

## 固視微動と心拍変動の解析に基づく映像酔いをもたらす映像要素の定量的分析

小濱 剛<sup>1</sup>, 吉田 久<sup>1</sup>, 北林勇弥<sup>2</sup>, 兵藤宏紀<sup>2</sup>

## 要旨

手振れのような振動や回転を含んだ映像は、吐気や目眩などの乗り物酔いと同様の症状を引き起こす。この症状を映像酔いと呼ぶ。本研究では、映像酔いを誘発する映像要素を特定することを目的として、特定の運動成分からなる映像を観察中の主観的な酔いの程度と固視微動および心拍変動の解析を行った。映像が水平方向に移動するパン、回転方向に変移するロール、拡大と縮小により生じるズームの3種の映像要素により構成される運動するランダムドットパターン（ダイナミックランダムドット）を観察中に計測された固視微動データに対して周波数解析を行った結果、実験の進行に伴って徐々に視線の揺らぎが増し、注視の維持が困難になることが示された。また、パンまたはロール成分のみからなる動画を観察する際の心拍変動を解析した結果、パン成分のみの映像の方が、心拍変動のHRV（HF/LF）が低い値となることが明らかとなり、パン成分が交感神経の亢進をもたらすことが示唆された。これらの結果から、水平方向の運動成分を持った映像を長時間視聴することによって生じる視覚系と前庭系および体性感覚系との矛盾の蓄積が、映像酔いをもたらしているものと推察され、固視微動と心拍変動から酔いの進行の定量化が可能であることが示された。

キーワード： 映像酔い、映像要素、固視微動、心拍変動、自律神経系

## 1. 緒論

手振れ映像のような激しい振動や回転運動が頻発する映像を視聴する際、吐き気、動悸、頭痛、めまいなどの動揺病<sup>(1)</sup>と同様の症状が引き起こされることが問題視されている。このような症状を「映像酔い」という。映像酔いの原因には諸説あり、未だに解明されていないが、激しい振動や画面の動きに対する視覚系の応答と、三半規管を含む前庭系や体性感覚系における空間認識の間に矛盾が生じ、感覚情報間の統合が阻害されることにより発生するとの考えが有力であり、感覚不一致仮説として知られている<sup>(2)</sup>。

高精細な大型テレビや高解像度のビデオカメラが安価に入手でき、デジタルシアターが普及するなど、家庭をはじめとして、様々な場面で臨場感のある高精細な映像を視聴することが容易になったことから、このような視覚と身体動作との間に不整合が生じるリスクが高まっており、映像酔いがより身近な問題として話題となることが多くなった。例えば、2006年には、三重県的女子高等学校において、体育館で映像を鑑賞していた生徒十数人が体調不良を訴えて病院に搬送された。また、翌2007年には、映画「バベル」を鑑賞していた一部の観客が体調不良を訴える事件が起こった。いずれの例でも、手振れや激しいシーンの動きなどが含まれた映像の視聴により、映像酔いが誘発されたものと思われる。

このような背景のもと、脳波、脳血流量、眼球運動、呼吸、心拍などの生体信号の解析により、映像酔いが生体に及ぼす影響を客観的に評価する研究が数多くなされており<sup>(3)~(6)</sup>、映像酔いに関する生体安全性評価基準が作成されている<sup>(7)</sup>。これらの先行研究の多くは、生体への影響をもたらした映像を分析し、そこに含まれ

原稿受付 2012年6月15日

本研究は近畿大学生物理工学部戦略的研究 No.07-I-02, 2007 の助成を受けた。

1. 近畿大学生物理工学部 システム生命科学科, 〒 649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

2. 近畿大学生物理工学部 電子システム情報工学科, 〒 649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

る運動成分を定量的に解析することにより、映像酔いの原因を特定し予防のための技術開発に結び付けようとするものであった。

一方で、特定の運動成分のみで構成される単純な映像を用いて、映像酔いの程度を評価する取り組みもなされており、画角の大きさや運動の振幅が映像酔いの程度にもたらす影響を分析した例があるが<sup>(8)</sup>、水平方向の運動成分や、輝度などの刺激強度の影響については十分に論じられておらず、生体応答の客観的な解析もなされていない。映像酔いをもたらす映像には、手振れによる細かい揺れや、急激なシーンの移動、頻繁なズームング、不規則な画面の回転など、日常生活における視覚体験とは異なる運動成分が含まれてることから、それぞれの運動成分が映像酔いの程度に及ぼす影響を定量的に解析することには意義がある。

そこで本研究では、種々の運動成分の中で、どのような成分が最も酔いを誘発するのかを明らかにすることを目的として、ランダムに配置した複数の微小な光点（ランダムドット）に特定の運動成分を持たせたダイナミックランダムドットを観察する際の酔いの進行の程度を主観評価により記録するとともに、この時の眼球運動を計測して、生体への影響を客観的に解析した。

さらに、カメラ運動を機械的に制御することによって、特定の運動方向成分のみを持った自然画像を撮影し、これを観察する際の脳波、心拍、血圧などの生体信号を同時に記録し、この中から今回は心拍変動を指標として映像酔いのリスクを有した動画像が生体に与える影響について、定量的な評価を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1. 実験1

注視中に不随意に発生する微小な眼球運動を固視微動という。固視微動は、マイクロサッカード、ドリフト、トレマの3種類の成分に分類される<sup>(9)(10)</sup>。このうち、微小な視線のジャンプ運動として観測されるマイクロサッカードは、視覚的注意の移動や集中によって発生頻度が変化することが示されている<sup>(11)~(16)</sup>。また、小振幅の視線のゆらぎとして観測されるドリフトにおいては、視覚的注意の集中により周波数特性が影響を受けることが明らかとなっている<sup>(17)</sup>。注意の神経系が覚醒水準の影響を受けることから<sup>(18)(19)</sup>、映像酔い状態に陥ることにより覚醒レベルが低下すると仮定すると、同時に注意の持続が困難となって固視微動に影響が生じることが予想される。

繁榊ら<sup>(8)</sup>によると、左右に往復運動するダイナミックランダムドットパターンを観察する際の映像酔いの主観評価実験の結果、映像の画角や運動の振幅によって酔いの程度が変化する。このように、ランダムドットで構成されたごく単純な映像であっても映像酔いが催されることから、本研究では初めに繁榊らの実験方法を踏襲し、ランダムドットの運動方向や運動速度が固視微動にもたらす影響の評価を行った。

