

子どもの歩行強度を長時間モニターする方法

白水重憲

1. はじめに

先日、長年幼児教育に携わっている方から、現場の声を頂く機会がありました。いろいろな話を頂いた中で、私の心に響いたのは以下の2つです。

- 1) 子ども達が幼稚園で集団行動している時は“お祭りモード”という感じで興奮した状態にあり、移動する時等の足取りも力強い。家庭等に一人にいる時とは違うと思う。これを確認する為に、子どもの24時間の歩行強度を数日間に亘り連続測定できないか。
- 2) 今、子ども達が毎年、毎年、かって自分達が理想とした子ども達の状態から遠ざかって行く。今、記録しないと永久に理想の子ども達の状態の記録の機会を逸してしまう。

このようなご要望に対して、“今、手元にある装置群の中のもので、装置を制御するプログラムを書き換えるだけで何とか実現できないか”を考えて、即座に対応できる準備を整えつつ、“時間と状況が許せば準備したい『より望ましい装置』の仕様を明確化”しておくのが我々の使命と思っています。

幼稚園児の7日間の連続調査の最初である「さつき幼稚園」での調査では、装置の防水仕様の不完全さを補う為に、防水フィルムで防護させて頂き、子ども達にいろいろと我慢して頂きましたが、それでも装置トラブルでデータが駄目な例がいくつも生じ、大変申し訳ない想いをしました。(白水重憲, 片山宗哲, 正木健雄: 幼稚園児の一週間モニタリング, 睡眠挙動と活動量, 全面発達の展開 1: 18-31 2011)

これを反省して、完全防護・防水“象が踏んでもつ

ぶれない, お風呂に沈めておいても大丈夫”の改良版装置“ピンクちゃん(愛称)”を作りました。“ピンクちゃん”を使用したその後の調査では、防水フィルムは必要なくなり、子どもの負担は低減しました。また、また、装置トラブルによるデータ不良は無くなりました。子どもの連続測定ですから、ベースはこの“ピンクちゃん”が良いと思います。

さつき幼稚園のじゃれつき遊びに関する報告でご紹介したように、この“ピンクちゃん”には、1秒間に8回の測定を行う事ができるモードがあります。このモード(8 Hz 測定モード)で歩行・走行時の測定を行うと、図1の様な波形や図2の様な周波数スペクトルが得られます。図1は4秒間32点のデータ、図2はその半分の16点のデータしかないので、両図とも粗いグラフですが、図2の周波数スペクトルより歩行の周波数が2 Hz、つまり1秒間に2歩歩いている事、及び歩行の強度が0.32 g (gは加速度の単位, 1gが重力加速度)程度である事が判ります。4秒間に8歩歩いた訳です。更に、歩行と走行のピッチや強度の差も一応識別可能です。(白水重憲, 片山宗哲, 正木健雄: じゃれつき遊びの測定と評価, 全面発達の展開 1: 125-129 2011)

一方、現在ご紹介している歩行・走行の評価装置では、1秒間に128回の測定を行い、歩行・走行の詳細なデータを測定・保存し、パソコンに転送後解析します。データの量が大きくなる為に、装置に保存できるデータ量が測定可能時間を決めてしまいます。現在の装置では最大9時間です。勿論、本格的な歩行・走行は、9時間測定できれば十分です。(白水重憲, 白水陽久: ウォーキングとジョギングのお伴に, 全面発達の展開 1: 117-124 2011)

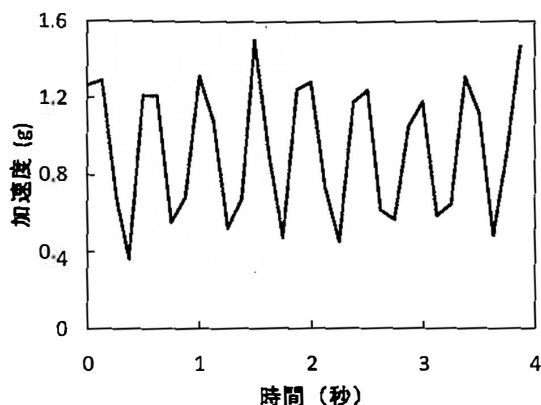


図1 8 Hzで測定した歩行時の加速度波形

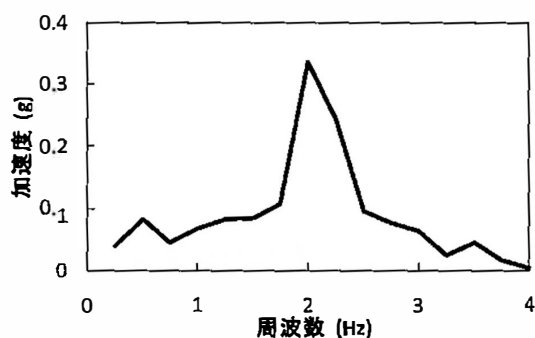


図2 図1の波形の周波数スペクトル

このように考えを進めると、第一段階として、“ピンクちゃん”の8 Hz測定モードによる測定結果で、歩行・走行の評価装置の近似的な結果が得られれば歩行強度評価の可能性があるとこの事になります。

