

# 高所トレッキングにおける循環動態

—中高年者のヒマラヤ登山 (4760m) の事例から—

藤岩 秀樹\*, 石尾 潤\*, 中村 貢治\*, 平松 携\*\*

## Cardiovascular Responses in High Altitude Trekking

—A Case of HIMARAYA Trekking (4760m)

on Middle and Old Aged Persons —

Hideki FUJIIWA\*, Jun ISHIO\*, Kouji NAKAMURA\*, Sugaru HIRAMATU\*\*

**Abstract:** The purpose of this study is clarifying the cardiovascular responses in high altitude trekking. The subjects of this investigation are three men of 63.7 years old on average.

The results are summarized as follows:

- 1) The SpO<sub>2</sub> during trekking of the subjects goes up relevant as altitude goes up.
- 2) The systolic blood pressure during trekking of the subjects goes up relevant as altitude goes up, while the relation between the diastolic blood pressure and the altitude was not relevant.
- 3) The altitude during trekking of the subjects and the relation of their heart rates are not relevant.
- 4) The RPP during trekking of the two subjects goes up relevant as altitude goes up, while the relation of a subject is not relevant.

**Key words:** middle and old aged persons, high altitude, trekking, cardiovascular response

### 1. はじめに

近年, わが国では中高年者の登山ブームが隆盛をみせている。里山歩きや低山登山にはじまり, 3000m 級の夏山登山から, 機会があれば海外の山に挑戦するものも少なくない。なかでも世界最高峰のエベレストが眺望できる 5000m 級のヒマラヤ登山は人気が高いという<sup>1)</sup>。

一般的に標高が 3000m を越える場合, “高所” と定義される<sup>2) 3)</sup>。高所では気圧の低下 (酸素分圧の低下) や気温の低下などによる影響が様々に及ぶことが知られている<sup>4)</sup>。とりわけ中高年者においては環境適応能力が低下しているため, 低酸素環境下における生体へ

の影響が重大な事故につながる恐れがあり, この点を考慮したトレッキングが必要となる。

我々はこれまで, 低山登山における生体機能の変化について, 心拍数, 体血圧, 血中脂質, 主観的運動強度を指標として検討を行ってきた<sup>5-8)</sup>。また最近では, 高所トレッキングにおけるそれについても検討している<sup>9) 10)</sup>。

このたび, 日本人中高年男性 3 名が標高 4760m の高所トレッキングに参加する機会に恵まれ, この際の循環動態について検討する機会を得た。本研究ではこれらの貴重な事例をもとに, 安全なトレッキングを実施するための基礎資料を得ることを目的とした。

(2004 年 11 月 30 日受理)

\*宇部工業高等専門学校 一般科体育教室

\*\*尾道大学 経済情報学部

## 2. 研究方法

### 2.1. トレッキングの場所と経路

トレッキングはネパール東部クーンブ山群で実施した。具体的な経路は、カトマンズ（飛行機）→ルクラ→ナムチェ→パンボチェ→ペルチエ→チュクン→パンボチェ→ポルチエ→クムジュン→ナムチェ→ルクラ（飛行機）→カトマンズである。

### 2.2. 被験者

被験者は58～69歳の日本人男性3名であった。被験者の特性は表1に示したとおりである。

表1. 被験者の特性

被験者	年齢 (歳)	性別	身長 (cm)	体重 (kg)
A	58	男	164	60
B	69	男	164	70
C	64	男	164	65

### 2.3. 測定項目

2.3.1. 動脈血酸素飽和度 (Saturation pulse O<sub>2</sub>; SpO<sub>2</sub>): パルスオキシメータ (ノンイン社製, オノックス Model 9500) により, 右手第2指にセンサーを装置して安定した数値を測定した。

2.3.2. 収縮期血圧 (Systolic blood pressure; SBP) および拡張期血圧 (Diastolic blood pressure; DBP), 心拍数:

