

第4回 モーションキャプチャ (Motion Capture, MOCAP)

4.1 概要

今回は、モーションキャプチャについて学ぶ。モーションキャプチャは近年、著しく普及してきた運動解析手法のひとつである。センサ技術とPC能力の発展がこれに貢献している。また映画やアニメーション分野でよりリアリティのある実際のヒトの動きをもとにしたコンテンツを作成したいという欲求がこれらの技術を進めてきた要因でもある。

モーションキャプチャは身体運動を三次元的に捉えることが出来る装置とそれを動かすソフトウェアの総称である。「三次元的に」という意味は、身体関節や任意の部位に装着したマーカーの3次元上の空間座標が得られるという意味である。ヒトの形状すべてが得られるわけではない¹。

スポーツバイオメカニクス、スポーツ医学、リハビリテーション、整形外科学などの分野ではモーションキャプチャを使った研究が盛んに行われていて、臨床医学の分野で歩行解析においては、もはやこれを使った研究が主流である。

モーションキャプチャは、同時にフォースプレートを用いることが出来るのが普通である。歩行時の身体の動きをモーションキャプチャで捉え、同時に地面から受ける力（これを地面反力と呼ぶ）をフォースプレートで計測して歩行診断などに役立てることが出来る。フォースプレートを併用した計測は、後日別の回で実習を行う。

- モーションキャプチャ (MOCAP) の概要
- モーションキャプチャの一連の手順（計測前・計測中・計測後）

4.1.1 目的

今回の目的は、身体運動の関節位置座標を得る手法のひとつであるモーションキャプチャを用いて、動作の計測を行う。モーションキャプチャの準備、設定、計測の一連の流れをつかみ、今後の各自の運動解析の技法のひとつとして身に着けることが目的である。

4.2 計測の手順

4.2.1 準備するもの

SFC には、Motion Analysis 社の MAC3D² というシステムが 2006 年に導入された。これは、Vicon 社製の Vicon³ と並んで世界的に普及しているシステムであり、SFC に導入している機種は 2006 年当時で最高レベルに値するものである⁴。この MAC3D は、メディアセンター地下室の映像スタジオに保管管理されているので、利用する際にはこの予約を行わなければならない。

¹ ヒトの身体形状を捉えるには三次元スキャナーが必要である

² <http://www.motionanalysis.com>

³ <http://www.vicon.com>

⁴ ちなみに価格は 8000 万円程度する

ただし，SFC ではこのモーションキャプチャシステムは高価で取り扱いに細心の注意を払わなければならないために，利用する前に講習会に参加をしておく必要がある．この授業はその講習会を兼ねる．

以下は施設として地下撮影スタジオを予約してから以降の手順である．機材の準備は以下のとおりである．

1. 撮影用ハードウェア

- (a) Eagle Hawk カメラ (順番があるので若い順から使用する)
- (b) カメラケーブル
- (c) 三脚 (高所からの場合には，吊り下げ式の雲台を使用)
- (d) Eagle Hawk Hub
- (e) PC と Hub を接続する Ethernet ケーブル (常備)
- (f) DV カメラ (これは自分で準備すること．メディアセンターで借りてくればよい)
- (g) DV カメラ用 IEEE1394 ケーブル (常備)
- (h) DV カメラ用三脚 (常備)
- (i) キャリブレーション用バー 2 種 (L 字および T 字ワンド)
- (j) 制御用 PC

2. 被験者用マーカー

- (a) 1.27cm または，2.54cm 直径のマーカー (装着の際にはすべて同一の大きさのマーカーである必要がある)
- (b) 被験者用スーツ (出来れば裸に近いほうがよい．スタジオに用意しているものを使用することも可能．ただし大きさがやや小さいので，体格のよいスポーツマンなどは着用が難しい．使ったら必ず洗濯をすること)
- (c) 帽子・靴についても注意が必要⁵

以上を準備したら，計測の準備のための機材の設定から始める．

4.2.2 計測手順

計測手順

運動課題とキャプチャボリュームの決定
カメラの設置と位置決め
スタティックキャリブレーション
ダイナミックキャリブレーション
被験者にマーカーを装着
T ポーズの撮影
試技の撮影
データの確認 (マーカー誤認のチェック, データの補間, 平滑化)
3 次元座標データの書き出し

⁵頭にマーカーを装着する場合，帽子が必要．靴を履いての試技の場合，靴を覆うシューズ用のスーツが必要．ただし，マーカーが取れやすいので注意

4.2.3 運動課題とキャプチャボリュームの決定

まず、どのような運動課題をキャプチャするのかを決定する。SFC での実習では場所は限られているので、部屋の中央部で行うしかないが、その際でも運動課題において、最初から最後まで完全に身体の全部をキャプチャしたいのか？それとも一部でよいのか？。身体のどこからどこまでをキャプチャしたいのか？前後・左右・高さ方向の広がり (Capture Volume) はどの程度かを確認しなければならない。

