

R-02-2003

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第7号

特定研究

「高原地域の環境が人の心と体に与える効果に関する研究」

平成14年度

山梨県環境科学研究所

R-02-2003

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第7号

特定研究

「高原地域の環境が人の心と体に与える効果に関する研究」

平成14年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

海拔800～1,500mの高原地域の環境は、多くの人を引きつける魅力をもっている。富士山・富士五湖地方や八ヶ岳を中心とする峡北地方など、山梨県の高原地域にも年間2,000万人近い人々が訪れている。これらの人々に、高原環境の特性をよりよく知ってもらい、高原環境の特性を活用した活動を提供することは、来訪者の保養・休養という面からも、また地域の活性化や地域の自然環境の保全という面からも重要なことである。

このように、高原環境が人の健康や活動に与える影響を明らかにすることは、山梨県の研究機関として、かつ研究所自体が高原に位置する環境科学研究所でまさに行なうべき研究テーマのひとつとして相応しいものと考え、研究所開設以来構想を練り、研究手法の蓄積を行ってきた。平成12年に山梨県商工労働観光部産業交流課から研究依頼を受けたのを機に、早速平成13年度から2年間の計画で、特定研究「高原地域の環境が人の心と身体に与える効果に関する研究」を発足させ、今回報告書をまとめることとなった。

従来から、海拔1,000m前後の高原環境は人にやさしいと言われていたが、本研究により、高原に短期間滞在したり、高原を散策することが心身へ与える効果を具体的に示すことができた。さらに運動にともなって体内で発生する活性酸素による酸化ストレスが、高原での運動では少ないという事実も明らかにすることができた。地域に根ざした研究課題で先進的な研究結果が得られたと考えている。また、研究を遂行する過程で、地域の環境を愛し大切に思う多くの県民と交流でき、県民と研究所とのネットワークが今まで以上に広がったことも成果のひとつとして挙げたい。

本研究は、特定研究という位置づけから2年間で終了したが、山梨県の環境を構成する大きな要因のひとつである高原環境と人との関わりについて、今後も研究が進められることを望む。

平成15年5月

山梨県環境科学研究所

所 長 入 来 正 躬

目 次

はじめに

I 特定研究の概要

| | | |
|-----|--------------------|---|
| I-1 | 研究テーマおよび研究期間 | 1 |
| I-2 | 研究体制 | 1 |
| I-3 | 研究目的 | 1 |
| I-4 | 研究成果の概要 | 1 |
| 1) | 高原に短期滞在する効果 | 1 |
| 2) | 高原を散策する効果 | 2 |
| 3) | 高原での運動と酸化ストレス | 4 |
| 4) | まとめ | 5 |
| I-5 | 研究資料 | 6 |
| I-6 | 研究テーマに関する研修生受け入れ状況 | 8 |
| I-7 | 謝辞 | 8 |

II 研究成果報告

| | | |
|------|-------------------|----|
| II-1 | 高原に短期滞在する効果 | |
| 1) | 目的 | 9 |
| 2) | 被験者および実験方法 | 9 |
| 3) | 実験日 | 9 |
| 4) | 測定指標 | 9 |
| 5) | 実験結果 | 9 |
| 6) | まとめ：高原への短期滞在の効果 | 10 |
| II-2 | 高原での散策の効果 | |
| 1) | 目的 | 10 |
| 2) | 被験者および実験方法 | 10 |
| 3) | 実験日 | 10 |
| 4) | 測定指標 | 10 |
| 5) | 散策路の概要 | 10 |
| 6) | 実験結果 | 11 |
| 7) | まとめ：高原での散策の効果 | 12 |
| II-3 | 高原での運動と酸化ストレス | |
| 1) | 目的 | 12 |
| 2) | 被験者および実験方法 | 12 |
| 3) | 実験日 | 12 |
| 4) | 測定項目 | 12 |
| 5) | 実験結果 | 13 |
| 6) | まとめ：高原での運動と酸化ストレス | 17 |

概 要 編

I 特定研究の概要

I－1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ名：「高原地域の環境が人の心と体に与える効果に関する研究」
(依頼元：山梨県商工労働観光部産業交流課)
研究期間：平成13年4月～平成15年3月（2年間）

I－2 研究体制

山梨県環境科学研究所
研究代表者：山梨県環境科学研究所 研究管理幹 永井正則
所内研究参加者：山梨県環境科学研究所 環境生理学研究室
非常勤嘱託 臼井 信男¹⁾
非常勤嘱託 大野 洋美²⁾
助 手 佐藤 昭子¹⁾
助 手 齋藤 順子²⁾
山梨県環境科学研究所 緑地計画学研究室
研 究 員 池口 仁
非常勤嘱託 後藤 厳寛
助 手 遠山 文子¹⁾
所外共同研究者：日本大学法学部 助 教 授 和田 万紀
山梨大学教育人間科学部 助 教 授 小山 勝弘
県立看護大学短期大学部 講 師 浅川 和美

(¹⁾ 平成13年度まで在籍、²⁾ 平成14年度より在籍)

I－3 研究目的

海拔1,000mレベルの高原の環境は、人にとって保護的であると言われている。また、高原の環境に爽快感を求める人も多く、高原における保健・休養活動も盛んに行われている。しかし、高原環境が人に与える影響を、具体的かつ科学的に示したデータはほとんどない。そこで、短期間滞在する場合、散策をする場合、さらにはかなりの強度の運動をする場合について、海拔1,000mレベルの高原の環境が、人の心と体に与える影響を明らかにすることを目指した。同時に、県内の高原地域で「集客と交流の舞台づくり」を展開することを意図している山梨県商工労働観光部産業交流課からの要請もあり、特定研究として研究を実施することとした。

I－4 研究成果の概要

1) 高原に短期滞在する効果
海拔1,000m地帯の環境は、一般に人にやさしいと言われているが、このことを科学的に示したデータはほとんどない。そこで、海拔1,000m地帯に短期間滞在することが、人の心身に与える効果について多面的な指標を用いて解析を行なった。
被験者は、山梨英和大学の健常な女子学生14名とした(年齢19～22歳)。実験場所は、低地として甲府市内の山梨英和大学構内(海拔270m)と高地として環境科学研究所構内(海拔1,050m)の2箇所とした。被験者は、低地と高地に順不同に2回ずつ計4回滞在した。1回の滞在時間は4時間で、同一被験者の滞在時間帯は4回とも同じにした。4時間の滞在時間の内、最初の2時間は安静に過ごし、激しい運動はしないこととした。安静期終了後、生理指標等の測定が行われた。実験は、平成13年10月から平成14年1月までの晴天日に行なった。
被験者の気分を心理調査用紙POMS(Profile of Mood State)を用いて調べた。被験者の不安の高低と不安感受性を心理調査用紙STAI(State-and Trait-Anxiety Inventory)を用いて調べた。生理指標として体温、血圧(収縮期圧、弛緩期圧、平均血圧)、心拍数、瞳孔の対光反射(初期瞳孔径、最大収縮時瞳孔径、縮瞳率、反応潜時、50%縮瞳時間、散瞳時定数、収縮速度、散瞳速度)、唾液分泌量、唾液中分泌型免疫グロブリンA(sIgA)を記録した。同時に、気圧と被験者が滞在した部屋の気温および相対湿度を気象条件として記録した。測定した20の指標の内、高地と低地との間に統計的有意差を認めたものを表I-1に示す。生理指標の内、瞳孔の対光反射の縮瞳速度と散瞳速度が高地と低地とで有意に異なることがわかった。心理指標では、状態不安(調査の時点で被験者が抱いている不安)に場所に依存した差が見られた。

| | 海拔 (m) | | 有意水準 |
|---------------|-----------|-----------|----------|
| | 1,050 | 270 | |
| 気圧 (hPa) | 892.7±1.1 | 978.3±0.9 | p<0.0001 |
| 温度 (℃) | 23.1±0.2 | 23.8±0.3 | p=0.0421 |
| 湿度 (%) | 52.5±0.7 | 41.6±1.3 | p<0.0001 |
| 縮瞳速度 (mm/sec) | 4.53±0.2 | 5.18±0.4 | p=0.0229 |
| 散瞳速度 (mm/sec) | 3.07±0.3 | 4.16±0.9 | p=0.0427 |
| 状態不安 | 41.0±1.5 | 4.5±2.1 | p=0.0103 |
| | (n=28) | (n=28) | |

(平均値と標準誤差、統計的有意差のあったもののみ表示)

さらに、気圧を基準変数とし、気圧以外の他の19の指標を説明変数とする重回帰分析を行なった。その結果、湿度と状態不安が気圧とよく関連することがわかった(表 I-2)。このような結果から、海拔1,000m程度の高地に4時間滞在することで不安が低下し、その理由のひとつとして低地に比べて気圧が低いことが挙げられる(図 I-1)。

表 I-2 重回帰分析の結果

| 気圧対19説明変数 (R=0.86, R ² =0.53, p=0.0024) | | |
|--|-------------|----------|
| | 標準偏回帰係数 (β) | 有意水準 (p) |
| 湿度 | -0.763 | <0.0001 |
| 状態不安 | 0.295 | 0.0405 |

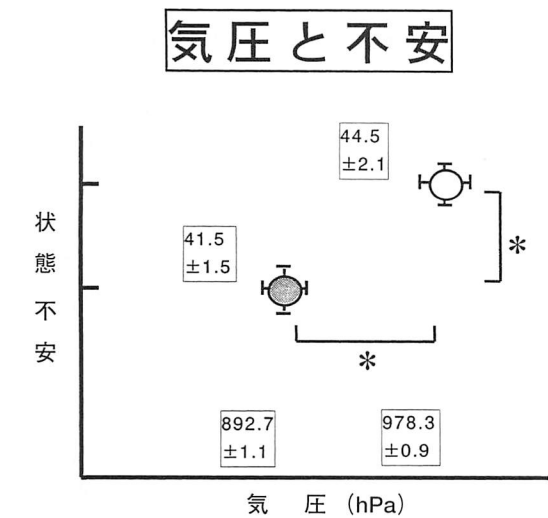


図 I-1 低地と高地の気圧の違いと状態不安
低地：山梨英和大学、海拔270m、高地：環境科学研究所、海拔1,050m (各々28試行の平均値と標準誤差を示す。*: p<0.01)

今回の実験により、海拔1,000mレベルの高原に短期間滞在した場合、海拔300m前後で同じ時間過ごした場合と比べて、状態不安の低下度がより大きいことがわかった。気象条件や生理指標などを重回帰分析した結果、気圧と状態不安の程度とが関わりをもっていた。生理指標では、瞳孔の対光反射のパラメーターに気圧との関わりが見られた。瞳孔の対光反射は、主として副交感神経系の活動を反映すると言われている。海拔1,000mレベルの気圧が不安の低下を促進するとともに、副交感神経活動に影響すると結論される。

気圧の低下が副交感神経活動を促進することは、リンパ球の増減パターンの解析からも指摘されている(安保徹、未来免疫学、インターメディカル社、1997)。今回の実験により、高原地域の気圧と自律神経活動との関わりを示す新たな知見を得ることができた。

2) 高原を散策する効果

高原地域では、森や草原の環境を利用して散策が行われることが多い。実際に設置された散策路を歩いてみると、散策中の気温や湿度が予想以上に大きく変化することがわかる。散策路の設定は、散策する人に適度な運動とそれによる爽快感を与えるという観点から、経験的に行われることが多い。そのようにして設定された散策路が人に与える爽快感が、人の体のはたらきから見てどのような効果を背景にしているかについては、これまで研究されたことはなかった。そこで、散策中に遭遇する微気候 (micro-climate) が人の生理機能にどのような影響を与えているかを調べるための実験を行なった。

