

[高所トレーニング研究班]

# 一流競泳選手を対象とした高地トレーニングにおける 泳速度—血中乳酸濃度関係の変動

森 谷 暢 立 正 伸  
加 藤 健 志 今 村 貴 幸  
高 橋 雄 介

Changes in the Relationship between Swimming Velocity and Blood Lactate  
during the Altitude Training in Elite Competitive Swimmers

## Abstract

In this study, we firstly examined the effect of hypobaric hypoxia training on the results of swimming performance test in highly trained elite competitive swimmers during low altitude (1350 m) training camp (Exp.1). Next, we compared the results of swimming performance test during low (1350 m) and moderate altitude (1950 m) training camp (Exp.2). The number of swimmers participated in Exp.1 and Exp.2 were 7 and 4, respectively. The swimming performance test consists of 4 or 5 sets of 4 x 100 m intermittent swim at progressively higher intensity per set. We measured blood lactate concentration (Bla) after each swim set and mean stroke time (ST) during each swim to determine the relationship between swimming velocity (V) and Bla, and V and ST. From the V versus Bla curve, we calculated the velocity at 2.5 mM and 4.0 mM of Bla ( $V_{2.5}$  and  $V_{4.0}$ ), and ST at  $V_{2.5}$  and  $V_{4.0}$ . To examine the physical condition of the swimmers during the training camp, resting  $SpO_2$  and HR were recorded in the mornings at wake up. The results of Exp.1 suggested that, after 3 days from the beginning of low altitude training camp, swimming workouts below OBLA intensity could be performed at a level equivalent to that at sea level training. Furthermore, the swimmers seemed to adapt to swim at higher intensity in low altitude after 13 days of training camp. From the results of Exp.2, the adaptation to hypobaric hypoxia environment seem to became slower

at moderate altitude than at low altitude, and  $V_{2.5}$  and  $V_{4.0}$  became lower at moderate altitude even after 16 days from the beginning of the training camp. The change of physical condition also differs between low and moderate altitude training camp. While the swimmers could keep their physical condition in good and steady state during low altitude training camp, the change of physical condition differs among swimmers and the training program seem to be non-optimal for some of the swimmers in moderate altitude training camp.

## 1. 緒 言

競泳競技においては、特に2000年以降、低圧低酸素環境下でのトレーニングを積極的に導入する選手やチームが増えてきた。この背景には、低圧低酸素環境下でのトレーニングについて、競泳競技においてもその有効性を立証する研究成果<sup>3, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19)</sup>が多く公表されてきたことがある。また、実際の競技の現場において、競泳ナショナルチームがこのようなトレーニング法を積極的に導入し、成功を収めてきたことも無視できない<sup>4, 11, 20)</sup>。最近では、リオデジャネイロオリンピック日本代表チームにおいても、およそ70%の選手がLiving High, Training High型の高所トレーニング（以下「高地トレーニング」と略す）を行い、極めて良好な結果を収めている。とりわけ、同大会で金メダルを獲得した2名の選手が、オリンピック直前の強化合宿地として海拔2000mを越える低圧低酸素環境を選んでいたことから、今後より一層、高地トレーニングを導入する選手が増えていくであろう。

競泳選手における高地トレーニングは、主に、その終了から4週間以内に行われる競技会でのパフォーマンス改善を目的として行われている<sup>4, 11, 20)</sup>が、その成否を左右するのは、高地トレーニング期間のコンディションであるとされている<sup>5, 20)</sup>。一般的に高地トレーニングのトレーニング期間は、馴化期、鍛錬期、調整期に分けられる<sup>4, 10, 20)</sup>。このうち、低圧低酸素環境に曝露されることで生じる身体応答が顕著である高地トレーニング初期、すなわち馴化期においては、トレーニングの量と質を抑える必要性が訴えられている<sup>4, 11, 20, 21)</sup>。そのため、馴化期に比較的軽度なトレーニングを行うことが、高地トレーニング期間を通して良好なコンディションを保つための重要な因子の一つであると考えられている<sup>21)</sup>。競泳選手が実際に行ってきた高地トレーニングの例をみると、馴化期を短め（3日程度）に設定して成功を収めている例<sup>10, 11)</sup>がある一方で、1週間程度の馴化期を経てから強化トレーニングに移行することで良好な結果が得られたとする報告<sup>14, 20)</sup>もある。また、高地トレーニング後にパフォーマンスが高まったとする実践例をレビューしたWilberによれば、馴化期を4～7日程度に設定している例が多いようであ

る<sup>21)</sup>。一方，高地トレーニングというと，通常は海拔2000m前後で実施されるものを指すが，準高地トレーニングと呼ばれる海拔1000m前後で行われる高地トレーニングでも低圧低酸素環境への馴化にともなうパフォーマンス向上を期待できるとされている<sup>3, 7, 9, 15)</sup>。しかしながら，Wilberのレビュー<sup>21)</sup>においては，トレーニングを行う海拔高度と馴化期の長さとの関係性については言及されていない。このように，高地トレーニングの馴化期の設定に資料上のばらつきがみられるのは，トレーニングの期分けを指導関係者らの「経験と勘」により導き出したためであると考えられる。これらの知見は，トップレベルにある競技者を対象とした高地トレーニングの事例報告が少ない現状を考えれば大変貴重だといえるが，適切な期分けを行うための科学的な根拠を提示するものとしては不十分といえるかもしれない。

泳力指標としての有効性が高いOBLA (Onset of blood lactate accumulation) 相当の泳速度は，低圧低酸素環境曝露初期では著しく落ちること，また，滞在日数が増すほどにその値は平地の水準に近づいていくことが知られている<sup>3, 7, 8, 20)</sup>。そのため，高地トレーニングにおける泳速度と血中乳酸濃度との関係を縦断的に評価することで，至適な馴化期間の設定が可能になると考えられる。そこでわれわれは，準高地あるいは高地トレーニング時に複数回の乳酸カーブテスト<sup>6)</sup>を行ったり，OBLAに相当する運動強度で行われるインターバルトレーニング時の血中乳酸濃度の変動を測定・評価することによって，鍛錬期のトレーニングの至適な開始時期についての検討を行ってきた<sup>7, 8)</sup>。その結果，海拔1280mの準高地環境では低圧低酸素環境曝露後少なくとも6日経過時<sup>7)</sup>，また，海拔1886mの高地環境では低圧低酸素環境曝露後少なくとも9日経過時には平地と同水準のトレーニングを実施できる可能性が高いことを明らかにした<sup>8)</sup>。しかし，準高地および高地トレーニングにおける至適なトレーニングプログラムの在り方について検討するための資料は依然として乏しい状況にあり，とりわけ競技力の高い競泳選手を対象とした高地トレーニング時の乳酸カーブテストのデータそのものが極めて少ないのが現状といえる。

そこで，本研究では，競技歴が長く，かつ，競技レベルが高い一流競泳選手を対象に実施された準高地トレーニングおよび高地トレーニング合宿においてシステムティックに乳酸カーブテストを行い，低圧低酸素トレーニングの日数経過にともなうデータの変動について検討するとともに，異なる海拔高度でのトレーニングで得られたデータの差異についての検討を試みた。

## 2. 方 法

### 2-1 調査概要

本研究では，定期的かつ継続的に高地トレーニング合宿を実施しているC大学水泳部を対象

とし、これまでの高地トレーニング中に測定・記録してきたデータを基に、2種類の調査を行うこととした。まず、乳酸カーブテストから得られる泳力関連データが、準高地トレーニング合宿前から合宿期間中にかけて、どのように変動するか、検討を行った（以下「調査1」と略す）。この調査では、2008年3月1日～23日（21泊）および2009年3月1日～23日（22泊）に、オーストラリアニューサウスウェルズ州スレドボにある、Thredbo Leisure Centre（海拔1365m）で行われた競泳準高地トレーニング合宿（以下、両合宿をまとめて「LAT1」〈Low Altitude Training 1〉と略す）の参加者を対象とし、これらの合宿前と合宿期間中に実施した乳酸カーブテストの結果について分析を行った。

次に、LAT1と同一の準高地トレーニング環境で行われた乳酸カーブテストの結果と、それよりも約600m高い海拔高度で行われた低圧低酸素トレーニング合宿時のそれとを比較し、標高の違いが高地馴化に及ぼす影響について検討するための調査を行った（以下「調査2」と略す）。この調査では、2012年2月20日～3月15日（23泊）に、LAT1と同一施設で行われた競泳準高地合宿（以下「LAT2」〈Low Altitude Training 2〉と略す）と、2013年2月28日～3月25日（25泊）まで、メキシコ合衆国サンルイスポトシ州サンルイスポトシにあるLa Loma Altitude Training Center（海拔1950m）で行われた競泳高地トレーニング合宿（以下「MAT」〈Moderate Altitude Training〉）と略す）の両方に参加した選手を対象とし、合宿前と合宿期間中に実施した乳酸カーブテストの結果について分析を行った。

## 2-2 対象者

調査1の対象は、LAT1に参加したC大学男子競泳選手のうち、合宿中のすべてのトレーニングに参加し、かつ、すべての乳酸カーブテストに参加した7名であった。一方、調査2では、LAT2およびMATの双方に参加したC大学男子競泳選手のうち、これらの合宿中のすべてのトレーニングおよび乳酸カーブテストに参加した4名を対象とした。

対象者は、全員、本合宿に参加する前に10年以上の専門的競泳トレーニング歴を有し、少なくとも11ヶ月以上は同じ競泳チームでほぼ同様のトレーニングプログラムを実施していた。また、すべての対象者は、前シーズンの日本ランキング30位以内に位置する、極めて高い競技力を誇る中長距離選手であった。対象者の身体的特性と競技レベル（年間競泳ランキング）は、表1に示したとおりである。なお、体重、除脂肪体重、骨格筋量、体脂肪量および体脂肪率は、バイオスペース社製InBody3.2を用いて測定した。

当該準高地および高地合宿の参加と、それにとまなうすべての測定について、対象者全員に詳細な事前説明をし、十分な理解を得た上で、書面にて参加の同意を得た。なお、本調査は、

表1 対象者の身体的特性と競技レベル

Subjects < LAT1 >	Age (Yr)	Height (cm)	Weight (kg)	LBM (kg)	Skeltal Muscle Mass (kg)	Body Fat Mass (kg)	% Body Fat (%)	Performance Level (Ranking in Japan)
A	21	175.0	68.8	58.6	31.8	10.2	14.8%	5 (400m FR)
B	20	180.0	73.7	63.5	35.6	10.2	13.8%	28 (200m FR)
C	19	171.9	65.8	56.3	30.8	9.5	14.4%	29 (200m IM)
D	22	175.0	70.6	60.1	32.3	10.5	14.8%	4 (200m FR)
E	20	174.2	69.3	58.6	32.8	10.7	15.4%	18 (400m IM)
F	19	174.0	74.3	63.5	35.1	10.8	14.5%	15 (1500m FR)
G	19	180.0	69.4	62.1	35.9	7.3	10.5%	20 (400m IM)
MEAN	20.00	175.72	70.27	60.40	33.47	9.87	14.03%	17.00
SD	1.07	2.87	2.73	2.55	1.89	1.12	1.49%	9.20

Subjects < LAT2 & MAT >	Age (Yr)	Height (cm)	Weight (kg)	LBM (kg)	Skeltal Muscle Mass (kg)	Body Fat Mass (kg)	% Body Fat (%)	Performance Level (Ranking in Japan)
H	20	168.6	68.4	57.1	30.3	11.4	16.6%	5 (200m FR)
I	19	184.2	85.3	74.9	41.5	10.4	12.1%	2 (1500m FR)
J	19	173.0	62.2	54.0	30.6	8.2	13.2%	8 (400m IM)
K	19	177.8	70.2	61.4	34.2	8.8	12.5%	11 (400m IM)
MEAN	19.25	175.90	71.54	61.84	34.16	9.70	13.62%	6.50
SD	0.50	6.68	9.76	9.20	5.23	1.45	2.05%	3.35

FR = Freestyle, IM = Individual Medley

中央大学保健体育研究所倫理委員会の承認（調査1は2008-2および2008-3，調査2は2011-5および2012-5）を得て実施されたものである。

### 2-3 準高地および高地トレーニング合宿時の競泳トレーニングプログラム

対象者は、何れの年においても、前の競泳シーズン終了後に3週間程度の脱トレーニング期間を経た後、21~22週間にわたって週に8~10回の競泳トレーニングプログラムを実施した。その後、4~5日程度の準備期間を経て、低圧低酸素環境に移動し、22~26日間の準高地あるいは高地トレーニング合宿を行った。

