

乗り物の加速・減速中における錯覚現象に関する基礎的研究

A Basic Study on Illusory Perception of Acceleration and Deceleration of Vehicles

1081011



研究代表者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	准教授	柴田 智 広
共同研究者	奈良県立医科大学 第一生理学教室 講 師		和田 佳 郎
共同研究者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	助 教	池田 聖

〔研究の目的〕

乗物に乗っている人間の認知能力は、静止時や自律歩行している時に比べて異なることが知られており、様々な角度から差異を発見し、定量的に理解することは人間と機械の調和の促進上極めて重要である。

本研究では、共同研究者である和田らの研究(Wada, et al. Neuroscience Research, 2007)に基づいて乗物の加速や減速中における錯覚現象に関する基礎的研究を行った。和田らはサルを用いた行動実験により

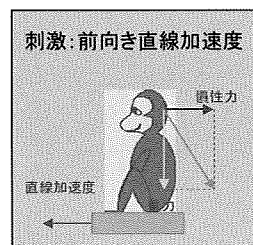
- ・前方向に直線運動している前庭情報によって輻輳眼球運動が誘発される
- ・前方向に直線運動している前庭情報によって後方向の傾きを代償する下向き眼球運動が誘発される

ことを明らかにしている。この時の実験の様子を図(a)に示す。サルが座る台座が、直線運動制御がされ、サルの眼球運動が同時計測された。直線運動することで物体が自身に近づいてくると考えると、輻輳眼球運動が生じるのは自然であると考えられる。また、直線加速度によって生じる慣性力と重力の合力を直線加速度センサである耳石器が感知し、その合力を重力方向だと脳が錯覚するとすれば、下向き眼球運

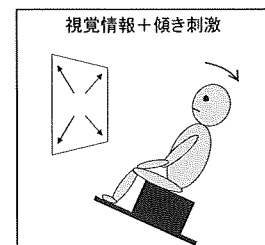
動が生じるのは自然であると考えられる。

また、図(b)左側に示したように、画像中の運動成分が画面中央から発散する場合や、逆に中央に吸引される場合、ヒトやサルでは輻輳眼球運動が誘発されることが知られている。これはそのような画像中の運動成分が自身の前進や後退から生じると考えると自然な眼球運動である。

そこで本研究では図(b)のようにヒトを対象にして、画像刺激だけでなく「姿勢傾き刺激」を与えた場合、耳石器が関連した直線加速度感の錯覚を誘引することによって輻輳性眼球運動が強化されるであろうという仮説を立て、複合現実環境を用いて検証することを目的とした。



図(a) 過去の実験



図(b) 提案する実験

〔研究の内容、成果〕

本研究では複合現実環境を用いて、静止中の被験者に対して実験を行った。具体的には、広視野ディスプレイ（図(c)）に、屋外で撮影した自然画像、あるいは脳科学で用いられるランダムドット刺激などを用いて、前進に対応する運動成分をもつ映像や静止映像を被験者に提示し、両眼の運動を計測した。さらに、耳石器が関連して錯覚を誘引すると期待される「姿勢傾き刺激」を、制御可能な椅子（図(d)）によって与え、眼球運動を計測する。実験条件による眼球運動の違いを解析した。

視覚刺激は、以下の3要件を考慮して取得・生成した。

- (1) 映像内の環境のスケールが認知できるものである。
- (2) 大きな直線加速度感を与える映像である。
- (3) 注視点が大きく動きにくいコンテンツである。

本研究では、ビデオカメラを用いて取得した実環境の動画像を被験者に提示し、実環境中での視界が再現される複合現実環境下で眼球運動を計測した。

本実験では、図(C)に示すように、被験者はスクリーン正面に設置した傾斜可能な椅子（Joychair, 川田工業）に座り、傾斜角度を制御することで前庭感覚刺激を与えた。椅子の制

御角は、動画を取得した際に同時に計測した自動車の加速度から算出した。

この実験では、事前に実験の目的と内容を十分に説明し、同意が得られた健常成人5名を対象とした。視覚刺激には、前章で述べた動画（Movie）とその初期フレームである静止画（Picture）の2種類を設定した。椅子の動きには、後方向の傾き（Tilting）と静止（Stationary）の2種類を設定した。両者の組み合わせから以下の4種類の条件を設定し、実験はダミー刺激（2条件）を加えた6条件を各6回ずつ、計36回繰り返した。各刺激は1回約8秒であり、刺激の直前まで視点を固定するためのマークが表示された。同一刺激を連続して与えるとadaptationが起きて反応が減少する可能性があるため、刺激条件はランダムな順序で提示し、36回を1セットとし、各セット間は十分な時間をあけて計8セット実施した。

