

## 爪先立ちにおける床反力

川上 透

国際武道大学

Measurement of the floor reaction forces in selected standing postures

Tohru KAWAKAMI

The International Budo University

### 【緒言】

人間は、立位、坐位、臥位を基本姿勢とし、これらのほとんどは、運動(作業)・休息・移動などの際にみられる。従来より、これら姿勢についての研究は、医学・体育・人類学などの分野において古くから数多く報告されている。特に、姿勢維持能力との関係から、身体動揺の程度を測る報告もなされている。しかしながら、それらの多くは、足圧中心による研究に留まり、身体が姿勢維持する際に発揮される身体重心の加速度(=床反力)、速度、変位による重心動揺についてなされた研究は未だない。

大道1)・大道2)は既に、力学的基本変量である身体重心の動揺について、圧力板から得られた加速度を積分処理することで速度・変位を算出することに成功し、座位、臥位、立位による重心動揺について報告している。

本研究ではこの手法を用い、爪先立ち・爪先片足立ちに注目し、その動揺の測定を試みるものである。すなわち、下肢により支持される立位姿勢において不安定な姿勢と考えられる「爪先立ち」「爪先片足立ち」の重心動揺の振幅量そのものの位取りについて検討することに主眼をおく。

### 【方法】

体育大学男子2名が、圧力板(キラー社製; 60×120cm)上で「爪先立ち」「爪先片足立ち」による静的姿勢維持を行った。ここで「爪先立ち」には、通常行われる踵を挙げた状態で姿勢維持するものと、その差の程度を比較するために圧力板と踵部との間に補助台(金属製; 高さ6cm)を介するものとの2種類を用い

た。

さらに、視界制限による影響についても考察するため、全試技ともに「開眼」「閉眼」の2試行を加え、測定した。すなわち、「爪先立ち」「爪先片足立ち」に対し、補助台の「有」「無」と「開眼」「閉眼」の組み合わせの計8試行を行った(写真参照)。ここで、写真にみられる「片足立ち」における上肢の水平なる挙上行為は、機能解剖学的にみてもバランスをとるための自然動作であると解釈し、被検者に対しあえてその強制は行わなかった。

これらの姿勢維持時の床反力は、圧アンプによって数値化され、それらを熱ペン式記録器(日本光電社製)にて記録した。

データは得られた床反力の平均「平均振幅; MPV(mean peak value)以下、MPVとする」を用い算出した(図1参照)。つまり、MPVとは「波形の

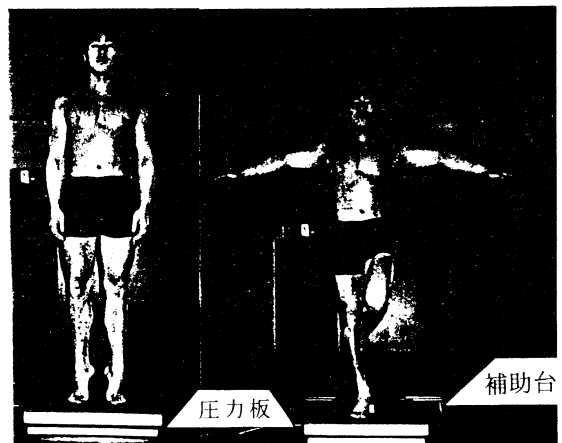


写真 実験風景

極大値（山）を平均したMと極小値（谷）を平均したmの差」で定義した<sup>4)</sup>。

なお、測定区間の約5%以下の振れ幅しか示さない微少な波動は、多くが建物の持つ固有振動、生態情報以外の雑音であることからその存在を無視した<sup>3)</sup>。

データ採取時間は5秒間とし、MPVは視察によって安定したと見なされる3秒間について上下・前後・左右方向の波形から算出した。これは、被検者が5秒以上姿勢維持を行うと、安定した振幅を得られなかったという先行実験を踏まえ、データ採取時間の制限を行った（以後、実験1とする）。

また、健常男子1名が立位と爪先立ちを繰り返す動作、つまり、踵の上げ下げのみで行う「上下動」と上下動中において爪先姿勢の時に上肢を屈曲し、立位姿勢の時に直立に戻す動作「おじぎ」という二つの動作を圧力板上で行った。その際、鉛直方向床反力Fを記録するとともに、重心変位Sを鉛直方向反力Fの2階積分によって得た。

