

自然物の分布様式による環境評価の試み

大野博之¹

¹正会員 工博 応用地質株式会社 技術本部河川部 (〒330-8632 埼玉県大宮市土呂町 2-61-5)

河川法の改正等にみられるように、近年、土木事業においても自然環境を保全・創出することが求められるようになり、自然環境に配慮した砂防事業や河川事業が実施されるようになってきた。しかしながら、実際に出来上がった施設が、周辺の自然と調和するかどうかの客観的な評価法がほとんどなく、設計者や施工者などの自然観による主観的な評価で実施されているのが現状である。

本研究では、自然物の分布様式に見られるフラクタル性を基に、自然環境の客観的かつ定量的な評価を試みた。その結果、フラクタル特性を基にして、自然と人工物の区別が定量的にできる可能性を示した。また、植生分布の変化状況もフラクタル次元と分布面積でより定量的に評価できることが示された。

Key Words : *environmental evaluation, fractal of natural object, Hopkins-Skellam Index, vegetation, riverbed materials*

1. はじめに

近年、多自然型川づくりやふるさとの川整備事業にみられるような地域の特徴や自然の特性を活かした河川整備事業、自然に配慮した充実したシステムとしての砂防事業などが推進されるようになってきた。河川法の改正に代表されるように建設事業において、環境の保全・創出が内部目的化され、こうした傾向が増している。

自然をいかした土木事業のためには、環境保全の意義、目標設定の仕方、システムとしての捉え方などのソフト面と、事業計画、工法などのハード面とが融合した環境保全技術が重要となってくる。特に、環境保全技術においては、自然環境保全工法というハードの面だけでなく、その場の環境をいかに把握し、どのような環境が望ましいのかを明らかにするソフト面が重要になってくる。

その一方で、ダムの建設や河川整備の影響により、それまでの環境がどのように変化してきたかを客観的に評価する方法が求められてはいるものの、水質汚染などは別として、モニタリング結果の客観的評価は難しいのが現状であった。

これに対して、その場の自然を捉える方法の一つとしてフラクタル手法に着目した場合、良好な自然環境を示す河川においては、河川を構成している水

際線形状、樹木の分布などにフラクタル性が見られることが明らかにされている¹⁾。また、人間が作り上げた自然らしい空間の代表格である「桂離宮庭園」のような日本庭園にも、デザイン要素のいたるところでフラクタル性が見られることが示されている²⁾。さらに、人間が心地よさを感じる「 $1/f$ ゆらぎ (これもフラクタルの一種)」を用いて歩道などの整備を行ったり³⁾、公園の景観評価を行うという研究⁴⁾が見られるようになってきた。

こうしたことを踏まえ、自然環境の評価に対して、フラクタルの概念の導入を試み、自然らしさの評価及び環境変化の定量的評価の方法の可能性が示されたので、ここに報告する。

2. 従来の自然の評価

これまでの自然度の評価方法は、植生自然度や淡水魚による自然度評価などに代表されるように、土地開発の状況や水質などの各種の汚染の度合いを判断する材料として提案されたいわゆる「指標生物」と呼ばれるものを用いたものが多かった。

この指標生物を用いた評価は、自然の中に存在する生物の本来の姿を想定し、人の手が加わることによる変化を基準として評価する方法である。この方

法は、簡単に実施できるものが多く、水質や土壌の汚染度を見る上で広く用いられているが、定性的な評価しかできない。また、その場の地域固有の自然を評価することは難しいのが現状である。

一方、環境から受ける人間の主観的な感じ方を数値化するという試みも多くなされており、景観評価などには、SD法やマグネチュード法などと呼ばれる「計測された数値による段階表示」で評価することが広く用いられている。しかしながら、人工的であっても緑が含まれていれば、自然らしさが高く評価されるという報告にも見られるように⁹⁾、主観的な自然環境の評価というものは、本来の自然らしさというものを評価し難い。また、この方法では、被験者が必要となり、手間と時間を要する手法でもある。

