

平成26年度

天塩川水系名寄川真勲別頭首工における 晶氷の発生について

旭川開発建設部 治水課 ○入交 泰文
(大) 北見工業大学 社会環境工学科 吉川 泰弘
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム 黒田 保孝

旭川開発建設部では、平成 25 年 1 月に天塩川水系名寄川の実勲別頭首工で発生した晶氷の大量発生に伴う取水障害の際に、晶氷除去を目的に排水ポンプ車を派遣し取水障害対策を支援した。これを契機に、北見工業大学及び寒地土木研究所と連携し、結氷河川における晶氷の発生予測と取水障害対策の開発に取り組んでいる。ここでは、晶氷の発生と流下の現象を解明するために天塩川水系名寄川の実勲別頭首工で実施した現地観測の状況及び晶氷発生計算モデルの検討状況について報告する。

キーワード：結氷河川、取水障害、現地調査

1. はじめに

北海道内の多くの河川は、冬期間の気温の低下や降雪によって結氷する。

河川が結氷することによる河川管理上の様々な課題が指摘されており、結氷時の河川流量の推定、アイスジャム発生による急激な河川水位の上昇、凍結融解や結氷時の津波遡上に伴う河川管理施設とその操作への影響等が挙げられ、さらには、これらに対する調査や対策を実施する際の安全性の確保も課題となっている。

現在、これらの課題に関する研究が進められており、(独) 土木研究所寒地土木研究所による研究では、結氷現象の現地観測と気温データを用いた数値計算による結氷初期と解氷期の再現¹⁾や、「河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)²⁾」「寒冷地河川域の津波痕跡調査マニュアル(案)³⁾」等が作成されている。

また、河川水は、上水道、発電、工業用水等に利用されており、河川結氷時においても安定した取水が求められる。平成 25 年 1 月に天塩川水系名寄川の実勲別頭首工において、晶氷の大量発生に伴う取水障害が発生した。平成 13 年 1 月には石狩川水系石狩川の永山取水施設で同様の事例⁴⁾が発生している。取水障害対策として、望遠カメラや水温計による河川状況の監視、流入防止イカダ・水中ミキサー等の設置、重機の常駐等の対策を 24 時間体制で実施している事例⁵⁾もあるが、対症療法的な対策を実施している状況である。このため、各取水現場においては、晶氷の発生時期に関する知見が求められている。

実勲別頭首工の事例の際には、旭川開発建設部で晶氷除去を目的に排水ポンプ車を派遣し、取水障害対策を支

援しており、これを契機に、国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(河川)の採択を得て、北見工業大学、寒地土木研究所及び旭川開発建設部とが連携し、「結氷河川における晶氷の発生予測と取水障害対策の開発」に取り組んでいる。

本研究は、晶氷の発生と流下の現象を把握するために天塩川水系名寄川の実勲別頭首工で実施した現地観測の状況及び晶氷発生計算モデルの検討状況について報告するものである。

なお、氷の形成過程により、薄氷(Skim Ice)、晶氷(Frazil Ice)、錨氷(アンカーアイス: Anchor Ice)、泥状晶氷(Frazil slush)、蓮葉氷(Ice pans)、氷盤(Ice floes)と区分されるが、本研究では、これらを総称して晶氷と呼称する。これらは、一般にモロミと呼称されているものである。

2. 冬期間の取水に関する現状と課題

冬期間の取水に関する現状と課題として、平成 25 年 1 月に発生した天塩川水系名寄川の実勲別頭首工での取水障害の事例、その後の利水者を対象とした勉強会での意見、道北地域等の市町村を対象に実施した事例調査について報告する。

(1) 平成 25 年 1 月に発生した実勲別頭首工での事例

実勲別頭首工は、天塩川水系名寄川の天塩川合流点から約 7km の地点に位置し(図-1)、名寄市の水道用水、農業用水、工業用水を取水している。気温低下に起因する晶氷の大量発生により、平成 25 年 1 月 7 日に取水量が急激に減少する取水障害が発生した。利水者による取

