

## 2020年3月網走川のアイスジャム発生危険箇所の抽出

Extraction of risk areas for ice jam occurrence in the Abashiri River in March 2020

北見工業大学工学部 ○学生員 奥山ほのか(Honoka Okuyama)  
 北見工業大学工学部 正員 吉川泰弘(Yasuhiro Yoshikawa)  
 寒地土木研究所 正員 横山洋(Hiroshi Yokoyama)

## 1. はじめに

寒冷地の河川は、気温が零下になる冬期に凍る。凍った河川の氷は河氷と呼ばれ、河氷は春先の気温の上昇により解氷し下流へと流下する。流下した河氷が河道内に堆積するとアイスジャムが発生する。アイスジャムは川の水位上昇や氾濫、取水障害等の被害を引き起こす。辺別川の事故<sup>1)</sup>では、河川内で作業中の会社員がアイスジャム破壊に伴う河氷流下により巻き込まれて死亡した。このためアイスジャム現象の解明が求められている。しかしアイスジャムは観測事例に限られているため、いつどこで発生するか十分な予測ができていない。

アイスジャム観測において既往研究では、事後調査<sup>2)3)4)</sup>が大半を占めている。このような状況下で、2020年3月網走川においてアイスジャムの破壊再流下、再形成について観測<sup>5)</sup>に成功している。図-1に網走川の観測状況を示す。観測の解析結果ではアイスジャムの発生場所の特定、河氷の流下速度データを得ることが出来た。しかし、観測は観測地点があるところに限られ、縦断的には観測出来ない。観測地点がない場所の現象については未解明である。また横山らが既往研究<sup>6)</sup>でアイスジャムスケールを使用したアイスジャム発生箇所の抽出・検証が行われているが、他の河川でも再現出来るかの検証が必要である。

本研究では、2020年3月網走川で発生したアイスジャム発生箇所をアイスジャムスケールを用いて抽出可能かについて、考察・検討を行なった。

## 2. アイスジャム発生危険箇所の抽出

アイスジャム発生箇所の抽出はアイスジャムの規模を表す $S_{ij}$ ：アイスジャムスケール<sup>7)</sup>を用い検討を行なった。

アイスジャムスケールの計算には、川幅、河床高、マンニングの粗度係数、上流端流量、下流端水位が必要である。アイスジャムスケールの値が大きいほど、発生の危険性が高い。

## 2.1 アイスジャムスケールの計算式

アイスジャムスケールを求める式は次式<sup>7)</sup>となる。

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

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

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

$\rho_w(\text{kg/m}^3)$ ：水の密度で1000、 $\rho_i(\text{kg/m}^3)$ ：氷の密度で917、 $g(\text{m/s}^2)$ ：重力加速度で9.8、 $H_i(\text{m})$ ：氷塊の厚さ、 $B_i(\text{m})$ ：氷塊の幅、 $L_i(\text{m})$ ：氷塊の河川縦断方向の長さ、 $B_d(\text{m})$ ：下流の川幅である。ここで、既往研究<sup>6)7)</sup>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。 $U_i(\text{m/s})$ ：氷塊の速度、 $U_w(\text{m/s})$ ：流速として計算する。

既往研究<sup>7)</sup>から式(3)の理論値 $\lambda$ 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が1の場合、式(3)より $U_i/U_w$ の値が0.5となる。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アイスジャム発生の可能性が高くなる。逆にアイスジャム非発生時を計算では、 $U_i = U_w$ となる。 $U_i/U_w$ は、0~1の範囲となる。

