

渚滑川と湧別川における氷板と晶氷の現地観測

FIELD OBSERVATIONS OF RIVER ICE
IN THE SHOKOTSU RIVER AND THE YUBETSU RIVER

土木研究所寒地土木研究所 ○正会員 吉川 泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu Watanabe)

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の河川は、冬期間の気温低下が主な誘因となり結氷する。結氷する地域について、山下ら¹⁾は1986年度12月から3月を対象に北海道河川結氷図を作成している。一方、日平均気温のマイナス気温だけを積算した積算寒度(絶対値)について、福田ら²⁾は1974年度11月から3月を対象に北海道積算寒度の分布図を作成している。これらの図から北海道内の結氷状況を判断すると、全道に比べて道東地域と道北地域の河川は結氷しやすい。結氷の程度は、氷の厚さと相関がある積算寒度が大きいいため、結氷した氷の厚さは厚いと推定出来る。この様な北海道の結氷状況のもと、道東地域と道北地域の冬期間の河川において、アイスジャムによる水位上昇や晶氷による取水障害などの問題が発生している。

アイスジャムによる水位上昇については、1995年3月18日に道東に位置する渚滑川において、KP16.6からKP20.2の3.6kmの区間に流下してきた氷が河道に滞留および閉塞したため、KP19.3(上渚滑水位観測所)のピーク水位においては計画高水位まであと14cmまで上昇した。当時、緊急に氷を除去したためこの水位上昇による内水氾濫等の被害は免れている。このアイスジャムの発生原因についてShen³⁾らは、温かい降雨を伴う暖気により融雪を促したため水位が上昇し、水位上昇によって氷板は破壊されて、氷板は下流へと流れ河床勾配が緩やかで川幅の狭い蛇行部のKP16.6の箇所滞留および閉塞したと推定している。冬期の河川防災を考える上で、縦断的な氷板に関する知見を得ることは重要と言える。一方、渚滑川から約30km南下すると湧別川があり、河床勾配(KP5.0~KP24.0)を比較すると平均河床高を示した図-1から渚滑川は1/410、湧別川は1/290であり、湧別川の方が急勾配である。また湧別川の方が標高が高く結氷しやすいと推察できるが、湧別川では1995年3月18日にアイスジャムは発生していない。この理由として、気象データを精査すると気温は同程度であるため降雨量の違いによるものと推定できるが、現在までに湧別川でのアイスジャム発生が報告されていない事から、気象条件の違いの他に、河川の違いによる結氷の違いが予見される。

晶氷による取水障害については、2000年に道北に位置する石狩川上流の永山取水施設(KP166付近)において、晶氷が取水口に侵入および滞留し取水口を塞いだために発生した。この問題に対して晶氷対策の研究⁴⁾が進められ、これらの知見を基に、現在では鉄製アイスブーム、凍結防止フェンス、木製筏、水中ミキサー、

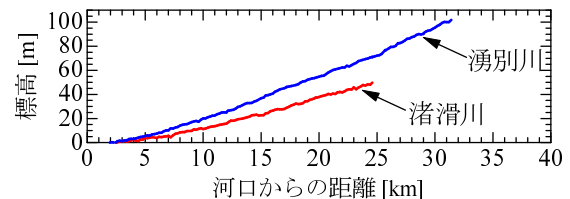


図-1 渚滑川と湧別川の平均河床高(2000年測量)

