

人体のヤング率の経年的変化

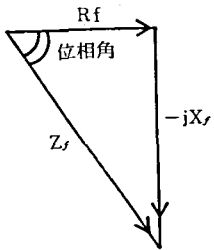
(付, 老人の歩行姿勢について)

菊池 志げ子

1 はじめに

ロボットは、サイバネチック理論(Cybernetics Theory, 1947, 舵を練つる理論, 大戦中メキシコの生理学者 A. Rosenblueth がアメリカ MIT 大学の数学者 N. Wiener と開発した理論)の負帰還(Negative Feedback)を用いた, 硬い鉄鋼で作られた無機物であつて, 生体のヤング率(バネ)のような経年的変化もなく, 生体の運動の強さや複雑さに即応するヤング率の生理的な調整も変化も出来ない。生体的な周波数の特性もない。

ロボットには, 生体のような滑らかさや柔らかさもなく, 又瞬間的に手を刀のように硬くして木板や瓦を割るような急激な行動もできない。



生体は, 筆者の他の論文⁽¹⁾⁽²⁾に示したように, 静止の状態では, その受動的性質として, 電気的には体液を60%*含み, 交流電気の周波数 f の変化に従つて変化する電氣的交流抵抗 R_f と交流容量 C (例, バネ, ∞ / コンデンサ C) 的抵抗

の $-jX_f$ から成っている。

総合抵抗に相当するインピーダンス Z_f は $Z_f = R_f - jX_f$ の関係がある。 $X_f = 1/2\pi fC$ である。

$R_f : -X_f$ の軌跡は, いわゆる Cole-Cole の半円を示し, 生体が自ら自分の体重またはその一部分の重さ M_f (例, コイル) とバネ ($1/C$) ヤング率に $2\pi f$ をかけたり割ったりして, 周波数 f なるリズム運動を行えば, 能動的な生活発電が周波数 f で生体の表面に現われる。

この場合, $2\pi f M_f = M_f$ を交流誘導抵抗(例: 心臓の重さ)といい, $-jX_f + jM_f = 0$ ($X_f = M_f$) を共振状態(例: 心臓の重さとバネがバランスのと

れている状態)にあるという。

重力のない宇宙空間では, 人体の重量の M_f は無くなるので, 運動が難しくなる。

人体を静止の状態におき, 運動重量 M_f の影響の $+jM_f$ (電気誘導抵抗: 重さ)がない場合, コール・コールの $R_f : -X_f$ 曲線の凹部⁽¹⁾⁽²⁾に当る周波数 f_{relax} (緩和周波数)が認められる。

f_{relax} は若年に高く, 高年に低く, 激しい運動を行う場合には高く, 疲れると低くなって, 生体のバネの強さ(ヤング率 e) や機敏度 (Swiftness, Quickness of the Muscle Responsibility) と比例する。

人体の手掌には, 五本の指先でキャッチした冷熱, 軽重, 圧力の大小, 物の表面の粗密なその感覚を遠位列四個と近位列四個(三個と豆状骨)の手根骨に伝え, 更にその元にある二個の前腕骨とその根元の一つの上腕骨に伝えつつ, 積算計量を行う。⁽³⁾人工ロボットの場合で5指→手首関節→1前腕→肘関節→1上腕→肩関節となるが, より人間的に改良する為には, 五指→手首関節の間に八個(四個+三個+d)の手根骨に相当する局所的マイクロ・コンピュータの設置が必要である。足部についても同じことが言える。図1 a, bは手骨と上肢骨を示した。

動物では, 刺戟 R に対する感覚 S は $\log R$ で表→

(1) 菊池志げ子: 生体の皮膚抵抗, 上田女子短大紀要に昭和58年3月15日寄稿。

(2) 菊池志げ子: 心臓搏動, 呼吸および筋運動の電氣的応答およびスペクトラム分析, 長野大学紀要に昭和58年8月, 第5巻第1号, 39~55頁。

(3) 菊池志げ子, 手根骨および足根骨の重量比について, 人類学, 人類遺伝学, 体質学, 昭和34年10月, 91~95頁。

* 人体の水分は乳幼児では約80~70%, 老人では約50%, 女性は男性より5%位少ないとされている。✓

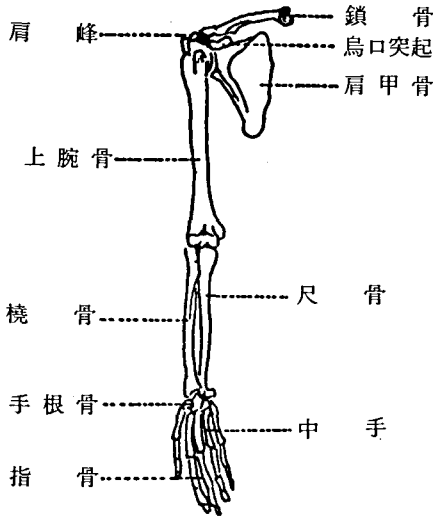


図1a 上肢の骨 (大島新治)

