

5. 気象・水文情報を利用した既存ダムの機能向上策について

中津川 誠*

1. はじめに

気候変動に伴う局所的な豪雨や気象擾乱の巨大化などが懸念され、はん濫や浸水頻度の増加といった流域の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ており、将来にわたって治水・利水安全度を両立しうる方策が求められている。また、最近では脱原発および地球温暖化対策という動きの中で再生可能エネルギーの開発に注目が集まっている。とくに、小水力発電については実現の余地が十分に残されていると考えられ、従来からの治水・利水安全度の確保に加え、最大限の効果が発現できるような水管理が求められる。

このようなリスク軽減や付加価値を発現させるうえで、従来は新たな施設を増設することで対応してきたが、我が国の財政事情や環境へ与える影響などを考えると今後それは容易ではない。そこで、既存多目的ダム(群)の治水・利水機能について運用を工夫することで向上させることが期待される。とくに世界に類をみない観測網や予測技術を構築している我が国でこれらの気象・水文情報を活用した既存施設のスマートな運用は、課題解決の最も有望なオプションと言える。そこで、本稿では以下の提案を行い、課題解決への方向性を論じたい。

- 1) 治水安全度向上のためのダムからの事前放流 (白谷・中津川 2010, 2011)
- 2) 利水安全度確保のためのダム群の連携 (川村ほか 2012)
- 3) ダムの維持放流を利用した小水力発電 (林下ほか 2012)

なお、以降で用いるダム操作等に関する用語については付録を参照されたい。

2. 治水安全度向上のためのダムからの事前放流

多目的ダムの機能向上に対する有力な方策の一つとして「事前放流」が考えられる。これは、大きな洪水が予想される場合に利水容量の一部を利用して洪水調節容量を確保する操作であるが、同時に、予測が空振りしたときに利水容量が回復しないというリスクも伴う。したがって、事前放流を行うにあたっては、放流開始のタイミングと、予測が外れる場合にあっては利水容量が確保できることを条件にどこまで水位を下げられるかを判断しなければならない。これら2点を的確に判断することが課題となっている。

2.1 降雨予測の精度

効果的な事前放流を行うには、先行時間が長くかつ精度のよい降雨予測・流入予測が必要となる。そこで「石狩川流域」を対象として、気象庁の降水短時間予報とRSM (Regional Spectral Model) 予測値のGPV (Grid Point Value) の精度を検証した。降水短時間予報は6時間先までのメッシュ雨量(約1 km

* 室蘭工業大学大学院工学研究科。
mnakatsu@mmm.muroran-it.ac.jp
© 2014 日本気象学会

四方)が2003年6月以降は30分毎に更新され、GPVは51時間先までのメッシュ雨量(約20 km 四方)が1日2回の間隔で更新される。これらのデータから、流域に該当するメッシュの雨量を取り出し、それらの算術平均を予測雨量として用いた。検証は2004年~2008年において、流域内および周辺のアメダスで日雨量が100 mmを超えた12例を対象にした。

以上の流域平均雨量を用い、積算予測雨量と時系列予測雨量の精度を比較した。第1図は予測リードタイムと相関係数の関係である。ここで、積算予測雨量とは、1時間先から任意の先行時間までの合計雨量である。例えば、“予測リードタイム24時間の積算雨量”は、1~24時間先における各時刻の予測雨量(時系列予測雨量)の合計値を意味する。この図からわかるように、積算予測雨量の相関係数は、時系列予測雨量より大きく、精度の安定性といった観点では積算予測雨量は有効な情報といえる。

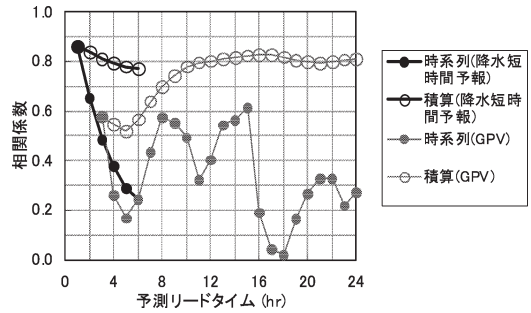
そこで、積算予測雨量に対して積算実績雨量がどのように分布していたか、すなわち誤差の幅を調べる。予測リードタイムが24時間の場合について、ガンマ分布の曲線式をあてはめ70%の確率で実績雨量が出現する範囲を示したものが第2図である。なお、この誤差幅70%は台風の予報円を参考(二宮ほか1997)にしたものである。図中、灰色の実線は70%出現範囲の上限値・下限値の回帰式であるが、全般的な傾向としては、積算予測雨量を0.7~1.8倍した範囲に、実績雨量の70%が収まっている。

