

スマートフォンの加速度センサを用いた運動量計測システム

2017SC073 鈴木貴大 2017SC084 鶴見泰介

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、プロスポーツ選手のパフォーマンスを引き出すために、運動データの取得、分析が行われている。しかし機械や商品の導入に莫大な費用がかかる。そのため、地域のクラブチームや部活動では、データの分析は導入されていない。そこで、本研究では地域のクラブチームや部活動でも利用できるように、ほとんどの人が所持しているスマートフォンで操作可能なアプリを作成し、現場における指導力の向上に役立てられるか検討する。そのなか本研究では、スマートフォンの加速度センサを用いて選手たちの運動量を計測することによって、その特性を評価する。現在では加速度センサ、心拍センサ、GPSなどを用いて人間の日常生活での動きの判別や運動量、歩数などを計測する研究が行われている。諸戸ら [1] は加速度センサを用いた運動強度を判定する研究を行った。大西ら [2] は心拍センサと加速度センサを用いていくつかの歩行パターンにおける運動量推定を行った。このようにセンサを用いた日常生活における研究はされているが、スポーツや激しい運動における研究はあまりされていない。そこで本研究はスマートフォンに内蔵されている加速度センサのみを用いて3軸加速度から静止時、歩行時、走行時における加速度と瞬間速度の計測を行う。比較するなかで精度の一致、もしくはは相関関係になること（相関係数0.7以上）を目指す。

2 運動量計測システムの概要

この節では作成した運動量計測システムの概要について論じる。

2.1 全体構成

現在世の中にある多くのスマートフォンには、加速度センサが内蔵されている。本研究では、その加速度センサから、加速度と瞬間速度を取得することができる運動量分析用のスマートフォンアプリを作成した。このアプリを含む全体構成は図1のように、アプリで取得したデータをスマートフォンに保存し、そのデータをPCで解析する。作成したアプリの詳細はスタートボタンを押してから、ストップボタンを押すまでの間、加速度、瞬間速度、計測時間、現在時刻をスマートフォンに取得することができる。またSTARTボタンを押すと同時に画面下の「START」の表示が「STOP」に切り替わり、同様にSTOPボタンを押すと「STOP」の表示が「START」に切り替わる。取得したデータはそのまま端末に取得し、その後取得したデータをWi-Fi経由でPCに転送し、PCでグラフ化した。図2に今回、作成したアプリのスマートフォン上の表示画面を示す。また、加速度、瞬間速度の取得する時間の間隔を、自

分で設定できる仕組みになっており、iPhoneとAndroidどちらでもデータの取得が可能になっている。なお、加速度センサの精度を改善するためにローパスフィルタとハイパスフィルタをアプリのプログラムに組み込んだ。



図1 全体構成

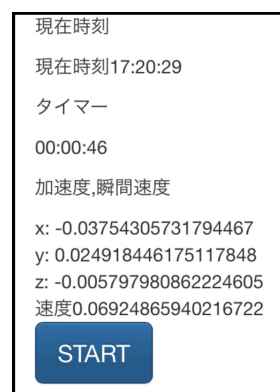


図2 スマートフォンアプリの操作画面

2.2 アプリ内の加速度センサと瞬間速度の概要

加速度とは速度の単位時間当たりの速度の変化量のことである。取得できる値の単位は重力加速度「G」である。図3(a)にiPhone上でスマートフォンアプリが検出する加速度の正と負の符号の向きを示す[3]。iPhoneの場合、左に傾けるとxの値は正の値を検出し、また右に傾けると負の値を検出する。yの値はiPhoneを下(手前)の向きに傾けると正の符号を検出し、奥(上)に傾けると負の値を検出する。また静止状態ではZ軸は重力加速度の値を検出し、 -9.8m/s^2 の値を検出するように設定されている。なお、Androidの場合は、加速度の値が検出する正と負の符号が全て逆になる。図3(b)にAndroid上でスマートフォンアプリが検出する加速度の正と負の符号の向きを示す[3]。瞬間速度は、加速度積分で求めた。加速度が一定である場合、加速度と時間の積が速度の増分となる。 $v(t)$ はt秒の時の速度、 v_0 は初期速度、 a_0 は測定で検出した加

速度の x 軸, y 軸, z 軸のベクトルの和であるとき, 式は $v(t) = v_0 + a_0t$ で求められる [4].