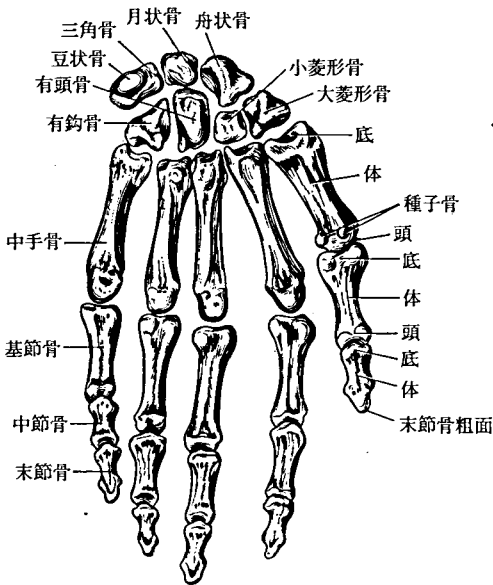


図1b 手骨(掌側面 左) (久保田くら)

→わされるという、Weber-Fechner の自然対数則に倣い、生体の運動も微細な運動から大運動に到るまで、中間の運動区間を短縮するような対数的*な速さで且滑らかに移行することが出来る。更にその中間の中運動を取り出してズーム(拡大)して微調整しつつその中運動に微妙な変化を与えることが出来る。

人体とハムスタの呼吸運動や下肢の屈伸運動に

よる生活電流の周波数のスペクトラム分布を調べて見ると、そのなかの高調波の振幅分布は明らかに対数的もしくは準対数的であった。(このため人体は微呼吸からすぐに大呼吸に移れるのである。)⁽²⁾

人体は、上記の運動の外断続的、階段的、繰り返しの運動も可能である。

声帯では、音の高低、強弱も自由に制御でき、鍛錬することもできる。Weber-Fechner は音に関しては、500~40,000Hz の音の強さと、聴力の間に対数則を認めた。

人体は、歌や音響にあわせて、聴力と運動(生活発電の強さ)が対数的に作用する。いわゆるリズムック・ダンスがそれで、音響リズムなしの運動よりエネルギーの浪費が少ない。

2 人体の身長、体重、脈搏数の経年的変化に関する統計に就て

表1は、Stratz の人体の充実期と伸張期に、菊池の追記を入れて区分したものである。

図2は、昭和35年度の東京都杉並西保健所管内の0~2歳児男子の身長と体重の小統計の経月変化の図である。(ほかにも加藤外3名小児保健・栄養実習書42頁、発育曲線、昭和47年第一出版がある。)

表2は昭和19年の日本男性の身長、体重、脈搏数の大統計表(栗山、吉永氏・本邦児童発育標準値)を基にしたものである。

以上の3つの統計表1、図2、表2について、次の事が知られる。

0~2歳児のうち、知恵熱を出す1歳児の前後に、身長、体重の(杉並西保健所の小統計では)波がある。図2参照。

各個体については、身長の伸びが少ないときには、体重が急に増し、身長の伸びが多いときには体重の増加が少くなる。(初期の充実期と伸張期)

統計の区画を0歳、0.5歳、1歳、2歳のように別けて、大統計をとると表2のような大きな波がでてくる。

* 対数的：桁数の多い数の÷算と×算を一算と+算に直すこと、つまり縮めること。例えば $10^{-6} \times 10^6 = 10^{-6+6} = 10^0 = 1$ の如し。

表 1

| | | | | |
|-----------|-------|------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| 菊池 | 乳幼児期 | { 初期充実期 0.5~1.5才 初期伸長期 1.5~2才 } | 大統計に現われる。 | 大統計による平均的経年変化 (有意) 図3参照 |
| ストラッ ツ | 中性児童期 | { 第1充実期 2~4才 第1伸長期張 5~7才 } | 大統計には小変化は現われない。 | |
| | 両性児童期 | { 第2充実期 8~10才 第2伸長期 10~15才 } | | |
| | 成熟期 | 弾力の増加期 | 16~20才 | |
| | 成人期 | 飽和期 | 21~28才 | |
| 菊池 | 縮減期 | 減衰期 | 34~60才 | |

