

20091024 ゼミ

BCALSに関する文献調査と調査計画

大村 朋之

研究テーマ

- 医療福祉都市プロジェクト(医療費削減と健康まちづくり, 初台リハビリテーション病院)の中で, 脳卒中で倒れた人や高齢化した人々の健康管理やリハビリをIT機器を使って手助けする中で, BCALs+お医者さん, ご家族用のモニタリングシステムを開発する.

運動強度と加速度の計算式 加速度情報からの状態推定

● 文献調査

小川勇之助, 後藤真二: 歩行及び走行における速度, 心拍数と加速度計による運動強度の関係, 日本体力医学会, Vol.52, No.6, pp.762, 20031201

谷川智宏, 品川佳光, 藤谷恭信, 太田茂, 長尾光城: 携帯型加速度計を用いた運動強度の計測
加速度波形と運動強度の関係, 川崎医療福祉学会誌, Vol.11, No.1, pp.91-105, 2001

谷川智宏, 太田茂, 長尾光城: 携帯型3軸加速度計を用いた運動量計測への試み
, 川崎医療福祉学会誌, Vol.11, No.2, pp.313-318, 2001

佐川貢一, 伊奈淳, 高橋隆行, 石原正, 猪岡光: 加速度および大気圧を利用した人間の移動
形態の推定, 計測自動制御学会論文集, Vol.35, No.2, pp184-190, 1999

大瀧保明, 鈴木明宏, 奥津光春, 張秀敏, 佐川貢一, 永富良一, 猪岡光: 身体活動量評価のため
の携帯型行動計測装置の開発と運動処方への応用(福祉機器の開発事例・適合事例), 日本機械
学会, No04-42, 福祉工学シンポジウム2004公演論文集, pp87-90

オムロンヘルスケア株式会社の活動量計の特許: 国際公開番号WO 2009/016960

そもそも運動強度とは？

最大運動能力

Aさんは時速14kmで走れて、

Bさんは時速10kmでしか走れない。

このとき、時速7kmで走るとすると、

Aさんは最大運動能力の50%、

Bさんは最大運動能力の70%となる。

ある運動がその人の最大運動能力の何%となるかを表したものを、運動強度というらしい。

そもそも運動強度とは？

- 有酸素運動の場合
 - 酸素摂取量・心拍数による方法
 - 他にも、歩行速度や主観的運動強度
- 筋力・筋持久力トレーニングの場合
 - 最大拳上重量
 - (赤：生理的表し方, 青：物理的表し方)
- リハビリでは？？？
 - お医者さんや理学療法士とお話や、実際のリハビリ現場を見る

酸素摂取量から求める運動強度

- 単位時間・単位体重当たりの酸素摂取量で表現
安静時の酸素摂取量3.5 (ml/kg/min)を1METsとする。
(従来から使われている)

運動強度 = 酸素摂取量 / 最大酸素摂取量

(近年多いのは: 予備酸素摂取量)

運動強度 = (酸素摂取量 - 安静時酸素摂取量)
/ (最大酸素摂取量 - 安静時酸素摂取量)

BCALs-Onlineでは、このMETs値で運動強度を評価しているはず。

METs: 国立健康・栄養研究所などで定めた身体活動・運動強度の指標

(運動によるエネルギー消費量が安静時の何倍にあたるかを示す)

METsを用いると、カロリー計算が簡単にできる利点があるが、測定には特別な
機材(酸素計)が必要となる。

心拍数から求める運動強度

- 脈拍(回 / min)

(従来から使われている)

運動強度 = 心拍数 / 最大心拍数

(近年多いのは: 予備心拍数)

運動強度 = (心拍数 - 安静時心拍数)

/ (最大心拍数 - 安静時心拍数)

最大心拍数は, (220 - 年齢)で推定される.

測るのは簡単. 最大心拍数が年齢だけで決められる
かは怪しい. (同年齢間での個人差がない)

多くの研究で酸素摂取量と心拍数の相関が認められている.

主観的運動強度 (Rate of Perceived Exertion)

今感じている運動の強さの度合いを番号でこたえてください。	19	最高にきつい
	18	
	17	非常にきつい
	16	
	15	きつい
	14	
	13	ややきつい
	12	
	11	やや楽である
	10	
	9	楽である
8		
7	非常に楽である	
6		
5	最高に楽である	

図1-1 RPE尺度表 (ボルグ: 1973を伊藤らが改変)

- Borg (1973) に運動強度の指標として、強度に関する感覚を60～200 (拍/分) の心拍数の1/10の尺度に対応させたもの。もともとは若年者対象であったので、改変したものもある。
- 物理学的・生理学的運動強度と密接な関係にあり、トレーニングにおいて運動強度の指標になることが多くの研究で明らかになっている。

運動強度測定になぜ加速度？

- まず、これまで運動強度（特に最大酸素摂取量）の計測はトレッドミルなどの特殊な測定環境とそれに対する被験者の慣れが必要で一般的ではない。ゆえに高齢者の運動強度を求めるのは困難であった。
- で、加速度から運動強度を求める方式では容易かつ安全に計測が可能になる。

歩行および走行における速度, 心拍数と 加速度計による運動強度の関係

- 自由な歩行と走行における速度と心拍数(HR)および加速度計による運動強度の関係を明らかにし, 身体活動量評価における加速度計使用の妥当性を検討する.



