

加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

分担研究者	高田 和子	(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	上級研究員
研究協力者	田中 茂穂	〃			エネルギー代謝プロジェクト	リーダー
	引原 有輝	〃			エネルギー代謝プロジェクト	特別研究員
	大河原 一憲	〃			エネルギー代謝プロジェクト	流動研究員
	海老根 直之		大分大学医学部	人間環境・社会医学講座		助手
	佐々木 敏		東京大学大学院	医学系研究科	公共健康医学専攻	疫学保健学講座 社会予防疫学分野 教授

本研究は、特徴的なアルゴリズムを備えた1次元加速度計と3次元加速度計により推定した総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)の妥当性について、二重標識水法(Doubly labeled water: DLW)との比較により検討することを目的とした。

健康な成人男女について、基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)を測定後、1次元(鉛直方向)加速度計(Lifecorder: LC)、3次元(前後、上下、左右)加速度計(Activity monitor: ME、Active style Pro: OH)を装着させた上で、およそ2週間にわたりTEEを測定した。今年度は、解析の終了している13名(男性6名、女性7名)について報告する。

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。OHでは、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、これがLCの妥当性との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による、歩行以外の日常生活活動の割合や各加速度計の妥当性の相違について検討する必要がある。

A. 研究目的

昨年度、厚生労働省より「健康づくりのための運動基準」が策定された。そこでは生活習慣病の予防策として、運動に限らず、3METs以上の身体活動を少なくとも60分間、毎日行うことが重要であるとしている。この3METs以上に相当する代表的な身体活

動は、歩行活動であるが、それ以外に掃除機かけ、庭仕事など日常生活活動中にも含まれていることが考えられる。そのため、歩行活動だけでなく日常生活活動を適切に評価することが望まれる。

近年、加速度計による身体活動の評価に関心が高まっており、本邦においても1次元加速

度計 (Lifecorder, SUZUKEN Co Ltd., Nagoya, Japan) が広く普及している。この加速度計の特徴として、主にゆっくり歩行からジョギングまでの身体活動強度を評価することに優れているが (Kumahara et al., 2004)、機器の測定原理上、日常生活活動を評価しきれない可能性が指摘されている (引原ら, 2007)。一方、3次元加速度計の方が、比較的低強度の活動を定量化することが可能であると考えられている (Westerterp, 1999)。更に、成人を対象とした場合、3方向の加速度情報からより正確に METs や PAR を推定できることが報告されている (Midorikawa et al., 2007)。Midorikawa et al. の提案している推定式の特徴は、上下方向と水平方向と加速度の比率を応用して、得られた加速度データを日常活動と歩行活動に分類し、それぞれの推定式からエネルギー消費量や活動強度を推定することで評価精度が高まる点である。このように、軸が1次元か3次元かという違いだけでなく、加速度計がもつ推定式によってもそれらの評価精度が異なることが認められている (Scott et al., 2005)。これまで、日常生活をいくつかの活動に細分化し、その活動中の消費エネルギー量や METs の推定精度を検討した研究は比較的多いが、1日全体の総エネルギー消費量 (Total energy expenditure: TEE) を評価項目として、複数の加速度計による TEE の妥当性について検討した研究は少ない。

そこで、本研究は、特徴的なアルゴリズムを備えた1次元加速度計および3次元加速度計により推定した TEE の妥当性について二重標識水法 (Doubly labeled water: DLW) との比較により検討することを目的とした。本研究は、日常生活活動中のエネルギー消費量をより適切に評価することにより、DLW 法による TEE との

誤差が小さくなるという仮説に基づいている。

B. 研究方法

1. 被験者

男性 6 名 (42.5±11.6 歳)、女性 7 名 (34.6±7.1 歳) を対象とした (Table 1)。被験者の主な職業は医療事務職員、保健師、看護師であった。

2. 測定手順

測定初日に、早朝空腹条件下で基礎代謝量を測定した。その後、ベースラインとなる尿を 20ml 採取し、体重で規定された量の DLW を経口投与した。また、148-日間に 8 回、同時刻に採取するように指示した。さらに、DLW 法による TEE の測定期間において、3 つ加速度計を腰部に装着させ、通常の日常生活条件下で 2 週間過ごすよう指示した。

