

## 日本人女性の部分質量と重心位置の検討

松尾 彰文 福永 哲夫 船渡 和男 浅見 俊雄 山口 孝夫\*

東京大学教養学部

\* 宇宙開発事業団

### Examination of Mass and Location of the Center of Gravity of Segment of the Body in Japanese Women

Akifumi Matsuo, Tetsuo Fukunaga, Kazuo Funato, Toshio Asami and Takao Yamaguchi\*

Department of Sports Sciences, College of Arts and Sciences, University of Tokyo

\* National Space Development Agency of Japan

#### Abstract

Segmental mass and location of the center of gravity were estimated from the mathematical method using 15-segments model devised by Matsui (1952). The effects of body dimensions on segmental parameters were examined for 34 Japanese young women. The center of gravities of whole body at various postures were measured using reaction board technique. Segmental volumes of upper arm, forearm, hand, thigh, leg, and foot were measured by water displacement method. The height of the center of gravity of whole body (HCG) increased linearly with the increase of a body height ( $r = 0.722$ ,  $p < 0.001$ ). A ratio of segmental mass to whole body mass in head, hand and foot were decreased with the increase of the body mass. In other segments, its ratio indicated about constant values independent of the increase of the body mass. A estimated value of HCG at standing postures using the segmental parameters (EHCG) compared the measured value of HCG by means of reaction board (MHCG). The values of MHCG and EHCG indicated approximately same value at 0.8 m of MHCG. The difference between MHCG and EHCG increased with the increment of MHCG ( $r = 0.762$ ,  $p < 0.001$ ). These results indicated that the estimated error of HCG from segmental parameters using mathematical models would be increased with the increment of body height.

身体の質量, 重心位置等の情報はバイオメカニクス研究の基礎的資料として重要である。運動中の身体重心位置は身体の各部の位置と各部の重量およびその重心位置から推定することが出来る(松井: 1956)。

運動中の身体重心を求めるためには身体各部の位置と各部分の重量およびその重心位置に関する情報が必要である。身体各部の位置は映画カメラやビデオ装置を用いることにより測定が可能である。一方, 身体部分の重量や重心位置を測るために生体を切断したりすることは出来ない。そのため多くの研究者によりその推定方法が報告されている(Clauser たち: 1969, Hanovan, E.P.: 1964, Hatze, H.A.: 1980, Jensen, R.K.: 1978, 松井: 1956, 横井たち: 1986, Zatsiorski, V. and V. Seluyanov: 1983)。

日本人成人の部分質量や重心位置を求めるための係数は松井(1956)により被験者男子4名, 女子5名を対象として, 人体計測値と幾何学モデルから数学的に求められた値がある。バイオメカニクスの研究ではおもにこの値が用いられている。この係数は体重との比率から部分重量を, 部分の長軸の長さから部分重心位置を求めるためのものである。しかしながら, この報告では身長や体重と各部分の質量や重心位置との関係についての検討が十分に行なわれていない。

本研究では松井の方法(1956)にしたがって人体計測値を用いて身体各部を幾何学モデルにシミュレートして数学的に身体の部分質量および重心位置を推定するとともに, それらの指標と身長や体重との関係について検討することを目的とした。

#### [方法]

##### 1. 被験者

本研究での被験者は特別なスポーツ活動を行っていない健康な成人女子34名であった。被験者の身体特性は表1に示した。

##### 2. 幾何学モデルによる身体部分の容積, 質量, 重心位置の算出方法

本研究では図1に示すように身体を頭部, 頸部, 胴体部, 上腕部, 前腕部, 手部, 大腿部, 下腿部, 足部に分けた。頭部を回転楕円体, 頸部を円柱, 上腕部, 前腕部, 大腿部は楕円錐, 手部を球, 胴体部と下腿部を2つの楕円錐, 足部を五面体の幾何学モデル(図2)にあてはめ数学的に身体部分の容積, 質量, 重心位置を算出した。そのために必要な生体計測値は図3に示した箇所をマルチン人体計測器を用いて測定して得られた値を用いた。測定箇所は被験者の頭頂, 後頭部, 肩峰点, 胸骨上縁点, 肘関節点, とう骨茎状突起点, 大転子点, 下腿最太部位, 外果点の高さ, 頭部, 頸部, 胸部, ウエスト部と大転子部の前後と左右径および周径, 上腕, 前腕, 大腿, 下腿部の上辺囲と下辺囲, 下腿部の最太部周径, 外果とつま先点の長さ, 踵の中, 足長の40項目であった。

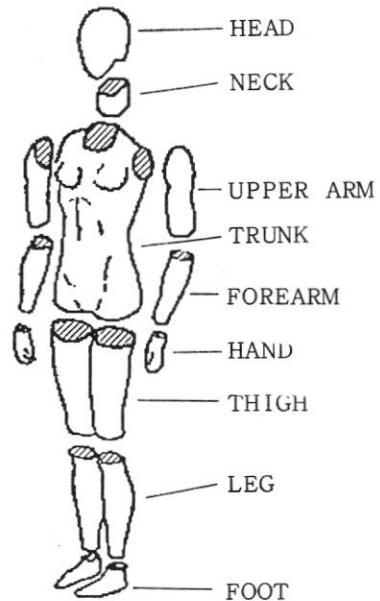


Fig. 1. Segmentation planes used in this study.

Table 1. Characteristics of subjects.

	mean	s. d.	max	min
Age(yrs)	21.23	2.79	35.33	19.03
Body Height(cm)	158.1	4.8	170.0	149.2
Body Weight(kg)	51.46	6.38	72.80	41.90

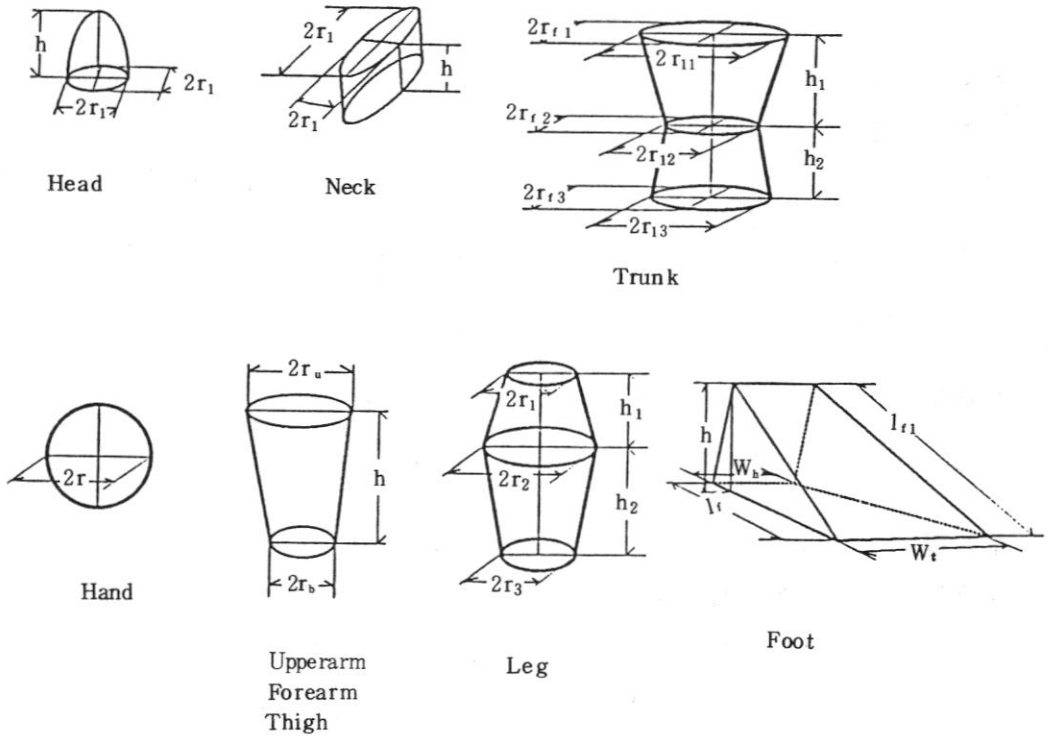


Fig. 2. Mathematical models of segment used in this study.

