

シミュレーション水系網における 偏向度と流域の特性

大 竹 義 則

I. はじめに

偏向性を持たせた酔歩モデルによるシミュレーション水系網は、傾斜した原面上に発達する水系網をシミュレートしていると見なされる。また、地質構造に影響を受けた水系網、あるいは地殻変動の影響を受けつつ発達した水系網をシミュレートしたとも見なされる（大竹，1977）。いずれにしても、初期の水流が発達する地表面はまったくの水平面であるよりも、いくらかの傾斜を持った原面と見なしたほうが理解し易い。このため、Schenk（1963）によってコンピュータによる水系網のモンテカルロ型シミュレーション・モデルが発表されて以来、いくつかのコンピュータ・シミュレーションにおいて偏向性を持たせた水系網が採用され、それらの特性値の把握や現実の流域との比較などが行われてきた（Smart et al., 1967 : Hiramatsu & Shimazu, 1970 : 樫根・島野, 1974 : 大竹, 1977）。

これらのシミュレーション・モデルにおいては、偏向性は4方向への流下確率の大小によって定まり、上下左右に種々の値を取りうる。上述の研究例においても、各種の値が与えられているが、4方向毎に任意に与えた流下確率によるシミュレーションでは、偏向の程度と水系網の特性との関係は捉えにくい。このため、偏向の程度とシミュレーション水系網の特性との関係について直接言及した事例はほとんどない。

そこで、本報告では、この4方向への流下確率の配分比を1つのパラメータで与える方式（大竹，1983）を採用し、このパラメータの値（偏向度と呼

ぶことにする。)を10通りに替えてシミュレーションを行い、これによって形成されたシミュレーション水系網の流路や流域の計測を行って、偏向の程度が流域の特性に与える影響の把握を行った。

II. シミュレーション・プログラム

シミュレーション水系網であってもその特性を把握するために、水系を次数区分し、個々の流域について各種の計測を行うことは、シミュレーション領域が大きくなればなるほど、またシミュレーションの回数が多くなればなるほど、多大の時間と労力を必要とするようになる。そこで、ここでは、水系網の形成から、次数区分、個々の流路・流域特性一覧表の作成、そしてこれらの統計処理までを一連の作業として実行するコンピュータ・プログラムを利用した。このプログラムは次のような特徴を持つ(大竹, 1983)。

(1) 水系網を形成するまでの手続きは、原則としてこれまでの方法(大竹, 1977)と同様する。

(2) ただし、4方向への流下の確率は1つのパラメータで代表させるようにする。

(3) 水系網の発生領域(原面)は、一方に単純に傾斜したような面とする(下方への流下確率を最大とし、左右への流下確率は同じとする)。このとき、領域内に主分水界が形成されるように、領域の上部の一部は逆方向に傾斜した面とする(上下方向への流下確率を入れ替えておく)。

(4) 水系網の次数化は、現実の流域での適用例が多いStrahler方式によって行う。

(5) 流域の形成条件として、4方向への流出を認めるが、計測を行う流域は、最大の流下確率を持つ方向へ流出した(領域の下端から流出した)流域およびそれらに含まれる流域のみとする。

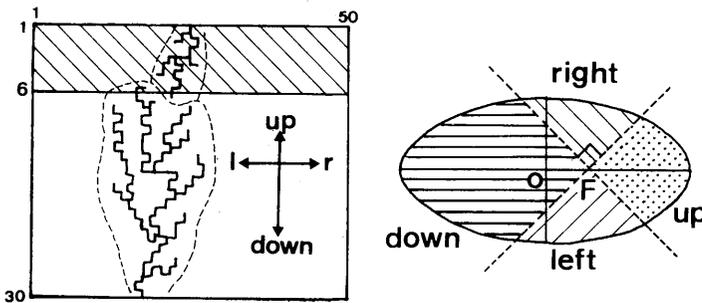
(6) 個々の流域の特性値一覧表には、流域番号、水流次数、次数別流路番号、流入次数・合流次数の履歴、流路の始点・終点位置、流路長、流域面

