

## VTRを用いたDLT法による 水球競技のゲーム分析

椿本昇三, 阿江通良, 坂田勇夫,  
高橋伍郎, 赤澤宏治\*

### A Game Analysis of Water Polo by VTR and DLT Method

S. Tsubakimoto, M. Ae, I. Sakata,  
G. Takahashi and K. Akazawa

#### Abstract

A water polo game was analyzed by digitizing video and computing real coordinates of a player using a direct linear transformation method (DLT method).

The game selected was T university vs N university of the 58th All Japan Intercollege Swimming Championship. Video tape recording was performed from the beginning to the end of the game except period time by two VTR cameras. Two-dimensional coordinates on a TV monitor were converted to real coordinates by DLT method. The position of the player was estimated from the coordinates of the player's head point by using a VTR motion analyzer connected to a personal computer (PC8001, NEC). Analysis was conducted on a player (forward type) of T university, and real game time, swimming distance and swimming velocity in four periods (whole game) were computed.

By using DLT method, accurate position of the player, distance moved, swimming velocity were able to be obtained.

The results of the game analysis were as follows:

1. Running time of the game analyzed was 53 minutes 10 seconds and this was 189.9% of game time on water polo rule (28min).
2. Swimming distance during the game was 2117.0 m and the average of the four periods was 529.2 m. After the third period, swimming distance decreased.
3. Swimming velocity below 0.59 m/s was about 50% of the whole game time and swimming velocity above 1.4 m/s was 13.1%. Swimming distance of swimming velocity above 0.6 m/s was about 80% of the whole game time, and swimming distance below 0.6 m/s was about 20%.

---

\* 筑波大学体育科学系研究生

## 緒 言

球技スポーツにおけるゲーム分析の研究では、できる限り現実の場面に即し、実態をありのままにとらえることが必要となってくる。

ゲーム全体の流れおよび動きを研究する方法の一つとして、動作・時間分析法<sup>(22)</sup>がある。この方法を用いることによって、ボールおよび競技者が移動した距離、範囲、速度などを知ることができ、得られた知見は、効果的なトレーニング法やゲームの戦術の考案などに役立つものである。

動作・時間分析法における移動距離の測定法としては、縮図記入法<sup>(7, 10, 18, 24)</sup>、スコア記入法<sup>(2, 3, 12)</sup>、音声録音法<sup>(25)</sup> 8mm撮影法<sup>(16)</sup>、16mm撮影法<sup>(4, 19, 23)</sup>、ビデオテープレコーダー（以下VTRという）とゲーム観察法（縮図スコア）を併用したもの<sup>(11, 27)</sup>、VTR反復再生法<sup>(5, 14, 15, 20)</sup>などがあるが、これらには、測定法や精度の面において問題を含むものが多い。精度の高い方法を用いた研究としては、大橋<sup>(17)</sup>の三角測量法を利用したものや、福原ら<sup>(6)</sup>、都沢ら<sup>(13)</sup>の2台の16mmシネカメラを用いたDLT法（Direct Linear Transformation Method）によってバレーボールゲーム中の動作を力学的に分析したものがある。

水球競技中の移動距離に着目したゲーム分析の研究は、非常に少なく、疋田ら<sup>(8, 9)</sup>が昭和56年現行ルール実施以前（ルール改定で大きく変わった点は試合時間で、改定前は1ピリオド5分であったが、改定後は1ピリオド7分となり、4ピリオドー1ゲームで試合時間が8分間増加した）に行った、ゲーム中の泳ぎ、パス、シュートに関するものがあるにすぎない。これはゲーム観察法によるもので、移動距離は縮図記入法によって、時間はストップウォッチによって記録した資料にもとづいている。

近年、VTR機器の技術が著しく進歩し、その普及にはめざましいものがある。そして、

VTRは、各種のゲーム分析のための単なるモニターとしてのみでなく、動作分析にも用いられるようになってきている<sup>1)</sup>。

本研究では、DLT法によりVTRのモニターテレビ画面上の座標を計算処理し、ボールや競技者の位置を算出することによって水球の公式試合のゲーム分析を試みた。

## 研究方法

### 1. 対 象

昭和57年9月2日から9月5日までの間、名古屋市端穂プールで行われた、第58回全日本学生選手権水泳競技大会における水球競技のゲームの中から、T大学とN大学との試合を対象とした。両校ともに、全日本選手または全日本候補選手が2名ずつ所属し、現在の日本においてトップクラスにあり、そのレベルに差がないと考えられるチームである。

