

研究ノート

18歳以上の日本人に対する体脂肪率の推定式

伊藤裕子¹⁾・加藤元海^{1, 2)}*

要 旨

これまで、基礎代謝を体重や身長など体格から推定する式は多く提案されてきたが、体脂肪率については体組成計による測定が必要で、体格などから簡便に推定する式がなかった。本研究では、体重体組成計を用いて測定された一般の日本人男女110名のデータを基に、体格(体重や身長)や年齢などから求められた基礎代謝と、身体組成(除脂肪体重)から求めた基礎代謝を組み合わせ、理論的に体脂肪率の推定式を導出した。体脂肪率を推定するにあたって、説明変数が体重のみの場合は体脂肪率の実測値と予測値の間に相関がなかったが、体重に加えて性別も考慮すると実測値と予測値の間に高い相関がみられた。これは、体脂肪率については男女間の性差が大きいことが要因と考えられる。説明変数に関して、さらに身長、年齢、季節を追加して考慮に入れるほど体脂肪率の予測精度が上がった。

キーワード：基礎代謝、除脂肪体重、身体組成、推定式、体脂肪率

ヒト (*Homo sapiens* Linnaeus, 1758) は、さまざまな環境で生活をしており、その生活は食事や睡眠など生命維持のため、労働などの社会的役割を果たすため、スポーツ活動や習い事のような余暇活動のため等の内容から構成されている。日本人は元々、黒潮の恵みなどの魚介類と米を主食としてきたが、近年の乳製品や家畜の肉など食の欧米化により、体重とともに体脂肪率が上昇する肥満の傾向がみられる。自動車やIT技術の発展で身体活動は低下する傾向にあり、その結果、体脂肪が蓄積して肥満になり、心肺機能の低下、筋肉量や骨量の減少、運動能力および免疫力の低下など、生活習慣病や骨粗しょう症などが引き起こされる(厚生労働省 2008)。

ヒトの体重の増減は、摂取エネルギーと消費エネルギーのバランスに依存する(Jéquier and Tappy 1999)。標準的な日本人において、基礎代謝は消費エネルギーの約6割を占める(田中 2009)。これまで基礎代謝を求める式は、古くは1900年代初めから試みられており、身長や体重、年齢、性別から推定されている(Harris and Benedict 1919)。日本人と

外国人とでは体つきの違いがあることから、近年、日本人を対象とした推定式が求められた(Ganpule *et al.* 2007)。基礎代謝は体重や身長などの体格に加え、体脂肪率や筋肉率などの身体組成にも依存しており、実際に、体重自体よりも除脂肪体重と強い相関がみられる(Cunningham 1980)。外国では既に除脂肪体重を用いた基礎代謝の推定式がある(Cunningham 1991)。日本人に関しては、除脂肪体重を用いた基礎代謝の推定式は存在するが、これまでのところ競技者のみを対象にしたものや(田口ほか 2011、辰田ほか 2012)、特定の年齢の女性のみであるもの(薄井ほか 2003、高橋ほか 2007)など、対象が限定されたものしかない。

体脂肪率は体重とともに肥満の指標となるが、これまでのところ基礎代謝のように、多少高価な測定機器を用いずとも体重や身長などから簡便に計算できる推定式は存在しない。除脂肪体重の計算式には体脂肪率が含まれることから、従来の体重や身長などから求めた基礎代謝の推定式と、除脂肪体重から求めた基礎代謝の推定式を組み合わせることにより、理論的に体脂肪率を体重や身長などから推定する式を導出することができる。本研究では、体重や基礎代謝、体脂肪率などを同時に測定できる機器を用いて、一般の日本人を対象にした体脂肪率の推定式を求めた。

2016年2月12日受領；2016年2月22日受理

1) 高知大学理学部生物科学コース理論生物学研究室

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

2) 高知大学黒潮圏科学部門

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

* 連絡責任者 e-mail address : genkai@kochi-u.ac.jp

対象と方法

対象者は、研究趣旨を説明し、協力が得られた110名（男性68名、女性42名）である。年齢は、男性18–67歳（平均26歳）、女性18–58歳（平均22歳）で、20歳未満15名（13.7%）、20歳代80名（72.7%）、30歳代6名（5.5%）、40歳代2名（1.8%）、50歳代2名（1.8%）、60歳代4名（3.6%）であった。対象者の110名は、冬期（2012年12–2013年3月）に55名（男性34名、女性21名）、夏期（2013年7–9月）に別の55名（男性34名、女性21名）を対象に測定を行なった。

