

## GPS機器を利用した大学男子サッカー選手における 各ポジションのTime-motion分析

向本敬洋<sup>1)</sup> 伊藤雅充<sup>1)</sup> 河野徳良<sup>1)</sup> 野村一路<sup>1)</sup> 西條修光<sup>1)</sup>

### A time-motion analysis of each position in the collegiate male soccer players by the global positioning system

Takahiro Mukaimoto<sup>1)</sup>, Masamitsu Ito<sup>1)</sup>, Tokuyoshi Kono<sup>1)</sup>, Ichiro Nomura<sup>1)</sup> and Osamitsu Saijo<sup>1)</sup>

#### Abstract

The purpose of this study was to analyze movement of collegiate male soccer players in each three positions (defenders: DF, midfielders: MF, forwards: FW) in a match-play. The movement characteristics of all players (DF:  $n = 8$ , MF:  $n = 6$ , FW:  $n = 6$ ) were examined their movement during match-play by time-motion analysis on portable global positioning system. The time to match-play was set for 90 min (45 min each of first and second halves). The total distance traveled during whole match-play in the three positions were  $10687.4 \pm 1091.9$  m in DF,  $11392.5 \pm 638.6$  m in MF,  $11683.5 \pm 1016.5$  m in FW, respectively, and the distance in MF and FW were significantly longer than that in DF ( $p < 0.05$ ). The average heart rate during whole match-play showed significantly higher values in MF and FW than in DF ( $p < 0.05$ ). And, the frequency of impact during whole match-play in MF was greater than that in FW and DF ( $p < 0.05$ ). On the other hand, the sprint duration with most number of times in the all positions were 2 s and 3 s, whereas no significant difference was observed among the three positions. These results suggest that player's movements in a match play vary in each three positions. Moreover, the male collegiate soccer players, MF and FW may be required to more aerobic capacity compared with DF. Thus, the movement of each position is important when designing physical training programs for improvement performance.

Key words: time-motion analysis, GPS, collegiate male soccer, distance traveled, performance analysis  
Time-motion分析, GPS, 大学男子サッカー, 走行距離, パフォーマンス分析

#### 1. 緒言

球技系競技における競技パフォーマンスの代表的な要素には、精神的要素をはじめ、技術的および戦術的、体力的要素があり、競技パフォーマンスを向上させるためには、これらの要素を向上させることが必要である(安部・藤枝, 2004; 西嶋・山田, 2002)と捉えられている。その中でもほとんどの球技系競技に通じる要素は身体的および体力的要素であると考えられる。球技系競技では試合中に一定速度で走行する場面よりも短時間かつ短距離のスプリントや素早い切り返し、ジャンプなどの動作が断続的に繰り返されるため、球技系競技の競技パフォーマンスにおける体力的要素の中で重要な能力は、試合時間全体を通じて

断続的に動き回るための全身持久力と間欠的な持久力であると考えられる(安部・藤枝, 2004; Bangsbo and Michalsik, 2002; 宮森ほか, 2008; 福塚ほか, 2007; 坂井ほか, 2006)。これらの能力を向上させるためには、実際の試合中と同等あるいはそれ以上の運動量および運動強度に匹敵するトレーニングプログラムが不可欠である(Bangsbo and Michalsik, 2002; 坂井ほか, 2006)。すなわち、日頃のトレーニングプログラムを立案する際に、選手個人の実際の試合中の運動量および運動強度を把握することが可能であれば、個人に応じたトレーニングプログラムの作成が可能となり得る。

従来、実際の試合中のデータを取得する際にTime-motion分析が活用されている。Time-motion分析は、競技場面における動作パターンを数量化する方法で、

1) 日本体育大学体育学部  
Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University

試合中または練習中に行われる様々な運動パターンの速度および持続時間, 移動距離, 心拍数を算出することが可能である (Bangsbo and Michalsik, 2002; 福塚ほか, 2007; Deutsch et al, 1998; Deutsch et al., 2007.; Edgecomb and Norton, 2006; King et al., 2009; McLellan et al., 2010; Di Salvo et al., 2007; Mohr et al., 2003; Sirotic et al., 2009; Strøyer, et al., 2004; Casamichana and Castellano, 2010; Coutts and Duffield, 2010). このTime-motion分析を行うことによって, 試合中および練習中に発揮される競技特異的な動作パターンと運動時のエネルギー供給系を観察することができるため, 競技特性に応じたトレーニングプログラムの立案のために多くのフィールド競技で応用されている (Deutsch et al, 1998; Deutsch et al., 2007.; Edgecomb and Norton, 2006; King et al., 2009; McLellan et al., 2010; Di Salvo et al., 2007; Mohr et al., 2003; Sirotic et al., 2009; Strøyer, et al., 2004; Casamichana and Castellano, 2010; Coutts and Duffield, 2010).

