

# 関川流域における分布型流出モデルを用いた洪水流出解析

地球環境研究室 増田心吾  
指導教官 早川典生

## 1. はじめに

平成7年7月11日に北陸地方を中心に集中豪雨が原因の洪水が多数発生した。同日、新潟県上越地方の関川流域でも大規模な洪水が発生した。その際、堤防の決壊による氾濫水や、水位の上昇による越流水、流量観測機器の故障などのために正確な実測流量が測定不能であり、水害後に流量の状況把握が困難になった。このような大規模な洪水が現れると、洪水流量の統計的特性が大きく変わることが危惧され、慎重なデータの整備と確かな技術による解析が必要とされる。そこで、本研究では関川流域において分布型流出モデルを作成し、7.11洪水の流量推定を行った。得られた流量資料に基づいて確率高水流量を検討し、7.11水害が統計的特性に与える影響について検討した。

## 2. 対象流域

本検討の対象流域は高田流量観測所より上流の関川流域である。この流域は図1に示すように、新潟県と長野県に位置する活火山・焼山(2,400.3m)を源とし、新井市・上越市を經由し、日本海に注ぐ流路延長64km・流域面積711.12km<sup>2</sup>(高田流量観測所上流)の一級河川である。主な支川には、白田切川・矢代川・渋江川・大熊川などがある。

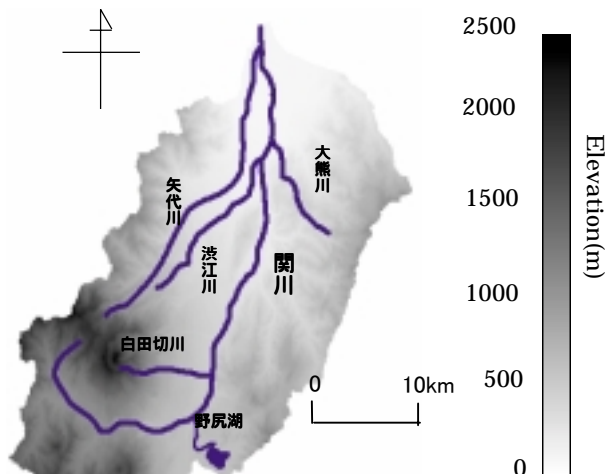


図1 関川流域(標高データ図)

## 3. 使用データ

流量データは高田水位流量観測所からのデータを使用。

雨量データは流域内にある雨量観測所 高田、安塚、二子島、赤倉、原、菖蒲、三頭、青柳のデータを使用する。

分布型モデルでは AMeDAS データより筒方、関山、樽本の雨量データを追加。気温データは各観測所、AMeDAS 観測所のそれぞれのデータを使用。

さらに擬河道網を作成するにあたり国土数値地理情報(DEM: Digital Elevation Model)50mメッシュの標高データを用いる。

また、流域界、河道の位置データは2万5千分の1の地図よりデジタイズにて取得、使用した。

## 4. 分布型モデルの概要

分布型流出モデルは、1989年に陸らによって提案されたモデルで、流域を小メッシュ(格子)に分割し、各メッシュにおいて降雨を直接流出と基底流出成分に分離し、流出モデルを適用してメッシュでの流出量を得る。各メッシュでの流出量は標高データより作成した擬河道網を介して、Kinematic Wave 法で流域出口まで追跡計算される。分布型流出モデルによる計算の流れを次の図2に示す。

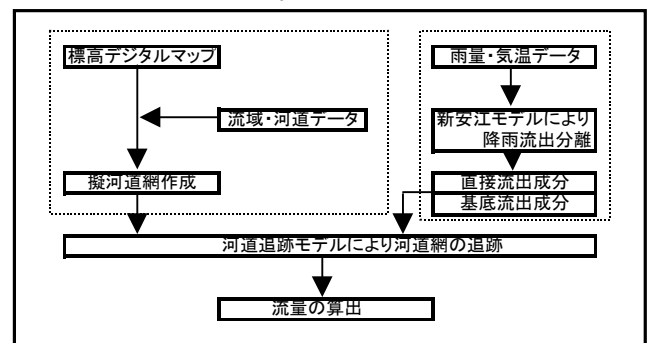


図2 分布型モデルによる流れ

#### 4.1 擬河道網の作成

擬河道網とは、流域における流出の流域出口までの集中経路を示すもので、流出場の地形を表わす重要な情報である。この流域を 50m 格子の標高データで表わし、周囲 8 メッシュ ( 図 3 ) の標高差を用い最も急な勾配を示す方向を流れ方向とし ( 図 4 ) それぞれの格子間を結ぶ擬河道網を作成した。

