

サッカー選手の試合中における移動スピードの測定

大橋 二郎

東京大学教養学部体育研究室

MEASUREMENT OF MOVEMENT SPEEDS
IN SOCCER MATCHPLAYS

Jiro Ohashi

* Department of Sports Sciences, College of Arts
and Sciences, University of Tokyo

Abstract

To study physiological stress and tactics in soccer matchplay time-motion analysis is necessary. Although there is much running, jogging, and walking during a match, their speeds have not so far been measured correctly.

The purpose of this study was to measure the movement speeds indirectly during a matchplay. The analyzing system of the study was an application of methodology of triangular surveying and computmetry. The system consisted as follows: Two VTR cameras on tripods equipped with potentiometers were set up on two spots outside the soccer field. A subject was followed by the two VTR cameras during a match. Two signals obtained by potentiometers were converted to digital data and tape-recorded on a data recorder at every 0.5 second.

Four elite soccer players were measured as the subjects. Two of them were Japan national team players and their performances were recorded during two Japan Soccer League (JSL) regular matches. Others were JSL players and their performances were recorded mutually during a practice match before JSL season.

After the data were input into the computer memory, ratios of movement speeds and moved distances were calculated using a specially designed computer program, and the changes of movement speeds synchronized with the passage of time could be displayed and printed.

The results indicated that sum of low speed movements (0m/sec- 4m/sec) shared about 90% of whole period and that of high speed movements (8-9m/sec) shared about 1%.

Key Words: soccer player, movement speeds

緒言

サッカー選手は戦術的意図にもとづき試合中に多様な運動を行なう。その運動にはボールに直接かかわる技術的なものと、競技場内を移動する戦術的なものに分類できる。そのうち移動運動は、サッカーという種目の生理学的強度を探ろうとする研究対象として欠かせないものである。このサッカー選手の試合中における移動運動についてのこれまでの報告では、全移動距離に関するもの^{5) 7)}、移動様式ごとにその移動距離、または移動時間を分類したものをみる事ができる^{2) 8) 10)}。

これらの研究報告のうち移動様式を分析したものに共通した測定方法は、移動運動に関して独自のカテゴリーを設定し、これに基づき動きの類型化を観察記録から行なっている点である。これらの測定方法は、客観的な移動スピードという指標を用いることは不可能であり、サッカーという競技における選手の動きを、生理学的な側面から検討しようとするには不十分である。

著者たちはこれまでの研究報告にみられるサッカー選手の移動距離やスピードをより客観性の高い測定方法によって求めるため、三角測量法の原理を応用した測定法について検討を加えてきた^{4) 6)}。これは競技場のタッチライン外側に沿った2点から照準器により、対象とする選手を追従し、照準器に装着されたポテンショメータから角度変化を求め、連続的に移動軌跡を算出するものである。

この測定方法を実用化し実際の測定に活用しようとする上で、これまでにデータの精度、データ処理の自動高速化に関して検討の余地を残した⁴⁾。データの精度についてはすでにビデオシステムを用いた誤差の検討によって、サンプリングタイムを0.5secとし、ローデータの3点移動平均法による平滑化が適しているという結論を得ている⁶⁾。

本研究はこれまで検討してきた測定方法の高速自動化をパーソナルコンピュータを用いたシステムで実用化し、この方法を用いて一流サッカー選手の試合中の移動スピードを経時的に測定し、その実態をとらえることを目的としたものである。

