

映像解析最前線

安藤 幸司*

I. 見たい、知りたい

今年、4年に1度のオリンピックがソウル市で開催される。連日マスメディアは関連した報道を流し続け、国民のスポーツに対する関心の高さを裏付けている。また、週末になれば、全国全世界でスポーツイベントが催されスポーツ番組の前に釘付けになってしまう。いったい何がこれ程までに人気を集めるに至ったのか、いろいろな要因が考えられるが、メディアのイノベーション(技術革新=ビデオ技術の発展・普及)が大きな要因のひとつであることは疑いのない所であろう。筆者は、スポーツサイエンスに深く関わる者ではなく、スポーツ科学者たちからハイスピードカメラを始め映像解析機器の有効な使い方について意見を求められる者である。スポーツスキルの深い部分はわからないけれど研究者の着目するところを映像としていかに切り出すか、そんな映像機器を提供するのがわれわれの使命と考えている。本稿では、映像解析の現状とバイオメカニクス分野でどのような動きがあるのかについて述べることにする。

II. ヒトの限界、カメラの限界

映像機器が発達していなかった時期、スポーツスキルの研究は熟達したスポーツ科学者の鋭い着眼点と肉眼が全てだった。しかし、現象に客観性をもたらせる時、映像記録機器の担う役割は100%になる。ヒトの眼は、現象をとらえる良好なセンサーとなり得ても、記録媒体としてはあいまいな代物である。また、時間分解能にしても通常光では1/10秒以下の物体の識別は困難であるし、遠い物に対しても、

暗い物に対しても十分に能力を発揮できない。カメラは、肉眼の限界を補ってくれる良きパートナーである。時間分解能にしても1/500秒ごとに映像を記録する高速度カメラがあるし、100m離れていてもヒトの上半身を鮮明に写し出すレンズもある。しかしながら、カメラをはじめ映像機器の直面している問題が2つある。ひとつは計測誤差の再検討であり、もうひとつは3次元分析である。100m走を例にとって見ると、1964年ヘイズが10秒1を記録して以来23年を経てベン・ジョンソンが9秒83の記録を更新した。2.67%のスピードアップに23年かかった事になる。もし100m走の研究を高速度写真手法を用いて分析するならば、システムの誤差を少なくとも1/10の0.27%にしなければならないだろう。システム誤差には、レンズの歪曲収差、フィルム面精度、カメラ内部定位、カメラ固定精度、撮影速度精度、深度(倍率)誤差、フィルム像投影歪、デジタルタイザ読取誤差等があり、これら累積誤差を考えると個々の構成機器はさらにその1/10の0.03%の精度が要求される。最近ではコンピュータの発達によりコントロールポイント(撮影倍率、歪補正用被写体構造物)と大型高精度デジタルタイザの入出力装置に精度の良いものを用い、中間の機器はブラックボックス化して補正するやり方が一般的になってきているがそれでも上に述べた精度を確保する機器の実用化は難しい。もうひとつの立体(3次元=3D)分析について、映像は今まで人間の認識する手段として最も有力なものであったが、映像機器が発達して2次元映像が市民権を得てくると、もっと本質的な把握手段である立体撮影とその分析の要求が高まった。もっともスポーツ分野では写真計測法がさかんに行われるにつれ運動の重要要素である回転やひねりの解析が2次元分析では難しいことがわかり、3次元解析導入への引き金になった。

*Koshi Ando—(株)ナック 映像計測グループ

表1 写真技術とビデオ技術の主要機能比較表

項目	写真		ビデオ	
	説明	評価	説明	評価
解像力	一般に80白黒本/mm (ビデオに換算すると 1,600TV本)	○	一般に230TV本	△
濃度再現範囲	一般に0~3D(Nega7/8mm) 1:1000	○	一般に0~2D 1:100	△
記録媒体	銀塩感光材	△	酸化鉄磁性体 ICメモリ 光メモリ	○
記録媒体の記録・消去	記録のみ(消去不可)	△	消去・再記録可	○
即時性	現像工程必要	×	即時再生可能	○
撮影速度	一般に500コマ/秒 (10,000コマ/秒可)	○	一般に400コマ/秒 (12,000コマ/秒)	△
画像記録密度(濃度8bit)	一般に1Gバイト/秒	○	一般に12Mバイト/秒	△
カラー(スペクトル)情報	白黒、カラー、赤外 X線	○	白黒、カラー、赤外、 紫外、X線	○
映像処理	電気信号に変換する 必要あり	△	映像信号を利用	○
外部装置のリアルタイム処理	不可	△	容易	○
映像の幾何学的歪	約0.05%	○	約1%(CCDはこの値以下)	△
イニシャルコスト	比較的安価	○	比較的高価	△
ランニングコスト	高価	△	安価	○
要求される熟練度	大	△	少	○
情報の昇華(高次元)度	高い	○	比較的小	△

