放送大学研究年報　第7号（1989）143-154頁
Journal of the University of the Air, No. 7 (1989) pp. 143-154

小児の足の機能的左右差に関する発育発達的一考察

臼井永男[*1)]・平沢彌一郎[*2)]

A Developmental Study on the Lateralization of the Feet in human beings.

Nagao USUI and Yaichiro HIRASAWA

ABSTRACT

In this study some aspects of postural control in juveniles, 102 boys and 107 girls, were investigated. Using a pedoscope and stasio-analyzer we measured the contact surface of the sole of the foot and the location of the center of gravity and its fluctuation in the upright position.

The following findings were obtained from this study.

1) At the time of entering an elementary school, the shape of the contact surface of the sole of the foot was almost the same as that of the adults.
2) The center of gravity was located at about 38% from the back of the foot length regardless of sex and age.
3) The stability of the center of gravity in the upright position rapidly increased until the age of 8 years and afterward it increased very slowly.
4) From the results of our studies concerning the preference hand and the supporting foot, in childhood, the suporting foot was the right side which was the same as the preference foot.

The supporting foot changed from right to left as the child grow older. As a result, the opposite side from the preference foot developed into the supporting foot.

I. 緒　　言

身体各部位の機能的左右差に関する研究は数多くなされている[3,4,5,6,8,17)]．われわれはこれまでピドスコープ，プランターアナライザ，重心計（足圧中心検出装置）などを用いてヒトの直立姿勢の安定性を測定することによって，直立能力の評価を行ってきた．そのなかで，左右の足にかかる荷重圧に差があること，そしてそれが主として左足荷重であることを確認した．また左足の方が右足より大きいことも明らかにした[5,9,12)]．

これらのことから，ヒトの足には機能的左右差が存在し，右足は運動性に富み，左足は

*1) 放送大学助教授（保健体育）
*2) 放送大学教授（保健体育）

支持的な役割を主に行っていると考えられ，右足を運動脚（足），左足を支持脚（足）と規定した[9]．

しかしこの左右差は，一般健常成人でしかも右手利きの人を対象とした研究結果から得られたものであり，発育途上の小児にも同様のことが言えるかどうかは疑わしい．その理由のひとつにわれわれは本誌第6号に小学校児童の直立能力について報告したが[15]，その結果，6歳から11歳の児童，男女とも一般成人とは異なり，右足支持機能優位の傾向にあることを認めている．これらのことから，支持脚は発育発達にしたがって右足から左足へと移行することが推測される．

そこで今回は，児童を対象に直立能力を測定し，そのなかで特に左足と右足の相違点に注目し，その年齢的推移について検討を加えるとともに，その理由について考察した．

II. 方　　法

まずピドスコープのステージ上で両足を揃えた直立姿勢をとらせ，このときの接地足底面をカメラによって撮影した．得られた写真を実寸大にトレースし，Fig. 1のような計測を行った．すなわち内側線と外側線の交点と第2指の中央部を結ぶ線をHライン，それを垂直に3等分する線をそれぞれxyとし，さらに内側線と外側線のなす角を足角とした．またHラインを基準にして土踏まずの形状をABCの3つに分類した．

次にピドスコープと同様に，スタシオアナライザのステージ上の指定された場所に，両足の内側を揃えた，いわゆるロンベルグの足位で立たせ，前方約2mの視標を注視して，20秒間安定保持させた．このときの重心位置，重心動揺面積，総軌跡長ならびに接地足底面積の変化を同時計測した．

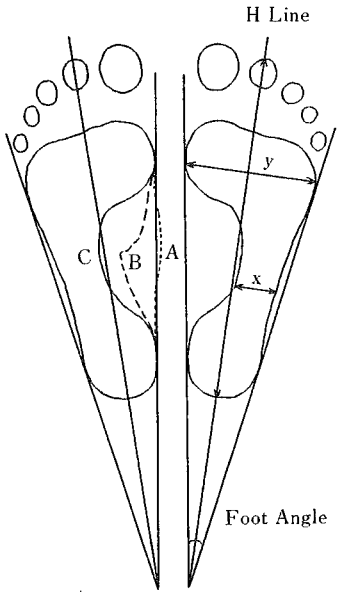

Fig. 1　Method of analisys.

