

道内直轄ダムにおける近年の積雪水量と融雪期の水収支について

寒地土木研究所 水環境保全チーム ○鳥谷部 寿 人
 寒地土木研究所 水環境保全チーム 浜 本 聡
 寒地土木研究所 道 央 支 所 石 谷 隆 始

融雪水は寒冷地域においては重要な水資源である。しかしながら、春季の暖気や雨の影響で災害を引き起こすこともある。したがって、ダム流域の積雪水量の正確な評価や融雪流出量の推定は河川管理には大変重要なものである。

本研究においては、継続的に積雪調査が行われている道内の直轄ダム流域を対象に積雪水量の高度分布について整理し、その傾向について明らかにした。さらに、積雪水量と融雪期の水文量を使って、近年の融雪期の水収支の傾向について検証した。

キーワード：基礎技術、冬期維持管理

1. はじめに

北海道の直轄ダムでは冬季の積雪包蔵水量を把握する目的で融雪期の直前を狙って積雪調査が行われており、積雪調査に基づく積雪水量の高度分布の関係を把握することで積雪水量を推定してきた。治水・利水の機能を併せ持った道内の直轄ダムでは表-1 に示したようにこれまで継続的に調査を行っている箇所もあれば、長期間の調査結果を基に推定された経験式により積雪水量の推定を行っている箇所もある。一方、近年、融雪開始時期が早まることなどから、積雪調査結果と融雪期のダムへの流入量の相関が悪くなる事例が和智ら¹⁾によって報告されており、近年の北海道における融雪期の流出に及ぼす影響について明らかにすることは重要である。本報では、継続的に積雪調査が行われている道内の直轄ダム流域を対象に近年の積雪包蔵水量と融雪期の水収支の傾向を整理した。さらに融雪期の水収支を基に比較を行い、積雪包蔵水量の推定精度を検証した。

海外における積雪調査（スノーサーベイ）の歴史は古くアメリカでは1900年代初頭から行われており、積雪水量と河川の季節総流量との相関図を作成し、季節総流量の予測に用いている。日本では1948年に北海道庁²⁾が石狩川水系忠別川で最初の調査を行っている。また、松山³⁾によれば1950年代と1970年代後半～1980年代中頃に全国で盛んに積雪調査が行われており、前者は気象台や電力会社によって盛んに行われ、後者は研究機関による学術調査として主に行われた。北海道開発局⁴⁾においても多目的ダムの建設に伴い、1974年、1975年に石

表-1 道内直轄ダムの積雪調査

ダム名	完成年	目的	堤頂標高 (m)	流域面積 (km ²)	スノーサーベイの有無
桂沢	1957	FAWP	188.6	151.2	○*
金山	1967	FAWP	355.6	470.0	○
岩尾内	1970	FAWIP	322.5	331.4	○
豊平峡	1972	FWP	477.5	134.0	○
大雪	1975	FNAWP	812.0	291.6	○*
漁川	1980	FNW	179.5	113.3	○*
鹿ノ子	1983	FNAW	460.5	124.0	○*
十勝	1984	FP	340.0	592.0	○*
定山溪	1989	FWP	392.5	104.0	○
美利河	1991	FNAP	128.5	115.0	×
二風谷	1997	FNAWIP	51.1	1215.0	×
札内川	1998	FNAWP	488.0	117.7	×
滝里	1999	FNAWP	162.5	1662.0	×
忠別	2007	FNAWP	426.0	238.9	—
留萌	2009	FNW	52.2	42.0	—

F：洪水調節、農地防災 N：不特定用水、河川維持用水 A：かんがい用水 W：上水道用水 I：工業用水 P：発電を示す。(財)日本ダム協会ホームページより *印はスノーサーベイと経験式を併用して積雪包蔵水量を推定(2010年現在)

