

森林総合研究所

交付金プロジェクト研究 成果集 46

異なる自然環境におけるセラピー効果の
比較と身近な森林のセラピー効果に
関する研究

独立行政法人 森林総合研究所

2011. 12

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この成果集は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として公表するものである。

ISSN1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集46

「異なる自然環境におけるセラピー効果の比較と身近な森林のセラピー効果に関する研究」

発行日 平成23年12月31日

発行 独立行政法人森林総合研究所

〒305-8687茨城県つくば市松の里1番地

電話 029-873-3211（代表）

研究課題：異なる自然環境におけるセラピー効果の比較と身近な森林の
セラピー効果に関する研究

目 次

研究の要約	1
第1章 多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明	8
第2章 多様な森林・自然環境が示す物理・化学的特性の解明	20
第3章 森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明	32
第4章 森林環境要素の生理効果の解明	37

研究の要約

I 研究年次および予算区分

平成 21～22 年度(2 ヶ年)

運営費交付金(交付金プロジェクト I)

II 主任研究者

主査：森林管理研究領域 環境計画研究室長 香川隆英(平成 21・22 年度)

III 研究場所

森林総合研究所 本所

委託：日本医科大学、千葉大学、千葉県

IV 研究目的

少子高齢化が急速に進行する現代において、人々は都市空間・屋内の人工空間で過ごす時間が生活の大半を占めるようになり、ますますストレス社会から解放されにくくなっている(厚生労働省, 2009)。そのため、生活習慣病や躁鬱など、世代を問わず心身の問題を抱える層が増える傾向にあり、森林のもつ癒し効果(森林セラピー効果)に対する期待は高い。これまで、森林のセラピー機能の研究は、主として奥山の森林と都市の中心市街地との比較により、血圧や心拍の自律神経系、ストレスホルモンなどの内分泌系などにおいて、森林浴によるリラックス効果が明らかになってきた。しかしながら、それらセラピー効果が森林独自のものなのか、海岸や農地など他の自然環境ではどうなのか、これら異なる自然環境で効果の違いがあるのかについては分かっていない。一方、病気に対する抵抗力である免疫能については2泊3日の奥山での森林浴により、抗がん機能を持つナチュラルキラー細胞活性(NK 活性)が高まることが分かったが、日帰りでも人々が日常的に訪問できる身近な森林での効果については研究が進んでいない。

このため、本研究では、森林と海岸、農地など異なる自然環境におけるセラピー効果を、心拍変動、血圧など自律神経活動等を指標として比較するとともに、日常的に森林浴ができる身近な森における日帰りのセラピー効果について、NK 活性など免疫能や循環器系の指標により解明を行うことを目的とした。本課題の中期計画における位置付けは、重点研究領域アイC「健康で快適な空間としての里山等森林の利用促進を図るため、森林セラピー機能の評価・活用技術の開発を行う」の達成を目指すものである。

V 研究方法

第1章 多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明

千葉県船橋県民の森にて、30～60 代の健康な主婦を被験者として、夏季および林内が紅葉する

秋季に、針葉樹林と広葉樹林のタイプの異なる森林、および都市部（コントロール）において、夏季は 17 名、秋季は 12 名の被験者を用いた森林浴実験を行った(注)。被験者を 3 群に分け、3 日間異なる場所を体験させることで、全体として順番効果を相殺した。生理指標として、拡張期・収縮期血圧および脈拍数、唾液中アミラーゼ濃度、唾液中コルチゾール濃度、心拍変動性 (HRV) を用いた。心理指標として、気分プロフィール検査 (POMS)、Semantic Differential Method (SD 法)、状態-特性不安検査 (STAI) を用いた。

また、新潟県津南町のブナ林 (森林) や河岸段丘上にある畑地 (農地)、および柏崎海岸 (海岸) の 3 つの異なる自然環境を調査地として、17 名の 20 代の健康な男子大学生を被験者とした歩行および座観実験をおこなった。被験者をそれぞれ 3 群に分け、3 日間異なる自然環境を体験させることで、全体として順番効果を相殺した。生理指標として、拡張期・収縮期血圧および脈拍数、心拍変動性 (HRV: 交感・副交感神経活動)、唾液中アミラーゼ濃度、唾液中コルチゾール濃度 (ストレスホルモン) を用い、心理指標として、気分プロフィール検査 (POMS)、Semantic Differential Method (SD 法)、状態-特性不安検査 (STAI) 等を用い、歩行・座観実験前後および実験中に測定を行った。本研究は、森林総合研究所の疫学倫理委員会にて承認され、研究の実施に当たっては、全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを行った。

第 2 章 多様な自然環境や森林環境における物理・化学特性の解明

千葉県船橋市において、針葉樹林 (スギ林)、広葉樹林 (シデ・カエデ林) の異なる林層における夏季と秋季の空気中の揮発成分 (フィトンチッド) 及び光環境、温熱環境について測定した。また、同時に近隣の都市域 (新京成線三咲駅前) においても同様の測定を行い、森林と都市との環境の比較を行った。

また、森林 (津南町のブナ林)、海岸 (新潟県柏崎市)、農地 (津南町) の異なる自然環境の比較のため、それぞれの自然環境における空気中の揮発成分 (フィトンチッド) 及び光環境、温熱環境について測定を行った。フィトンチッドは吸着管 (スペルコ製 PEJ-02) を小型ポンプ (柴田科学製 MP-Σ30) に装着して流速 100ml/min で捕集した。加熱脱着装置 (PerkinElmer 製、ATD-400) により熱脱着後、GC-MS (Agilent 製、6890-5973) にて SIM モード (測定イオン: 69,93,136) にて分析を行った。

第 3 章 森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明

東京都内大手企業に勤める 35-53 才の健康な 12 名の男性社員を被験者として、埼玉県にある国営武蔵丘陵森林公園の遊歩道を約 4 時間散策する歩行実験を行った。測定項目は NK 活性、NK 細胞数、T 細胞数、リンパ球内の Perforin、Granulysin、Granzyme A と B、末梢白血球数、血中コルチゾールと尿中アドレナリン濃度、体動計による睡眠状況の計測及び万歩計による運動量の計測等である。

また、心血管疾患の現病・既往歴を有さず、生活習慣病関連の内服治療を受けていない健康男性 16 名 (平均 57±12 才) を被験者とした生活習慣病予防効果の実験を行った。測定項目は血圧、血中アディポネクチン、DHEA-S (dehydroepiandrosterone sulfate)、NT-proBNP (N-terminal pro-B-type natriuretic peptide)、中性脂肪、総コレステロール、LDL-コレステロール、HDL-コレステロール、

高感度 CRP、尿中アドレナリン、ノルアドレナリン及びドーパミン濃度、体動計による睡眠状況の計測及び万歩計による運動量の計測等である。本研究は日本医科大学の倫理委員会にて承認され、本研究の実施に当たっては、全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを取った。

第4章 森林環境要素の生理効果の解明

健康な男子大学生 19 名を被験者とし、森林総合研究所人工気候室内でタイプの異なる森林の静止画像を用いた視覚刺激実験を実施した。視覚刺激は広葉樹、針葉樹、紅葉、対照として都市の画像を、58 インチの高解像度テレビにて 2 分間呈示することにより行った。生理指標として時間分解分光法による前頭前野脳活動、フィナプレス法による収縮期血圧・拡張期血圧・脈拍数、唾液アミラーゼ活性、唾液中コルチゾール濃度（広葉樹、都市のみ）、心拍の時間間隔（RR 間隔、心拍変動性解析用）を測定した。主観評価として各画像の快適感、自然感、鎮静感を 13 段階のスケールにて評価させた。

また、健康な男子大学生 20 名を被験者とし、森林総合研究所人工気候室内で異なるタイプの自然環境を静止画像を用いた視覚刺激実験を実施した。刺激は森林（広葉樹林）、田園、海の画像を、58 インチの高解像度テレビにて呈示することにより行った。1 種類の刺激は 4 枚の画像から構成されており、それぞれを 30 秒ずつ呈示し合計 2 分間の視覚刺激を行うこととした。生理指標として近赤外分光分析法による前頭前野脳活動、フィナプレス法による収縮期血圧・拡張期血圧・脈拍数、心電図（心拍変動性解析用）を測定した。主観評価として各画像の快適感、自然感、鎮静感を 13 段階のスケールにて評価させた。また気分状態を、感情プロフィール検査（POMS）にて測定した。

(注)第 1 章および第 3,4 章におけるフィールドでの被験者実験の場合、疫学調査のような大規模の被験者実験はできないので、生理的に差異の少ない集団(男女や年齢層など)の中から被験者を選んで実験を行った。

VI 研究結果

課題名	担当	期間
多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明	森林管理研究領域、構造利用研究領域、千葉大学、千葉県森林研究所	21～22
多様な自然環境や森林環境における物理・化学特性の解明	バイオマス化学研究領域、森林管理研究領域	21～22
森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明	日本医科大学衛生学公衆衛生学	21～22
森林環境要素の生理効果の解明	構造利用研究領域、千葉大学	21～22

第 1 章 多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明

針葉樹林と広葉樹林のタイプの異なる森林浴実験の結果、夏季において広葉樹林および針葉樹

林における HF 成分（副交感神経活動）が、都市部と比較して有意に高く、針葉樹林および広葉樹林ともに都市部よりも自律神経活動をリラックスさせることが分かった。秋季においても同様にリラックス効果が認められた。一方、林相間の比較では、夏季に針葉樹林の方が広葉樹林よりも心拍数が低く、針葉樹林の方がよりストレスを軽減させると考えられた。

森林と農地、海岸の異なる自然環境における生理効果への影響については、脈拍数・血圧において、森林が農地・海岸よりリラックス効果が高いことが分かった。また、唾液中コルチゾールの濃度では、森林は海岸に比ベストレス軽減効果が高く、一方、心拍変動性からみた自律神経活動においては、副交感神経・交感神経活動において森林が海岸や農地よりもストレス軽減効果が高い傾向が見られた。

第2章 多様な自然環境や森林環境における物理・化学特性の解明

タイプの異なる森林および都市環境の比較では、温熱環境（PMV）において森林部は、夏が「やや暖かい」、秋が「やや涼しい」の範囲に評価され、都市部は夏季が著しく暑かったのに対し、秋季は森林部と同程度に「やや涼しい」温熱環境であったとして評価された。フィトンチッド量は、針葉樹、広葉樹共に夏の方が秋に比べて多く検出された。それぞれの森林で検出されるフィトンチッドの種類は針葉樹では α -ピネン、 β -ピネン、カンフェンが多く、広葉樹でも α -ピネンが多く検出された。

森林（津南町のブナ林）、海岸（新潟県柏崎市）、農地（津南町）の異なる自然環境の比較では、温熱環境的快適性（PPD）において森林が最も快適で、次に農地、海岸の順になった。直射光を遮るものがない農地や海岸では輻射熱が高くなり、温熱環境的に不満足な環境になったと思われる。空気中の揮発成分の測定を行った結果、森林の空気は海岸、農地と比較して非常に多くのフィトンチッドを含むことが明らかとなった。

第3章 森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明

日帰り森林浴実験の結果、NK 細胞数および細胞内抗がんたんぱく質の増加によって NK 活性を上昇させ、持続効果が認められた。フィトンチッド及び森林浴によるリラックス効果が、NK 活性の活性化に寄与したと考えられた。森林浴は NK 活性を上昇させることから、がんの予防効果が期待された。

また、日帰り森林浴によって血圧を減少させ、さらに動脈硬化の予防効果のある血中アディポネクチンの濃度を高めるなど、日帰り森林浴による生活習慣病の予防効果が期待できた。

第4章 森林環境要素の生理効果の解明

広葉樹、針葉樹、紅葉等タイプの異なる森林の画像による室内実験の結果、広葉樹・針葉樹では血圧の上昇が認められ、紅葉・都市では血圧ならびに脳活動の低下が認められた。一方、心理的快適性は針葉樹・紅葉において都市よりも高く、鎮静感は広葉樹・針葉樹において紅葉・都市よりも高いなど生理と異なる結果となり、被験者の個人差などより詳細な解析が必要である。

森林および田園、海の異なる自然環境の画像を用いた室内被験者実験の結果、森林の画像による生理的な影響は他の自然風景の画像と異なることが明らかとなった。森林風景は他の自然風景

と比べてより自然で鎮静的な印象を与え、緊張や落ち込みなどの感情を緩和する効果が認められた。また、生理的には他の自然風景が血圧を上昇させたのに対し、森林風景では血圧上昇が認められなかったことは、鎮静的な印象を与えた心理的作用とよく対応していると考えられた。

Ⅶ 成果の利活用

森林と農地、海岸における人体の生理効果への影響については、脈拍数・血圧、コルチゾール濃度、副交感神経・交感神経活動において、森林が海岸・農地より総合的にリラックス効果が高いことが分かり、異なる自然環境における森林のセラピー効果の高さが確認できたことは、全国で展開されている森林セラピー基地市町村にとって、今後森林セラピーを推進するうえで、大変有意義な結果である。

また、これまで2泊3日の滞在型の森林浴が免疫能を高めたのに加え、本研究で日帰り森林浴がNK活性を上昇させ抗がん機能を高め、動脈硬化の予防効果がある血中アディポネクチンの濃度を高めることが分かった。これらの結果、セラピー基地など滞在型の森林浴と身近な里山など日帰り森林浴の組み合わせによって、人々の抗がん機能を高く持続するとともに、生活習慣病の予防効果も期待できる。

これら本研究プロジェクトの成果の一部を、小冊子「森林セラピープログラム」にとりまとめ、全国48箇所の森林セラピー基地・ロードの市町村に配布した。本プログラムを、各セラピー基地において森林セラピスト等が活用することで、人々の心身のリラックス、生活習慣病の予防など健康面に、また都市と地域の交流など地域の活性化に貢献することができる。

Ⅷ 今後の問題点

森林と海岸・農地など異なる自然環境における生理効果の違いや、針葉樹林や広葉樹林など異なる樹種での特徴など、従来の森林と都市の単純な比較研究より進んだセラピー効果を明らかにしたが、今後は各セラピーロードの管理状況と利用実態の関係、地域経済への影響など社会科学的研究が必要である。

