

加速度計による歩数測定の精度評価および 東日本大震災後の福島県いわき市在住児童における 歩数測定の一例

Evaluation of Precision for Accelerometers and Investigation of the Number of Daily Steps
for Child Living in Fukushima Prefecture after the Great East Japan Earthquake

二 見 順

【要 旨】

本稿の目的は、近年、広く普及し始めている身体活動量を簡便かつ定量的に測定できる加速度計の精度を評価するとともに、これを用いて東日本大震災後の福島県在住児童の身体活動量の過不足について検討することにある。東日本大震災以降、福島県在住児童の肥満傾向が著しい。肥満の予防・改善には身体活動量の把握が必要となるが、被災地児童の身体活動量についての定量的な調査・研究は十分とはいえない。一方、異なる機種 of 加速度計を複数同時に装着すると、歩数の測定値に大きな違いがみられる場合があり、加速度計の測定精度について科学的な検証が求められている。本研究では、福島県いわき市在住児童を対象に、一般に普及している異なる機種 of 加速度計をそれぞれ複数同時に装着し、1週間の歩数測定を実施した。これにより、加速度計の測定精度を評価するとともに、東日本大震災後のいわき市在住児童における身体活動量の過不足について検討した。

【キーワード】

加速度計 歩数 児童 精度管理 東日本大震災

【Abstract】

Recently, in Fukushima Prefecture, the number of obese children has considerably increased. As a cause for this, the reduction of physical activity due to the restriction of outdoor activities after the Great East Japan Earthquake has been considered. However, the quantitative research on the amount of physical activity of the disaster-affected children is not enough. Meanwhile, in recent years, accelerometers which can easily and quantitatively evaluate the amount of physical activity are widely spread. However, when accelerometers of different models are simultaneously worn, a

large difference often occurs in their measured values. Accordingly, the quantitative evaluation of the quality control of accelerometers is required. In this paper, the precision of accelerometers of two popular models was evaluated. Furthermore, by using these accelerometers, it was investigated the number of daily steps for child living in Fukushima Prefecture after the Great East Japan Earthquake.

【Keywords】

accelerometer daily steps children quality control the Great East Japan Earthquake

I. はじめに

日本における肥満傾向児（標準体重の20%以上の体重のある児童）の出現率は30年前にくらべ倍増し、児童のおよそ10人に1人が肥満傾向にある。さらに、体力・運動能力調査（文部科学省）によると、児童の体力は依然低い水準のままであり、将来の肥満や生活習慣病への懸念が高まっている。肥満および生活習慣病を予防・改善することは、個人の健康維持に重要であると同時に、国の財政に占める医療費の低減においても欠かせない事柄となっている。

東日本大震災以降、福島県在住児童の肥満傾向が著しい。震災直後、福島県においては放射線による健康被害を軽減するため、多くの幼稚園、小・中・高等学校が屋外活動を制限した。学校生活以外の日常生活においても、屋外活動を積極的に行う園児・児童は減少し、子どもたちの体力・体格へ大きく影響した。文部科学省が毎年実施する小・中学生を対象とした全国体力・運動能力、運動習慣等調査¹⁾の結果によると、福島県における肥満傾向児の出現率は、2013年（平成25年）に小学校1年生から中学校3年生までのすべての学年において男女とも全国平均を上回り、県別の肥満傾向児出現率は全国第1位となった。この原因について、福島県教育委員会は、震災後の屋外活動の制限による身体活動量の減少が影響していると分析した^{2) 3)}。しかし一方で、現在では県内の一部の地域を除いては震災発生以前の日常生活を取り戻しつつあるように感じられる。2015（平成27）年度には、福島県内で屋外活動を制限する公立の小・中・高等学校は無くなった。被災地児童の身体活動量の不足については、改善していることも考えられるが、そのことについての定量的な調査・研究は十分とはいえない。

肥満および生活習慣病の予防・改善には、日常生活における身体活動の増加が重要である。それにはまず、日常の身体活動量を正確に把握することが必要となるが、その代表的な方法として二重標識水法⁴⁾、ヒューマンカロリーメーター法（間接熱量測定法）⁵⁾、質問紙法⁶⁾、加速度計法⁷⁾（加速度センサー内蔵の歩数計、活動量計を含む）がある。このうち加速度計法は、加速度センサー

により歩数あるいはエネルギー消費量を測定する方法であるが、二重標識水法やヒューマンカロリメーター法よりも導入コストが低く、質問紙法よりも妥当性および信頼性が高いため、生活者としてのヒトを対象としたフィールド研究に導入しやすい点の特徴である^{8) 9)}。また加速度計法は、小型な加速度計を衣服等に装着するだけで実現できるため、対象者への負担が少ない状態での日常生活の身体活動量を把握でき、客観的なデータを比較的簡便に得ることができる利点もある。

近年、加速度計の技術発展は目覚ましく、高性能な加速度計が国内外で多数販売されており、多くの人が自己の健康管理に利用しているのと同時に、専門家による研究調査活動においてもしばしば活用されている。しかし、実際に日常生活において異なる機種 of 加速度計を複数同時に装着すると、歩数の測定値に大きな違いがみられる場合があり、測定精度についての科学的な検証が求められている¹⁰⁾。また、加速度計を児童に適用した報告例は少なく、児童を対象としたデータの蓄積・充実が求められている^{10) 11)}。

上記のことから、本研究では、身体活動量と高い相関のある歩数に焦点を当て、福島県いわき市在住児童を対象に、一般に普及している異なる機種 of 加速度計をそれぞれ複数同時に装着し、1週間の歩数測定を実施した。これにより、加速度計の同一機種内での測定精度および異機種間での測定精度について評価・検討した。さらに、本研究で得られた歩数データを、東日本大震災後に屋外活動を制限していない東京都在住児童の歩数データ（東京都統一体力テスト及び広域歩数調査¹²⁾）と比較することにより、東日本大震災後の現在における福島県在住児童の身体活動量の過不足について検討した。

II. 方 法

(1) 使用した加速度計

今回使用した加速度計は、山佐時計計器株式会社製EX200（以下、EX200）および株式会社タニタ製AM140（以下、AM140）の2機種であった。両機種とも広く一般に普及しており、利用者の多い加速度計であることから選定した。以下に、それぞれの機種の特徴について示す。

a. 山佐時計計器株式会社製EX200の特徴

この機種は、2012（平成24）年に東京都が報告した広域歩数調査¹²⁾において使用された加速度計である。したがってこの機種で測定した歩数は、東京都在住児童の歩数と比較することが可能である。東京都が実施した広域歩数調査は、児童・生徒の発育・発達に必要な身体活動量のガイドラインや発達段階に即した運動量を研究し提示していくための基礎資料とすることを目的に、まずは身体活動量と密接な関連がある歩数について、その実態を把握するために行われた。対象とした子

