様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５ 年　 ５ 月　 ８ 日現在

機関番号：３２６１３
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2022
課題番号：２０Ｋ１９５８８

研究課題名（和文）健康寿命延伸に貢献する「美しい歩き方」の定量的評価

研究課題名（英文）Quantitative evaluation of "Beautiful walking" that contributes to extending healthy life expectancy

研究代表者

齊藤　亜由子（Saito, Ayuko）

工学院大学・先進工学部・助教

研究者番号：９０７１０７１５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では歩行動作における運動学的要素と，審美性を評価する心理的要因との関係性を調査するため，骨盤の自然傾斜角（腰仙角15~30度）を保ち背筋を伸ばす歩き方をスタイルA，骨盤を後傾させ（腰仙角10度以下）背筋を丸める歩き方をスタイルBと定義し，ウォーキング講師男女各1名の歩行を計測した．歩行計測実験と主観評価実験の結果より，歩く人・評価する人の性別によらず，スタイルAの歩き方は第三者から見て「健康である」印象が強いことが示された．また，膝から下の動きについては「好き」「嫌い」といった個人の嗜好が関連しており，屈曲伸展のメリハリをつけた膝・足首の動きは「好き」と評価されやすいことが示唆された．

研究成果の学術的意義や社会的意義
第三者から美しいと評価される歩き方の特徴を明らかにすることができれば，歩行における身体への健康増進効果に加え，「美しく見える」という気分の改善による精神面への健康増進効果が得られるため，「美しく見える歩き方」は心身の健康を支える運動様式として多くの人に受け入れられることが期待できる．本研究で定義した二種類の歩行において，各歩行の特徴的な関節角度の変化をとらえ，さらに全身・上半身・脚部の三種類の歩行動画を用いることにより，背筋をまっすぐに保つ上半身の姿勢だけでなく，膝・足関節の曲げ伸ばしを明確に行うことが他者から好印象を持たれやすいことを示した点が本研究の成果である．

研究成果の概要（英文）：This study investigated the impressions of two walking styles. Keeping the pelvis in a neutral position and the trunk upright while walking was defined as Style A, which is often described as good posture. Keeping the pelvis in the posterior tilting position and being hunched over while walking was defined as Style B, which is often described as poor posture. An optical motion capture system was used to measure the two walking styles, which were performed by two walking instructors (a male and a female). Furthermore, a subjective evaluation experiment was conducted to examine the impressions of the two walking styles. The results suggest that the impression of leg motions, in addition to the impression of the trunk posture, may influence the impressions of walking motion. Walking with good posture, in which a person keeps the trunk upright and clearly flexes and extends the knee and ankle joints, gives the impressions of "healthy".

研究分野：計測工学

キーワード：歩行計測　関節角度　姿勢　主観評価　性差　審美性

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

現在，日本におけるウォーキング人口は 4,500 万人を超え，過去 20 年間において 2 倍以上増加している．ウォーキングの効果として，1 日あたりの歩数・歩行時間と予防できる可能性のある病気の関係が報告されているが [1]，高血圧・糖尿病の予防には 1 日当たり 20 分・8000 歩，肥満予防には 40 分･12,000 歩の歩行が必要とされており，毎日継続して行うことは容易ではない．また，正しい姿勢を保ちながら上品に歩く「美しい歩き方」が女性を中心に人気を集めており，正しい姿勢で歩く効果として足部接地時の衝撃軽減や転倒防止効果が示唆されているが [2]，効果の根拠を機能解剖学的観点から明らかにした例はほとんどない．「美しい歩き方」特有の健康増進効果を明らかにすることができれば，身体への健康増進効果に加え，「美しく見える」という気分の改善による精神面への健康増進効果が得られるため，心身の健康を支える運動様式として多くの人に受け入れられることが期待できる．この達成には，「美しい歩き方」の定量的な評価指標を確立して「美しく見えるコツ」を得るとともに，機能解剖学的知見から身体への影響を解明することが重要である．

