

# ダムにおける積雪包蔵水量推定 ガイドライン（案）

平成 24 年 3 月

独立行政法人 土木研究所

寒地土木研究所

## はじめに

積雪寒冷地の多目的ダムでは、冬季にダム流域に蓄積された積雪が、春先の融雪に伴い流出する水を貯留し、夏季にかけての水需要をまかなっている。このため、ダム管理の現場では、毎年3月頃の積雪包蔵水量が最大となる時期に積雪調査を行い、流域の積雪包蔵水量を推定している。

現在、ダム流域の積雪包蔵水量は、複数の標高において実施した積雪調査より、標高別に積雪相当水量を求め、標高と積雪相当水量の関係式を作成し、この関係式から推定する方法が一般的である。しかし、これまで積雪包蔵水量を推定する方法をとりまとめた技術資料等が作成されてこなかったため、ダムごとに方法が異なり、経験式を採用しているケースもある。

こうした状況を踏まえ、(独)土木研究所寒地土木研究所では、積雪寒冷地の多目的ダムにおける積雪包蔵水量の推定が適切になされ、その精度を簡易に検証できるよう、これまでの知見を本ガイドラインにとりまとめた。

なお、参考の章に記載したとおり、近年、航空レーザ測量を活用したダム流域の積雪包蔵水量の推定について研究を進めている。本ガイドラインは、技術や知見の蓄積にあわせて、内容を充実させていく予定である。

本ガイドラインが積雪寒冷地のダム管理に活用されることを期待する。

平成24年3月

## 目次

1. 総則 .....	1
1.1. 目的 .....	1
1.2. 適用範囲 .....	1
1.3. 本ガイドラインの構成 .....	2
2. 積雪調査 .....	3
3. 積雪包蔵水量の推定 .....	6
3.1. 標高別の積雪相当水量の整理 .....	6
3.2. 標高と積雪相当水量の関係式の作成 .....	7
3.3. ダム流域の積雪包蔵水量の推定 .....	8
4. 水収支による推定値の精度の検証 .....	10
5. 参考 .....	14

## 1. 総則

### 1.1. 目的

本ガイドラインは、積雪寒冷地における積雪包蔵水量の推定が適切になされ、その精度を簡易に検証できるよう、これらの標準的な方法を取りまとめたものである。

#### 【解 説】

本ガイドラインは、過去の研究等の知見や、現在のダム管理の現場で採用されている積雪包蔵水量の推定方法を基に、積雪包蔵水量の推定とその精度を簡易に検証するための標準的な方法を取りまとめた技術資料である。

### 1.2. 適用範囲

本ガイドラインは、積雪寒冷地に位置し、流域の土地利用の大部分が森林であるダムを対象とする。

#### 【解 説】

森林内では積雪相当水量は標高とともに線形に増加することが明らかになっているものの、森林外（例えば、森林限界を超えた標高帯）ではこの関係は成り立たない。さらに、森林外の積雪深や積雪相当水量に関しては研究例が少なく、森林外の広範囲を対象として、積雪包蔵水量を求める標準的な方法は確立されていない。

このことから、本ガイドラインは、土地利用の大部分が森林であるダムを対象とする。なお、流域面積に占める森林外の割合が多いダムであっても、森林が大部分を占める範囲には、本ガイドラインに示す方法を適用可能である。

