

# 修士論文

## 形態認識によるベクシヨンの違い及び 眼球運動がサイバー酔いに与える影響

平成 27 年度

三重大学大学院 工学研究科

博士前期課程 情報工学専攻

人間情報学研究室

中口 和馬

# 目次

## 1 序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 本研究の目的
- 1.3 本論文の構成

## 2 実験Ⅰ

### 2.1 実験方法

- 2.1.1 被験者
- 2.1.2 実験装置
- 2.1.3 実験映像
- 2.1.4 測定項目
- 2.1.5 実験手順

### 2.2 結果

- 2.2.1 不快感及びベクシヨンの評定
- 2.2.2 ベクシオン強度・方向の時間変化
- 2.2.3 重回帰分析による不快感の推定

### 2.3 考察

## 3 実験Ⅱ

### 3.1 実験方法

- 3.1.1 被験者
- 3.1.2 実験装置
- 3.1.3 実験映像
- 3.1.4 測定項目
- 3.1.5 実験手順

### 3.2 結果

- 3.2.1 不快感及びベクシヨンの評定
- 3.2.2 重回帰分析による不快感の推定

### 3.3 考察

## 4 まとめ

# 1. 序論

## 1.1 研究背景

近年の映像技術の発達著しく、アミューズメントパークなどにおいて大画面で高画質な立体映像を楽しむ機会が増えてきている。自分が仮想空間に居るという感覚が強ければ強いほど、現実世界の自分の身体との感覚に矛盾が発生しサイバー酔いが発生するとされている。Oculus Riftのような高性能なヘッドマウントディスプレイも登場し、今までの大画面スクリーンでの映像視聴に比べ仮想空間に対する没入感も高いことから、深刻なサイバー酔いが発生することが予期される。そのため、サイバー酔いメカニズムの解明が求められている。サイバー酔いの発症メカニズムについては多くの仮説が提案されているが、感覚矛盾説[1]が昔から広く受け入れられている。この説では、視覚からの情報と身体の姿勢や運動感覚を司る前庭系との感覚が矛盾することによってサイバー酔いが発症するとしている。そして、サイバー酔いの発症原因の一つとして考えられているのがベクシオン (Visually induced self-motion : 視覚誘導性自己運動感覚) である。ベクシオンとは、視覚からの情報によって自分自身が動いているように感じる錯覚のことである。日常的な例では、停車している電車の窓から隣の電車動くのを見たとき、自分の乗っている電車が動いたように感じる事が挙げられる。これは直線移動のベクシオンであるが、この他にも回転ベクシオンが存在する。回転ベクシオンには、ヨー・ピッチ・ロールの3の自由度が存在する (図. 1)。この内、ヨー回転は主観的な鉛直方向が変化しないベクシオンであり、ピッチ・ロール回転は主観的な鉛直方向が変化するベクシオンである。

## 1.2 本研究の目的

従来研究では、ベクシオンとサイバー酔いの間には密接な関係があるとされてきた。しかし、Webb と Griffin の研究[2]でも主張されているように、サイバー酔いとベクシオンはあまり対応がなく、サイバー酔いの発症程度と眼球運動に正の相関があるという主張もある。しかし、私は、サイバー酔いの主な原因は眼球運動ではなくベクシオンであり、更に主観的鉛直の変化するベクシオンは感覚矛盾が大きくなりサイバー酔いに強い影響を与えていると考えている。このことから、ほぼ同質な視運動刺激を与え、注視点移動の有無によって眼球運動を操作し、人の認識を利用してベクシオンの種類を変化させることで、ベクシオン及び眼球運動とサイバー酔いの関係を明らかにしようとした。

先行研究[3]ではイルカの遊泳姿勢の違いによって知覚されるベクシオンの種類を変化させることに成功している。人間の持つ知識として、生物は通常、目の付いている方向へ移動すると認識している。そこで、目の付いている方向への移動をその生物の移動

として認識させ、反対方向への移動を観察者自身の移動と知覚させようとした。本研究では、人間の持つイルカに対する認識を利用し、イルカの姿勢・遊泳方向を変化させることで、視運動刺激を同質に保ち、知覚されるベクションの種類を変化させた。

映像刺激として、仮想空間において被験者を鉛直軸方向に貫く円筒上にイルカを配置し（図. 2）、イルカの進行方向を、頭部を前にして進む順方向と尾部を前に進む逆方向の 2 条件と、被験者に対するイルカが側面を向けた姿勢で泳ぐ場合と背面を向けて泳ぐ場合の 2 条件の合計 4 種類の映像を実験刺激として用いた（図. 2）。イルカが被験者に対して側面を向けた姿勢で泳ぐことでヨー回転ベクションを誘起させ、背面を向けた姿勢で泳ぐことでピッチ回転ベクションを誘起させようとした。眼球運動を統制するために映像中のイルカはすべて水平方向に移動させた（実験 I）。

仮想空間において被験者を水平軸方向に貫く円筒上にイルカを配置し（図. 3）、イルカの姿勢による 4 種類の刺激と、注視点移動の有無による 2 種類の刺激を組み合わせた合計 8 種類の映像刺激を用いた。イルカが被験者に対して側面を向けて泳ぐことで水平軸回転ベクションを誘起させ、背面を向けた姿勢で泳ぐことで鉛直軸回転ベクションを誘起させようとした。これにより、ベクション・眼球運動がサイバー酔いに与える影響を明らかにしようとした（実験 II）。

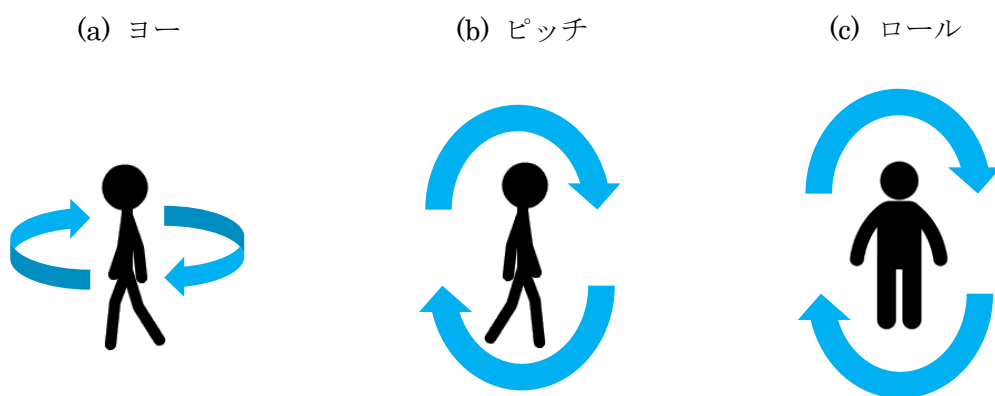


図. 1 回転方向別ベクション

### 1.3 本論文の構成

以下に本論文の構成を示す。

第2章では、同質な視運動刺激を用いて眼球運動を統制し、人の認識によって知覚されるベクシヨンの種類を変化させることを考え、知覚されたベクシヨンの種類の違いによってサイバー酔いに与える影響を検討した実験の実験方法、結果、考察について述べる。

第3章では、認識による知覚されるベクシヨンの種類の変化だけでなく、注視点移動の有無によって眼球運動を操作し、ベクシヨンの種類の違い・眼球運動の有無がサイバー酔いに与える影響を検討した実験の実験方法、結果、考察について述べる。

