

大学生サッカー選手の試合中における移動速度

白水 陽久, 片山 宗哲, 白水 重憲

要旨 サッカーの試合中の選手達の体幹が受ける加速度を測定し、速度変動を求めた。試合中の選手たちの移動速度は、2 m/sec 程度の「歩行速度」、3~3.5 m/sec 程度の「巡航速度」、6 m/sec 以上の「戦闘速度」が主であり、速度分布は、ほぼこの3つの速度から構成されていた。6.25 m/秒以下の速度域では、選手間の相違に比してポジション間の相違は明確ではなかったが、フォワード (FW) の選手たちが 7.5 m/秒以上の速度域で走る時間はディフェンダー (DF)、ミッドフィールダー (MF) の選手達の倍程度の長さであり、ポジション間の相違が選手間の相違に比して遥かに大きかった。

キーワード: サッカー, match analysis, 選手の移動速度, 加速度, SPWV

1. はじめに

サッカーのゲーム展開の作戦を考える上で、各選手の試合中の移動速度の情報は非常に重要であり、欧米では、特殊なカメラで試合を撮影し、選手たちの位置や速度を解析する事が盛んに行われてきた^{1,2)}。また、財団法人日本サッカー協会は2002年ワールドカップの日本代表の試合結果を分析し、海外の筋肉量が多く脚力やフィジカルコンタクトが強い大型選手に對抗できるサッカーの試合で通用する体力を向上させる為に、「JFA フィジカル測定ガイドライン」を作成した³⁾。

しかしながら、サッカーの試合で通用する体力は、持久力を使い果たしたような状態でのスプリント力であり、その向上の為には、試合中のみでなく、練習中の各選手の速度・加速度のダイナミックな測定が必要である。

この為には、カメラで測定した動画解析からのデータは静的であり、国内でJリーグ選手に対して宮城等⁴⁾が使用し、その後大学生サッカー選手に対して

宮森等⁵⁾が使用したサッカーコート両端においた二つのカメラで試合中の一人の選手を追い続け、その角度情報から位置を求め、速度を求めるという方法では、一試合で複数の選手の情報を得る事が難しいという限界を持っている。

我々は、開発した超小型加速度・心電・皮膚温度測定装置 (M-BIT)⁶⁾ を使用して、人の歩行中、走行中、運動中の加速度を体幹上部で測定し、得られた垂直方向の加速度波形を解析して、速度・移動距離を算出するという研究を続けている。既に、一般成人のウォーキングやランニングであれば、良好な結果が得られる事を報告してきた⁷⁾。更に、日本で近年盛んに行われている高齢者 (60歳以上) のサッカー試合中の各選手の速度変化や瞬時心拍数の変動も報告してきた⁸⁾。

本研究では、大学生サッカー選手の試合中における各選手の「体幹の受ける加速度」を測定し、この加速度から選手の試合中の「速度」を求める新たな方法を考案し、サッカーの試合における各選手の速度変動を推測した。

2. 測定と解析

2-1 測定装置

M-BIT 及び5歳児の測定の詳細に関しては既に報告

した⁶⁾。心電・加速度・皮膚温度を測定する全ての機能を40×39×8 mmのサイズの中に詰め込み、重量14 gとした。各信号のサンプリング周波数は高速モードで使用する場合はECGと加速度が128 Hz、温度は1 Hzであった⁶⁾。このM-BITは超小型軽量である為、2つの電極を使用して被験者の体幹に貼り付けて装着した。

2-2 試合時における測定

大学生サッカーの試合中に全選手の移動速度を動的に測定しようという世界初のこの試みは、平成24年(2012年)11月某日に、関東大学リーグII部に所属する東京都内某大学のサッカー部の協力を得て、同大学のサッカー場で行われた。この試合は、関東大学リーグの規定の下、前半45分、後半45分で、この間に15分の休憩をいれて行われた。

スターティングメンバーとベンチメンバーを合わせて18人の選手に、この「M-BIT」を装着した。ボールトラップに邪魔にならないように、心臓に近く、かつ筋電の影響を受けにくい位置である左肩甲骨の下に心電測定用電極を装着し、激しい動きをしても落ちないようにサージカルテープで補強した。

