

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010年度～2012年度

課題番号：22500498

研究課題名（和文） 二重課題による自由歩行特性の3次元時空間変化量を利用した転倒予測法の開発

研究課題名（英文） Fall estimation using 3D temporal and spatial variation of gait-parameter during dual-task walking

研究代表者

佐川 貢一（SAGAWA KOICHI）

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：30272016

研究成果の概要（和文）：考え事をしながら歩いたときの歩行特性から、転倒を予測する方法について検討した。歩行特性評価のため、両足爪先に装着した慣性センサと距離センサにより、歩行時の両足の歩幅や歩隔を測定する方法を提案した。また、計算課題実施の歩行特性の低下は、被験者の得意不得意によって有意に差があることを確認した。高齢者を対象にした歩行特性と回答数との関係が、転倒の経験と有意に関連性があることを確認したことから、これが転倒予測に利用可能であると考えられる。

研究成果の概要（英文）： Estimation method of possibility of a fall is investigated using gait parameter during dial-task walking. Using inertial sensor and distance sensor mounted on tiptoe of both feet, measurement method of gait parameters including stance width is proposed. Then, it is found that the deterioration of gait performance during dual-task walking depends on subjects' specialties. Finally, from the dual-task walking experiments for elderly persons, the relation between the deviation of gait parameter and the reduction of the number of answers can be used to estimate the possibility of a fall.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：

総合領域

科研費の分科・細目：

人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：

健康・福祉工学，転倒予測，二重課題，歩行

### 1. 研究開始当初の背景

健常高齢者の中には、自立歩行が可能であるにもかかわらず、何も無いところで突然転倒することがあり、その対策が急務である。これは、歩行以外のことに意識が移動することで、歩行に対する注意意識が低下して歩き方が変化するためであると考えられている。

従来、歩行中に計算などを行う二重課題実施時の歩行速度や歩幅のばらつきから、転倒の予測が可能であることが示唆されているが、高精度で転倒を予測する方法は提案されていない。その理由は、従来の方法では100歩以上の連続的な自由歩行（日常生活に近い歩行）の3次元時空間特性を一步毎に解析する

ことができなかつたためである。例えば、感圧シートでは遊脚側の動作計測は不可能であり、トレッドミルでは自然な自由歩行は困難であり、光学式動作解析装置では長距離歩行の測定は困難である。一方、研究代表者らが開発した爪先装着型センサシステムは、無線式3Dセンサを爪先に取り付けることで、自由歩行時の歩行周期や速度などの時間的特性に加え、一步毎の爪先高さや爪先角度などの空間的特性も長時間測定可能である。しかし、経路推定時の加速度積分の誤差蓄積の影響があるため、両足の位置関係（歩隔や左右の爪先離地の位置）を正しく測定することは困難であった。医療現場では高い精度で転倒発生を予測するために、このセンサシステムを発展させて、自由歩行時の両足爪先の時空間パラメータを計測するとともに、定量的な転倒予測法の提案が強く期待されている。

## 2. 研究の目的

本研究の全体構想は、高齢者が物理的な障害物がないところで転倒する前兆や原因を解明し、将来的な転倒の発生率を高精度予測することにより、転倒防止策の提案と安全安心な生活環境の構築に資することである。何もないところでの転倒は、歩行に対する注意力が減少し、歩き方が変化したときに発生すると考えられている。そこで本研究では、注意力減少の要因と、日常歩行中の両足の3次元時空間パラメータ(立脚/遊脚時間、歩幅、歩行速度、歩隔、爪先と床との距離、爪先角度、左右の足の位置関係など)との因果関係を調査する。そして、高齢者を対象とした前向き研究を実施して、転倒発生率を高精度で予測する方法を提案することを目的とする。

## 3. 研究の方法

従来の3Dセンサシステムのアプローチ改良と赤外線センサ等の追加により、両足の3次元時空間歩行パラメータを測定する新たな3Dセンサシステムを開発し、測定精度の検証を行う。次に、健康人を対象とした二重課題試験を実施し、歩行の時空間パラメータに影響を与える課題の探索と、影響を受ける時空間パラメータを選択する実験を行う。その後、高齢者などを対象とした二重課題試験を実施して時空間パラメータの変化の様子を観察し、一定期間経過後の転倒経験の有無を聞き取って、転倒と関連する時空間パラメータを特定する。最後に、二重課題実施時の時空間パラメータの変動を利用して、将来の転倒発生率を予測するアルゴリズムを構築し、実際の転倒発生状況と比較してアルゴリズムの妥当性を検証する。

