

2016年8月豪雨時の中小河川流域を対象とした流出量の推定について

Research on Estimation of Outflow for Small Rivers Due to Heavy Rain in August 2016

室蘭工業大学 ○学生員 清水 皓太 (Kota Shimizu)
 室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 室蘭工業大学 学生員 星野 佳太 (Keita Hoshino)

1. まえがき

2016年8月、北海道に4つの台風が上陸し、その大雨の影響により、北海道東部を中心に河川の氾濫及び土砂災害が発生した。これにより、人的被害や住宅被害の他、道路、鉄道、電気などのライフラインに甚大な被害がもたらされた。今回の災害では、とりわけ中小河川での氾濫が多く、今後の調査、対策において被災時にどれほどの流量が流れていたかが重要となるが、観測所の無い場所では流量データを得ることが難しいことが課題である。

そこで本研究では2016年8月の洪水を対象として流量観測データの無い河川における流出計算を行うにあたり、iRIC SRM¹⁾とIFAS²⁾、2つのソフトを使用し、比較検討を行った。iRIC SRMは、河川の解析を目的としたオープンソースのソフトウェアであるiRICの一部で、貯留関数モデルを用いた流出計算用ソルバーである。利用者は雨量データを与えることで容易に流量を計算することが可能である。IFASは、水文データの観測がない、もしくは乏しい流域への適用を想定して土木研究所によって開発されたフリーソフトウェアである。本研究は上記の公開ソフトウェアを用いて中小河川の流出計算を行う場合の留意点を、1)空間スケールの取り方、2)雨量の設定、3)モデルパラメータの設定という観点で検討したものである。

2. 方法

2.1 対象事例

今回の検討は、2016年8月の豪雨期間中に、特に被害の多かった十勝川水系のパンケ新得川、ペケレベツ川を対象に行った。図-1に流域の諸元を示す。計算対象期間はiRIC SRMでは、2016年8月29日1時～8月31日24時(72h)になるように設定している。これは台風10号の影響のあった期間である。一方、IFASの計算期間は2016年8月15日1時～9月14日24時(744h)になるように設定している。この期間は、2016年8月に北海道に接近、上陸した台風7号、9号、10号、11号の影響があった期間である。IFASでは流域の長期的な貯留効果を考慮できるタンクモデルを基本構成としているため、1か月以上の長期間の流出計算が可能であるという利点がある。

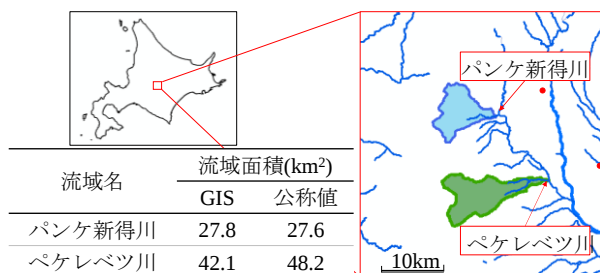


図-1 対象流域の諸元

また、北海道では痕跡水位(DHWL)を基にパンケ新得川及びペケレベツ川のピーク流量を算定している。本研究では、そのピーク流量の再現を目指した。北海道が算定したピーク流量は、パンケ新得川が343m³/s、ペケレベツ川が402m³/sであった。

2.2 流出計算モデル

(1)iRIC SRM

iRIC SRMでは、集中型流出モデルのうち、1段タンク型貯留関数法(以下、1段法)、2段タンク型貯留関数法(以下、2段法)が利用可能であり、各々について雨量から流量を計算する機能、モデルパラメータを最適化する機能を持つ。

1段法、2段法は有効雨量を必要とせず、観測雨量がそのまま使えるといった特徴がある。このため、流出解析の前処理として必要とされていた基底流量の分離作業や流出率を決めるといった作業が不要である。解析者は前処理なしに観測雨量をそのまま流出モデルに入力するだけで流量を計算することが可能である。1段法と2段法の概略図を図-2に示す。なお、本モデルは1時間間隔のデータに基づいて計算が行われる集中型のモデルである。