### 1.3. 本ガイドラインの構成

本ガイドラインは、「総則」「積雪調査」「積雪包蔵水量の推定」「水収支による評価」「参考」で構成されている。

#### 【解 説】

本ガイドラインの構成は以下の通り。

1章の「総則」には、本ガイドラインの目的、適用範囲、構成を示した。

2章の「積雪調査」には、積雪調査の方法と時期を示した。

3章の「積雪包蔵水量の推定」には、積雪調査の結果を基に、標高と積雪相当水量の関係式を作成し、ダム流域の積雪包蔵水量を推定する方法を示した。

4章の「水収支による評価」には、融雪期間について水収支を簡易に計算し、推定した積雪包蔵水量の精度を評価する方法を示した。

5章の「参考」には、最近研究が進められている、航空レーザ計測を活用した積雪包蔵水量の推定に関する参考文献を示した。

なお、実務への適用を重視し、3章及び4章には計算例を示しているが、水の密度を  $1\text{g/cm}^3$  とし、単位の換算は省略している。

## 2. 積雪調査

積雪調査は、「雪氷調査法」及び「積雪観測ガイドブック」に則り行うことを基本とする。

### 【解 説】

国内における積雪調査は、雪氷調査法<sup>1)</sup>(日本雪氷学会北海道支部編)及び積雪観測ガイドブック<sup>2)</sup>(社団法人日本雪氷学会編)に則り実施されることが一般的であり、ダムにおける積雪調査についても同様である。このため、積雪調査はこれらに則り行うことを基本とする。

なお、継続的に積雪調査を実施しているダムでは、過去に実施した積雪調査の情報が蓄積されている。これらも十分に活用し、効率が良く、安全な調査コースを設定する。

調査項目は、積雪相当水量の算出に必要な積雪深と積雪密度(全層平均)を必須とし、その他の項目は必要に応じて観測する。積雪調査を実施する時期は、積雪包蔵水量が最大となる3月上旬から中旬を基本とする。

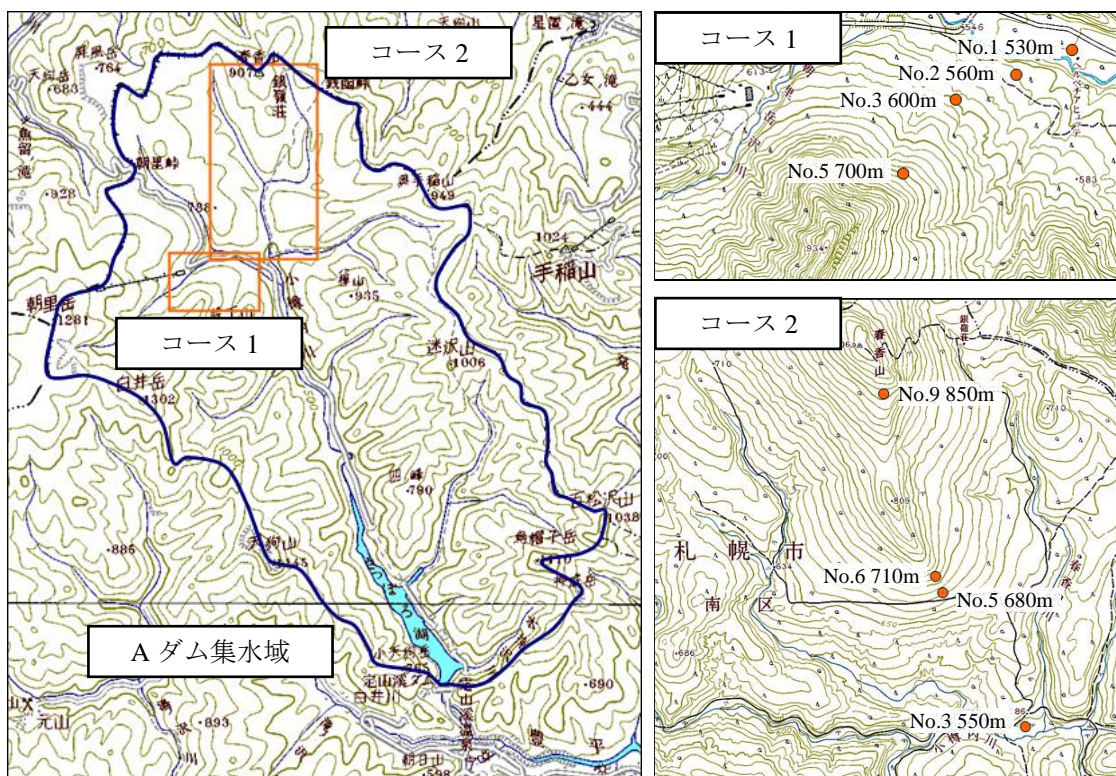


図 2-1 積雪調査コースと調査地点例 (A ダム)