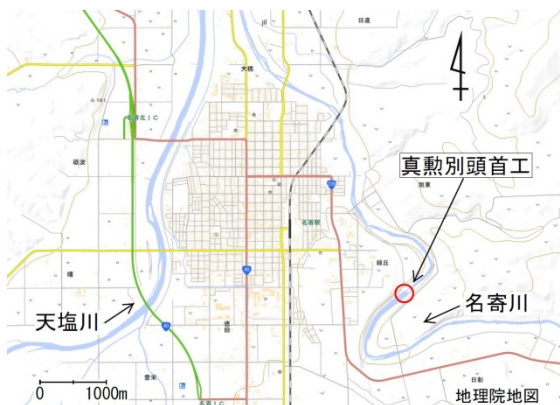


図-1 真勲別頭首工位置図

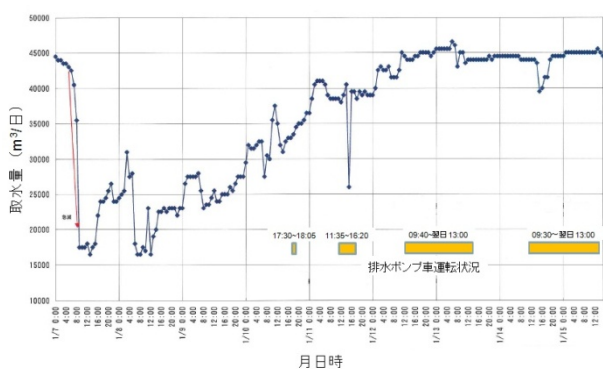


図-2 取水障害時の取水量の変化 (m³/日) と排水ポンプ車の運転状況

水口や導水路内の晶氷の除去作業や水中ポンプでの取水の確保が実施されたが、取水量の回復には至らなかった。旭川開発建設部では利水者からの要請を受け、導水路内の晶氷を除去することを目的に排水ポンプ車を派遣し、導水路内の水を強制的に循環させることで取水障害対策を支援した。取水量の変化と排水ポンプ車の運転状況を図-2に示す。

この支援により、導水路内の晶氷等の除去に排水ポンプ車が活用可能であることが確認できたが、より有効に活用するためには、晶氷の発生時期に関する知見が必要である。晶氷の発生時期に関する知見を得ることができれば、事前の体制の確保や資機材の準備等の判断材料を得ることができる。

(2) 利水者との勉強会の開催

利水者からの聞き取りにより、真勲別頭首工では、同様の取水障害が平成 17 年 1 月と平成 21 年 2 月にも発生していたことから、利水者を対象に、河川の結氷メカニズムの最新の知見の紹介と、冬期間の取水で苦慮している利水者相互の情報交換を目的に、「冬期取水に関する勉強会」を平成 25 年 2 月 25 日に開催した。参加機関は天塩川・名寄川から水道用水を取水している名寄市・士別市をはじめ、工業用水取水者等であり、21 名が参加した。翌 26 日には真勲別頭首工の現地視察も実施した。

表-1 固定観測機器

| 観測機器 | 数量 | 備考 |
|---------|-----|-------------------|
| サーモグラフィ | 1 個 | 取水口周辺の監視 |
| IP カメラ | 1 個 | 取水口周辺の監視 |
| SWIP | 1 個 | 晶氷厚の観測 |
| 水位計 | 4 個 | 水中 3 個、大気圧補正用 1 個 |
| 温度計 | 5 個 | 水中 4 個、陸上 1 個 |
| ADCP | 1 個 | 流向流速の観測 |
| 固定カメラ | 1 個 | 全景の撮影 (4 分毎) |