(2)IFAS

IFASとは国立研究開発法人土木研究所 ICHARMで開

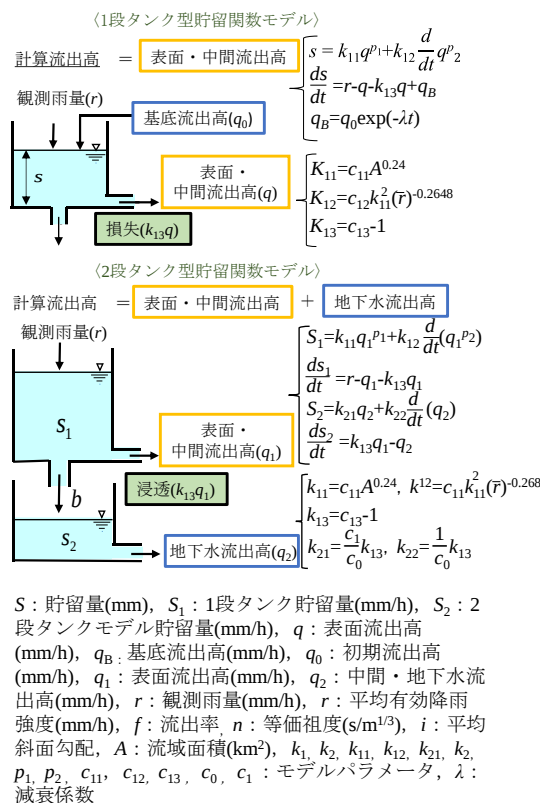


図-2 iRIC SRMで適用される貯留関数法の概略図

発された分布型流出モデルから構成される総合洪水解析システム (Integrated Flood Analysis System) の略称であり、数値標高モデル、土地利用情報、衛星観測雨量を駆使することで、観測データがない条件下でも流出計算が行えるメリットがある。

IFAS による流出計算の流れを図-3 に示す。今回の検証では [1] IFAS におけるセルサイズ入力、[2] 河道作成と [3] 雨量の入力時の操作に着目し、入力条件の違いによる流出計算結果を比較する。さらに [2] で流域界を作成する事前処理として、ArcGIS を用いて標高データを基に作成した流域界のシェープファイル (図形情報と属性情報をもった地図データファイルの集合ファイル) を IFAS に入力するという操作を行う。ここでセルサイズとは IFAS で計算を行うメッシュサイズのことである。

2.3 モデルパラメータの補正

(1)iRIC SRM

本研究では、2016 年 8 月の大雨に見舞われ、実績流入量データの得られた札内川ダムに着目し、各モデルパラメータを設定した。モデルパラメータを設定する際に先行研究である、小池ら³⁾のモデルパラメータを参考に選定を行った。使用したモデルパラメータを表-1 に示す。ここで着目すべき点は、1 段法で $c_{13}=1.0$ 、2 段法で $c_{13}=1.2$ と、浸透がほとんどないような設定となっていることである。

(2)IFAS

IFAS では、各メッシュの鉛直方向の流れを表すモデルとして、2 段タンクか 3 段タンクが選択可能である。2 段タンクモデルが 1 か月程度の短期の解析、3 段タンクモデルが 1 か月以上の長期の解析に向いている。本研究で

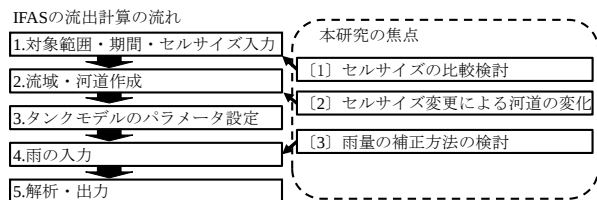
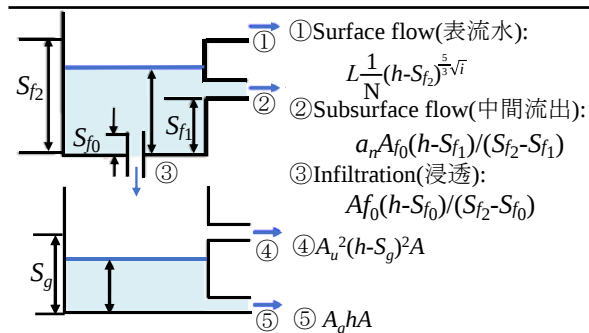