表2. トレッキングの場所と測定条件

	場所	測定日	時刻	標高 (m)	気圧 (hPa)	室温 (°C)	湿度 (%)
1	日本 (関西国際空港)	7月14日	12:00	10	1013	—	—
2	カトマンズ	7月15日	8:00	1440	864	25	71
3	チュモア	7月16日	17:50	2720	732	16	85
4	チュモア	7月17日	6:10	2720	732	15	82
5	ナムチェ	7月18日	6:00	3440	680	18	72
6	ナムチェ	7月19日	6:10	3440	679	15	78
7	ブンキ・テンガ	7月20日	6:50	3250	686	15	79
8	パンボチェ	7月21日	7:00	3980	694	10	88
9	パンボチェ	7月22日	7:00	3980	626	11	88
10	ペリチエ	7月23日	7:00	4230	609	8	89
11	チュクン	7月24日	16:40	4760	575	15	67
12	チュクン	7月25日	7:30	4760	578	10	72
13	チュクン	7月26日	6:50	4760	576	10	72
14	チュクン	7月27日	7:20	4760	576	11	67
15	パンボチェ	7月28日	7:00	3900	636	12	77
16	ポルチエ	7月29日	7:50	3800	648	12	82
17	クムジュン	7月30日	7:45	3780	649	12	82
18	ナムチェ	7月31日	6:50	3440	678	14	89
19	ナムチェ	8月1日	6:30	3440	679	13	90
20	カトマンズ	8月3日	14:20	1440	828	25	80
21	カトマンズ	8月4日	6:45	1440	826	25	72
22	カトマンズ	8月5日	7:20	1440	827	25	68
23	カトマンズ	8月6日	9:15	1440	828	26	58
24	日本 (関西国際空港)	8月9日	10:00	10	1013	34	52

