近赤外分光法による体脂肪測定

沢井史穂 白山正人 武藤芳照 宮下充正

ESTIMATION OF BODY FAT BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPIC TECHNIQUE

SHIHO SAWAI, MASATO SHIRAYAMA, YOSHITERU MUTOH
and MITSUMASA MIYASHITA

Abstract

Near infrared spectroscopy has been used to determine the chemical composition of food stuffs, i. e., the protein, fat, and moisture content. Recently in the U. S. A. this technique was applied to the estimation of human body composition, and a portable instrument was developed. This study was designed to determine the prediction equation of body fat for Japanese people. 69 men and 52 women, aged 18 to 58 years, covering a wide range of percent fat levels, physiques, physical activity levels, had body fat estimated by hydrostatic weighing (HW), skinfold thicknesses (SF) and near infrared spectroscopy. Near infrared interactance spectra were measured on the anterior midline of the biceps halfway (between the antecubital fossa and acromion), the spectral data from which gave best correlation with HW and SF compared the other sites, using the wavelength of 947 nm. The spectral values and percent fat values obtained from HW about 1/2 of subjects were used to develop a prediction equation. This equation was then used to predict % body fat of the other 1/2 subjects. The correlation coefficient between % body fat as predicted by the near infrared method and as predicted by the HW technique was 0.88 ($p < 0.001$, SEE=3.2). This correlation value was similar to the value between % body fat as predicted by HW and as predicted by SF. In the American data, the correlation coefficients were higher when the other variables were added; height, weight, age, but in the Japanese they did not almost change even when the other variables were added. There was not a difference between the spectra of right and left arm values. In the results, the prediction equation of % body fat for the Japanese population was determined as follows:

% body fat = $54.14 - 29.47 \times (\text{the spectral data at } 947 \text{ nm})$ ($r = 0.88$, $p < 0.001$, SEE=3.2)
(for right arm).

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1990, 39: 155~163)

key words : near infrared spectroscopy, body fat

I. 緒 言

ヒトの身体組成には、個体差はもとより、性、年齢、人種、実施している運動種目の違いによっても明らかな差が認められる^{6,7,15,16,23,29,30}。身体組成を測定することは、基本的情報として身体の成分を知るという意味に加え、運動能力を筋量に依じて正当に評価したり、肥満の判定をしたりす

る上で有用である。しかし、生きたヒトの身体組成を直接測定することは現在の測定技術では不可能であるので、間接法を用いざるを得ない²⁵。現在行われている主な測定法には、体密度法（水中体重法^{15,20}、水置換法²¹）、体水分法（D₂O法¹⁸）、TOBEC法²⁴、BIA法¹³など）、体内カリウム法³¹、体内窒素法¹⁷、体内カルシウム法²、クレアチニン法¹⁶のほか、局所の身体組成の測定として、皮

脂厚法^{21,22)}, X線法¹⁶⁾, CT法²⁷⁾, 超音波法^{8,9)}などがある。また、皮下脂肪厚や人体計測値から体水分量や体密度を推定する予測式^{14,21,28)}も開発されている。これらの測定法それぞれに、西岡²²⁾の挙げる測定方法としての条件, “妥当性 (推定誤差), 信頼性 (測定者内誤差), 客観性 (測定者間誤差)” を照らし合わせてみると, 妥当性が高いとされる方法は, 大規模な設備や測定者の技術が必要であるためにフィールドワークには不適当である。一方, 皮脂厚法のような簡便な方法は, 妥当性が低くなり, 信頼性, 客観性にも問題点が挙げられるが, 実用性, 経済性には富んでいる。このように各方法は長所, 短所を兼ね備えており, 最適な測定方法を限定することは困難であるため, 測定の目的に応じて方法を選択・併用しているのが実状である。

ところで, 近年 Conway ら^{3,4)} は近赤外分光法をヒトの体脂肪の測定に導入した。測定 の 原理は, 有機化合物が近赤外域に特有の吸収帯を持つことを利用し, 近赤外線を試料に照射したときの吸収スペクトルを分析することにより, その物質の組成を定性・定量化するというものである^{2,10,11,19)}。図1に示すように, 純粋な脂肪と水分はそれぞれ 930 nm と 970 nm の波長に特有の吸収帯を持ち, 体脂肪の多い者は脂肪の吸収帯にスペクトルの大きなピーク値が現れている (図2)。そこで, 特定の身体部位における近赤外スペクトルを得ることにより体脂肪率を推定しようという意図で, 携帯用測定器がアメリカで開発された。この測定器 (FUTREX 社製 FUTREX-5000 TM) の妥当性の検討は, アメリカの HUMAN PERFOR-

