

中距離走のペースに関する実験的研究

有 吉 正 博*

An Experimental Study of the Pace in a Mile Running

by

Masahiro ARIYOSHI

This study was intended to investigate the pace of middle distance running from physical and physiological viewpoints. Three subjects, experienced middle distance runners, were employed in this study.

They performed first three types mile-running, each of which was defined the pace in the first half of the mile (fastest, faster and easy pace) and freed with maximal effort for the latter half. The lapse of time at each 100 meter on a mile-run was recorded with stop watches and oxygen consumption measures were taken during a recovery period of 60-minutes after running.

Secondly, in order to suppose the process of the oxygen debt, they performed 1/4, 2/4 and 3/4 mile-running according to the defined pace on each of three typed mile-running and were measured oxygen debt of each running.

Thirdly, oxygen intake during three types mile-running were measured on a motor driven treadmill.

Results obtained in this study were as follows.

- 1) It was obtained the best time when the first half of the mile run slightly faster than the second half. The speed was the highest in the early part of the run and then decreased progressively.
- 2) All subjects showed the largest amount of oxygen requirement for the pace resulting the best time.
- 3) Characteristics of each pace were shown well on processes of oxygen debt and requirement, but not well shown on a process of oxygen intake.
- 4) In order to investigate the pace more carefully, distributions of oxygen intake, debt and requirement were calculated and plotted.
- 5) It was concluded that a faster pace is the most efficient for achieving best time in the mile run.

[Bull. Fac. of Physical Education, Tokai Univ., (1972) No. 2 : 43~54]

* 体育学部学校体育研究室

I 目 的

陸上競技の中・長距離種目では、特にその種目に要求される体力を身につけるだけでなく、その体力を競技全体に配分するためのペースについて、何らかの配慮をしなければよい成績を上げることは出来ない。

中・長距離走で最良タイムを得るためには、これまでエネルギーの経済的立場から、前、後半をむらなく走行する「一定ペース」がよいとされていたが^{8) 9) 10) 14)}、近年、理論的にも、レースの実際においても前半のスピードが重要とされ、いわゆる、前半から積極的にある程度速いスピードで飛び出し、後半徐々にスピードが低下していく走り方がよいといわれるようになった^{4) 5) 11) 13)}。すなわちKalevi Rimpattiのいう「Natural Pace」⁴⁾ 金原のいう「機能的イーブンペース」⁵⁾であり、マラソンでは進藤の「限界曲線に沿った走り方」¹³⁾であろう。しかし、このような理論的なペースも、まだ量的に明確にとらえられているとはいえない。ただ、マラソンでは進藤の「限界曲線理論」によって、深く検討されている。

さて、ペースは物理的にはスピードの効果的な配分として、生理的には(有氣的、無氣的)エネルギーの効果的な配分としてとらえることが出来る。そして、長距離種目(競歩、マラソンを含めて)では、主として有氣的なエネルギーの配分に、中距離種目では有氣的・無氣的エネルギー両者の配分、短距離種目では、主として無氣的エネルギーの配分に着目すればよい^{2) 12)}といえる。

本研究は、このような観点から、いくつかの1600m走に於けるスピード変化、有氣的・無氣的エネルギーの発現経過を実験的に測定し、その結果を手がかりとして、中距離走のペースを量的・質的に比較検討しようとしたものである。

II 方 法

被検者は、大学生の中・長距離走者3名であり、各被検者の身体条件等は表1に示される。最大酸素摂取量は、トレッドミル漸増負荷法によるオールアウト走を、最大酸素負債量は、グランドでの500mの全力疾走を運動負荷とした。又、中距離走ペースの研究を進めていく上で、量的な比較検討が容易であることなどから、4つの400mからなる1600m走を選んだ。そして次に上げる3種の実験方法によって進められた。

A. 実験1

1500mの最高記録、予備実験等によって1600m走で現在望めそうな最良のタイムを被検者S. Iは4分25秒0、M. Aは4分30秒0、S. Sは4分35秒0と予想した。その予想タイムを手がかりに、前半800mのスピードを規定した3種のタイプからなる1600m走をグランドにて行い、100mおきのラップタイムを測定し、その時のスピード変化を見た。

なお、3種のタイプとは、予想タイムを得るために、前・後半を一定スピードで走るときの前半800mをタイプ3(T.3)、T.3より前半800mにおいて4秒速いスピードをT.2、T.2よりさらに4秒速いT.1である。そして、後半800mは各自の最大努力で走行することにした。

表 1 被検者の身体的特性、最高記録
Table 1 Characteristics of Subjects

Subject	Age	Height	Weight	Max $\dot{V}O_2$	Max Debt $\dot{V}O_2$	1500m Best
M. A	24 years	172 cm	60.0 kg	77 ml/min/kg	182 ml/kg	3 min 59.0 sec
S. S	24	165	57.6	82	155	4.02.3
S. I	23	168	57.3	76	185	3.55.2

B. 実験 2

1600 m 走に於ける酸素負債の発現経過を知るためにグラウンドにて、1600 m を4つに分割した、400, 800, 1200, 1600 m 走を各タイプ、被検者について行い、その時の酸素負債量を測定した。そして、その4つの分割走によって得られた測定値を1つの連続した1600 m 走における各地点の酸素負債発現量とみなす小林⁷⁾の方法をとった。

