

オプティカルフローにより引き起される視覚性身体動揺

倉田 憲一^{*1,*2}, 大喜 智明^{*1,*3}, 柳田 康幸^{*1}, 前田 太郎^{*1}, 舘 暲^{*1}

Postural Sway Induced by Optical Flow in Visual Scene

Ken-ichi Kurata^{*1,*2}, Tomoaki Daigi^{*1,*3}, Yasuyuki Yanagida^{*1}, Taro Maeda^{*1} and Susumu Tachi^{*1}

Abstract - In this research we investigated postural sway of subjects induced by optical flow composed of random dots on computer graphics which simulated straight orbits and curve orbits. The optical flow was varied with curvature, velocity and how to display. We could conclude that the body sway is mostly induced by a change of curvature and clues of image and that the subject sways to centrifugal direction and bends forward when curvature is varied and that the subject sways to centripetal direction in advance if he recognizes curve orbit.

Keywords : postural sway, locomotion image, optokinetic stimulation, postural control

1. はじめに

人工的に作られた空間を現実存在する空間のように感じさせる人工現実感の技術は、応用分野の拡大とともにないこれまでにない重要な技術になってきている。人工的に作りだされた世界と実世界に存在する人間とのインターフェイスの1つである画像提示による視覚情報の入力、人工現実感技術の極めて重要な部分の1つである。

実世界では、直進運動をしている状態からカーブを曲る状態へと視覚情報に変化すると、その前後において精神的、肉体的に人体になんらかの影響を及ぼすものと考えられる。われわれが乗用車などの乗り物に乗って移動するさい、ほとんどの場合において直進している状態からある曲率半径でカーブする状態へと移行する期間がある。直進状態からカーブを曲がっている状態へと視覚刺激が変化するとき、人体はどのような反応をするのであろうか。

実写による視覚刺激が身体動揺にどのような影響を及ぼすかを調べた研究として近江ら [1], [2] の研究があり、被験者はカーブにおいて遠心力方向へ身体動揺することが報告されている。これらの研究では主に実写映像が用いられており、視覚情報のどのパラメータが重心動揺に影響を及ぼすのかは述べられていない。

われわれは、直進からカーブに変化する移動情報をもった視覚刺激のどのようなパラメータが重心動揺に

どのような影響を及ぼすのかを調べた。そのために、被験者に提示する画像はランダムドットによるオプティカルフローにより構成した。オプティカルフローの提示方法の違いにより重心動揺にどのような影響が及ぶのかを調べた。

2. 実験方法及び実験装置

上記のことを調べるために、いくつかの異なる空間情報を持った視覚刺激を提示した場合の、それぞれの場合の重心動揺の変化を調べる必要がある。臨場感を構成する主要な要素である自己運動感覚は視覚誘導自己運動感覚によりもたらされており、これは主に周辺視野への刺激によるものが大きいと考えられている [3]。そのため、十分大きなスクリーン上に画像を提示する必要がある。

さらに、自己が運動していることを認識させやすくするために立体視をさせる必要もある。また、正確な周期で重心動揺の計測を行なうための装置も必要である。

上述の条件を満たすため、以下のように実験装置を構成した。

図1は実験装置の概略である。3管式プロジェクタにより横幅2.4[m]、縦幅1.9[m]のスクリーン上に映像を写し出す。スクリーンは床から0.67[m]の位置に配置されている。スクリーンから被験者までの距離は1.5[m]である。したがって視野角は水平方向79[deg]、垂直方向65[deg]となる。重心動揺計の高さは12[cm]である。

