

## 着靴条件と児童の歩容に関する研究

The Relation of the Way of Shoes Wearing with Child's Gait

大 村 知 子・春 日 綾

Tomoko OMURA and Aya KASUGA

（平成13年10月9日受理）

### I 緒 言

人類の特徴の一つに接続的二足歩行が挙げられ、これが今日の繁栄の基礎となったといわれる。現在、私たちは戸外ではほとんどの場合履物を履いて過ごしているが、履物は、舗装された地面からの衝撃を和らげたり、石やガラスの破片、有害物質などから足を保護する一方、美的表現などの目的でも着装される。児童期は、成長発達を妨げない靴選び、履き方が大切であると考えられる。近藤は<sup>1)</sup>「靴の起源は、古代エジプトではサンダルが儀礼用として用いられたが、田下駄では体を支える足の延長としての農耕の道具である。」とし、「履物は体の重みを支えて歩き回ることができる足の着用品であることを本義としている」と述べている。

歩行に関する先行研究は、人類学、体育学、整形外科学、人間工学、家政学などの諸分野でなされている<sup>2)~9)</sup>。また、歩行と被服の関わりについては、著者らの幼児の靴の摩耗と歩容に関する報告<sup>10)</sup>、猪又らによる筋電図を用いたスカート着用時の動作拘束性の研究<sup>11)12)</sup>や、福井らによるプレスケールを用いた足底圧の研究<sup>13)</sup>などがある。笹本<sup>14)</sup>は和装時の歩容に関する研究を行い、履物が下駄と草履の場合、踵部着地時に履物が足底面から離れないように足を背屈させて履物の台面を足底面に近づけようとするという報告をしている。これら先行研究から、歩容を分析することによって、靴と動作性の関係、靴の形態や大きさの適合性と身体への負荷や足部形態の変化などを把握できることが示唆される。なお、「歩容」とは、人間の姿勢と四肢の運動形態と定義され、「歩容」は歩行と走行に分けられる。

特に成長期の児童は大きめの靴を履くことが知られているが、靴の大きさおよび履き方がその歩容に与える影響などについての報告はほとんど見あたらない。

そこで、本研究では児童の生活活動に適した靴選びや靴の履き方の基礎的資料を得ることを目的とし、生活科学の視点からの実験方法・条件を設定し、成長期の児童を対象とした事例実験から知見を得ることは意義が大きいと考えた。筆者らは先に8歳～12歳の児童5事例による靴の大きさと履き方について予備歩行実験を行い、歩容の捉え方の実験方法の妥当性を確認した（1998年5月日本家政学会第50回記念大会<sup>15)</sup>）。それらに基づき、高学年児童を被験者とする事例研究から靴のサイズの大小、留め具の種類の違いや靴の履き方と歩容の関係の有無について検討を試みる。

本研究の結果は、生活活動に適した靴選びの指針や靴の履き方の指導における基礎資料として活用するとともに、児童の靴の着脱に関わる生活環境の向上にも資することが目的である。

## Ⅱ 方 法

### 1. 実験靴

市販の運動靴（AMTRA）で留め具は紐で調節する形式を採用し、著者らが面ファスナー7.5×12.0 cmを用いてマジックテープとしても利用できるように改良した（写真参照）。設定理由は、この靴の価格が事前調査の最多購入価格帯に属し、さらに市場調査と観察結果から高学年児童の靴の留め具は、紐形式とマジックテープ形式が多かったことによる。なお、靴紐の長さは19・20cmサイズの靴が90cm、21cm以上の靴では100cmであった。

### 2. 着靴の条件

着靴の条件は留め具2種類（紐タイプ・マジックテープタイプ）、大きさ2段階（ジャストサイズ・1サイズ大きいサイズ）、留め具の留め方（フィット・ルーズフィット）を組み合わせ以下の5つのパターンを設定した。

パターン1（P1）：ジャストサイズの靴で甲部を紐でフィットさせる

パターン2（P2）：ジャストサイズの靴でパターン1よりも紐の長さを20%増加し、ルーズにフィットさせる

パターン3（P3）：パターン1、2よりも1サイズ（5mm）大きい靴で甲部を紐でフィットさせる

パターン4（P4）：ジャストサイズの靴で甲部をマジックテープでフィットさせる

パターン5（P5）：ジャストサイズの靴で甲部をマジックテープで足囲の10%相当ルーズにフィットさせる

### 3. 実験環境

#### (1) 実験場所

小学生の通学路上の生活実態に基づいて平坦地、階段と坂道における歩行実験を行った。平坦地は本学理学部A棟前広場、坂道は本学本部北側の斜度7度の歩道（通称定年坂）、階段は図書館北側の踏み面30cm、蹴上げ15cmの石段で実施した。

#### (2) 行程と順路ならびに撮影位置

限定された条件下ではあるが、可能な限り自然な歩容を捉えられるように、順路およびカメラの位置は、図1のように設定した。ビデオカメラによる歩容の記録は、被験者の右側面（全身と足元用に2台）・正面・背面からの撮影によった。

#### (3) 実験日時と気候

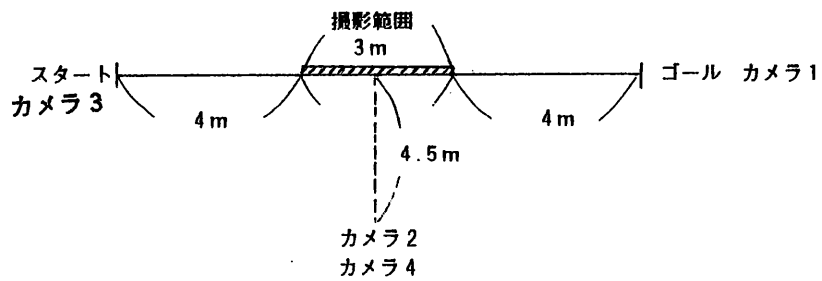
本実験は1997年9月6日午前に実施した。天気はくもり、温度が26.5℃、湿度は70%で無風ないし微風であった。

#### (4) 歩行および走行の速度について

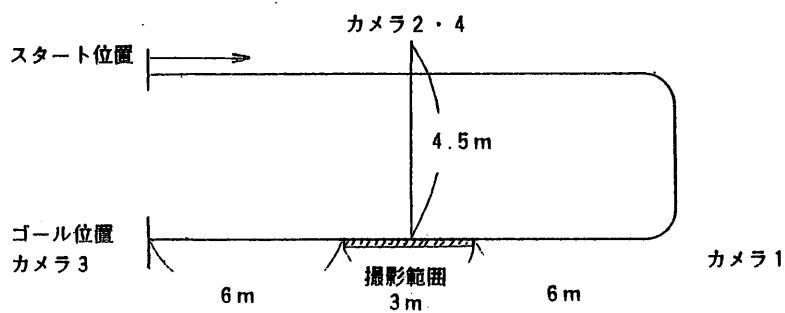
平坦地走行では、被験者は実験の前にメトロノームにより、1分間に160打の速さを覚えてから走行した。歩行では、被験者の任意の速さとした。

#### (5) 実験器具および補助用具

ビデオカメラと三脚（4台）、スチール写真用カメラ、血圧計、メトロノーム、マーキング用シール（直径2cm丸型）とヘアゴム（頭頂点マーキング用）、指標用1m竹尺（3本）、ホイッスル、斜度計、ストップウォッチ、記録用紙など。これらを用いて、各ビデオカメラの操作は一人ずつが担当し、計測者や記録とタイムキーパーなど総勢6人で実施した。



