

自然のフラクタル性を活用した河道計画手法

A planning method of river channel considering fractal of nature

池内 幸司¹・沼田 佳久²

Kouji IKEUCHI, Yoshihisa NUMATA

○ 大野 博之³・間宮 清⁴

Hiroyuki OHNO, Kiyoshi MAMIYA

1. はじめに

近年、多自然型川づくりなど、河川本来が持っている良好な自然環境の保全と創出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」づくりを目指すものとしている。

自然をいかした川づくりのためには、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、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、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。

筆者らは、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、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を明らかにした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うという研究が見られるようになってきた³⁾。

筆者らは、こうした自然に見られるフラクタル性を利用すれば、その場の自然環境をうまく反映させられると考え、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した⁴⁾。

本論では、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に、この手法を適用し、良好な結果を得たのでここに報告する。

2. 河川にみるフラクタル

2. 1 河川構成要素にみるフラクタル

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、部分と全体と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、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。それなら、実際の河川にも、フラクタルを用いて良好な自然環境を創出することも可能となるので

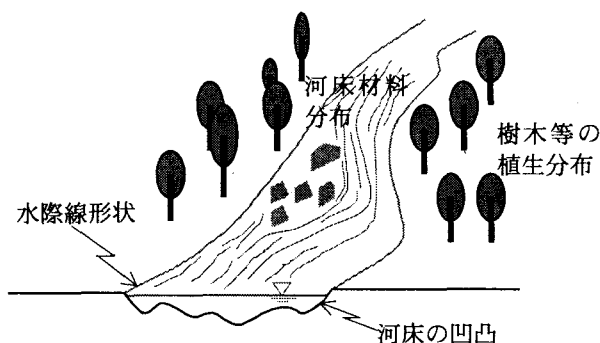
キーワード：自然環境、フラクタル、河道計画

¹ (財)リバーフロント整備センター 研究第二部次長 (〒102-0075 東京都千代田区三番町 3-8)

² (財)リバーフロント整備センター 研究第二部研究員 (同上)

³ 応用地質(株) 技術本部 河川部主任 (〒330-8632 埼玉県大宮市土呂町 2-61-5, ohno-hiro@oyonet.oyo.co.jp)

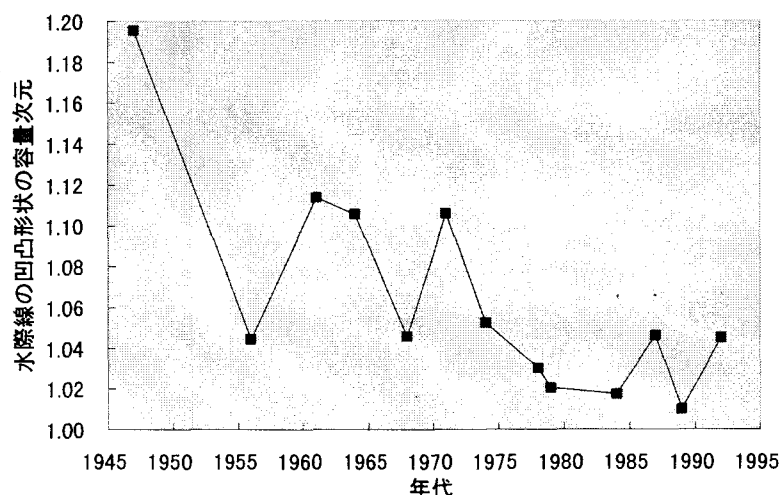
⁴ 応用地質(株) 技術本部 副本部長 (同上)



図－1 フラクタル性のみられる河川の構成要素

2. 2 T川にみ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、河川に加わるインパクト（河川改修、洪水、砂利採取など）に影響され、その影響がフラクタル次元に現れると考えられる。



図－2 T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

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わしている場であり、その次元1.2程度は河道変化に対して自由度の大きな自然環境を表わしている。

