

2010年8月豪雨による忠別ダム流域の流出特性について

Research on Characteristics of Runoff Caused by Heavy Rain in Tyubetu Dam Watershed on August 2010

室蘭工業大学大学院 〇学生員 大橋 和平 (Kazuhei Ohashi)
 室蘭工業大学大学院 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 室蘭工業大学 学生員 井上 峻志 (Takashi Inoue)

1. はじめに

2010年8月23日から24日にかけて前線を伴った低気圧が道北を通過し、後志北部から石狩湾そして上川地方にかけて帯状の地域で短時間に強い雨が降った。とくに、上川地方の忠別川上流部では細長く带状に広がった降雨域が発生し^{1)・2)}、その豪雨によって洪水が発生した。忠別ダムでは供用開始以後において、既往最大のピーク流入量 844 m³/s (10分データ)を観測したが、洪水調節操作を行うことで下流の被害を回避させた³⁾。しかしながら、今後もこのような極端な豪雨が発生することが懸念される。防災上の観点から、今回の降雨・流出の実態および洪水の発生要因などを解明し、その結果を今後の防災対策に生かしていく必要がある。

本研究は、忠別川上流の忠別ダム流域において2010年8月23日から24日に発生した洪水についての降雨・流出現象の特徴を明らかにすることを目的としている。そのために、今回の洪水の雨量・流量情報を解析するとともに、既往洪水事例との比較も行った。また、分布型流出モデルによる洪水流出の再現計算を行うことで流出現象の実態を検証した。以上により、湿潤な状態であった流域条件、また短時間に激しい雨が河川沿いに降った降雨条件によって、立ち上がりの鋭い流出特性を有した洪水現象が発生したという知見を得る結果となった。

2. 対象流域

本研究の解析対象は、忠別ダム流域である(流域面積238.9km²、図-1)。忠別ダムは、石狩川とその1次支川である忠別川の合流点から約31km上流に位置しており、2007年に供用を開始した多目的ダムである。忠別ダムには大雪山・白雲岳(標高2,230m)に源を発する忠別川が天人峠を経た後に忠別湖(ダム湖)に流れている。

3. 既往出水事例との比較

3.1 既往降雨との比較

2010年8月23日~24日(以後「本イベント」と記す)の降雨規模が、過去の事例と比較しどの程度の規模であるかを検討するため、忠別ダム流域内のテレメータ雨量観測5地点(図-1)の過去の雨量データを解析した。

表-1には各地点の年最大時間雨量、年最大3時間雨量、年最大24時間雨量の解析結果を示す。解析年数が少ないダム管理所や小化雲岳では本イベント降雨が全ての項目で既往第1位になった。また、観測記録が比較的長期間ある松山や湧駒別、旭岳の年最大時間雨量、年最大3時間雨量をみると(旭岳は2007年以前ではア

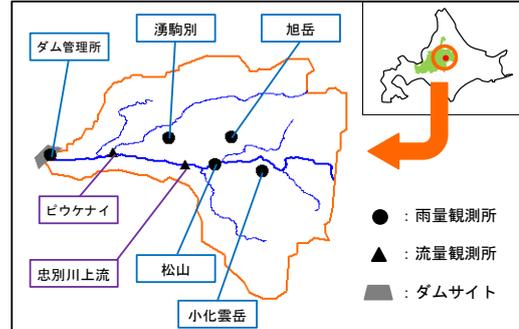


図-1 対象流域(忠別ダム流域)

表-1 既往降雨の極値
(表中の**は本イベント、*は2007年の記録)

地点名	湧駒別	旭岳	ダム管理所	松山	小化雲岳
解析年数	36	32	4	42	13
年最大時間雨量 (mm/hr)					
第1位	46*	51	46**	44	35**
第2位	45	40	26	38	30*
第3位	38	38	17	36**	23
年最大3時間雨量 (mm/3hr)					
第1位	93*	91	94**	80	85**
第2位	89**	86	39	75	69*
第3位	72	82**	34	71**	46
年最大24時間雨量 (mm/24hr)					
第1位	194	216	130**	204	139**
第2位	145	179	71	203	138
第3位	140**	138	58	145	126

