

凍結路における防滑歩行法に関する研究 — 障害者の滑り危険度とストライドにみる特徴 —

野口 勉*・落合 宏**・鵜飼 隆好***
内山 英一⁺・鵜田 文男⁺・倉 秀治⁺・長尾 正人⁺・石井 清一⁺⁺

Study on Anti-Slip Walking Method on Frozen Road — Danger Coefficient of Slip and Characteristics in Stride for the Disabled —

Tsutomu NOGUCHI, Hiroshi OCHIAI, Takayosi UKAI,
Eiichi UCHIYAMA, Fumio TOKITA, Hideji KURA, Masato NAGAO and Seiichi ISHII

Abstract

In northern area, there are many pedestrians, especially the elderly and the disabled, injuries by fall caused slip on frozen road. To realize a highly welfare society, in order to make proposal of measure for outdoor activation in cold region, for example `Anti-Slip Walking Method`, `Manufacturing Method for Anti-Slip Devices`, and `Performance Evaluation Method for Anti-Slip Devices and Walking`, study on walking and slip during gait are necessary. In this paper, 3-component of ground reaction force during gait are made investigation. The summary of the results is shown as follows, (1)Vector locus of the ratio of tangential force to vertical force of ground reaction force, easily express condition about the Slip. (2)Walking speed become higher, also Danger Coefficient of Slip(DCS) become higher, namely very slippery, have been confirmed. (3)For the elderly and the disabled, it is very importance to make study on linkage with right and left foot about 3-component of ground reaction force in double stance phase during gait.

Key Words : Biomechanics, Gait, Cold Region, Disabled, Frozen Road Surface, Slip, Fall, Ground Reaction Force, Danger Coefficient of Slip.

1. はじめに

凍結路における歩行中の転倒は寒冷地域において毎年住民を悩ましている問題である。特に、札幌市においては1992年12月の1ヶ月間に248名が路上での転倒により救急車の出動を要請した。この件数は従前の約3倍にも上る多さである（札幌市消防局調べ）。これは路面上の水分が凍結融解を繰り返し平滑な表面を生成し、加えてスタッドレスタイヤにより氷表面の研ぎ効果により「極低μ路」が生成することによってと言われており、その状況は現在も続いている。

靴の滑りについては、従来、労働環境における問題¹⁾として捉えられてきたが、ここに至って寒冷地域居住者が解決を望む問題へと質的に変化してきた。他の寒冷地域においても転倒事故の調査活動²⁾が行われて、受傷部位、受傷程度などの実態が明らかにされており、路面管理、防滑方法、怪我予防装具など課題の把握も行われている。しかし、防滑方法、怪我予防装具に関するその後の研究は多くはない。今後の高度福祉社会を展望し高齢者福祉・障害者福祉の観点から、防滑歩行法³⁾、防滑具開発法⁴⁾、防滑性能評価法⁵⁾など寒冷地域における戸外活動の活性化に向けた方策の提案には、現時点で凍結路歩行に関する運動学的・運動力学的基礎データが不足している。

そのため本研究は歩行に関する基礎データとして、路面に伝わる力の3分力（上下、前後、左右）を調査し、滑りに関わる特徴の一端を明らかにするとともに、両脚支持期の両脚の連動におけ

* 助 手 機械工学科

** 助 手 北海道大学

*** 教 授 北海道大学

+ 医 師 札幌医科大学

++ 教 授 札幌医科大学

る状況把握の重要性を示す。

2. 床反力の測定

歩行中の路面に伝わる力から何時滑り易いかを特定し、靴底の圧力分布から接触状況を調べグリップ確保のため防滑材の位置を決定する。その後防滑材の選定、加工を行い、防滑性能を調べて、その結果をフィード・バックするという防滑具開発法の一つの考え方を図1に示した。このシステムの主要な部分を占める滑り易さの判定は、多くの情報が含まれる路面に伝わる力で行い、図2に示す直交3分力でとらえる。これを反作用の床反力から求める。

