

# 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

Relation between melting snow discharge and snow water equivalent in Iwaonai dam basin

北海道大学工学部環境社会工学科国土政策学コース ○学生員 和智光貴(Kouki WACHI)  
北海道大学工学部河川流域工学研究室准教授 正員 山田朋人(Tomohito YAMADA)

## 1. はじめに

### (1) 岩尾内ダムでの近年の融雪状況

北海道内のダムでは、融雪の影響から春～初夏にかけてダム湖における水資源管理並びに、水資源量の事前把握が必要である。本研究で対象にした岩尾内ダムは北海道北部を流れる天塩川上流に位置している。岩尾内ダムでは、1971 年から積雪調査を実施している。積雪調査は 25 箇所で行っており、北海道内のダムの中では観測数は多いため精度は良い。しかし、2008 年以降は積雪調査結果と融雪期のダムへの流入量の相関が悪い。また、近年は気温上昇の早期化により融雪開始時期が早まっており、今後のダム管理に支障をきたす恐れがあるため融雪出水予測の精度向上が重要である。

岩尾内ダムでは積雪水量と融雪量の比較を行うために、融雪比<sup>(1)</sup>という値を用いている。融雪比は次式で算出される。

[融雪比]=[融雪量]÷[積雪水量] (1)

[融雪量]=[総流入量]-[降雨総量] (2)

また、二式から、

[総流入量]=[降雨総量]+[融雪比]×[積雪水量] (3)

と表せる。

ここでの総流入量、降雨総量は融雪期間中の値を用いており、積雪水量は岩尾内ダムでの調査データを用いている。

以上の式から算出された 1976 年から 2008 年の融雪比について図-1 に示す。

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| 着手年、竣工年 | 1963 年、1970 年           |
| 水系・河川   | 天塩川水系・天塩川               |
| ダム形式    | 重力式コンクリートダム             |
| 管理      | 北海道開発局                  |
| 用途      | 洪水調整、灌漑用水、上水道用水、工業用水、発電 |
| ダム流域面積  | 331.4km <sup>2</sup>    |
| 有効貯水容量  | 96.3 百万 m <sup>3</sup>  |

表-1: 岩尾内ダム概要

1976 年から 2009 年の融雪比の平均が 0.99、標準偏差は 0.11 であった。融雪比が 1.0 であれば、積雪水量と融雪量は等しく積雪調査結果と融雪期のダムへの流入量の相関が良い。1.0 より低ければ積雪水量より融雪量が少なく、高ければ融雪量が多い。2007 年までは精度が極端に悪い年でも、融雪比の低い年では 2002 年の 0.80、高い年では融雪比の算定が可能になった 1976 年の 1.18

であった。特に、1994 年から 2006 年はほとんどの年で 0.94～1.05 の範囲に納まっており精度は良い方であった。しかしながら、2008 年、2009 年の融雪比はそれぞれ、0.66、0.74 でありここ 2 年は非常に精度が悪く、積雪水量から予測される融雪出水量は少ない。

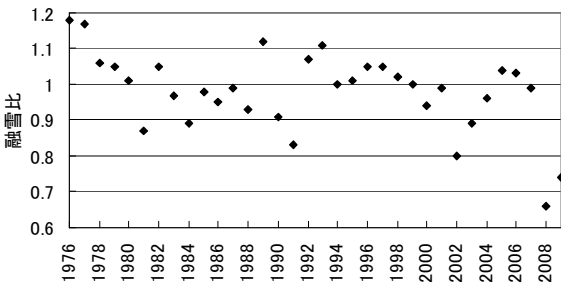


図-1: 岩尾内ダム流域における 1976 年から 2009 年の融雪比

### (2) 岩尾内ダムでの融雪期間の判断方法

岩尾内ダムにおいては、融雪期間の開始時期と終了時期の判断を次のように行っている。

#### i) 開始時期の判断

1. ダム流入量が日平均で 3m<sup>3</sup>/s 以上
2. 似峽観測所が日平均で 2.7m<sup>3</sup>/s 以上
3. 茂志利観測所が日平均で 1.7m<sup>3</sup>/s 以上
4. 日平均気温が 0℃以上

以上 4 項目のうち、2 項目以上が達した場合に、融雪出水が開始したと判断する。

#### ii) 終了時期の判断

ダム流入量が 6m<sup>3</sup>/s 以下に減少したときに融雪出水が終了したと判断する。

この判断方法が通年で最も精度が良くなる方法であったが、それでも 2008 年、2009 年の両年は融雪比が極端に低くなってしまった。

### (2) 本研究の目的

以上の背景をふまえ、本研究では、ダムの流入量や、気温、風速などの気象データ<sup>(2)</sup>などから、融雪比の精度が悪い年 (0.9 以下) の傾向ならびに原因を探り、融雪期間中の水資源量を正確に把握することを目的とする。

