

K-051

高齢者のための歩行支援システムに関する研究  
 A study about the walking support system for elderly persons

西山 祥悟†  
 Shogo Nishiyama

平山 正治†  
 Masaharu Hirayama

1 はじめに

歩行は高齢者が健康を維持するうえで有効な運動である。しかし、歩行をしているうちにバランスが悪くなったり、疲労が蓄積されて転倒するケースがある。そこで、高齢者が安全かつ効率的に歩行できるように支援するシステムを実現できないかと考えた。

本稿では、歩行者に各種センサを装着して、歩行のバランスと疲労の程度を計測し、この値から安全かつ効率的な歩行を支援するシステムの実験と評価について述べる。

2 背景と提案

わが国では、健康ブームによりウォーキングが盛んである。60代の高齢者のうち54.6%は運動にウォーキングをしている[1]。そのうちの10%~30%がウォーキング中に転倒を経験しており、骨折などの怪我をしてしまうケースが多い。転倒をする原因は歩行能力の低下、筋力の低下、年齢によるバランス能力の低下、感覚機能の低下などがあげられる[2]。

著者は、高齢者の安全で効率的な歩行を支援するために、

- 歩行者の体の前後・左右の揺れや足の上げ方などから歩行者の体の“バランス”を数値化し、バランス改善のアドバイスをする機能、および
  - 歩いた距離や時間、休憩時間、歩行ピッチなどから歩行者の“疲労”を数値化し、疲労抑制のアドバイスをする機能
- を備えた歩行支援システムを提案する。

3 システム概要

本歩行支援システムは、バランス改善機能と疲労抑制機能から構成される。この構成図を図1に示す。

3.1 バランス改善機能

足首に装着した距離センサにより足の上げ方を計測し、また背中に装着した加速度センサにより体の前後・左右の揺れを計測する。これらの計測値からバランスの良し悪しを数値化し、転倒の可能性を予測する。この予測にもとづいて、「歩行中の体の揺れが激しいですよ」、「すり足気味なので足をあげることを意識してください」のようなバランス改善のアドバイスを行う。

3.2 疲労抑制機能

背中に装着した加速度センサにより体の上下の揺れを計測し、その値から歩行ピッチを算出する。また、歩行者が所持しているGPS(Global Positioning System)で得られた位置情報から、歩行者の移動距離を求める。これらの値と歩行時間、休憩時間などから疲労の程度を数値化し、転倒の可能性を予測する。この予測にもとづいて、「疲労がたまっているので休憩してください」、「歩行速度が落ちています。休憩してください」のような疲労抑制のアドバイスを行う。

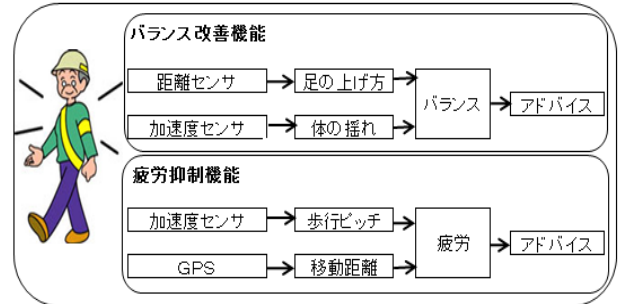


図1 システム構成図

4 バランスと疲労の数値化

4.1 バランス

歩くときに足が地面から離れていて、体の揺れが少ないほどバランスの良い歩行と考え、バランスBを求める式を以下のように定義した。バランスBの値は、歩行者が標準的な歩行をすれば1に近づき、バランスの悪い歩行をするとき小さな値をとる。(k1, k2, k3, k4は0~1の値をとる重みづけ係数である)

$$B = (k1 \frac{d1}{d1z} + k2 \frac{d2}{d2z} + k3 \frac{g1p}{g1} + k4 \frac{g2p}{g2}) / 4$$

d1z: 右足を上げた回数, d1: dp(cm)以上右足を上げた回数  
 d2z: 左足を上げた回数, d2: dp(cm)以上左足を上げた回数  
 dp(cm): 標準的な足を上げる高さ  
 g1(g): 体の左右の揺れ, g1p(g): 標準的な左右の揺れ  
 g2(g): 体の前後の揺れ, g2p(g): 標準的な前後の揺れ

4.2 疲労

歩行ピッチが少なく、歩行速度が遅く、休憩時間が多いほど疲労のたまった歩行と考え、疲労Hを求める式を以下のように定義した。疲労Hの値は、歩行者が標準的な歩行をすれば1に近づき、疲労してくると小さな値をとる。(k5, k6, k7は0~1の値をとる重みづけ係数である)

$$H = (k5 \frac{pi}{pip} + k6 \frac{v}{vp} + k7 \frac{tw}{tw+tr}) / 3$$

pi(回/分): 歩行ピッチ, pip(回/分): 標準的な歩行ピッチ  
 v(m/分): 歩行速度, vp(m/分): 標準的な歩行速度  
 tw(分): 歩行時間, tr(分): 休憩時間

5 試作

5.1 バランス改善機能

バランス改善機能に使用したセンサのスペックを表1に示す。

表1 使用センサのスペック

使用センサ	スペック
距離センサ	9~80(cm)の距離を検出
加速度センサ	三軸加速度センサを使用 前後・左右の加速度を取得 ±3G(29.4m/s <sup>2</sup> )の加速度を検出