最大酸素負債量を含めた、酸素負債量測定は、各疾走直後にマスクを口に装備させた後、60分間の坐位姿勢を保たせ、ダグラスバック法を用いて採集した呼気を乾式ガスメーターによって、呼吸量を求めると同時に、一部の呼気を労研式小型ガス分析器によって分析を行い、運動後60分間の酸素摂取量を求めた。そして、基線となる安静値は文献¹⁾⁶⁾⁹⁾によると、運動によって運動後の安静状態がみだされて、単に運動前の安静値を基線にすることに問題があることから、本実験では別個に測定した15分間の軽いランニングによる運動負荷を与えた後の回復5～10分間の酸素摂取量を基線として算出した。

C. 実験 3

1600 m 走に於けるいわゆる有気的エネルギーの発現経過を知るために、本実験では正確なペース走を行いながら、同時に呼気をグラウンドで採集することは実験的に困難であると考え、スピードを換算したトレッドミルにて、各タイプによる1600 m 走を行い前記の方法によって、走行中酸素摂取量を各400mについて求めた。

III 結果と考察

A. ペースを物理的側面から見た場合

表2は、各被検者による各タイプの1600 m 走のラップタイム、所要時間、前・後半のタイム差を示したものである。Aは前半800 m のタイム、Bは後半800 m のタイムを示している。被検者 M. A, S. S では T. 2, S. I では T. 1 の

時に、最もよい記録が得られた。いずれの場合も、前半が後半より7.4秒～9.3秒程速いタイムで走行した時である。前・後半のタイムを見ると M. A, S. S の T. 1 を除けばどの被検者とも各タイプについて前半のタイム差があるにもかかわらず、後半のタイムはほとんど変わらない。このことは、前半ある程度速いタイムで走行することが良い記録を得る上で有利であることを示唆している。一方、M. A, S. S の T. 1 では、後半800 m の所用タイムが大きく、前半に於いて T. 2 より4秒速く走ることが、後半のタイムの損失に大きな影響を与える、いわゆるオーバーペースといえる。

図1は、各1600 m 走のスピード変化を各被検者について見たものである。各被検者の後半のスピード変化を見ると、M. A, S. S の T. 1 を除けば、前半のスピードの条件差に関係なく、各タイプ間のスピード変化の差は小さく、前半ある程度スピードを抑えたからといって、後半のスピードの増加はそれ程期待出来ないことを意味している。又、M. A, S. S の T. 1 では、後半のスピード低下が著しく、前半あきらかに速すぎるスピード配分であったことがわかる。

B. ペースを生理的側面から見た場合

表3は、各1600 m 走に於ける、エネルギー発現量いわゆる1600 m 走全体での走行中酸素摂取量、酸素負債量及び酸素需要量を各被検者について見たものである。

どの被検者ともわずかではあるが、最良タイムの得られた M. A, S. S の T. 2, S. I の T. 1 に於いて、その酸素需要量が最大値を示した。つまり、各被検者でのこのタイプが機能的にも最も高いエネルギー発現をさせ得る走り方ということになり、ペースが効果的なエネルギーの出し方としても、とらえなければならないことを示唆している。

又、被検者 S. S では、全酸素需要量のうち、酸素摂取量の占める割合が68%を占め、他の被検者に比較して、いわゆる有気的エネルギーに頼る傾向が強い。これは、S. S の最大酸素摂取量が体重当り毎分82 ml (表1) で他被検者に

表 2 各1600m走でのラップタイム, 所用時間, 前・後半のタイム差

Table 2 Individual records, quarter times and half times for the three typed 1600 m running

Subj.	Type	400 m	800 m	1200 m	1600 m	A	B	A - B
M ・ A	1	62.3 min. sec.	2.08.1 65.8	3.23.5 75.4	4.35.0 71.5	2.08.1	2.26.9	-18.8
	2	65.6	2.12.1 66.6	3.23.9 71.8	4.31.6 67.7	2.12.1	2.19.5	-7.4→Best
	3	68.3	2.15.2 66.9	3.26.8 71.6	4.34.7 67.9	2.15.2	2.19.5	-4.3
S ・ S	1	63.5	2.10.2 66.7	3.26.5 76.5	4.46.2 69.7	2.10.2	2.36.0	-25.8
	2	67.0	2.14.7 67.7	3.26.7 72.0	4.38.7 72.0	2.14.7	2.24.0	-9.3→Best
	3	68.8	2.17.0 68.2	3.30.3 73.3	4.41.6 71.3	2.17.0	2.24.6	-7.6
S ・ I	1	62.2	2.06.0 63.8	3.13.0 67.0	4.21.2 67.2	2.06.0	2.15.2	-9.2→Best
	2	64.2	2.10.1 65.9	3.17.7 67.6	4.23.5 65.8	2.10.1	2.13.4	-3.3
	3	65.8	2.13.0 67.2	3.20.1 67.1	4.26.8 66.7	2.13.0	2.13.8	-0.8

A: First 800 m B: Second 800 m

表 3 各1600m 走における酸素摂取量, 酸素負債量, 酸素需要量の実験的測定値

Table 3 Individual oxygen intake, debt and requirement for the three typed 1600 m running

Subj	Type	O ₂ Intake (L)	O ₂ Debt (L)	O ₂ Requirement (L)
M ・ A	1	15.411 (61.70%)	9.566 (38.30%)	24.977
	2	15.382 (60.99)	9.838 (39.01)	25.220
	3	15.978 (67.11)	7.831 (32.89)	23.809
S ・ S	1	16.081 (66.50)	8.101 (33.50)	24.181
	2	16.841 (68.56)	7.724 (31.44)	24.565
	3	15.207 (67.30)	7.389 (32.70)	22.596
S ・ I	1	15.284 (62.22)	9.279 (37.78)	24.563
	2	15.582 (63.75)	8.862 (36.25)	24.444
	3	15.713 (64.37)	8.699 (35.63)	24.412

