

17. フィトンイフェクト：森林環境の活用 ガス分析と景観評価

奈良 松範^{1*}・堀井 充¹

¹諏訪東京理科大学大学院工学・マネジメント研究科（〒391-0292茅野市豊平5000-1）

* E-mail: nara@rs.suwa.tus.ac.jp

地球温暖化防止の観点から森林は二酸化炭素の吸収源として重要であるが、森林の保全が十分に行われているとは言い難く、わが国の森林は人件費等の問題でほとんど管理されていないので現状であり、森林は荒廃の一途を辿っている。そこでわれわれは森林を単なる木材の供給源としてでなく、人の健康維持に役立つ資源であるとして位置づけ、その活用を図ることを考えた。森林から放散されるガスの主成分はフィトンチッドとよばれるテルペン類の化合物であり、疫学的な効果を持つことが指摘されている。しかし、フィトンチッドの放散量およびその人体への影響を体系的に調べた研究はほとんどない。我々は車山高原のトレッキングルートに沿った森林及び草原においてガスの採取を行い、フィトンチッドの存在量分布を明らかにした。前報ではフィトンチッドによる活性酸素の消去性能を実験的に確認し、森林の健康増進効果を示したが、本文では森林による心理的ストレスの低減効果について実験的な研究を行った。特に、景観が人の心理に及ぼす影響を定量化するためにトレッキングコースの画像を用いた空間周波数のFFT解析及びフラクタル次元の計算を行うことにより、視覚情報が人間の心理に与える影響を定量化し、ストレスマネジメントのための基礎的データを提供した。草原にもフィトンチッドが存在すること、景観画像が人の心理に与える影響を評価するためには1/fゆらぎよりもフラクタル次元の方が適切であることを示した。

Key Words :Forest environment, Gas analysis, Landscape analysis ,Psychological stress

1. 目 的

私達が森林の中を散策した際身も心もすっきりし、爽快感を感じるのには「フィトンチッド」と言う成分が関係しているといわれている。フィトンチッドとは 1930 年ごろロシアのボリス・トーキンが、植物を傷つけるとその周囲にいる細菌などが死滅する現象を発見した。ボリス・トーキンはこれを植物が周囲に何らかの揮発性物質を放出したためと考えて、この物質をフィトンチッドと命名した。フィトンチッドは「植物」を意味する「Phyto」と「殺す」を意味する「cide」から作られた造語である。また森林内に生えている植物や樹木から出る香気成分であるテルペン類など揮発性物質がこれに相当すると考えられ、樹木はその生命の源になっているだけではなく、自らの成長の促進を促すために木の幹や葉からフィトンチッドを放出しているのである。これを森林気相現状とよんでいる。この森林気相現状による森林生態系の自浄効果は他の植物や細菌を撃退する働きだけではなく、人間の側から見れば病気を治してくれたり、健康の維持に役立ったりするなど人間にとって非常に有効な効果も含まれている。さらに血圧低下や皮膚病・呼

吸器系疾患の改善、アレルギー性疾患の回復など医療面においても効果があることが報告されている。欧州では古くから、森林の中でフィトンチッドであるテルペン類など揮発性物質を浴びることにより得られるセラピー効果を期待する森林浴(Ablution with phytoncides)という方法があり、森林セラピーともよばれている。

しかしながら、このような効果を持つとされているフィトンチッドの放出量に関する実測データは案外少ない。特に、植物の種類や森林密度や空間構成などによって異なることが予想され、さらに天候や時間、高度によってもフィトンチッドの放散量は異なることが予想されるにもかかわらず、このような測定はなされていない。すなわち、森林の効用に関する体系的な研究はほとんどなされていないことがわかる。当然、森林の大きな効用の一つであるフィトンチッドの人体へ及ぼす効果についてのデータもきわめて少ない。

森林の緑色はいレストグリーン（eyes a break）として目を休ませる効果が知られており、景観は人々の心に強い印象を与える、そして自然界のさまざまな音は私たちの記憶に働きかけ、心を落ち着かせてくれる効果もある。しかしながら、森林が持っているこのような効用に