各部の容積は表2に示した計算式を用いて算出した。質量は身体各部の密度がほぼ一定であると仮定して表3に示した式により算出した。ここで骨重量の推定式は松井の報告(1956)をもとにして作成した。胴体の質量について体質量から体肢、頭、頸の部分の質量を差引いて算出した。重心位置については各部分で密度が均一であり、しかも骨や皮下脂肪を除いた部分が幾何学的に相似形であるとして表4に示した式を用いて算出した。この計算式では各部分の長軸上の重心位置を近位からの距離で求めることができる。

### 3. 身体全体の重心位置

重心位置測定装置は測定用の板、4台の荷重センサおよびセンサ取り付け台、4CHセンサアンプ、インターフェイスカードから構成されており、平面上の重心位置が測定できるように設計されている。図4はこの装置の概略と女性の被験者を測

定している写真である。この装置の荷重センサ(共和電業)は測定範囲が0kgから200kg、精度が1/2000である。さらにセンサアンプとの組合せでの分解能は±100g以内であり、重心位置の測定精度は0.1cmであった。

身体重心位置の座標はそれぞれの軸での静止したときのモーメントから決定される。各センサ1から4への荷重をそれぞれ $f_1, f_2, f_3, f_4$ 、センサ間の距離を $l_x, l_y$ とすると、重心位置の座標( $x_g, y_g$ )は

$$x_g = \frac{(f_2 + f_4) l_x}{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}$$

$$y_g = \frac{(f_1 + f_2) l_y}{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}$$

と表される。本研究ではx座標のみの結果を用いた。

Table 2. Equations for calculating segmental volume in cc.

1. 頭	$V = \frac{2}{3} (\pi r_1 r_f h)$	2. 頸	$V = \pi r_1 r_f h$
3. 胴体	$V = V_1 + V_2$		
	$V_1 = \frac{1}{3} \pi h_1 (r_{11} r_{f1} + \sqrt{r_{11} r_{f1} r_{12} r_{f2}} + r_{12} r_{f2})$		
	$V_2 = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_{12} r_{f2} + \sqrt{r_{12} r_{f2} r_{13} r_{f3}} + r_{13} r_{f3})$		
4. 上腕 (片側)	$V = \frac{1}{3} \pi h (r_u^2 + r_u r_b + r_b^2)$		
5. 前腕	$V = \frac{1}{3} \pi h (r_u^2 + r_u r_b + r_b^2)$		
6. 手	$V = \frac{2}{3} \pi \left(\frac{h}{2}\right)^3$		
7. 大腿	$V = \frac{1}{3} \pi h (r_u^2 + r_u r_b + r_b^2)$		
8. 下腿	$V = V_1 + V_2$		
	$V_1 = \frac{1}{3} \pi h_1 (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$		
	$V_2 = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2)$		
9. 足	$V = \frac{1}{4} (w_t + w_h) l_f h$		

Table 3. Equations for calculating segmental mass in g.

$$m = 1.076 V + 0.2948 m_B$$

胴体の重量 = 体重 - (頭 + 頸 + 2 (上腕 + 前腕 + 手 + 大腿 + 下腿 + 足))

骨重量推定式一覽 (  $H_t$  = 身長; (cm) )

1. 頭	$m_B = 7.883 H_t$	2. 頸	$m_B = 0 V$	3. 胴体	$m_B = 0 V$
4. 上腕	$m_B = 0.6848 H_t$	5. 前腕	$m_B = 0.4411 H_t$	6. 手	$m_B = 4.518 H_h, H_h$ ; 手長
7. 大腿	$m_B = 1.990 H_t$	8. 下腿	$m_B = 1.857 H_t$	9. 足	$m_B = 16.31 H_f, H_f$ ; 足高

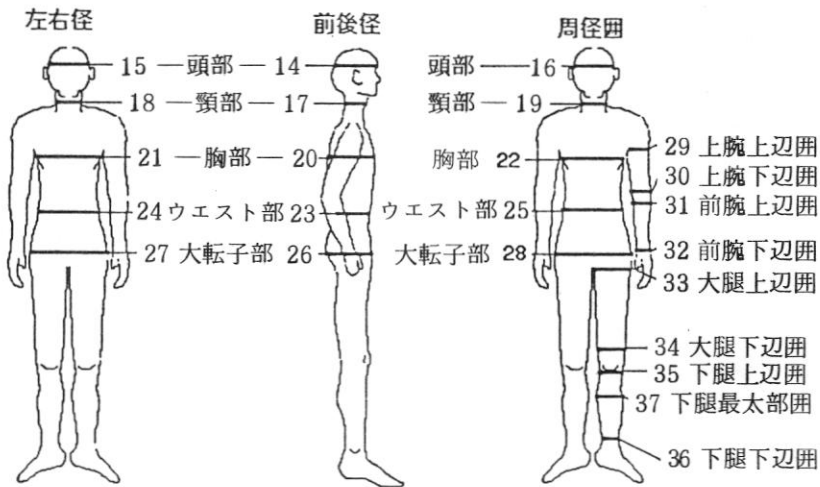
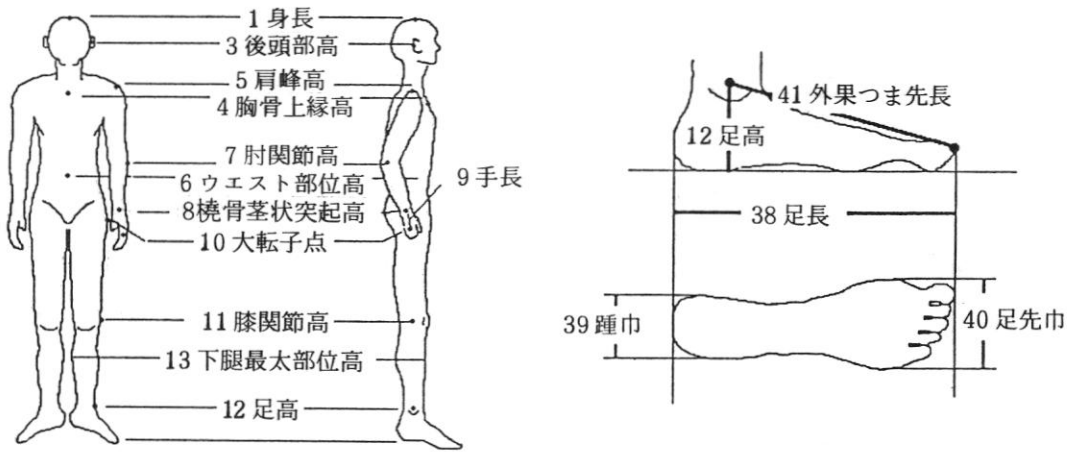


Fig. 3. Anatomical and anthropometric landmarks.