さらに両手を腰に添えて，左右片足立ちをそれぞれ10秒間ずつ行わせこのときの重心図をXYレコーダに記録し，左右の安定性の違いを比較した．

測定対象は，山梨県塩山市立奥野田小学校児童男子102名，女子107名である．測定は平成元年5～7月に行った．

III. 結　　果

Hラインの長さは，男女とも左足の方が右足に比べて有意に大きな値を示した．また年齢が進むにしたがって大きくなる傾向を示した．

xラインの長さは，年齢に左右されずまた個人差が非常に大きかった．左右差も認められなかった．

xラインが足の大きさに左右される可能性があるものと考え，次にHラインに対するxの値を算出し，足底中央部すなわち土踏まずの形成状態を比較した．活発に動く方の足はこの値が小さくなるものと推測した．

その結果，年齢が進むにつれてやや減少の様相を示すものの，個人差が大きく，年齢による明らかな相関関係は認められなかった．また平均値では左足の方が右足に比べてやや小さい様相を示すものの有意な差は得られなかった．

yラインの長さは，Hラインほどではないが年齢が進むにしたがって大きくなる様相を示した．なお明らかな左右差は認められなかった．

足角は，男女とも有意な左右差は認められなかった．また年齢による一定傾向も認められなかった．

ABCの3分類法による土踏まず形成状態の判定では，ほとんどがCに属しており，小

Table 1　接地足底面の形状の年齢による変化

years		MALE					FEMALE				
		HL (cm)	y (cm)	x (cm)	foot angle	x/HL	HL (cm)	y (cm)	x (cm)	foot angle	x/HL
6	left	17.1	5.7	2.5	17.5	.146	16.4	5.8	3.0	17.7	.181
	right	17.1	5.9	2.6	17.6	.152	16.4	6.1	3.1	18.0	.190
7	left	17.4	5.8	2.4	18.6	.139	18.0	5.8	2.4	18.0	.148
	right	17.5	6.3	2.9	18.2	.164	17.6	6.1	2.9	17.9	.167
8	left	19.1	6.6	2.4	19.8	.127	18.3	6.2	2.3	18.4	.128
	right	18.9	7.1	2.7	19.9	.146	18.3	6.3	2.3	18.2	.126
9	left	19.4	6.9	2.9	18.7	.149	18.9	6.1	2.6	18.6	.140
	right	19.2	6.9	2.7	19.8	.140	18.8	6.3	2.6	18.1	.136
10	left	20.2	7.0	2.9	17.7	.123	19.6	6.5	2.6	18.0	.130
	right	20.1	7.2	3.0	18.1	.138	19.0	7.3	3.0	18.5	.151
11	left	20.2	6.6	2.7	18.0	.133	19.7	5.9	2.3	17.6	.117
	right	20.4	7.5	3.2	18.4	.156	20.6	7.1	2.7	19.0	.138