視覚刺激としてコンピュータグラフィックスを表示する。これを構成するために Mesa ライブラリを使用する。3次元空間上に映像があるように被験者に見せ

*1: 東京大学大学院 工学系研究科

*2: 現在: 東京大学大学院 理学系研究科

*3: 現在: 松下電器産業株式会社

*1: Faculty of engineering, University of Tokyo

*2: Faculty of science, University of Tokyo

*3: Matsushita Electric Industrial Co., Ltd

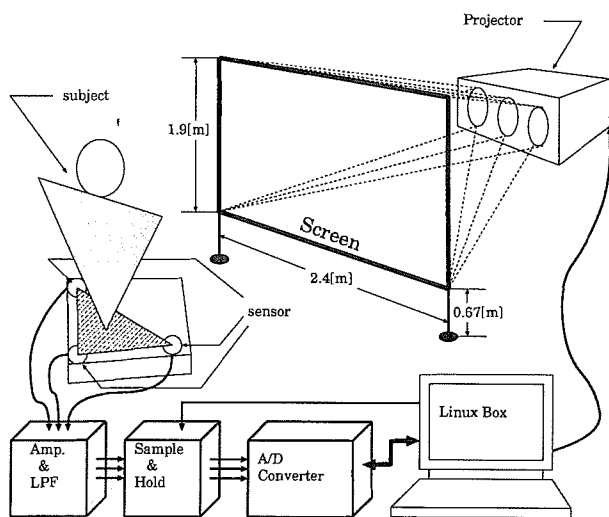


図1 実験装置の概略

るために、アナグリフ方式により立体視を実現する。被験者は前方15[m]の場所に目の焦点をあわせているものとして映像を提示する。

重心動揺計は一般用圧縮型ロードセル3つを2等辺直角三角形形状の金属製の板のそれぞれの頂点に配置することによって構成されている。

重心動揺計からの3つの圧力値は電圧に変換されてアンプに入力され、増幅される。それとともに、アンチエイリアシングフィルタとして10[Hz]に遮断周波数をもつベッセル型の低域通過フィルタを通過する。つぎに3つの信号電圧を同時にサンプリングするためにサンプルホールド回路を通り、その信号を10ビットA/Dコンバータによりデジタルデータとして計算機に取り込む。

計算機上ではリアルタイムOSとしてRT-Linux[4]を動かしており、20[Hz]でデジタルデータを取り込むことができる。

3. 実験のながれ

本研究では、実世界において「前方に直進運動をしている状態からある曲率をもつカーブに進入」することに対応する映像をランダムドットによるオプティカルフローにより構成し、これによる重心動揺を計測することが目的である。

ランダムドットによるオプティカルフローを用いるのは、動き以外の手掛りを提示画像から排除するためである。

実世界の映像でのどのような視運動刺激が重心動揺にどのように影響を及ぼすのかを調べるために、実験は次のような構成にした。

- 動き以外の手掛りをできるだけ取り除くためにランダムにドットを配置することにより提示画像を

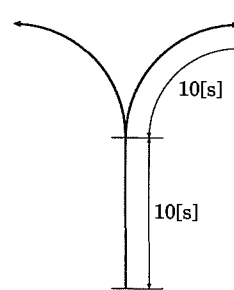


図2 画像提示の流れ

構成する。

- 図2のように直進10[s]ののちカーブ10[s]の映像を提示する。

- 進行速度を7[m/s],10[m/s],15[m/s],20[m/s]の4種類、曲率半径を15[m],20[m],50[m],100[m]の4種類とし、それぞれ左右の計32種類での応答を調べる。

- 32通りを提示する順番をランダムにすることによって、どちらにどれくらい曲がるのかを、測定順番からは被験者が予測できないようにする。

- 提示画像は空間ランダム、壁状ランダム、円筒状ランダムとする。

- 提示画像は、常時画面上に約200個のドットが存在する状態にする。

空間ランダムとは、図3にあるように体積をもった空間内にまったくランダムにドットを配置し、その中を進行する提示方法であるとする。

壁上ランダムとは、図4にあるように被験者から左右それぞれ2[m]の位置に高さ10[m]の壁が存在すると仮定して、その壁上にランダムにドットを配置する方式であるとする。

この方式により、被験者は左右の壁で構成されたコースを進行しているように認識することができる。

円筒状ランダムとは、図5にあるように被験者の目の位置を中心として半径2[m]の円筒が存在すると仮定して、その円筒上にランダムにドットを配置する方式であるとする。つまり、トンネルの中を進行する方式である。

