

サイバー酔の発症におけるベクションおよび主観的鉛直の関与 Contributions of Vections and Subjective Vertical to the Incidence of Cyber Sickness

近藤慎之介[†] 宮野悠馬[†] 森昭智[†] 菅原朋子[‡] 田口敏行[‡] 井須尚紀[†]
Shinnosuke Kondo, Yuma Miyano, Akitomo Mori, Tomoko Sugawara, Toshiyuki Taguchi, Naoki Isu

1. はじめに

大画面の 3D 映画やバーチャルリアリティでは、仮想環境内で自分が動きまわると感じる感覚（視覚誘導性自己運動感覚=ベクション）を覚える一方、サイバー酔（VR 酔）と呼ばれる動揺病の一種が生じる。視覚はあたかも身体が動くような感覚（ベクション）を惹き起こすが、前庭感覚は静止状態の情報を伝達するため、視覚と前庭感覚の間で身体運動感覚に情報の競合が生じることになる。この感覚情報矛盾がサイバー酔の原因と考えられてきた。しかし、ベクションの強さと不快感強度は必ずしも対応しない実験結果も報告されるようになり、ベクションには周辺視が影響し、サイバー酔には中心視あるいは眼球運動が影響するという仮説も提唱されている[1]。

本研究では、サイバー酔におけるベクションと眼球運動の関与を明らかにすることを目的に、誘起されるベクションと眼球運動以外は極力差異のない刺激を用いてサイバー酔を発生させ、並進/回転や回転面によって区分したベクション強度によってサイバー酔の強度を重回帰分析した。各ベクションの大きさおよび偏回帰係数から、それぞれのサイバー酔に対する関与を比較検討する。また、ベクション以外の関与を表す定数項を刺激の種類毎に推定し、定数項に含まれる眼球運動の効果を検討する。

2. 実験方法

耳鼻咽喉科疾患の既往のない 20 歳前後の健康男女 35 名を被験者に用いて総計 48 回の実験試行を実施した。書面による被験者の同意を取得し、三重大学大学院工学研究科実験倫理委員会の承認の下に実験を実施した。

実験は室温 25°C に調整された暗室内で実施した。円筒型スクリーン（高さ 2.60m, 半径 10m の円筒の 60 deg 円弧の曲面）に 3D アニメーションを投影し、スクリーンの手前 4m に被験者を着座させた。被験者から見たスクリーンの視角は水平 124 deg×垂直 36 deg であった。音響には 7.1ch サラウンドシステムを用いた。

イルカの群れが運動方向を回転させながら遊泳し、その手前に複数のフーセンウオが位置を変えずに浮遊する 3D アニメーションを作製した。イルカの群れは仮想空間内で観察者（被験者）を中心とする半径 7m の円周上を 8 秒で一周するように等速で回遊し、その円運動の回転軸が観察者の前後軸回りに 45deg/s でロール回転するものとした。直径 32cm のフーセンウオは観察者の前方 4m で同じ位置に留まるようにした。ただし、生きた魚の自然さを損なわないように位置に小さな摂動を加えた。イルカの運動方向（順方向/逆方向に動く）と姿勢（背面/側面を見せる）、フーセンウオの存否と回転（無/イルカと一致して回転/固定）を変化させ、これらの組合せによる 8 種類の映像 { (順

/背/無), (順/側/無), (逆/背/無), (逆/側/無), (逆/背/回), (逆/側/回), (逆/背/固), (逆/側/固) } を刺激とした。

各視運動刺激の提示直後に、不快感、並進ベクション、および回転ベクションの強度を 0~10 の数値尺度で評価させた。また、主観的に感じる鉛直方向を、「前」「下」「左右」「前後」の選択肢から 1 つを選択させた。ここで、「前」「下」はそれぞれ前方あるいは下方の一定方向に主観的鉛直を知覚した場合であり、「左右」は主観的鉛直が左右に揺れ動く場合、「前後」は前方と下方の間を変化する場合とした。「左右」あるいは「前後」を選択した場合には、主観的鉛直の方向変動の感覚強度を 0~10 の数値尺度で評価させた。

1 試行の刺激時間は 48 秒とし、試行間に 15 秒の評価時間を挟んだ 8 試行（8 種類の刺激）を 1 セッションとして、セッション間に 3 分の休憩を設けて 4 セッション（32 試行）を実施した。なお、実験試行前に 4 試行の練習セッションを設けた。