歩行やランニングの場合には、歩行路・走路の向きとキャプチャする向きと、やはりキャプチャボリューム、すなわち何歩分をキャプチャできるのか？を考えなければならない。運動課題とボリュームを決定したら、運動の中心となる位置に、スタティックマーカー用の L 字ワンドを置く。

1. 被験者の立ち位置に、L 字マーカーを水平に置く。

実際にはカメラを設置したあとで、このキャプチャボリュームの確認と調整をしなければならない。

4.2.4 カメラの設置と位置決め

被験者の位置が決まったら、カメラを設置する。MOCAP カメラは特殊で高価なカメラであり、極めて慎重に扱う必要がある。カメラは次の手順で設置する。

1. カメラを箱から取り出したら、カメラの焦点距離と絞りを確認する。
 - (a) 焦点距離は最短、16mm にあわせる。(すなわち、広角となる)。変えた場合には各カメラの焦点距離が後ほどの PC 制御ソフト, EvaRT 上で必要になるのでメモしておく。
 - (b) 絞りは開放にあわせる。(すなわち明るくなるため、速いシャッターが切れる。ただし、被写界深度は浅くなる。)
2. カメラに赤外線発光リングをとりつける (通常、取り付けてある)。
3. 三脚を設置する。高さは通常、高い位置から見下ろすようにしたほうがよいことが多い。が、歩行など下肢の運動であれば低い位置にカメラを設置すべきなので三脚も低い位置に設置する。
4. カメラを若い番号順に、被写体をぐるりと取り囲むように三脚の前の床に置いて準備する。
5. カメラシュー (三脚上部についているクリップ) がカメラの下に取り付けられていることを確認したら、三脚に取り付ける。このとき三脚の高さが高すぎると、カメラを落としかねないので要注意。(上方から撮影したい場合には天井から吊り下げられている雲台にカメラをつけるが、このときこの逆さまにつけたカメラ番号を確認しておく)。絶対的にカメラを落とさないこと
6. カメラに落下防止用のワイヤーを取り付けて、三脚に固定する。
7. カメラ用ケーブルを遠いカメラから順に配線し、カメラにケーブル 2 本 (Ethernet ケーブル, 電源ケーブル) を差し込む。特に電源ケーブルの差し込みには最新の注意を払うこと。うまく差し込めないときには脚立などを用意して絶対的に無理にねじ込まないこと
8. Ethernet ケーブル, 電源ケーブルのもう一方の端を, Eagle Hub に接続する。ケーブルを差し込む位置はどこでも構わないが、わかりやすくするために順番に差し込むほうがよい。

9. Eagle Hub と PC とを Ethernet ケーブルでつなく、Eagle Hub の電源を入れる。すると全てのカメラが発光する。

カメラの設置ができれば、次はその調整である。

1. PC の電源をいれログインし、EvaRT を起動する。
2. カメラの緒言 (焦点距離・天地) をメニューから設定する。
3. 3次元表示と2次元表示を同時に表示 (2 Pane or 3 Pane 設定) して、2次元のほうに着目し、カメラからスタティックキャリブレーションの L 字ワンドが見えているかを確認する。
4. L 字が見えてない場合には、カメラの向きを変える。PC オペレータが指示してカメラの向きを変えさせる。
5. L 字が見えたら、別のカメラの光や、ノイズ (ちらちらする光など) が映りこんでないかも確認する。極力、別カメラの光が同時に入ったりしないようにカメラ位置を調整する。
6. 全てのカメラから L 字ワンドが見えて、且つボリューム全体を覆うようになっているのかを確認する。
7. どうしてもノイズが入ってしまう場合には、マスキングを行う。

4.2.5 スタティックキャリブレーション

カメラの設置と調整が終わったら、今度はキャリブレーションを行う。キャリブレーションはまず、スタティックキャリブレーション、そして次にダイナミックキャリブレーションを行う。

スタティックキャリブレーションは、L 字ワンドをキャプチャするだけである。

4.2.6 ダイナミックキャリブレーション

引き続き、ダイナミックキャリブレーションを行う。L 字ワンドを取り去り (ただし床にテープを貼るなどして位置がわかるようにしておく)、T 字ワンドをもった 1 名がキャプチャボリューム内に入って、T 字ワンドをキャプチャボリューム内を全て網羅するように 1 分間動かす。