表 2-1 積雪調査結果表例 (A ダム コース 1)

流域 A ダム 計算式 積雪密度 = (全重量 - カンブラー重量) ÷ 試料長さ ÷ 断面積  
 調査実地日 H22. 3. 11 断面積は 8.24cm<sup>2</sup>  
 コース コース 1

	5	6	7	8	9	10	11
観測地点No	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
標高(m)	530	560	600	650	700	760	830
開始時刻	8:40	9:16	9:40		10:25		
終了時刻	9:00	9:30	9:55		10:44		
天気	雪	雪	曇り		曇り		
気温(°C)	-4.5	-4.9	-4.2		-4.7		
雪温(°C)	-4.1	-3.8	-3.5		-2.5		
積雪深観測数	11	10	12		15		
1	172	190	208		238		
2	179	190	201		229		
3	175	195	204		236		
4	180	189	207		229		
5	180	200	211		250		
6	184	198	215		253		
7	174	196	211		253		
8	180	195	205		243		
9	190	198	215		251		
10	190	196	213		246		
11	189		213		240		
12			209		229		
13					238		
14					241		
15					245		
平均積雪深	181	195	209		241		
積雪密度観測数	3	3	4		3		
カンブラーNo.	2	2	2		2		
<1回目>							
カンブラー本数	4	4	4		4		
カンブラー重量(g)	2518.0	2518.0	2518.0		2518.0		
試料長さ(cm)	181	184	196		242		
全重量(g)	3200	3140	3200		3320		
試料重量(g)	682	622	682		802		
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.46	0.41	0.42		0.40		
<2回目>							
カンブラー本数	4	4	4		4		
カンブラー重量(g)	2518.0	2518.0	2518.0		2518.0		
試料長さ(cm)	171	208	215		237		
全重量(g)	3150	3200	3200		3320		
試料重量(g)	632	682	682		802		
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.45	0.40	0.38		0.41		
<3回目>							
カンブラー本数	4	4	4		4		
カンブラー重量(g)	2518.0	2518.0	2518.0		2518.0		
試料長さ(cm)	192	178	207		216		
全重量(g)	3210	3100	3210		3250		
試料重量(g)	692	582	692		732		
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.44	0.40	0.41		0.41		
<4回目>							
カンブラー本数			4				
カンブラー重量(g)			2518.0				
試料長さ(cm)			214				
全重量(g)			3200				
試料重量(g)			682				
密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.39				
<5回目>							
カンブラー本数							
カンブラー重量(g)							
試料長さ(cm)							
全重量(g)							
試料重量(g)							
密度(g/cm <sup>3</sup> )							
平均密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.45	0.40	0.40		0.41		
積雪相当水量	815	780	836		988		

表 2-2 積雪調査結果表例 (A ダム コース 2)

流域 A ダム 計算式 積雪密度 = (全重量 - カプラー重量) ÷ 試料長さ ÷ 断面積  
 調査実施日 H22. 3. 11 断面積は 8. 24cm<sup>2</sup>  
 コース コース 2

