

VR 空間内における受動的運動時の酔い状態の解明

The study of the motion sickness during the passive translation in the VR environment

研究代表者 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門

主任研究員 渡邊 洋

Institute for Human Science and Biomedical Engineering

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,

Senior Researcher Hiroshi WATANABE

車酔いすなわち動揺病は快適な車内環境の確立のために解決しなければならない重要課題のひとつであるが、そのメカニズムはいまだ明確ではない。一般に、視覚系と前庭系（平衡感覚）に異なる情報が入力されることによって生じた混乱がストレス状態となり、嘔吐などの不快症状につながると考えられている。しかし脳には不一致した情報入力に対して、それが予測できるものであれば補正して平衡を保つ能力があるので、自分の進行方向と加速度について制御あるいは予測の可能な運転者は酔わない。酔うのはもっぱら受動的に移動を行っている同乗者である。本研究は、受動的な移動状態をヴァーチャルリアリティ(VR)装置内で模擬し、心理、生理的な指標を用いて酔いの定量化と行動の変化を明らかにすることを目的とする。交通渋滞緩和や環境保全のために今後受動的な移動の機会は増すと考えられ、その状況下での快適性を確保するためにも本研究の意義は大きいであろう。

The mechanism of the motion sickness is still unclear though it should be solved to establish the comfortable environment of vehicle. The dissociation between the visual and vestibular input might cause the stressful state and annoy ones with vomit, headache etc. The brain, however, has the ability to keep the equation against the incongruent inputs when they can be predicted. Thus the driver who can control their direction and acceleration does not have the motion sickness and, on the other hand, the passenger does because of their passive state. In this study, we aim to simulate the passive translation in the virtual environment and to quantify the motion sickness using with the physiological, psychological and behavioral measurements. We come to have many opportunities of passive transportation to modify the traffic jam and/or to protect the environmental and our study might contribute to the establishment of the comfort in such a situation.

1. 研究目的

移動中の生体に頭痛、吐き気、眠気などをもたらす車酔いあるいは動揺病と呼ばれる不快症状の主な原因として最も影響力のある理論は Reason(1978)が示した感覚不一致説であろう。この理論によれば、移動者は能動的な移動環境において、現在の自己の状態を表現する視覚や体性感覚器官からのフィードバック情報と、移動を行うために発している運動指令がもた

らす自己の状態の変化に関する予測を比較している。そしてそれらの間に不整合が生じた場合、強い不快を感じると考えるのである。これは経験の浅いパイロットなどが非日常的な加速度にさらされた時に感じる動揺病症状をうまく説明する。すなわち能動的な機器の操作がもたらす自己の状態変化に関して予測がうまくできないことによる不一致の発現を意味している。

近年、交通機関の発達に伴い、われわれが受動的な移動状況におかれる機会は非常に多くなっている。そして長時間にわたって高速な、すなわち非日常的な加速度が与えられ続けることも珍しくない。このような環境での動揺病の発生を予防する技術開発は、公共交通機関の快適性を確保するためにも重要であると考えられる。受動的な移動状況の場合、能動的な場合と異なり自らが移動機械を制御する運動指令は発生しない。しかし Griffin(2004)は、乗用車における同乗者のように自分の移動をコントロールできない観察者が主に視覚情報に基づいて移動の方向を予測しようとすることを示した。当然、多くの場合この予測は外れ、そこに感覚フィードバックからの矛盾は多く発生し、動揺病が引き起こされることが考えられる。したがってこの予測を補助する情報を与えてやることによって動揺病の発生を抑えることが可能になるのではないだろうか。

本研究は没入型の VR 装置を用いて、視覚と前庭を同時に刺激するようなドライビングシミュレータを経験中の観察者に移動方向を予告する視覚サインの存在が、心的に負荷に与える影響を明らかにすることを目的としたものである。

2. 研究経過

被験者：正常な視力を持ち、前庭系に既往症のない成人男女 21 名が実験に参加した。観察者らは実験の詳細な目的については知らされなかった。実験方法は産業技術総合研究所関西センターの人間工学実験委員会の承認を得ており、すべての観察者からインフォームド・コンセントを得た上で実験を行なった。

装置：被験者を擬似的な受動的移動状態に暴露するために、没入型 VR 装置 (CAVE、イリノイ大、図 1) を用いてドライビングシミュレータを作成した。このシステムは四つのスクリーン (前、床、左右面、各スクリーンサイズは 3m 四方) で構成され、立体画像が 40Hz のリフレッシュレートで各スクリーンに投影さ

れる。被験者は装着した偏光眼鏡で立体画像の観察を行った。グラフィックスワークステーション (Onyx/Infinite reality、シリコングラフィックス社) がすべての立体動画像を生成し、同時にモーションベースシステムを制御した。画像と同期する前庭情報はモーションベースシステム (三菱プレジジョン社製) によって生成された。このシステムは CAVE の床面下に設置され (図 1)、任意の三つの軸 (yaw, pitch, roll) 周りの回転を六つの油圧式アクチュエータによって与えることができる。ドライビング中の前後方向の加減速は pitch 軸周りの角度への変換によって表現され、ドライブ平面内での回転は yaw 軸周りの回転角度への変換によって表現される。

