

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 Cognitive Factor of Visually-Induced Self-Motion Affects Cyber Sickness

井上 康之†
Yasuyuki Inoue

中口 和馬†
Kazuma Nakaguchi

河合 敦夫†
Atsuo Kawai

井須 尚紀†
Naoki Isu

1. 背景

近年の映像技術の発展によって、没入感の強いリアリティある VR 映像を視聴する機会が増えてきた。その一方で、こうした映像を視聴することで不快感や吐き気などの映像酔いを発症する危険性も増えている。映像酔いを発症させる原因やその発生メカニズムを明らかにすることは、ユーザにとって快適な視聴環境を作り出す映像技術の開発に寄与するだけでなく、人間の感覚情報処理メカニズムを理解することにもつながる。

ゲームや映画、VR 映像などの様々な種類の映像を見ることが乗り物酔いと類似した様々な身体の不快感の原因となりうる。ただし、これらの映像を見る時の身体は静止していることから、映像酔いは身体が実際に揺さぶられる状況に発症する乗り物酔いとは厳密には異なる。それでも、映像酔いは乗り物酔いなどと同じ動揺病の一種と見なされている。また、映像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。

映像酔いを含む動揺病がどのようなメカニズムで発生するかについては、これまで多くの仮説が提案されている。その中で古くから広く受け入れられているのは感覚矛盾説[1]である。この説では、視覚や前庭感覚、自己受容感覚など身体の姿勢や運動の状態を知覚する感覚情報がお互いに矛盾することが動揺病の原因になると考える。また、感覚矛盾説を精緻化した感覚再配置説[2]では入力された感覚情報の組み合わせが過去の記憶から予測される組み合わせと一致しないことが動揺病の原因になると主張する。その他にも、姿勢制御の不安定化が動揺病の原因になると主張する姿勢不安定説[3]や、進化論的観点からは毒物摂取による中毒状態の検出機構として身体の揺らぎが吐瀉反射を誘発するという中毒説[4]などがある。

上記のように動揺病のメカニズムについて多数の説が提案されているが、未だに明確な結論には至っていない。おそらく、動揺病は様々な要因が複雑に関与した複合的な症状であるため、その現象の全てを一つの仮説で説明しきれないからではないだろうか。いずれにせよ、動揺病の発症には、種々の感覚器から得られた自己運動情報の統合処理過程が何らかの関わりを持つと考えられる。その傍証として、両側の前庭器官に障害を持つ人は動揺病を発症しないことがあげられる[5]。この場合、前庭からの情報が存在しないため、自己運動感覚を主に視覚から得ることで異種感覚統合の混乱が生じず、動揺病の発症につながらないと考えられる。ただし、擬コリオリ刺激と呼ばれる複雑な視界の連続回転と頭部運動の組み合わせを提示した場合には、両側性の前庭障害があつて

も動揺病が起きること[6]から、必ずしも視覚と前庭感覚の間の感覚矛盾だけが動揺病の原因になるとは限らない。

視覚性動揺病を引き起こす原因のひとつと考えられるのはベクション (Vection, Visually-induced self-motion; 視覚性自己運動感覚) である。ベクションは網膜に映るオプティカルフロー刺激によって誘起される身体の運動感覚であり、日常的な例では、駅で停車した電車の窓から隣の電車が動くのを見たとき、あたかも自分の乗った電車の方が動き出したように感じる「電車の錯視」が挙げられる。ベクションは上記の例のように直線的な自己運動を知覚する直線ベクションと、身体の回転運動を知覚する回転ベクションに区別される。さらに詳細な分類として、直線ベクションは上下・左右・前後の3種類が、回転ベクションは上下軸 (ヨー)・左右軸 (ピッチ)・前後軸 (ロール) の3種類が想定され、それぞれ特定のオプティカルフローの運動パターンが対応する[7]。そして、その運動パターンを含んだ映像 (視運動刺激) を観察することによって、そのパターンに対応したベクションの自己運動感覚が知覚される。

