

## 高所登山と低酸素トレーニング —新しく開発された常圧低酸素室の有効性—

山本正嘉 (鹿屋体育大学・スポーツトレーニング教育研究センター)

### 1. はじめに

高所で登山やトレッキングを行う場合、4000m前後の高度に達すると運動能力は大きく低下する。またほとんどの者に急性高山病が起こり、場合によっては肺水腫や脳浮腫に発展して死亡する危険性もある。

これらの障害をもたらす最大の要因は低酸素である。したがって4000m以上の高所に行く者は、事前にこの高度、あるいはこの高度に相当する低酸素環境に対する順化トレーニングを行うことが望ましい。ところが、日本国内には4000m台の高所がないため、それをしたくてもできないというジレンマを抱えている。

最も単純で有効な解決手段は、ヒマラヤなどの現地に出かけ、4000m前後の高度で順化トレーニングをすることである。しかしこの方法は、時間の余裕に乏しい者には実施が難しい。また国内で行える方法としては、4000mに近い標高を持つ富士山に何度も登ると効果がある。しかし富士山は、遠方在住の者には利用しにくい上、冬季は危険性が高いという問題点がある。低所に設置された低酸素室を使って高所順化トレーニングを行うという発想は、このような背景から生まれてきた。

ところで低酸素室には、低圧低酸素室（低圧室）と常圧低酸素室（低酸素室）の2タイプがある。そして前者は以前から利用されてきたが、後者は開発されてから間もないため、利用実績も研究も共に少ない。そこで筆者らは、この数年間、

後者に関する研究や実践を行ってきたが、大きな可能性があることがわかった。ここではその概要を紹介する。

### 2. 低圧室と低酸素室の違い

日本では1980年代の初頭から、高山研究所の原真氏ら、および筑波大学の浅野勝己氏らが、それぞれ名古屋大学と筑波大学に設置された低圧室を利用して、高所登山のための順化トレーニングを実施し、その有効性を提唱してきた。

低圧室の長所は、自然の高所と同じ低圧の低酸素環境を再現できることである。しかしその反面、設置・運用コストが高価、安全性に細心の注意が必要、食事や用便等のための出入りが容易ではない（気圧調整が必要なため）といった多くの短所もある。このため、一般の登山者が手軽に利用できる施設として広く普及することは望めなかった。

1990年代に入るとフィンランドで、1気圧（常圧）のまま室内を低酸素状態にできる低酸素室が開発された。低酸素室の場合、気圧に関しては自然の高所を再現できない。しかし、高所が人体に与える影響のかなりの部分は低酸素によるとされるので、これを用いたトレーニングでもある程度の高所順化は得られると予想される。

またこの低酸素室は、設置・運用コストが安価、安全性が高い、出入りが容易（入室者自身で自由に出入りできる）など、従来の低圧室の欠点がほぼ全面的に解消されており、この数年、わが国でも普及しつつある。すなわち1998年には全国に先

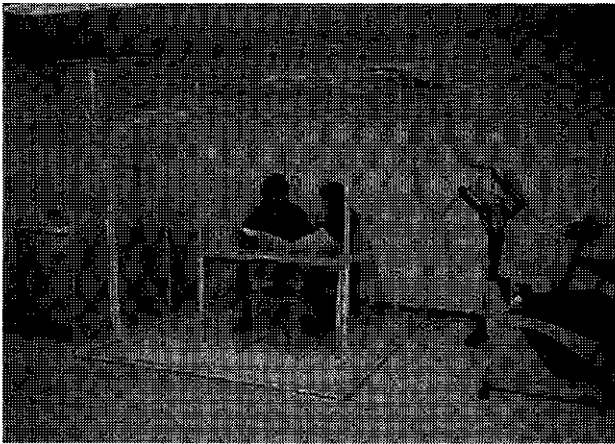


図1 ビニールテント型の簡易低酸素室。室外との気圧差がないため華奢な構造が可能である。安静時は利用者自身でジッパーを開閉し入室する。運動する時は、室内で行うと二酸化炭素が過度に上昇するため、低酸素空気をホースで室外に取り出し、マスクで吸引しながら行う(右側)。左端に見えるのが低酸素空気発生装置である。特殊な高分子膜に空気を通し、一部の酸素を取り除くことにより1気圧の低酸素空気を作り、テント内に送り込んでいる。