1 分が終われば自動的にダイナミックキャリブレーションが終わり、精度の計算に移る。T 字ワンドの長さ 50cm が、きちんと 50cm として認識されているかどうかを示されるので、おおむね 50cm になっているかどうかを確認する。数ミリのずれであれば容認して、それを Accept し、キャリブレーション設定を保存しておく。

4.2.7 被験者にマーカーを装着

カメラの準備やキャリブレーションを行っている間に、被験者側のマーカーを準備しておく。被験者は裸に近い水着などの格好か、上下スパッツなど身体にぴったりとフィットする服を着用しておく。

マーカー位置は、運動に依存する。あらかじめ何を撮影したいのかを明確にし、道具を必要とする場合や、上肢・下肢の長軸回りの回転などをとりたい、といった場合それらが認識できるマーカーの数と位置を考えておく。

今回は、フルボディマーカーセットに近いマーカーセットを用いて撮影を行ってみる。Full Body Marker Set は全身をすべて撮影可能とするマーカーセットであるが、これ以外によく知ら

表 4.1: 授業で用いるマーカーセット

略称	解剖学的名称等	コメント	略称	解剖学的名称等	コメント
HEAD	頭頂点		RTRO	右大転子	
RFHD	右耳下点		RKNM	右膝頸骨側	内側親指側
LFHD	左耳下点		RKNL	右膝腓骨側	外側小指側
C7	第七頸椎		RANK	右外踝	
RSHO	右肩峰		RHEE	右踵	
RUPA	右上腕	左右の確認用	RTOE	右中足骨基節関節	
REBL	右肘橈骨側	Right Elbow Lateral	LTRO	左大転子	
REBM	右肘尺骨側	Right Elbow Medial	LKNM	左膝頸骨側	内側親指側
RWRR	右手首関節橈骨側	Right Wrist Radial	LKNL	左膝腓骨側	外側小指側
RWRU	右手首関節尺骨側	Right Wrist Ulnar	LANK	左外踝	
RFIN	右手中手根骨		LHEE	左踵	
LSHO	左肩峰		LTOE	左中足骨基節関節	
LEBL	左肘橈骨側	Left Elbow Lateral			
LEBM	左肘尺骨側	Left Elbow Medial			
LWRR	左手首関節橈骨側	Left Wrist Radial			
LWRU	左手首関節尺骨側	Left Wrist Ulnar			
LFIN	左手中手根骨				

でも保存したい場合には、これもあらかじめ指示しておく。ただし、普通はマーカーの認識間違いなどがあって、取り込んだデータが即使えるか、ということそんなことはないので、後処理のさらにそのあとでテキストデータにすることで問題ない。

試技の順番を書き留めておきながら、順番にキャプチャを行っていく。あらかじめ決まった時間だけキャプチャする方法と、スタートボタン・ストップボタンを押してキャプチャする方法の2つがあるので、どちらが自分の撮影対象にあっているのかを考えてキャプチャする。

4.2.10 データの確認 (マーカー誤認のチェック, データの補間, 平滑化)

1回の試技が終わるごとにデータはその都度、確認したほうがよい。もしも全くマーカーが認識されていない時間が長く存在すれば、その後処理をどのようにがんばっても、見えない座標を再現することはもはや出来ない。したがって、データの欠落や誤認識について、確認しておく。

しかしながら、キャプチャ実験の最中にこのデータの修正を行うことは被験者に負担を強いるので、極力あとで行うべきである。

通常、データの修正は以下の手順で執り行う。

Rectify マーカー間の誤認識 (見えてはいるが違う点として認識してしまっている)

どこのマーカー同士が誤って認識されているかわかっている場合 Rectify メニューで誤認識をしている区間の入れ替えを行う

どこのマーカーと間違っているのかわからない場合 誤認識区間が短ければ、Join(補間)へ。区間が長ければあらかじめ再度撮影。

Join マーカーの欠落を確認



図 4.2: T-ポーズの撮影

Linear Join 区間が短く直線で補ってもよさそうなとき

Cubic Join 3 次関数で補間

Spline Join スプライン関数で補間

Rigid Body Join 剛体モデルで補間

Virtual Join 仮想点を用いて補間

Smoothing データの平滑化

4.2.11 3次元座標データの書き出し

EvaRT はモーションキャプチャシステムであって、運動分析を行ってくれるわけではない。そこで得られたデータを他のソフトウェアで利用できるようにテキストデータで書き出さないとけない。バイナリ形式に加えて、テキスト形式を選択すればデータを保存することが出来る。

4.3 結果

モーションキャプチャで得られるデータは、絶対座標系におけるマーカーの三次元位置座標でしかない。そのため、結果は空間上の点の時系列が準備したマーカー数分だけ得られるだけである。

