

2014年12月18日オソベツ川における 晶氷流下に伴うアイスジャム現象について

鳥谷部 寿人*1、岡部 博一*2、吉川 泰弘*3

2014年12月18日に低気圧に伴う大雪の影響により釧路川水系オソベツ川で雪由来の晶氷が大量に発生・流下し、アイスジャムが発生して水位が上昇した。

本研究では、晶氷発生計算モデルを用いて現地の気象・水文および調査に基づき、晶氷発生要因を明らかにした。また過年度にも冬期における急激な水位上昇が発生していることから、その要因について分析し、今回のアイスジャム現象との関連について比較した。

キーワード：晶氷、河川管理、オソベツ川

1. はじめに

北海道の結氷河川では、冬期において氷板、晶氷等の流下によって引き起こされるアイスジャムの発生が報告されている。この現象は、冬期間の水道用水や工業用水¹⁾、発電²⁾などの取水障害を引き起こし利水の安定的供給を脅かす大きな社会的リスクとして懸念される。また、2010年2月に渚滑川³⁾でもアイスジャムにより急激に水位が上昇した。近年冬の北海道でも大型低気圧のために吹雪による雪氷災害が発生しており、このような異常気象や温暖化による将来の気候変動がもたらすリスクを考えると、その発生要因等を調査・分析し、発生のメカニズムの解明、発生防止対策や被害軽減対策を立案する意義は大きい。

アイスジャムには河川解氷時の氷板の破壊と流下に起因するもの⁴⁾と、河川結氷初期の晶氷の増加と流下に起因するもの⁵⁾がある。2014年12月釧路川水系オソベツ川において暴風雪に伴う晶氷の増加によって写真-1のようなアイスジャムが発生した。冬期間の河川へのアクセスは限られており、このアイスジャムの材料となる晶氷がいつ、どのように発生したのかを整理し、水位上昇との関係を明らかにすることは冬期の河川管理を円滑に行う上で有意義な知見である。なお、晶氷の発生条件に関しては、晶氷発生計算モデル⁶⁾により、天塩川水系名寄川真勲別頭首工における現地観測において良好な結果が得られている。

本研究は、晶氷の増加によって発生したアイスジャム現象の解明を目的とする。はじめに現場の状況を確認するために行った気象・水文および現地調査について述べ、次に晶氷発生計算モデルを用いたアイスジャムの発生要因について述べる。最後に過年度の河川結氷初期の水位上昇とアイスジャム現象の関連について述べる。



写真-1 2014年12月18日 オソベツ川（釧路河川事務所撮影）



図-1 オソベツ川流域(1/50,000)

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 道東支所国立研究開発法人

*2 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム

*3 北見工業大学 社会環境工学科

2. アイスジャム発生時の状況

(1) 調査箇所

北海道東部を流れるオソベツ川は、**図-1**に示すとおり一級河川釧路川(幹線流路延長154km、流域面積2,510km²)の一次支川である。本川流路延長26.3km、流域面積168.2km²であり、釧路川KP37.2地点右岸で合流している。なお、釧路川のKP(キロポスト)は河口からの距離(km)である。また、釧路川との合流点は釧路湿原内の釧路川中流部に位置しており、河床勾配は釧路川合流点付近で1/1200程度、上流部で1/200程度である。

(2) 気象・水文

2014年12月17日釧路地方では948hPaまで急速に発達した低気圧により、16日夕方から18日夕方にかけて暴風雪警報が発令され、17日夜半から18日夕方にかけて大雪警報が発令された。オソベツ川に近いアメダス標茶観測所においてもその影響が観測された。アメダス標茶観測所の1時間当たりの気温、降雪・積雪、風向・風速と下オソベツ観測所(KP5.3)の10分水位を**図-2**に示す。なお、オソベツ川のKPは釧路川合流点(KP37.2)からの距離(km)である。気温は12月14日から16日にかけて日周期を繰り返しながらマイナスの値で推移していたが、低気圧の通過に伴い、17日から18日にかけては一日を通してほぼ0°Cに近い値を記録した。降雪深ならびに積雪深は、16日以前は0cmであったが、16日夜半から雪が降り始め17日には日降雪深が32cmとなり、積雪差日合計値としては観測史上4番目となる値を記録した。

