忠別川上流域への分布型流出モデルの適応性の検討

Analysis of adaptability of Distributed Hydrological Model for the upstream region of Chubetsu river

北見工業大学　○学生員　山崎佑太　(Yuta Yamazaki)
北見工業大学　　正会員　中山恵介　(Keisuke Nakayama)

1. はじめに

忠別川は，大雪山連峰の忠別岳を水源とし，旭川市内で石狩川に合流する流域面積 1031.7 km²，流路延長 57.9 km の北海道上川地方を流れる石狩川水系の 1 級河川である(図－1)[1]．また，北海道の 4 大急流河川(豊平川，忠別川，札内川，渚骨川)の 1 つであり，洪水時の側岸浸食や河床変動が発生している[2]．忠別川上流部では 2010 年 8 月 24 日未明から発達した低気圧の影響による集中豪雨により，最大降雨強度 34~46 mm/h を記録し，その影響によると考えられ上忠別橋付け根部分の道路が陥没や，道道天人峡美瑛線の約 100 m において道路決壊が発生した．

災害に見舞われた忠別川上流部における河床勾配は 1/75 から 1/50 と非常に急勾配[1]であり，また上流域の地形の特徴としても等高線の間隔が狭く急峻な地形を有しているため，流達時間が短く，急激な流量増加が発生し易い地形であったことが分かる(図－2，図－3)．そのため，降水パターンによる流量特性を把握し，今後の土砂災害対策を講じる必要があると考えられる．

そこで本研究は，降雨時に忠別川上流域における流出特性を理解することを目的とし，流域の地理的特徴，土地利用状況，土壌を考慮した流出モデルによる検討を行った．具体的には，災害時の流量・降水量データをもとに，分布型流出モデルによる流出解析を行った．また，忠別ダムへの流入量データを利用した再現計算の検討を実施し，忠別川上流部への分布型流出モデルの適応性を検討した．

2. モデル概要

本研究で使用する分布型流出モデルは全流域を長方形グリッドで覆い，差分法により空間的な計算を行う流出モデルである[3]．本モデルは浸透流および表面流，河道流により構成されており，図－4 にモデルの概要図を示す．過去の研究において，物理過程に基づいた分布型流出モデルが，流域からの流出，細粒分の土砂輸送，および水質を再現できることが示されている[4), 5), 6), 7)]．そこで本研究においても，過去の論文で示されたモデルと同様な仕組みのモデルを作成し利用することとし，表面流には Kinematic 方程式(式(1))，河道流には Kinematic 方程式(式(2)，(3))，浸透流には Richards の方程式に基づく不飽和浸透流方程式(式(4))を用いた．

図－1　　研究対象流域の位置

$$\frac{\partial h_{0V}}{\partial t}+\frac{\partial Q_x}{\partial x}+\frac{\partial Q_y}{\partial y}=q_S-q_I \qquad (1)$$

ここで，h_{0V}：水深，Q_X：x 方向の流量，Q_y：y 方向の流量，q_S：湧き出し，q_I：浸透である．

$$Q_r=Bh_r u_r \qquad (2)$$

$$\frac{\partial Q_r}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial \xi}(u_r Q_r)=q_r \qquad (3)$$

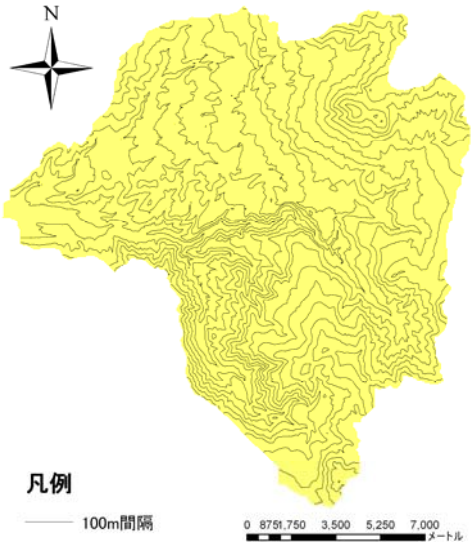
ここで，Q_r：流量，B：川幅，h_r：水深，u_r：流下方向流速，ξ：最上流端をゼロとした最下流端，q_r：横流入量である．

