

新改良された水中移動運動の測定装置と解析例

石井喜八*・当麻成人*・西山哲成*
原 朗**・清原伸彦***

(平成 3 年 5 月 31 日受付, 平成 3 年 7 月 22 日受理)

An Analysis of Swimming Locomotion Using the Scope-Potential-Meter System

Kihachi ISHII, Narihito TAIMA, Tetsunari NISHIYAMA,
Akira HARA and Nobuhiko KIYOHARA

The purpose of the present study was to clarify some features of swimmer locomotion at different positions during water-polo games. A selected player was simultaneously pursued with two sighting devices which attached a potentiometer, respectively. Induced electric-signal from the two potentiometer was taken into a computer programmed on triangulation equation. The travel trajectories, calculated by means of a computer program, was obtained a series of position on coordinates. Therefore, the covered distance and swimming velocity of a target player were calculated too. The subjects were selected from forward player (left-handed), floater-defense player and floater player as specific position player in a team. All these subjects have been competitive career for 10 years in water-polo. It was found that the travel trajectories in a game were depicted different swimming pattern at specific position a play and that the range of covered area depended on a role of position in a team all through the game. The total of covered distance was similar to those of previous reports. The present study have been mainly focused on a changes of swimming velocities every one quarter by a game. Maximum frequencies of "high speed swimming" was 19 times in one quarter (i.e. 2.7 times per minute), as we defined "high speed swimming" that is over 1.0 m/s. However, when frequencies of the "high speed swimming" were analyzed within every one quarter, left-handed forward player extremely decreased the frequency between the first and the second half in quarters, others not do so.

緒 言

近年, トレーニング法と競技技術の高度化に伴い各種ボールゲームはパスプレーを用いる頻度が多くなった。

この傾向は, 水球競技においても例外ではない。水球競技が他のボールゲームと異なるところは, 空気よりも抵抗が大きい水の中で身体運動が行われることと, 運動中の呼吸が制限されるところにある¹⁾⁻⁵⁾。

また, 最近の研究の傾向⁶⁾⁻¹²⁾ はゲーム中の各種動作の分析から, チームゲームの特徴あるプレイヤーのポジションの役割, あるいは, チーム全体の調和のとれた動きに焦点が当てられるようになり, ゲーム分析の領域が

拡大しつつあるように思われる。水球競技におけるゲーム分析研究^{15), 18)-20)} はようやく始まったといえることができる。

水球競技のゲーム分析の代表例としての研究 (椿本ら, 1986, 1987)^{21), 22)} をあげることができる。この研究は, 2 台の VTR を使い DLT 法により 2 次元座標を算出し, 水球競技のゲーム分析を行った最初のものといえる。これは, VTR を用いているため反復再生ができるという利点に加えて, ゲーム中の選手の移動軌跡, 総移動距離, 平均泳速度, 最高速度がポジション別に測定されている。一方, ビデオトラッカーを使って, ハンド

* 体育研究所, ** 東京情報大学, *** 水泳研究室

ボール選手のフォーメーションプレーを即時的に記録した、選手の移動内容の報告(西山ら, 1989, 1990)^{13), 16)}がある。この研究の特徴は、多数の測定点を即時に記録できることと、それを即時的に再生して表示できることである。

しかし、この研究に用いられた記録・分析方法は、1試合の全体にわたっての記録は現在のところほとんど不可能である。

三角測量法を用いてゲーム中の選手達の位置の移動を追跡記録している報告(大橋, 1979)¹⁷⁾がある。この装置の特徴は2台の照準器を用いて同時に立体空間内の一点に照準器を合わせ座標位置を決定できることである。ここで用いられた照準器の移動角度はポテンシオメーターをもって電気信号に変換し記録できる優れた方法といえる。

しかし、これらのポテンシオメーターから導出された電気信号は、人工障害波が取り除かれていない。また、地形地図測量に用いる市販の凹形アングルを大型化して方向の決定をしているが、眼球、器具の回転軸、そして移動する選手とを結ぶ光軸角の幾何学的関係からみて正確さに欠けると指摘できる。このことは、我々の研究の予備実験で明らかにされた。

我々は、この大橋式の実験装置¹⁷⁾の欠点を大幅に改良した。すなわち、測定角に相当するポテンシオメーターからの導出電気信号は低周波濾過回路を通過させることにより、またポテンシオメーターの slider から生ずる高周波成分は平滑することによって、これらの人工障害波を除去することができた。

また、照準器部は、眼球と移動点との光軸を一致させるために、ポテンシオメーターの回転軸の上に頸の関節の回転軸をできるだけ近づける工夫を加えた¹⁴⁾。すなわち、ポテンシオメーターの回転軸の上に頸の関節が近くのように下顎を突き出してのせ、固定できるように石膏で固めた台を作製した。これにより頭部回転とポテンシオメーターの回転軸を同期させることができた。