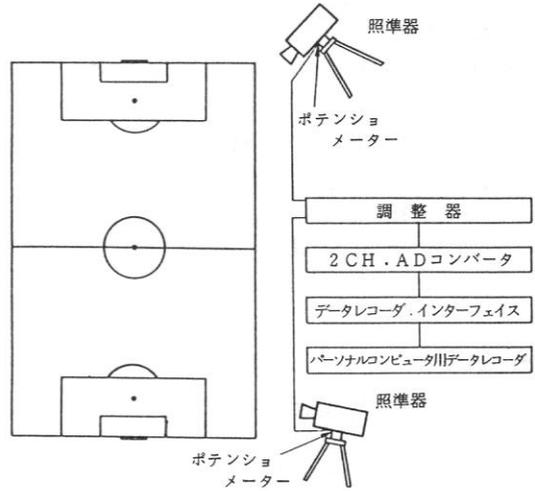


図1 測定装置とその配置

方法

1. 測定システム

測定システムは、2台の照準器、ポテンショメータからのアナログ信号の調整器、A-Dコンバータ、データレコーダインターフェイス、パーソナルコンピュータ用データレコーダからなり、連続的に得られた照準器からのアナログデータ信号は、0.5secのサンプリングタイムで角度に変換され、デジタル信号で自動的にデータレコーダの磁気テープに転送、保存するようにした。2台の照準器は、ビデオ撮影用三脚にポテンショメータを装着したものと、ビデオカメラなどの装置からなり、対象選手の行動を必要に応じて収録できるようにした。またそれらの設置場所は角度のデータによる計算上の誤差の影響を受けにくい場所として、タッチラインに平行な競技場外の線上と、ゴールラインの延長線との交点とした(図1)。

データ処理システムは、データレコーダ、データレコーダインターフェイス、パーソナルコンピュータ(NEC PC9801)からなり、データ入出力、演算、結果のディスプレイ、プリンタへの出力は、すべてコンピュータのキーボードによって操作するようプログラムを作成した。角度のデジタル信号は、データレコーダからデータレコーダインタ

ーフェイスを経て、コンピュータのメモリ上に転送され、さらにフロッピーディスクに保管した。

演算処理は第1に左右の照準器間の距離と対象選手によってなす2点の角度データ α_n および β_n を3点移動平均法による平滑化を行ない、 α'_n および β'_n を次式により求めた。

$$\alpha'_n = (\alpha_{n-1} + \alpha_n + \alpha_{n+1}) / 3$$

$$\beta'_n = (\beta_{n-1} + \beta_n + \beta_{n+1}) / 3$$

次に各サンプリングタイム毎の選手の位置を角度 α'_n および β'_n によって次式によりXY平面座標に変換し、 X_n 、 Y_n を求めた。Lは両照準器間の距離、すなわち三角形の底辺である。

