認識がつまずき動作に及ぼす影響に関する基礎的研究 ～障害物の視覚認識からの検討～ Influence of Recognition to Trip Over ～Inspection from Visual Recognition of Obstacle～

上田雄義(学生会員), 秋山庸子(非会員), 泉佳伸(正会員), 西嶋茂宏(正会員)
Takeyoshi UEDA, Yoko AKIYAMA, Yoshinobu IZUMI and Shigehiro NISHIJIMA

Abstract

Tripping over which is one of the causes of falling is caused by lack of recognizing obstacles. The 3D motion of five young adults was analyzed for stepping over an obstacle of 48mm high. Subjects who were more likely to trip over in usual activities had longer minimum distance between toe and obstacle. This result meant subjects who were more likely to trip over stepped over the obstacle more safely and contradicted the result of sensory test asked whether subjects were likely to trip over in usual activities. This suggested that one of the causes of tripping over was lack of recognizing obstacles in case of people who were more likely to trip over in usual activities. The effect of the visual sensation on human motion was also studied by using of eye tracking. Eye motion of five young adults was captured by eye tracking system during walking simulation of walking toward an obstacle using screen image. Subjects who were more likely to trip over were less likely to gaze at an obstacle. This result supported the results of motion analysis. Those results suggested that one of the main causes of tripping over was lack of recognizing obstacles and that it was possible to extract the effect of recognition on human motion by using of motion analysis and eye tracking.

Key Words

tripping over, motion analysis, eye tracking

1. 緒言

平成16年度人口動態調査¹⁾によると、転倒が原因での死亡者数のうち65歳以上の高齢者の割合が全体の84%と報告されている。また、長谷川ら^{2)・3)}の研究によると、転倒とそれともなう骨折などの外傷が脳卒中に次ぐ主要な寝たきりの原因の一つとして報告されている。それゆえ、転倒が高齢者のQOLを低下させる

大きな原因の一つと言える。つまり、転倒を未然に防ぐことは高齢者が健康で自立した生活を確保でき、安心して暮らすために欠かせないものであると言える。転倒した場所について、転倒事故報告が多い順に、庭、居間、玄関、階段、廊下の順となっており、この5ヶ所で自宅における転倒事故の7割を占めている⁴⁾。この転倒場所の床面の状態を考えると、障害物による「つまずき」が主な原因であると予想され、本研究では転倒の原因としてつまずき動作に着目することにした。

つまずき、転倒に関与する要因の一つとして、障害物の認識の不足が考えられる。本研究において認識とは、障害物の位置や高さの情報を正しく把握することである。つまずき、転倒に関与する認識について、視覚による認識の重要性が高く、本研究では視覚

2008年2月19日受理

2008年5月16日最終原稿受理

大阪大学大学院工学研究科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

Graduate School of Engineering, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565-0871

による認識について着目した。身のまわりの環境を検知するために認識が果たす役割は大きく、認識と運動は独立したものではなく、相互に作用しあっているものである⁷⁾。また、視覚のセンシングにより構築された認識の空間と実空間との不一致による誤動作が重大な事故につながる事が考えられる。したがって、認識が動作に及ぼす影響を抽出し、検討することは安全に動作を行う上で重要であると言える。

現在、つまずきや転倒に関与した研究として、Tung-Wu Luら^{8) 9)}の研究のように、障害物の高さを変化させて、若年者と高齢者の障害物をまたいでいるときの関節角度の比較や、障害物をまたいでいるときのCOM (center of mass) の変化について議論がされている。また、Mirjam Pijnappelsら^{10) 11)}の研究のように、障害物を急に出現させて、つまずきを誘発し、健常者と高齢者のつまずき動作の比較や、高齢者における下肢筋力とつまずきや転倒との関係についての議論もされている。しかし、認識とつまずき動作の関連について言及したものは少ない。

そこで本研究では、つまずきに関与した認識と動作の関連について検討を行い、転倒予防に資することを目的とした。つまずきの原因として、障害物の位置や高さの認識不足について考察する。また、視覚のセンシングにより構築された空間と実空間との不一致による誤動作について検討し、認識の影響を明らかにすることによって、誤操作やそれに伴う事故のリスクを低減させる効果も考えられる。

