

第7回 高速度カメラ撮影

7.1 概要

スポーツ運動はダイナミックなことがその特徴であるということは既に述べたが，素早い運動を観察するには高速度カメラ (High Speed Camera) と呼ばれる特殊なカメラが必要とされる場合がある．高速度カメラは，高速で運動するものの撮影に特化したカメラである．今回の授業ではそのような比較的体を高速で動かすような運動を実際に計測し，分析を行う．

- 高速度カメラの取り扱いの諸注意とセットアップ
- 撮影設定の注意点
- ソフトウェアによるトリガー信号入力撮影
- 外部トリガーによる信号入力撮影
- 撮影データの分析法

7.1.1 目的

今回の授業では高速度カメラによって高速で動く身体運動を撮るための知識とその実際を学ぶと共に，撮影された映像（この場合，コンピュータ上に取り込まれた AVI ファイル）をどのようにして分析するのかを学ぶことを目的とする．

7.2 高速度カメラ撮影の手順

7.2.1 準備するもの

スポーツ運動の撮影に際して必要とされるハードウェアは以下のようなものが標準的である．撮影を行う際，チェックリストを作ることをお勧めする．ケーブル一本忘れただけで実験そのものが出来なくなることが往々にして起こるためだ．

1. 高速度カメラ（今回は PHOTORON 社製のものを使用）
2. 三脚
3. キャリブレーションが可能なもの．すなわち物差しや，キャリブレーション用の枠．
4. マーカー¹
5. 照明．今回はレフランプを用いる．²

¹計測したい身体の部位に装着，高速で運動するためにマーカーが取れる危険性があるのでマーカーの接着に関しては慎重かつ厳密に行う必要がある

²後述するが，高速度カメラは光が多くなると計測が困難になる．そのため特に室内で計測を行う際大量の照明を焚く必要がある場合が多い．室外での計測に関しては晴れの日の午前中に行うのが一番良い

7.3 計測手順

7.3.1 高速度カメラの取り扱いの諸注意とセットアップ

以下は、今回の実習で用いる (株)Photron 製の高速度カメラ³の設置の手順であるが、他社の製品であっても概ね同じような手順をとることを覚えておいて欲しい。

1. カメラにレンズを装着する。カメラ内部の CCD イメージセンサは埃などに大変弱い。そのためフタをはずしたカメラにすぐにレンズを装着できるようにあらかじめ用意しておくことが肝心。また、MOCAP と同様に高速度カメラも大変高価なものであるので扱うときは慎重に。またこのときレンズの絞りを最小にしておく³。
2. カメラを本体に接続する。このときにカメラのマスター (Master) とスレーブ (Slave) を確認する。カメラによってはその役割が固定されていることが多いので、必ず確認すること。
3. カメラ同士を接続する。このときに先ほど確認したカメラのマスターとスレーブが重要となる。マスターは同期信号を出してスレーブの足並みをそろえるので信号の出力端子側に接続する。一方スレーブは信号を受け取るだけなので、信号の入力端子側に接続する。
4. 本体と PC を接続する。⁴
5. PC の電源を入れる

この手順でカメラのセットアップを行う。間違っても PC の電源を入れてからカメラを接続しないように。

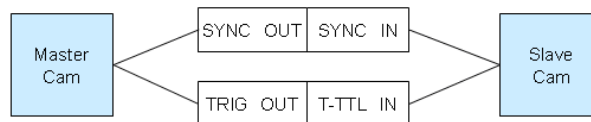


図 7.1: カメラの接続例

7.3.2 撮影設定の注意点

カメラの設置が終わったら、次はカメラのソフトウェア設定を行う。以前はビデオテープで撮影を行っていたが、現在では PC により映像を撮影出来るようになり、カメラがもつ様々な機能設定も PC 上で行えるようになった。このコンピュータによる映像撮影のことを「キャプチャ」とも呼ぶことがある。