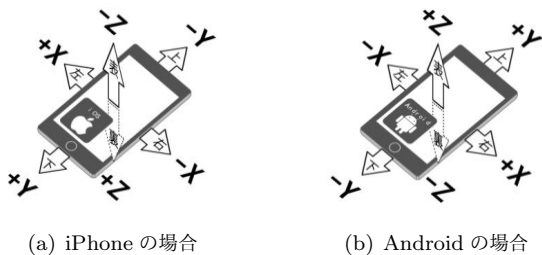


図 3 加速度の向き [3]

2.3 ハイパスフィルタとローパスフィルタの概要

本実験ではハイパスフィルタを用いることによってスマートフォンが検出する重力加速度分の値を減算する. またローパスフィルタと組み合わせることによって検出する値を平滑化することが期待できる. 今回, 作成したアプリには北田ら [5] と太田ら [6] と同じ 2 つのフィルタを用いる. (a_x, a_y, a_z) がスマホから検出されるプログラムの値, (g_x, g_y, g_z) がローパスフィルタを通した値, $(g_{x-1}, g_{y-1}, g_{z-1})$ が (g_x, g_y, g_z) より 1 つ前の値, (a'_x, a'_y, a'_z) がハイパスフィルタを通した加速度の値である. ローパスフィルタによるフィルタリングでは, フィルタ係数 (0.1) を使用し, 新しく得られた加速度の 10% と前回取得した値の 90% を加算する. これにより, ユーザーの 3 軸 (x, y, z) の重力加速度や緩やかな加速度運動を分離することができる. ハイパスフィルタによるフィルタリングでは, 取得した加速度から重力加速度 (g_x, g_y, g_z) を引くことで, 瞬間的な加速度を取得することができる. 今回実装したローパスフィルタの式を式 (1)~(3), ハイパスフィルタの式を式 (4)~(6) に示す [5].

$$g_x = a_x \times 0.1 + g_{x-1} \times (1.0 - 0.1) \quad (1)$$

$$g_y = a_y \times 0.1 + g_{y-1} \times (1.0 - 0.1) \quad (2)$$

$$g_z = a_z \times 0.1 + g_{z-1} \times (1.0 - 0.1) \quad (3)$$

$$a'_x = a_x - g_x \quad (4)$$

$$a'_y = a_y - g_y \quad (5)$$

$$a'_z = a_z - g_z \quad (6)$$

3 計測

本節では本実験のアプリの静止時, 歩行時, 走行時の比較実験方法について論じる. また, アプリの加速度センサの

正確性を確かめるために catapult 社の playertek+ を用いる. 今回, playertek+ が計測可能な項目の中で利用するのは, 速度である. この速度と, アプリの加速度から算出した瞬間速度を比較する. 3.1 節に playertek+ の概要を論じる.

3.1 playertek+ の概要

playertek+ の実物の写真を図 4 に示す. playertek+ は背中の部分に GPS デバイスを固定するポケットが付いており, GPS や加速度センサなどを内蔵する背中のデバイスが, 選手のパフォーマンスを計測する. 取得できるデータは, 走行距離, 走行スピードのほか, 加速, 減速, 体の傾き, さらに地磁気センサーを搭載する場合は方向転換なども検出することができる [7].