図1. 純粋な脂肪と水分から得た近赤外スペクトル (Conway, et al. 1984)

図2. 体脂肪率の異なる被検者における近赤外スペクトル (Conway, et al. 1984)

MANCE CENTER をはじめとして行われ, 他の身体組成測定法 (D_2O 法, 水中体重法, 皮脂厚法, 超音波法など) との高い相関 (それぞれ, $r=0.94, 0.85, 0.86, 0.84$), 測定値の高い再現性 ($r=0.94$) が報告されている⁵⁾。

ところで, この測定器は, 体脂肪率の推定を行うための回帰式が, アメリカ人のデータに基づいたものであり, 体格の異なる日本人の体脂肪率を推定する場合, この式を当てはめることは適当ではない。

そこで, 本研究の目的は, 近赤外分光法による携帯用体脂肪測定器を日本において汎用可能とするための日本人用推定式を決定することである。

II. 測定部位の検討

Conway らは, 近赤外分光法による体脂肪の測定部位を上腕二頭筋部, 上腕三頭筋部, 肩甲骨下部, 腸骨稜, 大腿前中央部の5ヶ所の皮膚表面と

表1. 測定部位の違いによる近赤外スペクトル値と体脂肪率との相関係数の比較
()内は推定の標準誤差

		%fat(D ₂ O)	%fat(HW)	%fat(SF)
NIR(870 nm/945 nm)	5ヶ所*の平均	0.90(3.2)	0.85(4.3)	0.82(3.9)
	上腕二頭筋部+上腕三頭筋部	0.90(3.2)	0.87(4.2)	0.82(3.9)
	上腕三頭筋部	0.88(3.5)	0.84(4.5)	0.84(3.7)
	上腕二頭筋部	0.90(3.2)	0.89(3.8)	0.81(4.0)

*上腕二頭筋部, 上腕三頭筋部, 肩甲骨下部, 腸骨稜, 大腿中央部 (Conway, et al. 1984)

し, その部位からの近赤外スペクトルと D₂O 法, 水中体重法, 皮脂厚法による体脂肪率との相関を調べた. その結果, 表1に示したように, 全身の体脂肪推定法として妥当性が高いと考えられる D₂O 法及び水中体重法と最も相関が高かった部位は, 上腕二頭筋部であった. そこで本研究においては, まず, 測定対象を日本人とした場合も同様の結果が得られるかどうかを検討した.

A. 方法

被検者は, 20~44歳の健康な男性28名, 女性18名であり, 測定に先立って, 研究の目的, 方法, 意義, 危険性等を説明し, 被検者として参加することに対する同意を得た.

8ヶ所の身体部位(上腕二頭筋部, 上腕三頭筋部, 肩甲骨下部, 胸部, 腹部, 腸骨稜, 大腿前中央部, 腓腹筋部の皮膚表面)を測定対象に選び, 各々の部位に近赤外分光を照射し, そこからの光吸収スペクトルを測定した. 測定器は, FUTREX社製 FUTREX-5000 TM の日本バージョンである㈱ケット科学研究所製 FITNESS ANALYZER BFT-2000 を用いた(図3). 測定システムを図4

図4. FITNESS ANALYZER BFT-2000 の測定システム図

に示す. まず, 予め標準体(テフロンブロック)によってキャリブレーションを行ったプローブを測定部位に当て, 異なる2波長の近赤外線を照射した. 照射光の波長は, 測定器をフィールドワーク用に小型で低コストに抑えるために, なるべく近い波長域で脂肪と水分とにそれぞれ大きな吸収スペクトルが得られる 937 nm(脂肪吸収帯付近)と 947 nm(水分吸収帯付近)が選択された. そして, 得られたそれぞれの波長における吸収スペクトルは $\log I/I$ (I : Interactance)に変形され, 標準体から得た吸光度に対する割合として計算された. 測定にあたっては, 外部の光線の侵入を防ぎ, プローブを測定部位に垂直に当てることのできるようなバンドを装着した上で, プローブを押しあてて近赤外線を照射した(図5).

