

森林浴と健康に関する精神神経免疫学的研究¹

大平英樹・高木静香²・増井香織²・大石麻由子²・小幡亜希子³

ABSTRACT

Effects of shinrin-yoku (forest-air bathing and walking) on mental and physical health.

by

Hideki Ohira, Shizuka Takagi, Kaori Masui, Mayuko Oishi & Akiko Obata

Effects of “shinrin-yoku (forest-air bathing and walking)” on psychological, physiological, and immunological aspects were examined. Twenty (10 male and 10 female) undergraduates stayed in a forest environment and in a non forest environment for about 8 hours and they performed two types of acute stress tasks (Stroop task as a mental stressor and cold pressor as a physical stressor) in each environment. The subjects rated their affective states and their blood and urine were drawn at the beginning and at the end of each experimental session. Immunological indexes (NK cell activity, immunoglobulin M, G, and A) and endocrine indexes (cortisol, catecholamines) were assessed from their blood and urine samples. Subjects' humoral immune levels (salivary immunoglobulin A), an endocrine measure (salivary cortisol), and psychological states (state anxiety and subjective stress) were evaluated before and after exposure to the stress tasks. Also, EEG, EOG, and ECG were measured during the Stroop task. The results of immunological indexes demonstrated that exposure to the forest environment effectively increased cellular and humoral immune activity. This finding implicated that shinrin-yoku has some positive effects for health promotion.

目 的

精神神経免疫学における20年以上にわたる研究によって、さまざまなストレスが免疫機能を低下させ、感染症やガンなどの疾病への脆弱性を高める要因となることが明らかになっている (Ader, Felton, & Cohen, 1991; 大平・山田, 1998)。一方、ストレスを解消し、

リラクセーションによって健康増進をはかるための試みも広く行われるようになった。いわゆる民間療法と呼ばれるもののうち、例えばアロマセラピー、温泉浴療法、音楽療法などが心身の健康に与える影響について実証的な検討が行われつつある。本研究では、そうしたリラクセーションによる健康増進に貢献すると思われる活動のなかで、特に森林浴

(forest-air bathing and walking) をとりあげる。

森林浴という概念は林野庁が1982年に提唱したものであり、森林内を散策する、あるいは森林環境で一定時間過ごすことにより精神的・身体的な健康促進効果を得ようとする活動をいう。森林浴の効果は、少なくとも物理的効果、運動効果、心理的効果などの異なる成分の複合的産物であると考えられる。物理的効果とは森林内の木が分泌するフィトンチッドのような生理的活性物質(谷田貝、1993)、香り物質(宮崎、1991; 宮崎・谷田貝、1989; 宮崎、1996)、マイナスイオン(Hawkins & Barker, 1978; Yates, Gray, Misiaszek, & Wolman, 1986)などによる効果である。運動効果は森林を散策することによって得られ、心理的効果は、静寂な環境にいることの快適感やリラクゼーションなどによるものである。こうした森林浴の効果はこれまで経験的に述べられてきたにすぎなかったが、近年、これを実証的に検討しようとする試みがなされるようになった。

例えば、森林浴を行うと快適感や安らぎ感が強くなり、血液や唾液中のコルチゾールが減少することから、森林浴には心理的にも生理的にもリラクゼーション効果があることが主張されている(宮崎、1994)。また森林中の香りのうち特に、ヒノキの香りは気分を集中させる効果があり、作業能率を増加させることが示されている(宮崎、1993)。一方、香り物質のひとつである α -ピネンは脳の活動水準を低下させ、鎮静的に作用する働きがあることなども知られている(島上、1987)。また、森林内の空気中に多く存在するマイナスイオンが、集中力の増加や疲労度の回復をもたらすと言われている(渡部・真野・野呂、1998)。こうした森林浴の効果は疾病に対する治療にも有効であることを示唆する報告もある。例えばOhtsuka, YabunakaとTakayama(1998)は、糖尿病患者を対象にした9回の森林内散策により、血糖値が低下したことを報告している。彼らは、この結果を森林浴がホルモン

分泌や自律神経系に影響を与えたためと解釈している。

しかしながら、これらの研究には制約も存在する。まず、従来の研究は、そのほとんどにおいて厳密な統制がなされていない。被験者の数も比較的少数の場合が多い。これらの事実は、森林浴の効果の評価を難しくしている。また、従来の研究で測定・評価された指標は研究者によって任意に選択されているため、相互の比較が困難になっている。よって、上記の研究知見から、ただちに森林浴の効果が検証されているとは結論づけにくい。

以上の問題をふまえ、本研究は森林への暴露が心身の健康に与える影響について、統制された実験計画により実証的に検討することを目的としている。本研究では、被験者を森林環境と統制条件として非森林環境にそれぞれ約8時間曝露させ、そこでさまざまなレベルの指標を測定する。しかし、従来の研究のように、単に被験者を森林環境に置くだけではなく、そこで急性ストレスを負荷し、それに対する反応を検討する。これは、森林の効果のサイズと指標の鋭敏さを考慮したためである。1日程度森林環境で過ごしたからといって、ただちに著しく健康が促進されるとは考えにくい。むしろ、森林の効果はストレス反応の緩衝やストレスからの回復の促進という形で生じる可能性も考えられる。本研究の実験計画は、こうした点を配慮したものである。

急性ストレス負荷のための課題

本研究では2種類の急性ストレス課題を用いる。ひとつは、精神作業負荷としてのストロープ課題された。ひとつは精神作業ストレスとしてのストロープ課題(stroop task)であり、いまひとつは身体的ストレスとしての冷水負荷(cold pressor)である。これらは実験室における急性ストレス課題としてよく用いられ、標準的なストレス課題として推奨されているものである(Cacioppo, 1994; 1998)。

ストロープ課題とは、色の名前を表す単語

がその色名とは異なる色で印字されている刺激（例えば「きいろ」という単語が赤色で印字されている）を被験者に提示し、印字の色の呼称を求めるものである。被験者は印字の色を答えねばならないが、同時に色名の意味も自動的に処理されてしまうため、認知的な葛藤が生じ、反応は遅延する。主観的にも、この課題の遂行は困難であり、そのために精神的ストレスを惹起する。また特に、このような精神作業負荷は交感神経系の α 受容体系と β 受容体系の双方を活性化させると考えられている（Winzer, Ring, Carroll, Willemsen, Drayson, & Kendall, 1999）。この課題の前後で免疫系の指標を測定した研究が報告されている。例えば、Bachenら（Bachen, Manuck, Marsland, Cohen, Malkoff, Muldoon, & Rabin, 1992）はストループ課題後にナチュラル・キラー細胞（natural killer cell: NK cell）の活性が増加し、リンパ球幼若化反応は逆に低下したことを示している。こうした精神性の課題によって免疫系が影響を受けることは事実らしい。

一方、冷水負荷課題は、5℃～10℃の冷水に手を浸し一定時間耐えることを要求するものである。痛覚を喚起する身体的ストレス課題であり、交感神経系の α 受容体系を選択的に活性化する典型的な課題としても知られている（Winzer, et al., 1999）。冷水負荷が免疫系に与える影響としては、Winzerら（1999）が唾液中の分泌型免疫グロブリンA（secretory immunoglobulin A: s-IgA）分泌量の変動を報告している。それによると、s-IgA分泌量は暗算や運動によって増加したが、冷水負荷によっては変化しなかったことが示されている。また、交感神経の β アドレナリン作動系をブロックする薬剤投与によりs-IgA分泌の増加がみられており、この反応系に自律神経系が関与していることは確実なようだ。このように、急性ストレスを負荷する課題が異なれば免疫系への影響も異なってくる可能性が示唆される。

もし森林環境がストレス緩衝効果を持つので

であれば、2つの課題による上記の反応の強度が低くなると予測される。また、森林環境がストレスからの回復を促進する効果を持つのであれば、2つの課題によって生じた反応のベースラインへの回帰が速くなることが予測される。

測定する指標

本研究では、免疫系指標を中心として、内分泌系指標、中枢神経系指標、自律神経系指標、心理的指標といった、レベルの異なる指標を測定し、森林の効果がどのレベルに及ぶのかを総合的に検討しようとする。