LAT1およびLAT2では、海拔1365mの地点にあるThredbo Leisure Centre内の屋内50mプールを使用した。合宿期間における現地の気圧は、 $863.05 \pm 4.09$ （平均値 $\pm$ 標準偏差，以下同様）hPaであった。一方、MATで使用したLa Loma Altitude Training Center内にある屋内プールは海拔1950mの地点にあったが、合宿期間における平均気圧は、 $808.59 \pm 3.53$  hPaであった。

### 2-3-1 調査1におけるトレーニングプログラム

LAT1の2回の合宿では、合宿期間中およびそれ以前のトレーニング期のトレーニングスケジュールについて、2008年と2009年の間でほぼ同一となるように設定した。すなわち、準高地合宿開始前の6日間を平地準備期とし、準高地環境に到着後から8日間を第1期、9日目から15日目を第2期、16日目から22日目までを第3期とし、それぞれの期間のトレーニング頻度やトレーニング量（泳距離）が2008年と2009年で同様となるような計画とした。この点、両者で異なっていた点は、LAT1開始から14日目のスケジュールのみであった（表2）。

表3に、LAT1のトレーニング期および平地準備期における1日あたりのトレーニング量を、われわれが使用しているトレーニングカテゴリー<sup>6)</sup>毎に泳距離で示した。また、表3には、平地準備期の直前まで行われた3週間に及ぶ鍛錬期（以下「平地鍛錬期」と略す）におけるトレーニング量を1日あたりの平均値で示した。

平地準備期においては、トレーニング量（泳距離）を平地鍛錬期比で55.5%まで落とし、EN2を超える強度の高いトレーニングを顕著に抑え、平地鍛錬期に生じた疲労を軽減させるよう努めた（表3）。LAT1の第1期は高地環境に対する馴化期にあたるため、1日あたりの総泳距離を平地鍛錬期レベルに近づけたが、EN3以上のトレーニングを控え、EN2以下のトレーニングを中心とした（表3）。第2期については、総泳距離を平地鍛錬期と同等にするとともに、EN3以上のトレーニングの実施比率を高め、準高地トレーニング合宿における鍛錬期とした（表3）。

表2 調査1におけるトレーニングおよび測定の実施状況

LAT1 (2008) (n=3)	Preparation for LAT1 (Sea Level)						Phase 2@LAT1 (2008)								Phase 3@LAT1 (2008)							Phase 1@LAT1 (2008)						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SpO <sub>2</sub> and PR			○				○	○	○	○		○		○	○				○	○		○	○	○		○	○	○
Swim Training (AM)	○	○	○	○			○	○	○		○	○		○		○	○	○			○		○	○	○	○	○	○
Swim Training (PM)	○						○			○	○			○	○	○			○		○	○	○		○			
ILCT (PM)				○				○				○							○									

LAT1 (2009) (n=4)	Preparation for LAT1 (Sea Level)						Phase 1@LAT1 (2009)								Phase 2@LAT1 (2009)							Phase 3@LAT1 (2009)						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SpO <sub>2</sub> and PR			○				○	○	○	○		○		○	○				○	○		○	○	○		○	○	○
Swim Training (AM)	○	○	○	○			○	○	○		○	○		○		○	○	○	○		○		○	○	○	○	○	○
Swim Training (PM)	○						○			○	○			○	○	○			○		○	○	○		○			
ILCT (PM)				○				○				○							○									

SpO<sub>2</sub> = percutaneous oxygen saturation, PR = pulse rate, ILCT = Intermittent Lactate Curve Test

表3 調査1における水泳トレーニングの内容 (トレーニングカテゴリー—毎の1日あたりの平均泳距離)

	Swim Distances of A1 & EN1 (m/day)	Swim Distances of EN1' & EN2 (m/day)	Swim Distances of EN3 & EN4 (m/day)	Swim Distances of AN1 & AN2 (m/day)	Swim Distances of AN3 (m/day)	Total Swim Distances (m/day)
Hard Training Phase (Sea Level)	5524.49 ± 499.58	2918.37 ± 364.06	509.52 ± 166.69	357.14 ± 70.44	132.65 ± 10.11	9442.18 ± 989.52
Preparation for LAT1 (Sea Level)	3547.62 ± 329.91	1452.38 ± 87.48	66.67 ± 0.00	66.67 ± 0.00	109.52 ± 8.25	5242.86 ± 378.05
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	64.22%	49.77%	13.08%	18.67%	82.56%	55.53%
Phase 1@LAT1	5191.07 ± 401.82	2548.21 ± 289.89	178.57 ± 8.75	50.00 ± 0.00	133.93 ± 8.75	8101.79 ± 665.52
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	93.96%	87.32%	35.05%	14.00%	100.96%	85.80%
Phase 2@LAT1	5142.86 ± 529.04	2959.18 ± 599.88	459.18 ± 60.81	397.96 ± 92.72	116.33 ± 5.00	9075.51 ± 1098.68
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	93.09%	101.40%	90.12%	111.43%	87.69%	96.12%
Phase 3@LAT1	4653.06 ± 612.49	2122.45 ± 582.09	314.29 ± 207.86	308.16 ± 48.21	126.53 ± 11.90	7524.49 ± 1318.13
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	84.23%	72.73%	61.68%	86.29%	95.38%	79.69%

A1 & EN1 = The very low-intensity training that the blood lactate will be less than 2mmol/L

EN1' & EN2 = The low-intensity training that the blood lactate will be 2 to 4mmol/L

EN3 & EN4 = The moderate-intensity training that the blood lactate will be 5 to 8mmol/L

AN1 & AN2 = The high-intensity training that the blood lactate will be more than 8mmol/L

AN3 = The high-power training that will complete within 20 sec with maximal effort

第3期では、トレーニング量を平地鍛錬期の80%程度に抑える一方で、AN1以上の高強度でのトレーニング量を平地鍛錬期レベルに維持する、いわゆるスピード強化期とした(表3)。

### 2-3-2 調査2におけるトレーニングプログラム

LAT2とMATでは、それぞれの低圧低酸素環境が身体に与える影響が明らかに異なるため、低圧低酸素曝露期間のみならず、その前のトレーニング期におけるトレーニング頻度やトレーニング量は、それぞれの環境に適したものとするようなプログラム構成とした。まず、LAT2におけるトレーニングスケジュールについては、LAT2開始前の6日間を平地準備期とし、準高地環境に到着後から7日間を準高地トレーニングの第1期、8日目から14日目を第2期、15日目から20日目までを第3期、21日目から24日目を第4期とした(表4)。一方、MATでは、MAT開始前の6日間を平地準備期とし、準高地環境に到着後から8日間を高地トレーニングの第1期、9日目から15日目を第2期、16日目から22日目までを第3期、23日目から26日目を第4期とした(表4)。

表5は、LAT2およびMATでの、平地鍛錬期、平地準備期およびすべての準高地トレーニング期における1日あたりのトレーニング量を、トレーニングカテゴリー毎に示したものである。LAT2においては、平地準備期の総泳距離は平地鍛錬期比で79.8%と高めであったが、これは、平地準備期前の鍛錬期に競技会出場の機会を例年よりも2回多く設定したため、鍛錬期の泳距離が少なくなったことの影響を受けている。LAT2の第1期では、週あたりのトレーニ

表4 調査2におけるトレーニングおよび測定の実施状況

LAT2 (2012) (n = 4)	Preparation for LAT2 (Sea Level)						Phase 1@LAT2							Phase 2@LAT2					Phase 3@LAT2					Phase 4@LAT2						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SpO <sub>2</sub> and PR					○		○	○	○	○	○			○	○		○	○				○	○		○		○			
Swim Training (AM)	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○			○		○	○	○	○		○	○	○		○		○		○	○
Swim Training (PM)				○	○		○	○						○	○	○		○					○	○			○	○		
ILCT (PM)												○										○								

MAT (2013年) (n = 4)	Preparation for MAT (Sea Level)						Phase 1@MAT							Phase 2@MAT					Phase 3@MAT					Phase 4@MAT							
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
SpO <sub>2</sub> and PR					○		○	○	○	○	○			○	○		○	○			○	○		○	○		○				
Swim Training (AM)	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○		○		○	○	○	○		○		○	○		○	○	○	○		
Swim Training (PM)		○	○		○		○							○	○	○		○	○			○	○		○	○	○	○			
ILCT (PM)													○									○									

SpO<sub>2</sub> = percutaneous oxygen saturation, PR = pulse rate, ILCT = Intermittent Lactate Curve Test



表5 調査2における水泳トレーニングの内容 (トレーニングカテゴリ毎の1日あたりの平均泳距離)

	Swim Distances of A1 & EN1 (m/day)	Swim Distances of EN1' & EN2 (m/day)	Swim Distances of EN3 & EN4 (m/day)	Swim Distances of AN1 & AN2 (m/day)	Swim Distances of AN3 (m/day)	Total Swim Distances (m/day)
Hard Training Phase (Sea Level)	4756.0 ± 490.6	2371.4 ± 540.5	356.0 ± 150.5	254.2 ± 65.0	132.1 ± 14.4	7869.6 ± 1137.5
Preparation for LAT2	4250.0 ± 144.3	1562.5 ± 308.3	137.5 ± 151.6	237.5 ± 50.5	91.7 ± 8.3	6279.2 ± 555.9
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	89.36%	65.89%	38.63%	93.44%	69.37%	79.79%
Phase 1@LAT2	5303.6 ± 154.6	2000.0 ± 371.2	85.7 ± 0.0	42.9 ± 24.7	139.3 ± 6.2	7571.4 ± 494.9
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	111.51%	84.34%	24.08%	16.86%	105.41%	96.21%
Phase 2@LAT2	4660.7 ± 525.8	2214.3 ± 371.2	467.9 ± 216.5	260.7 ± 117.5	153.6 ± 6.2	7757.1 ± 989.7
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	98.00%	93.37%	131.44%	102.58%	116.22%	98.57%
Phase 3@LAT2	4708.3 ± 216.5	2204.2 ± 267.0	308.3 ± 187.6	175.0 ± 75.0	141.7 ± 14.4	7537.5 ± 584.9
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	99.00%	92.95%	86.62%	68.85%	107.21%	95.78%
Phase 4@LAT2	4637.5 ± 281.5	1856.3 ± 227.3	293.8 ± 119.1	100.0 ± 43.3	125.0 ± 0.0	7012.5 ± 584.6
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	97.51%	78.28%	82.53%	39.34%	94.59%	89.11%

	Swim Distances of A1 & EN1 (m/day)	Swim Distances of EN1' & EN2 (m/day)	Swim Distances of EN3 & EN4 (m/day)	Swim Distances of AN1 & AN2 (m/day)	Swim Distances of AN3 (m/day)	Total Swim Distances (m/day)
Hard Training Phase (Sea Level)	5200.0 ± 123.7	2971.4 ± 371.2	607.1 ± 210.3	350.0 ± 95.6	121.4 ± 12.4	9278.6 ± 598.1
Preparation for MAT	3304.2 ± 123.8	995.8 ± 270.9	87.5 ± 65.0	187.5 ± 32.0	100.0 ± 0.0	4675.0 ± 449.3
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	63.54%	33.51%	14.41%	53.57%	82.35%	50.38%
Phase 1@MAT	3093.8 ± 162.4	678.1 ± 114.7	68.8 ± 6.3	25.0 ± 0.0	78.1 ± 16.2	3946.9 ± 269.6
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	59.50%	22.82%	11.32%	7.14%	64.34%	42.54%
Phase 2@MAT	5035.7 ± 408.3	2728.6 ± 371.2	450.0 ± 185.6	310.7 ± 129.9	135.7 ± 12.4	8639.3 ± 885.1
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	96.84%	91.83%	74.12%	88.78%	111.76%	93.11%
Phase 3@MAT	4257.1 ± 420.6	2142.9 ± 371.6	264.3 ± 169.2	210.7 ± 80.4	110.7 ± 6.2	6989.3 ± 871.8
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	81.87%	72.12%	43.53%	60.20%	91.18%	75.33%
Phase 4@MAT	3868.8 ± 169.9	1500.0 ± 258.6	243.8 ± 119.1	162.5 ± 94.4	187.5 ± 12.5	5881.3 ± 474.5
<i>Relative values against Hard Training Phase</i>	74.40%	50.48%	40.15%	46.43%	154.41%	63.39%

