

# 河川砂防技術研究開発 【成果概要】

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |                                |           |                        |           |          |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|-----------|------------------------|-----------|----------|--|
| <b>①研究代表者</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 氏 名 (ふりがな)                     |           | 所 属                    |           | 役 職      |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          | 中山恵介<br>(なかやまけいすけ)             |           | 神戸大学大学院工学研究<br>科市民工学専攻 |           | 教授       |  |
| <b>②研究<br/>テーマ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 名称       | 湿原の効果および融雪期の特徴を再現できる洪水予測モデルの開発 |           |                        |           |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 政策<br>領域 | [分野] 地域課題分野 (河川)               |           |                        | 融合<br>技術  | 化学解析との融合 |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          | [公募課題]                         |           |                        |           |          |  |
| <b>③研究経費</b> (単位: 万円)<br><br>※端数切り捨て。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          | 平成    年度                       | 平成    年度  | 平成    年度               | 総 合 計     |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          | 1 4 0 . 3                      | 1 6 4 . 5 | 1 9 5 . 2              | 5 0 0 . 0 |          |  |
| <b>④研究者氏名</b> (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                                |           |                        |           |          |  |
| 氏 名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |          | 所属・役職 (※平成    年3月31日現在)        |           |                        |           |          |  |
| 駒井克昭                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          | 北見工業大学・准教授                     |           |                        |           |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |                                |           |                        |           |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |                                |           |                        |           |          |  |
| <b>⑤研究の目的・目標</b> (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)<br>寒冷地域に属する釧路川では湿原が広がっており、山地から流れ込む河川の勾配が湿原域において急激に変化するため洪水時には氾濫が発生し、下流端における洪水のピークを予想することが困難となっている。さらに、湿原が存在することにより湿原域での河川勾配が緩く、潮位の影響を大きく受けるためリバーネットワーク内における運動量の伝搬が再現可能な高精度再現モデルが望まれている。それらを解決するために、これまでは貯留関数モデルと1次元不定流モデルが利用されてきているが、残念ながら十分な精度を持って再現・予測することができていない。流域全体を考慮して流量の再現を行っていないことが大きな要因として考えられることから、不飽和浸透、河道流、氾濫流を同時に再現することができる解析手法の提案が必要とされている。<br>本研究では、寒冷地域に特有の融雪期における洪水を対象とし、湿原域での氾濫による洪水ピークの到達時間の遅れを考慮できるモデルを開発することを目的とする。 |          |                                |           |                        |           |          |  |

## ⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

本研究の目的は、融雪洪水や小降雨が連続した後に与えられる洪水などにみられるような、浸透領域が飽和状態に近い領域に対して降雨が与えられることにより、山地河川部での水位の上昇が激しく湿原域において氾濫することにより予測が困難な流量の再現計算を行うことである。そこで、不飽和浸透流、表面流、河道流、氾濫流を再現できる分布型流出モデルの開発・適用を実施した。2013年4月の融雪洪水および1979年10月の洪水を対象とした。1979年10月洪水は過去最大級の洪水で昭和54年洪水と呼ばれており、融雪洪水にみられるような大規模な氾濫が発生した洪水であったことから、本研究での解析対象とした。さらに、再現計算の検証用の解析として、イオンクロマトグラフィーを利用したベイズ理論を利用したフィンガープリント法による溶存物質の輸送割合推定も実施した。イオンクロマトグラフィーの解析では、プラスおよびマイナスのそれぞれの成分を合わせて利用することで信頼性の向上を図った。当初はICP-MSを主として利用する予定であったが、釧路湿原における希土類の濃度が低く、フィンガープリント法を適用することが困難であることが示されたため、2年目からは代替案として予定していたイオンクロマトグラフィーによる解析を利用することとした。

### (1) 分布型流出モデルの開発と適用

分布型流出モデルには、オブジェクト指向に基づいた水循環・物質輸送モデル (Geophysical fluid CIRCUlation model : GeoCIRC) を利用することとした。本研究のように、不飽和浸透流、表面流、河道流、氾濫流とそれぞれ異なるモデル化が行われた方程式系をまとめて再現するためには、手続き型言語によるプログラミングでは開発に限界がある。オブジェクト指向型プログラミングを利用することにより、適用性が向上し開発環境も良好な状態を保つことができる。

ここであらためて簡単にオブジェクト指向型プログラミングの適用について述べる。上述のとおり不飽和浸透流、表面流、河道流、氾濫流が鉛直方向に重なり合っているという特徴を再現するために、プログラムのコアとなる離散化の単位として、鉛直1次元の物理量輸送を支配するコラムオブジェクト (Column : CN) を設計した。つまりレイヤー (Layer) が重なった状態のCNを最小単位とすることとなる。上層から気象 (Meteorological Layer : ML), キャノピー (Canopy Layer : CL), 河道網 (River Network Layer : RNL), 氾濫流 (Surface Flow Layer : SFL), 表面流 (Overland flow Layer : OVL), 不飽和浸透流 (Infiltration Layer : IL), 地下浸透流 (Groundwater Layer : GL) とした (図-1)。本研究では気象およびキャノピーを考慮していないことから、以下にモデルの主要な要素である不飽和浸透流、表面流、河道流に関してのみ説明を行う。