どもは、都内62区市町村の小・中学校、11地域の高等学校、合計約16,000人であった。正確に動きを捉えることのできる加速度センサーを内蔵した歩数計を用いた大規模実態調査は、我が国はもとより、世界的に見ても類がないものとされている。

この機種の特徴は使用方法の簡便さである。使用開始時に設定しなくてはならない項目は時刻のみであり、使用中、測定（表示）できる項目は時刻および歩数のみである。得られる情報は、測定当日および過去1週間分の1日当たりの歩数のみである。誤操作の機会が少なく、児童や生徒が携帯するのに適している。

1日当たりの歩数は、午前2時を起点とした24時間の積算値として、3次元加速度センサーにより測定される。歩行以外の振動を測定しないようにするため、歩きはじめから10歩未満は歩数のカウントをせず、継続歩行があった場合に、それまでの歩数をまとめて加算する。平地での歩行動作（毎分100歩から200歩程度の早さ）を想定しており、ジョギングなど歩行以外のスポーツをした場合、非常にゆっくり歩いた場合、山登りなど急斜面の昇り降りなどの場合は、正確にカウントしない可能性がある。

装着部位としては、胸ポケットや抱えたカバンなどに入れ、加速度計本体が不規則な動きをしないようにすることが推奨されている。

外観および主な仕様について、それぞれ図1、表1に示す。



図1 EX200の外観（出典：山佐時計計器株式会社のHP）

表1 EX200の主な仕様

検出方法	3次元加速度センサー
外形寸法	W60×H33×D11mm
質量	約20g（電池含む）
使用温度範囲	0～40℃
時間精度	平均月差±30秒以内（常温）
設定項目	時刻
表示項目	歩数、時刻
メモリー機能	7日間

b. 株式会社タニタ製AM140の特徴

この機種は、健康機器メーカーである株式会社タニタが筑波大学と共同開発した加速度計である。歩数以外にもエネルギー消費量を測定することができる。エネルギー消費量測定におけるゴールドスタンダードとされるヒューマンカロリメータ（筑波大学に設置されている）による測定値との間に高い相関（相関係数0.97）があることが確認されており¹³⁾、信頼性の高い機種である（図2）。

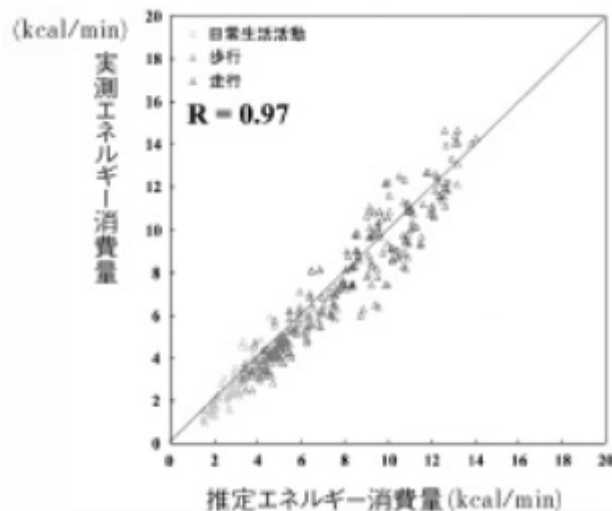


図2 AM140（横軸）とヒューマンカロリメータ（縦軸）の相関
（出典：株式会社タニタのHP）

この機種の特徴は、身体活動を運動および生活活動に区別して測定することができる点である。ここで、身体活動とは、健康づくりのための運動指針2006（厚生労働省）¹⁴⁾によると、安静にしている状態より多くのエネルギーを消費する全ての動きのことであり、運動と生活活動を含む。運動とは、身体活動のうち体力の維持・向上を目的として計画的・意図的に実施するものとされ、生活活動とは、身体活動のうち運動以外のものをいい、職業活動上のものも含むとされている（図3）。したがって、この機種は、3次元加速度計センサーのデータを株式会社タニタと筑波大学で共同して独自に開発したアルゴリズムを用いてデジタル処理することにより、歩数を、生活活動に分類される歩行による歩数（歩行歩数）と、運動に分類される走行による歩数（走行歩数）とに区別して測定することができる。1日当たりの歩数としては、歩行歩数と走行歩数の和として算出される。またこの機種は、歩数と同時に、身体活動による消費エネルギー量を、歩行活動エネルギー量、走行活動エネルギー量、および生活活動エネルギー量（歩行、走行を伴わないもの）に区別して測定できる。さらに、性別、年齢、身長、体重から安静時代謝量を推定し、1日当たりのエネルギー消費量は、これら、歩行活動エネルギー量、走行活動エネルギー量、生活活動エネルギー量、および

安静時代謝量の総和として算出される。

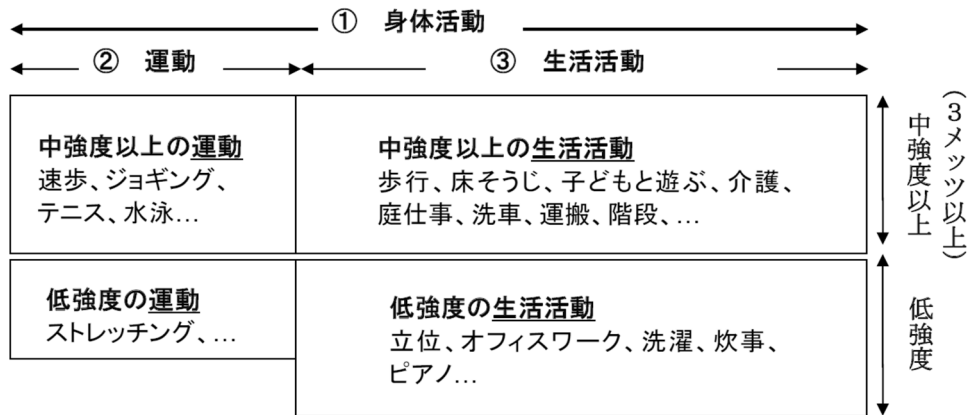


図3 身体活動、運動、生活活動の区分
(出典：健康づくりのための運動指針 2006, p.5, 厚生労働省¹⁴⁾)

