

第3回 身体係数の計測2

3.1 概要

今回は、身体係数の計測2と題して、以下の項目に関して実習を行う。身体運動の計測には常に映像の計測が伴う。現在ではメディアの変遷で様々な媒体が用いられるようになったが、

- 写真計測法の基本
- 映像からの身体重心位置の推定

3.2 目的

身体運動の計測には必ず映像撮影が伴う。撮影された映像を使って画像解析を行う場合もあれば、単に実験風景を撮影する場合もある。あるいは心理学実験などではあらかじめ撮影しておいた風景を被験者に見せて身体の反応をみる、といったことも行われる。こうした映像撮影においては、いずれも、適切な光量でくっきりとしてピントのあった映像が不可欠であり、単にカメラを構えてシャッターや録画ボタンを押せばよいのではない。

今回は、写真撮影の基礎を学ぶとともに、写真撮影の応用として画像に映された人体のポーズからヒトの身体重心位置を推定する方法を学ぶ。

3.3 写真撮影法

3.3.1 準備するもの

1. デジタルカメラ (各自で準備をすること、ない場合にはメディアセンターで借りておくこと)
2. デジタルビデオカメラ
3. 巻尺
4. 体重計

3.3.2 計測理論：写真撮影

シャッタースピード

本来なら、露出とは？といった話から入るべきなのかもしれないが、スポーツや人間の動きを撮影することを考えるとまず考えるべきはシャッタースピードであろう。いわゆるデジカメではなく、写真(銀塩写真)を考えると1眼レフカメラの場合、多くはフォーカルプレーンシャッターという機構が採用されている。フォーカルプレーンシャッターとは、2枚のスリットが多少の時間差をもって横方向に移動することで任意の時間、シャッターを開いて外から光を取り込んでいる。長くシャッターが開けばたくさんの光が入り、短い時間だけシャッターが開けばわずかな光量が得られる。

スポーツ運動を撮影しようとする場合、その対象が速い運動をしているためにまず考えるべきはシャッタースピードである。すなわち動く被写体の時間を止めて撮影するためには、早いシャッタースピードを採用する必要がある。打者がバットを振っているような映像であれば、2000分の1秒、マラソンランナーが走っているような映像であっても500分の1秒程度のシャッタースピードは必要だと思って欲しい。これ以上遅いシャッタースピードであれば、そのシャッタースピードに相当する時間の間に動いた距離分だけ像がぶれて撮影されるために、あとで後悔する羽目になる。

まず自分が撮影しようとしている運動、特に着目している身体部位がどの程度の速度で動いているのか？を確かめる必要がある。それを基にして運動速度が分かれば、その速度でシャッタースピード間動いたらどの程度「ぶれるのか」をあらかじめ確認しておくことが必要である。



図 3.1: シャッタースピードと被写体のぶれ [?]

絞りと被写界深度

絞りとは、レンズ内にある複数枚の円盤で構成されるものであって、光の入ってくる量を調整する穴であると思えばよい。F 値と呼ばれている。正確にはレンズの焦点距離を有効口径で割ったものが絞りである。絞り込めば（このとき絞り値は、大きくなっていく）入ってくる光の量は少なくなり、絞りを開けば（このとき絞り値は小さくなっていく）多くの光が入ってくる。開放絞り値とは最大限絞りを開いた状態での絞り値のことをさしている。仮にレンズの開放絞り値が 2.8 であるとする、絞りの値は、 $4 \rightarrow 5.6 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 16$ と変わることによって光の量が $\frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{4} \rightarrow \frac{1}{8} \rightarrow \frac{1}{16}$ と半減してゆく。

絞りには、光量を調節することに加えて被写界深度を調節するという別の機能がある。被写界深度とはピントが合う距離のことである。被写界深度が深いということと手前から奥までピントが合うことを意味し、被写界深度が浅いといえはピントが合う距離が短いことを意味している。絞りを絞り込むと被写界深度が深くなり、開放すれば被写界深度が浅くなる。したがって、ポートレート写真で美しい女性を写しその背景に写った花は少しぼかしたいような場合には、被写界深度を浅くするために絞りを開かなければならない。逆に修学旅行の集合写真のように最前列から最後列までがくっきりとピントあわせをしないとイケないような場合には、絞りを出来るだけ絞り込む必要がある。



写真6 絞りを開けると手前におぼれる (50mm, F2, 1/125, 100)



写真7 絞りを小さくすればピントの合う範囲が広がる (50mm, F16, 1/2, 100)

図 3.2: 絞りと被写界深度 [?]