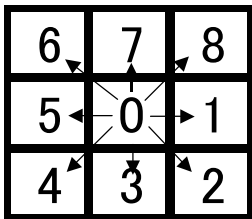


図 3 流出方向

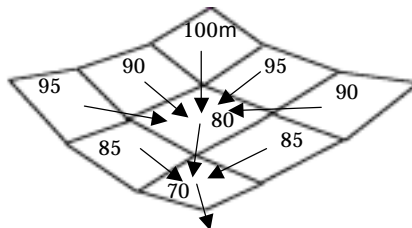


図 4 最急勾配方向の計算

陸らが提案した、地理情報から擬河道網を自動的に算出する方法を用いて関川流域の擬河道網を作成した ( 図 5 )

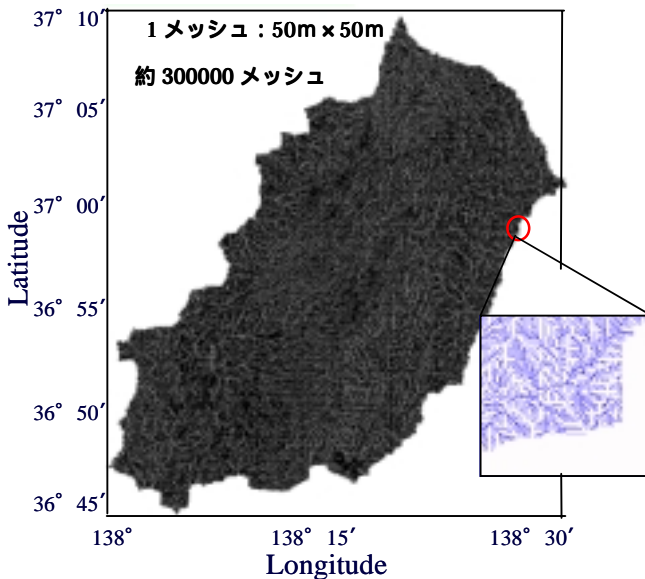


図 5 関川流域の擬河道網

#### 4.2 新安江モデル

超蓄流出理論は 1960 年代初期に提案されたもので図 6 に概要を示す。この理論では、すべての点においてその圃場容水量までの貯水能力 ( WPM ) に達するまで、流出が発生しない。また、到達してからは最終浸透能 ( Fc ) で浸透し、浸透できない部分が地表面流出となる。計算された基底流出と直接流出を足し合わせた分がそのメッシュの流出量 ( R ) となる。

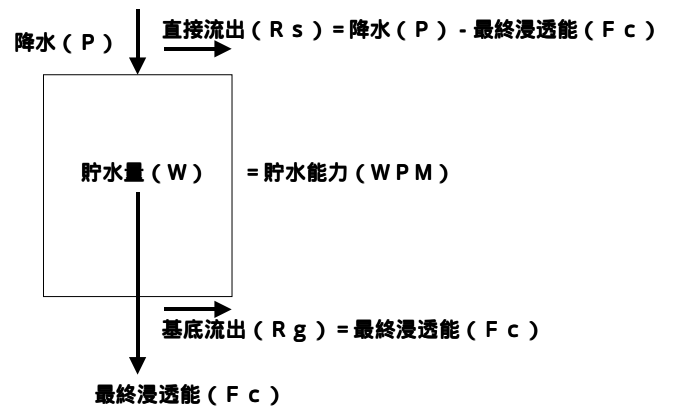


図 6 超蓄流出理論

#### 5. 洪水流出解析

##### 5.1 パラメータ同定

分布型流出モデルを用いたときに得られる計算流量を実測値に近づけるため、パラメータ設定を行った。分布型モデルで使用されている新安江モデルのパラメータのうち流出量への応答がよいとされる 3 つパラメータについて示す。