メダスデータを用いた。)解析期間にばらつきがあるもののいずれの地点でも本イベントがほぼ既往第3位以内となった。なお、表中の*は2007年7月27日~28日の降雨で記録された値であり、湧駒別や小化雲岳では比較的強い雨が降っていたことがわかった。このことから、近年では2010年の本イベントだけではなく、2007年にも降雨強度の大きな豪雨が発生していたことがわかった。

3.2 既往流出との比較

次に、前節で抽出された2007年7月27日~28日と本イベントの2事例の出水に関して、流出規模の比較を行った。表-2に各事例の水文諸量を示す。なお、表中の総流入高とは、低減部解析⁴⁾によって全流出成分を基底流出成分と直接流出成分に分離し、大雨開始から直接流出終了時点までの流入高の総和であり、これを大雨の流域平均総雨量で除したのが流出率である。

表-2より、本イベントの流域平均総雨量は2007年の約1.4倍であるのに対し、ピーク流入量は約3.4倍となっており、雨量規模の差以上に出水規模には大きな違いが表れていることがわかる。ここで、本イベントのピー

表-2 2007年7月出水時との水文諸量の比較

期間	水文諸量	2007年	2010年
大雨開始から直接流出終了まで	ピーク流入量(毎正時)(m ³ /s)	208	711
	最大時間流域平均雨量(mm/h)	33	36
	流域平均総雨量(mm)[a]	101	143
	総流入高(mm)[b]	31	84
	流出率[=a/b]	0.31	0.59
大雨開始前	前期流域平均総雨量(mm)	34	322
	前期平均流入量(m ³ /s)	16	30

脚注1:「大雨開始から直接流出終了まで」とは、低減部解析により全流出を基底流出と直接流出に分離し、大雨開始時点から直接流出終了時点までの期間。

脚注2:「大雨開始前」とは、大雨開始時点から過去30日(720時間)前までの「前期」期間。

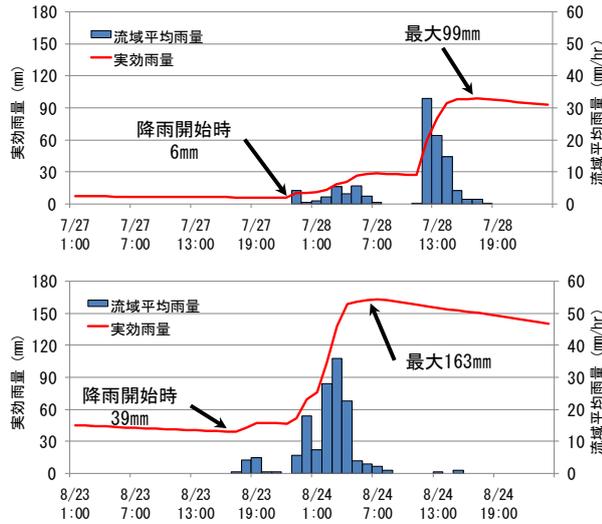


図-2 実効雨量(上段:2007年,下段2010年)

ク比流量を求めたところ 2.98m³/s/km²と得られたが、これは現在の石狩川水系河川整備基本方針の目標流量を決定づける契機となった1981年8月大洪水時のピーク比流量 2.20 m³/s/km²(江卸地点,流域面積 249.0km²)をも上回り、本イベントが過去の出水事例と比較しても前例のないものであったことがわかった。

