

表1. 対象者の身体的特徴

対象者	年齢 (歳)		身長 (cm)		体重 (kg)		BMI (kg/m <sup>2</sup> )	
性別 (n)	平均値±SD		平均値±SD		平均値±SD		平均値±SD	
男 (42)	39.6	± 18.2	170.6	± 7.9	68.4	± 12.5	23.4	± 3.1
女 (47)	41.5	± 17.0	158.4	± 5.6	* 56.2	± 9.9 *	22.4	± 3.6
全対象者 (89)	40.6	± 17.5	164.1	± 9.1	62.0	± 12.7	22.9	± 3.4

BMI: body mass index, \*: 男 vs 女, p<0.05.

表2. 対象者の日常の身体活動量と基礎代謝量

対象者	二重標識水法による総エネルギー消費量 (kcal/日)	実測基礎代謝量 (kcal/日)	身体活動レベル <sup>a)</sup>	活動記録による総エネルギー消費量 (kcal/日)
性別 (n)	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	分類
男 (42)	2803 ± 454	1485 ± 265	1.91 ± 0.25	ふつう
女 (47)	2122 ± 283	* 1158 ± 148 *	1.85 ± 0.21	ふつう *
全対象者 (89)	2443 ± 505	1312 ± 267	1.87 ± 1.87	ふつう

\*: 男 vs 女, p<0.05.

a): 二重標識水法による実測総エネルギー消費量/実測基礎代謝量

身体活動レベルの分類: 低い(I): 1.50 (1.40~1.60), ふつう(II): 1.75 (1.60~1.90), 高い(III): 2.00 (1.90~2.20).

厚生労働省 (2009): 日本人の食事摂取基準 (2010年版) (「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書)より.

表3. 身体活動量と身体活動レベルとの関係

		身体活動レベル		
		高い(n=33)	ふつう(n=48)	低い(n=8)
二重標識水法による総エネルギー消費量 (min/day)	推定周辺平均	2634.2	2360.8	2153.1
	標準誤差	58.9	48.7	122.1
	B	481.1	207.7	0
	p値	0.001	0.119	
活動記録による総エネルギー消費量 (min/day)	推定周辺平均	2000.9	2022.7	2216.5
	標準誤差	61.3	50.7	127.2
	B	-215.5	-193.8	0
	p値	0.133	0.162	
活動記録と二重標識水法による総エネルギー消費量の差 (min/day)	推定周辺平均	-633.2	-338.1	63.4
	標準誤差	35.5	29.4	73.6
	B	-696.6	-401.5	0
	p値	0.000	0.000	
0.9METs(時間/日)	推定周辺平均	7.2	7.2	7.8
	標準誤差	0.2	0.2	0.5
	B	-0.5	-0.6	0
	p値	0.328	0.283	
1.0~1.4METs(時間/日)	推定周辺平均	4.3	5.0	3.5
	標準誤差	0.3	0.3	0.7
	B	0.8	1.5	0
	p値	0.318	0.048	
1.5~1.9METs(時間/日)	推定周辺平均	6.7	6.8	8.1
	標準誤差	0.4	0.3	0.9
	B	-1.4	-1.3	0
	p値	0.155	0.161	
2.0~2.9METs(時間/日)	推定周辺平均	3.8	3.7	3.4
	標準誤差	0.3	0.2	0.6
	B	0.4	0.3	0
	p値	0.570	0.602	
3.0~5.9METs(時間/日)	推定周辺平均	1.8	1.1	1.1
	標準誤差	0.2	0.1	0.3
	B	0.7	0.0	0.0
	p値	0.078	0.969	
6.0METs以上(時間/日)	推定周辺平均	0.2	0.2	0.1
	標準誤差	0.1	0.0	0.1
	B	0.1	0.1	0.0
	p値	0.275	0.676	
MVPA (時間/日)	推定周辺平均	2.0	1.3	1.2
	標準誤差	0.2	0.1	0.3
	B	0.8	0.1	0.0
	p値	0.039	0.860	

独立変数: 身体活動量, 共変量: 性, 年齢, 中高強度活動 (moderate-to-vigorous physical activity: MVPA)の指標として3METs以上の所要時間.

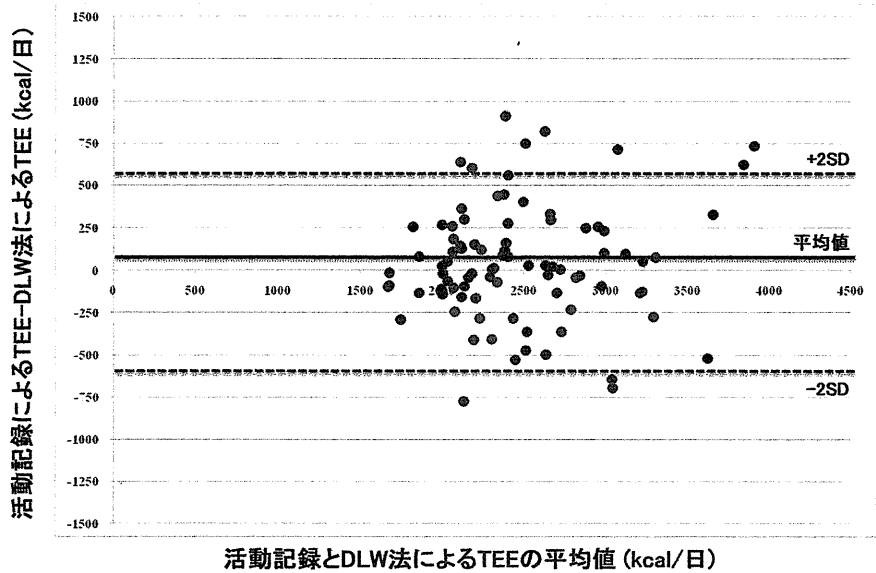


図1-a. 総エネルギー消費量と身体活動レベルの一致性 (Bland & Altman法)