積、流域長などが記録されている。統計的な計測処理の対象としたのは、これまで計測例が比較的多い、流域数や流域・流路に関する諸特性である。

Ⅲ. 偏向度とシミュレーション領域

前述のように、シミュレーション水系網の4方向への流下の確率は任意に設定できるが、水系網の特性を把握したり、相互に比較するためには、1つのパラメータで代表させる方が都合がよい。ここでは、このパラメータとして楕円の離心率を採用した（大竹，1983）。

楕円の一方の焦点を通り互いに直交する2直線によって、楕円は4分割される（第1図右）。この4分割された各部分の楕円面積に対する面積比を、任意の点から上下左右方向へ流下する確率の配分比と見なした（左右方向は常に同じ値となる。）。そして、この時の楕円の離心率を偏向度と呼ぶことにした。この結果、偏向度は0から1までの値であり、偏向度が1に近いほど偏向の度合は大きく、逆に0に近いほど偏向の度合は小さい。偏向度0は水平な原面に相当する。偏向度0.1毎の上下左右への流下確率の配分比は第1表の通りである。



第1図 シミュレーション領域の初期設定と楕円の面積比による流下確率の配分（大竹，1983）

第1表 偏向度と4方向への流下確率の配分比

方向 偏向度	上	左	下	右
0.0	0.25	0.25	0.25	0.25
0.1	0.30	0.25	0.21	0.25
0.2	0.35	0.24	0.17	0.24
0.3	0.41	0.23	0.13	0.23
0.4	0.47	0.21	0.10	0.21
0.5	0.55	0.19	0.08	0.19
0.6	0.63	0.16	0.05	0.16
0.7	0.72	0.12	0.03	0.12
0.8	0.82	0.08	0.02	0.08
0.9	0.92	0.04	0.01	0.04

シミュレートする領域は、50列30行の領域とし、主流下方向が逆になり、主流域が主分水界を有するような完全流域となるように、1～6行では上下方向への確率を入れ替えてある（第1図左の斜線部）。

また、領域の最下端に当たる30行目から流出した水系網のみを計測の対象とし、長さや面積は領域の行列のステップ数によって計測した。このため、支流を持たない1次水流では、流域面積と流路長はまったく同じ値となる。また、もし屈曲もなければ流域長も同じ値となる。

IV. シミュレーションの結果と考察

1. 流域数

偏向度を0から0.9まで0.1ずつ増加させた10回のシミュレーションで形成された流域（主流が下端より流出する完全流域とそれらに含まれる流域）の個数は、1次流域が2,440個、2次が519個、3次が122個、4次が28個、5次が1個、となっている。各偏向度毎の次数別の流域数は第2表のようになる。

偏向度0.4付近で流域数が最も多くなっており、これを中心にして偏向度が大きくなっても、小さくなっても流域数は減少している。これは、偏向度

第2表 偏向度毎の次数別流域数

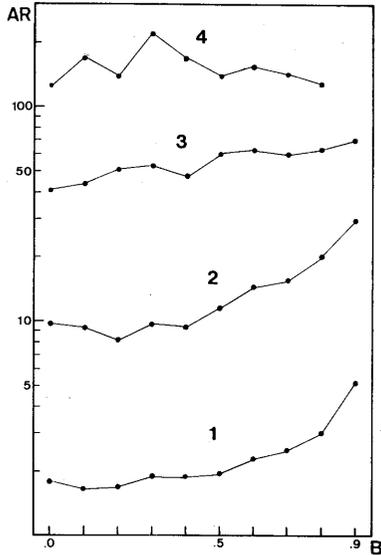
次数 偏向度	1	2	3	4	5
0.0	154	34	8	2	
0.1	254	54	13	3	
0.2	265	58	12	4	1
0.3	276	64	14	3	
0.4	316	70	18	5	
0.5	286	58	14	4	
0.6	281	54	12	4	
0.7	252	51	13	2	
0.8	216	42	12	1	
0.9	140	34	6	—	
合計	2,440	519	122	28	1