比べ有気的エネルギーの発現能力に秀れていることが関連していると考えられる。

ペースは本来全体の流れであり、一つのプロセスとしてとらえなければならない。そこで、このような 1600 m 走全体での酸素摂取量, 酸素負債量及び酸素需要量を途中の各地点では、どのようなプロセスを経て発現していくかを見ようとした。

図 2 は、各被検者による各タイプの 1600m 走の途中 400, 800, 1200 m ゴール地点までの酸素需要量をプロットし、いわゆるエネルギーの発現経過を見ようとしたものである。各タイプについては、M.A, S.S では T.1 が T.2 に比べて、800 m 地点まで約 2 l 程、より高い経過を示すが、その後、直線がゆるやかになり最良タイムの得られた T.2 に追いつかれ、

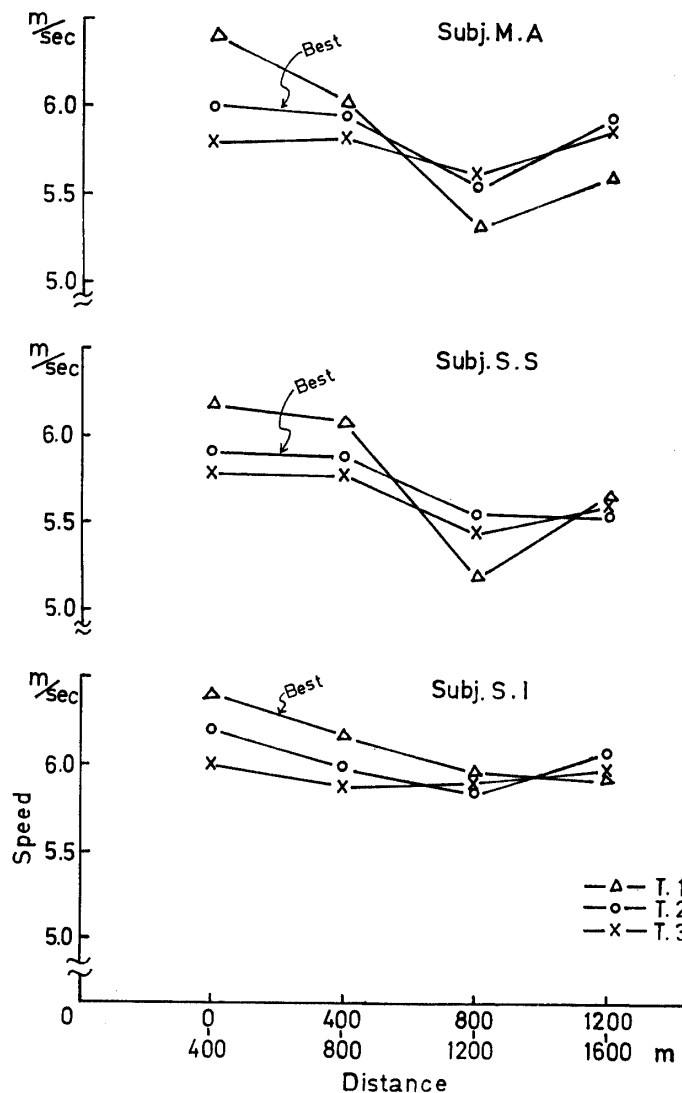


図 1 各1600m走でのスピード変化

Fig. 1 Change of Speed in the 1600 m Running

最終的には T.2 が最も高い酸素需要量を示す。S.I においても、最良タイムの得られた T.1 が比較的高い発現を各地点で示し、ゴール地点では最も高い酸素需要量を示している。このように1600 m 走全体での酸素需要量には大きな差がなくても、その発現の経過を見る時に各ペースの特徴をとらえることができる。

図3は、各タイプによる 400, 800, 1200, 1600 m 走の分割走で得られた酸素負債量から、各 1600 m 走における各地点の酸素負債の発現経過を見ようとしたものである。各被検者、どのタイプとも、最初の 400 m までに急激な酸素負債の発現を示している。M.A, S.S の T.1 を見ると、前半 800 m までに急激な酸素負債

が発現され、その後、横ばい状態となり、後半の酸素負債発現の伸びは見られない。これは 1600 m 走で出し得る無氣的エネルギーのその大部分を前半で出し切ったことを意味している。一方、最良タイムの得られた M.A, S.S の T.2, S.I の T.1 では、後半に於いても、酸素負債発現が漸次増加する傾向を示し、全体的にほどよく酸素負債を発現させたといえる。各被検者の T.3 では他のタイプに比較して、全体的に低い位置での酸素負債の発現経過を示している。

図4は、酸素負債発現経過を各被検者の最大酸素負債量を手がかりとして見たものである。最良タイムの得られた M.A, S.S の T.2, S.I の T.1 を見ると最大酸素負債量に対して、個