一方、これまで我が国の代表的な森林セラピーロードにおける、2泊3日の滞在型の森林浴による免疫能の向上や、都市近郊の優れた森林公園における日帰り森林浴の免疫能へ効果等を明らかにしてきたが、今後は一般的なスギ・ヒノキの人工林や小規模の森林公園・身近な里山等における免疫能や循環器系指標への効果についても明らかにしていく必要がある。

Ⅸ 研究発表

1. 大平辰朗(2009)様々な情報に対する植物の応答 - 信号化学物質の機能について -、においかおり環境学会誌、40(3)、140-151
2. 高山範理・筒井末春・朴範鎮・総谷珠美・香川隆英(2010)利用者の個人特性がオンサイトの森林環境の印象評価に与える影響：ランドスケープ研究 73(5)、531-536
3. 高山範理・筒井末春・朴範鎮・総谷珠美・荒牧まりさ・香川隆英(2010)神経症傾向が森林環境の評価および認識と森林浴効果にもたらす影響、環境情報科学、24、357-362.
4. 大平辰朗(2010)森林の癒し効果を担う森林の香り、においかおり環境学会誌、41(3)、188-196

5. Li Q, Kawada T, Kagawa (2010) T. A day trip to a forest park enhances human immune function. IUFRO World Congress, August 23-28, Seoul.
6. 李卿, 小林麻衣子, 稲垣弘文, 平田幸代, 李英姫, 平田紀美子, 清水孝子, 鈴木博子, 勝又聖夫, 若山葉子, 川田智之, 大平辰朗, 松井直之, 香川隆英(2010)日帰り森林浴による生体免疫機能への効果. 第80回日本衛生学会学術総会
7. Y. Tsunetsugu and Y. Miyazaki(2010) Individual variations in baseline levels of salivary biomarkers, 10th International Congress of Physiological Anthropology abstract book 19
8. Y. Tsunetsugu, B.J. Park and Y. Miyazaki(2010) Human responses to forest environments: physiological assessment and individual differences”The international forestry review 12(5): 466. XXIII IUFRO World congress, August 23-28, Seoul.
9. J. Lee, B.J. Park, Y. Tsunetsugu, T. Ohira, T. Kagawa and Y. Miyazaki(2010) Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects, Public Health, doi:10.1016/j.puhe
10. B.J. Park, Y. Tsunetsugu, T. Kagawa and Y. Miyazaki(2010) Assessment of the physiological effects of forest bathing (taking in the forest atmosphere) in field tests at 35 sites, The international forestry review, 12(5): 466. XXIII IUFRO World congress, Seoul
11. J. Lee, B.J. Park, Y. Tsunetsugu and Y. Miyazaki(2010) Health-related benefits of forest stimulation based on indoor experiments, The international forestry review 12(5): 468. XXIII IUFRO World congress, Seoul
12. Kagawa, T. and Takayama, N. (2011) Physical Factors in the Forest Environment. In : Li, Q. (ed.) : Forest Medicine, Nova Science Publishers (New York), 11-24
13. Ohira, T. and Matsui, N. (2011) Phytoncides in Forest Atmosphere. In : Li, Q. (ed.) : Forest Medicine, Nova Science Publishers (New York), 25-34
14. Li, Q., Kobayashi, M., Inagaki, H., Hirata, Y., Hirata, K., Li, Y.J., Shimizu, T., Suzuki, H., Wakayama, Y., Katsumata, M., Kawada, T., Ohira, T., Matsui, N., & Kagawa, T. (2010). A day trip to a forest park increases human natural killer activity and the expression of anti-cancer proteins in male subjects. Journal of biological regulators and homeostatic agents, 24(2):157-65
15. Qing Li, Toshiaki Otsuka, Maiko Kobayashi, Yoko Wakayama, Hirofumi Inagaki, Masao Katsumata, Yukiyo Hirata, Yingji Li, Kimiko Hirata, Takako Shimizu, Hiroko Suzuki, Tomoyuki Kawada, Takahide Kagawa(2011) Acute effects of walking in forest environments on cardiovascular and metabolic parameters. European Journal of Applied Physiology, Volume 111, Number 11:2845-2853
16. 大塚俊昭、李卿、香川 隆英、小林麻衣子、若山葉子、稲垣弘文、勝又聖夫、平田幸代、李英姫、平田紀美子、清水孝子、鈴木博子、川田 智之(2011) 健常男性におけるウォーキングがNT-proBNP 値におよぼす影響の検討. 第45回日本成人病（生活習慣病）学会学術集会
17. 李卿, 大塚俊昭, 小林麻衣子, 若山葉子, 稲垣弘文, 勝又聖夫, 平田幸代, 李英姫, 平田紀

美子, 清水孝子, 鈴木博子, 川田智之, 香川隆英(2011)日帰り森林浴による血圧への影響. 第81回日本衛生学会学術総会

18. 小林麻衣子, 李卿, 若山葉子, 稲垣弘文, 勝又聖夫, 平田幸代, 李英姫, 平田紀美子, 五月女孝子, 伊藤博子, 川田智之, 香川隆英(2011)日帰り森林浴と都市部観光によるリラックス効果の比較. 第81回日本衛生学会学術総会

19. 李卿, 川田智之(2011): 森林セラピーによる「精神心理・神経系-内分泌系-免疫系」ネットワークへの影響 (シンポジウム名: 予防医学の視点から森林セラピーの健康増進・疾病予防効果を検証する). 第81回日本衛生学会学術総会

X 研究担当者

第1章 多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明

高山範理・香川隆英 (森林管理研究領域)、森川岳 (構造利用研究領域)、朴範鎮・李宙営 (千葉大学)、宮川治郎 (千葉県森林研究所)

第2章 多様な自然環境や森林環境における物理・化学特性の解明

大平辰朗・松井直之 (バイオマス化学研究領域)、香川隆英・高山範理 (森林管理研究領域)

第3章 森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明

李卿・川田智之 (日本医科大学衛生学公衆衛生学)

第4章 森林環境要素の生理効果の解明

恒次祐子 (構造利用研究領域)、朴範鎮・李宙営・宮崎良文 (千葉大学)

引用文献

厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室(2009)、平成20年国民健康・栄養調査

第1章 多様な自然環境や森林環境における生理効果等の解明

ア、研究目的

これまでの現場（オンサイト）にて実施される森林セラピー実験は、森林部と都市部の比較により、生理的・心理的な森林セラピー効果を調べるが多かった（Parkら2010、Leeら2011）。本課題では、針葉樹林（スギ・ヒノキ林など）と落葉広葉樹林（シデ林、カエデ林など）等、タイプの異なる森林における生理・心理効果を比較検討するとともに、森林とそれ以外の自然環境、すなわち海岸、農地など異なる自然環境における生理・心理効果を比較することで、森林セラピーに効果的な地域やメニューを提案するための基礎資料とすることを目指した。

イ、研究方法

〈タイプの異なる森林における生理・心理効果〉

千葉県船橋県民の森にて、30～60代の健康な主婦を被験者として、夏季（2009年8月下旬）および林内が紅葉する秋季（同12月上旬）に森林浴実験をおこなった。どちらも針葉樹林（40～50年のスギ・ヒノキ人工林）と広葉樹林（林齢30～40年のシデ・コナラ等の二次林）のタイプの異なる森林、および船橋市の人通りの多い市街地の広場（都市部：コントロール）において、夏季は17名、秋季は12名の被験者を用いた。被験者を3群に分け、3日間異なる場所を体験させることで全体として順番効果を相殺した。控え室にて事前測定を実施したのち、それぞれの調査地において、生理・心理指標の測定を行った。生理指標として、収縮期・拡張期血圧（最高血圧・最低血圧）および脈拍数、唾液中アミラーゼ濃度（ストレス時に濃度が高まる酵素）、唾液中 cortisol 濃度（ストレス時に濃度が高まるホルモン）、心拍変動性（心拍数を測定することで、心拍の間隔の変動・揺らぎから自律神経活動である副交感神経活動と交感神経活動を導き出すことができる。副交感神経活動はリラックス時に亢進し、交感神経活動はストレス時に亢進する）を用いた。心理指標として、人の気分状態を測定する気分プロフィール検査（POMS）、空間の雰囲気測定する Semantic Differential Method（SD法）、不安感を測定する状態-特性不安検査（STAI）を用いた。各調査地では控え室にて、各被験者の心理指標（POMS、STAI）の前値を測定したのち、測定場所にて HRV の測定装置を装着させた後で、生理指標の前値（血圧/脈拍・アミラーゼ・cortisol）を調べ、15分間の座観（椅子に座って、森あるいは市街地の風景を見る）を行わせた。その後生理測定（血圧/脈拍・アミラーゼ）を行い、再度、控え室にて心理指標（POMS・STAI・SD法）の事後測定を実施した。被験者は控室（公民館）から3人を分けて車に乗せ、3か所（森林2か所と市街地）に行き、それぞれの測定箇所座観および測定を行った。最初の被験者グループの測定終了後、次の被験者グループを同様に3か所に送迎して測定を行う実験デザインを取った。本研究は、森林総合研究所の疫学倫理委員会にて承認され、研究の実施に当たっては、全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを行った。

〈森林・海岸・農地など異なる自然環境における生理・心理効果〉

夏季（2010年9月上旬）に森林、海岸、農地の3つの異なる自然環境を調査地として、歩行

および座観実験をおこなった。ブナ林（森林）や河岸段丘上にある畑地（農地）、柏崎海岸付近の海浜部（海岸）において、17名の20代の男子学生を被験者とした。生理指標として、拡張期・収縮期血圧および脈拍数（血圧/脈拍）、唾液中アミラーゼ濃度（アミラーゼ）、唾液中コルチゾール濃度（コルチゾール）、心拍変動性（HRV）を用い、心理指標として、気分プロフィール検査（POMS）、Semantic Differential Method（SD法）、状態・特性不安検査（STAI）等を用いた。被験者を3群に分け、3日間異なる場所を体験させることで全体として順番効果を相殺した。各調査地では大型バン（控え室）にて、各被験者の心理指標（POMS、STAI）の前値を測定したのち、測定場所にてHRVの測定装置を装着させた後で、生理指標の前値（血圧/脈拍・アミラーゼ・コルチゾール）を調べ、まず20分間の歩行をさせた。その後に歩行後の生理測定（血圧/脈拍・アミラーゼ）をおこなった。さらに、安静後、15分の座観実験（被験者は1人ずつ椅子に座って、森林、海岸及び農地の風景を静かに見る）をおこない実験終了後に、再度生理指標の測定（血圧/脈拍・アミラーゼ・コルチゾール）をおこない、再度、控え室にて心理指標（POMS・STAI・SD法）の事後測定を実施した。本研究は、森林総合研究所の疫学倫理委員会にて承認され、研究の実施に当たっては、全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを行った。

ウ、エ 結果と考察

〈タイプの異なる森林における生理・心理効果〉

（ア）生理指標

1) 夏季

HRVの分析結果を確認したところ、夏季において広葉樹林および針葉樹林におけるHF成分（副交感神経活動の指標）が、都市部と比較して有意に高い結果が得られた（図1-1）。すなわち、夏季においては、針葉樹林および広葉樹林ともに、都市部よりも、生理的なセラピー効果が高い環境であったといえる。また、林相間の比較では、針葉樹林の方が広葉樹林よりも有意に心拍数が低かった。これは、針葉樹林の方が、身体的により生理的なセラピー効果の高い環境であることを示唆したものと考えられる。

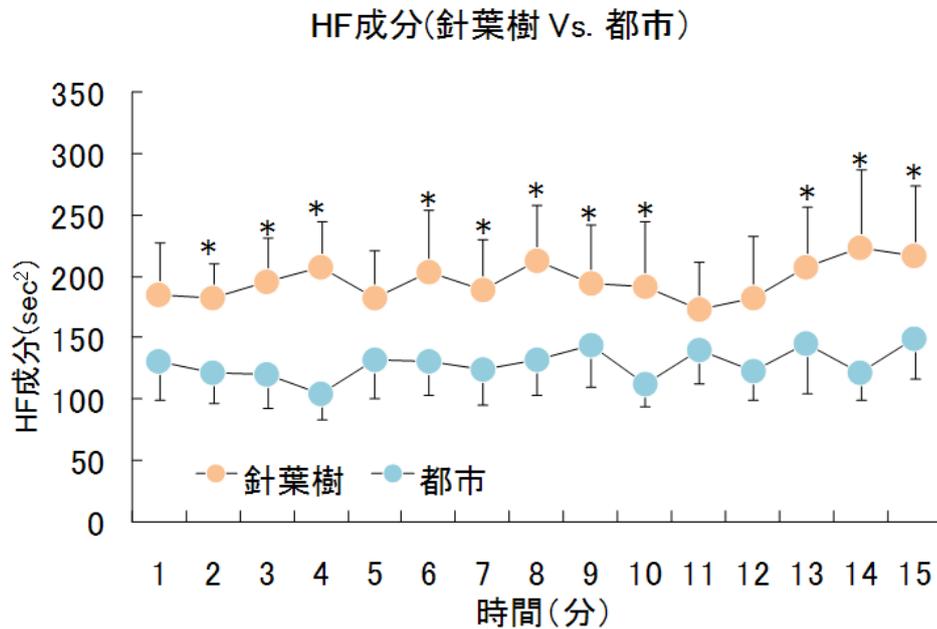
2) 秋季

秋季の針葉樹林と都市部を比較した結果、針葉樹林ではHRVのHF成分（副交感神経活動の指標）が有意に増加し、LF/（LF+HF）成分（交感神経活動の指標）が有意に低下することが示された。また、秋の広葉樹林と都市部を比較した結果、広葉樹林におけるHRVのHF成分が有意に増加し（図1-2）、LF/（LF+HF）が有意に低下することが認められた。すなわち、針葉樹林および広葉樹林の森林環境において、都市部と比べて、生理的なセラピー効果が高かったことを示唆したものと考えられる。一方、針葉樹林-広葉樹林の間では、生理的なセラピー効果において特徴的な（有意な）差異は確認できなかった。