平坦地・坂道 歩行



平坦地走行

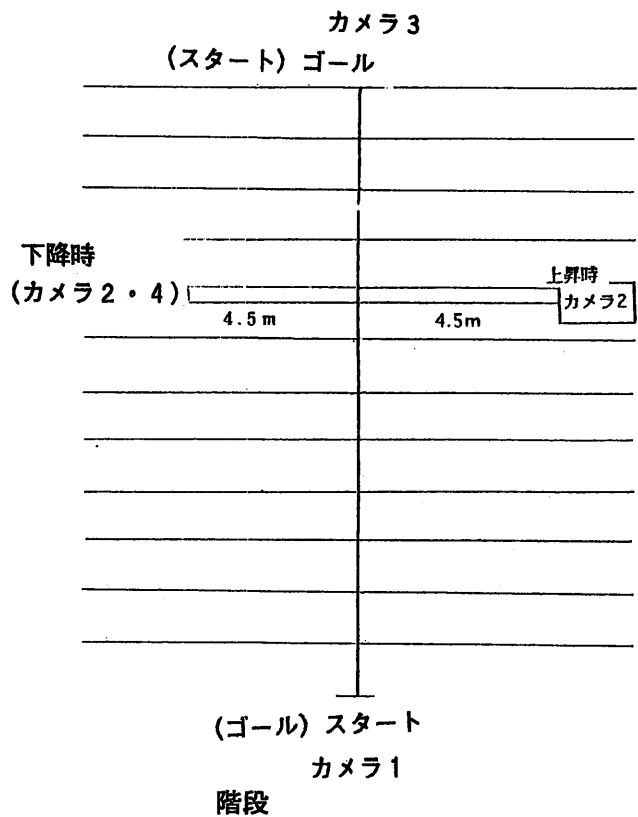


図1 歩行・走行順路とビデオカメラ設置の位置

4. 被験者について

被験者は小学校6年生、身長は143.0cm、体重は33.0kgの健康な女児で、足部計測結果は表1に、その計測部位は図2に示す。被験者が使用していた通学靴のサイズは21.5cmであった。

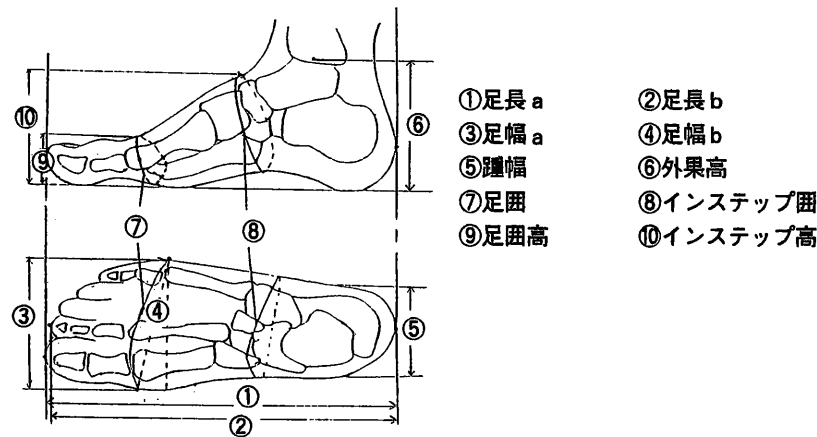


図2 足部計測部位

実験時には、綿・ポリエステル混紡のくるぶし丈の靴下を着用した。被験者の頭頂点・肩先点・肘点・手首点・膝点・踵点・足先点にシールなどで印を付けた。実験前の被験者の脈拍は84/min、最高血圧は87/mmHg、最低血圧59/mmHgであった。被験者の疲労による影響を少なくするために、実験前後に血圧と脈拍をはかり回復状況を確認した。

5. 解析方法について

先行研究の観察方法には、写真撮影法、クロノサイクログラフ、ストロボスコープ、ビデオテープレコーダー、バゾグラフ、電

表1 被験者足部計測結果

項 目			右 (mm)	左 (mm)
足 長	a		2 1 0	2 1 1
足 長	b		2 0 8	2 0 9
踵	幅		6 0	5 7
足 幅	a		9 0	8 9
足 幅	b		8 9	9 0
外 果	高		6 5	6 2
足	囲		2 1 9	2 1 9
足	囲	高	3 7	3 6
インステップ囲			2 0 5	2 0 5
インステップ高			4 5	4 6

気角度計などがあり、それらはそれぞれ3次元空間における身体の移動、回転、外力などに関して、量、方向、速度変化などから解析している。いずれにも設備の制限や動作変化への不適應などの短所もある。本実験では特別な設備が不要で、実験場所が限定されないこと、繰り返し実験がしやすいなどの利点からビデオカメラを用いた。記録画面は30コマ/minの割合で再生した。乗松ら<sup>16)</sup>は「歩行の再現性」についての研究において、歩行解析における変異を見るには、24コマ/minあれば臨床上役立つとしている。本実験では接地・離地の瞬間を捉えるために、乗松らよりも1秒間のコマ数を多くすることにした。これによって、1歩行周期の身体各点の移動の様相を捉えられると判断した。なお、この方法に関しては、日本家政学会第50回記念大会研究発表において有効な方法であることが支持された。

富田ら<sup>17)</sup>は歩行時の下肢運動について「左右肢が交互に屈曲と伸展を行うが、地面との関係から、足を接地して体重をかけ、後方に蹴り出して身体を前に押し出す接地期又は立脚期と、足先が地面を離れて前方へ振り出されている離地期又は遊離脚期の二つに分けられる」としている。本研究では、

遊離脚期については2期に分けて、踵点が地面から最も離れた距離にある踵点最高位を変異点として遊離脚前期・遊離脚後期とし、1歩行周期を離地期・遊離脚前期・遊離脚後期の3期として解析し、歩行・走行時の下腿の動き、全身の動揺および体幹の回旋について検討を試みる。

### Ⅲ 結果および考察

#### 1. 頭頂点の軌跡からみた全身の動きについて

人間の移動は基本的には空間での重心点の移動であり、それに必要なエネルギー消費を最小限度にするようなパターンになるものと仮定されている。

本研究では頭頂点の軌跡を見ることによって歩行時におけるからだ全体の動きを概観するために、左右方向への動きを正面から、前後方向、上下方向への動きを右側面から把握することを試みる。

まず、平坦地歩行時における頭頂点の軌跡の上下動の幅は、7.0～7.7cmであり、ジャストサイズの靴でも紐をゆるめてはいた場合(P2)に7.7cmの上下動を示し、重心動揺が大きくなることがわかった。水口<sup>10)</sup>は「いわゆる歩行の時に、地面から離れている『浮遊脚』は軽く屈曲して、前方に振り出される。膝を屈曲すると、身体の重心は高さが変化する。そして腕と肩の範囲が増大する。」という。このことから、身体の重心の上下動が増加するにつれ、腕の振りが大きくなり、左右の振れも大きくなることが推察される。

階段の昇りは、P2には、立脚期において微上下動が観察され、1サイズ大きい靴(P3)では、1歩行周期を通してP2を上回る上下動が出現したが、階段の下降時では、着靴パターン別の顕著な違いはみられなかった。

坂道では、歩行に速度の緩急(差)が見られ、上り時には、紐靴よりマジックテープ靴(P4、P5)で、下り時ではどちらの留め具ともにルーズフィットに着靴した場合(P2、P5)には、1歩行周期の中で歩行速度に緩急の差が出現した(図3)。

