(1998年8月3日受付・1999年3月8日受理)

歩行中のフレースカートに現れる ひだの形とそのゆらぎ($1/f^\alpha$)

福井大学工学部 石川左武郎・柳川昭明
愛知淑徳短期大学 竹下弓子

A Shape of a Wrinkle Which was Observed in a Flared Skirt during Walking and it's Fluctuation ($1/f^\alpha$)

Saburo Ishikawa^{*1}, Teruaki Yanagawa^{*1}, Yumiko Takeshita^{*2}

^{*1}Faculty of Engineering, Fukui University, Fukui shi, Fukui Pref., 910-0017 JAPAN

^{*2}Aichi Shukutoku College, Nagoya shi, Aichi Pref., 464-0025 JAPAN

Abstract : Wrinkles which appeared in a flared skirt were observed at regular intervals (0.084 sec.) Shapes of these wrinkles changed from time to time and seemed to be classified in to alphabetical letter I, C and S.

A fluctuation α which was involved in a shape of wrinkle was changed depend on its'own shape. An appearance of these shapes of the wrinkles were different when the observation was carried out at front or back of the walker.

(Received 3 August, 1998 ; Accepted 8 March, 1999)

1. 緒 言

歩行中のスカートに現れるひだの形の中には非常に美しい形をしたひだがあり、その形の美しさはその揺動によって強調される。フレースカートの場合この傾向はさらに起こりやすい。揺れ動くフレースカート(以後スカートと略称)のひだの形にはどのような形があり、それぞれの形によってそのゆらぎ($1/f^\alpha$) (以後 α 値で表示)がどのような変化をするかを検討した。

2. 実験法

2.1 歩行中のひだの形の観察

2.1.1 フレースカートの準備

スカートに現れるひだの形を観察する目的で図1に示したごとくスカートに15個の目印点を設けた。スカートのウエスト部分の中心点(CA点)を通る中心線(C線)は身体の正中線と一致させ、CA点から左にLA点、右にRA点

図1 フレースカートに配置した目印点の位置
SS : 標準尺

を10cm間隔で設ける。LA点とRA点からC線に平行してL線とR線を引き、それぞれの線上に15cm間隔でB、C、D、E点を設け、例えばL線上のD点はLD点、R線上のC点はRC点、C線上のA点はCA点と命名し、これら15個の目印点が歩行中に揺れ動く状態を8mmシネカメラで撮影した。

スカートの長さ65.0cm、ウエスト回り63.5cm、ヒップ回り113.0cm、裾回り194.0cm、スカート生地組織は平織り、織り密度はタテ方向21no./cm、ヨコ方向24no./cm、厚さTは0.436mm、重さWは4.45g/400cm²であった。表1にスカート生地の物理的性質を示した。スカートの着用者は成人女子で身長155cm、ウエスト回り63cm、ヒップ回り91.5cmであった。

表1 スカートを作った生地の物理的性質

		Warp	Weft
Tensile	WT g.cm/cm ²	7.75	8.15
Shear	G g.cm/deg.	0.45	0.43
	2HG g/cm	0.50	0.47
Bending	B g.cm/cm	0.031	0.038
	2HB g.cm/cm	0.015	0.019

2.1.2 スカートの目印点の移動量の計測

スカート着用者は通常の歩行速度で歩行し、歩行者の前面と背面からスカートの揺動状態を8mmシネカメラで撮影した。撮影速度は24コマ/秒で行い、移動量は1コマおきに観測した(1/24×2=0.084秒毎に観測)。歩行者はウエスト部分にあらかじめ長さ20cmの標準尺(SS)を付けておく。映像は拡大鏡でB4版1mm方眼紙上に投影し、映像のフィルム軸と方眼紙のタテ軸とを一致させ、方眼紙タテ軸上にCA点を記入する。ついで各目印点の位置と標準尺の長さ、また映像中に左足あるいは右足が着地あるいは脱地した瞬間の像が確認された場合にはその時点を記入しておく。左、右足が脱地して振り足状態になった時上脚部の運動がスカートの揺動、したがってひだの形の形成にどのように影響するかを見るためである。

2.2 スカートのひだの形の観察

2.2.1 スカートのひだの形の作図法

スカートのひだの発生は人体のウエスト部分の運動よりもヒップ部分の運動の影響をより強く受けているように見受けられる。スカートの各目印点は上下、左右方向に移動するけれども上下方向より左右方向への移動がより目立つことから本報告ではヒップの左右方向への移動運動によってひだは発生する、すなわちひだの形はスカートのB点を起点として発生し(スカートのLB、RB点は人体のヒップの位置にある)、B点と他の目印点との水平距離の長短によってひだの形は決まる。B点と他の目印点

