

# 下肢に及ぼすシューズの反力や硬さの影響

Effect of Reaction Force and Hardness of Shoes on Lower Limb

河西彩香 \*1)、辻 毅一 \*2)、久保雅昭 \*3)、河崎賢三 \*4)

- 1) 桐蔭横浜大学工学部医用工学科 (現: ARC Medical Support 株)
- 2) 桐蔭横浜大学医用工学部臨床工学科
- 3) 横浜総合病院リハビリテーション科
- 4) 横浜総合病院スポーツ整形外科

(2006 年 2 月 28 日 受理)

Key word : Sports Engineering, Running Shoe, Shoe's Reaction Force, Sole Hardness, Lower Limb

Running Shoe sole has an important role to absorb the external impact forces that transmitted from the running surface. Especially, the impact force occurred on the runner's heel is about 3 times of the runner's weight. The subjects consisted of 10 young men (21-24 years.) . Walking at the most comfortable speed (normal walking ) was measured using the walking pattern measuring system. The three kinds of shoes are the futsal , sneakers and basket shoes. From the measurements, the mechanical properties of each shoe, reaction force of shoes, sole hardness, are extracted to investigate the effect on lower limb. As the result, reaction force of sneakers almost showed proportional relations, and that of futsal shoes was rapidly increased from angle 80° to 90°. In addition, reaction force of basket shoes showed about constant value from angle 60°. Hardness of out sole decreases from heel to outer foot and to inner foot. It, however, increases from inner foot to the tiptoe. This seems to cushion the impact and, at the same time, save kicking force to the next step.

## 1. 緒言

8 年後の 2013 年には高齢化率は 25% を超え、4 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者と言われ、本格的な高齢化社会を迎えようとしている。最近、健康増進に関する情報が多く目に付き、特に、高齢者の健康増進について 1) 自立して活力のある生活、2) 栄養・食生活・生きがい、3) 健康増進・社会福祉、4) 疾病・治療から予防へと等が示されている。高齢社会を迎え積極的に社会参加するためにも文字通り立脚し歩行する“自立”は必要である。その中で現在、ウォーキングが健康志向に拍車をかけブームになっている。内閣府 (2004 年 10 月発表) の体力・スポーツに関する世論調査によると、この 1 年間に行った運動・スポーツの種目を聞いたところ、ウォーキングをこの 1 年間で行った人は 1994 年から

2000 年にかけて、年々増加し、2004 年 2 月発表では、1 年間で行われたウォーキングの割合が 38% であることがわかった。さらに、年齢差で見るウォーキングの割合では、20 代を除いて各世代で 1 位となっており、幅広い年代に広がっていることがわかる。ウォーキングはもともとエクササイズ(鍛錬)ウォーキングという名の、アメリカで生まれたスポーツの名前である。従って、サッカーやバスケットボールと同様に一定のルールや正しいフォームがある。しかし、わが国ではウォーキングはどちらかと言えばハイキングに近い意味になっている。

人間が一生に歩く距離は約 11 万キロメートルと言われている。歩く時に足が受ける荷重は、一歩につき体重の約 1.25 倍の重量である。又、足は心臓や脳から一番遠い位置にあるため、血流の流れや神経の伝達が届きにくく、歩く時の足の変化によってポンプの役

目となり血行を良くしていることから「第二の心臓」と呼ばれるほど重要な器官である。このことを経験するのは例えば、長時間飛行機や車や長距離バス、新幹線内で同じ姿勢で座り詰めの場合に発生することがある。長時間の座席に座ったままで足がうっ血状態になりむくんだ状態いわゆるエコノミー症候群である。これは足が心臓から最も遠いところにあるために心臓のポンプ作用だけでは血液が十分に補給できないために起きる。又、足には全体重を支えるためにいくつかのアーチを形成しており、それらのアーチは地面からの衝撃を吸収したり、地面を蹴る時のバネの役目をしている。体の中で重要な働きをしているにもかかわらず、意外と軽視されがちな土踏まずであるが、これは人間の基本動作である歩く、立つという動きにとって、非常に重要な働きをしている。このように3つのアーチの働きによって足の動きが安定し体全体のバランスを保っている。これらは、歩くことによって刺激を受けるので歩かなかったり、歩き方が悪かったり、指、土踏まず及び踵などの足の機能が十分に行えないような状態に

