

小流域の疑似河道網と流出

Study on Runoff from Small Basin with Ideal Channel Network

藤田睦博*・道口敏幸**・榎 国夫***

By Mutsuhiro Fujita, Toshiyuki Michiguchi and Kunio Enoki

Meteorological radars have covered almost the Japanese archipelago. The information from these radar systems consists of mesh data. The size of each mesh is approximately 3km*3km. It is very important to estimate the runoff from these small basins to use the information from radar system. In this paper, the effects of variations of channel network structure on flood peak magnitude are investigated using simulated stream networks for the small basins. Numerical experiments are carried out to explore the relationship between the hydrograph and the channel network structure. It is concluded that the duration of rainfall input plays an important role.

keyword: Channel network, link-magnitude, Geomorphology, Hydrograph

1. はじめに

近年、全国的な規模で気象レーダーが整備され、流出計算の際の雨量情報が飛躍的に増大している。レーダー情報はメッシュごとに与えられ、メッシュの大きさは3kmx3km程度である。このメッシュ内では、レーダー情報のみで降雨強度の地域分布を識別できない。レーダー情報を流出予測に利用するならば、先ず、メッシュの面積に相当する面積が9km²程度の小流域からの流出を精度良く解析する必要がある。

このような小流域内でも大縮尺の地形図でみれば谷や河道が発達しており、これらをどの程度まで考慮するかによって流出解析の重要な要素の一つである斜面長も変化し流出特性も異なる。本論文では、小流域内に疑似河道網を想定し、簡単な流出モデルを適用して流出の基本的な特性を吟味したものである。

* 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科
(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

** 正会員 北海道大学文部技官 工学部土木工学科
(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

*** 正会員 工修 秋田工業高等専門学校助教授 土木工学科
(〒011 秋田市飯島文京町1-1)

2. 国土数値情報の利用¹⁾

表-1は、北海道内の諸河川を対象に1/20万、1/5万、1/2.5万地形図より測定した流域面積 9km^2 程度のマグニチュードを示している。最大縮尺の1/2.5万地形図でさえそのマグニチュードは1～6程度で、十分に地形を表現しているとは言えない。市販されている地形図の縮尺は、その縮尺が限定されているので（通常1/20万、1/5万、1/2万5千）、さらに大縮尺の河道網を得るために国土地理院によって整備されている国土数値情報を用いて 10km^2 以下の小流域を対象にその河道網特性を調べた。

国土数値情報を用いて模擬河道を発生させるには、適当に閾値を設定する手法が採用されている。図-1は、北海道内の15流域を対象に国土数値情報より求めた各リンクに付随する平均面積 $A_N(\text{km}^2)$ 、平均リンク長 $L_N(\text{km})$ とマグニチュード N の関係を示している。