			1	2	3	4	5	6	7	8
観測地点No	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
標高(m)	520	550	550	610	680	710	760	790	850	900
開始時刻			11:30		9:00	9:25			10:10	
終了時刻			11:40		9:20	9:40			10:30	
天気			曇り		晴れ	晴れ			曇り	
気温(℃)			-0.3		-4.6	-3.5			-5.0	
雪温(℃)			-2.0		-3.8	-2.7			-3.7	
積雪深観測数			10		10	10			10	
1			240		242	242			280	
2			241		238	238			276	
3			244		240	242			285	
4			235		241	248			290	
5			232		239	239			288	
6			237		239	249			294	
7			234		234	249			278	
8			232		236	238			286	
9			238		234	245			294	
10			235		236	250			280	
11										
12										
13										
14										
15										
平均積雪深			237		238	244			285	
積雪密度観測数			4		3	3			3	
サンプルNo			8		8	8			8	
<1回目>										
サンプル本数			4		4	4			4	
サンプル重量(g)			2584.1		2584.1	2584.1			2584.1	
試料長さ(cm)			190		224	218			276	
全重量(g)			3270		3320	3270			3550	
試料重量(g)			685.9		735.9	685.9			965.9	
密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.44		0.40	0.38			0.42	
<2回目>										
サンプル本数			4		4	4			4	
サンプル重量(g)			2584.1		2584.1	2584.1			2584.1	
試料長さ(cm)			211		214	224			260	
全重量(g)			3360		3310	3330			3460	
試料重量(g)			775.9		725.9	745.9			875.9	
密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.45		0.41	0.40			0.41	
<3回目>										
サンプル本数			4		4	4			4	
サンプル重量(g)			2584.1		2584.1	2584.1			2584.1	
試料長さ(cm)			215		226	224			248	
全重量(g)			3360		3310	3310			3460	
試料重量(g)			775.9		725.9	725.9			875.9	
密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.44		0.39	0.39			0.43	
<4回目>										
サンプル本数			4							
サンプル重量(g)			2584.1							
試料長さ(cm)			220							
全重量(g)			3360							
試料重量(g)			775.9							
密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.43							
<5回目>										
サンプル本数										
サンプル重量(g)										
試料長さ(cm)										
全重量(g)										
試料重量(g)										
密度(g/cm <sup>3</sup> )										
平均密度(g/cm <sup>3</sup> )			0.44		0.40	0.39			0.42	
積雪相当水量			1043		952	952			1197	



### 3. 積雪包蔵水量の推定

#### 3.1. 標高別の積雪相当水量の整理

積雪調査で実測した積雪深と積雪密度より、積雪相当水量を求める。

#### 【解 説】

積雪調査で実測した積雪深と積雪密度（全層平均）を基に、調査地点別に式(1)より積雪相当水量を算出する。

$$S_i = \rho_i \times h_i \quad (1)$$

ここで、 $S_i$ ：調査地点*i*の積雪相当水量(kg/m<sup>2</sup>)、 $h_i$ ：調査地点*i*の積雪深(m)、 $\rho_i$ ：調査地点*i*の積雪密度（全層平均）(kg/m<sup>3</sup>)である。

積雪相当水量は、調査地点の標高と対応するように整理してすることが望ましい。

表 3-1-1 調査地点の積雪相当水量算出例（A ダム）

調査コース	調査地点	標高 (m)	積雪深 (cm) ①	密度 (g/cm <sup>3</sup> ) ②	積雪相当水量 (kg/m <sup>2</sup> ) ①×②
コース 1	No.1	530	181	0.45	815
	No.2	560	195	0.40	780
	No.3	600	209	0.40	836
	No.5	700	241	0.41	988
コース 2	No.3	550	237	0.44	1,043
	No.5	680	238	0.40	952
	No.6	710	244	0.39	952
	No.9	850	285	0.42	1,197