被験者は、県立看護大学の女子学生および社会人の計10人(年齢20~27歳; 男性2名、女性8名)であった。清里キープ協会の敷地内に30分コースとして設けられた散策路を実験場所とした(図 I-2)。被験者は、キープ協会自然学校構内で1時間安静にした後、生理指標およびその他の指標の測定を行ない、次いで散策路を歩いた。散策終了後、同様の指標の測定を行なった。平成13年の9月中旬から10月下旬までの晴天日を選んで実験を行なった。

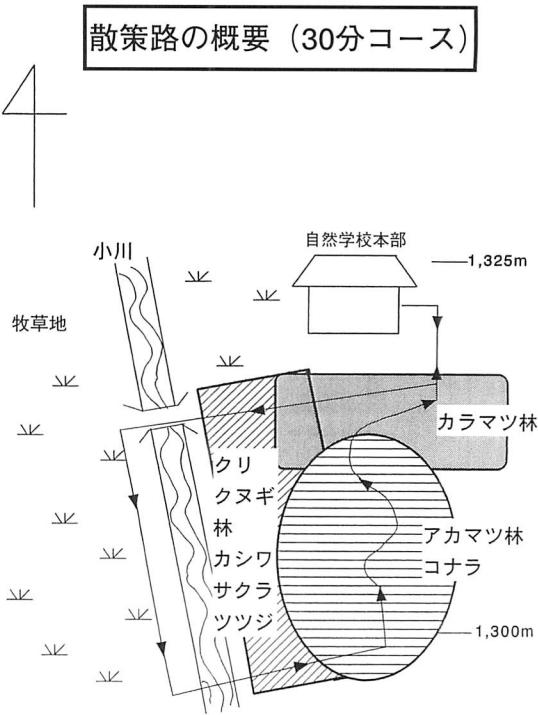


図 I-2 散策路の概要

被験者の心拍数、血圧、体温を散策前の安静時と散策直後に測定した。視覚弁別能の指標としてフリッカー値を同様に記録した。また、被験者の作業能力に及ぼす散策の効果調べるため、散策の前後で内田クレペリン検査用紙を用いた計算課題を負荷した。散策の前後で心理調査用紙 (POMS: Profile of Mood State) を用いて、被

験者の気分の変化をスコア化した。

散策路の標高は、海拔1,300mから1,325mの間で、図 I-2 の矢印のように歩くことが指定されていた。まず、森と牧草地の間の平坦な小道を西に向かって歩き、小川を渡る。次に、小川と牧草地の間の小道を南南東方向に下り、飛び石つたいに川を渡り、森に入る。森に入ると緩やかな上り坂となる。森は進むにつれ深くなっていき、湿度が増加し気温は低下する。また、森が深くなるにつれ、散策路の勾配が増加していく。これらの特徴を図 I-3 に示す。森を構成する樹種は、最初はクリ、クヌギを主体にカシワ、サクラ、ツツジの混じる森、次にコナラの混じるアカマツの森、最後にアカマツの混じるカラマツの森であった。

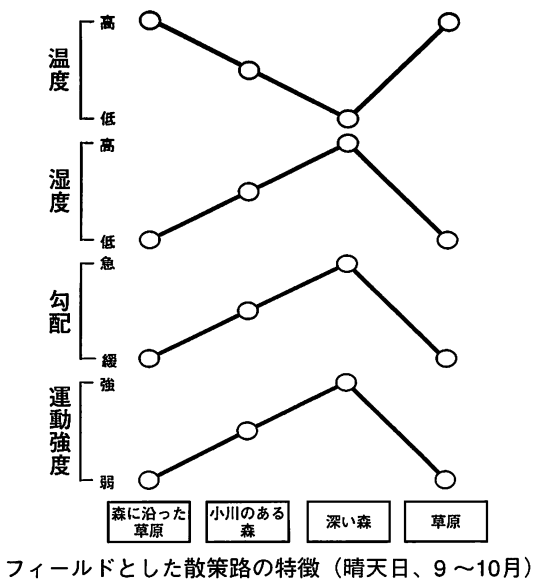


図 I-3 散策路の概要

散策中の気温は、草原から森に入っていくにしたがい低下し、草原と深い森では 7℃以上の温度差があった。湿度は森に入っていくにしたがい上昇し、草原との差は 15%を超えた。実験に用いた散策路を歩く人は、30分間に 7℃以上の温度差と 15%以上の湿度差を経験することになる。温度や湿度が短時間の内に大きく変化することは、高原地域の環境のひとつの特徴であると思える。

心理調査用紙POMSによって分類される 6 種類の気分について、散策の前後で比較すると、怒り・敵意と鬱が有意に低下していた（図 I-4）。疲労感も若干であるが、有意に増加していた。疲労感の増加は、散策によるものと思われる。散策により怒り・敵意や鬱というネガティブな気分が軽減することがわかった。フリッカー値および内田クレペリン検査による計算課題の成績には、散策の前後で有意な変化は現れなかった。

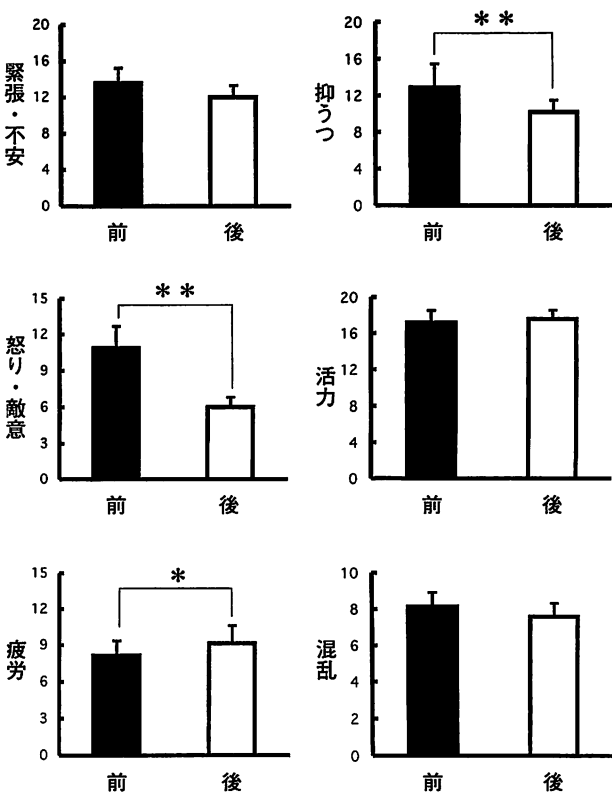


図 I-4 散策の心理効果
(n=10, **: P<0.01, *: P<0.05)

血圧、心拍数、体温の内、血圧と体温は散策の前後で変化することはなく、心拍数のみが散策後に有意に増加していた（図 I-5）。歩行運動をつづけることで、通常は体温は安静時より上昇するはずであるが、散策の後半に運動強度が増加するにしたがい外気温が低下するという散策路の設定のため、散策後の体温上昇が見られなかったと考えられる。一般に、血圧も運動により上昇するが、今回の散策の前後では収縮期圧にも弛緩期圧にも変化は認められなかった。歩行を続けるという散策の効果は、心拍数の上昇としてのみ現れた。血圧の上昇を伴わず心拍数のみが上昇したことは、運動中の筋肉やその他の臓器により効率的に血液、特に酸素を運搬することを可能としている。また、組織血流の増加により運動中に筋組織に蓄積する代謝産物を、より効率的に除去することも可能としている。体温上昇や血圧上昇を伴わないで心拍数が増加することは、運動による快適感を高め、怒り・敵意の低下や鬱の低下という心理効果をもたらす可能性も考えられる。

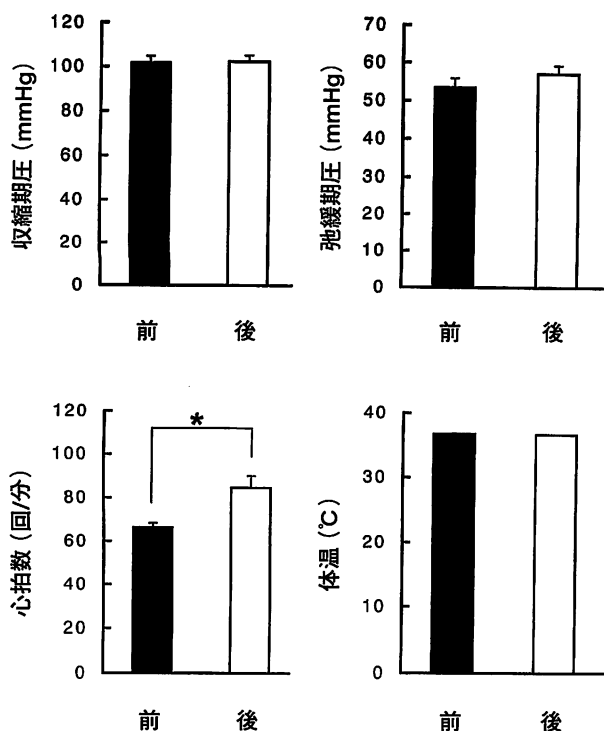


図 I-5 散策による生理指標の変化
(n=10、平均値と標準誤差 * : P<0.05)

今回実験に用いた散策路の設定は経験的になされたものであろうが、生理指標や心理指標から見ても、高原における草原や森の特性をたくみに活用していることがわかった。

3) 高原での運動と酸化ストレス

体内で発生する活性酸素 (Oxygen Radicals) は、白血球が体内に侵入した細菌などを除去する際にも使われるなど生体防御反応に関わる一方で、血管壁や臓器に傷害を与え、動脈硬化を促進したり、癌の誘発に関わったりすることが知られている。運動中の筋肉は大量に酸素を必要とし、そのため、運動中の人が空気から摂取する酸素は、安静時の20倍以上に達することもある。酸素摂取量が増加すれば、体内での活性酸素の発生量も増加し、生体が受ける酸素ストレスが増大する。高原は低地と比べ気圧が低いので、酸素濃度が低い。酸素濃度が低い高原で運動する場合と、酸素濃度が高い平地で運動する場合とで、運動中および運動後の活性酸素の発生量を比較検討した。

被験者は、山梨大学の運動部に所属する男子学生13名とした。年齢は、 21.3 ± 0.2 歳 (平均値 \pm 標準誤差)、身長は 171.2 ± 1.3 cmであった。実験場所は、甲府市武田の山梨大学敷地内 (海拔310m) と清里キープ協会敷地内 (海拔1,300m) のオープンフィールドとした。予備実験により個々の被験者の最大心拍数の70%となる運動強度を算定し、実験ではこの強度の運動を自転車エルゴメーターにより1時間負荷した。

実験は、平成14年10月から11月にかけて清里キープ協会敷地内で3回、山梨大学構内で3回行なった。実験日の温度、相対湿度と気圧はほぼ同一であり、実験日の設定が適切であったことがわかる。平均気圧は低地で974.7hPa、高原で868.7hPaであった。気圧から概算すると、高原では酸素濃度が10%低いことになる。

