

流域貯留量を考慮した流出計算法の汎用性について

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF GENERALIZED RUNOFF CALCULATION CONSIDERING THE STORAGE CAPACITY OF A BASIN

臼谷友秀¹・中津川誠²

Tomohide USUTANI and Makoto NAKATSUGAWA

¹正会員 一般財団法人 日本気象協会 北海道支社 (〒064-8555 札幌中央区北 4 条西 23 丁目)

²正会員 博士 (工学) 室蘭工業大学大学院工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

Improvement in flood control and water availability by multipurpose dams has been called for as a part of the strategies for adapting to climate change. Improvement in the accuracy in flood forecasting is one such strategy. The runoff of a river depends on the moisture condition in the watershed. A runoff calculation method that takes into consideration the moisture condition in the watershed is useful in improving the accuracy and stability of flood forecasts. This paper quantifies a basin's storage by evaluating the long-term water cycle in the basin and proposes a method of calculating the runoff percentage using the resulting quantities. When the proposed method was applied to 25 floods in the subcatchments of five dams in the Ishikari River System, the calculations corresponded closely to measurements. The proposed method is thought to be effective for calculating general runoff.

Key Words : basin storage capacity, long-term water cycle, tank model, runoff percentage

1. はじめに

多目的ダムでは、洪水調節容量の少ない融雪期に発生する大雨への洪水調節が課題となっている。また、気候変動に伴う局所的な豪雨、融雪期の早まりや夏期以外での大雨が懸念され、治水安全度の低下が予想されている。その一方で渇水リスクの増大も指摘され¹⁾、治水・利水安全度を両立させ得る方策が必要である。さらに財政や環境保全上の制約から新規施設の整備が難しく、既存ストックの有効活用が不可欠となる。ダムの洪水調節機能の向上は、ダムが抱える課題の解消に加え、気候変動に対する適応策の一端を担うものと考えられる。このような背景から筆者らは、流域水循環の評価法の提案²⁾や、予測情報に基づいた事前放流の検討³⁾などをおし、ダム機能の向上を目指している。

先行降雨が多い場合や融雪期では、少量の降雨であっても予想をはるかに超える大規模な出水に至るケースや、雨の降らない日が長く続いた後では、まとまった雨が降ったとしても全く出水しないケースがみられる。これらは、流域の乾湿状態が流出現象に大きく関与していることを表している。出水毎に降雨～流出関係が変わることから洪水予測の結果は汎用性が高いとはいえない。

洪水を再現・予測する場合、有効雨量や流出率を決める必要があり、これらの算定方法については数多く報告されている。例えば、流域の湿潤指標に洪水直前流量を

用いて流出率算定方法を提案した日野ら⁴⁾の報告、また、流域の保水能から有効雨量を推定する山田・山崎⁵⁾の提案やそれを発展させた呉ら⁶⁾の報告がある。その一方で、洪水予測の実用面を重視し有効雨量の算定を必要としない流出モデル⁷⁾も提案されているが、事例毎に適切なモデル定数が異なることが多い。

そこで筆者らは、洪水予測モデルの汎用化を目指し、流域の乾湿状態を表す“流域貯留量”に着目した流出率の算定方法を提案している。また、この方法を 2 箇所のダム流域の洪水に適用し、良好な再現結果を得ている⁸⁾。本論文では、この計算法を石狩川水系の 5 箇所のダム流域に適用し、本手法の汎用性を検討した。具体的には次の手順で検討した。

- 1) 長期の水文諸量 (降雨, 融雪, 蒸発散量など) を包括的に推定し, タンクモデルで構成した分布型流出モデルによって流出量を算出した。
- 2) タンクモデルのタンク内残留水を貯留量とみなし, 流域貯留量を推定した。
- 3) 流域貯留量と洪水時の流出率との関係から, 流域貯留量と累加雨量を変数とする流出率算定式を決めた。
- 4) この算定式, ならびに, 流出率を固定した場合の洪水再現を行い, 両者の再現結果を比較した。

以上の結果, 長期水収支に裏付けられた流域貯留量, また, それを利用した流出率の算定手法は, 複数のダム流域における洪水流量の計算に有効な手法と考えられた。

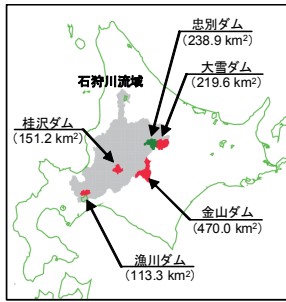


図-1 対象ダム。()内の数値は流域面積。

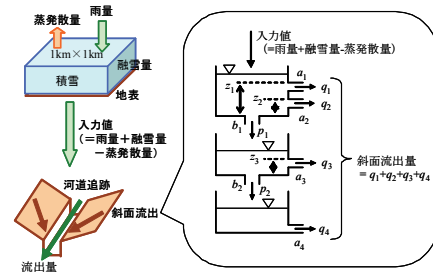


図-2 長期水循環計算の模式図。

2. 対象流域

対象としたのは、石狩川水系の主な支川の上流に位置する5箇所のダム流域とした(図-1)。いずれも洪水調節、発電や水道水の供給、また、国内有数の稲作地帯である石狩平野のかんがい用水の供給を担う多目的ダムである。

