

修士論文

身体姿勢と映像空間の重力方向の組み合わせが
サイバー酔いに及ぼす影響

令和元年度

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

SONG YUE

目次

目次	2
第1章 序論.....	3
1.1 初めに.....	3
1.2 研究背景.....	4
1.2.1 サイバー酔いと感覚矛盾説	4
1.2.2 重力に対する姿勢変化の感覚（SACRG）	6
1.2.3 先行研究	8
1.3 研究目的.....	9
第2章 実験.....	10
2.1 被験者.....	10
2.2 実験環境.....	11
2.3 実験内容.....	13
2.4 実験刺激.....	15
2.5 測定項目.....	18
2.5.1 ベクシヨンの時間指標	18
2.5.2 主観評価項目	19
2.6 実験手順.....	20
第3章 結果.....	21
3.1 不快感.....	22
3.2 ベクシヨン.....	24
3.3 重力に対する姿勢変化の感覚.....	25
3.4 潜時.....	27
3.5 持続時間.....	28
3.6 潜時と持続時間とベクシヨンの強さの相関.....	29
3.7 ベクシヨン・重力に対する姿勢変化の感覚と不快感の強さの相関.....	31
3.8 潜時・持続時間と不快感の強さの相関.....	33
第4章 考察.....	35
第5章 まとめ.....	37
参考文献	38
謝辞	40

第1章 序論

1.1 初めに

現在、情報科学技術の急速な発展に伴い、3D(three-dimensional)技術も著しく発展し、仮想環境でも、現実的な生活中でも、大きな飛行機、船、自動車、ビルなど所から、小さな工業製品まで、至る所コンピュータで作られたデジタル化の3Dモデル、アニメーション、シミュレーションなど見られる。これは2D平面時代から3D立体時代にかけての深刻な革命である。すべては3Dデジタル化される。現在の3D映画、テレビ、印刷、教育、医療などビジネス分野で広く応用されるようになった。また、ゲームなどでコンピュータの作り出す仮想の空間を現実であるかのように知覚させる立体的な空間を再現する技術—バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) にも3Dの技術が使われている。人々の仕事と生活の一部になっている。3Dの技術を使う機会が増えながら3Dコンテンツに関する臨場感も高くなって、没入感は強くなる。

しかし、3Dコンテンツにおいては高い臨場感が得られる一方、サイバー酔いを発症してしまうことも増えている。今後、技術の更なる発展により、3Dコンテンツがリアルに近づくことで、あたかも実際に自分が動いていると、脳が錯覚してしまっているのである。視覚で捉え認識する映像と、三半規管との間に生じる矛盾が強くなっている。3Dコンテンツがサイバー酔いの問題は顕在化するであろう。そのため、3Dコンテンツにおいては高い臨場感を得る同時にサイバー酔いしないために、サイバー酔いが発生するメカニズムを解明することが重要になってくる。

1.2 研究背景

1.2.1 サイバー酔いと感覚矛盾説

サイバー酔いは 3D 空間を移動するような映像を見ている際に生じ、吐き気や眠気などの症状が出る状態、乗り物酔いや映像酔いなどの「動揺病」の一種とされる。動揺病は乗物に乗った時だけでなく、身体の動揺がなくても起こり得る。映像やビデオ、テレビゲームなどで、シーンの中を自由に動き回るような動きを伴うような映像、特に大きな 3D スクリーンで見える場合に起きやすいと考えられている。こちらの映像を見る時の身体は静止していることから、乗り物酔いとは厳密には異なって、乗り物酔いは身体が実際に揺れる状況に発症する。また、サイバー酔いのように視覚的な運動刺激に起因する動揺病を視覚性動揺病 (Visually-induced motion sickness) という。

人間は、自分の身体の動きについての情報をさまざまな感覚器官から取り入れて、身体のバランスを維持したり、自由に運動したりしている。日常生活においては平衡感覚として、通常、視覚や体性感覚などの入力を伴い、それらすべてを統合した複合的な感覚として、空間識（空間における自己の位置・方向・姿勢などの正しい認識）が形成されている。つまり、ある身体の動きを認識する際には、それぞれの感覚器官がどのような情報を伝えてくるかを脳が把握していると考えられる。

大きなスクリーンに映し出された、自身が回転しているような動きを伴う映像を見たとき、視覚情報（目から入ってくる情報）は身体が回転するような動きを伝えていと解釈される。もし、体が静止した状態でその映像を見たならば、視覚以外の感覚情報からは身体が静止しているという入力 that 得られるため、感覚情報の間に不整合（ズレ）が生じ、自己身体の運動情報が統合できなくなる。このような不整合はサイバー酔いの原因となる事が知られており、感覚矛盾説 (Sensory Conflict Theory) [1] と呼ばれている。感覚矛盾説は諸説あるサイバー酔いの原因に関する仮説の中で最も広く知られているものである。井須ら (2007) では、感覚矛盾説では、前庭感覚と視覚などの感覚系間、あるいは半規管と耳石器間の感覚系内での情報矛盾や、脳に記憶された情報と感覚入力との情報矛盾が動揺病を発症させると紹介されている[2]。

ただし、感覚矛盾説ですべてが説明できるわけではなく、「酔い」のメカニズムは完全に解明されているわけではない。例としては、感覚矛盾説の原因に関

して、その中の有名な説、ベクシオンである。ベクシオン、いわゆる視覚誘導自己運動感覚という。実際に自分は動いていないのに、まるで動いているような錯覚を引き起こすことである。有名な例として、停まっている電車に座っている人が別の電車が隣のレールで動き始めるのを見ると、自分自身が反対方向に動くような錯覚を感じるというものがある。

また、眼球運動に着目した研究では、Griffin ら（2002）が、HMD 使用し回転する縞模様を観察させたときの、ベクシオンの映像酔いへの影響について報告していた。結果としては、映像酔いはベクシオンとは独立であり、映像中心部の刺激が引き起こす眼球運動と関係があると報告していた。さらに、注視点の付加によって眼球運動が抑制され、映像酔いが軽減されたと報告していた[3]。

そして、主観的重力の変化させる刺激は、方向を変化させない刺激よりも強い動揺病を発生させることが多く研究で報告されている[4, 5]。

1.2.2 重力に対する姿勢変化の感覚 (SACRG)

谷山ら (2018) は、映像を観察する間に、感じる重力方向は主観的な重力方向と定義された[6]。しかし、それは本来意図したい内容とは微妙に異なる言葉である可能性があった。同様に、主観的な鉛直方向 (Subjective Vertical: SV) が用いられている場合もあるが、それらはおそらく、谷山ら (2018) の研究において定義された内容とは少し異なる、単一の感覚を指す言葉と考えられた。この感覚について、我々は、「重力に対して自分の姿勢が変化する感覚」であろうと結論づけた。

3D 空間を回転しているような映像を見ている時には、自分が回転しているかのようなベクションと共に、重力方向に対する姿勢変化の感覚 (a Sensation of Attitude Change Relative to the Gravity: SACRG) が生じる。谷山ら (2018) で調べられているのがこの感覚であったならば、一連の研究において微妙に異なる言い回しを用いて調査されていた内容が全て矛盾しない。ここで、重力に対する姿勢変化とは、自分の身体に対する上下の向きが変化することである。より厳密には、図 1.2.2 に表される人形において、前後軸（身体の向き）と水平面のなす角が変化することを指す。身近な例としては、鉄棒の前回りをしたときなどに、力のかかり方が変わって上下ひっくり返るときのような感覚である。