歩行	HR	運動強度	ピッチ	走行	HR	運動強度	ピッチ
低速(5.4km/h)	—	4.7±0.4	—	低速(5.4km/h)	106±12bpm	7.4±0.9	155±12(歩/分)
中速(6.7km/h)	—	5.9±0.9	—	中速(6.7km/h)	121±17bpm	7.8±0.5	—
高速(8.0km/h)	145±16bpm	6.8±1.3	145±15(歩/分)	高速(8.0km/h)	132±17bpm	7.8±0.9	145±15(歩/分)

速度とHRの相関: $r = 0.803$, 傾き18.17

速度とHRの相関: $r = 0.567$, 傾き10.04

速度変化に伴う生体負担度の増減は歩行の方が大きい

速度と運動強度の相関: $r = 0.697$

速度が変化しても運動強度は変化しない

HRと運動強度の相関: $r = 0.563$

速度と運動強度, HRと運動強度には有意な関係が見られなかった

歩行では運動強度は生体負担度をかなり反映している

歩行および走行における速度, 心拍数と 加速度計による運動強度の関係

走行時には生体負担度と運動強度が上手く表せなかった理由



運動強度を測るのにスズケン製ライフレコーダを用いた



4秒ごとに運動の強度と頻度から運動強度を算出している

強度とは, つまりは加速度であり, 同じ速度の移動では歩行も走行も大差ないはず

頻度とは, つまりはピッチのことで(歩行<走行), 走行内ではあまり変化がない

このピッチ(歩行<走行)のために

単位時間当たりの衝撃回数も(歩行<走行)となる



ゆえに, ライフレコーダの方式を使っての生体負担度やエネルギー負担度の評価は日常活動や速歩までは可能.

