水球の全日本選手の体力特性

原　朗*　甲斐知彦**

本報では水球の全日本選手の体力特性を明らかにすることを試み、特に体力の行動的側面から、「体力 u の運動時間 t に対する変化率は、下限値 k と現在の体力 u との差に比例する」という仮説に基づいて、数学的に評価した。その結果、全日本選手は非乳酸性機構によるエネルギー供給の能力において、早い時期に低下するが比較的高いレベルを維持することが明らかとなった。

1．はじめに

各種競技において、勝利チームがゲームの後半で、相手チームを引き離すケースがよく見られる。すなわち、実力の上のチームが後半にその実力を示すケースがよく見られる。この理由を戦略上の原因と見ることもできるが、本報においてはこれを体力維持の観点から考察する。すなわち、水球の全日本選手とそうでない選手の間欠的運動中の体力低下の様相を数学的に評価し、その特徴を定性的に明確にすることを試みる。

宮下（1978）[5]は体力を図1の様に防衛的側面と行動的側面に分けたとらえ方を提案しているが、著者らは、特に競技に必要とされる体力は行動的側面であると考え、本報では行動的側面を評価する。また、宮下[5]は“主に非乳酸性機構によるエネルギー供給”，“主に乳酸性機構によるエネルギー供給”，“主に有酸素性機構によるエネルギー供給”の3つのエネルギー供給の能力を行動的側面からみた体力としてとらえることを提案しているので、これを支持し、この立場より体力を評価する。

一方、水球は稲垣（1978）[6]の図2の球技の分類に従えば、ボールの所有が攻撃側にある球技であるので、チームでのボールの適切な所有がゲームを優位に進めるうえでの有効な手段であると考える。従って、そのためのスタート、ターンは重要な運動である。宮下、吉岡[5]の表1の運動時間によるスポーツの分類によれば、これらの運動は短時間に属するので、必要とされるエネルギー供給は“主に非乳酸性機構によるエネルギー供給”である。故に、本報で評価される体力は主に非乳酸性機構によるエネルギー供給の能力となる。このエネルギー供給は最大無酸素パワーで評価されるので[5]、本報では、自転車エルゴメーターを用いて、この値を測定し、体力を評価する。

---

* 東京情報大学講師　** 日本体育大学助手

1991年7月30日受理

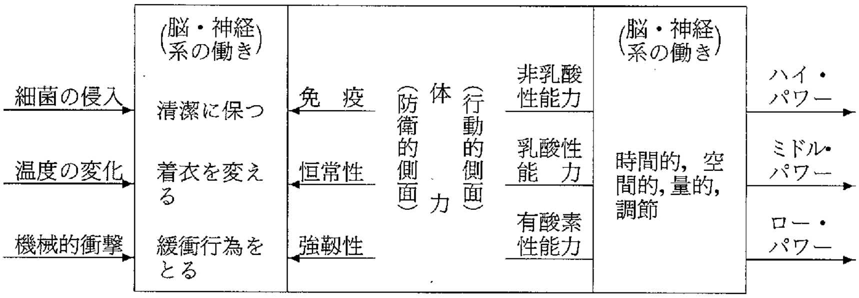

図１　体力の構成（宮下，1978）[5)]

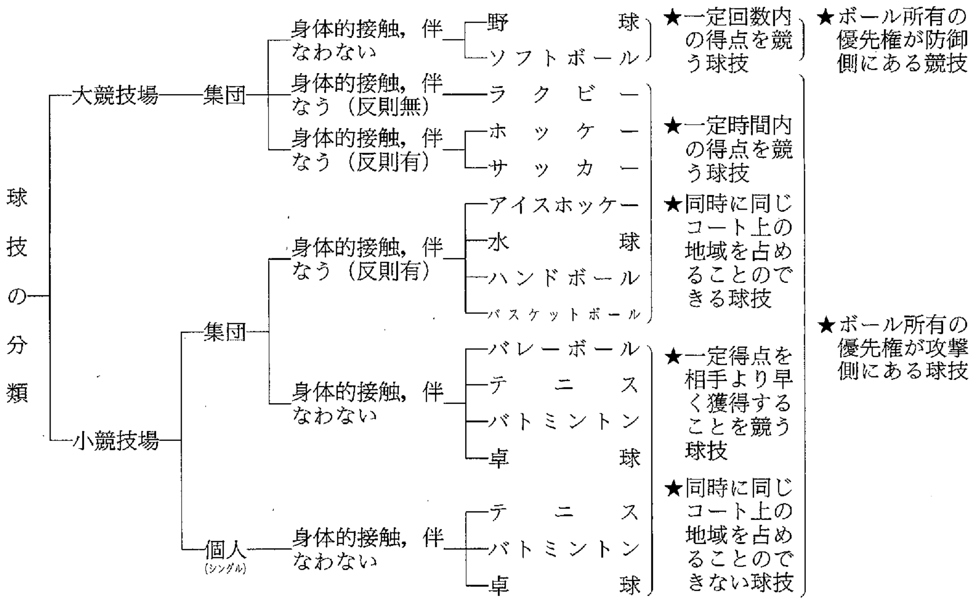

図２　球技の分類（稲垣，1978）[6)]