2. “ピンクちゃん”8 Hz測定モード

そこで、歩行・走行評価装置と8 Hz測定モードの“ピンクちゃん”を胸部に装着し、いつもの様に多摩川辺を走ったり歩いたりしました。

図3は歩行・走行評価装置の測定結果の解析結果です。“ピンクちゃん”8 Hz測定モードによる測定結果が、この図3の結果をどの程度近似できるかが着目点です。

“ピンクちゃん”8 Hz測定モードによる測定結果の周波数解析は図1、図2同様に4秒毎に行いました。歩行・走行は周波数スペクトルの最大強度が0.02 g以上、ピーク周波数が0.7 Hz以上の場合としました。更に、ピーク周波数が2.5 Hz以上の場合には走行なのでピーク強度は0.4 g以上の筈であり、それより小さい場合はその他の要因による加速度変動とみなしました。歩幅はピーク強度に依存するとして、歩行・走行

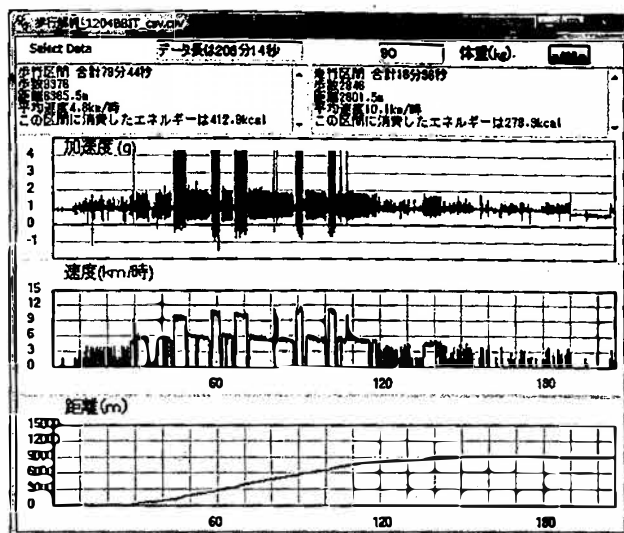


図3 歩行・走行評価装置(1秒間に128回測定)

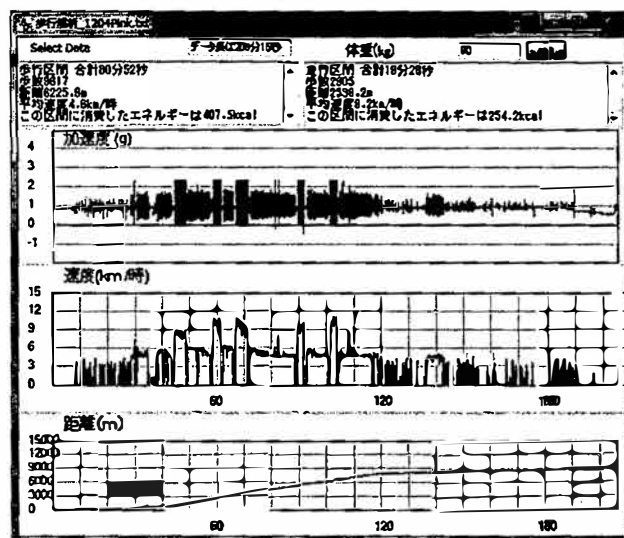


図4 “ピンクちゃん”8 Hzサンプリングデータの解析結果

評価装置に使用しているものと同様の式を使用しました。

図4に、図3と同様の形で表現した“ピンクちゃん”8 Hz測定モードによる解析結果を示します。図3と図4を見比べると、結構良く似ているという第一印象を持たれた方が多いのでは無いでしょうか？最初に、この結果を得た時は、私も嬉しい驚きでした。32点と云う少ないデータの周波数解析の結果により得られたものですから！

良く見ると、いくつかの相違があるのに気がきます。

一番大きな相違は、上段図の加速度の振幅範囲です。走行の場合は、図3の方では4 gを超えるまで伸びて

いるのに対し、図4の場合は2gを少し超えた所で止まっています。“ピンクちゃん”に使用しているセンサーの測定可能範囲が2g超までだからです。この為、走行の時のピーク強度はこの値でリミットがかかってしまい、実際より小さなものになります。従って、推測される歩幅も図3より小さなものになり、得られる速度が小さくなります。図3と図4ではあまり相違が目立ちませんが、中段図の走行時の速度のレベルの相違はこうして発生したものです。更に、速度の相違は移動距離の相違をもたらします。下段図も図3と図4ではあまり相違がありませんが、走行速度がより速くなると、中段図と下段図の相違が目立つようになる筈です。

