

II-12 地形数値情報を利用した山地流域の 地形特性の解析

北海道大学工学部 正 員 山田 正

北海道大学工学部 学生員 洪 廷芳

北海道大学工学部 学生員 嶋田 啓一

北海道大学工学部 学生員 浅野 智也

1. はじめに：本研究は地形図より得られる情報をデジタルマップに変換し、これから算出される落水線図、流域界、河道網等の種々の地形特性の評価を行い、流出機構との関連性を検討したものである。

2. データ処理の方法

2. 1 デジタルマップの作成方法：地形に関して最も入手の容易な地形図をもとに、詳細な地形特性の評価を行うことは、水文流出解析の手法としてその意義は極めて大きい。このような観点より本研究では、原資料として地形図を採用した。まず図-1に示すような地形図において等高線をデジタイザーで読みとり、等高線データファイルを作る。



図-1 徳富川流域

次に読み取られた地形図を任意のメッシュに分割する。以後1つのメッシュ区間で囲まれた小領域をピクセルと呼ぶ。各ピクセルの特性を表現するために地形図は各メッシュ点ごとのデジタルマップとして取り扱われる。この際に必要な処理は各格子点の標高値の算出であり、等高線のデータをもとに(1)式によって計算される。

$$Z = \sum_i \frac{CT_i}{D_i^2} / \sum_i \frac{1}{D_i^2} \quad (1)$$

Z: 格子点の標高 CT_i: 等高線の値

D_i: 格子点から等高線データの点までの距離

ここで標高値の算出においては、関与する等高線のデータとして、そのすべてを使用する訳ではなく、図-2の模式図に示すようにある範囲(DL)を指定することにより

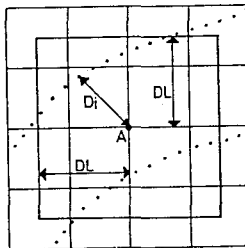


図-2 A点における
標高の計算方法

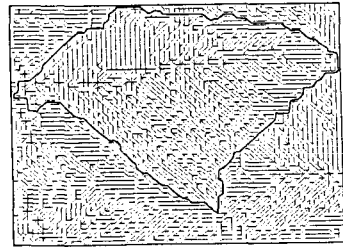


図-3 落水線図及び流域界

格子点の近傍に限定し距離の2乗に反比例する重み付き平均を行っている。

2. 2 落水線図による流域界の設定：次に(1)式により得られたメッシュ点毎の標高データより最急勾配を連ねたいわゆる落水線の方はその格子点と周辺の8つの格子点との勾配の最小値の方向をたどったものである。図-3は図-1の地形図中の8番流域の落水線図で、図中には流域界と推定される境界を書き込んでいる。

2. 3 河道網の算出方法：次に(1)式により得られたメッシュ点ごとの標高データを用いて各ピクセルの集水面積を算出する。これは上流のピクセル一つ一つから2. 2の落水線図の方向にたどったとき途中のピクセルがいくつの上流のピクセルから流れ込んで来ているかを算出したものであり、その流れ込むピクセル数の累計を今考えているピクセルの持つ集水面積としている。次に、このようにして求めた集水面積と等価である累積ピクセル数に対して一つのしきい値を設定し、その値以上のものだけを黒く塗りつぶすと、そのしきい値で決定される水系網を描くことができる。ところで上記のしきい値を任意に設定し、水系網を算出させると、実際の河

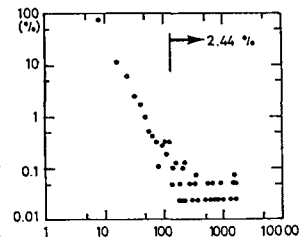


図-4 集水面積ごとの
ピクセルの度数分布

道（通常水面が目で見えるもの、または地形図上で河川として示されているもの）とは一般に一致せず、合理的なしきい値の設定方法が必要となる。そこで以下に示す方法によりしきい値を推定してみた。ある範囲の集水面積（累計ピクセル数）を持つピクセルが流域全体に占める割合を度数分布表示すると図-4を得る。図-4の横軸は累計ピクセル個数、縦軸にその度数割合を示すものであり、両軸とも常用対数表示である。この図より集水面積（累計ピクセル数）毎のピクセルの度数分布は一様な減衰部と規則性のない部分の2つの領域に分かれていることがわかる。図中の数字は、この折曲点以降のピクセルが全体に占める割合を示している。この折曲点における横軸（ピクセル数）の値をしきい値として区切り、それ以降を河道と見なして水系網を描いたのが図-5である。