2.2 積算予測雨量を活用した放流操作

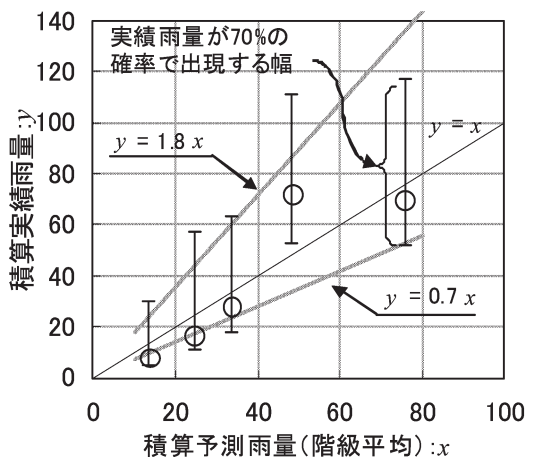
実際に第3図に示す札幌市南部の豊平峡ダム(流域面積:134 km²)を対象に事前放流操作の可能性を検討した。具体的には、後述する現在の放流操作ルールに予測雨量を利用した事前放流操作を加え、この操作による有効性を調べた。

当該ダムは1973年に運用が開始されて以来3度のただし書き操作が実施された(1988年11月24日,1990年11月20日,2000年5月12日)。ここで、ただし書き操作とは、計画を超える規模の洪水が発生し、かつ、貯水位がサーチャージ水位(ダム計画上の洪水時の最高水位)を越えると予想される場合に、流入量と同量の放流を行う操作である。この操作によって下流河川の急激な増水や堤防の決壊などの発生する危険性が高まることから避けなければならない操作である。

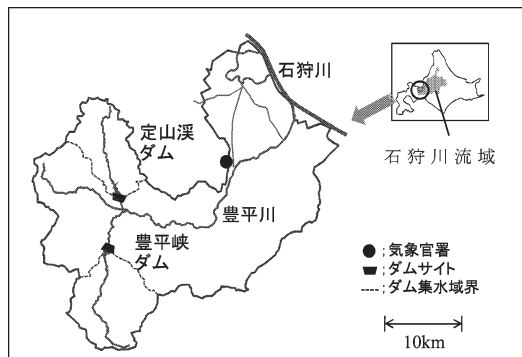
第4図は年間を通した貯水位の推移である。洪水期(6月15日~10月31日)は、貯水位を制限水位(第1



第1図 予測リードタイムと相関係数の関係。

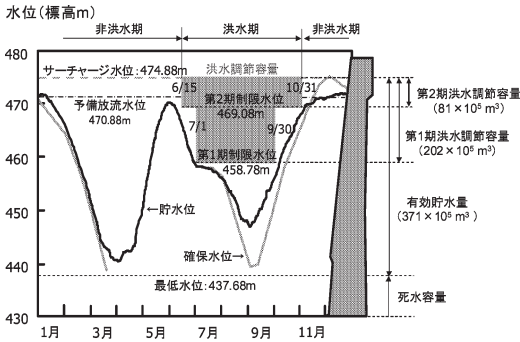


第2図 予測リードタイム24時間の70%出現幅。



第3図 豊平川と豊平峡ダム・定山溪ダムの位置。

期制限水位,第2期制限水位)より低く維持し,流水を貯留するための容量(洪水調節容量)を確保している。一方,非洪水期(洪水期以外の期間)は,予備放

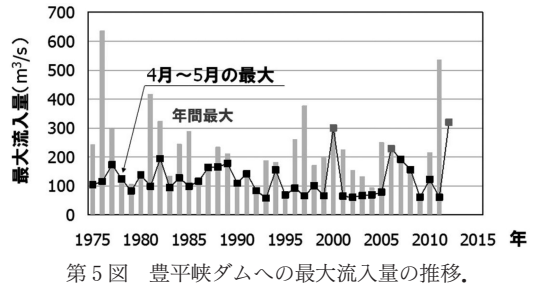


第4図 豊平峡ダムの年間貯水位・容量配分図。
札幌開発建設部豊平川ダム統合管理事務所ホームページ (<http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/kasen/08isiken/02genba/26damtokan/29-1.html>) および <http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/kasen/08isiken/02genba/26damtokan/28-2.html> (2014.4.21閲覧) をもとに著者が作成。

流水位以上の少ない容量によって流水を調節している。とくに融雪期後半の5月下旬や初冬は、その後の水需要に備え、最大限に水をダムに蓄えている。このような管理の中でただし書き操作に至った3事例に共通するのは、貯水位が高く維持されていた非洪水期に発生していた点にある。また、第5図にはダムへの年最大流入量と融雪期(4~5月)最大流入量の経年変化を示すが、近年融雪期に大きな流入がある年が頻繁にみられ、それに対する警戒が必要であることが示唆される。

豊平峡ダムにおける現在の操作規則では、洪水調節は一定率一定量放流方式で、流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (洪水量)を超えると $140 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とする放流操作を実施する。しかしこのような洪水調節を行っても、貯水位がただし書き操作開始水位を超え、さらにサーチャージ水位に到達することが予想された時点でただし書き操作に移行する。一方、非洪水期の洪水調節は予備放流水位以上の少ない容量のみを使って洪水調節が行われることから、ただし書き操作に移行するリスクが高い。以上で述べた洪水調節の操作ルールをプログラム化し解析に用いる。

事前放流開始の判断は、ダムの空き容量と貯水池への流入量を比較することで行う。ここでの空き容量は、予測を行う時点の空き容量と、今後の放流で空く容量(=予測時点での放流量とする)の合計とする。一方、流入量は、積算予測雨量と融雪量に応じた水量



