

科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年 5月18日現在

研究種目：若手研究 (B)	
研究期間：2008	
課題番号：20700469	
研究課題名 (和文)	歩行動作中の足部位置知覚特性 —知覚している足の位置と実際の足の位置との誤差の評価
研究課題名 (英文)	The Characteristics of Perceived Foot Position during Walking —Evaluation of the error between the perceived foot position and the actual foot position—
研究代表者	小林 吉之 (KOBAYASHI YOSHIYUKI)
	国立障害者リハビリテーション研究所・流動研究員
	研究者番号：00409682

研究成果の概要：本研究は、ヒトが歩行中に転倒するもつとも主要な要因である『つまずき』が生じる一因を解明するため、これまで著者らが行ってきた研究で得られた知見を基に、ヒトが歩行中に足部の位置をどの程度正確に知覚できているか、その特性を実験的に明らかにすることを目的とした。本研究の結果、ヒトの足部は歩行中遊脚期にも30mm程外側に偏っている事が確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	600,000	1500,000
年度			
年度			
年度			
総計	900,000	600,000	1500,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・福祉工学  
キーワード：生活支援技術, つまずき, 転倒

1. 研究開始当初の背景  
歩行中に不意に生じる転倒は、特に高齢者にとって、しかし高齢者だけでなく全ての年代の人にとって減少させたい歩行中の事故であり、現在も世界中で着目されている研究分野である。転倒が生じるもつとも主要な要因は遊脚期に生じる『つまずき』であることが調査研究を主とした多くの先行研究により明らかとなつている。そのため『つまずき』に関する研究として、これまで障害物の回避動作に関するものが数多く行われてきた。しかしこれらの研究は全て、歩き越える面が水平な障害物を提示したものであり、日常生活で遭遇するような複雑な形状の障害物は提

示されてこなかった。歩き越える面が水平な障害物を跨いで越える際には、足部の全ての部分が障害物の上縁に対して同じ高さを越えることになると考えられる。一方水平ではない障害物を跨いで越える際には、足部の部位によつて越える高さに差が生じることが考えられる。このような差が障害物の回避動作に影響を与え、思わぬつまずきによる転倒を引き起こす可能性が考えられた。

そこで著者らは先行研究として、足部の部位によつて障害物を越える高さに差が生じる、『傾いた障害物』に対する歩き越え動作時の評価を若年健康者に対して行った。その結果、跨ぐ足の内側が高く傾いた障害物を跨

いで越えた際には、水平な障害物を跨いで越えた際と同等のクリアランス（障害物上面から足底までのマージン）が確保されていたにも関わらず、跨ぐ足の外側が高く傾いた障害物を跨いで越えた際には、水平な障害物を跨いで越える際と比べて有意に小さなクリアランスしか確保されておらず、つまずきのリスクが高くなっていることが確認された[小林ら, 2005]。

これらの結果から著者らは、ヒトが歩行中につまずく原因は、ヒトが自身の空間内における姿勢を正確に知覚できていないためであると考えた。具体的には、足部は自分が知覚している位置よりも外側にズレているため、内側に高く傾いた障害物を跨ぎ越えた際には十分に確保できたクリアランスが、外側には高く傾いた障害物を跨ぎ越えた際には減少したと考えた。また、日常生活において『タンスの角に足の小指をぶつける』というつまずきの原因も同様のズレが原因であると考えられた。近年ヒトの動作特性と感性・認知特性との関連に関する研究者らの興味が集まりつつあるものの、これまで実際に足部の位置がどの程度正確に知覚できているのかについては研究が行われてこなかった。

そこで上記の仮説を検証するために、次に若年健常者を対象として足部位置知覚特性の検証を行った。実験では、被験者が自分の足部を見ないように視野を調整し、体勢感覚のみを用いた状況で、ターゲットとなる直線に対して自分の足部の内側もしくは外側の縁を沿わせた。被験者が自分の足が直線に沿っていると感じた時点で、足部の縁と直線の位置との誤差を計測した。本実験において足下の視野を遮蔽した理由は、先行研究においてヒトが歩行中及び障害物を跨ぎ越える際にも、2歩から3歩前方を見ながら歩行し、足下を見ながら歩かないということが報告されているためである[Patla et al. 2003]。実験の結果、若年者の足部は、我々の仮説通り、自身が知覚しているよりも恒常的に10mmから20mm外側にズレていることが確認された[小林ら, 2006]。上記の一連の研究によりこのズレが歩行中につまずくりスクを高めている可能性が示唆された。また、本年度(07年度)引き続き行っている実験により、若年者における前後方向の足部知覚位置の傾向や、高齢者の足部知覚位置の傾向も明らかになってきており、つまずきの原因解明を目的としたヒトの足部位置知覚特性の解明が進んでいる。