Time-motion分析には, 主に映像分析システムとグローバル・ポジショニング・システム (global positioning system: 以下「GPS」と略す) が用いられている. 映像分析システムによる解析 (宮森ほか, 2008; 福塚ほか, 2007; Deutsch et al., 2007.; Edgecomb and Norton, 2006.; King et al., 2009; Di Salvo et al., 2007; Mohr et al., 2003; Siroti et al., 2009; Strøyer, et al., 2004) は, フィールドの広さに合わせて1~7台のカメラを使用して行うことが一般的な手法で, そのカメラのほとんどはサイドラインから高さ3~30mの位置に設置する. 一方, 比較的狭いコート内で行う競技のTime-motion分析では, 用いるカメラの台数は同じであるが, サイドラインから1.5~5m程度離れて, 2~10mの高さに設置し, 選手の動作を撮影する. 通常, 測定では選手1人の分析にカメラ1台が必要となり, 分析は試合時間の半分または全体に亘ってその動作を追って移動距離を積算し, その他の必要な情報を求める手法を用いることが主流である (宮森ほか, 2008; 福塚ほか, 2007; Deutsch et al., 1998.; King et al., 2009).

この方法によって, 測定者が選手の動作を常に間近に捉えることを可能にするため, 測定の精度を上げることができる. しかしながら, この方法では対象選手一人一人の分析に費やす時間と労力が莫大にかかり, また, コーチングスタッフおよび選手たちにフィードバックするまでかなりの時間を要するなど, 実際の指導現場で日常的に実践するには問題点が多い.

一方, GPSは対象物 (選手など) の位置の変化 (変

位) をリアルタイムで正確に追跡できる. それを可能にしているのは, 衛星信号とGPS受信機の間の変位計算である. この計算はドップラー効果による振動数の計算を用いて, 衛星と受信機内の発振器の信号との位相シフトの差を測ることで行われる. 近年ではこのシステムにより小型のGPSと心拍計機能を搭載した機器が開発され, 現在では自転車競技やトライアスロン競技などの記録系競技はもとより, オーストラリアンフットボール (Edgecomb and Norton et al., 2006), ラグビー (McLellan et al., 2010), サッカー (Casamichana and Castellano, 2010; Coutts and Duffield, 2010; Randers et al., 2010), フィールドホッケー (Lythe and Kilding, 2011; MacLeod et al., 2009) などの球技系競技でも活用されている. この機器により試合中およびトレーニング中の運動量および運動強度, 走行速度などのデータを簡便かつリアルタイムで取得することが可能である.

そこで本研究では, サッカー選手を対象に, リアルタイムで測定可能なGPS機器を用いてTime-motion分析を行い, 各ポジションにおける試合中の移動距離および移動速度, スプリント数, 心拍数を比較し, サッカー競技の動作特性について検討することを目的とした.

## II. 方 法

### 1. 被験対象

被験対象は関東大学サッカー1部リーグに所属する大学チームの男子トップチーム選手20名とした. 被験対象の身体的特徴はTable 1に示したとおりである. 被験対象の健康状態については, 入念に聴き取り調査を行い, 常用薬を服用していないこと, または競技の実施に支障をきたす疾病や障害がないことを確認した. 本研究は日本体育大学倫理審査委員会の承認 (承認番号第010-H35号) を得, ヘルシンキ宣言の精神に則って実施した. 研究の開始に先立ち, 研究の主旨, 内容および注意点について文書および口頭にて説明し, 研究へ参加する同意を書面により得た.

### 2. 測定条件および測定方法

被験対象のポジションの内訳は, DF8名, MF6名, FW6名であり, 各チームにDF4名, MF3名, FW3名に分けて試合を実施させた. 試合時間は前後半45分ずつの計90分間とし, そのハーフタイムは10分間とした. 測定当日の天候は晴れ, 気温は12°Cであり, フィールド環境は人工芝であった. なお, 試合中の飲水は自由とした.

Table 1 Physical characteristics and experience of competitive games of subjects.

	DF (n = 8)	MF (n = 6)	FW (n = 6)	ALL (n = 20)
Age (years)	20.5 ± 1.2	20.8 ± 1.0	20.2 ± 1.2	20.5 ± 1.1
Height (cm)	177.3 ± 5.4	171.9 ± 3.0	176.5 ± 6.6	174.9 ± 5.4
Body weight (kg)	70.7 ± 4.3	67.1 ± 2.7	72.3 ± 7.4	69.8 ± 5.2
Experience of competitive games (years)	12.5 ± 1.2	12.8 ± 1.0	11.0 ± 3.2	12.2 ± 2.0

DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means ± SD.

測定における機器の装着部位および機器の画像、リアルタイムのデータ取得状況をFigure 1に示した。本研究は、リアルタイムで測定可能な心拍センサー搭載のGPS機器 (SPI-Pro X, GPSports, Australia) を用いた。なお、本機器には前後方向および上下方向、左右傾斜方向の重力 (gravitational force: 以下「G force」と略す) を測定できる3軸の加速度計も搭載されている。本研究では試合中の急速な動作および急停止などの動作変化時とプレー中の激しい接触時のG forceを“Impact”と定義した。