第5図 豊平峡ダムへの最大流入量の推移。

がダム貯水池に流入するものとして算出する。この際の積算予測雨量は、安全側評価のため予測雨量を1.8倍した値を用いる。

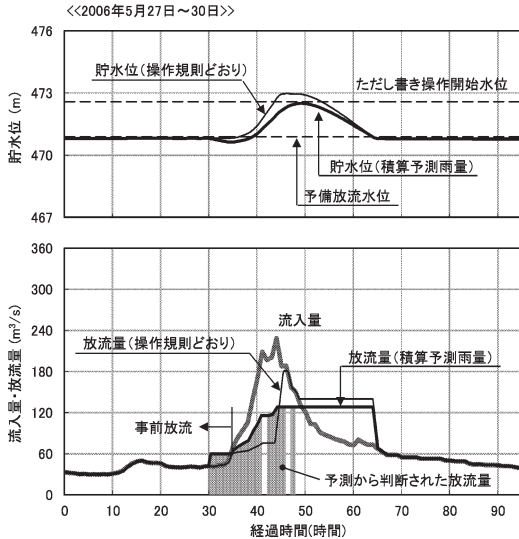
以上で得られる空き容量と総流入量とを比較し、空き容量が不足しないと判断される場合は操作規則どおりの放流を行う一方、空き容量が不足すると予測された場合(貯水位がただし書き操作開始水位に達する場合)は、以下の新しいルールで放流を行うとする。

- ・流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (洪水量)以下の場合は $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流を開始する。
- ・流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ を超え、それでもなお積算予測雨量から放流が必要と判断される場合には、流入量の変化量に応じて放流量を増加させる。ここでは、計画最大放流量($140 \text{ m}^3/\text{s}$)を上限に、放流量の増加速度が流入量のそれより小さくなるように放流する。

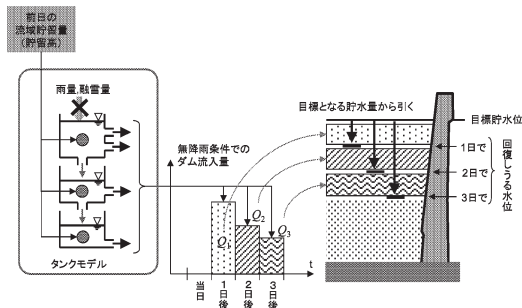
第6図には2006年5月28日(ピーク流入量: $228 \text{ m}^3/\text{s}$)の試算例を示す。図中、黒色の細い実線は現在の操作規則どおりに放流を行った結果である。また、灰色の棒グラフは、予想された空き容量が不足することに伴って、上述のルールで算定された放流量である。空き容量が不足しない場合については操作規則どおりの放流操作となるが、空き容量が不足する場合と不足しない場合の両方の操作を含めて算定した放流量が、黒色の太い実線で表した放流量(積算予測雨量)である。この結果事前放流によりただし書き操作が回避されていることがわかる。

2.3 予測空振り時の対応

ところで、予想されていた降雨が実際に降らないようないわゆる空振りの場合、事前放流によって貯水位を下げすぎるとその後の利水容量の確保が困難になることが懸念される。そこで、長期水循環過程から推算される流域貯留量を利用し、回復可能な貯水位を見積もることを考える。第7図は、貯水位が目標とする水



第6図 積算予測雨量を活用した操作結果 (2006/5/27~5/30)。



第7図 回復可能水位の算定方法。タンクモデルから構成される分布型水循環モデルで無降雨条件でのダム流入量を算出し、それに相当する水位を目標水位から差し引くことで回復可能水位が推定できる。

位にまで回復する日数を3日間とした場合の算定方法である。流域貯留量は大気陸面過程モデル+タンクモデル+河道追跡モデルを組み合わせた分布型水循環モデルからタンク貯留量を算出することで得られる。任意の日の貯留量が定まれば、それを初期値に無降雨の条件下で、今後3日間の流出量が推算できる。したがって、この流出量を確保すべき貯水量から差し引けば、無降雨でも回復できる貯水位となる。

以上の考え方にに基づき、2006年の回復可能水位を算定した結果が第8図である。積雪相当水量も流域貯留量の内数であるとして図の上段には流域貯留量と積雪

相当水量、下段には水位の回復日数を3日とした場合の結果を示す。図中の水位は(利水上の)目標水位との差分で表しており、回復可能水位(赤線)が負の場合は目標水位に対してどれだけ下げられるかを意味する。また、実際の流入量を与えて得られた貯水位(緑線)が正の場合は貯水位が目標水位に回復したことを意味する。これらの結果によると、出水の有無に関わらず、ほとんどの期間において貯水位が回復可能水位より下げなければ、たとえ降雨予測が空振りであっても目標とする水位まで回復できることが示唆される。とくに流域内に積雪が残存する融雪期には大きな水位低下が可能である。