※水の密度を 1g/cm<sup>3</sup> とすると、kg/m<sup>2</sup> = mm である

### 3.2. 標高と積雪相当水量の関係式の作成

3.1 で整理した標高と積雪相当水量について回帰分析を行い、関係式を作成する。

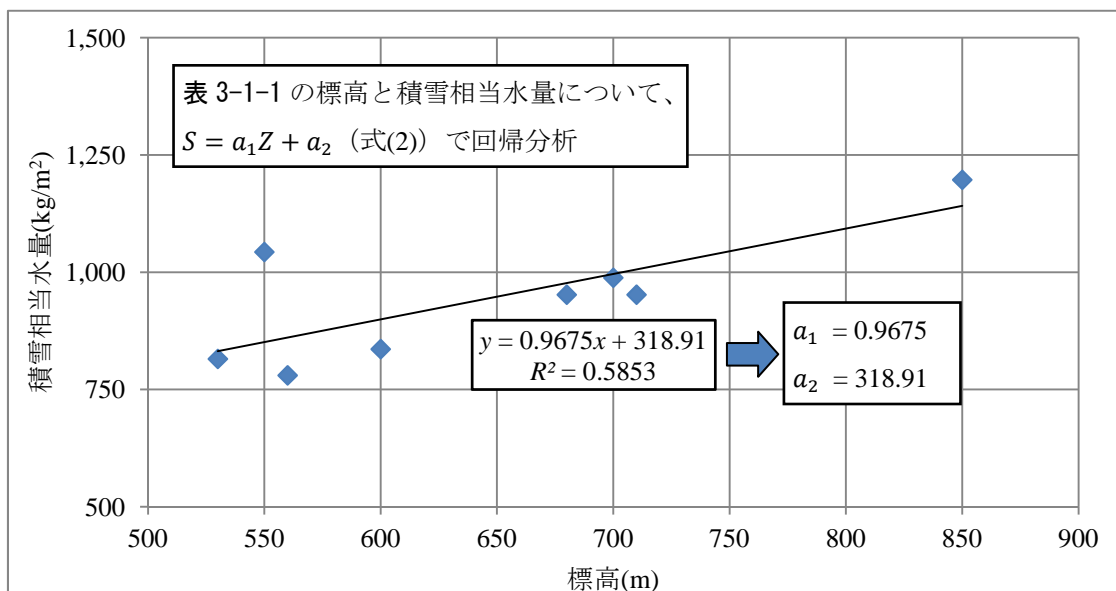
#### 【解 説】

山田ら<sup>3)</sup>の研究によると、森林内では積雪相当水量は標高とともに線形に増加することが示されている。このため、標高と積雪相当水量の回帰分析には、式(2)に示す線形の関係式を用いることを基本とする。

$$S = a_1Z + a_2 \quad (2)$$

ここで、 $S$ ：標高別の積雪相当水量( $\text{kg}/\text{m}^2$ )、 $Z$ ：標高(m)、 $a_1 \sim a_2$ ：回帰係数である。なお、森林限界以上の標高や尾根付近では、積雪深が減少する傾向がある<sup>4)</sup>が、式(2)を用いた場合には標高とともに積雪相当水量が単調に増加するため、このような範囲の積雪相当水量を過大評価する可能性があることに留意が必要である。

また、ダムによっては過去の調査結果に基づく経験式を採用している場合、曲線の回帰式を採用している場合も考えられるが、水収支により評価した精度が確保されていれば、これらの採用を妨げない。



※水の密度を  $1\text{g}/\text{cm}^3$  とすると、 $\text{kg}/\text{m}^2 = \text{mm}$  である

図 3-2-1 標高と積雪相当水量の回帰分析例 (A ダム)

### 3.3. ダム流域の積雪包蔵水量の推定

3.2 で作成した回帰式より代表標高の積雪相当水量を求める。これに標高区分ごとの面積を乗じ、足し合わせて流域の積雪包蔵水量を推定する。

#### 【解 説】

事前の準備として、標高区分ごとに流域面積を算出しておく。例えば、国土地理院が WEB で公開している基盤地図情報の数値標高モデルと GIS ソフトを用いれば簡単に算出できる。

表 3-3-1 標高区分ごとの面積と代表標高の設定例 (A ダム)

No	標高区分 (m)	代表標高 (m)	面積 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)
1	300~400	350	2.3	2.2
2	400~500	450	6.3	6.1
3	500~600	550	15.2	14.6
4	600~700	650	28.3	27.2
5	700~800	750	28.8	27.7
6	800~900	850	12.5	12.0
7	900~1000	950	5.9	5.7
8	1000~1100	1050	2.2	2.1
9	1100~1200	1150	1.4	1.3
10	1200~1300	1250	1.1	1.1
合計			104	100