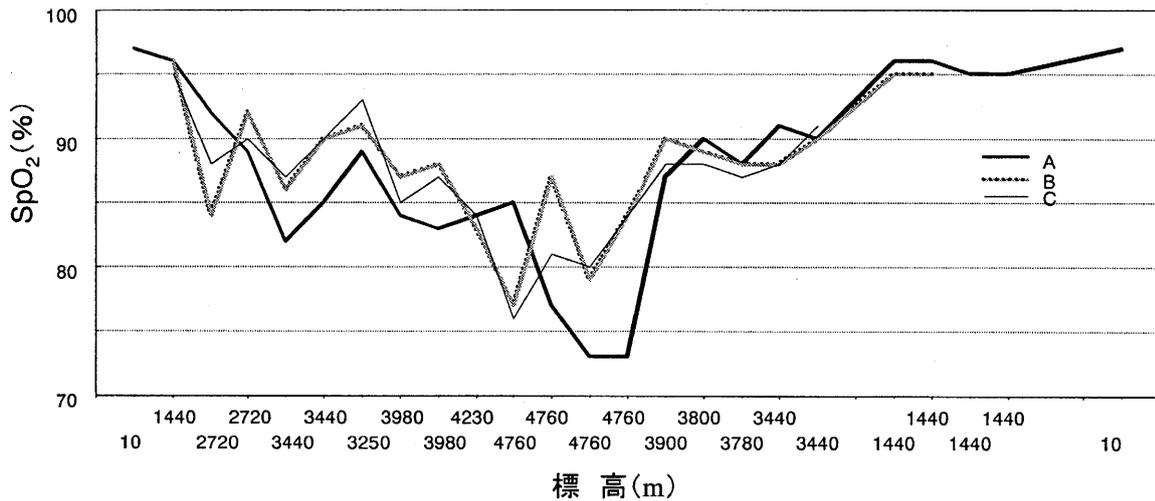


図1. 各標高における動脈血酸素飽和度の推移

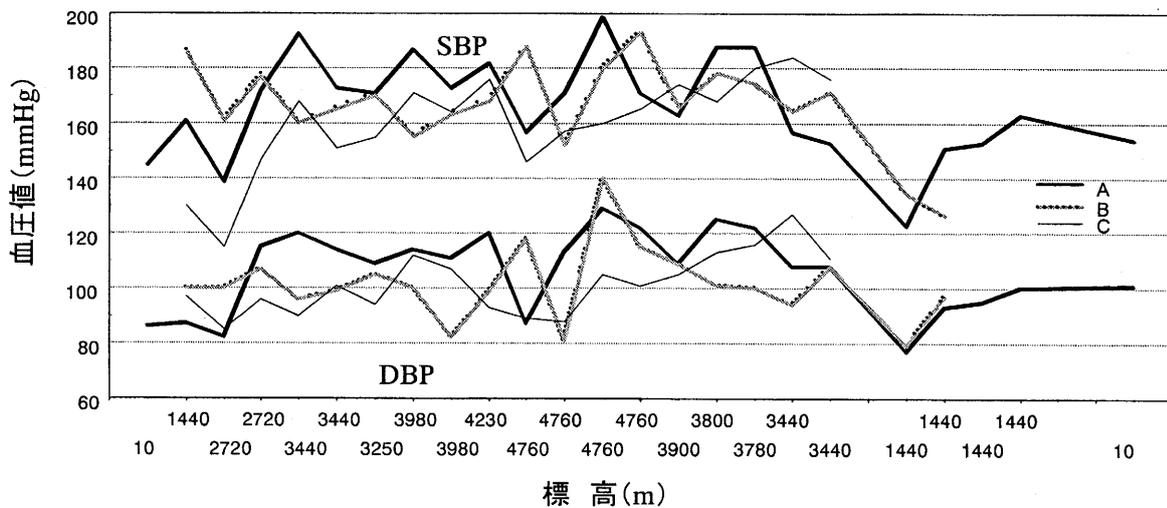


図2. 各標高における収縮期および拡張期血圧の推移

自動血圧計(オムロン社製, HEM-609 ファジィ)により, 座位で左手首に血圧計をセットし, 測定部位を心臓の高さに合わせて測定を行った。

2.3.3. ダブルプロダクト (Rate-Pressure Product ; RPP)<sup>11)</sup> :

得られた心拍数と血圧値をもとに, 心筋酸素消費量の指標となる RPP (収縮期血圧×心拍数) を算出した。

2.4. 測定場所, 標高, 気象条件

測定場所, 測定時刻, 標高, 気圧, 室内気温および室内湿度については表 2 に示した通りである。

2.5. 健康診断

被験者はすべてトレッキング前 (出国前) に健康診

断を受け, トレッキングに支障のないと診断された。また, トレッキング後 (帰国後) も異常は確認されなかった。

2.6. 統計処理

相関関係の解析に直接回帰分析を用いた。これら一連の統計解析には StatView 5.0 Windows を使用し, 分析結果の有意水準については 5% 未満の危険率で判定を行った。