ついて、視覚情報や聴覚情報が私たちの心理にどのような影響を与えているのか、また、その影響のメカニズムはどうなっているのか、さらに刺激の定量化のための方法も十分に開発されているとはいえない状況である。

本研究では、このような現状に鑑み、森林から放散されているガスの成分濃度を継続的に測定すると同時に、視覚情報である景観及び聴覚情報である自然の音を測定し、森林におけるこれら刺激の特性を明らかにするための研究を行った。また、景観や音などの物理刺激を人間に側から評価することを目的に心理的アンケートを行った。そして、これらの物理刺激と人間の心理的評価を結び付けることにより森林の良さに関する新しい評価方法を確立することを目標とした。なお、このような研究を機に、人々の森林に対する関心が呼び起こされ、もって森林の保護に役立てることができれば、林業および地域の振興さらに地球温暖化対策としても有効であると考えた。

2. 方法

1) フィトンチッドの測定場所

本研究では、このような現状に鑑み、森林から放散されているガスをガスクロマトグラフ質量分析器（以下、GCMS という）にて測定することにより、季節、場所及び樹種等によるガス成分の相違を明らかにする。森林におけるガスサンプリング場所は長野県茅野市の山間部に存在する車山高原であり、その詳細は以下のとおりである。車山高原を図1に示し、その概要を以下に示す。

カシガリ山中腹エリアの植生の主な種類はバッコヤナギ・ミズナラが点在しているエリア。優先種は特に見バッコヤナギ、ミズナラである。



図1. 車山高原

シラカバエリアは、シラカバ、ミズナラが点在している遊歩道付近。地面にはミヤコザサも群生している。主な樹木はシラカバ、ミズナラ、ミヤコザサが植生する。

草原エリアにおける主な植生は、高木や中木はなく、特に車山の遊歩道付近には、高山植物が群生し、点在する。若干存在する木は低木であり、主な樹木は、ダケカンバ、ススキ、ヤマドリゼンマイである。

2) ガスサンプリング

写真2はガスサンプリングに用いた装置を示した。自動ガス採取装置にチャコールチューブおよび除湿剤を連結した。チャコールチューブの概要を写真3に示した。

ガスのサンプリング位置は各採取場所において、人間の口の位置を想定して、サンプリング吸引口が地上からの高さが150cmほどになるよう設置した。自動ガス採取装置の電源を入れ、吸入量を200mL/minとして6時間、空気の吸引採取を行った。フィトンチッドの主成分であるテルペン類(Terpene)とは、テレピン油であるが、実際はテレピン油に限らず多くの植物の精油の主成分である。それらは形式上2つ以上のイソプレン(C₅H₈)単位(C₅)から構成されており、イソプレン単位の数に応じていくつかの結合でできた化合物の総称である。それぞれモノテルペン(C₁₀)、セスキテルペン(C₁₅)、ジテルペン(C₂₀)、セスタテルペン(C₂₅)、トリテルペン(C₃₀)、テトラテルペン(C₄₀)とあるが、中でもモノテルペン(Monoterpene)はバラや柑橘類のような芳香を持ち、香水などにも多用される。また、少量ではあるがフィトンチッドにはエステルも含まれている。今回、検出対象としたガスの種類は、テルペン類であるα-ピネン、β-ピネン、d-リモネン、β-ミルセン、α-テルピネオールおよびエステル類である酢酸ボルニルの6種類とした。

ピネン(pinene)は六員環と四員環からなる炭化水素で、二重結合の位置が異なるα-ピネンとβ-ピネンの2つの構造異性体が存在する。α-ピネン(Alpha-pinene)は、テルペン類、針葉樹(松、ひのき)など、柑橘系に多く含むが殆どの植物に微量ながら含む。酸味系パインの香りで精油され食欲増進、新陳代謝、血行をよくし脳を活性化させリラックス効果がある。β-ピネン(Beta-pinene)は、テルペン類の一種でα-ピネンよりも量は多くないが、ローズマリーやパセリ、バジル、イノンド、バラなど様々な植物に含まれている。効能としては香料基材や殺虫剤、塗料の溶剤やショウソウの製造など多くの点で利用されている。リモネン(Limonene)は、単環式モノテルペン系炭化水素であり、右旋性(d-体)と左旋性(l-