大雪ダム流域は石狩川の最上流に位置し、流域の平均標高は1,200 mに達する。また、忠別ダム流域も標高が高く、流域平均標高は1,000 mを超える。一方、漁川ダム流域と桂沢ダム流域の平均標高はそれぞれ490 mと370 mであり、上述の2流域に比べて低い。金山ダム流域は以上4流域の中間的な標高となっている。いずれのダム流域も、面積の85%以上を森林が占め、積雪期間は概ね11月～翌年5月であり約半年に達する。

3. 流域貯留量の定量化

(1) 流域貯留量の推定手法

流域貯留量を推定するには、流域スケールで長期的な水収支が担保されることが重要と考える。特に、雪に関するプロセスが水循環を大きく左右する。そこでまず、積雪や融雪、蒸発散量といった水文諸量を、中津川らが提案する手法^{2),9)}を用いて推定した。この手法は、近藤ら¹⁰⁾の提案する2層モデルを基本に積雪・融雪過程を考慮したモデルである。これによって、地上気象データ(日単位)から約1 km四方のメッシュ毎の水文諸量(降雨、降雪、積雪、融雪、蒸発散量)が推定される。ここでは、基礎データとしてダム管理用に取得されているルーチンデータ(気温、湿度、降水量、風速、積雪深、日射量、気圧)を使用した。

以上で算出される雨量、融雪量、蒸発散量をタンクモデルで構成した流出モデル²⁾に投入し、流出量を算定した。メッシュの斜面流出量はタンクモデルで算出し、kinematic wave式を用いてダム地点までの河道追跡を行った(図-2)。以上の計算によって得られる各タンクの貯留高を流域貯留量とみなした。

なお、流域貯留量を得るには河道追跡は必要ない。しかしながら、流域貯留量は観測できず、値の妥当性が評価できない。そこで、流域貯留量の妥当性を検証する目

表-1 各流域のタンクモデルのパラメータ。

係数	大雪ダム	忠別ダム	金山ダム	桂沢ダム	漁川ダム
a_1	0.234	0.336	0.115	0.200	0.097
a_2	0.105	0.130	0.086	0.131	0.067
a_3	0.042	0.058	0.064	0.036	0.001
a_4	0.100	0.015	0.037	0.010	0.027
b_1	0.156	0.284	0.155	0.148	0.159
b_2	0.054	0.064	0.096	0.091	0.226
z_1	89.75	87.21	84.83	60.00	55.60
z_2	14.36	9.99	11.53	10.00	9.77
z_3	65.79	23.18	20.53	0.00	9.90

的から、河道追跡によってダム地点の流量を算出した。

タンクモデルのパラメータは、既報など^{11),12)}を参考に実績流出量(ダムの流入量)が再現できるよう試行錯誤によって調整した。このように決めたタンクモデルのパラメータは表-1のとおりであり、これらの値を流域の全てのメッシュに与えた。また、河道追跡にはkinematic wave式に基づく次式を用いた。

$$\text{河道追跡: } \frac{\partial q_c}{\partial t} + \frac{5}{3} \frac{i_c^{0.3} q_c^{0.4}}{n_c^{0.6} B^{0.4}} \frac{\partial q_c}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここで、 q_c : 河道の流量 (m^3/s)、 n_c : 粗度係数 ($\text{m}^{-1/3}$)、 i_c : 河道勾配、 B : 河道幅 (m)。河道の粗度係数は $n_c=0.03$ とし、河道幅 B は山口ら¹³⁾が提案する式によって決めた。河道勾配や斜面勾配、落水方向などの地形情報は石狩川流域ランドスケープ情報¹⁴⁾から与えた。なお、石狩川流域ランドスケープ情報は、国土数値情報を基本にして、河道網や地被なども付加して作成されたデータベースである。データは1 km四方のメッシュを基本単位として、支川流域やダム流域毎に分類されている。

以上のモデルにより、メッシュ末端からの流出量は、河道追跡で得られる河道末端の流出量に、斜面流出量を加えることで算出した。

(2) 流出量の再現結果と流域貯留量の推定結果

以上の方法を大雪ダム流域に適用した結果を図-3に示す。上段の図は、実績流入量と計算流入量を比較したものである。図の水色の面は実績流入量を表し、青色の実線は計算流入量である。また、棒グラフは雨量と融雪量の合計値を表し、グラフ右側の軸に従って図示した。この図によると、2007年や2008年の融雪期において、再現性の悪い期間がみられるものの、全体として良好な

