

# 駿河台大学駅伝部に対する科学的サポートの現状と課題

吉 野 貴 順・秋 山 大 志・徳 本 一 善

## I. 研究の目的

駿河台大学駅伝部は、大学当局からの厚い支援を受け、箱根駅伝出場を目指して活動中である。しかし、現時点では、必ずしも十分な結果が得られているとはいえない状況にある。箱根駅伝予選会における2012年から2016年までの結果は下記のとおりであり、停滞感を否めない。

2012年 10:56:15 (25位)

2013年 10:42:30 (25位)

2014年 10:35:18 (19位)

2015年 10:28:30 (19位)

2016年 10:34:59 (19位)

そこで、今後さらに選手個人およびチームとしての競技成績を上げていくためには、科学的な知見やスポーツ生理学的な測定結果をトレーニングに取り入れて行くことも必要となるだろう。この観点から、共同研究者である本学駅伝部監督の徳本は、スポーツ生理学的な指標を用いて効果判定を行ないながらトレーニングを遂行して行く意思を表明している。そのため、我々は2015年度より本学駅伝部からの要請に基づいて、主に主力選手を対象として、最大酸素摂取量測定およびトラックの実走による乳酸カーブ (OBLA) 測定を継続的に実施している。本研究では、2015年度から始まった科学的サポートのうち、2015年度に本学の特

表1. 被験者の特性と測定への参加状況測定への参加状況

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	自己ベストタイム			乳酸カーブ測定				最大酸素摂取量測定		
				5,000m (分 秒)	10,000m (分 秒)	20km (分 秒)	4/18	7/4	10/6	8/11	4/19	7/5	9/19
実験群 (6名)	MK	22	167	57	14:14	29:37	1:01:08	○	○	○	○	○	×
	AY	21	175	57	14:58	31:13	1:03:11	○	○	×	○	○	○
	HY	21	169	52	14:09	29:04	1:00:39	○	○	○	○	○	○
	YM	21	166	49	14:56	31:08	1:03:24	○	○	○	○	○	○
	TS	19	171	56	14:39	-	-	○	○	○	×	○	○
	YR	19	170	57	14:53	31:48	1:03:29	○	○	○	×	○	○
	平均値	21	170	55	14:38	30'34	62'22"	-	-	-	-	-	-
対照群 (14名)	標準偏差	±1	±3	±3	±0:20	±1:02	±1:13	-	-	-	-	-	-
	MK	22	164	51	14:51	30:56	1:05:39	○	○	○	×	○	×
	OF	21	168	56	14:23	31:12	1:08:08	○	○	×	×	○	×
	MS	21	171	53	14:53	30:37	1:06:33	○	○	○	○	×	×
	MD	21	188	64	15:05	-	-	○	○	○	○	○	○
	AA	20	173	57	15:21	32:46	1:07:15	○	×	○	○	×	×
	IM	20	167	55	14:44	30:27	1:02:37	○	○	○	○	○	×
	OT	20	169	51	14:56	31:12	1:03:40	○	○	○	○	○	○
	KK	20	169	55	14:45	30:15	1:02:10	○	○	○	○	○	○
	SY	20	173	51	14:53	30:45	1:03:32	○	×	○	○	×	○
	TK	20	169	49	14:59	31:39	-	○	○	○	○	○	×
	YY	20	168	53	14:55	-	-	○	○	×	○	○	×
	KT	19	177	57	15:26	-	-	○	○	○	×	×	×
	UH	19	167	58	14:58	33:08	-	○	○	○	×	×	×
	SY	19	173	56	14:54	-	-	○	×	○	×	×	×
全体	平均値	20	171	55	14:56	31:18	1:04:57	-	-	-	-	-	-
	標準偏差	±1	±6	±4	±00:15	±00:55	±02:06	-	-	-	-	-	-
全体	平均値	20	171	55	14:51	31:03	1:03:57	-	-	-	-	-	-
	標準偏差	±1	±5	±4	±00:18	±01:01	±02:12	-	-	-	-	-	-

別研究助成費を得て実施された最大酸素摂取量測定および乳酸カーブ測定結果、ならびに人工的常圧低酸素状態をもたらす常圧低酸素テントに有力選手を就寝させ持久力および競技力の向上を図る試みの効果判定結果を報告するとともに、これらの結果から今後の科学的サポートのあり方について検討することにした。

## Ⅱ. 研究方法

### (1) 被験者

駿河台大学駅伝競技部に所属する20名の選手が、同部における練習の一環として本研究で対象とした各種測定に参加した。各被験者の身体特性については、表1にまとめられている。被験者の年齢は $20 \pm 1$ 歳、身長は $171 \pm 5$ cmおよび体重は $54 \pm 4$ kgであった。

さらに、駅伝部寮内に設置された常圧低酸素テント（HYPOXICO社製，ALUTITUDE TRAINING SYSTEMS）での就寝が持久力の向上に資するかを検討するため、20名の被験者のうち6名を実験群とし、駅伝部寮内に設置された常圧低酸素テントで就寝するグループとした。一方、残りの14名については、通常的环境下で就寝する対照群とした。なお、実験群の被験者は監督の意向により選抜された。実験群の年齢は $21 \pm 1$ 歳、身長は $170 \pm 3$ cmおよび体重は $55 \pm 3$ kgであった。一方、対照群の年齢は $20 \pm 1$ 歳、身長は $171 \pm 5$ cmおよび体重は $55 \pm 4$ kgであった（表1）。また、表1には、2014年度当初における5,000m、10,000mおよび20kmのベストタイムも示した。

なお、本研究においては、練習の一環として採集された測定データを研究に使用することについて、全被験者より書面による同意書を得た。

### (2) 最大酸素摂取量の測定方法

最大酸素摂取量の測定は、本学トレーニングセンターに設置されているセノー社製のランニング・マシン（LABORDO LX2200）を負荷装置として用いて、負荷漸増法（速度および傾斜角度）により実施した。また、負荷漸増法のプロトコルは、

