Japanese Society of Physical Education

体育学研究 45：422-432，2000

事例報告

一流400 m ランナーにおける体力的特性とレースパターンとの関係

尾縣　貢[1)]　安井年文[2)]　大山卞圭悟[1)]　山崎一彦[3)]　苅部俊二[4)]
高本恵美[5)]　伊藤　穣[5)]　森田正利[6)]　関岡康雄[7)]

Relationship between the physical characteristics and race patterns of 400-m running in elite national runners

Mitsugi Ogata[1], Toshifumi Yasui[2], Keigo Ohyama Byun[1], Kazuhiko Yamazaki[3], Shunji Karube[4], Megumi Takamoto[5], Osamu Itoh[5], Masatoshi Morita[6] and Yasuo Sekioka[7]

Abstract

A study was conducted to examine the relationship between the physical characteristics and race patterns of 400-m running in three elite 400-m runners. The experiments were composed of a physical fitness test and an analysis of 400-m race patterns. Maximal O_2 intake, maximal anaerobic power, isokinetic muscular endurance and isokinetic maximum muscular power were evaluated in a laboratory. Final 400-m races in the Japan Championship and the National Sports Festival were filmed using video cameras, and analyzed to calculate the changes in running speed during the 400-m distance. In accordance with the race analysis results, the three 400-m runners were divided into two types. One was the "even pace" type, which showed a tendency to maintain a higher running speed until the finish of the race. The other was the "first half" type, which showed the highest speed from the start until the 190-m point. The even pace type had a higher maximal O_2 intake and isokinetic muscular endurance of the lower limbs. The first half type was a good record holder over 100-m and 200-m distances. These results indicate that physical characteristics influence the race pattern of 400-m running.

Key words: elite 400 m runners, race patterns, maximal O_2 intake, anaerobic power, isokinetic power of the lower limb

(Japan J. Phys. Educ. 45: 422-432, May, 2000)

1）筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2）青山学院大学文学部
〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 1-1
3）デサント
〒171-8580 東京都豊島区目白 1-4-8
4）富士通
〒211-0053 神奈川県川崎市中原区上小田中 4-1-1
5）筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
6）松江工業高等専門学校
〒690-0865 島根県松江市西生馬町14-4
7）仙台大学体育学部
〒989-1693 宮城県柴田郡柴田町船岡南 2-2-18

1. *University of Tsukuba, Institute of Health and Sport Sciences, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*
2. *Aoyama-gakuin University, Faculty of Literature, 1-1 Morinosato-aoyama, Atsugi, Kanagawa 243-0123*
3. *Descent LTD, 1-4-8 Mejiro, Toshima-ku, Tokyo 171-8580*
4. *Fujitsu, 4-1-1 Kamiodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa 211-0053*
5. *University of Tsukuba, Doctoral Program in Health and Sport Sciences, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*
6. *Matsue College of Technology, 14-4 Nishiikuma, Matsue, Shimane 690-0865*
7. *Sendai College, Faculty of Physical Education, 2-2-18 Funaoka-minami, Shibata, Miyagi 989-1693*

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

キーワード：一流400 m ランナー，レースパターン，最大酸素摂取量，無気的パワー，等速性下肢パワー

目　　的

400 m 走は短距離走種目に位置づけられるが，運動持続時間が約40–50秒間に及ぶため，無気的と有気的なエネルギー供給機構からエネルギーを得ている．30秒で疲労困憊に至る運動では約65%，60秒程度で疲労困憊に至る運動では約50%が無気的エネルギーによるという報告（Melbo and Tabata, 1993）をもとにすると，400 m 走中の必要エネルギーの約60%弱は無気的エネルギー（400 m 走のタイムを日本男子400 m ランナーのトップレベルである45秒と想定した場合）に依存していると推定できる．すなわち，400 m 走では半分以上のエネルギーを無気的エネルギーに依存するため，酸素負債量が大きく，全身の無気的持久力が必要とされる種目と言える．尾縣ほか（1998a）が，陸上競技者15名（400 m 走最高記録48.76±1.4秒；n=14, 800 m 走最高記録1.50.28秒；n=1）において，400 m 走のタイムと酸素負債量（運動後15分間で測定した量）との間には，有意な負の相関関係があったことを報告していることからも，全身の無気的持久力が400 m 走にとって重要な体力要因であることは明らかである．

一方，約40%を有気的エネルギーに依存するとみられることから，400 m 走で優れたパフォーマンスを得るためには酸素摂取能力，すなわち有気的持久力も要求されると考えられる．Olesen et al. (1994) は，3 名の400 m ランナーと 5 名の800 m, 1500 m ランナーで構成されるグループと 6 名の一般人のグループを比較し，グループ間の400 m 走のパフォーマンスの違いは，無気的運動能力よりも有気的運動能力の違いであると報告している．また，尾縣ほか（1998b）は，400 m 走の平均走速度と強い正の相関関係（$r=0.885, p<0.001$）にある筋疲労時（400 m 走中の360 m 地点）の走速度を全力疾走時により近づけるためには，毛細血管を発達させるという観点から有気的運動能力（最大酸素摂取量）を改善することが重要であると指摘している．

