

## 第4節 運動する人体の動的特性とその解析

岡本 芳三、住谷 正夫 (茨城高専)、安久 正統 (福島高専)、滝沢 かほる、山崎 建  
(新潟大学)、坂下 玲子 (熊本大学)、鴨井 新生 (東亜大学)

### 1. まえがき

一般に、運動科学の分野では、歩行、走行および跳躍等の運動を視覚的に捉えるために、可視による人体を構成する各部位を二次元の運動軌跡の時間経緯を計測記録する事が行われている。

本報告は運動する人体のデジタルビデオ(DVR)および赤外線映像装置により同時可視化とその計測を実施した。すなわち、歩行、走行、体操時のモノクロモーションコーダーにより、移動する人体の映像を重ねあわせて多重連続可視化映像を作成した。

これらの多重映像をもとに、人体の各部位の移動軌跡を示す二次元の運動軌跡を示す簡易可視化図が求められ、各部位の水平および垂直の移動量を容易に求める事が出来た。

今回はDVRにより 1/30 秒毎に取り込んだ歩行時の人体の単独映像を映像記録し、各映像から人体を構成する頭、首、手、足等の各部位に関する時間毎の座標 X-Y の値をパソコンに取り込む。

これらの座標をもとにして、各部位の位置 X-Y、速度 V、加速度、角度、角加速度等の動的運動特性値の計算をsoftwareにより求め、解析にあたっての基礎データとした。

これらの各部位により構成される人体の運動時の非定常時にかんするゆらぎ特性を求める方法について明らかにするために、5人の男性の若者から高齢者について、歩行運動時の各部位における二次元の速度を求めた。

これらの速度に関する測定結果について、Fourier 変換を行い、周波数 $f$ と出力密度PSDの関係と各部位の間の相関係数を求め、年齢による相関の有無を解析した結果について報告する。

### 2. 実験装置

人体の各部位の二次元およびの運動計測を実施する実験計測システムは、デジタルビデオ (DVR)、赤外線映像装置(IR)、モーションレコーダ (MR)、CRT およびパーソナルコンピュータ (PC) 等の計測機器より成り立っている。<sup>3)</sup>

二次元の計測ではデジタルビデオレコーダ DVR、赤外線映像装置 IR および DVR 等の計測器が運動する面の直角方向に数m離れた位置に設置され、CRT および計算機でそれぞれの計測した映像を記録表示する。<sup>4)</sup>

使用した可視化用のデジタルビデオ (DVR) は汎用品であり、シャッタースピードは可変で 1/30 秒毎の映像を記録する。赤外線映像装置 (IR) は 8 から 13 $\mu$ m の赤外波長範囲で計測する Hg-Cd-Te 製のセンサより成り立っており、同じく 1/30 秒の運動時の赤外線映像を記録表示する事が可能である。<sup>5)</sup>

一方、求めた映像を一定時間毎に重ね合わせた多重連続映像を求めるために新たに試作したモーションレコーダ (CMR) は最小 1/10 から 1/100 秒までの時間間隔で、運動する人体の連続多重モーション映像を直接可視化し表示することが可能である。<sup>5)</sup>

Fig.1 は携帯用計測機器システムの写真を示す。左側の三脚の上に、下段に赤外線映像装置 IR、その上に小型のデジタルビデオ DVR が一体で取り付けられている。また、右側に IR で撮影された赤外の映像を直接取り込むパソコン PC が置かれている。全体の計測機器システムの全重量は 7kg 程度であり移動可能であり、現場で一体型の計測器により能率よく計測する事が可能である。<sup>6), 7)</sup>

DVR により取得した可視化映像はビデオに記録し、また、IR による放射温度の熱画像はリアルタイムでデータキャプチャーソフトによりパソコン PC に記録する。DVR および IR とともに 1/30 秒毎の運動時の可視および赤外線映像を記録する事が可能である。



Fig.1 Instrumentation System

### 3. 実験方法

実験は年齢の異なる 10,10,30,50,70 歳台の合計 5 人の男性について、6m幅の直線通路を 6 往復させ計 36m 距離を歩行する画像を DVR により撮影した。測定は歩行面に直角方向に 5m 離れた位置に、2 台の DVR カメラを置き、歩行する映像をパソコンに取り込んだ。