この方式により被験者は円筒で構成されたコースを進行しているように認識することができる。

以上をまとめると1回の実験で被験者へ提示するのは空間ランダム、壁状ランダム、円筒状ランダムの3つの試行である。それぞれの試行において、直進からカーブに変化する20[s]の画像提示が32通りあるので1試行が11分弱、試行と試行の間に休憩5分をはさむので3試行全部を終えるのに約45分かかる。

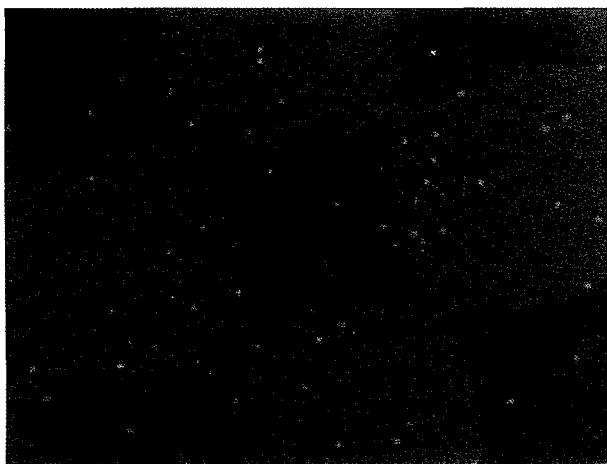


図3 実際の画像-空間ランダム

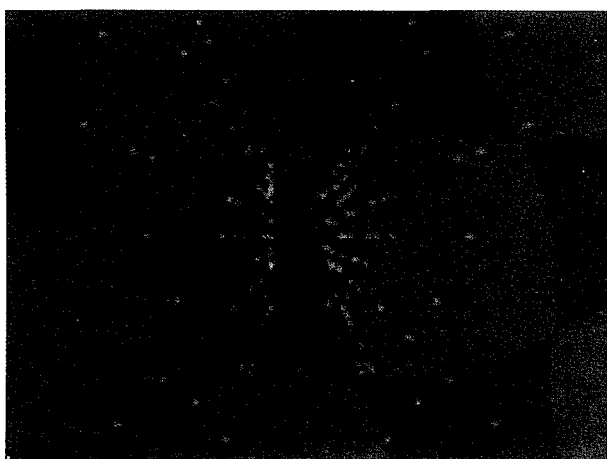


図4 実際の画像-壁状ランダム

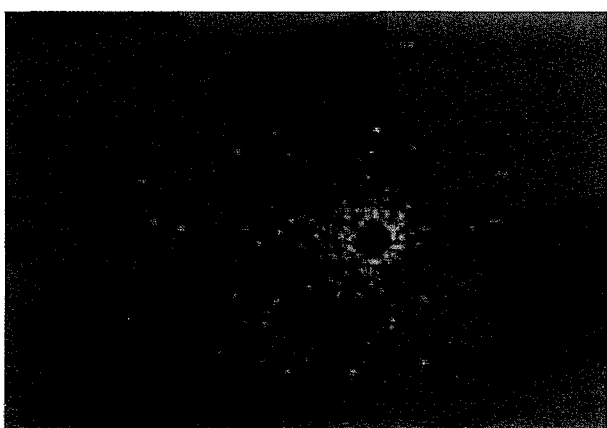


図5 実際の画像-円筒状ランダム

4. 実験結果

本研究では7人の20代健常男子にたいして上記の画像提示を行ない、重心動揺にどのような影響が及ぶかを調べた。被験者には1度限り実験を行ない、事前になどのような画像提示を行なうかを知られないように

