

解説

## 体脂肪率

甲田道子

中部大学応用生物学部 食品栄養科学科

### 要旨

本文では体脂肪率が意味していることと、体脂肪率を測定する各種方法について解説する。体脂肪率とは体重に占める体脂肪量の割合である。体脂肪率が高いと一般的には体脂肪量が多いと解釈できる。しかし、年齢を考慮すると、体脂肪量の過多を意味しているとは限らない事がわかる。加齢に伴って筋肉量や骨量といった除脂肪量が減少すると、体脂肪量が多くなっても計算上体脂肪率は高くなるからである。近年、高齢者のロコモティブシンドロームや骨粗しょう症、サルコペニア、フレイルが要介護になる要因として問題視されている。今後は体脂肪率にとどまらず、除脂肪量まで計算して評価する必要がある。

体脂肪を測定する方法は多種多様である。いずれも異なった原理を用いていて、一定の条件下でそれぞれ推測していることから、方法によって測定値に違いがみられる。各測定方法の特徴を理解し、測定値を解釈することが重要である。

森鷗外で知られる森林太郎 (1862-1922) は、明治から大正時代にかけての軍医であり、1884年から1888年までドイツ留学の経歴を持つ。次の文章は、彼の著書「兵餉篇」(1897)からの引用である。

「Seggel ハ戦闘ニ堪フベキ砲兵ノ最軽者 49.5 吉瓦ナルヲ見キト云フ要スルニ体重最軽限ハ以テ兵ノ合格不合格ヲ定ムルニ適セズ然レトモ身長、胸囲、体重等ヲ合せ看テ体重甚ダ軽キトキハ宜ク仔細ニ心肺等ヲ検スベキナリ。

兵ノ最重限ハ・・・中略・・・騎兵 76.253 吉瓦ト脂肪過多ノタメニ体太ダ重キモノハ不合格トス。」

また、生理学者の永井潜 (1876-1957) が著した「第五版生命論」(1916)には次の記載がある。

「(脂肪は) 頗る多量の熱を出し得る者である。随て脂肪は、体温の根源として頗る大切な者である。・・・中略・・・ 肥満せる人は往々其体重の四分の一は脂肪から出来て居るが、瘦せた人では僅かに体重の十分の一の脂肪量しか持つて居な

い。・・・中略・・・ 栄養状態の良い場合には、一般に脂肪が増すが、不良の場合には一旦貯蔵された脂肪も消費されて仕舞う者である。」

### 1. 体脂肪率は何を意味しているのか

からだを構成成分で分割すると、酸素や炭素、水素といった原子レベルから、骨や骨格筋、脂肪組織などの組織レベルまで様々なレベルで分割できる。中でも、脂肪組織と脂肪以外の組織(除脂肪組織: Fat Free Mass (FFM) または Lean Body Mass (LBM))の2つに大別する考え方(2compartment model)が広く用いられている。体重に占める脂肪組織の量が体脂肪率であり、この値が高い場合一般的には体脂肪量が多いと解釈できる。肥満を「体内に脂肪が過剰に蓄積した状態」と定義するならば、肥満の判定に体脂肪量の多少を評価する指標が入ってくることは当然であり、1972年から1994年まで国民栄養調査(現国民健康・栄養調査)で体脂肪率(厳密に言えば、2か所の皮脂肪厚の和)が肥満の判定として用いられた。

しかし、体脂肪率 (%) は「体脂肪量 kg/体重 kg×100」と計算することから、この値は分子である体脂肪量だけでなく、分母である体重の影響も受けることがわかる。体重は体脂肪重量と除脂肪重量の和であり、加齢とともに筋肉量の減少に呼応して除脂肪量が減少することは周知のことである。図 1 は、無作為抽出した地域住民中高年男女約 2000 名の体脂肪率を二重 X 線吸収 (DXA) 法にて測定し、体脂肪量および除脂肪量の平均値を算出して年代別に比較した図である (国立長寿医療研究センター長期縦断疫学調査第 7 回調査結果)。高齢者の体脂肪率の平均値は中年よりも高かったが、体脂肪量は中年と同等かそれよりも少なく、除脂肪量は少なかった。このように、体脂肪率の値だけでは体脂肪量が過剰なのか、除脂肪量が過少なのかの判断はつかない。