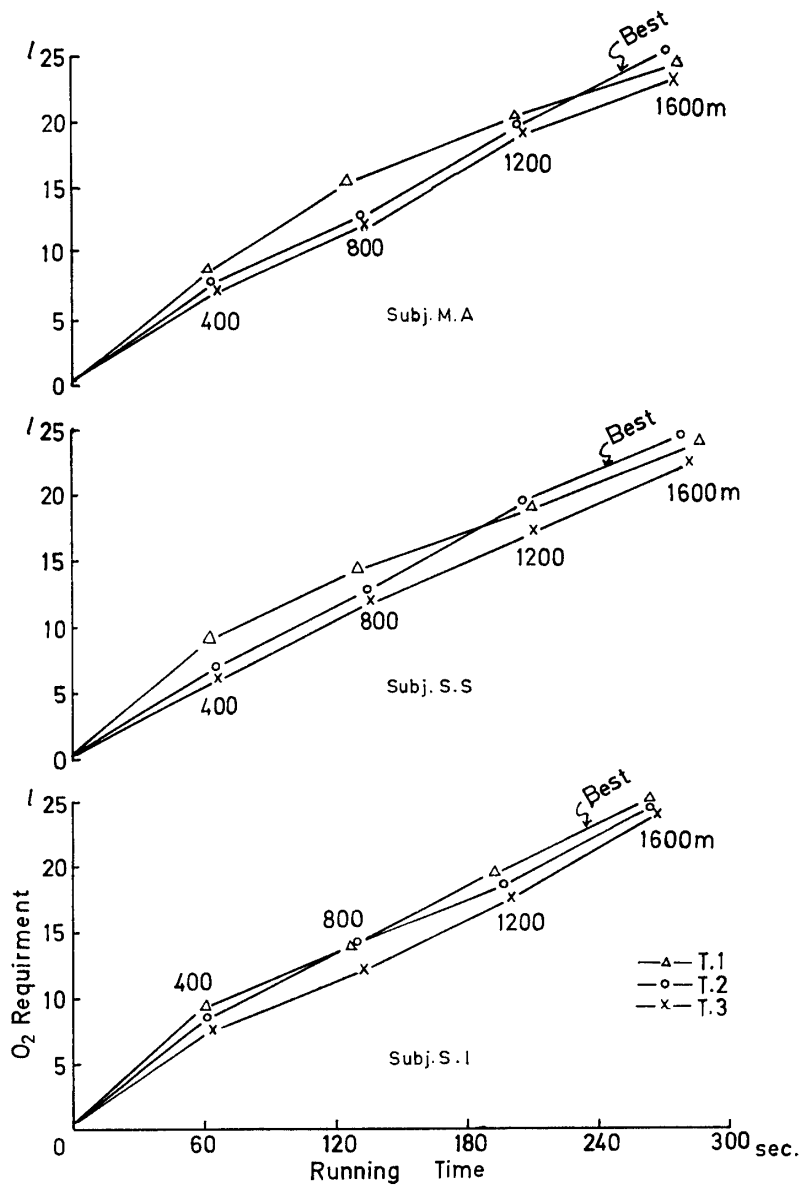


図 2 各1600m走での酸素需要量の発現経過

Fig. 2 Process of Oxygen Requirement in the 1600m Running

人差はあるが 400 m 地点では約 50%, 800 m 地点では約 65%, 1200 m 地点では約 80% と酸素負債発現が漸次増加し, ゴール地点では約 90% と最大酸素負債量に迫っている。つまり, 最良タイムの得られるペースは, 各個人のもつ最大酸素負債量を目安とすれば, スタートから最初の 400 m で最大値の約 50% の酸素負債を発現させ, その後の各 400 m について, 漸次 10% 程度, 酸素負債を累積させていく走り方とい

うことになる。

図 5 は, 同様に各 1600 m 走に於ける各地点までの走行中酸素摂取量をプロットし, いわゆる有気的エネルギーの発現経過を見ようとしたものである。どの被検者, タイプとも 400 m 地点まで, ややゆるやかであるが, その後は急激な直線的発現経過を示す。そして, 1600 m 全体で, 約 15~16 l の酸素を走行中, 摂取している。しかしながら, 各タイプ間の大きな差はみ