さらに、GISを用いて環境を総合的に評価しようという試みも見られる⁹⁾が、現状では各種の環境情報の統計をGISに載せるという段階で、定量的な評価手法の確立にはいたっていない。

3. フラクタルを用いた環境評価方法

(1) フラクタルによる自然物の分布様式の評価

自然環境に配慮した形での施設などを建設する場合、その多くは、実際に出来上がった施設が、周辺の自然と調和するかどうかを客観的に判断評価することはなく、現在のところ主観的な評価が行われているのが現状である。つまり、設計者や施工者などの自然観が優先されている状況と言えよう。

では、本当に、自然を客観的に評価することは出来ないのであろうか？

自然を、その形や配置、色の配合などと言った観点に着目するならば、複雑さを定量的に表現するフラクタル理論を用いて、その自然らしさの程度を評価することも可能となると思われる。

フラクタルとは、1975年にマンデルブローが新しく作った造語で、部分と全体との関わりで扱うことのできる図形、構造、現象、分布を指す言葉である。このフラクタルを通じて、複雑なパターンをフラクタル次元を用いて定量的に扱うことが可能となった。

こうした考え方を基に自然を眺めると、そこここにフラクタル的なパターンが見うけられる。海岸線の形、雲の形、渦の形、動物の血管系など、その形態はフラクタルである。また、地域の自然と調和した建造物の外観と背景の自然の形態との間には、同じフラクタル次元が見られるという報告⁷⁾や親しみやすい自然の持つ色彩にもフラクタル性が成り立つという報告⁸⁾もある。

こうしたことは、逆に、その場の環境の自然らしさがどの程度であるかを評価することにフラクタルを利用できる可能性を示唆している。ここでは、こうした背景のもと、フラクタルによる自然物の分布様式の評価を試みた。

(2) 検討対象

フラクタル理論を用いて評価できる自然環境は、それがかたちに関わることや色に関わることであれば、どのような対象についても適用の可能性がある。

それら全てについて論じることは困難なので、ここでは、河川環境を考え、その中でも特に、河床材料と植生について論じる。

河床材料、特に礫以上の大きな粒径の材料は、その存在が流速や流向を変え、結果的に瀬や淵を形成させる。その結果、魚類や底生動物などのハビタットを変化させる。また、通常、上流の河川にみられる河床材料は、礫以上の粗い粒子が多い。こうしたことから、河川に見られる河床の石(礫以上)の分布を評価対象に取り上げた。

一方、植生、特に樹木などは、その存在がホタルなどの昆虫のハビタットとなり重要となる一方、河川敷の樹林化といった問題も含んでいる。そこで、今回は樹木を評価対象とした。