## 4. 研究成果

本研究は、高齢者が物理的な障害物がない

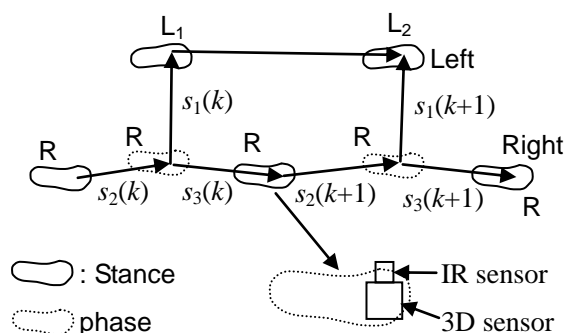


図1：歩隔、歩幅、重複歩距離の定義。立脚中の左足と遊脚中の右足との間の $k$ 歩目の方向と距離を表すベクトル $s_1(k)$ から、左足の位置が求められる。

ところで転倒する前兆や原因を解明するため、注意力減少の要因と、日常歩行中の3次元時空間歩行パラメータ(立脚/遊脚時間、歩幅、歩行速度、歩隔、爪先と床との距離、爪先角度、左右の足の位置関係など)との因果関係を調査する。そして、高齢者を対象とした実験を行い、転倒発生を予測する方法を提案することを目的とする。

(1)平成22年度では、考え事を行っているときの歩き方を詳細に把握するため、右足爪先に赤外線センサを取り付け、右足遊脚時に左足との距離と時刻を測定することで、左右の足の歩隔も含めた両足爪先の3次元歩行パラメータ測定システムを開発した。図1は、両足の位置関係を推定するアルゴリズムの概略である。左右の足爪先の軌跡は、加速度および角速度積分により求める。また、右足から見た左足の位置は、右足爪先に取り付けた赤外線センサから求めた左足までの距離と、立脚、遊脚の区別を行うことで推定する。図2は、歩行時の左右の爪先の角速度と、両足の距離の一例である。右足が遊脚状態( $S_w$ )のとき、距離センサに極小値が見られる。この瞬間に、右足が立脚状態( $S_t$ )の左足の横を通過していることが分かる。図3は、歩隔を15[cm]に指示して歩行を行った実験から求めた、提案したアルゴリズムの有無による両足爪先の動きである。アルゴリズムを適用しない場合、左足の軌道は右足の右側に移動するという結果となったが、アルゴリズムを適用することにより、実際の歩行と同様の結果が得られた。これにより、左右の足の動きを推定することが可能となった。

(2)平成23年度では、簡単な計算を行うスマートフォン専用アプリを利用し、アプリを実施しながら二重課題歩行を行ったときの解答速度と歩行パラメータを求める実験を行った。実験方法の概略を図4に示す。また、

