

II-25

定山溪ダム流域における小河川のフラクタル構造

北海道大学	正 員	藤田 睦博
同 上	正 員	道口 敏幸
北海道開発局	正 員	北條 紘次
同 上	正 員	竹本 典道
北海道大学工学部	学生員	Abbas Ras

1.はじめに 本報告は、定山溪ダム流域内小河川について、新たに10mメッシュ標高値データを独自に作成し、これをもとにした模擬河道網とフラクタル次元との関係について考察したものである。特に、ここでは河道勾配を考慮した三次元空間河道網フラクタルを求めるとともに、標高データのメッシュサイズの問題や模擬河道網でのフラクタル次元を求める手法について検討を加えている。

2.模擬河道網とフラクタル 河道網におけるフラクタルは、その河道網内の「自己相似性」を表す非整数値のフラクタル次元によって表される。河道網のように空間的に配置される図形に対しては、基準化された大きさを持つ箱(Box)で全空間を覆い、その箱の代表値と箱の内部に河道が存在する個数を数える「Box-Counting」法が用いられる。ボックスのサイズを徐々に小さくする事で、図形のもつ微細構造が把握でき、前述した全体構造と細部構造との「自己相似性」を表現しようとするもので、この関係は次式で表現される。

$N(\delta) \sim \delta^{-D}$ (1) ここに δ :ボックスサイズ、 N :カウント数、 D :フラクタル次元

実際には両対数紙上に横軸にボックスサイズ、縦軸に河道通過ボックス数をプロットし、その勾配をもってフラクタル次元を求める。

メッシュ標高値を用いて模擬河道網を作成する場合、周りの8点の内最も標高の低い点に落水線(単位河道)を描いて、流域内の河道網を作成する。このようにして、作成された河道網は単位河道が $\pi/4$ の整数倍の方向のみとなり、先のボックスを当てはめようとする、河道がボックスの辺を通過し、カウントされない部分が生じる。図-2.1は河道網の最も単純な形状に対し、「Box-Counting」法を適用した例であり、河道方向 $3\pi/2$ の垂直部分でカウントされない河道が生じている。そこで、ここでは図-2.2に示すように予め河道網全体を θ 回転させることによって全ての河道をボックスで覆う手法を導入した。

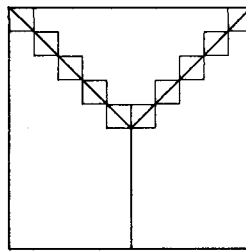


図-2.1 無回転2D

Box-Counting

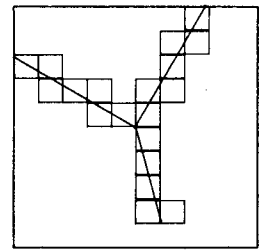


図-2.2 回転($\theta=15^\circ$) 2D

Box-Counting

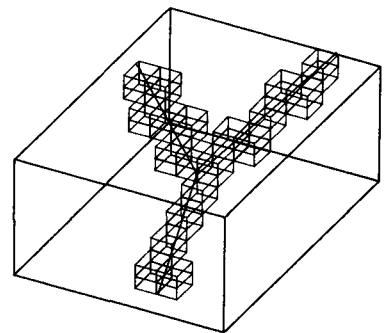


図-2.3 3D Box-Counting

模擬河道網に対するもう一つの問題は単位河道が直線で表現せざるを得ない事である。このことは、本手法の適用限界が河道網作成の際のメッシュサイズまでであると考えられる。

フラクタル次元は平面だけでなく、立体でも同様な「Box-Counting」法で簡単に求める事ができる。流域特性を考えると河道勾配が非常に大きな要素であり、これを含めた流域評価指標としての「三次元フラクタル」が注目される。図-2.3に先の基本河道網に「Box-Counting」を行った場合を示す。二次元の四角形に対し、三次元では立方体で河道を覆い、河道が通過する立方体を数えている。

