

R-01-2011

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第26号

プロジェクト研究

「森林と高原の環境を活用したストレス軽減法に関する研究」

平成22年度

山梨県環境科学研究所

R-01-2011

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第26号

プロジェクト研究

「森林と高原の環境を活用したストレス軽減法に関する研究」

平成22年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

山梨県は県土の78%が森林で占められています。さらに、海拔800メートルから1500メートルの高原地帯も多くあります。これらの森林や高原は、県の内外から多くの来訪者を迎え入れています。山梨県環境科学研究所では、このような森林や高原の環境を保健休養面で活用するための研究を行ってきました。これまでに、森林内に短時間滞在することで、ストレスが人の心臓の働きや免疫機能に与える好ましくない影響を緩和できることや、海拔1000メートルから1500メートルの高原で運動をすると、運動によって体内に発生した活性酸素が血管壁や遺伝子に与える傷害の程度が軽くなることなどを見つめました。これらの研究を引継いで行なったプロジェクト研究「森林と高原の環境を活用したストレス軽減法に関する研究」の成果を、今回報告書にまとめました。

本研究では、軽い森林散策が中高年者の血圧を低下させることや、週1度の森林散策を続けることで、血圧が順次低下していくことが明らかにされています。

近年、健康の維持・増進のために野外活動を行なう中高年者が増加しています。今回の研究成果は、身近な森を活用した中高年者の活動に新たな選択肢を与えるものです。また、本研究では中等学校の林間学校や学校内での教育活動を、免疫機能から評価する試みもなされています。社会的にも身体的にも変動の多い思春期の学校生徒を対象とした研究は未だ少ないため、先駆的な研究結果が報告されています。高原環境についての実験では、海拔1000メートルから2000メートルの高原の酸素条件が、体内で発生する活性酸素が生体に与える害を軽減するメカニズムについて明らかにすることができました。

山梨県の産業振興ビジョンの中にも、ウェルネスツーリズムの振興が挙げられています。今回報告する研究成果が、森林や高原の環境を活用した活動プログラムを豊富にすることで、県民の保健休養に役立ち、さらにウェルネスツーリズムの振興にもつながることを期待しています。

平成23年7月1日

山梨県環境科学研究所

所 長 荒 牧 重 雄

目 次

はじめに

概要編

I プロジェクト研究の概要

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
I-5	研究成果の発表状況	5
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

本 編

II 研究成果報告

II-1	研究テーマおよび研究期間	9
II-2	研究組織	9
II-3	研究目的	9
II-4	研究成果	9
	サブテーマ1 森林の利用：森林への嗜好の形成が人の心と身体に与える影響について の研究	9
	サブテーマ2 高原環境の利用：準高地の酸素濃度がもたらすストレス軽減効果	18
II-5	まとめ	22

概要編

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ名：
「森林と高原の環境を活用したストレス軽減法に関する研究」
研究期間：平成 18 年 4 月～平成 22 年 3 月（5 カ年）

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 副 所 長 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 石田 光男¹⁾
非常勤嘱託 松本 清²⁾
助 手 齋藤 順子³⁾
助 手 遠藤 淳子⁴⁾
山梨県環境科学研究所 人類生態学研究室
主幹研究員 本郷 哲郎
山梨県環境科学研究所 環境計画学研究室
主任研究員 池口 仁

所外共同研究者：
東京大学農学生命科学研究科
准 教 授 山本 清龍
山梨大学教育人間科学部
准 教 授 小山 勝弘
山梨大学工学部 教 授 御園生 拓
日本大学法学部 教 授 和田 万紀

研究協力機関：
富士吉田市外二ヶ村恩賜県有財産保護組合
山梨大学教育人間科学部附属中学校

(¹⁾ 平成 21 年度まで在籍、²⁾ 平成 22 年度より在籍、
³⁾ 平成 20 年度まで在籍、⁴⁾ 平成 20 年度より在籍)

I-3 研究目的

山梨県の自然資源として、県土の 78 % 以上を占める森林や海拔 800 ～ 1500 メートルの高原地帯（準高地）の価値は大きい。森林や高原の環境がもたらす保健休養上の効用について、これまでに次のようなことを明らかにしてきた。①森林環境の中で安静にしていると不安が低下する。さらに、鼻やのどの粘膜を感染から守る免疫タンパク（sIgA：分泌型免疫グロブリン A）の分泌が盛んになり、心拍数が低下し心臓の拍動間隔が規則的にな

る（山梨県環境科学研究所研究報告書第 22 号、2008）。人がストレスに曝されると、sIgA 分泌が低下し、のどや気管の感染症に罹患しやすくなり、心臓の拍動間隔も不規則化する。したがって、森林環境中で安静に過ごすことは人のストレス反応を軽減する効果があることがわかる。②準高地で運動をすると、運動中に体内で発生した活性酸素によって生体成分や遺伝子が受ける傷害の程度が、低地で運動する場合より軽い（山梨県環境科学研究所研究報告書第 7 号、2003）。このことから、準高地の酸素条件は、酸化ストレスを軽減すると推測される。

以上のような先行研究から、森林や高原の環境には人のストレスを軽減する効果があることがわかった。今回のプロジェクト研究では、森林環境をどのように利用すれば、より大きなストレス軽減効果がもたらされるのかを、自律神経や免疫機能および脳の活動などを、心理指標を合わせて測定することによって明らかにする（サブテーマ 1）。また、高原地域の特徴である低い酸素分圧が、体内で発生する活性酸素のもたらす酸化ストレスをどのようなメカニズムで軽減するかを明らかにする（サブテーマ 2）。

I-4 研究成果の概要

サブテーマ 1 森林の利用：森林への嗜好の形成が人の心と身体に与える影響についての研究

サブテーマ 1-A

学生および社会人を対象として、1 時間程度の森林散策を行ない、その前後で血圧や心拍数、粘膜免疫能などの生理指標と心理指標を測定した。また、1 時間程度の散策を週 1 度、3 週間繰り返した時の生理指標および心理指標の変化を測定した。森林散策を行なうフィールドは、吉田恩賜林組合の土丸尾地区とした。森林散策は、森林内の動植物などを観賞しながら 2 ～ 3 km を 1 時間前後で歩く軽いものとした。実験の結果、以下のことが明らかとなった。

1) 森林散策は中高年者の血圧を低下させる

1 時間程度の森林散策によって、中高年者の血圧（収縮期血圧）が低下することがわかった（図 I-1）。平均年齢 25 歳の大学生では、森林散策によって血圧が変化することはなかった。

2) 森林散策を繰り返すことで中高年者の血圧が順次低下していく

週 1 度 1 時間前後の森林散策を繰り返すことで、散策開始前の血圧（収縮期血圧）が順次低下していくことがわかった（図 I-2）。一般的に中高年者の血圧は高めであるが、降圧剤を服用している被験者群と服用して

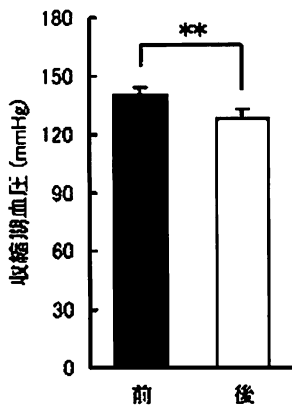


図 I - 1 中高年者における森林散策と血圧
平均年齢 56 歳の男女 18 名の平均値と標準誤差を示す (** : $p < 0.01$)。

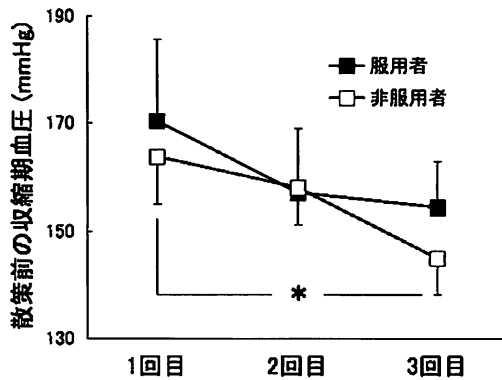


図 I - 2 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響
平均年齢 72 歳の男女 12 名の平均値と標準誤差を示す (* : $p < 0.05$)。

いない被験者群とで比較すると、降圧剤非服用群で散策の繰り返しによる血圧の下降が顕著に現れていた。

3) 森林散策による血圧低下は、散策後数時間持続する
森林散策によって低下した血圧 (収縮期血圧) は、散策終了後 3 時間目でも低いレベルに留まっていた (図 I - 3)。この散策の影響は、降圧剤非服用者でよく観察された。降圧剤服用者では、普段から降圧剤によって血圧が維持されているためか、散策終了後 3 時間目では血圧が散策開始前の値に戻る傾向があった。

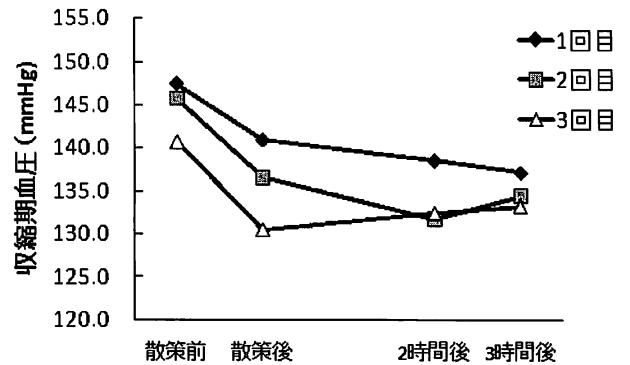


図 I - 3 森林散策による血圧低下の時間経過
平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す。

4) 森林散策のもたらす心理効果には馴れの現象 (馴化) がない
森林散策によって緊張や不安、怒り、敵意といったネガティブな気分が軽減し、活気が増す (図 I - 4)。このような心理効果には、森林散策を繰り返すことで馴れ

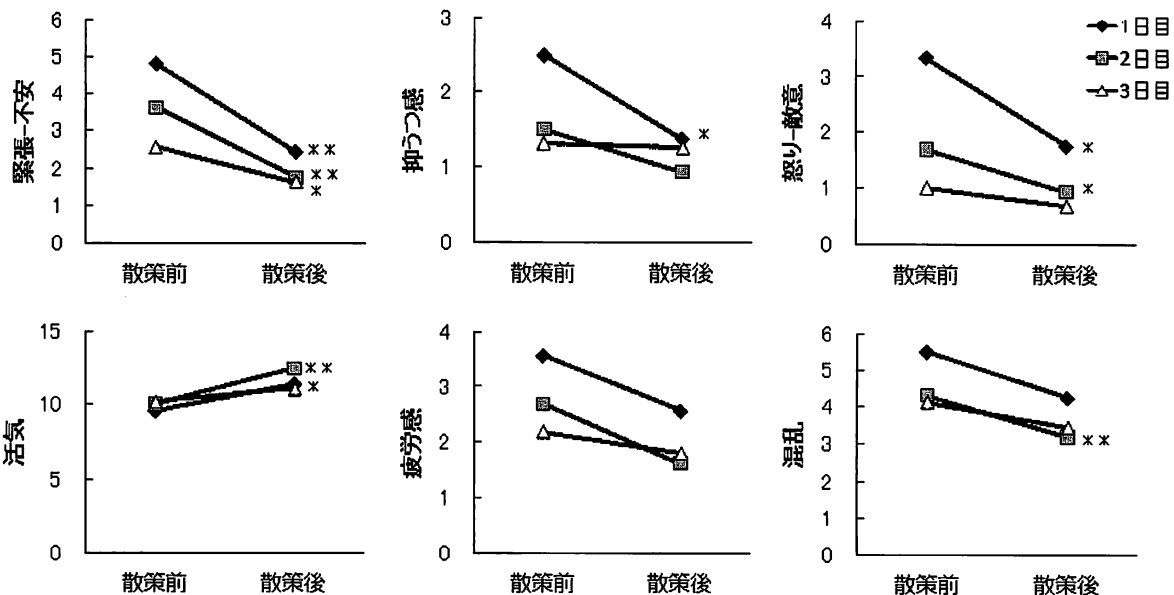


図 I - 4 森林散策が気分を与える効果
平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)。

(馴化)が生じることはなく、散策のたびに好ましい効果が現れた。

サブテーマ 1-B

学校における野外活動や座学の前後で粘膜免疫の指標となる分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の濃度および分泌速度を測定し、学校における教育活動を生理機能から評価することを目的とする。山梨大学教育人間科学部附属中学校の協力を得て、同中学校第2学年の生徒を対象に調査を行ない、次のようなことが明らかとなった。

1) 座学終了後に分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌が亢進する

社会科の授業後に免疫グロブリンA (sIgA) の唾液中への分泌が亢進していた (図 I-5)。授業は日本史で、教師が歴史的な出来事とその年号を生徒に答えさせる形式で進められていた。授業中の生徒は主として記憶再生課題に取り組んでいたと考えられる。免疫グロブリンA (sIgA) は、事象への能動的対処により増加することが知られているので (永井ほか、自律神経 41: 347-349、2004)、この結果は生徒たちが能動的に授業に臨んでいたことを示している。

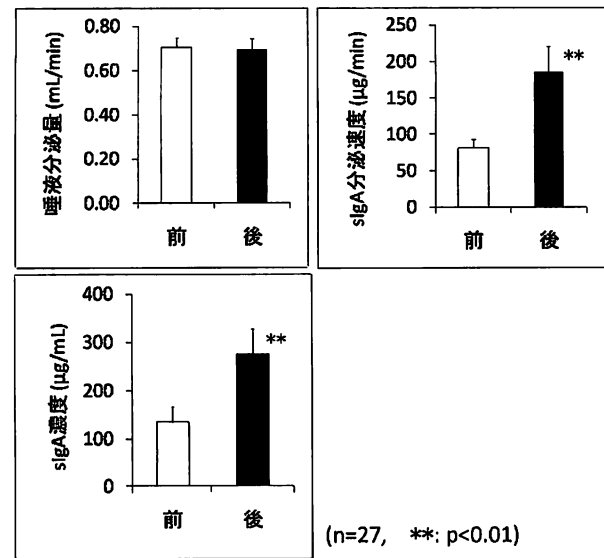


図 I-5 座学が免疫グロブリンA (sIgA) 分泌に与える影響

中学2年生27名の平均値と標準誤差を示す (**: $p < 0.01$)。

2) オリエンテーリングは分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌速度に影響しない

年に1度、国立高遠青少年自然の家で行なわれる林間学校におけるオリエンテーリングに同行し、2年間2度データを取得した。オリエンテーリングでは、唾液分泌量が増加する生徒と減少する生徒がほぼ半数ずつであった。唾液分泌量の変化を反映して、唾液中の分泌型免