図-3 IFAS の計算の流れ

表-1 iRIC SRM で使用するモデルパラメータ

流域名	1段法				2段法			
札内川	c_{11}	c_{12}	c_{13}	λ	c_{11}	c_{12}	c_{13}	T_c
ダム	4.700	0.267	1.000	0.001	3.000	1.264	1.200	28.0



L : メッシュの長さ, N : 地表面の粗度係数($m^{3/2}/s$), h : 水位(m), S_{f2} : 表層の最大貯留高(m), a_n : 早い中間流の流出量を規定する定数(-), S_{f0} : 地下浸透が発生する高さ(m), S_{f1} : 早い流出が発生する高さ(m), f_0 : 最終浸透能(SKI)(cm/s), A : メッシュの面積, S_g : 不圧地下水が流出する貯留高(m), A_u : 不圧地下水の流出係数($1/mm/day$)^{1/2}, A_g : 被圧地下水の流出係数

図-4 IFAS で適用される 2 段タンクモデルの模式図

は解析期間が 1 か月程度なので 2 段タンクを採用した。このモデルは、表層タンクと帯水層タンクモデルでメッシュを構成している。IFAS の流出解析計算を行うためには表層タンク及び、帯水層タンクの各種モデルパラメータの設定が必要である。各種モデルパラメータは土地利用分類に応じて、IFAS で自動設定が可能であり、本研究では、自動設定したデフォルトの値を使用している。採用した 2 段タンクモデルの模式図を図-4 に示す。

2.4 使用したデータ

iRIC SRM は、計算を行う際に雨量データと面積を使用する。流域面積は ArcGIS で地形データを処理して算出する。また、同じ雨量データを IFAS にも使用する。IFAS に使用するデータは以下の 4 つである。

(1)標高データ

今回使用する標高データは、IFAS に実装された標準機能でダウンロード可能な入力標高データと IFAS とは別に ArcGIS などの GIS ソフトで処理をする標高データがある。IFAS では GTOPO30 を使用した。ArcGIS では基盤地図情報数値標高モデルを使用した。データの概要を表-2、表-3 に示す。

(2)土地利用データ

IFAS でダウンロード可能な土地利用データを表-4 に示す。本研究では Global Map(Land Cover)を用いた。

(3)河道網データ

IFAS ではシェープファイル形式の河道網データを入力することにより、作成される河道網の形状を補正する機能がある。河道網データを表-5 に示す。河道網データは、公開されている国土数値情報の河川データ等だけでなく、ユーザーが GIS ソフトを用いて河川の座標から作成したデータを入力することもできる。

(4)雨量データ

今回使用する雨量データは、1km メッシュ合成レーダーエコー強度を利用し、流域内の雨量データを切り出し、(以下、レーダー解析雨量)と、対象流域近傍の地上観測所の雨量⁴⁾(以下、地上観測雨量)を使用した。地上

表-2 標高データ (IFAS 標準入力データ)

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
Global Map	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
GTOPO30	USGS	30秒(1km)	WGS84	全球

表-3 標高データ (GIS 処理標高データ)

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
ASTERDEM	METI NASA	30m	WGS84	全球
基盤地図情報 数値標高モデル	国土地理院	10m	WGS84	日本国内

表-4 土地利用データ

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
Global Map (Land Cover)	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
Global Map (Land use)	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
GLCC	USGS EDC	1km	ITRF94 GRS80	全球

表-5 河道網データ

名前	提供	座標系	範囲
国土数値情報 河川データ	国土交通省	JGD2000	日本国内
ユーザー作成 河道網データ	GoogleMapより得た 河川の座標を使用	WGS84	全球

観測雨量はパンケ新得川流域では狩勝観測所、ペケレベツ川流域では日勝峠道路テレメータ⁵⁾(以下、日勝TM)の雨量データを使用した。ペケレベツ川流域には、日勝観測所(AMeDAS)があるが、IFASの計算対象期間において欠測が多かったため、本研究では使用しなかった。

iRIC SRMは集中型モデルであるため、雨量データを流域平均し、流域全体に同じ雨量が降っていると仮定して計算を行う。それに対しIFASは分布型モデルであるため、メッシュ毎に雨量を入力して流量計算を行う。