このことは、河道形状を決定する場合、どのような自然を保全もしくは回復させるかの基準（例えば、図－2中のどの年代のフラクタル次元を利用するかと言ったような基準）は、設計者等の判断により適宜設定しなければならないことを示している。

3. 川づくりへのフラクタル手法の導入

3. 1 基本的考え方

フラクタル手法を用いることは、川づくりの理念を実際の設計に結びつけるための一つの方法である。フラクタルの導入によって、自然環境というこれまで数量化し難かったものを、設計に必要となる形状や数量として求めることが簡単にできるようになる。そればかりではなく、その場の持つ自然河川の特性を考慮した計画を策定することにもつながる。

はないだろうか。筆者らは、そうした観点で自然河川のフラクタル性に着目した。

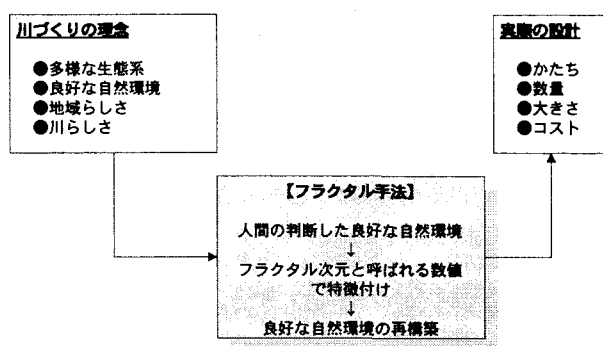
まず、実際にフラクタル性が成り立つものについて検討した¹⁾。

その結果、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。

これをT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、その影響等により大規模な河床低下が起こり、河道が固定化された。このことが、次元を減少させた原因の一つと考えられる。

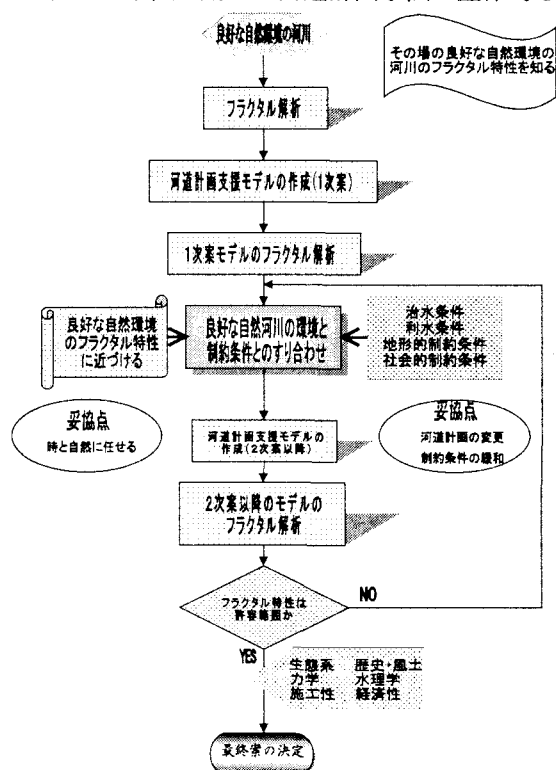
しかしながら、右岸河川敷を中心として良好な自然環境の残った場でもあ



図－３ フラクタル手法の導入の基本的考え方

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－４に示した。



図－４ フラクタルを考慮した計画作りの概略の流れ図

4. 河道計画の事例

4. 1 現在の河川状況

ここでは、ある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保全することを、計画の基本とした。そのために、図－５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。

また、この手法は、島谷(1998)⁵⁾が示した「河川の自然環境保全対象」の中レベル（区間スケール）や小レベル（地先スケール）を対象とし、河道計画や河畔林の復元、河岸、河床処理、ワンドなどのハビタットの復元に利用することができる。

河道計画においては、その平面形や横断形をフラクタル次元という根拠を持たせて設定することができる。また、河床の石の設置などによる“よどみ”の創出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特性を活かすという意味を持たせて設定することができる。