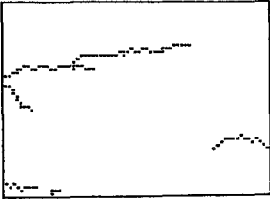


図-5 水系網

3. 解析の対象とした流域

解析の対象とした流域は流域面積0.017Km²から0.133Km²までであり、その諸特性は表-1に示されている。なお、徳富川流域についてはこの流域を

流域名	所在地	流域面積 (km ²)	流域平均勾配
葛城流域小試験地 山口川①	茨城県真壁郡	3.12	1/5
葛城流域小試験地 祖父ヶ峰②	同上	0.158	1/4
宮ノ森小試験地③	北海道札幌市	0.128	1/5
美和小試験地④	長野県南部	1.36	1/3
梓川流域小試験地⑤	山梨県甲府市	0.396	1/3
北見北陽 ルクシニコロ幹線⑥	北海道北見市	35.48	1/30
徳富川流域⑦	北海道樺戸郡	0.017 - 0.133	-----

①、②、④ --- 建設省土木研究所 ③ --- 北大
⑤ --- 山梨大 (砂田) ⑥ --- 北海道開発局土木試験所
流域平均勾配 --- 水位観測地点から最も近い尾根の間の勾配

表-1 解析の対象とした流域

流域名	地形図の縮尺	SCALE (m)	DL (m)
山口川流域	1:12146	50	182.2
			242.9
			364.4
			485.8
祖父ヶ峰流域	1:5811	10	58.1
宮ノ森小試験地	1:2500	5	37.5
		10	37.5
			50.0
			75.0
			100.0
		30	37.5
美和小試験地	1:8421	20	84.2
梓川小試験地	1:2632	10	105.3
北見北陽流域	1:50000	100	500.0
徳富川流域	1:2500	5	100.0

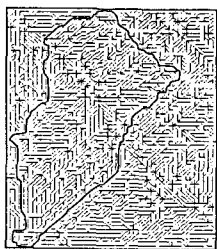
表-2 デジタルマップの諸元

10個の小流域に分割し同一流域内における小流域の相似性を検討している。また、デジタルマップのそれぞれのメッシュ区間(SCALE)、重み付き平均をとる領域(DL)が地形特性の算出に与える影響を検討するために表-2に示すような数値を用いて各種のデジタルマップを作成している。徳富川の10番目の流域については上記のSCALEとDLを同じ値に設定したまま、平均操作の方法を距離の二乗に反比例する重みを持つ(1)式と、(2)式に示す距離の1乗に反比例する重みつき平均操作の二つの方法によりデジタルマップを作成しその効果を検討している。

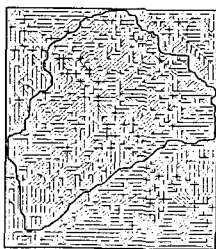
$$Z = \sum_i \frac{CT_i}{DL} / \sum_i \frac{1}{DL} \quad (2)$$

4. 解析結果

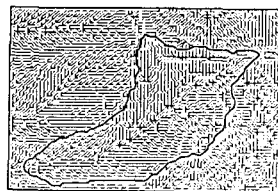
4. 1 落水線図：地形情報処理を行うとデジタルマップは算出パラメータのSCALEとDLにより多少なりとも変化する。図-6(a)~(n)は上述の方法によって求めた各流域の落水線図に、その流域界と推定される境界を書き込んだものである。これらの図より上記の方法はほぼ全ての流域について実際の流域界をよく再現していることがわかる。なお図-6(a)の山口川についてDL=364.4mを用いたときの落水線図は実際の流域界と一致しておらず、DLの設定の不適さを示している。これは各格子点における標高を計算するにあたってその計算範囲であるDLが小さすぎたためだと考えられる。図-6(d),(e),(f)は宮ノ森小試験地に関するものでありSCALEを3段階に変えてその効果を検討したものであるが、3図ともに実際の流域界をほぼ再現しているものの、図-6(f)はSCALEが粗く、おおまかな図となっている。図-6(i)の北見北陽の流域に関しても流域面積が大きいためSCALEを大きく取っており、この影響により実際の流域界を必ずしも忠実に再現していない。このように上記の2つのパラメータ(SCALE、DL)の値によっては不合理な結果を得



