

研究資料

スポーツコーチングカメラの垂直ブランキング期間の計測と画像 -時間ひずみ補正：ローリングシャッターを用いた CMOS カメラ の動画解析問題

宮西 智久

Tomohisa Miyanishi: Measurement of the blanking period and correction of image-time distortion for the Sports CoachingCAM: Problem of motion video analysis for CMOS camcorder using a rolling shutter. Bulletin of Sendai University, 48 (2) : 53-58, March, 2017.

Abstract: In recent years, inexpensive CMOS camcorders for commercial use with high resolution and a high-speed photograph function have developed as an alternative to conventional CCD camcorders, and they have been put on the market. The method of image capture used by these CMOS camcorders adopts a rolling shutter which scans from upper left to lower right of the screen for every frame. In other words, the entire frame of the CMOS camcorder is not captured at the same instant. In a sense, this produces a phenomenon of “image-time distortion” of moving objects. When a biomechanical analysis is applied to human motion, this distortion should be corrected. For doing this, we have to know the value of the vertical blanking period (BP value) of the CMOS camcorder. Although only few attempts have been made at the measurement of BP values for some CMOS camcorders, the BP values for Sports CoachingCAM (Type GC-LJ25B, JVC Corp.) has never been examined. The purpose of the present study was to measure the BP value for the Sports CoachingCAM based on a previously reported method. Using the stroboscope, the Sports CoachingCAM camera shooting at its four-speed settings of 60, 120, 240 and 300 Hz videotaped a strobe light set at slightly slower frequencies than the camera, and the videos were then analyzed. The value of BP was computed as $BP = (B - (BF1 + BF2)) / (H + (B - (BF1 + BF2)))$, where B, BF1, BF2 and H were respectively the heights of the whole band, the top fraction of the band, the bottom fraction of the band, and the visible part of the image. In conclusion, the value of BP was 0.3052 ± 0.0009 , 0.5422 ± 0.0037 , 0.0947 ± 0.0035 and 0.3296 ± 0.0013 for the Sports CoachingCAM camera at the speed settings of 60, 120, 240 and 300 Hz, respectively.

Key words: consumer camcorder, GC-LJ25B, motion analysis, biomechanics
キーワード: 民生用カメラ, GC-LJ25B, 動作分析, バイオメカニクス

1. はじめに

近年、従来の CCD イメージセンサカメラに代わり、高解像度かつ高速度撮影機能をもつ民生用の廉価な CMOS イメージセンサカメラ

(以下「CMOS カメラ」と呼ぶ)が開発され市場に投入されてきた。これらのデジタルカメラのシャッター機構は、同時露光一括読み出し方式(グローバルシャッター)ではなく、ほぼ全てライン露光順次読み出し方式(ローリン

グシャッター)である^{2,6,8,10)}。そのため、この CMOS カメラで動画を撮影した場合、撮像素子画素内のフォトダイオード (受光部) の露光タイミングおよび読み出し時間が遅れるため、各 frame 内の上部と下部層間の画像に固有の時間差 (“画像-時間ひずみ”) ^{注1)} が生じている (写真1) ^{2,6,8,10)}。したがって、CMOS カメラで撮影された画像を用いて身体運動をバイオメカニクス解析する場合、計測上、この時間差は各種パラメータの算出精度に影響を及ぼす要因となるため補正すべきである。



(a) 静止画



(b) 動画 (左から右へカメラをパンニング)



(c) 動画 (右から左へカメラをパンニング)

写真1 ローリングシャッターによる動画撮影時の画像-時間ひずみ現象

ところで、この時間差は各 frame 内の垂直位置に従い各標点に異なる時間スケールを割り当てることで補正可能である。しかしながら、

CMOS カメラのシャッター機構は上述したようにライン露光順次読み出し方式であるがゆえに、垂直表示期間だけでなく、画像表示の制御パラメータのひとつである垂直非表示領域 (画像が表示されない領域) の読み出し時間、つまり垂直非表示期間 (垂直ブランキング期間 vertical blanking period と同義) (図1) も考慮して^{注2)}、各標点に異なる時間スケールを割り当てて補正しなければならない。これまで若干の機種において垂直ブランキング期間が計測された研究報告はみられるが³⁾、JVC 社の CMOS カメラ (型式 GC-LJ25B, 製品名 スポーツコーチングカム) の垂直ブランキング期間を計測した報告は見当たらないようである。