3. 結果

3.1. 高所トレッキングにおける循環指標の推移

図1~4には対象者3名における各循環指標の測定結

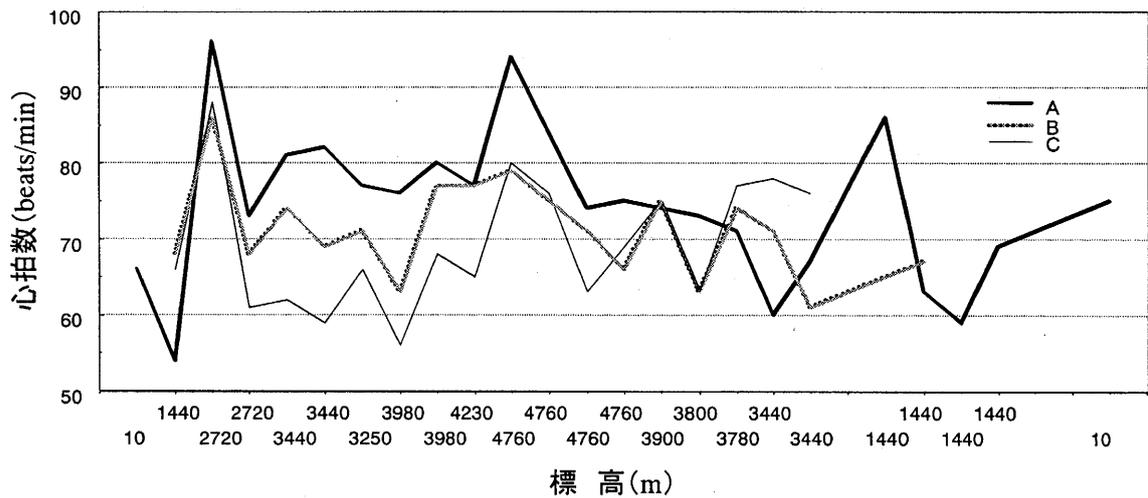


図3. 各標高における心拍数の推移

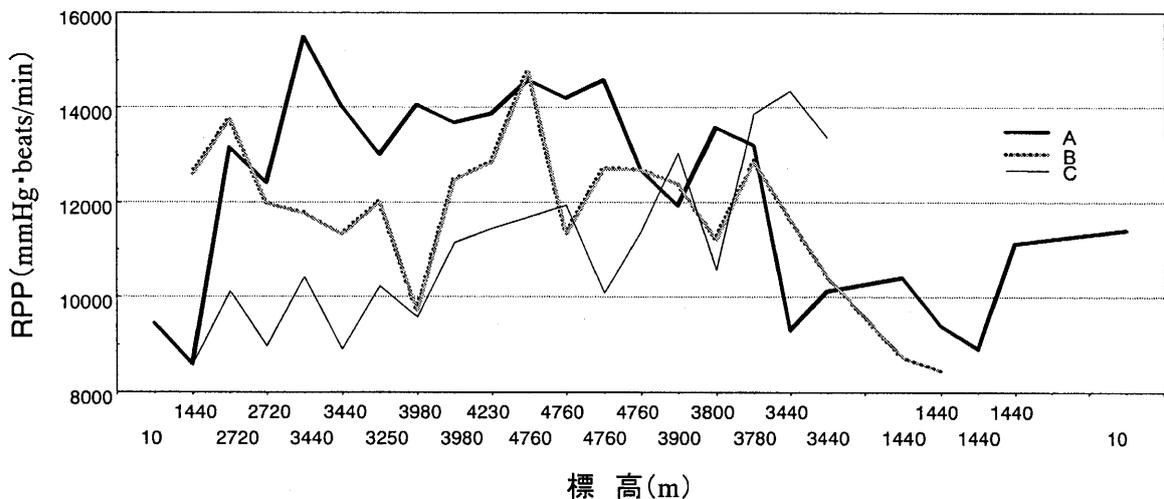


図4. 各標高におけるダブルプロダクトの推移

果について示した。

SpO<sub>2</sub>は3名とも登高に従い低下し、登頂部の4760mで73~77%と最も低値を示した後、下山につれて上昇した(図1)。

SBP/DBPは概ね登高に従い上昇し、被験者AおよびBでは登頂部の4760mで197/129mmHg, 192/115mmHgとそれぞれ最高値を示した。一方、被験者Cは下山中の3440mで184/127mmHgと最高値を示した(図2)。

心拍数では3名とも登高中の2720m時に88~96beats/minと最も高値を示し、次いで登頂部の4760mで79~94beats/minと高値を示したものの、その推移には個人差がみられた(図3)。

RPPでは被験者Aが登高中の3440m時に15471mmHg・beats/minと最も高値を示した。被験者Bで

は登頂部の4760mで14773mmHg・beats/minに、被験者Cでは下山中の3440m時に14352mmHg・beats/minと最も高値を示すなど、その推移には大きな個人差がみられた(図4)。

### 3.2. 標高と循環指標との関係

図5~8には標高と各循環指標との関係について被験者別に示した。

SpO<sub>2</sub>と標高との関係では、被験者A ( $r=0.863$ ,  $p<0.001$ ), 被験者B ( $r=0.804$ ,  $p<0.001$ ), 被験者C ( $r=0.848$ ,  $p<0.001$ )ともに強い負の相関関係を示した(図5)。

血圧と標高との関係では、SBPにおいて被験者A ( $r=0.611$ ,  $p<0.01$ ), 被験者B ( $r=0.484$ ,  $p<0.05$ ), 被験者C ( $r=0.470$ ,  $p<0.05$ )ともに中程度の正の相関関係が認められたものの(図6), DBPにおいては3