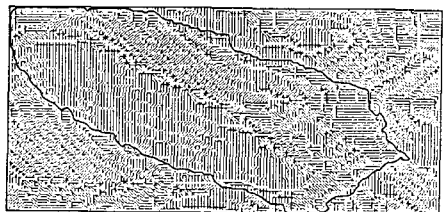
(a) 山口川流域
SCALE = 50 m
DL = 364.4 m



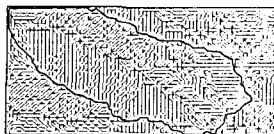
(b) 山口川流域
SCALE = 50 m
DL = 485.8 m



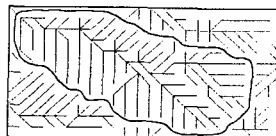
(c) 祖父ヶ峰流域
SCALE = 10 m
DL = 58.1 m



(d) 宮ノ森小試験地
SCALE = 5 m DL = 37.5 m



(e) 宮ノ森小試験地
SCALE = 10 m
DL = 37.5 m



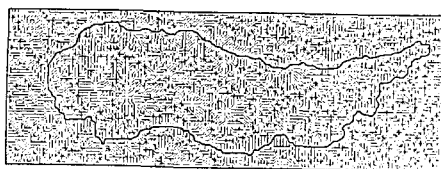
(f) 宮ノ森小試験地
SCALE = 30 m
DL = 37.5 m



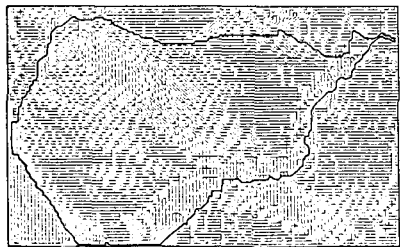
(g) 美和小試験地
SCALE = 20 m
DL = 84.2 m



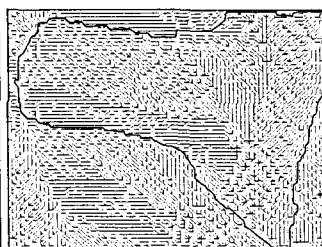
(h) 梓川小試験地
SCALE = 10 m
DL = 105.3 m



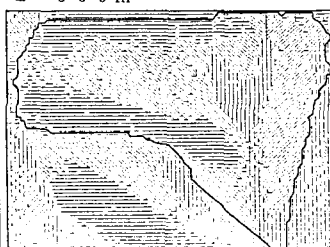
(i) 北見北陽流域
SCALE = 100 m
DL = 500 m



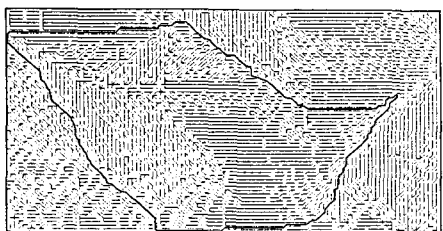
(j) 徳富川3番流域



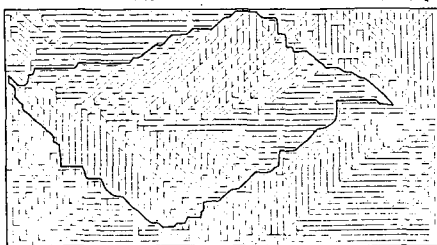
(m) 徳富川10番流域
(1) 式を利用



(n) 徳富川10番流域
(2) 式を利用



(k) 徳富川4番流域



(l) 徳富川9番流域

(j) ~ (n) SCALE = 5 m, DL = 100 m

図-6 各流域に関する落水線図及び流域界

る場合もあるが全般的には良好な結果を得ている。ここで示したようにSCALEとDLの値により流域界は多少とも変化することが分かったが、現実に近い流域界を求めるためには、多少試行錯誤的にSCALEとDLの値を設定しなければならないであろう。図-6(m)と図-6(n)はともに徳富川10番流域のもので標高の算出について(m)は(1)式により、(n)は(2)式により行ったものである。これらの2図より両者ともほぼ一致した流域界を与えているが、図-6(m)の距離の2乗に反比例した重みを持つ(1)式で算出した方がより現実のものに近い結果となっている。(1)式は(2)式に比べ、計算される格子点に近い標高データにより大きい重みをつける計算方法であり、一乗に反比例した重みをつけた(2)式は不合理なようである。4.2 河道網の算出：図-7(a)~(h)は前記2.3節で述べた方法により求めた集水面積(累計ピクセル数)ごとのピクセルの度数分布を示したものである。これらの図より全ての流域について傾き-2程度の一様な減衰部と規則性のない二つの部分に分かれ、折曲点が存在することが読み取られる。