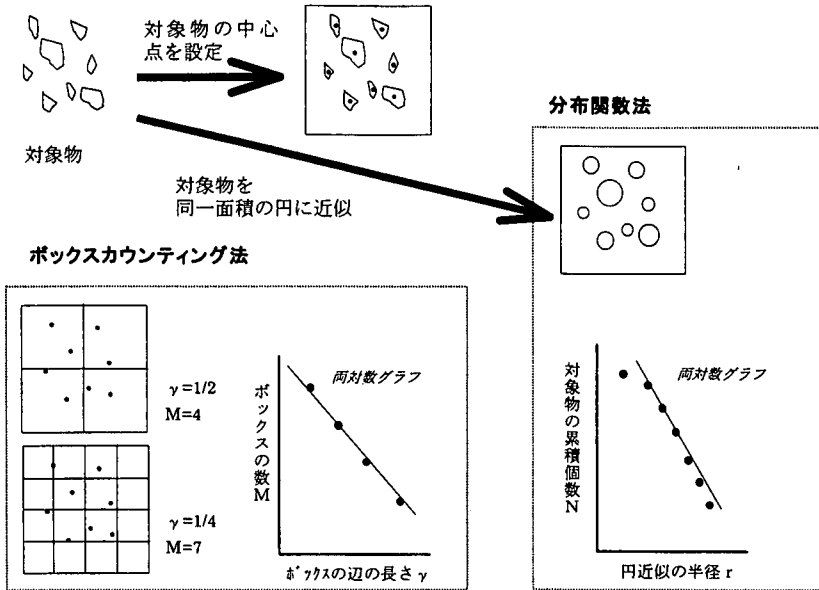
(3) フラクタル解析

フラクタル解析の詳細については各種の文献⁹⁾があるのでそちらを参照してもらうこととし、ここでは、本検討で用いたボックスカウンティング法¹⁾と分布関数法¹⁾について簡単に述べる。

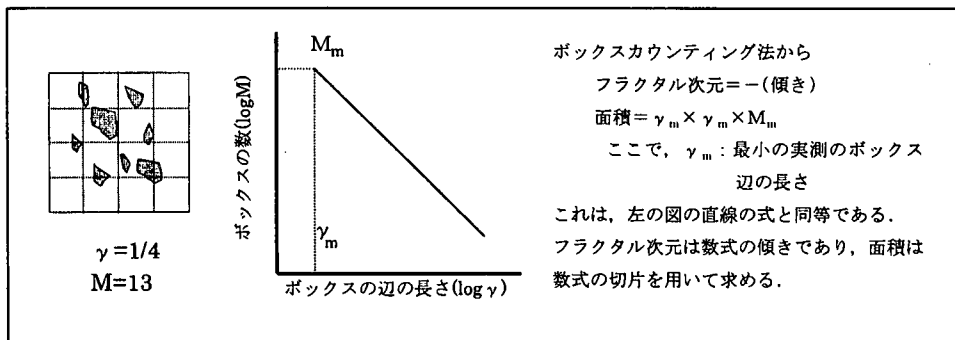
ボックスカウンティング法は、その名の通り、空間内のボックスの数を数える方法である。平面を扱う場合には、図-1(a)に示されるような格子を考える。1つの格子をある大きさ($\gamma \times \gamma$)に区切ったとき、河床材料や植生の中心点を含む格子の数 M を数えていく。これを両対数グラフ上にプロットした時に、その傾きの絶対値がフラクタル次元であり、相関係数 R がフラクタル性の成立具合(ここでは、フラクタルティ- R^2 で表す)を示す。また、この切片からは、図-1(b)に示すように $\gamma = \gamma_m$ の時の対象の分布面積も求めることができる。

このボックスカウンティング法で求められたフラクタル次元を特に容量次元と呼ぶ。この容量次元の大小は、空間的な対象物の偏りの程度を示している。次元が小さいときには偏りが大きく、逆に次元が大きときには偏りが小さいことを意味している。