このように全身の無気的・有気的運動能力は，400 m 走のパフォーマンスを規定する体力要因であるが，これら 2 要因に加え，最近では下肢の筋持久性が400 m 走のパフォーマンスを規定する重要な要因であると報告されている．尾縣ほか（1998a）は，股関節屈曲・伸展運動の筋持久性は400 m 走中の速度逓減の程度を規定する要因であり，特に股関節屈曲運動の筋持久性は，400 m 走のパフォーマンスにも影響を及ぼしていることを指摘している．また，前述の筋疲労時の走速度と股関節屈曲・伸展運動の筋持久性とが有意な相関関係にあるという報告もなされている（尾縣ほか，1998b）．

以上のように400 m 走は，動員されるエネルギー供給機構から見ても，要求される体力的要因から見ても，複雑な競技種目であると言える．それだけに，400 m 走レースでは異なるレースパターンを示すランナーたちがしのぎを削ることになる．前半のスピードが高く後半はスピードが低下していく前半型，前半のスピードが低く後半までスピードを維持する後半型などのタイプが存在するとみられるが，それらのレースパターンは，それぞれの競技者の有する体力的特性に影響を受けるという仮説が立てられる．

しかしながら，400 m 一流ランナーの体力的特性と，400 m 走のレースパターンとの関係について検討した研究はない．これらの関係を検討することは，レースパターンなどの戦術や体力トレーニングを考えるうえでの参考になるとみられる．なお，日本はバルセロナ・オリンピック400 m 走で高野進選手が 8 位入賞を，アトランタ・オリンピック 4×400 m リレーで 5 位入賞を果たしている世界でも有数の400 m 走のレベルが高い国であり，更なる飛躍のためにはトップランナーに関する資料収集の必要性は高い．

そこで，本研究では日本のトップの 3 名の400 m ランナーの有気的運動能力，無気的運動能力，等速性最大筋パワーおよび筋持久力を測定し，レースパターンとの関連を検討した．

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

方　　法

実験は，体力測定と競技会における400 m走におけるレース分析から構成された．被験者は，400 m走を専門とする者3名であり，いずれも日本を代表する一流ランナーである．さらに，400 mランナーの体力的な特徴をより明確にするために，100 m走，200 m走の日本記録を保持するランナーの体力測定を実施した．表1には被験者のプロフィールを示した．

1. 体力測定

最大酸素摂取量，無気的パワー，下肢の等速性最大筋パワーおよび筋持久性の測定は，1998年7月28日–29日の両日に実施した．1日目に最大酸素摂取量の測定，2日目の午前に無気的パワーの測定，午後に下肢の等速性最大筋パワーおよび筋持久性の測定を行った．

(1) 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量は，トレッドミルを用いた負荷漸増法により，Exhaustionに至るまでランニングを続ける方法により測定した．走路の傾斜は，0 deg，走速度は，200 m/minから開始し，Exhaustionまで10 m/minずつ増加させるようにした．Exhaustion timeは，9–13分の範囲にあった．走行中の呼気の採取は，自動呼気ガス分析器（Mijnhardt社製，OXYCON GAMMA）により行った．

(2) エルゴメータによる無気的パワーの測定

Wingate test（Dotan and Bar-Or, 1983）によ

表1　被験者のプロフィール

	年齢（歳）	身長（m）	体重（kg）	1998年最高記録	自己最高記録	備　　考
簡　優好	26	1.76	67.3	400 m　45.33 1st	499 m　45.33 '98　1st 200 m　21.45 '95　49th	'98　アジア大会1600 mR 優勝第3走者
苅部俊二	29	1.84	72.7	400 m　45.92 3rd	400 m　45.57 '97　1st 800 m　1.48.04 '95　1st 400 mH　48.34 '97　1st	'96　オリンピック1600 mR 5位　第1走者 '97　世界室内400 m　3位 '98　アジア大会1600 mR 優勝第3走者
小坂田淳	24	1.77	66.4	400 m　46.17 4th 200 m　21.27 29th	400 m　46.03 '95　3rd 200 m　20.77 '95　2nd 100 m　10.58 '95　45th	'96　オリンピック1600 mR 5位　第3走者 '98　アジア大会1600 mR 優勝第1走者
伊東浩司	28	1.80	73.8	400 m　46.55 7th 200 m　20.16 1st 100 m　10.00 1st	400 m　46.11 '96　5th 200 m　20.16 '98　1st 100 m　10.00 '98　1st	'96　オリンピック200 m準決勝進出 1600 mR 5位　第2走者 '98　アジア大会400 mR 優勝第4走者 100 m, 200 m優勝

記録の下の順位は，その年度の日本ランキングを示す．

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

り，ハイパワー自転車エルゴメーター（TKK 社製）を用い，無気的パワーを測定した．被験者には，サドルの高さを各自に適した位置にセットさせ，サドルから腰を上げないように指示をし，体重の7.5%の負荷重量で30秒間の最大努力での試技を課した．30秒間の平均パワー（Mean power），および1秒毎に算出されたパワーのうちの最大値（Max power）を算出した．