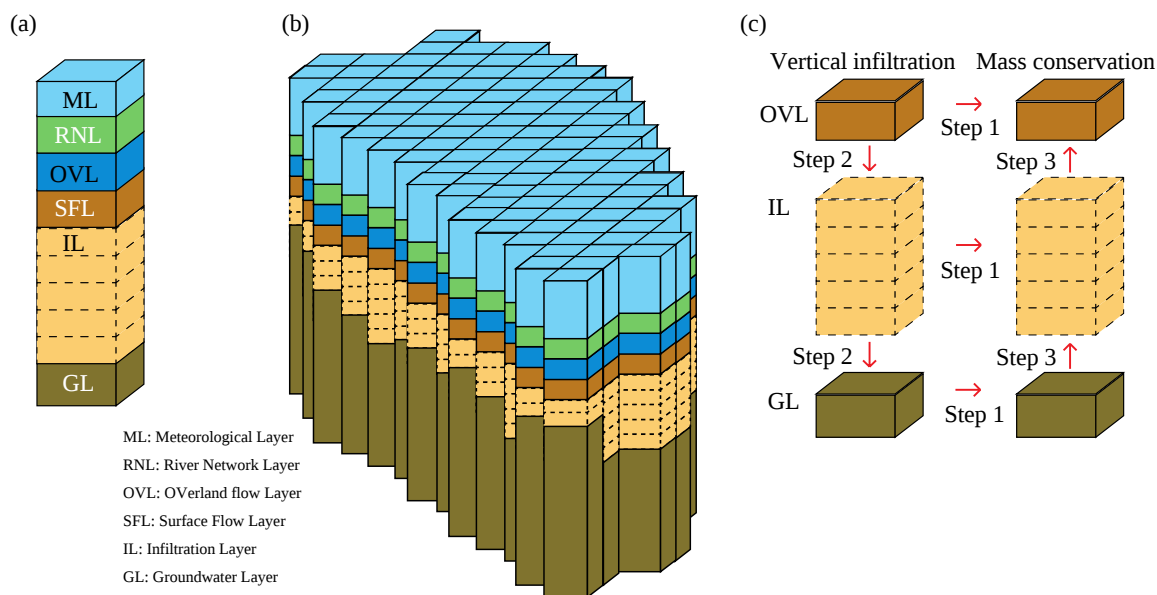


図-1 GeoCIRCにおけるコラムと流域。(a) コラムの概念図, (b) コラムを利用した計算領域の形成の概念図, (c) コラム内における鉛直方向の計算順の概念図。

## ⑥研究成果（つづき）

### 不飽和浸透流：IL

計算の詳細は、昨年度の報告をご覧くださいこととし、ここではそれぞれの基礎方程式のみを示す。なお、河道モデルは今年度において組み込みが終了したことを記しておく。降雨の入力により水分が変化する不飽和浸透流について示す。基礎方程式として、体積含水率を考慮した連続式を利用した（式(1)から式(5)）。不飽和浸透層は、鉛直方向にメッシュ分割されており、3次元的な挙動を再現することが可能である。

$$\Delta x \Delta y \frac{\partial m_I}{\partial t} + \frac{\partial Q_{Ix}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{Iy}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$Q_{Ix} = -m_I k_I \frac{\partial h_I}{\partial x} \Delta y \Delta z_I \quad (2)$$

$$Q_{Iy} = -m_I k_I \frac{\partial h_I}{\partial y} \Delta x \Delta z_I \quad (3)$$

$$k_I = k_0 \left( \frac{m_{\max} - m_I}{m_{\max} - m_{\min}} \right)^\beta \quad (4)$$

$$h_I = \frac{1}{\rho_w} \int \rho dz \quad (5)$$

ここで、 $m_I$ ：体積含水率、 $Q_{Ix}$ 、 $Q_{Iy}$ ： $x$ 方向と $y$ 方向の不飽和浸透層におけるフラックス体積含水率、 $h_I$ ：水温・塩分による密度差も考慮した水頭、 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ： $x$ 方向と $y$ 方向のメッシュサイズ、 $\Delta z_I$ ： $z$ 方向に分割された不飽和浸透層のメッシュサイズ、 $k_0$ ：ILにおける飽和透水係数、 $m_{\max}$ ：最大体積含水率、 $m_{\min}$ ：最小体積含水率、 $\beta$ ：不飽和等水係数の体積含水率による変化割合を決定する係数、 $\rho_w$ ：基準となる水の密度、 $\rho$ ：対象となる水温・塩分濃度等を考慮した水の密度である。