$$X_n = L \times \tan \beta'_n / (\tan \alpha'_n + \tan \beta'_n)$$

$$Y_n = X_n \times \tan \alpha'_n$$

連続した座標間はサンプリングタイムである

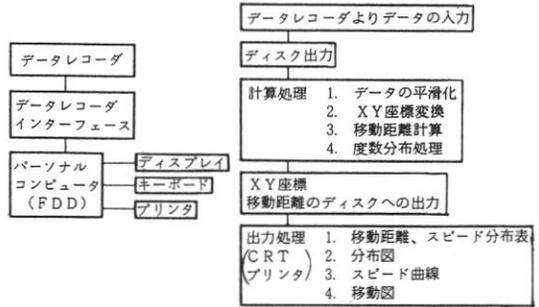


図2 データ処理システム

0.5秒に選手が移動した距離であるが、距離 D_n は次式により求めた。

$$D_n = \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}$$

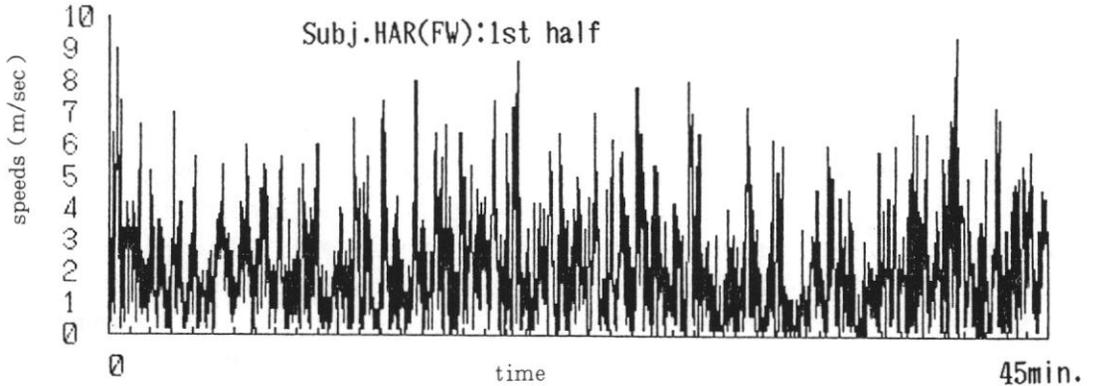


図3-a

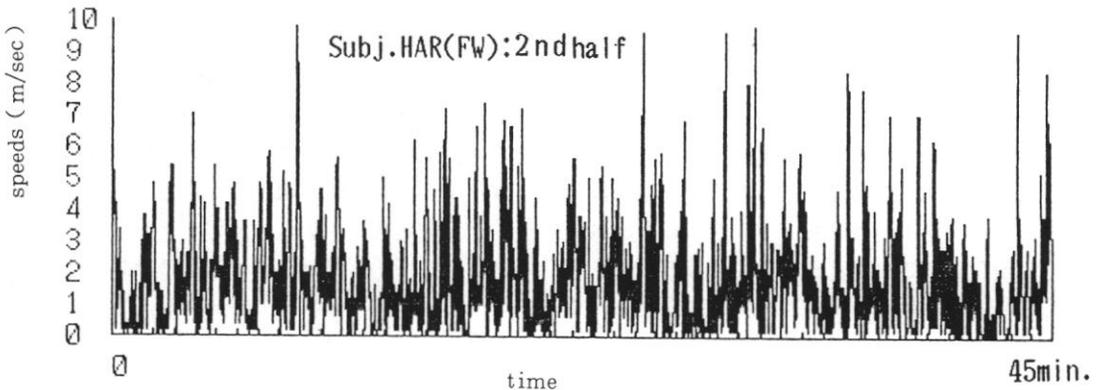


図3-b

サッカーの試合中における移動スピードの経時的変化

演算処理されたX, Y座標は, 演算結果をディスプレイ, またはプリンタに直ちに表示できるように再びフロッピーディスク内に設定された他のディレクトリに保管した(図2)。