疫グロブリンA (sIgA) 濃度が増減していた。したがって、オリエンテーリングにより分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の能動的分泌に影響されたとは言えない。オリエンテーリングは3~4時間続くため、その間の水分の取り方にも生徒間で差があり、唾液量の変化の影響が大きかったと考えられる。

3) 体育の授業は分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌速度に影響しない

校内で行われた水泳とバレーボールの授業の直前と直後にデータを取得した。体育の授業は、分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌に影響を及ぼさなかった。

4) 分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌には男女差がある

社会科の座学後には、男子生徒も女子生徒もともに分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌速度が増加しているが、女子生徒では座学前後の値が男子生徒より小さかった (図 I-6)。オリエンテーリングや体育の授業の場合でも、女子生徒の免疫グロブリンA (sIgA) 分泌速度は、男子生徒より低い値であった。

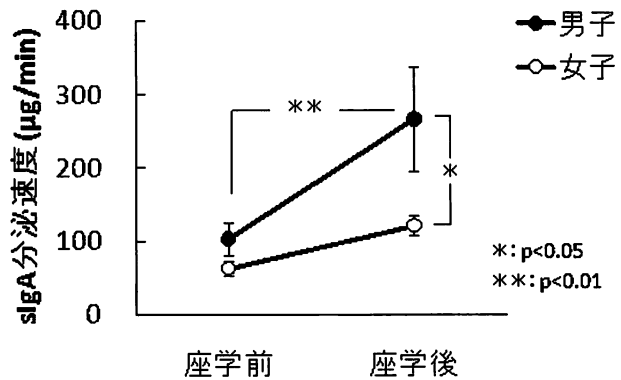


図 I-6 座学が免疫グロブリンA (sIgA) 分泌に与える影響の男女差

男子生徒 (n=12) と女子生徒 (n=15) の平均値と標準誤差を示す (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)。

サブテーマ 2 高原環境の利用：準高地の酸素濃度がもたらすストレス軽減効果

準高地で運動を行なうと、運動中に体内で発生した活性酸素によって生体成分や遺伝子が受ける酸化ストレスの程度が、低地に比べ軽いことを以前報告した (山梨県環境科学研究所研究報告書第7号、2003)。その際、運動後のバイオピリンの尿中への排泄量が、低地に比べ準高地で多いことが明らかとなった。バイオピリンは、赤血球中の血色素ヘモグロビンの代謝産物ビリルビンの酸化物である (図 I-7)。このことから、準高地において運動に伴う酸化ストレスが軽減される理由は、準高地の酸素条件が体内でのビリルビン産生を増加させたためであると考えた (図 I-8)。そこで本プロジェクトでは、準高

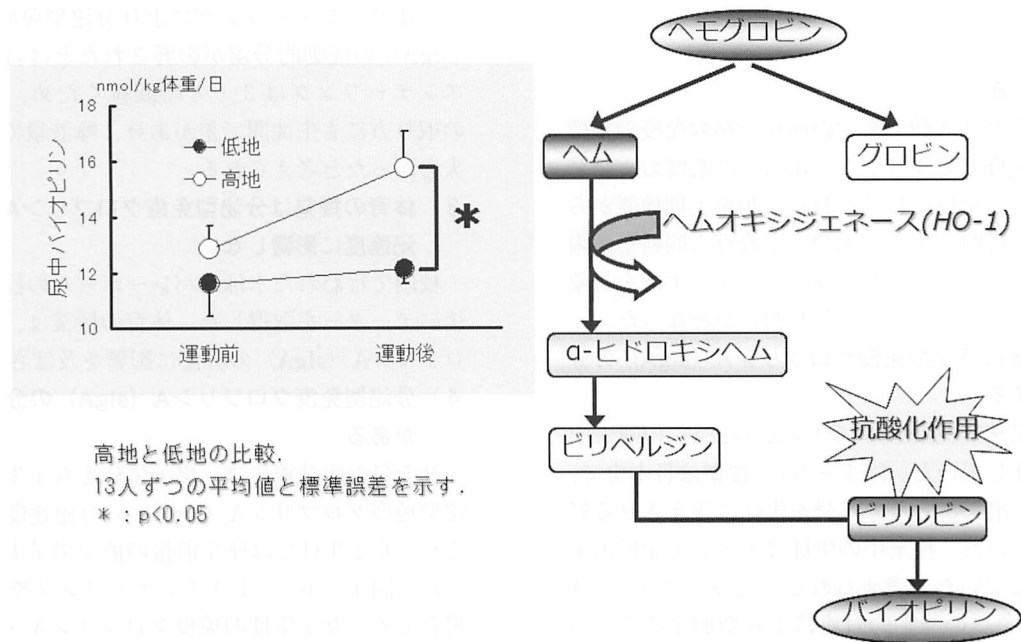


図 I-7 準高地での運動とバイオピリン

海拔 1400 メートルの準高地で運動すると、低地（海拔 350 メートル）で運動する場合に比べ、運動後の尿中へのバイオピリンの排泄が多い。活性酸素によって傷害を受けた遺伝子に由来する 8-OHdG や過酸化脂質の尿中への排泄は準高地で運動する方が少ない。したがって、バイオピリンの前駆体ビリルビンの抗酸化作用が、準高地で高まったと予想される。

地の酸素条件に設定した低酸素テントを用いて、この考えを確かめるための実験を行ない、以下の結果を得た。

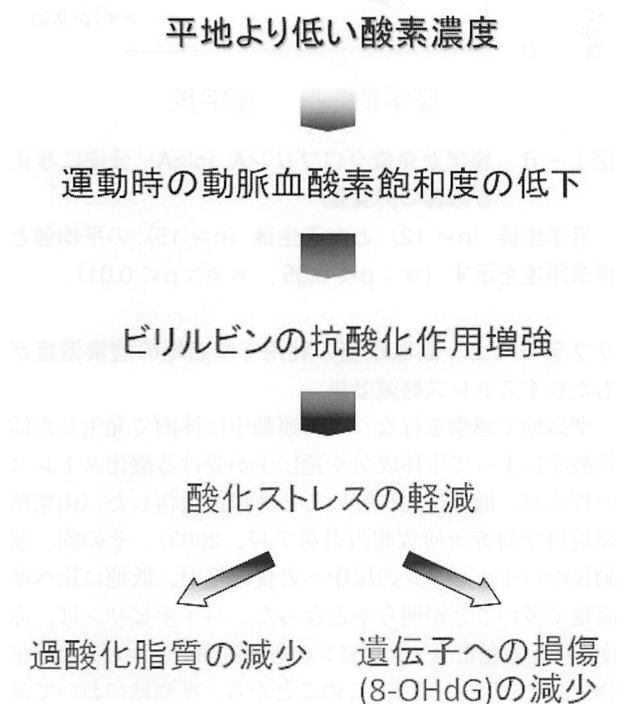


図 I-8 準高地の酸素条件はビリルビンの抗酸化作用を増強する（仮説）

1) 準高地では血中ビリルビン濃度が高くなる

準高地の酸素条件下に滞在すると、同じ時間低地の酸素条件下に滞在する場合に比べ、血中ビリルビン濃度が高くなる（図 I-9）。体内でのビリルビン合成の律速酵素であるヘムオキシジェナーゼ-1（OH-1：hemoxygenase-1）の濃度も準高地で高い傾向を示した。

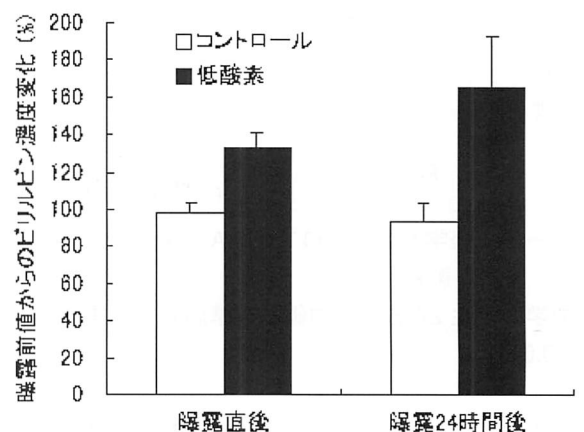


図 I-9 準高地の酸素条件が血中ビリルビン濃度に与える影響

海拔 400 メートル（コントロール）と海拔 3000 メートル（低酸素）の酸素条件下に滞在した場合の血中ビリルビン濃度の変化を示す。男子大学生 14 名の平均値と標準誤差を示す。

2) 準高地での運動は尿中へのバイオピリン排泄を
やす

準高地の酸素条件下に滞在する場合、事前に運動を行なうと尿中へのバイオピリンの排泄量が増加する。

3) 準高地での運動によりヘムオキシジェネースー1
の合成が盛んになる

準高地の酸素条件下に滞在する場合、滞在中に運動を行なうとバイオピリンの尿中への排泄量が増加するとともに、ビリルビン合成の律速酵素であるヘムオキシジェネースー1の遺伝子 (OH-1 mRNA) の発現量が増加した (図 I - 10, 11)。以上の実験結果から、準高地の酸素条件が体内でのビリルビン産生を増加させることで、酸化ストレスを軽減するという仮説 (図 I - 8) が支持された。

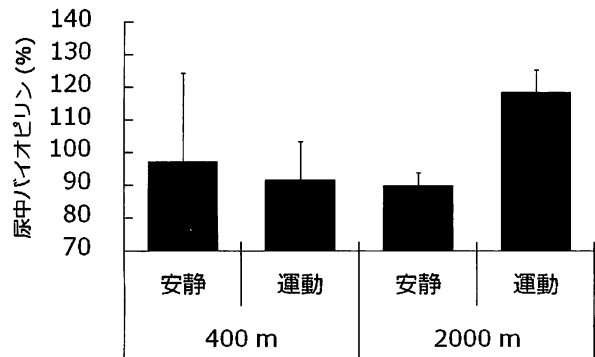


図 I - 10 海拔 2000 メートルの酸素条件下での尿中バイオピリン

海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下に 7 時間滞在した時の尿中へのバイオピリン排泄量を示す。男子大学生 5 名の平均値と標準誤差を示す。

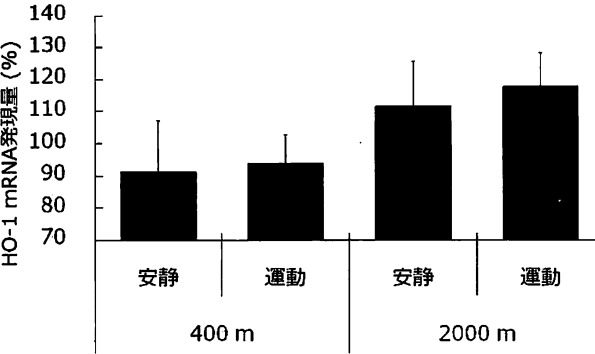


図 I - 11 海拔 2000 メートルの酸素条件下でのヘムオキシジェネースー1 のメッセンジャー RNA (HO-1 mRNA) の発現量

海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下に 7 時間滞在した時の HO-1 mRNA の発現量を示す。男子大学生 5 名の平均値と標準誤差を示す。

4) 準高地での運動により脳血流が増加する

準高地の酸素条件下で運動を行うと、運動に伴う脳血流の増加が、低地の酸素条件下で運動する場合よりも大きく現れた (図 I - 12)。運動後に認知テストを行うと、低地の酸素条件下での運動後に比べ、準高地の酸素条件下での運動後の方が、認知課題遂行中の脳血流の増加幅が大きかった (図 I - 13)。準高地で運動することが、認知機能に好ましい影響を与える可能性が示唆された。

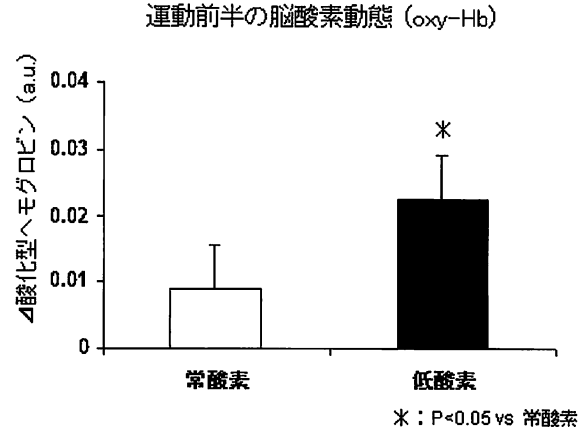


図 I - 12 準高地での運動と脳血流
海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下での運動中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量の変化を示す。男子大学生 6 名の平均値と標準誤差を示す (* : p<0.05)。

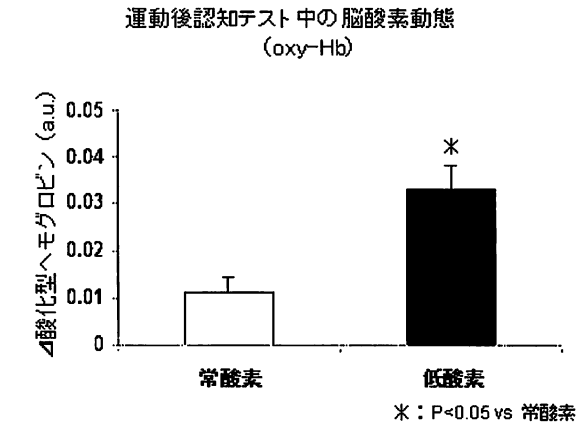


図 I - 13 準高地での認知課題遂行中の脳血流
海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下での運動後に、認知課題を遂行中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量の変化を示す。男子大学生 6 名の平均値と標準誤差を示す (* : p<0.05)。

I - 5 研究成果の発表状況

(A) 出版物

- 1) Nagai M., Saitoh J., Ohno H., Hitomi C. and Wada

M. (2006) Pentavalent vanadium at concentration of the underground water level enhances the sweet taste sense to glucose in college students. *BioMetals* 19 : 7-12.

- 2) 大野洋美、齋藤順子、和田万紀、永井正則 (2007) グレープフルーツの香りの吸入が課題遂行に伴う集中力の低下を防ぐ. *Aroma Research* 8 : 60-63.
- 3) 大野洋美、永井正則 (2008) 香りと睡眠ーラベンダーの香りが睡眠中の自律神経活動に及ぼす影響ー. *自律神経* 44 : 94-97.
- 4) 石田光男、和田万紀、永井正則 (2008) 視覚刺激時の重心動揺に及ぼす不安の影響. *自律神経* 45 : 196-199.
- 5) Nagai M., Ishida M., Saitoh J., Hirata Y., Natori H. and Wada M. (2009) Characteristics of the control of standing posture during pregnancy. *Neuroscience Letters* 462 : 130-134.
- 6) 永井正則、石田光男 (2009) 妊娠中の立位姿勢の維持. *自律神経* 46 : 565-568.
- 7) Ishida M., Saitoh J., Wada M. and Nagai M. (2010) Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation. *Neuroscience Letters* 474 : 1-4.