3. 利水安全度確保のためのダム群の連携

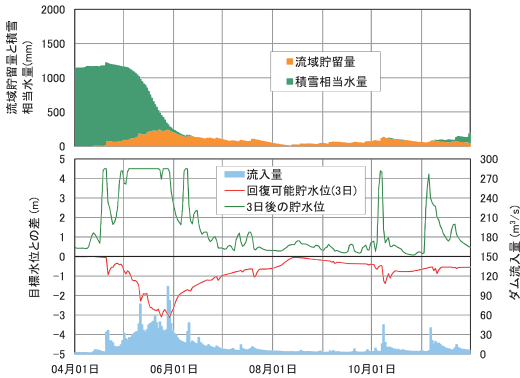
北海道などの積雪地域では雪は貴重な水資源であり、灌漑用水や生活用水、発電用水等の重要な供給源である。このような地域では、地球温暖化による積雪の減少、融雪期の早期化や融雪出水の減少が予想され、水利用への影響が懸念されている。そこで、融雪の減少など気候変動による大きな影響が懸念される積雪地域の利水に着目し、将来の流出状況の変化と利水への影響を推定し、それへの対応策として以下の手順でダム運用のあり方について検討した。

- 1) 気象庁・気象研究所の地域気候モデル RCM20のデータに含まれるバイアスを補正し、現況と将来のダム流入量を水循環モデルにより試算した。
- 2) 試算した平均ダム流入量と実績利水放流量の月平均値を用いて、現況と将来の平均的なダム貯水量の変化を推定するとともに、現況の放流操作で生じる将来的な水不足に対応できるダム運用を検討した。
- 3) 動的計画法(DP)を用いて、ダム単体での放流操作で生じる問題を示し、ダム連携による最適操作を検討した。

3.1 気候変動が利水へ与える影響

解析対象は、第3図に示した豊平川上流域にある豊平峡ダム(流域面積134 km²)と定山溪ダム(流域面積104 km²)である。両ダムともに洪水調節機能および発電・水道への利水を目的とした多目的ダムであるが、とくに札幌市民200万人の水道水源の約98%が豊平川に依存していることから、その水資源管理は極めて重要である。

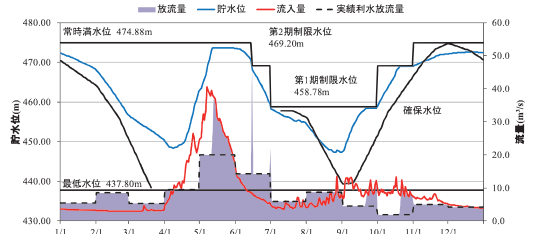
最初に観測と計算の比較に基づきバイアス補正を施した RCM20の出力値を用い、現況期間と将来期間の



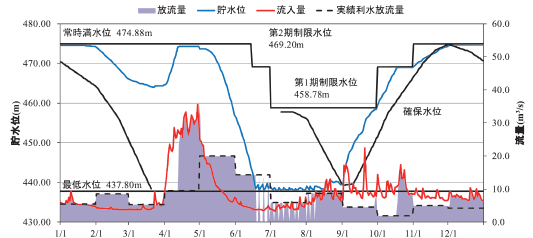
第8図 2006年の流域貯留量と水位の回復状況。上段は流域貯留量，下段は，実績ダム流入量（水色），回復可能貯水位（赤線），3日後の貯水位（緑線）である。3日後の貯水位とは，回復可能貯水位を初期値として，実績ダム流入量から計算した3日後の貯水位である。貯水位は左側の軸に従い，ここでは，目標水位との差で表した。したがって，軸のプラス側は目標水位より高いことを意味する。図より，回復可能貯水位は負値であることから目標水位より低く，また，3日後の貯水位は正值であることから目標水位より高いことがわかる。すなわち，貯水位を回復可能貯水位にまで下げたとしても，3日後の貯水位は目標水位にまで回復することを示している。

ダム運用について試算する。ここで，現況期間とは1981～2000年の20年間，将来期間とはおおそ100年後の20年間（2081～2100）を指す。計算ではダム貯水池への流入量を水循環計算より求め，操作規則や利水の現況を勘案して放流量，貯水量（貯水位）を求める。誌面の都合上結果は省略するが，両ダムの流入量はともに現況の融雪出水のピークが5月であるのに対して，融雪が早まることで将来の5月の流入量は半分以下に減少し，4月にピークを迎える結果となる。また，冬期間（12～2月）の流入量も若干増加する。

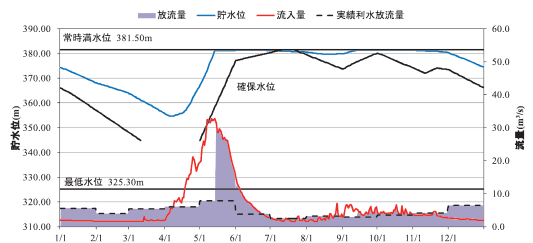
この結果を踏まえて両ダムの貯水位と放流量の推定を行った。第9図に豊平峡ダムの現況期間の推定，第10図にその将来期間の推定，第11図に定山溪ダムの現況期間の推定結果，第12図にその将来期間の推定結果を示す。両ダムともに現況では全期間で利水放流分の放流操作を行うことができていた。5月から6月に着目すると，放流量（紫色の面）は実績利水放流量（黒色の破線）より多くなる期間が見られる。これは，利水放流量を超える放流操作（洪水調節）の実施を表す