2. 対象試合および被検者

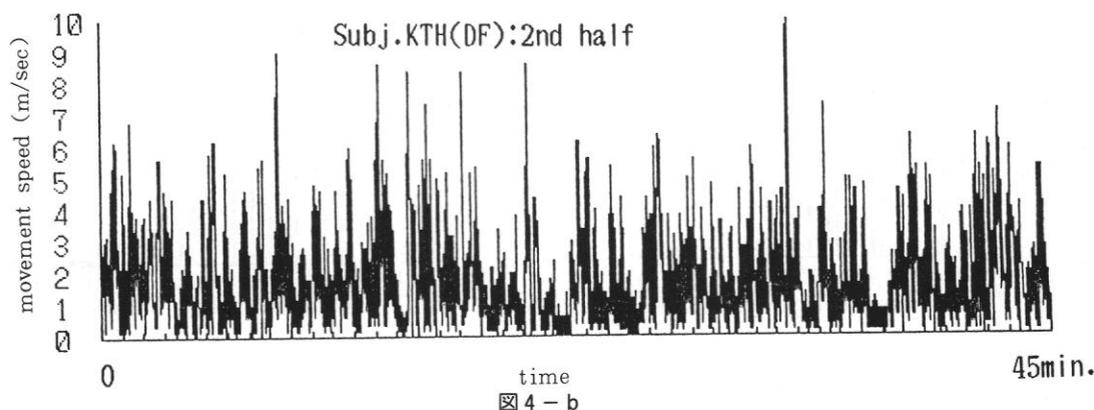
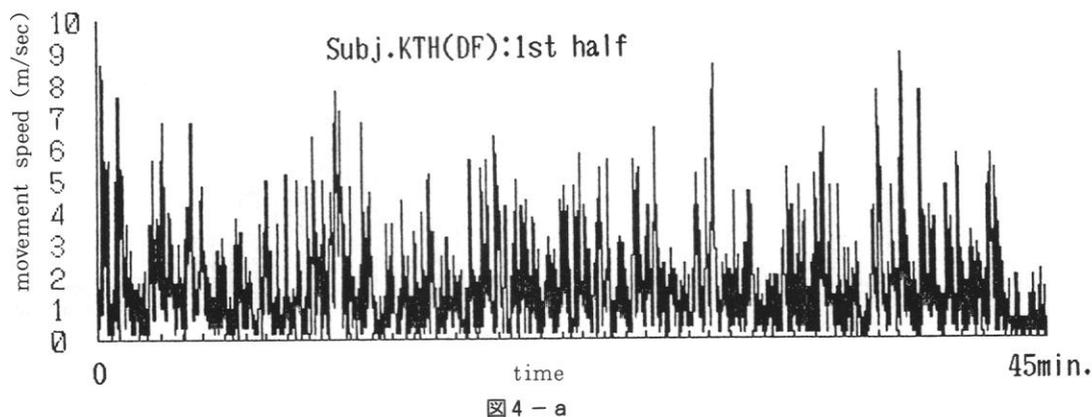
被検者は日本代表選手2名を含む日本サッカーリーグ1部所属4選手である。日本代表選手を対象とした試合は, 日本サッカーリーグ公式戦2試合で, 1試合の前後半45分, 計90分を連続測定した。他の2名は日本サッカーリーグ所属チーム同士による練習試合を5分単位で交互に8回, 各々40分ずつ測定した。被検者のポジションはディフェンダー1名, ミッドフィールダー2名, フォワード1名とした。

結果

データ処理システムの演算プログラムにより各選手の移動位置を, 0.5 sec 毎にXY平面座標上に検出した。さらに連続した各座標間の移動距離により, スピードを算出した。

日本代表選手の2名については, 1試合を連続測定したので, 移動スピードの経時的变化を45分間にわたってプリントアウトした。図3-a, bはフォワード選手である被検者HAR., 図4-a, bはディフェンダーの選手であるKTHのものである。これらによると, 両被検者ともスピードは1 m/secから4 m/sec付近を中心として, 不規則に変化し, トップスピードである8-9 m/secに達することが極めて少ないことを示している。

表1は各被検者の前後半の移動スピードを, 1 m/secごとに分け, その移動距離を比較のためそれぞれ5分平均として集計したものである。この



サッカーの試合中における移動スピードの経時的变化

表1 移動スピードごとの移動距離 (m, 5分平均)

Speed (m/sec) \ Subj.	JAI 1st	JAI 2nd	KAT 1st	KAT 2nd	KTH 1st	KTH 2nd	HAR 1st	HAR 2nd
0-1	25.3	36.8	39.5	49.0	65.1	60.7	42.3	49.2
1-2	119.3	102.9	151.4	151.3	137.5	138.6	131.4	131.3
2-3	171.9	154.9	141.0	116.5	105.7	117.9	134.2	128.7
3-4	152.1	146.4	119.1	97.6	80.6	96.2	137.0	98.2
4-5	102.2	87.1	65.8	68.1	54.7	62.3	81.0	54.0
5-6	54.3	45.8	39.8	28.6	30.3	34.8	57.9	32.4
6-7	34.2	24.5	14.7	6.4	15.8	13.6	27.8	19.0
7-8	15.0	7.4	11.1	5.7	5.0	5.0	7.8	9.6
8-9	7.2	4.2	2.1	7.4	2.4	5.2	4.2	4.2
9-10	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.1	1.0	3.2
m/sec	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
total	681.5	610.0	584.5	531.8	497.1	536.6	624.6	529.6