これまで，歩行に関する研究は数多く行われており，歩行における下肢関節角度や関節モーメント，関節パワーなどの運動学・動力学的特徴が明らかにされつつある [3) 4)]．申請者らは，歩行における進行方向・上下方向の身体重心速度と，下肢関節パワーとの関係を示す歩行重心速度モデルを構築し，歩行の局面において重心移動に貢献する主な下肢関節パワーを定量的に示している [5)]．これらの動作解析手法を応用して，ウォーキング講師の「美しい歩き方」における動作の特徴や関節間協調，視線の違いを包括的に解析することにより，「美しい歩き方」における「動作の特徴」＝「美しさの要素」を具体的に抽出するための糸口となる．また，美しさの評価は個人の感性に基づいていることから，「美しいと認識される要素」を明らかにするためには，「美しい歩き方」を見た人が「何を知覚し，その結果どのような評価を下しているのか」という認知構造を明らかにすることが必要である．そのため，「美しい歩き方」を評価するための定量的指標の確立には，バイオメカニクス的解析と認知科学的解析を併せて行うことが重要である．さらに，機能解剖学的観点から運動学・動力学的特徴を解析することにより，短期的な健康増進効果を解明するだけでなく，「サルコペニア予防」などの長期的かつ健康寿命延伸に有効な健康増進効果を見出し「美しい歩き方」に新しい価値を付与することが望まれる．

２．研究の目的

本研究では一般的に美しいとされる歩き方に関して，視線計測を含むバイオメカニクス的解析・認知科学的解析・機能解剖学的解析を併せた新しい分野融合解析を行うことにより，「美しい歩き方」を評価するための定量的な指標を得ること，および「美しい歩き方」によって得られる健康増進効果を明らかにすることを目的とする．

これまでに，光学式動作解析装置やフォースプレートを用いた歩行計測は数多く行われているが，持ち運びが容易かつ計測場所に制限されない機器を用いた歩行計測が行われた例は少ない．しかし，「美しい歩き方」の印象は計測場所の違いにより変化するため，本研究においては屋内･屋外を問わず様々な場所において使用可能な計測システムを構築する．本研究においては，先行研究 [6)]の歩行計測において申請者らが構築した 9 軸モーションセンサによるセンサ・フュージョンを応用し，上肢の姿勢推定，および小型の力センサを併用した下肢関節モーメント推定のための新しいアルゴリズムを独自に構築する．

本研究は，分野横断的な解析により，「美しさ」と「健康増進効果」を兼ね備える運動様式の確立に寄与することから，健康寿命延伸および医療費削減へ多大なる貢献が期待できる．

３．研究の方法

Ⅰ）新しいセンサ・フュージョンの構築

歩行における上肢・下肢の関節角度は，合計 15 個の 9 軸モーションセンサを用いて，先行研究のセンサ・フュージョンを応用し，推定する．歩行計測により得られる関節角度と床反力の計測情報を用いて，下肢関節モーメントを推定するための新しいセンサ･フュージョンを構築する．検証実験においては，9 軸モーションセンサ，ウェアラブル床反力計と，三次元動作解析装置による同時計測を行い，センサ・フュージョンにより得られた歩行者の関節角度・関節モーメントと，三次元動作解析装置の結果を比較し，本研究における計測システムと新しく構築したセンサ・フュージョンの有効性を確認する．

Ⅱ）「美しい歩き方」における「動作の特徴」抽出

モデル経験を有する複数名のウォーキング講師に「美しい歩き方」，「美しくない歩き方」を再現いただき，歩行計測を行う．「美しい歩き方」，「美しくない歩き方」に関しては，骨盤傾斜角や体幹角度を用いて二種類の歩き方を定義する．計測においては，光学式動作解析装置および 9 軸モーションセンサを用いた計測を行う．解析においては，上肢 6 関節（左右の肩関節，肘関節，手首関節）と下肢 6 関節（左右の股関節，膝関節，足関節）の関節角度，体幹の角度に特異値分解を行い，主要な関節間協調を得る．得られた運動計測情報に基づき「美しい動作の特徴」を抽出する．