安静時と無気的パワーの測定終了後 1, 3, 5, 7, 9 分後に手指先より血液を採取し，自動乳酸分析器（YSI 社製，Model 23L Lactate analyzer）により乳酸値を測定した．このうち，最も高い値を乳酸ピーク値とした．

(3) 下肢の等速性筋パワーの測定

等速性筋力測定器（Biodex 社製 Biodex System3）を用い，膝関節伸展・屈曲および股関節伸展・屈曲における等速性最大筋パワーおよび筋持久力を測定した．等速性最大筋パワーの測定では，角速度60 deg/s, 180 deg/s, 300 deg/s での全力 3 回連続試技を行わせ，筋持久力では，角速度180 deg/s での全力50回連続試技を行わせた．試技順は，上記の順であり，筋疲労の影響を消去するため試技間には十分な回復時間を設定した．

等速性最大筋パワー測定のため実施した 3 種の角速度での 3 回連続試技中に記録されたピークパワーを最大筋パワーと定義した．なお，ランニングにおける身体の移動速度には体重が影響を及ぼすと考えられるため，ピークパワーは体重比とした．

筋持久力測定のため実施した180 deg/s での50回連続試技中の全仕事量を時間で，前半，中盤，後半に 3 等分し，前半仕事量から後半仕事量を減じた値を前半仕事量で除し，パーセンテージで表した．これを Biodex System3 では，仕事量疲労と定義しており，本研究では筋持久性指標と定義した．なお，筋持久性指標は数値が低いほど，筋持久性が高いことを示す．

膝関節伸展・屈曲測定では椅子座位姿勢，股関節伸展・屈曲では仰臥姿勢を取り，いずれの測定でも体幹部，測定とは反対側の脚をそれぞれ専用のベルトにより固定した．測定する関節動作範囲は，膝関節，股関節ともに完全伸展位から完全屈曲位までとした．測定前に被験者に，測定器具に慣れさせるために十分な練習時間を設けた．

2. 400 m 走レースにおけるレース分析

1998年10月 2 日に行われた第83回日本陸上競技選手権大会男子400 m 走決勝（文中では以後，選手権と省略する）および1998年10月28日に行われた第53回国民体育大会陸上競技成年男子400 m 走決勝（国体と省略する）を分析対象レースとした．

公認の陸上競技場には，4×100 m リレーのテークオーバーゾーンの入り口を示すラインが，400 m 走のスタートラインから90 m, 190 m, 290 m 地点に引かれている．ビデオカメラ（Sony 社製 DCR LXV1000, 60 fps）を用い，それぞれの地点の外側（観客席上段）から，ライン上をランナーが通過するのを確認できるように撮影を行った．ライン上通過の判断の正確性を増すため，可能な限り，ラインの真横から撮影を行ったが，90 m, 190 m 地点のラインの位置は広範囲にわたるため，2 台のビデオカメラを使用した．それぞれのカメラには，スタート時にピストルの閃光を写しこみ，ライン上を通過するまでの時間が算出できるようにした．スタートからゴールまでの時間に関しては，公式計時を利用した．この画像から，0–90 m（1 区間），90–190 m（2 区間），190–290 m（3 区間），290–400 m（4 区間）の所要時間を算出した．なお，400 m を100 m ずつ 4 区分するのが一般的である（沼澤・杉浦，1994）が，対象とした 2 競技会が開催された競技場には，100 m ずつに区切るラインが引かれていないため本研究の区分となった．それぞれの区間で距離が違うため，比較しやすいように区間の平均走速度を算出した．また，400 m 走全体の平均走速度を100%とした場合の各区間の走速度の割合（速度率とする）を算出した．便宜上，400 m 走における190 m 地点までを前半，以降を後半と定義した．

なお，1991年世界陸上競技選手権東京大会に

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

おける400 m 走の100 m, 200 m, 300 m の通過タイムの測定は，バックスタンドからビデオカメラで撮影された画像を使用し，スタートから100 m 毎に各レーンの中央に書き込まれたマーク（5 cm の正方形）をトルソが通過した時点を見極めることにより行われた（沼澤・杉浦，1994）．本研究で用いた方法は，カメラを設置する場所を各区間を示すラインの側方としたこと，区間を示すマークとして正方形のポイントではなくラインを利用したことで，沼澤・杉浦の方法（沼澤・杉浦，1994）よりも，測定の精度はさらに増したものと考えられる．

レース後，400 m 走中の各区間における努力感（主観的強度）とレース中に感じた風に関する感想を口頭質問により調査した．主観的強度は，全力疾走を100%とし，それに対する割合で答えるように指示した．

結果および考察

1. レースパターンの分析について

図1は，選手権と国体における3名の400 m 走中の区間毎の平均走速度，図2は，400 m 走全体の平均走速度を100%とした場合の各区間の走速度の割合（速度率とする），表2は，それら

