

# 陸上競技・中距離選手のトレーニング負荷の変化が パフォーマンスおよび生理学的指標に及ぼす影響について —走行距離と強度に注目して—

森丘保典<sup>1)</sup> 品田貴恵子<sup>2)</sup> 門野洋介<sup>3)</sup> 青野 博<sup>1)</sup> 安住文子<sup>1)</sup> 鍋倉賢治<sup>4)</sup> 伊藤静夫<sup>1)</sup>

## Effect of change of the training load for middle-distance runner on physiological indexes and running performance: Pay attention to distance and intensity of running training

Yasunori Morioka<sup>1)</sup>, Kieko Shinada<sup>2)</sup>, Hirosuke Kadono<sup>3)</sup>, Hiroshi Aono<sup>1)</sup>  
Ayako Azumi<sup>1)</sup>, Yoshiharu Nabekura<sup>4)</sup> and Shizuo Ito<sup>1)</sup>

### Abstract

This study was conducted to clarify the effect of changing the training load on middle-distance running performance and various physiological indexes during intermittent running tests including maximal anaerobic running test (MART) and maximal aerobic running test ( $\dot{V}O_2$ -LT test). The subject was a well-trained female collegiate middle-distance runner. The results can be summarized as follows. 1) The total running distance of the third season in college (2,053km) decreased significantly (40 to 50 percent) compared with the first season in college (3,540km). In contrast, the distance of high-intensity running training increased about 35 percent (170 to 232km). 2) Physiological indexes ( $\dot{V}O_2$ max,  $\dot{V}V\dot{O}_2$ max and velocity estimated by blood lactate movement) during running tests in the third season in college improved compared with indexes of the same period of the first season in college. 3) The 800m race time decreased 1.60 seconds and the average of race time meeting the criteria for Sports Form(minus 2 percent level of season best record) was reduced of 2.23 seconds from the first season to the third season in college. These results indicate that high-intensity running training throughout the season provides the possibility to avoid trading off aerobic power for anaerobic power and to improve the 800m race time.

Key words: running distance, running speed, technical, physical, complementarity  
走行距離, 走速度, 技術的, 体力的, 相補性

### I. 緒 言

世界的な中長距離選手を数多く育成したリディアード(1993)は、「トレーニングの究極のねらいは、簡単な話、自分が出場しようとしているレースをスタートからゴールまで、自分が目標としているタイムを出すために必要とするスピードで走りきるだけのスタミナをつけることである」と述べている。一読すると至極当然のことのように思われるが、リディアードの言う「スピード」と「スタミナ(持久力)」の本質的な意味

を読み解くことはそれほど容易ではない。

800m走では、より短い距離(例えば400m)を走る「スピード」や、より長い距離(例えば1,500m)を走る「持久力」が必要であると考えられているが、これを支持する根拠としては、これらの種目を兼ねる選手がいることや、AnaerobicおよびAerobicなエネルギー供給系への依存度がともに高いと考えられていること(Duffield et al., 2003)などが挙げられるだろう。この考え方には、中距離走パフォーマンスの歴史的変遷や経験則から導き出された、ある種の本質が含まれてい

1) 日本体育協会スポーツ科学研究所

Sports Science Laboratory, Japan Sports Association

2) 筑波大学人間総合科学研究所

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

3) 筑波大学体育センター

Sport and Physical Education Center, University of Tsukuba

4) 筑波大学体育科学系

Institute of Health and Sport Science, University of Tsukuba

るとみてよいが、400m走や1,500m走記録の向上が800走のパフォーマンス向上に繋がらないケースがあることも看過できない。トレーニングの「特異性」という原理を踏まえれば、パフォーマンス向上のために獲得すべき能力は、あくまでもその種目の「特異性」を踏まえた「専門的」なものであるべきことは言を俟たない。

陸上競技の走トレーニングにおいては、長きにわたり「疲労物質」とされてきた「乳酸」の除去や緩衝能力の重要性が指摘され、特に準備期においてはそれらの能力向上に照準された持久的（低強度）トレーニングを行うのが一般的である。しかしながら、乳酸が単なる自由拡散ではなく輸送担体によって積極的に運ばれて代謝が継続するという“Lactate Shuttle”のフレーム（Brooks, 1986）が提示されて以来、高濃度の乳酸が筋の興奮性を持続させ筋疲労を抑制する可能性（Nielsen et al., 2001; Pedersen et al., 2004）や、細胞膜からの乳酸の放出や取り込みに関与するトランスポーター（MCT : Monocarboxylate Transporter）の存在や関与のメカニズムが示されるなど（Bonnen, 2001; Hashimoto et al., 2005）、「乳酸=エネルギー源」という可能性についても多数報告されてきている。また最近では、運動による疲労を「運動を起こす側（中枢）と運動を行う側（末梢）の相互作用」として捉えるべきであるという指摘（Hargreaves, 2008）が数多くなされているだけでなく、末梢から中枢へのシグナルとなるべき生理学的パラメータの探索やレース（ペース）戦略の最適化に関する実践的な研究を行っているグループもある（Lambert et al., 2005; St Clair Gibson and Noakes, 2004; Rauch et al., 2005）。これらの報告に加えて、短期間のスプリント・インターバル・トレーニング（SIT）が、持久的能力を効率よく改善するといった報告（Burgomaster et al., 2005, 2008; Gibala et al., 2006）などを勘案すれば、800m走のトレーニ

ングや効果測定の方法についても再考を要するといえるのではないだろうか。

そこで本研究では、長期間にわたるトレーニング負荷の変化が生理学的指標および800m走パフォーマンスに及ぼす影響について、主に走トレーニングの走行距離と強度に着目して事例的に検討することを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 研究対象について