一方、この容量次元と似たような指数で、ホブキンススケラム指数(H.S.I.)というものがある¹⁰⁾。これ



(a) ボックスカウンティング法と分布関数法の概要



(b) 分布(面的広がり)を見るときのボックスカウンティング法

図-1 フラクタル解析

は、対象物の空間的な偏りや規則性を判別する指数として提案されたものであり、Hopkins&Skellam は、この指数を以下のように定義した。

$$H.S.I = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (1)$$

ここで、 P_i : ある任意のランダムな点とそれに最も近い対象点との距離

I_i : 任意の対象点とそれに最も近い別の対象点との距離

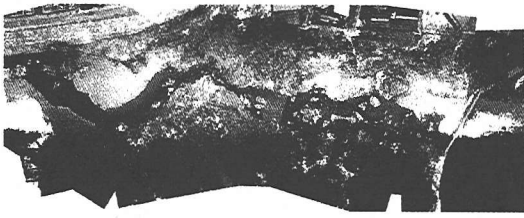
n : 対象点の総数

この指数は、以下のような空間分布の違いを区分することができる。

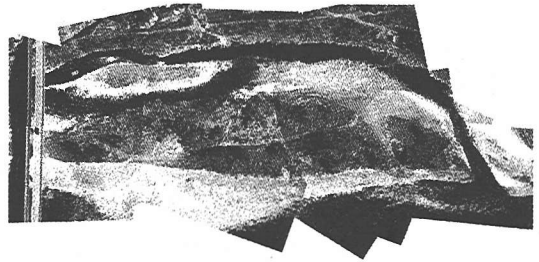
- $H.S.I < 1$: 空間的に規則的な分布
 - $1 \leq H.S.I < 2$: 空間的に一様な分布
 - $2 \leq H.S.I < 10$: 空間的に偏りを持った分布
 - $H.S.I \geq 10$: 空間的に極めて偏りを持った分布
- ※文献 10)を基に、筆者が一部修正

ホプキンススケラム指数は同じ対象を取り扱っても厳密には一つの値を示さないので、25回の計算を実施し、その平均値をここに示す H.S.I とした。これは、式(1)の中に乱数で点を発生させる部分があり (P の計算)、その乱数によって発生された点の影響で計算値が若干異なるためである。

容量次元が偏りの程度を見るのに対して、この H.S.I は空間分布の形態の違いを見るものである。次に、分布関数法である。これもその名の通り、



(a) 高麗川(河岸段丘河川)の河床材料



(b) 鬼怒川(河岸段丘河川)の中州に見られる樹木

写真-1 検討対象河川の例

表-1 検討対象物の諸元

No	河川名	河川分類等	検討領域	対象物			
				種類	総数	大きさ	備考
1	多摩川	渓谷河川	80m×40m	石	65	10cm～5m	石の半径
2	高麗川	河岸段丘河川	135m×45m	石	84	10cm～5m	〃
3		扇状地河川	300m×150m	樹木	128	80cm～16m	樹冠幅
4	越辺川	自然堤防帯河川	225m×75m	樹木	58	2m～10m	〃(伐採箇所)
5		扇状地河川	1260m×630m	樹木	274	2m～25m	〃
6	鬼怒川	河岸段丘河川	360m×120m	樹木	106	80cm～16m	〃
7	長良川	落差工植石	5m×2m	石	71	5cm～1m	石の半径
8	漁川	落差工植石	23m×11.5m	石	61	5cm～1m	〃

対象物の大きさに関わる分布を捉える方法である。図-1(a)に示すように対象物(石や樹木など)を円に近似したときのその半径 r を捉えていくものである。半径 r 以上の対象物の頻度 N と半径 r とを両対数グラフ上にプロットした時に、その傾きの絶対値がフラクタル次元であり、相関係数 R がフラクタル性の成立具合を示す。なお、この場合のフラクタル次元を「大きさのフラクタル次元」と呼ぶ。

ここでは、これらの3つの方法を用いて、自然環境の評価について検討した。

4. 結果と考察

(1) 河川的环境評価

ここでは、自然の持つかたちに関わる評価を、表-1に示す地点を例として、河床材料と河岸樹木について検討した。なお、写真-1のような写真より河床材料と樹木を判読し、ボックスカウンティング法における最小の分割の辺の長さは対象領域の短辺の1/16として解析した。

さらに、 $\alpha m \times \alpha m$ の柵目上に規則正しく配置させた対象点と、平面上に一様ランダムに配置させた対象点についての容量次元とフラクタリティー及び

ホプキンススケラム指数についても、上記の実際の河川の検討の比較対象として求めた。

その結果を図-2に示す。図-2には自然らしさの残っている河川(人の手が余り加えられていない No.1～3,5,6 の地点)と、植石工などにより人の手が加わった河川(No.4,7,8 の地点)の結果をプロットした。また、規則的に配置したモデルと一様ランダムに配置したモデルについても、グラフ上でどの位置にあたるのかを理解するために図中に示した。