1日当たりの歩数は、午前0時を起点とした24時間の積算値として、3次元加速度センサーにより測定される。6秒以上の一定の動きがあれば歩行と判断し、それまでの測定値に加算する。動作を一旦止めた場合は、再度6秒以上一定の動きが継続しない場合には歩数としてカウントしない仕様である。他の加速度計と同様、歩行・ジョギング以外のスポーツをした場合、上下移動を伴う運動（山登り、階段等）をした場合、加速度計本体が不規則に動く状況下で使用した場合は、歩数を正しくカウントしない可能性がある。

装着部位としては、上半身を中心とした身体活動も正確に計測させるためには、胸ポケットなどが推奨されている。

外観および主な仕様について、それぞれ図4、表2に示す。



図4 AM140の外観（出典：株式会社タニタのHP）

表2 AM140の主な仕様

検出方法	3次元加速度センサー
外形寸法	W81×H39×D13mm
質量	約38g(電池含む)
使用温度範囲	0～40℃
時間精度	平均月差±30秒以内(常温)
設定項目	西暦、日付、時刻、生年月日、性別、身長、体重、体脂肪率、歩きの歩幅、走りの歩幅
表示項目	総消費エネルギー量、走行活動エネルギー量、歩行活動エネルギー量、生活活動エネルギー量、安静時代謝量、脂肪燃焼量、走行脂肪燃焼量、歩行脂肪燃焼量、生活脂肪燃焼量、活動時間、走行活動時間、歩行活動時間、生活活動時間、距離、走行距離、歩行距離、歩数、走行歩数、歩行歩数、時刻
メモリー機能	14日間
性別	男・女
年齢	6-99歳
身長	90-220cm(1cm単位)
体重	20-150kg(1kg単位)
歩きの歩幅	20-150cm(1cm単位)
走りの歩幅	20-200cm(1cm単位)

(2) 対象者、測定期間および測定項目

対象者は、福島県いわき市在住の健常な小学校女児1名であった。測定期間は、同一対象者について約1年半を隔てた2度の1週間であった。測定項目は、身体活動量と高い相関のある歩数とした。

上記2機種 of 加速度計における同一機種内の測定値同士の差、および異なる機種 of 測定値同士の差を評価するため、測定はそれぞれの機種を2機ずつ合計4機を対象者に同時装着して実施した。対象者には、就寝、入浴、水泳等、装着できない場合を除いて、常に加速度計を装着するよう依頼した。測定は対象児童本人、保護者、および学校に目的・方法を説明した上、協力を依頼し、同意を得て実施した。

下表に測定期間および対象者の特徴について示す。

表3 測定期間および対象者の特徴

No.	測定期間	年齢[歳]	性別	身長[cm]	体重[kg]
1	2017(平成29)年 7月10日(月)～16日(日)の1週間	10 (小4)	女	134	29
2	2015(平成27)年 12月3日(木)～9日(水)の1週間	8 (小2)	女	125	25

注1)No.1,2とも同一対象者

なお、本稿中に示すデータについては、特に記述の無い場合、測定期間が2017(平成29)年7月10日(月)～16日(日)の1週間のものとする。

(3) 加速度計の装着部位

加速度計の装着部位は、加速度計本体の不規則な動きを避けるため、両機種とも上半身が推奨されている。しかし、児童や生徒に装着する場合、胸ポケットが無い服装も多い。また、周囲から見えてしまう部位への装着は、学校での授業の妨げとなってしまうことも懸念される。したがって、今回は上半身を中心とした活動ではなく歩行活動の測定を目的とし、加速度計をズボンあるいはスカートの前ポケットに入れて測定を実施した(表4、図5)。なお、この装着部位は、東京都が実施した広域歩数調査の場合と同様である。

表4 測定機器の機種および装着部位(測定期間2017年7月10日~16日の場合)

機種	装着数	装着部位
山佐時計計器株式会社 EX200	2	2機ともズボンあるいはスカートの右前ポケット
株式会社タニタ AM140	2	2機ともズボンあるいはスカートの左前ポケット

注1)測定期間が2015年12月3日~9日の場合はEX200、AM140ともに1機ずつ



図5 測定機器装着の様子
向かって左がEX200 2機、右がAM140 2機

(4) データ処理

1日当たりの平均歩数の算出は、平日の平均歩数と休日の平均歩数から、平日5日、休日2日に重みづけをする東京都の算出方法と同様とした(下式)。

$$1日当たりの平均歩数 = (平日の平均歩数 \times 5日 + 休日の平均歩数 \times 2日) \div 7日$$

測定期間が2017(平成29)年7月10日~16日の場合については、同一機種内の2機の測定値同士の差、および異なる2機種の測定値同士の差を、percent differenceとして下式により評価した。

$$\text{Percent difference} = (\text{測定値1} - \text{測定値2}) / ((\text{測定値1} + \text{測定値2}) / 2) \times 100 [\%]$$

ここで、測定値1、測定値2はそれぞれ以下のようなものである。

2機の同一機種の場合：

測定値1：1機目の測定値

測定値2：2機目の測定値

異なる2機種（各機種2機ずつ）の場合：

測定値1：1機種目の測定値（2機の平均）

測定値2：2機種目の測定値（2機の平均）

また、測定値の一致度をBland and Altman¹⁵⁾の方法を用いて評価した。これは、横軸に2つの測定値の平均値、縦軸に2つの測定値の差をプロットした散布図（Bland-Altman plot）を作成し、2つの測定値の差の平均値 $\pm 2SD$ （95%信頼区間）を精度の指標として評価する手法である。測定値が内包する系統誤差を可視的に明らかにすることができる。異なる2機種間の相関関係を、Pearsonの相関係数を用いて評価した。いずれの場合も有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

（1）対象者の生活・活動パターンについて

表5に、測定期間が2017（平成29）年7月10日～16日における対象者の生活・活動記録を示した。登校、下校はそれぞれ徒歩20分。学校での大休憩の時間（30分間）は、主に屋内活動（音楽祭の練習・読書）に費やしたとのことであった。スポーツ系の習い事（スイミングスクール）が週1回、スポーツ系以外の習い事が週4回であり、外遊び（主に自宅付近の公園）が週3回（1回約60分）であった。この他、耳鼻科への通院（車使用）が週4回であった。測定期間が2015（平成27）年12月3日～9日における生活・活動記録については、測定期間が2017（平成29）年の場合と同様、特異な点は認められなかったため割愛した。ただし、この期間については耳鼻科への通院はなかった。

（2）EX200の測定精度について

表6に、EX200で測定した1日当たりの歩数（測定値）、2機の測定値の平均（平均値）、平均値に対する2機の測定値同士の差（percent difference）を示した。7日間のpercent differenceは $1.8 \pm 2.7\%$ （mean $\pm SD$, n=7）であり、最小が -0.2% 、最大が 5.4% であった。