研究対象者（S選手）は、中距離走（主に800m走）を専門とする大学女子陸上競技者1名であった（表1）。高校時代の800m走のベスト記録は2分10秒35（高校2年次：2004年度日本ランキング20位、以下「日本ランク」とする。）、大学時代のシーズンベスト記録（SB）は、1年次（2006年）が2分08秒03（日本ランク14位）、2年次（2007年）が2分14秒84（日本ランク152位）、大学3年次（2008年）が2分06秒43（日本ランク8位）であった。なお、体脂肪率については、栄研式皮脂厚計を用いて上腕背部、肩甲骨下部、腹部の3カ所の皮下脂肪厚を測定し、これらの合計と身長、体重から求めた体表面積を長嶺の式に代入して身体密度を求め、それをbrozekの式に代入して算出した。

### 2. 測定方法

#### 1) Maximal Anaerobic Running Testについて

本研究では、スピード（≒Anaerobic）能力の変化を測定する方法として、以下に示すプロトコールによるMaximal Anaerobic Running Test（MART）を採用した。S選手は、傾斜4度のトレッドミルにおける20秒間走行を、100秒の休息時間を持みつつ25m/minずつ走速度を漸増しながら、Exhaustionに至るまで6回

表1 研究対象者（S選手）の身体的特性

測定日	年齢 (age)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)
2006年	6月22日	165.7	48.1	10.2
	11月15日	165.9	48.0	10.9
2007年	1月31日	165.8	47.6	10.1
	11月5日	165.5	47.0	10.1
2008年	2月13日	165.7	46.5	10.0
	6月13日	165.3	47.1	9.9
	10月31日	165.3	47.3	10.1

(375m/min) から 8 回 (425m/min) 繰り返した。初回セットの走速度は、終了後の血中乳酸濃度 (La) が 3mmol/l 以上にあがらない速度として 250m/min を採用した。各走行終了後 40 秒の時点、および Exhaustion に至る走行が終了してから 1, 5, 10 分後にそれぞれ耳朶採血を行い、自動血中乳酸分析器 (BIOSEN-5040) を用いて La 分析を行った。

MART 時の走能力を表す最大走速度 (Vmax) については、exhaustion に至ったセットにおける 9 秒以下の走行時間はキャンセルするという Rusko et al. (1993) および森丘ほか (2003a, 2003b, 2006) の方法を参考に、以下の式にて算出した。

$$V_{\max} (\text{m/min}) = \text{最後に} 20 \text{ 秒完走したセットの走速度 (m/min)} + (\text{exhaustion したセットの走行時間 - 9 (秒)} \times 2.3 (\text{m/min}))$$

また、La を用いた評価指標となる、3mmol/l, 5mmol/l 時の走速度 (V3mM, V5mM) および MART 終了後の最大 La (PBLa) の相対値 (%PBLa : 40%, 60%PBLa) を基準とした走速度 (V40%La, V60%La) については、連続する 2 点間を直線回帰することにより内挿した La- 走速度曲線および %PBLa- 走速度曲線を用いて算出した。算出基準については、La の絶対値および相対値をもとに各種指標を算出および比較できる値を採用した。また、PBLa は、Exhaustion の 1 分後、5 分後、10 分後の値の中で最も高いものを採用した。

## 2) Maximal Aerobic Running Testについて

本研究では、持久的 (≡ Aerobic) 能力の変化の測定および後述するトレーニング分析を行うための基準を導出する方法として、以下に示すプロトコールによる Maximal Aerobic Running Test ( $\dot{V}\text{O}_2$ -LT test) を採用した。S 選手は、トレッドミル傾斜 0 度での最大下走行 (3 分) を、耳朶採血に必要な 30-40 秒程度の立位休息をはさんで 5 セット実施した。初回走速度は、走行終了後の La が 2mmol/l 以上にあがらない速度として 160m/min に設定し、以後 30~40m/min ずつ速度を漸増させた。また、6 セット目は、5 セット目と同速度 (傾斜 0 度) で 1 分間走行し、1-2 分までは速度は変えずに傾斜を 1 度に設定し、2 分以降は傾斜 (1 度) を変えずに 1 分ごとに 10m/min ずつ速度を漸増しながら疲労困憊に至らしめた。

酸素摂取量 ( $\dot{V}\text{O}_2$ ) は、ダグラスバック法により各走行における 2-3 分の 1 分間の呼気を採取して算出した。6 セット目については、1 分後から Exhaustion に至るまで 1 分毎の連続採気を行い、負荷が変わってか

ら Exhaustion に至るまでの時間が 30 秒未満の採気は、 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  を過大評価する可能性があるため分析対象から除外した。 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  は、酸素摂取量のレベリングオフ、1.1 以上の呼吸交換比 (RMR)、180 拍 / 分以上の心拍数のうちのいずれか二つを満たすことによって判定した。

La は、各走行終了 15-30 秒後に耳朶採血し、先述と同様の方法を用いて La の分析を行った。評価基準については、一般的によく用いられる 2mmol/l 時 ( $v\text{LT2}$ ) および 4mmol/l 時 ( $v\text{LT4}$ ) を採用し、La- 走速度曲線 (2 次または 3 次回帰式のうちあてはめのよい方) を内挿することにより算出した。

## 3) 走トレーニングの強度別走行距離の算出

分析期間については、2005 年 (高校 3 年) 12 月から 2006 年 (大学 1 年) 11 月末までの 1 年間 (大 1 シーズン) および 2007 年 (大学 2 年) 12 月から 2008 年 (大学 3 年) 11 月末までの 1 年間 (大 3 シーズン) を対象とした。また、12 月から翌年 11 月末までの 1 年間を 4 ヶ月単位で 3 つに分け、12 月から翌年 3 月末までを準備期、4 月から 7 月末までを試合期前半、8 月から 11 月末までを試合期後半と定義した。なお、故障のためレースへの出場機会がほとんどなかった 2006 年 (大学 1 年) 12 月から 2007 年 (大学 2 年) 11 月については分析期間から除外した。