Table 4. Equations for estimating segmental location of center of mass in cm.

1. 頭  $H_{cg} = \frac{5}{8} h$

2. 頸  $H_{cg} = \frac{1}{2} h$

3. 胴体  $H_{cg} = h_1 - H_{cg1} + \frac{m_2 (H_{cg1} + H_{cg2})}{m_1 + m_2}$

$H_{cg1}$ : 胴体上部の重心位置

$H_{cg2}$ : 胴体上部の重心位置

$$H_{cg1} = \frac{h_1}{4} \frac{A_1 + 2\sqrt{A_1 + A_2} + 3A_2}{A_1 + \sqrt{A_1 + A_2} + A_2}$$

$$A_1 = r_{f1} r_{l1}$$

$$A_2 = r_{f2} r_{l2}$$

$$A_3 = r_{f3} r_{l3}$$

$$H_{cg2} = \frac{h_2}{4} \frac{3A_2 + 2\sqrt{A_2 + A_3} + A_3}{A_2 + \sqrt{A_2 + A_3} + A_3}$$

$m_1$ : 胴体上部の質量

$m_2$ : 胴体下部の質量

$$m_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2} m$$

ここで  $m$  は胴体部の質量  
 $V_1$  は胴体上部の体積  
 $V_2$  は胴体下部の体積

$$m_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2} m$$

4. 上腕  $H_{cg} = \frac{h}{4} \frac{r_u^2 + 2\sqrt{r_u r_b} + 3r_b^2}{r_u^2 + \sqrt{r_u r_b} + r_b^2}$

5. 前腕  $H_{cg} = \frac{h}{4} \frac{r_u^2 + 2\sqrt{r_u r_b} + 3r_b^2}{r_u^2 + \sqrt{r_u r_b} + r_b^2}$

6. 手  $H_{cg} = \frac{h}{2}$

7. 大腿  $H_{cg} = \frac{h}{4} \frac{r_u^2 + 2\sqrt{r_u r_b} + 3r_b^2}{r_u^2 + \sqrt{r_u r_b} + r_b^2}$

8. 下腿  $H_{cg} = h_1 - H_{cg1} + \frac{m_2 (H_{cg1} + H_{cg2})}{m_1 + m_2}$

$H_{cg1}$ : 下腿上部の重心位置

$H_{cg2}$ : 下腿上部の重心位置

$$H_{cg1} = \frac{h}{4} \frac{r_1^2 + 2\sqrt{r_1 r_2} + 3r_2^2}{r_1^2 + \sqrt{r_1 r_2} + r_2^2}$$

$$H_{cg2} = \frac{h}{4} \frac{r_2^2 + 2\sqrt{r_2 r_3} + 3r_3^2}{r_2^2 + \sqrt{r_2 r_3} + r_3^2}$$

$m_1$ : 下腿上部の質量

ここで  $m$  は下腿部の質量

$$m_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2} m$$

$V_1$  は下腿上部の体積

$V_2$  は下腿下部の体積

$m_2$ : 下腿下部の質量

$$m_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2} m$$

9. 足  $H_{cgx} = \frac{l_f (w_h h + w_f)}{2 (2 w_h h + w_f)}$

$$H_{cgy} = \frac{l_h (w_l r_f + w_h)}{2 (2 w_l r_f + w_h)}$$

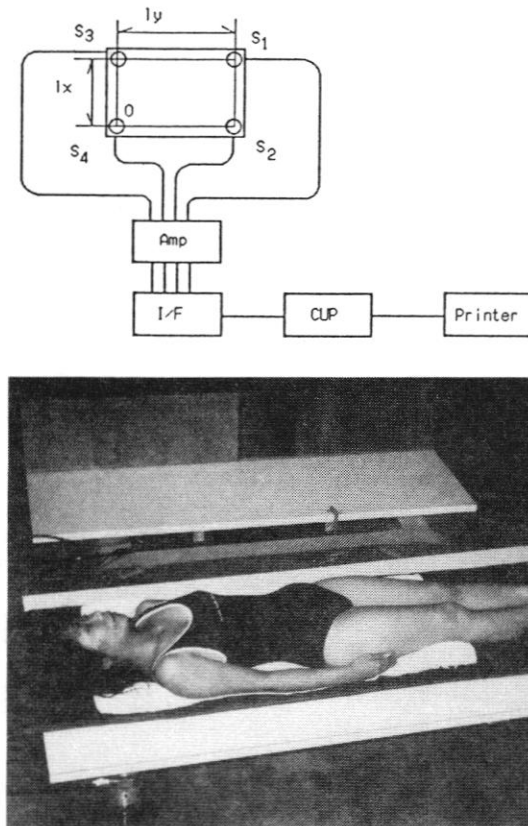


Fig. 4. Measurement apparatus for the center of whole body mass.

#### 4. 身体重心の測定方法

本研究では図5に示すようなAからOまでの15種類の姿勢時の身体重心位置を測定した。

身体重心測定装置では足の位置を一定にするためのついたてを追加し、直立に近い姿勢が保てるようにして身体重心位置を測定した。被験者は身体重心位置測定装置の上で仰臥位姿勢を保つ。このとき、被験者には踵がついたてに密着するように指示した。なお、重心位置の座標からついたての座標を差引いた値を踵から身体重心位置までの距離とし、これを身体重心高 ( $H_{cg}$ ) とした。また、身体重心高と身長との比を比重心高 ( $\%H_{cg}$ ) とした。

#### 5. 体肢容積の測定

本研究では図6に示した1から6の姿勢にて右側の体肢容積を水置換法により測定した。水を満たした容器の中に体肢を入れ、あふれ出る水を一箇所にあつめ、その水の量メスシリンダーで測定

した。あらかじめ、茎突点、とう骨点、肩峰点、果点、脛骨点、大転子点にマークを付け、体肢を容器に入れる際の目印とした。それぞれの姿勢で測定した容積は姿勢1では手 ( $V_1$ )、2は手と前腕 ( $V_2$ )、3は手と前腕と上腕 ( $V_3$ )、4は足 ( $V_4$ )、5は足と下腿 ( $V_5$ )、6は足と下腿と大腿 ( $V_6$ ) である。一つの姿勢で3回測定を行ない、その平均値を代表値とした。