#### 2.1.1. 実験プロトコル

図1に実験の概要を示す。被験者は、まずはじめに後述するSSQスコアを用いて実験開始前の酔いの程度を記録した後、静止したランダムドットパターンパターン（Static Random Dot: SRD）を3分間観察させ、この時のSSQスコアを記録して酔いの初期状態を計測した。次に、映像が水平方向に移動するパン、回転方向に変移するロール、拡大と縮小により生じるズームのいずれかの運動パターンについて低速条件あるいは高速条件で3分間観察させた後でSSQスコアを記録し、これを10試行繰り返した後、もう一度コントロールを3分間観察させてSSQスコアを記録した。

ランダムドットのドットサイズは0.1[deg]であり、各ドットの座標の計算と描画は、OpenGLを用いてリアルタイムで行った。それぞれの運動パターンにおける低速条件および高速条件での運動速度を表1に示す。ここで、パンは水平方向に周期的な往復運動をするパターン、ロールは画面中央を中心として時計回りと反時計

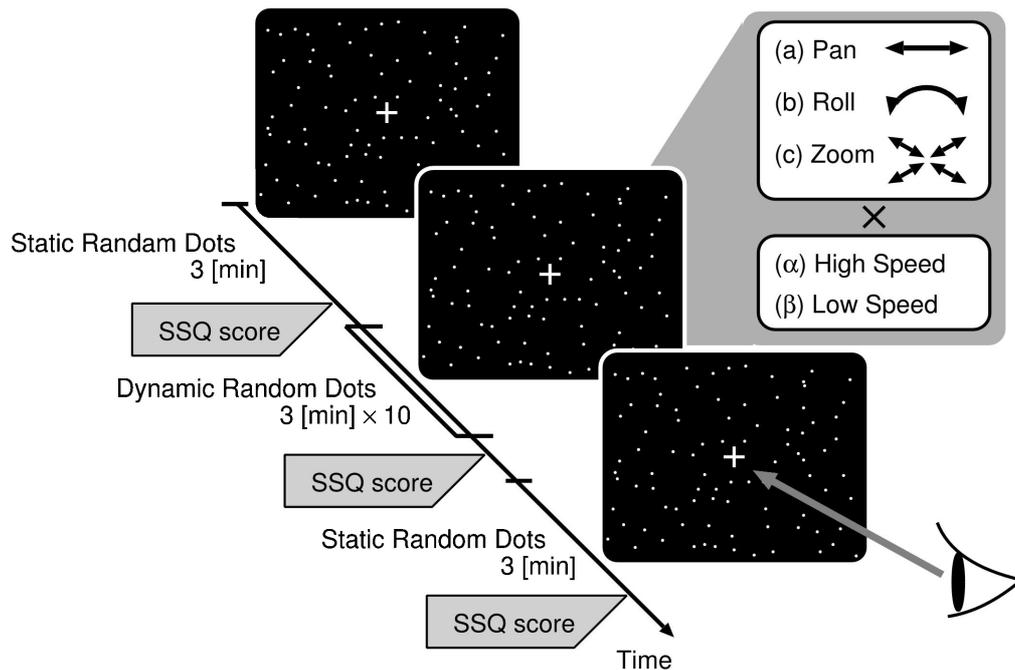


図1 実験プロトコル (実験1)

表1 各運動パターンにおけるドットの運動速度

|                           | High speed | Low speed |
|---------------------------|------------|-----------|
| Pan [deg/s] <sup>1</sup>  | 14         | 4         |
| Roll [deg/s] <sup>2</sup> | 360        | 180       |
| Zoom [%/s]                | 8          | 4         |

1 Horizontal velocity  
2 Angular velocity

回りの回転を繰り返すパターン、ズームは画面中央を中心に奥行き方向に拡大と縮小を繰り返すパターンである。ズームの運動速度は、OpenGLにて定義された奥行き空間の範囲を1としたときの比率によって定義した。

運動方向が反転するタイミングは、平均値10[sec]、標準偏差3[sec]の正規乱数を用いて決定した。また、各運動パターン間での刺激の強度差をできるだけ小さくするために、画面の中央から画面縦サイズの25%の位置を通過するドットの速度が同じになるように調整した。

被験者には、試行中は頭部をあご台に乗せて固定した状態で画面中央の十字型の注視視標を注視し続けるよう指示し、Cambridge Research Systems製のHS-VETを用いて、サンプリング周波数250[Hz]にて、このときの眼球運動を計測した。CRTディスプレイには三菱電機製のRDF223H(22インチ)を用い、被験者間の視距離を50[cm]とすることで、30×40[deg]での表示領域を確保した。

被験者は、20代の男性2名(被験者A、被験者B)であった。事前のアンケートにより、両名とも乗り物やゲーム映像に対して酔いにくいとのことであった。また被験者には、実験の前日は7時間以上の十分な睡眠を取ることと、実験当日は食事から2時間経過してから実験に参加するように指示した。

### 2.1.2. SSQ スコア

映像酔いの程度を主観的に評価するための尺度には、SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) を用いた。SSQ は、1993 年に R.S.Kennedy らによって提案された映像酔いの評価指標であり<sup>(20)</sup>、表 2 に示す全 16 項目からなる評価対象に対して、被験者が各項目ごとに 0 から 3 の 4 段階で主観評価を行い、式 (1) ~ (4) に基づいて、被験者の酔いの程度を数値化するものである。映像酔いの総合評価  $T_s$  の値が 100 を越えると、被験者は「酔い」の状態にあるとされる。

表 2 SSQ 評価項目

| i) 酔いの徴候・症状       | 評価値<br>$x_i$ (0 ~ 3) | 気持悪さ<br>$N_i$ | 目の疲れ<br>$O_i$ | ふらつき感<br>$D_i$ |
|-------------------|----------------------|---------------|---------------|----------------|
| 1) 全体的に気分が良くない    |                      | 1             | 1             | 0              |
| 2) 疲れた            |                      | 0             | 1             | 0              |
| 3) 頭痛がする          |                      | 0             | 1             | 0              |
| 4) 目が疲れた          |                      | 0             | 1             | 0              |
| 5) 目の焦点を合わせにくい    |                      | 0             | 1             | 1              |
| 6) 唾がよく出る         |                      | 1             | 0             | 0              |
| 7) 汗をかいている        |                      | 1             | 0             | 0              |
| 8) 吐き気がする         |                      | 1             | 0             | 1              |
| 9) 集中するのが難しい      |                      | 1             | 1             | 0              |
| 10) 頭がぼうっとする      |                      | 0             | 0             | 1              |
| 11) ぼやけて見える       |                      | 0             | 1             | 1              |
| 12) 開眼状態でふらつきを感じる |                      | 0             | 0             | 1              |
| 13) 閉眼状態でふらつきを感じる |                      | 0             | 0             | 1              |
| 14) ぐるぐるとしためまいがする |                      | 0             | 0             | 1              |
| 15) 胃に違和感がある      |                      | 1             | 0             | 0              |
| 16) げっぷがでる        |                      | 1             | 0             | 0              |