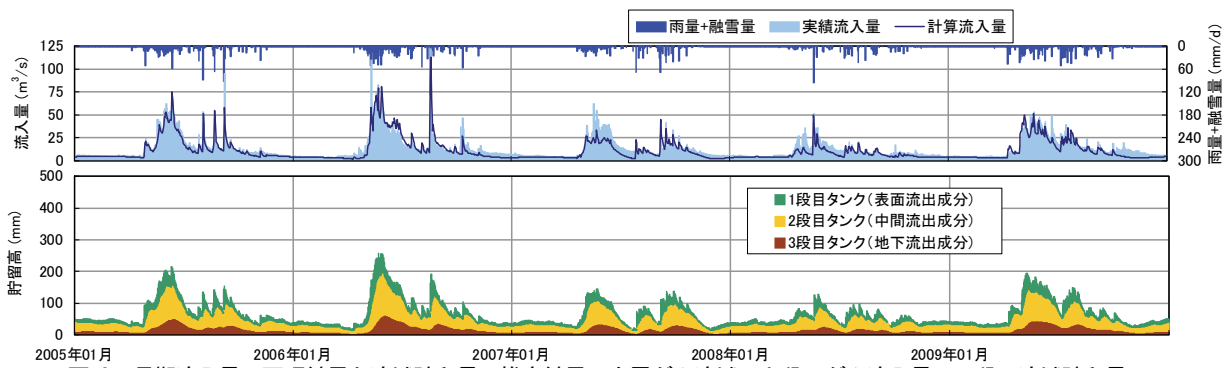


図-3 長期流入量の再現結果と流域貯留量の推定結果. 大雪ダム流域, 上段: ダム流入量, 下段: 流域貯留量.

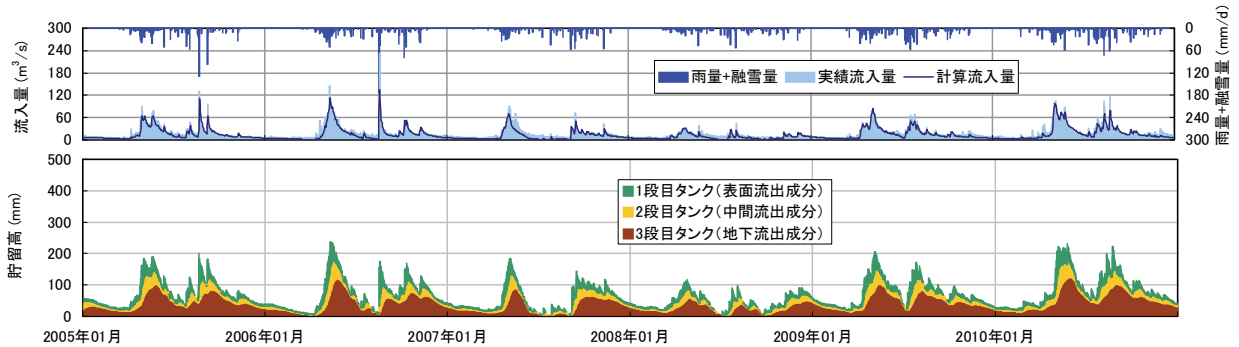


図-4 長期流入量の再現結果と流域貯留量の推定結果. 金山ダム流域, 上段: ダム流入量, 下段: 流域貯留量.

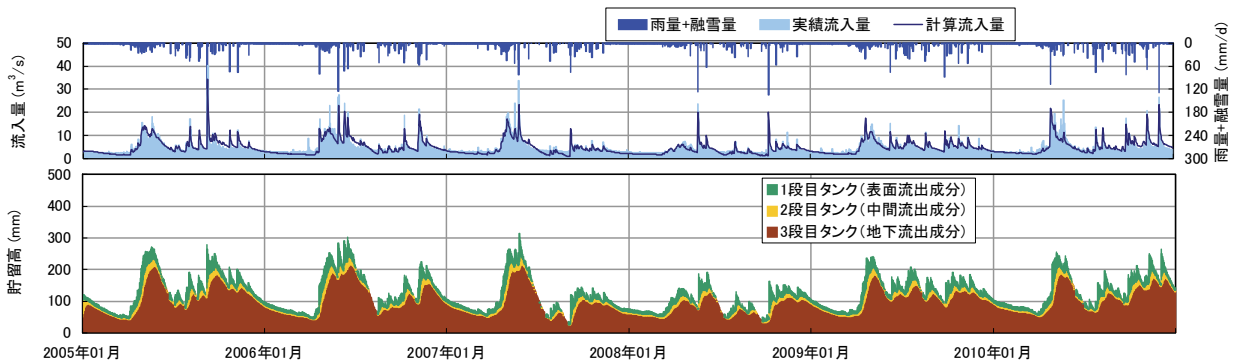


図-5 長期流入量の再現結果と流域貯留量の推定結果. 漁川ダム, 上段: ダム流入量, 下段: 流域貯留量.