2-3 大学生サッカー選手の50 m歩行・走行時における加速度測定

加速度データ解析の過程で、従来使用していた加速度波形の代表的振幅から歩幅を推定して速度を求める方法では、大学生サッカー選手の試合中のダッシュに近い速度には対応できない事が判った。そこで、新たな加速度波形と速度との関係を得るために、同サッカー部の選手のうち最速な選手2名と1軍メンバーの選手1名に、胸部のところにこの「M-BIT」を装着させ、50 mの距離を、「普通に歩く」、「早めに歩く」、「ジョギング」、「70%の力でのダッシュ」、「全力ダッシュ」を、それぞれ2回行わせた。

「普通に歩く」、「早めに歩く」、「ジョギング」の場合には、ゴールに到達した時点で静止し、この静止状態を10秒間維持するように指示した。また、「70%ダッシュ」、「全力ダッシュ」の場合には、ゴールに到達した時点でこのダッシュをやめて、「走行」の速度を低下させるように指示した。

2-4 50 m歩行・走行時における速度の算出

大学生教育の教材としての活用も考えて、ここでは簡単な方法で50 m歩行と走行時における平均速度を求めた。加速度波形データをExcelでグラフにし、歩

行・走行開始時の最初のピークと最後のピーク(ダッシュの場合は、走る様相が変わる前の最後のピーク)の時点を求め、ピーク間の時間間隔で50 mを割ることで歩行・走行時それぞれの「速度」を求めた。

「歩行・走行の1ステップ間の足の動き」と「加速度ピーク」との関係には個人差があるので、最大限2歩分の歩幅(3 m程度)程度の誤差はあるが、現在の目的には十分であると考えた。

2-5 周波数解析

従来は、「加速度データ」を2秒分毎にフーリエ展開し、最大ピークを求め、その振幅より「歩幅」を推定し、「周波数」と掛け合わせる事で、「速度」を求めている。すなわち、「2秒分の加速度データ」から、「2秒毎の平均速度」を求めている事になる。

しかしながら、サッカーの試合の様に動きの緩急の変化が速い場合には、この「2秒毎の平均速度」では選手の動きに対応できない。

そこで本研究では、「加速度データ」を2秒分毎にSPWV(Smoothed Pseudo Wigner-Ville)法にて「時間周波数解析」を行った。この方法によれば、一步に近い時間分解能で「一步毎のピーク振幅・周波数」を求める事ができるからである。

本研究では、0.5秒毎の「ピーク振幅・周波数の平均値」を求めて、速度との関係を探る事にした。

3. 結果と考察

3-1 50 m歩行・走行時の加速度波形

一般に、歩行・走行速度が大きくなるにつれて、体幹で測定した垂直方向の加速度の振幅は大きくなる。従来の加速度波形の振幅から歩幅を推定する方法は、この関係を前提にしている。

本研究で測定した結果も、「歩行からジョギングまで」は、速度とともに「加速度波形の振幅」が増加した。しかしながら、「ジョギングから70%ダッシュへ」と速度が増加すると、加速度波形の振幅は予想された増加を見せずに、逆に減少し、複雑な波形となった。

「ジョギング」と「全力ダッシュ」との加速度波形の典型例を、図1と図2にそれぞれ示す。全ての被験者の「70%ダッシュ」と「全力ダッシュ」とでは、同様の加速度波形が観察された。しかしながら、この波形が「ダッシュ」時における真の加速度の挙動であるのか、「ダッシュ」時における加速度レベル、或いは

