

2020年3月網走川アイスジャムの現地観測と 発生危険箇所の抽出

FIELD OBSERVATIONS AND EXTRACTION OF RISK AREAS ON ICE JAM IN THE ABASHIRI RIVER IN MARCH 2020

奥山ほのか¹・吉川泰弘²・横山洋³

Honoka OKUYAMA, Yasuhiro YOSHIKAWA and Hiroshi YOKOYAMA

¹学生会員 北見工業大学大学院 工学専攻 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

²正会員 工博 北見工業大学准教授 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

³正会員 工博 寒地土木研究所 水環境保全チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

2020年3月にまとまった降雨と気温上昇により網走川でアイスジャムが発生した。このアイスジャム現象について、既存施設の複数のCCTV画像により、河氷の破壊、流下、堆積、決壊、再流下、再堆積が撮影された。津別観測所におけるCCTV画像からPIV解析を用いて河氷の流下速度を算出し、現象の解明を試みた。アイスジャムスケールを求め、実際のアイスジャム発生箇所と比較を行った。本研究の現地観測により、CCTVによる画像から、河氷の流下速度はアイスジャムの堆積時に最大値2.7m/s、決壊時に最大値3.5m/sであり、決壊時の方が速いことが分かった。また、実際のアイスジャム発生箇所を、アイスジャムスケールにより抽出出来ることを確認した。

Key Words: ice jam, Sij, field observation, Abashiri, Hokkaido

1. はじめに

寒冷地の河川は、冬期に結氷する。結氷した河川は春先の気温上昇に伴い解氷する。これらの河氷変動の過程は①河氷の形成、②河氷の解氷、③河氷の流下、④河氷の堆積、⑤堆積した河氷の決壊、⑥河氷の再流下、⑦河氷の再堆積に区分することが出来る。④の河氷が河川内に堆積する現象をアイスジャム¹⁾と言う。アイスジャムにより氾濫した川の水が大地に栄養を与え、干し草の生産に役立っている。このようにプラスの影響を与えているという事例²⁾がある。一方で、アイスジャムは人的・物的な被害を引き起こす。北海道では、水位上昇³⁾や氾濫³⁾、取水障害⁴⁾、死亡事故⁵⁾等が発生する。これらのアイスジャムによる被害を防ぐためには、いつでもどこのように、どのくらいの規模で発生するのかを事前に推定する技術が求められており、そのためには現象の解明が必要である。

アイスジャム現象の「いつ」については精度の課題が残るものの、既往研究⁶⁾から氷板厚計算式による氷板厚の減少期に基づいて推定が試みられている。「どこ」については、現地観測結果³⁾から砂州、蛇行・湾岸部、勾

配変化点、河川構造物、本川合流点付近といった流れが遅くなる場所で発生することが分かっている。発生危険箇所を抽出する方法については、検証箇所が少ないため検証を重ねる必要があるが、アイスジャムスケールが提案⁶⁾されている。アイスジャムスケールは河川管理に役立つ。一例として、アイスジャム発生前にアイスジャム発生危険箇所が分かることから、事前に除雪作業が出来る。その為、アイスジャム発生時に早急に現場へ向かうことが可能となる。「どのように」については、アイスジャムの破壊・流下・堆積の現地観測⁷⁾に成功しているが、縦断的な観測、再流下・再堆積については、観測されていない。「どのくらいの規模」については、水理実験⁸⁾からアイスジャムによる水深の上昇はアイスジャム発生前の初期水深に対してアイスジャム発生後は約3倍と同程度であることが分かっている。また、再現計算⁹⁾から狭窄部では河氷が堆積されるため、アイスジャムの規模を大きくする要因となることが分かっている。

本研究は、2020年3月に網走川において河氷の破壊・流下・堆積・決壊・再流下・再堆積を観測することに成功した。これらを解析することによりアイスジャム現象の解明を試みた。アイスジャム発生箇所とアイスジャムスケールを比較し考察することで、アイスジャムスケール

