

加速度センサを用いた3次元歩行解析とナンバ歩きの評価*

Evaluation of the NANBA Walk (Japanese traditional walking method) and Three-dimension Walk Analysis using an Acceleration Sensor

歸山智治*¹ / 大藤晃義*² / 黒田孝春*¹ / 黄野銀介*¹ / 志保澤幸広*¹

Tomoharu KAERIYAMA, Teruyoshi DAITOH, Takaharu KURODA, Ginsuke KONO, Yukihiro SHIBOSAWA

■要旨

ナンバ歩きとは江戸時代以前に着物を着用することが常となっていた時代に、服装を着崩さないで歩くためにされていた歩き方である。しかし、現代では疲れの出にくい点などから多種のスポーツに取り入れられてきた。本研究では、加速度センサを用いた腰部動揺軌跡のデータ解析による健常者の通常歩行を解析し、比較検討する基礎的データを得るためにナンバ歩きの特徴解析も試みた。今回は、通常歩行とナンバ歩きの特徴と、天秤を担いだ際の通常歩行とナンバ歩きの特徴についても解析を行った。その結果、ナンバ歩きは通常歩行に比べ重心が大きく移動するが腰部動揺軌跡が安定した歩行であることが示された。

◇キーワード：ナンバ歩き、腰部動揺軌跡、加速度センサ

■Abstract

The Namba walk is a walking method from before the Edo period, where the walker is able to walk without loosening their kimono. The Namba walk has been adopted by many sports as it is not easy to become tired. In this study, we have aimed to analyze the Namba walk by data analysis of the lumbar motion trace by an acceleration sensor. As a result, the Namba walk was shown to be a stable walking method, in which the center of gravity sways largely compared with natural walking.

◇Keyword : Namba walk, Lumber motion trace, Acceleration sensor

1. 緒言

ナンバとは「右手右足が同時に出る動き」である。ナンバ歩きで生体動作を行うには「身体をよじらないで動く」ことが必要になり、体幹をよじることなく左右の足に交互に体重を乗せる。本来、ナンバ歩きとは江戸時代以前に着物を着用することが常となっていた時代に、服装を着崩さないで歩くためにされていた歩き方¹⁾である。しかし、現代では疲れの出にくい点などから多種のスポーツに取り入れられてきた²⁾。しかし、そのような利点の挙げられているナンバ歩きだが実際私たちが普段している歩行とはどのような違いがみられているのかはあまり比較・検討されていない。

カイロプラクターの施術を希望し訪れる患者で、腰痛や歩行における障害、違和感を訴える患者は少なくない。歩行とは、常に重力に対し立位姿勢を保持しながら、全身を移動させるという複雑な動作で

あり、足底と地面との摩擦を支えとして体を前進させる運動である。左右の下肢が交互に支点となるため、重心の位置が上下左右に動揺する。また、片側下肢を前方へ運び出す動因となるのは、体を前方へ傾けて重心を前方へ移動させて、平衡を崩すことである。重心が前方へ移ると、体は前に倒れようとする。これを防ぐために片側の下肢が前に踏み出される。その際、踏み出す下肢には身体を前方に出そうとする推進力と床を押し付けようとする二つの力が働く。また、片側下肢が遊脚相にあるときは、骨盤の傾斜によってたくみに平衡がとられている。そして、もとの平衡状態にもどることは、前進している遊脚相にある下肢の踵が床につき、重心が両足底により作られる新しい支持基底の中に落ちることで達せられる。

歩行は、身体の各部分の運動が3次元空間で同時に重なり合う複雑な現象であり、その分析は何らかの原則に基づかないかぎり、不可能に近い。基本的

*第11回日本カイロプラクティック徒手医学会第11回学術大会(平成21年10月)にて一部発表

*1 独立行政法人国立高等専門学校機構木更津工業高等専門学校(〒292-0041 木更津市清見台東2-11-1)