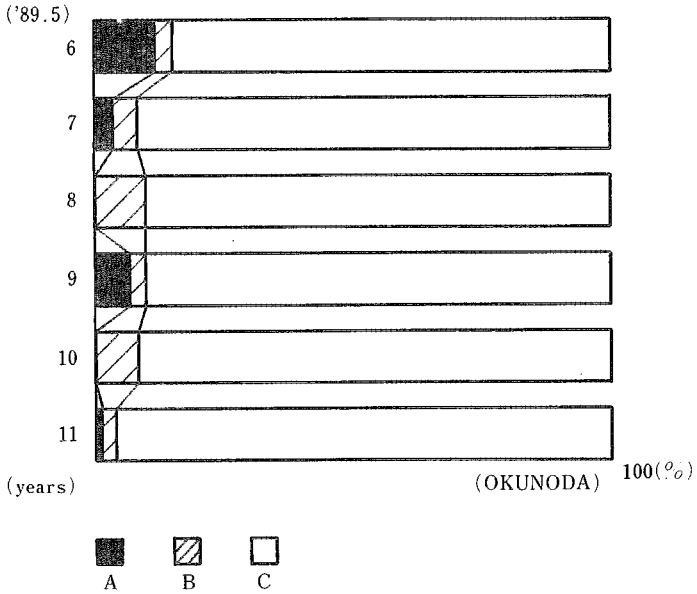

Fig. 2 土踏まず形成率

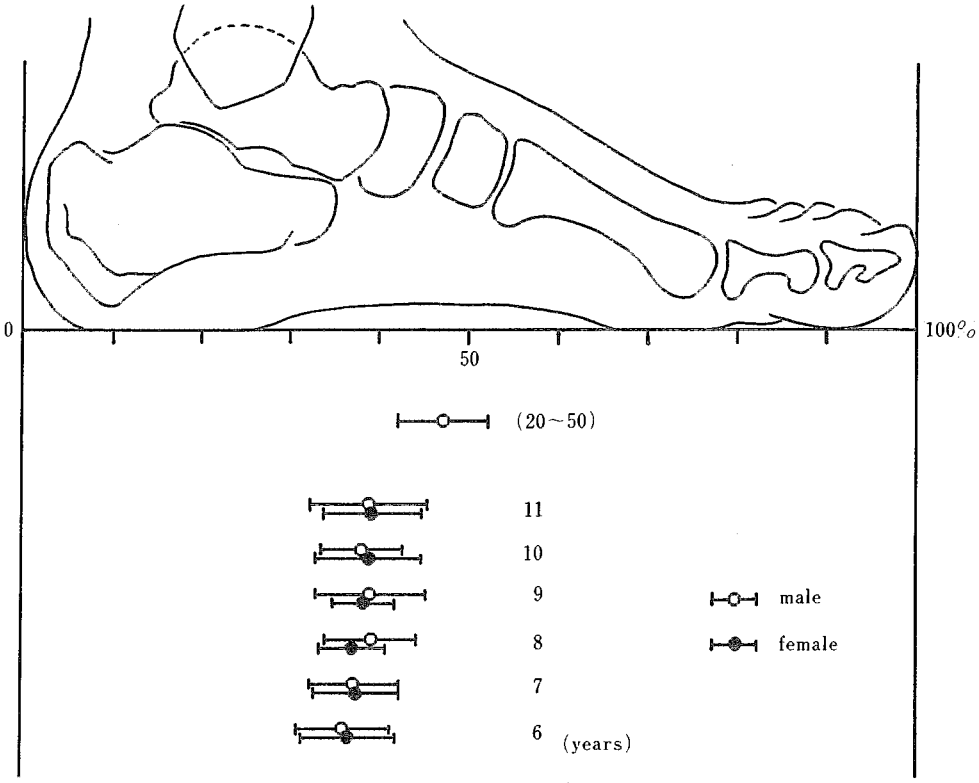

Fig. 3 Position of gravity center.

学校就学時には土踏まずの形成はほとんど完成していることが判明した（Fig. 2）．また左右差は認められなかった．

前後方向の重心位置を，足長を 100 として% で求めた．その結果，年齢，性別に関係なくほぼ 38% に位置していることが判明した（Fig. 3）．

重心動揺面積は，前後方向の動きの最大幅と左右方向の動きの最大幅の積によって算出した．また身長 130 cm を基準にして以下の計算によって身長補正を行った．すなわち，

