

Okubo H, Sasaki S, Hirota N, Notsu A, Todoriki H, Miura A, Fukui M, Date C. The influence of age and body mass index, on relative accuracy of energy intake among Japanese adults. Public Health Nutr: 9 (5): 651-657, 2006.5.

Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Uenishi K, Yamasaki M, Hayabuchi H, Goda T, Oka J, Baba K, Ohki K, Kohri T, Watanabe R, Sugiyama Y. Misreporting of dietary energy, protein, potassium and sodium in relation to body mass index in young Japanese women. Eur J Clin Nutr 2007; (advance online publication, 14 February 2007; doi:10.1038/sj.ejcn.1602683).

佐々木敏. 健康的な食生活習慣形成を目指した食事摂取基準. 学術の動向: 11(5): 28-33, 2006.5.

田中茂穂. 間接熱量測定法による 1 日のエネルギー消費量の評価. 体力科学: 55(5): 527-532, 2006.10.

2. 学会発表

なし

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

既存の基礎代謝推定式の妥当性

研究代表者	田中 茂徳	(独) 国立健康・栄養研究所	健康増進プログラム エネルギー代謝プロジェクトリーダー
研究協力者	三宅 理江子	〃	研修生
	高田 和子	〃	上級研究員
	大河原 一憲	〃	流動研究員
	引原 有輝	〃	特別研究員

基礎代謝量の推定式には、日本人の食事摂取基準(2005年版)の基礎代謝基準値や Harris-Benedict 式などがある。しかし、健康な日本人を対象に、既存の基礎代謝量推定式の妥当性について報告した論文はほとんどない。そこで、18-79歳の健康な日本人男女 366名を対象に、年代別、体格別に既存の基礎代謝量推定式の妥当性について検討した。ダグラスバッグにより実測した値を、国立健康・栄養研究所の式 (Ganpule et al., 2007) を含む 6つの推定式から得られた結果と比較した。

基礎代謝量の実測値は、男性は 1452 kcal、女性は 1121 kcal だった。実測値と推定値の差を評価するために平均誤差平方和の平方根 (Total Error (TE)) を用いた。男女別では国立健康・栄養研究所の式の TE が最も小さかった (男性: 124 kcal、女性: 99 kcal)。TE が最も大きかったのは、男性は FAO/WHO/UNU 式 (234 kcal)、女性は Harris-Benedict 式 (183 kcal) だった。

今回使用した 6つの推定式の中では男女とも国立健康・栄養研究所の式の誤差が最も少なかったため、健康な日本人男女において、基礎代謝量の推定に最も良い推定式であることが示唆された。

A. 研究目的

エネルギー消費量を知る方法として、二重標識水 (doubly labeled water : DLW) 法、ヒューマンカロリメーター、心拍数法、加速度計法、活動記録法などが用いられてきた。しかし、マスクを装着することにより普段の生活が制限されたり、分析機器が高価で購入できず技術的にも測定が困難であったり、測定を行う人材や時間の確保が難しいなど、日常生

活において正確な測定を行うことは難しい。

そこで、推定式から基礎代謝量を推定し、活動量とあわせて総エネルギー消費量を推定する方法が一般的に用いられている。基礎代謝量の推定式には、日本人の食事摂取基準(2005年版)の基礎代謝基準値、標準的でない体重の人に対する基礎代謝基準値の補正を目的とした加算値(昭和 50 年改定 日本人の栄養所要量)、有疾患者に対する基礎代謝量の推

定によく利用されている Harris-Benedict 式(1919)、世界的に幅広く使用されている Schofield 式(1985)と FAO/WHO/UNU 式(1985)、健康な日本人で睡眠時代謝量の推定式とともに作成された国立健康・栄養研究所の式(Ganpule et al., 2007) などがある。しかし、日本人を対象に、これらの式を用いて基礎代謝量の推定をした場合、年齢別、体格別にどの程度の誤差を生じるのか、あるいは日本人に利用可能な推定式は何か明らかにされていない。そこで、健康な日本人男女で、対象特性別に既存の基礎代謝量推定式の妥当性を検討することを目的とした。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、18 歳から 79 歳で、日常生活に支障がなく代謝に影響する疾患を持たない、健康な日本人男女 366 名であった。

2. 測定手順

基礎代謝量の測定はダグラスバッグ法を用いた。測定日の前日には激しい運動を避け、測定の約 12 時間前までに通常の夕食を摂ってもらった。測定当日には朝食を食わずに研究所に來所してもらい、およそ 25℃の室温で、覚醒・仰臥安静状態においてマスクを装着して呼気ガスの採集を行った。一部の被験者は、前日からヒューマンカロリメーター室内に宿泊し、基礎代謝量の測定は 7:00 に目覚めた後、排尿を済ませ再びベッドへ戻り、当日研究室に來所した被験者と同様、覚醒・仰臥安静状態においてマスクを装着して呼気ガスの採集を行った。呼気ガスの採集は、安静仰臥位を 30 分以上保った後、ダグラスバッグに呼気を 10 分間ずつ 2 回採集した。呼気はガスメーター(DC-5C、品川製作

所)にて換気量を測定し、質量分析計(ARCO-1000、アルコシステム社製)を用いて酸素および二酸化炭素の濃度を分析した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir の式(1949)を用いて基礎代謝量を算出した。

当日研究所に來所した人、または前日から宿泊した人の実測値が、測定条件による差がないか、実測値を従属変数、性、年齢、身長、体重を共変量とし共分散分析で検討したところ、二つの方法による有意な差は観察されなかった。

また、身体計測は、早朝空腹時に身長は 0.1 cm 単位、体重は 0.1 kg 単位で測定した。

基礎代謝量の推定には、①基礎代謝基準値、②加算値(昭和 50 年改定 日本人の栄養所要量)、③Harris-Benedict 式、④Schofield 式、⑤FAO/WHO/UNU 式、⑥Ganpule らの式を用いた(表 1)。

①～⑥の推定式から得られた推定値と実測値を比較した。実測値と推定値の差を評価するために平均誤差平方和の平方根 (Total Error (TE): $\sqrt{\sum (\text{推定値} - \text{実測値})^2 / \text{被験者数}}$) を求めた。

3. 倫理面への配慮

本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会(ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会)」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神に則り実施した。測定に当たって、被験者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面による同意を得た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

本研究で対象とした被験者の特徴を表 2 に

示した。

基礎代謝量の実測値の平均値は男性: 1452 kcal、女性: 1121 kcal だった(表 2)。実測値と推定値で対応のある t 検定を行ったところ、ほとんどの推定式において有意な差が認められたが($p < 0.05$)、男性の加算値($p = 0.062$)と女性の Ganpule らの式($p = 0.123$)では有意な差が認められなかった。

いずれの推定式を用いた場合でも、推定値と実測値との間に、男女とも有意な正の相関関係が認められた(図 1、 $p < 0.05$)。

図 2 に体重と、推定値と実測値の差の関係(男性)を示した。男女とも基礎代謝基準値は体重が大きくなるほど有意に過大評価し、加算値は体重が大きくなるほど有意に過小評価した($p < 0.05$)。男女とも Schofield 式、FAO/WHO/UNU 式、Ganpule らの式は、体重が変化しても差に影響が見られなかった。

