

高齢者に向けた歩行指導への一考察（第2報）

A study on the gait training for the elderly people (Part 2)

宮 辻 和 貴

Kazuki MIYATSUJI

要 旨

本研究では、高齢者と若年者における歩行動作の特徴をより明確に把握するためには、歩行動作指標のメカニズム（遊脚期の関節角度、関節角変位などの要因）を解明することにより、歩行指導に対する詳細な内容を提供できることが考えられることから、前報（宮辻，2018）の結果を踏まえた上で、データの再検討をすることを目的とした。

被験者は、高齢男性10名（年齢 76.1 ± 5.8 歳）と若年男性10名（年齢 19.7 ± 0.5 歳）を対象とした。異なる速度（自由歩行，緩歩，速歩）によって歩行した動作を2台のビデオカメラ（60fps）で撮影し、DLT法を用いて3次元動作解析を実施した。

その結果、基礎データとなる自由歩行に関する歩行指標（歩行速度が有意に低いなど）の多くに高齢若年群間で差異が認められた。また、歩行速度に対する歩行動作指標メカニズムとの関係について調べたところ、足運びに必要なスイング脚である遊脚期の関節角度、関節角変位などの動作指標との間に特徴となる大きな差異は見られなかった。これは第1報（宮辻，2018）のデータ解釈と同様に自由歩行における歩行指標および歩行動作指標の差は、単純に高齢者と若年者の歩行速度が異なったものを比較していたためであったことをより示唆するものである。

以上の結果から、これから高齢者に向けた歩行指導への取り組みとしては、自由歩行速度を高めるための歩行運動を動作中心に指導するのではなく、個々に適した土台づくりや環境づくりを構築する必要性のあらわることが示唆された。

キーワード：高齢者、歩行指導、動作解析、歩行動作指標

I 緒言

近年、我が国を含めた全世界に関連する共通事項として、顕著に「高齢化」の問題が表面化している現状である。総務省（2018）の統計調査によれば、65歳以上の高齢者人口は過去最多の3,557万人（男性：1,545万人、女性：2,012万人）を示

し、女性の高齢者人口が初めて2,000万人を超えたことが報告されている。これら総人口が前年（2017年）の1億2,669万人から翌年（2018年9月15日現在）の1億2,642万人へ27万人減少している一方、高齢者に関しては44万人（3,513万人から3,557万人へ）の増加を示していることから、

総人口に占める割合は約28.1%と過去最高となっているため、おおよそ約3.5人に1人が高齢者であることが示されている（総務省，2018）。

本研究課題として取り上げた歩行運動については、ヒトのロコモーションにおける最も基本的な動作であるため、幅広い分野（人類学、体力学、動作学、動力学など）からの多種多様なアプローチにより報告がなされてきた。実際のところ、歩行能力がADL（Activities of Daily Living）やQOL（Quality of Life）を維持するために必要不可欠な運動能力であると考えられていることから、多角的な視点からその能力について高齢若年問わず理解しておかなければならない。それが昨今の少子高齢化対策になると共に、長寿超高齢化社会に向けた取り組みへの第一歩となる。そのため厚生労働省（2017）の平成29（2017）年簡易生命表によると、平均寿命が男性は81.09歳で世界第3位、女性が87.26歳で世界第2位と先進諸国の中でも一段と高い長寿大国であることが報告されている。事実、Studenski et al.（2011）は歩行速度の要因が65歳以上の高齢者の生存率に大きく関与するだろうと明らかにしている。また、イギリスのBassey et al.（1976）が高齢者の行動体力を測定する方法に「普通」、「遅く」、「速く」と指示した場合の歩行速度を調査する歩行テストを考案している。この取り組みは、運動生理学の第一人者である猪飼（1969）が定義づけた「人間の活動や生存の基礎となる身体能力である『体力（行動体力・防衛体力）』」について把握することが重要であると示されている内容と合致する。このように歩行速度が高齢者の体力を知る指標として、歩行テストが体力の低い人も運動の苦手な人も共に気持ち良くできる点に注目することで、この方法が最適な手段になり得ることを報告している（Bassey et al.,1976）。

その歩行テストの一つの条件である歩行速度に関しては、急歩（全速力での最大歩行）や速歩（無理のない範囲での速い歩行）、一定速度（種々の規定速度による等速度歩行）、特に通常速度である自由歩行速度が体力（いわゆる個々の運動能力

など）を把握する指標として活用されてきた。そして、一般的な指標である自由歩行は被験者の自由選択速度（self-selected speed）で行われる文字通りの歩行速度のことを指しており、その自由歩行速度が全力による歩行速度（最大歩行速度）と密接に関係すると報告している（Himann et al.,1988；Kaneko et al.,1991；衣笠ほか，1994）。また、加齢（aging）により歩行能力は退行すると言われているが、その中でも自由歩行速度が60歳付近から加齢の影響に伴って顕著に低下することが明らかになっている（Murray et al.,1969；Himann et al.,1988；Kaneko et al.,1991）。これら歩行速度の低下に関わる直接的な要因については、歩調よりも歩幅の低下が影響を与えていると報告されているが（Ferrandez et al.,1990；Kaneko et al.,1991；Nagasaki et al.,1996）、歩調にも若干の低下による影響が認められているのも事実となっている（Murray et al.,1964,1969；Himann et al.,1988；Winter et al.,1990）。さらに、各種体力要素（筋力、瞬発力、平衡性など）の加齢による変化と自由歩行速度などの歩行指標との間には有意な関係があると示されているため（Kaneko et al.,1991）、歩行速度の低下そのものが加齢という要因を総合的に反映したものだとする考え方もできる（Bassey et al.,1976；Imms and Edholm.,1981）。このことから歩行速度には、ヒトが生命を全うするために必要な一部分を有していることは間違いのないといえる。

これまでの先行研究を「動作学（Kinematics）」や「動力学（kinetics）」などの視点から整理してみると、これらの分析手法を活用した高齢者の歩行運動に関連した報告の多くが、単純に若年者と比べることにより歩行動作の特徴を明らかにしてきた（Murray et al.,1964,1966,1969,1970；Larish et al.,1988；Ferrandez et al.,1988,1990；Winter et al.,1990；Kaneko et al.,1990,1991；Maie et al.,1992；宮辻ほか,2007a；宮辻，2018）。しかしながら、高齢者と若年者の歩行速度がそれぞれ異なっている歩行動作であるため、いわゆる歩き方の違いが加齢の影響に伴う問題の一因になったの