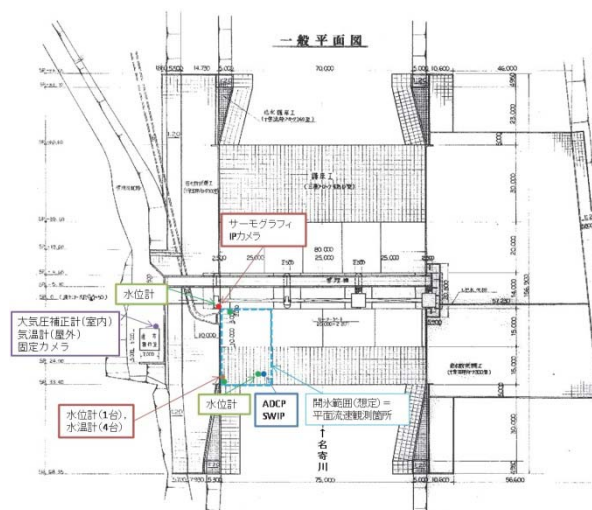


図-3 固定観測機器設置箇所

勉強会を開催することにより、取水現場では、取水障害の原因を明らかにすること、晶氷の供給源を特定すること、晶氷の発生を予測することが求められている知見であることを把握した。

(3) 道北地域等における事例調査

旭川開発建設部管内の上川地方をはじめ、留萌地方、宗谷地方を含む道北地域は北海道内の他の地域と比較して厳しい気象条件であることから、冬期間の河川からの取水に関して問題を抱えていることが考えられる。(独)土木研究所寒地土木研究所道北支所では、道北地域にオホーツク地方を加えた市町村を対象に、平成 26 年 6 月 25 日から 11 月 11 日にかけて「取水障害事例の聞き取り」を実施した。聞き取りを実施できた 35 市町村のうち、旭川市や名寄市を含む 13 市町で、冬期間の取水に関する何らかの課題を抱えていることが明らかとなった。

これまでに取水障害等の実績はなくても、氷割り等の維持管理に関する課題も多く見られたことから、晶氷の発生時期だけではなく、河川の結氷に関する知見が求められていることを把握した。

3. 現地観測と晶氷発生計算モデル

平成 25 年度より晶氷の発生と流下の現象を解明するための現地観測を実施するとともに、気象データ等を用

いた晶氷発生計算モデルを開発した。

(1) 平成 25 年度の現地観測

a) 観測地点と観測期間

観測地点は平成 25 年 1 月に取水障害が発生した天塩川水系名寄川の真勲別頭首工とした(図-1)。観測期間は結氷開始前から解氷後までの平成 25 年 12 月 6 日から平成 26 年 3 月 11 日とした。

b) 観測機器と観測方法

晶氷の発生状況の固定観測として表-1 の機器を使用した。また、設置箇所を図-3 に示す。

真勲別頭首工では、冬期間の取水にあたり、利水者により取水口周辺に開水面が確保されている。この開水面に発生する晶氷を観測するため、堰柱にサーモグラフィと IP カメラを設置した。取水口上流部での晶氷の発生状況を観測するため上流側河床部に SWIP (Shallow Water Ice Profiler) と ADCP を設置した。SWIP による晶氷の観測については橋場らの方法による⁹⁾。その他、水深方向の水温把握のため河岸に水温計を設置した。開水面の水面形把握のため取水口、水温計設置箇所、SWIP 設置箇所に水位計を設置した。さらに、遠方操作室に固定カメラを設置した。また、開水面の平面流速把

握のため、結氷前と結氷期に ADCP による観測を実施した。

c) 観測結果

固定機器の観測結果について図-4 に示す。あわせて気象庁アメダス名寄観測所の 1 時間降雪量と風向風速を示す。サーモグラフィと IP カメラにより、降雪による晶氷の発生が確認できた。サーモグラフィについては、 -20°C の外気温が機器に影響を及ぼし、測定温度の誤差が生じたことから、撮影前に事前に機器を起動し、外気温補正の設定を行う必要性が明らかとなった。ADCP と SWIP により、晶氷の発生状況が観測できた。1 月 17 日～1 月 20 日までの間に見られる ADCP と SWIP の欠測は重機による晶氷除去の影響と考えられる。水温については、水深方向での大きな差は見られなかった。水位については、特徴的な傾向は見られなかったが、気温上昇によって融雪が促されて、流量が変動し水位に影響を及ぼすことが考えられることから、さらなる検討が必要である。