3. 加速度計

1) Lifecorder EX

この加速度計 (LC) は、1次元加速度計であり、主に歩行や走行活動をより正確に評価することをねらいとしている。この機器は、ヒトの活動を 4 秒間の加速度の出現頻度と大きさから運動強度を 11 段階に分類することが可能である。また、エネルギー消費量への換算については機器に内蔵された推定式 (Kumahara et al., 2004) を用いて自動的に行われる。

$$\text{PAEE (kcal)} = K_a \times \text{Weight (kg)} \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{Inactive EE (kcal)} = K_x \times \text{BMR} \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{TEE (kcal)} = \text{BMR} + 0.1\text{TEE} + \text{PAEE} + \text{Inactive EE} \cdots \textcircled{3}$$

PAEE: 活動時に付加されたエネルギー消費量

K_a, K_x : 係数

Inactive EE : “微小運動”時のエネルギー消費量

BMR : 基礎代謝量

2) Activity monitor (Matsushita Electric Works, Ltd., Osaka, Japan)

この加速度計 (ME) は、3次元加速度計であり、12秒ごとに3方向 (上下、前後、左右) の加速度の大きさを記録することが可能である。そして、3方向の合成加速度を1本の直線回帰式に外挿することでエネルギー消費量が算出される。

$EE(kcal/min) = ax \times BMR(kcal/min) + REE(kcal/min) \dots ①$

$TEE(kcal) = EE \times 1440 \text{ min} \dots ②$

EE : 毎分のエネルギー消費量

a : 係数

x : 加速度計のカウント数

REE : 座位安静時代謝量

3) Active style Pro (Omron Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan)

この加速度計 (OH) もまた、3次元加速度計である。特徴的な点は、フィルター処理前後の加速度の比から日常生活活動と歩行活動とに分類し、それぞれの直線回帰式から METs を推定することが可能な点である。また、消費エネルギー量は、Ganpule et al. (2007) の推定式から BMR (kcal/min) を算出し、それを1.1倍した上で、METs と活動時間を乗じて算出した。

counts/min : $\leq A$ ならば、Sedentary formula
 $METs = b + ax \dots ①$

counts/min : $> A$, and Ratio : $\leq B$ ならば、
lifestyle activity formula

$METs = d + cx \dots ②-1$

Ratio : $> B$ ならば、locomotive activity formula

$METs = f + ex \dots ②-2$

$PAEE(kcal) = METs \times 1.1BMR \times \text{time (min)} - BMR \dots ③$

$TEE(kcal) = PAEE_{sed} + PAEE_{life} + PAEE_{locom} + DIT + BMR \dots ④$

A and B : thresholds

a-f : 係数

x : 加速度計のカウント数

PAEE_{sed}, PAEE_{life}, PAEE_{locom} : それぞれ、sedentary, lifestyle activity, locomotive activity により付加されたエネルギー消費量

DIT : diet induced thermogenesis

1. 倫理面への配慮

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)」の承認を得て実施した。被験者には、研究の目的、利益、不利益、危険性およびデータの管理や公表について事前に説明を行い、同意を得た上で測定を開始した。また、データは個人情報保護法に基づき厳重に管理し、外部に流出することがないように細心の注意を払った。

C. 研究結果

被験者の平均歩数は 7018 ± 3900 歩であった。また、DLW 法による TEE および PAL (Physical activity level = TEE/BMR) は、それぞれ $2252 \pm 421 \text{ kcal}$ 、 1.85 ± 0.27 であった (Table 2)。LC による TEE は、DLW 法のと比較して有意に過小評価 ($-13.5 \pm 11.0\%$) されたが、ME ($-1.0 \pm 12.5\%$) および OH ($-0.9 \pm 11.3\%$) では有意差が認められなかった (Figure 1)。一方、すべての

加速度計による TEE と DLW 法との間には有意な相関係数が得られた (LC : 0.79、ME : 0.79、OH : 0.83) (Figure 2)。

D. 考察

本研究は、特徴的なアルゴリズムを持ち備えた3つの加速度計から求めた TEE の妥当性について検討した。その結果、歩行、走行の評価をねらいとしている LC では、DLW 法の TEE と比較して有意に過小評価された。LC から出力される運動強度は、4秒間の歩数と加速度の大きさから決定され、METs との間に有意な関係を有することが報告されている (Kumahara et al., 2004)。特に、歩数として認識されるためには初期の加速度信号が検知された後、1.5秒以内に2回目の信号が検知されることおよび加速度が既定の閾値に達することが必要である。したがって、日常生活活動 (掃除機かけ、洗濯物干しなど) は、歩行・走行活動のように持続的に信号が検出される場合とは異なり、加速度の出現は断続的であると考えられるため、歩数としての認識がなされていない可能性がある。このことから、日常生活活動の運動強度そのものが過小評価される結果となり (引原ら、2007)、結果的にはエネルギー消費量も低く見積もられることにつながったものと予想される。