図6に、Bland-Altmanプロットを示した。2機のEX200における7日間の測定値は、いずれも95%信頼区間内（図中mean $\pm 2SD$ 範囲内）に存在し、測定値同士の系統的な差（図中mean）は、1日当たりの歩数に対しわずかに203[歩]であった。

(3) AM140の測定精度について

表7に、AM140で測定した1日当たりの歩数（測定値）、2機の測定値の平均（平均値）、平均値に対する2機の測定値同士の差（percent difference）を示した。7日間のpercent differenceは $-1.4 \pm 5.4[\%]$ （mean \pm SD, n=7）であり、最小が $-11.5[\%]$ 、最大が $4.6[\%]$ であった。

図7に、Bland-Altmanプロットを示した。2機のAM140における7日間の測定値は、いずれも95[%]信頼区間内（図中mean \pm 2SD範囲内）に存在し、測定値同士の系統的な差（図中mean）は、1日当たりの歩数に対しわずかに $-60[\text{歩}]$ であった。

(4) EX200とAM140の測定値の違いについて

表8に、EX200とAM140の両機種で測定した1日当たりの歩数（測定値）、2機種種の測定値の平均（平均値）、平均値に対する2機種種の測定値同士の差（percent difference）を示した。表中、EX200およびAM140の測定値は、各機種2機で測定した平均値である。7日間のpercent differenceは $29.7 \pm 5.9[\%]$ （mean \pm SD, n=7）であり、最小が $24.8[\%]$ 、最大が $40.7[\%]$ であった。

図8に、Bland-Altmanプロットを示した。EX200とAM140の7日間の測定値は、いずれも95[%]信頼区間内（図中mean \pm 2SD範囲内）に存在したが、EX200で測定した1日当たりの歩数は、AM140のそれよりも系統的におよそ $2,700[\text{歩}]$ 大きい結果であった（図中mean）。

図9に、EX200とAM140の両機種で測定した1日当たりの歩数における相関関係を示した。図中のデータは、各機種2機で測定した平均値である。EX200とAM140の測定値の間には、相関係数 0.984 （ $p < 0.001$, n=7）の有意な高い相関が認められた。

(5) 1日当たりの平均歩数について（東京都在住児童との比較）

図10に、測定期間が2017（平成29）年7月10日～16日について、平日5日間における1日当たりの平均歩数（平日）、休日2日間における1日当たりの平均歩数（休日）、1週間全体の1日当たりの平均歩数（1 week）を示した。図中、EX200とはEX200で測定した今回の対象者の歩数、EX200（Tokyo）とはEX200で測定した東京都在住児童の歩数を示す。東京都在住児童の歩数については、東京都が実施した広域歩数調査¹²⁾を参考にした。EX200の値とEX200（Tokyo）の値との差について、EX200（Tokyo）の値を基準とした比率で表すと、平日で $7.5[\%]$ （ $= (11,674-10,859) / 10,859 \times 100$ ）、休日で $-3.6[\%]$ （ $= (7,979-8,276) / 8,276 \times 100$ ）、1 weekで $4.9[\%]$ （ $= (10,618-10,121) / 10,121 \times 100$ ）であった。

図11に、測定期間が2015（平成27）年12月3日～9日について、平日、休日、および1週間全体の1日当たりの平均歩数を示した。図中、EX200およびEX200（Tokyo）については、上記図10の場合と同様である。EX200の値とEX200（Tokyo）の値との差について、EX200（Tokyo）の値を基準とした比率で表すと、平日で $12.1[\%]$ 、休日で $-26.7[\%]$ 、1 weekで $2.9[\%]$ であった。

加速度計による歩数測定の精度評価および東日本大震災後の福島県いわき市在住児童における歩数測定の一例

表 5 生活・活動記録 (2017年7月10日～16日)

	'17 7/10(月)	'17 7/11(火)	'17 7/12(水)	'17 7/13(木)	'17 7/14(金)	'17 7/15(土)	'17 7/16(日)
	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	晴れ	晴れ	曇り一時雨
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:00							
6:00	起床	起床	起床	起床	起床		
7:00	朝食	朝食	朝食	朝食	朝食	起床	起床
8:00	登校(徒歩20分)	登校(徒歩20分)	登校(徒歩20分)	登校(徒歩20分)	登校(徒歩20分)	朝食	朝食
9:00						室内遊び	室内遊び
10:00	大休憩(9:50-10:20)	大休憩(9:50-10:20)	大休憩(9:50-10:20)	大休憩(9:50-10:20)	大休憩(9:50-10:20)	宿題	買い物(徒歩30分)
11:00	教室で読書	室内で滄いかけっこ	室内で鍵盤ハーモニカ	室内で鍵盤ハーモニカ	体育館で音楽祭の練習	外遊び(90分)	TV
12:00						室内遊び	室内遊び
13:00						昼食	昼食
14:00						TV	外遊び(60分)
15:00	下校(徒歩20分)				下校(徒歩20分)	宿題	室内遊び
16:00	耳鼻科(車)	下校(徒歩20分)	下校(徒歩20分)	下校(車)	習い事(スポーツ)(車)	室内遊び	室内遊び
17:00	外遊び(公園60分)	耳鼻科(車)	外遊び(公園60分)	習い事	習い事(スポーツ以外)	耳鼻科(車)	自主勉強
18:00	TV	習い事(スポーツ以外)	宿題	耳鼻科(車)	習い事(スポーツ以外)	習い事(スポーツ以外)	室内遊び
19:00	宿題	(徒歩10分)	TV	習い事(スポーツ以外)	(徒歩10分)	(徒歩10分)	室内遊び
20:00	入浴	入浴	入浴	入浴	入浴	入浴	入浴
21:00	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食
22:00	明日の準備	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食
23:00	読書	宿題	宿題	宿題	読書	室内遊び	室内遊び
0:00	就寝	就寝	就寝	就寝	就寝	就寝	就寝

対象者：福島県いわき市在住の健康な小学校4年生女児(10歳、134cm、29kg)

表 6 EX200 の測定値、平均値、percent difference (2017年7月10日～16日)

測定日	測定値		平均値 [歩]	%dif. [%]*1)
	EX200(1) [歩]	EX200(2) [歩]		
2017/7/10 (月)	12,987	12,932	12,960	0.4
2017/7/11 (火)	10,908	10,336	10,622	5.4
2017/7/12 (水)	14,092	13,391	13,742	5.1
2017/7/13 (木)	9,637	9,658	9,648	-0.2
2017/7/14 (金)	11,319	11,479	11,399	-1.4
2017/7/15 (土)	8,303	8,076	8,190	2.8
2017/7/16 (日)	7,792	7,743	7,768	0.6