ではないかと考えられると共に、単純に歩行速度が異なるために生じた問題ではないかという見解についても否定することができない。それは海外での報告において、高齢者は若年者よりも歩幅が小さく、両脚支持時間が長い、若年者での遅い歩行でも同様の特徴がみられることから、高齢者の歩行は正常 (normal) であると明らかにしている (Ferrandez et al., 1990)。続いて、岡田・阿江 (1999) の高齢者と若年者の歩行動作特性を Kinematics 的に検討した国内での報告によると、同じ歩行速度で歩いた場合にも速度決定因子や下肢関節動作に違いが生じていること、柳川ほか (2002, 2003, 2006) が高齢者と若年者を自由歩行速度と同一速度歩行で比較した結果、歩行速度に因らない高齢者の歩行動作の特徴をそれぞれ明らかにしている。つまり、異なる速度条件の下で高齢者と若年者の歩行能力 (歩行機能) の差異を評価することは、本質的な差異を見出す可能性は否めない。そのため高齢者の歩行運動における特徴を明らかにすることは、加齢の影響が及ぼす歩行動作に対する内容について詳細に知ることが重要となる。なお、様々な観点から研究されてきた歩行運動においても、歩行速度が動作を変化させる重要なバロメーターと定義することにより、若年者との動作の違いが加齢により生じたものであるのか、単純に歩行速度の変化に対応したものであるのかを明らかにする必要性を検討した報告はなされていない。そこで宮辻 (2018) は、異なる速度 (自由歩行、緩歩、速歩) で歩行することにより日本人高齢男性と若年男性の同一速度における歩行指標および歩行動作指標の差を比較し、加齢に伴う高齢者の特徴を調べることで、歩行指導に関する知見を得ることであった。その結果、高齢者に対する歩行指導の提案については、これまでの歩行動作中心の指導のみならず、自由歩行速度が高まるような土台づくり (体力的要因の向上など) と環境づくり (速く歩く、高く跳ぶなど) に対する取り組みが必要であることを明らかにした。

しかし、上記の宮辻 (2018) の研究では、一

般的な指標となる歩行指標に関するデータの蓄積には貢献できているが、歩行動作に関わる指標に対するデータが不十分であると考えられた。そこで本研究では、高齢者と若年者における歩行動作の特徴をより明確に把握するためには、歩行動作指標のメカニズム (遊脚期の関節角度、関節角変位などの要因) を解明することにより、歩行指導に対する詳細な内容を提供できることが考えられることから、前報 (宮辻, 2018) の結果を踏まえた上で、データの再検討をすることを目的とした。

II 方法

1. 被験者

被験者は、日常生活動作において特別な支障をきたすことのない健康な高齢男性10名 (平均年齢 76.1 ± 5.8 歳, 以下; 高齢群と略す) と、対照群である H 県立大学の男子学生10名 (平均年齢 19.7 ± 0.5 歳, 以下; 若年群と略す) の総計20名である。また、被験者の身体的特徴である身長は高齢群が 1.62 ± 0.07 m、若年群が 1.71 ± 0.06 m、身体質量は高齢群が 58.8 ± 9.0 kg、若年群が 63.0 ± 5.6 kg であった。

なお、本研究は京都府立医科大学医学倫理審査委員会、兵庫県立大学倫理審査委員会の承認を得た上で実験を実施した。

2. 測定手順

(1) ビデオ撮影

実験に関わる手続きとして、体育館内に仮設した歩行路 (全長約10m, 全幅約1.5m) を設置し、事前に被験者全員に対して本研究の目的、方法、起こりうる危険性について詳細な説明を行った後、測定に対する同意を得られた上で実施した。

歩行実験で履くシューズは、被験者全員が同一メーカーの足袋感覚で履けるシューズ (月星化成株式会社, Moon Star) を用いることとした。そして、各自の足に合うものを必ず着用させた上で、①「普段歩いているように気持ちのよい普通の速さで歩いて下さい」の指示による自由歩行

(free walking)、②「幼い子供を連れて歩いている時のようにゆっくりと歩いて下さい」の指示による緩歩 (slow walking)、③「電車に乗り遅れることのないように速く歩いて下さい」の指示による速歩 (fast walking) の3条件の速度を用いて測定を行った。このとき被験者には必ず「視線を水平前方に保って自然な歩行を行うよう」指示した。

歩行動作におけるビデオ収録に関しては、歩行路の左右斜め側方 (約45度) 10m 付近に2台のデジタルビデオカメラ (SONY 社製 DSR-PD150) を設置した。フィルム速度は毎秒60fps (シャッター速度1/1000秒) に設定し、撮影画面を明瞭にするための照明機器 (RDS 社製 UF-10) を使用することにより歩行動作の撮影を実施した。まず、実験に先立つキャリブレーション (較正) では、3次元座標を算出するための較正点として水準器と5個の較正点を取り付けた高さ約2.5mのリファレンスポールを撮影範囲内の9か所に順次鉛直方向に立てることにより、水平に保った状態をキープしたコントロールポイント (45点) をそれぞれビデオに収録した。また、較正点の実空間座標については、進行方向をX軸、左右方向をY軸、鉛直方向をZ軸と定義した。なお、歩行動作中の身体各部位を明確に把握するため、被験者の肩、肘、手首、腰、膝、足首の関節点、シューズの先端と踵部にそれぞれマークを付した。

(2) 足跡の定義と計測方法

足跡については、体育館内に全長約10m、幅約1.5mのコールタール紙 (油紙) を敷いた状態を作り、その途中に全長約5m、幅約0.8mの白色模造紙を敷いて歩行路として設定した。被験者には、スタート位置に設置されたトレイの中にある黒色のポスターカラーの浸み込んだ雑巾を踏んだ後に歩行させることによって、白色模造紙に刻印された足跡 (foot print) を採取した。

足跡の分析範囲は、一般的に歩行速度が最も安定すると示されている3歩目から5歩目 (または4歩目から6歩目) の右踵接地から同側脚の右踵接地までの1歩行周期 (連続する2歩) を分析対

象とした (木村・神谷, 1982)。この足跡記録から得られたデータについては、先行研究である宮辻ほか (2007b)、宮辻ほか (2011) と同じ手法を採用することにより、左右両足間の角度 (足向角: foot angle) と左右両足間の距離 (歩隔: step width), 左右前後両足間の距離 (歩幅: step length) を実測した (Fig.1)。

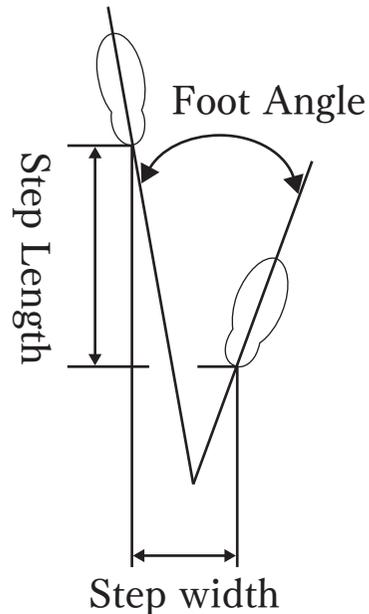


Fig.1. Schematic presentation of foot angle, step width and step length.