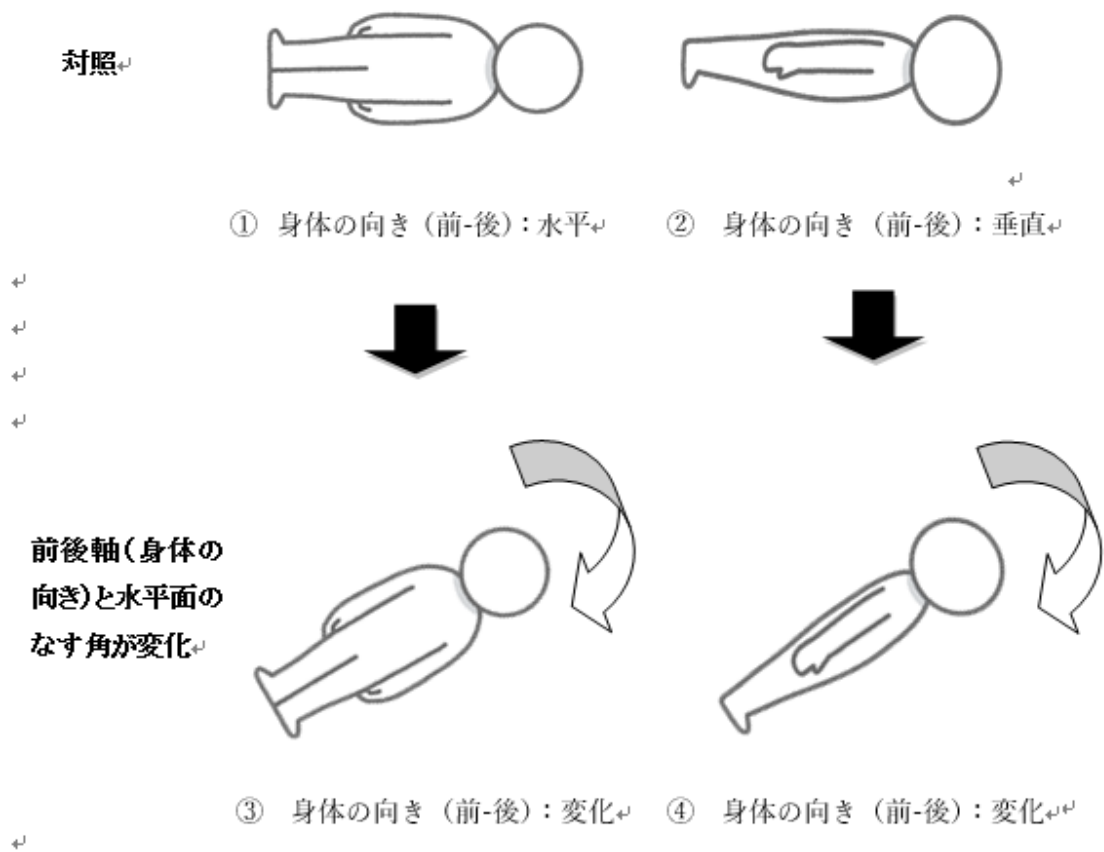


図 1.2.2： 重力に対する姿勢変化として使用する図である。上の方にある①と②は対照として人間の身体姿勢である。①は、人間に対して、前後軸（身体の向き）は水平で、水平面に垂直でなくて、水平面となす角は 0° である。②は、人形に対して、前後軸（身体の向き）は水平面に垂直で、水平面となす角は 90° である。

上の方にある③と④は前後軸（身体の向き）と水平面のなす角が変化する図である。もし被験者は刺激映像を視聴している間に、水平面となす角が変化して、重力に対する姿勢変化感覚は生じたということである。

1.2.3 先行研究

従来研究より、ベクシオンはサイバー酔いを引き起こす大きな要因の一つとされている。しかし、ベクシオンだけでは、サイバー酔いを十分に説明できないという主張もある。ベクシオンには様々な種類があるにも関わらず、種類によって性質が違ってくことは検討されていないと考えられる。谷山ら (2018) の先行研究[6]では、知覚されるベクシオンの種類及び主観的な重力方向を変化させて、サイバー酔いに及ぼす影響に関して定量的に求めた。

刺激条件に関して、主観的な重力方向がはっきりと認識することができる仮想環境を使って、仮想環境における自分感じるベクシオンや主観的な重力方向 (SV) を変化させて、実験刺激映像としては、仮想自己の身体に対しての x 軸方向への並進運動かつ roll 回転、y 軸方向への並進運動かつ pitch 回転、z 軸方向への並進運動かつ yaw 回転の 3 種類の刺激と、仮想空間に対しての水平軸と鉛直軸の 2 種類を組み合わせた計 6 種類の映像刺激を用いた。また、各刺激映像のベクシオン (並進・回転) に対する強度を変化させるため、並進運動 2 種類の周期 (周期①: 8 s, 振幅: 10m)、(周期②: 16s, 振幅 10m) と回転運動 2 種類の周期 (周期①: 8 s, 振幅: 90°) (周期②: 16s, 振幅: 90°) を用意し、それらを組み合わせた 4 種類、さらに並進運動のみ (周期 8s) と回転運動のみ (周期 8s) を加えた合計 6 種類を用いて実験を行った。

ただし、視覚刺激条件に関しては、直線ベクシオン、回転ベクシオン、それと二つの組み合わせた刺激、さらにそれぞれの刺激で違う周期も用いた、確かに大きな感覚矛盾が生じたが、複雑である。単純に主観的な重力方向はサイバー酔いに影響を与えることは説明することは困難である。

1.3 研究目的

本研究では、サイバー酔における重力に対して姿勢が変化する感覚（SACRG）の影響について研究した。特に、サイバー酔いにおいて重要な重力の方向は、実際の重力の方向、視覚的な重力の方向、身体の軸における下方向、のいずれであるかを確かめた。これは、谷山ら(2018)を含む、SACRGに関連する内容を扱った先行研究のいずれにおいても明らかにされていなかった。また、SACRGとして主観評価の値を得た研究は無いため、改めてベクションやサイバー酔いに及ぼす効果を調べた。その際、身体姿勢を変数とすることで、実際の重力の方向、視覚的な重力の方向、身体の軸における下方向のそれぞれが異なる組み合わせとなるよう、重力に対する姿勢変化の感覚を変化させた。

第2章 実験

2.1 被験者

本研究は三重大学工学部研究科倫理委員会の承認書の下に実施した。被験者には、実験前に実験目的、実験方法、実験により予期される影響、プライバシーの保護などについて十分な説明を行い、実験参加に関する同意書を得た上で実験を行った。それぞれの被験者は1回の実験しかできなくて、謝金を支払った。被験者は24名（男性18名、女性6名、均年齢22歳）であった。被験者は正常な視力もしくは矯正視力を持ち、偏光眼鏡を用いた両眼立体視が可能であった。なお、24名のうち1名は実験途中で気分が悪くなった被験者については直ちに実験を中断した。そこで、実験を中断した1名の被験者の実験データを取り除く、計23名の被験者の実験データを得た。

2.2 実験環境

実験システムは、単一のスクリーン上で、同時に 2 か所で実行できるように設計された。1 台のサーバ PC と 4 台のクライアント PC を用いて、4 台のプロジェクタより、縦 2.6m、横 10m の曲面スクリーンの左右 2 か所に、正方形の 3D 映像を投影した。被験者は、実験者の指示によって、座位もしくは側臥位の姿勢を取った。異なる姿勢間で被験者の観察位置を一致させるために、ヘッドレストを高さ 130 cm に固定した椅子、及び机（高さ 130 cm、幅 180 cm、奥行き 60cm）を用いた。両者は視距離が 3.15m となるように設置された。被験者は、投影された 3D 映像以外が見えないよう、視野制限眼鏡をかけた状態で映像を視聴した。実験は暗室内で行われた（図 2.2）。

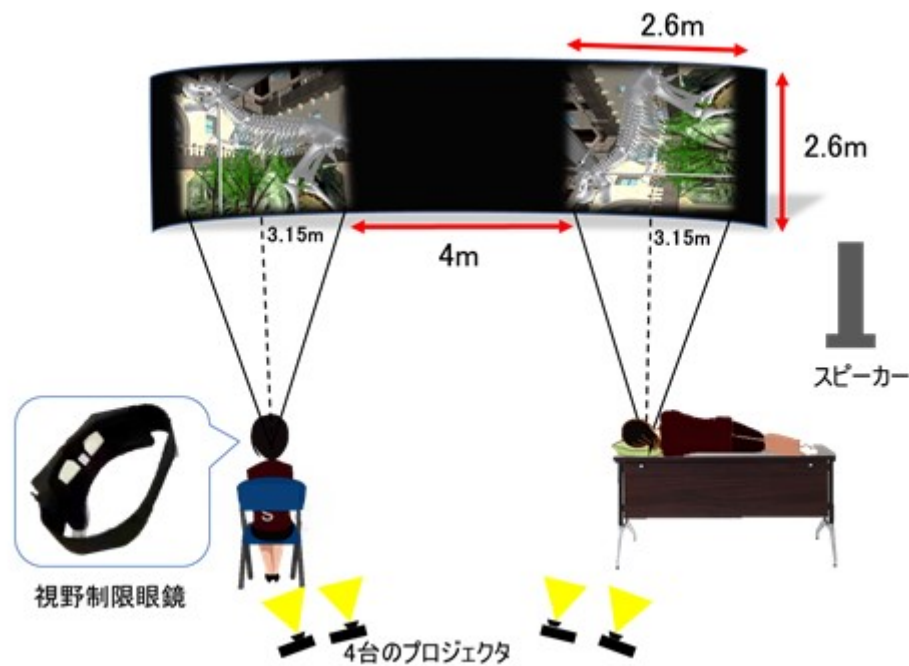


図 2.2： 実験環境の概略図。被験者は座位もしくは側臥位の姿勢で、縦 2.6m、横 10m の曲面スクリーンの左右 2 か所に、正方形（縦横 22.4° ）の 3D 映像を観察した。図の下部にある黒いカメラのようなは 4 台のプロジェクタである。また、被験者の映像刺激に対する没入感を高めるため、両辺にあるスピーカからオルゴール音を鳴らした。



