

特集：体力測定法の再検討

# Health Related Physical Fitness Test としての 体脂肪量の測定法

北川 薫 高見 京 太  
宮城 修 桜 井 佳 世  
小川 勝 之

# Health Related Physical Fitness Test としての 体脂肪量の測定法

北川 薫\* 高見 京太\* 宮城 修\* 桜井 佳世\* 小川 勝之\*

## 1. はじめに

脂肪量の測定方法は、大別して全身の脂肪量と局所の脂肪量(厚)を求める方法がある。そして、両者を結びつける、局所の測定値より全身の脂肪量を推定する方法が一般には普及している。

全身の脂肪量の測定方法には密度法<sup>4)</sup>、カリウム法<sup>6)</sup>、水分法<sup>1)</sup>、などがある。これらのうち、測定の簡便さと理論的裏付けの確かさから密度法がもっとも普及してきているとともに、密度法はキャリパー法<sup>2)</sup>、BI(インピーダンス)法<sup>12)</sup>、近赤外線法<sup>5)</sup>といった局所よる簡便法による全身の身体組成推定の際の基準となっている。世界的にみても身体組成研究のほとんどは密度法にて行なわれている。とはいえ、密度法には、その根幹に関連して少なくとも3つの問題点がある。それらの問題点とは、いずれも身体密度からの体脂肪率算出式についてである。算出式として広く用いられている式に Brožek らの式<sup>3)</sup>がある。その案出にあたっては白人の成人男性の資料を用いているため、黄色人である日本人への適用の是非が第1の問題点である。第2は、密度法成立の大前提となる、除脂肪体重の密度の一定性が発育期にある者や高齢者では異なることである。Brožek らの式の利用にあたっては、この点は特に重要である。第3は、骨密度に性差があることから Brožek らの式を女性に適用することの問題点である。こうした問題点を解決するために Lohman<sup>11)</sup> は身体密度に水分とミネラル容量を加えた体脂肪率算出式を提示している。

以上のような問題点があるものの、密度法は現状では最善の方法と考えられる。20年余にわたって密度法にて身体組成研究を続けてきた北川を中心に、

身体密度の測定および推定に関して筆者らが行ってきた検討内容を以下にまとめることとする。

## 2. 新型水中体重計の開発

密度法にて体積を測る方法には図1に示したように2つある。1つは連通管を用いた水置換法(water displacement method)と水中での体重を測る水中体重秤量法(underwater weighing method)である。いずれもヒトが中に入るだけの大きなタンクを必要とする。前者はヒトが水中に入ることにより増加する水の量を測る方法である。体積を測る方法としては、いわば正面からの取り組み方である。しかし、この方法は増加した水量を高い精度で測ることのむずかしさがあり、現在ではあまり用いられることはない。一方、後者はアルキメデスの原理に基づく方法である。水中での人体は体積に相当する水の圧力、即ち浮力を受けることから、空中での体重と水中での体重との差から体積を求める方法である。密度法といえ、ほとんどはこの方法がとられている。

さて、今から5年程前、圧力センサーをはじめとする計量測定では世界屈指のメーカーより、水中体重秤量計作成の研究依頼を受けた。拙書<sup>8)</sup>を読み、その会社の技術を生かすことのできる分野と考えてのことであった。このような体重計を市販することなど考えたこともなかった筆者らにとっては望外の展開であった。

水中体重秤量法の測定でヒトの体積をできるだけ正しく測るためには少なくとも3つの問題点がある。第1は空中での体重測定である。最小単位20gの精度での測定が要求されていたが、その決定は30年以上も前のことであり、現在では比較的安い価格でこの程度の精度をもった体重計を手に入れることができるので、今では大した問題ではない。第2は水中体重の測定である。北川は初めからロードセル

\*Kaoru Kitagawa, Kyota Takami, Osamu Miyagi, Kayo Sakurai and Katsuyuki Ogawa—中京大学体育学部

