

## 1994年日本バギラティ峰登山隊で観察された 努力息堪え時間 (VBHT) について

中島道郎<sup>\*1</sup>, 柳沢昭夫<sup>\*2</sup>

### 要 約

文部省登山研修所の実技講師らによる1994年日本バギラティ峰登山隊 (JMBE '94) の隊員たちは、高所における自分たちの努力息堪え時間 (VBHT) の測定結果を持ち帰った。その中の5例について集計し、筆者がこれまで繰り返し発表してきた成績と重ねて、高所におけるVBHT測定の意義について考察した。

VBHTの実測値は個人差が大きく、そのままでは比較検討出来ないので、各自の海面位におけるVBHT実測値に対する高所実測値の百分比 (息堪え時間率, VBHT-R) で集計した。

結果は筆者のこれまでの成績から予想したとおり、VBHTは、登頂前は高度上昇と共に短縮し、登頂後は一旦延長した後、後半むしろ登頂前より短縮した。これは、登頂直後までは高所に順応したのに、その後時間の経過とともに疲労衰退してきたことを意味する。

筆者はこれまで、高所における連続的VBHT値の変動は、そのまま高所順応・衰退の客観的指標たりうると主張してきた。今回の成績はその主張を補強するものである。そして、これら筆者が関係したVBHTの成績のすべてを総合すると、VBHT-Rと高度の関係は次式で求められると言えそうである。

$$\text{VBHT-R} = 94 - 0.01 \times H_m \pm 6$$

もし得られたVBHT-Rがこれより高ければ高所順応が得られたもの、低ければ高所衰退しているもの、としてよいと思われる。

### はじめに

筆者は過去3回にわたり高所におけるVBHTを観察し、その意義について考察してきた<sup>1), 2), 3)</sup>。そして、VBHTは高所では短縮するが、同じ高度に滞在するうちに、それがさらに短縮し続ける場合と、次第に回復する場合があることに気づき、前者は高所衰退を、後者は高所順応を示すものではないかと推論した。しかしそうと結論付けるには何分にも標本例数が少な過ぎる。どうかして標本例数を増やしたいものと念じていたところ、今回、文部省登山研修所の実技講師の人たちで編成されたバギラティ峰 (6,856m) 登山隊の隊員諸氏がその願いに応じてくれ、ここにまた新しい標本が得られたので、これを筆者の過去の成績に加え、もう一度総合的に高所でのVBHT測定の意義について考えてみた。

### 観察対象と実験方法

対象の隊員は9名で全員男性、年齢は26歳から54歳で平均40歳。1日2回、朝夕、テントの中で坐

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

位でしばらく安静の後、最大吸気位での努力息堪え時間を、各人の腕時計の秒針で読み取った。

測定値は個人差が大き過ぎてそのままでは集計できないので、各人の海面位での基準値に対する現地での実測値の百分比を求め、これを息堪え時間率としてこれで集計した。

$$\text{努力息堪え時間率 (VBHT-R)} = \text{現地実測値} \times 100 / \text{海面位基準値}$$

海面位基準値は、出発前に各人が自宅で繰り返し自分のVBHTを測定し、一定の値が出るようになっておくよう要請したが、実際はそれは得られなくて、帰国後数か月たった後測定したものをもってこれにあてた。

### 成績

#### 1) 隊員5名の平均値

全隊員に協力して貰ったのだが、観測の意義の理解が不十分だったらしく、結局集計に耐え得る標本の得られた5名について集計したのが〔表1〕である。測地、標高、気圧、そしてそれぞれの地点における息堪え時間率の平均を示す。ウツタルカンの測定値は、測定されたのが往路か復路か記載不十分の例があったので、一つにまとめて全平均とせざるを得なかった。登頂前、すなわち往路は、明らかに高度上昇と共にVBHT-Rは短縮しているようである。しかし登頂後、すなわち復路

