

河道計画におけるフラクタルの利用

Introducing the fractal method for the planing of a river channel

研究第二部 次長 池内 幸司
研究第二部 研究員 沼田 佳久
応用地質㈱ 大野 博之
応用地質㈱ 間宮 清

河川の自然環境の特徴を把握する手法の一つとしてフラクタル手法に着目し、自然界に見られるフラクタル性を利用した設計支援のためのモデル化手法についても提案がなされてきた。

本稿ではある多自然型川づくりにおける水際線形状の検討にこの手法を適用した結果、コンピューターを用いて数多くの図面を作成する場合には、本研究で開発されたプログラムを用いるとフラクタル次元という意味を持った線により非常に効率的にかつ簡単にフリー手帳的な図面を作成することができることが明らかとなった。このフラクタル性を利用した河道計画手法は、多自然型川づくりの河道計画の策定の際に有効なツールとなるものと思われる。

キーワード：フラクタル、自然環境、河道計画、多自然型川づくり

Fractal techniques are increasingly noticed as a method of grasping the natural environmental characteristics of rivers. Modeling techniques for support for design using fractal phenomena found in nature have also been proposed.

In this report, we applied fractal techniques to the process of generating computer drawings of water-line topography in a nature-oriented river works. Using a special program developed as part of our study, we were able to produce a large number of drawings very quickly and efficiently in a freehand style on the basis of lines with significance as fractal dimensions. The use of fractals in river channel planning represents a useful tool for developing river channel plans in 'nature-oriented river works programs.'

Key words : Fractal, environment, river channel plan, nature-oriented river development

1. はじめに

近年、多自然型川づくりなど、河川本来がもっている良好な自然環境の保全・復元が河川整備にも求められるようになってきた。この傾向は、平成9年の河川法の改正によって強まり、第九次治水事業七箇年計画においても、「自然をいかした川」を目指すこととしている。自然をいかした川づくりを行うためには、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、河道計画、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、ハード面だけでなく、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。

これまでの研究によって、河川の自然環境の特徴を把握する手法の一つとしてフラクタル手法に着目し、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、樹木の分布等にフラクタル性がみられることが明らかにされている¹⁾。また、「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うという研究が見られるようになってきた³⁾。また、自然に見られるフラクタル性を利用した設計支援のためのモデル化手法についても提案がなされてきた⁴⁾。

本稿では、この手法を新たに改良した上で、ある多自然型川づくりにおける水際線形状の検討の際にこの手法を適用し、良好な結果が得られたのでここに報告する。なお、本研究で開発されたプログラムについては、(財)ソフトウェア情報センターにプログラムの登録（登録番号P第5961号-1 登録年月日 平成10年6月15日）を行い、一般公開している。

2. 河川にみられるフラクタル

2-1 河川構成要素にみられるフラクタル

フラクタルとは、1975年にマンデルブローが作った造語であり、部分と全体の関わりで扱うことのできる図形、構造、現象、分布などを指す言葉である。

これまでに、雲の形や地形形状など、自然のいたるところにフラクタル性が潜んでいることが明らかにされている。このフラクタルの利用で、コンピューターグラフィックスを用いた仮想の自然景観を描き出すことが容易になってきた。そこで、筆者らは、河道計画においてもフラクタルを用いることにより、自然な河川形状を計画することができるのではないかと考え、自然河川におけるフラクタル性に着目した⁵⁾。図-1に示すように、水際線形状（低水路形状）、河床材料分布（特にレキ以上の粒子）、樹木などの植生の分布、河床の凹凸形状などが、フラクタル性を示していることが明らかとなった。