*2 サレジオ工業高等専門学校(〒194-0215 東京都町田市小山ヶ丘4-6-8)

には、移動は空間における重心の移動であり、それに必要なエネルギー消費が最小になるような重心移動のパターンになると仮定されている。また、身体を一つの剛体とみなすと、成人の重心は正中線上では、足底を基準にしたとき、下から身長55%~56%の高さ、仙骨の前面に位置している³⁾。歩行によって生じる重心移動の軌跡は、上下方向および左右方向に正弦曲線に近い軌跡を描いている。健常者でさえこのような複雑な動きを要する運動である。まして、腰痛や歩行障害、違和感を要する患者の歩行はもっと複雑な現象が起きているものと思われる。

本研究の最終的な目的は、このような患者の非常に複雑な動きを解析し、施術効果の判定に役立てようとするものであるが、健常者の正常な歩行形態すら正確に把握できていない現状に鑑み、先ず、健常者の歩行の解析を試みようとするものである。

近年のさまざまな技術の発展によって機械・機器等の低価格化、高精度化、小型化などから、歩行測定器具も軽量化された。本研究では加速度センサを用いて歩行の測定を行う。従来のCCDカメラにより撮影された画像の解析による物体の移動に伴う軌道解析では、同一解像度のカメラを用いた場合、物体が遠方に移動するほど精度が悪くなることが考えられる。しかし、加速度センサを用いることにより物体が遠方に移動してもその精度は変わらない。

本研究では、加速度センサ用いた腰部動揺軌跡のデータ解析による健常者の通常の歩行を解析し、比較検討する基礎的データを得るためにナンバ歩きの特徴解析も試みた。今回は、通常歩行とナンバ歩きの特徴と、天秤を担いだ際の通常歩行とナンバ歩きの特徴についても解析を行った。

2. 実験装置

本研究で使用した実験器具を以下に示し、無線式3次元加速度センサの仕様を表1に示す。また、実験装置のシステム構成を図1に示す。

- ・無線式3次元加速度計（スマートセンサテクノロジー社製, Walk Mate)
- ・パソコン（DELL社製 windows 504MB)
- ・歩行計測プログラム（ADV_052S_Out)
- ・表計算ソフト（Microsoft Excel)
- ・天秤状の重り

表1 加速度センサの仕様

項目	仕様	
内蔵加速度センサ	静電容量型 ±2G	
無線通信距離	屋外時 最大50m	
内蔵充電電池	ニッケル水素型 単四型電池	
使用時間（センサユニット）	約5時間	
サンプリング周波数	100Hz	
本体外形寸法	センサユニット	67×67×28t
	コントロールユニット	145×96×34t
重量	センサユニット	96g
	コントロールユニット	190g

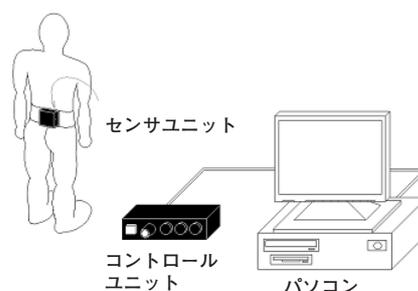


図1 実験装置のシステム構成

3. 対象

3.1 測定方法

被験者は19~21歳の成人男性21名であった。加速度センサを歩行の仕方や条件の影響を受けないために仙骨の高さ（図2）に取付け（図3）、被験者毎に各2回ずつ平地20mを直線歩行した。

