

### 第3節 歩行時の人体の運動と動的ゆらぎ特性

岡本芳三、住谷 正夫(茨城工業高等専門学校)、安久正紘(福島工業高等専門学校)、  
滝沢かほる(新潟大学)、鴨井 新生(東亜大学)

#### 1. はじめに

一般に、運動科学の分野では、人体の歩行、走行および跳躍等の運動を視覚的に捉えるために、人体各部位に輝度の異なる可視マーカータリつけ、その運動軌跡の時間経緯をデジタルビデオ DVR 等により計測記録し、解析する事が行われている。<sup>1)</sup> しかしながら運動時の動的な揺らぎについては、まだ解析を進めた例は殆ど行われていない様に思はれる。

本研究は歩行運動する人体各部位の位置および速度等の動的画像を可視 DVR に取り込み計測記録し、運動力学的の観点から非定常時の揺らぎの特性の解析を実施した。<sup>2)~6)</sup> また、人体を構成する各部位について、年齢による揺らぎの特性に与える影響とその解析を行なった。<sup>7)~9)</sup>

まず、若者から高齢者にいたる揺らぎの特性について、指数  $n$  を  $n=0, 1, 2$  で示す近似解析による検討を行なった。つぎに、人体各部位の周波数  $f$  と出力スペクトル密度 PSD の関係とその相関関係を求めた。<sup>10)</sup>

このほか、若者と高齢者の間において指数  $n$  がどのような値で表されるのかについての検討を進めた。さらに、PSD の値  $D$  およびその発生回数  $P$  の値が、若者と高齢者の間の各部位について、どのような差異を示すかを明らかにした。

また、若者から老人にいたる人体各部位間についての揺らぎの相関関係が若者と高齢者の間において、どの様にその特性が変化するかについて検討を進めた。このほか本研究の結果を基に、展開すべき応用実施例について述べると共に、これらの方法がどのような形で役に立つかを具体的な事例により説明を加えた。

#### 2. 実験装置と実験方法

歩行運動用の床マーカ M は有効実長が 8m あり 1m おきに長さ 1m の計測スケール S が並べてある。有効実長が 8m の右左にはそれぞれ 2m の補助助走区間があり被験者が右から左に歩行し、補助助走区間で向きを変え、左から右に反対方向に歩行する事により、繰り返し往復歩行運動を行う様になる。<sup>2)</sup>

運動解析を実施する実験計測システムは、2 台のデジタルビデオ DVR V、床マーカ M、パーソナルコンピュータ PC および計測スケール S 等の計測要素より成り立っている。<sup>2)</sup>

2 台のデジタルビデオレコーダ DVR V は、歩行運動する床面上のマーカ線 M より直角方向に 6m 離れた位置に置かれ、8m 長さの有効計測線の中心線から右左にそれぞれ 2m 離れた位置に設置され、同時計測を実施する。<sup>3)</sup> 使用した 2 台の可視化記録用のデジタルビデオ DVR は携帯用の汎用品であり、シャッタスピードは可変で 1/30 秒毎の映像を記録する。この様に 6m 離れた位置より求めた可視映像の垂直方向の人体 B の高さは画像の幅に対して 2cm 以上の差異が生じないため、画像の位置の変形による影響を無視する事が可能である。

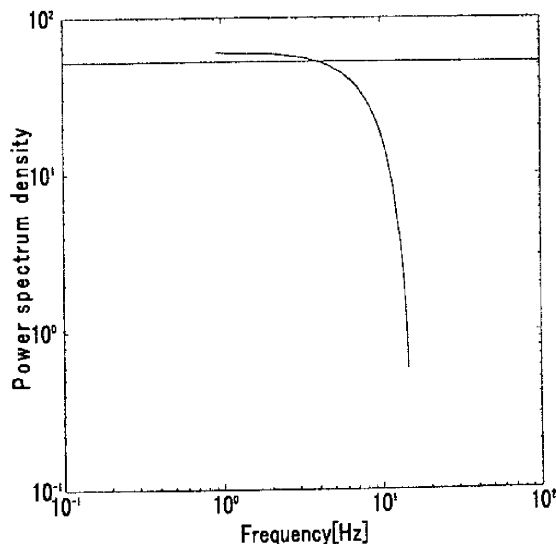


Fig. 1 Power Specter Density of Young Person of 30 Years old, Head Segment,  $1/f^0$

DVRにより取得した画像は可視連続デジタルビデオカセットに記録する。求めた映像はデジタルビデオとパソコンPCを接続する事により、実験の後で、データキャプチャーソフトによりにPCにインストールする事が出来る。求めた画像から、PCによる人体各部の二次元の位置X,Yを読み取り、各時間の位置をExcelに表として表す事が可能となる。