が小さい場合は、計測対象外の左・右・上端への流出流域が増加し、相対的に下端への流出流域数が減少するためである。一方、偏向度が大きい場合は、合流が発生しにくく、形成される1次水流がしだいに大きくなる。それに応じて相対的に高次の水流も規模が大きくなる。しかし、流域形成領域は限られているため、結果的に流域数の減少を見ることとなる。

最大水流次数は偏向度0.2の5次と、0.9の3次を除いて4次となっており、4次水流までの特性を調べる条件を一応満たしていると考ええる。

2. 偏向度と流域面積、最大流路長、流域長、細長比との関係

偏向度と次数別流域面積の関係を第2図に示す。1次水流では偏向度が大きくなるにつれて流域面積も増大している。流域面積が増大する割合は偏向度が大きいほど大きくなり、全体として右上がりの上に凹形の配列となっている。2次水流も1次とほぼ同じ傾向を示すが、やや凹形度が弱まっている。3次水流ではほぼ直線に近い配列となっている。4次水流になると、3次までの共通した傾向である、偏向度が大きいほど流域面積も大きい関係がなくなり、偏向度0.3をピークに両側で流域面積が減少するようになる。



第2図 偏向度(B)と次数別流域面積(AR)の関係

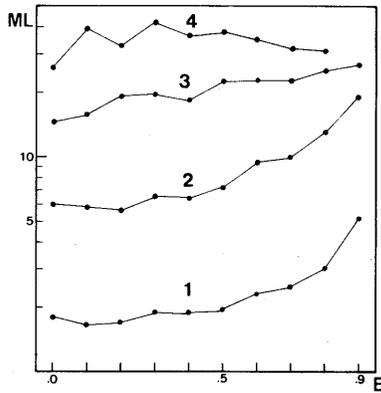
このような偏向度に対する計測値の分布傾向は、長さとの関係においても保持されている。最大流路長¹⁾についてみると(第3図), 1・2次水流では右上がりて上方に凹, 3次は右上がりてほぼ直線, 4次では偏向度0.3をピークに両端へ向かって減少傾向を示している。

流域長²⁾の場合は, 最大流路長に比べ絶対的な長さはやや短くなっているものの, その傾向はほとんど同じである(第4図)。

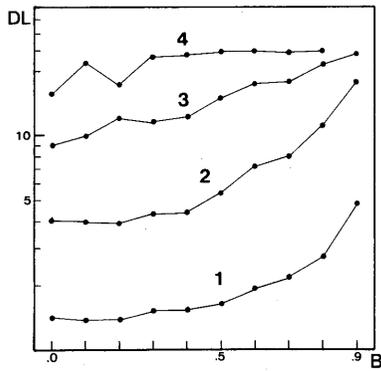
細長比は流域の形状を示す比で, この値が大きいほど丸みを帯びた流域といえる(Schumm, 1956)。偏向度の増加に対して細長比は全体として右下

注1) 最大流路長はある流域において, その流頭から流端までの各次数を連ねた, 最も長い水流の経路長である。実際の流域では, 次数区分の影響を受けやすい平均流路長に比べ散らばりの少ない計測値である(大竹, 1973)。

2) ある流域の流端から最遠の流域界までの直線距離である。屈曲の少ない単調な流域では最大流路長に近い値となる。

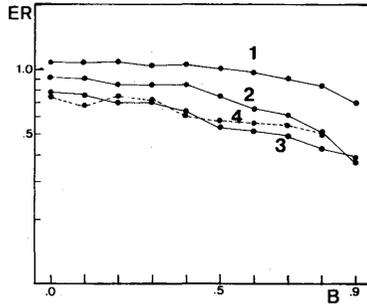


第3図 偏向度 (B) と次数別最大流路長 (ML) の関係



第4図 偏向度 (B) と次数別流域長 (DL) の関係

がりの配列を示す (第5図)。偏向度が大きくなるに従って、細長い流域が多くなることを示している。細長くなる度合は偏向度が大きいほど増大する。特に2次水流ではこの傾向が顕著である。1次から3次までは、水流次数の増加とともに形状は細長化する傾向にあるが、4次になると3次よりも大き