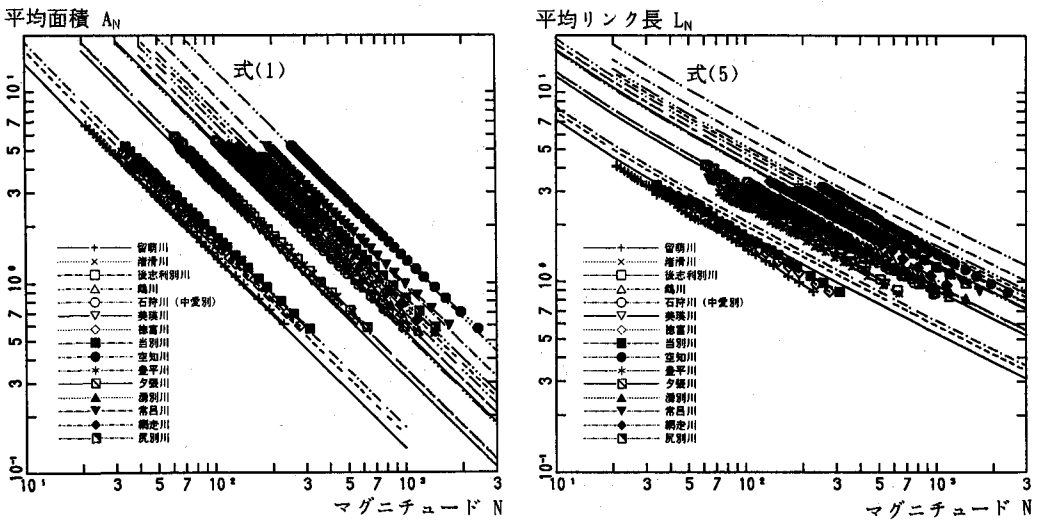


図-1 マグニチュードと平均リンク長およびリンクに付随する平均面積

表-1 北海道内諸河川の縮尺別地形図マグニチュード

マグニチュード N の流域は、 $(2N-1)$ 個のサブ流域より構成されている。 A_t を全流域面積とするとサブ流域の平均面積は、次式で与えられる。

$$A_N = A_t / (2N-1) \quad \dots(1)$$

一方、図-2に示すようにマグニチュード N の流域において本流に合流する平均支流数 M_N は、式(2)で与えられる。

$$M_N = \sum_{i=1}^{N/2} P(i, N) (M_{N-i} + 1), M_1 = M_2 = 1, M_3 = 2, N \geq 4 \quad \dots(2)$$

ここに、 $P(i, N)$ はマグニチュード N の河道網を最下流の合流点で切断し二つの河道網をつくったとき、一つの河道網のマグニチュードが i 、もう一つの河道網のマグニチュードが $(N-i)$ となる河道網パターンの生起確率である。

流域名	単位流域面積(km^2)	1/20万	1/5万	1/2.5万
豊平峡	8.616 9.130	1 1	2 1	2 1
定山溪	8.006 9.065	1 1	3 1	6 1
夕張ダム	9.859 8.685 9.345 11.714	1 1 1 1	1 1 2 2	1 1 2 1

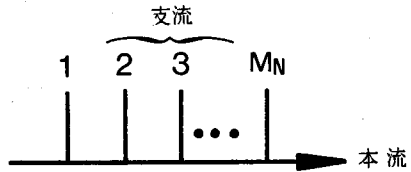


図-2 本流に合流する支流

$$P(i, N) = \frac{2(2i-3)!N!(N-2)!(2N-2i-2)!}{(i-2)!i!(N-i)!(2N-3)!(N-i-1)!} \quad i \geq 2, N \neq 2m \quad \dots(3)$$

$$P(m, 2m) = \frac{8m}{(4m-2)!} \left[\frac{(2m-1)!(2m-3)!}{m!(m-2)!} \right]^2$$

$$L_M = 1.273 A_t^{0.6} \quad \dots (4)$$
$$L_N = 1.273 A_+^{0.6} / (M_N + 1) \quad \dots (5)$$
$$A_t^{1/2} \propto L_M^{1/1.2} \quad \dots(6)$$

図-3 A_N と L_N の関係

図-4は、北海道留萌川流域から抽出した小流域に関して国土数値情報を用いて閾値（最急勾配方向落水線図メッシュ通過度数）を種々変化させることにより得られた河道網を示している。当然、閾値を小さくするとマグニチュードが大きくなり、河道網も複雑となる。流出解析に当たって、どの程度までの河道網を考慮すると妥当であるかが問題となる。流出には河道網の構造のみならず斜面の地質構造も関連しており、ここでは現象を単純化して地質構造が流域全体に渡って均一と仮定し、河道網の構造に注目した解析を行う。

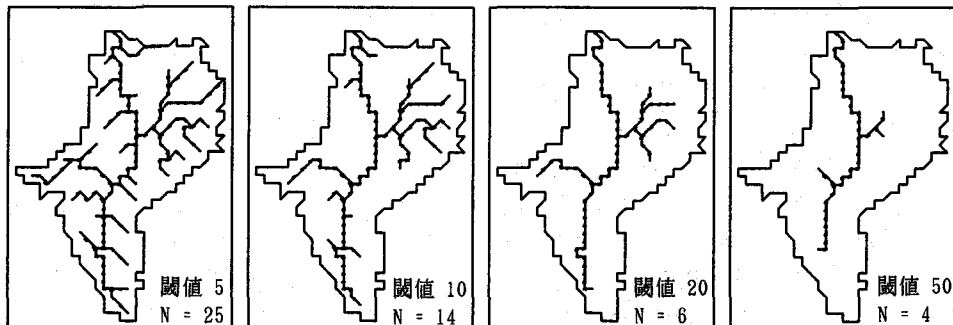
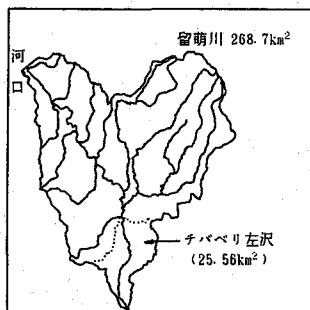