ソフトウェアは PC のデスクトップ上にある PFV というアイコンをダブルクリックすることで起動する。起動後には 2 台のカメラの映像と共に右に以下のようなコントロールパネルが見えるだろう。パネル上に表示されているコマンドに従ってカメラの設定を行う。

高速度カメラは、通常複数台のカメラを同時に接続して時間的に同期しての撮影ができる。そのとき、同期信号を出すカメラのことをマスターカメラ (Master camera)⁵と呼ぶ。マスターから送られてくる同期信号にあわせて撮影を行うカメラのことをスレーブカメラ (Slave camera) と呼ぶ。マスターとスレーブの関係はオーケストラの指揮者と演奏家たちの関係に似ているといえる。

³ここで先ほど絞りを最小にしておくとしたのは、光量の多い場所（特に快晴の日の屋外など）でカメラを起動させる際、急激に大量の光が CCD センサに当たると CCD センサがうまく働かなくなってしまうことがあるためである

⁴通常、計測器と PC を接続するときには両者ともに電源を切った状態で接続をする

⁵言ってみれば号令をかける役目をもつカメラ

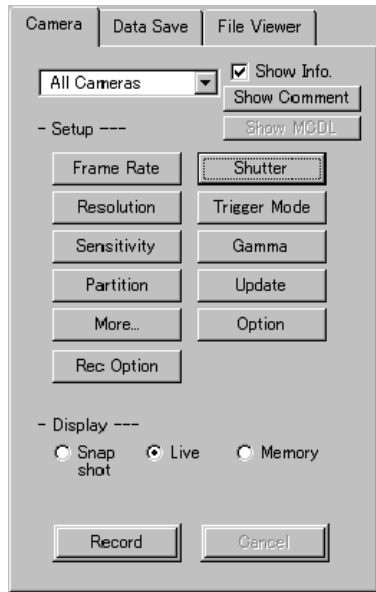


図 7.2: コントロールパネル

まずは、Master から Slave に同期信号が飛ぶように 1 台ずつカメラの設定を行ってやる。All Cameras と書かれたボックスをクリックしてカメラを選びそれぞれ設定を行う。ここでは Master はカメラ 1、Slave はカメラ 2 となるため、それぞれプルダウンメニューから選び出して設定する。

まずカメラ 1 を選択し、図 7.2 の中にもある More をクリックするすると図 7.4 のようなウィンドウが表示される。

ここで Ext Sync Out が V-Sync pos となっていることを確認し、OK をクリックする。これで同期する信号が出力されるようになる。次に図 7.3 をカメラ 2 にセットし同様、More をクリックする。すると以下のようなウィンドウが立ち上がる。ここで Ext Sync In を Cam Sync pos にする。これで Master からの同期信号を読み取るように設定できた。この後必ず Fig. 7.3 を All Cameras に戻し、カメラの設定を行う。

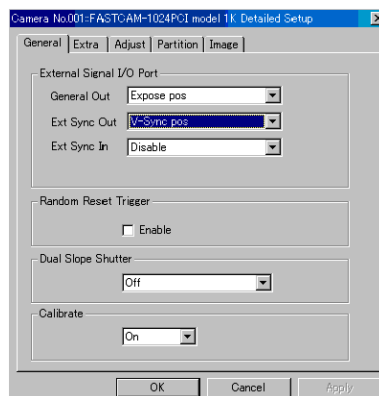


図 7.4: Camera1 の設定を追加する

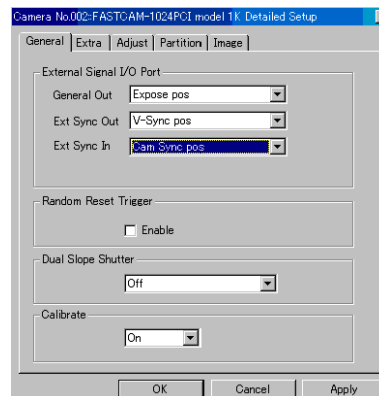


図 7.5: Camera2 の設定を追加する

7.3.3 カメラの設定

ここでフレームレート及びシャッタースピードを決定する。また撮影を行う際に必要となるであろう用語を紹介し、どのように設定すればよいのかを概説することにする。

フレームレート (Frame Rate) フレームレートは単位時間 (通常 1 秒) あたり何度画面が更新されるかを表す指標であり, fps(frames per second) という単位で表す. 通常のビデオでの撮影は約 30fps (ハイビジョンカメラでは 60fps) で行われる. よって速い運動になるほどより鮮明に被写体を追うためには fps は高くなる必要がある. フレームレートの設定に伴い, 観察するもの, 今回は身体の部位がどの程度の速度で移動しているのか事前に知ることが不可欠である.