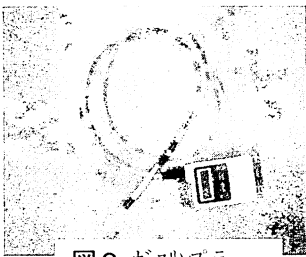


図2. ガスサンプラー

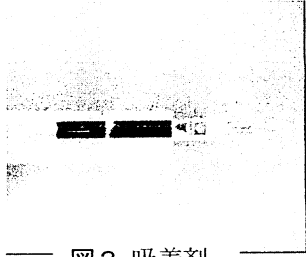


図3. 吸着剤

表1. GCMS分析条件

キャリアガス	ヘリウム	線速度(L)	69.9cm/分
コントロールモード(c)	スプリットレス	スプリット比(R)	13
サンプリング時間(s)	1分	全流量(T)	55mL/分
気化室温度(M)	240℃	キャリアガス流量(A)	55mL/分
インターフェイス温度(N)	240℃	高圧注入モード(P)	自動
カラム入口圧(I)	80kPa	注入圧力(I)	120kPa
カラム流量(F)	3.7mL/分	注入時間(T)	0.8分
スキャンモードで分析したフラグメントイオン			
α-Pinene: 93.0m/z, 91.0m/z, 92.0m/z			
D-Limonene: 68.0m/z, 67.0m/z, 93.0m/z			

体)の光化学異性体がある。光学的に不活性なラセミ体(dl-体)はジペンテンといわれる。d-リモネンはレモン油、オレンジ油などに、l-リモネンははっか油、スペアミント油などに、ラセミ体はテレピン油、樟脳(しょうのう)油などに存在する。今回対象とした d-リモネンは、二重結合と2つを有しているため酸化されやすい。ミルセン(myrcene)は天然に存在する有機化合物で、モノテルペンに属するオレフィンの一種である。測定対象としたミルセンはβ-ミルセンであり、別名 7-メチル-3-メチレンオクタ-1,6-ジエンと呼ばれ、芳香を持つ無色の液体で、室温で徐々に重合される。テルピネオール(terpineol)は天然に存在するモノテルペンアルコールの一種で、カジュプテ油(cajuput oil)、松根油(pine oil)、プチグレン油(petitgrain oil)などから得られる。月桂樹、ローズマリー、アニス、マジョラムなどやアキギリ属、ビャクシン属の植物の精油、およびテレピン油の成分でもある。ヒドロキシ基と二重結合の位置が異なる4種類の異性体、α、β、γ、δ-テルピネオールが知られる。本測定の対象はα-テルピネオールとした。さいごに、エステル(ester)とは、低分子量のカルボン酸エステルであり果実臭をもち、バナナやマンゴーなどに含まれ、効能としてはエステル類に共通している鎮痙攣作用や神経バランス回復作用、鎮静作用、鎮痛作用、抗炎症作用、血圧降下作用などが考えられている。表1は、測定に用いたガスクロマトグラフ質量分析器(CGMS)の運転条件を示した。

3) 景観(視覚情報)評価方法

a) 空間周波数

2次元画像における波の定義で、濃淡の繰り返しを波に見立てた周波数のことを空間周波数という。濃淡周期が短ければ短いほど、画像のもつ空間周波数は高い。また、濃度の最小値と最大値の差の絶対値が大きければ大きいほど、波としての振幅は高く、絶対差の1/2に相当する。なお景観データは各場所での撮影写真を用いた。

b) 1/fゆらぎ

パワースペクトルの密度分布が周波数fに反比例するゆらぎのこと。ピンクノイズとも呼ばれ、あらゆる物理現象、生物現象、経済現象に現れると言われている。具体例として人の心拍の間隔や、ろうそくの炎の揺れ方、電車の揺れ、小川のせせらぐ音、アルファ波、目の動き方、木漏れ日、物性的には金属の抵抗、ネットワーク情報流、蛍の光り方などがあげられる。景観画像の空間周波数に対して二次元フーリエ変換を行った後、グラフの両対数を取り近似直線の傾きを算出し、周波数分布解析を行った際、傾きが「-1」に近い場合、人に最もなじみがよいとされ、一般に1/fゆらぎと呼ばれている。