本研究では、T大学のフォワード型プレイヤー1名（全日本候補選手）を対象とし、4ピリオド（1ゲーム）における実質試合時間（ルール上の試合時間は7分×4ピリオド、計28分の正味時間であるが、1試合に要する実質の試合時間はルール上の試合時間よりも長くなる）、泳距離、泳速度などを分析した。なお、この試合の得点はN大学12点、T大学11点であり、分析対象者は各ピリオド1点ずつ計4得点をあげた。

### 2. 撮影方法

プール水面から最も高く離れた地点である観客席最上段（高さ約40m）にVTRカメラを設置した（図1）。しかし、水球競技のフィールドの広さは、縦30m、横20mであり、1台のカメラではフィールド全体をカバーできないので、図2-1のように、2台のVTRカメラを用いて、フィールド全体をカバーした。試合中は、VTRカメラを固定して、試合開始から終了までを連続して撮影した。ただし、ピリオド間の休憩時間は除いた。

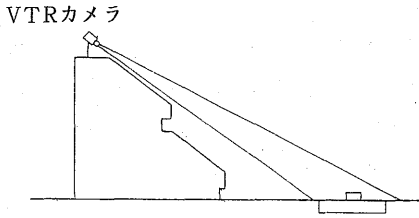


図1 競技場断面とカメラ位置

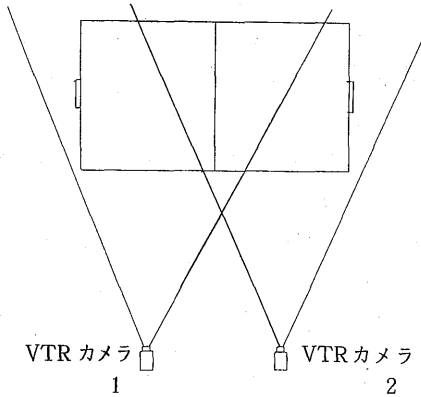


図2-1 競技場平面とカメラ位置

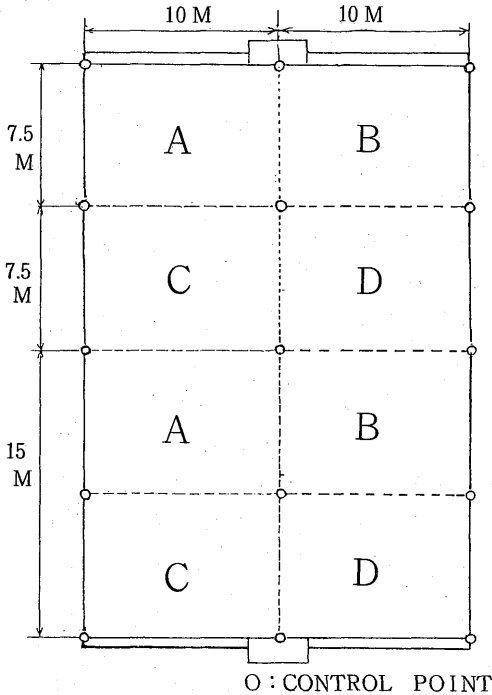


図2-2 競技場各ゾーンとコントロールポイント

### 3. 分析方法

#### (1) 二次元座標の算出法

実平面における  $(x, y)$  と、VTRのモニター画面上での座標  $(U, V)$  との関係は、次式で表わされる<sup>(26)</sup>。

$$U = \frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{a_4 x + a_5 y + 1}$$

$$V = \frac{a_6 x + a_7 y + a_8}{a_4 x + a_5 y + 1}$$

ここで、 $a_1 \sim a_8$  はカメラ定数である。

上の式におけるカメラ定数を算出するために、図2-2に示したように、実平面上の位置が既知のコントロールポイントを用いた。これらの定数をもとにして、DLT法<sup>(21, 26)</sup>によって、対象とする点の実平面上の二次元座標を得た。

#### (2) 分析

対象者の頭頂点のモニター画面上の座標を1秒ごとにVTRモーションアナライザー(VPA-1100, 日本事務光機)によって読み取り、得られた座標をパーソナルコンピューター(PC8001, NEC)に入力して、DLT法により実平面上の二次元座標を算出した。次いで、これらのデータをもとに、泳距離、平均泳速度などを求めた。

### 結果と考察

#### 1. 試合時間

本研究で対象とした競技者の試合におけるランニングタイムは、図3に示すように、第1ピリオド-13分5秒、第2ピリオド-14分40秒、第3ピリオド-12分49秒、第4ピリオド-12分36秒で、ゲーム全体では53分10秒、平均では1ピリオド13分18秒であった。水球競技のゲーム計時時間(試合時間)は1ピリオド7分、合計28分であるが、実際には、計時が停止の状態(ロスタイム)にある間も、競技者は、新たに次のポジションをとるために、常に移動していることを考えると、このラン