図-2に示されるように、人の手が余り加わっていない河床の石や河岸樹木では、フラクタリティーが高くフラクタル性の成立具合が良い。また、H.S.I.も高く容量次元の小さいことから空間的に偏った分布を示している。

これに対して、人の手の加わった植石工や河岸樹木は、フラクタリティーは小さく、一様ランダム分布と同様に H.S.I.が10以下と小さい。特に、No.7地点の植石工は一様ランダム分布に近く、人の手の余り加わっていない地点とは異なった特性を示している。

一方、大きさに関しては、人の手の加わったものほどフラクタリティーが小さく、次元も大きくなる傾向があるように見られる。

こうしたことから、空間的には、人の手の余り加

わっていないものは、フラクタリティーが高く極めて偏った空間分布を示している一方、人の手加わると空間の偏りが減り一様に近くなり、大きさのフラクタル次元も大きく、大きさのフラクタリティーも小さくなる可能性が示された。こうしたことは、分布様式の違いを基に自然らしさを評価できる可能性を示唆している。

しかしながら、ここで示したデータは、6河川8地点と極少ないデータである。従って、今後は、より多くの地点のデータを検討して、ここで示した自然らしさについて検討して行く必要がある。

(2) 植生回復状況の評価

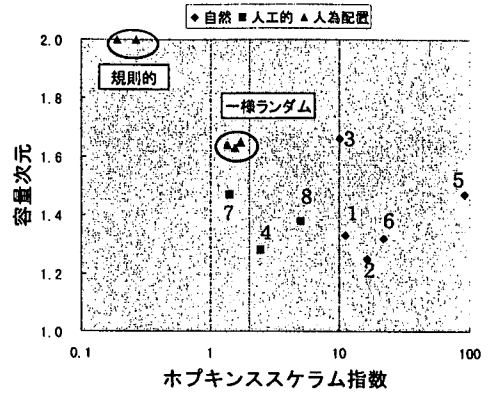
ダムなどの建設に伴い、植生が変化することは多く、その変化などを定量的にモニタリングすることも重要となる。ここでは、建設事業の影響とは異なるが、火山活動後の植生の回復について検討した。対象は、雲仙普賢岳の平成3年(1991年)の火砕流発生後の植生の回復状況の評価である。火山災害による影響は、建設事業の影響とは比較にならないほどの大きな影響を及ぼすので、植生への影響が顕著であり、比較的评价がしやすいために取り上げた。

ここでは、火砕流の発生以前から平成9年(1997年)までの植生の分布状況について、ボックスカウンティング法によるフラクタル解析を行って評価した。検討対象は、普賢岳火口付近から仁田町に至る5.5km×2.5kmの範囲を解析対象とし、その中に見られる植生を空中写真より判読した。その判読結果を図-3に、フラクタル解析結果を図-4に示す。

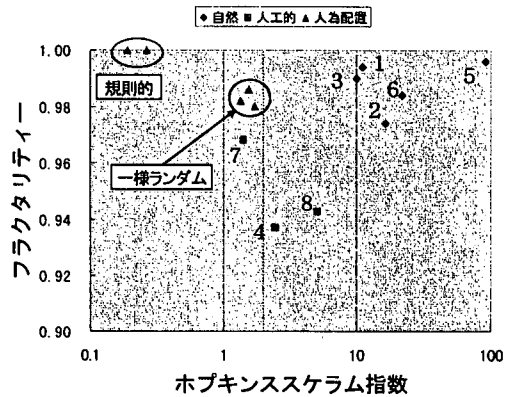
図-4の結果からわかるように、植生の分布面積及びフラクタル次元は火砕流の発生後極端に小さくなり、発生後6年(1997年)の経過程度では、余り大きな値とはならず、十分な回復には至っていない。詳細に図を見るならば、火砕流の発生後面積は徐々に増加しているのに対して、フラクタル次元の方は、1994年まではさほど大きく変化していなかったが、1997年の時点でフラクタル次元はやや大きくなった。つまり、1994年までは植生の面積はやや増加しているが、その面的な広がりには限られた箇所のみであった。それが、1997年の時点で以前よりも比較的広範囲な箇所まで植生がみられるようになってきたことを示している。