図 2.2-1： 実験で使用した装置の図。被験者は側臥位の場合、左の図のようなテーブルと台の組み合わせた装置を使った。座位の場合は、右の図のようなクッションを付ける椅子を使った。



図 2.2-2： 左の方は実験で使用した黒いマジックテープを付ける視野制限眼鏡である。右の方はベクション強度を計測するため、黒いマジックテープを付ける応答ボタンである。

2.3 実験内容

本研究で、仮想環境としては、博物館を模した仮想環境内で回転しているような映像刺激を用いて、回転ベクションを誘起した。種類としては、重力変化を伴ってない回転映像、と重力変化を伴う回転映像 2 種類あっている。この 2 種類の回転映像を観察すると、被験者を中心として、Yaw 回転と Pitch 回転運動の感覚を生じる(図 2.3-1)。回転運動に関しては、Roll、Yaw、Pitch3 種類あるけど、Roll 回転だと、映像の回転形式は、ほかの Yaw と Pitch と少し映像が異なっているので、今回関連のために、Yaw と Pitch にした。

その上で、実際の重力方向との関係も考慮し、身体姿勢と仮想環境の垂直軸も変化させた。実際の重力方向に関しては、本当はそれを変えたい、しかし、これは変更ができないから、重力に対して身体姿勢を変化させた。重力に対して正立した状態と重力に対して直交した状態、つまり、本研究では座位と側臥位 2 種類を用いた(図 2.3-2)。

また、仮想環境に関しては、仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にある条件と被験者の横断面にある条件の 2 種類があっている(図 2.3-3)。

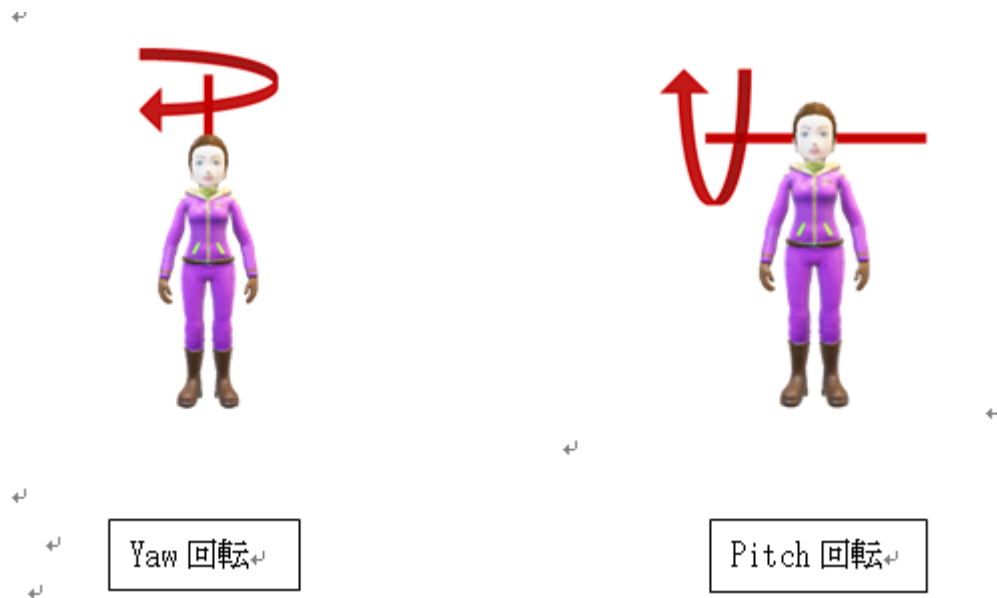


図 2.3-1： 被験者を中心として、感じた回転の感覚の図。左のような Yaw 回転と右のような Pitch 回転運動の感覚 2 種類を生じている。



図 2.3-2： 被験者の身体姿勢の図。座位と側臥位の 2 種類身体姿勢を使っていた。

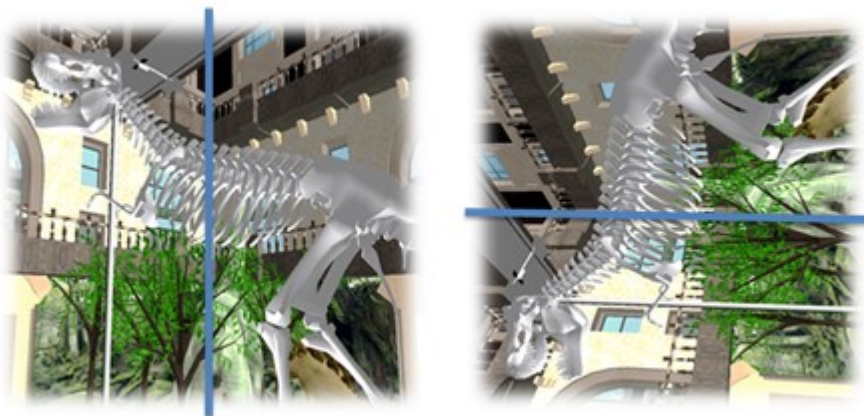


図 2.3-3： 仮想環境の図。仮想環境の向きは、実空間に対して正立したものと 90° 横転したものの 2 種類を用いた。

2.4 実験刺激

以上の通り、本研究では3つの要因（回転運動、身体姿勢、仮想環境の面状）を組み合わせ、6種類の条件が調査された（表1）（図2.4-1）。しかし、実際にはこの三つの要因を組み合わせ、全体に見ると、8種類がありますが、この実験では、その中から、最低限色んな軸の中で、必要な軸を組み合わせ、6種類を抜き出して検討を行った。原因としては、もし後の二つを追加したら、実験の時間は長くなりすぎて、脱落する被験者は増えてしまって、それは問題である。被験者酔うと、気持ち悪くなって、脱落しまう。それで、安全の範囲でやりたいくて、90分以内で実験を終了させなければならない。それで、おさまるように最低限6個を取り出してあった。

最初の二つは対照条件として、身体姿勢は座位で、仮想環境の垂直軸、被験者にとって、同じ矢状面にあって、YawとPitch回転運動を感じた。（仮想環境の垂直軸と実際の重力方向の軸は同じように被験者の矢状面にあった）。

次の隣の二つは対照条件と比べると、仮想環境および被験者の身体姿勢を等しく90度横転した刺激となる。どちらも等しく傾けているので、対照条件の刺激と網膜像が等しくなる。つまり、仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあって、YawとPitch回転運動を感じた。（仮想環境の垂直軸は実際の重力方向の軸と直交して、被験者の矢状面にあった）。

最後の二つは対照条件と比べると、被験者の身体姿勢のみを90度横転した刺激となる。仮想環境は傾斜させていないため、対照条件の刺激とスクリーン投影像がひとしくなる。つまり、仮想環境の垂直軸が被験者の横断面にあって、YawとPitch回転運動を感じた。（仮想環境の垂直軸と実際の重力方向の軸は同じように被験者の横断面にあった）。



図 2.4-1： 実験で使った向きが違う映像空間と観察姿勢が違った被験者の組み合わせの概略図である。被験者は座位もしくは側臥位の姿勢で、曲面スクリーンの左右 2 か所に、正方形の 3D 映像を観察した。

表 1 刺激 6 種類

番号	身体姿勢	仮想環境	回転運動
①	座位	矢状面	Yaw
②			Pitch
③	側臥位	矢状面	Yaw
④			Pitch
⑤		横断面	Pitch
⑥			Yaw

また、回転の種類ごとに回転方向（前後もしくは左右）を 2 種類設け、左右側臥位を入れ替えるために繰り返しを 2 回設けたため、総試行数は 24 試行であった（表 2）。

表 2 方向

方向	
順方向	側臥位（右）
	Pitch（前）
	Yaw（右）
逆方向	側臥位（左）
	Pitch（後）
	Yaw（左）

2.5 測定項目

2.5.1 ベクシヨンの時間指標

本実験ではベクシヨン強度を計測するためには、数値による主観強度を評定した以外、ベクシヨンの時間特性に関する時間の指標も測定した。その中で代表的なものは、潜時や持続時間である。ベクシヨンの潜時は、視覚情報と前庭感覚などほかの感覚情報との間の自己運動に関する矛盾を解消するために必要な時間である[16]。持続時間とは、ベクシヨンを知覚している間の時間である。一般的にベクシヨンが強く知覚された場合、潜時は短く、持続時間は長く、主観強度の数値は大きくなることが知られている。