あると健康に支障をきたすことがある。又、合わないシューズを履いていると足、関節の怪我をし、姿勢や血液循環を悪くしてしまい、大きな病気の原因にもなりうる。足部の関節が変形するとそれに伴ってアーチの部分の筋力が低下し、関節のぐらつきが大きくなる。スポーツをする場合には十分な力が発揮できなかったり、脚の障害にもつながってくる<sup>1)</sup>。さらに、わが国の生活様式は室内で靴を履く習慣がないために、歩行、足及びシューズに対する考え方は欧米に比較するとかなり遅れている。

そこで本研究では、身体機能の中で最も基本的な歩行を取り上げ、それと関係の深いシューズと影響を与える足についての関係について検討した。具体的には、シューズが下肢に及ぼす怪我を防止するために3種類のシューズを着用し、歩行時の足圧分布を計測し、アウトソールの硬さと歩行及び下肢に与える影響について調査した。

## 2. 方法

表1 被験者データ

	被験者 a	被験者 b	被験者 c	被験者 d	被験者 e
①身長	170	167.5	170	173	167
②体重	56	63	67	68	56
③利き足	右	右	右	右	右
④スポーツ歴中学	バレー、陸上	バレー	バスケ	テニス	柔道
高校	バレー、陸上、サッカー	バレー	バスケ	テニス	なし
大学	なし	バレー	なし	なし	なし
⑤スポーツは週に何日?	0	3	1	0	0
⑥過去のケガの有無	右足骨折	肩、腰 (椎間板症)	足首	なし	右足親指、 両足小指骨折
計測時の年齢	21	24	22	21	21
履きやすい靴	B	B	B	B	B
	被験者 f	被験者 g	被験者 h	被験者 i	被験者 j
①身長	176	176.5	169.2	183	182
②体重	60	67.5	62.2	63	72
③利き足	右	右	右	右	左
④スポーツ歴中学	バスケット	サッカー、バレー	卓球	水泳	陸上
高校	陸上	なし	なし	なし	なし
大学	バスケット	なし	なし	バレー	なし
⑤スポーツは週に何日?	5	3	0	0	0
⑥過去のケガの有無	なし	右足指、太もも打撲	なし	なし	なし
計測時の年齢	22	22	21	23	21
履きやすい靴	C	B	B	C	B

## 2.1 被験者

被験者は本学の健常な男子学生 10 名である。シューズのサイズ 26.5cm ~ 27cm である。そのデータを表 1 に示す。表中⑥怪我の有無は、過去の怪我について聞いた回答であり、現在の怪我ではない。また、「履きやすいシューズ」についての質問は、歩容計での計測時に各被験者にどの靴が履きやすいか答えてもらった回答である。彼らには測定時における耳鼻・眼科的既往症はなく、全身の関節・骨格筋及び神経学的に異常は認められなかった。なお、測定については研究目的と方法について説明を行い、研究の参加について同意を得てから実施した。