EvaRT 上では、この得られた座標データをグラフィカルに確認することが出来るが、他のソフトウェア上であれば、まず前項で書き出したテキストデータを読み込み、それを時系列データ、あるいは空間座標データとして表示させて確認をしなければならない。

Microsoft Excel などの表計算ソフトや、Mathematica, Matlab, R, Scilab, FreeMat などの数式・数値解析ソフトウェアなどで結果の確認をすればよいであろう、

4.4 分析方法

分析方法は、運動課題において各自が何をみたいのか？ということに完全に依存する。三次元位置座標が得られるだけでは、分析とはいわないので要注意。

今回は前回の資料で紹介したように、得られた関節座標データから被験者の重心の変動を確認しよう。そのためマーカーセットは、Chandler の重心計算に必要な関節標識点を網羅している。

4.5 考察

分析方法が、運動課題と研究の目的に依存することから、当然考察もそれらに見合ったものとなる。運動の計測といってもモーションキャプチャは、関節や体節に装着したマーカの位置座標だけが生データである。そこから微分（データはすでに数値で得られているので、正確には差分）操作によって得られる速度、加速度、さらにはセグメントの回転角度・角速度・角加速度などを、運動学データと呼ぶ。運動学 (Kinematics) とは力やトルク、パワー、仕事などを含まない運動解析分野である。

原データである、位置座標から速度や加速度を算出し、運動学データのみで運動の技能評価を行おうとする研究もある。例えば、キネマティックチェーン (Kinematic Chain) と呼ばれる運動連鎖現象は、打突系格闘技や投球動作、などの俊発的にパワーを発揮する運動では不可欠な技術として認知されているが、このキネマティックチェーンは運動エネルギーの源が体幹や下半身から生じることを速度のピークから説明してくれる。

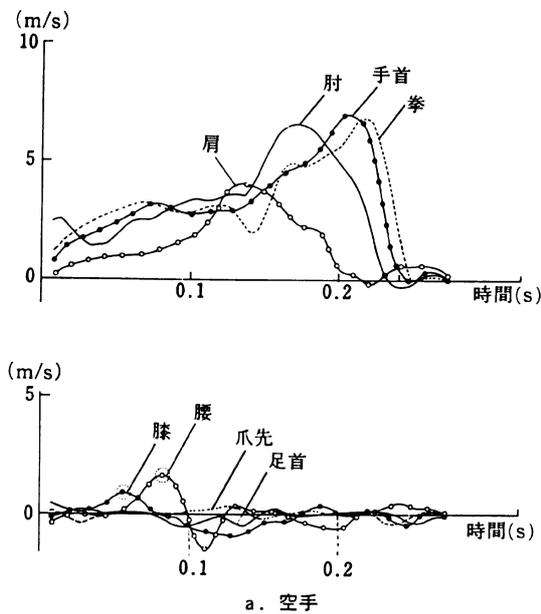


図 4.3: 空手の打突動作における身体セグメントの速度変化 [1]

4.6 課題02

課題02

得られた関節座標点から，被験者の身体重心位置の時系列変化を求め，最下点から最上点までの高さの変動（Z軸方向の変位）を求めよ．そして，被験者の体重を聞き出しておき，位置エネルギーの変動を求めよ．位置エネルギーの変化は，重心の最大高と，最小高の差で比較するものとする．

$$E_P = \frac{1}{2}mg(h_{max} - h_{min}) \quad (4.1)$$

4.7 補足

4.7.1 モーションキャプチャの種類

SFCに導入されていて今回の実習で用いたのは赤外線を用いて計測を行うタイプの光学式モーションキャプチャである．光学式を含めて以下の3タイプのモーションキャプチャが存在する．

- 光学式

長所 マーカー個数をかなり増やしてもキャプチャができる．複数人や動物など．

短所 強い日光のもとでは赤外線カメラが作動しないことがある．

- 磁気式

長所 1つのマーカーで1つの剛体の位置・姿勢の6自由度データが得られる．

短所 磁界の範囲内ではしか運動できない．磁場の乱れが生じるとデータに誤差が発生するので，金属で囲まれた環境では誤差が大きい．例えば，卓球台が鉄で出来た場合など，像が歪む．

- 機械式

長所 初期の向き・姿勢さえわかれば，カメラや磁界がなくてもキャプチャができる

短所 ジャイロのサチュレーション（飽和）により，速い運動のキャプチャが出来ない

参考文献

- [1] 吉福康郎, 池上康男. 格闘技における打の動作. *Japanese Journal of Sports Science*, Vol. 3, No. 3, pp. 188-198, 1984.