した。さらに被験者にはロンベルグ立位[5]をとるようにより指導し、靴下は着用したままの状態で行なった。

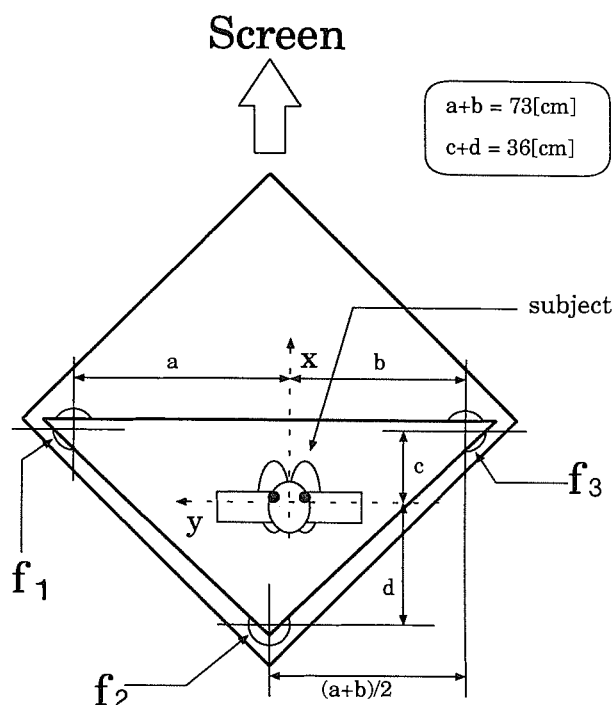


図6 重心動揺計の構成

図6は重心動揺計を真上から見た図である。測定されたデータは、それぞれの被験者の体重 \bar{F} で割った単位長さあたりの x 軸まわりのモーメント m_x と y 軸まわりのモーメント m_y に変換する[8]。

モーメントの向きは右ねじ方向を正とする。

人体は画像提示がない場合でも自発的にさまざまな周波数成分、位相成分をもって揺れている。そのため、各被験者の m_x, m_y をそれぞれ加算平均をとることによって入力信号に無相関な成分を減少させた場合の m_x, m_y の傾向をみる。

右方向に曲がる場合と左方向に曲がる場合のモーメント変化の違いを見るために次のような操作をする。右方向に曲がる画像を提示したときのすべての m_x, m_y の加算平均をとる。同様に左方向についてもすべての m_x, m_y の加算平均をとる。この作業を空間ランダム、壁状ランダム、円筒状ランダムのそれぞれについて行なう。

4.1 x 軸まわりのモーメントの変化

図7は空間ランダムの場合で、横軸に経過時間、縦軸に左右方向のモーメント m_x をとったものである。

同様に、図8は壁状ランダムの場合、図9は円筒状ランダムの場合で、横軸に経過時間、縦軸に左右方向のモーメント m_x をとったものである。5[s]から10[s]までは直進の画像が提示された場合の応答を表し、10[s]以降はカーブの画像が提示された場合の応