一方、2種類の3次元加速度計による TEE と DLW 法のそれとの間では、有意な差が認められなかった。我々の予想通り、2種類の3次元加速度計は、日常生活活動も評価することを目的としてつくられており、日常生活活動を適切に評価することが DLW 法による TEE との誤差を最小限に留める結

果につながったものと考えられる。しかし、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの回帰式から推定する OH と1本の直線回帰式で推定している ME とともに、DLW 法の TEE に対して同程度の良好な結果が認められている。すなわち、3軸の加速度情報に基づいて日常生活活動であることを判別し、それ独自の回帰式を用いてエネルギー消費量を推定したとしても TEE に大きな差異をもたらさないということになる。

ただし、この結果については、被験者の活動特性 (職業柄) を考慮しておきたい。本研究の被験者は、主に看護師、保健師などに従事する医療関係者であった。彼らの歩数は標準的 (7018 ± 3900 歩) であるのに対して、PAL が 1.85 ± 0.27 であり、平均的な日本人の活動レベルとしてはやや大きい。したがって、歩行以外の活動に伴うエネルギー消費量も比較的多かったものと予想される。我々の未発表データ (本年度の別の分担研究報告書を参照) によると、ME を用いた場合、掃除機かけ、洗濯物干し、皿洗いの日常生活活動の推定式の延長線上に歩行活動の推定式が位置するが、日常生活活動の活動内容によっては、過大評価するものと過小評価するものが存在することも明らかになっている。それに対し、同様の活動における OH の推定誤差はかなり小さい。本研究の被験者の活動は、ME により過大評価される活動と過小評価される活動が同程度に存在し、TEE に大きな誤差を生じさせなかったことも考えられる。一方で、我々の行った妥当性の検討は限られた種類の活動で行っており、それらと異なるタイプの活動が寄与している可能性も否定はできない。

今後は、これらの特徴的なアルゴリズムを持ち備えた加速度計が被験者の職業（活動特性）、活動レベルなどに応じた評価精度の特徴を認識し、より適切な身体活動量の評価法を確立する必要がある。

E. 結論

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。これら2種類の3次元加速度計は、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、LCの結果との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による歩行以外の日常生活活動の割合や、各加速度計の妥当性の違いについて検討する必要がある。

F. 研究発表

1. 学術論文

Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shirota T, Uchida K, Murata M. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2007, Epub ahead of print.

2. 学会発表

引原有輝、田中茂穂、大河原一憲、高田和子、三宅理江子、田栗恵美子、田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性、日本体力医学会、2007、秋田大会.

大河原一憲、田中茂穂、引原有輝、高田和

子、大島秀武、川口加織、土井龍介、田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用いた歩行と日常生活活動強度の推定、日本体力医学会、2007、秋田大会.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometry for assessing the intensity of various physical activities during daily living, *The North American Association for the Study of Obesity*, 2007, Louisiana, New Orleans.

Hikihara Y, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Ohkawara K, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Comparison of three accelerometers for assessment of total energy expenditure against doubly Labeled water method under free-living conditions, *Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metablism*, 2007, Colorado, Denver.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer, *Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metablism*, 2007, Colorado, Denver.

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

Table 1 対象者の身体的特徴

	Male	Female
Age (yrs)	42.5 ± 11.6	34.6 ± 7.1
Height (cm)	169.7 ± 6.9	158.9 ± 5.6
Weight (kg)	66.2 ± 9.0	51.9 ± 5.8
BMI (kg/m ²)	23.0 ± 2.5	20.5 ± 1.9
BMR (kcal)	1313 ± 124	1149 ± 130

BMI; body mass index, BMR; basal metabolic rate

Table 2 各評価法から算出した総エネルギー消費量

	Mean ± SD(kcal)	Range
DLW	2252 ± 421	1498–2896
LC	1925 ± 308	1508–2492
ME	2196 ± 301	1759–2796
OH	2209 ± 358	1687–2834