走トレーニング強度別の走行距離分析については、 $\dot{V}\text{O}_2$ -LT test の結果 (表 2) をもとに走速度カテゴリーを設定し、それぞれのカテゴリーに該当する走トレーニングの走行距離を積算した。分類の基準とする走速度については、血中乳酸 2mmol/l 時の走速度 ( $v\text{LT2}$ )、最大下の酸素摂取量 ( $\text{VO}_2$ ) から推定する  $\text{VO}_2\text{max}$  相当の走速度 ( $v\text{VO}_2\text{max}$ )、および各期間において最もよいパフォーマンス (800m 走記録) の平均走速度 ( $v800\text{m}$ ) とし、Z1 ( $v\text{LT2}$  未満)、Z2 ( $v\text{LT2}$  以上  $v\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  未満)、Z3 ( $v\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  以上  $v800\text{m}$  未満)、Z4 ( $v800\text{m}$  以上) の 4 つのカテゴリーを設定した (表 3)。なお、Z1 ( $v\text{LT2}$  未満) の基準については、ポイント練習日のウォーミングアップで頻用していた 3,000m ビルドアップ走の最速ペースが 400m を 90 秒 (266.7m/min) であったことを勘案し、測定値 ( $v\text{LT2}$ ) が 266.7m/min を下回った際にもこれを用いることとした。

大 1 シーズンにおける初回の測定実施以前の期間 (2005 年 12 月~2006 年 6 月) については、2006 年 6 月に行った 1 回目の  $\dot{V}\text{O}_2$ -LT test の結果および試合期前半のレース記録を採用した。また、レースに出場しな

表2 S選手の生理学的指標の推移

測定日	VO <sub>2</sub> -LT test				MART						
	vLT2 (m/min)	vLT4 (m/min)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	vVO <sub>2</sub> max (m/min)	Vmax (m/min)	V3mM (m/min)	V5mM (m/min)	V40%La (m/min)	V60%La (m/min)	PBLa (mmol/l)	
2006年	6月22日	258	304	61.9	331	372.7	315.4	360.5	306.3	350.4	7.0
	11月15日	244	301	61.9	343	388.6	298.9	365.2	326.8	362.5	8.1
2007年	1月31日	272	306	57.5	329	390.9	325.3	377.9	338.0	378.7	8.4
	11月5日	233	289	58.9	320	386.4	322.8	366.6	337.0	371.2	8.8
2008年	2月13日	262	304	59.9	321	372.7	326.5	360.6	313.8	351.0	6.8
	6月13日	280	312	62.9	326	395.4	350.9	393.2	350.9	385.8	7.5
	10月31日	273	317	64.3	342	404.5	334.9	383.4	362.7	393.0	9.8

表3 走トレーニング分析の基準強度（走速度）

	期分け	Z1		Z2		Z3		Z4	
		vLT2未満 (m/min)	vLT2以上 ～vVO <sub>2</sub> max未満 (m/min)	vVO <sub>2</sub> max ～v800m未満 (m/min)	v800m以上 (m/min)	v800m以上 (m/min)	v800m以上 (m/min)	v800m以上 (m/min)	v800m以上 (m/min)
大1シーズン	準備期	12月1日～3月31日	～266.7	266.7～333.3	333.3～372.5	372.5～			
	試合期前半	4月1日～6月22日	～266.7	266.7～333.3	333.3～372.5	372.5～			
2005年12月 ～ 2006年11月	試合期後半	6月23日～7月31日	～266.7	266.7～342.9	342.9～375.0	375.0～			
		8月1日～11月15日	～266.7	266.7～342.9	342.9～375.0	375.0～			
大3シーズン	準備期	11月16日～11月30日	～272.7	272.7～333.3	333.3～375.0	375.0～			
		12月1日～2月13日	～266.7	266.7～324.3	324.3～358.2	358.2～			
2007年12月 ～ 2008年11月	試合期前半	2月14日～3月31日	～279.1	279.1～324.3	324.3～381.0	381.0～			
		4月1日～6月13日	～279.1	279.1～324.3	324.3～381.0	381.0～			
	試合期後半	6月14日～7月31日	～272.7	272.7～342.9	342.9～381.0	381.0～			
		8月1日～11月30日	～272.7	272.7～342.9	342.9～381.0	381.0～			

い準備期のv800mについては、試合期後半のレース記録を採用した。

### III. 結果および考察

#### 1. 大1シーズンにおけるトレーニング、生理学的指標およびパフォーマンスとの関係について

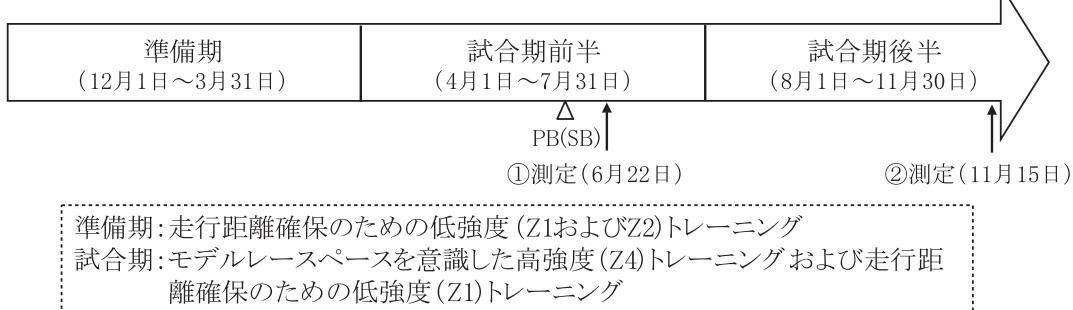
図1は、大1シーズンおよび大3シーズンにおける期分け毎の走トレーニング課題と主な内容の概略を示したものである。高校時代のS選手とコーチとの間には、準備期のトレーニングでは走行距離を確保することが最優先であるという共通認識があった。また、積雪の影響により屋外での走トレーニングが可能になるのは3月に入ってからという環境にあったことから、校舎内の廊下や階段を用いたトレーニング（S選手の感覚的にはvLT2～VO<sub>2</sub>max強度）を週3回程度行うとともに、走トレーニングで強度を上げられない部分については自転車エルゴメーターを用いたトレーニング等で補うというのが準備期の通例であった。準備期の