通常歩行とナンバ歩きの特徴を検証するために以

下の項目で比較を行う。

- ・通常歩行とナンバ歩き
- ・ナンバ歩きと天秤を担いでのナンバ歩き

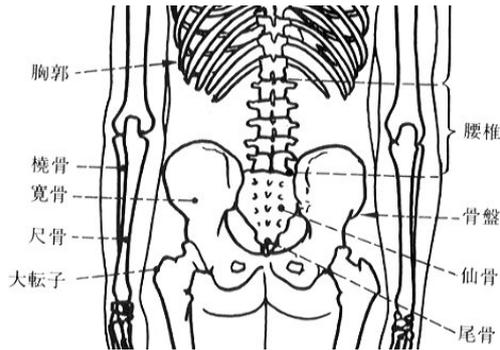


図2 仙骨の位置



図3 センサ取り付け例

- ・通常歩行と天秤を担いでの通常歩行
- 図4に今回の実験で使用する天秤を示す。天秤は

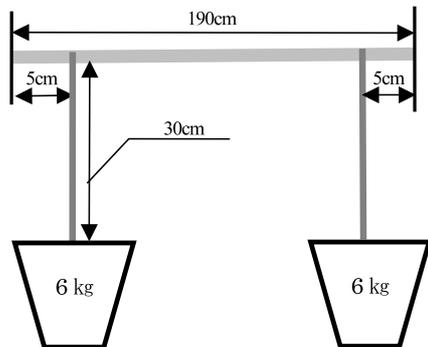


図4 天秤の仕様



図5 天秤の使用例

190cmの竹を使用し、中心から90cmの距離の2箇所に6キログラムの重りを竹から30cm離して吊るしたものを使用する。天秤の使用例を図5に示す。

3.2 評価方法

本研究では腰部の上下方向の値が最小となったときを接地と定義し、重心は支持脚側に偏ることから水平面上で接地点の重心が右側にあるときを右接地、左側にあるときを左接地と呼ぶ。また、右接地から左接地に移るときを右足軸足時、左から右に移るときを左足軸足時と定義する。また、本研究では腰部の軌跡より歩行動作の指標として次の特徴量を定義する(図6-7)。

上下移動量…接地から接地までの上下方向の移動量
 上下持上量…上下方向における最小値から最大値までの変位量

左右移動量…接地から接地までの左右方向の移動量
 接地時間…上下方向の最小値から次の最小値までにかかる時間

歩幅…接地から接地までに進んだ距離

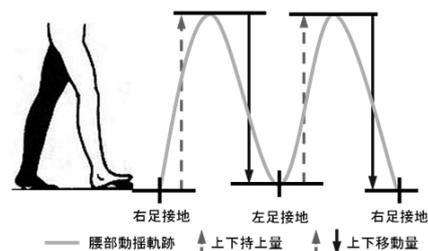


図6 上下移動量の軌跡

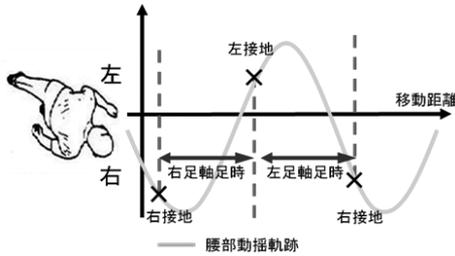


図7 左右移動の軌跡

また、計測結果の平均値±標準偏差で示し、平均値の差の比較はt検定を用いた。なお、有意水準は5%とした。

4. 結果

前顔面での腰部動揺軌跡を視覚的に分類すると、U型、∞型、∩型の3種類の特徴的な軌跡に分類で

きた。それに当てはまらないものは分類不可として4種類の歩行軌跡に分類した。それぞれの特徴的な波形を図8に示す。その結果、ナンバ歩きは∞型の腰部動揺軌跡が多く見られ、負荷をかけた際には分類不可能な腰部動揺軌跡が多くなった。さらに、負荷をかけた通常歩行とナンバ歩きの腰部動揺軌跡は、通常歩行に比べナンバ歩きの方が分類不可能な腰部動揺軌跡が少なかった(表2)。計測したデータから特徴量算出し、通常歩行とナンバ歩き、ナンバ歩