表 3 に各年代別の TE を示した。まず全体では、男女とも Ganpule らの式が最も小さかった(男性: 124 kcal、女性: 99 kcal)のに対し、基礎代謝基準値は男性: 163 kcal、女性: 139 kcal、加算値は男性: 161 kcal、女性: 108 kcal であった。その他の推定式は、更に大きな値となっていた。男性は FAO/WHO/UNU 式が最も大きかった(234 kcal)が、女性は Harris-Benedict 式が最も大きかった(183 kcal)。

年代別にみると、男性は、60 代と 70 代以外は Ganpule らの式が最も小さかった。女性は Ganpule らの式または加算値が小さかった。男女ともほとんどの年代において Schofield 式と FAO/WHO/UNU 式の TE は大きかった。特に、男性の 40 代の FAO/WHO/UNU 式(278 kcal)、50 代は Schofield 式(269 kcal)と FAO/WHO/UNU 式(305 kcal)は 250 kcal を超えていた。女性の 50 代も Schofield 式(221

kcal)と FAO/WHO/UNU 式(232 kcal)は 200 kcal を超えていた。さらに、Harris-Benedict 式の 10・20 代女性は TE が大きかった(233 kcal)。

D. 考察

被験者の身体計測値を平成 16 年国民健康・栄養調査報告で報告されている各年代別の値と比較したところ、年代によってはやや値に差がみられる年代もあった(50 代女性の国民健康・栄養調査報告: 154.5 cm、今回の被験者: 157.5 cm)が、ほぼ同じような値であり、本研究の被験者は現代の日本人の標準的な体格を有する集団であったと考えられた。

体重と、実測値と推定値の差との関係を見ると(図 2)、基礎代謝基準値は男女とも体重が大きくなるにつれ、過大に評価した。体重当たりの基礎代謝量は体重が大きくなるほど低い値を示す(昭和 50 年改定 日本人の栄養所要量)ので、基礎代謝基準値を使用すると、体重が大きい場合、過大評価してしまう。したがって、年齢ごとの一律の基礎代謝基準値では個人の基礎代謝量を推定するのに限界がみられる。その問題を解決するために作成された加算値は、体重が大きくなるにつれて過小評価する傾向がみられた。補正が行われるべき標準から外れる体重を持つ人では過剰に減算されているといえる。加算値は特に男性の体重が大きい人は過剰に減算される場合があるので、現状のままでは使用するのには問題だと考えられる。現代の日本人に合うような加算値を検討する必要があることが示唆された。

男女別の TE は、Ganpule らの式が最も小さかった(表 3)。年代別に見ると、男性は、60 代と 70 代以外は Ganpule らの式の TE が最も小

さかった。60代は Schofield 式が最も TE が小さかったが、加算値、Harris-Benedict 式、Schofield 式、Ganpule らの式の TE は 99-106 kcal の幅にあり、この 4 つの推定式の TE はほとんど変わらないと考えられる。70代は Harris-Benedict 式が最も小さかったが、Ganpule らの式とほとんど変わらなかった。女性は Ganpule らの式または加算値が最も TE が低いことが示された。30代は加算値が 92 kcal、Ganpule らの式が 98 kcal なのでほとんど差はない。60代は、加算値が 77 kcal で、Ganpule らの式は 90 kcal で、ともに 100 kcal 以下だった。

Ganpule らの式は他の推定式と比べ、たとえ TE が最も小さくない場合でなくても、最も小さい値と同程度の値であり、どの年代も Ganpule らの式は、誤差の変動が小さいことが示された。Ganpule らの式は、男女ともどの年代においても誤差の変動が小さいので、健康な日本人において、今回使用した 6 つの推定式の中では、基礎代謝量の推定に最も良い推定式であることが示唆された。

今回用いた 6 つの基礎代謝量の推定式の中では、Ganpule らの式の TE が最も小さかったが、男性で 124 kcal、女性で 99 kcal と 1 日に約 100 kcal の誤差がある。1 日のエネルギー消費量 (total energy expenditure : TEE) を算出する際は、基礎代謝量に身体活動レベル (physical activity level : PAL) や、基礎代謝量に活動係数 (activity factor : AF) とストレス係数 (stress factor : SF) 乗じて算出する。たとえば、Ganpule らの式で基礎代謝量を算出し、日本人の食事摂取基準 (2005 年版) で多くの日本人に当てはまるとされる PAL のふつう: 1.75 を乗じると、男性で 217 kcal、女性で 173 kcal に誤差が拡大されてしまう。男性で最も TE が大き

かった FAO/WHO/UNU 式で基礎代謝量の算出をし、先ほどと同様に 1 日当たりの誤差を算出すると 410 kcal になり、女性で最も TE が大きかった Harris-Benedict 式で基礎代謝量の算出を行うと 320 kcal になる。基礎代謝量の推定式ごとの誤差は大きく違わないように見えても、1 日当たりになると誤差が拡大されてしまうので、基礎代謝量にどの程度の誤差があるのか知った上で推定式を利用すべきである。さらに、PAL は、代表値についても、低い: 1.50~高い: 2.00 まで広がりがあり (15~69 歳の場合)、用いる PAL により誤差が変わる。TEE を算出する際には、基礎代謝量が最も大きい因子であると考えられるが、PAL または AF や SF によって誤差が拡大されるので、TEE に影響を与える基礎代謝量以外の因子の検討も今後はされるべきであると考えられる。

また、基礎代謝量には除脂肪量が最も影響し、性や年齢を考慮せず除脂肪量から基礎代謝量を算出する方法も考案されている (Cunningham, 1991)。各個人の基礎代謝量を評価する場合には、除脂肪量や脂肪量などの体組成などについても考慮して検討することが必要かもしれない。

E. 結論

基礎代謝量の実測値と既存の 6 つの推定式を比較したところ、今回の被験者における基礎代謝量の推定に最も良い推定式は、最も誤差の変動が小さかった国立健康・栄養研究所の式 (Ganpule et al., 2007) だった。また、基礎代謝量の推定式は、既存の基礎代謝基準値のように、年齢階級ごとに体重あたりの基礎代謝量を一律に使用するのではなく、体重項と切片を含む式あるいは加算値の改良など、

体重を考慮した基礎代謝量の推定式にする必要があることが示唆された。

F. 研究発表

1. 論文発表

Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr*, 61: 1256-61, 2007.

Tanaka S., Ohkawara K., Ishikawa-Takata K., Morita A., Watanabe S. Accuracy of predictive equations for basal metabolic rate and the contribution of abdominal fat distribution to basal metabolic rate in obese Japanese people.

Anti-Aging Med, 5: S17-21, 2008.