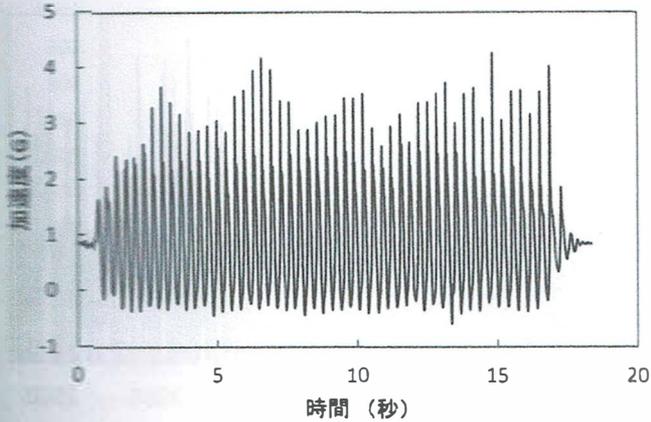


図1 大学生サッカー選手が50mをジョギングした場合の加速度の例

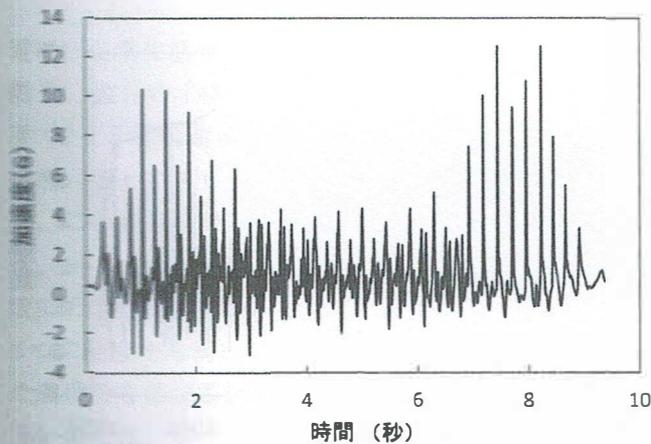


図2 大学生サッカー選手が50mを全力ダッシュした場合の加速度の例

その変化率がM-BITが搭載している加速度センサーの限界をオーバーした為かは、現在は判断できない。サッカー選手のダッシュ時における「加速度」の正確な測定は、われわれが今回使用した「M-BIT」のような超小型・軽量で、しかも信頼性のある装置で初めて可能となると考える。サッカー選手の「ダッシュ時の真の加速度の波形」についての測定は、今後の検討課題とした。

3-2 加速度波形の時間周波数MAP

図2に示した波形からでは、サッカーの試合における「一歩」の動きに対応する波形を識別するのは難しかった。しかしながら、「時間周波数MAP」には、この「一歩」に対応する「基本周波数」と、「一歩」間の複雑な形状に伴う「より高い周波数」が明瞭に識別されていた(図3)。従って、「ダッシュ時の加速度波形の妥当な振幅の値」を得ることは出来なかったが、「加速度波形の走行の一歩に対応する周波数」や波形の状態が図1に近いのか図2に近いかを示すパラメー

4.684, 4.500, 4.500, 4.516

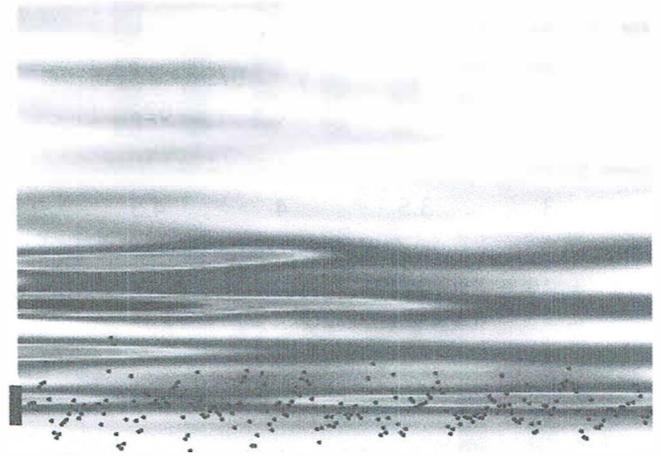


図3 大学生サッカー選手が全力ダッシュした場合の加速度の時間周波数MAPの例

横軸は時間、フルスケール2秒。縦軸は周波数、左端の黒いマーカーは3Hzから6Hzの周波数範囲を示す。

横軸にほぼ平行に4本の帯状のピークが存在するが、最下位のピーク、左端の黒いマーカーに対応するものが走行の周波数。図上部に示した4つの数字は、この帯のピークの0.5秒毎の平均周波数。より高周波側の強い3つの帯状ピークは、図2或いは図3上の黒点で示すように波形が複雑化した事に起因する。