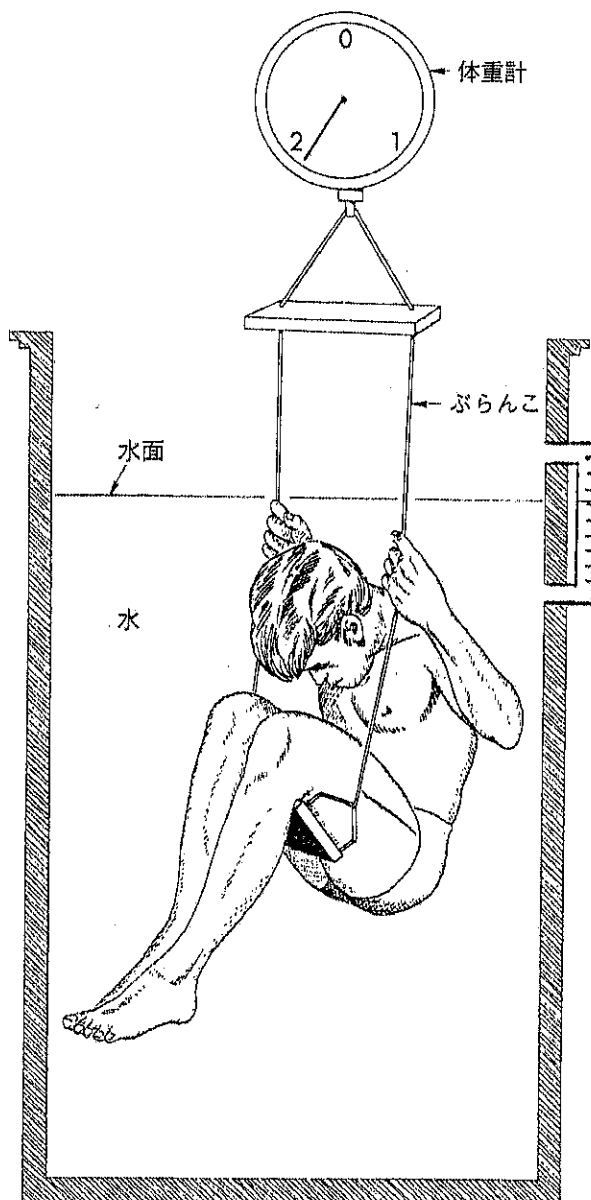


図1 水中体重法と水置換法によるヒトの体積の測定。

を用いて 10g 単位の精度で研究をすすめてきたが、アメリカの研究者で今もってバネ秤を用いている者もいるが、精度の点でバネ秤の使用はやめた方がよい。以上のように体重の測定については今日では大した問題はない。問題となるのは水槽であろう。第3は体内に存在する空気量の測定である。水中体重の測定は肺の空気を最大呼出して行なうが、それでも呼出できない残気量がある。ただし残気量は然るべき方法で測定できるが、測定が大変にむずかしいのが腸内ガス量である。その量は体調により大きく変動するため、量の確定がむずかしい。研究者によっては、一律に 100ml としている者もいるが、

筆者らは不確定な量を計算に入れる必要はないと考え、腸内ガス量の補正を行なっていない。

筆者らの考え方の基本には、水中体重秤量法を普及するには水泳用のプールを利用することがあった。そのため問題点は3つあった。かつて、プールを用いた測定操置の報告はされてはいる<sup>7)</sup>が、あまりに原始的である。筆者らの開発計画では高い精度の測定器を用いるため、簡便で堅固であり、かつ組み立ての簡単なフレームの作成が必要であった。これが意外に大変であった。次の問題点はプールの水温であった。プールの水温はスイミング教室では約 30℃である。研究室での測定時水温は 37℃であるため、プールの低い水温では十分な測定ができない恐れがあった。さらに、近くで泳ぐスイマーの起こす波や水の乱れが水中体重の測定に与える影響の有無の確認をする必要があった。