との水平距離は次式で計算した。歩行i時点における各目印点の座標から、例えばLB点とLC、LD、LE点それぞれの水平距離を考えると

$$\begin{aligned} \text{LB点とLC点では} & (LCxi - LBxi) = Cix \\ \text{LB点とLD点では} & (LDxi - LBxi) = Dix \quad (1) \\ \text{LB点とLE点では} & (LExi - LBxi) = Eix \\ \text{LB点では} & (LBxi - LBxi) = Bix = 0 \end{aligned}$$

図2 フレアスカートに現れるひだの形の決め方とその形の多様性

(1)式で求めた水平距離を用い図2-1に示した方法でひだの形を作図した。スカートの丈軸(L-, C-, R-線)に対し一定間隔(方眼紙上で3cm)で4本の直交する直線をひき、これら直線を上からB、C、D、E点の位置とした(実スカートでは目印点間隔は図1-1に示したごとく15cm)。B点は常に交点に在る、他の3点の位置は(1)式で規定される水平距離で決まる位置に在る。各水平距離で定まる位置(方眼紙の1cmが水平距離の4cmとなるように作図：ひだの形の確認を容易にするため強調して示す)にある各目印点を結んでできた形がひだの形となる。各線上の目印点の水平距離の値がプラスの場合、例えばL線ではL線の左側(スカートのひだはL線の外側)、マイナスの場合はL線の右側(スカートのひだはL線の内側-C線に近い位置)に現れる。R線に沿った各目印点の水平距離の値がプラス値をとる時目印点の位置はR線の右側(スカートのひだはR線の右側-外側)、マイナス値の場合目印点の位置はR線の内側(スカートのひだはC線に近い位置-内側)に現れる。各目印点の水平距離の値がプラスとマイナス値を含む場合ひだの形はそれぞれ所属する線と交差した形で現れる。

2.2.2 ひだの形の多様性

スカートのひだの形はB点と他の目印点との水平距離の値の長短によっていろいろな形が考えられる。ひだの形を3種(I-型、C-型、S-型)に大別し、図2-2に示した。I-

型ひだの形は各目印点の水平距離がスカートの下部に行くほど大きくなる場合(マイナス側ではその絶対値)である。I-1モデルでは水平距離が $Cix < Dix < Eix$ の関係にある。同様の関係がI-2モデルとI-3モデル(絶対値)にもあり、このモデルでは各目印点が一水平線上(点線で示す)に並ぶ特徴があり、ひだの形は直線状を示す。I-4モデルでは $Cix = Dix$ 、I-5モデルでは $Dix = Eix$ となる場合(破線で示す)である。

C-型モデル、例えばC-1モデルでは $Cix < Dix > Eix$ 、あるいは $Dix > Cix = Eix$ の時に現れる形、C-2モデルでは Bi, Ci, Di 点は一水平線上に並び(点線で示す)、かつ $Dix > Eix$ (Eix はマイナス値)の場合、 $Dix = Eix$ ではI-5モデルとなる。

S-型モデル例えばS-1モデルでは(1) $Cix > Dix < Eix$ あるいは(2) $Cix = Eix > Dix$ となる場合でひだの形はジグザグ状となる。S-2モデルは Cix がプラス、 Dix, Eix はともにマイナス値、その絶対値が $Dix > Eix$ の場合でひだの形はジグザグ状となる。

2.3 ひだの形の α 値の計算

図3 ひだの形の測定法

図3にI-型ひだの形($Bi-Ci-Di-Ei$)とC-型ひだの形($Bi-Ci-Di-Eil$)を示した。ひだの形は3本の直線が一定の垂直空間距離(1)を保って結合し、その結合位置に一連の位置番号(NP: 0, 1, 2, 3)を付ける。ひだの形は垂直方向に(NP-1=3)個に分割される。つぎに例えば垂直空間 $Bi-Ci0$ 、あるいは $Ci0-Di0$ の空間距離を一定長の微小距離(Δl)に分割する。分割数をBNとすると $l = \Delta l \times BN$ となる。BNは整数で本実験では43とした。 Δl の空間位置には一連の番号(0, 1, 2...43)を付けて区別した。図3の $Bi, Ci0, Di0, Ei0$ 点の位置番号は0とした。