また足関節に装着したエレクトロ・ゴニオメータによって、足関節角度変化Gも同時記録した。

それらをA/D変換器によってコンピュータに取り込み、F : G、G : Sの2種類のリサージュ図形を自動記録した（以後実験2とする）。

### 【結果と考察】

A ; 下肢が身体自重を支える床反力振幅値

実験1の結果から、下肢支持による爪先立ちの重

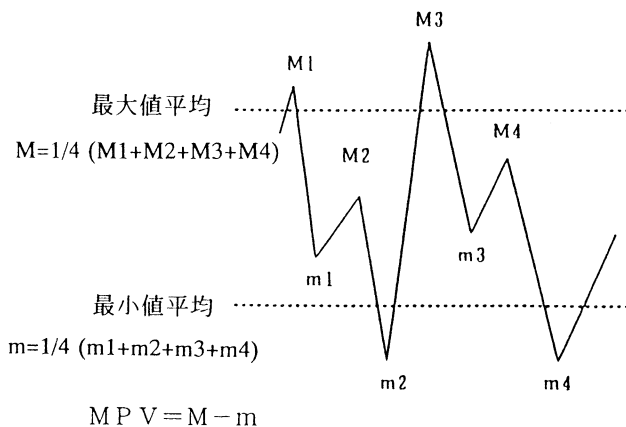


図1 振幅平均の方法

心動揺の三方向反力は「開眼両足；以後、開爪両」において3kgw、「閉眼両足；以下、閉爪両」で6kgw、片足立ちの「開眼片足；以下、開爪片」「閉眼片足；以下、閉爪片」は両試行とも6kgwであった。また補助台を介した爪先立ちに関しては「開眼両足；以後、開両有」で4kgw、「閉眼両足；以下、閉両有」では5kgw、「開眼片足；以下、開片有」「閉眼片足；以下、閉片有」は両試行ともに5kgwであった。

一方、先行研究<sup>2,4)</sup>では①心拍動、②座位（あくら）、③立位（開眼両足）、④立位（閉眼片足）、⑤倒立、⑥脚前拳（平行棒上）の床反力（概略値）は、その概略値がそれぞれ①,②が0.1kgw、③~⑥が1~10kgwと報告されている。本研究で得られた爪先立ち（補助台あり、なし）の結果は③~⑥と同程度にあることが明らかとなった。

B ; 鉛直面と水平面内の制御

被検者・試技・試行別に実験1の結果を図2a~dに示す。「上下、前後」方向反力の分布について示した図2aは補助台なしの踵拳上静止時の結果であり、両被検者ともに「開爪両」試行においては上下方向よりも前後方向が高値となった。

また「閉爪両」「開爪片」試行では上下方向が高値となったが、「閉爪片」になると上下方向が高値な者と、上下・前後両成分がほぼ均等に動揺する者に分かれた。

一方、補助台を介した図2bでは「開片有」において両被検者ともに上下方向より前後方向が高値を示し、逆に「開両有」「閉片有」は上下方向が高値示した。ところで「閉両有」においては上下方向が高値な者と、両成分がほぼ均等に動揺している者に分かれる結果となった。