このように、火山活動後6年程度では、発生以前のように普賢岳にまんべんなく広がっていた植生がまだ回復しておらず、部分的に偏ったところにしか植生が見られない状態であることが理解できる。

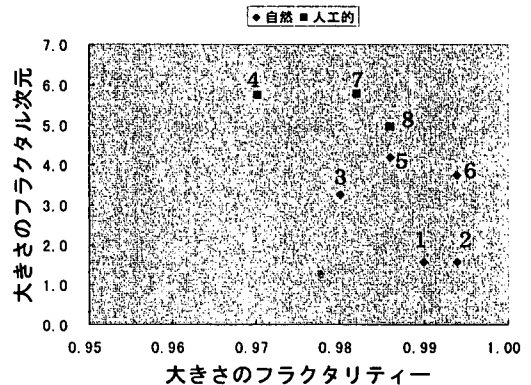
こうした状況は、平面分布図をみれば視覚的に捉えることは可能であるが、それを定量的に表現する



(a) 容量次元と H.S.I.の結果



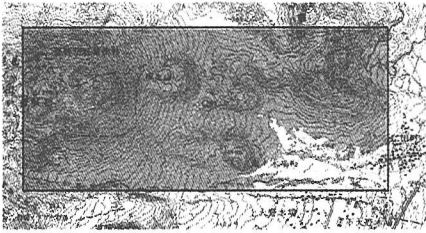
(b) フラクタリティーと H.S.I.の結果



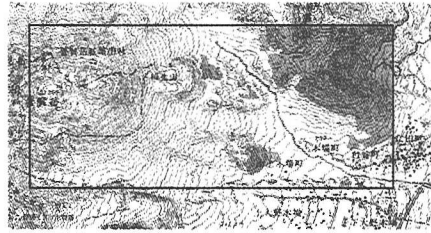
(c) フラクタル次元とフラクタリティーの結果

図-2 河床材料と河岸樹木のフラクタル解析の結果
図中の番号は表-1のデータ番号に対応する。

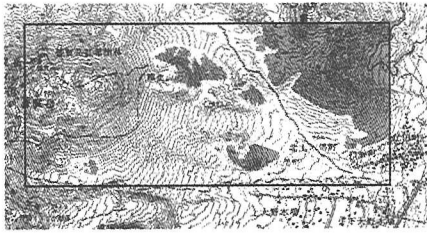
ことは難しかった。面積については、これまでも分布図から算出することはできたが、面的な分布の偏りは数値として表現し難かった。しかし、ここで示したようにフラクタル次元を使えば、これを十分表現することができる。