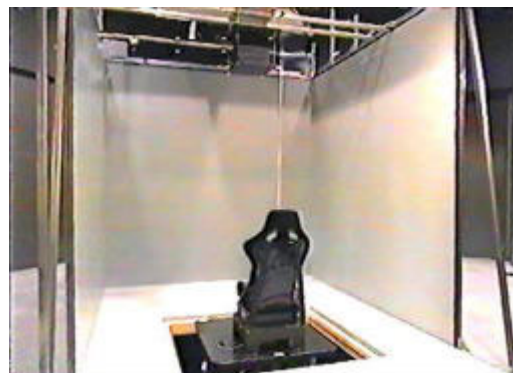


図 1

心電図：刺激観察中の被験者の自律神経系活動を評価するために、左下胸部および右肩に電極を装着し二点誘導によって心電図を計測した。計測はテレメータ (日本電気株式会社製サイナアクト、MT11) を用い、サンプリング周波数 100Hz で AD 変換したものをパーソナルコンピュータによって記録した。

手続き：すべての被験者は同一のバーチャルドライビングコースを観察した。それらは以下に示す三つの拘束条件の元に作成された。1) 前方への加速度は四つのフェーズで構成される：加速、一定速度、減速、一定速度。2) これらの四つのフェーズの間隔は 28.5 ± 5.7 秒であり、一定速度は時速 10 から 70km の間でランダムに決定された。3) 回転イベントは 23.5 ±

4.7 秒に一回発生し、角度の範囲は±4.5 度の間でランダムに決定された。回転角度の符号はイベントごとに反転した（右回転と左回転を交互に繰り返した）。加速イベントと回転イベントの間に関連性はない。

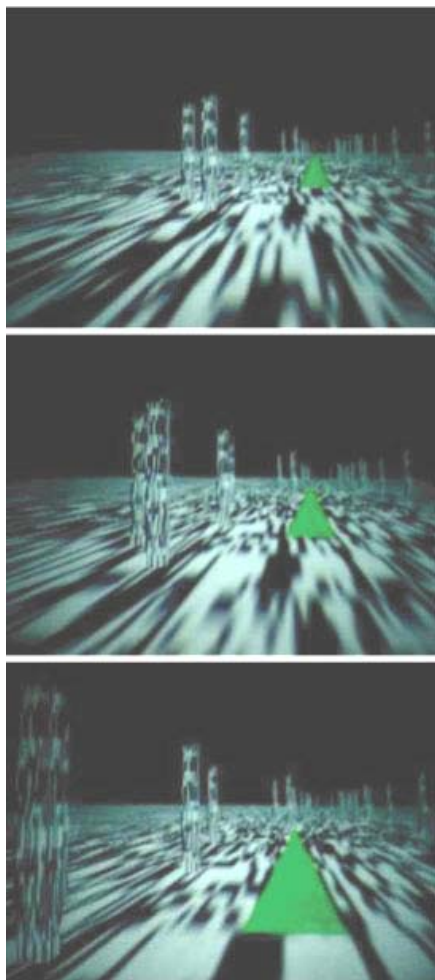


図 2

また 400 個の直方体（横 0.25m、奥行き 0.25m、高さ 50cm から 2m の間でランダム）がドライビングコースに沿ってランダムに障害物として配置された。これらは大雑把に、しかし完全にではなく、観察者にドライビングコースを知らしめた。また障害物は常に見えないコースの両側に配置され、バーチャル移動体は決してそれらと衝突することはなかった。ランダムドットテクスチャが障害物と床平面に張られ奥行き知覚を強調させた。図 2 に時系列に沿った観察者

からの視点の例を示す。

観察条件：被験者は以下の 3 つの観察条件にランダムな順番で参加した。1) サインなし条件、2) 750-Interval 条件、3) 3500-Interval 条件。1) ではモーションベース、画像刺激の両方を提示した。2) および 3) では 1) に加えて加減速および回転イベントが発生する位置（高さは床面から 0.6m 付近）にそれらを明示するサインを提示した。提示するタイミングはそれぞれイベント発生前 750msec および 3500msec であり、イベント発生後サインは消失する。サインの表現は加減速についてはそれぞれ上向き、下向き三角印で、左右方向の回転についてはそれぞれ左右方向に頂点を持つ三角印で構成される。観察時間は最大 16 分であった。

被験者はモーションベース上に固定された椅子に着席しシートベルトを締め、立体視用の偏光眼鏡を装着した状態で実験に参加した。また、750-Interval および 3500-Interval 条件では、事前にサインの意味について教示が与えられた。