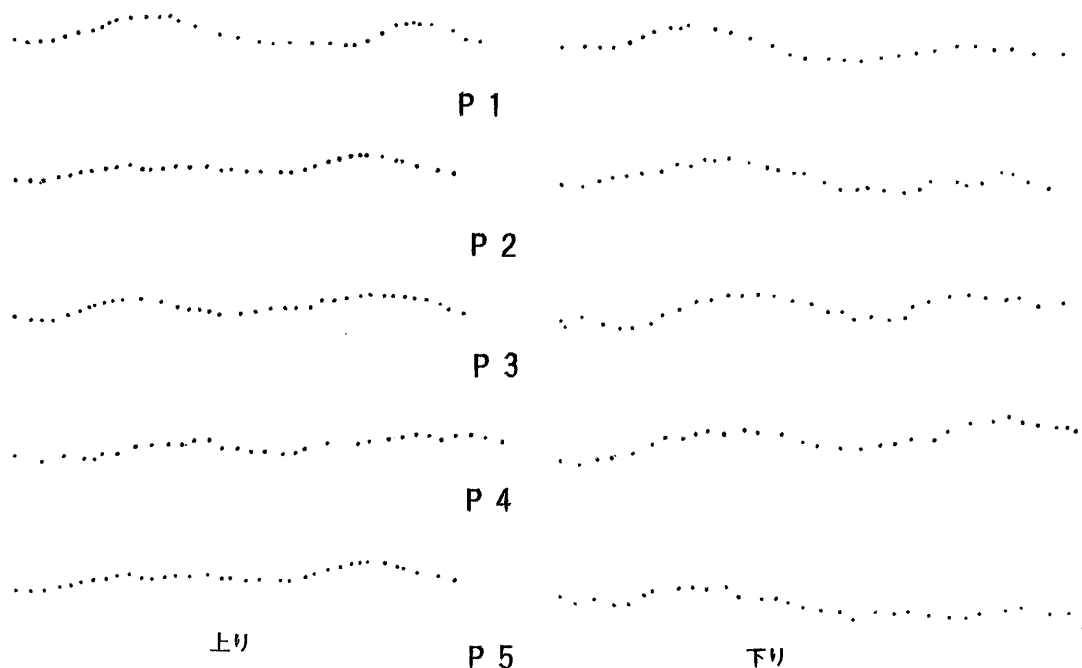


図3 坂道における頭頂点の軌跡

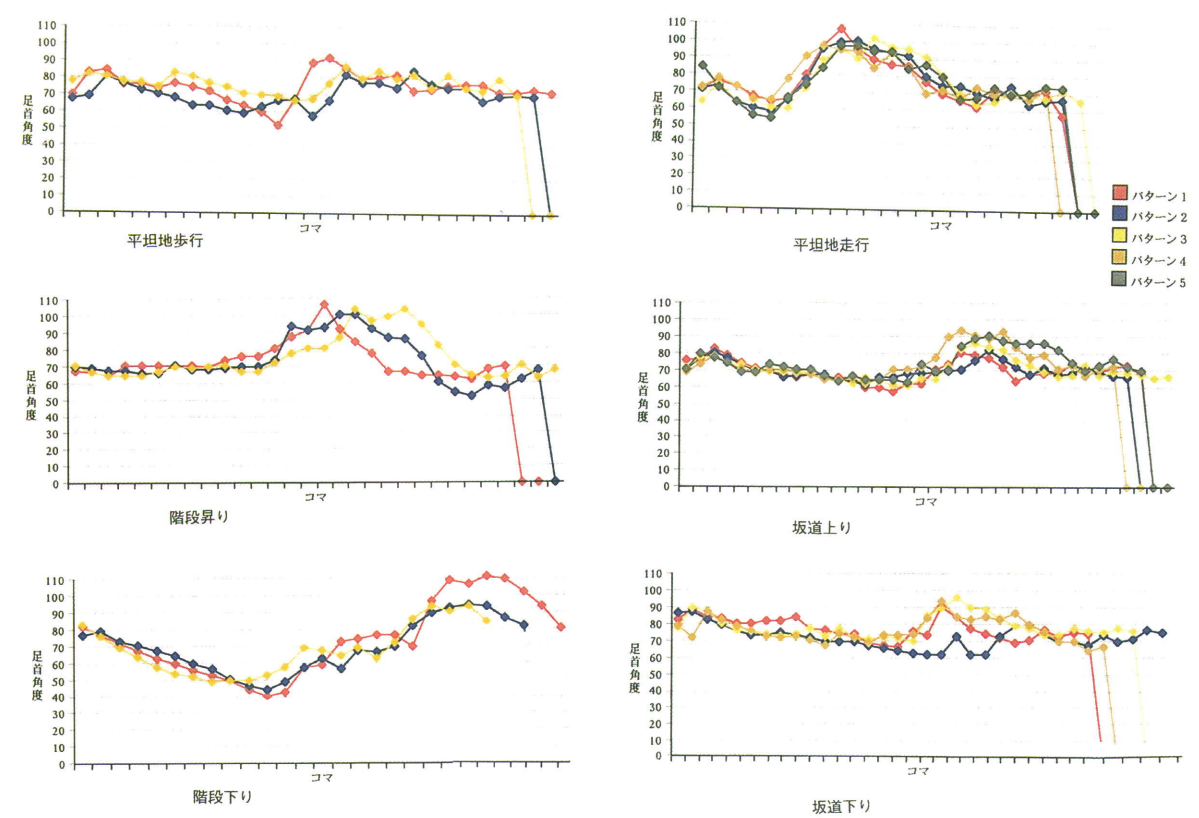


図 4 足首角度の推移

表 2 一歩行周期における足首角度の最大値・最小値とその差  
(度)

着靴パターン		P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
平坦地 歩行	最大値	9 2	8 5	8 7	—	—
	最小値	5 2	5 9	6 7	—	—
	差	4 0	2 6	2 0	—	—
階段 昇り	最大値	1 0 7	1 0 0.5	1 0 4	—	—
	最小値	6 2	5 2	6 3	—	—
	差	4 5	4 8.5	4 1	—	—
階段 降り	最大値	1 1 2	9 4	9 4	—	—
	最小値	4 1	4 5	4 9	—	—
	差	7 1	4 9	4 5	—	—
坂道 上り	最大値	8 3	8 0	8 6	9 3	9 1
	最小値	5 8	6 1	6 0.5	6 4	6 3
	差	2 5	1 9	2 5.5	2 9	2 8
坂道 下り	最大値	9 1	8 7.5	9 0	8 7	8 8
	最小値	6 7	6 2	7 0	6 5	6 4
	差	2 4	2 5.5	2 0	2 2	2 4
平坦地 歩行	最大値	1 0 8	1 0 1	1 0 2.5	9 7.5	9 8
	最小値	5 8	5 8.5	6 0	6 6	5 5
	差	5 0	4 2.5	4 2.5	3 1.5	4 3



実験用靴

平坦地走行時における頭頂点の軌跡の上下動幅は、8.21～10.00cmであった。最も上下動の差が大きかったのはマジックテープ靴（P 4、P 5）での走行時で、いずれも10.00cmを示し、紐靴（P 1、P 2）よりも上下動が大きかった。

重心点の上下移動では、立脚中期に最高、踵接地期に最低となる正弦曲線で、その幅はおよそ4.5 cmである。頭部の上下方向の動きを測定すると、普通の歩行で $4.8 \pm 1.1$  cm、速く歩くと $6.0 \pm 1.3$  cmに増した。左右移動に関しては、重心点は立脚中期に限界となり、振幅が約3 cmの正弦曲線となる。頭部の左右方向の動きで測定すると、普通の歩行では $5.8 \pm 2.0$  cm、走行では $5.0 \pm 2.1$  cmであった。

上下方向と左右方向の移動による2つの正弦曲線が組みあわさった軌跡を、重心点は移動するが、エネルギー消費から見ると、この2方向への振幅を最小にして、円滑に直線方向に進むのが最も経済的な歩行といえる。松阪ら<sup>19)</sup>によると、「ヒトの歩行は、一步ごとに重心を支持脚側に移動させるが、このとき前方へ振り出した足は後脚の側方振り出しによって生じた側方動揺を制御する必要がある」という。マジックテープの靴において、歩行・走行いずれの場合でも上体の左右動つまり、振れが大きくなるということは、体全体の動きによって足元のバランスを調節し安定させようとしていると判断できる。

一歩行周期の中で、着靴パターン別の頭頂点の高低差の様相を比較して見ると、マジックテープ靴では遊離脚期において高低差が大きかったのに対し、紐靴では立脚期後半つまり、片脚支持期において大きくなった。このことはミズノスポーツシューズ研究会の報告<sup>20)</sup>とも一致しており、児童期においても成人と同様紐靴での調節の方が有効であるといえる。

坂道での歩行は、被験者が自分の好きな速さで自然歩行した結果、1歩行周期の速度は、下りは上りより0.1~0.3秒速く、その移動距離は下りが上りより0.01~0.12m大であった。つまり、下りの歩行は上りより歩幅が大きく速く歩いたことがわかった。前後方向における最大制動力はcadence、歩幅の増加につれて大きくなり、特に歩幅の影響は大といわれていることから、児童の靴には坂の下りでは制動を補うという機能が求められるといえよう。