表1 1994年日本バギラティ峰(6,856m)登山隊員において観察された息堪え時間率 (VBHT-R)

| Location       | Altitude<br>m | Barometric<br>Pressure<br>Atm. P. mmHg |     | Average VBHT Rate $\pm$ SD |                 |                 |
|----------------|---------------|--|-----|----------------------------|-----------------|-----------------|
|                |               |  |     | Going Up                   | Going Down      | Total Average   |
| Uttarkash      | 1,150         | 0.88                                   | 670 |                            |                 | 85.5 $\pm$ 16   |
| Gangotri       | 3,150         | 0.67                                   | 510 | 66.1 $\pm$ 17.8            | 55.5 $\pm$ 7.9  | 58.9 $\pm$ 13.0 |
| Bojibas        | 3,792         | 0.61                                   | 465 | 60.3 $\pm$ 10.4            | 58.0 $\pm$ 0.   | 59.8 $\pm$ 9.2  |
| Nangdaban (BC) | 4,340         | 0.57                                   | 435 | 50.8 $\pm$ 12.7            | 42.8 $\pm$ 13.4 | 49.4 $\pm$ 13.2 |
| A. B. C.       | 4,800         | 0.54                                   | 410 | 43.8 $\pm$ 8.0             | 47.1 $\pm$ 15.9 | 44.6 $\pm$ 10.6 |
| C. 1           | 5,300         | 0.50                                   | 380 |                            |                 | 37.5 $\pm$ 9.4  |
| C. 2           | 5,800         | 0.47                                   | 360 |                            |                 | 43.8 $\pm$ 7.0  |

往路 (Going Up) は高度上昇に従ってVBHT-Rは短縮したが、復路 (Going Down) は高度低下によって必ずしもその短縮が回復するとは限らない様子が観察される。なおUttarkash, C. 1, C. 2での測定値は、例数が往路・復路に分けて集計するには少な過ぎたので、両者の平均 (Total Average) として集計した。あくまでこれは傾向を観察しているだけで、推計学的な意味を問うところまでは行っていない。この、高度低下によって必ずしも息堪え時間短縮が回復しなかった理由は、疲労、或は衰退によるとして、説明できると思われる。

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

は必ずしも往路の逆とは限らず、標高が低いC1（第1キャンプ）の方が高いC2よりも短縮していたり、低いガンドトリの方が高いボジバスよりも短縮していたりしている。これは推計学的に有意とは言えないが、往路のような一定傾向は見られない。ということは、復路は疲労の要素が大きく作用している、と言える。もしそうでなければVBHT-Rは高度低下に応じて一様に延長の傾向を見せる筈である。

### 2) これまでの隊の測定値との比較

〔表1〕をVBHT-Rと高度ないし大気圧との関係から捉え、それとこれまで筆者が測定した過去3隊（JMEE '70, KUMREX '90, KUPSE '93）の成績を重ねて見たのが〔図1〕である。但し図を見やすくするため、標準偏差はバギラティ隊のみ適用した。それらの4カーブは隊ごとに全く異なり、重なることはないが、4隊に共通して見られるあきらかな傾向は、このカーブの傾斜が低高度（比較的高大気圧）地点では急であるが、高高度（低大気圧）地点になるに従って緩やかになる、ということである。これはこれまでの3隊でそのように指摘してた所見であるが、今回それをさらに裏付けることができた。

### 3) 努力息堪え時間率（VBHT-R）と大気圧

〔図1〕に示した観点から見ると、そこには、それぞれの遠征隊ごとに上述したような共通の傾向が存在する、と言うことは出来るとしても、各隊ごとの測定値の差が大き過ぎて、何かこれらの測定値全部を包括した一定の傾向があるかという、それを見つけることは非常に困難なように見える。

ところが、各隊ごとの一連の変化傾向として捉える観点から離れて、4隊の観測値を全部平等に図の上で眺めて見ると、〔図2〕にみられるように、すべての観測値は殆ど一直線上に並んでいることがわかる。この図からVBHT-Rと高度の関係を求めてみると、以下のごとき簡単な一次方程式になる。

$$VBHT-R \approx 94 - 0.01 \times H_m \pm 6$$

これから見ると、VBHT-Rが高度上昇と共に短縮することは極めて自然な現象で、今さら改めて測定する必要もないかと思われるが、高地での実測値がこの式よりも高ければ即ち順応を、低ければ即ち衰退を来しているものと考えてほぼ間違いない、としてよいと思われる。つまりその意味において、高地における息堪え時間測定の意義がある、と言えるのである。