次に、標高区分における代表標高（通常は平均値を使用）と 3.2 で作成した回帰式を用いて、標高区分ごとの積雪相当水量を求める。

$$S_j = a_1 Z_j + a_2 \quad (3)$$

ここで、 $S_j$ ：標高区分 $j$ の積雪相当水量(kg/m<sup>2</sup>)、 $Z_j$ ：標高区分 $j$ の代表標高(m)、 $a_1 \sim a_2$ ：3.2 で決定した回帰係数である。

最後に、式(4)のとおり、各標高区分の積雪相当水量 $S_j$ にそれぞれの面積を乗じ、足し合わせるとダム流域の積雪包蔵水量となる。

$$S_w = \sum S_j \times A_j \quad (4)$$

ここで、 $S_w$ ：ダム流域の積雪包蔵水量(kg)、 $A_j$ ：標高区分 $j$ の面積(m<sup>2</sup>)である。

表 3-3-2 積雪包蔵水量の計算例 (A ダム)

No	標高区分 (m)	代表標高 (m) ①	積雪相当水量 (kg/m <sup>2</sup> ) ② = $a_1 \times ① + a_2$	面積 (km <sup>2</sup> ) ③	標高区分毎の 積雪包蔵水量 ( $\times 10^3 \text{m}^3$ ) ② $\times$ ③
1	300~400	350	658	2.3	1,513
2	400~500	450	754	6.3	4,750
3	500~600	550	851	15.2	12,935
4	600~700	650	948	28.3	26,828
5	700~800	750	1045	28.8	30,096
6	800~900	850	1141	12.5	14,263
7	900~1000	950	1238	5.9	7,304
8	1000~1100	1050	1335	2.2	2,937
9	1100~1200	1150	1432	1.4	2,005
10	1200~1300	1250	1528	1.1	1,681
合計 = ダム流域の積雪包蔵水量( $\times 10^3 \text{m}^3$ )					104,312

※ $a_1$ 及び $a_2$ は表 3-2-1 参照

※水の密度を 1g/cm<sup>3</sup> とすると、 $10^6 \text{kg} = 10^3 \text{m}^3$  である

#### 4. 水収支による推定値の精度の検証

3.で推定した積雪包蔵水量の精度は、水収支との比較により、精度を検証する。

##### 【解 説】

積雪包蔵水量の推定結果は融雪期の水収支との比較により評価する。水収支は式(5)で表される。

$$WB = Q_i - R + E_{pt} \quad (5)$$

ここで、 $WB$ ：水収支( $m^3$ )、 $Q_i$ ：ダム流入量( $m^3$ )、 $R$ ：降水量( $m^3$ )、 $E_{pt}$ ：可能蒸発散量( $m^3$ )である。計算期間は、積雪調査日の翌日から同年の6月30日までを基本とするが、消雪が早いダムでは消雪時期に合わせて計算期間を短縮してよい。

式(5)で降水量は流域平均降水量を用いる。可能蒸発散量は、ダム管理所の気象観測データより、簡単に求めることができる。口澤ら<sup>5)</sup>の定山溪ダム流域における研究によると、森林域の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。このため、融雪期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(6))で推定した可能蒸発散量を加えた値とすることができる。なお、融雪開始の頃は気温が低いため、降雪となる場合があるが、対象とする期間内の降水量全体に占める割合が少ないと考えられ、データをヒータ付きの雨雪量計で雨量としている場合は、観測値をそのまま用いてよい。

$$E_{pt} = 0.140D_0^2q_t \quad (6)$$

ここで、 $D_0$ ：可照時間（ここでは月平均の1日の日の出から日没までの時間を12時間で除した値）、 $q_t$ ：日平均気温に対する飽和絶対湿度( $kg/m^3$ )である。