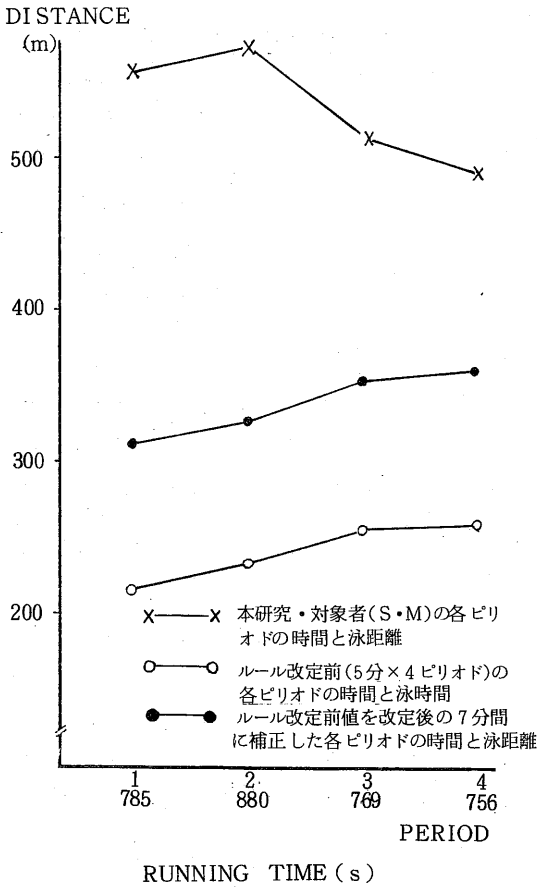


図3 各ピリオドの時間と泳距離

ニングタイム (53分10秒) は、本研究で対象とした競技者の実質の試合時間であるといえるであろう。これはルールに規定されている試合時間28分の189.9%に相当する。ルール改定前 (5分×4ピリオド、計20分) に行われた正田ら<sup>(8)</sup>の研究報告によると、ピリオド平均時間は8分30秒で、1ゲームでは合計34分0秒であった。ルール改定後 (ルール上では2分×4ピリオド、計8分増加) の本研究の結果と比較すると、実質試合時間は約56%の増加である。このことは、試合での活動量は改定後の方が改定前より多くなり、ゲーム中の疲労がより大きくなる可能性があることを示している。

## 2. 泳距離

各ピリオドにおける泳距離は、図3に示すとおりである。最大値は第2ピリオドの570.9m、最小値は第4ピリオドの487.7mで、第1ピリオドは555.4m、第3ピリオドは502.0mであった。また、ゲーム全体では2117.0m、ピリオド平均距離は529.2mであった。全ピリオド間の変化をみると、泳距離は第1ピリオドから第2ピリオドにかけて増加し、第2ピリオドから第3および第4ピリオドにかけて減少している。第2ピリオドが最大になったのは、このピリオドでは得点が多く (両チームで8得点)、競技者の動きが活発であったことが原因の一つと考えられる。

本研究の結果を、正田ら<sup>(8)</sup>の研究報告の各ピリオド (5分間) の平均値およびそれを改定後の1ピリオド7分間に補正した値と比較すると、ピリオド平均距離で、本研究の結果の方が、正田らより288.8m (+120%)の増加を示し、補正值と比較しても、なお、193.2m (+80%)の増加を示している。この原因としては、ルール改定前のゲーム展開に比較して、競技時間が長くなっているためにアタックチャンスも多くなったことによるチーム得点の増加も考えられるが、主として、改定前のホールマン・オフENSESを中心としたオフENSES・ディフェンス固定方式の戦術から、改定後では全員攻撃・全員防御の戦術に変わり、守りを固めてカウンター・アタックを狙うようになり泳距離が増えたことによると推察される。

正田らは、ゲームが進むにつれて、疲労により楽な泳ぎが増えるため、ピリオドが進むにしたがい、泳距離は増大すると報告している。しかし、本研究の結果は、第3・第4ピリオドと進むにつれて泳距離は減少しており、正田らの報告とは異っている。これは、ルール改定後では1ピリオドの時間が2分間増加したことで戦術の変化にともない、改定前よりも第3・第4ピリオドにおける疲労が大き