携帯型加速度計を用いた運動強度の計測 加速度波形と運動強度の関係

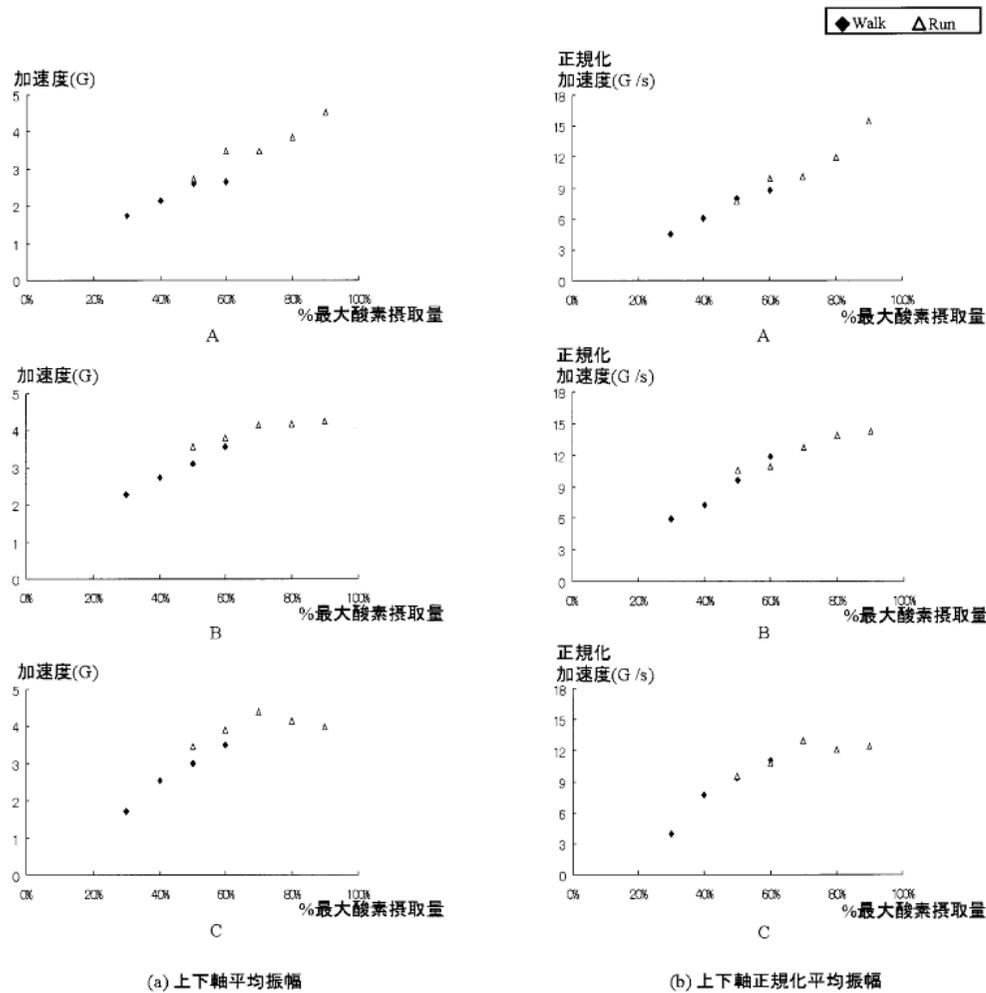


図3 運動強度と上下方向の加速度振幅の関係

- 加速度の振幅を読み取る
このときに、機器を右腰につけたからノイズが右足着地時に大きくなる。なので振幅は原則2歩単位(正規化), 左足着地時基準.

正規化振幅

$$= \text{加速度振幅} / \text{2歩に要した時間}$$

- 上下軸正規化平均振幅は歩行時の運動強度指標と相関

携帯型加速度計を用いた運動強度の計測 加速度波形と運動強度の関係

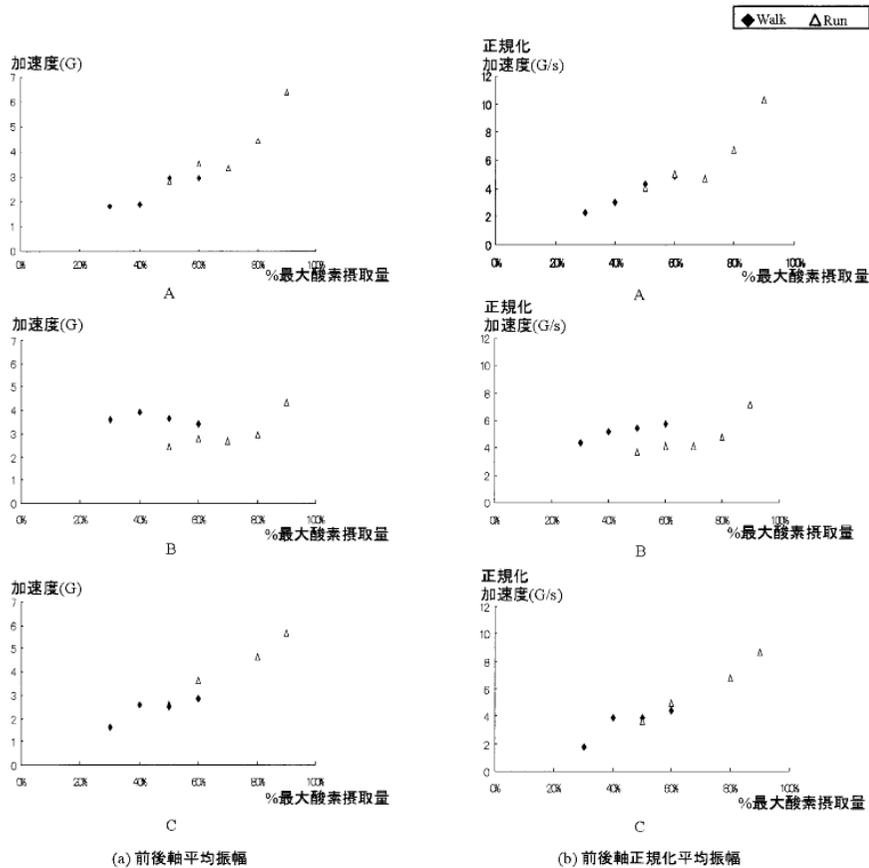


図4 運動強度と前後方向の加速度振幅の関係

- 前後軸正規化平均振幅は
走行時の指標として有用.

