仮想斜面を用いた水系網のシミュレーション

京都大学工学部　正　員　高棹琢馬　　岐阜大学工学部　正　員　宝　馨
京都大学工学部　正　員　立川康人　　㈱大林組　正　員○杉原宏章

1．はじめに　これまで多くの水系網のシミュレーションがなされてきた[1)]．しかし，従来のモデルでは水系網の３次元的なシミュレーションが行えないという難点があった．本研究では，仮想の斜面上に発生させた水系網を解析することにより水系網の３次元シミュレーションを可能にした．本手法によりHortonの４つの地形則を検討し，河道網のフラクタル次元を求める．

2．シミュレーションの手法　①仮想斜面として勾配の異なる平坦な斜面２つと凹面，凸面の合計４種類の原面を想定する．凹面は指数関数を，凸面は２次関数をあてはめた．また，各斜面とも平均勾配を 0.025とし，平坦な斜面については0.05の場合も考える．②①の仮想斜面に対応するディジタルマップ(120×200メッシュ)を作成する．③平均０，標準偏差５の正規乱数を発生させ，ディジタルマップの各標高値に加える．④このようにして作成したディジタルマップを基に，筆者らの提示したGM法[2)]を用いて仮想の河道網を作成する．今回のシミュレーションでは河道網を作成する際のしきい値を10とした．⑤その河道網に基づいてHortonの４つの地形特性量および河道網のフラクタル次元を求める．なお，今回のシミュレーションでは最大位数が４以上の流域のみを採用し，各地形特性量は最大位数を考慮せずに算定した．

3．結果と考察

－Hortonの４つの地形則－　勾配の異なる２種類の平坦な斜面(平面1(勾配0.025)，平面2(勾配0.05))，凹面および凸面上に発生させた仮想の河道網から得られる各地形特性量を Tabel 1にまとめた．( )内の数字はシミュレートした流域数で，表中の値は各斜面での平均値である．シミュレートした流域の面積は 50km^2～1200km^{2}であった．比較のために，1/50000地形図から得られる国内の10流域の各地形特性量を Table 2に示す．面積比は計測が煩雑であるため行っていない．これらの表からわかることを以下にまとめる．

Table 1　仮想の河道網から求めた地形特性量

	R_b	R_l	R_s	R_a
平面1 (97)	4.46	3.10	1.05	5.29
平面2(111)	4.07	2.79	1.03	4.85
凹面　(84)	4.01	2.67	2.77	4.69
凸面　(80)	4.29	3.03	1.03	5.15

R_b;分岐比 R_l;河道長比 R_s;勾配比 R_a;面積比

Table 2　実流域の地形特性量

	R_b	R_l	R_s
安曇川	3.78	2.23	2.60
愛知川	3.52	1.90	1.89
日置川	3.95	1.98	2.41
日野川	3.69	1.57	2.05
桂　川	4.06	2.25	2.62
古座川	4.18	3.61	3.08
大野川	4.32	2.65	3.14
重信川	3.72	1.88	2.34
天神川	4.45	2.11	2.78
野洲川	4.44	2.80	2.77
平　均	4.01	2.30	2.57

【R_bについて】　どの斜面においても４に近い値をとる．この値は実流域の結果とも一致している．また，平面1と平面2の結果を比較すると斜面勾配が大きいほどR_bが小さくなっている．R_bが小さいということは，位数が異なる河道の合流が少ないということであり，斜面勾配が急な流域ではこのような傾向があることがわかる．

Takuma TAKASAO, Kaoru TAKARA, Yasuto TACHIKAWA, Hiroaki SUGIHARA

【R_lについて】 原面の形状に関係なく2.9前後の値となった．この値は高棹[3]による理論値2よりも大きな値となった．また，R_bが大きいほどR_lも大きくなっている．R_bが大きいということは，位数が異なる河道の合流が多いということである．このために高次の位数の河道が長くなり，R_lが大きくなると考えられる．のである．

【R_sについて】 平面1，平面2 では河道網が原面の傾斜に沿った形状をしているので，どの位数の河道の勾配も原面の勾配に等しくなる．よって R_s=1 となる．凸面では，位数１の河道は流域内に一様に存在するので，位数１の河道勾配は原面の平均勾配に近い値となる．ところが，位数２の河道は原面の上方すなわち勾配の緩いところに多く存在するために原面の平均勾配よりも小さな値となる．位数が２より大きくなるにしたがって河道勾配は大きくなり，これらの比の平均であるR_sは１に近くなる．凹面の結果は実際の河道網から得られる結果と近い値が得られた．また，平面1と凹面の結果を比較すると凹面の曲率が大きいほど R_sの値も大きくなると考えられる．

【R_aについて】 原面の形状に関係なく5.0前後の値をとる．この値は高棹[3]による理論値４より大きな値となっている．実際の流域では測定していないが，今回のシミュレーションの結果では，原面の形状に関係なく $R_b/R_a=0.84$ の関係があった．

－フラクタル次元－ 本研究では２通りのフラクタル次元の定義を用いた．１つは，Tarbotonら[4]による定義で，

フラクタル次元 $D=\log R_b/\log R_l$

で与えられる．２つめは，測度の関係より求める方法[5]を応用したものである．従来は，河道長Lと流域面積Aの関係式

$$L=\alpha A^{D/2}$$

における Dをフラクタル次元としていたが，本研究では上式より次式を導出した．

$$R_l=\alpha R_a^{D/2}$$

このDをフラクタル次元として定義した． これらの定義に基づいて算定したフラクタル次元を Table 3に示す．Tarbotonらの方法によると河道網のフラクタル次元は1.3～1.4であった．これは，Tarbotonら[4]の得た結果(2.0前後) より小さい値となった．測度の関係から求めると 1.3前後の値となった．これらの値は原面の形状に影響されずにほぼ一定値をとった．また，いずれの定義によっても同程度のフラクタル次元が得られることがわかった．

Table 3　フラクタル次元の算定結果

	$\ln R_b/\ln R_l$	$\ln R_l/\ln R_a$
平面1	1.32	1.36
平面2	1.37	1.30
凹面	1.41	1.27
凸面	1.31	1.35
平均	1.35	1.32

４．おわりに 本研究で提示した手法により水系網の３次元的シミュレーションが可能となった．シミュレーションの結果，R_b，R_l，R_aおよび河道網のフラクタル次元は原面の形状の影響をあまり受けないが，R_sは原面の形状に大きく左右されることがわかった．

参考文献 1）高山茂美:河川地形,共立出版,pp.34-64,1974. 2）高棹琢馬·宝　馨·溝渕伸一·杉原宏章:国土数値情報を用いた水文地形解析に関する基礎的研究,京都大学防災研究所年報,第32号B-2,pp.435-454,1989. 3）金丸昭治·高棹琢馬:水文学,朝倉書店,pp.149-167,1975. 4）Tarboton,D.G.,R.L.Bras and I.Rodriguez-Iturbe: The Fractal Nature of River Networks,Water Resources Research,Vol.24,No.8,pp.1317-1322,1988. 5）高安秀樹:フラクタル,朝倉書店,186pp.,1986.