約2年間程、従来のように上部から水中体重計あるいはそのセンサー部分を吊り下げる方法で検討してきた。そのためには、前述したフレームの作成が不可欠であった。しかし、プールで従来の方に行うのとは大変にめんどうであった。そこで発想を転換し、水中体重計を文字でおり水中に置く体重計とすることにした。防水に関する問題があったが、完成したのが図2に示した水中体重計であった。

測定値に与える水温の影響については男子9人、女子3人の青年を被検者として 27℃、30℃、32℃、36℃の水温での水中体重、残気量の測定を行ない身

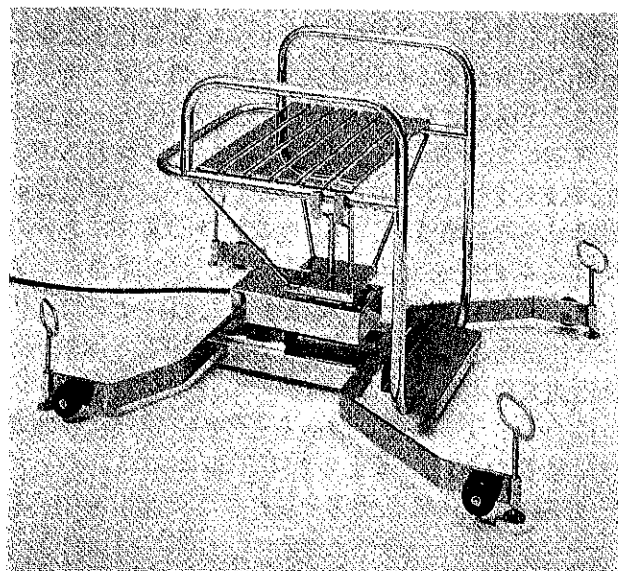


図2 新しく開発した水中体重計(エー・アンド・デイ製作)

表1 水中体重秤量法による4種の水温での身体組成測定比較

水温 (°C)	身長 (cm)	体重 (kg)	水中体重 (kg)	残気量 (l, BTPS)	体積 (l)	身体密度 (g·ml <sup>-1</sup> )	体脂肪率 (%)
27	169.2 (7.8)	63.81 (7.80)	2.74 (0.95)	1.45 (0.33)	59.86 (6.97)	1.0656 (0.0159)	14.8 (6.4)
30	169.2 (7.8)	63.81 (7.80)	2.94 (0.90)	1.40 (0.35)	59.74 (7.29)	1.0673 (0.0158)	14.0 (6.4)
32	169.2 (7.8)	63.81 (7.80)	2.98 (0.88)	1.38 (0.34)	59.75 (7.00)	1.0671 (0.0143)	14.1 (5.8)
36	169.2 (7.8)	63.81 (7.80)	3.06 (0.91)	1.39 (0.34)	59.75 (7.00)	1.0671 (0.0149)	14.1 (6.1)

値は平均値とS.D.

体組成を求めた。その結果は表1に示したようになった。水中体重が水温の上昇につれ有意に増加していくこと、そして残気量は27°Cの値が有意に大きい結果となった。特に、27°Cの水中では全員の被検者が測定中に寒さを感じてリラックスできなかったという。このことが水中体重を小さくし、残気量を大きくした一因となったことはまちがいない。次いで水の密度の値を用いてみかけの体積を求め、残気量を減じて体積を算出してみたところ、27°Cのみが有意に大きな値となった。そのために身体密度は小さくなり、体脂肪率は大きくなった。以上の結果より水温は少なくとも30°C以上が必要とされることが分った。しかし、30°Cでは依然としてまだ寒さを感じてリラックスできない被検者もいたことから、少なくとも32°C以上の水温が望ましいことが分った。もっとも32°Cはプールの水温としてはいささか温度が高いのであるが。

また、プールでの測定における泳者の影響について検討した。上端が水面下約80cmに設置した水中体重計の隣のコースを大学水泳部員に全力で泳がせ、被検者測定時の記録に及ぼす影響を、一方では水中体重計周辺に浮きを設置してその動きを観察窓からのVTR撮影により、水の乱れの有無を調べた。その結果より、隣のコースを泳ぐ泳者の影響は水中体重の測定には影響しないことを確認した。