いためと推察される。このことから、試合後半にも泳力が維持できるようなトレーニングを行う必要のあることが示唆される。

### 3. 泳速度

図4-1～図4-4は各ピリオド，図4-5はゲーム全体の各泳速度の時間分布を示したものである。本研究では，泳速度をLS—ロースピード(0.0～0.59m/s)，MS—ミドルスピード(0.6～1.39m/s)，HS—ハイスピード(1.4～2.2m/s)の三つに分類して考察をすすめることにする。

各ピリオド，ゲーム全体でLSの時間が最も長く，次いで，MS，HSの順である。また，泳速度が大きくなるにしたがい，時間は少なくなる傾向を示している。しかし，LSの中に含まれるデッドタイム(得点後再開までに費した時間)を考慮すると，MSの占める時間が最も多くなると考えられる。

実質試合時間に対する各泳速度の時間の割合(図5)をみると，HSが少ない。これは，HSが用いられるプレーには，カットイン，速攻などのプレーが含まれ，これらが短時間で終わるため，実質試合時間に占める割合が少なくなったと推察される。LSはデッドタイム，退水ゾーン，ペナルティーシュートなどに用いられる非常にゆっくりした泳ぎや立泳を含むものと考えられるが，それ以外にも，パス，シュート，ゴール付近のスタンディングプレー，次のプレーへの準備や状況判断など，ゲーム運びに必要な場面において用いられると考えられる。先述したように，MSの時間の割合が多いことから考えると，ゲーム中の主な移動には，MSが用いられると推察される。