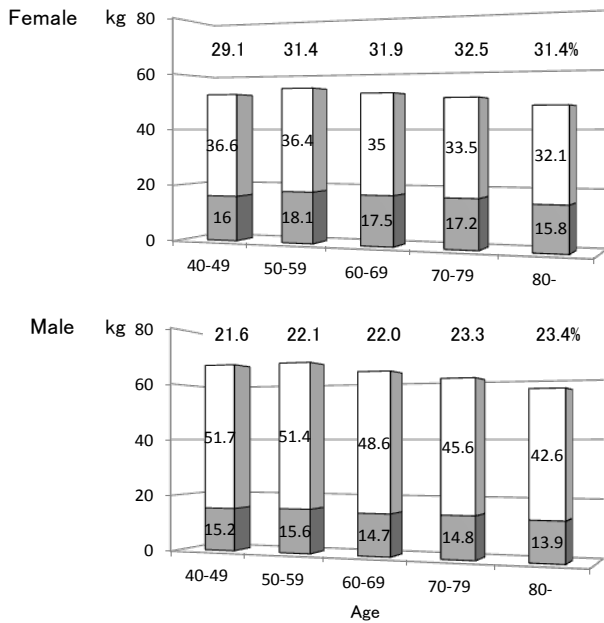


図 1 年代別の体脂肪率, 体脂肪量, 除脂肪量  
 上記の数字が体脂肪率 (%), □ 除脂肪量 (kg),  
 ■ 体脂肪量 (kg)  
 (国立長寿医療研究センターHP. データより図を作成)

中年では確かに肥満が関係しているメタボリックシンドロームの予防や解消が重要である。一方高齢者では、介護予防という観点から筋肉量や骨塩量が関係しているロコモティブシンドローム

ムやサルコペニア, 骨粗しょう症, フレイルの予防が注目されている。これら进行评估するには、体脂肪率をそのまま用いるのではなく、体脂肪量と除脂肪量まで計算して、別々に評価する方が有効だと考えられる。サルコペニアは老化に伴う筋肉量の減少あるいは加齢に伴う筋力の低下と定義されている。この判定には DXA 法で測定された四肢の筋肉量, あるいは生体インピーダンス法等で求めた除脂肪量を身長<sup>2</sup>で除して身長の影響を除いた指数が用いられている (Baumgartner ら 1998, Janssen ら 2002)。

1990 年代になると、体脂肪の総量よりも、脂肪が皮下なのか腹腔内に蓄積されているのかによって代謝異常との関係に違いがみられることがわかってきた。いわゆる内臓脂肪蓄積の研究へとシフトしていったのである。しかし、体脂肪率から体脂肪の分布状況を推察することは難しい。

## 2. 体脂肪率を推定する方法は多種多様である

体脂肪量を実測するには、屍体で測定する以外に方法はない。実際に用いられている方法は体脂肪量(率)を推定しているにすぎない。体脂肪率を推定する方法には大きく分けると2種類ある (Wang ら 1998)。一つはモデルを設定してそこから理論的に求める方法である。これには二重 X 線吸収 (DXA) 法, 密度法, 体水分法, それらを組み合わせた multicompartiment 法がある。もう一つは統計的に検討されて作成された方法で、皮脂厚法やインピーダンス法がそれに相当する。

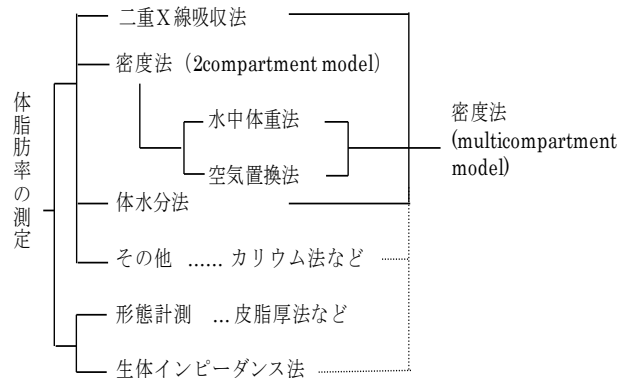


図 2 体脂肪率の測定方法

1) 密度法

密度法は各組織の密度を考慮して model を構築する方法である。たとえば、脂肪の密度は小さく、筋肉中のタンパク質や骨中のミネラルの密度は大きい。したがって、体脂肪量の多い人ほどからだ全体の密度は小さく、反対に体脂肪量は少なく筋肉量や骨塩量の多い人ほど密度は大きくなる。このことを利用して身体密度を求め、そこから体脂肪率を推定する方法が密度法である。Multicompartment model は体脂肪率測定法としてもっとも精度が高いといわれていて、4 compartment model が主流である。ここでは身体を脂肪組織、水分、ミネラル、タンパク質の4つで構成されていると設定している。物質の密度は、それを構成している成分の割合と密度(表1)で決まってくるため、下記の式が成り立つ。

$$1 / D_b = F / d_f + W / d_w + P / d_p + M / d_m$$

(D<sub>b</sub> : 身体密度, F : 脂肪, W : 水分, P : タンパク質, M : ミネラル)