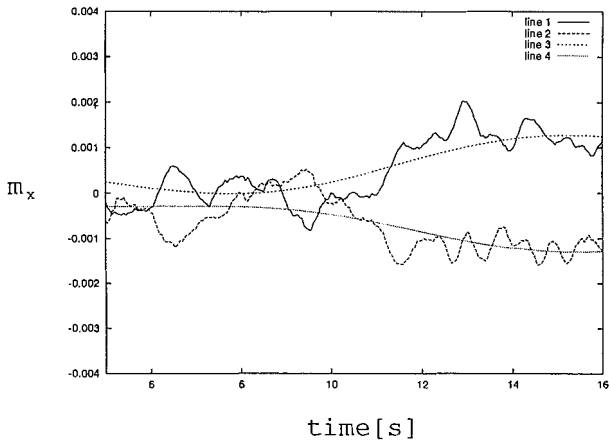


図7 空間ランダムな x 軸まわりのモーメントの変化

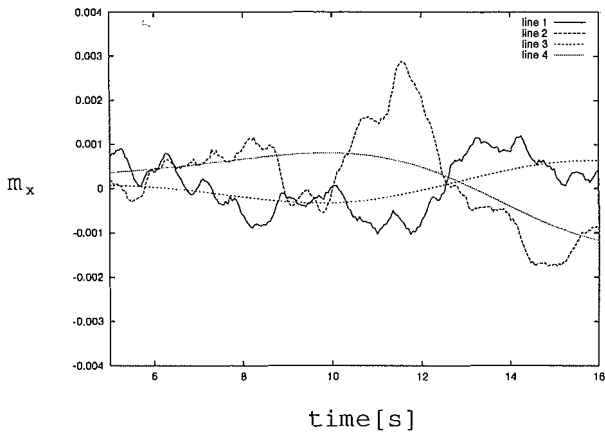


図8 壁状ランダムな x 軸まわりのモーメントの変化

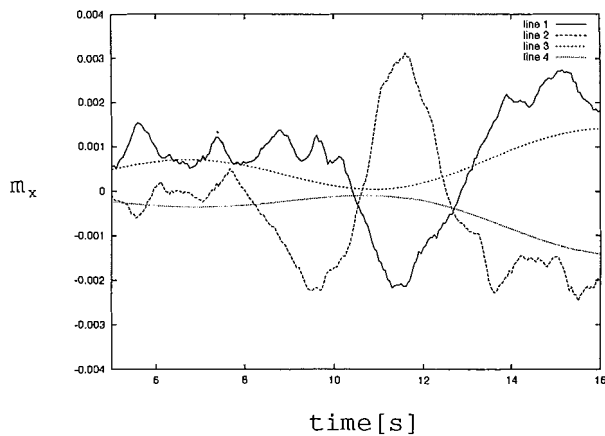


図9 円筒状ランダムな x 軸まわりのモーメントの変化

答を表している。

line 1 は直進ののち左方向にカーブする画像提示により引き起される x 軸まわりのモーメント m_x である。

line 2 は直進ののち右方向にカーブする画像提示により引き起される x 軸まわりのモーメント m_x である。

line 3 は line 1 に低域通過フィルタを作用させたものである。line 4 は line 2 に低域通過フィルタを作用させたものである。

ここで作用させた低域通過フィルタは窓関数としてハミング窓をもちいた FIR フィルタで、 f_c は遮断周波数で 0.2[Hz] とする。

4.2 低域通過フィルタを作用させた場合のモーメントの 2 次元的变化

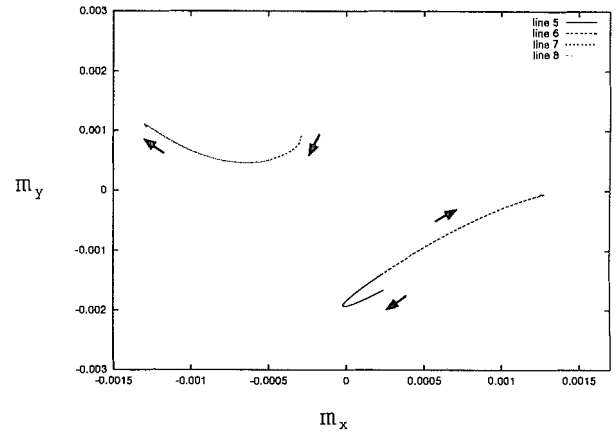


図10 空間ランダムなモーメントの 2 次元的变化

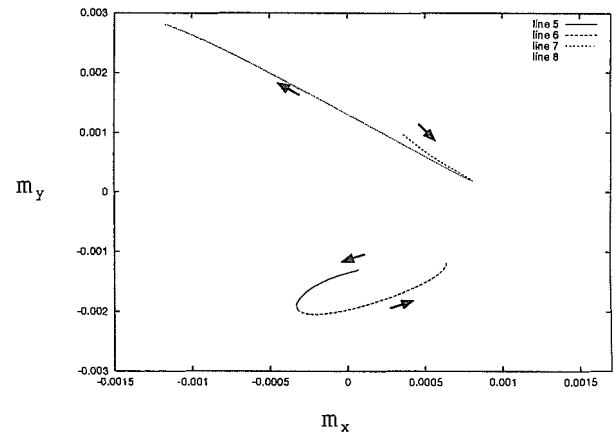


図11 壁状ランダムなモーメントの 2 次元的变化

図 10 は被験者にたいして空間ランダムな画像を提示した場合のモーメント m_x, m_y に低域通過フィルタを作用させたものである。5[s] から 16[s] までの軌跡を示した。同様に、図 11 は壁状ランダムな、図 12 は円筒状ランダムな場合のモーメント m_x, m_y に低域通過フィルタを作用させたものである。軌跡の動く方向は矢印で示した。