3. ビデオ分析・解析方法

ビデオ分析においては、2台のデジタルビデオカメラで撮影された映像から毎秒60コマに設定した動作分析ソフト (DKH 社製 Frame-Dias II V 3) を用いて身体各部24点 (頭頂, 耳, 胸, 腰, 右肩, 右肘, 右手首, 右手, 左肩, 左肘, 左手首, 左手, 右腰, 右膝, 右足首, 右踵, 右母指, 右爪先, 左腰, 左膝, 左足首, 左踵, 左母指, 左爪先) の座標を計測した上で、左右斜め側方からみた各2次元座標値をもとにDLT法 (Direct Linear Transformation Method) により3次元座標値を算出した。そのため得られたデータである3次元座標値と較正点における座標値との平均誤差は、進行方向であるX軸が $0.007 \pm 0.002\text{m}$ 、左右方向

である Y 軸が $0.006 \pm 0.001\text{m}$ 、鉛直方向である Z 軸が $0.010 \pm 0.005\text{m}$ を示した。また、座標の算出に必要な身体部分慣性係数に関して、高齢者においては岡田・阿江 (1996) および岡田ほか (1996) の係数を、若年者には阿江 (1996) の係数を用いた。さらに、算出した 3 次元座標値を 3 点加重移動平均法 (low pass filter) により 6 Hz で平滑した。なお、残差分析法から確認した最適遮断周波数は 6 Hz であった (Winter et al.,1974 ; Wells and Winter,1980)。

本研究で得られたデータのビデオ解析から、歩行 1 周期中の歩行速度、歩調、片脚支持時間、両脚支持時間、片脚 / 両脚支持時間、歩行比などの歩行指標、スイング脚である遊脚期の角度、角変位の歩行動作指標 (Fig.2 に関節角度、関節角変位の定義) に関するデータをそれぞれ算出した。そして、データの取り扱いについては、歩行 1 周期の時間を 100% として標準化 (正規化) することとした。

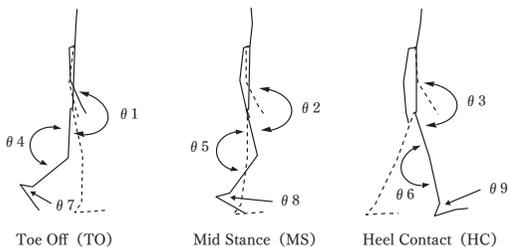


Fig.2. Definition of joint angles and joint angular displacement (swing phase)

Hip joint ($\theta 1 \sim 3$) Knee joint ($\theta 4 \sim 6$) Ankle joint ($\theta 7 \sim 9$)

4. データの補正と統計処理

本研究における移動距離や長さに関する指標については、必要に応じて各人の対身長比を求めた上で補正することとした。また、歩調の補正においては、衣笠ほか (1994) の方法を参考に改変した「歩調 \times 個人身長 $\sqrt{\text{平方根}}$ 」によりデータを求めた。

統計処理に関して、まず 2 変数の差の検定では、先に等分散性の検定である F 検定を行った後、分散が等しい場合は等分散を仮定した 2 標本による t 検定 (スチューデントの t 検定) を、分

散が等しくない場合は分散が等しくないと仮定した 2 標本による t 検定 (ウェルチの t 検定) をそれぞれ行い、危険率 5% 未満 ($p < 0.05$) をもって有意であると判定した。

なお、歩行速度と各変数との間の関係をピアソンの積率相関係数によってデータ解析を実施すると共に、単回帰分析により回帰直線を求めた。さらに、高齢群と若年群の各群に回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行い、危険率 5% 未満 ($p < 0.05$) をもって有意と判定した。

III 結果

1. 自由歩行指標における高齢群と若年群の差異

(1) 自由歩行指標

前報 (宮辻, 2018) と同様に、Table 1 に高齢群と若年群における自由歩行指標の歩行速度、歩幅、歩調、足向角、歩隔、片脚支持時間、両脚支持時間、片脚 / 両脚支持時間、歩行比の有意差検定の結果を示した。ロコモーションの基本的な指標である歩行速度は、若年群と比較して高齢群の方が有意に遅く ($p < 0.01$)、歩幅も高齢群が若年群より有意に短く ($p < 0.001$)、歩調は高齢群の方が若年群より若干速い傾向であった。足向角と歩隔の平均値に関しては、高齢群が 21.8 ± 9.1 度、 $0.066 \pm 0.044\text{m}$ 、若年群では 19.8 ± 7.9 度、 $0.058 \pm 0.031\text{m}$ の値をそれぞれ示し、高齢群の方が若年群と比較して大きい傾向が示されていたが有意な差は認められなかった。片脚支持時間は、高齢群の方が若年群より有意に短く ($p < 0.05$)、両脚支持時間は高齢群が若年群より長い傾向が見られた。不安定さの指標となる片脚 / 両脚支持時間においては、高齢群の方が若年群より有意に短かった ($p < 0.05$)。歩幅と歩調のどちらが主に影響をしているのかを示す指標である歩行比は、若年群の方が高齢群より有意に大きい値 ($p < 0.001$) を示した。

なお、身長差の影響を考慮するため、歩行速度、歩幅、歩調、歩隔、歩行比の値に補正 (対身長比) を行ったが、身長差による特別な影響は認められなかった。

2. 遊脚期の自由歩行動作指標における高齢群と若年群の差異

歩行1周期中の自由歩行動作指標である遊脚期における股関節 ($\theta 1 \sim 3$)、膝関節 ($\theta 4 \sim 6$)、足関節 ($\theta 7 \sim 9$) の角度について、それぞれ爪先離地 (TO)、立脚中期 (MS)、踵接地 (HC) の3つの動作局面に分類することにより比較した (Fig.2, Table2)。また、関節角度と同様に股関節 (屈曲)、膝関節 (伸展、屈曲)、足関節 (底屈、

背屈) における角変位の有意差検定結果についても Table3に示した。

(1) 股関節における角度、角変位

Table2に示した角度に関しては、遊脚期におけるMS局面 ($\theta 2$)、HC局面 ($\theta 3$) に有意差は見られなかったが、TO局面 ($\theta 1$) において高齢群は若年群より有意に小さかった ($p < 0.001$)。また、屈曲角変位においては、高齢群の方が若年群より有意に小さい値 ($p < 0.001$)

Table 1. Age differences in elderly and young groups during free walking parameters.