また、ゲーム中、スタート、ターンは不連続に繰り返し行われるので、間欠運動として、体力が評価されることは妥当であると考える。

体力は運動の繰り返しとともに低下するので、第０次近似をすれば、その原理は

$$\frac{du}{dt}=-c$$

（u：体力，t：運動時間，$c>0$：比例定数）であると考えることもできるが、実際には、運動は生体が行うので、下限値 k が存在して、その下限値を意識して、抑制がかかると考えられるので、第１次近似を行い、その原理は

$$\left.\begin{aligned}&\frac{du}{dt}=f(u)=c(k-u),\quad c>0\\&u(0)=u_0>k\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(1)$$

であると考えるのが妥当であると思われる。すなわち、体力の低下は「体力 u の運動時間 t に対する変化率は、下限値 k と現在の体力 u との差に比例する」という指導原理に従うという立場をとることは妥当である。従って、我々は

間欠運動中の体力低下を(1)の解

$u(t)=(u_0-k)^{-ck}+k$ ……(2)

によって評価する。評価の方法としては(2)の具体的な形を求めるためには（u_0, k, c）の決定が十分であることから、（u_0, k, c）を比較することにより評価する（これらの値の求め方についてはAppendixを参照のこと)。

2．方法

被験者としては、全日本選手6名を含む12名の水球選手を用いた。このうち、全日本選手6名を上位群、残りを下位群とした。

作業は電磁ブレーキ式の自転車エルゴメーター（コンビ社製パワーマックス V）を用いて、次のような手順[5]で測定を行った。

①被験者を自転車エルゴメーターに乗せ、サドルとハンドルを適正な位置に調節し、トウ・クリップを締める。

②被験者にあらかじめ、「全力で、出来るだけ速く」こぐように指示しておく。

③本試行の前に、0～1 kpの負荷での全力駆動による準備運動をさせる。

④2～3分の休憩の後、5秒間の全力ペダリングを20秒間の休憩をはさみ、20セット行わせる。

ペダリングの負荷値は、Wingate Anerobic Testに用いられる相対負荷（被験者の体重×0.075kp）を用いた。宮下、吉岡[5]によれば、主に非乳酸機構が主体となる運動の場合には10秒以内の全力発揮運動を行えば、体力は評価できるので、全力ペダリングの時間は、実際の水球競技との関連で5秒間とした。

パフォーマンスの指標としては、各セットごとに発揮された機械的出力を記録した。

各セットで発揮された機械的出力は、上位群と下位群とでそれぞれ全被験者について平均し、(1)の解で近似した。

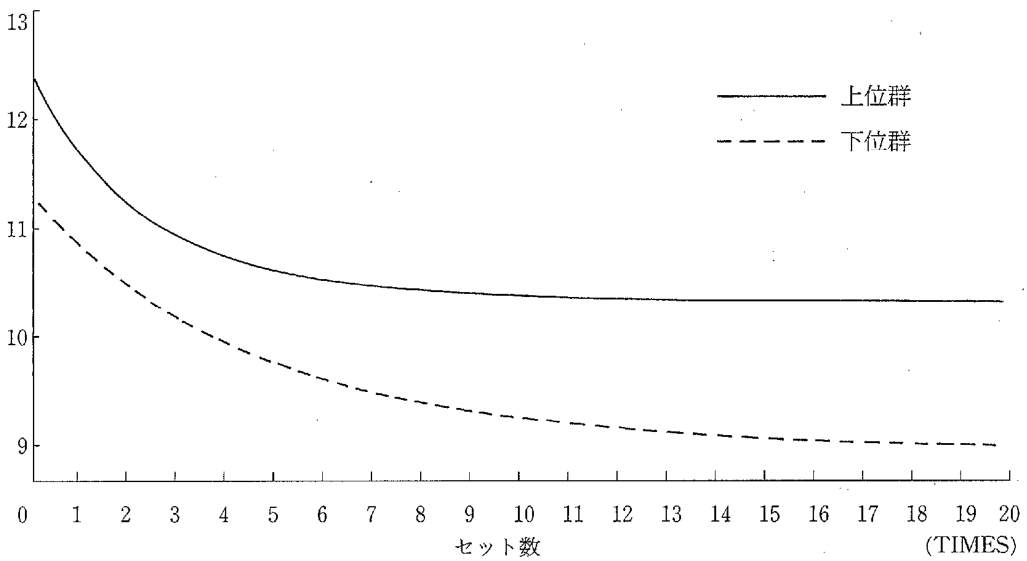

図3関数近似の結果得られた関数の概形

――は上位群を示し，具体的な関数形は

$u(t)=(12.24-10.53)e^{-0.48t}+10.53$ であり，$\varepsilon_{RMS}=0.12$ である。

また，……は下位群を示し，具体的な関数形は

$u(t)=(11.48-9.74)e^{-0.22t}+9.74$ であり，$\varepsilon_{RMS}=0.06$ である。

スポーツの例	短時間の運動	中時間の運動	長時間の運動
陸上競技	短距離走(100m, 200m) 砲丸投げ，走り幅跳び	中距離走(400m, 800m)	長距離走(3000m 障害, 5000m, 10000m, マラソン)
水泳競技	スタート，ターン	100m, 200m	400m, 1500m
サッカー	プレイス・キック キーパーの守備動作	競い合っているミッド・フィルダー	自陣にボールがあるときのフォワード
ボクシング	1打	1ラウンドの打ち合い	1試合
ゴルフ	1打		移動