$$k=k_s\left(\frac{m-m_s}{m_s-m_r}\right)^{\beta} \qquad (4)$$

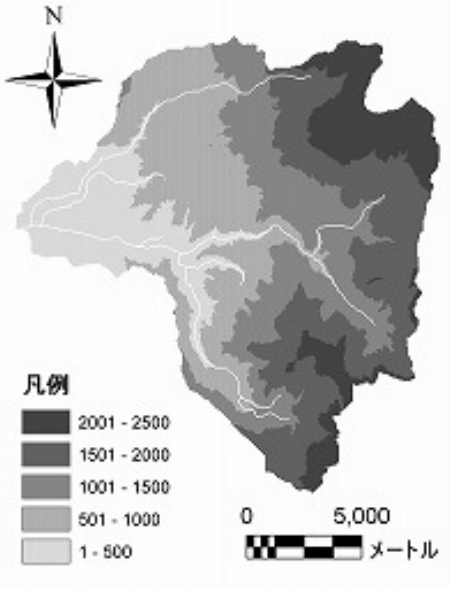
$$\frac{\partial M}{\partial t}-H\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial h}{\partial x}\right)-H\frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial M}{\partial h}\right)-H\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial h}{\partial y}\right)-H\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial M}{\partial y}\right)=0 \qquad (5)$$

ここで，k：不飽和浸透係数，k_s：飽和浸透係数，β：体積含水比の変化による透水係数の変化を表す係数，m：水分の単位体積比，m_r：残留体積含水比，m_s：飽和体積含水比，M：横流入量，H：浸透層厚，h：基準面から浸透層下部までの高さ，D：水分拡散係数である．

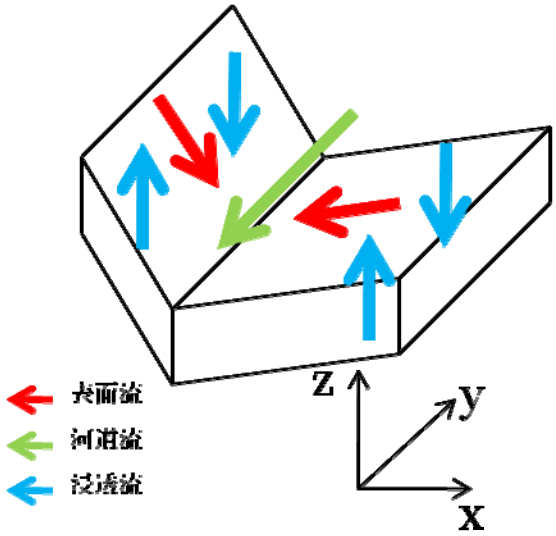
本研究では，忠別川上流域を研究対象領域としており，



図－2　研究対象領域の等高線



図－3　研究対象流域の河道と標高の関係



図－4　　水分移動概念図

図－5　忠別ダム流域と研究対象流域の比較

忠別湖と接続する忠別川の流入地点を流出点として再現計算を行った．

本研究で使用した気象データは忠別ダム管理所における観測値であるため，研究対象流域より流域面積が大きく，その分流量が大きくなっている(図－5)．そのため，再現計算で得られた数値に忠別ダム流域面積と研究対象領域である忠別川に接続する忠別ダム湖入り口における流域面積の面積比を再現計算結果に考慮することで，観測流量との比較を行った．浸透層厚は現地における浸透層圧の空間的把握が困難なため一定値と仮定した．また，計算に用いた流出モデルは200m ×200mメッシュ，計算時間間隔は1時間間隔とした．本研究で使用するモデルには融雪モデルを組み込んでいないため，融雪の影響を考慮する必要がない6月から10月の期間の中から再現計算を行った．

