

ダム上流域で発生した河水の集中流下による取水障害要因の検証

Study on Water Intake Problems at Dam from Intensive Flow of River Ice from Upstream

伊藤 丹* 吉川 泰弘** 黒田 保孝*** 村瀬 竜也****

Akashi ITO, Yasuhiro YOSHIKAWA, Yasutaka KURODA, Tatsuya MURASE

雪解けと雨の影響により流入量が急激に増加し、ダムの取水口が河水の集中流下に伴い閉塞し、取水障害を起こした事例が発生した。本研究では、このような取水障害を未然に防ぎ、冬季のダムの安全な維持管理に役立てるためこの現象の要因を分析した。この現象の直後に現地調査を行った結果、取水口上流域(以下、上流域)において解氷している状況が確認された。なお、この現象が発生する以前の上流域は結氷していたことから、上流域から河水が集中流下したことが確認された。また、気温・積雪深の気象データと河道測量データを分析した結果、これら気象特性と河道特性が相互に作用したことで河水の集中流下が発生したことが推察された。さらに、気温データを用いて、氷板の形成から融解までの過程を考慮した氷板厚の変動計算を行い、氷板厚の減少と氷の集中流下の関係について検討した。

《キーワード：結氷河川；取水障害；河水の集中流下；融雪；アイスジャム》

Mountain snowmelt in combination with rainfall substantially increased the water inflow. Thereby, the water intake of the dam got blocked with the intensive flow of river ice. The failures occurred in intake of the water as a consequence of it. This study analyzed factors in this phenomenon toward preventing such water intake difficulties and performing safe dam maintenance in winter. We performed a site investigation immediately after the phenomenon occurred, and we confirmed that ice cover on the river had broken on the upstream side of the intake ("the upstream"). The upstream water had been frozen over before the phenomenon occurred. From this, we understood that the ice had melted, broken and flowed downstream from there. We also analyzed the data on temperature and snow depth at the site, as well as on the water discharge at the river channel, and we estimated that the meteorological and river course characteristics of the river resulted in the intensive outflow of broken river ice. Furthermore, we calculated how ice sheet thickness varied from when it formed to when it melted by using the data on temperature to examine the relationship between the decrease in ice sheet thickness and the intensive flow of ice.

《Keywords : Frozen river ; Water intake difficulty ; Intensive flow of river ice ; Snowmelt ; Ice jam》

1. はじめに

2013年4月5日に日本海で急速に発達した低気圧ならびに6日に本州の南岸で発達した別の低気圧は、図-1に示すように7日夜から8日未明にかけて北海道の太平洋側でひとつにまとまり、発達しながら8日夜千島近海に達した。この低気圧の影響により、太平洋側を中心に大雨となり雪解けが進んだ。図-2にアメダスおよび北海道開発局が管理する雨量観測所の7日24時間降水量を用いた全道等雨量線図を示す。7日から8日にかけて、24時間降水量は網走管内宇登呂で145ミリに達した。大雨と融雪による影響を含めて北海道各地で住家被害128件(床上浸水6件、床下浸水49件)などが発生し、札幌市小金湯で81ミリに達し、国道230号の中山峠では土砂崩れも発生した。¹⁾

本報文の対象としたダムは流域面積126km²、総貯水容量1,598千m³の取水ダムである。

図-3に流況を示す。この雪解けと雨の影響により、7日から8日までの48時間降水量は35ミリとなり、6日24時に5.4m³/sであった流入量が7日8時には最大取水量である18.0m³/sに達した。このため、このダムから導水されているダム(以下、導水ダム)に導水する取水口(ダム堤体から1.2km上流左岸側に位置。以下、取水口)のゲートを閉じ、洪水吐きゲートから流入量と同量の放流を開始した。7日15時には流入量が71.5m³/sとなりピークに達した。ちょうどその頃、ダム管理支所では取水口のゲートの監視カメラが水没したため、取水口の天端(E.L.335.80m)において除塵作業を行っていた作業員にこの旨連絡した。作業員は、15時頃上流から「ドンドン」と物がぶつかる音がするので作業を中断し、高台に退避したところ、この直後に大量の水が押し寄せたということである。写真-1、写真-2に河水の集中流下時の取水口付近の状況を示した。結氷河川ではこのように解氷期に河水が下流へと流れ、滞留、閉塞する現象をアイスジャムと呼んでいる。11時38分に撮影された画像では河道は結氷し、その上に雪が堆積している状況が確認できる。一方、わずか4時間後の15時15分に撮影された画像では河水が集中流下している状況が確認でき、また、氷板が河道を埋め尽くして取水口は閉塞した。除塵作業に使われていた緑色の小型バックホウが水没している状況も確認できる。写真-3に示したとおり4月26日に行った取水口周辺の河水の痕跡調査によれば、堆積した河水は厚さ1.2mで水制工の天端(E.L.335.73m)から(E.L.336.93m)の高さまで上昇していた。2013年冬季は多

雪年であり、春先の天候が不安定な状況で今回の現象は発生した。後日の現地調査によって取水口手前の除塵用スクリーンを兼ねた浮き栈橋の損傷、浮き栈橋に据え付けられた監視カメラの破壊が確認された。また、この影響で取水機能に支障が生じ、導水および発電所の運転も24日間停止した。