Ⅲ）「美しい歩き方」が美しいと評価される認知構造の解明

「美しい歩き方」に対する認知構造を解明するため，以下の手順に沿って評価グリッド法[7]を応用し，最終的に美しさの認識と紐づく具体的な動作の要素を明らかにする．

(1)歩行計測実験において撮影した「動作の特徴」が明確に分かる静止画，動画を評価者に見ていただく．（20 名程度の男女に評価者として協力していただく）

(2) 歩行計測の解析により得られた「美しい歩き方」における「動作の特徴」に関して，評価者へ動画，静止画を用いた詳細な説明を行い，評価者が美しいと感じる順に「動作の特徴」を順位付けする．さらに，評価者がそれぞれの「動作の特徴」に対して持つイメージを「しなやか」「華麗」などの言葉で表現していただき，記録する．

(3) (2)の順位付けにおいて，順位が高い動作ほど顕著に現れるバイオメカニクス的特徴（関節角度，関節角速度，関節モーメント等の特徴的な変化），視線移動の特徴を得ることにより，美しさの認識と紐づく歩行中の具体的な動作・視線の要素を明らかにする．さらに，(2)において評価者が抱いた個々の「動作の特徴」に対するイメージ（「しなやか」「華麗」など）を個々の「動作の特徴」に紐づけ，運動学・動力学的特徴や視線移動の特徴と併せて「美しい歩き方」を評価するための定量的な指標とする．

４．研究成果

Ⅰ）新しいセンサ・フュージョンの構築

ジャイロセンサのバイアス誤差は計測環境やセンサの精度によって不安定になることも多く，姿勢推定のためのカルマンフィルタにおいてはジャイロセンサ出力に基づく予測と，加速度センサや地磁気センサの出力である観測値を相補的に利用していることから，より精度の良い姿勢推定のためにはジャイロセンサのバイアス誤差自体を逐次推定して補正することが望ましい．そこで，無人システムの制御や構造物の応答計測に利用されているバイアス誤差の逐次推定・補正手法を応用し，9 軸モーションセンサを用いた歩行計測のための新しいセンサ・フュージョン[8]を構築した．しかし，提案したセンサ・フュージョンによる膝関節角度の推定結果（図 1 黒線：光学式動作解析装置，青線：提案手法もｙ）は，光学式動作解析装置と比較して最大で約 8 度程度の二乗平均誤差が生じており，より詳細に関節角度の変化をとらえて歩行の審美性を検証するためには光学式動作解析装置のみによる計測が望ましいと判断した．

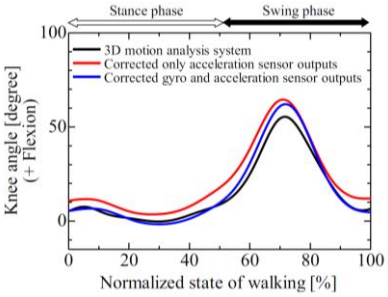
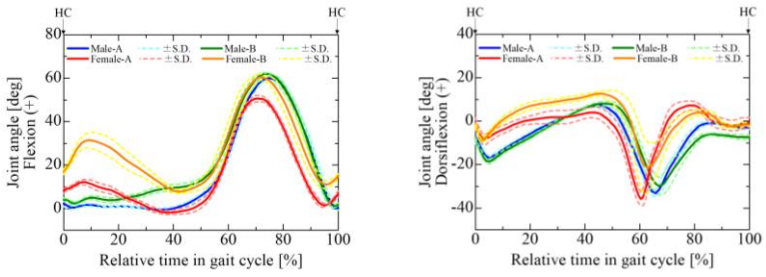