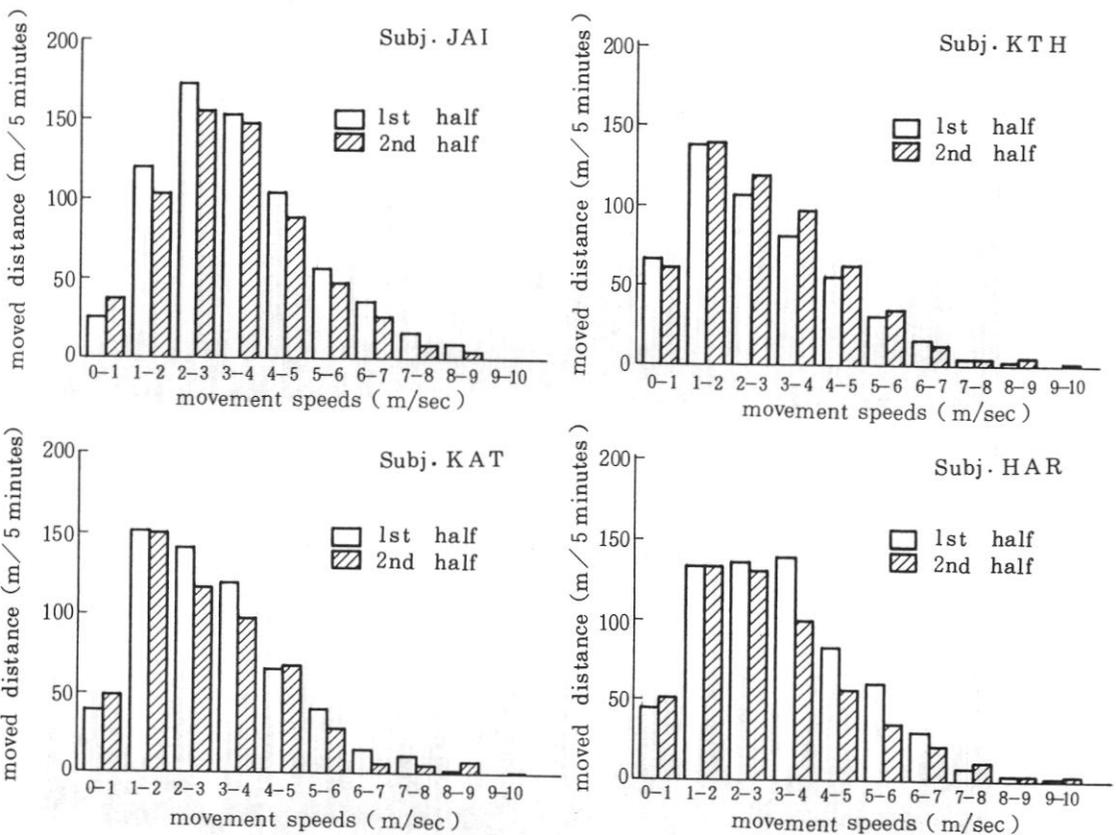


図5 サッカーの試合中における移動スピードの分布

表2 移動スピード毎の時間率(%)