4. 実効雨量と流出率の関係からみた流出特性の違い

そこで、本イベントと2007年7月出水でなぜ流出特性は異なるか?について考察する。流出特性の違いは流域の貯留状態に依存していると考えられることから、表-2の前期流域平均総雨量に注目してみた。これは大雨開始時点から過去30日(720時間)前までの雨量の積算値である。本イベント前には2007年の前期降雨のおよそ9.5倍の前期降雨が降っており、洪水前の平均流入量をみてみても、本イベントでは2007年に比べて約2倍になっていた。つまり、このことから流域の乾湿状態が全く異なるものであったと考えられる。

そこで、流域の乾湿状態を表現し得る実効雨量を、流域平均雨量を使用して推算することとした。実効雨量とは前期降雨の影響を考慮した積算雨量の指標であり、土砂災害の発生危険度を判定する際に利用されている。いわば、流出解析で用いられるタンクモデルの「貯留高」に対応する概念的指標であり、次式⁵⁾から求めた。



図-3 実効雨量と流出率の関係

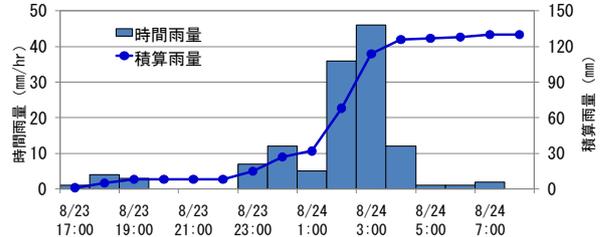


図-4 忠別ダム管理所のハイトグラフ(2010年8月23日~24日)

$$R_t = r_t + \sum_{n=1}^m \alpha_n r_{t-n} \quad (1)$$

ここで、 R_t : t 時の実効雨量(mm)、 r_t : t 時の時間雨量(mm/hr)、 m :実効雨量の推算に際し最大限さかのぼって考慮した時間(=720hr)。また n 時間前の減少係数 α_n は半減期を T 時間として次式で与えた。

$$\alpha_n = 0.5^{n/T} \quad (2)$$

ここで、 T :半減期(hr)であり、 $T=72hr$ とした。

図-2に計算結果を示す。本イベントでは前期降雨が多かったことから、大雨開始直前の実効雨量は39mm、一方2007年では6mmであった。また実効雨量の最大値は本イベントで163mm、2007年では99mmと得られた。次に、このようにして流域の乾湿状態を定性的に表現し得る実効雨量と流出率の関係をプロットした結果を図-3に示す。横軸は大雨開始直前の実効雨量、縦軸は表-2中の流出率である。大雨が降ったときには、流域の貯留量を意味する「実効雨量」が大きくなるにつれて流出率が大きくなる傾向がわかる。すなわち、洪水前の流域の貯留状態によって流出特性が異なることを示唆したものであり、洪水流出の予測の点で有益であると考えられる。

5. 降雨の時空間的特徴

次に、忠別ダム流域スケールでの降雨の時空間的特徴を地上観測雨量およびレーダ雨量を用いて検討した。図-4に忠別ダム管理所で観測されたハイトグラフを示す。8月23日24時に時間雨量10mm強の雨が降ったのち、8月24日3時に時間雨量46mmの強い雨が降った。また2時~4時の3時間雨量としては94mmと激しい雨が観測されている。他の雨量観測地点(松山は8月24日4時以降欠測となった)においても図-4と同様の傾向のハイトグラフが得られた。また積算雨量は、いずれの観測所でもおよそ130mm~140mmであった。

次に、忠別ダム流域の降雨分布状況をきめ細かい空間で捉えるため、地上観測雨量でキャリブレーション補正されたレーダ雨量を解析した。解析事例は本イベントと2007年の2事例である。各事例における最大時間雨量、