シャッタースピード (ソフトウェア上では Shutter) シャッタースピードは 1 フレーム時間内に, シャッターが開放されている, すなわち光が撮像素子に届いている, 時間のことである. シャッタースピードの逆数が, 実際にシャッターが開放されている時間のことである. 例えば, シャッタースピードが, 1000 とあれば, 1000 分の一秒間だけシャッターが開いていることを示す. フレームレートと似ているが異なることに注意しなければならない. シャッタースピードの設定もまた, 観察する運動によって調整する必要がある. フレームレート, シャッタースピードを設定した後, カメラの絞りを開放したり, ピントを合わせたりする.

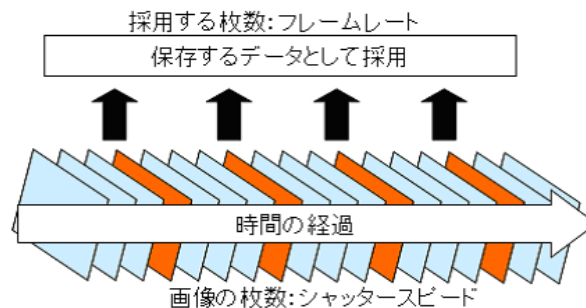


図 7.6: フレームレートとシャッタースピードの違い

トリガー (ソフトウェア上では Trigger Mode) データを採取する際にきっかけとなる信号を出す必要がある. その際の信号をトリガー信号といい通常はスイッチのオンオフのもののように単純な電圧の変位により行われていることが多い. トリガーはソフトウェアによるトリガーと外部からのトリガーの 2 種類がある. また, Mode を変えることにより信号が入力された瞬間のどの期間をデータとして採用するかを変えることができる. (トリガー Mode の違いに関しては「ソフトウェアによるトリガー信号入力撮影」を参照)

7.4 ソフトウェアによるトリガー信号入力撮影

次に撮影を行う. 撮影を行うには図 7.3 の下にある Record をクリックするだけである. すると図 7.7 のような画面になる.



図 7.7: Record をクリック後の画面

この段階で Trigger In をクリックすると撮影が始まる. トリガーとは引き金を意味するが, ここでは計測の開始を意味する. 実は Record を押した瞬間よりデータの記録は始まっている. しかしメモリ容量分データが溜まるとどんどん捨てられるリングバッファというメモリにデータは蓄積

されている．トリガーにはいくつかの種類があり，目的に応じて使い分ける．Start トリガーの場合は，信号が出た瞬間からデータを採取し，Center トリガーの場合は信号出力の瞬間より前後のデータを採取する．そして End トリガーは信号出力より前のデータを採取する．映像の秒数は PC のメモリ容量に依存するので計測の事前に確認しておく．