III. ビデオにするかフィルムにするか ……それが問題だ

世はまさにビデオ時代。1956年米国AMPEX社の開発した2インチ磁気テープと回転ヘッドによるVTR(ビデオテープレコーダ)が商品化されるや放送業界に一大変革をもたらした。30年を経た今日VTR技術は急速な進歩を遂げ家庭にまで普及するに至った。普及の要因は、情報の即時性、記録・操作性の簡便さにあった。バイオメカニクス分野でもかなり活発に利用されてきている。しかしながら、いままでのフィルム記録・解析処理をビデオに完全に置き換えるには種々の問題が生じる。表1にフィルムとビデオの比較をあげる。現状のビデオの問題点として以下の項目があげられる。

①解像力：フィルムの解像力は、一般にフィルム上で80白黒本/mmあるといわれ、16mmフィルムフォーマット上から、 $(10.2\text{mm} \times 80 \times 2) \times (7.4\text{mm} \times 80 \times 2) = 1,932,288$ ポイントの情報を得ることができる。ビデオカメラの場合は、1フィールドあたりの走査線が262.5本で、水平方向の分解能も230本程度なので、 $262.5 \times 230 = 60,375$ ポイントとなる。これは、フィルムの情報量に比べ1/32程度でしかない。

②撮影速度：上記のビデオ情報量を1秒間200枚



写真1 ハイスピードビデオHSV-400型

で記録すると、 $60,375 \times 200 = 12.08 \times 10^6$ となり、この一つに1バイトの情報量を与えると、12M(メガ)バイト/秒になり、同様にフィルムで500コマ/秒の場合は966Mバイト/秒になる。また、フィルムは、10,000コマ/秒まで比較的簡単に達成できるので情報量を考えるとフィルムを使った高速度カメラが圧倒的に有利となる。ビデオの高速化は、情報の高速処理が不可欠であり、S/N比の改善を図ったビデオ回路技術が必要となり、現状の最高のビデオ技術とされるHDTV(High Definition Television=高品位テレビ)の20Mバイト帯域をハイスピードビデオに応用すれば2~3倍の撮影速度が期待される。

以上のように、フィルムとビデオの特長をよく知った上で利用する必要がある(写真1)。

IV. 正しいデータを得る

1. 光が無ければ像ができない

どのようなフィルムカメラであれ、ビデオカメラであれ撮影するには光がなければ良い映像を得るこ

表2 撮影照度表

下記の値は、フィルムISO 500、カメラシャッタ定数K5、撮影倍率1/20以下の条件で算出したもの。また、必要(反射)輝度は、灰色体(もしくは18%反射体)としたもの。

撮影速度 コマ/秒	必要照度(ルクス)		必要輝度(cd/m ²)		EV値	
	レンズ F/2.8	レンズ F/5.6	レンズ F/2.8	レンズ F/5.6	レンズ F/2.8	レンズ F/5.6
300	7,000		400		11.3	
	24,000		1,400		13.2	
500	11,700		670		12.1	
	40,600		2,300		13.9	
1,000	23,300		1,340		13.1	
	81,200		4,600		14.9	
2,000	46,600		2,680		14.1	
	160,000		9,200		15.9	
3,000	70,000		1,780		14.7	
	244,000		14,000		16.5	
4,000	93,200		5,360		15.1	
	320,000		18,400		16.9	
5,000	117,000		6,680		15.5	
	406,000		23,300		17.3	
6,000	140,000		3,560		15.7	
	488,000		28,000		17.5	
7,000	163,000		9,350		15.9	
	569,000		32,600		17.7	
8,000	186,000		10,700		16.1	
	640,000		36,800		17.9	
9,000	210,000		5,340		16.3	
	731,000		41,900		18.1	
10,000	234,000		13,400		16.5	
	812,000		46,600		18.3	
20,000	468,000		26,800		17.5	
	1,620,000		93,200		19.3	
40,000	936,000		53,600		18.5	
	3,200,000		186,000		20.3	

