

慣性センサを用いたサッカー動作の解析と評価

47176726 真鍋 晃大

指導教員 石井 直方 教授 福崎 千穂 准教授

Wearable sensors are expected to be useful to get vital information including acceleration of movements during exercises and sports, and the amount of movement has successfully been quantified with inertia sensors for a variety of sport games. Although the quality of movement has also been analyzed with inertia sensors for some “simple” movements such as running, there are several problems to solve for the analysis of more complex sport movements. This study aims to develop the methodology to evaluate the skills underlying the kick movements in football by using inertia sensors. The “instep kick” movement was characterized with angular velocity of the pelvis and kicking leg. The angular velocity around medial-lateral axis has been found to be significantly larger in senior football players (n=10) than in novice players (n=10), when the ball was either static or moving. Skill test and angular velocity of the kicking leg showed a positive correlation.

Key words: Inertial sensor, angular velocity, football, instep kick, pelvis movement, kicking leg movement

1 緒言

現在、スポーツ業界はIT技術の進化により更なる発展が期待される。例としては、「選手を強化する」「審判を助ける」「観客・視聴者を盛り上げる」といった取り組みが挙げられる。2018年6月に開催され、ロシアワールドカップでもVAR(ビデオ・アシスタント・レフェリー)の存在は話題となった¹⁾。IT技術の中でもウェアラブルセンサは心拍数、加速度やGPSなどスポーツを解析するうえで必要な情報を簡単に取得できること、常時身に着けられることや安価であることから最近ではスポーツ分野においても様々な用途で使用されている²⁾。現在では、怪我の防止やコンディション管理に用いられることが多いが、将来的にはスポーツ動作習得のための指導支援に用いることができると考えられている。例えば、部活動での技術指導はその競技の上達のためにとても重要であるが、指導は顧問教員の能力に依存し、生徒の技術向上は顧問教員の指導能力に左右されるなど様々な問題が挙げられる。センサを用いて客観的な指導を行うことができれば、このような問題は解決されるだろう。

指導支援システムを構築する際には、小型かつ安価なウェアラブルセンサは非常に利用価値が高いと考えられるが、現状では課題も多い。その一つに試合中動作の質の評価が難しいことが挙げられる。サッカーやラグビーなどでは、選手の移動軌跡やスプリント回数などが利用されているが試合中の動きが複雑なこともあり、走行動作やキック動作自体を切り出して解析している例はほとんど見ることができない。慣性センサを用いてインステップキック動作について解析を行っている研究³⁾も存在するものの、骨盤などスポーツ動作において重要な部位の解析や動作の詳細を明らかにしたものは少ない。

そこで、本研究ではこの課題を解決するために慣性センサ(3軸加速度・3軸角速度)を用いたスポーツ動作解析を行う。このような簡易なセンサでのスポーツ動作解析が一般的になれば、客観的な評価に基づいた指導が部活動などの様々な場所でできるようになると思われる。本研究では特に動作対象をサッカーとし、インステップキック動作やパス動作などを測定することとした。インステップキック⁴⁾とは、足の甲で蹴るキックのことで主にシュートなどに用いられる。

2 実験 I : 慣性センサを用いた静止したボールに対するキック動作の解析と評価

2.1 目的

実験 I の目的は慣性センサによってキック動作を解析・評価することである。静止したボールに対するインステップキック動作を評価し、競技歴のある上級者と初心者でどのような違いがあるか検証した。

2.2 方法

2.2.1 被験者

対象はサッカー競技歴 7 年以上の上級者 10 名(年齢 23.2 ± 2.3 歳、身長 173.3 ± 3.0 cm、体重 66.0 ± 4.3 kg)とサッカー競技歴がない初心者 10 名(年齢 23.3 ± 1.0 歳、身長 172.8 ± 7.7 cm、体重 65.3 ± 10.7 kg)とした。測定対象の利き足は全員右足で、ボールを蹴る足も右足であった。