(a) 1991年5月18日撮影



(b) 1992年4月25日撮影

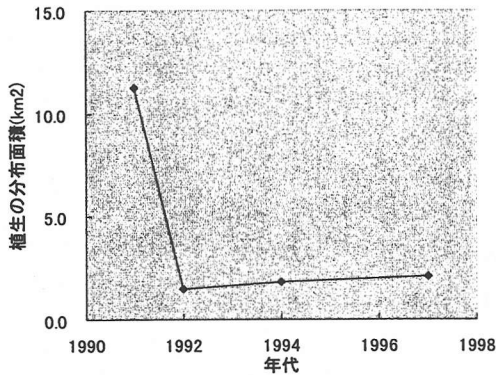


(c) 1994年3月14日撮影

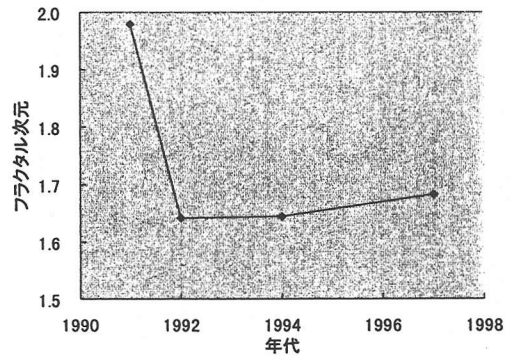


(d) 1997年3月15日撮影

図-3 雲仙普賢岳の火砕流発生以前から1997年までの植生分布の変化(縮尺 1:100,000)
 図中の灰色部分が植生を表わす。表記の撮影日時の空中写真を基に植生部分を判読して分布図を作成した。黒枠の部分を解析領域とし、10m×10m ボックスまで分解して解析した。



(a) 植生の分布面積の変化



(b) フラクタル次元の変化

図-4 雲仙普賢岳の植生分布の変化

フラクタル解析(ボックスカウンティング法)により、平面的な植生分布についてのフラクタル次元(容量次元)及び分布面積(ボックスの辺10mの時の面積)を、各年代の分布図より求めた。

フラクタル次元をこうした評価に使うことは、以下のような点で有効である。

図-5のようなフラクタル的な考え方を取り入れると、何らかの分布において、その面積的な量だけでなく、空間的な広がりをも捉えることができる。そして、これまで面積だけでは表現できなかった、同一面積における分布形態の違い、つまり、図-5に示すような分布が固まっている場合と広がっている場合の違いを、フラクタル次元の大小で表現でき、定

量的に論じることができる。

こうした点を考えるならば、今後、空間的なものの分布を評価するにあたっては、面積だけでなくフラクタル次元も付け加えた評価が必要ではないかと思われる。こうした植生の変遷は、火山災害前後の変化だけでなく、最近問題となっている河川敷の樹林化を論じる場合や、洪水の影響を論じる場合にも有効な手段となると考えられる。

ここで示した雲仙岳の結果は、1997年までのもの

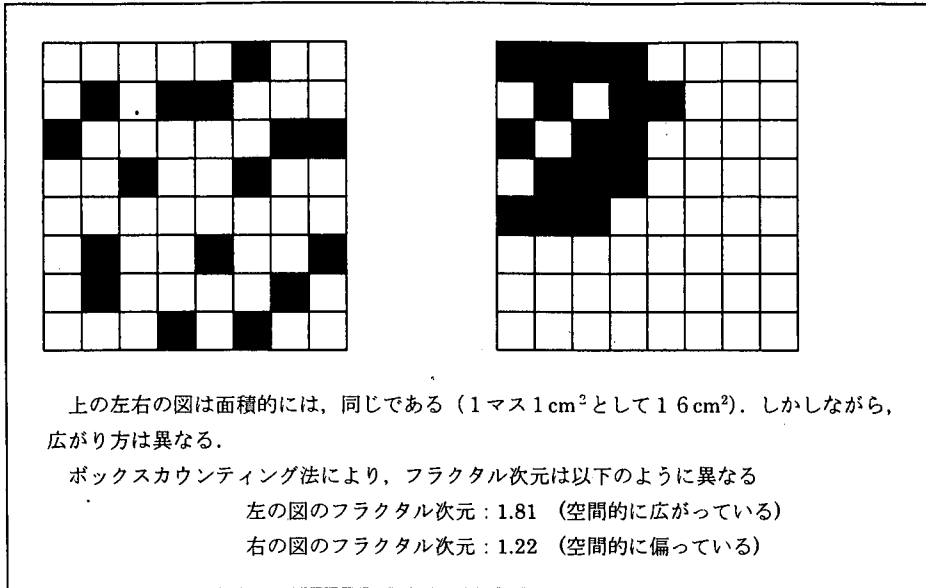


図-5 分布面積と平面的な偏り

である。1999年のふもとからの印象では、さらに植生が広がっているように見受けられた。今後、何年か先の変化を追い、植生がどこまでどのくらいのスピードで回復するのかについて把握することも興味湧くところである。