本研究では、ストロボスコープを用いて、JVC 社のスポーツコーチングカム (型式 GC-LJ25B) の垂直ブランキング期間を計測し明らかにするとともに、付録において、計測された垂直ブランキング期間を用いて画像-時間ひずみを補正する手法を一例として具体的に記載することを目的とした。

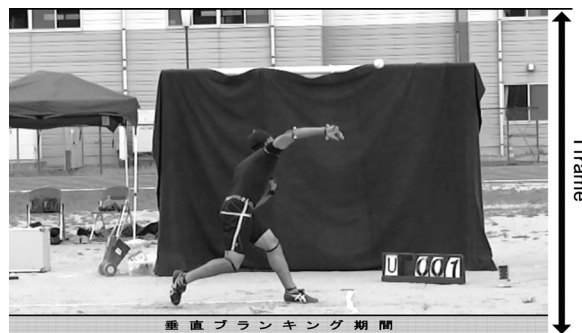


図1 垂直ブランキング期間

2. 研究方法

2.1 CMOS カメラとストロボスコープ

本研究において垂直ブランキング期間 (以下「BP 値」と呼ぶ) の計測の対象とした CMOS カメラは、JVC 社の製品名スポーツコーチングカム (形式 GC-LJ25B) であった (写真2)。このカメラはプログレッシブ方式を採用し、映像素子: 1/2.3 型裏面照射 CMOS センサー (1276 万画素)、動画形式: MP4、解像度: 1920 ×

1080 画素 (設定時 60 fps), 640 × 360 画素 (同 120/240/300 fps), 320 × 176 画素 (同 420/600 fps) の性能を有している⁵⁾.



写真 2 スポーツコーチングカメラ (形式 GC-LJ25B, JVC 社)

写真 3 に BP 値の計測のために用いたストロボスコープすなわち General Radio Company (US) の Strobotac (Type 1531-AB) を示す. このストロボスコープの発光周波数範囲は内部発振が 110 - 25000 rpm, 外部同期が 700 - 25000 fpm の性能を有している⁷⁾.



写真 3 Strobotac (Type 1531-AB, General Radio Company, US)

2.2 垂直ブランキング期間の計測と算出式

BP 値は, 先行研究の方法³⁾に基づき, 上述のストロボスコープを用いて発光信号をカメラ画像に録画することにより求めた.

具体的には, 暗室において, スポーツコーチ

ングカメラと Strobotac を白ぬりの側壁に向けて三脚を用いて固定・設置した. スポーツコーチングカメラのカメラ撮影速度 (計測周波数) は, 研究上使用頻度の多い 60 Hz, 120 Hz, 240 Hz, 300 Hz の 4 段階のみを選定し設定した. Strobotac の発光周波数は設定されたカメラの各計測周波数よりも若干低い周波数に設定した. 各設定につき, カメラでそれぞれ 3 回撮影し, その画像を電子媒体 (SD カード) に記録した. なお, このように, Strobotac の発光信号をカメラ画像に録画することにより, 図 2 に示すように, 動画再生時に画面の上部から下部へ暗帯の中に明帯 (発光時) が一定の周期で移動する画像を得ることができる.