*1) %dif. : 1.8±2.7[%] (mean±SD, n=7)

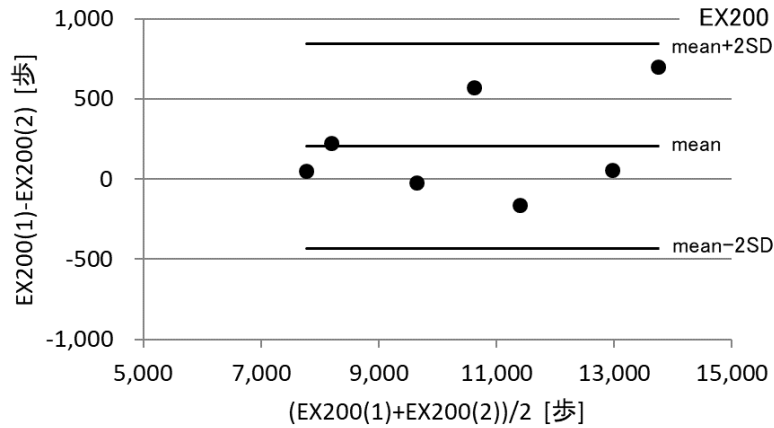


図6 2機のEX200測定値の一致度 (Bland-Altman plot) (2017年7月10日~16日)

表7 AM140の測定値、平均値、percent difference (2017年7月10日~16日)

測定日	測定値 AM140(1) [歩]	測定値 AM140(2) [歩]	平均値 [歩]	%dif. [%] *1)
2017/7/10 (月)	10,042	10,091	10,067	-0.5
2017/7/11 (火)	7,340	7,717	7,529	-5.0
2017/7/12 (水)	10,765	10,650	10,708	1.1
2017/7/13 (木)	7,428	7,096	7,262	4.6
2017/7/14 (金)	8,539	8,278	8,409	3.1
2017/7/15 (土)	5,109	5,732	5,421	-11.5
2017/7/16 (日)	5,995	6,076	6,036	-1.3

*1) %dif. : -1.4 ± 5.4 [%] (mean \pm SD, n=7)

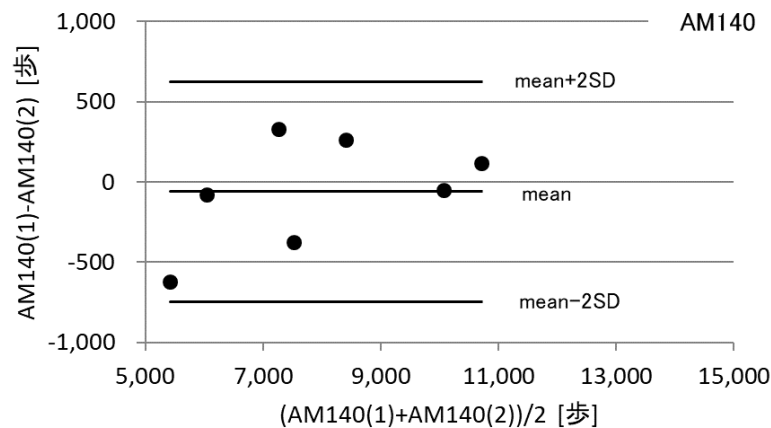


図7 2機のAM140測定値の一致度 (Bland-Altman plot) (2017年7月10日~16日)

表 8 EX200 および AM140 の測定値、平均値、percent difference (2017 年 7 月 10 日～16 日)

測定日	測定値 EX200[歩]*1)	測定値 AM140[歩]*2)	平均値 [歩]*3)	%dif. [%]*4)
2017/7/10 (月)	12,960	10,067	11,513	25.1
2017/7/11 (火)	10,622	7,529	9,075	34.1
2017/7/12 (水)	13,742	10,708	12,225	24.8
2017/7/13 (木)	9,648	7,262	8,455	28.2
2017/7/14 (金)	11,399	8,409	9,904	30.2
2017/7/15 (土)	8,190	5,421	6,805	40.7
2017/7/16 (日)	7,768	6,036	6,902	25.1

*1) EX200=(EX200(1)+EX200(2))/2

*2) AM140=(AM140(1)+AM140(2))/2

*3) 平均値=(EX200+AM140)/2

*4) %dif. : 29.7±5.9[%] (mean±SD, n=7)

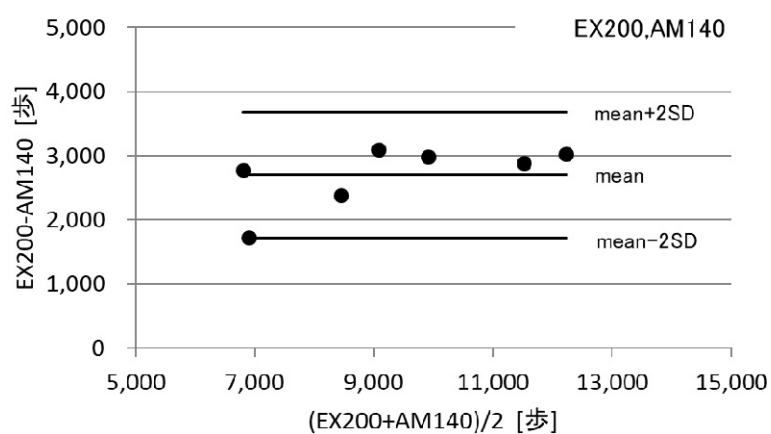


図 8 EX200 と AM140 との一致度 (Bland-Altman plot) (2017 年 7 月 10 日～16 日)

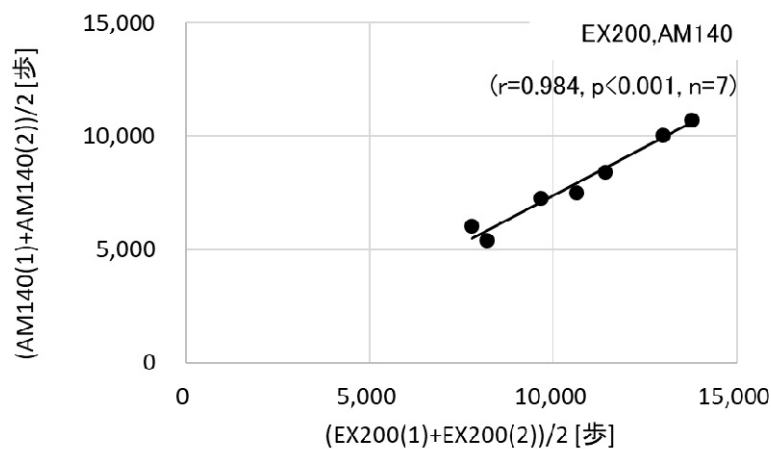


図 9 EX200 と AM140 との相関関係 (2017 年 7 月 10 日～16 日)