5. おわりに

ここでは、自然を、その形や配置などと言った観点に着目し、フラクタル理論を用いた評価手法の可能性を検討した。自然の持つかたちに関わる評価を、いくつかの川を例にして実施し、また、火山活動前後の植生の変化について検討した。

その結果、自然らしい分布様式とそうでない分布様式についての違いを客観的に評価できる可能性が示された。また、植生の変化状況を、フラクタル次元とその面積で評価することで、空間的な植生の分布を、より定量的に把握できることを示した。

ここで示したフラクタルによる考え方は、河床材料や植生の分布様式を評価するだけにとどまらず、この性質を利用して、環境を創出するといったことも可能となり、既にそうした観点での報告もなされている^{11),12)}。

さらに、評価対象も形態に関わる全てのこと、例えば、水際線や河道(みお筋)、河床形状(横断や縦断)、色彩も含めた景観といった環境の評価にも適用することが可能となると思われる。今後は、こうした点の検討も進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 関克己, 佐々木春喜, 鈴木輝彦, 大野博之: 自然のフラクタル性を利用した景観設計の検討, 環境情報科学, Vol. 24, No. 2, pp. 87-94, 1995.
- 2) 徐英大, 森本幸裕: 桂離宮庭園のデザイン要素のフラクタル性について, ランドスケープ研究, Vol. 60, No. 2, pp. 56-60, 1996.
- 3) 小栗ひとみ: 1/f ゆらぎを導入した景観設計, 土木技術資料, Vol. 40, No. 2, pp. 2-3, 1998.
- 4) 後藤恵之輔, 亀谷一郎: 空間周波数解析による人に心地よい公園景観の定量化の試み, 地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム発表論文集, 地盤工学会中国支部, pp. 39-42, 1999.
- 5) 皆川朋子, 島谷幸宏: 河川の自然景観の評価に関する研究-阿賀野川を事例として-, 環境システム研究, Vol. 24, pp. 13-19, 1996.
- 6) 竹林征三編著: 実務者のための建設環境技術, 山海堂, pp. 348-406, 1995.
- 7) Bechhoefer, W. and Bovil, C.: Fractal Analysis of Traditional Housing in Amasya, Turkey., Proceedings of the Fourth Conference of the International Association for the Study of Traditional Environments, 1994.
- 8) 小川進, 清原徹也, 阿部忠行: 舗装を主体とする街路景観のフラクタル解析, 土木学会論文集, No. 520/V-28, pp. 135-141, 1995.
- 9) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, pp. 7-25, 1986.
- 10) Hopkins, B. and Skellam, J.G.: A new method for determining the type of distribution plant individuals, Anals of Botany N.S., Vol. 18, pp. 213-227, 1954.

11) 関克己, 佐々木春喜, 鈴木輝彦, 大野博之: フラクタルを用いた河川景観の設計支援, 土木学会論文集, No. 555/IV-34, pp. 51-60, 1997.

本庭園のエキスパート CAD システムに関する研究, 第12 回環境情報科学論文集, pp. 137-142, 1998.

12) 徐英大, 森本幸裕, 守村敦郎: フラクタルを用いた日

(2000. 3. 30 受付)

A STUDY ON THE ENVIRONMENTAL EVALUATION OF NATURAL OBJECT

Hiroyuki OHNO

Recently, it is important aim that the river environment is preserved in the river and sabo works. However, the constructions maintained harmony with the environment were hardly estimated objectively.

The author examined the assessment method of natural environment, utilizing fractal concept. As the result, there is a difference between the natural aspects and artificial aspects for the riverbed materials and vegetation, using the fractal property and Hopkins-Skellam Index. Through this study, the assessment method of naturalness for the river environment elements is suggested. And, the vegetation distribution is quantitatively estimated, exploiting fractal dimension and distribution area.