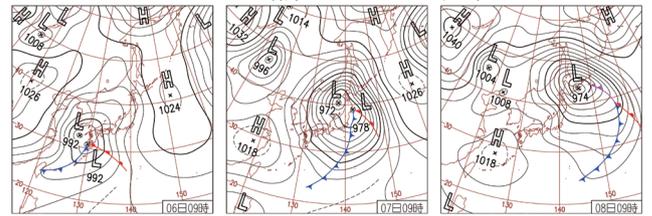


図-1 2013年4月6日、7日、8日の天気図
気象庁ホームページ気象統計情報日々の天気図より抜粋

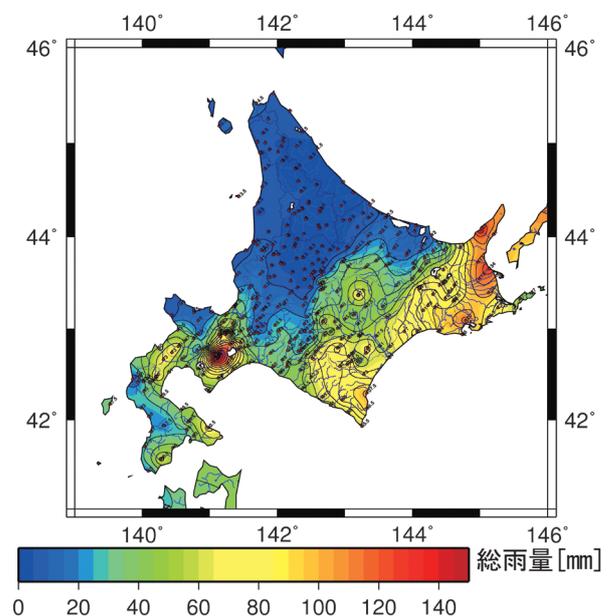


図-2 2013年4月7日の等雨量線図
北海道開発局の雨量観測所および気象庁のアメダスのデータを4月7日1時から24時まで集計

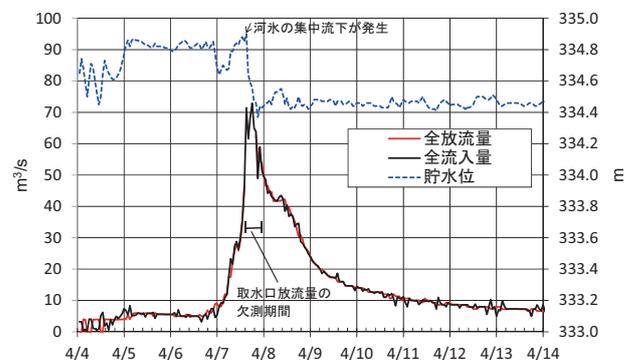


図-3 取水ダムの水位、流入量、放流量
流入量と貯水位は水の影響を含む



写真-1 取水口の状況
2013/4/7 ダム管理支所撮影



写真-2 河水の集中流下時の河道状況
ダム管理支所撮影、上：発生前、下：発生時

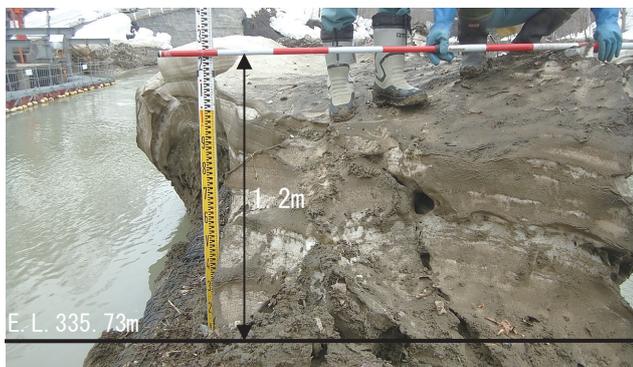


写真-3 取水口周辺に残された河水の痕跡
2013/4/26 ダム管理支所撮影

本研究では、このような取水障害を未然に防ぎ、冬季のダムの安全な維持管理に役立てるためこの現象の要因を分析した。この現象が発生する以前の取水口上流域(以下、上流域)は結氷しており、直後に実施した現地調査から、上流域が解氷している状況が確認されている。また、押し寄せたのが雪ではなく氷の塊であったことから上流域から河水が供給された可能性が高いと考えられた。流入量の変化が河水の集中流下の発生によるものであることを検証し、その要因について検討した。

2. 集中流下した河水の堆積状況

写真-4に河水の集中流下時の貯水池の状況を示す。取水口上流100m付近(1)(2)では上流方向は解氷していた。一方、下流方向は河水が堆積していた。取水口付近(3)(4)では上下流とも河水が堆積している状況であった。さらに下流の支川合流地点の対岸(5)では河水が破壊されずに結氷していた。取水ダムサイト(6)付近は解氷しており、流木止から上流は結氷している状況であった。これらの画像から推察すると河水の堆積範囲は上流方向には取水口上流100mまで、下流方向は少なくとも取水口下流200mまでは確認できた。したがって、集中流下した河水の先端部については、取水口下流200mから支川合流地点までの区間に存在していた可能性がある。