総走行距離（1,247km）に占めるZ1およびZ2（1016km + 159km）の割合が約94%にも及んでいることからも、この時期に低強度の走トレーニングが重視されていたことが伺える。

一方、大学入学後のS選手とコーチとの間には、800m走のレースペースを強度設定の基準と考え、「レースペース以下」、「レースペース」、「レースペース超」および「レースシミュレーションとコンディショニング」という4段階の負荷調整による走トレーニングでレースに向けた準備を行うという流れについての共通認識があった。試合期前半は、上記の流れを意識しながらトレーニングを進めていく過程で、6月には当時の自己ベスト（PB）記録（2分8秒03：大1シーズンベスト（SB）記録）をマークし、その後アジアジュニア選手権の日本代表にも選出されている。このPB記録をマークした直後に初回測定（MARTおよびVO<sub>2</sub>-LT test）が行われた（表2）。

試合期後半は、800m走でレベルの高い試合が比較的少なく、また年間を通して積極的に1,500m走レー

## 【大1シーズン（2005年12月～2006年11月）】



## 【大3シーズン（2007年12月～2008年11月）】

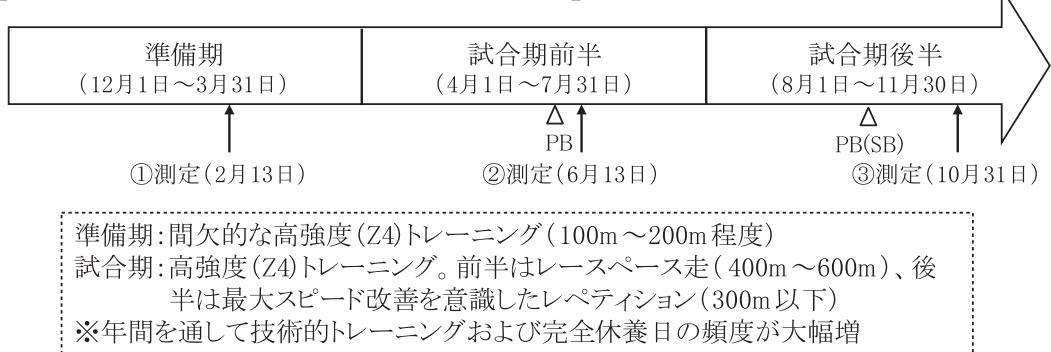


図1 期分け毎の走トレーニング課題と主な内容

スに出場していたこともあり、800m走での更なるPB(SB)記録更新には至らなかった。しかしながら、「選手が適切なトレーニングを通じて多面的な準備がなされ、競技的発達の新しい段階毎に到達する最高の力を備えた状態 (Matwejew, 1972)」を指す「競技的状態 (sports form)」の判定基準であるSB記録 (パフォーマンス) のマイナス2%レベル (村木, 1999) をクリアした8レース中3レースは試合期後半のものであり、この期間に1,500m走でPB記録 (4分25秒20) をマークしていることなどを勘案すると、試合期を通じて競技的状態が維持されていたとみて差し支え

ないだろう。

総走行距離および強度別の走行距離については、試合期の前半と後半との間に大きな差は認められなかった (表4)。また、Z1の走行距離が、準備期 (1,016km) だけでなく試合期前半 (985km) から後半 (1,075km) にかけても維持されていたことについては、高校時代にもっていた「走行距離の確保も重要である」という考え方から、試合期における早朝練習や調整練習 (積極的休養) において積極的に低強度の走トレーニング (ロングジョグなど) を取り入れていたことによると考えられる。

表4 大1シーズンと大3シーズンの走行距離比較

期分け	Z1 (km)	Z2 (km)	Z3 (km)	Z4 (km)	総走行距離(期分け)	
大1シーズン	準備期(12月～3月)	1016	159	46	26	1247
	試合期前半(4月～7月)	985	21	28	69	1103
	試合期後半(8月～11月)	1075	19	21	75	1190
	総走行距離(強度別)	3076	199	95	170	3540
大3シーズン	準備期(12月～3月)	489	60	34	76	659
	試合期前半(4月～7月)	578	9	27	87	701
	試合期後半(8月～11月)	597	5	22	69	693
	総走行距離(強度別)	1664	74	83	232	2053

試合期後半（11月）に行われた  $\dot{V}O_2$ -LT test の結果においては、試合期前半（6月）と比べて大きな変化はみられなかつたが、MART の結果においては、Vmax や PBLa などのスピード（主に解糖系）に関連するとされる指標や、解糖系（乳酸の産生）および酸化系（乳酸の利用）を勘案した総合評価指標（森丘ほか, 2003a; 2003b）とされている V40%La や V60%La において向上傾向が認められた（表 2, 図 2 および図 3）。これらの結果は、走行距離で培う持久力をベースしながら、高強度トレーニングによるスピードをかみ合させていくというトレーニング過程が、高校から大学へのスムーズな移行と中距離走パフォーマンスの向上につながつたことを示唆しているといえるだろう。

## 2. 大 3 シーズンにおけるトレーニング、生理学的指標およびパフォーマンスとの関係について

S選手は、大1から大3シーズンにかけてPB記録を1.60秒更新（2分08秒03→2分06秒43）しており、競技的状態の判定基準以内におさまるレースの平均記録も2.23秒（2分09秒60→2分07秒37）の向上を示している。このことは、S選手のパフォーマンスレベルが大3シーズンにおいてさらに向上したことを見