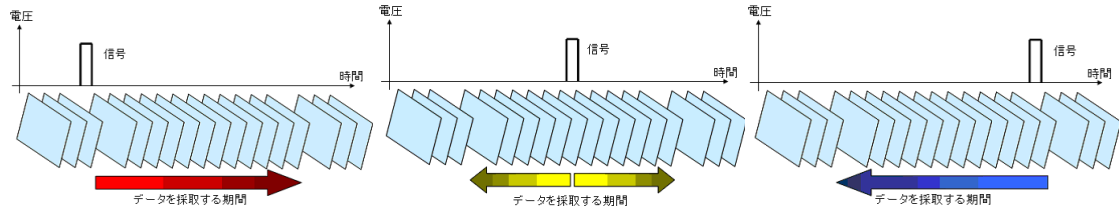


図 7.8: Start Trigger

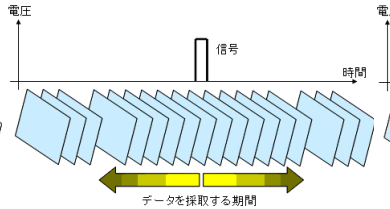


図 7.9: Center Trigger

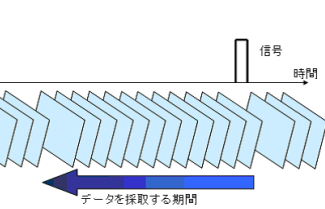


図 7.10: End Trigger

さて，運動に対し適切なトリガーを選んだら実際に計測してみよう．計測が終わったら Data Save をクリックして Save を押して保存する．保存する際に Save Path より保存先を指定する（一回指定すると連続して計測を行う際はそのフォルダに保存されるため毎回指定する必要はない）．

6

7.4.1 外部トリガーによる信号入力撮影

上記の手法はソフトウェア上でデータ採取のトリガーをかけたが，外部のセンサや装置を用いてトリガーを発生させることも可能である．トリガー発生装置は単純で 5 V の電圧が $5\mu\text{s}$ 流れるとカメラがトリガーとして判断し，トリガー設定 (Start, Center, End) に応じて撮影を行う．

7.4.2 撮影の設定

外部トリガーの設定に伴い，少しカメラ間の接続及び設定を変えてやる必要がある．カメラの接続は以下のようにする必要がある．

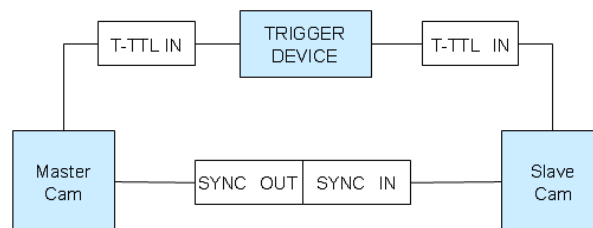


図 7.11: 外部トリガーの設定

7.4.3 外部トリガーを用いるメリット

運動にあわせてトリガーをかけられる

トリガー装置を自作することが可能であるため，スイッチを工夫すればデータ採取のきっかけを験者のタイミングではなく被験者の身体運動のタイミングで行うことが出来る．歩容を例に挙げる

⁶ AVI データを保存する時間に注意する必要がある．一回の試技の保存に数分かかる時があるため，特に冬場に屋外で計測する際など被験者の体が冷え，パフォーマンスが低下しないように配慮する必要がある．また，運動が試技ごとに途切れ途切れになるため，その点にも注意する必要がある．

と床にスイッチを敷き、被験者がスイッチを踏んだ瞬間より計測を開始させることが出来る。

外部トリガーの正確性

外部トリガーによるデータの採取はソフトウェアによるそれと比較し同期がより正確に行える。それはソフトウェアによるトリガーが以下のような手順を経て同期を行っているためである。

1. PC 上で同期信号を発信 (Trigger In をクリックする)
2. Master が信号を受け取る
3. Master が信号を理解し計測開始, 同時に Slave に信号を送る
4. Slave が信号を受信, 計測開始

要は Master と Slave に同時に信号が送られるのではなく, Master に信号が送られ, 信号だと理解した後に Slave に信号が送られるため, 少し時間差が生じてしまう。しかしながらこの時間差は, 実際には非常に微小な時間差であるため, 身体運動の計測ではそこまで深刻な問題ではない。しかし, より高速な運動を計測する際には問題となる可能性もある。例えば身体運動の中でも特に高速で運動するゴルフスイングなどは計測の際, この時間差が問題となり, 同期が不正確になってしまう。一方で外部によるトリガーは以下のような処理がなされる。