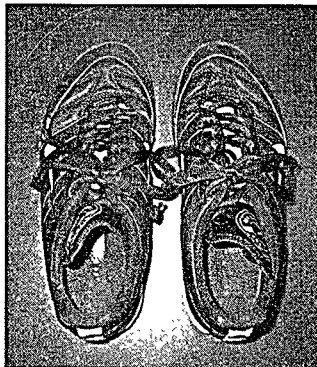
Fig.1 歩行パターン測定システム

## 2.2 検討項目

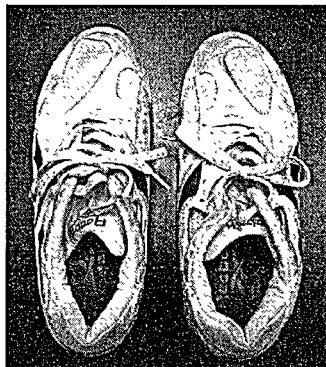
### 2.2.1 歩容計

歩行状態を計測するために、歩容計（歩行パターン測定システム、ゲイトスキャン 8000、ニッタ株式会社製）を使用した。これの特徴はシート状の圧力センサの上を歩行するだけで、足の裏の接地状況を記録でき、生体を束縛することもなく、足の裏にかかる力や歩行パラメータとして歩幅、重複歩幅、歩隔、歩調、遊脚時間及び歩行速度など計 10 項目のデータ収集が可能な装置である。利用分野はリハビリテーション、フィットネス、スポーツ動作分析<sup>2)~5)</sup>（例えば、ジャンプの踏み切り動作<sup>6)</sup>など）に使用されている。Fig.1 にその概要を示す。

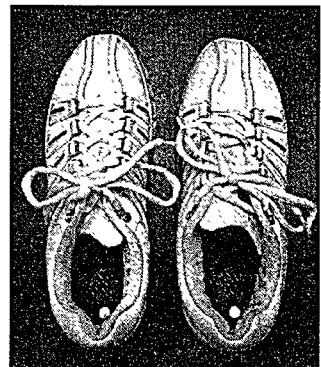
実験は各 3 回計測し、①素足 → ②フットサルシューズ → ③スニーカー → ④バスケットシューズの順で行った。素足の時は、裸足の状態で計測を行った。計測時には以下の点に注意した。被験者に普段の歩行を心がけ、目線の高さに指標を置いて、シートの 2.3m 手前から通り抜けるように歩行してもらった。素足と 3 種類のシューズを被験者 10 名に着用してもらい、歩容計では素足とシューズ着用時の歩行パラメータ、足圧分布及び荷重パターンを比較検討した。使用したシューズはフットサルシューズ、一般的なスニーカー及びバスケットシューズで、それぞれシューズ A、B 及び C とした。そのシュー



フットサルシューズ  
(シューズ A)



スニーカー  
(シューズ B)



バスケットシューズ  
(シューズ C)

Fig. 2 使用したシューズ

ズの写真を Fig. 2 に示す。

次に、歩行時の足の骨に股や内股を調査するため、足圧分布による歩向角を計測した。さらに、被験者の身長差を考慮するために、歩向角（足向角）を除く歩行指標について、身長を 170cm と仮定したときの補正値を求めた。本来は脚長で補正すべきだが、脚長が身長に比例すると仮定して身長で補正した。歩行速度の補正には Froude number (F)<sup>7)</sup>、 $F=V/(gh)^{1/2}$  を利用した。V は歩行速度 (cm/s)、g は重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>) 及び h は身長 (cm) である、この Froude number<sup>1)</sup> は、サイズの差を消去した場合の速度を意味する係数である。本研究では、この係数を利用し、被験者の身長を 170cm と仮定した時の速度の補正値は計測した歩行速度に  $(170/h)^{1/2}$  を乗じて算出した。歩幅は計測した歩幅に  $(170/h)$  を乗じ、歩調は計測した歩調に  $(h/170)^{1/2}$  を乗じて補正した。

### 2.2.2 シューズの特性

歩行時の蹴りと、靴の反力にはどのような関係<sup>8)~12)</sup>があるのかを調査するため、オートグラフ (AG-5000B、島津製作所) を用いて Fig. 3. に示すシューズの特性実験を行った。シューズの屈曲点にマーカーを貼り、シューズの先端に荷重を加え反力 R を求めた。角度 ( $\theta$ ) はデジタルビデオカメラを用いて撮影をし、その画像をパソコン上で角度を計測した。