## 2. 足首角度の変化について

膝点-踵点-足先点の3点を結びスティックピクチャーを描き、足関節のなす角度（以下足首角度と呼ぶ）の動きの様相を捉えた。ジェラルド<sup>21)</sup>は、歩行中の足関節は「1歩行周期中に2度屈曲と伸展を行う」と述べている。つまり、足部全体が着地すると、それが今度は支えの役目を果たす（片脚支持期）ために、足首は徐々に屈曲し、他方の足が振り出されて、支持脚を過ぎる時点には屈曲は最高に達する。その後は接地部分が足趾の付け根だけになるまで、足首は伸長する。重心の移動時には振り出された方の足首は屈曲して踵を前につきだし、前方に着地するときに再び伸びる。また、足関節は屈伸だけでなく、足軸方向に対し内側や外側に回転している（回外・回内）。近藤<sup>1)</sup>によれば、人間が長く歩くことができる理由として「着地している足を外側から内側へあおって歩いているからだ」としている。すなわち、歩くとき、足を背屈、回外させながら踵の外側に続いて小趾の付け根が着地し、次にこの足の外側から足を回内させて、母趾の付け根すなわち足の内側へと足をあおりつつ屈して、最後に足趾の第1・第2・第3趾で蹴り出す。

これらのことから、足首角度の変化を見ることによって、「あおり」歩行とも関連づけて検討できるか考える。まず、一歩行周期における1/30秒ごとの角度変化を検討する。次いで一歩行周期を接地期、遊離脚期前半、遊離脚期後半に3分し一区间ごとに考察した後に、歩行環境ごとに足首角度の変化について特徴を明らかにする。

### (1) 一歩行周期における足首角度の変化

一歩行周期における歩行環境別・着靴パターン別の足首角度の変化は、図4に示したとおりである。

#### 1) 平坦地歩行

P1は、最大角（最も底屈している時の角度）が $92^\circ$ 、最小角（最も背屈している時の角度）が

52°で差が40°となり3パターン中、最も大きくなった。最も差が小さくなったのはP3で、最大角が87°、最小角が67°で差は20°であった。1サイズ大きい靴を履いた場合には、あまり足関節を背屈させていないことがわかった。これは、走行時においても同様であった。つまり、平坦地歩行時の場合、遊離脚期においてP1に比べて、P2やP3では「あおり」が小さくなることが推測された。踵点が最高位に達してから遊離脚期後半の1歩行周期の終りの踵接地点まで、P1、P3どちらにおいても角度の変化は緩やかであった。それに対し、P2は角度差が急激に変化する箇所がみられた。これは、踵点、足先点の印は実験靴につけてあったことから、靴の内底が足の底部から離れた結果と考えられる。

次に1歩行周期中において、踵が地面から離れる踵離地点と踵が地面から最も離れた位置にある踵点最高位および踵が接地した踵接地点における足首角度を比較した結果、踵接地時の足首角度は67～69°の範囲に、踵点最高位ではそれぞれ78～80°、踵点着地点では70～72°で、いずれも着靴パターンによる角度変化量に差は見られなかった。つまり、平坦地の歩行においては、どのパターンでもそれぞれ踵点接地点、最高位点、着地点のごとの足角度がほぼ同じであったことから、着靴パターンによる違いはこれら3点に達するプロセスに現われるといえる。

## 2) 階段昇り

すべての着靴パターンにおいて、最大角と最小角の差が40°台で明らかな差はなかった。足首角度は踵離地期まではどのパターンにおいてもほぼ同程度の値を示し、踵点が接地してから、足先点が接地するまで70～80°に増加した後、立脚時には60度台まで緩やかに屈曲し、踵離地期までは急激な角度変化が無かった。しかし、遊離脚期に入ると、着靴パターン別に背屈にも角度や時間に違いが見られるようになり、P1は、遊離脚期前半で角度差が大だが、後半は踵点接地にかけて角度変化がほとんどなく、P2は後半において角度が増加し、P3でも遊離脚期前半において角度の大きさのピークが2回みられ、靴の内部で足部が動いていることが予想された。これは、1サイズ大きい靴を履いたために、靴の爪先部と足部の間にできた隙間に起因すると考えられる。今回の踵点は実験靴につけた印であり、被験者足部の踵ではない。つまり、靴底と踵の間に空間が存在している場合があり、P1と同様の動きをしていたとしても軌跡には現われないが推察されるからである。

踵点離地時、踵点接地時には着靴パターンによる差はほとんどないが、踵点最高位ではP1とP2が77°前後であるのに対し、P3では64.5°と足首角度は小さくなり足関節を屈曲して歩容となった。

## 3) 階段降り

階段下降時の足首角度の変化は、踵点が接地してから足関節は立脚期において徐々に屈曲していて、P1、P2ではいずれも屈曲の角度も速さもほとんど同程度であったのに比べ、P3では、2コマほど早めに屈曲から伸展に移行し、遊離脚期には、伸展の仕方が着靴パターンにより異なった。足関節が大きく動いたのは平坦地の走・歩行、階段上昇時と同様P1であった。最大角はP2やP3が90°であるのに対し、110°を超えることもあった。また、平坦地歩行・走行時と同様、足首角度の最大値と最小値の差が最も大きくなったのはP1の71°であり、P2・P3ではいずれも約50°であったことから、P1は足関節を使った歩容をしていたといえる。接地・着地時の足首角度は着靴パターンによる差異はほとんどみられなかったが、P2は踵点最高位点では60°を示し、背屈が大きいことがわかった。

## 4) 坂道上り

上り坂道での足首角度の変化は、踵接地から離地にかけて緩やかに減少し、踵離地からはパターンにより角度差がみられた。一歩行周期中の最大角と最小角の差はP1で25°、P2で19°、P3で



25.5°、P 4で29°、P 5で28°となったがそれらの差は他の歩行環境と比べると小さかった。踵点離地直後における足首角度は全パターンにおいて60°台でほとんど差はないが、踵点最高位点や接地点においては、紐靴のP 1～3は15度前後の差で小さかったが、マジックテープのP 4と5はいずれも30°の差が見られた。

#### 5) 坂道下り

下り坂道における足首角度の変化は上りと同様に、遊離脚期においてパターンごとの差が現われ、特にP 2の足首角度が小さく、遊離脚期には背屈させる傾向を示した。踵離地点・踵点最高点・踵接地点を比較すると、離地直後はパターンによって足首角度が異なったのに対し、接地直後はほとんど同じであった。

#### 6) 平坦地走行

平坦地の走行において、1 走行周期中の最大角と最小角の差が大きいのは、歩行時と同様、P 1であり、他のパターンよりも足関節を大きく動かしていることがわかった。離地直後には、靴の大きさに起因すると考えられる角度差が見られた。すなわち踵点が離地するとき、P 1、2に比べてP 3は足首角度が大となったことは、大きい靴は靴の内部で足部が前後に移動し、蹴り出しが甘くなったと考えられる。他方、ジャストサイズの靴（P 1、P 2）は、足首の屈伸の自由度を妨げることなく「あおり」を助けるといえる。

今回の走行実験は、走行速度を日常生活の中での小走りをイメージして設定した。佐々木<sup>20)</sup>らによれば、「走行が歩行と異なる点は、両足がともに接地している時間が無く、逆に両足が同時に空中にある滞空時間が認められることである。」また、ランニングとジョギングでは「その移動速度に伴う足の着地時間と空中時間の比率が挙げられ、その比率はジョギングでは95～70%：5～30%、走行では55～60%：45～40%になり、ジョギングでは両足空中時間よりも片足の着地時間が圧倒的に多い走行として捉えられる」としている。本実験では『走行には歩行に見られるような「あおり」は見られない』<sup>20)</sup>とされているのとは異なり、歩行に近い結果となった。本実験よりも走行速度を速くすれば「あおり」のみられない踵から足先まで直線的な接地をするようになることが予測されるが、成人と成長期との相違の検討も課題として残る。

#### (2) 接地期の下腿のスティックピクチャーおよび膝・踵・足先の軌跡

まず、はじめに踵点が接地してから足先点が離地するまでの踵点と足先点の軌跡について検討した。本論ではこの間の軌跡のカウント単位をコマと呼び、軌跡がある地点から別の場所へ動いた後に上下前後方向へ小刻みに動く場合を「動揺」、動かない場合は「移動」とする。

##### 1) 平坦地歩行

P 1では6コマ目、P 2では5コマ目、P 3では4コマ目で足先点が着地した。つまり、平坦地歩行時のP 3は短時間で足部全体が着地するといえる。P 1、2では接地した直後の2コマ目において、踵点が前方へ移動した。しかし、P 3では踵点が次に離地するまでの間、移動は見られないという特徴が見られる。P 1では踵点が接地してから足先点が接着地するまでの時間が最も長く、支点の踵もわずかに移動した。