Free Walking Parameters	Elderly men (n=10)	Young men (n=10)	Significance
Walking Speed(m/s)	1.24±0.18	1.48±0.15	**
Step Length(m)	0.648±0.070	0.779±0.040	***
Step Rate(steps/s)	1.91±0.14	1.89±0.11	n.s.
Foot Angle(degree)	21.8±9.1	19.8±7.9	n.s.
Step Width(m)	0.066±0.044	0.058±0.031	n.s.
Single Leg Support Time(s)	0.72±0.06	0.76±0.03	*
Double Leg Support Time(s)	0.29±0.04	0.25±0.05	n.s.
Single/Double Leg Support Time(s)	2.49±0.34	3.14±0.84	*
Walking Ratio(m·s/steps)	0.34±0.04	0.41±0.02	***

Results of analysis of variance. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, n.s.: not significance

Table 2. Age differences in elderly and young groups during lower limb joint angle parameters (free walking) .

Joint Angle Parameters	Elderly men (n=10)	Young men (n=10)	Significance
Hip Joint(Swing)			
Angle at Toe Off(deg)	180.7±5.2	191.5±4.3	***
Angle at Mid Stance(deg)	160.4±5.2	164.9±4.7	n.s.
Angle at Heel Contact(deg)	154.8±3.3	153.9±2.6	n.s.
Knee Joint (Swing)			
Angle at Toe Off (deg)	126.4±4.5	133.5±4.9	**
Angle at Mid Stance (deg)	126.1±5.7	124.3±3.7	n.s.
Angle at Heel Contact (deg)	173.5±2.6	174.3±3.3	n.s.
Ankle Joint (Swing)			
Angle at Toe Off (deg)	92.3±6.8	100.9±4.6	**
Angle at Mid Stance (deg)	86.1±4.4	87.3±4.5	n.s.
Angle at Heel Contact (deg)	86.0±2.2	82.6±3.5	*

Results of analysis of variance. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, n.s.: not significance

Table 3. Age differences in elderly and young groups during lower limb joint angular displacement parameters (free walking) .

Joint Angular Displacement Parameters	Elderly men (n=10)	Young men (n=10)	Significance
Hip Joint (Swing)			
Flexion Angular Displacement (deg)	-25.9±5.7	-37.6±2.8	***
Knee Joint (Swing)			
Flexion Angular Displacement (deg)	-0.2±3.2	-9.2±6.9	**
Extension Angular Displacement (deg)	47.3±4.5	50.0±3.1	n.s.
Ankle Joint (Swing)			
Dorsi Flexion Angular Displacement (deg)	-6.2±4.7	-13.6±3.5	***
Plantar Flexion Angular Displacement (deg)	-0.2±5.7	-4.7±5.8	n.s.

Results of analysis of variance. ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$, n.s. : not significance

を示した (Table 3)。

(2) 膝関節における角度、角変位

角度について、遊脚期では TO 局面 ($\theta 4$) においてのみ高齢群の方が若年群より有意に小さかったが ($p < 0.01$)、MS 局面 ($\theta 5$) と HC 局面 ($\theta 6$) に有意な差は認められなかった (Table 2)。また、Table 3 に示した屈曲角変位に関しては、高齢群が若年群より有意に小さい値 ($p < 0.01$) を示したが、伸展角変位には有意差は見られなかった。

(3) 足関節における角度、角変位

角度において、遊脚期の TO 局面 ($\theta 7$) では高齢群の方が若年群より有意に小さく ($p < 0.01$)、MS 局面 ($\theta 8$) には有意差は認められなかったが、HC 局面 ($\theta 9$) において高齢群が若年群より有意に大きい値 ($p < 0.05$) を示した (Table 2)。また、背屈角変位は高齢群が若年群より有意に小さい値 ($p < 0.001$) を示していたが、底屈角変位には有意差は認められなかった (Table 3)。

3. 歩行速度と遊脚期における歩行動作指標との相関関係

(1) 歩行速度と股関節における角度、角変位との関係について

Fig.3の歩行速度と遊脚期の股関節における角度との関係では、高齢若年群共に HC 局面 ($\theta 3$) にのみ有意な負の相関 ($p < 0.001$) が見られた。

歩行速度と屈曲角変位との関係では、高齢群と若年群の歩行速度が速い人ほど屈曲角変位が小さくなる関係に有意な負の相関 ($p < 0.001$) が認められた。

また、歩行速度と遊脚期の HC 局面における股関節角度、角変位との間の関係について、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施した結果、屈曲角変位の切片にのみ差が認められた ($p < 0.05$)。

(2) 歩行速度と膝関節における角度、角変位との関係について

遊脚期における歩行速度と膝関節角度との間には、高齢群と若年群の HC 局面 ($\theta 6$) にのみ有意な負の相関関係 ($p < 0.001$) が認められた。また、両群共に屈曲角変位、伸展角変位に有意な相関関係は見られなかった (Fig.4)。

なお、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施したところ、歩行速度と遊脚期の HC 局面での膝関節角度との間には、両群に差は認められなかった。

(3) 歩行速度と足関節における角度、角変位との関係について

遊脚期の足関節角度に関しては、高齢群若年群共に歩行速度と HC 局面 ($\theta 9$) にのみ有意な負の相関関係 ($p < 0.001$) が認められた。また、歩行速度が速い人ほど背屈角変位が有意に小さくなったが ($p < 0.001$)、底屈角変位には有意な関係は認められなかった (Fig.5)。

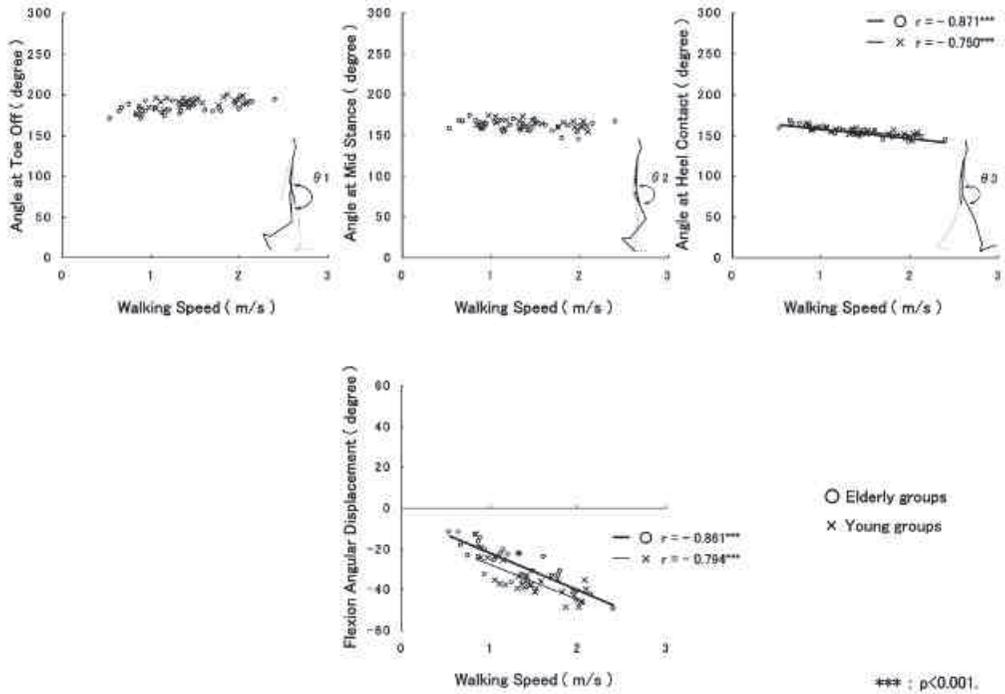


Fig.3. Correlations between walking speed and hip joint angles, joint angular displacements (swing phase).