駆けて文部科学省登山研修所に大規模な低酸素室が設置されたのを嚆矢として、現在では登山ツアー会社や一般人向けのトレーニングジムなどでも簡易な低酸素ルーム(または低酸素テント)を設置するところが現れてきた(図1)。近い将来、この施設はさらに増え、多くの登山者が手軽に利用できるようになるだろう。

### 3. 低酸素室でのトレーニングの実際

低酸素室は開発されてから間もないため、それを利用した高所順化トレーニングの研究は少ない。そこで筆者らは、2000年からこれを用いて、4000mの高度に順化するためのトレーニング方法を模索してきた。

低酸素トレーニングを行う場合、その様態として運動、安静、睡眠の3つが想定できる。そして、それらを単独で行うだけでなく、いくつかを組み

合わせて行うことも可能である。筆者らはこれまでに、①運動+安静+睡眠、②運動+安静、③睡眠のみ、という3種類のトレーニングを行ってみた。①は時間に余裕のある人向け、②と③は社会人や学生など時間に余裕のない人が仕事や学業の合間に行うことを想定して考案したものである。その結果、いずれも1週間以内という短期間のトレーニングであるにもかかわらず、効果が得られた。

#### ① 運動+安静+睡眠によるトレーニング

図2に示したように、午前と午後にそれぞれ2~4時間ずつ低酸素室に滞在し、安静および30~60分間の軽い運動(自転車こぎまたはトレッドミル歩行)を行う。また夜間も低酸素室内で7~10時間程度の睡眠をとる。1日あたりの滞在時間は計11~18時間程度である。そして、それ以外の時間は、室外(0m)で積極的に休息をとるようにする。

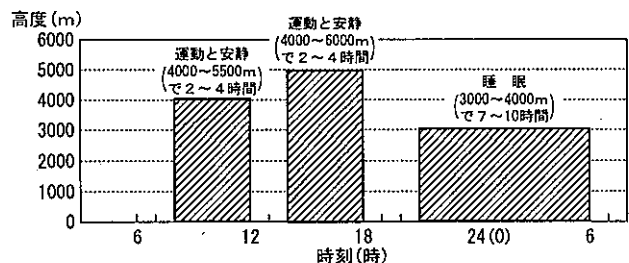


図2 1日のトレーニングスケジュール。

「sleep low, climb highの原則」に基づいて高度を設定している。トレーニングの合間に0mで積極的に休養をとることも重要なポイントの一つだが、これは低酸素室を使ったトレーニングのみに許されるメリットである。

高度の設定は、図2のように、午後>午前>夜間(睡眠時)となるように変える。これは、実際の高所登山で経験的に行われている「sleep low, climb highの原則」を考慮したものである。トレーニング期間は7日間程度とす

### 3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

るが、日数の経過にともない徐々に高度を上げていく。表1はその一例を示したものである。

表1 日数の経過に伴う設定高度の変化。  
日が続つにつれて徐々に高度を上げていく。疲労が蓄積してきた場合は、無理をせず0mで睡眠をとることが重要である。

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
午前	-	4000	4000 4800	4700	4000 5600	5500 6000	4000 6000
午後	4000	4000	4800	4700	5600	6000	-
睡眠	3000	3000	4000	0	4000	4000	-

4日目の夜は0mとなっているが、これは疲労の蓄積状況を考慮して、低所で休養をとることを意図したものである。

#### ② 運動+安静によるトレーニング

高度4000m相当に設定した低酸素室で、1日あたり1時間のトレーニングを行う。その際、前半の30分間は座位安静とし、後半の30分間は①と同様の軽い運動を行う。このトレーニングは1週間で6回行うこととし、3日間連続で行った後に1日の休養日をはさみ、その後再び3日間連続で行う。