2. 学会発表

三宅理江子, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 引原有輝, 田栗恵美子, 栢下淳, 田畑泉: 基礎代謝量の推定式の妥当性. 第 62 回日本体力医学大会 2007.9., 秋田

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表1 基礎代謝量の推定式

		推定式 (kcal/day)	
① 基礎代謝基準値 (日本人の食事摂取基準(2005年版))		基礎代謝基準値 ^{a)} ×W	
② 加算値 (日本人の食事摂取基準(2005年版)の活用)		男性 [基礎代謝基準値 ^{a)} +(10.8-0.173×W)]×W 女性 [基礎代謝基準値 ^{a)} +(8.9-0.172×W)]×W	
③ Harris-Benedict式		男性 66.47+13.75×W+5.00×H(cm)-6.78×Y 女性 655.1+9.563×W+1.85×H(cm)-4.676×Y	
④ Schofield式	18-30歳 ^{b)}	男性 (0.063×W+2.896)×1000/4.186 女性 (0.062×W+2.036)×1000/4.186	
	30-60歳 ^{c)}	男性 (0.048×W+3.653)×1000/4.186 女性 (0.034×W+3.538)×1000/4.186	
	60歳以上	男性 (0.049×W+2.459)×1000/4.186 女性 (0.038×W+2.755)×1000/4.186	
	⑤ FAO/WHO/UNU式	18-30歳 ^{b)}	男性 (64.4×W-113.0×H(m)+3000)/4.186 女性 (55.6×W+1397.4×H(m)+146)/4.186
		30-60歳 ^{d)}	男性 (47.2×W+66.9×H(m)+3769)/4.186 女性 (36.4×W-104.6×H(m)+3619)/4.186
		60歳以上	男性 (36.8×W+4719.5×H(m)-4481)/4.186 女性 (38.5×W+2665.2×H(m)-1264)/4.186
⑥ Ganpuleらの式		(0.1238+0.0481×W+0.0234×H(cm)-0.0138×Y-0.5473×G)×1000/4.186	

W:体重(kg), H:身長(cm or m), Y:年齢(歳), G:性別(男性:1 女性:2)

a) 基礎代謝基準値:男性 18-29(歳) 24.0, 30-49(歳) 22.3, 50-69(歳) 21.5, 70以上(歳) 21.5
女性 18-29(歳) 23.6, 30-49(歳) 21.7, 50-69(歳) 20.7, 70以上(歳) 20.7

b) 18-30歳は18歳から29歳, c) 30-60歳は30歳から59歳

表2 被験者の身体的特徴

	男性 (N=163)				女性 (N=203)			
	Mean	±	SD	Range	Mean	±	SD	Range
年齢(歳)	43	±	15	20 - 79	39	±	18	18 - 76
身長(cm)	170.3	±	6.9	146.4 - 187.7	157.6	±	5.9	140.8 - 172.1
体重(kg)	67.1	±	11.2	45.5 - 110.2	53.3	±	8.2	36.1 - 99.1
BMI(kg/m ²)	23.1	±	3.0	16.8 - 36.4	21.5	±	3.0	16.5 - 36.4
実測基礎代謝量 (kcal/day)	1451.7	±	218.0	1009.8 - 2144.1	1120.8	±	135.7	797.3 - 1675.8

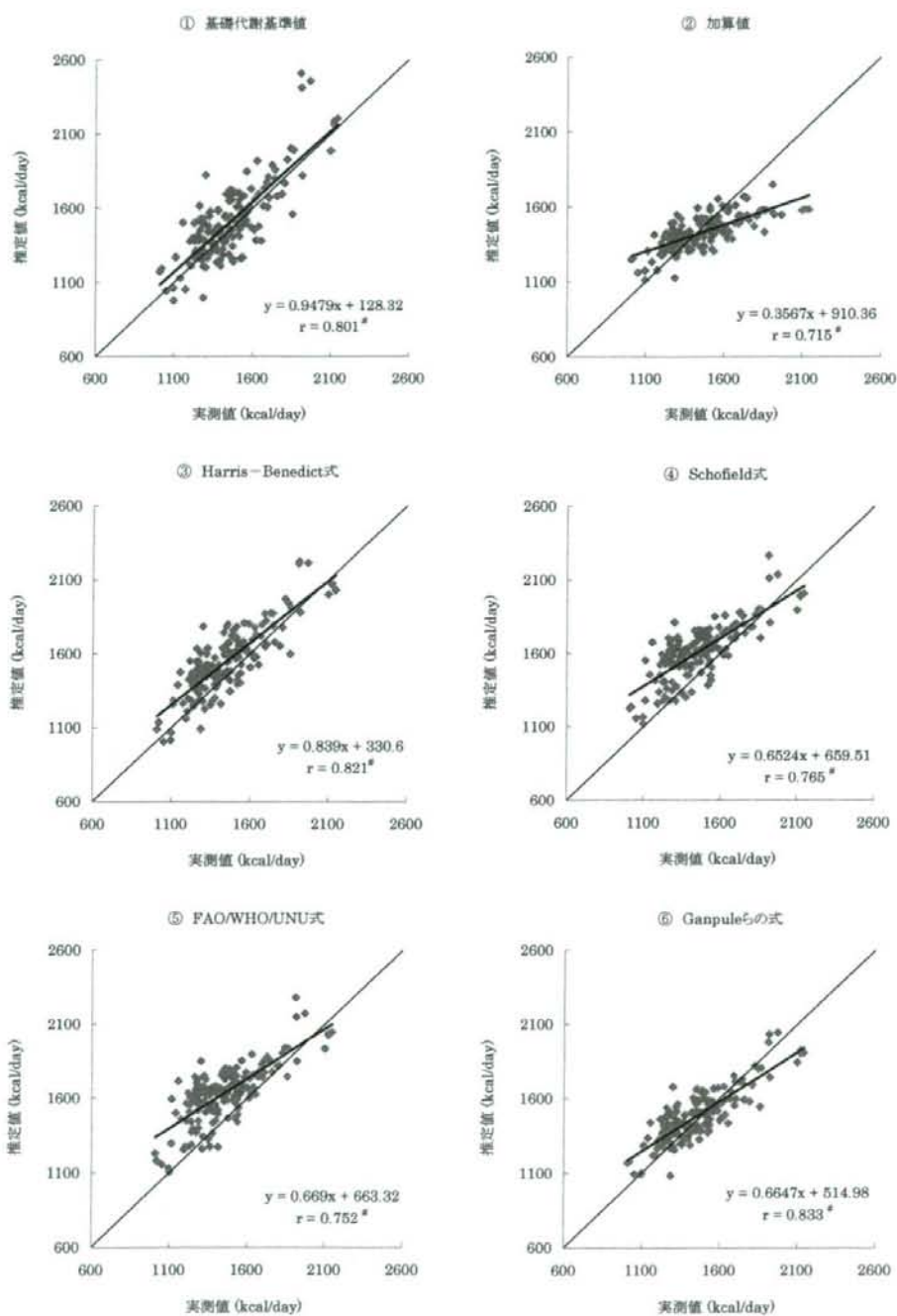


図 1 実測値と推定値の相関関係 (男性)