図-4 留萌川流域チバベリ左沢での閾値と模擬河道

解析の手順は、先ず、図-5に示すように流域面積 A_t ($<10\text{km}^2$) を設定する。河道長は、式(4)で与えられるものとする。図-5の河道が最も単純なもので、流出計算をする際には、流域面積の等しい長方形の流域に置換してkinematic waveモデルを適用する。一つの長方形の斜面長 B は、式(7)のようになる。

$$B = A_t / (2L_N) = 0.393 A_t^{0.4} \quad \dots(7)$$

地形図の縮尺を大きくした場合の河道網として、図-6に示すような著者らの河道網理論³⁾に従って河道網が複雑になるものとする。図-6の河道網パターンにしたがって、図-5の流域がマグニチュード N の流域になった場合を考える。各リンクに付随する流域数は $(2N-1)$ 個で、その平均面積は式(1)で与えられる。また、平均リンク長は式(4)で定義できるので、最終的に次式を得る。

$$L = 1.273 \{A_t / (2N-1)\}^{0.6} \quad \dots(8)$$

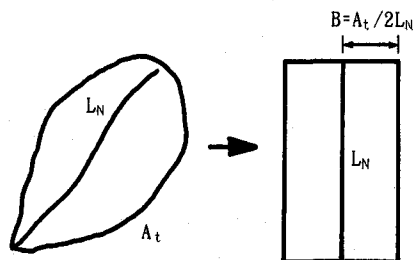
この流域を長方形流域に置換したとき、その斜面長 B は次のようになる。

$$B = 0.393 \{A_t / (2N-1)\}^{0.4} \quad \dots(9)$$

式(7)と式(9)を比較すると斜面長が $(2N-1)^{0.4}$ に逆比例して減少していることがわかる。kinematic waveモデルの計算にあたって運動方程式 ($q = \alpha h^m$ q : 単位幅流量, h : 水深) の定数に関して $\alpha = 2.77$ (メートル, 秒単位), $m = 5/3$ とした。また、各斜面流域の単位幅流量は、流域末端まで一定の伝播速度 $V = 1.5\text{m/s}$ で流下するものとした。また、降雨に関しては三角形波形を想定した。

図-7は、 $A_t = 5.10(\text{km}^2)$ についてマグニチュード $N = 1.6, 10$ (表-1を参照してマグニチュードの範囲を定めた) としたとき、出水に関して最も危険な河道網パターンと安全なパターンからの流出量を比較したものである。ここで、最も危険あるいは安全な河道網パターンの定義として、図-6で $N=6$ の場合について説明すると最後の河道網は各斜面からの出水が同時刻に集中しやすいので最も危険なパターンとし、最初の河道網を最も安全なパターンとした。マグニチュード10の場合について、それぞれ最も安全あるいは危険なパターンを図-8に示している。図-7によると降雨の継続時間が短い場合、流出ハイドログラフが河道網パターンに強く依存していることがわかる。

図-8は、ピーク流量の平均値、その分散と小流域の河道網のマグニチュードの関係を示している。図-6の $N=4$ を例に説明すると、この場合、2個の河道網パターンがあり、それぞれのパターン生起確率がわかっているので平均流量、その分散を計算できる。河道のパターンの数は、 $N=7, 8, 9, 10$ のときそれぞれ11, 23, 46, 98個である。マグニチュードが $N=1, 2, 3$ の範囲では、1個のパターンしかないので分散を定義できない。分散が大きいということは、さまざまな大きさのハイドログラフがあることを示している。



(流域の単純化)