プールでの測定で最後に問題となるのは残気量の測定である。筆者らは昔より純酸素の再呼吸法により残気量を測定しているが、市販されている測定器はヘリウムを用いる方法である。十分な測定設備やスタッフのととのっている研究室ならよいが、プールを主体とする施設では残気量測定装置を保有する

ことはほとんどない。したがって、精度の高い残気量推定式を利用するのが現実的である。しかし、これまでに報告されている推定式の精度は十分とはいえない。そこで、この新型水中体重計の開発にあたって筆者ら独自の残気量推定式を作成することにした。被検者は男子が20才~58才の者107人、女子が20才~58才の者126人であった。いずれも年齢と身長を独立変数として残気量との間に得られた相関関係は男子が $R=0.536$ 、女子が $R=0.537$ であった。満足のいく精度ではないが、これまでに報告されている幅広い年齢層についての推定式と比較して若干高い精度である。

新型水中体重計の開発にあたっての筆者らの関与は概ね以上のものであるが、体重計のシステム全体としての主な特徴は次のようになる。

- ①従来の吊り下げ式に比べ、被検者は把手を握ることによりからだの固定ができ、被検者と検者の双方にとって測定にかかる負担は大きく軽減された。
- ②把手を握ることにより生ずるふるえは、フィルター回路によりカットした。
- ③諸データを入力することにより、ただちに身体組成諸項目を演算できるプログラムが作成された。
- ④残気量の測定ができない場合、筆者らが作成した推定式を利用できるようにした。
- ⑤座位姿勢を腹ばい姿勢に変えることにより、浅い水中での測定ができるようにした。

### 3. 局所からの全身の身体組成の推定

#### 1) キャリパー法

身体密度の推定法として、キャリパーによる皮指厚\*を用いた推定式<sup>2)</sup>がもっとも古い歴史をもつ。キャリパーは比較的安価であり、かつ使用の簡便な皮下脂肪厚推定器として広く普及してきている。しかし、一方では検者間での測定値の差異が大きいなど、測定にかかわる欠点もいくつか指摘されている。さらに、日本人を対象とした推定式である *Nagamine* と *Suzuki* の式<sup>13)</sup>は、もともとが20才代でスポーツを特に行っていない青年を対象とした推定

\*キャリパーにより皮下脂肪厚 subcutaneous fat thickness の測定はできない。キャリパーにより測定しているのは skinfold thickness であって皮膜厚である。後述する超音波測定器では皮下脂肪厚の測定が可能である。本稿では、キャリパーでの測定を皮指厚と称し、ほんとうの皮下脂肪厚とは区別する。

表2 キャリパーによる皮脂厚等からの身体密度の推定

測定項目	R
男子	
皮脂厚(腹部、側胸部)、年齢	0.831
皮脂厚(腹部、側胸部、胸部)、年齢	0.872
皮脂厚(腹部、側胸部)、臍位腹囲、年齢	0.856
皮脂厚(腹部、側胸部、胸部)、臍位腹囲、年齢	0.878
皮脂厚(腹部+側胸部)、臍位腹囲、身長、体重、年齢	0.867
<hr/>	
Nagamine & Suzuki の式 <sup>13)</sup> 皮脂厚(肩甲骨下部+上腕背部)	r=0.746
女子	
皮脂厚(肩甲骨下部、側胸部)、年齢	0.824
皮脂厚(肩甲骨下部、側胸部、腹部)、年齢	0.831
皮脂厚(肩甲骨下部、側胸部)、臍位腹囲、年齢	0.840
皮脂厚(肩甲骨下部、側胸部、腹部)、臍位腹囲、年齢	0.846
皮脂厚(肩甲骨下部+側胸部)、臍位腹囲、身長、体重、年齢	0.839
<hr/>	
Nagamine & Suzuki の式 <sup>13)</sup> 皮脂厚(肩甲骨下部+上腕背部)	r=0.745