A1 &amp; EN1 = The very low-intensity training that the blood lactate will be less than 2mmol/L

EN1' &amp; EN2 = The low-intensity training that the blood lactate will be 2 to 4mmol/L

EN3 &amp; EN4 = The moderate-intensity training that the blood lactate will be 5 to 8mmol/L

AN1 &amp; AN2 = The high-intensity training that the blood lactate will be more than 8mmol/L

AN3 = The high-power training that will complete within 20 sec with maximal effort

ング量を平地での鍛錬期レベルと同等としたが、高強度のトレーニングを大きく抑え、EN2以下のトレーニングを中心とした(表5)。第2期および第3期ではEN3以上のトレーニングの実施比率を高め、トレーニングの量・質ともに鍛錬期のそれらに近づけることで、準高地トレーニングにおける鍛錬期とした(表5)。第4期では、1日あたりの総泳距離を5~8%程度落とし、AN1以上の高強度のトレーニング量を抑え、第3期までの疲労を軽減させるための回復期とした(表5)。

MATにおけるトレーニング内容については以下のとおりである。まず平地準備期については、総泳距離を平地鍛錬期の半分程度に抑え、鍛錬期の疲労を軽減するような措置をとった(表5)。高地トレーニングの馴化期、すなわち第1期では、総泳距離を大きく落とすとともに、EN3以上のトレーニングの実施量が大幅に少なくなるような設定とした(表5)。第2期では、総泳距離を平地鍛錬期レベルに戻し、かつ、EN3以上の中等度~高強度のトレーニングの実施割合を増やすことで、高地トレーニング合宿における鍛錬期とした(表5)。第3期については、トレーニング量を抑える一方で、AN1~AN2の実施割合を維持する、いわゆるスピード強化期とした(表5)。さらに第4期は回復期とし、総泳距離をさらに落とすとともに、高強度のトレーニング実施比率を落とし、第3期までの疲労を軽減させるよう努めた(表5)。

## 2-4 間歇的乳酸カーブテスト

間歇的乳酸カーブテスト(Intermittent Lactate Curve Test;以下「ILCT」と略す)は、われわれが高地トレーニング用に考案した、泳速度—血中乳酸関係を導き出すためのテストである<sup>8)</sup>。調査1では、どちらの年においても、平地準備期4日目(以下「Pre-LAT1」と略す)、準高地トレーニング開始から3日目(以下「LAT1-Day3」と略す)、7日目(以下「LAT1-Day7」と略す)および13日目(以下「LAT1-Day13」と略す)にILCTを実施した(表2)。調査2では、LAT2およびMATそれぞれの合宿期間にのみ、ILCTを行った。すなわち、LAT2では準高地トレーニング開始から6日目および15日目(以下それぞれ「LAT2-Day6」および「LAT2-Day15」と略す)に、また、MATでは高地トレーニング開始から7日目および16日目(以下それぞれ「MAT-Day7」および「MAT-Day16」と略す)にILCTを実施した(表4)。

すべてのILCTは、EN1'以下の軽度のトレーニングを午前中に行い、その終了から最短でも5時間経過以降に開始される午後のトレーニング時に行うこととした。午前中のトレーニング後については、ILCTのウォームアップが開始される3時間前までに昼食が完了するようなスケジュールとした。また、ILCTに至るまでのウォームアップについては、テスト間で同一とした。すなわち、A1~EN1の低強度のドリルワークをトータルで2400m行った後、EN1'~EN2

の中等度の泳速で行われるインターバル泳セットを1000m実施させてから，ILCTに臨ませた。

ILCTは，先行研究<sup>8)</sup>同様，100mのクロール泳を80秒毎（最終セットでは100秒毎）に4回繰り返す間歇泳セットを，セット毎の漸増負荷法によりオールアウトまで実施させるプロトコルとした（図1）．第1セットから第4セットまでは，泳速度を規定した最大下のコントロール泳で実施させた．このコントロール泳では，低圧低酸素環境での合宿開始までの過去5ヶ月間に3回程度行われた短水路屋内プールでの乳酸カーブテスト（400m×4セット）<sup>6)</sup>によって導き出された血中乳酸濃度4.0mMに相当する泳速度（以下「 $V_{4.0}$ 」と略す）から指定タイムを算出した．すなわち， $V_{4.0}$ を100mあたりの運動時間に変換した時間を基準タイムとし，第1セットでは基準タイムに6秒加算した時間，第2セットでは基準タイムに3秒加算した時間，第3セットでは基準タイム，第4セットでは基準タイムから3秒減算した時間に設定した．対象者には，それぞれの100mを設定した時間で泳ぐよう指示を与えた．

ILCTの第5セットについては，100秒毎に100m泳を4回繰り返す，最大努力での間歇泳とした（図1）．ただし，LAT1-Day3については，低圧低酸素に対する馴化が完了していない可能性が示唆されている<sup>7)</sup>ため，対象者に過度の負担を与えず，スムーズな馴化を実現させることを重視し，最大努力泳セットを行わず，第4セットでテスト完了とした．また，MAT-Day7については，対象者が初めて経験する高い標高での高地合宿であったことに鑑み，高強度のト

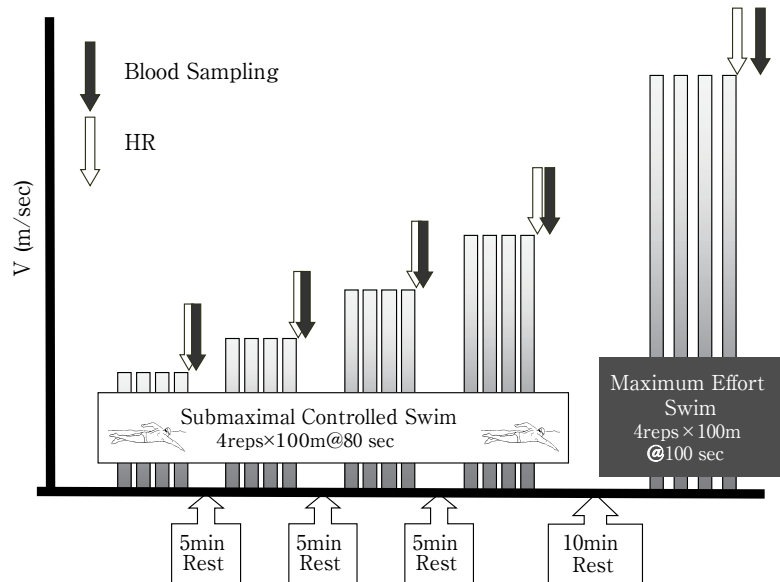


図1 間歇的乳酸カーブテスト（ILCT）のプロトコル

レーニングを避けることが賢明と判断し、LAT1-Day3同様、第4セットでILCT完了とした。

ILCTのセット間の休息については、第1セットから第4セットまでは5分間、第4セットと第5セットとの間については10分間を設定した(図1)。この休息期に、以下に示す各種測定が済んだ後は、対象者の意志によるアクティブリカバリースイムを許可した。

各インターバルスイムの所要時間をストップウォッチ(S120-4000, セイコー社)により計測し、泳距離の100mを所要時間で除することにより、泳速度(以下「V」と略す)を算出し、4回の平均値を各セットの代表値とした。また、100m泳の後半の50mにおける1ストローク所要時間、すなわちストロークタイム(以下「ST」と略す)を、5ストロークサイクル毎にストップウォッチを使用して測定、セット毎の平均を算出し、その値を各セットにおけるストロークタイムとして採用した。

血中乳酸濃度(以下「La」と略す)は、第1セットから第3セットでは運動終了30秒後、第4セットでは運動終了60秒後、第5セットでは運動終了180秒後に、指尖から湧出した血液を簡易血中乳酸測定器(ラクテートプロ, アークレイ社)にかけることで求めた。また、心拍数(以下「HR」と略す)は、各セット完泳後、直ちに触診法による10秒間の脈拍測定を対象者自身に実施させ、口頭により報告させた値を1分間あたりのHR値に換算して記録した。

以上により得られたデータは、V-La曲線およびV-ST直線の導出に活用された。すなわちV-La曲線についてはVを独立変数、Laを従属変数とする2次回帰により、またV-ST直線に

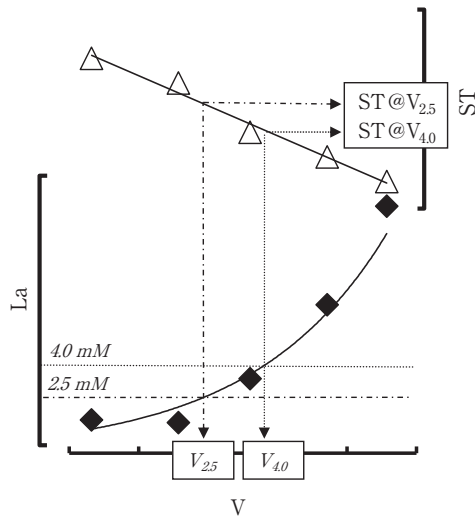


図2  $V_{40}$ ,  $V_{25}$ ,  $ST@V_{40}$ および $ST@V_{25}$ の算出法

については  $V$  を独立変数,  $ST$  を従属変数とする 1 次回帰分析を行うことで求めた (図 2). 得られた  $V$ - $La$  曲線より,  $V_{4.0}$  と  $La$  が  $2.5\text{mM}$  に相当する  $V$  (以下「 $V_{2.5}$ 」と略す) をそれぞれ算出した (図 2). また,  $V$ - $ST$  直線にそれぞれ  $V_{2.5}$  および  $V_{4.0}$  の値を内挿することで,  $V_{2.5}$  および  $V_{4.0}$  出現時の  $ST$  (以下それぞれ「 $ST@ V_{2.5}$ 」, 「 $ST@ V_{4.0}$ 」と略す) を求めた (図 2).

## 2-5 動脈血酸素飽和度の測定

対象者の低圧低酸素環境に対する馴化の様子を検討するため, 起床安静時の動脈血酸素飽和度 (以下「 $SpO_2$ 」と略す) と脈拍 (以下「 $PR$ 」と略す) を, 本研究で対象としたすべてのトレーニング合宿時に測定した. 測定日については,  $LAT1$  では表 2 に, また,  $LAT2$  および  $MAT$  では表 4 に示したとおりであった.  $SpO_2$  および  $PR$  の測定は, 測定日の起床直後に仰臥位安静姿勢で行った. すなわち, 小型のパルスオキシメーター (パルスソックス-3i, コニカミノルタ社) を使用して 1 分間の測定を行い, 1 分経過時の安定値を記録した.

## 2-6 統計処理

測定値は, すべて平均値  $\pm$  標準偏差で示した. 各測定・分析項目における平均値について, テスト内の経時的变化と測定実施日間の差をみるため, 対応のある一元配置分散分析を行い, Bonferroni 検定による多重比較を行った. ただし,  $SpO_2$  における  $LAT-2$  と  $MAT$  間, また, 各測定日における  $ST@ V_{2.5}$  と  $ST@ V_{4.0}$  間の差については, 対応のある  $t$  検定を用いて分析を行った. なお, 有意水準については, 5%未満に設定した.

# 3. 結 果

## 3-1 調 査 1

### 3-1-1 $LAT1$ における乳酸カーブテストの結果

表 6 および図 3 に, 調査 1 で行われた ILCT により得られた全変数の結果を示す.  $V$  については, すべての測定日のすべての間歇泳セット間において有意 ( $p < 0.01$ ) な差が認められ, セットが進むにつれて泳速が増加していた (表 6). また, 測定日間の  $V$  については, 何れの間歇泳セットにおいてもほぼ同様の値が示され, 全ての最大下間歇泳において対象者が指定した泳速どおりに泳いだことがうかがわれた.