図-8(a)~(h)は上記の折曲点の横軸の値(ピクセル数)をしきい値にとって水系網(河道網)を描いたものである。著者らの現地踏査による河道の発生位置を比較するとこれらの図は実際の河道網をよく再現しており折曲点の意義を確認することができる。また河道網の算出方法として有用な方法であることが分かった。図中の数字は折曲点以降のピクセルの全体にしめる割合(河道部分に相当するピクセルの総和の全体にしめる割合あるいは河道部分の面積割合)であるが、これを徳富川流域について検討すると図-7(d)~(h)よりわかるようにほぼ同一の値(おおよそ1.5%~2.5%)を取っていることがわかった。またこれらの図をそれぞれ左右に平行移動してみるとほとんど同一の図となる。これは流域面積の大小により左右に移動しているため、一つの流域内の多くの小流域においては個々の小流域の地形特性、特に河道網特性に関して同一の傾向あるいは相似性が現れていることを示している。

5. 流出率との関連性

前節4に示したように河道網から河道網あるいは河道を含むその近傍のピクセルが全体にしめる面積割合は全て数パーセントの値を取っていた。これらの値は一般に流域面積が1Km²程度以下の山地小流域の夏の乾燥時において観測される流出率の値に極めて近い値になっている。このことから山地小流域においては河道とその近傍が直接流出に最も貢献しているソースエリアとなっていることが予想される。なお既述のしきい値の累計ピクセル数の値を小さくすると河道はより長かつ複雑化する方向に向かう。図-8(j)(g)(i)は流域につきしきい値をピクセル数で250, 200, 150に変えたときの各々の河道網を示したものである。この図より、しきい値として150ピクセル数を取ったときに最長の河道網パターンを得ている。このとき図中の黒い部分(河道)の全体に占める割合はそれぞれ2.39、2.81、3.1%(ピクセル数が100の時は3.75%)となっており、次第に大きな面積割合を示すようになる。これはまた、河道近傍のソースエリアからの流出による流出率の増大につながり、流域の湿润傾向の増大に伴う河道長、河道網の増大-流出寄与域の増大-流出率の増大となる。以上の結果は水文学において極めて重要な意義を有していると考えられる。

6. 結論

本研究においては地形図から地形特性を抽出する手法の開発を行い、得られた地形特性量と流出特性との相互の関連性を検討した。ここで得られた結果は以下のものである。1) 地形図をあるメッシュサイズに区切るときにできるだけ小さいメッシュサイズを用いるべきであるが、地形図の縮尺によっては過小なメッシュサイズを用いると落水線図や水系線図が誤ったものになる。2) デジタルマップの作成における距離の一乗に反比例した重みつき平均は、距離の二乗に反比例した重みつき平均に比べて不合理な結果を導く場合が多い。よって、後者(距離の二乗に反比例した重みつき平均)が推奨される。

3) 平均をする範囲にも縮尺と地形の起伏の激しさに応じた適切なスケールが存在する。それらの値の決定には多少の試行錯誤が必要である。4) 河道網の算出にはあるピクセルの集合以上を河道と見なす方法を採用した。この方法で算出されるそれぞれの集水面積(累積ピクセル数)を持つ各ピクセルの度数分布