(観測開始は1987年12月からで1番目は58cmで2004年12月5日)風向はこの時期南から西南西の風が卓越しているが、17日から18日まででは低気圧の移動に伴い、方角的には反時計回りに推移した。風速は16日午前中の平均で2.0m/s程度であったが、17日には日平均風速8.0m/s、18日には日平均風速5.2m/sの強い風が吹いていた。水位は14日0:00から17日7:00までは12月の平均水位(H=16.15m)程度であったが、17日の7:00から7:10までの10分間で13cm上昇した。その後も水位の上昇が続き、18日7:20に16.63mだった水位がピーク時の7:50に

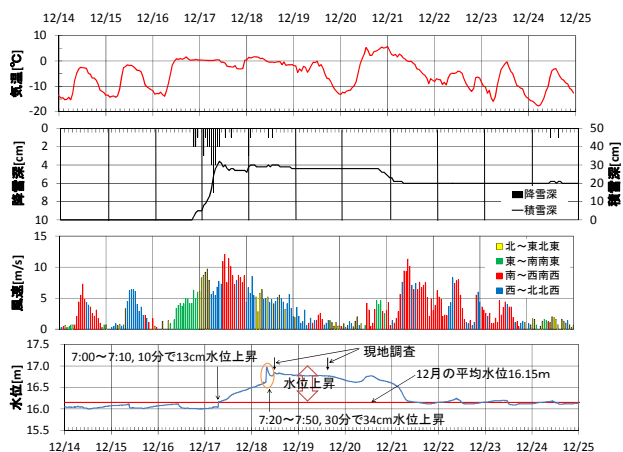


図-2 気温、降雪深・積雪深、風向・風速、水位
(2014年12月14日から24日)

は16.97mに達しており、この30分間で34cmの急激な水位上昇を記録した。なお、水位はいずれも暫定値である。

(3) 現地の状況

図-3に調査箇所を示す。**写真-2**に河道の状況を示した。①合流部KP0.2と④恵橋KP8.0で河氷は確認されていない。②下オソベツ橋KP3.0、③厚生橋KP5.4は18日13時において上下流方向に晶氷が滞留していた。また、厚生橋KP5.4下流の下オソベツ観測所(KP5.3)における18日13時において水位(16.82m)はピーク時と比べて15cm低下していた。なお、すべての調査箇所において河道を覆うような氷板は確認されていない。

写真-3に河道踏査範囲の河道状況を示す。18日正午過ぎに下オソベツ観測所(KP5.3)から下流方向に向かって河道を調べた。KP5.2、KP5.0ではともに河氷が河道内に滞留あるいは堆積している状況が確認された。また、両河岸ともに樹木が繁茂しており、17日に大量に積もった雪の重みで樹幹が折れ、河道内に倒れこんでいる状況が確認できた。また上流側に向けて撮影した画像の枝に雪の痕跡がある一方で下流側に向けて撮影した画像にはないことから、降雪時は上流から下流に向かって強い風が吹