3) 夏季-秋季の比較

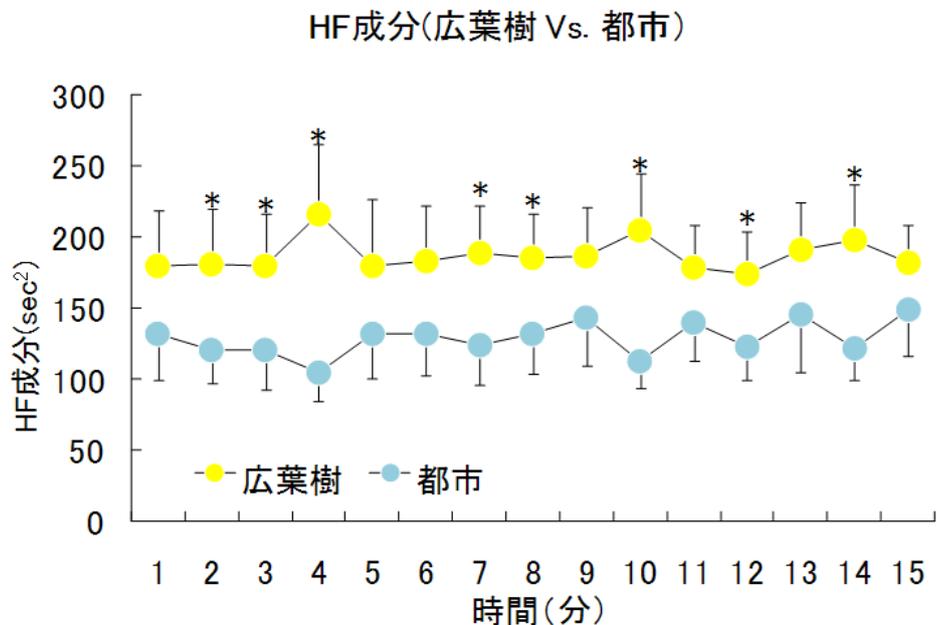
夏季の針葉樹林と秋季の針葉樹林を比較した結果、夏の針葉樹林における座観後の拡張期血圧が有意に低下することが示された（図1-3）。また、夏季の広葉樹林と秋季の広葉樹林を比較した結果、夏の広葉樹林における座観前・後の収縮期血圧が有意に低下すること、座観後の拡張期血圧が有意に低下することが示された。ただし、座観前の数値が秋季の方が高く、前後の傾向

は類似するため、季節間の差異について明確なことは言えない。



都市部と比較して、針葉樹林における HF 成分（副交感神経活動の指標）は有意に高い結果であった。針葉樹林は生理的なセラピー効果が高いことを意味している。

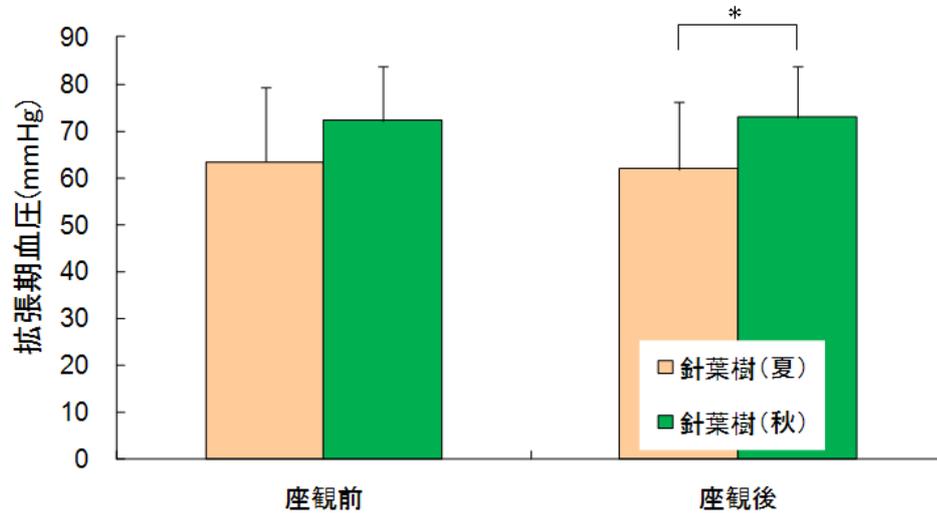
図 1-1 夏季の針葉樹林と都市部における生理指標の比較 (HRV (HF 成分))



都市部と比較して、広葉樹林における HF 成分（副交感神経活動の指標）は有意に高い結果であった。広葉樹林は生理的なセラピー効果が高いことを意味している。

図 1-2 秋季の広葉樹林と都市部における生理指標の比較 (HRV (HF 成分))

拡張期血圧



対応なしt検定, N=11-17, *: $p < 0.05$

針葉樹林における拡張期血圧を夏季—秋季で比較すると、座観後の秋季における拡張期血圧は夏季よりも有意に低いとする結果が得られた。

図 1-3 座観後の夏季—秋季における拡張期血圧の比較(例: 針葉樹林)

(イ) 心理指標

1) 夏季

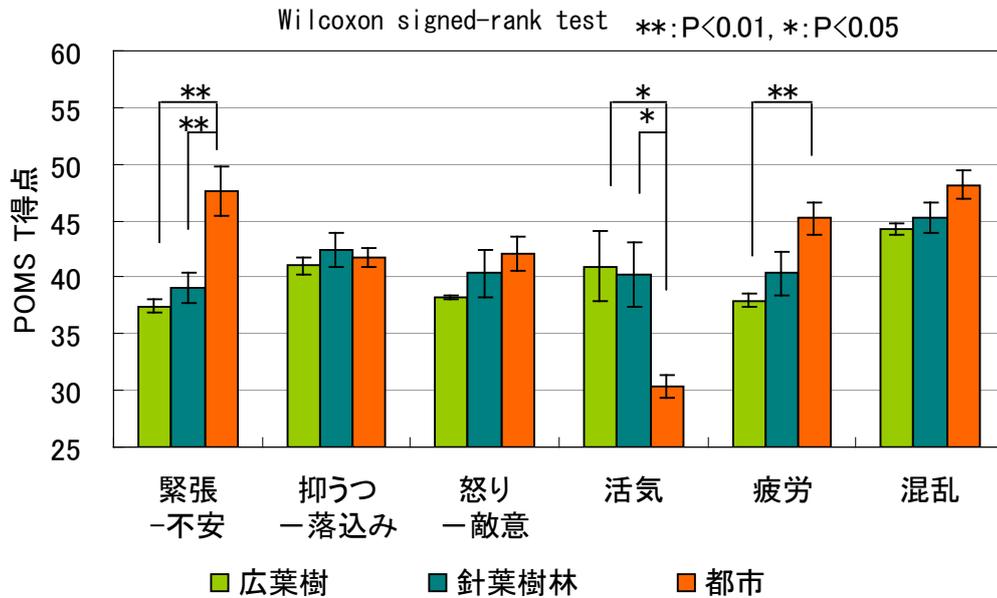
夏季の分析結果から、都市部を対照として比較したところ、広葉樹林においては、POMSの「緊張—不安」、「疲労」が緩和され、「活気」が増加していた。一方、針葉樹林では、「緊張—不安」が緩和され、「活気」が増加しており、森林部(針葉樹林および広葉樹林)に心理的なセラピー効果があることが確認された。また、針葉樹林—広葉樹林の間に POMS 尺度の有意差は確認できなかった。夏季の実験条件では、林相に関らず、被験者に同程度に心理的なセラピー効果をもたらす環境だったことが明らかになった(図 1-4)。

2) 秋季

秋季の分析結果から、都市部を対照として比較したところ、広葉樹林では「緊張—不安」、「疲労」が緩和され、「活気」が増加することが明らかになった。また、針葉樹林では、「緊張—不安」、「怒り—敵意」、「疲労」が緩和され「活気」が増加することが明らかになった。このように秋季においても、都市部と比較した場合、針葉樹林、広葉樹林のそれぞれの森林環境において、心理的なセラピー効果が高いことが明らかになった。一方、夏季と同様に、針葉樹林—広葉樹林間の比較では、有意な差異は確認することができなかった(図 1-5)。

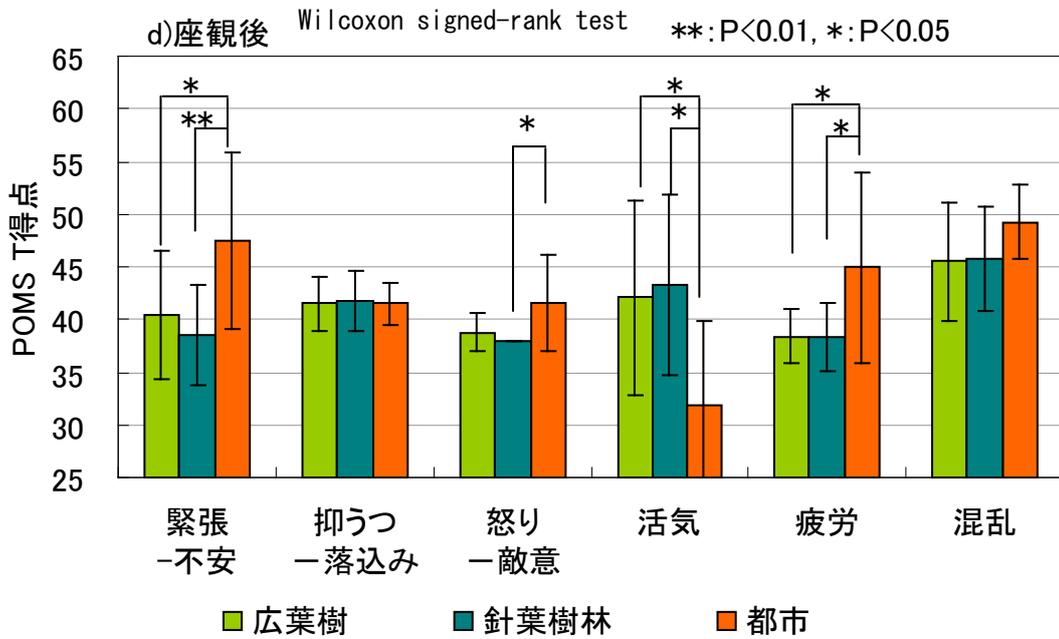
3) 夏季－秋季の比較

夏季－秋季の POMS の結果を比較したところ、季節間の心理的効果に有意差は認められなかった。これは、季節に関らず、森林では心理的なセラピー効果を享受できることが示唆された結果だと思われる（図1－6）。



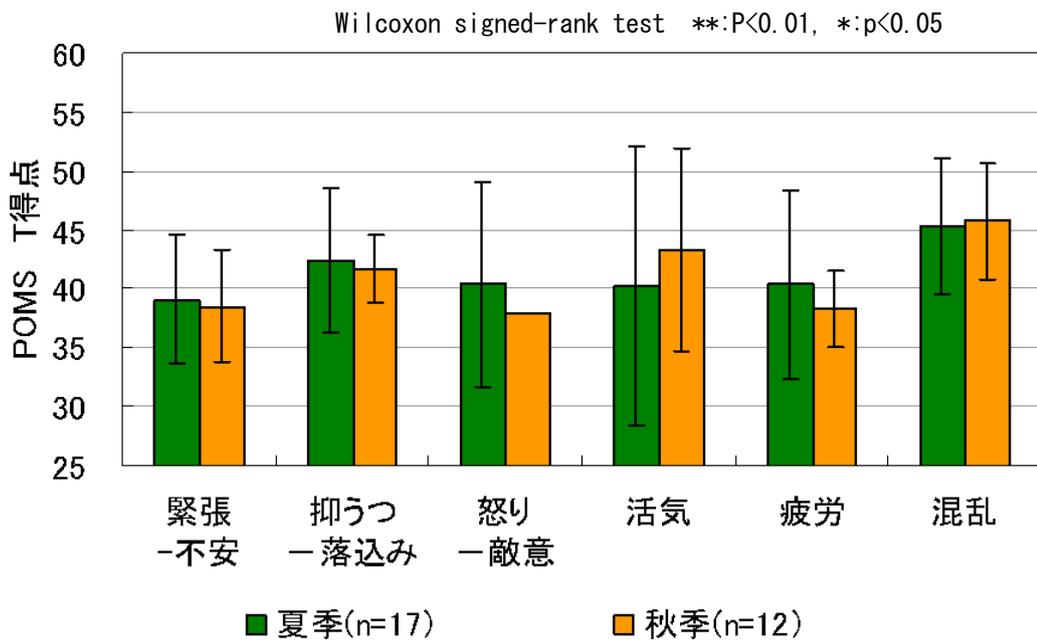
都市部との比較において、針葉樹林・広葉樹林とも心理的なセラピー効果が認められた。

図1－4 座観後の広葉樹林・針葉樹林・都市部における心理的セラピー効果の比較（夏季）



都市部との比較において、針葉樹林・広葉樹林とも心理的なセラピー効果が認められた。

図1-5 座観後の広葉樹林・針葉樹林・都市部における心理的セラピー効果の比較（秋季）



針葉樹林および広葉樹林とも夏季と秋季との間に有意な差異は確認できなかった。

図1-6 夏季-秋季における心理的セラピー効果の比較（例：針葉樹林）

〈森林・海岸・農地など異なる自然環境における生理・心理効果〉

(ア) 生理指標

1) 収縮期・拡張期血圧・脈拍

脈拍数は全測定（歩行前、歩行後、座観後）で押しなべて森林が最も低く、森林に比して、次に農地（ $p<0.05$ ）が、さらに海岸が最も高い（ $p<0.01$ ）という結果になった。収縮期血圧は、歩行前は調査地間に差は見られなかったが、歩行後に農地と海岸が上昇したのに対して、森林は一定だった。拡張期血圧（図1-7）も歩行前は調査地間に差は見られなかったが、歩行後に農地と海岸（対森林； $p<0.05$ ）は上昇した。座観後にも引き続き高い値を示しており、変化のあまりない森林と比べて農地も海岸（ $p<0.08$ ）も高い傾向にあることが分かった。すなわち、脈拍数において森林が農地・海岸より生理的セラピー効果が高く、拡張期血圧において森林が海岸より生理的なセラピー効果が高い環境であったことが明らかになった。

2) 唾液中コルチゾール濃度等

ストレスホルモンである唾液中コルチゾールの濃度の値を比較したところ、座観前には森林が最も高く、次に海岸、農地の順であった（図1-8）。しかし、座観後は森林が最も低く、続いて農地、海岸の順であった。有意差はないものの、森林では座観前後において値が減少したのに対し、農地および海岸では座観前後において濃度の値が上昇した。また、座観後の森林と海岸の濃度には有意差（ $p<0.05$ ）が確認された。このことから、森林は農地や海岸に比べ、生理的なセラピー効果が高かったことが明らかになった。