TEE: 総エネルギー消費量, DLW法: 二重標識水法

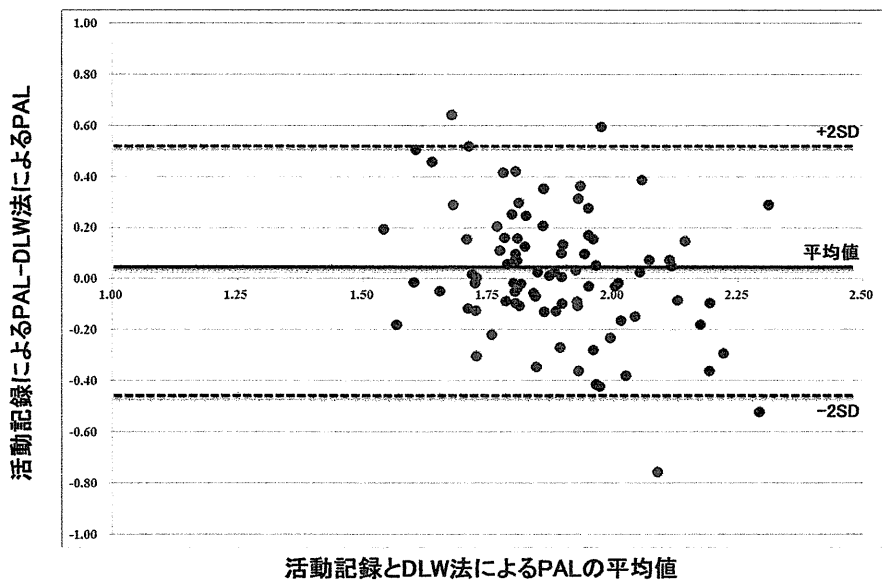
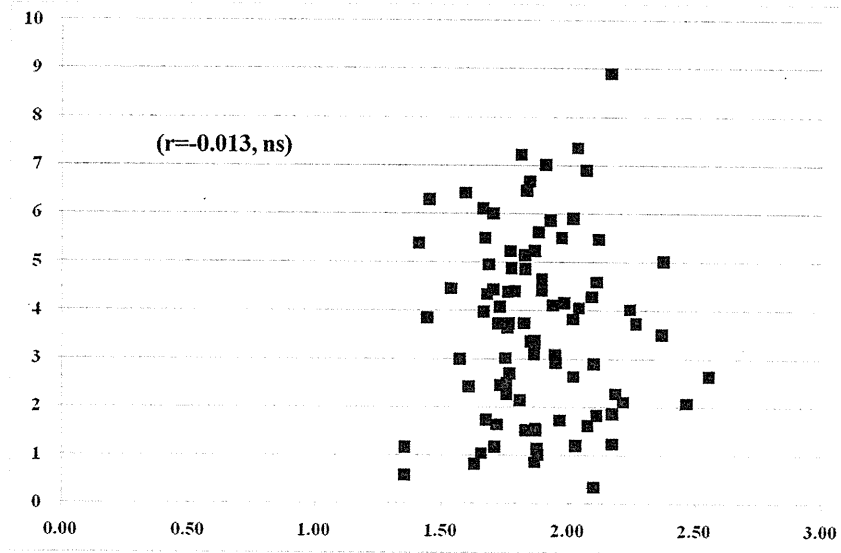


図1-b. 総エネルギー消費量と身体活動レベルの一致性 (Bland & Altman法)

PAL: 身体活動レベル, DLW法: 二重標識水法

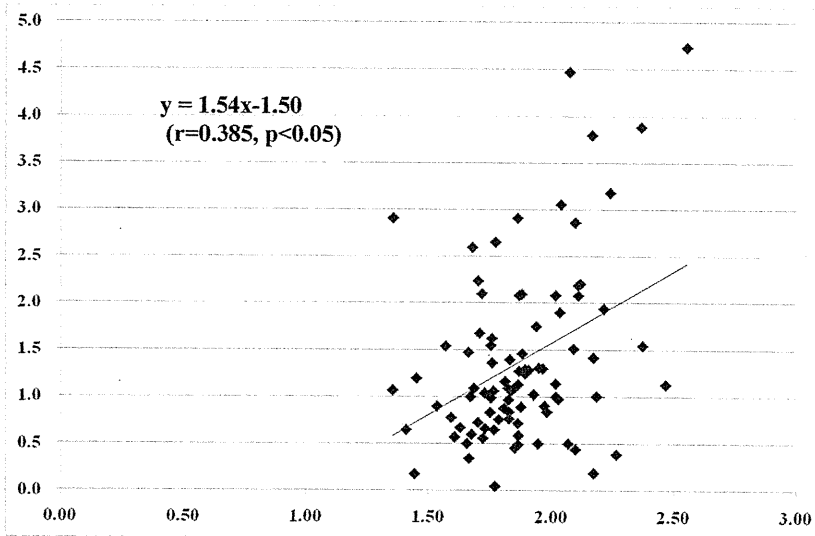
生活活動による低強度活動の所要時間 (時間/日)



二重標識水法による身体活動レベル

図2. 低強度活動の所要時間と二重標識水法による身体活動レベルとの関係

生活活動による中強度活動の所要時間 (時間/日)