第 5 図 偏向度 (B) と次数別細長比 (ER) の関係

な値を取るものが多く、再び、丸みを帯びた形状になっていることがわかる。

以上の点から、偏向度とシミュレーション水系網の関係について、次のような指摘ができる。

(1) 低次水流では、領域の偏向度が大きいほど、水流は側方への流下の機会(度数)が減るので、合流の発生の数も少なくなる。このため、流路は直線的で長くなり、面積も増大する。その結果、流域の形状はしだいに細長化すると考えられる。

(2) 一方、次数が高次になるに従って、(1)の傾向がなくなっていくのは、シミュレーション領域の大きさの制約を受けるためであると考えられる。

もし偏向度を極端に大きくして、下方への流下確率を1とすれば、すべての水流は分水界から流出口まで直線的に流下し、流路は互いに平行となる。その長さは分水界から流出口までの距離(この場合は24)であり、これは直線的流路における流域長・流路長の限界値である。

計測値についてみると、1次の流域長は偏向度0.2の時が最短で1.38、0.9の時が最長で4.84である。限界値までは、まだかなり余裕がある。ところが、3次水流となると最小値は8.99(偏向度0)、最大値は24.16(偏向度0.9)と

第3表 偏向度毎の分岐比 (Bf), 流域面積比 (AR), 最大流路長比 (ML), 流域長比 (DL), 細長比の比 (ER)。(偏向度0.2の5次水流は除く。)

偏向度	Bf	AR	ML	DL	ER
0.0	4.25	4.12	2.43	2.22	1.13
0.1	4.37	4.67	2.87	2.50	1.17
0.2	4.12	4.51	2.75	2.39	1.14
0.3	4.52	4.92	2.82	2.49	1.14
0.4	3.97	4.53	2.70	2.54	1.21
0.5	4.15	4.27	2.73	2.48	1.24
0.6	4.16	4.09	2.47	2.34	1.20
0.7	4.89	3.85	2.33	2.24	1.19
0.8	5.69	3.44	2.14	2.08	1.19
0.9	4.83	3.69	2.27	2.23	1.33
平均	4.48	4.08	2.49	2.31	1.19

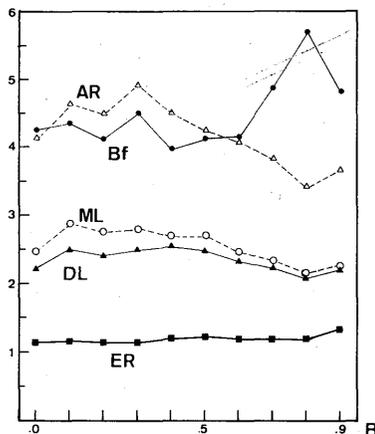
なる。偏向度0.8以上では流域長は直線的流路の限界値24を超えるようになる。当然、このような大きな流域が形成される度合(確率)は少なくなる。もし形成されたとしても、さまざまなタイプの3次流域が存在する中で、3次流域としては比較的規模の小さい、丸みを帯びた(相対的に流域長の短い)流域となることが予想される。

このように、高次流域ほど、偏向度のより大きな流域ほど、規模は大きくなりやすいため、シミュレーション領域の大きさによる制約を受けやすくなる。このため、低次流域とは異なった分布傾向を示すと考えられる。

3. 偏向度と分岐比, 流域面積比, 最大流路長比, 流域長比, 細長比の比との関係

第3表に偏向度毎の分岐比, 流域面積比, 最大流路長比, 流域長比, 細長比の比の値を示した³⁾。これをグラフにしたものが第6図である。

3) 偏向度0.2の場合は5次水流が形成されているが、他の最高次数と同じ、4次までで計算してある。最高次数の違いがこれらの比に影響を及ぼすと考えるからである。ただし、偏向度0.9の場合は、最高次数が3次であるが、3次までで計算してある。