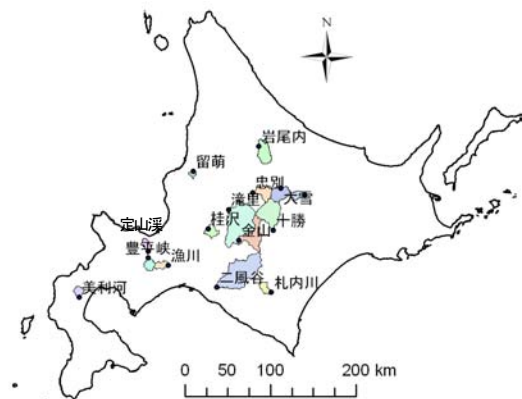


図-1 直轄ダムの位置

●印はダムサイト、枠線は流域界を示す。

表-2 道内直轄ダムの積雪水量の高度分布

流域	コース(箇所)	調査年月日	面積 km ²	標高範囲 m	係数 mm/m	流域	コース(箇所)	調査年月日	面積 km ²	標高範囲 m	係数 mm/m					
1.定山溪ダム	4コース(39)	1984年3月13~14日	104	300~1096	1.039*	4.金山ダム	1コース(4)	2002年3月19日	470	157~410	1.0534*					
	4コース(42)	1985年3月12~14日		300~1097	0.946*		1コース(4)	2003年3月17日		157~410	0.3037*					
		1986年3月13~14日		300~900	1.5767*		1コース(4)	2004年3月19日		157~410	0.3821*					
	2コース(20)	1987年3月12日		300~900	1.0102*		1コース(3)	2005年3月16日		280~410	0.3189*					
	2コース(21)	1988年3月15日		300~900	0.876*		1コース(3)	2006年3月14日		280~410	0.3508*					
	2コース(21)	1989年3月10日		380~900	0.8469*		1コース(3)	2007年3月14日		280~410	-0.7996*					
	5コース(27)	1990年3月12~14日		400~1100	1.441*		1コース(3)	2008年3月13日		280~410	-0.1327*					
	3コース(18)	1991年1月28日~2月2日		350~1100	0.7454*		1コース(3)	2009年3月13日		280~410	-0.5724*					
	2コース(12)	1991年2月22~23日		400~650	0.9943*		1コース(3)	2010年3月12日		280~410	-0.9394*					
	3コース(19)	1991年3月13~14日		350~1100	1.5221*		7コース(38)	1996年3月13~15日		360~900	0.6891*					
	1コース(11)	1991年3月24日		520~900	1.16*		10コース(57)	1997年3月12~14日		360~900	0.4307*					
	4コース(28)	1992年1月13~18日		350~1100	0.868*		10コース(57)	1998年3月9~11日		350~900	0.6034*					
	4コース(31)	1992年2月10~12日		350~1100	1.139*		10コース(57)	1999年3月8~10日		350~900	0.881*					
	5コース(40)	1992年3月10~14日		350~1100	1.5091*		10コース(52)	2000年3月13~15日		370~850	0.5241*					
	3コース(24)	1996年3月6日		350~900	1.4337*		10コース(52)	2001年3月12~14日		350~850	1.7812*					
	3コース(24)	1997年3月11日		350~900	1.5945*		10コース(52)	2002年3月11~13日		350~850	0.4631*					
	3コース(24)	1998年3月10日		350~900	1.2349*		10コース(52)	2003年3月10~12日		350~850	0.9204*					
	3コース(24)	1999年3月10~11日		350~940	1.1835*		10コース(52)	2004年3月15~17日		350~850	0.9876*					
	3コース(25)	2000年3月15~16日		350~900	1.461		10コース(52)	2005年3月14~16日		370~850	0.9092*					
	3コース(23)	2001年3月13日		350~900	1.685		10コース(52)	2006年3月13~15日		370~850	0.4495*					
	3コース(23)	2002年3月13~14日		350~900	1.0951		10コース(52)	2007年3月14~16日		370~850	0.901*					
	3コース(24)	2003年3月8~9日		350~900	1.4858		10コース(52)	2008年3月10~12日		370~850	0.6402*					
	3コース(24)	2004年3月9~10日		350~900	1.142		10コース(52)	2009年3月4~6日		370~850	0.6237*					
	3コース(24)	2005年3月9~10日		350~900	1.5042		10コース(52)	2010年3月8~10日		370~850	0.7113*					
	3コース(24)	2006年3月9~11日		350~900	1.5819		5.岩尾内ダム	4コース(26)		1985年3月28日	331.4	300~1000	1.1245*			
	2コース(8)	2007年3月8日		530~850	0.5876		4コース(26)	1986年3月28日		300~1000		0.3726*				
	2コース(8)	2008年3月11日		530~850	0.6964		4コース(26)	1987年3月24日		300~1000		0.4007*				
	2コース(8)	2009年3月12日		530~850	0.9197		4コース(26)	1988年3月25日		300~1000		0.3304*				
	2コース(8)	2010年3月11日		530~850	0.9875		4コース(26)	1989年3月8日		300~1000		0.393*				
	2.豊平峡ダム	2コース(14)		1998年3月11日	134.2		650~950	0.543		4コース(26)		1990年3月17日	300~1000	0.4453*		
