

6 溪流の多様性を表現する方法について

放送大学 教養学部 ○山下 晃
東京農工大学 農学部 中村 浩之

1. はじめに

『生物多様性条約』に端を発する保全生物学的な学術用語が一般に浸透し、幅広い分野で「多様性」が用いられている。砂防事業が「溪流の多様性」を理念として提示する場合、生物種や瀬-淵構造など、非常に広範な分野を包括するが、具体性に乏しいが故、定性的な議論に終止してしまう傾向にある。

ここでは、自然の溪流が持つ多様性のうち地形的な複雑さを計る手法に関する検討を行い、「多様性」の一側面を定量的に、あるいはパターン化して表現する方法をフラクタルに着目して考察した。

2. フラクタル解析

fractal¹⁾は自然界に存在する海岸線や積乱雲などの特徴的な長さを持たない図形など、視度を変えることから生じる連続かつ微分不可能という数学的に異常な姿を、自然界における正常な状態として捉えることから出発した考え方である。河川では景観設計支援の手法として取り入れた事例²⁾があり、砂防の研究としても構造物の表面パターンに対する解析を試みた研究³⁾などが行われた実績がある。

2.1 水系網のフラクタル次元

自然界の複雑な形という観点から、フラクタルの手法を山地水系網に用いた検討を行った。複雑さを表す指標であるフラクタル次元 (D) は非整数値をとり、流路網のような一次元の線分からなる図形の場合、

$$1.00 \leq D \leq 2.00 \quad (\text{直線一本} \rightarrow D=1, \text{平面を埋め尽くす (ペアノ) 曲線} \rightarrow D=2)$$

の範囲を取るようになる。Dの計測は、正方形の粗視化度合いを変える方法⁴⁾によって計測した。

図-1に計測手法の概念図、表-1にサンプル溪流計測結果の一部を示す。

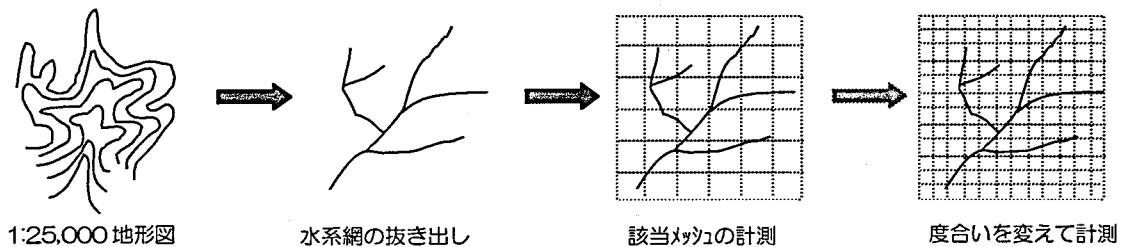


図-1 フラクタル次元 (D) の計測方法

表-1 サンプル溪流の諸元とフラクタル次元

水系	溪流名	流域面積 (A) (km ²)	総流路長 (L) (km)	水系密度 (L/A)	分岐 (N)	水流頻度 (N/A)	フラクタル次元 (D)
釜無川	赤藪沢	7.07	11.27	1.59	10	1.41	1.18
	石空南沢	2.72	7.47	2.75	9	3.31	1.29
	トノトコ沢	6.05	9.27	1.53	8	1.32	1.20
姫川	湯ノ入沢	7.36	5.86	0.80	3	0.41	1.05
	蒲原沢	3.70	5.03	1.36	3	0.81	1.14
大谷川	稻荷川上流	6.65	13.68	2.06	15	2.26	1.22
	田母沢	3.42	8.57	2.51	4	1.17	1.28
多摩川	海沢	8.61	23.82	2.77	31	3.60	1.35
	小袖川	6.37	11.38	1.79	9	1.41	1.10
	中沢川	2.31	12.13	5.25	30	12.99	1.34
渡良瀬川	松木川	30.60	46.76	1.53	43	1.41	1.26

L: 1次谷以上の流路長合計 N: 支川合流点の数

計測した流域のメッシュ数 (N(r))、メッシュ間隔 (r) の関係において

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (\text{指数Dがフラクタル次元、rは125, 250, 500, 750, 1000mの5種})$$

が、R²値 9.9前後の高い値を示し、山地水系網のフラクタル性が確かめられた。河川のフラクタル次元 (山間の低次谷を含まない) は測定の実例があり、大凡Dが 1.1~1.3に収まるもの⁴⁾とされている。

今回の計測からは、Dが1.1~1.4程度に収束した。従って、山間溪流に限定してスケールリングを変えても、水系網のフラクタル性やDの範囲は変わらないと考えられる。

一方、フラクタル次元が表す流域の特性は、その定義から2次元的な流路の広がり・複雑さに関係している訳であるが、これを裏付けるものとして「D-水系密度」の関係を図-2に示す。

同一流域(地質)の結果だけで単相関を取ると、R²が0.9以上を示すケースも多い。今回の選定地域は直轄砂防が行われている比較的荒廃した(花崗岩)地域が多く、これに多摩川水系(堆積岩類)を加えると、各種の相関が不安定になった為、地域的な差に関する検討も必要である。