体重と体組成、基礎代謝は、生体インピーダンス法を利用した体重体組成計（HBF-373、オムロン）を用いて、前日の夕食終了後から測定当日の朝までを絶食、もしくは測定日の朝食か昼食終了後から4時間以上あけた後に測定した。測定項目は、体重（W、kg）、体脂肪率（F、%）、体格指数（BMI：body mass index、 kg/m^2 ）、基礎代謝（kcal/d）、骨格筋率（%）、身長（cm）、年齢（歳）である。BMI（体格指数）とは、体重（単位kg）を身長（単位m）で2回割り算した値である。脂肪体重（FM：fat mass、kg）は体重と体脂肪率の積、除脂肪体重（FFM：fat-free mass、kg）は体重から脂肪体重を差し引いた重さであり、次の式で与えられる。

$$\text{FFM} = W (1 - F/100) \quad (7)$$

全てのデータは平均値と標準偏差（mean \pm SD）で表した。被験者の身体的特徴について、性別間と

季節間の平均値を*t*検定を用いて比較した。基礎代謝（BMR：basal metabolic rate）の推定式を求めるために、被説明変数をBMR、説明変数を体重、身長、年齢、性別、季節にして変数増減法によるステップワイズ重回帰分析を行なった。また、単独でBMRを説明しうる変数を確認するため、被説明変数をBMR、説明変数を体重、身長、脂肪体重（FM）、除脂肪体重（FFM）、年齢、性別、季節のいずれか1つにした場合の回帰分析を行なった。質的変数である性別と季節のデータはダミー変数を用いた（性別：女性が0、男性が1；季節：冬期が0、夏期が1）。体脂肪率の実測値と推定式による予測値との関係は、ピアソンの相関分析を用いて解析した。統計処理は、フリーの統計分析ソフトウェアRを用いた（R Core Team 2015）。

結果と考察

対象者の身体的特徴をTable 1に示した。男女別にみても、体脂肪率では女性の方が男性より有意に高く（ $t = 8.24$, $P < 0.001$ ）、その他の項目では男性の方が有意に高かった（年齢： $t = -2.8$, $P = 0.006$ ；身長： $t = -11.8$, $P < 0.001$ ；体重： $t = -8.01$, $P < 0.001$ ；BMI： $t = -2.87$, $P = 0.005$ ；筋肉率： $t = -17.2$, $P < 0.001$ ；基礎代謝： $t = -15.7$, $P < 0.001$ ）。季節別にみても、どの項目も季節間で有意な差はなかった（年齢： $t = 1.6$, $P = 0.11$ ；身長： $t = -0.08$, $P = 0.93$ ；体重： $t = -1.12$, $P = 0.26$ ；BMI： $t = -1.35$ 、

Table 1. Physical characteristics of subjects.

	Gender			Season	
	All	Females	Males	Summer	Winter
	(<i>n</i> = 110)	(<i>n</i> = 42)	(<i>n</i> = 68)	(<i>n</i> = 55)	(<i>n</i> = 55)
Age (y)	25.0 \pm 10.0	21.8 \pm 5.9	26.4 \pm 11.4	23.1 \pm 9.1	26.1 \pm 10.5
Height (cm)	165.9 \pm 8.5	157.9 \pm 5.2	170.9 \pm 6.1	166.0 \pm 8.5	165.9 \pm 8.6
Weight (kg)	59.9 \pm 11.5	51.5 \pm 7.3	65.1 \pm 10.6	61.1 \pm 13.4	58.7 \pm 9.2
BMI (kg/m^2)	21.7 \pm 3.2	20.6 \pm 2.6	22.3 \pm 3.5	22.1 \pm 3.9	21.3 \pm 2.3
Body fat (%)	20.5 \pm 6.2	25.2 \pm 4.2	17.6 \pm 5.5	19.9 \pm 6.9	21.0 \pm 5.5
Body muscle (%)	32.1 \pm 4.3	27.7 \pm 1.7	34.9 \pm 2.7	32.4 \pm 4.4	31.9 \pm 4.1
BMR (kcal/d)	1401 \pm 235	1158 \pm 107	1550 \pm 154	1423 \pm 255	1379 \pm 214

Values are mean \pm SD.