図-7 各流域に関する集水面積ごとのピクセルの度数分布

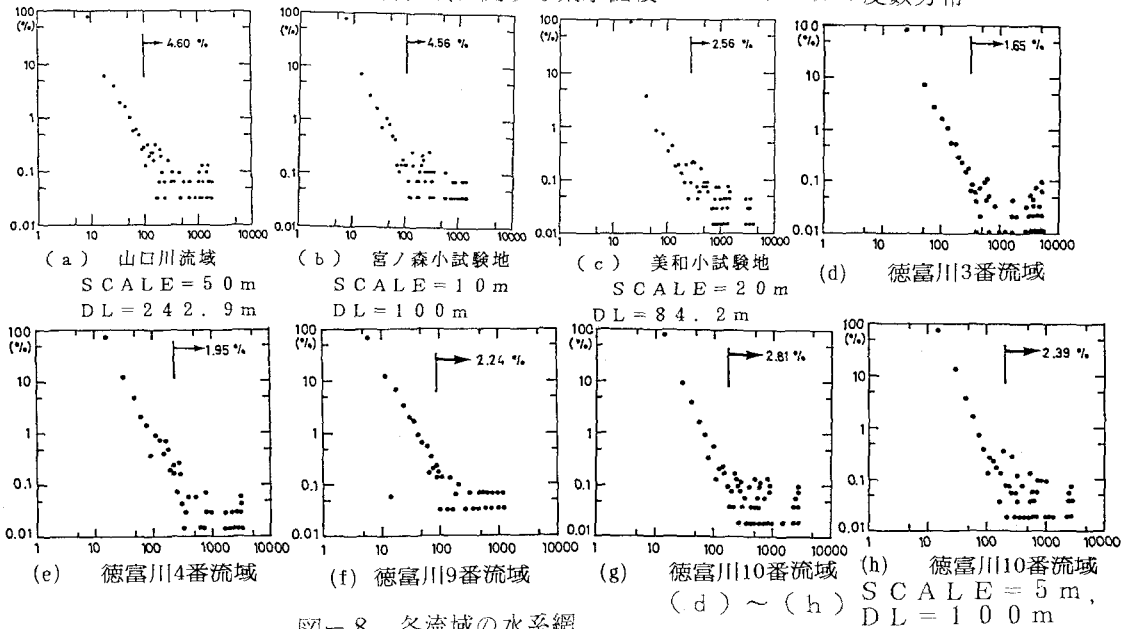
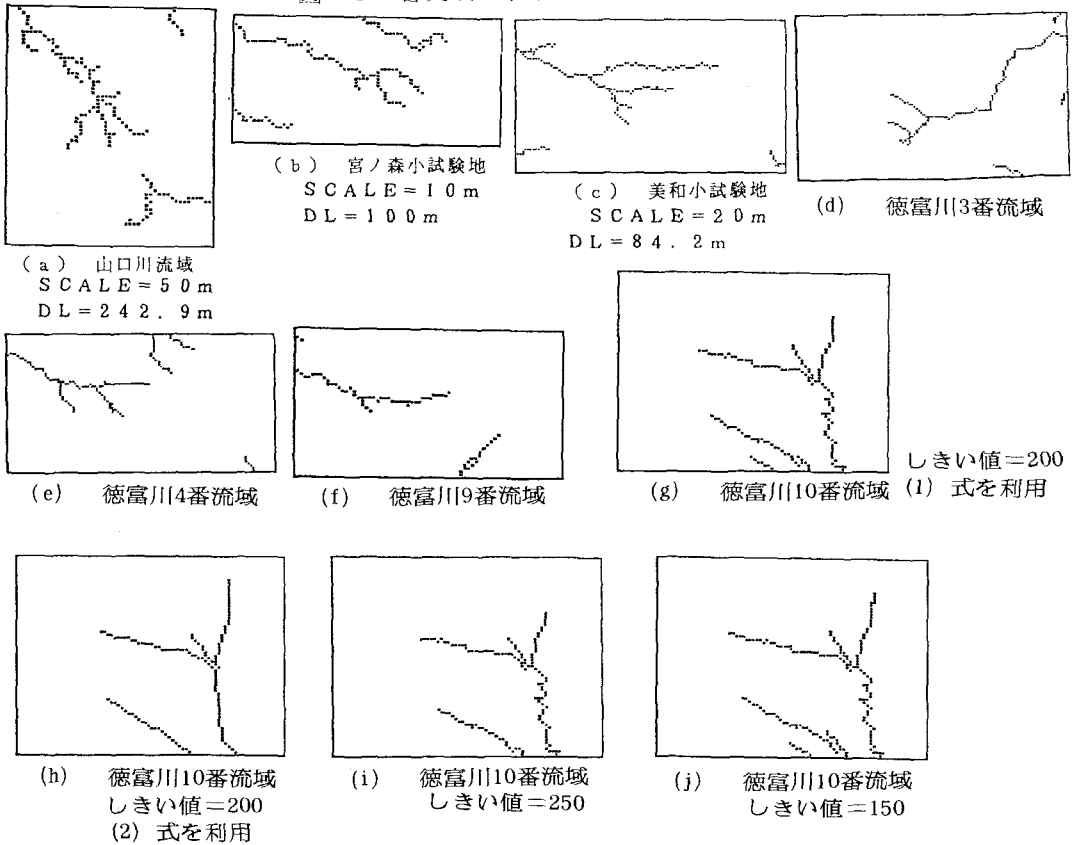


