

流域の地形特性が降雨流出に及ぼす影響について
On the Effects of Geomorphological Characteristics of Basins to Runoff

北海道大学工学部 学生員 嶋田 啓一 K.Shimada
同 上 正 員 山田 正 T.Yamada
同 上 正 員 藤田 睦博 M.Fujita
同 上 学生員 洪 廷芳 T.Hong

1. はじめに
降雨流出に影響する要因として地形特性は極めて重要な役割を果たすものであると考えられる。しかし従来の多くの研究において地形特性は流域平均勾配や形状係数等のように非常におおまかなものとして捉えられてきた。本研究の目的は以上のような流域全体のオーバーオールな特性値ではなく、流域内の各点における各種の値の分布特性を捉え地形特性として評価し、降雨流出との関係を調べようとするものである。具体的には、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ている。さらにそこから導かれる種々の結果と山田ら¹⁾の提案している流域の保水能分布との相関性を調べている。

2. 地形情報による流域内河道網の算出
2. 1 デジタルマップの作成方法： 地形に関して最も入手が容易なものは地形図であり、それから詳細な地形特性の評価が出来れば、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、原料として地形図を採用し、流域を細かいメッシュに分割する。このとき分割されたひとつひとつの正方形をピクセルと呼び、各ピクセルの特性を表現するために地形図を各メッシュ点ごとのデジタルマップとして取り扱う。この際に必要な処理は各格子点の標高の算出であり、等高線のデータをもとに (1)式により行った。

$$Z = \sum_i \frac{CT_i}{DT_i^2} / \sum_i \frac{1}{DT_i^2} \tag{1}$$

Z：格子点の標高 CT_i：等高線の値
DT_i：格子点から等高線データの点までの距離

ここで標高の算出について関与する等高線のデータは、その全てを使用する訳ではなくある範囲DLを指定することにより格子点の近傍に限定し重み付き平均をおこなっている。図-1はその模式図である。次に (1)式により得られた標高データより落水線と各ピクセルの集水面積を算出する。落水線の方向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であり、集水面積については格子点を中心とするメッシュを仮定し、あるピクセルが上流にいくつのピクセルを含んでいるかを計算している。以上の手順に従って地形情報処理を行った流域を表-1に示す。ここにピクセルの一辺の長さを以後SCALEと呼ぶ。このように

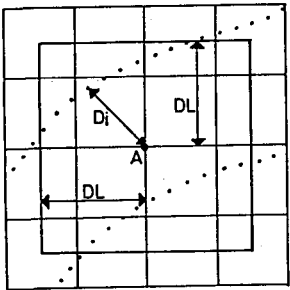


図-1 A点における標高の計算方法

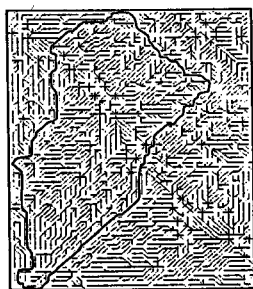
流域名	所在地	流域面積 (km ²)	流域平均勾配
裏筑波流域小試験地 山口川①	茨城県真壁郡	3.12	1/5
裏筑波流域小試験地 祖父ヶ峰②	同上	0.158	1/4
宮ノ森小試験地③	北海道札幌市	0.128	1/5
美和小試験地④	長野県南部	1.36	1/3
梓川流域小試験地⑤	山梨県甲府市	0.396	1/3
北見北陽 ルクシニコロ幹線⑥	北海道北見市	35.48	1/30

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

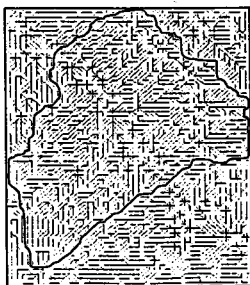
表-1 解析の対象とした流域

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
美和小試験地	1:8421	20	37.5
		10	84.2
			105.3
			105.3
北見北陽流域	1:50000	100	500.0

