

II-33

流域地形のフラクタル構造に関する研究

北海道大学 正 員 藤田 睦博
北海道大学工学部 学生員 住吉 丈紀
秋田工業高等専門学校 正 員 櫻 国夫

1. はじめに

河道網は、フラクタル構造を持っていると言われている。フラクタル構造はそのフラクタル次元で代表される。フラクタル次元が巨視的に流域の特性を記述しているものとする、フラクタル次元と流域の流出特性には理論的關係があるはずである。本研究は、このような観点からその基礎となる流域のフラクタル次元と河道網構造の関連について考察したものである。特に、用いる地形図の縮尺とフラクタル次元について解析した。さらに、国土地理院で整備されている国土数値情報より得られる模擬河道網についてもフラクタル次元を求め、河道網のフラクタル構造からみた模擬河道網の性質を吟味した。

2. フラクタル次元

フラクタル次元の定義には多くの種類があるが、ここでは、粗視化の度合いを変える方法によりフラクタル次元を求める。粗視化とは、簡単に言えば、フラクタル図形を直線・円・正方形・立方体などの単純な図形で近似してやる手法である。ここでは、コンピューターでの計算が容易な正方形を用いる。

河道網を含む平面を一辺の長さ h の正方形に分割し、(この h を粗視化の度合いとする。) この時に僅かでも河道を含んでいる正方形の数 $N(h)$ を数える。 h を次第に変化させていくと、当然 $N(h)$ も変化する。

この時、 h と $N(h)$ の間に、

$$N(h) \propto h^{-D} \quad \dots \dots (1)$$

h : 粗視化の度合い $N(h)$: 被覆正方形の数

という関係があれば、その河道網のフラクタル次元は D 次元であると言える。例えば、直線にこの方法を適用するなら、 $N(h) \propto h^{-1}$ となるはずである。

実際には、 h と $N(h)$ による次の定義を用いる。

$$D = - \lg N(h) / \lg h \quad \dots \dots (2)$$

即ち、 h 及び $N(h)$ を両対数上にプロットし、その傾きを求めることで、フラクタル次元を求める事ができる。

3. フラクタル次元の計算結果

ここでは国土地理院発行の3種類の縮尺の地形図(1/2.5万、1/5万、1/20万)を用いて、対象とする流域内の河道網をデジタイザーで読み取った。対象とした流域は、豊平峡ダム(流域面積 133km²)、定山溪ダム(流域面積 103km²)、漁川ダム(流域面積 113km²)、夕張ダム(流域面積 434km²)の4流域である。図-1~図-4にそれぞれのダム流域について、各スケールごとの h と $N(h)$ の関係を示す。これを見ると、各縮尺とも、 h の変化に伴い、 $N(h)$ は両対数紙上で直線的に変化している。表-1は、図より求めた $h-N(h)$ 図の回帰直線の傾きの絶対値(フラクタル次元)を示している。その値は、約1.1~1.3程度になっている。このことは、粗視化する正方形を小さくするに従ってそれまで正方形の数に影

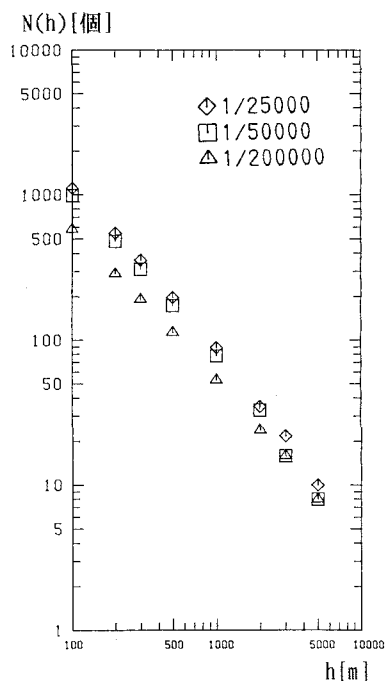


図-1 粗視化の度合いと被覆する正方形の数 (豊平峡ダム)

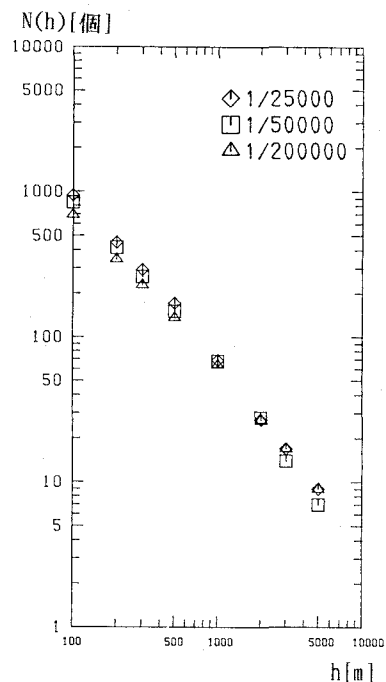


図-2 粗視化の度合いと被覆する正方形の数 (定山溪ダム)

