

# 河道フラクタル構造から見た流域特性について

北海道大学工学部 学生員 田中 敦  
 北海道大学工学部 正 員 藤田 睦博  
 北海道大学工学部 正 員 清水 康行  
 北海道大学工学部 正 員 道口 敏幸

## 1. はじめに

流出解析において、流出現象発生場である流域の特性を把握することは重要な課題である。流域特性は、数値的特性（勾配、面積）と質的特性（地質、地被物、植生）に大別され、実際にはそれらが複雑に関連しているものと考えられる。著者ら<sup>1)・2)</sup>は、流域内の河道網形状が前出した複雑に絡み合った特性を総合的に表すものと考え、河道網理論を用いた報告を既に行っている。また、河道網は一般にフラクタル構造を示し、フラクタル構造を数値的に表したフラクタル次元を用いることによっても流域特性を表すことが可能であると考えられる。河道網フラクタル次元は流域の規模に依存しないことや、河道網理論で必要であったサブ流域毎の面積抽出が必要ないことなど多くの利点がある。本報告はこのような観点から、河道網フラクタル次元と流域特性について考察を行ったものである。

## 2. 河道網フラクタル次元

フラクタル次元は、Mandelbrot<sup>3)</sup>により導入され、図形の自己相似性を数量化したものである。もし、河道が単純な一本の直線であればフラクタル次元は1であり、仮に平面上全てが河道として表されるとすればフラクタル次元は2である。実際の河道網のフラクタル次元は、1と2の間の非整数値を取ることは明かである。

フラクタル次元の求め方は、自己相似のパターンに対しいくつかの方法が用いられているが、ここでは計算機で取扱い易い「Box Counting」法を用いる。この手法は解析対象となる河道網を含む平面を、辺の長さhの正方形(Box)に分割し、その正方形中を河道が通過している個数N(h)を数える(Counting)方法で、粗視化の度合いである正方形の大きさとその時の個数の関係が次式のように表される時、この河道網のフラクタル次元はDと表される。

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

h: 正方形の辺長、N(h): 河道通過正方形の個数  
 つまり、ボックスのサイズを徐々に小さくする事で河道網の全体構造と細部構造との間の相似性を表す数値と言える。

実際には、次の定義を用いる。

$$D = -\log \{N(h)\} / \log \{h\} \dots\dots(2)$$

即ち、両対数紙上で横軸にh、縦軸にN(h)をプロットし、その傾き-Dの値がフラクタル次元Dとなる。



図-1 解析対象流域位置

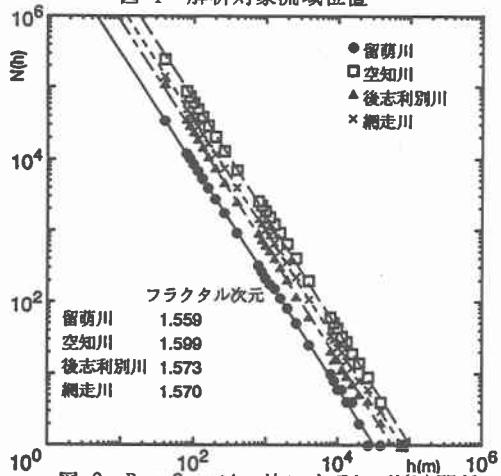


図-2 Box Counting法によるh~N(h)関係

Characteristics of River Basin based on Fractal Structure

By Atsushi TANAKA and Mutsuhiro FUJITA and Yasuyuki SHIMIZU and Toshiyuki MICHIGUCHI

### 3. 道内1級河川のフラクタル次元

河道網データとして、既に全国的に整備されている国土数値情報の流路位置情報(ks-272)を利用する。解析した流域は、図-1に示す北海道内の全1級河川流域を対象としており、気象条件や地質・土壌など異なる流域全てを用いた。図-2に数例の流域について、前出のhとN(h)関係を示した。これを見ると、両対数紙上で直線的に変化しており、これらの河道網がフラクタル構造を有することを意味している。しかし、計算を行った流域の中で、図-3に示される忠別川だけは、途中でフラクタル次元(勾配)の変曲点が見られ、流域全体河道網がフラクタル構造を有していない河道といえる。この原因が他の流域に比べ流域幅が狭い等の形状に起因するものか、流域内の表層土壌(岩石地の支配率が他流域に比べ多い)によるかは更に検討が必要と考えられる。表-1に求められた各流域フラクタル次元を示す。