Speed (m/sec) \ Subj.	JAI 1st	2nd	KAT 1st	2nd	KTH 1st	2nd	HAR 1st	2nd
0-1	19.3	29.8	26.0	32.2	39.0	35.5	27.3	34.8
1-2	27.7	23.9	34.5	34.5	31.7	30.0	29.5	31.9
2-3	23.9	21.0	19.2	15.9	14.5	17.3	18.3	16.0
3-4	15.1	14.2	11.5	9.5	7.8	9.5	13.2	9.3
4-5	7.8	6.6	5.0	5.2	4.1	4.0	6.1	4.7
5-6	3.4	2.8	2.5	1.8	1.9	2.0	3.6	2.1
6-7	1.8	1.3	0.8	0.3	0.8	1.0	1.4	0.7
7-8	0.7	0.3	0.5	0.3	0.2	0.4	0.4	0.2
8-9	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2

時間率は(各移動スピードに要した時間) / (測定時間)として算出

移動距離を合計してみると、最も少なかったのはディフェンダーのポジションである被検者KTH.の497.1m, 最も多かったのはミッドフィルダーのポジションである被検者JAI.の前半681.5mであった。

各移動スピードの分布は各々図5に示した。これらによると、1m/sec-4m/secのスピードでの移動距離が最も多い点は共通しているが、その最大値には違いがみられた。被検者KTH., KAT.の2名は前後半とも1m/sec-2m/secの移動距離が最も多かったが、被検者HAR.は前半は3m

/sec-4m/sec, 後半は1m/sec-2m/secのところ、被検者JAI.は前後半とも2m/sec-3m/secのところ、最大値がみられた。

前後半の差をみてみると、被検者KAT., HAR., JAI.の3名の場合は0m/sec-1m/secで前半より後半に増加し、それ以上のスピードでは、後半に減少がみられた。それに対し被検者KTH.は0m/sec-1m/secでは後半に減少し、それ以上のスピードではむしろ増加がみられた。

次に各スピードでの移動に要した時間を作業分析的に測定時間に対する割合として算出した(表2)。図6はこれらを各被検者ごとに前後半に分けて図示したものである。

これによると、0m/sec-1m/secで移動している時間は被検者JAI.が最も少なく前半で19.3%, 最も多かったのが被検者KTH.の前半で39.0%であり、約20%の違いがあったが、1m/sec-2m/secでは最小23.9%, 最大34.5%, 2m/sec-3m/secでは最小14.5%, 最大23.9%, さらに4m/secまでの割合をまとめてみると、どの被検者もほぼ90%をしめた。すなわち試合時間の約90%が4m/sec以下のスピードによる移動であった。

論議

本研究では、これまで試験的に行なわれてきた三角法を応用した測定方法を実用的なシステムに改良した。そして日本国内の一流選手4名を対象

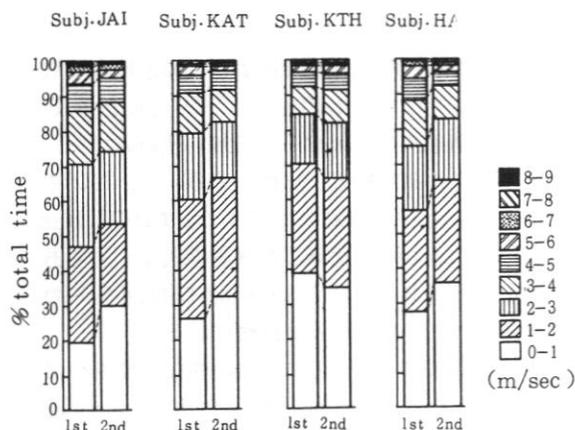


図6 サッカーの試合中における移動スピードの試合時間からみた割合

に移動距離、移動スピードを経時的に求めることができた。

本研究の測定結果によると5分平均の移動距離では497.1m—681.5mの範囲(表1)であり、それぞれの被検者ごとに1試合の移動距離に換算してみると、最小9303.3m、最大11623.5mであった。この結果はこれまでに報告された試合中の全移動距離に関する先行研究の測定結果とほぼ一致した⁵⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾。またポジションからみると被検者4名のうちミッドフィルダーの移動距離が最も多く、ディフェンダーが最も少ないとするこれまでの多くの報告とも一致した⁵⁾⁸⁾¹⁰⁾。