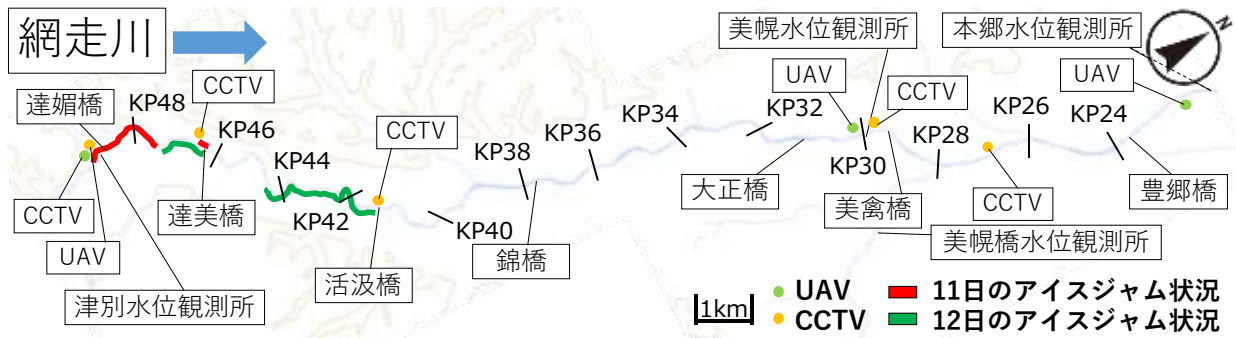
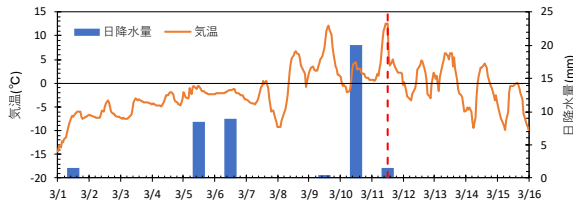
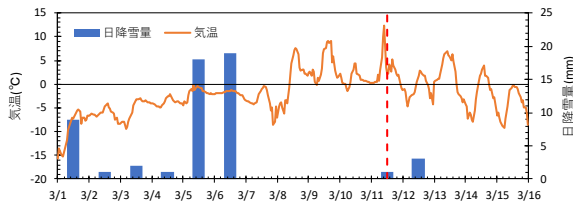


図-1 網走川の観測状況 (KP22からKP49)

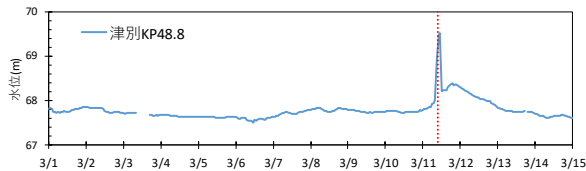


(a) 津別観測所

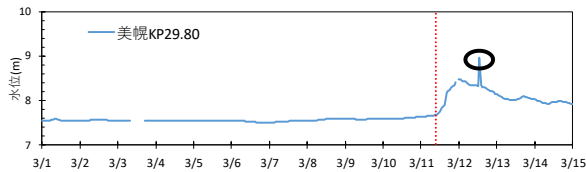


(b) 女満別観測所

図-2 アイスジャム発生前後の気象 (2020年)



(a) 津別水位観測所



(b) 美幌水位観測所

図-3 網走川の観測水位 (2020年)

ルの適用性を確認した。

2. 現地観測・現地踏査

(1) 現地観測

2020年3月に網走川で発生したアイスジャムについて、複数の定点カメラの映像から河水の破壊、流下、堆積、再流下、再堆積を撮影することができた。また、図-1に示す観測所の観測水位、UAV画像、CCTV画像、気

象データ、流下速度のデータを整理しアイスジャム現象の解明を試みた。

a) アイスジャム発生前後の気象

図-2は2020年3月1日から3月16日における津別観測所、女満別観測所の気温および日降水量、日降雪量である。津別観測所付近では3月11日9時から12時の間にアイスジャムが発生している。図-2にアイスジャム発生時である3月11日11時を赤破線で示す。気温は3月8日を境界とし、プラスとなっている。9日および11日の最高気温は9℃以上であった。アイスジャム発生前日の日降水量は20mmに達した。また、気温がプラスであること、女満別観測所の日降雪量が0mmであることから津別観測所での降水は雨であると推測できる。したがって、8日から11日にかけて気温が上昇し、アイスジャム前日に降水量が増加したことにより、河水が解氷し流下して、堆積したことでアイスジャムが発生したと考えられる。