基本的には、まず河川整備対象のフラクタル解析を行い、その場の特性を把握する。次に、その特性をもとにモデルを作成し、計画案を選定する。

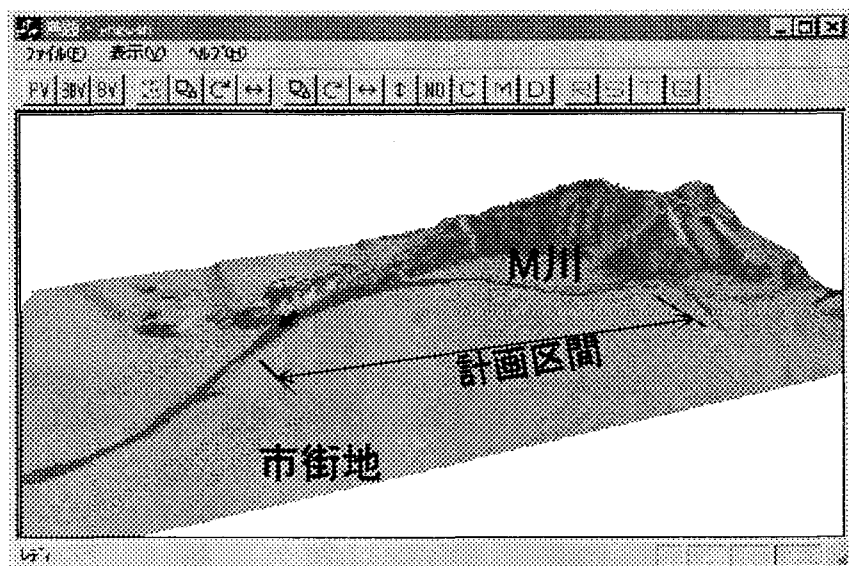
モデルの作成手法については、樹木や河床材料（特に河床の石）の配置や大きさ分布は、関他(1997)⁴⁾に示すようなカスケードモデルを用いるが、低水路の形状（平面形や横断形）は Ohno et al. (1997)⁶⁾が示すようなミッドポイントモデルを用いる。

また、T川の経年的な変化に見られるように、良好な自然環境として、どの時代のフラクタル特性を採用するかは、全体の河道計画などとの関係や地域住民とのコンセンサスの取り方で異なってくる。

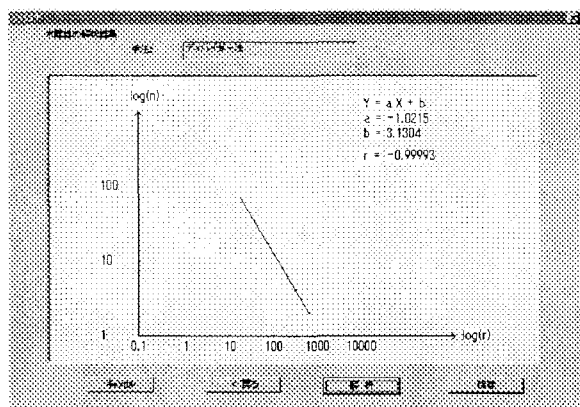
フラクタル手法による河道計画支援のモデルは、同じフラクタル次元から無数のモデルを作成することができる。これに、地形的制約条件、社会的制約条件、治水条件や利水条件が加わり数種類のモデルに限定されてくる。この時、良好な自然のフラクタル特性と各種の制約条件とのすり合わせが行われ、時の流れに任せることや制約条件の緩和を検討することになる。そして、この中から、施工性や経済性も含めた各種の条件を考慮し、設計者等の判断により最終案が選定される。

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－5 (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。