DLW; doubly labeled water method, LC; lifecorder,

ME; activity monitor, OH; active style pro

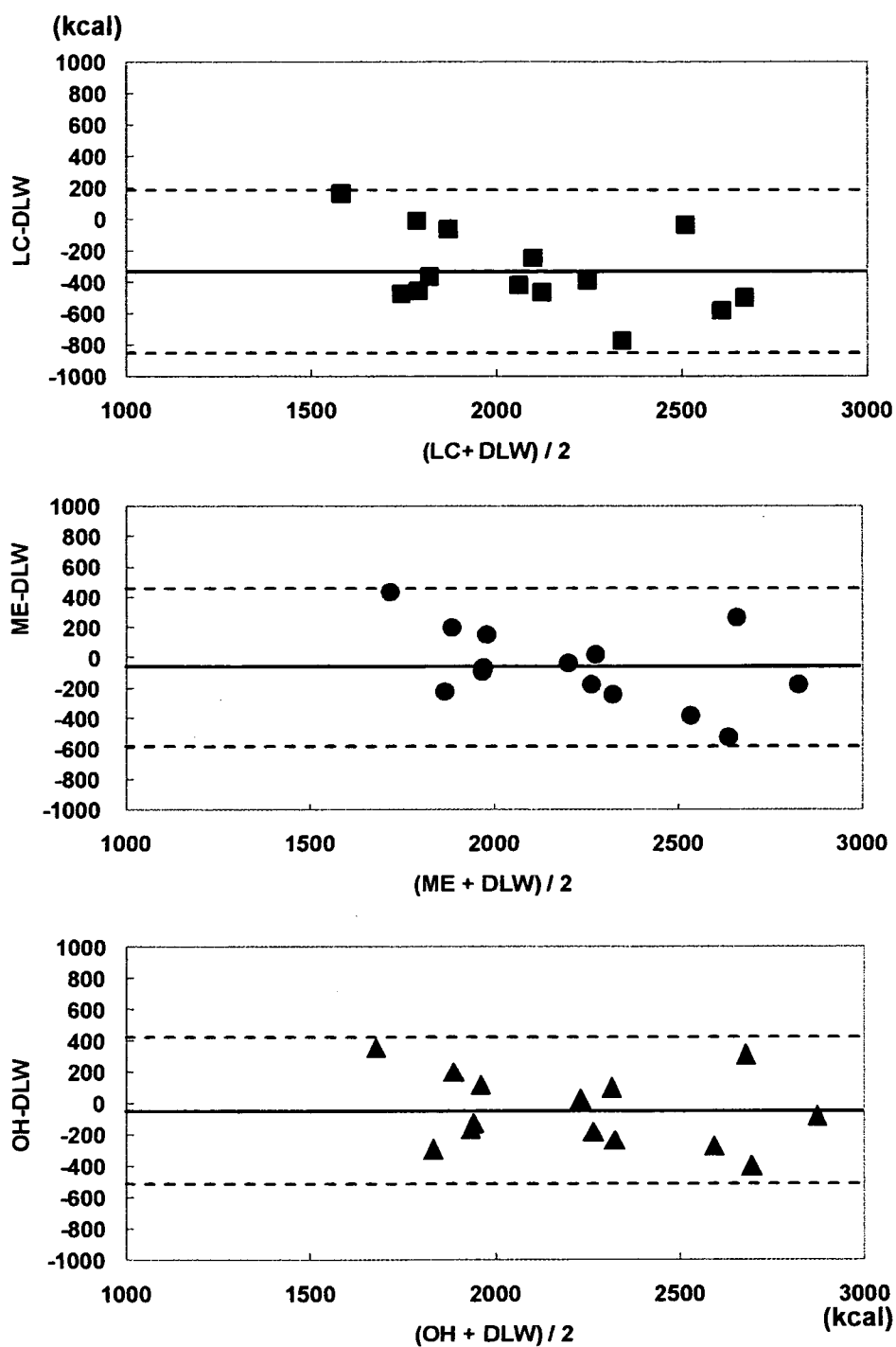


Figure 1 Bland and Altman プロットによる DLW 法による TEE と各加速度計による TEE との差異.

LC ; Lifecorder、ME ; activity monitor、OH ; Active style pro. 実線は誤差の平均値を、点線は 2 標準偏差を示す.

