

1980年代, 本邦における姿勢研究の動向について : 立位の接地足底面ならびに重心動揺の発育・発達の 研究から

著者	臼井 永男, 渡邊 功, 竹内 宏一
雑誌名	放送大学研究年報
巻	14
ページ	1-18
発行年	1997-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1146/00007366/

1980年代、本邦における姿勢研究の動向について

—立位の接地足底面ならびに重心動揺の発育・発達的研究から—

臼井永男*¹・渡邊 功*²・竹内宏—*³

Research Trends in the Study of Human Upright Posture in Japan, 1980~1989

—Growth Studies in Contact Surface Area of the Sole and Postural Sway of Center of Gravity—

Nagao USUI • Isao WATANABE • Hiroichi TAKEUCHI

SUMMARY

Researchers have long been conducting growth studies on postural stability of children through simultaneous testing of contact surface area of the sole and postural sway of center of gravity. The 1980's in particular saw big developments in posture study in Japan.

Research on posture has a long history. In 1966, the main school of posture study in Japan was finally formed through the establishment of the Japan Institute of Human Posture Research by the First Life Mutual Company. Through this, an environment was provided for in which researchers from various fields of research were given opportunities to present their research on posture.

Study reports from various fields were published in "The Japan Journal of Human Posture" (1981-1992), and presented at the Symposium of Posturography, first held in 1970, and then every 2 years from 1979 to 1989.

However, from 1990, the Symposium become a branch society of the Human Engineering Society with the unfortunats result of limiting the number of participants. Also, publication of "The Japan Journal of Human Posture" was stopped in 1992. Looking back on the developments of the Japan Institute of Human Posture Research, one can tell how active posture study in Japan was during the 1980's

In this paper, several growth studies (including those dealing with changes caused by aging) which Japanese researchers are involved in will be introduced and described according to their characteristics. Then several points that may be expected in future studies will be mentioned.

*¹ 放送大学 (生活と福祉)

The University of the Air

*² 静岡産業大学 (保健体育)

Shizuoka Sangyo University

*³ 浜松医科大学 (公衆衛生学)

Hamamatsu University School of Medicine

First, many tests have been conducted on the arch shape of the foot for changes of contact surface area of the sole according to aging. These tests can be classified into three categories in according to the formation of the arch of foot. 1) Correlation between the formation of the arch of the normal foot and athletic and other physical ability. 2) Correlation between the formation of the foot and normal physical activity conditions. 3) Correlation between formation of the arch of the foot and the effects of the implementation of bare feet life. For each factor, there were study reports which confirm correlations, but there were also some study reports which couldn't confirm correlations. Still, since the shape of contact surface area changes as children grow, there is no doubt that this is effective as a growth index.

Second, growth studies on postural sway of center of gravity have greatly benefited from the Japan Society for Equilibrium Research's standardization of testing on postural sway of center of gravity, resulting on standardized. Standardization of measuring devices, fundamental experiments for setting measurement conditions, and consideration of parameters which act as indexes of evaluation were effected. Since postural sway of center of gravity represents an integration of bionic information, it requires a detailed accounting of the measuring method used and analyzation of the method for clarification of the measuring purpose.

It was revealed that factors affecting static balance ability differ from factors such as physique and athletic ability. This fact indicates that a factor which cannot be found through the athletic ability tests conducted heretofore can be evaluated in tests on the postural sway of the center of gravity.

I 緒 言

著者らは、かねてから接地足底面と重心動揺の同時測定によって、小児の立位の安定性について、発育・発達の検討を試みてきた。そのようななか、本邦の姿勢研究において、1980年代は大きな動きがみられた。

姿勢に関する研究は、古くからなされているが、1966年、第一生命相互会社によって、(財)姿勢研究所が設立され、ようやく本邦での姿勢研究の核ができたと考えられる。これによって、専門分野に左右されることなく、姿勢に関する研究成果を報告する場が与えられた。研究誌「姿勢研究」の発行(1981~1992)ならびに1970年に始まり、1979年より1989年まで隔年に開催された「姿勢シンポジウム」では、様々な分野の研究報告がなされた。

しかし、1990年より、シンポジウムも人間工学学会の分科会となり、参加者が限られてしまったようで残念である。また1992年には「姿勢研究」の発行も停止されてしまった。このような姿勢研究所の動向からも、本邦における姿勢研究が、1980年代にいかにか活発に実施されていたのか伺い知れる。

今回は、立位の接地足底面ならびに重心動揺に関する発育・発達の研究を中心に、その研究の動向について検討を試みた。

まず、接地足底面の形状に関しては、子供の体力低下が提示され、その一つの兆候として

土踏まず形成の遅れが指摘され、さらにこれを受けて「全国はだし教育研究会」が発足した。また重心動揺に関しては、耳鼻科の平衡機能検査としての「重心動揺検査」の基準化が検討された。しかも、これらが図らずも1980年代の同時期に生じたことは、先に触れた姿勢研究所の動向をも含め、本邦におけるこの時期の姿勢研究に、大きな進展があったことを示唆するものである。

そこで、1980年代に特に本邦の研究者が関わった、発育発達的研究（加齢変化を含む）のいくつかを紹介し、その特長を述べるとともに、今後の研究に期待されるいくつかの点を挙げてみたい。

II. 接地足底面の発育・発達的研究

1. はじめに

近年、接地足底面の形状の年齢変化を解明し、その要因を明らかにしようとする試みが数多くなされている^{16) 37) 42) 52) 53) 55) 60) 63) 67)}。また人類学的な見地から足の形状の年齢変化を、詳細に計測する試みもなされている^{20) 21) 30)}。

しかし本邦では、平沢彌一郎¹⁷⁾、根本芳男³⁰⁾等によって早くから足の裏の形状の年齢による変化について検討が試みられてきた。また水野祥太郎³⁰⁾や近藤四郎^{28) 29)}等によるヒト化を基盤とした、足の骨格構造に関する研究は広く知られている。しかし、これらの研究は、いずれも大きく取り上げられることはなく、研究分野としては、どちらかといえば地味な部類に属するものであったと思われる。ところが1980年代は、足の裏の測定が普及し、いわゆるブームにまでなった。