唾液アミラーゼ活性については、有意な差がみられなかった。

3) 心拍変動性（HRV）

副交感神経活動の指標である「HF」、および交感神経活動の指標である「LF/HF」について、歩行時および座観時で比較したところ、歩行時は、HFの値が森林-海岸、農地-海岸の間に有意差が見られた

一方、座観では、HFが森林>農地>海岸の順に高く、LF/HFが海岸>農地>森林の順に高い傾向が見られた。これの結果から、森林は農地や海岸に比較して、自律神経活動へのリラックス効果やストレス軽減効果が高い傾向があることが分かった（図1-9）。

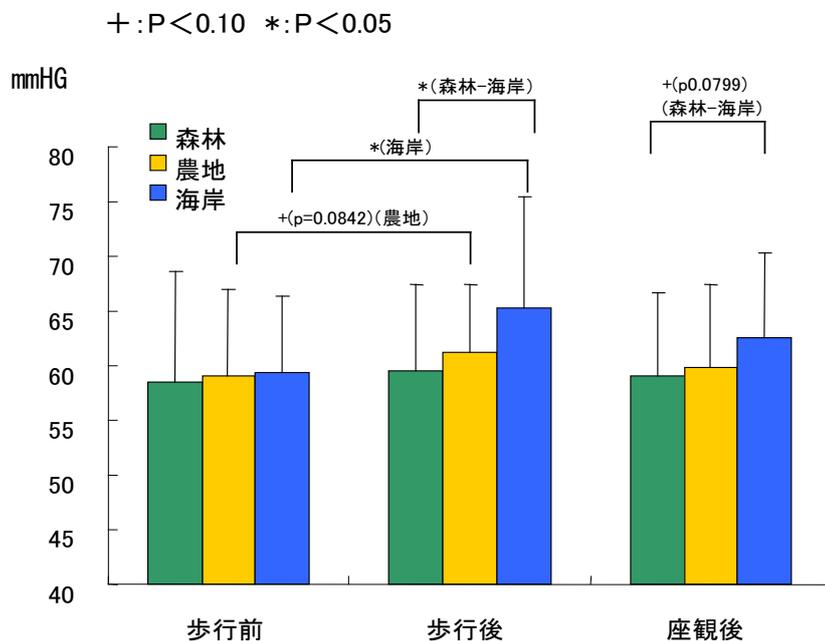
(イ) 生理実験結果のまとめ

以上の結果のように、森林、農地、海岸の各調査地を比較したところ、森林では、実験前中後で血圧/脈拍ともに大きな変化はなく、コルチゾール濃度が低下していた。また、歩行時のHRVのHFが海岸よりも有意に高かった。また、前値-後値の比較結果や他の環境との相対的な比較などからも、森林環境には、生理的なセラピー効果が高いことが明らかにされたと言える。

その一方で、海岸部では血圧や脈拍が高まり、コルチゾール濃度が上昇し、HRVのLF/HFも森林、農地より相対的に高かった。これは実験が被験者に対して負荷を与え、ストレスになったと考えるよりも、生理的に活力を与えるような環境であったと考えることもできる。

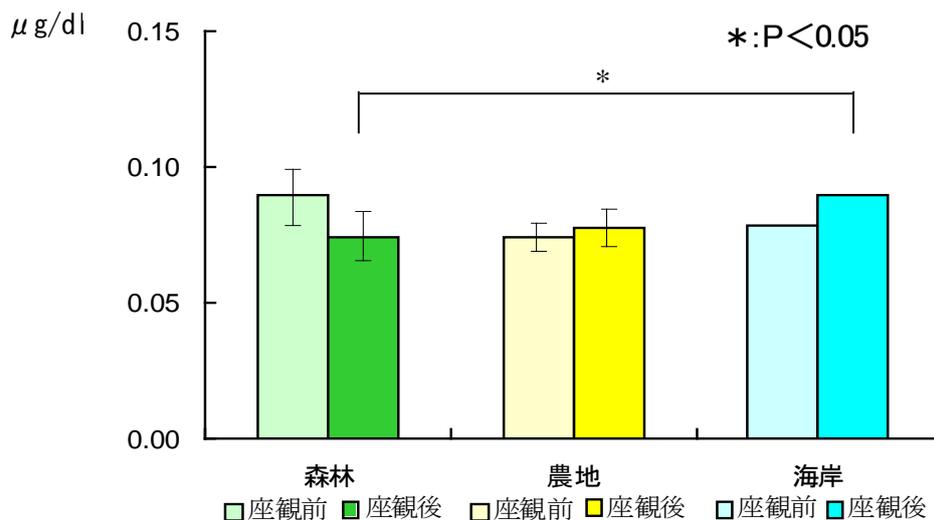
農地については、生理指標の測定値は、概ね森林と海岸の中間付近に位置していた。しかし、歩行後には血圧/脈拍が上昇し、座観後には低下するという傾向から推察すると、そこで行われる行動の種類によって、生理的に活力を得る（歩行）、リラックスする（座観）などの効果が異なる

可能性が考えられた。これらを総合的に考察すると、森林が全生理指標を通して最もリラックス効果が高く、農地、海岸がそれに続く傾向にあると考えられる。



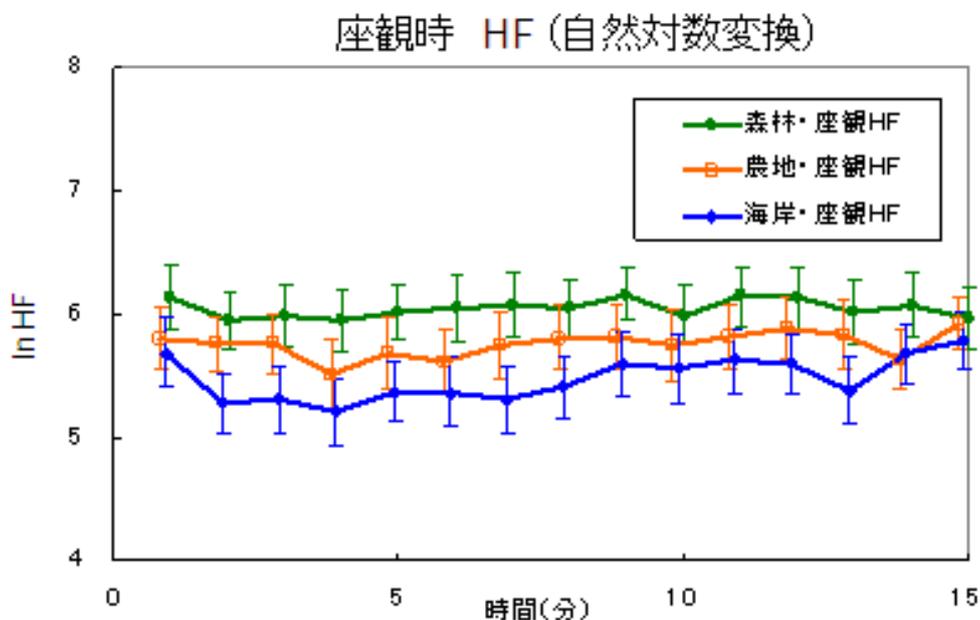
森林では歩行前後・座観後ともほぼ一定。農地、海岸では上昇。歩行後・座観後の森林-海岸の値には有意差が認められた。このことから、他の環境に比して、森林には生理的なセラピー効果があることが確認された。

図 1-7 拡張期血圧の比較



森林では座観後に濃度が低下。農地、海岸では上昇。森林-海岸の濃度（座観後）には有意差が認められた。このことから、他の環境に比しても森林には生理的なリラックス効果があることが確認された。

図 1-8 唾液コルチゾール濃度の比較



座観-HF (副交感神経活動) において、森林>農地>海岸の順にリラックス効果が高い傾向が見られた。

図 1-9 HF (副交感神経活動) の比較

(ウ) 心理指標

1) 印象評価の比較

SD 法の結果より、各調査地の印象は、森林と農地を比較すると、森林は、「自然な」、「美しい」、「鎮静的な」、「落ち着く」、「健康的な」、「光の目にやさしい」環境であると感じられていた。農地は、「明るい」、「開放的な」、「乾燥した」環境であると評価されていた。また、海岸は、「明るい」、「開放的な」、「整然とした」、「乾燥した」環境であると認識されていた。

2) 心理的な不安感改善効果の比較

STAI の状態不安 (一時的な不安状態を意味する) の比較を調査地間でおこなったところ、森林、農地、海岸の全てで有意に状態不安の得点が低下していた (図 1-10)。一方、調査地間での比較をおこなったところ、森林、農地、海岸の間に実験前および実験後ともに有意差は確認されなかった。これは、場所は異なるがそれぞれの自然環境が、一時的な不安状態を解消していたことを意味した結果だと思われる。

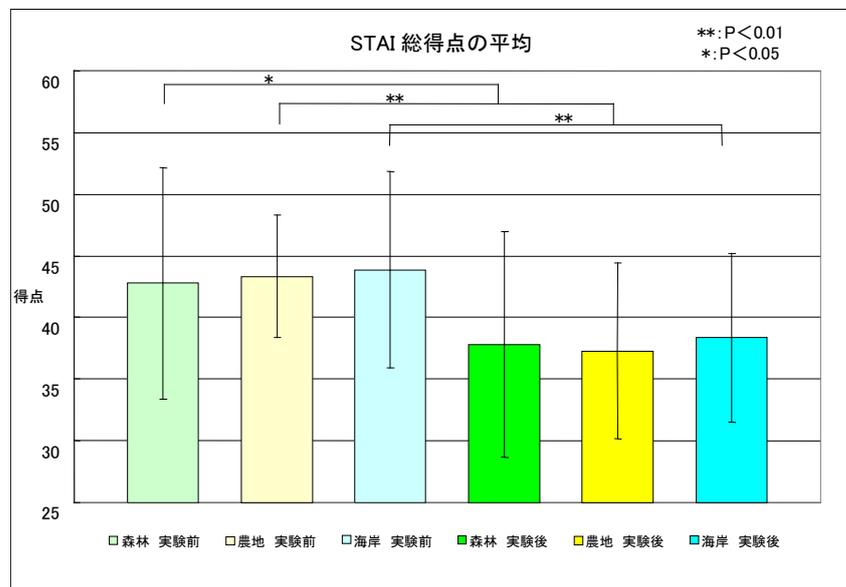
3) 心理的な気分の改善効果の比較

POMS の結果より、全ての調査地で心理的なセラピー効果が確認されたが、特に森林では、「緊

「緊張-不安」および「抑うつ-落込み」に低下傾向 ($p<0.10$) があることが認められた (図 1-11)。また、農地では、「疲労 ($p<0.10$)」、「混乱 ($p<0.05$)」にそれぞれ低下傾向および有意な低下が認められた。海岸では、「怒り-敵意」が有意に低下 ($p<0.05$) しており、調査地ごとに心理的なセラピー効果をもたらす尺度が異なることが明らかになった。

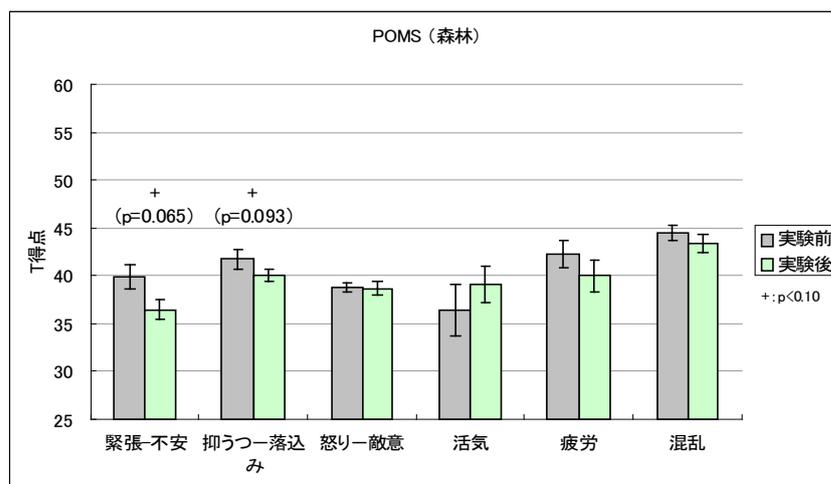
(エ) 心理測定結果のまとめ

以上より、森林、農地、海岸は調査地ごとに異なる印象で評価されるにも関わらず、全ての自然環境は、不安状態の改善に同じ程度寄与しており、気分の改善効果という点でも、一様に高い心理的なセラピー効果をもたらしていたようである。しかし、森林は緊張感や不安感、抑うつ感や落込み感を緩和させるのに有効であり、その一方、農地や海岸もそれぞれに効果的に寄与する尺度があるなど、自然環境によってそれぞれの尺度に与える影響が異なる可能性があることが示唆されたといえる。



実験前は一様に STAI の状態不安の得点が高い状態にあったが、実験後に全ての調査地で一様に有意 ($p<0.01-0.05$) に低下した。調査地間での有意差もなかったことから、全ての自然環境には一時的な不安状態を改善する効果があることが示された結果であると解釈された。

図 1-10 不安状態の改善効果の比較



全調査地で全ての尺度における気分の改善効果が認められた。調査地ごとには、森林は「緊張-不安」および「抑うつ-落込み」が、農地は「疲労」、「混乱」、海岸は「怒り-敵意」が有意に低下あるいは低下傾向にあることが分かった。すなわち、自然環境の種類によって影響をうける気分特性の尺度が異なる可能性が明らかになった。

図 1-11 気分の改善効果の比較

オ、今後の問題点

針葉樹林や広葉樹林など異なる樹種での生理効果の違いや、森林と海岸・農地など異なる自然環境における生理効果の違いなど、従来の森林と都市の比較より進んだ生理的影響を明らかにしたが、今後は各セラピーロードの管理状況と利用実態の関係、地域経済への影響など社会科学的な研究が必要である。

カ、要約

針葉樹林と広葉樹林のタイプの異なる森林浴実験の結果、夏季において広葉樹林および針葉樹林における HF 成分（副交感神経活動）が都市部と比較して高く、自律神経活動をリラックスさせることが分かった。一方、林相間の比較では、夏季に針葉樹林の方が広葉樹林よりも心拍数が低く、針葉樹林の方がよりストレスを軽減させると考えられた。

森林と農地、海岸における生理効果の影響については、脈拍数・血圧において、森林が農地・海岸よりリラックス効果が高いこと、また、唾液中コルチゾールの濃度では、森林は海岸に比べストレス軽減効果が高く、一方、心拍変動性からみた自律神経活動において、副交感神経・交感神経活動において森林が海岸や農地よりもストレス軽減効果が高い傾向が見られた。

キ、引用文献

B. J. Park, Y. Tsunetsugu, T. Kasetani, T. Kagawa and Y. Miyazaki (2010) The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from

field experiments in 24 forests across Japan. Environmental Health and Preventive Medicine15(1),18-26

J.Lee, B. J. Park, Y.Tsunetsugu, T.Ohira, T.Kagawa, Y.Miyazaki(2011) Effect Of Forest Bathing On Physiological And Psychological Responses In Young Japanese Male Subjects. Public Health, 125, 93-100.