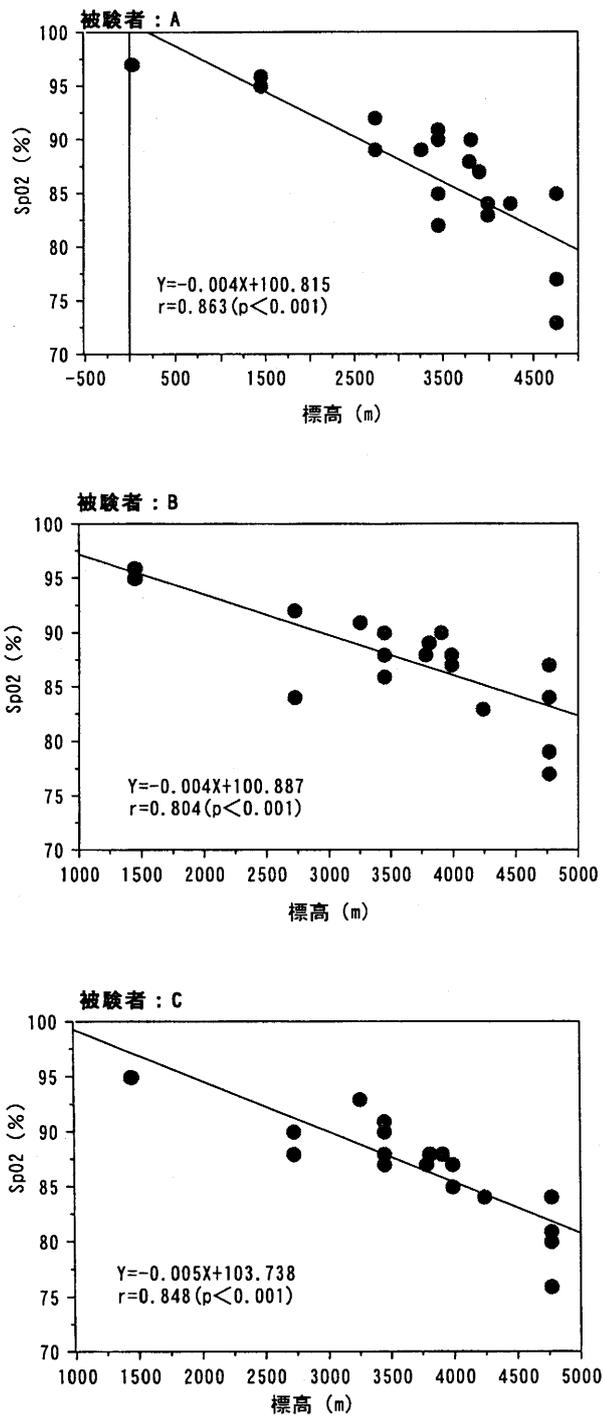


図5. 被験者別にみた標高と SpO<sub>2</sub> の関係

名とも有意な相関関係が認められなかった。  
 心拍数と標高との関係では、被験者 A, B, C ともに有意な相関関係は認められなかった (図7)。  
 RPP と標高との関係では、被験者 A ( $r=0.714, p <$

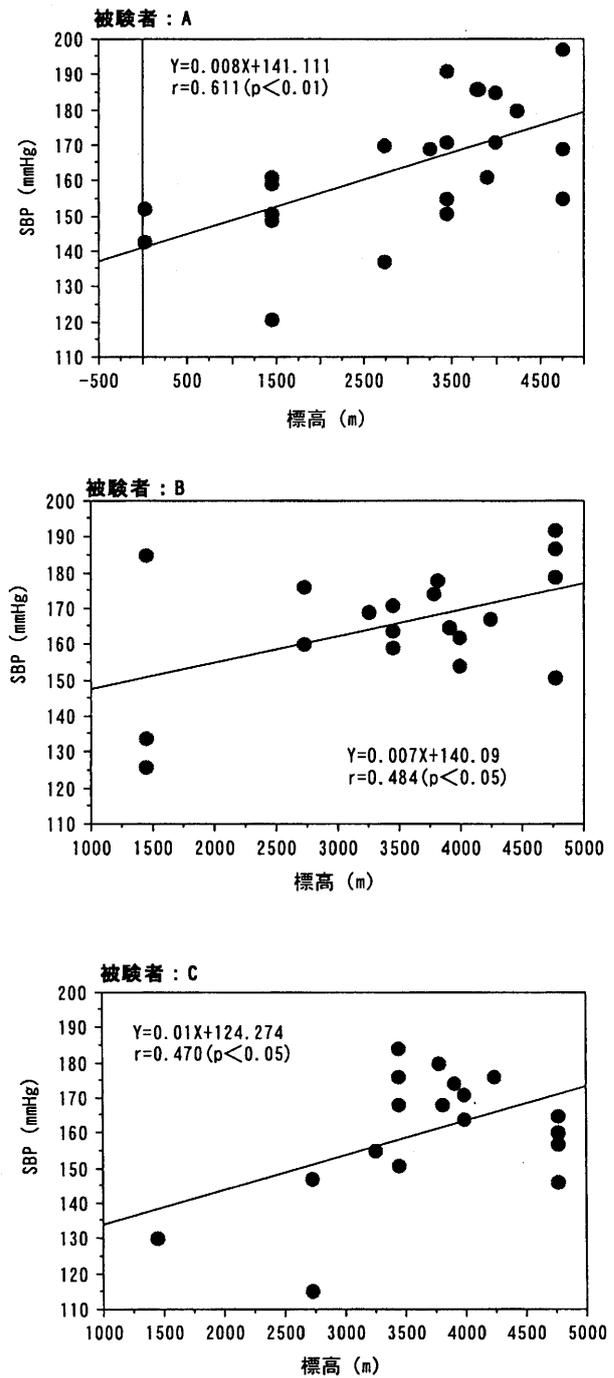


図6. 被験者別にみた標高と SBP の関係

0.001), および被験者 B ( $r=0.504, p < 0.05$ ) において中程度以上の正の相関が認められたものの、被験者 C においては有意な相関関係が認められなかった (図8)。