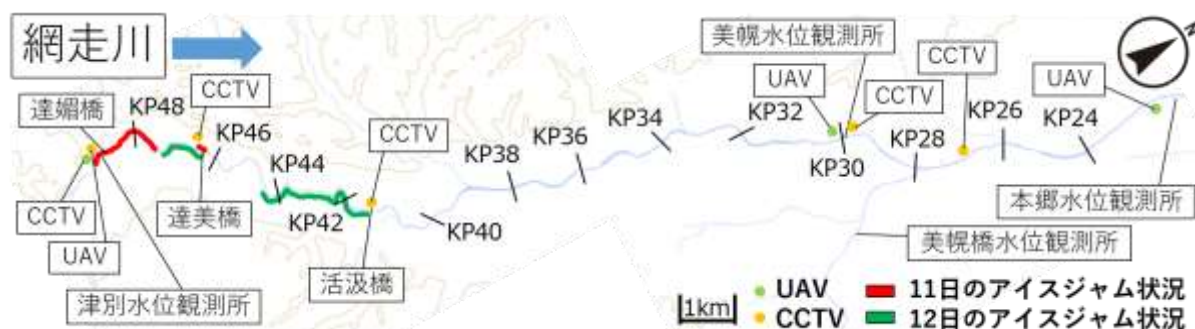


図-1 網走川の観測状況(KP22 から KP49)

## 2.2 川幅と河床高

川幅と河床高は数値計算モデル (CERI1D<sup>8)</sup>) 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<sup>9)</sup>の美幌での豊水流量を与えた。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 年度調査, KP31~KP49.9 は平成 21 年度測量データを用いた。マンニングの粗度係数は河床材料から計算とした。計算期間はアイスジャムが発生する前の 2019 年 11 月 1 日から 11 月 7 日までの 1 週間とした。KP とは河川の河口からの距離を示す。KP18 とは河口からの縦断距離が 18km であることを示す。

## 2.3 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  $7.28 \text{ m}^3/\text{s}$  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用いた。

なお、豊水流量  $19.71 \text{ m}^3/\text{s}$ , 平水流量  $10.24 \text{ m}^3/\text{s}$ , 低水流量  $8.31 \text{ m}^3/\text{s}$  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-2 に結果を示す。合せて図-4 に川幅と河床高を示す。

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-2 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。

## 3. 現地観測・現地踏査とアイスジャムスケール

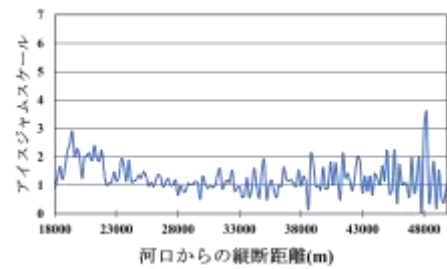
### 3.1 現地観測

先行研究である小池ら<sup>5)</sup>の 2020 年 3 月に網走川で発生したアイスジャム現象の観測結果と解析結果を記す。

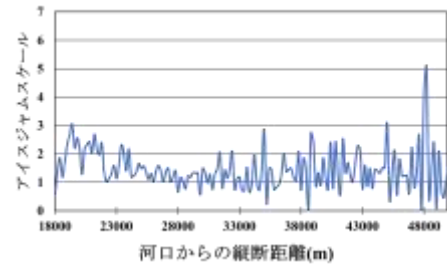
2020 年 3 月 9 日, 11 日, 12 日において UAV で映像観測を行なった。UAV の映像から河道内に堆積する河水に基づいて、アイスジャムの下流端及び上流端を判断した。図-1 にアイスジャム発生状況を示す。赤線で 11 日, 緑線で 12 日を示している。11 日のアイスジャム発生箇所は KP47.5~49, 46.6~46.7 である。これらの発生箇所は湾曲部・砂州である。12 日のアイスジャム発生箇所は KP46.6~47.4, 41.5~45.5 である。KP41.5~45.5 ではアイスジャムが不連続に存在した。これらの発生箇所は橋脚, 砂州, 湾曲部である。11 日の KP47.5~49 に発生したアイスジャムは、気温の上昇や降雨により破壊され流下し, 12 日の KP46.6 に再堆積したと考えられる。

次に達娯橋付近 (KP49) の UAV による映像から, 9 日は河道内に河水が形成している。11 日はアイスジャムが発生し, 破壊された河水が河道全体を覆っている。12 日はアイスジャムが破壊され流下している。美幌観測所付近 (KP30) の UAV による映像から, 9 日は河道内に河水が形成しているが, 12 日は解氷し河水は存在しない。本郷観測所付近 (KP22) の UAV による映像から, 10 日, 13 日両日とも河道内には河水は存在しない。