はじめに、 $D_0$ を求める方法を述べる。太陽赤緯は式(7)で求められる<sup>6)</sup>。

$$\begin{aligned} \delta &= \sin^{-1}(0.398 \times \sin a_2) \\ a_2 &= 4.871 + \eta + 0.033 \sin \eta \\ \eta &= (2\pi/365)i \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $\delta$ ：太陽赤緯(rad)、 $i$ ：通日である。通日は1月1日から数えた日数で、例えば1月1日は1、4月1日は91である。また、日の出から南中までの時角

は式(8)で求められる<sup>6)</sup>。

$$\sin \frac{1}{2} h = \left\{ \frac{\sin \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi - \delta + \gamma}{2} \right) \sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi - \delta - \gamma}{2} \right)}{\cos \phi \cos \delta} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

ここで、 $h$ ：日の出から南中までの時角(rad)、 $\phi$ ：緯度(rad)、 $\gamma$ ：地平屈折度(=9.89×10<sup>-3</sup>(rad))である。緯度はダム管理所地点の緯度を代入すればよい。なお、式(8)の右辺を $A$ とすると $h$ は

$$h = 2 \sin^{-1} A \quad (9)$$

である。可照時間は、太陽赤緯と日の出から南中までの時角を用いて式(10)で求まる<sup>6)</sup>。

$$N_0 = \frac{2h}{0.2618} \quad (10)$$

ここで $N_0$ ：可照時間(hr)である。 $D_0$ は毎日の可照時間を一ヶ月間合計し、月の日数と12で除して求まる。

次に、日平均気温に対する飽和絶対湿度は、式(11)及び式(12)を用いて気温より求められる<sup>6)</sup>。

$$e_{st} = 6.1078 \times 10^{7.5T_c / (237.3 + T_c)} \quad (11)$$

$$q_t = 0.2167 \times e_{st} / T_K \quad (12)$$

ここで、 $e_{st}$ ：飽和水蒸気圧(hPa)、 $T_c$ ：気温(°C)、 $T_K$ ：気温(K)である。式(11)及び式(12)の $T_c$ 及び $T_K$ にダム管理所の日平均気温を代入すれば良いが、式(11)と式(12)の気温は単位が異なることに注意が必要である。気温の単位は、式(13)を用いて換算する。

$$T_K = T_c + 273.15 \quad (13)$$

なお、気温は標高が100m高くなるにともない平均して0.65°C低下する。表

3-3-1のように、積雪相当水量を算出する際、標高別の面積を求めているため、これを用いて標高の上昇に伴う気温の低下を考慮し、より精度を高めることも可能である。

最後に、評価基準について述べる。鳥谷部ら<sup>7)</sup>は、北海道の8つのダムについて、積雪包蔵水量の推定結果と水収支を比較した結果、精度の良いダムで20%以内の誤差であったことを報告している。このような値を目安に推定結果を評価することが望ましい。例えば、表3-3-2に示した2010年のAダムの推定結果は、表4-1に示した水収支と比較すると、約4%の誤差である。誤差が大きい場合は、積雪調査コース、積雪調査地点等の再検討が望ましい。

表 4-1 水収支の計算例 (A ダム)

年月日	流域平均 降水量 (mm)	ダム 流入量 (m <sup>3</sup> /s)	日平均 気温 (°C)	可照 時間 $D_0$	飽和 相対湿度 $e_{st}$ (hPa)	飽和 絶対湿度 $q_t$ (kg/m <sup>3</sup> )	可能 蒸発散量 $E_{pt}$ (mm/day)
2010/03/12	0	0.87	0.2	0.9876	6.20	4.91	0.67
2010/03/13	4	1.33	-2.7	0.9876	5.01	4.01	0.55
2010/03/14	0	0.96	-6.4	0.9876	3.78	3.07	0.42
2010/03/15	1	0.98	-2.9	0.9876	4.93	3.96	0.54
2010/03/16	0	1.91	0.4	0.9876	6.29	4.98	0.68
2010/03/17	0	1.58	-6.2	0.9876	3.84	3.12	0.43
2010/03/18	0	1.29	-4.8	0.9876	4.28	3.45	0.47