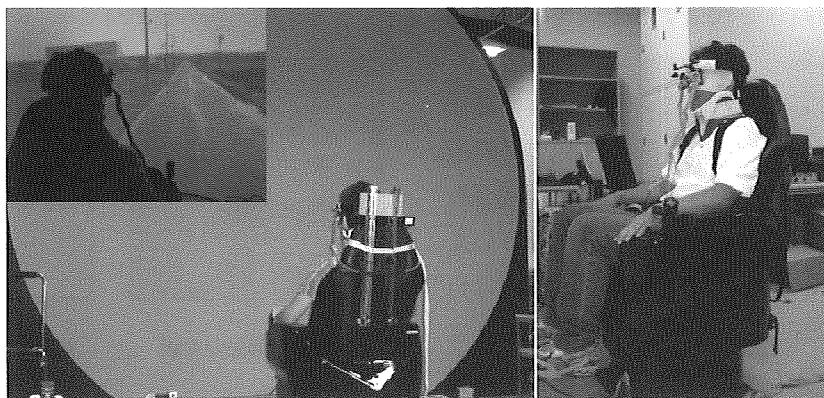
O : Picture + Stationary (control condition)

A : Movie + Stationary

B : Picture + Tilting

C : Movie + Tilting

椅子の前後方向の直線加速度を直線加速度センサ（CXTA 01, Crossbow）、前後方向の回転角速度をジャイロセンサ（CRS 03-04, Silicon Sensing System）にて測定し、データ収集解析システム（PowerLab system, ADInstu-



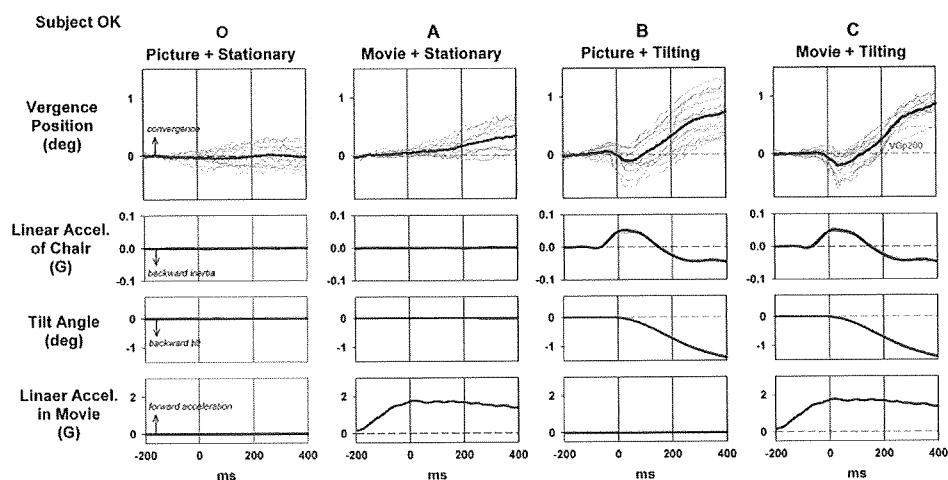
図(c) 広視野を持つ球面ディスプレイ

図(d) 傾き制御可能な椅子および眼球運動計測装置

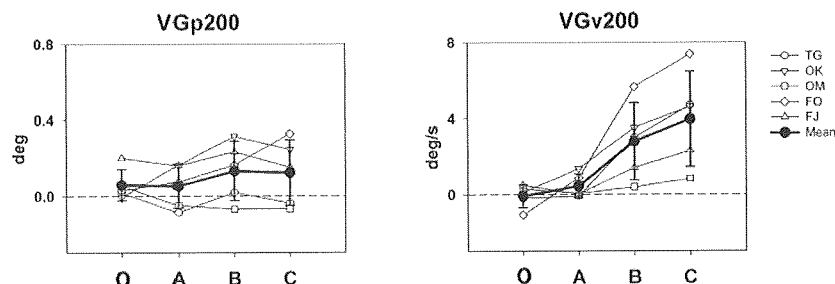
ment)にて眼球運動, 刺激の開始信号と共に 1 kHz で記録した。データ解析は Matlab (Mathworks) を用いておこない, 刺激開始 200 ms 前から 400 ms 後の間に衝動性眼球運動 (Saccade) や瞬目があるデータは削除した。データの差の検定には, Tukey-Kramer 法により多重比較を行った。

刺激開始 200 ms 前から 400 ms 後のデータを刺激条件ごとにまとめて重ね書きしたのが図(e)である(被験者 OK の例)。左から条件 O, 条件 A, 条件 B, 条件 C, 上段から輻輳性眼球運動(左眼球運動-右眼球運動)の位置波形(輻輳時正), 椅子の前後方向の直線加速度(前方向が正), 回転角速度から計算で求めた椅子の傾き(前方向が正), 動画撮影時に計測した加速度から算出した車の速度を表す。各データの太線は平均を表す。条件 B, 条件 C では椅