測定には応答ボタンを用いた。刺激映像を観察中、自分の身体が運動したと感じられた場合に手元のボタンを押して報告することであった。自己運動の感覚が継続する間ボタンを押し続け、その感覚がなくなったらすぐにボタンを放す、自己運動感覚が再度生起した場合には再度ボタンを押す。被験者のボタン押し反応によって、その試行中に生起したベクシヨンの潜時と総持続時間を計算した。

2.5.2 主観評価項目

本実験における使用している測定方法は心理学的測定である[17]。被験者には実験を開始前に、動揺病に対する感受性を調査するため、先に動揺病感受性調査票（MSSQ）を回答した。また、実験で誘起された動揺病強度を測定するため、実験開始の前および終了後に、シミュレータ酔い調査票（SSQ）に回答した。

そして、被験者は各刺激を視聴された直後に以下の3項目について、0～10の11段階で等間隔に評価し、評価シートに記入した。

“不快感”については、乗り物酔いで感じる気持ち悪い感覚。“全く不快感を感じない”を0、“我慢できないような強い不快感を感じる”を10で評価する。

“回転ベクション”については、自分が回転しているように感覚。“全く自分が動いているように感じない”を0、“博物館は全く動いておらず完全に自分が動いているように感じる”を10で評価する。

“重力に対する姿勢変化の感覚”については、重力に対する身体の傾きの変化している感覚。“全く感じない”を0、“非常に強く感じる”を10で評価する。

2.6 実験手順

被験者には、実験開始前に実験についての教示の説明を行い、教示を受けた後に同意書による被験者の同意を確認した。その後に動揺病感受性調査票（MSSQ）とシミュレーション酔い調査票（SSQ）に回答した。

その後、実験用の椅子へ移動し、姿勢及び椅子の高さを調整した。椅子の高さは、被験者がヘッドレストに無理なく頭を固定した際に視線が 130 cm になるよう、調整された。また、クッション等で被験者の足が床につかないように調整された。次に、視野制限のついた偏光方式の 3D 眼鏡を着用した。3D 眼鏡は、伸縮性のマジックテープで頭部に固定された。また、3D 眼鏡及び視点は、遮蔽されていない視野に刺激映像の全体が収まるよう、スクリーン上の目印を用いて調整された。さらに、被験者の非利き手には、ベクション報告用のボタンスイッチがマジックテープで固定された。その後、消灯し、座位での練習試行を 4 試行経て、本実験が開始された。

本実験は身体姿勢毎に 3 ブロックに分けられた。ブロックの間は 180 秒以上の休憩を設け、その間に次の試行の準備が行われた。被験者の観察態勢が整ったことを実験者が確認した後に、全ての照明が消され、試行が開始された。刺激は、試行開始後 80 秒間提示された。被験者は、刺激観察中にベクションを感じている間、非利き手に固定されたボタンを押し、そうでない間はボタンを離すよう、教示されていた。刺激提示終了後、被験者は刺激観察中に感じた「不快感」・「ベクション」・「重力に対する姿勢変化の感覚」が変化する感覚の 3 項目について、15 秒程度で 0～10 の 11 段階で評価し、評価シートに記入した。3 ブロックの終了後、被験者は再度 SSQ に回答した。

第3章 結果

24 名のうち 1 名は実験途中で気分が悪くなった被験者については直ちに実験を中断した、そのデータを除き、23 名分のデータの解析を行った。各刺激映像の間に不快感強度・回転ベクション強度・重力に対する姿勢変化の感覚強度に違いがあるかを検討するため、それぞれ 23 名分の評定値を基に、ライアン法の修正した後の Ryan Einot Gabriel and Welsch 法による多重比較検定を行った。

3.1 不快感

各刺激映像によって誘導された不快感強度の平均値を(図 3.1)に示す。なお、縦棒は標準誤差を表している。そして、不快感強度評価値に対して、1 要因の 6 水準の分散分析を行った。結果としては、主効果が認められた [$F(5, 546) = 14.6310, P < .0001$]。

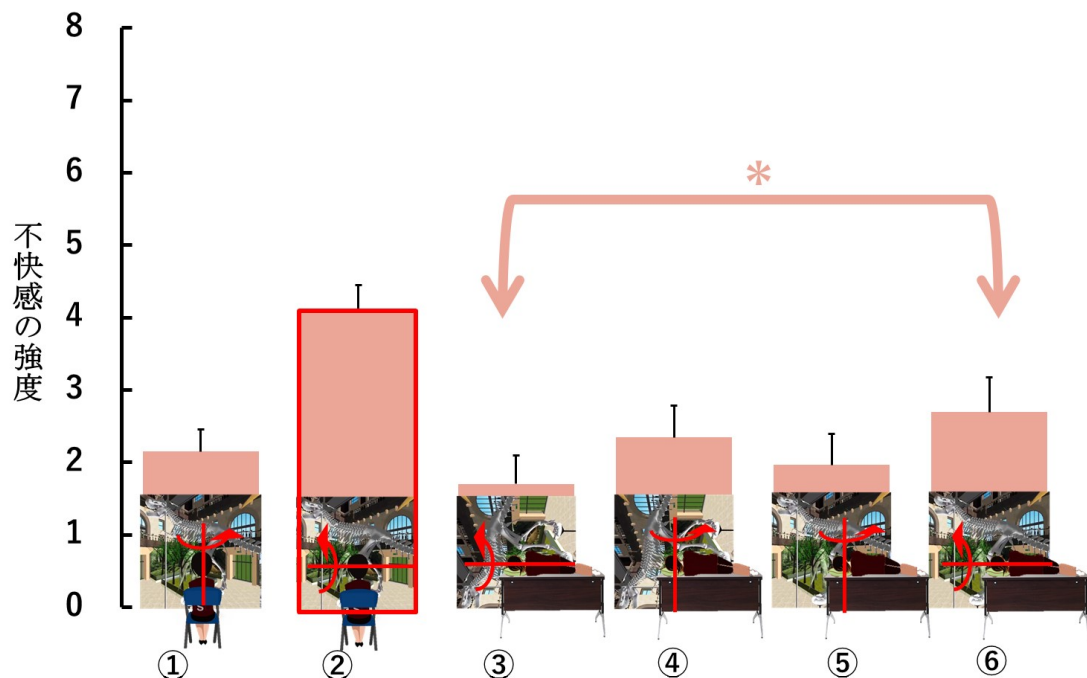


図 3.1: 不快感強度の平均値と標準誤差。横軸は 6 種類の刺激映像である、縦軸は不快感の強度評定値である。

これらの結果から、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあって、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、不快感の強度が一番高いことがわかった。そして、図の上に表示した有意差により、仮想環境の垂直軸が実際の重力の方向は同じだと、不快感の強度は有意に強くなることが分かった。

上述のように、身体姿勢、仮想環境の垂直軸と実際の重力方向は全部同じだと、不快感の強度も一番高いと分かった。

3.2 ベクシオン

各刺激映像によって誘導されたベクシオン強度の平均値を(図 3.2)に示す。なお、縦棒は標準誤差を表している。そして、回転ベクシオン強度評価値に対して、1 要因の 6 水準の分散分析を行った。結果としては、主効果が認められた [$F(5, 546) = 5.6170, P < .0001$]。

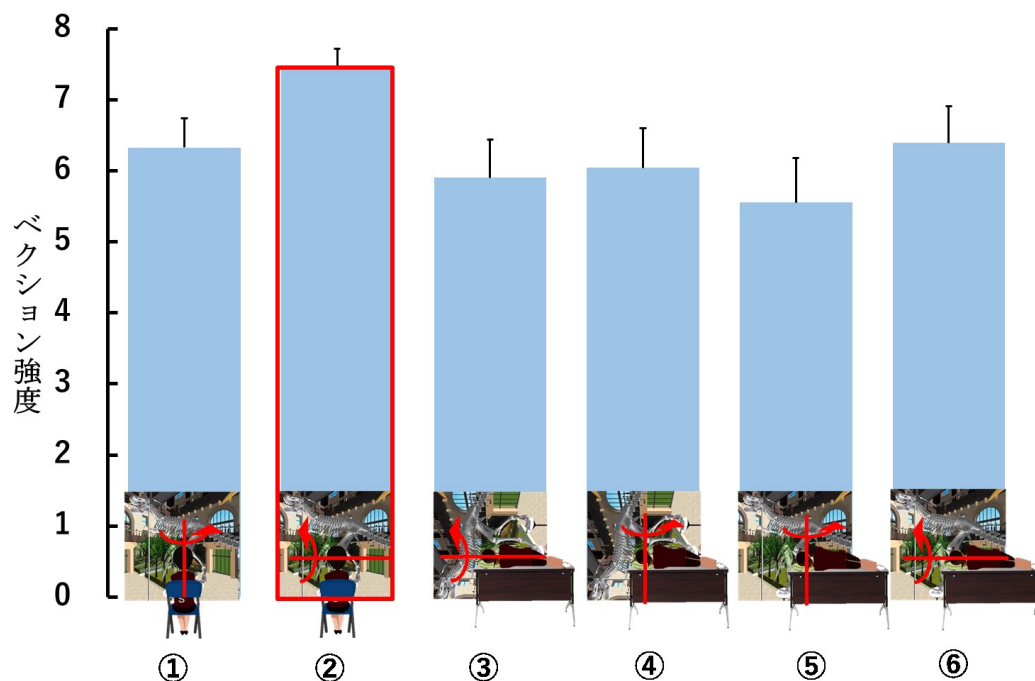


図 3.2: ベクシオン強度の平均値と標準誤差。横軸は 6 種類の刺激映像である。縦軸は回転ベクシオンの強度評価値である。

これらの結果から、全体的に見ると、上述の不快感強度と同様に、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあって、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、回転ベクシオンの強度は有意に一番高いことがわかった。しかし、他の刺激を見せる刺激での顕著な差異は見られなかった。