2.2.2 慣性センサと装着位置

本研究の動作測定には、7 台の慣性センサと 1 台のデジタルカメラ(240fps)、ボール速度や回転数が測定可能なスマートボール(Adidas 社製)を用いた。慣性センサの検出範囲は 3 軸加速度で ± 8 [G]、3 軸角速度で ± 2000 [dps] である。計測周波数は 100[Hz] である。センサの座標軸は、解剖学的姿勢における前後軸(前方を正)、左右軸(左方を正)、上下軸(上方を正)と一致させた。慣性センサの装着部位は頭部(前額部)、胸部(胸骨)、背部(第 2 胸椎)、腰部(第 3 腰椎)、骨盤部(骨盤背面上部)、右足首部(右外果上部)、左足首部(左外果上部)の 7 箇所とした。センサのずれ防止のため、テープによってセンサの上から身体に固定した。

2.2.3 実験手順

実験試技は、静止したボールをゴールに向かって全力でインステップキックする動作とした。被験者には、アプローチに関する指示は特に出さず、全力でインステップキックをするように指示した。実験試技は 10 回繰り返した。

2.2.4 分析パラメータ

キック動作時の骨盤と蹴り足の角速度を分析対象とした。前後軸周り(anterior-posterior; AP)、左右軸周り(medial-lateral; ML)、上下軸周り(Vertical; VT)の角速度を測定した。角速度は、回転軸に沿って回転の向きに回した右ねじの進行方向を正とした。また、キックフェーズごとに区分けし、区間毎の最大・最小角速度を抽出した。

2.2.5 データ・統計処理

取得されたデータに対し、MATLAB(Mathworks 社製)によってローパスフィルタ(2次バターワース、カットオフ周波数 20Hz)のデータ処理を行った。上級者と初心者の比較には対応のない *t* 検定を用いた。全てにおいて有意水準は 5%とした。

2.3 結果

Fig. 1 に慣性センサから得られた上級者のインステップキック時の骨盤と蹴り足の角速度変化を示す。すべての軸周りの角速度において図中の③と④周辺で大きな変化がみられる。図中の赤い矢印は最大・最小角速度間の差をとることで算出した最大・最小角速度差について上級者・初心者間で有意差($p < 0.05$)があることを示している。黒い矢印は有意差がないことを示している。Fig. 2 に上級者と初心者における左右軸周りのインステップキック時の骨盤の最大・最小角速度差を示す。上級者は蹴り足接地以降からフォロースルーまで初心者より有意に大きい値を示した。Fig. 3 に上級者と初心者における左右軸周りのインステップキック時の蹴り足の最大・最小角速度差を示す。上級者は初心者と比較して軸足踏み込み前からフォロースルーにかけて有意に大きい値を示した。

2.4 考察

インステップキック時の骨盤の角速度変化を示す Fig.1(a)に着目する。図中の③軸足の踏み込み付近では、軸足を踏み込む際に軸足を斜めにして踏み込むので身体は自然と左に傾いていく。よって前後軸周りの角速度は反時計回りの値を示した。前傾姿勢だった身体が踏み込む際に急激に起き上がるので左右軸周りの角速度も反時計回りの値を示した。図中の④ボールインパクトでは、後傾した身体を前傾させることで蹴り足を振り抜くので左右軸周りの角速度は時計回りの値を示した。Fig.1(b)に着目する。図中の④ボールインパクトでは、軸足踏み込みの際に左に傾いた蹴り足をひねるようにしてボールを蹴るため前後軸周りの角速度は時計回りの値を示した。蹴り足は、膝を屈曲させることによって後方に振りかぶったのち、反時計回りに回転させることでボールをキックした。従って、左右軸周りの角速度は急激に反時計回りに増加した。このようにキックにおける特徴は角速度変化の波形からも見てとることができる。