図3. ㈱ケット科学研究所製
FITNESS ANALYZER BFT-2000

図5. 測定部位と近赤外線を効果的に照射させるためのバンド

体脂肪率の指標となる値は、水中体重法による測定値を採用した。水中体重は、10 g 単位で測定し、2～3回測定したうち、最も高い値を測定値とした。残気量の測定は、酸素再呼吸法を用い、頸部まで水中に沈めた状態で、呼気ガス中の窒素濃度の安定した値が得られるまで測定を繰り返した。

B. 結果及び考察

被検者特性は表2に示した。Conway らは、体脂肪率の推定式を決定する際、2波長の近赤外スペクトル値 ($\log I/I$) の比をとって独立変数としていたが、日本人を対象とした本研究の結果は、2

表2. 被検者特性

	男 性 平均±SD (レンジ)	女 性 平均±SD (レンジ)
人 数	28	18
年 齢(歳)	24.4±6.7 (20～44)	23.8±5.5 (20～39)
身 長(cm)	170.6±4.6 (161.2～177.8)	158.6±5.4 (149.1～169.5)
体 重(kg)	63.4±7.8 (49.1～88.6)	51.9±3.8 (44.2～63.2)
体脂肪率(%) (水中体重法による)	13.7±5.0 (5.7～32.0)	21.5±4.2 (11.4～28.5)

表3. 異なる部位における近赤外スペクトル値と体脂肪率との相関係数

()内は推定の標準誤差

測 定 部 位	水中体重法	皮脂厚法
上腕二頭筋部	0.89(2.8)	0.87(3.3)
上腕三頭筋部	0.78(3.9)	0.65(5.0)
肩甲骨下部	0.72(4.3)	0.56(5.5)
胸 部	0.85(3.2)	0.76(4.3)
腹 部	0.77(3.9)	0.55(5.6)
腸骨稜	0.82(3.6)	0.72(4.6)
大腿部	0.79(3.8)	0.67(4.9)
下腿部	0.79(3.8)	0.78(4.2)
上腕二頭筋部+上腕三頭筋部	0.91(2.7)	0.87(3.4)
上腕二頭筋部+肩甲骨下部	0.91(2.7)	0.87(3.3)
上腕二頭筋部+胸部	0.90(2.8)	0.88(3.3)
上腕二頭筋部+腸骨稜	0.90(2.7)	0.88(3.2)
上腕二頭筋部+胸部+腸骨稜	0.91(2.7)	0.89(3.2)
全測定部位の合計	0.92(2.9)	0.91(3.3)

波長のスペクトル値がきわめて近似した値を示したため、比をとらず各々の値を独立変数として水中体重法から求めた体脂肪率との相関を調べた。表3がその結果である。各部位とも水中体重法による体脂肪率の値と高い相関が得られたが、最も相関が高かった測定部位は Conway らの報告と同様上腕二頭筋部であり、測定部位を増やしても相関係数に明らかな向上は認められなかった。上腕二頭筋部は、そこからの近赤外スペクトルだけで全身の体脂肪率と高い相関が得られたことに加え、被検者自身がプローブをあてて測定することができる部位であるという利点を持っており、日本人においても本測定法の測定部位として上腕二頭筋部が適当であろうと考えられた。

III. 日本人用推定式の開発

A. 方 法

年齢、体格、身体運動レベルが異なる18～58歳の健康な男性67名、女性52名を被検者とした。測定に先立って、研究の目的、方法、意義、危険性等を説明し、被検者として参加することに対する同意を得、身長、体重、近赤外スペクトルを測定した。その際の近赤外線照射部位は、前述の結果に基づき、上腕二頭筋部（肩峰と肘窩の中間にあたる皮膚表面）とし、左右両腕とも測定を行った。体脂肪率の指標は水中体重法による測定値を用い、また一般に最も利用されている皮脂厚法とも比較を行った。