(B) 学会発表

- 1) 石田光男 (2006) 回避反応課題における心臓血管系反応パターンの個体差. 第 70 回日本心理学会大会、福岡、平成 18 年 11 月.
- 2) Nagai M., Wada M., Ohno H. and Saitoh J. (2007) Anxiety in non-pathological range affects the postural sway in college students. The 84th Meeting of the Physiological Society of Japan, Osaka, March 2007.
- 3) Ishida M., Wada M., Saitoh J. and Nagai M. (2007) Influence of state anxiety on postural sway with visual target changing in size. The 84th Meeting of the Physiological Society of Japan, Osaka, March 2007.
- 4) 永井正則、石田光男、齋藤順子、有井良江、名取初美、和田万紀 (2007) 妊娠中の重心動揺の特性. 第 25 回日本生理心理学会大会、札幌、平成 19 年 7 月.
- 5) 石田光男、齋藤順子、永井正則 (2007) 血圧一拍動間隔の最大相互相関係数による森林浴時の心臓血管系反応の評価. 第 25 回日本生理心理学会大会、札幌、平成 19 年 7 月.
- 6) Nagai M. and Ohno H. (2007) Influence of anxiety on postural control in humans standing

with moving visual cues. ISAN2007 : The 5th Congress of International Society of Autonomic Neuroscience, Kyoto, October 2007.

- 7) Nagai M., Ishida M., Saitoh J., Arie Y., Natori H. and Wada M. (2008) Characteristics of the standing posture and its control in pregnant women. The 85th Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo, March 2008.
- 8) Ishida M., Saitoh J., Arie Y., Natori, H., Wada M. and Nagai M. (2008) Influence of anxiety on the postural control during stance in pregnant women. The 85th Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo, March 2008.
- 9) Wada M. and Nagai M. (2008) Anxiety affects body sway during orthostatic standing in college students. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July 2008.
- 10) Nagai M., Ishida M., Arie Y., Natori H. and Wada M. (2008) Characteristics of body sway during stance in pregnant women and influence of anxiety during pregnancy on body sway. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July 2008.
- 11) Ishida M., Nagai M. and Wada M. (2008) Influence of state anxiety on body sway with visual target moving in size. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July 2008.
- 12) 石田光男、永井正則 (2008) 香りの嗜好と粘膜免疫応答. 第 26 回日本生理心理学会大会、西原市、沖縄、平成 20 年 7 月.
- 13) 武藤由香里、北村真一、永井正則、御園生拓、下川敏雄 (2008) 河川景観の快適性に関する研究. 土木学会全国大会第 63 回年次学術講演会、仙台、平成 20 年 9 月.
- 14) 永井正則、石田光男 (2008) 妊娠と妊娠中の不安が重心動揺に及ぼす影響. 第 61 回日本自律神経学会総会、横浜、平成 20 年 11 月.
- 15) 永井正則 (2009) 寒冷時の胃腸運動 (招待講演). 日本繊維消費科学会創設 50 周年記念「快適性を考えるシンポジウム」、大阪、平成 21 年 10 月.
- 16) 永井正則、石田光男 (2009) 妊娠中の立位姿勢の維持と腹囲. 第 62 回日本自律神経学会総会、和歌山、平成 21 年 11 月.
- 17) 石田光男、永井正則 (2009) 予期不安における姿勢の不安定化. 第 62 回日本自律神経学会総会、和歌山、平成 21 年 11 月.
- 18) 永井正則、石田光男、和田万紀 (2010) 妊娠中の腹囲と直立姿勢の維持. 第 28 回日本生理心理学会大会、水戸、平成 22 年 5 月.

- 19) 石田光男、永井正則 (2010) 森林環境の音響特性と α 波誘導効果の検討. 第 28 回日本生理心理学会大会、水戸、平成 22 年 5 月.
 - 20) Nagai M. and Ishida M. (2010) Control of standing posture during pregnancy. The 87th Meeting of the Physiological Society of Japan, Morioka, May 2010.
 - 21) 和田万紀、石田光男、永井正則、御園生拓 (2010) 学習活動が免疫グロブリン A の分泌に与える影響. 日本教育心理学会第 52 回大会総会、東京、平成 22 年 8 月.
 - 22) 石田光男、和田万紀 (2010) 姿勢動揺計測による木質内装材の快適性評価. 日本心理学会第 74 回大会、大阪、平成 22 年 9 月.
 - 23) 和田万紀、石田光男、永井正則 (2010) 不安と立位姿勢の維持. 日本心理学会第 74 回大会、大阪、平成 22 年 9 月.
 - 24) 永井正則 (2010) 不安レベルと不安傾向が生理機能に影響する. 第 63 回日本自律神経学会総会、シンポジウム「体温調節と発汗：機能解剖、発汗の臨床、そして心理的要因の影響」、横浜、平成 22 年 10 月.
 - 25) 松本清、和田万紀、永井正則 (2010) ストレス対処行動と皮膚感覚閾値. 第 63 回日本自律神経学会総会、横浜、平成 22 年 10 月.
- (C) 講演等
- 1) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2006) 県民緑化まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 南アルプス市、平成 18 年 4 月.
 - 2) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2006) 武田の杜ウォーキングにおける生理心理指標測定実習および供覧. 甲府市、平成 18 年 5 月.
 - 3) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2006) 吉田恩賜林まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 富士吉田市、平成 18 年 12 月.
 - 4) 永井正則 (2007) 子どもの、あなたのバイオリズムは大丈夫? 山梨県立看護大学公開講座「地球環境と健康」、甲府市、平成 19 年 9 月.
 - 5) 永井正則 (2007) ストレスを解消し、心も身体も健康に. ぴゅあ富士エンパワーメントセミナー「ぴゅあ富士講座」、都留市、平成 19 年 11 月.
 - 6) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2007) 金川の森公園まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 笛吹市、平成 19 年 11 月.
 - 7) 永井正則 (2008) 体温調節と熱射病の発生メカニズム. 養鶏協会関東甲信越ブロック協議会、笛吹市、平成 20 年 4 月.
 - 8) 永井正則 (2008) ストレスと健康. 富士吉田連合婦人会、富士吉田市、平成 20 年 4 月.
 - 9) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 県民緑化まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 笛吹市、平成 20 年 4 月.
 - 10) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 武田の杜森林セラピーウォークにおける生理心理指標測定実習および供覧. 甲府市、平成 20 年 5 月.
 - 11) 永井正則 (2008) 森林の利用と健康. 山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2008「ツーリズムと健康—観光気候学への招待—」、富士吉田市、平成 20 年 9 月.
 - 12) 永井正則 (2008) 森と健康. 大学コンソーシアムやまなし、富士吉田市、平成 20 年 10 月.
 - 13) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 金川の森公園まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 笛吹市、平成 20 年 10 月.
 - 14) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 吉田恩賜林森の癒し体験モニターツアーにおける生理心理指標測定実習および供覧. 富士吉田市、平成 20 年 10 月.
 - 15) 永井正則 (2008) アロマの効用. ぴゅあ富士エンパワーメントセミナー「アロマキャンドルづくり—ココロとカラダがほっとするとき」、都留市、平成 20 年 12 月.
 - 16) 永井正則 (2008) 樹木の香りでストレス解消. 山梨県環境科学研究所環境科学講座、富士吉田市、平成 20 年 12 月.
 - 17) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2009) 武田の杜森林セラピーウォークにおける生理心理指標測定実習および供覧. 甲府市、平成 21 年 5 月.
 - 18) 永井正則 (2009) 睡眠中の自律神経のリズムとストレス. 山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2009「バイオリズムと健康」、富士吉田市、平成 21 年 7 月.
 - 19) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2009) 金川の森公園まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧. 笛吹市、平成 21 年 10 月.
 - 20) 永井正則 (2009) 森林環境とストレス? 森とつきあう. 平成 21 年度ファナック労働組合機関要員研修会. 八王子、平成 21 年 10 月.
 - 21) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2009) 吉田恩賜林五感で楽しむ森の癒し体験会における生理心理指標測定実習および供覧. 富士吉田市、平成 21 年 11 月.
 - 22) 永井正則 (2009) 21 世紀の地域像、ウェルネスグリーンの展開について. 平成 21 年度山梨学講座「21 世紀の未来を創る匠たち」シンポジウム、甲府市、平成 21 年 11 月.
 - 23) 永井正則 (2009) 暑さ寒さと健康. 富士の里市

民大学、富士吉田市、平成 21 年 12 月。

- 24) 永井正則 (2009) 香りに工夫でストレス解消。
山梨県環境科学研究所環境体験講座「森の香りのキャンドルづくり」、富士吉田市、平成 21 年 12 月。
- 25) 永井正則、遠藤淳子 (2010) 県民緑化まつりさわやか森林浴のつどいにおける生理心理指標測定実習および供覧。都留市、平成 22 年 4 月。
- 26) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2010) 武田の杜森林セラピーウォークにおける生理心理指標測定実習および供覧。甲府市、平成 22 年 5 月。
- 27) 永井正則 (2010) 森林環境がもたらす保健効果。環境・ビジネス研究会、北杜市、平成 22 年 6 月。
- 28) 永井正則 (2010) 睡眠と健康一質のよい眠りのために。伊東高校同窓会定期総会記念講演、伊東市、平成 22 年 6 月。
- 29) 永井正則 (2010) 森林環境そして香りの効用。国際ロータリー第 2620 地区インターアクト第 37 回年次大会、富士吉田市、平成 22 年 7 月。
- 30) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2010) 金川の森公園まつりにおける生理心理指標測定実習および供覧。笛吹市、平成 22 年 10 月。
- 31) 永井正則 (2010) 環境と人間。伊東高校読書ウィーク講演、伊東市、平成 22 年 10 月。
- 32) 永井正則 (2010) 香りに工夫でストレス解消。山梨県環境科学研究所環境体験講座「森の香りのキャンドルづくり」、富士吉田市、平成 22 年 12 月。

I-6 研究テーマに関する研修生受け入れ状況

平成 18 年度

富士吉田市立看護専門学校 3 年生 新井佳那子

平成 19 年度

山梨大学大学院医学工学総合教育部

1 年生 武藤由香里

平成 20 年度

山梨大学大学院医学工学総合教育部

2 年生 武藤由香里

富士吉田市立看護専門学校 3 年生 山崎 絢子

平成 21 年度

山梨県立大学看護学部 4 年生 金澤 宏枝

山梨県立大学人間福祉学部 3 年生 田中 由麻

平成 22 年度

山梨県立大学人間福祉学部 4 年生 田中 由麻

山梨県立大学人間福祉学部 3 年生 長澤 菜月

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、山梨県立大学、健康科学大学の先生方並びに関係者各位に深く感謝の意を評します。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。また、中高年対象の実験にご参加いただいた皆様に感謝します。

本編

Ⅱ 研究成果報告

Ⅱ－１ 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ名：

「森林と高原の環境を活用したストレス軽減法に関する研究」
(平成 18 ～平成 22 年度、5 カ年)

Ⅱ－２ 研究組織

山梨県環境科学研究所	副 所 長	永井 正則
山梨県環境科学研究所	環境生理学研究室	
	非常勤嘱託	石田 光男 ¹⁾
	非常勤嘱託	松本 清 ²⁾
	助 手	齋藤 順子 ³⁾
	助 手	遠藤 淳子 ⁴⁾
山梨県環境科学研究所	人類生態学研究室	
	主幹研究員	本郷 哲郎 ^{a)}
山梨県環境科学研究所	環境計画学研究室	
	主任研究員	池口 仁 ^{b)}
東京大学農学生命科学研究科		
	准 教 授	山本 清龍 ^{a)}
山梨大学教育人間科学部		
	准 教 授	小山 勝弘 ^{c)}
山梨大学工学部	教 授	御園生 拓 ^{b)}
日本大学法学部	教 授	和田 万紀 ^{b)}

研究協力機関：

富士吉田市外二ヶ村恩賜県有財産保護組合
山梨大学教育人間科学部附属中学校

¹⁾ 平成 21 年度まで在籍、²⁾ 平成 22 年度より在籍、
³⁾ 平成 20 年度まで在籍、⁴⁾ 平成 20 年度より在籍
^{a)} サブテーマ 1－A を分担、^{b)} サブテーマ 1－B を分担、
^{c)} サブテーマ 2 を分担

Ⅱ－３ 研究目的

山梨県の自然資源として、県土の 78 % 以上を占める森林や海拔 800 ～ 1500 メートルの高原地帯（準高地）の価値は大きい。森林や高原の環境がもたらす保健休養上の効用について、これまでに次のようなことを明らかにしてきた。①森林環境の中で安静にしていると不安が低下する。さらに、鼻やのどの粘膜を感染から守る免疫タンパク（sIgA：分泌型免疫グロブリン A）の分泌が盛んになり、心拍数が低下し心臓の拍動間隔が規則

的になる（山梨県環境科学研究所研究報告書第 22 号、2008）。人がストレスに曝されると、sIgA 分泌が低下し、のどや気管の感染症に罹患しやすくなり、心臓の拍動間隔も不規則化する。したがって、森林環境中で安静に過ごすことは人のストレス反応を軽減する効果があることがわかる。②準高地で運動をすると、運動中に体内で発生した活性酸素によって生体成分や遺伝子が受ける傷害の程度が、低地で運動する場合より軽い（山梨県環境科学研究所研究報告書第 7 号、2003）。このことから、準高地の酸素条件は、酸化ストレスを軽減すると推測される。

以上のような先行研究から、森林や高原の環境には人のストレスを軽減する効果があることがわかった。今回のプロジェクト研究では、森林環境をどのように利用すれば、より大きなストレス軽減効果がもたらされるのかを、自律神経や免疫機能および脳の活動などを、心理指標を合わせて測定することによって明らかにする（サブテーマ 1）。また、高原地域の特徴である低い酸素分圧が、体内で発生する活性酸素のもたらす酸化ストレスをどのようなメカニズムで軽減するかを明らかにする（サブテーマ 2）。