これまで述べてきた測定装置の改良に加え、2台のポテンシオメーターから誘導される各々の角度の電気パルスコンピューターに取り込んだ。このコンピューターのプログラムの中に三角測量法の方程式が組み込まれている。これにより、水球ゲーム中の選手の位置は立体幾何学的な平面上に決定することができる。さらに16ビットのコンピューターを使用したのでデータ記憶容量は十分になった。これにより経時的に立体幾何学的平面内の位置の変化(変位)を演算させることができた。

そこで、新しく改良した照準型電気式位置決定装置を用い、水球ゲーム中の選手の位置を追跡し、ゲーム中の特定の選手の移動距離・移動速度を連続記録することにした。

この記録装置により、ポジション別の動きとボールゲーム特有の速度変化の分析試験を行うことにした。これが本研究の目的である。

方 法

(1) 座標点決定の原理

測定方法の基本となったのは、三角測量法である、プログラミングされた位置決定のための方程式を以下に示す。

$$X = \frac{a \cdot \tan(180 - \beta)}{\tan(180 - \beta) - \tan \alpha}$$

$$Y = \frac{a \cdot \tan(180 - \beta) \cdot \tan \alpha}{\tan(180 - \beta) - \tan \alpha}$$

図1上に示したように競技場外に定めた2点A, Bを結ぶ直線aを底辺とし、対象とする運動選手を頂点Pとして形づくられる三角形において、立体幾何学的平面上

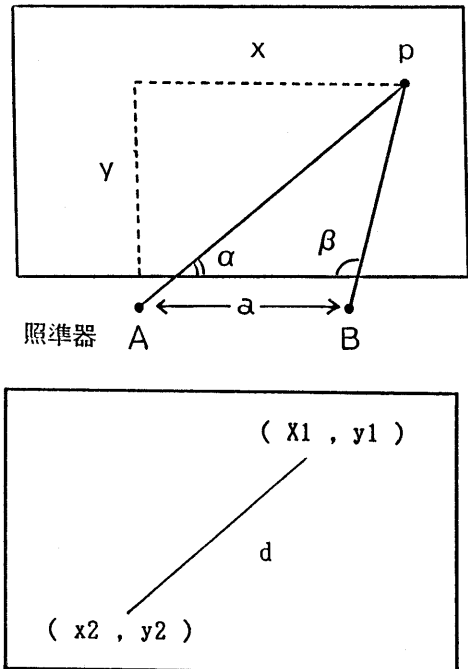


図1 算出モデル

上段: 三角測量法による座標決定モデル

下段: 座標2点間の距離算出モデル

の点Pは底辺 a に対する2台の照準器で決定された。それぞれ角 α , β から次式により求めることができる。

すなわち、座標点 $P(x, y)$ が決定されることから、さらに第1の点 (x_1, y_1) から次の点 (x_2, y_2) に選手が移動したとき移動距離 d を決定することができる。そこで、競技場内を移動する選手の刻々の距離を求めることができ、更に各々の速度及び、移動速度の分布、さらに座標を順次直線で結ぶことによって、その選手の移動軌跡をも求めることができる。