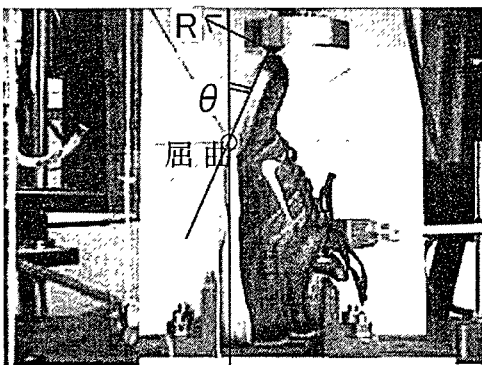


Fig. 3. オートグラフによるシューズの特性実験

### 2.2.3 アウトソールの硬さ計測

歩行する場合、踵でしっかりと着地し、土踏まずの外側からつま先へと体重を移動しながら、最後に親指で地面を蹴る。この事がアウトソールの硬さにどの程度の影響を与えるかを調査するためにゴム硬度計 (高分子計器株式会社製) を用いて計測をした。計測部位は各 10 回ずつ行い、その平均値を求めた。

## 3. 結果とその考察

### 3.1 歩容計による歩幅、歩隔、歩行速度及び歩向角との関係

自由歩行の速度が加齢に伴い低下<sup>13~17)</sup>し、直接関係する因子に歩幅と歩調があり、両方が低下する報告<sup>13~15), 17), 18)</sup>と歩調より歩幅の方が低下が大きいという報告<sup>14), 17)</sup>と、歩幅は低下するが歩調は低下しないという報告<sup>13,19,20)</sup>がある。いずれも歩行速度の低下は歩調より歩幅の低下の影響が大きいことを示している。そこで、ここでは歩幅に注目し、それと関係ある因子との関係を考察した。右足から左足の一步の場合、シューズを着用すると、素足時より歩幅、歩隔が広くなり歩行速度が上がるのがわかる。そこで、①歩幅と歩隔、②歩幅と歩行速度、③歩隔と歩行速度、④歩幅と歩向角にはどのような関係が成り立つのかを調べた。Fig. 4 に歩幅と歩隔との関係を示す。この関係ではシューズ A、B 及び C の相関係数はそれぞれ 0.087、0.19 及び 0.01 で相関性が見られないことがわかった。また、バスケットシューズ C 靴は被験者によって

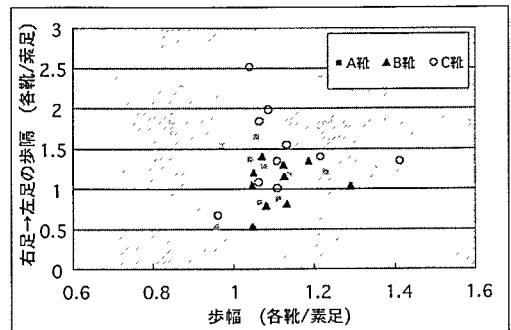


Fig. 4 歩幅と歩隔との関係

ばらつきが大きいことがわかった。

又、シューズの相違による歩行速度と歩隔の関係でも、A靴、B靴及びC靴の値は、0.066、0.28 及び 0.017 で相関性がないことがわかった。それを Fig. 5 に示す。また、バスケットシューズC靴着用時では、歩行速度はあまり変化していないが歩隔にばらつきが認められた。

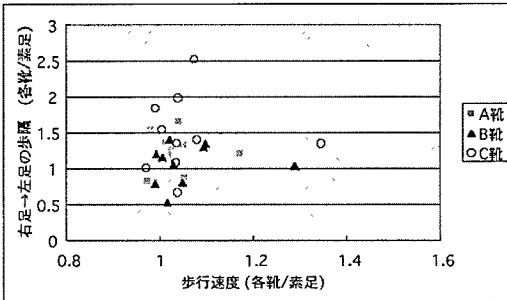


Fig. 5 歩行速度と歩隔との関係

次に、歩幅と歩行速度との関係を Fig. 6 に示す。各シューズの相関係数はシューズA、B 及び C の値は、0.77、0.91、及び 0.81 で、どのシューズも強い相関があり、その中でスニーカーのシューズBが一番高い値を示した。シューズBは本来の歩行に適したシューズであり、歩幅が広がると、歩行速度が増加するシューズと言える。この事は実験時に多くの被験者がシューズBに対して「これは歩きやすい、土踏まずのところにフィットしている」という意見がよく聞かれた。これは土踏まずにうまくフィットし、歩き易さにつながったのではないかと考えられる。又、

