

勝つために考える!

# スポーツ×物理

第3回 ジャンプしたときの加速度/速度/位置を描く

仰木 裕嗣



前は、モーションキャプチャのデータから身体の重心を推定して、垂直跳びの際の重心位置、速度、加速度を算出してみました。今回は力を測るセンサを使って、垂直跳びの動きを生じさせたキック力(地面反力)を測定し、ジャンプした距離(位置)を算出します。データ解析にはPython、実行環境はGoogle Colabを使います。

## 力を測定すると動きが分かる理由

### ● 運動方程式 $F=ma$ は力と加速度、速度、位置の関係式

ニュートンの第2法則は、 $F=ma$ という式(運動方程式)で知られています。高校でこの式を習うと思います。この式は外力 $F$ が作用した結果として、質量 $m$ の物体に加速度 $a$ が生じたことを表します。大学で習う場合には、左辺と右辺を入れ替えて、 $ma=F$ 、あるいは、 $a=F/m$ と表記することが多いです。

この式を筆者が垂直跳びをする場合に当てはめて考えてみます。質量 $m$ の筆者の重心<sup>注</sup>に加速度 $a$ が生じたわけですから、そこには外力が働いていることになります。垂直跳びの最中の筆者には、外力として、重力 $mg$ と地面が筆者を上向きに押す力 $F_z$ が作用します。筆者自身は地面を蹴ったつもりなのですが、ニュートンの第3法則・作用反作用の法則によって、筆者が地面、つまり地球を蹴った力の反作用に相当する同じ大きさで逆向きの力を受けたことになります。これを地面反力(GRF: Ground Reaction Force)と呼びます。筆者にはこの2つの力が作用し、その差し引きで動きが生じます。式で書くと次のようになります。

$$ma = F_z - mg$$

上式の右辺は外力の総和です。座標系を上向正としたとき、右辺の総和が正であれば身体には上向きの加

注: 人の運動を観察するとき、重心の1点にそれをまとめてしまうことを質点モデルで眺める、とも言います。巨大な惑星であっても宇宙という広大な空間では星の大きさを無視した点として表しても問題ないことと同じです。



写真1 筆者が実験を行ったモーションキャプチャ・ルーム

速度が生じ、総和が負であれば下向きの加速度が生じます。質量(ここでは体重に相当します)が、垂直跳びの間で変わらないので、身体にかかる重力 $mg$ は一定の値です。一方、地面反力 $F_z$ は時間によって変化します。すなわち $F_z$ は時間の関数です。

### ● 力を測るセンサ…フォース・プレート

フォース・プレート(日本語では床反力計)は板状のセンサであり、フォース・プレート上の人に作用する力を測定できます。写真1は、筆者が今回の実験をしたモーションキャプチャ・ルームです。地面には2枚のフォース・プレートが埋設されています(写真2)。

#### ▶ 力の検出方法は2通り

力の検出にはひずみゲージ型と圧電型の2種類があります。

ひずみゲージ型は、ひずみゲージが四隅に埋め込まれていて、ホイーストン・ブリッジと呼ばれる構成でつながっています(図1)。圧縮・伸長の変形を薄い箔状の精密抵抗によってとらえて、計装アンプで増幅するものです。長時間の測定などに向いていますが、安価に作れることからこれをめまいの判定に用いることも臨床分野では行われています。

今回は動的応答に優れた圧電型と呼ばれるキスラー社製のフォース・プレートを用いました。このフォー