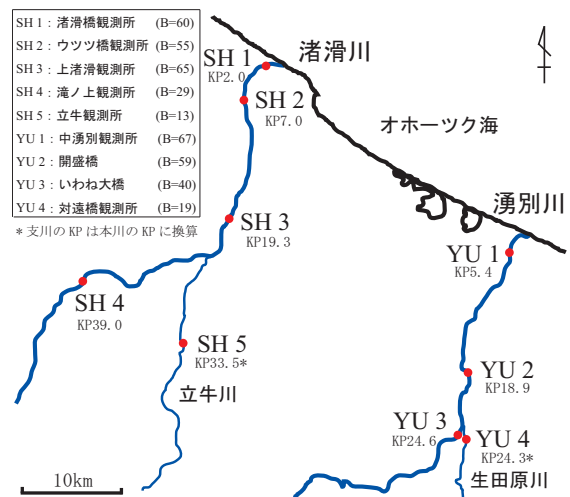


図-2 渚滑川と湧別川の観測地点

監視カメラを設置して24時間体制で晶氷対策を行っている。このため、2000年以降は取水障害は起きていない。しかし、アイスブームに氷が固着すると氷は上流側へと成長し氷板となり、晶氷は氷板を潜り取水口まで流下するため、この対策として氷板が形成されると人工的に壊氷する作業が行われている。晶氷の挙動について、寒い日に発生する可能性が高い等の経験的知見はあるが、観測自体が困難でありその挙動は十分に解明されておらず、晶氷の挙動に関する知見が望まれている。

本研究では、河川の違いによる結氷の違いと晶氷の挙動を明らかにするために、河川縦断方向に数箇所観測地点を設けて定期的に現地観測を実施し現象の解明を試みた。また、既往の研究において定点での詳細な観測はなされているが、上下流一貫した観測は著者が知る限り少ない。このため今回の観測結果は、今後の結氷河川の研究・検討に資すると言えよう。

なお、本論文で言う年度とは当年4月から翌年の3月であり例えば2000年度は2000年4月から2001年3月である。KPとはキロポストの略で河口からの上流を正とした距離(km)である。晶氷とは氷の結晶(Frazil, $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{m}$) およびその集合体(Frazil Slush, $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{m}$)としている。

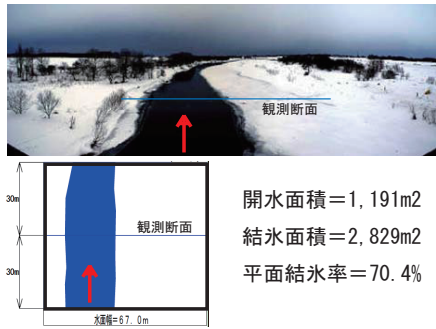


図-3 平面結氷率の算出の一例 (2007/2/27, 中湧別観測所 YU1)

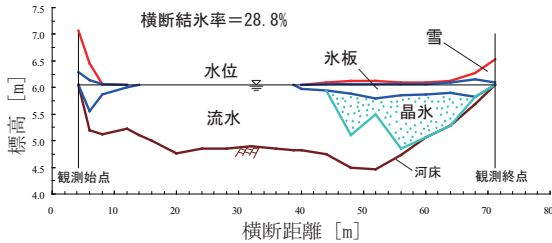


図-4 横断測量の一例 (2007/2/27, 中湧別観測所 YU1)

2. 現地観測

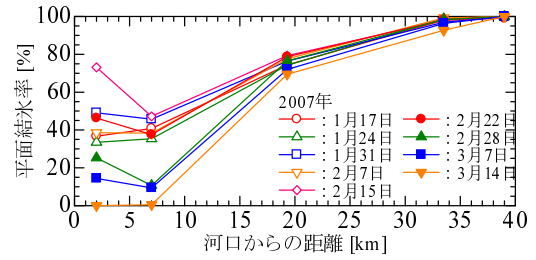
(1) 観測の地点と日時

渚滑川と湧別川を対象に図-2 に示す地点で現地観測を行った。観測地点は支川を含む渚滑川5地点、支川を含む湧別川4地点の計9地点である。本論文では観測地点に任意に記号を割り振っており、図中には各地点の平均水面幅B[m]を明記している。湧別川の上流約KP35には、瀬戸瀬ダム(湧別川ダム発電所)を有している。観測期間は2007年1月から3月であり、各地点の平均的な観測時間は、SH 1:9:00, SH 2:10:00, SH 3:11:00, SH 4:14:00, SH 5:15:00, YU 1:14:00, YU 2:11:00, YU 3:10:00, YU 4:9:00である。結氷河川は流量が日変動⁵⁾する事が知られているが、今回の観測は午前中にかけての観測が多く流量が増加時の観測であったと推察出来る。