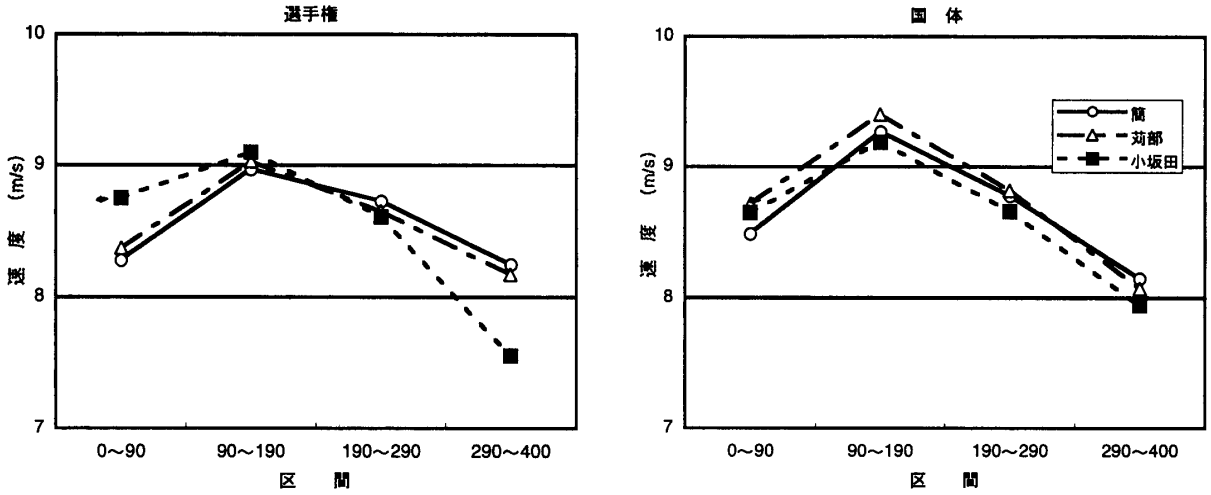

図1 日本選手権大会および国民体育大会における400 m 走のレースパターン

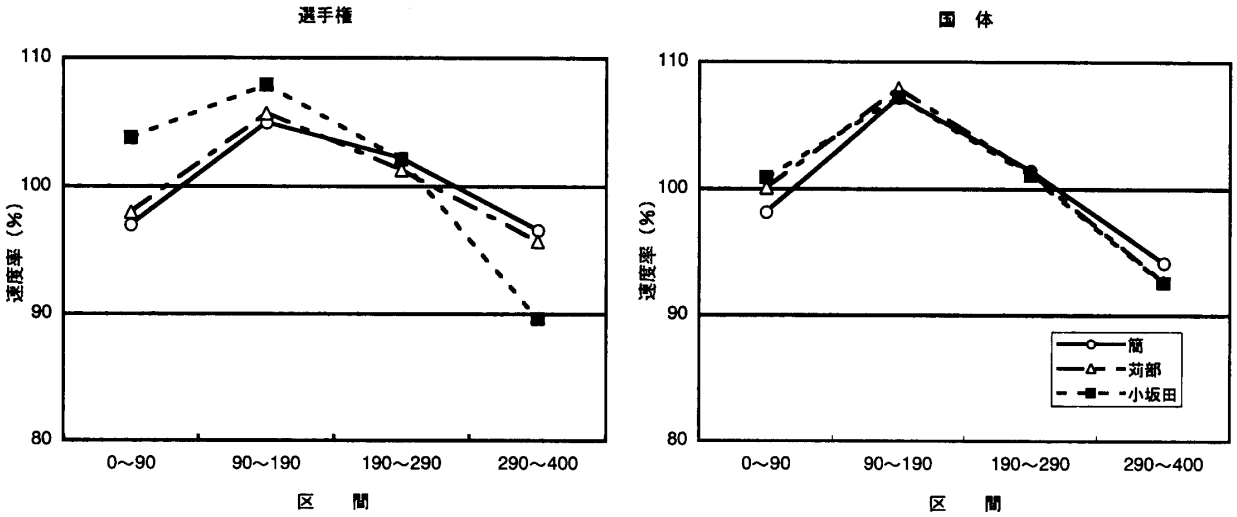

図2 日本選手権大会および国民体育大会における400 m 走のレースパターン
—400 m 走平均走速度を100%とした場合の各区間の率—

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

表2 日本選手権大会および国民体育大会における400 m 走の速度に関するデータ

		1区間 0–90 m	2区間 90–190 m	3区間 190–290 m	4区間 290–400 m	前半 0–190 m	後半 190–400 m	400 m
日本選手権								
所要タイム（s）	簡	10.87	111.15	11.46	13.34	22.02	24.80	46.82
	苅部	10.75	11.07	11.56	13.47	21.82	25.03	46.85
	小坂田	10.28	10.99	11.61	14.57	21.27	26.18	47.45
平均走速度（m/s）	簡	8.28	8.97	8.73	8.25	8.63	8.47	8.54
	苅部	8.37	9.03	8.65	8.17	8.71	8.39	8.54
	小坂田	8.75	9.10	8.61	7.55	8.93	8.02	8.43
速度率（%）	簡	97.0	105.0	102.2	96.6	101.1	99.2	—
	苅部	98.0	105.7	101.3	95.7	102.0	98.2	—
	小坂田	103.8	107.9	102.1	89.6	105.9	95.1	—
国民体育大会								
所要タイム（s）	簡	10.60	10.78	11.38	13.49	21.38	24.88	46.26
	苅部	10.32	10.63	11.33	13.63	20.95	24.96	45.91
	小坂田	10.40	10.88	11.55	13.86	21.28	25.41	46.69
平均走速度（m/s）	簡	8.49	9.27	8.78	8.15	8.89	8.44	8.65
	苅部	8.72	9.40	8.82	8.07	9.07	8.41	8.71
	小坂田	8.65	9.19	8.66	7.94	8.93	8.26	8.57
速度率（%）	簡	98.2	107.2	101.5	94.2	102.8	97.6	—
	苅部	100.1	107.9	101.3	92.7	104.1	96.6	—
	小坂田	100.9	107.2	101.1	92.6	104.2	96.4	—

速度率：各区間および前・後半の平均走速度/400 m 走平均走速度×100

の速度に関するデータを示したものである．また，表3は，レース後に調査した400 m 走中の各区間における努力感（主観的強度）と風に関する感想の調査結果である．

選手権における走速度の変化を比較すると，苅部と簡がよく似たパターンを示していることがわかる．しかし，1・2区間で僅かであるが，苅部が高い走速度を示し，逆に3・4区間では簡が苅部の走速度を上回っている．一方，小坂田は，他の2名に比較し，1区間を高い速度で走り，それを2区間まで持続している．しかし，最後の区間では著しい速度低減を示しており，ここで簡と苅部に逆転を許した．また，速度率においても同じような傾向が示された．