$La$  については, 何れの測定日においても, 間歇泳セットを重ねるにつれて値が高くなる傾向にあったが, その変化は第 1 セットから第 3 セットまでは小さく, 第 4 セットから顕著となっ

表6 準高地トレーニング(2008年および2009年)におけるILCTの結果

	Pre-LAT1	LAT1-Day 3	LAT1-Day 7	LAT1-Day 13	
V (m/sec)	1st Swim Set	1.42 ± 0.02	1.42 ± 0.01	1.40 ± 0.03	1.41 ± 0.03
	2nd Swim Set	1.46 ± 0.02	1.46 ± 0.02	1.46 ± 0.02	1.46 ± 0.02
	3rd Swim Set	1.53 ± 0.02	1.52 ± 0.03	1.52 ± 0.03	1.52 ± 0.02
	4th Swim Set	1.59 ± 0.03	1.60 ± 0.04	1.59 ± 0.04	1.59 ± 0.03
	5th Swim Set	1.68 ± 0.05		1.68 ± 0.05	1.69 ± 0.05
La (mmol/L)	1st Swim Set	1.20 ± 0.40	1.03 ± 0.16	1.01 ± 0.32	0.97 ± 0.21
	2nd Swim Set	1.27 ± 0.24	1.31 ± 0.27	1.11 ± 0.33	1.09 ± 0.23
	3rd Swim Set	2.36 ± 1.12	2.64 ± 1.01	2.07 ± 0.72	1.90 ± 0.53
	4th Swim Set	4.33 ± 1.74	6.06 ± 1.57	4.36 ± 0.94	3.87 ± 1.08
	5th Swim Set	12.49 ± 0.77		11.93 ± 1.16	13.09 ± 1.43
HR (beats/min)	1st Swim Set	134.57 ± 10.88	139.71 ± 10.23	133.71 ± 9.62	128.57 ± 12.90
	2nd Swim Set	144.00 ± 10.39	147.43 ± 11.93	139.71 ± 13.29	139.71 ± 17.57
	3rd Swim Set	155.14 ± 18.14	164.29 ± 15.25	156.71 ± 19.33	155.14 ± 13.61
	4th Swim Set	174.00 ± 10.95	173.14 ± 15.66	169.71 ± 21.55	173.14 ± 14.04
	5th Swim Set	194.57 ± 4.72		192.86 ± 8.78	180.00 ± 10.39
ST (sec/stroke)	1st Swim Set	2.00 ± 0.05	1.93 ± 0.05	1.99 ± 0.04	1.98 ± 0.07
	2nd Swim Set	1.89 ± 0.05	1.87 ± 0.07	1.91 ± 0.05	1.90 ± 0.07
	3rd Swim Set	1.74 ± 0.06	1.74 ± 0.07	1.77 ± 0.06	1.80 ± 0.06
	4th Swim Set	1.61 ± 0.05	1.56 ± 0.06	1.58 ± 0.05	1.60 ± 0.07
	5th Swim Set	1.39 ± 0.05		1.41 ± 0.06	1.40 ± 0.05
V <sub>2.5</sub> (m/sec)	1.54 ± 0.05	1.52 ± 0.04	1.54 ± 0.04	1.55 ± 0.03	
V <sub>4.0</sub> (m/sec)	1.58 ± 0.05	1.56 ± 0.04	1.58 ± 0.04	1.58 ± 0.03	
ST@V <sub>2.5</sub> (sec/stroke)	1.70 ± 0.09	1.73 ± 0.04	1.70 ± 0.07	1.70 ± 0.06	
ST@V <sub>4.0</sub> (sec/stroke)	1.62 ± 0.07	1.65 ± 0.05	1.63 ± 0.06	1.64 ± 0.06	

Values are means ± SD.

V = Mean velocity, La = blood lactate concentration, HR = heart rate, ST = Stroke Time

V<sub>2.5</sub> = swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 2.5mmol/L

V<sub>4.0</sub> = swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 4.0mmol/L

\*\* indicates significant difference among trials ( $p < 0.01$ )

† indicates significant difference among the days ( $p < 0.05$ )

ていた(図3)。この点、間歇泳セット間で有意な差( $p < 0.01$ )がみられたのは、第3セットと第4セットおよび第4セットと第5セット(ただし、第5セットを行っていないLAT1-Day3を除く)との間のみであった(表6, 図3)。また、測定日間の差についてみると、ILCTの第3セットにおいて、LAT1-Day3の方がLAT1-Day13よりも有意( $p < 0.05$ )に高く、また、第4セットにおいて、LAT1-Day3の方がその他のすべての測定日より有意( $p < 0.05$ )に高か

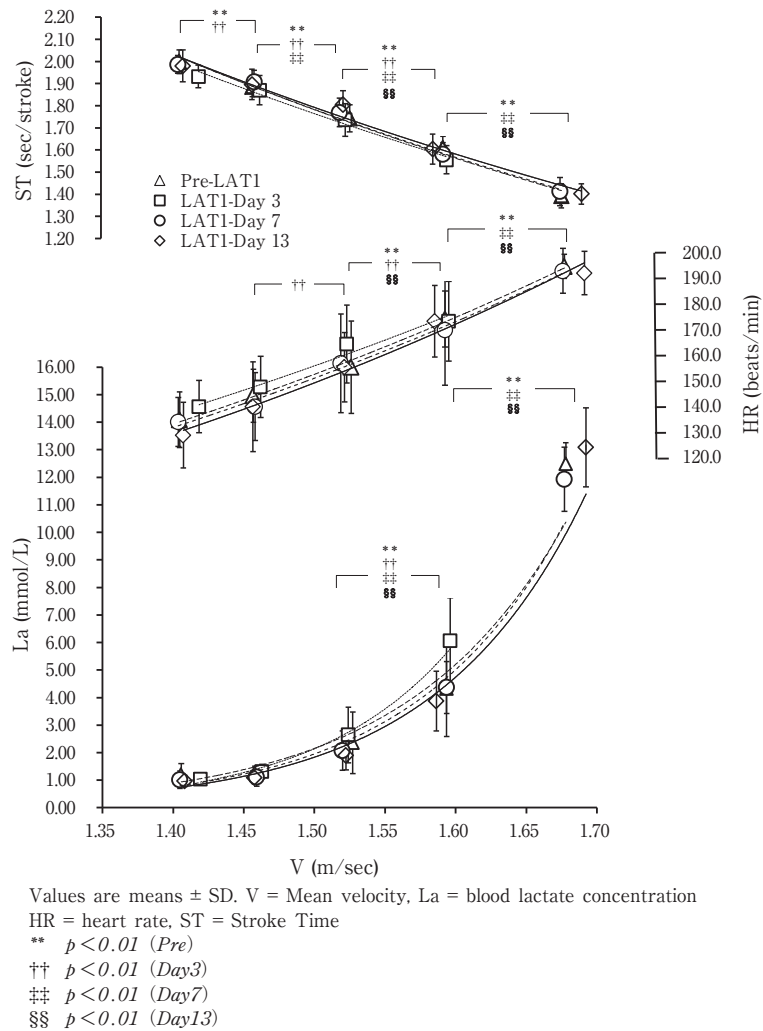


図3 準高地トレーニング（2008年および2009年）における泳速度（V）に対する血中乳酸濃度（Bla）、心拍数（HR）およびストロークタイム（ST）の変動

った（表6）。

間歇泳セット間のHRについては、セットを重ねる毎にはほぼ直線的に増加する傾向にあった（図3）。すなわち、Pre-LAT1では第3セットと第4セットおよび第4セットと第5セットとの間、LAT1-Day3では第2セットと第3セットおよび第3セットと第4セットとの間、LAT1-Day7では第4セットと第5セットとの間、LAT1-Day13では第3セットと第4セットおよび第4セットと第5セットとの間にHRの有意差（ $p < 0.01$ ）が認められた（表6，図3）。一方、

測定日間では、何れのセットにおいても大きな差がみられずほぼ同様の値が示される傾向にあったが、第1セットの値のみ、LAT1-Day3の方がLAT1-Day13よりも有意 ( $p < 0.05$ ) に高くなった (表6)。

STについては、ほとんどすべての間歇泳セット間で明確な差異がみられた (図3)。すなわち、LAT1-Day7の第1セットと第2セット、LAT1-Day13の第1セットと第2セットおよび第2セットと第3セット間を除くすべての間歇泳セット間で有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められ、セットが進むにつれてSTが短くなっていった (表6, 図3)。これに対し、測定日間では、大きな差がみられず、第4セットのLAT1-Day3の方がPre-LAT1およびLAT1-Day13よりも有意に短かっただけであった (表6)。

図4に、調査1で行われたILCTから導出された $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ を示した。何れの測定日においても $V_{2.5}$ より $V_{4.0}$ が有意 ( $p < 0.01$ ) に大きかった (表6, 図4)。一方、測定日間については、 $V_{2.5}$ において、LAT1-Day3の方がLAT1-Day13より有意 ( $p < 0.05$ ) に低くなった (表6, 図4)。

図5は、調査1で行われたILCTから導出された $ST@V_{2.5}$ および $ST@V_{4.0}$ を示したものである。何れの測定日においても $ST@V_{2.5}$ より $ST@V_{4.0}$ が有意 ( $p < 0.01$ ) に短かった (表6, 図5)。一方、これらの変数の測定日間の差については、LAT1-Day3で他の測定日より長い値が示される傾向にあったものの、有意差は認められなかった (表6, 図5)。

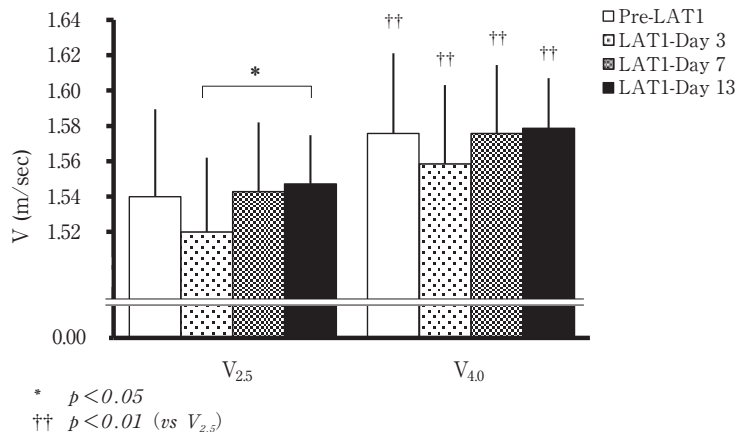


図4 準高地トレーニング (2008年および2009年) における $V_{2.5}$  および $V_{4.0}$ の変動



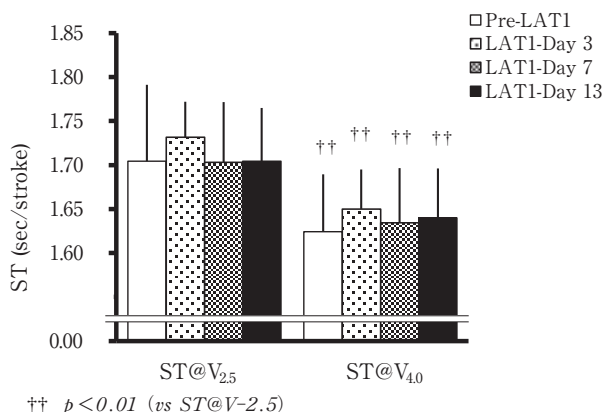


図5 準高地トレーニング（2008年および2009年）における V<sub>2.5</sub>出現時の ST (ST@V<sub>2.5</sub>) および V<sub>4.0</sub>出現時の ST (ST@V<sub>4.0</sub>) の変動

### 3-1-2 LAT1における安静時の動脈血酸素飽和度

表7には、LAT1およびその開始2日前に行われた起床安静時の SpO<sub>2</sub>およびPR、さらには、PR1拍あたりの SpO<sub>2</sub>値（以下「SpO<sub>2</sub>/PR」と略す）を示した。また、図6は、このうち、SpO<sub>2</sub>の変動についてグラフ化したものである。LAT1期間中に記録された SpO<sub>2</sub>は、何れの測定日においても平地、すなわちLAT1開始前の値に比して有意（ $p < 0.01$ ）に低く、かつLAT1期間中は大きく変動せず、ほぼ同様の値が示された（表7、図6）。一方、PRおよびSpO<sub>2</sub>/PRについては、LAT1期間中のみならず、LAT1期間中とLAT1開始前との間にも有意差は認められなかった（表7）。