上級者と初心者のインステップキック時の骨盤の最大・最小角速度差について着目する。Fig.1(a)から上級者と初心者では前後軸、左右軸周りの最大・最小角速度差について大きな違いがあることが分かった。Fig.2 をみると上級者は初心者と比較して最大・最小角速度差が有意に大きい。これは上級者が軸足を踏み込むときやボールを蹴るときに身体を前後方向により速く回転させることでボールに強い力を与えようとしているためだと考えられる。骨盤の動きがキック動作において重要であることは坂本ら⁹⁾が報告している。

上級者と初心者のインステップキック時の蹴り足の最大・最小角速度差について着目する。Fig.1(b)から上級者と初心者では左右軸周りの最大・最小角速度差について大きな違いがあることが分かった。Fig.3 をみると上級者は初心者と比較して最大・最小角速度差が有意に大きい。これは上級者がボールを蹴るときに蹴り足をより速く後方から前方へ回転させているためだと考えられる。

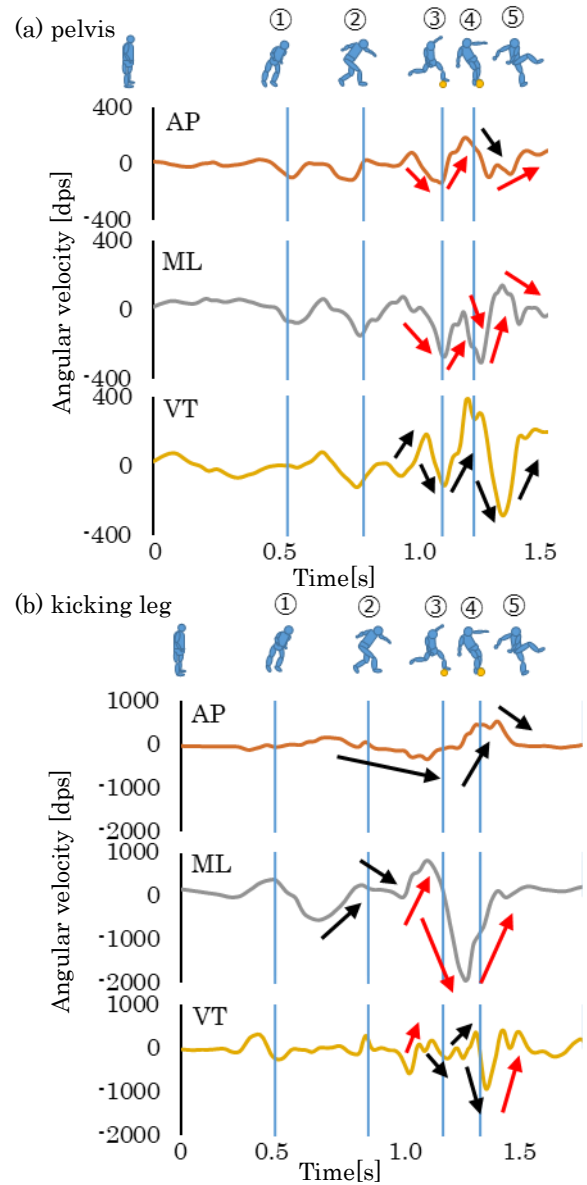


Fig. 1 The angular velocity measured with gyro sensor
 ① Foot contact of pivoting leg
 ② Foot contact of kicking leg
 ③ Planting pivoting leg
 ④ Ball impact ⑤ Follow - through

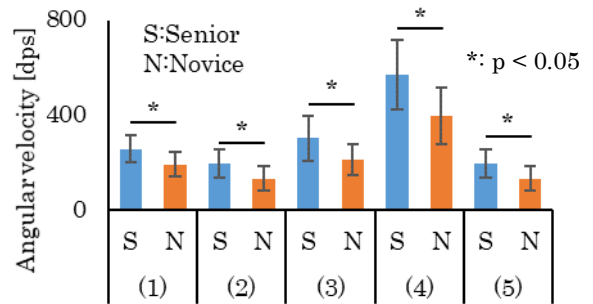


Fig. 2 Differences between the largest and smallest angular velocities around ML axis measured at the pelvis
 (1) Before planting pivoting leg
 (2) After planting pivoting leg
 (3) Before ball impact (4) After ball impact
 (5) Follow - through