露出

露出は、今述べたシャッタースピードと絞りの2つで決定される光の調節を意味している。適正露出といえば被写体を適切に撮影するための光量のことであればよい。同じ光量を確保するためには、複数のシャッタースピードと絞りの組み合わせが存在するが、すでに述べたように運動ではシャッタースピードが重要である。また被写界深度は絞りで決まるが、運動しているヒトや物のうちピントがある範囲が被写体全体であることが望まれるような場合には、絞りも重要な要素であるので考慮する必要がある。

覚えておこう。シャッタースピードは動きのボケの制御。絞りは写る範囲のボケの制御

3.4 デジタルカメラを使った撮影実習

デジタル一眼レフカメラを使ったデモ

ここでは、まずデジタル一眼レフカメラを用いた撮影の実際を見ることで理解を深めよう。ここでは、Nikon D80 を例にとって、露出の変化で写り具合がどのように変わるのかを体感してもらえればよい。このとき、以下の点を特に重点的に観察すること。

- 絞り
- シャッタースピード
- 被写界深度
- ISO 感度
- 露出補正
- ホワイトバランス

3.5 計測の手順:写真撮影

露出変化を学ぶ

次に各自が持参したデジタルカメラを用いて、露出の変化を体感する。まず、デジタルカメラには通常、自動撮影モードが用意されている。Auto やダイヤル設定で緑のマークなどがついている場合が多い。このモードでは露出は自動的に決まってしまうために、都合が悪い。そこでこれ以外のモードで露出変化を行う。以下はその手順を示す。撮影にあたっては、どのようなモードで撮影を行ったのか、必ずメモをとること。

- 絞り・シャッタースピードを操作できる場合（一眼レフ等）
 1. 「絞り優先モードで撮影を行う。A で表示されていることが多い。
 2. 「シャッタースピード」優先モードで撮影を行う。S で表示されている場合が多い。
 3. 「絞り」と「シャッタースピード」を両方ともに設定して撮影を行う（マニュアル露出）。M で表示されていることが多い。
 4. もしも、露出補正機能があれば、 $\frac{1}{3}$ 程度ずつ、補正をかけてその結果を観察せよ。
 - (a) 被写体 1：風景
 - (b) 被写体 2：その場駆け足をする、ヒト。
- 絞り・シャッタースピードを操作できない場合（コンパクトデジタルカメラ等）
 1. デジタルカメラのモードにどのような種類があるのかを確認してメモをとる
 2. 「絞り」を絞り込んで（大きな絞り値）で撮影するモード、例えば遠景（風景）モードを選択して、撮影を行う。
 3. 「シャッタースピード」を速くして撮影するモード、例えばスポーツモードを選択して撮影を行う。
 4. 上記の 2 つのモードでの撮影に関しては、同じ被写体を撮影するものとする。
 - (a) 被写体 1：風景
 - (b) 被写体 2：その場駆け足をする、ヒト。

撮影においては、必ず闇雲に撮影を行うのではなく、どのような条件で撮影を行ったのか、可能な限り情報をメモしておけ。そして絞りによって変化した被写界深度、被写体のぶれ、について結果を記録せよ。

「バケツに注ぎ込む水」の話を思い出しながら、撮影を屋外で行え。

表 3.1: 写真撮影時のメモはここに記入

No.	被写体	絞り	シャ ッ タ ー ス ピード	メモ
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