		2コース(14)		1999年3月12日			650~950	0.231		4コース(25)		1991年3月20日	300~1000	0.4099*		
		2コース(14)		2000年3月15日			650~950	0.32		4コース(25)		1992年3月19日	300~1000	0.453*		
		2コース(14)		2001年3月14日			650~955	0.8221		4コース(25)		1993年3月21日	300~1000	0.1458*		
		2コース(14)		2002年3月15日			650~955	0.6015*		4コース(25)		1994年3月22日	300~1000	0.286*		
		2コース(14)		2003年3月10日			650~950	0.6596*		4コース(25)		1995年3月18日	300~1000	0.2121*		
		2コース(14)		2004年3月11日			650~950	0.7759*		4コース(25)		1996年3月23日	300~1000	0.503*		
		2コース(14)		2005年3月11日			650~950	0.4508*		4コース(25)		1997年3月25日	300~1000	0.2132*		
		2コース(14)		2006年3月10日			650~950	0.4712*		4コース(25)		1998年3月30日	300~1000	0.4571*		
		2コース(12)		2007年3月9日			650~950	0.7832		4コース(25)		1999年3月24日	300~1000	0.3166*		
		2コース(12)		2008年3月12日			650~950	0.8088		4コース(25)		2000年3月22日	300~1000	0.3072*		
		2コース(12)		2009年3月13日			650~950	1.1189		4コース(25)		2001年3月22日	300~1000	0.2043*		
		2コース(12)		2010年3月12日			650~950	0.7389		4コース(25)		2002年3月19日	300~1000	0.3221*		
		3.澁川ダム		1コース(4)			1979年3月13日	113.3		157~410		0.0604*	4コース(25)	2003年3月19日	300~1000	0.4679*
				1コース(4)			1980年3月25日			157~410		0.5038*	4コース(25)	2004年3月18日	300~1000	0.1297*
				1コース(4)			1981年3月30日			157~410		0.2367*	4コース(25)	2005年3月22日	300~1000	0.3913*
				1コース(3)			1982年3月19日			280~410		0.2437*	4コース(25)	2006年3月22日	300~1000	0.5426*
				1コース(4)			1983年3月23日			157~410		0.3263*	4コース(25)	2007年3月20日	300~1000	0.3957*
1コース(4)			1984年4月1日	157~410		0.3109*	4コース(25)		2008年3月21日	300~1000		0.5686*				
1コース(4)			1985年3月29日	157~410		0.1256*	4コース(25)		2009年3月12日	300~1000		0.6164*				
1コース(4)	1986年3月28日		157~410	-0.4615*	4コース(25)	2010年3月19日	300~1000		0.5524*							
1コース(4)	1987年3月25日		157~410	0.7538*	(40)	1990年3月19日	592		260~1500	0.6271*						
1コース(4)	1988年3月25日		157~410	0.4681*	(41)	1991年3月14日	205~1300		0.7682*							
1コース(4)	1989年3月		157~410	0.5249*	(40)	1992年3月12日	260~1390		0.9585*							
1コース(4)	1990年3月		157~410	1.1823*	(23)	1993年3月9日	260~1390		1.0793*							
1コース(4)	1992年3月		157~410	0.2759*	(25)	1994年3月9日	260~1380		1.1745*							
1コース(4)	1993年3月23日		157~410	0.4868*	(4)	2003年3月7日	450~900		0.613*							
1コース(4)	1994年3月30日		157~410	0.0453*	(4)	2004年3月8日	450~900		0.5495*							
1コース(4)	1995年3月27日		157~410	0.6769*	(4)	2005年3月8日	450~900		0.6732*							
1コース(4)	1996年3月21日		157~410	0.5867*	(4)	2006年3月7日	450~900		0.7155*							
1コース(4)	1997年3月26日		157~410	0.699*	(4)	2007年3月7日	450~900		0.3927*							
1コース(4)	1998年3月23日		157~410	0.5254*	(4)	2008年3月13日	450~900		0.7974*							
1コース(4)	1999年3月17日		157~410	0.306*	(4)	2009年3月10日	450~900		0.8702*							
1コース(4)	2000年3月15日	157~410	-0.0229*	(4)	2010年3月9日	450~900	0.5682*									
1コース(4)	2001年3月15日	157~410	0.5891*													