そこで1980年代の本邦における研究を中心に、特に足の裏の測定結果から、小児の発育・発達がどのように評価されているのかに注目し、その問題点や今後の課題について整理してみた。

2. 足裏形状の観察

接地足底面の観察には、ピドスコープ(pedoscope) の開発によるところが大きい。この装置は、本邦において1963年に開発され、小児の接地足底面の形状の年齢による変化を把握する試みがなされた¹⁷⁾。また、土踏まずの形状から、運動発達を把握する試みがなされた。そして、これが接地足底面の形状に関する研究を広く普及させるきっかけとなった³⁰⁾。

しかし、足裏の形状を観察する試みは古くからなされている。例えば、古代人の足跡、犯罪者の足跡、小児の足型土版、整形外科におけるフットプリントなどが挙げられる。このうち、資料が比較的簡便に採取できることから、フットプリント法が広く普及している。この手法を用いて、特に幼児・児童を対象に、土踏まずの形状から運動発達の様相を把握する試みが、全国に普及した。しかしその測定結果に関してはほとんど報告がなされていない。研究の手法としてフットプリントには限界があること、また土踏まずの形状が運動発達と必ずしも相関関係にあるとは言えず、研究者の間にも疑問視されていることによることも考えられる。

本邦では戦前、旧帝国陸軍の徴兵検査にこの手法が用いられた。フラットフット(扁平足)

であることは、歩行能力に劣るため歩兵として適さないとされていた。しかしこの見解には科学的な裏付けがなかったようである。

古いドイツの整形外科の専門書にはフットプリンツが紹介されており、整形外科的疾患によって足型の形状が特長づけられていたようである³⁸⁾。ただ同じフラットフットであっても、健常人のものは、整形外科的疾患を有する人のものとは基本的に異なるものであることは容易に推測される。

しかし幼児の生理的扁平足を基本に考えたとき、成人においてもフラットフットであることは、正常な発育がなされておらず生理的扁平足の域を脱していないと考えられていたようである。これが発育発達の分野において土踏まずの形状を測定する重要な要因であったように思われる。

ところでチェコの人々の測定結果から、生理的扁平足が観察されたのは、3～4歳の幼児の数%だけであった³⁹⁾。小学校児童・高校生・成人には1名も認められなかった。そればかりか、凹足といわれ足先と踵だけが接地するタイプが、児童の25%、高校生の20%、成人の17%に認められた。

この数字が欧米諸国の人々を代表するものでは決してないが、少なくとも本邦の結果とは大きく異なるものである。このような集団にフラットフットが確認されれば、整形外科的疾患や発育異常を疑われても不思議ではない。この考えだけがそのまま本邦に取り入れられ、フラットフットが弱い足の代名詞として広まったのではないだろうか。

なお、フットプリンツ法などによる計測では、「扁平足」と「べた足」の区別が困難であることから、この方法で判定されるフラットフットは「低平足」とすべきであるという意見もある。

3. 土踏まずの測定・足の裏ブーム

正木健雄等は、小児の運動発達に特に関心を示し、その測定項目の中に土踏まず形成の様相を組み入れて、全国的な調査を行った³⁹⁾。その結果、子供たちの体力が低下してきていることを明らかにした。この調査結果が1978年、NHKによるドキュメント「子どものからだは蝕まれている」という番組によって報道され、日本の社会に強い印象を与えた。

一方、野田雄二等は、文部省・環境庁・日本医師会・朝日新聞社・日本歩け歩け協会の後援を得て、「全国はだし教育研究会」を設立し、1984年5月に第1回シンポジウムを開催した。小児に対する素足あるいは裸足による生活経験の推進と、その教育成果を明らかにしていこうとするものである。その評価のひとつに土踏まずの形成状態も活用されている。

研究のねらいはともかくとして、1980年代の足の裏測定ブームに火をつけるきっかけとなったのは確かである。このことに関して両氏の功績に負うところが大きい。なお研究のための測定ではなく、教育現場において足裏の計測を実施しているところは相当数あるものと思われる。

また、中日新聞は1983年に「あしの健康学」というシリーズを企画している⁴⁰⁾が、これを始めとして、各種雑誌・新聞等に「足」「靴」「はだし」「運動不足病」などについての記事が連載された。またテレビ、ラジオなどでも報道された。

さらに研究面ばかりでなく、東洋医学的な見地から足の裏にはさまざまなツボがあり、足

の裏がヒトの健康と密接な関係があるという内容の情報が次々に流された。竹踏み用の青竹、ワラジ、健康サンダルなどの商品が先を争って紹介、販売された。

これらの報道が、健康ブームと相まって一般社会に対して足の裏に強い関心を持たせる役割を果たしたものと考えられる。しかしこれは報道の効果だけでは説明を付け難い。あるいは我々日本人が、足に対して特別の意識を抱いているのかも知れない。

4. 接地足底面

接地足底面の形状の年齢変化に関する研究は、その目的からおおむね以下に示す4項目に分類することができる。

- ①足の形状と接地足底面
- ②足部骨格構造と接地足底面
- ③接地足底面積
- ④土踏まず部の変化

それぞれの項目に相当する代表的研究を以下に紹介する。

① 足の形状と接地足底面

石橋徳次郎は、靴の製造過程において使用される木型の設計に必要な資料を得るために各年齢、性による日本人の足の形状と接地足底面を測定した^{20) 21)}。

この研究では、学校保健分野における発育発達の検討は十分にはなされていないものの、得られた測定結果は、日本人の足の形状の標準化という点で、きわめて意義あるものと考えられる。

田口秀子は、児童期の足趾の年齢別特徴を把握するとともに、とりわけ拇趾角に注目した^{22) 23)}。拇趾角は、第1趾の外反傾向を把握する一つの測定項目（パラメータ）として活用される。

この結果から、第1趾の変形成長に従って第1趾が外反傾向になることが観察されている。拇趾の外反傾向は女性に多く、足に合わない履物を着用することによって引き起こされる可能性が大きいと言われている。

履物文化との関わりとも相まって、小児期における足部への関心を促すものである。

② 足部骨格構造と接地足底面

水野祥太郎は、かねてから整形外科の立場から、フットプリント法による足部変形、特に扁平足の診断に関して、その有効性と限界について述べている²⁴⁾。

根本芳男等のグループは、軟X線をを用いて足部骨格を撮影し、同時に測定した接地足底面の形状との関係を明らかにしている^{25) 26)}。その結果、接地足底面の形状から扁平足を推測することには無理があり、それだけで判断することがきわめて危険であることを指摘している。ただ同時に、小児期において接地足底面の形状は、年齢に従って変化することから、発育発達の指標として有効であることも認めている。