皮脂厚法は、榮研式皮脂厚計を用い、右上腕背部、右肩甲骨下部の2点を測定部位とし、長嶺らの式²¹⁾及び Brožek らの式¹⁾ から体脂肪率を推定した。

身長、体重、皮脂厚法、近赤外分光法による体脂肪の測定は、検者間の測定誤差の影響を防ぐために、同一検者が行った。

身体運動レベルについての調査も行い、被検者各自が測定用紙に記入した。身体運動レベルは、速く歩くかそれと同様の運動を行う時間が、一日平均1時間以上ある場合は HEAVY (0.08 点), 30分以上の場合は MODERATE (0.05 点), 15分以上の場合は LIGHT (0.02 点), それ以下の場合は

OTHER(0.00 点)として段階分けし、得点化した。

937 nm と 947 nm の 2 波長の近赤外線に対する測定部位からの光吸収スペクトル値は、それぞれ平均 1,252, 1,274 で、水中体重法による体脂肪率との相関係数はそれぞれ -0.878 , -0.883 であった。このことから、本測定で用いた 2 波長は、いずれも日本人を対象とした場合、測定部位における光吸収スペクトル値にほとんど差がみられず、1 波長だけで体脂肪率の推定が可能であろうと予想された。そこで、近赤外分光法による体脂肪率の推定式の決定に当たっては、やや相関係数の値が高かった 947 nm の近赤外スペクトル値(NIR)を独立変数とし、水中体重法から求めた体脂肪率の値を従属変数として回帰分析を行った。また、近赤外スペクトル値に他の情報を加えた以下の 3 通りの独立変数による重回帰分析も行った。

1. NIR, 身長, 体重
2. NIR, 身長, 体重, 年齢
3. NIR, 身長, 体重, 年齢, 身体運動レベル

各推定式は、無作為に抽出した全被検者の 1/2 の測定値を使って算定した。そして、残り 1/2 の被検者のデータをその式に代入して得た体脂肪率の推定値と、同一被検者の水中体重法から求めた体脂肪率の値との相関を調べた。

B. 結果

被検者の特性は、表 4 の通りであった。NIR と水中体重法による体脂肪率(HW)、皮脂厚法による体脂肪率(SF)との相関は、表 5 の通りであっ

表 4. 被 検 者 特 性

	男 性	女 性
	平均±SD (レンジ)	平均±SD (レンジ)
人 数	67	52
年 齢(歳)	28.5±12.7 (18~58)	30.6±11.8 (18~56)
身 長(cm)	170.7± 6.1 (158.6~184.5)	157.9± 5.4 (143.7~170.8)
体 重(kg)	65.2± 7.3 (49.9~83.1)	51.9± 5.2 (41.3~65.3)
体脂肪率(%) (水中体重法による)	14.1± 5.2 (5.1~28.1)	23.7± 4.6 (14.8~33.9)

表 5. 近赤外スペクトル値(NIR)と水中体重法(HW)ならびに皮脂厚法(SF)による体脂肪率との相関

()内は推定の標準誤差

	%fat(HW)	%fat(SF)
NIR(947 nm)	$-0.88(3.2)^{***}$	$-0.82(3.9)^{***}$
%fat(HW)	—	$0.87(3.4)^{***}$

***: $p<0.001$

た。すなわち、NIR と HW, SF との間には高い負の相関が認められた。そこで、光吸収スペクトルの値(Log 1/I)を HW の値に回帰させ、推定式を求めた。ただし、推定値と HW による値との誤差の検証を行うため、推定式は全体の 1/2 のデータに基づいて算定した。その結果得られた式は、
体脂肪率 = $54.91 - 28.35 \times (\text{NIR})$
[$r=0.88(p<0.001)$, SEE=3.0](右腕)……(1)
体脂肪率 = $50.82 - 25.74 \times (\text{NIR})$
[$r=0.88(p<0.001)$, SEE=3.0](左腕)……(1')
(SEE: 推定の標準誤差)

であった。

そしてそれぞれの式に残り 1/2 の被検者の NIR のデータを代入して求めた体脂肪率の推定値と水中体重法によって得た体脂肪率との相関を調べたところ、表 6 に示したように NIR のデータのみ

表 6. NIR に他の変数を加えた場合の水中体重法との相関

()内は推定の標準誤差

モ デ ル	相関係数(see)
NIR(947 nm)	$0.89(2.9)^{***}$
+身長+体重	$0.90(2.9)^{***}$
+身長+体重+年齢	$0.91(2.7)^{***}$
+身長+体重+身体活動量	$0.90(2.9)^{***}$