図 4 catapult 社の playertek+

3.2 静止時における計測

初めに, 作成したアプリの静止時の正確性を検証した. 本実験で使用した機器は iPhone11 である. iPhone11 を水平な状態に置いた際の 3 軸加速度をにおける x 軸を a_x , y 軸を a_y , z 軸を a_z とする. また傾けた時の加速度の 3 軸の正と負の符号を記録し, アプリの値と向きの正確性を検証した. 合計 10 秒の計測を 5 回行った結果の平均値を計測結果として図 5 に示す. 本実験で計測して得た値は, 概ね a_x が 0m/s^2 , a_y が 0m/s^2 , a_z が -9.8m/s^2 を検出した. 最大誤差に関しては基準値から a_x が 0.11m/s^2 , a_y が -0.02m/s^2 , a_z が -0.14m/s^2 という結果が本実験から得られた. この結果から, 作成したアプリが取得する加速度の 3 軸の値は正確であることが確認できた.

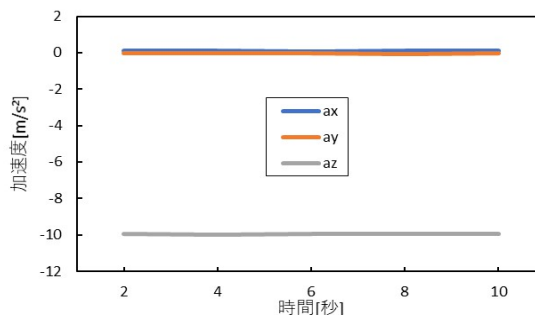


図 5 静止時の加速度値

3.3 歩行時における計測

本実験では playertek+ を用いて、歩行時における瞬間速度の精度比較を行う。playertek+ と作成したアプリの測定方法をできる限り統一にするため、playertek+ と iPhone をラップで固定した。図 6 に playertek+ と iPhone の固定方法を示す。図 6 の装置を装着し、歩行の運動動作を各 10m の距離を 5 回ずつ実施し、その平均値をグラフ化し記録する。その後、playertek+ と iPhone の値を比較する。今回、playertek+ から得られた瞬間速度と iPhone に出力される a_x , a_y , a_z から求めた瞬間速度との比較した結果を図 7 に示す。主に playertek+ の瞬間速度は平均 1.05m/s^2 、アプリの瞬間速度は平均 4.96m/s^2 を表した。2 つの誤差は最大 6.48m/s^2 であることが分かった。このような大きな誤差が生じた理由として iPhone のセンサが周りのノイズをキャッチしたためではないかと考えられる。そこで作成したアプリのプログラムにローパスフィルタとハイパスフィルタを組み込み、加速度のノイズをできるだけ除去して行った計測を 3.4 節に論述した。



図 6 iPhone と playertek+ の固定方法

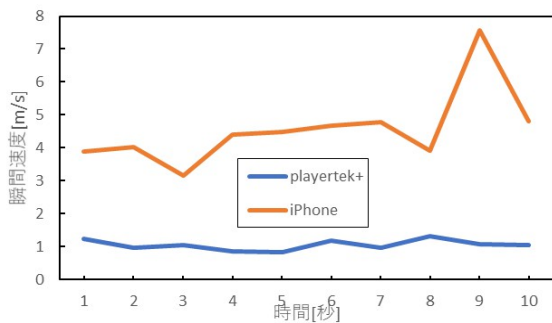


図 7 歩行時の瞬間速度 (フィルタなし)

3.4 歩行時における計測 (フィルタあり)

作成したアプリのプログラムに 2 つのフィルタを組み込んだ状態で 3.2 節と同様に計測を行った。playertek+ から得られる瞬間速度と、iPhone アプリが出力する瞬間速度の比較した結果を図 8 に示す。図 7 のフィルタなしでの計測と図 8 のフィルタありでの計測とでは、図 8 のほうが精度が大幅に改善されたことがわかる。本計測の最大誤差は 1.12m/s であったことから、3.3 節の計測の時より

