

# 山地河川流域での流出モデルに関する研究

Study of runoff model in mountain river basin

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 斎藤 英俊(Hidetoshi Saitou)  
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 黒木 幹男(Mikio Kuroki)

## 1. はじめに

山地流域はさまざまな地形、地質、植生などの特性を有しているため雨水の挙動はきわめて複雑である。さらに降雨は水のみならず、土砂の流出をもたらし、この相互関係においても十分に解明されているとは言い難い。もし山地流域内の流出現象を精度よく再現することができるのであれば、災害の予測、土砂動態の予測などが可能になり、河道の維持または管理を行う上で非常に有効である。本研究では「石狩川流域ランドスケープ情報」収録の国土数値情報の第3次メッシュデータからなる河道網とその流域内情報の利用を前提に、山地流域内での雨水の流れを kinematic wave 法を用いて追跡し、任意の地点における流量及び浮遊砂量を降雨からセットで評価する流出モデルの開発を進めた。

## 2. モデル流域

対象モデル流域として北海道空知郡南富良野町に位置する石狩川水系の基幹貯水池である金山ダム流域で解析を行った。流域面積は 469km<sup>2</sup>、河道網図のメッシュ数は 498 個、1メッシュあたり 0.942 km<sup>2</sup>であり、外部リンク数 190 個、河道数 497 本である。図中の●は河道幅調査地点を表している。流出ポイントを金山湖から上流約 3km に位置する幾寅観測所に解析を行った。

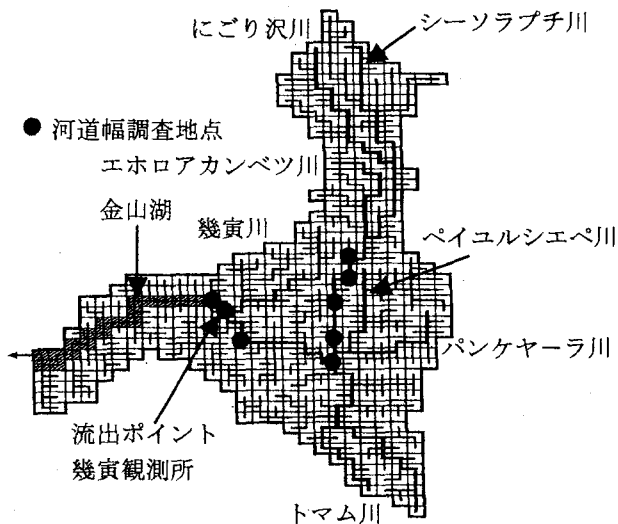


図-1 金山ダム流域河道網図

## 3. 雨水流出の基礎式

雨水の流出の計算に Kinematic wave 法を採用した。斜面上、河道内の流れに対する運動方程式、連続方程式はそれぞれ(1)~(4)式で表される。

$$h = kq^p \dots (1) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \dots (2)$$

k, p: 定数、h: 水深、q: 斜面単位幅流量、t: 時間、x: 斜面上流端からの斜面距離、r: 有効雨量強度。マニング型の抵抗則を適用すると、i を斜面勾配、n を斜面の粗度係数としたとき

$$k = \left(\frac{n}{\sqrt{i}}\right)^5 \text{ で } p=0.6 \text{ となる。}$$

$$A = k'Q^{p'} \dots (3) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x'} = q_{side}(t) \dots (4)$$

A: 河道の流水断面積、q<sub>side</sub>: 斜面単位幅当たりの河道への流入量、k', p': 定数、x': 河道上流端からの河道距離。マニング型の抵抗則を適用して、i' を河床勾配、n' を河床の粗度、断面を広幅矩形断面としたとき、

$$k' = B\left(\frac{n'}{B\sqrt{i'}}\right)^5 \text{ で } p=0.6 \text{ となる。}$$

## 4. 計算条件

### 4.1 河道勾配について

各3次メッシュの最低標高を河床高と想定し、各リンクの最低標高を結ぶと河床縦断形を描く事ができる。描いた縦断形は一般にがたがたしており、しばしば縦断方向に河床高が逆転したりする。このために図-2のようにフェアリング操作をして勾配を求めた。