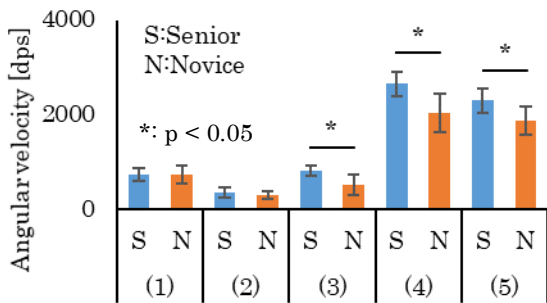


Fig. 3 Differences between the largest and smallest angular velocities around ML axis measured at the ankle of kicking leg

- (1) Before planting kicking leg
- (2) After planting kicking leg
- (3) Before planting pivoting leg
- (4) Before ball impact (5) After ball impact

3 実験Ⅱ：慣性センサを用いた動いたボールに対するキック動作解析と評価

3.1 目的

サッカー中においてボールが静止した状態でのキック動作は場面に限られる。そこで実践を想定して、ボールが静止した場合と動いている場合のインステップキック動作について比較検討した。キック動作とスキルテストとの関係性についても検討した。

3.2 方法

3.2.1 被験者

対象はサッカー競技歴 7 年以上の上級者 10 名（年齢 24.3 ± 1.7 歳、身長 173.3 ± 3.5 cm、体重 66.9 ± 8.3 kg）とサッカー競技歴がない初心者 10 名（年齢 24.2 ± 1.8 歳、身長 171.6 ± 7.5 cm、体重 63.7 ± 11.5 kg）とした。測定対象の利き足は全員右足で、ボールを蹴る足も右足であった。

3.2.2 慣性センサと装着位置

7 台の慣性センサと 2 台のデジタルカメラ、スマートフォンを用いた。センサの装着部位は実験Ⅰと同様である。

3.2.3 実験手順

測定は Fig. 4 のような実験環境で行った。実験試技は、測定 1 として定位置に置かれたボールを全力でインステップキックする動作を 5 回繰り返し行った。測定 2 では、マーカーの間をドリブル、目標に向かってパス、サーバーからのパスをトラップし、全力でインステップキックする動作を行った。実験試技は 10 回繰り返し行った。また、スキルテストにより、サッカースキルの評価を行った。

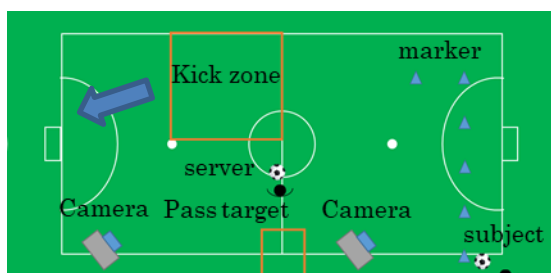


Fig. 4 Experiment environment

3.2.4 分析パラメータ

キック動作時の骨盤と蹴り足の角速度を分析対象とした。センサ軸については実験Ⅰと同様である。

3.2.5 データ・統計処理

データ処理は、実験Ⅰと同様に行った。上級者と初心者の比較には対応のない t 検定を用いた。ボールが静止している状態と動いている状態の比較には対応のある t 検定を用いた。全てにおいて有意水準は 5% とした。ボールが静止した場合と動いた場合のキック動作中の角速度波形の類似性を確認するために、両条件間の相関係数を求めた。波形は、図中の②から④までで切り出し正規化した。

3.3 結果

ボールが動いている場合のインステップキック時の骨盤の角速度変化を Fig. 5 に示す。図中の赤い矢印は最大・最小角速度差について上級者・初心者間で有意差 ($p < 0.05$) があることを示している。黒い矢印は有意差がないことを示している。ボールが静止していた時と異なり、前後軸周りで上級者と初心者間の有意差は示されなかった。上下軸周りに関してはインパクト前からフォロースルーにかけて有意差が示された。蹴り足に関しては、軸足踏み込み以降の左右軸周りの最大・最小角速度差において、上級者は初心者と比較して有意に大きい値を示した ($p < 0.05$)。