国体では，3名が類似したレースパターンを示した．走速度の変化では，苅部と簡は，1区間，続く2区間を選手権よりもかなり高い速度で走り，3区間でも僅かであるが選手権の走速度を上回っている．そして，最後の区間では僅かに選手権の走速度を下回っている．一方，小坂田は，1区間の走速度が選手権と比較して低いが，2・3区間では僅かに高い走速度を示し，そして4区間では大幅に高い走速度を示している．速度率では，1区間では小坂田が100.9%と高く，簡が98.2%とかなり走速度を抑えていたことがわかる．2・3区間は，3名とも同程度の速度率であり，4区間では小坂田が簡に比較して1.6%低い値を示した．

両競技会を比較すると，3名ともに選手権の記録の方が顕著に低かったが，これは，表2の風に関する簡と苅部の感想からわかるように，前半強い向かい風のために，走速度が上がらなかったことが原因の一つだと考えられる．レース時の風の影響については，陸上競技連盟の機関紙である陸上競技マガジンの日本選手権戦評（石井・折山，1998）のなかの「バックストレートの向か

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

い風に悩まされてタイムが出ない.」という記述にも裏づけられる．向かい風2 m/sは，10 m/sの速度で走っているランナーに対して2.2%の速度低下を招くという報告（Ward-Smith, 1985）もある．したがって，向かい風のなかを風のない状態と同じ主観的強度で走った場合には，走速度は低下し，逆に風のない状態と同程度のスピードを維持しようと走速度を上げた場合には，筋への負担が大きくなって，後半の筋疲労度が高まり，速度低減が大きくなると推測できる．実際に，苅部の場合，区間の平均走速度を見ると，1区間では選手権が8.37 m/s，国体では8.72 m/sと速度差が大きく，国体の方が1区間の主観的強度が5%高いものの，選手権での向かい風の影響は強かったと推測できる．また，2区間では主観的強度が同じにもかかわらず，平均走速度が選手権9.03 m/s，国体9.40 m/sであり，その差は大きいものであった．簡の主観的強度は，両レースともに1区間が80%，2区間が70%であるが，平均走速度は，1区間では選手権が8.28 m/s，国体が8.49 m/s，2区間では選手権が8.97 m/s，国体が9.27 m/sと，向かい風の影響を受けているものと考えられる．苅部，簡の後半の所要タイムは，両競技会ともほぼ同じであり，両レースのタイム差は前半に生じたと考えられる．

一方，小坂田は，選手権での各区間の主観的強度は95%→95%→80%→100%，国体での主観的強度は，75%→85%→95%→100%であった．この主観的強度は，レースパターンに反映されており，向かい風にもかかわらず，選手権では1・2区間はそれぞれ8.75 m/s, 9.10 m/sと高い速度で走り抜けているが，速いペースが影響してか，最後の区間では急激な速度低減が見られている．国体では，逆に，1区間で3名中最も低い75%という主観的強度を示しており，選手権よりも0.10 m/s低い走速度を示したが，それでも主観的強度95%の苅部に比較して，0.07 m/s低いだけであり，主観的強度80%の簡と比較すると0.16 m/sも高い走速度を示した．