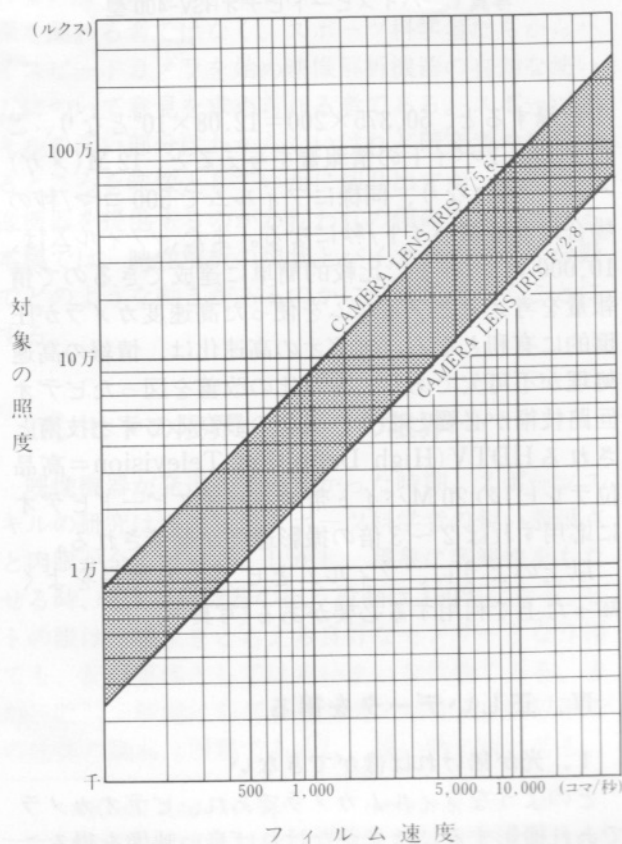


写真2 ハロゲンタングステンランプ Arri 2000

とはできない。高速度カメラを使う場合は特に重要である。通常、ハイスピード撮影では10,000ルクス~100,000ルクスの被写体照度が必要であり、エリアが広い場合はかなりの灯数の光源が必要である(表2)。自動車メーカーが衝突実験用に用いているランプは、2m×5mのエリア、1/5,000秒の条件で1.5kW×130灯=195kWのハロゲンランプを用いている。

①太陽光：太陽光は、地球誕生から今日までのすべてのエネルギーの根源であり、光源としても究極のものである。光は電磁波であり、電磁波は分子が振動すればたやすく発生し振動が激しくなる程強烈(短波長→赤外→紫外→X線)になる。太陽光は、分子レベルではなく原子の崩壊レベルでの電磁波放射であるため可視光としての発光効率はきわめて高い。地球上に到達するエネルギーは、赤外55%、可視40%、紫外5%である。照度も真夏の昼下がりでは、100,000~150,000ルクスを得ることができる。野球のナイトゲームの照度がマウンド1,000ルクス、外野600ルクスである事を考えるといかに豊富な光が

太陽から放射されているかがわかる。

②ハロゲンタングステンランプ：導電性の物質に電流を流すと自由電子が分子を活発にし、摩擦と同じ現象が起き発熱をうながす。700℃を超えると赤色発光を始め、3,000 K(ケルビン)で日常目にする白熱電球の色合いになる。ハロゲンランプは電気のジュール熱を応用したものである。導電性の物質には、高温に耐えられるタングステンをを用い、かつ、タングステンの発熱による蒸発を防ぐため、臭素等のハロゲン化合物をランプ内に封じ込め長寿命化を図っている。発光効率は、85%赤外、15%可視光である。使い方が簡便な事と安価であるため最も良く使われている。種々のランプが市販されているが高速度カメラ用として、1,000 W、2,000 Wのものが良く使われる(写真2)。