再現となっている. このように計算流入量が実績値に符合した結果は, タンク貯留高が良好に推定されていることを示したものと考えられる.

図-3 の下段には流域貯留量を時系列で示した. ここに示した流域貯留量は, メッシュ毎に推定されるタンク貯留高を流域内で平均化した値である. このグラフによると, 供給される水量の少ない厳冬期のタンク貯留高が低く, 融雪期や秋の貯留高が高いことがわかる. 各タンクの合計貯留高 (以下, 総貯留高と呼ぶ) は, 多い時期で 200 mm 程度, 少ない時期では 50 mm を下回っている. また, 大雪ダムの 2008 年の年間降水量は, 2005 年~2009 年の平均年間降水量の 7 程度であったが, それを反映して 2008 年の総貯留高が他の年に比べて少ないことがグラフから読み取ることができる. 以上の結果, 計算された流域貯留量は, 季節的な変化に加え, 長期的な変化をも推定できていると考えられる.

同様に, 金山ダム流域と漁川ダム流域に適用した結果が図-4 と図-5 である. 各図の上段に示した流入量の再現結果は, 大雪ダム流域と同様に良好であった. 推定し

た貯留高は, 融雪期と秋の貯留高が多く, その時期の総流出高は 200 mm 程度であり, 大雪ダム流域の推定値と大差はない. しかしながら, 流域によって卓越するタンクが異なる. 大雪ダム流域は中間流出成分に対応する 2 段目タンクの貯留高が大きく, 金山ダム流域は地下流出成分に当たる 3 段目タンクの貯留高の占める割合が高い. 対象として 5 流域のタンク貯留高を整理したものが図-6 である. 図の平均貯留高は, 全ての流域でデータの揃う 2008 年~2009 年を対象にして, 日単位で算出される貯留高を 2 年間に亘って平均化した値である. また, 図には総貯留高に占める 3 段目タンク貯留高の割合を記載した.

図によると, 忠別ダム流域と桂沢ダム流域の総貯留高は 200 mm 台, 漁川ダム流域が 100 mm 台, 大雪ダム流域と金山ダム流域は 100 mm を下回っており, 流域間の貯留高に差がみられる. また, 3 段目タンクの貯留高は, 大雪ダム流域は約 3 割と少なく, 忠別ダム・桂沢ダム・漁川ダムでは約 8 割をも占めるなど, 3 段目タンクの貯留高に差がみられる.

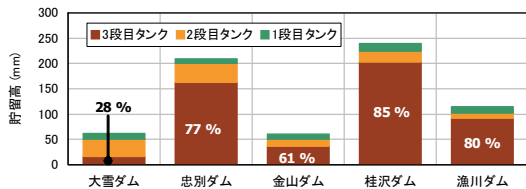


図-6 流域貯留量の平均値。茶色の棒グラフに示した数値は、総貯留高に占める3段目タンクの貯留高の割合。統計期間：2008年～2009年。

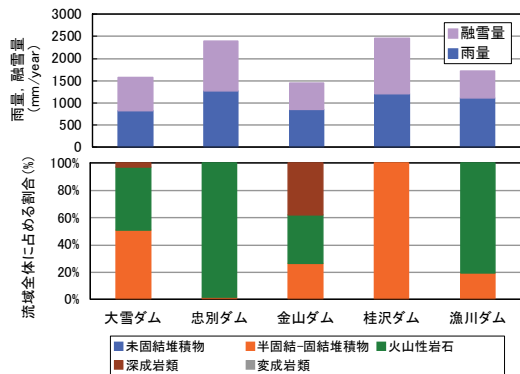


図-7 各流域の年間降水量と地質構成。上段：2008年・2009年の平均年間降水量（雨量と融雪量の合計）、下段：流域の地質構成。

流出特性は、気象条件に加え、地質条件にも大きな影響を受けることから、推定した流域貯留量もこれらを反映したものと考えられる。そこで、推定した流域貯留量を、年間降水量および地質との関連性から考察した。