主観的強度と疾走速度との対応関係に影響を及ぼす要因として，風の影響が考えられる．小坂田は，選手権の1・2区間で他の2名が強い向かい風を感じているにもかかわらず，レース後の感想で風を感じなかったと返答している．決勝のレーンは，小坂田2レーン，簡6レーン，苅部7レーンであり，小坂田が風を感じなかった要因の一つとして，イン・レーンという条件があげられるが，これは推測の域を脱しない．

これらのレースにおける速度の分析とレース後の主観的強度の調査から，本研究の対象となった

表3 400 m走中の各区間毎の主観的強度および風に関する感想

	区間	日本選手権大会		国民体育大会	
		主観的強度	風に関する感想	主観的強度	風に関する感想
簡　優好	1区間	80%	強い向かい風	80%	感じず
	2区間	70%	強い向かい風	70%	感じず
	3区間	80%	感じず	70%	感じず
	4区間	100%	感じず	100%	感じず
苅部俊二	1区間	90%	強い向かい風	95%	感じず
	2区間	85%	強い向かい風	85%	感じず
	3区間	80%	感じず	80%	感じず
	4区間	100%	感じず	100%	感じず
小坂田淳	1区間	95%	感じず	75%	感じず
	2区間	95%	感じず	85%	感じず
	3区間	80%	感じず	95%	感じず
	4区間	100%	感じず	100%	感じず

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

3名に限って，それぞれのタイプを判断してみると，小坂田は最初の190 m を積極的に高い速度で走り，最後のホームストレート（4区間）では走速度が低下する前半型，苅部は3名の中では区間の間の走速度の変動が小さいイーブンペース型，簡も苅部と同様にイーブンペース型であるが，1区間の走速度が低く，4区間の走速度が高い後半の強いイーブンペース型であると言える．

本研究の被験者となった3名の400 m ランナーの区間毎の走速度を，1991年世界陸上競技選手権大会の400 m 走決勝の8名（400 m 走タイム8名の平均，44.97±0.33秒）の区間速度（沼澤・杉浦，1994）と比較してみる（この報告における区間は，スタートから100 m 毎に分けられているため，本研究の区間速度とは僅差が存在すると推測できる.）．世界陸上競技選手権大会400 m 走決勝進出者8名の0–100 m 区間の平均走速度は，8.85±0.13 m/s, 100–200 m 区間の平均走速度は，9.85±0.10 m/s, 200–300 m 区間の平均走速度は，9.17±0.07 m/s, 300–400 m 区間の平均走速度は，7.93±0.16 m/s であり，本研究の被験者3名は，1から3区間までの速度がかなり低いことがわかる．特に4区間中，最も平均走速度が高い2区間では，本研究の被験者3名は顕著に低い速度を示している．このように世界の一流400 m ランナーのデータと比較した場合，本研究の被験者3名のさらなる400 m のタイム短縮のためには，300 m までの速度，特に100–200 m 区間の速度を高めることが課題の一つになると考えられる．

表4　体力測定の結果

測　定　項　目	簡　優好	苅部俊二	小坂田淳	伊東浩司
最大酸素摂取量（ml/min/kg）	61.7	62.1	55.2	53.2
無気的パワー				
MAX. POWER (Watt)	889.5	972.8	853.1	1040.4
MAX. POWER/BW (Watt/kg)	13.22	13.38	12.85	14.10
MEAN POWER (Watt)	625.6	674.5	636.3	761.0
MEAN POWER/BW (Watt/kg)	9.30	9.28	9.58	10.31
乳酸ピーク値（mmol）	12.4	11.9	12.3	12.8
等速性最大筋力（Watt/kg）				
膝関節伸展　60 deg/s	2.85	4.06	3.46	3.79
180 deg/s	6.79	8.87	7.67	7.75
300 deg/s	9.65	10.99	9.75	10.41
膝関節屈曲　60 deg/s	1.45	2.12	1.74	1.69
180 deg/s	4.40	5.31	5.15	4.23
300 deg/s	6.65	7.46	7.72	6.82
股関節伸展　60 deg/s	3.94	4.78	4.19	6.39
180 deg/s	11.77	13.88	11.68	16.40
300 deg/s	16.57	22.75	17.92	19.06
股関節屈曲　60 deg/s	3.12	3.49	3.20	3.89
180 deg/s	7.62	7.98	8.27	9.10
300 deg/s	14.13	19.40	13.13	14.33
筋持久性指標（%）				
膝関節伸展	56.5	63.6	66.3	75.9
膝関節屈曲	59.5	57.1	61.9	66.7
股関節伸展	35.6	31.3	48.3	30.2
股関節屈曲	61.7	64.1	66.7	72.8