ものであるといえるが、加えて試合期前半（6月）にマークしたPB記録（2分6秒60）を試合期後半（9月）に再び更新（SB: 2分6秒43）していることから、800m走の競技的状態は試合期を通じて維持されていたとみることができるだろう。

大3シーズンのトレーニングの最大の特徴は、日本選手権など高いレベルの試合での上位入賞を目標にしていたため、レース前半からの速いペースに対応することを最重要課題として、準備期から高強度（レースペース超）の走トレーニングの割合を大幅に増やしたことにある（表4）。大1シーズンと大3シーズンの走行距離を比較してみると、まず目につくのは1シーズンの総走行距離の大幅な減少（3,540km→2,053km）である。期分け毎にその内訳をみると、準備期（1,247km→659km）、試合期前半（1,103km→701km）、試合期後半（1,190km→693km）といずれの時期においても約40～50%の大幅減を示しているが、そのほとんどはZ1（3,076km→1,664km）とZ2（199km→74km）という、いわゆる低強度トレーニングの減少によるものである。一方、最も強度の高いZ4の走行距離は約35%（170km→232km）もの増加を示しているが、そのほとんどが準備期における増加（26km→76km）に

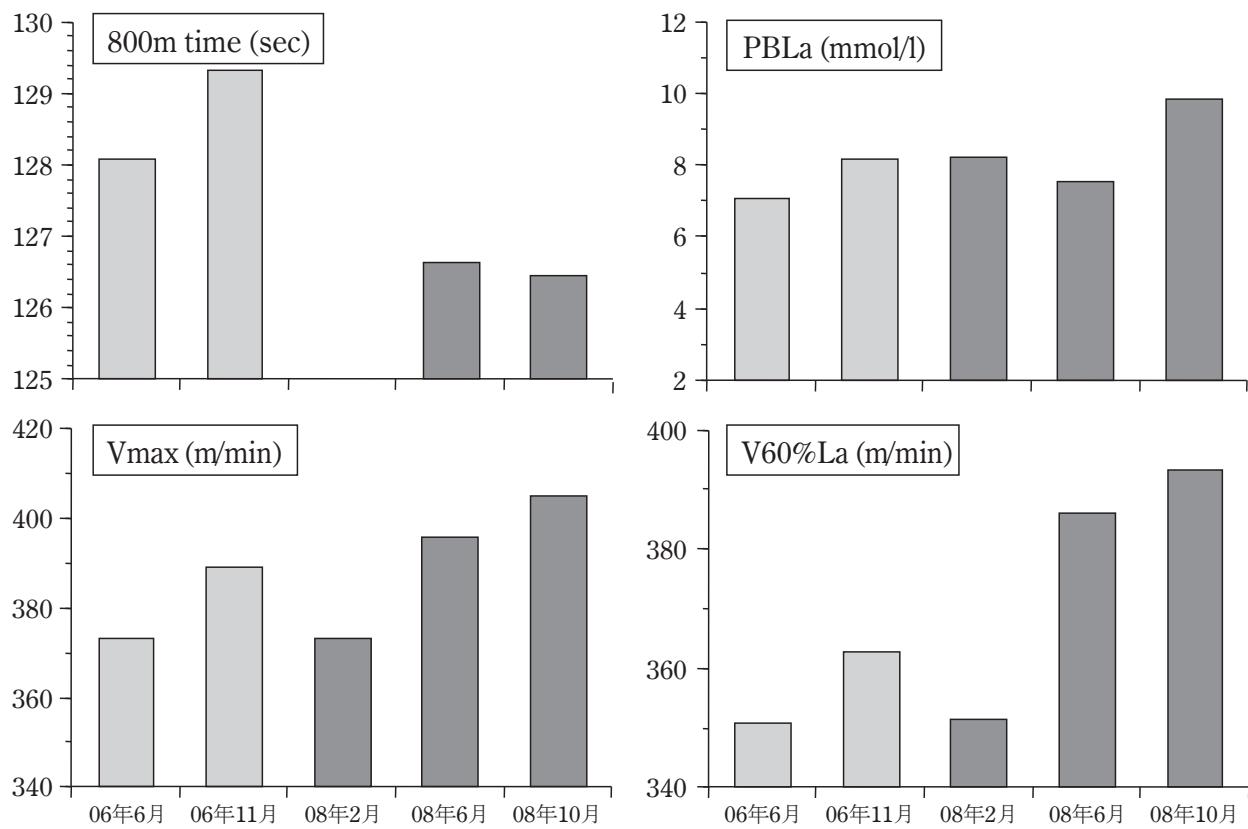
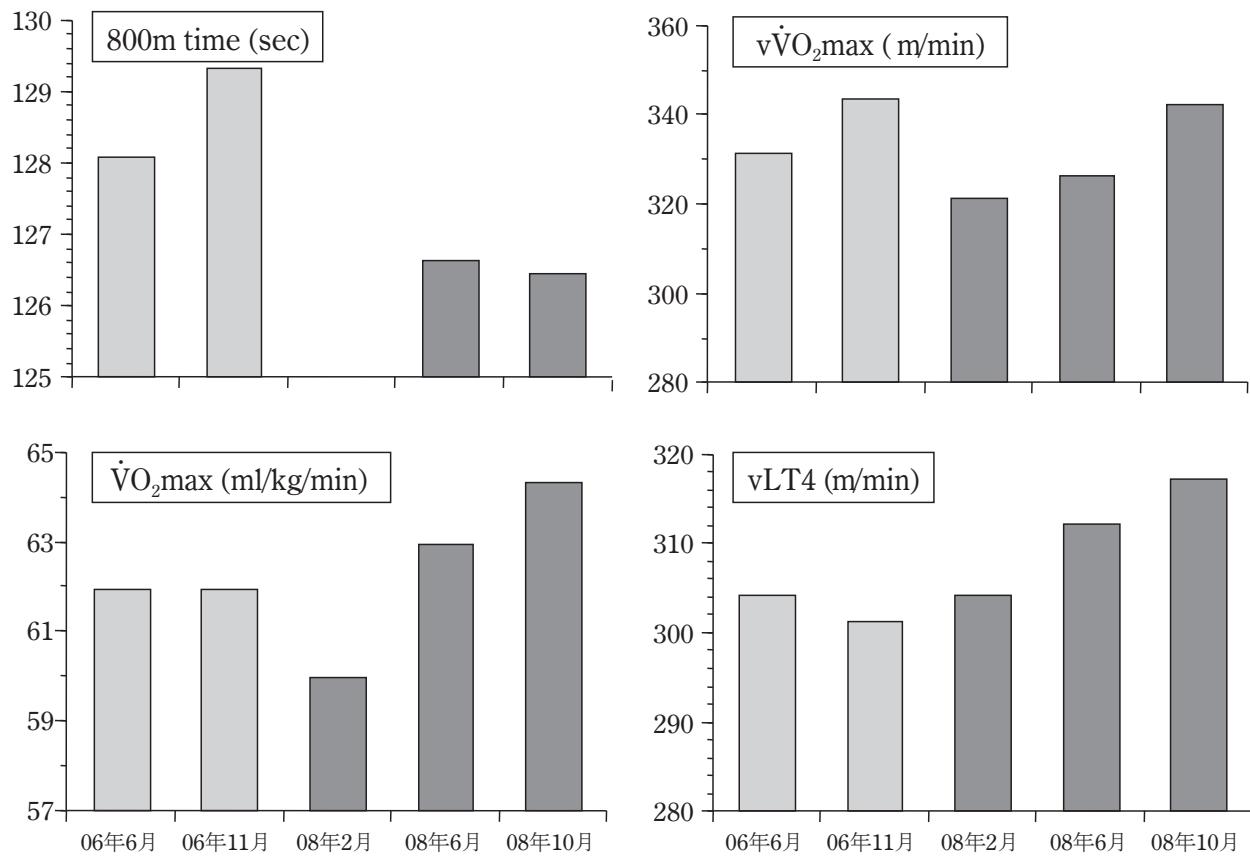