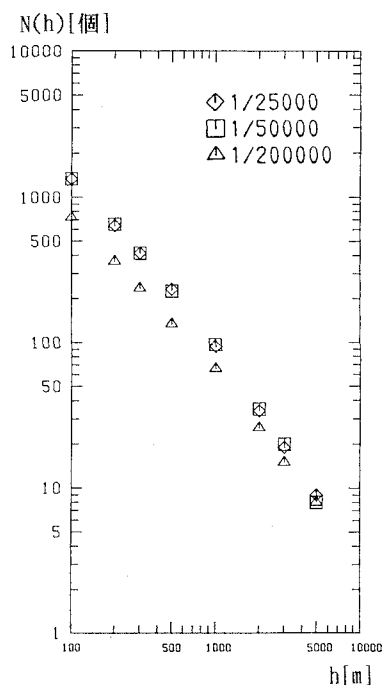


図-3 粗視化の度合いと被覆する正方形の数 (漁川ダム)

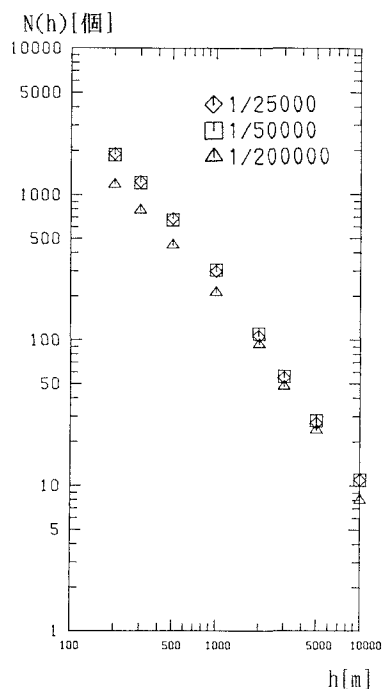


図-4 粗視化の度合いと被覆する正方形の数 (夕張ダム)

		1/25000	1/50000	1/200000
定山溪 ダム	D	1.206	1.225	1.112
	MAG	33	23	12
漁川 ダム	D	1.289	1.299	1.158
	MAG	42	42	11
豊平峡 ダム	D	1.201	1.231	1.088
	MAG	33	21	7
夕張 ダム	D	1.342	1.332	1.259
	MAG	91	90	31

表-1 地形図の縮尺とフラクタル次元 (D),
マグニチュード (MAG)

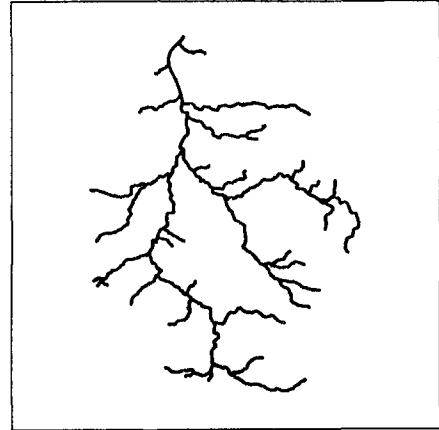


図-5 豊平峡ダムの河道網図(1/25,000)

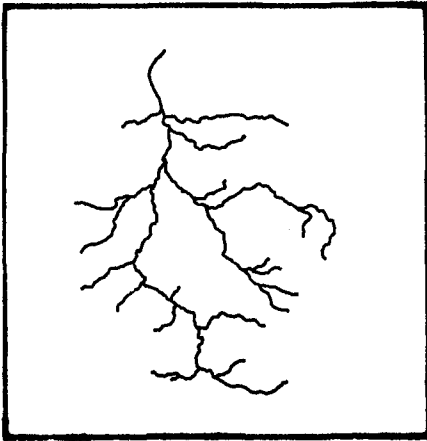


図-6 豊平峡ダムの河道網図(1/50,000)