(2) 本実験の測定装置を用いての記録手順

(i) 設置場所

本学健志台プールを用い、水球コートのサイドラインに平行に離れた観覧席最前列に照準器を2つ設置した。水面から照準器までの高さは3mであった(図2)。

(ii) 測定条件

この測定には、照準器の使用に熟達し、校正実験の対象となった検者2名とコンピューターの操作をする検者1名の計3名の検者により全実験を遂行した。

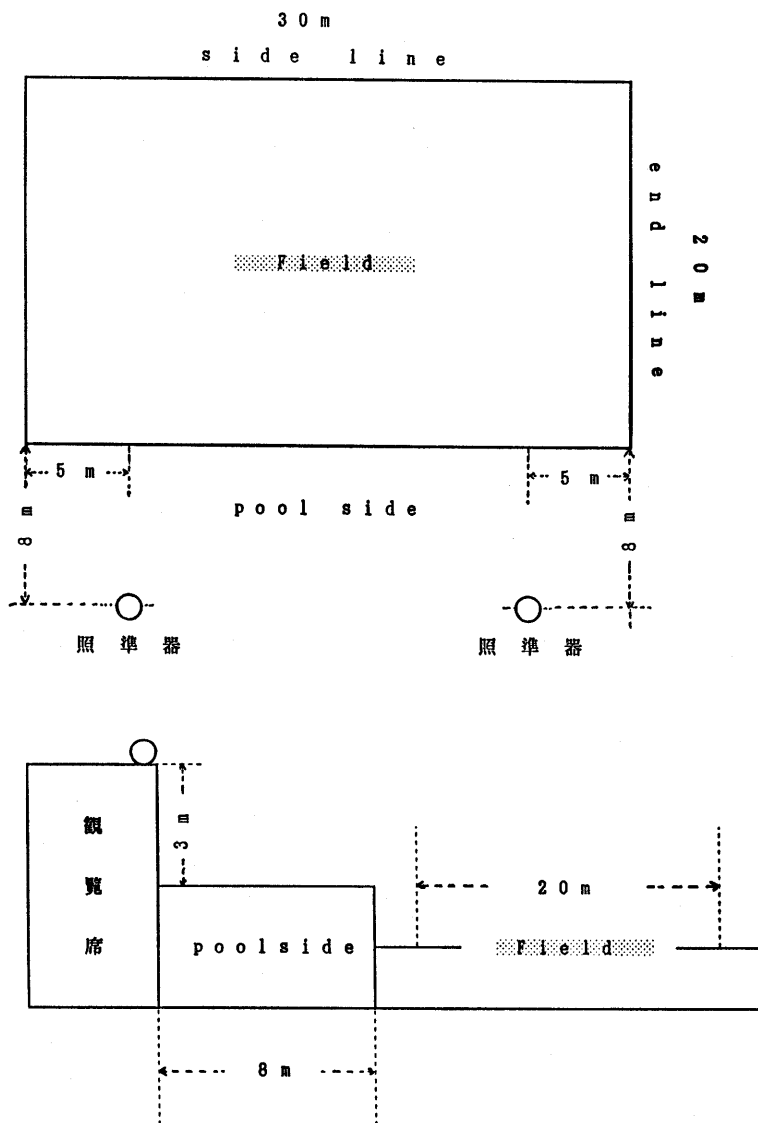


図2 照準器の設置場所(上段, 上方図), (下段, 側方図)

実験のために行われたゲームには、両チーム全員が水球の全日本チームに選ばれた選手が参加した。彼らは緊迫した練習試合のできる選手たちである。このような構成メンバーによる紅白試合が行われ、そのゲーム中の特定の選手を指定してデータを収集した。

実践された紅白試合は公式試合と同一時間経過に基づいて進行した。すなわち、1クォーター7分でクォーター間に2分間の休憩を入れ、4クォーター行うというものである。この試合の開始から終了まで（休憩を除く）のゲーム中、1人の選手の動きを照準器で追跡し、連続的に座標点をコンピューターに入力していった。

結 果

(1) 改良の要点

既知の2点に設定された照準器から同時に立体空間内の1点に照準を合わせ、各々の照準器の光軸角により座標上の位置を決定することは簡単な三角測量法として多くの地理的測定場面で用いられている。このような測定方法は、近年、コンピューターの記憶と演算機能の向上と同時に、一般化されるようになってきている。

このコンピューター入力を行うには電気的信号に変換することが便利である。この研究に用いた実験装置は大橋の方式を大幅に改良することにした。用いた三角測量法は基本原理ではあるが、角度の測定値はポテンシオメーターによって電気的に変換され、コンピューターに直接取り込む方式に改良した。

また、大橋式の照準器はポテンシオメーターの回転軸にバランスのとれた枠の両端に照門と照星があり、眼球の光軸と測定点を一致させるには、操作が複雑となっている。これは地理測定のように、静的測定点を求めるには十分であるかも知れないが測定点が動的物体であると回転運動が伴うことになり、照準合わせが難しくなる。回転運動を起こす基本的要素は回転の中心である。スポーツ活動によらず運動物体を視覚的に捉える回転の中心は第一に眼球運動にある、そのために複数の眼筋が付着している。

本研究の根本的装置である照準器は眼球と空間内の運動物体を結んだ光学的軸上に置く必要がある。眼球の回転軸と照準器の回転軸との間の距離を接近させることは基本的問題である。

ライフル銃を構え照準を合わせる操作は人間の型と銃床との固定であり、回転の軸を置き換える操作に過ぎない。視覚的に運動物体を捉える時の身体の運動は眼球運動と共に身体の長軸まわりの回転運動である。身体の長

軸回りの回転運動は、頸椎の回転運動と脊柱まわりの回転運動及び両脚の捻りと脚の位置を換えることである。

銃は弾丸の発射に伴う反作用力が照準に影響を及ぼすので、体幹と銃床との固定が有意な条件にある。ところが、本研究に用いる照準器は、単に、眼球と運動物体を結ぶ光軸を一致させるという条件を満たせば良いことになる。