二重標識水法による身体活動レベル

図3. 二重標識水法による身体活動レベルと中強度活動の所要時間との関係

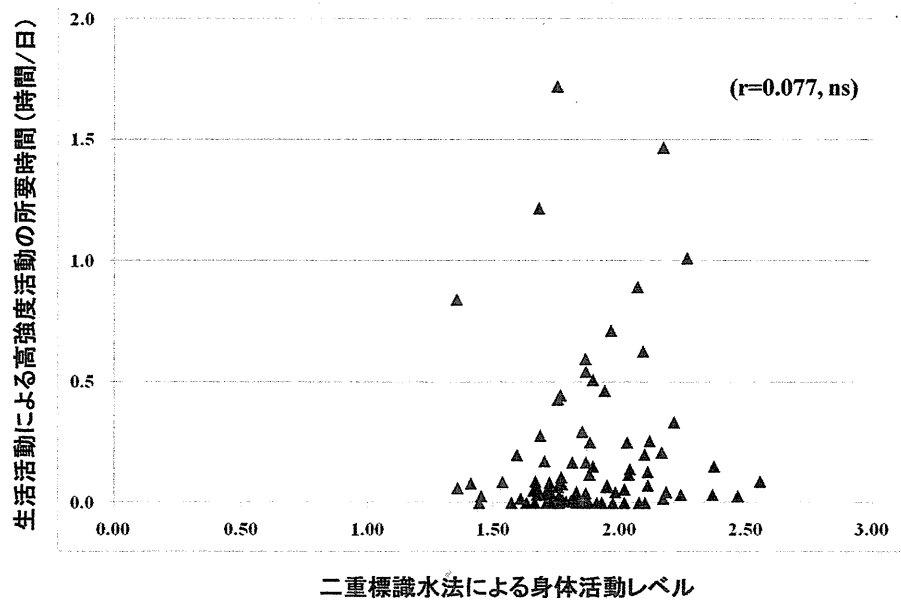


図4. 二重標識水法による身体活動レベルと高強度活動の所要時間との関係

## 中学生の日常生活の身体活動量について

研究分担者 金子佳代子 横浜国立大学教育人間科学部 教授

研究協力者 古泉佳代 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科 博士課程

中学生の身体活動レベル(PAL)を判定するための質問項目を検討するために、中学生の日常生活での身体活動量を測定し PAL を求めるとともに、身体特性、生活の活動内容、3次元合成加速度と身体活動に関する質問項目との関連を検討した。神奈川県都市部に在住する中学生 80 名（男子 41 名、女子 39 名）を対象に、二重標識水（DLW）法と安静時代謝量の測定による身体活動量評価に加え、起床時から就寝時までの生活の活動内容は、3次元加速度計の装着、本人による毎日「生活記録」の記入、身体活動量に関連する生活の活動内容についての質問紙調査を実施した。PAL の平均値は  $1.85 \pm 0.28$  で標準よりやや高い傾向であった。PAL と生活項目との間には一定の関連はみとめられなかったが、PAL が特に高値を示す者は、運動部への参加、買い物や映画を見に行く、友達と遊ぶ、習い事へ行く等で外出する傾向があることが示された。また、活発な活動時間の違いによる 4 群間で有意差はみとめられなかった。PAL と歩数との間には有意な相関はみとめられなかったが、3次元合成加速度との間には、弱い相関関係がみとめられた。以上のように、PAL の平均値がやや高い集団で、加速度計法を含め、PAL と強い関連がみられる項目はみられなかったが、PAL が特に高値を示す者にある程度の特徴がみられた。今後、PAL がより低い集団における PAL の判定法を検討する必要がある。

### A. 研究目的

中学生の身体活動レベル(PAL)を判定するための質問項目を検討するために、中学生の日常生活での身体活動量を測定し PAL を求めるとともに、身体特性、生活の活動内容、3次元合成加速度と身体活動に関する質問項目との関連を検討した。

80 名（男子 41 名、女子 39 名）、学年による内訳は 1 年生 24 名（男子 15 名、女子 9 名）、2 年生 30 名（男子 15 名、女子 15 名）、3 年生 26 名（男子 11 名、女子 15 名）である。調査時期は 2006 年 9 月から 2007 年 1 月である。対象の生徒には本人及び保護者に書面により測定の目的及び方法を説明したうえで、協力を依頼し、同意が得られた生徒のみを調査対象者とした。

### B. 方法

#### (1) 調査対象及び調査時期

対象者は神奈川県都市部に在住する中学生

#### (2) 測定及び調査の項目

1 回の測定は 9 日間とし、初日にベースライ

ン尿の採尿、DLWの投与、身体計測、食事調査、安静時代謝量(resting metabolic rate: RMR)の測定を実施し、翌日から連続した8日間に1日1回の定時の採尿、加速度計の装着、簡易な生活記録を行った。測定は各対象者の都合にあわせて9月から翌年1月に実施したが、学校の長期休暇、試験や学校行事により通常と身体活動の異なる期間を除いて実施した。日常生活の身体活動量の測定は休日を含む連続する9日間または10日間行った。なお、測定の日程は体育祭や持久走大会、宿泊をともなう旅行等、普段の生活と大きく異なる学校行事や活動がなるべく含まれない日を選んだ。

#### ①安静時代謝量(RMR)の測定

対象者は、測定初日に朝食を食べずに8時に登校し、30分間仰臥位で安静をとり、体温と脈拍の測定により安静状態を確認したうえで、フードを使用して20分間、RMRを実施した(AR-1、アルコシステム、千葉)。

#### ②二重標識水(DLW)法による身体活動量評価

初日にベースライン尿を採尿後、10%18O(太陽日酸、東京)と99.9%2H(Cambridge Isotope Laboratories, Inc, USA)を混合した液により、体重あたり0.14gのH218Oと0.06gの2H2Oを投与した。翌日から8日目まで毎日、学校に登校後すぐに採尿を行った。

サンプルは密閉した状態で、分析まで-30°Cで保存した。2HはPtを触媒としてH2ガスで、18OはCO2ガスで平衡法により前処理を行った後、2H、18Oの安定同位体比を質量比分析計(Finnigan Delta Plus, サーモフィッシャーサイエンティフィック, USA)により分析した。標準化した安定同位体濃度を対数変換し、投与時刻からの経過時間との間で直線回帰式をもとめ、その傾きを安定同位体の減衰率(k)とした。二酸化炭素の排出量は、 $rCO_2$  (mol/day) = 0.4554TBW(1.007ko-1.041kh)

により求めた。koは18Oの減衰率、khは2Hの減衰率である。TEEは初日に実施した中学・高校生用の食事質問票(BDHQ15y)により求めたFQを用いて、Weirの式を使用して求めた。

身体活動レベル(physical activity lever: PAL)はTEE/RMRにより求めた。

#### ③体格等の計測

身体特性の計測は測定初日に行った。身長は身長計を用いて0.1cm刻みで測定し、体重は0.1kg刻みで測定した(タニタ社製TBF-310)。

#### ④3次元加速度計による身体活動量の測定

3次元加速度の測定は松下社製の3軸個別加速度計を用いた。3軸個別加速度計は60.0×35.0×13.0mm、34.0gの3軸(上下、左右、前後)加速度センサーを内蔵した3次元加速度計である。3次元加速度計では1分ごとに3軸の加速度標準偏差を本体に記録し、記録されたデータはUSBケーブルを介してコンピュータにダウンロードして以下に示す式により3次元合成加速度を算出した。

$$\begin{aligned} & \text{3次元合成加速度} \\ & = (\text{上下加速度}^2 + \text{左右加速度}^2 \\ & \quad + \text{前後加速度}^2)^{1/2} \end{aligned}$$

3次元加速度計は、測定の初日に使用についての注意点を十分に説明した後に配布した。3次元加速度計は起床時から就寝時まで、入浴や水泳等で装着できない場合を除いて、毎日、常に腰部に装着するよう依頼した。

#### ⑤生活の活動内容の記録

起床時から就寝時までの生活の活動内容は、本人に毎日「生活記録」の記入を依頼した(資料1)。「生活記録」の回収は、測定者がほぼ毎日、生徒から直接受け取り不明な点はその場で確認した。