携帯型加速度計を用いた運動強度の計測

加速度波形と運動強度の関係

- さらに、両軸の正規化振幅の平均値からなるベクトル和の大きさを算出すると運動強度と強い相関

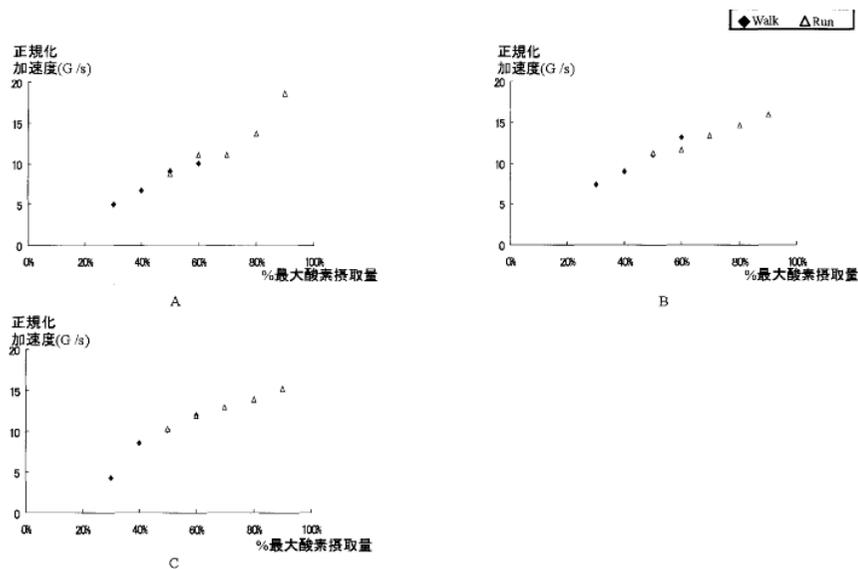


図5 運動強度と両軸加速度振幅のベクトル和の大きさの関係

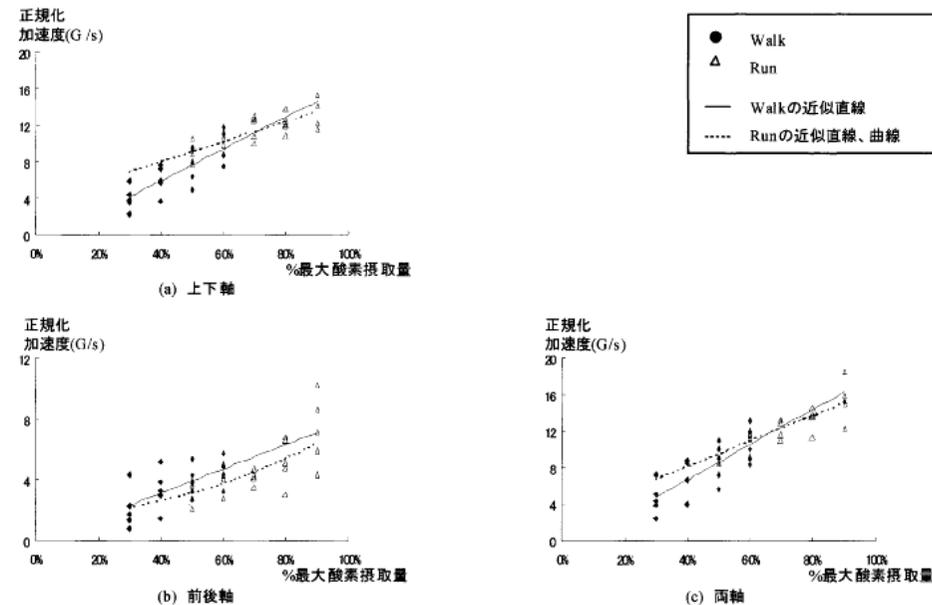


図6 運動強度と正規化平均振幅の関係

総合的な指標として使える。

携帯型3軸加速度計を用いた 運動量計測への試み

- (先ほどの論文の続き, 3軸に増えた)

運動量を計測するにあたりどんな指標を用いるか？

→ 加速度波形の絶対値を時間軸方向に積分した値

面積加速度

前後, 上下, 左右それぞれの面積加速度と運動強度には相関があった. 振幅を面積に置き換えることが可能といえる.

なぜこれがよいか？

高齢者は, すり足とかゆっくりな移動(振幅が表れにくい)が予想されるので.

携帯型3軸加速度計を用いた 運動量計測への試み

(補足)

加速度波形の絶対値を時間軸方向に積分した値
面積加速度

実は、速度と同じではないか？

→トレッドミルを使用. 重力加速度以外に, 全ての軸
で加速度の積分値は0. 速度変化はありえない.

が, 人間の歩行・走行は加速減速を繰り返しての一
定速度. 速度上がるほど, 体動は大きくなるので,
エネルギー消費量と深い関わりをもつ.