図3と図4の上部に表示された歩行時間、走行時間及び総歩数は、良く一致しています。歩行の方は、距離、平均速度、消費エネルギーまで一致が良い様です。一方、走行の方は、図4の方が、距離が短く、平均速度が小さく、消費エネルギーも小さくなっています。これは先に述べたように、ピーク強度が実際より小さくなった為です。

今回、見出されたこれらの相違は、2つの装置に搭載している加速度センサーの相違によるものであり、サンプリング速度を8Hzとした為によるものではありません。

結果として言える事は、以下の3点です。

- 1) “ピンクちゃん” 8Hz 測定モードでも歩数、速度、距離をある程度の精度で求める事は可能である。特に、歩数と歩行時及び時速10km以下の走行ならば全く問題が無い。
- 2) 歩数、速度、移動、距離を求めるのが目的ならば、8Hzサンプリングでの測定でも十分である。
- 3) “ピンクちゃん”の改良版を作成するのであれば、加速度センサーをより検出可能範囲の広いものに置き換える事が必要である。

3. 数日間の連続評価の為に

前節で確認しましたように、歩行・走行の評価の大半が、“ピンクちゃん” 8Hz 測定モードで可能である事が判明しました。

次の課題は、いかに数日間、できれば7日間という長い間の連続評価を行うかです。

1秒間に128回の測定で9時間の測定ができる装置ならば、1秒間に8回にすると6日間の測定ができる

計算ですが、装置の構造上、子どもの長時間の測定には向きません。“ピンクちゃん”の搭載するメモリ量は残念ながらそれよりもかなり小さいのです。

更にデータの質の問題もあります。図1と図2を見れば判るように、全波形を残す価値はあまり無いのです。それよりも、32点のデータの替わりに、装置の内部のCPUで計算を行い、ピーク周波数と強度だけを記録しておきたいと思うほどです。

実際、32点毎の周波数解析ならば、“ピンクちゃん”の中に入っている制御用のCPUは結構強力なので実際にできる可能性は大きいと思います。

しかしながら、今は、より実用的で手軽なもう一つの方法を考えたいと思います。

現場の声にも“移動の際の足どり”とありましたように、着目すべきものの一つは、幼稚園の教室から教室への移動等短い時間での歩行なのです。また、そうでなくても、我々も経験してきた様に子どもの活動は断続的で長くは続かないのです。4秒毎に周波数解析を続けて速度を求め続けても、1時間に4秒分の細い線が何本か描かれるだけという可能性もあります。また、じゃれつき遊びの様に歩行とは違うモードの動きがあると上手くキャッチできません。

検出したいのは、鋭い大きな加速度の発生です。安定した歩行・走行でも周波数解析をしてピーク強度を求めるという事は、その解析範囲内の最大の加速度を求めているのです。

そう考えているうちに、結局、“ピンクちゃん”で1週間測定の実績のある10秒間隔でのデータ保存に戻れば良いのではと思いつきました。但し、加速度のサンプリングは8Hzで行い、10秒間のそれぞれの軸方向の最大値を保存するのです。そうすれば、強度の大きな歩行が例え1歩でもとらえて目立たせる事ができる訳です。歩行モードでは無く、垂直歩行でも無い激しい動きも捉える事ができます。ここで、気を付けなければいけないのは、3軸方向の加速度が同時点のものとは限らないという事です。