このことは、数多く報告されている接地足底面の測定結果の中には、その目的によっては、

意味をなさないものも存在することを指摘しているものであって、本邦における先駆者である氏の貴重な意見として参考にすべきである。

③ 接地足底面積

平沢彌一郎等は、ピドスコープを開発し、その有効性を明らかにするとともに、接地足底面の年齢変化について報告している^{14) 15)}。また、著者等は、面積測定装置を用いて接地足底面積を連続測定し、その変化の程度から直立時の安定性を評価している^{56) 56) 57) 58)}。また左右差に注目し、足の機能的左右差の年齢変化についても検討を加えている。

④ 土踏まず部の変化

野田雄二は、接地足底面外側エッジに基準線を引き、そこから土踏まず形成の有無を判定している^{42) 43) 44)}。集団を対象にした計測結果から土踏まず形成率を算出し、各グループの差異を社会的ならびに地理的環境の違いから検討を加えた。特に、十分な運動負荷刺激が与えられない場合には、同年齢において、土踏まず形成率が低いという結果を得ている。

浅見高明は、足部のアーチ形成に必要な運動負荷刺激を与えるべき適切な時期を知るために、5歳から14歳にかけて、10年間にわたり縦断的に追跡調査を行った¹⁾。その結果、男子は8～9歳、女子は10歳までにアーチ、土踏まずの形成が進んでいることを確認している。

また、幼児を対象に、土踏まず形成率と履物の関係を調査し、より裸足に近い履物の方がその比率が高いことを確認している^{2) 3)}。

以上のうち、発育発達の検討は、とりわけ土踏まず部の形状変化に対するものが多く、それと小児の運動発達との関係を明らかにしようとするものが主流となっている。

5. 小児の運動発達と土踏まずの形状

小児の土踏まず形成の様相から、運動発達を把握する試みがなされている^{9) 34) 42) 43) 44)}。このことがきっかけとなり、接地足底面の形状に関する研究がさらに普及することとなった。またその計測方法は、ピドスコープの普及によって、その対象が「足型」から「足の裏」に移行し、より正確な計測が可能となった。

ところで、運動発達と土踏まず形成の関係に関する研究には、大きく、①体力・運動能力との関係^{9) 23) 34) 35) 42) 44)}、②日常身体活動状況と土踏まず形成の関係^{8) 10) 71)}、③はだし教育の効果判定^{38) 42) 43) 44)}、に分類することができる。

それぞれに相当する代表的な研究を以下に紹介する。

① 体力・運動能力の指標としての土踏まずの形状

原田碩三は、3～6歳の幼児を対象にした調査から、土踏まずの形状と運動能力の関係を明らかにしている⁹⁾。すなわち、土踏まず形成には運動が関与しており、徒歩通園距離の長い方が、また運動遊びを盛んに行わせている園の方が、土踏まず形成率が高いという結果を得ている。

一方、坂下玲子は、3～15歳の小児を対象にした調査から、土踏まずの形状によって、医学的な健康の程度を予測することはできないという結果を得ている⁴⁹⁾。

② 日常身体活動状況と土踏まずの形状

橋本勲等は、幼児の栄養と運動の状況が土踏まずの形成に及ぼす影響について調査を行った。この結果から、土踏まず形成の比率を測定することが、乳幼児の発育・発達の一指標になり得るとしている¹⁰⁾。

原田碩三は、幼児を対象にした調査から、土踏まずの形成には運動が関与しており、運動量が多いグループの方が土踏まず形成率が高いという結果を得ている⁸⁾。

野田雄二も、幼児の身体活動の差異が土踏まず形成時期を左右しており、運動量が多いほど土踏まずは早く形成されるという結果を得ている⁴³⁾。

吉澤正伊等は、ベタ足とみられる4～5歳児を対象に5か月間のトレーニングを実施して、その効果について調べているが、有意な差は得られていない。その理由のひとつとして、実施したトレーニングの質と量に問題があったことを挙げている⁷¹⁾。

③ はだし教育の評価としての土踏まず測定

野田雄二は、「全国はだし教育研究会」を設立し、全国各地で実践されているはだし教育の紹介を行っている。氏はかねてよりピドスコープを用いて、長寿村の高齢者や相撲選手を測定し、素足や裸足による運動の効用について検討を加えている。また幼稚園、保育園、小学校などに働きかけ、校内ではだし生活実践の普及に努めている。そして足の裏の形状から、はだし教育実践者の方がそうでない対象よりも土踏まず形成時期が早く、運動能力も優れているという結果を得ている^{42) 43) 44)}。また疾病率が低下し風邪で休む小児が減少するという報告もある。

これに対して、永田辰は否定的な意見を持っている。小学校児童を対象にした長期に渡る縦断的な調査から、野田雄二の報告にあるような効果は認められないとしている⁸⁰⁾。

このように、これらのいずれにおいても、両者に相関関係を認めたとする研究報告と、逆に否定する報告がみられる。乳幼児期にあっては、個人差が著しくまた発育の差も大きいことから、土踏まず形成からある程度運動能力を把握することは可能かと思われる。しかし、就学後の児童においてはこれらの関係を明らかにするのは非常に困難であると考えられる。

われわれの調査からも、8～9歳においてはほぼ成人の原形が完成されるという結果を得ており⁶⁷⁾、この年齢を越えた対象については、運動発達の様相を、接地足底面の形状から推測する場合、慎重を要するものと考えられる。

以上のことから、現時点では土踏まず形成が運動発達と相関関係にあると明言するにはいささか無理があるように思われる。

なお接地足底面の形状と骨格構造との関係を明らかにすることによって、接地足底面の形状だけで運動能力や発育発達に関する評価を行うことの危険性を訴える報告もある^{67) 71)}。ただ小児の成長に従って足の形状が変化しながら同時に接地足底面の形状も変化することから、これが発育発達の指標として有効であることは否定できない^{67) 71)}。