まず運動物体を眼球で捉え続けるため照準器の固定軸を頸関節軸に近づけた。

頭部を固定するために顎を乗せるための台を設置した。この台はポテンシオメーターの上に設置した。この台には長さ50cmの方向指示棒がつけられ、その先端に照星がつけられ顎の台のすぐ手前に照門を置いた。このため頸関節の回転のみによって眼球、照門、照星を介して運動物体を追跡することができる。この照準器は、水平方向、垂直方向への動きに対応できるジャイロスコープ運動が可能となるように作られている。使用したポテンシオメーターは、ミドリ測器社製355度まで測定範囲のあるCPP60型であった。

(2) ポテンシオメーター方式移動解析システム

a) システムウェア

このソフトは竹井機器社製で、先の三角測量法を応用した計算式がプログラミングされており、これを介することにより計算後、即時的に移動速度、移動距離、移動軌跡等の表出処理が可能である。

b) コンピューターソフトへの入力

- ① データ単位の入力は、0: mm, 1: cm, 2: m とモニターに表示された単位の数字をキーボードで入力する。
- ② 競技場の一辺(x)の距離を1-900mの範囲で入力することができる。
- ③ 競技場の他の一辺(y)の距離を1-900mの範囲で入力することができる。
- ④ キャリブレーションの回数を入力する。(競技場の4隅と二つの照準器の0度と180度を合わせて校正する) 範囲は1-10回である。
- ⑤ 照準器1で競技場の一辺の両端の2点を入力する。続いて照準器2で競技場の他の辺の両端の2点の位置を入力する。次に照準器1, 2の順で競技場の範囲を捉える角度を0度, 180度で入力する。

これによって競技場の大きさが平面上に規定できる。

c) アナログデータからデジタルデータへの変換

アナログデータからデジタルデータへ変換するため、A/D 変換ボード ANALOGUPRO (Canopus 電子社製)

を使用した。アナログ入力信号の A/D の変換範囲は、規定の 0 V ~ +10 V の範囲で使用することができる。

A/D 変換誤差は $\pm 0.5\%$ max である。

d) 中継ボックス

ポテンシオメーターによって検出される電圧変化を捉え A/D 変換ボードに中継するアナログ信号を電送するための中継ボックスを使用した。これを使用することによってポテンシオメーターから A/D 変換ボードまでの距離を約 30 m 延長させることができる。

この中継ボックスは竹井機器社製で、出力電圧はポテンシオメーターの全回転角度 (有効電気角) に対する回転角度の比で規定されている。

中継ボックスはこのサブボックスと、1 個のメインボックスから成りメインボックスの出力端子はケーブルで A/D 変換ボードと接続される。入力端子はケーブルでサブボックスと接続される。サブボックスの入力端子は三つあり、一つはポテンシオメーターの電源 (+8 V) が、一つはポテンシオメーターの中点タップと接続さ

れ、あと一つはポテンシオメーター用の電源 (GND) に中点タップ電圧の基準電位を維持する端子となっている。

(3) 測定結果の例

水球ゲーム中の選手の移動軌跡、泳距離、泳速度、泳速度の変化 (クォーター別)、高速泳出現回数、クォーターごとの泳速度の変化率を求めた。

図 3 には、左利きフォワード選手、フローターディフェンス選手、フローター選手の、各々のポジションプレーの 1 例の移動軌跡を示してある。

左利きであるフォワード選手 (上段) の移動軌跡は、図の右側の自陣ゴール前では 10 m 約付近でゴールに対して左右の動きが激しく現れている。左側の相手ゴールの前での左右の動きは、相手ゴールに対して右側 (図では上側) に寄っていることがわかる。左利きの選手は、相手ゴールに対して右 45 度のシュートは得点率が高いことから、このような位置どりをしていることが推測される。なお、このクォーターにおける彼の移動距離は 460 m であり、その平均速度は 0.80 m/s、最高速度は 1.72 m/s とコンピューター表示された。フローターディフェンス選手 (中段) の移動軌跡は第 3 回目の試合の第 1 クォーターのものである。図の左側に、この選手が守備するゴールが位置している。彼がこのクォーター中、相手ゴールの 10 m 以内に近づいている回数は 3 回であり、もっぱらコートの 3 分の 2 の自陣側を動き、それもゴール前では、図からみると上下方向 (ゴールに対しては左右方向) の動きが現れている。したがって、コートの中央では図でいえば左右 (ゴールに対しては前後) 方向の動きを示していることがわかる。コンピューターの演算表示は泳距離 482 m、平均速度が 0.60 m/s、