気持悪さの総合評価：

$$N_s = \alpha_N \sum_{i=1}^{16} N_i x_i \quad (1)$$

目の疲れの総合評価：

$$O_s = \alpha_O \sum_{i=1}^{16} O_i x_i \quad (2)$$

ふらつき感の総合評価：

$$D_s = \alpha_D \sum_{i=1}^{16} D_i x_i \quad (3)$$

映像酔いの総合評価：

$$T_s = \alpha_T \sum_{i=1}^{16} (N_i + O_i + D_i) x_i \quad (4)$$

$$\alpha_N = 9.54, \alpha_O = 7.58, \alpha_D = 13.92, \alpha_T = 3.74$$

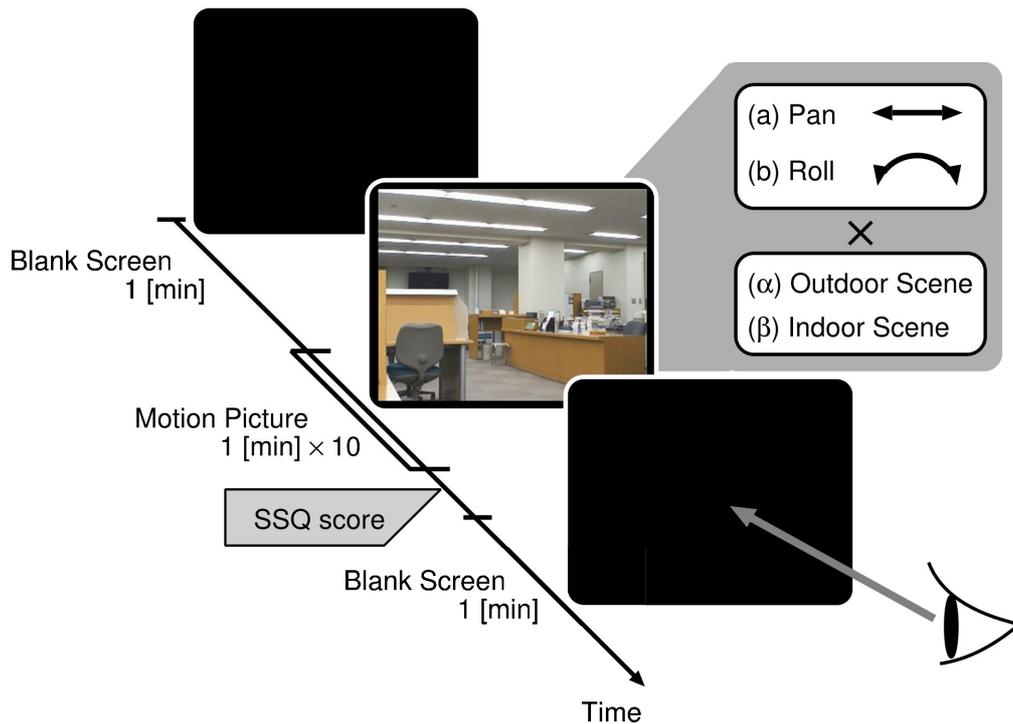


図2 実験プロトコル (実験2)

## 2.2. 実験2

映像酔いの原因は諸説有り、定かではないが、映像酔いがもたらす不快感（吐き気、動悸、頭痛、めまいなど）は、自律神経系の失調によるものであると考えられる。このような考えに基づき、映像酔いとそれに伴う生体の生理的变化、すなわち脳波、脳血流量、眼球運動、呼吸、心拍などの生体信号解析によって、両者を関連づける研究が行われている<sup>(3)~(6)</sup>。これらの先行研究の多くは、生体への影響をもたらした映像を分析し、そこに含まれる運動成分の特徴量（例えば Motion Vector など）を解析することにより、映像酔いの原因を特定し予防のための技術開発に結び付けようとするものである。一方で、映像そのものを統制し、それによって映像酔いの原因を特定しようという考え方もある。実験2では、この考えに基づき、実験1の人工的に作成したランダムドットによる映像構成に代えて、ビデオカメラの動きを統制した自然映像を用い、主観的評価である SSQ スコア、ならびに生体信号解析によって映像中に含まれる運動成分の評価を行った。

## 2.3. 特定の運動成分のみを含む映像の撮影手法

特定の運動成分のみを含む映像は、回転・揺れによる映像酔い発生器（マイクロニクス：1S808）にデジタルビデオカメラ（SONY：HDR-SR1）を搭載することにより撮影された。すなわち、映像酔い発生器に搭載したカメラをパン、ロール運動させることによって、特定の運動成分のみからなる映像を作成した。なお、撮影対象は、人工物が多く物体のエッジを認識しやすい比較的空間周波数が高い室内と、色調や輝度が連続的に変化する比較的空間周波数が低い屋外の風景である。パン運動およびロール運動成分のみを持つ映像は、実験1のような往復運動ではなく、一方向に一定の速度（パン：72 [deg/s]、ロール：120 [deg/s] の角速度に設定）でカメラを動作させて作成した。

## 2.4. 実験プロトコル

図2に実験の概要を示す。被験者はシールドルーム内の椅子に腰掛けた状態で頭部をあご台に乗せて固定する。被験者はこの状態で、CRTディスプレイに投影される映像を観察する。まず、ディスプレイ上に何も投影されないブランクスクリーンを1分間観察させ、これに続いて、特定の運動成分のみ（パンもしくはロール運動）を含む、室内の動画もしくは屋外の動画を1分間観察させた。その後、SSQスコアを記録し、これを10試行繰り返した後、再びブランクスクリーンを1分間観察させた。上述の視覚刺激実験の間、心電、呼吸、脳波、血圧、および基準化脈波容積の信号と眼球運動の多次元生体信号を同時に連続的に記録した。心電図、呼吸信号はポリグラフLEG-1000（日本光電工業）、脳波はデジタル脳波計EEG-1214（日本光電工業）、血圧は非侵襲連続血圧計MUB101（メディセンス）、規準化脈波容積はNPV計MPX2001A（メディセンス）を用いて計測した。眼球運動測定装置およびCRTディスプレイは実験1で用いたものと同じであり、被験者とディスプレイの間の視距離も実験1と同じく50[cm]として測定した。なお、SSQスコアの記録は、体動によるアーチファクトが生体信号に混入することを避けるために、口頭で答えさせた。