本機器の主な仕様は、GPS機器本体のサンプリングレート: 15 Hz, 加速度計サンプリングレート: 100 Hz, GPS測位精度: 2 mRMS程度, 連続記録時間: 6時間である。なお、本機器の重量は76g, サイズは48mm × 87mm × 20mmである。機器の装着の際には、上背部 (第1~3胸椎部) にミニバッグポケットが付いている専用のチェストベストを着衣させ、そのポケットにGPS機器本体を挿入した。その後、心拍数測定専用のトランスミッターベルト (PORAL, Finland) を胸部に装着させた (Figure 1)。本研究で用いたGPS機

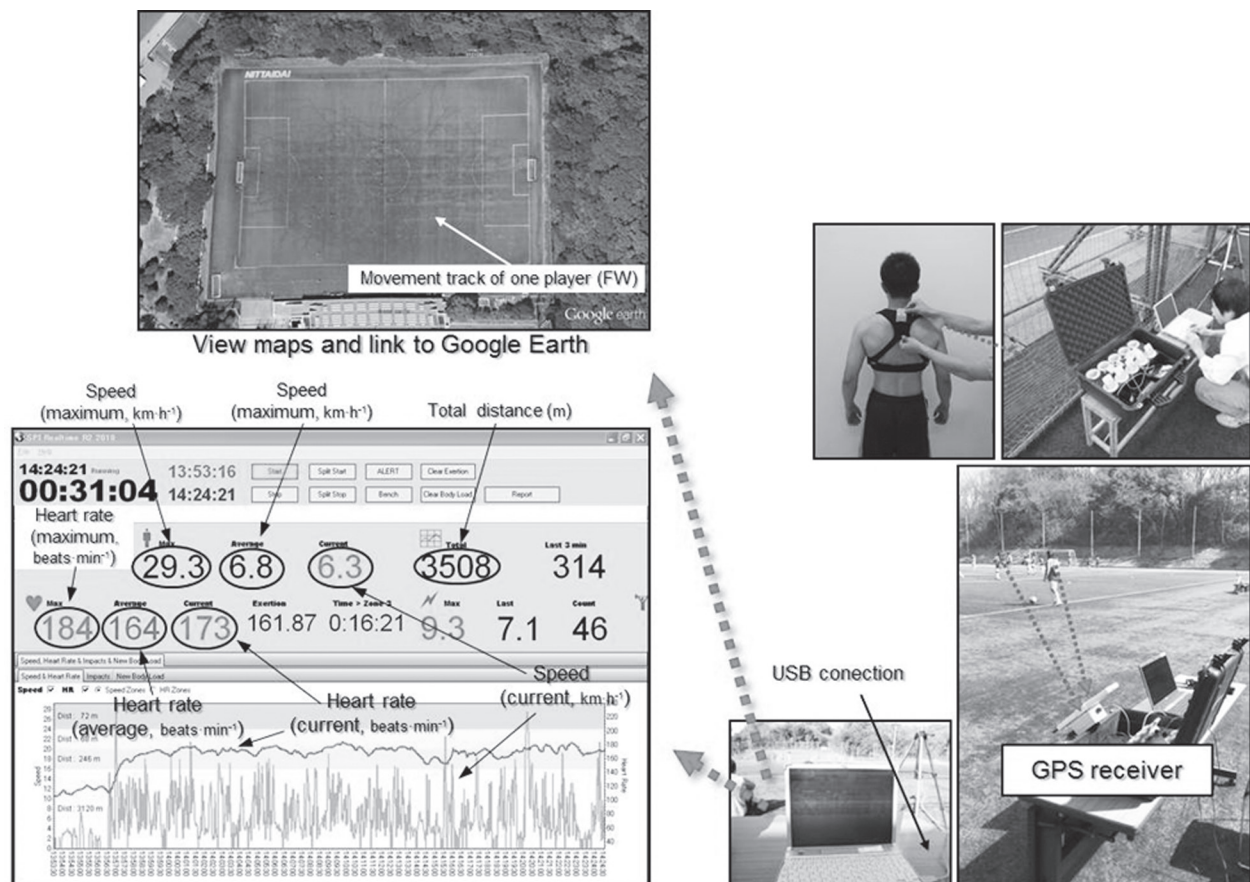


Figure 1 Positioning of GPS device and data display



器の測定値は、従来からよく使用されていたGPS機器および映像分析システムの値と同等な妥当性および信頼性が確認されたことが先行研究で報告されている (McLellan et al., 2010; Randers et al., 2010; Petersen et al., 2009). 測定時は、衛星信号を受信する機器をUSBにてPCに接続し、データを取得した。得られたデータは専用のソフトウェア (Team AMS, GPSports, Australia) でリアルタイムに表示され (Figure 1), 試合終了後に履歴のエクスポート機能を用いてデータを出力し、Microsoft Excelにテキストデータとして保存し、そのデータを分析した。分析項目は、試合中の移動距離、移動速度、心拍数、Impact、スプリント数とした。本研究では先行研究 (McLellan et al., 2010) を参考に、本研究で使用したソフトウェアで以上のパラメータを6つの領域 (Zone) に区分し、試合中の各Zoneの移動速度における移動距離、各Zoneの心拍数におけるプレー時間、各ZoneのImpactにおける出現頻度を算出した。なお、スプリントについては、本機

器に内蔵されている加速度計から  $14.0\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  以上の速度が出現したものと定義し、1秒単位でその回数を算出した。

### 3. 統計処理

全ての測定値は、平均値  $\pm$  標準偏差で示した。試合中のポジション間における平均値の差は一元配置分散分析を用いて比較し、有意性がみられた場合はFisherの最小有意差法により多重比較検定を行った。なお、前後半における平均値の差の検定には、対応ありのt-testを用いて比較した。なお、いずれの検定も、有意水準は5%未満とした。

## III. 結果

試合中における各ポジション別の平均移動速度および最高移動速度、総移動距離、平均心拍数および最高心拍数、Impact数をTable 2に示した。平均移動速度

**Table 2** Running speed, total distance, heart rate, and total number of impacts for the first half, second half, and whole match in the three positions.