図-7は、各流域の年間降水量と各流域の地質構成を示したものである。年降水量は、本章(1)節の方法で推定した雨量と融雪量の年合計であり、2008年と2009年の平均値である。地質情報は、石狩川流域ランドスケープ情報¹⁴⁾を基礎データとして用い、図の凡例に示す5種類の地質で分類した。図の下段は、各流域に占める地質割合を示す。図-6と図-7を比較すると、年間降水量が約2,500 mm/yearの忠別ダムと桂沢ダムの流域貯留量が多く、年間降水量が約1,500 mm/yearの大雪ダムと金山ダムは他の流域に比べて少ない。この結果は、流域間の流域貯留量の大小関係は、年間降水量と強い関連性のあることを示したものと見える。

一方、図-7の下段の図によって地質についてみると、忠別ダムや漁川ダムのように、火山性岩石の占める割合が大きい流域では、貯留高全体に占める3段目タンクの割合が大きいようである。これら2流域は、年降水量に差があるにも関わらず両流域に共通する特徴である。虫明ら¹⁵⁾、志水ら¹⁶⁾、高田ら¹⁷⁾は、第四紀火山岩類流域の湧水量は他の地質より大きいことを報告している。また、この報告の中で、第四紀火山岩類は、亀裂や空隙に富み保水性が高く、その結果、湧水量が大きくなることも指摘されている¹⁵⁾。湧水量はタンクモデルの3段目タンクからの流出量に対応することを勘案すると、湧水量の大きな流域は3段目タンクの貯留高が高いものと考えられる。図-7で分類した火山性岩石には第四紀火山岩類を含むことから、本論文で推定した流域貯留量は、

表-2 降雨事例と流域別採用 α 。

流域	事例	降雨期間		合計雨量 (mm)	ビーフ流入量 (m ³ /s)	総直接流出高 (mm)	降雨開始前日1段目タンクの貯留高 (mm)	係数 α	算定流出率		平均流出率
		年	降雨開始 ~ 終了						降雨開始	降雨終了	
大雪ダム	1	2005	08月02日21時 ~ 04日01時	50.32	103.64	12.32	11.98	0.0080	0.09	0.25	0.20
	2	2005	09月07日03時 ~ 08日11時	81.95	179.86	22.95	2.57		0.02	0.28	
	3	2006	08月18日00時 ~ 19日09時	131.73	301.96	30.95	8.65		0.07	0.42	
	4	2007	07月27日21時 ~ 28日21時	63.62	74.17	4.61	2.60		0.02	0.23	
	5	2010	08月23日14時 ~ 24日19時	98.22	302.85	16.73	26.23		0.19	0.44	
忠別ダム	1	2008	08月03日06時 ~ 04日04時	55.25	149.67	8.11	2.23	0.0097	0.02	0.24	0.20
	2	2008	08月15日08時 ~ 16日19時	57.82	101.26	10.47	0.01		0.00	0.23	
	3	2009	07月08日01時 ~ 09日00時	50.86	145.67	13.02	3.38		0.05	0.24	
	4	2009	07月18日10時 ~ 20日07時	69.80	75.07	7.72	16.03		0.14	0.38	
	5	2010	08月23日13時 ~ 24日19時	134.96	718.93	41.52	25.72		0.22	0.57	
金山ダム	1	2005	08月21日18時 ~ 23日08時	79.43	235.10	21.88	27.11	0.0046	0.16	0.35	0.20
	2	2005	09月07日01時 ~ 08日19時	82.72	144.30	15.78	0.36		0.00	0.23	
	3	2006	08月17日22時 ~ 19日06時	158.44	379.77	43.99	4.16		0.03	0.40	
	4	2007	09月06日11時 ~ 08日13時	89.28	49.19	9.12	0.55		0.00	0.25	
	5	2010	08月23日11時 ~ 24日21時	104.99	191.94	17.28	20.82		0.13	0.37	
桂沢ダム	1	2005	08月21日09時 ~ 22日10時	125.51	210.73	61.92	11.44	0.0150	0.22	0.72	0.43
	2	2005	09月07日00時 ~ 08日14時	84.19	155.27	39.79	6.08		0.12	0.59	
	3	2006	08月17日21時 ~ 19日06時	88.91	57.38	31.86	0.00		0.01	0.55	
	4	2009	09月06日21時 ~ 08日16時	115.53	88.40	45.03	8.12		0.16	0.68	
	5	2010	09月06日19時 ~ 07日20時	60.03	89.73	27.38	24.56		0.16	0.52	
漁川ダム	1	2005	09月06日22時 ~ 08日06時	157.09	155.94	30.63	0.15	0.0034	0.00	0.23	0.11
	2	2007	09月06日20時 ~ 08日10時	89.62	22.53	7.58	4.44		0.02	0.15	
	3	2008	10月09日05時 ~ 09日18時	115.58	59.05	10.08	5.05		0.02	0.19	
	4	2009	09月28日04時 ~ 29日02時	94.81	34.19	5.64	0.10		0.00	0.15	
	5	2010	09月27日13時 ~ 28日22時	110.28	49.39	12.44	6.09		0.02	0.18	