$P = 0.18$; 体脂肪率 : $t = 0.91$ 、 $P = 0.36$; 筋肉率 : $t = -0.69$ 、 $P = 0.49$; 基礎代謝 : $t = -0.98$ 、 $P = 0.33$ 。

ステップワイズ重回帰分析の結果、基礎代謝 (BMR、kcal/d) を説明する変数としては体重 (W、kg) が最も強力な予測因子で、以下、性別 (G; 0: female、1: male)、身長 (H、cm)、年齢 (A、year)、季節 (S; 0: winter、1: summer) の順に強力な予測因子であった (Table 2)。これらの予測因子を考慮した基礎代謝の推定式は以下のとおりであった。

$$\text{BMR} = 251.3 + 19.2 W \quad (2)$$

$$\text{BMR} = 416.5 + 14.4 W + 195.3 G \quad (3)$$

$$\text{BMR} = 84.1 + 13.9 W + 173.1 G + 2.3 H \quad (4)$$

$$\text{BMR} = 103 + 14 W + 176.6 G + 2.3 H - 1.03 A \quad (5)$$

$$\text{BMR} = 97.8 + 13.9 W + 176.8 G + 2.29 H - 0.97 A + 6.13 S \quad (6)$$

式 (2) は最も強力な予測因子である体重のみを考慮

した場合、式 (3) は体重とその次に強力な予測因子である性別を考慮した場合、さらに式 (4) は身長を式 (5) は年齢を追加して考慮した場合、式 (6) は全ての予測因子を考慮した場合の推定式である。式 (6) から、体重や身長が大きく年齢が若いほど、性別では女性よりも男性、季節においては冬に比べて夏のほうが、基礎代謝が高くなることを表している。

BMRを説明する変数として、除脂肪体重、体重、性別、身長、脂肪体重、年齢のいずれか1つとした単回帰分析の結果、どの変数とも有意な関係があった (Table 3)。BMRを単独で説明する変数としては、除脂肪体重 (FFM、kg) が最も高く96.8%を説明でき、推定式は以下の通りであった。

$$\text{BMR} = 175.8 + 25.8 \text{ FFM} \quad (7)$$

式 (2) と (7) はいずれも基礎代謝を推定する式で

Table 2. Multiple regression analysis for the predictors of BMR (kcal/d).

Step	Variable entered*	Multiple R ²	Adjusted R ²
1	Weight (kg)	0.8833	0.8822
2	Gender†	0.9925	0.9924
3	Height (cm)	0.9952	0.9951
4	Age (y)	0.997	0.9968
5	Season‡	0.9971	0.9970

* Each step of the regression adds a variable to the previous predictors.

† 0 for females, 1 for males.

‡ 0 for winter, 1 for summer.

Table 3. Regression analysis between BMR (kcal/d) and a single predictor.

Predictor	Intercept	Coefficient	Multiple R ²	Adjusted R ²
FFM (kg)	176***	25.8***	0.9681	0.9678
Weight (kg)	251***	19.2***	0.8833	0.8822
Gender†	1158***	392***	0.6604	0.6572
Height (cm)	-2157***	21.4***	0.6050	0.6013
Fat Mass (kg)	1191***	16.9***	0.1433	0.1354
Age (y)	1286***	4.66*	0.03843	0.02952

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

† 0 for females, 1 for males.

ヒトにおける体脂肪率の推定式

あることから、式 (1) の関係を用いて、体脂肪率について次のように解くことができる。

$$F = 25.6 - 293/W \quad (8)$$

同様に、式 (7) と組み合わせることにより、式 (3) から (6) についても以下のような体脂肪率の推定式を導くことができる。

$$F = (44.2 W - 757 G - 933)/W \quad (9)$$

$$F = (46.1 W - 671 G - 8.9 H + 355)/W \quad (10)$$

$$F = (45.7 W - 684 G - 8.9 H + 4 A + 282)/W \quad (11)$$

$$F = (46.1 W - 685 G - 8.9 H + 3.8 A - 23.8 S + 302)/W \quad (12)$$

式 (8) から (12) で与えられる体脂肪率の推定式は、考慮する因子を追加するほど予測精度が高くなった (Fig. 1)。体重のみを考慮した式 (8) では、実測値と推定値の間には相関がなかった ($P = 0.93$)。体重に加えて性別を考慮するだけで高い相関係数が得られたことは、体重とともに体組成の性差が体脂肪率には強く影響していることを示唆している。摂取エネルギー過多による体重の増加のうち、増加重