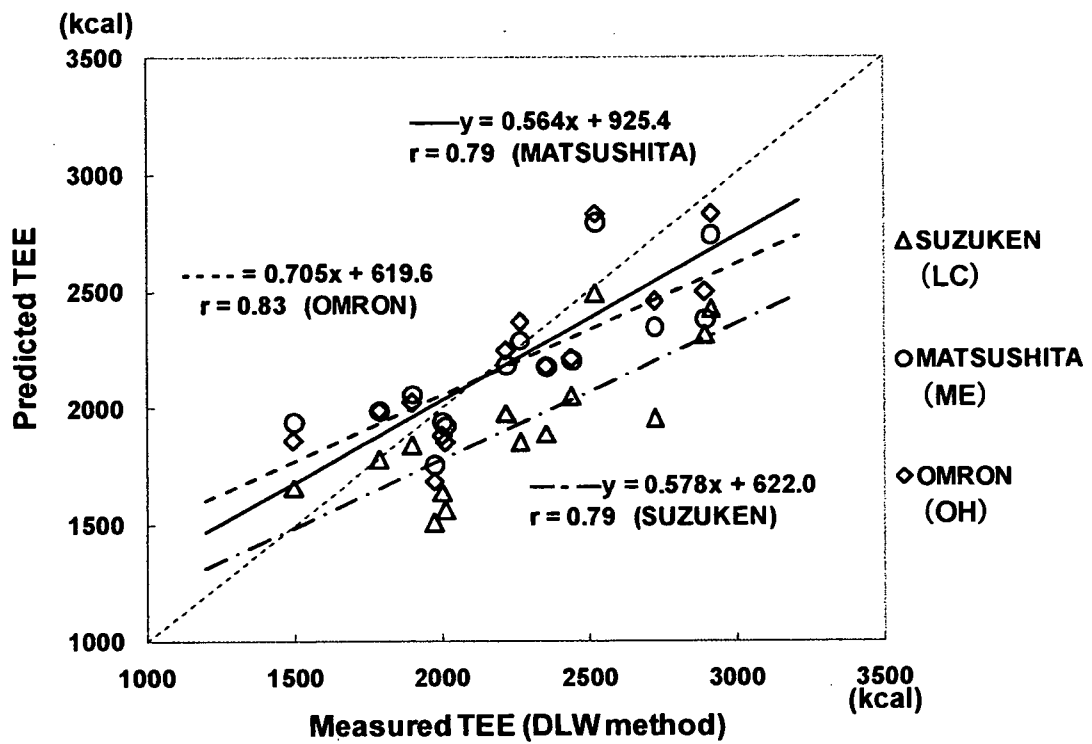


Figure 2 DLW 法による TEE と各加速度計による TEE との関係
 LC ; Lifecorder、ME ; activity monitor、OH ; Active style pro.

既存の基礎代謝推定式の妥当性

主任研究者	田中 茂穂	(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、測定の前約 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べずに研究所に來所してもらい、およそ 25°C 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。その問題点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、たとえば 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 日当たりにす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 ^{c)}	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