つぎに三角形 $Bi-Ci0-Ci$ について $Bi-Ci$ 線上の任意の点 Bij 点の水平距離 $Bijx$ について考える。 Bi 点から $Ci0$ 点に向かってj番目に位置する Δl 点の垂直空間距離は $\Delta l \times j$ 、 Bi 点と $Ci0$ 点の垂直空間距離は l 、 $Ci0$ 点と Ci 点との水平距離は Cix であるから、つぎの比例式が成立する。 $1 : \Delta l \times j = Cix : Bijx$ この式でjの値を順次変えて行けば(1~43)、垂直空間距離 $\Delta l \times j$ に対応する $Bi-Ci$ 線上の点 Bij の水平距離(横座標値 $Bijx$)が計算できる。

同様にして台形 $Di0-Di-Ei-Ei0$ と $Di0-Di-Eil-Ei0$ について、前者では $Di-Ei$ 線上の Dip 点、後者では $Di-Eil$ 線上の $Dip1$ 点の横座標値について考える。 $Di0$ 点から $Ei0$ 点に向かってp番目にある点の垂直空間距離は $\Delta l \times p$ 、 $Di-Ei$ 線上の Dip 点、 $Di-Eil$ 線上の $Dip1$ 点の水平距離を $Dipx, Dip1x$ とすると次の比例式が成立する。

前者では $1 : \Delta l \times p = Eix : Dipx$

後者では $1 : \Delta l \times p = Eilx : Dip1x$ が成立する。

ここで $l, Eix, Eilx, \Delta l$ は測定でき、 p 値を順次変えて行けば垂直空間距離 $\Delta l \times p$ に対応する $Dipx, Dip1x$ は計算でき、直線 $Di-Ei, Di-Eil$ 線上の一連の点の水平距離(横座標値)が求められる。 $\Delta l \times p$ が大きくなると台形 $Di0-Di-Eil-Ei0$ では水平距離は減少する。

計算機にNP, BN, Bix, Cix, Dix, Eix, Eilxを入力し、 Δl に一連の垂直空間位置を示す数値を乗じ、ひだ線の横座標の離散値を計算した。本実験ではNP=4, BN=43とした。 Bi 点から $Ei0$ 点までの空間距離(3×1)を(NP-1)×43=129(計算に当たっては128)の微小空間に分割した。

等間隔の離散値的な標本点N個(偶数)の標本値 x_m ($m=0, 1, 2, \dots, N-1$)が与えられたとき x_m のフーリエ逆変換は次式で近似でき¹⁾、FFT法でフーリエ振幅を求めた。

$$x_m = A_0/2 + \sum_{k=1}^{N/2-1} \{A_k \cos(2\pi km)/N +$$

$$B_k \sin(2\pi km)/N\} + A_{N/2}/2 \cos(2\pi(N/2)m)/N$$

つぎに振幅を自乗した値(パワースペクトル)を求めた。各周波数毎に求めたパワースペクトルをPとし、最大パワースペクトルを P_m とし、 $P/P_m = B$ を求める。周波数 f の対数 $\log f$ とBの対数 $\log B (= [B])$ の関係グラフをえがく。両者が直線関係をとるとき、この直線の傾斜がゆらぎ α 値を示す²⁾。

3. 結果と考察

3.1 歩行中のひだのx座標値の変化

図4に各目印点のx座標値を時系列で示した。時間を示す数値は0.084秒間隔で観察したときの観察時間順位を示す。図4は時間順位4番から45番までのx座標値の変化(振動曲線)を示した。振動曲線の右端の数値はそれぞれの振動中心を示す。図の下部に示したR字(またはL字)は右

図4 歩行中に一定時間間隔(0.084秒)で観察した時の各目印点の水平方向への移動量

足(左足)が着地した時の観測時点を示し、RR字(LL字)は右足(左足)が脱地した時点を示す。R字と次のR字との時間間隔(LL字と次のLL字との間隔)が歩行周期に当たる。いずれの場合も歩行周期は $13 \times 0.084 = 1.09$ 秒であった。図4に示した振動曲線をFFT法で解析した。LB点、CB点の卓越スペクトルが現れる周波数 f は 0.938Hz であり、歩行周期($1/f$)は 1.07 秒となる。足の運動からえた歩行周期とスカートのLB、CB点の振動曲線の解析から得た歩行周期とは一致する。

3.2 ひだの形とその振幅と α 値

図5 ひだの形のゆらぎ α 値とフーリエ振幅
 λ : cm., cm.