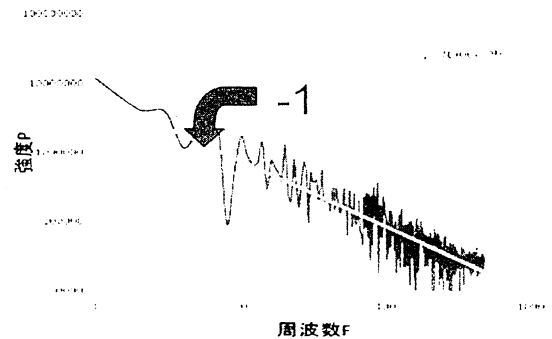


図4. ゆらぎ評価

c) 二次元フーリエ変換

画像上では、画素の値をその画像に含まれる周波数成分の値へ変換する。この処理を式で表したものが式(1)である。ここでXは周波数成分、xは画素成分をあらわす関数でM、Nは画像の横幅縦幅である。xの変数は画像上の画素の座標でXの変数は水平周波数と垂直周波数である。

$$X(k,l)=1/\sqrt{MN}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1}x(m,n)e^{-j2\pi(mk/M+nl/N)} \quad (1)$$

d) フラクタル解析

フラクタルとは、拡大・縮小によって観測のスケールを変えても、もとの図形と似た形が現れる自己相似性を持った幾何学構造のことをさし、複雑なパターンを定量的に扱うことが可能となる。フラクタル次元を解析することによって、景観画像の複雑さを評価することができる。数学的に定義された図形などでは、厳密な値が算出できることもあるが、前述の海岸線などの場合は、フラクタル次元自体が測定値になる。比較的なめらかな海岸線では、フラクタル次元は線の次元である1に近い値となり、リアス式海岸などの複雑な海岸線では、それよりは大きな値となり、その値により図形の複雑さが分かる。なお、実際の海岸線のフラクタル次元は1.1~1.4程度である。

e) 視線密度分析

景観などを人が見た際、どのエリアを多く注視していたかを測定する方法であり、視線が向いていた時間を各エリアごとに積算し、分布のグラフとして表現する。これは視線密度分布と呼ばれている。測定に用いた装置は、視線追尾システム(VIEW-TRACKER)を用いて測定を行った。これは視線を追尾してデジタルデータとして本体のコントローラへ記録する解析システムであり、リアルタイム

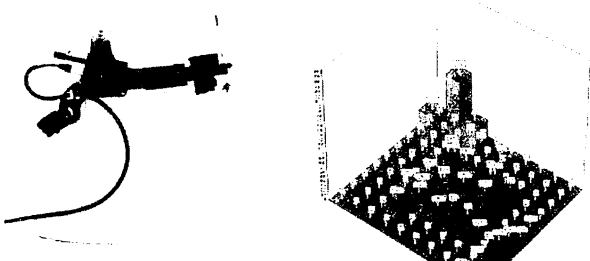


図5. 視線追尾システム

で取得した追尾データから様々な統計処理を行うものである。景観画像に視線の画像を重ねた動画の作成・移動・軌跡、頭部の動きを差分した軌跡画像作成が可能である。

f) SD法による心理的影響の定量化

SD法とは、Semantic Differential法の略で、C.E.オスグッドが提案した心理測定法の一方法である。言語による尺度を用いて心理実験を行い、その分析を通して、ある「概念」の構造を定量的に明らかにしようとするもので、ある空間などを体験し、その結果生じた心的反応を測定するのに用いられる。空間の「雰囲気」のような全体的な心的反応を、用意した多くの評定尺度上の量として回答してもらう。図6にアンケート調査票を示した。調査は、環境刺激提示直後に行った。心理アンケートにより得られたSD法のデータに対して、主成分分析およびクラスター分析を行い、環境刺激とこれによる心理的影響との間の相関関係を調べた。