各部位の測定値から手 (VHA)、前腕 (VFA)、上腕 (VUA)、足 (VFT)、下腿 (VLE)、大腿 (VTH) の容積は次の式にて算出した。

$$VHA = V_1$$

$$VFA = V_2 - V_1$$

$$VUA = V_3 - V_2$$

$$VFT = V_4$$

$$VLE = V_5 - V_4$$

$$VTH = V_6 - V_5$$

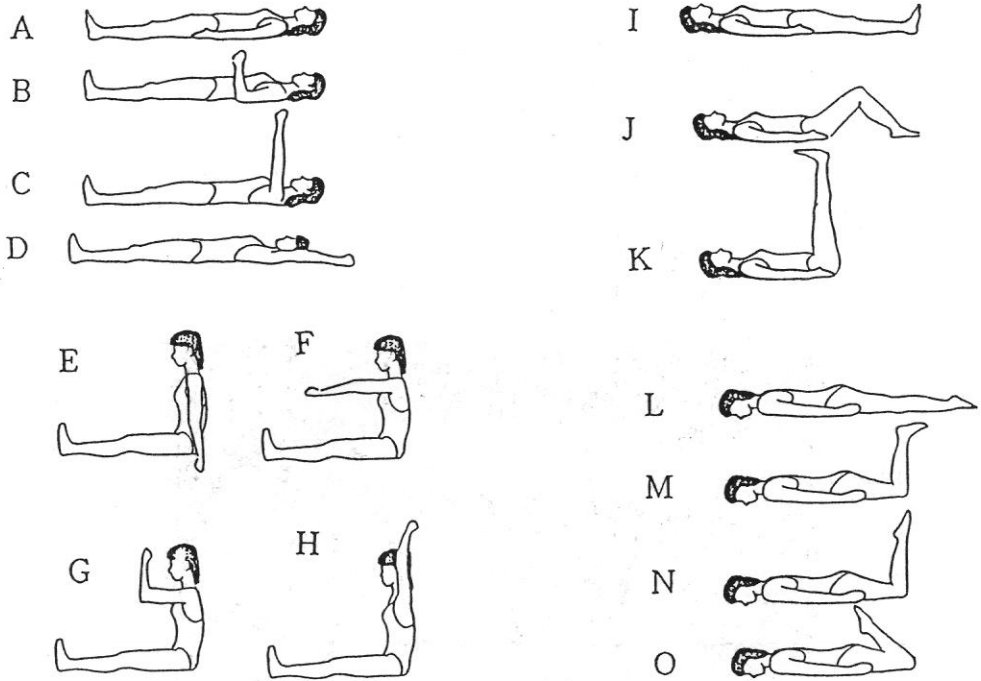


Fig. 5. Measurement of the center of whole body mass at these postures.

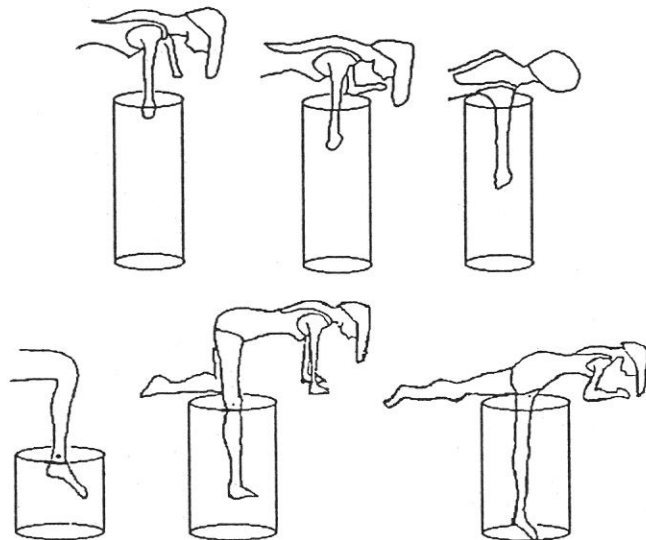


Fig. 6. Postures in determining segmental volume.



## 〔結果〕

重心高および比重心高を身長との関係でみたものが図7である。重心高は身長が増大に比例して増加する傾向を示し、両者の間には統計的に有意な相関々係 ( $r = 0.724$ ,  $p < 0.01$ ) がみられた。一方の比重心高では身長との間には一定の傾向がみられなかった。

種々の姿勢時の身体重心位置および比重心高における平均値、標準偏差、最大値および最小値を一覧表にしたものが表5である。

身体各部分の長さ、幾何モデルから推定した部分質量、重心位置の平均値を各部位ごとに示したものが表6、表7である。部位の長さでみると胴体が最も長く、ついで下腿、大腿、上腕、足、前

Table 5. Center of gravity of whole body at various postures.

## Height of the center of gravity ( m )

posture	mean	s. d.	max	min
A	0.8758	0.0292	0.9298	0.8188
B	0.8824	0.0312	0.9357	0.8202
C	0.8987	0.0313	0.9585	0.8345
D	0.9274	0.0312	0.9849	0.8646
E	0.7167	0.0332	0.7975	0.6474
F	0.6990	0.0308	0.7740	0.6385
G	0.7060	0.0361	0.7954	0.6161
H	0.7273	0.0345	0.8159	0.6489
I	0.7131	0.0281	0.7580	0.6383
J	0.6799	0.0285	0.7281	0.6040
K	0.5970	0.0313	0.7123	0.5424
L	0.7024	0.0289	0.7632	0.6385
M	0.6756	0.0312	0.7573	0.6126
N	0.6726	0.0287	0.7300	0.6126
O	0.6517	0.0263	0.7101	0.5954

## Relative height of the center of gravity ( % )

posture	mean	s. d.	max	min
A	55.41	1.31	57.53	52.25
B	55.82	1.35	58.08	52.97
C	56.85	1.34	58.88	53.96
D	58.67	1.32	60.90	55.76
E	45.33	1.51	48.01	41.54
F	44.22	1.49	47.06	41.08
G	44.65	1.61	47.88	41.29
H	46.00	1.60	49.12	42.03
I	45.11	1.25	47.23	42.16
J	43.01	1.43	45.55	39.89
K	37.76	1.48	42.89	35.19
L	44.43	1.40	47.04	41.68
M	42.73	1.42	45.59	39.84
N	42.55	1.34	45.37	39.67
O	41.23	1.44	44.16	38.07

Table 6. Means and standard deviations of segment parameters such as length, volume, mass, percentage of body mass, and location of center of gravity.

Length ( cm )				
	mean	s.d.	max	min
head	14.01	1.63	15.60	6.90
neck	16.44	1.68	22.5	13.4
trunk	50.71	1.85	54.50	47.60
upper arm	29.00	1.86	32.00	21.50
forearm	20.88	1.60	25.40	18.00
hand	8.582	0.562	9.800	7.500
thigh	35.19	1.80	39.70	31.60
leg	35.71	1.94	40.10	31.90
foot	6.041	0.518	7.000	5.000

Volume ( cc )				
	mean	s.d.	max	min
head	2127.	273.	2496.	1054.
neck	1221.	203.	1765.	843.
trunk	18455	2691	26387	15327
upper arm	1308.	263.	2020.	779.
forearm	584.2	126.9	173.1	443.1
hand	167.5	32.7	246.3	110.4
thigh	5458.	771.	7297.	4172.
leg	2511.	1.	3539.	1986.

Mass ( g )				
	mean	s.d.	max	min
head	2360.	285.	2746.	1241.
neck	1271.	211.	1837.	877.
trunk	25567	3869	38574	20286
upper arm	1375.	273.	2116.	824.
forearm	616.3	132.1	229.1	469.3
hand	178.9	34.4	261.6	118.9
thigh	5719.	803.	7635.	4380.
leg	2649.	356.	3720.	2101.
foot	592.4	73.4	712.2	437.9

Percentage of whole body mass				
	mean	s.d.	max	min
head	0.04659	0.003696	0.06414	0.02332
neck	0.02481	0.000918	0.03453	0.01779
trunk	0.4959	0.00466	0.5586	0.4488
upper arm	0.02655	0.001922	0.03332	0.01787
forearm	0.01199	0.007934	0.02211	0.00970
hand	0.003531	0.0065866	0.005232	0.001810
thigh	0.1111	0.00197	0.1261	0.1003
leg	0.05153	0.001808	0.05770	0.04073
foot	0.01163	0.002107	0.01519	0.00759