***: $p<0.001$

を独立変数としたモデル式を用いた場合、 $r=0.89$ (SEE=2.9)の高い相関が得られ、他の変数を独立変数に加えたモデル式を用いても相関係数の値はほぼ同様であった。この結果は左右の腕で差がなかった。(1)式を用いて推定した体脂肪率と HW から求めた体脂肪率との関係を示したのが図 6 であ

図6. 近赤外分光法によって推定した体脂肪率と水中体重法によって求めた体脂肪率との関係

る。近赤外分光法では、体脂肪率の高い一部の女性に過小評価が見られるものの、全体的にはHWとほぼ近似した結果が得られていた。

以上の結果から、近赤外分光法による日本人用体脂肪率推定式は、

$$\text{体脂肪率} = 56.14 - 29.47 \times (\text{NIR} : 947 \text{ nm})$$

$$[r=0.88(p<0.001), \text{SEE}=3.2](\text{右腕}) \cdots \cdots (2)$$

と決定された。

(2)式を用いて求めた体脂肪率と他の推定法による体脂肪率の平均値をそれぞれ表7に示したが、全ての平均値が非常によく一致した。

IV. 論 議

本研究の被検者群は、表4を見て分かるように、年齢、体格がさまざまなタイプの日本人男女から構成されていた。1989年の厚生省「国民衛生の動向」¹²⁾によると、本研究の被検者の平均年齢にあたる年齢の身長の前平均値は、男性169.8±6.1 cm、女性156.3±4.9 cm、平均体重は、男性64.3±9.5 kg、

女性51.3±7.2 kgであり⁹⁾、また日本人の平均体脂肪率は、男性が約15%、女性が約25%とされている¹⁹⁾が、本研究の被検者の平均値もそれらとほぼ同様の値を示していた。したがって、本研究の被検者群は、日本人を代表する標本集団として適当とみなしてよいであろう。

上腕二頭筋部での近赤外線の吸光度と、体脂肪率との間に高い負の相関($r=-0.88$, $\text{SEE}=3.2$)が認められたことは、この測定部位における近赤外スペクトルがヒトの体脂肪率を反映する指標たりうることを示している。そこで、無作為抽出した1/2の被検者について、近赤外線吸収スペクトルの値($\log 1/I$)を水中体重法による測定値に回帰させ、体脂肪率の推定式を得た。そして、残り1/2の被検者のNIRのデータをこの式に代入して推定した体脂肪率の値と、実際に水中体重法で求めた体脂肪率の値とを比較したところ、Conwayらの報告同様^{2,3)}、高い相関($r=0.89$, $p<0.001$, $\text{SEE}=2.9$)が認められた。

一方、彼らは推定式を決定するにあたって、独立変数にNIRの他、体重、性、身長のパラメータを加えていくにしたがい、相関係数の値が高くなったことを示した($r=0.72$ から $r=0.90$ へ向上)が、本研究では、近赤外スペクトル値だけで体脂肪率との高い相関を示し、それ以外のパラメータを説明変数として加えても相関係数に明らかな向上はみられなかった。このことから、日本人において近赤外分光法による体脂肪率の推定を行う際は、近赤外線の吸光度以外の情報をあえて入力する必要性は特にないと考えられる。また、左右どちらの上腕を測定部位にしても、結果に差はみられなかったことから、どちらのデータに基づいた推定式を用いてもよいといえよう。したがって、近赤外分光法による日本人用体脂肪率の推定式

表7. 異なる推定法で求めた体脂肪率の比較

	近赤外分光法			水中体重法			皮 脂 厚 法		
	男性	女性	全体	男性	女性	全体	男性	女性	全体
平均(%)	14.7	23.2	18.6	14.3	23.8	18.6	14.4	23.5	18.6
SD	4.8	3.8	6.1	5.3	4.6	6.9	4.6	6.5	7.2

表 8. 近赤外分光法 (NIR) と水中体重法 (HW) ならびに皮脂厚法 (SF) による体脂肪率との相関係数

()内は推定の標準誤差

	%fat (HW)			%fat (SF)		
	男 性	女 性	全 体	男 性	女 性	全 体
%fat(NIR)	0.82(3.1)	0.70(3.3)	0.88(3.2)	0.82(2.5)	0.61(5.0)	0.82(3.9)
%fat(HW)		—		0.78(3.3)	0.79(2.8)	0.87(3.4)