図-5 最も単純な構造

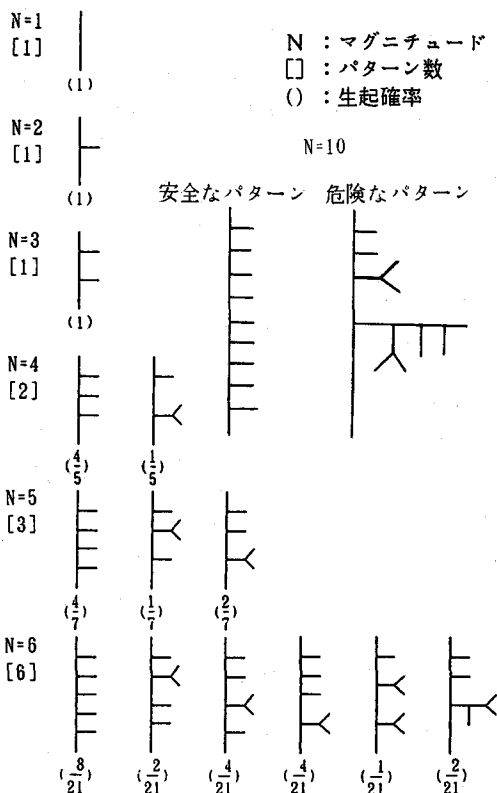


図-6 河道網配列パターンとその生起確率

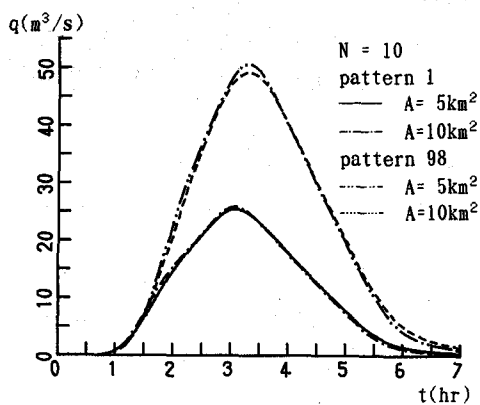
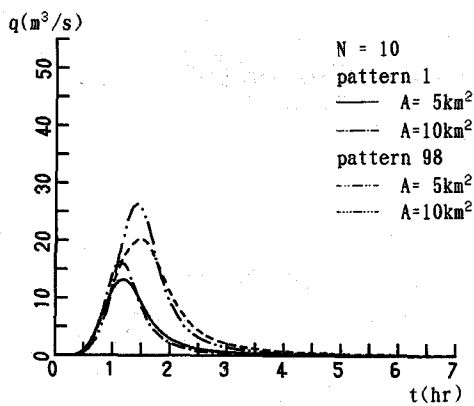
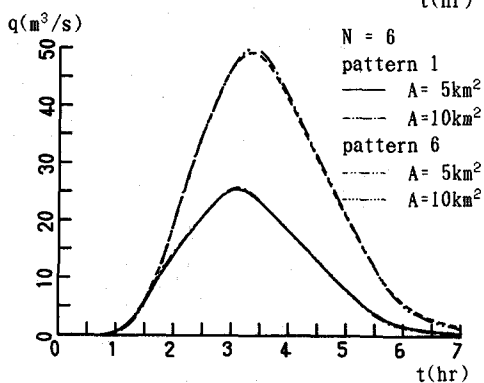
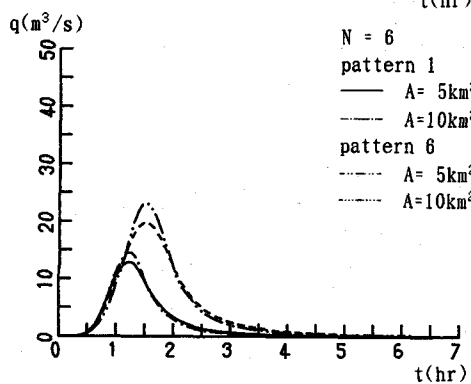
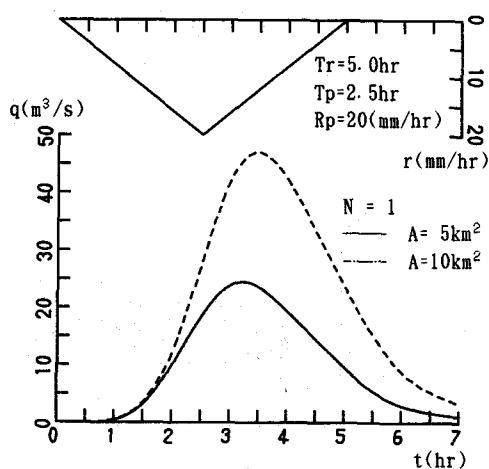
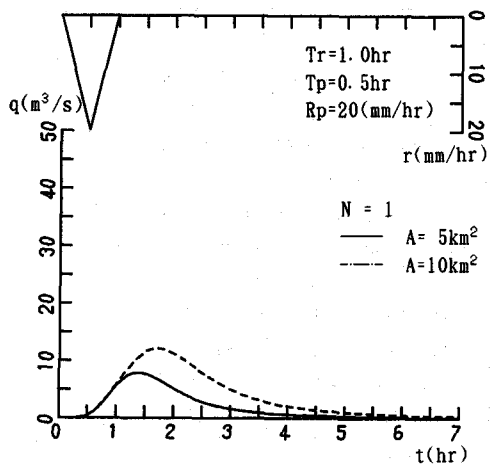