3.定山溪ダム流域内小流域のフラクタル 流域によるフラクタル次元を調べるため定山溪ダム流域内から9小河川

表-3.1 定山溪ダム流域(104km²)内小河川一覧

河川名	流域面積 (km ²)	250mメッシュ、閾値2河道網						100mメッシュ、閾値6河道網					
		リンク数	流域面積 (km ²)	主流長 (km)	河川密度 (km/km ²)	平均リンク 勾配(rad.)	リンク勾配 変動係数	リンク数	流域面積 (km ²)	主流長 (km)	河川密度 (km/km ²)	平均リンク 勾配(rad.)	リンク勾配 変動係数
春香沢川	25.46	118	25.44	6.08	2.222	0.10614	1.42895	168	25.43	6.45	2.443	0.10856	1.45834
大漁沢川	4.67	28	4.88	4.37	2.322	0.19680	1.90150	36	4.66	4.35	2.687	0.19862	2.08085
上平沢川	2.11	5	2.06	2.62	2.199	0.17236	3.53458	9	2.08	3.60	2.293	0.18819	2.58235
迷沢川	3.02	10	3.06	3.12	1.760	0.17979	2.48595	18	3.02	3.30	2.519	0.21276	1.99719
滝の沢川	14.65	73	14.38	6.08	2.261	0.18180	1.88640	110	14.63	4.79	2.701	0.18763	1.99228
朝里岳沢川	16.57	93	16.44	6.24	2.800	0.16887	1.61527	153	16.45	6.76	2.949	0.17178	1.45792
逆川	5.44	23	5.44	3.62	2.044	0.19076	1.80712	36	5.36	3.75	2.516	0.22138	1.89064
滑沢川	2.61	15	2.63	2.77	2.322	0.19229	2.39699	17	2.59	2.47	2.703	0.22490	1.79199
天狗沢川	2.92	18	2.94	2.41	2.466	0.25287	2.08683	25	2.89	2.57	2.604	0.32541	1.77296

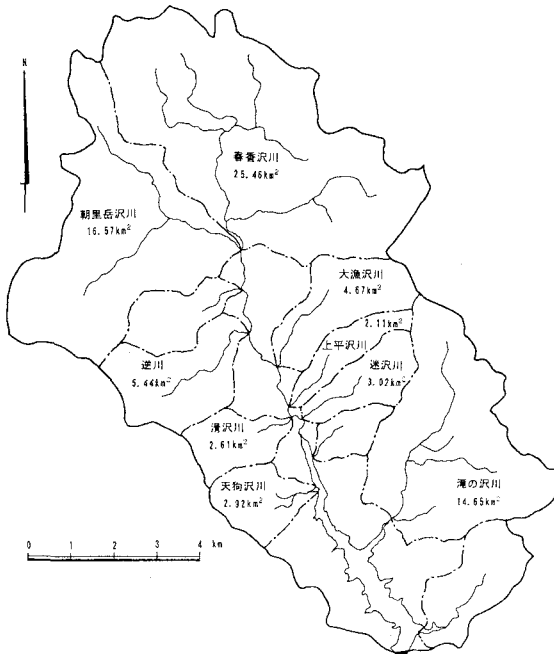


図-3.1 定山溪ダム流域内の小河川

を抽出した。各河川の位置を図-3.1、諸量を表-3.1にそれぞれ示す。ここではメッシュサイズの影響を調べるため全国的に整備されている国土数値情報と同等な250m Meshと100m Mesh標高値により作成された河道網について検討を加える。250m Mesh、閾値2の河道網における(1)式の関係を図-3.2に2D、図-3.3に3Dの場合を示す。両図とも対数紙上に一直線に並び、模擬河道網がフラクタル構造であることを示している。また、前述したように250m付近でフラクタル次元が下がるのが見られ、基準となる大きさの下限が河道網作成のメッシュサイズまでである事がわかる。また、上限を考えると、河道網全体を覆う大きさ以上のボックスの場合、そのカウント数は全て1で変化しない事は明かである。今後、フラクタル次元を求める際に使用するボックスサイズは河道網メッシュサイズから河道網全体を覆うサイズまでの(1)式関係を利用して求めた値について議論する。図-3.4は2Dと3Dフラクタルを比較したものであり、全体的傾向は2Dと3Dフラクタルは比例関係にある。しかし、詳細に見ると面積の一番大