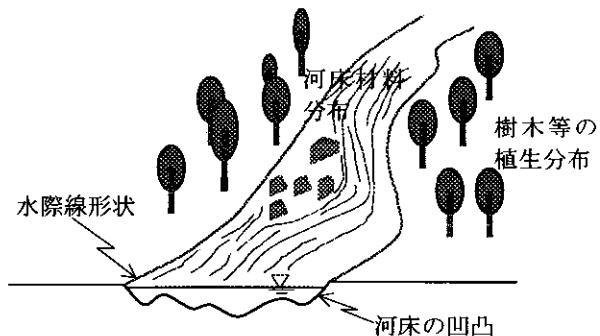


図-1 フラクタル性のみられる河川の構成要素

Fig.1 Constituent Elements of Rivers with Fractal Phenomena

2-2 多摩川におけるフラクタル次元の変遷

フラクタル性を持った河川構成要素は、インパクト（河川改修、洪水、砂利採取など）を受けることにより、その影響がフラクタル次元に現れると考えられる。

フラクタル次元とは、図形の複雑さや込み入り具合を数値として表現したものであり、フラクタル次元が大きいものほどその図形は複雑に見える⁶⁾。

これを多摩川の 51.5km～53.0km 区間における水際線形状のフラクタル次元（水際線の凹凸形状の容量次元）の変化を追うことで検討した。図-2にその結果を示す。

この図に見られるように、全体的な傾向として、年を追う毎にフラクタル次元が減少している。本地域は 1969 年まで砂利採取が行われており、その影響等により河床低下が起こり河道が固定化されたと言われている。このことが、フラクタル次元を減少させた原因の一つと考えられる。

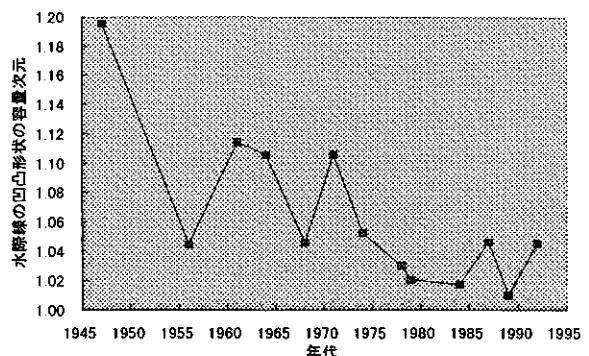
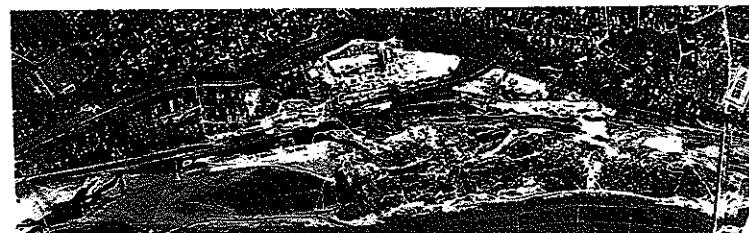


図-2 多摩川における水際線形状のフラクタル次元〈凹凸形状の容量次元〉の経年変化

Fig.2 Fractal Dimensions
(Capacity Dimensions of Irregular Formations) of Waterline Topographies
in the Tamagawa River Over the Years



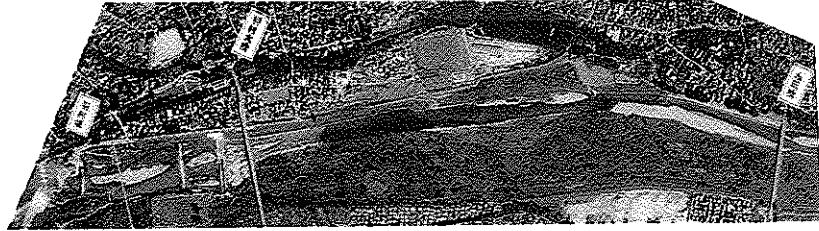
多摩川空中写真（1961年）



多摩川空中写真（1971年）



多摩川空中写真（1979年）



多摩川空中写真（1989年）

写真-1 多摩川空中写真により見られる水際線形状の経年変化

Photo 1 Changes in the Tamagawa River's Waterline as Seen Through Aerial Photographs

しかしながら、この区間は右岸河川敷を中心として良好な自然環境が残った場でもある。したがって、この 1990 年前後の 1.02～1.06 の次元も一つの自然環境下でのものと見なすことができる。一方、大規模な河床低下の起きる前の 1947 年頃も自然の状況を表している場であると考えられ、その次元 1.20 程度は河道変化の自由度の大きさを表している。