男子：20才～59才 n=200、女子：20才～59才 n=200

式であるにもかかわらず、広汎な年齢層の者やスポーツ選手にまでも適用されている。北川<sup>9)</sup>はそのような汎用性がその式にはないことを明らかにしているばかりでなく、推定式としては精度が十分ではないことを、その後の推定式研究の流れとの関連で指摘している。

このような研究上の欠落に対し、筆者らは長崎および弘前に研究の拠点を置く研究者とともに日本人のデータを収集した。そして20才～59才の成人に適用できるいくつかの推定式を作成したが、紙数に限りがあるため詳細はこれから発表する論文を参照して頂きたい。推定式は皮脂厚および年齢と形態計測値を組み合わせて作成されているが、いくつかある推定式の精度の一部を相関係数にて表2に示した。なお、この推定式の作成にあたっては検者間の測定誤差も考慮しており、普遍式(generalized equation)としての価値が高いと考えている。

## 2) 超音波法

筆者らはかつてAモードによる超音波測定器を用いて皮下脂肪厚の測定をしたことがある。その際、問題となったのがプローブを当てる方法であり、かつまた表示された棘波のどこを測定値とすればよいのか、の2点であった。要するに、測定しているのが何かを確認できないことが問題であった。結局、

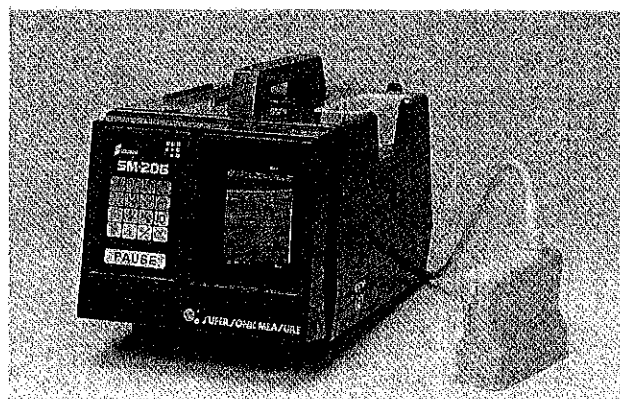


図3 全身の身体組成推定式を内蔵したBモード超音波測定器(誠鋼社製作)

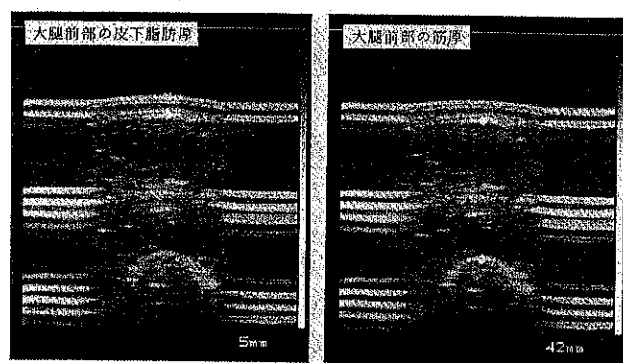


図4 Bモード超音波測定器による皮下脂肪厚と筋厚

その測定器を十分に活用することができなかった。その後、小型で比較的安価であるBモード測定器(図3)のメーカーから、その利用方法の開発についての研究依頼があった。その測定器では図4に示したような画像より、目視によってカーソルを移動させ1mm単位で皮下脂肪厚を測定することができる。したがって、Aモード測定器の欠点をこの測定器では解消できた。しかし、勿論のこと問題点はある。第1点は測定部位の確定である。同一様の部位であっても、正しく同じ部位でなければ測定値の比較はできない。しかし、この問題点は局所を測定するなどの簡便法もがもつ問題点でもある。マニュアルにてきちんと説明する以外に方法はない。第2点はプローブの当て方である。強く圧迫しないで測定できる練習が必要である。