心理調査用紙 (POMS: Profile of Mood State) によって分類される6種類の気分の内、緊張・不安、鬱、怒り・敵意、混乱の4種類の気分の得点が、運動によって有意に低下した。運動による被験者の体重の減少幅はともに800gであった。体重の減少は、主として運動中の発汗による水分の喪失による。体重の減少幅が等しかったことは、実験日の気温と湿度が近似していたためである。この結果は、実験日の設定が適切であったことを示している。運動による被験者の心拍数の増加率は、高地で242%、低地で249%で、高地、低地にかかわらず、運動によって同程度の心拍数の増加が起こった。

運動中は、動脈血酸素飽和度が低下した (図 I-6)。これは、運動中の筋肉が大量に酸素を消費するためである。高地と低地とを比較すると、高地では動脈血の酸素飽和度が常に低く、特に運動20分目から50分目までは有意に低かった。しかし、運動前値からの差を見ると、低地でも高地でも似通った減少幅を示していた。すなわち、気圧が低い酸素濃度も低い高地では動脈血酸素飽和度は全体的に低い値を示すが、運動に必要な酸素は平地と同様に摂取され、筋に送り届けられていたことがわかる。

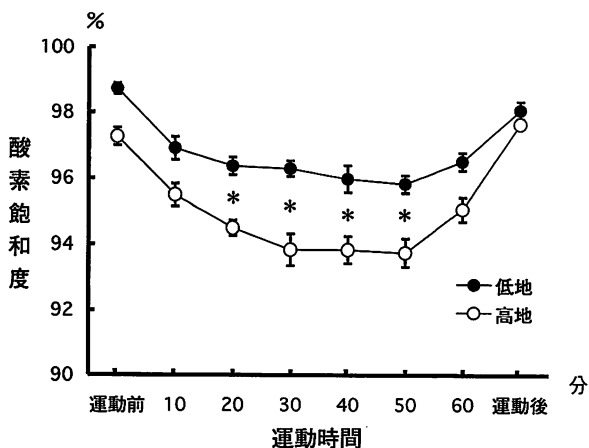


図 I-6 運動による動脈血酸素飽和度の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す * : P<0.05

運動後24時間に尿中に排泄された過酸化脂質は、運動前24時間に比べ、低地での運動後には有意に増加していたが、高地での運動後では有意差は求められなかった。また、低地での運動の方が、運動後24時間の尿中過酸化脂質の排泄量が有意に多かった (図 I-7)。運動中に発生した活性酸素による生体脂質の酸化は、高原での運動では少ないと結論される。

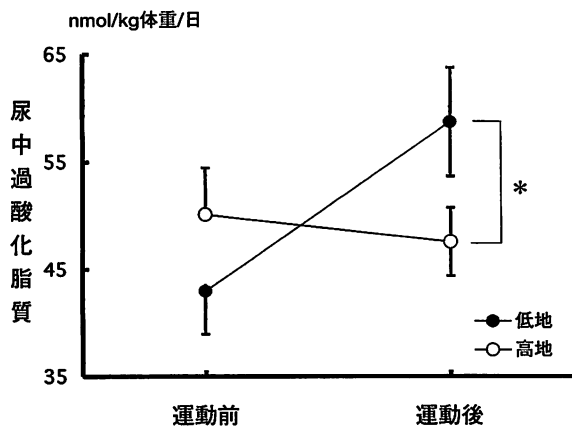


図 I - 7 運動による尿中過酸化脂質の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.05$

運動後24時間に尿中に排泄されたバイオピリンは、運動前24時間に比べ、高地での運動後には有意に増加していたが、低地での運動後では有意差は認められなかった。また、高地での運動の方が、運動後24時間の排泄量が有意に多かった (図 I - 8)。

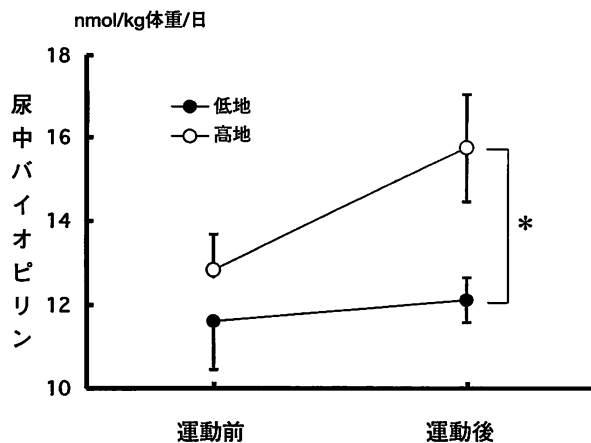


図 I - 8 運動による尿中バイオピリンの変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.05$

運動後24時間に尿中に排泄された 8-ヒドロキシ-2'-デオキシグアノシン (8-OHdG) は、運動前24時間と比べ増加していた。しかし、高地条件での運動と比べ、低地条件での運動後の方が有意に高い値を示した (図 I - 9)。運動中に発生した活性酸素による遺伝子への傷害は、高地での運動の方が軽微であることがわかった。

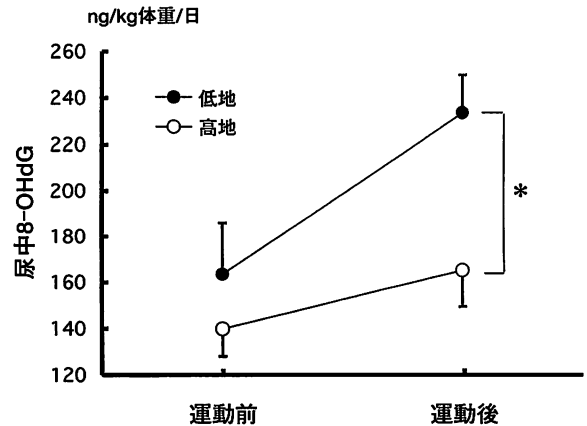


図 I - 9 運動によるDNAへの傷害度
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.01$

海拔310mと海拔1,300mとで強度の等しい運動を负荷して、標高の違いに基づく酸素濃度の違いが、運動による酸化ストレスに及ぼす影響を比較した結果、運動による過酸化脂質の生成は高地での運動条件で低く (図 I - 7)、活性酸素が遺伝子に与える傷害の指標となる 8-OHdGの生成も高地条件で少なかった (図 I - 9)。一方、活性酸素と結合しその作用を中和するはたらきのあるビリベルジンに由来するバイオピリンの尿中排泄は高地条件で多くなっていた (図 I - 8)。すなわち、高地条件では、中和作用のあるビリベルジン (バイオピリンとして測定される) の合成が盛んになり、そのため脂質の酸化や遺伝子への傷害が少なかったものと考えられる。ビリベルジンは、合成酵素ヘムオキシジェネース 1 (HO-1) のはたらきにより肝臓で合成される。HO-1 は、誘導型の酵素であり、低酸素や発熱などのストレスで酵素自体の合成も促進される。運動中の動脈血酸素飽和度 (SpO_2) を見ると (図 I - 6)、高地条件の方が明らかに低く、低酸素によるストレスは高地条件においてより顕著であることがわかる。高地条件では、低酸素ストレスが大きいことでHO-1 の誘導がより強く起こり、その結果ビリベルジン合成が増加したと考えることができる。

本実験により、海拔1,000mレベルの高原で運動することの利点のひとつが明らかとなった。今回の実験では高原での運動は1回だけであったが、連続して運動を行なった場合、活性酸素による遺伝子傷害が少ないこと、または肝臓でのビリベルジン合成が促進されることが、運動のパフォーマンスや運動を行なう人の健康状態にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることは十分意味のあることと思える。今後追及すべき興味深い問題が提起された。

4) まとめ

以上の三つの実験結果を図 I - 10, 11, 12に簡潔にまとめた。海拔1,000mレベルの高原地域の環境が人の心と体に

与える影響のいくつかを明らかにすることができた。このような知見が、高原環境の特性を活かした「集客と交流の舞台づくり」のために活用されることを期待する。

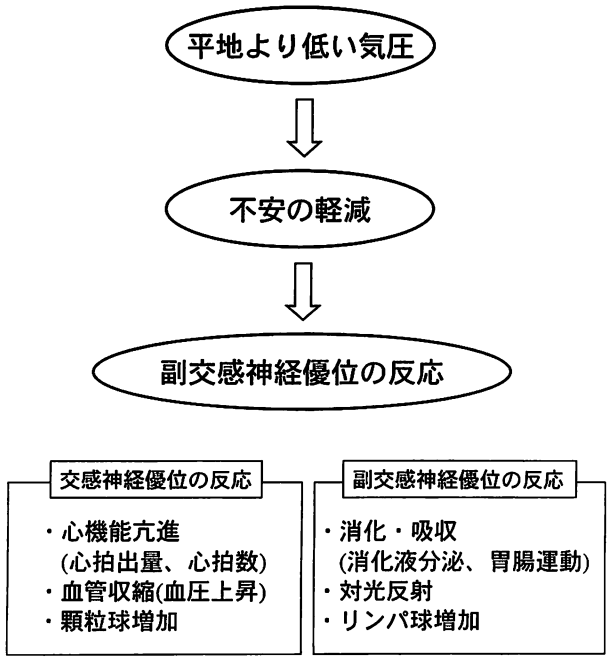
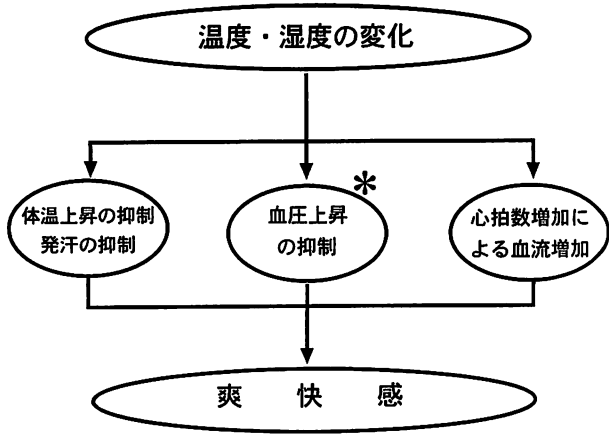


図 I-10 高原環境における気圧の効果（安静時）



* 香りによる運動時血圧の上昇抑制効果もあり(先行プロジェクト).