水中体重法で身体密度を、体水分(重水)法等で体水分量を、DXA法でミネラル量を測定し、それぞれの結果を代入して体脂肪量を算出する。

表 1 各組織の密度および割合 (Going 1996)

| 組織    | 密度<br>g/ml | 除脂肪組織<br>% | 標準体<br>% |
|-------|------------|------------|----------|
| 水     | 0.9937     | 73.8       | 62.4     |
| タンパク質 | 1.34       | 19.4       | 16.4     |
| ミネラル  | 3.038      | 6.8        | 5.9      |
| 骨     | 2.982      | 5.6        | 4.8      |
| 骨以外   | 3.317      | 1.2        | 1.1      |
| 脂肪    | 0.9007     |            | 15.3     |
| 除脂肪   | 1.1        | 100        | 84.7     |
| 標準体   | 1.064      |            | 100      |

しかし、4compartment model の各測定では高度な機器や費用がかかるため、個人あるいは大規模集団を対象とした疫学調査で簡単に測定するわけにはいかない。そのため前述したようにからだを2つの要素に分割する2compartment model を用いることが多い。身体密度から体脂肪率を計算するには、Brozekらの式(1963)がよく使われている。なお、ここでは体脂肪の密度は0.9007g/ml,

除脂肪組織の密度は1.1g/dlで一定であると仮定している。

$$\text{体脂肪率}(\%) = (4.570 / \text{身体密度} - 4.142) \times 100$$

身体密度は体重を体積で除して算出する。体積を測定する方法には水中体重法や空気置換法がある。水中体重法は体脂肪率の測定法として信頼性が高く、gold standard と呼ばれていた。そのため、皮脂厚法や立位生体インピーダンス法による体脂肪率推定式作成の際の基準として用いられてきた。この方法はアルキメデスの法則を用いて、空気中での体重から水中に潜った時の体重(水中体重)を差し引き水の密度で除して体積を算出する。空気置換法は被測定者の負担が軽く非侵襲的な方法である、1990年代に開発され、BOD POD (Body Composition System MAB-1000, Life Measurement Instruments) という装置を用いる。これは水中体重法でいう水の代わりに空気を使い、ポアソンの法則とボイルの法則を用いて体積を求める方法である。

2) 二重 X 線吸収法(dual-energy X-ray absorptiometry: DXA 法)

DXA 法は元々骨密度や骨塩量を測定する方法として開発された。これは、放射した2種類のエネルギーの X 線が各組織を透過した際のそれぞれの減衰率を測定して体脂肪量を求める方法である。動物実験やからだにラードを巻き付けた実験等で体脂肪量測定の精度の高いことが確かめられていて、近年では体脂肪率測定法の gold standard として使われている。

しかし、機器メーカーによって推定式や装置、キャリブレーション方法が異なるため、メーカー間で測定値に違いがみられる。山東(2006)によると、「骨と重ならない」部分のスキャンでは2種類のエネルギーの X 線の減衰率から脂肪を評価することができる。しかし、「骨と重なる」部分においてはそう単純ではなく、どのように脂肪が分布しているのかという推定要素が加わってくる(図3)。年齢や健康状態によって変動するとみ

られる除脂肪組織の水分含有量を 73%と一定にみなしていることも、誤差要因の一つと考えられる(山東 2006). また、腹部の脂肪が厚いほど過小評価することも示唆されている(Kodaら 2000). このように DXA 法にもいくつかの問題点があり、gold standard とはいきれない部分も依然として残っている.