ベクションが視覚性動揺病を引き起こすメカニズムは感覚矛盾説の枠組みで説明できる。すなわち、視覚的なベクションの運動知覚がもたらす情報と前庭器や自己受容器の報告する静止身体の情報とが一致しないため、この感覚矛盾が動揺病を引き起こすと考えられる。しかし、知覚されたベクションの大きさと不快感の強度は必ずしも対応しないことから、ベクションは視覚動揺病の主たる原因ではないという意見もある。例えば、Webb & Griffin は視運動刺激の観察時における注視点の固視が不快感を大きく低減させるのに対してベクションの知覚にはあまり影響を与えないことから、視覚性動揺病の主な原因はベクションではなく眼球運動にあると主張している[8]。それに関連する知見として、Hu らは視運動性眼振 (Optokinetic nystagmus) の頻度と動揺病の大きさの関係性を調べ、両者の間に有意な正の相関があることを報告している[9]。また、Ebenholtz らは外眼筋の活動を介して前庭系が迷走神経核を賦活する可能性について論じている[10]。

しかし、眼球運動が動揺病の発症に関与するとしても、これはベクションの関与が存在しないことを示すものではない。ベクションと動揺病との関係性を明らかにするには、ベクションの具体的な知覚内容の違いも考慮する必要がある。上述の通り、ベクションによって知覚される自己運動の方向は様々な種類があり、その違いによっても動揺病の発症の程度は異なる。例えば、回転ベクションに関しては、ヨー軸周りの回転刺激はピッチ軸やロール軸の回転刺激に比べて不快感は小さいが、知覚される自己運動の強度はむしろ大きい[11]。この違いは、感覚矛盾説に従えば、ヨー回転ベクションが半規管の回転感覚と矛盾するのに対して、ピッチ回転やロール回転のベ

†三重大学大学院工学研究科

クションでは半規管に加えて耳石器の重力感覚とも矛盾することで、より大きな感覚矛盾が動揺病の症状を強めた結果であると説明できる。ただし、ベクシヨンの回転方向（ヨー／ピッチ／ロール）の違いで不快感が異なる場合も、そのベクシヨンを誘起する視運動刺激そのものは特定のオプティカルフローを含むため、その視運動パターンに対する追跡眼球運動の挙動も刺激ごとに異なる。したがって、ある視運動刺激がベクシヨンとともに動揺病を引き起こしたとしても、それが知覚されたベクシヨンによる単独の効果なのか、それとも眼球運動による影響を含んでいるのかを区別することは困難である。ベクシヨンの知覚が単独で視覚性動揺病の発症に与える影響を調べるには、眼球運動の挙動に影響を与える物理的なオプティカルフローの運動特徴を統制し、主観的なベクシヨンの性質を変化させる必要がある。

ここで、筆者らはベクシヨンの認知的側面に注目した。主観的に知覚されるベクシヨンの性質は、注意[12]や教示[13]などといった認知的な要因に影響されることが報告されている。Riecke らはパノラマ撮影された風景映像を用いた心理実験で、円筒スクリーンに元の風景をヨー回転させながら提示した場合と、その映像をスクランブル化したものを同一の回転速度で提示した場合を比較し、後者に比べて前者の方がより大きな回転ベクシヨンが知覚されることを示した[14]。これは、建物や道路などの構造物を認識することで映像に対する没入感を高め、自己の回転感覚が増強したと考えられる。このとき、映像に含まれるオプティカルフローの運動特徴は同じなので、この結果は高次認知のトップダウン処理が主観的なベクシヨンの大きさに影響を与えることを示すものである。

このように、ベクシヨンの認知的要因を利用すれば、提示刺激の同質性を保ったまま主観的なベクシヨンの性質を操作できる。ここで、このベクシヨンの変化による動揺病の大きさの違いを調べることで、ベクシヨンと動揺病の関係性をより明確に検討できると期待される。本研究では、回転ベクシヨンについて、その主観的な大きさと回転方向を認知的要因を用いて操作し、その変動に対する不快感強度の変化を重回帰分析によって調べることで、ベクシヨンの違いが動揺病の発症に対する影響の大きさを定量的に検討した。この際、視運動刺激の等質性を維持しつつ、ベクシヨンを変化させるための認知的要因として、動物の運動方向に関する知識と、観察時の視点による対象の見え方の違いを利用した。