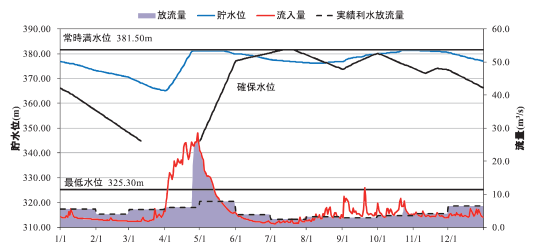
第9図 豊平峡ダム運用の現況推定。流入量（赤線）とDPで計算された放流量（紫色の面）から算出された貯水位を青線で示す。



第10図 豊平峡ダム運用の将来推定。



第11図 定山溪ダム運用の現況推定。



第12図 定山溪ダム運用の将来推定。

一方で十分な利水量を確保していることも意味している。一方，将来期間については豊平峡ダムでは融雪出水の早まりによって4月の流入量が増加し，洪水調節

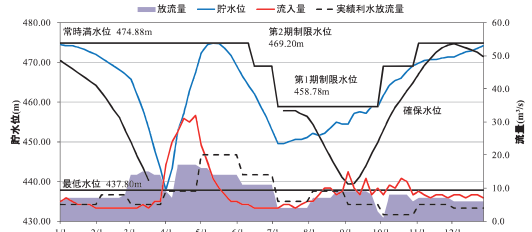
が必要となった。また、5月、6月の実績利水放流量は発電用に多く使われており、将来も同様の放流を行うと5月から貯水位が大きく低下している。6月中旬から8月中旬にかけて放流量（紫色の面）が断続的に $0\text{ m}^3/\text{s}$ となっているが、これは実績利水放流量をダムから放流したいものの、貯水量が少ないことから利水目的の放流ができないことを表している。以上のように、豊平峡ダムでは、利水放流が行えない致命的な状況となることがわかる。一方、定山溪ダムでも4月下旬から5月にかけて洪水調節が行われた。6月中旬から8月中旬に確保水位を下回ったものの利水放流が行えない日は出現しなかった。

3.2 ダムの連携操作による利水量の確保

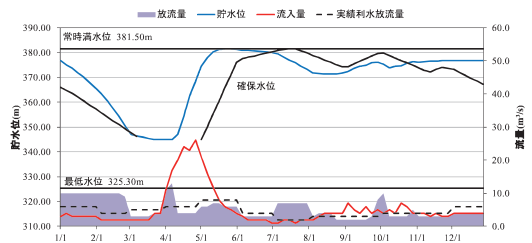
上記で懸念されるような将来のダム運用の問題点を解決するために、ダム群の連携操作による対応策を検討する。ここではダム群操作の最適化のために動的計画法（DP）を用いたダム運用の試算を行う。第13図に豊平峡ダム、第14図に定山溪ダムのDP連携モデルによる将来推定結果を示す。この結果、豊平峡ダムでは5月、6月の利水放流量を減らすことで貯水位をなるべく高く維持し、7月から9月までの貯水位が大きく低下することはなく、放流を行うことができている。また、先に示した第10図によると、7月は放流量が断続的に $0\text{ m}^3/\text{s}$ になっていることから、利水量の確保が難しい時期と考えられる。この時期に注目して第13図と第14図を見ると、豊平峡ダム（第13図）の放流量は実績利水放流量より少なく、定山溪ダム（第14図）は実績利水放流量より多く放流していることがわかる。これは、貯水位の過剰な低下を防ぐために豊平峡ダムの放流量を少なくする一方で、ダム下流の河川流量を確保する観点から定山溪ダムの放流量を増やす放流操作がなされている。このように、豊平峡ダムからの放流が減る分は定山溪ダムからの放流を増やすことで補っており、ダムの連携操作によって下流の水需要を満たしつつ、ダムの貯水量が不足するような状態を回避することが可能であることが示唆されている。

4. ダムの維持放流を利用した小水力発電

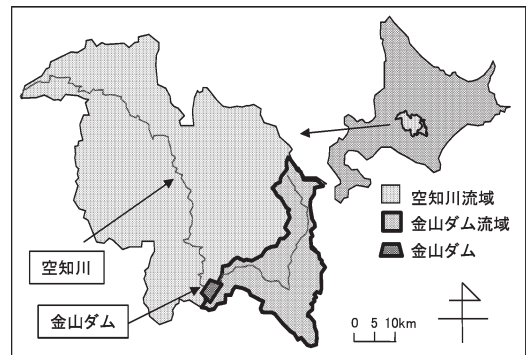
小水力発電は安定性という観点で再生可能エネルギーのなかでも期待されるものであり、どの程度の実現可能性をもっているかを着実に調べていく必要がある。とくに、すでに十分な落差が得られる既存のハイダムの活用を考える。ハイダムとはダムの中でも堤高の高いものを云い、概ね 15 m 以上のものを指す。こ



第13図 DPによる豊平峡ダム運用の将来推定。



第14図 DPによる定山溪ダム運用の将来推定。



第15図 空知川流域と金山ダム流域。

こで難しいのは現状で規定されているダム運用の中で活用できる水量があるかどうかであるが、ここでは下流河川の流水機能を維持する放流（河川維持放流）を利用することを考える。これは本来の目的である環境保全に利用という付加価値をつけたハイブリッドなダム運用ともいえる。よって、落差は物理的に確保できるにしても問題は安定した水量が確保できるかどうかである。

検討対象とするダムは、第15図に示す金山ダムとした。金山ダムは石狩川支川の空知川上流部に位置し、流域面積 470 km^2 、堤高 57.3 m 、堤頂長 288.5 m 、有

第1表 金山ダムの現況小放流の諸元.