表1　運動時間によるスポーツの分類[5)]

	上位群	下位群
1	12.28	11.42
2	11.57	11.11
3	11.19	10.78
4	10.99	10.66
5	10.83	10.38
6	10.66	10.26
7	10.49	10.19
8	10.40	10.12
9	10.44	9.89
10	10.41	9.97
11	10.46	9.98
12	10.44	9.97
13	10.50	9.89
14	10.64	9.89
15	10.61	9.83
16	10.59	9.83
17	10.59	9.93
18	10.62	9.78
19	10.64	9.70
20	10.86	9.74

表2　体力低下の様相(peak power)

	上位群	下位群
初期値 u_0	1	0.94
下限値 k	1	0.92
比例定数 c	1	0.48

表3　規格化した u_0, k, c の値(peak power)

3．結果

実験により得られた体力低下の様相を表2に、関数近似により得られた規格化した（u_0, k, c）を表3に、関数近似の結果から得られた関数の概形を図3（具体的な関数形とともに ε_{RMS}（二乗平均誤差）の値は、図中に示す）に、それぞれ掲げる。図3に示すように、上位群、下位群とも単調減少し、低下率は上位群が14.0%、下位群が15.2%と上位群の方が低下率が低かった。表3に示すように、(1)の解の定数 u_0（初期値)、k（下限値)、c（比例定数）とも上位群の方が大きく、とくに、その差は c において顕著であった。

4．考察

上位群、下位群の発揮出力の低下様相の違いに最も影響を及ぼすのは比例定数 c である。(1)において、比例定数 c の線形的増加は u の k

への収束速度を指数関数的に増加させるので[1]、上位群の方がより早く下限値 k に収束する。従って、u_0、k の差を併せて考えれば、上位群は下位群に比べ、発揮出力は早い時期に低下するが、比較的高いレベルのまま、その値を維持することができると考えられる。従って、今後、水球の発展途上の選手に対して、非乳酸機構が主体となる運動を間欠的に行った場合に、その最大無酸素パワーをあるレベルより低下させないようにトレーニングを行わせることは有効であると考える。

Appendix

・$f(u)=c(k-u)$ の場合の関数近似の方法

「u の t に対する変化率は、値 k と現在の u との差に比例する」という仮定から得られる線形方程式

$$\frac{du}{dt}=c(k-u),\ t>0,\ k>0,\ c>0 \cdots\cdots (A-1)$$

の初期値問題 $(u(0)=u_0)$ の解

$$u(t)=(u_0-k)e^{-ct}+k \qquad \cdots\cdots (A-2)$$

の具体的な形を求めるためには、u_0、k、c の決定が十分である。(A－1)について、$y=\frac{du}{dt}$、$a_0=ck$、$a_1=-c$ とおけば、

(A－1)は $y=a_0+a_1u$ となる。ここで、各 t における y_t を差分公式(A－3)

$$y_t=\frac{u_{t+h}-u_{t-h}}{2h} \qquad \cdots\cdots (A-3)$$

で求めれば、最小二乗法により、a_0、a_1 が求まり、k、c が求められる。この k、c を用いて、

$$u_0=\frac{k\sum_{t=0}^{n-1}e^{-2ct}-k\sum_{t=0}^{n-1}e^{-ct}+\sum_{t=0}^{n-1}u_te^{-ct}}{\sum_{t=0}^{n-1}e^{-2ct}} \cdots\cdots (A-4)$$

が求められる。こうして、$u(t)$ の具体的な形が得られる。

謝辞

本研究を行うにあたり多大なる御支援を賜った、日本体育大学、清原伸彦教授ならびに北田韶彦博士に深甚なる謝意を表します。また、実験に協力下さいました、日本体育大学大学院、田辺憲太郎、片瀬文雄、本宮万記弘、中西理恵の各氏にも心より謝意を表します。

参考文献

1）北田韶彦、甲斐知彦：「非線形放物型方程式が“拡散方程式”であるための条件」日本物理学会1990年秋の分科会（応用数学分科）、講演予稿第４分冊Ｐ.86
2）田辺憲太郎、福井真司、塔尾武夫：「自励系現象としての動態評価(2)―ユースレベルのサッカー選手における間欠的な全力運動での機械的出力について―」日本スポーツ方法学会第二回大会、大会号Ｐ.14
3）北田韶彦：実用解析　八千代出版 1985
4）佐藤總夫：自然の数理と社会の数理Ｉ　日本評論社 1984
5）宮下充正編：一般人・スポーツ選手のための体力診断システム ソニー出版 1986
6）稲垣安二：球技の戦術体系序説 梓出版社 1989