

短時間運動の performance および生理学  
的変量に及ぼすペース配分の影響

所属学科目 体 力 学  
著 者 名 吉野 貴順

論文指導教員 青木純一郎

合格年月日 昭和 59 年 3 月 5 日

論文審査委員 石河利寛  
千葉久志  
大西暁志

目 次		頁
第 1 章	緒 言	1
第 2 章	関連文献の考証	4
	<u>はじめに</u>	4
第 1 節	<u>競技におけるペース配分</u>	6
	(1) ペース配分の意義と その目的	6
	(2) 短距離のペース配分	7
	(3) 中長距離のペース配分	13
	(4) トレーニングによる ペースの習得	14
第 2 節	<u>ペース配分に関する 運動生理学的研究</u>	15
第 3 節	<u>短時間運動の生理学的 特性</u>	25
	(1) 運動のエネルギー	25
	(2) 運動の効率 (net efficiency)	
	(3) 短距離選手の生理学的	29

	特性	
第3章	研究方法	32
第1節	<u>被験者</u>	32
第2節	<u>実験方法とその手順</u>	32
(1)	総仕事量の決定	32
(2)	ペース配分	33
(3)	実験手順	34
第3節	<u>測定項目とその測定方法</u>	35
(1)	performance time	35
(2)	酸素摂取量	36
a)	酸素負債量	36
b)	乳酸性および非乳酸性	37
	酸素負債量	
c)	酸素需要量	38
(3)	運動の効率 (net efficiency)	38
(4)	血中乳酸濃度	38
第4節	<u>実験場所と期間および</u>	39
	<u>気象条件</u>	

第4章	研究結果	40
第1節	<u>ペース配分と performance time</u>	40
第2節	<u>performance time と エネルギー出力</u>	41
(1)	酸素需要量	41
(2)	酸素負債量および乳酸性 酸素負債量	42
(3)	その他の示標	43
(4)	運動の効率	45
第5章	考察	46
第1節	<u>研究方法の特色</u>	46
第2節	<u>短時間運動における ペース配分</u>	51
第3節	<u>performance と エネルギー 出力</u>	57
第6章	結論	67

第 7 章 要 約

68

謝 辭

70

引用文献

71

欧文要約

175

# 第1章 緒言

競技の成績が秒単位で測定されるスポーツ種目では、特にペース配分が重要視されている<sup>7)10)13)24)30)37)39)48)53)54)55)</sup>。多くのコーチたちは、競技時間が40秒以上の種目について、ラップタイムをもとに、各種目の至適ペース配分を指導している<sup>7)10)13)37)39)48)53)54)55)</sup>。競技時間が40秒～2分の範囲にある種目に関しては、目標とする距離の1/2の距離のベストタイムを根拠としてペース配分が論ぜられている<sup>13)39)48)54)</sup>。すなわち、競技の前半をそのベストタイムよりも1～6秒遅く競技することを推奨している<sup>13)39)48)54)</sup>。また、競技時間が2分より長い種目に関しては、基本的に“steady”ペースが指導されている<sup>7)10)13)39)53)54)55)</sup>。

ところが、そのようなペース配分を運動生理学的観点より実験的に考察した研究のほとんどすべてが、中長距離を対象としたものである<sup>1)4)6)8)25)28)43)47)50)52)</sup>。しかも、それらの研究から得

られた知見は必ずしも一致していない。すなわち、効率や酸素需要量を主な示標とした研究が steady ペース<sup>1)8)25)28)43)50)</sup>あるいは“slow-fast”ペース<sup>47)</sup>を支持しているのに対して、performanceを主な示標とした Ariyoshi ら<sup>4)</sup>は、“fast-slow”ペースの有効性を示唆している。

一方、短距離競技に焦点を当てたものには、金原ら<sup>32)</sup>および Itow ら<sup>31)</sup>の研究があるにすぎない。そのうち、金原ら<sup>32)</sup>の研究は、12~48秒間の運動の performance を、“effortの配分”という概念で考察している。一般に、effortの配分は、40秒未満で終了する競技に限って適用され<sup>7)10)13)14)39)48)54)</sup>、物理的変量を根拠としたペース配分という概念とは趣きを異にしている<sup>7)10)13)</sup>。また、Itow ら<sup>31)</sup>は、自転車エルゴメータを用いて2分間の最大運動のペース配分を研究したとしているが、その具体的方法、研究結果および結論は明確に示されていない。したがって、競技時間が40秒~2分の範囲にある競技種目のペース配分については、未だ

なんらの実験上の知見が得られていない状態である。

そこで、競技時間が40秒～2分の範囲にある短距離競技のペース配分に関する実証的研究をするために、自転車競技やスピードスケート競技の1000mレースの記録に相当する約80秒で遂行される自転車エルゴメータ運動をモデルとして実験を行った。

なお、実験モデルの構築に当っては、研究結果が出来る限り実際のレースでのペース配分に役立てられるようにするため、主な示標を一定の仕事の遂行時間とし、さらにペース配分の具体的方法は現場で最も受け入れられている実践的な考え方を最大限に生かすことにした。



## 第2章 関連文献の考証

はじめに

第1節では指導の場における実践的なペース配分を、また、第2節では運動生理学的研究に基づくペース配分を考証する。

なお、paceという単語は、名詞あるいは動詞として使われる<sup>4)</sup>。名詞には、歩調、歩速(走速)、歩きぶり等の意味があり、動詞には、歩調正しく歩む、整調する、一定の速度で走る等の意味がある<sup>(5)(45)</sup>。また、スポーツ競技の現場では、このような概念を拡大し、ボールのスピードあるいは球技におけるゲームの流れ等にもペースという言葉が用いられている<sup>(15)(30)</sup>。さらに、競技の成績が秒の単位で測定されるスポーツ競技においては、運動の速度、速度の度合いあるいはレース中の力の配分がペースと呼ばれている<sup>(30)(44)</sup>。

一方、日本語では、「ペース配分」という言葉も良く使われている。これはpaceという単

語が持つ動詞の意味を動名詞として表現したもので、pacingの訳語に相当する単語であると思われる。したがって、ペース配分は「運動の速度を調節すること」と定義され、ペースとは区別される。

ところで、陸上競技の800 m、水泳競技の200 m およびスピードスケート競技の1500 m は、競技時間が約1分40秒～2分の範囲にあり、一般に中距離種目と考えられている<sup>7)13)37)</sup>。Fox<sup>20)</sup> および Lamb<sup>34)</sup> によれば、これらの種目に要する全エネルギー量のうち、55～70%が無酸素的エネルギー発生過程より出力される。また、ÅstrandとRodahl<sup>5)</sup> は、有酸素的および無酸素的過程によるエネルギー出力の比率が等しくなるのは約2分間の最大運動であることを示している。このように、エネルギー出力からみると、2分という時間が、1つの分岐点となることがわかる。そこで、運動時間が2分以下の競技を短距離とし、2分より長い競技を中長距離として、以下の論を展開する

ことにする。

## 第1節 競技におけるペース配分

(1) ペース配分の意義とその目的。

一般的概念として、ペース配分は、「一定距離内において自己の持つ全能力を十二分に発揮すること」<sup>29)30)</sup>、あるいは「定められた距離を最も良い記録で走ること」<sup>44)</sup>を目的として実施される。

競技におけるペース配分は、「記録をねらうためのペース配分」と「相手に勝つためのペース配分」とに大別される<sup>7)10)14)53)55)</sup>。特に陸上競技の中長距離種目ではペースが集団力学によって形成され、相手との駆け引きに重点が置かれる傾向にあることは否定できない<sup>53)</sup>。しかし、Bush<sup>7)</sup>は、他の競技者に惑わされることなく、記録を目指して自分のペースで競技することがペース配分の基本であると述べている。したがって、本章では、特に記録をねらうためのペース配分に焦点を当てて論を進めたい。

## (2) 短距離のペース配分

陸上競技の100 m および 200 m では、effort の配分 (effort contribution) という概念を用いて競技の成績が考察されている<sup>7)10)13)14)39)48)54)</sup>。effort の配分とは、選手の努力感や疲労感などの精神的要素を根拠とした概念であり、物理的変量を根拠としたペース配分とは性質を異にしている<sup>7)10)13)14)39)48)54)</sup>。一般に、effort の配分という概念は、陸上競技 100 m および 200 m に限って適用され、競技時間が40秒以上の種目では、ペース配分という概念が適用されている<sup>7)10)13)39)48)54)</sup>。

陸上競技 100 m および 200 m では、終始最大努力を払って競技するのではなく、中間部分で努力感を下げるいわゆる“フロート(float)”が必要である<sup>7)10)14)54)</sup>。

陸上競技 400 m に関しては、Wilt と Ecker<sup>54)</sup> が前半の 200 m と後半の 200 m とのラップタイムの差、あるいは前半の 200 m のラップタイムと 200 m のベストタイムとの差を基準にしてペース配分を指導している。彼らは前半

の 200 m をベストタイムより 0.5 ~ 1.5 秒遅く走り、前半の方が後半より 1.5 ~ 3 秒速い時に、最も良い記録が出ると述べている。これと同様な概念は Robinson<sup>48)</sup> によっても示されている。また、Cooper<sup>10)</sup> は前半の 200 m を後半の 200 m より 1 ~ 2 秒速く走ることを推奨している。

Counsilman<sup>13)</sup> は水泳競技の 100 m のペース配分についても、前述の Wilt と Ecker<sup>54)</sup> および Robinson<sup>48)</sup> と同様な考え方を示している。彼は約 50 秒間の競技中に最大努力を維持し続けても最高記録には結びつかないことから、ペース配分の必要性を強調している。そして、50 m を最大努力で泳いだ時の時間を基準にして、前半の 50 m をその時間より 0.5 ~ 1 秒遅く泳ぐことが最も良い方法であると述べている。

自転車競技の 1000 m タイムトライアルは、競技時間が約 70 秒の種目である。前嶋<sup>36)</sup> は、競技中のラップタイムの変化からペース配分を考察している。その結果、比較的イーブンペースでは良い成績が望めず、トップスピーー

ドとゴール直前のスピードとに約7~12 km/hの差が生じるようなペース配分によって好記録が出ることを示唆している。

陸上競技の800 m, 水泳競技の200 mおよびスピードスケートの1500 mは、共にその競技時間が1分40秒~2分の範囲にある種目である。これらの種目では、ペース配分の重要性が強調され<sup>7)10)13)37)39)48)53)54)55)</sup>、特に前半のオーバーペースによって競技記録が著しく低下することが指摘されている<sup>13)39)53)55)</sup>。ラップタイムからみると、いずれの種目においても、好記録が生まれた時には前半のタイムが後半よりも1~6秒速い<sup>37)39)53)54)55)</sup>。しかし、1分40秒~2分の範囲に入る種目の至適ペース配分としてsteadyペースを推奨するコーチ<sup>7)10)13)39)</sup>とfast-slowペースを推奨するコーチ<sup>37)53)54)55)</sup>とがいることは興味深い。しかし、どちらの立場をとるにしても、スピードの大きな低下を生じない、より高いスピードで競技することが最も良い記録に結びつくという考えでは一致している<sup>7)10)13)37)39)53)54)55)</sup>。

Wilt と Ecker<sup>54)</sup> および Maglischo<sup>39)</sup> は陸上競技の 400 m および水泳競技の 100 m と同様に、陸上競技の 800 m および水泳競技の 200 m に関しても、これらの距離の半分の距離のベストタイムあるいは前半と後半のラップタイム差を基準にしてペース配分を論述している。Wilt と Ecker<sup>54)</sup> は、一般的には多くの世界的ランナーが前半の 400 m よりも後半の 400 m を 2 ~ 3 秒遅い時間で走っているが、例外的に 1966 年の Ryun と Kemper の記録に関しては、前半より後半を 1 ~ 2 秒速く走ったことを述べている。しかし、前半のラップタイムと 400 m のベストタイムとの差は、世界的ランナー間でほぼ一定であり、その差は 4.7 ~ 6.5 秒の範囲であったことも示した。ここで注意しなければならないのは、陸上競技の 800 m では最初の 100 m がセパレートコースで、残りの 700 m はオープンコースでレースが行われることである。このため、相手との駆け引きの問題が生じる。したがって、Wilt と Ecker<sup>54)</sup> が示す世

界的ランナーのラップタイムの差が、果して記録をねらったペース配分の結果であったかどうかは疑問である。

一方、Maglischo<sup>39)</sup>は水泳競技の200 mに関して、前半の100 mを100 mの最高タイムより2~3秒遅く泳ぎ、かつ後半のラップタイムの低下が約2~3秒となるようなペース配分を指導している。

このように競技時間が40秒~2分の範囲にある種目では、目標とする距離の半分の距離のベストタイムと競技の前半および後半のラップタイムを根拠としてペース配分が論ぜられている。そして前半のペースは、目標とする距離の半分の距離のベストタイムよりも低く設定され、後半より前半のラップタイムが速いことが明らかとなった。ただし、競技中のラップタイムの変化からペース配分を考察する際に注意しなければならないのは、選手は意識的に後半のラップタイムを落しているのではなく、疲労のためやむなく落ちてしま



っていることである。後半のスピード低下を引き起す直接の原因は前半のスピードである。後半のラップタイムの低下を1~3秒の範囲に抑えるために、前半のスピードをベストタイムよりも0.5~6秒遅いスピードに設定していることになる。したがって、40秒~2分で遂行される競技では、目標とする距離の1/2の距離に達するまでのスピードのコントロール、すなわちペース配分がきわめて重要な意味を持つことになる。

WiltとEcker<sup>54)</sup>は、最高スピードに達した後、徐々にスピードが低下するようなペースを“natural ペース”と呼び、陸上競技400mおよび800mでは、natural ペースで競技することによって最高タイムが得られることを指摘している。

ところで、以上に要約した40秒~2分の範囲で遂行される競技のペース配分は、陸上競技の400mおよび800m、あるいは水泳競技の100mおよび200mからの知見である。競

技時間がこれらの種目の中間にあるスピードスケートおよび自転車競技の1000mに関するペース配分を理解するための具体的な資料は不十分である。

### (3) 中長距離のペース配分

中長距離競技では、最高の記録が steady ペースによって得られるという考え方で、多くのコーチの意見は基本的に一致している<sup>(10)(13)(39)</sup>  
<sup>(48)(53)(54)(55)</sup>。競技中のラップタイムの変化をみると、実際には2~4秒程度の変動があり、ラストスパートの時期を除いて、ラップタイムは徐々に低下する傾向にある<sup>(7)(10)(13)(39)(54)(55)</sup>。しかし、それらの変化は急激なものではなく、滑らかな変化であること、および相対的に運動時間が長いことから、一括すれば steady ペースという概念が適用されている。

中長距離競技では、特にレース初期のオーバーペースによる競技成績の著しい低下の危険性が指摘されている<sup>(10)(13)(39)(39)(54)(55)</sup>。そして、コーチたちは、レース初期の無理な加速に伴う乳

酸蓄積を避け<sup>7)39)</sup>, 自己の持つ無酸素的能力を、レース全般に配分することの必要性を強調している<sup>(3)39)54)</sup>。

(4) トレーニングによるペースの習得  
レース中に用いるペース配分は、日常のトレーニングにおいて十分に研究される必要がある<sup>7)10)13)14)39)46)54)55)</sup>。特に、カリフォルニア大学ロスアンゼルス校の陸上競技のコーチである Bush は、400 m 以上の競技におけるトレーニングの焦点を反復練習によるペースの体得に当てている<sup>7)</sup>。

