

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760206

研究課題名(和文)誘導性身体動揺の数理モデリングと身体挙動制御への応用

研究課題名(英文) Numerical Modeling of Visual Induced Postural Sway and its Application for Control of Bodily Behavior

研究代表者

今村 孝 (IMAMURA, Takashi)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10422809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：視覚から得られる情報にもとづき、身体挙動の変化を生じる視覚誘導性身体動揺について、外的に観測できる身体の傾き情報を、時間周波数解析することで、身体動揺の誘導に関する数値パラメータを解析する方法を検討した。

また、視覚情報を得てから身体挙動の変化が生じるまでの過程を、複数の解析方法で評価した。これにより、時間変化を詳細に検証可能な時系列モデル、簡易なパラメータで定量化する一次遅れモデルの有効性をそれぞれ確認するとともに、運動傾向の違いを視覚情報と身体挙動の位相情報によって分類可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, analysis method about visual induced postural sway which is one of human bodily behavior caused by visually information was examined using mechanical instrumentation for tilting information of human body and time-frequency analysis. It aims to construct the method which can identify the characteristics of human behavior with numerical parameters.

Three kinds of analysis method such as first order modeling, time-series modeling and classification based on phase information were used in this research. And there effectiveness of simple model, detailed model and classification of the differences of behavior has been confirmed through the experimental results.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：非侵襲生体計測 計測工学 感性情報学 知能機械 制御工学

1. 研究開始当初の背景

近年、脳科学研究や分析機器の発達により、ヒトの知覚・認知機構が解明されつつある。これにより、多くの錯覚・錯視現象のメカニズムも解明されつつあり、その産業応用も進みつつある。

このような錯覚現象の一つに、視覚誘導性自己運動感覚がある。これは、視覚情報の認知過程において、経験則による補完が生じることで、存在しない全身体的な動作(加速度や揺れ)の感覚を誘導し、またその感覚を相殺する挙動が実際の身体にも生じるものである。この現象は脳内の認知過程の処理と、身体の自律制御過程での処理とに分けて考えることができる。特に後者は、知覚・運動制御の基礎実験を実施し、主に二種類:【時間特性(知覚から挙動までの時間差)とゲイン特性(知覚情報量に対する挙動量の比)】のパラメータを伴って身体挙動が生じることが確認できている。

2. 研究の目的

1. に示した事前研究にもとづき、身体挙動と、同時に提示された刺激の2情報を、外的に計測しモデル化を行い、身体挙動制御へのフィードバック・応用を実現することを本研究の目的とした。

このうち、既存の解析手法について、モデル化できる時間の精度やそのリアルタイム化、および、計測される身体挙動が、視覚刺激による誘導で生じたものか否かを弁別する方法が必要であった。これらの問題点の解決を通じて、本研究において上記目的を達成することとした。

3. 研究の方法

本研究では、図1に示すようなシステム構成・実験手順により、被験者挙動を計測・分析し、視覚誘導性自己運動感覚の定量化を試みた。

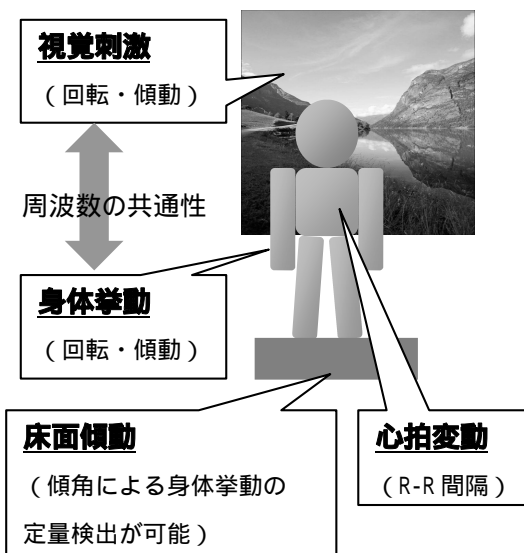


図1 実験システムの概要

図1のシステムでは、従来研究にて構築した身体動揺の計測装置上において、被験者に立位保持を依頼する。そして、当該被験者に対して、ある周期で傾き・回転する風景映像を提示することで、被験者の視覚誘導性身体動揺の発生を促す。このとき誘導される身体動揺と提示した映像との間には周波数の共通性があることが知られている。そのため、これを手がかりとして、身体動揺の時系列信号の時間周波数解析結果(図2)から、その誘導の発生に要する時間的特性や動揺振幅などを数値・定量化する。