補正値＝実測値×130÷身長

その結果，性差は認められず，6～8 歳頃までに大きく減少し，以後はあまり変化しないことが明らかとなった（Fig. 4）．

総軌跡長も重心動揺面積と同様に身長による補正を行った．

総軌跡長に性差が認められ，有意に女子の方が小さく，男子に比べて直立能力が高いことが明らかとなった．

スタシオアナライザによって算出された接地足底面積の平均値は，男女とも右足の方が左足に比べて大きく，女子において有意な差が認められた（Fig. 5）．

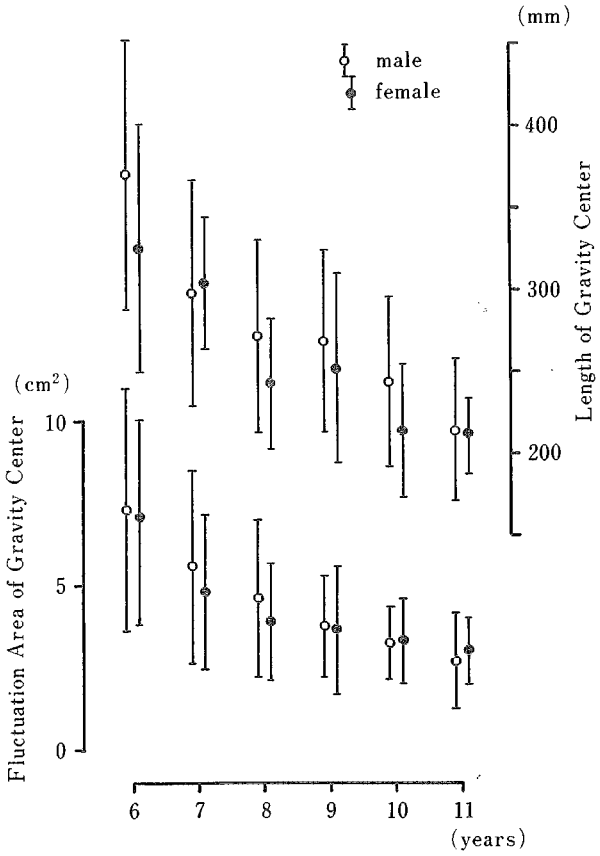

Fig. 4　Fluctuation area and length of statokinesigram.

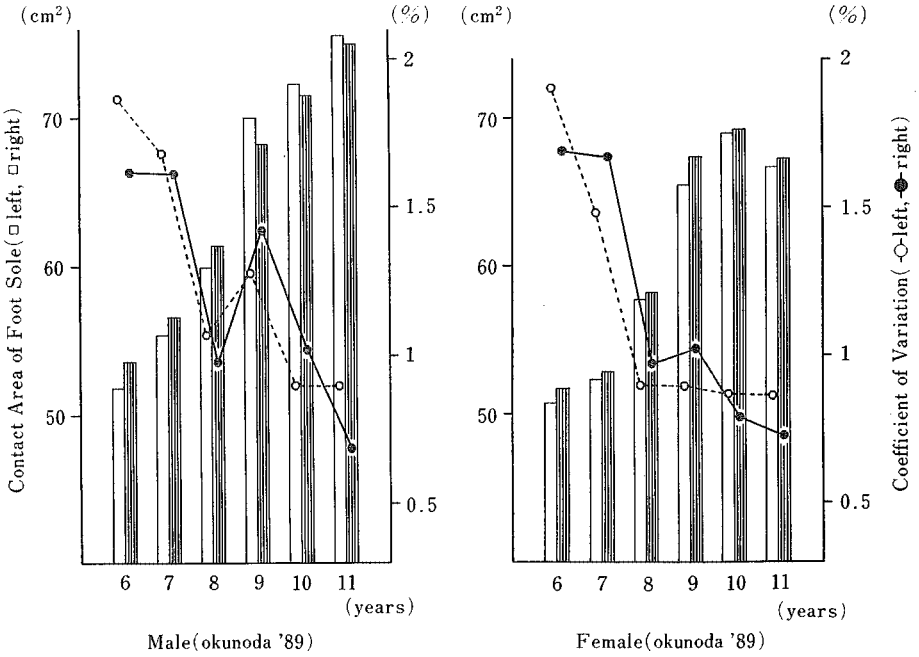

Fig. 5 Contact area of foot sole and it's coefficient of variation.

なお年齢にしたがって大きくなる様相を示した．

接地足底面積は右足の方が左足よりも大きいことが認められたが，足の大きさに左右されていることが予想される．そこで足長と足幅の積によってその人の支持面積とし，これに対する接地足底面積の比率を求めた．なお左右を独立して算出したが，明らかな左右差は認められなかった．

次に，20 秒間に 1200 回計測された接地足底面積を統計計算し，変動係数を求めた．この値が小さいほど面積のばらつきが小さく，安定した直立姿勢が保持できたと解釈する．

したがって両足全体の変動係数は，重心動揺の測定結果と同じく，年齢が進むにしたがって減少し，また有意に女子の方が男子よりも小さい値を示した．

さらに左右の足を比較することによって，同様に，この値が小さい方が安定しており，支持機能優位であると考えた．その結果，男女とも右足の方が左足よりも小さいことが明らかとなり，右足支持機能優位であることが示唆された．