Location of center of gravity ( cm )				
	mean	s.d.	max	min
head	8.754	1.020	9.750	4.313
neck	8.219	0.841	1.250	6.700
trunk	25.63	1.09	27.88	23.41
upper arm	13.51	0.91	14.93	10.08
forearm	9.033	0.689	1.029	7.822
hand	4.291	0.281	4.900	3.750
thigh	15.69	0.87	17.94	13.97
leg	14.87	0.86	16.67	13.30
foot(x)	6.542	0.252	7.063	6.010
foot(y)	1.531	0.131	1.775	1.266

Percent of location of center of gravity				
	mean	s.d.	max	min
head	0.6250	-----	0.6250	0.6250
neck	0.5000	-----	-----	-----
trunk	0.5055	0.0111	0.5244	0.4636
upper arm	0.4659	0.0068	0.4782	0.4477
forearm	0.4327	0.0071	0.4489	0.4039
hand	0.5000	-----	-----	-----
thigh	0.4460	0.0056	0.4565	0.4360
leg	0.4165	0.0136	0.4435	0.3929
foot(x)	0.7211	0.0031	0.7140	0.7237
foot(y)	0.2534	0.0002	0.2538	0.2527

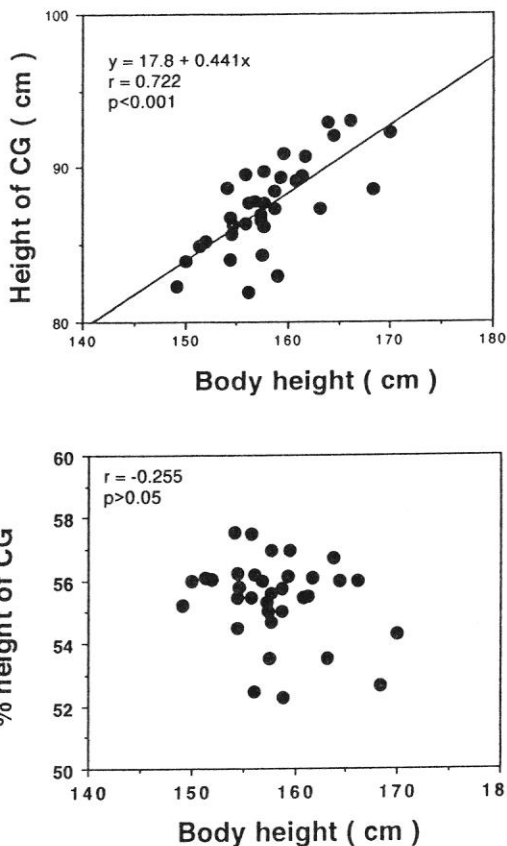


Fig. 7. The relationship between body height and the height of the center of gravity.

腕, 頭, 頸そして手の順であった。身体容積および重量についてみると胴体が最も大きく, ついで大腿, 下腿, 頭部, 上腕, 頸部, 前腕, 足, 手の順であった。特に胴体は体重のほぼ半分を占める。

体重と身長各部分の質量との関係についてみたものが図8である。頸部, 胴体部, 前腕部, 大腿部および下腿部の質量は体重に比例して増大する傾向にあり, それぞれの相関係数は頸部  $r = 0.495$ , 胴体部  $r = 0.907$ , 上腕部  $r = 0.923$ , 前腕部  $r = 0.523$ , 大腿部  $r = 0.863$ , 下腿部  $r = 0.834$  であった。手部および足部の質量では体重との間には統計的な有意な関係はみられなかった。

各部の質量と体重との比率(質量比)についてみると, 頸部, 胴体部, 前腕部, 大腿部および下腿部の値は体重との間には有意な関係がみられなかった。体重と頭部, 手部および足部の質量比の

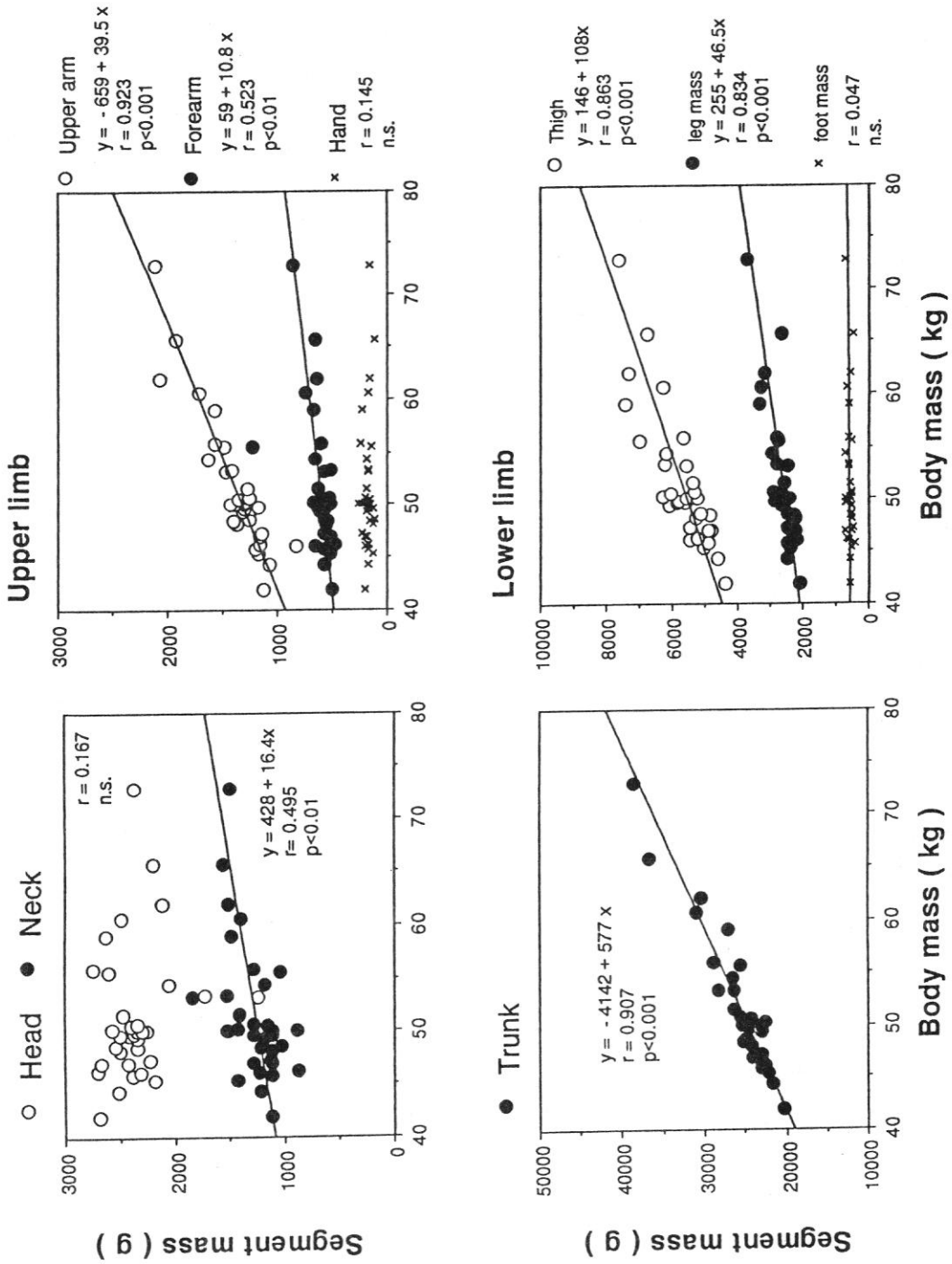


Fig. 8. The relationship between body mass and segmental mass.