ペース配分の習得に当って、その判断基準となるのは、競技の記録およびラップタイムなどの物理的示標と努力感および疲労感などの選手個々の感覚である。トレーニングにおいてこれら2つの要素間の関係を十分に体得することが、きわめて重要である<sup>10)13)14)54)</sup>。

effort の配分もレース中のスピードと密接に関係することは事実である<sup>7)10)13)14)39)46)53)54)</sup>。しかし、多くのコーチたちは effort の配分をペー

ス形成の一手段として位置づけている<sup>17)10)13)39)48)53)54)</sup>。

一方、所定の距離を最も良いタイムで競技するための至適ペース配分は、目標とする距離あるいは選手の持つ体力的な特性によって異なる<sup>7)39)53)54)</sup>。したがって、目標とする距離あるいは選手の能力に応じて個別に研究される<sup>7)39)53)54)</sup>なければならない。

## 第2節 ペース配分に関する運動生理学的研究

ペース配分に関する運動生理学的研究はHill<sup>28)</sup>にその源を遡している。

彼は一定時間内で遂行できる最大運動が、各人のエネルギー出力に依存すること、および、ランニングスピードの変化に伴い酸素需要量が、スピードの2乗あるいは3乗の関数として変化することを明らかにした。この結果から、彼は理論的にはレース中一定のスピードで走ることが最も効率的な方法であることを考察している。

この研究とほぼ同時期に、Sargent<sup>50)</sup>は1名の

被験者について、スピードと酸素需要量の関係を研究し、5~9 yd/secの範囲内において酸素需要量がスピードの3.8乗の関数として変化することを示した。彼はこの結果から、中距離走におけるsteadyペースの有効性を示唆している。Sargentのこの研究は、Hill<sup>28)</sup>の研究の妥当性を確認するものであり、エネルギー出力がperformance決定の主な因子であることが明らかにされた。

1950年代に入り、ChristensenとHögberg<sup>8)</sup>は無酸素的な運動の効率が有酸素的な運動の50%でしかないことを知見し、中距離ランナーは可能な限り速い平均スピードを維持し、無酸素的なエネルギーを多量に用いる“rushing”を避けるべきであると述べている。

一方Robinsonら<sup>47)</sup>は、Hill<sup>28)</sup>やSargent<sup>50)</sup>の研究が完全な疲労を生じない、しかも比較的短時間の運動より得られた結果から競技におけるペース配分を論述していることを指摘し、exhausting runを用いてペース配分を研究した。すな

わち、良くトレーニングされた1名の中距離ランナーを被験者として、ペースの変化が酸素需要量および血中乳酸値に及ぼす影響を研究した。その被験者は6.8 yd/secの一定スピードでトレッドミル上をランニングすると3.37分でexhaustionとなった。しかし、“slow-fast”ペースで同じ距離を同じ時間で走った場合には酸素需要量と血中乳酸値が一定スピードで走った時よりも少なく、逆に“fast-slow”ペースで同じ距離を同じ時間で走った場合には酸素需要量と血中乳酸値が最も大きくなることを知見した。このことからRobinsonら<sup>40)</sup>は、中距離走においてはslow-fastペースを用いることによつて、最も良い記録が得られると結論している。

これに対して、Mathewsら<sup>43)</sup>は、ランニングにおける3種類の基本的ペース(steady, slow-fast および fast-slowペース)の有効性を検討するため、中距離ランナー7名を対象として、自転車エルゴメータを用いて実験を行った。

6分間の運動中のペダルの回転数および総仕事量は一定として、負荷のみを“steady”、“light-heavy”あるいは“heavy-light”というパターンで変化させた。この実験の結果、彼らはsteadyペースがエネルギー消費量の観点から最も効率的であると結論した。

さらに、Adams と Bernauer<sup>1)</sup> は陸上競技の中距離ランナー9名を被験者として、1マイル走のペース配分をトレッドミルを用いて研究した。彼らは1マイルを4分37秒で走るためには、“steady”、“fast-slow-fast”および“slow-fast”ペースのいずれが最も効果的かを酸素需要量を示標にして検討した。その結果、steadyペースの時、酸素需要量と酸素負債量が他の2つのペースの時よりも有意に少なく、運動中の全酸素摂取量には3種のペース間に差が存在しなかった。そしてこの知見から「ランナーは、自己の能力を正確に評価した上で、レース中一定に維持することのできる最も速いスピードで走るべきである」と結論した。

また考察の中で、一定の距離を一定の時間で走り、しかも無酸素的なエネルギー出力が最大限には発揮されていないこの実験条件で得られた知見が、一定の距離を最も速く走ることとを目的とした競技の場合にも十分に適用できることを強調している。

一方、LégerとFerguson<sup>35)</sup>およびSorani<sup>52)</sup>は、同じく3/4マイル走のペース配分に関する実験を行い、ペースの変化がエネルギー系<sup>35)</sup>および心拍数<sup>35)52)</sup>に何ら影響を及ぼさないことを報告した。特にLégerとFerguson<sup>35)</sup>は、1マイル走の世界的ランナーが“fast-medium-slow-fast”というペース配分をレースにおいて用いることに注目し、このペース配分の有効性をエネルギー出力から証明しようとした。中距離ランナー8名を被験者として、トレッドミルを用いて3/4マイルを約3分32秒で走るという条件の中で、ペースをfast-medium-slow (13.1-12.9-12.3 mph) およびslow-medium-slow (12.7-12.9-12.7 mph)と設定し実験を行った。しかし、両ペース間に有



酸素のおよび無酸素的エネルギー出力に何ら差を見い出すことができなかった。そして彼らは世界的ランナーが用いるfast-medium-slow-fastペースの有効性、特にfastスタートがなぜ最も良い方法なのかをエネルギーの配分という観点では説明できないと結んでいる。

ところで、Bowles<sup>6)</sup>が行ったペース配分の研究は興味深い結果を示している。彼は1マイル走において、エネルギー量が最少となったのはslow-fastペースであり、1マイルを最も速く走ることができたのはfast-slowペースであったことを報告している。

この研究より導き出される最も重要な示唆は、競技のペース配分を研究する場合、何を根拠としてその有効性を検討するのかという点である。以前の研究では、performanceを示標としてペース配分が検討されていない。したがって、この研究は一定の距離を一定の時間で走る場合の効果的なペース配分と、一定の距離をより速く走るための効果的なペース配分

とが異なるかも知れないことを示唆している。

1979年, Ariyoshi<sup>54)</sup>は、performanceを主な示標としてペース配分の実験を行った。彼らは大学陸上部に所属する中長距離ランナーを対象として、トレッドミル上で1400mを4分で走る3種類のペース(fast-slow, slow-fast, および steady rate ペース)を設定し、加えて規定ペースでのランニング後には370 m/minでのオールアウト走を実施した。その結果、fast-slow ペース後のオールアウト走時間が最も長く、以下 steady rate, slow-fast ペースという順となった。一方、4分間のペースを規定した運動の酸素需要量は逆にfast-slow ペースが最も少なく、slow-fast ペースの時最大となった。この結果から、彼らはfast-slow ペースの有効性を示唆するとともに、ランナーは物理的な steady ペースよりは生理的な steady ペースを目指すべきであると結論している。

Secher<sup>51)</sup>は、ボート選手を対象として自転車エルゴメータを用いて、一定仕事率での運

動と、initial spurt を含む運動とを比較した。すなわち、 $VO_2 \max$  に相当する負荷で6分間運動した場合と、45秒間のinitial spurt を行った後  $VO_2 \max$  に相当する負荷で合計6分間運動した場合とを比較した。その結果、initial spurt によって、6分間の仕事量および酸素摂取量は増加したが、酸素負債量には差が生じなかったことを報告している。この結果から、約6分間で行われる競技においては、initial spurt が有効な方法であると結論している。

ペース配分に関する上述の研究は、いずれも中長距離を対象とした研究である。運動時間が2分以下である短距離に関する研究は、わずかに金原ら<sup>32)</sup> および Itow ら<sup>31)</sup> が報告しているにすぎない。

そのうち金原ら<sup>32)</sup> は、12、24 および 48 秒間で遂行される最大運動のペースを研究したと報告している。しかし、彼らの研究は被験者の努力感と運動の performance との関係を検討したものであった。前述したように、コーチた

ちは、ペース配分の概念と effort の配分の概念を区別している<sup>7)10)13)14)39)48)54)</sup>。そして effort の配分は、主に陸上競技の 100 m および 200 m に関して適用される概念である<sup>7)10)13)39)48)54)</sup>。また、陸上競技 400 m に関しては、基本的にはペース配分の概念が適用されているが、ペースと effort がきわめて密接な関係にあることも指摘されている<sup>7)14)54)</sup>。したがって、金原ら<sup>32)</sup>の研究は、運動時間を 48 秒以下に限定すれば、競技の特性および競技の現場からの要求に合致した研究と言える。

しかし、金原ら<sup>32)</sup>の研究の大きな問題点は努力感という精神的な要素を根拠として実験条件が設定されているため、方法に客観化できないあいまいな点があること、および努力感と実際のスピードが運動初期においてさえ一致していない点である。

一方、コチたちが陸上競技の 100 m および 200 m に関してスタート直後は最大努力を發揮することを推奨している<sup>7)10)48)54)</sup>のに対して、

金原ら<sup>32)</sup>が、努力感を下げると必要があると結論していることは興味深い。

Itowら<sup>31)</sup>は、スピードスケート選手3名を被験者として自転車エルゴメータを用いて、2分間最大運動のペース配分の実験を行ったと報告している。しかし、その具体的な方法、研究結果および結論は全く示されていない。

以上 Hill<sup>28)</sup> 以来行われた競技のペース配分に関する実験的な研究を示した。金原ら<sup>32)</sup>の研究は例外として、それらの研究はいずれも中長距離を対象としていた。しかし、それらの研究結果は必ずしも一致していない。すなわち、運動の効率およびエネルギー出力を主な示標とした研究者たちが steady ペース<sup>1)8)25)28)43)</sup>あるいは slow-fast ペース<sup>4)</sup>を支持しているのに対して、performance を主な示標とした Ariyoshi ら<sup>4)</sup>は fast-slow ペースを支持している。

競技の成績が秒単位で測定されるスポーツ競技は、一定距離内での performance が競われる。したがって、競技のペース配分を研究す

る場合、performance を主な示標とすることはより現実的な方法であると思われる。

一方、各競技のコーチたちは短距離においても、effort の配分あるいはペース配分が performance 決定の重要な因子であると述べている<sup>(7)(10)(13)(14)(37)(39)(46)(54)</sup>にもかかわらず、短距離に関しては、わざわざ金原ら<sup>32)</sup>が effort の配分を研究し、知見を報告しているにすぎない。しかし、この研究として、被験者の感力感を基準にして実験が行われているため、客観性に欠ける点は否定できない。したがって、短距離、特に現場のコーチたちがペース配分の必要性を強調している40秒～2分の範囲にある競技を対象としたペース配分の実験的研究が今後必要であろうと思われる。

### 第3節 短時間運動の生理学的特性

#### (1) 運動のエネルギー

一定時間内に遂行できる最大運動量はエネルギー出力に依存することおよびスピードの

変化に伴い単位時間あたりの酸素需要量がスピードの関数として変化する<sup>28)50)</sup>ことは、1920年代から知られている。

AstrandとRodahl<sup>5)</sup>は、最大運動を行った場合、その時間が短いほど、酸素需要量に占める無酸素的エネルギー発生割合が増加することを明らかにした。そして、約2分間の最大運動において、酸素需要量に占める有酸素的および無酸素的過程によるエネルギー発生の比率が等しくなることを示した。

同様に、Fox<sup>20)</sup>およびLamb<sup>34)</sup>は、各種スポーツにおける、酸素需要量に占める有酸素的および無酸素的エネルギー発生の割合を示している。それによれば、陸上競技の400 mでは70~80%、同じく800 mでは55~60%、水泳競技の100 mでは約80%、同じく200 mでは55~70%、およびスピードスケート1500 mでは約55%のエネルギーが無酸素的プロセスより発生されている。以上を示した各種目は、競技時間が40秒~2分の範囲に入る種目である。

これらのことは、種目が異なっているにもかかわらず、前述した各競技の各種目がエネルギー論的に密接な関係にあり、特に無酸素的なエネルギー発生が重要な役割を演じていることを示している。

無酸素的過程からのエネルギー発生量は、酸素負債量として運動後に測定される<sup>21)28)</sup>。この酸素負債量が、非乳酸性酸素負債と乳酸性酸素負債とから構成されることは Margaria<sup>40)</sup> によって実証された。非乳酸性酸素負債は ATP (アデニン三リン酸) や CP (クレアチンリン酸) などの筋中の高エネルギーリン酸の分解によるエネルギー発生を意味する<sup>19)33)40)</sup>。また乳酸性酸素負債は解糖系のエネルギー発生を意味する<sup>19)33)40)</sup>。Margaria<sup>42)</sup> によれば、一般人における非乳酸性過程および乳酸性過程によるエネルギー発生の最大量は、体重 1 kg あたり 100 cal および 230 cal、またそのパワーはそれぞれ、13 cal/sec および 7 cal/sec である。したがって、最大努力を払って運動を行った場合、非乳酸



性および乳酸性過程のエネルギーだけで可能な運動遂行時間は、それぞれ約7秒および32.9秒となる。Knuttgen と Saltin<sup>32)</sup> および Margaria<sup>40)</sup> は、筋中の ATP および CP 濃度から算出して、非乳酸性酸素負債量の絶対量が、それぞれ34とおよび25ととなることを報告している。一方、乳酸性酸素負債量は、体内の乳酸耐性を高めることによって、その絶対量を増加させることが可能であることが示唆されている<sup>40)</sup>

非乳酸性および乳酸性酸素負債量の求め方は、Margariaら<sup>40)</sup>、Margariaら<sup>41)</sup> および Henry と De Moor<sup>23)</sup> によって示されている。Margariaら<sup>40)41)</sup> の定量方法には血中乳酸濃度の測定が必要であったのに対して、Henry と De Moor<sup>23)</sup> の方法は、回復期酸素消費量の動態を数学式に置換しての定量法であった。Henry と De Moor<sup>23)</sup> の式を用いて青木ら<sup>2)</sup> は、100 m 疾走時の短距離選手9名の酸素負債量、非乳酸性および乳酸性酸素負債量が、それぞれ、5~10と、1~2.5とおよび3.5~7との範囲にあったと報告している。

一方、近年 Dimri ら<sup>18)</sup> は、回復の0~9分あるいは0~15分までの正味の酸素摂取量から酸素負債量を算出する方法を示し、この方法で予測した酸素負債量と回復の60分までの酸素負債量とが.99以上の相関係数を持って一致することを報告している。また、彼らは高強度運動に関しては、回復の15分までの正味の酸素摂取量から酸素負債量を予測した方が相関がより高いことも報告している。

## (2) 運動の効率 (net efficiency)

スピードの増加および一定時間内の仕事量の増加が運動に要する酸素需要量を指数関数的に増加させ運動の効率(以下効率と省略)を低下させることはよく知られている<sup>8)9)16)21)23)24)</sup>。

Christensen と Högberg<sup>8)9)</sup> は、無酸素的なエネルギー出力の増大が効率を低下させること、および、無酸素的な運動の効率が有酸素的な運動の約50%であると報告した。さらに、Henry と De Moor<sup>23)</sup> および De Moor<sup>16)</sup> は、酸素負債量の増加、特に乳酸性酸素負債量の増加が運動の効率を

低下させ、非乳酸性の酸素負債の増加が効率の低下に関係しないことを報告した。

### (3) 短距離選手の生理学的特性

競技の成績を決定する要因として(1)有酸素的および無酸素的過程からのエネルギー出力、(2)筋および技術などの神経・筋協調能、ならびに(3)作戦およびモチベーションなどの心理的因子が上げられ、これらの因子が果す役割は目標とする種目によって異なる<sup>49)</sup>。特にスピードを競う競技では、エネルギー出力が決定的な因子となる<sup>28)49)50)</sup>。したがって、短距離選手は、より大きな無酸素的エネルギー出力を備えていなければならない。