3. 河水の集中流下時の気象状況

3.1 気温、降水量、積雪深

ダムでは管理に資する目的で気象観測を行っている。ここでは、河水の集中流下の要因を気温、降水量、積雪深の2009年から2013年までの5ヶ年の傾向から分析する。吉川ら²⁾は北海道北東部の寒冷地に位置する渚滑川のアイスジャムに関する現地観測において、河水の流下の始まりは、気温の上昇により融雪が促されて融雪水が河川へと供給され流量が急激に増加したためと推察している。図-4は2009年から2013年までの5年間の3月1日から5月31日までの気温(日平均、最高、最低)、日降水量(雨雪別)、積雪深の推移を示したものである。ここで、平均処理する際の日の時間範囲は1時~24時とした。また、降水量の雨雪判別として、1時間毎の観測気温 T ($^{\circ}\text{C}$) を基に近藤ら³⁾に従い、 $T > 1.8^{\circ}\text{C}$ の場合を雨、 $T \leq 1.8^{\circ}\text{C}$ の場合を雪とした。なお、取水ダム地点の平均風速は 1m/s 程度であり、雨

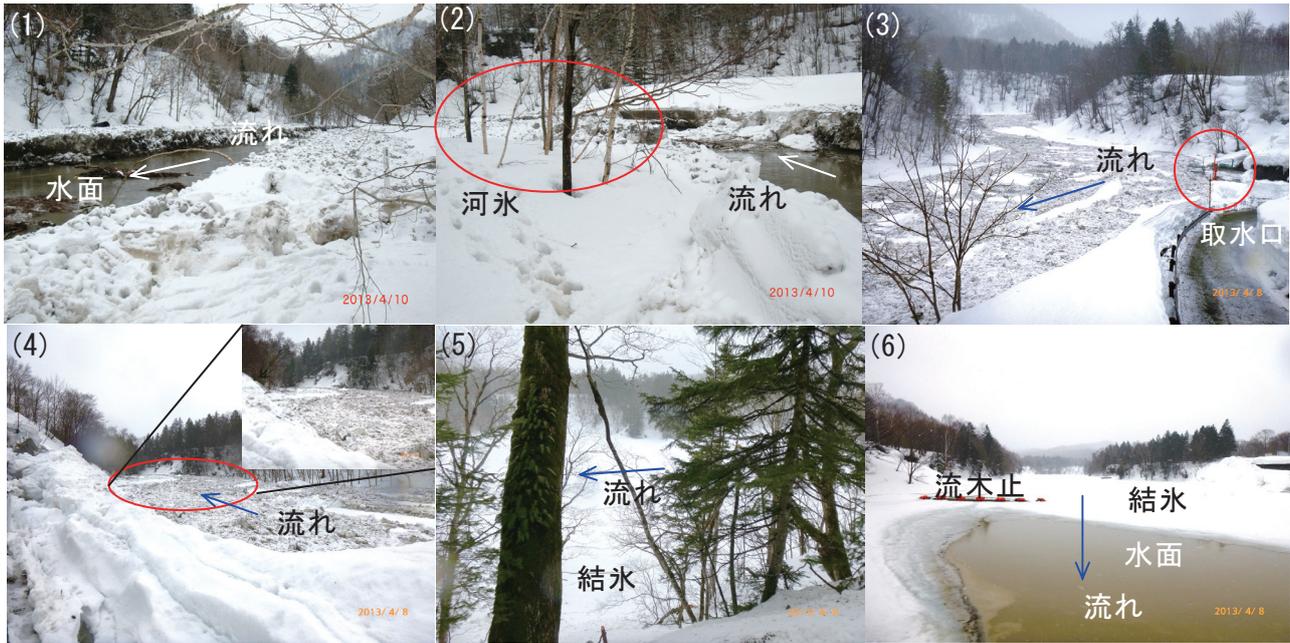


写真-4 河水の集中流下時の貯水池の様子

2013年4月8日から4月10日ダム管理支所撮影、(1)取水口より上流100m(上流方向)、(2)取水口より上流100m(下流方向)、(3)取水口付近(上流方向)、(4)取水口付近(下流方向)、(5)支川合流点(対岸から撮影)、(6)取水ダムサイト(上流方向)