関係をみたものが図9である。頭部, 手部および足部ともに体重の増大に比例して減少する傾向がみられ, いずれの場合も統計的に有意であった。

部分長と重心位置の関係についてみたものが図10である。頭部, 頸部, 手部の重心位置の計算式では前後径, 左右径や周径囲が含まれていないことから, それぞれの幾何学モデルの部分長に比例するので図示しなかった。どの部分も重心位置は長さとの間には統計的な有意な相関々係がみられ, 長さに比例して重心位置も長くなる傾向がみられた。

各部分の重心位置をその部分の長さで除して求めた重心位置係数は頭部, 頸部, 手では幾何学モデルの関係ですべての被験者で同じ値であった。他の部位について部分長と重心位置係数との関係をみたものが図11である。部分重心位置がもっとも上端に近いのは下腿部, ついで, 前腕部, 大腿部, 上腕部であり, 胴体部の重心位置はほぼ中央に位置した。

本研究で得られた部分重心位置, 部分重量値と生体計測の高さの数値を用いて, 被験者の仰臥位姿勢時の重心位置を推定した。重心位置測定のアの姿勢の重心位置を実測値とし, 推定値との関係および両者の差についてみたものが図12である。実測値が0.80から0.87付近までは推定値は実測値の増加にともない増大する傾向がみられるが, それよりも実測値が大きいと顕著な増大がみられなかった。実測値と推定値の差についてみると実測値の増大に比例して差の値も増大する傾向がみられた ( $r=0.762$ ,  $p<0.001$ )。

水置換法により測定された右側の体肢容積の平均値と標準偏差についてみたものが表8である。最も容積が小さい部位は手部の256ccであり, もっとも大きかった部位は大腿部の5488ccであった。上肢と下肢と比較すると上肢は2104ccであったが, 下肢では8410ccであり, 上肢のほぼ4倍の容積であった。

水置換法で測定した体肢の容積を実測値, 幾何学モデルで算出した体肢の容積を推定値として両者の関係をみたものが図13である。図中の上が上肢, 下が下肢である。手部と足部では両者の間には統計的に有意な相関々係がみられなかった。上腕部, 前腕部, 大腿部, 下腿部では両者の間に有

意な相関々係(それぞれ,  $r=0.934$ ,  $0.811$ ,  $0.943$ ,  $0.947$ )がみられた。

実測値と推定値の差を実測値に対してプロットしたものが図14である。この差の平均値と標準偏差(範囲)は上腕部では $-114.47\text{cc}\pm 97.1(-392\sim 181\text{cc})$ , 前腕部は $82.2\text{cc}\pm 52.5(-57\sim 173)$ , 手部は $88.9\text{cc}\pm 39.0(14\sim 166)$ , 大腿部は $29.9\text{cc}\pm 282(-689\sim 983)$ , 下腿部は $-91.3\text{cc}\pm 109.5(-398\sim 88)$ , 足部は $-55.7\text{cc}\pm 63.9(-181\sim 63)$ であった。実測値にたいする比率でみた実測値と推定値の差(%M-E vol)を部位ごとの平均値と標準偏差で示したのが図15である。%M-E volの平均値は上腕部が $-9.57\%$ , 前腕部が $12.3\%$ , 手部が $34.2\%$ , 大腿部が $0.3\%$ , 下腿部が $-3.8\%$ , 足部が $-12$ であった。

#### [考察]

本研究ではAからOまでの15種の姿勢で身体重心位置を測定した。そのなかで姿勢Aから姿勢Dは仰臥位で上肢の位置を, 姿勢Eから姿勢Hは長座姿勢で上肢の位置を変化させた姿勢である重心高でみると姿勢Aは姿勢Bとでは $0.008\text{m}$ , 姿勢Cとでは $0.020\text{m}$ , 姿勢Dとでは $0.057\text{m}$ の差があった。このことは両側の肘関節を $90^\circ$ 屈曲させることにより 心位置は $0.008\text{m}$ 上昇し, さらに上肢を挙上させると $0.057\text{m}$ 上昇することを示すものである。姿勢Fは姿勢Eから両側の上肢を肩関節を $90^\circ$ 伸展させた姿勢であり, この間の差は $0.018\text{m}$ であった。姿勢Eと姿勢Fの差は姿勢Aと姿勢Cの差に等しく, その差も $0.018\text{m}$ と $0.020\text{m}$ であった。さらに姿勢Fと姿勢Gでは姿勢Aと姿勢Bの差と等しく, それぞれの重心位置の差は $0.007\text{m}$ と $0.008\text{m}$ であった。以上のことはこの測定装置の精度を考慮するとほぼ同じ値が得られているものと考えられる。

身体重心位置に関する研究にはスポーツ選手を対象とした石井たち(1971)の報告がある。かれらによると身体重心位置は女子では $0.86\sim 0.90\text{m}$ , 比重心高は $54\sim 56.5\%$ の範囲であったと報告されている。本研究では重心高の範囲が $0.82\sim 0.93\text{m}$ 平均が $0.876\text{m}$ であり, 比重心高では $57.5\sim 52.2\%$ , 平均が $57.5\%$ であり, 石井たちの報告とほぼ同範囲の結果が得られた。

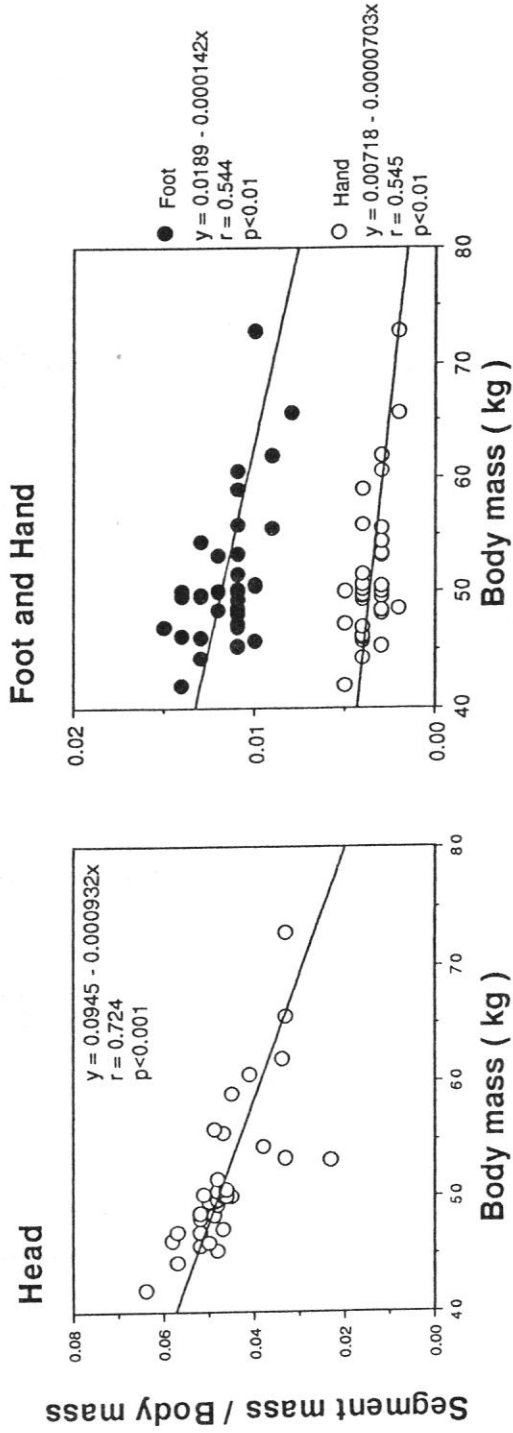


Fig. 9. Segmental mass of head, hand, and foot / body mass indicated as a function of body mass.