	環境放流	活用放流
流量	0.3m ³ /s	0.3m ³ /s
期間	4月1日～10月31日	7月1日～9月30日
時間	6時00分～19時00分	19時00分～6時00分

第2表 金山ダムの現行のダム運用に基づく発電電力量の試算結果.

	年間 (4/1～10/31の214日)		環境放流期間 (4/1～6/30および 10/1～10/31の122日)		環境放流+活用放流期間 (7/1～9/30の92日)	
	発電電力量 (MWh)	1日当たりの 発電電力量 (kWh)	発電電力量 (MWh)	1日当たりの 発電電力量 (kWh)	発電電力量 (MWh)	1日当たりの 発電電力量 (kWh)
2000年						
2001年	193	902	93	760	100	1,084
2002年	139	650	85	695	55	595
2003年	215	1,005	106	867	109	1,186
2004年	174	813	102	834	72	784
2005年	235	1,100	96	788	139	1,514
2006年						
2007年	230	1,074	97	793	126	1,370
2008年	239	1,117	100	820	139	1,511
2009年	243	1,136	98	807	145	1,572
2010年	257	1,201	114	935	142	1,545
平均	214	1,000	99	811	114	1,240

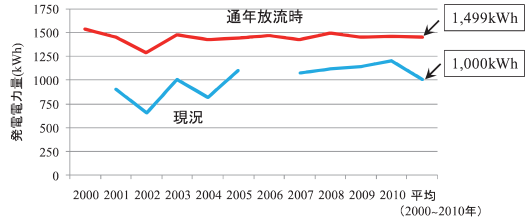
効貯水容量約130×10⁶m³を有する洪水調節, 灌漑用水および水道用水の供給, 水力発電の機能をもつ多目的ダムである.

利水放流の際は上水・灌漑を問わず水力発電に利用され, 落差を得るためにダム下流約5.1 kmの地点に放流される. そのため, ダム直下から下流の放流点までの区間が無水・減水区間となっていた. そこで地域からの清流回復の要望に応え, ダムに小放流設備が設置され, 第1表に示すように1998年から環境放流, 2000年から活用放流が実施されている. 両放流は共に河川環境の保全のために行われるものであり, 環境放流は利水者の協力による放流, 活用放流はいわゆる「ダムの弾力的管理」による放流である. 以後は便宜上両放流を合わせたものを小放流と称する. この小放流を用いた小水力発電を検討する. 水力発電による発電出力, 発電電力量は次式で表わされる.

$$P = \rho g Q H \eta$$

$$E = P T$$

ここで, P は発電出力 (W), ρ は水の密度 (kg/m³), g は重力加速度 (m/s²), Q は流量 (m³/s), H は落差 (m), η は水車と発電機の効率を合わせた総合効率 (ハイドロバレー計画ガイドブック (経済産業省



第16図 1日当たりの推定発電電力量の年平均値.

資源エネルギー庁・(財)新エネルギー財団 2005)により0.615に設定), E は発電電力量 (Wh), T は発電を行った時間 (h) である.

4.1 現況のダム運用に基づく発電電力量の試算と分析

発電電力量の試算に必要な要素は落差, 流量, 発電を行った時間である. 以上を求めるため, ダム管理月報にある貯水位, 放流量のデータを用いた. 落差は貯水位と小放流設備の放流口標高 (EL=300 m) との差とした. 放流量は洪水調節放流, 利水放流, 小放流と分けられており, 1日ごとに平均放流量 (m³/s) が記載されている. 以上より, 発電を行う時間を $T=24$ (h) として1日単位で計算を行った. なお, 洪水調節放流とは洪水調節の際の下流への放流, 利水放流とは灌漑や水道用水等の利用のための放流, 小放流は前述の通り主に河川環境の保全のため行われる放流である. 計算期間は, 環境放流, 活用放流が共に実施された2000年から2010年までとし, 現況のダム運用に基づく発電電力量を試算した結果を第2表及び第16図に示す. 第2表は年間 (4/1～10/31の214日), 環境放流期間 (4/1～6/30および10/1～10/31の122日), 環境放流+活用放流期間 (7/1～9/30の92日) についてそれぞれ発電電力量と1日当たりの発電電力量を示している. ここで, 1日当たりの発電電力量はその期間の発電電力量を発電を行った日数で除して算出した. 第16図 (青線) は各年の1日当たりの発電電力量と2000年～2010年の平均値を示す. なお, 2000年, 2006年の現況については小放流の詳細なデータが入手できなかったため計算を行っていない.

