

### 3. 論文

## 登山の運動生理学・体力科学に関する調査研究

1998～1999年度 文部省登山研修所  
大学山岳部リーダー研修会における調査研究報告

※<sup>1</sup>山本正嘉, ※<sup>2</sup>大村靖夫, ※<sup>3</sup>柳澤昭夫・渡邊雄二

登山中に病気や怪我に見舞われたときにどう対処するか、といった医学的な問題については、昔から多くの研究が行われ、成果をあげてきている。これに対して、登山をより安全、快適、健康的に行うため、あるいはよりレベルの高い登山を行うために必要な、運動生理学的、体力科学的な知識の解明は立ち遅れている。

本研究は、後者に関する資料を得るために行われたものである。すなわち、1998～1999年度の2年間にわたり、大学リーダー研修会に参加した研修生、講師に協力を依頼し、できるだけ研修の妨げにならない範囲内で調査・研究を行った。以下はその主な結果である。

#### 1. 体調管理を目的とした安静時の動脈血酸素飽和度と心拍数の測定（'98春山～'99夏山：164名）

日本人は西洋人に比べて高山病にかかりやすく、2,500mくらいの高度でも重症の高山病（肺水腫など）が起こっている。したがって剣沢（約2,500m）においても、重症の高山病が起こる可能性は十分にある。そこで研修生の体調管理を目的として、毎日全員が、朝晩の安静時に、パルスオキシメーターを用いて動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）と心拍数（HR）を計測した。

表1は、その結果を示したものである。SpO<sub>2</sub>は、登山研修所（480m）で最も高い値を示し、山では高度のより高い地点で計測するほど低くなる傾向を示した。HRは、登山研修所で最も低い値を示し、山では高くなる傾向を示した。なお山

表1 大学リーダー研修会で利用される4カ所の幕営地点における、安静時の動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）と心拍数（HR）の標準値。値は平均値と標準偏差を表す（以下の表も同様）。

場 所	標高(m)	SpO <sub>2</sub> (%)	HR (拍/分)	
			晩	朝
文部省登山研修所	480	97.1±1.6	72.4±10.5	67.2±10.4
千石前進基地	1,300	96.1±2.1	76.4±13.9	73.5±13.7
前大日岳	1,780	95.4±2.2	79.6±15.0	78.4±18.1
剣沢前進基地	2,470	93.2±2.5	83.7±11.5	73.6±11.4

では、同じ場所でも①季節、②朝と晩、③その場所に滞在し始めてから何日目か、によってやや異なる値を示した（これには気温、疲労、高地への順応状況など、多くの要因が関与していると考えられる）。しかしSpO<sub>2</sub>の場合、①、②、③による差はそれほど大きくなかった（2%以内）、これらの条件を区別せず、各場所での平均値を示した。またHRに関しては、②の差だけが比較的大きかったので（最高で10拍程度）、朝と晩を別々にした平均値を示した。

体調を崩している者（特に風邪気味だと訴えた者）の中には、SpO<sub>2</sub>やHRがこれらの標準値に対し

て著しく悪い値 (SpO<sub>2</sub>は70%台~80%台前半, HRは100拍以上) を示す者がいた。これは風邪というよりも肺水腫の初期症状かもしれない。この点に関しては、今後さらに詳しい調査が必要である。

以上のことから、毎日のSpO<sub>2</sub>、HRの測定は、研修生の体調管理に有効と考えられる。また表1は、体調を評価する上での基準になると考えられる。

## 2. 登山中の生体負担度の測定 ('98夏山: 9名, '98冬山: 10名, '99春山: 8名)

登山中の生体負担度は、これまで心拍数や主観的運動強度から検討されてきたが、活動筋の代謝状況(有酸素代謝か、無酸素代謝か)の指標となる血中乳酸値の測定は、これまでほとんど行われていなかった。そこで、夏山(無雪期)、冬山(積雪期)、春山(残雪期)で、それぞれ約30kgの荷物を背負ってマイペースで登高しているときの血中乳酸値、心拍数、主観的運動強度を測定した(夏山ではSpO<sub>2</sub>も測定した)。