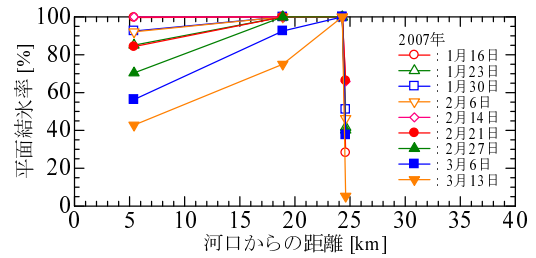
(2) 観測項目

各地点において氷と晶氷の高さの横断測量および観測断面を中心とした写真撮影、横断面の1測線において鉛直流速と鉛直水温を約1週間毎に合計81回の観測を実施した。測線の選定は、非結氷時の流量観測結果を基にして流量と最も相関がよい鉛直平均流速をもつ測線とした。また、各地点の水位を10分毎に自記計測した。観測結果を平面結氷率、横断結氷率、氷板面積、晶氷面積で整理し検討を行った。以下に算出方法を記す。

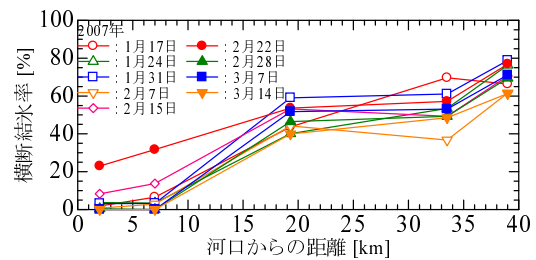
- 1) 平面結氷率とは、撮影写真を垂直補正し解析範囲(水面幅×60m)にて水面と氷面または雪面の面積を求め、(氷面または雪面の面積)÷(解析範囲面積)×100%として求めた。平面結氷率の算出の一例を図-3に示す。
- 2) 横断結氷率とは、(水位より下の氷板と晶氷の面積)÷(水位と河床高で囲まれる面積)×100%として求めた。横断測量の一例を図-4に示す。
- 3) 氷板面積とは氷の上面と下面で囲まれる横断面にお



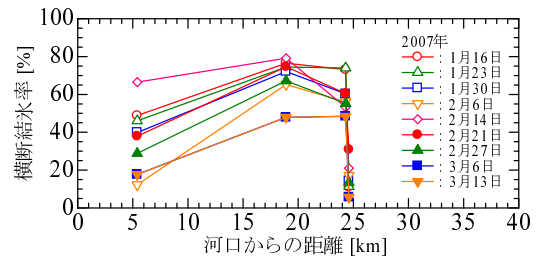
a) 渚滑川, 平面結氷率



b) 湧別川, 平面結氷率



c) 渚滑川, 横断結氷率



d) 湧別川, 横断結氷率

図-5 河川縦断方向の結氷率

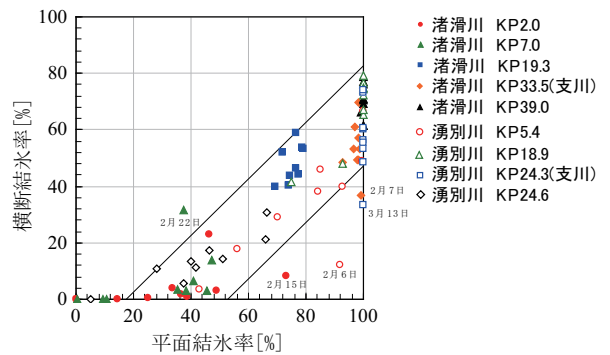
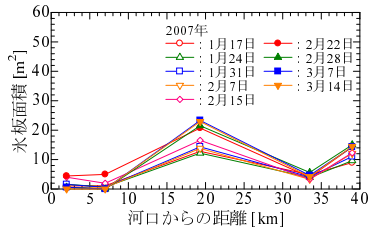