図-7 河道末端でのハイドログラフ

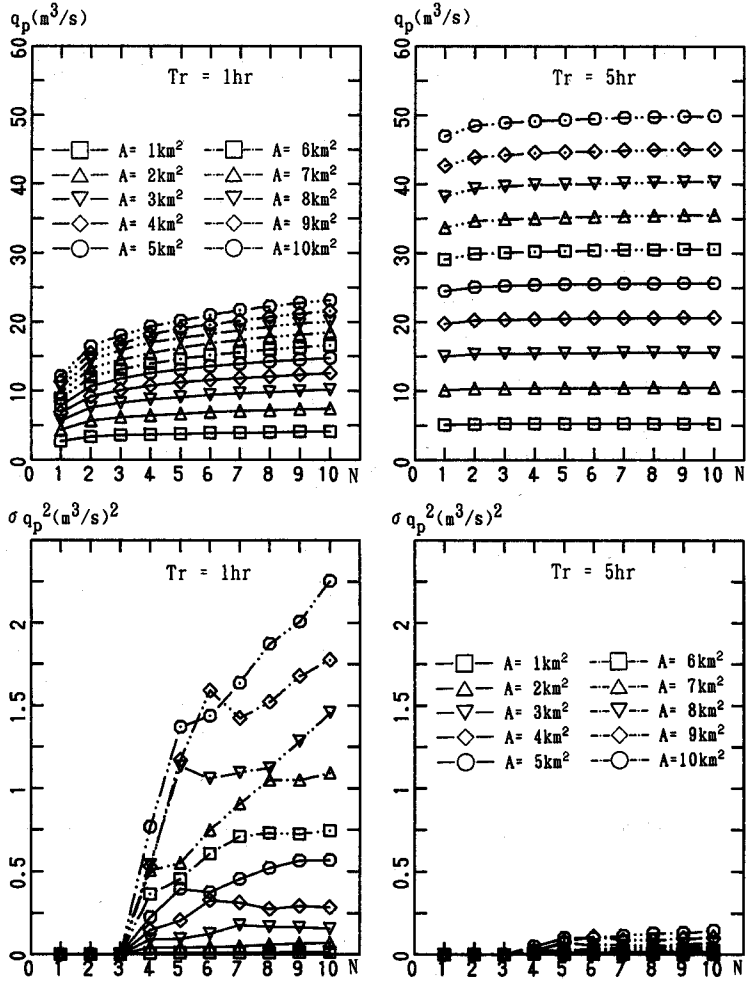


図-8 ピーク流量の平均と分散

4. まとめ

ここでは、サブ流域の集水面積、河道長ともに平均値を用いた解析であるが、集中豪雨のように継続時間が短く降雨強度の大きい降雨の流出が河道網構造に強く依存していることがわかった。流出モデルも単純であり本論文だけでは定量的な評価が困難であるが、国土数値情報が流出解析の有効な手段になることを確かめた。

参考文献

- 1) 道口：藤田：榎；模擬河道と閾値特性について、土木学会年講概要集Ⅱ、PP. 142～143、1990
- 2) 高橋秀樹；フラクタル、朝倉書店、1986
- 3) 藤田睦博；斜面長の変動を考慮した貯留関数法、土木学会論文報告集、Vol. 314、1981