狩川水系芦別川および幾春別川で調査が行われ、積雪水量と地形要因の関係をメッシュ情報に整理し、流域平均積雪水量を算定している。1978年に北海道大学低温科学研究所⁶⁷⁾でも大雪山旭岳や手稲山などで調査が行われ気象要因との関係について整理されている。山田ら⁶⁾は積雪水量は高度とともに増加することを示しており、積雪水量の時間的な動向をみると、融雪が進むと積雪水量の高度差がますます助長されその傾きが急になっていることを示しており、全山融雪状態となると融雪量が高度によらず一定となり、積雪水量分布の傾きも一定となることを示している。松山³⁾は国内の山岳地域で行われたスノーサーベイによる研究成果をとりまとめ、積雪水量の高度分布係数について整理しており、これらの知見は今日の積雪水量を推定するうえでも用いられている。

一方、広範囲な地形情報が得られることから近年注目を集めているリモートセンシング技術を活用した調査手法を開発するうえでも、積雪水量の長期的傾向を把握することは重要である。

このような背景からここでは、十数年に亘って積雪調査が行われている道内の直轄ダムについて、積雪調査結果の長期的傾向を整理するとともに、春から夏にかけての水収支の近年の傾向について整理することを主目的とした。

2. 積雪水量の高度分布

道内6箇所の直轄ダムで行われた積雪調査結果を基に積雪水量の高度分布係数について表-2にとりまとめた。

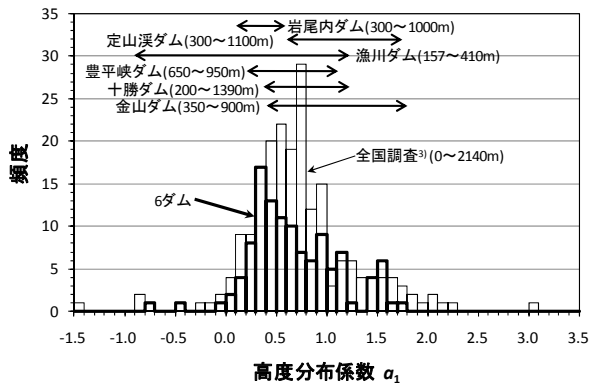


図-2 日本の積雪水量の高度分布係数
松山³⁾が取りまとめた研究に、表-2で得られた係数 a_1 の値を加筆。

$$\bar{S}_i = a_1 Z_i + a_2 \quad (1)$$

高度分布係数は式(1)に示すとおり積雪水量と地点高度の回帰式から求められる。ここで、 \bar{S}_i ：標高区分ごとの積雪水量(mm)、 Z_i ：標高区分の平均値(m)、 a_1 ：積雪水量の高度分布係数(mm/m)、 a_2 ：切片、添え字の i は標高区分である。なお、積雪調査資料の中に回帰式と係数 a_1 が示されたもの以外は著者が係数 a_1 を決定し、*印を付けた。

次に、松山³⁾が1950~1990年代にかけて取りまとめた積雪水量の高度分布係数 a_1 の全国的な頻度分布に表-2の値を追記したものを図-2に示す。これまでの研究³⁾から融雪期間の a_1 は雪の堆積期間よりも大きな値をとることが知られている。道内直轄の多目的ダムでは、水資源管理を目的とすることから融雪直前を狙って積雪調査が行われている。図から高度分布係数 a_1 の全国平均は0.74であり、道内の直轄ダムの平均は0.64である。また、調査地点の少ない漁川ダムを除くとほぼ全国平均と一致し、係数 a_1 は全てプラスの値となり、その範囲は概ね0.2~1.7であった。この高度分布係数 a_1 は流域ごとに違いがあることも知られており、豪雪地帯である新潟県山間部では2.0になる観測結果も報告されている⁸⁾。

次に、それぞれのダムについて a_1 、 a_2 がどのような値をとるか1990年春~2010年春の観測結果について整理したのが表-3である。表-3(1)は a_1 の平均と標準偏差を示したものであり、表-3(2)は a_2 の平均と標準偏差を示したものである。 a_2 の平均は場所によって異なるが、 a_1 の平均並びに標準偏差と a_2 の標準偏差はともに日本海側に位置する石狩川流域のダムで大きな値を示した。すなわち、日本海側の石狩川流域のダムでは積雪水量分布の高度差が大きく、年々変動も大きいことをあらわしている。一方、十勝川流域の十勝ダムや天塩川流域の岩尾内ダムは相対的に高度に対する積雪水量の変化が小さく、年々変動も小さいといえる。しかし、漁川ダムでは a_1 の値が異なる。

表-3 積雪水量の回帰係数の平均と標準偏差

(1)

	定山溪	金山	豊平峡	漁川	十勝	岩尾内
平均	1.20	0.80	0.64	0.10	0.65	0.41
標準偏差	0.34	0.35	0.24	0.58	0.15	0.15