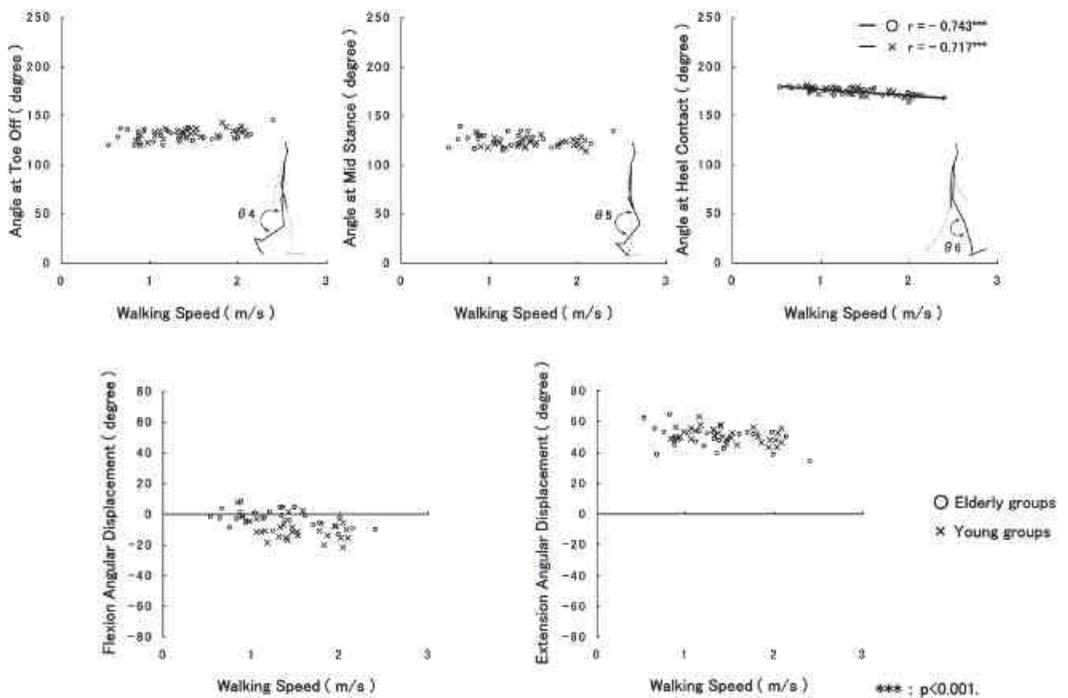


Fig.4. Correlations between walking speed and knee joint angles, joint angular displacements (swing phase).

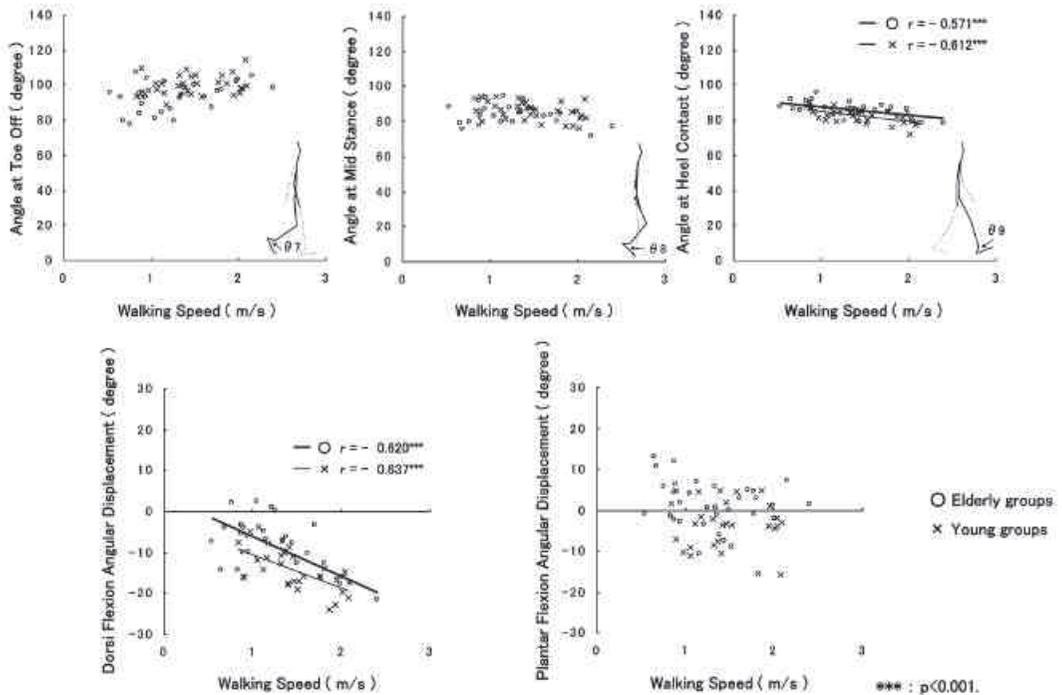


Fig.5. Correlations between walking speed and ankle joint angles, joint angular displacements (swing phase).

