

# 人体部位別の質量同定

氏名：大畑 彰吾

## 1. 緒言

人間の歩行や運動中に働く関節モーメントを計測することは、リハビリテーションやスポーツの分野において非常に有用である。しかし、関節モーメントを計算するには人体各部の質量が必要である。人体各部の質量は個人ごとに計測ができないので、一般的に統計的なデータで代用されているが、本来は個人ごとにまたはその時の状態によって異なるため、統計的なデータでは誤差の原因となってしまう。

そこで、本研究では、3次元動作解析カメラと床反力計を用いて運動中の人間の動作と床反力を計測し、逆問題として被験者の質量、重心を推定する方法を提案する。シミュレーションと実験を用い、提案法が妥当であるか検討する。本報では主に、計測時の計測動作の違いによる推定精度への影響の検討結果を検討した。

## 2. 同定手法の提案

今回、提案する同定方法は、重回帰分析を用いる。

まず、Fig.1のように各部分にマーカーを取り付け、準静的に動かし、3次元動作解析装置でマーカーの位置を、床反力計で床反力モーメントをそれぞれ時間ごとに計測する。

慣性力を無視すれば、得られたデータから式(1)のモーメント式が成り立つ。

$$M / g = m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_i x_i \quad (1)$$

$M$  は床反力モーメント、 $i$  はマーカー数、 $m_i$  は各マーカー位置の質量、 $x_i$  は基準点からマーカーまでの距離、 $g$  は重力加速度を表す。 $M$  は床反力計から得られ、 $x_i$  は3次元動作解析装置より得られる既知の値である。

ここで、次式のように、計測した  $x_i$  を用いて、床反力モーメントの推定値  $\hat{M}$  を表現すれば

$$\hat{M} / g = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i \quad (2)$$

となる。直接計測した  $M$  と計測した  $x_i$  に式(2)を適用して計算した  $\hat{M}$  の差ができるだけ小さくなるように、最小2乗法によって  $b_i$  の値を求めれば、それが  $m_i$  の推定値となる。それが重回帰分析である。

すなわち、 $M$  と  $x_i$  を同時に計測すれば未知数である各マーカー位置の質量  $m_i$  を同定できる。

## 3. 同定実験および結果の検討

図1のような装置で2次元的な動作を行い、マーカー位置と床反力モーメントを計測し、重回帰分析により質量の同定を行った。

重回帰分析では、多重共線性と呼ばれる状態になれば、同定精度が低下することが知られている。多重共線性とは説明変数どうしの相関が高い場合に引き起こる状態で、この状態になってしまうと回帰分析の標準偏差が非常に大きくなってしまい、誤差どころか結果に信憑性が無くなってしまう。こ

の状態を回避するには説明変数どうしの相関  $R$  を用いて表される、分散拡大係数  $VIF$  を調べれば良い。 $VIF$  は式(3)で算出することが出来る。

$$VIF = 1 / (1 - R_{ii}^2) \quad (3)$$

実験を実施するに先立って、数値シミュレーションにより、複数の動作方法で、式(3)により計算した  $VIF$  と推定精度の関連を調べたところ、結果の詳細は省略するが、全てのマーカーの組み合わせの中で、一つでも  $VIF > 10$  になってしまうと多重共線性が引き起こり、推定精度が大幅に低下することが確認できた。

$VIF$  を小さくするにはマーカーごとの動作の相関  $R$  を低くすれば良い。説明変数はマーカーの位置であり、動作の仕方によって  $VIF$  が変化する。したがって、できるだけマーカーごとに独立した動作を行うことができれば、多重共線性が回避できると考えた。

これを基に実際の人間の動作で実験を行い、Fig.1のようにマーカーを取り付けた腕を動かして計測した。

Three-dimensional motion analysis camera

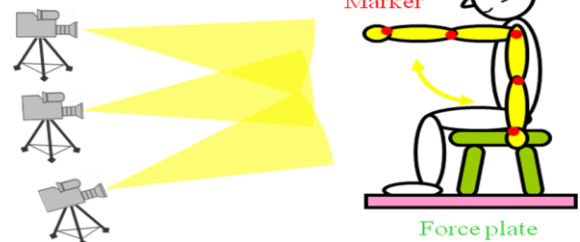


Fig.1 Motion analysis and reaction force

Table1 は、肩を軸とした単純な回転動作と同時に肘の屈伸動作も含めた動作で行った場合の  $VIF$  である。肩を軸とした単純な回転動作のみで行った場合、ほぼ全ての  $VIF$  が 10 を大きく上回っていたが、こちらは全ての  $VIF$  が 10 を下回っており、多重共線性を改善することが出来た。

Table1 VIF (Bends plus work)

	M 1	M 2	M 3	M 4
M 1				
M 2	1.878612			
M 3	1.407942	4.486456		
M 4	1.502434	1.01261	1.127096	

## 4. 結言

重回帰分析による人体部位別の質量の同定法を提案し、計測時の動作を改善することにより多重共線性を回避することが可能であることを実験により示すことが出来た。これにより、より精度の高い人体部位別の質量の推定方法への見通しを立てることが出来た。