第4章では、本研究を総括し今後の課題について述べる。

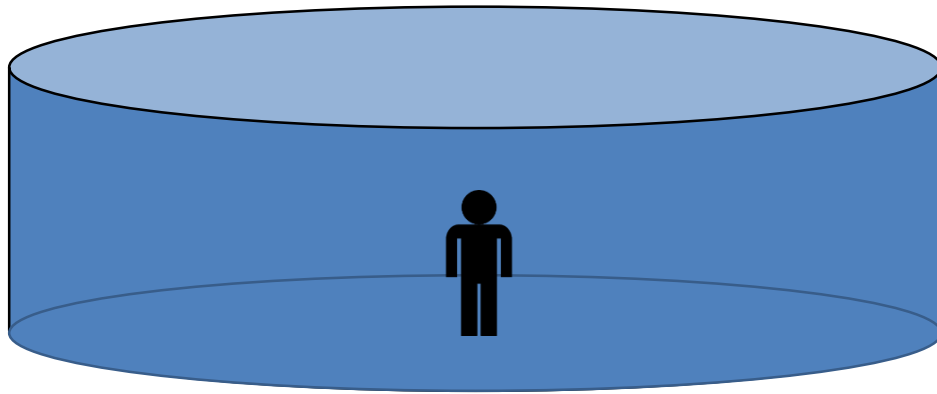


図. 2 被験者の位置とイルカの存在領域（実験 I）

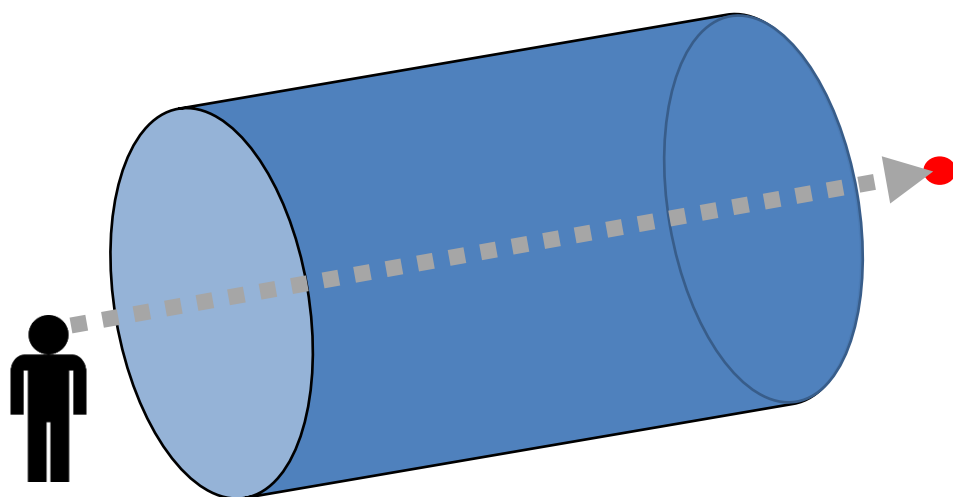


図. 3 被験者・注視点の位置とイルカの存在領域（実験 II）

## 2. 実験 I

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 被験者

19 歳～22 歳の健康男女 15 名が実験に参加した。1 人につき 4 条件×6 回の計 24 試行を行わせた。総試行数は合計で 360 回になった。

#### 2.1.2 実験装置

本研究に用いるバーチャルリアリティシステムを図. 2 に示す。暗室内に設置された円筒型スクリーン（半径 10.0m の  $60^\circ$  円弧、幅 10.0m×高さ 2.6m）に、6 台の DLP プロジェクターにより 3D 映像を投影した。スクリーンの中央から前方 4.6m の位置に椅子を設置した。椅子からの水平画角は  $114^\circ$  であり、垂直画角は  $31.6^\circ$  であった。評価報告用のコントローラの操作信号をサーバ機で保存し、6 台の PC を用いて 3D 映像を作成した。無音状態を避けるため、水中でイルカの鳴き声を録音したものを 7.1ch スピーカで再生した。

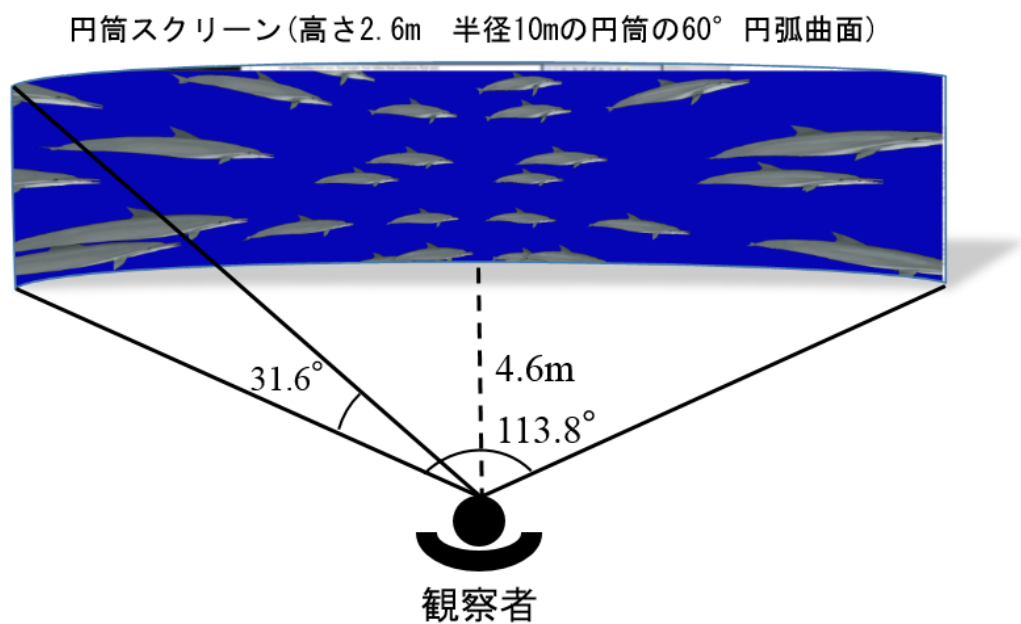


図. 4 実験装置

### 2.1.3 実験映像

仮想空間内において、被験者を鉛直軸方向に貫く円筒上にイルカを配置した（図. 2）。潜水艦の窓からイルカを観察し、その周囲をイルカの群れが遊泳する状況を模擬した。イルカの群れは仮想空間の原点から半径 8m の距離で周回運動した（図. 5）。被験者に主観的な鉛直方向を意識させるため、潜水艦の内装には文字が書かれたテクスチャを使用した。刺激映像の提示が開始される前の 15 秒間、文字の書かれた内装は緩やかに傾斜し、イルカ姿勢が側面の条件では水平（文字が正立）の状態に、背面の条件では垂直（文字が横に転倒）の状態になった（図. 6）。これにより、仮想空間内における被験者自身の観察方向の変化が誘起されることを期待した。

実験刺激として、イルカの進行方向を、頭部を前にして進む順方向と尾部を前に進む逆方向の 2 条件と、観察者に対するイルカが側面を向けた姿勢で泳ぐ場合と背中を向けて泳ぐ場合の 2 条件を組み合わせた合計 4 種類の映像を実験刺激として用いた

（図. 7）。運動方向の違いは、人間の持つ物体の可動方向への認識から、知覚されるベクションの大きさに影響を与えることを期待した。つまり、イルカが普段泳いでいるように頭部方向へ移動した場合はイルカの運動として知覚させ、イルカが後方へ進んでいる場合には被験者がイルカより早い速度で回転していると知覚させようとした。また、イルカの遊泳姿勢によってベクションの回転方向が変化することを期待した。イルカの側面が見えている状態において横方向へ泳がせることでヨー回転ベクションを誘起させ、イルカの背面が見えている状態において横方向へ泳がせ、内装を 90 度傾けることで、スクリーン右側が被験者にとって上側と錯覚するような感覚を引き起こし、ピッチ回転ベクションを誘起させようとした。いずれの条件もスクリーン上の刺激の視運動速度は平均 11.5deg/s で一定であった。実際の映像刺激を図. 8 に示す。