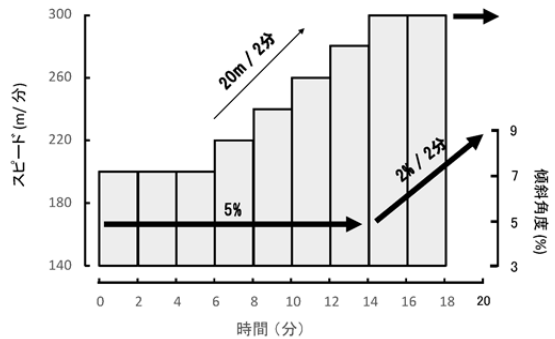


図1. 最大酸素摂取量測定プロトコル

図1に示したとおりランニングマシンの傾斜角度を+5%にセットし、最初の4分間の速度は200m/分とし、その後は300m/分に到達するまで2分毎に20m/分ずつ速度を漸増し、運動開始後14分以降についてはイグゼーションに到達するまで傾斜角度を2分毎に2%ずつ増加させるものであった。

この際、ミナト医科学社製のエアロモニタAE-310を用いて呼気ガスモードにて呼気ガスを30秒毎に分析し、酸素摂取量などを測定・記録した。また、心拍数は、日本光電社製BSM-2303ベッドサイドモニタの心電図波形より算出し、30秒毎に記録した。

### (3) 乳酸カーブ測定の方法

ランニング速度－血中乳酸濃度関係測定（以下乳酸カーブ測定という）のため、6～7名の被験者が1グループとなり、予め設定された速度による8回のランニングを連続的に実施した。被験者は共通ウォーミングアップ（コントロール）走として、1,600m（グラウンド4周）を200/分のスピードで走行した後、それぞれ間に約1分間の休憩（採血のための時間）をはさみ、合計で8回の800m走を実施した。各回の目標設定速度は、回を追うごとに上げていくこととし、1回目～7回目までの目標スピード（分速）は、それぞれ222m/min、272m/min、285m/min、300m/min、315m/min、333m/minおよび352m/minとした（間欠的スピード漸増法）。また、8回目の走行は全力走とした。走行中、200m毎にラップを読み上げ、被

験者の走行ペースをコントロールした。また、ペース・メイクによる負担を軽減するため、先頭を走るランナーは毎回交代することとした。なお、被験者は7回目までの最大下走においては、ほぼ設定タイムどおりにランニングすることが可能であった。

ゴール地点には、被験者に対してそれぞれ1名ずつ験者を配置し、各回の走行直後に指先より採血を行った（1分以内で完了）。血液はキャピラリーチューブ（20 $\mu$ l）を用いて採取し、得られた血液を直ちにサンプル容器に投入・攪拌し、分析まで冷蔵保存した。採取されたサンプルは全て、EKF-diagnostic社製のBIOSEN C-Lineを用いて、固定化酵素法によって乳酸濃度（Lactate：LA）を分析した。また、乳酸カーブ測定時の心拍数は、ポラル社製RS400を用いて15秒間隔で連続的に測定記録した。

なお、乳酸カーブ測定においては、ランニング速度－血中乳酸濃度関係をグラフに表した場合、その傾向は2次回帰式に最もフィットすることから、便宜的にこの2次回帰曲線を用いて乳酸蓄積臨界点

（Onset of Blood Lactate Accumulation：OBLA＝血中乳酸濃度4.0mmol/l）を特定し、OBLA相当するランニングスピード（OBLA-SP）およびOBLAに相当する心拍数（OBLA-HR）を求めた。

#### （４）測定実施日

2015年度については、駿河台大学陸上競技場におけるトラックの実走による乳酸カーブ測定を、それぞれ4月18日、7月4日および10月6日に実施した。さらに、8月11日には準高地にあたる菅平高原（標高1,300m）での合宿に向き乳酸カーブ測定を実施した。

一方、4月19日、7月5日および9月19日には、駿河台大学トレーニングセンターにおいて、トレッドミル（ランニングマシン）を用いた最大酸素摂取量測定を実施した。

### Ⅲ．研究結果

#### （１）最大酸素摂取量測定結果

表2に、被験者の最大酸素摂取量測定結果を示

表2. 最大酸素摂取量の測定結果

被験者	最大換気量 (l/min)			最大心拍数 (拍/min)			最大酸素摂取量 (ml/kg/min)			血中乳酸濃度(直後) (mmol/L)			
	4/19	7/5	9/19	4/19	7/5	9/19	4/19	7/5	9/19	4/19	7/5	9/19	
実験群(6名)	MK	135	137	—	190	189	—	78.7	74.8	—	11.3	10.1	—
	AY	143	164	161	180	182	184	77.5	71.7	74.6	9.6	11.4	11.2
	HY	124	132	137	182	193	192	77.0	76.6	79.2	11.0	11.0	12.0
	YM	124	128	130	192	197	201	82.5	76.8	76.8	14.9	13.8	12.9
	TS	184	161	171	191	193	196	81.3	72.2	83.2	12.4	9.8	11.2
	YR	157	133	146	188	172	181	77.1	66.3	76.4	12.9	7.6	10.1
	平均値	145	143	149	187	188	191	79.0	73.1	78.0	12.0	10.6	11.5
標準偏差	±21	±14	±15	±5	±8	±7	±2.1	±3.6	±3.0	±1.7	±1.9	±0.9	
対照群(9名)	MK	131	109	—	190	194	—	74.0	66.2	—	9.0	10.6	—
	OF	137	119	—	178	164	—	69.9	62.9	—	12.5	10.2	—
	MD	146	152	145	193	199	197	68.8	68.8	64.1	11.2	12.1	9.5
	IM	133	127	—	164	167	—	73.0	67.2	—	9.7	8.2	—
	OT	157	127	130	179	170	178	76.9	68.5	66.8	10.9	8.3	9.3
	KK	139	119	127	195	187	195	74.0	69.1	72.5	11.0	8.5	9.5
	SY	132	—	141	186	—	191	74.1	—	67.6	12.0	—	13.3
TK	149	151	—	190	188	—	71.0	68.0	—	12.1	12.7	—	
YY	148	134	—	171	180	—	76.2	71.6	—	12.8	9.0	—	
平均値	141	130	136	183	181	190	73.1	67.8	67.8	11.2	10.0	10.4	
標準偏差	±9	±14	±7	±10	±12	±7	±2.6	±2.4	±3.0	±1.2	±1.6	±1.7	
全体	平均値	143	135	143	185	184	191	75.5	70.1	73.5	11.6	10.2	11.0
	標準偏差	±15	±16	±14	±9	±11	±7	±3.8	±3.9	±5.9	±1.5	±1.8	±1.4