タを得ることはできた。

3-3 加速度波形と速度との関係

「加速度波形から速度を求める方法」を検討するに当たって、「速度」と「歩幅」と「周波数」の関係を考えると、「周波数」が同じ場合に「速度」が異なる理由は、「歩幅」の違いである。この事から、同じ大学のサッカー部の選手同士であれば、「歩幅」にはそれほど大差はないと仮定する事は妥当と考えられた。この仮定に基づき、「各ダッシュでの周波数と速度の平均値」との関係性を求めた。

図4に、この結果を示す。図から分かるように、「周波数」と「速度」との間には直線関係が存在し、「周波数」から「速度」を求める式を得る事ができた。

$$\text{(換算式1)} \quad \text{「速度」} = \text{「周波数」} \times 1.0789 + 2.5595$$

同じ仮定に基づき、通常歩行からジョギングまでの測定結果にも同様の解析を行った。図5にこれらの結果を示す。この場合にも、「周波数」と「速度」との間には良好な直線関係が存在し、「周波数」から「速度」を求める式を得る事ができた。

$$\text{(換算式2)} \quad \text{「速度」} = \text{「周波数」} \times 1.8279 - 1.663$$

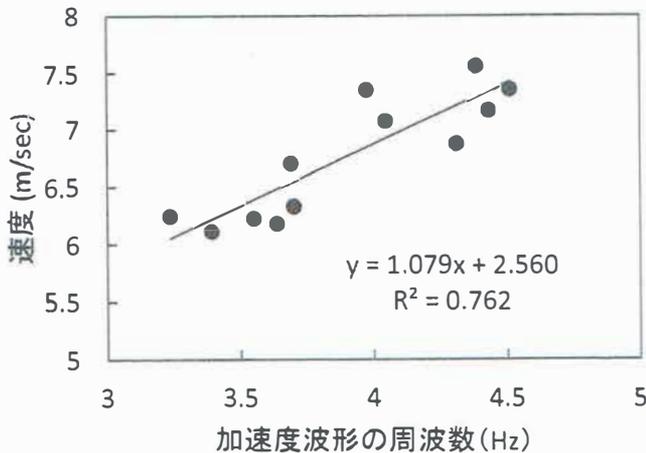


図4 大学生サッカー選手3名が70%の力と全力でダッシュした場合の加速度波形の周波数と速度との関係

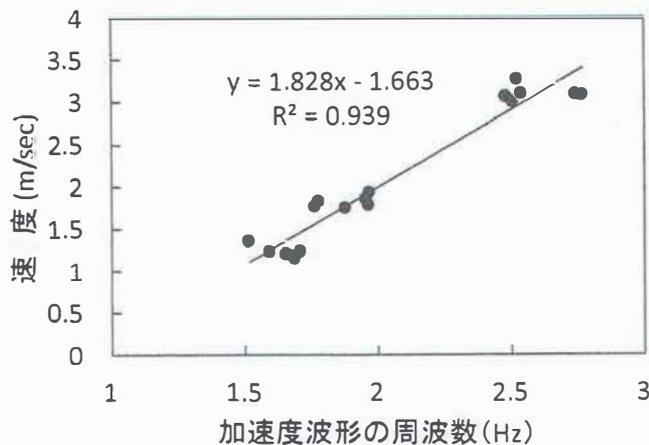


図5 大学生サッカー選手3名が歩行とジョギングをした場合の加速度波形の周波数と速度との関係

本研究では、これらの関係式を使用して、測定された「加速度波形」を「速度」に換算する事とした。この2つの換算式の適用を切り替える「周波数」としては、「時間周波数MAPの高周波」の存在を確認した場合等の条件も考えたが、試合時のデータを時間周波数解析した結果、「一定の速度が1秒以上続くケース」は稀であり、この適用は難しかった。