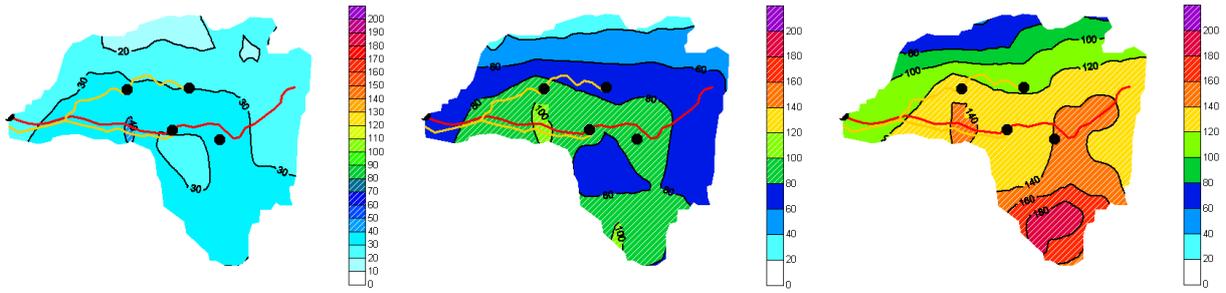


図-5 忠別ダム流域の2010年8月23日~24日のレーダ雨量によるコンター図
(左から順に、(a)最大時間雨量、(b)最大3時間雨量、(c)最大24時間雨量)

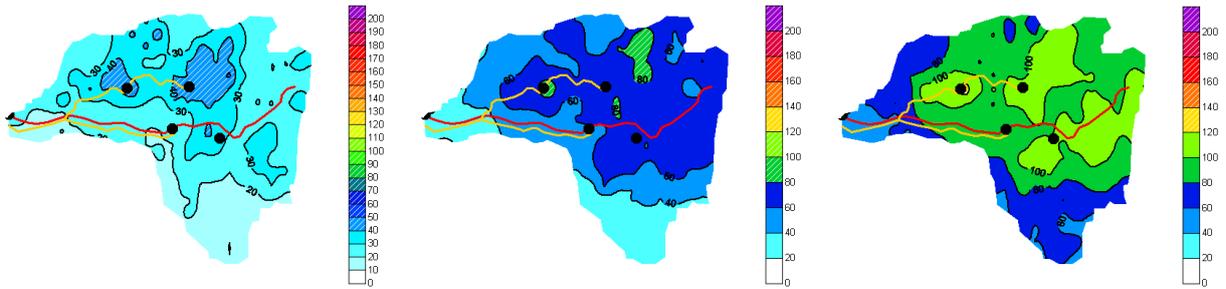


図-6 忠別ダム流域の2007年7月27日~28日のレーダ雨量によるコンター図
(左から順に、(a)最大時間雨量、(b)最大3時間雨量、(c)最大24時間雨量)

最大3時間雨量、最大24時間雨量のコンター図を図-5~図-6に示す。図中の赤線は忠別川、黄色線は道路を表わしている。

(a)を比較すると、2007年の方が本イベントより最大時間雨量で40mm以上の範囲が広域であることがわかる。ところが(b)を比較すると、雨の降り方の傾向は大きく逆転している。それは本イベントでは2007年にはみられない3時間雨量100mm以上の雨域がある点、また忠別川沿いの広範囲に80mm以上の雨域が広がっている点である。このように短時間に河川沿いに激しい雨が集中的に降ったことが本イベント降雨の特徴であったと言える。図-5(c)からは、地上雨量計では把握できなかった特徴として、流域南部において最大24時間雨量で180mmの雨が降っていたことがわかった。

6. 分布型流出モデルによる洪水流出の再現

次に、洪水流出の実態を検証することを目的とし、分布型流出モデルによる流出計算を行う。洪水ハイドログラフの算出には、まず約1km²のメッシュ単位でレーダ雨量を入力し、メッシュ内で生じる流出量を計算する(斜面流出モデル)。それに加えて、一つのメッシュ毎に上流側メッシュ(最大3方向)から河道追跡した流量(河道追跡モデル)を当該メッシュ末端で合計し、その値を下流側メッシュに流れる流出量とする方法で計算を行った⁶⁾。なお、計算時間ステップは10分とした。以下に、各モデルの基礎式を示す。