3.3 重力に対する姿勢変化の感覚

各刺激映像によって誘導された重力に対する姿勢変化の感覚強度の平均値を(図 3.3)に示す。なお、縦棒は標準誤差を表している。そして、重力に対する姿勢変化の感覚の強度評価値に対して、1 要因の 6 水準の分散分析を行った。結果としては、主効果が認められた [$F(5, 546) = 39.5630, P < .0001$]。

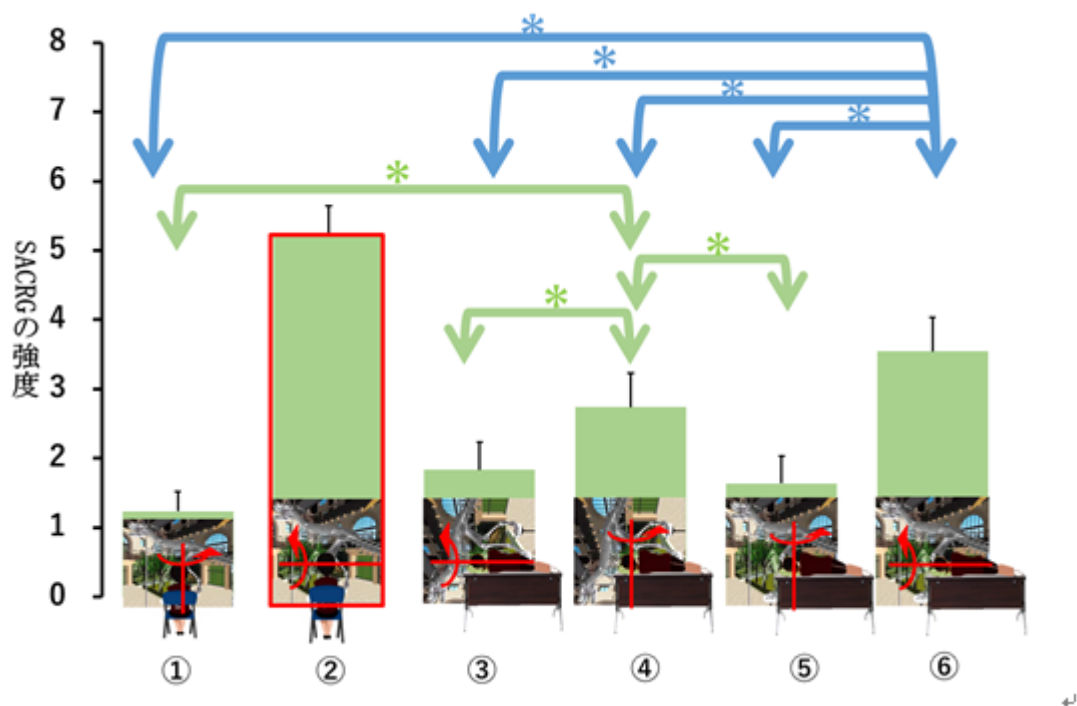


図 3.3: 重力に対する姿勢変化の感覚強度の平均値と標準誤差。横軸は 6 種類の刺激映像である。縦軸は重力に対する姿勢変化の感覚強度評定値である。

これらの結果から、全体的に見ると、上述の不快感強度、回転ベクションの強度と同様に、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあつて、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、重力に対する姿勢変化の感覚強度は有意に一番高いことがわかった。

上述のように、身体姿勢が側臥位の場合、映像区間への没入感は低い可能性が考えられる。仮想環境の重力方向（視覚的な重力）が一番重要なものである。

3.4 潜時

各刺激映像によって計測された潜時の平均値を(図 3.4)に示す。なお、縦棒は標準誤差を表している。そして、潜時に対して、1 要因の 6 水準の分散分析を行った。結果としては、主効果が認められた [$F(5, 546) = 2.9840, P < .0005$]。

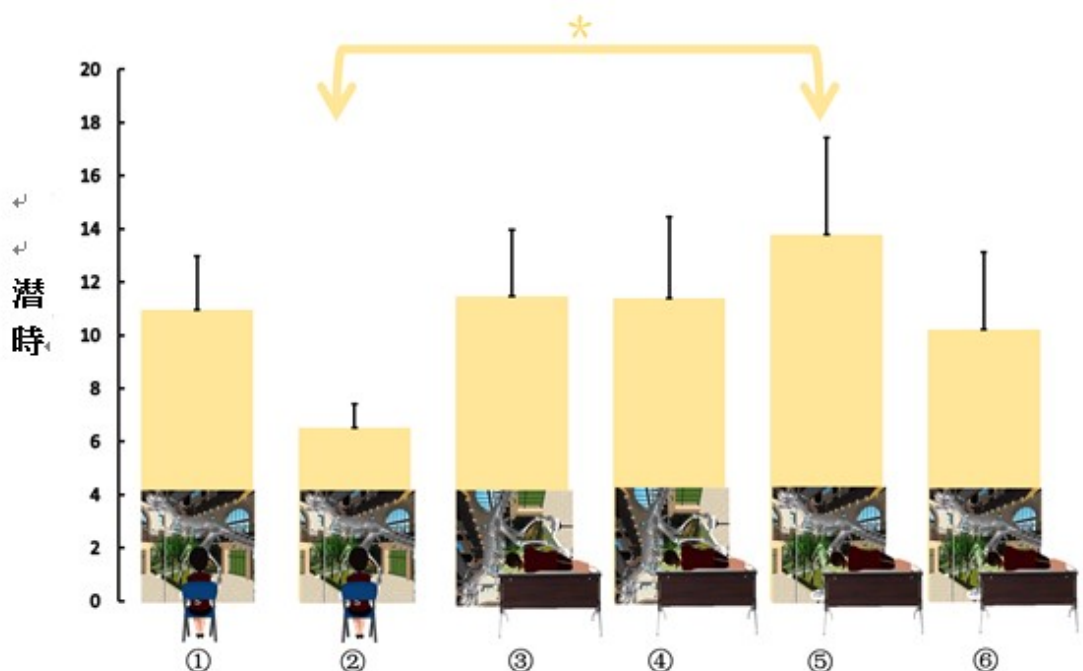


図 3.4: 潜時の平均値と標準誤差。横軸は 6 種類の刺激映像である縦軸は潜時の計測値である。

これらの結果から、全体的に見ると、上述の回転ベクション強度の結果と比べると、逆に、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあつて、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、潜時の計測量が一番低かった。また、回転ベクションが強ければ、潜時は低かった。回転ベクションが弱くれば、潜時は高かったことが分かった。

3.5 持続時間

各刺激映像によって計測された持続時間の平均値を(図 3.5)に示す。なお、縦棒は標準誤差を表している。そして、持続時間に対して、1 要因の 6 水準の分散分析を行った。結果としては、主効果が認められた [$F(5, 546) = 3.5560, P < .0001$]。