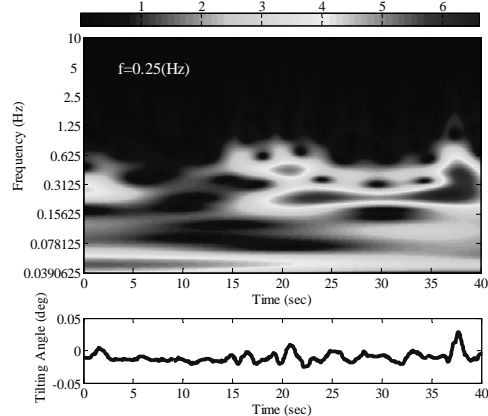


図2 身体動揺の時間周波数解析例

一方、このように数値定量化できた身体動揺については、視覚刺激に対して、無意識に同期運動したために生じる動揺が含まれる可能性があった。そのため、身体動揺の発生要因を弁別する方法として、被験者の心拍変動値(R-R 間隔)を用いた分析方法を導入し、その有効性を検証した。

また、本研究で対象とする身体挙動現象においては、被験者の時間経過に対する慣れ(適応)が生じることも予想された。そのため、長期間にわたる被験者実験を通じて、同一被験者に対する定量化結果の時間変化に対する有効性も併せて検証した。

4. 研究成果

本研究では、所属機関の定める「ヒトを対象とする研究規定(豊橋技術科学大学)」にもとづく実験計画審査を経て、十分な実験説明の後、インフォームドコンセントの得られた健康な20代の男性4名を対象とした。

まず、心拍変動値を用いた身体動揺の弁別可能性の検討と、長期間の実験実施に対する被験者特性の変化傾向を把握するために、以下の実験を実施した。ここでは、自発的な運動および、提示する視覚刺激の変動角度1パターンにつき3回試行する実験を2日間(Day 1, Day 2)に分けて実施した。実験条件を表1に示す。また、それぞれの実験日には、運動状態の比較評価のため、視覚刺激の回転に合わせた自発的な揺動運動を行うよう指示し、同様の実験を行った。

表 1 主な実験条件

	Day1	Day2
周波数 [Hz]	0.25	
提示角度 [deg]	12, 18, 24, 36, 48	20, 30, 45
実験時間 [sec]	40	

時間的パラメータの検証

解析の結果、被験者全体の平均では、2 日間の実験で 24 件中 11 件が誘導運動と評価され、最も多い被験者では 24 件中 15 件が誘導運動と評価された。これらの被験者実験の結果に対し、パラメータ同定を行った結果、時間的要素について、いずれの被験者においても 2 日目のほうが全体的な値が小さく、誘導までに要する時間の短縮傾向が見られた。

4 名の被験者のうち被験者 A は、先行研究において実施した実験に参加しており、その際にも同様の時間的要素の短縮傾向が確認された。この被験者について、長期間経過後の時間的要素の傾向を確認するため、本実験での同定結果との比較を行った。なお、先行研究からおよそ 6 か月後に本実験が行われた。

図 3 (a) に本研究での被験者 A に関する時間的要素の同定結果を、図 3 (b) に被験者 B に関する同様の結果を、また図 3 (c) に先行研究での被験者 A に関する同様の結果をそれぞれ示す。横軸は提示した視覚刺激の角速度、縦軸は時間的要素のパラメータである。

まず図 3 (a) (b) に示す本研究における両結果を比較すると、両結果とも後半の実験ほど時間的要素が短縮する傾向が得られた。この結果は、すべての被験者に確認ができた傾向であり、このことから実験（経験）の蓄積により誘導に要する時間の短縮傾向があることが確認できる。