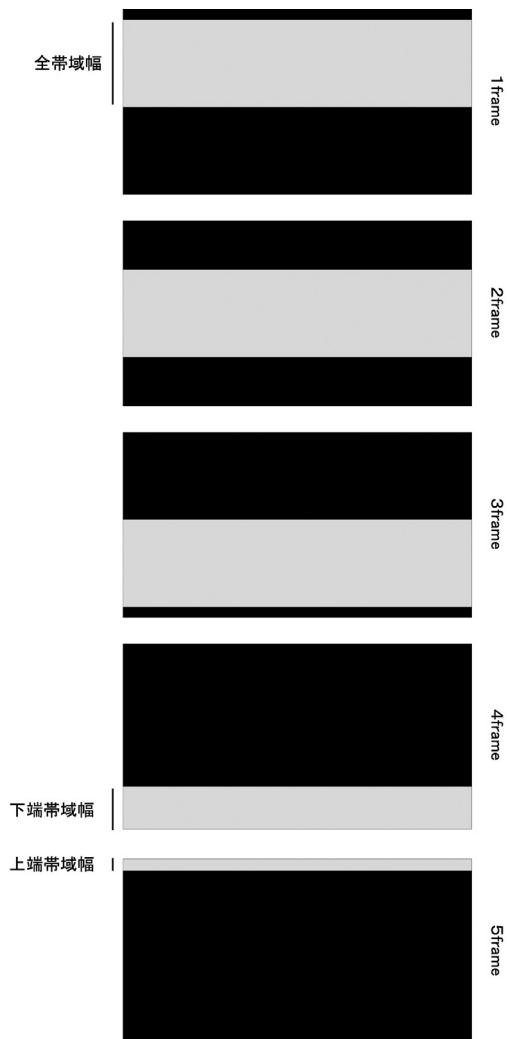


図 2 ストロボスコープの発光信号を撮影した画像例 1 ~ 3 frame の明帯は全帯域幅 (B), 4 frame 目の明帯は下端帯域幅 (BF2), 5 frame 目の明帯は上端帯域幅 (BF1) を示す.

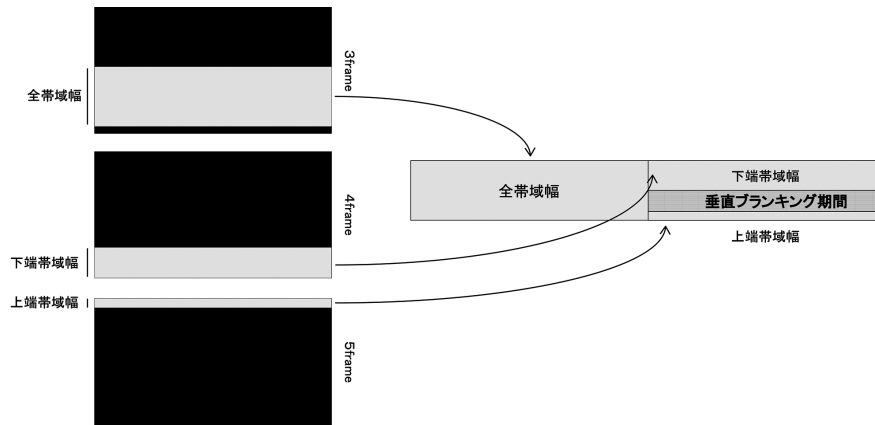


図3 垂直ブランキング期間の計測の模式図

垂直ブランキング期間 (BP 値) は全帯域幅 (B) から上端帯域幅 (BF1) と下端帯域幅 (BF2) を引き、1 frame の垂直表示期間に対する相対値 (および比率) として算出される (式 [1] 参照)。

各撮影速度で録画された画像をパソコンに取り込んだ後、動作解析ソフト (MaxTRAQ, Innovision Systems Inc., US) を使い、各動画を再生・停止した。画像の上部は下部よりも早く露出されることから、各動画において、再生と停止を繰り返し、図3の例に示すように、Strobotac の発光信号の全帯域幅 (3 frame) の上端と下端の垂直画素値を目測で読み取ることによって全帯域幅 (B) を計測した。また、B が画面 (4 frame から 5 frame) を通過する際に生じる上端帯域幅 (BF1) の下端の垂直画素値および下端帯域幅 (BF2) の上端の垂直画素値を目測で読み取ることによってそれぞれの帯域幅を計測した。BP 値は、以下の式 [1] により算出した³⁾。

$$BP = \frac{B-(BF1+BF2)}{H+(B-(BF1+BF2))} \quad [1]$$

ここで、H は垂直表示期間 (垂直画素数) を示す。

各計測周波数で 3 回撮影・録画された画像の各帯域幅を計測した後、平均値と標準偏差 (M ± SD) を求めた。

3. 結果

3.1 垂直ブランキング期間の算出値

表1にスポーツコーチングカメラの計測周波数毎のBP値を示す。表に示すように、本研究により算出された当該カメラのBP値は60 Hz 設定時が 0.3052 ± 0.0009 、120 Hz 設定時が 0.5422 ± 0.0037 、240 Hz 設定時が 0.0947 ± 0.0035 、300 Hz 設定時が 0.3296 ± 0.0013 であった。

