響の質が異なるために比較が困難です。

2. 二次要因に属するものどうしについても、例えば、画面の明るさ(単位:cd/m²)と視野の大きさ(単位:deg²)というように、基本的に要因のパラメータ単位が異なるために比較が困難です。

そこで、これまでに我々が得た知見や報告されている内容を基に、主要な要因についてその影響の概略を記述いたします。なお、映像酔いは、個人差が大きいので、以下の記述は、典型的な観察者を想定した場合のものとしてご理解下さい。

視覚的グローバル運動:3種の軸に対する回転では、ロールによる影響が比較的大きいことがわかっています。ただし、一方向への回転では、いずれの回転も30~70 deg/sの速度で影響が大きく、往復する振動では、時間周波数や振幅に多少依存するものの、3種の回転ごとに影響の大きい速度帯域が異なります。

両眼立体視:映像を立体表示させて奥行き情報を加えることで、酔いへの影響がやや大きくなる傾向が示されています。

画面の輝度:画面の輝度が低下すると、酔いの程度が減少する傾向が示されています。

画面の空間周波数成分:比較的単純な縦縞パターンを用いた回転ドラムの実験では、特定の空間周波数の縞パターンで酔い症状が大きいことが報告されています。

画面の色度成分:回転ドラムの実験で、輝度がほぼ同一の下で、色パターンの方が酔い症状が大きいことが報告されています。

環境照度:周囲が明るい方が、酔いの程度が減少することが示されています。

視距離・提示サイズ:画面の見かけの大きさが大きくなるほど酔いの程度が大きくなることが示されています。ただし、ある程度以下の大きさ(例えば、20×15 deg以下)になると酔いが生じにくく、またある程度以上の大きさ(例えば、140×90 deg以上)では、酔いの程度がそれ以上増加することがなくなるとの報告があります。

運動酔い感受性:運動酔い(あるいは乗り物酔い)しやすいほど、映像酔いしやすいことが示されています。

性別・年齢:運動酔いでは、男性に比べて女性の方が、また、10代前半で比較的酔いやすいことが報告されており、映像酔いでも同様の傾向が示されています。

議論4 最近話題の3D映像との関連

質問 (赤松 幹之)

本論文の投稿後に、3D映画や3Dテレビがマスコミに多く取り上げられましたが、これに際して、筆者が力を入れていて活動が活発なコンソーシアムが有効に機能して、映像の安全性についての重要性が社会に認知させることに成功したと思います。この研究成果が生きて3Dへの展開が容易にできたこと、また人的ネットワークが機能したこと、さらに行政の支援などによって社会的な認知が得られてきたことなどを記載したらいかがでしょうか。

回答 (氏家 弘裕)

ご示唆ありがとうございます。3Dコンソーシアム、(社)電子情報技術産業協会、産総研による共同のプレスリリース(2010年4月19日)後、3者に対して多くの問い合わせがあり、さまざまなメディアを通じて、立体映像の生体安全性に対する認識の広まりが見えたことは、ご指摘のとおり本評価システムの開発やそれに至る過程での多くの人々とのさまざまな連携活動による成果であると言えます。そのことを6章後半に追記いたしました。