

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：82632  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K11354  
研究課題名（和文）身体運動における座標値および速度に関する最新計測デバイスの精度と適用範囲の検証

研究課題名（英文）Verification of accuracy and application range of biomechanical devices and systems

研究代表者  
横澤 俊治（Yokozawa, Toshiharu）

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学・研究部・先任研究員

研究者番号：80400670

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、身体座標値および速度を計測する最新デバイスの精度を検証し、各デバイスのタイプ別適用範囲や留意点を提示することであった。GPSを5分間地面に固定すると、その座標値および2センサー間距離が1m以上変化した。一方、電動バイクに取り付けたGPSの速度は0.1m/s以内の誤差に収まっていた。また、ディープラーニングによる骨格推定モデルを用いたマーカーレスモーションキャプチャーが使用されつつあるが、バイオメカニクス分野に適用するためにはデータセットの精度がボトルネックとなる可能性があることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
スポーツ科学に関する様々な分野では、年々新たなデバイスが開発され、その小型化・軽量化、解析時間の短縮化・自動化が進んでいる。多くの利用者が簡便に計測できるようになってきた一方、出力されたデータに疑いを持たずに活用していることが危惧されている。本研究はバイオメカニクス関連機器を対象にその精度を検証した。その結果、デバイスによって誤差の種類は様々であり、どのような誤差が生じているかを常に認識し、それぞれの研究目的を解決し得る精度を有しているか、あるいはどのような変数やどのような比較であれば使用可能かを個別に検討することの重要性が確認できた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to verify the accuracy of modern devices for measuring body coordinates and velocity, and to present the scope of application and points to consider for each type of device. The coordinates and the distance between the two sensors of the GPS fixed to the ground for 5 minutes changed by more than 1 m. On the other hand, the velocity of the GPS attached to the electric bike was within 0.1 m/s. Although markerless motion capture using deep learning skeletal estimation models is being used, we found that the accuracy of the dataset may be a bottleneck for its application in the biomechanics.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：GPS モーションキャプチャー マーカーレス 慣性センサー 精度検証

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

スポーツ科学に関する様々な分野では、年々新たなデバイスが開発され、その小型化・軽量化、解析時間の短縮化・自動化が進んでいる。多くの利用者が簡便に計測できるようになってきた一方、出力されたデータに疑いを持たずに活用していることが危惧されているにも関わらずそれらの精度検証が間に合っていない状況である。スポーツバイオメカニクス分野に関しては、GPS や慣性センサーにもとづく変位や速度の計測や、モーションキャプチャーシステムの簡易化が進んでいる。たとえば、スーツを着用するだけで全身の運動を評価できるものや、AI を利用してマーカーレスで身体各部の座標値を簡便に取得できるシステムが開発されているが、座標値の精度に関する検証データはほとんど示されていない。特に、スピード分析、パフォーマンス分析に必要な身体1点の変位・速度、ならびに動作分析のための身体分析点の座標値の精度は、その後の解析のために最も基本となる変数であるため、まずはこれらの検証が急務と考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、身体座標値および速度を計測する最新デバイスの精度を検証し、各デバイスのタイプ別適用範囲や留意点を提示することであった。この目的を達成するために、以下の3つの研究課題を設定した。

研究課題1：スピード分析等に用いられる身体1点の変位・速度が計測可能なデバイスの精度検証

研究課題2：慣性センサー型モーションキャプチャーから得られる身体分析点等の座標値の検証

研究課題3：マーカーレスモーションキャプチャーに関して、既存の骨格推定のデータセットとモデルの利用可能性の検証

### 3. 研究の方法

(1) スピード分析等に用いられる身体1点の変位・速度が計測可能なデバイスの精度検証のため、位置が既知の2つの地面の点に衛星測位システム (VECTOR X7、以下、GNSS) センサーを5分間固定し、その間の座標値の挙動を確認した。続いて、人の移動運動 (歩行、ジョギング、ランニング) および三輪の電動バイク運転時に2つのGNSSセンサーを装着すると同時に、後方からレーザードップラー方式距離計測装置 (以下、LAVEG) により追尾した。