超音波測定器による皮下脂肪厚の測定は、キャリパーの測定とは比較にならないほど、検者間の測定誤差も含め高い精度で皮下脂肪組織の厚さを明らかにすることができる。そのうえで、全身の身体組成をも高い精度で推定できればスポーツや健康の指導現場での有効性は極めて高いものとなる。そこで、

表3 Bモード超音波測定器による皮下脂肪厚等からの身体密度の推定

測定項目	R
男子	
皮下脂肪厚(上腕背部、側胸部)、臍位腹囲、体重、年齢	0.902
皮下脂肪厚(上腕背部、大腿前部)、臍位腹囲、体重、年齢	0.890
皮下脂肪厚(側胸部、大腿前部)、臍位腹囲、体重、年齢	0.916
女子	
皮下脂肪厚(上腕背部、側胸部、大腿前部)、臍位腹囲、体重、年齢	0.856
皮下脂肪厚(上腕背部、下腹部、大腿前部)、体重、年齢	0.852
皮下脂肪厚(上腕背部、大腿前部)、臍位腹囲、年齢	0.844

男子：20才～56才 n=88、女子：19才～56才 n=92

この超音波測定器に、皮下脂肪厚や年齢などを用いた身体密度推定式を作成してプログラムに組み込むことにした。作成されたいくつかの推定式の精度の一部を相関係数にて表3に示した。なお、この測定器にて図4に示したように筋厚の測定ができる。皮下脂肪厚とは異なる研究上の展開が可能であろう。

### 3) MRI法

MRIはCTとならび画像診断での最右翼の測定法であり、身体組成研究においては極めて魅力的な測定器である。しかし、必要とされる設備や撮影経費からすると簡便な身体組成測定法として普及させられる性格の測定器ではない。とはいえ、MRIやCTによる画像が全身の脂肪量とどのような関係にあるかを明らかにしておくことは重要なことと考え、Kitagawaら<sup>10)</sup>は大学陸上競技部の男子投擲選手18人を対象に研究を行なった。測定部位は腹部と大腿部であってMRIにて皮下脂肪厚と皮下脂肪面積を、キャリパーにて皮脂厚を、Aモード超音波測定器で皮下脂肪厚を測定した。そして、密度法で求めた全身の脂肪量との関係を検討したところ、同一部位での皮下脂肪厚および皮脂厚では両部位ともにMRIがもっとも高い相関関係を示した。また、MRIによる皮下脂肪厚および皮下脂肪面積と全身の脂肪量との関係をみると、皮下脂肪面積が両部位ともにより高い相関関係を示した。

限られた被検者の測定結果ではあるが、MRIの機能としてもっとも特徴的である面積の測定が、厚さの測定よりも全身の脂肪量とより高い相関関係にあることが分った。このことからMRIが全身の身

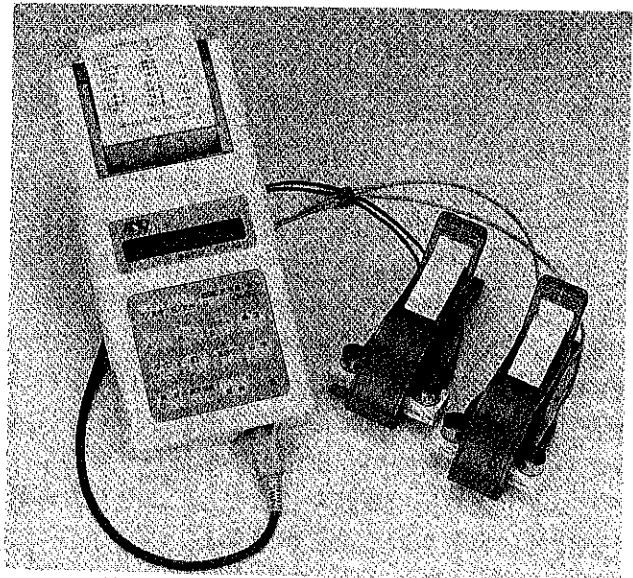


図5 BI法による全身の身体組成小型測定器(エー・アンド・デイ製作)