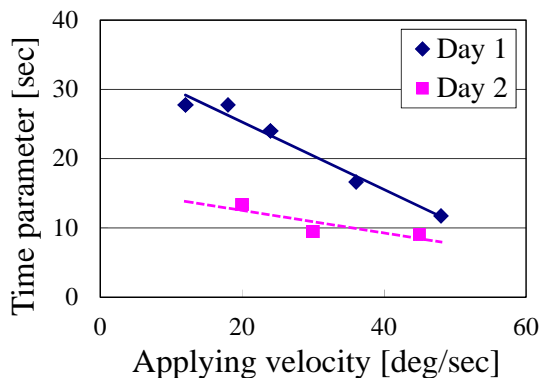
次に、図 3 (a) および (c) に示す被験者 A に関する長期間の実験間隔下でのパラメータ同定結果について検証する。先行研究からの実験期間が 6 か月を超えた状態であることから、提示する視覚刺激の回転角度に対して誘導に要する時間的パラメータの変化傾向に差異がみられる。しかしいずれの結果においても、実験を繰り返すことで、この時間的パラメータの変化傾向が確認できる。

以上の時間的パラメータの低下傾向は、従来「潜時の短縮傾向」として定性的に示されてきたものであり、本研究で示した定量化方法によって、数値的な低下傾向として把握することができた。

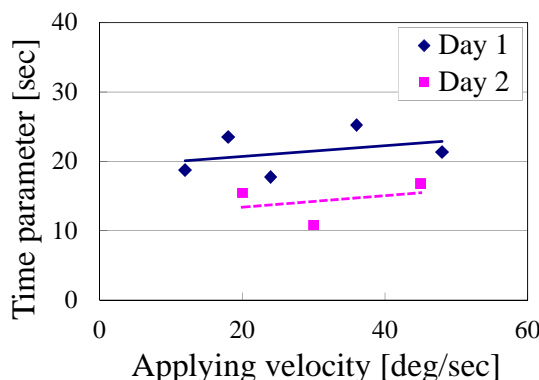
モデル化手法の検証

先行研究より提案してきた一次遅れモデルを用いた被験者挙動のパラメータ同定法に加え、以下の 2 つのモデル化方法についても検討した。

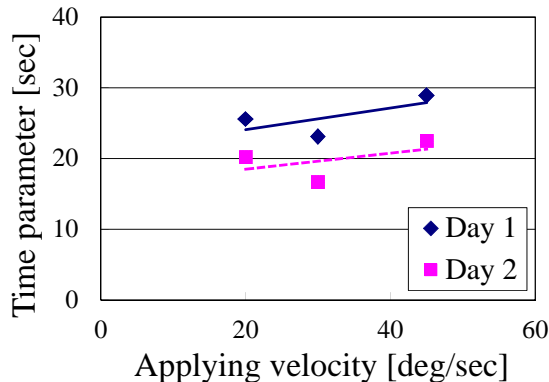
一つは、より多くのパラメータを取り込みモデル化精度の向上を目指す目的で、ARMAX モデルによる時系列モデリング手法を導入



(a) 本研究で得られた被験者 A の実験結果



(b) 本研究で得られた被験者 B の実験結果



(c) 先行研究で得られた被験者 A の実験結果

図 3 時間的要素のパラメータ同定結果

した。二つ目には、時間周波数解析結果より得られる、位相情報に着目した実験結果の運類手法を検証した。

ARMAX モデルを用いたモデリングとしては、提示した視覚刺激の回転角度を入力とし、これに視覚認知要素など被験者ごとの知覚差がシステム外乱、計測された身体動揺波形が出力となるシステムを想定した、時系列モデリングを行った。この結果、最大次数 25 次によって図 4 のようなモデリングが可能であることを確認した。モデリング精度については、高次のモデリングであることで十分な近似精度が得られたものの、次数の増加は、

より多くの時系列区間をモデリングに要することを意味している。このことから、時系列モデリング手法では、リアルタイムに変化する被験者特性の評価には不向きである可能性が示唆される。