3. 結果

不快感あるいはベクション強度の主観的評価値が全ての試行で 0 であったものなど 15 実験試行を除き、被験者 24 名の 33 実験試行で取得したデータの解析を行った。本研究は刺激の違いによるベクション等の種類や大きさの比較を行うことを目指したのではないため、本稿ではベクション等のサイバー酔への関与に焦点を当てて報告する。

3.1 主観的鉛直方向と並進および回転ベクション

視運動刺激によって主観的に感じられた鉛直方向を「前」あるいは「前後」と知覚する割合はイルカが背面を見せる刺激で高く、「下」あるいは「左右」と知覚する割合は側面を見せる刺激で高かった。主観的鉛直方向を「前」と知覚するのは刺激映像をあたかも仮想空間の上方から真下を覗き込むように見ていると感じるときであり、並進および回転ベクションはそれぞれ水平面上の円運動ベクションとロール回転ベクションとなる。主観的鉛直方向を「下」や「左右」に知覚するのは側方から見ていると感じるときであり、ベクションは鉛直面上の円運動およびロール回転ベクションとなる。また、主観的鉛直が左右に揺れ動く感覚を主観的鉛直のロール感覚と呼ぶ。一方、主観的鉛直方向を「前後」と知覚するのは、主観的鉛直が前方と下方の間を変動するときであり、この感覚を主観的鉛直のピッチ感覚と呼ぶ。このとき、ベクションの運動・回転面が一定ではないので、変動する面上の円運動およびロール回転ベクションと分類する。

全ての刺激による反応を合せて、主観的鉛直の方向変動感覚、並進ベクション、および回転ベクションの相互間の相関を求めた。主観的鉛直のロール感覚、鉛直面上の並進および回転ベクションの相互間には弱い相関が見られた ($r=0.18\sim 0.36$)。また、水平面上の並進と回転ベクシ

[†] 三重大学工学部情報工学科

[‡] 豊田中央研究所

ンの間にも弱い相関が認められた ($r=0.24$)。一方、運動・回転面が変動するときには、並進と回転ベクションの間に相関は見られず ($r=0.07$)、主観的鉛直のピッチ感覚との相関も極弱いものであった ($r=-0.16\sim 0.21$)。

3.2 サイバー酔の重回帰モデル

主観的鉛直の方向変動感覚、並進ベクション、および回転ベクションの強度を説明変数として、不快感強度を線形重回帰モデルを考える。前節で述べたように、説明変数相互間の相関が弱いので、重回帰分析における多重共線性は大きな問題にならない。説明変数は知覚された主観的鉛直の方向によって3群に分かれる。これらの説明変数に依存しない不快感誘起の要因が視運動刺激の種類毎に含まれる可能性があるため、定数項を刺激毎に定めることとした。ただし、イルカの運動方向が順/逆の刺激については1つにまとめた。最小二乗法を用いて偏回帰係数を推定した結果、

$$MS = \begin{cases} 0.50 L_H + 0.03 R_H + C_i \\ 0.35 V_R + 0.16 L_V + 0.16 R_V + C_i \\ -0.03 V_P + 0.13 L_F + 0.18 R_F + C_i \end{cases}$$

但し、MS: 不快感強度

V_R, V_P : 主観的鉛直のロール/ピッチ感覚強度

L_H, R_H : 水平面上の並進/回転ベクション強度

L_V, R_V : 鉛直面上の並進/回転ベクション強度

L_F, R_F : 変動する面上の並進/回転ベクション強度

C_i : 視運動刺激毎に定める定数 (i : 刺激の種類)

と推定され、決定係数は0.26であった。なお、定数項 C_i の値は、「実験方法」に記載した刺激の順に、0.80, 0.70, 0.77, 0.73, 1.18, 1.21であった。

説明変数である心理学的測定値には全て等しく定めた数値尺度を用いているので単位は全て等しいとみなして、偏回帰係数の大きさを不快感誘起への関与を比較する。偏回帰係数が最も大きいのは水平面上の並進ベクションであり、鉛直面上および変動する面上の並進や回転ベクションの約3倍であった。水平面上の回転ベクションの偏回帰係数は極めて小さく、不快感誘起への関与が見られなかった。主観的鉛直のロール感覚の偏回帰係数は鉛直面上の並進や回転ベクションの2倍以上であり、不快感誘起への強い関与が見られた。一方、主観的鉛直のピッチ感覚は偏回帰係数が極めて小さく、不快感誘起に影響しなかった。定数項はフーセンウオがイルカの前方に存在して姿勢を回転させないときに、他の刺激と比較して大きかった。