### 表面流：OVL

表面流には1層のみ考慮したキネマティックウェーブに基づいたモデルを利用することとした。各CNの連結情報と標高から流下方向を決定し、 $x$ 方向と $y$ 方向のフラックス（ $q_{sx}$ 、 $q_{sy}$ ）を考慮して連続式を満たすように表面流の計算を実施する（式(6)）。各方向のフラックスについては、地形勾配を利用する方法、一定値を与える方法などのオプションが用意されている。本研究では一定値を与えることで高速計算を可能とした。

$$\frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} \quad (6)$$

ここで、 $h_s$ ：表面流の水深である。

### 河道流：RNL

河道流には、長波方程式を利用した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(\mathbf{u}h) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -g \nabla(h^n + z_b) - g n_m^2 \frac{\mathbf{u}|\mathbf{u}|}{h^{4/3}} \quad (2)$$

ここで、 $h$ ：水深、 $h$ ：水深、 $z_b$ ：基準面から底面境界までの距離、 $n_m$ ：マンニングの粗度、 $u$ 、 $v$ ：それぞれ  $x$  方向、 $y$  方向の流速である。

数値解法には、常流・射流が混在するような運動量の不連続が存在しても安定して計算を実行できる中山による計算スキームを利用した（式(4)から式(8)：中山ら、CIP法を用いた浅水流方程式の数値計算手法の開発、水工学論文集、第42巻、pp.1159-1164、1998）。なお、CIP法を移流項の計算に利用することで計算精度を向上させることができるが、運動量の不連続による不安定の解消には主要な解決要因ではなく連続式を陰的に解く点が重要であることから、本研究では移流項の計算に最も単純なオイラーラグランジュ法を用いることとした。

## ⑥研究成果（つづき）

$$\frac{\hat{\mathbf{u}}_i - \mathbf{u}_i^n}{\Delta t} = -[(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}]_i^n \quad (3)$$

$$\frac{\tilde{\mathbf{u}}_i - \hat{\mathbf{u}}_i}{\Delta t} = -\nabla(h^n + z_b) - g n_m^2 |\mathbf{u}| / (h^n)^{4/3} \quad (4)$$

$$\frac{\mathbf{u}_i^{n+1} - \tilde{\mathbf{u}}_i}{\Delta t} = -\nabla \phi \quad (5)$$

$$\mathbf{f} = h_i^{n+1} - h_i^n \quad (6)$$

$$\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} = -\nabla(h^n + \mathbf{f}) \cdot (\hat{\mathbf{u}}_i + \Delta t \nabla \mathbf{f}) \quad (7)$$

ここで、 $\mathbf{u}_i$ ：格子点  $i$  における流速ベクトル、 $n$ ：タイムステップ、 $\Delta t$ ：計算時間間隔である。

釧路川流域中流から下流の領域を対象とした（図-2）．サイズ500 m×500 m のCNを合計6478個ほど連結し、計算対象領域を構成した．境界条件として、標茶における上流域からの流量を与えた．まず、平水流量の再現を行うために、不飽和浸透領域を完全に飽和させ180日間の再現計算を実施した（図-3）．不飽和浸透係数を数種類ほど変化させて計算を実施し、無降雨状態での平水流量の低減曲線の再現性の検討を行った．検証には2013年4月から6月における無降雨状態の流量の時系列を利用し、計算結果との比較を行い良好な再現性を得ることができた．