表7 準高地トレーニング（2008年および2009年）における SpO<sub>2</sub>、PR および SpO<sub>2</sub>/PR の変動

	Pre	Day 2	Day 3	Day 4	Day 6	Day 7	Day 9	Day 10
SpO <sub>2</sub> (%)	98.71±0.70	95.71±1.39**	95.43±1.40**	95.43±2.77**	95.00±1.20**	95.14±1.73**	95.86±1.25**	95.57±1.76**
PR (beats/min)	56.71±10.39	60.71±6.63	61.43±7.56	60.86±9.12	60.71±6.63	61.14±8.61	60.57±8.86	60.29±8.84
SpO <sub>2</sub> /PR	1.80±0.37	1.59±0.18	1.58±0.19	1.60±0.24	1.58±0.19	1.59±0.26	1.62±0.26	1.62±0.28
	Day 13	Day 14	Day 16	Day 17	Day 18	Day 20	Day 21	Day 22
SpO <sub>2</sub> (%)	95.71±1.83**	95.43±1.50**	95.43±1.50**	95.71±0.88**	95.43±1.05**	95.71±1.67**	95.57±1.50**	95.71±1.83**
PR (beats/min)	60.71±7.34	58.43±9.15	57.57±8.23	58.43±9.08	59.86±9.19	60.00±10.28	59.14±11.36	59.57±9.66
SpO <sub>2</sub> /PR	1.60±0.24	1.67±0.29	1.69±0.27	1.68±0.27	1.64±0.30	1.65±0.32	1.68±0.36	1.65±0.31

Values are means ± SD. SpO<sub>2</sub> = percutaneous oxygen saturation, PR = pulse rate  
 \*\* indicates significant difference from Pre ( $p < 0.01$ )

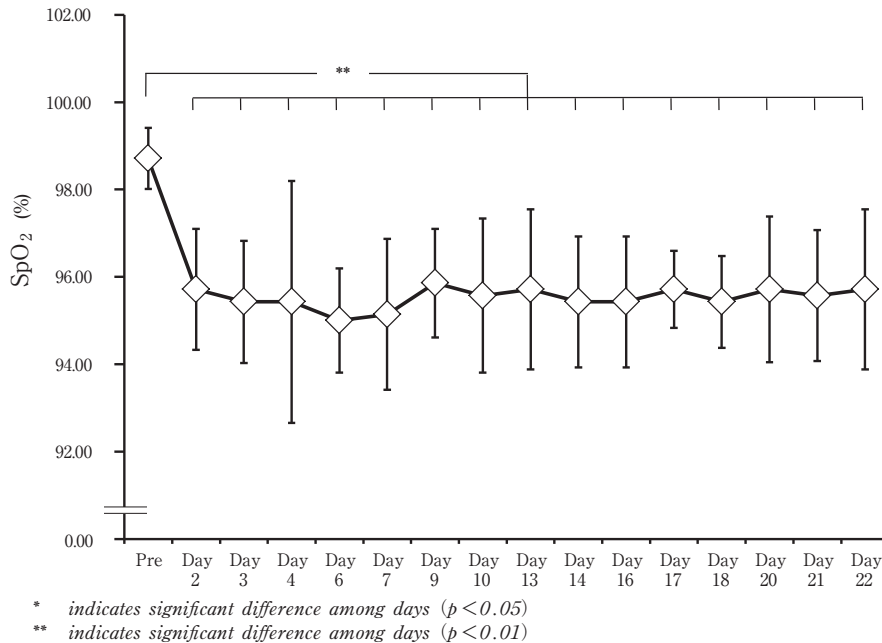


図6 準高地トレーニング（2008年および2009年）における安静時 SpO<sub>2</sub>の変動

## 3-2 調査 2

### 3-2-1 LAT2およびMATにおける乳酸カーブテストの結果

調査2で行われたILCTによって得られたすべての測定値は、表8および図7に示すとおりであった。Vについては、LAT2およびMATのどちらにおいても、すべての測定日のすべての間歇泳セット間において有意 ( $p < 0.01$ ) な差が認められ、セットが進むにつれて泳速が増加していた（表8、図7）。また、測定日間のVについては、間歇泳セットの第3セットおよび第4セットにおいて、MAT-Day16の値が他の測定日に比して低く示され、とりわけLAT2-Day6およびMAT-Day7に対して有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた（表8）。

Laについては、間歇泳セット間の有意差が認められたのは、LAT2-Day6の第3セットと第4セット ( $p < 0.01$ ) および第4セットと第5セットとの間 ( $p < 0.01$ )、LAT2-Day15の第4セットと第5セットとの間 ( $p < 0.01$ )、MAT-Day7の第2セットと第3セット ( $p < 0.05$ ) および第3セットと第4セットの間 ( $p < 0.01$ )、MAT-Day16の第4セットと第5セットとの間であり、何れもセットが進んだ方が高かった（表8、図7）。一方、Laの測定日間の差についてみると、間歇泳セットの第2セットにおいてMAT-Day7の値が高く示され、その値はLAT2-Day6およびLAT2-Day15に比して有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった（表8）。また、第3セットおよび第4セットでは、MAT-Day7においてLAT2の何れの測定日より有意 ( $p < 0.01$ ) に高

い値が, また, MAT-Day16に対しても有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値が示されていた (表8).

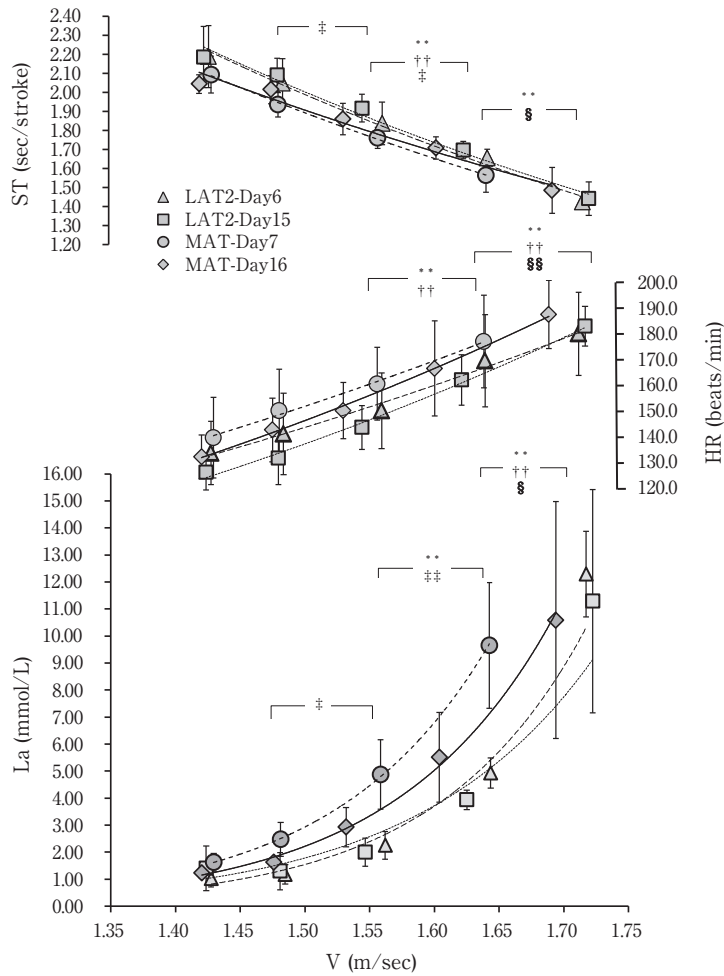
間歇泳セット間のHRに有意差 ( $p < 0.01$ ) がみられたのは, LAT2-Day6の第3セットと第4セットおよび第4セットと第5セットとの間, LAT2-Day15の第3セットと第4セットとの間,

表8 準高地 (2012年) および高地トレーニング (2013年) におけるILCTの結果

	LAT2-Day 6	LAT2-Day 15	MAT-Day 7	MAT-Day 16	
V (m/sec)	1st Swim Set	1.43 ± 0.02	1.42 ± 0.02	1.43 ± 0.02	1.42 ± 0.03
	2nd Swim Set	1.48 ± 0.01	1.48 ± 0.02	1.48 ± 0.02	1.48 ± 0.02
	3rd Swim Set	1.56 ± 0.02	1.55 ± 0.03	1.56 ± 0.02	1.53 ± 0.02
	4th Swim Set	1.64 ± 0.01	1.63 ± 0.02	1.64 ± 0.01	1.60 ± 0.01
	5th Swim Set	1.72 ± 0.03	1.72 ± 0.05		1.69 ± 0.06
La (mmol/L)	1st Swim Set	1.03 ± 0.32	1.40 ± 0.83	1.63 ± 0.33	1.23 ± 0.17
	2nd Swim Set	1.18 ± 0.36	1.30 ± 0.69	2.48 ± 0.62	1.63 ± 0.17
	3rd Swim Set	2.25 ± 0.51	2.00 ± 0.52	4.88 ± 1.28	2.93 ± 0.73
	4th Swim Set	4.93 ± 0.56	3.94 ± 0.36	9.65 ± 2.33	5.51 ± 1.66
	5th Swim Set	12.29 ± 1.58	11.29 ± 4.13		10.59 ± 4.38
HR (beats/min)	1st Swim Set	133.50 ± 12.37	126.00 ± 6.93	139.50 ± 15.78	132.00 ± 8.49
	2nd Swim Set	141.00 ± 15.87	131.50 ± 10.25	150.00 ± 16.25	142.50 ± 12.37
	3rd Swim Set	150.00 ± 14.70	143.50 ± 8.54	160.50 ± 14.18	150.00 ± 10.95
	4th Swim Set	169.50 ± 17.92	162.00 ± 9.80	177.00 ± 18.00	166.50 ± 18.57
	5th Swim Set	180.00 ± 16.25	183.00 ± 7.75		187.50 ± 13.30
ST (sec/stroke)	1st Swim Set	2.19 ± 0.16	2.18 ± 0.16	2.09 ± 0.10	2.04 ± 0.05
	2nd Swim Set	2.05 ± 0.13	2.09 ± 0.09	1.94 ± 0.06	2.01 ± 0.07
	3rd Swim Set	1.84 ± 0.11	1.92 ± 0.07	1.76 ± 0.06	1.86 ± 0.08
	4th Swim Set	1.65 ± 0.05	1.70 ± 0.05	1.56 ± 0.09	1.71 ± 0.06
	5th Swim Set	1.42 ± 0.03	1.44 ± 0.09		1.49 ± 0.12
V <sub>2.5</sub> (m/sec)	1.58 ± 0.01	1.57 ± 0.01	1.49 ± 0.05	1.52 ± 0.04	
V <sub>4.0</sub> (m/sec)	1.61 ± 0.01	1.61 ± 0.02	1.54 ± 0.04	1.57 ± 0.04	
ST@V <sub>2.5</sub> (sec/stroke)	1.79 ± 0.06	1.83 ± 0.04	1.95 ± 0.11	1.88 ± 0.02	
ST@V <sub>4.0</sub> (sec/stroke)	1.71 ± 0.04	1.72 ± 0.06	1.82 ± 0.07	1.76 ± 0.04	

Values are means ± SD. V = Mean velocity, La = blood lactate concentration, HR = heart rate  
ST = Stroke Time, V<sub>2.5</sub> = swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 2.5mmol/L  
V<sub>4.0</sub> = swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 4.0mmol/L

- \* indicates significant difference among trials ( $p < 0.05$ )
- \*\* indicates significant difference among trials ( $p < 0.01$ )
- † indicates significant difference among the days ( $p < 0.05$ )
- †† indicates significant difference among the days ( $p < 0.01$ )



Values are means  $\pm$  SD. V = Mean velocity, La = blood lactate concentration, HR = heart rate, ST = Stroke Time

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  (Day3@1350m)

†  $p < 0.05$ , ††  $p < 0.01$  (Day13@1350m)

‡  $p < 0.05$ , ‡‡  $p < 0.01$  (Day7@1950m)

§  $p < 0.05$ , §§  $p < 0.01$  (Day13@1950m)

図7 準高地 (2012年) および高地トレーニング (2013年) における泳速度 (V) に対する血中乳酸濃度 (Bla), 心拍数 (HR) およびストロークタイム (ST) の変動

間, MAT-Day16の第3セットと第4セットおよび第4セットと第5セットとの間であり, 何れもセットが進んだ方が高かった (表8, 図7). なお, 測定日間のHRについては, 本調査では有意差が認められなかった (表8).