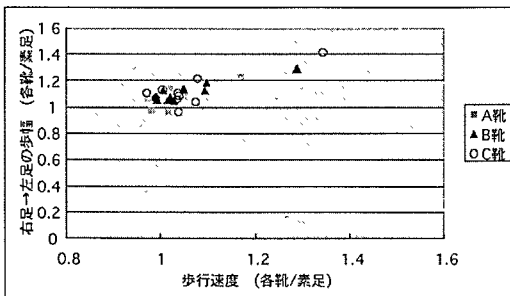


Fig. 6 歩幅と歩行速度との関係

土踏まずをサポートすることによってアーチが強化し、歩幅が広がったことも考えられる。他のシューズA、Cでも歩幅と歩行速度に関しては強い相関を示し、歩行にほぼ適したシューズと言える。

次に、Fig. 7 に左足から右足に踏み出した歩向角と歩幅との関係を示す。左右の歩向角（足向角）について足圧分布による約440歩分の平均歩向角を計測した結果、ほとんどの被験者が外側へ足が開いていることがわかった。又、右足より左足の歩向角が大きい。これは、左足の方がガニ股の被験者が多いと言える。特に、素足時に歩向角が大きい被験者が目立つ。シューズを着用すると、歩幅が広がることがわかり、また歩向角が狭まることがわかった。そこで、被験者らは、シューズを履くことによって歩向角が狭まり、ガニ股が改善されているのではないかと考え、歩幅と歩向角には関係があるのかを調査した。シューズA、B 及び C の相関係数は0.44、-0.84、及び -0.56であった。これよりシューズBに高い値が示され、歩向角と歩幅に強い負の相関があることがわかる。また、C着用時にも負の相関性があると考えられる。シューズB、Cは歩幅が広がると歩向角が小さくなる結果を示した。またシューズAは着用時の近似値曲線が右上がりのグラフになり、歩幅が広がると歩向角も広がる傾向を示した。

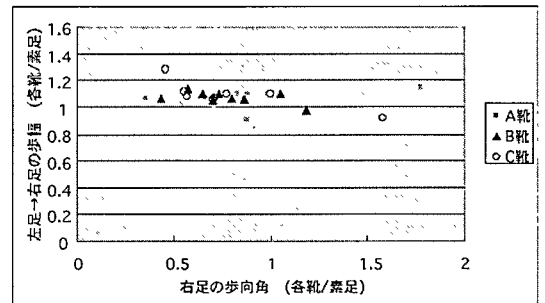


Fig. 7 歩向角と歩幅との関係（左足→右足の場合）

Fig. 8 は右足から左足の場合の歩向角と歩幅の関係を示す。各シューズの相関係数の

絶対値を求めたところ、シューズ A、B 及び C の値は、0.12、0.44、及び 0.20 であった。各シューズとも、低い値を示した。しかし、シューズ B に 0.44 が求められ、やや相関性が見られた。また、シューズ C 着用時では、歩行速度はあまり変化していないが歩向角にばらつきがある結果を示した。以上より、歩行の場合歩向角と歩幅には左足から右足に踏み出しの方が右足からのそれより強い相関がある。特に、シューズ B に顕著な傾向が認められる。

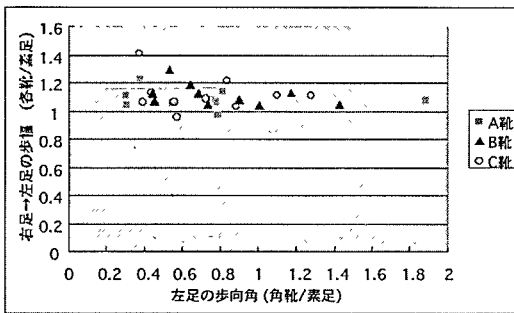


Fig. 8 歩向角と歩幅との関係 (右足→左足の場合)