$C_g$  (地下水流出に関する減衰係数): 地下に貯留された水の減衰状況を示す。

$C_s$  (表面流出に関する減衰係数):  $C_g$  と同様、流域などに貯留された水 (表面流出水) の減衰状況を示す。

##### 減衰係数

主要降雨の後に起こって河谷や流域に貯留された水の減衰状況を示している。減衰部の成分 3 つであり、これらの流水の経路はそれぞれ個別なものであって、減衰の形も異なる ( 図 7 )。

$f_c$  (最終浸透能): 土壌が吸収することのできる水分フラックスを浸透能といい、浸透していく水の量が一定になる量が最終浸透能である。この値が大きいとピーク流量は小さくなり、小さいとピーク流量は大きくなるという性質がある。

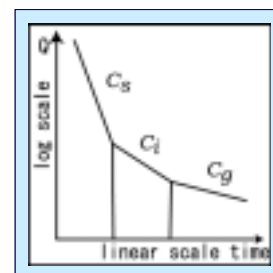


図 7 流出成分の分離

## 5.2 パラメータ同定結果と解析結果

今回過去の洪水を対象に6ケースの解析を行った。それらによって求められたパラメータ同定結果を表1に、計算結果と実測値の比較を表2にそれぞれ示す。解析結果の一例として図8(昭和56年8月23日洪水) 図9(平成5年7月13日洪水)に示す。

対象洪水	最終浸透能: fc	地下水流出減衰係数: Cg	表面流出減衰係数: Cs
1981年8月23日	5	0.99174	0.00010
1982年9月13日	15	0.99080	0.00100
1983年9月28日	8	0.99329	0.00100
1985年7月8日	15	0.99244	0.00100
1990年9月20日	10	0.99264	0.00100
1993年7月13日	5	0.99419	0.00010
同定パラメータ	9.66667	0.99252	0.00070

表1 パラメータの同定結果

対象洪水	実測最大流量 (m <sup>3</sup> /s)	計算最大流量 (m <sup>3</sup> /s)	誤差
1981年8月23日	1662	1532	0.08
1982年9月13日	2175	2102	0.03
1983年9月28日	986	962	0.02
1985年7月8日	1328	1340	0.01
1990年9月20日	1241	1210	0.02
1993年7月13日	686	653	0.05
平均			0.04

表2 実測値と計算値の比較

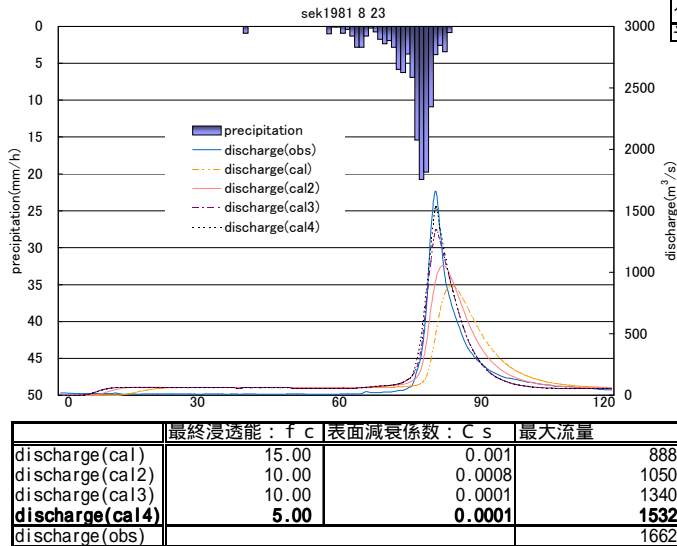


図8 (昭和56年8月23日洪水)