2.5 雨量の補正方法

レーダー解析雨量はすでに地上雨量で補正されているが、パンケ新得川流域レーダー解析雨量とペケレベツ川流域レーダー解析雨量をそのまま使用すると、iRIC SRM

表-6 雨量の補正のイメージ

年	月/日 時刻	観測所雨量 (mm)	観測所直上 レーダー観測雨量 (mm)	比	レーダー観測 雨量流域平均 (mm)	×比	補正後 雨量 (mm)
2016	8/15 1:00	10.0	3.0	3.3	5.0	×3.3	16.5
	8/15 2:00	5.0	2.5	2.0	6.0	×2.0	12.0
	9/15 0:00	4.0	5.0	0.8	3.0	×0.8	2.4

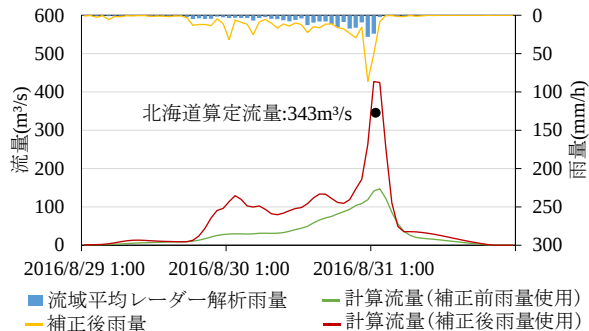


図-5 パンケ新得川計算結果(iRIC2 段法)

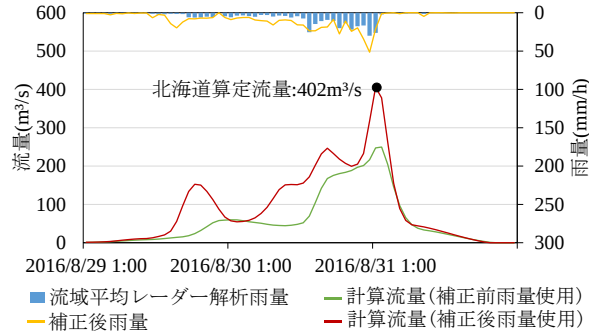


図-6 ペケレベツ川計算結果(iRIC2 段法)

表-7 流域平均レーダー解析雨量を使用した場合の計算結果(iRIC SRM)

対象流域	パンケ新得川		ペケレベツ川	
タンクモデル	1段法	2段法	1段法	2段法
ピーク流量(m³/s)	152	147	271	250
北海道算定流量(m³/s)	343		402	

表-8 補正した雨量を使用した場合の計算結果(iRIC SRM)

対象流域	パンケ新得川		ペケレベツ川	
観測所	狩勝観測所		日勝TM	
タンクモデル	1段法	2段法	1段法	2段法
ピーク流量(m³/s)	439	429	413	406
北海道算定流量(m³/s)	343		402	

及びIFAS共に北海道算定流量と比べて著しく過小評価する結果となった。そのため本研究ではさらに雨量の補正を行った。補正に使用する雨量データは、地上観測所雨量とその直上のレーダー解析雨量である。まず、それぞれ同時刻の雨量を抽出し、抽出した地上観測雨量を直上のレーダー解析雨量で除して算出された比率を対象流域のレーダー解析雨量に乘以、算出された雨量を使用する。雨量の補正方法のイメージを表-6に示す。

3. 結果と考察

3.1 iRIC SRMの計算結果

レーダー解析雨量(流域平均)を使用した場合のパンケ新得川流域の計算結果と、補正した雨量を使用した場合の2段法の計算結果を図-5に示す。さらにレーダー解析雨量を使用した場合のペケレベツ川流域の計算結果と、補正した雨量を使用した場合の2段法の計算結果を図-6に示す。

(1)レーダー解析雨量を使用した計算結果

レーダー解析雨量を使用した場合の計算結果を表-7に示す。この期間のレーダー解析雨量の総雨量と近傍の地上観測所の総雨量を比較する。パンケ新得川流域のレーダー解析雨量の総雨量280mmに対し、狩勝観測所の総雨量は507mmと倍近くとなっており、ペケレベツ川流域もレーダー解析雨量の総雨量は338mmに対し、日勝TMの総雨量は485mmと大きく上回っていた。このように流域のレーダー解析雨量が実際に降った雨量よりも過小になっていたため、計算流量のピークの値が小さく算出されていたと考えられる。