した。本研究では、年度当初20名の被験者を対象として研究をスタートしたが、3回の測定のうち何れか2回測定を受けた被験者は15名、3回全てを実施できた被験者は8名のみであった(表1)。

2015年4月、7月および9月における本学駅伝部の主力選手の最大酸素摂取量は、 $75.5 \pm 3.8$ 、 $70.1 \pm 3.9$ および $73.5 \pm 5.9$  ml/kg/分であった。また、個人的にみると、YMおよびTSについては $80.0$  ml/kg/分を上回る大きな値を示していた。また、イグゼンション到達後5分目における血中乳酸濃度は、2015年4月、7月および9月において、それぞれ $11.7 \pm 1.8$ 、 $9.8 \pm 2.0$ および $10.8 \pm 1.6$  mmol/lであった。

## (2) 乳酸カーブ (OBLA) 測定結果

2015年度については、本学陸上競技場において4月、7月および10月にそれぞれ20名、17名および16名、ならびに8月の菅平合宿において15名、計68名について乳酸カーブ (OBLA) 測定を実施した(表1)。

図2に、乳酸カーブ (OBLA) 測定後に選手に返

却するフィードバック用のデータを示した。これは、学連選抜選手として箱根駅伝本線に出場したHY選手のデータである。HYにおけるOBLAに相当するランニングスピード (OBLA-SP) は、約350m/分およびOBLAに相当する心拍数 (OBLA-HR) は約182/分であった。

図3は、実験群として選抜された選手6名に関する4月、7月および10月の測定における乳酸カーブを、それぞれ示したものである。被験者AYおよびYRのように10月の測定を受けなかった選手については明らかではないが、その他の4名については4月～10月にかけて乳酸カーブの右下方へのシフトを観察することができた。

## (3) 常圧低酸素テント内での就寝の影響

### 1) 常圧低酸素テント内環境と利用状況

実験群の被験者は、2015年5月7日～9月16日の期間でできる限り常圧低酸素テント (HYPOXICO社製, ALUTITUDE TRAINING SYSTEMS) を就寝時に利用することとした。常圧低酸素テントシステム稼働後6時間目 (被験者就寝中) のテント内の酸素濃度および二酸化炭素濃度は、 $16.02\% \sim 16.95\%$ および $0.37\% \sim 0.55\%$ であった。また、被験者が常圧テント内に入ることにより、各被験者のSpO<sub>2</sub>値は入室前の97～98%から、入室後の92～94%へと有意に減少 ( $P < 0.5$ ) した。この数値は、標高2,300mに相当するSpO<sub>2</sub>値であった。これらのことから、本学駅伝部で導入した常圧低酸素テントにおいても、テント内に低酸素環境がもたらされることが確認された。一方、表3は、被験者6名における常圧テントでの就寝日数をまとめたものである。合計就寝日数は81日～123日であり、必ずしもコントロールされていない状態であった。

表3. 常圧低酸素テントでの就寝

被験者	開始日	終了日	合計日数	退出日
MK	5月7日	9月16日	81日	51日
AY	5月7日	9月16日	87日	45日
HY	5月7日	9月16日	115日	17日
YM	5月7日	9月16日	87日	45日
TS	5月7日	9月16日	123日	9日
YR	5月7日	9月16日	120日	12日