③HMI(メタルハライド)ランプ：白熱電球が発熱による発光を得ているのに対し、このランプはランプ電極間の放電発光であるため発光効率が極めて高く同一消費電力の白熱ランプに比べ約4倍の光量を得ることができる。HMIランプは、蛍光灯や水銀灯とはほぼ同じ構造と発光原理になっている。しかし、これらのランプとの違いは、水銀灯、蛍光灯の発光が特異スペクトルで緑色であるのに対し、HMIランプは太陽光のスペクトルにきわめて近く色温度も5600 Kとなっている点にある。このため人工太陽として使用したり、塗料検査の標準光源としたり、映画撮影の屋外照明としての需要を急速に伸ばしている。発熱がきわめて少なく高照度が要求される高速度カメラ用光源として最適のものである。575 W～12,000 Wまで6種のランプが供給されている。HMIランプは、放電灯のため水銀灯と同じくハイスピードカメラに用いるとフリッカ(光源の交番点灯のため一定周期で照度が明くなったり暗くなったりする)が生じる。このため、高速度撮影には、フリッカフリーバラスト(制御器)を使用する。

2. レンズが無ければ像にならない

レンズは、フィルムカメラにしろビデオカメラにしろいつの時代にもなくてはならない構成要素である。レンズの役割は、物体から放射もしくは反射した光を集光し像を結ばせることであり、この写像を正しく行えるレンズが良いレンズということになる。映像から変位を抽出する場合、像の歪が誤差要因になる。16 mmフィルムカメラやビデオカメラでは焦点距離が50 mm以上のレンズでは歪曲収差が0.3%

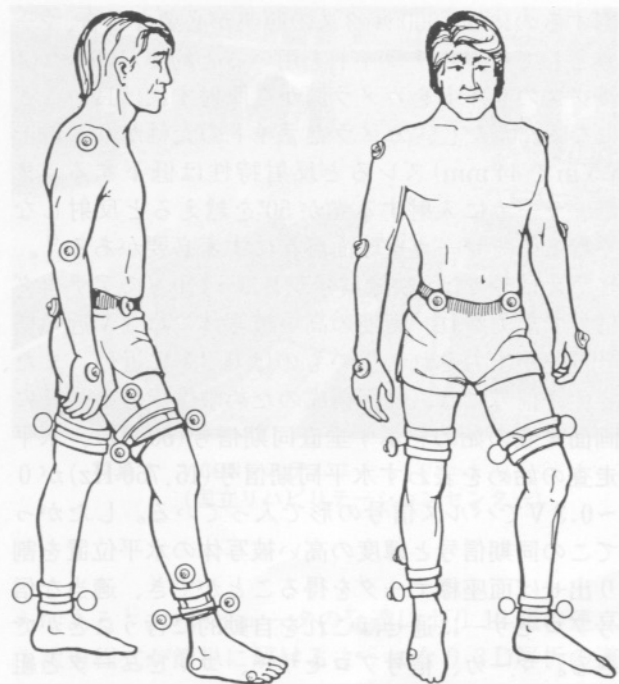


図1 リハビリでのマーカー取り付け¹⁾

以下である。ただし、ズームレンズでは、レンズエレメントの構成上f 50 mm以上でも歪曲収差が大きいので解析時に補正する等の注意が必要である。

3. 計測ポイントを明確にする

ビデオにしてもフィルムにしても自動読み取りにしても計測する部位を明確にしなければ正確な測定はできない。500コマ/秒で撮影したフィルム像を読み取る時、被写体上で1 mmの測定誤差がある場合速度成分は $(1 \text{ mm} + 1 \text{ mm}) / (1/500) \text{ 秒} = 1 \text{ m/秒}$ の誤差となり、加速度は、さらに500倍以上の誤差となってしまう。もっとも、速度、加速度を計算する場合には、計測コマ数を間引いて行えば格段に向上する。マーカーとしては、コーナキューブ、スコッチライト、蛍光テープなどが使われている(図1, 写真3)。いずれも反射特性が高く、解析時に便利である。米国3M社のスコッチライト7610、7615は、0.1 mm径程度のプラスチックビーズ(球)をシートに吹き付けたもので、入射した光が同じ方向に反射するという特徴をもっている。したがってカメラの光軸と同一方向からライトを照射すれば通常の白紙の600～1600倍の明るさで光ることになる。これはいいかえるならば、高速度カメラでターゲットを撮