図2cは補助台なしにおける「上下・左右」方向の反力を示す。

被検者Bの「閉爪両」「閉爪片」は他の試行に比べ、上下方向より左右方向が極端に高い値を示した。その他の試行においてはほぼ両成分が均等に動揺していることがわかった。

図2dは補助台を介した際の「上下・左右」方向について示す。

被検者Aの全試行において前後方向が上下

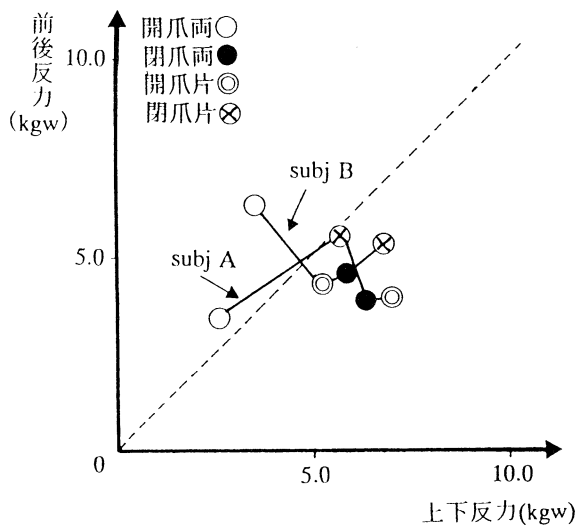


図2-a 各試行の上下・前後方向反力

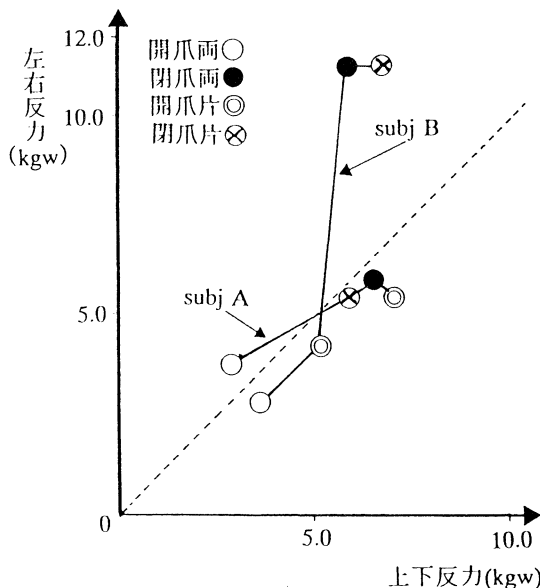


図2-c 各試行の上下・左右方向反力

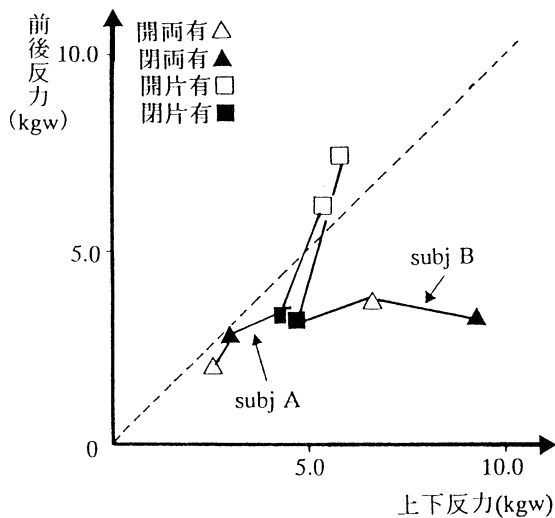


図2-b 各試行の上下・前後方向反力

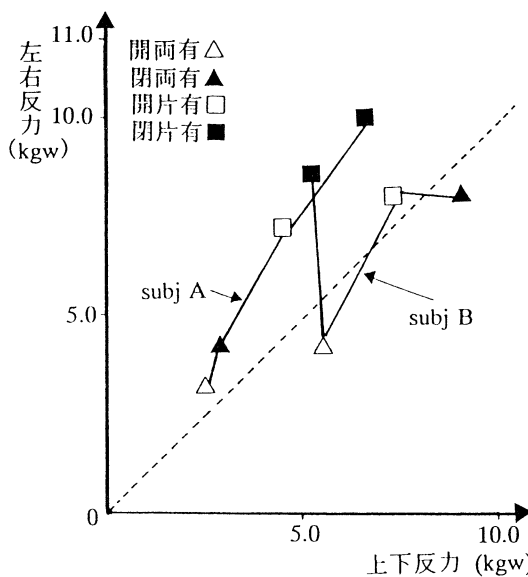


図2-d 各試行の上下・左右方向反力

方向と比べ、高い値を示した。

一方、被検者Bは前後反力に依存する「開・閉両有」と上下反力に依存する「開・閉片有」とに分類された。

C ; 下肢による自重支持の比較

先行研究<sup>4)</sup>による立位（開眼両足）姿勢と本実験で行った爪先立ち姿勢における平均振幅量値を総覧した数値と比較したものである。

立位と爪先立ち（開爪両）の二方向反力 [上下・前後] はそれぞれ [0.15・0.11] kgwと [3.00・4.88] kgwであり、踵を上げることによって、オーダー（位取り）が1桁以上上がることがわかった。したがって、足底部の基底面が大きい立位姿勢が、爪先立ちと比較し、安定しているといえる。