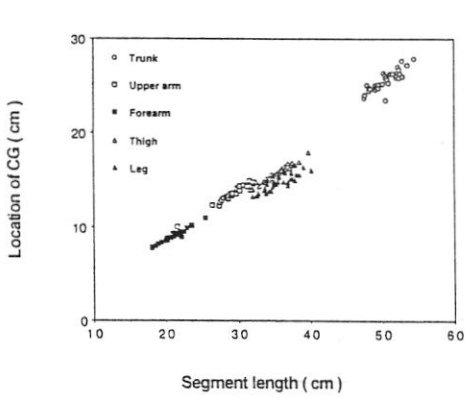


Fig. 10. Segmental location of center of mass as a function of segmental length.

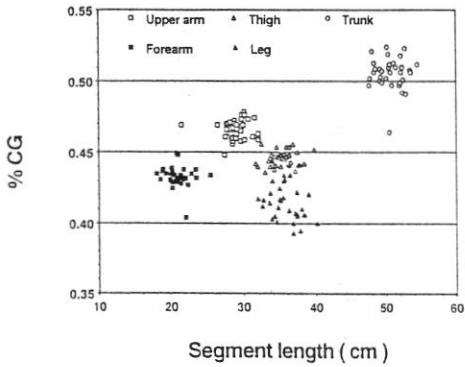
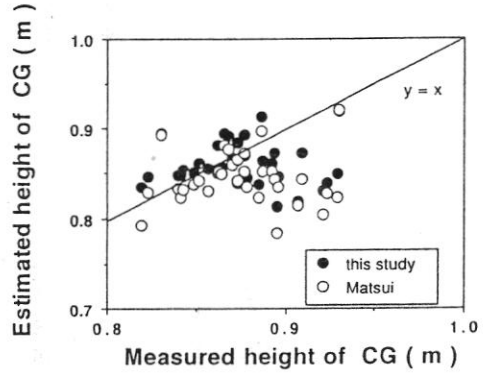


Fig. 11. Segmental location of center of mass as percentage of segment length.

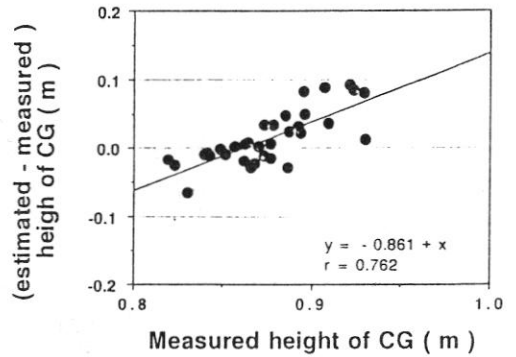


Fig. 12. The relationship between predicted values and measured values of the center of gravity.

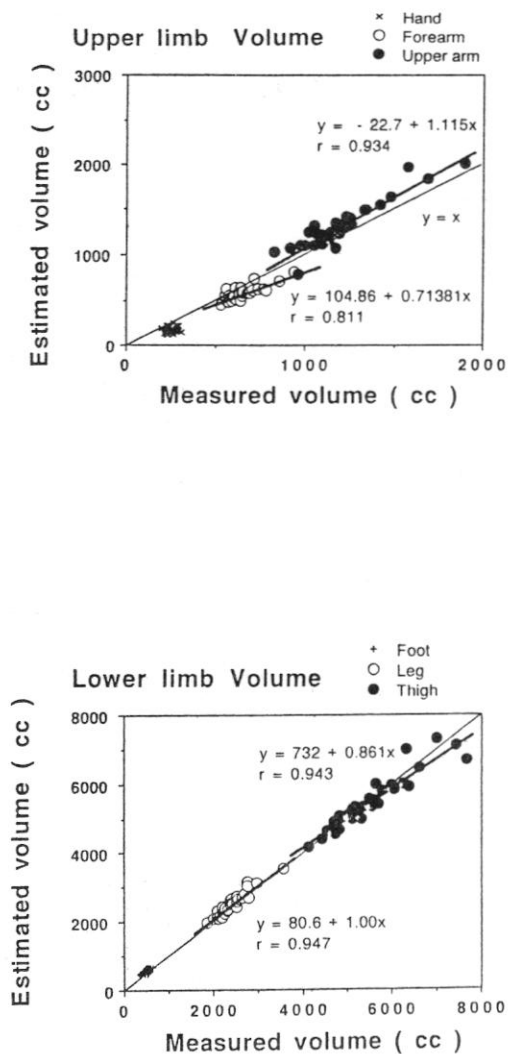


Fig. 13. The relationship between measured and estimated segmental volume.

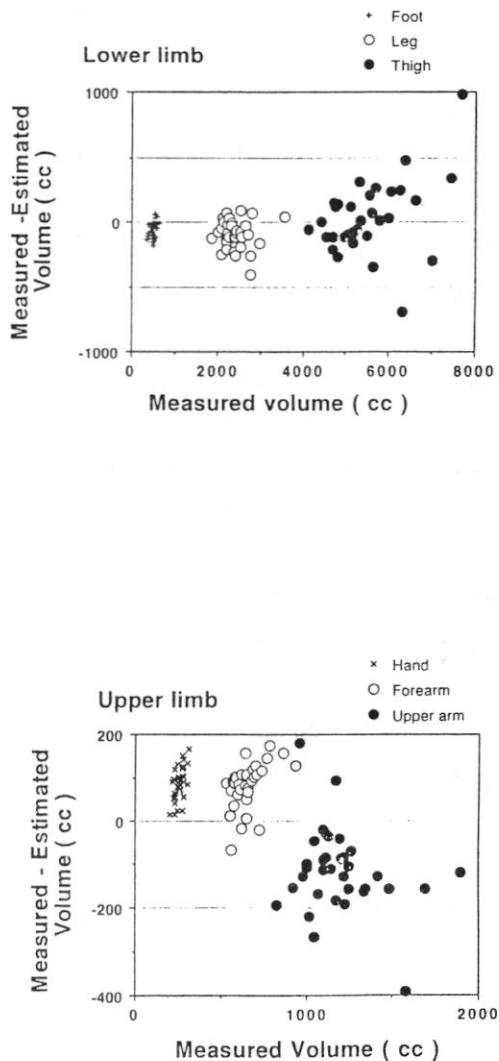


Fig. 14. Differences between measured and estimated volume as a function of measured volume.

Table 7. Segmental mass / body mass ratios and center of mass locations in Japanese women.