表-2、表-3 は 2008 年、2009 年の積雪水量を用いたダムへの総流入量の予測と実際の総流入量の誤差を表したものである。予測の段階では積雪水量はすべて融雪出水

|    | 融雪比   | 総流入量(百万 m <sup>3</sup> ) |
|----|-------|--------------------------|
| 予測 | 1.0   | 235.5                    |
| 実際 | 0.66  | 174.7                    |
| 誤差 | -0.34 | -60.8                    |

表-2：2008年の予測の総流入量と実際の総流入量

|    | 融雪比   | 総流入量(百万 m <sup>3</sup> ) |
|----|-------|--------------------------|
| 予測 | 1.0   | 334.2                    |
| 実際 | 0.74  | 267.0                    |
| 誤差 | -0.26 | -67.2                    |

表-3：2009年の予測の総流入量と実際の総流入量

量としてダム湖に流入すると考えるため、予測の融雪比は1.0とする。

2008年においては、融雪比は0.66となり過去33年で最も精度が悪い。これは実際の総流入量は予測値よりも60.8百万m<sup>3</sup>少なくなってしまう、約26%、予測値よりも実際の総流入量が少ないことを表している。

2009年の実際の融雪比は0.74で過去2番目に精度が悪い年である。2009年についても同様に計算すると約20%、予測値よりも実際の総流入量が少ない。なぜこのような誤差が出てしまったのか、様々なデータから検証し、以下に記す。

## 2. 各データの検証

### (1) 流入量

図-2はダム湖に流入した総流入量について示している。総流入量は1971年から現在までのデータが存在する。3月1日から7月31日までの期間で、流入量の3日ずつの平均値を取りプロットした。日単位ではなくさらに幅広く検証を行うため、また日単位のダム以外の場所に流れ出た流入の誤差の影響を少なくするために3日平均での値を用いた。全体平均は1971年から2009年までの平均、0.9以下平均は表-4の7年間の平均値である。融雪比が0.9以下の年を選んだ理由は、融雪比の平均と標準偏差の差が0.88であったが、0.88以下にしようとするサンプル数が少なくなってしまうため0.9以下とした。

これによると、0.9以下平均は流量の立ち上がりは全体平均よりも早い。また、流入量が最大になった日（以下、ピーク日と記す）を見ると、全体平均が5月9日～5月11日であるのに対し、0.9以下平均は5月3日～5月5日と一週間程早かった。そして、流量の逓減も0.9以下平均は全体平均よりも早い。

2008年、2009年に関して更に詳細に述べると、2008年は特にこの傾向が顕著であった。ピーク日は4月21日～23日であり、全体平均よりも2週間以上もピークを早く迎える。また、ピーク後はすぐに逓減が始まる。

2009年はピーク日が5月3日～5月5日であった。つまり、全体平均よりも一週間程ピークを早く迎える事になる。流量の立ち上がりも早く、逓減も2008年と同様にピーク後すぐに始まる。

| 年   | 1981 | 1984 | 1991 | 2002 | 2003 | 2008 | 2009 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 融雪比 | 0.87 | 0.89 | 0.83 | 0.80 | 0.89 | 0.66 | 0.74 |

表-4：融雪比が0.90以下の年とその年の融雪比

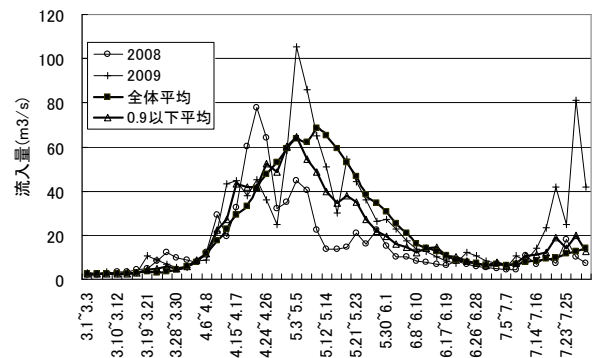


図-2：3月1日から7月31日までの流入量の3日平均値

### (2) 気温

気温についても流入量と同様に、3月1日から6月29日の期間で3日ずつの平均値を取った。ただ、気温については既存のデータが1986年からなので、全体平均は1986年～2009年の平均、0.9以下平均は表-4の1991年以降の平均となる。気温は岩尾内ダム管理所で計測されたものである。