短時間運動を制限する因子としては、ATP-CP系および乳酸系のエネルギー出力に関する多くの項目があげられている<sup>17)26)</sup>。すなわち、ATPとCPの絶対量とその再合成能力、および、解糖系の要素として、PFK (phosphofructokinase) や LDH (lactate dehydrogenase) などの解糖酵素の活性、グリコーゲンの筋含有量、乳酸蓄積能力および血

液 pH などあげられる<sup>21)</sup>

一方, Costill ら<sup>11)</sup> は、持久的競技者に比べてスプリンターは筋線維に占める FT 線維の割合が高いこと (% FT fiber, 73 ~ 79%) および筋線維面積に占める FT 線維の面積が大きいこと (% area FT fiber, 69 ~ 85%) を報告している。

## 第3章 研究方法

### 第1節 被験者

専修大学スケート部に所属し、短距離を専門とする男子6名を被験者とした。彼らの身体特性およびスピードスケート競技1000mにおける最高記録(1983年3月現在)を表1に示した。彼らの記録はいずれも、1982年度日本20傑以内にランクされ、6名のうち3名は、1983年2月に行われた世界スプリント選手権大会の日本代表選手であった。

表1

### 第2節 実験方法とその手順

#### (1) 総仕事量の決定

自転車エルゴメーター(モナーク社製、最大10kpまで摩擦抵抗が負荷できるように改良)にて、最大努力で運動した場合、約1分20秒で完遂可能な総仕事量を知るために、各被験者は5, 6, 7および8kpの負荷で、それぞれ1分20秒間、終始最大努力でペダリング運動を行った。総仕事量は、photronic cellを用いて測定した動輪の総回転数、ギヤ比、負荷お

よが動輪の円周を掛けて算出した。

本運動で用いる負荷は、各被験者ごとに最大の仕事量が得られた負荷とした。また、その時のペダルの総回転数を一の位で四捨五入し、本運動での回転数 ( $R$ ) とした。

この結果、本運動において各被験者に対して規定する負荷およびペダルの回転数ならびにこれらの変数から計算される総仕事量 ( $W$ ) は、表2に示す通りになった。

表2

#### (2) ペース配分

ペース配分の基準は、 $W$ の半分の仕事量 ( $\frac{1}{2}W$ ) を終始最大努力を払って遂行した時の平均ペダリング速度とした。 $\frac{1}{2}W$ を遂行するのに要した時間およびそれから算出される平均ペダリング頻度を表3に示した。なお便宜的に、これらの値を $\frac{1}{2}W$ 遂行のための最高値 (best time および maximal pedalling rate) とした。

表3

表4

本運動においては、表4に示す通り、 $\frac{1}{2}W$ に達するまでは、リズムボックスより出力される2拍子のリズムに合わせてそれぞれ maximal

pedalling rate (100%), およびその90, 80ならびに70%の名ペダリング頻度で運動し, 後半の $\frac{1}{2}W$ については, 最大努力を払うことを前提とした任意のスピードでペダリングを行わせた。

### (3) 実験手順

被験者は, 運動開始の約60分前に実験室に来室し, 10~15分間自由に休息した後, 採気マスクを装着して30分間椅座位にて安静を保った。安静終了後, 直ちに肘前静脈より約3mlの採血を行った。その後, 自転車エルゴメーターを用いて任意のウォーミングアップを約5分間実施した。本運動は, 各被験者に対して規定したWを完遂するまで行い, 引き続き仰臥位にて15分間の回復が取られた。回復の6分目には肘前静脈より約3mlの採血を行った。安静の最後の5分間, 運動中および回復の15分間には, ダグラスバッグ法による採気および胸部双極誘導による心電図の記録を行った。

4種類の異なるペースでの運動の試行間には、原則的に1日の間隔が置かれ、試行順序は at random であった。

また、運動中のペダルの回転数を被験者に10回転ごとに知らせるとともに、験者から絶えず口頭による声援が送られた。

### 第3節 測定項目とその測定方法

#### (1) performance time

4種類の異なるペースでWを完遂するのに要した時間を、それぞれ performance time として測定した。

本実験では、各被験者が用いる負荷(kp)は、常に一定であったので、ペダルの回転数から仕事量を知ることが可能であった。そのため、ペダルの1点に磁石、および、フレームにリードリレースイッチを取り付け、その出力をデジタル加算計に入力し、デジタル加算計に示される数値がRに達した時点、をストップウォッチで測定して、performance time を求めた。

同様の方法で、 $\frac{1}{2}W$ を遂行するのに要した



時間も測定した。

## (2) 酸素摂取量

ダグラスバッグ法で採集した安静時、運動時および回復時の呼気を、直ちに Continuous-recording Spirometer CR-20 (フクダ産業製) で計量し、その一部を容量 400 ml のサンプルバッグに取った。サンプルガスは、実験終了後、シヨランダー微量ガス分析装置で分析された標準ガスを用いて校正した Beckman OM-11 および Beckman LB-2 分析計を用いて、それぞれ  $O_2$  および  $CO_2$  濃度について分析された。

以上のようにして求めた各期の酸素摂取量を、さらに以下に述べる示標の算出に用いた。

a) 酸素負債量: 回復期の正味の酸素摂取量を求め、Dimris<sup>18)</sup> の式に従って酸素負債量を算出した。すなわち、

$$Y_m = (Y_2^2 - Y_1 \cdot Y_3) / (2Y_2 - Y_1 - Y_3)$$

但し、 $Y_m$  は酸素負債量、 $Y_1$ 、 $Y_2$  および  $Y_3$  は、それぞれ回復期 3、9 および 15 分までの正味の酸素摂取量とする。

b) 乳酸性および非乳酸性酸素負債量:

Henry & De Moor<sup>23)</sup>の計算式に従って乳酸性酸素負債量  $Y$  (l) を算出した。すなわち,

$$Y = a_1 e^{-k_1 t} + a_2 e^{-k_2 t}$$

但し,  $a_1$  および  $a_2$  はそれぞれ回復開始時の非乳酸性および乳酸性の酸素消費量 (l/分),  $k_1$  および  $k_2$  はそれぞれ非乳酸性および乳酸性酸素消費量の速度定数ならば  $t$  は運動終了後の時間  $t$  (秒) とする。

この式の第一項および第二項はそれぞれ非乳酸性および乳酸性の酸素消費量を表わしている。乳酸性酸素負債量は第二項を積分すれば求められる。すなわち,

$$\text{乳酸性酸素負債量} = \int_0^{\infty} a_2 e^{-k_2 t} dt = a_2 / k_2$$

となる。したがって,  $a_2$  および  $k_2$  がわかれば乳酸性酸素負債量が算出できる。そこで, 片対数のグラフ上の縦軸 (対数尺) に正味の酸素摂取量, 横軸に時間を取り最小自乗法によって  $a_2 e^{-k_2 t}$  に相当する直線式を回帰し,  $a_2$  および  $k_2$  を求めて, 乳酸性酸素負債を算出した。

また、非乳酸性酸素負債量は、酸素負債量から乳酸性酸素負債量を減じて求めた。

(c) 酸素需要量：運動中の正味の酸素摂取量と酸素負債量とを足して、酸素需要量とした。

### (3) 運動の効率 (net efficiency)

なされた仕事と用いた正味のエネルギー量との比を運動の効率とした。但し、この計算においては、 $1 \text{ kcal} = 426.85 \text{ kpm}$  および 1 l の酸素消費量が  $5.05 \text{ kcal}$  に相当すると仮定した。

### (4) 血中乳酸濃度

安静時および回復の6分目に採取された血液を直ちに  $3000 \text{ rpm}$  で10分間遠心分離し、得られた血清を分析まで  $-30^\circ\text{C}$  の冷凍庫内で保存した。安静および回復期の血清を、それぞれ2倍および11倍に希釈し、除蛋白した後、ベーリンガー・マンハイム社製ラクテート・テスト用キットを用いて、酵素法によって血中乳酸濃度を分析した。

#### 第4節 実験場所と期間および気象条件

すべての実験は、1983年7月22日から8月1日までの期間に、専修大学社会体育研究所内の実験室にて行われた。この期間の室温、相対湿度および気圧は、それぞれ、 $22.4 \pm 0.7$  °C,  $67 \pm 3$  % および  $749 \pm 1.5$  mmHg であった。

## 第4章 研究結果

### 第一節 ペース配分と performance time

表5

表5に本研究より得られた performance time およびエネルギー出力に関する主な示標の結果を、各被験者ごとに示した。なお、各被験者の結果は performance の高い順に上から並べた。

本研究では運動の開始から  $\frac{1}{2}W$  に達するまでは、表3に示した平均ペダリング頻度のそれぞれ 100, 90, 80 および 70% のスピードで運動するようにペースを規定した。しかし、各被験者はその規定したペースで厳密に運動できず、実際には、戸田が 5~19%, その他の被験者は 1~5% 遅いペースで運動していた。この差は、主に 100 および 90% の速いペースの時に生じた。しかし、結果の処理は全て実際に遂行されたペースに基づいて行った。

図1

運動前半のペースと performance time との関係を図1に示した。図中にプロットした各点は、被験者ごとに、視覚に基づく傾向線で結んだ。

各被験者は最終的に自己の最大能力を発揮すべく最大努力を払って運動したにもかかわらず、performance time は、運動前半部分のスピードの出し方（ペース配分）によって変化した。6名の被験者のペース配分とperformance time との関係は必ずしも一様でなかった。しかし、金浜を除く5名については、ペース配分とperformance time との関係が下に凸な曲線的傾向を描き、浜谷、加部、黒岩、丸山および戸田の最も良いperformance は、それぞれ約95, 95, 90, 80 および78%で得られた。

## 第2節 performance time とエネルギー出力

### (1) 酸素需要量

各被験者のperformance time と酸素需要量との関係を図2に示した。

performance time と酸素需要量との関係は、下に凸な曲線的傾向を示し、performance が良くなるにつれて酸素需要量は非直線的に増加した。全被験者において、performance が最も良い時に

酸素需要量は最高値を示した。また、その時の各被験者の酸素需要量は、黒岩が17.9 l、戸田が12.3 l および他の4名の被験者が約14~16.5 l の範囲にあった(表5)。

(2) 酸素負債量および乳酸性酸素負債量

図3 および図4に、それぞれ各被験者の performance time と酸素負債量および乳酸性酸素負債量との関係を示した。performance の変化に伴うこれら2つの示標の変化の度合いおよび様相はきわめて類似していた。また、図2に示した結果とも一致する傾向を示した。すなわち、performance が良くなるにつれて酸素負債量および乳酸性酸素負債量が下に凸な曲線的傾向で増加し、全被験者において performance が最も良い時に、これら2つの示標の値が最大となった。各被験者の酸素負債量の最大値は、戸田が7.7 l、金浜が9.5 l および他の4名の被験者が11~12.5 l の範囲にあった(表5)。同様に、乳酸性酸素負債量の最大値は、戸田が5.5 l、金浜が7.4 l および他の4名が9.0~10.7

l の範囲にあった (表 5)。

### (3) その他の示標

表 5 に示した酸素需要量に占める酸素負債量の割合, 酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合および運動終了後 6 分目における血中乳酸値は, performance の変化に伴い, ほぼ図 2, 3 および 4 と同じ傾向で変化した。すなわち, これらの示標はいずれも, performance が最も良い時に最大値となり, performance の低下に伴って減少する傾向にあった。しかし, 丸山および戸田の酸素需要量に占める酸素負債量の割合ならびに酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合, あるいは丸山の血中乳酸値は, 他の被験者と傾向を異にしていた。

一方, 非乳酸性酸素負債量には, performance の変化に伴う全体に共通した傾向は見られなかったが, その量的な変化は最大 0.5 l の範囲であった。

これらの結果は, 全体的傾向として無酸素的なエネルギー発生, 特に乳酸系からのエネ



ルギー発生が performance の変化と密接に關係することを示すものである。右被験者の酸素需要量に占める酸素負債量の割合は平均で約 68%、またその変化の度合いは戸田が 13% および他の 5 名の被験者が約 3~6% であった。同様に各被験者の酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合は平均で 78%、またその変化の度合いは戸田、金沢および丸山が 1~3.5% ならびに黒岩、加部および渋谷が 5~8% の範囲にあった。

各被験者の運動終了後 6 分目における血中乳酸値の最大値は、金沢および戸田が 190 mg/dl ならびに他の 4 名の被験者が約 215~240 mg/dl であった。

運動中の酸素摂取量 (ml/sec) は、performance が最も良い時および最も悪い時に増加する傾向にあった。また、その値は 1 秒当り約 55~65 ml の範囲にあった。

一方、表 5 には示さなかったが、運動中の平均心拍数は 165~185 拍/分の範囲にあり、

各被験者における試行間の差は3~10拍/分であった。また全員に一致した傾向として、performanceが良いときほど高い平均心拍数が示された。

#### (4) 運動の効率

performanceと効率との関係を図5に示した。

各被験者の効率は13~18%の範囲にあった。全被験者に共通した傾向として、performanceの変化に伴って効率は上に凸な曲線的傾向で変化した。そして、performanceが最も良い時には効率が最も低くなった。

図5

## 第5章 考察

### 第一節 研究方法の特色

本研究では、コーチたちがペース配分の必要性を認識し経験的な至適ペース配分を論述している<sup>7)10)13)36)39)45)48)54)</sup>にもかかわらず、運動生理学的観点より十分な示唆が与えられていない。約40秒～2分の範囲で行われる競技のペース配分に焦点を当てて実験を行った。

以前に行われたペース配分の研究は中長距離競技に焦点を当てたものが多く<sup>1)4)9)24)28)35)43)47)50)52)</sup>、短時間運動に関しては金原ら<sup>32)</sup>とItowら<sup>31)</sup>の研究があるにすぎない。しかし、金原ら<sup>32)</sup>の研究は12～48秒間の運動のperformanceとeffortの配分との関係を検討したもので、時間やスピードを根拠としたペース配分とは趣きを異にする<sup>7)10)13)14)39)48)54)</sup>。また、コーチたちは陸上競技の100mおよび200mに限ってeffortの配分という概念を適用し、競技時間が約40秒以上の種目に関してはペース配分の概念を適用している。

7)10)13)39)48)54) 。したがって、対象とした時間および用いた概念の観点から、本研究と金原ら<sup>32)</sup>の研究とは区別されるべきである。

また、Itowら<sup>31)</sup>は、スピードスケート一流選手3名を対象として自転車エルゴメータを用いて、2分間の最大運動におけるペース配分を研究したことを報告している。しかし、その研究の具体的な方法、研究結果および結論は何ら示されていない。

したがって、競技時間が約40秒～2分の範囲にある種目のペース配分に関する実験上の知見は、未だ何ら得られていない状態であるといえよう。

一方、中長距離競技を対象とした以前の研究から得られた知見は、必ずしも一致していない。すなわち、効率や酸素需要量を主な示標とした研究が steady ペース<sup>1)9)24)25)28)43)50)</sup>あるいは slow-fast ペース<sup>47)</sup>を支持している。また、同じ観点からペース配分を研究した Léger と Ferguson<sup>35)</sup> および Sorani<sup>52)</sup> は、ペースの変化に伴う示

標の変化を見い出すことができなかった。これらに対して, Ariyoshiら<sup>4)</sup>は, performanceを主な示標として fast-slow ペースの有効性を示唆している。また Bowles<sup>6)</sup>の研究は, 1マイル走においてエネルギー量が最小となるのは slow-fast ペースであり, 最も速く走ることができたのは fast-slow ペースであったことを報告している。