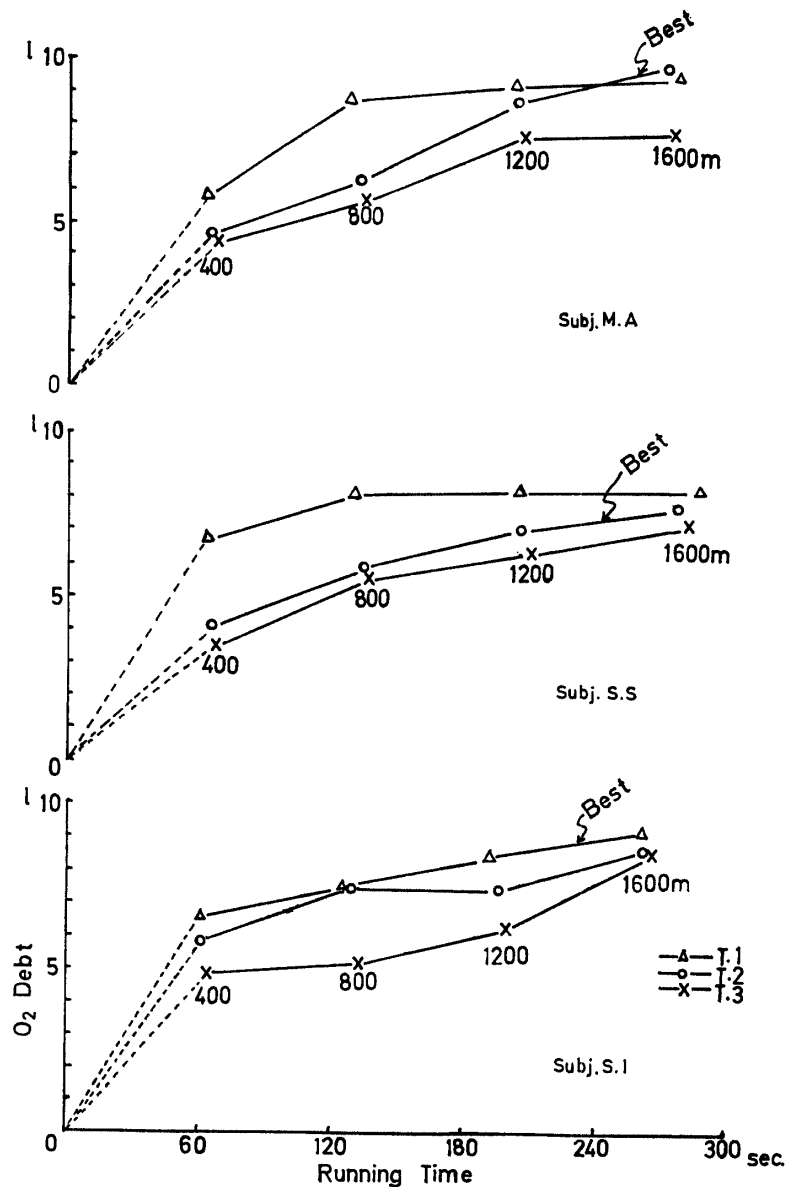


図 3 各 1600 m 走での酸素負債の発現経過

Fig. 3 Process of Oxygen Debt in the 1600 m Running

られず、各タイプの範囲内で前半速く走っても、ゆっくり走っても、又後半スピードが低下しても、しなくても有気的エネルギーの出し方、使い方にはさほど違いのないことがわかる。

このように、ペースはエネルギーの発現経過から、一つのプロセスとして、とらえることが出来る。又、ペースは物理的なスピードの配分として、生理的なエネルギーの配分としてとらえることが出来ると先に述べた。いわゆるスピ

ード配分は、普通各区間の距離と所要時間により、平均スピードを求め、そのスピード変化として見られる。そこで、同様に先に得られた 1600 m の各地点までの酸素摂取量、酸素負債量、酸素需要量より、各区間への配分量を算出し、その変化から、いわゆるエネルギーの効果的な配分としてのペースを検討できるのではないかと考えた。つまり、最初の 400 m までに発現された酸素摂取量、酸素負債量、酸素需

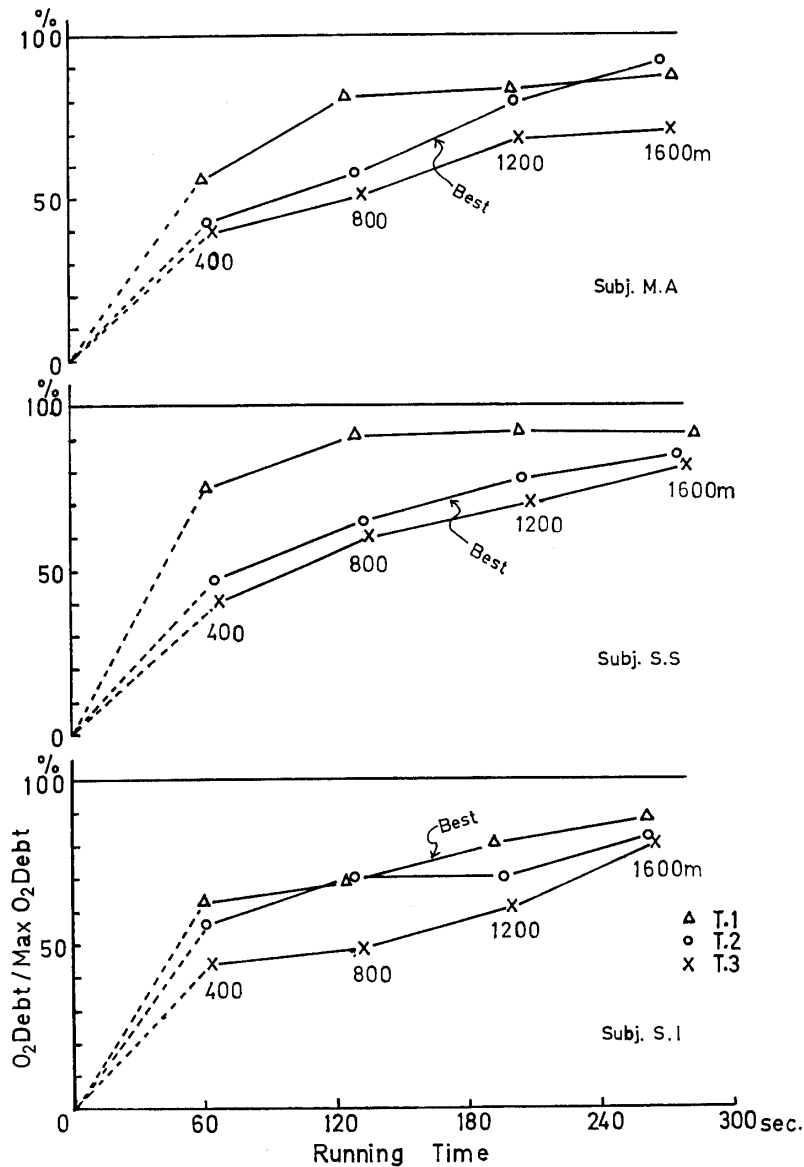


図 4 最大酸素負債量との割り合いから見た酸素負債の発現経過

Fig. 4 Process of Oxygen Debt/Maximal Oxygen Debt in the 1600 m Running

要量と、800 m までのそれぞれの発現量から 400 m のそれぞれの発現量を減じた値、同様に 1200 m から 800 m のそれを減じた値、1600 m から 1200 m のそれを減じた値を、それぞれの各 400 m に配分された有気的・無気的エネルギー量とみなす訳である。