表2 測定結果の平均値および検定結果

	U型 [人]	∞型 [人]	∩型 [人]	分類不可能 [人]	計
通常歩行	4	11	4	2	21
ナンバ歩き	1	19	1	0	
通常歩行(負荷)	3	9	1	8	
ナンバ歩き(負荷)	1	16	2	2	

表3 (a) 測定結果の平均値および検定結果(右足)

右足	上下移動量[cm]	上下持上量[cm]	左右移動量[cm]	接地時間[ms]	歩幅[cm]
通常歩行	3.69±0.54	1.88±0.29	2.36±0.44	54.5±5.14	74.9±12.7
ナンバ歩き	5.88±0.60 ^a	2.92±0.37 ^a	3.88±0.70 ^a	60.8±3.29 ^a	79.5±7.52 ^a
通常歩行(負荷)	3.27±0.56 ^b	1.67±0.35 ^b	2.75±0.79 ^b	55.5±7.16 ^b	69.5±11.3 ^b
ナンバ歩き(負荷)	4.99±0.75 ^c	2.54±0.44 ^c	4.42±1.25 ^c	62.5±8.15 ^c	76.0±12.5 ^c

a:通常歩行とナンバ歩きの中に有意差あり(t検定, P<0.05), b:通常歩行と通常歩行(負荷)の中に有意差あり(t検定, P<0.05), c:ナンバ歩きとナンバ歩き(負荷)の中に有意差あり(t検定, P<0.05)

表3 (b) 測定結果の平均値および検定結果(左足)

左足	上下移動量[cm]	上下持上量[cm]	左右移動量[cm]	接地時間[ms]	歩幅[cm]
通常歩行	3.67±0.57	1.83±0.36	2.56±0.64	56.5±2.61	76.3±12.4
ナンバ歩き	5.74±0.65 ^a	2.84±0.38 ^a	3.97±0.76 ^a	60.3±4.53 ^a	79.0±8.50 ^a
通常歩行(負荷)	3.37±0.59 ^b	1.65±0.32 ^b	2.88±0.83 ^b	56.2±6.40	70.5±9.82 ^b
ナンバ歩き(負荷)	5.20±0.87 ^c	2.56±0.47 ^c	4.42±1.05 ^c	63.0±6.36 ^c	76.4±10.3 ^c

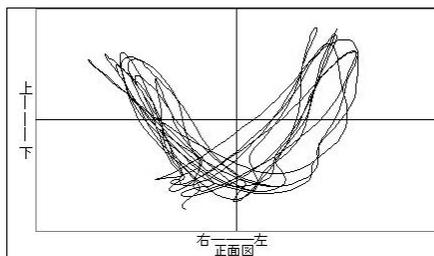
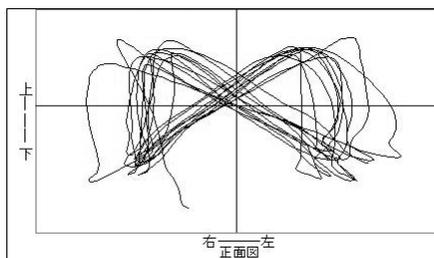
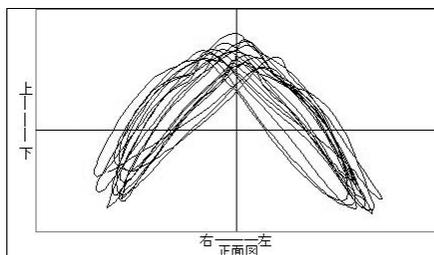
a:通常歩行とナンバ歩きの中に有意差あり(t検定, P<0.05), b:通常歩行と通常歩行(負荷)の中に有意差あり(t検定, P<0.05), c:ナンバ歩きとナンバ歩き(負荷)の中に有意差あり(t検定, P<0.05)

表4 (a) 天秤負荷による特徴量の差(右足)