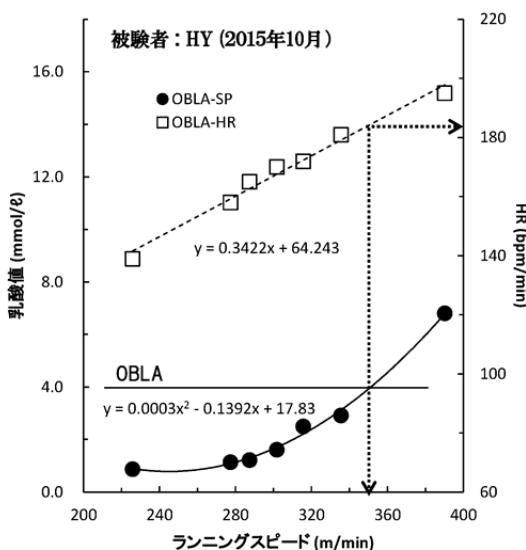


図2. OBLA 測定後のフィードバックデータ

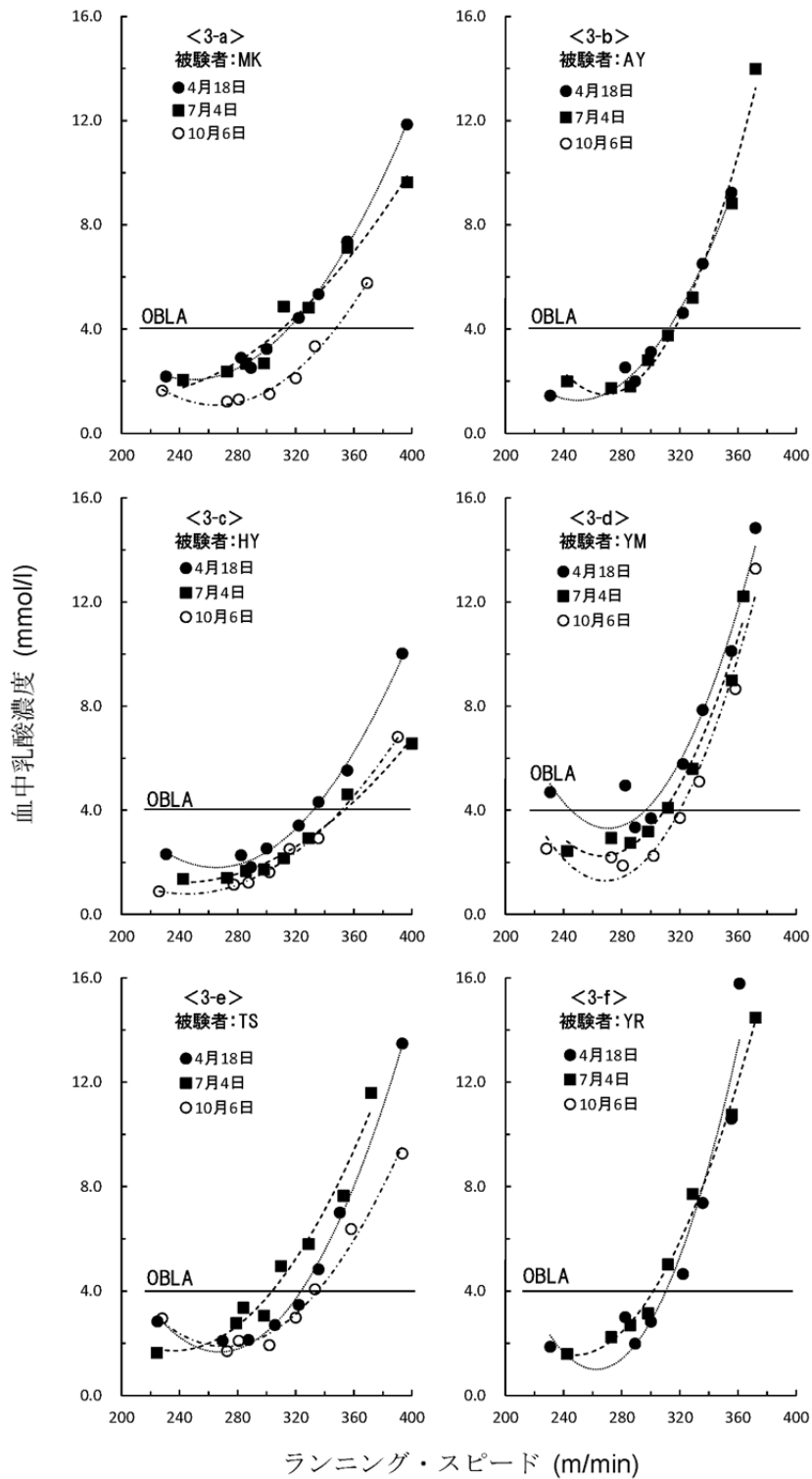


図3. 実験群6名の OBLA 測定結果

## 2) 最大酸素摂取量への影響

被験者の中で、実験期間中に施された最大酸素摂取量測定を全て受けた者は、実験群で5名ならびに対照群で4名であった(表2)。実験群ならびに対照群被験者における4月、7月および9月の最大酸素摂取量は、それぞれ $79.0 \pm 2.1$  ml/kg/分、 $73.1 \pm 3.6$  ml/kg/分および $78.0 \pm 3.0$  ml/kg/分、ならびに $73.2 \pm 3.2$  ml/kg/分、 $68.8 \pm 0.2$  ml/kg/分および $67.8 \pm 3.5$  ml/kg/分であった。これらの変化を図4に表した。いずれの比較においても数値間には、統計的に有意な差は観察されなかった。しかし、4月と9月の測定結果を比較すると、実験群では僅かな減少傾向が見られたが、対照群では平均値で $5.4$  ml/kg/分の減少が観察された。実験群の減少は小さい傾向にあったのかもしれない。

実験群ならびに対照群における4月、7月および9月における運動終了直後の血中乳酸濃度を比較すると、実験群は $12.0 \pm 1.7$ 、 $10.6 \pm 1.9$ および $11.5 \pm 0.9$  mmol/l、ならびに対照群は $11.2 \pm 1.2$ 、 $10.0 \pm 1.6$  および $10.4 \pm 1.7$  mmol/lであり、いずれも実験群で高い傾向にあった。また、4月～9

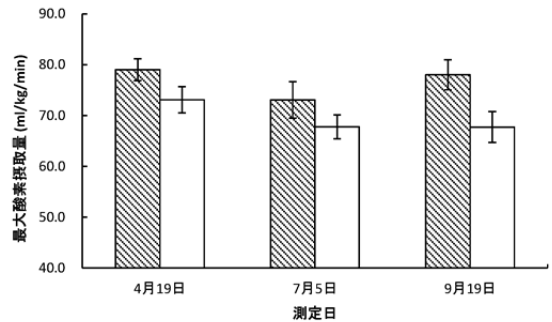


図4. 実験群ならびに対照群における最大酸素摂取

月にかけて両群共に減少する傾向が確認された。

## 3) 乳酸カーブへの影響

4月、7月および10月に実施した乳酸カーブ測定の結果を表4に示した。実験群ならびに対照群の4月、7月および10月におけるOBLAに相当するランニングスピード (OBLA-SP) は、それぞれ $314 \pm 14$ 、 $320 \pm 19$ および $337 \pm 12$  m/分、ならびに $309 \pm 10$ 、 $317 \pm 4$ および $319 \pm 11$  m/分であった。この結果は、両群ともに乳酸カーブが右下方へシフトしたことを意味するものであった。また、実験群ならびに対照群ともに、4月と10月の値を比較す

表4. 実験群ならびに対照群の4月、7月および9月における OBLA-SP, OBLA-HR および LAmax

被験者	OBLA-SP (m/min)			OBLA-HR (拍/min)			LAmax(mmol/l)			
	4月18日	7月4日	10月6日	4月18日	7月4日	10月6日	4月18日	7月4日	10月6日	
実験群 (4名)	MK	309	313	346	174	174	181	11.9	9.6	5.8
	HY	331	353	351	178	185	184	10.0	6.6	6.8
	YM	294	309	320	175	184	175	14.8	12.2	13.3
	TS	323	304	332	175	183	182	13.5	11.6	9.3
	平均値	314	320	337	176	182	181	12.6	10.0	8.8
	標準偏差	±14	±19	±12	±2	±4	±3	±1.8	±2.2	±2.9
対照群 (9名)	MK	312	313	327	179	187	186	10.3	9.3	10.1
	MD	300	312	316	183	186	188	14.8	11.9	12.2
	MS	316	320	317	170	175	175	9.4	11.7	11.2
	IM	310	315	317	161	158	160	10.8	9.8	10.8
	OT	320	321	326	164	167	168	9.7	10.0	10.5
	KK	322	322	342	185	186	186	13.1	10.0	9.4
	SY	314	-	327	173	-	173	10.8	-	10.4
	TK	309	319	311	179	180	177	11.8	10.4	17.9
	AA	308	-	296	168	-	159	13.9	-	14.4
	UH	316	320	325	175	175	-	14.2	13.5	12.2
	KT	290	309	308	162	177	168	11.3	11.2	13.8
	SU	290	-	315	173	-	184	13.8	-	11.6
平均値	309	317	319	173	177	175	12.0	10.9	12.0	
標準偏差	±10	±4	±11	±8	±9	±10	±1.8	±1.2	±2.3	
全体	平均値	310	317	322	173	178	176	12.1	10.7	11.6
標準偏差	±11	±11	±14	±7	±8	±9	±1.8	±1.7	±2.8	