本研究では、「周波数3 Hz」を閾値として、「周波数」がこの閾値より大きい場合は関係式(1)を、また「周波数」がこの閾値以下の場合には換算式(2)を使用することにした。また、加速度波形の振幅が0.42 G 以下の場合には、動いていない(速度=0)と判断した。

3-4 試合中の速度変化の例

前半戦45分間に亘る選手の速度変動の例を図6に示す。結構、いわゆる“ジョギングで流す”に対応する「3~4 m/秒の速度である時間」が多く、また「ゆっ

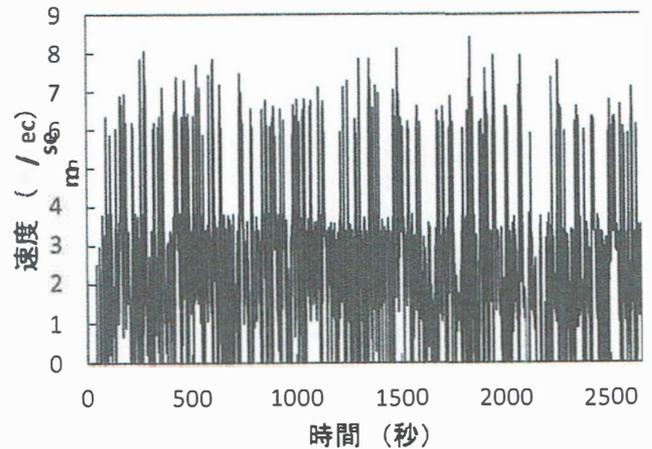


図6 ある選手のサッカー試合前半戦2700秒間の速度変化

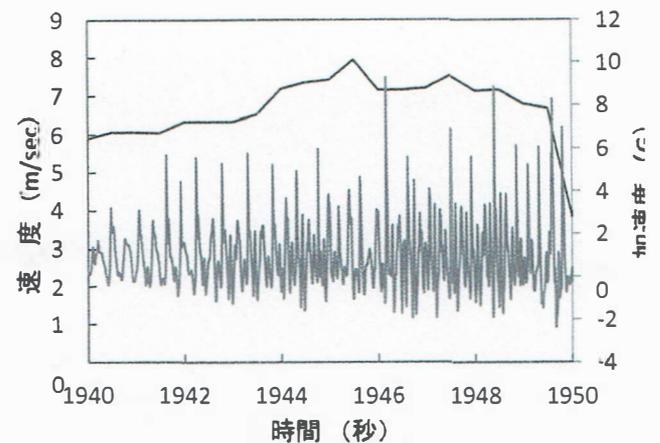


図7 図6の試合開始後1940秒から1950秒間の速度と実際の加速度波形
黒色：速度，灰色：加速度波形

くり歩いている時間」も多い事が判った。時折、ゲーム展開の流れで“ボールに絡んだ”時に、「6 m/秒以上の速度を出してプレーしている」という事が判った。

図7に、図6に示した速度変動の試合開始後1940秒から1950秒間の速度変動を拡大して示し、合わせて対応する「加速度波形」を示した。全般的に速度は、m/秒以上と大きく、加速度波形の形状は「図2のタイプ」である事が判った。また、加速度波形から速度を推定する方法に関しては、今後の更なる改良が必要である事も示されていた。

3-5 前半戦の結果のまとめ

図8に、前半戦を通しての測定が可能であった「選手の速度分布」を比較した。ここで得られた「選手の速度分布」の特徴として、まず目立つのは、「5 m/秒前後の速度」の不在であった。これは、加速度と速度の関係式切り替えの問題かも知れないが、試合中、糸