(2)補正後雨量を使用した場合の計算結果

補正した雨量を使用した場合の計算結果を表-8に示す。パンケ新得川流域計算結果のピークは、1段法は439m³/s、2段法は429m³/sという結果となった。また、ペケレベツ川流域計算流量のピークは、1段法は413m³/s、2段法は406m³/sという結果となった。これより、パンケ新得川流域では北海道算定流量と比べて、過大評価されていることがわかる。その原因に、パンケ新得川のピーク流量時の雨量に注目すると、補正前のレーダー解析雨量は、28mmに対して、比率が3倍で、補正後の雨量が86mmと非常に大きくなっており、過大に推定されている可能性が考えられる。このほか、モデルパラメータについても検証が必要である。一方、ペケレベツ川流域では、北海道算定流量に近い値を示していた。

3.2 IFASの計算結果

(1)セルサイズの変更

IFASでは計算を行う際の適切なセルサイズの検討が必要である。本研究対象のパンケ新得川、ペケレベツ川のような小流域では、セルサイズをIFASの初期設定である1kmにすると、小さい河道が認識されず、流出計算を行う際、流出の遅れが過大評価されてしまう可能性がある。そのため本研究では、セルサイズを100mとした。パンケ新得川とペケレベツ川においてセルサイズを1kmと100mに設定して作成された河道を図-7及び図-8に示す。図-7及び図-8よりセルサイズが1kmの場合は、認識される河道が少なく、距離が短いことが分かる。一

方, セルサイズ 100m では詳細に認識されていることがわかる. 続いて, 雨量補正前の計算流量, 雨量のみ補正した計算流量, モデルパラメータを変更した計算流量を, パンケ新得川, ペケレベツ川それぞれを図-9 及び図-10 に示す.

(2)レーダー解析雨量を使用した計算結果

iRIC SRM と同様に補正をしない雨量を使用した場合, 北海道算定流量と比べて過小評価する結果となった.

(3)雨量補正後の計算結果

パンケ新得川流域のピーク流量は, $350\text{m}^3/\text{s}$, ペケレベツ川流域計算流量のピークは $318\text{m}^3/\text{s}$ という結果となった. パンケ新得川流域では北海道算定流量に近い値を示し, 安全側に評価することが出来た. しかしペケレベツ川流域では, 過小評価する結果となった. この過小評価した結果を改善する方法としてモデルパラメータに注目する.

(4)モデルパラメータ変更後の計算結果

ペケレベツ川で過小評価になった結果について考える. 図-4 に示した表層タンクに注目し, モデルパラメータの変更は, 山田ら⁶⁾の結果を参考にした. 本研究の対象事例は, 4 つの台風の連続上陸及び接近である. そのため土壌水分量は飽和状態にあり, 地下タンクへの浸透が

ほとんどなかったと予想される. そのため, 浸透に関する係数である最終浸透能(SKf)の値に着目し, デフォルト値(初期値は土地被覆データにより分類セル毎に設定)を 0.002 倍し, 浸透量を大幅に小さくした.

結果として, パンケ新得川のピーク流量は $412\text{m}^3/\text{s}$ となり, やや過大評価された. 一方, ペケレベツ川は $411\text{m}^3/\text{s}$ となり, 北海道算定流量の $402\text{m}^3/\text{s}$ に近い値を示した. このことから, モデルパラメータは地質条件といった流域特性(素因)のほか, 降雨の履歴効果(誘因)も勘案して決める必要があることが示唆される.

4. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す.

- 1) 計算の対象とする流域が小流域の場合, IFAS のセルサイズを小さくすることにより, 詳細な河道を作成し, より正確な流量を算出することができた.
- 2) レーダー解析雨量を地上観測雨量を用いて補正することで, 局所的な雨量が評価でき, 中小河川において妥当な流量を算出することができた.
- 3) 連続的な大雨に対しては土壌水分の影響を考慮し, 浸透に関わるモデルパラメータを調整することで妥当な流量を算出することができた.