図 2 MARTに関する指標の変化

図3 VO<sub>2</sub>-LT testに関する指標の変化

よるものである。

上記のような大胆な走トレーニング負荷の変更を受けて、MARTおよび $\dot{V}O_2$ -LT testに関する全ての指標が大1シーズンの同時期との比較において向上を示したが、さらに大3シーズンの準備期から試合期にかけて、VmaxやPBLaなどスピード（解糖系）能力に関連が深いとされる指標だけでなく、 $v\dot{V}O_2\text{max}$ やvLT4などの持久系（酸化系）指標にも向上傾向が認められたことは興味深い（表2、図2および図3）。一般に、中距離走のトレーニングでは、準備期において低強度トレーニングによってベースとなる持久的能力を高め、試合期に向けて徐々に高強度トレーニングを行っていくことが望ましいと考えられているが、その根底には、「スピード（ $\equiv$  Anaerobic）」と「持久力（ $\equiv$  Aerobic）」との間にトレードオフの関係があるという先入観が横たわっている。しかしながら、近年、SITがミトコンドリア内の酵素活性、筋グリコーゲン量の増加、筋の酸化および緩衝能力、さらには持久的パフォーマンスを向上させることも報告されている（Burgomaster et al., 2005; Gibala et al., 2006）。Coyle（2005）は、上記論文の批評において、「持久的パ

フォーマンスの改善=持久的トレーニングという考え方には、陸上競技における一流中距離選手の間では受け入れられていない。なぜなら、彼らは「ずっと昔から高強度のインターバルトレーニングが持久的能力も改善することを知っているからである」とコメントしているが、持久的トレーニングに比べて休息を含めた総トレーニング時間が短いことも、極めて効率のよいトレーニングであると認識される所以である。大3シーズンの取り組みでは、走トレーニング以外の技術トレーニング（バウンディング、ミニハードルを用いたドリル、レッグランジおよびそり引き歩行、スキップなど）の頻度（14回→40回）や完全休養日数（37日→72日）が大幅に増えているが、これも低強度の走トレーニング時間とのトレードオフによるものといえる。

大3シーズンの取り組みは、高強度の走トレーニングと休養および走トレーニング以外のトレーニングを効果的に組み合わせることによって、準備期から試合期にかけて起こるとされるスピードと持久力のトレードオフを回避しつつ、800m走パフォーマンスを向上させることができることを示唆しているといえるだろう。

### 3. 中距離走における相補的トレーニングへの示唆

大3シーズンにおけるZ4は、試合期前半（87km）に比べて試合期後半（69km）の方が少なかったが、試合期前半ではレースペースに近い強度での400～600m走（60～90秒程度）が多かったのに対して、試合期後半は、300m以下の距離をほぼ全力に相当する強度（45秒以下）で行う走トレーニングを頻用していた。十種競技選手が、高強度の走トレーニングを中心に取り組みながら400m走記録を約1秒短縮していく過程において、Laの絶対値を基準に推定された指標（V3mMからV10mM）は低下したもの、V40%La, V60%LaなどPBLaに対する相対値を基準に推定された指標は向上を示したという報告（森丘ほか, 2006）もあるが、S選手の大3シーズンにおけるMART結果の推移にも同様の傾向が見てとれる（表2）。遅筋線維や心筋に多く存在しLaの取り込みに関与するといわれるLa輸送担体のMCT1や、速筋線維に多く存在しLaの放出に関与するMCT4の濃度は、トレーニング強度によって選択的に応答することが指摘されている（Evertsen, 2001）。レースを含む高強度トレーニングは、このような末梢における様々な適応の総体としての解糖系能力を向上させ、結果的にLaが有意に増加するなどの変化として表れると考えられる（Svedenhag and Sjodin, 1985）。特に中距離走（800m走）においては、より速いペースでの走トレーニングによって速筋線維を積極的に動員して乳酸を多く出すことによる「速筋線維の遅筋線維化（八田, 2009）」が求められるが、レースペースを超える高強度トレーニングにおいても負荷のかけ方次第で、引き出されるトレーニング効果は異なると考えられる。