4. 考察

4.1 垂直ブランキング期間の比較について

BP 値は、一般に垂直表示有効期間^{注3)}の5～10%を占めるとされている⁹⁾。先行研究では、Sony 社 HVR-V1P カメラが $12.33 \pm 0.03\%$ (計測周波数 50 Hz, 解像度 1920×1080 画素)、Casio 社 EX-F1 カメラが $14.36 \pm 0.08\%$ (同 300 Hz, 同 512×384 画素)、 $13.46 \pm 0.04\%$ (同 600 Hz, 同 432×192 画素)、 $14.72 \pm 0.10\%$ (同 1200 Hz, 同 336×96 画素) であったと報告され³⁾、JVC 社 GC-PX10U カメラが $3.97 \pm 0.16\%$ (同 59.94 Hz, 同 1920×1080 画素)、同 GC-

表1 JVC 社の CMOS カメラ (GC-LJ25B) の計測周波数毎の垂直ブランキング期間の算出値

Times	60 Hz	120 Hz	240 Hz	300 Hz
1	0.3059	0.5459	0.0909	0.3296
2	0.3055	0.5385	0.0977	0.3309
3	0.3041	0.5422	0.0955	0.3284
M ± SD	0.3052 ± 0.0009	0.5422 ± 0.0037	0.0947 ± 0.0035	0.3296 ± 0.0013

PX10AS カメラが $6.06 \pm 0.06\%$ (同 50 Hz, 同 1920×1080 画素) であったとされる⁴⁾. 本研究で計測した JVC 社のスポーツコーチングカム (GC-LJ25B) カメラの BP 値は $30.52 \pm 0.09\%$ (同 60 Hz, 同 1920×1080 画素), $54.22 \pm 0.37\%$ (同 120 Hz, 同 640×360 画素), $9.47 \pm 0.35\%$ (同 240 Hz, 同 640×360 画素), $32.96 \pm 0.13\%$ (同 300 Hz, 同 640×360 画素) であった. 計測された BP 値の撮影速度が各社で異なるため一概に言うことはできないが, Sony 社, Casio 社のカメラの BP 値は 12 ~ 15% の範囲内にあるのに対し, 本研究の結果を含めて, JVC 社のカメラの BP 値は概して低周波数では低く, 高周波数では高い傾向をもつようである. JVC 社のカメラの BP 値が計測周波数の違いで広範囲に及ぶことや各社カメラ間の BP 値の違いの理由については各社・各機種のカメラ本体の設計上の特性によるものであり, その原因の解明は画像工学領域における今後の研究課題のひとつとなる.

5. まとめ

本研究において, JVC 社のスポーツコーチングカム (形式 GC-LJ25B) の画像にストロボスコープの発光信号を撮影・録画することにより, 垂直ブランキング期間を計測し明らかにした. このカメラを用いてバイオメカニクス解析を行う場合には, 本研究で計測された垂直ブランキング期間の算出値 (BP 値) を使用して各画像 1frame 内の標点座標の時間差 (画像 - 時間ひずみ) を補正する必要がある.

付録

1. 画像-時間ひずみの補正法

以下では, 本研究で計測した JVC 社のスポーツコーチングカメラの BP 値を用いて, 画像-時間ひずみを補正する手法を具体的に記載する. なお, カメラの撮影速度が 240 fps (Hz), 解像度が 640×360 画素であり, 垂直ブランキング期間 (BP 値) が 9.47% の場合の例で説明する.

(1) 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間の frame 比率

図 A1 は, 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間^{注2)} の frame 比率を示したものである. ここで抑えておくべき点として, 1frame は画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間を足し合わせたものであるため, 画像の下端の frame 値は 1frame 以下の値を取る. すなわち, 画像の上端の frame 値を TI, 画像の下端の frame 値を BI とすれば, BI は, 以下の式 [A1] より求められる.

$$BI = (TI+1) - BP \quad [A1]$$

したがって, 図 A1 の例において, 画像の上端の frame 値 (TI) が 342 frames であれば, BI は 342.9053 frames となる.