Ⅱ－４ 研究成果

サブテーマ 1 森林の利用：森林への嗜好の形成が人の心と身体に与える影響についての研究

サブテーマ 1－A

学生および社会人を対象として、1 時間程度の森林散策を行ない、その前後で血圧や心拍数、粘膜免疫能などの生理指標と心理指標を測定した。また、1 時間程度の散策を週 1 度、3 週間繰り返した時の生理指標および心理指標の変化を測定した。森林散策を行なうフィールドは、吉田恩賜林組合の土丸尾地区と甲府市の武田の杜とした。森林散策は、森林内の動植物などを観賞しながら 2 ～ 3 km を、午前 10 時から 1 時間前後で歩く軽いものとした。実験の結果、以下のことが明らかとなった。

1) 森林散策は中高年者の血圧を低下させる

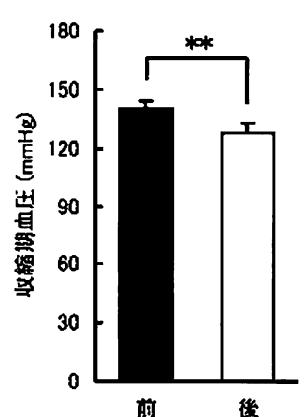
吉田恩賜林土丸尾地区での 1 時間程度の森林散策によって、平均年齢 25 歳の大学生・大学院生の血圧が一定の方向に変化することはなかった。一方、中高年者では、同じ散策によって収縮期血圧が有意に低下することがわかった（図Ⅱ－1）。図Ⅱ－1 は、平均年齢 56 歳の男女 18 名での結果である。平均年齢 54 歳の男女 10 名が、甲府市の武田の杜で 45 分程度の森林散策を行なった場合でも、散策後に収縮期血圧の低下が観察された（図Ⅱ－2）。平均年齢 56 歳のグループでは、収縮期血

圧は平均で 140.0 mmHg から 128.1 mmHg まで低下していた。平均年齢 54 歳のグループでは、平均収縮期血圧は、142.1 mmHg から 131.8 mmHg まで低下していた。これらの結果から、45 ～ 60 分程度の森林散策は、中高年者の血圧（収縮期血圧）を低下させることがわかった。

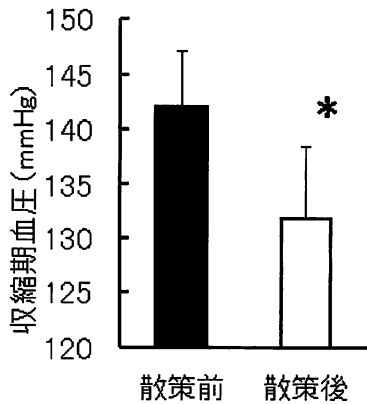
森林散策によって収縮期血圧が低下した被験者群の平均年齢は 56 歳と 54 歳であった。平均年齢 56 歳の被験者群の散策前血圧は $140.0 \pm 4.1 / 81.4 \pm 3.3$ mmHg（収縮期血圧／弛緩期血圧）、平均年齢 54 歳の被験者群の散策前血圧は $142.1 \pm 5.1 / 82.1 \pm 3.8$ mmHg（収縮期血圧／弛緩期血圧）であった。両被験者群とも、収縮期血圧は、境界領域とされる値である。森林散策が血圧に影響しなかった大学生・大学院生の収縮期血圧は 110 mmHg 前後であった。そこで、森林散策は境界領域にあるような高めの血圧を低下させる作用があるのか、またはある年齢以上の人の血圧を低下させやすいのかを検討するため、平均年齢 46 歳の男女 17 名を被験者として、吉田恩賜林土尾尾地区で 1 時間程度の森林散策を行なった。散策前後の収縮期血圧は、それぞれ 139.6

± 6.9 mmHg と 136.5 ± 6.6 mmHg であり、散策による血圧低下作用は認められなかった（図Ⅱ－3）。同様の目的で、甲府市の武田の杜において、平均年齢 41 歳の男女 12 名を被験者として、45 分程度の森林散策を行なった。散策前後の収縮期血圧は、それぞれ 128.2 ± 4.8 mmHg と 115.6 ± 10.4 mmHg であり、散策による血圧低下作用は観察されなかった。吉田恩賜林組合の職員およびその家族で、収縮期血圧が 130 mmHg を超える被験者を募り、1 時間程度の森林散策を行なった。応募者は 11 名で、平均年齢は 52 歳であった。これらの被験者の収縮期血圧は、散策前が 152.8 ± 8.0 mmHg、散策後が 148.9 ± 7.6 mmHg であり、散策による血圧低下作用は認められなかった。この結果は、散策前の収縮期血圧が高い方が、森林散策の効果が現れやすいという考えを支持しない。このように、50 歳代前半の被験者の 150 mmHg を超える高い収縮期血圧が森林散策の影響を受けないのに対し、後に図Ⅱ－4 やⅡ－8 に示すように、60 歳代や 70 歳代の被験者の 150 mmHg を超える収縮期血圧は、森林散策後にはっきりと低下を示している。これらのことから、森林散策による血圧低下作用の発現には、散策前の血圧レベルよりも、年齢の方が大きな影響を及ぼしていると考えられる（表Ⅱ－1）。55 歳前後を節目にして、森林散策による血圧低下作用が顕著になっていくと推測している。

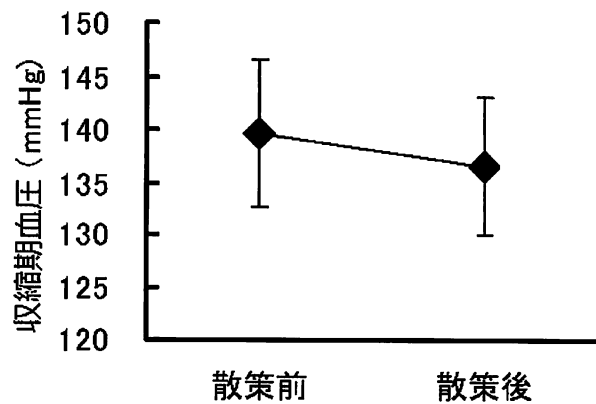
運動後に血圧が低下する現象は、一般に運動後低血圧（PEH：post-exercise hypotension）と呼ばれている。運動後低血圧を起こすメカニズムについては、さまざまな可能性が指摘されているが、未だ完全には説明されていない（McDonald J. R., Journal of Human Hypertension 16：225-236, 2002）。本研究で行なった森林散策を運動として見た場合、運動強度が個々人の予備心拍数の 20 % を超えない程度のごく軽い運動である。中高年者では若齢者と比べ、極軽い運動でも運動後低血圧が起きやすく、そのため 45 ～ 60 分程度の森林散策



図Ⅱ－1 中高年者における森林散策と血圧
平均年齢 56 歳の男女 18 名の平均値と標準誤差を示す (**：p<0.01)。



図Ⅱ－2 中高年者における森林散策と血圧
平均年齢 54 歳の男女 10 名の平均値と標準誤差を示す (*：p<0.05)。



図Ⅱ－3 中高年者における森林散策と血圧
平均年齢 46 歳の男女 17 名の平均値と標準誤差を示す。

表Ⅱ－１ 被験者群の平均年齢と森林散策後の血圧低下の有無

平均年齢	散策前 収縮期圧 (mmHg)	散策後 血圧低下
72	166.1 ± 6.2	○
66	147.4 ± 5.7	○
56	140.0 ± 4.1	○
54	142.1 ± 5.1	○
52*	152.8 ± 8.0	—
46	139.6 ± 6.9	—
41	128.2 ± 4.8	—
25	108.0 ± 6.1	—

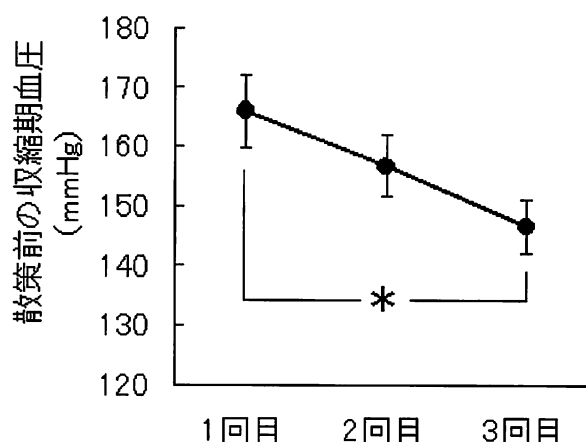
○：散策後血圧低下あり、—：散策後血圧低下なし；＊は散策前収縮期圧が130 mmHg以上を条件に募集した被験者群

によって血圧が低下した可能性が考えられる。今後、この可能性を実験によって確かめていく予定である。

2) 森林散策を繰り返すことで中高年者の血圧が順次低下していく

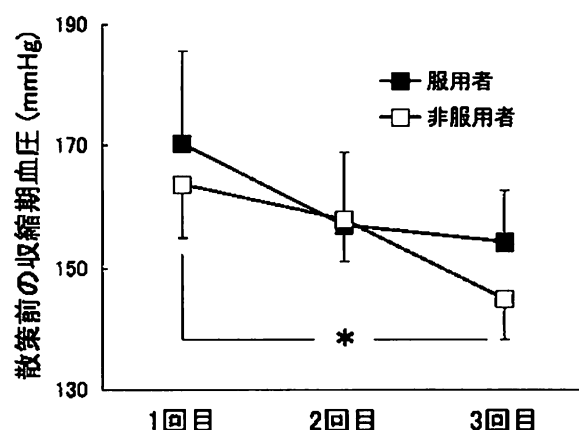
森林散策が中高年者の血圧を低下させることがわかった（図Ⅱ－1，Ⅱ－2）。そこで、週1度1時間前後の森林散策を3週間繰り返すことが、血圧に及ぼす影響を調べた。被験者は、平均年齢72歳の男女12名であった。散策後の収縮期血圧の低下は、3回とも確認できた。さらに、1週1回1時間程度の散策を繰り返すことで、散策開始前の収縮期血圧が順次低下していくことがわかった（図Ⅱ－4）。一般的に中高年者の血圧は高めであり、降圧剤を日常的に服用している被験者がいた。そこで、降圧剤を服用している被験者群と服用していない被験者群とで散策の繰り返し効果を比較した。その結果、降圧剤非服用群で散策の繰り返しによる血圧の下降が降圧剤服用群より顕著に現れていた（図Ⅱ－5）。

森林散策の繰り返し効果をさらに確かめるため、平均年齢66歳の男女16名を被験者として、森林散策の繰り返し実験を行なった。収縮期血圧は毎回の散策の度に低下し（図Ⅱ－6）、散策を繰り返すことで散策前の収縮期血圧が順次低下していくことが確認できた（図Ⅱ－7）。この被験者群では、第1回目の散策前の収縮期血圧は平均で147.4 ± 5.7 mmHgであった。平均年齢から推測するよりも良好な血圧であった。この被験者群には、定年後に富士五湖周辺へ移住してきたり、週末を富士五湖周辺の別荘で過ごすという人が多く、普段から健康的なライフスタイルを志向していることが血圧の値にも反映されていたと考えられる。被験者16名の内、降圧剤服用者が5名いた。内訳は、β阻害薬のみ服用が1名、カルシウム阻害薬のみ服用が3名、カルシウム阻害薬とアンギオテンシン受容体阻害薬の2剤服用が1名で



図Ⅱ－4 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響

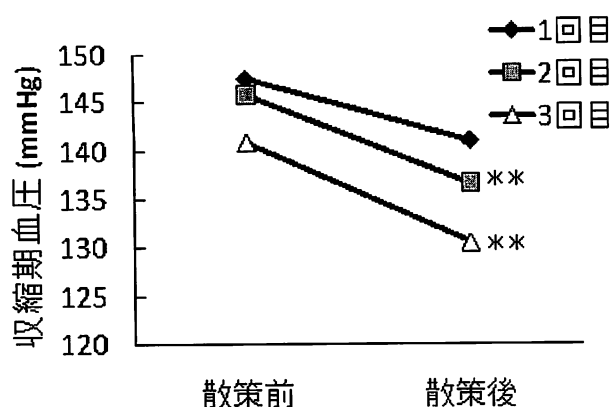
平均年齢72歳の男女12名の平均値と標準誤差を示す（＊：p<0.05）。



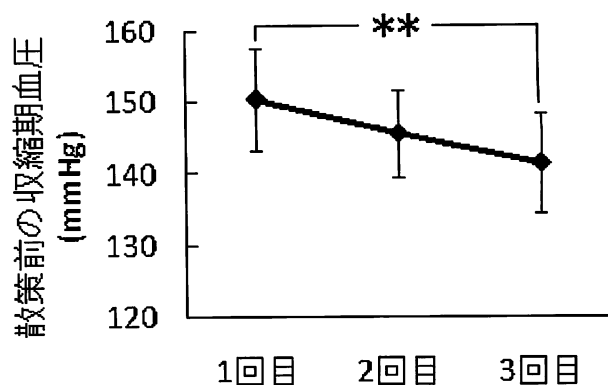
図Ⅱ－5 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響

平均年齢72歳の男女12名の平均値と標準誤差を示す（＊：p<0.05）。

あった。降圧剤非服用者と降圧剤服用者を比較すると、散策の繰り返しによる散策前収縮期血圧の順次低下作用は、降圧剤非服用者でより明らかに現れることがわかった（図Ⅱ－8，Ⅱ－9）。降圧剤非服用者と降圧剤服用者の第1回目の散策前収縮期血圧は、それぞれ150.4 ± 7.2 mmHgと141.0 ± 9.1 mmHgであった。降圧剤服用者の収縮期血圧が、同年齢の降圧剤非服用者の血圧より低かったことから、この被験者群では、降圧剤服用者の血圧がよくコントロールされていることがわかる。降圧剤服用者で、散策の繰り返しによる血圧の順次低下作用が現れにくい理由は、普段から降圧剤の服用によって血圧が一定レベルにコントロールされているためと考えられる。一方、降圧剤非服用者では初回の散策前に150.4 ± 7.2 mmHgであった収縮期血圧が、3回目の散策前には141.4 ± 6.9 mmHgまで低下していた。図Ⅱ－5に結果を

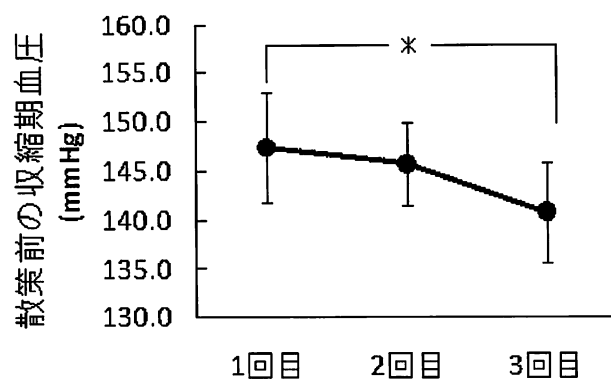


図Ⅱ－6 中高年者における森林散策と血圧
平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す (** : $p < 0.01$)