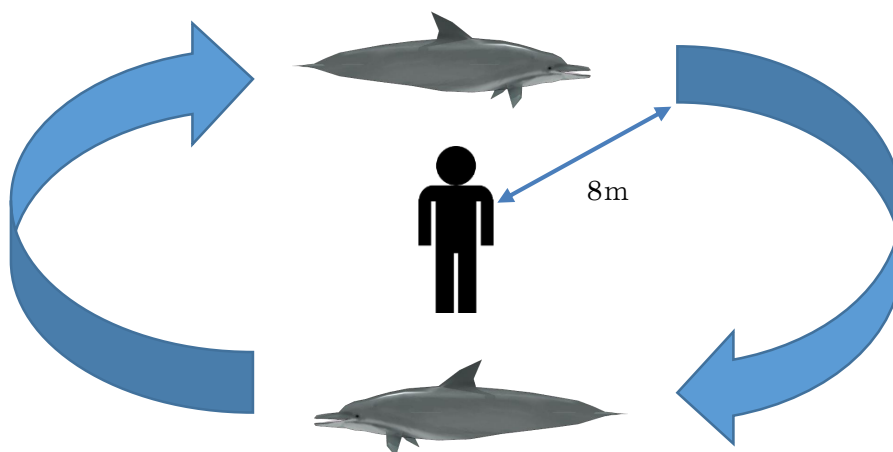


図. 5 仮想空間上の位置関係

## プレビュー画面

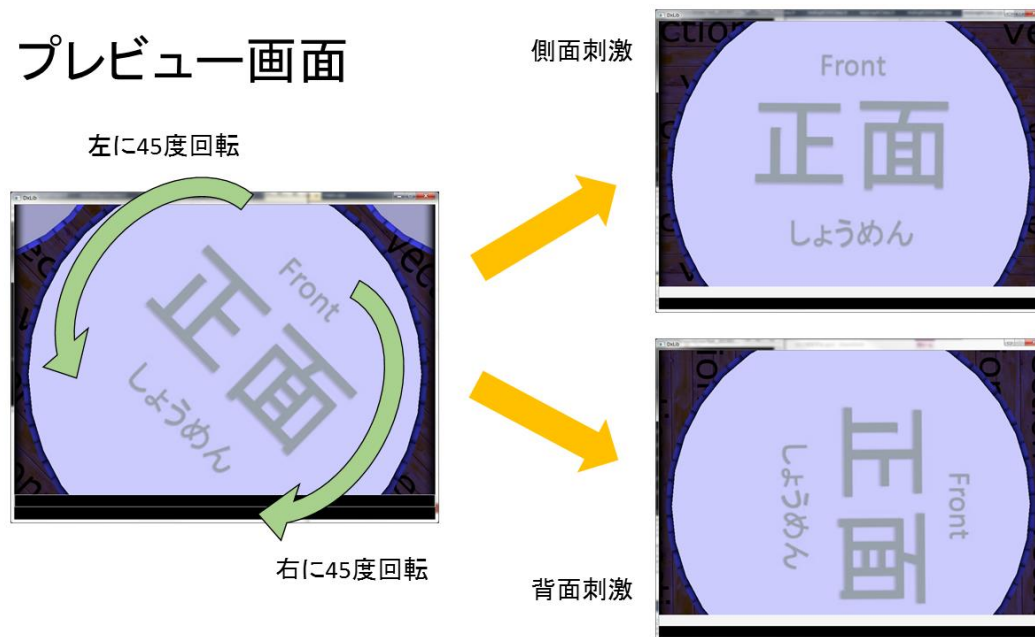


図. 6 プレビュー画面

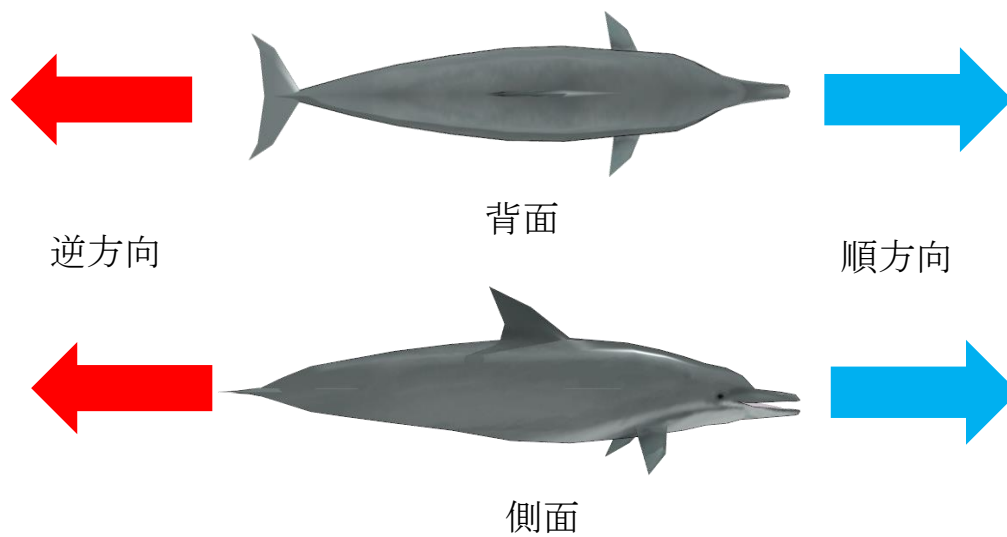
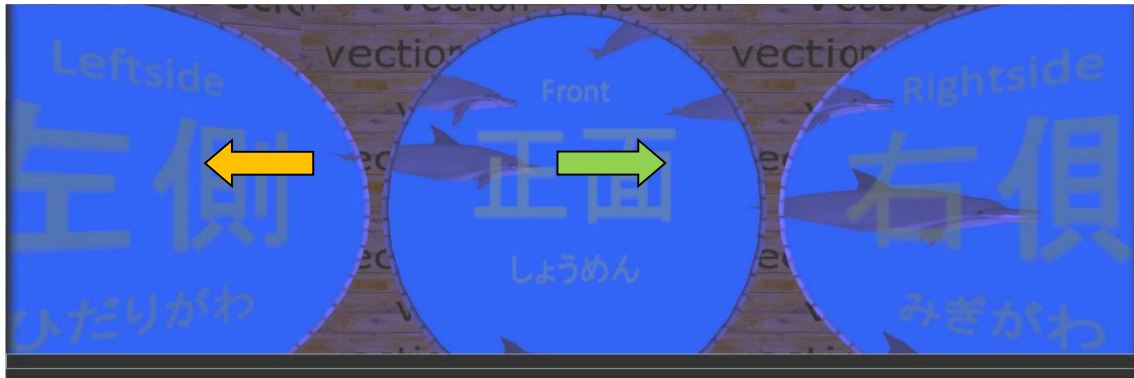
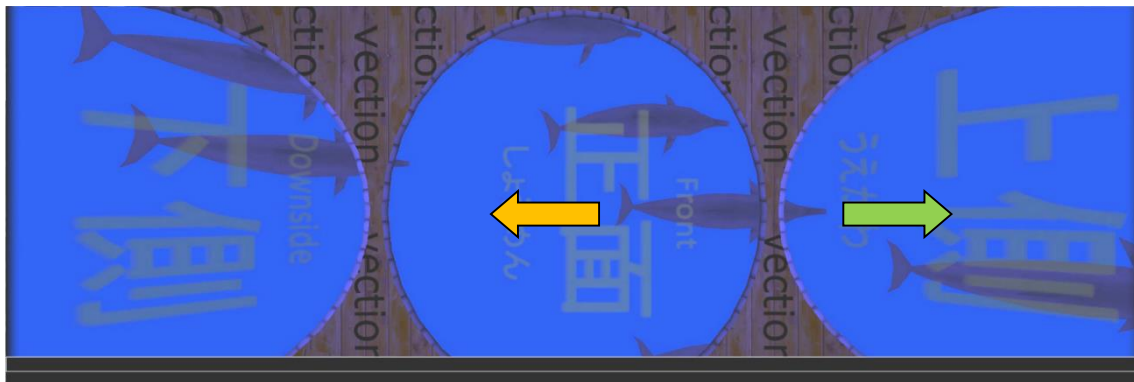


図. 7 姿勢・運動方向の違いによる刺激



側面刺激



背面刺激

図. 8 実際の刺激映像

#### 2.1.4 測定項目

実験では、被験者は手元のコントローラ（ロジテック **Extreme 3D Pro**）を使って、その時点で知覚している回転ベクションの強度と方向を報告した。コントローラ情報の記録のサンプリング周波数は映像のフレームレートと同等の **60Hz** であった。ベクション強度については、主観的な回転感覚の大きさの印象をアナログ量で評価した。ベクション方向は、「回転なし」「ヨー回転」「ピッチ回転」「不明確な回転」の4択で回答するよう教示した。映像呈示中は、刺激映像下部に表示されているバーによって報告しているベクション強度と方向が常に確認できるようになっていた。画面下部のバーは左端から右端へ伸びるようになっており、左端を最小、右端を最大とした。また、色によって報告している回転方向を確認でき、ヨー回転ベクションは緑色、ピッチ回転ベクションは赤色、不明確なベクションは青色とした。映像呈示後、被験者は不快感の強度を「0：まったく不快でない」から「10：我慢できないような強い不快感」の11段階で評価し、口頭で報告した。

#### 2.1.5 実験手順

被験者は実験に関する説明を十分に受けた後、スクリーンの中央から前方 **4.6m** の位置にある椅子に座り、偏光眼鏡を掛けて実験映像を観察した。試行開始前の **15 秒間** はプレビュー画面（図. 6）を表示した。1 試行を **60 秒** とし、試行間に **10 秒** の評価時間を設けた。被験者は映像を見ている **60 秒間**、手元のコントローラを用いてリアルタイムに「ベクションの強度」「ベクションの方向」を報告した。**10 秒** の評価時間に直前の試行で感じた「不快感」を口頭で報告した。1 セッションを **4 試行** とし、**6 セッション** 実験を行った。刺激は順序効果を打ち消すように配置し、セッション間に **1 分** の休憩を設けた。休憩中は部屋の明かりをつけ、被験者に偏光眼鏡を外すよう指示した。

## 2.2 結果

### 2.2.1 不快感及びベクシヨンの評定

不快感評定が極端に低かった被験者 5 名分のデータを除いた、被験者 10 名の不快感、ベクシヨン強度を平均したものを図. 9 に示す。ベクシヨン強度は報告されたベクシヨン強度×時間として扱った。イルカが後方に遊泳する刺激においてベクシヨンは強くなり、不快感も大きくなった。イルカの側面が見えている刺激よりも背面が見えている刺激のほうが大きい不快感がみられた。