#: $p < 0.05$

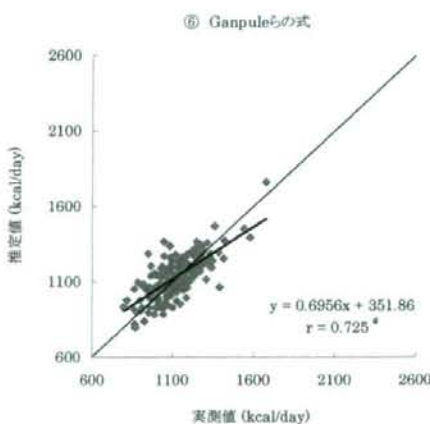
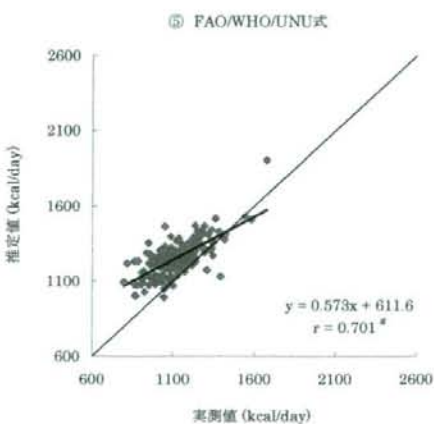
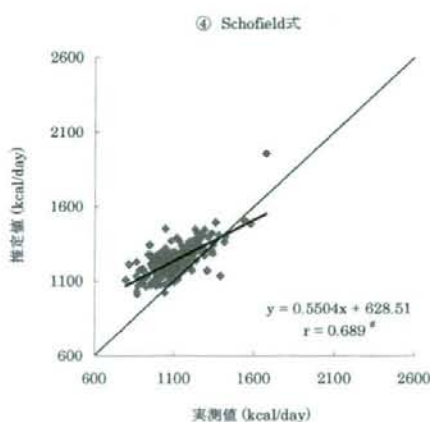
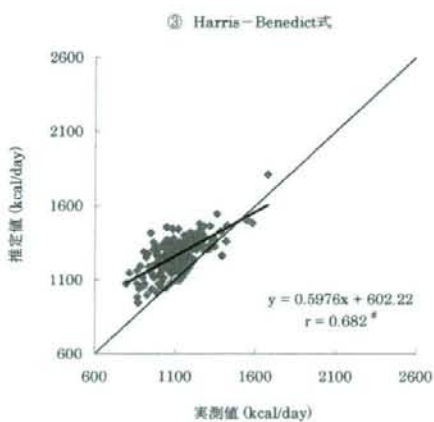
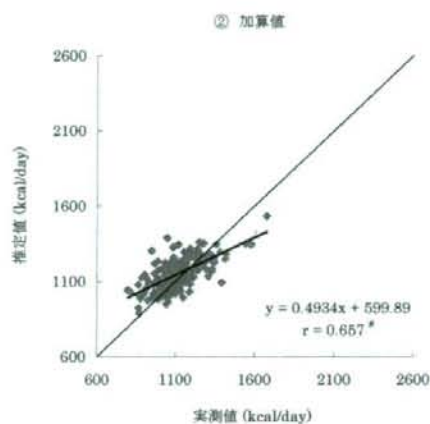
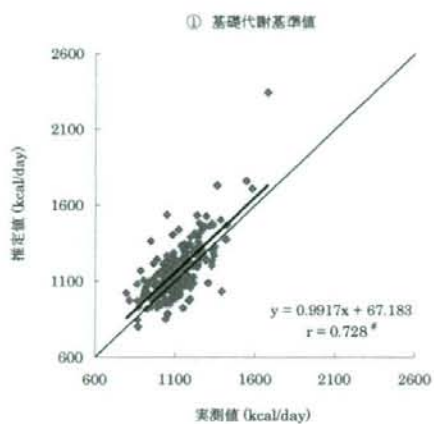


図 1 続き 実測値と推定値の相関関係 (女性)

#: $p < 0.05$

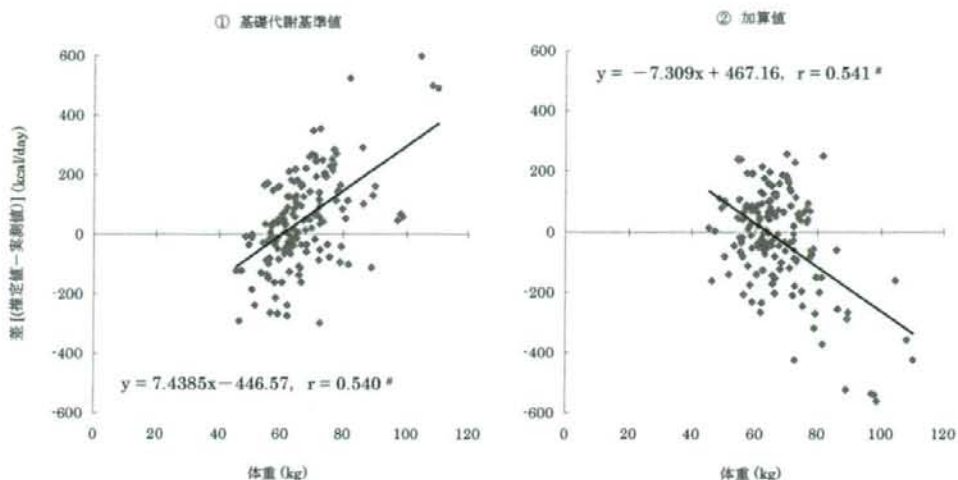


図2 体重と差（推定値－実測値）の関係（男性）

#: $p < 0.05$

表3 年代別のTE^{a)}

	年代(歳)	N(人)	①	②	③	④	⑤	⑥
男性	全体	163	163	161	163	210	234	124
	20-29	35	164	97	176	194	194	89
	30-39	43	160	206	186	208	240	140
	40-49	34	185	179	170	243	278	131
	50-59	23	170	162	154	269	305	150
	60-69	16	140	105	104	99	119	106
	70-79	12	110	127	83	115	110	88
女性	全体	203	139	108	183	159	165	99
	18-29	81	168	131	233	159	160	114
	30-39	32	132	92	168	150	158	98
	40-49	26	104	102	126	149	157	91
	50-59	24	127	70	152	221	232	69
	60-69	23	103	77	111	100	127	90
	70-79	17	96	101	118	154	144	86

a) TE (Total Error):
$$\sqrt{\frac{\sum(\text{推定値}-\text{実測値})^2}{N}}$$

単位: kcal

- ① 基礎代謝基準値、② 加算値、③ Harris-Benedict 式、④ Schofield 式、
⑤ FAO/WHO/UNU 式、⑥ Ganpule らの式