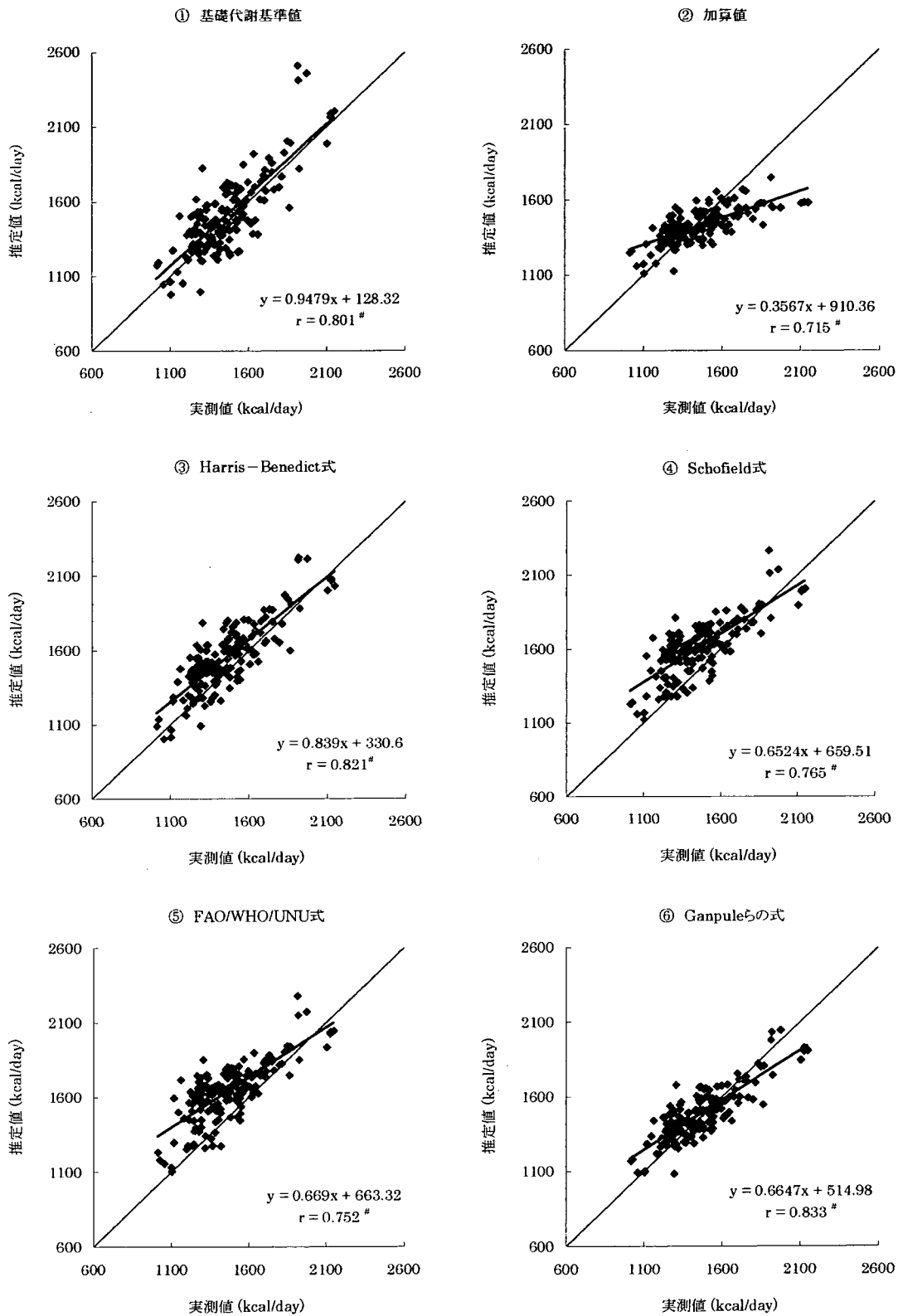


図 1 実測値と推定値の相関関係 (男性)