b) 観測水位

図-3は2020年3月1日から3月15日の津別水位観測所 (KP48.8)、美幌水位観測所 (KP29.8) の水位である。またKPとは河口からの距離である。図-3にアイスジャム発生時の3月11日11時を赤破線で示す。津別観測所では3月11日11時に最高水位69.52mを記録しており、3時間で約1.5m水位が上昇している。美幌観測所では3月12日13時に最高水位8.96mを記録し、1時間で0.64m上昇している。美幌観測所では3月11日18時頃から平常時水位より高くなっている。津別観測所での急激な水位上昇の原因は、現地観測から河水の堆積によるものだと考えられる。一方、美幌観測所での水位の上昇は出水によるものだと考えられる。美幌観測所で3月12日13時に一時的に水位が0.64m上昇している。原因はCCTV映像より美禽橋 (KP29.7) で12日13時頃、美禽樋門 (KP27.2) で12日13時半頃に河水流下が確認できたことから、河水の流下により水位が一時的に上昇したと考えられる。

c) UAVによる観測

3月9日、11日、12日に網走川でUAVにおける空撮を行った。空撮映像からアイスジャムの下流端と上流端を確認した。アイスジャム確認区間を図-1に示す。11日のアイスジャム確認区間を赤線で示し、12日のアイスジャ



(i) 津別観測所 (KP48.4) のアイスジャム発生までの河水変動 (2020年3月11日)



(ii) 津別観測所 (KP48.4) のアイスジャム破壊の河水変動 (2020年3月11日)



(iii) 達美橋 (KP46.6) のアイスジャム発生までの河水変動 (2020年3月11日)

図-4 CCTV (定点カメラ) 画像

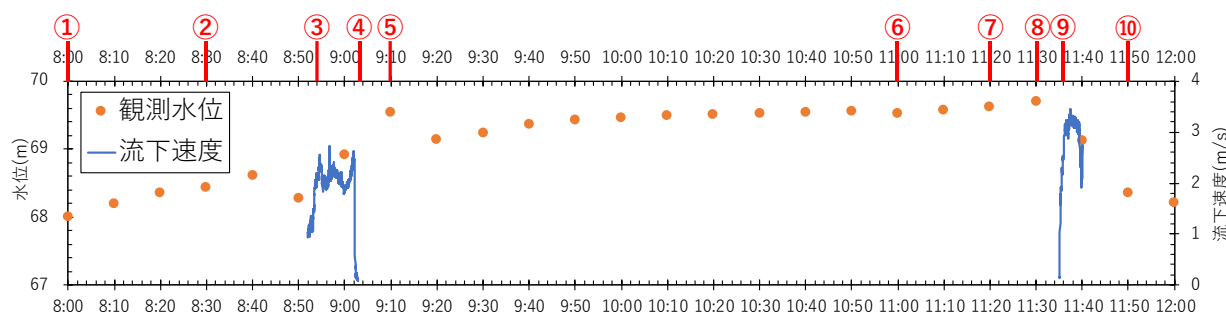


図-5 津別水位観測所 (KP48.8) の10分毎の観測水位と河氷の流下速度

ム確認区間を緑線で示す。11日はKP47.5～49, 46.6～46.7にアイスジャムが存在した。12日はKP46.6～47.4にアイスジャム, 41.5～45.5に不連続にアイスジャムが存在した。11日のKP47.5～49に存在したアイスジャムは, 11日12時頃の気温の上昇と降雨により破壊され流下し, 12日にKP46.6で再堆積したと考えられる。

d) CCTVと観測水位による現象把握

3月11日の8時から約12時までの河道内の状況についてを, 津別観測所 (KP48.4) のCCTVカメラ画像と10分ごとの観測水位, 達美橋 (KP46.6) のCCTVカメラ画像から把握を試みた。結果を図-4, 5に示す。

図-4 (i) はアイスジャム発生約1時間前の8:00から9:10までの津別観測所のCCTV画像である。図中の矢印は流下方向を示す。①8:00は河岸に河氷が存在し, 河道が狭窄されている。図-5より水位は68.00mである。②8:30に水位が68.44mに上昇し, 河岸の河氷が浸水する。③8:54に上流から大量の河氷が流入する。8:50の水位は68.28mである。河氷が流入しているが, 堆積していないため水位が低下したと考えられる。その後, 河氷は河道全体を覆いながら流下し続け, 流速が低下し, 水面が上

昇する。④9:03に河氷の流下が止まり, アイスジャムが発生した。9:00の水位は68.91mである。水位は上昇し続け, ⑤9:10に69.54mになり, アイスジャム発生時より水位が1.54m上昇した。