図 6 は縦軸に算出された酸素需要量、横軸に各 400 m をとり、1600 m 走に於けるいわゆるエネルギーの配分を見ようとしたものである。どの被検者、タイプとも、最初の 400 m への配

分が最も高く、その後、やや右下りの傾向を示す。M. A, S. S の T. 1 を見ると、M. A では前半 800 m, S. S では最初の 400 m への配分が他タイプに比較して最も高く、その後今度は最も低くなっている。一方、最良タイムの得られた M. A, S. S の T. 2, S. I の T. 1 では、やはり最初の 400 m への配分が他区間に比して一番高いが、M. A, S. S では T. 1 より低い水準に抑えられ、後半への配分が急激に低下することなく、比較的ゆるやかな低下である。

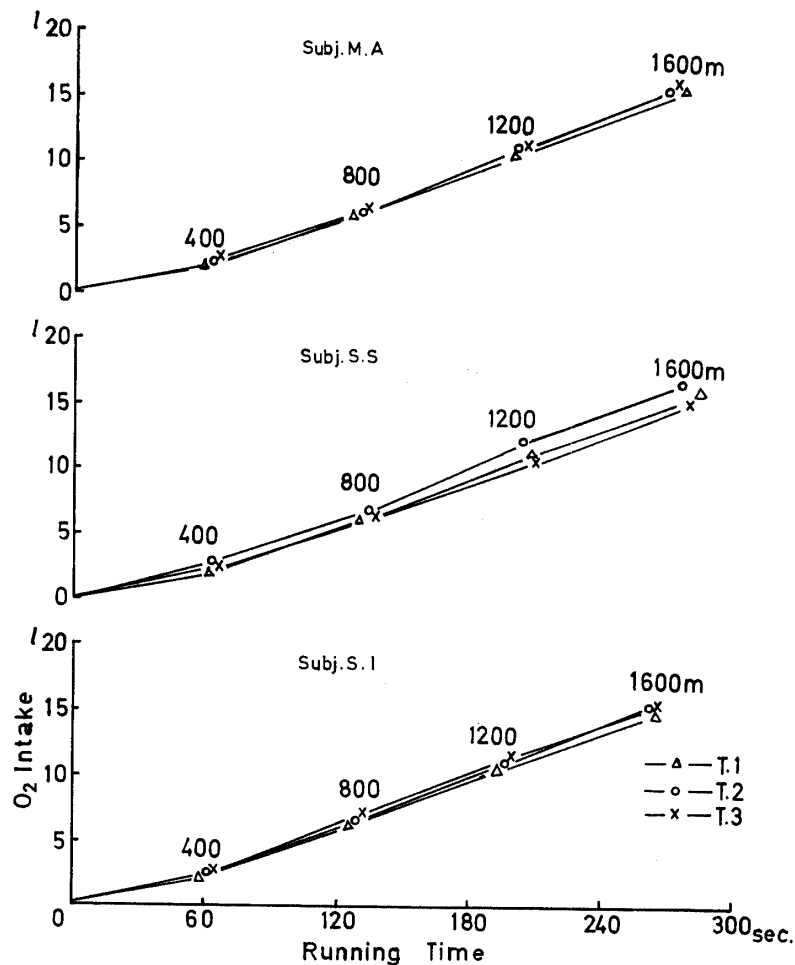


図 5 各 1600 m 走での酸素摂取量の発現経過

Fig. 5 Process of Oxygen Intake in the 1600 m Running

図 7 は同様に縦軸に算出された酸素負債量、横軸に各 400 m をとり、いわゆる無気的エネルギーの配分を見ようとしたものである。どの被検者、タイプとも、最初の 400 m への酸素負債の配分が著しく高く、1600 m で出し得る酸素負債の 50~70% を最初の 1/4 の地点で発現させている。M. A, S. S の T. 1 を見ると M. A では前半 800 m, S. S では最初の 400 m への配分が特に高く、そのため、その後の配分は急激に低下し、後半への配分はほとんどゼロである。つまり、後半への配分がゼロにならざるを得ない程、前半の配分が大きすぎた走り方であったことがわかる。一方、最良タイムの得られた M. A, S. S の T. 2, S. I の T. 1 では、やはり最初の 400 m への配分が一番高くなっているが、その後も出来るだけゆるやかに低下させている。

図 8 は、同様に、各 400 m へ配分された酸素摂取量、いわゆる有気的エネルギーの配分を見ようとしたものである。酸素摂取の配分は、酸素負債の配分とは逆に、最初の 400 m への配分が 1 番低く、その後ゆるやかに増加する傾向を示すが、酸素負債に見られるような各タイプ間の特徴ある傾向は見られない。但、最大酸素摂取量が最も高い被検者 S. S に於いて、最良タイムの得られた T. 2 が各地点で比較的高い配分がなされている。

以上、ペースが物理的なスピードの配分としてとらえられると同様に、生理的なエネルギーの配分としてとらえられる。そして中距離走のペースを評価するには、酸素摂取、いわゆる有気的エネルギーの配分よりも酸素負債、いわゆる無気的エネルギーの配分を見る時に各ペース