2. 方法

2.1 実験参加者

研究の目的を知らない 15 名の大学生（年齢 18 – 22 歳）が、書面によるインフォームドコンセントを行った後、実験に参加した。参加者は後述する円筒スクリーンの正面から 4.6m の距離にある椅子に座り、安静な体勢のまま回転ベクシヨンを誘起する視運動刺激を観察した。

2.2 装置

横幅のある円筒スクリーン（弧度 60deg、弧長 10.47m、高さ 2.6m）に対して 6 台の 프로젝터를用いて 3D の CG 映像を 3 面分割投影した。これは 4.6m の観察距離において水平視野角 113.8deg、垂直視野角 31.6deg に相当した。

各 프로젝터の映像は 6 台の表示 PC（DELL Presicion T5400, Xeon E5430 2.66GHz CPU, NVIDIA GeForce GTX 570 グラフィックス）を用いてリアルタイムに生成され、PC 間での映像の同期は 1 台の制御 PC（HP Pavilion HPE h8-1080jp, Core i7-2600 3.44Gz CPU）がネットワークを介して行った。

2.3 刺激

3DCG で作成されたイルカ（体長 3.7m、視角約 25deg）が左右方向に遊泳するアニメーション映像を刺激とした。仮想空間内において数十体のイルカの 3D モデルが観察者を取り囲むように配置し、観察者の周囲をイルカの群れが円周状に遊泳する状況を模擬した（Fig. 1）。カメラの位置は仮想空間の原点にあり、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。そのため、この映像はイルカの群れの中心で観察者の方の身体が回転するベクシヨンの感覚を与えた。イルカの遊泳映像の手前側に木目調の内装と窓枠を描き、観察者が潜水艇のガラス窓越しに水中のイルカを見る印象を作った。内装面と窓には文字が書き込まれ、観察者の視点方向に関する視覚的な参照枠の手がかり情報を与えた。映像の下端にはゲージバー（縦 1.3deg×横 42deg）を表示し、後述するベクシヨンの主観報告の視覚フィードバックに用いた。

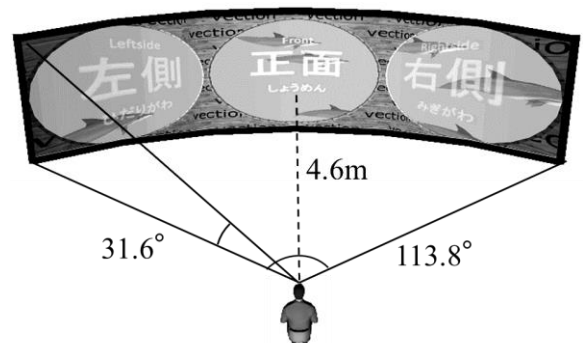


Fig. 1 仮想空間の概要

実験条件として、イルカの進む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 条件を設けた。運動方向の違いは、イルカの周回運動と観察者の回転運動の間の相対的な角速度の差を表現し、知覚されるベクシヨンの大きさに影響を与えることを期待した。また、もうひとつの実験条件として、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 条件を設定した。遊泳姿勢の違いは、観察者がどの方向からイルカを見ているかの相対的な位置関係を表現し、知覚されるベクシヨンの回転方向に影響を与えることを期待した。イルカの進行方向（2）×姿勢（2）の 4 種類の映像を実験刺激として用いた（Fig. 2）。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。ただし、イルカの動きに生物感を出すため、その遊泳運動には前後方向に若干の摂動（加減速）が加えられた。