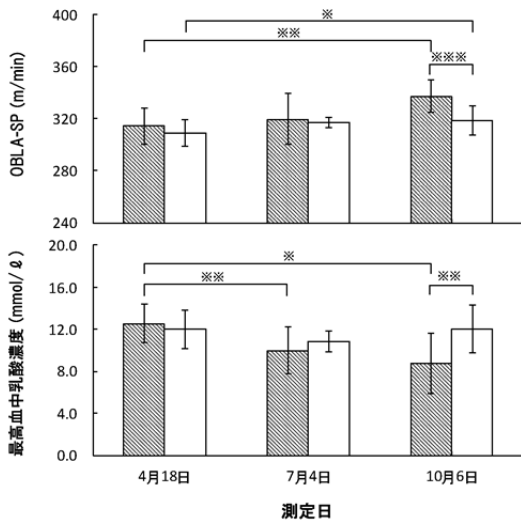


図5. 実験群と対照群の OBLA-SP および最高血中乳酸濃度の比較

(※:  $p < 0.05$ , ※※:  $p < 0.01$ , ※※※:  $p < 0.001$ )

ると統計的に有意な向上 ( $p < 0.01$ ならびに  $p < 0.05$ ) が観察された。さらに、実験群と対照群の10月の値についても、有意差 ( $p < 0.001$ ) が観察された (図5)。

実験群ならびに対照群の4月、7月および10月の乳酸カーブ測定における最高乳酸濃度は、同様に実験群で  $12.6 \pm 1.8$ ,  $10.0 \pm 2.2$  および  $8.8 \pm 2.9$  mmol/L ならびに対照群で  $12.0 \pm 1.8$ ,  $10.9 \pm 1.0$  および  $12.0 \pm 2.3$  mmol/L であった (表4)。特に、実験群最高乳酸値は漸減傾向にあり、4月と7月 ( $p < 0.01$ ) および4月と10月 ( $p < 0.05$ ) との間に有意差が認められた。また、10月における実験群の値は、対照群の値と比較して有意に低い値であった。

#### (4) 菅平高原におけるOBLA測定結果

図6は、本学での乳酸カーブ測定 (7月) と8月に菅平高原で行なわれた乳酸カーブ測定の両方を受験した被験者11名より得られた結果を、傾向線のみで表し比較したものである。準高地と言われる菅平高原における乳酸カーブは、平地での結果と比較して図中の左上方へと移行している。その差は、ランニング速度の増大に伴って大

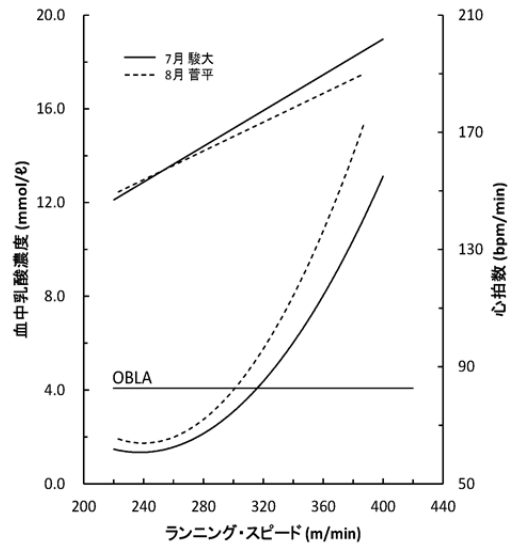


図6. 実験群ならびに対照群の7月、8月 (菅平) における OBLA-SP および OBLA-HR

表5. 実験群ならびに対照群の8月11日 (菅平) における OBLA-SP, OBLA-HR および LAmax の結果

被験者	OBLA-SP (m/min)	OBLA-HR (拍/min)	LAmax (mmol/L)
実験群 (6名)	MK	311	161
	AY	312	165
	HY	324	161
	YM	287	161
	TS	-	-
	YR	306	140
	平均値	308	158
対照群 (14名)	標準偏差	±12	±9
	MK	-	-
	OF	-	-
	MS	304	166
	MD	296	151
	AA	294	146
	IM	295	150
	OT	313	153
	KK	315	165
	SY	303	158
	TK	291	174
	YY	275	154
	KT	-	-
	UH	309	160
	SY	-	-
全体	平均値	300	158
	標準偏差	±11	±8
全	平均値	302	158
	標準偏差	±12	±8