(2)

	定山溪	金山	豊平峡	漁川	十勝	岩尾内
平均	218.75	-96.76	366.94	356.03	-66.44	303.67
標準偏差	202.61	147.98	225.20	220.48	104.31	114.93

(1) 積雪水量の高度分布係数 a_1 の13ヶ年間の平均および標準偏差、(2) 積雪水量回帰直線の切片 a_2 の13ヶ年間の標準偏差

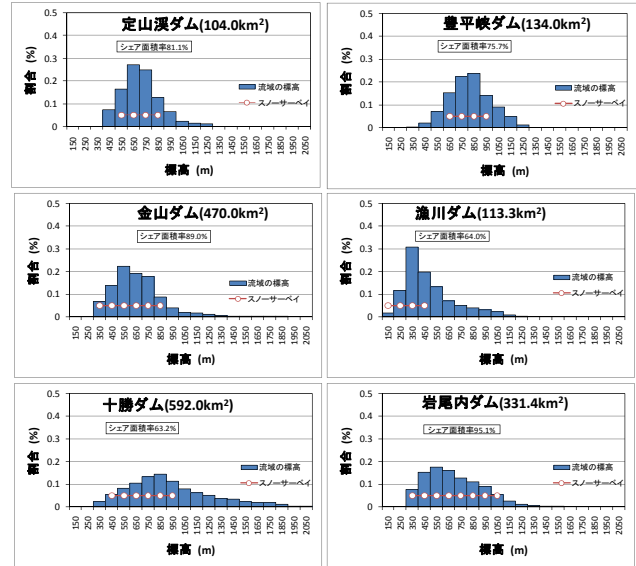


図-3 ダム流域の高度分布と積雪調査地点

ダムの積雪調査は雪氷調査法⁹⁾に基づき高度差100mごとに調査地点を設けて行われており、調査地点を中心に±50mの範囲を区間標高としている。次に、流域面積に占める区間標高の割合および積雪調査地点標高について示したのが図-3である。なお区間標高の割合はGISソフトを使って求めた。また、流域面積に占める積雪調査地点のシェアについても図中に併記した。定山溪ダム、金山ダムでは80%を超える高いシェアを示した。一方、漁川ダム、十勝ダムでは60%程度であった。先ほど積雪水量の高度分布について述べたが、石狩川流域のダムのように積雪水量の高度差が大きいところでは流域の標高に占める積雪調査地点数が少ない場合、高度分布を正しく評価できない可能性がある。このため漁川ダムや十勝ダムでは実際には積雪調査結果に標高に対する補正係数を乗じて積雪包蔵水量を算出している。

ここで、現在積雪調査を行っているダムではどのように積雪包蔵水量を算出しているか表-4に整理しておく。

3. 近年の積雪水量と融雪期の水収支

(1) 積雪深と積雪包蔵水量の関係

ダム管理所では日々の気象監視を目的に気象データの観測が行われており、積雪深についても自動観測が行わ

れている。日々の積雪深の変化は降り積もった雪の堆積と自重による圧密の履歴と考えられることから、ここでは毎年の積雪調査に基づく積雪包蔵水量と調査日の積雪深について整理した。図-4に定山溪ダムの各年のダムサイト（標高 393m）並びに春香山（標高 565m）と積雪包蔵水量の関係を示した。式(2)に示す直線回帰式に当てはめるといずれも高い相関が認められた。

$$a_2 = b_1 x_0 + b_2 \quad (2)$$

ここで x_0 :積雪調査日の日平均積雪深(cm)、 b_1 、 b_2 は回帰係数である。このように日々自動観測により得られた積雪深と積雪包蔵水量との相関が得られれば、積雪包蔵水量を推定する上で目安となる可能性が考えられる。積雪深の自動観測が行われている他のダム流域についても同様に整理したのが図-5である。併せて積雪深と積雪包蔵水量の相関係数について表-5に整理した。各ダムで積雪深データが電子化されている期間が異なるためサンプル数はまちまちであるが、全般的に見て観測地点の積雪深が大きい年は積雪包蔵水量も大きく、両者には正の相関がみられた。さらにダムごとに相関をみると豊平峡ダムでは大二股（標高 760m）の積雪深と積雪包蔵水量の相関が高く、ダムサイト（標高 485m）では低いため、上流側の積雪深を把握することが、流域の積雪水量を推定するうえで重要であることがわかる。また岩尾内、金山、十勝ではある程度の相関が得られた一方で、漁川、桂沢、鹿ノ子では相関が低いことから、流域の積雪水量変化を必ずしも反映していないことが伺えた。地形や用地の制約が大きい山間部では観測機器の設置条件を満たす箇所が限られており、観測に適した場所を選定するのは容易ではない。しかしながら、観測点の少ない高標高帯でこのような連続した観測値を得られたことは今後の積雪水量を推定するうえで非常に貴重な資料となるはずである。