したがって、フラクタルの次元は、自然環境の保全・復元の目標や周辺の土地利用等の制約条件を総合的に勘案して設定する必要がある。

3. 川づくりにおけるフラクタルの利用

3-1 基本的考え方

フラクタルの利用によって、自然環境というこれまで数量化し難かったものを、設計の際に必要となる形状や数量として求めることができるようになる。そればかりではなく、その場の持つ自然環境の特性を考慮した計画を策定することにもつながると考えられる。

河道計画においては、従来フリーハンドあるいは折れ線で描かれていた複雑な線で構成される平面図や横断図等をフラクタル次元という数値を与えることで、客観的に作成することができ、河床の石の設置などによる“よどみ”や河畔林などの樹木の配置にも、それぞれの持つフラクタル性という意味を持たせて設定することができる。

3-2 河道計画の方法

フラクタル手法を用いた河道計画手法の全体的な流れを概略的に図-3に示した。

基本的には、まず、過去から現在に渡る航空写真や平面図・横断図などを収集し、それらの平面形状や横断形状などに対してフラクタル解析を行い、フラクタル次元の経年変化を把握する。

フラクタル手法による河道計画支援のモデルでは、同じフラクタル次元から無数の平面

図や横断図を作成することができるが、それに、地形的制約条件、社会的制約条件、治水条件や利水条件などの諸条件を設定することにより数種類に絞られる。そして、この中から施工性や経済性も含めた各種の条件を考慮し、河道計画図の最終案を決定する。

なお、計画図の作成にあたっては、樹木や河床材料（特に河床の石）の配置や大きさの分布についてはカスケードモデルを用いるが⁴⁾、低水路の形状（平面図や横断図）についてはミッドポイントモデルを用いる。⁷⁾