影するのに 50,000 ルクスの照明が必要な場合、マークとしてスコッチライトを用いると約 1/1000 の 50 ルクスのライトをカメラ側から照射すれば良いことになる。ただし、カメラとライトの光軸が 0.5° 以上 (5 m で 44 mm) ズレると反射特性は低下する。また、マークに入射する光が 50° を越えると反射しなくなるのでマークを球面形状にする必要がある⁶⁾。ビデオ信号では、映像信号が 0.3~1.0 V のアナログ信号で出力され、輝度の高い被写体には 1V 近い信号電圧が出力され、黒いものは 0.3 V に近い。また、ビデオ信号には、画面構成のため映像信号と一緒に画面走査の始めを示す垂直同期信号 (60 Hz)、水平走査の始めを表わす水平同期信号 (15,750 Hz) が 0~0.3 V でパルス信号の形で入っている。したがってこの同期信号と輝度の高い被写体の水平位置を割り出せば面座標データを得ることができ、適当な信号プロセッサに通せばこれを自動的に行うことができる。マーク、信号プロセッサ、コンピュータと組み合わせれば、これで誰でも簡単に自動計測できそうであるが、実際はかなり難しい。まず第 1 に輝度レベル (スレッシュホールド) をどの位にセットするかという問題。被写体に金属があったりプール内での応用では、マーク以外のものも光ってしまい誤った検出をしてしまう。第 2 に 1 画面に多数のマークがある時それをリアルタイムに読み込んでいく能力。通常のビデオでは 1 秒間に 60 フィールドの撮像を行っているが、マークを 20 ポイント、計測時間を 10 分間と仮定すると、1 マーク当りのデータ長は 39 ビット (マークポイント 5 ビット、時間データ 16 ビット、X-Y 座標各 9 ビット) 必要になり、10 分間では、 $39(\text{ビット}) \times 20(\text{ポイント}) \times 60(\text{フィールド}) \times 60(\text{秒}) \times 10(\text{分}) \div 8(\text{ビット/バイト}) = 3.5$ メガの記憶領域が必要で、データ転送も 46800 ビット/秒以上必要になり、RS 232 C インタフェースを有する 16 ビットパーソナルコンピュータの役割をはるかに越えてしまう。第 3 にマークのトラッカビリティ (追従性)。コンピュータは、単純な動き (平行移動、回転) に対しては自動追跡をよく行うが、マークがクロスしたり隠れて再び出てきた場合の処理が弱い。人間の解釈をアルゴリズム化しても膨大なソフトウェアになることは確実である。ボールゲームのフォーメーション追跡にマークを使う場合、ゲーム自体が人間心理の裏をかこうというものだけにアルゴリズム開発はやっかいである。

4. 時間軸の統一

時間を測定する装置は、きわめて精度の高いものが容易に入取できる。市販の安価な時計でさえ 2 日に 1 秒と狂わない。誤差にして実に 0.0006% である。時間軸に関する限り、1 ミリ秒~1 時間程度の計測範囲ならば全く問題ない。逆に問題としなければならないのは、複数の計測機器を使う場合の時間統一をいかにするかである。バイオメカニクスで利用される計測機器は、高速度カメラをはじめフォースプレート、筋電計、心電計、心拍計、脳波計等があり、多くのものはシングルデータのためデータレコーダに同一時間軸で記録できる。しかし、ハイスピードカメラによる映像はこれに取り込むことは不可能である。したがってカメラ側に同一時間を示すデータを併せ記録しておかなければならない。

5. コンピュータ

コンピュータは、計測機器の構成要素の中で必要不可欠のものである。わずか 15 年の間に各研究室の机に設置されるに至った。コンピュータに習熟する研究者が増え、ますます応用分野の底辺を上げていくに違いない。従来映像計測でのコンピュータの役割は、得られた映像からのポイント抽出と演算処理による速度、角度解析であった。今後、マーク自動追跡、3D 解析を行う場合には、より高速処理および高速データ転送のできるコンピュータが望まれる。現在注目されているのが、32 ビット MPV、50.6 M ビット/秒転送の VME バスを有するコンピュータである。また、得られたデータを異機種間コンピュータ相互に転送するイーサネットなどローカルエリアネットワークを組み上げれば、より包括的な解析が可能となる。