(2) 慣性センサー型モーションキャプチャー (Xsens MVN、以下、慣性センサー型MC) から得られた身体分析点等の座標値の検証実験を行った。被験者には走路を約30mジョギングさせた。光学式近赤外線カメラを用いたモーションキャプチャーシステム (VICON、以下、光学式MC) を用いて、これらの反射マーカーから3次元座標データを収集した。同時に、加速度・角速度・地磁気を搭載したセンサーが両手、両前腕、上腕、両足、両下腿、両大腿、胸郭、骨盤、頭部に取り付けられたスーツを被験者に着用させた。慣性センサー型に含まれている同期装置を用いて光学式MCと厳密に同期した。データ取得後、光学式MCと同様の身体部分点の計測点をセンサーデータから推定した。

(3) Deep Learning (以下DL) を用いた骨格推定は、マーカーを貼ることで起こる制約などスポーツバイオメカニクスが抱える伝統的な課題を解決するものと期待されている。一方で、骨格推定をスポーツバイオメカニクス分野で利用することが可能か、可能な場合どの範囲で利用可能かといった議論は少ない。そこで我々は、近年発表された主な骨格推定モデルについてレビューし、スポーツバイオメカニクスにおける骨格推定の利用の可能性を検討した。

### 4. 研究成果

(1) 天候などGNSSの測定環境は良好であり、水平方向の精度を示すHDOPは基準を満たしていた。しかし、GNSSを固定した試行については、5分間で得られた座標値が1m以上変化し、2センサー間の距離についても同様だった (図1)。一方、電動バイクの試行については、2センサー間およびセンサーとLAVEGとの速度の差はいずれも0.1m/s以内の誤差に収まっており、速度変化パターンも極めて類似していることが分かった (図2)。人の移動運動では電動バイクの移動よりも2センサー間およびセンサーとLAVEGとの速度の差が大きかった。これらのことから、ス

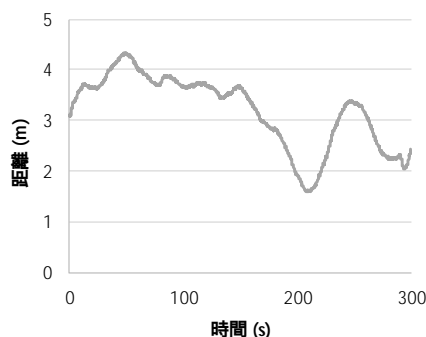


図1 地面に2つGNSSセンサーを5分間固定した際のセンサー間距離

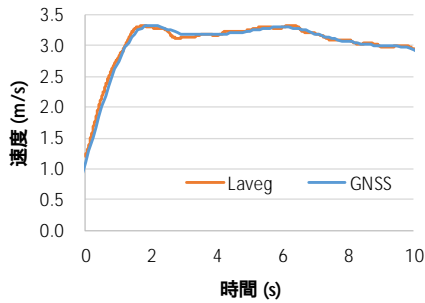


図2 電動バイク運転時におけるGNSSセンサーとLAVEGによる速度

スポーツ現場でGNSSにより位置や精度を計測する際には、速度の精度は高いが、2点間の距離(例えば2選手間の距離)については1m以上の誤差が含まれている可能性があることを認識したうえで活用する必要があることが示唆された。さらに、人の移動運動におけるLAVEGとの差は、どちらかが間違っているというよりもセンサーそのものの速度とLAVEGで追尾した腰部の速度との差であると考えられた。

測精度は非常に高かったものと考えられる。一方、慣性センサー型では、ばらつきがみられたものの、そのばらつきも約1cm以内におさまっており、光学式MCほどではないものの、計測精度は高かったものと思われる。光学式MCでは、計測範囲の隅精度が悪くなる場合があったが、センサー型システムでは、(特にデータロガー型では)こうした問題を回避できる利点があると考えられる。

(2) 光学式MCと慣性センサー型MCの座標点は概ねよく一致していた。なお、X軸座標については、時間経過にともない、若干差が広がっていたが、ドリフトによる影響というよりもむしろ各座標系の設定に若干ずれが生じており、それが走る方向のずれとして現れていたためと考えられる。光学式MCでは、左右上前腸骨棘間の距離がほぼ一定であったことから、座標点の計