新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 I

研究分担者 宮地元彦 (独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム

運動ガイドラインプロジェクトリーダー

研究協力者 高田和子 // エネルギー代謝プロジェクト 上級研究員

谷本道哉 // 特別研究員

[背景] 基礎代謝量 (Basal Metabolic Rate : BMR) は、全エネルギー消費量の 50-70% 程度を占めるため、この把握はエネルギー必要量の推定には必須である。昨年度は、体重あたりの BMR が、実測を行ったほとんどの性別・年代において日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示すことを報告した。これは、基礎代謝の決定に最も関連すると考えられる除脂肪体重 (Lean Body Mass : LBM) の減少による可能性が示唆される。[目的と方法] 本年度は、被験者数を増やして青年期以降の男女の BMR の測定を行い、性別・年代毎の体重との関係を整理した。さらに、体重を DXA 法により LBM と、体脂肪量 (Fat Mass : FM) の 2 要素に分け、それぞれを変数に含めた BMR 推定法の検討を加えた。[結果] いずれの性別・年代においても、日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示し、体重の増加にしたがって体重あたりの BMR が低下する傾向が観察された。また体重を LBM と FM の 2 変数に分けて導出した BMR の推定式は、体重を 2 変数に分けずに導出した推定式よりも高い精度を得ることができた。[結論] 現在の基礎代謝基準値は体重あたりの値が性別・年齢階級別に一律で採用されているが、体重あたりの BMR が体重によって異なることを考慮したもの、もしくは LBM の値を含めて BMR を評価するものに改定する必要性が示唆される。

A. 研究目的

現在使用されている「厚生労働省策定日本人の食事摂取基準 (2005 年版)」に用いられている基礎代謝基準値は 1951-66 年に実測された値をもとにしたものであり、1969 年以來大きな変更はされていない。飽食の時代といわれる現在と、策定当初とは食事内容は大きく変化し、身体活動量などの生活環境とともに身体組成も大きく変化している可能性がある。そこで、時代の経過に伴う身体条件の変

化を考慮して、新たな基礎代謝基準値の推定法を検討する必要がある。

本研究では青年期以降の男女の基礎代謝量 (Basal Metabolic Rate : BMR) の測定を行い、性別・年代毎に体重との関係、および BMR に強く関係するとされる除脂肪体重 (Lean Body Mass : LBM) との関係を整理し、新たな基礎代謝推定式策定のための基礎的検討を行った。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、日常的に高強度・高頻度で運動を実践している者を除いた、健常な一般成人男女 725 名（男性 18-29 歳：40 名、30-49 歳：44 名、50-69 歳：23 名、70 歳-：24 名 女性 18-29 歳：91 名、30-49 歳：130 名、50-69 歳：276 名、70 歳-：97 名）であった。

2. 測定方法

1) 基礎代謝

被験者には、測定日の前日は激しい運動を避け、前夜の午後 9 時までには通常通りの夕食を摂り、その後は水以外の飲食をしないように指示した。測定当日には朝食を食べずに被験者に来所してもらい、排便・排尿後、室温 20-25℃の条件下において覚醒・仰臥安静状態で基礎体温、心拍を計測した後に、呼気ガスの採取を行った。

呼気ガスは、マスクを装着後 30 分以上安静仰臥させた後、仰臥位のままダグラスバッグに呼気を 10 分間、15 分の間隔をあけて 2 回採取した。呼気はガスメーター（DC-50、品川製作所）にて換気量を測定し、質量分析計（ARCO-1000、アルコシステム社製）を用いてガス濃度を分析して Weir の式（Weir, 1949）により BMR を求めた。

3. 身体計測

身長、体重を、排尿をすませた早朝空腹時に測定した。また、LBM および体脂肪量（Fat Mass：FM）の測定は、二重エネルギー X 線吸収法（Dual Energy X-ray Absorptiometry：DXA, QDR-4500, Hologic 社製）を用いて行った。

4. 倫理面への配慮

本研究は、独立行政法人 国立健康・

栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の許可を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面にて同意を得た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

各性別・年代における体重あたりの BMR は表 1 に示すとおりであった。男性の 18-29 歳の年代では、「日本人の食事摂取基準」の基礎代謝基準値とおおむね一致する結果となったが、その他の性・年代では 5-10%程度、基準値よりも低い値を示した。特に若年および中年女性において、今回の実測値が基準値より低い傾向が強かった（表 1）。

また、体重あたりの BMR は、男性の 18-29 歳の年代および女性のすべての年代で負の相関を示した。男性の 30 歳以降の年代では、有意ではなかったが、負の相関を示す傾向が観察された（図 1,2）。男女とも、各年代で、体重と体脂肪率の間に有意な正の相関が観察された（図 1,2）。

年齢（Age）、体重（Body Mass：BM）の 2 つを説明変数、BMR を従属変数としたステップワイズ回帰分析を行ったところ、男性、女性ともに Age と BM の両方が説明変数として採用され、以下の式が得られた。男性の推定式の重相関係数（R）は 0.708、標準回帰誤差（SEE：Standard Error of Estimate）は 156(kcal/day)、女性の推定式の R は 0.606 で男性より若干低く、SEE は 131(kcal/day)であった。

Age・BM を用いた重回帰分析による BMR 推定式

男性： $BMR(kcal/day) = 729 + 13.6 \times BM(kg) - 4.3 \times Age(year)$

$R = 0.708, SEE = 156(kcal/day), p < 0.0001$

女性： $BMR(kcal/day) = 591 + 11.1 \times BM(kg) - 2.1 \times Age(year)$

$R = 0.606, SEE = 131(kcal/day), p < 0.0001$

また、体重を BMR に強く関係するとされる LBM と FM の 2 要素に分けて、Age, LBM, FM の 3 つの変数を説明変数、BMR を目的変数としたステップワイズ重回帰分析を行ったところ、男性では、Age と LBM の 2 変数が説明変数として採用された。女性では Age, LBM, FM の 3 変数すべてが説明変数として採用された。これらの変数を用いた推定式は、以下の通りである。男性の推定式の R 値は 0.726、SEE は 152(kcal/day)、女性の推定式の R 値は 0.625、SEE は 128(kcal/day)であった。

Age・LBM・FM を用いた重回帰分析による BMR 推定式

男性： $BMR(kcal/day) = 385 + 21.4 \times LBM(kg) - 2.5 \times Age(year)$

$R = 0.726, SEE = 152(kcal/day), p < 0.0001$

※FM は説明変数として不採用

女性： $BMR(kcal/day) = 399 + 16.5 \times LBM(kg) + 6.9 \times FM(kg) - 1.2 \times Age(year)$

$R = 0.625, SEE = 128(kcal/day), p < 0.0001$

D. 考察

本研究で、体重あたりの BMR が、実測を行ったすべての性別・年代において日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示したことは、LBM の時代変化と関係しているかもしれない。いく