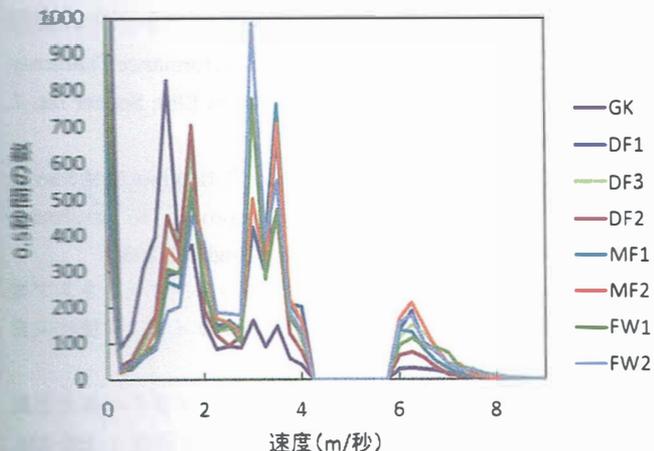


図8 各選手の色度分布の比較

運動時、日常生活での彼らの歩行・走行速度を観察した結果、彼らの「移動速度」は、「歩行速度（ゆっくり歩く）」、「巡航速度（ジョグで流す）」、そして「戦闘速度（トップスピード）」の3つが主であった。そして、この観察結果に対応して、2 m/sec 程度の歩行速度、3~3.5 m/sec の巡航速度、6 m/sec 以上の戦闘速度にそれぞれピークが存在し、速度分布が、ほぼこの3つの速度から構成されている事が、本研究で得られた速度分布の2番目の特徴であった。体への負担が大きい場合には、ボールの奪い合いに参加できない中途半端な速度である5 m/sec 前後の運動を、このチームの選手たちは使用していないようであった。宮森等の報告⁹⁾とは、随分異なるが、中途半端な速度は使用せず、3つの速度帯を使用するのは、効率的である。この意味で、この速度分布はこのチームの特徴を示しているものと思われた。

また、明確にこの思想を選手たちが自覚すれば、ジョギング、ランニングに時間を費やすのが良いのか、「JFA フィジカル測定ガイドライン」が目指すように、ダッシュとフィジカルコンタクトを想定した練習を考えるか等、限られた時間・体力の下で行う日頃の練習や自己トレーニングのあるべき姿も見えてくるものと考えられた。

次に目立つのは、当然ではあるが、ゴールキーパー（GK）の動きは、他の選手とは大きく異なる事であった。この図では0.5秒間の数の上限を1000にしているが、GKは速度が0である0.5秒が1800もあった。他の選手より少し緩やかな歩行が多く、巡航速度での走行は少なかった。しかし、戦闘速度での走行も結構存在した。GKの動き回る範囲が狭い事に対応していた。