「生活記録」は学校に行く平日用と学校に行かない休日用の2種類用意した。「生活記録」

は時刻や時間を記入する項目、活動の有無を記入する項目、自由記述で構成した。時刻を記入する項目は起床時刻、朝食時刻、登校時刻、夕食時刻、就寝時刻とした。活動の有無を記入する項目は体育の授業の有無を記入してもらった。自由記述は、学校での休み時間の過ごし方、授業終了時から就寝までの活動内容とおおよその時刻を記入してもらった。休日用の「生活記録」は、登校時刻、体育の有無、休み時間の過ごし方を除いた活動内容の記録を依頼した。回収後、「生活記録」の自由記述部分に記載された様々な活動内容を、動作の似ている表記でまとめ、カテゴリー化し、「生活項目」として検討に用いた(表1)。

#### ⑥身体活動量に関するアンケート調査

身体活動量に関連する生活の活動内容については、質問紙法による調査を測定初日に実施した。質問項目は、活発な活動時間については「おいかっこ、ボールや遊具で遊ぶなど、体を動かして遊んでいるのはどのくらいの時間ですか？」を4択でたずねた。選択肢は、「0分」「30分未満」「30分から60分未満」「60分以上」とした。

休み時間の過ごし方については、選択肢の中から主にしている遊びのうち上位2つを選択してもらった。選択肢は動的遊びを「ボール遊び」、「おに遊び」、「遊具で遊ぶ」とし、静的遊びとして「読書」「おしゃべり」「おえかき」とした。

#### (3)統計処理

PALと生活活動の内容、3次元合成加速度との関連を検討するために、日本人の食事摂取基準(2010年版)を参考にして対象者のPALで4群に群分けした。日本人の食事摂取基準(2010年版)では12歳から14歳の『ふつう』は1.65であり、『低い』と『高い』は『ふつう』からそれぞれ±0.20と示されている。そこで、成

人の範囲を参考にして対象者を『低い』1.45(1.35~1.55)、『ふつう』1.65(1.55~1.75)、『高い』1.85(1.75~2.05)とした。本検討においては、PALが2.05より大きい者がみられたため『特に高い』(2.05~2.47)を設定し対象者を4群に群分けした。

3次元合成加速度のデータは、測定の初日は3次元加速度計に慣れる日と位置付け、この日の値は身体活動量のデータとしては用いないこととし、最終日については、就寝まで装着できている場合にのみデータを用いた。3次元合成加速度は、装着忘れの無い日の起床から就寝までの1日の平均値(G/min)を求めてから1週間の平均値(G/min)を算出してデータ解析に用いた。PALと3次元合成加速度と関連については、装着忘れ及び生活記録の不備の無い日が休日1日以上、平日2日以上の54名(男子24名、女子30名)について検討し、PALと質問項目及び生活の活動内容との関連については、PALが算出された78名(男子40名、女子38名)について検討した。全ての統計解析にはSPSS 10.0を用い、有意水準は5%未満とした。

### C. 研究結果及び考察

#### (1)対象者について

対象者の身長、体重及び基礎代謝量を表2に示した。男子の身長、体重及び女子の体重は4群間で有意差は認められなかった。基礎代謝量においても、4群間で有意差は認められず、『特に高い』群の平均値は他の3群とほぼ同値で、基礎代謝基準値と比較してもほぼ同値であった。基礎代謝量とPALについては、両者に相関関係はみとめられなかった(図1)。したがって、PALと身長、体重及び基礎代謝量の関連性は示されなかった。

#### (2)生活記録とPALの関連について

生活記録に記入された生活項目とPALとの



関連を検討するために、1週間の体育の時間数、運動部活動への参加日数、学校以外での動的な活動を行なった日数、睡眠時間について平均値を算出し4群間の比較を行った。分散分析の結果、体育の時間数( $p=0.045$ )、休み時間の動的な遊び( $p=0.703$ )、平日の運動部への参加( $p=0.039$ )、休日の運動部への参加( $p=0.049$ )を示した(表3)。有意な違いは認められないものの、「特に高い」群の体育の時間数、休み時間の動的な遊び及び休日の運動部への参加日数は、他の群より高値を示す傾向であった。学校以外で身体を動かした日数及び外出無しの日数については、分散分析の結果、休日に外出をしない日数( $p=0.026$ )に有意差がみとめられ、『特に高い』群が『高い』群、『ふつう』群より有意に低値であった(表4)。睡眠時間については平日、休日ともに4群間に有意差はみとめられなかった。4群ともに休日は長い傾向を示したが、『特に高い』群の増加が平日より1時間程度だったのに対して、他の3群は90分～120分間増加していた(表5)。

したがって、PALと生活項目との間には一定の関連はみとめられなかったが、PALが特に高値を示す者は、運動部への参加、買い物や映画を見に行く、友達と遊ぶ、習い事へ行く等で外出する傾向があることが示された。

### (3) 歩数及び3次元合成加速度とPALの関連について

対象者の歩数の平均値は  $13983.9 \pm 3242.2$ (歩/日)であり、PALと歩数との間には相関関係はみとめられなかった(図2)。

PALと3次元合成加速度との相関関係を検討したところ、相関係数が0.34の正の相関関係がみとめられた(図3)。そこで、対象者の3次元合成加速度の平均値  $124.04\text{mG}$  から  $-1\text{SD}$  を「小」+  $1\text{SD}$  を「大」として3群に群分けした。PALが『特に高い』群においては、3次元合成

加速度が「小」を示したのは2名(図3には(A)と示す)、「平均」を示したのは6名(図3には(B)と示す)、「大」を示したのは4名(図3には(C)と示す)であった(表6)。(C)の生徒の生活記録をみると、測定日は2006年10月9日(月)体育の日～10月17日(火)であり、総合的な学習の発表会(文化祭のような行事)が14日(土)に開催された。そのため11日(水)～13日(金)の授業は1～4時限目まで総合的な学習のまとめを各グループ・個人で行なっており、通常授業ではなかった。10月16日(月)は代休であった。二人とも3年生女子であり、クラブ活動へは参加していなかった。帰宅後の外出に関連する項目等をID別に示した。左側から1日目の主な活動内容(時間)→2日目の主な活動内容(時間)・・・のように示した。

1313: 学習塾→テニス→学習塾→学習塾→学習塾→学習塾→学習塾→外出(6時間)

1312: 散歩(30分)・学習塾→学習塾→学習塾→学習塾→散歩(40分)→外出無し→学習塾→友達の家で遊ぶ(3時間)

(C)の生徒のPALが特に大きい理由は特に明らかには見られないが、体育(2時間)の時間に二人とも加速度計を外していたため、加速度が小さかったと考えられる。

### (4) PALと質問紙で調査した身体活動量との関連

質問紙でたずねたときの活発な活動時間の違いによるPALを表7に示した。PALの平均値は  $1.85 \pm 0.28$  で標準よりやや高い傾向であった。PALは活発な活動時間の違いによる4群間で有意差はみとめられなかった。