6.1 斜面流出モデル

降雨によるメッシュ内の斜面流出の計算には、直接流出と地下水流出の2成分を考慮した計算を行った。直接流出成分にはkinematic wave法、地下水流出成分には2価の線形貯留関数法⁷⁾をそれぞれ適用した。

$$\begin{cases} \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = f r, q_s = \alpha h_s^p \\ \alpha = \sqrt{i_s} / n_s, p = 5/3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} s = k_1 q_b + k_2 \frac{dq_b}{dt}, \frac{ds}{dt} = r_b - q_b \\ r_b = (1-f)r, k_1 = c_1 k_2, k_2 = (c_3 - 1) / c_0 \\ c_0 = (\delta / T_c)^2, c_1 = \delta^2 / T_c, \delta = 2.1 \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 h_s : 斜面水位 (m), q_s : 単位幅流量 (m²/s), f : 流出率, r : 雨量強度 (m/s), i_s : 斜面勾配, n_s : 等価粗度 (m^{-1/3}s), s : 貯留高 (mm), q_b : 地下水流出成分流出高 (mm/h), r_b : 地下水流出成分に供給される水量 (mm/h), $p, k_1, k_2, c_0, c_1, c_3$: モデル定数, δ : 減衰係数, T_c : 地下水流出成分の時定数。

式(3)の流出率は、図-3の関係からメッシュごとに算出した実効雨量に対応した流出率を時間単位で変化させて与えた。これは流出過程のうち、降雨が流域に浸透し時々刻々と貯留状況が変化する過程を考慮するためである。等価粗度は地被に応じて与えることとし、山林の場合には $n_s=0.6$ とした。式(4)のモデル定数は試行錯誤により、 $c_3=2.0, T_c=60.0$ と設定した。

6.2 河道追跡モデル

河道追跡には、kinematic wave式を変形した次式⁸⁾を用い、差分法で計算を行う⁹⁾。

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} + \frac{5}{3} \frac{i_c^{0.3} q_c^{0.4}}{n_c^{0.6} B^{0.4}} \frac{\partial q_c}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

ここで、 q_c : 河道流量 (m³/s), i_c : 河道勾配, n_c : 粗度係数 (m^{-1/3}s), B : 河道幅 (m)。河道の粗度係数には $n_c=0.05$ を与えた。河道幅 B は、山口ら¹⁰⁾によって提案

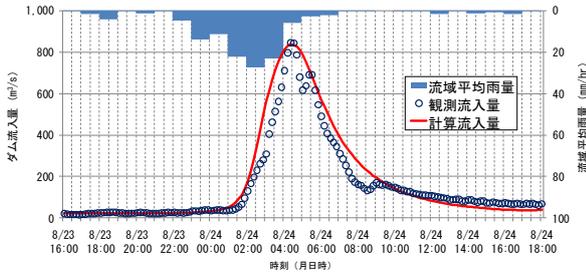


図-7 ダム流入量の再現結果
(2010年8月23日～24日)

表-3 ダム流入量のピークの出現時間

事例	観測ピーク流入量 (m³/s) (生起日時分)	計算ピーク流入量 (m³/s) (生起日時分)
2010年8月	844 (24日4時20分)	837 (24日4時20分)

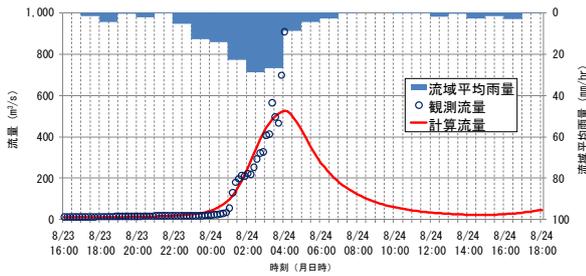


図-8 忠別川の流量推定結果

(上段：忠別川上流地点，下段：ピウケナイ地点)