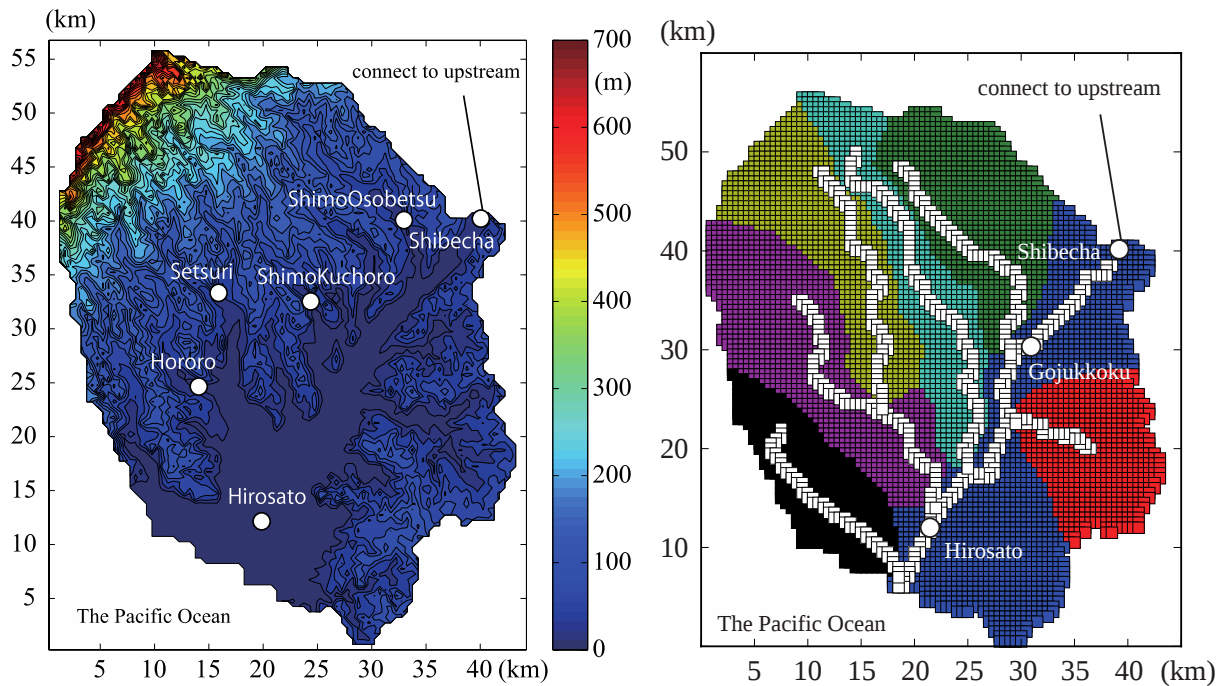


図-2 釧路川の対象領域（左図）と河道網および小流域（右図）

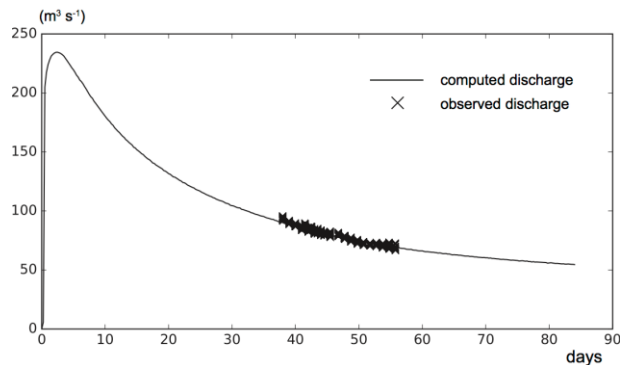


図-3 無降雨状態における平水流量の再現

## ⑥研究成果（つづき）

再現対象とした期間は、2013年4月1日から20日（今後、2013年融雪期洪水と呼ぶ）、および1979年10月17日から10月31日（今後、1979年 洪水と呼ぶ）である。まず、2013年融雪期洪水に関する解析結果を示す。釧路湿原における洪水氾濫による流量ピークの遅れと減少に関して解析を行うため、氾濫を一切考慮せずに降雨を与えて再現計算を実施し観測結果との比較を行った（図-4）。下流端における広里での観測流量と計算流量を比較すると、およそ3倍程度の差があり、洪水氾濫を考慮しない場合には全く再現できないことが確認され、湿原における氾濫がピーク流量を大きく低減する効果を持つことを定量的に示すことが出来た。一方で、湿原に流入する直前における流量についても再現計算結果との比較を行った結果、CoDおよびNash Coefficientに関して、下オソベツで0.91と0.76、下久著呂で0.90と0.83、雪裡で0.88と0.87、幌呂で0.88と0.86と良好な再現計算結果を得ることが出来た（図-4）。