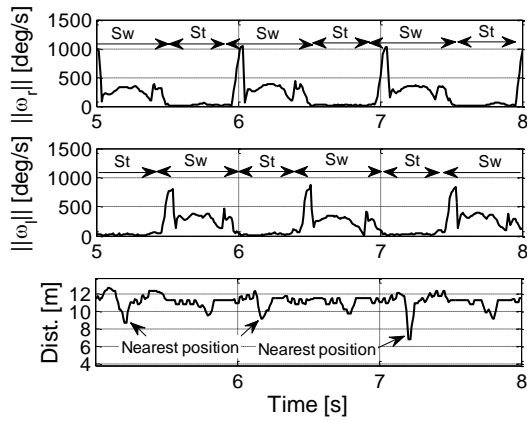


図 2：左右の爪先の角速度 ( $\omega_r$ ,  $\omega_l$ ) と、その距離の変化の一例。

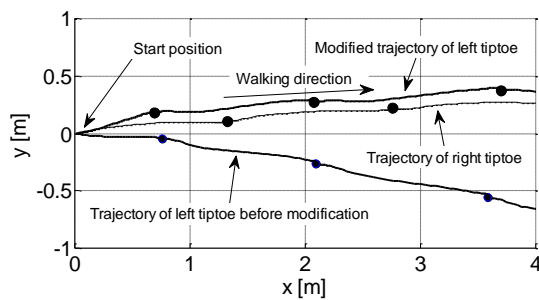


図 3：左右の爪先軌跡の推定結果。歩隔は 15[cm] に設定。

図 5 は、実験の結果得られた、歩行パラメータの変化の一例である。計算を行うことにより、重複歩距離 (SL) が減少して歩行周期 (WC) が延長し、歩行速度 (V) が低下することを確認した。一方、爪先高さ (TC)、爪先角度の最大値 ( $\theta_{\max}$ ) および最小 ( $\theta_{\min}$ ) については、あまり変化が見られなかった。図 6 は、2 種類の異なる計算課題を行ったときの、通常歩行に対する二重課題歩行時の各歩行パラメータの変化率であり、全被験者の平均値である。爪先角度の最大値および最小値以外は、課題実施によって有意に変化していることがわかる。一方図 7 は、理系学部、文系学部の健康な男女を対象とした実験の結果である。二重課題によって歩幅が減少して歩行周期が延長し、歩行速度が低下することを確認した。さらに、文系被験者の方が理系被験者よりも歩行パラメータの変化の割合が大きくなった。このことから、歩行パラメータの変化を定量的に評価するためには、課題の内容が重要であることが確認された。

(3) 平成 24 年度では、健常高齢者を対象に難易度の異なる 2 種類の想起問題を与える二重課題歩行実験を行い、課題の難易度と歩行パラメータの変化の割合を導出し、さらに転倒経験の有無との関連性を比較すること