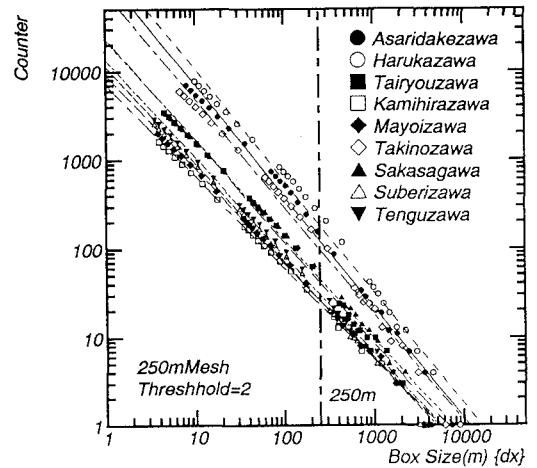


図-3.2 250mメッシュ、閾値2の2Dフラクタル

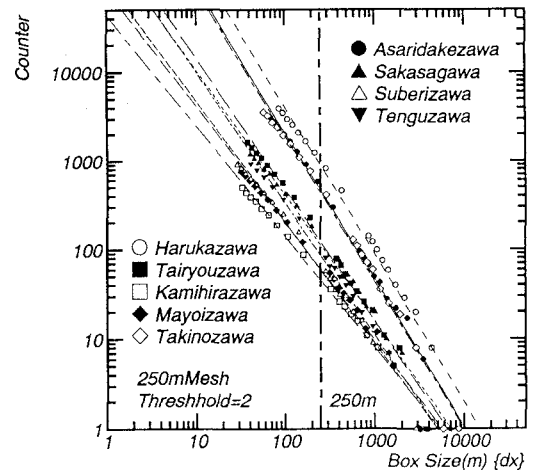


図-3.3 250mメッシュ、閾値2の3Dフラクタル

図-3.4は2Dと3Dフラクタルを比較したものであり、全体的傾向は2Dと3Dフラクタルは比例関係にある。しかし、詳細に見ると面積の一番大

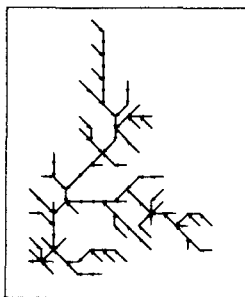
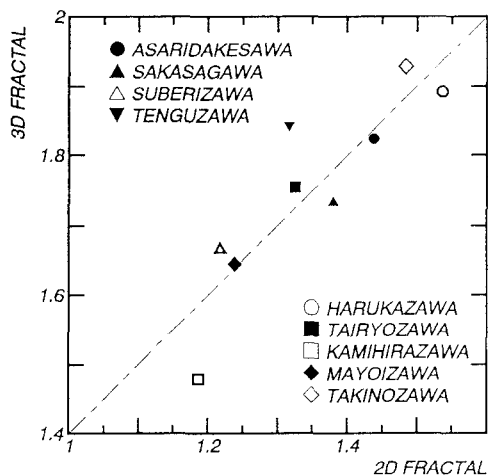


図-3.5 滝の沢川模擬河道網 (250mMesh、閾値2)

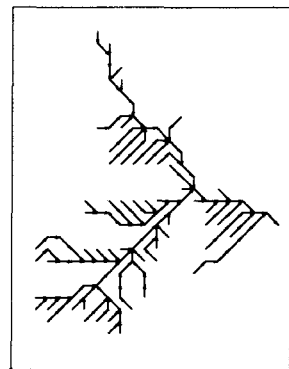


図-3.6 朝里岳沢川模擬河道網 (250mMesh、閾値2)