表2 夏山、冬山、春山で、それぞれ約30kgのザックを背負ってマイペースで登高しているときの血中乳酸値(La)、心拍数(HR)、主観的運動強度(RPE)、動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)。Laの欄に( )をつけて示した値は行動を始める前の安静値。なお、春山でのHRは、計測できなかった者が多かったので記録なしとした。

実験条件 (被験者)	La(ミリモル)	HR(拍/分)	RPE	SpO <sub>2</sub> (%)	備 考
夏 山 (男子9名)	1.89±0.93 (0.98±0.35)	150.0±5.9	13.2±1.6	86.6±1.9	雷鳥沢の夏道登山道をマイペースで登高している時に測定
冬 山 (男子10名)	2.01±0.76 (1.23±0.53)	143.3±12.1	13.5±1.7	—	前大日岳の手前にある雪見平へマイペースで登高している時に測定。山岳スキーを使用してラッセルをしている。
春 山 (男子8名)	2.65±0.48 (2.25±0.33)	—	14.1±1.6	—	雷鳥沢の残雪の斜面をマイペースで登高している時に測定。ツボ足でキックステップ登高している。

表2は、その結果を示したものである。夏山、冬山、春山を問わず、血中乳酸値は安静レベルとされる2ミリモルからほとんど上昇していなかった。また心拍数は140~150拍台、主観的運動強度は13(ややきつい)程度だった。これらは、典型的な有酸素性の運動時にみられる値である。登山者は、荷物の重さ、登山道の傾斜、雪のあるなしなどにあわせて、いつでも無意識のうちに、登高スピードを無酸素性作業閾値(AT)以下、つまり有酸素性運動の範囲に調節して歩いていることが窺える。

なお、登山中のSpO<sub>2</sub>の値は80%台を示した。このように低い値は、下界では全力運動をしたときのオールアウト時にしか出現しない。したがって2,500m程度の高所では、軽い運動をただけでも、体内はかなりの低酸素状態になるといえよう。

### 3. 論文

#### 3. 常圧低酸素室を利用した高所順応に関する研究

研修所内に新設された常圧低酸素室を用いて、次の2種類の観点から、高所順応に関する調査研究を行った。

##### (1) 低酸素室での事前滞在が剣沢の高度(2,500m)に対する順応効果をもつか

( '99春山:17名, '99夏山:17名)

1. で述べたように、剣沢の高度であっても、重症の高山病は起こりうる。その予防策の一つとして、事前に低酸素に対する順応トレーニングを行うことが考えられる。

そこで春山研修会では、低酸素室を2,500mに設定し、ここで9名が2晩の睡眠をとった。そして剣沢への入山後、安静時や睡眠時のSpO<sub>2</sub>, HRが、対照群(8名)と比べてよりよい値(SpO<sub>2</sub>はより高い値, HRはより低い値)を示すかどうかを観察した。だが、両者で有意差は認められなかった。

夏山研修会では、低酸素室を3,000mに設定して、同様の実験を行った。だが、実験群(8名)と対照群(9名)との間で、やはり有意差は認められなかった。

以上の結果から、2,500~3,000m相当の低酸素室で事前に2晩程度の睡眠をとる程度では、2,500mの高度に対する順応効果は得られないと考えられる。

この結果については、別頁に詳細な報告があるので参照されたい。

##### (2) 剣沢(2,500m)での滞在が、より高い高度(4,000m, 5,000m)に対する順応効果をもつか

( '99春山:7名, '99夏山:9名)

現在、ヒマラヤ等での登山・トレッキングが盛んだが、4,000m前後の高度で重症の高山病も多発している。これを予防するためには、事前の高所順応トレーニングが重要になる。だが、日本には4,000m以上の高所がないというジレンマがある。そこで、高度約2,500mの剣沢周辺で4泊5日間の登山をすることにより、4,000m以上の高度への順応が獲得されるかどうかを観察した。

春山研修会では、入山前と下山後に、4,000m相当の高度に設定した低酸素室に入室し、1時間の安静を保ち、このときのSpO<sub>2</sub>とHRを測定した。表3の上段にその結果を示した。下山後には、SpO<sub>2</sub>は有意な変化を示さなかったが、HRは有意に低下した。