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

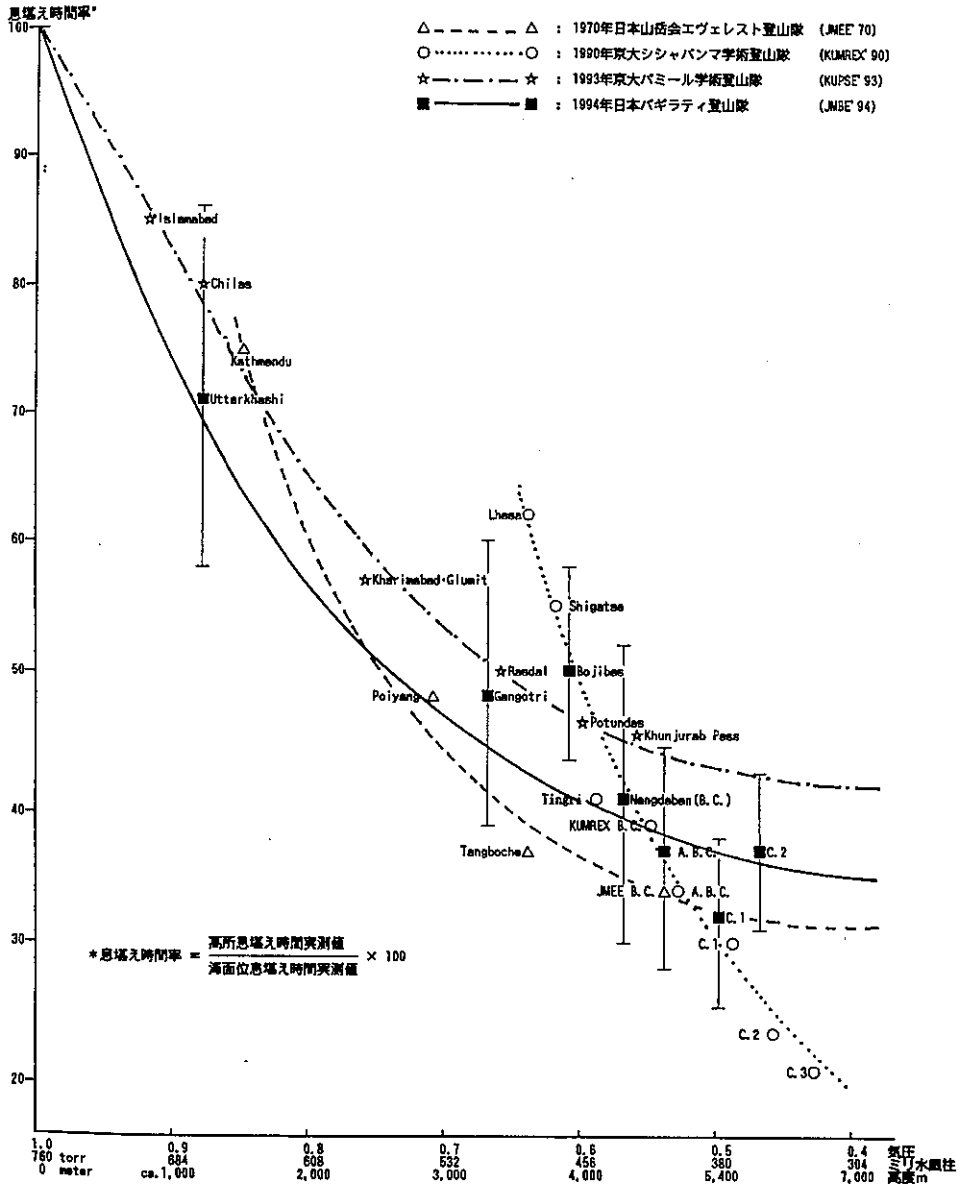


図1 高所滞在中の努力息遣え時間率 (VBHT-R) の経過と高度=大気圧の関係図

高所滞在中の努力息遣え時間率 (VBHT-R) の時間経過の様子を、大気圧との関係で観察すると、そのカーブは遠征隊ごとにそれぞれ異なり、全く一致しない。しかしこの4隊に共通して一つの傾向が観察される。それはVBHT-Rと気圧の関係を示す曲線の傾斜度が、高所に行くほど緩やかになる、ということである。それは多分高さの問題ではなく、滞在日数の問題であろう。ということはすなわち高所順応の一つの現れだと思われる。