2010/06/24	12	6.28	14.3	1.2691	16.30	12.29	2.77
2010/06/25	0	3.59	19.0	1.2691	21.97	16.30	3.67
2010/06/26	0	2.77	22.3	1.2691	26.92	19.75	4.45
2010/06/27	0	2.47	21.4	1.2691	25.49	18.75	4.23
2010/06/28	0	2.24	23.8	1.2691	29.48	21.51	4.85
2010/06/29	0	2.13	23.1	1.2691	28.26	20.67	4.66
2010/06/30	0	2.04	22.1	1.2691	26.60	19.52	4.40
<b>合計</b>	<b>211</b>	<b>1165.35</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>203.22</b>

×流域面積  
(104km<sup>2</sup>)

×86,400(秒)

×流域面積  
(104km<sup>2</sup>)

	降水量 $R$ ( $\times 10^6\text{m}^3$ )	ダム流入量 $Q_i$ ( $\times 10^6\text{m}^3$ )	可能蒸発散量 $E_{pt}$ $E_{pt}(\times 10^6\text{m}^3)$
2010年	21.94	100.69	21.13

$$WB = 100.69 - 21.94 + 21.13 = 99.88(\times 10^6\text{m}^3)$$



## 5. 参考

近年、航空レーザ測量から得られる高密度の地形データを用いて、様々な地形解析が行われており、無積雪期と積雪期の二時期の航空レーザ測量データから積雪深を求め、積雪深の分布と標高、地形、植生等との関係についての研究が報告されている。

(独)土木研究所寒地土木研究所においても、ダムの実務への適用を視野に入れ、航空レーザ測量結果からダム流域の積雪包蔵水量を精度良く推定する方法を研究している<sup>4), 8), 9), 10), 11), 12)</sup>。詳細は参考文献を参照されたい。

引き続き、研究を進め、技術や知見の蓄積にあわせて、本ガイドラインの内容を充実させていく予定である。

## 【謝辞】

本ガイドラインの作成にあたり、室蘭工業大学大学院の中津川准教授には丁寧なご指導と貴重なご意見を頂きました。また、国土交通省北海道開発局にはデータを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 【参考資料】

- 1) 日本雪氷学会北海道支部編：雪氷調査法，1991.
- 2) 社団法人日本雪氷学会編：積雪観測ガイドブック，2010.
- 3) 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.
- 4) 西原照雅，中津川誠：尾根と植生を考慮したダム流域の積雪包蔵水量推定の試み，土木学会北海道支部年次技術発表会論文集 第68号，B-31，2012.
- 5) 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.
- 6) 近藤純正編著：水環境の気象学，1994.
- 7) 鳥谷部寿人，浜本聡，石谷隆始：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，平成22年度北海道開発技術研究発表会，2011.
- 8) 鳥谷部寿人，中津川誠，石谷隆始，菊地渉，山下彰司，清治真人：航空レーザ測量成果を用いたダム流域における積雪深分布の把握，水工学論文集第54巻，pp427-432，2010.
- 9) 鳥谷部寿人，中津川誠：高解像度DEMの積雪分布を用いたダム流域の積雪水量の推定の試み：水工学論文集，第55巻，pp421-426，2011.
- 10) 鳥谷部寿人，中津川誠：航空レーザ計測データを活用したダム流域の積雪水量の推定，土木学会北海道支部年次技術発表会論文集 第67号，B-40，2011.
- 11) 西原照雅，鳥谷部寿人，中津川誠，浜本聡：航空レーザ計測による高解像度DEMを活用したダム流域の積雪包蔵水量の推定，寒地土木研究所月報，No.703，pp13-21，2011.
- 12) 西原照雅，中津川誠：斜面方位を考慮した積雪最盛期におけるダム流域の積雪包蔵水量の推定，土木学会論文集B1(水工学) Vol68，No.4，I\_337-I\_342，2012.

ダムにおける積雪包蔵水量推定ガイドライン（案）

平成24年3月作成

<問い合わせ先>

独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所

水環境保全チーム

Tel 011-841-1696