加速度および大気圧を利用した 人間の移動形態の推定

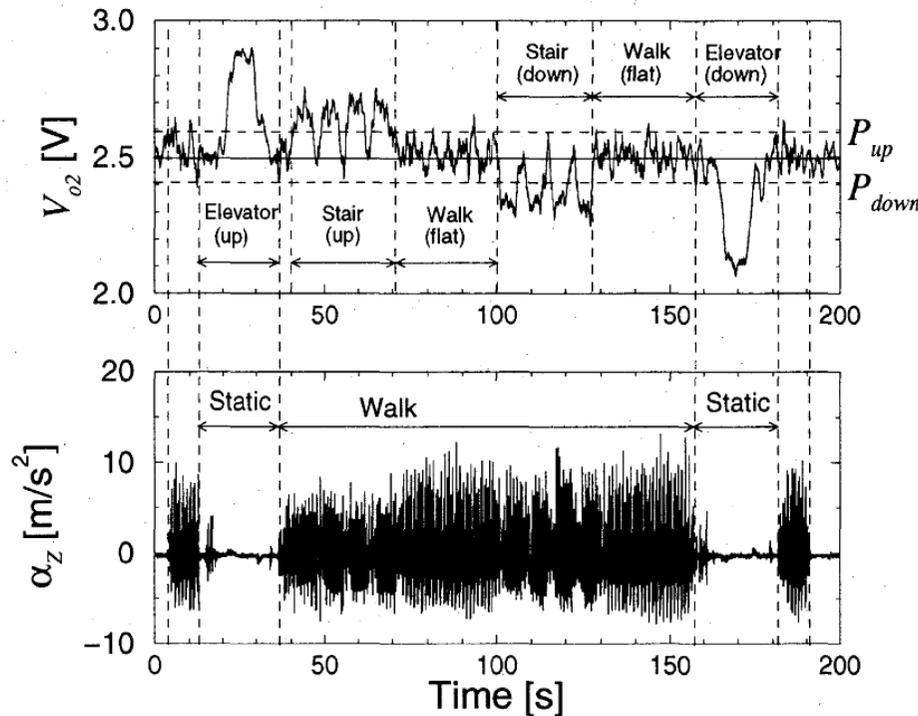


Fig. 6 Pressure signal V_{O_2} and acceleration α_z

加速度や気圧の時間変化を適当な基準値を決めて、移動形態を推定している。

加速度情報と気圧変化から、人間の移動形態を高精度で推定する方法を提案。移動形態を高精度で推定するアルゴリズムを構築し、その有効性を確認する。

気圧情報を用いることで個人ごとに異なる基準波形を扱うことなく、容易に上下方向の移動(階段昇降やエレベータ利用)を推定することが可能であると考えられる。

加速度および大気圧を利用した 人間の移動形態の推定

- さらに, 24時間連続した計測を可能とするため, 加速度および気圧のデータ量を削減した場合の移動形態の推定について考察すると, 計測データの分解能を低くしても推定精度を悪化させることなく長時間計測を行うことが可能である.



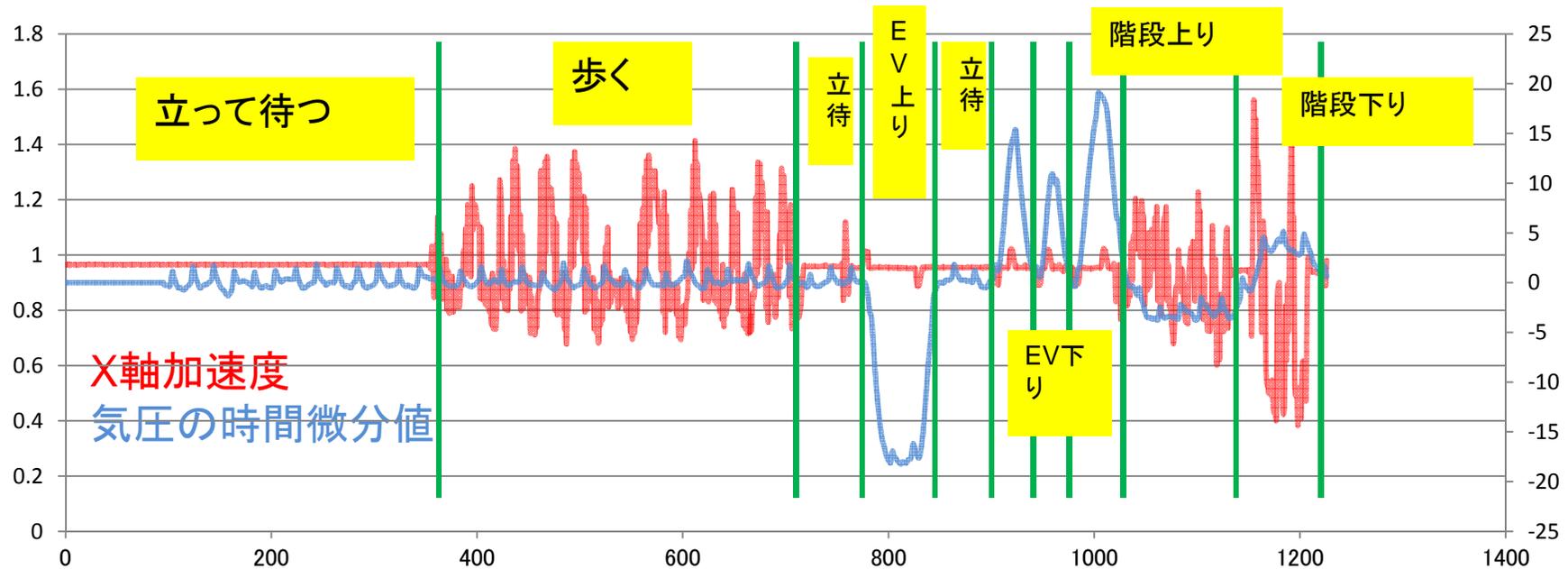
- 時代が変わったので, 新しいBCALsはオフラインで考えている&大容量メモリーが低コストで使えると言った点であまり問題にならない・・・か？