6. 遺跡に残された足跡

オルドゥヴァイ遺跡のおよそ350万年前の地層からヒトの足の骨とともに足跡の化石が発見されている⁵⁴⁾。

本邦でも最近、地域開発に伴って、各地で縄文時代や弥生時代をはじめとして、古い地層から多数の足跡が発見されている。そしてその形状から現代のわれわれとの差異について検討されている¹⁷⁾。縄文時代の地層に残されたものは、踵が狭く足趾が広がった形状をしている。現代のわれわれと同じような形状になるのは平安時代以降であることが確かめられている。

またこれとは別に、縄文時代の遺跡から小児の足跡がつけられた素焼きの土版が発掘されている。これはおそらく立位で採取されたものであると考えられる。また、前述のものとはまったく異なり、ある目的をもって作られたものである。土版の隅に1～2個の小さな穴があげられており、紐などを通して何かに吊っていたように思われる。

小児の成長の記録としては、我が国最古のものであろう。足裏研究の原点がこちらあたりにあるのかも知れない¹⁷⁾。

7. まとめ

1980年代における、本邦の研究報告書の中から、接地足底面の形状の年齢変化に関するものを拾い上げてみた。

その結果、土踏まず形成と運動発達との関係について検討されたものが比較的多かったことから、特にその点に注目して、研究成果の比較を試みた。ところが、今回の調査から、土踏まず形成と運動発達との関係について相反する報告がなされていることが判明した。

また接地足底面の形状と骨格構造との関係を明らかにすることによって、土踏まずの形状だけで運動能力や発育・発達に関する評価を行うことの危険性を訴える報告もあった。これらのことから、現時点では土踏まず形成が運動発達と相関関係にあると明言するにはいささか無理があるように思われた。ただ小児の成長に従って足の形状が変化し、また同時に接地足底面の形状も変化することから、これが発育・発達の指標として有効であることは否定できない。

今後、土踏まずの形状にこだわることなく足の機能的な年齢変化が接地足底面の形状にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにする必要がある。このことによって、接地足底面の計測が、小児の発育・発達ばかりでなく、トレーニング効果の判定や足部障害の診断など広い分野で活用されるものと期待される。

測定操作が容易であるとともに、被験者に何ら負担をかけることなく計測できる利点を活かしつつ、慎重な対応が望まれる。

Ⅲ. 重心動揺の発育・発達の研究

1. はじめに

本邦において、立位姿勢における身体動揺の様相を、足圧中心（重心）の記録から定量的に測定しようとする試みは、1960年代からなされている^{20) 47)}。

重心動揺計は記録操作が容易で被験者に負担をかけることなく、精密に記録ができること

から、臨床分野における平衡機能検査、リハビリテーション分野における肢体機能障害の検査、体育分野における身体機能検査、職業適正など、広く利用されつつある⁴⁾。

ここでは1980年代の、重心動揺の発育・発達に関する研究報告をもとに、立位の重心動揺測定の問題点を明らかにするとともに、発育・発達分野に広く活用されるための条件などを提示したい。

2. 日本平衡神経科学会の動向

日本平衡神経科学会が設けた委員会の働きかけによって、1994年より、重心動揺検査が医療機関での平衡機能検査の一つとして正式に認められ、保険請求が可能となった。

ここに至る過程において、当学会は、1983年に装置の規格を作成し⁴⁾、さらに検査法の基準化を進めている⁴⁾。これらの基礎資料作成のため、正常値を明らかにする必要がある。必然的に、当学会を中心になされている重心動揺の年齢変化に関する研究は、主として臨床応用の基礎資料を得るためのものが多い^{7) 11) 13) 18) 19) 24) 27) 45) 50) 65) 66) 68) 69) 70)}。また足位 (foot posture)、視標を初めとしてさまざまな条件によって測定値が左右されることから、測定時の条件設定のための基礎研究や評価のためのパラメータの検討も同時になされている。

当初評価の指標は、主として重心動揺の大きさが用いられていたが、最近では動揺の性質を解析することによって、また外乱刺激に対する立ち直りの解析から姿勢制御の様相を明らかにする試みがなされている。

さらに特定部位の障害を有する者の特徴を把握することによって、逆に、重心動揺の様相から障害部位を特定することも不可能でなくなってきた。

なお平衡機能検査法基準化のための資料には、詳細に渡る測定条件とともに、以下に示すような計測項目が挙げられている。

① X-Y 記録検査 : statokinesigram

- ① 動揺の大きさ : 前後径、左右径、出来れば面積を計測する。面積はプラニメータの測定を標準とする。
- ② 動揺型 : 求心型、前後型、左右型、びまん型、多中心型などを判定。動揺型の判定は、前後径、左右径、揺らぎの方向、揺らぎの均一性を考慮して行う。
- ③ 動揺の中心 : 前後動揺、左右動揺の中心線の交点を動揺の中心とし、足底の中心に対しどのような位置にあるか判定する。
- ④ 開閉眼差 : 前後径、左右径、面積において閉眼/開眼の比をみる。

② 経時的記録検査 : stabilogram

- ① 単位時間の軌跡長 (cm/sec)、総軌跡長 (cm/60sec)・実効値 (root mean square)
- ② 振幅ヒストグラムと標準偏差 : 前後動揺、左右動揺
- ③ power spectrum (0.02Hzより 5~10Hz)

3. 測定条件

このような背景の中、装置の普及に伴って保健体育の分野においても小児の重心動揺測定からその発育・発達の様相を明らかにする試みがなされてきた^{5) 6) 14) 15) 22) 26) 31) 32) 33) 51) 55) 57) 58) 61) 62) 64)}。

しかし、そこでは研究的な要素が強く、研究者によってその方法や条件に様々な相違点がみられる。また、年齢変化の様相は酷似しているが、絶対値が異なり、データの比較ができないという問題も生じてきた。そこでまず、測定条件の相違について問題点を提起したい。

① 測定装置（重心動揺計）

重心動揺計に規格が設けられたとは言え、国産の装置は精度的にも優れたものであると考えられる。また、現在使用されている重心動揺計には自動体重補正機能が設けられており、取り立てて問題があるとは思えない。

なお重心動揺計を装着したピドスコープは、長い重心動揺計開発の歴史の中で他に類を見ない我が国独自の装置である。これは、直立時地面に接する足の裏とそこに投影された重心点がリアルタイムに同一平面上で観察できるものである^{20) 4)}。