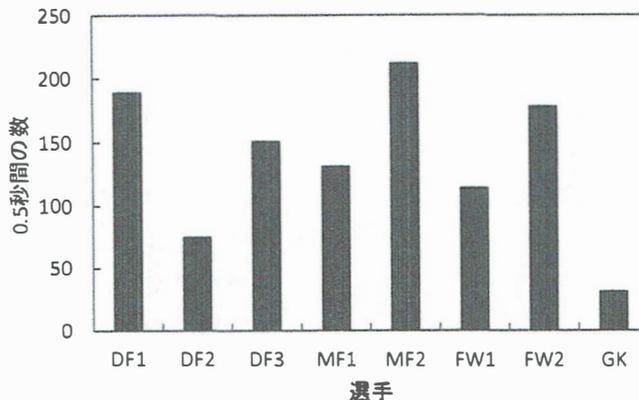


図9 各選手が6.25 m/sec の速度であった0.5秒間の数

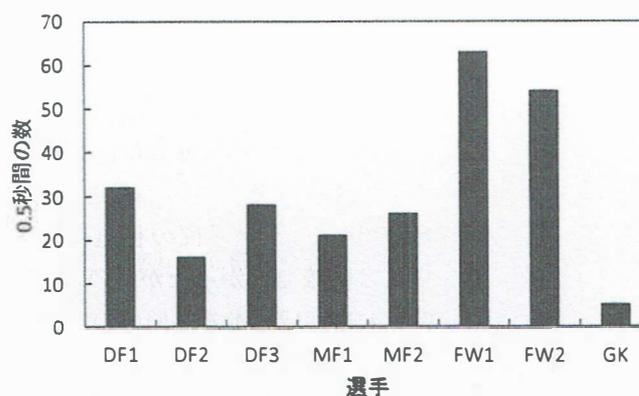


図10 各選手が7.5 m/sec 以上の速度であった0.5秒間の数

この速度分布の相違を見ると、GKの自己トレーニングが他の選手と同様のランニングであってはいけない事は明白であった。試合中に疲労回復する機会が多いから、持久力向上よりも、瞬発力、直観力、判断力や相手の動きを予想する訓練をすべきと考えられた。

一方、図8からは、ポジション間や選手間の相違は見にくかった。そこで、戦闘速度で全選手がピークを示した速度6.25 m/secであった各選手の0.5秒間の数を図9に比較した。この速度及びそれ以下の速度ではポジションによる相違よりも、選手による相違が大きい様に思われた。

ところが、真の戦闘速度と思われる7.5 m/sec 以上であった0.5秒間の数を比較すると様相は大きく変化した（図10）。ディフェンダー（DF）、ミッドフィールダー（MF）の選手たちに比較して、フォワード（FW）の選手の時間数は倍以上であった。同一ポジションの選手間の相違をはるかに上回っており、FWのプレー挙動の特徴が鮮明に把握されていた。FWの選手の疲労度が大きく、前半戦・後半戦での交替や途中交替が多いのも当然であると考えられた。むしろ、最初から

選手交替を意識して、交替選手のウォームアップや戦術思想の共有等に意を用いるべきと考えられた。

試合中の選手の運動挙動のポジション間の比較等、真に役に立つ情報を得るには、本研究で示したように、1試合で複数の同じポジションの選手での測定が必要であると考えられた。本研究で使用した M-BIT で測定した加速度測定に基づく速度の推定は、まだまだ、改良の余地はあるものの、試合戦略や練習、更には、選手の自主トレーニング方法に影響を与える事ができる情報を簡便に得られる唯一の方法であると考えられた。

4. 終わりに

試合中の選手たちの移動速度は、2 m/sec 程度の「歩行速度」、3～3.5 m/sec 程度の「巡航速度」、6 m/sec 以上の「戦闘速度」が主であり、速度分布は、ほぼこの3つの速度から構成されていた。

6.25 m/秒以下の速度域では、選手間の相違に比してポジション間の相違は明確で無かったが、FW の選手たちが7.5 m/秒以上の速度域で走る時間はDF、MF の選手達の倍程度の長さであり、ポジション間の相違が選手間の相違に比して遥かに大きかった。

参考文献

- 1) Salvo V Di, Baron R, Tschan H et al.: Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer Int. J. Sports Med. 28: 222-227, 2007.
- 2) Carling C, Williams A M and Reilly T; Handbook of Soccer Match Analysis, A systematic approach to improving performance, Routledge Abingdon England, 2005.
- 3) 日本サッカー協会技術委員会フィジカルフィットネスプロジェクト：JFA フィジカル測定ガイドライン，財団法人日本サッカー協会，2006.
- 4) 宮城 修，山下則之，大橋二郎：Jリーグ選手の体力と試合中の動きについて。バイオメカニクス研究 3: 125-131, 1999.
- 5) 宮森隆之，吉村雅文，綾部誠也他：大学サッカー選手のポジション別体力特性に関する研究—試合中の移動距離・移動スピードからみた生理学的特徴との関連性について—。理学療法科学 23: 189-195, 2008.
- 6) 白水重憲，片山宗哲，正木健雄：幼稚園児の自律神経活動の24時間モニタリング。全面発達の展開 1: 32-41, 2011.
- 7) 白水重憲，白水陽久：ウォーキングとジョギングのお供に。全面発達の展開 1: 117-124, 2011.
- 8) 白水重憲，片山宗哲，正木健雄：高齢者サッカーにおける競技中の移動速度・移動距離及び心拍数評価。全面発達の展開 2: 91-99, 2013.