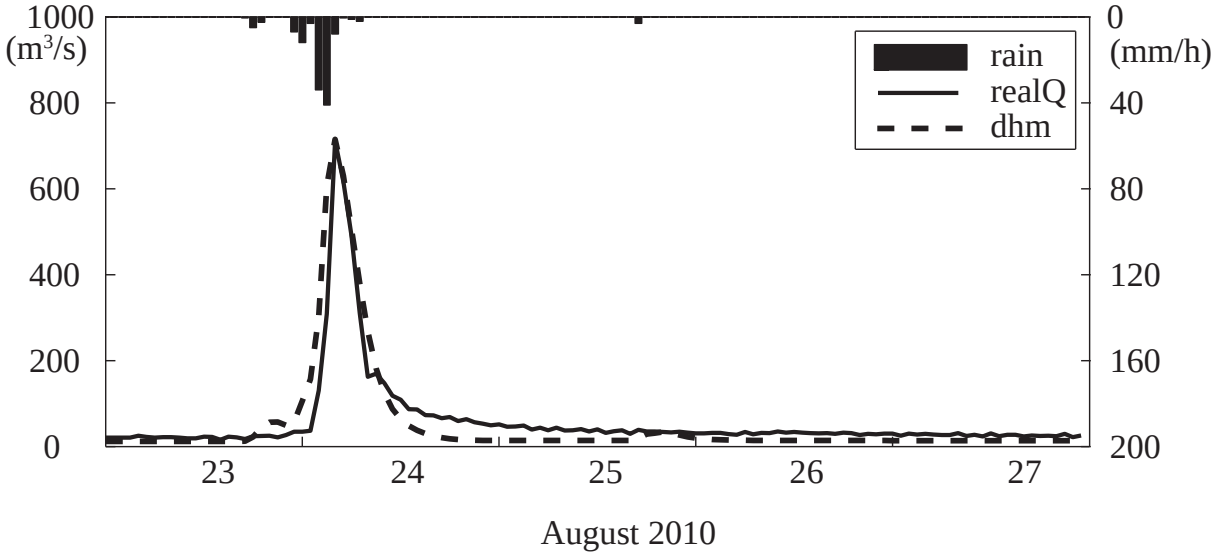
3. 分布が流出モデルの適応性の検討

本研究では，災害時である2010年8月23日から27日の再現計算を行った(図－6)．流出モデルでの再現結果と観測流量を比較してみると，ピーク流出量がほぼ一致し，降雨直後に流量が急増していることが再現できた．

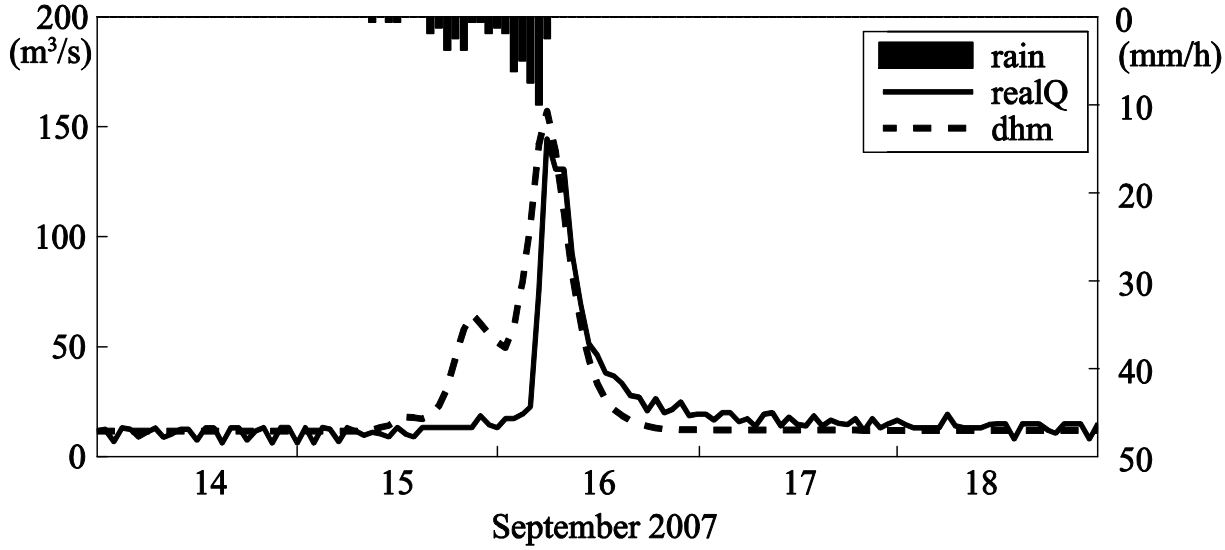
しかし，災害発生時である2010年8月23日から27日の流出解析のみでは確かな再現性は得られないため，災害時以外での再現性を確認することを目的に，融雪の影響を考慮しなくても良い2007年9月14日から18日の5日間の流出解析も行った(図－7)．こちらもピーク流出量はほぼ一致したが，初期降雨による流量が観測流量よりわずかに大きかった．