(2) 積雪水量と融雪期の水収支の年々変動

次に積雪包蔵水量と融雪期のダムの水収支との比較を行い、水収支の年々変動について考察する。ダム諸量が電子化された1998年頃から2010年までの約13年間について全道8箇所（ダム流域）を対象に積雪水量と融雪期の水収支の関係を整理した。図-6は横軸に積雪調査日の翌日から6月30日までの期間の水収支をとり、縦軸に積雪包蔵水量をとって比較したものである。なお、この期間の水収支はダムの総流入量から総降水量を引いた値に、Hamon法(式(3))で推定した可能蒸発散量を加えた値で示した。口澤ら¹⁰⁾の定山溪ダムならびに豊平峡ダム流域を対象とした研究よれば、森林域では実蒸発散量は可能蒸発散量に近い値を示すことが報告されている。

表-4 積雪調査が行われているダムの積雪包蔵水量の推定

ダム名	積雪包蔵水量の推定方法
金山	積雪調査を基に、回帰式を求めて算出
岩尾内	
豊平峡	
定山溪	
漁川	積雪調査地点(3箇所)の積雪水量の平均を過去データから求めた流域補正係数を乗じて算出
十勝	積雪調査地点(2箇所)の積雪水量を基に回帰式を求めて算出
桂沢	積雪調査地点(1箇所)の積雪水量を過去データから求めた高度補正係数を乗じて算出
大雪	積雪調査地点(4箇所)の積雪水量の平均に過去データから求めた高度補正係数を乗じて算出
鹿ノ子	積雪調査地点(2箇所)の積雪水量を過去データから求めた推定式に代入して算出

表-5 積雪深と積雪包蔵水量の相関係数

相関係数	定山溪		豊平峡		岩尾内	金山	十勝	漁川	桂沢	鹿ノ子	
	ダムサイト	春香山	ダムサイト	大二股						ダムサイト	椎常呂
	0.75	0.75	0.21	0.93	0.58	0.56	0.59	0.22	0.22	0.32	0.44