② 測定方法・条件

測定条件によって、求める重心動揺の結果が左右されることはよく知られている。その中でも、特に次のような点を配慮すべきであろう。

① 足位(foot posture)

両足の内側を揃えたロンベルグの足位が基本であるが、幼児や高齢者の場合、困難な場合がある。足位によって重心動揺は大きく左右されることが知られており、研究報告書にはどのような条件で測定されたものであるのかを明記する必要がある。

② 視標（注視点）

注視点の有無、形状、注視点までの距離などによって重心動揺の様相が左右されることが知られている。測定条件は統一するべきであるが、少なくとも研究報告書にはその時の測定条件は明記するべきであろう。

③ 測定時間(measuring time)

測定時間も研究者の間で一定していない。これは、計測値の絶対値そのものを左右することから早い時点で統一化が望まれる。現在、20sec、30sec、60sec、が多く用いられており、その他はコンピュータのサンプリングタイムによって左右されるといった状況である。なお平衡神経科学会では60secを原則とし、30secでも可能としている。しかし小児をわずかの時間でもじっとさせておくことは不可能に近く、30secでさえ長いように思われる。少しでも短い時間で、必要十分な資料が得られることが望ましい。

③ 解析項目・解析方法

重心動揺面積・総軌跡長の年齢による変化に関しては、ほぼ明らかにされたものと思われる。総軌跡長の算出方法は以下に示す演算式によるもので、この方法はほぼ定着したと考えられる。

$$\text{総軌跡長 } L = \int_0^t \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \cdot dt$$

なお単位時間当りの軌跡長も重要なパラメータとなる。

ただアナログ解析からデジタル解析へと進んできたために、サンプリングタイムの設定によっては演算結果が異なるという問題が生じた。平衡神経科学会ではこれを50msecを基準とするとしているが、それでは遅いとして、20msecや25msecを採用している例も多く見られるので、比較検討する場合には注意を要する。

動揺面積の算出方法はいくつか試みられている。またそれぞれの正当性についても検討がなされている。

左右方向の最大幅と前後方向の最大幅の積によって求められる矩形面積が最も一般的である。算出方法も容易であり、特別な解析装置を使用せずとも、XYチャート紙に記録された重心動揺図から求めることができる。しかしこの方法では、突発的な揺れがその値に大きな影響を与える欠点がある。

囲繞面積もパラメータを用いれば重心動揺図から得ることができる。平衡神経科学会ではこの手法を基本としているが、矩形面積と極めて高い相関関係にあり¹⁹⁾、また算出に労を要することから、あまり普及していないように思われる。

最近ではコンピュータの普及に伴って様々な算出方法が用いられてきている。

総軌跡長を算出する過程で求めることができるroot mean squareや、前後左右それぞれのヒストグラムを求め2SDの積によって求めるSD squareなどは、突発的な揺れを除去したかたちで表現できる。

実効値 (root mean square · RMS) = S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2}{N}} \quad (X: \text{平均値} \quad Y: \text{平均値})$$

今後これらのパラメータを用いた測定結果の紹介が望まれる。

重心点の足部に対する位置関係に関してはあまり検討されていない。前後方向の重心位置はスポーツ特性を反映するという報告もあり、姿勢評価にもかかわる重要な指標のひとつであると思われる。また左右方向の重心位置は、支え足(軸足)を推測する指標になり、この支え足は発育・発達に従って利き足(運動足)から分離してくるものであるという結果も得られている^{15) 26) 33)}。

さらに古代の遺跡に残された足跡から当時の人の足と重心位置を推測し、現在の我々の立ち方との比較を試みた例も見られ^{15) 17)}、重心位置に関してはまだ検討の余地があるものと思われる。

power spectrum (動揺の周波数特性) の解析から、さらに精密な分析を試みている例も

みられる。これによって生体の姿勢調節機構を解明しようとする試みもあり、今後の研究の成果に期待が持たれる。

④ 身長補正の必要性

ところで現在の重心動揺測定は床反力計を用いており、3次元的な重心点を床に投影して2次元的に記録したものである。重心点の高さは体型によって異なるが、同じ程度の動揺に対しては、重心点の高い者ほど重心動揺図は大きく描かれてしまう。特に成長途上の小児にあっては、身長差が著しく、これによる影響は大きい。

ただ、プロポーションの違いによる重心点の高さを求めることは容易ではない。そこで現時点では、便宜的に身長による補正が行われている。すなわち、成人では160cmを基準に、また児童では130cmを基準にして以下のような計算式によって、総軌跡長と動揺面積が補正されている^{5) 6) 57) 58)}。

$$\text{補正值} = \text{実測値} \times 160(\text{or } 130) \div \text{身長}$$

このことは平衡神経科学会では取り立てて問題にはしていないが、発育・発達の様相を検討するならば、この補正値を求める必要がある。

4. 研究成果：発育・発達の研究

重心動揺は、様々な生体情報の統合されたものであると思われることから、それぞれ研究目的に合わせて、測定方法・分析方法などに工夫が必要である。

① 重心動揺の年齢変化

重心動揺の年齢変化を純粋に提示し、その様相に検討を加えた報告は多い。発育・発達・加齢の指標のひとつとして重心動揺を測定しようとするものである^{11) 13) 22) 24) 27) 51) 58) 62) 64) 65) 68) 70)}。

指標とされた重心動揺解析の手法によって以下に示されたようなパラメータが挙げられる。それぞれの項目別に、代表的な研究成果を紹介する。

② 動揺面積・総軌跡長

身体動揺の大きさを、重心動揺面積と総軌跡長によって表わされることが多い。重心動揺の測定においては、最も基本的なパラメータであると言える。よってこれを指標にして、年齢や性による違いを検討したものは比較的多い^{14) 15) 17) 22) 27) 32) 46) 55) 57) 58) 61) 62) 64) 65) 66)}。

動揺面積と総軌跡長の年齢による変化の様相はよく似ている。おおよそ以下のような結果が得られている。

すなわち、小児期において、8歳前後まで急激に小さくなり、しかもこの時期女子の方が男子に比べてその値が小さい。そしていずれもおおよそ15歳あたりで成人の値に達する。また60歳を越えると、再びその値は大きくなるが、70歳代では女子の方が男