人間の免疫システムは細胞性免疫と液性免疫に大別されるが、前者の指標としてNK細胞活性を、後者の指標として血中の免疫グロブリンM, G, Aの量を測定する。一般にストレス負荷によってNK細胞活性は低下し、免疫グロブリンの量は減少することが知られている（レビューとしてHerbert & Cohen, 1993）。そこで、これらの指標を1日の森林曝露が生体に及ぼす効果を検討するために使用する。これに加えて、粘膜上の免疫機能の指標として唾液中のs-IgAを測定する。s-IgAはバクテリアなどの異物による侵襲に対する第一線防御物質とみなされている。この抗体の量は、慢性的なストレス負荷により低下するが（Deinzer & Schuller, 1998; Jemmott & Maglore, 1988など）、急性・一過性のストレス負荷では増加することが報告されている（Carroll et al., 1996; Willemsen et al., 1998; Winzer et al., 1999; Ohira et al., 1999など）。よって、この指標を2つのストレス課題による生体の一過性ストレス反応を評価するために使用する。

ストレスによる生体反応には2つの経路があることが知られている。ひとつは視床下部—下垂体—副腎皮質をたどるいわゆるHPA経路であり、ここではストレス・ホルモンとして知られるコルチゾールが主要な役割を果たす。いまひとつは視床下部から自律神経系を活性化させる経路であり、ノルアドレナリン、アドレナリンなどのカテコールアミンが

主要物質である。そこで、本研究でもこれらのホルモンを唾液、血清、尿から分析して内分泌的ストレス反応を評価する。

さらに電気生理的指標として脳波、心電図、自発性瞬目、血圧を測定し、被験者の内的精神状態を評価するための心理的指標としてPOMS、STAI-Sを使用する。

方法

実験の概要

実験は、森林条件と非森林条件から構成されていた(被験者内要因)。被験者はこれら2つの環境で1日約8時間を過ごすとともに、そこでふたつの急性ストレス課題(ストルーブ課題・冷水負荷課題)を遂行した。負荷森林・非森林の条件順、および課題の実施順はカウンターバランスされた。

2つの課題の実施中、及び直後の休息中において、脳波・心拍・瞬目が連続測定された。また課題前後と休息後において被験者の唾液が採取され、免疫・内分泌系の指標が分析された。唾液の測定直後に、被験者は主観的な感情状態やストレス強度を測定するための質問紙に回答した。実験の開始時(朝)と終了時(夕方)には免疫・内分泌系指標分析のための採血・採尿を行うとともに、主観的な感情状態やストレス強度を測定するための質問紙に回答を求めた。さらに、実験開始から24時間の間、心拍と血圧が連続測定された(今回の報告では課題前後のみのデータを分析する)。

被験者

男子大学生10名(平均年齢20.6歳)および女子大学生10名(平均年齢21.3歳)が実験に参加した。いずれの被験者も既往症などがなく、正常な視力または矯正視力を有していた。被験者にはインフォームド・コンセントを確立した上で、実験への参加承諾書に署名を求めた。これら被験者を、男女2名ずつ計4名の5つのグループに分割し、実験はグループごとに進行した。

実験場所と実施日

森林環境として岐阜県益田郡小坂町内の森林、非森林環境として岐阜市内の長良川健康プラザにおいて実験を行った。上記被験者はこれら2つの環境での実験に参加した。実施は1998年10月中旬の3日間で、森林条件を1日で行い(10月21日)、非森林条件は被験者を半分に分け、森林条件をはさんで2日で行われた(10月17日、24日)。これは森林条件と非森林条件の順序効果を統制するためである。森林環境で実験が行われた21日の天候は雨、開始時の気温12.5°Cであった。非森林環境条件は屋内で行われたが、17日は雨、24日は曇りで、室内気温はそれぞれ23.5°C、25.5°Cであった。

精神作業負荷課題

日本語ひらがな書きの色名語5つ(くろ、みどり、きいろ、あか、あお)が、色名とは異なる色で印字された刺激語を被験者に提示した。この刺激語の印字色を、黒で印字された色名語列の中から選択するという課題を被験者に行わせた。これらの刺激は冊子になっており、被験者は正答と思われるものを丸で囲むよう求められた。この課題を、できる限り早いペースでかつ正確に、という教示のもと連続20分間遂行させた。

冷水負荷課題

容器に5°Cの冷水を満たし、被験者にその中に立位で両手首まで浸すことを求めた。負荷時間は5分としたが、耐えられなくなった場合は中断してもよいと教示した。実際にはすべての被験者がすべての条件で5分間の負荷に耐えた。

指標

表1に示すような各レベルの指標が測定された。

(1) 免疫系指標

血液検体よりNK細胞活性、免疫グロブリン(immunoglobulin: Ig) G、M、Aの量を測定した。また、唾液検体より分泌型免疫グロブリンA(secretory immunoglobulin A: s-IgA)の量を測定した。NK細胞活性は細胞性

免疫の機能度を、その他の指標は血中及び粘膜における液性免疫の機能度を反映するものとみなした。s-IgAの分析は岐阜県保健環境研究所⁴において行われ、その他の指標の分析は榊SRLにおいて行われた。

(2) 内分泌系指標

ストレスに関連の深いホルモンと言われているコルチゾールの量を尿検体より、またカテコールアミン3種類（アドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミン）の量を尿検体と唾液検体より分析した。これらの分析は榊SRLにおいて行われた。

(3) 中枢神経系指標

多用途脳波形（BIOPAC Systems MP100 WS）を用い、日本光電製銀-塩化銀電極を国際10—20法にしたがい両耳朶連結を基準としてFz、Cz、Pzの3部位に装着して時定数0.03秒で単極導出により被験者の脳波を測定した。記録された脳波は分析ソフトウェアAcqknowledgeIIIを用いてFFTにより周波数分析を行い、頭皮上部位別、周波数帯域別に5分ごとのパワーの平均値を求めて被験者個人の代表値とした。同時に、電極を右の眼窩上下に装着して時定数0.03秒でEOGを測定し自発性瞬目の計測に用いた。

(4) 自律神経系指標

ホルター心電計marquette8500（TOKIBO

製）により心拍を、24時間携帯型自動血圧計TM-2421（A & D製）により血圧を、それぞれ実験開始時点より24時間連続測定した。血圧は15分おきに間歇的に測定されたが、ストレス課題前後では手動により観測点を増した。本論文では課題前後のデータのみを報告する。

(5) 心理的指標

被験者の特性不安を測定するためにSTAI-Tを、ストレス関連性格とみなされているタイプA行動パターンの程度を測定するためにKG式日常生活質問紙（山崎・田中・宮田、1992）を、それぞれ用いた。

また、実験中の一時的な状態不安を評価するためにSTAI-Sを、感情状態を測定するためにPOMS日本語版を、主観的なストレス強度を測定するためにストレス尺度を、それぞれ用いた。ストレス尺度は、主観的ストレス強度、精神的疲労、身体的疲労の3項目に対して、それぞれアナログ・ビジュアル・スケールで回答するものであった。具体的には、両端に「全くない」、「極めて強い」のラベルがつけられた10cmの線分上に、被験者があてはまると感じる場所にマークする方式がとられた。