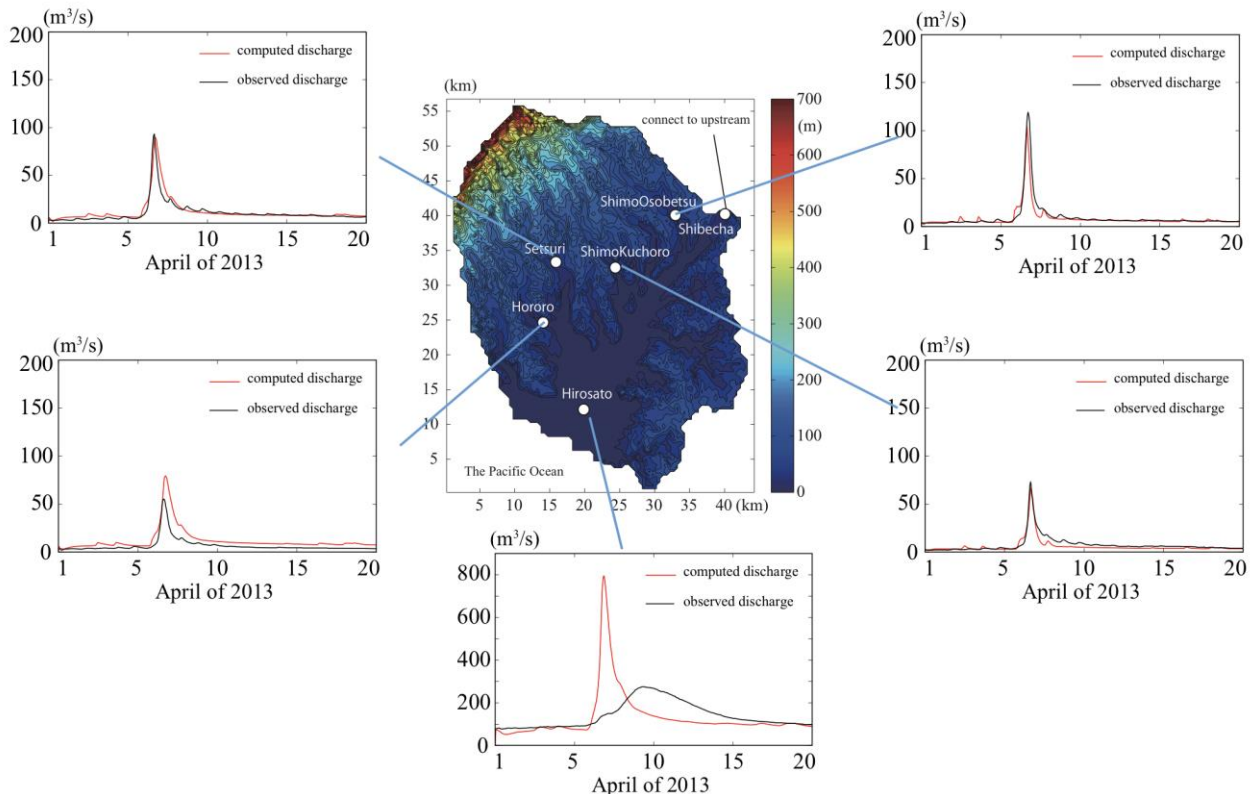


図-4 2013年融雪期洪水の流量を対象とした再現計算と観測結果。氾濫計算無し。

広里での過大な流量の再現計算結果を改善するために、河岸高さを水位が超える場合における氾濫効果を考慮したモデルを追加した。氾濫した水量をそれぞれのメッシュにおいて貯留させ、ラグタイムを考慮した後、貯留関数法を利用して河道に戻すという手法を用いた（図-5）。Nashで0.81と良好な再現結果を得ることが出来た。

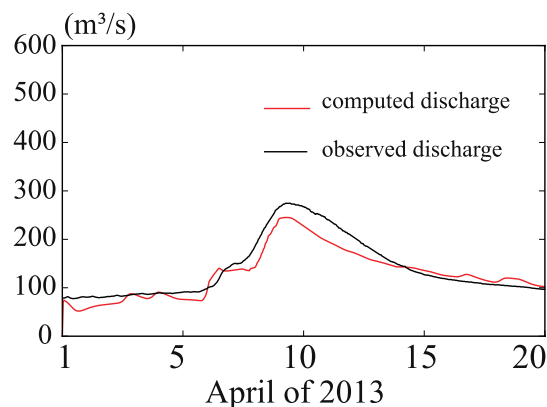


図-5 2013年融雪期洪水の広里地点の流量を対象とした再現計算（赤線）と観測結果（黒線）。

## ⑥ 研究成果（つづき）

続いて、過去最大クラスの降雨量が与えられた洪水である昭和54年洪水、1979年10月洪水の解析も施した。2013年融雪期洪水と同様に、氾濫を一切考慮せずに降雨を与えて再現計算を実施し観測結果の比較を行った（図-6）。2013年融雪期洪水と同じく、支川においても数値計算結果は流量を過大評価しており、大規模な氾濫が発生していた可能性が示された。洪水氾濫を考慮することで、支川における流量の再現性が大きく向上することが分かった（図-7）。問題となる広里ではNashで0.83と2013年融雪期洪水よりも良好な結果を得ることができた。