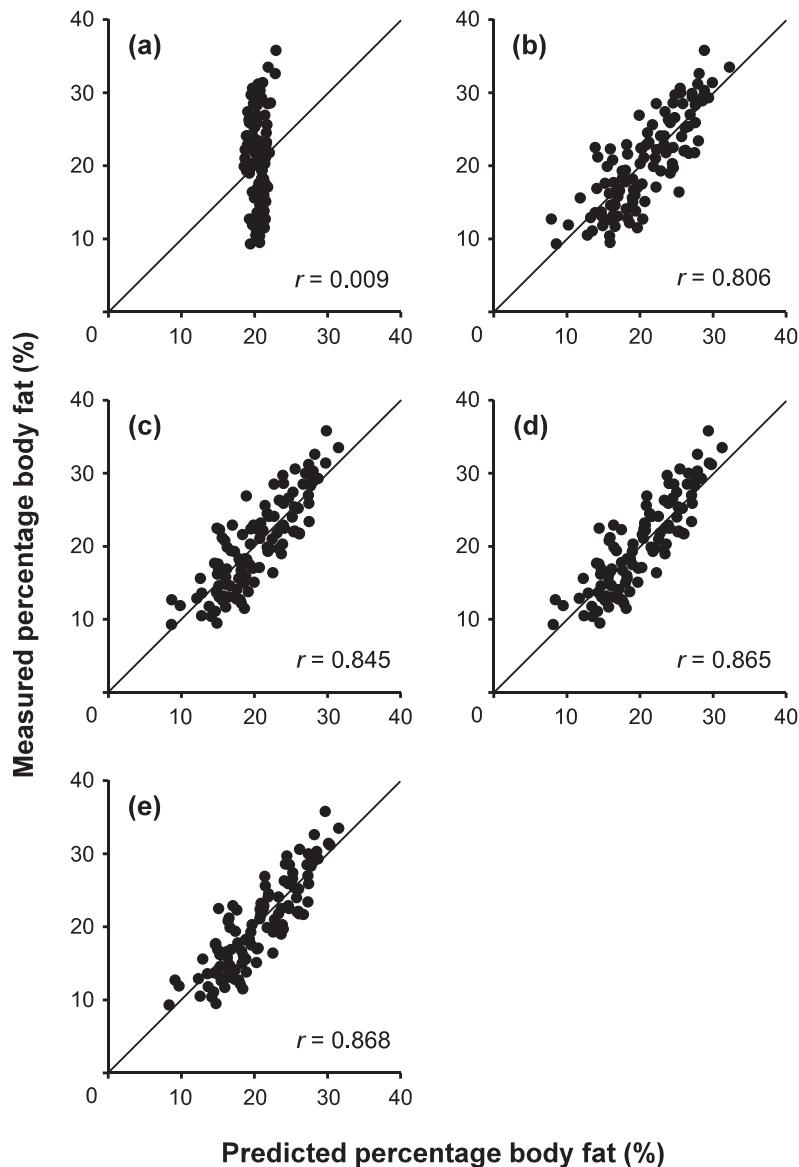


Fig. 1. Measured vs. predicted percentage body fat using (a) Eq. 8 with weight (W, kg) as an explanatory variable, (b) Eq. 9 with weight and gender (G, 0 for females and 1 for males), (c) Eq. 10 with weight, gender and height (H, cm), (d) Eq. 11 with weight, gender, height and age (A, y), and (e) Eq. 12 with weight, gender, height, age and season (S, 0 for winter and 1 for summer). In (a) correlation was not significant ($n = 110$, $P = 0.93$), and in (b)–(e) correlations were significant ($n = 110$, $P < 0.01$). Diagonal lines denote identical predictions and measurements.