本論文では、つまずきの原因の一つである、障害物の位置や高さの認識不足について、動作解析と視線計測を用いて検討を行う。実験は、Tung-Wu Luら^{8) 9)}の研究を参考に、障害物をまたぐ実験(動作解析実験)を行い、加えて、障害物のある床面を歩

行者目線で撮影した映像を被験者に見せ、その視線を計測する実験(視線計測実験)を行った。

2. 実験方法

2.1. 動作解析実験

まず腕の動きの影響を除外するために、胸の前で両腕を組んだ状態の歩行動作を測定した(Fig. 1)。被験者は若年者20代男性5人(年齢: 23.6 ± 2.6 歳、下肢長: 91.8 ± 5.1 cm)で、高さ4.8cmの障害物のある床面において歩行させた。下肢長は、直立姿勢時の大転子から床面までの絶対距離とした。実験は素足で行い、全員右足から障害物をまたぐように指示し、歩行速度は任意とした。試行はそれぞれ2回ずつ行い、それを2台のカメラで30Hzのサンプリング周波数で撮影し、三次元動作解析システム Move-tr3D(ライブラリー社)による動作追跡を行った。マーカーは、つま先、足関節、膝関節、股関節に加え、直立した姿勢において膝関節と股関節を結ぶ延長線上の胴体部に装着した。実験前、全員にインフォームド・コンセントを行い、実験後に官能検査を実施した。障害物は木製の板を重ねたものである(Fig. 2)。障害物の高さに関しては、先行実験において若年者の通常歩行の遊脚期におけるつま先と床面との最短距離が 4.46 ± 0.66 cmであったことをもとに設定した。

2.2. 視線計測実験

歩行者の目線で障害物に近づいて歩行している状況を模擬した映像を被験者に見せ、その画面上の視線をアイマークレコーダー(ナックイメージテクノロジー社)を用いて、 44° の視野レンズ、30Hzのサンプリング周波数で計測した(Fig. 3)。実験に用いた

Fig. 1 動作解析実験風景

Fig. 2 障害物 (高さ 48mm)

Fig. 3 視線計測実験風景

Fig. 4 映像撮影

Table 1 障害物のケース

ケース	障害物の有無	床面からの 障害物の高さ	障害物の色
1	無	—	—
2	有	4.8cm	白
3	有	9.6cm	白
4	有	4.8cm	黄
5	有	4.8cm	緑
6	有	4.8cm	赤
7	有	4.8cm	青

映像は、ビデオカメラ(Sony Handycam DCR-TRV50、画角:垂直 27°、水平 39°)を用いて撮影した。撮影は、ビデオカメラを取り付けた三脚を台車に固定し、実験者が台車を黒板のある壁面に向けて移動させることで撮影した。また、速度はあらかじめ床面に設置したマーカの通過時間から算出し、一定速度 1.339 ± 0.380 m/s で撮影したものを用いた(Fig. 4)。映像は、Table 1 に示すように、障害物の有無や高さ、色の組み合わせにより 7 つのケースを用意し、音声は映像の動きに合わせた歩行音に置換した。被験者は 20 代男性 5 人で姿勢は直立した状態でいき、アイマークレコーダーの視野映像の範囲と映像を提示した画面とを一致させ計測を行った。被験者には、画面に映る障害物をまたいで、黒板まで歩いている状況を想定して映像を見てもらった(Fig. 3、4)。実験前、全員にインフォームド・コンセントを行い、実験終了後に官能検査を実施した。

映像は Table 1 の組み合わせをランダムにそれぞれ 3 回見せた。結果は画面の範囲から障害物が外れた時刻を 0 とし、時間をさかのぼり 1 秒ごとに分析時間を区切って分析を行った(Table 2)。また、用いた映像内の障害物の大きさと、視線追跡マーカの大きさを考慮し、周辺領域(障害物の縦約 3 倍、横約 1.5 倍)を注視している場合に、障害物を注視しているとした。それぞれの分析時間で障害物の周辺領域内を注視した時間をアイマーク解析ソフト EMR-dFactory(ナックイメージテクノロジー社)を用いて求めた。

2.3. 官能検査

実験結果と普段の生活状況とを比較するために、つまずきやすさに関する官能検査を行った。官能検査について、評価項目は「普段の生活でつまずきやすいか」というもので、1(非常に～つまずきにくい)、2(やや～つまずきにくい)、3(ふつう)、4(やや～つまずきやすい)、5(非常に～つまずきやすい)の 5 段階で評価を行った。