## 2. 研究の目的

上述の通りヒトの足部知覚位置の研究は順調に進んでいるが、これまでの研究ではヒトが知覚している足部位置の特性をまます明ら

かにすることに重点を置いていたため、計測時には静止した状態で実験を行っていた。その結果、上述の通りヒトの足部位置は知覚しているよりも外側に一定量ズレていることが確認された。しかし現段階では歩行動作時の状況下における足部位置知覚特性に対する知見は得られておらず、つまずきが生じる原因との関連が完全には解明されていない状況となっている。そこで本研究では、歩行動作中の足部位置知覚特性の評価を行うことを主たる目的とした研究を行った。また、そのためには歩行動作中の足部表面を記録する必要がある。その手法も併せて検討した。

## 3. 研究の方法

(1) 歩行中の足部表面記録方法について  
歩行動作中に知覚された足部位置と実際の足部位置との誤差を評価するためには、まず歩行中の足部表面の位置を正確に記録する必要がある。従来の三次元動態計測装置は、体表面に貼付したマーカーの位置を記録するものであるため、そこから正確な体表面の位置を推定することはきわめて難しい。そこで本研究では、歩行時の足部表面を記録する手法の検討をはじめに三次元動態計測で検討した方法は、はじめに三次元動態計測装置とレーザ変位計を用いて、静止時の足部表面の座標を記録する。更に記録された座標を歩行中の足部に適用することで歩行中の足部表面位置を推定しようとするものである。図1に本手法の概要を記す。

## (2) 歩行中の足部位置知覚特性(内外方向)

20代の若年健常者5名が本研究の被験者として実験に参加した。本研究の全てのプロトコールについては、国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を得た。また、実験前に被験者に対し文書による説明を行い、同意を得た上で実験を行った。本研究では歩行中における感覚上の足部位置と実際の足部位置との差を比較する事を目的とした。そのた被験者には、床面に表示された直線(基準線)に対し足部の外側の縁を、基準線を踏まないように、その基準線に足部の縁をできるだけ近づけながら歩行するように指示し、その際の足部表面と基準線の位置座標を記録した。記録された位置座標より、足部表面と基準線との誤差を算出した。実験は通常歩行実験が行われる、広々とした実験室内で行われた。基準線はレーザによって表示され、歩行開始地点より10m離れた位置から照射された。ヒトの歩行に関する先行研究によると、ヒトは歩行中、障害物を跨いで越える際にも足元は見えておらず、2〜3歩前までに見た情報を手がかりとして歩いているとされている。そこで本研究では、被験者に立位姿勢で足元が1m先まで見えな

いように下方の視野を遮蔽したゴーグルを着用させ、前方に見える基準線と、自身の身体感覚のみで足部位置を調整しながら歩行するよう指示した。被験者は足部外側の縁を、床面に表示された直線にできるだけ近く、しかし直線を踏まないように沿わせながら歩行するよう指示された。その際被験者には、歩行中の遊脚期に、足部を基準線に沿わせるように指示した。これは、つまずきが生じるのが立脚期ではなく遊脚期であるため、遊脚期における足部位置の知覚が重要であると考えたためである。なお、足部は常に遮蔽された視野の範囲内に位置しており、視覚による足部位置のフィードバックは行われていない。実験は偶然誤差を考慮し5試行実施した。実験室はカーペットが敷かれており、被験者の足が触れると位置の手がかりとなるようなカーペットの縁や、テープなどは設置されていなかった。

#### 4. 研究成果

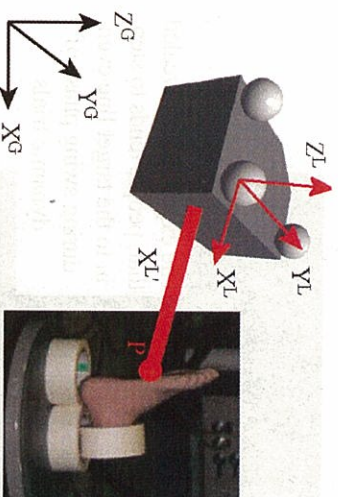
##### (1) 歩行中の足部表面記録方法について

本研究では、静止時の足部表面の座標から、座標変換の手法を用いて歩行時の足部表面の座標を推定した。そのため座標変換による誤差及び足部の変形による誤差の2つが算出された足部表面に含まれてしまうと懸念された。そこで本研究でははじめにマイクロスタを用いて精度の確認を行った。その結果、手法の誤差は $0.38 \pm 0.285$  mmであった。また、つまずきが生じると考えられる遊脚期には足部の変形が少なく、1mm以下であり本研究においては十分な精度である事が確認された。

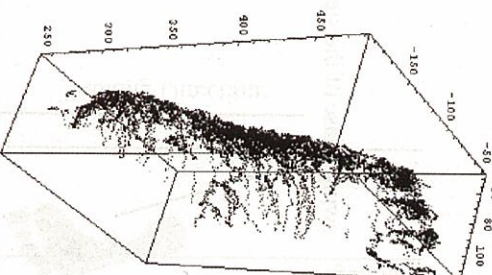
##### (2) 歩行中の足部位置知覚特性(内外方向)

図2に計測された歩行中の足部位置の誤差の結果を示す。実験の結果、先行研究における静止時の挙動と同様に、歩行中も実際の足部位置は知覚している足部の位置よりも外側に偏っている傾向があることが確認された。また、その誤差量は $30.51 \pm 3.544$ mmと先行研究で得られた値に近かった。