Fig. 6 にスキルテストと左右軸周りのインパクト後の蹴り足の最大・最小角速度差の相関関係を示す。相関係数は 0.74、危険率 0.01 未満と正の有意な相関が示された。

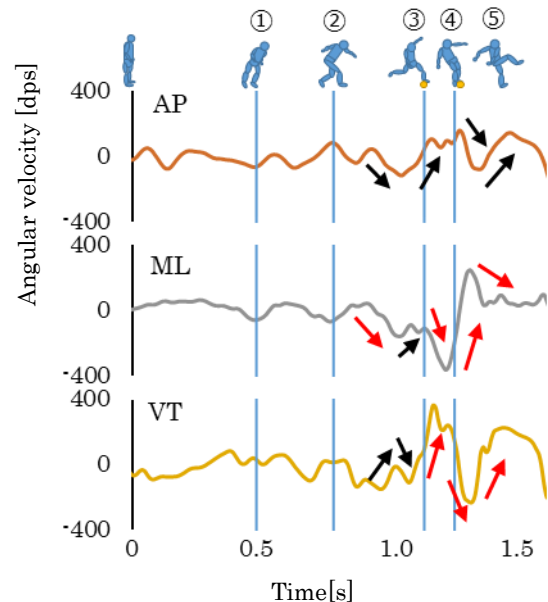


Fig. 5 The angular velocity measured of the pelvis ①-⑤ Indicate the same meanings as Fig.1

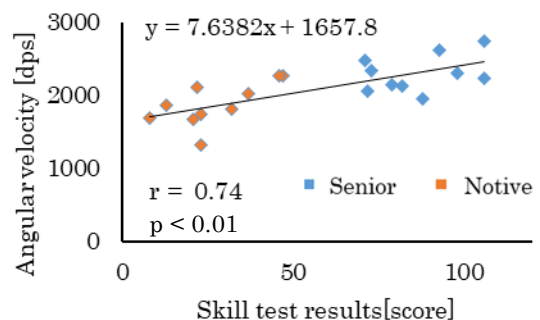


Fig. 6 Correlation between skill test and angular velocity around ML axis measured at the ankle of kicking leg

3.4 考察

インステップキック時の骨盤の角速度変化をみると (Fig.5)、角速度波形については静止したときのキック動作と同様の特徴を持ち、③軸足の踏み込み付近や④ボールインパクトで骨盤を急激に回転させていた。蹴り足の角速度変化についてもボールが静止した場合と同様の結果が得られた。キックの特徴は、異なるパラメータも多少存在するものの、ボールが動いているか静止しているかにかかわらず同じような角速度の特徴を示した。

上級者と初心者のインステップキック時の最大・最小角速度差について着目する。Fig.5から上級者と初心者ではボールが静止している場合と異なり、左右軸、上下軸周りの最大・最小角速度差について大きな違いがあることが分かった。これは上級者が軸足を踏み込むときやボールを蹴るときに、身体をより前後方向に速く回転させることでボールに強い力を与えようとしていることと、ボールが動いている状態で最大限足からボールへ力を伝えるために骨盤を上下軸周りに速く回転させていることが挙げられる。蹴り足については、軸足踏み込み以降の左右軸周りの最大・最小角速度差について、上級者は初心者と比較して有意に大きい値が示された。これは前述したようにボールが動いている場合でも、上級者が初心者に比べて左右軸周りに蹴り足を速く回転させているためだと考えられる。

Fig. 6 からスキルテストの結果と左右軸周りのインパクト後の蹴り足の最大・最小角速度差に強い正の相関関係があることが示された。インパクト前、フォロースルー時についても同様の結果が得られた。従って、スキルテストによる評価が高いほど骨盤を素早く前傾・後傾させていることが分かった。