図 1 歩行中の膝関節角度

Ⅱ）「美しい歩き方」における「動作の特徴」抽出

歩行計測の実験参加者はウォーキング講師男女各 1 名である．歩行計測実験は工学院大学において実施し，本実験については工学院大学ヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認を得るとともに，あらかじめ被験者に十分な説明を与え，同意を得た．実験においては，光学式三次元動作解析装置（Motion Analysis 社製，MAC3D）を用いた．Helen Hayes マーカーセットを参照して実験参加者の身体各部位に反射マーカ 29 個を貼付した．本実験においては，骨盤を自然傾斜角である前傾 15～20 度に維持し，背筋を伸ばす歩き方を「スタイル A」と定義し，骨盤を後傾させ背中を丸める歩き方を「スタイル B」と定義した．実験参加者はそれぞれの歩き方において，自然な歩幅でメトロノーム 90 bpm に合わせて歩行路上を歩行した．それぞれの歩行スタイルにおいて 6 回ずつの計測を行った．

歩行計測結果より，実験参加者は本研究において定義したスタイル A とスタイル B の歩き方を忠実に再現していたことが確認できた．計測において下肢の動きに関する指示は行っていないが，2 名の実験参加者共にスタイル B では足先を伸ばし切らず，スタイル A と比較して膝の屈曲，足の背屈を維持した歩き方の特徴が見られた．（図 2. 青：男性のスタイル A，緑：男性のスタイル B，赤：女性のスタイル A，黄：女性のスタイル B）実験参加者からは「スタイル B においては体幹が屈曲し前屈みの状態であったため，バランスを取るために膝や足部を常に屈曲させなければならず，つま先離れなどの局面においても十分に膝関節や足関節を伸展できなかった」という感想を得ており，スタイル A・B の外見の違いは上半身だけでなく膝からの下の部位の動きにも表れていることを確認した．



(a) 膝関節角度　　(b) 足関節角度

図 2 歩行中の下肢関節角度

Ⅲ）「美しい歩き方」が美しいと評価される認知構造の解明

歩行計測実験より，二種類の歩行における運動学的特徴について，上半身の姿勢だけでなく膝から下の脚部の動きにも差異が表れたことから，主観評価実験においては，スタイル A・B の全身の歩行動画に加え，上半身，膝から下の脚部それぞれの歩行動画を用いて歩行の印象に関するアンケート調査を行った．アンケート調査に用いた動画は，歩行計測実験において歩行中の参加者の左側から撮影した動画である．アンケートの回答者は，20 代前半の女性 25 名，男性 25 名である．アンケートは Google フォームを使用し，7 語の評価項目中の 1 語に対して，1〜5 までの 5 段階で評価していただいた．アンケート調査において，先入観による印象付けを防ぐため，それぞれの動画の違いについての説明は行っていない．

図 3 に，アンケート結果の一例として，男性が回答したアンケート結果の箱ひげ図を示す．図 3 の(a)は男性の被験者がスタイル A で歩いた全身動画，(b)は男性の被験者がスタイル B で歩いた全身動画，(c)は女性の被験者がスタイル A で歩いた全身動画，(d)は女性の被験者がスタイル B で歩いた全身動画に対するアンケート結果である．図中の×は平均値であり，平均値が 4 以上，四分位範囲が 4~5 にかかっている評価語を高評価とした．また，平均値が 2 以下，四分位範囲が 1~2 にかかっている評価語を低評価とした．