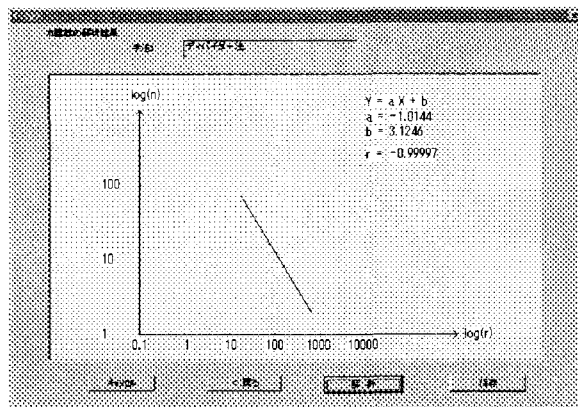
なお、フラクタルによるモデルを作成する際には、現況のフラクタル次元として、このフラクタル解析で求めた左右岸の次元の平均1.018を用いる。



(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－5 現状のM川の状況とフラクタル解析の結果

図中、(a)では現状の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 は相関係数を表わしている。

4. 2 計画案

河川整備前の現況のフラクタル特性を考慮して、いくつかの河川モデルを作成した結果を図－6に示す。

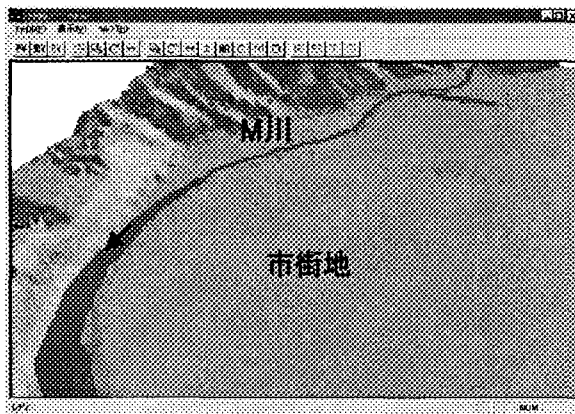
図－6 (a)は現状のM川の鳥瞰図である。図－6 (b)は用地等の厳しい制約条件の下、現況のフラクタル次元を用いて作成したモデル、図－6 (c)は緩い制約条件の下、現況のフラクタル次元を用いて作成したモデル、図－6 (d)は、用地等の厳しい制約条件の下、フラクタル次元を現況より小さく設定して作成したモデルである。

この図－6に見られるように、(b)は現状の河川堤防の位置をほとんど変更しない場合であり、現況と似たような河道の平面形となっている。また、(c)に示すように制約条件をゆるめて、現況の市街地を一部河道に変更

する場合、現状とは異なる河道ではあるが、現況の水際線の凹凸形状と感じの似た低水路が出来上がる。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には、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川の自然環境をどう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。本河道計画にあたっては、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計画であることを前提とするので、最終的には、図-6 (b)のような形状の採用を提案した。

いずれの場合からもわかるように、ここで提案した自然のフラクタル性を活用した河道計画手法によって、フリーハンドのような自然の形（図-6のような平面形はもちろん断面形も）をコンピューターで自動的に且つ簡便に作成できることが示された。



(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-6 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事例(下流から上流を眺めたもの)

5. おわりに

本論では、自然な河川にみられるフラクタル性を利用した河道計画の方法について検討した。その結果、簡便にフリーハンドのような自然な線で、且つ、フラクタル次元という意味を持った数値の裏付けがある線を自動的に引けることが明らかとなった。なお、この線はフラクタル次元によって一義的に決定され、簡単な計算で作成できるものである。従って、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や断面形などを作図することができる。

自然のフラクタル性を活用したこの河道計画手法は、多自然型川づくりの河道を計画する際などの良好な自然環境を保全・創出するための河道計画の策定に寄与するものと思われる。

なお、M川の検討で示した一連のコンピューター操作は、「フラクタル手法を用いた河川計画支援プログラム」(創作年月日登録申請中)を用いて行った。

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) 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.
- 5) 島谷幸宏: 河川・湖沼の自然環境保全技術に関する現状と課題, 土木学会誌, Vol. 83, pp. 40-43, 1998.
- 6) 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