夏山研修会では、同様の方法により、5,000m相当の高度への順応が起こるかどうかを観察した。表3の下段にその結果を示した。SpO<sub>2</sub>, HRともに登山前後

表3 研修前後で、4,000mおよび5,000m相当の常圧低酸素環境に1時間曝露したときのSpO<sub>2</sub>, HRの応答。値は1時間の平均値を表す。  
\*は0.5%水準で有意差があることを示す。

実験条件 (被験者)	測定項目 (単位)	登山前	登山後
4,000m (男子7名)	SpO <sub>2</sub> (%)	83.8±3.1	85.4±2.0
	HR(拍/分)	87.1±14.5	73.1±7.3*
5,000m (男子9名)	SpO <sub>2</sub> (%)	77.7±3.8	78.4±4.7
	HR(拍/分)	88.0±8.2	83.5±6.6

で有意な変化は見られなかった。

したがって、剣沢での数日間の滞在は、5,000mの高度への順応はもたらさないものの、4,000mの高度への順応はある程度もたらすといえよう。2,500m程度の高所ならば本州中部に比較的多く存在するので、これを上手に利用すれば、高所登山・トレッキングに出かける前の、高所順応トレーニングができるかもしれない。

#### 4. 登山中の脱水量の測定（'99春山：8名，'99夏山：10名）

現在のスポーツ界では、運動中の水分補給が重要なことは、すでに常識化している。だが登山界では、これに対する認識が遅れている。実際に登山中、脱水による熱中症の事故がいまだに後を絶たない。登山者の水分補給に対する認識が低い背景には、登山中の脱水量を調べた研究がないことにも原因があると考えられる。そこで、春山と夏山において、軽装で剣沢前進基地から剣岳本峰に日帰りの登山（ロングラン）を行った時に、どの程度の脱水が起こるかを測定した。

表4 春山と夏山における脱水量と飲水量，および体重の減少率

実験条件 (被験者)	体重 (kg)	行動時間 (時間)	脱水量			飲水量 (g)	体重の 減少率 (%)
			トータル (g)	1時間 あたり (g/時)	1時間、 体重1kg あたり (g/kg・時)		
春山 (男子8名)	63.6±6.9	10.4±0.4	3,024±523	291±52	4.6±1.0	474±293	4.1±1.0
夏山 (男子10名)	65.0±7.3	10.7±1.3	4,085±879	387±90	6.0±1.4	1,110±350	4.6±1.2

表4は、その結果を示したものである。春山では、10.4時間の行動で3.02リットルの脱水が起こったが、飲水量は0.47リットルに過ぎなかった。体重の減少率（≡脱水量）は4.1%だった。夏山では、10.7時間の行動で4.09リットルの脱水が起こったが、飲水量は1.11リットルだった。体重の減少率は4.6%だった。

体重の2%の脱水が起こっただけでも作業能力は大きく低下するとされるが、春山、夏山ともに、これを大きく上回る4%以上の脱水が観察された。熱中症を予防するためには、脱水量と等しい量の水分を補給することが望ましい。登山の性質上、このとおりに実行することは難しいとしても、もう少し積極的に水分補給をするよう指導すべきだろう。

なお脱水量を、1時間、体重1kgあたりで算出してみると、春山では4.6g、夏山では6.0gとなった。およそ5gとみなすと、体重xkgの人がy時間の登山をするとき、望ましい水分補給量を求める計算式は5xyグラムと表されることになる。

### 3. 論文

#### 5. 登山前後における体重・身体組成の測定（'99春山：32名）

登山を行うと莫大なエネルギーを消費する。その一方で食事量は、重量制限などにより普段の生活よりもむしろ少なくなることが多い。このため、長期間の登山をすると体重の減少が起こる。そこで、4泊5日間の研修の前後で、体重がどのように変化するかを測定した。また皮下脂肪厚の変化も測定し、両者の関係から身体組成の変化を推定した。