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

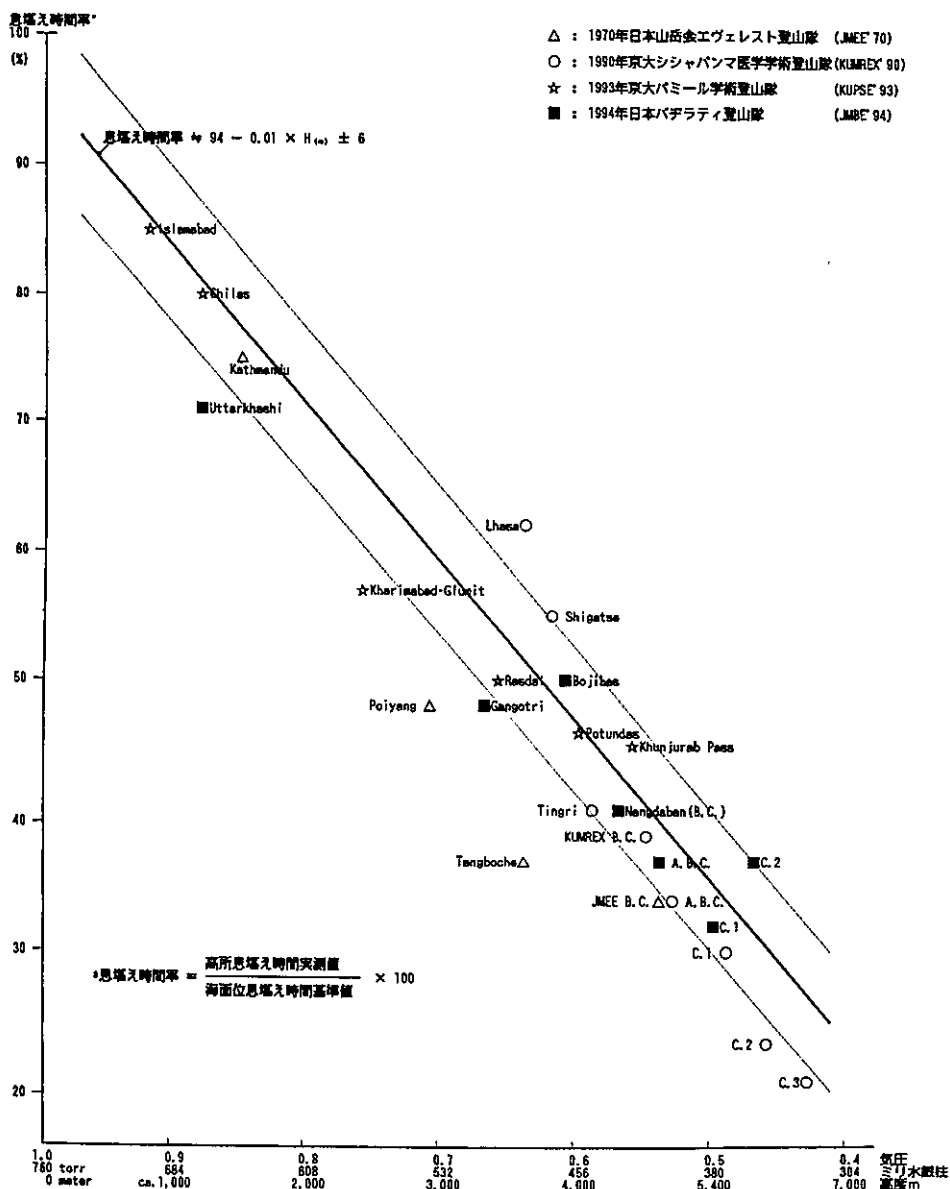


図2 努力息遣え時間率 (VBHT-R) と高度=気圧の関係図

VBHT-Rと気圧の関係図は各遠征隊ごとに異なり、全く一致することはないが、これを全体として眺めてみると、次の公式が示す範囲内に収まってしまうことが分かる。

$$VBHT-R = 94 - 0.01 \times H(m) \pm 6$$

すなわち、VBHTは高度の上昇と共に直線的に短縮することに異論の余地はない。ただその範囲内において、高所滞在が長引くと共に順応が起これ、VBHT-Rは延長傾向を示し、あるいは順応の限界を越えて衰退を来たしてしまうと、VBHTは短縮傾向を示す。それゆえ、この主線より上に散在する諸点は順応を、下に散在する諸点は衰退を表すものと見做してよいと思われる。VBHT-R測定の意義はまさにここにある。