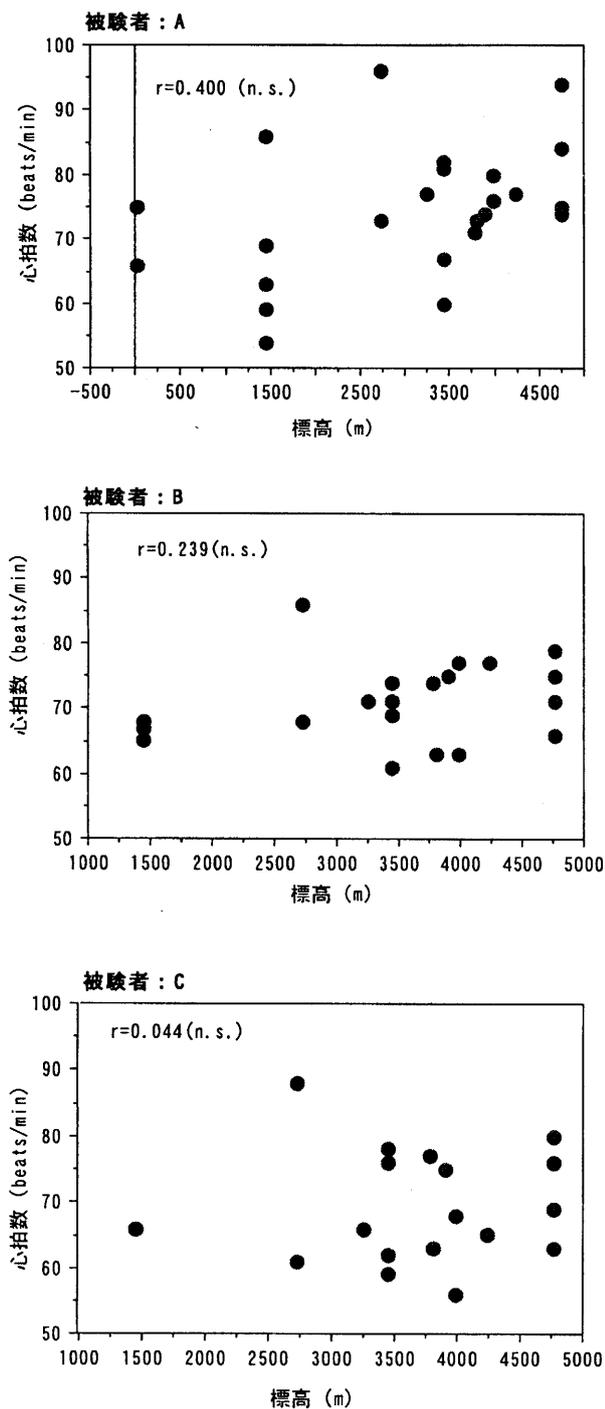


図7. 被験者別にみた標高と心拍数の関係

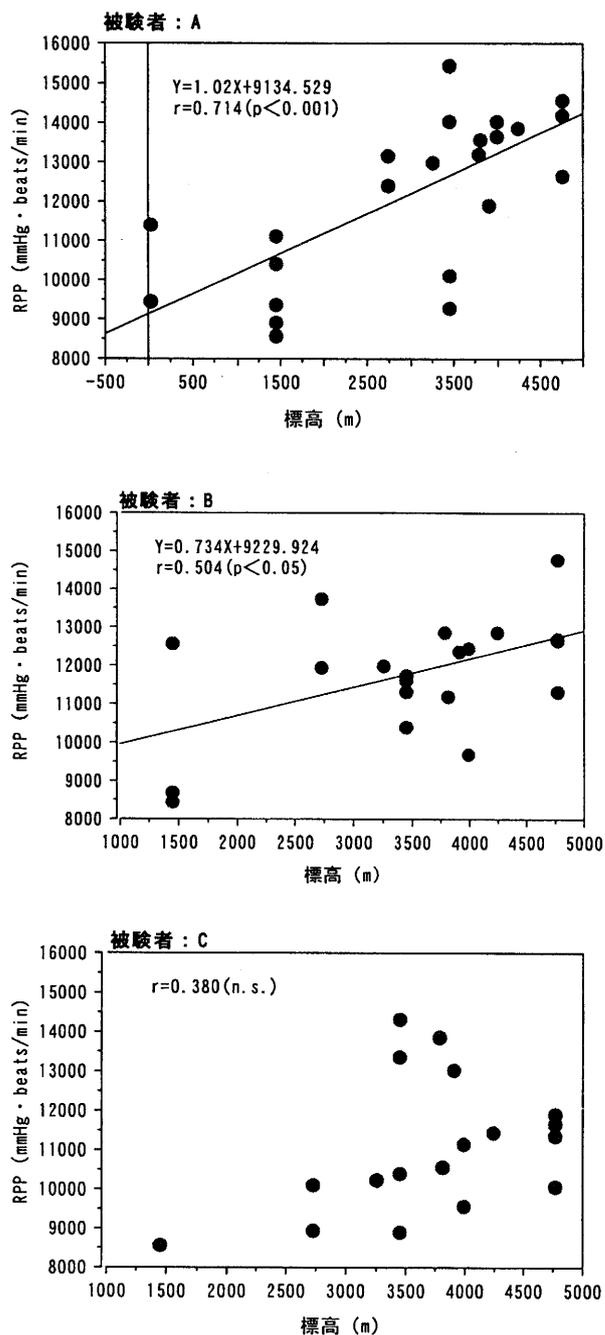


図8. 被験者別にみた標高とRPPの関係

#### 4. 考察

本研究では  $SpO_2$ , 血圧 (SBP/DBP), 心拍数, RPP の各指標を取り上げ, 高所トレッキングにおける循環動態について検討を行った。その結果,  $SpO_2$  は登高にともなって低下し, 4760m 地点では70%台にまで落ち

込んでいることが明らかになった。わが国では標高4000m 近い富士登山においても  $SpO_2$  が80%を下回ることが報告されている<sup>2) 12)</sup>。医療の世界においては  $SpO_2$  が80%台に低下しただけでも, 酸素治療室での集中治療が必要とされ, さらに50%にまで低下すれば

脳細胞に損傷が起こるとさえいわれている<sup>13)</sup>。このことから今回の高所トレッキングがいかに過酷な環境の中で行われていたのかわかる。

トレッキング中の体血圧の推移では、対象者3名のSBPのピークが184~197 mmHgと極めて高値を示した。国内の低山登山<sup>9)</sup>（標高401m）におけるSBPの推移はおよそ110~140 mmHgの範囲であり、さらに登山の開始から下山に至るまで緩やかにSBPが低下していたことなどを考えると、生体負担度は相当なものであったと推察される。