第6図 偏向度(B)と分岐比(Bf), 流域面積比(AR), 最大流路長比(ML), 流域長比(DL), 細長比の比(ER)の関係
(偏向度0.2の5次水流は除く。)

分岐比の平均値は4.48となり、トポロジカルにランダムな水系網の取り易い値4.0 (Shreve, 1966) に比べ、やや大きな値となっている。これは、本計測では包含関係にある流域だけでなく、領域下端から流出する流域の流路数も含めて分岐比を求めていることによる影響が大きいと考えられる。

分岐比は偏向度0.4までは、面積比と比例しており、偏向度0の場合を除いて、面積比よりもやや小さな値となっている。しかし、0.5以上では面積比と逆比例しており、値も急に大きくなっている⁴⁾。

面積比、最大流路長比、流域長比の傾向はともにほぼ似通っている。面積比は偏向度0.3をピークに両端に向かって減少傾向を示し、最大流路長比は偏向度0.1をピークに0.6以上で減少傾向が加速されている。流域長比ではピークが0.4にずれているが、傾向は最大流路長比と同じである。

4) 偏向度0.8で特に分岐比が大きいのは、3次流域が12もあるのに、4次流域が1つしか形成されていないため、この偏向度の他の次数間は偏向度0.7の場合とほぼ類似した値となっている。

偏向度の大きい流域で面積比・長さ比が減少傾向を示す原因については、次のように考えることができる。

1・2次間の面積比は偏向度が異なってもその値に大差はない。2・3次間では、偏向度0.8以上で減少傾向を示す。3・4次間では偏向度0.6以上で減少がみられるようになる。すなわち、偏向度の大きな流域では、より低次から流域の規模が大きくなり、シミュレーション領域の大きさの制約を受けて、より規模の大きな流域の発生が少なくなる。このため、高次間における面積比・長さ比は小さくなり、全体としての比も偏向度の大きな領域ほど小さな値を取るようになって考えられる。

一方、偏向度0の場合もシミュレーション領域の大きさの制約が原因と考えることができる。前述のように、本シミュレーションでは流出部から24行目に主分水界が発生するように初期値を設定したが、偏向度0の場合は各方向ともまったく同じ流下確率なので、初期値は主分水界形成条件としての意味を持たない。このため平均的な主分水界は全30行の中央15行目付近にあるとみてよい。すなわち、流域の規模の限界値が9ステップほど減少したことになる。最大流路長は3次で、流域長は4次で、この長さ(15)にほぼ到達している。これは偏向度の高いシミュレーションで最大流路長、流域長が限界値24に到達する回数とほぼ同じ回数に相当する。すなわち、偏向度0の場合も、シミュレーション領域の大きさによる制約を受けて、小さな比の値を取ると考えてよい。

面積比の平均は4.08、最大流路長比は2.49で面積比の0.607倍、流域長比は2.31で面積比の0.562倍となっている。

細長比は、前述のように、偏向度と回数間でやや複雑な傾向を示すが、細長比の比は他の比に比べ偏向度による差が少ない。細長比は1.13~1.33の間に分布し、平均は1.19である。細長比の比が偏向度による影響を受けないように見えるのは、偶然なのか、それとも意味のあることなのか、現時点では確定できない。

4. 偏向度と流域の諸特性値との関係

流域の面積と主流の長さ(最大流路長)との関係(Hack, 1957)や流域長, 細長比など, 計測値相互の関係を回帰式のべき指数⁵⁾によって, 偏向度別に示したのが第4表である。1次の流域面積と最大流路長は同じ値なので, べき指数の算出からはすべての1次水流の計測値を除いてある。

べき指数の平均値や偏向度毎の全体的な増減傾向から, これらは3つのグループに分けられる。すなわち, 最大流路長と流域長, 流域面積と最大流路長・流域長, 流域面積・最大流路長・流域長と細長比の3つである。