図-6 平面結氷率と横断結氷率との相関図

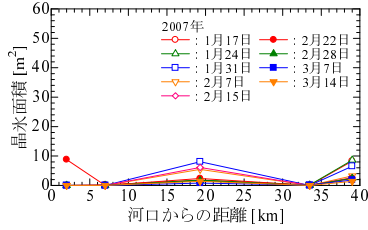
ける面積であり、晶氷面積とは晶氷の上面と下面で囲まれる横断面における面積である。

3. 河川縦断方向の結氷率

河川の違いによる結氷の違いを明らかにするために、平面結氷率と横断結氷率により検討を行った。また平面結氷率と横断結氷率は相関が予見されるため両者の比較を行った。

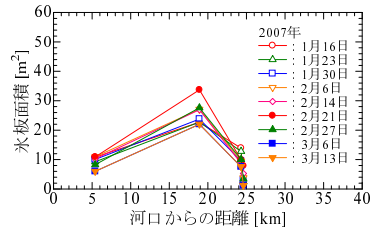


a) 河川縦断方向の氷板面積

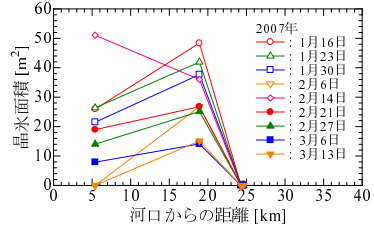


b) 河川縦断方向の晶水面積

図-7 渚滑川における氷板面積と晶水面積

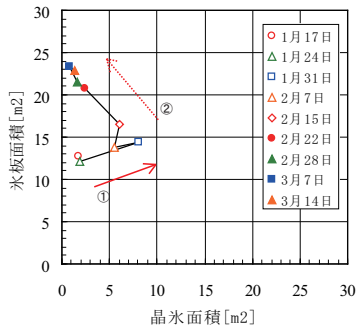


a) 河川縦断方向の氷板面積

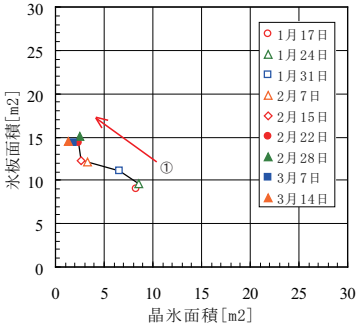


b) 河川縦断方向の晶水面積

図-9 湧別川における氷板面積と晶水面積



a) KP19.3 観測区間の中流域 B=65m



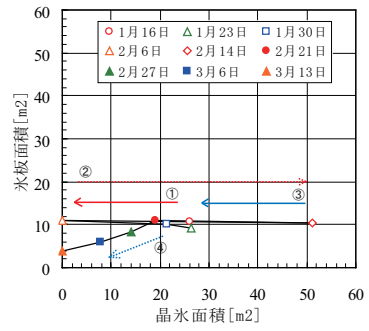
b) KP39.0 観測区間の上流域 B=29m

図-8 渚滑川における氷板面積と晶水面積の時系列変化

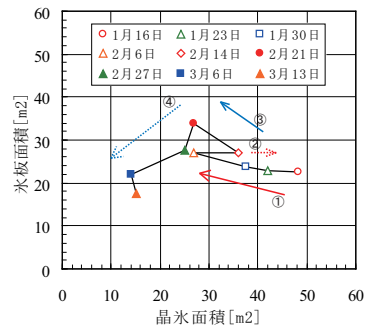
(1) 河川毎の結氷率

平面結氷率を図-5 a),b)に横断結氷率を図-5 c),b)に示す。図-5 a),b)から、下流側において湧別川の方が渚滑川よりも結氷率が大きく下流側では湧別川の方が結氷しやすい。しかし約 KP20 より上流において、渚滑川は標高が高い上流ほど結氷率が高くなるのに対して、湧別川では KP25 付近において結氷率が小さい。図-5 c),b)の横断結氷率についても同様の観測結果である。湧別川 KP25 付近で結氷率が小さいという観測結果は、アイスジャムの要因である氷が上流に存在していない事を示しており、結氷率が小さい原因として上流の約 KP35 に存在する瀬戸瀬ダムにより流下する晶氷が捕捉されているためと推測できる。