図 I-11 高原環境における散策の効果

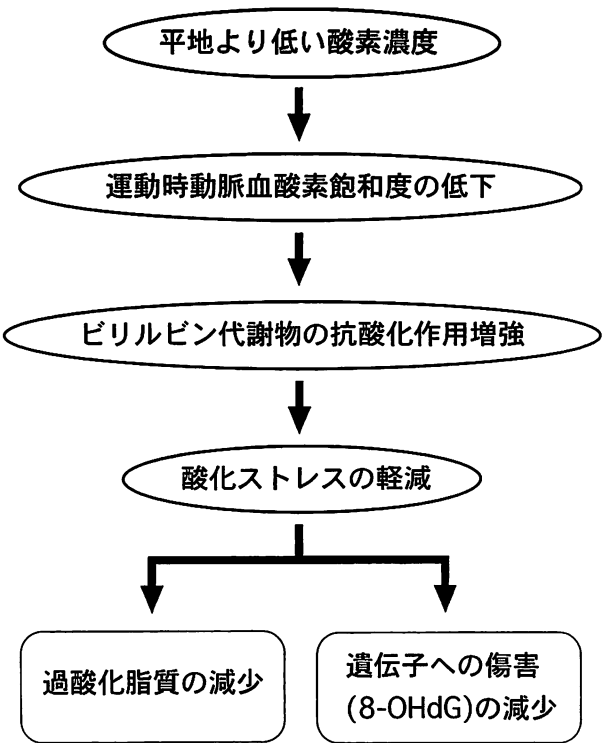


図 I-12 高原環境における運動と酸化ストレス

I-5 研究資料

(A) 出版物

- 1) 永井正則、和田万紀、臼井信男、長谷部ヤエ (1998) 香りと運動時の循環反応. 生理心理学と精神生理学 16: 104.
- 2) 和田万紀、永井正則、臼井信男 (1998) 香りの嗜好と自律機能. 生理心理学と精神生理学 16: 103-104.
- 3) 永井正則、和田万紀、田中昭子、吉崎晶子、長谷部ヤエ (1999) 香りによる快適感とその生理的效果. 日本生気象学会雑誌: 35: S 49.
- 4) 田中昭子、和田万紀、永井正則、臼井信男、長谷部ヤエ (1999) 運動中の循環反応に及ぼす好みの香りの影響. 日本生気象学会雑誌 35: S 50.
- 5) Tanaka A., Wada M., Nagai M. and Hasebe Y. (1999) Odor preference and cardiovascular responses to exercise. Japanese Journal of Physiology 49: S215.
- 6) Koyama K., Kaya M., Ishigaki T., Tsujita J., Hori S., Seino T. and Kasugai A. (1999) Role of xanthine oxidase in delayed lipid peroxidation in rat liver induced by acute exhausting exercise. European Journal of Applied Physiology 80: 28-33.
- 7) 永井正則、和田万紀、臼井信男、田中昭子、長谷部ヤエ (2000) 運動中の血圧上昇反応と香り. 生理心理学と精神生理学 18: 144.
- 8) 小山勝弘、青木秀明 (2000) 運動に伴う酸化的ストレスに対する抗酸化物質の影響. 山梨大学地域共同開発研究センター研究成果報告書 8: 44-48.

- 9) Nagai M., Wada M., Usui N., Tanaka A. and Hasebe Y. (2000) Pleasant odors attenuate the blood pressure increase during rhythmic handgrip in humans. *Neuroscience Letters* 289: 227-229.
- 10) Nagai M. and Iriki M. (2000) Changes in immune activities by heat stress. In: *Thermotherapy: Principle and Practice --- Applicatiions in Neoplasia, Inflammation, and Pain---*, Kosaka M., Simon E., Sugahara T. (eds), pp. 266-270, Springer Verlag, Tokyo.
- 11) 小山勝弘 (2001) スポーツ活動の習慣化およびワイン含有ポリフェノールの日常的摂取は生体内抗酸化機能を高めるか? 第11回テレビ山梨サイエンス振興基金研究報告書、33-36.
- 12) Wada M., Sunaga N. and Nagai M. (2001) Anxiety affects the postural sway of the antero-posterior axis in college students. *Neuroscience Letters* 302: 157-159.
- 13) 永井正則、入来正躬 (2002) 情動と自律機能. セラピストのための基礎研究論文集 4 人間行動と皮質下機能、永井洋一編、pp.267-294、協同医書出版、東京.
- 14) Nagai M., Wada M. and Sunaga N. (2002) Trait anxiety affects the pupillary light reflex in college students. *Neuroscience Letters* 328: 68-70.
- 15) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2002) 特性不安と対光反射. *生理心理学と精神心理学* 20: 124.
- 16) 永井正則、入来正躬 (2002) 体温調節. *生物学データ大百科事典・下*、石原勝敏他編、pp.1666-1678、朝倉書店、東京.
- 17) 和田万紀、臼井信男、佐藤昭子、永井正則 (2003) 快適な香りのもたらす生理心理作用. *Aroma Research* 14:26-30.
- (B) 学会発表
- 1) 永井正則、和田万紀、臼井信男、長谷部ヤエ (1998) 香りと運動時の循環反応. 第16回日本生理心理学会学術大会、東京、平成10年5月.
- 2) 和田万紀、永井正則、臼井信男 (1998) 香りの嗜好と自律機能. 第16回日本生理心理学会学術大会、東京、平成10年5月.
- 3) 永井正則 (1998) 香りと快適性. 第9回体温研究会・伝熱学会研究会シンポジウム、東京、平成10年8月.
- 4) Nagai M., Wada M., Usui N. and Hasebe Y. (1998) Odor preference and cardiovascular responses to exercise. *The Second International Conference on Human-Environmental System*, Yokohama, Nov. 1998.
- 5) 和田万紀、永井正則 (1998) 香りの嗜好と気分変動—香りの種類と濃度が気分の自己評定に与える効果—. 第39回日本社会心理学会大会、つくば、平成10年11月.
- 6) 永井正則、和田万紀、田中昭子、吉崎晶子、長谷部ヤエ (1999) 香りによる快適感とその生理的作用. 第37回日本生気象学会大会、札幌、平成11年1月.
- 7) 田中昭子、和田万紀、永井正則、臼井信男、長谷部ヤエ (1999) 運動中の循環反応に及ぼす香りの影響. 第37回日本生気象学会大会、札幌、平成11年1月.
- 8) 田中昭子、和田万紀、永井正則、臼井信男 (1999) 運動中の循環反応と香り. 第76回日本生理学会大会、長崎、平成11年3月.
- 9) 臼井信男、和田万紀、永井正則、長谷部ヤエ (1999) 香りが作業効率に与える影響と自律神経指標の変化. 第17回日本生理心理学会学術大会、仙台、平成11年5月.
- 10) 須永範明、和田万紀、永井正則 (1999) 香りの嗜好が気分変動と状態不安に与える影響. 日本社会心理学会第40回大会、東京、平成11年9月.
- 11) 和田万紀、須永範明、永井正則 (1999) 特性不安と香りの知覚. 日本社会心理学会第40回大会、東京、平成11年9月.
- 12) 永井正則、和田万紀 (2000) 印象の異なる香りが自律機能に与える影響. 第77回日本生理学会大会、横浜、平成12年3月.
- 13) 永井正則、和田万紀、臼井信男、田中昭子、長谷部ヤエ (2000) 運動中の血圧上昇反応と香り. 第18回日本生理心理学会学術大会、札幌、平成12年6月.
- 14) 臼井信男、永井正則、和田万紀、田中昭子、長谷部ヤエ (2000) 認知課題遂行時における香りの呈示効果. 第18回日本生理心理学会学術大会、札幌、平成12年6月.
- 15) Nagai M., Wada M., Usui N. and Hasebe Y. (2000) Odors with different impressions act differently on autonomic nervous functions. *The 27th International Congress of Psychology*, Stockholm, July 2000.
- 16) Wada M., Sunaga N. and Nagai M. (2000) Pleasant odor reduces tension, confusion and anxiety. *The 27th International Congress of Psychology*, Stockholm, July 2000.
- 17) Usui N., Wada M., Nagai M. and Hasebe Y. (2000) Psychological effects of pleasant odors. *The 27th International Congress of Psychology*, Stockholm, July 2000.
- 18) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2000) 香りがスピーチ場面での不安に与える効果. 日本グループダイナミクス学会第48回大会、東京、平成12年9月.
- 19) 和田万紀、須永範明、永井正則 (2001) 不安と重心

動揺。第19回日本生理心理学会大会、北九州、平成13年7月。

- 20) 臼井信男、和田万紀、須永範明、永井正則（2001）
香りがスピーチ場面のストレス反応に及ぼす影響。
第19回日本生理心理学会大会、北九州、平成13年7月。
- 21) 和田万紀、須永範明、永井正則（2001）
香りがスピーチ場面での不安に与える効果（2）。日本グループダイナミクス学会第49回大会、熊本、平成13年10月。
- 22) 和田万紀、須永範明、永井正則（2002）
特性不安と対光反射。第20回日本生理心理学会大会、東京、平成14年5月。
- 23) 和田万紀、須永範明、浅川和美、永井正則（2002）
対処スタイルの差がスピーチ場面での不安と生理指標に与える効果。第43回日本社会心理学会、東京、平成14年11月。
- 24) 大野洋美、和田万紀、永井正則（2003）
香り環境がヒトに与える影響の生理学的検討。第21回日本生理心理学会大会、つくば、平成15年5月。
- 25) 和田万紀、大野洋美、永井正則（2003）
ストレス対処法の違いによるストレス時の生理的反応。第21回日本生理心理学会大会、つくば、平成15年5月。

(C) 講演等

- 1) 小山勝弘（2001）健康づくりのためのスポーツとワイン。山梨県みんなのスポーツ推進県民大会、自治会館（甲府市）、平成13年2月。
- 2) 永井正則（2001）快適環境と健康。平成13年度山梨医科大学看護学科新入生研修、環境科学研究所、平成13年4月。
- 3) 永井正則（2001）快適環境と健康。南北都留地区市町村母子相談員連絡協議会研修会、富士女性センター（都留市）、平成13年6月。
- 4) 永井正則（2001）快適環境と健康。第12回環境科学講座。環境科学研究所、平成13年6月。
- 5) 永井正則（2001）ストレスとつきあう。第5回環境科学研究所フォーラム。環境科学研究所、平成13年8月。
- 6) 池口仁（2001）緑化と健康。緑化センター全国協議会関東ブロック大会。環境科学研究所、平成13年11月。
- 7) 池口仁（2002）富士山と観光開発。富士山を考えるフォーラム。河口湖町、平成14年2月。
- 8) 池口仁（2002）里山。ふるさと自然文化研究会。甲府市、平成14年3月。
- 9) 永井正則（2002）ストレスと健康。平成14年度山梨医科大学看護学科新入生研修、環境科学研究所、平成14年4月。

- 10) 永井正則（2002）環境ストレスと健康。福井県町村会視察研修、環境科学研究所、平成14年6月。
- 11) 永井正則（2002）標高と人間の科学的な関係をひもとく。第1回1000Mセミナー、スペース森羅（小淵沢町）、平成14年12月。
- 12) 永井正則（2003）森の利用。県土やまなしづくり・3月例会、アピオ（甲府市）、平成15年3月。
- 13) 永井正則（2002）森・高原・健康。山梨自然塾研修会、環境科学研究所、平成15年3月。

I-6 研究テーマに関する

研修生受け入れ状況

平成13年度

| | | |
|-------------|-----|-------|
| 山梨大学教育人間科学部 | 3年生 | 尾崎 芳雅 |
| | 4年生 | 小野 悠介 |
| | 4年生 | 笠井 茂輝 |
| | 4年生 | 安藤 大輔 |
| | 4年生 | 田中 未来 |
| | 4年生 | 横内 樹里 |

平成14年度

| | | |
|---------------|-----|-------|
| 山梨大学教育人間科学部 | 4年生 | 尾崎 芳雅 |
| 山梨大学大学院教育学研究科 | 1年生 | 安藤 大輔 |
| | 1年生 | 横内 樹里 |

I-7 謝辞

本研究の遂行に必要な被験者の派遣につき、御理解と御協力をいただいた山梨大学、山梨英和大学、県立看護大学短期大学部の先生方並びに関係者各位に深く感謝の意を表します。同時に、学業の合間をぬって、被験者として実験に参加していただいた学生諸君に心から感謝します。

さらに、データー取得のための施設を快く提供していただいた清里キープ協会の皆さま、常に暖かく研究を支援していただいた八ヶ岳高原活性化研究会の皆さまに深く感謝します。

本 編

Ⅱ 研究成果報告

Ⅱ－１ 高原に短期滞在する効果

1) 目的
高原地域の環境には、一般に爽やかさを感じさせると言われているが、高原環境が実際に人の心と体に与える効果については明らかにされていない。そこで、海拔1,000m地帯に短期間滞在することが、人の心身に与える効果について多面的な指標を用いて解析を行なった。