#### ③ 睡眠のみによるトレーニング

これは夜間、低酸素室で6～8時間程度の睡眠をとるだけのトレーニングで、低酸素室内での運動は一切行わない。1週間で4～6回行うこととし、2～3日間連続でトレーニングを行った後に1日の休養日をはさみ、その後再び2～3日間連続でトレーニングする。高度は2000m～3000mから始め、馴れてきたら4000mまで上昇させる。

### 4. 低酸素トレーニングの効果

①～③のトレーニングを行うと、生理学的には安静時や運動時の動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) の上昇、運動時の心拍数の低下、高所に適した呼吸

パターン (大きくゆっくりした呼吸) の獲得といった変化が起こり、主観的には運動、安静、睡眠時のいずれにおいても楽になる。これらの反応は、実際の高所登山・トレッキング時に起こる順化反応と同じである。

筆者らの研究室では、このようなトレーニング実験を何度も行った結果、4000mの高度に対する順化効果は以下のような条件でも生じることがわかった。

- a. トレーニング高度は、最低で2000mでも効果が生じる場合がある
- b. トレーニング期間は、最短で4日間でも効果が生じる場合がある
- c. トレーニング時間は、最短で1日に1時間でも効果が生じる場合がある
- d. トレーニング様態は、運動、安静、睡眠の3つを組み合わせてもよいが、2つあるいは単独でも効果が生じる場合がある

つまり、4000m未満の高度で、比較的短期間、および短時間の低酸素トレーニングを行うだけでも、4000mの低酸素環境に対する順化は起こるのである。またa～dを見て想像できることは、効果的なトレーニング方法は①～③に紹介した方法以外にも、おそらくまだ数多くあるだろうということである。筆者の印象では、たとえば1時間のトレーニングを1回行っただけでもそれなりの効果が生じるし、またそれを何度も行うことによって、足し算のように効果が積み重ねられていくように感じている。

なお、①～③のトレーニング方法を比べてみると、最も確実に効果が得られるという意味では、運動+安静+睡眠がよいようである。しかしこの方法は、1週間程度の期間、ほぼ全日にわたって拘束されてしまうという短所がある。長期間の休

暇が必要な海外登山・トレッキングの前に、さらに1週間程度のトレーニング期間を割くことは、日中に仕事や学業を持つ者にとっては難しい。これに対して運動+安静や、睡眠のみによるトレーニングは、このような者でも取り組みやすい。したがって利用者の事情に応じて、できる範囲で選ぶとよいだろう。

## 5. ヒマラヤ等での成果

前節では実験室レベルで見たトレーニング効果について記したが、実際の高所登山時には、その効果はどのように現れるのだろうか。筆者らが関わった登山者の意見では、おおむね好評であった。

①のトレーニング法は、本格的なヒマラヤ登山隊が用いることが多かった。これまで約15の登山隊に実施したが、そのいくつかの例をあげてみる。

- a. イエティ同人隊：2000年のチョーオユー登山の前にトレーニングを行った。その結果、7名中5名が登頂に成功した。このうち3名は60歳代で、平田恒雄氏（65歳）は最高齢登頂記録を達成した。
- b. 山野井泰史氏：2000年のK2単独登頂、2002年のギャチュンカン北壁登攀の前にトレーニングを行った。いずれの場合にも、それまでの高所登山の中で最も体調がよかったと述べた。
- c. 三浦雄一郎氏：2002年のチョーオユー登山では、前記の平田氏の最高齢登頂記録を更新した（69歳）。また翌2003年のエベレスト登山でも最高齢登頂記録を更新した（70歳）。

②のトレーニング法は、おもに商業ツアー登山やトレッキングの顧客が多く利用した。これらのツアーの添乗員からは、「低酸素トレーニングを行った人はそうでない人に比べて、現地での高山病の出方が明らかに軽かった」「登頂成功率が以

前よりもアップした」といった報告が多く聞かれた。

## 6. 筆者自身で行った実験登山

前節で紹介したように、低酸素トレーニングを実施した者の多くは、現地でも効果を感じたと述べている。しかし彼らは、低酸素室でのトレーニング以外にも、日本で富士山に登ったり、現地でも改めて高所順化活動を行っている場合が多く、低酸素トレーニング自体の純粋な効果がどの程度だったのかを証明することは難しい。