	Positional group			All position (n = 20)
	DF (n = 8)	MF (n = 6)	FW (n = 6)	
<b>Mean speed (km·h<sup>-1</sup>)</b>				
First half (45 min)	7.2 $\pm$ 0.8	8.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	7.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 0.8
Second half (45 min)	6.9 $\pm$ 1.2	7.1 $\pm$ 1.4	7.2 $\pm$ 0.5	7.0 $\pm$ 1.1
whole match (90 min)	7.1 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 0.3	7.4 $\pm$ 0.8
<b>Maximum speed (km·h<sup>-1</sup>)</b>				
First half (45 min)	29.2 $\pm$ 2.0	28.9 $\pm$ 0.9	27.8 $\pm$ 2.0	28.7 $\pm$ 1.8
Second half (45 min)	29.4 $\pm$ 1.9	28.4 $\pm$ 1.4	27.9 $\pm$ 2.0	28.7 $\pm$ 1.8
whole match (90 min)	29.6 $\pm$ 1.9	29.0 $\pm$ 0.7	27.9 $\pm$ 0.7	29.0 $\pm$ 1.8
<b>Total distance (m)</b>				
First half (45 min)	5547.9 $\pm$ 529.6	6284.7 $\pm$ 292.9 <sup>a</sup>	5990.5 $\pm$ 331.9 <sup>a</sup>	5870.1 $\pm$ 516.5
Second half (45 min)	5139.5 $\pm$ 667.9 <sup>*</sup>	5398.8 $\pm$ 956.4 <sup>*</sup>	5402.0 $\pm$ 572.8 <sup>*</sup>	5284.5 $\pm$ 711.1 <sup>*</sup>
whole match (90 min)	10687.4 $\pm$ 1091.9	11392.5 $\pm$ 638.6 <sup>a</sup>	11683.5 $\pm$ 1016.5 <sup>a</sup>	11154.6 $\pm$ 1022.8
<b>Mean heart rate (beats·min<sup>-1</sup>)</b>				
First half (45 min)	160.3 $\pm$ 10.8	163.0 $\pm$ 4.8	171.8 $\pm$ 5.7 <sup>b</sup>	164.4 $\pm$ 9.4
Second half (45 min)	156.7 $\pm$ 14.8	155.0 $\pm$ 10.6	166.5 $\pm$ 6.3 <sup>b</sup>	159.1 $\pm$ 12.4
whole match (90 min)	158.5 $\pm$ 12.2	159.0 $\pm$ 5.7 <sup>a</sup>	169.1 $\pm$ 3.5 <sup>ab</sup>	161.8 $\pm$ 9.8
<b>Maximum heart rate (beats·min<sup>-1</sup>)</b>				
First half (45 min)	185.1 $\pm$ 6.7	182.0 $\pm$ 2.8	189.0 $\pm$ 5.9 <sup>b</sup>	185.4 $\pm$ 6.1
Second half (45 min)	183.3 $\pm$ 8.5	180.1 $\pm$ 4.3	187.0 $\pm$ 7.0 <sup>b</sup>	183.6 $\pm$ 7.4
whole match (90 min)	185.1 $\pm$ 6.7	182.0 $\pm$ 2.8	189.0 $\pm$ 5.9 <sup>b</sup>	185.4 $\pm$ 6.1
<b>Total number of impact (times)</b>				
First half (45 min)	704.5 $\pm$ 396.3	989.0 $\pm$ 517.2 <sup>c</sup>	468.0 $\pm$ 298.3	708.2 $\pm$ 437.2
Second half (45 min)	699.8 $\pm$ 414.2	803.1 $\pm$ 421.4 <sup>*c</sup>	435.3 $\pm$ 316.4	648.2 $\pm$ 402.7
whole match (90 min)	1404.3 $\pm$ 808.0	1792.1 $\pm$ 907.3 <sup>c</sup>	903.3 $\pm$ 612.0	1356.4 $\pm$ 826.1

DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means  $\pm$  SD. <sup>\*</sup>significantly lower than First half, <sup>a</sup>significantly higher values ( $p < 0.05$ ) than DF, <sup>b</sup>significantly higher values ( $p < 0.05$ ) than MF, <sup>c</sup>significantly higher values ( $p < 0.05$ ) than FW.