	上下移動量[cm]	上下持上量[cm]	左右移動量[cm]	接地時間[ms]	歩幅[cm]
通常歩行-通常歩行(負荷)	-0.21	-0.42	0.39	1.00	-5.41
ナンバ歩き-ナンバ歩き(負荷)	-0.38	-0.89	0.54	1.67	-3.51

表4 (b) 天秤負荷による特徴量の差(左足)

	上下移動量[cm]	上下持上量[cm]	左右移動量[cm]	接地時間[ms]	歩幅[cm]
通常歩行-通常歩行(負荷)	-0.21	-0.42	0.39	1.00	-5.41
ナンバ歩き-ナンバ歩き(負荷)	-0.18	-0.3	0.33	-0.23	-5.81



上:∩型 中央:∞型 下:U型
図8 腰部動揺軌跡の分類例

きと天秤を担いでのナンバ歩きを比較した結果、すべての特徴量で有意な差が認められた。また、通常歩行と天秤を担いでの通常歩行を比較した結果、左足接地時間以外の特徴量で有意な差が認められた(表3-4)。

5. 考察

本研究では、健常者の通常歩行解析およびナンバ歩きの解析を行うために加速度センサにより腰部動揺軌跡を計測しその解析を行った。今回、被験者は19～21歳の成人男性21名であり、通常歩行、ナンバ歩きおよびその負荷時の歩行計測を行った。腰部動揺軌跡をU型、∩型、∞型に分類した結果、無負荷時において通常歩行ではU型が4名、∞型が11名、∩型が4名であり、ナンバ歩きではU型が1名、∞型が19名、∩型が1名であった。通常歩行に比べナンバ歩きで∞型に多く分類された。これはナンバ歩きの特徴である前足に体重をのせて歩くためであると考えられる。健常者の歩行において、重心近くの腰部軌跡は上下左右方向に正弦曲線を描くことから一般的に∞型の軌跡が歩行として安定していると言える。さらに、歩幅が通常歩行で右足74.9±12.7 [cm]、左足76.3±12.4 [cm] であり、ナンバ歩きで右足79.5±7.52 [cm]、左足79.0±8.50 [cm] であったことから、ナンバ歩きは歩幅の大きい歩行であることがいえる。そして、体を後足で押し出す際に膝を曲げるために、最下点も前足の上にくる。歩行軌跡が∞型を描くには頂点と左右に最下点がくる必要があるため、ナンバ歩きの歩行軌跡には∞型が多くなったと考えられる。また、天秤を用いて負荷実験の分類不可能は、無負荷時の通常歩行とナンバ歩きでの2名と0名に対し、それぞれ8名と2名に増加した。この結果より、通常歩行では負荷時には歩行軌跡が乱れるが、ナンバ歩きは∞型の軌跡になり易いことが推測される。通常歩行は、天秤から受けるモーメントが歩行動作の妨げとなり、歩行動作が乱

