

## 立位バランス解析のための実験方法の検討

知能メカトロダイナミクス研究室 1170164 山岡 総太郎

## 1. 緒言

我々は、人間の前額面方向のバランス運動のモデル化の研究を行っている。これは、他の研究機関等で人の矢状面方向のバランス運動のモデル化は進んでいるが、体格差や怪我の有無等の個人差があるため、現在人の立位バランス運動をモデル化したものが存在しないからである。これを作ることによって生まれる利点として、病院でのリハビリ評価や制御機器への応用等が期待できる。先行研究で<sup>(1)</sup>、このバランス運動のモデルを作るために、人に外力を与えてその応答をとるという実験方法が考えられ、電動スケートボードを使って結果の再現性が高い周波数応答実験を行った。その解析結果から重ね合わせる周波数によって結果が変わってくるということが判明した。これは単一周波数のような単純な動きでは、搭乗者が動きを予測してバランスをとるためだと考えられた。

本研究は、どのような周波数の重ね合わせから搭乗者が動きを予測できなくなるかを始めとして、実験条件によってどう結果が変わってくるのかを調べることを目的とする。本研究では、二種類の周波数を重ね合わせたものを二重、三種類の周波数を重ね合わせたものを三重、四種類の周波数を重ね合わせたものを四重と呼んでいる。方法として、まずスケートボードを動かす間、被験者に暗算をしてもらい、暗算をしていない場合と比較した。これは、実験中に被験者が暗算という作業をすることでスケートボードの動きに意識が向かなくなることを意図している。また、4種類の単一周波数を組み合わせて最大四重での電動スケートボードを使った周波数応答実験を行い、他の研究生が行った20種類の周波数を重ね合わせた実験の結果と比較した。

## 2. 周波数応答実験の概要

本研究では、図1に示す電動スケートボードを使用する。これは出力450Wで市販されているスケートボードを本実験用に改造したものである。この電動スケートボードの底部にはマイコン (STM32 F4 Discovery STMicroelectronics 社製) が取り付けられており、パソコンからどのような振幅と周波数で電動スケートボードを動かすのかといった指示がマイコンを通して出すようになっている。また右前輪にロータリエンコーダ (180pulse/rev) を取り付け、ここから0.01秒毎のスケートボードの計測された変位、加速度と実際のスケートボードの変位や、8個取り付けられている床反力計から計測されたモーメントやせん断力をパソコンに送れるようになっている。また実験対象が人間であるという点から、安全性を考慮し、緊急停止ボタンを取り付け、パソコンからの電動スケートボードの変位の計測値と実際に電動スケートボードが動いた変位に2cm以上ズレが生じたら自動的に電動スケートボードが停止するようにプログラムされている。



Fig1 Electric skateboard

揺動波形 $a_k$ は次式で与えられる。

$$a_k = a_{max} \times A \sum_{j=1}^N \cos\{\omega_j(t_k + \Delta t) + \theta_j\} \quad (1)$$

$A$ は振幅、 $\omega_j$ は角振動数、 $\theta_j$ は位相、 $t$ は実験時間、 $\Delta t$ は実験終了時に変位をほぼ0にするための遷移時間を表している。

計測方法は、始めに暗算をする、しないという実験条件の違いを比較した。被験者3名、実験回数12回、1回あたりの実験時間は40.96sとし、「serial 7s counter」というアプリケーションソフトを使用して、搭乗者にパソコンの画面に出る数字から7を引く暗算を行ってもらった。

次に、少ない周波数での周波数応答実験を行った。実験時間と被験者は同じとし、約0.171Hz、0.269Hz、0.366Hz、0.464Hzの4種類の周波数を組み合わせて行った。本研究では最大振幅を $0.3 \text{ m/s}^2$ とし、4種類の単一周波数、0.342Hzと他の3種類の周波数を組み合わせた二重の周波数応答実験を3パターン、三重の周波数応答実験を4パターン、四重の周波数応答実験を1パターン、1パターンあたりの実験回数5回で行った。本実験ではOptiTrack社製のモーションキャプチャーを使用し、100Hz毎の計測データから姿勢角とモーメントを求めた<sup>(2)</sup>。これを上半身と下半身の姿勢角、モーメント、1自由度姿勢角の周波数毎のゲインと位相を高速フーリエ解析から求めた。

次に極座標とオイラーの公式を用いてこれを波形の式とし、基準とした20種類の周波数を重ね合わせた実験結果からこの実験での結果を引いてその平均をとった。

## 3. 解析結果

被験者1名分の暗算をする場合としない場合、単一周波数から四重周波数での2自由度姿勢角の解析結果を以下の図2から6、誤差評価を表1に示す。また、比較として基準とした他の研究生の実験結果を灰色の丸とエラーバーを線で結んだもので表している。なお、二重と三重の周波数応答線図については、各パターンでの結果を平均したものを示している。