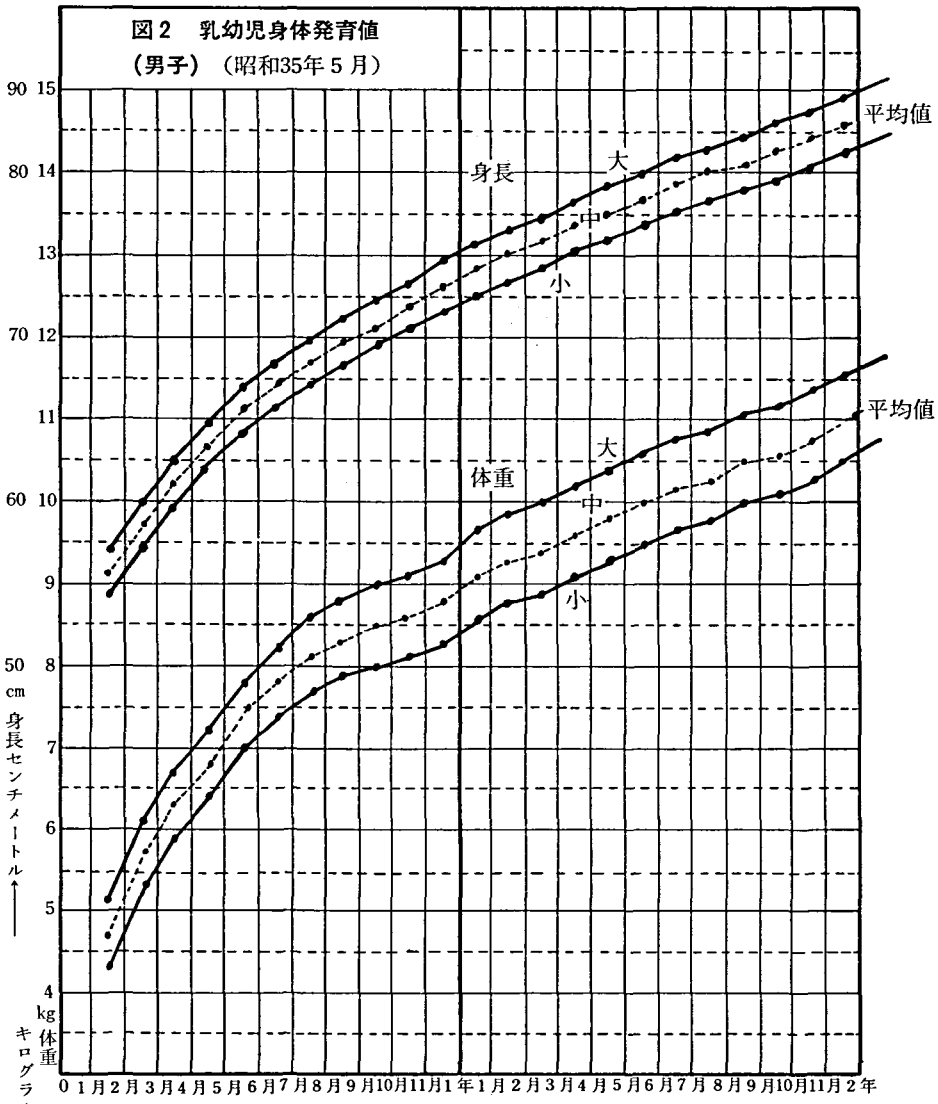


図2 0~2才児男子の身長と体重の小統計

2～15歳までの Stratz の 2 つの充実期と 2 つの伸張期の変化は、個人差が大きいので、表 2 の大統計上には波として現われていなかった。

日大國友教授の最近の調査によると、少年期における身長と体重との著るしい増加は、4～6月の春季に起るといふ。1歳児を中央とする干0.5歳児の初期充実期および1.5～2歳児の初期伸張期(菊池)⁽⁴⁾は、大統計の表 2 および図 3 の上に明瞭に存在した。

國友によれば昭和58年の今日では、日本人の思春期の始まりは男子で13～16歳に、女子で11～14歳に早まって早熟傾向になった。文部省の発育表による最近の青少年の身長、体重の増加は著るしいが、統計は18歳で止まっており、脈搏数が記されていない。従って本論文の計算に使用することはできなかつた。

3 人体のヤング率の経年的変化の計算方法

(ア) 人体の弾性ヤング率 e (人体のバネの強さ)*とは、重心長(足先から臍までの高さで身長約 $2/3$, h_0)が 100cm で、体重の 50kg がかった時には、横臥時の身長よりも $\Delta h = 0.667\text{cm}$ 縮むから、両足首の断面積の A を約 69cm^2 とし、

$$e = \frac{50\text{kg} \times 100\text{cm}(h_0)}{69\text{cm}^2 \times 0.667\text{cm}(\Delta h)}$$

$$= \frac{\text{体重} \times \text{重心長}}{A \times \text{縮長}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad [1]$$

$$e = \frac{50\text{kg} \times 150\text{cm} \text{ の重心長の人}}{69\text{cm}^2 \times 1\text{cm} \text{ の縮長}}$$

$$= 108.7\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ のヤング率となる。}$$

但し、人体のうちの筋肉の重さは 36～40% (1/3～1/2.5) である。⁽⁵⁾

荷重(kg)とちぢみ $\Delta h(\text{cm})$ とが、Hooke(フック)の法則に従い比例する限界を弾性限界と云い、上記の $108.7\text{kg}/\text{cm}^2$ の約 2 倍の値と仮定し体重 50kg の人は計算上なお 150kg の荷重を自分の臍のあたりの体の重心(足元から 100cm の所)まで持ち上げることが出来るが、その代りに重心長 h_0 は $\Delta h = 2\text{cm}$ (2%) ほど縮む。(フックの法則)