3. 結果および考察

1) 森林のガス（フィトンチッド）

まず、測定対象とした車山高原（長野県茅野市）全体のトレッキングルートを一エリアに分割し、各エリアごとに分析・調査を行った。車山高原全体を一エリアに分割した結果を図7に示した。エリアはAからGまでである。

図8はこの地域のフィトンチッド成分の中で最も濃度が高かったD-リモネンの濃度分布を示した。ガスの測定は平成21年10月から12月にかけて、秋のフィトンチッドを測定することを目的とした。なお、1年間通したフィトンチッドの測定は昨年報告したので省略する。A1 エリアのモミが群生している地点、A3 エリアでのカラマツが群生している地点、B1、B2、B4 の沢渡付近、E1、E2 のカラマツ群生付近と、森林帯または、森林が周辺に存在する場所が、D-リモネン濃度が高いことが分かる。えりあフィトンチッドは元々、針葉樹や広葉樹から多く放出されるといわれているため、この傾向は妥当であると考えられた。しかし、高山植物や草類しか存在しないエリアであっても、わずかながらD-リモネンが検出されており、他のフィトンチッド成分も同様であった。これは、森林帯からの空気の流れ込みも考えられるが、リモネンやαピネンは空気より重いため、森林帯より標高が高いC、Dエリアへ移行する可能性は低い。また、風により運ばれるにすれば森林からの距離が遠すぎる。したがって、フィトンチッドは森林のような樹木だけではなく、草類からも樹木と同様なフィトンチッドが放出されていることがわかった。以上、車山高原のトレッキングルートの各エリアごとに発生しているフィトンチッド成分の濃度マップを作製することができた。この結果はデ

ータベースに蓄積され、トレッカーが必要とするフィトンチッド環境が得られる場所を、訪問時期も考慮した上で、提示するために利用された。

アンケート調査

2007年 月 日 時間帯(朝・昼・夕) 天気(晴・曇・雨)
年齢(10歳未満・10代・20代・30代・40代・50代・60代以上) 性別(男・女)
各項目について、感じるままに○を付けてください。

記入例
狭い感じ

	非常に	かなり	やや	普通	やや	かなり	非常に	
	1	2	3	4	5	6	7	
1 狭い感じ								広い感じ
2 新しい感じ								古い感じ
3 騒々しい感じ								静かな感じ
4 窮屈な感じ								伸び伸びした感じ
5 単調な感じ								複雑な感じ
6 楽しい感じ								つまらない感じ
7 涼しい感じ								暖かな感じ
8 落ち着きのない感じ								落ち着きのある感じ
9 明るい感じ								暗い感じ
10 沈滞した感じ								活気のある感じ
11 不快な感じ								快適な感じ
12 清潔な感じ								不潔な感じ
13 統一感のある感じ								ばらばらな感じ
14 莫やかな感じ								うっとうしい感じ
15 醜い感じ								美しい感じ
16 のどかな感じ								騒動した感じ
17 ごみごみした感じ								すっきりした感じ