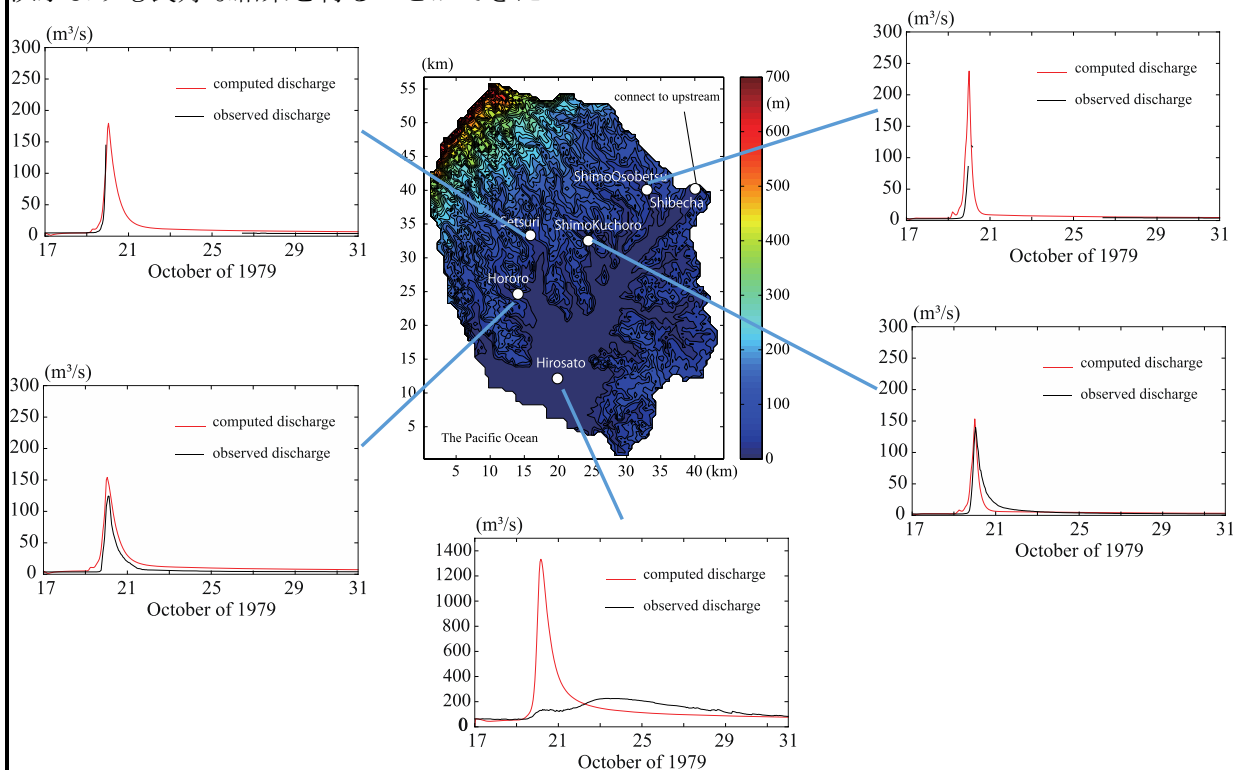


図-6 1979年10月洪水の流量を対象とした再現計算と観測結果。氾濫計算無し。

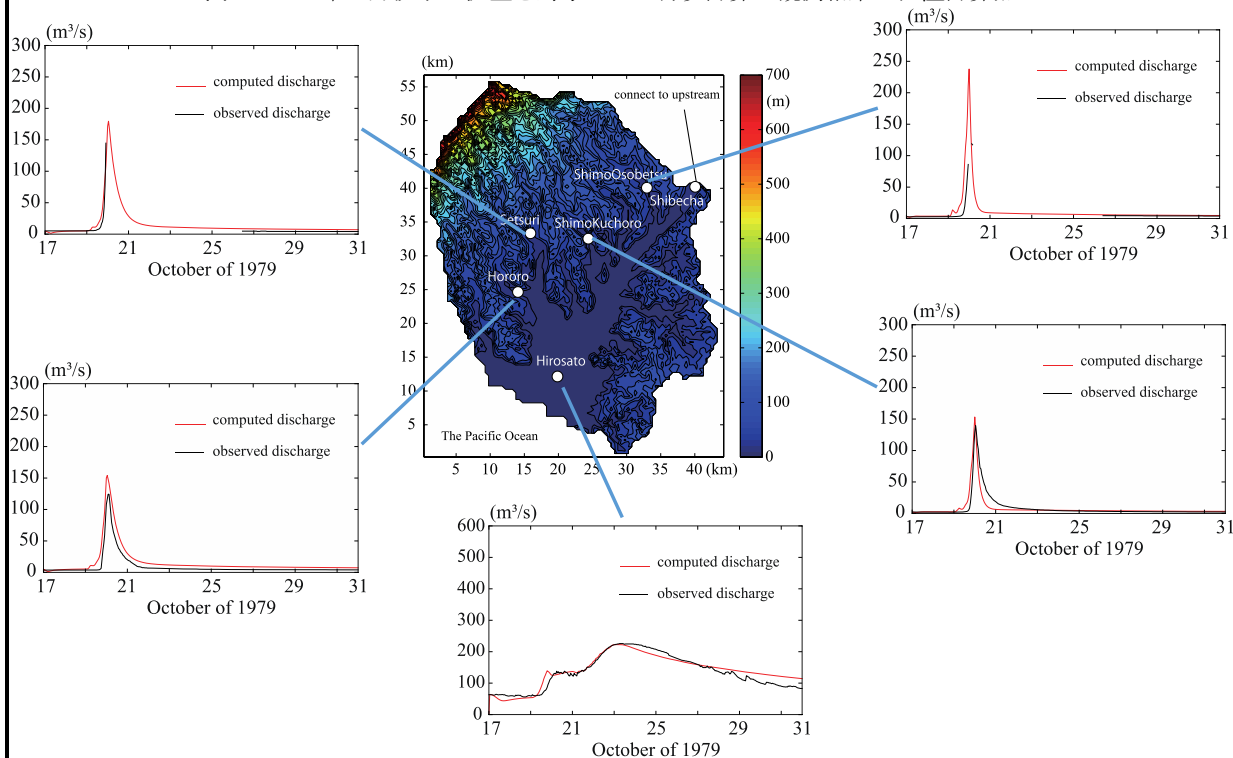


図-7 1979年10月洪水の流量を対象とした再現計算と観測結果。氾濫計算有り。

## ⑥ 研究成果（つづき）

融雪洪水計算では融雪量を考慮していなかったため僅かながら過小評価となっていたが，昭和54年水はその影響がなく，より高精度な再現が可能となったと考えられる．複数の降雨イベントが与えられる場合の再現性の検討も行わなくてはならないという課題が残ってはいるが，氾濫を考慮することで地点の再現性が向上することが示された．