および平均心拍数は、前後半では各45分間の平均値、試合全体では90分間の平均値を示した。平均移動速度は、前後半間では有意な差はみられなかったが、前半においてはMFおよびFWがDFよりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。一方、最高移動速度については、前後半間およびポジション間ともに有意な差はみられなかった。各ポジションにおける総移動距離はそれぞれ、 $10687.4 \pm 1091.9$ m (DF),  $11392.5 \pm 638.6$ m (MF),  $11683.5 \pm 1016.5$ m (FW) であり、前半と試合全体においてDFに比べ、MFおよびFWの方が有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。一方、前後半間では全てのポジションとともに前半に比べ、後半の方が有意に短い値を示した ( $p < 0.05$ )。平均心拍数および最高心拍数については、前後半を通してFWがMFよりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。総Impact数は前後半を通してMFがDFおよびFWよりも高い値を示した ( $p < 0.05$ )。一方、DFとFWの間には有意な差はみられなかった。

試合90分間の各速度Zoneにおける総移動距離をFigure 2に示した。全ての速度Zoneにおいてポジション間で有意な差はみられなかったが、全てのポジションとともにZone 2 ( $6-12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) の速度での移動距離が最も長かった。

試合90分間の各心拍数Zoneにおけるプレー時間をFigure 3に示した。全てのポジションとともにZone 4

( $150-170 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) およびZone 5 ( $170-190 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) の心拍数でのプレー時間が最も長かった。ポジション間では、Zone 4 ( $150-170 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) におけるプレー時間がFWよりもDFおよびMFの方が有意に長かった (DF:  $p < 0.05$ , MF:  $p < 0.01$ )。一方、Zone 5 ( $170-190 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) でのプレー時間においては、DFおよびMFに比べFWの方が有意に長かった ( $p < 0.01$ )。

試合90分間の各Impact Zoneの出現頻度をFigure 4に示した。Zone 1 (5.0-5.5 G) およびZone 2 (5.5-6.0 G), Zone 3 (6.0-7.0 G), Zone 4 (7.0-8.0 G) の出現頻度は、FWに比べMFの方が有意に高い値を示した (Zone 1~3:  $p < 0.01$ , Zone 4:  $p < 0.05$ )。

試合90分間におけるスプリント時間毎の回数をFigure 5に示した。全てのスプリント時間においてポジション間で有意な差はみられなかった。一方、全てのポジションでスプリント回数が比較的高値を示したスプリント時間は2~3秒であった。90分間で2秒間のスプリント回数はそれぞれ、 $32.0 \pm 9.5$ 回 (DF),  $36.6 \pm 6.3$ 回 (MF),  $37.8 \pm 6.5$ 回 (FW) であり、3秒間のスプリント回数はそれぞれ、 $34.3 \pm 9.3$ 回 (DF),  $32.6 \pm 9.0$ 回 (MF),  $33.8 \pm 7.7$ 回 (FW) であり、4秒間のスプリント回数はそれぞれ、 $20.6 \pm 7.4$  (DF),  $20.4 \pm 5.3$  (MF),  $22.3 \pm 6.5$  (FW) であった。

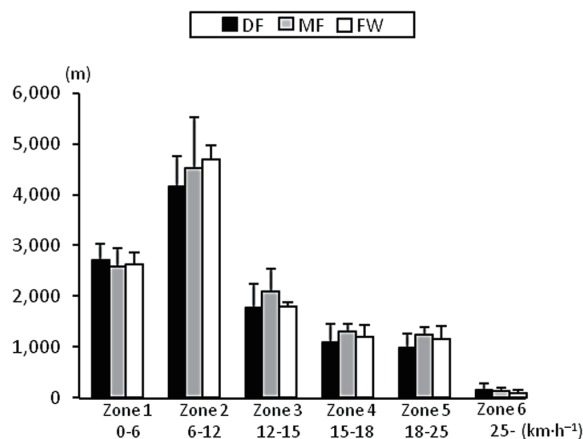


Figure 2 Distance(m) in the six speed zones.

DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means  $\pm$  SD.

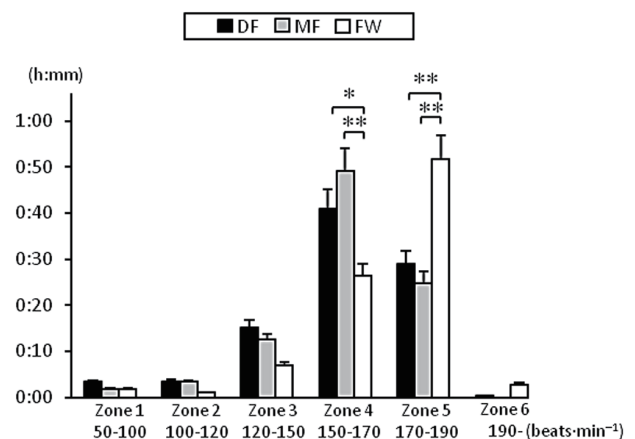
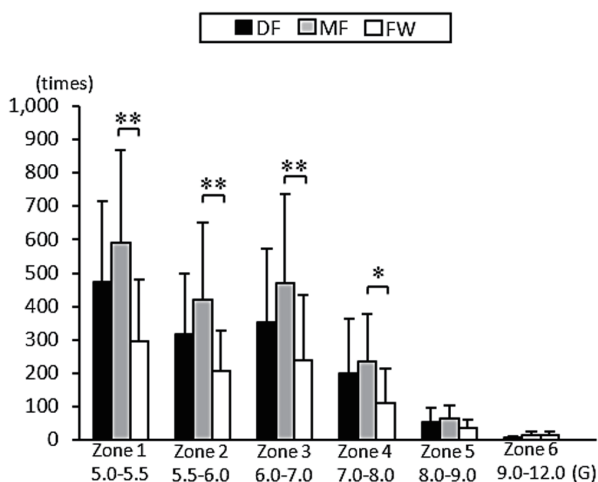


Figure 3 Play time (h:mm) in the six heart rate zones.

DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means  $\pm$  SD.

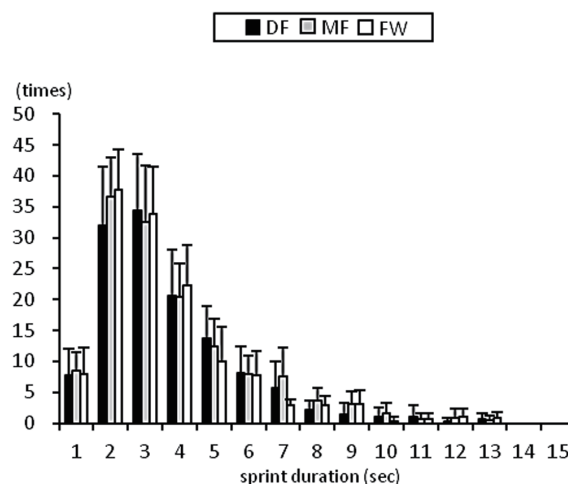
\*\* $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ .



**Figure 4** The frequency of impact in the six impact zone. DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means  $\pm$  SD. \*\* $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ .

#### IV. 考 察

本研究では大学男子サッカー選手を対象に、GPS機器を用いて各ポジションのTime-motion分析を行った。今までの本邦における先行研究では、サッカー選手の試合中における移動距離と移動速度などを評価する際に、主に映像分析が用いられており、国内の男子サッカー選手を対象として、GPSを利用したTime-motion分析による試合中の移動距離および移動速度の算出だけでなく、スプリント数および心拍数を算出した研究は未だ行われていないのが現状である。サッカーは90分間の試合中でフィールド内を一定に近い速度で移動しているのではなく、立位から歩行、軽いジョギング、中等度のランニング、全力疾走はもとより、様々な素早い敏捷な動作とともに、キックやヘディング、パス、ドリブル、タックル、ジャンプが無制限に行われる。大橋と戸荻 (1981) は、筆記法を用いて1978~1979年度の日本代表MF選手の公式戦における1試合90分間の移動距離を測定した結果、11386  $\pm$  1036mであったと報告している。さらに、宮森ほか (2008) によれば、大学トップリーグに所属するサッカー選手25名の移動距離が、三角測量法を応用した映像分析により、1試合の移動距離が9742.9~13440.1mであったという。一方、GPSを用いてTime-motion分析を行なった国外の先行研究 (Randers et al., 2010) では、スペイン2部リーグに所属する若手プロ選手18名の1試合90分間における移動距離は10720  $\pm$  700mであったことを報告している。本研究での90分間の



**Figure 5** The number of sprint in each sprint duration. DF: defenders, MF: midfielders, FW: forwards. Values are means  $\pm$  SD.

総移動距離は、DFでは10687.4  $\pm$  1091.9m, MFでは11392.5  $\pm$  638.6m, FWでは11683.5  $\pm$  1016.5mであり (Table 2), 先行研究とほぼ同程度の結果を示した。本研究と先行研究の測定方法および被験対象, 対戦相手, 技術, 試合戦術に違いがあるため, 一概には説明できないが, トップレベルから大学レベルに至るサッカー選手の試合中の移動距離は約10000~13000mに及ぶことが明らかとなった。また, ポジション間の移動距離の比較については, 前半と試合全体の値においてMFおよびFWがDFよりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは, 試合中に攻撃と守備にわたってフィールドを広く移動するMFというポジションの特性と, FWも相手DFまたはMFに対して前方からプレスを仕掛ける展開が多い近年のプレースタイルが反映された結果であると推察され, MFのみならずFWにおいても高い有酸素性能力が求められる可能性があると考えられる。

試合中の移動速度については, Table 2とFigure 2で示したように, 全てのポジションで6~12km  $\cdot$  h<sup>-1</sup>以下の比較的ゆっくりとした速度で移動しながら, 時折15km  $\cdot$  h<sup>-1</sup>以上の速い速度でフィールドを移動しており, この点については, サッカー選手の動きの特徴である移動速度に緩急をつけた動きと急速な方向転換, 急停止が試合の随所で行われる (Bangsbo and Michalsik, 2002; 宮森ほか, 2008; Mohr et al, 2003; Coutts and Duffield, 2010; 大橋と戸荻, 1981) ことが大きな要因であり, また, ポジション特有の様々な方向転換および急停止に対応できるアジリティー, またはクイックネ