人体のヤング率 e は、鍛錬や神経の集中などによって大きくすることが出来る。鍛えられる部分

は筋、腱、靭帯の外、弾性軟骨、内臓、皮膚などがある。芝亀吉の物理常数表によれば、ヤング率 e (kg/cm^2) は、

象牙(骨): 900 生皮(張力): 150 (圧力): 90 川島⁽⁶⁾によれば筋肉: 5～6 である。

従って人体の等価ヤング率 e' (人体のみかけのヤング率)は、骨と骨格と腱、靭帯、筋肉、内臓、皮膚などから構成され、次の数式に使う。

(イ) 人体を電気モデルに擬した機械モデルとし、電気モデルに対比される機械インピーダンス(総合抵抗) z_t , 粘性抵抗 r_t , 弾性バネ抵抗 x_t , 重さ抵抗 m_t を設定する。接尾字 f は周波数依存を示す。接頭字 j の $-j$ は図面上は直角に下の方向に、 $+j$ は上の方向を示す。次式は人体を機械等価した場合の構造式で

$$z_t = r_t - jx_t + jm_t$$

総合マサツーバネ重さ

(人体の運動生態が現わされる) [2]

いま人体において、心臓搏動周波数 f をベースとしてリズムをとり、歩行などの軽い慣れた運動を行い、筋、腱その他の摩擦部分に十分な滑液を与えて、しなやかに動くと、機械抵抗 r_t は極小または 0 となるので

$$-jx_t + jm_t \approx 0 \quad (\text{身体の歩行特性) である。}$$

[3]

x_t は (人体ヤング率 e)/ $2\pi f$ (抵抗量オーム) であり、 m_t は $2\pi f$ (抵抗量オーム) である。 m は人体の総重量 m_0 のうち、この滑らかなリズム運動に参加する有効重量であつて、筆者はこれ

(4) 菊池志げ子、二歳児に与える環境の重要性について。上田女子短大紀要に昭和58年3月15日寄稿。

(5) 大島新治、図説人体の構造と機能、新思潮社、1980、118頁。

(6) 川嶋昭司、図説生理学の基礎、新思潮社、1982、93頁。

* 弾性ヤング率 e の外に、迂り (Shear), ねじれ (Torsion), 曲げ (Bending) など弾性剛性率 n_s, n_r, n_b などがある。生体に弾性が失われると浮腫(むくみ)を生ずる。脚気(かっけ)の場合、圧迫点が凹むのはその例である。即ち塑性 (Plasticity) が生ずる。

** 2π : 360° 角で、円を 1 周することを示す。

表 2 (昭和19年日本人男性)

| 項目 年齢 | 脈 搏 | | 身 長 | 重 量 | 複振子としての等価片腕長 | 複振子としての等価両腕長/身長 | 身体の等価ヤング率 | 筋肉の等価ヤング率 |
|----------|-------|----------------|------------|------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | バルス/分 | バルス/秒 | l_0 (cm) | M_0 (kg) | l' (cm) $=1.5l_{d.p}$ | $2l'/l_0$ | e'/A (kg/Acm ²) | $e'/40=e''$ (kg/cm ²) |
| 0 | 130 | 2.167 (ヘルツ) | 49.1 | 3.04 | 7.93 | 0.3231 | 24.500/A | 0.613 |
| 0.5 | 125 | 2.083 | 58.1 | 7.67 | 8.58 | 0.2953 | 51.100 | 1.278 |
| 1 | 113 | 1.883 | 73.2 | 9.17 | 10.50 | 0.2868 | 55.800 | 1.395 |
| 2 | 100 | 1.662 | 81.3 | 11.02 | 13.41 | 0.3298 | 52.500 | 1.315 |
| 5 | 96 | 1.600 | 100.3 | 15.65 | 14.55 | 0.2900 | 68.800 | 1.720 |
| 7 | 92 | 1.583 | 110.4 | 18.70 | 15.84 | 0.2870 | 75.500 | 1.888 |
| 10 | 88 | 1.467 | 124.6 | 24.80 | 17.31 | 0.2778 | 95.700 | 2.393 |
| 15 | 84 | 1.400 | 146.6 | 39.75 | 19.00 | 0.2592 | 133.700 | 3.343 |
| 22 | 76 | 1.267 | 165.0 | 53.50 | 23.21 | 0.2813 | 147.300 | 3.683 |
| 40 | 71 | 1.183 | 162.0 | 51.80 | 26.59 | 0.3284 | 124.500 | 3.113 |
| 60 | 66 | 1.100 | 160.0 | 50.00 | 30.77 | 0.3846 | 103.800 | 2.595 |
| 80 | — | — | — | — | — | — | — | — |

を M_0 の1/23であると仮定した。⁽⁷⁾ M は身体の運動部分の形 (丸い頭や水平にした腕) によって慣性(楕性)能率 I を用いなければならないが、歩行運動は簡単のため (頭や腕を回転しない) 重さだけの振動形とした。

$$2\pi r = \sqrt{\frac{e_r}{m_r}}, \quad e_r = (2\pi f)^2 m_r, \quad \text{kg/Acm}^2$$