体血圧と標高との関係ではSBPにおいて正の相関関係が認められた。すなわち高所において標高が上がれば、SBPも上がるという関係である。酒井<sup>4)</sup>は高所暴露直後から数ヶ月間の体血圧は「不変」、あるいは「上昇」することを示しているが、今回の結果は「上昇」を支持するものとなった。しかしながら、このような高所トレッキング時における血圧変動に関する報告は少なく、それらの結果も一致していない<sup>4)</sup>ことから、今後対象者数を増やして慎重に検討していくことが望まれる。

ところで、心拍数やRPPの推移では、対象者3名が同様の結果を示していないことに気付く。心拍数においては、トレッキング3日目の2720m地点で急激に上昇し、3名ともピークを示している点は一致しているが、これ以後の推移は心拍数の高低に個人差がみられ、変動が様でないことがわかる。2720m地点での心拍数の急激な上昇は低酸素暴露の初期反応によるものと考えられ、βアドレナリン受容体や自律神経系の活性が関与<sup>4)</sup>しているものと推察できる。しかしながらそれ以降の心拍数の推移やRPPの推移をみると、個人差が大きく、それ自体が高所適応の一側面を示しているようにも考えられる。Montgomeryら<sup>14)</sup>は、唾液を用いて高所登山家の遺伝子（DNA）を分析したところ、優れた登山家では特定の遺伝子型を示すものが多かったことを明らかにしている。またHanaokaら<sup>15)</sup>は高地性肺水腫にかかりやすいものに特定の遺伝子型を持つものが多いことを報告している。これらのことは高所環境に適応しやすい“体質”を持つものとそうでないものがあることを示唆しており、興味深い。