子に比べて小さな値を示す。さらに注目すべきは、男女のいずれにおいても70歳代よりも80歳代の方がその値が小さいということである。

この結果から、直立姿勢を安定保持する能力は、筋力に代表される体力の要因よりもむしろ神経系の働きにより大きく影響を受けているように思われる。

④ 重心位置

平沢彌一郎等は、重心動揺計が装着されたピドスコープを用いて、接地足底面に投影される重心点を観察している^{14) 16) 17)}。足長を基準にして、踵からの重心位置を%で表示している。小児は比較的踵寄りにあるが、年齢に従って徐々に足先に偏位していく様相をとらえている。なお重心位置が近年、全体的にやや踵に近くなってきているという報告もある。活発な身体活動が減少していることによるものと考えられる。モータリゼーション (motorization) の発達の一現象であるようにも考えられ、今後も、長期に渡る継続観察が望まれる。

また、重心位置の年齢変化に関する研究が少なかった。今後、この関係の資料がより多く提示されることが望まれる。

⑤ パワースペクトル解析 (power spectrum)

コンピュータの普及に従って重心動揺図の複雑な解析が可能となり、様々なプログラムソフトが開発された。

パワースペクトル解析は、波形分析の代表的な例である。一般にFFTによるパワースペクトル解析が行われている^{6) 7) 70)}。この手法による重心動揺の解析は、姿勢調節のメカニズムを明らかにするために、究めて有効であると考えられる。今後、他の生理機能との関係から、さらに詳細な検討がなされるものと期待される。

② 重心動揺と運動発達

被験者の努力性を強いることなく測定結果が得られるという利点を生かして、重心動揺の測定から小児の運動発達の様相を把握する試みは、比較的広い分野に渡ってなされている^{6) 12) 22) 26) 32) 46) 61)}。

この中で特筆すべきことは、体力・運動能力の測定結果との関係から、重心動揺を指標にした静的バランス能力は、体格や運動能力とは相関関係が認められないという結果が報告されていることである¹²⁾。

このことは、現在実施されている体力・運動能力テストでは把握できない要素が、重心動揺測定で評価できることを意味する。そして小児の運動発達を評価するうえで、重心動揺の測定が新しい指標として何らかの可能性を有することを示唆するものである。

また、われわれは左右の足の機能的左右差に注目し、支持足獲得の様相が小児の運動発達に何らかの関係があるものとして検討を試みた。

ヒトは、一般に1歳前後で起立が可能となるが、その時期の支持足と運動足は共に利き手と同じ側にある。しかし運動発達に従って支持足が運動足とは反対側に移行してくる。この様相を重心位置と片足立ち重心動揺の測定などから明らかにした。

運動発達を新しい方向から評価しようとするものである^{26) 32) 33) 58)}。

③ 姿勢制御機能の解析

外的刺激に対する立ち直りの様相を重心動揺によって把握し、姿勢調節機能の発達ならびに加齢変化を明らかにしようとする試みがなされている^{5) 6) 7) 13) 50)}。しかしまだ不明な点も多く、今後の研究に期待される。

ところで大島正光は、直立姿勢を考えると、①ある時間維持される身体の重力の方向との関係と、②身体の各部の相互の位置的関連性の2つの条件を満足しなければならないとしている⁴⁹⁾。ほとんどが、これらのいずれかをもって直立姿勢の評価をしているが、身体の幾何的相対位置関係を重心動揺と共に測定している例もみられる^{6) 11) 12) 13) 22) 31)}。このことによって、姿勢調節機能に関与する姿勢反射の様相が明らかにされつつあるものと思われる。

④ 重心動揺の健康管理への応用

また学校保健の発育発達分野ばかりでなく、地域住民の健康管理を目的とした集団検診にもこれらの手法が活用されてきている。特に高齢化社会に移行しつつある現在、高齢者の歩行能力・バランス能力の維持が重要な課題となっている。重心動揺の測定によってこれらの評価が容易に行えること、さらに壮年体力テストなどの体力・運動能力テストが実施不可能な対象者にも行えることなどからしだいに利用が広がってきている^{12) 46) 68)}。今後さらに普及するものと考えられる。

5. まとめ

重心動揺測定は、比較的新しい分野でありまた測定装置が高価であったことから、基礎研究機関を中心に使用されていたに過ぎなかった。またその意義についても、十分に理解されていなかった。

しかし被験者に負担を掛けないことから、近年臨床応用が可能になるとともに、小児の発育・発達の様相や、高齢者における老化の程度を把握する目的などに利用されるようになってきた。

さらに最近では、装置の改良も進み、安価で操作性の優れたものも開発されてきた。

ただ測定条件の統一化がひとつの課題であり、日本平衡神経科学会が推進している検査法の基準に則することも必要である。そしてその条件を満たしたうえで、発育・発達の見知り立った取組をするための様々な工夫が必要であると考えられる。

今後、全国レベルの標準値が提示できるよう、研究のさらなる発展を希望する。

IV. 結 語

1980年代における本邦の姿勢研究の内、立位の接地足底面ならびに重心動揺の発育・発達的研究を中心に、その動向について整理したところ、以下のように要約することができた。

まず、接地足底面の年齢による変化の様相については、特に土踏まずの形状から検討を試みたものが多かった。これらの研究は、土踏まず形成と①体力・運動能力との関係、②日常生活活動状況との関係、③はだし教育実施の効果、に分類することができた。そしてこれらのいずれにおいても、両者の間に相関関係を認めたとする研究報告と逆に認められないとする報告がみられた。

ただ小児の成長にしたがって接地足底面の形状も変化することから、これが発育発達の指標として有効であることは否定できない。

次に、重心動揺の発育・発達的研究は、日本平衡神経科学会が実施した、重心動揺検査の基準化における正常値の作成に負うところが大きい。測定装置の基準化、測定条件設定のための基礎実験、評価の指標となるパラメータの検討などが行われた。ただ重心動揺は、様々な生体情報の統合されたものであるから、測定目的を明確にしたうえで、測定方法、分析方法などに工夫を要する。

なお、静的バランス能力は、体格や運動能力とは異なる要素を含むことが明らかにされている。このことは、現在実施されている運動能力テストでは把握できない要素が、重心動揺測定で評価できることを示唆するものである。