### 4. 泳距離と泳速度

泳距離と泳速度の関係は，図6に示すとおりである。図6-1～図6-4は各ピリオド，図6-5はゲーム全体を示したものである。

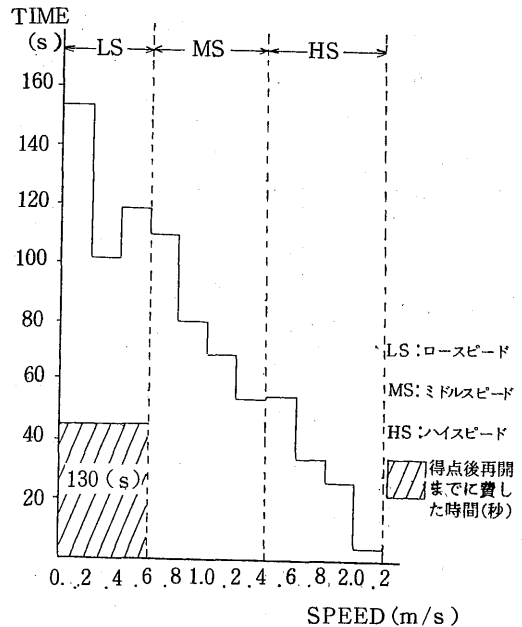


図4-1 第1ピリオドの泳速度時間

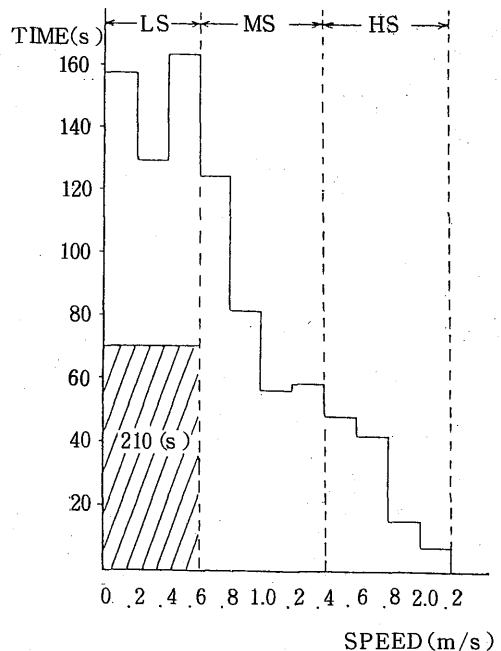


図4-2 第2ピリオドの泳速度時間

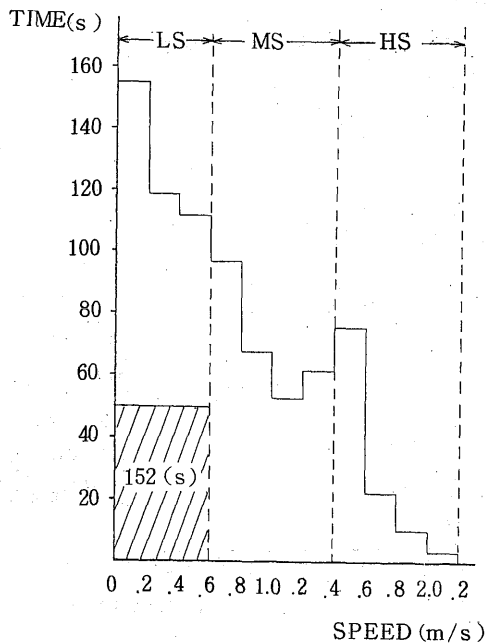


図4-3 第3ピリオドの泳速度時間

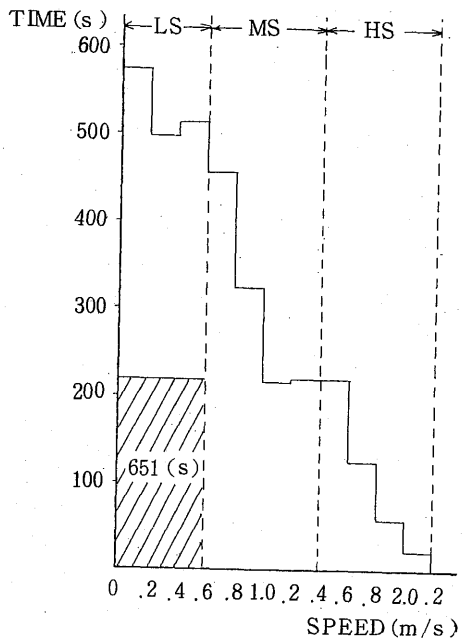


図4-5 ゲーム全体の泳速度時間

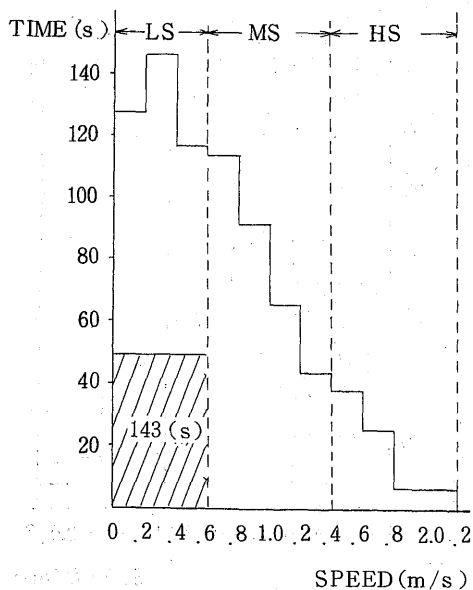


図4-4 第4ピリオドの泳速度時間

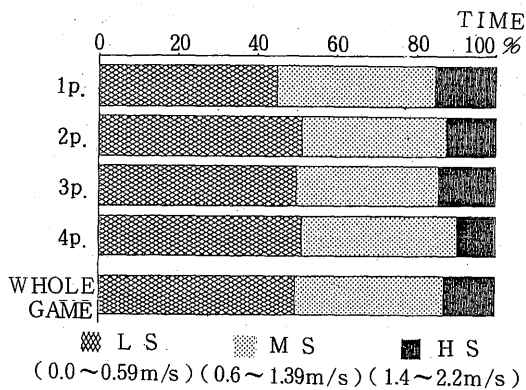


図5. 泳速度相対頻度分布

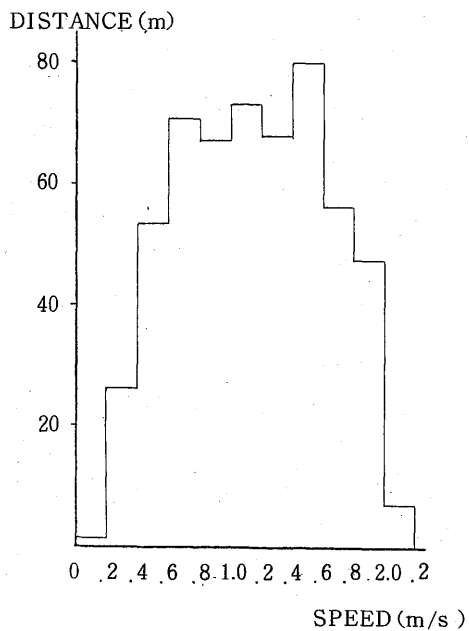


図 6-1 第1ピリオドの泳速度と泳距離

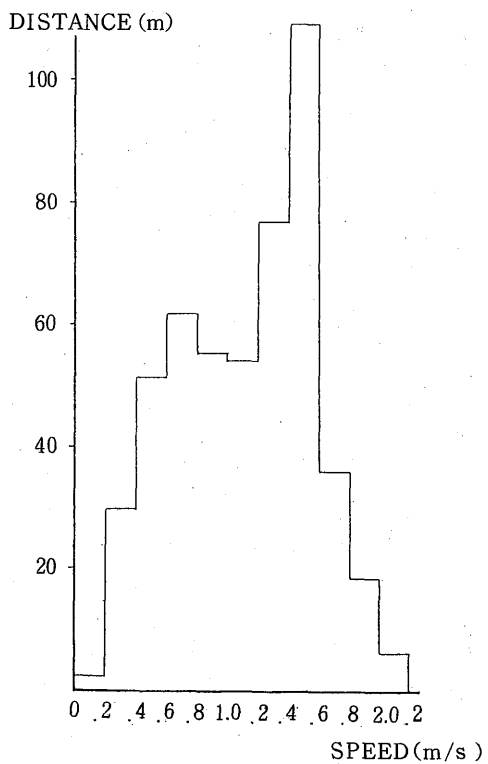


図 6-3 第3ピリオドの泳速度と泳距離

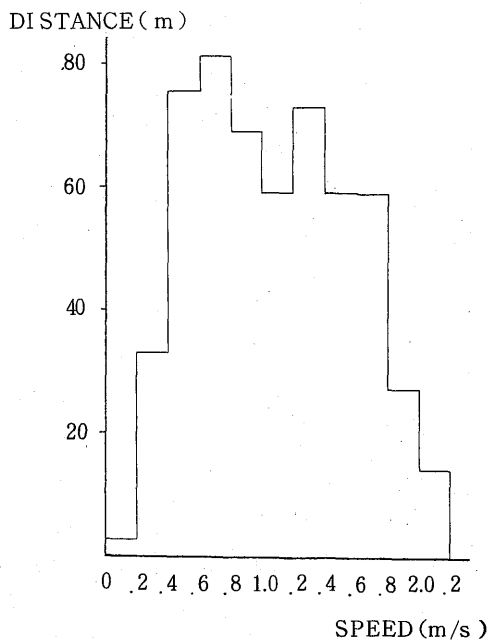


図 6-2 第2ピリオドの泳速度と泳距離

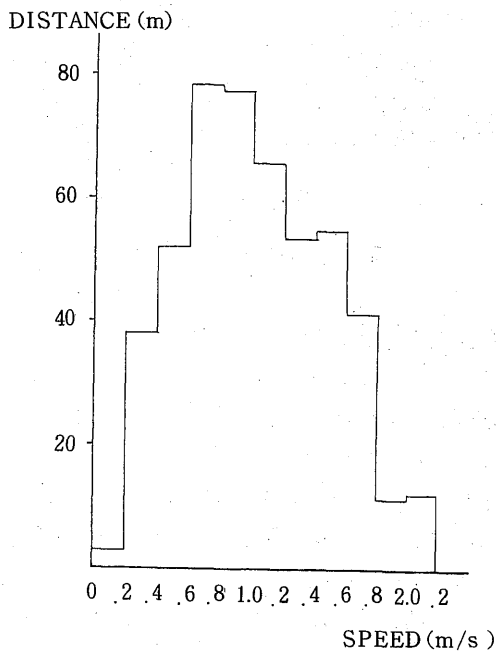


図 6-4 第4ピリオドの泳速度と泳距離

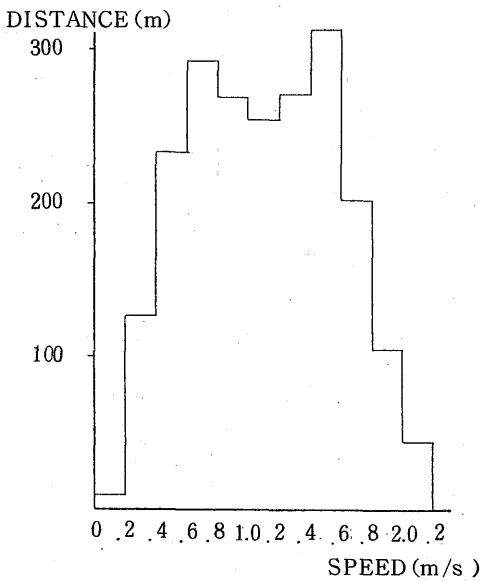


図6-5 ゲーム全体の泳速度と泳距離

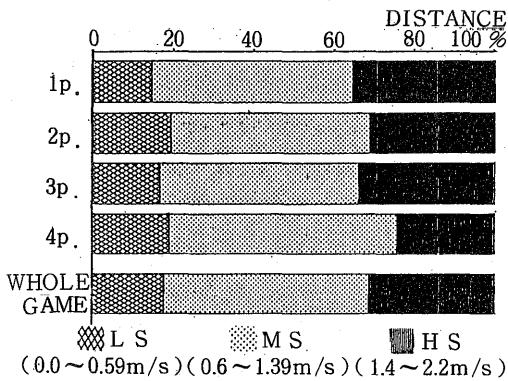


図7. 泳速度の距離百分率