被験者は、実験1とは異なる2名の男性（被験者C、被験者D）であった。被験者がランダムドットからなる映像に対しても酔いを催すか否かについては、実験2の仮説の検証とは無関係であると考えられるため、ここでは両実験間の被験者の相違については検討しない。

## 3. 実験結果

### 3.1. 実験1

#### 3.1.1. SSQスコアの比較

図3には、各運動パターンに対するSSQスコアの総合評価を算出し、セッション毎の推移を求めた結果を示す。左列が被験者Aの結果を、右列が被験者Bの結果である。また、赤線が高速条件、緑線が低速条件を表している。各グラフの横軸はセッション番号であり、縦軸はSSQスコアの総合評価値である。

#### 3.1.2. 眼球運動解析結果

酔いの進行に伴ってふらつき感が大きくなることから、この時、眼球運動の揺らぎが大きくなる可能性が考えられる。そこで計測された眼球運動に対して、離散フーリエ変換による周波数解析を行った。

図4に、計測された眼球運動の一例を示す。随所に生じている大きな変動は、瞬目（まばたき）やまつげによる遮蔽により生じた計測データの欠損部を示している。このような欠損部を避けるために、各試行における計測データから、安定して計測された20秒間の区間のみを切り出して解析の対象とした（図4下）。切り出したデータに対して、直流成分除去とトレンド除去を行い、ハン窓（ハニング窓）関数による重み付けを施した後、離散フーリエ変換を行った。得られた周波数信号に対して、メディアンフィルタを適用してスムージングを行い、酔いの進行に伴う眼球運動の周波数特性の変化を評価した。

セッションの進行に伴う変化を捉えるために、序盤（1～3セッションまで）、中盤（4～6セッションまで）、終盤（7～10セッションまで）からそれぞれ1サンプルを抽出して比較した。図5には被験者Aの、図6には被験者Bの周波数解析結果を示す。図中、左列は高速条件の結果を、右列は低速条件の結果を示している。各グラフの横軸は周波数、縦軸はパワーを示しており、また、赤線は序盤、緑線は中盤、青線は終盤セッションからのサンプルであることを表している。