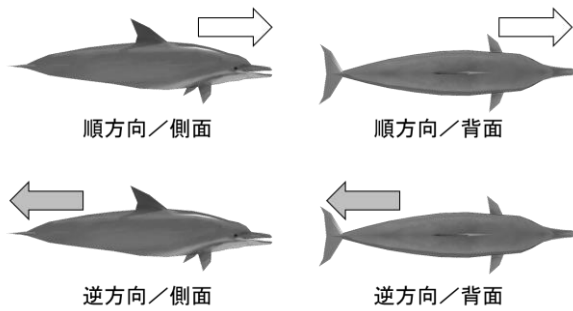


Fig. 2 運動方向と姿勢による刺激条件の違い

2.4 手続き

実験では、1 試行ごとにひとつの刺激条件が選択され、ベクシオンと不快感の測定が行われた。60 秒の映像提示の間、参加者は手元のゲームコントローラを使って、その時点で知覚している回転ベクシオンの強度と方向を報告した。ベクシオン強度については、主観的な回転感覚の大きさの印象を 0.0–1.0 のアナログ量で評価し、スライダレバーの押し込みで報告するように教示した。その値は 1/60s ごとに計測され、ゲージバーの増減を通じて参加者にリアルタイムにフィードバックした。ベクシオン方向については、回転ベクシオンを感じるかどうか、また、感じる場合はその回転がどの軸周りの回転感覚であるかを、「回転なし」「ヨー回転」「ピッチ回転」「不明確な回転」の 4 択で回答するように教示した。その回答結果はスライダと同様に 1/60s ごとに計測され、ゲージバーの色の変化でフィードバックした。視覚フィードバックを設けた理由は、実験参加者が自身の知覚と異なる報告を行う危険性を排除するためであった。映像提示後、参加者は直前の映像を見ることで生じた不快感の強度を 0–10 の 11 段階（0：全く感じない～10：非常に強く感じる）で評価し、口頭で報告した。

映像の提示と参加者の反応取得を 1 試行として、1 名の参加者について計 24 試行（4 条件×6 回）を行なった。なお、刺激映像の提示が開始される前の 15 秒間、文字の書かれた木目調の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。この視覚的な参照枠の変化によって、仮想空間内におけるイルカの観察方向の違いに関する印象を強調した。

2.5 データ分析

各実験参加者、各試行において計測されたベクシオン強度と方向は以下の手順で総合的に分析された。まず、ベクシオン方向に関して、60 秒間の映像提示中において各方向に対する報告がどの区間で行われたかを 1 試行ごとに求めた。次に、ベクシオン強度に関して、「回転なし」の報告を除いたデータ区間（＝ある回転ベクシオンが報告された区間）ごとに、その区間内におけるアナログ量の時間積分を求めた。言い換えれば、1 試行中にある方向の回転ベクシオンを知覚したとき、それを知覚していた時間の長さで瞬時的なベクシオンの大きさに応じて

その方向のベクシオン強度が決まることを意味する。その結果、ベクシオン強度は「ヨー回転」「ピッチ回転」「不明確な回転」の 3 成分に分解して表現される。逆に、ある 1 試行の総ベクシオン強度 V_{total} は、

$$V_{total} = V_{yaw} + V_{pitch} + V_{uncertain} \quad (1)$$

という形式となり、3 成分の合計値で表される。こうして表現された各試行の回転ベクシオンの性質を 4 種類の刺激条件ごとにまとめ、参加者ごとに集計した。

不快感強度については、各試行における 0–10 の評価値を 4 刺激条件ごとにまとめ、参加者ごとに集計した。なお、実験参加者のうち全試行を通じて不快感の評価値が 0 のまま変化しなかった 4 名については、動揺病が生じなかったと判断して後の分析から除外した。また、他の参加者よりも極端に大きな不快感評価を行った 1 名については、ベクシオン強度の報告も不安定でアナログ値がほぼ 0.0（最小値）または 1.0（最大値）のみ記録されていたことからデータの持つ信頼性が十分ではないと判断し、この 1 名も分析から除外した。そのため、以降は残りの参加者 10 名のデータについて分析を行った。最後に、参加者 10 名×4 条件×繰り返し 6 回の計 240 点のベクシオン強度と不快感強度のデータを用いて、ベクシオン強度から不快感強度を推定する重回帰分析を行った。

3. 結果

3.1 ベクシオン強度と方向の時間変化

知覚されたベクシオン強度の水準は実験参加者ごとに異なり、全体的に小さな値を報告する人（平均 0.1 未満）から比較的大きな値を報告する人（平均 0.4 以上）まで様々であった。しかし、その全体的な傾向は参加者間で概ね似通っていた。1 名の典型的な参加者について、各刺激条件の映像提示中のベクシオン強度の変化、および、その間のベクシオン方向の変化を Fig. 3 に示す。