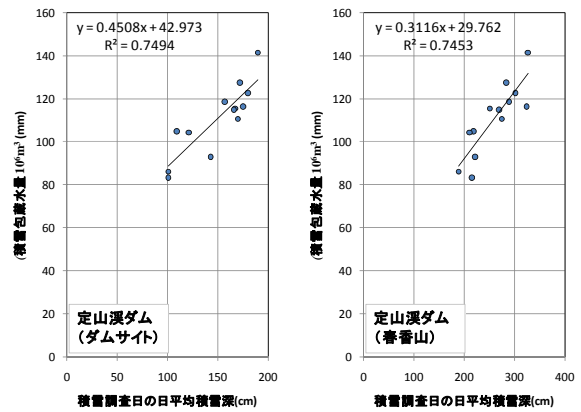


図-4 定山溪ダム流域の積雪包蔵水量と積雪深の関係

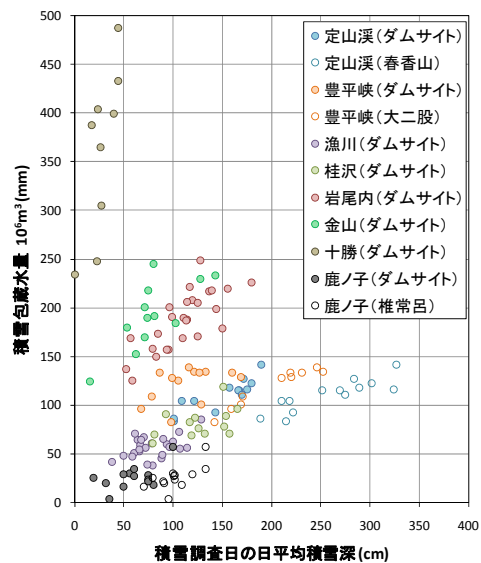


図-5 道内直轄ダム流域の積雪包蔵水量と積雪深の関係
積雪調査を行っているダムを対象とした

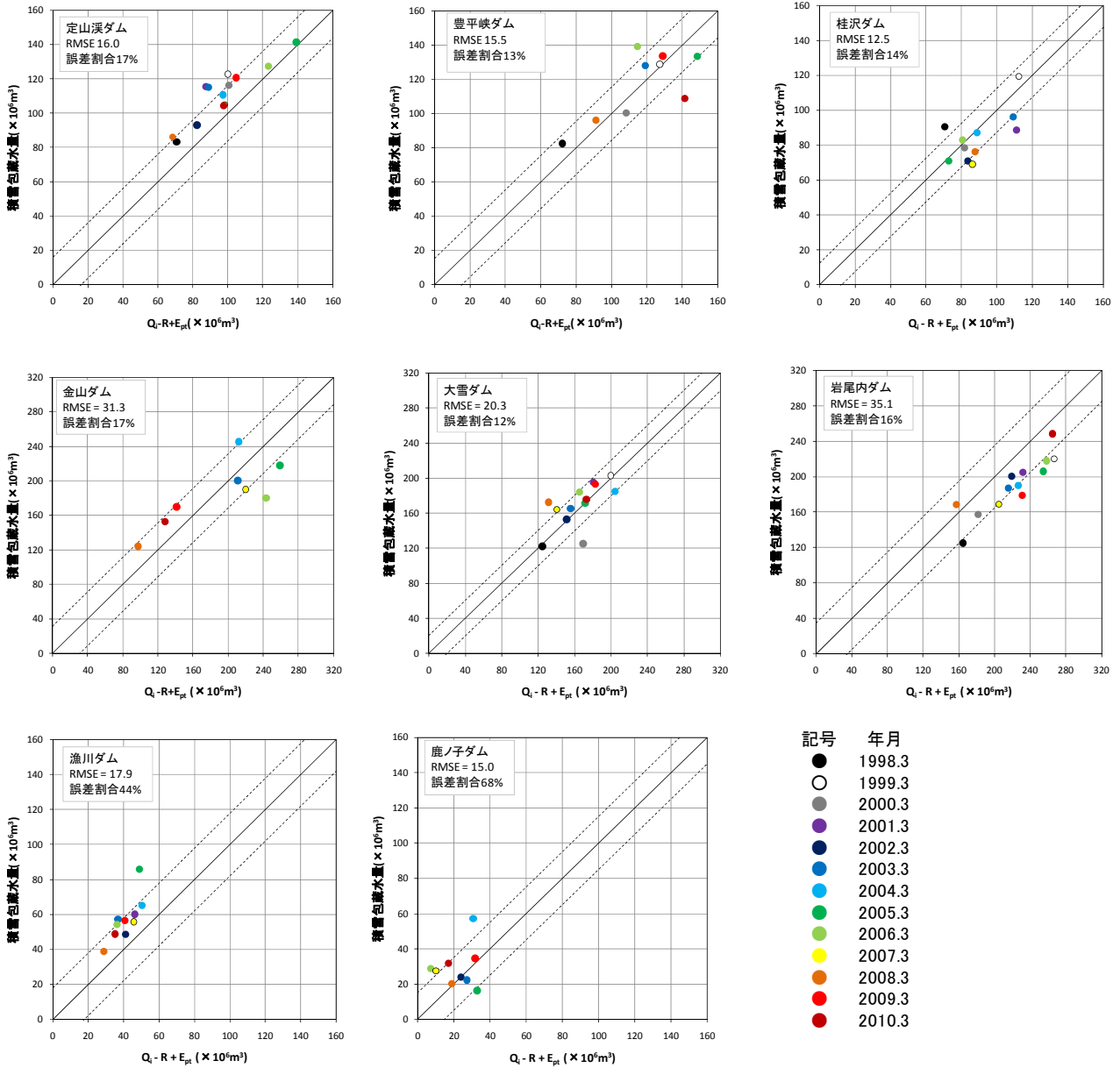


図-6 道内直轄ダム流域の積雪包蔵水量と水収支の比較 積雪調査を行っているダムを対象とした

$$E_{pt} = 0.140D_o^2q_t \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - x_i)^2} \quad (4)$$

ここで、 E_{pt} ：月平均日蒸発散量(mm/day)、 D_o ：日照時間(月平均の1日の日の出から日没までの時間を12時間で除した量)、 q_t ：日平均気温に対する飽和絶対湿度(g/m³)を示す。なお、可能蒸発散量を推定するうえで気温データを用いるが、ダム管理所のデータが電子化されていない期間は適宜近隣のアメダス観測所のデータを用いた。また標高補正は100m上昇するごとに0.6℃下がるような補正をおこなった。さらに、積雪包蔵水量の推定精度を評価するため、水収支を真値とした二乗平均平方根誤差 RMSE を式(4)から求め図-6 に破線で記載した。