歩行速度と遊脚期の HC 局面である足関節角度との関係については、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施した結果、両群に差は認められなかった。しかし、角変位に関しては、それぞれの傾きに差は見られなかったが、底屈角変位の切片にのみ差が認められた ($p < 0.05$)。

IV 考察

本研究課題である高齢者の歩行指導に対するアプローチの仕方は、人類学、体力学、動作学、動力学などの学問分野をはじめとする多角的な視点から「歩行」に関する特徴が明らかにされてきた。その理由としては、ヒトが一生涯を過ごす上で欠かすことができない「歩行=歩く」という能力は、それが人類最初の解析対象であったことから考えられる。その中でも歩行に関わる運動や動作を詳細に調査するためには、動作学的な視点や動力学的な視点からデータを分析および解析することが一般的である。それらの代表的な指標となるのが「歩行速度」であり、加齢の影響が著しい高齢

者よりも加齢の影響をあまり受けていない若年者の方が「速い」という特徴が報告されてきた (Murray et al., 1964, 1969; Larish et al., 1988; Ferrandez et al., 1988, 1990; Winter et al., 1990; Kaneko et al., 1990, 1991; Maie et al., 1992; 岡田・阿江, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003, 2006; 宮辻ほか, 2007a; 宮辻, 2018)。実際に Bassey et al. (1976) や Cunningham et al. (1982) の報告によれば、歩行速度が老化の度合いを知るためのよい指標となると示されている。さらに、高齢者の身体機能、健康度、平均余命などを最もよく代表する指標は歩行速度であったことが明らかにされている (Furuna et al., 1998)。このように自由歩行速度が速い人ほど体力的な要素の高い高齢者であることが推察される。つまり、従来から調査されてきた歩行に関連する先行研究においては、ベースとなる速度として位置付けられている自由歩行の動作から高齢者と若年者の歩容 (gait) の違いを比較・検討している内容が多く見られた。

これまで生体力学的な観点から Murray et al. (1964, 1966, 1969, 1970)、Larish et al. (1988)、Ferrandez et al. (1988)、Kaneko et al. (1990, 1991)、宮辻ほか (2007a) などの多くの研究者達は、バイオメカニクス分野において3種の神器と呼ばれている筋電図、3次元動作分析、床反力による代表的な分析方法を用いることにより、速度変化に対する歩行動作の違いに焦点を当ててきた。特に、Ferrandez et al. (1990) は高齢者の歩行動作は歩行速度を考慮した場合に、若年者と同じ動作を行うと報告したうえで「動作の緩慢さが高齢者の特徴」と論じている。このように高齢若年者の歩行指標の差異が歩行速度の違いにのみ起因する可能性は否めない。そのため同じ歩行速度で歩いた場合においても、歩幅や歩調などの速度決定因子や股関節、膝関節、足関節などの下肢関節角度に違いが生じていることを岡田・阿江 (1999) が明らかにしている。さらに、若年者と高齢者それぞれを自由歩行速度と範囲を区切った同一速度歩行で比較した柳川ほか (2002, 2003, 2006) による研究では、筋放電パターン、3次元動作分析、床反力の手法を用いて速度毎の比較、歩行速度に対する各変数との関係について考察した結果、どの観点からも高齢者は歩行速度に因らない歩行動作の特徴が得られた。その中で3次元動作分析法から観察した柳川ほか (2003) のデータによれば、歩行速度と各変数との関係は遅歩行、自由歩行、速歩行を各5試行 (合計1名15試行) により算出された測定値を用いていたことから、全体的な傾向を把握することはできたが、個人的な傾向において少しデータの解釈に疑問が残るところである。それは高齢者と若年者の各個人の本質的な差異を知るためには、自由歩行、緩歩、速歩の速度設定を用いるとデータの個人差が大きいといわれており、同一速度歩行で速度範囲を限定することがこれまで望ましいと定義されていた。しかし、宮辻 (2018) は同一速度歩行の速度範囲を限定しなかった理由として、日常生活全般における高齢者特有の自然歩行が不自然な歩行になりうると着想するに至ったからであ

る。つまり、実験により規定化された速度での歩行データと日常的な自然速度での歩行データを比較することは、最も基本的な移動運動である歩行運動の特徴を見落とす可能性が高いことが考えられる。そこで先行研究の疑問を解決するために宮辻 (2018) は、自由歩行、緩歩、速歩の3種類の異なる速度で歩行することにより、日本人高齢男性と若年男性の同一速度における歩行指標および歩行動作指標の差を比較した結果、単純に歩行速度が異なったものを比較していたためであったことを明らかにした。

高齢者に対する歩行指導への提案がテーマであった宮辻 (2018) の先行研究では、一般的な指標となる歩行指標データの蓄積には貢献できているが、歩行動作に関わる指標に対するデータの蓄積が不十分ではないかとの疑問が生まれた。すなわち、高齢者と若年者の歩行動作における特徴をより明確に把握するためには、歩行動作指標メカニズム (遊脚期の関節角度、関節角変位などの要因) を解明することが歩行指導に向けた詳細な内容を提供できることにつながってくると考えられ、第1報 (宮辻, 2018) の結果を踏まえた上でデータの再検討を試みた。まず、自由歩行速度の指標に関する高齢群と若年群の平均値を比較したところ、高齢群の歩行速度は有意に低く、その他に得られたデータの歩行指標や歩行動作指標の多くに両群間で違いが見られた。これらの結果については、過去に調査された先行研究 (Murray et al., 1964, 1969; Larish et al., 1988; Ferrandez et al., 1988, 1990; Winter et al., 1990; Kaneko et al., 1990, 1991; Maie et al., 1992; 岡田・阿江, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003, 2006; 宮辻ほか, 2007a) で明らかにされたデータとほぼ一致することも確認された。また、高齢者個人の加齢変化によって起こる特徴を把握するためには、歩行速度に対する歩行指標の関係についても考察した結果、高齢若年群の歩幅 (正)、歩調 (正)、片脚支持時間 (負)、両脚支持時間 (負)、片脚/両脚支持時間 (正) に有意な相関関係は認められたが、両群に特徴となるような大きな差異は見られな

かった。事実、速度との因果関係が深い歩行比に関しても有意な相関は認められなかったが、高齢群では歩調、若年群では歩幅の影響が加わっていることから、単純に歩行速度の増減を高齢群は歩調、若年群は主に歩幅で調整していることが考えられる。そして、歩行指導へ向けた指標となりうる歩行動作メカニズムの解明においては、歩行中のスイング脚として定義されている遊脚期における股関節、膝関節、足関節の関節角度および関節角変位などのデータを算出した。その結果、両群の歩行速度に対する股関節角度、膝関節角度、足関節角度の踵接地 (HC) 局面にのみ有意な負の相関が見られた。これは歩く速度が速い人ほど、股関節角度、膝関節角度や足関節角度が小さくなっていることから、各関節を深く曲げるための筋力や柔軟性などの体力的要因が維持されているのではないかと考えられる。しかしながら、高齢若年群の自由歩行速度における平均値では、爪先離地 (TO) 局面に主な違いが認められていたが、同一速度で歩いた歩行動作指標に特徴となる大きな違いは得られなかった。関節角変位データに関しては、歩行速度に対する股関節屈曲角変位と足関節背屈角変位にのみ有意な負の相関が認められていたため、歩行1周期での動作に大きな変化を生じさせていることが理解できる。さらに、両群の自由歩行速度の平均値においては、それぞれ屈曲角変位と背屈角変位に差異が見られたが、同一速度の歩行動作指標に大きな特徴となるような違いを見出すことができなかった。そのため本研究結果をより明確に判断することが歩行指導へのヒントとなることから、高齢群と若年群の歩行指標および歩行動作指標にそれぞれ回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行ったところ、両群に特徴となるような差は認められなかった。このように足運びに必要なスイング脚である遊脚期の動作に差異が得られなかったことは、第1報(宮辻, 2018)のデータ解釈と同様に自由歩行における歩行指標および歩行動作指標の差は、単純に高齢者と若年者の歩行速度が異なったものを比較していたためであったということを示唆する