これら中長距離を対象とした研究より導き出される最も重要な示唆は, 何を根拠にして競技のペース配分の有効性を検討するのかという点である。これまで被験者を競技において見られるようなオールアウト状態まで研究は, performanceを主な示標とした Ariyoshiら<sup>4)</sup>の研究だけである。その他の研究では最大下の条件で得られた生理学的示標を根拠として競技のペース配分が考察されている<sup>1)4)24)25)28)35)43)47)52)</sup>。

競技の成績が秒単位で測定されるスポーツ競技は, 一定距離内の performanceを競うものであり, ペース配分は“より速く走る”ことを目

的として行われる。したがって、競技におけるペース配分を検討する場合、performanceを主な示標とすることは、より実際的な方法であると思われる。

そこで本実験では、一定の仕事量を遂行するのに要した時間をperformanceとして測定し、ペース配分を比較するための主な示標とした。

さらに、ペース配分に関する以前の研究では、被験者を一群として扱い、各被験者の持つ体力的特性を平均化して実験条件が設定されていた<sup>1)4)24)25)35)43)</sup>。ペース配分は本来、選手の特性に応じて考えられなければならない問題である<sup>7)39)54)</sup>。本実験ではこの点も配慮した。すなわち、各被験者が約80秒で遂行できる仕事量を各被験者ごとに求め、その仕事量を各被験者が本実験において遂行すべき仕事量として規定した(表2)。また自転車エルゴメータ運動では、用いた負荷によって出力されるパワーが異なることも知られている<sup>3)38)</sup>。そのため、本実験では各被験者が5, 6, 7およ

が 8 kp の各負荷で 80 秒間終始最大努力を払って運動した時に出力されるパワーが最大となる負荷を、本実験で用いる負荷とした(表 2)。

同様に、実験に用いるペースの設定においても、被験者の特性を配慮した。ペース配分の方法は、コーチたちが陸上競技の 400 m<sup>48)54)</sup> および 800 m<sup>54)</sup> ならびに水泳競技の 100 m<sup>13)</sup> および 200 m<sup>39)</sup> に関して示す経験的な考え方に従った。すなわち、これらの種目では、目標とする距離の半分の距離のベストタイムを根拠としてペース配分が指導されている。加えて、これらの種目では特に競技前半のスピードのコントロールが重要であるとされている<sup>13)39)48)54)</sup>。そこで本実験では、各被験者に対して規定した総仕事量の  $\frac{1}{2}$  の仕事量を各被験者が終始最大努力を払って遂行した時の平均スピードをペース設定の基準とした(表 3)。そしてペース規定は運動の前半のみとし、後半に関しては各被験者の最大努力を前提とした任意の

ペースとした(表4)。

以上に述べた研究方法上の特色によって、実際のレースでのペース配分に示唆を与えるための、より現実的な条件設定が出来たものと思われる。

## 第2節 短時間運動におけるペース配分

本研究では、スピードスケート競技の1000mの競技時間に相当する約80秒で遂行される運動をモデルとして実験を行った。ÅstrandとRodahl<sup>5)</sup>、Fox<sup>20)</sup>およびLamb<sup>34)</sup>によれば、競技時間が約40秒～2分の範囲にある種目では、必要とされる全エネルギー量のうち、約55～80%が無酸素的エネルギー発生過程より発生される。表5に示したように、本実験の被験者は規定された仕事量を遂行するのに必要なエネルギー量の平均で67.7(55～75)%を無酸素的過程より出力していた。すなわち、本実験が対象とした運動は時間ばかりでなく、エネルギー出力の観点から約40秒～2分で遂行



される運動のほぼ中間に位置する。したがって、本実験を約40秒～2分の範囲で遂行される最大運動を抱括してモデル化した実験として位置づけることが出来るであろう。

また、被験者としてスピードスケート短距離一流選手を用いたことは、最も適した選択であったといえる。

図1に示したように、各被験者の performance は運動前半のペース配分によって変化した。このことは、80秒程度で遂行される最大運動においてもペース配分が performance を決定する要因として作用することを意味する。したがって、約40秒～2分で遂行される競技では、ペース配分を十分に検討する必要があることを示唆する結果である。

運動前半のペース配分が performance に及ぼす影響の度合い、あるいは様相は各被験者間で異なっていた。このことは、ペース配分は個人の問題であり、選手の能力や特性に応じて考えるべきであると述べているコーチたち<sup>7)39)54)</sup>

の経験的な考え方を裏づける結果である。

図1において、各被験者の最も良い performance が得られる前半のペースは全泳を除く5名の被験者については、ほぼ80~95%の範囲に存在した。一方、全泳はペース配分に伴う performance の変化曲線が下に凸な傾向を示さず、最も良い performance が得られるペースを予測することができなかつた。また、渋谷および加部についても、本実験で試行した以上に速いペースでの運動をもう1点実施していれば、図1の傾向線はより確かなものとなつたものと思われる。そこで、各被験者の総仕事量を決定するために行った実験のデータから、各被験者が規定された仕事量を終始最大努力を払って遂行した場合の performance を推測することにした。この運動とペース配分の実験で行った運動では実験の条件が異なるので単純に比較することはできないが、一つの有効な資料が得られるものと思われる。

方法で述べたように、各被験者に対して規

定したペダルの総回転数は、80秒間に遂行した実際のペダル回転数を一の位で四捨五入した値であった。したがって、回転数にして最大5回転の過不足分を回帰式を用いて推測することになる。すなわち、総仕事量を決定するために行った運動の後半の40秒間における、ある仕事量 $x$  (kpm) とその仕事量を遂行するのに要した時間 $P$  (秒) との関係について回帰式を求め、各被験者が終始最大努力を払って規定した仕事量を遂行した場合の performance を推測した。その結果を表6に示した。

ある仕事量 $x$  (kpm) とその仕事量を遂行するのに要した時間 $P$  (秒) との関係は、一般式

$$P = a \cdot e^{(b \cdot x)}$$

(但し、 $a$  および  $b$  は定数)

に最も良くフィットし、すべての被験者について、.99以上の決定係数( $r^2$ )が得られた。このようにして求めた各被験者が、規定された仕事量を終始最大努力を払って遂行した場合の performance は、戸田に関しては本実験で得

られた最も良い記録よりも2.4秒良い記録となったが、他の5名の被験者に関しては、いずれも2~9.5秒遅い記録となった。

以上のことから、全体的傾向として(戸田を除く)80%以下の相対的に遅いペース同様、終始最大努力を払って運動したのでは、最も良いperformanceが得られないことが明らかとなった。そして、約80秒で完遂される最大運動においては、最も良いperformanceが得られる運動前半のペースは、総仕事量の $\frac{1}{2}$ を遂行できる最高スピードの80~95%の範囲にあるスピードであるといえる。また、80~95%の範囲内でのスピードは、各被験者の特性に応じて選択する必要があることも示唆される。

さて、表7には各被験者のperformanceが最も良かった時あるいは悪かった時の、前半および後半の $\frac{1}{2}W$ を遂行するのに要した時間とその差を示した。最もperformanceが良かった運動に注目すると、6人の被験者全員が後半よりも前半の方が速いスピードで運動していたこ

とがわかる。すなわち、中長距離に関する以前の研究<sup>1)4)6)35)47)52)</sup> およびコーチたちが言う fast-slow ペースにおいて最も良い記録が得られた。一方、performance が最も悪かった運動では、前半のタイムを最も performance が良かった時よりも 5~10 秒抑えているにもかかわらず、その効果は後半のタイムには十分に反映されていない。すなわち、本実験のように短時間で行われる運動では、steady ペースを目指して、あるいは、後半のスピード増加を目指して前半のペースを抑えすぎても最も良い performance は得られないといえる。

表 7 にはまた、終始最大努力で  $\frac{1}{2}W$  を遂行した時の時間 (best time  $\frac{1}{2}W$ ) およびその時間と前半の  $\frac{1}{2}W$  遂行時間との差 (time loss) も示した。渋谷、加部および金浜は、time loss が約 1~2 秒の時に最も良い記録が得られた。この time loss の値は、Wilt と Ecker<sup>54)</sup> および Robinson ら<sup>48)</sup> が陸上競技の 400 m に関して、あるいは Maglisho<sup>39)</sup> が水泳競技の 200 m に関して示

した至適ペース配分における time loss と一致する値であった。また、黒岩、丸山および戸田は、それぞれ4.1, 7.6および7.8秒の time loss の時に最も良い記録が得られた。これらの値は、Wilt と Ecker<sup>54)</sup> が陸上競技 800 m の至適ペース配分における time loss として示す 5~7 秒という値に近い値であった。

### 第3節 performance とエネルギー出力

各被験者の performance は前半のペースを規定することによって変化した。そして、その performance の変化と酸素需要量の変化とが一致することは図2から明らかである。すなわち、記録が良いほど酸素需要量が大きいという結果が得られた。performance の向上に伴う酸素需要量の増加は、直線的ではなく下に凸な曲線的な増加であった。Hill<sup>28)</sup> および Sargent<sup>50)</sup> は、一定時間内で遂行できる仕事量がエネルギー出力に依存すること、および酸素需要量がスピードの関数として変化することを明らかにし

ている。本実験の結果はこの理論と一致するものである。

performance の変化に伴う酸素需要量の変化とはほぼ同様な関係が、performance と酸素負債量および乳酸性酸素負債量との関係においても見られた(図3 および図4)。同様に、performance の増加に伴って、酸素需要量に占める酸素負債量の割合および酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合ならびに運動後6分目の血中乳酸値も増加する傾向にあった。これらのことは、ペース配分に伴う performance の変化が出力されるエネルギー量に依存すること、またそのエネルギー量の変化が主に乳酸性過程からのエネルギー発生量の変化によってもたらされることを示す結果である。

本実験では、各被験者は運動前半のペースのみを変えて4種類の最大運動を遂行した。したがって、前述したエネルギー発生量の量的あるいは質的な変化をもたらした直接的原因は、人為的に変えた運動前半のペースである。

運動前半のペースによって、エネルギー発生過程の反応が変化するメカニズムを解明することは、今後の研究の課題である。特に乳酸性酸素負債蓄積の動態とペース配分との関係を研究することは、最も良い performance が得られたペース配分の有効性を運動生理学的に裏づけるための鍵となる問題であると思われる。

一方、図5に示した performance と効率との関係は、短時間運動におけるペース配分が、中長距離競技のペース配分とは性質を異にすることを示唆する結果である。すなわち、Bill<sup>28)</sup>の研究に源を遡る中長距離競技を対象とした研究では、ペース配分すなわち効率的な運動という概念が基本的に受けつがれて来た<sup>19)12)</sup>  
25)35)43)48)50)

ように思われる。Christensen と Högberg<sup>8)9)</sup>は、無酸素的な運動の効率が有酸素的な運動の約50%にすぎないこと<sup>8)</sup>、およびスピードの増加に伴う酸素需要量の非直線的な増加が効率の低い無酸素的なエネルギー出力の割合の増加に由来すること<sup>9)</sup>を明らかにした。さら



に Henry と De Moor<sup>23)</sup> および De Moor<sup>16)</sup> は、高強度運動における効率の低下が乳酸性酸素負債量の増加によって生ずることを明らかにしている。また、前述したように一定時間内に遂行できる仕事量は出力できるエネルギー量に依存する<sup>28)50)</sup>。したがって、無酸素的なエネルギー発生過程からの出力が主役を演ずる短時間運動において、真の効率という観点から考えた場合、効率的に運動することと、無酸素的なエネルギー発生量を最大限に引き出して performance を高めることとは、相反する概念となる。したがって、遂行すべき仕事量を規定した条件で、performance の増加とともに真の効率が低下したという結果は、さわめて理論的な結果である。しかし、そのような条件において、performance が等しいにもかかわらず酸素需要量に差がある場合、あるいはその逆の場合においては、真の効率という概念とは別の概念を用いて運動の効率を考察する必要があるであろう。そして、短時間運動のペース

配分がさらに狭い範囲で詳細に検討される場合、すなわち各被験者のエネルギー出力がほぼ最大限に発揮された状態においてペース配分が検討される場合には、無酸素的運動をより効率的に遂行する方法が探究されるであろう。

以上に述べた performance とエネルギー出力、特に無酸素的エネルギー出力との関係をペース配分と関連づけて考えるために、図6～11に、ペース配分と performance および無酸素的エネルギー出力に関する示標との関係を各被験者ごとに示した。図6、7、8、9、10 および11はそれぞれ黒岩、渋谷、加部、戸田、金沢および丸山の結果を示したものである。

図6、7および8に示した3名の被験者は、さわめて類似した傾向をみせている。これらの被験者では、運動前半のペース配分によって performance が下に凸な曲線的傾向で変化している。また非乳酸性酸素負債以下の4つの示標すべてが、performance の曲線とは対象的な上

- ① 図6
- ② 図7
- ③ 図8
- ④ 図9
- ⑤ 図10
- ⑥ 図11

に凸な曲線的傾向で変化している。すなわち、ペース配分に伴う performance の変化と無酸素的エネルギー出力に関する示標の変化とが正に一致している。

図9においても、前述の3名に準ずる傾向が見られる。しかし、この被験者に関しては、データ解釈上大きな問題が残されている。すなわち、戸田の81および78%のペースは、本来100および90%のペースを目標としていた。他の5名の被験者では、目標としたペースと実際に遂行したペースとの差は最高で5%であった。しかし戸田は、この差が19%にも達していた。また、この被験者は表6に示した推測値が、他の5名の被験者とは対象的に、最も良い performance となった。

なぜこの被験者が他の5名と異なる傾向を示したかを断定することはできない。

しかし、表5に見られるように、彼の本実験における酸素負債量および乳酸性酸素負債量の最大値は、他の被験者よりも2.2以上小

さな値であった。また、彼はスピードスケート500 mに関しては黒岩に次ぐ高い performance を有する選手であったが、1,000 m の performance は500 m の performance に比べて著しく低い。これらのことから、スピードスケート競技の1000 m に相当する時間を対象として、運動開始時から人為的に運動のペースを規定する本実験において、彼の持つ“500 m のスペシャリスト”としての特性が十分に発揮できなかったのではないかと推察される。

図10では特に、70%のペース上の各点に注目したい。全次の performance は70%のペースにおいて最低となった。しかし無酸素的なエネルギー一出力の示標は、80あるいは86%のペースの時よりも大きな値を示している。同様の結果は図2あるいは図5にも見られる。

これらの結果は金沢の場合、前半のペースを抑えることが後半のスピード増加に結びつかない(表7)ばかりか、乳酸の蓄積による筋疲労が生じているものと思われる運動の後

半においてスピードを増加させようとする試みがエネルギーの浪費をも生じさせていることを示唆するものであろう。

一方、この被験者のペース配分に伴う performance の変化曲線は、他の被験者と異なり上に凸な傾向を示している。しかし、表6に示した推測値をプロットすることが許せれるならば、その曲線は下に凸な傾向となり、最も良い performance は 95% のペースで得られることになる。

図11では特に運動後の血中乳酸値および酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合に注目したい。丸山は、この2つの示標に関して他の被験者とは正反対の関係を示した。すなわち、performance が最も良い時に、これら2つの示標の値は低下している。特に血中乳酸値と乳酸性酸素負債量とは全く一致しなかった。この結果を説明することはできない。

本研究の結果、短時間運動においてペース

配分が performance を決定する要因として作用することが実験的に証明された。そして、各被験者の最も良い performance が得られる前半のペースは、 $\frac{1}{2}W$  を遂行できる最高スピードの 80~95% の範囲内にあった。また、この範囲内のスピードは選手の特性に応じて選択されるべきである。