主観的鉛直の方向毎に不快感強度の平均を求め、各説明

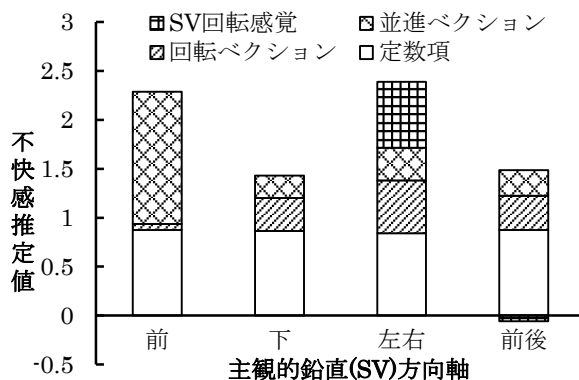


図1 不快感強度の各説明変数に起因する成分

変数に起因する成分に分けて示したものが図1である。各説明変数に起因する成分の大きさからも、上述とよく一致する結果が得られた。主観的鉛直のロール感覚は不快感誘起に強く関与しているが、ピッチ感覚は影響しなかった。水平面上の並進ベクションは不快感誘起に強く関与するが、回転ベクションはほとんど影響しなかった。鉛直面上や変動する面上の並進ベクションと回転ベクションは同程度に関与した。主観的鉛直方向がいずれの場合も定数項による成分の大きさが等しく、説明変数以外の要因に起因する成分は主観的鉛直の知覚に依存しないことが示された。

4. 考察

水平面上の動きと知覚したとき、回転ベクションが不快感誘起に影響しない一方で、並進ベクションは不快感誘起に強く関与した。水平面上での回転だけでは鉛直方向が変化しないので加速度の変化がないが、円運動すると加速度が方向を変えながら作用する。水平面上の運動が誘起する不快感には、水平方向に加速度を知覚させるベクションが重要であると思われる。ドライビング・シミュレータで発症するシミュレータ酔でも、加減速時やカーブ時などの水平に加速度が作用する場面で不快感が強く誘起されることが知られている。前庭感覚が受容する加速度(重力加速度)と直交する方向に、視覚を介して加速度を知覚することになるため、視覚-前庭感覚間の情報矛盾が強く作用するものと思われる。

鉛直面上の動きを知覚したときには、主観的鉛直のロール感覚が最も強く不快感誘起に関与した。主観的鉛直の方向を変化させる刺激は、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は多くの研究で報告されている[e.g. 2]。鉛直面上の円運動も加速度の大きさや方向変化を知覚させており、主観的鉛直のロール回転と合わせて、加速度の方向や大きさ変化が不快感の誘起に深く関わることを示している。

眼振頻度の高い刺激ではサイバー酔が強くなり、眼振頻度とサイバー酔強度の間に有意な正の相関が報告されている[3]。しかし、本研究では、眼球運動はフーセンウオがイルカの手前に存在するときに強く抑制されるにも拘らず(未発表)、重回帰モデルの定数項は小さくならなかった。このことは、眼球運動が不快感誘起にほとんど影響を与えていないことを示している。さらに、フーセンウオが回転しない刺激(イルカの運動方向はロール回転している)では、却って定数項が大きな値となった。これらの刺激では平均的な不快感強度が他の刺激より高く、その差は概ね定数項の差に相当している。視野の中で2つの異なるロール回転が生じる状況は日常生活の中でほとんど経験しない。日常経験の乏しい視運動刺激であることが不快感を高める原因であるかも知れない。

参考文献

- [1] Webb NA, Griffin MJ, "Eye movement, vection, and motion sickness with foveal and peripheral vision", *Aviat Space Environ Med*, Vol.74, 622-625 (2003).
- [2] Izu N, Matsumoto T, Aoki R, "Rotation of subjective vertical is an important factor of visually-induced motion sickness", *J Gravit Physiol*, Vol.7, P85-P86 (2000).
- [3] Hu S, Stern RM, "Optokinetic nystagmus correlates with severity of vection-induced motion sickness and gastric tachyarrhythmia", *Aviat Space Environ Med*, Vol.69, 1162-1165 (1998).