表1 本研究で測定された指標の一覧

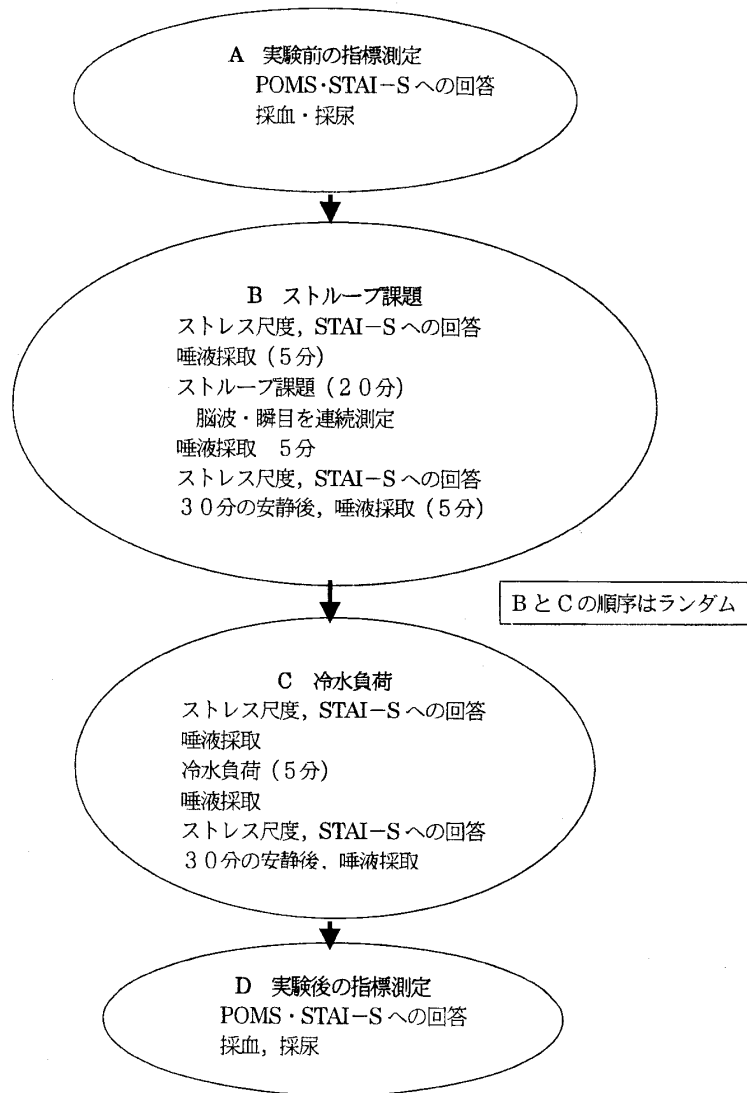
検体と項目			測定時点
血液検体	免疫指標	NK細胞活性 IgG, IgA, IgM	実験開始時と終了時（2回/1日）
尿検体	内分泌指標	コルチゾール	実験開始時と終了時（2回/1日）
	自律神経系指標	カテコールアミン	
唾液検体	免疫指標	s-IgA	ストループ課題と冷水負荷課題の前後及び休息後（6回/1日）
	内分泌指標	コルチゾール	
	自律神経系指標	カテコールアミン	
電気生理的指標	脳電図		ストループ課題中及び休息後
	心電図		実験開始より24時間連続測定
	収縮期及び拡張期血圧		
心理的指標	STAI-T KG式日常生活質問紙		実験開始時と終了時（2回/1日）
	感情プロフィール・テスト（POMS） STAI-S ストレス尺度		実験開始時と、ストループ課題、冷水負荷課題の終了時（4回/1日）

手続き

実験の進行を図1に示す。

各条件とも、実験は午前9時に開始された。被験者が質問紙に回答した後、採血と採尿を行った。この後、グループごとに順次20分のストループ課題と5分の冷水負荷課題を遂行し、各々の課題終了後30分の休息期間を設けた。課題の直前と直後には、唾液採取のための安静期間5分ずつを設けた。一方の課題期間が終了した後に1時間の昼食時間を設けた。その後もう一方の課題を行い、実験は午後5時ころ終了した。ふたつの課題の順序はグループごとにカウンターバランスされた。

各課題の直前、直後、休息後の3点において、質問紙への回答を求め、唾液の採取を行った。唾液採取は専用容器（SARSTEDT製salivette）の綿を2個口中に5分間含ませることによって行われた。心電図測定と血圧測定は、ストループ課題では直前・直後・休息後に、冷水負荷では開始時点から負荷中は1分ごとに、休息中は5分ごとに行った。脳波・心拍・瞬目の測定はストループ課題中およびそれに続く休息中に行った。ふたつの課題が終了した後、被験者は質問紙に回答し、2回目の採血・採尿が行われた。これらの手続きは、医師の立会いのもとで行われた。



※心拍・血圧は連続測定

図1 実験手続きのフローチャート

結果

森林への曝露の効果

ここでは、実験セッションの最初と最後に測定された指標について報告し、1日8時間の森林への曝露の効果について検討する。

NK細胞活性に関して、性別×環境(森林・非森林)×測定時点(実験前・実験後)の3要因分散分析を行った結果、環境と測定時点の交互作用が有意であった。LSD法による下位分析($p < .05$)の結果、NK細胞活性が森林環境において実験後に実験前より有意に増加したことが示された(図2)。同様に、IgM、IgG、IgAの量についても同様な分散分析を行った。すると、それぞれの免疫グロブリンに関して環境と測定時点の交互作用が有意であった($F(1, 16)=53.13, p < .0001$; $F(1, 16)=47.96, p < .0001$; $F(1, 16)=39.48, p < .0001$)。下位検定の結果、森林環境で各免疫グロブリンが有意に増加していたことが認められた(図3、4、5)。これらの結果は、非森林環境に比べて森林環境では免疫機能が向上していることを示すものである。

次に尿中のコルチゾール・カテコールアミン(アドレナリン・ノルアドレナリン・ドーパミン)について3要因分散分析(性別×環

境×測定時点)を行った結果、コルチゾールとアドレナリンにおいて測定時点の有意な主効果がみられた($F(1, 17)=20.550, p < .001$; $F(1, 18)=10.609, p < .01$)。コルチゾールは実験後に有意に増加し(図6)、アドレナリンは実験後に有意に減少した(図7)。しかし、すべての指標において環境による差は認められなかった。

さらに、心理指標についての分析を行った。POMSは6つの下位尺度(怒り—敵意、緊張—不安、快適性、疲労、元気、抑うつ)から構成される。これらについて環境×測定時点の2要因分散分析を行った結果、有意な測定時点の主効果が、怒り—敵意($F(1, 15)=5.174, p < .05$)、緊張—不安($F(1, 15)=7.475, p < .05$)、疲労($F(1, 15)=6.506, p < .05$)の各下位尺度でみられた(図8、9、10)。これらの図より、怒り—敵意、緊張—不安、快適性得点は実験後に減少し、疲労得点は増加していることが示された。これは実験の終了に際してももの安堵や、ストレスの負荷による疲れを表すものと考えられる。しかし、POMSのすべての下位尺度および状態不安得点(STAI-S)において環境の効果はみられなかった。