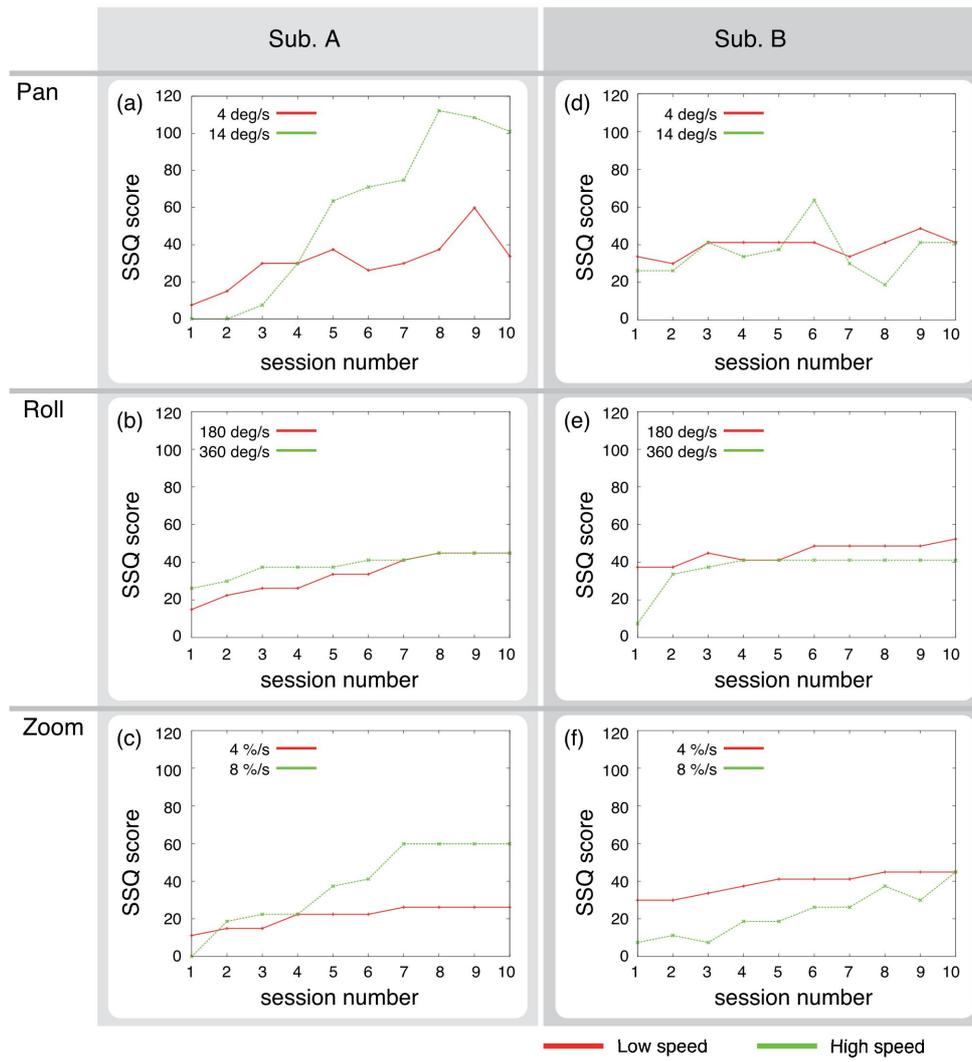


図 3 SSQ スコアの推移

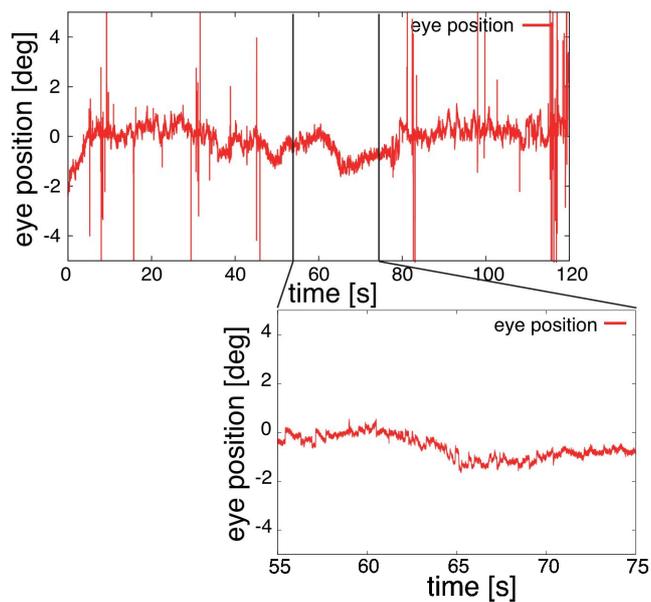


図 4 眼球運動データの一例

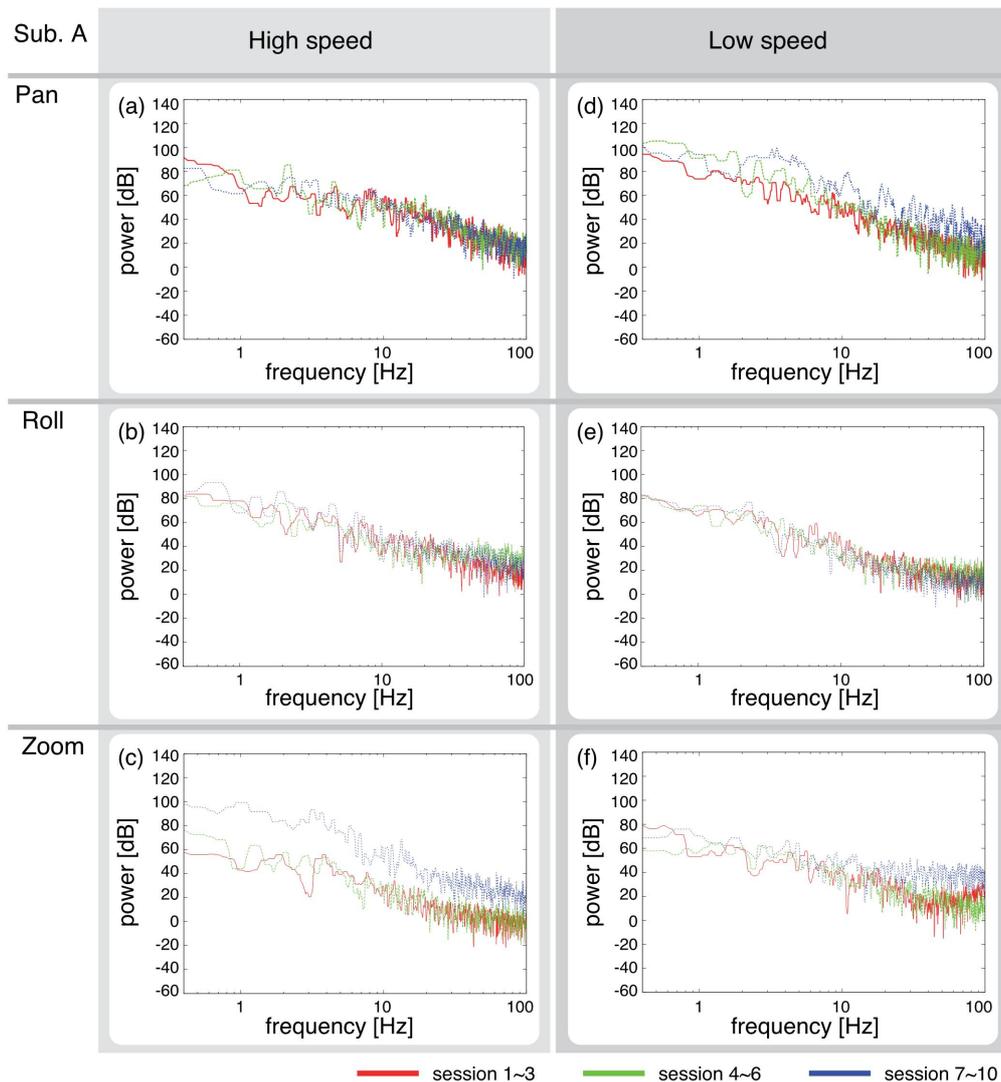


図5 固視微動の周波数特性の比較 (被験者 A)

### 3.2. 実験2

#### 3.2.1. SSQ スコアならびに心拍変動解析による比較

実験1と同様にSSQスコアによる主観的な映像酔い評価を行い、また映像刺激による生体生理反応の指標として、今回は心電図から算出した心拍変動を用いた。心拍変動は、映像観察時に記録された心電図からBerger法によって求めた。その後、心拍変動のパワースペクトルを求め、自律神経系の活動指標としてよく使われるLF帯域(0.05–0.15Hz)に対するHF帯域(0.15–0.3Hz)のエネルギー比、すなわちHF/LFを用いて、交感神経系ならびに副交感神経系の活動バランスの評価を行った。

図7に被験者Cの、図8には被験者Dのパンまたはロール成分のみからなる室内映像観察時のSSQスコアを示した。赤線がパン成分、青線がロール成分のみを持った室内映像観察時のSSQスコアである。

図9、図10には、被験者Cならびに被験者Dのパンまたはロール成分を含んだ室内映像観察時のHRV(HF/LF)を示した。図7、図8と同様に、赤線がパン成分、青線がパン成分を持った室内映像鑑賞時のHRV(HF/LF)である。なお、比較のために動画観察セッションの前後におけるブランクスクリーン観察時に計測されたHRV(HF/LF)を加えた12セッションのデータをプロットした。1と12セッションの値がブランクスクリーン観察時のデータである。