次に移動スピードを高い方からみてみると(表1)、8m/sec以上のスピードによる移動距離は全移動距離に対して0.4—1.6%と極めて小さかった。また7m/sec以上では約2.5%、6m/sec以上では約5.8%、5m/sec以上では約13%であった。これまでに、試合中の疾走スピードについての報告は例をみないが、大串たち³⁾は、一流サッカー選手を対象に50メートルの直線を全力疾走させ、その間2.5m・5m・10m・15m・20m・25m・30m・40mの各地点を通過するラップタイムから速度曲線を作成した。これによれば、トップレベルにあるサッカー選手の疾走最高スピードは9.0/secから8.1/secであり、30m付近で最高に達したとしている。また瀧井たち⁹⁾は、大学一流選手を対象として、疾走時のスピードを、10m、15m、20m、25mの各点で測定しているが、12名の平均がそれぞれ6.12、7.45、7.76、8.20m/secと増加し、25mでは最小7.64m/sec、最大8.70m/secであったとしている。このことから、一流サッカー選手の最高移動スピードはほぼ8m/sec、以上とすることが明らかにされているが、本研究の測定結果によると試合中ではこの8m/sec以上のスピードでの移動距離は、わずかに1%程度にすぎないことが明らかになった。

これまでの報告では、移動運動をその様式から観察分類したもので報告者によってその分類が異なる。Reilly and Thomas⁸⁾は、選手の動きをwalking, jogging, cruising, sprinting, backingの5種類に分類し、最も速い移動様式と定義したsprintingは全移動距離の約11%としている。ま

た、Withersたち¹⁰⁾はwalking, jogging, striding, sprinting, walking backwards, jogging backwards, moving sideways, travelling with the ballの8種類に分類し、sprintingが全移動距離の約6%であったとしている。これらの違いは各測定方法における分類法の違いと、各移動距離算出の基礎データとして用いている各カテゴリーの歩幅の違いによるものと思われる。

Cavagnaら¹¹⁾は走運転中の歩幅と歩数の関係についてフィルム分析を用いて報告しているが、そのなかでsprint runningでは、止まっている状態からのsprintでは歩幅はしだいに増加し、歩数は減少していること、安定したスピードに達してからの歩幅の方が加速過程の歩幅より長く、8m/secの場合で約0.5mの差があることを示している。またReilly and Thomas⁸⁾は、1試合中のsprintは974mであり、その回数は62回であったとしている。この報告によれば1回のsprintに要する平均移動距離は約15mとなり、直線疾走のピークスピードに達するのは30m付近とする大串たちの報告³⁾によればそのほぼ半分、すなわち加速過程で歩幅の一定していない走運動中となる。またsprinting前の移動様式、方向は実際のサッカーの試合では複雑であり、これらの影響を考慮すると、歩幅の平均値に基づいて算出される移動距離の測定方法は誤差の影響を受けやすいものと思われる。

しかしReillyたち⁸⁾、Withersたち¹⁰⁾の報告による全移動距離は本研究によるものとほぼ一致していることから、Reillyたち⁸⁾がsprintと定義した移動様式を、スピードの最も速い方11%として本研究の測定結果と比較してみると、およそ5m/sec以上(約13%)に対応する。またWithersたち¹⁰⁾がsprintと定義した移動様式は6%であったがこれはおよそ6m/sec以上(約5.8%)の移動スピードであることが推察される。

次に移動スピードごとに、時間的な分類を行なってみたところ、全試合時間の約90%が、4m/sec以下の移動スピードによるものであった。Mayhew and Wenger²⁾は選手の試合中の行動をstanding, walking, jogging, running, utilityの5項目に属すとして、それらがおこる時間から作業研究