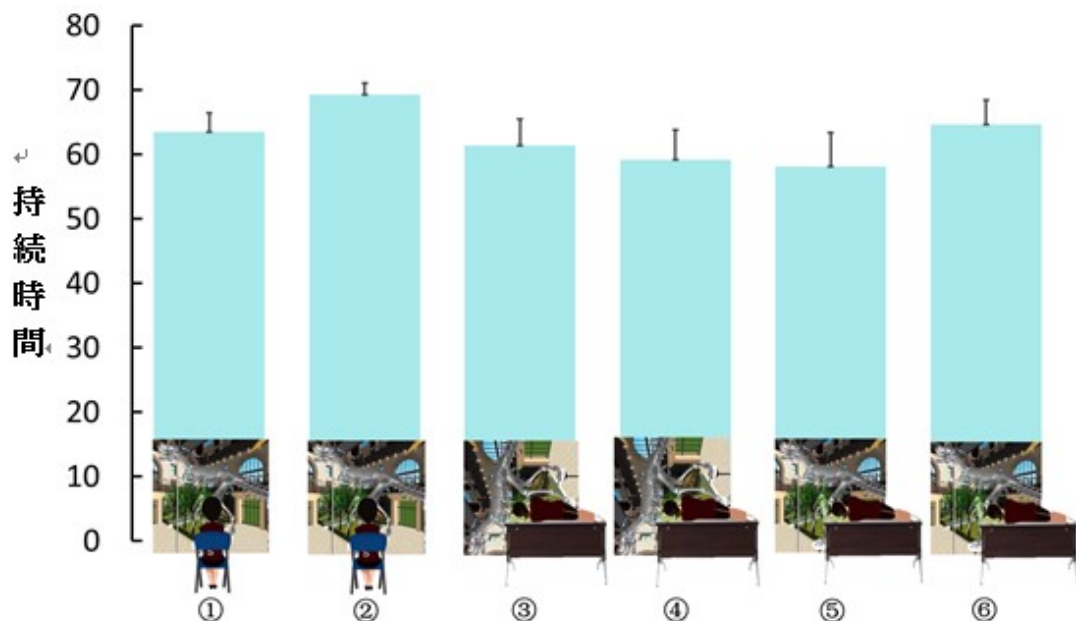


図 3.5: 持続時間の平均値と標準誤差

横軸は 6 種類の刺激映像である。縦軸は持続時間の計測値である。

これらの結果から、全体的に見ると、上述の回転ベクション強度の結果と同様に、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあつて、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、持続時間の計測量が一番高かった。また、回転ベクションが強ければ、持続時間は長くなった、潜時は低かった。回転ベクションが弱くれば、持続時間は短くなった、潜時は高かったことが分かった。

3.6 潜時と持続時間とベクシヨンの強さの相関

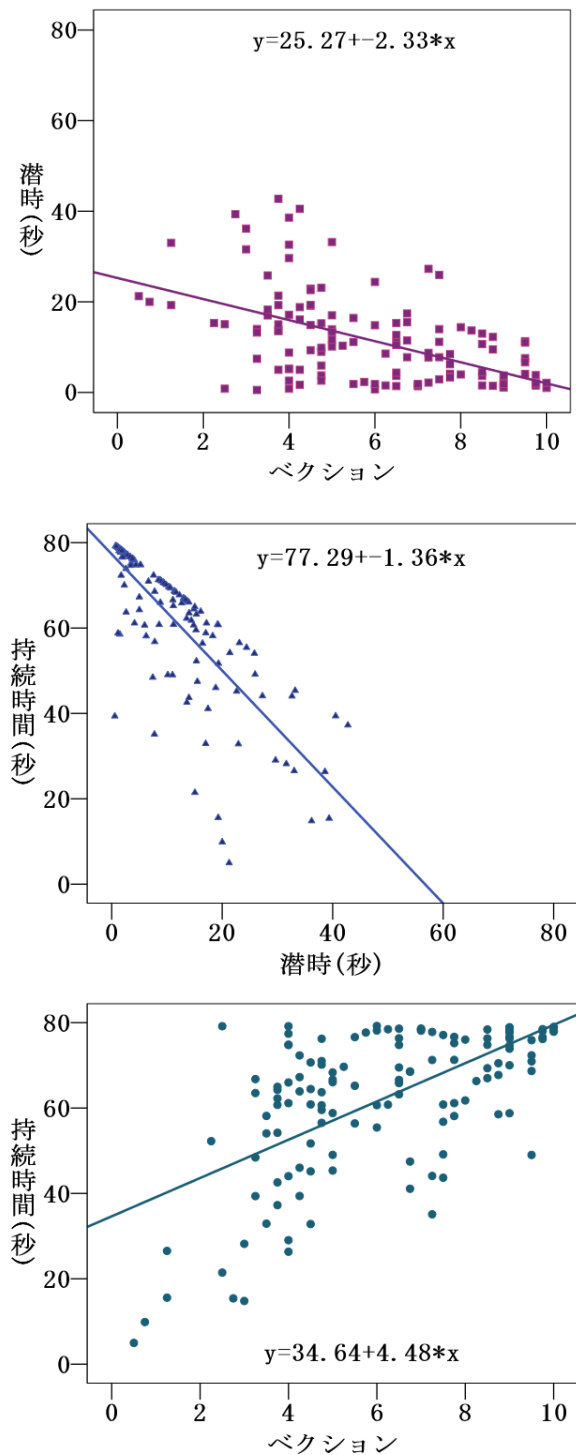


図 3.6: 潜時と持続時間とベクシヨンの強さの相関図

こちらの結果から、回転ベクションが強ければ、持続時間は長くなった、潜時は短くなった。回転ベクションが弱くれば、持続時間は短くなった、潜時は長かった。また、潜時は長ければ、持続時間は短くなった。