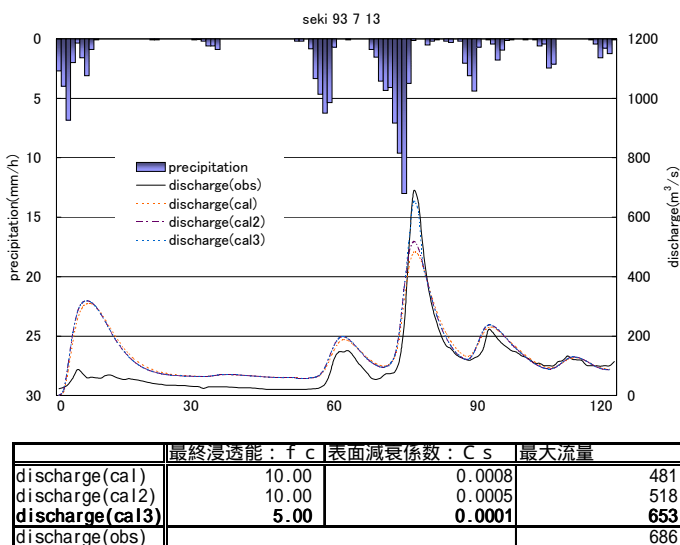


図9 (平成5年7月13日洪水)

6ケースの解析を行ったが昭和56年8月23日洪水だけ、他のものに比べピーク流量に多少誤差があった。他の5ケースについては、平成5年7月13日洪水のように実測流量を良く再現できた。今回、fcの同定だけに比べ、Csと試行錯誤によって同定を行った方が実測のピーク流量と洪水波形が良く再現できることが確認できた。

## 5.3 7.11水害の流出解析結果

同定(平均)したパラメータを用い計算を行った結果、推定最大流量は2,180m<sup>3</sup>/sとなった(図10)。また、同定の際のパラメータ範囲内で考えられる最大流出量を最大とするパラメータ(以下パラメータ最大と呼ぶ)では2,410m<sup>3</sup>/s、最小とするパラメータ(パラメータ最小)では2,120m<sup>3</sup>/sと算出された(図11)。

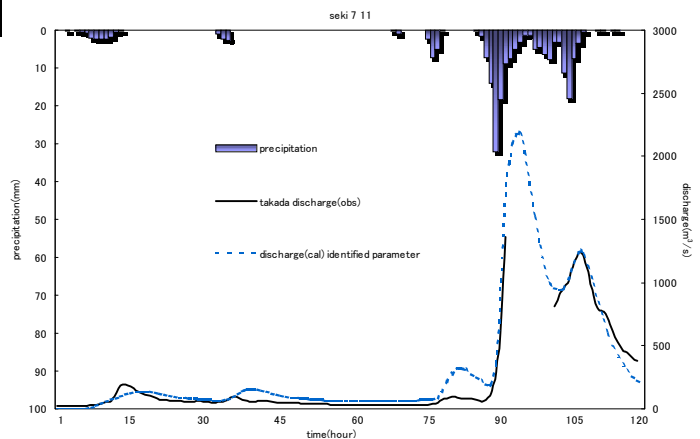


図10 7.11解析結果(同定パラメータ)

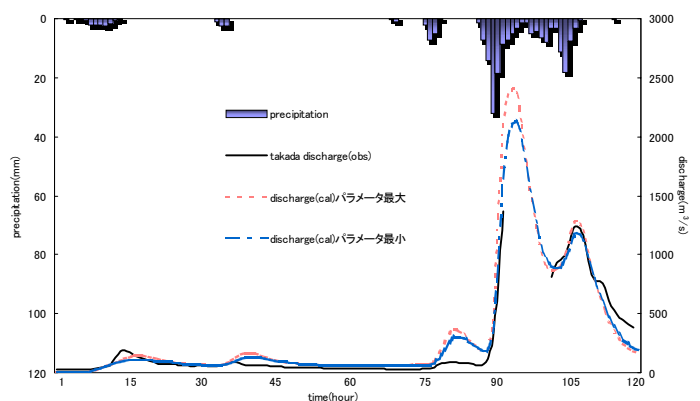


図11 7.11解析結果(最大、最小パラメータ)