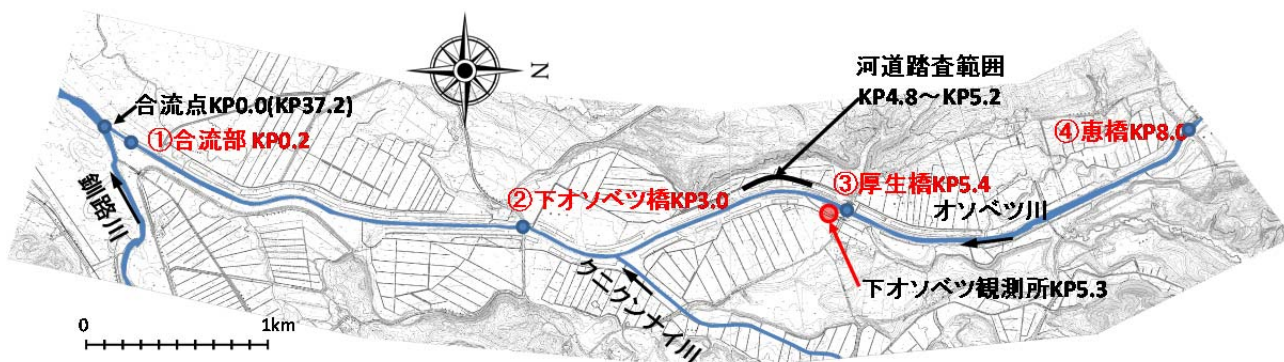


図-3 調査箇所(1/2,500)

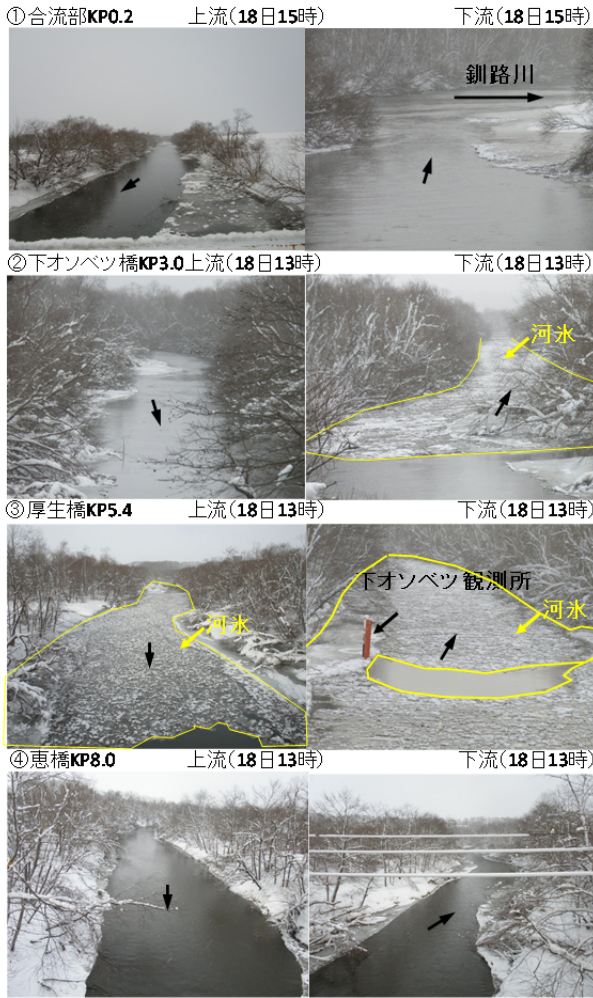


写真-2 河道の状況 (前道東支所佐藤氏撮影)

いていたと推察された。なお、KP4.8では河道内に河水は確認されなかった。

3. 晶氷の発生とアイスジャム現象

調査を行った結果、一時的に大量に降った雪や吹雪による雪が河川に供給され、雪由来の晶氷が大量に発生し、アイスジャムを引き起こしたことが考えられた。そこで、晶氷発生計算モデルを用いて晶氷の大量発生とアイスジャム現象の関係について検討を進めた。

(1) 晶氷発生計算モデル

晶氷発生計算モデル⁹⁾は、以下の開水面における熱収支と降雪の影響を考慮したモデルを用いた。

$$\frac{dh_f}{dt} = \frac{-\phi_s + \phi_b}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} + \frac{\phi_e + \phi_c}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} + \frac{(1 - \lambda_a) dh_a}{(1 - \lambda_f) dt} + \frac{\rho_s}{\rho_i (1 - \lambda_f)} \frac{dh_s}{dt} + \frac{-\phi_w}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} \quad (1)$$