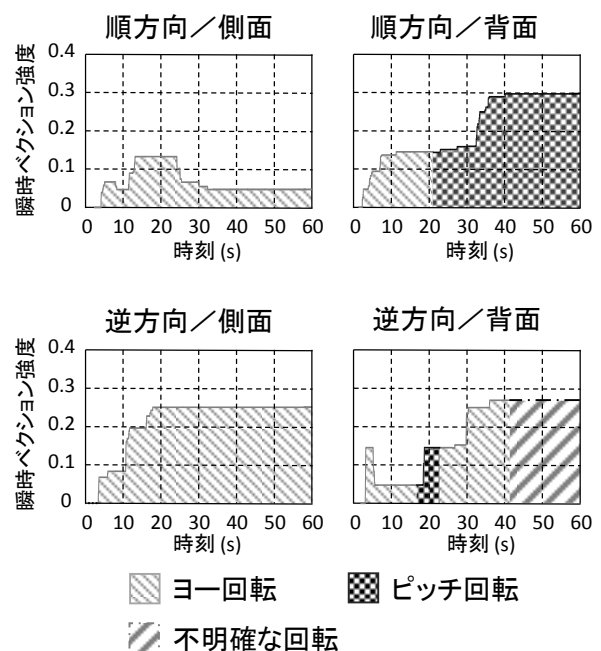


Fig. 3 時間経過によるベクシオン強度と方向の変化

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、特にイルカが側面を向いている場合、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オンは大きかった。この傾向は他の試行や参加者についても同様であった。

ベクシオン方向については、イルカの姿勢が側面向きの条件では主にヨー回転ベクシオンが多く報告されたのに対して、背面向きの条件ではヨー以外のピッチ回転や不明確な回転のベクシオン方向が部分的に報告された。この傾向は実験参加者によって異なり、いずれの条件でもヨー回転のみ報告する人や、側面向きの条件でも不明確な回転と報告する人もいた。それでも、全体的な傾向は上述した通り、側面向き条件でヨー回転を、背面向き条件でそれ以外の回転を報告していた。

3.2 各ベクシオン方向ごとのベクシオン強度

参加者 10 名について、回転方向で分類された各ベクシオン強度をまとめたものを Fig. 4 に示す。全参加者の平均した総ベクシオン強度は、側面向き・順方向の条件が最も小さく (0.07 ± 0.11)、その次に背面向き・順方向の条件が小さかった (0.12 ± 0.13)。側面向き・逆方向 (0.19 ± 0.16) と背面向き・逆方向 (0.19 ± 0.15) の 2 条件は同程度の強度であった。ベクシオン方向の内訳で見ると、側面向きの 2 条件はその大半がヨー回転ベクシオン成分のみで構成されていたのに対して、背面向きの 2 条件ではピッチ回転や不明確な回転のベクシオン成分も含まれていた。

順方向の条件に比べて逆方向の条件の方がベクシオン強度が大きくなること、また、側面向き条件で主にヨー回転ベクシオンが生じ背面向き条件でそれ以外の回転ベクシオンが生じることは、実験条件を設定した段階で予想された結果であり、当初の狙い通り認知的要因によってベクシオンの性質が変化したことを示した。

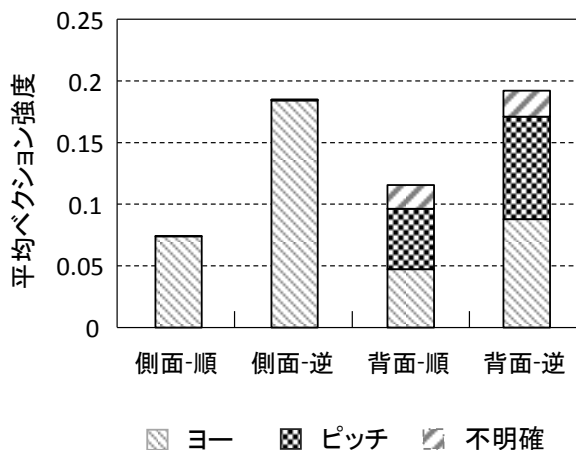


Fig. 4 回転方向ごとのベクシオン強度の累積 (N=10)