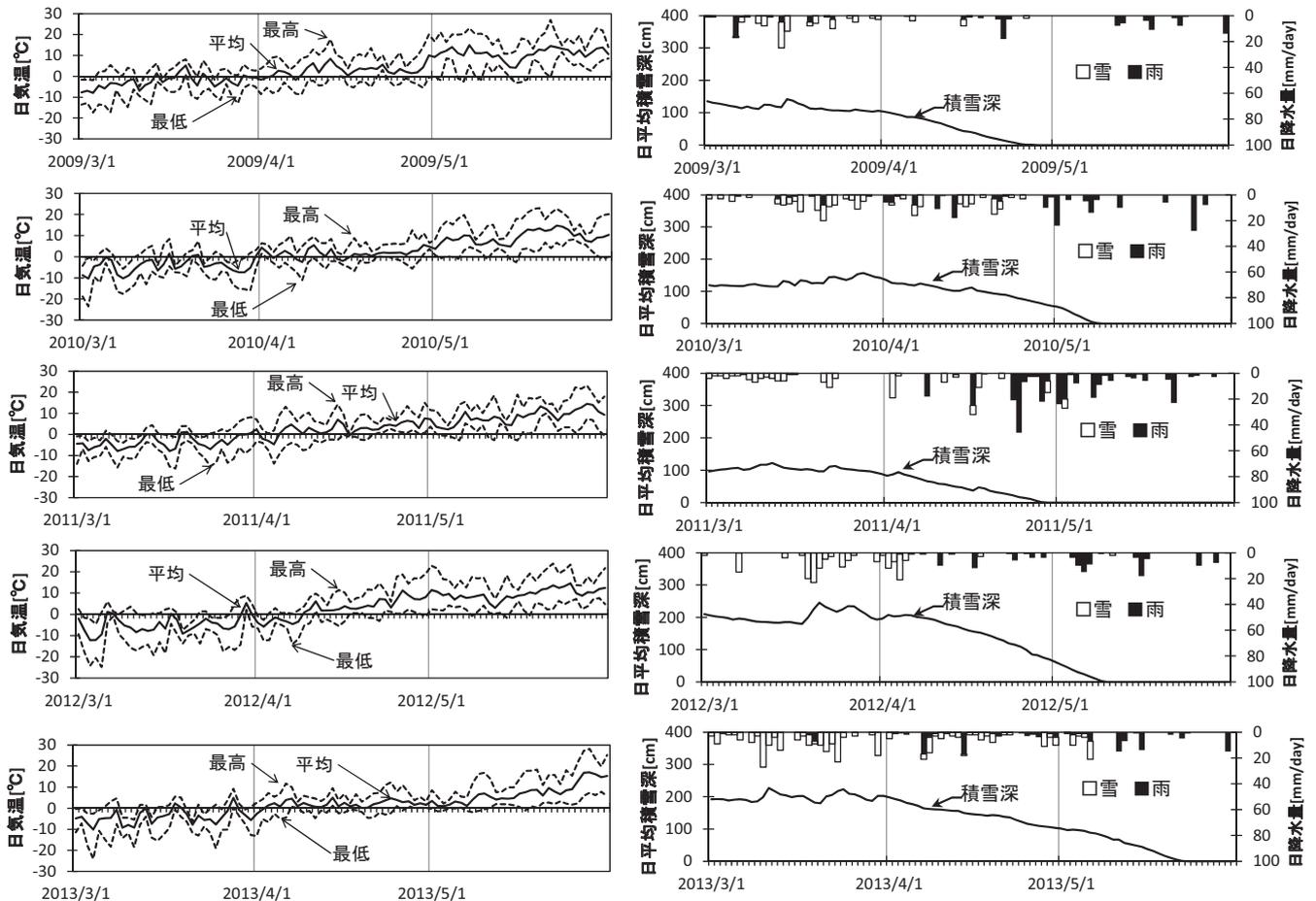


図-4 取水ダム地点の日気温、日降水量、積雪深
上から順に、2009年、2010年、2011年、2012年、2013年

表－ 1 4月1日から10日までの気象状況

	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
積算暖度[°C・day]	688	593	643	115	568
雨[mm]	1	31	18	1	25
雪[mm]	4	23	21	49	29
積雪深の積算値[cm・day]	877	1221	769	2011	1756

雪量計の補足率は無視した。河水が集中流下した4月上旬の気象状況について表－1に整理した。ここで、積算暖度(プラスの気温を積算した値)は、5年間の内、2012年が相対的に低い。降水量(雨)は、2010年と2013年が相対的に多い。積雪深は、2012年と2013年が突出して多い。したがって、5年間で見ると、2013年の4月上旬は積雪深が多い状況で、平年並みに暖かく、なおかつ、集中的に雨が降った状況と理解できる。

写真－5は河水が集中流下した翌日である4月8日から4月11日までの取水口周辺の河道の状況である。写真から4月10日までは河水が河道に存在していたが、11日には消失していたことがわかる。これは、河水の集中流下が発生した4月7日の平均気温は4.6℃と高めであったのに対し、4月8日で1.0℃、9日で2.5℃、10日で1.5℃、11日で0.7℃であったことから、この間集中流下した河水による閉塞が継続していたといえる。

3. 2 気温と積雪深の関係

2010年2月26日に、一級河川渚滑川で発生したアイスジャム現象において、直前にプラスの気温が続いていたことが報告されている²⁾。この現象は融雪期の前に起きており、アイスジャム発生前の河道は結氷し、河道内には多くの河水が存在していた。すなわち、河水の供給源となる積雪が多く存在する状況でプラスの気温が続いていたこととなる。そこで、2003年から2013年までの11ヶ年における4月上旬(4月1日から4月10日)の気温と積雪深の関係について検討した。図－5は横軸に日平均積雪深の積算値(cm・day)、縦軸にプラスの日平均気温の積算値(°C・day)を示した。図から2013年は11ヶ年平均と比べて気温が平均よりも高く、なおかつ、積雪深が2番目に多い。