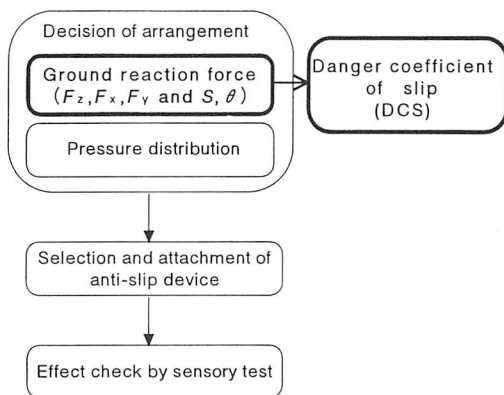


図1 防滑具開発法の考え方

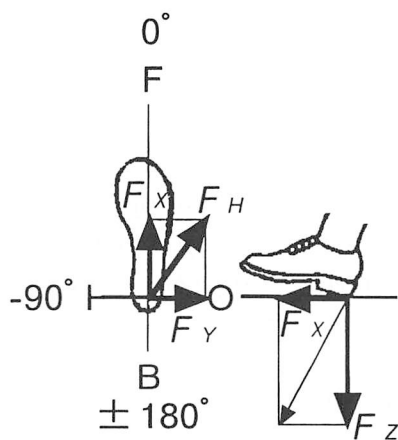


図2 直交3分力

2.1 対象

被検者は表1に示したとおり4名であるが、本報では主に被検者A、Bについて示した。

被検者Bはポリオによる両足関節固定した障害者である。出生後直ちにポリオを発症、両足関節の変形により極度の内転位を示す。39歳の時に手術で正常位固定し、手術後7ヶ月で補助具無しで

独立歩行を行い、ほぼ1年経過した。

2.2 歩行条件

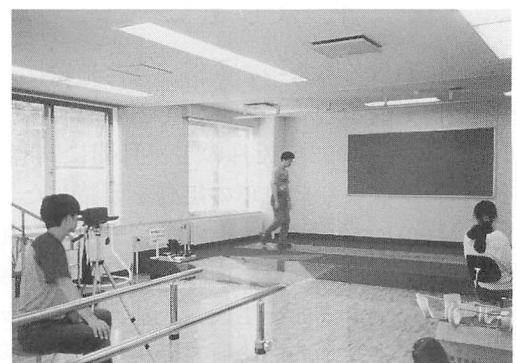
被検者A、Cは歩調66、96、104、120 step/minの負荷歩行とし、被検者B、Dについては自由歩行とした。各被検者とも数回試行した後測定した。歩行面はForce Plate上をビニルシートで覆い、無潤滑である。

表1 被検者

被検者	年齢	性別	身長 cm	体重 kgf	備考
A	20	男	171	77	健常
B	41	女	147	50	障害
C	41	男	171	75	健常
D	75	女	144	45	健常

2.3 測定方法

測定風景を図3に示す。床反力の測定には大型床反力計（アニマ社G1812A）を用いて、30歩分（一部10歩分）の歩行を行った。図4に時間因子の特徴時点とストライドを示した。また、図5には垂直力 F_z を例に時間の定義を示している。なお、路面に伝わる力の3分力は体重比で百分率表示とし、時間軸については踵接地（HC）から爪先離れ（TO）までの立脚期間を100%として表示した。ストライド基準とする場合には、踵接地（HC）から同足次回の踵接地（HC）までのストライド時間を100%として表示した。



anima G1218A 2.5m Force plate
(北海道立心身障害者総合相談所)

図3 測定風景

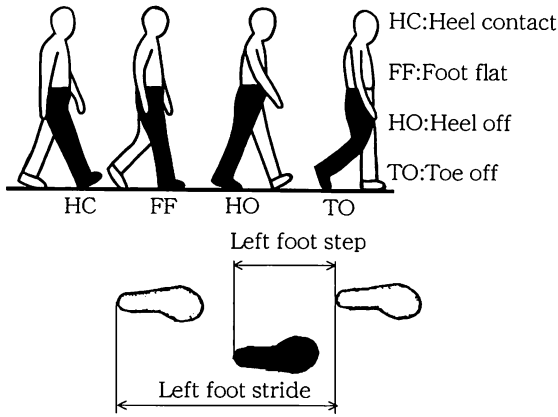


図4 時間因子の特徴時点とストライド

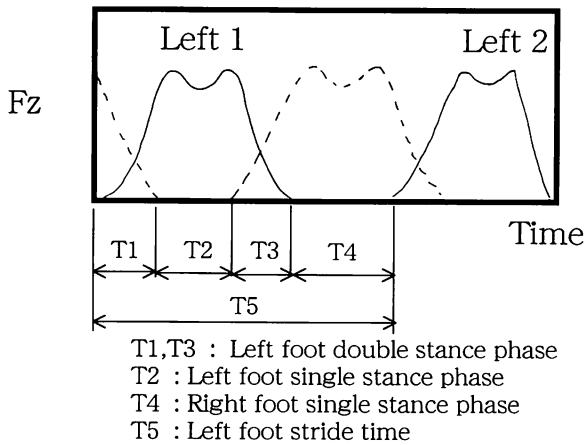


図5 時間の定義

2. 4 路面に伝わる直交3分力

路面を滑ろうとする水平力 F_H は式(1)で表され、垂直力 F_z に対する比を接線力比 S として式(2)で定義する。この接線力比 S が路面との摩擦係数 μ と一致すると滑りを生ずる。なお、水平力方向 θ は式(3)で表す。この接線力比 S と水平力方向 θ により何時、どの方向へ滑り易いかを知ることができる。