本研究では比較的測定が簡易な指標を用いて循環動態について検討したが、今後例数を増やせば、このような変動パターンからも高所環境に適応しにくいタイプをつかむことができるかもしれない。このことは高所登山において多発し、死亡例なども報告されている急性高山病など高度障害の予防に何らかの示唆を与えてくれるものと考えられる。

## 5. まとめ

高所トレッキングにおける循環動態について中高年者3名の事例を検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 高所では標高が上がるにつれてSpO<sub>2</sub>が有意に低下した。4760m地点では70%台にまで落ち込んでいた。
- 2) 高所では標高が上がるにつれてSBPが有意に上昇した。そのピークは184~197 mmHgと極めて高値であった。
- 3) 高所における心拍数やRPPの推移ではその変動が一様でなく、個人差が大きかった。

以上のことから、「SpO<sub>2</sub>」や「体血圧（SBP）」は集団（グループ）トレッキングにおける行動指標として、また、「心拍数」や「RPP」は個々人の高所環境への適応指標として活用が期待できるものと考えられた。今後、例数を増やして検討したい。

## 謝辞

高所という過酷な環境の中で、被験者として調査にご協力いただいた皆様に御礼申し上げます。

## 文献

- 1) 平松 携：エベレストトレッキングの科学，登山の科学，歩行と登山の科学，道と書院，123-140，1999
- 2) 山本正嘉：低酸素とからだ，高所登山，登山の運動生理学百科，199-207，東京新聞出版社，2000
- 3) 増山 茂：高所医学概論，ヒマラヤ高所医学，登山の医学ハンドブック，松林公蔵監・日本登山医学研究会編，183-187，杏林書院，2000
- 4) 酒井秋夫：循環機能（1）—高所への適応—，高所運動生理学的基礎と応用，宮村実晴編著，109-120，NAP，2000
- 5) 藤岩秀樹，西川弘志，松木雅文，平松 携，谷岡憲三，佐賀野健，幸田三広，岡崎宏一，岩井一師：中高年者の登山における循環応答，宇部工業高等専門学校研究報告，49，151-154，2003
- 6) 松木雅文，谷岡憲三，平松 携，西川弘志，岡崎宏一，佐賀野健，村木里志，山崎昌廣：中高年者の登山時心拍応答の個人差に関する事例研究，広島商船高等専門学校紀要，21，87-92，1999
- 7) 谷岡憲三，佐賀野健，平松 携，松木雅文，西川弘志，岡崎宏一：中高年者の登山における主観的運動

- 強度と心拍数に関する事例研究, 呉工業高等専門学校 35 周年記念学術論文集, 13-17, 2000
- 8) 松木雅文, 谷岡憲三, 佐賀野健, 幸田三広, 西川弘志, 平松 携, 岡崎宏一, 藤岩秀樹: 中高年者の登山における主観的運動強度と心拍数の関係, 広島商船高等専門学校紀要, 23, 73-77, 2001
- 9) 平松 携, 岩井一師, 山崎昌廣: 高所での運動における動脈血酸素飽和度の変動, 広島体育学研究, 30, 29-35, 2004
- 10) 平松 携, 藤岩秀樹, 山崎昌廣: 高所での運動における心拍数および動脈血酸素飽和度の変動, 尾道大学経済情報論集, 4 (2), 2004 (印刷中)
- 11) 水野 康, 福田市藏編: 循環器負荷試験法 (改訂第 2 版) 理論と実際, 診断と治療社, 238, 1989
- 12) 山本正嘉: 富士山を利用した高所順応トレーニング, 登山医学, 17, 5-7, 1997
- 13) 原田道美: 呼吸不全のすべて, 12-13, 南江堂, 1981
- 14) Montgomery HE, Marshall R, Hemingway H, Myerson S, Clarkson P, Dollery C, Hayward M, Holliman DE, Jubb M, World M, Thomas EL, Brynes AE, Saeed N, Barnard M, Bell JD, Prasad K, Rayson M, Talmud PJ, Humphries SE: Human gene for physical performance, Nature, 21; 393 (6682), 221-222, 1998
- 15) Hanaoka M, Tanaka M, Ge RL, Droma Y, Ito A, Miyahara T, Koizumi T, Fujimoto K, Fujii T, Kobayashi T, Kubo K: Hypoxia-induced pulmonary blood redistribution in subjects with a history of high-altitude pulmonary edema, Circulation, 28; 101 (12), 1418-1422, 2000