全体平均よりも0.9以下平均の方が3月中旬から5月下旬にかけて気温が高いことがわかる。平均で見ると、融雪が始まるであろう0℃を超える日は、全体平均が4月3日～4月5日(1.44℃)、対して0.9以下平均は3月22日～3月24日(0.32℃)であった。しかし、0.9以下平均は3月28日～3月30日に再び氷点下に落ち込み(-1.08℃)、3月31日～4月2日に再び0℃を超える(0.41℃)。以後、氷点下に下がることなく0℃を超える日は双方にほとんど違いはない。

しかし、2008年、2009年について詳細に述べると、2008年は3月13日～3月15日で既に0℃を超え、一度も氷点下を下回らずに0℃を超える日が3月25日～3月27日まで3日平均で見ると二週間ほど続く。その後一週間ほど気温が氷点下に落ち込むが、それからは全体平均を上回る日が続く、特に4月中旬や5月上旬は全体平均を5℃近く上回る日がある。

2009年についても3月中旬で0℃を超える日が一週間ほど続く。2008年と同様に一旦氷点下に落ち込むが、それからは全体平均を上回る日が続く。

また、1986年～2009年までの融雪期間を平均化し（以後、平均融雪期間と記す）、その中での気温の平均値を取った。融雪比の精度がいい年もあるが、(1990年融雪比0.91、1995年同1.01、1998年同1.02、2004年同0.96など)概ね0.9以下の年が気温が高い傾向にあることがわかった。

### (3) 風速

風が融雪に与える影響も考えられるため、日最大瞬間

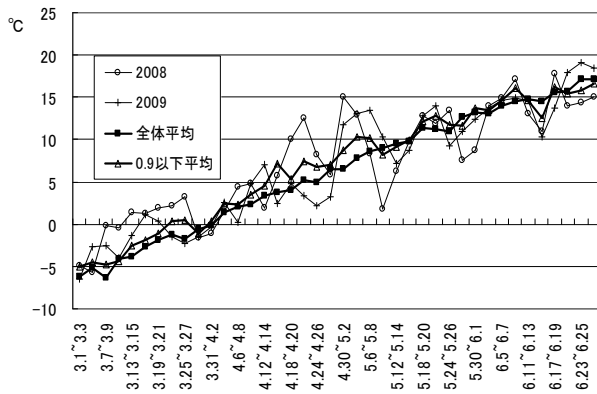


図-3：3月1日から7月31日までの気温の3日平均

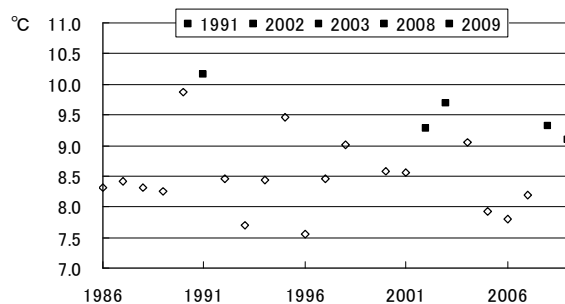


図-4：平均融雪期間中の平均気温(1986年～2009年)

風速を平均融雪期間中で平均化した。デジタル化されているデータが2005年から5年分しかないが、2005年～2007年のような、融雪比の精度がいい年よりは精度が悪い2008年、2009年の日最大瞬間風速の平均値は10m/sを超え強い。ただ、同じように日平均風速でみると精度がいい年、悪い年によって大きな差は見られない。

また、標準偏差を求め各年の風速のばらつきを調べたが、日最大瞬間風速、日平均風速ともに2007年の数値が低いだけで、他の年に大きな違いは見られない。

| 年                 | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 融雪比               | 1.04  | 1.03  | 0.99  | 0.66  | 0.74  |
| $U_{max}$ 平均(m/s) | 9.52  | 9.49  | 9.24  | 10.26 | 10.15 |
| U 平均(m/s)         | 1.81  | 1.71  | 1.48  | 1.55  | 1.71  |
| RH 平均(%)          | 83.18 | 79.58 | 71.69 | 70.87 | 67.79 |
| $U_{max}$ 標準偏差    | 3.34  | 3.51  | 3.00  | 3.37  | 3.71  |
| U 標準偏差            | 0.78  | 0.62  | 0.50  | 0.67  | 0.70  |
| RH 標準偏差           | 10.02 | 12.70 | 10.81 | 10.63 | 13.87 |