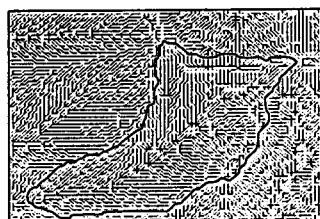
表-2 デジタルマップの諸元



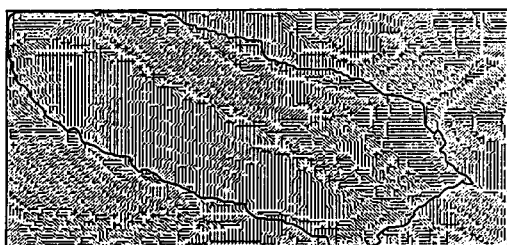
(a) 山口川流域
SCALE = 50 m
DL = 364.4 m



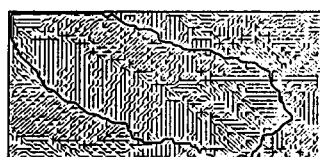
(b) 山口川流域
SCALE = 50 m
DL = 485.8 m



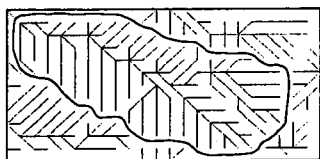
(c) 祖父ヶ峰流域
SCALE = 10 m
DL = 58.1 m



(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



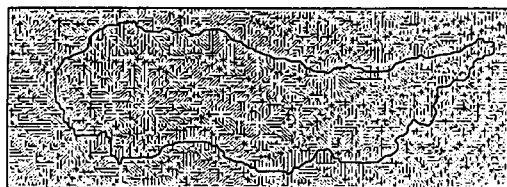
(f) 宮ノ森小試験地
SCALE = 30 m
DL = 37.5 m



(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

図-2 各流域に関する落水線図

地形情報処理をおこな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してしまう。表-2に本研究で採用しているSCALEとDLの値を示している。図-2は各流域の落水線図であり、図中に流域界と推定される境界を書き込んでいる。ほぼすべての流域で実際の流域界と一致しているが、(a)の山口川のDL=364.4mの落水線図が実際の流域界と一致しておらず、DLの設定の不適切さを示している。また宮ノ森小試験地についての(d),(e),(f)はSCALEを3段階に変えて描いたものであるが、3つとも実際の流域界とほぼ一致しているものの(f)の図はSCALEが粗く、おおまかな図としかならない。(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を大きく取ったためか実際の流域界を忠実に再現していない部分もあるが、全体的にはだいたい一致している。

2.2 河道網の算出方法：次に集水面積にあるしきい値を設定することにより各しきい値ごとにそれぞれ水系網を描くことが出来る。図-3はその一例であるが、実際の河道網と一致しておらず適当なしきい値を判定し難い。そこで次のような方法によるしきい値の推定を行った。



図-3 宮ノ森小試験地の
水系網 SCALE=10m
DL=75m

ある範囲内の集水面積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。横軸にピクセルの個数、縦軸にその割合を取っている。両軸とも対数表示である。図より明らかなように一様な減衰部と規則性のない部分の2つに別れていることがわかる。図中にはこの折曲点以降の集水面積の累積量の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の値をしきい値として水系網を描いたのが図-5である。これらの図は実際の河道網をよく反映しており折曲点の意義を確認することができ、河道網の算出方法に有用であることがわかった。