(高山 範理・森川 岳・李 宙宮・朴範鎮)

第2章 多様な森林・自然環境が示す物理・化学的特性の解明

ア 研究目的

本課題においては、針葉樹林、広葉樹林等タイプの異なる森林における物理的・化学的環境特性がどのように異なるか、また、森林とそれ以外、すなわち海岸、草原など異なる自然環境における特性を比較する。そのため、様々な森林、農地、海岸環境の温熱・光環境、揮発成分（フィトンチッド）を同時に測定し、各環境の物理・化学的な特性を明らかにする。また、四季を通じた森林の物理・化学的な特性を明らかにする。異なるタイプの自然環境における物理的・化学的な環境特性の違いを明らかにすることにより、セラピーの場として注目される森林がどのような特徴を持っているのか、様々な自然環境の中での森林の位置付けを明確にすることを目的とする。

イ 研究方法

1) 標高の異なる森林と草原間のそれぞれの環境特性の違い

同一時期において標高の異なる森林と草原（長野県塩尻市周辺）間の物理指標（光環境、温熱環境）と化学指標（フィトンチッド）の測定を行った。測定した森林はカラマツ林（標高 850m）、カラマツ林（標高 1700m）、トウヒ林（標高 1620m）であり、また草原は長野県畜産試験場圃場（標高 780m）と鉢伏山山頂付近の天然草原（標高 1810m）であった（写真 2-1,2）。

フィトンチッドは吸着管（スペルコ製 PEJ-02）を小型ポンプ（柴田科学製 MP-Σ30）に装着して流速 100ml/min で捕集した。加熱脱着装置（PerkinElmer 製、ATD-400）により熱脱着後、GC-MS（Agilent 製、6890-5973）にて SIM モード（測定イオン：69,93,136）にて分析を行った。

光環境については、各測定日の正午前後 2 時間の間に照度計（ミノルタ製 T-1H）を用いて絶対照度の測定を行った。また、魚眼レンズを装着したデジタルカメラを用いて全天空写真を撮影し、撮影画像の解析により相対照度を測定した。温熱環境（PMV）については京都電子工業製 AM-101 を用いて測定し、各測定地点において 10 分間隔にて連続測定を行った（写真 2-3）。

2) 船橋市森林における夏と秋それぞれの針葉樹、広葉樹林の物理・化学指標

同一地域（船橋市民の森、千葉県船橋市）に存在する針葉樹林（スギ林）、広葉樹林（シデ・カエデ林）の夏（8 月）、秋（12 月）における物理・化学指標を定法に従って測定・比較した。また、同時に近隣の都市域（新京成線三咲駅前）においても同様の測定を行い、森林と都市との環境の比較を行った。

3) 武蔵丘陵森林公園における夏の針葉樹、広葉樹林のフィトンチッド量の比較

同一地域（国営武蔵丘陵森林公園、埼玉県比企郡滑川町）における針葉樹林（マツ林）、広葉樹林（コナラ林）の 8 月のフィトンチッドの測定を行った（写真 2-4）。

4) 農地、海岸環境の物理・化学的な特性の森林との比較

森林と海岸、農地環境の比較のため、海岸（新潟県柏崎市）、農地（同津南町）、森林（ブナ林、

同津南町)において物理指標(光環境、温熱環境)と化学指標(フィトンチッド)の測定を同時に行った(写真2-5)。海岸部においてのみ、フィトンチッド採取装置の設置および連続運転が困難であったため、いったんテドラーバッグ内に海岸空気を満たした後、吸着管への採取を行った。その後の分析は1)と同様に行った。

1)~4)の調査は全て晴天下で行った。

5) 複数年間にわたる針葉樹林内の物理・化学的な特性の変化

針葉樹林(アカマツ主体、長野県塩尻市)内の物理指標(気温、湿度、風速)と化学指標(フィトンチッド)について3年間にわたり、毎月定法に従って測定した。



写真 2-1 長野県塩尻市周辺のカラマツ林、標高 1700m (左) と同 850m (右)



写真 2-2 長野県塩尻市周辺の草原、天然草原 (左) と牧草圃場 (右)



写真 2-3 物理指標の測定に用いた PMV 測定器 (左) とフィトンチッドの採取に用いた吸着管付き小型ポンプ (右)



写真 2-4 武蔵丘陵森林公園のマツ林 (左)、コナラ林 (右)



写真 2-5 三種の自然環境の比較のための同時測定を行ったブナ林(新潟県津南町、左)、農地(同、中央)、海岸(新潟県柏崎市、右)

ウ、エ 結果と考察

1) 標高の異なる森林と草原間のそれぞれの環境特性の違い

- ・照度

標高の高い3調査地(高標高)と標高の低い麓の3調査地(低標高)の間には、照度について大きな違いは見られなかった(図 2-1)。

・温熱環境

温熱環境の快適性の分析に用いる PMV (Predicted Mean Vote、予測平均申告) とは、温熱環境の 6 要素 (気温、湿度、風速、輻射熱、着衣量、代謝量) の複合効果を評価する指標である(高山ほか 2005)。またこの PMV からその環境の不快の程度を PPD (Predicted Percentage Dissatisfied、予測不満足率) として予測が可能である。PMV の測定結果では、低標高の草地がほぼ「3」(暑い) に近い値を示していた。また、高標高のカラマツ林が最も「0」(ちょうど良い) に近く、暑くも寒くもないちょうど良い環境という結果になった (図 2-2)。さらに林内に到達する直射光の量や風の強さが頻繁に変化することで、温冷感に大きな変化を与えていたことが推察された。このことから森林内環境は草地などに比べて温冷感に関する変化が大きい可能性が考えられた。PPD の解析では低標高のカラマツ林が最も温熱環境的に快適で、次に高標高の草地が快適という結果になった。

・フィトンチッド

フィトンチッドの分析結果では、草原に特有に存在すると予想された青葉アルコール類(畑中 2008)の物質はいずれも検出限界以下であった (表 2-1)。草原では森林と同様なテルペン類が数種類検出されたが、これはその組成、および草原の位置から、大部分が周辺の森林に起因すると考えられた。同じ標高の森林、草原間のフィトンチッド量は森林の方が多かった。また、森林、草原ともに検出される量は標高の低い地点の方が高い地点よりも多い傾向にあり、この差異を生む原因としてはその地点の気温および風速の違いなどが考えられた。

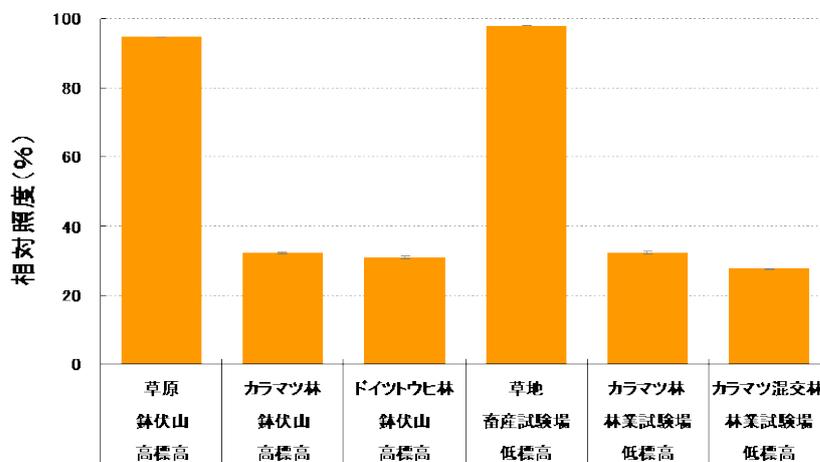


図 2-1 標高の異なる森林と草原間の相対照度の比較

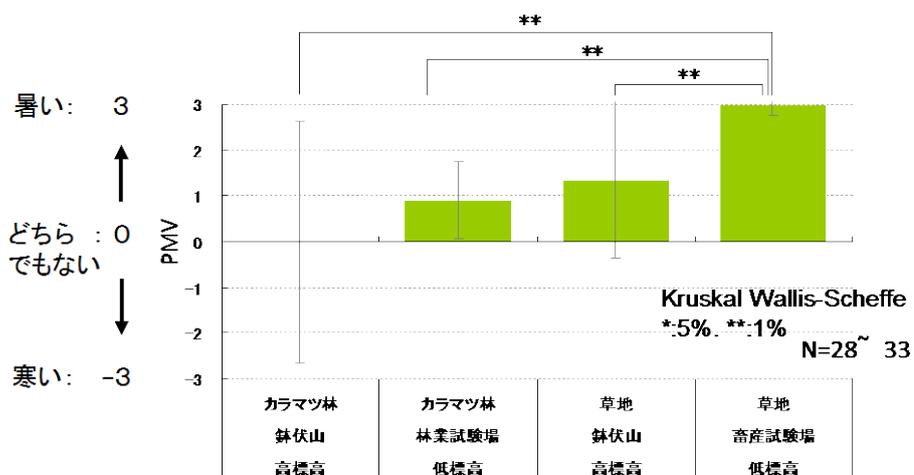


図 2-2 標高の異なる森林と草原の温熱環境の PMV（予測平均申告）を用いた比較

表 2-1 塩尻市周辺で同時に測定された森林・草原の大気中フィトンチッドの分布と組成

樹種	森林			草原	
	カラマツ	カラマツ	トウヒ	牧草地草原	天然草原
標高(m)	850	1700	1620	780	1810
Tricyclene	—	4	6	8	—
α -Pinene	714	109	203	369	77
Camphene	31	16	26	31	13
β -Pinene	105	12	84	60	13
Δ -3-Carene	38	—	109	5	—
D-Limonene	64	6	145	4	9

値は α -Pinene 換算値、— 検出限界以下（単位：ng/m³）

2) 船橋市森林における夏と秋それぞれの針葉樹、広葉樹林の物理・化学指標

・温熱環境 (PMV)

森林部においては、夏が「やや暖かい」、秋が「やや涼しい」の範囲に評価された。特に都市部は夏季が著しく暑かったのに対し、秋季は森林部と同程度に「やや涼しい」温熱環境であったとして評価された (図 2-3)。

・温熱環境的快適性 (PPD)

両季節ともに、森林部は予測不満足率が 20%以下の比較的快適な温熱環境であった。夏季の都市部の温熱環境は暑く極端に不快であったのに対して、秋季は森林部と同程度に快適として評価されるという違いがあった (図 2-4)。

・フィトンチッド

フィトンチッド量は、針葉樹、広葉樹共に夏の方が秋に比べて多く検出された。それぞれの森林で検出されるフィトンチッドの種類は針葉樹では α -ピネン、 β -ピネン、カンフェンが多く、広葉樹でも α -ピネンが多く検出された。広葉樹林と針葉樹林のフィトンチッド組成が類似した結果となったが、これは広葉樹林周辺にも針葉樹が多く存在しており、それらの生成する揮発成分の影響が大きかったために明確な違いが観察されなかったと考えられる (表 2-2)。

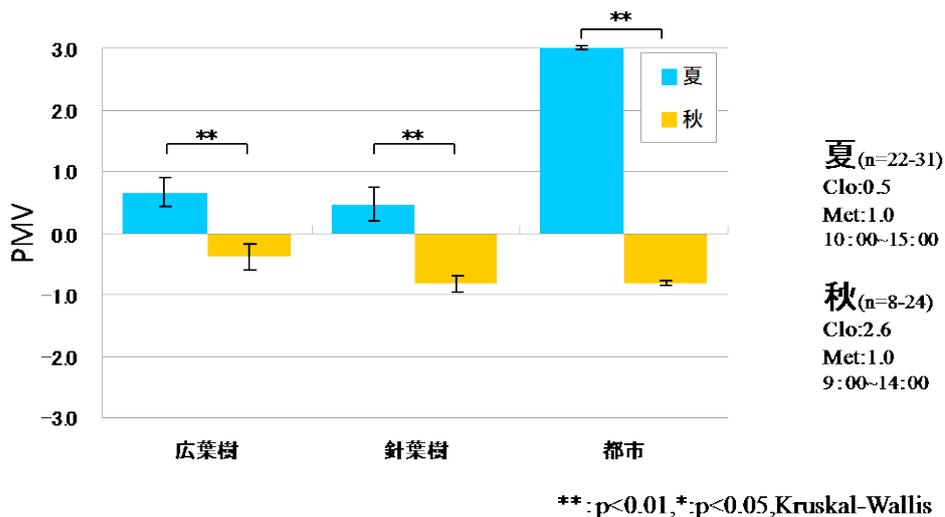
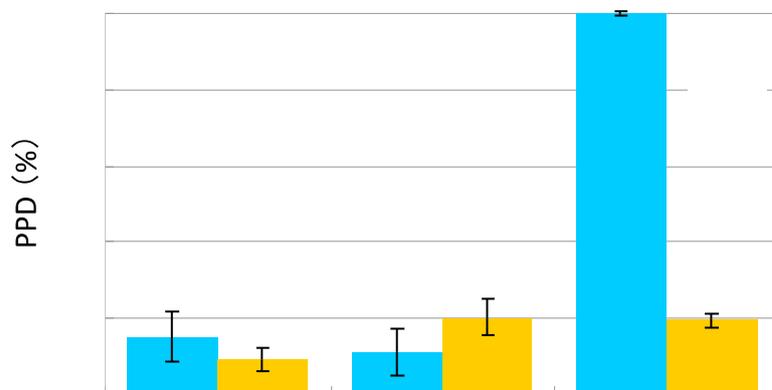