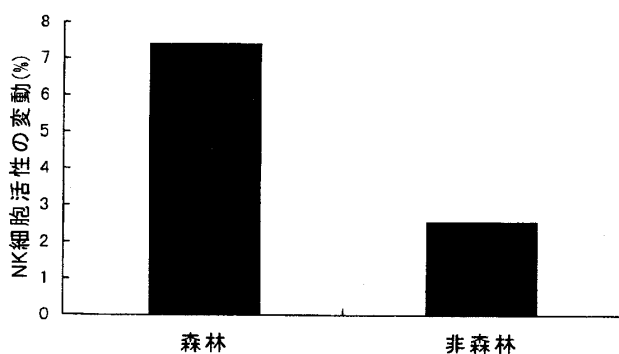


図2 実験前後でのNK細胞活性の変化

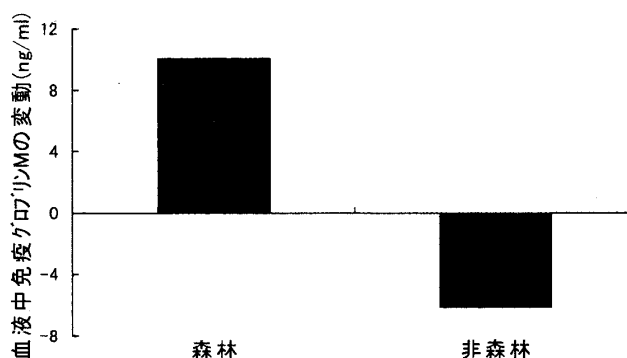


図3 実験前後でのIgM量の変化

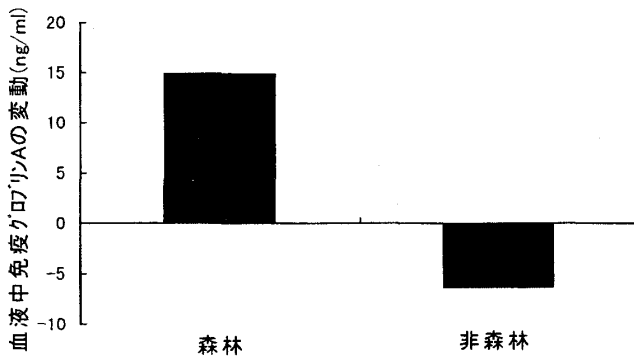


図4 実験前後でのIgA量の変化

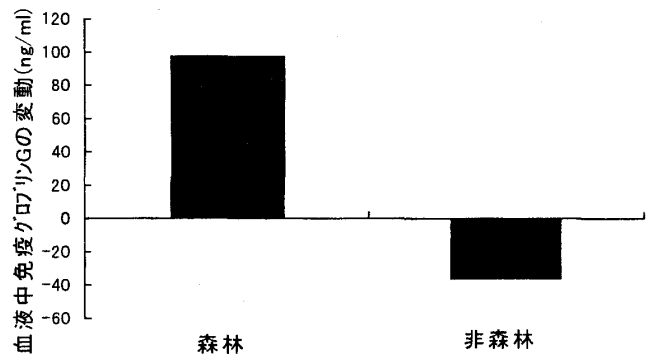


図5 実験前後でのIgG量の変化

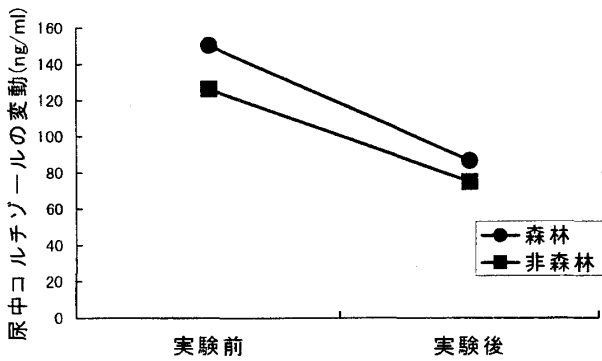


図6 実験前後での尿中コルチゾール量の変化

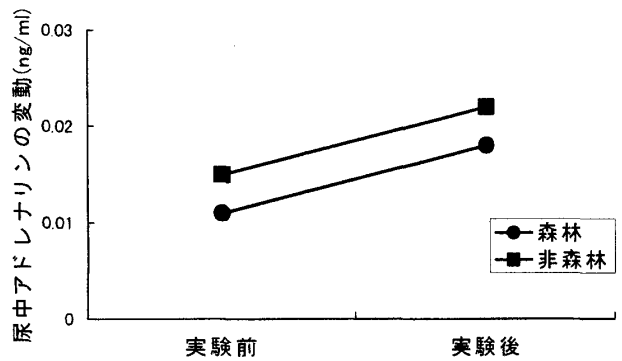


図7 実験前後での尿中アドレナリン量の変化

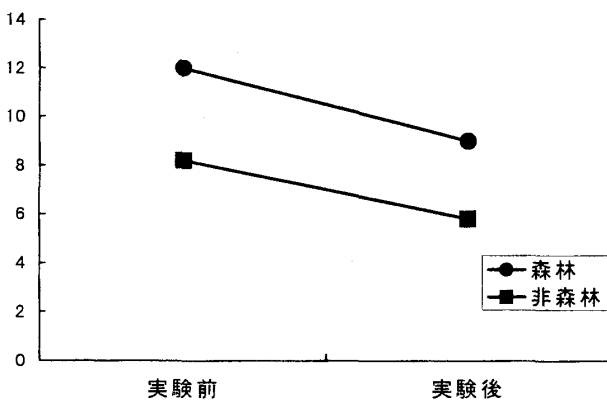


図8 POMSにおける怒り-敵意尺度得点

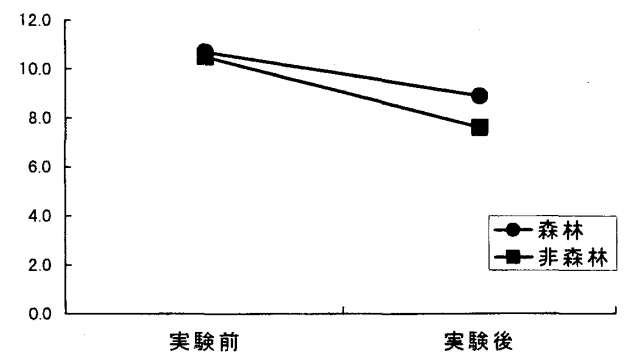


図9 POMSにおける緊張-不安尺度得点

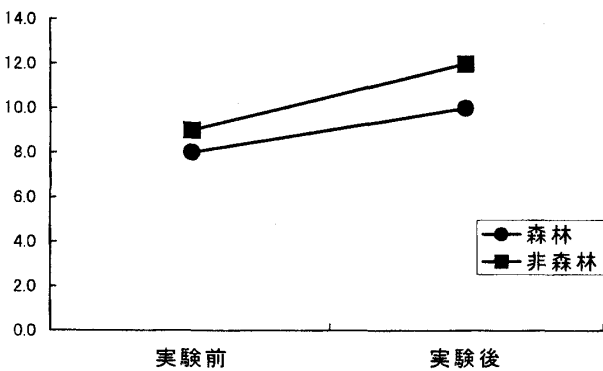


図10 POMSにおける疲労得点

精神作業負荷による免疫系・内分泌系・心理的指標の変動

ここでは、ストループ課題による短期的・一過性の反応について報告する。図11はストループ課題前後及び休息後の唾液中s-IgA分泌量の変動を示している。環境（森林・非森林）と測定時点（課題前・課題後・休息後）の2要因分散分析を行うと、測定時点の主効果のみが有意であった($F(2, 36)=7.78, p<.01$)。LSD法による下位検定 ($p<.05$) を行うと、s-IgA分泌量は課題負荷によって有意に増加し、休息によってベースラインに回帰することが示された。これは、s-IgA分泌量が急性のストレス負荷によって一過性に増加するという先行研究の知見と一致した結果である。一方、森林の影響は主効果、交互作用とも有意ではなかった。

図12はストループ課題前後及び休息後の、唾液中コルチゾール分泌量の変動を示している。2要因分散分析の結果、測定時点の主効果のみが有意であった($F(2, 34)=9.50, p<.01$)。下位検定によると、唾液中コルチゾールは課題前後では変化しないが、休息後に有意に減少したことが示された。一般にコルチゾールはストレス・ホルモンと呼ばれ、さまざまなストレス負荷により増加することが示されているが(阿部・織田, 1993など)、本研究の課題ではこれとは異なる変動がみられたことになる。またここでも、森林の影響はみられなかった。

さらに課題遂行時の心理的状态に森林環境の効果があつたか否かを検討するために、課題終了後に評定させた状態不安(STAI-S)と主観的ストレス強度について分析を行った(図13、図14)。いずれの指標でも森林の効果は有意ではなく(状態不安 $t(19)=.30, ns.$; 主観的ストレス $t(19)=.58, ns.$; $t(19)=.13, ns.$; $t(19)=.76, ns.$)、ストループ課題を行う環境によって心理的状态に差はみられなかった。全体として、課題に伴う心理的・生理的反応においては森林の影響は観測されなかった。

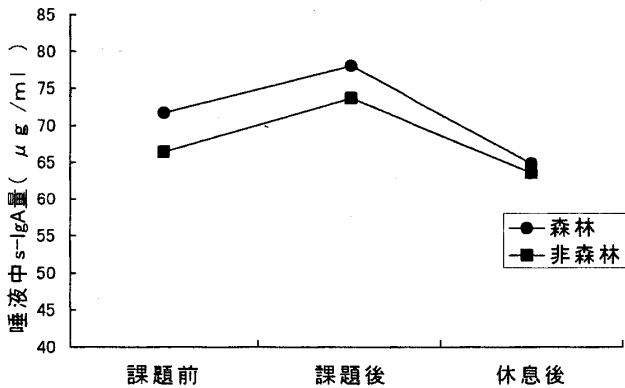


図11 ストループ課題における唾液中s-IgAの変化

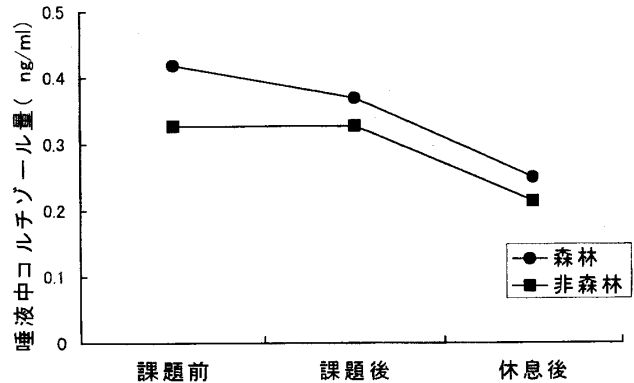


図12 ストループ課題における唾液中コルチゾールの変化

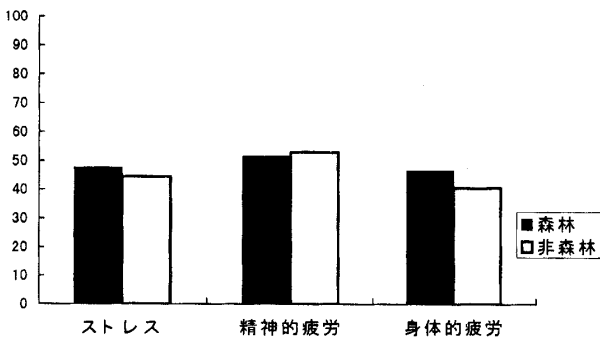


図13 ストループ課題後の状態不安(STAI-S)