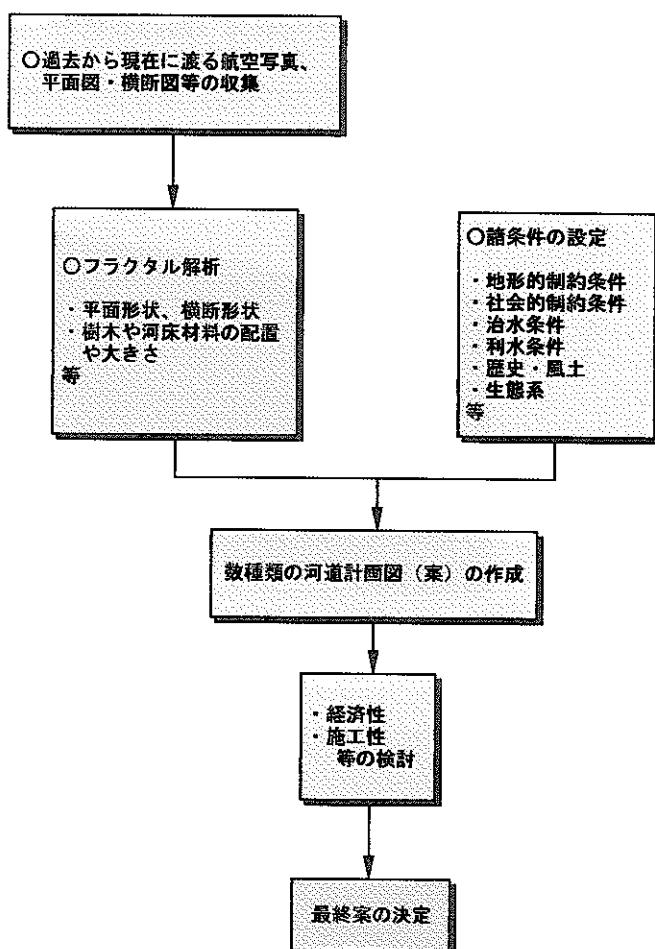


図-3 フラクタルを考慮した河道計画の概略フロー

Fig.3 General Flow for River Channel Planning

4. 河道計画の例

4-1 現況河川のフラクタル特性の把握

ここでは、多自然型川づくりにおける水際線（低水路）形状の検討に、フラクタル手法を適用した例を示す。

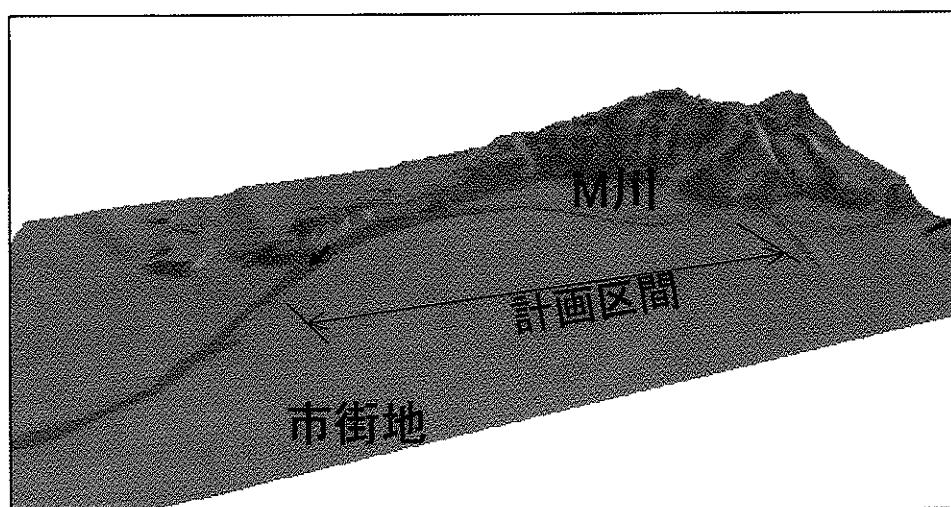
まず、良好な自然環境の残る現状の河川整備前の状態をできるだけ保全することを計画の基本とした。そのために、図-4に示すような現況河川（M川）のフラクタル特性の把握を行った。

フラクタル解析としては、水際線の凹凸形状の容量次元を検討するためにディバイダー法¹⁾と呼ばれる方法を用いた。その結果、図-4 (b) 及び(c) に見られるように、左岸の水際線は 1.022 のフラクタル次元（凹凸形状の