(a) 2013年4月8日



(c) 2013年4月10日



(b) 2013年4月9日



(d) 2013年4月11日

写真－5 河水の集中流下と滞留、閉塞、解氷までの様子

4. 要因分析及び考察

次に、急激なダム流入量の変化が河水の集中流下の発生によるものかどうか、融雪を考慮した既往の流出解析モデルを用いて流出計算を行い、観測されたハイドログラフとの違いを比較検証した。

4. 1 流域平均融雪量

融雪期のダム湖への流入量を求める。取水ダムの流域面積は126km²である。流域平均の融雪量と降水量を入力値として、融雪流出計算を実施した。

融雪量の算出は、式(1)に示す気温を独立変数とする融雪係数法⁴⁾を用いた。この方法は気温のみから融雪量を計算するため、精度は高くないがこのダム流域のように気象観測項目が少ない地点においては有効である。

$$M = k_m(T - T_0) \quad (1) \quad M = \frac{\rho_s}{\rho_w} h_s \quad (2)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum(z_i A_i)}{A} \quad (3) \quad \bar{T} = T' - \lambda(\bar{z} - z') \quad (4)$$

ここで、 M [mm/hour]:融雪量、 k_m [mm/hour/°C]:融雪係数、 T [°C]:時刻気温、 T_0 [°C]:融雪が起こり得る対象期間中の最低時刻気温である。観測データは、積雪深が減少しはじめた2013年3月31日1時から4月14日24時までの期間とし、取水ダム地点の1時間毎のデータを用いた。 T_0 は小島ら⁵⁾に従い $T_0 = 0$ °Cとした。 k_m については式(2)をもとに融雪量 M を算出して求めた。

ここで、 h_s [mm/hour]は観測された積雪深の差を与え、雪の密度 ρ_s [kg/m³]は新目、山下⁶⁾に従い融雪期の値である500kg/m³、水の密度 ρ_w [kg/m³]は1,000kg/m³とした。

次に、算出した融雪量 M と観測値の時刻気温 T を式(1)に代入して、1時間毎に k_m を求め、その平均値0.27を得た。

さらに、流域平均融雪量を算出するため、国土地理院が公開している基盤地図情報⁷⁾(2009年の1/25,000地形図の等高線データ等を基に作成された数値標高モデル(DEM))10mメッシュ標高を基に式(3)から流域平均標高を求めた。ここで、 \bar{z} [m]:流域平均標高、 z_i [m]:標高、 A_i [m²]:標高 z_i の流域面積、 A [m²]:流域面積である。式(3)から、平均標高740.6mが得られた。次に、式(4)から気温の標高補正を行った。

ここで、 \bar{T} [°C]:流域平均気温、 T' [°C]:観測地

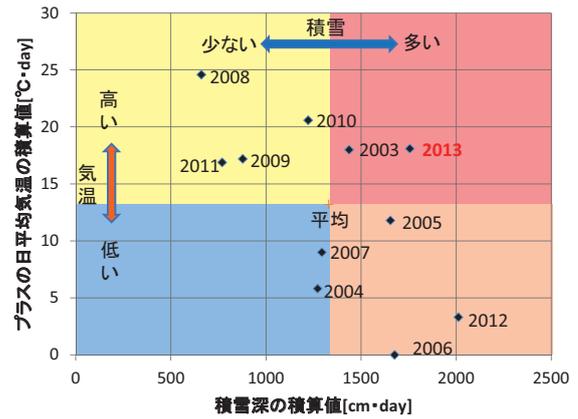


図-5 2003年から2013年までの気温と積雪深の関係
4月1日から10日までの値

表-2 流出計算のモデル定数

ダム	流域面積 (km ²)	C1	C2	C3
取水ダム	126.0	12.513	0.3014	1.0000
導水ダム	151.2	8.7216	0.2605	1.0000

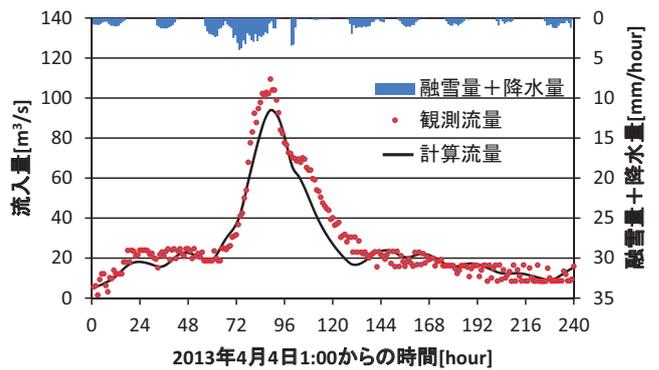
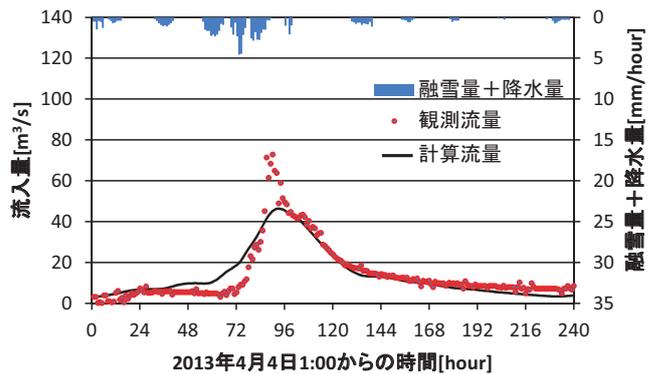