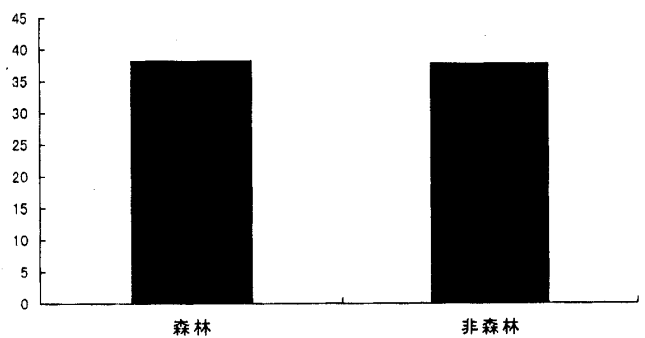


図14 ストループ課題後の主観的ストレス

精神作業負荷による電気生理指標の変動

ストループ課題遂行中とこれに続く休息中に測定された、中枢神経系指標及び自律神経系指標の結果を報告する。これら指標の測定にあたっては、課題前閉眼安静状態(5分間)、ストループ課題中(20分間:5分間ずつ4つの期間に分割)、課題後閉眼安静状態(5分間)の、計6つの期間を設定し、それぞれにおける脳波平均パワー、瞬目率を測定した。なお、心拍率・血圧については、課題前、課題中(開始15分経過後)、課題後(課題終了20分経過後)の3点での観測とした。

(1)脳波 δ 波帯域の平均パワー値を図15に示した。このデータについて、環境(森林・非森林)×測定時点×頭皮上部位(Fz, Cz, Pz)の3要因分散分析を行った。部位の主効果が有意で($F(2,76)=17.32, p<.01$)、FzよりもCz, Pzでパワー値は大きくなっていった。また測定時点の主効果がみられ($F(5,190)=24.62, p<.01$)、安静時よりもストループ課題遂行時にパワー値は大きくなっていった。また、環境と測定時点($F(5,190)=2.49, p<.05$)、部位と測定時点($F(10,380)=3.23, p<.01$)、環境、測定時点、部位($F(10,380)=1.98, p<.05$)の有意な交互作用がみられた。特にCzにおいては、森林環境条件でストループ課題遂行中にパワー値が増加した。

次に θ 波帯域パワー値を図16に示した。ここでも部位の主効果がみられ($F(2,76)=10.24, p<.01$)、 δ 波と同じくFzよりもCz, Pzでパワー値は大きくなっていった。測定時点の主効果もみられ($F(5,190)=6.88, p<.01$)、安静時に比べてストループ課題遂行中にパワー値は大きくなっていった。また環境と測定時点($F(5,190)=3.35, p<.05$)、部位と測定時点($F(10,380)=4.71, p<.01$)の有意な交互作用がみられた。森林環境条件ではストループ課題遂行中は前半にパワー値が増加し、15分を過ぎると減少していくが、非森林環境条件では、ストループ課題を始めてから徐々にパワーが増加し、急な増減は見られなかった。特に、Czにおいては、非森林条件よ

りも森林条件のパワー値が有意に増加した。

α 波帯域については4.1Hz~8Hzを α 1波、8.1Hz~12Hzを α 2波として図17、図18に示した。 α 1波、 α 2波ともに部位の主効果($F(2,76)=3.87, p<.05$; $F(2,76)=4.83, p<.05$)、測定時点の主効果($F(5,190)=7.20, p<.01$; $F(5,190)=8.34, p<.01$)がみられ、ストループ課題遂行中に α 波パワー値は増加傾向にあった。また、環境と部位($F(2,76)=3.13, p<.05$; $F(5,190)=3.50, p<.05$)、環境と測定時点($F(5,190)=2.80, p<.05$; $F(5,190)=2.90, p<.05$)の有意な交互作用がみられた。ストループ課題遂行中は、非森林条件では時間の経過とともに α 波のパワー値は増加し、10分を過ぎた頃から減少する傾向がみられた。森林環境条件では最初の5分間で α 波パワー値は増加するが、その後減少する傾向があり、減少率は非森林条件よりも大きくなっていった。 β 波帯域に関しては、有意な効果はみられなかった。

ストループ課題前後の安静時の脳波パワー値を比較すると、 θ 波、 α 波ともに非森林条件ではストループ課題後半からパワー値が減少し、ストループ課題終了後はストループ課題遂行前よりもパワー値が減少する傾向がみられた。逆に、森林条件ではストループ課題の後半でパワー値は減少するが、ストループ課題終了後にパワー値は増加し、ストループ課題遂行前よりも高い値になっていた。

(2)自発性瞬目 図19に瞬目率の変化を示した。環境(森林・非森林)×測定時点の2要因分散分析を行うと、測定時点の主効果が有意で($p<.01$)、ストループ課題遂行中は森林・非森林条件ともに安静時よりも瞬目率が減少した。両条件ともストループ課題遂行中の瞬目率は一定しており、非森林条件に比べると森林条件の方がやや低い傾向にあったが有意差はみられなかった。

(3)血圧・心拍 環境(森林・非森林)×測定時点の分散分析を行ったが、収縮期血圧、拡張期血圧・心拍とも森林・非森林環境のいずれにおいてもほとんど変動しておらず、主効果、交互作用とも有意ではなかった。