諏訪県立環境大学

図6. SD法心理アンケート用紙

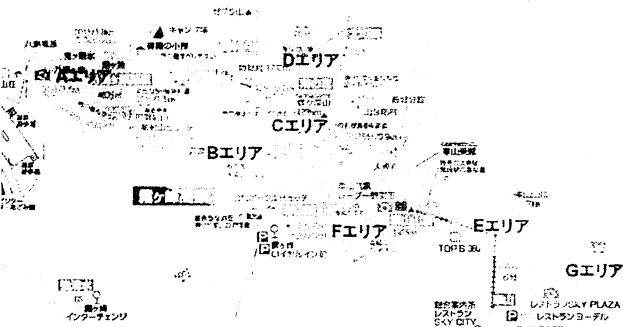


図7. 車山高原トレッキングコース全体図

2) 景観（視覚情報）評価結果

各エリアにおける景観写真の画像データの空間周波数に関する周波数分析を行い、パワースペクトルの傾きを求めた。この傾きの値と1/f ゆらぎを表わす傾きである「-1」との差をとり、得られた結果を図9に示した。A1、A2、B1、B2、B4、C2、C4、C5、F2のエリアが、-1より傾きの値が小さく、残りのエリアは大きいという結果になった。-1より小さい傾きの値を示したエリアで、A2、B1、B2、B4、F2のエリアは、画像中に占める森林の割合が高かった。これとは逆に、低い草木だけが群生しているDエリアでは-1より大きい値を示した。以上の結果より、景観画像中の森林占有率はパワースペクトルの傾きと関係があることが予想された。図10は、画像中の植物が占める面積と傾きとの関係を示した。相関係数は0.82と高い相関を示した。植物が視野に占める比率には、1/f ゆらぎを得るための最適値が存在して

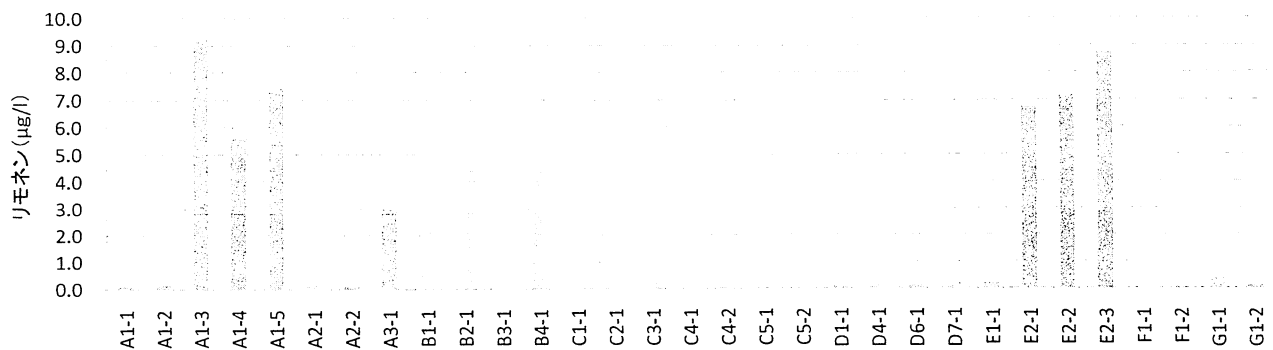


図8. 車山高原トレッキングコースにおけるリモネン濃度分布 (秋季)

おり、このケースでは約 65% (総ピクセル数 921600) であった。勿論、比率だけで論じることにはできないが、景観評価における一応の目安の一つとなり得る。因みに、図9に都市の交差点 (甲府) の画像の傾きを示し、自然景観との差異を確認するための参考とした。

つぎに画像のフラクタル次元とパワースペクトル (以下、PS という) の傾きとの関係を図11に示した。相関係数は 0.65 であり弱い相関があった。フラクタル次元は入れ子構造による複雑さ、PS の傾きは空間周波数成分のバランスを表わしていると考えれば、PS の傾きは適度な複雑さを評価するものであるからフラクタル指数と相関があったことは妥当である。また、図13はフラクタル次元とSD法の心理アンケートの評価結果とを比較したものである。心理的にさわやか、快適及び美しいというイメージを与える画像のフラクタル次元は 1.8 付近にあると考えられた。図12は車山高原の草原の画像を用いて視線追尾測定を行った結果である。被験者の視線は草原と山、及び山と空の境界に集中していたことから、景観の評価は視対象の境界部分の状況に影響されることがわかる。