Wilt と Ecker<sup>54)</sup> は、トップスピードに達した後、徐々にスピードが低下するようなペースを "natural" ペースと呼び、このペースが特に陸上競技の 400 m および 800 m において最高の結果をもたらすと述べている。本研究の結果は natural ペースの概念と一致するものである。すなわち、最も良い performance を得るために前半のペースを 80~95% のスピードに設定することは、必然的に後半において滑らかなスピードの低下が生ずることを意味していた。

個人的に見ると、performance が最も良い時には酸素需要量、酸素負債量および乳酸性酸素

負債量が最大となった。また酸素需要量に占める酸素負債量の割合、酸素負債量に占める乳酸性負債量の割合および運動後の血中乳酸値は、それぞれ平均で、68%、79%および200mg/dlとなった。これらのことから、短時間運動では、出力し得るエネルギー、特に乳酸性エネルギー発生過程からのエネルギーを最大限に引き出すことを可能にするペース配分によって最も良いperformanceが得られることが明らかとなった。

## 第6章 結論

約80秒で行われる最大ペダリング運動では、前半のペースを前半だけを全力で運動したときの平均スピードの80~95%の範囲内に設定することによって、特に乳酸性のエネルギー発生を高め、最も短時間で所定の運動を完遂させることができると結論される。



## 第7章 要約

1) 約80秒で遂行される自転車エルゴメータ運動をモデルとして、ペース配分が短時間運動の performance に及ぼす効果を検討した。

2) 被験者はスピードスケート競技の短距離種目を専門とする一流選手6名であった。

3) 各被験者は5, 6, 7および8kpの負荷でそれぞれ80秒間の最大運動を行い、最大仕事量が得られた負荷およびその時のペダルの総回転数を実験の対象運動で用いた。また、総回転数の $\frac{1}{2}$ まで遂行するのに要した時間からその間の平均スピード(回転/分)を求め、ペース配分の基準スピードとした。

4) ペース配分の条件としては、運動前半のスピードを基準スピードの100, 90, 80および70%に規定し、後半はいずれも最大努力でのペダリングとした。

5) その結果、前半のペース配分の仕方によって規定の総回転数を完遂する時間が異

なり、各被験者の最も良いタイムは、前半のペースが基準スピードの80~95%の範囲内に設定された時に得られた。

6) 最もタイムが良かった時に、酸素需要量、酸素負債量および乳酸性酸素負債量は最大値を示した。同様に酸素需要量に占める酸素負債量の割合、酸素負債量に占める乳酸性酸素負債量の割合および運動後の血中乳酸値も最大値を示し、その値は平均でそれぞれ、約73%、81%および215 mg/dlとなった。

7) 以上のことから、約80秒で行われる最大ペダリング運動では、前半のペースを前半だけを全力で運動したときの平均スピードの80~95%の範囲内に設定することによって、特に乳酸性のエネルギー発生を高め、最も短時間で所定の運動を完遂させることができる結論される。

## 謝 辞

稿を終わるにあたり、本研究に御援助、御助言をいただいた専修大学スケート部・スピード部門監督・前嶋孝先生ならびに被験者として全面的に御協力下さった選手の皆様に、深甚なる謝意を表します。

## 引用文献

- 1) Adams, W.C. and E.M. Bernauer: The effect of selected pace variations on the oxygen requirement of running a 4:37 mile. Res. Quart., 39:837-846 (1968)
- 2) 青木純一郎, 清水達夫, 形本静夫: 短距離走と酸素負債. 順天堂大学体育学部紀要, 第17号: 1-12 (1974)
- 3) 青木純一郎, 形本静夫, 村岡功, 矢野成敏, 高岡郁夫, 佐藤佑, 前嶋孝, 清水達夫, 米田純武, 沢木啓祐, 永江競, 福原広次, 佐藤栄, : 日・米・英・新西蘭 自転車競技選手の体力および自転車エルゴメーターによる脚パワー・トレーニング効果. 昭和56年 日本体育協会 スポーツ医学研究報告, NOII 競技種目別競技力向上に関する研究, NO 25. 自転車競技, 381-394 (1981)
- 4) Ariyoshi, M., K. Yamaji and R.J. Shephard: Influence of running pace upon performance: Effects upon treadmill endurance time and oxygen cost. Eur. J. Appl. Physiol., 41:83-91 (1979)
- 5) Åstrand, P.-O. and K. Rodahl: Textbook of work physiology. 2nd ed., McGraw-Hill: New York (1977)
- 6) Bowles, C.J.: Telemetered heart rate responses to pace pattern in the one mile run. Doctoral thesis. Eugene. University of Oregon (1965), Costill, D.L.: A scientific approach to distance running, 1st ed., pp. 70-72, Track & Field News: U.S.A. (1979) より引用.
- 7) Bush, J.: Dynamic track and field, 1st ed., pp. 23-95, Allyn and Bacon: Boston (1978)
- 8) Christensen, E.H. and P. Hogberg: The efficiency of anaerobical work. Arbeitsphysiol., 14:249-250 (1950)
- 9) Christensen, E.H. and P. Hogberg: Steady-state, O<sub>2</sub>-deficit and O<sub>2</sub>-debt at severe work. Arbeitsphysiol., 14:251-254 (1950)
- 10) Cooper, J.M.: Track & Field for coach and athlete, 2nd ed., pp. 27-91, Prentice-Hall: New Jersey (1970)
- 11) Costill, D.L., J. Daniels, W. Evans, W. Fenle, G. Krahenbuhl and B. Saltin: Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. J. Appl. Physiol., 40:194-154 (1976)
- 12) Costill, D.L.: A scientific approach to distance running, 1st ed., pp. 70-76, Track & Field News: U.S.A. (1979)
- 13) Counsilman, J.E.: The science of swimming, 1st ed., pp. 161-170, Prentice-Hall: New Jersey (1968)
- 14) Cretzmeyer, F.X., L.E. Alley and C.H. Tipton: Track and Field athletics, 8th ed., PP. 62-83, The C.V. Mosby: Saint Louis (1974)
- 15) Cummings, P.: Dictionary of sports, p. 249 A.S. Barnes and Company: New York (1949)

- 16) De Moor, J.C.: Individual difference in oxygen debt curves related to mechanical efficiency and sex. J. Appl. Physiol., 6:460-466 (1954)
- 17) De Vries, H.A.: Physiology of exercise, 3rd ed., pp.29-48, Wm.C.Brown: Iowa (1983)
- 18) Dimri, G.P., J.S. Gupta and N.C. Majumbar: An extrapolation procedure for determination of oxygen debt repayment. Eur. J. Appl. Physiol., 44:153-159 (1983)
- 19) Di Prampero, P.E., L. Peeters, and R. Margaria: Alactic O<sub>2</sub> debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. J. Appl. Physiol., 34:628-632 (1973)
- 20) Fox, E.: Sports physiology, 1st ed., PP.19-33, Saunders College: Philadelphia (1979)
- 21) Gladden, L.B., and H.G. Welch: Efficiency of anaerobic work. J. Appl. Physiol., 44:564-570 (1978)
- 22) Gollnick, P.D. and L. Hermansen: Biochemical adaptation to exercise: Anaerobic metabolism. In Wilmore, J.H. ed., Exercise and sports sciences reviews, 1:313-338, Academic Press: New York (1973)
- 23) Henry, F.M. and J.C. De Moor: Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. J. Appl. Physiol., 48: 481-487 (1950)
- 24) Henry, F.M.: Individual differences in oxygen metabolism of work at two speeds of movement. Res. Quart., 22:324-333 (1951)
- 25) Henry, F.M.: Time-velocity equations and oxygen requirement of "all-out" and "steady-pace" running. Res. Quart., 25:164-177 (1954)
- 26) Hermansen, L.: Anaerobic energy release. Med. Sci. Sports, 1: 32-38 (1969)
- 27) Hill, A.V. and H. Lupton: Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Quart. J. Med., 16:135-171 (1923)
- 28) Hill, A.V.: The physiological basis of athletic records. Science Monthly, 21:409-428 (1925)
- 29) 細谷俊夫, 栗本義彦 編: 小學校図説指導事典. 体育と健康, p.443, 教育出版: 東京 (1972)
- 30) 今村嘉雄, 宮畑虎彦 編: 新修体育大辞典, p.1367, 不昧堂出版: 東京 (1976)

- 31) Itow, H., T. Yoshino and I. Muraoka: On the effective pace allocation in two minutes of maximal movement. J. Physiol. Soc. Japan, 43:402 (1981)
- 32) 金原勇, 高松薫, 辺土名博司, 阿江通良: ハイスピードの持続能力が高まるペースとフォームに関する実験的研究. 昭和46年度日本体育協会. スポーツ科学研究報告, pp.30-46, (1971)
- 33) Knuttgen, H.G. and B. Saltin: Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol., 32:690-694 (1972)
- 34) Lamb, D.L.: Physiology of exercise, 2nd ed., p.138, Macmillan: New York (1984)
- 35) Léger, L.A. and R.J. Ferguson: Effect of pacing on oxygen uptake and peak lactate for mile run. Eur. J. Appl. Physiol., 32:251-257 (1974)
- 36) 前嶋孝: 自転車競技におけるペース配分. 自転車競技マガジン, 3(12): 63-67 (1980)
- 37) 前嶋孝: スピードスケートの科学. 各種距離におけるペース配分. Skating, 第12号: 3-9 (1981)
- 38) 前嶋孝, 形本静夫, 村岡功, 鈴木哲郎, 川上隆史, 河西博, 安川通雄: スピードスケート選手の氷上トレーニングへの移行に伴う身体諸機能の変化. 昭和55年度日本体育協会スポーツ医学科学研究報告 No II, 競技種目別. 競技力向上に関する研究, No 25, スピードスケート, 397-409 (1981)
- 39) Maglischo, E.W.: Swimming faster, A comprehensive guide to the science of swimming, 1st ed., pp.381-403, Mayfield: Chicago (1982)
- 40) Margaria, R., H.T. Edwards and D.B. Dill: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. Am. J. Physiol., 106:689-719 (1933)
- 41) Margaria, R., P.C. Cerretelli, P.E. Di Prampero, C. Massari and G. Torelli: Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. J. Appl. Physiol., 19:651-657 (1963)
- 42) Margaria, R.: Capacity and power of the energy processes in muscle activity: Their practical relevance in athletics. Int. Z. angew. Physiol., 25:352-360 (1968)
- 43) Mathews, D.K., R. Bowers, E. Fox and W. Wilgus: Aerobic and anaerobic work efficiency. Res. Quart., 34:356-360 (1963)
- 44) 松田岩男, 宇土正彦 編: 新版・現代学校体育大辞典, p.71, 大修館: 東京 (1981)

- 45) New Webster's dictionary of the English language, p.679,  
Delair: U.S.A. (1981)
- 46) Nagle, F.J.: Physiological assessment of maximal performance.  
In Wilmore, J.H. ed., Exercise and sports sciences reviews, 1:  
313-338, Academic Press: New York (1973)
- 47) Robinson, S., D.L. Robinson, R.J. Mountjoy and R.W. Bullard:  
Influence of fatigue on the efficiency of men during exhausting  
run. J. Appl. Physiol., 12:197-201 (1958)
- 48) Robinson, C.F., C.R. Jensen, S.W. James and W.M. Hirschi:  
Modern techniques of track and field, 1st ed., pp.19-69,  
Lea & Febiger: Philadelphia (1974)
- 49) Saltin, B. and P.-O. Astrand: Maximal oxygen uptake in athletes.  
J. Appl. Physiol., 23:353-358 (1967)
- 50) Sargent, R.M.: The relation between oxygen requirement and speed  
in running. Proc. roy. soc. London., B 100:10-20 (1926)
- 51) Secher, N.H., M. Esperson, R.A. Binkhorst, P.A. Anderson and  
N. Rube: Aerobic power at onset of maximal exercise. Scand. J.  
Sports Sci., 4:12-16 (1982)
- 52) Sorani, R.: The effect of three different pace plans on the  
cardiac cost of 1320-yard run. Doctoral dissertation. Los  
Angels: University of Southern California, (1967), Costill. D.L.:  
A scientific approach to distance running, 1st ed., pp.70-72,  
Track & Field News: U.S.A. (1979)より引用
- 53) 高橋進, 帖佐寛章: 中長距離走. 第1版, pp.105-126, 講談社:東京(1973)
- 54) Wilt, F. and T. Ecker: International track and field coaching  
encyclopedia, 1st ed., pp.21-80, Parker: New York (1970)
- 55) 山本邦夫, 永井純: 陸上競技トラック. 第1版, pp.55-174, 不昧堂:東京(1971)

Effect of pacing on performance in  
short-term supramaximal exercise

Takanobu YOSHINO

- 1) The purpose of the present study was to investigate the effect of the change of pace on the performance of maximal 80 sec bicycle ergometer riding simulated to 1,000 m race in speed skating.
- 2) Six male top-class sprinters of speed skating served as the subjects.
- 3) They pedalled with their maximal effort at 5, 6, 7 and 8 kp for 80 seconds, respectively. The load and total number of pedalling at which the highest work was obtained, were used as the individual load and number of pedalling of their reference exercise. And the mean speed of pedalling was calculated from the time taken to do the first half amount of the highest work, and was used as the reference speed.
- 4) The pedalling speed for the first half was set to 70, 80, 90 and 100 % of the reference speed, and after that they pedalled with their maximal effort.
- 5) The performance time were different among the four kinds of pace : the best time of each subject was obtained when the speed of the first half work was at 80-95 % of the reference speed.
- 6) When the best time was obtained, oxygen requirement ( $15.3 \pm 1.9$  l), oxygen debt ( $10.8 \pm 1.7$  l), lactacid oxygen debt ( $8.8 \pm 1.8$  l) the ratio of oxygen debt to oxygen requirement ( $71 \pm 2.2$  %) and lactacid oxygen debt to oxygen debt ( $81 \pm 5.2$  %), and the concentration of blood lactate ( $215 \pm 17.8$  mg/dl) were largest among four conditions of pace.



7) Form the above mentioned results it was concluded that by setting a pace in the range of 80-95 % of the mean speed calculated from the time taken to do the first half of the total work, the lactic acid system of energy production could be activated and better performance could be achieved.