この方法ならば、瞬間的な大きな動きを逃さないだけでなく、ファームウェアの改造も簡単で、電池も結構持つのでは無いかと期待できます。

4. 10秒間の加速度最大値

図4のデータに対応する10秒間毎の加速度最大値(絶対値の最大値)をプロットしたものが図5(垂直

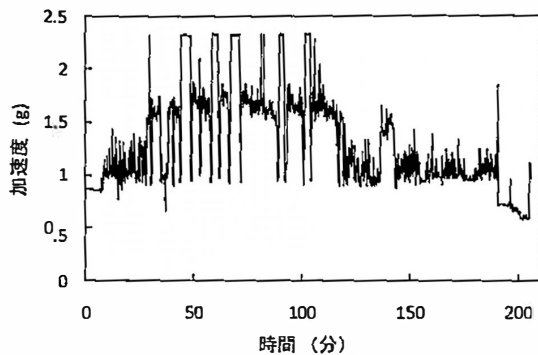


図5 10秒間の加速度の最大値（垂直方向）

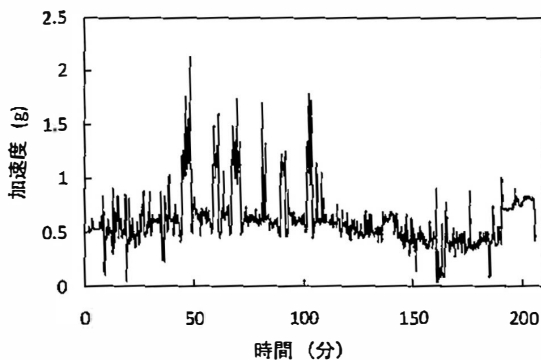


図6 10秒間の加速度の最大値（前後方向）

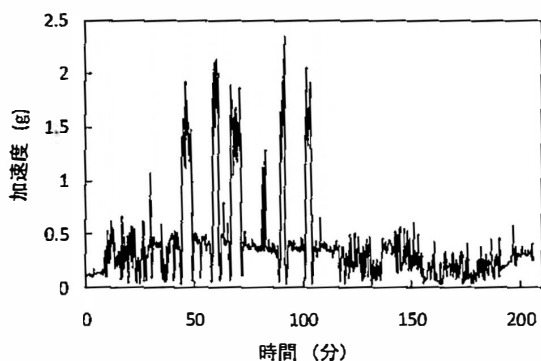


図7 10秒間の加速度の最大値（左右方向）

方向)、図6(前後方向)、図7(左右方向)です。

垂直方向の加速度の最大値を示す図5は、速度の時間依存性のグラフの構造を再現し、歩行強度の変化や、屋内での強度の小さな歩行も捉える事ができているのが判ります。更に、速度の時間依存性では目立たない、歩行中に発生した瞬間的に大きな加速度を逃す事無く捉えています。このように、幼稚園でお祭りモードで教室移動をする子ども達の歩行の強さも、家に帰って一人で家の中を歩く場合の歩行の強さも逃さず捉える事ができる事が判ります。

前後方向の加速度の最大値を示す図6は、この走行時には大きな加減速がある事を示しています。この場

合は、筋肉痛が残存するのをこらえて走っている為に、足の運びに無理がある事がこの加減速の原因と思われる。

左右方向の図7には、上と同様の原因による体重の移動時の激しい左右方向の加速度が認められます。

このように8 Hzで測定した10秒間の最大値のデータにより、歩行と走行の識別、歩行強度の変化、特徴的な歩行挙動を把握でき、更に、測定中に生じた突発的な大きな加速度も確実に捉える事ができる事が判りました。

5. 終わりに

それでは早速、いつ要望が来ても対応できるように装置を準備し、7日間の連続測定テストやサンプルデータの蓄積を始めたいと思います。結果が見えてきたらご紹介します。

また、今回は取り上げなかった装置内部のCPUで32点毎に周波数解析するという考え方も、非常に実用的で面白い方法なのです。こちらも、是非、実現してご報告したいと思います。

6. おまけ

8 Hz サンプリングには、更に、優位性と考える事ができる特徴があります。それは周波数分解能の有効活用とデータ点数の少なさです。

ある周波数で連続的なデータをサンプリングするとその半分の周波数までの情報を抽出する事ができます。加速度波形を8 Hzでサンプリングすると図2に示したように4 Hzまでの情報を抽出する事ができます。一方、128 Hzでサンプリングすると64 Hzまでの情報を含んでいる訳です。

我々がここで使用している周波数解析の方法は高速フーリエ変換 (FFT) といわれる手法で、サンプリング周波数の半分の周波数までの周波数領域をデータ点の半分の個数で割った分解能で解析する訳です。8 Hzで32点の場合は、4 Hzまで0.25 Hzから0.25 Hz刻みで成分を求めて行くわけです。

高齢者の歩行の周波数が1~1.5 Hz、普通の成人の歩行が2 Hz前後の周波数、ジョギングから走行が2.5~3.5 Hz程度ですから、8 Hz サンプリングの場合FFTの周波数分解能を100%有効に使用でき、32個のデータでも速い歩行、普通の歩行、遅い歩行、ジョギング、走行の区別ができる訳です。ここは8 Hzサ

ンプリングの非常に優位な点と思います。

ところが、128 Hz サンプリングの場合は、64 Hz ま
でをデータ点の個数の半分で割ったものが分解能で
す。解析範囲 2 秒、データ点数 256 点でも、周波数の
分解能は 0.5 Hz になってしまいます。解析範囲 4 秒
の 512 点でやっと、8 Hz、32 点と同じになります。

歩行の様に周波数が小さな現象を大きなサンプリン

グ周波数でサンプルすると、詳細に解析したい周波数
範囲と FFT の特性上の周波数分解能がマッチしない
事もあります。

データ点数が 32 点と少ない為に CPU に大きな負荷
がかからず、解析で得られる周波数範囲が 100 % 近く
目的の為に有効なので、技術的には実用的で面白いと
思う訳です。