図14は本研究で測定されたPSの傾き、フラクタル次元、植物占有面積、心理的イメージ (快適さ、美しさ) を指標としてトレッキングルートの各エリアに関するクラスター分析を行った結果である。全エリアは大きく森林が多いクラスター (例: B4) と少ないもの (例: D3, G1) に分類された。さらに、森林が少ないクラスターは、心理的な快適さの評価により、快適なクラスター3 (例: G1) と不快なクラスター (例: D3) に分類された。総合的に評価すれば、車山高原の視覚的な評価は景観の $1/f$ ゆらぎよりもフラクタル次元により強く影響されており、最適なフラクタル次元が存在すること、森林よりも草原の方が快適さをイメージさせることが明らかになった。

4. 結論

森林の新しい魅力を見つけ出すことによって森林の保全並びに地域経済の活性化を図ることを目的として、森林から産生されているフィトンチッドの定量化とその特性把握、そして森林や草原でのトレッキングの魅力を決

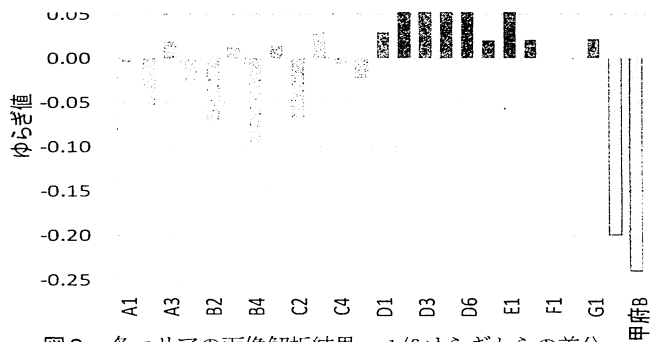


図9. 各エリアの画像解析結果、 $1/f$ ゆらぎからの差分

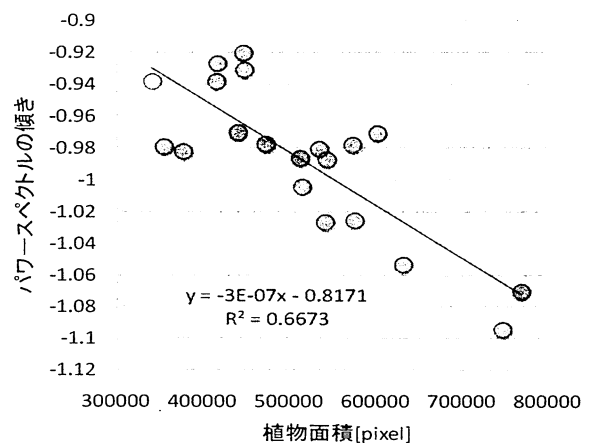


図10. 画像中の植物が占める面積と傾きとの関係

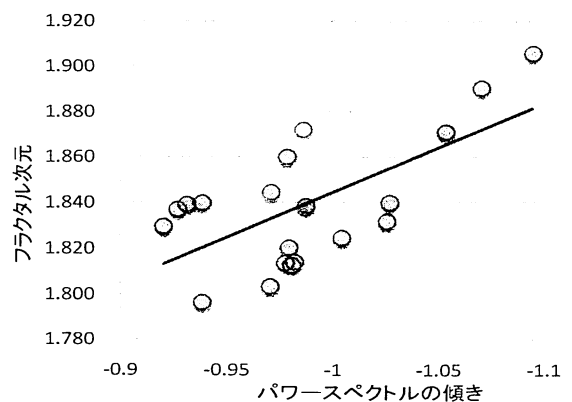


図11. フラクタル次元とパワースペクトルの傾き

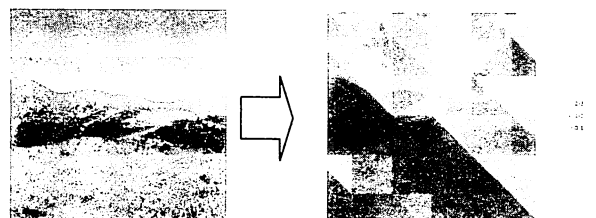


図12. 景観を見る時の視線の軌跡 (黄色は最も頻度高い)