(人体のヤング率) [4]

表2と図3では、昭和19年発表の日本人の平均の身長、体重/23、脈搏数の大統計表から[4]式を用いて計算したものである。(体重/23は片腕の重さと等しいが、ゆるやかな歩行運動では、この重さが四肢に分散して有効重量が出来たと考えられる。)

表2の右端の列の数字と、図3の左列の5.0kg/cm²、2.5kg/cm²の表示とは、等価ヤング率 $[e_r]$ のかかる無負荷生体の有効断面積全体 A を (23×40)cm²と仮定したもので、こうすれば、人体の筋肉の等価ヤング率 e'' の値と大体近くなる。⁽⁶⁾川嶋によれば $e'' = 5 \sim 6 \text{kg/cm}^2$ であるという。

本研究の方法を下記の運動形態に適用してみ

る。

身長175cm、体重75kgの日本女子バレーの選手が、生体バネ $[e']$ を使って75cmの高さに飛び上ってブロック・プレイをしたとする。

この場合、本計算方法によれば、その時のリズム周波数 f と体重 $M_0/23$ と等価ヤング率 $[e']$ だけが必要であって、その結果として跳躍の高さ h (その位置エネルギーは $M G_0 h$ (重さ M (kg) × 重力 G_0 × 高さ h (m) = xCal), 従って身長 l_0) が発生するのである。

この式に最もよく合う運動に重量あげがある。

いま、200kgの重量のバーベルを、リズムに乗っ

(7) 菊池志げ子、骨格を基準とした人体の固有運動について、人類学、人類遺伝学体質学論文集、昭和34年10月、67~68頁。

(8) 名大高木健太郎外1、改訂新版、生理学入門、昭和43年朝倉書店、151頁によれば、筋肉の効率を25%としておられる。そこで全身重量 M_0 と比較すると、運動に有効な筋肉の重量 M は M_0 の約1/11.5となる。その価は筆者のその1/23の2倍に当る。