図 2-3 船橋市における 2 種類の森林と都市の温熱環境の PMV (予測平均申告) 値による比較



** : p<0.01, * : p<0.05, Kruskal-Wallis

図 2-4 船橋市における 2 種類の森林と都市の温熱環境の PPD（予測不満足率）値による比較

表 2-2 船橋市の二つの森林で同時に測定された大気中フィトンチッドの組成

樹種	針葉樹林		広葉樹林	
	スギ		シデ、カエデ	
測定月	8月	12月	8月	12月
Tricyclene	4	11	-	7
α -Pinene	90	29	53	11
Camphene	9	26	2	15
β -Pinene	14	1	11	-
Δ -3-Carene	8	9	4	7
D-Limonene	2	5	3	5
Bornyl acetate	5	8	12	2

値は α -Pinene換算値、-: 検出限界以下 (単位: ng/m³)

3) 武蔵丘陵森林公園における夏の針葉樹、広葉樹林のフィトンチッド量の比較

針葉樹、広葉樹それぞれの森林で検出されるフィトンチッドの組成には明確な違いが観察された。マツ林では α -ピネン、 β -ピネン、カンフェン、リモネンが多かったのに対し、コナラ林ではイソプレンが非常に多く検出された。この結果は針葉樹林にモノテルペン類が、またブナ・ナラ類をはじめとする広葉樹林では顕著にイソプレンが多く検出される典型的な例(大平 2007)のひとつで

あることを示している（表 2-3）。

表 2-3 武蔵丘陵森林公園で測定された大気中フィトンチッドの組成

樹種	針葉樹林	広葉樹林
	マツ	コナラ
Isoprene	10	5292
Tricyclene	18	15
α -Pinene	241	70
Camphene	20	12
β -Pinene	40	19
D-Limonene	22	11
Bornyl acetate	11	-

値は α -Pinene 換算値、-: 検出限界以下（単位: ng/m³）

4) 農地、海岸環境の物理・化学的な特性の森林との比較

・照度

絶対照度の測定の結果、森林部が最も平均照度が小さく、分散（多様性）が大きいという光環境であった。一方、遮るもののない海岸部、農地部では 100000lx 以上になるなど非常に照度が高かった（図 2-5）。

・温熱環境

各地点の PPD 値の分析（いずれも n=45）の結果、森林が最も温熱環境として快適で、次に農地、海岸の順になった（図 2-6）。農地や海岸については、直射光を遮るものがないため、輻射熱が高くなり、結果的に暑すぎて温熱環境的に不満足な環境として分析されたものと思われる。夏季における森林の微気象緩和機能が発揮された結果と考えられる。

・フィトンチッド

農地における空气中揮発成分の量は森林のそれと比べて極めて少ないことがまず明らかとなった。微量成分の分析の結果、農地の空気揮発成分組成はモノテルペン主体の森林空気と類似しており、組成比は森林とはやや異なるものの α -ピネン、リモネン、ミルセン等が主要な成分として検出された（表 2-4）。一般にみどりの香りとしてよく知られている青葉アルコール・アルデヒド類は農地ではほとんど検出されなかったことから、これらは草刈りなど、葉が損傷した際に限って多量に放出されると考えられた。平時の草原はモノテルペン類が希薄に放散される程度で、においては弱いことを示す結果であった。

海岸の空气中揮発成分の量も農地同様に非常に少なかった。しかし、その微量な揮発成分の組成を詳細に調べると森林・農地とは大きく異なり、長鎖アルカン類、アルデヒド類およびセスキテルペン類が特異な成分として検出された（図 2-7、表 2-4）。海岸の独特な環境の構成成分

分は主に海草類に由来するものが多いことが指摘されており(梶原 2007)、今回検出された物質もそれらの寄与が大きいと考えられる。

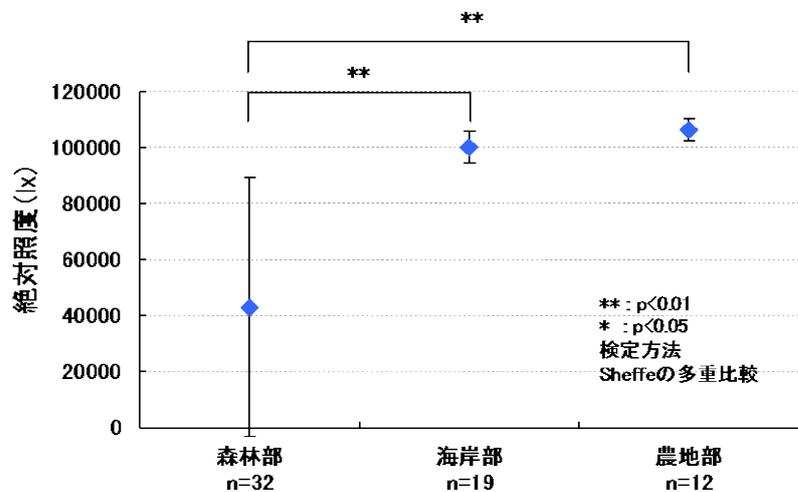


図 2-5 森林・農地・海岸の各環境の絶対照度 (平均値) による比較

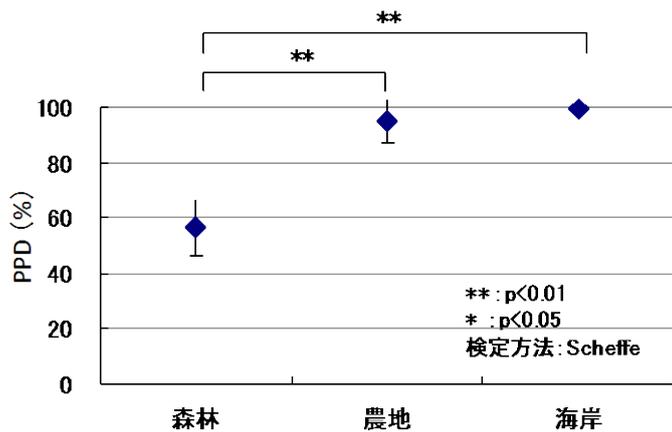


図 2-6 森林・農地・海岸の温熱環境の PPD (予測不満足率) 値による比較

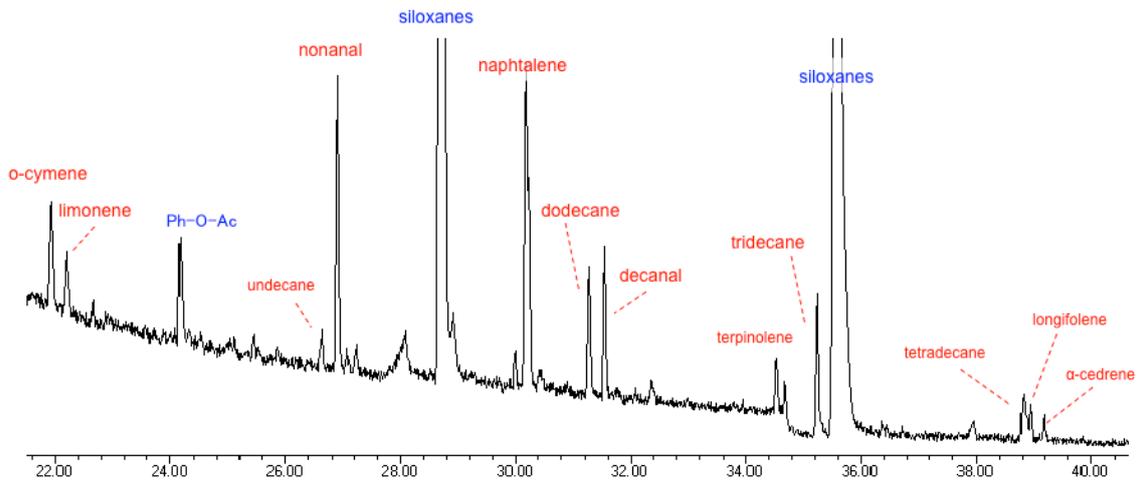


図 2-7 海岸空気に含まれていた微量揮発性成分のガスクロマトグラフ分析結果

表 2-4 森林・農地・海岸空気に含まれる代表的な揮発成分の分布

分類	森林	草原	海岸
テルペン類	Isoprene	Isoprene	<i>o</i> -Cymene
	α -Pinene	α -Pinene	Limonene
	Camphene	Limonene	
	Limonene	Myrcene	
	Myrcene	γ -Terpinene	
長鎖アルカン類			Dodecane
			Tridecane
			Tetradecane
アルデヒド類			Nonanal
			Decanal

※農地、海岸で成分量が定量下限値を下回ったため、成分名のみを表記した。

5) 複数年間にわたる針葉樹林内の物理・化学的な特性の変化

針葉樹（アカマツ）林内における年間の気温、相対湿度、風速を継続的に測定したところ、気温は夏季（6,7,8月）が高く、春季（3,4,5月）と秋季（9,10,11月）が同程度、冬季（12,1,2月）が最も低く（図 2-8）、相対湿度は、秋季と冬季が最も高かった。輻射熱は、基本的に気温に比例するが、夏季と秋季は気温の方が高くなるのに対し、冬季と春季では輻射熱の方が高かった。風速

については、8,9,12月が低く、6,7,10月が高かったが、規則的な特徴はなかった。

同時にアカマツ林内のフィトンチッドの量を4年間にわたり継続的に測定した。検出されたフィトンチッド成分は α -ピネンが最も多く、次いでリモネン、カンフェンの順であった。それらの量の年間変動を解析すると、4月から8月ごろにかけて急激に量が増加し、12月にかけて減少した。1月から3月はほとんど検出されなかった。この増減はほぼ毎年同じ傾向であることも明らかになった(図2-8)。

フィトンチッド放散量は周辺気温と関連性が認められ、気温の高い時期は量が多く、低い時は量も少ない傾向にあった。

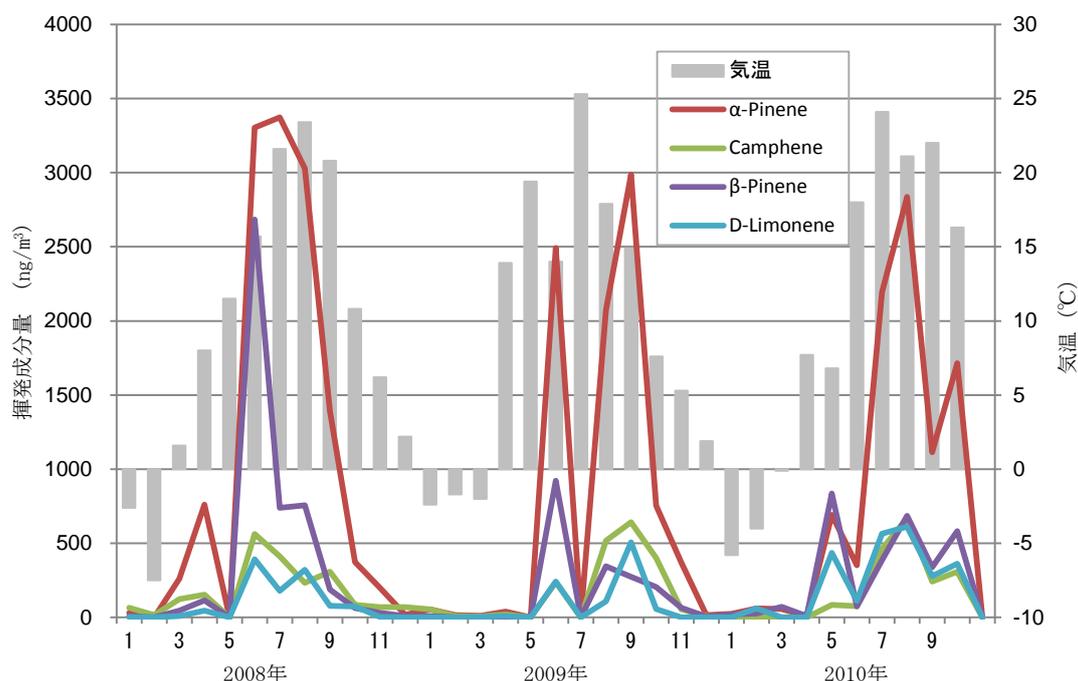


図 2-8 アカマツ林の空気中の代表的な揮発成分量と気温の年間変動（気温は採取日午前 9 時の値）

オ 今後の問題点

本課題では自然環境下における物理的・化学的な諸測定を行ったが、自然環境は定まった条件のみにあるのではなく、測定を行う場所、あるいは天候や季節、時間帯によって多彩な様相を呈する。そのため、より様々な場所・時での同様の測定結果を積み重ね、それらを総合してより正確な自然環境の評価を目指すことが必要であろう。

カ 要約

光環境の測定では、海岸、農地（草原）では非常に絶対照度が高いのに対し、葉により日射しが遮られる森林部は平均照度が小さく、かつ分散が大きかった。温熱環境の測定からも、森林が最も快適で、次に農地、海岸の順になった。直射光を遮るものがない農地や海岸では輻射熱が高

くなり、温熱環境的に不満足な環境になったと思われる。以上のように物理的な環境因子からは三種の自然環境の中では森林が最も快適として評価された。

空気中の揮発成分の測定を行った結果、森林の空気は海岸、農地と比較して非常に多くのフィトンチッドを含むことが明らかとなった。その組成は森林の構成樹種によって変化すること、またその放散量はおおむね気温の上下に伴って変化し、夏季に最大となることが判明した。農地の空気の揮発成分組成は森林のそれと類似していたが、海岸の空気には特徴的な物質が多く見出され、これが海岸独特の香りの元になっていると考えられた。

キ 引用文献

高山範理、香川隆英、総谷珠美、朴範鎮、恒次祐子、大石康彦、平野秀樹、宮崎良文（2005）森林浴における光/温熱環境の快適性に関する研究、ランドスケープ研究、68、819-824