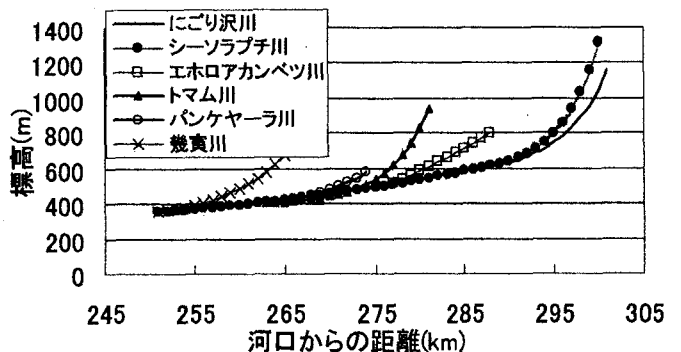


図-2 シーソラブチ川と支川の河床縦断形

#### 4.2 河道幅について

金山ダム流域のすべての河川を現地で把握しているわけではないので、本研究では(5)式の流域面積と河道幅の関係より算出する。図-3は全道主要河川や流量観測所における流域面積と河道幅の関係図である。また、シーソラプチ川の本支川の実測データに関して、平成8年に現地で実測した川幅と河道網より計測した流域面積の関係のプロットしたものである。(5)式で算出した流出ポイントの川幅は39.6mであるのに対し、実測では40.3mであった。

$$B = 4.7379A^{0.3579} \dots (5)$$

#### 4.3 河床の粗度係数について

計算の簡略化のため、山地河川流域である事を考慮しすべてのメッシュで河床の粗度係数を0.05と仮定して計算した。

#### 4.4 斜面の粗度係数について

表-1は土地利用形態と等価粗度nの関係の表である。本研究では、各メッシュの土地利用形態から表-1の等価粗度をメッシュごとに与えた方法と斜面の粗度を各メッシュで一定とした二つの方法で比較検討した。

表-1 土地利用形態と等価粗度nの関係

土地利用形態	等価粗度n
水田	2 (1~3)
山林	0.7 (0.4~0.8)
丘陵、畑地、ゴルフ場、公園	0.3 (0.2~0.4)
市街地	0.03 (0.01~0.1)

水理公式集 (平成11年版 pp40)

#### 4.5 雨量観測データについて

雨量データは図-4中にある奥落合、狩勝、落合、串内、幾寅、金山観測所の6箇所の観測データをティーンセン分割して流域平均雨量を求め流域全体に適用した。

また図-5は各洪水の流出高と総雨量の関係を示した図である。洪水時期は昭和56年から平成10年までで総雨量50~250mm、欠測データがない6洪水を選んだ。このグラフより累計雨量が0~100mmまでなら有効雨量は(6)式を、100mm以上なら(7)式を用いた。

$$Re = 0.3 \times Ra \dots (6) \quad (\text{累計雨量: } 0 \sim 100\text{mm まで})$$

$$Re = 0.45 \times Ra \dots (7) \quad (\text{累計雨量: } 100\text{mm 以上})$$

#### 5. 水の流出計算結果

図-6に斜面の粗度の違いによる流出結果の一例としてH10.9.15洪水の結果を示した。

等価粗度の標準値を各メッシュ斜面に適用した場合、金山ダム流域では山林が多く、大部分が0.7の値をとっている。計算した全ての洪水時で斜面粗度を3としたときが実測との整合性が良かった。