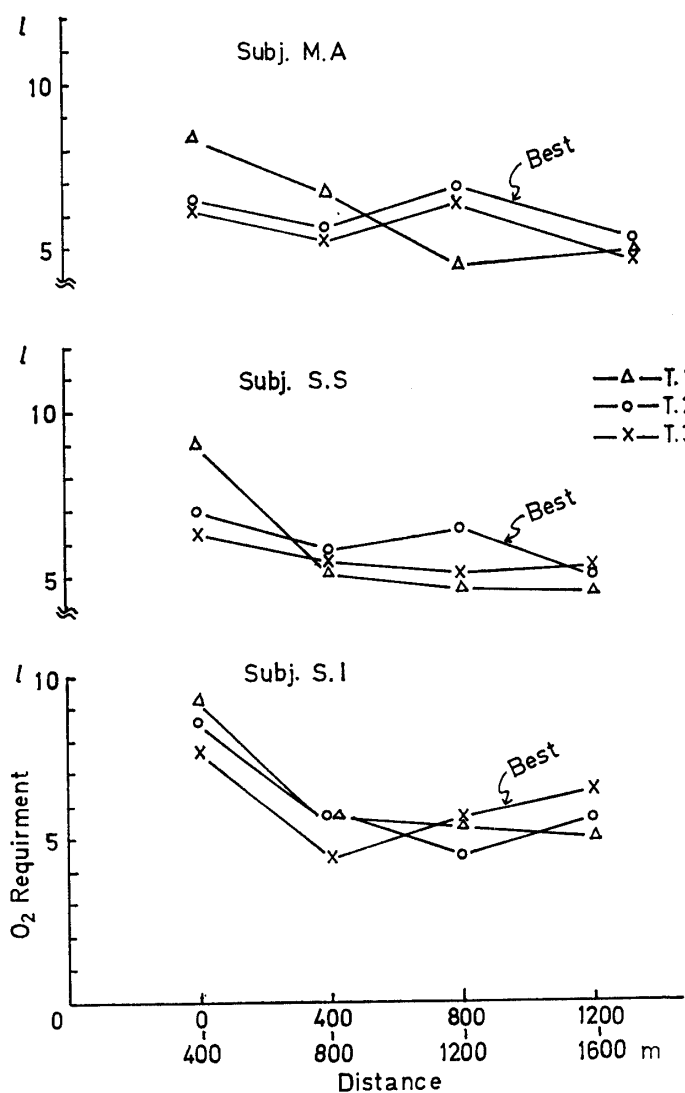


図 6 各 400 m への酸素需要量の配分

Fig. 6 Distribution of Oxygen Requirement for each 400 m

間の特徴がうかがえ有利であることがわかる。

IV まとめ

いくつかの 1600 m 走における、スピード変化、酸素摂取、酸素負債の発現経過を実験的に測定し、その結果を手がかりとして、中距離走ペースを検討したところ、次のことが示唆された。

A. ペースは、物理的なスピード変化として見られるだけでなく生理的ないわゆるエネルギーの出し方、使い方に着目し、酸素摂取量、酸素負債量、及び酸素需要量、さらにそれらの発

現経過を実験的に測定しても、各ペースの特性を見ることが出来る。

B. 1600 m 走に於いて、最良のタイムの得られるペースとは、物理的には前半から積極的に、速いスピード配分（前・後半のタイム差が 7～9 秒程度）で走行し、徐々にスピードが低下していく走り方である。又、生理的には、直線的な発現経過をたどって、最も高い酸素需要量が得られる走り方で、より多くの発現が期待できる前半に、より多くのエネルギーを配分して、エネルギーを効果的に使用していく走り方である。

C. 1600 m 走に於いて、最良タイムの得ら

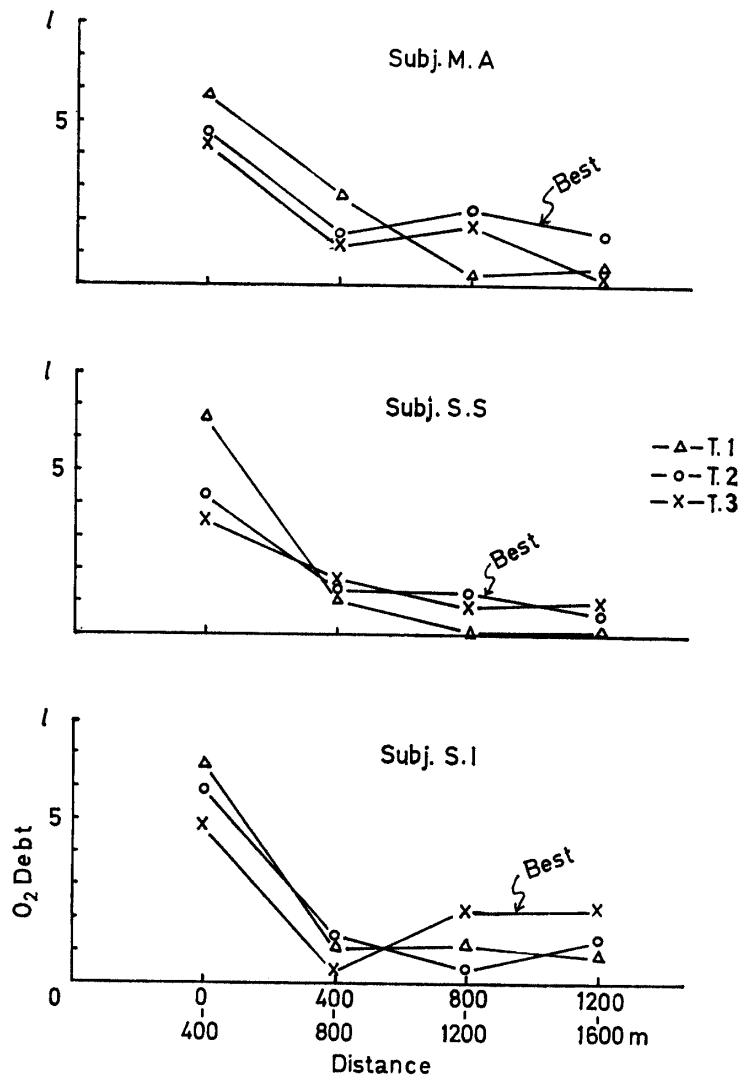


図 7 各 400 m への酸素負債量の配分

Fig. 7 Distribution of Oxygen Debt for each 400 m

れるペースを各個人のもつ最大酸素負債量を目安にすれば、個人差はあるが、スタートから最初の 400 m で最大値の約 50% の負債を発現させ、その後の各 400 m について、漸次 10% 程度、酸素負債発現を累積させていく走り方である。