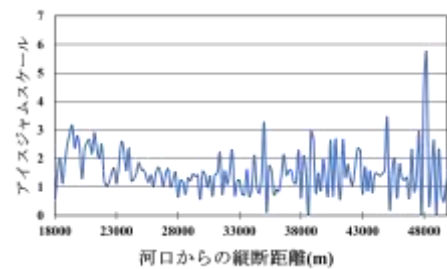
### 3.2 現地踏査



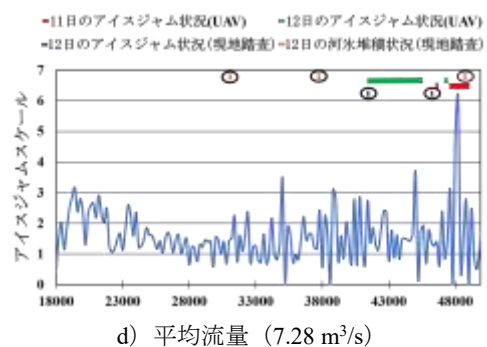
a) 豊水流量 ( $19.71 \text{ m}^3/\text{s}$ )



b) 平水流量 ( $10.24 \text{ m}^3/\text{s}$ )



c) 低水流量 ( $8.31 \text{ m}^3/\text{s}$ )



d) 平均流量 ( $7.28 \text{ m}^3/\text{s}$ )

図-2 網走川のアイスジャムスケール

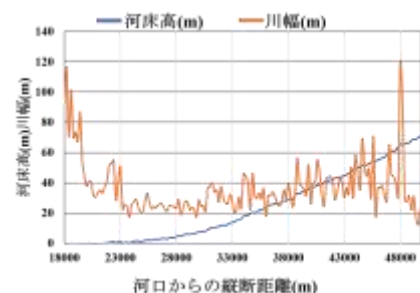


図-3 河床高と川幅

2020年3月12日9:00~16:30の間で現地踏査を行った。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（約 KP48.8）では河道内に河氷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）周辺に河氷の堆積あり。達美橋（約 KP46.3）では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、破壊流下された河氷とまだ破壊されていない結氷している河氷の境界が確認できた。約 KP45.0 では樹木により水面の遮られており水面の状況が明瞭に分からなかったが、樹木の隙間から、水面に河氷の堆積が見られた。活汲橋（約 KP41.5）では、アイスジャム上流の水位は高く、アイスジャム下流の水位は低くなっており、アイスジャム前後での水位差が見られた。アイスジャムにより流水が堰き止められ、水位が上昇している流況を確認できた。河氷は、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）では、錦橋の上流と下流ともに、アイスジャムは発生していない。錦橋上流の西幹線頭首工の左岸側において河氷の堆積あり。大正橋（約 KP31.2）では大正橋の上流と下流ともに、アイスジャムは発生していない。橋脚箇所周辺で少量の河氷が堆積していた。

美禽橋（約 KP29.4）では、河道内全面に流れる河氷を確認した。河氷流下の終点と思われる河氷群を確認した。河氷が橋脚に衝突する際に音と振動を感じた。豊郷橋（約 KP23.5）では美禽橋で河氷流下が確認できたことから、先回りをして河氷流下よりも早く、豊郷橋に到着した。河氷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-4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。この期間に下流の本郷観測所の水位は一時上昇した。治水橋（約 KP20.2）では車移動にて河川内を確認した。河氷の流下を確認した。湖響橋（約 KP19.0）では河氷の流下を確認した。湾曲部の外岸側に河氷が集中して流下していた。網走湖口では網走湖に河氷が流下していることを確認した。草木により水面を明確には捉えられなかった。

以下に今回の現地踏査により得られた知見を述べる。

- ・アイスジャムによる流水の堰き止めにより、アイスジャム上流と下流で水位差が発生する現象を現地で確認できた。
- ・河氷が流下している現象を捉えることが出来た。目測による河氷の量は、最初に多く流れ、その後ピークを迎えた後、少量の河氷が長く流下し続けた。
- ・川幅が広い区間（改修済み区間）では、河氷は堆積せずに流れやすい。
- ・現地状況から、河氷は網走湖にスムーズに流れていくと考えられる。
- ・量水標（H鋼）周辺に河氷が流下・堆積することで、観測水位に影響を与えている可能性がある。
- ・アクセスの良い橋周辺の流況は把握できるが、その他の地点の流況を把握するのが難しい。これらのアクセスの悪い地点で河氷の堆積が発生すると現象の把握が困難となる。
- ・美禽橋と豊郷橋で見た流下する河氷がどこから流れて