図-4 (ii) はアイスジャムが発生している11:00からアイスジャムが破壊・流下する過程を含む11:50までのCCTV画像である。⑥11:00には右岸側に流水がみられることから, さらに水位が上昇していることが分かる。水位は69.52mである。⑦11:20は河氷の色調が変化し, 解氷及び水面が上昇していると判断できる。水位は69.62mである。⑧11:30に水位は69.71mと最高水位に達し, 8:00から1.71m上昇している。⑨11:36は河氷が流下し, 水位が低下している。11:40には河道を覆っていた河氷は流下し, 水面が見える。水位は69.13mである。水位は低下し続け, ⑩11:50に68.36mとなり, 最高水位より20分で1.35m低下した。

図-4 (iii) は達美橋CCTVにおけるアイスジャム発生前の11:00からアイスジャム発生過程を含む11:43までの画像である。11:00は河岸に河氷が存在し, 水面が見える状態で流下した。11:39に水面は上昇し, 左岸に流

水が見える。11:40に多くの河水が流入してくる。これは上流の津別観測所CCTVの流下と同時刻である。11:43に河水の流下が止まり、アイスジャムが発生する。これらの現象は、河水の再流下・再堆積である。

図-5は津別水位観測所における10分毎の観測水位とCCTV映像からPIV解析を用いて算出した河水の流下速度である。図-4 (i) ①に、PIV解析のキャリブレーションに用いた点と解析範囲を示す。校正点はN (x, y) で示すと、I (0, 0), II (34.35, 2.89), III (53.56, 2.40), IV (6.40, 18.02), V (38.75, 14.01), VI (55.21, 14.69) である。単位はメートルである。解析範囲は流心部とし、赤枠内において計6点の流速を平均した。速度の計測範囲は津別観測所のCCTVからアイスジャム発生は11日の8:52から9:03, アイスジャム破壊は11:35から11:40とした。アイスジャム発生時の流下速度は最大値2.7m/s, アイスジャム破壊時は最大値3.5m/sであった。破壊時の方が速度が速い理由は、河水が堆積し、流下が阻害されたことにより水位が上昇し、水面勾配が大きくなったためであると考えられる。

(2) 現地踏査

現地踏査は2020年3月12日9:00～16:30の間で行った。調査範囲は網走湖口上流から達媚橋(約KP48.8)である。達媚橋での調査時間は09:54～10:03である。河道内に河水の堆積は見られないが、低水路肩および高水敷、橋脚、量水標(H鋼)に河水の堆積が見られた。達美橋(約KP46.3)での調査時間は10:09～10:18である。達美橋の周辺でアイスジャムが発生している。達美橋上流において、破壊流下された河水とまだ破壊されていない結氷している河水の境界が確認できた。約KP45.0での調査時間は10:23である。樹木により水面が遮られており水面の状況が明瞭に分らなかったが、樹木の隙間から水面に河水の堆積が見られた。活汲橋(約KP41.5)での調査時間は10:30～11:19である。アイスジャムの上流の水位は高く、下流の水位は低くなっており、アイスジャム前後の水位差を確認した。河水は、活汲橋の橋脚から上流に向けて存在していた。錦橋(約KP37.8)での調査時間は11:35～11:38である。錦橋上流の西幹線頭首工の左岸側において河水の堆積が見られた。大正橋(約KP31.2)での調査時間は11:52～11:56である。橋脚箇所周辺で少量の河水の堆積が見られた。美禽橋(約KP29.4)での調査時間は13:16～13:32である。河道内全面に流れる河水を確認した。河水流下の終点と思われる河氷群を確認した。河水が橋脚に衝突する際に音と振動を感じた。豊郷橋(約KP23.5)での調査時間は13:48～15:15である。美禽橋で河水流下が確認出来たことから、先回りをして河水流下よりも早く、豊郷橋に到着した。河水流下の開始から終わりまでの河氷群の観測に成功した。河氷群の定義は明確にしていないが、図-6に示す河氷群の流下は13:58頃～14:50頃の約52分間であった。治水橋(約



図-6 豊郷橋(約KP23.5)から上流を望む
(2020年3月12日)

KP20.2)では車移動にて河川内を確認したところ、河水の流下が確認出来た。湖響橋(約KP19.0)での調査時間は15:49である。河水の流下を確認した。網走湖口では、網走湖に河水が流下していることを確認したが、草木により水面を明確には捉えられなかった。