3.3 映像に対する不快感の評価

報告された不快感の評価結果は、0 - 10 の 11 段階のうち 0 - 2 の下位 3 段階に大半が集中しており、5 を超える

評価は一度もなかった。また、ベクシオン強度と同様に、全体的に小さな値を報告する人 (平均 0.1 程度) から大きな値を報告する人 (平均 2.3 程度) まで様々であった。しかし、各刺激条件に対する全体的な傾向は一貫していた。参加者 10 名について、各刺激条件における不快感の評価値をまとめたものを Fig. 5 に示す。不快感は、側面向き・順方向の条件が最も小さかった (0.67 ± 0.84)。その次に、側面向き・逆方向 (1.10 ± 1.16) と背面向き・順方向の条件 (1.17 ± 1.32) が同程度の不快感となり、背面向き・逆方向の条件の不快感が最も大きかった (1.37 ± 1.18)。

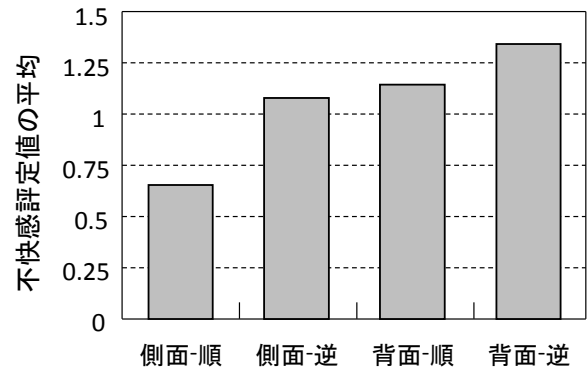


Fig. 5 全参加者の不快感評価値 (N=10)

3.5 重回帰分析による不快感強度の推定

映像視聴時に主観的に知覚したベクシオン強度とその方向の違いから、その映像視聴がもたらした不快感強度 (= 動揺病) をどの程度正しく見積もることができるのかを調べるために、以下の重回帰モデルを設定した。

$$Z = aX + bY + c \quad (2)$$

ここで、独立変数 X はヨー回転に対応するベクシオン強度 V_{yaw} 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オン強度の合計値 $V_{pitch} + V_{uncertain}$ である。また、従属変数 Z は不快感の強度である。独立変数をヨー回転ベクシオンとそれ以外の回転ベクシオンの 2 変数に設定したのは、映像に含まれるオブティカルフローの運動特徴から予想されるヨー回転のベクシオン成分と、それが認知的要因によって変化したベクシオン成分の効果を分離し、その主観的なベクシオンの回転方向の違いが不快感強度に与える影響を検討するためである。

10 名の参加者から得られた 240 点のデータを使った重回帰分析の結果、ヨー回転ベクシオンに対する係数は $a=2.84$ に対して、それ以外の回転を含むベクシオンに対する係数は $b=5.54$ と、ヨー以外の回転ベクシオンが不快感に与える影響は約 2 倍であった。定数項は $c=0.55$ と見積もられた。重相関係数は $R=0.56$ と中程度の相関が得られた。各刺激条件におけるそれぞれの回転ベクシオンの大きさから実際の不快感の測定値をどの程度推定できたかの推定結果を Fig. 6 に示す。各ベクシオン方向に応じて重み付けされた不快感の推定値の合計は、実際に報告された不快感とおおむね同じ値になっており、映像視聴時に知覚する主観的なベクシオンの大きさと方向の違いから視覚性動揺病の症状を予測できる可能性が示された。