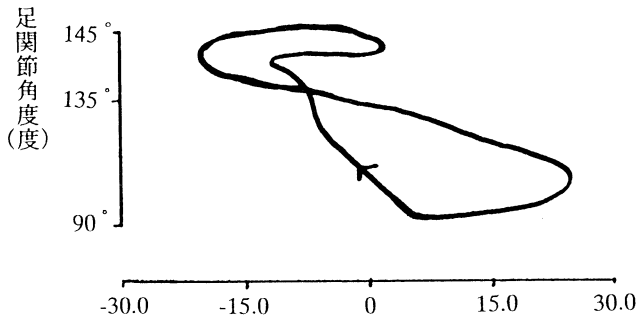


図3 a-1 上下動の床反力と足関節角度

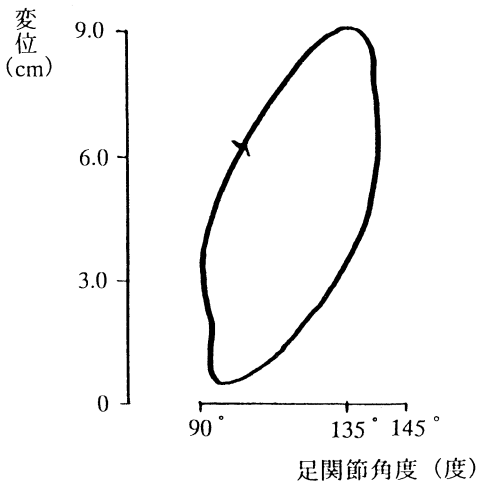


図3 a-2 上下動の足関節角度と重心変位

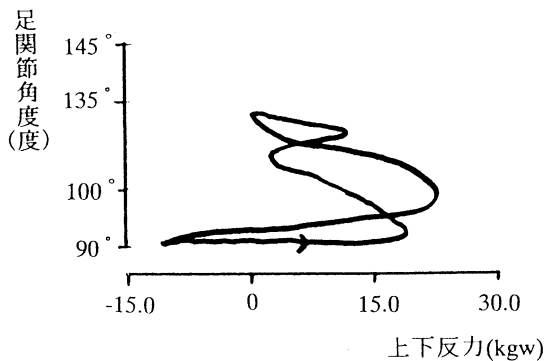


図3 b-1 おじぎの床反力と足関節角度

また、圧力板と踵の間に補助台を置いた（開両有）姿勢における〔上下・前後〕は〔4.47・2.70〕kgwを示した。補助台を介することで基底面は爪先立ち姿勢よりも広がるのだが、上下方向の振幅量が増し、前後方向が減少した。これは補助台を置くことによって前後方向の動揺が制御され、上下方向を中心にバランスが取られていると考えられる。

D ; リサーチ図形による比較

上下反力 (kgw)

図3 a、bに実験2の結果を示す。a-1は踵の上げ下げのみで行う上下動、b-1はおじぎの上下反力Fと足関節Gとのリサーチ図形である。a-1では135°~145°の間で交差する傾向がみられた。つまり全体的にみると8字状になって複雑な様相を示した。これは上下反力が重心上昇期より重心下降期で大きな値を示したことによるものと考察する。さらに135°~145°間での重心上昇期における上下反力の一時的な下降がみられる。これは腱による弾性要素の再利用であると考察する。b-1では90°~135°の間で二回の交差がみられた。90°~100°、100°~135°における交差は上下反力が重心上昇期（下肢が上昇しているのに対し、上体は下降）より重心下

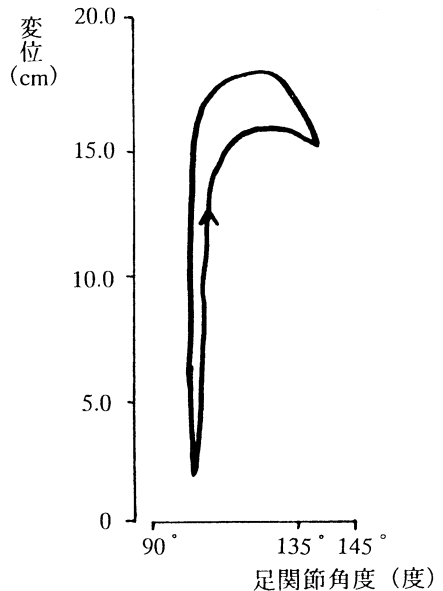


図3 b-2 おじぎの足関節角度と重心変位

降期（下肢が下降しているのに対し、上体は上昇）で大きな値を示した。これは重心下降期において上体を振り上げる動作によっておこる現象だと考察する。

a-2、b-2は上記に示す各試技の足関節角度Gと重心変位Sとのリサーチ図形である。a-2では足関節の角度増大に伴い変位も上昇し、足関節の現象に伴い変位も下降した。b-2では重心上昇期（下肢が上昇しているのに対し、上体は下降）における足関節角度 $90^{\circ}\sim 100^{\circ}$ ・重心変位15cmまでは上昇し、重心下降期（下肢が下降しているのに対し、上体は上昇）では上体が起きあがる $145^{\circ}\sim 100^{\circ}$ ・重心変位18cmまでさらに上昇し、その後下降していくことがわかった。

E；文献

- 1) 大道等：ジャンプにおける重心軌跡の記録. Jpn. J. Sports Sci., 9(3), 155-163, 1990
- 2) 大道等, 宮下充正：静的姿勢の重心動揺. 座位・立位の床反力. 体育の科学, 32(7), 540-545, 1982
- 3) 大道等：心拍動の運動力学. Jpn. J. Sports Sci. 12(8), 503-513, 1993
- 4) 川上透, 松野義晴, 大道等：倒立・脚前拳における床反力の測定. 静止時重心動揺の四肢／下肢比較. 身体運動のバイオメカニクス. 第13回バイオメカニクス学会大会論文集, 450-455, 1996

(平成9年4月12日受付)