ス能力が必要になってくることが想定される。さらに、スプリント時間毎の回数 (Figure 5) で全てのポジションで共通することは、2~3秒間のスプリント回数が比較的多く、90分間の試合中に各時間のスプリントが約20回以上反復されることである。以上の結果から、サッカーでは持久的能力とともに短時間のスプリントを無数に反復できる間欠的な持久的能力も必要であることが考えられる。

また、試合中の心拍数 (Table 2) をみると、各ポジションにおける90分間の平均心拍数は、DFが  $158.5 \pm 12.2 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 、MFが  $159.0 \pm 5.7 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 、FWでは  $169.1 \pm 3.5 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  であり、最高心拍数ともに前後半を通してFWが最も高い値を示した。一方、心拍数の各Zoneにおけるプレー時間においては、Zone 4 ( $150\text{-}170 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) ではFWに比べDFおよびMFの方が有意に長く、Zone 5 ( $170\text{-}190 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) ではFWの方が他のポジションに比べ有意に長かった (Figure 3)。このことがDFおよびMFに比べてFWの平均心拍数を高くしたことが考えられるが、この原因については、映像分析を用いてFWの動きの特徴を明らかにした上で試合中の心拍変動を詳細に分析する必要があるだろう。宮森ほか (2008) では、移動速度の変動について血中乳酸蓄積開始点をもとに、各ポジションの試合中の総移動距離に占める無酸素性エネルギー供給の動員比率を比較した結果、その比率がポジション毎で異なることと、攻撃的MFおよびFWが他のポジションと比べ高値を示したことを報告している。本研究では血中乳酸変動などをもとにエネルギー供給系の動員比率について検討していないが、本研究における心拍数の各Zoneのプレー時間の結果から、サッカー選手の試合中の平均心拍数は  $155 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  以上を示し、最高心拍数は  $180 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  を超えることが示唆された。

本研究での被験対象は大学レベルの選手であり、実際の国際トップレベル選手の結果と異なることが予想される。個々人の体力特性および競技の特性に応じた効率的なトレーニングプログラムを考案するためには、選手個々人のデータを蓄積・分析することはもちろん重要であるが、トップレベル選手と比べて、現在の自分自身のプレーの特徴や不足する部分、あるいは欠点などを理解することも大切である。したがって、今後はトップレベル選手の試合中におけるデータを蓄積することも必要になってくる。加えて、本研究で用いたGPSでのTime-motion分析では、移動距離および移動速度、スプリント数、心拍数などの情報をリアル

タイムで収集し、解釈できるが、実際にどの場面でのような方向転換または急停止、ジャンプ動作、キック動作が行われているかなどの詳細な動作情報を取得するには、従来の映像分析システムと同様な手法で分析しなければならない。したがって、より詳細かつ有用なデータを同時に収集できる新たな競技パフォーマンス分析システムの開発が今後要する課題であろう。

ところで、GPSは、測定者 (研究者) が試合中およびトレーニング中または終了時までデータを収集、分析、解釈することを可能にし、時間のかかる動作の分類化を不要にし、映像分析と比べて明らかに時間的に効率良くコーチングスタッフおよび選手に対してフィードバックすることが可能である。しかしながら、GPSを用いたTime-motion分析には複数のデメリットが存在する。例えば、GPSは複数の衛星信号を受信して位置を計算するため、現時点では、屋内や非常に都市化の進んだエリア、高層ビルが立ち並ぶエリア、吹雪などの悪天候条件のような衛星からの信号を遮断する場所では使用できない (Dobson and Keogh, 2007)。そして、測定の際は携帯電話ほどのサイズの小型受信機を、選手の上背部に装着しなければならないため、激しいコンタクトプレーが多い競技での使用は好ましくない。また、機器精度の点については、サンプリングレートの問題である。従来のGPS機器はサンプリングレートがわずか1Hzにすぎなかったため精度の点でやや難があった。サンプリングレートが低いと、方向転換の多い球技系競技 (オーストラリアンフットボールやサッカー、フィールドホッケーなど) や、選手が曲線上を移動する記録系競技 (トラック競技や自転車競技) において総移動距離を実際よりも少なく算出する傾向がある (Randers et al., 2010; Witte and Wilson, 2004)。このような測定値の差異はGPSが直線的あるいは方向転換をあまり含まない動作に対して有効に機能するからである (Witte and Wilson, 2004) と考えられている。したがって、球技系競技のTime-motion分析をより詳細に行うためには、GPSと映像分析システムの両手法を用いて分析する方がより信頼性の高いデータが得られると考えられる。一方、本研究で利用したGPS機器本体のサンプリングレートは15 Hzであり、加えて、100 Hzの加速度計が搭載されており、従来の機器と比較した先行研究 (Dobson and Keogh, 2007; MacLellan et al., 2010; Randers et al., 2010) においても、映像分析システムで分析した値と高い相関関係が認められている。本研究での測定値においても信頼性の高いデータであることが推察され



る。しかしながら、本研究では、GPSで得られた1試合の測定値のみで、大学男子サッカー選手の動作特性について検討したが、各ポジションの特性やGPSによるTime-motion分析の有用性を詳細に説明するためには、今後、映像分析システムや他の機器のデータとの比較も含め、データ数を増やしフィールドテストとの関連性を検討する必要があると思われる。