参考文献

- 1) iRIC HP : <http://i-ric.org/ja/software/21/> (閲覧:2017/11/26) .
- 2) 杉浦ら: 衛星雨量情報を利用した洪水予測システム(IFAS)の開発, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.61-62, 2008.
- 3) 小池ら: 2016年8月の連続した大雨に伴う洪水流出量の再現検証, 土木学会北海道支部, 第73号, B-14, 2016.
- 4) 国土交通省水文水質データベース:<http://www.river.go.jp/>
- 5) 平成28年北海道豪雨による地盤・地滑り災害調査団報告会, 地盤工学会北海道支部2016年.
- 6) 山田健太: 流量観測データのない河川におけるIFASを用いた水位推定手法の提案, 2016年度室蘭工業大学卒業研究, 2017.2.

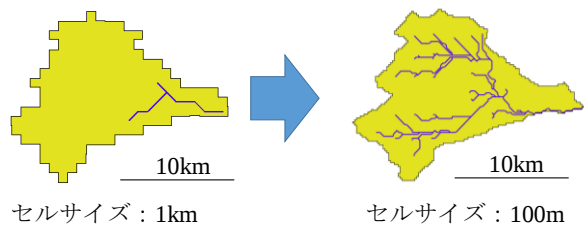


図-7 パンケ新得川流域のメッシュサイズ



図-8 ペケレベツ川流域のメッシュサイズ

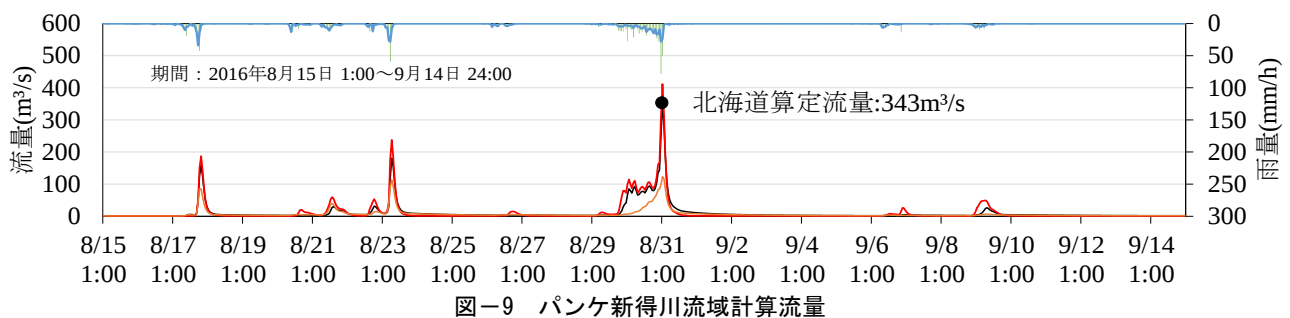


図-9 パンケ新得川流域計算流量

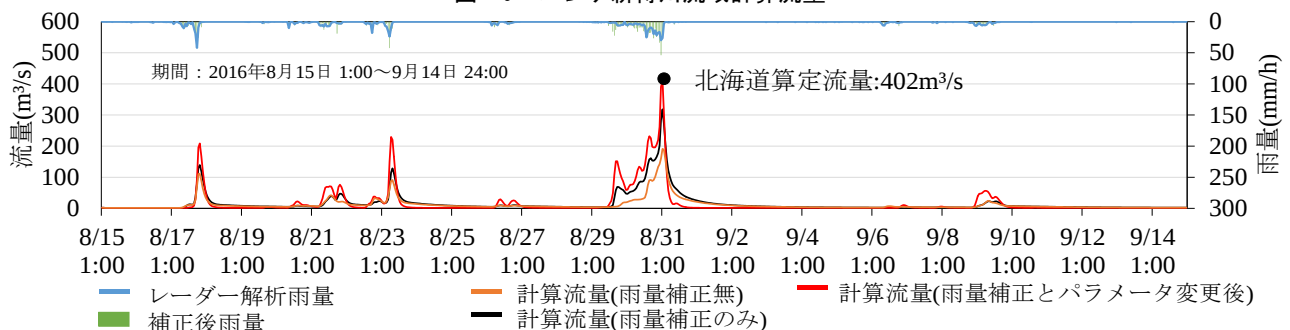


図-10 ペケレベツ川流域計算結果