上述の既往研究と整合する結果と解釈できる。

また、流域全体を半固結-固結堆積物で構成される桂沢ダムも貯留高全体に占める3段目タンクの割合が大きい。しかしながら、大雪ダムは、半固結-固結堆積物が流域の約5割を占めるに関わらず3段目タンクの貯留高が少ない。このことから推察すると、桂沢ダムの3段目タンクの貯留高が卓越するのは、年間降水量の多さに起因したものと考えられる。

以上から、降水量の多い流域は流域貯留量が多く、火山性岩石の占める割合の大きな流域は3段目タンクの貯留量が卓越するものと考察される。

4. 流域貯留量を用いた流出率の算定

(1) 流出率の算定手法

山田・山崎⁴⁾は流域の保水能を考慮した流出率の推定方法を提案している。この方法において流出率は、「初期水分量」と「累加雨量」から算出される。すなわち、降雨前の土壌の乾湿状態と、降雨規模を反映した流出率が得られる。ここでは、山田・山崎の提案する式に含まれる項「初期水分量」に前章で算出した貯留量を与え、これによって流出率を決めた。基礎式は次のように与えられる。

$$f_i = 1 - \frac{\exp(-\alpha S_1)}{\alpha \int_0^i r dt} \left\{ 1 - \exp\left(-\alpha \int_0^i r dt\right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 f_i ：降雨開始*i*時間後の流出率、 S_1 ：降雨開始前日における貯留量（1段目タンクの貯留高）(mm)、 r ：雨量強度 (mm/h)、 α ：未知定数 (1/mm)。なお、山田・山崎の報告によると「初期水分量」は表層土壌が対象となっている。そこで式(2)の初期貯留高 S_1 には、表層土壌に対応するものとして1段目タンクの貯留高を与えた。

(2) 流出率の算定結果

2005年以降の降雨事例を抽出し、式(2)の未知定数

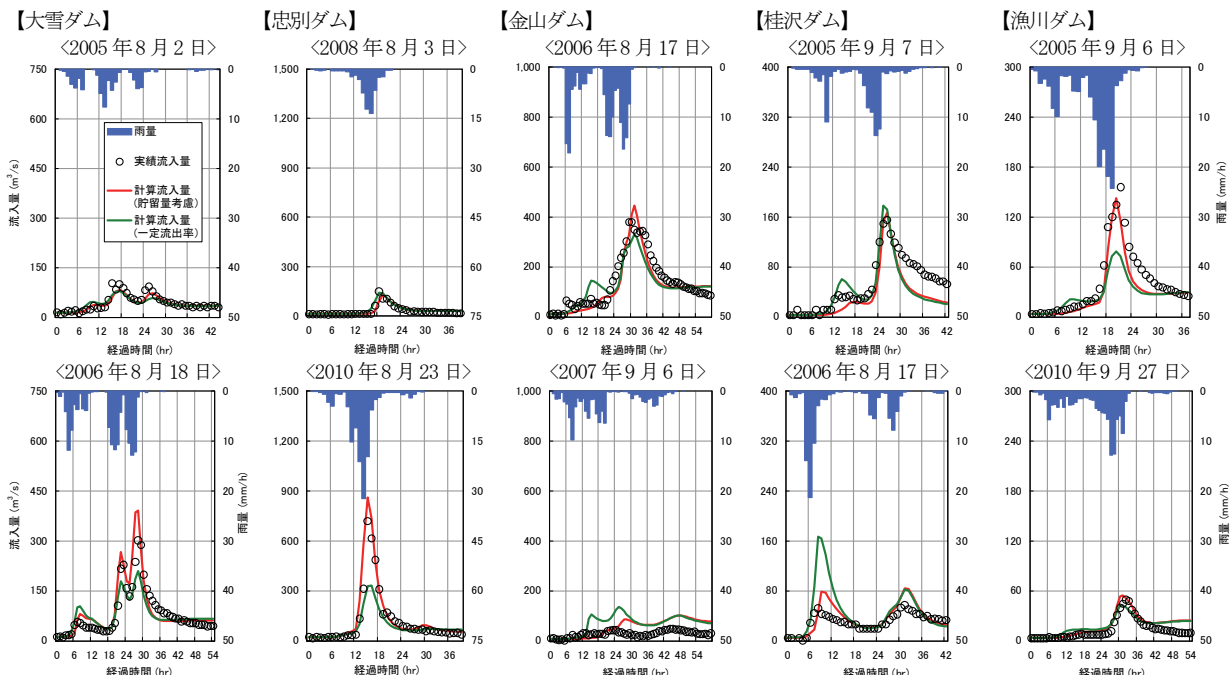


図-9 ハイドログラフの再現結果. 左から、大雪ダム、忠別ダム、金山ダム、桂沢ダム、漁川ダム. 左：忠別ダム、中：金山ダム、右：桂沢ダム. 全てのグラフとも、左側の縦軸は流入量、右側の軸は雨量.