つかの研究報告から、BMR にもっとも関係する要因は臓器や骨格筋からなる LBM であるとされている (Luke and Schoeller 2002, Young 1992 など)。1950-1960 年代の基礎代謝基準値策定当時より LBM が減少し、体重当たりの BMR の減少に影響している可能性が考えられる。体重当たりの BMR は体重が大きくなるほど低い値を示すことは以前から知られていた (薄井ら 2005)。今回の実測の結果でも、すべての性別・年代において体重当たりの BMR と体重に有意な負の相関もしくは負の相関の傾向が観察された。30 歳以上の男性の各群では有意な相関が得られなかったが、相関係数は負であり、被験者数を増やせば有意な相関となる可能性が高い。また、すべての性別・年代において体重と体脂肪率の間に正の相関を認めた。つまり体重が増えるほど LBM の割合すなわち除脂肪率が減る傾向が観察された。

DXA 法で測定された LBM のデータから、年齢と、体重を LBM と FM に分割して変数に含めた BMR 推定式の重回帰分析を行ったところ、男性で $R = 0.726$ 、女性で $R = 0.625$ という比較的高い相関が得られた。この R は、年齢と体重の 2 変数から求めた推定式よりも高い値であった。また、このときの SEE は男性で 152(kcal/day)、女性で 128(kcal/day)であった。なお、男性においては推定式の説明変数として年齢と LBM が、女性においてはさらに FM が説明変数として採用された。脂肪組織にも若干のエネルギー消費があるため、FM の割合の多い女性では FM の影響が無視できないものと考えら

れる。

基礎代謝基準値を定めるに当たり、一律に体重当たりの BMR で規定する現行の推定法は、実測の BMR の値と乖離している。基礎代謝基準値のように体重当たりの BMR を一律に決めるのではなく、多くの基礎代謝推定式のように推定式に切片を含める必要性、もしくは LBM を変数に含ませた推定式の策定の必要性が示唆される。かつて LBM は水中体重法で測定されていたため、評価が困難であるという問題があったが、近年ではインピーダンス式体脂肪計の発達により、簡易かつ比較的正確に LBM を測定できるようになってきている。

また、基礎代謝基準値は通常の生活活動を営む者が対象となっており、スポーツ選手のように著しく身体活動量の多い者は対象となっていない。今回の実測でもスポーツ選手は対象としていない。今後、スポーツ選手を含む様々な身体活動水準の対象者において基礎代謝量の測定を行い、体重、LBM 等との関係を分析する必要がある。LBM を変数に含んだ推定

式は、スポーツ選手を含む幅広い対象層においても適用できるかもしれない。

現時点では、一部の性・年代においてまだ十分な被験者数があるとはいえない。特に中高年男性の被験者数が他の性・年代と比較して不十分である。来年度は、中高年男性やスポーツ選手も含めて、さらに多くの対象者での測定データを収集し、測定値の信頼性を高めたい。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

表1 基礎代謝基準値と実測値との差

性別	年齢(歳)	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基礎代謝実測値 (kcal/kg体重/日)	測定人数	基準値との差
男性	18-29	24.0	23.8 ± 1.9	40	-0.2
	30-49	22.3	21.3 ± 2.3	31	-1.0
	50-69	21.5	20.6 ± 4.5	16	-0.9
	70-	21.5	20.4 ± 2.3	16	-1.1
女性	18-29	23.6	21.4 ± 2.0	94	-2.2
	30-49	21.7	20.0 ± 3.4	86	-1.7
	50-69	20.7	19.9 ± 2.6	103	-0.8
	70-	20.7	19.6 ± 2.2	33	-1.1

全ての性・年代において基準値よりも今回の実測値の方が低い値を示した。特に18-49歳までの青年・中年女性でその傾向が顕著である。

基準値との差 (kcal/kg 体重/日) = 基礎代謝実測値 (kcal/kg 体重/日) - 基礎代謝基準値 (kcal/kg 体重/日)