『PALの判定法の案』によると、休み時間に外遊びを30分程度することを前提としている。そして『ふつう』は、放課後もよく外遊びをする(活発な活動が1日あたり合計1時間程度)としている。そのため本検討では、「30分以上

から60分未満が『ふつう』に相当すると考えられる。そして「60分以上」は『高い』に相当すると考えられ、『低い』は「30分未満」に相当すると考えられた。

図4にはPALと活発な活動時間との関連を示した。対象者のPALは『低い』『ふつう』『高い』に分類されて明確に分布していなかったが、「60分以上」の者のうち1人以外は全員『高い』付近に分布していた。『低い』に相当すると考えられる「30分未満」のPALの分布は低値の者から高値までみられ、分散している傾向をであった。

対象者の休み時間の主な過ごし方について、上位2つを選択する形式で尋ねたところ、静的な遊びが多く選択され(おしゃべり71人、読書21人、お絵かき1人)、活発な遊びはボール遊び33人、鬼遊び11人、遊具1人であった。また、上位2つのうち1つも動的な遊びを選択しなかった者は31人であった。

『低い』は体育や休み時間以外は活発な活動(外遊び・運動)がほとんどない者とされており、休み時間に外遊びを30分程度することを前提としているが、本検討では一日を通して「0分」の者もみられている。そこで、活発な活動時間と休み時間の動的遊びの有無の関連を検討した。その結果、「0分」「30分未満」「30分～60分未満」では、動的な遊びの有無と明確な関連性はみられなかった(図5)。

したがって、PALを判定する際に本検討で用いた活発な活動時間をたずねる方法ではPALを判定することは困難であることが考えられた。

#### D. 結論

以上のように、PALの平均値がやや高い集団で、加速度計法を含め、PALと強い関連がみられる項目はみられなかったが、PALが特に高値を示す者にある程度の特徴がみられた。今後、PAL

がより低い集団におけるPALの判定法を検討する必要がある。

#### E. 研究発表

1. 論文発表  
なし
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

表 1 中学生の生活記録に記入された生活の活動と生活項目の分類及

中学生の生活記録に記入された生活活動	中学生の生活項目
TV、TVみる、TVみた、TVなど、DVDみる	テレビ視聴
携帯、ゲーム、メール、PC、パソコン	ゲーム・PC
そうじ、荷造り、うさぎの世話(ペットの世話)、片付け、夕食準備	家事・手伝い
睡眠、就寝、寝ていた、寝る、寝ちゃっていた、二度寝、昼寝等	昼寝
塾で勉強、模試、英検	スポーツ以外の習い事
遊んだり、遊ぶ、カラオケ、友達の家で遊ぶ、フェレットと遊ぶ、ごらく、おにごっこ	遊び
テニス、ゴルフ、サッカー、バスケ、ラグビー、ポーリング、歩き回る、海、歩く、スポーツ	スポーツ <sup>1)</sup>
おでかけ、買い物、外食、お買い物、用事、買い物へ、外出、映画、運動会を見に行く、歯医者、医者、床屋	外出
音楽、読書、まんが	読書
のんびり、いろいろ、ごろごろ、ポーターと、くつろぐ、休息、休む、休けい、家等	休養
部活、大会	クラブ活動
移動、通塾、塾へ向かう、家へ移動、家へ帰る、習い事へ、外出、家に向かう、通学、行き、帰り、車で移動、下校、帰宅、家に着く、家に帰る、電車(など)、塾まで	移動
おしゃべり、電話、おこられた	おしゃべり
ピアノ練習、ギター、ドラム、合唱、歌練	音楽をする
学校、附属総合祭、LIFE(総合的な学習の時間)、授業	学校の授業
生活記録記入、勉強、宿題、レポート、お絵かき、アイロンビーズ等	家庭学習
夕飯、夕食、食事、おひる、おやつ、晩飯、朝ごはん等	食事
お風呂、風呂、ふろ、お風呂、入浴	入浴
トイレ、身支度、着替え、寝る準備、出かける準備、明日の準備	身支度

<sup>1)</sup>スポーツには習い事のスポーツも含める

表 2 PALで4群に群分けしたときの、身長、体重、基礎代謝量

	n	PAL		身長(cm)		体重(kg)		基礎代謝量 (kcal/kg/day)	
		平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
男子									
低い									
1.45(1.35~1.55)	6	1.46	0.07	167.4	10.8	50.9	8.3	29.7	2.2
ふつう									
1.65(1.55~1.75)	9	1.67	0.05	161.5	10.5	54.2	15.6	29.6	3.4
高い									
1.85(1.75~2.05)	12	1.92	0.08	164.3	8.2	51.4	7.2	30.1	2.2
特に高い									
(2.05~2.47)	13	2.26	0.16	161.7	8.1	51.5	7.4	29.9	3.0
全員	40	1.91	0.31	163.3	9.0	52.0	9.6	29.9	2.7
女子									
低い									
1.45(1.35~1.55)	7	1.51	0.04	156.5	3.2	44.5	2.7	28.7	2.8
ふつう									
1.65(1.55~1.75)	10	1.69	0.05	157.0	3.9	43.0	4.2	27.7	2.7
高い									
1.85(1.75~2.05)	16	1.85	0.06	154.0	6.3	43.0	6.1	27.9	3.3
特に高い									
(2.05~2.47)	5	2.28	0.13	162.8	3.4	47.3	7.0	26.6	2.7
全員	38	1.80	0.24	156.4	5.6	43.8	5.3	27.8	3.0

分散分析の結果、女子の身長は有意差がみられ、「特に高い」群は「高い」群より有意に高値を示した(p=0.17)

表3 PALで4群に群分けしたときの体育の時間数、休み時間に動的な遊びをする日数及び運動部への参加日数<sup>1)</sup>

PAL	n	体育(時間) <sup>2)</sup>		休み時間の動的な遊び(日) <sup>3)</sup>		運動部への参加(日)			
		平均値	SD	平均値	SD	平日		休日	
		平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
低い									
1.45(1.35~1.55)	13	1.31	1.32	0.92	1.44	0.54	0.78	0.23	0.44
ふつう									
1.65(1.55~1.75)	19	1.89	1.41	0.95	1.54	1.58	1.17	0.21	0.42
高い									
1.85(1.75~2.05)	28	2.29	1.27	0.75	0.97	1.54	1.14	0.32	0.55
特に高い									
(2.05~2.47)	18	2.61	1.29	1.22	1.44	1.17	1.20	0.72	0.89
全員	78	2.10	1.36	0.94	1.30	1.29	1.15	0.37	0.63