1. 信号発生装置より同期信号を発信 (スイッチを入れる)
2. Master, Slave が信号を受け取る
3. Master, Slave が計測を開始

外部トリガーは同時に信号が送られるため, より正確に複数台のカメラの同時計測が可能となる。要はよりカメラ間の同期を正確に取りたいければ外部トリガーを用いたほうが良いということである。

7.5 事例

例えば以下のように撮影が可能である。ロケット弾の飛翔を追従し撮影した映像である。このように高速で移動するものに対してもこのように弾に書かれている文字が判別可能なほど鮮明に映し出すことが可能である。

7.6 撮影データの分析法

7.6.1 デジタイズ

採取したデータは, PC 上の AVI ファイルである。この撮影映像から, 関節の位置座標を求めたり, 1 フレームずつマーカーの位置座標を求め, そこから角度を求めるには, デジタイズという作業が必要である。デジタイズは, 画面上に写りこんでいる関節座標やキャリブレーションマーカーなどの位置を画面上, すなわち PC モニターの上で取得する作業である。たとえば, アナログテレビ映像は, 640×480 の解像度 (VGA) しかもっていないが, 画面上のピクセルでどの位置にマーカーがあるのかを記録していくことがデジタイズである。

デジタイズについては, 画像解析ソフトウェアなどを用いるのが普通である。有償, 無償のソフトウェアがあるが以下はその例である。



図 7.12: 高速度カメラによる映像事例

- 有償

- Frame Dias(DKH 社製：有料 180 万円程度, 仰木研究室・加藤研究室にもあり)

- 無償

- PS デジタイザ (Physicalsoft 社製，フリーウェア，申し込みが必要)
- MovieDigitizer(2006 年度政策・メディア研究科修了赤池輝幸作，フリーウェア)⁷
- DgeeMe(<http://www.geeware.com/>，フリーウェア)

7.6.2 キャリブレーション

分析を行う際マーカー間の距離を実長で換算する必要があるため長さの分るものを画面に映しこむキャリブレーションという作業を行う必要がある。

今回は次週の三次元映像解析法のデータとしても今回の高速度カメラの映像を用いるためにカメラを 2 台準備して撮影を行っている。キャリブレーションではこのため三次元の格子状になった枠を撮影する。この枠のどこか一点を，絶対座標系の原点とみなし，この原点から測った位置情報から枠全体の大きさをあらかじめ測っておく。

2 台のカメラからの映像は，別々のファイルとなって保存されるが，ひとつひとつの映像は平面的な二次元映像である。そこでこの二次元から三次元に復元するための手法が三次元映像解析である。この手法については次週学ぶ。

7.6.3 速度・加速度 / 角度・角速度・角加速度の算出

デジタイズが終わり，さらにキャリブレーションが終われば，二次元平面でなされる運動であればその長さを，実長換算法を用いて実空間上での大きさを求めることが出来る。さらには，1 フレームごとの移動距離が分かれば，速度を算出することが可能である。

肘関節，膝関節の曲がり具合などの関節角度変化については二次元平面上の運動についてみれば，キャリブレーションを行わなくても角度の算出は可能である。したがって，単位時間当たりの角度変化，すなわち角速度や，その角速度の単位時間当たりの変化である角加速度の算出も可能である。

⁷DirectX 9.0 以降および，Microsoft .NET のランタイムが必要

参考文献

- [1] Kingston Bernard, 足立和隆訳. よくわかる筋の機能解剖. メディカルサイエンス・インターナショナル, 2000.
- [2] Thompson Floyd, 中村千秋, 竹内真希. 身体運動の機能解剖 (Manual of Structural Kinesiology). 医道の日本社, 1997.
- [3] 八田秀雄. 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, 2001.
- [4] 八田秀雄. エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, 2004.
- [5] 八田秀雄. 乳酸. 講談社, 2007.
- [6] 金子公宥, 福永哲夫 (編). バイオメカニクス, 身体運動の科学的基礎. 杏林書院, 2004.
- [7] 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.
- [8] 伊藤朗 (編). 図説 運動生化学入門. 医歯薬出版, 1987.