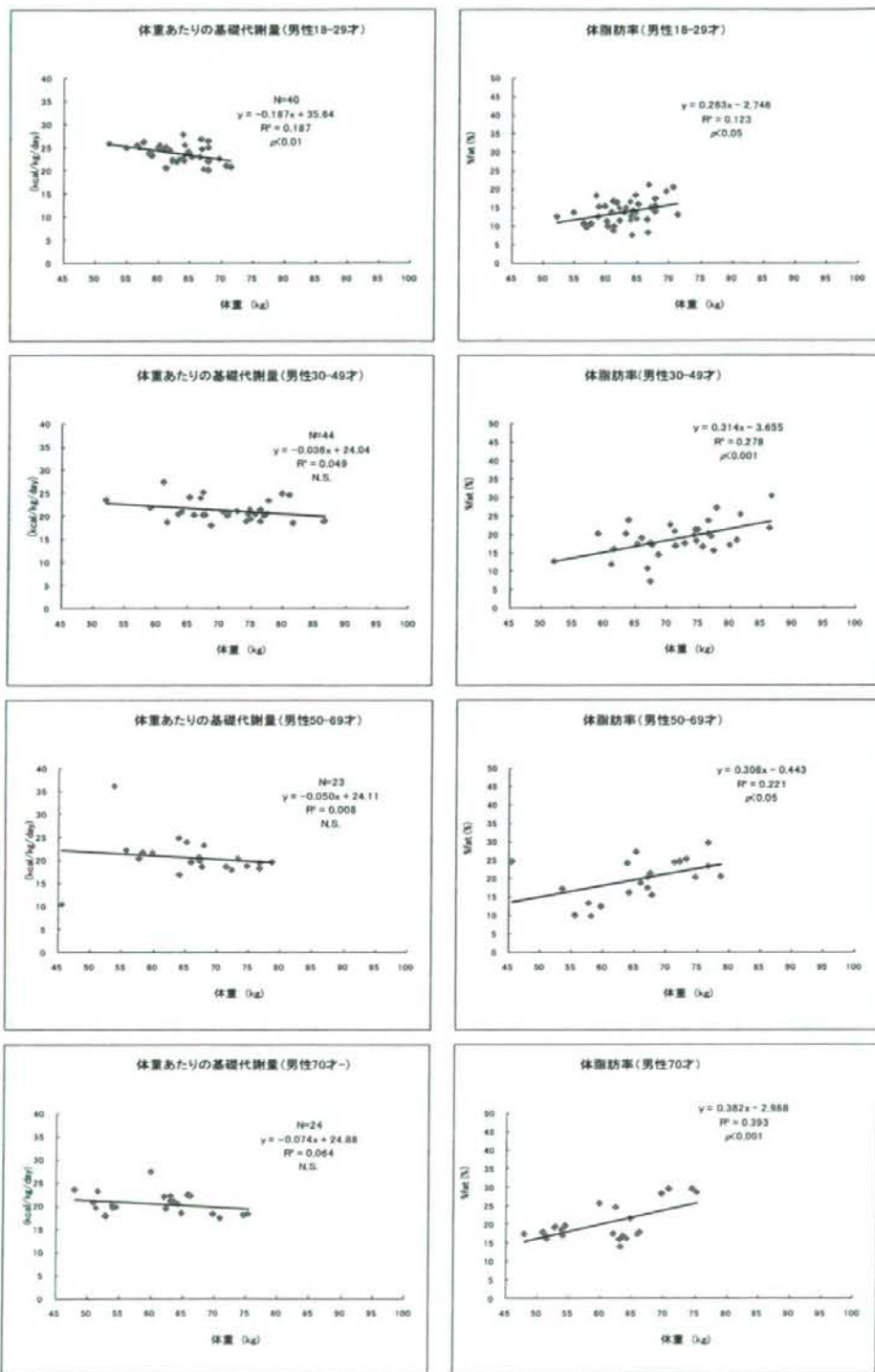


図 1. 男性の各年代の体重と体重当たりの BMR との関係 (左) と、体脂肪率と体重との関係

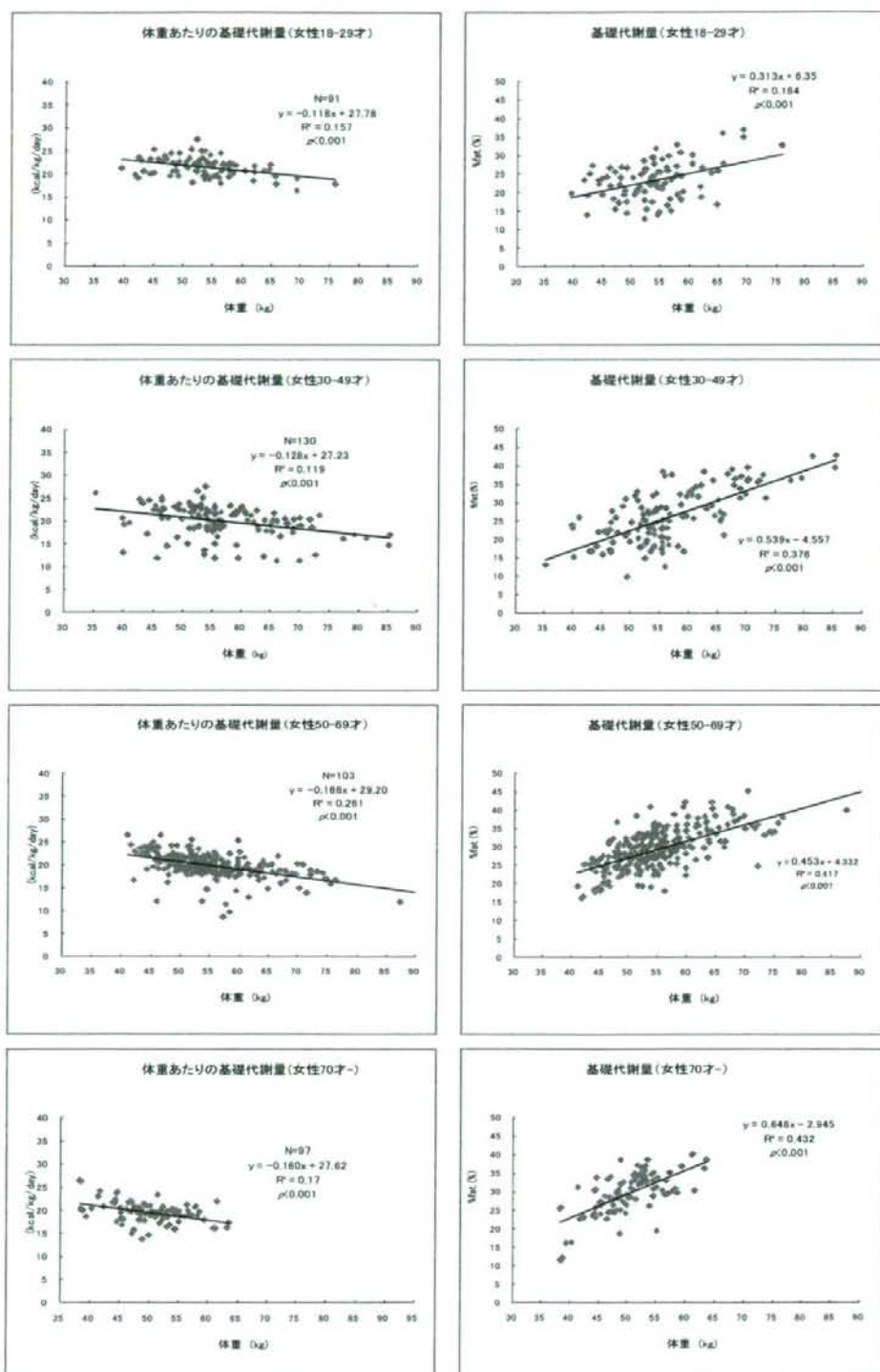


図 2. 女性の各年代の体重と体重当たりの BMR との関係 (左) と、体脂肪率と体重との関係

新たな基礎代謝推定式に関する基礎的な検討 II

研究分担者 宮地元彦 （独）国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム
運動ガイドラインプロジェクトリーダー
研究協力者 高田和子 // エネルギー代謝プロジェクト 上級研究員
谷本道哉 // 特別研究員

[背景] 現行の基礎代謝基準値は性、年代別に体重あたりの数値として一律に設定されている。しかしながら、体重あたりの基礎代謝量（Basal Metabolic Rate : BMR）の実測値は、体重が大きいほど低い傾向にある。ここには、体重増加による体重あたりの体表面積の減少や、体重の増加に伴う体脂肪率の増加による影響の可能性が示唆される。[目的と方法] 本研究では、昨年度よりも被験者を増やして青年期以降の男女の BMR の測定を行い、性別、年代毎の体重との関係を整理した。さらに体重の違いと体型の影響を加味した BMR の推定法の検討を加えた。ここでは体型の指標として体格指数（BMI : Body Mass Index）を用いた。[結果] 男女とも 70 歳以上の年代を除いたすべての年代において、日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示した。いずれの性、年代においても体重、BMI の増加にしたがって体重あたりの BMR が有意に低下することが観察された。このことを考慮し、体重あたりの BMR を一律の値とせずに、体重、BMI 別の 2 段階にわけた推定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。また、体重あたりの BMR を体重の一次式として線形近似した推定式では、その精度がすべての性・年代において向上した。年齢と体重のほかに BMI を説明変数とし、BMR を従属変数とした重回帰分析を行ったところ、男女とも BMI は説明変数としては不採用であり、BMI を説明変数に加えても重回帰分析の精度は変わらなかった。[考察] 現在の年代別の基礎代謝基準値は体重あたりの値が一律に定められているが、体重あたりの BMR は体重、BMI の増加にともない高い相関で減少する。これを考慮した推定式は、表現がやや複雑になり基準値としては不適かもしれないが、精度としては向上する。新たな基準値として検討する価値があるといえる。

A. 研究目的

現在使用されている「厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準（2005 年版）」に用いられている基礎代謝基準値は 1951-66 年に実測された値をもとにしたものであり、1969 年以来大きな変更はされていない。当時と現在とでは食事内容は大きく変化し、身体活動量などの生活環境とともに身体組成も大きく変化している。時代