 $\lambda : \text{cm., cm.}$

図5は歩行前面(Fr.), 歩行背面(Ba.)からL, C, R線上に現れたひだの形, 例えば前面L線のひだの形は○印, 前面R線上のひだの形は△印, 背面C線上のひだの形は■印で示した。図5A-1, 2, 3は直線状ひだの形, B, C, Dは図2-2のI-1~5モデルに対応し, 直線状ひだの α 値は1.764, 1.769であり, 同じI-型ひだのB, C, Dのそれは1.771~1.787とやや高い値を示す。図5-Bの■印は振幅が小さく, α 値は1.734であった。

図5-E, FはC-型ひだで α 値は1.793～1.842と高い値をしめす。図5-E-5と図5-F-6の α 値は2.517, 2.421と非常に高い値を示し、E点の横座標値が小さいことに関係する(振幅が小さい、パワースペクトルも小さくなる)と考えられる。図5-G, H, JのS-型モデルの場合を考える。図5-H-3, J-4の α 値は1.873, 1.942とC-型モデルより高い値を示し、またG-1, H-2の α 値は2.756, 2.296と高い値を示した。G-1, H-2ともに各区分間(図3)の横座標値が小さく(振幅が小さいとパワースペクトルも小さくなる) α 値は大きくなりやすい。

3.3 歩行過程に於けるひだの形と α 値の変化

歩行過程で現れるひだの形(I, C, S)とそれぞれの振幅と α 値の関係を図6(歩行前面R線上のひだの形)と図7(歩行背面でL線上のひだの形)を示した。図で上部の●印はフーリエ振幅の値、▲印は α 値、中間のI, C, S字はひだの形、折れ線の形は各観測時点で観察されたひだの形、下部の数字は観測時点の順位、左端のひだの形の下部に示した小さな数字はひだの横座標値、観測時点の順位の間に示した黒い矢印はひだの現れた位置(プラス側からマイナス側、その逆の場合)の変化した時点、図の上部のRR、L印は左右の足が着地、脱地した時点を示す。

図 6 で振幅の変化をみると足が着地した時点前後(Rでは観測時点18, 31, Lでは24)でひだの振幅は小さくなる傾向があり, 足が脱地した時点の前後(RRでは14, 26, LLでは20, 33)でひだの振幅は大きくなる傾向がある。こ

図6 歩行前面から見て右側に現れたひだの形と
フーリエ振幅 λ と α 値

 $\lambda : \text{cm., cm.}$

図7 歩行背面から見て左側に現れたひだの形と
フーリエ振幅 λ と α 値

λ : cm..cm.

の傾向は脱地した直後から振り足状態になった上脚部がスカートを上方向に引き上げるため振幅は大きくなり、ひだの形はI-型に成りやすい、振幅が大きくなると α 値は小さくなる傾向(観察時点番号で14, 21, 25, 26)がある。振幅がピークを示す位置が歩行周期の約1/2の時間($0.084 \times 6 = 0.5$ 秒)で現れるのは左右の上脚部の交互運動による(歩行前面で観察)と考えられる。図7は歩行背面から見たL線に現れるひだの形と振幅および α 値等の観察時点による変化を示す。ひだの形(I, C, S)の現れ方をみると図7ではI-字形ひだがやや多く現れ、S-字形、C-字形ひだも現れる。ひだの振幅の大きさは図6と同様であるが振幅のピークが現れる時間間隔は歩行周期と一致し(観察時

点19と32前後でピークが現れる周期は $(32-19) \times 0.084 \text{秒} = 1.09 \text{秒}$)で上脚部の運動の直接的な影響は少ない。

図6, 7に示したひだの形と振幅, α 値との関係について直線回帰分析($Y = a + k \times b$)を行った。aは一次回帰定数(α 値), kは一次回帰係数, bは振幅, Yはbに対する α 値の推定値, nはサンプル数。

I-型ひだ(n=28) $\alpha = 1.761 + 5.800 \times 10^{-5} \times b$

C-型ひだ(n=11) $\alpha = 2.047 - 2.212 \times 10^{-3} \times b$

S-型ひだ(n=3) $\alpha = 1.938 - 1.331 \times 10^{-3} \times b$

この結果は α 値が振幅の値の影響を受けることが少なく α 値はひだの形そのものの反映と考えられる。図5の結果(α 値)とはほぼ一致する。S-型ひだは試料数が少なく図5の結果と一致しない。

4. 結 語

歩行中のフレアスカートに現れるひだの形には多様な形があり、それぞれの形に応じたゆらぎ α 値がある。ひだの形の現れ方は歩行前面と背面では異なる。

文 献

1. Yorihiro Oosaki, Jishin Doh no Spectoru Kaiseki Nyumon, P.53 Kashima Shuppan(Showa 53).
2. Toshimitsu Musha, Yuragi no Sekai, Kohdan Sha, Buruu-Baccks P.92. Toshimitsu Musha, Yukio Kosugi, Shizen, No.11,60(1979).