### 2.2.2 ベクシヨン強度・方向の時間変化

1 名の被験者について、イルカが背面を向け逆方向に泳ぐ映像を呈示中に報告したベクシヨン強度・方向の時間変化を図. 10 に示す。いずれの刺激条件でも、ベクシヨンの知覚は刺激提示開始後 5 - 10 秒で現れ始めた。その後、その大きさは時間経過とともに徐々に増加して一定の水準に達した。このとき、イルカの進行方向が順方向の条件に比べて逆方向の条件の方がベクシヨンは大きかった。この傾向は他の試行や参加者についても同様であった。

### 2.2.3 重回帰分析による不快感の推定

刺激映像視聴時に知覚したベクシヨン強度・方向による不快感の違いについて定量的に解析するために、重回帰モデル(1)、(2)を設定した。

$$\begin{cases} Z = aX + bY + C_1 & (1) \\ Z = aX + bY + C_2 & (2) \end{cases}$$

$X$  はヨー回転に対応するベクシヨン強度であり、 $Y$  はピッチ回転と不明確な回転に対応するベクシヨン強度である。 $C_1$  はイルカの側面、 $C_2$  はイルカの背面が見えている刺激の定数項である。 $Z$  は不快感の強度である。このようなモデルを設定したのは、主観的鉛直が変化するベクシヨンと変化しないベクシヨンをそれぞれ分離し、不快感に与える効果について検討するためである。また、定数項によって式を分けたのは、イルカの姿勢が違う映像刺激を観察することによって観察者の仮想空間上での姿勢が変化し、不快感に影響を与えていると考えたからである。回転方向の不明確なベクシヨンはヨー回転とピッチ回転が合わさったような回転であったと捉え、主観的な鉛直が変化するベクシヨンとして扱った。10 名の参加者から得られた 240 点のデータを使って重回帰分析を行った結果、ヨー回転ベクシヨンに対する係数は  $a = 0.3$  であったのに対し、ピッチ及び不明確な回転ベクシヨンに対する係数は  $b = 0.56$  と主観的鉛直の変化するベクシヨンが不快感に与える効果は約 2 倍であった。定数項はそれぞれ

$C_1 = 0.51$  であり、 $C_2 = 0.60$  であった。決定係数は  $R^2 = 0.31$  であった。また、 $X$  と  $Y$  の相関は  $r = -0.27$  であり、多重共線性はみられなかった。求められたそれぞれの係数にベクション強度を掛け、定数項を足して求めた不快感推定値を図. 11 に示す。