図-6 ダムへの流入量の観測値と計算値
上:取水ダム、下:導水ダム

点の気温、 λ [°C/m]:気温減率で0.006を与えた。 z' [m]:観測地点の標高とした。取水ダム地点の標高は343.0mである。式(4)から得られた流域平均気温 \bar{T} を、式(1)の T に代入して流域平均融雪量を算出した。

4. 2 融雪を考慮した流出計算による検証

計算期間は2013年4月4日1時から4月14日24時の240時間とした。流出計算は、式(1)から算出した流域平均融雪量と流域内で観測されている降水量を足した値を入力値として、星ら⁸⁾の損失項を含む貯留関数法(1段タンク型貯留関数モデル:単流域解析)を用いた。ここで降水の雨雪判別は、近藤ら³⁾に従い、時刻気温 $T > 1.8^{\circ}\text{C}$ の場合を雨とした。流出計算で最適化されたモデル定数を表-2に示す。C1はハイドロ形、C2はピーク時期、C3は流出率に関する値である。

流入量の観測値と計算値について比較するため、取水ダムと隣接する導水ダムを図-6に示す。ここで流入量の観測値とは、式(5)によって求められる値である。

$$Q = (V + q) / t \quad (5)$$

Q [m^3/s] : 流入量、 V [m^3] : 単位時間に増減した貯留量、 q [m^3] : 単位時間内の積算全放流量、 t : 単位時間 [s] である。なお、 V はあらかじめ H [m] : 貯水位との関係で作成しておいた H - V 曲線から求めておく。流入量が急激に変化した取水ダムでは、特にハイドロ立ち上がり及びピーク付近で観測値と計算値が一致していない。このことは、ハイドロ立ち上がりにおいて、流入が何らかの要因で遅れ、その後ピーク付近で集中的に流出するといった、通常の融雪とは異なる現象が起きた可能性を示唆している。対照的に流入量が急激な変化が無かった導水ダムでは、計算値は観測値を良く再現している。融雪を考慮した取水ダム計算流入量と観測流入量との較差をみると、ハイドロ立ち上がり部分において、4月6日21時(69時間目)から4月7日13時(85時間目)の16時間での流入量の較差は、541千 m^3 である。一方、ハイドロのピーク付近において、4月7日14時(86時間目)から4月7日21時(93時間目)の7時間において526千 m^3 に達している。

このことは、ハイドロ立ち上がり付近で、河水により河道が閉塞されていたものが急激に壊れて流量を集中的に増加させた可能性を示唆している。

4. 3 取水ダム貯水池の堆砂の特性

取水ダムの取水口前面の河床高の変化を図-7に示す。取水口の標高はE.L.332.50mである。取水ダムでは取水口の維持管理のため、年1回取水口から上流側で河道掘削を行っているが、それでも取水口前面の河床高は上昇傾向にあることがわかる。2012年8月と2013年5月を比較すると70cm程度上昇している。

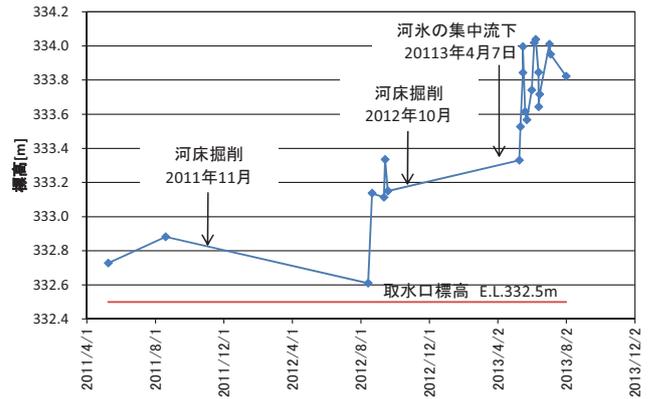


図-7 取水口前面の河床高経年変化図

4. 4 取水ダムの流入河川の河道特性

流入河川の冬期の縦断的な河床高と川幅について考察する。ここで横断測量データがないことから、前出のDEMを用い、200mピッチで河床高を読み取る。次に不等流計算を行い、川幅を求める。下流端水位の境界条件として冬期間の平均貯水位 $H=334.5\text{m}$ を与える。流量は冬期の貯水位運用を開始した2012年12月9日1時から日平均気温がマイナスからプラスに転じた2013年4月3日24時までの流量観測資料を基に、流入河川が下流の支川と合流する地点までのダム流域面積に対する流域面積率56%を乗じて Q [m^3/s] : 流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ を与える。この結果を図-8に示す。なお、2012年12月に実施された堆砂測量結果⁹⁾から求めた平均河床高も併記した。河床勾配を見ると落差工(KP1.42)を境に上流は急勾配で下流はほぼ平坦である。川幅は落差工で一旦広がった後、取水口で狭くなっている。吉川ら¹⁰⁾は天塩川の現地観測から河川結氷と河道特性との定性的な関係として、蛇行部などで緩勾配となる区間では流速が遅いため、上流から流下する河水が滞留および閉塞しやすいとしている。落差工の直下流では、河道が大きく蛇行し、川幅が狭まり、河床勾配がほぼ平坦となっていることから河水が滞留しやすい条件となっていたと考えられた。