歩行者の足首に距離センサを装着した状態を図2、背中に加速度センサを装着した状態を図3に示す。これらのセンサによって、足首から地面までの距離、体の前後・左右

†大阪工業大学大学院 情報科学研究科

の揺れを測定している。これらの計測値から、前節に示した式によってバランスの値を計算する。この値から転倒の可能性を判定し、バランス改善のアドバイスを行う。



図2 距離センサ



図3 加速度センサ

## 5.2 疲労抑制機能

疲労抑制機能に使用したセンサのスペックを表2に示す。

表2 使用センサのスペック

使用センサ	スペック
加速度センサ	三軸加速度センサを使用 上下の加速度を取得 ±3G (29.4m/s <sup>2</sup> )の加速度を検出
GPS	位置精度: 5m 2DRMS (WAAS 使用時)

背中に装着した加速度センサとウェストポーチに入れてあるGPSによって、体の上下の揺れと歩行者の位置情報を測定し、これらの計測値から歩行ピッチ、歩行速度を求める。これらの値と歩行時間と休憩時間から、前節に示した式によって疲労の値を計算する。この値から転倒の可能性を判定し、疲労抑制のアドバイスを行う。

## 6 実験

今回試作した歩行支援システムを用い、以下の5つの条件(表3)のもとで5分間の歩行をし、バランスの変化と疲労の変化を調べる実験を行った。

表3 実験の条件

case	条件
case1	なし
case2	バランスが少し悪い (10kgの重り)
case3	バランスが悪い (20kgの重り)
case4	少し疲労している (5分間の全力疾走後)
case5	疲労している (20分間の全力疾走後)

尚、被験者にはバランスを悪くするために、10kg/20kgの重りを背負い、視覚を悪くするために4重に重ねた老眼鏡を装着して歩行実験を行った。また、疲労している状況を作るために、5分間/20分間の全力疾走した後で歩行実験を行った。

また、歩行者のバランスを確認するための閉眼片足立ちの実験、および歩行者の疲労を確認するための針に糸を通す実験を歩行後に行った。

## 7 結果と考察

### 7.1 実験の結果

上記の実験によって得られたバランスと疲労の変化を図4のグラフに示す。尚、バランスBと疲労Hを求める式の重みづけ係数はすべて1としている。

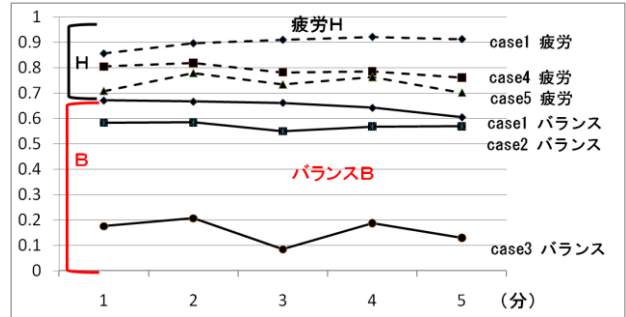


図4 バランスと疲労のグラフ

5分間の歩行後に行った閉眼片足立ちの実験の結果を表4、針に糸を通す実験の結果を表5に示す。

表4 閉眼片足立ちの実験結果

case	case1	case2	case3
立ち続けた時間(秒)	30.2	7.6	4.8

表5 針に糸を通す実験の結果

case	case1	case4	case5
要した時間(秒)	5.4	26	48.9

閉眼片足立ちの結果とバランスの値の位置関係は正しく表れている。しかし、閉眼片足立ちの結果(表4)におけるcase1とcase2/case3の値は大きく変わっているが、図4に示されるバランスの値はcase1とcase2が接近し、case3とは離れている。

また、針に糸を通す実験の結果(表5)と疲労の値の位置関係は正しく表れている。しかし、針に糸を通す実験の結果におけるcase1, case4, case5の値は大きく変わっているが、図4に示される疲労の値は0.7~0.9の値で接近している。

### 7.2 考察と今後の課題

今回の実験結果により、歩行者に装着した各種センサの値から、バランスや疲労を数値化できることが示された。しかし、今回の実験では歩行後に閉眼片足立ちや針に糸を通す実験を行ったが、これらの結果がバランスや疲労を適切に示しているか検証する必要がある。また、バランスや疲労の式における係数をすべて1として計算したが、バランスや疲労に対する各項の影響度を評価して、これらの係数を適切に設定する必要がある。さらに、実験時間を5分間としたが、長時間の歩行実験によって、バランスや疲労の時間的変化を調べる必要がある。

## 8 まとめ

本論文では、いくつかのセンサを用いて安全かつ効率的な歩行を支援するシステムを提案した。この提案を実証するための実験システムを試作し、歩行実験を重ねることで、バランスや疲労を数値化できることを示した。

今後は、バランス改善機能、疲労抑制機能を完成させ、実際に本システムを用いて、高齢者が歩行するうえでの有効性を検証する予定である。

### 参考文献

- [1] ECO Japan CO2も脂肪も削減!?ウォーキングの楽しみ方(前編)「歩くのは面倒くさい」と思っているアナタへ、[http://eco.nikkeibp.co.jp/style/eco/special/070418\\_walking01/index1.html](http://eco.nikkeibp.co.jp/style/eco/special/070418_walking01/index1.html), (2010/02/17 アクセス)
- [2] 大淵 修一 高齢者の転倒と予防 バイオメカニズム学会誌, Vol27, No.1 (2003)