$$F_H = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (1)$$

$$S = \frac{F_H}{F_z} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) \quad (3)$$

3. 結果と考察

被検者A、Cは、前述のとおり4種の歩調による負荷歩行としたが、被検者への聞き取りから、

自由歩行と違和感の無い歩調104step/minの結果を主に提示する。

3. 1 直交3分力にみた特徴

図6に被検者Aの3分力を両足について示した。加えて図7に被検者Bの結果を示した(歩調86step/min)。これらの結果から、被検者Aは左右差が少なく、 F_z が明確な2峰性を示し、踵接地時の制動期に一瞬ではあるが前後力 F_x が後方内側に働く特徴が窺える。それに対して被検者Bは、左右足関節とも手術で同様に固定しているが、左右差が大きい。左足では F_z が変形3峰性となっており、右足では台形状になっている。被検者Aに比べ姿勢を保つ F_y が小さくなっている。しかし何れにしても、この3分力表示の図から滑りに関わる状況を読みとることは難しい。

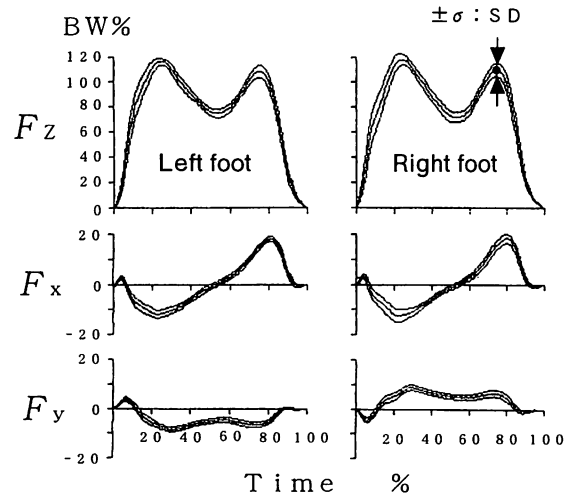


図6 直交3分力(被検者A)

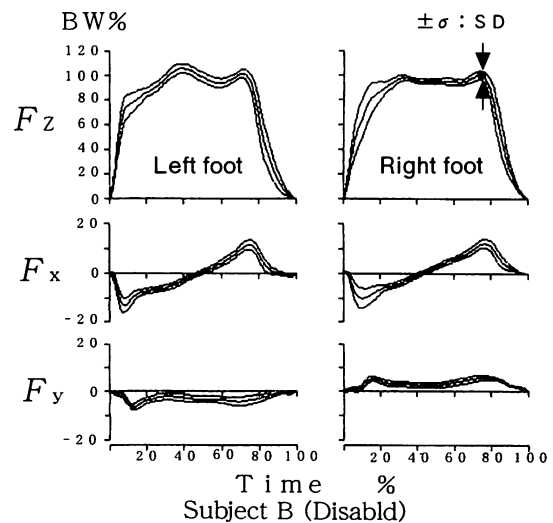


図7 直交3分力(被検者B)

3. 2 接線力比 S と水平力方向 θ の時間推移

そこで式(2)、(3)により右足についての接線力比

Sと水平力方向 θ を算出し図8、被検者Bについては左右分けて図9、図10に示した。接線力比Sが路面の摩擦係数と一致した時点で水平力方向 θ に滑り出すと考える。これらの図から路面の摩擦係数を想定した上で滑りに対する状況を考えることができる。被検者AはHC直後とTO直前に接線力比Sが大きくなっているが、HC直後は前述したとおり踵の「振り下ろし」のため水平力が制動期に後方へ向いており、また、TO直前では水平力方向 θ が $360^{\circ}(0^{\circ})$ で前方を示していることから爪先の「引き摺り」と考えられ、双方とも危険な滑りは生じない。従って時間85%で接線力比Sがより大きな値を示しており、推進期に足が後方に滑り易いと考えられる。他方被検者Bの場合、左足の踵接地(HC)で前方に滑り易く、引き続