子は刺激開始と同時に後方向へ直線的にゆっくりと傾斜し, 400 ms 後には約 1.5 度の傾きとなった(図 e, 3 段目)。椅子の直線加速度波形は刺激開始 50 ms 前から 150 ms 後にかけて前方向への慣性力を記録している箇所(図 e, 2 段目)は, 椅子の回転により生じる並進加速である。被験者 OK (図 e) の場合, 条件 O では輻輳性眼球運動に変化は見られなかったが, 動画(条件 A)を提示すると刺激開始から約 100 ms 遅れて非常に小さな輻輳性眼球運動が誘発された。また, 椅子を後方へ傾ける(条件 B, C)と前段落で述べた並進加速に起因する小さな開散性眼球運動の後に大きな輻輳性眼球運動が認められた。刺激開始 200 ms 後における輻輳性眼球運動の位置成分を VGp 200, 速度を VGv 200 と定義し, 条件ごとに被験者全員の結果をまとめたのが図(f)である。VGp



図(e) 各刺激条件における眼球運動



図(f) 被験者全員の結果

200 に対する多重比較の結果、O、A、B、C の間に有意な差はなかった ($p < 0.05$)。一方、VGv 200 に対する多重比較の結果は、O と B、C の間、A と B、C の間に有意な差があり、また B と C の間にも有意な差があった ($p < 0.01$)。すなわち、動画のみによる刺激では、輻輳性眼球運動があるとは言えなかったが、椅子を傾ける条件では、輻輳性眼球運動の速度が大きく、しかも動画を組み合わせるとさらに速度が大きくなることが示唆された。

以上のように我々は、実写映像を用いた複合現実環境内でモーションチェアによる傾斜刺激が直線運動と錯覚されることを裏付ける現象の観測に、初めて成功した。

[今後の研究の方向、課題]

以上の結果から、次のような追加実験を考え、現在被験者実験も完了し、更なる論文化のための解析を進めている。

- これまでは、輻輳性眼球運動、すなわち直線加速度感が椅子を傾けた場合に生じるか否かという二択問題であったが、椅子を傾ける角度を複数設け、角度に応じて輻輳性眼球運動の大きさや速度が変わるか確認する
- 従来の神経科学の知見によれば、視覚刺激のみでも十分な輻輳性眼球運動の誘発が可能であると考えられるため、全面、特に近景に豊富な視覚情報を含む映像を作成し、輻輳性眼球運動の大きさや速度を確認する
- 視覚情報を提示しない暗所条件を実験条件に追加し、椅子の傾きのみが輻輳性眼球運動に与える影響を確認する
- モーションチェア回転直後に生ずる並進加速度の影響を小さくするため、回転直後から 100 msec 程度の短期間、躍度最小軌道などを利用し、加速度を 0 から滑らかに上

昇させる制御方法を検討する。

本研究により、実際に乗り物を直線加速させずとも、直線加速度感を与えられること、また直線加速度感を定量的に計測できることが示唆された。これにより、例えば次のような応用が考えられる。画像と椅子の傾きによって直線加速度感を与える要素のあるドライビングシミュレータやエンターテインメント施設において、施設側が設定したある一定の直線化速度感を参加者全員に対して実現するために、参加者各人の輻輳性眼球運動の計測値に基づいて、各人の椅子の傾きを独立に制御できる可能性がある。また、自動車を運転する運転手が加速や減速をする際の眼球運動を計測し、結果を比較することも重要な今後の課題である。

[成果の発表、論文など]

原著論文

- 1) 池田 聖, 和田佳郎, 柴田智広: “輻輳性眼球運動に基づく直線加速感評価のための複合現実環境の構築”, 映像情報メディア学会誌, vol. 64, no. 2, pp. 244 - 247 (2010)

解説記事

- 1) 池田 聖, 和田佳郎, 柴田智広: “複合現実環境内での輻輳性眼球運動の計測 ～直線加速感を測る客観指標を求めて～”, 画像ラボ, (印刷中)

国内会議

- 1) 和田佳郎, 池田 聖, 長谷川達央, 石田純一, 柴田智広: “ドライビングシミュレータにおける傾き一直線運動錯覚,” 電子情報通信学会技術報告 [ニューロコンピューティング] NC 2008-34, vol. 108, no. 130, pp. 13 - 18 (2008)
- 2) 和田佳郎, 長谷川達央, 池田 聖, 柴田智広: “耳石器の傾き一直線運動錯覚現象を利用した加速度 VR システムの構築”, Equilibrium Res., vol. 67, no. 5, p. 387 (2008)
- 3) 池田 聖, 和田佳郎, 長谷川達央, 石田純一, 柴田智広: “輻輳性眼球運動を指標とした加速感増強のためのモーションプラットフォームの傾斜制御”, 第 13 回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, pp. 650 - 653 (2008)