表-5：2005年～2009年の融雪比と平均融雪期間中における日最大瞬間風速( $U_{max}$ )、日平均風速(U)、日平均相対湿度(RH)の平均値と標準偏差

#### (4) 湿度

同様に、日平均相対湿度について平均融雪期間中で平均化した。これも、5年分のデータしか得られなかったが、精度が良かった2007年も含まれるが、精度が悪い2008年、2009年は日平均相対湿度が低くなっている。

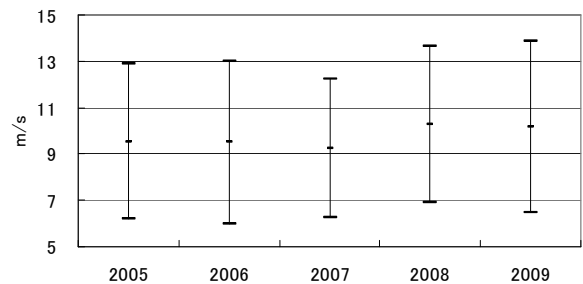


図-5：平均融雪期間中の日最大瞬間風速の平均±標準偏差の範囲

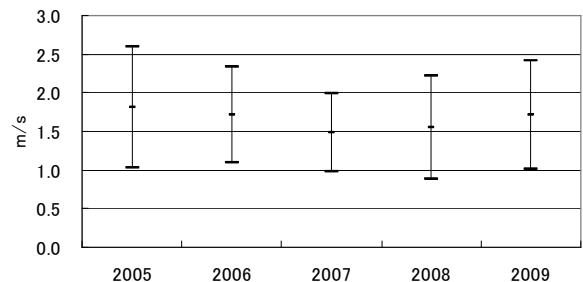


図-6：平均融雪期間中の日平均風速の平均±標準偏差の範囲

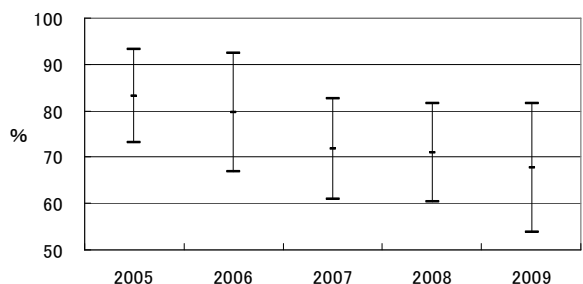


図-7：平均融雪期間中の日平均相対湿度の平均±標準偏差の範囲

標準偏差に着目すると、2006年、2009年は他の年に比べてばらつきが見られることがわかる。そのため、2009年は他の年には見られないが、湿度が50%を下回る日も見られる。

### 3. データ検証のまとめ

流入量データ、また、気象データから融雪比が低い年の傾向をまとめると以下になる。

流入量：例年よりも立ち上がり、ピーク時間、逡減が早まる。

気温：3月中旬から5月中旬にかけて、例年より気温が高い。

風速：2008年、2009年は他の年に比べて、日最大瞬間風速を比べることにより、風が強いことがわかる。

湿度：2008年、2009年は他の年より、湿度が低い。ただ、精度が良い2007年も2005年、2006年より

低い。

気象データから、融雪比が低い年は気温が高いため、流量の減少が早まった。また、融雪比が低いことは、積雪水量よりも、融雪量が少なくなるということなので、気温が高く、乾いた強い風が吹くため、本来ダムへ流れ出る分が雪の蒸発によって失われてしまったのではない。これについて第4章以降について述べる。

#### 4. 蒸発散量の推定法

蒸発散の推定を行うために近藤ら<sup>(3)</sup>によって提案されているモデルを用い、蒸発量をもとめた。これは地被や植被の状態によって動的に変化する蒸発散量をより高い精度で推定するため、土壌もしくは積雪面の熱収支、及び植被層の熱収支を定式化するものである。ただし、本研究においては、地表面からのみの蒸発量を算出した。このモデルを用いた定山溪ダム流域の蒸発散、融雪量の推定を行った先行研究<sup>(4)</sup>がある。