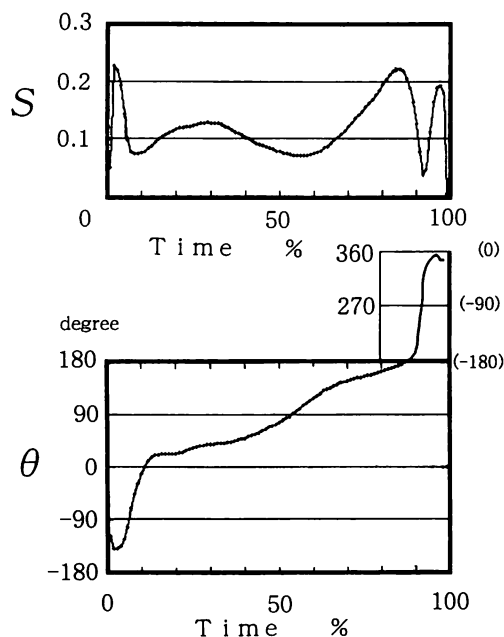


図8 S, θ (被検者A)

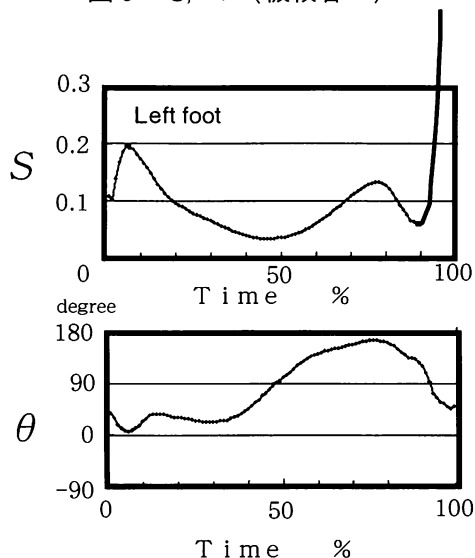


図9 S, θ (被検者B、左足)

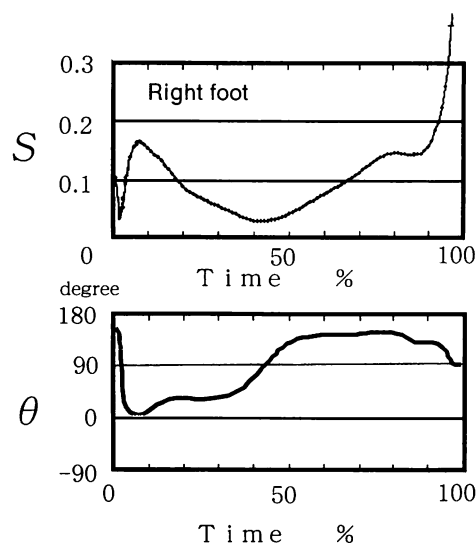


図10 S, θ (被検者B、右足)

く右足の爪先離れ(TO)で外側に滑り易いという、両足の運動における不安定な状況が読みとれる。

3. 3 床反力の接線力比ベクトル先端軌跡

図11は接線力比Sとその方向 θ の関係をより簡便に示すためのベクトル先端軌跡で、半径は接線力比Sの大きさを表し、円周方向は水平力方向 θ を表している。滑り易さと滑り出しの方向を同時に知ることができ、危険性の即断にも有効である。

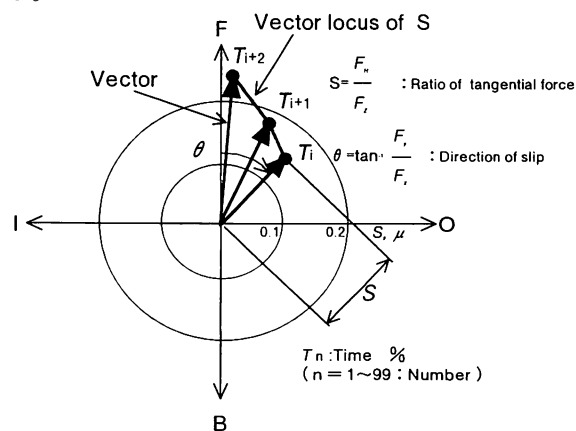


図11 ベクトル先端軌跡

図12に被検者A、図13に被検者Bのベクトル軌跡を、それぞれ両足に分けて表した。図12では立脚期の終盤において右足の接線力が後方内側へ向いている点を除けば、左右の差は認められない。なお、両足とも制動期では $S=0.13$ 程度であるのに対して、推進期では $S=0.2$ 以上となっており、前項で述べたとおり立脚中期から爪先離れにかけての推進期に後方へ滑り易いと判断できる。