考 按

集計には、過去3回の遠征隊にまつわる歴史的経緯から、個々の遠征隊の成績を観察するところから入ったので、[図1][図2]の順に述べたが、考按にあたってはこの順序を差替えて論じる方が良いと思われる。

まず[図2]の方であるが、こうして全体の傾向を眺めてみると、ここから、VBHT-Rと高度(大気圧)の関係は次のごとき簡単な一次方程式で表し得るのではないかと、という仮説を立ててみた。

$$VBHT-R = 94 - 0.01 \times H_m \pm 6$$

この数字自体の厳密性は、今はまだ問わないで頂きたい。多分今後標本数が増えるにつれてこの数字は修正されるであろう。しかしこの、両者の関係が一次方程式で示されるほど単純であるという観察結果は、仮説ではあるが、おそらく事実ではあるまいか。

次に[図1]に伴う仮説である。高所においてVBHT-Rが低下する現象とその機能についてはすでに考察<sup>3)</sup>し、序章に述べたとおりである。ただしその論文では、VBHT-R低下の機序の説明図がかなり未熟なまま論じられていたので、これを今回は[図3]として、改めて説明し直すことにする。す

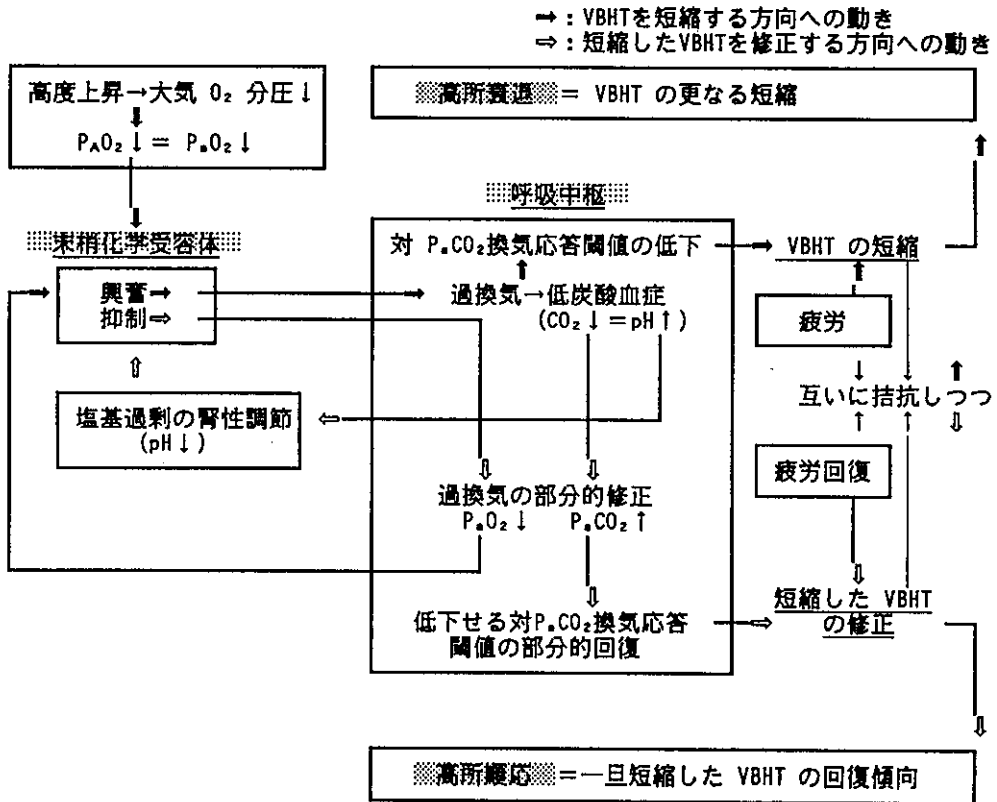


図3 高所における息遣え時間 (VBHT) の短縮とその回復の機序

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

なわち、低酸素症→過換気→PaCO<sub>2</sub>換気応答閾値低下がVBHTの短縮に連なるといふ⇒印の流れと、低炭酸血症が過換気是正を呼び起こすから、一旦低下した換気応答閾値が回復してくるといふ⇨印の流れは、ともにいづれも呼吸中枢内で制御される現象であるから、これらを『呼吸中枢』の枠の中に囲い込むことにした。また、低炭酸血症によるアルカローシスは過剰塩基を腎臓において調節する機構が働く機序を新たに挿入した。このPaCO<sub>2</sub>換気応答閾値低下に疲労が加わると、ますますこの⇒方向の傾向は強まるのに対し、PaCO<sub>2</sub>低下に由来する呼吸中枢の換気抑制からもたらされる⇨方向の換気応答閾値の回復は、腎性調節とあいまって、一旦短縮したVBHTが回復してくることが期待出来る。幸運にもその上に疲労回復が加わるといふ事態になれば、この方向の流れは加速される。換言すれば、VBHTの回復はすなわち高所順応を獲得したことを、反対に、一方的な短縮進行は、この回復機構が作動せず、高所衰退が進行していることを、裏付けるものと解釈できる。これが [図3] において著者が主張したいところの仮説である。そして、しからばこの順応・衰退を決める根拠は何かといふと、それが第一の仮説に示した一次方程式である。VBHT-Rの実測値がこの式より高ければ順応を、低ければ衰退をきたしている、と判断してよいのではなかろうか。