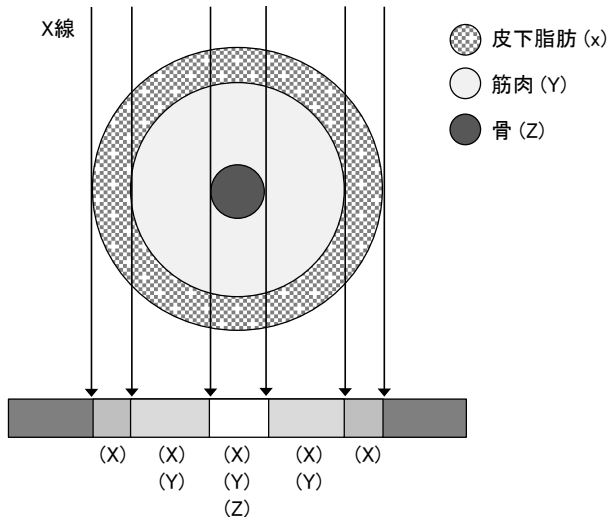


図 3 X線透過の模式図(山東 2006)

### 3) 皮脂厚法

皮脂厚法は、指でつまんだ皮膚と脂肪組織をキャリパーではさんで皮下脂肪の厚み(皮脂厚)(skinfold thickness)を測定し(図 4), 数カ所の皮脂厚の合計から体脂肪率を計算する方法である. 大学生を対象とした調査によると, 体脂肪の 5~6 割は皮下に存在し(Hattoriら 1991), 皮脂厚は身体密度と高い相関関係がみられる.

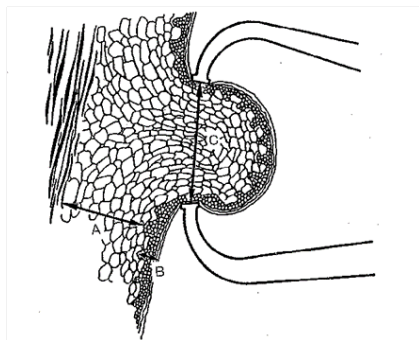


図 4 キャリパー法による皮脂厚測定イメージ(北川 1991)

皮脂厚から体脂肪率を計算するには, 日本では Nagamine と Suzuki の式から身体密度を計算し, Brozek らの式に代入して体脂肪率を算出する方法が一般的である. 測定部位は計測しやすく, 身体密度との相関が比較的高く(Nagamine と Suzuki 1964), 国際食糧農業機関(FAO)/世界保健機関(WHO)が推奨している次の 2カ所である(いずれも右側).

①上腕背部: 肩峰と肘頭突起との中間にあたる上腕後部をたてにつまむ

②肩甲骨下部: 肩甲骨下端の直下を右下斜めにつまむ

そして, 成人の場合, 以下の式に代入して身体密度を求める.

男性 身体密度 =  $1.0913 - 0.00116 \times (\text{上腕背部} + \text{肩甲骨下部})$

女性 身体密度 =  $1.0897 - 0.00133 \times (\text{上腕背部} + \text{肩甲骨下部})$

測定法自体の問題点として, 局所の皮脂厚から全身の脂肪量が推定できるのか, 内臓周辺に脂肪が蓄積している中高年者にも当てはまるのかという点が挙げられる. そこで, 皮脂厚による判定は BMI (体重  $\text{kg} / \text{身長}^2$ ) よりも生活習慣病(成人病)リスクの高い人をスクリーニングできるかどうかについて調査した(甲田ら 1994). 対象は, 健康センターに一般的な健康診断を受けに来た 20~84 歳の女性 1,596 名, 男性 1,161 名である. 前述した 2カ所の皮脂厚の和が女性 50mm 以上, 男性 40mm 以上を肥満, BMI  $25\text{kg}/\text{m}^2$  以上を過体重(皮脂厚による肥満判定と区別するために過体重と表現した)とした. その結果, 肥満と判定されなくても過体重であると, 血圧や血清中性脂肪値, 血糖値で高値を示す人の割合が高くなることが明らかとなった(表 2). 以上の結果から, この 2カ所の皮脂厚の和には, 特に中年男性では, 生活習慣病と関連の強い内臓脂肪量が反映されていないのではないかと推察された.

また, 皮脂厚法は自分自身で測定できない点も短所の一つである.