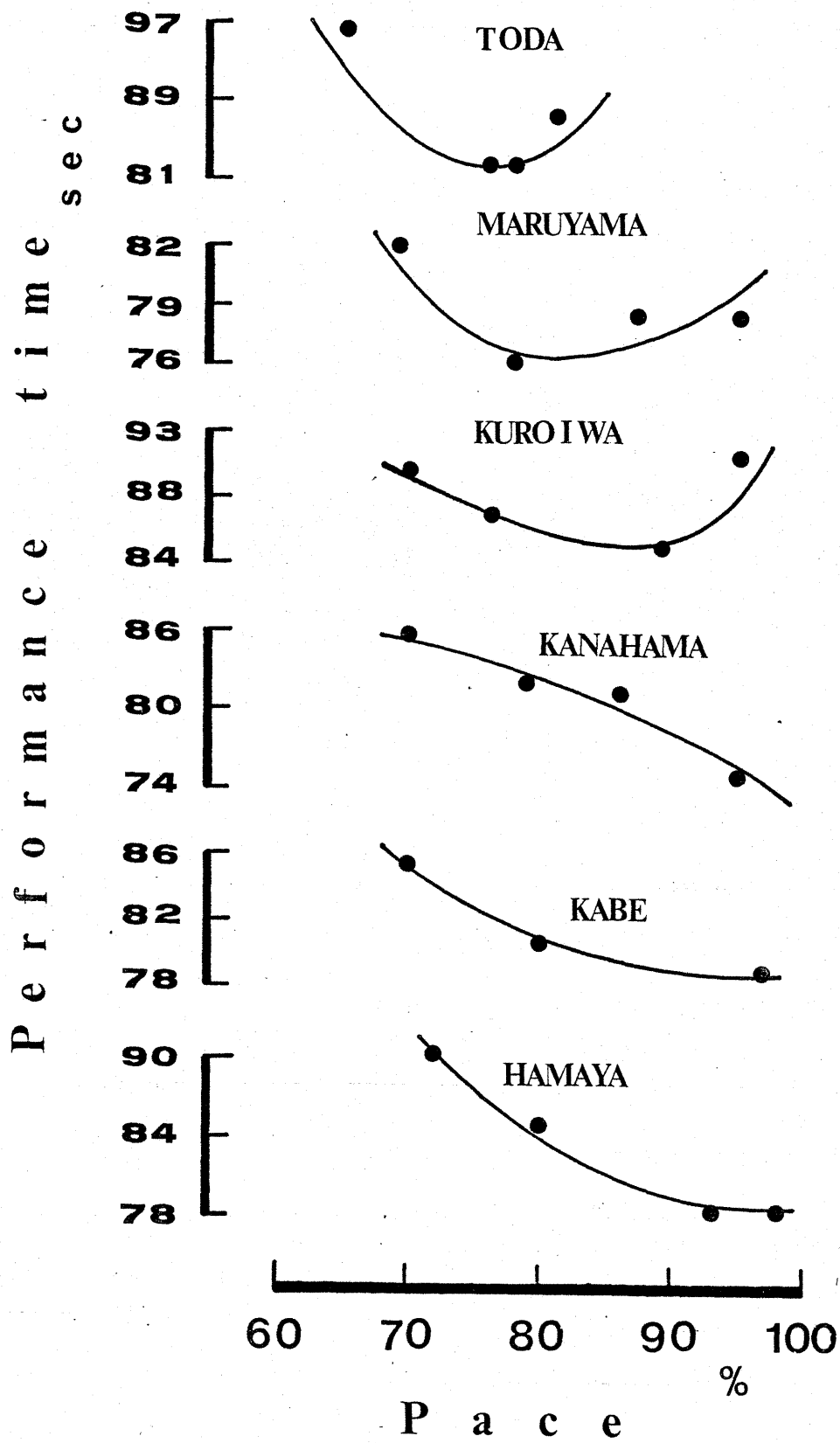


Fig. 1. Relationship between performance time and pace in each subject.

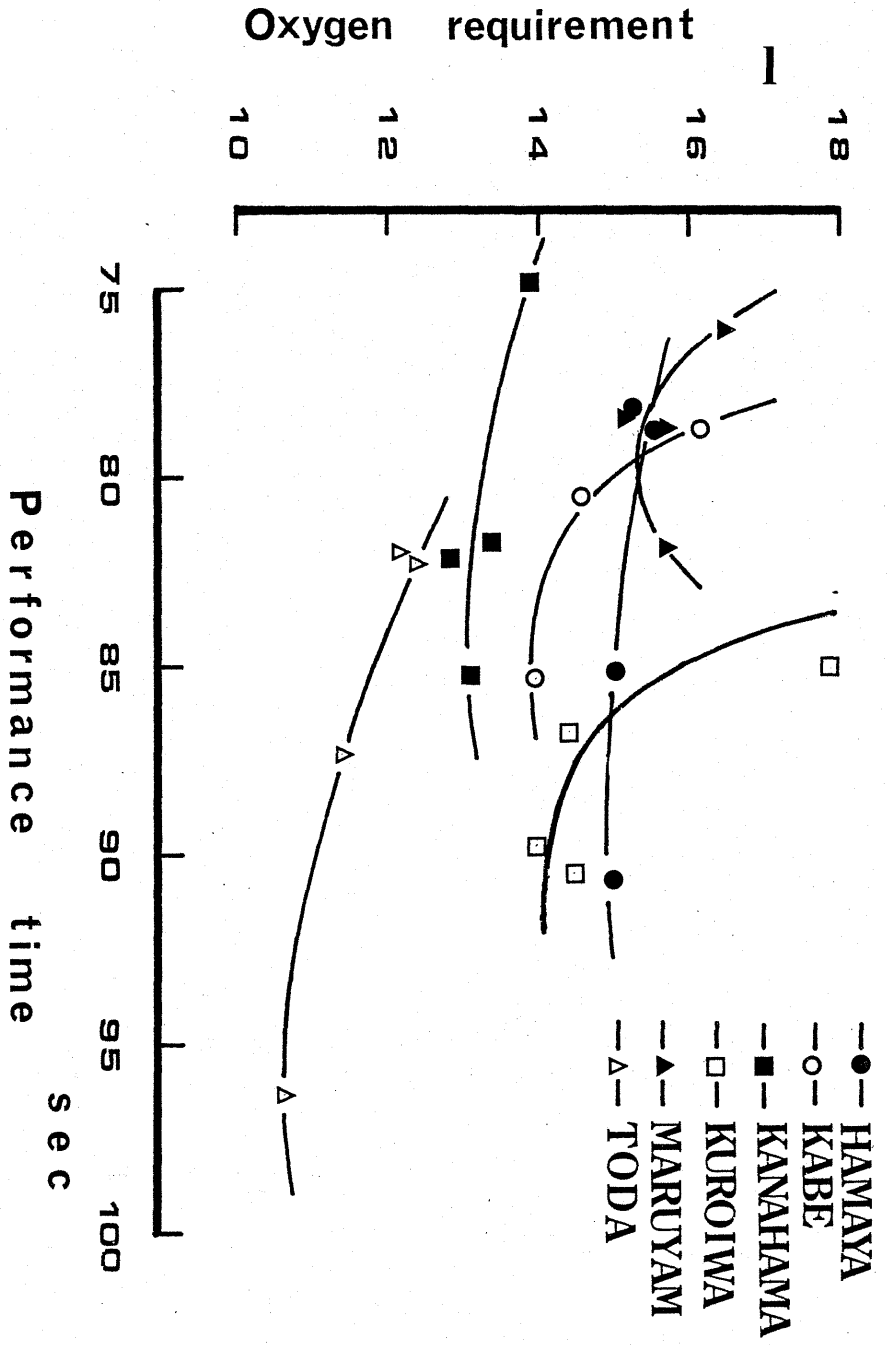


Fig. 2. Relationship between oxygen requirement and performance time.

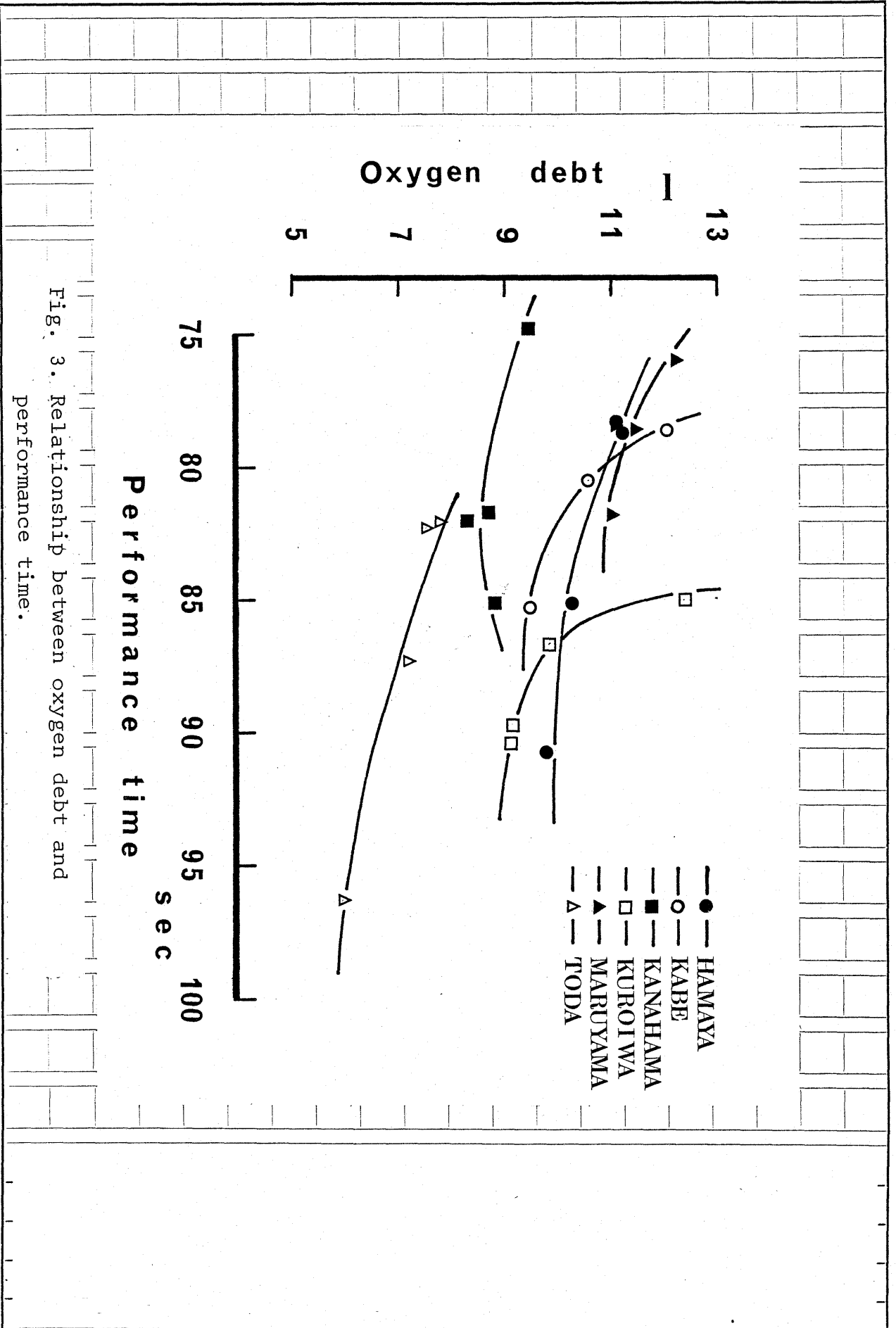


Fig. 3. Relationship between oxygen debt and performance time.

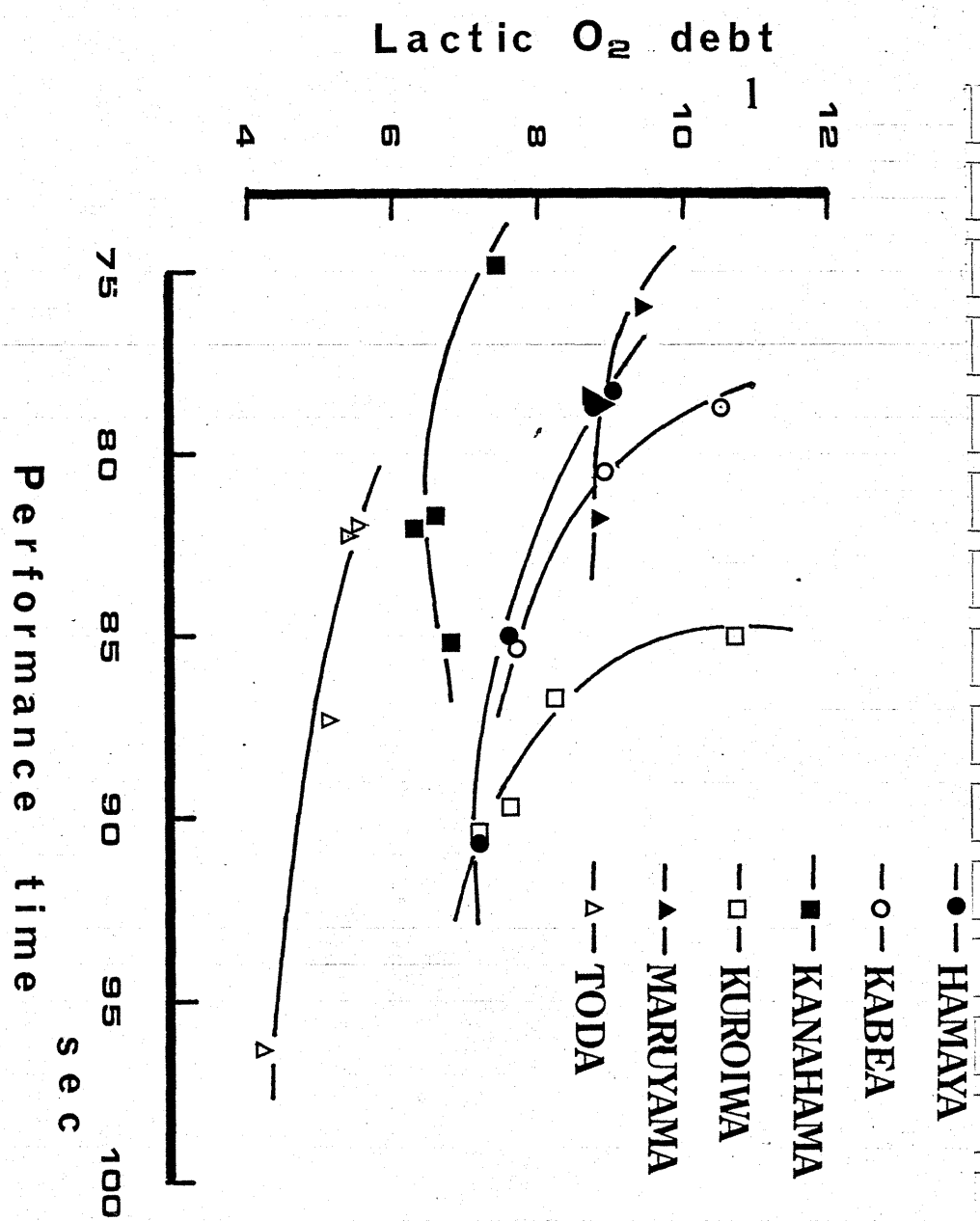


Fig. 4. Relationship between lactic debt and performance time.

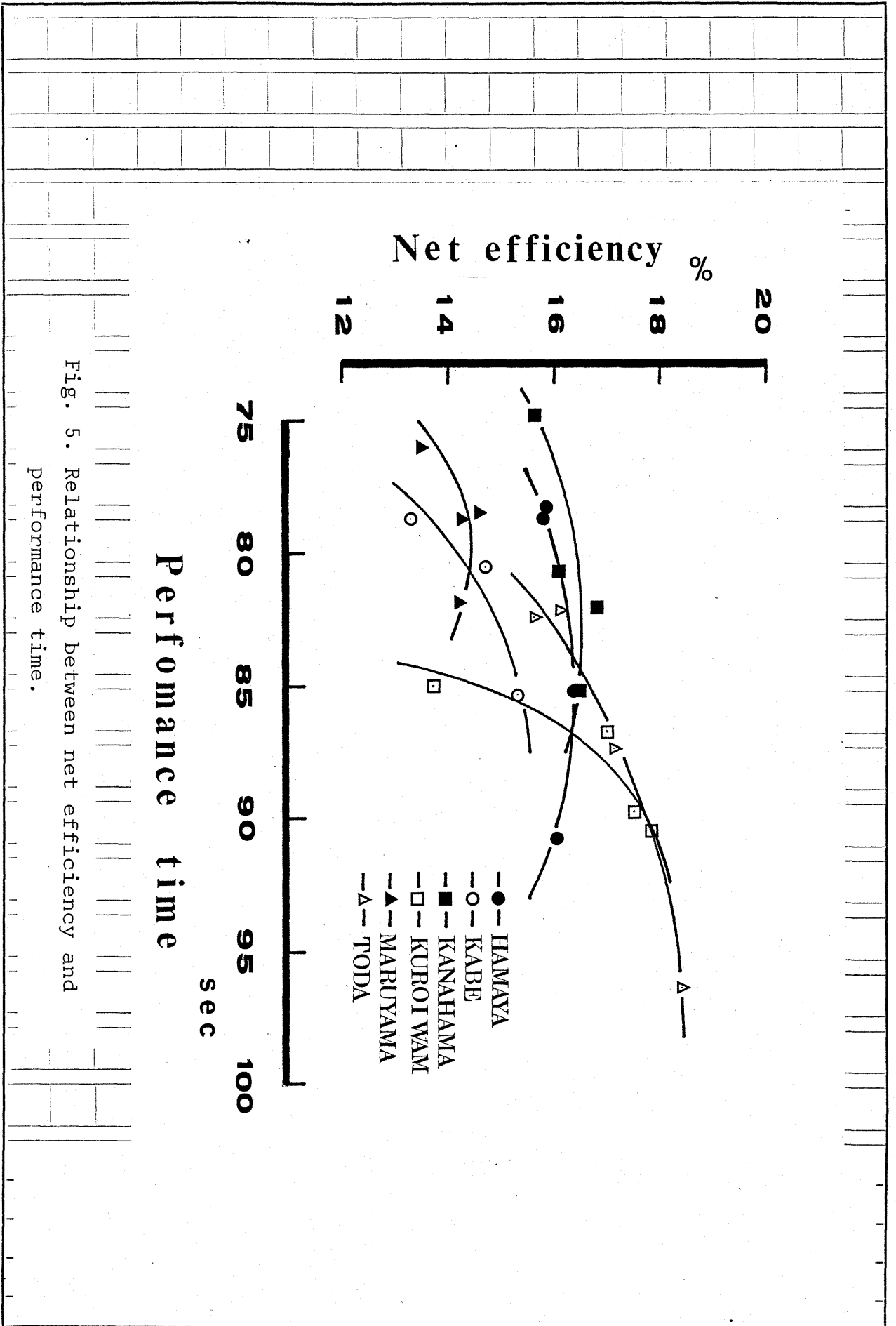


Fig. 5. Relationship between net efficiency and performance time.