図-8 各流域の水系網



には明らかに傾向の変わる折曲点が存在する。5) 河道網の決定にはそれぞれの集水面積（累積ピクセル数）を持つ各ピクセルの度数分布に見られる折曲点で決まるしきい値を用いることにより、実流域の河道網をよく再現していることがわかった。6) 折曲点以降の集水面積の累積量の全体に占める割合（河道と思われる部分の全体に占める割合）は、一つの流域内の多数の小流域につきほぼ同じ値を取ることがわかった。なお、流域面積を大きくすることによりその値は多少増大する傾向にある。

7) 上記 6) で示した面積割合の値は数%程度の値を取っており、実際の山地流域における夏期乾燥時の流出率に近似的に等しくなっている。これは、一義的には河道近傍の斜面が直接流出に最も貢献していることを示している。8) しきい値の減少は流出寄与域＝河道網の増大につながっており、これは流域の湿潤化に伴う流出率の増大を引き起こす。9) 流域によっては他の流域に比べて明瞭なしきい値を示さない場合もあるが、このような流域においては河道網は湿潤程度に応じてかなり変動することが予想され、このときには流出率は降雨ごとに变化すると思われる。一方、明瞭なしきい値が存在する流域の流出率は一定値を示す。

謝辞 解析に使用した流域の地形図の一部と水文資料は、建設省土木研究所、北海道開発局土木試験所と山梨大学工学部の砂田先生らによって集積されたものである。貴重な資料の使用に対して著者らはここに深甚なる感謝の意を表する。地形情報処理に当たっては野上ら6)によって開発されたソフトウェアを改造して使用させて頂いている。これに対しても記して謝意を表する。本研究は文部省科学研究費（代表 日野幹雄（東工大教授）及び、代表 山田正（北大））の補助を受けている。これに対しても著者らは感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山田正、石井文雄、山崎幸二、岩谷 要；小流域における保水能分布と流出特性の関係について；第29回水理講演会論文集、pp.25-30、1985.
- 2) 山田正、山崎幸二；流域における保水能分布が流出に与える影響について；第27回水理講演会論文集、pp.385-392、1983.
- 3) 山田正、山崎幸二、岩谷要；保水能の分布特性が降雨流出に与える影響に関する研究；第39回土木学会年講概要集第2部、pp.57-58、1984.
- 4) 藤田睦博、山田正、佐々木啓文；北広島流出試験地における保水能分布の特性とその経年変化に関する研究；第43回土木学会北海道支部論文報告集、pp.205-210、1986.
- 5) 山田正、佐々木啓文；北広島流出試験地における保水能分布の特性とその経年変化に関する研究；第42回土木学会年講概要集第2部、pp.134-135、1987.
- 6) 野上道男、杉浦芳夫；パソコンによる数理地理学演習；古今書院、1986.

水文資料

- 1) 裏筑波試験地水文観測資料，建設省土木研究所
- 2) 美和小試験地水文観測資料，建設省土木研究所
- 3) 梓川流域水文観測資料，山梨大学砂田研究室
- 4) 小流域河川水文資料，北海道開発局土木試験所