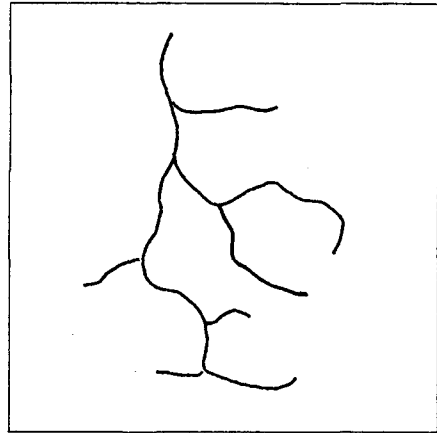


図-7 豊平峡ダムの河道網図(1/200,000)

響の無かった小規模な曲がりくねりが現れてくることを、言い替えばフラクタル構造を示している。

表-1によると、縮尺が小さくなるにつれてフラクタル次元が減少している。1/25,000、1/50,000地形図では、その河道網に大きな相違が認められない。図-5, 6, 7は、豊平峡ダム流域について各縮尺の河道網を示している。1/25,000、1/50,000地形図に関して、両者の河道網はほとんど同一である。

入手可能な地形図の縮尺には限りがあるので、次に、国土地理院で整備している国土数値情報の利用を考えた。250 (m)メッシュデータを用いて、適当にしきい値を設定して模擬河道網を作製した。

豊平峡ダムおよび定山溪ダムの2流域を対象に、しきい値CVを変化させて模擬河道網のフラクタル次元を求めた。図-8、図-9はCV=5からCV=50までのhとN(h)の関係を示している。図-1～図-4の場合と同様に両対数紙上で直線になっている。表-2は図より求めたフラクタル次元を示している。しきい値が大きくなるにともない小縮尺の地形図を利用したことを意味するので、しきい値の増大にともないフラクタル次元が小さくなっている。

しきい値と地形図の縮尺には関係があるが、必ずしも定量的に評価できないので、表-1, 2に河道網のマグニチュード(河道網の水源の数)を介して間接的に両者の関係を考えた。

CV	豊平峡ダム		定山溪ダム	
	D	MAG	D	MAG
5	1.246	122	1.245	102
10	1.174	60	1.153	43
15	1.130	42	1.093	30
20	1.091	32	1.095	23
25	1.068	26	1.093	18
30	1.076	24	1.067	16
35	1.062	22	1.058	15
40	1.048	19	1.054	15
45	1.070	18	1.042	15
50	1.061	15	1.042	13

表-2 しきい値とフラクタル次元 (D) ,
マグニチュード (MAG)

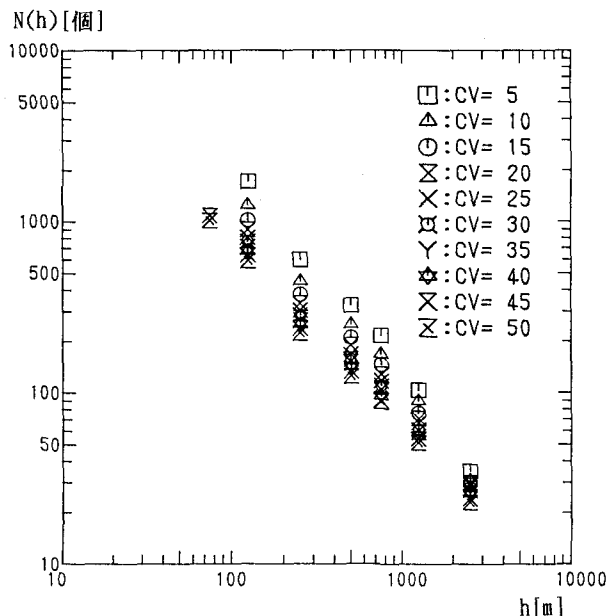


図-8 粗視化の度合いと被覆する正方形の数
(豊平峡ダム)

4. フラクタル次元と河川密度・分岐比

従来、河道網の複雑さを表す量としては、河川密度や分岐比が用いられている。この両者とフラクタル次元との関係について比較検討した。

図-10は、豊平峡ダム流域のフラクタル次元と河川密度の関係を示したものである。地形図と国土数値情報より得られたデータをプロットしている。図-11は、定山溪ダム流域について同様なことを行ったものである。両流域とも河川密度の増大にともない、フラクタル次元が増大している。しかし、地形図と国土数値情報ではその傾向が大きく異なっている。すなわち、地形図より得られたフラクタル次元が、大きな値を取っている。国土数値情報より模擬河道網を作成する際に、落水線の方角を8方向に限定した。従って、実河道網で細かく蛇行している河道でも直線河道になる傾向がある。河道の直線化がフラクタル次元に大きく影響しているものと思われる。