ρ_i [kg/m³] : 氷の密度、 ρ_s [kg/m³] : 雪の密度、 λ_a [無次元] : アンカーアイスの空隙率、 λ_f [無次元] : 晶氷の空隙率、 t [sec] : 時間、 L_i [J/kg] : 氷の潜熱、 h [m] : 厚さ。添え字は各層の値であり、sは

KP5.2の下流側 12/18 12:20



KP5.0の上流側 12/18 12:37



KP4.8の下流側 12/18 12:45



写真-3 河岸の状況 (北開水工コンサルタント撮影)

表-1 吹雪の発生条件

降雪有	$0 > T > -5$	かつ	$U_7 \geq 6.0$	かつ	$Sd \geq 1\text{cm}$
	$T \leq -5$	かつ	$U_7 \geq 5.0$	かつ	$Sd \geq 1\text{cm}$
降雪無	$0 > T > -5$	かつ	$U_7 \geq 11.0$	かつ	$Sd \geq 1\text{cm}$
	$T \leq -5$	かつ	$U_7 \geq 10.0$	かつ	$Sd \geq 1\text{cm}$

降雪、 a はアンカーアイス、 f は河川内の晶氷である。 ϕ [W/m²] : 熱フラックスであり、 ϕ_s : 短波放射量、 ϕ_b : 長波放射量、 ϕ_e : 潜熱フラックス、 ϕ_c : 顕熱フラックス、 ϕ_w : 流水から晶氷への熱フラックスである。各値の計算方法は既往文献⁹⁾と同じにした。本計算モデルの入力値は、気温、風速、日照時間、降雪深、河川の水深、河川の流速、対象地点の緯度である。

(2) 吹雪による雪の供給について

アメダス標茶観測所では12月18日の気温は低く、日平均風速 5.2m/s が観測されている。さらに、写真-1 な

らびに写真-3 から量水標や周辺の樹木に上流方向から吹き込んだとみられる積雪が確認された。降雪以外にも吹雪により雪が水面に運ばれた可能性が考えられる。晶氷発生計算モデルには吹雪による気象現象は考慮されていない。本研究では、あらたに吹雪による河川への晶氷の増加について、晶氷発生計算モデルに組み込んだ。松澤ら⁸⁾は観測から得られた風速と吹雪量の経験式から飽和状態の吹雪量を式(2)で示している。

$$Q = 0.005U_{1.2}^4 \quad (2)$$

Q [g/m/s]:吹雪量、 $U_{1.2}$ [m/s]:高さ1.2mの風速である。

吹雪量として供給される雪は降雪と積雪である。風速が速い場合でも、降雪や雪面からの雪が供給されなければ吹雪は発生しない。吹雪の発生条件は表-1に示す竹内⁹⁾による気温と風速による吹雪発生条件の判定に基づくものとした。著者ら¹⁰⁾は降雪時の吹雪の判定において降雪終了からの継続時間を考慮しているが、次章で過年度の現象と比べるため、ここでは簡便に、降雪の有無に着目して吹雪量を推定した。ここで T [°C]:気温、 U_7 [m/s]:高さ7.0mの風速、 Sd :積雪深[cm]である。また、風速分布は以下の対数則¹¹⁾を用いた。

$$U = \frac{u^*}{\kappa} \left(\ln \frac{z}{z_0} \right) \quad (3)$$

U [m/s]:風速、 u^* [m/s]:摩擦速度、 κ :カルマン定数(0.4)、 z [m]:高度、 z_0 [m]:粗度は周辺の土地利用状況より畑・草地0.1~0.3の中央値0.2として与えた。

