

1. 緒言

身体関節モーメントを推定することは、スポーツ分野や医療分野で非常に有用である。関節モーメントを推定するには推定式より、各部の重心に加わる重力および加速度による慣性力などが分かればよい。つまり、身体各部の質量が必要となる。

しかし、現状では身体各部の質量は解剖データなど統計的なデータを用いて推定しており、個人のデータを用いていない。そのため、関節モーメントの推定精度が落ちてしまう。

そこで本研究では、関節モーメント推定値の精度向上のため、個人ごとの身体各部の質量同定方法を確立することを目的とする。

2. 質量同定法

計測方法としては、まず身体各部にマーカーを取り付け、3次元動作解析装置を用いてマーカーの位置を計測し、床反力計を用いて鉛直床反力と圧力中心を計測する。求めた計測値を用いることで式(1)のモーメント式が成り立つ。

$$M / g = m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_i x_i \tag{1}$$

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 は床反力計の計測値から得られ、 x_i は3次元動作解析装置から得られる既知の値である。

重回帰式は式(2)のように表され、

$$\hat{Y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i \tag{2}$$

2つ以上の説明変数(独立変数) $x_1, x_2 \dots$ によって目的変数(従属変数) \hat{Y} を表す式であり、最小2乗法から式(1)の M/g と式(2)の \hat{Y} の誤差が小さくなる b_i を求めることができる。すなわち、 M/g と x_i を同時に計測することで未知数の各マーカー位置の質量 m_i を同定できる。

しかし、重回帰分析を行うにあたって多重共線性という状態が発生することがある。これが発生してしまうと重回帰分析が行えない、または重回帰分析の結果の信頼性が低くなってしまふ。多重共線性が発生しているかは式(3)で表される分散拡大要因 VIF (Variance Inflation Factor) を求めることで判断できる。

$$VIF = 1/(1 - R_{x_i}^2) \tag{3}$$

$R_{x_i}^2$ は説明変数 x_i と別の説明変数 x_j との相関係数であり、説

明変数の間に強い相関関係がある。つまり $R_{x_i}^2$ が小さい際に

VIF が大きくなり多重共線性が発生する。 VIF が小さいほど発生の可能性は低くなり、 $VIF > 10$ の場合は確実に発生しているといえる。発生した場合、相関関係の強い説明変数のうち片方を除去し、再度重回帰分析を行うことで VIF が減少するため、多重共線性を回避できる。

3. 同定実験

今回、図1に示すように肩、肘、手首、錘手元、錘先端の5箇所にマーカーを取り付け、10秒間肘を曲げながら上下左

右に腕を振り同定実験を行う。また、3次元動作解析カメラに対して真横を向いた場合と斜め方向を向いた場合の2種類で撮影し、質量の推定結果を比較する。このとき腕の動かし方は同じものとする。人体の質量は統計データを用いており実際の個人の質量ではないため、実際に質量がわかる錘を使用することで推定精度の確認を行う。

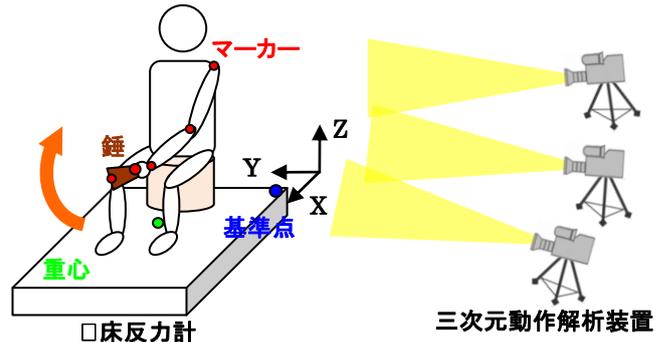


図1 実験方法

推定結果は表1に示す通りであり、マーカーの位置は肩、肘、手首、錘手元、錘先端の順に M1, M2, M3, M4, M5 とする。また、表1の統計平均は被験者の体重70kgに相対重量比を掛けて求めた値を記し、推定質量1はカメラに対して真横を向いた撮影方法、推定質量2は斜めを向いた撮影方法である。各マーカー間で VIF を計算したところ M3-M4 間で VIF が10を上回り多重共線性が発生した。そこで M4 のマーカーを除去して再度 VIF を計算すると10を下回ったため、表1では M4 を除去して各質量を推定した。

表1 推定結果

	統計平均(kg)	推定質量 1(kg)	推定質量 2(kg)
M1	1.260	1.182	1.519
M2	2.030	4.339	3.278
M3	1.365	1.935	1.532
M4			
M5	0.648	0.885	0.581

表1より斜め方向で撮影した方が統計平均に近い質量を推定することが出来たことがわかる。また、 VIF も斜め方向で撮影した場合の方が全体的に小さい値を得ることが出来た。

角度をつけることにより、平面的に動かした場合でも X 軸、Y 軸に動きが分散される。そのため、どちらかの軸で推定値が悪くなるような動きをした場合も誤差が分散され、推定精度が上がったと考えられる。

また、角度をつけることでマーカーの動きに独立性ができ、多重共線性を回避することができたことから精度が上がったとも考えられる。

4. 結言

腕の動きを立体的にすることで、平面的な動きの時よりも精度を向上することができた。また、撮影時に角度をつけることでよりよい結果を得ることができた。動きや角度を検討していくことで今後の発展にも繋がると考えられる。