D. 1600 m 走のペースを生理的なエネルギーの側面から見ようとする時、全エネルギーの約 65% を占める酸素摂取、いわゆる有気的エネルギーの配分より、約 35% しか占めないが、酸素負債いわゆる無気的エネルギーの配分の善し悪しにかかっているといえる。

参考文献

- 1) Christensen, E. H., R. Hedman and I. Holm-

dahl (1960): The influence of rest pauses on mechanical efficiency, Acta Physiol. Scand., 48: 443—447.

- 2) 石河利寛(1962): 「スポーツとからだ」, 岩波新書, p. 107~108.

- 3) J. K. Doherty (1964): Modern Training for Running, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.

- 4) K. Rompotti (1970): Racing Tactics, Finland, International Track and Field Coaching Encyclopedia.

- 5) 金原 勇 (1971): 「陸上競技の技術, ペース」, 図説陸上競技事典, 上巻.

- 6) Knuttgen, H. G. (1962): Oxygen debt, lactate, pyruvate and excess lactate after

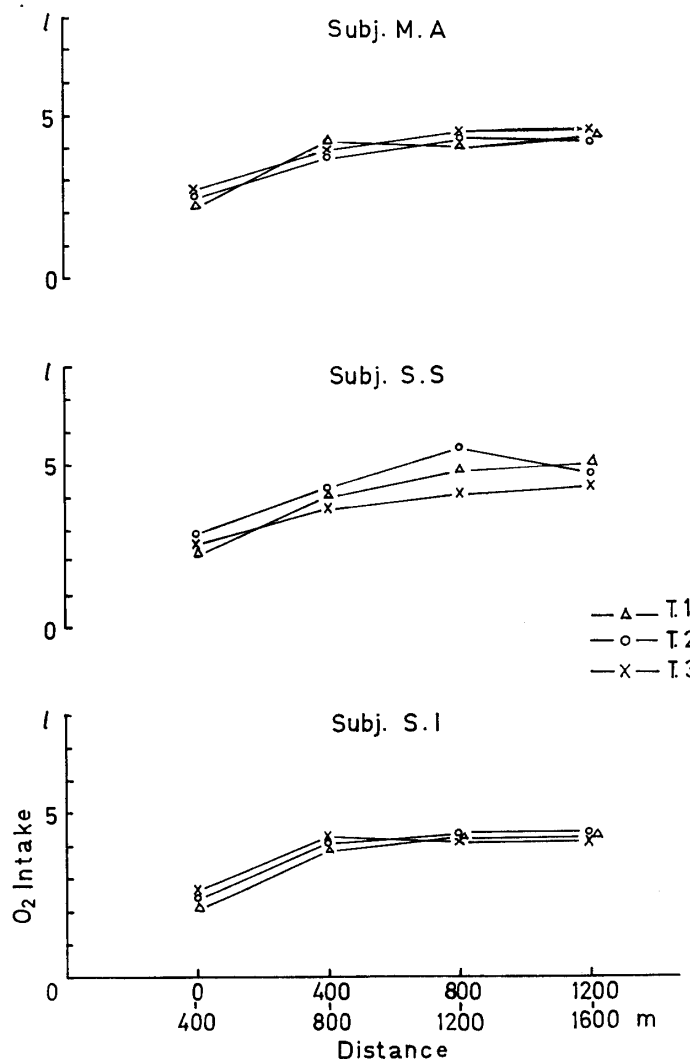


図 8 各 400 m への酸素摂取量の配分

Fig. 8 Distribution of Oxygen Intake for each 400 m

- muscular work, J. Appl. Physiol., 17 (4) : 639—644.
- 7) 小林寛道 (1968) : 「ランニングの酸素負債発現に関する研究」, キネシオロジー研究会会報「ひろば」No. 83.
 - 8) L. E. Morehouse (1959) : Physiology of Exercise, The C. V. Mosby Company.
 - 9) Margaria, R., H. T. Edwards and D. B. Dill (1933) : The possible mechanisms contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction, Am. J. Physiol., 106 : 689—715.
 - 10) P. Jordan and B. Spencer, 小田海平訳 (1970) : 「アメリカ陸上競技の技術」, 講談社.
 - 11) 清水克哉, 金原, 古藤 (1971) : 「陸上競技における中距離ペースの実験的研究」, (体育学研究) Vol. 15, No. 5, p. 105.
 - 12) 清水達雄, 帖佐, 青木 (1968) : 「種々の距離走における O₂ Intake と O₂ Debt の割合について」, 順天堂大学保健体育紀要第11号, p. 101—110.
 - 13) 進藤宗洋 (1969) : 「マラソンの研究—第1報—平均スピード・所要時間 (対数尺度) グラフによる分析」, 福岡大学 35 周年記念論文集体育学編, p. 307—338.
 - 14) W. C. Adams and E. M. Bernauer (1968) : The effect of selected pace variations on the oxygen requirement of running a 4 : 37 mile, Res. Quart., 39(4) : 837—846.