3. 危険個所の抽出と考察

アイスジャム発生危険箇所の抽出は、 S_{ij} :アイスジャムスケール¹⁰⁾を用いて行った。

(1) アイスジャムスケールの算出方法

a) アイスジャムスケールの式

アイスジャムスケールを求める式は次式となる。

$$S_{ij} = \frac{1}{F_{ri} \sqrt{\frac{B_d}{B_i} \sqrt{\frac{C_D (H_i)^2}{2 L_i} + C_f \left(\frac{H_i}{L_i}\right) + \frac{C_L}{2}}} \quad (1)$$

$$F_{ri} = \frac{U_i}{\sqrt{\frac{\rho_w - \rho_i}{\rho_w} g H_i}} \quad (2)$$

$$\frac{U_i}{U_w} = \frac{1}{1 + S_{ij}} = \lambda \quad (3)$$

ρ_w (kg/m³):水の密度で1000, ρ_i (kg/m³):氷の密度で917, g (m/s²):重力加速度で9.8, H_i (m):氷塊の厚さ, B_i (m):氷塊の幅, L_i (m):氷塊の河川縦断方向の長さ, B_d (m):下流の川幅である。ここで、既往研究¹⁰⁾と同様に、 C_D :形状抵抗係数は0.4を与え、 C_f :摩擦抵抗係数は1.0を与え、 C_L :揚力係数は0.4を与えた。 U_i (m/s):氷塊の速度, U_w (m/s):流速として計算する。

既往研究¹⁰⁾から理論値 λ と実験結果との平均絶対誤差は0.052と小さく妥当性が確認されている。アイスジャムスケールは式(3)で示すように流速と氷塊の速度の比と関係する。アイスジャム非発生時には $U_i = U_w$ となる。アイスジャム発生時には U_i/U_w は0～1の間となる。本研究でアイスジャム発生の危険性の指標として使用しているアイスジャムスケールが1の場合は、氷塊の速度が水

の速度の0.5倍になることで、河道に氷が詰まりやすくなり発生の可能性が高いと判断した。

アイスジャムスケールの適応限界と留意点について述べる。アイスジャムスケールの式は氷を氷塊として考えており、氷のサイズによる影響は考慮されていない。また、アイスジャム発生危険箇所を把握することが出来るが、縦断的な現象を把握することは出来ない。既往研究¹¹⁾からアイスジャムスケールと水深上昇との関係は明らかになっておらず、今後の課題となっている。

b) 川幅と河床高

川幅と河床高は数値計算モデルCERI1D¹²⁾から求めた。本計算において、下流端での境界条件は等流水深を与えた。上流端での境界条件は河川データブック2021の美幌での豊水流量¹³⁾を与えた。計算領域はKP18～KP49.9とした。河川横断データは、KP18～KP29は平成29年度測量、KP29.2～KP30.8は平成22年度測量、KP31～KP49.9は平成21年度測量を用いた。マンニングの粗度係数は河床材料から計算した。図-7に川幅と河床高を示す。

c) 流量と水位

本検討の流量はアイスジャム発生前の2019年11月1日から11月30日までの平均流量7.28 m³/sを与えた。流量の値は津別観測所 (KP48.8) における水位をHQ式を用いて流量に換算したものをを用いた。

なお、豊水流量19.71 m³/s、平水流量10.24 m³/s、低水流量8.31m³/sの場合の3ケースで、アイスジャムスケールを計算した。図-8に結果を示す。

平均流量を加えた4ケースのアイスジャムスケールの平均値と各ケースのアイスジャムスケールの値との平均絶対誤差を求めた。その結果、豊水流量0.24、平水流量0.01、低水流量0.10、平均流量0.14であった。それぞれ1以下の誤差である。また、図-8より相対的に高い地点、低い地点はどのケースも同様である。

アイスジャムスケールを計算する際に用いる流量が、小さい値ほどアイスジャムスケールの値が大きくなる。

(2) 現地踏査とアイスジャムスケール

現地踏査結果とアイスジャムスケールを比較する。図-8 (d) に現地観測・現地踏査でアイスジャムが確認された区間と河氷堆積が確認された区間のアイスジャムスケールを示す。

美禽橋約 (約KP29.4) と豊郷橋 (約KP23.5) で確認した流下する河氷は、大正橋 (約KP31.2) から活汲橋 (約KP41.5) の区間において、河道内に堆積していた河氷が流下した可能性が推察されている。KP35とKP38.8で3を超えていた。このことから、この区間でアイスジャムが発生し、ここから流下した可能性がある。