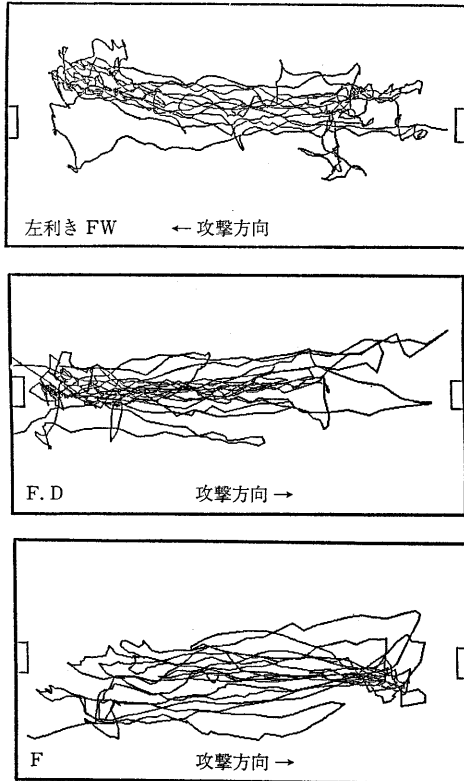


図 3 左利き選手 (上)、フローターディフェンス選手 (中)、フローター選手 (下) 移動軌跡

表 1

	泳速度	平均速度	最高速度
1Q	469 m	0.67 m/s	1.80 m/s
2Q	460 m	0.86 m/s	1.80 m/s
3Q	289 m	0.71 m/s	1.87 m/s
4Q	530 m	0.66 m/s	1.80 m/s

表 2

	前後半 1.5 m/s 以上		1.0 ~ 1.5 m/s	
1Q	前半 1 回	後半 2 回	前半 9 回	後半 5 回
2Q	前半 1 回	後半 0 回	前半 7 回	後半 5 回
3Q	前半 2 回	後半 0 回	前半 10 回	後半 2 回
4Q	前半 0 回	後半 0 回	前半 11 回	後半 6 回

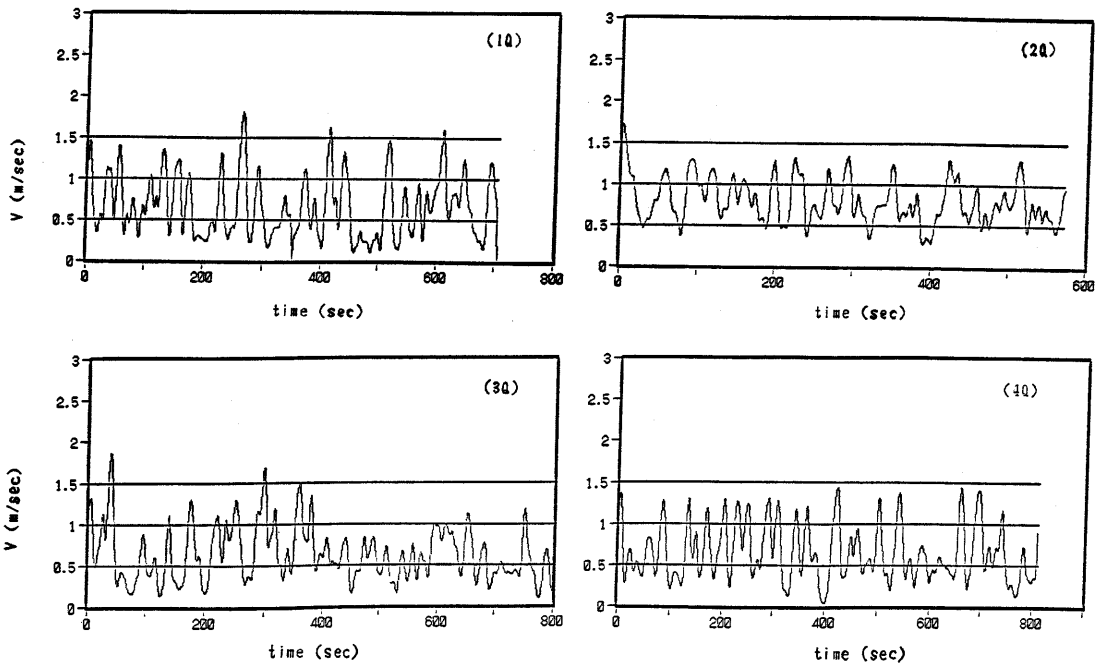


図4 各クォーターごとの泳速度変化 (左向きフォワード)