村木（2007）は、期分け論における体力面への傾斜が顕著であることを踏まえたうえで、有用な実践理論の構築には技術・体力の相補性原理を包括する統合理論が不可欠であると指摘している。この「技術・体力の相補性原理」の理論化とは、巧みな動きやよい動きに内在する「運動技術」について、運動課題を達成するために「生理的エネルギー（発生エネルギー）」を「力学的エネルギー（出力エネルギー）」に変換し、その力学的エネルギーを運動課題に応じて効果的に使うための運動経過（阿江, 1996）として包括的に捉えるべきであるという指摘にはかならない。トレーニング負荷は、いわゆる体力論的には、運動の強度、時間、頻度および休息時間によって決まるとしているが、そのトレーニング（運動）にどのくらい心理的・技術的な要素が考慮されているかによって、その効果は大

きく異なると考えられる。心理・技術・体力に分けて切り出した個別のトレーニング負荷をいくら増しても、それらが有機的に重なり合う部分、すなわちその競技（種目）の特異性を踏まえた専門的トレーニングが実践されなければパフォーマンス向上は望めないが、反対に心技体の相補性が考慮されたトレーニングを実践することによって、その効果を最大限に引き出すことが可能となる（図4）。一例を挙げれば、S選手が積極的に取り組んだ「技術走」は、レース分析のデータをもとにモデルペースを想定し、800m走のスタートからオープンコースになる120mまでをスマーズに加速しつつ、さらに集団での位置取りポイントとなる200m通過あたりまでを効率よく、すなわち「楽に速く」通過するための運動技術を身につけることにして主眼を置いた専門的「技術」トレーニングである。しかしながら、このトレーニングも、実施する本数や休息時間の工夫次第では負荷の異なる専門的「体力」トレーニングにもなり得るし、正確性を追求すれば周囲に惑わされない自信を深めるための専門的「心理」トレーニングにもなり得るのである。

トレーニングの本質は、種々の運動の反復による変化と安定の絶えざる更新であり、実践に有用なトレーニング理論を展開するには、まずその本質を相対関係として認識し、それらの関係性の変化もしくは契機についての理解を深める必要がある（村木, 2007）。したがって、S選手のトレーニング過程を読み解く際の要諦は、限りなくトレーニング実践の「質」を高めようとした結果、走速度や走行距離といった「量」的なトレーニング負荷が変化したという因果の関係性を過たないことがあるといえるだろう。もちろん、その確度を高めるためには、本稿で扱いきれなかった詳細なパフォーマンス分析や、研究の仮説や方法の前提となる理論的枠組み自体を問い合わせ直すような研究も必要になるだろう。

### IV. まとめ

本研究では、長期間にわたるトレーニング負荷の変化がパフォーマンスおよび生理学的指標に及ぼす影響について、陸上競技の中距離選手の事例をもとに検討することを目的とした。

本研究の結果は、以下のとおりである。

- 1) 大3シーズンの総走行距離は、大1シーズンに比べて大幅に減少していた。期分け毎にみると、準備期、試合期前半、試合期後半のいずれの時期におい

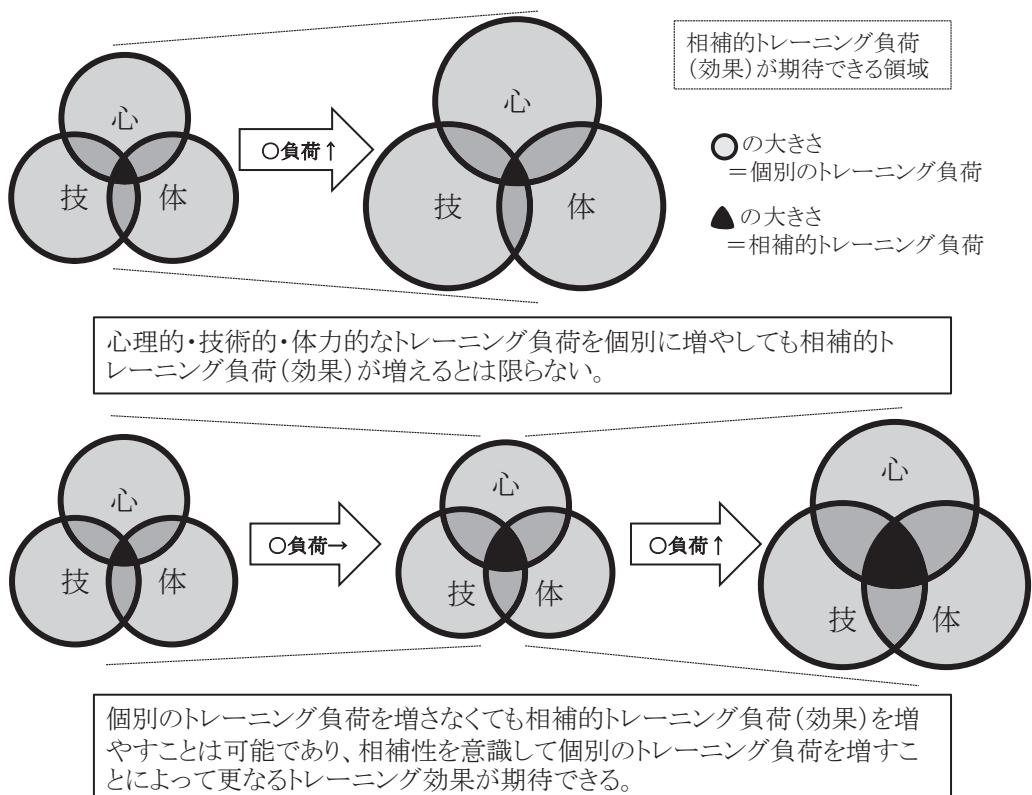


図4 相補性を意識したトレーニングイメージ

ても約40～50%減を示したが、そのほとんどは低強度 ( $v\dot{V}O_2\text{max}$ 以下) の走トレーニングの減少によるものであった。一方、高強度 ( $v800\text{m}$ 以上) の走トレーニングの走行距離は約35%増を示したが、そのほとんどが準備期における増加によるものであった。