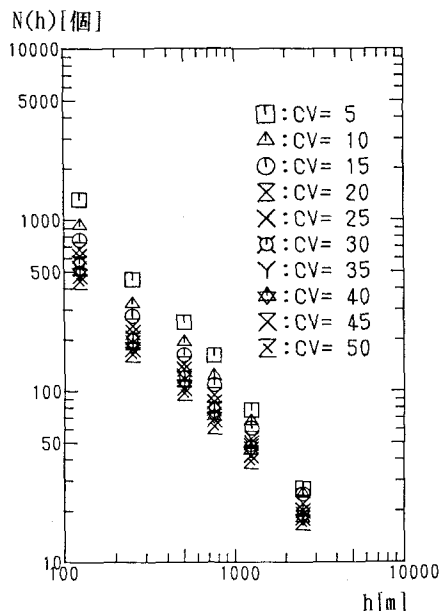


図-9 粗視化の度合いと被覆する正方形の数
(定山溪ダム)

つぎに、フラクタル次元と分岐比の関係についての比較をおこなった。分岐比 R_b は、オーダー u の河道の数 N_u により、 $R_b = N_{u+1} / N_u$ とあらわされ、各オーダー間の分岐比の値は必ずしも一致しない。ここでは、これらの平均値を使用した 図-12 および 図-13 は、それぞれ豊平峡ダム流域と定山溪ダム流域について、国土数値情報を用いた CV を 5 から 50 まで変化させたときのフラクタル次元と分岐比の関係図である。また、図-14 は地形図より得たフラクタル次元と分岐比の関係図である。分岐比の場合には、河川密度と異なりフラクタル次元との間の関係は明瞭ではない。

5. 結 論

地形図、国土数値情報より得られた河道網は、フラクタル図形としての特徴を示している。しかしながら、両者のフラクタル次元には相違が認められた。地形図の河道は、平水時流水幅 1.5 m 以上、図上長 1 cm (1/1 万地形図) あるいは 2 cm (1/5 万地形図) 以上の河道を対象にしている。従って、上流域河道は、かなり省略されている可能性がある。一方、国土数値情報より得られる模擬河道では、幅や長さとは無関係に河道を定めているが、落水線の方角を 8 方向に限定している。いずれの場合も、河道網を作成する際に一種のランピングを行っている。このランピングの効果がフラクタル次元に及ぼす影響は、国土数値情報より得られる模擬河道網に、より大きく表れているものと思われる。