の経過に伴う身体条件の変化を考慮して、新たな基礎代謝基準値の算定法を検討する必要性がある。

現行の基礎代謝基準値は性、年代別に体重あたりの数値として体重の大小にかかわらず一律に設定されている。しかしながら、体重あたりの基礎代謝量の実測値は体重の増加に伴って高い相関で低下する。これには体重の増加による

体重あたりの体表面積の減少や体脂肪率の増加の影響が示唆される。

恒温動物であるヒトの BMR は熱放散量の重要な決定要因である体表面積の影響を大きく受ける。また、脂肪組織と比べて代謝率の高い除脂肪体重 (Lean Body Mass : LBM) は BMR に強く関係する要因とされている。

昨年度の分担研究報告「新たな基礎代謝推定式に関する基礎的な検討」では、DXA 法を用いた LBM と脂肪量 (Fat Mass : FM) の値を用いた推定式の作成を行った。しかしながら、LBM と FM を変数に用いた重回帰分析による推定式の重相関係数は男性 0.726、女性 0.625 であり、体重を変数に用いた場合の男性 0.708、女性 0.606 と比べて高い精度は得られるものの、それほど大きな変化を得られるものではなかった。また、LBM、FM を変数に用いた推定法には LBM、FM を簡便に正確に測ることが現時点で不可能であるという問題もある。

そこで本年度は被験者を増やして、簡便に正確な値を得ることのできない LBM の代わりに、体脂肪率と高い相関のある体格指数 (BMI : Body Mass Index) を用いて以下の方法による基礎代謝推定式の検討を行った。

検討 1 : 体重あたりの BMR を各年代、性別ごとに基準体重を境界に 2 段階で評価した推定式の検討

検討 2 : 体重あたりの BMR を各年代、性別ごとに、BMI=22 を境界に 2 段階で評価した推定式の検討

検討 3 : 体重の増加に伴って減少する体重あたりの BMR を固定値とするのではなく、体重の一次関数として評価した推定式の検討。

検討 4 : BMR を性別ごとに、年齢、体重に加えて BMI を説明変数として重回帰分析により導出した推定式の検討

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、健常な一般成人男女 781 名 (男性 18-29 歳:100 名, 30-49 歳:149 名, 50-69 歳: 58 名, 70 歳-:23 名 女性 18-29 歳:106 名, 30-49 歳: 155 名, 50-69 歳: 158 名, 70 歳- : 32 名) であった。

2. 測定方法

1) 基礎代謝

被験者には測定日の前日は激しい運動を避け、前夜の午後 9 時までに通常通りの夕食を摂り、その後は水以外の飲食をしないように指示した。測定当日には朝食を食べずに被験者に測定場所に来所してもらい、排便・排尿後、室温 20-25℃ の条件下において覚醒・仰臥安静状態で基礎体温、心拍を計測した後に呼気ガスの採取を行った。

呼気ガスの採取は、マスクを装着後 30 分以上仰臥させた後、仰臥位のままダグラスバッグに呼気を 10 分間、2 回採取した。呼気はガスメーター (DC-50、品川製作所) にて換気量を測定し、質量分析計 (ARCO-1000、アルコシステム社製) を用いてガス濃度を分析して Weir の式 (Weir, 1949) により BMR を求めた。

3. 身体計測

身長、体重を、排尿をすませた早朝空腹時に測定した。

4. 倫理面への配慮

本研究は、独立行政法人 国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会 (ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会)」の許可を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面にて同意を得た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

各性別・年代の実測の体重あたりの BMR は表 1 に示すとおりであった。男女とも 70 歳以上

の年代を除いて 2-7%ほど基準値よりも低い値を示した(表1)。

体重あたりの BMR は、すべての性別・年代で体重、および BMI と有意な負の相関を示した。

(図 1,2)。体重あたりの BMR が体重、BMI とそれぞれ負の相関を示したことから、体重あたりの BMR の推定式を基準体重、および BMI の標準値 22 を境界として 2 段階で評価した(表 2)。体重あたりの BMR を体重および BMI で 2 段階で評価することにより、推定式の標準回帰誤差 (SEE: Standard Error of Estimate) が全体としてやや小さくなる傾向が見られた。

体重あたりの BMR が、すべての性別・年代において体重とほぼ線形の負の相関を示したことから、体重あたりの BMR を体重の一次関数として線形近似した推定式を最小二乗法により算出した。この推定式は BMR を切片 0 とした体重の二次式として表すことになる。この推定式と現状の基礎代謝基準値の評価法である体重あたりの BMR を固定値とした場合 (BMR を切片 0 とした体重の一次式で表す方法) との比較を表 3 に示した。いずれの性別・年代においても体重あたりの BMR を固定値とせず、BMR を体重の二次式として表す方法のほうが SEE の値が小さくなり、評価の精度が向上することが示された。

年齢(Age)、体重(Body Mass: BM)の 2 つに、体脂肪率と高い相関のある BMI を足した 3 つの説明変数をもとに BMR のステップワイズ重回帰分析を行ったところ、男性、女性ともに Age と BM の 2 変数が説明変数として採用された。重回帰分析よりこの 2 変数を用いた以下の算定式を導出した。男性の算定式の R 値は 0.783、P 値は 0.001 以下であった。女性では R 値は 0.622、P 値は 0.001 以下であった。

Age・BM・BMI を用いた重回帰分析による BMR 算定式

男性:

採用された変数: Age, BM

不採用の変数: BMI

$$\text{BMR(kcal/day)}=642.0+14.2\times\text{BM(kg)}-2.8\times\text{Age(year)}$$

$$\text{R}=0.783, p<0.0001, \%SEE=9.8\%$$

$$\text{R}=0.783, p<0.0001, \%SEE=9.8\%$$

女性:

採用された変数: Age, BM

不採用の変数: BMI

$$\text{BMR(kcal/day)}=640.1+11.0\times\text{BM(kg)}-2.4\times\text{Age(year)}$$

$$\text{R}=0.622, p<0.0001, \%SEE=12.3\%$$

$$\text{R}=0.622, p<0.0001, \%SEE=12.3\%$$

D. 考察

本研究では、男女ともに体重あたりの BMR が、70 歳-の年代を除いたすべての年代において日本人の食事摂取基準 (2005 年版) の基礎代謝基準値よりも低い値を示した。これは基準値策定当時との体脂肪率の変化、平均体重の変化と関係しているかもしれない。体脂肪率の増加、つまり LBM の減少と体重の増加に伴い体重あたりの BMR は低い値を示すことは以前から知られていた (Luke and Schoeller 2002、薄井ら 2005 など)。

今回の実測の結果でもすべての性別・年代において体重あたりの BMR と体重、および体脂肪率との相関が高い BMI との間に有意な負の相関が観察された。性別・年代ごとの体重あたりの BMR を固定値として一律に規定する現行の推定式は、標準的な体重、BMI から外れるほど実測の BMR の値と乖離してくる。

体重および BMI 別の 2 段階にわけた推定式では、全体として推定の精度が向上する傾向にあった。今回は推定式算出のための各群の被験者数が減少してしまうため行わなかったが、これをさらに多段階にわけると、より推定式の