上述の軌跡は、人体のモデル化を単純化することにより被験者の重心の動きであると近似することができる。

line 5 は直進の画像が提示された時の被験者のモーメントの軌跡であり、そののち左方向にカーブする画

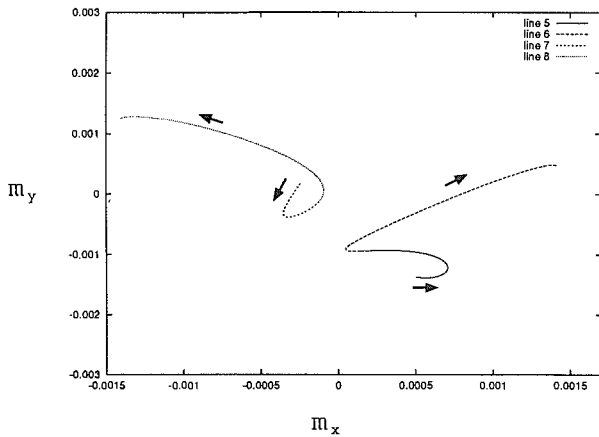


図 12 円筒状ランダムのモーメントの 2 次元的変化

像が提示された時のモーメントの軌跡が line 6 である。

同様に line 7 は直進の画像が提示された時の被験者のモーメントの軌跡であり、そののち右方向にカーブする画像が提示された時のモーメントの軌跡が line 8 である。

これらの図からわかることは、左方向に曲がる画像提示があると m_x は正の方向に振れ、 m_y も正の方向に振れていることである。右方向に曲がる画像提示があると m_x は負の方向に振れ、 m_y は正の方向に振れていることである。

5. 考察

5.1 空間ランダム

図 7 からわかることは、line 1 に着目すると 10 秒を過ぎたあたりから m_x が正の値をとっていることがわかる。つまり、被験者はスクリーンにむかって右に傾いている。

line 2 に着目すると 10 秒を過ぎたあたりから m_x は負の値をとっていることがわかる。つまり、被験者はスクリーンにむかって左に傾いている。

左方向に曲がる画像が提示された場合は人体は右に傾き、右方向に曲がる画像が提示された場合は左に傾くということである。つまり、遠心力のかかるべき方向に体が傾くといえる。

さらに、図 10 から、提示画像がカーブを進行している状態であるとき、体が遠心力方向に移動すると同時に前方に移動していることが読み取れる。これは閉眼時には開眼時にくらべて重心がより前方に移動するという報告 [6], [7] にもあるように人体は不安定な状況になると自然と前傾姿勢をとる傾向があるようである。つまり、曲がっているという視覚入力不安定な状況に置かれたと人体に認識され、前傾姿勢に移行することによって安定状態を保とうとしているものと思

われる。

5.2 壁状ランダム

図 8 と図 11 からわかることは、左方向に曲がる画像が提示された場合、カーブに進入するまえにまず体を左に傾け、カーブに進入すると、空間ランダムの場合とおなじように体を遠心力のかかるべき方向に傾けていく。同様に、右方向に曲がる画像が提示された場合、カーブに進入するまえにまず体を右に傾け、カーブに進入すると体を遠心力のかかるべき方向に傾けていく。

壁状ランダムはカーブに進入する以前にどちらに曲がるのかが予測できる。このため、カーブがくると認識するとあらかじめそのカーブにより生じるであろう遠心力を打ち消す方向に体を傾けるものと思われる。

5.3 円筒状ランダム

図 9 と図 12 からわかることは、壁状ランダムの場合と似た軌跡を描いていることである。

円筒状ランダムはカーブに進入する以前にどちらに曲がるのかが予測できるばかりでなく、被験者の上下、つまり床や天井にあたる部分にもコースの指標となりうるものがある。このため、壁状ランダムに比べてカーブ進入までの距離が予測しやすいものと思われる。カーブ進入までの距離予測ができれば、カーブに進入した直後に遠心力を打ち消す方向に体を傾けることができる。壁状ランダムの場合はカーブ進入までの距離が予測しにくいためにカーブに進入する前の段階から徐々に体を遠心力を打ち消す方向に傾けるものと思われる。