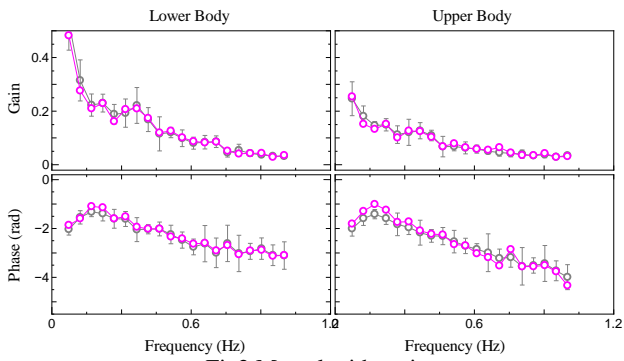


Fig2 Mental arithmetic

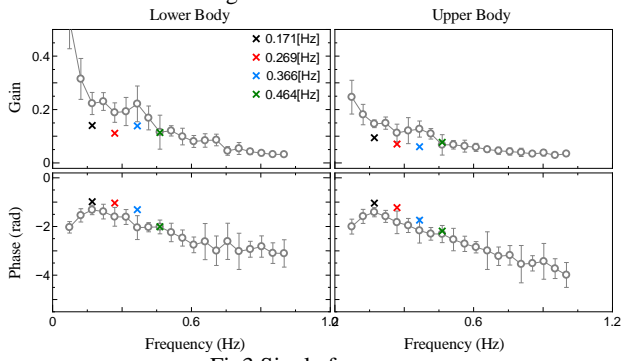


Fig3 Single frequency

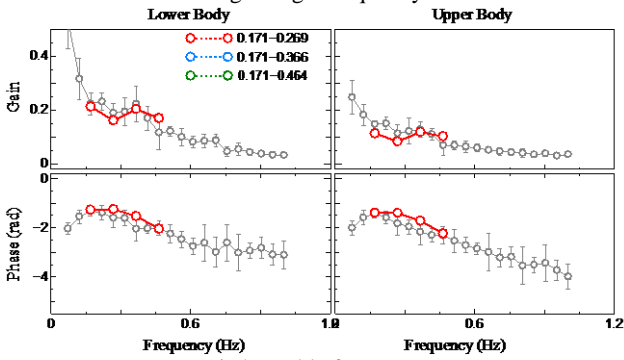


Fig4 Double frequency

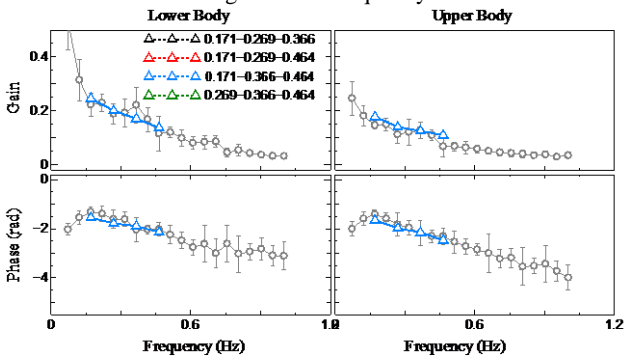


Fig5 Triple frequency

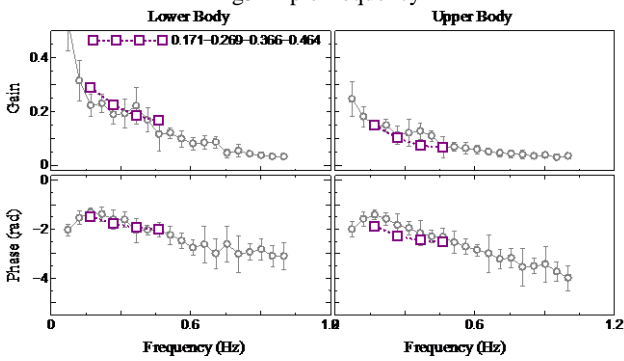


Fig6 Quadruple frequency

Table 1 Error evaluation

	Lower Body	Upper Body	
	Subject1		Subject1
Single	0.071	Single	0.035
Double	0.053	Double	0.033
Triple	0.061	Triple	0.057
Quadruple	0.068	Quadruple	0.061

Single degree of freedom posture angle Moment

	Subject1		Subject1
Single	0.064	Single	45.0
Double	0.053	Double	26.8
Triple	0.061	Triple	44.6
Quadruple	0.064	Quadruple	49.2

暗算ありと暗算なしの場合を比較すると、暗算ありの場合は僅かにゲインが小さくなり、位相が進む結果となった。他の被験者は1名がこの被験者と類似した結果となり、残りの1名は逆にゲインが僅かに大きくなり、位相が遅れ気味になるという結果となった。これらのことから、暗算をする場合としない場合では結果が変わってくるほどの影響があるとは言いきれない。

また、誤差評価の表を見ると重ね合わせる周波数が増えるごとに誤差が大きくなる傾向にあるが、これは徐々にゲインが大きくなっていき、基準とした結果より大きくなったためである。他の被験者2名ほどのパターンでもほとんど変化がない、あるいは四重の周波数応答実験のゲインが三重の場合より値が下回る等、この被験者とは異なる傾向となった。

#### 4. 結言

本研究では、前額面方向の人間のバランスモデルを作るために、実験条件の変化が結果にどのような影響を与えるのか調べることを目的として実験を行った。解析結果から、重ね合わせる周波数と加速度振幅が結果に影響を与えていると考えられる。また、暗算をする場合としない場合で微妙な変化があった点や人間で周波数応答実験を行っていることから、毎回基準とした結果になるというわけではないということも考慮したい。

#### 参考文献

- (1) 園部元康, 日野順一, “立位時における人体前額面の姿勢制御モデルの検討(周波数応答実験による伝達関数モデルの導出)”, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.832, (2015)
- (2) D.Gordon E. Robertson, Saunders N. Whittlesey, Graham E. Caldwell, Gary Kamen, Joseph Hamill “身体運動のバイオメカニクス研究法”, 大修館書店(2008), pp.65-68.