2) 被験者および実験方法
被験者は、山梨英和大学の健常な女子学生14名とした(年齢19～22歳)。実験場所は、低地として甲府市内の山梨英和大学構内(海拔270m)と高地として環境科学研究所構内(海拔1,050m)の2個所とした。被験者は、低地と高地に順不同に2回づつ計4回滞在した。1回の滞在時間は4時間で、同一被験者の滞在時間帯は4回とも同じにした。4時間の滞在時間の内、最初の2時間を安静期とした。安静期中、被験者は机と椅子が用意された控室で、実験の説明を受け、同意書、問診票など必要書類に記入した後、雑誌や本を読む、または学科のレポートを書くなどして安静に過ごし、激しい運動はしないこととした。安静期終了後、被験者は測定室に移動し、生理指標等の測定が行われた。

3) 実験日
実験は、平成13年10月から平成14年1月までの晴天日に行なった。

4) 測定指標
被験者の気分を心理調査用紙POMS (Profile of Mood State)を用いて調べた。被験者の不安の高低と不安感受性を心理調査用紙STAI (State-and Trait-AnxietyInventory)を用いて調べた。生理指標として体温、血圧(収縮期圧、弛緩期圧、平均血圧)、心拍数、瞳孔の対光反射(初期瞳孔径、最大収縮時瞳孔径、縮瞳率、反応潜時、50%縮瞳時間、散瞳時定数、収縮速度、散瞳速度)、唾液分泌量、唾液中分泌型免疫グロブリンA (sIgA)を記録した。同時に、気圧と被験者が滞在した部屋の気温および相対湿度を気象条件として記録した。

5) 実験結果
測定した20の指標の内、高地と低地との間に統計的有意差を認めたものを表Ⅱ-1に示す。生理指標の内、瞳孔の対光反射の縮瞳速度と散瞳速度が高地と低地とで有意に異なることがわかった。心理指標では、状態不安(調査の時点で被験者が抱いている不安)に場所に依存した差が見られた。

表Ⅱ-1 測定パラメーターの差

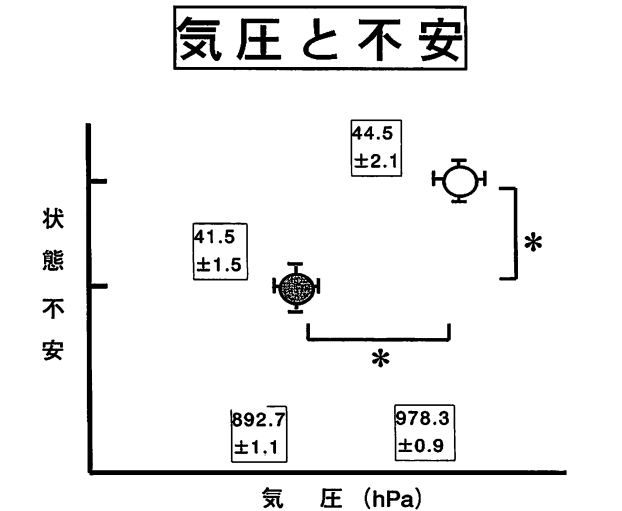
| | 海拔 (m) | | 有意水準 |
|---------------|-----------|-----------|----------|
| | 1,050 | 270 | |
| 気圧 (hPa) | 892.7±1.1 | 978.3±0.9 | p<0.0001 |
| 温度 (℃) | 23.1±0.2 | 23.8±0.3 | p=0.0421 |
| 湿度 (%) | 52.5±0.7 | 41.6±1.3 | p<0.0001 |
| 縮瞳速度 (mm/sec) | 4.53±0.2 | 5.18±0.4 | p=0.0229 |
| 散瞳速度 (mm/sec) | 3.07±0.3 | 4.16±0.9 | p=0.0427 |
| 状態不安 | 41.0±1.5 | 4.5±2.1 | p=0.0103 |
| | (n=28) | (n=28) | |

(平均値と標準誤差、統計的有意差のあったもののみ表示)

次に、測定した指標から気圧とよく関連して変化するものを抽出するために、気圧を基準変数とし、気圧以外の他の19の指標を説明変数とする重回帰分析を行なった。その結果、湿度と状態不安が気圧とよく関連することがわかった(表Ⅱ-2)。このような結果から、海拔1,000m程度の高地に4時間滞在することで不安が低下し、その理由のひとつとして低地に比べて気圧が低いことが挙げられる(図Ⅱ-1)。気圧と湿度との関連は、実験期間中の気象条件を反映したものであろう。

表Ⅱ-2 重回帰分析の結果

| 気圧対19説明変数 (R=0.86, R ² =0.53, p=0.0024) | | |
|--|-------------|----------|
| | 標準偏回帰係数 (β) | 有意水準 (p) |
| 湿度 | -0.763 | <0.0001 |
| 状態不安 | 0.295 | 0.0405 |



図Ⅱ-1 低地と高地の気圧の違いと状態不安
低地：山梨英和大学、海拔270m、高地：環境科学研究所、海拔1,050m (各々28試行の平均値と標準誤差を示す。*: p<0.01)

瞳孔の対光反射は、主として副交感神経によって制御されているとされる。高地条件と低地条件とで対光反射のパラメーターに差が出たことは（表Ⅱ-1）、気圧の差が瞳孔径を調節する副交感神経に影響を与えることを示している。

6) まとめ：高原への短期滞在の効果

海拔1,000mレベルの高原に短期間滞在した場合、海拔300m前後で同じ時間過ごした場合と比べて、状態不安の低下度がより大きいことがわかった。気象条件や生理指標などを重回帰分析した結果、気圧と状態不安の程度とが関わりをもっていた。生理指標では、瞳孔の対光反射のパラメーターに気圧との関わりが見られた。瞳孔の対光反射は、主として副交感神経系の活動を反映するとされている。海拔1,000mレベルの気圧が不安の低下を促進するとともに、副交感神経活動に影響すると結論される。

気圧の低下が副交感神経活動を促進することは、リンパ球の増減パターンの解析からも指摘されている（安保徹、未来免疫学、インターメディカル社、1997）。今回の実験により、高原地域の気圧と自律神経活動との関わりを示す新たな知見を得ることができた。

Ⅱ-2 高原での散策の効果

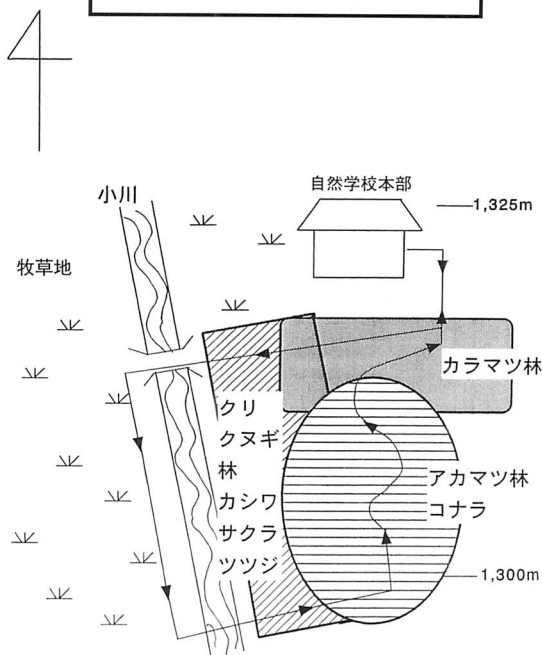
1) 目的

高原地域では、森や草原の環境を利用して散策が行われることが多い。実際に設置された散策路を歩いてみると、散策中の気温や湿度が予想以上に大きく変化することがわかる。散策路の設定は、散策する人に適度な運動とそれによる爽快感を与えるという観点から、経験的に行われることが多い。そのようにして設定された散策路が人に与える爽快感が、人の体のはたらきから見てどのような効果を背景にしているのかについては、これまで研究されたことはなかった。そこで、散策中に遭遇する微気候（micro-climate）が人の生理機能にどのような影響を与えているかを調べるための実験を行なった。

2) 被験者および実験方法

被験者は、県立看護大学的女子学生および社会人の計10人（年齢20～27歳；男性2名、女性8名）であった。清里キープ協会の敷地内に30分コースとして設けられた散策路を実験場所とした（図Ⅱ-2）。散策路の詳細は、後述する。被験者は、キープ協会自然学校構内で1時間安静にした後、生理指標およびその他の指標の測定を行ない、次いで散策路を歩いた。散策終了後、同様の指標の測定を行なった。

散策路の概要（30分コース）



図Ⅱ-2 散策路の概要

3) 実験日

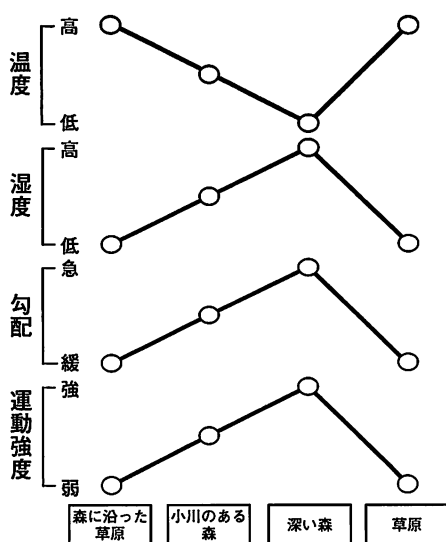
平成13年の9月中旬から10月下旬までの晴天日を選んで実験を行なった。

4) 測定指標

被験者の心拍数、血圧、体温を散策前の安静時と散策直後に測定した。視覚弁別能の指標としてフリッカー値を同様に記録した。また、被験者の作業能力に及ぼす散策の効果を調べるため、散策の前後で内田クレペリン検査用紙を用いた計算課題を負荷した。散策の前後で心理調査用紙（POMS: Profile of Mood State）を用いて、被験者の気分の変化をスコア化した。

5) 散策路の概要

清里キープ協会敷地内に、標準30分コースとして設定されている散策路を実験に用いた（図Ⅱ-2）。散策路の標高は、海拔1,300mから1,325mの間で、図Ⅱ-2の矢印のように歩くことが指定されていた。まず、森と牧草地の間の平坦な小道を西に向かって歩き、小川を渡る。次に、小川と牧草地の間の小道を南南東方向に下り、飛び石つたいに川を渡り、森に入る。森に入ると緩やかな上り坂となる。森は進むにつれ深くなっていき、湿度が増加し気温は低下する。また、森が深くなるにつれ、散策路の勾配が増加していく。これらの特徴を図Ⅱ-3に示す。森を構成する樹種は、最初はクリ、クヌギを主体にカシワ、サクラ、ツツジの混じる森、次にコナラの混じるアカマツの森、最後にアカマツの混じるカラマツの森であった。



フィールドとした散策路の特徴（晴天日、9～10月）

図 II-3 散策路の概要

6) 実験結果

散策中の温度と湿度の変化を図 II-4 に示す。草原から森に入っていくにしたがい気温が低下し、草原と深い森では7℃以上の温度差があった。湿度は森に入っていくにしたがい上昇し、草原との差は15%を超えた。実験に用いた散策路を歩く人は、30分間に7℃以上の温度差と15%以上の湿度差を経験することになる。温度や湿度が短時間の内に大きく変化することは、高原地域の環境のひとつの特徴であると思える。