める要素として視覚情報を取り上げ、景観の評価構造及びそれが人間の心理に及ぼす影響を明らかにするために研究を行った結果、以下の結論を得た。1) 車山高原のトレッキングコースの 29 箇所において秋季のフィトンチッド濃度を測定し、そのデータベースを拡充した。2) そして、森林だけでなく草原にもフィトンチッドが存在することを示した。3) 視覚的な評価は景観の 1/f ゆらぎよりもフラクタル次元により強く影響されており、最適なフラクタル次元が存在することを示した。4) 森林よりも草原の方が快適さをイメージさせる傾向が高いことを示した。ただし、今後さらにデータを蓄積することにより、森林活用システムとしての信頼性を向上させることが必要であると考えている。

[参考文献]

1) 奈良、堀井、畔上、 “フィトン・イフェクト：森林の新しい活用”、2009地球環境シンポジウム論文集、土木学会
 2) <http://www.phyton-cide.org/>、フィトンチッド普及センターH.P.

(受付2010. 3. 6)

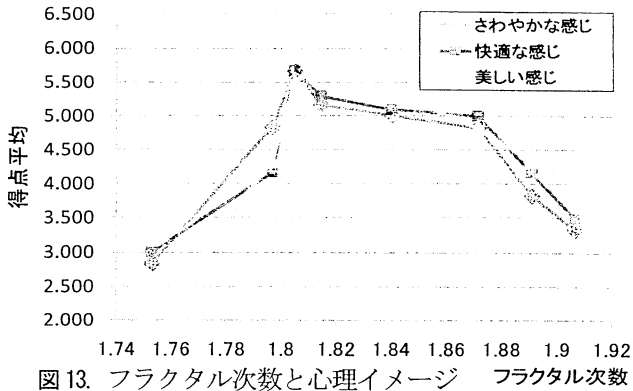


図 13. フラクタル次数と心理イメージ

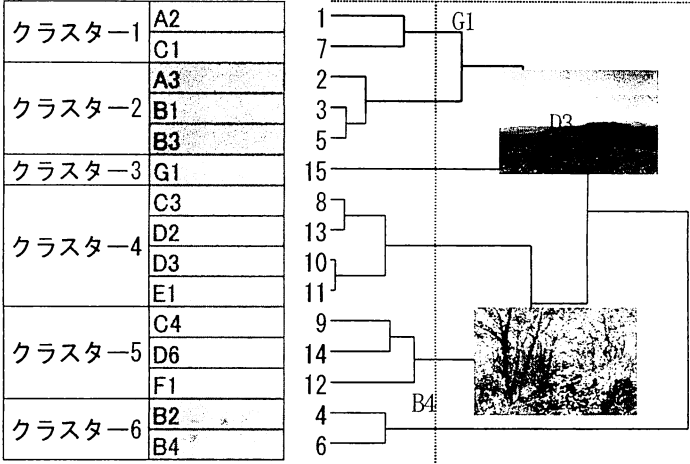


図 14. トレッキングコースの総合評価

Phyton effect: Use of forest environment
 Gas analysis and landscape evaluation

Matsunori NARA¹, Mitsuru HORII¹

¹Graduate School of Engineering and Management, Tokyo University of Science, Suwa

We thought the forest to be a resource for person's health maintenance rather than the supply source of mere wood. Principal ingredients of the gas emitted from the forest are compounds of the terpene that is called a fitontsid, and it is pointed out that this has an epidemiology effect. However, there is little research that systematically examines the amount of the emission of the fitontsid and the influence on the human body. We gathered the gas in the forest and meadow that run along the trekking route of Kurumayama, and clarified amount of distribution of the fitontsid. The deletion performance of the active oxygen by the fitontsid was experimentally confirmed in the former report. Experiments were done about the effect of the reduction of the forest of a psychological stress. The influence that the landscape exerted on psychology by FFT analytical of the spatial frequency of the image of the trekking course and calculating the fractal dimension of the same image was quantified. As a result of the research, the following findings were clarified. It was confirmed that the fitontsid existed also in meadow. To evaluate the influence that the spectacle image gave to person's psychology, it was shown that the fractal dimensions were more appropriate than 1/f fluctuations.