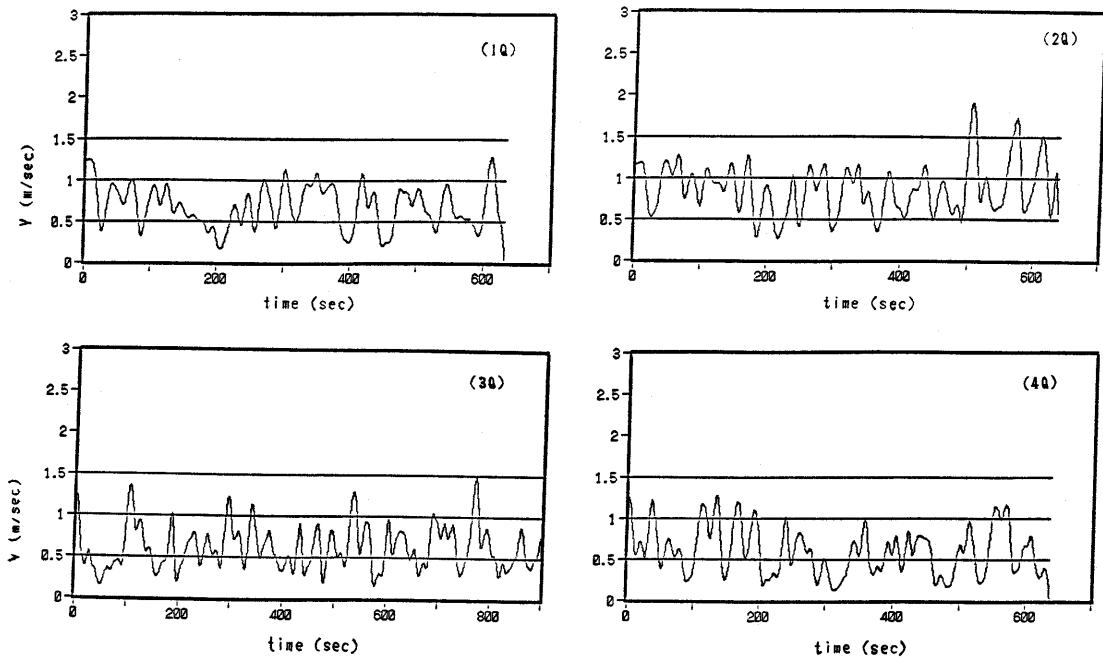


図5 各クォーターごとの泳速度変化 (フローター)

最高速度が 1.52 m/s と示した。フロッター選手の移動軌跡図（下段）は第 4 試合の第 1 クォーターのものである。記録された軌跡は水球コートの右側にある相手ゴール前の 5~10 m 付近で重複する軌跡がみられる。泳距離は 430 m, 平均速度は 0.68 m/s, 最高速度は 1.32 m/s と演算表示された。

左利きフォワード選手の 1 試合中の泳距離, 平均速度, 最高速度を各クォーター (Q) ごとにみると表 1 のような測定値が得られた。

また, 彼のこの試合での高速泳の出現を 1.0 m/s~1.5 m/s の範囲と, 1.5 m/s 以上の速度に達しているものの二つの速度の出現回数をクォーター前, 後半に分けて比較してみたところ表 2 のようであった。

また, 各選手の各クォーターの泳速度の変化は図 4, 5 に示されるような曲線で表された。

考 察

水球競技は専守防御活動を行うゴールキーパーと, 他に 6 名の攻防活動を行う人々の 2 チームで行われる。フィールドは, エンドライン 20 m, サイドライン 30 m のプールのフィールド内の大きさで各ゴールラインの中央に水面より高さ 1 m, 幅 3 m のゴールがある。試合時間は 1 クォーター 7 分で合計実質プレー時間 28 分間で行い各クォーター間には休息を 2 分間挟み, ゲーム中の時間内に, 身体の旋回, 方向変換, 跳躍, スプリント泳等の特徴ある動作が状況の変化にしたがって発現し, チーム構成員相互の協力プレーによって相手ゴールにボールを投入する。これが得点となり, 得点の多いチームが勝つという競技である。

水の中での運動であるので, 空気中よりも流体抵抗が大きく, 推進力を生み出すためにエネルギーを多く必要とする競技といえる。さらに, 水中運動であるために呼吸運動が制限され, 酸素摂取が運動の仕方によって制約を受ける。

ボールゲームはいずれの種目でも同様であるが 1 個のボールを中心に攻防活動が行われるので, 瞬時瞬時に状況は変化し, チーム構成員がそれに順応しながらプレーを続けることになる。

これまで行われてきた水球競技の研究のほとんどが水球ボールの投げの動作をバイオメカニクス的に分析したものが多く (Clarys and Lewillie (1970), Davis and Blanksby (1977), 斉藤; (1981)^{1),2),10)}。