- 2) 大3シーズンの生理的指標は、大1シーズンの同時期との比較において全ての指標で向上を示した。また、大3シーズンの準備期から試合期にかけて、 $V\text{max}$ やPBLaなどスピードに関連が深いとされる指標はもとより、 $\dot{V}O_2\text{max}$ やvLT4などの持久的指標にも向上傾向が認められた。
- 3) 800m走記録は、大1から大3シーズンにかけて1.60秒短縮され、競技的状態の判定基準以内におさまるレースの平均記録でも2.23秒の短縮を示していた。また、大3シーズンでは、試合期前半にマークしたPB記録を試合期後半に再び更新するなど、800m走の競技的状態が試合期を通じて維持されていた。

以上のことから、1シーズンの走行距離がおよそ半減しても、高強度の走トレーニングと休養および技術トレーニングを効果的に組み合わせることによっ

て、800m走パフォーマンスが向上する可能性が示された。

## 文 献

- 阿江通良・藤井範久 (1996) 身体運動における力学的エネルギー利用の有効性とその評価指標、筑波大学体育科学系紀要, 19, 127-137.
- Bonen, A. (2001) The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle. Eur. J. Appl. Physiol., 86 : 6-11.
- Brooks, G.A. (1986) The lactate shuttle during exercise and recovery. Med. Sci. Sports Exerc., 18 : 360-368.
- Burgomaster, K.A., Hughes, S.C., Heigenhauser, G.J., Bradwell, S.N. and Gibala, M.J. (2005) Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. J. Appl. Physiol., 98 : 1985-1990.
- Burgomaster K.A., Howarth K.R., Phillips S.M., Rakobowchuk M., Macdonald M.J., McGee S.L. and Gibala MJ. (2008) Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. J Physiol., 586 : 151-160.
- Coyle, E.F. (2005) Very intense exercise-training is extremely potent and time efficient: a reminder. J. Appl. Physiol., 98 : 1983-1984.
- Duffield, R., Dawson, B. and Goodman, C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. J Sports

- Sci., (2003a), 23, 299-307.
- Evertsen, F, Medbo J.I. and Bonen, A. (2001) Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.*, 173 : 195-205.
- Gibala, M.J., Little, J.P., van Essen, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S. and Tarnopolsky, M.A. (2006) Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J. Physiol.*, 575 : 901-911.
- Hargreaves, M. (2008) Fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology is systems biology. *J. Appl. Physiol.*, 104, 1541-1542
- Hashimoto, T., Masuda, S., Taguchi, S. and Brooks, G.A. (2005) Immunohistochemical analysis of MCT1, MCT2 and MCT4 expression in rat plantaris muscle. *J. Physiol.*, 567 : 121-129.
- 八田秀雄 (2009) 乳酸と運動生理・生化学 一エネルギー代謝の仕組み—. 大修館書店：東京.
- Lambert, E.V., St Clair Gibson, A. and Noakes, T.D. (2005) Complex systems model of fatigue: integrative homoeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.*, 39 : 52-62.
- リディアード A. : 小松美冬訳 (1993) リディアードのランニング・バイブル. 大修館書店：東京. <Lydiard, A. (1983) *Running with Lydiard*. Hodder & Stoughton : New Zealand.>
- 森丘保典・伊藤静夫・持田 尚・大庭恵一・原 孝子・内丸 仁・青野 博・雨宮輝也 (2003a) 間欠的な漸増負荷ランニング中の血中乳酸動態から推定されるパワーと400m走記録との関係. 体育学研究, 48 : 181-190.
- 森丘保典・伊藤静夫・大庭恵一・原 孝子・内丸 仁・青野 博・雨宮輝也 (2003b) 間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係. 体力科学, 52 : 285-294.
- 森丘保典・持田 尚・内丸 仁・青野 博・雨宮輝也・伊藤静夫 (2006) Maximal Anaerobic Running Testによる十種競技者の走能力評価. 体育学研究, 51 : 117-124.
- Matwejew, L.P. (1972) Periodisierung des sportlichen trainings. Bartels & Wernitz.
- 村木征人 (1999) トレーニング期分け論の形成・発展と今日的課題. 体育学研究, 44, 227-240.
- 村木征人 (2007) 相補性統合スポーツトレーニング論序説: スポーツ方法学における本質問題の探究に向けて. スポーツ方法学研究, 21 (1), 1-15.
- Nielsen, O.B., de Paoli, F. and Overgaard, K. (2001) Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *J. Physiol.*, 536 : 161-166.
- Pedersen, T.H., Nielsen, O.B., Lamb, G.D. and Stephenson, D.G. (2004) Intracellular acidosis enhances the excitability of working muscle. *Science.*, 305 : 1144-1147.
- Rauch, H.G., St Clair Gibson, A., Lambert, E.V. and Noakes, T.D. (2005) A signaling role for muscle glycogen in the regulation of pace during prolonged exercise. *Br. J. Sports Med.*, 39 : 34-38.
- Rusko, H., Nummela, A. and Mero, A. (1993) A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66 : 97-101.
- St Clair Gibson, A. and Noakes, T.D. (2004) Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.*, 38 : 797-806.
- Svedenhag, J. and Sjodin, B. (1985) Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Can. J. Appl. Physiol.*, 10 : 127-133.

平成22年12月20日受付  
平成23年1月25日受理