また，どちらの再現計算においても実際の流量よりも計算による流量の増減がわずかに早く，初期降雨による流量が過大に評価されている．この原因としては2つの理由が考えられる．1つ目は，与えた飽和度がわずかに高かったため土壌に浸透することが出来ず，初期降雨に対して過剰に反応してしまった可能性がある．今後は適当な飽和度を与えて調整する必要がある．

2つ目は，使用した雨量データが忠別ダム管理所のものであるため，忠別ダム観測所の雨量観測値と流域内の雨量観測値との誤差や流出時間の影響があったと考えられる．そのため，今後は流域を各観測所でティーセン分



図－6　2010 年 8 月 23 日から 27 日の再現結果



図－7　2007 年 9 月 14 日~18 日の再現結果

割し空間分布を持たせた雨量データを与えた再現計算を行う予定である.

4. まとめ

本研究では，忠別川上流域に分布型流出モデルを適応したところ，次のような結果を得た.

(1)忠別川上流部への分布型流出モデルの適応性を確認することが出来た.

(2)流入量の実測値の通り，降雨が短時間で流出していることを確認出来た.

謝辞：本研究を進めるにあたり，国土交通省北海道開発局旭川開発建設部から観測データを提供して頂きました. ここに感謝し，深くお礼申しあげます.

参考文献

1) 北海道　平成 22 年 8 月大雨災害調査委員会資料.

2) 内島邦秀，井出康郎，加治昌秀，宇山幹紀，早川博：忠別川の移動床歪模型実験，土木学会北海道支部論文報告集，第 51 号（B），1995.

3) 中山恵介，伊東哲，藤田睦博，斎藤大作：融雪を考慮した山地流出モデルに関する研究，No. 691/Ⅱ-57，pp25-41,2001.

4)夏井皓盛，中山恵介，大西健史，石田哲也，大森未音：融雪期における高濁度水発生機構と細粒土砂輸送，土木学会北海道支部，論文報告集，第 66 号，2010.

5) 丸谷靖幸，菅原庸平，Aynur Abliz，石田哲也，中山恵介:1970 年代と比較した釧路湿原における水循環機構解析，水工学論文集，第 55 巻，2011(印刷中).

6) 石田哲也，中山恵介，丸谷靖幸，大森未音，菅原庸平，アイヌルアブリズ，上野義勝，降雨のインパクトによる高濁度水発生と細粒土砂輸送に関する現地観測とモデル化，水工学論文集，第 55 巻, in print, 2010.

7)石田哲也，中山恵介，大西健史，夏井皓盛，大森未音，アイヌルアブリズ，丸谷靖幸，岡田和也：融雪期における高濁度水発生機構と細粒土砂輸送，水工学論文集，第 54 巻，2010 年.

8) Dushmanta D. and K. Nakayama, Impacts of Spatial data resolution in River flow Simulation by Physically Based Distributed Modeling Approach:A Case Study in Tsurumi River Basin, Japan, Hydrological Processes, vol.23:4, pp.534-545, 2010, doi: 10.1002/hyp.7183.

9) Alam Md. J., D. Dutta, K. Nakayama, Modelling Nutrient Dynamics and Transport Process in River Basin: A Case Study – Saru River, Japan, the 7th Eco-Hydraulics, Topic 13 - Solute and Nutrient Transport and Exchange, no.30, pp.1-10, 2009.

10) Alam M. J., D. Dutta and K. Nakayama, A catchment based approach of nutrient modelling in a river basin, the 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008), 2008.