表5はその結果を示したものである。下山後、体重は有意に減少していた（-1.9kg）。また、体脂肪率（-1.9ポイント）や体脂肪量（-1.6kg）も、有意に減少していた。しかし除脂肪組織量（筋、骨などの重量）は有意な変化を示さなかった。

除脂肪組織量は低下していないので、健康的には問題はないと考えられるが、研修生の登山中のエネルギーバランスは、マイナスになっていたことがわかる。今後は、研修中のエネルギー摂取量も調査することが必要であろう。

なおこの結果は、見方を変えれば、数日間の登山が、除脂肪組織を変化させずに、体脂肪だけを選択的に減少させる効果があることを示している。これは、登山による健康増進という見地からみたときに興味深い現象である。皮下脂肪の減少を部位別に見ると、腹部の脂肪厚の低下が最も顕著だった。登山は、特に腹部の脂肪を減らすのに大きな効果を持つといえよう。

#### 6. 体力測定

（'99春山：研修生44名、講師8名）

他のスポーツ選手と比べると、登山者の体力に対する意識は一般に低く、トレーニング量も少ない。そこで、大学山岳部員がどの程度の体力を持っているかを測定した。

入山前に、研修生および講師を対象として、身長、体重、皮下脂肪厚（上腕背部、肩甲骨下部、腹部）のほか、登山に関連しそうな体力項目について測定した。測定項目の選定にあたっては、今年度から新しく施行された文部省の新体力テストも含めるように配慮した。

測定項目は、筋力（握力、背筋力、腹筋力：30秒間上体起こし）、瞬発力（垂直跳び）、敏捷性（反復横跳び）、平衡性（閉眼片足立ち）、柔軟性（新・長座体前屈）、全身持久力（シャトルラン）であった。

表6はその結果を示したものである。現時点では標準値が完備されていないため、今回得られた大

表5 研修前後での体重、体脂肪、身体組成の変化。\*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ、0.5%、0.1%、0.01%水準で有意差があることを示す。被験者は男子32名である。

測定項目（単位）		登山前	登山後
身	長(cm)	170.8±5.6	—
体	重(kg)	66.0±6.6	64.1±6.6 <sup>***</sup>
皮下脂肪厚	上腕背部(mm)	11.7±4.8	10.2±4.3 <sup>**</sup>
	肩甲骨下部(mm)	12.4±4.4	11.0±3.1 <sup>*</sup>
	腹部(mm)	13.1±5.2	9.5±4.0 <sup>***</sup>
体脂肪率(%)		15.4±3.8	13.5±2.9 <sup>***</sup>
体脂肪量(kg)		10.3±3.3	8.7±2.6 <sup>***</sup>
除脂肪組織量(kg)		55.7±4.7	55.3±4.9

学山岳部員の体力値がどの程度のレベルなのかを論ずることはできない。これは今後の課題である。なお、これまで踏み台昇降テストによって評価されてきた登山者の全身持久力が、より妥当性の高いシャトルランによって測定されたことは価値があるといえる。

今後は、登山者にとって真に有意義な体力テストを独自に開発していくことも必要と考えられる。

#### 7. アンケート調査（'98冬山～'99夏山：研修生113名、講師19名）

最近の全国的な傾向として、大学山岳部員が大きく減少し、活動内容も低調になったという指摘が多い。そこで、彼らの登山の実態を把握するために、アンケート調査を行った。

研修生、講師を対象に、登山の経験年数、登山形態、山行頻度と日数、体力に対する自覚、持病、登山中の疲労や身体の問題、下界でのトレーニング状況、登山中に起こる身体の問題等について、アンケートによる実態調査を行った。なお参考として、中高年安全登山指導者講習会で得られたデータとも比較した。

表7は、これらの結果を示したものである。さまざまな興味深い実態が読み取れる。

たとえば、大学生のトラブル発生率が高いのに対して、中高年者では発生率が少ない。山行内容（荷物の重さ等）が違うので、同一レベルでの比較はできないが、「各々が現在行っている山行の中でのトラブル発生率」というように相対化して考えてみると、大学生は自己の体力以上の山行を行っている（つまり現在行っている山行に見合った体力を持っていない）者が多いことを意味しているといえよう。