図-3.4 2Dと3Dフラクタルの比較 (250mMesh、閾値2)
 きい春香沢が最も2Dフラクタル次元が大きくなるが、滝の沢と朝里岳沢では流域面積の大小との関係は見られない。図-3.5、3.6に滝の沢と朝里岳沢の河道網を示す。この図からも明らかなように朝里岳沢の河道が Hortonの河道次数が低い単調な河道である事がわかる。また、3Dで見ると最も次元の高いのが滝の沢であり、2Dに比して3Dが最も大きくなるのが天狗沢である。河道網各リンクの勾配の平均が天狗沢0.253と9流域中もっとも大きいこと、2Dでもっとも次元の高い春香沢に比べ、滝の沢の勾配の平均及び変動係数が大きいなど、流域河道勾配の影響を表現しているものと考えられる。しかし、朝里岳沢の勾配の平均と変動係数が滝の沢のそれと同等にも関わらず、3Dの増加は見られず勾配のみで3Dフラクタルが決定できないことがわかる。次に100mMesh、閾値6の河道網について検討する。メッシュサイズの違う河道網を比べる場合、今までの手法であるリンク・マグニチュード理論においては両者のマグニチュードを一致させる閾値の河道網によるが、この方法によって得られた河道網は支線河道長が異常に小さな直線状の河道となり、2Dフラクタルは1に近い値を取る。ここでは、河川密度(総河道長/総面積)が250mのより大きくなる閾値6の河道網を用いている。図-3.7に示される250mと100mMesh2Dフラクタルはほぼ同等な値を取っている。100mMeshの2Dと3Dの比較を図-3.8に示す。250mのそれに比べ流域毎の違いが少なく中央に集中するのがわかる。これは、100mMeshを用いることによって250mMeshでは見られなかった河道網の微細構造が表現されていることを示している。閾値により河道網形状は大きく変わり、閾値とフラクタル次元についても詳細な検討が必要であるが、ここでは100mMesh

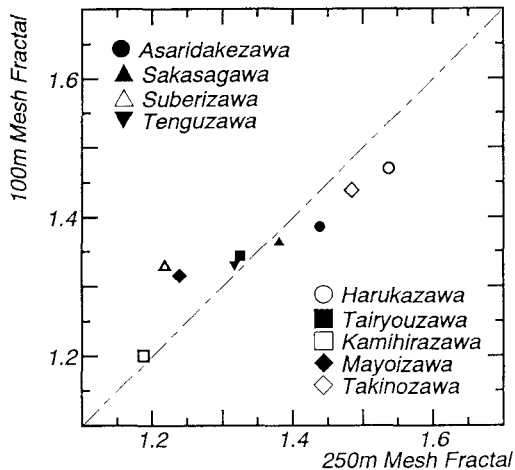


図-3.7 250mMesh (閾値2)と100mMesh (閾値6)の模擬河道網2Dフラクタルの比較

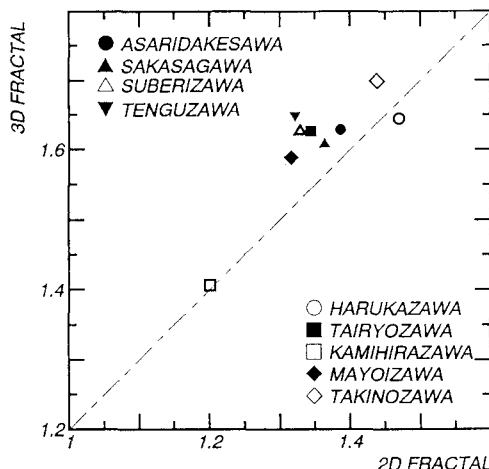


図-3.8 2Dと3Dフラクタルの比較 (100mMesh、閾値6)