各泳速度に対する泳距離の分布は、MSが多く、LSやHSは少なくなっている。これは、速度がいきなり速くなったり、遅くなったりすることがなく、“遅⇒中⇒速”と連続的に変化するためであると考えられる。また、1.4～1.6 m/sでの泳ぎが目立つが、これは、対象者の100m泳の能力(100mベストタイム60秒)の約84～96%で泳いでいることになる。このことから、HSで移動しプレーするためには、速泳能力の向上をはかることが重要で

あると示唆される。

図7は、各泳速度の距離百分率を各ピリオドおよびゲーム全体について示したものである。HSでの泳ぎは、ゲーム全体の31.3%で、距離にすると、ピリオド平均165.8mである。MS以上での泳ぎは、実質試合時間の約80%を占め、LSでの泳ぎは、約20%である。

各泳速度の時間については、LSが多く、HSが少なかったが、各泳速度での泳距離は、HS、MS以上が多く、LSが小さくなっていた。これは、距離が速度×時間で表わされることによるものと考えられる。

ルール改定前の疋田ら<sup>(8)</sup>の報告では、ピリオドにおけるダッシュの平均距離は131mで、最大値が181mであった。彼らは視覚による判断によってプレーヤーの泳速を区分しており、本研究とは異った方法で得られた結果から泳速度の分類を行っている。しかし、本研究におけるHSと疋田らのいうダッシュをほぼ等しいものとしてみるならば、ルール改定前と改定後とのHS泳(ダッシュ)の泳距離に大きな相違は認められなくなる。これは、プレーヤーの速泳能力が改定前と改定後とで大きく変化していないことによると推察される。以上のことから、水球競技中に用いられる泳ぎは、MSによるものを中心になっていると推察される。したがって、水球のトレーニングには、ミドルあるいはハイスピードでのインターバル泳トレーニングを行うことが有効であると考えられる。

## 結 論

本研究では、DLT法を用いて、VTRモニター画面上の座標から実座標を算出することにより、水球競技のゲームを事例的に分析した。

- (1) DLT法を用いることにより、正確にプレーヤーの位置、移動距離、移動速度を算出することができ、移動図も描くことが可能になった。また、プレーヤーのみではなく、ボールを追跡すれば、アシストとシューター