次に支持機能の優位性を左右片足立ちにおける重心図の大きさによって判定した（Fig. 6）．

左右どちらが安定しているかを，人数の比率によって比較した．その結果，年齢，性別に関係なく，左右ほぼ同数であった（Fig. 7）．

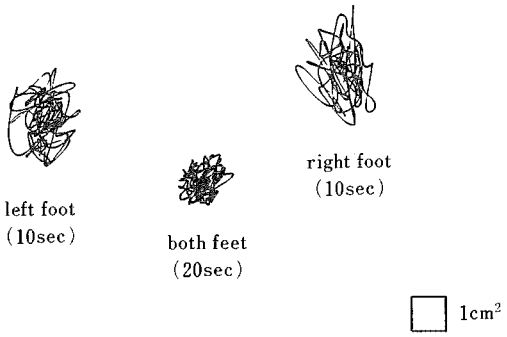

Fig. 6　Statokinesigram with one leg standing.

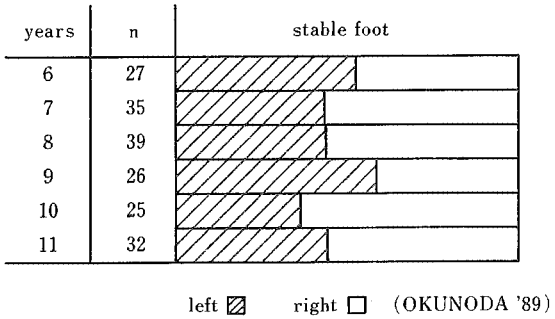

Fig. 7　More stable foot in 184 right-hand and foot preference children.

IV. 考　　察

対象とした奥野田小学校は，89年度健康優良校全国コンクールの小規模校の部に山梨県代表として推薦されている．このことは一般の学校に比べて，身体活動がかなり積極的であり，学校教育の中でも様々な課題をこなしていることを意味する．

事実，運動能力テストや体力テストの成績は，平均を上回っている．しかし直立能力測定結果からは，足角が大きいことを除いては特別に他校と異なる点は認められず，小学校児童の一般的傾向を把握するには問題ないものと考える[1,2,7,10,11]．

なお，足角は足先の機能を裏づける指標として使われている．すなわち足先に荷重して活動すると足角が大きくなることが知られている．例えば，陸上競技でいえば短距離走者は長距離走者に比べて足角が大きい．また縄文晩期の人の足跡から取られた石膏像から，当時の人の足角が現在の日本人に比べて，非常に大きいことが確認されている[9]．

これらの点からも，本校児童の身体活動が特に活発であることが想像される．

ピドスコープによって得られた接地足底面の形状を数値化するために，足角のほかにHライン，xラインおよびyラインを計測し，x/Hラインを求めた．

Hラインは身長との相関関係が確認されており，本学児童も年齢にしたがって大きくな

る様相を示した．また男女とも左足の方が右足より大きく，一般健常成人と同様の傾向を示した．しかしx/Hラインは左足の方が右足よりも小さい傾向を示した．このことは，足は左足の方が大きいが，土踏まず部が右足より大きいことによるものであり，右足支持機能優位を示唆している．

ただxラインそのものが非常に個人差が大きく，年齢，性に左右されないこと，またこの計測部位が，2本の足で直立可能なヒト特有の土踏まず部であることは興味深い．

今後，遺伝的要因と後天的要因，特に運動能力や民族差との関係を明らかにすべきであると考える．

ただ土踏まず形成状態は，7歳以降ほとんど変化がなく，年齢差，性差，左右差も認められなかった．土踏まず部の面積を算出して，その変化から詳細に検討した報告もなされており[16]，今回用いた，ABCの3分類法は小学校児童を対象にした測定には，適当でないと考えられる．むしろx/Hラインを算出するほうが，簡便かつ詳細に接地足底面の形状を把握できるものと考える．

なおyラインはHラインとほぼ同様に，年齢にしたがって大きくなったが，左右差は認められなかった．

重心位置は測定開始時の値を用いた．年齢，性に左右されず，足長を100として踵からほぼ38%に位置していた．この値は小学校児童の平均的な値である．

重心動揺面積，総軌跡長ならびに両足全体の接地足底面積の変動係数は，いずれも年齢が進むにしたがって小さくなり，安定した直立姿勢を保持できるようになることが明らかになった．なおその変化の様相は8歳までが著しく，10歳以降はほとんど変化しなかった．このことから直立能力の発達は，主として神経系の発達に左右されることが示唆された．なお，われわれのこれまでの研究結果と同様，女子の方が男子に比べてその能力が高いことが確認された[1,9,11,15]．