V. 3D (立体計測) がしたい

立体計測の要求は、かなり以前からありいろいろな分野で研究がなされてきた。バイオメカニクスでは、DLT 法 (Direct Linear Transformation method) が確立され研究に取り入れられるケースが増えている。立体計測が確立されている分野としては、

- ① 航空写真測量による地図の作成
- ② シネセオドライト (カメラ映像と緯度、経度情報を組み合わせる装置) によるロケット飛翔体の 3D 計測
- ③ レーダを用いた飛翔体の 3D 計測

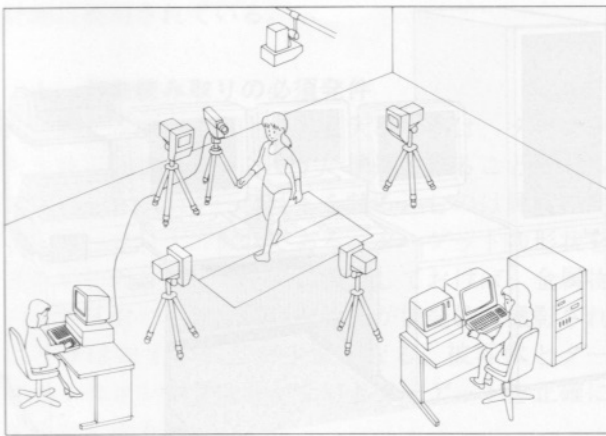


図2 3Dリアルタイム処理装置



写真4 VICONシステム
(国立リハビリテーションセンター)

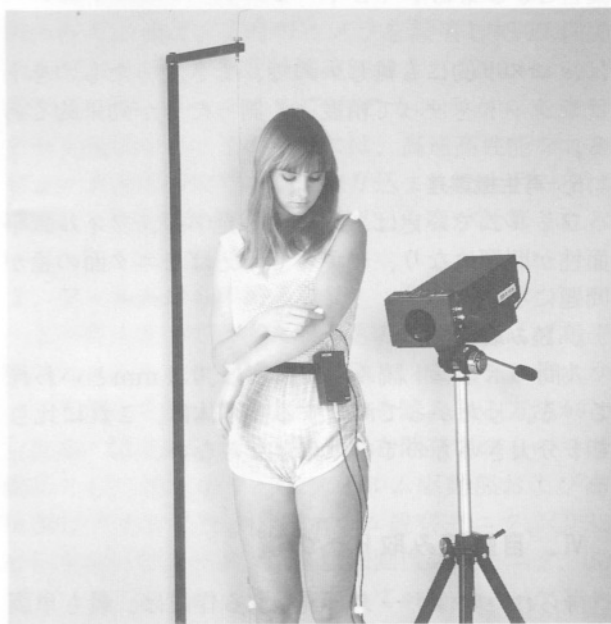


写真3 VICONシステムのマーカー取付

- ④交通事故処理における立体撮影記録
- ⑤セルスポット(有線赤外フラッシュLEDを人体に装着)による歩行分析
- ⑥X線カメラによる心臓機能解析
- ⑦DLT法によるバイオメカニクス解析
- ⑧VICONシステム(高速ビデオカメラを用いた)によるリアルタイム3D解析

などがある。3D計測が望まれながら普及しなかったのは、計算の煩雑さにあり、もしこれを避けるなら非常に精度の高い撮影・解析装置を必要としたか

らである⁴⁾。コンピュータの発達により12組の連立1次方程式が簡単に解けるようになり3D解析の道が開かれた。フィルムによる解析結果もさかんに報告され²⁾、ビデオを利用した解析結果も報告され始めている^{1,3)}。これらの報告には、VICONシステムも含め32ビットコンピュータが使われているとあり、高速大容量の演算処理が必要不可欠な事を物語っている。また、同報告では、システム誤差についても言及していて、1,900mm×1,000mm×1,900mmの被写体範囲を2~3mmの誤差で測定でき、動的精度も自由落下物で測定した結果17.6mmの結果を得ている。この値は、Shapiroの行ったフィルムカメラでの結果⁵⁾と比べると精度が劣るが、フィルム像の読み取り労力を考えたら格段の進歩であると述べている。図2、写真4には、現在日本に導入されている高速ビデオカメラを使用した3D計測装置の外観が示されている。カメラは、スコッチライトの反射光を有効にとらえるため同一光軸光源を有したハウジングに収められ、被写体の死角を補うため7台のカメラが配置されている。7台のハイスピードカメラから毎秒200枚でマーカーデータを処理し併せてフォースプレートデータも取り込む関係上コンピュータには、32ビットDECコンピュータが使われている。