身体活動量評価のための携帯型行動計測装置の開発と運動処方への応用(福祉機器の開発事例・適合事例)

- 前の論文と途中まで同じ手法(加速度の振幅, ピーク周波数, 気圧微分値を行動の特徴量として, 閾値によってクラスタリングし行動判別)
↓
- 行動に対する運動強度をMETs値などから, エネルギー消費量の形で表せる.
↓
- そこで求めた値を, 呼気ガス分析装置からの結果と比較.
↓
- 結果, 上下移動を含む短時間の運動に対して, 妥当な運動強度の評価とエネルギー消費量の推定が行えることを示した. 適切な運動処方を行うための行動モニタリングツールとしての利用.

実際にやってみた.

200910232101-2113@工学部14号館



途中で用いた手法, 外れ値を防ぐために移動平均, サンプリング周波数を32Hzから2Hzにした. (2Hzが最適では全然ない.)

BCALs-1のNo.100で測定

実際にやってみた.

200910211722@工学部14号館屋上

- 測定可能なもの: 3軸加速度, 気圧, 角速度, 紫外線, 方位, 音, 温度, 湿度, GPSデータ.

大村管理BCALs-1稼働状況

No.	Version	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	10月23日
002	13	×	×	○	○	○
057	14	○	△	○	○	○
081	13	△	△	○	○	○
100	13	×	×	◎	◎	○
101	14	△	△	△	—	○

× → PCに認識されない
△ → 認識されてもcsv
ファイルを生成してくれ
ない
○ → GPS以外は計測で
き, csvファイルも生成
◎ → GPSも測定できた

実際にやってみた.

200910211722@工学部14号館屋上



- GPS測位出来ると本来は csvファイルと同時にMPSファイルも生成されるが, エラーが出てしまった. コードを読んでみたものの...

- ↑→座標系の設定が, googleのウェブサイトとBCALsとで合っているのか怪しいものの、表示してみると



事前にやっておくべきこと

- どのくらいゆっくりな移動まで測れて、分析できるか.
- BCALs-pro-Onlineを早く試す. (今日家まで測ります.)

オムロンヘルスケア株式会社の 活動量計の特許

生活活動から運動に至る様々な種類の身体活動について、
その活動量を精度よく計測する。

- 複数方向の加速度検出センサと、センサの出力信号に基づいて代表加速度を算出する代表加速度算出手段
 - 静的(重力)加速度と動的加速度から、身体の傾きを求める
 - 歩行やジョギングなどは身体の傾きの変化は少ない
 - 掃除や洗濯など生活行動では身体の傾き変化は多い
- 代表加速度から単位期間内に行われた移動の運動強度算出手段
 - 運動の運動強度算出式や、生活行動での運動強度算出式など複数から選択
 - 代表加速度の水平方向および垂直方向成分に基づいて、
 - 単位期間に行われた移動の運動強度算出に用いる算出式を決定。

オムロンヘルスケア株式会社の 活動量計の特許

(A)



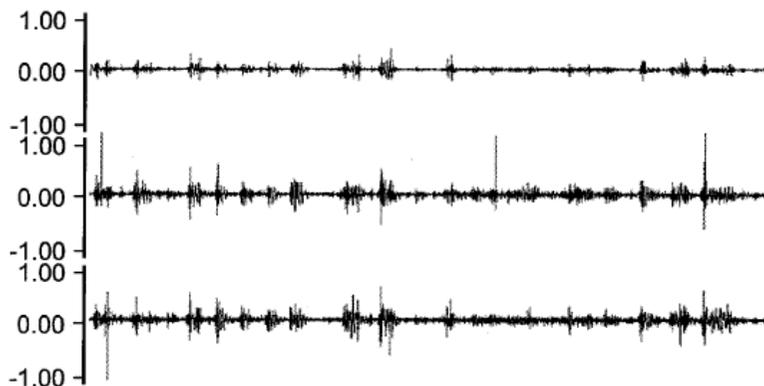
- 洗濯物を干すときの、加速度センサの値

(A) 生データ

(B) 1Hzハイパスフィルタ通過後（
重力加速度除去）

上から順に上下・前後・左右

(B)



これにより、使用者の体動の正確な把握と加速度や運動強度の正確な評価が可能となる

オムロンヘルスケア株式会社の 活動量計の特許

- 加速度の算出

サンプリング値の絶対値とサンプリング値の相加平均(基準値)との差(偏差), の絶対値の相加平均, つまり平均偏差を代表加速度とする. x_i : サンプリング値. a_x : サンプリング値の相加平均, N : サンプリング数

あとは, これら3軸を好きなように合成する.