<sup>1)</sup>各項目の日数及び時間数は、生活記録から求めた。平日は5日間、休日は2日間又は3日間である。

<sup>2)</sup>体育の1時間は50分間である。

<sup>3)</sup>スポーツ種目、おいかげっこ、じゃれあい、散歩等が含まれる。

分散分析の結果、体育の時間数(p=0.045)、休み時間の動的な遊び(p=0.703)、平日の運動部への参加(p=0.039)、休日の運動部への参加(p=0.049)を示した。

表 4 PALで4群に群分けしたときの学校以外で身体を動かした日数及び外出無しの日数<sup>1)</sup>

	n	身体を動かす(日) <sup>2)</sup>				外出無し(日)			
		平日		休日		平日		休日	
		平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
低い									
1.45(1.35~1.55)	13	0.15	0.55	0.31	0.63	2.31	1.75	0.69	1.11
ふつう									
1.65(1.55~1.75)	19	0.16	0.37	0.00	0.00	2.68	1.38	0.84	0.90
高い									
1.85(1.75~2.05)	28	0.39	0.57	0.39	0.63	2.46	1.20	0.68	0.67
特に高い									
(2.05~2.47)	18	0.39	0.78	0.44	0.62	1.94	1.35	0.11	0.32
全員	78	0.29	0.58	0.29	0.56	2.37	1.38	0.59	0.80

<sup>1)</sup>各項目の日数及び時間数は、生活記録から求めた。平日は5日間、休日は2日間又は3日間である。

<sup>2)</sup>「身体を動かす」には、スポーツ(習い事、遊び)、買い物、散歩等の外出を含む

分散分析の結果、平日の身体を動かす日( $p=0.079$ )、休日の身体を動かす日( $p=0.057$ )、平日の外出無し( $p=0.420$ )、休日の外出無し( $p=0.026$ )であった。

休日の外出無しについては、「特に高い」群が、「ふつう」群( $p=0.002$ )「高い」群( $p=0.017$ )より有意に高値を示した。

表 5 PALで4群に群分けしたときの睡眠時間<sup>1)</sup>

	n	平日		休日	
		平均値	SD	平均値	SD
低い					
1.45(1.35~1.55)	7	6:20	0:59	8:41	1:11
ふつう					
1.65(1.55~1.75)	19	6:55	0:44	8:41	1:11
高い					
1.85(1.75~2.05)	28	7:14	0:45	8:25	0:58
特に高い					
(2.05~2.47)	18	6:50	0:37	7:48	1:13
全員	52	6:56	0:47	8:23	1:08

<sup>1)</sup>睡眠時間は、生活記録に記入された前日の就寝時刻と起床時刻から算出した。平日は5日間、休日は2日間又は3日間である。

分散分析の結果、平日は( $p=0.388$ )、休日は( $p=0.079$ )であった。

表 6 PAL と3次元加速度合成加速度(AC)で群分けした時の人数の内訳

		3次元合成加速度 (mG)		
		小 (~97.3)	平均 (97.3~150.7)	大 (150.7~)
PAL	低い 1.45(1.35~1.55)	2	5	0
	ふつう 1.65(1.55~1.75)	1	12	2
	高い 1.85(1.75~2.05)	4	14	2
	特に高い (2.05~2.47)	2(C)	6(B)	4(A)

表 7 活発な活動の時間の違いによる PAL

	n	平均値	標準偏差	最小値	最大値
0分	12	1.80	0.30	1.44	2.38
30分未満	36	1.83	0.28	1.33	2.47
30分以上 60分未満	19	1.84	0.25	1.47	2.47
60分以上	11	2.01	0.28	1.49	2.45
全体	78	1.85	0.28	1.33	2.47

分散分析の結果、有意差は認められなかった。

### 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価 —成人の評価法との比較に着目して—

研究分担者 引原有輝 千葉工業大学 工学部 助教  
研究代表者 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

【背景】加速度計を用いた身体活動量の評価が注目されるようになり、多くの特徴的なアルゴリズムを有した加速度計が開発されつつある。特に、成人を対象とした歩行・走行活動の評価を得意とするものが多いことから、子どもの総エネルギー消費量を推定するために適用することは難しい可能性がある。【目的】本研究は、合成加速度と身体活動強度 (METs) との関係について子どもと成人との相違を明らかにし、3次元加速度計を用いて子どもにおける METs を評価するための方法について検討した。さらに、それに基づき各活動時のエネルギー消費量を算出し、その妥当性について検証した。【方法】小学生男子 42 名 (年齢:  $10 \pm 2$  歳)、女子 26 名 (年齢:  $9 \pm 2$  歳) を対象とした。児童の日常生活にみられる代表的な活動として、学習 (椅子座位)、ゲーム (床座位)、片付け、ほうき掃き、雑巾かけ、ボール投げ (以上、歩行・走行以外の活動)、階段昇り、階段降り、歩行 (2 段階)、走行 (以上、歩行・走行活動) の計 11 種類を取り上げ、各活動時における 3 次元合成加速度とダグラスバッグ法によるエネルギー消費量を測定した。また、座位安静時エネルギー消費量を測定し、各活動時のエネルギー消費量を除して METs を算出した。【結果】子どもにおける合成加速度と METs との関係式は、歩行・走行活動と歩行・走行以外の活動とで異なることが明らかになり、成人での報告と一致した。また、検知した加速度とハイパスフィルタ処理後の加速度との比を用いることで歩行・走行活動とそれ以外の活動とをより高い精度で判別することができた。一方、歩行・走行活動および歩行・走行以外の活動ともに、子どもと成人の関係式との間には相違が認められ、同一加速度に対応する METs は、子どもの方が小さい傾向がみられた。また、推定式から得られた METs に推定安静時代謝量を乗じて各活動時のエネルギー消費量を算出したところ、階段昇りを除く全ての活動において過大評価された (平均推定誤差:  $14.8 \pm 12.8\%$ )。【結論】合成加速度から子どもの METs を推定する際に成人で得られた推定式を用いると過大評価されることが明らかとなった。したがって、子どもの METs を評価する際には、子ども独自に作成した推定式を用いる必要がある。また、各活動時のエネルギー消費量を推定するには、安静時代謝量の推定法にも改善が求められる。