##### 2) 階段昇り

平坦地では踵から接地していたのに対し、階段上昇では足部全体で接地していた。接地時の膝点は、P 1、2では踏み面と平行に動き、P 3では2コマ目まで平行に動いた後、わずかに下降した。踵点はP 1、3の留め具をフィットさせてはいた場合においては、動揺が見られなかったがP 2では2コマ目で足軸方向に対して内側（図では上方）に移動していた。また、P 3では接地期には足部はまっ

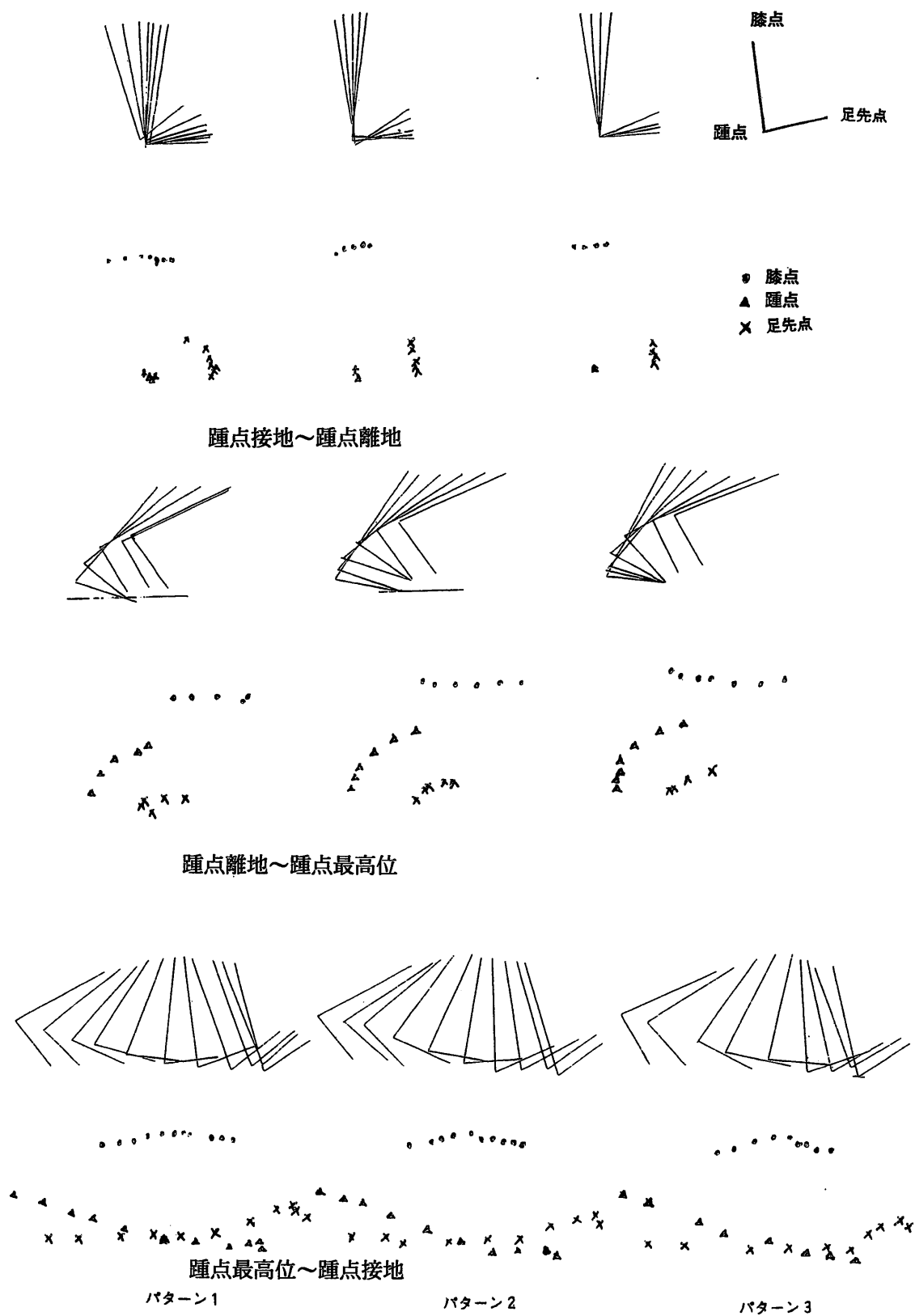


図5 平坦地歩行時の下腿のスティックピクチャー

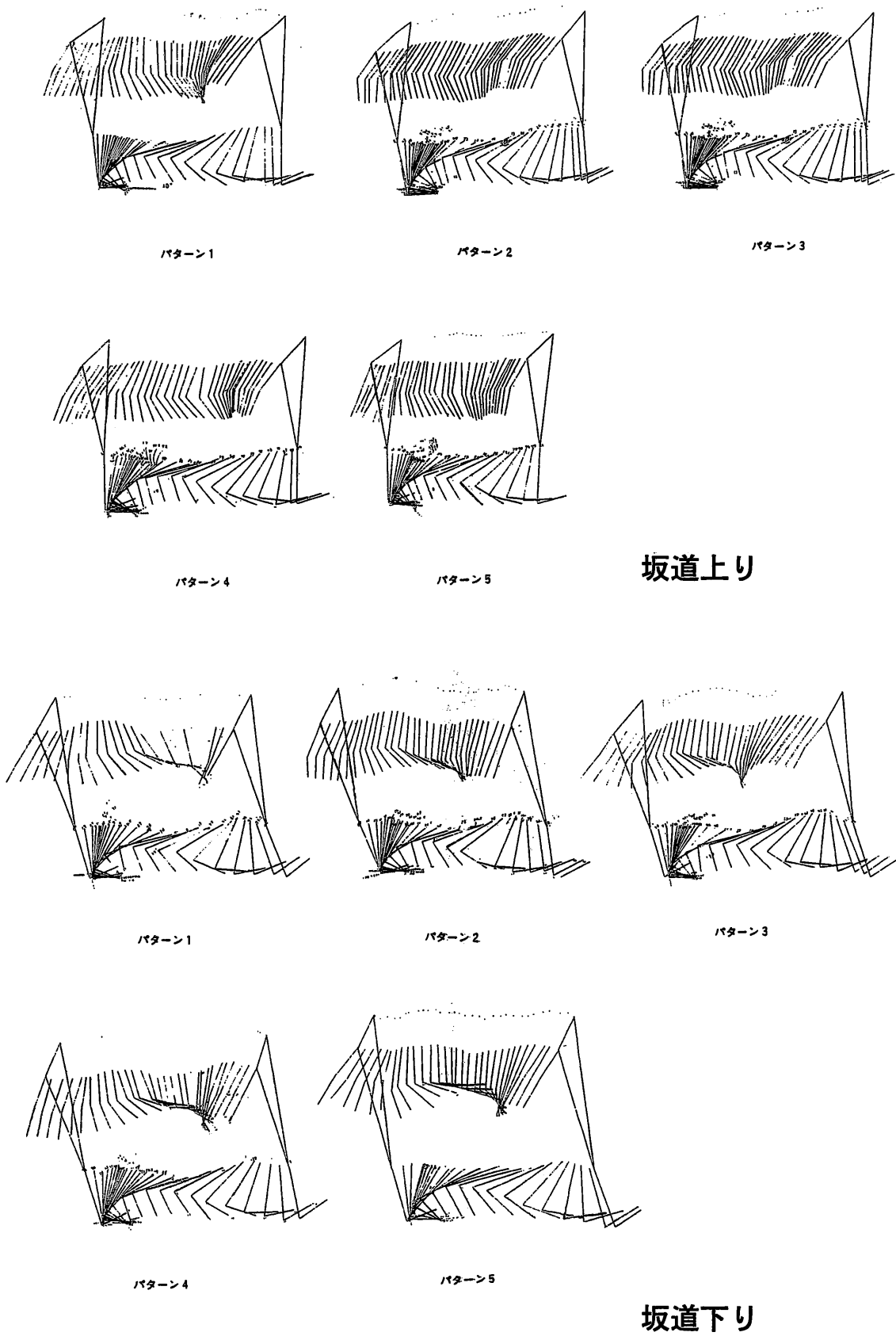


図6-1 右側面から捉えた上体と足首角のスティックピクチャーと上体の捻り

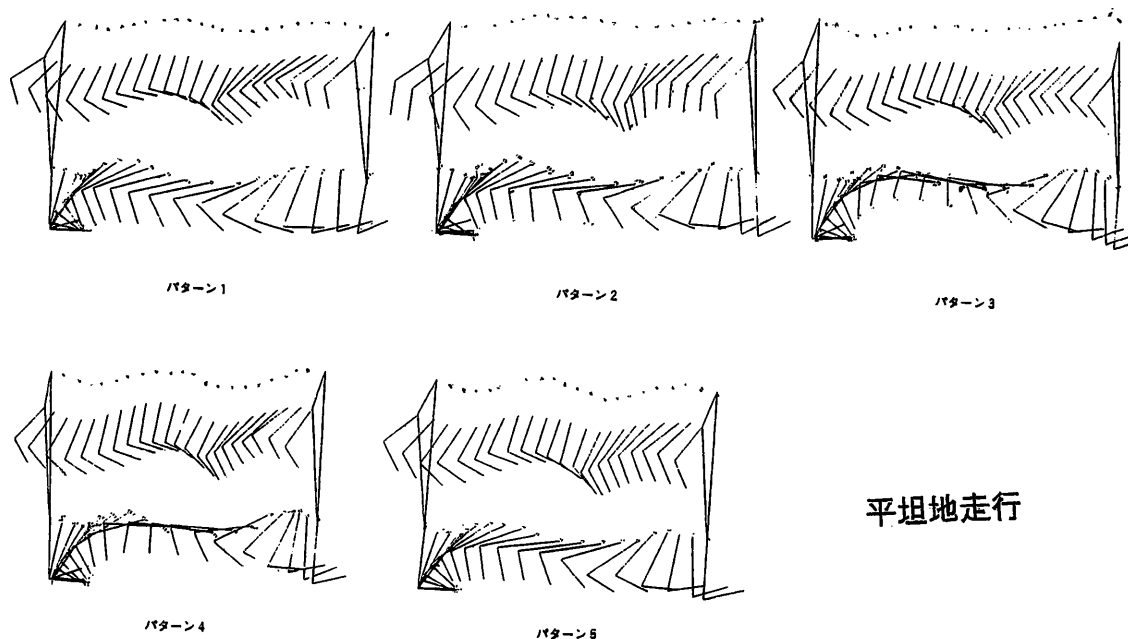


図6-2 右側面から捉えたスティックピクチャーと上体の捻り

たく動かなかったが、この間の膝点の前方へ動く量は最も大きくなった。このことから、膝を動かすことによって推進力を得ようとしていると推察される。

### 3) 階段降り

P 1と2では踵点や足先点の軌跡が異なっているにもかかわらず、膝点の動きが似ており、徐々に下降していった。その中でP 3では他と同じような下降をしなかった。また、昇り時と同様に踵点が動いていなかった。ふつう、歩行時に下腿を前方に振り出すために膝の屈曲・伸展を利用するが、1サイズ大きい靴では、足部が靴の中で移動していることによって、膝点に力がかからない歩容になったと考える。ジャストサイズの靴では爪先の余裕が適度であり、P 3のように足部が靴の中で動くことはない。よって膝の動きで歩行の推進力に対応しているといえよう。

### 4) 坂道上り

P 1、2、3ともに4コマ目で足先点が着地した。つまり同じ速度であった。P 1では着地後、踵が離地する直前の13コマ目までは足先点の動揺は見られなかったことと、踵点においては2～6コマではまったく動揺は見られず、7コマ以降もほとんど変化はないといえ、いずれも歩容が安定していることがわかった。P 2では足先点は着地後は11コマめまでは動揺が見られなかったが、12コマ目で足軸方向に対して外側（図では下側）に動いた。踵点は2～6コマでは動揺が見られなかったが、7コマと13コマにおいて足先点とは反対に足軸方向に対して内側（図では上側）に動いた。足先点と踵点の内外のこれらのぶれは同時には認められなかった。P 3では足先点の接地直後の5コマ目で足軸方向に対して内側にわずかに動いている。このとき、踵点が外側に移動しており内股ぎみになっていることが推測される。さらに1と2、4と5、8コマ目においてわずかつ内外に動揺していた。これは、P 1・2には見られなかった小刻みの動揺である。P 4では、着地後足先点は9コマ目まで移動はなかったが、10・11コマ時点で足軸方向に対して内側に移動した。踵点は2～6コマでは変化は

見られず、7コマ目にわずかに内側に移動した。P 5では他の4パターンより1コマ早い3コマ目で足先が着地し、着地後、6コマ、11コマ目でわずかに移動した。踵点は、2・7・10コマ目において動揺した。

踵点の動揺は大きいサイズで顕著に見られるので靴の大きさに起因すると考えられる。

これらの踵接地時の足先と踵を結んだ線分（スティックピクチャー）と接地面がなす角度は、全パターンとも同じ20度であった。