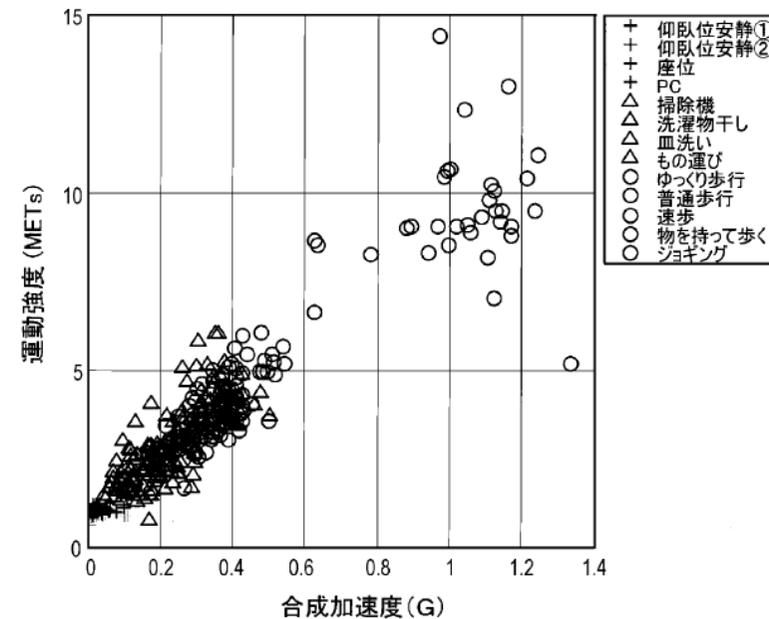
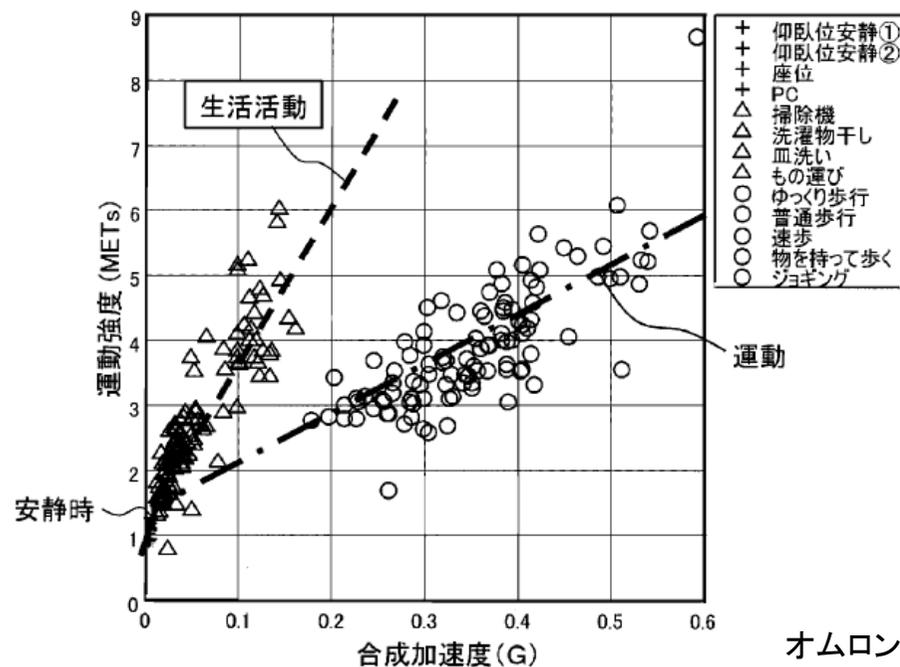
$$X = \frac{\sum_i^N |a_x - x_i|}{N}$$