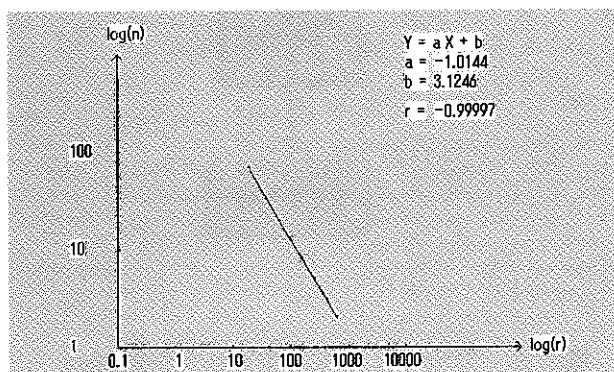
容量次元）を持ち、右岸の水際線は 1.014 の次元を持つことが示された。

フラクタルによる計画図を作成する際には、現況のフラクタル次元として、このフラクタル解析で求めた左右岸の次元の平均 1.018 を用いた。

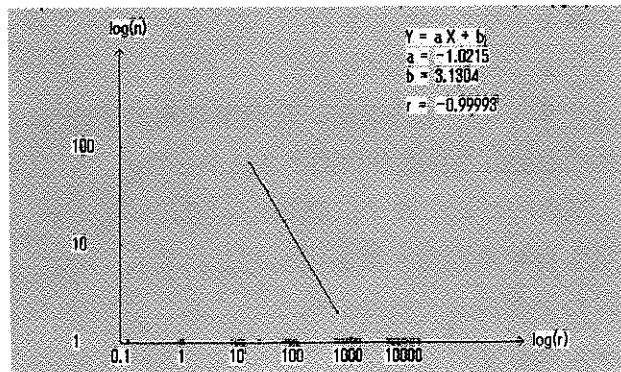
図中、(a) では現況の M 川の様子を鳥瞰的に示した。この河川整備区間についてのフラクタル解析（ディバイダー法¹⁾の利用）の結果が (b) 及び (c) の図である。(b) 及び (c) において、横軸はディバイダーの長さ（単位：m）であり、縦軸はディバイダーの繰り返し数である。また、図中の $-a$ はフラクタル次元を、 r は相関係数を表している。



(a) 現状のM川の鳥瞰図



(b) 左岸のフラクタル解析結果



(c) 右岸のフラクタル解析結果

図-4 現況のM川の状況とフラクタル解析の結果

Fig.4 Current Conditions of RM and Fractal Analysis Results

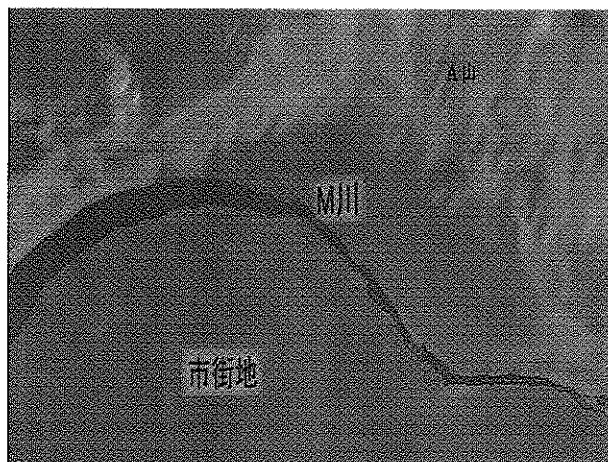
4-2 計画例

河川整備前の現況のフラクタル特性を考慮した河道計画の例を図-5に示す。図-5 (a)は現況の鳥瞰図である。図-5 (b)は、用地等の厳しい制約条件の下、現況のフラクタル次元を用いて作成した平面図、図-5 (c)は緩い制約条件の下、現況のフラクタル次元を用いて作成した平面図、図-5 (d)は、用地等の厳しい制約条件の下、フラクタル次元を現況より小さく設定して作成した平面図である。

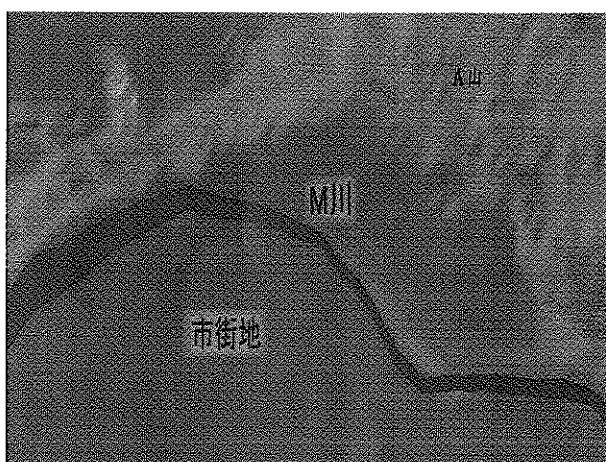
(b)のように現状の河川堤防の位置をほとんど変更しない場合の河道の平面形は、現況とほぼ同じとなっている。また、(c)に示すように制約条件を緩めて、現況の市街地を一部河

道に変更する場合においても、水際線の凹凸形状自体は現況と同じものとなる。これに対して、(d)のように制約条件は(b)と同じものの、フラクタル次元を現況より小さくした場合、現状の水際線の凹凸形状よりも滑らかな低水路形状となる。