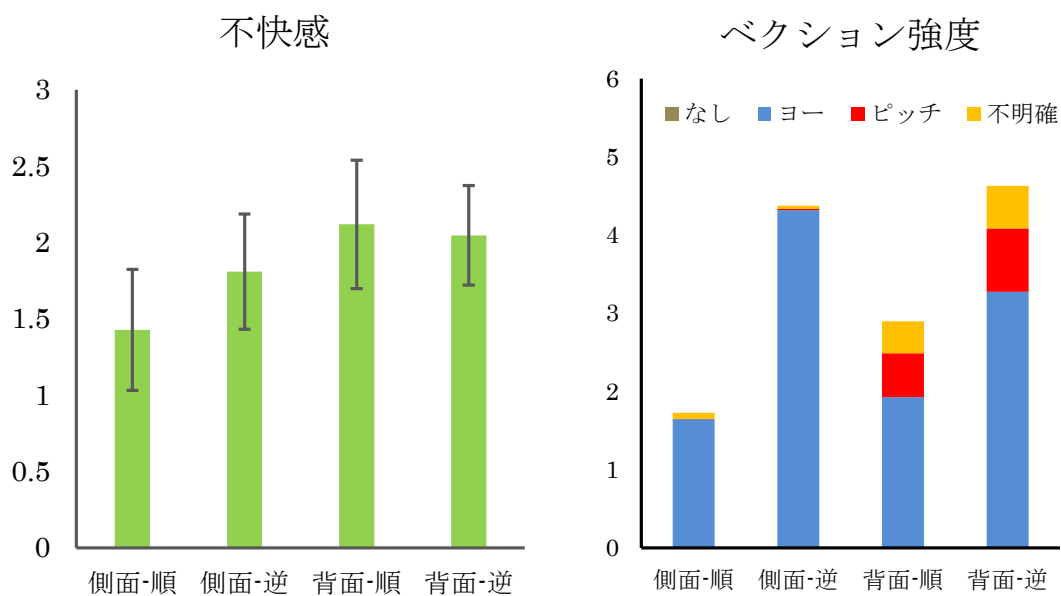


図. 9 不快感及びベクション強度の平均値

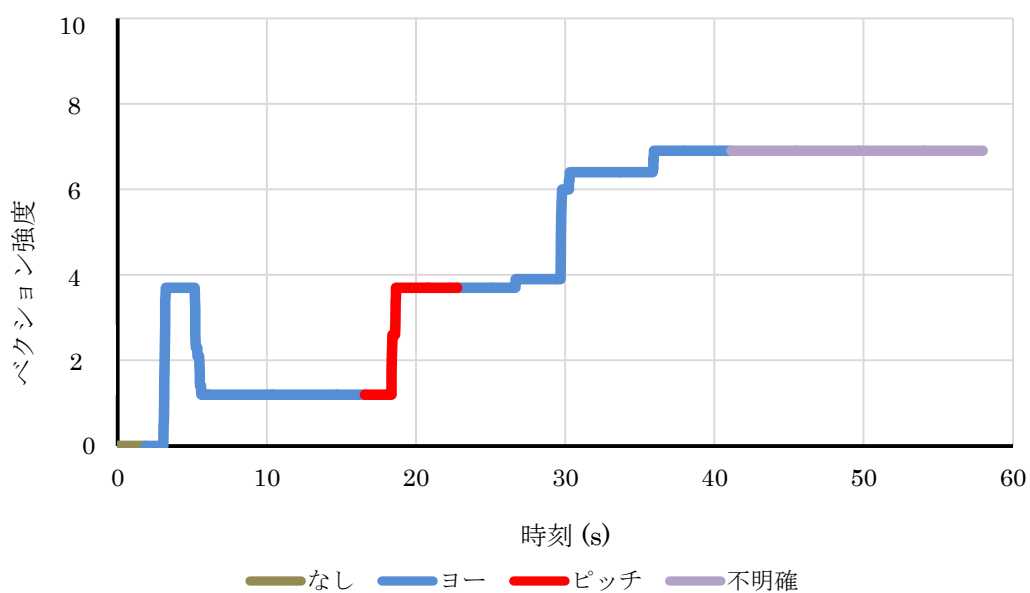


図. 10 ベクションの強度・方向の時間変化

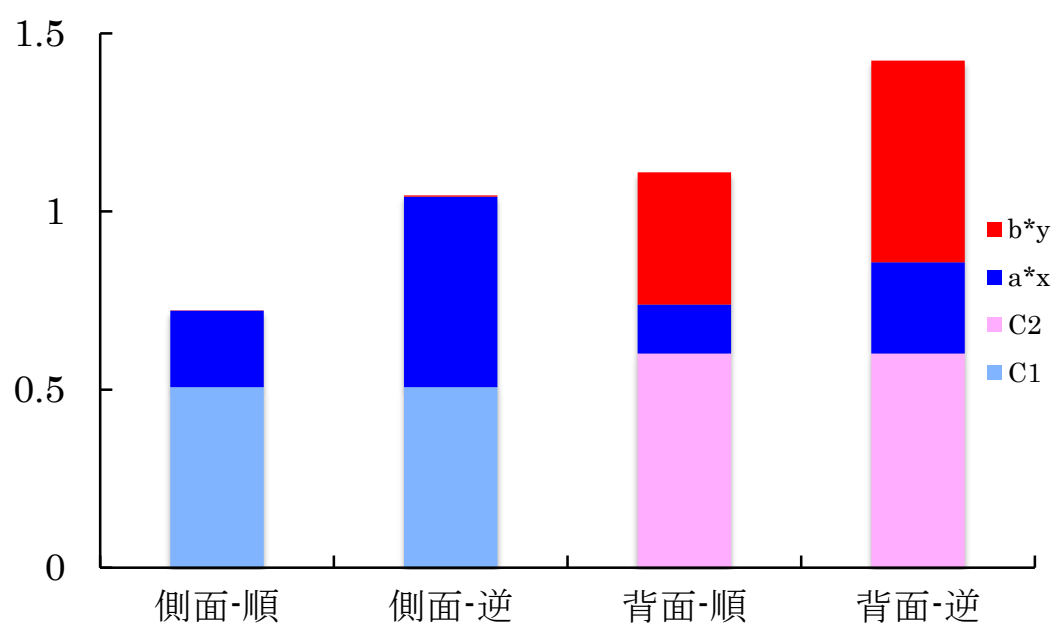


図. 11 重回帰分析による不快感の推定

## 2.3 考察

認識を利用し、視運動刺激をほぼ同質に保つことで同じような眼球運動を誘起し、知覚されたベクシヨンの強度・回転方向を変えることで、ベクシオンと不快感の関係を定量的に評価した。回転ベクシオンの大きさについては、イルカの頭部に対する遊泳方向の違いによってベクシオンの大きさが異なった。これは、生物の運動に関する知識に基づく映像解釈によって異なるベクシオンの大きさを知覚したと考えられる。また、イルカの遊泳姿勢によって観察者の主観的鉛直を変え、知覚される回転ベクシオンの種類を変化させることができた。映像内でのイルカは全て水平方向への移動であり、通常であればヨー回転ベクシオンのみが引き起こされるが、イルカの背面が見えている場合には上から覗き込んでいるような感覚が生じ、仮想空間内の被験者が 90 度横に倒れたような感覚に陥ることでピッチ回転ベクシオンが引き起こされたと考えられる。ピッチ回転ベクシオンは常に生じていた訳ではなく、時間経過によってヨー回転や不明確なベクシオンにも変化した。これは、視覚から得られる情報と前庭感覚との矛盾により、不安定に変化しているものと考えられる。ヨー回転ベクシオンのみを知覚した場合に比べて、ピッチ及び不明確な回転ベクシオンを知覚した場合に約 2 倍程度不快感が大きくなった。これは、ヨー回転ベクシオンを知覚した時には視覚－半規管での感覚矛盾であったのに対し、鉛直方向の変化するピッチ回転ベクシオンを知覚した時には視覚－半規管との感覚矛盾に加え、視覚－耳石器での感覚矛盾が生じ、不快感が増加した可能性を示唆する。数式(1)、(2)の定数項の差は、映像が 90 度傾いたことにより仮想空間上の被験者の姿勢が変化したことが影響したものと考えられる。ベクシオンによって回帰できない分の不快感が定数項部分に現れており、眼球運動による効果などが定数項部分に含まれている可能性がある。

本実験では、視運動刺激としては全て横方向への移動であったが、注視点などによる眼球運動の抑制は行っていないため、全ての刺激において眼球運動による効果が表れている可能性がある。眼球運動による効果を分離して検討するためには、注視点の有無によって眼球運動を操作することで検討していく必要がある。

同じような眼球運動を起こすために同質な視運動刺激を用いた。その結果、知覚される回転ベクシオンの種類が変わり、サイバー酔いの発症程度も変化したことから、本実験の結果はベクシオンがサイバー酔いの発症原因のひとつであることを示すものである。

## 3. 実験Ⅱ

### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 被験者

被験者には 18 歳～23 歳の健康男女 31 名が参加した。そのうち 14 名は 2 回実験に参加し、総実験数は 45 であった。1 人につき 8 試行×5 セッションの計 40 試行を行い、総試行数は 1440 回であった。

#### 3.1.2 実験装置

1 台の PC (CPU : Core i7 4790 3.60GHz、メモリ : 8GB、グラフィックボード : GTX760) を用いて 3D 映像を作成し、Oculus Rift DK2 (解像度 両目 : 1920×1080 片目 : 960×1080、水平視野角 : 約 90 度、垂直視野角 : 約 90 度、リフレッシュレート : 75Hz、60Hz) を用いて実験を行った。無音状態を避けるため、実験Ⅰと同じ音声を使用した。

#### 3.1.3 実験映像

仮想空間内において、被験者を水平軸方向に貫く円筒上に数十頭のイルカを配置し、Oculus Rift DK2 を用いて被験者に 3D 映像を呈示した。実験Ⅰと同様にイルカの遊泳姿勢によって誘起させるベクシヨンの回転方向を変化させようとした。仮想空間上の被験者とイルカの位置関係を図. 3 に示す。

実験刺激として、イルカの進行方向を、頭部を前にして進む順方向と尾部を前に進む逆方向の 2 条件と、観察者に対するイルカが側面を向けた姿勢で泳ぐ場合と背中を向けて泳ぐ場合の 2 条件を組み合わせた 4 種類の刺激と、注視点を中心に固定した場合と注視点を中心から約 8 度の位置でイルカと同じ速度で周回移動させた場合の 2 種類の刺激を組み合わせ、 $2 \times 2 \times 2$  の 8 種類の映像を実験刺激として用いた。イルカの側面が見えている状態において円軌道上を泳がせることで水平軸回転ベクシヨンを誘起させ、イルカの背面が見えている状態において円軌道上を泳がせることで下を向いた状態で鉛直軸回転ベクシヨンを誘起させようとした。

いずれの条件も画面上の刺激の視運動速度は平均 0.8 rad/s で一定であった。被験者によって投影される映像が変わってしまわないように Oculus Rift のヘッドトラッキング機能によるカメラ角度の変更は行わなかった。また、映像は 60fps で表示した。