#### 5) 坂道下り

P 1と2は4コマ目で、P 3～5は3コマ目で足先点が着地し、足先までの着地に至るまでの時間差があった。P 1では着地後、踵が離地する直前の9コマ目まで足先点の動揺はなかった。踵点は2～6コマではまったく動揺は見られなかったが、7コマ目にわずかに内側に、8コマ目に前方に、9コマ目に外側にと多様な動きが観察された。P 2では、着地後、足先点は10コマ目までは動揺が見られなかったが、10コマ目で足軸方向に対して内側（図では上方）に動いた。踵点は2～9コマでは動揺が見られなかったが、10コマにおいて足軸方向に対して内側に動いた。P 3では接地時において足部がはやく大きく動いていた。接地後、足先点は6・8コマ目で足軸方向に対して外側にわずかに動いている。踵点は2～5コマ間では変化はなかったが、6と9コマ目で徐々に内側に移動した。このことは、6コマ目は踵と足先が連動して内側と外側に移動し、ついで足先点が8コマ目で外側に移動したのに対し、踵点のほうは1コマあとから内側に移動したことになる。P 4では足先点が着地後4コマ目に動き、踵点は2・3コマでわずかに動いたが4～8コマ間では変化が比較的少なかった。P 5では足先点の着地後、6コマ目と11コマ目でわずかに移動し、踵点は、2・7・10コマ目において動揺した。

次にこれらの軌跡において、踵が接地した時点での足先－踵を結んだ線分（スティックピクチャー）と接地面がなす角度は、P 1が22°、P 2が33°、P 3が29°、P 4が25°、P 5が30°となり、パターンにより異なった。特にP 2の場合には足先を高く上げて接地していることがわかった。坂道を昇るときには見られなかった歩容であり、下りの坂道の歩行ではそれだけ足首への負担が大きいことがわかる。また、いずれのパターンにおいても踵が接地してから、足先点が接地すると同時に踵点が移動していた。これは、踵接地から足先接地にかけて身体全体の重心が前方に移るのにもとない足部にもその影響が及んだと考えられる。実験場所の接地面はコンクリートで、滑りにくい。坂道は接地面が斜面であるという点で接地面がほぼ平行である階段下降時とは異なる接地要因があり、特にフィット性が必要とされることがわかる。

#### 6) 平坦地走行

P 1では、接地後2コマ目で足先点が着地し、その後、足先点および踵点は踵点が離地するまでの2～5コマ間ではまったく動揺は見られなかった。P 2～5では3コマ目で着地した。P 2の足先点は着地後、6コマ目までは動揺は見られなかったが、7コマ目で足軸方向に対して外側に動き、踵点は1～3コマでは内側に動いた。踵が5コマ目で離地したとき、P 1より低い位置にあった。P 3は着地後の4・5コマでは変化はなく、6コマ目で外側に動いた。踵点は4コマ目に外側に移動した。このとき1コマ目と4コマ目の距離は大きかった。P 4と5では踵が接地してから、3コマ目に足先点が接地するのにもとない踵点が足軸方向に対して前方に移動した。平坦地走行時には5パターン中P 3～5で踵点が最初に接地したあとの移動が見られ、接地面上で靴底が滑っていることがわかった。今回の実験の速度は小走りを想定しており速度はゆっくりであるが、通学靴は体育の授業などでも使われ同じ靴で速く走る場合もある。接地期における靴底の移動は速度にも影響を受けられる。