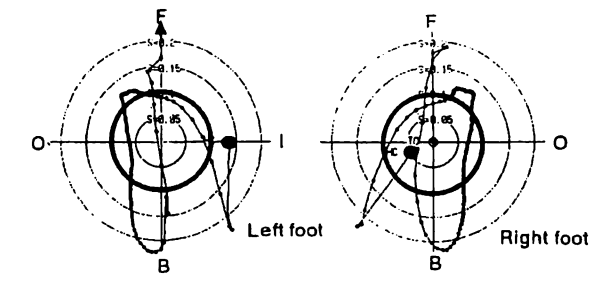


図12 ベクトル先端軌跡 (被検者A)

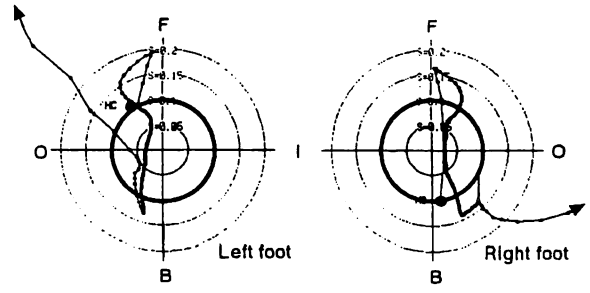


図13 ベクトル先端軌跡 (被検者B)

図13では健常者に比べて全体的に外側に力が向いている。また、右足のTO時に後方へ、左足のHC時に前方でベクトル軌跡が推移していることから、右足から左足へ歩を進めるときに不安定な状況となることがこの図からも知ることができる。

3. 4 歩行の速さと滑り危険性

以上示した床反力による図は多くの情報を含んでおり有効であるが、それを読み取ることは容易ではない。そこでより簡便に滑り易さをとらえるために、立脚期の時間 T_{sp} に対して、所定の摩擦係数を超える接線力比の時間 $T_{(s>\mu)}$ の割合で、滑り易さ、すなわち「滑り危険度 (DCS)」を式(4)に示すとおり定義する⁽⁴⁾。

$$DSC_{(\mu)} = \frac{T_{(s>\mu)}}{T_{sp}} \times 100 \quad (4)$$

図14には歩行の速さに対する滑り危険度DCS ($\mu=0.1$) の変化を示した。被検者Aについては左右差がほとんど無い⁽⁴⁾ことから右足の結果のみ示した。歩行の速さが大きいほど滑り易いという歩行実感と符合する結果を得たことから、歩行の速さが速くなると滑る危険性が大きくなる傾向を確認した。また被検者Bの危険度は左右差が大きいため分けて示した。いずれも被検者Aにおける同じ歩行の速さの危険度に比べて大きい。足関節固定による歩行の不安定さのため、滑る危険性が高く表れると考える。

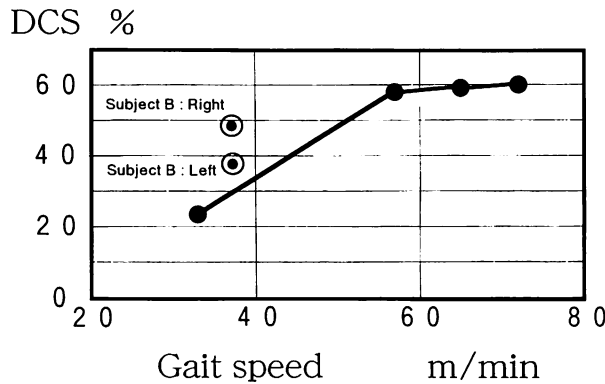


図14 歩行の速さに対する滑り危険度

3. 5 両脚の連動における特徴

被検者Bは左右差が大きく、右足から左足へ歩を進めるときに不安定な状況となることを前述してきた。そこで左足のストライド時間を100%として表示した3分力を図15、図16に示す。