(3) モデルに関するレビューの結果、DLを用いた骨格推定モデルは、複数人物の同時推定や、リアルタイム化、推定速度の高速化等が主な開発の目的としており、スポーツバイオメカニクスで求められる、単一人物の正確な関節位置推定を目的としたものはなかった。また、これらのモデルが学習に用いたデータセットはいずれのもの、ソーシャルメディアの動画に映る人物の関節中心と思われる位置をデジタル化したものであり、これらの作業者はプロフェッショナルではなかった。このため、モデルの良しあしにかかわらず、データセットの精度がボトルネックとなって、DLによる骨格推定は、スポーツバイオメカニクスが求める推定精度が得られない可能性を念頭に置く必要があることが分かった。レビューしたすべての論文において、精度の検証に用いられていた指標は、画面全体や複数フレーム間における複数の関節点の平均的な推定結果を検証する手法が用いられていた。このため、例え全体的な推定精度が高かったとしても個別の関節推定位置の精度は低い場合があることが分かった。一方で、既存の骨格推定であっても、動作の期分けや動作の回数の算出、動作の種類推定などにおいてスポーツバイオメカニクスの助けになる可能性はある。

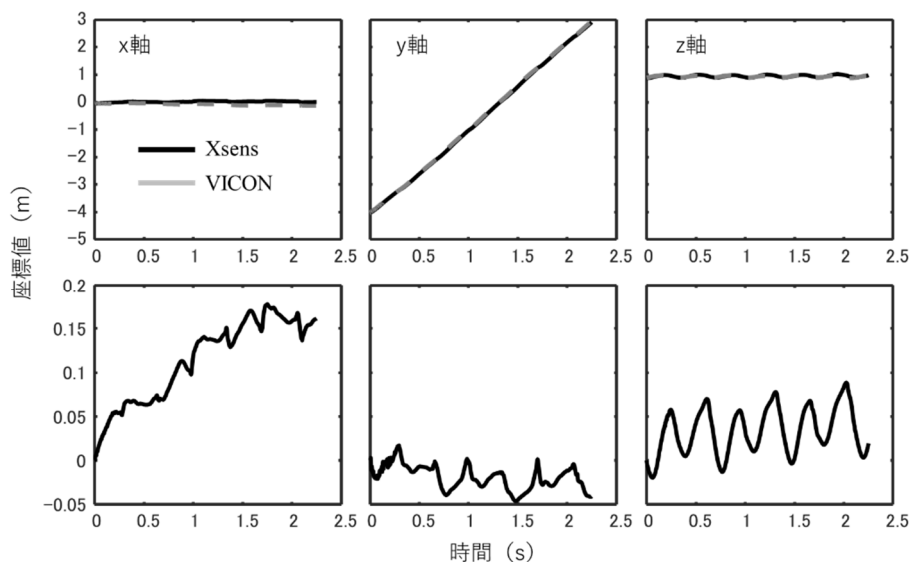


図3 光学式MC(VICON)と慣性センサー型MC(Xsens)の座標点(右上前腸骨棘)の比較  
上段が座標値、下段がシステム間の差を示す。

マーカレス MC のデータセットやモデルは年々改良されており、上記の結果をもって DL を用いたマーカレス MC がバイオメカニクス研究にとって全く使用できないといった結論を導くことはできない。すなわち、どのような誤差が生じているかを常に認識し、それぞれの研究目的を解決し得る精度を有しているか、あるいはどのような変数やどのような比較であれば使用可能かを個別に検討することが重要と考えられる。また、今後、骨格推定を更に多くの場面で活用するためには、スポーツバイオメカニストが骨格推定モデルの開発やデータセットの整備に積極的にかかわることも求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroki Ozaki, Minoru Matsumoto, Hideyuki Nagao, Toshiharu Yokozawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Potential Use of Deep Learning-Based Pose Estimation in Sports Biomechanics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Performance Sport	6. 最初と最後の頁 167 ~ 182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32155/jissjhps.10.0_167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>コーチングのためのバイオメカニクス関連機器の活用ガイドライン - 位置とスピードの計測器を中心に -          ハイパフォーマンススポーツセンター/国立スポーツ科学センター（編）横澤俊治、窪康之（監）  <a href="https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/Portals/0/resources/hpsc/guidebook/bio-guideline-r.pdf">https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/Portals/0/resources/hpsc/guidebook/bio-guideline-r.pdf</a></p>
--

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------