現地踏査で河氷が堆積していた大正橋 (約KP31.2)、錦橋 (約KP37.8)、約KP45.0、達媚橋 (約KP48.8) ではアイスジャムスケールが1.53、2.43、2.75である。アイスジャムが発生していた活汲橋 (約KP41.5)、達美橋

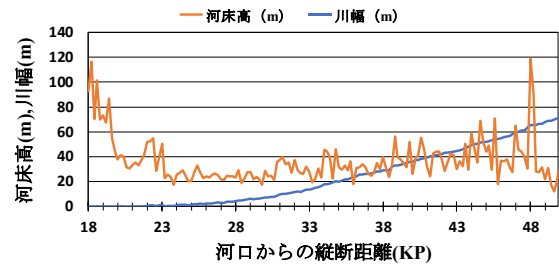
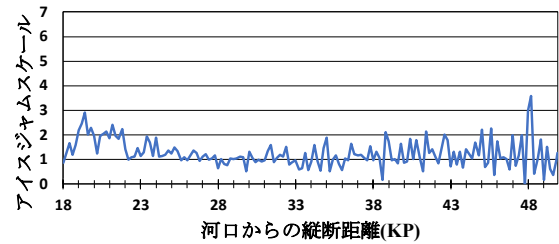
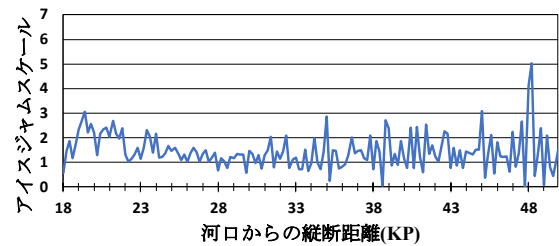


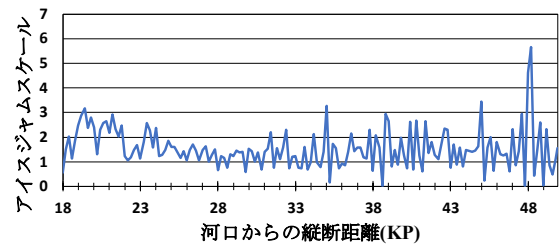
図-7 川幅と河床高



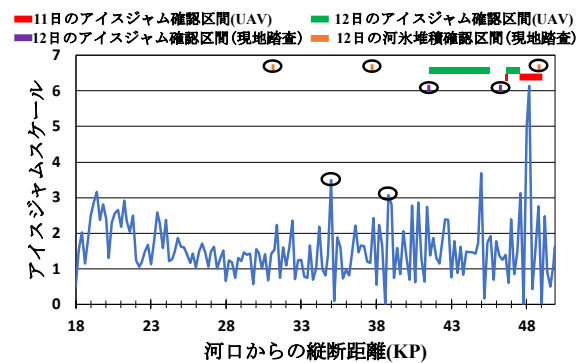
(a) 豊水流量 (19.71m³/s)



(b) 平水流量 (10.24m³/s)



(c) 低水流量 (8.31m³/s)



(d) 平均流量 (7.28m³/s)

図-8 網走川のアイスジャムスケール

(約KP46.3) ではアイスジャムスケールが2.05、1.32である。いずれも1以上を示している。

(3) 現地観測とアイスジャムスケール

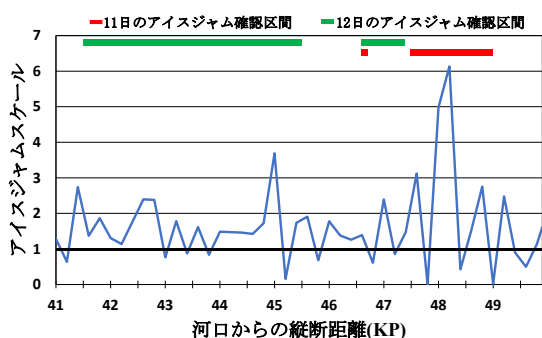


図-9 網走川のアイスジャムスケール
(平均流量, 図-8 (d) の拡大図)

現地観測結果とアイスジャムスケールを比較する。図-9に現地観測でアイスジャムが確認された区間のアイスジャムスケールを示す。図-9より、アイスジャムスケールの値が急激に大きくなっているKP48～48.2では、実際にアイスジャムが発生している。