畑中顯和（2008）進化する“みどりの香り”- その神秘に迫る -、フレグランスジャーナル社（東京）、168pp

大平辰朗（2007）森林の香り、木材の香り、八十一出版（東京）、62pp

梶原忠彦（2007）海のかおり、におい・かおり環境学会誌、38(6)、406-414

（大平辰朗、松井直之、香川隆英、高山範理）

第3章 森林環境要素および身近な森林浴が生体免疫機能へ及ぼす効果の解明

ア 研究目的

森林浴が生体免疫機能へ及ぼす影響についてのこれまでの研究では、男女に関係なく2泊3日の宿泊滞在型の長時間の森林浴が、ヒトNK細胞数及びNK細胞内の抗がんたんぱく質の増加によってNK活性を上昇させ、持続効果があることを明らかにしている (Q. LIら, 2008, 2009)。しかし、短期間の日帰りによる免疫機能への影響の研究はない。したがって、本研究では日帰り森林浴による生体免疫機能への効果を検討した。また、これまでに、森林浴がストレスホルモンである尿中アドレナリンとノルアドレナリンを減少させ、リラックス効果を有することを明らかにした (Q. LIら, 2009)。これらストレスホルモンは、血圧の変動に影響を及ぼすことから、森林浴はアドレナリンとノルアドレナリンへの影響を介して血圧にも影響を与えられと考えられる。そこで、本研究では日帰り森林浴による血圧及びその他の循環器系指標への影響についても調べた。

イ 研究方法

〈免疫機能〉

本研究の被験者は、東京都内大手企業に勤める35-53才の健常な12名男性社員である。測定項目はNK活性、NK細胞数、T細胞数、リンパ球内のPerforin、Granulysin、Granzyme AとB、末梢血白血球数、血中コルチゾールと尿中アドレナリン濃度、体動計による睡眠状況の計測及び万歩計による運動量の計測等である。また散策コース周辺空気中のフィトンチッド濃度も測定した。本研究は日本医科大学の倫理委員会にて承認され、本研究の実施に当たっては、全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを取った。

被験者は、埼玉県にある国営武蔵丘陵森林公園の遊歩道を約4時間散策した。散策当日午前9時に現地に到着し、9:30から園内バスで公園内を一周してから散策をスタートし、途中数回休憩を取り、昼食及び昼休後に散策を継続し、午後3時に散策を終了した。散策については日頃の運動量を考慮した上で、散策距離を設定した。散策翌日の朝8時に採血・採尿して上記の検査を行った。また森林浴前のデータは散策日の7日前に採取した。森林浴の持続効果を調べるために、森林浴後1週間に採血してデータを採取した。

〈血圧および循環器系指標〉

本研究の被験者は、心血管疾患の現病・既往歴を有さず、生活習慣病関連の内服治療を受けていない健常男性16名(平均57±12才)である。測定項目は血圧、血中アディポネクチン、DHEA-S (dehydroepiandrosterone sulfate)、NT-proBNP (N-terminal pro-B-type natriuretic peptide)、中性脂肪、総コレステロール、LDL-コレステロール、HDL-コレステロール、高感度CRP、尿中アドレナリン、ノルアドレナリン及びドーパミン濃度、体動計による睡眠状況の計測及び万歩計による運動量の計測等である。本研究は日本医科大学の倫理委員会にて承認され、本研究の実施に当たっては、

全ての被験者から文書でインフォームド・コンセントの手続きを取った。

被験者は、埼玉県にある国営武蔵丘陵森林公園の遊歩道を約 3.5 時間、6 キロ散策した。その対照として都市部においても同様な時間と距離を散策した。散策当日午前 10 時半に現地に到着してから、散策を開始し、午前 2 時間と午後 1 時間半散策し、途中数回休憩を取り、午後 3 時半に散策を終了した。血圧は、静かな部屋で 10 分以上の休憩を取った後に朝 8 時、昼 1 3 時、午後 1 6 時及び翌朝 8 時に全自動血圧計にてそれぞれ 3 回測定し、2 と 3 回目の測定値の平均値を用いて統計処理した。また散策当日及び翌日の朝に空腹採血・採尿して上記の検査を行った。

ウ、エ 結果及び考察

〈免疫機能〉

(1) 日帰り森林浴は NK 細胞数を増加させ、NK 活性を上昇させ、持続効果があることが明らかとなった。(図 3-1)

(2) 日帰り森林浴は NK 細胞内抗がんたんぱく質を増加させ、持続効果があることが明らかとなった。

(3) 日帰り森林浴は有意に血中コルチゾールを減少させ、一部の被験者の尿中アドレナリンを減少させることを明らかにし、日帰り森林浴のリラックス効果を実証した。

(4) 森林公園の散策コース周辺では、代表的なフィトンチッド成分である α -ピネン、 β -ピネン、リモネンなどが検出された。

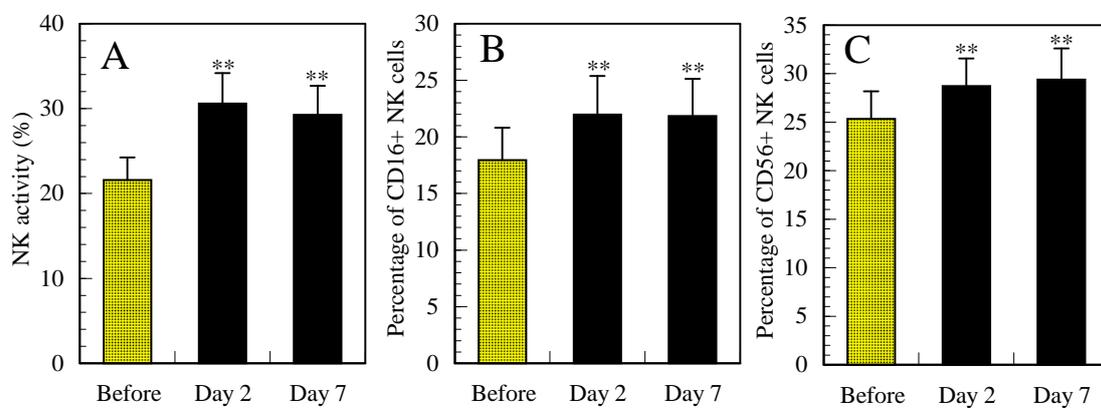


図 3-1. 日帰り森林浴による NK 活性 (A) 及び NK 細胞数 (B : CD16 陽性 NK 細胞, C : CD56 陽性 NK 細胞) への効果

平均±標準誤差 (n=12). **: p<0.01, 森林浴前との比較

〈血圧および循環器系指標〉

(1) 都市部での散策と比べ、日帰り森林浴は有意に血圧を低下させた (図 3-2)。

(2) 日帰り森林浴は有意に尿中ノルアドレナリン及びドーパミン濃度を減少させ、日帰り森林浴のリラックス効果を実証した。

(3) 日帰り森林浴は有意に血中アディポネクチンレベルを上昇させた。アディポネクチンは脂

肪から分泌されたホルモンで、動脈硬化予防効果やアンチエイジング効果があると報告されている (図 3-3)。

(4) 日帰り森林浴は有意に血中 DHEA-S (アンチエイジング指標) レベルを上昇させた (図 3-4)。

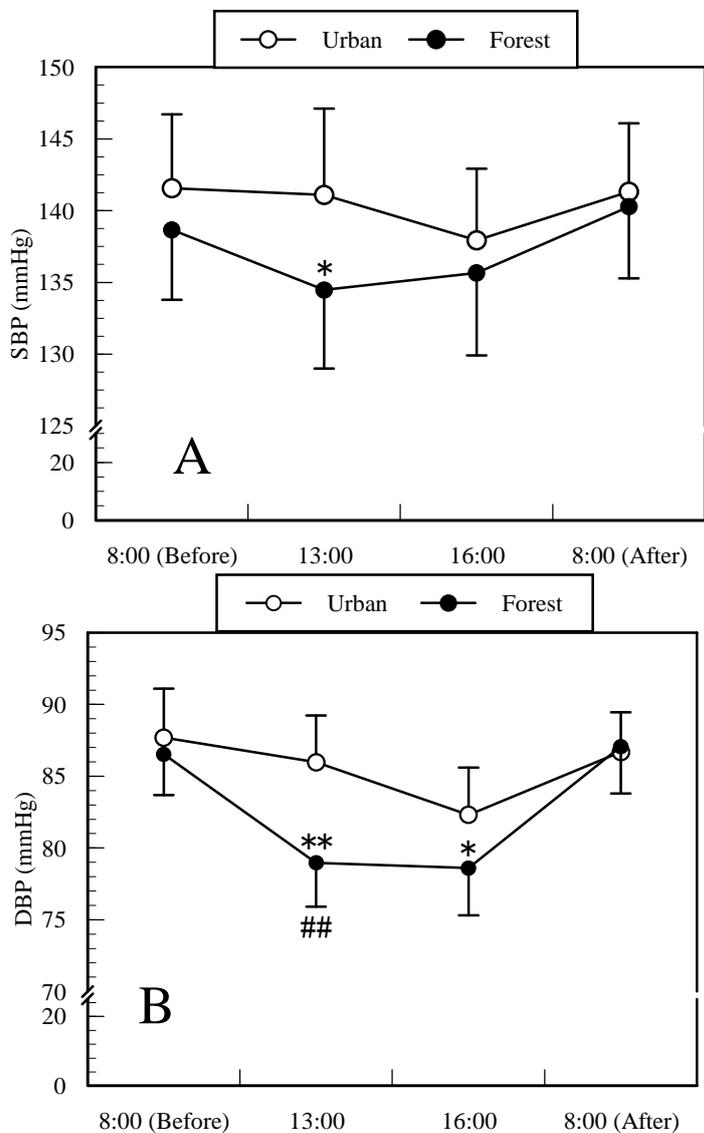


図 3-2.森林散策による血圧 (SBP : 収縮期、DBP : 拡張期) への影響

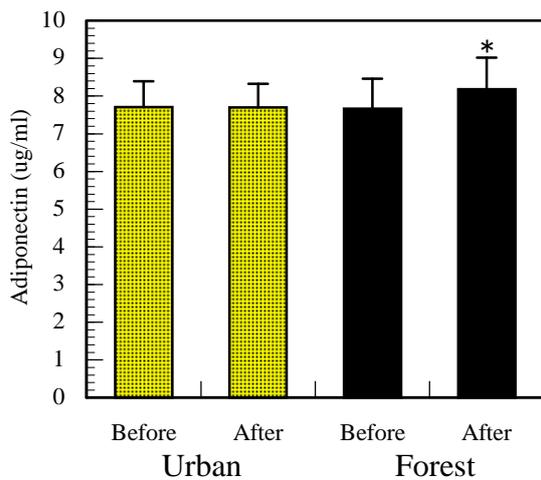


図 3-3.森林散策による血中アディポネクチンレベルへの影響

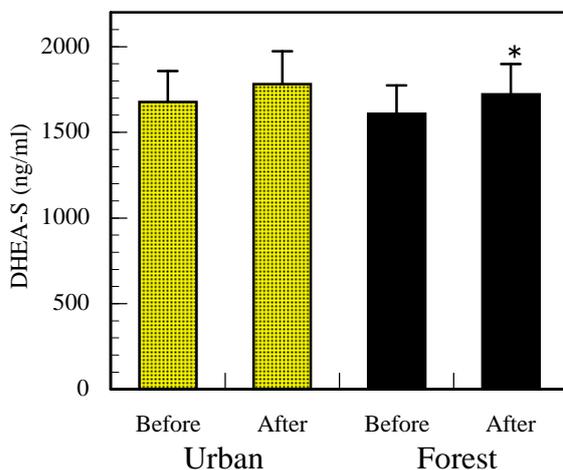


図 3-4.森林散策による血中 DHEA-S（アンチエイジング指標）レベルへの影響

オ 今後の問題点

本研究及びこれまでの研究では、我が国の代表的な森林セラピーロードにおける、2泊3日の滞在型の森林浴による免疫能の向上や、都市近郊の優れた森林公園における日帰り森林浴が免疫能へ与える効果を明らかにしてきたが、一般的なスギ・ヒノキの人工林や小規模の森林公園・身近な里山等における生体免疫能や循環器系指標への効果については、いまだ良く分かっていないため、今後の課題である。

カ 要約

日帰り森林浴は、NK 細胞数および細胞内抗がんたんぱく質の増加によって NK 活性を上昇させ、持続効果が認められた。フィトンチッド及び森林浴によるリラックス効果が、この活性化に寄与したと考えられる。森林浴は NK 活性を上昇させることから、がんの予防効果が期待される。

また、日帰り森林浴が血圧を減少させた、さらに動脈硬化の予防効果のある血中アディポネクチンの濃度を高めるなど、日帰り森林浴によって、生活習慣病の予防が期待できる。

キ 引用文献

Q. LI, K. MORIMOTO, M. KOBAYASHI, H. INAGAKI, M. KATSUMATA, Y. HIRATA, K. HIRATA, T. SHIMIZU, Y. J. LI, Y. WAKAYAMA, T. KAWADA, T. OHIRA, N. TAKAYAMA T. KAGAWA and Y. MIYAZAKI (2008) A forest bathing trip increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects. *Journal of Biological Regulators & Homeostatic Agents*, 22(1): 45-55

Q. LI, M. KOBAYASHI, Y. WAKAYAMA, H. INAGAKI, M. KATSUMATA, Y. HIRATA, K. HIRATA, T. SHIMIZU, T. KAWADA, B. J. PARK, T. OHIRA, T. KAGAWA and Y. MIYAZAKI (2009) Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 22(4):951-959

(日本医科大学衛生学公衆衛生学 李卿・川田智之)

第4章 森林環境要素の生理効果の解明

ア 研究目的

本課題の目的は、室内実験により林相や季節の異なる森林環境による生理的な効果を明らかにすること、ならびに室内実験により森林とは異なる自然環境による影響を森林浴の効果と比較することである。

課題担当者らは農林水産高度化事業「森林系環境要素がもたらす人の生理的効果の解明」(H16～18)や、委託事業「森林セラピー基地認定実験」(H17～19)において、森林における歩行・座観によって都市部に比較して血圧、脈拍数が低下すること、交感神経活動が抑制され、副交感神経系活動が昂進されること、ストレスホルモンの濃度が低下することを見出し、都市部との比較において森林浴のリラックス効果を実証してきた(Park, Kasetaniら2009, Leeら2009, Park, Morikawaら2009)。また個人の価値観(好み)が生理応答に差異をもたらすこと(Tsunetsugu 2000)なども分かってきた。しかしながら、これまでの検討においては森林環境に対して都市環境を比較対照としており、タイプの異なる自然環境や多様な林相で比較した際の森林浴効果については分かっていない。