求めた数百枚の画像の中から、人体の頭、手、膝および足の 4 個所の座標 X-Y を求めた。これらの各部位のデータは 64 点ずつ 6 組で計 354 点の値を記録した。また、各時間の座標から、速度 V を計算しパソコンに記録した。

また、求めたデータを Mat-Labo Soft によりフウリエ変換解析が行なわれ、各部位の周波数  $f$  と出力スペクトル密度 PSD および手およびその他の部位の相関を示す相関係数の関係として揺らぎの特性が求められた。<sup>8)</sup>

### 4. 実験結果

実験結果として歩行を中心とした、人体各部位に取りつけたマーカによる二次元の運動軌跡の時間経緯を計測記録し解析を実施した。

Fig.2 は高齢者が左から右に歩行している場合の瞬時可視映像である。人体は頭、首、胴体、手、肘、足、膝、足首等の部位により構成されている。



Fig.2 Single Flash Image of Walking Person

歩行時には各部位は一方方向に運動し移動するが、主として 3 つの運動形式に分類される。1) 頭、首および胴体により構成される前進運動をする部位、2) 右と左の手を肩の付け根から交互に前進と後進を繰り返す往復動が繰

り返される部位、3) 右足と左足を交互に前進させて床に荷重を伝えながら前進移動歩行の要となる部位の足である。これらの各部位は相互に関係を保ちながら歩行が行なわれる。

また、モノクロモーションレコーダ (MR) を用いて歩行する人体の連続運動可視映像を求める事が出来る。

Fig. 3 は赤外線による熱画像をモーションレコーダにより、1/10 秒毎に 10 枚の熱映像を重ね合わせた多重画像を示したものである。運動時における身体各部位の運動の挙動を個別に直接可視化することが可能である。

歩行時の歩幅は約 70cm であり、一歩辺りの時間は 0.7 秒、髪、顔、首の上下動は 14cm であり、また、足の上下動は 28cm および手の上下動は 40cm であった。



Fig.3 Thermal Multi Image of Walking Person  
(1/10 sec)

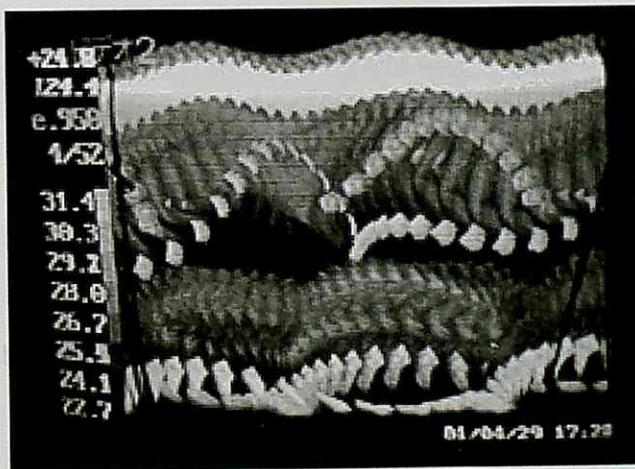


Fig. 4 Thermal Multi-flash Image of Walking Person  
(1/30 sec)

Fig 4 は 1/30 秒毎のモーションレコーダによる歩行時の赤外線による連続運動熱映像を示したものである。運動時における身体各部位の運動軌跡は頭の髪の毛、顔の境界線および右および左の手、手首、足、足靴等の部位の重ね合わされた線および点の連続画像として直接可視化する事が可能である。また、頭部の平均高さや床面の間の距離が身長に概略値を示す。

人体の多重映像をもとに動作分析に必要な顔、肩、右左の手と手先、右左の足と足首等の人体各部位にかんする X-Z 座標の位置、速度、力、摩擦力、角度、回転角等の二次元および三次元の運動力学的特性値を求める事ができる。

Table 1 は運動特性解析の一例として 70 歳程度の十数人の男女の高齢者について、Fig. 4 に示すような平常の

歩行の動作をモーションレコーダにより計測し、歩行時の歩幅 L、速度 V、一步の歩行時間 A、歩行時間 A に対する片足が床から離れている時間 B より求めた  $B/A$  の値 C を歩行の特性指数として求めたものである。男性の年齢が女性の年齢よりも 3-4 歳高いために、Table に示すように歩幅 L と歩行速度 V は 4-5% 近く低下している。また、一步の歩行時間 A は約 10% 近く増加している。これは年齢による老化の影響によるものである。これに対して片足の着地している時間の割合である C の値は男性も女性もそれほど変化していない。