図 3 より男性から見た男性のスタイル A は，「健康」が高評価であり，男性から見た女性のスタイル A は「健康」「品がある」「美しい」が高評価であった．女性から見た男性のスタイル A においても「健康」が高い評価を得ており，女性から見た女性のスタイル A は「健康」「かっこいい」「品がある」「美しい」が高評価であった．本結果より，男性がスタイル A で歩いた全身動画に対し，評価者の性別を問わず「健康」の印象が強く持たれることが示された．また，女性がスタイル A で歩いた全身動画に対しては，評価者の性別を問わず「健康」に加え「品がある」「美しい」印象が強く持たれることが示された．図 3 より男性から見た男性のスタイル B は，「嫌い」「美しくない」「品がない」「魅力的でない」「かっこ悪い」「不健康」の印象を強く与えており，これらの評価語において平均値は 2 未満であった．男性から見た女性のスタイル B の評価においては，平均値が 2~4 の間，四分位範囲も 2~4 の間であり，男性のスタイル B よりは評価点が高い傾向であった．女性から見た男性のスタイル B，女性のスタイル B に関しても，男性から見た男性のスタイル B，女性のスタイル B と同様の結果であった．本結果より，歩行者の性別，評価者の性別によらず，スタイル B の評価点はスタイル A の評価点を大きく下回ることが示された．

上半身のみのアンケート結果，脚部のみのアンケート結果を含めた考察の結果，本研究のスタイル A の定義で上半身の姿勢を保つことは，他者から「健康」であると評価され，脚部については膝と足の曲げ伸ばしを明確に行うことが他者から好印象を持たれる歩き方であることが示唆された．

【研究成果のまとめ】

研究の方法として計画していたⅠ）に関しては，詳細な歩行解析に必要な精度を得られるセンサ・フュージョンを構築することができなかった．II)，III）に関しては予定通り遂行することができたが，歩行計測実験の参加者数や，主観評価実験の評価者数が少ないため，本研究成果は本研究で設定した条件下の結論であり，ただちに一般化できるものではない．