STにおける間歇泳セット間の差についてみると, LAT2-Day6では第3セットと第4セット ( $p < 0.01$ ) および第4セットと第5セットとの間 ( $p < 0.01$ ), LAT2-Day15では第3セット

と第4セットとの間 ( $p < 0.01$ ), MAT-Day7では第2セットと第3セット ( $p < 0.05$ ) および第3セットと第4セットとの間 ( $p < 0.05$ ), MAT-Day16では第4セットと第5セットとの間 ( $p < 0.05$ ) にそれぞれ有意な差がみられ, 何れもセットが進んだ方が短かった (表8, 図7). 一方, 測定日間の差については, 第2セットにおいて, LAT2-Day6およびLAT2-Day15よりもMAT-Day7で有意 ( $p < 0.05$ および $p < 0.01$ ) に短いSTが, また, 第4セットにおいて, MAT-Day7よりもMAT-Day16で有意 ( $p < 0.05$ ) に長いSTが示されていた (表8).

図8には, 調査2で行われたILCTから導出された $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ が示されている. 何れの測定日においても $V_{2.5}$ より $V_{4.0}$ が有意 ( $p < 0.01$ ) に大きかった (表8, 図8). 一方,  $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ における測定日間の差については, MATで得られた値がLAT2のそれらよりも顕著に低く示される傾向にあった. すなわち, MAT-Day7では,  $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ の何れも, LAT2-Day6およびLAT2-Day15に得られた値に比して有意 ( $p < 0.01$ ) に低い値が示された (表8, 図8). 一方, MAT-Day16では,  $V_{2.5}$ についてはLAT2-Day6に対してのみ, また,  $V_{4.0}$ についてはLAT2-Day6およびLAT2-Day15の双方に対して有意 ( $p < 0.05$ ) に低い値が示されていた (表8, 図8). なお, LAT2-Day6とLAT2-Day15の間では,  $V_{2.5}$ ,  $V_{4.0}$ の何れについてもほぼ同様の値が示されていた (表8, 図8). また, MAT-Day7とMAT-Day16との間についてみると, 何れの値も16日目で7日目よりも高い値が示される傾向にあったが, 有意差は認められなかった (表8, 図8).

図9は, 調査2で行われたILCTから導出された $ST@V_{2.5}$ および $ST@V_{4.0}$ を示したものである. 両変数間の差については, 何れの測定日においても $ST@V_{2.5}$ より $ST@V_{4.0}$ が有意 ( $p < 0.01$ ) に短かった (表8, 図9). 一方, これらの変数の測定日間の差については, MAT-Day7にお

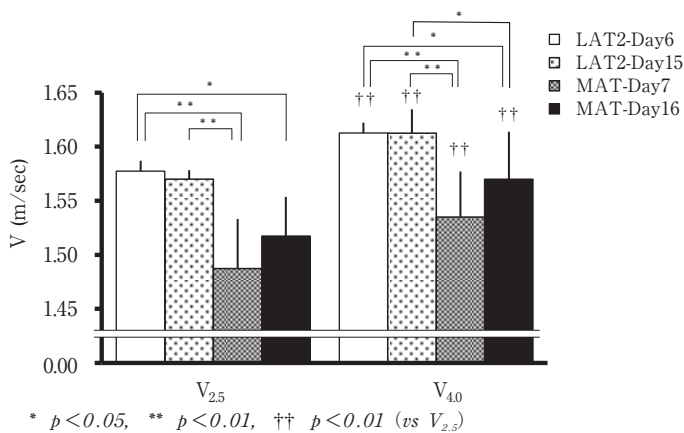


図8 準高地 (2012年) および高地トレーニング (2013年) における $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ の変動

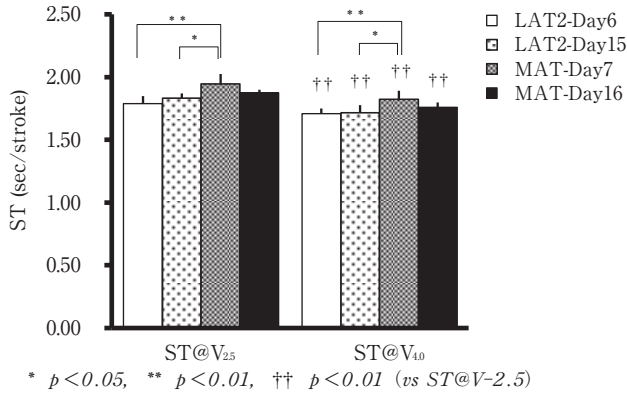


図9 準高地（2012年）および高地トレーニング（2013年）におけるV<sub>25</sub>出現時のST（ST@V<sub>25</sub>）およびV<sub>40</sub>出現時のST（ST@V<sub>40</sub>）の変動  
 \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , ††  $p < 0.01$  (vs ST@V-2.5)

いて、両変数とも、LAT2-Day6およびLAT2-Day15の双方と比べて有意に高い値が示されていた（表8，図9）。

### 3-2-2 LAT2およびMATにおける安静時の動脈血酸素飽和度

表9は、調査2において実施されたSpO<sub>2</sub>およびPR，さらにはSpO<sub>2</sub>/PRの測定から得られた

表9 準高地（2012年）および高地トレーニング（2013年）におけるSpO<sub>2</sub>，PRおよびSpO<sub>2</sub>/PRの変動

	Pre	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 8	Day 9	
SpO <sub>2</sub> (%)	LAT2	97.75±0.39	96.50±1.00**	95.25±0.39**	95.50±0.77**	95.75±0.97**	95.75±0.74**	95.75±0.39**	96.00±1.10**
	MAT	97.50±0.45	93.00±0.89**	93.50±1.00**	94.50±0.45**	94.25±0.39**	94.75±0.74**	94.25±0.39**	94.50±0.45**
PR (beats/min)	LAT2	56.25±2.71	53.00±6.26	56.75±3.06	53.25±5.38	52.75±6.24	55.75±7.41	54.50±7.11	55.00±3.90
	MAT	58.00±6.07	55.50±10.78	57.25±7.36	53.25±4.53	50.50±3.71	54.75±5.45	54.50±5.88	54.50±2.57
SpO <sub>2</sub> /PR	LAT2	1.74±0.08	1.85±0.22	1.68±0.09	1.81±0.17	1.84±0.19	1.76±0.23	1.79±0.22	1.76±0.12
	MAT	1.70±0.17	1.74±0.28	1.66±0.18	1.79±0.13	1.88±0.14	1.75±0.17	1.76±0.19	1.74±0.09

	Day 11	Day 13	Day 16	Day 17	Day 19	Day 21	Day 23	Day 25
SpO <sub>2</sub> (%)	LAT2	96.00±0.63**	96.00±0.63**	96.00±0.00**	96.00±1.26**	96.00±0.63**	96.25±0.39**	
	MAT	94.75±0.39**	94.75±0.97**	95.00±0.00*	95.25±0.39*	95.00±0.63*	94.50±1.00**	95.00±0.89*
PR (beats/min)	LAT2	54.25±5.15	53.50±4.58	56.75±4.44	57.50±10.84	56.75±8.52	54.75±6.55	
	MAT	61.50±3.13	56.75±4.79	52.00±5.18	56.00±6.23	58.50±2.05	53.00±2.61	54.50±4.22
SpO <sub>2</sub> /PR	LAT2	1.79±0.18	1.81±0.16	1.70±0.14	1.74±0.30	1.74±0.26	1.79±0.22	
	MAT	1.55±0.08	1.68±0.14	1.85±0.21	1.73±0.21	1.63±0.05	1.79±0.11	1.76±0.12

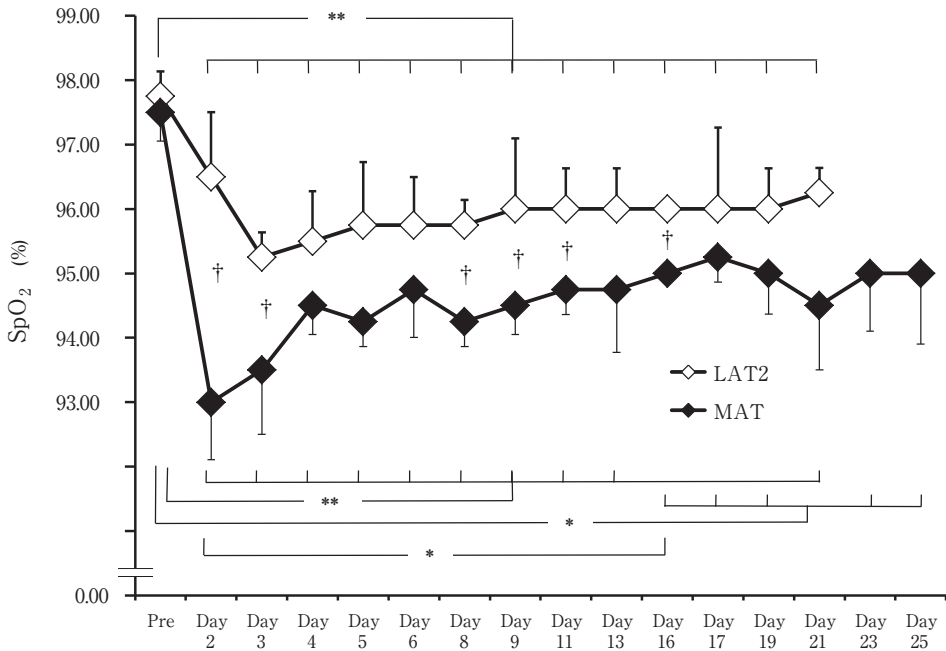
Values are means ± SD. SpO<sub>2</sub> = percutaneous oxygen LATuration, PR = pulse rate

\*\* indicates significant difference from Pre ( $p < 0.01$ )

\* indicates significant difference from Day2 ( $p < 0.05$ )

† indicates significant difference between LAT2 and MAT ( $p < 0.05$ )

†† indicates significant difference between LAT2 and MAT ( $p < 0.01$ )



\* indicates significant difference among days ( $p < 0.05$ )  
 \*\* indicates significant difference among days ( $p < 0.01$ )  
 † indicates significant difference between altitude ( $p < 0.05$ )

図10 準高地 (2012年) および高地トレーニング (2013年) における安静時 SpO<sub>2</sub> の変動

結果を一括したものである。また、そのうち SpO<sub>2</sub> の変動についてのみ、図10に図示した。

LAT2期間中に記録された SpO<sub>2</sub> については、測定日間で変化が小さくほぼ同様の値が示され、これらの値は、LAT2開始2日前に測定された値に比して、何れも有意 ( $p < 0.01$ ) に低かった (表9, 図10)。MAT 期間中は、何れの測定日においても、その2日前に常圧常酸素環境で測定された値に比して有意 (第2~13日および第21日;  $p < 0.01$ , 第16, 17, 19, 23および24日;  $p < 0.01$ ) に低い SpO<sub>2</sub> が示されていた (表9, 図10)。MAT 期間中の SpO<sub>2</sub> の変動は比較的大きく、顕著に低い値が示された第2日から徐々に高まって行く傾向が示された。この点、第17日の SpO<sub>2</sub> は、MAT 期間中の最低値であった2日目の値に比して有意に高かった (表9, 図10)。

他方、SpO<sub>2</sub> における低圧低酸素環境間の差については、全体的に MAT において低値が示される傾向にあった。このうち、合宿開始から2日, 3日, 8日, 9日, 11日および16日経過時には、有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた (表9, 図10)。

PR および SpO<sub>2</sub>/PR における低圧低酸素合宿期間中の変動については、両変数で同様の傾向が示された。すなわち、PR および SpO<sub>2</sub>/PR については、合宿期間中のみならず、合宿開始前

の値についても合宿期間中と同様の値が示されていた(表9)。また、これらの変数における低圧低酸素環境間の差異については、合宿開始から13日経過時のみ、LAT2とMAT間で有意な差がみられた(表9)。