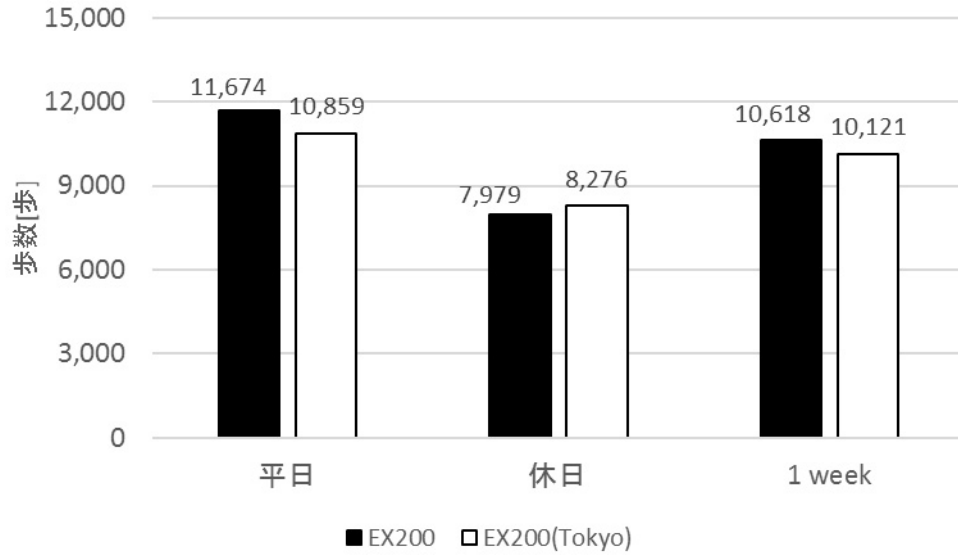


図 10 1日当たりの平均歩数（東京都在住児童との比較）（2017年7月10日～16日）

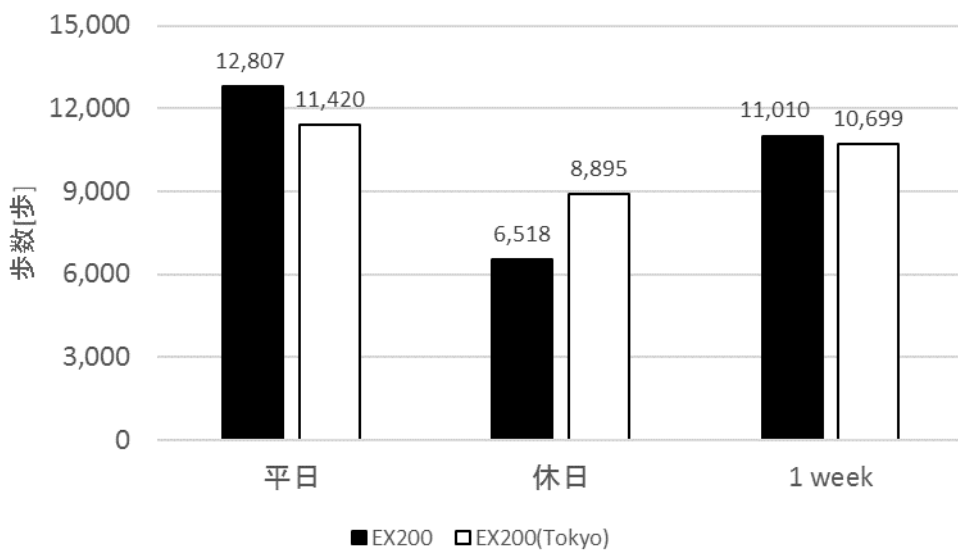


図 11 1日当たりの平均歩数（東京都在住児童との比較）（2015年12月3日～9日）

IV. 考 察

(1) 加速度計の同一機種内での精度について

同一機種内での測定値の精度（一致度）が、測定期間2017（平成29）年7月10日～16日の実験において評価された。同一機種内における測定値の差（percent difference）は、EX200で $1.8 \pm 2.7\%$ （mean \pm SD, n=7）、AM140で $1.4 \pm 5.4\%$ （mean \pm SD, n=7）であった。両機種とも、同一機種内における2機の測定値は、高い精度で一致した。このことは、同一機種を用いて日々の歩数を測定した場合、高精度な測定値に基づいて、日常の身体活動促進の動機づけを目的としたヘルスプロモーションを行えることを示す。

AM140のSDがEX200のそれよりわずかに大きいのは、2017年7月15日（土）におけるAM140のpercent differenceが -11.5% となっており、他の日と比較して大きい（マイナス方向に）ことに由来する。この日は土曜日であり、学校のある平日に比し歩数が少ないものの、対象者の生活・活動記録（表5）からは、同様に学校が休みである日曜日の活動パターンと比較して、特に大きな違いはみられなかった。また、装着し忘れた時間帯はなかったかなど、対象者に状況を聞いたが、この日のpercent differenceが他の日と比較して大きい（マイナス方向に）ことに対する原因と考えられる状況は得られなかった。歩く速度が低速になると、加速度計の測定誤差が拡大するとの報告もある¹⁶⁾。学校が休みの週末であるため、低速な歩行の割合が増え、測定値に影響を及ぼしたことも考えられるが、本研究から明らかにすることはできなかった。

(2) 加速度計の異なる機種間での精度について

異なる機種間での測定値の精度（一致度）が、測定期間2017（平成29）年7月10日～16日の実験において評価された。EX200とAM140との異なる機種間において、測定値の関係には相関係数0.984（ $p < 0.001$ ）の有意な高い相関が認められた。しかし、測定値同士の差（percent difference）は、 $29.7 \pm 5.9\%$ （mean \pm SD, n=7）であり、EX200とAM140で測定した1日当たりの歩数には、およそ30%（歩数にしておよそ2,700[歩]）もの系統的な差（EX200の測定値がAM140のそれより大）があることがわかった。このことは、測定期間が2015（平成27）年12月3日～9日の実験において同様の分析をした場合に、EX200とAM140との2機種間の測定値同士の差が、やはり、およそ30%（EX200の測定値がAM140のそれより大）であったことにも裏付けられる。これらのことは、異なる機種を用いて歩数を測定した場合、それらの歩数を単純に比較することは困難であることを示す。