## V. まとめ

本研究では、大学男子サッカー選手20名 (DF8名, MF6名, FW6名) を対象に、GPS機器を用いて試合中における各ポジションのTime-motion分析を試みた。その結果、1試合 (90分間) の各ポジションにおける総移動距離は、それぞれ10687.4 ± 1091.9m (DF), 11392.5 ± 638.6m (MF), 11683.5 ± 1016.5m (FW) であり、DFに比べ、MFおよびFWの方が有意に高い値を示した。平均心拍数は、前後半を通してDFに比べ、MFおよびFWの方が有意に高い値を示した。総Impact数は前後半を通してMFがDFおよびFWよりも有意に高い値を示した。スプリントの回数はポジション間で有意な差はみられなかったが、全てのポジションで最も回数が多いスプリント時間は2秒と3秒であった。男子サッカー大学レベルでは、DFに比べ、MFおよびFWの方が試合中の移動距離が長く、生理的負担度も高い可能性が示唆された。以上の結果と併せて、さらにトレーニング中および試合中における個々人のデータを収集し、実際の指導現場に反映させることにより、競技特性および個人特性に応じた効率的なトレーニングプログラムの考案だけでなく、個々の選手のスピードや動作パターンに基づく適切なポジション配置や各々のチーム戦術におけるポジション別特徴を活かしたトレーニングプログラムの考案の一助となりうる事が期待される。

## 参考文献

- 安部久貴・藤枝賢晴 (2004) 大学サッカー選手に観る競技力と簡易体カテスト指標の関連性. 東京学芸大学紀要, 56 : 131-141.
- Bangsbo, J. and Michalsik, L. (2002) Assessment of the physiological capacity of elite soccer players. *Science and Football IV*, Routledge: New York, pp.53-62.
- Casamichana, D. and Castellano, J. (2010) Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effect of pitch size. *Journal of Sports Sciences*, 28 (14) : 1-9.
- Coutts, A. J. and Duffield, R. (2010) Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1) : 133-135.
- Deutsch, M. U., Kearney, G. A., and Rehrer, N. J. (2007) Time-motion analysis of professional rugby union players during match-play. *Journal of Sports Sciences*, 25 (4) : 461-472.
- Deutsch, M. U., Maw, G. J., Jenkins, D., Peaburn, P. (1998) Heart rate, blood lactate and kinetic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 16(6) : 561-570.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., and Pigozzi, F. (2007) Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3) : 222-227.
- Dobson, B. P. and Keogh, W. L. (2007) Methodological issues for the application of time-motion analysis research. *Strength & Conditioning Journal*, 29(2) : 48-55.
- Edgecomb, S. J. and Norton, K. I. (2006) Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1-2) : 25-32.
- 福塚優樹・大場 渉・奥田知晴 (2007) バスケットボール選手の試合中における運動率に関する研究: Time-Motion分析を用いて. スポーツ方法学研究. 21 (1) : 51-54.
- King, T., Jenkins, D., and Gabbett, T. (2009) A time-motion analysis of professional rugby league match-play. *Journal of Sports Sciences*, 27(3) : 213-219.
- Lythe, J., and Kilding, A. E. (2011) Physical demands and physiological responses during elite field hockey. *International Journal of Sports Medicine*, 32(7) : 523-528.
- MacLeod, H., Morris, J., and Nevill, A. (2009) Sunderland C. The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Sciences*, 27(2) : 121-128.
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., and Gass, G. C. (2010) Creatine kinase and endocrine responses of elite player pre, during, and post rugby league match play. *J Strength Cond Res*, 24(11) : 2908-2919.
- 宮森隆行・吉村雅文・綾部誠也・宮原祐徹・青葉幸洋・鈴木茂雄 (2008) 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 (2) : 189-195.
- Mohr, M., Krustup, P., and Bangsbo, J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7) : 519-528.
- 西嶋尚彦・山田 庸 (1981) サッカー選手のタレント発掘, 体育の科学, 52 : 367-376.
- 大橋二郎・戸苅晴彦 (1981) サッカーの試合中における移動距離の変動. 東京大学教養学部体育学紀要, 15 : 27-34.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., and Dawson, B. (2009) Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal of Sports Physiology and*



- Performance*, 4(3) : 381-393.
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krstrup, and P. Mohr, M. (2010) Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *Journal of Sports Sciences*, 28 (2) : 171-182.
- 坂井和明・伊藤竜兵・大高敏弘・高松 薫 (2006) 球技スポーツ競技者における個別性の原則を考慮した体力トレーニングの効果. *体育学研究*, 51 : 21-32.
- Sirotic, A.C., Coutts, A.J., Knowles, H., and Catterick, C. (2009) A comparison of match demands between elite and semi-elite rugby league competition. *Journal of Sports Sciences*, 27(3) : 203-211.
- Strøyer, J., Hansen, L., and Klausen, K. (2004) Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(1) : 168-174.
- Witte, T.H. and Wilson, A. M. (2004) Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37(12) : 1891-189.

平成25年4月10日受付  
平成25年7月25日受理