4 実験Ⅲ:慣性センサを用いた様々なサッカー動作に対する評価

4.1 目的

サッカーではドリブルやパスなど様々なプレーが存在する。そこで本実験ではプレー中の角速度波形に対してパスやインステップキック (シュート) 動作でどのような変化が起こっており、特徴を抽出可能であるか検討した。

4.2 方法

方法は実験Ⅱと同様である。

4.3 結果

測定試技中の左右軸周りの骨盤の角速度変化を示す (Fig.7)。ドリブルやトラップしている際に比べてパスやシュートの際には波形が大きく変化していることが見て取れる。Fig.8には左右軸周りのパス中の骨盤の角速度変化を示す。

4.4 考察

Fig. 7 や Fig. 8 を見るとシュートやパス動作は足を大きく回転させるため骨盤の動きも大きいことが分かった。シュート動作に比べてパス動作は角速度変化の大きさは小さくなるもののキックをする際に後傾した身体を前傾させることでボールを蹴るなど同様の特徴を持っている

ことが分かった。よって、この特徴からサッカー中のシュート動作やパス動作検出の可能性が示唆された。

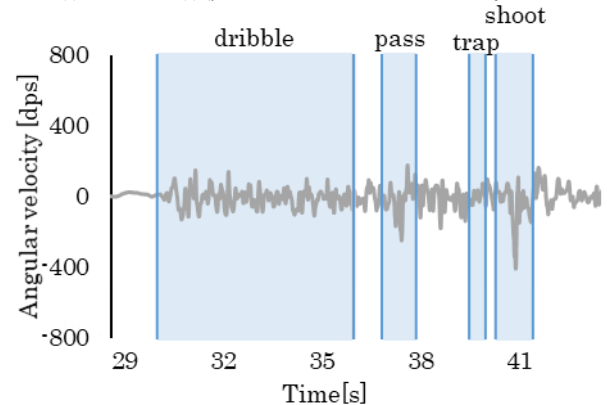


Fig. 7 The angular velocity around ML axis measured at the pelvis

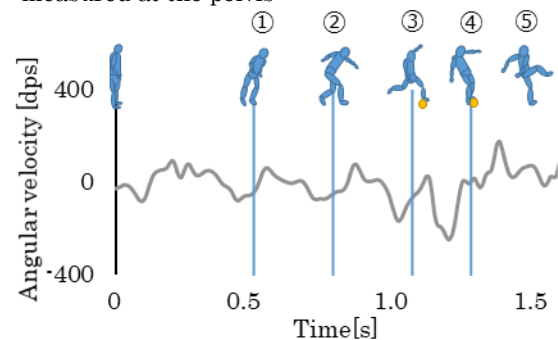


Fig. 8 The pelvis angular velocity around ML axis in the pass movement

①-⑤ Indicate the same meanings as Fig.1

5 まとめ

本研究では、慣性センサを用いてサッカー動作解析を行い、キックの特徴などを抽出することや上級者と初心者の動きの違いについて検討した。結果として、角速度波形から軸足踏み込みやインパクトの際の特徴を確認できたことと上級者は骨盤や蹴り足を速く回転させることでボールに強い力を加えていることが分かった。

文献

- 1) FIFA.com: "https://football-technology.fifa.com/en/innovations/var-at-the-world-cup/"
- 2) C. Cummins, R. Orr, H. O'Connor, C. West: "Global Positioning Systems(GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review", Sports Med(2013)
- 3) 紅林佑亮, 清水剛士, 長谷川明生, "Arduino およびセンサを用いたスポーツ動作解析システムの試作," 情報処理学会研究報告 Vol.2016-IOT-34 No.1., 2016.
- 4) A. Lees, T. Asai, T. B. Andersen, H. Nunome & T. Sterzing: "The biomechanics of kicking in soccer: A review", Journal of Sports Sciences, 28:8, 805-817, (2010).
- 5) 坂本慶子, 清水悠, 浅井武, "女子サッカー選手のインステップキックにおけるスイング動作特性," 体育学研究 59 巻 2 号 p 771-788, 2014.