一方, 水球競技では速度変化が主要な技術となり, 速度の最小値であるその場泳ぎとして立ち泳ぎが必要とな

る。立ち泳ぎにおける脚の動きは “egg beater” (巻き足) と “kick beater” (蹴り足) の二つの主要な動作があるが, バイオメカニクスの立場から, これらの脚の動きの研究は, Clarys (1970)²⁾ にみられる。また, 体力がゲーム要素の一つであるところから, 水球選手の身体的特徴を研究したものがあ (Hebbelinck et al., 1975)⁴⁾。

チーム全体の動きを中心とした研究がある。これはコンビネーションプレーといわれ集団ゲームの主要な要素となっている。これは作戦, 戦術, 練習方法に貢献されるための基礎を見いだすゲーム分析ということになる。

疋田ら (1971)⁵⁾ はゲーム観察法を用いてプレーヤー達のゲーム中の移動距離を記録をしている。これは眼と手を使って縮図フィールド紙上に記入されるので, 数量化には誤差が大きく伴うといえる。また, 動作を区別して各々の所要時間を測定するタイムスタディ法があるが, ここでもまた動作の区分段階をつける眼と手の誤差が含まれてくる。

ゲーム分析的研究の優れたものとして, 高山 (1984)²⁰⁾ の報告がある。彼らは, VTR を用い退水により 1 名がチームから欠けた時の攻撃についてのフォーメーションの記録や, 得点差からみたゲームの流れについての報告をしている。これは VTR を用いているために反復再生ができるという利点がある。宮城ら (1985)¹⁵⁾ は, ロスアンゼルスオリンピック大会 (1984) の公式記録の報告書の資料を統計的に処理し, 日本と外国チームを比較している。その内容は, 被シュート数, 得点数, 得点率, 退水獲得数, 退水時の得点数, 退水時の得点率について検討したものである。

ボールゲームの分析方法の最新の方法として, 西山ら (1990)¹⁶⁾ のビデオトラッカーを使ってハンドボール選手達のフォーメーションプレーを記録測定した研究がある。これは同時にフィールド内の 6 人の選手とボール 1 個の動きを自動測定できる計器を使う。したがって, 人間の技術的関与がなく, コンピュータ操作によるデータ処理は, 即時的に計測できるという特徴がある。しかし, ゲーム全体の記録はしにくく, 限られた場面と計測面積が競技場の半面という, まだ解決できていない欠点がある。

われわれの研究では, 測定対象となる点が 1 プレーヤーとなるが, 測定時間は最大 109 分間, 測定範囲は競技上の全面をカバーできるという特徴がある。そこで今回はゲーム中, 左利きのフォワード選手, フロッターディフェンス選手, フロッター選手について, 全てのゲーム

中の動きを測定することを試みた。

その結果は、1.5 m/s 以上の速度を含めて 1.0 m/s 以上の速度が現れた回数は、左利きフォワードが各クォーターで、それも前半分の時期に多いことが記録された。表 2 には各クォーターごとの前・後半分における高速泳 (1.0 m/s 以上) 出現の比率を示したが、この数値の示すところを解析すれば左利きフォワード選手は各クォーターにわたっての前半活躍型である。換言すればベース配分が不十分な選手と言える。

フォワード選手であるので左利き選手と同様な役割を持つフローター選手は、第 2 クォーターに 1.0 m/s を超える回数は 19 回に達し最大値を示した。1 クォーターが 7 分であるところから 1 分間あたり 2.7 回のスピード変化が行えたことになる。そして、各クォーターごとの前・後に二分して、各々の出現回数をみると、比較的ベース配分をしていることがわかる。

フローターディフェンス選手は受動的プレーをする選手であるが、測定対象となったフォワードをマーク (密着プレー) したわけではないが、1.0 m/s のスピード回数は比較的少ない。防御の技術は相手プレーヤーの動きを封ずることにあり、したがって、高い防御技術を持っているといえる。

椿本ら (1986, 1987)^{21), 22)} は、水球競技のゲーム分析を 2 台の VTR を使い DLT 法により 2 次元座標を算出し、このデータをもとに、泳距離、移動距離、泳速度を求めた研究を報告している。

この報告とわれわれの結果を比較してみると、両者とも測定したゲームの内容をとらえる観点は多少異なったが、フォワード系選手のゲーム中の総移動距離の測定記録では、椿本らの、フォワード選手 3 名における総泳距離は、1738 m~2200 m の範囲にあり、われわれの測定対象者の左利きフォワード選手の総泳距離の 1748 m、フローターディフェンスの 1451 m、フローター選手 1947 m と近似した数値となった。