接地足底面積は，有意に右足の方が左足より大きい結果が得られた．また1200回計測された接地足底面積の変動係数は，右足の方が左足よりも小さかった．

これまでの一般健常成人を対象とした測定結果から，接地足底面積は左足の方が右足よりも大きく，かつ変動係数は左足の方が小さいことが明らかとなっている[12]．

変動係数が小さいことは，計測された1200の接地足底面積の値のバラツキが小さいことを意味しておりすなわち安定した直立姿勢が保持できたと考えられる．両足全体の変動係数の年齢による変化は，重心動揺面積および総軌跡長と同様であったことは，そのことを裏付けるものである．

これを左右の足で比較した場合，姿勢保持は主として変動係数の小さい方の足でなされており，反対側の足で微調整をしているものと考えられる．また荷重がより多く掛かっている方の接地足底面積は反対側の足よりも，大きくなることは容易に推測できる．

これらのことから，今回対象となった小学校児童は主として右足支持機能優位であると推測される．

さらに片足立ちにおける重心図を記録し，動揺の大きさから，左右の安定性を比較することを試みたが，このことによって明確な左右差を認めることはできなかった．

以上の測定結果から，88年と同様に89年度も，左足支持機能優位を示す一般健常成人

とは逆の，右足支持機能優位の様相を示した．

ところでこのような左右差はどうして生じるのであろうか．

まずこのような左右差を生じる原因となる要因として，以下の4項目をあげてみた．

1）身体各部の非対称性に存するもの

肝臓が右に偏っていること．

心臓が左に向くため balistocardiographic な shock に左右差が生じうること．

2）社会的な慣習に依存するもの

これは一義的なものではない．慣習そのものが左右差から規定されることが多いと思われる．

3）利き手に依存するもの

これも一義的なものとは言い難い．利き手を決定するものが何であるかは不明である．

4）大脳半球の機能的左右差に依存するもの

これが形態的左右差に対応するものかどうかは，まだ不明である．

ヒトの身体は肝臓が右に偏っているために，右半身が重いことは容易に推測ができる．前川らとの共同で，新生児を左右対称に固定し，重心計ピドスコープを用いて重心点を測定したところ，わずかに正中線よりも右側に位置していた．そして完全内臓逆位の乳児では左側にあったことからも，このことを裏づけている[13,14]．

また歩き始めの幼児の立位時の重心点もやや右側に位置していた．そして3～5歳で中央に偏位し，以後中央ないしは左側に位置するようになってきた．このことから，最初は右半身が重いために重心は右に寄っているが，高度な動きをするためには左に寄せて左右のバランスを取る必要があり，これが学習効果となって徐々に左足荷重となるものと考えられた[14]．

しかし成人の背臥位における重心点の測定から，ほぼ正中線上に位置していることが判明した．また小児の背臥位の重心点も，正中線に対しては最初は右側にあるが年齢が進むにしたがって徐々に中央に偏位してきた．

これらのことから，ヒトの左足支持機能優位が，肝臓の位置による身体の非対称に起因することは，一概に言えないことが明らかとなった[14]．

次に，社会的な慣習に依存するものについては他の研究者に委ねることにして，利き手と支持脚との関係を調べてみた．

児童の手と足の機能的左右差を，質問紙を用いて調べてみた．

アンケート内容は以下に示すように，手について5項目，足については2項目の合計7項目からなる．

① どちらの手で字をかきますか　（みぎ　ひだり）
② どちらの手でボールをなげますか　（みぎ　ひだり）
③ どちらの手で絵をかきますか　（みぎ　ひだり）
④ ハサミできるのはどちらの手ですか　（みぎ　ひだり）
⑤ どちらの手ではをみがきますか　（みぎ　ひだり）
⑥ ボールをけるのはどちらの足ですか　（みぎ　ひだり）