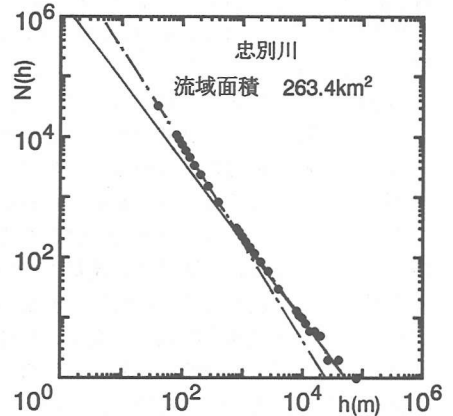


図-3 忠別川のh~N(h)関係

河川名	観測所名	フラクタル次元	流域面積 (Km <sup>2</sup> )
天塩川	九十九橋	1.544	716.7
剣淵川	土別	1.524	612.4
名寄川	真敷別	1.543	695.2
留萌川	大和田	1.559	234.1
石狩川	中愛別	1.561	1082.5
美瑛川	西神楽	1.530	645.0
雨竜川	多度志	1.507	996.0
空知川	赤平	1.599	2531.1
夕張川	清幌橋	1.558	1115.7
豊平川	雁来	1.533	650.6
尻別川	名駒	1.606	1402.2
後志利別川	今金	1.573	361.4
沙流川	平取	1.492	1253.0
鶴川	鶴川	1.489	1228.0
十勝川	帯広	1.606	2529.3
音更川	音更	1.512	707.9
札内川	南帯橋	1.481	608.1
利別川	利別	1.575	2715.2
網走川	本郷	1.570	1120.4
常呂川	北見	1.571	1394.2
湧別川	開盛	1.527	1334.8
渚滑川	上渚滑	1.588	1050.6

表-1 解析流域名とフラクタル次元

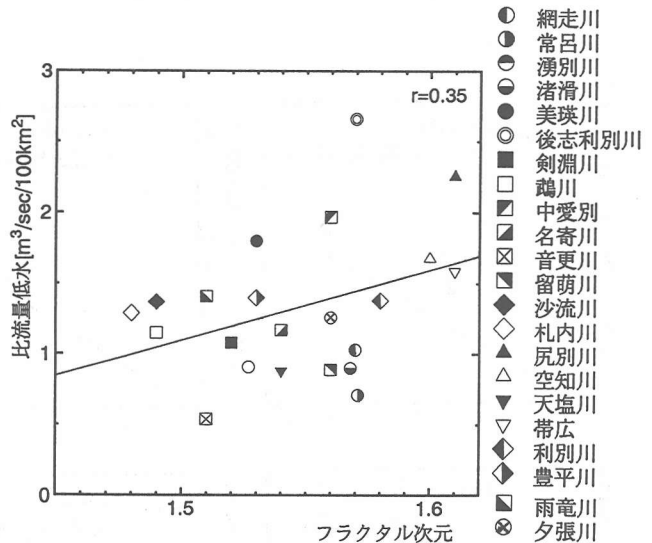


図-4 北海道内一括のフラクタルと流量の関係

### 4. 河道網フラクタル次元と流況

河道網による流域特性として前出した各流域フラクタル次元と流出量の関係について検討する。流域内河道網形成が長期にわたる降雨流出現象に依存性が高いものと考え、ここでは、流量観測所開設以後の比流量データの平均値と河道網フラクタル次元の関係を調べる。流域内に複数の流量観測所がある場合は図-1に示されるように各流域の最下流に位置する

種別	定義
豊水比流量	当年内を通じ95日はこれを下らない比流量
平水比流量	当年内を通じ185日はこれを下らない比流量
低水比流量	当年内を通じ275日はこれを下らない比流量
渇水比流量	当年内を通じ355日はこれを下らない比流量
年平均比流量	当日日比流量の総計を当日日数で除した比流量