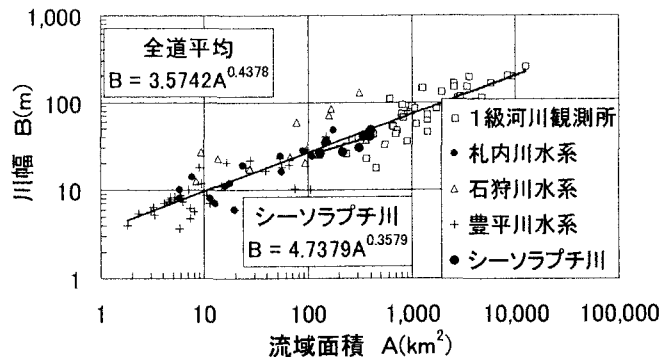


図-3 流域面積と川幅の関係

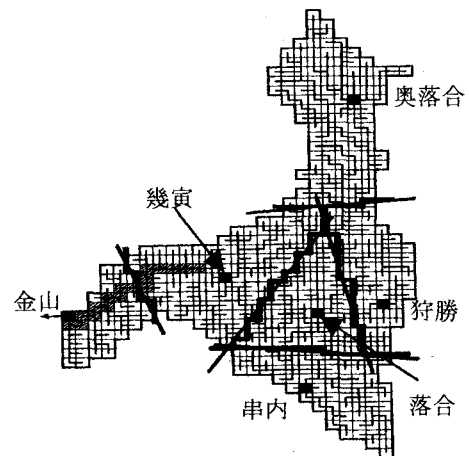


図-4 雨量観測所の位置と

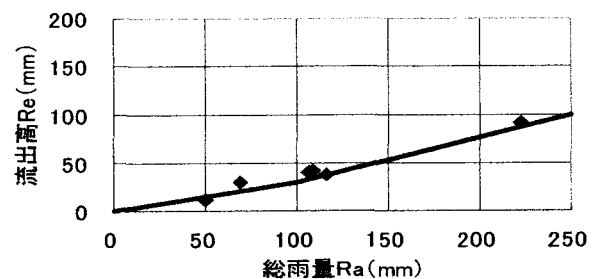


図-5 合流点観測所の総雨量と流出

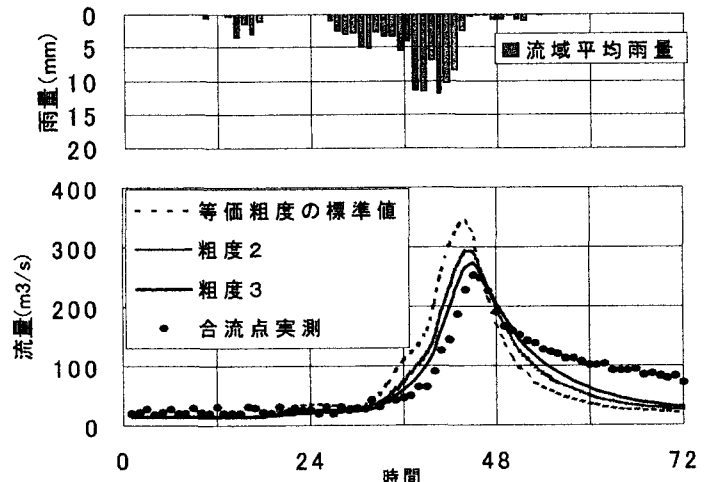


図-6 H10.9.15洪水 斜面粗度の違いによる流出結果比較

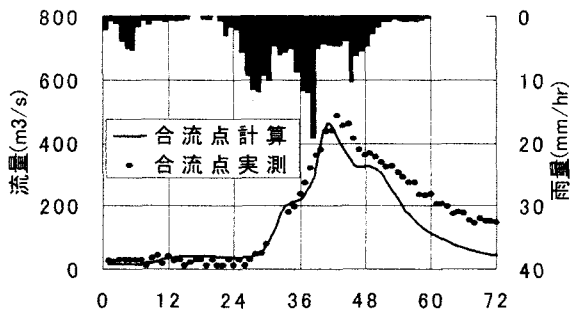


図-7 S56.8.4洪水

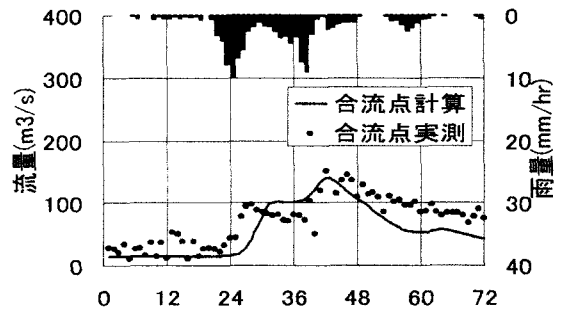


図-8 S56.8.22洪水

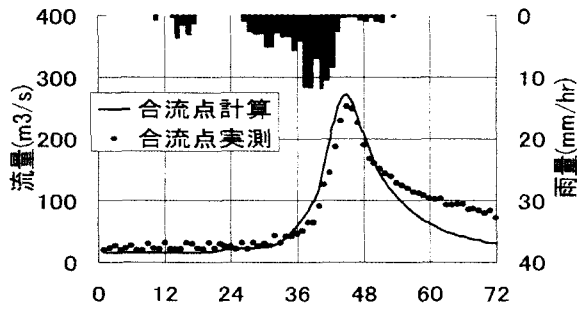


図-9 H10.9.15洪水

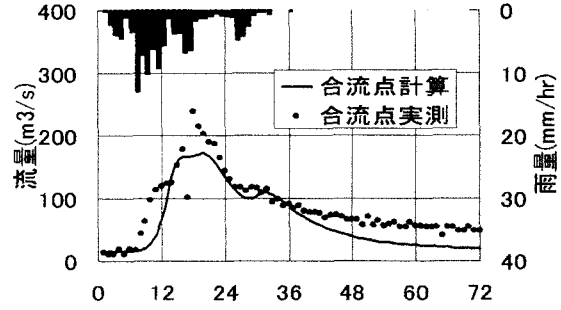


図-10 H10.8.28洪水

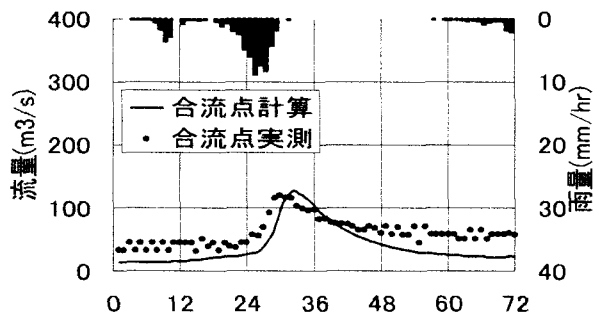


図-11 H10.9.22洪水

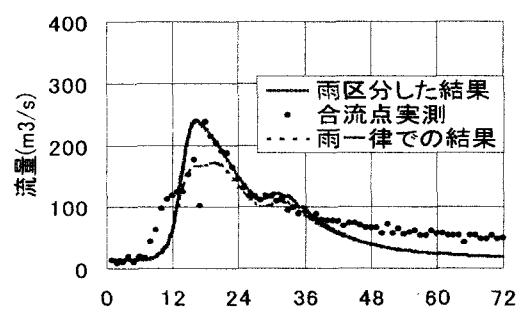


図-12 H10.8.28洪水 雨量データ区分

各洪水時の流出結果を図-7から図-11に示す。いずれのグラフも幾箇所の実測値と計算値を比較したものであり、実測値と整合性の良い斜面祖度を3としたときの結果である。

実測値と計算結果を比較すると、図-10以外、ピーク時刻、ピーク流量ともに計算結果が実測値とだいたい合っている。

図-10のH10.8.28洪水に関して各観測所の雨量データを調べたところ、各観測所の雨量データにばらつきが見られた。流域平均雨量を流域全体に一律に降らせているので各観測所の雨量データにばらつきがあると、計算値に影響する。そこで図-4のティーセン分割した6つの流域に対してそれぞれの雨量観測所のデータを適用し、その結果を図-12に示した。この結果をみると、流域平均雨量を一律に適用するよりも実測との整合性が良くなることが確認できる。いずれの結果も減水期において計算値と実測値との