の位置関係、パスやシュートのスピードなども測定することが可能である。また、適切な点をコントロールポイントとすれば、本研究で用いたものと同様の方法により各種球技のゲーム分析を行うことが可能である。

(2) 事例的研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① 本研究における実質試合時間は、53分10秒で、ルール上の試合時間(28分)の189.9%であった。
- ② 泳距離は総計2117.0mで、ピリオドでの平均は529.2mであった。第3ピリオド以降で泳距離の減少がみられた。
- ③ 泳速度0.59m/s以下の泳ぎが試合時間全体の約50%を占め、1.39m/s以下になると、87%を占めていた。1.4m/s以上では全体の13.1%であった。
- ④ 泳速度0.6m/s以上の泳ぎによる移動距離は、全体の約80%を占め、また、1.4m/s以上では、全体の31.3%であった。0.59m/s以下での移動距離は、全体の約20%であった。
- ⑤ 以上から、水球競技のゲーム中の展開は、主として0.6~1.39m/sのミドルスピードによる泳ぎを用いて行われていると考えられる。

## 要 約

本研究では、DLT法(Direct Linear Transformation Method)を用いてVTRモニター画面上の座標から実座標を算出することにより、水球競技のゲームを事例的に分析した。

対象には、昭和57年9月2日から9月5日に亘って行われた第58回全日本学生選手権水泳競技大会の水球競技からT大学とN大学の試合を選び、T大学のフォワード型プレーヤー1名を対象者とした。撮影はVTRカメラ2台を用いて行い、休憩時間を除き、ゲーム開始から終了まで連続して行った。競技者の位置は、頭頂点の座標を1秒ごとにVTRモーショ

ンアナライザーによって読み取り、パーソナルコンピューター(PC8001, NEC)に入力してDLT法により算出した。分析は、4ピリオド(1ゲーム)すべてについて行い、実質試合時間、泳距離、泳速度などについて検討した。