表-2 各種比流量の定義

観測所データを用いた。流量種別の豊水、平水、低水、渇水、年平均の各比流量( $m^3/sec/100km^2$ )の定義は表-2に示される。図-4は、表-1に示した全流域のフラクタル次元と、各流域の低水比流量の関係を示したもので、相関係数は $r=0.35$ となる。フラクタル次元が大きくなると共に流量も増加する傾向は認められるが、ばらつきがかなり大きい。図-5は、降雪の影響の少ない十勝水系河川及びオホーツク地域4川の流域について、フラクタル次元と各比流量の関係を示したものである。札内川を除くと、全道一括の場合に比べ明確な相関が認められる。降雪のある流域を分離すると相関が高くなることは、この地域では積雪による流域内貯留水量が数カ月にわたる融雪出水を生じさせることが毎年安定しており、表-2の定義流量に大きく寄与しているものと考えられる。本解析手法では長期間の融雪出水が生じる流域と短期間で終了する流域を総合的に取り扱うことはできない。図-5で各流量に対し、フラクタル次元との相関係数を図中に記してあるが、これを見ると渇水流量が最も高く、逆に豊水流量が最も低くなっており、年間を通じて長期間維持される流量ほど河道網フラクタル次元との相関が高く、その流量が大きい流域ほどその河道網フラクタルは大きくなる。これは前述した長期間の流量による河道網形成が妥当であることを示すものと考えられる。本手法で得られたフラクタル次元と流量の関係は、河道網理論によって得られた各リンク(サブ流域)面積が小さくなるとその流域の比流量が減少するという結果と、フラクタル次元が流域の複雑さを示すものと考え合わせると今回の結果とは同等であるものと言える。札内川については他流域と比較して、フラクタル次元は低い各比流量が大きくなる特異な流域である。図-6に示される各流域内の表層土壌分布状況から札内川流域は岩石地が多いことが分かる。岩石地の場合、河道が直線的になりフラクタル次元が低下することが予想されるが、岩石地流域の流量が大きくなることについては、他の手法を用いた解析など今後検討が必要と考えられる。