踵が接地した時の足先-踵を結んだ線分と地面がなす角度は、P 1が17°、P 2が10°、P 3が27°、P 4が19°、P 5が17°で地面と足部の角度のパターンによる差は最大17°にも及ぶことがわかった。踵接地時に足および靴に対する重心位置が後方にあるため、特に靴の踵部は重心に対して制動的に働くことになる。制動がうまく働かない場合には、踵が前方へすべり、転ぶことになる。そのため、靴のヒールにはこうした制動性の良さが要求される。1サイズ大きめの靴の場合、靴底の制動性がよくても内底で踵が前方に滑ることがあり、安全性が劣る。接地期で重心が足の真上を通りすぎ、足および靴に対して前方へ移動すると、蹴りだし時に歩行面を蹴る力は重心に対して推進力を与えることになる。石塚<sup>22)</sup>は大きい靴を履いた場合について「趾先に過重な負担がかかり、窮屈な靴と同様、外反母趾になる」といっている。

### (3) 遊離脚期前期の下腿のスティックピクチャーおよび膝・踵・足先の軌跡

平坦地歩行時の膝点の動きは、P 1では地面に対してほぼ水平であったが、P 2と3では接地した直後に少し下がった。また、踵点は、P 2と3ではP 1よりも高く上昇しており、この両者の動きは膝点との関連が考えられる。

階段昇降時のP 1では他に比べ、踵点が垂直に上昇していた。階段の昇りでは踵点が離地してから、最高点に至るまでに特徴が見られ、階段下降では、その後の踵点接地に至るまでの間に特徴が見られることがわかった。階段では、平坦地歩行とは異なり、踏み面・け上げの高さなどと、足の動きを制限する条件が生まれてくるのでこれに起因するところは大きいと考える。階段下降時の膝点・足先点の動きは3パターンとも同様であったが、踵点においてはP 1が斜め上方へ緩やかな上昇であったのに対し、他のパターンでは垂直上向きに離地していた。また、P 3は離地直後の接地面と足部の成す角度が他のパターンよりも大きかった。P 2はP 1、3に比べて速度が速く、コマ数が少なかった。P 1、3では、踵離地から足先離地にかけて下腿の動く速度が緩やかで足先点が完全に離地するとともに速く大きく動き、緩急の差があったのに比べ、P 2には緩急の差はあまり見られなかった。

坂道では、上る時のP 1、3、4の膝点の動きが、階段下降時とほぼ同様で、はじめの5～7コマは遅い速度で動き、足先が完全に離地してから早く大きく動いた。このように、膝点の動きに緩急をつけ、前方へ足を振り出す準備をしていると思われる。これに対し、P 2ではP 1と3より速いという違いがみられた。下り時はP 1～4までの離地直後の踵点のコマ数は多くゆっくりと上昇したが、P 5のみコマ数が少なくコマ間の間隔の大きい速い上昇を示した。同じ時期のP 2～5では膝点の動きがゆっくりなのに対し、P 1では他に比べて速く、接地期における推進との関連とみられる。

平坦地走行時は、P 1と4では留め具の種類にかかわらずフィットさせて履いた場合には、コマ数が少なかった。すなわち踵点離地から最高点に至るまでの時間が短かった。P 2は最もコマ数が多かった。地面から踵点最高点までは、ほぼ同じ高さであったが、最高点に至る直前の数コマはほぼ地面と平行に移動していた。P 1に比べると膝点の高さは上下しており、不安定な様相を示したが、踵点はほぼ同じ高さであった。P 3では地面から踵点最高点間が最も大きく、踵の動きを安定させるために膝点の動きで対応していると考えられる。

### (4) 遊離脚期後半の下腿のスティックピクチャーおよび膝・踵・足先の軌跡

平坦地歩行では、P 3において、着地直前に膝点の上下動が見られた。

階段を昇る時は、P 2では他に比べ背屈が大きくなったが踵点の動きは3パターンともほぼ同様であった。膝点の動きには差異が観察された。足先点はP 1、2が弧を描くような軌跡を描いて着地しているのに対し、P 3は踏み台に対し平行な動きで着地する様相が知られた。

階段下降時、P 1では、P 2、3に比べ、足部が垂直に接地していた。また、P 2、3では踏み面

との距離が小さく、けあげに近いところを通っていた。P 2 では下腿の振り出しの中心（軸）となる時間が遅く、下腿の前方への振り出し幅が大きいことがわかった。

坂道の上がりでは5パターン中、P 3 のみ膝点の移動がほぼ水平で、他は着地にかけて膝点も緩やかに上昇していた。平坦地歩行や階段のように膝点の軸のような動きが見られない場合が多かった。平坦地や階段では膝点の動きの速度を調節することによりその歩行環境に対応しているのに対し、坂道の上がりでは一歩行周期を一定の間隔で動くことによって対応していると考えられる。

坂道の下りでは、P 1 と2の着地直前の動きが類似し、P 3 は着地地点での足部と地面の成す角度が大きく、背屈して接地していることがわかった。上りには見られなかった膝点を軸とするような歩容が見られた。

平坦地走行時には、P 2 ～5が膝点を固定的な軸とするような動きをしているのに対し、P 1 では膝点の動きが大きく、着地する際は緩やかに下降していた。

階段では昇りと降りで3区分それぞれのコマ数に違いがみられ、昇りでは、接地期のコマ数が2～3コマであるのに対して、降りでは9～10コマで昇りより多かった。つまり接地期では階段の昇りより降りの方が時間がかかるといえる。しかし、階段では他の歩行環境に比べると遊離脚期後半のコマ数が少なく、踵点が最高点に達してから接地するまでの時間は、相対的に短かった。坂道上がりでは3区分中のそれぞれのコマ数に大きな違いは見られなかった。

接地期のコマ数は、階段が2～3コマであったのに対し、坂道では11～16コマで、離地までの時間は明らかに長かった。これは、坂道の場合、接地面が斜面であるので、蹴り出すときの足部の動きが大きくなるため、時間がかかったことに起因するといえよう。

留め具の違いに起因する靴の中の足の自由度に関連して、ミズノスポーツシューズ研究会によると『歩行中の足の変化は、単に立っているときの変形とは随分異なっていて、足の外側（中足趾関節部）が内方に押され内側は前方に押され、従って趾全体が内前方に突出した形で伸びている。足に全体重がかかったときには、約5mm程度のび、体重が趾先に加わったときには、趾幅（母趾と小趾とを結ぶ距離）は約1cm程度広がる。加えて重力の問題で容積も変化するので「靴甲」もその変化に合わせて大きくなる機能を持っていなければならない。』としている。つまり、「靴甲」には柔軟性が要求される。しかし、いくら柔軟性のある靴甲であっても、足形の個性に適合し、しかも適当な圧力で足を包み込むには限度がある。そこで、この微妙な調節を受け持っているのが「靴紐」であって、単に靴を履いているときに足が抜け落ちないようにする役目だけでない。本実験で使用したP 4、5の靴は、一枚の平面状の面ファスナーで留めるタイプである。この靴は甲部を固定しようとする場合、甲の最も高い位置もしくは足幅の最も広い位置でマジックテープをあわせてとめることになる。従って、甲の隆起に沿って固定できないので、マジックテープと足の甲の間には必然的に隙間が生じてしまう。これに対して紐靴は、足の甲の形態に合わせて紐の締め具合を調節することにより、マジックテープでは得られないフィット感を得ることができるといえる。

真家<sup>17)</sup>は「足に体重をかけないときと両足に均等に体重をかけたとき、あるいは片足に体重をかけたときでは足長にして約3～5%（本実験の被験者の場合6.6mm～11.0mmとなる）程度異なる。歩行時に足が空中に浮いているときには体重をかけないときと同様、足長は短くなり、地面についているときには、片足加重したときと同様、足長は長くなる。」としている。従って、大きめの靴の影響が出やすいのは、一歩行周期の中でも、遊離脚期ということになる。「実際の歩行時には、踵接地と爪先蹴り出し時に体重の約120%程加重されるので、足長はそれだけ大きくなっている。さらに走った場合には加重時に体重の2倍以上も加重されることがあるので、足長はそれだけ大きくなってくる。」