加速度計の機種による測定値の違いは、どのような動きを検出した時に歩数としてカウントするのかなど、測定のためのアルゴリズムが異なることが要因と考えられるが、アルゴリズムは各メーカーにより独自に開発されており、一般に詳細は公開されていない。このため、専門家であっても

適切な加速度計の選択は難しい。したがって、子ども、高齢者、肥満者といった対象特性による精度への影響など、加速度計の特徴を把握し、適切な機種を選択することが非常に重要と考えられる。

なお、本研究では、測定値の再現性という観点から加速度計の精度を評価した。真値に対する測定値の妥当性については今後の課題である。

(3) EX200とAM140の歩数測定値の相互換算式の提案について

上述のように、異なる機種の加速度計で測定した歩数を単純に比較することは困難である。そこで、機種間の相互換算式を提案する。今回使用したEX200とAM140について、測定期間が2017（平成29）年7月10日～16日の測定値を回帰分析することにより相互換算式を導出した。EX200の測定値AからAM140の測定値Bへの換算式は $B = 0.850 \times A - 1107$ であり、その逆のAM140の測定値BからのEX200の測定値Aへの換算式は $A = 1.139 \times B + 1601$ であった。

換算式の有用性を確認するため、測定期間2017が（平成29）年7月10日～16日の測定値を用いて導出した上記換算式を使用し、測定期間が2015（平成27）年12月3日～9日におけるAM140の測定値をEX200の測定値へ換算した。図12に、換算前後におけるAM140による歩数、およびEX200の測定値との差（percent difference）を示す。換算後のAM140の歩数は、EX200のそれと良好に一致している。EX200の測定値との差も、AM140換算前は7日間の平均値として27.2[%]（図中○印）であったが、AM140換算後は4.0[%]（図中●印）と大幅に縮小した。このことは、このような換算式を利用することにより、異なる加速度計を用いた国内外の過去のデータを比較・検討しやすくなることを示す。

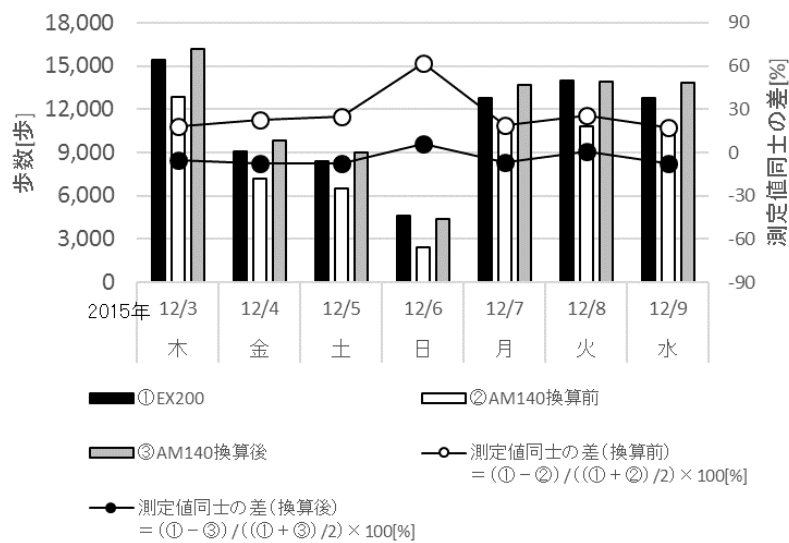


図 12 相互換算式の有用性（2015年12月3日～9日）

(4) 福島県いわき市在住小学生女兒における歩数について

測定期間が2017（平成29）年7月10日～16日の実験において、対象者の日常の生活スタイルは、登・下校に要する時間、習い事の頻度等、特異な点は認められず、いわき市に在住している小学校4生女兒として標準的と考えられた。1日当たりの平均歩数について、東京都在住女兒との差は4.9[%]（図10中1 week）とやや高い値を示したが、EX200の測定精度が 1.8 ± 2.7 [%]（mean \pm SD, n=7）であることを考えると、この値は必ずしも高いとはいえず、今回の対象者における1日当たりの平均歩数は、東京都在住女兒のそれとほぼ同レベルであったといえる。特に、平日の歩数については、東京都在住女兒のそれよりやや多かったといえる（図10中平日が7.5[%]高値）。東京都は、東日本大震災後に屋外活動を制限していない。また、「総合的な子供の基礎体力向上方策（第1次推進計画）」を2010（平成22）年に策定し、その後、第2次推進計画を2013（平成25）年、第3次推進計画を2016（平成28）年に策定するなど、子どもの体力向上を目的とした取り組みを継続的に推進しており、肥満傾向児出現率についても、全国平均より小さく、年々減少傾向にある都市である。このような東京都に在住する児童との比較において、同レベルの歩数であったことは、東日本大震災後の屋外活動の制限により減少した身体活動量が、現時点においては改善していることを示唆する。特に、平日における歩数の高値は、学校での活動および放課後の外遊びにより、身体活動量が改善していることを示唆する。

測定期間が2015（平成27）年12月3日～9日の実験においては、生活・活動記録を割愛したが、対象者の日常の生活スタイルは、登・下校に要する時間、習い事の頻度等、特異な点は認められず、いわき市に在住している小学校2生女兒として標準的と考えられるものであった。ただし、2017（平成29）年にあった耳鼻科通院はなく、その分、外遊びや室内遊びの機会が増加していた。1日当たりの平均歩数について、東京都在住女兒との差は2.9[%]高値（図11中1 week）なだけであり、ほぼ同レベルであった。このことは、東日本大震災後の身体活動量の減少が現時点においては改善しているという上記の考察を裏付ける。

また、2015（平成27）年の実験における1日当たりの平均歩数は、東京都在住女兒と比較して、平日で12.1[%]高値、休日で26.7[%]低値であり、大きな差があった（図11中平日、休日）。平日の高値は耳鼻科通院がなく遊びの機会が増えたこと、休日の低値は日曜日に外遊びをしていなかったことが要因として考えられる。このことは、歩数あるいは身体活動量の増加のためには、放課後や休日など、学校で過ごす以外の時間帯における活動を増やすことが効果的であることを示唆する。放課後や休日の歩数が全体の歩数にどれほど影響するかを、定量的に明らかにするには、時間帯ごとの歩数調査をするなど更なる検討が必要である。