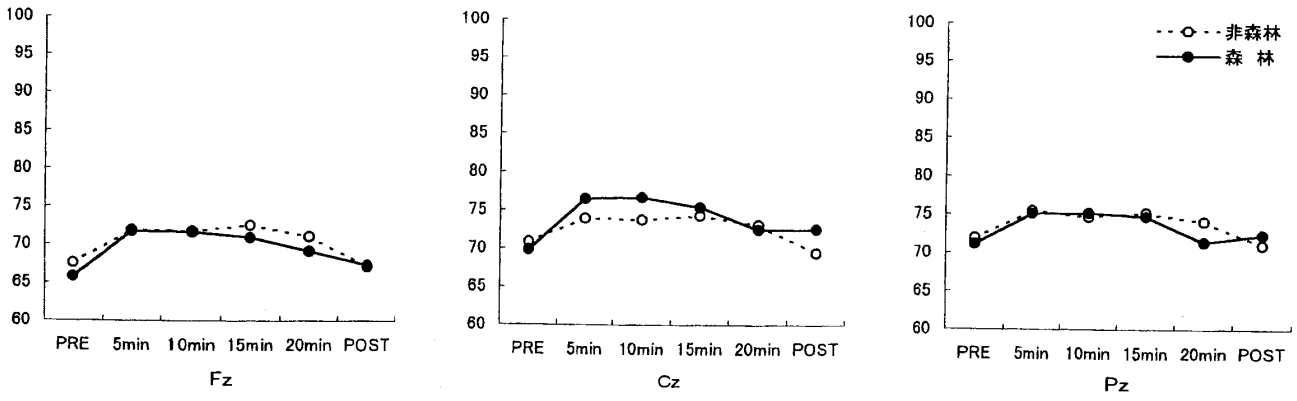


図15 ストループ課題における脳波の δ 帯域平均パワー値

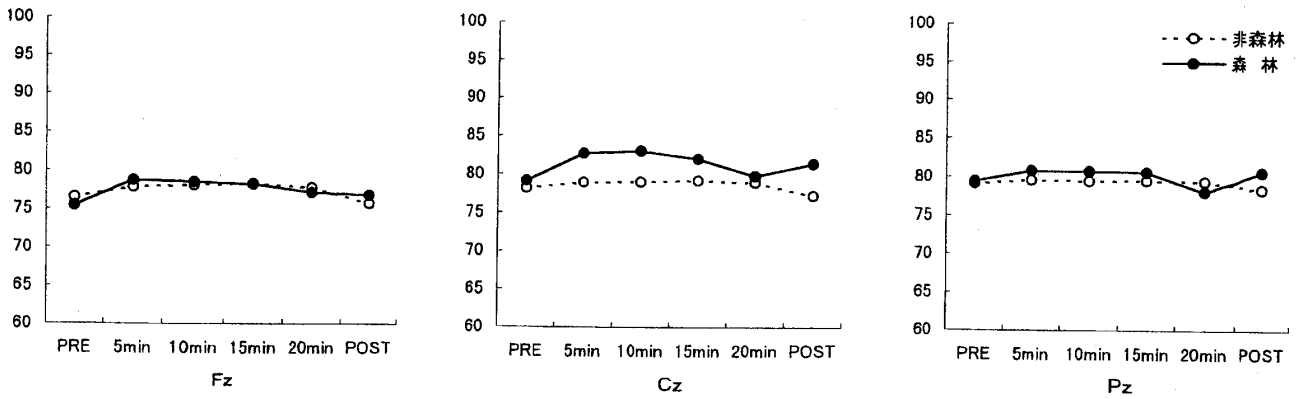


図16 ストループ課題における脳波の θ 帯域平均パワー値

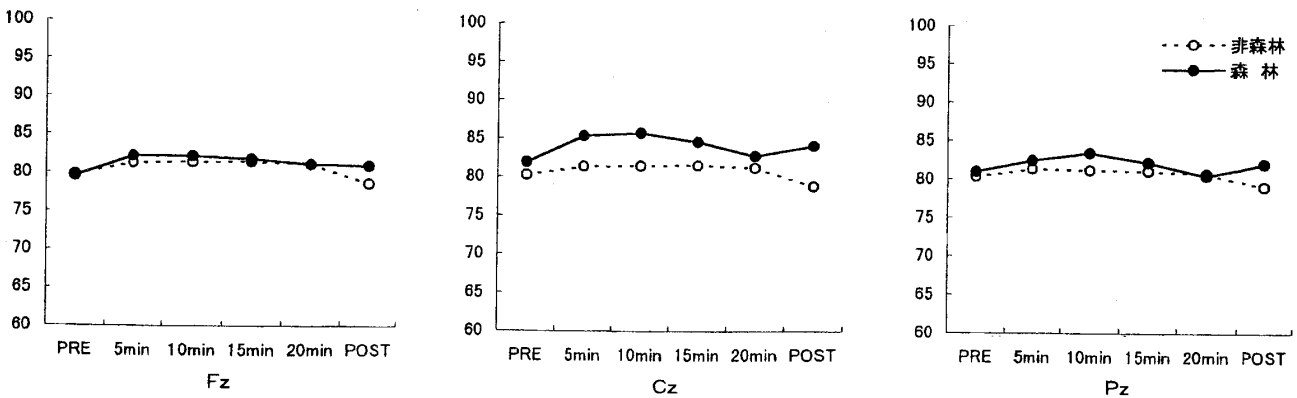


図17 ストループ課題における脳波の $\alpha 1$ 帯域平均パワー値

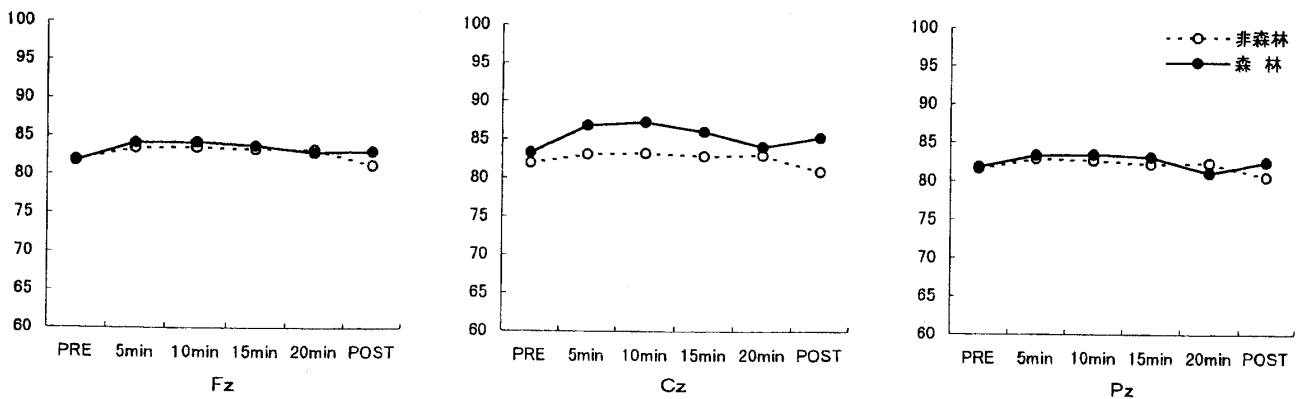


図18 ストループ課題における脳波の $\alpha 2$ 帯域平均パワー値

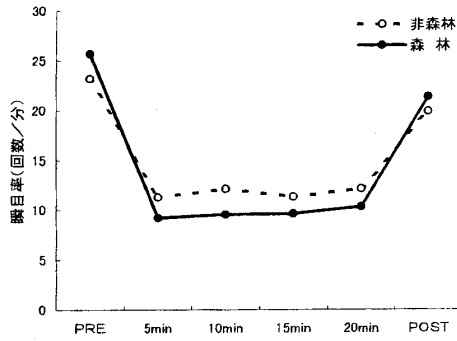


図19 ストループ課題における瞬目率

冷水負荷による免疫系・内分泌系・自律神経系の一過性変動

ここでは、冷水負荷課題による短期的・一過性の反応について報告する。図20と図21は唾液中のs-IgAとコルチゾールの負荷前後及び休息後における変動を示している。分散分析の結果、いずれの主効果、交互作用ともに有意ではなく、これらの指標は冷水負荷によって影響を受けないことが示唆された。森林の影響もみられていない。

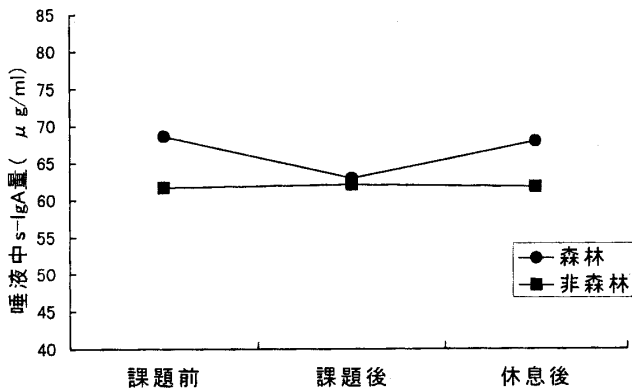


図20 冷水負荷課題における唾液中s-IgAの変化

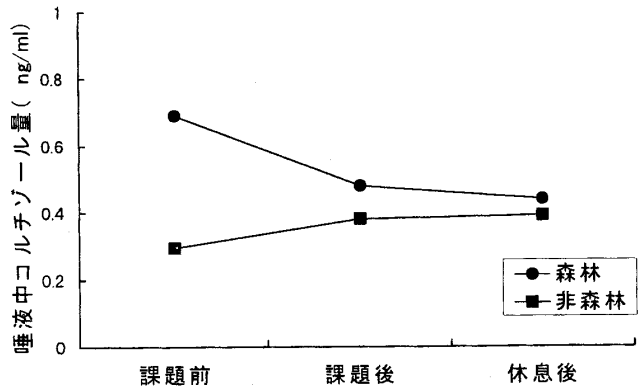


図21 冷水負荷課題における唾液中コルチゾールの変化

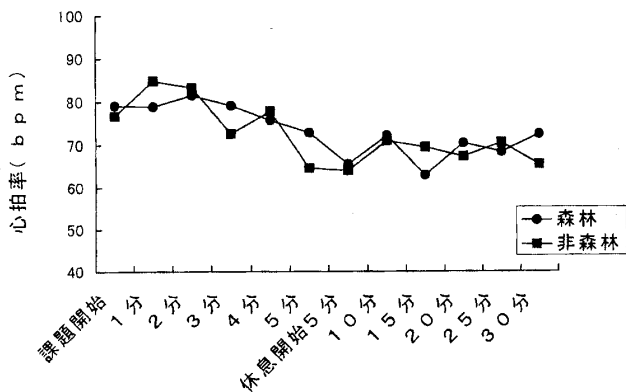


図22 冷水負荷課題における心拍率の変化

一方、心拍と収縮期、拡張期の血圧の変化を図22、23、24に示した。これらに対して環境×測定時点の2要因分散分析を行うと、測定時点の主効果が有意であった ($F(11, 187) = 9.65, p < .0001$; $F(11, 187) = 9.01, p < .0001$; $F(11, 187) = 9.13, p < .0001$)。これは、冷水負荷が交感神経系を活性化し、負荷終了とともに負荷前のレベルに回帰していく傾向を示している。しかし環境による差はみられなかった。