そこで本課題では、室内実験により

- 1) 針葉樹林と落葉広葉樹林など林相の異なる森林の風景、ならびに季節の異なる森林(紅葉)の風景が生体に及ぼす影響を明らかにすること
 - 2) 海岸や田園など森林とは異なる自然環境の風景について、生体に及ぼす影響を室内実験により明らかにすること
- の2点を目的とした。

イ 研究方法

(1) 林相や季節の異なる森林風景が生体に及ぼす影響

健康な男子大学生 19 名を被験者とし、森林総合研究所人工気候室内で静止画像を用いた視覚刺激実験を実施した。視覚刺激は広葉樹、針葉樹、紅葉、対照として都市の画像を、58 インチの高解像度テレビにて2分間呈示することにより行った(写真4-1)。

生理指標として時間分解分光法による前頭前野脳活動、フィナプレス法による収縮期血圧・拡張期血圧・脈拍数、唾液アミラーゼ活性、唾液中コルチゾール濃度(広葉樹、都市のみ)、心拍の時間間隔(RR 間隔、心拍変動性解析用)を測定した。主



写真 4-1 視覚刺激に用いた写真

観評価として各画像の快適感、自然感、鎮静感を 13 段階のスケールにて評価させた。またリフレッシュ感をストレスリフレッシュ感テスト、気分状態を感情プロフィール検査 (POMS) にて測定した。

(2) 森林と、森林以外の自然環境の風景が生体に及ぼす影響の比較

健康な男子大学生 20 名を被験者とし、森林総合研究所人工気候室内で静止画像を用いた視覚刺激実験を実施した。刺激は森林 (広葉樹林), 田園, 海の画像を, 58 インチの高解像度テレビにて呈示することにより行った (写真 4-2)。1 種類の刺激は 4 枚の画像から構成されており, それぞれを 30 秒ずつ呈示し合



写真 4-2 実験風景

計 2 分間の視覚刺激を行うこととした。生理指標として近赤外分光分析法による前頭前野脳活動、フィナプレス法による収縮期血圧・拡張期血圧・脈拍数、心電図 (心拍変動性解析用) を測定した。主観評価として各画像の快適感、自然感、鎮静感を 13 段階のスケールにて評価させた。また気分状態を感情プロフィール検査 (POMS) にて測定した。

ウエ 結果と考察

(1) 林相や季節の異なる森林風景が生体に及ぼす影響

広葉樹、針葉樹では拡張期血圧が有意に上昇し (図 4-1)、紅葉、都市では収縮期血圧が有意に低下した。分散分析、ならびに多重比較により、広葉樹、針葉樹において紅葉、都市よりも拡張期血圧が有意に高いことが明らかになった。脳活動は紅葉、都市において有意に低下したが、画像の種類 (広葉樹、針葉樹、紅葉、都市) による脳活動の有意な差は認められなかった。さらに広葉樹、都市において安静時よりも唾液中コルチゾール濃度が有意に低下した (図 4-2)。

快適感は針葉樹、紅葉において都市よりも有意に高かった。自然感は広葉樹、針葉樹、紅葉において都市よりも有意に高かった。鎮静感は広葉樹、針葉樹において紅葉、都市よりも有意に高かった。

以上より広葉樹・針葉樹では血圧の上昇が認められ、紅葉・都市では血圧ならびに脳活動の低下が認められた。生理応答の指標間では概ね良い対応があったと考えられる。また一般に実験室における静止画像の呈示は臨場感に欠けることが多く、生理応答の変化がもたらされない可能性が考えられたが、本実験のデザインにおいては画像によって生理応答の差異がもたらされることが明らかとなった。一方鎮静感の低い紅葉、都市において血圧・脳活動が低下し、鎮静感の高い広葉樹、針葉樹で血圧が上昇するなど、主観評価と生理応答との相関は低かったといえる。例えば被験者にとって都市の方がなじみのある風景だったなどの解釈が考えられるが、個人差を含め

たより詳細な解析が必要である。

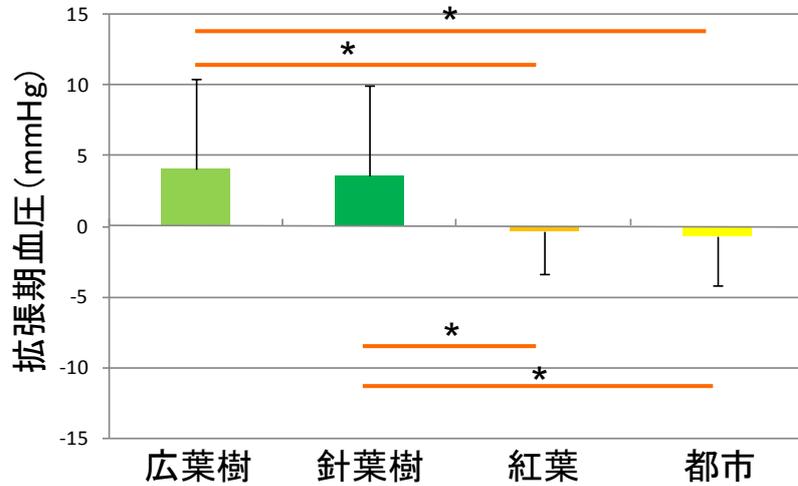


図 4-1 各種画像による拡張期血圧の変化

(広葉樹, 針葉樹 : N=16, 紅葉, 都市 : N=17, 平均値±標準偏差, * : p<0.05)

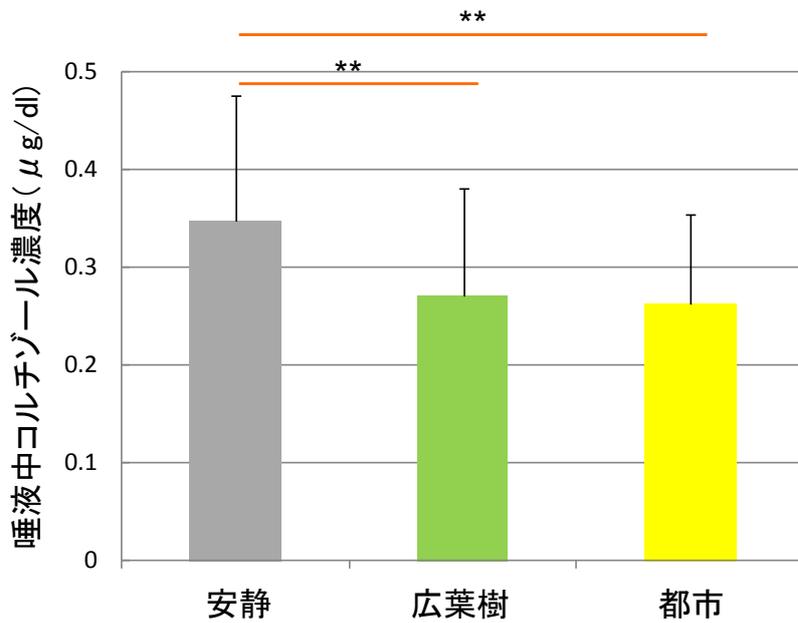


図 4-2 広葉樹, 都心の画像による視覚刺激後の唾液コルチゾール濃度 (安静時との比較)

(N=19, 平均値±標準偏差, **: p<0.01)

(2) 森林と、森林以外の自然環境の風景が生体に及ぼす影響の比較

森林では有意に脳活動が上昇し、田園では変化がなく、海では有意に低下した。収縮期血圧、拡張期血圧については、森林では変化がなく、田園、海では有意な上昇が認められた(図4-3)。脈拍数についてはどの画像でも変化は認められなかった。心拍変動性解析により求められた交感神経系活動、副交感神経系活動は、どの画像でも画像提示前と比較して有意な変化はなかった。しかし時間と画像を要因とした二元配置分散分析を行ったところ、副交感神経系活動に対する時間と画像の交互作用が有意傾向にあった。つまり画像の種類によって副交感神経系活動の時系列変化が異なる傾向にあるということを示唆している。副交感神経系活動の時間変化を見ると、森林では画像提示後一過性に上昇してから低下していたが、田園、海では一過性に低下してから元の水準に戻るという動きをしていた。このことから森林ではやや副交感神経系活動が上昇するという傾向があり、その点が他の画像と異なっていたと解釈される。

快適感ほどの画像でも「やや快適な」～「かなり快適な」と評価されたが、中では田園の快適感が高く、海の快適感との間に有意差が認められた(図4-4)。自然感ほどの画像でも「やや自然な」～「非常に自然な」と評価されたが、森林、海の自然感が田園よりも有意に高かった。鎮静感は森林、田園、海の順に高く、森林、田園が海よりも有意に鎮静的であると評価されていた。特に森林と海との間に強い有意差($p < 0.01$)が認められた。POMSでは緊張-不安、抑うつ-落ち込みの感情得点に有意差が認められ、森林は海よりも有意に緊張-不安の得点が低く、田園、海よりも有意に抑うつ-落ち込みの得点が低かった。

以上をまとめると、

- ✓ 森林の画像による生理的な影響は他の自然風景の画像と異なることが明らかとなった。
- ✓ 森林風景は他の自然風景と比べてより自然で鎮静的な印象を与え、緊張や落ち込みなどの感情を緩和する効果が認められた。
- ✓ 他の自然風景が血圧を上昇させたのに対し森林風景では血圧上昇が認められなかった。この結果は心理的作用とよく対応していると考えられる。

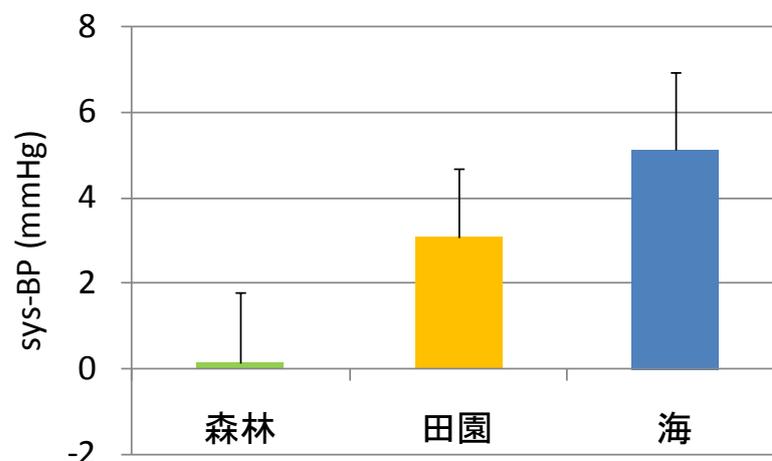


図4-3 各種画像による収縮期血圧の変化 (N=19-20, 平均値±標準誤差)

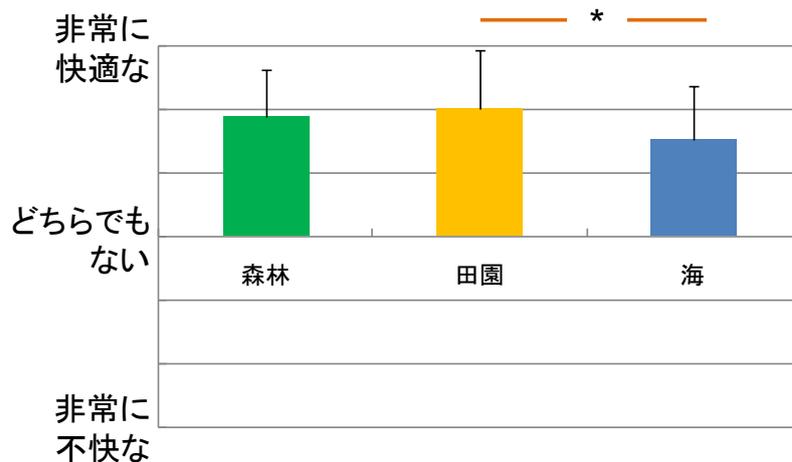


図 4-4 各種画像による主観的快適感, N=20, 平均値±標準偏差, *: p<0.05)

オ 今後の問題点

(1) の実験において、鎮静感の低い紅葉、都市において血圧・脳活動が低下し、鎮静感の高い広葉樹、針葉樹で血圧が上昇するなど、主観評価と生理応答との相関が低かった。例えば被験者にとって都市の方がなじみのある風景だったなどの解釈が考えられるが、個人差を含めたより詳細な解析が必要である。

カ 要約

室内実験により (1) 針葉樹林と落葉広葉樹林など林相の異なる森林の風景、ならびに季節の異なる森林 (紅葉) の風景が生体に及ぼす影響を明らかにし、(2) 海岸や田園など森林とは異なる自然環境の風景について、生体に及ぼす影響の比較を行った。結果として (1) 広葉樹・針葉樹では血圧の上昇が認められ、紅葉・都市では血圧ならびに脳活動の低下が認められた。(2) 森林の画像による生理的な影響は他の自然風景の画像と異なることが明らかとなった。

一般に実験室における静止画像の呈示は臨場感に欠けることが多く、生理応答の変化がもたらされない可能性が考えられたが、本実験の 58 インチの高解像度テレビにて臨場感ある画像を呈示するデザインにおいては画像によって生理応答の差異がもたらされることが明らかとなった。

キ 引用文献

B. J. Park, T. Kasetani, T. Morikawa, Y. Tsunetsugu, T. Kagawa and Y. Miyazaki, (2009) Physiological effects of forest recreation in a young conifer forest in Hinokage Town, Japan. *Silva Fennica*, 43(2), 291-301.

J. Lee, B. J. Park, Y. Tsunetsugu, T. Kagawa and Y. Miyazaki, (2009) The restorative effects of viewing real forest landscapes: Based on a comparison with urban landscapes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(3), 227-234.

B.J. Park, T. Morikawa, T. Ogata, K.. Washida, M. Iwamoto, H. Nakamura and Y. Miyazaki, (2009) Physiological effects of ingesting eucalyptus essential oil with milk casein peptide. *Silva Fennica*, 43(1), 173-179.

Y. Tsunetsugu, H. Sato, T. Kojima and Y. Miyazaki, (2000) Physiological and psychological responses to rooms with wooden interiors. *The 5th International Congress on Physiological Anthropology Proceedings*, 27-30.

(構造利用研究領域 恒次祐子,
千葉大学環境健康フィールド科学センター・宮崎義文, 李宙堂)