3.6 写真からの身体重心の推定

3.7 計測手順

1. 被験者はできるだけ薄着になったうえで関節位置にマーカーを貼り付ける。
2. 格子状になった床面に寝そべる。このとき、関節マーカーがカメラに写るようにする。
 - (a) 「気をつけ」の姿勢で1枚
 - (b) 任意のポーズで1枚
3. デジタルカメラで上方から撮影する
4. 印刷された写真を受け取り、これの上にトレーシング方眼紙をかぶせる。
5. 関節に貼り付けたマーカー位置をトレースし、その部位を方眼紙上に記入しておく。
6. 身体部分係数表を用いて、関節セグメントの近位・遠位間を結ぶ直線上のどこに各セグメント重心があるのかを方眼紙上で求めて、記入する。
7. セグメント重心が算出されたら、その座標を書き出しておく
8. 各セグメント重心位置が算出されたら、末端からはじめに、隣り合うセグメントの重心位置を図的解法によって、方眼紙上で求める。
9. 重心計算式にのっとって、得られた各セグメント重心位置の座標から、推定式から全身重心位置を計算により求める

3.8 計測の手順:身体重心の測定・推定

3.9 計測理論

物理的な意味での重心とは直感的には以下の実験で理解される。定規を用意しよう。定規の両端の下を人さし指で支えて、静かに両方の指を中心に向けて動かす。徐々に動かしていくとちょうど定規が水平に保たれたまま、両手の指が中心で止まる。ここが定規の中心、すなわち重心である。次に、シーソーで考えてみる。やじろべえといってもよい。以下の図ではつりあいは取れていて真ん中で支えることができる。

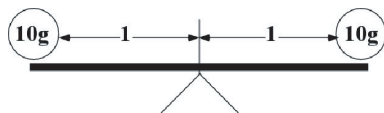


図 3.3: シーソー

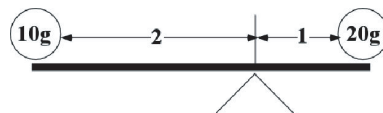


図 3.4: シーソー，その2

図 3.4 のように錘の重さが異なるとすれば、どうなるかはすぐにわかる。釣り合いの取れるところまで支点を動かすと、腕の長さは2対1になるだろう。小学校ではこれを、左のおもり×左の腕の長さ = 右のおもり×右の腕の長さで表して、これが等しくなるように腕の長さ、あるいはおもりの重さを調節すれば釣り合うということを学んだ。重りとシーソー自身が一体であると考えると支点の位置が重心ということになる。質量分布が均一でない定規を持ってきた場合にも、その支点から見て左側、右側の重さ×腕の長さの積は等しい。このような点が重心である。つまり、重心で物体を支えるならばその物体は回転を起こさずに姿勢を保ったままで保持できるのである。

すなわち、その点で物体全体の質量を支えているのと同じことであるといえる。重心の定義記述的定義地球上のあらゆる物体はその物体を構成する全ての部分（分子、原子）について地球の中心に向かう重力の作用を受けている。重力は力の方向がいずれも平行で同じ向きに働いているとみなしても差し支えない。このように平行に働く力はこれを一点に合成することが可能である。この合成点は物体の位置にかかわらずに剛体¹では常に同一の点を示す。この点のことを重心または質量中心と呼ぶ。

このように、重心というのは地球上の重力場における物体について、その物体に働く力の合成点として導入された、力学上考え出された仮想の点のことである。従って、その重心が物体内に存在しないこともありうる。重心はその物体に働く重力の合力の作用点であるというだけではなく、その物体が運動をするときの代表点としても重要な意味をもっている。数学的定義は以下のように書くことができる。3次元であればZ座標も同様。

$$x_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.1)$$

$$y_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.2)$$

ベクトルの内分

内分点高校数学の「代数・幾何」では位置ベクトルの内分点を求めるための式が出てきた。線分ABをm:nの比に内分する点をPとして、点A, B, Pの位置ベクトルをそれぞれ図であらわすと次のようになる。