この結果, 年間の発電電力量の平均値は214 MWh, 環境放流期間の1日当たりの発電電力量は811 kWh, 環境放流+活用放流期間の1日当たりの発電電力量は1,240 kWhとなった. 発電電力量は年ごとの変動が大きいが, これは渇水などの原因により,

第3表 金山ダムの小放流を通年行う場合の発電電力量の試算結果。

	年間発電電力量 (MWh)	1日当たりの 発電電力量(kWh)
2000年	563	1,539
2001年	531	1,450
2002年	472	1,289
2003年	542	1,481
2004年	522	1,426
2005年	529	1,445
2006年	539	1,473
2007年	522	1,426
2008年	547	1,494
2009年	533	1,455
2010年	533	1,458
平均	530	1,449

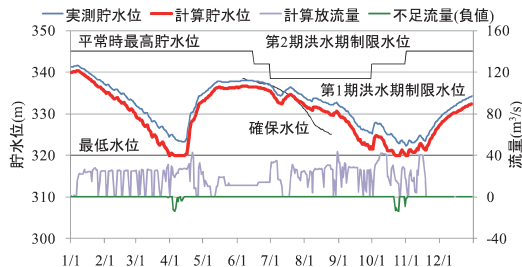
活用放流が行われていないからである。また、現況の試算では第1表に示したように小放流の放流時間が限られているため、環境放流のみの期間では日中06時～19時の間しか発電できない。小放流が行われていない時間帯は発電を行うことができないので、電力の安定供給といった面が弱点となる。

4.2 小放流を通年行う場合の発電電力量の試算と分析

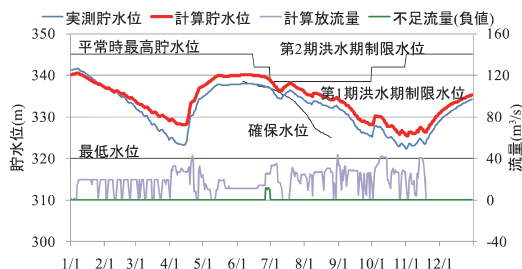
電力の安定供給といった面で小放流の期間の延長が必要である。そこで次に年間を通して小放流が行われた場合の発電電力量について考えた。なお、計算には前節で用いたデータにダム貯水池への流入量データを加えて検討を行った。以下にその手順を示す。

- 1) 2000年～2010年の期間で、利水放流量は現行のまま、小放流量が $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ となるように設定する。
- 2) 貯水位をH-V表(貯水位-貯水量関係表)より貯水量に変換し、流入量のデータ、1)で設定した放流量より貯水量を計算する。
- 3) 2)で計算した貯水量が利水容量を下回る場合にはこれを下回らないよう利水放流量を調節する。
- 4) 得られた貯水量の値を翌日の貯水量とし、翌日の計算を行う。
- 5) 再度貯水量を貯水位に変換し、小放流を通年で行う場合の貯水位を求める。

以上の手順を、2000年1月1日の貯水位を基に2010年12月31日まで行った。得られた貯水位から落差を求



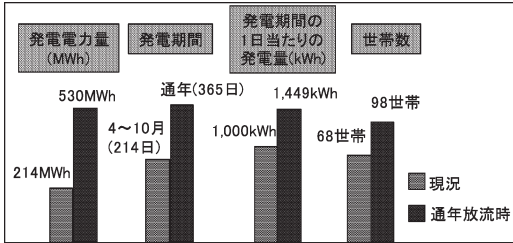
第17図 小放流を通年行う場合の貯水位の推定(2002年)。

第18図 1月～3月の放流量を最大 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ とした場合の貯水位の推定(2002年)。

め、1)で設定した放流量より発電電力量を推定した結果を第3表及び第16図(赤線)に示す。この結果、年間の発電電力量の平均値は530 MWh、1日当たりの発電電力量は1,449 kWhとなった。通年放流時と現況の試算結果を比べると、1日当たりの発電電力量の年変動は小さくなった。小放流の放流期間についても、現況では期間が限られているが、通年放流時では1年中放流しているため、間断なく発電が可能となるメリットが生まれる。

しかし一方で、利水放流を行うための貯水量の不足が発生する結果となった。ここで、その例として、渇水年であった2002年の貯水位の変化を第17図に示す。これをみると、融雪出水前と秋から初冬にかけて貯水量が最低水位となり、利水への影響が懸念される結果となった。

不足した水量を賄う方策として、非洪水期である11月以降の放流量を調節し、貯水量の不足が起きる前に十分に確保しておくということが考えられる。さらに1月～3月の放流量を調節し、貯水量を確保する方法を考えた。調節には、例として1月～3月の放流量を最大 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ とした場合の計算結果を示す。また、操作規則に従い、貯水位が制限水位を超えときに放流



第19図 小水力発電の結果の比較。

を行うようにしている。推定された貯水位は、利水上最も厳しい条件下にある2002年について第17図と対比する形で第18図に示す。結果を見ると、貯水量が最低水位に達する事態は発生しなかったが、逆に貯めこみ過ぎて第1期洪水期制限水位へ移行する際に、不足流量が正值を示し放流量を増加させていることがわかる。このことについては、他の年度も同じ条件を課して計算した結果、同様の傾向となることを確認している。なお、既得利水については上水道で金山ダム分の水利権量 $0.109\text{ m}^3/\text{s}$ があり、発電で冬期最大使用水量 $48.4\text{ m}^3/\text{s}$ であるが、これを丸1日放流することはないと考え、利水放流の上限を $20\text{ m}^3/\text{s}$ で調整することは可能と考えた。しかし現実には、既得利水に不利益が生じないような運用やコストアロケーションのあり方について利水者との綿密な調整が必要であることは言うまでもない。