2.4. 統計処理

動作解析実験において、つまずきやすさに関するそれぞれの官能値間の有意差を調べるために 2 標本 t 検定を行った。また、視線計測実験において、それぞれの分析時間と官能値との関連を検討するため、ピアソンの相関係数を求め、無相関の検定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1. 動作解析実験

つまずきの動作として、右足(はじめに障害物をまたぐ足)のつま先が障害物にあたる事を想定し、右足のつま先のマーカと障害物との位置関係に着目した。Fig. 1 のように、右足が遊脚となり、

障害物をまたいでいるときのつま先と障害物との最短距離を求めた。この障害物をまたぐときのつま先と障害物との最短距離とつまずきやすさに関する官能値との関係について Fig. 5 に示した。つま先と障害物との最短距離は下肢長で規格化を行っている。下肢長での規格化は、得られたつま先と障害物との最短距離を各被験者の下肢長と全被験者の下肢長の平均とのずれの割合で割ることによって行った。Fig. 5 において、官能値が 2(普段の生活でややつまずきやすい)と 4(普段の生活でややつまずきにくい)との間に有意差($p < 0.006$)が確認された。このことから、普段の生活でつまずきやすいと感じている被験者の方が、つま先と障害物との最短距離が長くなるという結果が得られた。

被験者にはあらかじめ障害物が設置されている事を伝えた上で実験を行っており、障害物の場所や高さを認識し、障害物をまたいでいるものと考えられる。すると、本実験の結果は、障害物を認識した場合、普段の生活でつまずきやすいと感じている被験者の方が、つま先と障害物との最短距離が長くなり、安全に障害物をまたげていることになる。このことは、普段の生活でつまずきやすいという官能検査の結果に矛盾する。したがって、普段の生活でつまずきやすいと感じている被験者がつまずく原因の一つとして、障害物の位置や高さが認識できていないという可能性が考えられる。

しかし、普段からつまずきやすいと感じている被験者が、障害物の大きさと位置を正しく認識した場合でも、つまずくことが考えられ、もう一つの原因である視覚のセンシングにより構築された空間と実空間との不一致に関して、今後検討する予定である。

Fig. 5 最短距離とつまずきやすさに関する官能値

今回の動作解析実験では、条件をそろえるため、被験者全員が右足からまたぐように指示したが、両足を採用した研究⁸⁾や、普段障害物をまたぐ際に用いる足を選択した研究⁹⁾があり、今後検討する必要があると考えられる。

3.2. 視線計測実験

Table 2 のように、障害物が画面から外れた時刻を 0 s とした時刻をもとに設定したそれぞれの分析時間、及び全分析時間(-6.0s ~ 0.0s)に障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との相関係数、無相関の検定の結果を Table 3 に示した。全分析時間において、障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との間に負の相関が見られ、障害物が画面から外れた

時刻の 4 秒前と 5 秒前の分析時間に障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との間に負の相関が見られた。

全分析時間において、障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との関係について Fig. 6 に示した。障害物を注視した時間とつまずきやすさとの間に負の相関($p < 0.023$)があり、日常生活においてつまずきやすいと感じている被験者の方が、障害物を注視していないということが示された。

このことから、普段の生活でつまずきやすいと感じている被験者は、障害物をあまり注視していないことがつまずく原因の一つであると考えられる。この結果は、動作解析実験での結果を支持し、障害物を認識することがつまずきによる転倒の原因の一つとして考えられる。

また、障害物が画面から外れた時刻の 4 秒前と 5 秒前の分析時間に障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との関係について、負の相関が見られたことから、普段の生活でつまずきにくい方だと感じている被験者は、障害物が画面から外れた時刻の 4 秒前と 5 秒前の分析時間に障害物を注視していることを示している。すなわち、普段の生活でつまずきにくい方だと感じている被験者は、あらかじめ(障害物が画面から消える時刻から 3 ~ 5 秒前の間)障害物を注視することによって、つまずきを回避しているのではないかと考えられる。

これらのことから、歩行者に障害物を認識させることが転倒予防策の一つとして提案できると考えられ、例えば、障害物が認識しやすい色彩の提案や、障害物の注意を喚起させる位置の提案などが考えられる。

今回の視線計測実験の結果において、障害物の色や高さによる注視時間に関する有意差は確認できなかった。これは本実験において、高さを固定したカメラで撮影した映像を用いたためではないかと考えられる。すなわち、この方法で撮影された映像で