さらに、荷重パターンについて身長がほぼ同じである被験者 b と特徴ある被験者 e のについて調査した。被験者 e の足圧分布、バランスチャート及び荷重パターンを調べた結果、足圧分布、バランスチャートの結果に大きな差は認められなかったが、歩行では他の被験者と比べてすべてのシューズの着用で歩幅が小さかった。その荷重パターンを Fig. 9、10 にそれぞれ示す。明らかに被験者 e は被験者 b とは異なる結果を示している。

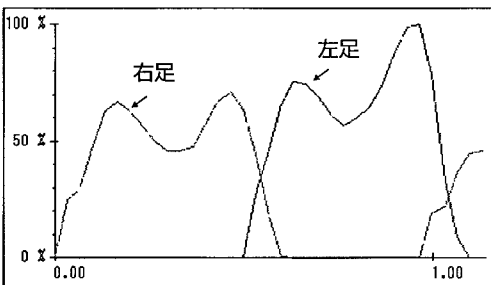


Fig. 9 被験者 b の荷重パターン

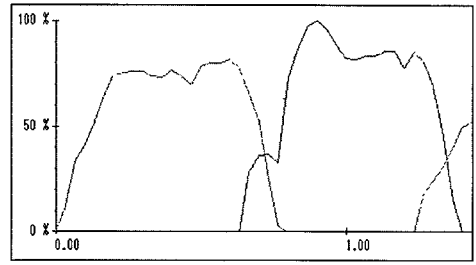


Fig.10 被験者 e の荷重パターン

被験者 b は片足に二つの山があるのに対して、被験者 e の荷重パターンの山はなく、左足に荷重がかかった後、小さな山がある。実験中の歩行観察から、膝が屈曲時に不安定であった。その影響を示していると考えられる。被験者 e の歩幅が小さい理由には、膝が不安定で歩行時の体重移動がうまく出来ないことが原因ではないかと考えられる。

### 3.2 シューズの特性計測

シューズの特性を計測した結果を Fig.11 に示す。ここで、シューズ A はフットサルシューズ、シューズ B は一般的なスニーカー及びシューズ C はバスケットシューズである。シューズのアウトソールから屈曲点までの角度を  $\theta$ 、反力を R とした。シューズ A、B 及び C の最初の反りはそれぞれ 24.4 度、36.7 度及び 36.6 度である。シューズ B はほぼ比例関係を示し、シューズ A は 80 度から 90 度にかけて急激に反力が増加している。一方、シューズ C は 60 度からほぼ一定値を示した。

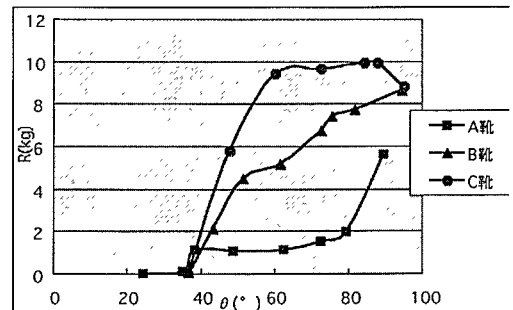
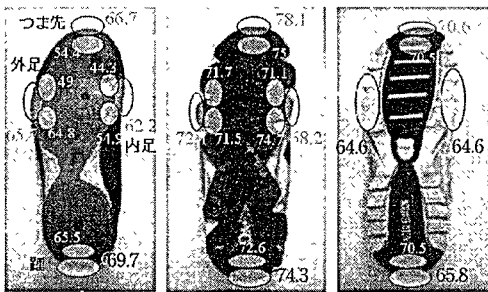


Fig. 11 シューズ A、B 及び C の特性

### 3.3 アウトソール硬さ計測

アウトソールの硬さ計測の結果を Fig.12 に示す。全てのシューズ (A: フットサルシューズ、B: 一般的なスニーカー、C: バスケットシューズ) において、踵から外足、内足にかけて値が減少しており、内足からつま先にかけては値が増加している。すべてのシューズ A,B 及び C において、踵から外足、内足にかけて値が小さくなり、内足からつま先にかけて値が大きくなっていることがわかる。シューズの特徴として、まず始めに接地する踵と最後に蹴るつま先を少し硬くすることで、衝撃を和らげ、次の足への蹴る力をつくっているのではないかと考える。