事例的分析の結果は、以下のとおりである。

- ① 本研究における実質試合時間は、53分10秒で、ルール上の試合時間(28分)の189.9%であった。
- ② 泳距離は、総計2117.0mで、ピリオドでの平均は529.2mであった。第3ピリオド以降で、泳距離の減少がみられた。
- ③ 泳速度に関しては、泳速度0.59m/s以下の泳ぎが実質試合時間の約50%を占め、1.4m/s以上では、全体の13.1%であった。泳速度0.6m/s以上の泳ぎによる移動距離は、全体の約80%を占め、0.59m/s以下では、全体の約20%であった。

## 参 考 文 献

- 1) 阿江通良他, "VTRによる動作分析システムの開発", 大学体育研究第5号, 筑波大学体育センター, 1983, P. 87.
- 2) 鯛谷隆, "バスケットボール試合におけるバス・ドリブルの研究—第1報—", 体育研究7-1, 1962, P. 241.
- 3) 安在武八郎, "現代バスケットボール試合分析", 体育学研究4-1, 1959, P. 41.
- 4) Davis T. and Blanksby B.A., "A Cinematographic Analysis of the Overhand Water Polo Throw", J. Sports Med. 17: 5-16, 1977.
- 5) 江田昌佑, "RugbyのMaulとRuckに関する研究", 体育学研究12-5, 1967, P. 197.
- 6) 福原祐三他, "'82日米対抗女子バレーボールにおける一流選手のスパイク動作に関する事例的研究", 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—, 1982, P. 331.
- 7) 藤原侑, "ハンドボールゲーム分析について—動作種類による距離について—", 体育学研究14-5, 1969, P. 267.

- 8) 疋田啓吉他, “水球ゲームのタイムスタディによる研究—泳ぎの分析について—”, 体育学研究 15-5, 1970, P. 225.
- 9) 疋田啓吉他, “水球ゲームのタイムスタディによる研究第2報—パスとシュートについて—”, 日本体育学会第22回大会号, 1971, P. 480.
- 10) 堀井藤浩他, “ラグビーゲームの攻撃パターンに関する基礎的研究”, 体育学研究12-5, 1967, P. 196.
- 11) 松原裕他, “サッカーゲームの得点に関する分析的研究I”, 日本体育学会第31回大会号, 1980, P. 9095.
- 12) 笈田欣治他, “バスケットボールの試合内容の分析”, 体育学研究13-5, 1968, P. 252.
- 13) 都沢凡夫他, “バレーボールワールドカップ'81における一流選手のスパイク動作に関する事例的研究”, 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—, 1981, P. 46.
- 14) 森義産他, “ホッケーのゲーム分析(第5報)—1981年のルール改定によるゲームの変容について—”, 日本体育学会第33回大会号, 1982, P. 9041.
- 15) 西村清己他, “バレーボールにおける9人制と6人制の相違点”, 体育学研究13-5, 1968, P. 274.
- 16) 西野秀夫, “サッカーにおけるパス技術の発達に関する研究—小学校6年生のゲーム分析—”, 体育学研究13-5, 1968, P. 271.
- 17) 大橋二郎他, “サッカーにおける選手の移動解析の試み”, 日本体育学会第29回大会号, 1978, P. 9047.
- 18) 恩田昌史他, “フィールドホッケーのシュートに関する研究第1報”, 体育学研究12-5, 1967, P. 109.
- 19) 斎藤好史他, “水球における投動作の分析”, 日本体育学会第32回大会号, 1981, P. 9076.
- 20) 斎藤春枝他, “バレーボールのゲーム分析—ゲーム様相の推移と発展過程についての考察—”, 日本体育学会第33回大会号, 1982, P. 9051.
- 21) Shapiro R., “Direct Linear Transformation Method for Three - Dimensional Cinematography”, Research Quarterly, 49-2: 197-205, 1978.
- 22) 高木貫一他, “体育における動作・時間研究及び運動学習研究の意義について”, 体育学研究7-1, 1962, P. 29.
- 23) 高山誠他, “水球における投動作—ハンドツ—ハンドシュートについて—”, 日本体育学会第33回大会号, 1982, P. 9001.
- 24) 谷村辰己他, “ラグビーのタイムスタディによる研究”, 体育学研究12-5, 1967, P. 196.
- 25) 鶴岡英一他, “サッカーのゲーム分析第1報—測定方法について—”, 体育学研究9-2, 1964, P. 39.
- 26) Walton J.S., “Close-Range Cine-Photogrammetry: Another Approach to Motion Analysis”, Science in Biomechanics Cinematography, 69-97, 1979, Academic Publishers.
- 27) 山中邦夫他, “サッカーの類型的行動観察—パスの類型的分析的研究—”, 体育学研究13-5, 1968, P. 271.