4. 5 氷板厚の推定

取水ダムでは、水位が低下した4月10日に取水口周辺の現地踏査を実施している。この踏査では写真-4(1)(2)に示す取水口上流約100m付近の河岸において河水が融解していたことが確認されている。流入河川の全面結氷時の氷板厚は観測されていないが、隣接する導水ダム湖上流域での氷板厚は15cm~20cm程度である。吉川ら¹¹⁾は気温データのみから水温を計算

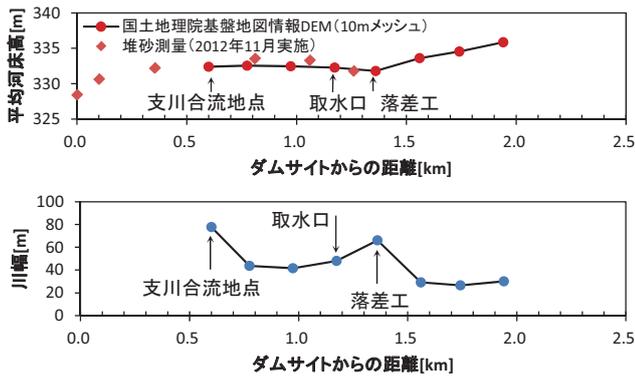


図-8 流入河川流域の縦断的な河床高と川幅

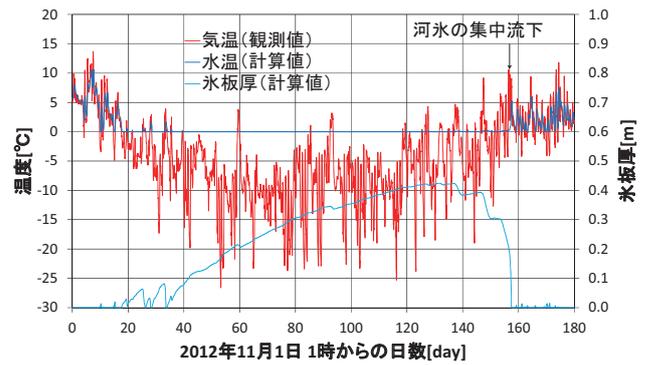


図-9 取水口の水温ならびに氷板厚の計算値

し氷板の厚さを求める実用的な氷板厚計算式を開発しており、この関係式を用いて結氷初期および解氷期の予測を試みる。吉川らの式を以下に示す。

$$h_i = h'_i - \left(\frac{65.2}{10^5}\right) \alpha \frac{T_a}{h'_i} - \left(\frac{45.8}{10^2}\right) \beta^{4/5} T_w h_w^{1/3} \quad (6)$$

$$\alpha = 0.906 - 2.770 \frac{I_b B}{h_w} \quad (7) \quad h_w = \left(n_b \frac{Q}{B(I_b)^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{u_w}{h_w^{2/3}} \quad (9) \quad u_w = \frac{Q}{B h_w} \quad (10)$$

$$T_w = \frac{T_a}{1+\gamma} + \frac{\gamma T'_w}{1+\gamma} \quad (11) \quad \gamma = \frac{h_w \rho_w C_p}{(1-N) h_{wa} \Delta t} \quad (12)$$

ここで、 h_i [m]：氷板厚、 h'_i [m] は Δt 前の氷板厚、 T_a [°C]：気温、 T_w [°C]：水温、 h_w [m]：有効水深、 I_b [無次元]：河床勾配、 B [m]：川幅、 u_w [m/s]：平均流速、 T'_w [°C] は Δt 前の水温、 ρ_w [kg/m³]：水の密度で999.84、 C_p [J/kg°C]：水の比熱で4200、 n_b [s/m^{1/3}]：河床粗度係数0.03、 h_{wa} [m]：水面の熱交換係数で20を与えた。 N ：無次元横断結氷比で川幅に対する結氷幅の割合であり $0 \leq N \leq 1$ である。また計算期間の代表流量として4章4節で与えた流入河川の Q [m³/s]：流量1 m³/sとした。また計算に用いる川幅も同様に4章4節で用いたDEMの横断データを用い、この期間の平均貯水位 $H=334.5$ mを基に B [m]：川幅44.38mを得た。河床勾配も4章4節で求めた平均河床高をもとに I_b [無次元]：河床勾配1/1500を与えた。ここで、 N の範囲を規定するために氷板厚の最大値を与える必要があるが、流入河川の氷板厚の観測値がないので導水ダム湖の氷板厚と同じと仮定し、 $h_{i \max} = 0.2$ mの場合は全面結氷したと仮定して $N = 0.99$ とした。