表2 生活習慣病危険因子で異常値を呈した人たちの各群における人数と出現率

|    |       |       | 身体的特性 |          |         |         |        |
|----|-------|-------|-------|----------|---------|---------|--------|
|    |       |       | 総合    | 非肥満・非過体重 | 非肥満・過体重 | 肥満・非過体重 | 肥満・過体重 |
| 女性 | 血压    | 総数 人  | 1,594 | 1,081    | 46      | 229     | 238    |
|    |       | 異常値 人 | 109   | 42       | 9       | 17      | 41     |
|    |       | 出現率 % | 6.8   | 3.9      | 19.6    | 7.4     | 17.2   |
|    | 中性脂肪値 | 総数 人  | 1,571 | 1,064    | 45      | 228     | 234    |
|    |       | 異常値 人 | 138   | 40       | 2       | 31      | 65     |
|    |       | 出現率 % | 8.8   | 3.8      | 4.4     | 13.6    | 27.8   |
|    | 血糖値   | 総数 人  | 1,568 | 1,059    | 46      | 227     | 236    |
|    |       | 異常値 人 | 56    | 18       | 1       | 13      | 24     |
|    |       | 出現率 % | 3.6   | 1.7      | 2.2     | 5.7     | 10.2   |
| 男性 | 血压    | 総数 人  | 1,159 | 800      | 125     | 73      | 161    |
|    |       | 異常値 人 | 187   | 93       | 32      | 11      | 51     |
|    |       | 出現率 % | 16.1  | 11.6     | 25.6    | 15.1    | 31.7   |
|    | 中性脂肪値 | 総数 人  | 1,136 | 782      | 124     | 71      | 159    |
|    |       | 異常値 人 | 351   | 180      | 60      | 20      | 91     |
|    |       | 出現率 % | 30.9  | 23.0     | 48.4    | 28.2    | 57.2   |
|    | 血糖値   | 総数 人  | 1,129 | 777      | 122     | 72      | 159    |
|    |       | 異常値 人 | 105   | 58       | 16      | 9       | 22     |
|    |       | 出現率 % | 9.3   | 7.5      | 13.1    | 12.5    | 13.9   |

4) 生体インピーダンス法

インピーダンス法は、体肢に微弱な電流を流し、そのインピーダンス(抵抗)からからだの組成を推定する方法である。脂肪組織や骨は電気を通しにくく、骨以外の除脂肪組織は電解質を含んでいるため通電することを利用して、この方法では、DXA 法や水中体重法で計測した体脂肪率を基準とし、実測値に性、年齢、身長等の因子を加えて推定式を作成し体脂肪率を算出している。非侵襲的で迅速に測定できる点が優れている。しかし、水分の影響を大きく受けるため、脱水など体水分の状態が通常ではない場合には測定精度は低くなる。また、体内における水分の分布状況も関与する。起床時と、水分がいくぶん下肢に移動する夕方では値は違ってくる。インピーダンス法で体脂肪率を測定する場合は、いつも同じ時間帯で同じような条件下で測定することが大事である。

5) 測定方法によって体脂肪率は違う

これまで紹介したように体脂肪率を推測する方法は多種多様である。いずれも原理が違うことから、測定方法の違いによって測定値にばらつきがみられることは容易に推測できる。そこで40～80歳の地域住民女性265名、男性297名の計562名を対象として、DXA法と空気置換

法(密度法)それぞれで測定した体脂肪率を比較した(Kodaら2000)。その結果、両者の体脂肪率は高い正の相関関係がみられた(女性  $r=0.865$ , 男性  $r=0.922$ , いずれも  $p<0.001$ )。しかし、体脂肪率の平均値は、空気置換法の方が女性では  $1.00 \pm 0.22$  ポイント(mean  $\pm$  SE)低く、男性では  $1.82 \pm 0.18$  ポイント高かった( $p<0.001$ ) (図5)。