### （2）イオンクロマトグラフィーによる計測とベイズ理論に基づいた輸送割合推定

分布型流出モデルによる計算結果の検証に使用することを目的とし，イオンクロマトグラフィーによるイオン濃度測定を行った．計測項目は，マイナスイオンのF，Cl，NO<sub>3</sub>，SO<sub>4</sub>，プラスイオンのLi，Na，Mg，Caとした．採水は2016年3月および2016年10月の結果を利用した．水中溶存態物質がどのような割合で輸送されているかを推定するため，全釧路川流域を5つの領域に分けてベイズ理論を利用した重回帰分析を適用した（図-8）．

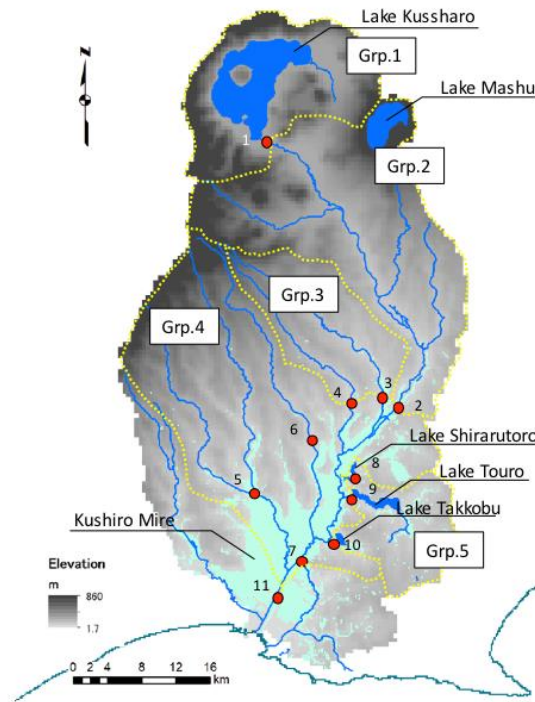


図-8 領域分割された釧路川流域

本研究では，解析結果の検証のために，予め輸送割合が推定できる地点を含むこととした．輸送割合が予想できる地点とは，対象となる下流端付近の広里に対して最も影響が少ない場所，つまり輸送割合がゼロとなるべき地点を意味する．本解析では，流域の最上流端に位置し，平水流量が下流端の数%にも満たないちようこ橋の採水地点を輸送割合ゼロ地点と設定した．まず，一般的な重回帰分析による検討を行った結果，Grp.2およびGrp.3において負の輸送割合が与えられるという矛盾が発生した．よって，一般的な重回帰分析による輸送割合の推定は困難であることが分かった．

ベイズ理論を利用した輸送割合推定手法について，重回帰方程式（式(9)）において再現される値と真値との誤差が正規分布に従うとすると，尤度は以下のとおり与えられる．

$$y_j = \sum_{i=1}^N (x_{j,i} b_i) \quad (8)$$

$$L(D|b_i) \propto \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^N (y_j - x_{j,i} b_i)^2 \right] \quad (9)$$

$$L(D|b_i) \propto \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} (Y - X\beta)(Y - X\beta)^T \right] \quad (10)$$

ここで， $N$ ：主要元素の総数， $j$ ：総数 $N$ の各主要元素に対応する自然数， $y_i$ ：下流端における $j$ 番目の主要元素の値， $x_{i,i}$ ：Grp. $i$ における $j$ 番目の主要元素の値， $i$ ：Grp番号， $b_i$ ：Grp. $i$ における回帰係数， $D$ ：データ数 $N$ のデータ， $\sigma$ ：真値と推定値の誤差の偏差， $Y$ ： $y_j$ に対応する行列（ $N \times 1$ ）， $X$ ： $x_{j,i}$ に

対応する行列 ( $N \times 5$ , ここでの5はGrpの総数に対応する),  $\beta$ :  $b_i$ に対応する行列 ( $5 \times 1$ ),  $t$ : 転置行列である.

途中の式典回を省略するが, 回帰係数の事前分布が正規分布に従うと仮定すると, 事前分布及び事後分布が与えられ, 輸送割合に対応する重み係数式(12)が得られる.

$$\xi_1 = \Sigma_1 \left( \frac{tXY}{\sigma^2} + \Sigma_0^{-1} \xi_0 \right) \quad (11)$$

ここで,  $\xi_0$ : 事前分布の回帰係数 $z_{0i}$ に対応する行列 ( $5 \times 1$ ),  $\Sigma_0$ : 事前分布の回帰係数の偏差 $\sigma_{0i}$ に対応する行列 ( $5 \times 5$ ),  $\xi_1$ : 事後分布の回帰係数 $z_{1i}$ に対応する行列 ( $5 \times 1$ ),  $\Sigma_1$ : 事後分布の回帰係数の偏差 $\sigma_{1i}$ に対応する行列 ( $5 \times 5$ ),  $\sigma_{1i}$ : Grp. $i$ における事後分布の回帰係数の偏差である.

式(12)により得られた輸送割合は全て正の値であり, さらに“あらかじめ予想されたGrp.1の輸送割合ゼロ”をほぼ再現することが出来た.