⑦　かたあしケンケンはどちらがじょうずですか　（みぎ　　ひだり）

これらの調査は担任の教師に依頼し，教室にて児童に同時に記録させた．

アンケート調査結果から，手については，3項目以上が右手（左手）であれば右（左）利き優位，5項目以上が右（左）であれば右（左）利きとした．

またボールを蹴る方の足を利き足，片足ケンケンの上手な方の足を支持足とした．

その結果，全児童209名中184名が右手利きか右手優位でかつ右足利きであった．これらについて支持足が左右どちらの足であるかを調べた（Fig. 8）．そしてそれらのほとんどが右足であることが判明した．

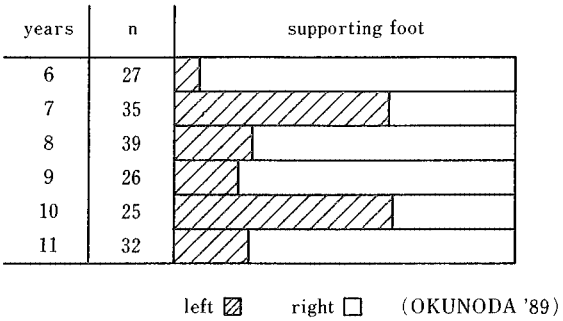

Fig. 8　Supporting-foot in 184 right-hand and foot preference children.

ただ片足ケンケンは，カイネティックな動作であり，必ずしも静的な支持脚（足）を表す指標とはならないものとも考えられるが，少なくとも利き足と同側の足が身体を支える機能をも有する者が相当数いることが示唆された．

3～6歳の幼児241名について，利き手と利き足，支持足の調査を行った[14]．利き手は絵を書く方の手，利き足は紙を丸めて蹴飛ばさせて蹴る方の足，支持足は片足立ちが長くできる方の足とした．

そのうち225名が利き手，利き足ともに右であった．これらの支持足はFig. 9に示す通りである．支持足が，年齢が進むにしたがって利き足とは反対の側に移行してくることが認められる．これは学習効果によるものであると考えられる．すなわち最初は巧みに動く右足で運動も支持もしていたのが，さらに高度な動きをするようになると，左足の支持

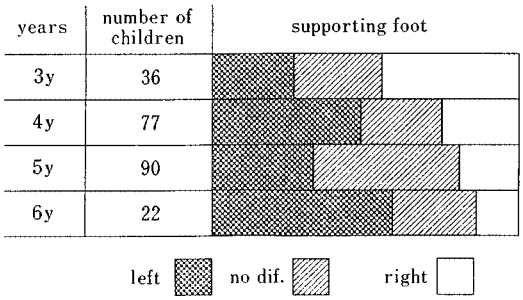

Fig. 9　Supporting-foot in 225 right-hand and foot preference children.

をきちんとする必要がある．したがって徐々に支持脚が反対側に移行していったものと考えられる．小学校就学時にはすでにこのことが修了しているものと理解していたが，小学校児童ではまだ利き足と支持足が明確に分離していない者が数多いことが推測される．

ただ支持脚を判定する方法にまだ問題が残されており，その点を改善するとともに，今後支持脚と運動脚の分離が，運動能力ならびに体力の発達といかなるかかわりがあるのかを明らかにする必要がある．

大脳半球の機能的左右差との関係は12～17歳の80組の双生児を対象にした研究から[5,8,9]その解明を試みている．

右大脳半球の脳波は，一卵性双生児の2人の間で非常によく似たパターンを示していること，また左足立ち（片足立ち）の重心動揺が2人の間に相関関係が認められたことなどから，両者の関係も無視できないが，まだ不明な点が多く，今後の研究が待たれる．

V. 結　　語

小学校児童を対象に，ピドスコープとスタシオアナライザを用いて，直立姿勢を保持したときの接地足底面の形状，重心動揺面積ならびに総軌踏長，接地足底面積ならびにその変動係数を測定し，それらの値から児童の直立能力を評価した．そして，その中で特に左足と右足の機能的左右差に着目し，発育発達との関係について考察を加えた．

その結果，以下のことが判明した．

1）接地足底面の形状は，小学校就学時にはほぼ成人のそれに相当するものであった．ただ土踏まず部の接地幅は足の大きさに左右されないことから，今後，この部分の形状と運動能力や体力等との関係を検討すべきであると考えられた．