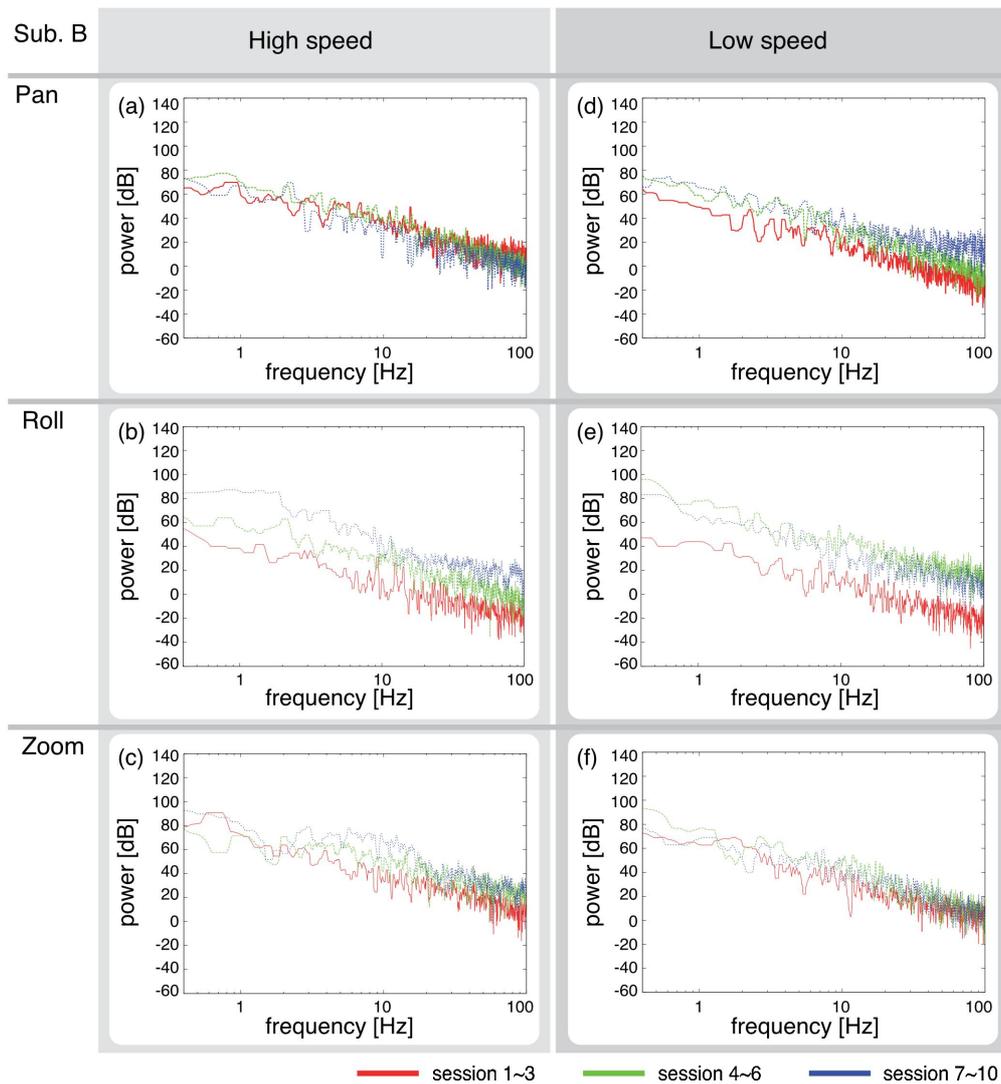


図 6 固視微動の周波数特性の比較（被験者 B）

#### 4. 考察

実験 1 の結果として得られた SSQ スコアの推移からは（図 3），被験者 A のパン・高速条件において，映像酔いの総合評価が 100 を越えており，強い酔いを催していることがわかる（図 3(a) の緑線）．しかしながら，その他の条件においては，セッションの進行に伴って右肩上がりに推移するものの，映像酔いの状態には至っていないことから，ダイナミックランダムドットにより構成された映像からは，主観的な酔いは感じにくいものと考えられる．

一方，ダイナミックランダムドットを観察している際の固視微動の周波数解析結果を見ると（図 5，図 6），いずれの被験者も，実験の進行に伴って徐々に上にシフトする傾向が示された．映像観察時間が長くなるほど，視線のゆらぎが大きくなり，注視の維持が困難になると考えられる．

SSQ による主観的な酔いの評価と固視微動の周波数解析結果を比較すると，実験の進行に伴って周波数特性がシフトする条件では，映像酔いの総合評価値が比較的大きな傾きで推移する傾向にある．映像酔いの総合評価が最も大きく変動した被験者 A のパン・高速条件では，この傾向が認められないが，これは酔いの進行に伴って瞬目が多くなったために，20 秒間の解析区間がセッション開始から間がない時間帯でしか取得できなかったためであると考えられる．特に，被験者 A のズーム・高速条件においては，被験者はわずかに酔いを感じてい

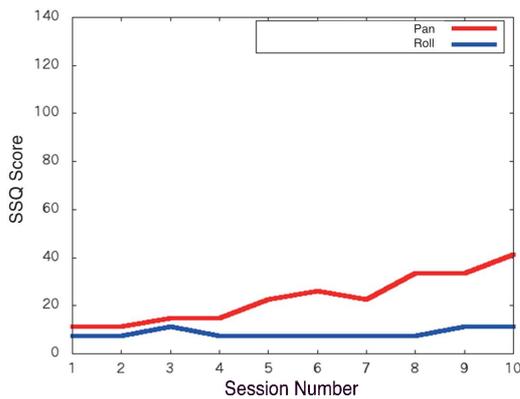


図 7: 室内映像のパン (赤), ロール (青) 観察時における SSQ スコア (被験者 C)

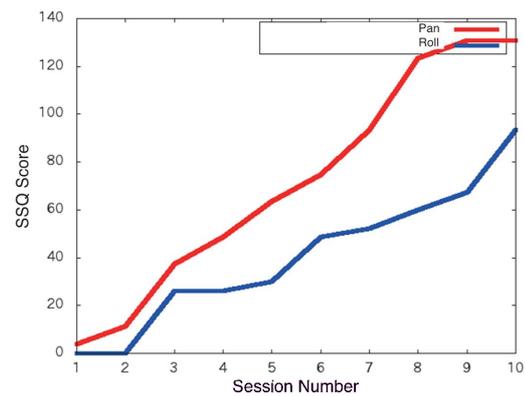


図 8: 室内映像のパン (赤), ロール (青) 観察時における SSQ スコア (被験者 D)

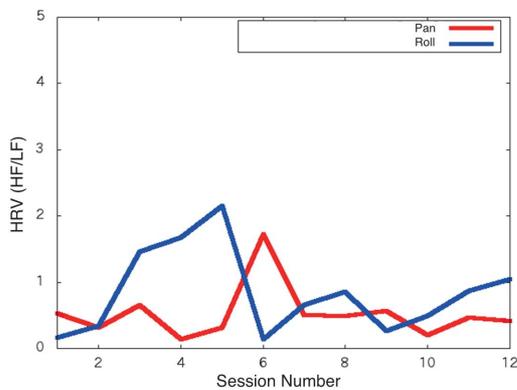


図 9: 室内映像のパン (赤), ロール (青) 観察時における心拍変動 HF/LF (被験者 C)

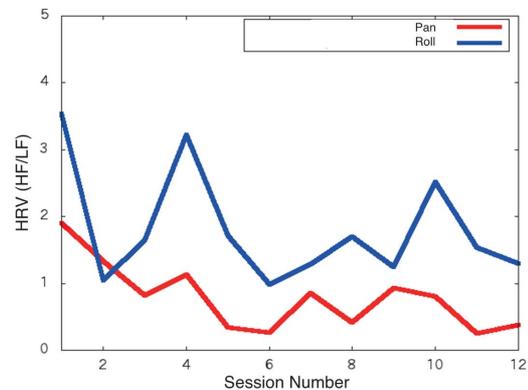


図 10: 室内映像のパン (赤), ロール (青) 観察時における心拍変動 HF/LF (被験者 D)

る程度であるものの (図 3(c) の緑線), 固視微動のゆらぎのパワーはセッション終盤で大きくなっており (図 5(c) の青線), 主観的に感じる酔いの程度以上に生体が影響を受けている可能性がある。