また、泳速度では彼らは、同様に 4 段階の速度 (0.00 m~0.09 m/s, 0.10~0.89 m/s, 0.90~1.69 m/s, 1.70~2.40 m/s) 別に分類し測定をした結果平均速度 0.72 m/s であり瞬間泳速度は 2.40 m/s に達したと報告した。しかし、ゲーム中の速度の変化は記録分析していない。このクォーターごとの速度変化は得点をするための技術発現に大きく関わりがあり、全体的に速く泳ぎ回ったり、瞬間速度が大きいからといってゲームの効果に結び付くものではないと言える。

我々の研究はベース配分が焦点となり、そこで設定さ

れた測定の対象は、わが国のトップレベルの選手であるところに意味がある。この様に選択した対象であるにも拘らず、いくつかの問題点が指摘できた。我々が測定対象として選んだ選手達は、全て本学 4 年に在籍し水球部に所属、水球歴をみれば全て 10 年以上となっている。

我々の用いた測定器具は簡便であり、チーム内の特徴ある選手のゲーム中の実態を明らかにすることがわかった。また、わが国トップレベルの選手についての計測例は、これから行われるであろう計測に対する有効な指針になると考えられる。

本研究の要旨は当麻成人の修士論文である。その資料内容をもとに共同研究者が論議を行いまとめなおした。

文 献

- 1) Clarys, J. P. and L. Lewillie: Description of wrist and shoulder motion of different water pole shots using a simple light-trace technique. International Symposium on Biomechanics in Swimming, Water Polo and Diving, Brussels University Park Press, Baltimore (1970).
- 2) Clarys, J. P.: Analysis of the egg beater and breaststroke kicks in water polo. In 1st International Symposium on Biomechanics in swimming, Brussel University Park Press, Baltimore (1970).
- 3) Davis, T. and B. A. Blanksby: Cinematographic analysis of the overhand water polo throw. *J. Sports Med.*, **17** (1): 5-16 (1977).
- 4) Hebbelinck, M., Carter, L. and de Garay, A. Body build and somatotype of Olympic Swimmers, Divers and Waterpolo players. In Swimming II, International series on Sports Sciences, Vol. 2 (edited by J. P. Clarys and L. LeWillie), pp. 286-309. University Park Press, Baltimore (1975).
- 5) 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**: 1-8 (1971).
- 6) 石井喜八: ボールゲームの分析のための即時記録. *スポーツジャーナル*, **119**: 9-11 (1989).
- 7) 石井喜八: ビデオを用いての自動追跡記録装置. *スポーツジャーナル*, **120**: 9-11 (1989).
- 8) 石井喜八: 外国におけるボールゲームの研究. *スポーツジャーナル*, **121**: 10-13 (1989).
- 9) 石井喜八: ボールゲーム分析法の内容の検討. *スポーツジャーナル*, **122**: 24-27 (1989).
- 10) 石井喜八: 立体的動きをいかに描き出すか. *スポーツジャーナル*, **123**: 14-17 (1989).
- 11) 石井喜八: フォーメーションの 3 次元即時記録. *スポーツジャーナル*, **124**: 16-18 (1989).

- 12) 石井喜八, 清原伸彦, 上野裕一, 安藤幸司: 水球ゲーム中の客観的記録の研究. 昭和 62 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告第一報, pp. 4-9 (1988).
- 13) 石井喜八, 西山哲成: Video-tracker によるボールゲームの映像解析. 昭和 63 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告第二報, pp. 23-30 (1989).
- 14) 岩堂憲人: ライフル射撃の科学. 現代体育・スポーツ大系 19 巻, 講談社, 東京, (1984) pp. 138-141.
- 15) 宮城 進他: 水球競技におけるゲーム分析に関する研究: ロス・オリンピックの場合. 日本体育学会第 36 回大会号, p. 724 (1985).
- 16) 西山哲成, 当麻成人, 石井喜八: ボールゲームのフォーメーションプレーの 3 次元・即時記録. バイオメカニクス 1990, 日本バイオメカニクス学会編, メディカルプレス社, 東京, (1990), pp. 281-286.
- 17) 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).
- 18) Pinnington, H.C., B. Dawson and B.A. Blanksby: Cardiorespiratory responses of water polo players performing the head-in-the-water front crawl swimming techniques. *Australian J. Sci. Med. Sport*, **19** (1): 15-19 (1987).
- 19) 斉藤好史他: 水球競技における投動作の分析. 日本体育学会第 32 回大会号, p. 650 (1984).
- 20) 高山誠也: 水球のゲーム分析: 防御側退水時における攻撃について. 日本体育学会第 35 回大会号, p. 684 (1984).
- 21) 椿本省三他: 水球のゲーム分析: DLT 法による. 体育の科学, **36** (9): 712-716 (1986).
- 22) 椿本省三: 水球のゲーム分析: 泳距離, 移動軌跡, 泳速度について. 茨城大学教養部紀要, **19**: 231-241 (1987).