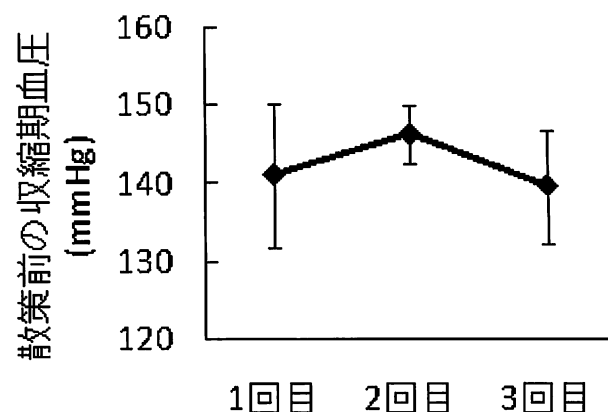


図Ⅱ－8 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響

図Ⅱ－7 の被験者の内、降圧剤非服用者 11 名の平均値と標準誤差を示す (** : $p < 0.01$)。



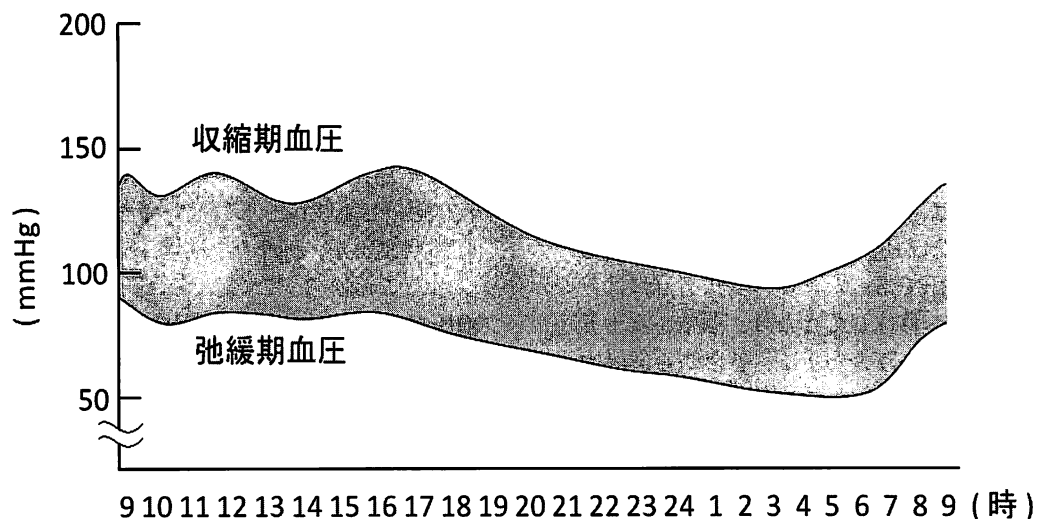
図Ⅱ－7 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響
平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値と標準誤差を示す (* : $p < 0.05$)。



図Ⅱ－9 森林散策の繰り返しが散策開始前の血圧に及ぼす影響

図Ⅱ－7 の被験者の内、降圧剤服用者 5 名の平均値と標準誤差を示す。

正常血圧の変動



図Ⅱ－10 血圧の日内変動

示した平均年齢 72 歳の被験者群でも、降圧剤非服用者では初回の散策前に 163.6 ± 8.7 mmHg であった収縮期血圧が、3 回目の散策前には 144.8 ± 6.4 mmHg まで低下していた。降圧剤服用者の血圧が 140 mmHg 前後にコントロールされていることを考慮すると、降圧剤非服用者における森林散策の繰り返しは、降圧剤に匹敵する効果を持つことが推測される。

3) 森林散策による血圧低下は、散策後数時間持続する

森林散策によって低下した血圧のその後の経過を、散策後 3 時間まで追跡した。散策終了は午前 11 時前後、散策後 3 時間は午後 2 時前後であった。被験者は、図 II - 6 から II - 9 までに結果を示した平均年齢 66 歳の男女 16 名であった。被験者は、散策後の午後 0 時前後から昼食をとり、午後 1 時から座位を保った。被験者同士の会話や水分補給、昼食の内容については、特に制限を設けなかった。図 II - 10 に示すように、午後 0 時から午後 2 時過ぎまでは、1 日の内で血圧が高いレベルで安定している時間帯である。森林散策によって低下した収縮期血圧は、散策終了後 3 時間目でも低いレベルに留まっていた (図 II - 11)。降圧剤非服用者のみのデータでは、収縮期血圧が散策後 3 時間目まで低下したまま保たれることがさらに明確に見ることができる (図 II

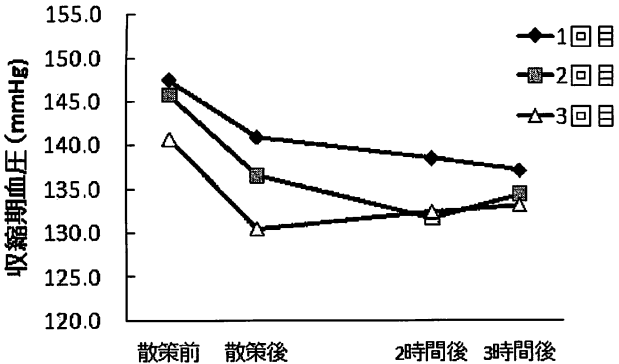


図 II - 11 森林散策による血圧低下の時間経過
平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す。

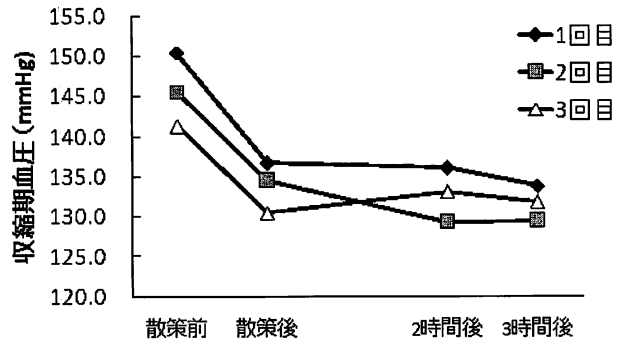


図 II - 12 森林散策による血圧低下の時間経過
図 II - 7 の被験者の内、降圧剤非服用者 11 名の平均値を示す。

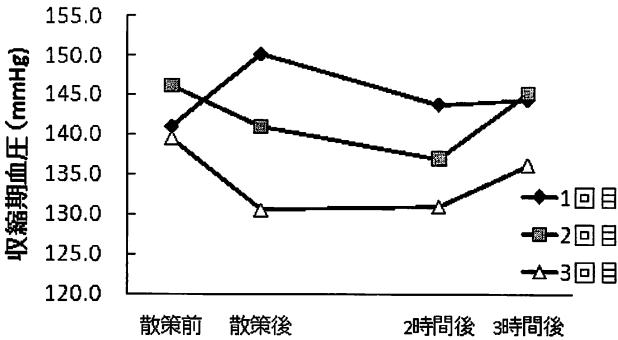


図 II - 13 森林散策による血圧低下の時間経過
図 II - 7 の被験者の内、降圧剤服用者 5 名の平均値を示す。

ー 12)。降圧剤服用者では、普段から降圧剤によって血圧が維持されているためか、散策終了後 3 時間目では収縮期血圧が散策開始前の値に戻っていた (図 II - 13)。

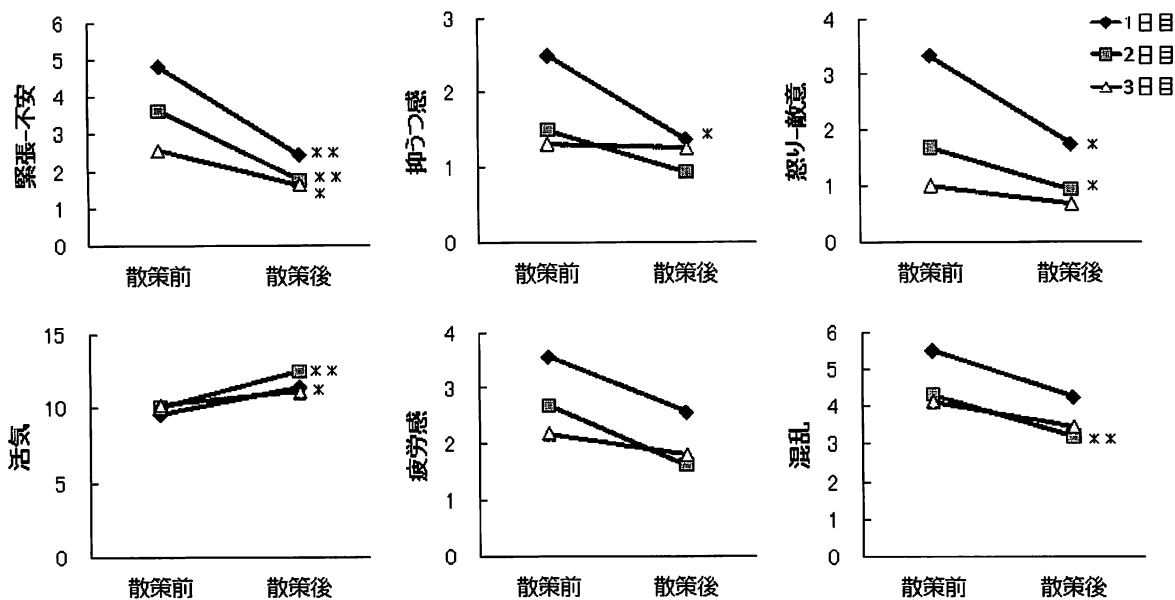
4) 森林散策のもたらす心理効果には馴れの現象 (馴化) がない

森林散策によって緊張や不安、怒り、敵意といったネガティブな気分が軽減し、活気が増す (図 II - 14)。このような心理効果には、年齢による差異は認められなかった。また、森林散策を繰り返すことで馴れ (馴化) が生じることはなく、散策のたびに好ましい効果が現れた。

5) 森林散策が分泌型免疫グロブリン A (sIgA) の分泌に与える影響

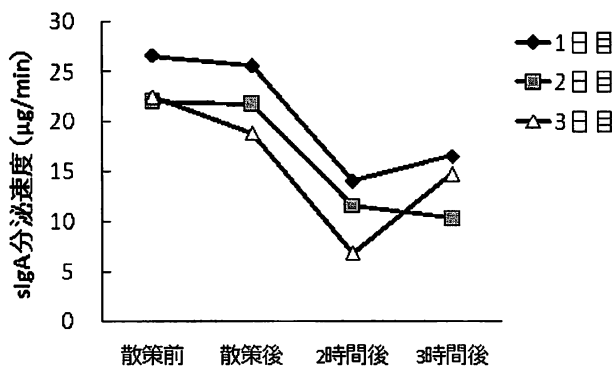
粘膜免疫の主要抗体である分泌型免疫グロブリン A (sIgA) の唾液中への分泌は、森林散策の影響は受けなかった (図 II - 15)。人がストレスを受けると、sIgA 分泌は低下するので、今回の結果から森林散策がストレスとはなっていないことがわかる。午前の値に比べ、午後の値が低いレベルで推移しているのは、本来、朝に高く午後から低下するという sIgA 分泌の日内リズムが反映されているためである。

森林内で安静にしていると sIgA 分泌が増加することがわかっている (山梨県環境科学研究所研究報告書第 22 号、2008)。分泌型免疫グロブリン A (sIgA) は、のどや鼻の奥の粘膜を感染から守る働きがあり、ストレスを受けるとその分泌が低下する (永井ほか、自律神経 41: 347 - 349, 2004)。したがって、森林中で過ごすことはストレスの軽減およびストレス耐性の強化に役立つと考えられる。一方、今回の結果から、45 分から 60 分の森林散策は sIgA 分泌に影響を与えないことがわかった。運動という要素が加わるため、ひとりひとりの運動強度の違いが sIgA 分泌に与える影響を考慮する必要がある。先に述べたように、森林内での安静は sIgA 分泌を増加させることがわかっている。この結論を得た実験での安静時間は 20 分であった。森林散策においても、



図Ⅱ-14 森林散策が気分を与える効果

平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)。



図Ⅱ-15 森林散策が分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌に及ぼす影響

平均年齢 66 歳の男女 16 名の平均値を示す。

散策開始後 20 分では sIgA 分泌が促進されているかも知れない。また、われわれは以前、樹木の香りを吸入することで sIgA 分泌が増加することを報告している (山梨県環境科学研究所研究報告書第 13 号、2004)。その実験での香り吸入時間は 10 分であった。散策開始後の早い時間に唾液を採取して、sIgA を測定する実験を行なうことで、森林散策中の sIgA の分泌動態を明らかにすることが必要である。

サブテーマ 1-B

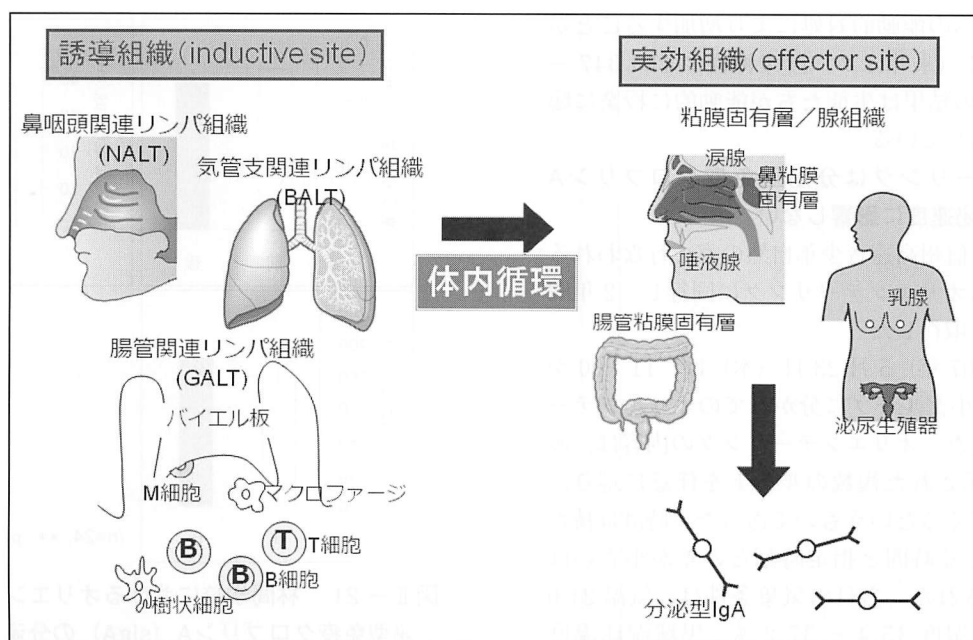
学校における野外活動や座学の前後で粘膜免疫の指標となる分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の濃度および分泌速度を測定し、学校における教育活動を生理機能から評価することを目的とした。分泌型免疫グロブリンA (sIgA) は、粘膜免疫の主要な抗体であり、のどや気管を感染から防御する働きがある (図Ⅱ-16)。粘膜免