STAI-Sと主観的ストレス尺度の得点でも環境による有意差はみられず、ストロープ課題と同様に、極めて短時間のストレス負荷に対する心理的・生理的反応には森林浴の効果は及ばないことが明らかになった(図25、26)。またストロープ課題と比較して、主観的ストレスの得点自体は、特に身体的負荷尺度得点で顕著に高くなっており、冷水に手を入れる負荷が身体的にはかなりの苦痛をもたらしたことがうかがえる。

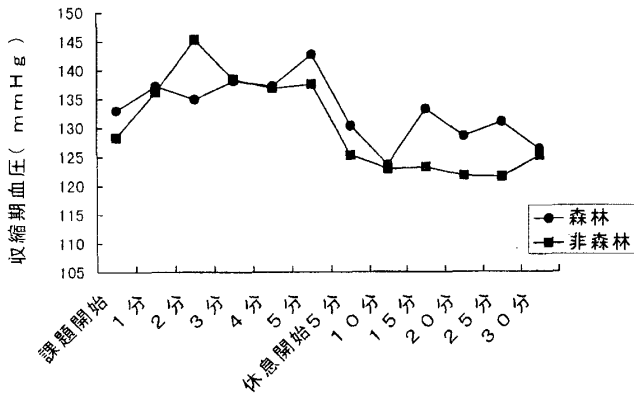


図23 冷水負荷課題における収縮期血圧の変化

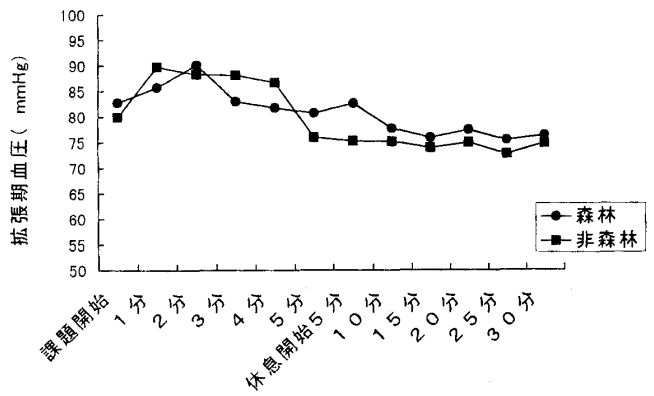


図24 冷水負荷課題における拡張期血圧の変化

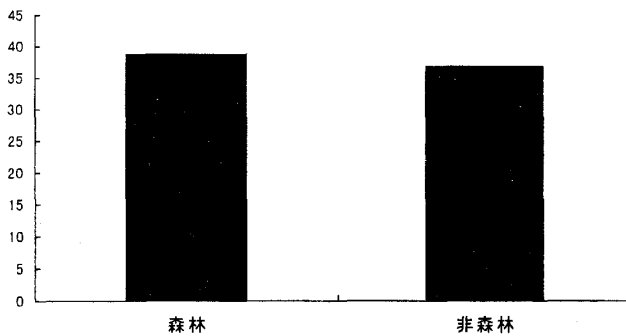


図25 冷水負荷課題後の状態不安(STAI-S)

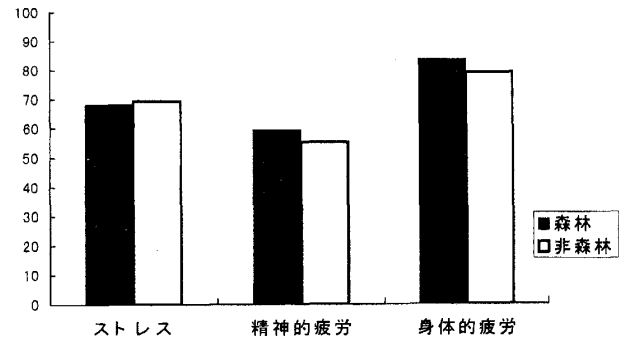


図26 冷水負荷課題後の主観的ストレス

考 察

森林曝露の効果

1日単位のストレス反応について検討すると、まず、森林環境においてはNK細胞活性、免疫グロブリン3種の量がいずれも増加しているが、非森林環境では逆に減少していることが示された。これらの結果は、森林環境においてはストレスを実験的に負荷したにもかかわらず、免疫機能が向上したことを示している。一方、非森林環境ではNK細胞活性は低下し、免疫グロブリン量は減少こそしなかったが変化はみられなかった。これらの結果は、森林環境がストレス負荷による免疫反応への緩衝効果を有していることを実証したものと考えられる。これらの結果は、従来の多くの研究と異なり、環境（森林・非森林）への曝露の順序効果、あるいは性別などの要因を統制してもなお、みられたものであるため、信頼性の高い知見であると言えよう。この意味で、森林浴には確かに健康増進

効果があると考えられることができる。

しかし、内分泌系指標・心理指標においては森林環境と非森林環境の差は認められなかった。内分泌系については日内変動が大きいことがその一因であると考えられる。代表的なストレス関連ホルモンであるコルチゾールには、午前中に多く、午後に安定するという日内変動がよく知られている(阿部,1996)。本研究はフィールド実験であるため、そうした時間的要因を十分に統制することができなかった。これが厳密な検討を不可能にしていたことが指摘できよう。また、免疫指標では森林環境の効果がみられているのに、心理指標においてその効果が検出されなかったことについては、森林浴の効果というものも必ずしも自覚されるものではないことを示しているのかもしれない。すなわち、森林浴は身体に健康増進効果を及ぼすものの、その効果は微妙なものであるために必ずしも自覚できるとは限らないのかもしれない。

ストレス課題による心理的・生理的側面への影響

本研究で用いたふたつのストレス課題に対する反応には、かなりの差異が生じた。精神作業負荷であるストループ課題に対しては、s-IgA分泌の亢進がみられたが、心拍・血圧に反映される自律神経系の活性化は生じていない。一方、冷水負荷に関しては典型的な交感神経系の活性化がみられたが、免疫系・内分泌系の亢進はみられなかった (Winzerら (1999)の報告と整合する結果である)。これらより、s-IgAに代表されるような免疫系の亢進は、非常に短時間の、苦痛を伴うような身体的ストレスよりも、一定時間注意集中の持続を必要とするような精神性のストレスにより生じるものと推測される。本研究の結果より、急性ストレスに対する免疫系の反応は、従来主張されてきたように (Cacioppo, 1994) 単に交感神経系の活性化の結果生起するのではなく、中枢神経系の活動を中心とするもう少し複雑な経路が関連しているものと考えられる。いずれにしても、これら性質の異なる急性ストレス負荷による反応には、森林環境と非森林環境の間でなんらの差もみだせなかった。

しかし、ストループ課題における電気生理的指標の結果からはわずかながら森林の効果が示唆された。精神作業中の θ 波(特に前頭部中心線上のいわゆる $F_m\theta$)は注意集中を反映すると考えられている (石原・出海, 1975)。一方、 α 波は一般にリラックスの度合いを反映するとされている。これら θ 波と α 波の意味するところは相反するもののように思われるが、課題に集中するためにはよりリラックスした状態が必要である。今回の実験で、森林環境条件において非森林環境条件より θ 波、 α 波パワー値が大きかったということは、森林浴をすることによってリラックス作用と集中力増加の効果があったと考えられる。さらに森林環境条件では、精神作業を終えた後にも θ 波、 α 波のパワー値は増大している。これは、森林浴によって課題終了後も大脳皮質には活

性された状態が続き気分的にも明瞭になっているためと思われる。また、精神作業課題中の瞬目率の減少は課題に集中することによるもので、有意差はないものの森林環境条件での顕著な瞬目率減少は、より集中力が増していたことの反映であると解釈できよう。以上のことから、森林浴には、リラックス効果、集中力の持続などの効果があると考えられる。

全体として、本研究で用いられたふたつのストレス課題に対する免疫系・内分泌系・心理的指標における一過性の反応には森林の効果はみられなかったが、精神作業中の課題中の電気生理的指標のみには森林の効果が観測されたといえよう。総じて、森林浴の効果の多くの部分は、数10分の時間的単位で働くものではなく、少なくとも1日あるいは半日といった時間的単位でみられるものであると思われる。

今後の課題

これまで述べてきたように、本研究は、少なくとも部分的には森林への曝露の効果を実証し得たといえよう。しかしながら、今後検討すべき課題もまた少なくない。

第1に、本研究では森林曝露が免疫系になんらかの効果を及ぼすことを示し得たとはいえ、そのメカニズムは依然として不明である。ここで、森林の効果には物理的要因と心理的要因があることに留意せねばならない。物理的要因とは、一般に言われるようなフィトンチッドやマイナスイオンといった生理活性物質、あるいは温度・湿度、色彩、音刺激などである。それらの諸要因が複合的に効果を及ぼすことが考えられているが、詳細な検討はいまだ行われていない。いまひとつは、森林環境により生起された快適感や快感情が免疫系に作用したという可能性である。感情状態と免疫系の作用には関連があることは既に示されており (Koh, 1998)、森林という環境内でもそうした現象が起こることは十分に考えられる。しかし、ここで留意せねばならないのは、本研究はブラインド実験ではないこと