は、(2)式に決定された。

また、男女別に近赤外分光法と他の推定法による体脂肪率との相関係数(表8)を見ると、男性に比べ女性の方が相関が低く、女性の場合近赤外分光法による体脂肪率の推定精度は男性より劣る可能性が予想される。このような男女間の違いは Conway らの結果にも現れていたことから、男女別推定式の必要性が考えられるが、それには男女それぞれ、より広範囲の体脂肪率を有する被検者群からのデータを収集する必要がある。

近赤外分光法による体脂肪測定は、前述したような測定法としての条件に照らしてみると、局所的な体脂肪量を反映する指標から全身の体脂肪率を推定しているために、推定誤差が生じ易く、妥当性においては皮脂厚法と共通するところが大きいと考えられる。実際、近赤外分光法と水中体重法との相関は、皮脂厚法と水中体重法との相関とほぼ同様であった。したがって、近赤外分光法は測定精度では皮脂厚法程度は十分期待できると考えられる。しかも、皮脂厚法の持つ測定上の欠点(測定者の熟練が必要であること、キャリバーのあて方、皮膚のつまみ方による測定誤差が生じ易いこと、測定者間誤差が大きいこと^{22,26)}、痩せ、肥満者の測定には不適當であること^{3,26)}、人によっては皮膚をつままれて不快感を感じる など)を補っており、その上測定部位が一ヶ所済み、検者なしに自分自身で簡単に測定を行うことができるという利点を持っていることから、多数の対象を測定する場合に実用的な方法であると思われる。

本研究の結果、近赤外分光法による体脂肪の測定法はフィールドワーク用として有効であることが確認され、日本人用の推定式が開発されたこと

により、今後、本測定法の日本における広い汎用が可能となったといえよう。

V. 要 約

近赤外分光法は、従来、食品成分の非破壊分析法として用いられてきたが、近年アメリカにおいてこの方法をヒトの体脂肪率の推定に応用する試みがなされ、携帯用小型測定器が開発された。本研究は、この測定法を日本においても汎用可能とするための日本人用体脂肪率推定式を決定しようとするものである。年齢、体格、身体活動量の異なる18~58歳の健康な男性69名、女性52名を対象に、身長、体重、体脂肪率を測定した。体脂肪率は、水中体重法、皮脂厚法、近赤外分光法の3方法を用いて推定した。近赤外分光法の測定部位は、予備実験の結果、アメリカにおける先行研究と同様、他の測定法による体脂肪率との相関が最も高かった上腕二頭筋中央部とし、947 nm の近赤外線照射して光吸収スペクトルを得た。被検者の1/2について、それぞれの近赤外スペクトルの値を水中体重法による体脂肪率に回帰させ、体脂肪率推定式を算出した。残り1/2の被検者の近赤外スペクトルをその式に代入して得た体脂肪率と水中体重法によって求めた体脂肪率の値とを比較したところ、 $r=0.89$ ($SEE=2.9$) の高い相関が認められた。これは、水中体重法と皮脂厚法との間の相関係数とほぼ同様の値であった。アメリカ人用の推定式の決定には、近赤外分光法スペクトルの他に身長、体重、年齢の変数を加えた方が、相関係数の値が高くなったと報告されているが、日本人の場合、他の変数を加えても相関係数の値はほとんど変わらなかった。また、測定部位における左右差はなかった。したがって、近赤外分光

法による日本人用体脂肪率の推定式は、体脂肪率 $=54.14-29.47 \times (947 \text{ nm}$ における近赤外スペクトル値) $[r=0.88(p<0.01)$, $SEE=3.2]$ と決定された。

本研究は、財団法人科学研究所奨学寄付金により行われた。

本研究の一部は、(社)日本食品工業学会主催非破壊計測シンポジウム(1988年11月、東京)において発表された。

(受付 昭和63年12月21日)