実際の映像刺激を図. 12～図. 15 に示す。

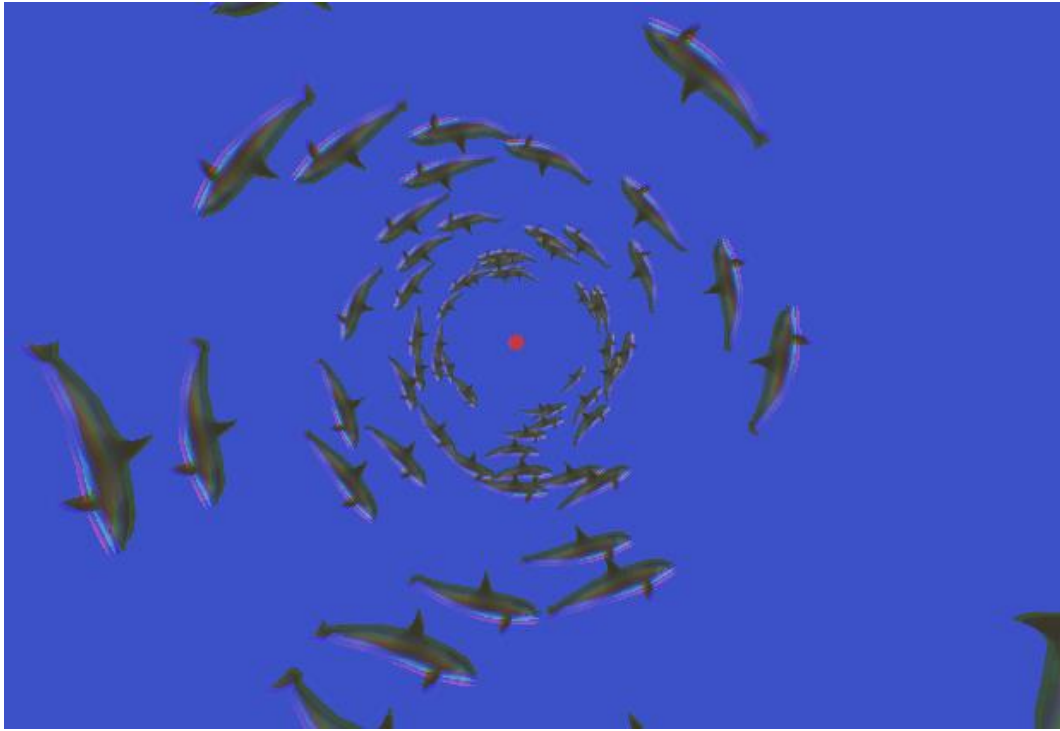


図. 12 注視点固定側面条件



図. 13 注視点移動側面条件

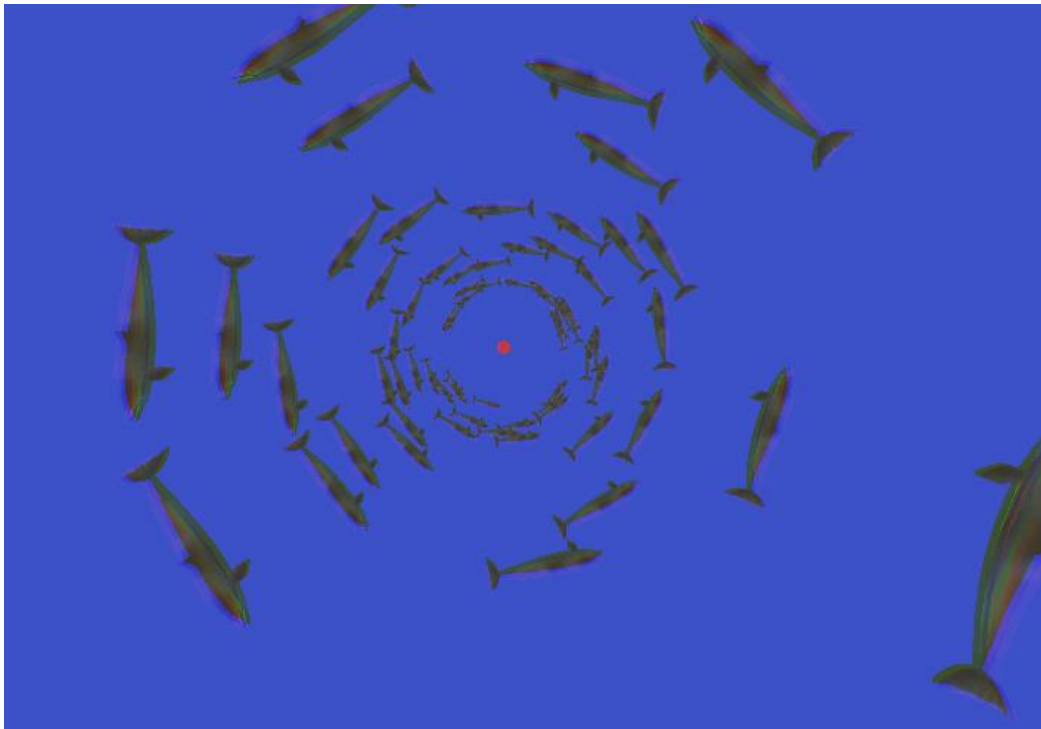


図. 14 注視点固定背面条件

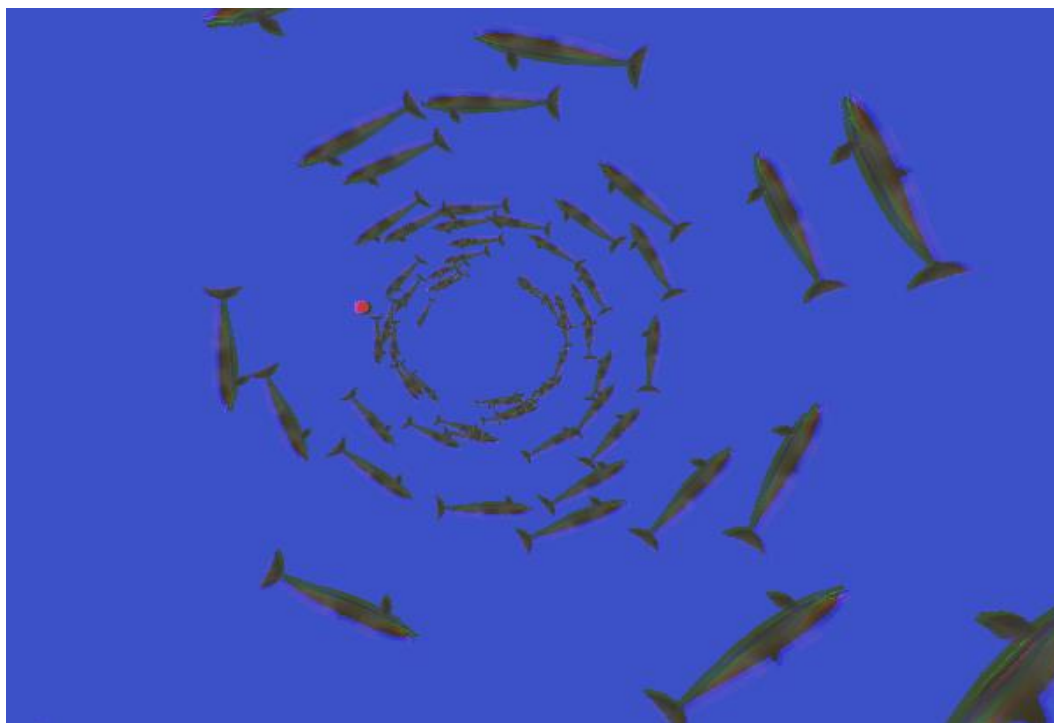


図. 15 注視点移動背面条件

### 3.1.4 測定項目

主観評価として「不快感」、「ベクシヨンの強さ」、「ベクシヨンの回転方向」の3項目を被験者に口頭で答えさせた。「不快感」は映像を見たときに感じる気持ち悪さとし、0（まったく不快でない）～10（我慢できないような強い不快感）の11段階で答えさせた。「ベクシヨンの強さ」は自分自身が回転している感覚の強さとし、0（完全に静止している）～10（完全に回転している）の11段階で答えさせた。「ベクシヨンの回転方向」はベクシオンを知覚しているときの回転方向とし、「鉛直軸回転」、「水平軸回転」の2択で答えさせた。「ベクシヨンの強さ」の評価が0であった場合は回転方向の評価は「なし」とした。

### 3.1.5 実験手順

被験者は自然な体制でイスに座り、ヘッドマウントディスプレイを装着して刺激映像を観察した。それぞれの映像投影は40秒間行った。映像観察中はできるだけ頭を傾けないよう指示し、映像中の赤い点（注視点）を見続けるよう指示した。映像と映像の間に20秒の評価時間を設け、その間に映像を見て感じた「不快感」、「ベクシヨンの強さ」、「ベクシヨンの回転方向」の3項目を口頭で答えさせた。評価時間中、ヘッドマウントディスプレイの画面には「回答してください。」という文字が表示され、被験者はヘッドマウントディスプレイを装着したまま回答した。8回の試行および評価を1ブロックとし、全部で5ブロックの計40試行実験を行った。ブロック間に3分の休憩時間を設けた。初めの1ブロック（8試行）は評価方法に慣れるための練習試行とし、被験者には伝えなかった。また、練習試行はデータ解析には含めなかった。

## 3.2 結果

### 3.2.1 不快感及びベクションの評定

45 回分実験データのうち、強いサイバー酔いの発症によって途中離脱した被験者と不快感の平均値が 0.2 以下であった被験者を除いた 32 回分の 1024 試行をデータ解析に用いた。

全体の不快感・ベクション強度の平均値と標準誤差を図. 16 に示す。不快感は、実験 I より大きい値を取った。刺激ごとでの違いはあまり見られなかったが、注視点が移動する刺激においてベクションが増加し、不快感も増加した。報告されたベクションの種類ごとの不快感・ベクション強度の平均値と標準誤差を図. 17 に示す。鉛直軸回転ベクションが報告された試行について不快感とベクション強度に関して、注視点が固定されている刺激においてベクションの強度が大きくなり、不快感も大きくなっている。水平軸回転ベクションが報告された試行に関して、刺激間での違いはあまり見られなかったが、被験者に対してイルカが側面を向けている刺激において若干不快感が大きくなった。また、鉛直軸回転ベクションと鉛直軸回転ベクションが報告されたときの不快感との相関係数は  $r = 0.79$  であった (図. 18)。さらに、水平軸回転ベクションと水平軸回転ベクションが報告されたときの不快感との相関係数は  $r = 0.85$  であった (図. 19)。どちらの種類のベクションにおいてもベクションと不快感との間に強い正の相関が見られた。

### 3.2.2 重回帰分析による不快感の推定

実験 I と同様に、刺激映像視聴時に知覚したベクション強度・方向による不快感の違いについて定量的に解析するために、重回帰モデル(3)、(4)を設定した。

$$\begin{cases} Z = aX + bY + D_1 \\ Z = aX + bY + D_2 \end{cases} \quad \begin{matrix} (3) \\ (4) \end{matrix}$$

$X$  は鉛直軸回転ベクションの強度であり、 $Y$  は水平軸回転ベクションの強度である。 $D_1$  は注視点が固定されており眼球運動の起こっていない刺激に対応する定数項であり、 $D_2$  は注視点が移動しており追跡眼球運動の起こっている刺激に対する定数項である。 $Z$  は不快感の強度である。このようなモデルを設定したのは、主観的鉛直が変化するベクションと変化しないベクションをそれぞれ分離し、不快感に与える効果について検討し、定数項によって、眼球運動がサイバー酔いの不快感に与える効果について検討するためである。32 回の実験から得られた 1024 点のデータを使って重回帰分析を行った結果、鉛直軸回転ベクションに対する係数は  $a = 0.42$  であったのに対し、水平軸回転ベクションに対する係数は  $b = 0.46$  であった。主観的鉛直の変化する

水平軸回転ベクションの係数が少し大きい値を示したが、実験Ⅰのような大きな違いはみられなかった。

定数項はそれぞれ  $D_1 = 1.2$  であり、 $D_2 = 1.1$  であった。定数項にはあまり違いがみられなかった。決定係数は  $R^2 = 0.34$  であった。