ここで、 X_i ：積雪包蔵水量の推定値、 x_i ：水収支、 n ：年数、添え字の i は年を表す。図より、積雪調査を基に積雪包蔵水量を求めているダムでは RMSE の誤差割合は全て2割以内である一方、積雪調査と経験式から積雪包蔵水量を求めているダムの一部で RMSE の誤差割合がやや大きいことがわかった。また、この図から1998年と2008年は全道的に雪が少なかった年であり、2005年は全道的に雪の多かった年だったことがわかる。

4. あとがき

本報告において道内直轄ダムにおける近年の積雪水量の傾向について整理した結果、以下のことが把握できた。

- 1) 継続的に積雪調査が行われている道内 6 箇所のだムの調査結果を基に積雪水量の高度分布について整理した結果、全国の積雪寒冷地域の平均とほぼ等しいことがわかった。
- 2) また積雪水量の高度分布は日本海側の石狩川流域のダムで高度差が大きく、年々変動も大きいのに対し、十勝川流域や天塩川流域のダムではそれほど変化しないことがわかった。
- 3) ルーチン的に観測されている積雪深データをつかって、積雪調査から求まる積雪包蔵水量との経年変化について直線回帰式を当てはめたところ、多くのダムで高い相関が得られた。
- 4) 積雪調査によって求められた積雪包蔵水量と融雪期の水収支を比較したところ、積雪包蔵水量には2割程度の推定誤差が含まれていることが把握できた。

北海道の多くの河川では春先には融雪出水が生じており、ダムではこの融雪出水を調節しかつ有効利用することで水運用を図っている。一方、今後気候変動が降水量の変化に及ぼす影響が危惧されており、これまで以上にダムの貯留機能を有効に活用することが重要と考えられる。このためには、積雪相当水量をよりの確に把握することが重要な課題となる。こうした課題を解決していくうえで今後も、継続的な積雪調査を行い冬期の積雪水量のトレンドを監視していくことが重要であると考えられる。また近年発展してきたリモートセンシング技術や自動観測システムなどの先進技術の活用を進めるうえで、今回得られた知見を活かしていきたい。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、北海道開発局河川管理課管理技術第2係をはじめ札幌開発建設部豊平川ダム統合管理事務所豊平峡ダム管理支所ならびに定山溪ダム管理支所、岩見沢河川事務所桂沢ダム管理支所、千歳川

河川事務所漁川ダム管理支所、空知川河川事務所金山ダム管理支所ならびに滝里ダム管理支所、函館開発建設部美利河ダム管理支所、旭川開発建設部大雪ダム管理支所および忠別ダム管理支所、名寄河川事務所岩尾内ダム管理支所、室蘭開発建設部二風谷ダム管理所、帯広開発建設部帯広河川事務所十勝ダム管理支所および札内川ダム管理支所、網走開発建設部北見河川事務所鹿ノ子ダム管理支所から資料の提供を受けるなど多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 和智光貴、山田朋人：天塩川流域岩尾内ダムにおける融雪出水量と積雪水量の関係、水文・水資源学会 2010 年度研究発表会要旨集、pp62-63、2010.
- 2) 菅谷重二：大雪山積雪水量及び流出調査、経済安定本部資源委員会・北海道庁土木部報告書、1949.
- 3) 松山洋：日本の山岳地域における積雪水当量の高度分布に関する研究について、水文・水資源学会誌、第 11 巻 2 号、pp164-174、1998.
- 4) 長谷川茂、小林伸行：桂沢ダム流域の融雪流出の予知、北海道開発局土木試験所月報、pp. 6-1~6-41、1974.
- 5) 山口甲、長谷川茂：融雪流出の予知に関する研究、北海道開発局土木試験所報告、64、1975.
- 6) 山田知充、西村寛、水津重雄、若浜五郎：大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程、低温科学、物理篇、37、pp1-12、1978.
- 7) 水津重雄、山田知充、若浜五郎：手稲山における積雪の堆積と雪質の変化、低温科学、物理篇、37、pp47-54、1978.
- 8) 松山洋：巻機山における積雪密度・積雪水当量の季節変化と高度分布、水文・水資源学会誌、第 11 巻 2 号、pp117-127、1998.
- 9) 日本雪氷学会北海道支部編：雪氷調査法、北海道大学図書刊行会、pp38、1991.
- 10) 口澤寿、中津川誠：積雪寒冷地流域における水収支と蒸発散量の評価、土木学会北海道支部年次技術発表会論文集 第 57 号(B)、pp422-425、2001.