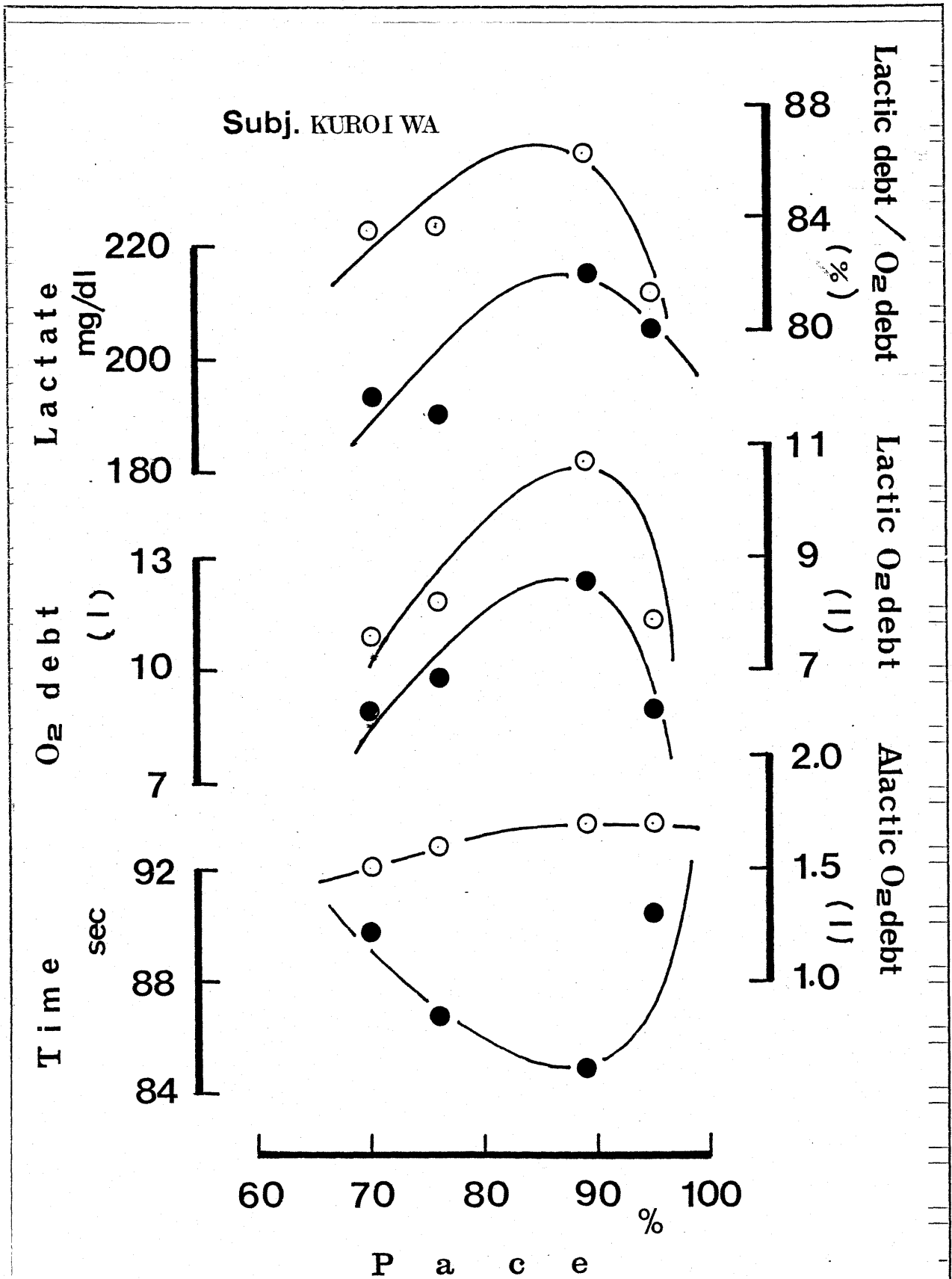


Fig. 6. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace changes in KUROIWA.

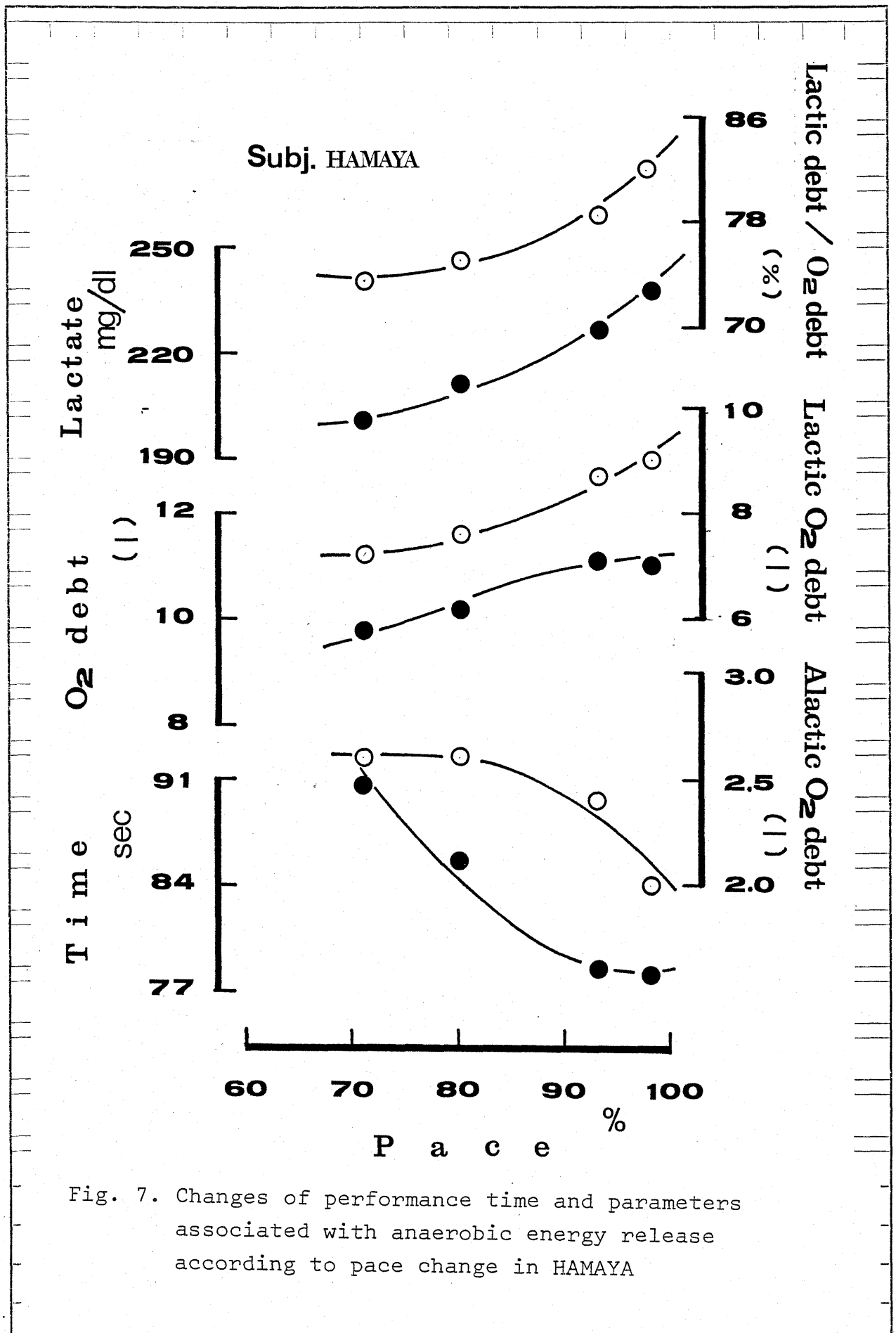


Fig. 7. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace change in HAMAYA



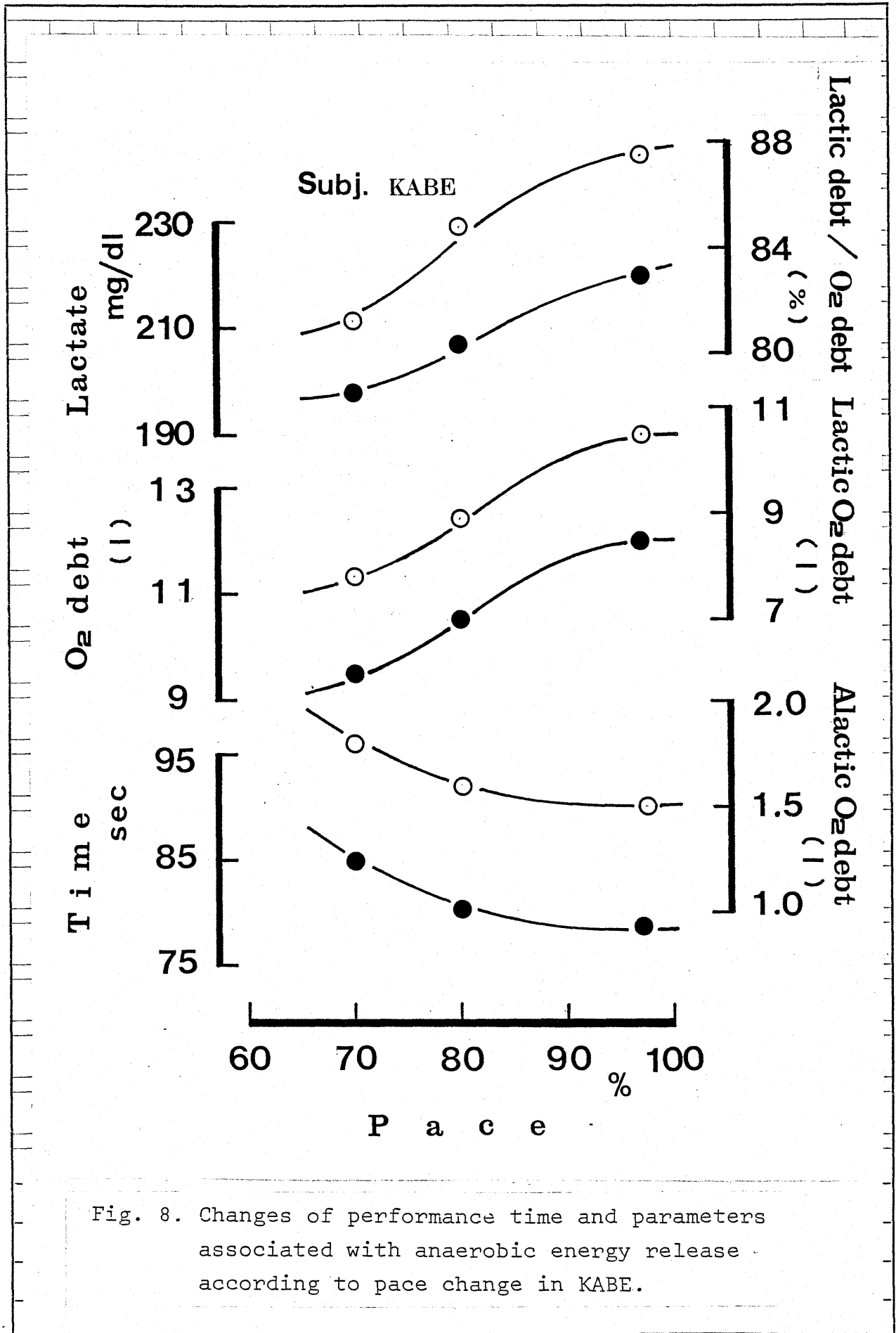


Fig. 8. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace change in KABE.

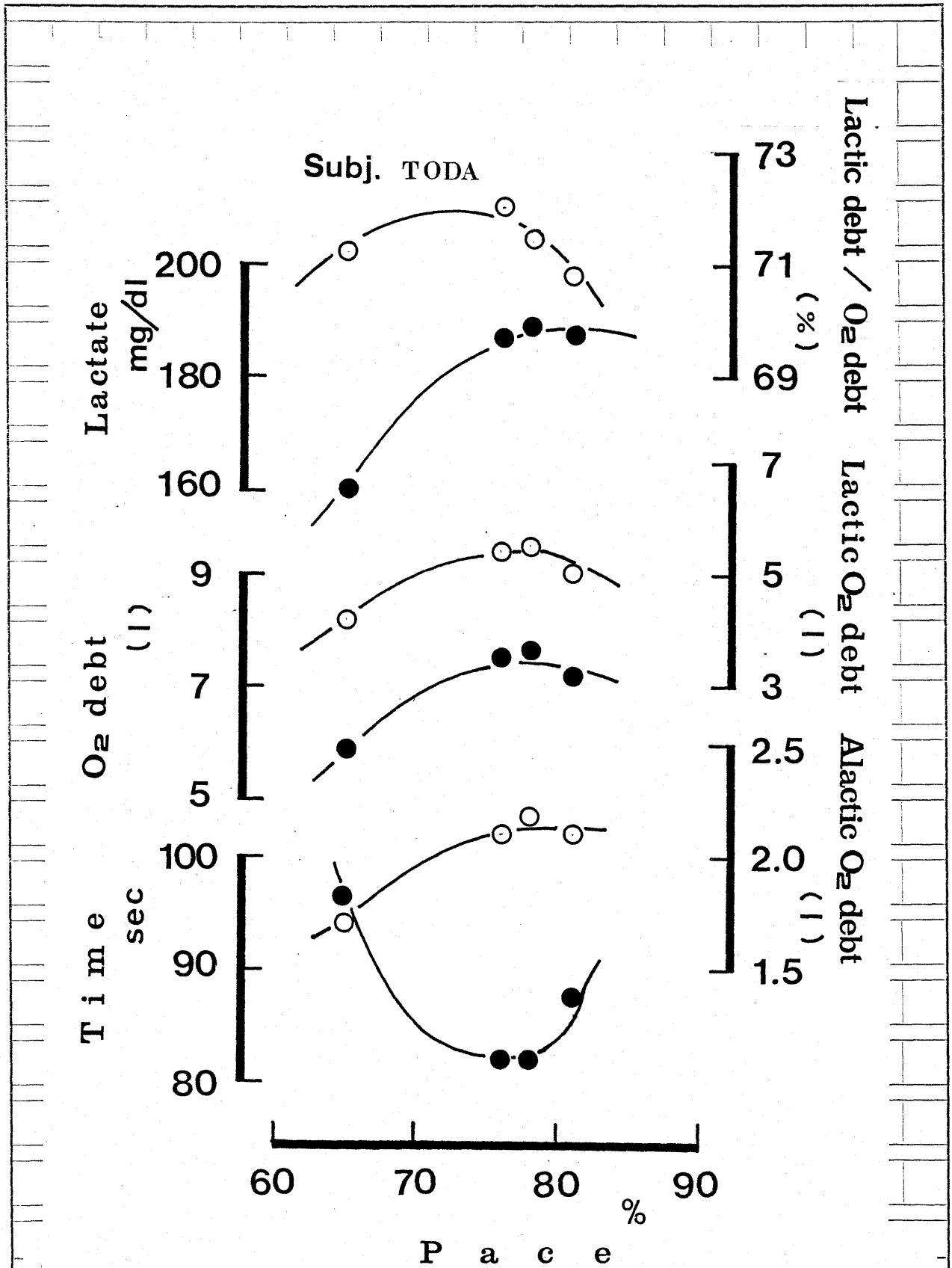


Fig. 9. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace change in TODA.