3.7 ベクシヨン・重力に対する姿勢変化の感覚と不快感の強さの相関

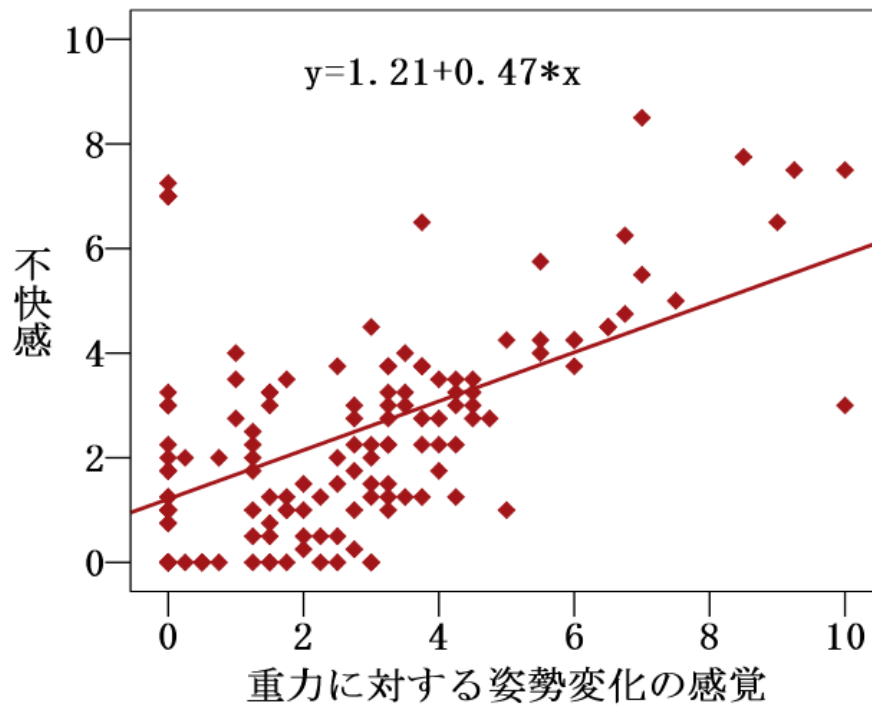


図 3.7-1: 不快感と重力に対する姿勢変化の感覚の強さの相関図

これらの結果から、不快感と重力に対する姿勢変化の感覚の強さは有意な正の相関がある（ $r=0.5410$, $P<.0001$ ）。

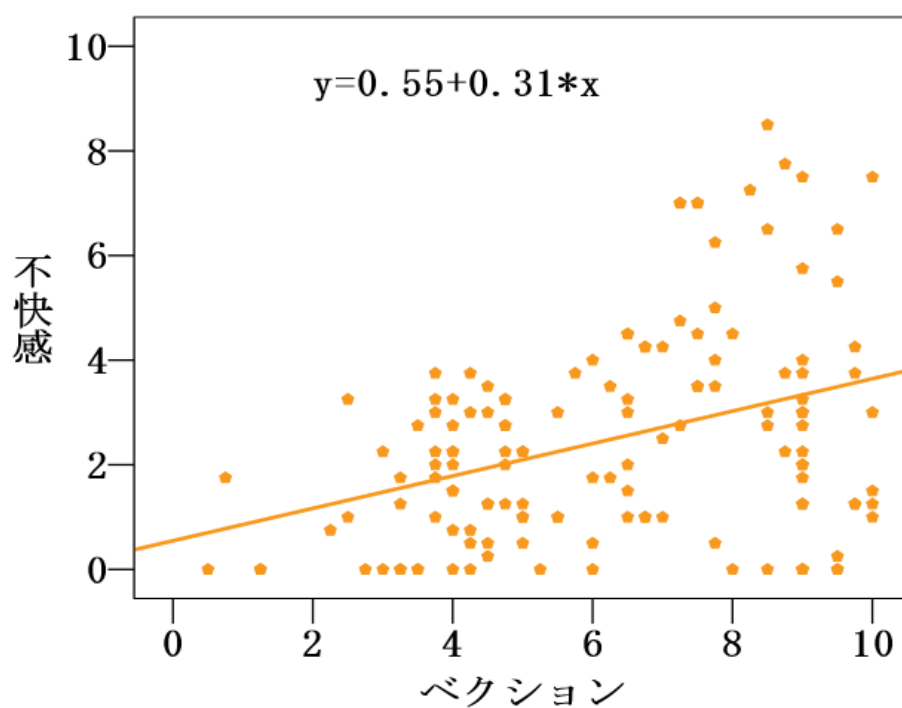


図 3.7-2: 不快感とベクションの強さの相関図

これらの結果から、不快感とベクションの強さは有意な正の相関があった ($r=0.3660$, $P<.0001$)。

上述のように、ベクションより、不快感と重力に対する姿勢変化の感覚の強さは強い正の相関があることはわかった。

3.8 潜時・持続時間と不快感の強さの相関

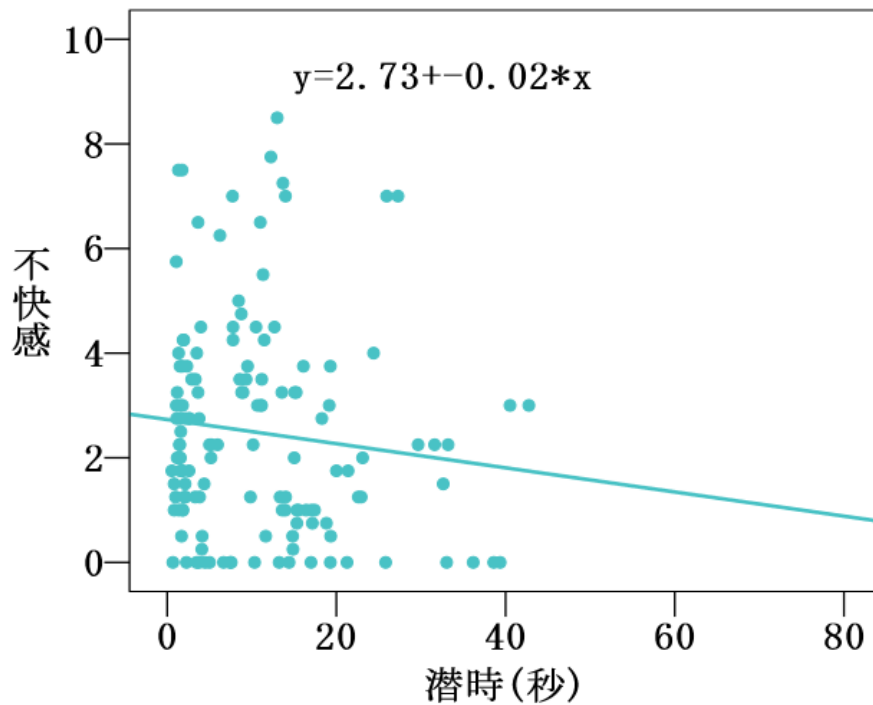


図 3.8-1: 不快感と潜時の相関図

これらの結果から、不快感と潜時の相関係数 ($r = -.1120$, $p = 0.190$)。相関性は得られなかった。

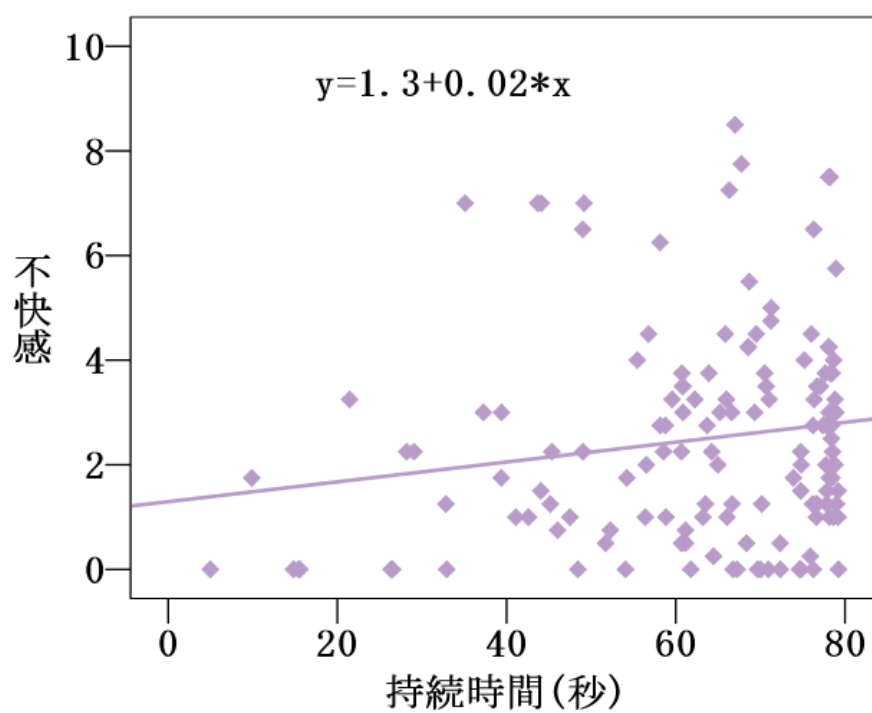


図 3.8-2: 不快感と持続時間の相関図

これらの結果から、不快感と持続時間の相関係数 ($r = 0.1600$ 、 $p = 0.0600$)、相関性は得られなかった。

第4章 考察

本研究では、サイバー酔いにおける主観的な重力方向は実際の重力方向、視覚的な重力方向、または身体の下方向のどれであるか明らかにするため、身体姿勢と映像空間重力方向を変化させ、重力に対する姿勢変化の感覚を発生させ、実験を行った。博物館を模した仮想環境内で回転している映像刺激を見せ、主観的に知覚された不快感、重力に対する姿勢変化の感覚と回転ベクションの関係性を定量的に評価した。

実際の重力方向に関する、ずっと下向きである。それと、視覚的な重力方向については、刺激に用いた博物館を模した仮想環境の回転方向の違いによって、主観的な視覚重力方向も変化した。これは、人間の脳が生物の運動に関する知識を利用して映像を解釈することで、同じ映像刺激運動から異なる回転方向の自己運動感覚を知覚したと考えられる。そして、この実験で使用した映像の運動方式は、Yaw 回転（重力変化に伴ってない回転映像）と Pitch 回転（重力変化を伴う回転映像）である。刺激運動の速度を統一した。身体の下方向に関しては、身体姿勢の違いによって変化した。

多重比較の修正ライアン法検定によって、実際の重力方向、視覚的な重力方向と身体の下方向は、それぞれが重力に対する姿勢変化の感覚の強度にどのような影響を与えるかを検討した。被験者に対する、仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にする場合 Pitch 回転ベクションが Yaw 回転ベクションより大きい。ただし、被験者に対する、仮想環境の垂直軸が被験者の横断面にする場合、Yaw 回転ベクションを感じる時、重力に対する姿勢変化の感覚の強度は Pitch 回転ベクションより大きいことがある。回転ベクションの中では Pitch 回転ベクション強度は重力に対する姿勢変化の感覚と相関せず、重力に対する姿勢変化の感覚への寄与は認められなかった。

今回の結果としては、実際の重力方向と身体の下方向により、視覚的な重力方向の変化によって、重力に対する姿勢変化の感覚が強くなることが分かった。これは、人間に関する、自分の体に対して、回転運動の映像を視聴している間、感じる主観的な重力方向の変化感覚が一番重要な原因であることを示唆した。そして、もし視覚的な重力方向と実際の重力方向は一致したら、重力に対する姿勢変化の感覚はもっと強くなることが分かった。また、実際の重力方向、視覚的な重力方向と身体の下方向は全部一致したら、重力に対する姿勢変化の感覚が一番強くなることが示唆した。この結果から、映像刺激を観察する時、上述の三つ方向でいずれの方向も変化した時にも生じる重力に対する姿勢変化の感覚も弱くなると解釈することができる。

次に、実際の重力方向、視覚的な重力方向と身体の下方向の違いがサイバー酔いの発症程度にどのような影響を与えるかも検討した。先行研究[6]では、サイバー酔いにおけるベクシオンと対重力姿勢変化感覚の寄与の定量的解析をした、ベクシオンの回転方向の違いによる不快感に与える効果の違いも報告されていたが、正立の身体姿勢に映像刺激を観察する場合は、今回の結果は Pitch 回転ベクシオンが Yaw 回転ベクシオンより大きいのは同様に生じることを示唆した。しかし、身体姿勢は側臥位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にする場合、Yaw 回転ベクシオンを感じる時、不快感の強度は Pitch 回転ベクシオンより大きいことがある。回転ベクシオンの中では Pitch 回転ベクシオン強度は不快感と相関せず、不快感への寄与は認められなかった。