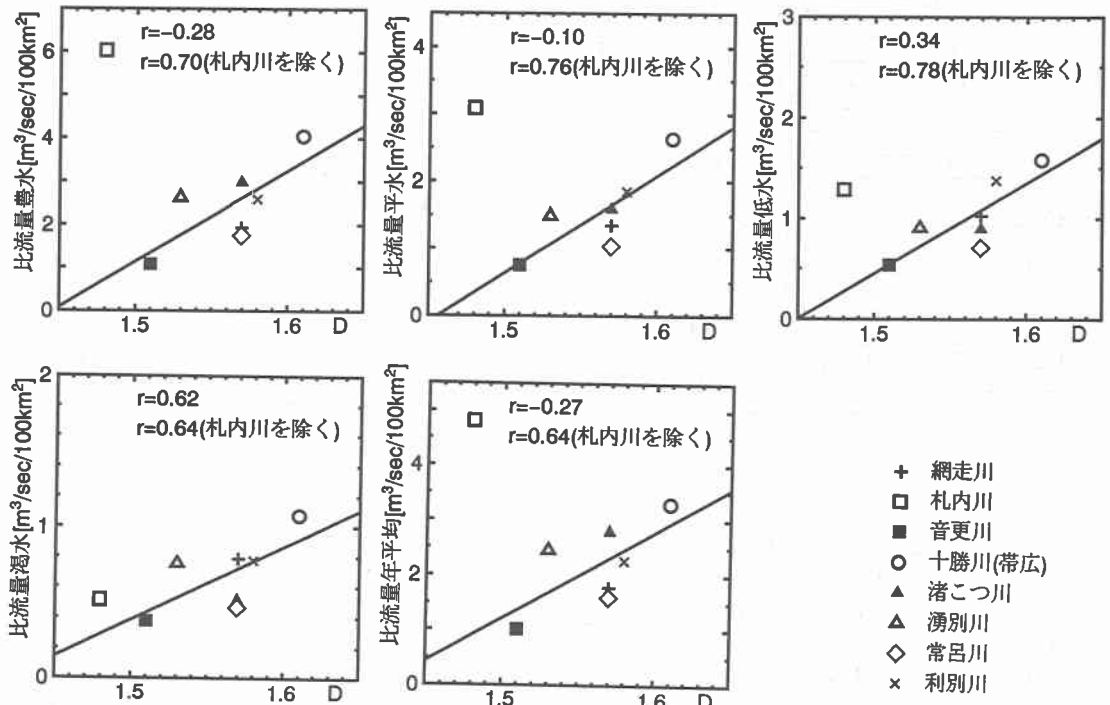


図-5 十勝川水系及びオホーツク地域4川のフラクタル次元と各種流量との関係

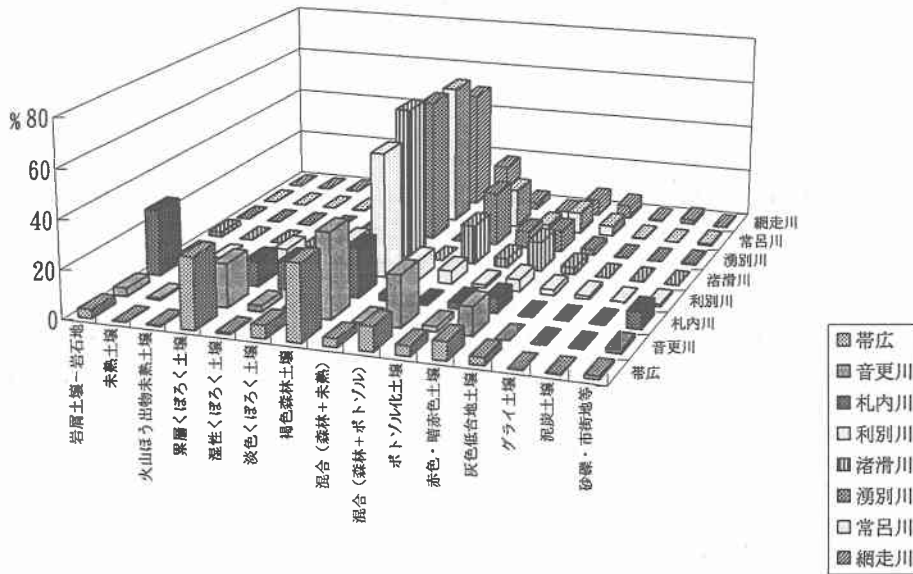


図-6 流域内表層土壌分布状況図

## 5. おわりに

国土数値情報の流路位置より得られた北海道内の河道網は、ほとんどの流域でフラクタル構造を示すことを明らかにした。しかし、忠別川のように本手法ではフラクタル構造を有しない流域の存在や、札内川のようにフラクタル構造は示すが流出特性が特異な流域もあることが分かった。本来、河道網形成の要因として流域内勾配（河道勾配）が非常に大きいことが予想され、今後、立方体を用いたBox Counting法により、標高情報を加えた三次元フラクタルによる検討が急務となる。

フラクタル次元と流量の関係では、河道網フラクタル次元を求めるだけで年間比流量の推定が可能であることを明らかにした。このことは、水文情報の乏しい未開発地域においても、航空写真や衛星写真から抽出した河道網により、ある程度の流量予測ができると考えられ、有益な手法であると言える。

今後、短期流出量との関係や北海道以外の地域での解析を行う予定である。

## 【参考文献】

- 1) 館谷・藤田・道口：国土数値情報を用いた流域特性の評価について、水文・水資源学会講演要旨集、1989
- 2) 館谷・藤田・道口：流出解析における国土数値情報の利用について、第8回日本自然災害学会学術講演会、1989
- 3) Mandelbrot, B. B：フラクタル幾何学、広中平祐訳、日経サイエンス社、1985
- 4) 高安秀樹：フラクタル、朝倉書店、1986
- 5) 藤田・道口・北條他：定山溪ダム流域における小河川のフラクタル構造、平成4年度土木学会北海道支部論文報告集、1993