図-4 豊郷橋（約 23.5）から上流を望む  
2020年3月12日

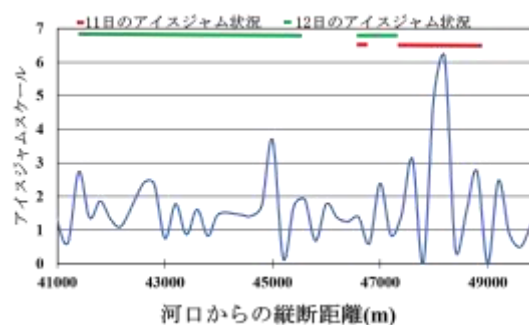


図-5 網走川のアイスジャムスケール  
(平均流量、図-2d)の拡大図)

来たのかについては、今回の踏査では明らかに出来なかった。一方で、豊郷橋で河氷の流下を確認した後に、アイスジャムが発生していた活汲橋に再度調査（時刻16:04）を実施したが、アイスジャムは流下していなかった。このため、美禽橋（約 KP29.4）と豊郷橋（約 KP23.5）で見た流下する河氷は、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一気に流下した可能性が考えられる。

### 3.3 アイスジャム発生危険箇所の考察

現地観測結果とアイスジャムスケールを比較する。図-5にアイスジャムが観測できた地点を抽出したアイスジャムスケールを示す。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。下流端を起点として、河氷が詰まっていることが分かる。

図-5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。アイスジャム発生危険箇所を抽出できた。

次に現地踏査結果とアイスジャムスケールを比較する。図-2d)に平均流量のアイスジャムスケールを示す。美禽橋（約 KP29.4）と豊郷橋（約 KP23.5）で見た流下する河氷は、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一気に流下した可能性が推察されている。図-2d)に

示すアイスジャムスケールでは、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（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。アイスジャムスケールが 1 以上だとアイスジャム発生危険性があると考えられる。

#### 4. まとめ

以下に本検討で得られた知見を述べる。

- ・アイスジャムが発生した地点の下流端では、アイスジャムスケールが 1 以上になっている。
- ・現地踏査で確認された河氷が堆積していた箇所はアイスジャムスケールが 1 以上になっている。
- ・アイスジャムが発生している 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。
- ・現地の観測点がない地点ではアイスジャムスケールの妥当性が確認出来なかった。再現計算を行う事により、現地観測が出来なかった箇所の考察・検討を行う事が必要だと考えられる。
- ・アイスジャムスケールを計算する際に用いる流量が、小さいほどアイスジャムスケールの値が大きくなる。

#### 参考文献

- 1) 北海道新聞 2018 年 3 月 10 日朝刊
- 2) Beltaos, S. , Burrell, B, C. : Ice-jam model testing: Matapedia River case studies, 1994 and 1995, Cold Regions Science and Technology 60, pp. 29-39, 2010.
- 3) Tamlin Muir Pavelsky, Laurence C. Smith : Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and VHR time series, Remote Sensing of Environment 93, pp. 328-338, 2004.
- 4) Shahramanjan M. A. : Ice Jams forecast and technologies of their destruction on the rivers of the Russian Federation, International Association of Hydraulic Engineering and Research, International Symposium on Ice, 17th, pp. XXVII-XLII, 2004.
- 5) 小池太郎, 高花清美, 吉川泰弘, 横山洋, 川邊和人 : 2020 年 3 月に網走川で発生したアイスジャム現象の観測, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第 77 号, B-21, 2021.
- 6) 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, pp. I\_039-I\_044, 2018.
- 7) 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. I\_351-I\_356, 2018.
- 8) CERIID solver manual [<https://i-ric.org/download/cerIID-solver-manual/>] (最終確認日 : 2021 年 12 月 11 日)
- 9) 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](https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2021/4-1-7.pdf) (閲覧日 : 2021 年 12 月 11 日)