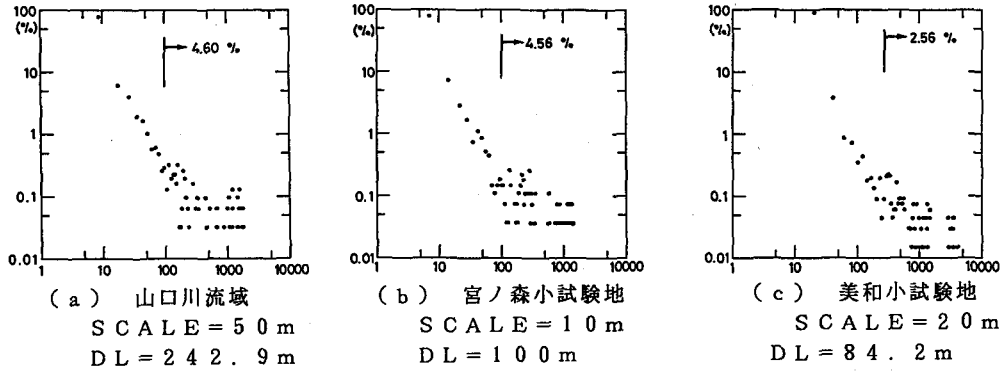
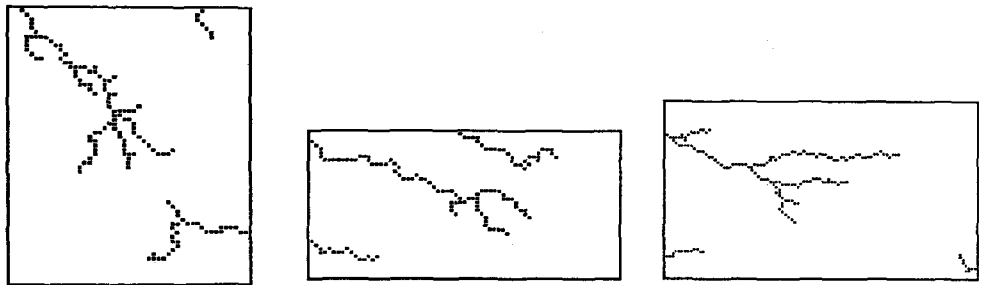


図-4 各流域に関する集水面積の度数分布図



(a) 山口川流域 (b) 宮ノ森小試験地 (c) 美和小試験地

図-5 各流域の水系網 (SCALE, DLは図-4に対応している)

3 保水能分布の定義と算出方法

ある1つの特性を持つ表層によって覆われた流域の部分では、累積降雨量がその表層によって定まる一定値に達するまでは雨水は土壌の毛管力に支えられ、保水されたり窪地に貯留されたりして直接流出

には寄与しない。このときの累積降雨量を保水能と定義する。さらに流域内では保水能は様々な値を取る
るので、ひとつの保水能を持つ表層が流域全体に占める割合の分布を保水能分布と定義する。

保水能分布の算出については既に山田らの報告があり、ここに再録する。流域のある部分の保水能を
 h とし、保水能分布を $S(h)$ とすると、総降雨量 R と総損失雨量 $F(R)$ の間に次のような関係式が成立
する。

$$F(R) = R - \int_0^R (R - h)S(h)dh \quad (2)$$

(2) 式を積分方程式とみたとて解くと、次式を得る。

$$S(R) = -d^2F/dR^2 + [1 - dF/dR(R=0)] \cdot \delta(R) \quad (3)$$

$$\begin{cases} \delta(R) = \infty & (R=0) \\ \delta(R) = 0 & (R \neq 0) \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(R) dR = 1$$

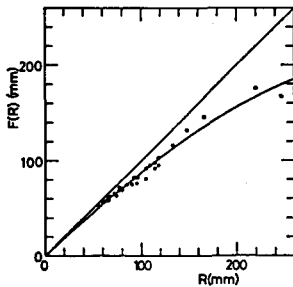
本研究では R 、 $F(R)$ のデータを次式により近似する。

$$F(R) = A \cdot \tanh B \cdot R \quad (4)$$

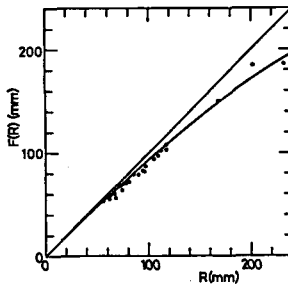
未定係数 A 、 B に関しては非線形最適値問題の代表的解法のひとつであるダビドン法により求めた。
このとき $S(h)$ は次式により表現される。

$$S(h) = 2AB^2 \frac{\sinh Bh}{\cosh^3 Bh} + (1 - AB) \cdot \delta(h) \quad (5)$$