間に開きがあることが確認できる。減水期に関しては今後更なる検討が必要である。

## 6. 浮遊土砂量

### 6.1 浮遊土砂の生産過程

発生する土砂は斜面からのみ生産され、河道内では発生せず、かつ堆積しないとす。いわゆるウォッシュロードとして挙動する。

また斜面からの浮遊砂濃度は崩壊地面積量に比例するものとした。ここで各ユニットの崩壊地面積データは「石狩川流域ランドスケープ情報」に収録されているデータを用いた。式は

$$C_a = \beta q_{side} A_c / A' \dots (8)$$

で与える。ここで、 $C_a$ : 斜面における単位幅当たりの浮遊砂濃度、 $\beta$ : 定数、 $A_c$ : 各ユニットの崩壊地面積

A': 各ユニットの流域面積である。定数βについては一洪水中に観測された浮遊砂量と計算結果が適合するように定め、流域内では一定とした。

また河道における浮遊砂濃度は(7)式を仮定し算出した。この式から各々の地点の単位河道から流出する浮遊砂の濃度  $C_d$  が求まる。

$$C_u Q_u + C_a q_{side} L = C_d Q_d \dots (9)$$

ここで、 $C_u$ : 単位河道の上流端における浮遊砂濃度、 $Q_u$ : 単位河道の上流端における流量、 $L$ : 河道長、 $C_a$ : 単位河道の下流端における浮遊砂濃度、 $Q_d$ : 単位河道の下流端における流量である。

## 6.2 浮遊土砂の流出結果

金山ダム流域で浮遊砂に関するデータが無かったので下流地点の赤平観測所の浮遊砂データを用いる事にした。赤平の単位幅あたりの流砂量を幾寅観測所での川幅をかけて金山ダム流域に対応した。図-13では観測値と計算値が大体合う  $\beta=0.3$  として計算を行った。

図-14は石狩川ランドスケープ情報収録の崩壊地面積データを用いた金山ダム流域における崩壊地面積量の分布図である。金山ダム流域は崩壊地率が6パーセントであり、そのうち幾寅川流域の崩壊地が全崩壊地の35パーセントを占めている。各支川のシーソラプチ川との合流点で流砂量を求めた。