表6 研修生および講師の形態、身体組成、体力

測定項目（単位）		研修生 （男子44名）	講師 （男子8名）
年	齢(歳)	21.0±1.9	34.5±3.9
身	長(cm)	170.1±5.1	173.5±5.0
体	重(kg)	65.1±6.2	70.9±10.4
皮下脂肪厚	上腕背部(mm)	11.4±4.4	12.2±5.4
	肩甲骨下部(mm)	12.1±3.8	15.7±5.1
	腹部(mm)	12.9±4.8	15.9±3.8
体脂肪率(%)		15.2±3.4	17.2±2.9
除脂肪組織量(kg)		55.1±4.8	58.7±8.4
握力(kg)		43.9±5.4	49.8±8.6
体重あたり(kg/kg)		0.68±0.09	0.70±0.08
背筋力(kg)		124.7±17.2	143.0±20.0
体重あたり(kg/kg)		1.92±0.25	1.88±0.00
上体起こし(回)		28.3±3.8	30.9±4.4
垂直跳び(cm)		57.2±7.3	52.0±7.7
反復横跳び(cm)		53.0±5.4	51.8±4.5
閉眼片足立ち(秒)		66.5±43.5	81.3±53.7
新・長座体前屈(cm)		47.1±6.4	50.3±7.2
シャトルラン(回)		93.6±12.6	93.4±15.6

### 3. 論文

表7 大学生, 中高年者, 講師を対象としたアンケート調査結果。大学生は113名, 講師は19名で全て男性である。中高年者は65名で, うち54名が男性, 11名が女性である。なお, 中高年者の中には登山の未経験者が数名いたが, その回答は除外した。

	研修生	(中高年)	(講師)
ア 年齢	20.9歳	(55.4歳)	(38.5歳)
身長	171.5cm	(164.6cm)	(172.7cm)
体重	63.9kg	(63.0kg)	(65.4kg)
イ 登山を始めてからの年数	3.1年	(30.5年)	(20.8年)
ウ 現在行っている登山形態 (複数回答)			
1 ハイキング・軽登山	69.0%	(81.5%)	(63.2%)
2 無雪期縦走	85.8%	(72.3%)	(73.7%)
3 雪山縦走	59.3%	(40.0%)	(84.2%)
4 山スキー	32.7%	(24.6%)	(78.9%)
5 沢登り	34.5%	(43.1%)	(57.9%)
6 伝統的なロッククライミング	33.6%	(24.6%)	(84.2%)
7 フリークライミング	34.5%	(13.8%)	(78.9%)
8 アイスクライミング	6.2%	(10.8%)	(73.7%)
9 雪山のミックス壁クライミング	6.2%	(4.6%)	(78.9%)
10 海外でのトレッキング	0.9%	(18.5%)	(42.1%)
11 海外での高所登山	0.9%	(13.8%)	(57.9%)
12 その他	6.2%	(3.1%)	(15.8%)
エ 山行頻度			
1 毎週1回以上	10.6%	(12.3%)	(57.9%)
2 2週間に1回程度	27.4%	(32.3%)	(21.1%)
3 3週間に1回程度	15.0%	(15.4%)	(10.5%)
4 1ヶ月に1回程度	33.6%	(21.5%)	(5.3%)
5 2ヶ月に1回程度	8.0%	(6.2%)	(5.3%)
6 半年に1~2回程度	1.8%	(3.1%)	(0.0%)
7 1年に1~2回程度	0.0%	(6.2%)	(0.0%)
8 その他	2.7%	(0.0%)	(0.0%)
オ 1年間の山行日数	46.5日	(34.5日)	(125日)
カ 現在の自分の体力に対して, どの程度の自信があるか			
1 自信がある	0.9%	(24.6%)	(21.1%)
2 少し自信がある	26.5%	(30.8%)	(26.3%)
3 どちらともいえない	29.2%	(21.5%)	(36.8%)
4 あまり自信がない	31.9%	(16.9%)	(10.5%)
5 自信がない	8.8%	(3.1%)	(5.3%)
キ 現在, 持病を持っているか (複数回答)			
1 心臓病	0.0%	(1.5%)	(0.0%)
2 高血圧症	0.0%	(7.7%)	(0.0%)