である。本研究の被験者は、研究目的を知らされておらず、いわゆる偽薬効果が生じた可能性は否定できない。今後、この点をより厳密に統制した研究が望まれる。

第2の課題は、本研究において示されたような免疫系への影響が、長期的な健康増進にむすびつきうるのかという点である。本研究は、あくまで1日単位の比較的短期的な免疫機能の変動を示したにすぎない。1日だけの森林曝露が、果たしてその後の健康にどのような影響を与えるかについては、早急な結論づけは慎むべきであろう。より長期の森林への曝露、及びその後の長期にわたるフォロー・アップ研究により、この問題が実証的に検討されるべきである。

第3には、免疫系指標と心理的指標の乖離の問題である。本研究では、血液検体から採取された免疫系指標には一貫した森林の効果がみいだされた。しかしながら、感情状態や、状態不安、主観的ストレス強度といった心理的指標には森林環境・非森林環境の間の差はみられていない。もちろん、人間が自己の内的状態を完全にモニターできるわけではないので、意識されないレベルで森林の身体的効果が生じていた可能性は否定できない。心理的指標（尺度）の妥当性、精度の検討も含めて、こうした乖離がなぜ生じたのかについてさらに検討されるべきであろう。

最後に、本研究では森林環境での実験日の天候が悪く気温も低かった。このことが森林環境の快適性をかなり低減したことは否めない。実施日が予め固定されていたフィールド実験のため、天候を統制することはできなかった。より快適な天候下での追試が望まれる。

結 論

本研究により、1日8時間程度の森林曝露によって、少なくとも細胞性・液性免疫機能に促進的な影響がみられることが実証された。これまでに森林浴の効果を検討した研究はいくつか報告されているが、例数が少な

かったり、統制が十分なされていない臨床治験的研究が多かった。本研究は、フィールド実験としては可能なかぎりの統制を行った上で、健康に直接影響する免疫機能への効果を実証したことに意義があると考えられる。

今回設定した精神的及び身体的負荷課題に関しては、その一過性・短期性の心理的・生理的変動において森林の効果はみられなかった。おそらく森林浴の効果は、現時点で負荷されつつあるストレスへの反応というよりも、少なくとも1日単位で緩やかにみられる性質を持つのであろう。

今後は、森林がどのようなメカニズムで心身の健康に影響を及ぼすのかについて、また数日―数週間単位の長期的な森林曝露の健康への影響について、より詳細な検討がなされるべきであろう。

文 献

- 阿部恒之 1996 コルチゾールによる入浴剤の評価—指標としてのコルチゾールの性質に関する検討— *フレグランス・ジャーナル* 11月号, 74-83.
- 阿部恒之・織田弥生 1993 講演者のストレスホルモン変化に関する事例研究 *日本心理学会第57回大会発表論文集*, 339.
- Ader, R., Felton, D. L., & Cohen, N. 1991 *Psychoneuroimmunology*. Second edition. New York: Academic Press.
- Bachen, E. A., Manuck, S. B., Marsland, A. L., Cohen, S., Malkoff, S. B., Muldoon, M. F., & Rabin, B. S., 1992 Lymphocyte subset and cellular immune response to a brief experimental stressor. *Psychosomatic Medicine*, 54, 673-659.
- Cacioppo, J. T. 1994 Social neuroscience: Autonomic, neuroendocrine, and immune response to stress. *Psychophysiology*, 31, 113-128.
- Cacioppo, J. T. 1998 Somatic responses to psychological stress: The reactivity hypothesis. In M. Sabourin, F. Craik, & M. Robert (Eds.), *Advances in psychological science*, vol. 2. Hove, UK: Psychology Press. Pp. 87-112.
- Carroll, D., Ring, C., Shrimpton, J., Evans, P.,

- Willemsen, G., & Hucklebridge, F. 1996 Secretory immunoglobulin A and cardiovascular responses to acute psychological challenge. *International Journal of Behavioral Medicine*, 3, 266-279.
- Deinzer, R., & Schuller, N. 1998 Dynamics of stress-related decrease of salivary immunoglobulin A (sIgA): Relationship to symptoms of the common cold and studying behavior. *Behavioral Medicine*, 23, 161-169.
- Hawkins, L. H., & Barker, T. 1978 Air ions and human performance. *Ergonomics*, 21, 273-278.
- Herbert, T. B., & Cohen, S. 1993 Stress and immunity in humans: A meta-analytic review. *Psychosomatic Medicine*, 55, 364-379.
- 石原金由・出海光子 1975 Fm θ と創造的課題 臨床脳波, 17, 381-384.
- Jemmott, J. B., & Maglore, K. 1988 Academic stress, social support, and secretory immunoglobulin A. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55, 803-810.
- Koh, K. B. 1998 Emotion and immunity. *Journal of Psychosomatic Research*, 45, 107-115.
- 宮崎良文 1991 香り物質が人の気分に及ぼす影響 人間と環境, 17, 23-28.
- 宮崎良文 1993 木の心地よさ 1. 嗅覚と生理作用 木材工業, 48, 30-33.
- 宮崎良文 1994 森林浴とリラクセーション *Aromatopia*, 6, 48-51.
- 宮崎良文 1996 森の香り フレグランスジャーナル社.
- 宮崎良文・谷田貝光克 1989 植物香り成分の生体影響 人間と環境, 15, 33-42.
- Ohira, H., Watanabe, Y., Kobayashi, K., & Kawai, M. 1999 The Type A Behavior Pattern and immune reactivity to brief stress: Change of volume of secretory immunoglobulin A in saliva. *Perceptual and Motor Skills*, 89, 423-430.
- 大平英樹・山田富美雄 1998 精神神経免疫学的研究 山崎勝男・藤澤清・柿木昇治 (編) 新生理心理学 3巻 北大路書房 pp.32-49.
- Ohtsuka, Y., Yabunaka, N., & Takayama, S. 1998 Shinrin-yoku (forest-air bathing and walking) effectively decreases blood glucose levels in diabetic patients. *International Journal of Biometeorology*, 41, 125-127.
- 島上和則 1987 居住環境と香り 高野健人・前田博・長田康公 (編) セミナー健康居住学 清文社 pp. 86-103.
- 渡部一郎・真野行生・野呂浩史 1998 空気中のマイナスイオンが脳波に与える影響 日本温泉気候物理医学会誌, 61, 121-125.
- Willemsen, G., Ring, C., Carroll, D., Evans, P., Clow, A., & Hucklebridge, F. 1998 Secretory immunoglobulin A and cardiovascular reactions to mental arithmetic and cold pressor. *Psychophysiology*, 35, 252-259.
- Winzer, A., Ring, C., Carroll, D., Willemsen, G., Drayson, M., & Kendall, M. 1999 Secretory immunoglobulin A and cardiovascular reactions to mental arithmetic, cold pressor, and exercise: Effects of beta-adrenergic blockade. *Psychophysiology*, 36, 591-601.
- 山崎勝之・田中雄二・宮田洋 1992 日本語版成人用タイプA質問紙 (KG式日常生活質問紙) — 標準化の過程と実施・採点方法 — タイプA, 3, 33-45.
- 谷田貝光克 1993 森林が放出する揮発性成分とその効果 現代科学, 8, 36-41.
- Yates, A., Gray, F. B., Misiaszek, J. I., & Wolman, W. 1986 Air ions: Past problems and future directions. *Environment International*, 12, 99-108.

注

1. 本研究は、平成10年度に岐阜県健康づくり財団が主催したプロジェクトである、「森林保養システム整備事業実証実験」の一環として行われた。このプロジェクトでは、心理・生理、運動生理、大気・空気循環の各部門において、森林が心身の健康に及ぼす影響についての検討が行われた。本論文では、心理・生理部門における研究成果のみを報告する。本プロジェクトの全貌及び他部門における知見については、(財)岐阜県健康づくり財団「森林保養システム整備事業実証実験報告書」を参照されたい。
2. 所属：東海女子大学研究生
3. 所属：早稲田大学大学院人間科学研究科
4. 分析は、渡邊豊氏によって行われた。記して感謝する。