シューズ A          シューズ B          シューズ C  
Fig.12

## 4. 結論

本研究の成果をまとめると以下のようになる。

- 1) シューズと歩行との関係で、反力が強く示されているシューズを履くと左右ともに歩幅が広くなり、シューズによって歩幅は大幅に変化することがわかった。
- 2) シューズ B (スニーカー) の反力はシューズの反りに対してほぼ比例関係を示し、シューズ A (フットサルシューズ) は 80 度から 90 度にかけて急激に反力が増加していた。一方、シューズ C (バスケットシューズ) は 60 度からほぼ反力が一定値

を示した。

- 3) シューズ B は歩行速度と歩幅との関係及び歩幅と歩向角に強い相関があることがわかり、シューズ B は歩向角が小さくなり外股が改善される。このことから、シューズ B は歩くことを主として開発されており、歩行に適しているシューズを着用することで怪我の予防につながると考えられる。
- 4) アウトソールの硬さはシューズ A,B 及び C すべてにおいて、踵から外足、内足にかけて値が小さく、内足からつま先にかけて値が大きくなっている。

### 参考文献

- (1) 宇治橋貞幸, ランニングシューズの選び方, 日本機械学会誌, Vol.102 No.965, (1994) 749-751.
- (2) 江原義弘, 山本澄子 著, 歩き始めと歩行の分析, 医歯薬出版株式会社, (2002).
- (3) 臨床歩行分析懇談会 編, 臨床歩行分析入門, 医歯薬出版株式会社, (1998).
- (4) 臨床歩行分析研究会 編, 関節モーメントによる歩行分析, 医歯薬出版株式会社, (1997).
- (5) 丸山仁司 編, ザ・歩行, 有限会社 アイベック, (2003).
- (6) 後藤恭子, 島田聡, 飯田行恭, 高橋裕子, 大塚作一, 足圧中心の時間的な移動と空間的な移動軌跡に基づく歩行の良さの定量評価, 電子情報通信学会論文誌, D-II Vol.J87-D-II No.10 (1998), 1951-1962.
- (7) Alexander, R McN, Estimates of speeds of dinosaurs, Nature 261, (1976), 129-130
- (8) Frederick, E.C. 編, Sport Shoes and Playing Surfaces, Human Kinetics, (1984), 24-46.
- (9) Luethi, S.M. and Stacoff, A., The influence of the Shoe on Foot Mechanics in Running, Med. Sport Sci., vol.25 (1987), 72-85.
- (10) Nigg, B.M. 編, Biomechanics of Running Shoes, Human Kinetics, (1986), 127-137.
- (11) Winter, D.A., Biomechanics of Human Movement, John Wiley & Sons, (1970), 9-22, 84-107.
- (12) Sock Heng WOO, 宇治橋貞幸, 伊能教夫, ランニングシューズの力学特性の計測と評価法, 日本機械学会論文集 (C) vol.64, 623, (1998), 2395-2402.
- (13) Brown, M., et al : The relationship of strength to function in the older adult. J.

- Gerontol. 50 A : 55-59, 1995.
- (14) Craib. M. W., et al. : The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28 i 737-743, 1996.
- (15) 芳賀 博たち:地域老人の日常生活動作能力に関する追跡的研究. *民族衛生* 54:217-233,1988.
- (16) Hageman. P.A. and D.J. Blanke : Comparison of gait of young women and elderly women. *Phys. Ther.* 66 : 1382-1387, 1986.
- (17) Kaneko. M., et al. : A kinetic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can. J. Spt. Sci.* 16 : 223-228, 1991.
- (18) 衣笠 隆たち:男性(18-83歳)を対象にした運動能力の加齢変化の研究。 *体力科学* 43:343-351,1994.
- (19) Astrand. P-O\_ and I. Rhyming : A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J. Appl. Physiol.* 7 : 218-221, 1954.
- (20) Bassey. E.J., et al. :muscle strength in the triceps surae and objectively measured customary walking activity in men and women over 65 years of age. *Clin Sci.* 74 : 85-89, 1988.