しかし以上二つの仮説は、何分にも標本数が少なすぎる。この点に興味をお持ちの諸氏の追試を強く要望するゆえんである。

### 結 語

1994年日本バギラティ峰登山隊の測定結果をもとに、それに過去の自験3登山隊の成績を加えて、つぎの二つの仮説を提唱する。

第一の仮説は、努力息遣え時間率 (VBHT-R) 値と高度 (大気圧) との関係は、次の一次方程式で示し得るとする仮説である。

$$VBHT-R = 94 - 0.01 \times H_m \pm 6$$

ただし、これらの数字は暫定的なものに過ぎない。

もう一つの仮説は、一連の高所滞在中に、VBHT-Rが一方的・直線的に短縮し続ける個体群と、それが一旦低下した後やがて尻上がりの回復してくる個体群との2群に分けて観察出来るが、前者は高所衰退に陥ったもの、後者は高所順応を獲得したものとしてよいという仮説で、その辺の機構を図示化し、その順応か衰退かの判断の目安を一次方程式に表した。

おおかたの追試をお願いしたい。

(本論文の要旨の一部は、95年2月、カナダ レイクルーズでのThe 9th International Hypoxia Symposiumにおいても発表した。)

### 謝 辞

本研究にあたり、ご協力頂いた1994年日本バギラティ峰登山隊の隊員諸氏に心からなる感謝の意を表す。

## 5. 高所登山と低圧環境トレーニング

### 文 献

- 1) 住吉仙也, 中島道郎, 広谷光一郎, 大森薫雄, 辰沼廣吉, 長尾悌夫: 息遣え時間, 1970年エベレスト登山隊報告書, 第2部, 日本山岳会, 東京, 33-45, 1971.
- 2) 中島道郎, 出水 明, 遠藤克明, 瀬戸嗣郎, 平田和男, 松林公蔵, 陣内陽介, 足立みなみ, 杉江知治, 菅 典道, 久保 茂, 斎藤惇生: 高所滞在と指先脈波酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) の低下, ならびに息遣え時間 (BHT) の短縮について, 登山医学12: 123-126, 1992.
- 3) 中島道郎: 高所登山における努力息遣え時間 (VBHT) の短縮について, 登山医学14: 83-92, 1994.

(※1 大阪府済生会泉尾第二病院)

(※2 文部省登山研修所)

(登山医学Vol.15より転載)