5.36m/s 縮める事ができた。2 つのフィルタを用いることによって加速度の誤差を大幅に改善できることが本計測で分かった。

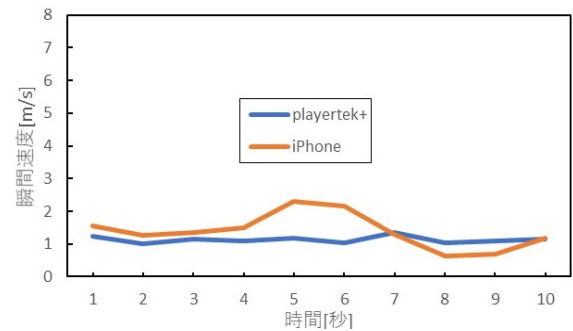


図 8 歩行時の瞬間速度 (フィルタあり)

3.5 走行時における計測

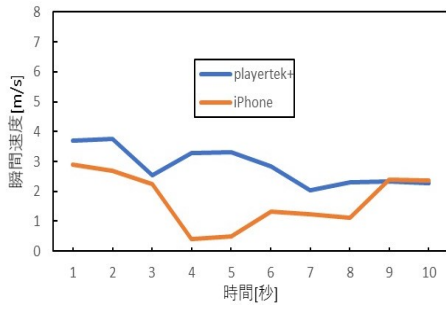
本実験では走行時における瞬間速度の比較を行う。3.3 節の図 6 と同様に playertek+ と iPhone をラップで固定した。本実験では 10m の正方形の中で 10 秒間走行を繰り返す。この計測を 4 回行った。運動後に playertek+ の瞬間速度と、iPhone アプリの瞬間速度を比較する。なお、3.5 節同様に測定に使用するアプリのプログラムには 2 つのフィルタを既に組み込んである。計測結果を図 9 に示した。絶対値の精度はそれぞれ最大誤差が図 9(a) が 2.87m/s 、図 9(b) が 2.78m/s 、図 9(c) が 2.73m/s 、図 9(d) が 2.0m/s となり、誤差はかなり生じた。相関係数を求めたところ、図 9(b) は 0.54 になったので表 1 の相関係数に基づく相関関係の目安より、相関があると言える [8]。この図 9(b) の散布図を示したものが図 10 である。さらに図 9(b) において 3 秒から 10 秒で切り取ってみると相関係数は 0.73 になり、強い相関があると言える。しかし最初の 1 秒から 2 秒までは、ズレがあるのが分かる。また、図 9(a)、図 9(c)、図 9(d) ではそれぞれの相関係数は 0.12 、 0.17 、 0.28 になり、ほとんど相関がない。そのため、10 秒間の一部分を切り取れば相関の強い所はあるが、4 回行った 10 秒間全体でみれば playertek+ と iPhone のデータ間に相関があるとは言えない。

表 1 相関係数に基づく相関関係の目安

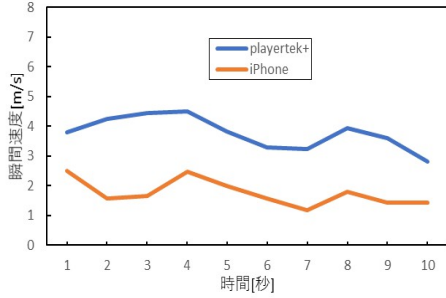
0.0~± 0.2	ほとんど相関がない
± 0.2~± 0.4	やや相関がある
± 0.4~± 0.7	相関がある
± 0.7~± 0.9	強い相関がある
± 0.9~± 1.0	非常に強い相関がある

4 おわりに

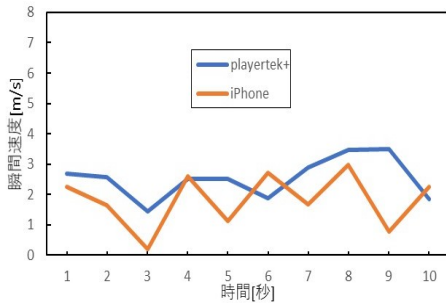
今回、加速度と加速度から導く瞬間速度を同時に取得できるスマートフォンアプリの開発を行い、精度の正確さを