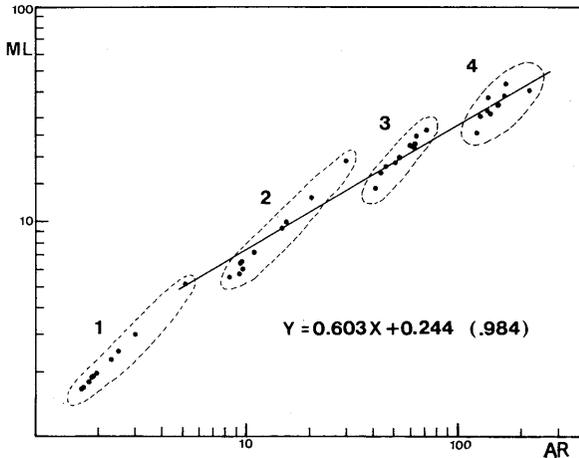
最大流路長と流域長のべき指数は0.890~0.972の間に分布し, 偏向度が大きくなるに従って, わずかずつではあるが大きくなる傾向を示す。これは, 偏向度が大きくなれば流路の屈曲が減少し, より直接的になるためと考えられる。

流域面積と最大流路長・流域長のべき指数は偏向度が大きくなるに従って, やや小さくなっている。このことは, 偏向度の大きな流域では, 流域面積が大きくなっても最大流路長や流域長はあまり増大しないことを示している。

第4表 流域諸特性間の偏向度毎のべき指数 (b)
($\log Y = a + b \log X$, 流域面積 (AR), 最大流路長 (ML), 流域長 (DL), 細長比 (RE)。1次水流は除く。)

偏向度	AR*ML	AR*DL	AR*RE	ML*DL	ML*RE	DL*RE
0.0	0.571	0.534	-0.078	0.934	-0.138	-0.148
0.1	0.661	0.589	-0.103	0.890	-0.157	-0.176
0.2	0.622	0.565	-0.073	0.908	-0.118	-0.139
0.3	0.599	0.538	-0.053	0.897	-0.091	-0.101
0.4	0.605	0.588	-0.117	0.972	-0.197	-0.203
0.5	0.675	0.595	-0.134	0.905	-0.204	-0.225
0.6	0.562	0.527	-0.076	0.939	-0.142	-0.156
0.7	0.533	0.514	-0.060	0.967	-0.127	-0.135
0.8	0.478	0.453	-0.022	0.955	-0.083	-0.098
0.9	-	-	-	-	-	-
全30流域	0.603	0.563	-0.092	0.961	-0.199	-0.263

5) 次数毎の計測値を X, Y として回帰直線 $\log Y = a + b \log X$ を求めた。これを $Y = kX^b$ で表わしたときの b である。



第7図 流域面積 (AR) と最大流路長 (ML) の関係
(回帰式の算出には、1次水流を含めていない。)

その原因は、偏向度の大きな領域の規模の大きな流域は、相対的に丸みを帯びた流域が多くなっているためとみられ、これもシミュレーション領域の大きさの制約による形状の偏りの現われと考えられる。

全30流域から求めた流域面積と最大流路長の関係を第7図に示した。1次水流を除いたべき指数は0.603となり、これまで現実の流域で計測された値に近い。この関係についてはすでに多くの論議がなされてきた(高山, 1974)が、このシミュレーション結果からは次のような点が指摘できる。

各次数間でみると、分布の傾きは異なっており、次数の増加とともに傾きは小さくなっている。その結果、全体の傾き(べき指数)もより高次流域を含めば含むほど、緩やかな傾きとなる(特に偏向度の高い高次流域では、シミュレーション領域の大きさに制約され、流域面積が縮められ、またそれ以上に最大流路長が縮められてこの傾向が明瞭となる)。このようなバランスの中で、現実の水系網やシミュレーション水系網では、このべき指数は0.6前後に保たれていると考えられる。