求められたそれぞれの係数にベクション強度を掛け、定数項を足して求めた不快感推定値を図. 20 に示す。

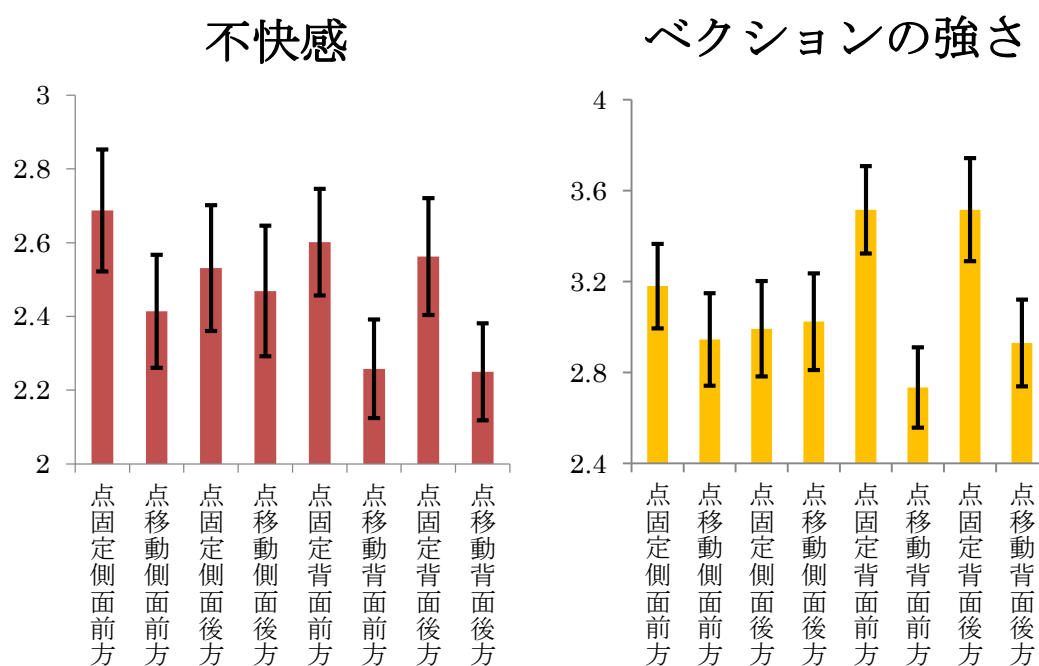
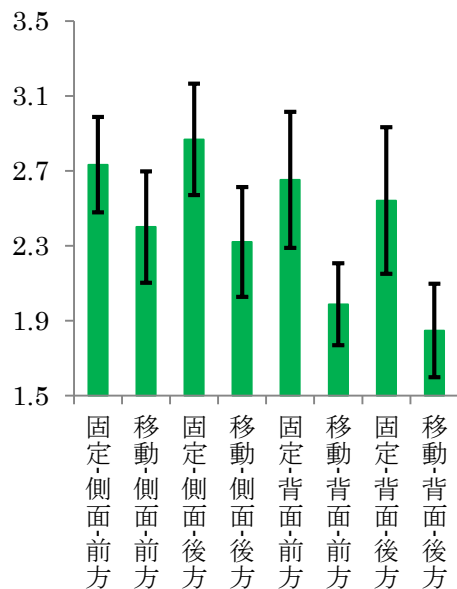
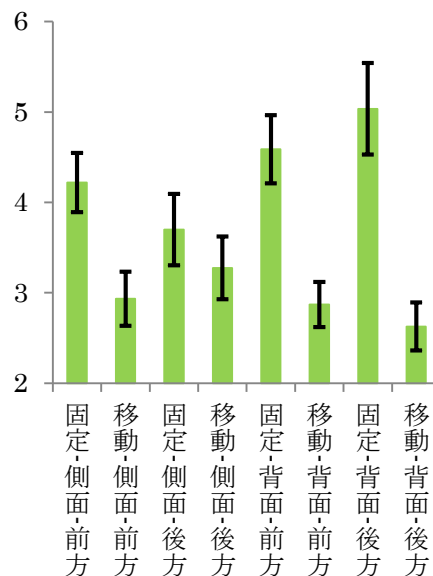