映像酔いとは, 視覚情報と三半規管等の前庭系の不調和によって発生すると考えられており<sup>(2)</sup>, 眼球運動制御系との関与も予想されるが, 実験 1 の結果に基づけば, 映像酔いの蓄積によって注視維持に関する神経機序にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。また, 特定の運動成分しかもたない映像であっても映像酔いのリスクを有しており, 一定時間の視聴によって, 映像酔いの症状が進行することが示された。

図 7, 図 8 に示した実験 2 の SSQ スコアの推移からは, 被験者 C, D いずれの場合においても, パン成分を含む映像を観察した場合の SSQ スコアは, ロール成分を含む映像を観察した場合に比べて大きな値を示した。特に, 被験者 D では, セッションの後半の SSQ スコアが 100 を超えており, 酔いの状態にあると考えられる。

パン成分を含む映像がロール成分を含む映像に比較して, 生体に与える影響が大きいことは, 心拍変動解析からもそれが伺える。図 10 に示す被験者 D のパン条件における HRV (HF/LF) は, ロール条件における HRV (HF/LF) に比べ低い値を示しており, 交感神経の亢進によって, 映像酔いの程度が強くなっていることが示唆される。興味深いことに, ダイナミックランダムドットを用いた実験においても, パン観察時に強い酔いを催した被験者が存在したことから, 視覚系と前庭系および体性感覚系との統合過程における水平方向の運動成分の影響を検討する必要がある。

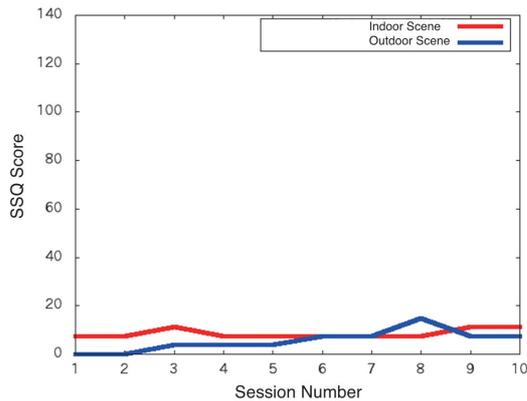


図 11: 室内映像 (赤) および室外映像 (青) のロール観察時における SSQ スコア (被験者 C)

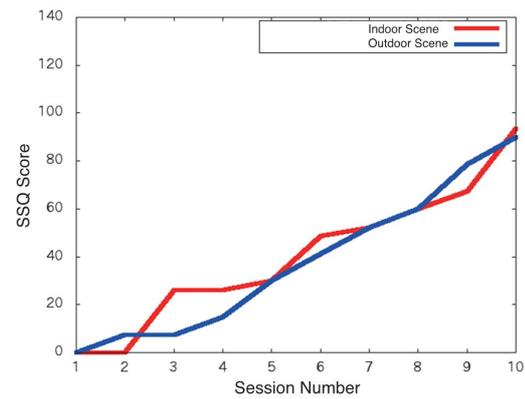


図 12: 室内映像 (赤) および室外映像 (青) のロール観察時における SSQ スコア (被験者 D)

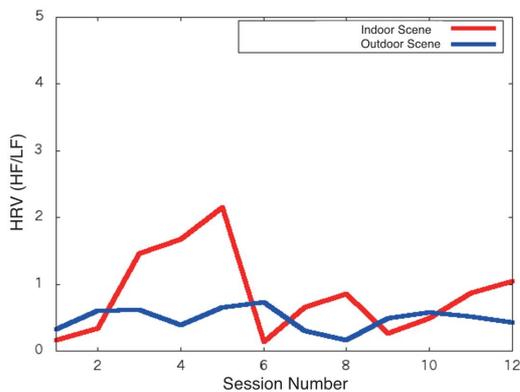


図 13: 室内映像 (赤) および室外映像 (青) のロール観察時における心拍変動 HF/LF (被験者 C)

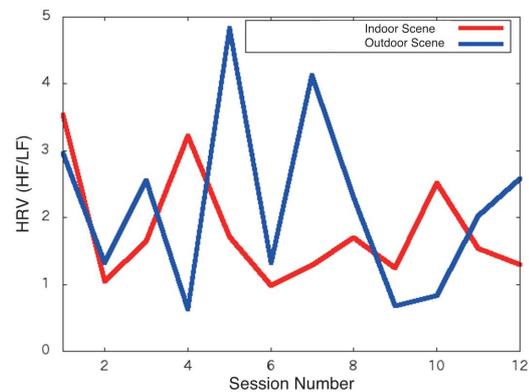


図 14: 室内映像 (赤) および室外映像 (青) のロール観察時における心拍変動 HF/LF (被験者 D)

一方、被験者 C (図 9) の場合、平均的にはパン条件における HRV (HF/LF) の値がロール条件のそれを下回っており、やはりパン成分を含む映像の方がより生体に与える影響が大きいといえるものの、両者にはさほど大きな差異は見られない。両条件下で HRV (HF/LF) は比較的低い値で推移しており、交感神経の亢進状態を示しているが、被験者 C の SSQ スコアからはいずれの映像鑑賞時においても酔いの状態に達していない。こうした状態が原因となってパン条件とロール条件における HRV (HF/LF) の差異が小さくなったことも考えられるが、今後、SSQ スコアの主観評価と生体生理反応指標の比較、評価が必要であろう。

図 11~図 14 は、室内映像 (赤) および屋外映像 (青) のロール観察時における SSQ スコア、および HRV (HF/LF) をプロットしたものである。被験者 C はいずれの映像の場合においても酔い状態であるという主観的評価は得られていない。一方、被験者 D はいずれの映像においても、観察セッションを繰り返すことによって SSQ スコアが上昇しているものの、映像の違いによる酔いの程度の違いは見られない。

図 2 に示すように、屋内の映像にはテーブルやカウンター、天井の照明など、屋外に比較して高い空間周波数成分を持った構成要素が豊富に含まれているが、こうした空間周波数成分の相違は、映像酔いに影響しない可能性が示唆される。実験 1 の結果においても、刺激の速度の変化が映像酔いの程度に影響を及ぼさなかったことを鑑みると、映像酔いの発症には、特定の運動成分を持った映像を長時間視聴することによって生じる視覚系と前庭系、体性感覚系との矛盾の蓄積が関与しているものと推察される。しかしながら、本研究で示した

傾向は断片的なものであり、映像酔いが運動速度や構成要素の空間周波数とは無関係に進行すると断じるには不十分であるために、刺激映像の工夫や、同時計測された種々の生体信号の多角的分析手法を検討し、より詳細な解析に取り組む必要がある。