#### 4. 考 察

本研究の目的は、競技歴が長く、かつ、競技レベルが高い一流競泳選手を対象として実施された準高地・高地トレーニング合宿において、計画的に実施された乳酸カーブテストから得られたデータを分析することで、競泳選手の低圧低酸素トレーニングにおけるトレーニングプログラム立案に資する情報を提供することであった。すなわち、まず、海拔高度1365mの準高地トレーニング合宿時に、乳酸カーブテストによって得られたデータが、当該合宿前から合宿期間中にかけてどのように変動するか、検討を行うことで、準高地トレーニング時の馴化期の設定期間や運動強度の高いトレーニングの開始時期に関する考察を行った。次に、海拔高度がより高い、いわゆる高地トレーニングにおける馴化期の設定期間について、海拔高度1950mの高地トレーニング合宿時に実施した乳酸カーブテストのデータを準高地トレーニング時のそれらと比較することで、検討を加えた。

##### 4-1 準高地トレーニングにおける乳酸カーブテストの結果からみたトレーニング処方

本研究で採用したインターバルトレーニング形式の乳酸カーブテストでは、泳速度の微調整を試技毎に行えるため、予め指定した泳速度で泳ぐことが容易だといえる。実際、ILCT時のセット毎の平均泳速度( $V$ )は、最大下運動である第1セットから第4セットまで、測定日間ではほぼ同一の値であった(表6、図3)。このようなILCTから導き出された $V_{4.0}$ は、OBLAに相当する泳速度を、また、 $V_{2.5}$ はLTに相当する泳速度を示すものであり<sup>6)</sup>、泳能力、とりわけ持久的泳能力の指標として取り扱うことが可能である。つまり、 $V_{4.0}$ および $V_{2.5}$ は、われわれが使用しているトレーニングカテゴリー<sup>6)</sup>のそれぞれEN2およびEN1'に相当する速度といえる。高地トレーニング初期の馴化期においては、トレーニングの量や質を抑える必要がある<sup>4, 11, 20, 21)</sup>ため、 $V_{4.0}$ および $V_{2.5}$ を把握しておくことは、トレーニング強度を指定するための目安として極めて有効であると考ええる。

準高地トレーニング合宿開始から3日後に行ったILCT時の $V_{4.0}$ および $V_{2.5}$ は、平地準備期の値に比べて低値を示す傾向にあったものの、有意差は認められなかった(表6、図4)。このときの $ST@V_{4.0}$ および $ST@V_{2.5}$ をみると、平地に比較して僅かに高ピッチで泳いでいた傾向にあ



ったが、Pre-LAT1時とLAT1-Day3時との間に有意な差はみられなかった（表6, 図5）。また、準高地トレーニング開始から7日後以降では、これらの変数は何れも平地準備期とほぼ同様の水準に回復していた（表6, 図4, 図5）。以上の結果は、今回採用した準高地環境であれば、合宿開始から3日経過時には、OBLA強度までのトレーニングを平地と同水準で実施することができる可能性を示唆するものである。

しかし、1セット毎の生理学的変数の差異を細かくみると、Laについては、第4セットの値が、LAT1-Day3においてのみ有意に高く示されていた（表6）。ILCTの第4セットでは、予備実験から導出された平地におけるOBLA相当の泳速度で泳ぐことを指示していた。実際、第4セット終了後のLaは、LAT1-Day3を除くすべての測定日において、ほぼOBLAとみなすことができる値であった（表6）。これに対しLAT1-Day3におけるLaは、明らかにOBLAを越える運動強度（ $6.06 \pm 1.57 \text{ mmol/L}$ ）になっていた（表6）。これらの結果から、準高地トレーニング開始3日後に平地の乳酸カーブテストから導出されたOBLA相当の運動強度でトレーニングを行う場合には、意図しているよりも身体に与える負荷が高くなってしまふ点に注意が必要であろう。さらに、第4セット時のSTをみると、LAT1-Day3において他の測定日より有意に低い値が示されており（表6）、低圧低酸素環境下で指定された泳速度でのトレーニングを完遂するために、泳ぎのテンポを通常よりも高めていた。この点、最大乳酸定常値を超える泳速度で泳ぐと、ストローク長は有意に低下することが報告されている<sup>1)</sup>。LAT1-Day3では、第4セットの泳速度が明らかにOBLAを超える運動強度となっており、先行研究と同様にストローク長を維持することができなくなり、泳速度を維持するためには泳ぎのテンポを通常よりも高める必要が生じたと考えられる。これらの結果から、高地トレーニング初期には、泳速度が高くなると、平地とストロークメカニクスが異なってしまう可能性があることを考慮に入れてトレーニングを行う必要がある。

エリートレベルの競泳選手を対象とした準高地トレーニングに関する先行研究<sup>7)</sup>では、海拔1280mの低圧低酸素曝露から3日経過時に、平地でLaが $5.0 \text{ mmol/L}$ となるような運動強度で400m泳を行わせると、Laが顕著に高い値（ $11.13 \pm 2.31 \text{ mmol/L}$ ）を示し、身体負荷が増加するとされている。また、この先行研究では、準高地トレーニング3日目における $V_{4.0}$ が平地に比べて有意に低く、さらには $V_{2.5}$ についても平地時に比して有意な低値が示されたことが報告されている<sup>7)</sup>。本研究とこの先行研究<sup>7)</sup>との間にみられる結果の差は、採用した乳酸カーブテストの方法にあると考えられる。すなわち、先行研究では400m泳を漸増泳速方式で4回実施するプロトコルであったのに対し、本研究ではトレーニングの現場で採用される頻度が高い、休息期を含む $4 \times 100 \text{ m}$ の間歇的運動を5セット実施させたことにより、血中乳酸からみた身体

負荷がやや低い水準で導出されたものと考えられる。

以上の結果および知見を考え合わせると、準高地トレーニング開始から3日経過時点のトレーニングにおいては、50mや100mといった距離単位の間歇泳を休息期の設定に留意しながらプログラミングすることで、過度な負担を身体に与えることなく、LTやOBLA等の低強度から中等度のトレーニングを平地と同じ泳速度で実施することが可能となるであろう。ただし、可能な限り、運動強度やストロークメカニクスのモニタリングを行い、意図する運動強度でトレーニングができていくか、チェックしていくことが重要となる。

次に、準高地トレーニング時の高強度のトレーニング開始時期について検討を加えた。ILCT時の最終セットは、最大努力泳で行う4×100mのインターバルトレーニングとしている。このときのVとLaのピーク値を比較することで、低圧低酸素による影響をどの程度受けているのか、推察することが可能となる。

LAT1-Day7では、第5セットにおけるVがPre-LAT1とほぼ同水準であり、La、HRおよびSTについても同様の値が示されていた(表6)。また、LAT1-Day13では、有意差は認められなかったものの、Pre-LAT1 ( $p=0.197$ ) およびLAT1-Day7 ( $p=0.248$ ) に比して僅かに高いVで間歇泳セットを行っていた(表6)。このときのLaについてみると、LAT1-Day13では、LAT1-Day7に比してやや高かった( $p=0.238$ ; 表6)ことから、準高地トレーニング開始から13日経過時では、準高地環境においてより高い運動強度で泳ぐことができるよう、適応していた可能性が考えられる。この点につき、Ogitaらは、競泳選手を対象とした低圧低酸素トレーニングの効果について検討し、より運動強度の高いトレーニングにより、最大酸素借が顕著に増加することを報告している<sup>12)</sup>。本研究では、準高地トレーニング開始から9日後から始まった第2期において、強度の高いトレーニング(EN3~AN2)の実施の割合を高めた(表3)ことにより、ILCTの最大努力泳時により高い血中乳酸が測定される水準まで力を発揮することができたのかもしれない。今後、準高地トレーニングにおける高強度トレーニングの在り方について検討するための、より詳細な資料を収集していく必要があるだろう。

#### 4-2 高地トレーニングにおける乳酸カーブテストの結果からみたトレーニング処方

本研究の調査2では、同一の対象者が、1年間の競泳トレーニングプログラムにおいて同一の時期に実施した準高地トレーニング(海拔1365m:2012年)と高地トレーニング(海拔1950m:2013年)時のILCTの結果を比較した。合宿の実施時期は1年異なっていたものの、それぞれの低圧低酸素トレーニング合宿前の平地鍛錬期に実施した乳酸カーブテストの結果(未発表資料)を比べると、 $V_{4.0}$  ( $1.58 \pm 0.03\text{m/sec}$  vs.  $1.58 \pm 0.03\text{m/sec}$ ), Vのピーク値 ( $1.68 \pm 0.04\text{m/}$

sec vs.  $1.68 \pm 0.02$ m/sec) および La のピーク値 ( $11.69 \pm 2.50$  mmlol/L vs.  $11.59 \pm 1.86$  mmlol/L) に有意な差はなく、両年でほぼ同様の値を示した。そのため、同じ競技者の ILCT のデータについて、LAT2と MAT 間で比較することは有効であると考ええる。この点については、同一競技者を対象とし、異なる標高で行われた乳酸カーブテストに関する報告が皆無であることに鑑みれば、有益な資料が提供できたと考ええる。まずは、LAT2のデータについて、検討していきたい。

ILCTにおける最大下泳である第1セットから第4セットまでのVをみると、LAT2で行われた2回のテストでは、何れも同様の値が示されており、最大努力泳である第5セットについてもほぼ同水準の値が示されていた(表8, 図7)。また、LaおよびSTにおいてもLAT2-Day6とLAT2-Day15間で有意な差は認められず、さらに $V_{2.5}$ 、 $V_{4.0}$ 、 $ST@V_{2.5}$ および $ST@V_{4.0}$ といった泳能力の評価値もLAT2における測定日間で有意差はみられなかった(表8, 図8, 図9)。調査2では、準高地トレーニング開始前の測定を行ってはいないが、調査1で得られた知見に鑑みれば、LAT2開始から6日経過時には、準高地環境にほぼ完全に馴化しており、平地と同水準のトレーニングを実施することが可能になっていたと考えられる。

次に、MATにおける馴化の程度について、検討を加えていくこととする。MATで実施した2回のILCTの結果を比較してみると、第3セットおよび第4セット時のV ( $p < 0.01$ ) とLa ( $p < 0.05$ ) がともに16日目で有意に低く示されていた(表8)。また、第4セットにおけるSTが、MAT-Day16において有意に高く示されていた。これらの点については、高地トレーニング7日目のILCTがこの海拔高度で行う初めてのILCTであったため、対象者が指定された泳速で泳ぐよう純粋に努めた結果、身体負荷としては顕著に高くなったと考えられる。また、16日目では7日目のテストにおける主観的なきつさの記憶が鮮明であり、ペースをやや抑えて泳いでしまった結果、指定したタイムよりも遅くなり、Laも低めに示されたのであろう。

$V_{2.5}$ 、 $V_{4.0}$ 、 $ST@V_{2.5}$ および $ST@V_{4.0}$ 等の泳能力の評価値については、MAT-Day16においてMAT-Day7よりも高い値が示される傾向にあったが、両測定日間に有意差はみられなかった(表8, 図8, 図9)。また、LAT2とMATのそれぞれにおいて、合宿開始からの日数がほぼ同じであるLAT2-Day6とMAT-Day7間の差についてみると、La(第1セット: $p < 0.05$ , 第2セット: $p < 0.01$ , 第3セット: $p < 0.01$ )、ST(第2セット: $p < 0.05$ )、 $V_{2.5}$ ( $p < 0.01$ )、 $V_{4.0}$ ( $p < 0.01$ )、 $ST@V_{2.5}$ ( $p < 0.01$ ) および $ST@V_{4.0}$ ( $p < 0.01$ ) において有意差が認められた(表8, 図8, 図9)。これらの結果は、高地環境では、準高地環境に比して、対象者に与えた低圧低酸素刺激が大きく、高地トレーニング開始から7日後の時点では、十分に馴化が進んでいなかったことを示すものである。これに対し、MAT-Day16とLAT2-Day15とを比べると、

測定日間の有意差が認められたのは  $V_{4.0}$  のみであった ( $p < 0.01$ )。これらの結果は、MAT-Day16においては、上述の泳能力の評価値が改善の傾向にあったことを示唆するものといえる。また、 $V_{2.5}$ 、 $V_{4.0}$ 、 $ST@V_{2.5}$  および  $ST@V_{4.0}$  について、MAT-Day7からMAT-Day16にかけての変動を対象者個々でみたときに、すべての対象者において、値の改善が示されていた。これらの結果から、高地トレーニング開始から16日後では、7日後に比べて馴化が進んだと判断して差し支えないと考えられる。