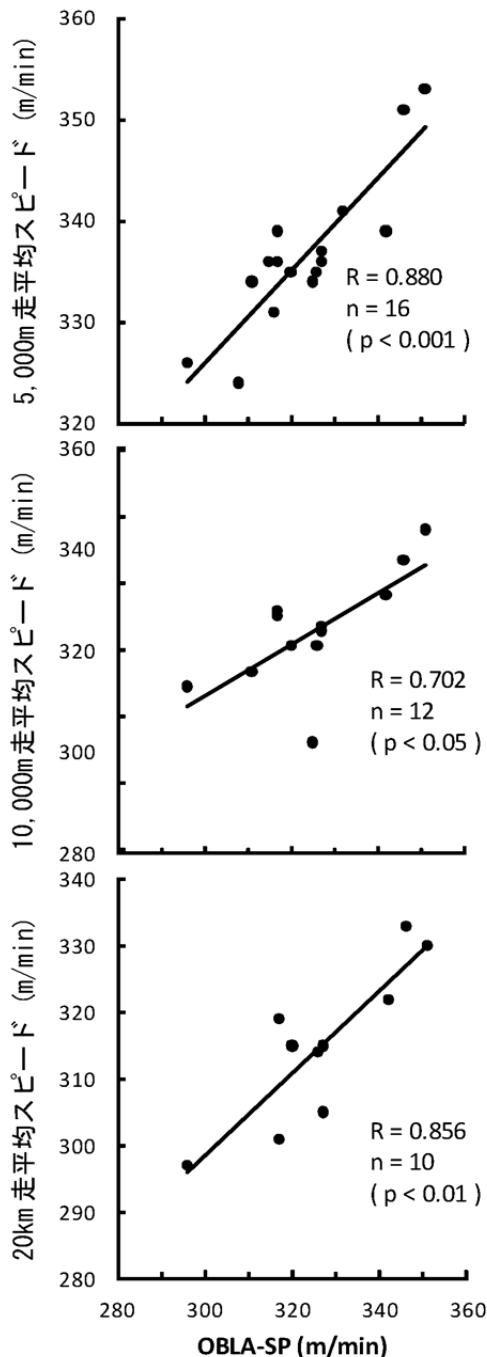


図7. 5,000m、10,000m および20km のパフォーマンスと OBLA-SP との相関関係

きくなって行く傾向にあった。例えば、菅平高原におけるOBLA-SPは、平地でのそれと比較して約16～17m/分程低下している。一方、ランニングスピードと心拍数との関係は、むしろ準高地である菅平において低くなる傾向が観察された。

一方、表5には、常圧低酸素テントでの就寝したグループ（実験群）5名と対照群10名の菅平高原での乳酸カーブ測定におけるOBLA-SP、OBLA-HRおよび最大血中乳酸濃度を示した。両群の数値を比較すると、両群間に殆ど差は観察されなかった。

#### （5）OBLA-SPとランニングタイムとの関係

図7は、本研究で得られたOBLA-SP値（表4）と当該測定日の直近における5,000m、10,000mおよび20kmに関する各被験者の競技記録（平均スピード）との関係を示したものである。本学駅伝部員についても、OBLA-SPは5,000m、10,000mおよび20km平均スピードとの間に、それぞれ統計的に有意な相関関係（ $p < 0.001$ 、 $p < 0.01$ および $p < 0.01$ ）が確認された。

### IV 考察

#### （1）最大酸素摂取量の変化

一般に、最大酸素摂取量は、持久力やスタミナを表す最も科学的な指標であるといわれている<sup>1), 2), 6)</sup>。そのため、持久的競技種目の競技選手にとっては、把握すべき最も重要な体力測定項目となる<sup>1), 6)</sup>。しかし、本学駅伝部においては、組織的に最大酸素摂取量を測定するのは、本研究が初めてであった。測定の結果、本学駅伝部選手の最大酸素摂取量が $75.5 \pm 3.8 \text{ ml/kg/分}$ であったこと、および $80 \text{ ml/kg/分}$ を超える選手が2名いたことは、良い意味での驚きであった。本学駅伝部の平均値は、すでに教科書的な書籍に記載されている陸上競技長距離選手の値<sup>1), 6), 7)</sup>に匹敵するものであり、また $80 \text{ ml/kg/分}$ を超える値は、もはや長距離一流選手の値といえるものであった<sup>1), 6), 7)</sup>。

しかし、ポテンシャルとして、そのように比較的高い最大酸素摂取量を有していながら、実際の競技力水準は未だ学生のトップレベルには至らな



いには何か理由があるはずである。確かに宮下<sup>8)</sup>がその著書で述べているように、最大酸素摂取量と長距離種目およびマラソンの競技成績との間には統計的に有意な相関関係が得られるが、同じ最大酸素摂取量を有していても、そこにはマラソンタイムにして約30分程度の幅があることも事実であり、最大酸素摂取量だけで競技成績を語ることができないのも周知の事実である<sup>1), 6), 7)</sup>。そこで次なる指標として、最大下運動での持久的運動能力を示す無酸素性作業閾値(AT)、換気性閾値、乳酸性閾値および4mmol/lの乳酸が蓄積される地点として表されるOBLaなどの指標が用いられることになる<sup>1), 5), 8)</sup>。

## (2) 乳酸カーブの変化について

本研究においては、最大下運動における持久的能力の指標としてOBLaを採用した。その理由は、実際のランニングを用いて、比較的大人数を比較的簡単に測定できることにある。スポーツ競技の現場においては、このことは極めて重要な点であると筆者らは考えている。本学駅伝部選手のOBLa-SPは、4月の時点での310m/分から、箱根駅伝予選会の約1ヶ月前の時点では324m/分へと有意に向上した。また、2015年および2014年に学運選抜選手に選ばれたHY選手およびMK選手の値は、それぞれ351m/分および346m/分であり、他の選手を大きく上回る値で会った。特に、図2に示したHY選手の数値と傾向線は、本学駅伝部選手が、今後数年間の目標値として達成すべき貴重な数値であろう。図1の資料的価値は、極めて高い。

ところで、筆者は約20年に渡り、ショートトラック・スピードスケート選手の氷上滑走時の乳酸カーブ測定を実施し多くの知見を得て、それを指導の現場に情報提供して来た経験がある<sup>9), 10)</sup>。例えば、選手個人のデータとして見た場合には、以下の事を判断する材料として用いることが可能である<sup>9), 10)</sup>。