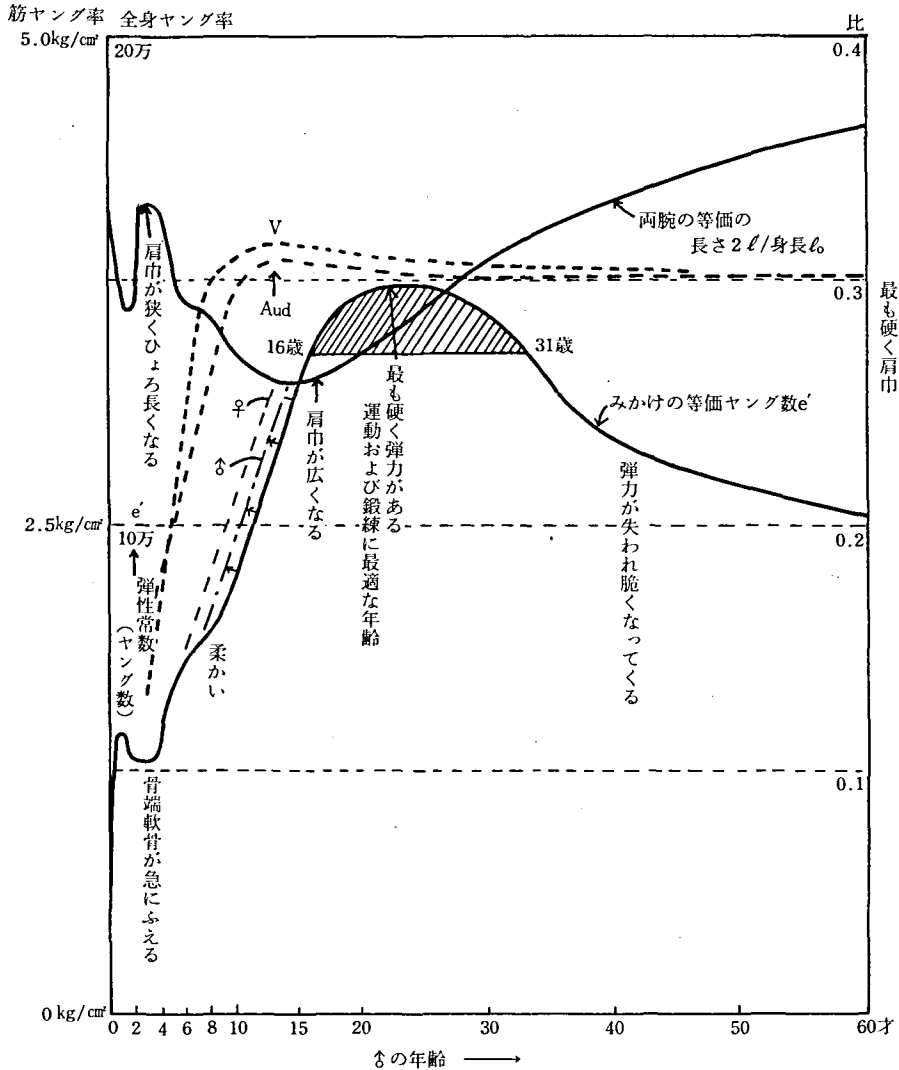


図3 人体ヤング率の経年的変化

→ 一気に持ち上げようとするとき、リズム周波数 f は心搏数 f_0 (約 1 Hz) の 4 倍となり、全身に $f = 4f_0$ のふるえが起る。これは筋肉に強縮 (Tetanus) を起したのであって、その時の人体の見かけのヤング率 e' は、有効断面積両足 A にかかり、次式の如く

$$e' = \frac{200\text{kg} \times (2\pi \cdot 4f_0)^2}{(23)} \text{ kg/Acm}^2,$$

$$f_0 = 1 \text{ Hz} \quad [5]$$

$$= 5.5 \text{ トン/Acm}^2 \quad (2, 3 \text{ 秒の短い間})$$

のように e' は大きくなる。(23) は 200kg の重さを体各部の筋肉に分担させたための分散値。更に重さを 20kg ふやして 220kg とすると、全身のふる

え (Jitter) は $5f_0$ と多くなると共に突然攣縮が起こり、ふるえが止まり、不応期に入る。筋肉の不応周波数は 30Hz (6)川嶋, 191~192頁) であるから、人体の全身不応周波数の 5Hz は、筋肉の不応周波数 30Hz の約 1/6 である。

この時の人体の見かけ (計算上) の極限ヤング率 e'_{Limit} は

$$9.41 \text{ トン/Acm}^2$$

である。この時人体は疲労と体内の潤いのなくなった滑液のため、筋肉等や内臓の機械的ブレーキ抵抗の r_i は大きくなる。(7)そして全身のふるえ、Jitter は止まり、 $5f_0 = 0$ となる。(バーベルは保持出来なくなる。)

表 3^{(6), p.48}

| | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|
| コマネズミ | 600~300/分=10~5 Hz | 興奮時や運動時にはこの数字の数倍早くなる。 |
| ダイコクネズミ | 250~150/分=4.2~2.5Hz | |
| 幼児(0歳) | 145~130/分=2.42~2.17Hz | |
| 成人 | 72~66/分=1.2~1.1Hz | |
| 象 | 30~25/分=0.5~0.42Hz | |

* 川嶋, 48頁その他から。

そのときの全身の運動重量 \mathfrak{M} は荷重重量の \mathfrak{M}_0 の1/23とすると,

$$0 = \sqrt{\frac{e'_r}{m'_r} - \left(\frac{r'_r}{2m'_r}\right)^2} \quad (\text{身体の不応期}) \quad [6]$$

不応期の機械抵抗 r_r は

$$\begin{aligned} r'_r &= \sqrt{4e'_r m'_r} \text{ kg/A'cm}^2 \\ &= \sqrt{4 \times 9410 \times 200} \text{ kg/A'cm}^2 \\ &= 2.744 \text{ トン/運動部の摩擦表面積 cm}^2 \end{aligned} \quad [7]$$

として計算される。この場合、選手の身長とか Barbell (バーベル) を投げ出した時の高さ h などには、あまり関係しない。

この計算方法に必要なものは、 r'_r 、 $2\pi f \mathfrak{M}_r = m'_r$ 、 $\frac{e'_r}{2\pi f} = x'_r$ の3要素だけである。表2と図3はこのようにして作られた。図3の♂と♀の破線は、近時人体の身長、体重の増加による補正曲線を示している。

4 人体の等価腕長の計算

歩行運動に際し、両腕を交互に心搏数に同調して振ってリズムカルに歩く場合を考える。上肢(上腕と前腕と手)は、肘関節に吊された等重量の分布(丸い棒のようなもの)の複振子(Compound Pendulum, c. p.)とする。その振子の周波数は、心搏数と等しいとする。心搏数は、その生物の大小によって、表3のように異なる。

いま肩から吊られた肘までの上腕部分は半固定され、肘から指先までの腕長約1/2 l の半分1/4(指先から)の所に重心があるとし、それを(細い糸に吊されたおもりの)単振子(Simple Pendulum, p.)として振れば、重心長は肘から指先の半分の所であるから $l_p = 1/4 l$ (単振子の長さ=1/4腕長)である。 [6]

但し l_p は次式から算出した。

(高年者の歩行の場合) $2\pi f_{old}$

$$= \sqrt{\frac{G_0}{l_p}} \quad (G_0 \text{ は地球の重力で } 980 \text{ cm/sec. sec.})$$

$$l'_{old} = 2l_p \approx (1/2) l \quad l = 4l_p \quad [7]$$

人体の等価腕長 l' は、腕全体に等重量分布があるとして、その l' は複振子の式から肘から先だけをとって計算すると

$$\text{成人の } l' = 1.5 l_{c.p.} \text{ となる} \quad [8]$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{乳幼児の } l' < 1.5 l_{c.p.} \\ \text{高年者の } l' > 1.5 l_{c.p.} \end{array} \right\} \quad [9]$$