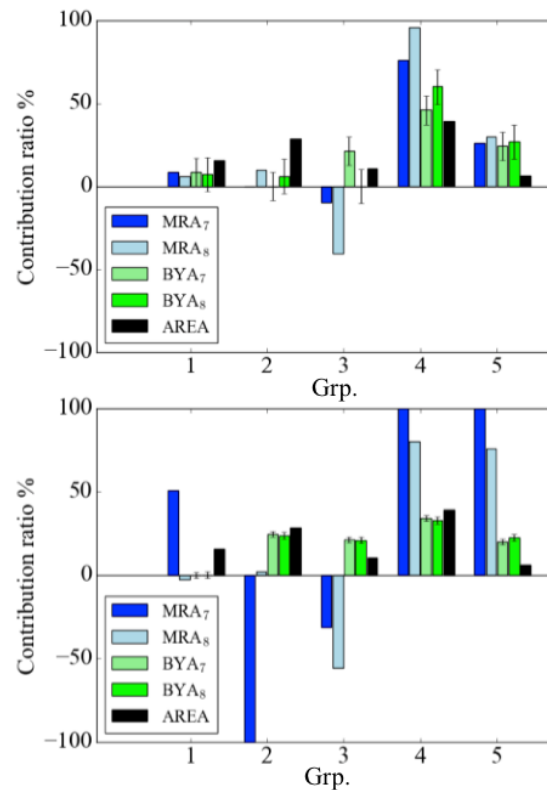


図-9 一般的な重回帰分析とベイズ理論による輸送割合. バーは偏差を示す. 上図: 2016年3月. 下図: 2016年10月

## ⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・これまでに発表した代表的な論文
- ・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
- ・国際会議、学会等における発表状況
- ・主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・企業とのタイアップ状況
- ・特許など、知的財産権の取得状況
- ・技術研究開発成果による受賞、表彰等)

1. 小林健一郎, 中山恵介, 阪口詩乃, 洪水氾濫解析における浅水流方程式の適用限界に関する検討, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, 印刷中 (2018)
2. 駒井克昭, 中山恵介, 阪口詩乃, イオンクロマトグラフィーを利用したBayesian理論による溶存物質の輸送割合推定手法の開発, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, 印刷中 (2018)
3. 中山恵介, 駒井克昭, 丸谷靖幸, 松本経, 阪口詩乃, 桑江朝比呂, 蛍光X線分析を利用した細粒土砂の輸送割合と安定同位体比による窒素循環量の推定, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, pp.I-1177-I\_1182 (2017)
4. 小林健一郎, 中山恵介, 阪口詩乃, 洪水氾濫解析を対象とした浅水流方程式の適用性に関する検討, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, pp.I-1405-I\_1410 (2017)
5. C. Beitia, K. Nakayama, Y. Maruya, N. Ohtsu, S. Yamasaki, M. Yamane, A. S.J. Wyatt and K. Komai, Suspended sediment transport estimation by X-ray fluorescence analysis, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.72, No.4, pp.I\_1039-I\_1044 (2016)

## ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

特に無し。

## ⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

特に無し。

## ⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

分布型流出モデルを利用した計算を実施し、河道に沿った氾濫水量を推定し貯留関数法を利用することにより、2013年4月に発生した融雪期における洪水を再現することが出来ただけでなく、過去最大規模の昭和54年洪水も良好に再現することができた。その結果、洪水氾濫が河川のピーク流量に与える影響を示すことができ、今後の洪水解析における氾濫計算の併用の重要性を示すことが出来た。山地の中小河川における洪水氾濫等による災害が多発している現状を踏まえると、本研究で示すことが出来た分布型流出モデル+氾濫計算という解析手法の適用推進が望ましいと考える。

さらに、イオンクロマトグラフィーによるベイズ理論を利用した輸送割合推定手法について、解析結果の検証を行い、分布型流出モデルの検証に利用する予定である。今回開発したベイズ理論による小流域からの輸送割合推定は、全国における流域において適用可能な手法であり、その有用性は高いと考える。過去に北海道常呂川において実施された蛍光X線解析を利用した無機物質の輸送割合推定にも適用できることから、本研究で開発した手法の適用範囲は広いと考えられる。

## ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究で開発している流出モデルは、完全にオブジェクト指向型プログラミングを利用しており、通常の業務では大変な労力をかけなくては解析できなかった様々な種類の計算モデルの結合が容易となる。本研究では、河道モデル、氾濫モデル、表面流モデル、不飽和浸透流モデル、地下浸透モデルを用意しており、これまでの手続き型言語では困難であった組み合わせでの計算が可能となる。その結果、事務所単位での試行計算が可能となり、現場技術者の技術力向上に資することができると考える。問題点としては、計算過程が複雑であるため、随時最新の雨量および流量観測結果を考慮して計算を更新することが困難である点があげられる。同化手法の適用などにより解決できると考えられる。

さらに、イオンクロマトグラフィーを利用した輸送割合推定手法は化学分野との融合であり、土木分野では最新の技術の導入と考えられる。本研究では水中のイオン濃度を利用したが、蛍光X線分析や蛍光X線回折などへの適用も考えられ、溶存物質だけでなく、無機物質の流域からの輸送割合推定に利用できることから、あらたな研究分野を創造できる可能性があり、河川政策への新しい手法を提案することができる。