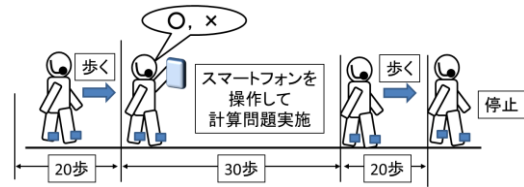


図 4：スマートフォンのアプリを使用しながら歩いたときの歩行パラメータの計測方法

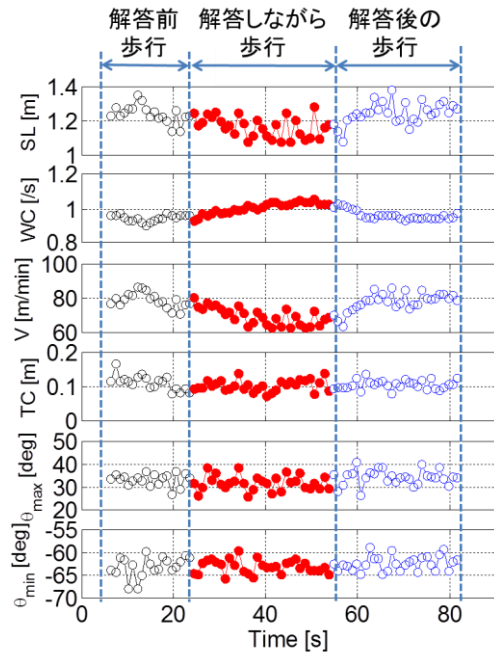


図 5：スマートフォンのアプリを使用しながら歩いたときの歩行パラメータの計測方法

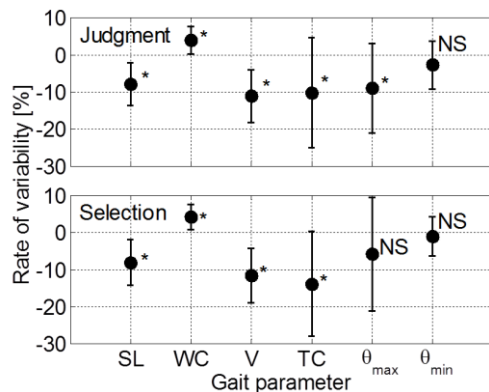


図 6：スマートフォンのアプリを使用しながら歩いたときの歩行パラメータの比較

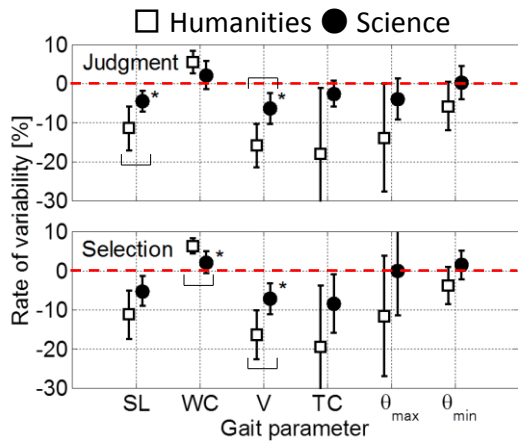


図7：理系および文系被験者の、二重課題実施時歩行パラメータの比較

で、転倒を予測する方法について検討した。さらに、通常歩行時と、想起問題実施時の歩行パラメータを測定し、ワーキングメモリに対する歩行能力と回答能力の占有率の関係を求めた。図8は、都道府県名を答えるように指示したときの重複歩距離(S)と歩行速度(V)の変化の一例である。回答中に歩行パラメータが変化していることが分かる。実験の結果、転倒経験有りの人は、転倒経験無しの人よりも歩行能力の占有率が有意に低下した。また、図9は2回行った想起問題の結果を利用し、歩行パラメータの悪化の度合いと問題の難易度増加の度合いとの関係を表すパラメータ $\alpha$ を定義し、転倒未経験者と転倒経験者(\*印)で比較した結果である。 $\alpha$ は、歩行パラメータの悪化の度合いが問題の難易度の度合いよりも大きくなった場合、1未満となる。図9より、転倒経験者の $\alpha$ は有意に未経験者の値よりも低下し、平均は1以下となった。これより、パラメータ $\alpha$ を利用することで、将来的な転倒の危険性を予測することが可能になると考える。

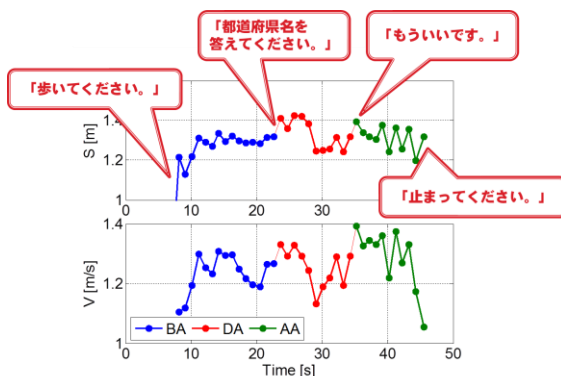


図8：想起問題を実施したときの歩行パラメータの変化 (S: 重複歩距離, V: 歩行速度)

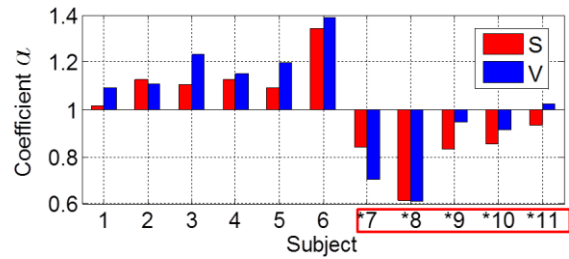


図9：歩行パラメータと想起問題の難易度との関係を表すパラメータ $\alpha$ と、転倒経験の有無との比較。(S: 重複歩距離, V: 歩行速度) (\*: 転倒経験者)

### 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2件)

- ① Seiji Kitamura, Koichi Sagawa, Toshiaki Tsukamoto, Yasuyuki Ishibashi, Development of a Wireless Inertial Measurement System for Pitching Motion Analysis, Advanced Engineering Forum, 査読有, Vols 2-3, 2012, 452-457
- ② 小西和宏, 佐川貢一, 石橋恭之, 動作解析用慣性センサの大腿部および下腿部への最適装着位置推定, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, Vol. 78, No. 786, 2012, 352-361

[学会発表] (計20件)

- ① 北村政嗣, 本井幸介, 佐川貢一, 慣性センサによるジャンプ動作の3次元計測, 日本機械学会 IIP2013 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, 2013, 130-135, 2013/03/22, 東洋大学
- ② 福川亮, 津嶋優太, 山口慶太, 本井幸介, 佐川貢一, 高齢者の転倒経験と二重課題歩行特性との関係, 日本機械学会東北学生会 第43回卒業研究発表講演会講演論文集, 121-122, 2013/03/11, 一関工業高等専門学校
- ③ Seiji Kitamura, Koichi Sagawa, 3D measurement of lower posture during jumping using inertial sensor, SICE Annual Conference 295-300, 2012/08/20-23, Akita
- ④ Koichi Sagawa, Kensuke Ohkubo, 2D trajectory estimation during free walk using tiptoe mounted sensor, Program and Extended Abstract, 2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint International Conference on