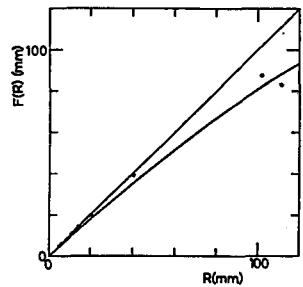
(5) 式中の $(1 - AB)$ は $h = 0$ 、すなわち不浸透部分の面積率を表している。図-6 は各流
域に関する R 、 $F(R)$ をプロットし、(4) 式による回帰曲線を描いたものである。図-7 は各流域につい
ての保水能分布を描いたものであり、図中に不浸透面積率を記入してある。



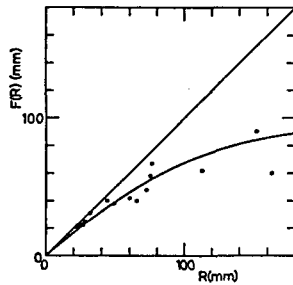
(a) 山口川流域



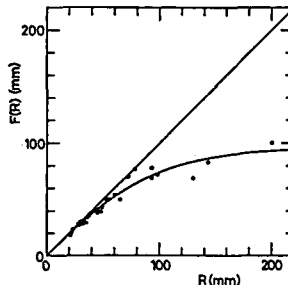
(b) 祖父ヶ峰流域



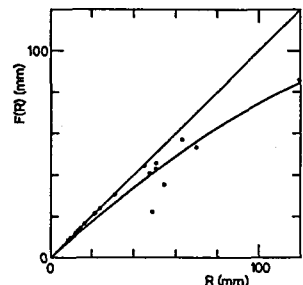
(c) 宮ノ森小試験地



(d) 美和小試験地



(e) 梓川小試験地



(f) 北見北陽流域

図-6 各流域における総降雨量 R と総損失雨量 $F(R)$ の関係

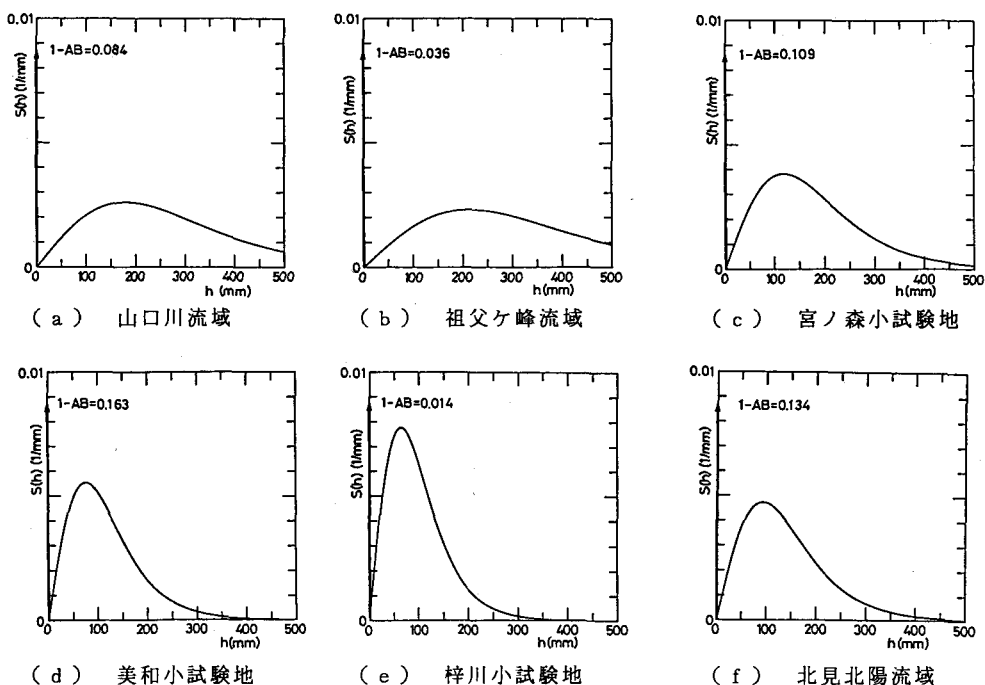


図-7 各流域における保水能分布図

4 地形特性と流出特性の関係

これまでに得られた地形特性と保水能分布との関係調べのために描いたのが図-8である。横軸に流域の不浸透面積率 ($1-AB$) をとり、縦軸に図-4で書き込んだあるしきい値以上の集水面積を持つピクセルの全体に対する割合をとったものである。宮ノ森小試験地の上に出ている点は $SCALE=30\text{ m}$ の点であり、一番下の点は 5 m の点である。これから $SCALE$ が小さいときには河道網の近傍の面積率は小さく算出されることがわかった。また山口川・祖父ヶ峰・宮ノ森・北見北陽の各流域では流出率が比較的小さく、安定した特性を示す流域であるが、梓川流域や美和小試験地は洪水到達時間が流域面積のわりには大きく、(降雨のピークに対して流出のピークが数時間遅れる流域である。) 流出率も比較的大きいことがわかっていて、この2つの流域を除くと過去の洪水データから算出された各流域ごとの不浸透面積率は地形図から算出される河道近傍の面積率にほぼ等しくなっており、かつその値は流出率に近い値をとっている。このことから本研究で示したように地形図から河道部分を算出することにより流出率を推定することが可能になってきたように思われる。なお梓川流域及び美和小試験地ではこのような考えかたが適用できないように思われる。これに関して著者は両流域の持つ遅れ時間より判断して遅い中間流が発達した流域ではないかと考えている。このような流域においては河道近傍のみが流出寄与域とはならず、斜面の全体が遅い中間流出を発生する寄与域になっているのではないかと推定される。

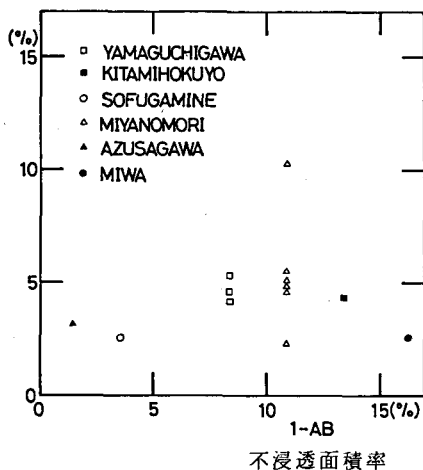