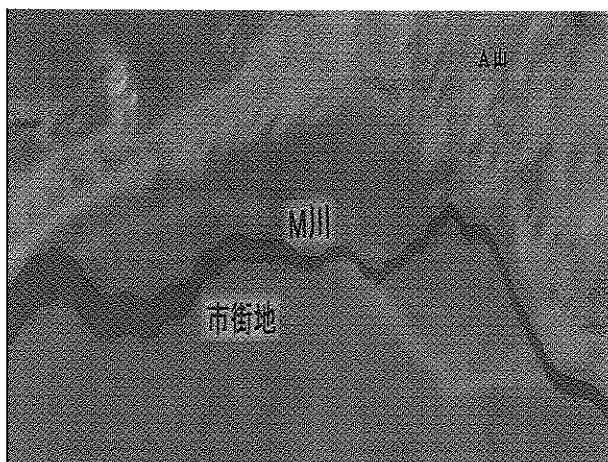
最終案の選定は、M川の自然環境をどのような状態で保全したいのかというコンセプトによるところが大きく、整備内容はこれによって決まってくる。本河道計画例のように、河川整備前の状態を保全することを基本とし、既存の市街地には影響を及ぼさないことを前提として考えた場合には、図-5 (b)のような形状となる。



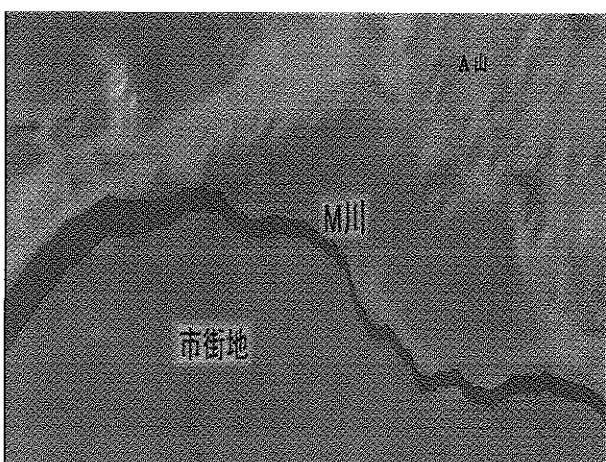
(a) 現況のM川の状況



(b) 制約条件の厳しい場合、現況のフラクタル次元を用いる場合



(c) 制約条件の緩い場合、現況のフラクタル次元を用いる場合



(d) 制約条件の厳しい場合、現況のフラクタル次元より小さい値を用いる場合

図-5 多自然型川づくりの河道計画においてフラクタル手法を用いた例

Fig.5 Examples of Using Fractal Techniques for River channel Planning in Nature-Oriented River

5. おわりに

本稿では、自然な河川に見られるフラクタル性を利用し、フリーハンドのような自然で、かつ、フラクタル次元という意味を持った線を簡単な計算で自動的に引くことができることを明らかにした。

多自然型川づくりの河道計画において、平面図や横断図などを直線の折れ線ではなくフリーハンドで表現する場面が増加している。しかし、これまでには、コンピューターでフリーハンド的な線を表現する場合には、手間のかかることが多かった。

各種の制約条件を与えた上でフラクタル次元を設定すれば、簡単な計算で自動的に平面形、横断形などを作成することができる。コンピューターを用いて数多くの図面を作成する場合には、本研究で開発されたプログラムを用いると非常に効率的にかつ簡単にフリーハンド的な図面を作成することができる。

本稿で述べた自然のフラクタル性を利用した河道計画手法は、多自然型川づくりの河道計画の策定の際の有効なツールとなるものと思われる。

<参考文献>

- 1) 関克巳、佐々木春善、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. 1、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) 関克巳、佐々木春善、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.
- 5) 池内幸司、沼田佳久、大野博之、間宮清：
自然のフラクタル性を活用した河道計画手

法、新しい河川整備・管理の理念とそれを
支援する技術に関するシンポジウム論文

6) 高安秀樹、高安美佐子：フラクタルってな
んだろう、ダイヤモンド社、p. 52、1988.

7) Ohno, H., Y.Otsuka, M.Yasuda &
J.Tanzawa : River landscape design using
fractal concept, Proceeding International
Symposium on Engineering Geology and
The Environment, Vol.1, pp.285-291, 1997