疫系の働きは、遺伝要因や加齢などの内的条件によって変化するばかりでなく、気象条件やストレスなどの影響も受ける (図Ⅱ-17)。さらに、粘膜免疫系の変化は、全身性免疫にも影響を与える。慢性的にストレスに曝されている人では、sIgA の唾液中への分泌が低下する。そのため、粘膜免疫能が低下し、のどや気管の感染症に罹患しやすくなる。急性ストレスを受けた際は、ストレスに対して能動的に対処できる場合 (能動ストレス) は sIgA 分泌は増加し、受動的にしか対処できない場合 (受動ストレス) には sIgA 分泌が低下する (図Ⅱ-18)。能動ストレスとは、例えば制限時間内に問題を解決すれば報償がもらえるような状況であり、受動ストレスとは、歯科医院で口を開けて治療を受けているような状況である。これまでに、大学生を含む青年期の男女を対象にして、運動や学業と sIgA 分泌との関連を調べた研究は少ない。一方、初等中学校における学習活動を、sIgA 分泌を指標として評価しようとした研究はない。そこで、山梨大学教育人間科学部附属中学校の協力を得て、同中学校第 2 学年の生徒を対象に、学校内での学習活動と林間学校における活動が sIgA 分泌に及ぼす影響を調査した。以下にその結果を述べる。

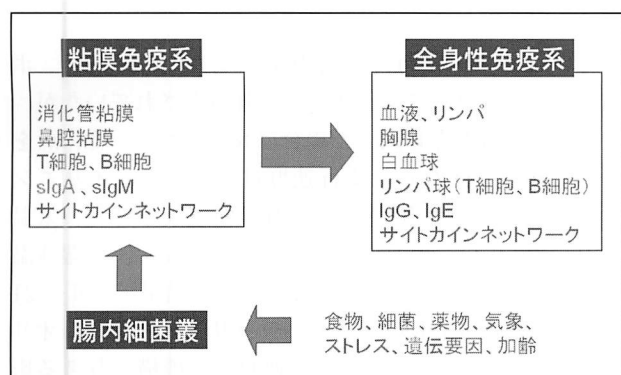
1) 座学によって分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌が亢進する

平成 20 年 (2008 年) 6 月 26 日 (木) の 13:30 から 14:20 に行なわれた社会科の座学の前後で唾液を採取し、sIgA 濃度と唾液中への分泌速度を測定した。教室の環境は、気温 26℃、相対湿度 55.5 - 60.3%、黒球湿球温度 (WBGT) 22.5 - 22.9℃であった。

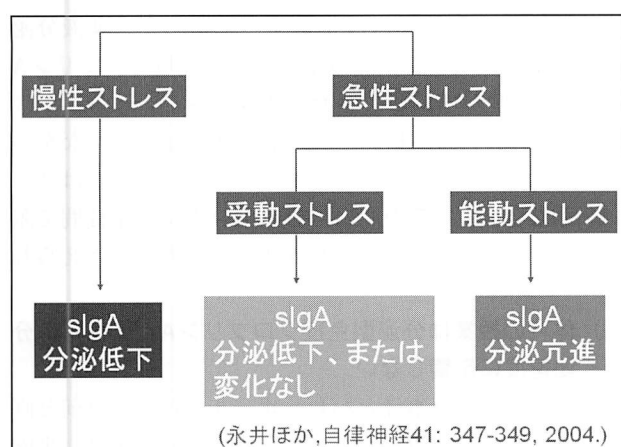
社会科の授業後に sIgA の唾液中への分泌が亢進していた (図Ⅱ-19)。授業は日本史で、教師が歴史的な出



図Ⅱ－16 分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の産生と分泌

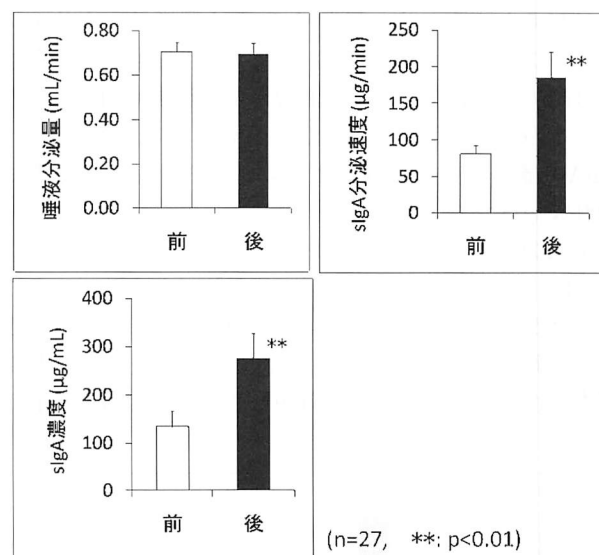


図Ⅱ－17 粘膜免疫系と全身性免疫系



図Ⅱ－18 ストレスが分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌に及ぼす影響

来事とその年号を生徒に答えさせる形式で進められていた。授業中の生徒は主として記憶再生課題に取り組んでいたと考えられる。唾液の採取ができた生徒27名の内、



図Ⅱ－19 座学が免疫グロブリンA (sIgA) 分泌に与える影響

中学2年生27名の平均値と標準誤差を示す (**: p<0.01)。

座学後に唾液分泌量が増加したのは13名、減少したのは12名、変化なしが2名であった。唾液分泌量は、増加と減少がほぼ半数ずつであったのに対し、sIgA濃度は全員で増加していた。sIgAの唾液中への分泌速度は、27名中25名で増加、1名で減少、1名で変化なしであった。唾液腺に貯留されたsIgAは、唾液腺からの唾液の分泌機構とは別の能動的分泌機構によって唾液腺から放出される(図Ⅱ－16)。今回得られた結果は、唾液分泌の増減にかかわらず、sIgAの能動的分泌が座学によって亢進していたことを示している。免疫グロブリンA

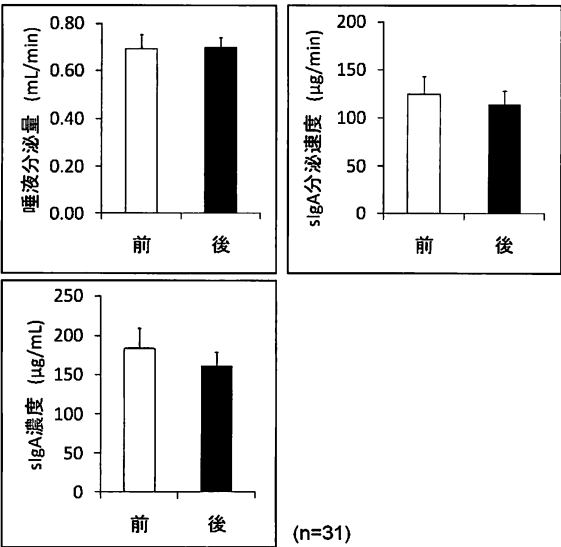
(sIgA) は、事象への能動的対処により増加することが知られているので (永井ほか、自律神経 41: 347 - 349、2004)、この結果は生徒たちが能動的に授業に臨んでいたことを示している。

2) オリエンテーリングは分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌速度に影響しない

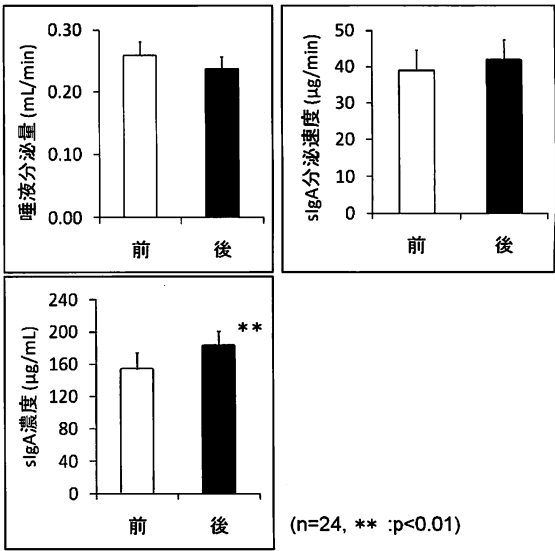
年に1度、国立信州高遠青少年自然の家で行なわれる林間学校におけるオリエンテーリングに同行し、2年間に2度データーを取得した。

平成19年(2007年)5月23日(水)は、11:00から15:00の間に小グループに分かれてのオリエンテーリングが行なわれた。オリエンテーリングの内容は、渡された地図上に示された複数のルートを任意に巡り、指定時刻に戻ってくるというものであった。時計は持たされず、戻ってくる時間と指定時刻との差が小さいほど高得点が与えられた。当日の気象条件は、気温21.0 - 22.1℃、相対湿度35.4 - 37.2%、黒球湿球温度(WBGT)17.0 - 18.7℃であった。結果を図Ⅱ-20に示す。オリエンテーリングの前後で唾液分泌量には変化は見られなかった。唾液中のsIgA濃度は、オリエンテーリング後に上昇していたが、sIgA分泌速度に有意差は認められなかった。唾液分泌量が減少傾向にあるので、その影響を受けてsIgA濃度が増加しているものの、sIgAの能動的分泌機構にオリエンテーリングの影響は現れなかった。

平成20年(2008年)5月22日(木)は、10:50から14:30の間に小グループに分かれてのオリエンテーリングが行なわれた。オリエンテーリングの内容は、渡された地図上にマークされたポイントを決められた時間内に巡り、各ポイントに置かれたパネルの得点を加算



図Ⅱ-20 オリエンテーリングが分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌に与える影響
中学2年生31名の平均値と標準誤差を示す。



図Ⅱ-21 林間学校におけるオリエンテーリングが分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌に与える影響
中学2年生24名の平均値と標準誤差を示す (** : p<0.01)。

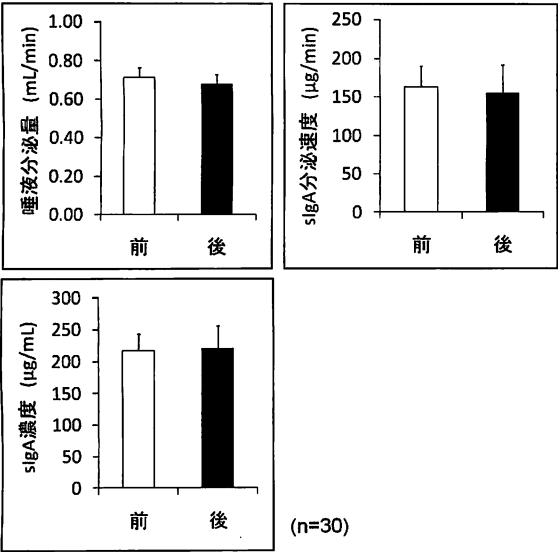
していきグループ毎の総得点を競うものであった。ポイントを巡るコースはグループの任意とされていたが、決められた時間を超過した場合は減点された。総得点を競うため、生徒たちの歩行速度は、前年度のオリエンテーリングよりも早かった。当日の気象条件は、気温20.9 - 23.0℃、相対湿度20.9 - 29.8%、黒球湿球温度(WBGT)16.2 - 17.3℃であった。結果を図Ⅱ-21に示す。平成19年のオリエンテーリングと同様、オリエンテーリングが、sIgAの能動的分泌機構へ与える影響を捉えることができなかった。

オリエンテーリングでは、唾液分泌量が増加する生徒と減少する生徒がほぼ半数ずつであった。唾液分泌量の変化を反映して、唾液中の分泌型免疫グロブリンA (sIgA) 濃度が増減していた。オリエンテーリングが、sIgAの能動的分泌速度に与える影響を捉えられなかったのは、このためであろう。オリエンテーリングは3~4時間続くため、その間の水分の取り方にも生徒間で差があり、唾液量の変化の影響が大きく現れたと考えられる。

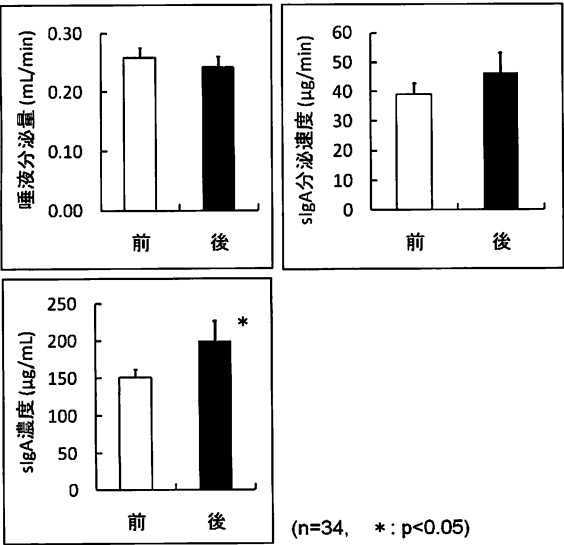
3) 体育の授業は分泌型免疫グロブリンA (sIgA) の分泌速度に影響しない

校内で行われた水泳とバレーボールの授業の直前と直後にデーターを取得した。バレーボールの授業は、平成20年6月11日(水)の8:50から9:40まで行なわれた。気象条件は、気温23.6 - 24.1℃、相対湿度58.5 - 60.9%、黒球湿球温度(WBGT)21.0 - 21.2℃であった。結果を図Ⅱ-22に示す。授業の前後で、唾液分泌量、sIgA濃度、sIgA分泌速度に一定方向の変化は見られなかった。生徒30名の内、唾液分泌量が増加した

のは9名、減少したのが21名であった。sIgA濃度は16名で増加、14名で減少していた。sIgAの能動的分泌に球技の授業は影響しなかったと結論される。平成19年7月27日(水)に行なった水泳の授業では、sIgA濃度が上昇してはいたものの、sIgA分泌速度には変化がなかった(図Ⅱ-23)。唾液分泌量の増減が、sIgA濃度変化の原因であり、sIgAの能動的分泌自体は体育の授業による影響を受けないことがわかった。一般に、激しい運動は運動後のsIgA分泌を低下させると言われている。今回の結果から、中学校における体育の授業は、sIgA