Segment mass/body mass		
	This Study	Matsui
Head	0.047	0.037
Neck	0.025	0.026
Trunk	0.496	0.487
Upper arm	0.053	0.051
Fore arm	0.024	0.026
Hand	0.007	0.012
Thigh	0.222	0.223
Leg	0.103	0.107
Foot	0.023	0.030
Segment center of gravity		
	This Study	Matsui
Head	0.63	0.63
Neck	0.50	0.50
Trunk	0.51	0.52
Upper arm	0.47	0.46
Fore arm	0.43	0.42
Hand	0.50	0.50
Thigh	0.45	0.42
Leg	0.42	0.42
Foot x	0.72	0.50
Foot y	0.25	

上肢挙上による重心高の上昇は石井たちでは3.8cmから5.7cmであることを報告している。本研究では4.0～6.5cm, 平均値が5.3cmであった。本研究での被験者は特にスポーツ活動を行っていない一般女性ではあったがスポーツ選手とはほぼ同様の結果がえられた。

部分質量比および重心位置係数を従来の方法と比較したものが表7である。この表では質量比は上肢および下肢の質量は左右差がないものとし、右側で得られた2倍の値が記載されている。顕著な差がみられたのは質量比では頭部, 手部および

足部であり, 重心位置係数では大腿部と足部であった。松井の被験者5名の身長および体重の平均値は154.22cm および52.8kgであった。一方本研究の被験者ではそれぞれ158.1cm, 51.5kgであり, 松井の被験者よりも高い身長であった。このように被験者の体格の違いにより, 部分重量や重心位置の係数に差が生じているものと考えられる。足部のモデルでは松井は球体であったが本研究では5面体を用いたためにこの差が生じたものと考えられる。

体重と部分重量比(部分重量と体重との比)の関係についてみると, 頭部, 手部および足部の部分重量比と体重との間には負の相関関係がみられた。このことは体重が重いほど頭部, 手部および足部がしめる割合が減少することを示している。したがって, 体重から部分重量を求めるための係数は体重により異なる値を用いなければならぬと考えられる。

部分重心位置係数および部分質量比をもちいて仰臥位姿勢の身体重心位置を推定し, 実測値と比較した結果, 両者間に有意な相関々係がみられなかった。また, 実測値と推定値の差についてみると実測値が0.82m附近では-0.05m程であるが実測値が0.86m附近では両者の値がほぼ等しくなり, それ以上に高くなると推定値が小さくなる傾向がみられ, 実測値が0.94mになると0.07mに達する。この差は両側の上肢の挙上により変化する重心位置0.057mよりも大きい。このことは幾何学モデルで算出した重心位置係数あるいは質量比から重心位置を推定する場合には身体重心高が0.86m, 身長ではおよそ155cmの被験者においてのみ正確に重心位置を推定できることをしめしている。

このような差は幾何学モデルによる部分重量および重心位置の推定限界を示しているものである。幾何学モデルの問題点としては, 容積および密度が一定であるという仮定, 骨と筋の幾何学図形が相似形であることなどが挙げられる。部分重量や重心位置では実測値を得ることは困難である。しかしながら, 本研究で行なったように容積の実測値を得ることは可能である。

本研究で各部の容積について実測値と推定値との比較した結果, 幾何学モデルによる推定は上腕



部、下腿部および足部では過大評価、前腕部および手部では過小評価する傾向があった。大腿部では実測値と推定値の差の平均値はほぼゼロであるが標準偏差は±4.43%であった。以上の結果は幾何学モデルの妥当性の低さを示すものであろう。

容積と密度の積を質量として算出したが、本研究では松井の報告(1956)にしたがって、どの被験者も同一の密度の値が用いられた。本研究の被験者の身体密度を水中体重秤量法で測定した水中体重から推定した。その結果、身体密度は最大値が1.077、最小値が1.021、平均値が1.047、標準偏差が0.011であった。特に女性の場合ではすべての被験者に同一の身体密度をもちいることは大きな推定誤差を生じさせる原因になると考えられる。また、密度に影響を与える脂肪の分布は身体の各部により異なることから、単一密度で容積から重量を推定することも推定誤差を大きくするものと考えられる。

生体で各部分質量、重心位置を求めるためにJensson(1978)、横井たち(1986)はゾーンモデルによる方法を用いた。この方法は身体を2cmごとのゾーンに区切り、その短径と長径を写真から測定する方法である。ゾーンの厚さと長径から楕円柱の容積を算出し、さらに密度との積によりゾーンの質量を算出するのである。この方法では松井(1956)の幾何学モデルよりも誤差は少なくなると考えられる。部分質量や重心位置の推定は幾何学モデルではなく、ゾーンモデルのように身体を細分化し容積を推定し、それぞれのゾーンでの密度がわかれば、より正確な値が算出されるであろう。

#### 〔まとめ〕

本研究では日本人女性の部分重量および部分重心位置係数の妥当性について検討した。被験者は健康な女性84名であった。身体を15部位、頭部、頸部、胴体部、上腕部、前腕部、手部、大腿部、下腿部、足部に分け、それぞれの部分の重量および重心位置を松井の方法に従って、幾何学モデルと生体計測値から算出した。全身の重心位置および体肢容積の測定もあわせて実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 身体重心位置は身長に正比例する( $r = 0.722$ ,

$p < 0.001$ ) 傾向がみられるが、身長との比率でみた場合には一定の傾向がみられなかった。

2. 幾何学モデルで推定した部分重量は頭部、手部、足部を除いた他の部位では体重の増加にともない統計的に有意に増加する傾向がみられた。
3. 体重と部分重量との比(部分重量比)についてみると、頭部、手部、足部では体重の増加にともない統計的に有意に減少する傾向がみられた。
4. 部分重心位置はどの部位でも部分長の増加に比例して統計的に有意に増加する傾向がみられた。
5. 全身の重心位置の生体計測値、部分重量および重心位置から推定した値と実測値を比較した結果、実測値と推定値の間には統計的に有意な関係がみられなかった。実測値と推定値の差と実測値との間には統計的に有意な正の相関々係があり( $r = 0.762$ ,  $p < 0.001$ ), 重心位置が高いほど推定値との差が大きくなる傾向がみられた。
6. 水置換法で測定した体肢容積(実測値)と幾何学モデルから推定した体肢容積(推定値)を比較した結果、上肢、下肢ともに両者の間には統計的に有意な相関関係がみられた。実測値と推定値の差の平均値と標準偏差(範囲)は上腕部では $-114.47\text{cc} \pm 97.1$  ( $-392 \sim 181\text{cc}$ ), 前腕部は $82.2\text{cc} \pm 52.5$  ( $-57 \sim 173$ ), 手部は $88.9\text{cc} \pm 39.0$  ( $14 \sim 166$ ), 大腿部は $29.9\text{cc} \pm 282$  ( $-689 \sim 983$ ), 下腿部は $-91.3\text{cc} \pm 109.5$  ( $-398 \sim 88$ ), 足部は $-55.7\text{cc} \pm 63.9$  ( $-181 \sim 63$ )であった。

#### 文献

- 1) Clauser, C.E., J.T. McConville, and J.W. Young; Weight, volume and center of mass of segments of the human body. Aerospace Medical Research Laboratory Technical Report, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1969.
- 2) Hanovan, E.P. A mathematical model of the human body. Technical Report, Aerospace Medical Research Laboratory TR 64-102, Wright-Patterson Air Force Base, OH, 1964.
- 3) Hatze, H. A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthro-

- pometric segments. *J. Biomechanics*. 13: 833-843, 1980.
- 4) 石井喜八, 高島慎助, 人体重心と運動効果 大阪体育大学紀要 3: 1-6, 1971.
  - 5) Jensen, R.K., Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *J. Biomechanics* 11: 349-358, 1978.
  - 6) 松井秀治, 各種姿勢の重心位置に関する研究 体育学研究 2(2): 65-76, 1956.
  - 7) 横井孝志, 渋川侃二; 阿江通良; 日本人幼少年の身体部分係数 体育学研究 31(1): 53-66, 1986.
  - 8) Zatsiorski, V. and V. Seluyanov; The mass and inertial characteristics of the main segments of the human body. *Biomechanics VIII-B*, H. Matsui and K. Kobayashi (Eds.) Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 1152-1159, 1983.