これにより、靴の中でも足の大きさと靴内部の大きさととの差も増減を繰り返しており、ジャストサイズの靴よりも1サイズ大きい靴で、その差も大きくなる。

### (3) 体幹の回旋について

人間が歩行時に腕を振るのは、体幹の回旋に対抗する働きによるとされるので、一歩行周期の起点と終点では腕の位置はほぼ同じ位置にあるといえよう。このことから、本論では、一歩行周期の第1コマおよび、最終コマにおける肩先点a・頭頂点b・膝点cを結び三角形をつくり、頭頂点bから底辺acにひいた垂線の長さの増減を着靴パターンごとに比較し、腰のひねりの程度や上体の動きについて検討した。

P1は、平坦地歩行時とそれ以外の歩行環境では違いがみられた。平坦地歩行時には肩先点と頭頂点と膝点を結んだ線分の距離は短くなった。それに対し、他の歩行環境ではいずれの場合も一歩行周期の起点と終点においては距離の差異はみられず、安定した歩容であった。

P2は、階段昇降と坂道の上昇時には起点と終点の三角形の高さはほぼ等しく、上体の安定した歩容であったが、平坦地での歩行・走行および、下り坂では起点と終点の高さは異なり、上体が不安定であった。

P3は、平坦地を除くすべての歩行環境において、起点と終点の三角形の高さは異なり、上体が不安定な歩容となった。

P4と5は、平坦地の走行において上体が不安定になった。

正常歩行では、各分節はその長軸に関してある程度の回旋運動をとらない、骨盤・大腿骨・脛骨の内旋は体重負荷がまったくない遊離脚期から始まり、立脚期の初期に体重が完全に負荷されるまで続くとされ、最も内旋が強いのはこの立脚初期で骨盤の回旋は相対的に少なく、脛骨が最も大きな回旋をする。内旋から外旋への急激な変化は立脚期の初期に体重が負荷されるときに起き、外旋は遊離期の始めまで続く。外旋は足および足関節から始まり、脛骨、大腿骨へと中枢側に波及するといわれる。

上体のひねりは、靴の大きさに起因するところが大きいと考えられ、大きい靴を履いた場合には上体を主とする全身でバランスをとろうとして、負荷も大となる様相が捉えられた。

## IV 総 括

多様化した個の生活において、二足歩行というヒトだけがもつ能力を損なうことなく成長期の諸機能の発達や身体を成長を保証し、生活者として必要な生活活動を維持することに寄与する基礎的資料を得ることを目的に考察を試みた。児童期の足部の成長や発達を考慮し、生活活動に適した靴選びや靴の履き方についての衣生活の営みに必要な知識・情報・方法に関する知見は、家庭や学校教育における成長・発達期の児童の生活環境の向上にも資するものとする。

得られた主な結果は、以下のとおりである。

1. 靴の履き方の違いの影響は、一歩行周期中の遊離脚期において顕著に現われることがわかった。
2. 階段と坂道では歩容に顕著な違いがみられ、階段は蹴上げの高さや踏み面の奥行きが歩容の限定要因になることによって着靴条件間のバラツキや差が小であり、坂道の方が着靴条件によって違いがみられることがわかった。
3. マジックテープを留め具とした調節は、紐での調節より全身の上下動が大きかった。
4. ジャストサイズの靴を履いても、甲をルーズフィットで履いた場合は、下腿の動きで調節していることがわかり、身体への負荷が大きくなることがわかった。階段でも坂道でも下りにおいて、踵点最高位において足首を背屈させる傾向を示し、足首への負荷が大きくなるといえた。



5. 1サイズ大きい靴では、甲を留め具でフィットさせた場合、上体を捻って全身で対応して動き、全身への負荷の大きい歩容であることがわかった。足首角度が大きくなり、靴の内部で足部が前後に移動し、蹴りだす力が甘くなっていることが推測された。

以上のことから、靴のサイズは体幹の回旋に、履き方は下腿各点の動きに、留め具の種類は身体全体の上下動に影響することがわかった。本研究は甲部を紐で留めたときのフィット性が得やすく調節しやすい靴の開発の際の基礎資料となる。さらに子どもの成長発達のための生育環境改善にも寄与するものである。きちんとした着靴により得られる安定は児童の足部そのものの発達および運動機能の発達を促すことを児童と関わる人達が認識することの大切さが明らかにされた。

そこで日常生活において欧米より履物の着脱回数が多い居住様式であることから、生活環境を着脱しやすい高さや広さなどのスペースを確保するように改善したい。上履きや体育館シューズなど、一日に何回も履き替える機会の多い小学校校舎の玄関は、低学年から高学年までどの学年の児童も腰をおろして靴の留め具の調節をしやすい構造にすることが望ましい。成長期の児童に対して、靴の履き方を生活習慣として日常生活において身に付くように指導することなどを提言する。

## 引用文献

- 1) 近藤四郎：「ひ弱になる日本人の足」 草思社 pp.58-59 (1993)
- 2) 古藤高良：「健康なジョガーになるために 2本の足は2人の医者」 同文書院 (1986)
- 3) 新井清三郎, 上田礼子：「リハビリテーション医学全書2 人間発達」 医歯薬出版株式会社 (1972) p.73
- 4) 山本明子, 今松禮子：「履物設計の為の足型研究(第1) -足跡採取と足部計測に基づく幼児の足跡特製-」 繊維製品消費科学誌 31, 5, p.232
- 5) 山本明子, 今松禮子：「履物設計の為の足型研究(第2報) -個人追跡による幼児の足の成長量について」 繊維製品消費科学誌 31, 5, p.249
- 6) 後藤万里, 高橋あきら, 富田 守, 木村 賛：「ヒトの歩行における足の力の主な動的変化」 人類学雑誌 77, 1, pp.1-14 (1992)
- 7) 木岡悦子, 古田幸子他：「歩き始めの子を対象とした靴設計に関する基礎的研究 第1報」 家政学会誌 47, pp.357-368 (1996)
- 8) 小林和敏, 内藤耕三, 永田恵理：「ランニングシューズの適合性に関するバイオメカニクス的研究」 中京大学体育研究所紀要 12, pp.39-42 (1997)
- 9) 福岡正信：「シリーズ ヒューマンテクノロジーの時代 -靴の適合性と機能評価」 繊維製品消費科学誌 34, 2, pp.54-60 (1995)
- 10) 大村知子, 春日 綾, 浮海理江：「幼児の靴と摩耗と歩容について」 静岡大学教育学部研究報告(自然科学篇) 48, pp.83-99 (1998)
- 11) 猪又美栄子, 清水 薫, 日野伊久子, 加藤理子：「着衣による動作の拘束-歩行と階段昇降への影響-」 家政学会誌 41, 1, pp.43-50 (1990)
- 12) 猪又美栄子, 加藤理子, 清水 薫：「筋電図・関節角度の変化からみた衣服による動作拘束-タイツスカート-」 家政学会誌 43, 6, pp.559-567 (1992)
- 13) 福井弥生, 奥村 董, 畠山絹江：「靴設計に関する研究(第2報) -靴履用による下肢部の形態変化-」 生活造形 京都女子大学生生活造形学科 41, pp.37-43

- 14) 笹本信子：「足の着地期・離地期からみた和装時の歩容に関する研究」 家政学雑誌 37, pp.695-704 (1986)
- 15) 春日 綾, 大村知子：「児童の靴の大きさと着靴と歩容の関係」 日本家政学会第50回総会研究発表要旨集 p.60 (1998)
- 16) 乗松敏晴, 藤田雅章, 松阪誠應他「歩行の再現性について」 整形外科バイオメカニクス 3, pp.42-45 (1981)
- 17) 富田 守, 真家和生：「生理人類学」 朝倉書店 (1994)
- 18) 水口実一：「靴ものがたり」 ダイアモンド社 (1989)
- 19) 松阪誠應, 藤田雅章, 山口和正 他：「正常歩行時の床反力側方分力 歩郭、歩方角、距骨下関節との関係について」 整形外科バイオメカニクス 4, p.19 (1982)
- 20) ミズノスポーツシューズ研究会：「スポーツシューズの本」 ミズノ (1992)
- 21) ジェラルド・ドナルドソン, 西谷れい子：「ザ・ウォーキングブッカー戦う足ー」 株式会社ランナーズ (1989)
- 22) 石塚忠雄：「足は偉大だー脳とからだに効く歩み学」 pp.199-200, 家の光協会 (1997)