されている次式によって算出した。

$$B = 3.476A^{0.435} \quad (6)$$

ここで、 A ：当該メッシュまでの総集水面積 (km²)。また、河道勾配や斜面勾配などのメッシュ地形データは石狩川流域ランドスケープ情報¹¹⁾から与えた。

6.3 洪水再現結果と考察

以上の方法によって、ダム流入量のハイドログラフを再現した結果を図-7に示す。紺色の丸は10分間隔の観測流入量、赤色の実線は計算流入量を表わしている。図-7より、洪水の流出パターンをおおむね良好に再現できたと見なせる。また、表-3によればピーク流入量およびピークの出現時間も妥当に推定できていることがわかる。今後は解析事例を増やし、本研究で用いた分布型流出モデルのさらなる汎用性向上を図りたい。

6.4 忠別川上流における流量推定

前節ではダム流入量をおおむね再現できたことを示した。ここでは忠別ダム流域で流量観測が行われている2地点(図-1参照)の洪水ハイドログラフを推定した。図-8の紺色の丸は観測流量を示しているが、忠別川上流(流域面積124.0km²)では24日4時00分以降に水位計が破損し欠測となった²⁾。これは鉄砲水のような激

しい流れが生じていたためと推察されるが、このような理由から洪水ハイドロの検証を行った。図-8によれば、忠別川上流では24日4時00分頃にピーク流量がおおよそ527m³/s(比流量4.25m³/s/km²)であったと推定された。これは、ダム流入量のピーク比流量3.53m³/s/km²と比較してもおおむね妥当な推定結果であると考えられる。また、ピウケナイのピーク流量は約162m³/sと推定された。

7. まとめ

本報告では、2010年8月洪水の降雨・流出現象の特徴を検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 過去の出水事例と比較した結果、降雨規模、流出規模はともに既往の中でも大きかった。
- 2) 河川沿いに短時間に集中して降った降雨条件、および湿潤な状態であった流域条件によって、既往最大の洪水が発生した。
- 3) レーダ雨量を用いて分布型流出計算を行った。その結果、2010年8月の洪水ハイドログラフをおおむね再現でき、洪水の実態を推定できた。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、北海道開発局旭川開発建設部、(財)日本気象協会よりデータ提供等で大変ご協力いただいた。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 北海道 平成22年8月大雨災害調査委員会：第1回大雨災害調査委員会資料，2010。
- 2) 北海道 平成22年8月大雨災害調査委員会：第1回大雨災害調査委員会議事録(概要版)，2010。
- 3) 北海道開発局 忠別ダム管理支所 ホームページ：忠別ダムの防災操作状況(平成22年8月24日出水)速報，2010。
- 4) 財団法人 北海道河川防災研究センター・研究所：対話式洪水流出計算マニュアル第1版，pp.11-16，2004。
- 5) 土木学会水工学委員会 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団：平成15年台風10号北海道豪雨災害調査報告書，2003。
- 6) 白谷友秀，中津川誠，工藤啓介：石狩川流域における水循環の定量化，北海道開発土木研究所月報，No.628，pp.18-33，2005。
- 7) 財団法人 北海道河川防災研究センター・研究所：実践流出解析ゼミ(講義テキスト編)，第4章，2006。
- 8) 品川守，山田正，豊田康：洪水ハイドログラフ形成過程と治水対策の効果に関する研究，水文・水資源学会第5巻3号，1992。
- 9) 土木学会：水理公式集 例題プログラム集 平成13年度版，pp.16，2002。
- 10) 山口甲，新庄興，三田村一弘，上野順也：豊平川の生産土砂について，土木学会北海道支部論文報告集，第55巻(B)，pp.268-271，1998。
- 11) 財団法人 北海道河川防災研究センター：石狩川流域ランドスケープ情報，1998。