0歳児より60歳までのすべての日本人男性の経年的等価腕長の大統計値を計算できるような、うまい式は見当らない。しかし上記[8]式を用いて、 l' を等価片腕長として、等価両腕長を

$$2l' \approx 3l_{c.p.} \quad [10]$$

として、表2および図3に示した。⁽⁹⁾(この方法を用いると体重の増える年齢と身長伸びる年齢が判る。(実際の両腕長は $3 l_{c.p.}$ よりも少し大きい。ということは、腕の振りは肘関節よりも少し上まで及んでいるからである。)

5 機械的抵抗と機械的弾性率について

運動選手はその体質として、機械的インピーダンス $z_r \angle \phi_r$ をもっている。それを分解すると $z_r \angle \phi_r = r_r - jx_r + jm_r$ ($\angle \phi_r$ は z_r の位相角) [11]

となる。ある種の運動を繰り返す、身体(筋肉等)を慣らすと、運動はなめらかになり(エネルギーの浪費は少なくなり)、機械的抵抗 r_r は小さくなる。他方鍛錬によって、身体(筋肉等)のバネの強さの抵抗に相当する x_r の項は大きくなる。ということは不要な水分や脂肪分を取り去って、人体コンデンサの容量 C を小さくして x を大きくす

(9) 菊池志げ子, 年齢別の日本人男性の等価弾性常

数および等価腕長について、人類学、人類遺伝学、
体質学論文集、昭和34年10月、101~103頁。

る、(筋骨を遅くする)ということである。これを式で示すと $1/2\pi C_{\text{等価}}x_f$ となる。

全身を使った大運動を行う場合には、 $x_f \approx m_f$ 、即ちバネの強さの抵抗 x_f に見合う重さの抵抗の m_f が必要である。すもう取りの場合、 $x_f \approx m_f$ とバランスのとれた力士は強いが、 $x_f \geq m_f$ の場合は弱い。

人体はリズムに乗った場合には、意外な能力を発起する。ある運動のリズム周波数 f の時に、総合インピーダンス z_f の位相 $\angle \phi$ の中心が常に0か小さくなるようにすること、換言すれば、人体の運動部分の x_f と m_f の値を同程度とし、互にその大きさを増減して、互にそのエネルギーをむだなくリズムカルに増減すること、である。

運動選手の必要条件は、相当大きな体重とバネ力があって、それがトレーニングによって、リズムと敏捷度をもつことである。敏捷度は電氣的に交流インピーダンス・アナライザを用いて、身体の運動部分の周波数特性を計ることによって求められる。⁽¹⁰⁾

この際、自己運動発電に対し、大運動量が流れて大きなエネルギーの消耗が起り、筋肉はグリコーゲンその他を消費する。

宇宙空間では、飛行士はその全身的運動時、バネの項の $-jx_f$ に対抗する体重の項の $+jm_f$ が無重力の為に失われるので、運動は困難する。(慣れが必要である。慣れとは重力抵抗の代りに慣性抵抗を上手に使うことである。)

宇宙飛行士が静止していても、身体内部では口の咀嚼運動、胃、腸の蠕動なぞの外、心臓搏動や呼吸運動、血行等があって、血流や排泄なぞに多少の変調を生ずるとのことである。

6 表2と図3の説明

図3(表2)は、人体のヤング率 e' の経年変化を、昭和19年の日本人男性の大統計の中の体重と心搏数を使って計算した場合を示したものである。

それから約40年後の今日では、事情が変わってきた。例えば最近の日本人は、7~11歳で器用さが、

12~14歳で粘り強さが、15歳で身体の強さが増加するといわれた。(昭和58年3月27日夜7時半、

NHK 教養番組の放送、厚生年金病院、森健男氏)

同NHK放送3月20日の面白ゼミナールにおいて日本大学の國友教授は現代の日本の少年少女は男13~16歳、女11~14歳で思春期を迎え、蛋白質の摂取量も毎日男85g、女80gを要するとの事である。従って国民の栄養の向上その他、環境の変化に伴い、早熟傾向となっているので、上記日本人男性の経年の等価ヤング率 e' の曲線は、もっと左の若年側に移されるべきである。図3の♂の補正破線曲線参照。

それと同時に、日本人女性の e' 曲線も設定し、日本人男性の e' 曲線の左側に早熟的に記すべきである。図3の♀の補正破線曲線参照。

日本人の可聴度(図3のAud, Audibility)曲線についても、生体のバネの強さ e' 曲線とよく似ている。

日本大学の富田寛教授は、20年来、人体の可聴度Audの研究を行い、40歳代からは8,000Hz以上が、そして最近80歳代からは500Hz以上が難聴域に入るとされた。