図Ⅱ-22 体育の授業(バレーボール)が分泌型免疫グロブリンA(sIgA)の分泌に与える影響
中学2年生30名の平均値と標準誤差を示す。



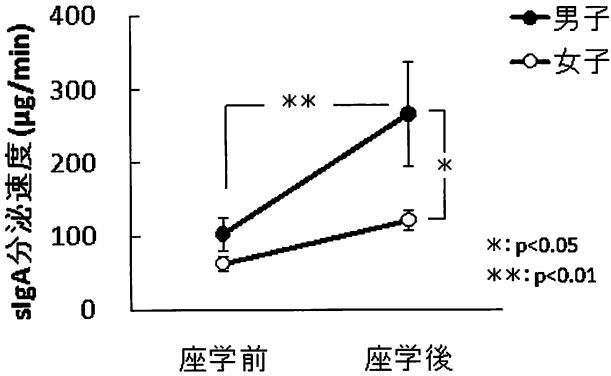
図Ⅱ-23 体育の授業(水泳)が分泌型免疫グロブリンA(sIgA)の分泌に与える影響
中学2年生34名の平均値と標準誤差を示す(* : p<0.05)。

分泌を低下させる程の強い運動負荷にはなっていないことがわかった。

唾液中のsIgA濃度の上昇が、水泳の後に起こるのに対し、バレーボールの後では観察されなかった。水泳とバレーボールの運動強度の差が、sIgA濃度の上昇の有無に関連しているかも知れない。また、水泳の場合には粘膜への水温の影響があると推測される。水温が直接粘膜へ作用することで、粘膜免疫を担当するsIgAの濃度がより強く影響されるのかも知れない。水泳とバレーボールでは、呼吸の様式も異なる。呼吸様式の差が粘膜免疫に影響すること考えられる。水泳と陸上で行なう運動が、sIgA分泌に異なる効果を及ぼすか否かについては、今後検討していく予定である。

4) 分泌型免疫グロブリンA(sIgA)の分泌には男女差がある

社会科の座学後に、分泌型免疫グロブリンA(sIgA)の分泌速度が増加していた(図Ⅱ-19)。しかし、男子生徒と女子生徒とで比較すると、座学後のsIgA分泌速度が顕著に増加しているのは男子生徒であった。図Ⅱ-24に示すように、男子生徒ではsIgA分泌速度が座学後に3倍近く増加しているのに対し、女子生徒では数10%の増加が見られるだけで、座学の前後での統計的有意差も確認できなかった。また、女子生徒では座学後のsIgA分泌速度が、明らかに男子生徒より低い値を示していた。



図Ⅱ-24 座学が免疫グロブリンA(sIgA)分泌に与える影響の男女差

男子生徒(n=12)と女子生徒(n=15)の平均値と標準誤差を示す(* : p<0.05, ** : p<0.01)。

先に、座学後に分泌型免疫グロブリンA(sIgA)の分泌速度が増加していることから、生徒たちが能動的に授業に臨んでいたと結論づけた。急性の能動ストレスとして暗算を被験者に行なわせた研究では、暗算終了後のsIgA分泌の動態に男女差があり、男性ではsIgA分泌が増加するのに対して、女性では変化がないことが報告されている(Willemsen et al., Psychophysiology 39 : 222

ー 228, 2002)。さらに、同じ報告中で、冷水負荷試験のような受動ストレスの場合には男女差は認められないことが示されている。図Ⅱ－24 に現れた男女差は、社会科の座学に対して生徒たちが、能動的に対処していたとする結論をさらに支持する根拠となっている。

サブテーマ2 高原環境の利用：準高地の酸素濃度がもたらすストレス軽減効果

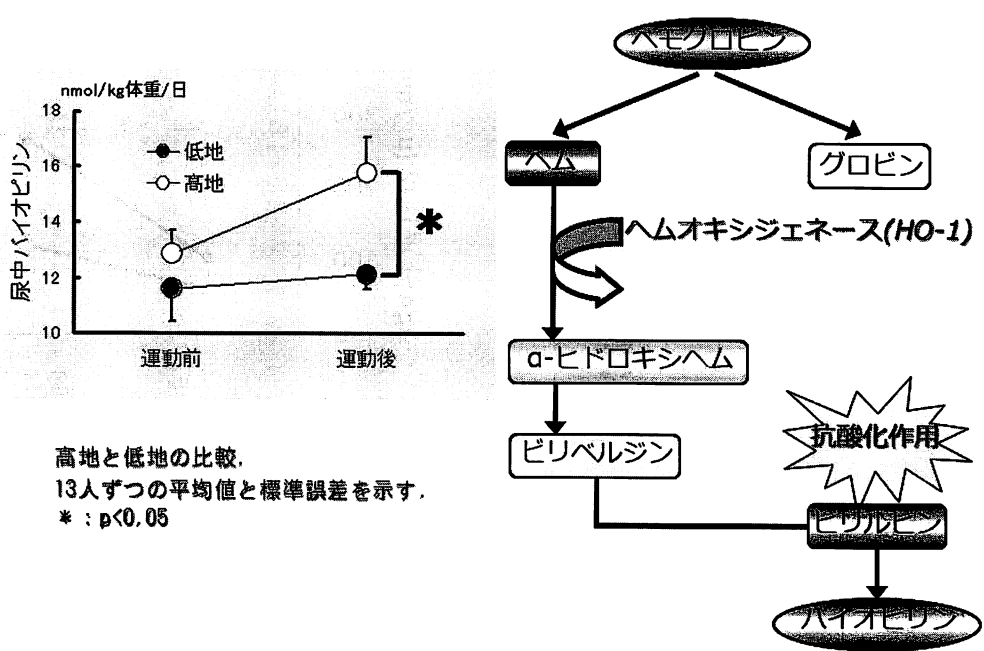
山梨県内には、八ヶ岳南麓や富士五湖地方など海拔 800 から 1500 メートルの高原地帯が多い。これらの高原地帯は、エレベーションリゾートとして多くの人に利用されている。海拔 2000 メートル前後までの高原は、準高地と呼ばれる。準高地の環境が、そこを訪れる人たちの心と身体に与える影響を具体的に示すことで、準高地における保健休養活動のプログラムが豊富になり、その質も高まることが期待される。

われわれは以前、準高地で運動を行なうと、運動中に体内で発生した活性酸素によって生体成分や遺伝子が受ける酸化ストレスの程度が、低地に比べ軽いことを報告した（山梨県環境科学研究所研究報告書第 7 号、2003）。その際、運動後のバイオピリンの尿中への排泄量が、低地に比べ準高地で多いことが明らかとなった。バイオピリンは、赤血球中の血色素ヘモグロビンの代謝産物ビリルビンの酸化物である（図Ⅱ－25）。このこと

から、準高地において運動に伴う酸化ストレスが軽減される理由は、準高地の酸素条件が体内でのビリルビン産生を増加させたためであると考えた（図Ⅱ－26）。そこで本プロジェクトでは、海拔の異なる地点の酸素条件を任意に設定できる低酸素テントを用いて、この考えを確かめるための実験を行なった。以下に結果を示す。

1) 準高地では血中ビリルビン濃度が高くなる

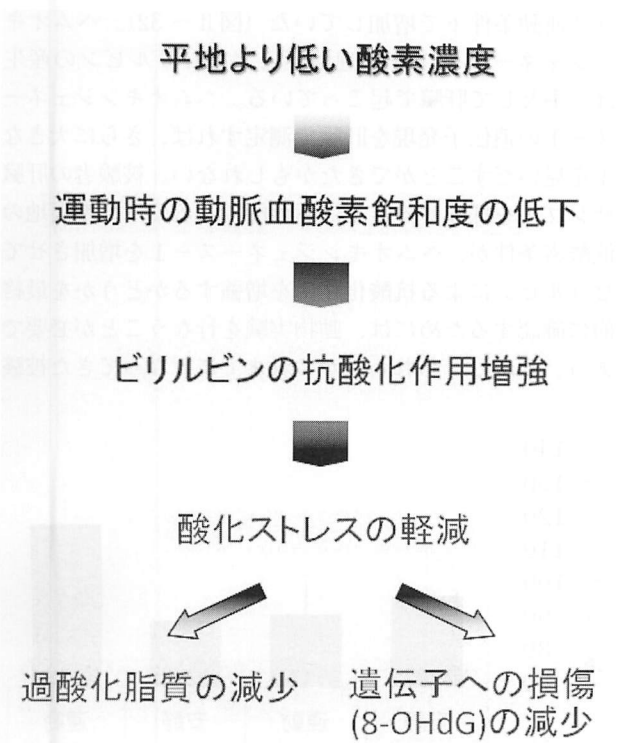
以前行なった実験では、準高地での運動後にバイオピリンの尿中排泄が、低地で運動した時よりも多くなることを確認した。バイオピリンは、赤血球由来のヘモグロビンの代謝産物ビリルビンの酸化物である。尿中バイオピリンの増加の背景に、血中ビリルビンの増加があるかどうかを確かめるため、被験者を数時間低酸素条件下に滞在させる実験を行なった。被験者を滞在させる酸素条件は、海拔 400 メートルと 3000 メートルとした。低酸素テントを設置している山梨大学武田キャンパスの海拔が 350 メートルであるため、海拔 400 メートルの酸素条件を低地条件と見なすことにした。男子大学生 14 名を両酸素条件下に 3 時間ずつ滞在させ、血中ビリルビン濃度を測定した。動脈血酸素飽和度（SpO₂）は、酸素条件の違いを反映して、海拔 3000 メートルの酸素条件下で低く推移していた（図Ⅱ－27）。両酸素条件下に 3 時間滞在した後 24 時間経過した時点での血中ビリルビ



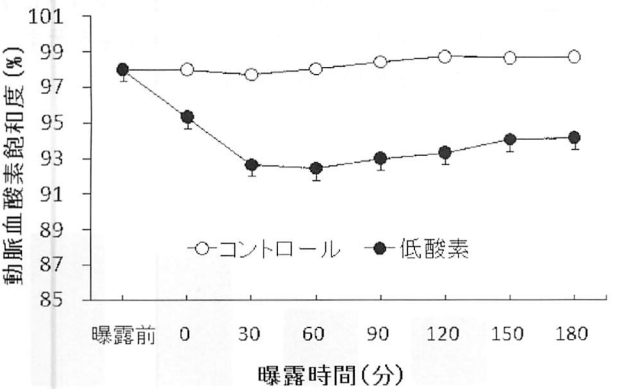
図Ⅱ－25 準高地での運動とバイオピリン

海拔 1400 メートルの準高地で運動すると、低地（海拔 350 メートル）で運動する場合に比べ、運動後の尿中へのバイオピリンの排泄が多い。活性酸素によって傷害を受けた遺伝子に由来する 8-OHdG や過酸化脂質の尿中への排泄は準高地で運動する方が少ない。したがって、バイオピリンの前駆体ビリルビンの抗酸化作用が、準高地で高まったと予想される。

ン濃度は、低酸素条件下に滞在した場合の方が大きく増加していた（図Ⅱ－28）。上昇した血中ビリルビン濃度は、実験後 48 時間でほぼ実験前の値に戻っていた。高原の酸素条件下に一定時間曝されることで、血中ビリルビン濃度が増加することがわかった。

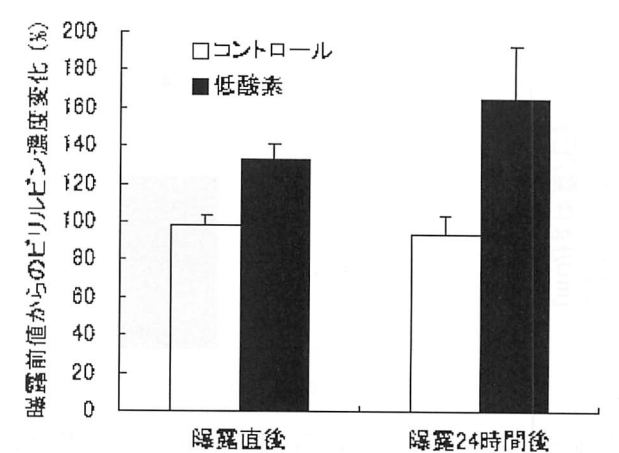


図Ⅱ－26 準高地の酸素条件はビリルビンの抗酸化作用を増強する（仮説）



図Ⅱ－27 準高地滞在時の動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変化

海拔 400 メートル（コントロール）と海拔 3000 メートル（低酸素）の酸素条件下に滞在した場合の動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変化を示す。男子学生 14 名の平均値と標準誤差を示す。

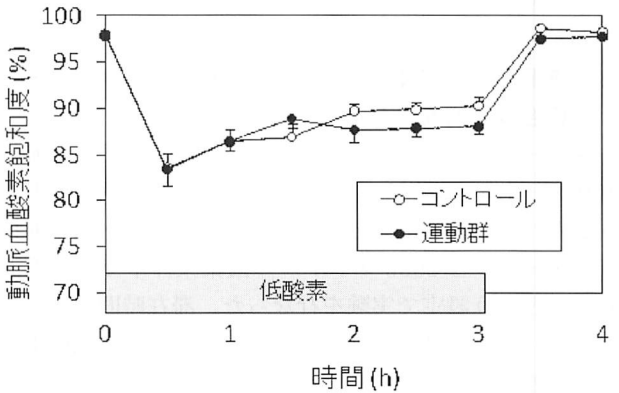


図Ⅱ－28 準高地の酸素条件が血中ビリルビン濃度を与える影響

海拔 400 メートル（コントロール）と海拔 3000 メートル（低酸素）の酸素条件下に滞在した場合の血中ビリルビン濃度の変化を示す。男子大学生 14 名の平均値と標準誤差を示す。

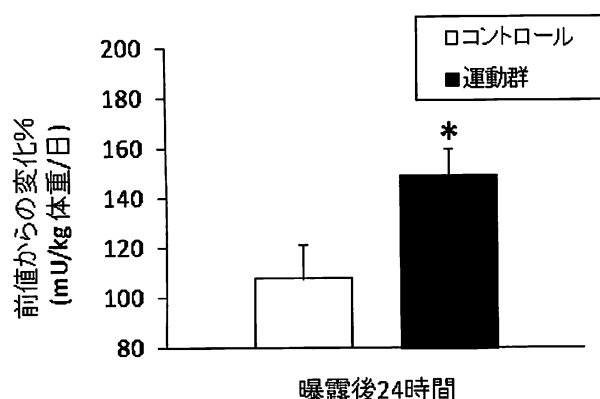
2) 準高地での運動は尿中へのバイオピリン排泄を増やす

海拔差 2600 メートルのもたらす酸素条件の差が、血中ビリルビン濃度に影響することがわかった（図Ⅱ－28）。低酸素条件に運動を加えることで、ビリルビンによる抗酸化作用がさらに亢進するかどうかを検討した。男子大学生 16 名を 8 名ずつに分け、対照群（コントロール）と運動群とした。対照群（コントロール）は、海拔 3000 メートルの酸素条件に設定した低酸素テント内で 3 時間安静を保った。運動群は、トレッドミルによる走行運動を予備心拍数の 80 %（80 % HRreserve）の