図-15の結果を見ると、トママ川合流点から幾寅川合流点にかけて浮遊砂量が倍増していることがわかる。これは斜面や河道勾配の影響も考えられるが幾寅川流域の崩壊地量の影響を反映しているものと思われる。

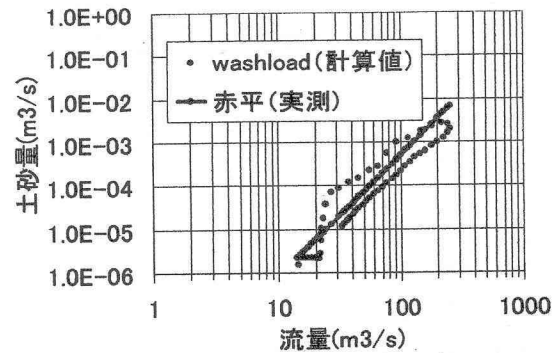


図-13 H10.9.15 流量と流砂量

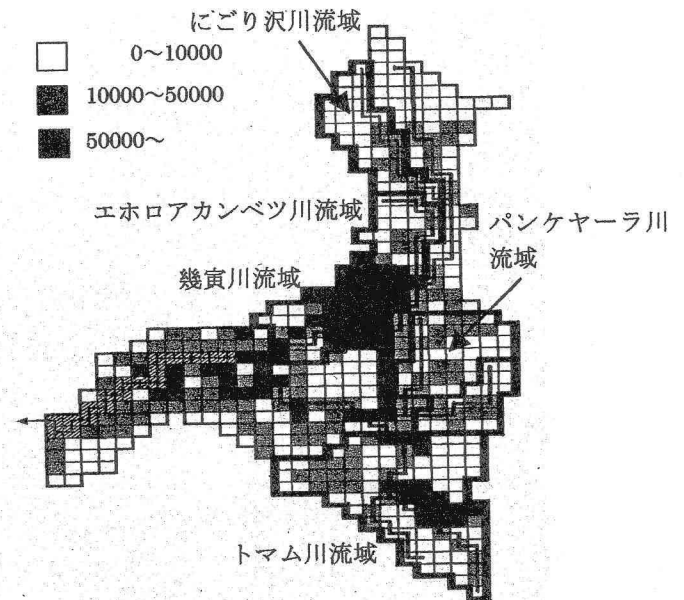


図-14 崩壊地面積分布図

## 7. おわりに

本研究では「石狩川ランドスケープ情報」を用いて降雨による流出と流出土砂量をセットで評価できるモデルの改良を行い、さらに実流域に適用し考察した。

降雨による流出の再現性はピーク時間、流量が実測とほぼ合い、良好といえる。しかし、減水期では実測値と計算値に開きがあり、さらなる検討が必要である。また、土砂計算に関しては計算地点での浮遊砂に関するデータが無かったので、仕方なく下流の赤平観測所のデータを適用し解析した。従って、土砂計算の妥当性に疑問が残る。また、斜面の浮遊砂濃度の定数βに関して、ウォッシュロードが流量の2乗に比例するという経験的な式から導きだしているためβの物理的な意味が定かではなく、さらに1つの洪水のみに同定しているため、今後詳細な検証の必要がある。

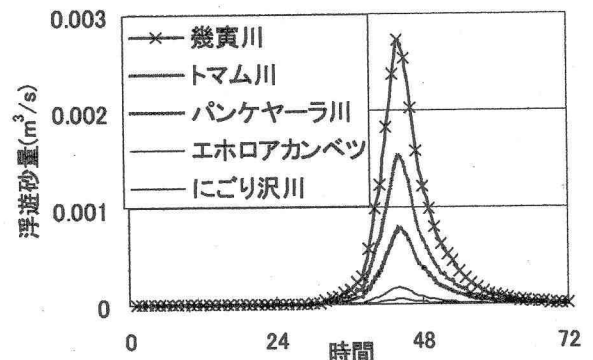


図-15 各支川合流地点における浮遊土砂量の時間的变化

## 参考文献

- 1) 財団法人北海道河川防災研究センター：石狩川ランドスケープ情報、2002
- 2) 徳田慎治・黒木幹男・板倉忠興：河道網を用いた浮遊砂流出モデルの構築とその適用、水工学論文集、第45巻 pp793-798 2001

- 3) 村本嘉雄・道上正規・下島栄一：ウォッシュロードの流下過程に関する数値解析、第18回水理講演会講演集、pp91-96 1980
- 4) 川村力・清水康行・藤田睦博・市川嘉輝：山地河川における流砂の観測と解析、水工学論文集第41巻 pp771-776、1997