れたものと考えられる。しかし、負荷をかけたナンバ歩きにおいて歩行軌跡が乱れたのは2名であった。これは、ナンバ歩きは通常歩行と比べ、歩行動作の際に体幹の捻じりが小さい天秤から受けるモーメントが小さいため腰部動揺軌跡が安定していたと考えられる。無負荷時における上下移動量は、通常歩行で右足3.69±0.54 [cm]、左足3.67±0.57 [cm] であり、ナンバ歩きでは右足5.88±0.60 [cm]、左足5.74±0.65 [cm] であった。上下持上量においては通常歩行で右足1.88±0.29 [cm]、左足1.83±0.36 [cm]、ナンバ歩きでは右足2.92±0.37 [cm]、左足2.84±0.38 [cm] であった。通常歩行は着地した足を膝を曲げながら後ろ足を蹴りだして体を前へ移動させるため、体が浮き上がらない歩行であるのに対し、ナンバ歩きは前足に体重をのせるように歩行するため、体が前足の上きた際に膝が伸びる歩行である。このため、通常歩行に比べナンバ歩きの方が上下移動量が大きくなり、それに伴い上下持上量も大きくなったものと考えられる。左右移動量は、通常歩行で右足2.36±0.44 [cm]、左足2.56±0.64 [cm] であり、ナンバ歩きで右足3.88±0.70 [cm]、左足3.97±0.76 [cm] であった。通常歩行が体幹を捻るのに対し、ナンバ歩きは体幹を捻らずに前足に重心をのせて歩くため、体が左右の足の上をきながらの歩行になり左右移動量が大きくなったものと考えられる。また、負荷をかけた際も同様な結果が得られた。これらのことから通常歩行に比べナンバ歩きは重心が大きく移動する歩行であることがわかる。通常歩行における接地時間は無負荷時で右足54.5±5.14 [ms]、左足56.5±2.61 [ms] であり、負荷時は右足55.5±7.16 [ms]、左足56.2±6.40 [ms] であった。ナンバ歩きにおける接地時間は無負荷時で右足60.8±3.29 [ms]、左足60.3±4.53 [ms] であり、負荷時は右足62.5±8.15 [ms]、左足63.0±6.36 [ms] であった。今回、負荷には天秤を用いている。負荷は右肩にかけていたため、足の踏出すリズムが崩れたことによ

るものと考えられる。しかし、ナンバ歩きでは負荷時にも左右の足ともに接地時間がほぼ同じ割合で増加していた。このことから、片側に負荷をかけた場合においてもナンバ歩きは左右の足の踏み出すリズムを変化させないで歩行できる可能性がある。

以上のことより、ナンバ歩きは通常歩行に比べ重心が大きく移動するが腰部動揺軌跡が安定した歩行であることが示された。しかし、今回の被験者は成人男性のみであった。今後、女性や他の年代を対象に計測し、通常歩行やナンバ歩きの特徴をさらに解析する必要がある。

6. 結言

本研究では、通常歩行の解析を行った。その結果、健常者の歩行ですら一定のパターンではなく、 ∞ 型を示す被験者が多かったものの、U型、 \cap 型、および分類不可能を示す被験者もあり、4種類に大別できた。

通常歩行と天秤状の重りを担いだ際の歩行軌跡を比較すると、天秤状の重りを担いだ際の腰部動揺軌跡は安定しなかった。

通常歩行とナンバ歩きに関しては次のような定量的な違いを見出した。

- ・通常歩行に比べナンバ歩きは上下移動量、上下持上量、左右移動量が大きい。
- ・通常歩行に比べナンバ歩きは歩行軌跡が ∞ 型に多

く見られた。

- ・天秤状の重りを担いだ際のナンバ歩きも天秤状の重りを担いだ通常歩行に比べ上下移動量、上下持上量、左右移動量が大きい。
- ・天秤状の重りを担いだ際のナンバ歩きは、天秤状の重りを担いだ通常歩行に比べ分類不可能な歩行軌跡が少なく、 ∞ 型が多く見られた。
- ・無負荷時、天秤状の重りを担いだ際ともに腰部動揺軌跡が安定した。

今後は腰痛や歩行障害、違和感を持つ被験者の歩行解析を行い、健常者とのそれと比較しつつ、カイロプラクターの施術の際の施術効果の判定に役立つデータの取得に努めたい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり被験者となっていたいただいた学生に感謝いたします。

参考文献

- 1) 矢野龍彦, 金田伸夫, 長谷川智, 古谷一郎. ナンバの身体論. 初版, 東京, 光文社, ISBN-10: 4334032567, 2004, p.17.
- 2) 矢野龍彦, 金田伸夫, 織田淳太郎. ナンバ走り. 初版, 東京, 光文社, ISBN-10: 4334032214, 2003.
- 3) 中村隆一, 齊藤宏. 基礎運動学. 第6版, 東京, 医歯薬出版, ISBN-10: 4263211537, 2000, p.313-314, p.334-339.