ものである。

その一方で歩行指導の視点から注目すると、第1報(宮辻, 2018)にも教授されているように、やはり高齢者の自由歩行速度が高められるような意識改革を行う必要性が求められる。それは加齢の影響による体力(行動体力)が20歳頃をピークに徐々に低下することが明らかにされているため、いわゆる高齢者の歩行能力全般を維持・増進する上でのトレーニング活動が将来への布石になることが考えられる。しかし、これまではどうしても高齢者は若年者よりも体力レベルが劣っているイメージが強く残っている部分があり、無理な動作に対してトレーニングを実践させるような取り組みがあまり行われていなかった。このままでは少子高齢化の影響をまともに受けてしまい、近い将来に向けたADLやQOLを維持することさえ困難な状況になってくることが推察される。その根幹となるのがヒトの基本的な移動運動と位置付けられている歩行運動であるため、これらの能力を最大限に高めていくことがポイントであるといえる。そのためには通常よりも「速く歩く」、「重い物を持つ」などのトレーニングメニューを実践させることで、一般的には無理な運動であると判断されていた動作に対する理解にもつながってくる。それが結果として様々な運動(走る、跳ぶ、投げる、蹴るなど)へと効果を伝えていく役割を担っていると共に、指導現場へと活きる活動となる。最終的に高齢者へ向けた歩行指導については、本研究で得られた歩行運動メカニズムの変動パターンを把握することにより、一見何気ない動作である「歩く」ことの重要性を理解すると共に、指導場面での適切な対処方法を手段として活用できる知見として役立つと考えられる。

今後の更なる課題としては、高齢者と若年者の歩行中の支持脚である立脚期の関節角度、関節角変位、関節角速度などの歩行動作指標メカニズムを解明することが、これからの歩行指導へとつながる取り組みに大きな影響を与えることができると考えられた。

V まとめ

高齢男性 (n=10) と若年男性 (n=10) における歩行動作の特徴を再検討するため、異なる速度 (自由歩行、緩歩、速歩) で同一速度における歩行指標および歩行動作指標メカニズムの比較を実施することにより、歩行指導に対する詳細な内容の知見を得ることを目的とし、次の結果を得た。

- 1) 高齢群の自由歩行指標における特徴として、若年群と比較すると歩行速度が遅く ($p<0.01$)、歩幅が短く ($p<0.001$)、歩調がやや速く、足向角が大きく、歩隔が広い傾向であった。また、片脚支持時間が短く ($p<0.05$)、両脚支持時間が長く、片脚 / 両脚支持時間が短く ($p<0.05$)、歩行比が大きかった ($p<0.001$)。
- 2) 遊脚期の股関節角度については、MS 局面 ($\theta 2$) と HC 局面 ($\theta 3$) に有意差は見られなかったが、TO 局面 ($\theta 1$) において高齢群は若年群より有意に小さかった ($p<0.001$)。また、股関節角変位において、屈曲角変位は高齢群の方が若年群より有意に小さい値 ($p<0.001$) を示した。
- 3) 遊脚期の膝関節角度に関しては、TO 局面 ($\theta 4$) にのみ高齢群の方が若年群より有意に小さかったが ($p<0.01$)、MS 局面 ($\theta 5$) および HC 局面 ($\theta 6$) に有意な差は認められなかった。また、膝関節角変位について、屈曲角変位は高齢群が若年群より有意に小さい値 ($p<0.01$) を示したが、伸展角変位には有意差は見られなかった。
- 4) 遊脚期の足関節角度においては、TO 局面 ($\theta 7$) では高齢群の方が若年群より有意に小さく ($p<0.01$)、MS 局面 ($\theta 8$) には有意差は認められなかったが、HC 局面 ($\theta 9$) にのみ高齢群が若年群より有意に大きい値 ($p<0.05$) を示した。また、足関節角変位に関して、背屈角変位は高齢群が若年群より有意に小さい値 ($p<0.001$) を示していたが、底屈角変位には有意差は認められなかった。
- 5) 歩行速度に対する遊脚期の股関節角度との関

係では、高齢若年群共に HC 局面 ($\theta 3$) にのみ有意な負の相関 ($p<0.001$) が見られた。また、歩行速度と股関節角変位については、高齢群と若年群の歩行速度が速い人ほど屈曲角変位が小さくなる関係に有意な負の相関 ($p<0.001$) が認められた。さらに、歩行速度と遊脚期の HC 局面における股関節角度、角変位との間では、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施した結果、屈曲角変位の切片にのみ差が認められた ($p<0.05$)。

- 6) 歩行速度に対する遊脚期の膝関節角度との間には、高齢群と若年群の HC 局面 ($\theta 6$) にのみ有意な負の相関 ($p<0.001$) が認められた。また、両群共に歩行速度と膝関節角変位である屈曲角変位、伸展角変位に有意な相関は見られなかった。さらに、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施したところ、歩行速度と遊脚期の HC 局面での膝関節角度および角変位との間には、両群に差は認められなかった。
- 7) 歩行速度に対する遊脚期の足関節角度については、高齢群若年群共に歩行速度と HC 局面 ($\theta 9$) にのみ有意な負の相関関係 ($p<0.001$) が認められた。また、歩行速度と足関節角変位に関しては、歩行速度が速い人ほど背屈角変位が有意に小さくなったが ($p<0.001$)、底屈角変位には有意な関係は認められなかった。さらに、歩行速度と遊脚期の HC 局面である足関節角度との関係では、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施した結果、両群に差は認められなかった。しかし、角変位に関しては、それぞれの傾きに差は見られなかったが、底屈角変位の切片にのみ差が認められた ($p<0.05$)。

以上の結果から、これからの高齢者に向けた歩行指導への取り組みとしては、自由歩行速度を高めるための歩行運動を動作中心に指導するのではなく、個々に適した土台づくりや環境づくりを構築する必要性のあることが示唆された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、京都学園大学の木村みさか教授には高齢者のデータ収集において、兵庫県立大学の田路秀樹教授には若年者のデータ収集において多大なご支援をいただいた。記して深謝の意を表します。