3月11日に発生したアイスジャムの下流端であるKP46.6, KP47.5は、アイスジャムスケールが1.39, 2.3である。12日に発生したアイスジャムの下流端であるKP41.5, KP46.6は、アイスジャムスケールが2.05, 1.39である。いずれも1以上となっている。現地観測でアイスジャムが発生していたKP43, KP43.4, KP43.8, KP45.2, KP47.2, KP47.8, KP48.4, KP49では、アイスジャムスケールが0.76, 0.87, 0.84, 0.16, 0.86, 0.01, 0.43, 0.02と1以下になっている。この理由として下流端を起点とし、上流に河氷が堆積したことが推定出来る。

4. まとめ

現地観測により以下のことが分かった。アイスジャム発生前後の気象・水位から、気温が上昇し、アイスジャム前日に降水量が増加したことにより、河氷が解氷し流下して河道内に堆積したことでアイスジャムが発生し、水位が急激に上昇した。空撮映像からアイスジャムの下流端と上流端を確認出来た。CCTV画像からアイスジャムの破壊、流下、堆積、再流下、再堆積の現象を把握することが出来た。河氷の流下速度はアイスジャム発生時に最大値2.7m/s、アイスジャム破壊時に最大値3.5m/sであることが分かった。現地踏査により、豊郷橋(約KP23.5)での河氷流下の開始から終了までの挙動の観測に成功した。

アイスジャムスケールと現地観測との比較により得られた結果を述べる。現地観測でアイスジャムが確認された箇所ではアイスジャムスケールの値が大きくなっていることを確認出来た。また、アイスジャムスケールが1を超えていない箇所でもアイスジャムが発生しており、これは、アイスジャムスケールが1を超えている下流端

を起点とし、上流に河氷が堆積したことが推定出来る。

謝辞：本研究は、北海道開発局網走開発建設部北見河川事務所よりカメラ画像や測量データ等の基礎資料のご提供を頂いた。小池太郎氏と高花清美氏には観測データの整理にご尽力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) International Association for Hydraulic Research Association Internationale de Recherches Hydrauliques Section on Ice Problems: MULTILINGUAL ICE TERMINOLOGY, [https://rivergates.mvr.usace.army.mil/WaterControl/Districts/MVP/Reports/ice/iahr_ice_terminology.html] (最終確認日: 2022年3月22日)
- 2) 檜山哲哉, 藤原潤子: 環境人間学と地域 シベリア 温暖化する極北の水環境と社会, 京都大学学術出版会, pp.210-211, 2015.
- 3) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 前田俊一, 矢部浩規: 2018年3月北海道アイスジャム洪水による被害の現象解明と今後の課題, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.74, No.5, 1_1039-1_1044, 2018.
- 4) 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, 平成26年度北海道開発技術研究発表会, 2015.
- 5) 北海道新聞2018年3月10日朝刊
- 6) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 大串弘哉: アイスジャム発生過程を踏まえた発生箇所・時期の予測手法の検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.77, No.2, pp.1_1363-1_1368, 2021.
- 7) 小池太郎, 吉川泰弘, 横山洋, 伊波友生, 川邊和人: 2018年3月に常呂川で発生したアイスジャム現象の解明, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp.1_163-1_168, 2020.
- 8) 小池太郎, 吉川泰弘, 横山洋: 橋脚部における実氷を用いたアイスジャム氾濫実験, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.75, No.2, 1_1411-1_1416, 2019.
- 9) 伊波友生, 横山洋, 吉川泰弘, 矢部浩規, 前田俊一, 鳥谷部寿人: 嶮淵川におけるアイスジャムと河道狭窄の影響に関して, 河川技術論文集, 第25巻, pp.91-96, 2019.
- 10) 吉川泰弘, 朴昊澤, 大島和裕, 横山洋: 寒冷地河川における簡易的なアイスジャム計算モデルに関する検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.74, No.4, pp.1_351-1_356, 2018.
- 11) 山田隆司, 吉川泰弘, 堀純斗: 川幅漸縮部における実氷を用いたアイスジャム実験, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表論文報告集, 第78号, B-28, 2022.
- 12) CERIID solver manual [https://i-ric.org/download/cerIID-solver-manual/] (最終確認日: 2022年3月22日)
- 13) 国土交通省: 河川データブック2021, [https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2021/4-1-7.pdf] (最終確認日: 2022年3月22日)

(2022. 3. 25受付)