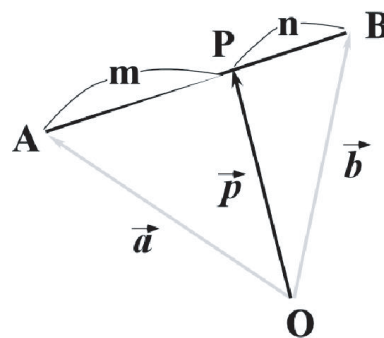


図 3.5: ベクトルの内分点

次にこれを身体の部位における質量の分布で考えると次のような図で説明できる。

考え方はこうである。まず身体各部、すなわち頭部、胴体部、上腕部などのセグメントごとに重心位置を求める。これらの重心位置をもとにして隣り合うセグメントの合成重心を求めていく。これを繰り返すことにより、身体全体の重心位置を求めるというものである。

まずAの重心位置とBの重心位置を求め、その内分点であるDをもとめ、さらにDとCの重心とを合成して3つのセグメントの合成重心位置(a)を算出するというを上図は示している。同じような密度であれば上の図ではAよりもBの方が大きいので当然Bのセグメントの方が質量が大きい。つまり合成重心位置はBにより近い位置にくる。従って、さきのやじろべえ（シーソー）のときのようにこの合成重心位置を支えることでAとBの双方を回転させずに保持できる。しかしながら、図をみると気がつくと思うがAとBの角度が少ずつ広がると合成重心位置はAと

¹質量不変であり大きさが全く変化しない物体のことを指す。固いものという意味ではない

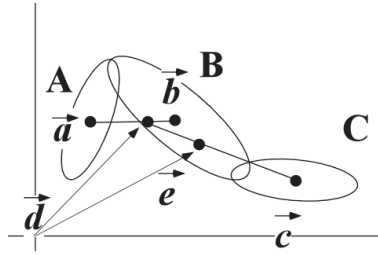


図 3.6: セグメントの質量分布で考える

B のどちらにも存在せずに双方のセグメントの外に出てしまう。つまり重心は仮想の点であるので、セグメント内に存在しないこともあるわけである。最初に重心の定義を式で示したように各身体セグメントの質量と各身体セグメントの部分重心位置のみがわかれば一気に計算が可能である。

そこで必要になるのが、身体各部分の質量分布 (m_i) を計算する式および各セグメントのどの位置に重心位置があるのか (x_i, y_i) を推定する式である。

3.10 解析の手順

ここでは身体部分係数を、2つ用意した。ひとつは松井の係数(松井, 1958)であり、もうひとつは、Chandler の係数(Chandler, 1975²)である。

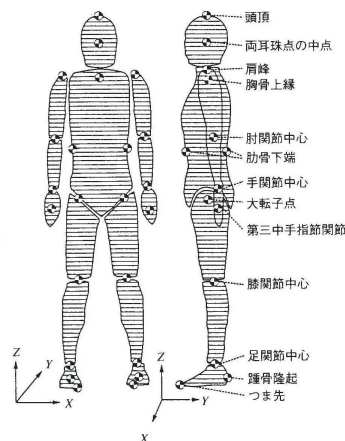


図 5.7 積層格闘板近似モデルおよび身体部分を規定する計測点(阿江ら, 1992; 岡田ら, 1996)

図 3.7: 重心推定のために必要な関節マーカー

松井の身体係数

以下の表は、松井の身体部分係数と呼ばれるものである。関節位置では頭部は頭頂点と胸骨上縁点までが含まれることに注意が必要である。それ以外は解剖学的な関節の標識をもって各セグメントを定義すればよい。

²<http://www.dh.aist.go.jp/bodyDB/m/k-02.html>

表 3.2: 松井の身体部分係数表

部分	質量比 (%) ³		重心位置比 (%) ⁴	
	男	女	男	女
頭部	7.8	6.3	46.0	45.0
胴体	47.9	48.7	52.0	52.0
上腕	2.7	2.6	46.0	46.0
前腕	1.5	1.3	41.0	42.0
手	0.9	0.6	50.0	50.0
大腿	10.0	11.2	42.0	42.0
下腿	5.4	5.4	41.0	42.0
足	1.9	1.5	50.0	50.0