①過去のデータと比較して現状はどうか？

②オリンピックや世界選手権大会の代表メンバーの平均値と比較して、当該選手の値はどのような状況なのか？同様に、最大下能力に問題がある

のか、高強度運動時の能力に問題があるのかなどについての検討が可能となる。

一方、測定結果をある集団の傾向を示す平均値的データとしてみた場合には、以下のことを検討する科学的データとも成り得る<sup>9), 10)</sup>。

①世界選手権およびオリンピック代表チームと当該年度の代表チームとの平均値比較(リレー種目の競技力を判断する材料)。

②強化選手あるいはジュニア強化選手などグループ間の比較および年度別平均値の推移(相対的な競技力向上の変化)を示す指標。

したがって、本研究のデータも、測定を継続しデータを蓄積することによって、その資料的価値が高まり、有効利用が促進されるものと思われる。

一方、乳酸カーブ測定時の心拍数より求めた血中乳酸濃度と心拍数との関係(図2)やOBLa-HR(表4および5)を、トレーニング現場における運動強度の指標として利用することで、毎回のトレーニング時に乳酸測定を行わずとも、簡易的にトレーニング強度を管理する指標として活用することも可能である。これら個人の科学的データを指導の現場において、以下に有効に活用するかが指導者に課された今後の課題となるであろう。

## (3) 常圧低酸素テントでの就寝の影響

本研究では常圧低酸素テント内で81日～123日間就寝した選手の最大酸素摂取量は、対照群と比較して、統計的に有意な向上は見られなかった(図4)。しかし、OBLa-SPは10月の測定時点で対照群と比較して有意に高い値(図5)となり、また乳酸カーブ測定時の最大血中乳酸濃度は有意に減少した。すなわち、4月の時点では実験群および対照群のOBLa-SPは314m/分および309m/分であり両群間に5m/分の差しかなかったが、10月の時点では実験群および対照群のOBLa-SPは337m/分および319m/分へと変化し、両群間の差も18m/分へと広がった。このように、両群ともにOBLa-SPが改善された中で、特に実験群において持久的能力についてより大きな改善が確認されたのである。さらに、実験群では、10月の測定時における最大血中乳酸濃度の減少が見られた。これらの結果は、

低酸素環境におけるトレーニングの効果として、有酸素性エネルギー供給からよりたくさんのエネルギーを利用できるようになり血中乳酸濃度の大幅な増加を生じることなしに比較的速いランニングスピードの維持が可能となるという幾つかの研究結果と一致する<sup>1), 2), 6), 8)</sup>。さらに、トレーニングによって最大下運動時の遅筋動員率が高まり、乳酸の産生量の減少もしくは産生した乳酸の利用率が高まった可能性があるとも考察される。一般に、長距離選手において同じ運動強度で運動した場合の血中乳酸濃度の低下は、筋肉の遅筋化が成され、かつ遅筋線維の動員が増えることによってもたらされる。そして、その結果、乳酸の上昇が抑えられ、高い強度でより長い時間走行できるようになると考えられる<sup>2), 8)</sup>。

以上のことから、実験群には約4ヶ月間のトレーニングそのものによる効果に加えて、低酸素テントでの就寝による効果が加味されたのかも知れない。すなわち、本学駅伝部で採用した常圧低酸素テント内での就寝(酸素濃度16%~17%)が、最大下運動時の持久的能力向上に貢献する可能性があることを示唆するものであると言える結果であると解釈することもできる。

しかしながら、本研究では、実験群の被験者の常圧テント内での連続的な就寝日数やテント外での就寝日数の割合などが、厳密にコントロールされている訳ではなかった。また、実験群メンバーの選抜に当っては、共同研究者である徳本駅伝部監督の強い意思が働いていることも事実であった。すなわち、さらなる能力向上が期待される中心選手が実験群に選抜された経緯がある。したがって、常圧低酸素テント内での就寝が、実験群の選手たちの持久的能力向上に何らかのプラスの効果をもたらした可能性を否定することもできないが、一方で、明らかな常圧低酸素テントの効果であると断定することもできないのが現状である。このようなことは、競技の現場を対象としたサポートにおいては生じ得ることである。しかし、これは現場の指導者と科学サポートメンバーとが、共に長期的なスパンの中で計画的かつ綿密に協議

していくことによって、幾分か改善できる事項であると思われる。

#### (4) 菅平における乳酸カーブ測定

菅平での測定は、前述の常圧低酸素テント群(実験群)とコントロール群とを比較すると、準高地と評価される菅平高原においては、生理的応答に何らかの違いが生じる可能性もあるかもしれないという予測のもと実施された。図6に示したように、7月の平地での測定と8月の菅平での測定を比較すると、やはり準高地である菅平においては、乳酸カーブの左上方への移行が観察された。一方で、心拍数については、菅平において高い強度での心拍数が低くなるという結果が生じた。この結果については、予想外の結果であった。通常、同一運動強度であれば、準高地において心拍数が高くなるのが一般的である<sup>2)</sup>。15名の被験者のデータを個別に観察した結果、平地と菅平でランニングスピードと心拍数の関係が変わらない被験者は8名、菅平において心拍数が高くなる傾向の被験者が3名、逆に菅平において心拍数が低くなる傾向の被験者4名という結果であった。特に、被験者YM, YRおよびMDが菅平において、著しく低い心拍数を呈している。これら3名の被験者の結果が15名の平均的傾向に影響を及ぼしているようにも思われる。このような結果が生じた理由は定かではないが、準高地という影響よりはむしろ、測定日における気温や湿度の影響を強く受けた結果かもしれない。一方、表5に示されているとおり、実験群と対照群という観点で比較した場合、両群間には殆ど差はないと判断される結果であった(表5)。

#### (5) OBLA-SPとランニングタイムとの関係

前述したとおり、最大酸素摂取量だけでは競技成績を占うデータとしては不十分であることから、最大下運動での持久的運動能力を示すOBLA(乳酸カーブ)測定を実施した。その結果、図7に示したように、本学駅伝部員のOBLA-SPA値は、長距離種目の競技成績と密接に関連する重要な指標となることが確認された。この結果は、一般論としてOBLA-SPが高い選手程、長距離種目のタイムが良

いことを示す先行研究と一致する<sup>4)・6)</sup>。しかし、傾向線と図中のプロットを観察すると、例えば同じOBLA-SP（約320m/分）の選手であっても分散は大きく、20km走における平均スピードは300m～320mの範囲にあった。したがって、長距離選手の能力を個別により正確に評価し、より良いタイムで長距離種目を走るための能力を評価するためには、最大酸素摂取量と乳酸カーブの両方を測定してもなお不十分であり、更なる別の測定項目が必要となる。