ただし、MATにおいて、高地トレーニング開始から16日経っても、 $V_{2.5}$  および  $V_{4.0}$  がLATに比して低い水準にあったことを考えると、EN2以下の低強度～中等度のトレーニングを行う際には、そのときの泳速度を平地よりも低く設定する必要があるだろう。この点について、MAT-Day7の  $V_{2.5}$  および  $V_{4.0}$  が、LAT2-Day6の値のそれぞれ94.3%、95.2%に、また、MAT-Day16の  $V_{2.5}$  および  $V_{4.0}$  が、LAT2-Day15の値のそれぞれ96.7%、97.4%に相当したことから考えると、海拔1900m程度の高地トレーニングにおいてEN1' (LT相当) やEN2 (OBLA相当) の間歇泳トレーニングセットを行う場合には、低圧低酸素曝露開始から1週間程度の時点では平地の95%程度、また、2週間程度の時点では平地の97%程度の泳速度設定を心がけるとよいだろう。ただし、LTやOBLA系の間歇泳トレーニングを行う場合には、血中乳酸などの客観的指標を用いて運動強度のモニタリングを行うことが極めて重要となるであろう。

次に、高地トレーニングにおける高強度のトレーニング処方について、僅かながらの考察を加えたい。この点、高地環境においては、最大努力で行う第5セットは、MAT-Day16のみでの実施となった。そのため、どの時点で高強度のトレーニングを行えるほどの馴化が起きているか、推察することが難しい。

MAT-Day16における第5セットのVは、LAT2の2回のテスト時のVと有意差はなかった。しかしながら、対象者個々でみても、4名のうち両測定日間で値がほぼ同水準であったのは1名だけで、他のメンバーについては100mにつき0.8秒から1.5秒程度、MATの方が遅いタイムとなっていた。同様に、Laも、タイムが同水準であった1名を除き、MATにおいて1.0mmol/L程度低い値が示されていた。しかしながら、このような環境で行う高強度のトレーニングは、対象者の最大酸素借<sup>12, 13, 14)</sup> や無酸素性持久力<sup>2)</sup> を著しく高める効果があるとする報告もある。本研究のように4×100mを比較的短めの休息期で構成するインターバルトレーニングではなく、運動期の距離単位をより短くしたり、あるいは休息期をより長くしたりするなど、無酸素性のエネルギー供給量がより高まるようなセットを処方することで、高強度運動に対する低圧低酸素環境ならではのトレーニング効果を得ることができるものと考えられる。今後、このような高強度あるいは超高強度のトレーニングに関する検討を進めるための資料収集に努めていきたい。

#### 4-3 準高地および高地トレーニングにおける体調の変動

まず，LAT1およびLAT2におけるSpO<sub>2</sub>の変動についてみると，低圧低酸素曝露開始とともに有意な値の低下がみられ，合宿の日数経過にともなう値の回復傾向はみられなかった（表8，図6）．また，SpO<sub>2</sub>と並んで高地トレーニング時のコンディションの推定に有益とされている起床時のPRおよびSpO<sub>2</sub>/PR<sup>16)</sup>についても，準高地合宿期間中の変動はみられなかった（表8）．LAT1およびLAT2において，体調不良者が認められず，平地帰還後も良好な体調を維持できたことを考えれば，これらの準高地トレーニングにおけるトレーニングプログラム（表4，表5）は，対象者を回復困難な過負荷状態に誘うことなく，適切な負荷を与えることに成功したと考えられる．

他方，MATについて概観すると，低圧低酸素曝露とともに有意に低下したSpO<sub>2</sub>は，最初の6日間で順調な回復を示したが，その後再び低下し，以降第17日までは緩慢な上昇傾向を示した（表9，図10）．さらに，第19日から第21日まで，SpO<sub>2</sub>は再び低下し，その後合宿終了に向けて回復していった（表9，図10）．

まず，低圧低酸素曝露から1週間程度，すなわち馴化期にみられたSpO<sub>2</sub>の日数経過にともなう回復については，この期のトレーニング量を平地鍛錬期の1/2程度とし，トレーニング頻度そのものも下げ，さらには高強度のトレーニングをできる限り避けた結果であろう（表5）．この点については，海拔高度2100mの環境で行った高地トレーニングではSpO<sub>2</sub>からみた低圧低酸素環境への適応期間が6～8日であるとした報告<sup>4)</sup>に準ずる結果であったといえる．

一方，MAT第2期のSpO<sub>2</sub>は，LAT2時に比して有意（ $p < 0.05$ ）に低くなる日が頻発した（表9，図10）．また，第11日と第13日には，起床安静時の脈拍が増加，SpO<sub>2</sub>/PRが低下しており，特に第13日には調査期間中唯一，MATとLAT2との間に有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた（表9）．MAT第2期では，すべてのトレーニングカテゴリーにおけるトレーニング量を平地鍛錬期のそれらに近づけるような内容とした（表5）．低圧低酸素環境下では，疲労回復に重要となる睡眠が充分にとれなくなる可能性が報告されている<sup>21)</sup>．この点，本研究では対象者の睡眠や体調に関する自省報告も同時に行ったが（未発表資料），これらを概観すると，第2期以降，眠りが浅く感じるとした対象者が多くみられた．したがって，疲労の兆候と捉えられるような起床時の測定変数の変動は，MAT第2期のハードなトレーニングと，海拔高度1950mという高地における軽度の睡眠障害の影響を受けたことによるものだと考えられる．

MAT第3期では，第2期よりもトレーニング量を落とし，対象者がレースペース相当の高強度のトレーニングに集中できるよう配慮し，続く第4期では，トレーニング頻度・トレーニング量をともに落とし，コンディションの回復をはかることを重視した（表4，表5）．この時

期の $SpO_2$ の変動は比較的顕著となり、低い日と高い日が対象者によって異なる日が目立つようになり、一定の傾向を把握しづらくなった(図10)。これは、第2期からの疲労の蓄積が、対象者によって異なっていたために生じた結果であると考えられる。先行研究<sup>18)</sup>においても、本研究と同様に、高地トレーニングにおける馴化、トレーニングでの疲労、主観的な体調の尺度のとらえ方が、選手によって異なっていることが報告されている。個々の選手に最適となるようなトレーニングプログラムを実施していくためには、コンディションチェックの方法や解釈の仕方について検討していくことが必要であると考えられる。

以上の結果を考え合わせると、本研究で対象とした準高地トレーニングでは、対象者の体調を比較的良好に保ちながら強化トレーニングに成功した可能性が高いが、高地トレーニングについては、高地での鍛錬期のコンディションの低下の可能性が考えられた。これらの結果から、MATで実施したトレーニングプログラムが、対象者全員にとって必ずしも最適とはいえなかったと考えられる。今後、MATと同様あるいはそれ以上の海拔高度で行う高地トレーニング時のデータ収集に努め、高地トレーニングにおけるトレーニングプログラムの在り方についてさらなる検討を行う必要がある。

## 5. ま と め

本研究では、競技歴が長く、かつ、競技レベルが高い一流競泳選手を対象とし、乳酸カーブテストから得られる泳力関連データが、準高地トレーニング合宿前から合宿期間において、どのように変動するか、検討を行った。さらに、準高地トレーニング環境で行われた乳酸カーブテストの結果と、それよりも約600m程度高い海拔高度で行われた高地トレーニング合宿時のそれとを比較し、標高の違いが高地馴化に及ぼす影響について検討するための調査を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 準高地環境であれば、合宿開始から3日経過時には、OBLA強度までのトレーニングを平地と同水準で実施することができる可能性が示唆された。
- 2) 準高地トレーニング開始から13日経過時では、準高地環境においてより高い運動強度で泳ぐことができるように適応していた可能性があることが示唆された。
- 3) 高地では、準高地でのトレーニングと比較して馴化が遅く、トレーニング開始から16日経っても、準高地よりも $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ が低い傾向にあった。
- 4) 準高地トレーニングでは体調の変動が安定しており、体調を比較的良好に維持してトレーニングできていたと考えられたが、高地トレーニングでは対象者によって体調の変動が

異なっており, 対象者全員にとって必ずしも最適なトレーニングが行えていなかった可能性が示唆された。

今後, 準高地および高地における高強度あるいは超高強度のトレーニングに関する検討を進めるとともに, 高地トレーニング時のデータ収集を継続し, 高地トレーニングにおけるトレーニングプログラムの在り方についてさらなる検討を行っていききたい。

#### 参考文献

- 1) Dekerle J., Nesi X., Lefevre T., Depretz S., Sidney M., Marchand FH., Pelayo P. (2005) Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *Int J Sports Med.* 26(1): 53-8.
- 2) 後藤一成 (2013) 高強度運動刺激がもたらすトレーニング効果, *体育の科学*, 63: 634-638.
- 3) 後藤真二・野村孝路 (2001) 準高地トレーニングが水泳中の生理的応答に及ぼす影響, *水泳水中運動科学*, 4: 25-29.
- 4) 岩原文彦 (2005) 競泳の低酸素トレーニング, *トレーニング科学*, 17: 161-166.
- 5) 川原貢 (2004) 医学的視点からみた低酸素トレーニング, *臨床スポーツ医学*, 21: 49-54.
- 6) 森谷暢・高橋雄介 (2004) 競泳トレーニングにおける乳酸の活用法, *トレーニング科学*, 15: 145-149.
- 7) 森谷暢・藤原寛康・加藤健志・今村貴幸・高橋雄介 (2005) 競泳選手における準高所トレーニングの可能性, *中央大学保健体育研究所紀要*, 23: 77-93.
- 8) 森谷暢・藤原寛康・高橋雄介 (2008) 標高1,886mで行われた28日間の高所トレーニングにおける大学男子競泳選手の泳力とコンディションの変動, *中央大学保健体育研究所紀要*, 26: 1-24.
- 9) 瀬屋光男・杉田正明・川本竜史・渡會公治・川原貢 (1999) 標高1,300mにおける水泳トレーニングが生理機能に及ぼす影響, *体力科学*, 48: 393-402.
- 10) 野村武男・下山好充 (2004) 大学水泳選手について—中国昆明での継年的トレーニング—. 浅野勝己・小林寛道編, *高所トレーニングの科学*. 杏林書院, pp.69-77.
- 11) 奥野景介 (2016) 坂井聖人, 渡辺一平の高所トレーニング②, *スイミングマガジン*, 40-12: 22-25.
- 12) Ogita F (2006) Energetics in competitive swimming and its application for training. In: Vilas-Boas, J. P., Alves, F., Marques, A. (Eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, *Pors J Sports Sci.* 6 (Suppl 2): 117-121.
- 13) 萩田太 (2012) 低酸素と酸素借. 宮村実春編, *身体運動と呼吸・循環機能*. 真興交易, pp.75-81.
- 14) 萩田太 (2013) 水泳の低酸素トレーニング, *体育の科学*, 63: 393-398.
- 15) Roels B., Hellard P., Schmitt L., Robach P., Richalet J-P., Millet G P. (2006) Is it more effective for highly trained swimmers to live and train at 1200 m than at 1850 m in terms of performance and haematological benefits?. *Br J Sports Med.* 40: 1-5.
- 16) 杉田正明 (2011) 高地トレーニング時のコンディション評価, *臨床スポーツ医学*, 28: 893-898.
- 17) Strzata M., Ostrowski A., Szyguta Z. (2011) Altitude training and its influence on physical endurance in swimmers. *J Human Kinetics.* 28: 91-105.
- 18) 立正伸・高橋雄介・森谷暢 (2007) 主観的および客観的な指標を用いた高所トレーニング時のコンディションチェック, *中央大学保健体育研究所紀要*, 25: 13-26.
- 19) Truijens M. J., Rodríguez F. A. (2011) Altitude and hypoxic training in swimming. In: Seifert

- L., Chollet D., Mujika I. (Eds.), *Swimming Science and Performance*. Hauppauge (NY), Nova Science Publishers: 393-408.
- 20) 若吉浩二 (2011) 水泳競技の高地トレーニング. 青木純一郎・川初清典・村岡功編, 高地トレーニングの実践ガイドライン. 市村出版, pp.13-27.
- 21) Wilber, R. L. (2004) *Altitude training and athletic performance*. Human Kinetics, Champaign. (高地トレーニングと競技パフォーマンス (2008) 川原貢・鈴木康弘監訳, 講談社サイエンティフィック, pp.72-73, 126-163.)