これらの結果は、先行研究で著者らが行った傾いた障害物を跨いで越えた際のつまクリアランスの結果とも整合性がとれる。先行研究では、被験者らに前額面上で傾いた障害物を跨いで越えさせ、その際の歩容、特につま先-障害物間のクリアランスの比較を行った。前額面上で傾いた障害物には、障害物を跨ぎ越える足の内側が高く傾いた障害物と外側が高く傾いた障害物が考えられたため、それぞれの障害物で実験を行った結果、内側が高く傾いた障害物を跨いで越える際には、跨ぎ越える足の内側クリアランスは水平な障害物を跨いで越える際と比べ有意に増大した。一方、跨ぎ越える足の外側が高く



座標変換による  
サーフェースモデルの精製



歩行中の足部座標系への適用



図1. サーフェースモデルの  
精製・適用過程概要

傾いた障害物を跨いで越える際には、跨ぎ越える足の外側クリアランスが水平な障害物を跨いで越える際と比べ有意に減少するという結果が得られた。このような結果を本研究で認められた結果と合わせて考えると、跨



The experiments revealed that, people tends to step in to the target line even during swing phase of dynamic trials

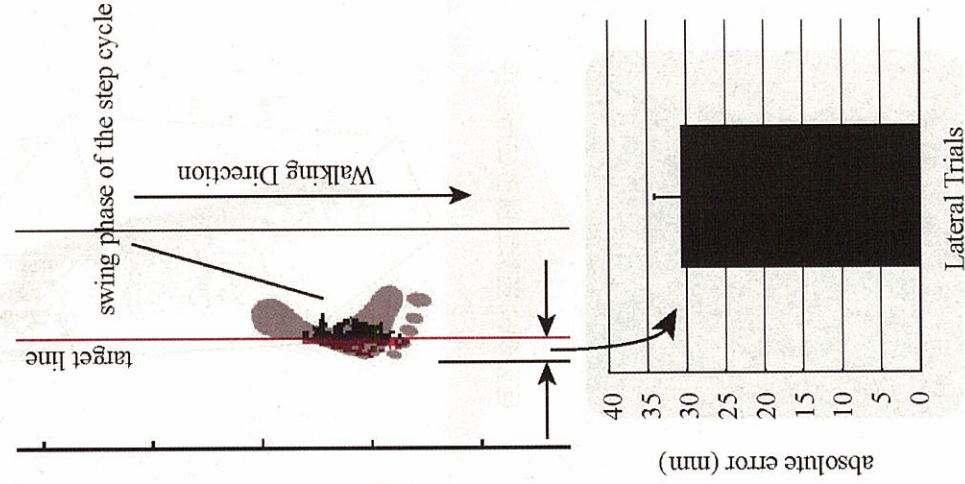


図2. 本研究の成果概要

ぎ越える足の内側が高く傾いた障害物を跨いで越えた際の内側クリアランスに関しては、足部が外側に偏っていたため、被験者自身が高位置を足部が通過し、その結果クリア

ランスが増大したと考えることができ、一方跨ぎ越える足の外側に高く傾いた障害物を跨いで越えた際の外側クリアランスに関しては、跨ぎ越えた足部が外側に偏っていたため、被験者自身が高位置を足部が通過し、その結果クリアランスが減少したと考えることができる。

本研究では歩行中に知覚している足部の位置に着目し、歩行中に被験者本人が感じている足部位置と、実際の足部位置との差の比較を行った。その結果歩行中の足部位置も、静止時と同様、外側の縁を基準線に沿わせながら歩行した際には、床面の基準線に踏み込みながら歩行する傾向が確認された。今後は前後方向や垂直方向の誤差についても検討していく必要がある。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)  
 ■Yoshiyuki Kobayashi, Hiroshi Fujimoto, Kimitaka Nakazawa, Masami Akai, Foot Position Tends to Be Sensed as More Medial Than the Actual Foot Position, Journal of Motor Behavior, 査読有, ePub Ahead of Print, (2009).

[学会発表] (計2件)  
 ■小林吉之, 中村隆, 山崎伸也, 中澤公孝, 赤居正美, 岩谷力, 藤本浩志, 下腿義足利用者の足部知覚位置に関する研究, 第24回日本義肢装具学会学術大会講演集, 24巻特別号, (2008年11月29日), 東京.

■小林吉之, 中澤公孝, 赤居正美, 藤本浩志, ヒトの足部位置覚に関する研究-若年者・高齢者・切断者から考えられる知覚特性-, 福祉工学シンポジウム 2008 講演論文集, p48-51, (2008年9月17日), 山口.

[その他] (報道 計1件)  
 ■テレビ東京 所さんの学校では教えてくれないそこんトコロ, 2009/2/13 0. A.

6. 研究組織  
 (1) 研究代表者  
 小林 吉之 (KOBAYASHI YOSHIYUKI)  
 国立障害者リハビリテーションセンター研究所・流動研究員  
 研究者番号: 00409682