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

2. レースパターンと体力的特性との関係

表3は，3名の400 mランナーと100 m走，200 m走の日本記録を保持する伊東の体力測定結果を示したものである．このうち最大酸素摂取量をみると，イーブンペース型の苅部が62.1 ml/min/kg，簡が61.7 ml/min/kgと高い値を示し，前半型の小坂田は55.2 ml/min/kgと3名中最も低い値を示した．また，100 m・200 mを得意とする伊東は53.2 ml/min/kgと，3名の400 mランナーよりも低い値を示した．Scott et al. (1991)は，National Collegiate Athletic Association (NCAA)のDivision 1（区分1）に属する200 m, 400 mを専門とするランナー（実験時400 m走タイム47.9±1.1 s）の最大酸素摂取量は，59.7±4.0 ml/min/kgであったと報告しており，また，Schnabel and Kindermann (1983)は，400 m走のベスト記録が45.6±0.6 sの男子400 mランナー9名の最大酸素摂取量は，60.6±3.2 ml/min/kgであったと報告している．この2つの報告におけるランナーの最大酸素摂取量を本研究の被験者と比較した場合，苅部と簡ほぼ同じ水準であるが，小坂田は低い水準にあると判断できる．

最大酸素摂取量は，一般には有気的運動能力を知る指標として重視されている．30秒程度で疲労困憊に至る運動では約35%が，60秒程度で疲労困憊に至る運動では約50%が有気的エネルギー供給機構からエネルギーの供給を受けているという報告（Melbo and Tabata, 1993）からすると，400 m走に必要なエネルギーの1/3程度は，有気的エネルギー供給機構によってまかなわれているとみられる．また，尾縣ほか（1998b）は，筋疲労時（400 m走中の360 m地点）に全力疾走時に近い速度で走ることのできる能力は，最大酸素摂取量に影響を受けると指摘していることからも，簡と苅部が400 m走中の4区間で高い走速度を示すことができたのは，ペース配分もさることながら優れた有気的運動能力と関係があると推察される．なお苅部は，400 m走よりも有気的エネルギー供給の割合の大きな800 m走においても1分48秒02の1995年度日本ランキング1位の記録をマークしている．

さらに，小坂田は，イーブンペース型の2名に比較して股関節屈曲筋持久性指標，股関節伸展筋持久性指標において高い値を示した．尾縣ほか（1998a）は，股関節屈曲・伸展運動の筋持久性が400 m走の速度逓減に影響を及ぼし，特に股関節屈曲運動の筋持久性は，400 m走のパフォーマンスにも影響を及ぼしていることを指摘している．また，400 m走中の360 m地点の走速度と股関節屈曲・伸展運動の筋持久性とが有意な相関関係にあると報告している（尾縣ほか，1998a）．これらの報告から，イーブンペース型2名の股関節運動の持久性が優れていることも，4区間で走速度を維持することに貢献したものと推測できる．また，100 m・200 m日本記録保持者の伊東が股関節伸展を除く筋持久性で被験者中最も低い能力を示したことからも，下肢の筋持久性が400 m走で走速度を維持するのに要求される重要な要因であると考えられる．

本研究では筋持久性が優れている2名が最大酸素摂取量も大きいという結果が得られたが，この2つの要因には互いに関連があると考えられている．この関係を裏付ける研究として，尾縣ほか（1998a), Ivy et al. (1982)の報告がある．尾縣ほか（1998a）は，400 m, 800 mランナーを対象とした研究で最大酸素摂取量の大きな者は，膝関節伸展持久性および膝関節屈曲持久性が優れていることを報告している．Ivy et al. (1982)は，等速性膝伸展・屈曲運動では，運動開始後45秒の筋パワーと最大酸素摂取量との間に有意な相関関係が認められると報告している．さらに，Saltin and Gollnick (1983)の，持久性トレーニングによる最大酸素摂取量の増加は，筋線維1本あたりの毛細血管数の増加に対応しているという報告から，有気的運動能力の優れた者は毛細血管が発達しており，その結果，筋持久性が高いという因果関係が推測できる．また，麻場ほか（1990）が，毛細血管（FT線維）と相対的持久疾走能力（60秒間走の平均走速度/70 m全力疾走中の30–70 mの平均走速度）との間の有意な相関関係を指摘していることから毛細血管を発達させること

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

は，400 m 走の記録に望ましい効果をもたらすと考えられる．

前半型の小坂田は，200 m 走で20.77秒，100 m 走で10.57秒の自己記録を持ち，3 名の中で，最も加速・全速疾走能力に優れたランナーである．そのため，国体では前半（1・2 区間）の主観的強度を抑えても，前半の走速度が高くなったと考えられる．しかし，4 区間は，前半の主観的強度の高低にかかわらず，選手権，国体ともに走速度低下が 3 名のなかで最も著しかった．3 名のうち最も高い加速・全速疾走能力を有するとみられる小坂田が 4 区間の速度低減が顕著であったという結果は，尾縣ほか（1998b）の，最大走速度（80 m 疾走中の最高速度）と筋疲労時速度（400 m 走中の360 m 地点の速度）は負の相関関係にあったという報告と一致するものである．