## 6 . 河川計画に及ぼす影響

得られた流量を基に、河道計画に大きく影響を与える計画高水流量の基礎となる確率流量を、対数正規確率分布をあてはめることにより求めた。

### 6 . 1 確率水文学の算定法

確率水文学を既往の資料から算定するには、次に示す方法がある。

#### ・ 確率紙を利用する方法

では、Hazen 法を用い経験分布を求めた。

#### ・ 分布関数を理論的に定める方法

分布関数  $F(x)$  は確率密度関数  $f(x)$  と次の関係にある。

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

従って、 $f(x)$  の関数形を理論的に定めることにより、確率水文学を求めることができる。本検討に用いた確率分布関数は、

$$f(x) = \frac{1}{(x-b)\sigma_b \sqrt{2\pi}} e^{-\{\ln(x-b)-\eta_b\}^2 / 2\sigma_b^2} dx$$

$b$  : 変数  $x$  の下限値、 $\sigma_b^2$  を最小とする  $b$  を求める ( 図 1 2 )

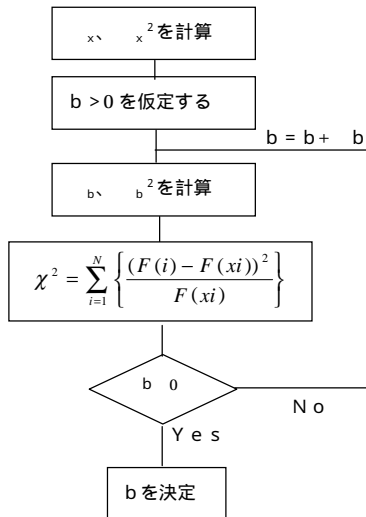


図 1 2  $\sigma_b^2$  - minimum method

### 6 . 2 確率流量の算定結果

6.1 により求めプロットした結果を図 1 3 に示す。

平成 7 年より以前の年最大流量を用いた資料の 100 年確率流量は 2,476m<sup>3</sup>/s と算出された。次に、分布型流出モデルにより得られた平成 7 年 7 月 11 日流量 ( 同定パラメータ ) を加え計算した結果、

100 年確率流量は 2,749m<sup>3</sup>/s となった。また、パラメータ最大で算出した推定流量を加えた資料の 100 年確率流量は、2,880m<sup>3</sup>/s となった。

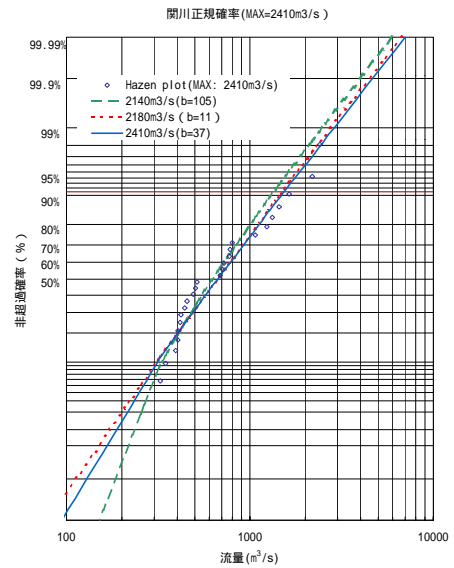


図 1 3 経験分布と対数正規確率のあてはめ

## 7 . 結論

- ・ 関川流域において擬河道網を作成し、分布型流出モデルを作成することができた。
- ・ 分布型流出モデルを用いて、関川流域における過去 6 ケースの洪水について実測流量を良い精度で再現し、分布型流出モデルで使用されている新安江モデルのパラメータの値を同定した。
- ・ 同定したパラメータを用いて、関川における平成 7 年 7 月 11 日水害の流出解析を行った結果、欠測とされる最大流量を 2,180m<sup>3</sup>/s と算出することができた。また、パラメータ最大では 2,410m<sup>3</sup>/s、パラメータ最小では 2,120m<sup>3</sup>/s となり、最大流出量の誤差の幅が解った。
- ・ 同定パラメータによる 7.11 の流量を加え、関川の計画高水流量の基礎となる 100 年確率流量は 2,749m<sup>3</sup>/s と算出され、7.11 以前の水文資料による 100 年確率流量を 273m<sup>3</sup>/s 上回った。
- ・ パラメータ最大と最小の流出量より、流量資料に基づいて河道計画高水流量を定めるものとするならば、安全性を重視した場合、100 年確率流量を 2,880m<sup>3</sup>/s とし、経済面を重視するとしても 2,476m<sup>3</sup>/s 以上とし、これより下げるとは危険であると考えられる。