上述のように、本研究の結果は、児童の身体活動量が現時点においては改善していることを示唆した。しかし、福島県の肥満傾向児出現率は、現在も全国トップクラスにランキングされている。肥満は消費エネルギーと摂取エネルギーのアンバランスにより生じるが、今回は消費エネルギーの

指標である歩数についての調査を行った。肥満傾向児出現率との厳密な関連については、消費エネルギーと同時に摂取エネルギーについての検討も必要と考えられる。また、今回の2度の実験は同一対象者1名であるため、信頼性向上のためには、更なるデータの蓄積が必要である。これらことについては今後の課題である。

V. まとめ

本研究では、児童の日常生活の歩数について、2機種 of 加速度計 (EX200、AM140) をそれぞれ2機ずつ合計4機を用いて測定し、これらの機種 of 歩数測定値の精度について評価・検討した。両機種間の歩数測定値相互換算式を提案し、その有用性を確認した。福島県いわき市在住小学生女児を対象に1週間の歩数測定を実施し、その結果を東京都在住の同年齢女児のものと比較することにより、東日本大震災後の現時点における、いわき市在住児童の身体活動量の過不足について検討した。以下に、本研究において明らかになったこと、および今後の課題についてまとめる。

(1) 加速度計の同一機種内での精度について

同一機種内における2機のpercent differenceは、EX200で $1.8 \pm 2.7\%$ (mean \pm SD, n=7)、AM140で $1.4 \pm 5.4\%$ (mean \pm SD, n=7) であり、それぞれの機種における2機の歩数測定値は、高い精度で一致した。このことは、同一機種を用いて日々の歩数を測定した場合、高精度な測定値に基づいて、日常の身体活動促進の動機づけを目的としたヘルスプロモーションを行えることを示した。

(2) 加速度計の異なる機種間での精度について

EX200とAM140で測定した1日当たりの歩数には、およそ30% (歩数にしておよそ2,700[歩]) もの系統的な差が生じた。このことは、異なる機種を用いて歩数を測定した場合、それらの歩数を単純に比較することは困難であることを示した。

(3) EX200とAM140の歩数測定値の相互換算式について

回帰分析により、異なる機種 of 加速度計について相互換算式を提案した。EX200の測定値をA、AM140の測定値Bとした場合、AからBへの換算式は $B = 0.850 \times A - 1107$ 。BからAへの換算式は $A = 1.139 \times B + 1601$ であった。この相互換算式を、別に行った歩数実験の測定値に適用した場合、大きく異なっていた2機種 of 測定値同士の差が良好に一致した。このことは、異なる機種 of 測定値を比較する際には、相互換算式が有用であることを示した。

(4) 福島県いわき市在住小学生女兒における歩数について

東京都の広域歩数調査で使用した機種EX200で測定した1日当たりの平均歩数は、約1年半の時期を隔てて2度実施した1週間の歩数調査のいずれの場合においても、東京都在住の同年齢女兒の歩数とほぼ同レベルであった。このことは、東日本大震災後に一時的に減少した、児童の身体活動量が、現時点においては改善していることを示唆した。また、放課後や休日など、学校で過ごす以外の時間帯における活動を増やすことが、全体的な身体活動量の増加に効果的であることを示唆した。

今後の課題としては、1) 上記結論の信頼性向上のため更なるデータの蓄積が必要であること、2) 福島県における肥満傾向児出現率の高値は現在も継続しており、その原因についての更なる検討が必要であること、3) 放課後や休日など、学校で過ごす以外の時間帯における活動が、全体的な身体活動量へ及ぼす影響を定量的に評価するため、時間帯ごとの歩数調査を実施することが挙げられた。

参考文献

1. 全国体力・運動能力、運動習慣等調査, 文部科学省,
http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/kodomo/zencyo/1266482.htm
(アクセス日: 2016/6/17)
2. 平成25年度ヘルシースマイル事業報告書, 福島県教育委員会, p.6, 2014.
3. 「子どもの体力低下 県内肥満への懸念も」, 福島民報 (Web版), 2014/03/10,
http://www.minpo.jp/pub/topics/jishin2011/2014/03/post_9552.html
(アクセス日: 2016/6/17)
4. 安定同位体を使用したヒトの栄養に関する研究, 高田和子, *Radioisotopes*, Vol.64, No.7, pp.475-488, 2015.
5. ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量測定-精度評価と精度向上のための問題点の検討-, 二見順, 田中茂穂, 山村千晶, 岡純, 高田和子, 柏崎浩, *日本栄養・食糧学会誌*, Vol.56, No.4, pp.229-236, 2003.
6. 身体活動量の国際標準化 IPAQ日本語版の信頼性, 妥当性の評価, 村瀬訓生, 勝村俊仁, 上田千穂子, 井上茂, 下光輝一, *厚生*の指標, Vol.49, No.11, pp.1-9, 2002.
7. The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure, Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, *British Journal of Nutrition*, Vol.91, No.2, pp.235-

- 243, 2004.
8. 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用, 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造, 中田由夫, 大河原一憲, 運動疫学研究, Vol.17, No.1, pp.6-18, 2015.
 9. 児童におけるLifecorderを用いた身体活動強度分析方法のまとめ, 香村恵介, 石井好二郎, 健康支援, Vol.18, No.2, pp.1-8, 2016.
 10. 歩数計の機種の違いによって生じる歩数のずれを換算するシステムの開発, 田中茂穂, 井上茂, 引原有輝, 田中千晶, 医科学応用研究財団研究報告, Vol.31, pp.96-99, 2012.
 11. 小児の日常生活中におけるエネルギー消費量と体格・体力との関連-二重標識水法および加速度計法を用いた検討-, 中江悟司, 体力科学, Vol.62, No.5, pp.353-360, 2013.
 12. 東京都統一体力テスト及び広域歩数調査, 東京都教育委員会, 2012年2月.
 13. 株式会社タニタ カロリズムEXPERTの精度,
<http://www.tanita.co.jp/content/calorism/product/expert/index.html>の「精度」タグ
(アクセス日: 2017/9/7)
 14. 健康づくりのための運動指針2006～生活習慣病予防のために～, 厚生労働省運動所要量・運動指針策定検討会, 2006年7月.
 15. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, J. Martin Bland and Douglas G. Altman, Lancet, Vol.1, pp.307-310, 1986.
 16. Validity of 10 electric pedometers for measuring steps, distance, and energy cost, Crouter SE, Schneider PL, Karabulut M, Bassett DR Jr., Medicine & Science in Sports & Exercise, Vol.35, No.8, pp.1455-1460, 2003.