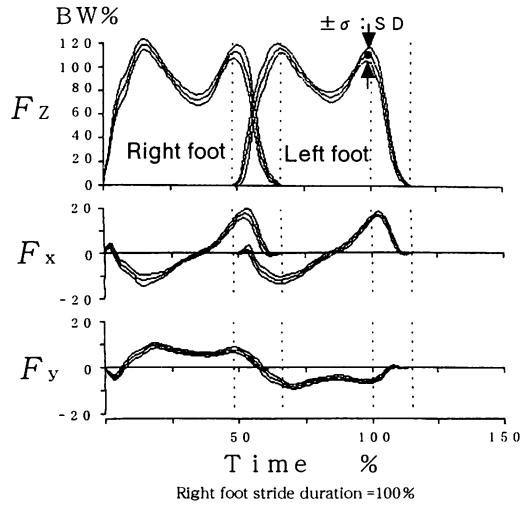


図15 ストライド基準の直交3分力 (被検者A)

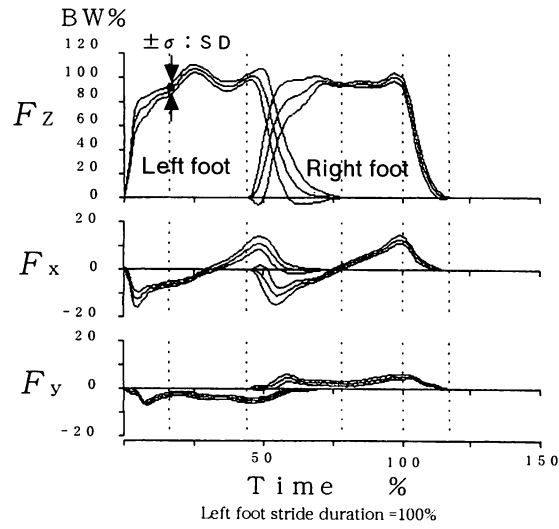


図16 ストライド基準の直交3分力 (被検者B)

図15では両脚支持期間が同程度であるのに対して、図16では右足から左足へ歩を進める時の両脚支持期間に比べ、左足から右足の場合が長期となっているのが判る。すなわち、不安定な状況となる状況を短時間に抑え、比較して安定な期間が長期となっていることになる。そこで各被検者の時間因子を表2にまとめた。なお、表中に文献⁽⁶⁾より得た値を併せて載せている。この表から文献値に比べ両脚支持期が大きくなっており、立脚期が長く遊脚期が短くなる倒向が窺え、特に被検者B、Dにおいて顕著である。両脚支持期を左足から右足の場合と、右足から左足の場合に分けてみると、障害者において際立って差が大きい。一般に障害の状況は千差万別であるが歩行に支障をきたす障害とは、主に下肢の筋骨格系におけるものであることから考えると必然的な差違である。歩行とは二足交互間歇運動により力を路面に伝達して身体を移動していくことから片脚に対する検討だけでは限界がある。特に歩行障害を有する方に対しては、両脚支持期の両脚の連動を考慮した検討が必要である。

表2 各被検者の時間因子

被検者	立脚期	遊脚期	両脚支持期	右→左	左→右
A	66	34	17	16	18
B	78	22	25	16	34
C	66	34	18	17	19
D	72	29	24	22	26
文献値(青年)	63	37	13	-	-
文献値(老人)	64	36	14	-	-

(%)

4. ま と め

本研究をまとめると以下のとおりである。

(1) 歩行中の路面に伝達する力を接線力比のベクトル先端軌跡として表示することにより、歩行中の滑り易さの状況を簡便にとらえた。

(2) 立脚期の時間に対して、所定の摩擦係数を超える接線力比の時間的な割合により定義される「滑り危険度」により滑り易さを数値化したところ、歩行の速さが速くなると滑る危険性が大きくなることを確認した。

(3) 歩行障害を有する方に対しては、片脚の立脚期に対する検討を両脚に対して行うだけでなく、両脚支持期の両脚の連動を考慮した検討が必要である。

謝 辞

本研究の一部は平成8年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(C)07558135)により行われた。また測定に用いた大型床反力計は北海道立心身障害者総合相談所にて利用した。それぞれ関係各位に深謝する。

文 献

(1) 永田久雄、靴の医学、vol.8, pp.135-138,1994.

(2) H. Sjogren and Bjornstig, Accid. Anal. & Prev. Vol.23, No.1, pp.77-86,1991

(3) 野口勉他7名、寒地技術論文集, Vol.12, pp.404-409,1996.

(4) 野口勉他5名、機講論No.972-1, pp.47-48,1997.

(5) 野口勉他7名、寒地技術論文集, Vol.13, pp.126-131,1997.

(6) 臨床歩行研究会、臨床歩行分析入門、医歯薬出版、p.22,1989.

(平成9年11月28日受理)