3. 研究成果

得られた心電波形から 1 心拍ごとにピーク値を求め、心拍間でのピーク値の間隔 (R-R 間隔) を算出した。この R-R 間隔データを 0.01 秒ごとにリサンプリングし、R-R 間隔トレンドグラムを算出した。そして周波数解析によって 0.15Hz を境界とするスペクトル面積の比率を各条件、被験者ごとに算出した。周波数 0.15Hz 未満の領域は LF 成分と呼ばれ、交感神経および副交感神経による変動といわれている。一方 0.15Hz を超える領域は HF 成分と呼ばれ、主に副交感神経系由来の変動成分といわれている。そこで HF 成分に対する LF 成分の比率を求めることによって精神的な安定度や緊張状態の指標とする。一般にこの比率が低いほど副交感神経系の活動が優位であり、精神的に安定した状態であると解釈される。

ここで LF/HF 比率の時系列変化を、16 分間の観察時間から得られたトレンドグラムに対し 6 分間の時

間窓での周波数解析をずらしていくことによって評価した。図 3 に LF/HF 比率の時系列変化を被験間で平均したもの示す。

本実験の結果から、観察時間の経過にしたがって予告サインがない場合に LF/HF 比率が増加し、加速イベント発生 3500ms 前に予告サインを提示した場合それが一定となることが示唆された。一方でイベント発生 750ms 前にサインを提示した場合、LF/HF 比率の推移は被験者間で分散が大きく、サインの効果が不明瞭であったことが示された。そこでアドホックな解析としてサインなし条件と Interval 3500ms 条件のデータに対してのみ 2 要因の被験者内分散分析を行った。分析の結果時系列要因に有意な主効果 ($F_{8,160} = 7.55$; $p < .001$) が示された。また観察条件と時系列条件の間に有意な交互作用 ($F_{8,160} = 3.12$; $p < .01$) が示された。さらに要因間での差を検討するために Ryan の多重比較を行ったところ実験開始から 6, 7, 8, 9 分後においてサインなし条件と Interval 3500 条件の間に有意な差 (それぞれ $F=4.60$, $F=5.38$, $F=4.03$, $F=4.23$, いずれも $df=1, 180$, $p < .05$) が見出された。

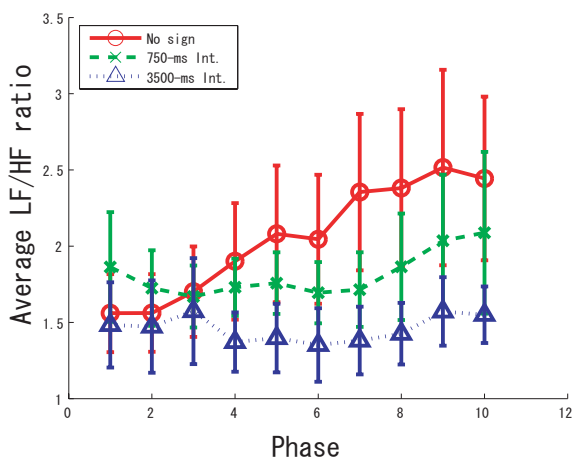


図 3

4. 今後の課題と発展

以上の結果から、時系列の変化に従ってサインがない場合と加速度提示イベントまでに 3500msec の余裕

を持ってサインを提示した場合に自律神経系の活動に差が生じ、後者のほうが LF/HF 比率の安定性が維持されることが示された。一方で加速度提示イベントとサイン提示のタイミングが短い場合、明確なサインの効果は示されなかった。今回被験者に提示したサインは定量的な情報を含んでいないため、数値的には加速が存在していたとしてもそれが微量であった場合、被験者にとっては false alarm (誤警報) に近い印象を与えることが考えられる。またストループ課題、鏡映描写、暗算などの課題が精神ストレスとして心拍変動に影響を与えることを考慮すると、たとえシンプルでも記号の意味を解釈する課題が頻繁に与えられれば、緊張状態は高まることもあると考えられる。したがって効果的なサインの提示方法を考慮する場合、イベントとの時間的な関係だけでなく、イベントのいわば重要性に応じた段階的な表現が必要であると考えられる。

5. 発表論文リスト

Hiroshi Watanabe, Wataru Teramoto, Hiroyuki Umemura, Katsunori Matsuoka: The reduction of mental strain using with the visual sign in Virtual Environment, 15th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, 2005.

渡邊洋, 寺本渉, 梅村浩之, 松岡克典: VR 内心拍変動の時間変化に予告サインが与える影響, 映像情報メディア学会研究会, 29, pp29-32, 2005.

渡邊洋, 寺本渉, 梅村浩之, 松岡克典: 予告サインによる動揺病低減手法の開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 10 回大会予稿集, pp195-198, 2005.

渡邊洋, 寺本渉, 梅村浩之, 松岡克典: VE 内での受動的移動状況に関する快適性評価-視覚サインによる酔いの低減, 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, 2005-10, pp51-54, 2005.