	研修生	(中高年)	(講師)
3	低血圧症	1.8%	(1.5%) (0.0%)
4	糖尿病	0.0%	(4.6%) (0.0%)
5	胃腸病	0.0%	(1.5%) (5.3%)
6	肝臓病	0.0%	(3.1%) (0.0%)
7	白・緑内障	0.0%	(4.6%) (0.0%)
8	腰痛	8.0%	(10.8%) (26.3%)
9	ヒザ関節痛	13.3%	(13.8%) (21.1%)
10	その他	7.1%	(6.2%) (15.8%)
11	特になし	74.3%	(61.5%) (57.9%)
ク 登山をしたときにどの程度の疲労が起こるか			
1	ほとんど疲労せずいつでも快調に歩ける	1.8%	(10.8%) (21.0%)
2	多少は疲労するが行動に支障をきたすことはない	73.5%	(78.5%) (68.4%)
3	行動の支障となるような疲労がときどき起こる	19.5%	(3.1%) (10.5%)
4	ひどい疲労が毎回のように起こり行動にもしばしば支障をきたす	1.8%	(0.0%) (0.0%)
ケ 登山をしたときにしばしば悩まされるトラブル (複数回答)			
1	他の人に比べてバテやすい	17.7%	(1.5%) (0.0%)
2	登りでひどく息切れしたり肺や心臓が苦しい	17.8%	(3.1%) (5.3%)
3	脚力不足で軽快に歩けない	11.5%	(1.5%) (0.0%)
4	下りで脚がガクガクになる	18.6%	(6.2%) (0.0%)
5	ふくらはぎやふとももの筋肉がけいれんする	4.4%	(9.2%) (5.3%)
6	膝が痛む	18.6%	(18.5%) (10.5%)
7	腰が痛む	14.1%	(6.2%) (15.8%)
8	肩がこる	29.2%	(3.1%) (10.5%)
9	ザックの背負いベルトで腕がしびれる	19.5%	(4.6%) (10.5%)
10	足首をねんざしやすい	3.5%	(0.0%) (5.3%)
11	靴ずれが起こる	28.3%	(1.5%) (0.0%)
12	筋肉痛になる	13.3%	(9.2%) (5.3%)
13	顔や手がむくむ	8.8%	(4.6%) (0.0%)
14	その他	2.7%	(3.1%) (10.5%)
15	トラブルはほとんど起こらない	8.0%	(55.4%) (15.8%)
コ 下界で登山を意識した体力トレーニングや運動をしているか			
1	している	86.7%	(61.5%) (73.7%)
2	していない	12.4%	(38.5%) (26.3%)
サ 上の質問で「している」と答えた人のみ			
a	1週間に何回トレーニングをしているか	2.7回	(2.5回) (3.0回)
b	1回あたりのトレーニング時間	1.4時間	(1.4時間) (2.2時間)
シ トレーニングの内容 (複数回答)			
1	ウォーキング (歩く)	5.3%	(26.2%) (10.5%)
2	ジョギング (走る)	75.2%	(23.1%) (42.1%)
3	水泳	10.6%	(13.8%) (26.3%)



### 3. 論文

	研修生	(中高年)	(講師)
4 サイクリング(自転車)	16.8%	(15.4%)	(5.3%)
5 階段の昇降	31.9%	(9.2%)	(5.3%)
6 筋力トレーニング	54.9%	(27.7%)	(42.1%)
7 ストレッチング	31.0%	(20.0%)	(36.8%)
8 人工壁でのクライミング	7.1%	(3.1%)	(5.3%)
9 その他	21.2%	(7.7%)	(42.1%)

過去の確かな資料は残っていないものの、今日の大学山岳部員は昔の大学山岳部員に比べて、山行頻度も山行日数も減少し、またトレーニング量も減っていると指摘する人が多い。今後、体力強化について啓蒙していくことはきわめて重要なことといえよう。

(※1：鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター)

(※2：鹿屋体育大学大学院)

(※3：文部省登山研修所)