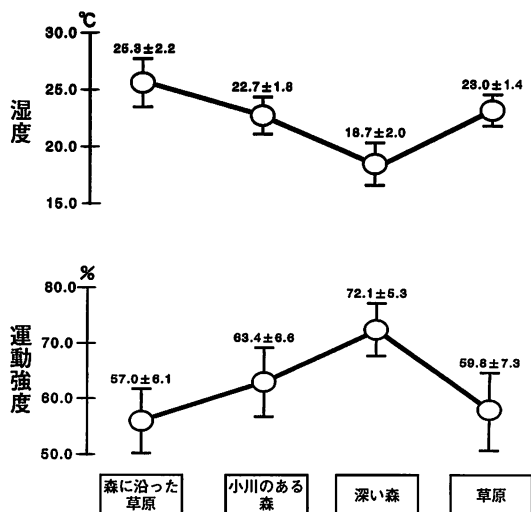


図 II-4 フィールドとした散策路の温湿度
(9～10月の5日間、10試行の平均と標準誤差)

心理調査用紙POMSによって分類される6種類の気分について、散策の前後で比較すると、怒り・敵意と鬱が有意に低下していた(図 II-5)。疲労感が若干であるが、有意に増加していた。疲労感の増加は、散策によるものと思われる。散策により怒り・敵意や鬱というネガティブな気分が軽減することがわかった。

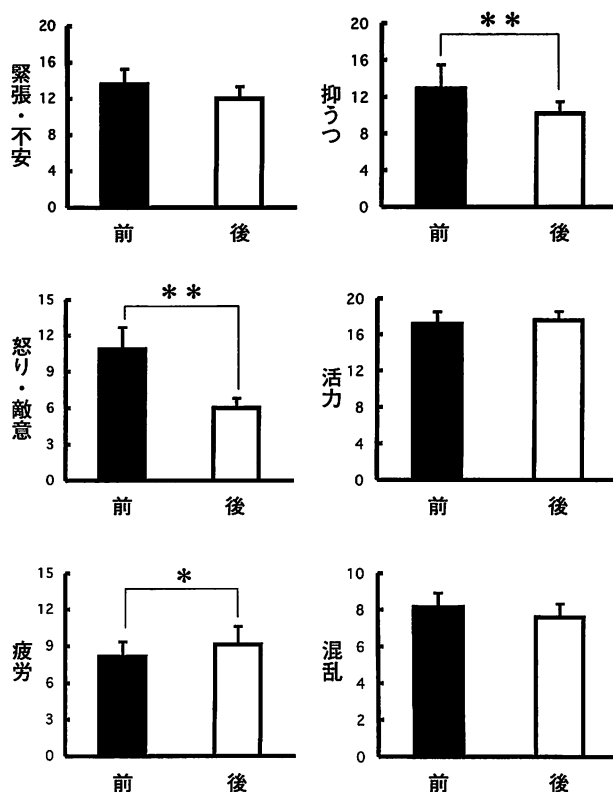
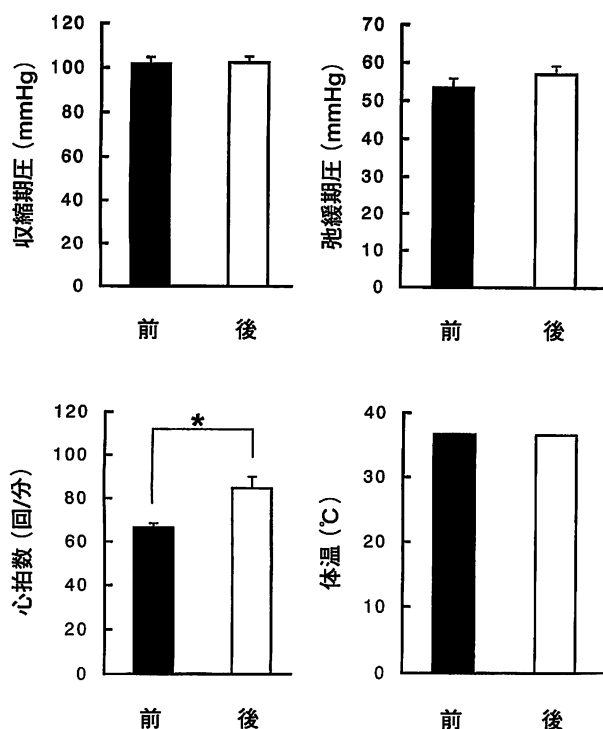


図 II-5 散策の心理効果

(n=10, **: P<0.01, *: P<0.05)

フリッカー値および内田クレペリン検査による計算課題の成績には、散策の前後で有意な変化は現れなかった。

血圧、心拍数、体温の内、血圧と体温は散策の前後で変化することはなく、心拍数のみが散策後に有意に増加していた(図 II-6)。歩行運動をつづけることで、通常は体温は安静時より上昇するはずであるが、散策の後半に運動強度が増加するにしたがい外気温が低下するという散策路の設定のため、散策後の体温上昇が見られなかったと考えられる。一般に、血圧も運動により上昇するが、今回の散策の前後では収縮期圧にも弛緩期圧にも変化は認められなかった。運動中は血圧を測定していないので、散策中は血圧上昇がなかったとは言えないが、例えばあったとしても散策後5～10分後には安静時レベルに戻る程度の軽微な上昇であったと推測される。今回の散策実験では、草原や森の香りに特に注目することはしなかったが、快適感を与える香りの存在下では、運動中の血圧上昇が小さいことを、われわれは以前報告している(山梨県環境科学研究所研究報告書第1号、2000; Nagai et al. Neuroscience Letters 289:227-229,2000)。草原や森の香りが、散策による血圧変化を小さくした可能性も考えられる。



図Ⅱ-6 散策による生理指標の変化
(n=10、平均値と標準誤差 * : P<0.05)

歩行を続けるという散策の効果は、心拍数の上昇としてのみ現れた。血圧の上昇を伴わず心拍数のみが上昇したことは、運動中の筋肉やその他の臓器により効率的に血液、特に酸素を運搬することを可能としている。また、組織血流の増加により運動中に筋組織に蓄積する代謝産物を、より効率的に除去することも可能としている。体温上昇や血圧上昇を伴わないで心拍数が増加することは、運動による快適感を高め、怒り・敵意の低下や鬱の低下という心理効果をもたらす可能性も考えられる。

今回実験に用いた散策路の設定は経験的になされたものであろうが、生理指標や心理指標から見ても、高原における草原や森の特性をたくみに活用していることがわかった。

7) まとめ：高原での散策の効果

海拔1,300mレベルに設けられた散策路の微気候的な特性と、それが人の心と体に与える効果を検討した結果、散策路中の草原や森、地面の勾配などの設定が高原における自然の特性をたくみに活用していることがわかった。このことが、散策によるネガティブな気分の改善につながっていると考えられる。

Ⅱ-3 高原での運動と酸化ストレス

1) 目的

体内で発生する活性酸素 (Oxygen Radicals) は、白血球が体内に侵入した細菌などを除去する際にも使われるなど生体防御反応に関わる一方で、血管壁や臓器に傷

害を与え、動脈硬化を促進したり、癌の誘発に関わったりすることが知られている。運動中の筋肉は大量に酸素を必要とし、そのため、運動中の人が空気から摂取する酸素は、安静時の20倍以上に達することもある。酸素摂取量が増加すれば、体内での活性酸素の発生量も増加し、生体が受ける酸素ストレスが増大する。高原は低地と比べ気圧が低いので、酸素濃度が低い。酸素濃度が低い高原で運動する場合と、酸素濃度が高い平地で運動する場合とで、運動中および運動後の活性酸素の発生量を比較検討した。

2) 被験者および実験方法

被験者は、山梨大学の運動部に所属する男子学生13名とした。年齢は、 21.3 ± 0.2 歳 (平均値±標準誤差)、身長は 171.2 ± 1.3 cmであった。実験場所は、甲府市武田の山梨大学敷地内 (海拔310m) と清里キープ協会敷地内 (海拔1,300m) のオープンフィールドとした。予備実験により個々の被験者の最大心拍数の70%となる運動強度を算定し、実験ではこの強度の運動を自転車エルゴメーターにより1時間負荷した。

3) 実験日

実験は、平成14年10月から11月にかけて清里キープ協会敷地内で3回、山梨大学構内で3回行なった。実験日の実験開始直前の温度、相対湿度、気圧を表Ⅱ-3に示す。気圧以外の条件はほぼ同一であり、実験日の設定が適切であったことがわかる。

表Ⅱ-3 実験日の気象条件

| | 清里 | 甲府 |
|----------|-----------------|-----------------|
| 気温 (°C) | 21.0 ± 2.3 | 21.7 ± 0.3 |
| 相対湿度 (%) | 34.0 ± 3.0 | 32.3 ± 1.1 |
| 気圧 (hPa) | 868.7 ± 4.8 | 974.7 ± 1.7 |

実験開始直前の平均値と標準誤差を示す (n=6)

4) 測定項目

被験者の心拍数を1分間隔で測定した。動脈血酸素飽和度 (SpO₂) を10分間隔で測定した。運動の前後で被験者の血液と尿を採取し、表Ⅱ-4に示す指標を測定した。クレアチンホスホカイネース (CPK) は、通常筋細胞中に存在する酵素で、血清CPK活性の上昇は運動およびその他の要因により筋細胞が受けた傷害の大きさに比例する。乳酸脱水素酵素 (LDH) は、筋肉、肝臓などさまざまな組織の細胞中に存在する。血清LDH活性の上昇は、運動およびその他の要因により組織を構成する細胞が受けた傷害の程度に比例する。血清過酸化脂質と尿中過酸化脂質は、チオバルビツール酸反応物として測定した。バイオピリンは、赤血球中の血色素 (ヘモグロビン) に

由来する遊離ヘムにヘムオキシジェネース 1 (OH-1) が作用することによって肝臓で生成するビリベルジンを由来する。生体が発熱などによる強い酸化ストレスを受けると、誘導型の酵素ヘムオキシジェネース 1 の産生が促進されることで、ビリベルジンが増加し、そのためバイオピリンの尿中排泄が増加することが知られている。8-ハイドロキシ-2'-デオキシグアノシン (8-OHdG) は、遺伝子を構成する塩基グアニンの代謝産物である。傷害された遺伝子を取り除く修復酵素の働きにより生成することから、酸化ストレスが遺伝子に与える傷害の指標として用いられる。17-ハイドロキシコルチコステロン (17-OHCS) は、副腎皮質から分泌されるストレスホルモンの代謝産物であり、生体が受けるストレス度の指標として用いることができる。

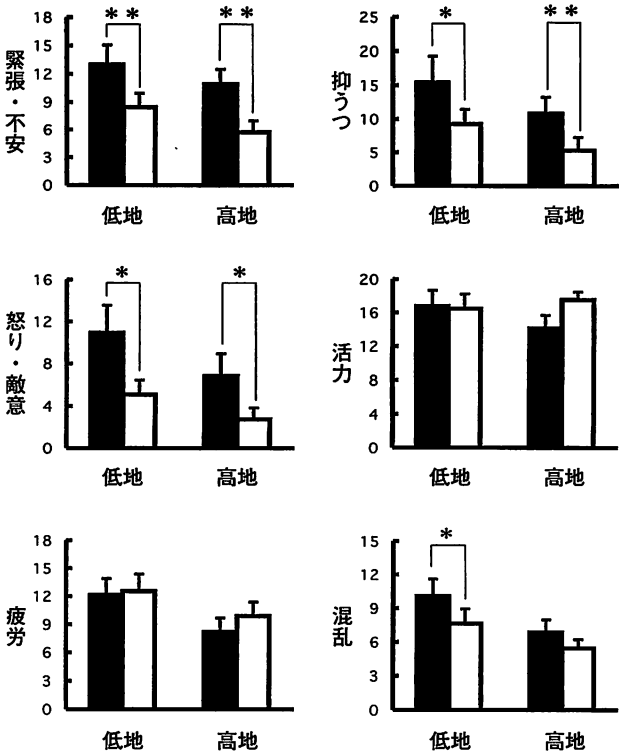
これらの指標に加え、運動前後で被験者の体重を測定し脱水量の指標とした。運動の前後で、心理調査用紙 POMS (Profile of Mood State) を用いて被験者の気分の変化をスコア化した。