参 考 文 献

- Brožek, J., F. Grande, J. T. Anderson, and A. Keys (1963): Densitometric analysis of body composition: Review of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140.
- Buskirk, E. R. (1987): Body composition analysis: the past, present and future. *Res. Quart.*, **58**(1), 1-10.
- Conway, J. M., Norris, K. H. and Bodwell, C. E. (1984): A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 1123-1130.
- Conway, J. M. and Norris, K. H. (1986): Non-invasive body composition in humans by near infrared interactance. Ellis, K. J., Yasumura, S., and Morgan, W. D. In vivo body composition studies, Ed., proceedings of international symposium held at Brookhaven National Laboratory, New York published by the Institute of Physical Sciences in Medicine, London, 163-170.
- Davis, P. O. and Paynter, L. (1988): Technical note: Evaluation of a commercial near-infrared instrument for body composition analysis. Gaithersburg, MD: Futrex Inc.
- Forbes, G. B. (1987): Human body composition growth, aging, nutrition, and activity. Ed., Springer-Verlag New York Inc.
- 福永哲夫, 湯浅景元(1986): コーチングの科学. 朝倉書店, 東京, 98-100.
- 福永哲夫(1987): エコーによる肥満の測定. 臨床スポーツ医学, **4**(3), 291-298.
- 石田良恵, 福永哲夫(1986): 超音波 B mode 法による皮下脂肪厚の測定. ヤシロダ健康体力研究所報, **1**(3), 2-5.
- 岩元睦夫(1980): 近赤外分光法による食品成分の非破壊測定. 日本食品工業学会誌, **27**(9), 464-472.
- 岩佐睦夫, 魚住 純(1985): 近赤外分光法による食品成分の非破壊測定—最近の動向—. 日本食品工業学会誌, **32**(9), 685-695.
- (財)厚生統計協会(1989): 国民衛生の動向・厚生指標. 臨時増刊, **36**(9), 447.
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E. and Mahar, M. T. (1988): Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J. Appl. Physiol.*, **64**, 529-534.
- Johnston, F. E. (1982): Relationship between body composition and anthropometry. *Human Biol.*, **54**, 221-245.
- Himes, J. H. (1988): Racial variation in physique and body composition. *Can. J. Spt. Sci.*, **13**, 117-126.
- 小宮秀一, 佐藤方彦, 安河内朗(1988): 体組成の科学. 朝倉書店, 東京, 21.
- Lukaski, H. C. (1987): Method for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 537-556.
- Lukaski, H. C. and Johnson, P. E. (1985): A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D_2O and infrared absorption of biological fluids. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 363-370.
- 間宮真佐人(1976): 個体の吸収スペクトル測定法第2講. 拡散反射法, 分光研究, **25**(2), 99-117.
- 宮下充正(1986): 一般人・スポーツ選手のための体力診断システム. ソニー企業報, 東京, 56.
- Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964): Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, **36**, 8-15.
- 西岡伸紀(1984): 皮下脂肪厚の測定について—キャリバーによる測定を中心に—. 体育の科学, **34**, 535-538.
- 小野三嗣(1988): 肥満のスポーツ医学. 朝倉書店, 東京, 27-40.
- Presta, E., Wang, J., Harrison, G. G., Bjorntorp, P., Harker, W. H. and Van Itallie, T. B. (1983):

- Measurement of total body conductivity : a new method for estimation of body composition. *Am. J. Clin. Nutr.*, **37**, 735-739.
- 25) 体育科教育研究会編(1981): 体育学実験・演習概説. 大修館書店, 東京, 46.
- 26) 高本美和子(1986): 肥満の測定法. *Jpn. J. Sports Sci.*, **5**(11), 774-782.
- 27) 徳永勝人, 松沢佑次(1987): CT による肥満の測定. *臨床スポーツ医学*, **4**(3), 299-305.
- 28) Wilmore, J. H. and Behnke, A. R.(1969): An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J. Appl. Physiol.*, **27**, 25-31.
- 29) Withers, R. T., Whittingham, N. O., Norton, K. I., Forgia, J. L., Ellis, M. W. and Crockett, A.(1987): Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 169-180.
- 30) Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. O. and Norton, K. I.(1987): Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 191-200.
- 31) 吉沢康雄, 今堀 章, 上田慶子, 田所美枝子(1968): 小児の全身カリウム量の年齢, 身長による変化. *日本小児科学会雑誌*, **72**, 109-114.