Fig. 6 障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値(全分析時間)

Table 2 分析時間の区分

分析時間	6 秒前	5 秒前	4 秒前	3 秒前	2 秒前	1 秒前
障害物が画面から外れた時刻を 0 s とした時刻(s)	-6.0 ~ -5.0	-5.0 ~ -4.0	-4.0 ~ -3.0	-3.0 ~ -2.0	-2.0 ~ -1.0	-1.0 ~ 0.0

Table 3 分析時間ごとの障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との関係

分析時間	6 秒前	5 秒前	4 秒前	3 秒前	2 秒前	1 秒前	全分析時間
障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との関係(相関行列)	-0.1777	-0.8013	-0.7015	0.0000	-0.3225	-0.4346	-0.9140
障害物を注視した時間とつまずきやすさに関する官能値との関係(分散分析による検定)	-	-	-	-	-	-	*

無相関の検定 *: <5%

は、実際の歩行と比べ頭部の上下動がないことや、視野の制限による影響などが考えられる。また、被験者自身が歩行動作を行わなかった影響もあると考えられる。T. Prokopら¹²⁾の研究では、トンネルを歩いている状況の映像を見せ、被験者にはトレッドミル上を歩行してもらうような実験を行っている。見せた映像が被験者のストライドサイクルや歩行速度に影響を及ぼす結果を得ており、被験者自身が歩行動作を行うことの重要性を示唆していると考えられる。

したがって、本実験方法で得られた結果が、実際の歩行においても成立するかどうか検討する必要がある、今後、実際に歩行しながら、視線を計測し、議論を行っていく予定である。また、高齢者の転倒予防策の提案に向けて、高齢者を被験者とした同様の実験を行う予定である。

4. 結言

障害物をまたいでいる際の動作解析に加え、障害物のある床面を歩行者目線で撮影した映像における視線を計測する実験を行った。これらの結果から、普段の生活でつまずきやすいと感じている被験者がつまずく原因の一つとして、障害物の位置や高さの認識できていないという可能性が示唆された。これは、つまずきによる転倒を未然に防ぐ方策を考える上での一つの指針となり、今後、自動車運転手の予防安全のような、対象を健常者へ広げた安全工学などに発展できると考えられる。また、動作解析と視線計測を同時に行うことで、動作に関与した視覚認識の影響を抽出できる可能性を見出した。この結果に加え、もう一つの原因である視覚のセンシングにより構築された空間と実空間との不一致に関して、今後検討する予定である。

参考文献

[1] 厚生労働省: 平成16年度 人口動態調査。

[2] 長谷川浩子: 横浜市における寝たきり患者初回訪問状況と事例紹介, 保健婦雑誌, 1986:42:912-921.

[3] 多田羅浩三, ほか: 在宅寝たきり患者の疾病, 診察, 介護の特性に関する研究, 日本公衛誌, 1987:34:605-614.

[4] 山崎京子: 寝たきり老人および家族の実態と在宅ケアの可能性, 保健婦雑誌, 1987:44:804-813.

[5] 安村誠司, ほか: 地域における最終臥床期間に関する調査研究, 日本公衛誌, 1990:37:851-860.

[6] 高齢社会白書: 平成17年度 高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果.

[7] 乾敏郎 編: 認知心理学1 知覚と運動, 東京大学出版会, 1995.

[8] Tung-Wu Lu, Hao-Ling Chen, Sheng-Chang Chen. Comparisons of the lower limb kinematics between young and older adults when crossing obstacles of different heights. *Gait & Posture* 2006;23:471-479.

[9] Li-Shan Chou, Kenton R. Kaufman, Robert H. Brey, Louis F. Draganich. Motion of the whole body's center of mass when stepping over obstacles of different heights. *Gait and Posture* 2001;13:17-26.

[10] Mirjam Pijnappels, Maarten F. Bobbert, Jaap H. van Dieën. Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers. *Gait & Posture* 2005;21:388-394.

[11] Michael J. Pavol, Tammy M. Owings, Kevin T. Foley, Mark D. Grabiner. Influence of lower extremity strength of healthy older adults on the outcome of an induced trip. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:256-262.

[12] T. Prokop, M. Schubert, W. Berger. Visual influence on human locomotion - Modulation to changes in optic flow. *Experimental Brain Research* 1997;114:63-70