式(2)で得られた吹雪量 Q を降雪相当に換算して晶氷発生計算モデルに組み込む手法を記す。前提条件として、吹雪によって運ばれる雪はすべて河道に供給されたと仮定した。雪の密度について谷瀬ら¹²⁾は、積雪深計と積雪重量計を用いた雪の密度の観測を行い、雪の密度は降雪後の気温変化や圧密に伴い時間と共に変化することを観測しており、観測結果から降雪直後の雪の密度は 100kg/m^3 程度の結果を得ている。例えば吹雪量 $Q=1\text{g/m/s}$ の場合、10分間の累計吹雪量は 0.6kg/m であり、雪の密度を 100kg/m^3 として体積に置き換えると雪の体積は $0.006\text{m}^3/\text{m}$ となる。これをcm単位にして高さの次元で表すと 0.6cm となる。このようにして10分累計吹雪高 H_s [cm]を求めた。なお、(2)式は樹木の無い場合における吹雪の経験式であるため、河畔林による吹雪の捕捉は考慮されていない。本研究では枝に残された雪の痕跡から卓越した風は上流方向であり、河畔林による影響は少ないと考えた。なお、定量的な評価を行う場合は別途、現地観測あるいは実験等により捕捉率を考慮する必要がある。

(3) アイスジャム発生時の晶氷の増加

本計算モデルを用いてアイスジャム発生時の晶氷の発生量を推定した。計算モデルの気象データ入力値は、アメダス標茶観測所の値を用いた。気温・風速は10分ごとの値とし、日照時間は1時間ごとの値を10分ごとの

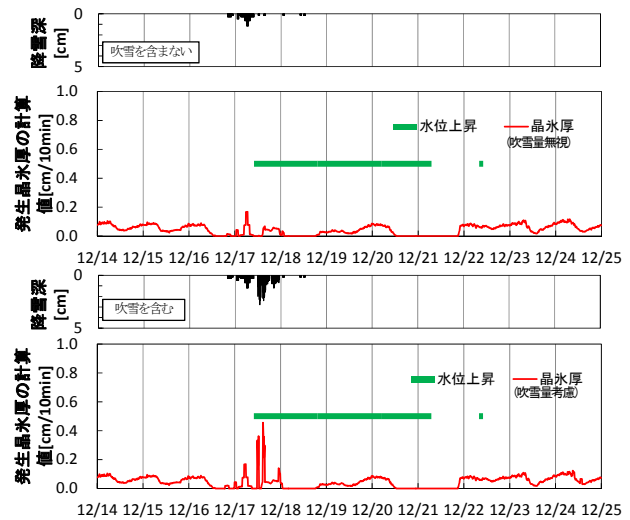


図-4 晶氷発生計算モデルによる計算結果

(上段:吹雪を考慮しない 下段:吹雪を考慮した)

値とした。降雪深は、1時間ごとの値を10分単位で等分した値と、式(2)から求められた10分累計吹雪量 Q を基に計算した10分累計吹雪高 H_s を加えた値とした。水理データは12月3日、11日、22日に下オソベツ観測所で行なった定期流量観測値を用いた。この値を平均して断面平均流速 0.573m/s 、断面平均水深 0.303m の入力値とした。対象地点の緯度としてアメダス標茶観測所の緯度(北緯 43.30°)を与えた。なお、アンカーアイスは水温が 0°C 以下の過冷却状態において最低気温約 -10°C 以下の時に発生する¹³⁾とされており、今回は低気圧の通過に伴い、気温がアイスジャム発生前では、 0°C 付近であったことからアンカーアイスは発生していないと仮定して、無視した。

平成26年12月14日0:10からの晶氷発生計算モデルによる発生晶氷厚の計算結果を図-4に示す。図中に吹雪量を考慮した場合としない場合の発生晶氷厚と降雪深の計算結果ならびに水位上昇期間を示した。水位上昇期間は平成26年12月の平均水位(16.15m)より水位が高い期間とした。下オソベツ観測所の水位は12月17日7:00から上昇し始め、12月18日7:50にピークを迎えている。

発生晶氷厚の計算値の平均はいずれも $0.04\text{cm}/10\text{min}$ であるが、最大値で比較すると吹雪量を考慮した場合は平均の約12倍の $0.50\text{cm}/10\text{min}$ (12月17日14:50)であった。一方で吹雪量を考慮しない場合の最大値は平均の約4倍の $0.17\text{cm}/\text{min}$ (12月17日6:30)であり、吹雪量を考慮することで、水位上昇期間の発生晶氷厚が増加しアイスジャムが発生したことがわかった。