$\#$: $p < 0.05$

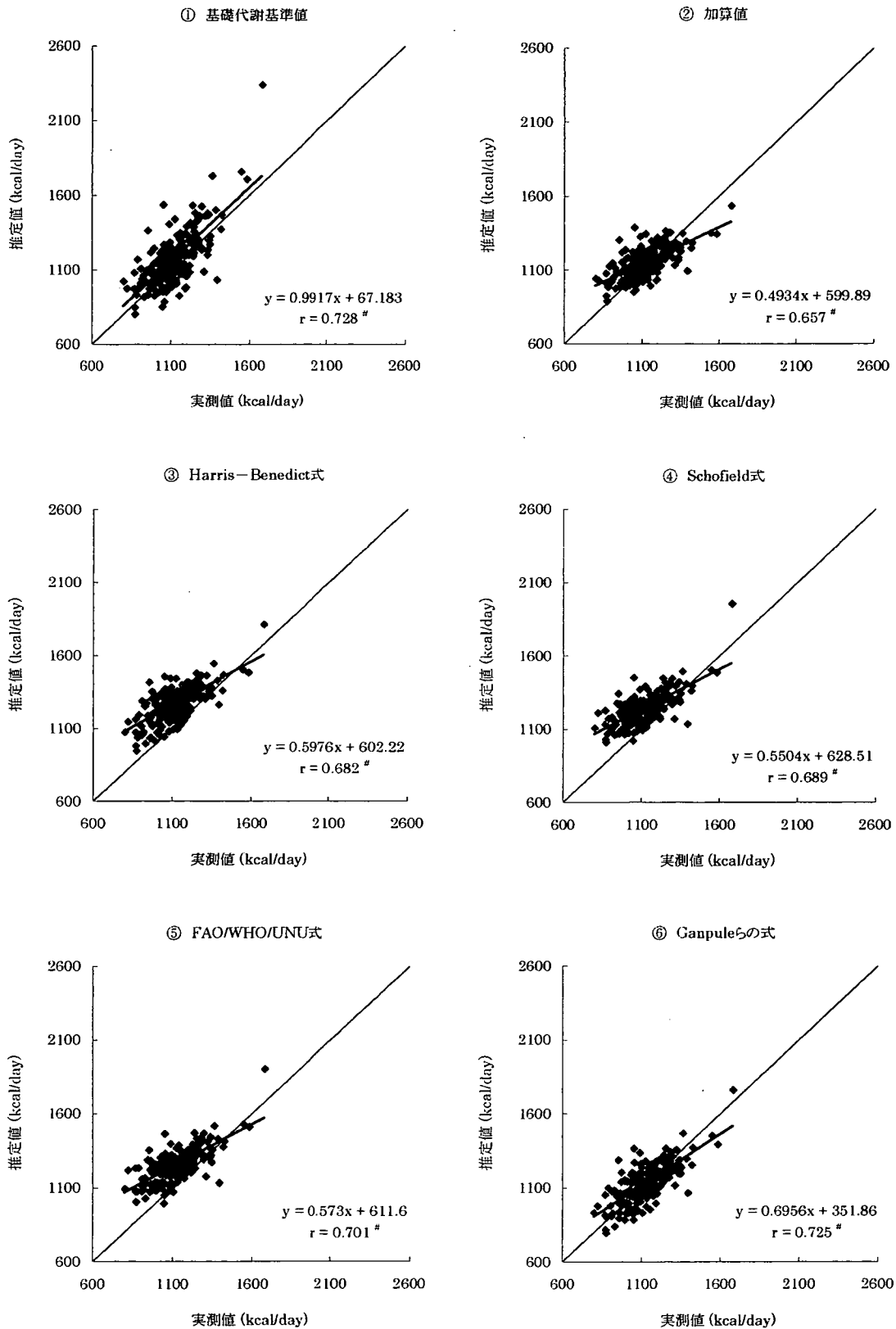


図 1 続き 実測値と推定値の相関関係 (女性)

$\#$: $p < 0.05$

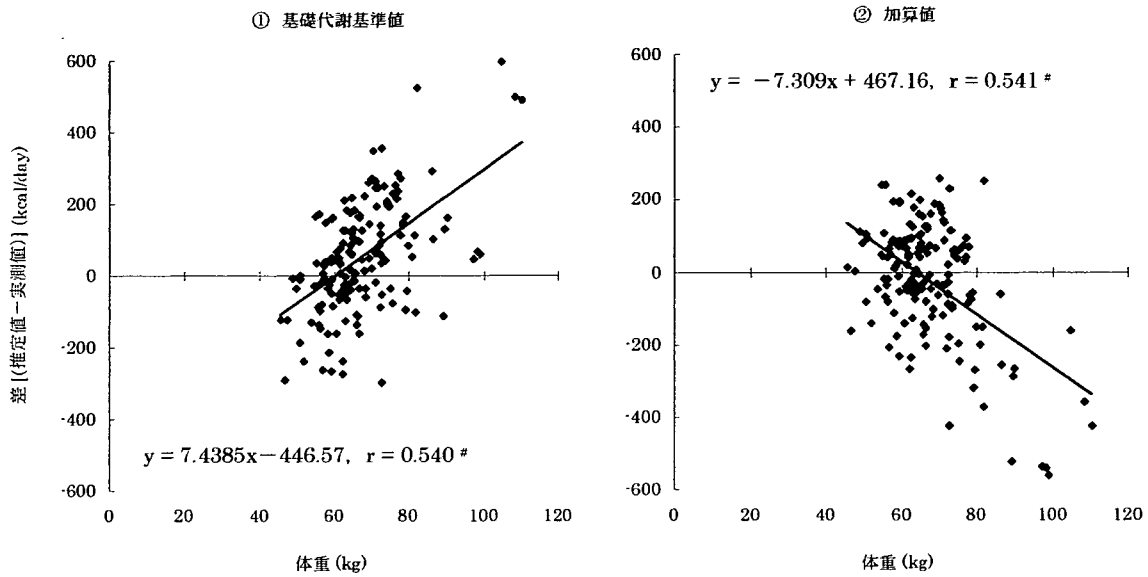


図2 体重と差（推定値－実測値）の関係（男性）

#: $p < 0.05$

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

分担研究者 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当たりの 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) ÷ 第一出版株式会社」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。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