細長比のグループは、面積・長さのグループとはほぼ逆の分布傾向を示して

第5表 偏向度0.4の試行毎の流域数, 流域面積, 最大流路長, 細長比

試行		次数				
		1	2	3	4	5
流域数	a	316	70	18	5	—
	b	257	58	14	3	1
	c	298	64	17	5	—
	d	273	60	13	2	—
流域面積	a	1.89	9.47	47.66	170.40	—
	b	1.84	9.67	45.07	88.33	181.00
	c	1.93	10.36	43.94	164.60	—
	d	1.83	11.52	61.77	163.00	—
最大流路長	a	1.89	6.40	18.28	36.60	—
	b	1.84	6.24	16.79	24.33	40.00
	c	1.93	6.80	17.59	40.40	—
	d	1.83	7.45	21.69	38.50	—
細長比	a	1.06	0.852	0.637	0.612	—
	b	1.04	0.849	0.670	0.635	0.569
	c	1.04	0.792	0.663	0.579	—
	d	1.06	0.783	0.595	0.584	—

いる。これは、細長比が面積と流域長の関数であることから納得できる。しかし、偏向度との関係は面積・流域長の場合以上に不明瞭である。

5. 乱数の系列と流域の特性

モンテカルロ型のシミュレーションにおいては、乱数の生成が重要な部分を占めている。一連の擬似乱数はその初期値によって決定される。このため、異なった初期値を与えれば、異なったパターンの水系網が形成される。

そこで、上に掲げた偏向度毎のデータが偶然的な結果か、一般性のあるものかを調べるために、乱数の系列を替えたシミュレーションを行った。

第5表が4回のシミュレーション（偏向度0.4, a～d試行）の結果であ

第6表 偏向度0.4の試行毎の分岐比 (Bf), 流域面積比 (AR), 最大流路長比 (ML), 流域長比 (DL), 細長比の比 (RE)
(bの5次水流は除く。)

試行	Bf	AR	ML	DL	RE
a	3.97	4.53	2.70	2.54	1.21
b	4.38	3.73	2.40	2.28	1.19
c	3.89	4.39	2.74	2.50	1.21
d	5.09	4.55	2.77	2.58	1.23
平均	4.31	4.28	2.65	2.47	1.21

る (aは偏向度0.4の値としてすでに採用したものである。)

最高水流次数はbの5次で、その他は4次となっている。aの1・2次の流域数は、b～dに比べやや数が多い傾向にある。しかしながら、bの4次流域を除いた⁶⁾、流域面積、最大流路長、細長比などの値は、b～dに比べ異なるところはない。

同様に、a～dについての流域面積比、最大流路長比、流域長比、細長比の比を比べてみたのが、第6表である (bは5次水流を除いて算出してある。)

この値からも、すでに採用したデータaの面積比、流域・流路の長さ比、細長比の比が、c・dの値と類似した傾向を示していることが判明する (bは前述の理由によって4次水流が小さな値となっているため、他に比べやや小さな値を示している。)

V. おわりに

偏向度を0.0から0.9まで0.1ずつ増加させた10回のシミュレーションから次

6) bの4次流域が他と値が異なっているのは、bの3本の4次水流の内の2本は合流して、規模においては他の4次水流とあまり差のない、5次水流を形成している。このため、2本の合流4次水流は相対的に規模の小さな流域となっているためである。

のような結果を得た。

(1) 50行30列のシミュレーション領域で平均4次の最高次水流が形成された。流域数は全次数にわたって、偏向度0.0と0.8~0.9の場合が少なくなっている。これは偏向度0.0の場合は、原面に偏向性がないため、水流が4方向へ均等に流下することによって生じ、偏向度0.8~0.9の場合は、主流下方向への流下の確率が大きくなり、1次の流路長・流域面積は急激に増大し、合流が発生しにくくなるためである。