いずれにしても今回の観測結果から、河川毎に結氷率が異なり標高が高い上流が必ずしも結氷率が高いとは言えず、標高の他に水理量や気象条件の違いを考慮



a) KP5.4 観測区間の下流域 B=67m



b) KP18.9 観測区間の中流域 B=59m

図-10 湧別川における氷板面積と晶水面積の時系列変化

する必要がある。

(2) 平面結氷率と横断結氷率

平面結氷率と横断結氷率の相関図を図-6に示す。図-6より横断結氷率は平面結氷率より小さく、その差は図-6の実線で挟まれた範囲で、17%から53%程度である。つまりこの範囲内のデータにおいて、平面結氷率が100%の場合には横断結氷率は17%~53%であり、47%~83%は水が流れる流水面積となる。この知見は、目視で確認可能な平面結氷率から横断結氷率をある程度推定可能である事を示唆している。また、平面結氷率が100%の場合のフルード数は0.07から0.21と変動しており水理量が変化していた。全データのフルード数は0.01から0.42の範囲で変化している。実線範囲外のデータは、横断結氷率がゼロのデータおよび観測日時を明記している5データである。横断結氷率ゼロの

データは6データあり、観測断面には氷が存在していないが観測断面上下流の60mの範囲に氷が存在しているデータである。日時を明記した5データの内、3データは下流域で2データは川幅の狭い支流で観測されたデータである。2月22日は平面結氷率と横断結氷率が同程度であり、それ以外のデータは平面で見た結氷率よりも横断面の氷が少ないと推察できる。また、実線範囲外のデータは全データの14%と少ない。

4. 晶氷面積の時系列変化

晶氷の挙動を把握するために、晶氷面積と氷板面積の関係に着目して検討を行った。

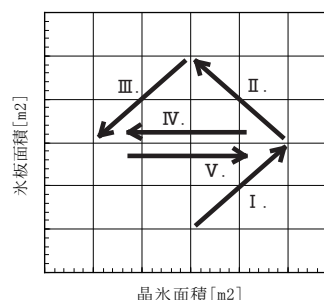
(1) 晶氷面積と氷板面積の関係

横軸に河口からの距離、縦軸に氷板面積および晶氷面積を取り同日の観測値を実線で結び渚滑川を(図-7 a),b)に、湧別川を(図-9 a),b)に示す。両河川ともに各地点で値が異なり観測区間の中流域の約 KP20 で最大値をもっており、上流の方が下流よりも氷板面積および晶氷面積が大きいとは言えず、中流域で最大値となる理由として、この地点は上流に比べて川幅が広がる河道であり上流からの流量が一定だとすると流速が遅くなるため、晶氷が滞留しやすい地点のためと推察できる。また観測結果から、湧別川は渚滑川と比較して氷および晶氷を多く有している河川である。

次に、晶氷面積と氷板面積の時系列変化を明らかにするために、晶氷面積がゼロでない地点において、横軸に晶氷面積、縦軸に氷板面積を取り時系列に実線で結び(図-8 a),b), (図-10 a),b)に示す。図中に時系列で番号を振り、晶氷の挙動を河川縦断方向で検討すると、渚滑川において、(図-8 b)の上流域の KP39.0 では、1月24日で晶氷がピークに達しており時間経過とともに晶氷が減少し氷板が増加している。この期間の横断結氷率は61%から79%であり流水面積は小さく、晶氷は滞留し氷板になるものと滞留できずに流下するものがあると推察できる。また、結氷初期に晶氷が存在するため晶氷が発生しやすい地点と言える。(図-8 a)の中流域の KP19.3 では、1月31日で晶氷がピークに達しており上流よりも1週間遅いため、上流で生成された晶氷が流下し中流域に滞留したと推察できる。なお KP33.5 の支流では晶氷は観測されていない。