量の75%は体脂肪の蓄積であることが原因とされる (Jéquier and Tappy 1999)。また、1999年から2004年に米国人を対象に行なわれた体組成の調査では、20歳以上の体脂肪率の平均値は男性で28%であるのに対して女性では39.9%と大きな性差がある (Borrud *et al.* 2010)。推定式 (9) はWとGのみの関数であることから、体組成計などの測定機器がなくても、この式を用いれば体重と性別から簡便に各自の体脂肪率を推測することが可能であり、推定式 (11) と (12) を用いればさらに予測精度が上がる。推定式 (11) と (12) では、年齢 (A) とともに体脂肪率が増加することを示している。推定式 (12) では体脂肪率は夏よりも冬のほうが高くなることを表しており、岡・加藤 (2012) が示した体脂肪率の季節変動と合致する。推定式 (12) における体脂肪率と季節変化の整合性から、式 (6) において、冬に比べて夏に基礎代謝が高くなるという結果は妥当であろう。日本人と外国人では体つきに違いがあるが、本研究では対象を日本人に限定していることから単純な式から精度よく推定できたと考えられる。日本人は外国人と比べると極端な肥満や痩せのような平均的な体型から外れた人は少ないが、本研究において対象者の体重範囲は41.7–109.8 kg、身長では145–188 cm、BMIでは16.8–40.3 kg/m²、体脂肪率では9.3–35.8%の範囲であったことから、式 (9) から (12) は競技者や特定の疾患にかかっている人を除けば比較的幅広い日本人に適用できる推定式であろう。

謝辞

本研究において、データを提供していただいた被験者の方々、まとめるにあたって助言を頂いた広島大学の高原輝彦博士に感謝いたします。査読者の方々からは本原稿に対して有益な助言を頂きました。

引用文献

- Borrud, L. G., Flegal, K. M., Looker, A. C., Everhart, J. E., Harris, T. B., and Shepherd, J. A. 2010. Body composition data for individuals 8 years of age and older: U.S. population, 1999-2004. National Center for Health Statistics. Vital and Health Statistics, Series 11, Number 250.
- Cunningham, J. J. 1980. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33: 2372-2374.
- Cunningham, J. J. 1991. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54: 963-969.
- Ganpule, A. A., Tanaka, S., Ishikawa-Tanaka, K., and Tabata, I. 2007. Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 61: 1256-1261.
- Harris, J. A. and Benedict, F. G. 1919. A biometric study of basal metabolism in man. Carnegie Institute of Washington, Washington DC.
- Jéquier, E. and Tappy, L. 1999. Regulation of body weight in humans. *Physiol. Rev.*, 79(2), 451-480.
- 厚生労働省. 2008. V運動の基礎科学. 食生活改善指導担当者テキスト, pp. 182-197.
- 岡拓矢・加藤元海. 2012. ヒトにおける体重と体組成の変動パターンおよび体脂肪率に変化を与える要因. *黒潮圏科学*, 5(2): 161-167.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- 田口素子・高橋和子・大内志織・樋口満. 2011. 除脂肪量を用いた女性競技者の基礎代謝量推定式の妥当性. *体力科学*, 60(4): 423-432.
- 高橋恵理・樋口満・細川優・田畑泉. 2007. 若年成人女性の基礎代謝量と身体組成. *栄養学雑誌*, 65(5): 241-247.
- 田中茂穂. 2009. エネルギー消費量とその測定方法. *静脈経腸栄養*, 24(5): 1013-1019.
- 辰田和佳子・横田由香里・亀井朋子・俵紀行・川原貴・田口素子・樋口満. 2012. エリート男性競技者の高い基礎代謝量は身体組成に起因する. *体力科学*, 61(4): 427-433.
- 薄井澄誉子・岡純・山川純・佐々木由美・樋口満. 2003. 閉経後中高年女性の基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響. *体力科学*, 52: 189-198.

Estimation of percentage body fat in Japanese subjects at 18 years of age and older

Yuko Ito¹⁾ and Motomi Genkai-Kato^{1, 2)*}

¹⁾Department of Biology, Faculty of Science,
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,
Kochi 780-8520, Japan

^{2)*}Graduate School of Kuroshio Science,
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,
Kochi 780-8520, Japan

Abstract

There have been various prediction equations for basal metabolic rate (BMR), while no equation for percentage body fat has been made thus far. Convenient

estimation on body fat is important for maintenance of a healthy life in humans. This study was designed to derive prediction equations for percentage body fat mathematically from equations for BMR based on body weight, height, body composition, age, and season, using data for 110 Japanese female and male individuals at 18 years of age and older. There was no significant correlation between measurements and predictions of percentage body fat when weight was included into the prediction equation. The equation with the effect of gender in addition to weight successfully explained variations in percentage body fat. Additional considerations of height, age, and season to weight and gender as explanatory variables increased accuracy of the prediction equations for percentage body fat.

Key words: Basal metabolic rate, body composition, body fat, fat-free mass, prediction equation.