Fig. 2は73歳の老人の手の揺らぎ特性を示す。出力スペクトル密度PSDは近似的に周波数fに反比例して低下する、いはゆる、 $1/f^1$ の揺らぎの特性を持てる。周波数fが10Hz付近ではPSDは $1/f^0$ に近く、Fig. 3に示す $1/f$ の10H特性を示す若者の値より著しく低い値を示す。

Fig.3は30歳の若者の頭部の揺らぎ特性を示す。出力スペクトルPSD Pは近似的には $10^2$ の値を持ち、周波数fは4 Hz付近まで関係なく一定値を保つ。PSDの値は周波数4 Hzから10 Hz範囲で急激に低下する。いわゆる $1/f^0$ の白色の揺らぎ特性を持つ。一般に、PSDの値は数Hzの値から低下を始め、十数Hzでバックグラウンドノイズの値まで下がる傾向を持つ。

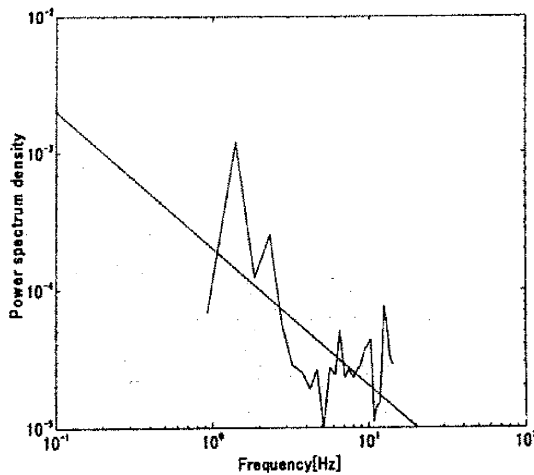


Fig.2 Simplified Fluctuation Performance of 73 Old, Hand Segment,  $1/f^1$

Fig. 3は20歳の若者Aの手の揺らぎ特性を示す。出力スペクトル密度PSD Pは近似的には周波数fに対して $1/f^2$ で低下する揺らぎの特性を持つ。周波数fが10Hz付近ではPSDは $1/f^0$ に近く、Fig.3の値に比べて、著しく低い値となる。

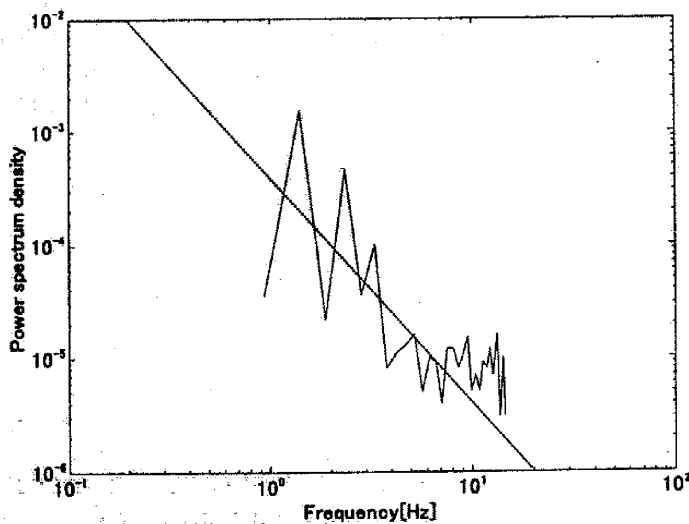


Fig.3 Simplified Fluctuation Performance of Twenty Years Old, A, Knee Segment, ( $1/f^2$ )

Table 1は5人の被験者における頭、手、膝および足等の4部位のそれぞれ揺らぎ特性の値nを示したものである。右の $f^n$ に示す指数nの値は、近似解析に示す傾斜 $n=0, 1, 2$ の値nを示している。表より明らかに、20から30歳の3人の若者については、各部位で $n=0$ の $1/f^0$ の揺らぎの特性を持つ者が多い。これ

に対して、51 と 73 歳の 2 人の高齢者では  $1/f$  の揺らぎの特性を持つ者が見られる。また、 $1/f^2$  の揺らぎの特性を持つ者が年齢に関係なく見られる。

Table 1 Simplified values of  $n=0,1,2$  for each segments

Segment	20A year	20B year	30 year	51 year	73 year
Head	0	0	0	1	0
Hand	0	0	0	0	1
Knee	2	2	0	2	2
Feet	2	2	1	2	1

Table 2 は Table 1 の 5 人の被験者における 4 部位の 20 通りのデータをもとに、30 歳までの 3 人の若者と 50 歳から 70 歳代の高齢者の 2 つのグループに分け、近似解析による  $n=0, 1, 2$  で表される発生の回数  $p$  とその合計値  $P=\sum p$  の値を示す。