オムロンヘルスケア株式会社の 活動量計の特許

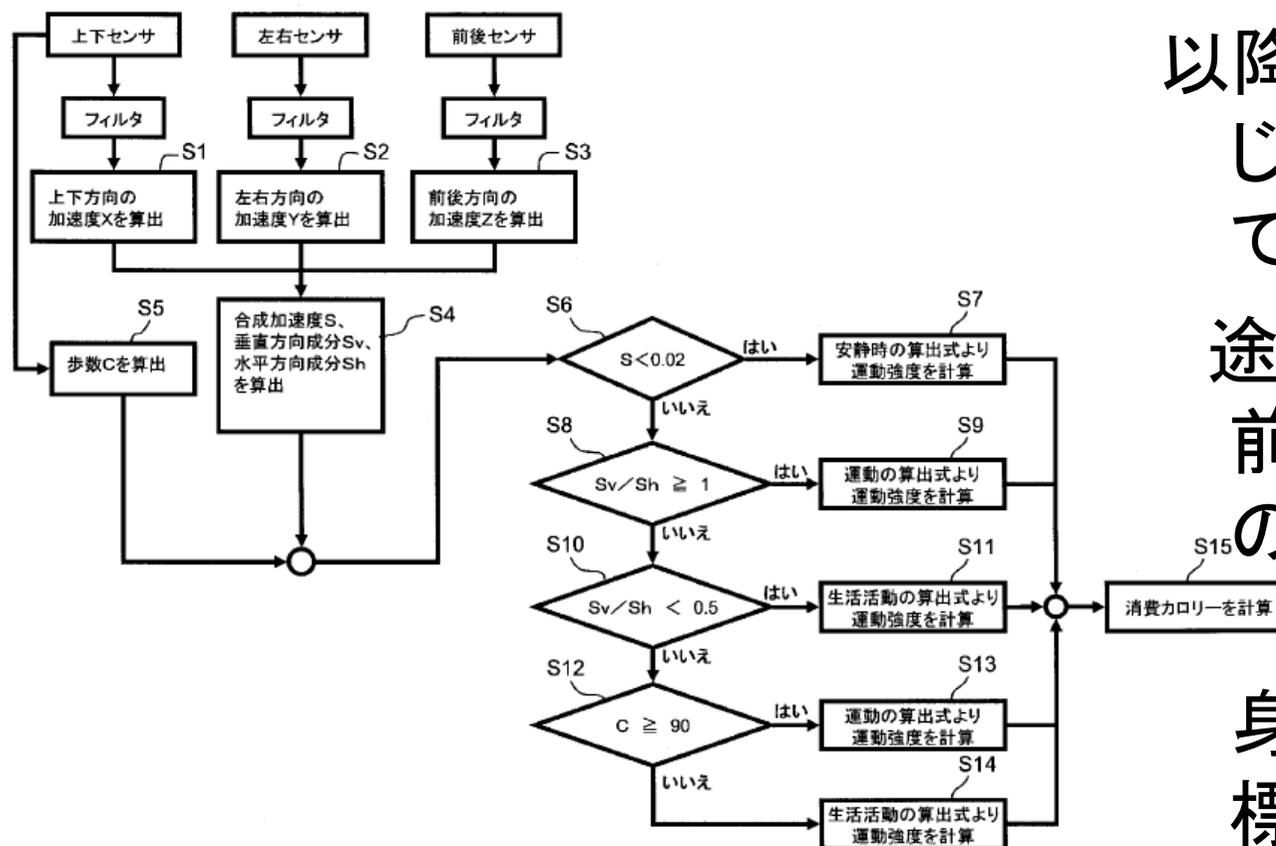
- 運動強度算出

(安静時, 生活活動, 運動のカテゴリに分けて)

実験により予め求めた(回帰式で)換算式を用いて、
合成加速度が運動強度に換算される。



オムロンヘルスケア株式会社の 活動量計の特許



以降は、他の研究と同じように閾値を決めて推定していく。

途中で、加速度除去前の値と除去後の値の両方を使っているのが特徴的

身体の傾きを表す指標となっている

以上をまとめていくと

- 加速度データと運動強度には相関がある.
- 気圧の微分値が高度変化(階段昇降・エレベータ昇降)には有用.
- 歩数単位で周期を見るとき, 2歩にすると左右差考慮.
- 加速度データの取り扱いにはそのまま振幅を扱う他に, 面積加速度を用いることで, 低速な動き(すり足など)にも配慮できる可能性. また, 3軸をそのままではなく合成加速度の利用も.
- が, 既存の研究はほとんどが活発に動ける人を対象として, ランニング時の心拍数とかで運動強度を測っている. 高齢者やリハビリ対象者の運動強度計測には手軽で安全な新しいアプローチが必要. (回復度とか??)

難しそうなところ

- 静的(重力)加速度の除去

除去しなくても、常に測定機器がとある方向に固定されていれば問題ない。また、静止中の姿勢とかもわかる。

しかし除去すると、使用者の体動による動的加速度の変化を捉えられより詳細な分析が可能になる。(オムロン)

- BCALs-1の機能でまだ使われていないもの
→角速度???

参考文献として登場

- 厚生労働省「[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-\(エクササイズガイド2006\)](#)」で、メタボリックシンドロームをはじめ生活習慣病発症予防するための身体活動量・運動量・体力の基準値を示しました。(METsなどが定められた)
これが研究背景でよく登場した。ブームだったのか。

調査計画

- 院内におけるリハビリプログラムの運動強度
・運動負荷の指標作成.
- 都市空間(院外)における行動の負荷と、それがリハビリとして生かされるか、生かすにはどうすればよいのか.