取水口(KP1.2)における水温および氷板厚の計算値を図-9に示す。なお、計算を安定させるため計算期間は2013年11月1日1時から2013年4月30日1時まで

の180日間とし、プラスの気温から計算した。

氷板厚に着目すると3月17日(136日目)に最大 $h_i = 0.42$ mとなり、4月1日(151日目)から急激に小さくなっており4月7日(157日目)にはゼロに近づいている。現地の写真からも4月11日(161日目)には河水が無くなっており、計算結果とほぼ一致している。4月7日(157日目)の氷板の集中流下は、氷板が短期間に急激に解氷する過程において発生したと推察される。

5. まとめ

2013年4月7日に取水ダム取水口において河水の集中流下による流入量の急激な変化が観測された。この現象について気象および河道特性を踏まえ検討した結果、明らかとなったことを以下に示す。

1) 気象

過去11年間で4月上旬の積雪深が2番目に多く、河水に供給される積雪量が多かったこと。2013年4月上旬の気温は11ヶ年で比較すると平年より高めに推移しており、このことが水温の変化に影響を及ぼし、河水の融解を急激に促進した。また、4月7日～8日の集中的な降雨も解氷の促進と流量の増加を促し、氷板を破壊して河水の集中流下を発生させた要因と考えられた。

さらに、河水の集中流下後に低い気温が継続していることから、流下した河水がすぐに融解されずに滞留し続け、およそ4日後に解氷に至ったと推察された。

2) 河道特性

取水口周辺は近年河床高が上昇傾向にあり、河床勾配が緩く、水深が浅くなっており、河水が滞留、閉塞しやすい条件下であったことが示唆された。

3) 河水の集中流下の検証

損失項を含む貯留関数法を用い、観測値および計算値を基に解析を行った結果、河水の集中流下に伴う増水規模として500千 m^3 のオーダーと見積もられた。

気温データのみから氷板厚を求めた結果、氷板厚が減少し始めてから消失するまでの10日間に河水の集中流下が発生した。気温と氷板厚を的確に現地で観測するとともに、融雪期の気温を週間天気予報などで推定し、式(6)に示した計算モデル式により氷板厚を推定することで積雪寒冷地の河川およびダムの防災管理に役立つことが示唆された。

吉川ら¹²⁾によれば2003年4月17日に北海道北部に位置する朱鞠内湖(雨竜第一ダム)において、わずか1~2時間でダムの設計洪水量に達する急激な増水が観測されたと報告されている。本報告は2013年と同様な気象パターンには注意が必要であることを示唆しており、対策を進めるうえで有意義な知見が得られた。このような現象は条件さえ揃えばどこにでも起こり得る現象であると考えられ、今後は、河水を考慮した水理実験解析等を行い、この現象について定量的な検討を進める予定である。

参考文献

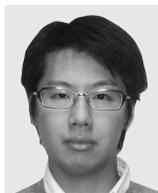
- 1) 札幌管区气象台：平成25年4月7日から8日の暴風と大雨及び融雪に関する気象速報、
<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/index.html>
- 2) 吉川泰弘，渡邊康玄，早川博，平井康幸：渚滑川のアイスジャムに関する現地観測，寒地土木研究所月報，No701，pp.2-9，2011.

- 3) 近藤純正，本谷研，松島大：新バケツモデルを用いた流域の土壤水分量，流出量，積雪水当量，及び河川水温の研究，天気，42，pp.11-21，1995.
- 4) IAHR, Section on Ice Problems : MULTILINGUAL ICE TERMINOLOGY, ADDENDUM I, Research Center for Water Resources Budapest , 1980.
- 5) 小島賢治，本山秀明，山田芳則：気温等単純な気象要素による融雪予測について，低温科学物理篇，42，pp.101-110，1983.
- 6) 新目竜一，山下彰司：積雪重量計を用いた冬季水文観測について，土木学会，水工学論文集，第52巻，pp.493-498，2008.
- 7) 国土地理院基盤地図情報サイト：
<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>
- 8) 北海道開発土木研究所，北海道河川防災研究センター：対話式洪水流出計算マニュアル，第2版，2005.
- 9) 平成24年度桂沢ダム堆砂測量外業務報告書：北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所，2013.
- 10) 吉川泰弘，渡邊康玄，早川博，平井康幸：寒地河川における河水変動と水位変化に関する研究，河川技術論文集，第16巻，pp.247-252，2010.
- 11) 吉川泰弘，渡邊康玄，早川博，平井康幸：結氷河川における解氷現象と実用的な氷板厚計算式の開発，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.1，pp.21-34，2012.
- 12) 吉川泰弘，秋山泰祐，山田知充，巖倉啓子：アイスダム決壊によるダム湖の流入流量の急激な増水，寒地土木研究所月報，No.689，pp.13-16，2010.



伊藤 丹*
ITO Akashi

北海道開発局
留萌開発建設部
部長
技術士(建設・総合)
(前 寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
寒地河川チーム
上席研究員)



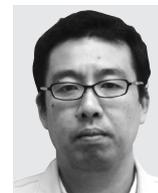
吉川 泰弘**
YOSHIKAWA Yasuhiro

北見工業大学
社会環境工学科
助教
博士(工学)



黒田 保孝***
KURODA Yasutaka

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
寒地河川チーム
主任研究員



村瀬 竜也****
MURASE Tatsuya

北海道開発局
札幌開発建設部
岩見沢河川事務所
係長