若者のグループでは  $n=0$  の発生回数  $p$  が多いのに対して、高齢者のグループでは  $n=1$  の発生が見られ、また、各年齢において  $n=2$  のモードが年齢に関係なく随所に発生している事が明らかになった。

Table 2 Simplified induced number of  $n=0,1,2$   $p$  and their summation  $P=\sum p$  for three young persons and two persons

Groop	p			P= $\sum p$
	n=0	n=1	n=2	
Young Persons	7	1	4	12
Old Persons	2	3	3	8
P= $\sum p$	9	4	7	20

Table 3 は 5 人の被験者における 4 箇所の部位の総計 20 箇所の周波数  $f$  が 10Hz の場合に、出力スペクトル密度 PSD が整数による近似指数  $d$  で表されたとして、その近似指数  $d$  の値を示す。近似指数  $d$  の値は 10 から -6 の範囲で分布しているが、30 歳の若者は最も高い。また、手の場合に若者にくらべ高齢者は著しく低い値を示す事が分かる。

Table 3 Index of Simplified Integrated Number  $d$  at Frequency of  $f=10$  Hz for 4 Segments of 5 Persons ( $PSDD \propto 10^d$ )

Age	20 (A)	20 (B)	30	51	73
Head	-6	-4	-2	-4	-5
Hand	1	1	1	-6	-6
Knee	-3	-4	-2	-4	-4
Foot	-4	-3	-3	-3	-4

このほか各部位について、主として手とその他の頭、膝および足の 3 つの部位の相関関係を明らかにする

ために、相関係数を求め解析した。<sup>10)</sup> その結果 20 歳の若者 20A の手と膝の間の相関を示す。横軸に周波数  $f$  Hz で縦軸に相関係数 (Coherence coefficient  $C$ ) を求めると、 $C$  の値が 0 に近い程相関が悪く、1 に近い程相関が強い事を示している。

解析の結果、一般に 3 人の若者については、全周波数で各部位の間の相関がとれているのに対して、2 人の高齢者では相関が低い事がわかった。すなわち、年齢が高くなると、若者に比べて速度が遅く、歩き始めてから安定するまでに時間を要する事と、各部位の間の相関が薄れ、バラバラの動きをする様になり、運動のリズムが崩れ、予測できない  $1/f$  の揺らぎに近ずき、よりバラツキが増えてくる事が分かった。

#### 4. まとめ

歩行運動する人体のデジタルビデオによる可視化計測を実施し、二次元の位置および速度等の運動特性値を解析した。年齢の異なる 5 人の若者から老人について、4 箇所の人体各部位について歩行時の二次元の位置および速度の特性値を求めた。これらの特性値をもとに 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た。また、揺らぎの特性について  $n$  を近似値として  $n=0, 1, 2$  で示す簡易解析による検討を行なった。

歩行する 5 人の若者と高齢者について揺らぎの特性について、 $n=0, 1, 2$  で表される 4 個の部位の簡易解析によれば、30 歳までの若者では周波数によらない  $n=0$  のモードが多いのに対して、50 歳から 70 歳代の高齢者では  $n=1$  のモー

ドの運動が見られ、各年齢において  $n=2$  のモードの運動が随所に見られる事が明らかにされた。また、 $PSD$  の値は手については、若者に比べて高齢者では著しく低下している。また、各部位と被験者との間の相関を取ると、20 歳から 30 歳代の若者についての相関がよくとれているのに対して、50 歳から 70 歳代の高齢者では相関が悪くばらばらな運動をしている事がわかった。

今後は、被験者の試験事例を増加させると共に、疲労による横揺れや転倒をふくむ揺らぎの特性を調べると共に、応用例として運動生理、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したいと考える。

#### 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) 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
- 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) 岡本芳三外：人体の可視および赤外線による運動計測とその解析、13-141-18,第四回福祉工学シンポジウム,(2004),p 61-64
- 5) 住谷正夫外：人体の可視および赤外線による運動計測と解析、No.A307,第 32 回可視化情報シンポジウム ,(2004),p 353-356
- 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) 蟹江良一：最新用サーモグラフィー熱画像診断テキスト,(2001)、日本サーモロジー学会、p183-191
- 8) 嶋井新生、赤外線サーモグラフィーによる人体表情の動的計測、眼の動きについて、No101-74, 日本非破壊検査協会赤外線サーモグラフィーによる非破壊評価特別研究委員会報告書、(2004),p15-20
- 9) 住谷正夫外：人体の可視および赤外線による運動計測とゆらぎ解析、日本ゆらぎ現象研究会、(2004),p1-2
- 10) 丹慶勝市：図形雑学—統計解析、ナツメ社 (2004),p44-47