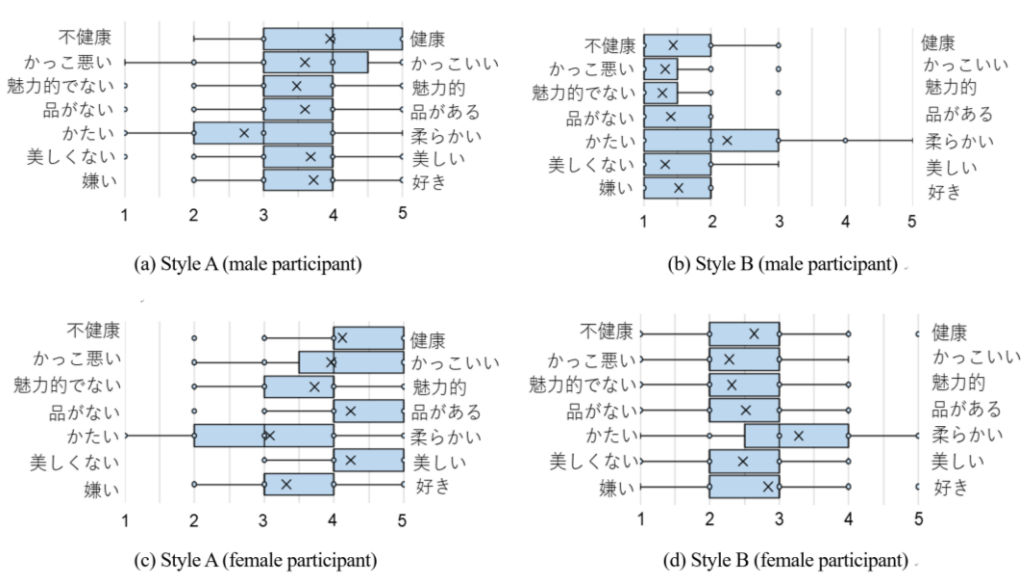


図 3 男性のアンケート回答者による回答結果の箱ひげ図

＜引用文献＞

1) 青栁幸利 ; あらゆる病気を防ぐ「一日 8000 歩・速歩き 20 分」健康法：身体活動計が証明した新健康常識, 草思社, 2013.
2) 祝原豊, 他 ; 歩行時立脚期の足圧分析によるポスチュアウォーキングの特性の検討, ウォーキング研究, Vol.20, pp.49-54, 2016.
3) 山﨑敦 ; 歩行のバイオメカニクス(1)正常歩行の運動学とバイオメカニクス, 理学療法ジャーナル, Vol.47, No.5, pp.429-437, 2013.
4) 臨床歩行分析研究会 ; 関節モーメントによる歩行分析, 医歯薬出版株式会社, 1997.
5) 齊藤亜由子, 他 ; 歩行動作における下肢関節パワーを用いた身体重心速度の推定に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.877, DOI: 10.1299/transjsme.19-00245, 2019.
6) 齊藤亜由子, 他 ; 歩行動作におけるモーションセンサを用いた膝関節角度の推定に関する研究（遠心加速度と接線加速度の影響に着目して）, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.857, DOI: 10.1299/transjsme.17-00488, 2018.
7) 讃井純一郎 ; ユーザーニーズの可視化手法 : 評価グリッド法(EGM), 人間工学, Vol.36, pp.60-61, 2000.
8) Ayuko Saito et al. ; Knee joint angle estimation by sequential correction of gyroscope bias, Proceedings of 33rd 2022 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, , DOI: 10.1109/MHS56725.2022.10092127, 2022.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計2件（うち査読付論文　2件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　1件）

１．著者名 齊藤亜由子，奈良雄斗，木澤悟	４．巻 23-1
２．論文標題 歩行計測における大腿マーカ前方貼付の膝関節角度への影響	５．発行年 2021年
３．雑誌名 日本福祉工学会誌	６．最初と最後の頁 18-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Ayuko Saito, Shogo Takeuchi, Jun Muramatsu, Satoru Kizawa, Masaki Tamura	４．巻 21-3
２．論文標題 A Study on Impressions of Walking Motion	５．発行年 2022年
３．雑誌名 芸術科学会論文誌	６．最初と最後の頁 174-185
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

〔学会発表〕　計7件（うち招待講演　0件／うち国際学会　5件）

１．発表者名 武内翔吾，村松潤，木澤悟，田村雅紀，齊藤亜由子
２．発表標題 美しい歩き方の運動学的評価に関する研究
３．学会等名 日本機械学会 2021年度 年次大会
４．発表年 2021年

１．発表者名 村松潤，武内翔吾，木澤悟，田村雅紀，齊藤亜由子
２．発表標題 背景が歩行動作の官能評価に与える影響
３．学会等名 Dynamics and Design Conference 2021
４．発表年 2021年

１．発表者名
Yura Honda, Shogo Takeuchi, Jun Muramatsu, Satoru Kizawa, Masaki Tamura, Ayuko Saito

２．発表標題
Study on the movement during walking beautifully and the perception of beauty

３．学会等名
20th International Symposium on Advanced Technology（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Jun Muramatsu, Shogo Takeuchi, Ayuko Saito

２．発表標題
A study on the view factor in sensory evaluation of human motion

３．学会等名
19th International Symposium on Advanced Technology（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Shogo Takeuchi, Jun Muramatsu, Masaki Tamura, Ayuko Saito

２．発表標題
Experiment on selecting evaluation words for sensory evaluation of beautiful walking

３．学会等名
19th International Symposium on Advanced Technology（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Tatsuro Sato, Shigeo Yamashita, Shinichiro Morichi, Hisashi Kawashima, Gaku Yamanaka, Satoru Kizawa, Ayuko Saito

２．発表標題
A study on motion measurement for early screening for neurological disease

３．学会等名
19th International Symposium on Advanced Technology（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名 Ayuko Saito, Shinichiro Morichi, Satoru Kizawa
２．発表標題 Knee joint angle estimation by sequential correction of gyroscope bias
３．学会等名 33rd 2022 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science（国際学会）
４．発表年 2022年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

―

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	木澤　悟 (Kizawa Satoru)	秋田工業高等専門学校・教授 (51401)	

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関