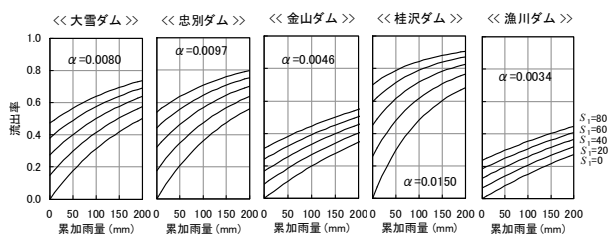


図-8 各流域の流出率の特性. S_1 : 降雨前日の1段目タンクの貯留量 (mm). 各曲線とも、上から $S_1=80, 60, 40, 20, 0$ mm.

α を決めた. 忠別ダムはダム完成翌年の2008年以降を対象とした. 降雨事例は、対象期間で合計雨量の多い上位5例とした. また、雨量データには、気象庁「解析雨量」¹⁸⁾を用いた. 以上によって整理した事例を表-2に示す. 表の未知定数 α は、後述の流出モデルで計算される流出量を実態に合うよう決めた.

以上で得た流出率算定式の特性を図-8に示す. 図には、1段目タンクの貯留高 S_1 が 0 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm の場合の流出率を示した. 図によると、累加雨量およびタンク貯留高の増大とともに流出率が増加するものの、増大の仕方に違いがみられる. 漁川ダムの流出率は累加雨量に対して直線的に増加、一方、桂沢ダムは、累加雨量が 50 mm 以下の範囲で累加雨量に対する流出率の変化が大きい. さらに桂沢ダムは、貯留高 S_1 の違いで降雨開始時の流出率が大きく異なるという特徴もみられた.

(3) 洪水事例への適用

以上の流出率算定式を用いて洪水ハイドログラフを再現し、その有効性を調べた. ここでは、式(2)に基づく方法と、流出率を固定した場合の二通りの計算を行い

両者を比較した. なお、固定する流出率の値は、表-2の右の列に示したが、この値は、各事例の総流出高を合計雨量で除した値を流域毎に平均化して求めた.

計算には、以下に示す斜面流出モデルと、前章の式(1)に示した河道追跡モデルとを組み合わせた流出モデルを使い、約 1 km 四方のメッシュ毎に計算を行った. 斜面流出モデルには、直接流出と地下水流出の2成分を考慮し、次に示す基礎式を用いた.

$$\text{直接流出: } \begin{cases} \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = fr, q_s = \beta h_s^p \\ \beta = \sqrt{i_s}/n_s, p = 5/3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{地下水流出: } \begin{cases} s = k_1 q_b + k_2 dq_b/dt \\ ds/dt = (1-f)r - q_b \\ k_1 = c_1 k_2, k_2 = (c_3 - 1)/c_0 \\ c_0 = (\delta/T_c)^2, c_1 = \delta^2/T_c \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 h_s : 斜面の流積あるいは水深 (m), q_s : 単位幅流量 (m^2/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), c_3 : モデル定数, δ : 減衰係数 (=2.1), T_c : 地下水流出成分の時定数. なお、等価粗度は、地帯に応じて設定し、山林: 0.4, 水田: 1.0, 畑地・ゴルフ場など: 0.2, 市街地・裸地など: 0.01 とした. また、地下水流出モデルの定数は、 $c_3=3.0, T_c=60$ とした.

再現結果を図-9に示す. ここには、出水規模の異なる大小2洪水を、全てのダムについて示した. 図の○印は実測流入量、赤色の実線は流域貯留量を考慮した場合の計算流入量、緑色の実線は流出率を固定した場合の結

表-3 各事例の相対誤差

事例	大雪ダム		忠別ダム		金山ダム		桂沢ダム		漁川ダム	
	貯留量考慮	流出率固定	貯留量考慮	流出率固定	貯留量考慮	流出率固定	貯留量考慮	流出率固定	貯留量考慮	流出率固定
1	0.13	0.20	0.20	0.28	0.20	0.19	0.68	0.74	0.37	0.43
2	0.25	0.38	0.37	0.44	0.37	0.38	0.38	0.38	0.78	0.86
3	0.29	0.31	0.18	0.15	0.35	0.48	0.46	0.76	0.57	0.49
4	0.89	1.18	0.49	0.45	1.28	1.63	1.18	1.44	0.50	0.61
5	0.54	0.34	0.29	0.36	0.39	0.38	0.39	0.40	0.45	0.62
平均	0.42	0.48	0.31	0.34	0.52	0.61	0.62	0.74	0.53	0.60