図 A1 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間の frame 比率 (JVC 社 GC-LJ25B : 240 Hz 時)

(2) 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間の画素比率

図 A2 は, 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間の画素 (または走査線) 比率を示したものである. 垂直ブランキング期間を考慮すると, 1frame の画素数は, 以下の式 [A2] により求められる.

$$TP = \frac{360}{1 - BP} \quad [A2]$$

ここで, TP は, 垂直ブランキング期間を考慮した場合の 1frame における“理論的垂直画素数”を意味する. したがって, 図 A2 の例では,

TP は 398 画素となる。

理論的垂直画素数 (TP) が式 [A2] により求められれば、標点座標の frame 値 (FV_p) は、以下の式 [A3] により求められる。

$$FV_p = TI + \frac{360 - V_p}{TP} \quad [A3]$$

ここで、V_p は任意の標点座標の垂直画素値を示す。

例えば、図 A2 に示されるボール中心点の垂直画素値 (V_B) が 298 画素であれば、FV_B は、以下のように求められる。

$$FV_B = 342 + \frac{360 - 298}{398} = 342.1558 \text{ frames}$$

同様に、左膝関節点の垂直画素値 (V_K) が 64 画素であれば、FV_K は、以下のように求められる。

$$FV_K = 342 + \frac{360 - 64}{398} = 342.7437 \text{ frames}$$

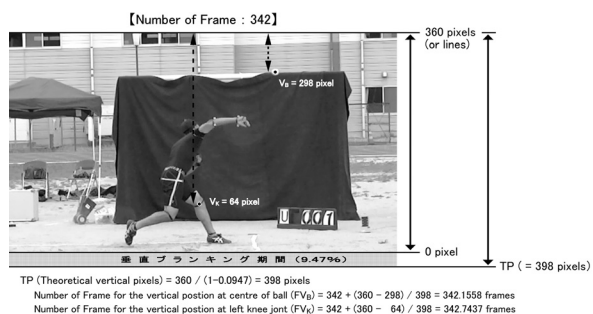


図 A2 1frame における画像の垂直表示期間と垂直ブランキング期間の画素比率 (JVC 社 GC-LJ25B : 240 Hz 時)

図中にボール中心点 (V_B) と左膝関節点 (V_K) における Frame 値の計算例を示す。

注記

注 1) この現象は、レンズ本体のレンズ収差¹⁾によるひずみではなく、ローリングシャッターを用いた CMOS カメラ特有の走査線の露光タイミングおよび読み出し時間の遅れに起因するひず

みであるため、本研究ではこのひずみ現象を“画像-時間ひずみ現象”と呼ぶことにする。

注 2) 垂直表示期間は実際に画像 (映像) が画面上に表示されている期間を、垂直非表示期間 (垂直ブランキング期間) は画像が画面上に表示されない期間を示す⁹⁾。

注 3) 垂直表示有効期間とは、垂直方向に画像の表示を可能にしてもよい期間であることを示し、垂直表示期間と垂直非表示期間 (垂直ブランキング期間) を足し合わせた期間となる⁹⁾。

追記

本論文の一部は、日本野球科学研究会第 4 回大会 (於:東京大学駒場キャンパス, 平成 28 年 12 月 3 日—4 日) において発表した。

謝辞

ブランキング期間の計測等にあたり、Jesus Dapena 博士 (インディアナ大学名誉教授) のご協力と技術的アドバイスを深謝いたします。

本研究は JSPS 科研費 (課題番号 16H03235, 研究代表者 宮西智久) の助成を受けたものです。

文献

- 1) 安藤幸司 (1983) 高速度写真撮影手法による写真計測法 — バイオメカニクスシネマトグラフィ —. Jpn. J. Sports Sci., 2: 200-212.
- 2) 安藤幸司 (2011) CCD/CMOS カメラの原理と実践. オーム社: 東京.
- 3) Dapena, J. (2009) The rolling shutters of CMOS camcorders interfere with biomechanical motion analysis calculations: problems and solutions. Med. Sci. Sports Exerc., 41: S21.
- 4) Dapena, J. (2016) Personal communication.
- 5) GC-LJ25B (2015) ビデオカメラ ユーザーズガイド. JVC 社: 東京
- 6) 黒田隆男 (2012) イメージセンサの本質と基礎. コロナ社: 東京.
- 7) Strobotac Electronic Stroboscope (2001) User and Service Manual. IET Labs, Inc.: New York.
- 8) 竹村裕夫 (2008) CCD・CMOS カメラ技術入門. コロナ社: 東京.
- 9) 寺前裕司 (2015) デジタル画像技術事典 200. インタフェース編集部 (編). CQ 出版社: 東京.
- 10) 米本和也 (2003) CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用. CQ 出版社: 東京.

(2016 年 11 月 25 日受付)
(2017 年 2 月 1 日受理)