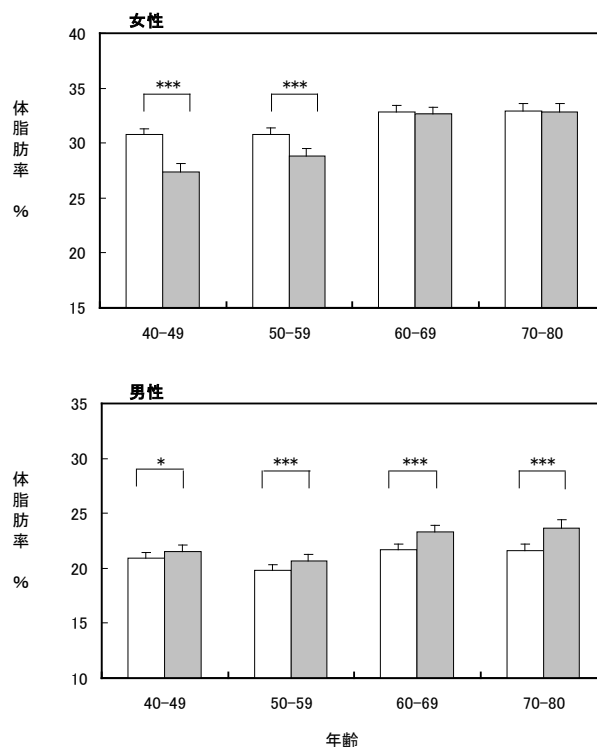


図5 DXA法および空気置換法から求めた体脂肪率の比較  
 □ DXA法による体脂肪率, ■ 置換法による体脂肪率  
 t検定: \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$

誤差要因として、除脂肪密度は 1.1 と設定されているが (表 1)それが日本人には当てはまらないことや、DXA 法では腹部の脂肪を過小評価することが考えられた。

### 3. まとめ

体脂肪率は、体重に占める体脂肪量の割合である。体脂肪率を年代間で比較したところ、体脂肪率の値だけでは体脂肪量が過剰なのか、除脂肪量が過少なのかの判断がつかないと考えられた。特に高齢者では、除脂肪量の少ないことが体脂肪率の数値を高めていた。近年、要介護者を急増させている大きな要因として、ロコモティブシンドロームやフレイルが注目されている。これらは筋肉量や骨塩量といった除脂肪量が少なすぎるものが関係している。もし体脂肪率で肥満の判定をすると、体脂肪率を低下させようとして、減らす必要のない体脂肪量を減す方に意識が向かうことが懸念される。体重を減少させようと試み、結果として除脂肪量まで減少させてしまう危険性もある。今後は体脂肪率にとどまらず、除脂肪量まで計算して評価する必要がある。

また、体脂肪率を肥満の評価法として採用しようとしても、方法によって測定値に違いがみられるとなると、肥満の cut-off 値を定めることは困難である。各測定方法の特徴を知り、測定値はあくまでも推定値であることを理解した上で用いることが重要である。

### 引用文献

- 1) 森林太郎. 兵餉篇. 鷗外全集 第 33 巻 p.299-326. 岩波書店 1989 年
- 2) 永井潜. 4. 生體の成分と其性状. 生命論(5 版) p.58 東京 洛陽堂 1916 年
- 3) 国立長寿医療研究センター NLS-LSA 活用研究室 <http://www.ncgg.go.jp/department/ep/monograph7thj/anthro.htm>
- 4) Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol.* 1998;147(8):755-763.
- 5) Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with

functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(5):889-896.

6) Wang ZM, Deurenberg P, Guo SS, Pietrobelli A, Wang J, et al. Six-compartment body composition model: inter-method comparisons of total body fat measurement. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22(4):329-337.

7) Going S. Measurement and prediction methods. *Human body composition* 1996;3-23.

8) Brozek J, Grande F, Anderson JT, keys A, Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions, *Ann NY Acad Sci*, 1963; 110: 113-140.

9) 山東勤弥. 二重エネルギー X 線吸収測定法 (dual energy X-ray absorptiometry; DEXA) による栄養評価. *Nutrition Support Journal* 2006;19:12-14.

10) Koda M, Tsuzuku S, Ando F, Niino N, Shimokata H. Assessment of body composition by air displacement plethysmography in middle-aged and elderly Japanese : comparison with dual-energy X-ray absorptiometry. *Ann NY Acad Sci* 2000; 904: 484-488.

11) 北川薫. 身体組成とウエイトコントロール. 杏林書院 東京 1991:1-19.

12) Hattori K, Numata N, Ikoma M, Matsuzaka A, Danielson RR. Sex differences in the distribution of subcutaneous and internal fat. *Human Biology* 1991;63:53-63.

13) Nagamine S, Suzuki S, Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Hum Biol*, 1964; 36: 8-15.

14) 甲田道子, 武藤芳照, 宮下充正. 皮下脂肪厚と Body Mass Index を組み合わせた指標と成人病危険因子との関連. *栄養学雑誌* 1994;52:69-74.

**Title** : Percent body fat.

**Author(s)** : Koda Michiko

**Address(es)** : Department of Food and Nutritional Sciences, College of Bioscience and Biotechnology, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho, Kasugai,

Aichi 487-8501, Japan

**Keywords** : body composition, lean body mass,  
percent body fat