4. 冬期の水位上昇に関する経年比較

(1) 冬期の水位トレンド

下オソベツ観測所の冬期間(12月から翌年3月末まで)の11ヶ年分の時刻水位を比べたものを図-5に示す。図-5

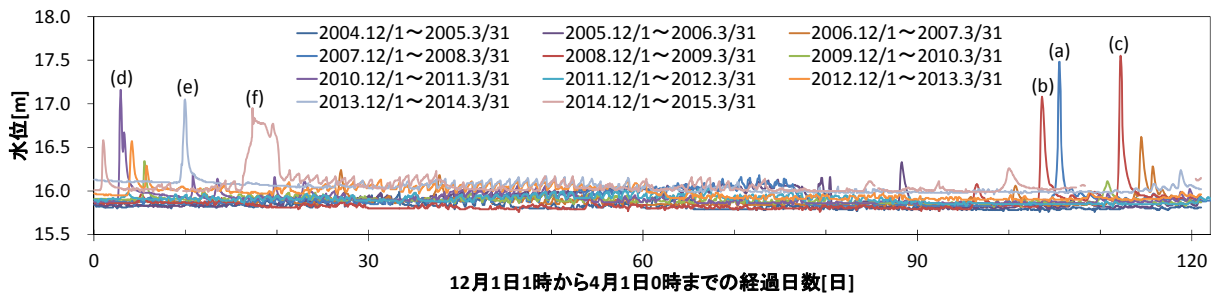


図-5 下オソベツ観測所水位の経年比較

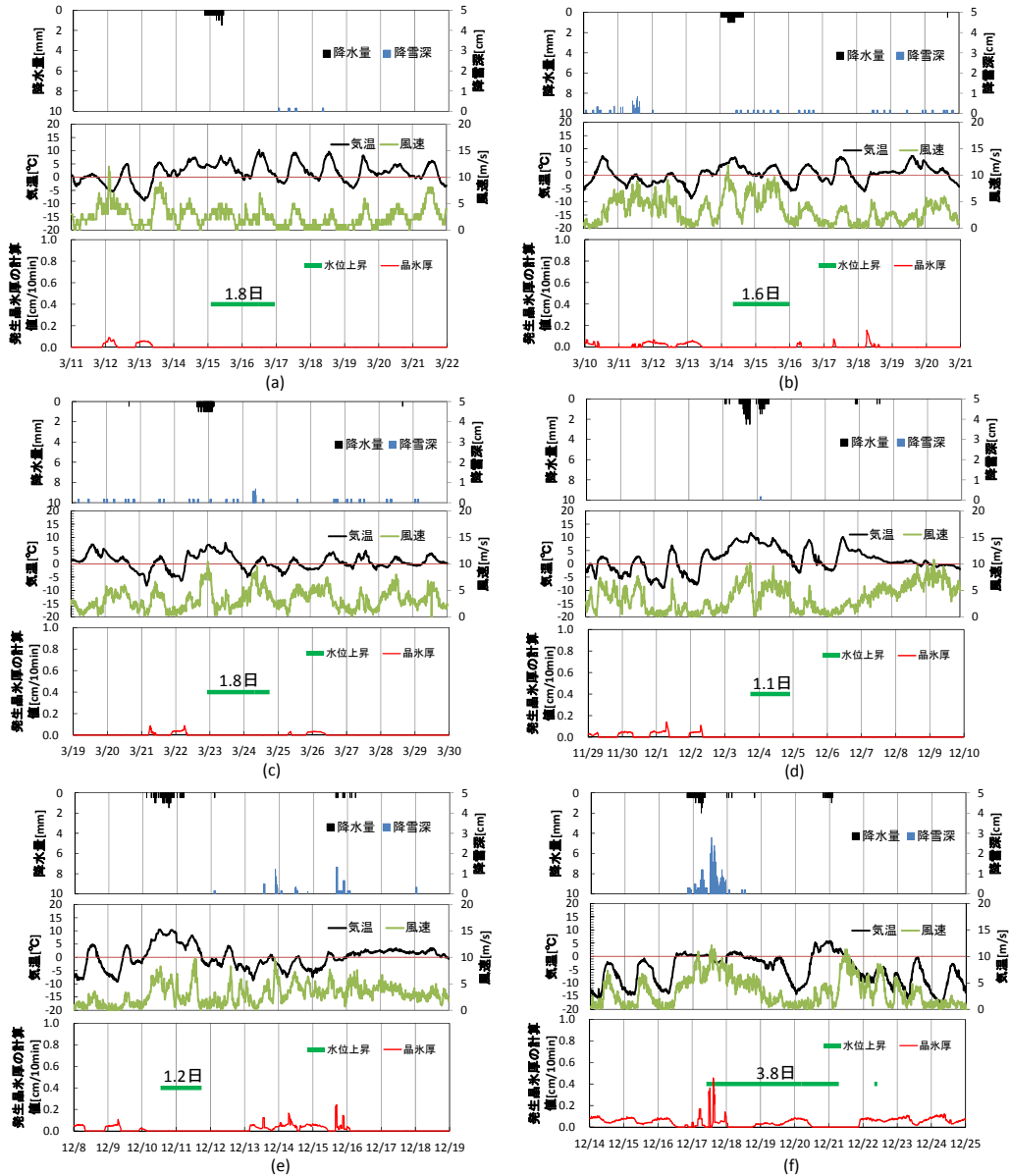


図-6 冬期の水位上昇の経年比較

(a)2008年, (b)と(c)2009年, (d)2010年, (e)2013年, (f)2014年

から(f) 2014年12月18日のピーク水位16.97mを上回ったのは(a) 2008年3月15日 (17.48m)、(b) 2009年3月14日 (17.05m)、(c)2009年3月23日 (17.55m)、(d)2010年12月3日 (17.08m)、(e) 2013年12月11日 (17.01m) であり、12月に2回、3月に3回発生している。ちなみに各年の定期流量観測資料によれば、全面結氷に至った記録はない。次に、この水位上昇はどのようなことが要因となって発

生じたのかについて、先程の晶氷発生計算モデルや気象データ等を用いて推定した。

(2) 冬期の水位上昇の要因