2017年の時点において、我々はランニングエコノミーという概念<sup>3)</sup>に着目し、その測定に着手したところである。

#### （6）駅伝部への科学サポートの課題

筆者は、約20年に渡り、ショートトラック・スピードスケート選手の体力測定や氷上測定を実施し、多くの知見を得て、それを指導の現場に情報提供して来た経験がある<sup>8)・9)・10)・11)</sup>。例えば、ショートトラック選手の競技力構成モデルを作成し、カルガリオリンピックにおいて金メダルを獲得した中国選手のトレーニング時に得られた測定データと日本選手とを比較し、日本選手の現状や将来の方向性を示した<sup>1)・8)</sup>。また、日本のショートトラック競技選手が、オリンピックでメダルを獲得するための体力目標値を設定し、体力評価基準を作成した<sup>9)</sup>。

これらの成果は、長年に渡り日本スケート連盟強化委員会、代表チーム監督や強化コーチと密接に連携し、体力および氷上測定を継続して来たことの成果といえよう。各種測定は強化合宿のトレーニングメニューとの関わりも考慮されたうえで、年度開始当初に強化計画の中に組み込まれていた。例えば、オリンピックに出発する直前などは、選手コーチともに神経質になっている時期であるが、この時期でさえも氷上での乳酸カーブ測定が実施されデータが蓄積された。一方、選手たちも、トレーニングの効果判定として各測定に真剣に取り組んでいた。

しかるに、筆者の経験からいえば、科学サポートを受ける立場の本学駅伝部の態勢は、2015年度

の時点で不十分と言わざるを得ない状況であった。通常、各種体力・能力測定では、選手の最大能力発揮が求められる。そのため、選手のコンディショニングを含めて、トレーニング計画の中に測定が適正に配置されなければならないが、その配慮が必ずしも十分であったとは言えない。また、学生部員やマネージャーの協力は十分に得られたが、監督やコーチが測定に同席し選手の様子を観察することは殆どなかった。運動部という組織においては、その場に監督・コーチが存在するだけで選手の取組み方・真剣度モチベーションも違ってくるのではないだろうか。本学駅伝部において、科学的測定を定期的実施し、その結果をトレーニング処方に活用していこうとするのであれば、測定自体の意味を選手やスタッフが良く理解し、測定において自己の全力を発揮するという当たり前のことが当たり前にできるようになることが大前提となっていなければならない。

一方、1回限りの測定ではその時点での体力の状況を知るだけであるが、定期的に測定を実施することによって、トレーニングを積み重ねていく過程で、それまで実践してきたトレーニング内容の是非を科学的に評価することが可能となる。その意味では、指導者であり研究者である大後の研究<sup>5)</sup>は、基本的な方向性として参考とされるべきであろう。

加えて、データの管理やフィードバックの方法についても、未だ確立されていないのが現状である。また、データフィードバックの場に、監督・コーチが不在であることも、選手が勝手な思い込み、間違った理解をする可能性のあることを考慮すると、避けなければならない事項であろう。指導者と選手とサポート側が、共通の場でデータを検討し議論する事が重要である。

ところで、2015年度より我々は本格的な科学サポートを開始したが、この年は表1にあるように年度当初20名を対象にサポート活動を始めたが、回をおうごとに測定を受ける選手の数減少していった。このことの最も大きな理由は、選手のケガや体調不良にあった。測定以前の問題として、

選手の健康管理や身体のカアあるいはケガをしない身体づくりは、競技力向上のベースである<sup>8)</sup>。当たり前の事ではあるが、今後、一層注意を払わなければならない観点といえる。

とはいうものの、サポート開始から3年経過した現在、上述のことは少しずつ改善されて来た感がある。また、本年度、箱根駅伝予選会直前の高強度トレーニング時の血中乳酸濃度や心拍数の測定が実施され、新たな知見が得られた。あるいは、より詳細に選手の能力を測定するために、ランニングエコノミーという概念<sup>3)</sup>での測定も始まり、駅伝部への科学サポート態勢もより進化して行く方向にあることを付言し、本稿を終える。

本研究は、平成27年度駿河台大学「特別研究助成」を得て実施された。

## V. 参考文献

- 1) 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功: スポーツ生理学: 市村出版, pp108-116, 2001.
- 2) 浅野勝己, 小林寛道編: 高所トレーニングの科学, 日本運動生理学学会 運動生理学シリーズ, 初版, 高所トレーニングの概論, 高所トレーニングの研究史, 杏林書院, pp2-39, 2004.
- 3) 榎本靖士: 長距離選手のランニングエコノミーに影響を及ぼす体力および技術的要因の検討, 筑波大学体育学紀要, 第36号, 137-140, 2013
- 4) 黄仁官, 上田大, 別府健至, 石井隆士, 水野増彦, 山田保: 大学駅伝ランナーにおける10,000m走及びハーフマラソンレース時の血中乳酸濃度に関する検討, 日本体育大学紀要, 第39号, 25-33, 2009.
- 5) 大後栄治: LTを基にしたトレーニング計画の研究—神奈川大学箱根駅伝参加選手の特性—, ランニング学研究, 第10号, 35-42, 1999.
- 6) 宮下充正, トレーニングの科学的基礎, 改訂版: ブックハウス・エイチディ, pp47-71, pp95-118, 2007.
- 7) 山地啓司: 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, pp55-82, 1992.
- 8) 吉野貴順, 柏原幹史, 村岡功: ショートトラック・スピードスケート競技の競技力を決定する要因と日本選手の現状, トレーニング科学, 2(1): 13-20, 1990.
- 9) 吉野貴順他5名: 氷上滑走時の「ラップタイム—乳酸関係」からみたショートトラック日本代表選手の基本的能力の推移. 平成9年度に本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 -21報-, No. 29. スケート, 364-369, 1998.
- 10) 吉野貴順他7名: ショートトラック競技選手の「ラップタイム—乳酸関係」に及ぼす滑走番手の影響. 平成10年度に本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 -22報-, No. 21. スケート, 251-256, 1999.
- 11) 吉野貴順他7名: ショートトラック競技選手の体力目標値および体力評価基準の再検討 -ソルトレーク・オリンピックでのメダル獲得に向けて-. 平成11年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 -23報-, No. 17. スケート, 207-214, 2000.