【参考文献】 高安秀樹、『フラクタル』、朝倉書店、1986。

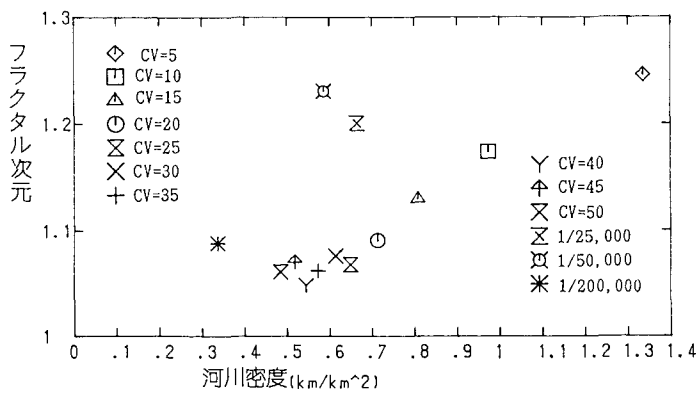


図-10 豊平峡ダム流域におけるフラクタル次元と河川密度

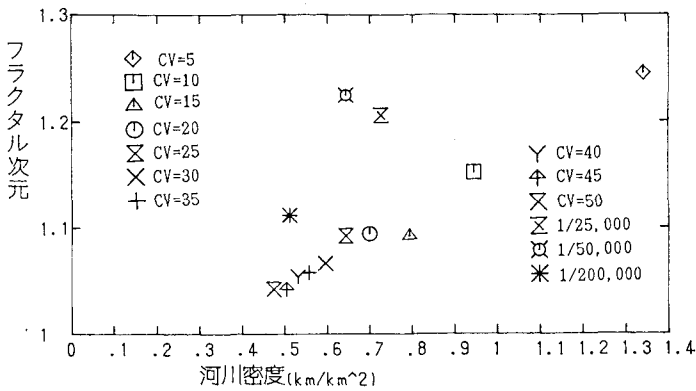


図-11 定山溪ダム流域におけるフラクタル次元と河川密度

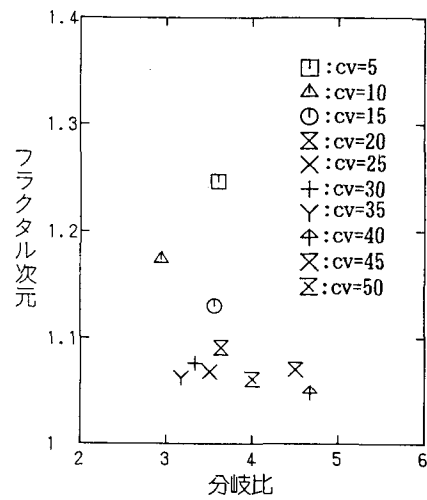


図-12 フラクタル次元と分岐比の関係 (豊平峡ダム、数値情報)

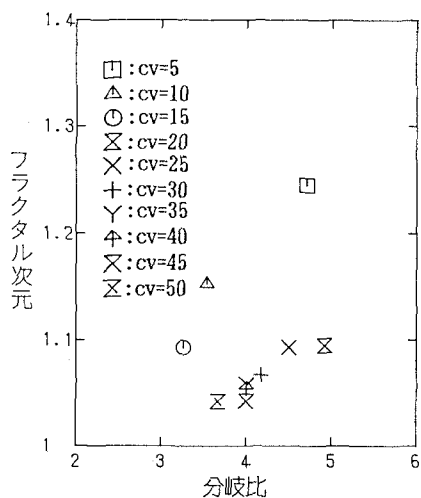


図-13 フラクタル次元と分岐比の関係
(定山溪ダム、数値情報)

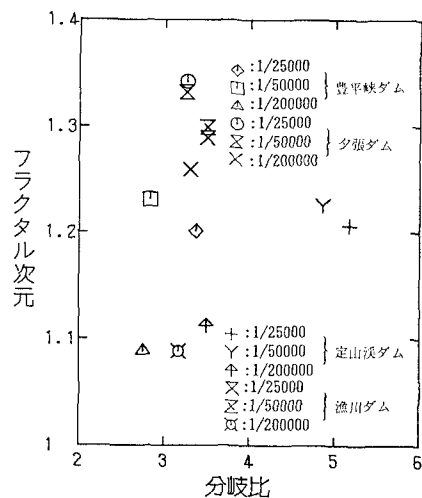


図-14 フラクタル次元と分岐比の関係
(地形図の4流域)

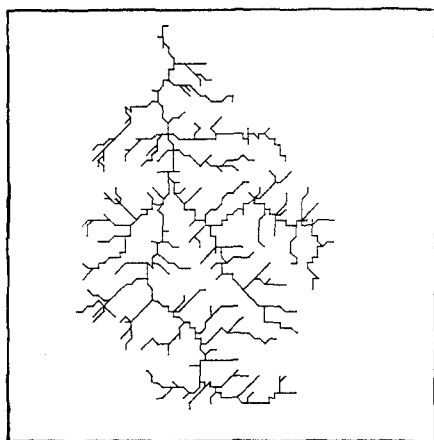


図-15 豊平峡ダムの河道網図 (CV=5)

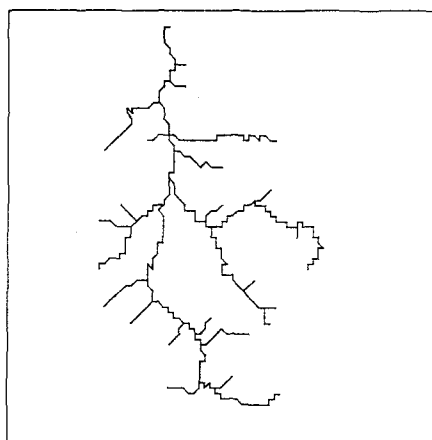


図-16 豊平峡ダムの河道網図 (CV=30)

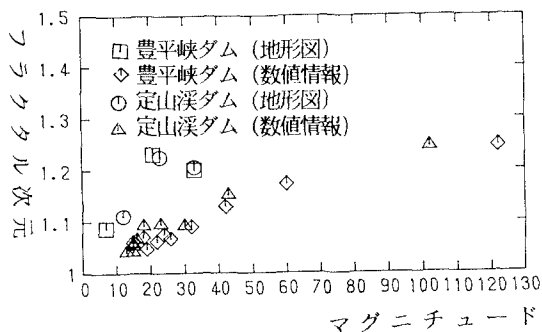


図-17 豊平峡ダム流域と定山溪ダム流域におけるフラクタル次元とマグニチュード