立位の接地足底面ならびに重心動揺は、測定操作が容易であるとともに、被験者に何ら負担をかけることなく計測できる利点を活かしつつ慎重な対応が望まれる。

参考文献

- 1) 浅見高明, 石島繁, 渋川侃二, 宮崎達也(1987)縦断的資料からみた接地足跡形状の発育変化に関する研究, 体育の科学, 15:113-125.
- 2) 浅見高明, 渋川侃二, 杉本光公(1991)下駄・裸足・靴の幼稚園生活が足跡形状に及ぼす影響について, 体育の科学, 19:101-110.
- 3) 浅見高明(1991)履物と足の発達, 保健の科学, 33(5):299-306.
- 4) 中日新聞婦人家庭部編(1984)あしの健康学, 六法出版社, 東京.
- 5) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦, 小山吉明(1982)立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与, 人類学雑誌, 90(4):385-400.
- 6) 藤原勝夫, 池上晴夫(1984)立位姿勢における身体動揺の周波数成分の加齢変化, 姿勢研究, 4(2), 81-88.
- 7) 五島桂子(1986)重心動揺検査の検討—コンピュータ分析における検査項目と正常域, Equilibrium Research, 45:368-387.
- 8) 原田碩三(1981)通園距離と園内活動量と土ふまずの形成について, 保健の科学, 23(5):354-355.

- 9) 原田碩三(1982)幼児の土ふまずと運動能力, 保健の科学, 24(9):654-659.
- 10) 橋本勲、相川りゑ子(1986)乳幼児の発育, 発達の評価法としての土踏まず形成と栄養及び日常身体活動状況に関する研究, 国立栄養研究所報告, 35:45-52.
- 11) 初鹿信一(1987)重心動揺による身体動揺に関する研究-基礎的検討と臨床的意義, 日本耳鼻咽喉科学会会報, 90:598-612.
- 12) 林文代, 松井清夫, 滝川寛, 渡辺瑞代, 坂本弘(1983)身体動揺と関連する生体側要因についての予備検討, 三重医学, 27(2):172-177.
- 13) 平林千春, 田口嘉一郎(1985)小児の発達に伴う重心動揺の定量的変動-身体動揺の研究第21報, Equilibrium Research, 44(3):252-256.
- 14) 平沢彌一郎(1979)日本人の直立能力について, 人類学雑誌, 87(2):81-92.
- 15) 平沢彌一郎(1981)直立歩行を支える左足, サイエンス, 11(6):33-44.
- 16) 平沢彌一郎(1983)幼児の直立能力と足の裏, 体育の科学, 33:121-125.
- 17) 平沢彌一郎, 臼井永男(1993)放送大学教材, 保健体育-スタシオロジー, 日本放送出版協会, 東京.
- 18) 池上彰博(1983)直立時重心動揺の振幅と速度の研究-年齢変化と診断的意義, 日本耳鼻咽喉科学会会報, 86:886-898.
- 19) 伊保清子, 阿部勇勝, 笹原絹代, 浅野和江, 齊藤彰, 竹内義夫, 徳増厚二(1985)ヒト直立時重心動揺記録図の圍繞面積と矩形面積との相関, Equilibrium Research, 44(2): 171-175.
- 20) 石橋徳次郎(1981)日本人標準足型に関する形質人類学的研究-足底面々積(接地面積, 内郭面積)について, 久留米医学会雑誌, 44(9・10):603-626.
- 21) 石橋徳次郎(1986)日本人標準足型に関する形質人類学的研究-足底面の形状とその変化, 久留米医学会雑誌, 50(9):708-717.
- 22) 石井美春, 西田ますみ(1986)幼児の直立時身体動揺度に関する研究, 日本女子体育大学紀要 16:123-130.
- 23) 石川良子(1991)姿勢検査と土踏まず検査について, 保健の科学, 37(2):154-155.
- 24) 石崎久義, 野末道彦, Ilmari Pyykko(1991)高齢者の姿勢制御機構について-重心動揺での位置・速度・加速度解析における健康成人との比較から, Equilibrium Research, 50(3):255-262.
- 25) Jin OKUBO(1980)The review of posturography in Japan, Agressologie, 21, D:3-24.
- 26) Kihei MAEKAWA, Atsuhiko SOEDA, Naoko YAMADA, Shinichiro HAMANO, Nagao USUI, Satoshi KURIHARA, Takeo KIRYU, Yaichiro HIRASAWA, Mitsuharu WADA (1987) The Preference Hand and the Supporting Foot in Children, Jikeikai Medical Journal 34:543-554.
- 27) 小島幸枝, 竹森節子(1980)小児の身体平衡の発達について-正常小児, 起立位を中心に, 耳鼻咽喉科臨床, 73(5):865-871.
- 28) 近藤四郎(1979)足の話, 岩波新書, 東京
- 29) 近藤四郎(1983)足のはたらきと子どもの成長, 築地書館, 東京.
- 30) 小山吉明, 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦(1982)幼児の足の形態発育について, 体育学研究, 26(4):317-325.
- 31) 小山吉明, 藤原勝夫, 池上晴夫(1982)幼児の立位姿勢における身体動揺, 姿勢研究, 2(2):79-85.
- 32) 前川喜平(1988)小児における平衡機能の発達, 小児内科, 20(11):1665-1671.
- 33) 前川喜平, 副田敦裕, 山田奈生子, 浜野晋一郎, 臼井永男, 栗原敏, 桐生武夫, 平沢彌一郎, 和田光晴(1988)利き手, 利き足と軸足の発達に関する研究, 小児科診療, 51(9) :1841-1848.