- Micromechatronics for Information and Precision Equipment, 29-31, 2012/06/18-20, Santa Clara, USA
- ⑤ Koichi Sagawa, 3D motion sensor, International Symposium of Progress and Innovation of Smart Materials and Related Technology (PI-SMART 2012), Oral session 3-2, 2012/04/24-25, Hirosaki
- ⑥ 小山崇宣, 本井幸介, 窪田美穂, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 佐川貢一, 田中直登, 山越憲一, ウェアラブル姿勢モニタシステムを用いた脳性麻痺児の歩行加速・減速における装具効果定量評価の試み, 第46回日本生体医工学会東北支部大会講演論文集, 21, 2012/11/17, 東北大学
- ⑦ 井畑裕貴, 佐川貢一, 感圧導電ゴムを利用した省配線多点力覚センサシステム, 日本機械学会第23回バイオフィロントニア講演会講演論文集, 25-26, 2012/10/05, 弘前
- ⑧ 安田貴弘, 佐川貢一, 久慈憲夫, 小野俊郎, センサネットワークデバイスによる人動態計測と評価, 日本機械学会第23回バイオフィロントニア講演会講演論文集, 63-64, 2012/10/05, 弘前
- ⑨ 安田貴弘, 佐川貢一, 久慈憲夫, 小野俊郎, センサネットワークデバイスの医用情報センシング適用性2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 369-370, 2012/09/14-16, 九州工業大学
- ⑩ 佐川貢一, 小西和宏, 石橋恭之, 慣性センサ装着位置の下肢関節角度推定精度への影響, 日本機械学会2012年度年次大会講演論文集, J165014, 2012/09/09-12, 金沢大学
- ⑪ 津嶋優太, 柴田真菜美, 佐川貢一, 二重課題歩行時の計算課題による負担と歩行パラメータとの関係, 計測自動制御学会東北支部第273回研究集会, 273-8, 2012/06/29, 八戸高専
- ⑫ Koichi Sagawa, Yuta Tsushima, Manami Shibata, Spatial and temporal gait parameter measurement while mental calculation using smart phone, The 51st Annual Conference of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, P1-01-5, 2012/5/10-12, Fukuoka
- ⑬ 松浦裕樹, 佐川貢一, 身体動作計測のためのサンプリング同期式無線慣性センサ, 日本機械学会東北支部第47期総会・講演会講演論文集, 226-227, 2012/03/13, 東北大学
- ⑭ 柴田真菜美, 佐川貢一, スマートフォンを用いた計算課題実施時の歩行パラメータ測定, 日本機械学会東北支部第47期総会・講演会講演論文集, 134-135, 2012/03/13, 東北大学
- ⑮ Seiji Kitamura, Koichi Sagawa, Toshiaki Tsukamoto, Yasuyuki Ishibashi, Development of a wireless inertial measurement system for pitching motion analysis, 2011 International Conference on Mechatronics and Information Technology, Shenyang, China, 2011/08/16-19
- ⑯ 佐川貢一, 田中秀幸, 塚本利昭, 石橋恭之, 身体装着型センサによる両足爪先の3次元軌道推定, 日本機械学会2011年度年次大会DVD-ROM論文集, S161013, 2011/09/14, 東京工業大学
- ⑰ 安田貴弘, 佐川貢一, 久慈憲夫, 小野俊郎, センサネットワークによる人動態の多点計測, 計測自動制御学会東北支部第265回研究集会, 265-8, 2011/06/28, 弘前大学
- ⑱ Koichi Sagawa, Hideyuki Tanaka, Yumiko Takada, Toshiaki Tsukamoto, Yasuyuki Ishibashi, Three-dimensional gait analysis of right and left tiptoe using tiptoe mounted sensor, The 50th Annual Conference of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, 2011, 02-8-2, 2011/04/30, 東京電機大学
- ⑲ 小西和宏, 佐川貢一, 塚本利昭, 瓜田一貴, 石橋恭之, 動作解析用慣性センサの大腿部および下腿部への最適装着位置推定, 日本機械学会IIP2011情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, 2011, 237-242, 2011/03/23, 東京電機大学
- ⑳ 田中秀幸, 佐川貢一, 高田ゆみ子, 塚本利昭, 石橋恭之, 瓜田一貴, 爪先装着型センサによる歩行時両足の3次元動作推定, 公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2010), 2010/12/24, 東北大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐川 貢一 (SAGAWA KOICHI)  
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：30272016

### (3) 連携研究者

石橋 恭之 (ISHIBASHI YASUYUKI)  
弘前大学・医学系研究科・教授  
研究者番号：80292142

塚本 利昭 (TSUKAMOTO TOSHIAKI)  
弘前大学・医学部附属病院・理学療法士  
研究者番号：10374852