体組成を推定する有効な方法となることが考えられる。

### 4) BI(インピーダンス)法

BI法は簡便な身体組成推定法として普及してきている。筆者らにも、当時すでに市販されていた測定器の精度検討依頼があった。数ヶ月にわたって検討したが、BI法は何を測定しているのか分からないのが検者としてもっとも強く感じた問題点であった。その問題はまた理工学部でインピーダンスを研究している専門家によっても指摘されていた。筆者らなりの検討の結果では被検者の姿勢と測定時刻が測定値に大きな変動を与えることが分った。とはいえ、密度法にて求めた体脂肪率とその測定器に表示される体脂肪率との間には男子(18才～53才、31人)で $r=0.717$ 、女子(18才～44才、22人)で $r=0.808$ の相関関係が得られ、NagamineやSuzukiの式を用いたキャリパーでの測定と同程度の推定ができることを確認した。

その後、他のメーカーから、BI法の工学的原理は極めて簡単なので既存の測定器より安価で小型の測定器を作成したいとの相談がもち込まれた。完成したのは図5の測定器である。この測定器に組み込んだのは20才～56才の男子81人、19才～56才の女子89人の測定結果より作成した身体組成推定式である。その精度は全身の脂肪量とは男子が $r=0.813$ 、女子が $r=0.915$ であり除脂肪体重とは男子が $r=0.865$ 、女子が $r=0.814$ である。

## 4. おわりに

現状では、脂肪量の測定法のもっとも一般的な方法は水中体重秤量法による密度法であると考えてよい。そして、密度法を基準とした、いわゆる簡便法にはいくつかの方法があるが、それらの利用にあたっては密度法のもつ制限を受けることは当然のことである。さらに、間接法では用いられている推定式がどのような状態の被検者の測定により作成されたかが、その測定器の精度を考えるうえで重要な意味を持つ。簡便法の利用にあたっては、単に簡便さばかりに気をとられてはいけない。測定方法を正しく修得し、そして推定式の適用範囲を知ることにより、得られた測定値に信頼を置くことができる。

## 文献

- 1) *Behnke, A.R.*, et al.: Lean body mass. Its clinical significance and estimation from excess fat and total body water determinations. *Arc. Internal. Med.*, 91: 585-601. 1953.
- 2) *Brožek, J.* and *A. Keys*: The evaluation of leanness-fatness in man: norms and interrelationships. *Br. J. Nutr.*, 5: 194-206, 1951.
- 3) *Brožek, J.*, et al.: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140, 1963.
- 4) *Buskirk, E.R.*: Underwater weighing and body density: A review of procedures. In *Techniques for Measuring Body Composition*, edited by *J. Brožek* and *A. Henschel*, National Academy of Sciences National Research Council, Washington, D.C., 1961, pp. 90-106.
- 5) *Conway, J.M.*, et al.: A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am. J. Clin. Nutr.*, 40: 1123-1130, 1984.
- 6) *Forbes, G.B.*, et al.: Estimation of total body fat from potassium-40 content. *Science*, 133: 101-102, 1961.
- 7) *Katch, F.*, et al.: Estimation of body volume by underwater weighing: description of a simple method. *J. Appl. Physiol.*, 23: 811-813, 1967.
- 8) 北川薫：肥満者の脂肪量と体力。杏林書院，東京，1984.
- 9) 北川薫：身体組成とウエイトコントロール～子どもからアスリートまで～。杏林書院，東京，1991，pp. 20-32.
- 10) *Kitagawa, K.*, et al.: A comparison of magnetic resonance imaging, skinfold caliper and ultrasound, and their total body fat assessment in varsity male throwers, *中京大学体育研究所紀要8* (印刷中).
- 11) *Lohman, T.G.*: *Advances in Body Composition Assessment*. Human Kinetics Publishers Inc., Champaign, 1992, pp. 22.
- 12) *Lukaski, H.C.*, et al.: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurement of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, 41: 810-817, 1985.
- 13) *Nagamine, S.* and *S. Suzuki*: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, 36: 8-15, 1964.