表Ⅱ-4 測定項目

| | 項 目 | 指 標 | 採 取 法 |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| 血 清 サ ン プ ル | クレアチンホスホカイネース活性 (CPK活性) | 筋細胞へのストレス度 | 運動直前と直後に採血 |
| | 乳酸脱水素酵素活性 (LDH活性) | 細胞へのストレス度 | |
| | 過酸化脂質 | 血清脂質の酸化度 | |
| | 乳酸 | 筋の無酸素的代謝活動 | |
| 尿 サ ン プ ル | 過酸化脂質 | 体内の脂質の酸化度 | 運動前後の24時間採尿 |
| | バイオピリン | 赤血球の分解産物の酸化度 | |
| | 8-ハイドロキシ-2'-デオキシグアノシン (8-OHdG) | DNAへの酸化ストレス度 | |
| | 17-ハイドロキシコルチコステロン (17-OHCS) | ストレスホルモン 生体へのストレス度 | |

5) 実験結果

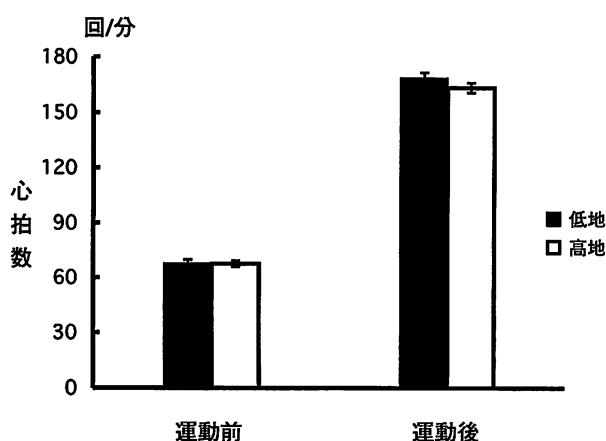
心理指標：心理調査用紙POMSによって分類される 6 種類の気分を与える運動の効果を図Ⅱ- 7 に示す。緊張・不安、鬱、怒り・敵意、混乱度の四種類の気分は、運動によって有意に低下した。疲労感、運動前後で変化しなかった。このことは、運動による身体的疲労と心理的疲労とは独立に変化することを示している。混乱度については、運動前値に場所の差が現れ、高地の方が有意に混乱度が低かった。運動後値も同様に高地で低地より有意に低かった。すなわち、“すっきりした” という気分は、運動前でも運動後でも高地の方が強いことがわかった。



図Ⅱ- 7 運動前後の気分の比較
(平均値と標準誤差を示す。n=13、■：運動前、□：運動後、*：P<0.05、**：P<0.01)

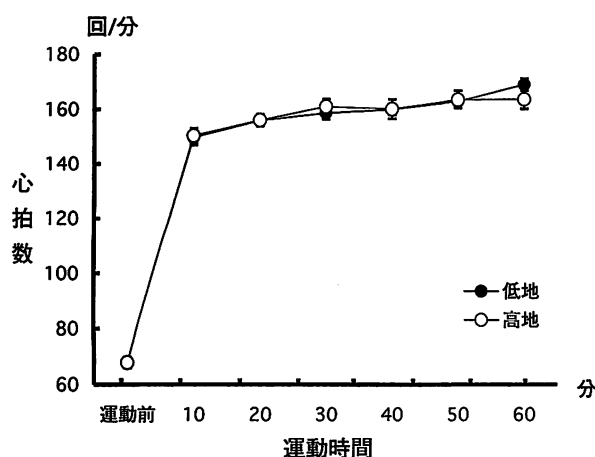
体重：被験者の運動前後の体重は、低地での運動では66.3±1.6kgから65.5±1.6kgへ減少し、高地での運動では66.4±1.7kgから65.6±1.6kgへ減少した。体重の減少幅はともに800gであった。体重の減少は、主として運動中の発汗による水分の喪失による。体重の減少幅が等しかったことは、表Ⅱ- 3 に示すように実験日の気温と湿度が近似していたためである。この結果は、実験日の設定が適切であったことを示している。

心拍数：運動によって被験者の心拍数は増加した (図Ⅱ- 8)。心拍数の増加率は、高地で242%、低地で249%で両者の間に有意差は認められなかった。高地、低地にかかわらず、運動によって同程度の心拍数の増加が起こったと結論される。心拍数の時間経過 (図Ⅱ- 9) も高地と低地で似通っており、両者の間に有意差は認められなかった。



図Ⅱ-8 運動後の心拍数
高地と低地の比較

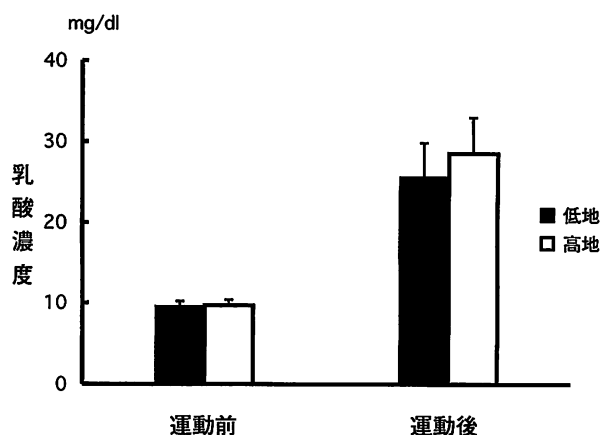
高地 (13人) と低地 (12人) の平均値と標準誤差を示す



図Ⅱ-9 運動による心拍数の変化
高地と低地の比較

低地 (n=12) と高地 (n=13) の平均値と標準誤差を示す

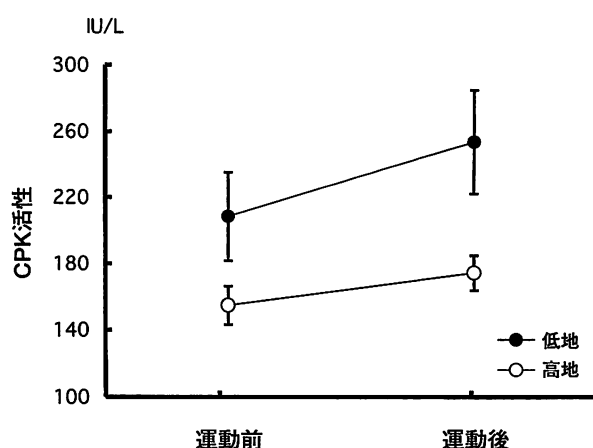
血中乳酸濃度：筋肉の運動に必要なエネルギー源（アデノシン 3 リン酸、ATP）は、通常筋細胞内で酸素を消費する（有酸素的）代謝過程によってブドウ糖から生成される。しかし、運動強度が大きい場合は、酸素を消費しない（無酸素的）解糖過程によるATP産生も動員される。その場合、代謝産物として乳酸が生成される。したがって、血中乳酸値は、筋肉の有酸素運動能力（アエロビックキャパシティー）の指標となる。今回の運動負荷により血中乳酸濃度は約 3 倍に増加した（図Ⅱ-10）。しかし、運動前後の乳酸濃度に場所による差は見られなかった。海拔1,300m程度の高地での短時間の運動は、筋の有酸素運動能力には影響しないことがわかった。



図Ⅱ-10 運動による血中乳酸濃度の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す

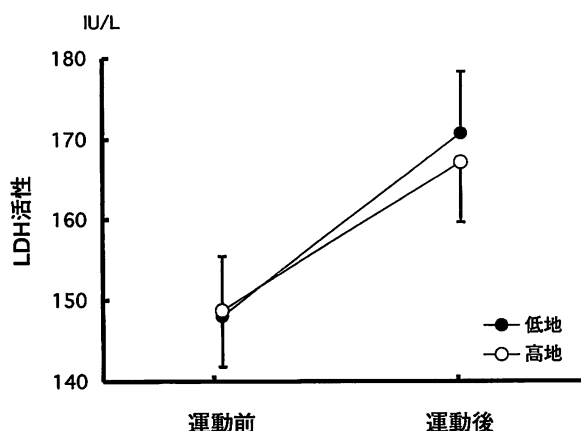
クレアチンホスホカイネース活性（CPK活性）：運動中の筋肉の傷害度の指標となるCPK活性は、運動により増加する傾向にあったが、運動直後に採血したため統計的に有意差を認めるような増加ではなかった（図Ⅱ-11）。運動後しばらく時間をおいてからサンプリングを行えば、さらに大きなCPK活性の増加があったものと推測される。



図Ⅱ-11 運動によるクレアチンホスホカイネース（CPK）活性の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す

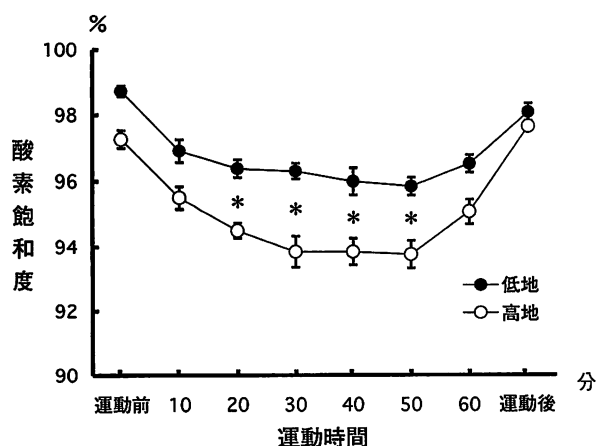
乳酸脱水素酵素活性（LDH活性）：生体内のさまざまな組織の傷害度の指標となるLDH活性は、低地運動群でも高地運動群でも運動後に有意な増加を示した（図Ⅱ-12）。運動直後のサンプルでは、両群の間の差は認められなかった。LDH活性もCPK活性と同様に、運動後さらに増加していくものと予想される。



図Ⅱ-12 運動による乳酸脱水素酵素 (LDH) 活性の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す

動脈血酸素飽和度 (SpO_2) : 運動中は、動脈血酸素飽和度が低下した (図Ⅱ-13)。これは、運動中の筋肉が大量に酸素を消費するためである。高地と低地とを比較すると、高地では動脈血の酸素飽和度が常に低く、特に運動20分目から50分目までは有意に低かった (図Ⅱ-13)。しかし、運動前値からの差を見ると、低地でも高地でも似通った減少幅を示していた。すなわち、気圧が低く酸素濃度も低い高地では動脈血酸素飽和度は全体的に低い値を示すが、運動に必要な酸素は平地と同様に摂取され、筋に送り届けられていたことがわかる。血中乳酸濃度に標高による差が見られなかったことも (図Ⅱ-10)、この結論を支持している。