- 34) 正木健雄, 野口三千三編(1979)子どものからだは触まれている, 柏樹社, 東京
- 35) 三村寛一(1986)べた足は運動能力に影響をあたえるのでしょうか, 健, 15(9):8-11.
- 36) 水野祥太郎(1973)ヒトの足の研究－扁平足問題からの展開, 医歯薬出版, 東京.
- 37) 中橋美智子, 石川薫, 田村あゆみ, 町田由美子(1989)接地足跡に関する研究－青年期・壮年期・老年期の比較検討, 東京学芸大学紀要, 6部門, 41:35-44.
- 38) 永田晟, 高橋健(1986)直立姿勢保持とはだし運動教育－足底形態と安定性の関係, 姿勢研究, 6(1):13-18.
- 39) 根本芳男(1963)日本人の接地足跡面積に関する研究, 体育学研究, 8(1):381.
- 40) 日本平衡神経科学会(1983)重心動揺計規格, Equilibrium Research, 42(2):363-369.
- 41) 日本平衡神経科学会(1988)平衡機能検査法基準化のための資料, Equilibrium Research, 47(2):221-244.
- 42) 野田雄二(1979)日本の子どもの土ふまずに関する研究(第1報)－土ふまずの形成過程とできあがりの後の変化, 玉川大学文学部紀要「論叢」, 20:39-66.
- 43) 野田雄二(1980)日本の子どもの土ふまずに関する研究(第2報)－幼児期の土踏まずの形成時期及び生活環境が及ぼす影響について, 玉川大学文学部紀要「論叢」, 21:65-87.
- 44) 野田雄二(1981)日本の子どもの土ふまずに関する研究(第3報)－土踏まず Nラインによる外側アーチの意義について, 東京体育学研究, 8:73-76.
- 45) 小川昭之, 松原美保, 水谷馨子, 三股栄子(1986)小児期起立姿勢制御の発達特性に関する研究第1編 正常成人と幼児との比較, 日本小児科学会雑誌, 90(6):1362-1369.
- 46) 大柿哲朗, 杉浦正輝, 西田毅(1979)身体平衡機能の姿勢および動作の調整に及ぼす影響－加齢と身体動揺量との関係について, 琉球大学保健学医学雑誌, 2(1):35-42.
- 47) 大久保仁(1982)重心動揺計, 検査と技術, 10(2):187-192.
- 48) 大島正光(1969)姿勢と生活4, 姿勢百態, 姿勢研究所, 東京.
- 49) 坂下玲子, 荒木田美香子, 足立和隆, 平山宗宏(1989)土踏まずの形成に関する検討, 学校保健研究, 31(1):28-34.
- 50) 白木明(1989)小児立位重心動揺と Soft Neurological Signsの経年的推移に関する研究, 岐阜大学医学部紀要, 37(3):435-459.
- 51) 鷺見勝博, 竹島伸生, 古井景, 渡辺丈真, 小林章雄, 大島秀彦, 加藤孝之(1988)幼児の直立姿勢保持能力に関する研究－直立時の重心動揺距離について, 小児保健研究, 47(3):383-388.
- 52) 田口秀子(1983)児童期の足形態の発育について(1) 足跡の年齢別特徴とば趾角の出現状況とその意義, 民族衛生, 49(2):78-95.
- 53) 田口秀子(1983)児童期の足形態の発育について(2) 児童期の成長発達とば趾角の関係について, 民族衛生, 49(3):98-111.
- 54) 寺田和夫訳, R. リーキー, R. レウィン著(1981)ヒトはどうして人間になったか, 岩波現代選書, 東京.
- 55) 臼井永男, 平沢弼一郎, 川上賢爾(1983)長作小学校児童の直立能力について, 姿勢研究, 3(2):65-71.
- 56) 臼井永男, 福田恵祥, 大橋義春, 北村国広, 袴田祐治, 大村弘司, 鈴木陽市, 倉沢一男, 晝馬輝夫, 平沢弼一郎(1985)プランターアナライザによる直立能力の解析, 姿勢研究, 5(1):17-22.
- 57) 臼井永男, 平沢弼一郎(1988)重心および接地足底からみた児童の直立能力の発達について, 放送大学研究年報, 6:135-147.
- 58) 臼井永男, 平沢弼一郎(1989)小児の足の機能的左右差に関する発育発達の一考察, 放送大学研究年報, 7:143-154.
- 59) 臼井永男, 渡邊功(1993)姿勢研究最近10年間の動向(2) 接地足底面ならびに重心動揺の発

- 育・発達の研究, 学校保健研究, 35(4):171-174.
- 60) 臼井永男, 渡邊功(1995)靴着用の長い歴史を有する人々の直立時接地面の形状について—チェコと日本の比較から, 学校保健研究, 37(3):227-239.
 - 61) 渡部和彦(1991)子どものバランス能力の発達, 保健の科学, 33(5):322-326.
 - 62) 渡邊功(1982)直立姿勢保持の安定域に関する研究—重心図からみた, 東海学校保健学会紀要, 6(1):11-17.
 - 63) 渡邊功(1989)接地足跡からみた児童の発育発達の研究, 静岡大学教育学部研究報告・自然科学編, 39:11-26.
 - 64) 渡邊功, 塩崎哲治(1990)重心動揺から見た児童の直立姿勢保持能力, 東海学校保健学会紀要, 14(1):9-17.
 - 65) 八木一記, 藤野明人, 徳増厚二, 伊保清子, 米田敏(1987)ヒト直立時重心動揺図の年齢変化, *Equilibrium Research*, 46(4):343-349.
 - 66) 八木一記(1989)ヒト直立時重心動揺の多変量解析(第1報)—重心動揺からみた年齢変化, 日本耳鼻咽喉科学会会報, 92(6):899-908.
 - 67) 山田耕司, 根本芳男, 吉澤正伊, 三村寛一, 飯田順一(1982)接地足跡ならびに足弓窿の発育変化に関する追跡的研究, *デサントスポーツ科学*, 4:230-240.
 - 68) 柳田三洋子(1986)小児のめまい平衡障害に関する研究 第一編学童検診におけるめまい平衡障害の調査, *Equilibrium Research*, 45(2):175-188.
 - 69) 柳田三洋子(1986)小児のめまい平衡障害に関する研究 第二編 健常小児の重心動揺, *Equilibrium Research*, 45(4):332-344.
 - 70) 米田敏, 徳増厚二(1988)ヒト直立時重心動揺の周波数分析(4)—正常者における加齢変化及び性差, *Equilibrium Research*, 47(3):300-306.
 - 71) 吉澤正伊, 根本芳男, 三村寛一, 山田耕司, 飯田順一, 伊藤俊彦, 森下活二, 川谷卓雄(1984)幼小児期の足弓窿形成と保育環境に関する研究, *デサントスポーツ科学*, 5:156-164.