Chandler による人体係数の推定式

Chandler の係数については、数式の形で引用した。BW は体重。Chandler の推定式の場合には、頭部は頭頂点と耳下点（両耳下点を結ぶ中点）によって形作られていて、耳下点と転子点を結ぶセグメントが胴体であることに注意しなければならない。

- 部分質量の推定式 (BW=Body Weight[Kg])

$$\text{頭部 } W_{Head}[BW] = 1.9074 + 0.0319 \times BW$$

$$\text{胴部 } W_{Trunk}[BW] = -0.7076 + 0.5324 \times BW$$

$$\text{上腕 } W_{UpperArm}[BW] := 0.4852 + 0.0215 \times BW$$

$$\text{前腕 } W_{Forearm}[BW] = 0.2477 + 0.0129 \times BW$$

$$\text{手部 } W_{Hand}[BW] = 0.0759 + 0.0045 \times BW$$

$$\text{大腿 } W_{Thigh}[BW] = -1.5112 + 0.1271 \times BW$$

$$\text{下腿 } W_{Shank}[BW] = -0.1792 + 0.0437 \times BW$$

$$\text{足部 } W_{Foot}[BW] = 0.2529 + 0.0089 \times BW$$

- セグメント重心位置の推定式

$$\text{頭部 } CG_{Head}[\text{頭頂点}, \text{耳下点}] = (1 - 0.6633) \times \text{頭頂点} + 0.6633 \times \text{耳下点}$$

$$\text{胴部 } CG_{Trunk}[\text{耳下点}, \text{右大転子点}, \text{左大転子点}] = (1 - 0.5216) \times \text{耳下点} + 0.5216 \times ((\text{右大転子} + \text{左大転子})/2.0)$$

$$\text{上腕 } CG_{UpperArm}[\text{肩峰点}, \text{肘関節点}] = (1 - 0.50606) \times \text{肩峰} + 0.50606 \times \text{肘関節}$$

$$\text{前腕 } CG_{Forearm}[\text{肘関節点}, \text{手関節点}] = (1 - 0.41666) \times \text{肘関節} + 0.41666 \times \text{手関節}$$

$$\text{手部 } CG_{Hand}[\text{手関節}, \text{中手骨}] = (1 - 0.515) \times \text{手関節} + 0.515 \times \text{中手骨}$$

$$\text{大腿 } CG_{Thigh}[\text{大転子点}, \text{膝関節}] = (1 - 0.39833) \times \text{大転子点} + 0.39833 \times \text{膝関節}$$

$$\text{下腿 } CG_{Shank}[\text{膝関節}, \text{足関節}] = (1 - 0.41333) \times \text{膝関節} + 0.41333 \times \text{足関節}$$

$$\text{足部 } CG_{Foot}[\text{足関節}, \text{踵}, \text{爪先}] = ((1 - 0.56) \times \text{踵} + 0.56 \times \text{爪先}) \times 0.5 + \text{足関節} \times 0.5$$

3.11 重心の推定

静止した姿勢では、通常成人であれば床面から身長比で 55 % 程度の位置にあるが、運動によってその位置は常に変動する。

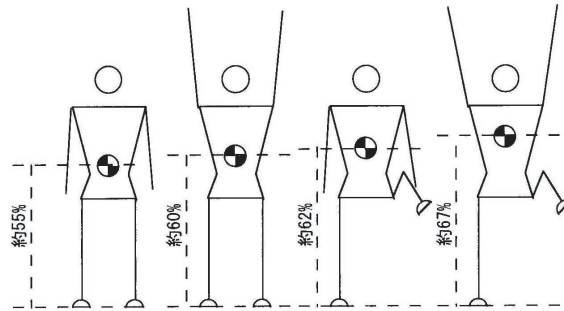


図 5.1 身体重心位置の概略位置

身体重心位置は、姿勢によって変化する。その変化の度合いは、動きが大きいほど、また動かす身体部分の質量が大きいほど、影響が大きくなる。

図 3.8: 重心の位置と姿勢による影響

3.12 メモ欄