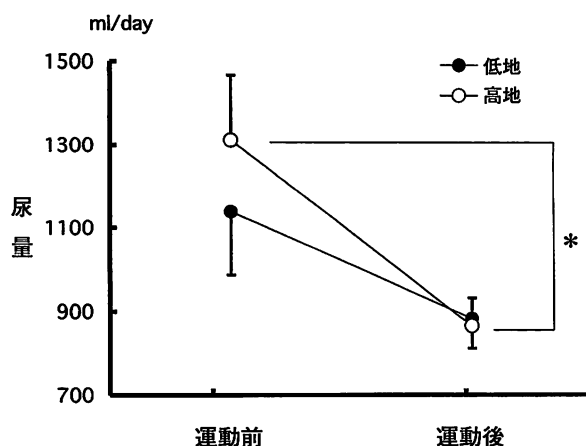


図Ⅱ-13 運動による動脈血酸素飽和度の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す * : $P < 0.05$

尿量 : 実験前24時間および実験後24時間の尿量に、低地条件および高地条件による差は認められなかった。運動後24時間の尿量は、運動前24時間に比べ低下していた。運動後の尿量が、運動強度に依存して減少することは一般に知られていることであるが、今回の実験では高地での運動後の尿量の減少がより顕著で、運動前後で統計的

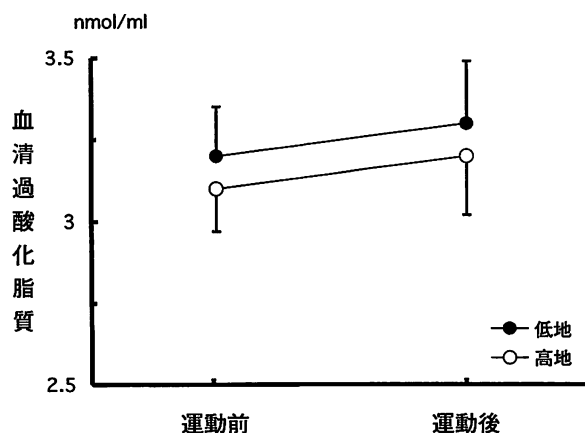
有意差が検出された (図Ⅱ-14)。運動による水分喪失量は、前述のように体重の減少量に基づき高地でも低地でも800gと算出されている。水分喪失量が同じであれば、運動後の尿量の減少が大きいほど水分喪失量の回復が容易であると考えられる。高地での運動は、水分喪失の回復に有利に働く可能性が示唆される。海拔3,000mを超える高地では、尿量の低下が起こり、それがむくみ (浮腫) の原因になることが知られている。海拔1,000mレベルの高地ではこのような可能性はないと考えられる。



図Ⅱ-14 運動による1日あたりの尿量の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準誤差を示す * : $P < 0.05$

血清過酸化脂質 : 運動直前と直後の血液サンプル中の血清過酸化脂質濃度には統計的に有意な差は見られなかった (図Ⅱ-15)。運動中は活性酸素の産生が活発になっていることは確実に予想できることなので、血清過酸化脂質濃度に運動の影響が現れなかった理由として、運動直後の採血だったため過酸化脂質濃度が十分に増加していなかったことが考えられる。運動後24時間に尿中に排泄される過酸化脂質は、運動前24時間より明らかに増加していることから (図Ⅱ-16)、このことが支持される。



図Ⅱ-15 運動による血清過酸化脂質の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.05$

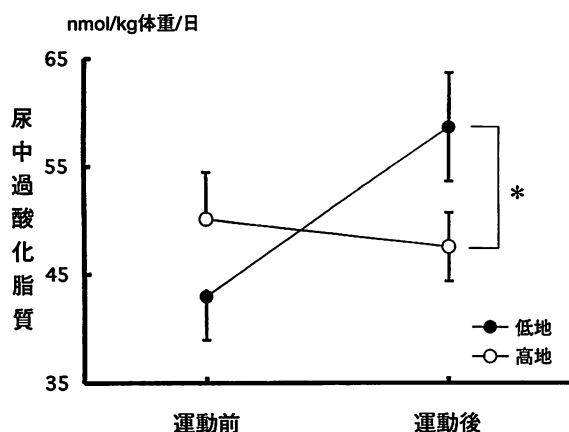


図 II-16 運動による尿中過酸化脂質の変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.05$

尿中過酸化脂質：運動後24時間に尿中に排泄された過酸化脂質は、運動前24時間に比べ、低地での運動後には有意に増加していたが、高地での運動後では有意差は求められなかった。また、低地での運動の方が、運動後24時間の尿中過酸化脂質の排泄量が有意に多かった（図 II-16）。高地での運動の方が運動後24時間の尿量が少ないので（図 II-14）、尿量で補正を行ってみた。その結果、高地での運動後は3.6nmol/ml、低地での運動後は4.4nmol/mlで、やはり低地での運動後に過酸化脂質の尿中排泄が多いことがわかった。

尿中バイオピリン：運動後24時間に尿中に排泄されたバイオピリンは、運動前24時間に比べ、高地での運動後には有意に増加していたが、低地での運動後では有意差は認められなかった。また、高地での運動の方が、運動後24時間の排泄量が有意に多かった（図 II-16）。高地での運動後の方が運動後24時間の尿量が少ないので（図 II-14）、尿量で補正を行ってみたが、結果は同様に高地での運動後にバイオピリンの尿中排泄がより多かった。運動後の過酸化脂質の尿中排泄は低地での運動後に多く、逆にバイオピリンの尿中排泄は高地での運動後に多いことがわかった。

尿中 8-ヒドロキシ-2'-デオキシグアノシン（8-OHdG）：運動後24時間に尿中に排泄された 8-OHdGは、運動前24時間と比べ増加していた。しかし、高地条件での運動と比べ、低地条件での運動後の方が有意に高い値を示した（図 II-18）。運動中に発生した活性酸素による遺伝子への傷害は、高地での運動の方が軽微であることがわかった。

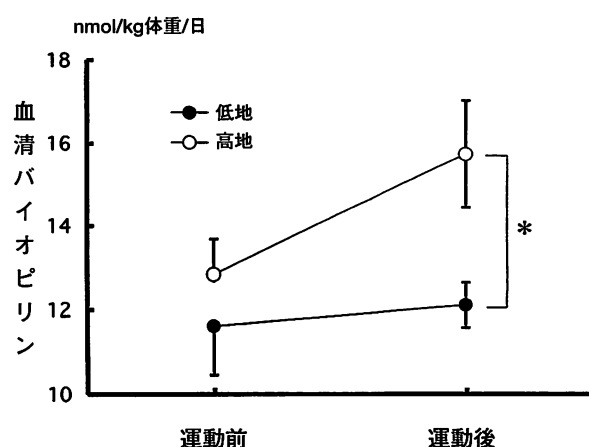


図 II-17 運動による尿中バイオピリンの変化
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.05$

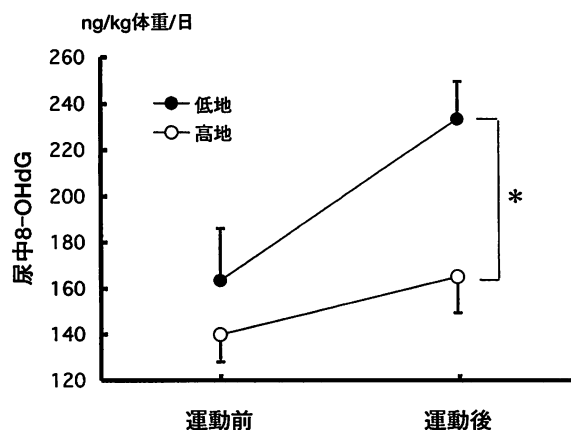
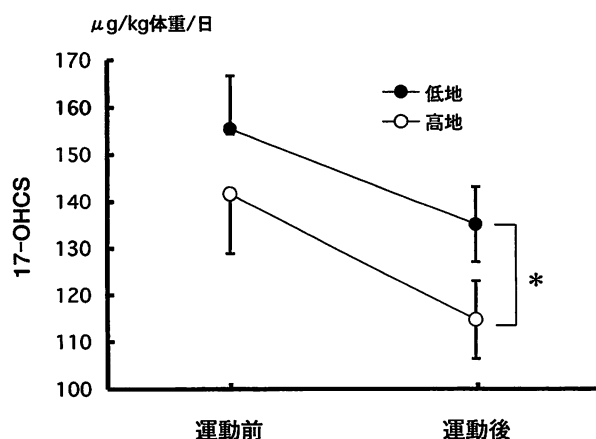


図 II-18 運動によるDNAへの傷害度
高地と低地の比較

13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : $P < 0.01$

尿中 17-ヒドロキシコルチコステロン（17-OHCS）：運動後24時間に尿中に排泄された17-OHCSは、運動前24時間に比べ、高地条件でも低地条件でも有意に低下した（図 II-19）。17-OHCSは、心身が受けるストレスの強さを反映している。POMSを用いた心理調査によって、運動後には緊張・不安や鬱が軽減することがわかった（図 II-7）。17-OHCSの尿中排泄の低下は、このような心理的背景を反映しているものと考えられる。17-OHCSは激しい運動後は増加することが知られているが、最大心拍数の70%の運動を1時間続けるという今回の運動負荷は、被験者全員が運動部員だったため身体的ストレスとはなっていないと推測される。



図Ⅱ-19 運動による尿中17—ヒドロキシコルコステロン (17—OHCS) の変化
高地と低地の比較
13人ずつの平均値と標準偏差を示す * : P<0.05

6) まとめ：高原での運動と酸化ストレス

海拔310mと海拔1,300mとで強度の等しい運動を負荷して、標高の違いに基づく酸素濃度の違いが、運動による酸化ストレスに及ぼす影響を比較した。その結果、運動による過酸化脂質の生成は高地での運動条件で低く(図Ⅱ-16)、活性酸素が遺伝子に与える傷害の指標となる8-OHdGの生成も高地条件で少なかった(図Ⅱ-18)。一方、活性酸素と結合しその作用を中和するはたらきのあるビリベルジンに由来するバイオピリンの尿中排泄は高地条件で多くなっていた(図Ⅱ-17)。すなわち、高地条件では、中和作用のあるビリベルジン(バイオピリンとして測定される)の合成が盛んになり、そのため脂質の酸化や遺伝子への傷害が少なかったものと考えられる。ビリベルジンは、合成酵素ヘムオキシジェネース1(HO-1)のはたらきにより肝臓で合成される。HO-1は、誘導型の酵素であり、低酸素や発熱などのストレスで酵素自体の合成も促進される。運動中の動脈血酸素飽和度(SpO₂)を見ると(図Ⅱ-13)、高地条件の方が明らかに低く、低酸素によるストレスは高地条件でより顕著であることがわかる。高地条件では、低酸素ストレスが大きいことでHO-1の誘導がより強く起こり、その結果ビリベルジン合成が増加したと考えることができる。

本実験により、海拔1,000mレベルの高原で運動することの利点のひとつが明らかとなった。今回の実験では高原での運動は1回だけであったが、連続して運動を行なった場合、活性酸素による遺伝子傷害が少ないこと、または肝臓でのビリベルジン合成が促進されることが、運動のパフォーマンスや運動を行なう人の健康状態にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることは十分意味のあることと思える。今後追及すべき興味深い問題が提起された。

R-02-2003

平成14年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第7号

YIES Research Report

2003年7月発行

編集・発行
山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1
電話：0555-72-6211
FAX：0555-72-6204
<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>

印刷 株式会社コネヤ