(time-motion study) 的分析を試みている。この中で running を最も速い移動様式と定義し、全試合時間の11.3%がであったとしているが本研究の結果と対比させてみると、4 m/sec以上のスピードによる移動時間(7%~14%)とはほぼ一致した。Mayhew たち²⁾のこの報告によると、running にはstriding と sprinting を含み、高強度の運動としている。さらにこの運動の平均時間が4.4秒であったことから主として無酸素性のエネルギー供給機構のうち非乳酸性機構が関与していると推測している。先に述べたようにこれらの先行研究における移動運動の分類は客観性に欠け、また試合中の運動様式における生理学的影響について測定されていないことから推測の域を脱していない。しかしこれらの結果を本研究の時間分析的结果と対比してみると、サッカー選手は試合時間中の90%を0 m/sec - 4 m/secの移動スピードで移動し、断続的にこのレベルを越えて移動運動を行なっている実態が明らかになった。今後これらの移動運動が身体の生理的機能にどのように影響を及ぼすか検討する必要があると思われる。

要 約

サッカー選手の試合中における移動距離、移動スピードなどの移動運動を詳細に測定、分析するためにこれまでに三角測量法を応用した測定方法を検討してきたが、これに加えてパーソナルコンピュータを用いた測定システムを実用化した。

このシステムによって、試合中の選手の動きを連続的に検出し、移動スピードという客観的な指標に置換して求めることが可能となった。

国内の一流選手4名を対象に、実際の試合での移動スピードを測定した結果、

1. 移動スピードは、1 m/secから4 m/sec付近を不規則に変化し、トップスピードである8-9 m/secに及ぶことは極めて少ない。
2. 移動距離を移動スピード1 m/secごとに分類してその分布をみたところ、1 m/sec - 4 m/secでの移動距離が最も多かったが、その最大値には個人差があった。
3. 各移動スピードを測定時間に対する割合として算出したところ、4 m/sec以下のスピードが

よそ90%を占めていることが明らかになった。

以上の結果により先行研究の目的の一つである、サッカー選手の試合中の運動が生理学的機構にどのようにかかわっているかなどを検討する上で今後の研究に役に立つものと考えられる。

本研究の測定では、(財)日本サッカー協会技術委員会科学研究部部員の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) Cavagna, G. A., Margaria, R. and Arcelli, E. A. High-Speed Motion Picture Analysis of the Work performed in Sprint Running. Research Film Vol. 5, No. 4, 309-320 1965.
- 2) Mayhew, S. R. and Wenger, H. A. Time-motion analysis of professional soccer. Journal of Human Movement Studies, 11, 49-52, 1985.
- 3) 大串哲朗, 戸苅晴彦, 大橋二郎, 掛水 隆, 瀧井敏郎, 松原 裕, 米田 浩: サッカー選手の短距離疾走速度について. 昭和56年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 第5報, 269-275, 1982.
- 4) 大橋二郎: サッカーにおける選手の移動解析の試み. 桜門体育学研究, 13, 34-38, 1979.
- 5) 大橋二郎, 戸苅晴彦: 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, 1981.
- 6) 大橋二郎, 掛水 隆, 米田 浩, 大串哲朗, 岩村英吉, 磯川正教: サッカー選手の試合中の移動スピード: 昭和57年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 第6報, 361-368, 1983.
- 7) 大橋二郎: 選手の動きの分析. Japanese Journal of Sports Sciences. 2-10, 785-793, 1983.
- 8) Reilly, T. and Thomas, V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. Journal of Human Movement Studies, 2, 87-97. 1976.
- 9) 瀧井敏郎, 戸苅晴彦, 大橋二郎, 掛水 隆, 米田浩, 小野太佳司: サッカー選手の方向の変化をともなった疾走能力について. 昭和57年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 第6報, 368-376, 1983.
- 10) Withers, R. T., Mercier, Z., Wasilewski, S. and Kelly, L. Match analyses of Australian professional soccer players. Journal of Human Movement Studies, 8(4), 159-176, 1982.