1. 立体計測の誤差要素

3D計測をする場合、その多くがカメラの位置を特定し、カメラ入力系の座標を作り上げるため、カメラキャリブレーション用としてあらかじめ寸法の

わかった構造物(コントロールポイント)を撮影して補正する方法が用いられる。この時、コントロールポイントは、マーカ相互の位置関係がきわめて精度よくわかっていなければならない。精度の出でない較正物で補正しても無意味だからである。コントロールポイントがすぐれた精度のものであればカメラ入力部の座標系を精度よく特定できる。しかし、入力部、解析部の各構成要素があまりにも精度の悪いものであると補正しきれなくなる。補正も1次式、悪くても2次式で希望する精度範囲内に入るよう考慮すべきである。以下に各構成要素の誤差要因について述べる。

a. カメラレンズ

レンズは、IV-2で述べたように歪曲収差をもつ。ズームレンズ、広角レンズは歪が大きい。

b. カメラ内部定位

カメラのフィルム面(もしくは撮像面)とレンズ光軸が直交し、かつ平面でなければ像が歪む。精度を要求するカメラでは、フィルム面を真空吸着するものもある。ビデオカメラでは、撮像管(真空管)より固体撮像素子(CCD、MOS)の方が平面性が良い。

c. カメラ設置(スタンド剛性)

カメラを設置する場合、しっかりと固定しなければならない。カメラがグラグラしていると較正構造物で補正しても全く無意味になる。カメラに望遠レンズを使う場合、スタンド剛性には特に注意が必要である。

d. フィルム(ビデオ)解像力

III-②で述べたように解像力の高いもの程、精度の高い測定が期待できる。また、被写体範囲をむやみに広くとらず、有効エリアいっぱいになるよう画面を設定すべきである。

e. 撮影速度

フィルムカメラの撮影速度精度は、1%程度である。フィルムにタイミングマークを写し込んでおき解析時に時間補間すれば時間成分誤差は著しく減少する。ビデオカメラの場合の録画速度精度は、0.01%であるから無視できる。

f. ターゲット(ランドマーク)

ターゲットは、データを抽出するための重要な構成要素であり、大きさ、重さ、人体への取り付け位置、取り付け方法によって測定精度が左右される。

g. コントロールポイント

キャリブレーション用の構造物なので全ての精度のカギを握っている。大型構造物を精度よく作るに

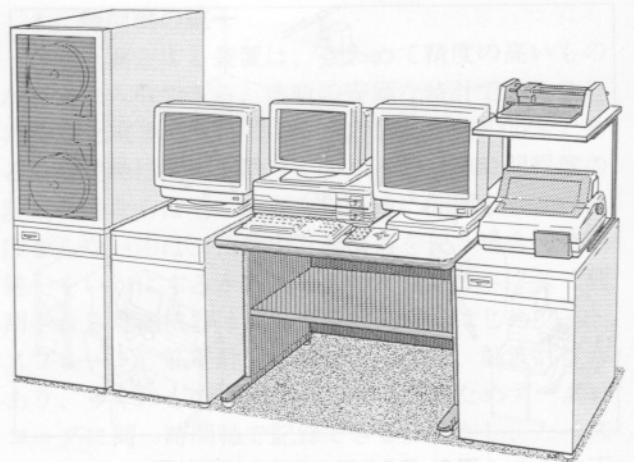


図3 ターゲット自動読み取り装置

は、コスト的にも難しいので、でき上がったものをトランシットを使って精度よく測った方が効果的である。

h. 再生機誤差

フィルムでいえば、映写機の光学歪、フィルム平面性が問題になり、ビデオでいえばモニタ面の歪が問題になる。

i. 読み取り誤差

人間のポイント読み取り精度は、0.1 mmといわれている。したがって測定する被写体は、これに比して十分大きいものでなければならない。

VI. 自動読み取りへの道

得られた映像データを読み取る作業は、最も単純な作業であり、この工程を自動化できたらどんなに効率が良いか知れない。100人の研究者がいれば100人がそれを望んでいる。しかし、その中の5人は、自動化されるデータが本当に彼らの望むデータかどうか疑問に思っている。つまり、装置にまかせるよりも直接映像を見ながらポイントを抽出した方がより信頼性のあるデータが得られるというものである。この論議は、研究者たちに譲るとして95人の自動化処理を望む人たちのために自動読み取り装置として図2に示したようなビデオ信号をオンライン処理する方式のもと、高速度カメラで得られたフィルムを使って自動読み取りする方式(図3)の2種類が考えられている。ビデオは、200フィールド/秒までの測定に用いられ、フィルムは10,000コマ/秒程度の