乳幼児の聴力は、新生児-90~-60dB、1カ月-50dB、3カ月-40dB、6カ月-30dB、1年-20dB、3年-10dB、やがて0dBになる。音源は懐中時計。⁽¹¹⁾

胎児でも、既に羊水中を通過して聞こえる母の心臓音その他外部から来る低音に対し(80歳代の高年者程度の)、可聴度があることが最近報告されている。古くからは、10~12歳の少年時には20,000Hzの超高音が可聴であるとされている。図3のAud.曲線は、それらのデータを勘案して作った。

記憶細胞に充電する電圧Vは6~12歳の時期を以てピークとされる。その時期に印加(Impress)された強い印象は計算上は150年保つという。

普通記憶してから再生できるまでの時間を忘却曲線という。高齢者が今聞いたことはすぐ忘れる→

(10) (2)と同じ

(11) 加藤静子外3名、小児保健・栄養実習書、昭和47年、第一出版、66頁。

→が、昔記憶したことはおぼえている。これは記憶細胞に充電する電圧 V が経年的に下降するからである。図3の V 曲線参照。 V が下がると頭脳コンピュータも働かなくなり、識別、判断、計算、決断、勇気、計画等の諸機能は低下し混乱することがわかる。

7 老人の歩行姿勢について

成人人体には、約60兆個の細胞があるが、そのうちの脳細胞は約140億個あるという。人体の老化期には、脳細胞は日に日に30万個ずつ減少し、遂には80億個になる(亀山正邦)。記憶メモリ素子細胞に印加する充電電圧も記憶力が最大となる6~12歳児の半以下となり、忘れっぽくなる。

高齢者の頭部(脳頭蓋、顔面頭蓋)は、成人期にくらべ小さくなる。骨内のカルシウム分は減少し(折茂肇)、身長は減少し、肩幅は狭くなり、ねこぜ、腰曲りとなる。ふだん使用している為に比較的縮退の少い両手だけは、胸部に対して相対的に長く見え、歩行時にはそれがダラリと下がって前後に振られながら、下肢の歩行をうながす。

高齢者は、身体各部に体液が十分に充たされず乾からびて身体各部の摩擦抵抗力 r は大きくなり、しなやかさやなめらかさを失い、その行動はギクシャクする。遠距離を歩くと、膝蓋骨(膝関節の前面にある直径4 cmほどの不規則円板状骨)部分の比重1.018の滑液の粘性は高まったり、滑液が消耗したりして、痛みを訴える。

8 結 言

人体の重量と心搏数からの計算より、人体の機械的弾性ヤング率(人体のパネの強さ)の日本人男性についての経年的変化を計算したが、かなり実際の状況と合うようであった。(幼児では柔らかく、青年では硬く、老年ではもろい。)

他方、日本大学工学部の渡辺直隆氏との共同研究によって、人体を一種の交流抵抗体と見做して、インピーダンス分析器を用いた人体皮膚表面からの測定により、生体の静止状態の下での受動的な電気モデルの等価ヤング率($1/\text{コンデンサ } C$)や交流抵抗 R を得た。⁽²⁾

この電気モデルの抵抗 R とヤング率 $1/C$ とは、自ら生活発電する能動的な人体の機械的抵抗 r と機械的ヤング率 e とに相関するものである。

その際、電気モデルから、電気測定により、人体又はハムスタ(コマネズミ)などにも敏捷度というものがあり、人間にはこの敏捷度(運動時における応答の速さ)にも経年的変化のあることを確めた。

人体の両腕長/身長にも大きな経年的変化のあることを、日本人男性の身長と脈搏数の大統計から、複振子の理論を用いて導き出した。

それによると、両腕長/身長は乳幼児期には小さく、頭でっかちのダルマ型となって転び易い。

それに反して高齢者では逆に両腕だけが長く、運動性能は悪くなり、球を投げても遠くには届かず、歩行のとき、ねこぜ、腰まがりとなり、腕を振ってそれで漕ぐようにして歩行する。これがいわゆる老人の歩行姿勢である。

人体の筋肉の弾性ヤング率 e は 1 cm^2 あたり $5 \sim 6 \text{ kg}$ 、皮膚は $90 \sim 150 \text{ kg}$ でその約20倍、骨質は 900 kg で又その約10倍から成る。生体はそれらと腱、靭帯、内臓等を総合して、対数的又は準対数的に大きな運動から小さな細い運動まで可能である。高齢者は体内の機械的摩擦抵抗 r がふえ、ヤング率 e の低下が見られ、重労働や大運動は不可能となり、機敏度は低下し、また運動を支配する脳力の低下によって、容易な運動も実行できなくなる。歩行姿勢も老人特有な形が現われ、充実感が失われる。

昭和58年4月27日

附 言

この論文を題出したあと次の文献が出た。参考になるので下に記する。

日本老年医学会雑誌、昭和58年9月、405~409頁、
図1 手指巧緻動作における加齢(15才~85才)の影響
江藤文夫：東京大学医学部老年病学
原澤道夫：同上
平井俊策：群馬大学医学部神経内科