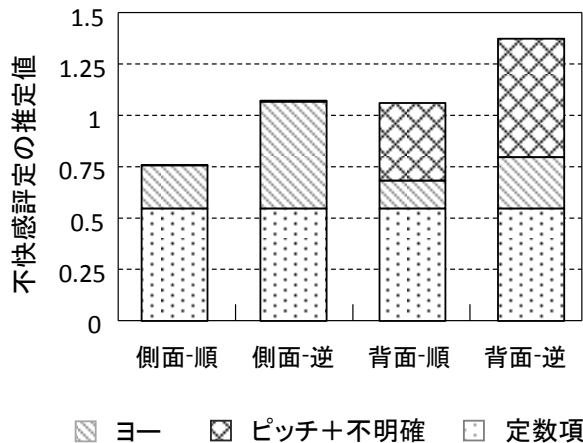


Fig. 6 重回帰モデルによる不快感評定値の推定結果

4. 考察

本研究では、ベクシオンが視覚性動揺病の発症に関与するかを明らかにするため、認知的要因によってベクシオンの性質を操作した実験を行った。網膜像レベルの視運動刺激を同質に保ちつつ、主観的に知覚された回転ベクシオンの大きさとその回転方向を変えることで、ベクシオンと不快感の関係性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、刺激に用いたイルカの遊泳運動の進行方向の違いによって主観的なベクシオンの大きさが変化した。これは、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、同じ視運動から異なる回転速度のベクシオンを知覚したと考えられる。この実験で使用したアニメーション映像の視運動速度は、理論的には同心円上を移動するイルカの運動速度と、それを中心から見ている観察者の回転速度の間の速度差を表現する。脳は、視覚的に唯一得られるこの速度差の情報から、外界の物体の運動速度と自己の回転速度の2つの情報をそれぞれ推定するため、物体固有の運動方向に関する事前情報を用いたのだろう。回転ベクシオンの方向については、観察者とイルカの間の空間的な位置や姿勢の関係を変えることで、主観的なベクシオンの回転方向が変化した。これは、脳が対象物体の見え方や視覚的な参照枠に基づいて映像内の主観的な鉛直を定めることで、網膜座標系では同じ左右方向の視運動であっても身体座標系では異なる方向の運動と解釈した結果、ヨー以外の回転ベクシオンを知覚したと考えられる。ただし、ヨー以外の回転ベクシオンを報告したのは参加者10名のうち5名であり、すべての人がオプティカルフローから予想される方向とは異なる回転ベクシオンを知覚するわけではなかった。また、残りの5名についても、イルカの背面が向けて泳ぐ映像を見たときに常にピッチ回転を知覚していたわけではなく、ヨー回転や不明確な回転の知覚も断続的に生じた。この理由として考えられるのは前庭感覚の影響である。身体の主観的な鉛直方向(=重力方向)は、視覚的な情報だけでなく耳石器などの前庭感覚からも得られる。そのため、主観的鉛直の決定に視覚情報を利用せず前庭感覚情報のみに頼るなら、ベクシオンの知覚は視運動の方向と一致するヨー回転のみが得られるだろう。また、視覚と前庭感覚の両方を利

用する場合も、互いの感覚が主張する鉛直方向は一致しないため、その知覚が混乱してベクシオンの回転方向が安定しないのかもしれない。いずれにせよ、今回の結果からは認知的要因によるベクシオン方向の操作はベクシオン強度の操作に比べて個人差の影響が大きいことが示された。

次に、重回帰分析によって、主観的なベクシオンの性質の違いが動揺病の発症程度にどのような影響を与えるかを検討した。全体的な傾向として、主観的なベクシオンの大きさが増加するのに従って、報告した不快感の評定値も大きくなることが分かった。これは、ベクシオン強度が増すことで視覚と前庭感覚の感覚矛盾が増加し、それによって動揺病の症状が強くなった可能性を示唆する。そして、ベクシオン強度の増加が不快感に与える影響の大きさは主観的なベクシオンの回転方向によって異なり、ピッチ回転を含むヨー以外の回転ベクシオンは、ヨー単独の回転ベクシオンに比べて約2倍強く不快感をもたらすことが分かった。ベクシオンの回転方向の違いによる動揺病の発症程度の違いは先行研究[11]で既に報告されているが、今回の結果はそれが主観的なベクシオンの違いでも同様に生じることを示唆する。ただし、この実験で得られた不快感評定値は0-10の11段階のうち大半が0-2の下位3段階に集中し、あまり大きな動揺病の症状は報告されなかった。提示した視運動刺激が基本的にヨー回転ベクシオンを誘起させるものであり、ヨー回転ベクシオンはあまり強い動揺病を引き起こさない[11]ことから、本研究でも動揺病の程度は比較的低い水準に留まったのだと考えられる。また、実験で用いたアニメーション映像の動きが緩やかであった点も、不快感評定値があまり大きくならなかった原因のひとつだろう。しかし、本研究では認知的な働きによって主観的なベクシオンの大きさを変化させているため、単純に刺激の運動速度を上げることによって不快感強度が増加するとは限らない。例えば、本実験で設定した視運動速度 11.5deg/s は現実のイルカの遊泳速度に比べるとやや遅く感じられる。その結果、被験者は認識によって予想されるイルカの移動速度と実際の視運動速度との差を自己の回転運動と解釈することで、イルカが前に泳ぐ順方向条件でもある程度の大きさのベクシオンを知覚したと考えられる。この運動速度が予想される現実のイルカの速度と一致すると、速度差情報がすべてイルカの物体運動として解釈されることでベクシオンの感覚が消失し、結果的に不快感が低下する可能性もある。本研究で示された主観的なベクシオン知覚と動揺病の関係性を明確にするためには、運動物体に対する人の認知特性を考慮した上でより適切な運動刺激を用いた更なる検討が必要だろう。