図-5の(a)~(f)について、高水位を含む前後11日間のアメダス標茶の降水量、降雪深、気温、風速、ならびに発生晶氷厚の計算値、下オソベツ観測所の水位上昇期間を

図-6に示した。なお、ここでは水位上昇期間に着目しており、この間の気温はほぼ0°Cであったことから、晶氷発生計算モデルにおいてアンカーアイス由来の晶氷は考慮していない。しかし、厳冬期においてアンカーアイスが大量に発生した場合、河積を狭め、また、融けて河水となって集中流下し、流れの阻害要因となることが考えられるので、今後はアンカーアイスの発生についても注視していく必要がある。(a)~(d)の水位上昇期間に共通しているのはまとまった降水量と気温の上昇である。一方で発生晶氷厚の計算値はほぼ0となっていた。(f)の水位上昇期間はまとまった降雪と氷点下の気温が観測されており、発生晶氷厚の計算値も増加している。その後12月20日11:40から気温はプラスに転じ、21日0:30に最高気温+5.8°Cまで上昇している。この気温上昇でアイスジャムが解消されるまで高水位は継続しており、過年度とは異なる現象が発生した。しかしながら、下オソベツ観測所の下流域の河床勾配は1/1200程度であり、上流域の1/600~1/200より緩勾配となっている。とりわけ冬期間は流量が減り水深も浅くなることから、ひとたび同じような気象条件が整えばアイスジャムが起きやすい区間といえる。