図Ⅱ－29 低酸素テント滞在時の動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変化

海拔 3000 メートルの酸素条件に設定した酸素テントで 3 時間安静に過ごした時（コントロール）と事前に運動をした時（運動群）の動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変化を示す。男子大学生 8 名ずつの平均値と標準誤差を示す。



図Ⅱ－30 低酸素テント滞在後の尿中バイオピリン量
 海拔 3000 メートルの酸素条件に設定した酸素テントで 3 時間安静に過ごした後 24 時間に尿中へ排泄されたバイオピリン量を示す。安静のみの実験群（コントロール）と事前に運動をした実験群（運動群）との比較。男子大学生 8 名ずつの平均値と標準誤差を示す（*： $p < 0.05$ ）。

強度で 20 分行ない、その後斜度を 1 分当たり 1 % の割合で上げていき、ブレイクダウンに至るまで運動を続けた。運動後は対照群（コントロール）と同様、海拔 3000 メートルの酸素条件下で 3 時間安静を保った。

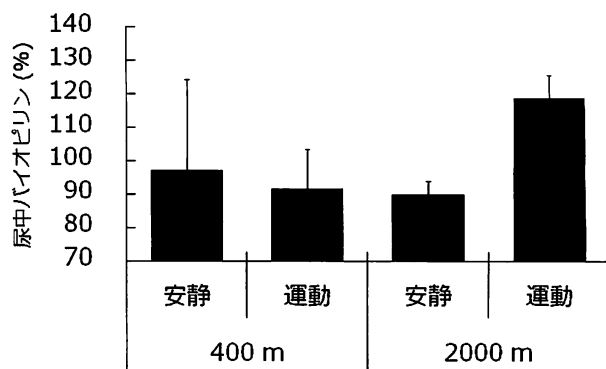
低酸素テントに滞在中の動脈血酸素飽和度は、対照群（コントロール）と運動群ともに酸素濃度に対応した低下を示し、両群の間に差は認められなかった（図Ⅱ－29）。低酸素暴露後 24 時間に尿中に排泄されたバイオピリンは、対照群（コントロール）と比べ運動群で明らかに大きく増大していた（図Ⅱ－30）。低酸素暴露によって引き起こされる血中ビリルビンの増加と、ビリルビンの抗酸化作用の結果としての尿中バイオピリンの増加とが、運動が加わることによってさらに大きくなることがわかった。

3) 準高地での運動によりヘムオキシジェネースー 1 の合成が盛んになる

図Ⅱ－30 に示された低酸素と運動の効果を、海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件の下で比較検討した。男子大学生 5 名を被験者とし、被験者は、海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下で 7 時間滞在するという設定で実験を行なった。滞在時間を長くしたため、被験者は低酸素テント内には入らず、低酸素テントと連結した酸素マスクを介して呼吸を行なった。各酸素条件下で、予備心拍数の 20 %（20 % HRreserve）の強度の歩行運動を、1 時間毎に 20 分間行なった。酸素濃度の違いと運動の有無により 4 条件の実験となったが、同一被験者における実験の間隔は 2 週間とした。

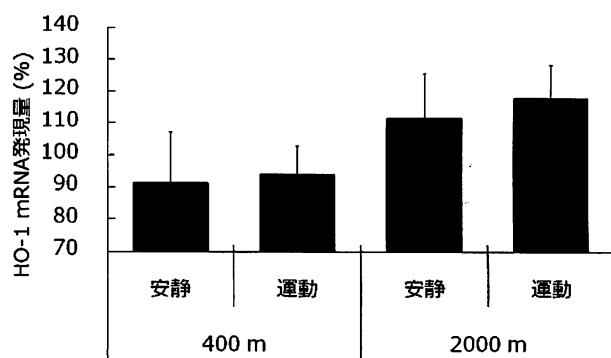
海拔 2000 メートルの酸素条件下に滞在する場合、滞在中に運動を行なうとバイオピリンの尿中への排泄量が増加していた（図Ⅱ－31）。運動は、低酸素の効果を強

めることがこの実験からも確認された。低酸素または低酸素と運動との組み合わせが、ビリルビン合成の律速酵素であるヘムオキシジェネースー 1（図Ⅱ－25）に影響を与える可能性を、末梢血中の白血球を用いて検討した。その結果、ヘムオキシジェネースー 1 の遺伝子（OH-1 mRNA）の発現量が低酸素条件および低酸素プラス運動条件下で増加していた（図Ⅱ－32）。ヘムオキシジェネースー 1 を律速酵素とするビリルビンの産生は、主として肝臓で起こっている。ヘムオキシジェネースー 1 の遺伝子発現を肝臓で測定すれば、さらに大きな差を見いだすことができたかもしれない。被験者の肝臓サンプルを採取することは不可能であるので、準高地の低酸素条件が、ヘムオキシジェネースー 1 を増加させてビリルビンによる抗酸化作用を増強するかどうかを最終的に確認するためには、動物実験を行なうことが必要である。しかし、われわれがこれまでに行なってきた被験



図Ⅱ－31 海拔 2000 メートルの酸素条件下での尿中バイオピリン

海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下に 7 時間滞在した時の尿中へのバイオピリン排泄量を示す。男子大学生 5 名の平均値と標準誤差を示す。



図Ⅱ－32 海拔 2000 メートルの酸素条件下でのヘムオキシジェネースー 1 のメッセンジャー RNA (HO-1 mRNA) の発現量

海拔 400 メートルと 2000 メートルの酸素条件下に 7 時間滞在した時の HO-1 mRNA の発現量を示す。男子大学生 5 名の平均値と標準誤差を示す。

者実験結果は、準高地の酸素条件が体内でのビリルビン産生を増加させることで、酸化ストレスを軽減するという仮説（図Ⅱ－26）を支持するものであり、仮説に矛盾する結果は得られていない。

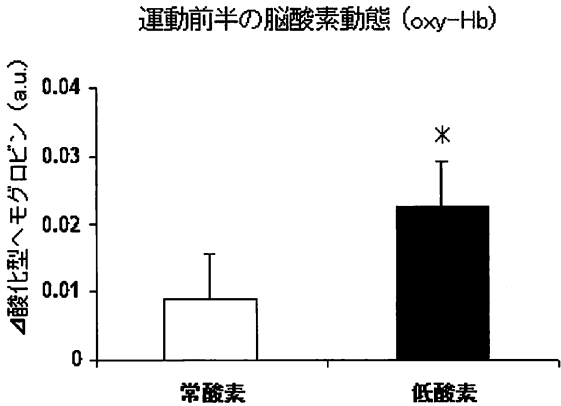
4）準高地での運動により脳血流が増加する

準高地の酸素条件下で行なう軽い運動が脳血流に及ぼす影響を、低地の場合と比較した。男子大学生6名を被験者とした。被験者には、海拔400メートルと2000メートルの酸素条件下で30分間の運動を負荷した。被験者は低酸素テント内には入らず、低酸素テントと連結した酸素マスクを介して呼吸を行なった。運動強度はごく軽く設定し、予備心拍数の20%（20% HRreserve）の歩行運動とした。同一被験者における実験の間隔は2週

間とした。脳血流は、近赤外線分光法（NIRS：Near-infrared spectroscopy）を用いて前頭前野で測定した。

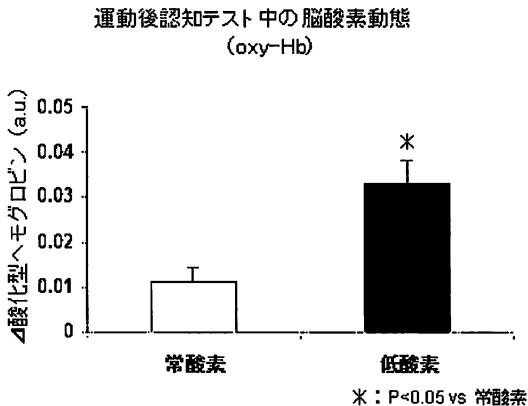
運動中の前頭前野の酸化型ヘモグロビン（oxy-Hb）量は、低地条件と比べて準高地の酸素条件下でより大きく増加していた（図Ⅱ－33）。逆に、還元型ヘモグロビン（deoxy-Hb）は、準高地の酸素条件下でより大きく減少していた（図Ⅱ－34）。これらの結果は、運動によって前頭前野の血流量が増加して酸化型ヘモグロビン量が増大すること、さらに準高地での運動によってこの現象がさらに顕著に現れることを示している。準高地における軽い運動が、脳の働きに好ましい影響を与える可能性が考えられる。

前頭前野の血流の増加は、脳の認知機能に影響を与え



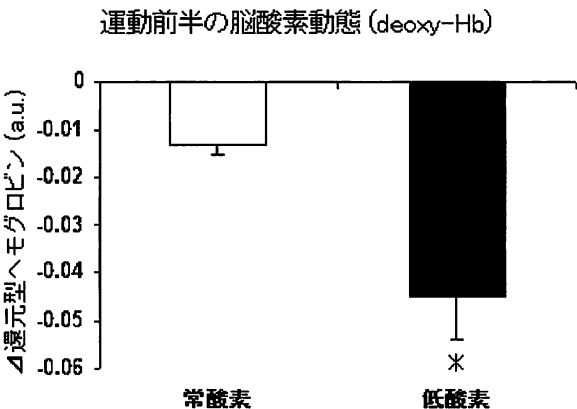
図Ⅱ－33 準高地での運動中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量

海拔400メートルと2000メートルの酸素条件下での運動中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量の変化を示す。男子大学生6名の平均値と標準誤差を示す（*：p<0.05）。



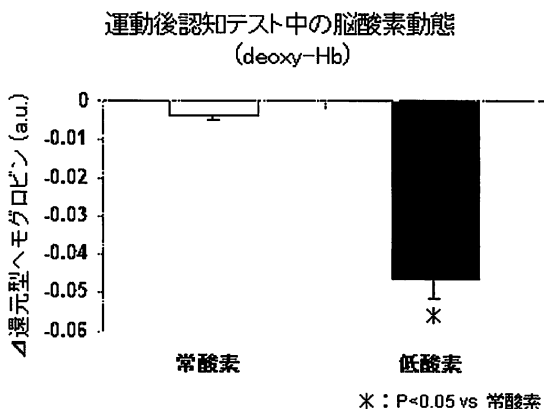
図Ⅱ－35 準高地での認知課題遂行中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量

海拔400メートルと2000メートルの酸素条件下での運動後に、認知課題を遂行中の前頭葉の酸化型ヘモグロビン量を示す。男子大学生6名の平均値と標準誤差を示す（*：p<0.05）。



図Ⅱ－34 準高地での運動中の前頭葉の還元型ヘモグロビン量

海拔400メートル（常酸素）と2000メートル（低酸素）の酸素条件下での運動中の前頭葉の還元型ヘモグロビン量の変化を示す。男子大学生6名の平均値と標準誤差を示す（*：p<0.05）。



図Ⅱ－36 準高地での認知課題遂行中の前頭葉の還元型ヘモグロビン量

海拔400メートル（常酸素）と2000メートル（低酸素）の酸素条件下での運動中の前頭葉の還元型ヘモグロビン量の変化を示す。男子大学生6名の平均値と標準誤差を示す（*：p<0.05）。

る可能性がある。そこで、30 分の運動後に、5 分間休憩をはさんで 4 分間のストループテスト（新ストループ検査Ⅱ）を行ない、ストループテスト中の脳血流を低地条件と準高地条件とで比較した。認知テスト中の前頭前野の酸化型ヘモグロビン（oxy-Hb）量は、低地条件と比べて準高地の酸素条件下でより大きく増加していた（図Ⅱ－35）。逆に、還元型ヘモグロビン（deoxy-Hb）は、準高地の酸素条件下でより大きく減少していた（図Ⅱ－36）。これらの結果は、準高地の酸素条件が、認知機能に好ましい影響を与える可能性を示唆している。

Ⅱ－5 まとめ

本研究では、森林と高原の環境がもたらすストレス軽減効果を明らかにすることを目指した。森林環境に関しては、45～60 分程度の軽い森林散策が、中高年者の血圧を低下させること、さらに週 1 度の散策を 3 週間続けることで順次散策前の血圧が低下していくことを見いだした。近年、健康意識の高まりから、野外活動をする中高年者が増加している。今回得られた知見は、中高年者が自身で行なう野外活動を選択する際にも、また、森林環境の利用プログラムを提供する側にとっても有意義である。

軽い森林散策は、若齢者の血圧に影響することはなかった。一方、散策による気分の改善は、高齢者と同様に若齢者でも確認できた。若齢者は、主に気分の改善を目的に森林散策を行なうとよいと思われる。森林内で安静を保つことで、ストレス軽減効果が得られることは、以前報告した（山梨県環境科学研究所研究報告書第 22 号、2008）。今回は、森林散策の効果を明らかにした。安静と散策とを組み合わせた森林利用法が利用者に新たに提供され、森林での活動プログラムが豊富になることを期待する。

サブテーマ 1－B では、学校教育の中での野外活動や座学を、粘膜免疫能から評価することを試みた。座学終了後に分泌型免疫グロブリン A（sIgA）の分泌が盛んになるという結果を得た。また、sIgA 分泌の変化には男女差があることも明らかにした。初等中等学校における教育活動を、生理指標から評価しようとする試みは、世界的に見てもまだ例が少ない。世界に先駆けて、貴重な研究成果が得られたと考えている。

サブテーマ 2 では、準高地の酸素条件が、活性酸素が生体に与える傷害を軽減するメカニズムを解析した。準高地の酸素条件が、体内でビリルビンの産生を盛んにし、ビリルビンの抗酸化作用によって活性酸素による傷害が軽くなるという仮説が、ほぼ間違いないことを確認した。県内にも多い海拔 1000 メートルから 1500 メートル程度の準高地の、新たな利用法に結びつくことを期待する。

R-01-2011

平成22年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第26号

YIES Research Report

2011年11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 株式会社サンニチ印刷