図-8 不浸透面積率と河道近傍の面積率

5 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。ここで得られた結論は以下のようである。

- 1) 地形図をあるメッシュサイズに区切るとき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となる。
- 2) デジタルマップの作成に際し距離の2乗に反比例した重みつき平均を採用しているが、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。
- 3) 河道網の算出にはあるピクセルの集合以上を河道とみなす方法を採用しているが、各ピクセルの持つ集水面積の分布には明らかに傾向の変わる折曲点が存在する。
- 4) 河道網の決定には集水面積の度数分布にみ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。
- 5) 集水面積の折曲点より大きな部分の全体に占める割合は、河道近傍の流域全体に占める割合になっている。さらにこの値は近似的に過去の水文データから算出される保水能分布の不浸透面積率に等しくなっていた。
- 6) 上記5)で得られた値は近似的に各流域の流出率にも等しい値になっている。ただし流出の遅れが大きい流域に対してはこの考えかたは適用できない。

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ここに感謝の意を表す。また地形情報処理にあたっては野上ら⁹⁾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いただいている。記して謝意を表す。最後に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。

<参考文献>

- 1) 山田正・石井文雄・山崎幸二・岩谷 要:第29回水理講演会論文集、p.p 25~30.,1985.
- 2) 山田正:土木学会論文報告集、NO.306,1981.
- 3) 山田正:土木学会論文報告集、NO.314,1981.
- 4) 山田正・山崎幸二:第27回水理講演会論文集、1983.
- 5) 山田正・山崎幸二・岩谷要:第39回土木学会年講概要集第2部、1984.
- 6) 山田正・池内正幸・鶴田郁夫:第30回水理講演会論文集、1986.
- 7) 藤田睦博・山田正・佐々木啓文:第43回土木学会北海道支部論文報告集、1986.
- 8) 山田正・佐々木啓文:第42回土木学会年講概要集第2部、1987.
- 9) 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集、北海道開発局土木試験所