(2) 偏向度と各次数毎の流域面積、最大流路長、流域長、細長比の関係をみると、低次水流(1・2次)と高次水流(3・4次)間では傾向が異なっている。低次にあつては、偏向度の増大とともに面積、長さは急激に増大し、流域は細長くなる。高次になると(特に偏向度の大きいほど)シミュレーション領域の大きさの制約を受けるようになり、3次ではまだ低次での特徴を保持しているものの、4次になるとほとんど無くなってしまふ。領域の制約を受けた高次の流域は、次数のわりに面積・長さが小さく、丸みを帯びた形状になる、などの特徴を持つ。

(3) 偏向度に対する面積比、最大流路長比、流域長比の傾向は互いにほぼ似通っている。偏向度0.0の場合と0.6以上でそれぞれの値は小さくなる。両ケースとも、シミュレーション領域の大きさの制約によって生じたと考えられる。細長比には、偏向度の影響は直接現われていないように見える。

(4) シミュレーション水系網においても、現実の流域と同様に、計測値相互間の相関関係がみられる。回帰式のべき指数から、最大流路長と流域長、面積と最大流路長・流域長、面積・長さとして細長比の関係の3グループに分けられる。偏向度との間では、顕著な傾向は示さないが、シミュレーション領域の大きさの制約が認められる。

(5) 1次水流を除く、流域面積と最大流路長の回帰式のべき指数は、0.603となり、これまでの多くの実測値などとよい一致をみる。べき指数が0.6前後の値を取るの、流域がシミュレーション領域の大きさの制約を受けて発達したことの現われであると考えられる。

(6) 同じ偏向度(0.4)の下で、使用する乱数の系列を替えて4回のシミュレーションと、流域の計測を行った。その結果、低次水流では流域特性値間に大きな差を生じないこと、高次水流では偶然的に最高次数に差異を生じると(4次か5次)、それらの特性値間にかなりの差異を生ずる場合もあること、そして、流域全体からみた特性の比などにはそれほど大きな影響を与えないこと、などが判明した。

以上のように、シミュレーション水系網では、面積・長さなどの絶対値で示される計測値以外、偏向度による影響が顕著に現われる例をほとんど認めることができない。一方、領域の大きさによる制約(影響)は、明瞭に現われている。現実の水系網においても、水流は無制限に発達する領域(斜面)を持つとは考えにくい。今後、領域の大きさと水系網の特性との関係について、詳細な考察を進める必要があるだろう。このことについて、すでにいくらかの知見を得ているが、その内容についての報告は、次の機会に譲りたい。

参考文献

- 大竹義則(1973):丘陵地における流域の特性. 地理科学, 第20号, 31-42.
- 大竹義則(1977):酔歩モデルによる水系網のシミュレーションの系譜とモデルの修正. 地理科学, 第28号, 28-38.
- 大竹義則(1983):シミュレーション水系網の特性計測のための自動化プログラム. 佐世保工業高専研究報告, 第20号, 79-84.
- 榎根勇・島野安雄(1974):偏向性を持たせた酔歩モデルによる水系網のシミュレーション. 東京教育大地理学研究報告, no. XVⅢ, 39-52.
- 高山茂美(1974):『河川地形』共立出版, 304ページ.
- Hack, J. T. (1957): Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U. S. G. S. Prof. Paper, 294-B, 45-97.
- Hiramatsu, Y. and Shimazu, Y. (1970): Simulation of drainage network-system and concept of entropy in geomorphology. Jour. Phys.

Earth, **18** (2), 181—191.

Schenk, H. Jr (1963) : Simulation of evolution of drainage-basin networks with a digital computer. Jour. Geophy. Res., **68**, 5739—5745.

Schumm, S. A. (1956) : Evolution of drainage systems and slope in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bull. Geol. Soc. Amr., **67**, 597—646.

Shreve, R. L. (1966) : Statistical law of stream numbers. Jour. Geology, **74**, 17—37.

Smart, J. S., Surkan, A. J. and Considine, J. P. (1967) : Digital simulation of channel networks. Bull. International Association Scientific Hydrology, **75**, 87—98.