果である。図によると、流域貯留量を考慮した計算結果は、実績値と大きく乖離することが無く、安定した再現結果となっている。表-3には、対象とした全ての事例の相対誤差、および、それらの平均を示した。相対誤差の算出は次式で求めた。

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|q_{oi} - q_{ci}|}{q_{oi}} \quad (5)$$

ここで、 q_{oi} : 実績流入量 (m³/s)、 q_{ci} : 計算流入量 (m³/s)、 N : データ数。

表の「貯留量考慮」は流域貯留量を考慮した場合、「流出率固定」は流出率を固定した場合の相対誤差である。この表によると、流域貯留量を考慮した計算結果は、多くの事例で相対誤差が減少している。表の最下行には誤差の平均を示すが、流域貯留量を考慮する計算誤差は、流出率を固定した場合に比べて 0.03~0.13 だけ小さい。改善効果の小さな流域もあるものの、流域貯留量を利用した流出率の算定は、流出計算を行う上で有効な方法と考えられた。

5. まとめ

本報告において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 石狩川流域の 5 箇所のダム流域を対象に、長期の水文諸量の推定と流出計算により、流域貯留量を含む一連の水文諸量を包括的に推定した。
- 2) 流域貯留量には地域性があり、降雨の多い流域では流域貯留量が多く、また、火山性岩石の卓越する流域では総貯留高に占める 3 段目タンクの貯留高の割合が大きかった。
- 3) 既往の研究成果によれば、第四期火山岩類流域の湧水量が大きいことを指摘しているが、本報告で推定した流域貯留量は、この既往研究と整合した。
- 4) 流域貯留量と累加雨量を用いた流出率算定式を導き、この算定式を用いた場合と、流出率を固定した場合の流量再現を行った。その結果、提案する流域貯留量を考慮した流出率算定式の有効性を示す結果となった。

以上、長期水収支に裏付けられた流域貯留量、また、それを利用した流出率の算定手法は、洪水管理に有効な手法と考えられた。

究 (C) (課題番号 23560602) の助成を受けた。また、本研究を進めるにあたり、北海道開発局からデータ提供等で協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省白書 2008, pp.3-12, 2008.
- 2) 臼谷友秀, 工藤啓介, 中津川誠：石狩川流域における水循環の定量化について, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.229-234, 2005.
- 3) 臼谷友秀, 中津川誠：積算予測雨量に基づいた融雪期におけるダムの洪水調節機能の向上について, 土木学会論文集 B, Vol.66 No.3, pp.268-279, 2010.
- 4) 日野幹雄, 長谷部正彦：流出率と湿润指標としての洪水直前流量, 土木学会論文報告集, 第 328 号, pp.41-46, 1982.
- 5) 山田正, 山崎幸二：流域における保水能の分布が流出に与える影響について, 第 27 回水理講演会論文集, pp.385-392, 1983.
- 6) 吳修一, 山田正, 吉川秀夫：有効雨量の推定に関する研究, 土木学会論文集 B, Vol.65 No.3, pp.231-245, 2009.
- 7) 馬場仁志, 星 清, 藤田睦博：蒸発散量及び浸透を組み合わせる二段貯留閥数型流出モデルの開発, 水文・水資源学会誌, Vol.14 No.5, pp.364-375, 2001.
- 8) 臼谷友秀, 中津川誠：ダムの洪水管理への流域貯留量の活用, 水工学論文集 (CD-ROM), 第 55 巻, 2011.
- 9) 口澤寿, 中津川誠：熱・水収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定, 北海道開発土木研究所月報, No.588, pp.19-38, 2002.
- 10) 近藤純正：水環境の気象学, 朝倉書店, 337p., 1994.
- 11) 土木学会：水理公式集[平成 11 年版], 丸善 (株), pp.41-42, 1999.
- 12) 中津川誠, 濱原能成, 星 清：積雪変化を考慮した長期流出計算, 水工学論文集, 第 47 巻, pp.157-162, 2003.
- 13) 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 号 (B), pp.268-271, 1998.
- 14) (財) 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.
- 15) 虫明功臣, 高橋裕, 安藤義久：日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果, 土木学会論文報告集, 第 309 号, pp.51-62, 1981.
- 16) 志水俊夫：山地流域における湧水量と表層地質・傾斜・植生との関係, 林試研報, No.310, pp.109-128, 1980.
- 17) 高田賢一, 中津川誠, 村上泰啓：積雪寒冷地の流域条件と水文・水質との関係, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1603-1609, 2005.
- 18) 気象庁編集, (財) 気象業務支援センター発行：解析雨量年報 (DVD-ROM), 2005~2010.