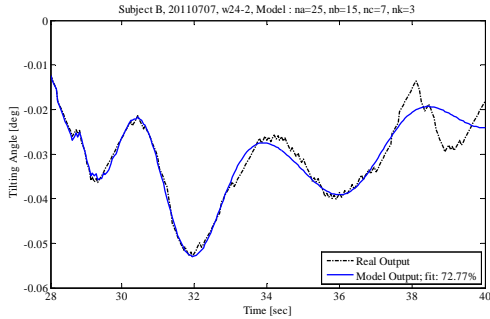
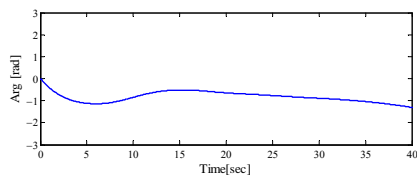


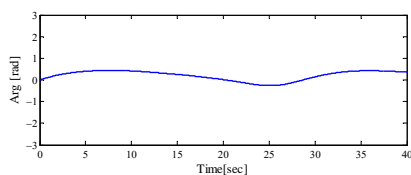
図4 ARMAXモデルによるモデリング結果

そこで、より低次の、少ない情報量で被験者特性のモデル化を行う方法を検証した。

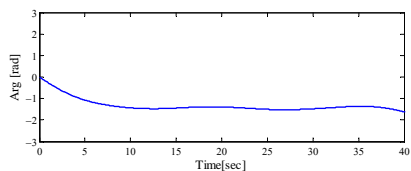
ここでは、連続ウェーブレット変換を用いた時間周波数解析の結果より、身体動揺と視覚刺激の回転角との位相差の計算を行った。基礎実験として、被験者に対して、以下の3つの位相条件を伴う挙動を指示した。1つ目は提示する視覚刺激に同期した運動を行う同期運動条件、2つ目は視覚刺激に先じた運動を行う位相進み運動条件、3つ目は視覚刺激に遅れた運動を行う位相遅れ条件である。このような既知条件から得られた挙動の位相を解析した結果を図5に示す。図の横軸は時間、縦軸は位相差を表しており、中央の0近傍が位相差がない(同期)状態である。



(a)同期運動条件



(b)位相進み条件



(c)位相遅れ条件

図5 異なる運動条件下での位相差解析結果

上記の結果あり、視覚刺激の回転運動に同期させる自発運動を指示した試行条件では、一定の位相遅れが生じることを確認するこ

とができた。これは、視覚刺激の回転運動に同期させる運動を行う際には、視覚刺激の知覚から実際に運動を行うまでに遅れが生じるためであると考えられる。

次に、全被験者の全試行について、位相の初期値、初期勾配、全体の遷移傾向によって分類を行った。その結果、最も多いクラスに全試行142件中34件が分類され、そのうち自発運動条件は6件であった。前述の通り、自発運動の位相遷移は一定の位相遅れが生じる傾向を示している。このことから、自発運動条件を多く含むクラスは誘導運動ではない可能性が高いと考えられる。したがって、位相遷移パターンによる分類によって誘導運動と自発運動の判別が行える可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計4件)

原田光, 今村孝, 章 忠, 三宅 哲夫, VR応用のためのヒトの視覚特性に基づいた身体動揺に関する研究, 第56回自動制御連合講演会, 2013年11月16~17日, 新潟

今村孝, 原田 光, 章 忠, 三宅哲夫, 視覚誘導性身体動揺時の心拍・姿勢の解析, 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会 2013年9月24~25日, 新潟

Takashi Imamura, Hikaru Harada, Zhong Zhang, Tetsuo Miyake, Time Series Modeling of Visually Induced Postural Sway, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012), 2012年10月14~17日, 韓国

原田光, 今村孝, 章 忠, 三宅哲夫, 視覚誘導性身体動揺の時系列モデリングに関する研究, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会(ROBOMECC2012), 2012年5月27~29日, 浜松

[その他]

ホームページ等
豊橋技術科学大学機械工学系
計測システム研究室
<http://is.me.tut.ac.jp>

新潟大学工学部福祉人間工学科
統合移動支援工学研究室
<http://ima.eng.niigata-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

今村 孝 (IMAMURA, Takashi)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号: 10422809