そのほか、身体姿勢は側臥位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面 Yaw 回転ベクシオンにする条件と身体姿勢は側臥位で仮想環境の垂直軸が被験者の横断面 Yaw 回転ベクシオンにする条件は不快感に対して有意な差異がある。この結果から、もし視覚的な重力方向と実際の重力方向は一致したら、不快感の強度はもっと強くなることが分かった。また、実際の重力方向、視覚的な重力方向と身体の下方向は全部一致したら、不快感の強度が一番強くなることが示唆した。上述の重力に対する姿勢変化の感覚と同じ、映像刺激を観察する時、上述の三つの方向でいずれの方向も変化した時にも生じる不快感も弱くなると解釈することができる。ただし、回転ベクシオンに関して、三つの方向は全部一致したら、強度が一番強くなることが分かったが、これ以外は有意差が特にないことが示唆した。

また、本研究示された主観的な重力方向（視覚的な重力方向）、ベクシオンと動揺病の間の関係を明確にわかるためには、相関分析を行った。結果から、重力に対する姿勢変化の感覚（視覚的な重力方向）、ベクシオン二つとも不快感と有意な正の相関がありますが、ベクシオンより ($r=0.3660$)、重力に対する姿勢変化の感覚の方 ($r=0.5410$) はさらに強い相関がある。それと、ベクシオンと重力に対する姿勢変化の感覚に対して ($r=0.3190$, $p<.0001$)、この結果から、先行研究[6]の結果と同じ、ベクシオンより、感じられた重力に対する姿勢変化の感覚はサイバー酔いに強い影響があっていると示唆した。重力に対する姿勢変化の感覚を生じる刺激は、生じない刺激よりも強いサイバー酔いを発生させることが報告した。

同質な映像刺激を用いた場合でも、主観的に知覚される重力方向が変わることから、サイバー酔いも変化したことから、本研究の結果はベクシオンより、重力に対する姿勢変化の感覚がサイバー酔いに強い関係があることを示すものである。それと、サイバー酔いにおける主観的な重力方向は視覚的な重力方向であることも明らかに示された。

第5章 まとめ

本研究は、被験者に対する不快感、ベクシオン、重力に対して姿勢が変化する感覚の強度を誘起しやすい観察映像刺激を用いた。重力に対して姿勢の変化によって、それらの視覚刺激を観察している時、サイバー酔いとベクシオンに及ぼす効果を検討された。また、不快感、回転ベクシオンと重力に対して姿勢が変化する感覚に関する多重比較検定を行った。

実験結果において、不快感に関する、実際の重力方向とは同じじゃないと、強さは弱くなることが見られた。また、身体姿勢は座位で仮想環境の垂直軸が被験者の矢状面にあつて、被験者に対して Pitch 回転運動を感じる時、不快感・重力に対する姿勢変化の感覚強度は一番高いことがわかった。原因としては、身体姿勢（身体の軸）・仮想環境の垂直軸と実際の重力方向は全部同じだから、強さが一番高いと考えられた。また、一番重要な要因としては仮想環境の重力である。サイバー酔いにおける主観的な重力方向というのは実際の重力・身体の軸における下方向じゃなくて、それは仮想環境の重力方向であると確かめた。

実験中に、ベクシオン強度を計測する際には、主観項目を評定した以外、ベクシオンの時間特性に関する時間の指標も測定した。被験者にボタンを持たせることでベクシオンの潜時と持続時間を計測し、ベクシオンの強さとの相関を検討した。妹尾武治(2017)と同様に、回転ベクシオンが強ければ、持続時間は長くなった、潜時は短くなった。回転ベクシオンが弱くれば、持続時間は短くなった、潜時は長かった[17]。

そのほかは、不快感と回転ベクシオン、不快感と重力に対して姿勢が変化する感覚、不快感と潜時、不快感と持続時間に関する相関性分析を行った。ベクシオンより、不快感と重力に対する姿勢変化の感覚の強さは強い正の相関があることはわかった。いわゆる、重力に対する姿勢変化の感覚はサイバー酔いに強い影響があっている。

また、本実験中で、方向性の考えによって、回転の種類ごとに回転方向（前後もしくは左右）を 2 種類設け、左右側臥位を入れ替えるために繰り返し 2 回設けたて実験を行った。しかし、方向性の影響は見れませんでした。

上述のような、本実験で観察時の身体姿勢を変化させて仮想空間と重力との関係を整理することで、サイバー酔いにおける主観的な重力方向というのは確かめた。そして、ベクシオンより、重力に対する姿勢変化の感覚はサイバー酔いに強い影響があっている。

参考文献

- [1] J. T. Reason and J. J. Brand, "Motion Sickness", Academic Press, London, 1975.
- [2] 井須尚紀, 菅原朋子: サイバー酔いの発症におけるベクシオンおよび主観的鉛直の関与, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 1, No. 1, 2007
- [3] N. A. Webb and M. J. Griffin: "Optokinetic Stimuli: Motion Sickness, Visual Acuity, and Eye Movements", Aviation, Space and Environmental Medicine Vol. 73, No. 4, pp. 351-358 (2002).
- [4] J. E. Bos* and W. Bles; Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions. Brain Res Bull, 47;537-542, 1998.
- [5] Yang T and Pei J; Motion sickness severity under interaction of vection and head movements. Aviat Space Environ Med, 62:141-144, 1991.
- [6] 谷山, 出口, 中桐, 小川, 河合, 井須, "並進と回転の複合ベクシオンが誘起するサイバー酔い強度の重回帰分析", 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 14B-2, 2018
- [7] 森 将輝, 妹尾 武治: 身体姿勢の違いがベクシオンに及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌第22巻3号(2017) / 書誌
- [8] 小川, 将樹: 動きのある顔画像提示による注意の移動, 出版情報: 九州大学, 2014, 博士(芸術工学), 課程博士
- [9] 谷山 健太, 修士論文「サイバー酔いにおけるベクシオンと対重力姿勢変化感覚の寄与の定量的解析」
- [10] 甲斐 智也, 修士論文「生体信号と主観評価の共分散構造モデルを用いた動揺病発症の事前予測」
- [11] 古居 侑也, 修士論文「モーションベース付きドライビングシミュレータ運転時の酔いを低減する映像提示法」
- [12] Diels C and Howarth PA; Frequency characteristics of visually induced motion sickness. Human Factors, 55: 595-604, 2013.
- [13] Diels C and Howarth PA; Visually induced motion sickness: Single-versus dual-axis motion. Displays, 32, 175-180, 2011.
- [14] Seno T, Palmisano S, Ito H, and Sunaga S; Perceived gravito-inertial force during vection. Aviat Space Environ Med, 84: 971-974, 2013.
- [15] Golding JF, Doolan K, Acharya A, Tribak M, and Gresty MA; Cognitive cues and visually induced motion sickness. Aviat Space Environ Med, 83: 477-482, 2012.

- [16] 福田 奈央, 修士論文「仮想空間を配した映画上映法による船酔いの抑制」
- [17] 妹尾武治;ベクションとは何だ!?, 共立出版, 2017
- [18] 井須尚紀: バーチャルリアリティにおける酔いの発症と軽減, VR おける安全・安心に向けて, 日本バーチャルリアリティ学会誌第 22 巻 3 号 2017 年 9 月
- [19] 中村 信次 (著);視覚誘導性自己運動知覚の実験心理学, 出版社: 北大路書房 (2006/04);
- [20] 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.
- [21] 井上康之, 中口和馬, 河合敦夫, 井須尚紀, 認知的要因による視覚性自己運動感の違いが映像酔いに与える効果, 第 14 回情報科学技術フォーラム

謝辞

本研究を行うに当たり、有益なご指導と助言をいただきました井須尚紀教授、河合敦夫准教授、小川将樹助教授、成瀬央教授、ならびに日頃からお世話になりました吉永みゆき事務員に心から感謝申し上げます。また多くの議論を行いながら切磋琢磨しながら共に研究を行った谷山健太氏、松村淳平氏、土橋氏、小池恭平氏、先輩として様々な助言を下さった古居侑也氏、福田奈央氏、甲斐智也、長谷川 光に感謝いたします。そして不快感を伴う実験にもかかわらず実験に参加してくださった三重大大学のみなさん、学会などで様々な意見交換や討論を交わした諸氏に深く感謝申し上げます。