2）足長を100としたときの踵からの重心位置は年齢，性に関係なくほぼ38%あたりに位置していた．1970年に測定調査した一般健常成人は47%であったが，今後重心位置が足先に偏位し47%に達するとはにわかに信じ難く，成人しても40%付近にあるものと考えられた．

3）重心動揺面積ならびに総軌跡長，接地足底面積の変動係数は，年齢にしたがって小さくなり直立能力が向上することが明らかとなった．なおその変化は特に6～8歳において顕著であった．

また女子の方が男子よりもその値が小さく，直立能力が高いことが判明した．

4）接地足底面積ならびにその変動係数から，右手利きであっても，右足支持機能優位であることが示唆された．一般健常成人は左足の方が支持脚として優位に働いていることが確認されており，また発育発達にしたがって右から左に移行することが確認されていることから，今後，支持脚が徐々に左側に移行するものと考えられた．

ただ，支持脚の定義にはまだ検討余地が残されており，さらに詳細な調査，研究が必要である．

擱筆に当たり，終始御指導いただきました東京慈恵会医科大学小児科の前川喜平教授，ならびに東京工業大学の桐生武夫教授に謝意を表します．また快く研究に協力いただきま

した山梨県塩山市立奥野田小学校校長山本岩男先生をはじめとする諸先生方と児童のみなさん，わけても研究途中で他界されました教務主任の小鳥居章先生に深く感謝いたします。さらに測定に際し献身的に御協力いただきましたパテラ㈱の村林岑生さんと，浜松ホトニクス㈱の中島由晴さんに厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 平沢彌一郎：日本人の直立能力，人類学雑誌，87 (2)：81-92 (1979)
2) 山本高司：直立時動揺の年齢による変化，体力科学，28：249-257 (1979)
3) 平沢彌一郎：聖書の中の人と体 (3) ―左足と右足の Lateralization―，東京工大人文論叢，5：29-47 (1979)
4) 木村邦彦：利き手と四肢の一側優位性，神経進歩，24 (3)：610-622 (1980)
5) 平沢彌一郎：Stasioligy からみた左足と右足，神経進歩，24 (3)：623-633 (1980)
6) 角田忠信：日本人における大脳半球 Laterality の特徴，神経進歩，24 (3)：671-681 (1980)
7) 小島幸枝，竹森節子：小児の身体平衡の発達について，耳鼻臨床，73 (5)：865-871 (1980)
8) 平沢彌一郎，臼井永男：80 組の双生児の直立能力について，姿勢研究，1 (1)：27-33 (1981)
9) 平沢彌一郎：直立歩行を支える左足，サイエンス，11：32-44 (1981)
10) 小山吉明，藤原勝夫，池上晴夫：幼児の立位姿勢における身体動揺，姿勢研究，2 (2)：79-85 (1982)
11) 臼井永男，平沢彌一郎，川上賢爾：長作小学校児童の直立能力について，姿勢研究，3 (2)：65-71 (1983)
12) 臼井永男，福田恵祥，大橋義治，北村国広，袴田祐治，大村弘司，鈴木陽一，倉沢一男，畫馬輝男，平沢彌一郎：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 (1985)
13) Kihei MAEKAWA, Atsuhiro SOEDA, Naoko YAMADA, Nagao USUI, Satoshi KURIHARA, Takeo KIRYU, Yaichiro HIRASAWA, Hiroshi AKAMATSU, Mitsuharu WADA : The gravity center of newborn infant in supine and prone position, Jikeikai Med J 34 : 383-391 (1987)
14) Kihei MAEKAWA, Atsuhiro SOEDA, Naoko YAMADA, Shinichiro HAMANO, Nagao USUI, Satoshi KURIHARA, Takeo KIRYU, Yaichiro HIRASAWA, Mitsuharu WADA : THE PREFERENCE HAND AND THE SUPPORTING FOOT IN CHILDREN, Jikeikai Med J 34 : 543-554 (1987)
15) 臼井永男，平沢彌一郎：重心並びに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 (1988)
16) 坂下玲子，荒木田美香子，足立和隆，平山宗宏：土ふまずの形成に関する検討，学校保健研究，31 (1)：28-34 (1989)
17) 月村泰治，柳田雅明，崔　文錫，池田珠江：片足立ちの直立能力―支え足機能の検討―，姿勢研究，9 (2)：61-66 (1989)

(平成元年 12 月 22 日受理)