VI 参考文献

- 1) 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn. J. Sports Sci.* 15 (3) : 155-162.
- 2) Bassey, E.J., Fentem, P.H., Macdonald, I.C., Scriven, P.M. (1976) Self-paced walking as a method for exercise testing in elderly and young men. *Clin. Sci. Mol. Med.*, 51: 609-612.
- 3) Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Pearce, M.E. & Donner, A.P. (1982) Determinants of self-selected walking pace across ages 19-66. *J. Gerontol.*, 37: 560-564.
- 4) Ferrandez, A.M., Pailhous, J. & Serratrice, G. (1988) Locomotion in the elderly. In *Posture and Gait, Development, adaptation and modulation* : 115-124.
- 5) Ferrandez, A.M., Pailhous, J. & Durup, M. (1990) Slowness in elderly gait. *Exp. Aging Res.*, 16: 79-89.
- 6) Furuna, T., Nagasaki, H., Sugiura, M., Okuzumi, H., Ito, H., Kinugasa, T., Hashizume, K., & Maruyama, H. (1998) Longitudinal change in the physical performance of older adults in the community. *J. Jpn. Phy. Ther. Assoc.*, 1: 1-5.
- 7) Himann, J.E., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., & Paterson, D.H. (1988) Age-related changes in speed of walking. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20: 161-166.
- 8) 猪飼道夫 (1969) 運動生理学入門. 杏林書院, pp143-178.
- 9) Imms, F.J., & Edholm, O.G. (1981) Studies of gait and mobility in the elderly. *Age and Aging*. 10: 147-156.
- 10) Kaneko, M., Fuchimoto, K., Fuchimoto, T., Morimoto, Y., Kimura, M., Kitamura, T., Tsutsui, Y., & Arai, T. (1990) Biomechanical analysis of walking and fitness testing in elderly women. In *Fitness for the Aged, Disabled, and Industrial Worker*, III: 84-89.
- 11) Kaneko, M., Morimoto, Y., and Fuchimoto, K., & Fuchimoto, T. (1991) A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can. J. Sports Sci.*, 16: 223-228.
- 12) 木村賛・神谷正明 (1982) 速度変化に伴いヒトの歩行はどう変わるのか. *バイオメカニズム*, *バイオメカニズム学会* : 69-79.
- 13) 衣笠隆・長崎浩・伊東元・橋詰謙・古名丈人・丸山仁司 (1994) 男性 (18~83歳) を対象にした運動能力の加齢変化の研究. *体力科学*, 43 : 343-351.
- 14) 厚生労働省 (2017) 平成29年簡易生命表の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life17/index.html>, (平成31年1月7日).
- 15) Larish, D.D., Martin, T.E., & Mungiole, M. (1988) Characteristic patterns of gait in the healthy old. *Ann New York Academy of Sciences.*, 515: 18-32.
- 16) Maie, K., Yamada, T., Kondo, S., & Tanaka, H. (1992) The characteristics of fast speed walking in old men from the viewpoint of the ground reaction forces. *J. Anthropol. Soc. Nippon.*, 100 (4) : 499-509.
- 17) 宮辻和貴・澤山純也・川端浩一・金子公宥 (2007a) 高齢者の歩行運動における身体重心動揺の3次元解析. *大阪体育学研究*, 45 : 1-12.
- 18) 宮辻和貴・澤山純也・川端浩一・金子公宥 (2007b) 高齢者の自由歩行における着地足の足向角および歩隔について. *日本生理人類学会誌*, 12 (4) : 1-6.
- 19) 宮辻和貴・川端浩一・伊藤章・金子公宥 (2011) 高齢者の自由歩行に関する一考察 ;

- 足向角と歩幅を中心に. 大阪体育学研究, 49 : 1-13.
- 20) 宮辻和貴 (2018) 高齢者に対する歩行指導への提案. 神戸親和女子大学ジュニアスポーツ教育学科紀要, 6 : 73-85.
- 21) Murray,M.P.,Drought,A.B. & Kory,R.C. (1964) Walking patterns of normal men. J. Bone joint Surg., 46: 335-360.
- 22) Murray,M.P.,Kory,R.C.,Clarkson,B.H., & Sepic S.B. (1966) Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. Am. J. Physical Medicine., 45 (1) : 8-24.
- 23) Murray,M.P.,Kory,R.C.& Clarkson,B.H. (1969) Walking patterns of healthy old men. J. Gerontol.. 24: 169-178.
- 24) Murray,M.P.,Kory,R.C.,Clarkson,B.H., & Sepic S.B. (1970) Walking patterns of normal women. Arch. Phys. Med. Rehabil., 51(11) : 637-650.
- 25) Nagasaki,H.,Ito,H., Hashizume,K., Furuna,T. (1996) Walking patterns and finger rhythm of older adults. Percep. Motor Skills., 82: 435-447.
- 26) 岡田英孝・阿江通良 (1996) 高齢者の身体部分慣性係数と動作分析への応用. Jpn. J. Sports. Sci., 15 : 169-175.
- 27) 岡田英孝・阿江通良 (1999) 高齢者の歩行動作特性－歩行速度の影響を考慮したkinematicsの検討－. バイオメカニクス研究概論, 第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集 : 121-126.
- 28) 岡田英孝・阿江通良・藤井範久・森丘保典 (1996) 日本人高齢者の身体部分慣性特性. バイオメカニズム13. バイオメカニズム学会編, 東京大学出版会 : 125-139.
- 29) 総務省 (2018) 統計からみた我が国の高齢者 (65歳以上) - 「敬老の日」にちなんで - . <https://www.stat.go.jp/data/topics/topi1131.html>, (参照日, 平成31年1月7日).
- 30) Studenski,S.,Perera,S.,Patel,K.,Rosano,C,Fau lkner,K.,Inzitari,M.,Brach,J.,Chandler,J.,Cawthon,P.,Connor,E.B.,Nevitt,M.,Visser,M.,Kritchevsky,S.,Badinelli,S.,Harris,T.,Newman,A.B.,Cauley,J.,Ferrucci,L., & Guralnik,J. (2011) Gait speed and survival in older adults. J. AM. Med. Assoc., 305 (1) : 50-58.
- 31) Wells,R.P.& D.A.Winter. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion., 1 : 92-93.
- 32) Winter,D.A.,Patla,A.E.,Frank,J.S., & Walt. S.E. (1990) Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. Phys. Ther.,70: 340-347.
- 33) Winter,D.A.,Sidwall,H.G.& Hobson,D.A. (1974) Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion. J. Biomech.,7: 157-159.
- 34) 柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦 (2002) 筋放電パターンからみた高齢者における歩行動作の特徴. 日本運動生理学雑誌, 9 : 33-45.
- 35) 柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦 (2003) 若年者と高齢者における歩行動作の比較－歩行速度に着目して－. Jpn. J. Biomechanics. Sports. Exercise., 7 : 179-191.
- 36) 柳川和優・磨井祥夫・渡部和彦 (2006) 床反力からみた高齢者における歩行動作の特徴. 広島体育学研究, 32 : 29-38.