また、床や天井の動きが認識されるとカーブを曲がっているときに左右方向のモーメントだけでなく前後方向のモーメントも強く影響を受け、体を後へ移動させるような影響をうけているものと思われる。

5.4 検定結果

各被験者の各試行について、直進進行時 (9[s] 時) の x 軸まわりのモーメント $m_x(9)$ の低周波成分から左カーブ進行時 (16[s] 時) の x 軸まわりのモーメント $m_x(16)$ の低周波成分を引いた値を $M_{left} = m_x(16) - m_x(9)$ と表す。同様に、右カーブに進入するとき $M_{right} = m_x(16) - m_x(9)$ と表す。

この M_{left} と M_{right} の母平均が違うかどうかを t 検定によって調べた。その結果、空間ランダム、壁状ランダム及び円筒状ランダムのすべてにおいて、 M_{left} と M_{right} の母平均は等しいという仮説は危険率 2.5% で棄却され、右カーブに進入する画像を提示した時と左カーブに進入する画像を提示した時とでは重心動揺の応答が異なることが統計的に有意に示された。さらに、それぞれの母平均から遠心力のかかるべき方向に重心が移行していることが示された。

6. 結論

直進している状態からカーブを進行している状態へと視覚刺激が変化すると、その前後において人体の重心動揺は以下のような反応を示す。

- カーブに進入すると遠心力のかかるべき方向に重心が移行する。
- カーブに進入すると前方に重心が移行する。
- 進入するカーブの予測ができると、人体はあらかじめ遠心力を打ち消す方向に重心を移行する。そのうち遠心力のかかるべき方向に重心を移行する。

7. まとめ

本研究の目的は、人が移動時にどのような視運動刺激を手掛りとしているのかを解明することにある。本研究では、その手掛りの1つとして視運動刺激の変化が非常に重要であり、重心動揺を測定することにより、その影響を計測することが可能であることが示された。さらに、重心動揺を測定するだけで、人がどのような視運動刺激を受けているのかを理解できる可能性も示した。あらゆる視運動刺激にたいする重心動揺を測定し、その標準的な応答を決定することができれば、重心動揺を測定するだけでその測定値を解析(標準応答との相関係数を計算するなど)することにより臨場感を計測することが可能となるであろう。

本研究によって明らかになった問題点は、視覚入力とは無相関におこる重心動揺の成分が非常に大きく、1回の試行では視覚入力と相関のある成分を引出すことが非常に難しいことである。このため、重心動揺に関するモデル化等を十分に行なう必要がある。

参考文献

- [1] 吉澤 達也, 近江 政雄, 鈴木 良次: カーブに沿った前進運動に対する視覚性身体動揺-軌道運動パラメータの影響, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, vol.1, pp. 69-70(1996).
- [2] Masao Ohmi: Egocentric perception through interaction among many sensory systems, Brain Research, Vol. 28, pp. 151-162(1996).
- [3] 奈良 博之, 井野 秀一, 伊福部 達: 周辺視野に呈示された視運動刺激が姿勢制御におよぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, vol. 1, pp. 73-76(1996).
- [4] Michael Barabanov: A Linux-based Real-Time Operating System, MS Thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology, (1997).
- [5] 日本平衡神経科学会運営委員会: 重心動揺検査のQ&A, 手引き(1995), Equilibrium Res, Vol. 55(1), pp. 64-77, (1996).
- [6] 清水 勝利, 浅井 正嗣, 渡辺 行雄, 水越 鉄理: 直立姿勢維持に対する視覚・体性感覚の影響について, Equilibrium Res, Vol. 52(4), pp. 621-628, (1993).
- [7] W. M. PAULUS, A. STRAUBE, and Th. BRANDT: VISUAL STABILIZATION OF POSTURE (PHYSIOLOGICAL STIMULUS CHARACTERISTICS AND CLINICAL ASPECTS),

Brain(1984), 107, pp. 1143-1163

- [8] 倉田憲一: 視運動刺激が重心動揺におよぼす影響に関する研究, 学士論文, 東京大学工学部計数工学科 (1998).

(1998年12月14日受付)