湧別川において、(図-10 d)の中流域の KP18.9 では、1月16日で晶氷がピークに達しており時間経過とともに晶氷は変動しながら減少している。(図-10 c)の下流域の KP5.4 の晶氷の変動についてみると、中流域の晶氷の変動に呼応しており晶氷の流下が推察できる。また観測結果から、下流域では氷板の変動が中流域に比べて小さい。

晶氷面積と氷板面積の関係は、地点および時間により変化しているため、これらの関係を時系列変化に着目して5つの関係に分類および整理した。但し、これらの関係は1週間毎の観測結果から導かれたものであり日変化は考慮できていない。これらの関係を(図-11)に示す。各関係の期間は観測結果から以下のように分類した。



- I. 晶氷面積および氷板面積ともに増加
- II. 晶氷面積は減少し氷板面積は増加
- III. 晶氷面積および氷板面積ともに減少
- IV. 晶氷面積は減少し氷板面積は変化なし
- V. 晶氷面積は増加し氷板面積は変化なし

図-11 晶氷面積と氷板面積の関係の時系列変化

- I.) 結氷初期で氷板および晶氷が増加する期間
- II.) 晶氷が減少し氷板が増加している期間で、滞留している晶氷が時間経過とともに氷板となって氷板が増加すると推察される期間
- III.) 結氷終期で氷板および晶氷が減少する期間
- IV.) 滞留していた晶氷が流下すると推察される期間
- V.) 流下してくる晶氷が滞留すると推察される期間

渚滑川は上流域で II. で中流域で I. II. であり II. の関係が重なる。湧別川は中流域で II. III. V. で下流域で III. IV. V. であり III. V. の関係が重なる。今回の観測結果から、河床勾配の緩い渚滑川では晶氷が滞留し氷板となる可能性が高く、河床勾配の急な湧別川では V. より晶氷は増加するが滞留しづらいため氷板の成長に寄与せず、III. より晶氷と氷板の減少は同時期となる河川である。

5. まとめ

今回の渚滑川および湧別川の冬期の現地観測により以下の事が明らかとなった。

- 1) 河川毎に結氷率が異なり標高が高い上流が必ずしも結氷率が高いとは言えない、水理量、気象条件、河道の影響を考察する必要がある。
- 2) 横断結氷率は平面結氷率よりも17%から53%小さい値である。
- 3) 晶氷面積と氷板面積の関係を時系列変化に着目して5つの関係に分類した。この関係から渚滑川は晶氷が滞留しやすく氷板となる可能性が高い河川で、湧別川は晶氷の滞留および流下の変動が大きく結氷終期の晶氷と氷板の減少は同時期となる河川であると推察された。

参考文献

- 1) 山下彰司, 小林正隆, 宮昭彦, 平山健一: 北海道における河川の結氷特性と結氷下の水理特性について, 北海道開発局開発土木研究所 報文, pp.59-74, 1993.
- 2) 福田正己, 武田一夫: 北海道における昭和49~50年冬の積算寒度値の分布, 低温科学 物理篇 資料集, Vol.33, pp.85-91, 1976.
- 3) H.T.Shen, 山崎誠, 星清, 渡邊康玄, 平山健一: 渚滑川のアイスジャミングの検討, 第15回寒地技術シンポジウム, pp.370-375, 1999.
- 4) 植田知行, 高橋喜一, 羽山芳則, 宇佐美宣拓, 佐伯浩: 取水口における晶氷侵入対策工の効果, 第19回寒地技術シンポジウム, pp.356-363, 2003.
- 5) 山崎誠, 小山俊, 長谷川和義, 平山健一: 寒地河川における冬期渇水後期の流量変動予測, 土木学会論文集 No.565/2-39, pp.11-20, 1997.