また、(2)式重回帰モデルに含まれる定数項は実験結果から 0.55 と見積もられた。この項は刺激映像の観察でいずれのベクシオンも感じていない時にも生じる不快感であると解釈することができる。この不快感が具体的にどのような要因によるものなのかは明確ではないが、ひとつの可能性として視運動刺激に対する眼球運動の影響を反映しているのかもしれない。本実験では、いずれの刺激条件も視運動刺激の視速度は同じであり、また、固視点による眼球運動の抑制を行っていないため、眼球運動に由来する要因が全ての刺激条件で一律に影響を与えて

いたとしても不思議ではない。この点を検討するには、固視点注視による眼球運動の抑制の有無の要因を実験条件に加えることで、この項を説明できるかを調べる必要がある。

まとめとして、同質な視運動刺激を用いた場合でも、主観的に知覚される回転ベクションの性質が変わることで動揺病の発症程度も変化したことから、本研究の結果はベクションが動揺病の原因のひとつであることを示すものである。

(Vection) in Virtual Reality", *ACM Transactions on Applied Perception*, vol. 3, pp. 194 – 216, 2006.

引用文献

- [1] J. T. Reason and J. J. Brand, "Motion Sickness", Academic Press, London, 1975.
- [2] J. T. Reason, "Motion sickness adaptation: a neural mismatch model", *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 71, pp. 819 – 829, 1978.
- [3] G. E. Riccio and T. A. Stoffregen, "An ecological theory of motion sickness", *Ecological Psychology*, vol. 3, pp. 195 – 240, 1991.
- [4] M. Treisman, "Motion sickness: An evolutionary hypothesis", *Science*, vol. 197, no. 4302, pp. 493 – 495, 1977.
- [5] B. S. K. Cheung, I. P. Howard and K. E. Monkey, "Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 62, pp. 527 – 531, 1991.
- [6] W. H. Johnson, F. A. Sunahara and J. P. Landolt, "Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection", *Journal of Vestibular Research*, vol. 9, pp. 83 – 87, 1999.
- [7] G. J. Anderson, "Perception of self-motion: Psychological and computational approaches", *Psychological Bulletin*, vol. 99, pp. 52 – 65, 1986.
- [8] N. A. Webb and M. J. Griffin, "Optokinetic stimuli: motion sickness, visual acuity, and eye movements", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 73, pp. 351 – 358, 2002.
- [9] S. Hu and R. M. Stern, "Optokinetic nystagmus correlates with severity of vection-induced motion sickness and gastric tachyarrhythmia", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 69, pp. 1162 – 1165, 1998.
- [10] S. M. Ebenholtz, M. M. Cohen and B. J. Linder, "The possible role of nystagmus in motion sickness: a hypothesis", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 65, pp. 1032 – 1035, 1994.
- [11] T. Yang and J. Pei, "Motion sickness severity under interaction of vection and head movements", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 62, pp. 141 – 144, 1991.
- [12] M. Kitazaki and T. Sato, "Attentional modulation of self-motion perception", *Perception*, vol. 32, pp. 475 – 484, 2003.
- [13] J. C. Lepecq, I. Giannopulu and P. M. Baudonniere, "Cognitive effects on visually induced body motion in children", *Perception*, vol. 24, pp. 435 – 449, 1995.
- [14] B. E. Riecke, J. Schulte-Pelkum and M. N. Avraamides, "Cognitive Factors Can Influence Self-Motion Perception