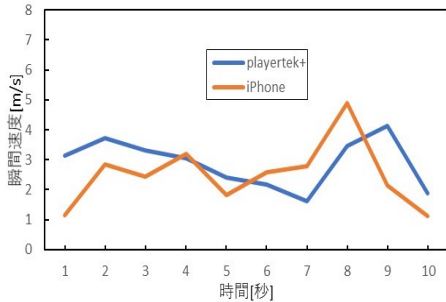
(a) 1 回目



(b) 2 回目



(c) 3 回目



(d) 4 回目

図9 走行時の瞬間速度

検証した。計測結果から歩行時などの動作ではフィルタを付ければ精度が大幅に改善できることが確認できた。しかし、走行時に最大誤差が 2.87m/s^2 あり、絶対値には誤差が生まれてしまった。playertek+ と iPhone のデータ間では4回行った計測のうち2回目で表1におけるやや相関が強いと言える値を記録した。しかし1回目、3回目、4回目の相関係数はそれぞれ0.12, 0.17, 0.28となり、相関係数0.7以上も達成できなかった。これらの結果から、アプリの精度の改善は必要であり、そのためにはより高度な、

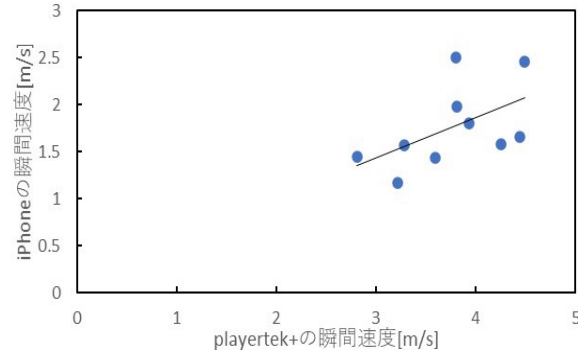


図10 図9(b)の計測結果の散布図

生体運動に適したフィルタを付けて計測を行う必要があると考えている。また、今回の計測は短時間で行っているため、実際の練習や試合時間である1時間半などの長時間でもセンサの正確性が維持できるのかの計測も行う必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、本研究のテーマや計測においてご助言をくださった体育教育センターの飯田祥明先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 諸戸 貴志, 濱川 礼, “加速度センサを用いた運動強度判定システム”, 中京大学情報科学研究科, pp.1-6.
- [2] 大西晃誠, 伊藤信行, 小林幸彦, 梶克彦, 内藤克浩, 水野忠則, 中條直也, “心拍センサと加速度センサを併用した運動量の推定に対する考察 —健康支援システムのための予備実験—”, 愛知工業大学大学院, 三菱エンジニアリング株式会社, 愛知工業大学.
- [3] 國分三輝, “スマホの加速度センサを使う”, 愛知淑徳大学 人間情報学部, <https://kkblab.com/make/javascript/acc.html>, 参照日:Oct 31, 2020.
- [4] 磯田健斗, 勝間亮, “加速度センサを用いた直線移動距離測定精度向上方式の提案”, 大阪府立大学.
- [5] 北田大樹, 鈴木伸之介, 白井暁彦, “スマートフォンの加速度センサを用いた 微小不随意運動検出による動画視聴時の笑い評価手法”, 神奈川工科大学, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会.
- [6] 太田麗二郎, 廣津登志夫, “高機能端末の加速度センサを利用した移動推定手法”, 法政大学, 情報処理学会第74回全国大会.
- [7] 内田泰, “GPS でケガを減らす「カタパルト」が支持されるワケ” 日経 BP 社デジタル編集部, 参照日:Oct31, 2020, 参照日:Dec31, 2020.
- [8] 石井博, “統計演習”, 富山大学理工学部生物圏環境科学科, <https://www.sci.u-toyama.ac.jp/env/ishii/Data/toukei.pdf>, 参照日:Dec31, 2020.