## A. 研究目的

本年度、厚生労働省により食事摂取基準が2010年版として新たに改定され、「エネルギー」の必要量についても幾つかの変更がなされた。従来の内容からの変更点の1つとして、子どもの身体活動レベル(Physical activity level: PAL)が引き下げられたことがあげられる。2005年版策定時に用いた文献を含め、基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)を実測したものに限定するなどより厳密にレビューされた結果である。しかしながら、このエネルギー必要量の基準値に日本人の子どものエネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)に関するデータは1件のみで、未だ十分に含まれていない。本邦の子どものTEEに関する十分なエビデンスが蓄積されてこなかったのは、基準法となる二重標識水(Doubly labeled water: DLW)法のコスト面ならびに測定分析における技術面の難しさ(齊藤ら, 1999)が原因であると推察されるが、近年ではDLW法の問題点を踏まえて、推定精度が高く簡便性に優れた加速度計を用いたTEEの評価法が提案されつつある(Westerterp, 2009)。

ヒトのTEEは、BMR、食事誘発性熱産生(Diet induced thermogenesis: DIT)および身体活動量(Physical activity energy expenditure: PAEE)から構成されている(田中, 2007)。BMRは体格や体組成から概ね推定することが可能であり、DITはTEEのおよそ10%程度であると認識されている(Maffeis *et al.*, 1993)。したがって、加速度計には、残りのPAEEを正確に評価することが要求される(Plasqui and Westerterp, 2007)。DLW法と比較して、特に加速度計が優れている点は、

各活動時の強度(Metabolic equivalents: METs)に要した時間を把握できることや、それに基づいて各活動時のエネルギー消費量を求めることができることにある。

加速度計は、ヒトの活動時に生じる加速度に基づいて身体活動を定量化する装置であるが、加速度を検知するセンサは1軸から3軸までであることや、その測定分解能や測定周波数などを考慮すると加速度計の仕様は多様である。これまでから、加速度からPAEEやMETsなどを推定するためのアルゴリズムについて提案がなされてきたが、それらは未だ幾つかの問題点を有している。第一に、これまでの加速度計は、成人を対象に開発されたものが多く、子どもへの適用については必ずしも適切でない可能性が考えられる。これは形態(特に下肢長)、体組成、活動時の筋活動などの諸要因により、子どもと成人とでは活動時(特に歩行や走行)のエネルギー消費量に差異が生じていると考えられているためである(Freedson *et al.*, 2005; Allor *et al.*, 2000)。またこの点については、成熟レベル(形態、体組成)が大きく異なる子ども間においても考慮すべき問題である(Freedson *et al.*, 2005)。第二に、既存の加速度計の多くは腰部に装着することもあり、主に歩行や走行など規則性を有した動作様式の評価を得意としていることがあげられる(Matthew, 2005; Trost *et al.*, 1998)。しかしながら、歩行や走行活動から得られた加速度とエネルギー消費量との関係式の傾きや切片は、歩走行以外の活動から得られた関係式のそれらとは異なることが指摘されており(Midorikawa *et al.*, 2007; Heil *et al.*, 2005; Hendelman *et al.*, 2000)、従来の加速度計を用いて歩行走行以

外の活動を評価することは、推定した PAEE や METs に大きな推定誤差を生じさせることにつながる (Leenders *et al.*, 2006; Matthew, 2005)。これらの問題を解決するためには、歩行・走行活動とそれ以外の活動において子ども独自の推定式をそれぞれに作成すること、さらに 3 軸の加速度情報から歩行・走行活動からそれ以外の活動であるかを判別する方法が必要である。判別方法については、Ohshima *et al.* (2010) が成人を対象に 3 軸の加速度情報を用いた新しい判別方法を提案しており、その方法に準拠することにより子どもの活動を判別できる可能性がある。

これらことを背景として、本研究は 3 次元加速度計を用いて歩行・走行活動およびそれ以外の活動時の METs を評価するために、子ども独自の推定式について検討した。併せて、それに基づき各活動時のエネルギー消費量を算出し、その妥当性について検証した。

## B. 研究方法

### 1. 対象者

小学生男子 42 名 (年齢:  $10 \pm 2$  歳)、女子 26 名 (年齢:  $9 \pm 2$  歳) を対象とした。学年の内訳は、低学年が 27 名、高学年が 41 名であった。対象者の身体的特性は、男子で  $140.4 \pm 11.0$  cm、 $33.6 \pm 9.5$  kg、女子で  $131.9 \pm 14.2$  cm、 $28.8 \pm 9.3$  kg であった。

### 2. 実験手順

対象者には、午前 7 時までには朝食を済ませるように指示し、その後、激しい活動を控えながら保護者同伴で午前 10 時に指定の実験室に来室させた。到着後に、朝食の有無ならびに内容を確認し、形態計測を行った。さらに、対象者の胸部に心拍計を、腰

部に加速度計をそれぞれ装着し、座位で 30 分間の安静状態をとらせた後、安静時エネルギー消費量と 12 種類の活動時の 3 軸加速度ならびにエネルギー消費量を測定した。

### 3. 加速度計

測定可能範囲が  $\pm 6G$  で、加速度分解能が  $3mG$  である 3 次元加速度センサを搭載した加速度計 (大きさ:  $W 80 \text{ mm} \times D 20 \text{ mm} \times H 50 \text{ mm}$ 、重さ:  $60.7 \text{ g}$ ) を腰部に装着して、鉛直、前後、左右方向の加速度を  $32\text{Hz}$  でサンプリングした。さらに重力加速度を除くためにそれぞれハイパスフィルタ処理を施した加速度データから合成加速度を求めて分析に用いた。

### 4. 安静時および身体活動時のエネルギー消費量

対象者は、朝食摂取後 3 時間以上経過した後に、座位安静時エネルギー消費量 (Resting energy expenditure: REE) を測定した。その後、歩行・走行以外の活動 (1. 学習: 椅子座位で漢字の書き写し、2. ゲーム: 床座位で Nintendo DS、3. ほうき掃き、4. 片付け: 本を棚に戻す、5. 雑巾がけ、6. ボール投げ: ドッチボールの投げあい) ならびに歩行・走行活動 (7. 階段昇り、8. 階段降り、9. 普通歩行:  $60\text{m}/\text{分}$ 、10. 速歩:  $80\text{m}/\text{分}$ 、11. 走行: 低学年  $100\text{m}/\text{分}$ ・高学年  $120\text{m}/\text{分}$ ) の計 11 種類の活動を実施した。活動時の呼気ガスは、専用のガスマスクならびにダグラスバッグを用いて採取された。定常状態として 2 分間を前置きし、その後、各活動に応じて 2 から 7 分間の呼気ガスを採取した。また、採取した呼気ガスの酸素濃度ならびに二酸化炭素濃度を質量分析計 (ARCO-1000, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また呼気量を乾式

ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co.,Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。得られた測定値は Weir (1949) の間接熱量測定式を用いてエネルギー消費量に換算された。また、各身体活動時のエネルギー消費量を安静時エネルギー消費量で除すことにより身体活動強度 (METs) を求めた。

#### 5. 歩行活動とそれ以外の活動との判別

Ohshima *et al.* (2010) が提案する判別方法に準拠して、各活動時に検知された 3 軸の合成加速度と重力加速度を除去した 3 軸の合成加速度との比を歩行活動とそれ以外の活動とを判別するための境界値として用いた。

#### 6. 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 (疫学研究部会)」の承諾を得て実施した。測定にあたっては、対象者に測定目的、利益、不利益、危険性、個人情報の管理について説明し、書面にて同意を得た。測定データは外部流出することがないように厳重に管理した。なお、測定にともなう重大な危険性はない。

#### 7. 統計処理

得られた測定値は平均値±標準偏差で示した。また、活動時の加速度と METs との関係は、回帰分析を用いて検討した。また、暦年齢が回帰式に寄与するか否かについては重回帰分析を用いて検討した。これまでに我々の研究グループが、成人を対象に実施した合成加速度と METs との関係式 (ただし、測定した活動内容は子どもの場合と異なる) を参照し、回帰直線の傾き、切片ならびに決定係数 ( $R^2$ ) について子どもと成人とでの比較検討を行った。また、Ohshima *et al.* (2010) の判別方法を用いて

歩行活動とそれ以外の活動との判別境界値を決定するために Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線を用いて感度ならびに特異度を求めた。統計処理は、JMP8.0 (SAS Institute, Tokyo, Japan) を用いて行い、その際の統計的有意水準は 5%未満とした。

#### C. 研究結果

合成加速度と METs との関係を図 1 に示した。その結果、歩行活動とそれ以外の活動とにプロットが分離していることがわかった。またそれぞれプロットは、階段昇降を除くと直線的な関係 (歩行活動:  $y = 0.0004687x + 0.966569$ ,  $R^2 = 0.8851$ , それ以外の活動:  $y = 0.0011558x + 1.2242151$ ,  $R^2 = 0.7766$ ) を示していた。残念ながら、階段昇降については、歩行活動にみられる直線的な関係から大きく外れており、むしろそれ以外の活動の直線的な関係に近似していた。

成人で得られた関係式との比較を図 2 に示した。その結果、歩行活動とそれ以外活動ともに回帰直線の傾きならびに切片において、子どもと成人 (歩行活動:  $y = 0.0008x + 1.2311$ ,  $R^2 = 0.9038$ , それ以外:  $y = 0.002x + 1.556$ ,  $R^2 = 0.8945$ ) との間で相違が認められた。特に、両活動ともに、加速度が大きくなるに伴い、成人と子どもの METs により大きな差異が生じやすいことが明らかになった。

歩行活動とそれ以外の活動との判別率については、検知された合成加速度とハイパスフィルタ処理後の合成加速度との比を用いた結果、その値が 1.12 であったときに判別率が最大 (99.5%) となった (Table 1)。

得られた判別閾値に基づいて得られた歩

歩行活動とそれ以外の活動との判別結果から、歩行活動とそれ以外の活動のそれぞれの回帰式に検知された加速度を外挿して推定値 METs を算出した。さらに、それに推定 REE (kcal/min) を乗じて、各活動時のエネルギー消費量を算出し、実測値との比較を行った。なお、推定 REE は、年齢、性別に応じた日本人の基礎代謝基準値に体重を乗じて BMR を推定し、さらにそれを 1.1 倍した (田中, 2009)。その結果、各活動時の実測エネルギー消費量に対して、推定エネルギー消費量は 6.0–43.1% (階段昇降を除く) で過大評価された (Figure 5)。

#### D. 考察

これまでの加速度計の多くは、主に歩行活動に対して優れた評価精度を有していることが報告されてきた (Kumahara *et al.*, 2004 ; Mattew, 2005)。また、それらの加速度計は疫学研究において子どもから高齢者までの多岐にわたった対象に利用されている。しかしながら、子どもと成人とは形態や体組成の相違により安静時ならびに活動時のエネルギー消費量に相違があることや、多岐にわたる活動が短時間 (3 秒) に変化していくという子ども特有の行動パターンを有している (Bailey *et al.*, 1995) ことなどから、成人を対象に開発された加速度計を子どもに適用することは必ずしも適切でないと考えられる。本研究は、加速度から METs を推定するために子どもの独自の推定式を作成することに加え、歩行活動ならびにそれ以外の活動を評価できる方法について検討した。その結果、子どもの場合でも合成加速度と METs との関係性が歩行活動とそれ以外での活動とでは大

きく異なっており、従来の加速度計に多かった歩行活動の推定式を用いて歩行活動以外の活動を評価することは、METs が過小評価されることが明らかになった。特に、子どもの日常生活を考えた場合、歩行活動だけでなく遊びやスポーツ活動の中でみられる不規則な動作様式が多分に含まれていることを想定すると、本研究が提案する歩行活動とそれ以外の活動をそれぞれの推定式で評価することは、子どもの TEE の推定精度に大きく貢献する可能性が考えられる。また、階段昇降を除いた上で、両活動ともに回帰式に強い直線性 (歩行活動 :  $R^2=0.8851$ 、それ以外 :  $R^2=0.7766$ ) が得られたことから、METs を評価するための有効な推定式として利用できる。残念ながら、階段昇りについては歩行活動の式から推定すると顕著な過小評価 (63%) が生じた。ただし、1 日の中で階段を利用している時間は少ないことや階段降りを過大評価 (23%) していることなどを考慮すると、TEE への影響は必ずしも大きくないと考えられる。

さらに本研究は、合成加速度と METs との関係について子どもと成人との比較を行った。その結果、歩行活動ならびにそれ以外活動ともに、回帰式の切片と傾きに相違が認められた。すなわち、成人の推定式を用いて子どもの METs を評価すると両活動ともに過大評価されることが明らかになった (Figure 2)。歩行活動以外の活動については、対象とした身体活動内容に相違があるため、合成加速度と METs との関係性について直接的な比較を行うことは困難であるが、TEE を構成する活動内容には成人との相違があることを考慮すると、いず