また、地すべりや地質的な要因で、谷地形の発達が劣っている場合、とくに一次谷の発達が悪いとDが低くなる傾向があるように思われる。

今後はデジタル情報として水系網を取り込み、広範なrの条件下でDを算定するシステムを検討したい。

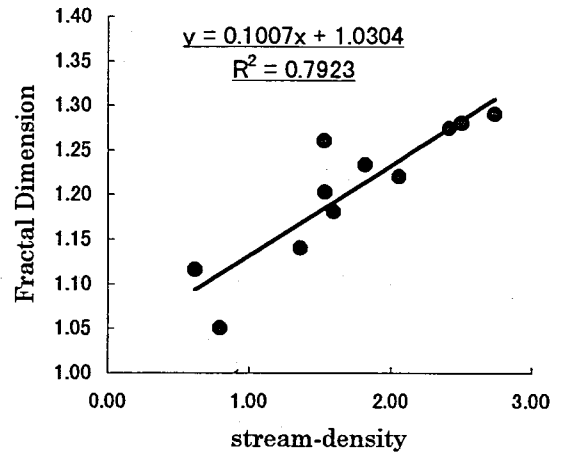


図-2 D-水系密度の関係

3. 位相 (Topology) 解析との比較

流路の平面形を比較的マイクロに捉えた場合を想定し、位相数学のグラフ理論的な手法で網状流路を解析した手法⁵⁾を砂防流路に適用した。

図-3は、同一流路区間(2時期)の水みちを航空写真から判読し、節点(node)を加えたものである。

この流路では、26年間の隔たりの間に護岸や落差工の整備が進み、常水路の形状が大きく変化している。

しかし、この2ケースに対して節点や流路数などによって決定する3つの指標(図参照)を比較すると、ほとんど同じ値をとる結果を得た。

これに対してフラクタル図形としての解析を試みた場合、

①1965 → 1.11

②1991 → 1.49

というように水みちが分岐し広がる様子(網状流路化)を定量的に表すことが可能となった。

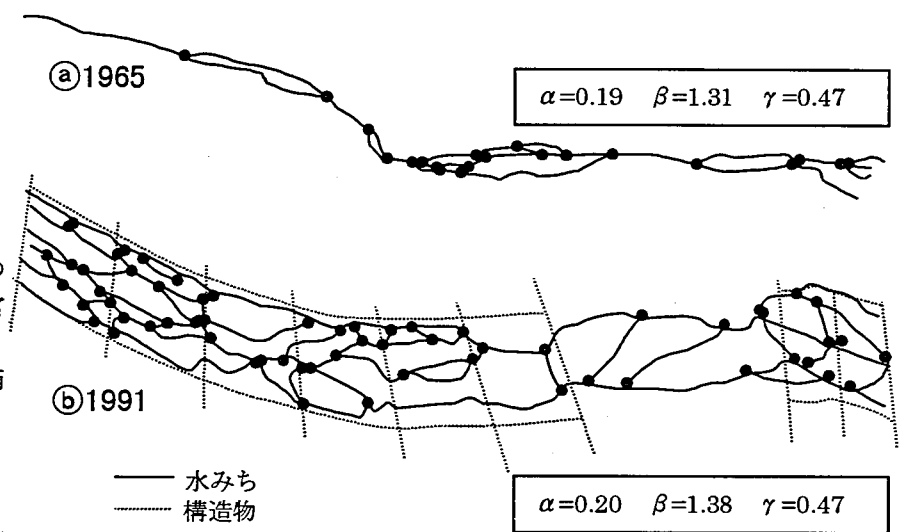


図-3 網状流路の平面形

4. まとめ

今回の検討結果から、主に流路の平面形に対する特性を数量化する手法として、フラクタル次元を用いた解析の有効性を示すことが出来た。河川地形学的な定義量(Horton則など)や地質特性などの要因を包括した指標値として期待される。また、ランダムや統計的手法によってのみモデル化することができた(網状)流路のパターンについてもフラクタルの概念を導入することで、新たな表現手法を得ることが出来そうである。と同時に、次元計測につきまとう誤差を客観的に補う信頼区間のような定義を明確にする必要もある。

今後は、流路断面形状や河道構成材料分布の特性など、地点に関する情報のフラクタル性を検討し、自然河道と人工河道の違いを数値として表現する方法を検討し、溪流の多様性を具象化してみたい。

本発表は、(財)とうきゅう環境浄化財団による『多摩川およびその流域の環境浄化に関する研究』助成を受けて行った研究の一部である。

- 1) B. Mandelbrot (広中平祐訳) : フラクタル幾何学. 日経サイエンス社
- 2) 関 克己ら : フラクタルを用いた河川設計の支援. 土木学会論文集 No. 555/IV-34, 51-60, 1997. 1
- 3) 久保田哲也 : 砂防施設壁面パターン視覚的効果. 砂防学会誌 Vol. 50, No. 5, pp. 21-25, 1998
- 4) フラクタル : 高安秀樹. 朝倉書店 p. 34-35
- 5) Howardら (解説は「河川地形学」、高山茂美)