計測に使用されている。

1. 自動読み取りの必須条件

自動読み取りする上で最も大事な事は、ターゲットを被写体より判別しやすい構造にすることである。コンピュータがターゲットを読み込むのは輝度の高さとターゲットの形状である。ターゲットの形状をあらかじめコンピュータに入力しておけば、金属物の光源反射のような高輝度物体が偶発的に撮影されても誤認知することが少なくなる。被写体とターゲットのコントラストがないとターゲットを正確に読まなくなる。

2. ビデオカメラからの読み取り

写真4に示すハイスピードビデオによる3D自動読み取り装置は、7台のカメラを設置して17個のターゲットマーカを5秒間追跡できる。200 Hzで17個のターゲットマーカを7台のカメラから走査しデータ抽出する。この作業には、高速高性能なコンピュータが不可欠である。取り込まれた生データは、即座に3D座標計算され、速度、角度が計算される。

3. フィルムからの読み取り

より高速度でデータを取り込みたい場合は、高速度フィルムカメラを使って記録し、これをビデオカメラを使ってターゲットマーカを読み取る方法がとられる。図3のシステムは、現在開発中のもので構成部品として図左より、①フィルム駆動部および高精細ビデオカメラ、②フィルム観察モニタ、③32ビットコンピュータ、④高精細画像処理モニタ、⑤プリンタ、⑥プロッタから成っている。ターゲットマーカは、1,125本の走査線を持つ高精細のビデオカメラを用いて読み取られ、 $1,536 \times 1,024 \times 16$ ビットのメモリに入れられる。1画面のターゲットマーカは、最大30個で500画面分、これを40シーン読み取るメモリ領域が確保されている。ターゲットマーカはリング状のものでカメラがリングエッジを検出し、リングの中心値を求める。リングの大きさは走査線20本ぐらいいかかるようにすれば計測可能で、中心位置は、メモリーの各ピクセル間を補間し1/10ピクセルまで計算して座標化することができる。マーカは、1~2秒ごとに読み取るので、21ポイント/フレーム、200フレーム読み取るのに1~2時間程度かかることになる。このシステムは、さらに自動計測不能(=打突等によるマーカのつぶ

れ)を考慮して、自動読み取り後不明マーカをリストアップし研究者の指示をおおぐ方式をとっている。このシステムの問題点は、マーカをいかに鮮明にするかという点とコストにある。

VII. おわりに

バイオメカニクスの分野での映像計測は、研究者たちの熱い指示を受け確固たる地位を築いてきた。まだまだ問題は沢山ある。3D計測、自動読み取り、より高速なハイスピードビデオ、コンピュータシミュレーションによるゲームのリアルタイム予測、これらの開発を終え、研究者たちがこれらを用い、新しい視点からスポーツ科学を前進させ、新しい発見をしてくれたらと思う。

文献

- 1) *Hawkins, D.*, et al. : The use of videography for three-dimensional motion analysis, SPIE, 832 : 42-50, 1987.
- 2) *Hinrichs, R. N.*, et al. : Upper extremity function in running I: Center of mass and propulsion considerations, Int. J. Sport Biomech., 3 : 222-241, 1987.
- 3) *Hubbard, M.* and *L.W. Alaways* : Instantaneous assessment of athletic performance using high speed video. SPIE, 832 : 35-42, 1987.
- 4) 池上康男 : 写真撮影による運動の3次元解析法, Jpn. J. Sports Sci. 2(3) : 163-170, 1983.
- 5) *Shapiro, R.* : Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. Res. Quart., 49(5) : 197-205, 1978
- 6) 3M Product bulletin : 3M scotchlite brand high gain 7610 and high contrast 7615 sheeting.