## 5. 結論

本研究では、映像酔いを誘発する運動成分を明らかにすることを目的として、特定の運動成分からなる映像を観察中の主観的な酔いの程度と固視微動および心拍変動の解析を行った。

まず、注視を維持した状態で、パン、ロール、ズームの3種の運動成分により構成されるダイナミックランダムドットを観察中に計測された固視微動データに対して周波数解析を行った結果、実験の進行に伴って徐々に視線の揺らぎが増し、注視の維持が困難になることが示された。また、固視微動の周波数解析により、被験者が主観的な酔いを感じる以前の段階から、映像の持続的観察により蓄積される生体への影響を評価できる可能性が示された。

次に、パンまたはロール成分のみからなる動画を撮影し、これを観察する際の心拍変動のHRV (HF/LF) の推移を解析した結果、パン成分のみからなる映像の方が、ロール成分からなる映像よりもHRV (HF/LF) が低い値となることが示され、パン成分が交感神経の亢進をもたらすことが示唆された。ランダムドットの観察中のSSQスコア比較においても、パン運動成分によって構成される映像観察時がもっとも大きな上昇を示していることも本結果を支持する一つの要因である。

本研究の結果から得られた傾向は断片的なものであるものの、過去に映像酔いが固視微動にもたらす影響について論じられた報告はなく、また運動成分が統制された自然映像に対する生体の反応が示された例も存在しないことから、今後、実験手法の改善や精密な解析手法の考案により、新たな知見が得られるものと考えている。

## 参考文献

- (1) 高橋正紘 (1997) 動揺病 ヒトはなぜ空間の奴隷になるのか. 築地書館
- (2) Reason J.T., Brand J.J. (1975) Motion sickness. London: Academic
- (3) Webb N.A., Griffin M.J. (2003) Eye Movement, Vection, and Motion Sickness with Foveal and Peripheral Vision. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74, 6, 622–625
- (4) 後藤玲子, 工藤博章, 佐藤耕平, 堀田典生, 石田浩司, 大西 昇 (2005) 自己運動感覚を誘導する視覚刺激に対する生体反応の分析. *映像情報メディア学会誌*, 60, 4, 589–596
- (5) 野村恵理, 木竜 徹, 中村亨弥, 飯島淳彦, 板東武彦 (2006) 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, J89-D*, 3, 576–583
- (6) 森田寿哉, 原澤賢充 (2006) 映像視聴と生体への影響. *映像情報メディア学会誌*, 60, 11, 1740–1744
- (7) 電子技術産業協会 (2008) 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. 器械システム振興協会
- (8) 繁樹博昭, 原澤賢充, 松寄直幸, 椿 郁子, 森田寿哉, 伊藤崇之, 齊藤隆弘, 佐藤隆夫, 相澤清晴, (2006) 視野角および映像の動きの振幅が映像酔いに及ぼす影響. *映像情報メディア学会技術報告*, 30, 22, 29–32
- (9) Martinez-Conde S., Macknik S.L., Hubel D.H. (2004) The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Review, Neuroscience*, 5, 229–246
- (10) Rolfs M. (2009) Microsaccades: small steps on a long way. *Vision Research*, 49, 2415–2441
- (11) Pastukhov A., Braun J. (2010) Rare but precious: microsaccades are highly informative about attentional allocation. *Vision Research*, 50, 1173–1184
- (12) Laubrock J., Kliegl R., Rolfs M., Engbert R., (2010) When do microsaccades follow spatial attention?. *Attention, Perception & Psychology*, 72, 3, 683–694
- (13) Betta E., Galfano G., Turratto M. (2007) Microsaccadic response during inhibition of return in a target-target paradigm. *Vision Research*, 47, 428–436
- (14) Laubrock J., Engbert R., Kliegl R. (2005) Microsaccade dynamics during covert attention. *Vision Research*, 45, 721–730
- (15) Engbert R., Kliegl R. (2003) Microsaccade uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43, 1035–1045
- (16) Kohama T., Usui S. (2002) Attentional effects on microsaccadic eye movements. *Current Psychology of Cognition*, 21, 377–395
- (17) 小濱 剛, 竹中 悠, 吉田 久, 戸田尚宏 (2010) 視覚的注意がドリフト眼球運動に及ぼす影響の統計解析. *映像情報メディア学会誌*, 64, 12, 1892–1898
- (18) Foucher J.R., Otzenberger H., Gounot D. (2004) Where arousal meets attention: a simultaneous fMRI and EEG recording study. *NeuroImage*, 22, 688–697

- (19) Coull J.T. (1998) Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in Neurobiology*, 55, 343–361
- (20) Kennedy R.S., Lane N.E., Berbaum K.S. (1993) Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *Journal of Aviation Psychology*, 3, 3, 203–220

A quantitative evaluation of visual factors of cybersickness by analyzing  
fixation eye movements and heart rate variability.

Takeshi Kohama<sup>1</sup> Hisashi Yoshida<sup>1</sup> Yuya Kitabayashi<sup>2</sup> and Hiroki Hyodo<sup>2</sup>

Videos with camera shake containing strong vibrational or rotational motion may cause some symptoms similar to motion sickness such as nausea, dizziness and headache. It is called cybersickness, or visually induced motion sickness. In this paper, we have evaluated cybersickness by analyzing fixation eye movements and heart rate variability of subjects viewing videos of which content was restricted to certain visual factors in order to identify the effective motion component for cybersickness. Firstly, fixation eye movements while subjects were watching random dots which consist of each of three visual factors, such as Pan, Roll and Zoom were measured and evaluated by spectral analysis. The results show that variability of the eye movements is increased as the experiment session progresses and it suggests that it is difficult to maintain the attention of fixation as cybersickness progresses. Secondly, we have evaluated the heart rate variability while subjects were watching the motion pictures which are not random dots but well-controlled motion pictures of an indoor scene and an out outdoor scene. Spectral analysis of the heart rate variability demonstrates that HF/LF measure in the Pan condition has lower values than in the Roll condition and it suggests that Pan motion in the video increases sympathetic nerve activity. These results indicate that cybersickness is caused by cumulative inconsistencies among visual, vestibular, and somatosensory systems for a long time while watching videos. Also, we have shown that progression of sickness can be quantified by analyzing fixation eye movements and heart rate variability.

**Keywords: Cybersickness, Visual factor, Fixation eye movements, Heart rate variability, Autonomic nervous system.**

---

1. Department of Computational Systems Biology, Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kinki University, Kinokawa, Wakayama 649-6493, Japan

2. Department of Electronic Systems and Information Engineering, Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kinki University, Kinokawa, Wakayama 649-6493, Japan