本研究の被験者に共通するこれからの課題として，400 m 走中のスタートから300 m まで，特に100 m から200 m までの区間の走速度を高めることを先にあげた．この課題は，特にイーブンペース型の苅部，簡には重要度が高いと言えるので，この 2 名の前半の走速度の制限因子と考えられる要因を，本研究での体力測定結果から検討してみた．まず，簡は，下肢の筋持久性には優れているものの，下肢の最大筋パワーでは全般的に，小坂田，苅部，そして100 m 走，200 m 走の日本記録保持者の伊東と比較して低い値を示した．下肢のなかでも股関節周辺筋群は，最近，短距離走の指導において重要視されている．阿江ほか（1986）は，股関節屈曲筋群は体幹の安定，回復期前半での大腿の振りだしという機能を果たし，股関節伸展筋群は支持期後半での身体の加速，回復期後半での大腿の振り戻しという機能を果たすため，股関節周辺の筋群を強化することは短距離疾走能力を高めることにつながると指摘している．阿江ほか（1986）の指摘と本研究の結果から，簡の体力面からみた今後の課題は，下肢の最大筋パワー，特に股関節伸展・屈曲筋群のパワー発揮能力を高めることだと考えられる．

一方，苅部は，400 m ランナー 3 名のなかでは，全ての体力測定項目において高い値を示しており，目立つ体力的弱点は見当たらない．しかし，伊東と比較した場合，無気的最大パワーと無気的平均パワーにおいて劣っていることがわかる．山本ほか（1992）は，男子スプリンターでは一流選手群（100 m 10.48±0.15秒）は，二流選手群（100 m 11.25±0.05秒）に比較して，5 秒間全力ペダリング中の平均パワーが優れていることを報告している．また，Meckel et al.（1995）も，女子スプリンターにおいて Fast 群（11.8±0.1秒）と Average 群（12.8±0.1秒）を比較して，Wingate test（Dotan and Bar-Or, 1983）で測定した最大パワー，30秒間の平均パワーともに Fast 群が有意に高い値を示したことを報告している．これらのことから無気的パワーが優れていることは，100 m 走および200 m 走を走るのには有利に働くとみられるため，無気的パワーの改善が，体力面からみた苅部の課題であると言える．

ま と め

本研究では，日本の一流400 m ランナー 3 名の体力的特性とレースパターンとの関連を事例的に検討した．レース分析から，3 名は，イーブンペース型，後半の強いイーブンペース型，前半型に分けられた．

体力的特性とレースパターンとの関連を検討した結果，最大酸素摂取量を指標とする有気的運動能力と下肢の筋持久性が優れていることが，400 m 走後半までスピードを持続させるイーブンペース型のレースパターンを可能にすることが明らかになった．また，前半型のランナーは，3 名のうち100 m 走，200 m 走において最も優れた自己記録を持っていることから，400 m 走前半の走速度を高めるためには，最大疾走能力を高めることが要求されると考えられる．

文 献

阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・渋川侃二（1986）機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度．筑波大学体育科学系紀要 9: 229–239.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

麻場一徳・勝田　茂・高松　薫・宮下　憲（1990）スプリンターの疾走能力と外側広筋の筋線維組成および筋毛細血管分布との関係．体育学研究 35: 253–260.

Dotan, R. and Bar-Or, O. (1983) Load optimization for the Wingate anaerobic test. Eur. J. Appl. Physiol. 51: 409–417.

石井　信・折山淑子（1998）第82回日本選手権第14回日本ジュニア選手権．陸上競技マガジン 48(12): 67–84.

Ivy, J. L., Sherman, W. M., Miller, L. M., Maxwell, B. D., and Costill, D. L. (1982) Relationship between muscle QO_2 and fatigue during repeated isokinetic contraction. J. Appl. Physiol. 53: 470–474.

Meckel, Y., Atterbom, H., Grodjinovsky, A., Ben-Sira, D., and Rostein, A. (1995) Physiological characteristics of female 100 metre sprinters of different performance levels. J. Sports Med. Fitness 35: 169–175.

Melbo, J. and Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. J. Appl. Physiol. 75: 1654–1660.

尾縣　貢・関岡康雄・辻井義弘（1990）男子スプリンターにおける下肢の動的筋力と疾走中の脚動作との関係．陸上競技研究 1: 14–19.

尾縣　貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・鍋倉賢治・宮下　憲・関岡康雄・永井純（1998a）下肢の筋持久性と400 m 走中の疾走速度逓減との関係．体育学研究 42: 370–379.

尾縣　貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・関岡康雄（1998b）筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係．体力科学 47: 535–542.

Olsen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J., and Secher, N. H. (1994) Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. Eur. J. Appl. Physiol. 69: 140–146.

Saltin, B. and Gollnick, P. D. (1983) Skeletal muscle adaptability-Significance for metabolism and performance. Handbook of Physiology-Skeletal muscle. American Physiological Society: Baltimore, pp. 555–621.

Schnabel, A. and Kindermann, W. (1983) Assessment of anaerobic capacity in runners. Eur. J. Appl. Physiol. 52: 42–46.

Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., and Bunt, J. C. (1991) The maximal accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. Medecine and Science in Sports and Exercise 23: 618–624.

Ward-Smith, A. J. (1985) A mathematical analysis of the influence of adverse and favourable winds on sprinting. J. Biomech. 18: 351–357.

山本利春・山本正嘉・金久博昭（1992）陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較—100 m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として—．J. J. Sports Sci. 11: 72–76.

（平成11年1月8日受付
平成12年1月22日受理）

NII-Electronic Library Service