最後に発電電力量の実力を一般家庭の電力消費量との比較で評価してみる。一世帯当たりの年間電力消費量を $5,400\text{ kWh}$ として現況と通年放流時の結果を比較したものが第19図である。たとえばダム直下の市街地にある南富良野町金山地区(人口316人, 192世帯(2010年11月))ならば、現況で35%, 通年放流を行った場合で51%の需要をカバーできる規模と試算される。

5. おわりに

既存ダムの機能向上による治水・利水安全度の向上

や小水力発電の実現性を提起した。このような既存ストックの付加価値向上への社会的要請は今後ますます大きくなると考える。それをなすには信頼性のある情報に基づくスマートな管理技術が必要であり、とくに水の分野では気象・水文情報の信頼性向上や分析技術の進展が鍵を握ると考える。なお、本稿で提示された見解は著者のみに帰属し、ダム管理者である国土交通省北海道開発局の公式見解ではないことを断っておく。

謝辞

本稿に関連する調査研究の一部は学術研究助成基金助成金(基盤研究(C))(課題番号23560602)および平成24年度河川整備基金(助成番号24-1221-001)の助成を受けている。また、国土交通省北海道開発局のダム関連部署からデータ提供等でご協力いただいた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 林下直樹, 中津川 誠, 川村一人, 2012: 空知川流域を対象とした小水力発電の可能性. 平成23年度土木学会北海道支部論文報告集, (68), B-32.
- 川村一人, 中津川 誠, 杉原幸樹, 2012: 気候変動による利水への影響を踏まえたダム貯水池群の最適操作に関する研究. 土木学会論文集B1(水工学), 68, I_1477-I_1482.
- 経済産業省資源エネルギー庁, (財)新エネルギー財団, 2005: ハイドロパレー計画ガイドブック. http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf (2013.9.3閲覧).
- 二宮光三, 新田 尚, 山岸米二郎, 1997: 気象の大百科. オーム社, 345-347.
- 臼谷友秀, 中津川 誠, 2010: 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, 66, 268-279.
- 臼谷友秀, 中津川 誠, 2011: ダム機能向上のための流域貯留量の定量化. 河川技術論文集, 17, 299-304.

付録：用語解説

用語	解説
確保水位	利水目的を持つダムにおいて、その目的に支障を与えないために確保することになっている水位。
河川維持放流	河川には一定の流量がないと河川環境、河川利用、河川管理などに支障が生じることになる。これを防ぐため、必要な流量を放流する操作のこと。
活用放流	河川環境保全のための放流の1つ。金山ダムではダムの弾力的管理により2002年から実施されており、7/1～9/30の3か月の間、19時～06時まで0.3 m ³ /sをダム直下の河川に放流している。
環境放流	河川環境保全のための放流の1つ。金山ダムでは利水者の協力により2000年から実施しており、4/1～6/30および10/1～10/31の計4か月の間、06時～19時まで0.3 m ³ /sをダム直下の河川に放流している。
洪水期	梅雨の時期や台風の時期など、雨量が多く洪水の起こりやすい時期のこと。洪水期の期間はダムによって異なるが、国内では、一般に6月～10月頃を設定している。
洪水調節	ダム下流での洪水被害を防ぐため、ダムへの流水の全部または一部を貯留し、下流の流量を減らす操作のこと。
洪水調節容量	常時満水位からサーチャージ水位までの容量。この容量を使って洪水調節が行われる。特に洪水期には水位を所定の水位（制限水位）にまで下げ、洪水調節容量を大きく確保するダムもある。
サーチャージ水位 (洪水時最高水位)	ダムの計画において、洪水時にダムによって一時的に貯留することとした流水の最高水位。
事前放流	洪水の発生が予測された場合、制限水位や予備放流水位以下の利水容量を放流し、一時的に利水容量を洪水調節容量として活用する操作。
常時満水位 (平常時最高水位)	ダムの計画において、非洪水時に貯留することとした流水の最高の水位。
制限水位	洪水期に洪水調節容量を確保するため、常時満水位の下に設ける水位。制限水位より低く貯水位が管理される。
ただし書き操作	洪水調節を行うダムにおいて、想定された規模を超える洪水が発生し、このままではダム水位がサーチャージ水位を越えることが予想されるときに行われるダム操作。ダムで流水を貯留せず、流水をそのまま下流に流す状態にする操作である。 通常、各ダムの操作規則において「ただし、気象、水象その他の状況により特に必要と認める場合」として規定されていることから、一般に「ただし書き操作」と呼ばれている。
ダムの弾力的管理	洪水調節に支障を及ぼさない範囲で、洪水調節容量の一部に流水を貯留し、これを適切に放流することにより、ダム下流の河川環境の保全を図るもの。
非洪水期	洪水期以外の期間。
予備放流	洪水の発生が予測される場合、必要な洪水調節容量を確保するために予め貯留水を放流し、貯水位を所定の水位（予備放流水位）にまで下げる操作。なお、この操作に使われる容量（予備放流容量）は、治水と利水とで兼用して使われる。