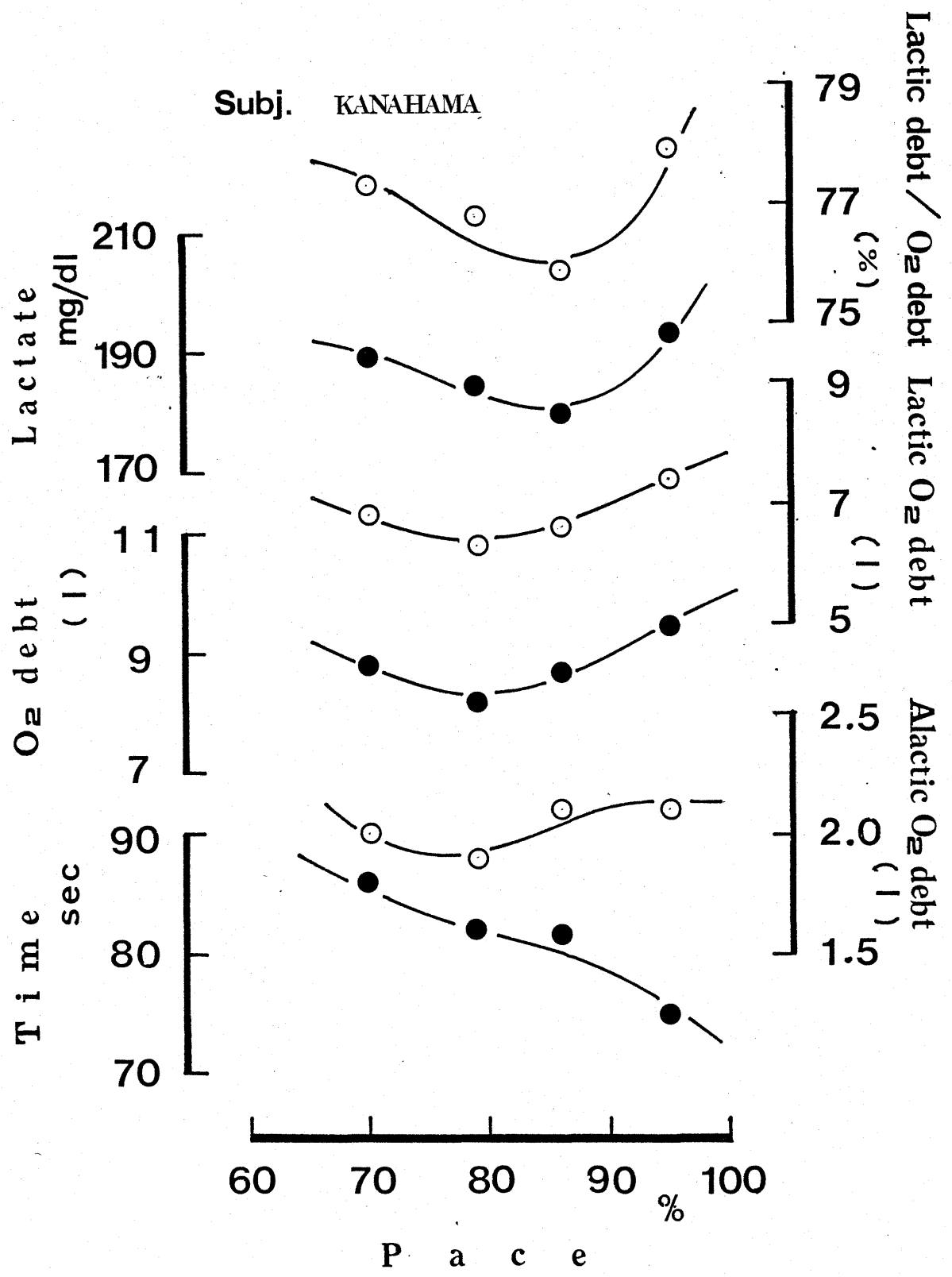


Fig. 10. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace change in KANAHAMA.

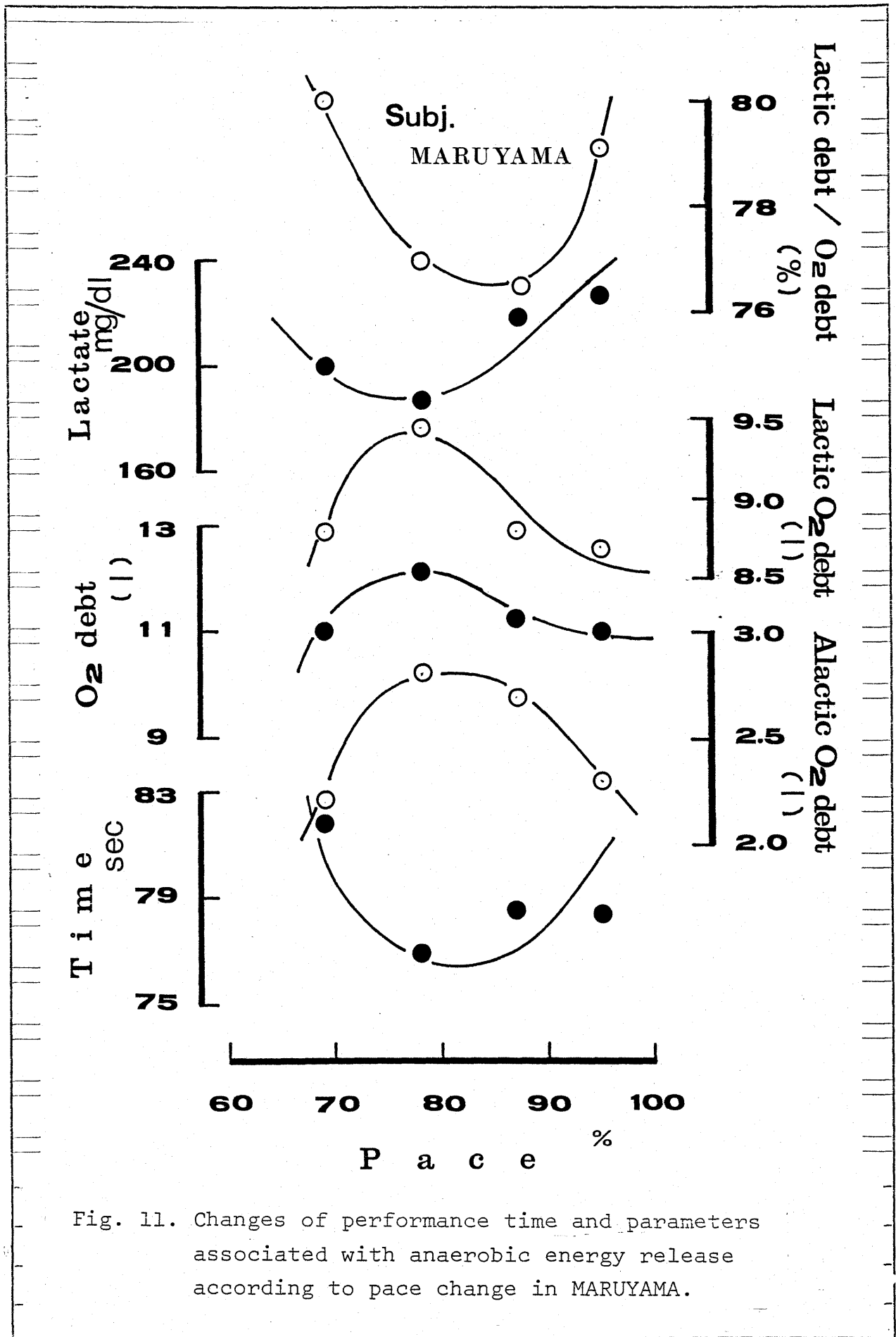


Fig. 11. Changes of performance time and parameters associated with anaerobic energy release according to pace change in MARUYAMA.

Table 1. Physical characteristics of subjects and their best performance in 1000m speed skating.

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Thigh girth right (cm)	1000 m best time ( sec )
HAMAYA, K.	20	174.5	75.0	60.1	76.62
KABE, H.	20	169.0	68.1	59.2	81.28
KANAHAMA, Y.	20	183.2	69.8	55.9	81.59
KUROIWA, A.	21	174.4	78.6	62.4	74.54
MARUYAMA, I.	20	173.7	73.4	61.0	79.48
TODA, K.	21	168.3	66.8	57.3	80.19
MEAN	20.3	173.9	72.0	59.3	78.84
SD	----	4.9	8.0	2.2	2.78

Table 2. Prescribed load, total number of pedalling and total amount of work.

Subject	Load (kp)	Number of pedalling (rev)	Work (kpm)
HAMAYA	8	110	5280
KABE	7	110	4620
KANAHAMA	7	110	4620
KUROIWA	8	110	5280
MARUYAMA	8	100	4800
TODA	7	100	4200

Table 3. Time required for performing half amount of prescribed work and mean pedalling rate calculated from that time.

Subject	Time 1/2 work (sec)	Mean pedalling rate (rpm)
HAMAYA	33.2	99.4
KABE	31.3	105.4
KANAHAMA	27.6	119.6
KUROIWA	33.4	98.8
MARUYAMA	27.6	108.7
TODA	27.4	109.5

Table 4. Four different kind of pace used in this study.

P a c e	Prescribed pace for first 1/2 work	Voluntary pace for second 1/2 work
pace 100	Max. pedalling rate	maximum effort
pace 90	90 % of max. pedalling rate	//
pace 80	80 % of max. pedalling rate	//
pace 70	70 % of max. pedalling rate	//



Table 5. Results concerning performance time, actual pace and main parameters of energy output in each subjects.

Subject	Performance time (sec)	pace (%)	Oxygen requirement ( l )	Oxygen debt					Blood lactate (mg/dl)	Oxygen intake (ml/sec)
				total debt	% of O <sub>2</sub> req.	lactic debt	% of O <sub>2</sub> debt	alactic debt		
				(1)	(%)	(1)	(%)	(1)		
HAMAYA	78.3	98	15.4	11.0	71.4	9.0	81.8	2.1	239	60.4
	78.5	93	15.5	11.1	71.6	8.7	78.3	2.4	227	60.6
	85.1	80	15.1	10.2	67.5	7.6	74.5	2.6	218	57.7
	90.7	71	15.0	9.8	65.3	7.2	73.5	2.6	201	62.6
KABE	78.7	97	16.1	12.0	74.5	10.5	87.5	1.5	220	55.7
	80.5	80	14.6	10.5	71.9	8.9	84.8	1.6	208	53.0
	85.3	70	14.0	9.5	67.9	7.7	81.0	1.8	197	57.1
KANAHAMA	74.8	95	13.8	9.5	68.8	7.4	77.9	2.1	194	63.8
	81.7	86	13.4	8.6	64.2	6.6	76.7	2.0	180	62.0
	82.0	79	12.8	8.3	64.8	6.3	75.9	2.0	184	60.7
	85.1	70	13.1	8.8	67.2	6.8	77.2	2.0	189	56.0
KUROIWA	85.0	89	17.9	12.4	69.2	10.7	86.3	1.7	215	64.9
	86.7	76	14.5	9.8	67.6	8.2	83.7	1.6	190	58.9
	89.7	70	14.0	9.1	65.0	7.6	83.5	1.5	193	58.8
	90.4	95	14.4	9.1	63.2	7.4	81.3	1.7	204	64.9
MARUYAMA	76.0	78	16.5	12.2	72.7	9.4	77.0	2.8	187	62.0
	78.5	95	15.3	11.0	71.9	8.7	79.0	2.3	228	58.1
	78.6	87	15.7	11.5	73.2	8.8	76.5	2.7	219	58.4
	81.8	69	15.6	11.0	70.5	8.8	80.0	2.3	199	60.6
TIDA	82.1	78	12.1	7.7	68.7	5.5	71.4	2.2	189	63.9
	82.3	76	12.3	7.5	60.9	5.4	72.0	2.1	188	63.7
	87.3	81	11.4	7.2	63.2	5.1	70.8	2.1	188	52.7
	96.3	65	10.6	5.9	55.7	4.2	71.2	1.7	160	54.0

Table 6. Regression formula concerning to relationship between given amount of work (X) and time required for performing given amount of work (P), when the exercise was performed with maximal effort from the beginning for 80 seconds, and estimated performance time when the W was performed with this condition.

Subject	Regression formula	Coefficient	estimated time ( sec )
HAMAYA	$P = 12.45 e^{(0.000367 X)}$	$r^2 = .999$	86.3
KABE	$P = 13.06 e^{(0.000402 X)}$	$r^2 = .995$	83.5
KANAHAMA	$P = 11.15 e^{(0.000425 X)}$	$r^2 = .992$	79.6
KUROIWA	$P = 12.88 e^{(0.000362 X)}$	$r^2 = .992$	87.0
MARUYAMA	$P = 9.42 e^{(0.000460 X)}$	$r^2 = .997$	85.5
TODA	$P = 10.50 e^{(0.000483 X)}$	$r^2 = .991$	79.7

Table 7. Difference of time for performing 1/2 W in first and second 1/2 W, and time loss in first 1/2 W compared with best time.

Subject		Performance time (sec)	Lap time (sec)			Best time 1/2 w (sec)	Time loss in first 1/2 w (sec)
			first 1/2 w	second 1/2 w	difference		
HAMAYA	best	78.3	34.0	44.3	10.3	33.2	0.8
	worst	90.7	46.5	44.2	- 2.3		13.3
KABE	best	78.7	32.4	46.3	13.9	31.3	1.1
	worst	85.3	44.9	40.4	- 4.5		13.6
KANAHAMA	best	74.8	29.1	45.7	16.6	27.6	1.5
	worst	85.1	39.5	45.6	6.1		11.9
KUROIWA	best	85.0	37.5	47.5	10.0	33.4	4.1
	worst	90.4	35.2	55.2	20.0		1.8
		89.7	47.7	41.9	- 5.9		14.4
MARUYAMA	best	76.0	35.2	40.8	5.6	27.6	7.6
	worst	81.8	39.8	42.0	2.2		12.2
TODA	best	82.1	35.2	46.9	11.7	27.4	7.8
	worst	96.3	42.1	54.2	12.1		14.7