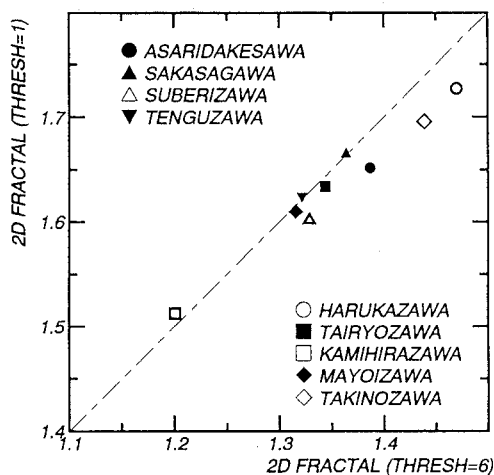


図-3.9 閾値変化による2Dフラクタルの比較

shの閾値1と6の河道網についてのみ検討を加える。閾値が1であるということは、すべてのメッシュに河道が存在することを意味し、連続的豪雨により流域全体で表面流が生じている極限状態と考えられる。図-3.9、3.10に100mMeshの閾値の違いによる2D、3Dの比較を示す。2Dではフラクタル次元が0.3全体に増加するのみであるが、3Dの場合、流域による違いが生じている。図中、変化が最も小さい朝里岳沢と滝の沢についてそれぞれの河道網の縦断面図を図-3.11、3.12に示す。滝の沢に見られるように閾値が1の場合は、河道が谷頭部まで伸び、急峻な河道が多数生じているのが見られる。これに対し、朝里岳沢では閾値6でも河道の全体形状は表現されており、このことが3Dフラクタルの閾値変化に対する微増を表している。

4. おわりに 以上のように模擬河道網による定山溪ダム流域小河川のフラクタル構造を求めるとともに、フラクタルを求める際の問題点の指摘とその改善法、平面のみならず勾配に着目した三次元でのフラクタル構造をも明らかにした。しかし、流出量と流域フラクタル次元の関係を解明するまでに至っておらず今後、他流域の調査を含め、解析が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) Feder, J: フラクタル、松下・早川・佐藤訳、啓学出版、1991
- 3) 高安秀樹: フラクタル、朝倉書店、1986
- 4) 藤田・住吉・榎: 流域地形のフラクタル構造に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、第47号 pp. 383~388、1991

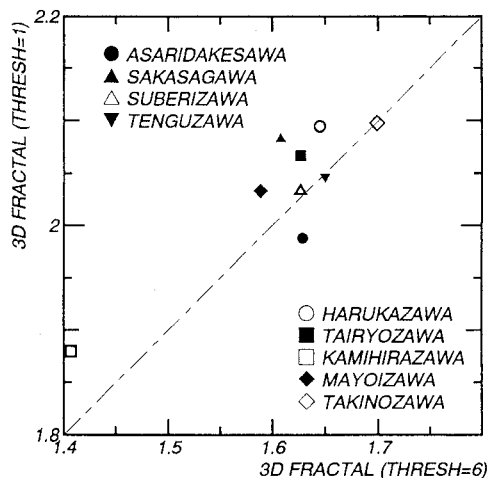


図-3.10 閾値変化による3Dフラクタルの比較

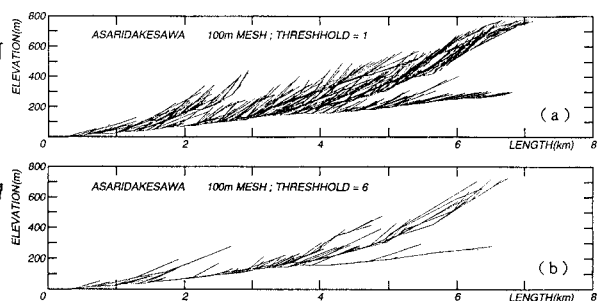


図-3.11 朝里岳沢川河道縦断面図 (100mMesh)

(a) 閾値1、(b) 閾値6

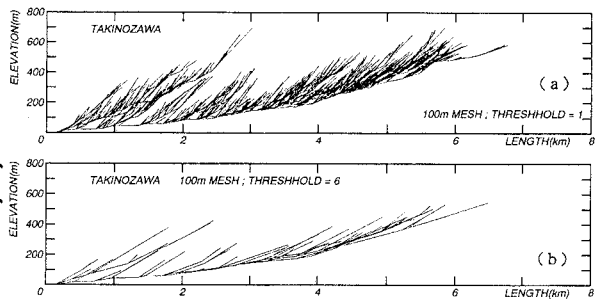


図-3.12 滝の沢川河道縦断面図 (100mMesh)

(a) 閾値1、(b) 閾値6