また、個々の特性値は人によりばらつきが見られるが、歩幅 L の広い人は歩行速度 V も早く、背筋がのびた姿勢の良い歩行を行っている事が分かる。

このような特性値の標準値とその分散を調べる事により、歩行時の人体の健康状態を調べる指数値の一つとなりうる事が注目される。

**Table 1 Mean Value of Dynamic Performance of Walking  
Men and Women Elder Than 65 Age**

Performance	Men	Women
Walking Step L(m)	0.67	0.71
Walking Velocity V (m/s)	1.16	1.31
Time of Walking Step A (s)	0.60	0.52
C = B/A	0.23	0.23

B is the Time of Walking Step that the Foot is Contact on Floor (s)

Table 2 は歩行、走行および跳躍時の連続可視化のモーション画像より直接読み取った上下動および歩幅の値を示す。顔および手の上下動は跳躍時に特に大きな値を示したのは、飛躍してから手を特に大きく振り上げ、着地の時に、足の肘を曲げ、腰をかかめる事による事に起因している。

**Table 2 Vertical Movement and Step Length of  
Moving Person**

Movement (m)	Body Segment			Step Length L
	Face	Foot	Hand	
Walking	0.14	0.28	0.40	0.7
Running	0.25	0.32	0.50	0.9
Jumping	1.15	0.35	1.05	1.5

運動時の頭の X-Z 座標の各位置を 1/30 秒ごとに記録し、フーリエ変換によりパワースペクトル密度 PSD と周波数 f の関係である揺らぎの特性を求める事が出来る。

## 5. まとめ

運動する人体の各部位に可視および熱マーカを取りつけ、歩行、跳躍等を行なう物体各部位の可視および赤外線による瞬時および連続多重映像を同時に計測記録する簡易解析方法を開発した。

一方、赤外線映像装置により、人体各部の放射温度および熱マーカにより、照度や色調等の周辺環境に影響を受けず安定した計測が可能になる。また、夜間でも使用が可能であり、その識別特性は可視マーカより優れている。

動作分析に必要な肩、肘、手先、膝、靴等の身体各部位にかんする X-Y 座標の位置を求め、表示すると共に、歩行時の人体についての重ね合わせ図を作成し、運動解析の基礎資料として提示した。今後は、運動生理、福祉、および健康管理等を始め、種々の工学分野へ有益な融合情報を提供できる、可視化計測法の開発を進める。

## 参考文献

- 1) 滝沢かほる外：身体の運動と温度の同時計測と解析、No.02-34, 第二回福祉工学シンポジウム,(2002),p 109-112
- 2) 岡本芳三：遠赤外リモートセンシング熱計測法、(1994),コロナ社, p1-256
- 3) 岡本芳三外：リモートセンシング熱イメージ法,(1995),コロナ社,p 1-177
- 4) 滝沢かほる外：運動体の解析とイメージ診断,Vol.6, No.5,(2001)、検出技術、日本工業出版、p.35 -41
- 5) 滝沢かほる外：運動する身体の可視および赤外線による同時可視化、No.021-1, 第 29 回可視化情報シンポジウム, (2001), p 55-58
- 6) Y. Okamoto et al, Simultaneous Visualization Study on Dynamic Motion and Temperature in Moving Bodies by Means of Infrared Radiometer, SPIE Thermosense, 24, 5073, (2003),p 1-8
- 7) Y. Okamoto, Infrared Tribology, Nondestructive Handbook, (2001), 47, ASNT, Columbus, USA、 p470-477
- 8) 安久正紘外：ゆらぎ現象の工学的応用について、61, 7, 応用物理、(1992), p 690-697
- 9) 住谷 正夫外：風向および風速にゆらぎ制御を行なった風の快適性評価について、J80-D-11, Vol., J80-D-11, No 7, 電気情報通信学会論文誌(1997), p 1994-2001
- 10) 鴨井新生外：赤外線サーモグラフィによる人体表情の動特性計測, 眼の動きについて、No010-74, 日本非破壊検査協会赤外線サーモグラフィによる非破壊評価特別研究委員会報告書、(2004), p15-20