蒸発散の計算基礎式は表-6に示した。本研究では、各年の融雪期間中の蒸発量を求めた。まず、(5)式に観測された日平均気温を  $T$  として代入し地表面の代表温度  $T_g$  を求めたが違いが見られなかったため、本研究では  $T \equiv T_g$  とした。その後、(4)式の蒸発潜熱  $\lambda$  を消去し、各々の数値を代入し蒸発量を求めた。またバルク係数  $C_{Hg}$ 、蒸発効率  $\beta_g$  は文献値<sup>(3), (5)</sup>を参考にし、 $C_{Hg}=0.02$ 、 $\beta_g=1.00$  とした。本研究では蒸発量のオーダーの推定を目的とするため、数値は先行研究による値を参考にした。

使用した気象データは各々の年の日平均値であり、蒸発散量を求めた後にダム流域面積を乗じて総蒸発量として変換した。

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\lambda E_g = \lambda \rho \beta_g C_{Hg} u \{e_{sat}(T_g) - e\} \frac{0.622}{p}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (4) |
| $\sigma T_g^4 \equiv \sigma T^4 + 4\sigma T^4 (T_g - T)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | (5) |
| $\lambda E_g$ : 地表面からの潜熱フラックス ( $W/m^2$ )<br>$E_g$ : 地表面からの蒸発散量 ( $mm/s$ )<br>$T_g$ : 地表面の代表温度 ( $^{\circ}C$ )<br>$\lambda$ : 蒸発潜熱 ( $J/Kg$ )<br>$\rho$ : 空気密度 ( $=1.2kg/m^3$ )<br>$p$ : 大気圧 ( $hpa$ )<br>$C_{Hg}$ : 地表面～大気間のバルク係数<br>$\beta_g$ : 地表面の蒸発効率<br>$u$ : 代表高度での風速 ( $m/s$ )<br>$T$ : 代表高度での気温 ( $^{\circ}C$ )<br>$e, e_{sat}$ : 各々代表高度での水蒸気圧 ( $hPa$ ) および飽和水蒸気圧 ( $hPa$ ) |     |

表-6：蒸発散の計算基礎式

#### 5. 推定結果の検証

2008年：表-2中の誤差量のうち、34.7%を総蒸発量で満たすことになった。また、  
 $[仮融雪比] = \{[融雪量] + [総蒸発量]\} / [積雪水量]$  (6)  
と定義して仮融雪比を求めると2008年の仮融雪比は0.78となった。

| 年                   | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 総蒸発量<br>(百万 $m^3$ ) | 15.10 | 18.72 | 17.69 | 21.08 | 32.15 |
| 融雪比                 | 1.04  | 1.03  | 0.99  | 0.66  | 0.74  |
| 仮融雪比                | 1.11  | 1.11  | 1.10  | 0.78  | 0.86  |

表-7：モデルにより推定した総蒸発量と仮融雪比

2009年：表-3中の誤差量のうち、47.9%を総蒸発量満たすことになった。また、2008年と同様に仮融雪比を求めると0.86となった。

両年とも精度が向上したが、融雪比の平均と標準偏差の差である0.88を上回ることはできなかった。また、2005年～2007年の仮融雪比も求めるとそれぞれ、1.11、1.11、1.10と精度が悪化してしまった。

#### 6. まとめ

融雪比に蒸発が関係するという仮説を立てたが、融雪比が低い年は蒸発量の影響を考慮してもまだ精度が良いとは言えない。また、この仮説を用いるならば融雪比が1より低い年は蒸発が多くなり、融雪比が精度が良い年、1より高い年は限りなく蒸発散量は少なくならなければならない。現在用いている融雪比の算出方法の式(1)では蒸発の影響を考慮していないため、今後は精度が良い年、融雪比が大きい年も含めた包括的な検証や冬の気象場の分析、また精度が悪くなる他の要因も考えていかなければならない。

#### 7. 参考文献

- (1) 北海道開発局旭川開発建設部名寄河川事務所岩尾内ダム管理支所：岩尾内ダム流域における融雪予測の精度向上について
- (2) 北海道開発局旭川開発建設部名寄河川事務所岩尾内ダム管理支所：岩尾内ダム各種データ
- (3) 近藤純正：水環境気象学、朝倉書店、1994
- (4) 口澤寿 中津川誠：2層モデルによる積雪と蒸発散の包括的な再現について、土木学会第56回年次学術講演会（講演概要集）、2001
- (5) 臼谷友秀 中津川誠 工藤啓介：石狩川全流域を対象とした水循環の定量化、平成16年度土木学会北海道支部論文報告集第61号、2004

#### 8. 謝辞

本研究を行うにあたり、過去30年以上にわたる貴重なデータを提供して下さった北海道開発局旭川開発建設部名寄河川事務所岩尾内ダム管理支所に感謝の意をここに記します。