そこでこの点を明らかにするために、筆者が自身で2つの実験登山を行ってみた。すなわち、日本では低酸素トレーニングだけを行い、現地ですれだけのことができるかを試そうというものである。

### ① アコンカグア(6959m)でのスピード登山 (2003年12月)

この山は、登山口となるプエンテデルインカ(2720m)から起算すると、登頂までに通常2週間程度かかる。また、これまでの日本人の最短記録を調べたところ、8日間であった。ところが筆者らは、ひどい高山病にかかることもなく、5日間（実働3日間）で登頂することができた。これは明らかに低酸素トレーニングの効果といえるだろう。

### ② キリマンジャロ(5895m)での高山病ゼロ登山 (2004年8月)

この山は、登山口となるマランゲート(1700m)から、マンダラハット(2727m)、ホロンボハット(3720m)、キボハット(4703m)に泊まって登頂することが義務づけられている。このように、1日分の行程が決められてしまう登山なので、スピード登山を目指すのではなく、この標準行程にあわせて登山をし、どれだけ「楽

### 3. 登山医学・生理学・トレーニング科学に関する調査研究

に」登れるかを試してみた。中高年登山者を対象としたツアー登山に同行し、ホロンボハットで高所順化日を1日設けて登頂した。その際、ホロンボハットに着いた直後に軽い頭痛を感じた以外は、まったく快調だった。この山では、多くの人は高山病に悩まされながら登頂するといわれているので、やはり低酸素トレーニングの効果は大きかったと考えられる。

#### 7. 低酸素トレーニングのメリットとデメリット

高所で登山やトレッキングを行う場合、これまでは現地で余分な日数を費やして順化トレーニングを行うのが普通だった。実際に高所登山家の間では、この方法は低酸素室や富士山でのトレーニングに比べてより確実に効果が得られるとする者が多い。しかしその一方で、日数がかかりすぎるという問題や、体調不良時にもすぐに低所に降りられず、さらに体調を悪化させたり体力を消耗させてしまうといった危険性もはらんでいる。

これに対して、低酸素トレーニングを行った場合には、国外で余分な日数を費やす必要がなくなるため、時間に余裕のない登山者にとっては大きなメリットがある。また体調が悪い場合にはトレーニングを中止したり、トレーニング中であってもすぐに室外に出られるので、体調を崩す危険性も小さい。

また現地で高所順化を得るためには、自分の足で山を登り下りしなければならないが、これには相当な体力が必要である。いっぽう低酸素室の場合には、スイッチ一つで室内の高度を変えられるため、その労力がいらぬ。このようなメリット

は、たとえば体力の低下している中高年登山者が、体力の消耗を最小限に抑えつつ高所順化を得たい、という時などにきわめて有効である。

ただし、メリットばかりではない。低酸素室を使った場合、低酸素に対する順化はできるが、低圧に対する順化はできない。つまり、低酸素室でトレーニングするだけでは、自然の高所に対する順化を全てカバーすることはできない、ということもよく覚えておく必要がある。

したがって今後の課題として、低酸素室でのトレーニング効果が、自然の高地に対してどのような部分でどの程度有効なのか、またどのような部分でどのような限界があるのかについて、さらに詳しく検討していく必要がある。

#### 参考文献

1. 山本正嘉：登山の運動生理学百科。東京新聞出版局，2000，pp. 199-295.
2. 日本山岳会高所登山研究委員会編：8000m峰登頂者は語る（山本正嘉：日本人8000m登頂者へのアンケート調査；体力，高所順化，高所技術に関して），日本山岳会，2002，pp. 10-11，40-59.
3. 浅野勝己，小林寛道編著：高所トレーニングの科学（山本正嘉：常圧低酸素室を利用した高所登山のためのトレーニング）。杏林書院，2004，pp. 141-151.
4. 山本正嘉：高所登山期間短縮の可能性を探る—新型低酸素室を利用したアコンカグアのスピード登山。岳人，682：142-149，2004.