5. まとめ

オソベツ川における晶氷流下に伴うアイスジャム現象について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 大型低気圧による暴風雪由来の晶氷が大量に発生したことでアイスジャムによる水位上昇が発生した。経年的な違いを比較すると、降雨や融雪による高水位継続期間が5ヶ年の平均で1.5日なのに対し、アイスジャムによる高水位継続日数は3.8日であり、その差は約2.5倍であったことが示された。
- 2) 晶氷発生計算モデルに吹雪の影響を取り込むことで、水位上昇に影響を及ぼす晶氷の増加を再現できた。
- 3) 雪由来のアイスジャムが発生する条件として、気温が氷点下以下であること、降雪時は平均風速で5mもしくは6m以上の風があること、降雪がない場合は10mもしくは11mの風があること、全面結氷していないことがあげられた。

2014年12月の水位上昇は近年の異常気象や気候変動によって引き起こされるリスクの一つとして考えられ、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いる。今回得られた知見は、アイスジャムの発生防止対策や被害軽減対策について適用可能なものである。アイスジャム現象は条件さえ揃えば結氷河川において常に起こり得るといえる。今回は11ヶ年分のデータを比較することで、アイスジャムによる水位上昇の違いについて明らかにしたが、今後はさらに過去のデータについても見ていく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、前任の佐藤好茂氏（現帯広河川事務所）、釧路河川事務所山崎猛氏（現池田河川事務所）、北開水工コンサルタント加藤三明氏から当時の貴重な資料を提供していただきました。寒地土木研究所雪氷チーム松澤勝博士には吹雪の発生現象について助言を頂きました。福田水文センター鈴木広卓氏には観測資料を提供して頂きました。北海道開発局釧路開発建設部の関係職員の皆様には資料の提供ならびに助言を頂きました。北開水工コンサルタント釧路支店の皆様には現地調査にご協力をいただきました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 入交泰文, 吉川泰弘, 黒田保孝: 天塩川水系名寄川真敷別頭首工における晶氷の発生について, 第58回(平成26年度)北海道開発技術研究発表会, 2015.
- 2) 中田満洋, 菊谷智孝: 結氷河川における取水確保対策について—永山床止めからの安定取水確保対策—, 第45回(平成13年度)北海道開発技術研究発表会, 2002.
- 3) 伊藤丹, 吉川泰弘, 黒田保孝, 村瀬竜也: 2013年4月にAダムで発生したアイスジャムによる取水障害, 土木学会北海道支部論文報告集, 第70号, 2013.
- 4) 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.
- 5) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸: 河川解氷時の河水の破壊と流下に関する研究, 水工学論文集, 第55巻, pp.S_1075-S_1080, 2011.
- 6) 吉川泰弘, 黒田保孝, 橋場雅弘, 入交泰文: 寒冷地河川における晶氷発生計算モデルの開発と取水障害の発生条件, 水工学論文集, Vol.59, pp.1327-1332, 2015.
- 7) 吉川泰弘, 黒田保孝, 伊藤丹, 渡邊康玄: 結氷河川における河道形状を考慮したアイスジャム発生条件に関する研究, 河川技術論文集第20巻, pp.241-246, 2014.
- 8) 松澤勝, 金子学, 伊東靖彦, 上田真代, 武知洋太: 風速と吹雪量の経験式の適用に関する一考察, 第26回寒地技術シンポジウム, pp.45-48, 2010.
- 9) 竹内政夫: 降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速, 昭和61年度日本雪氷学会全国大会予稿集, pp.252, 1986.
- 10) 鳥谷部寿人, 吉川泰弘, 阿部孝章, 黒田保孝, 船木淳悟, 佐藤好茂, 津村喜武: オソベツ川における吹雪による晶氷増加とアイスジャム発生危険箇所の抽出に関する研究, 水工学論文集, Vol.60, 2016. (投稿中)
- 11) 近藤純正ホームページ, URL: <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke01.html>(参照日2015年7月2日)
- 12) 谷瀬敦, 山下彰司: 積雪重量計を用いた積雪層の観測について, 水工学論文集, 第51巻, pp.355-360, 2007.
- 13) 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.