図. 16 不快感及びベクションの平均値

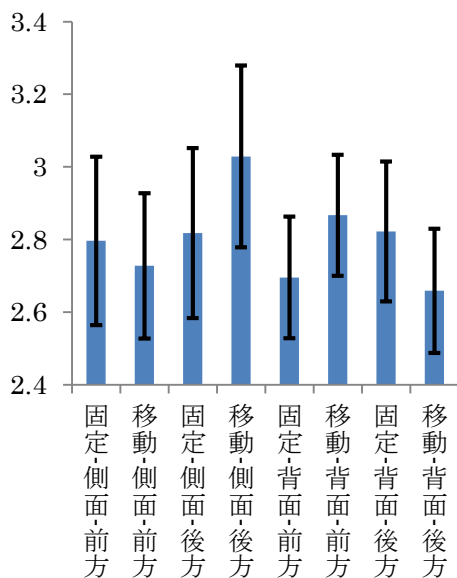
鉛直軸回転不快感



鉛直軸回転ベクション



水平軸回転不快感



水平軸回転ベクション

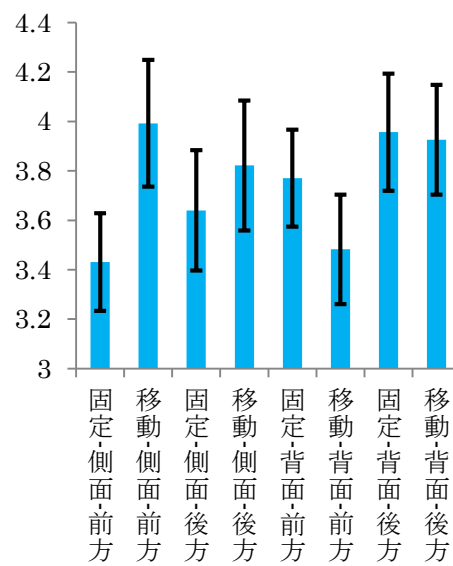


図. 17 回転方向別の不快感及びベクションの平均値

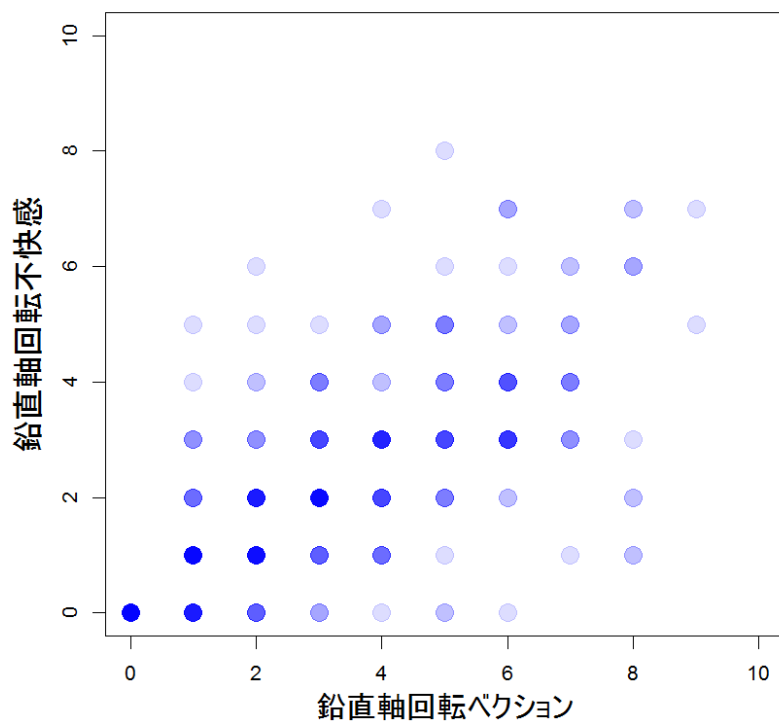


図. 18 鉛直軸回転不快感・鉛直軸回転ベクションの散布図

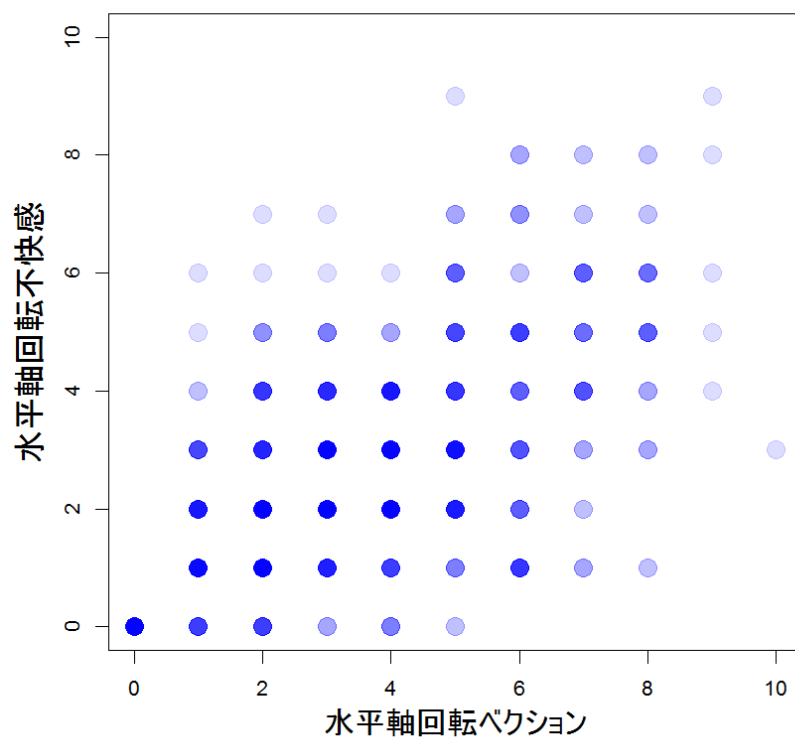


図. 19 水平軸回転不快感・水平軸回転ベクションの散布図

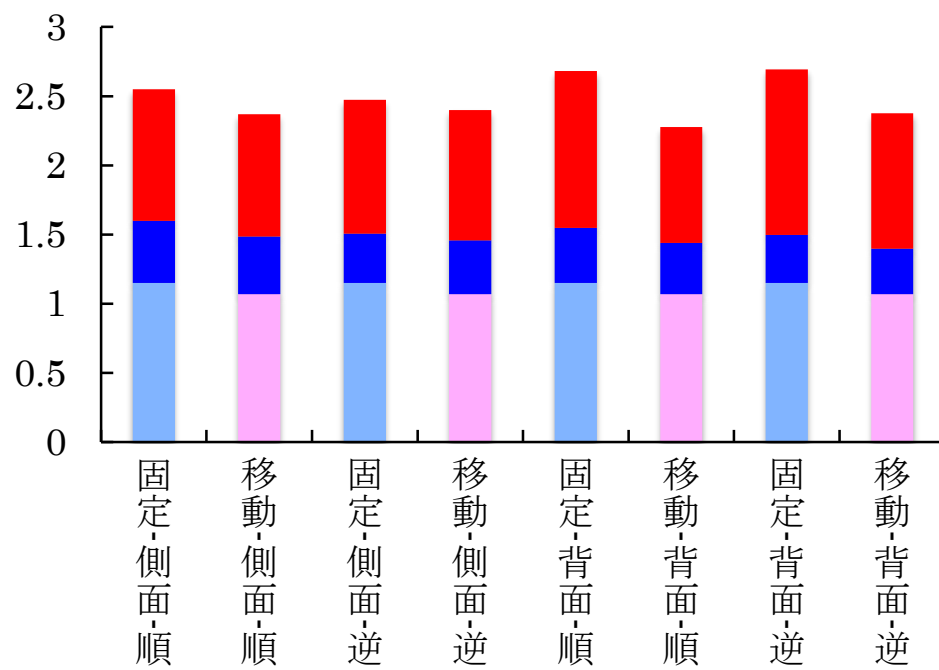


図. 20 重回帰分析による不快感の推定

### 3.3 考察

本実験では、ベクション及び眼球運動がサイバー酔いに与える影響について検証するために、人間の認知によってベクションの性質を変化させると共に、注視点移動の有無によって眼球運動を変化させた。

実験Ⅰでは、報告された不快感の値が小さく、強いサイバー酔いが起こせていなかった。実験Ⅱでは、ヘッドマウントディスプレイを利用することで、より仮想空間に没入させ、強いサイバー酔いを引き起こすことを試みた。実験Ⅰで使用した大型の円筒スクリーンと比べると水平視野が狭くなったが、映像観察中に室内の景色などの仮想空間以外のものが視界に入ってしまう問題を取り除くことができた。また、垂直視野を広くとることができる利点もあった。

注視点が移動している刺激に比べて固定されている刺激のほうが強いベクションが報告された。注視点が移動する刺激ではイルカと注視点が同じ速度で移動していたため、網膜上でのイルカの移動速度が小さくなり報告されたベクションが小さくなったと考えられる。また、注視点を中心に固定していた刺激においては、周辺視野において物体が同心円状に移動することがベクションの強度に影響を与えたと考えられる。

実験Ⅰと同様に、重回帰分析を行い、知覚されたベクションの種類ごとにサイバー酔いに与える影響について検討した。主観的鉛直の変化するベクション（水平軸回転ベクション）の重回帰係数が主観的鉛直の変化しないベクション（鉛直軸回転ベクション）の重回帰係数よりも大きくなると予想していたが、実験Ⅰの結果とは異なり、主観的鉛直の変化するベクションがサイバー酔い与える効果にはあまり違いがみられなかった。原因として、注視点をつけたことにより中心視にあまりイルカが入らなくなり、イルカの姿勢・進行方向に意識が向かなかったことが考えられる。また、Oculus Rift DK2の解像度は片目で960×1080であり、目とディスプレイとの距離が近いことから映像観察時に画面のドットが見えてしまっていた。これにより、遠くに配置したイルカの姿勢・遊泳方向が判別しづらかったことが問題として挙げられる。更に、イルカの姿勢の認識が曖昧であったことから、試行中に知覚されたベクション方向が「鉛直軸回転」か「水平軸回転」のどちらか一方が発生していたわけではなく、その両方が知覚されており、報告されたベクション方向に双方の効果が影響してしまったことも考えられる。しかし、ベクションとサイバー酔いの不快感には強い正の相関がみられ、眼球運動を抑制した刺激と眼球運動を誘起させた刺激での差はほとんどみられなかったことから、サイバー酔いの発症要因としては眼球運動よりもベクションのほうが影響を与えていると考える。ベクション及び眼球運動以外の要因がサイバー酔いに与える影響が定数項部分に現れている。今回の実験では被験者はほぼ全員がヘッドマウントディスプレイを装着した経験がなかったこともあり、映像観察時に発生した眼精疲労による影響も含まれていると考えられる。

今回の実験では、注視点を中心に配置することによって眼球運動を抑制したが、眼球の回旋が起きていた可能性は排除できない。眼球の回旋はほとんど起こらないものとされてきたが、近年の眼球運動測定器の性能向上により、眼球は少しの回転も可能であるといわれている。また、眼球の回旋運動とサイバー酔いに相関がある[4]ともいわれており、今後は高性能な眼球運動測定器を利用することでベクション・眼球運動がサイバー酔いに与えている影響について、より正確な解析をしていく必要がある。また、ベクション強度・方向と不快感をリアルタイムに計測することができれば、より詳しくベクションとサイバー酔いの関係について検証することができるであろう。しかし、ベクションのリアルタイム報告は可能であっても、同時に不快感をリアルタイムに報告させることは難しく、より信頼性の高いベクション・不快感の測定法を考えていかなければならないであろう。

## 4. まとめ

サイバー酔い原因とされているベクションがサイバー酔いの不快感に対してどの程度影響を与えているのかを検証するための実験Ⅰと実験Ⅱを行った。実験Ⅰは、視運動刺激をほぼ同質に保つことで同じような眼球運動を誘起させ、認識によってベクションの方向・強度を変化させることでベクションがサイバー酔いに与える影響について検証した。また、実験Ⅱでは実験Ⅰではヘッドマウントディスプレイを使用することで映像への没入感を高め、より強いベクション・サイバー酔いを発生させることでベクション及び眼球運動がサイバー酔いに与える影響について検証した。注視点を付けたことによりイルカに注意が向かなくなり、知覚されたベクションの回転方向が曖昧になってしまったが、ベクションとサイバー酔いの強度には強い正の相関がみられた。また、注視点移動の有無によって眼球運動を変化させ、重回帰分析によって不快感との対応を検討したが、眼球運動のサイバー酔いに対する影響についてはほとんど違いがみられなかった。このことから、眼球運動はサイバー酔いに対してほとんど影響を与えておらず、ベクションがサイバー酔いに対応して変化していると考えられ、サイバー酔いの主要因はベクションであると考えられる。

今後は、実際に眼球運動を測定し、ベクション及び眼球運動がサイバー酔いに与えている影響について検討する必要がある。

## 5. 謝辞

本研究を行うに当たって、有益なご指導、助言をいただいた井須尚紀教授、河合敦夫准教授、井上康之研究員に心より感謝致します。そして多くの議論を交わし、協力して同じ研究を進めていった宮野悠馬氏に深く感謝致します。また、不快感を伴う実験にもかかわらず協力していただいた被験者の方々、苦楽を共にした同輩・後輩に感謝致します。

## 参考文献

- [1] J. T. Reason and J. J. Brand, "Motion Sickness", Academic Press, London, 1975.
- [2] 後藤 拓也, 三重大学大学院工学研究科, “水平及び垂直回転ベクションが VR 酔いに与える影響”, 2013
- [2] Webb NA and Griffin MJ, "Eye movement, vection, and motion sickness with foveal and peripheral vision, " Aviat Space Environ Med, Vol.74(6), pp.622-625, 2003.
- [4] 氏家 弘裕, 阿部 聖二, 鵜飼 一彦, 木竜 徹, 斎田 真也, “視覚運動刺激による映像酔いと回旋眼球運動”, 第 18 回生体生理工学シンポジウム論文集, 211-214, 2003