また、晶氷発生時の固定カメラ画像を図-5 に示す。12 月 3 日、4 日、14 日、15 日、20 日、22 日に晶氷が発生していることが確認できた。

さらに、ADCP による平面流速観測の結果を図-6 に

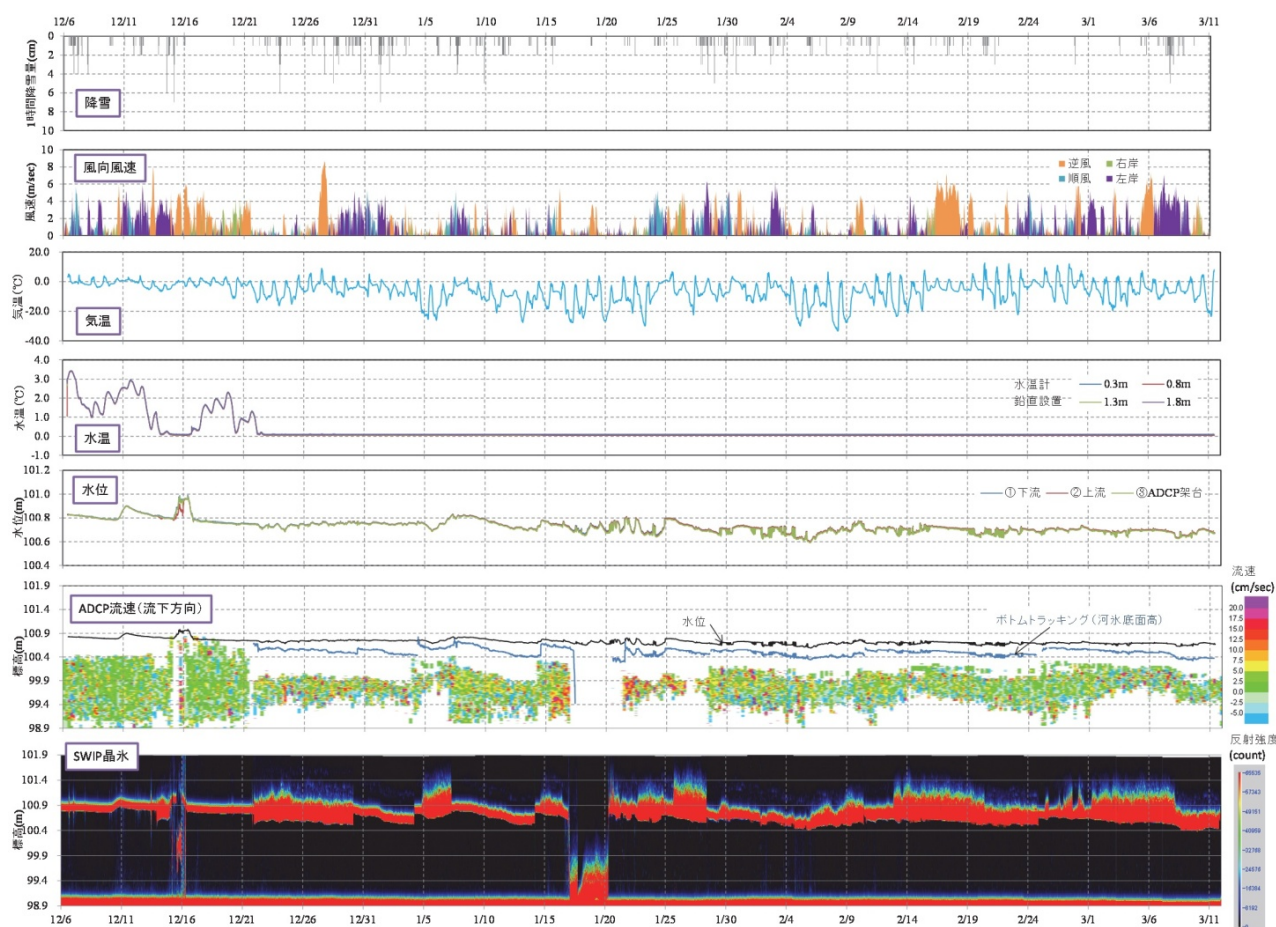


図-4 固定機器の観測結果(平成 25 年 12 月 6 日～平成 26 年 3 月 11 日)

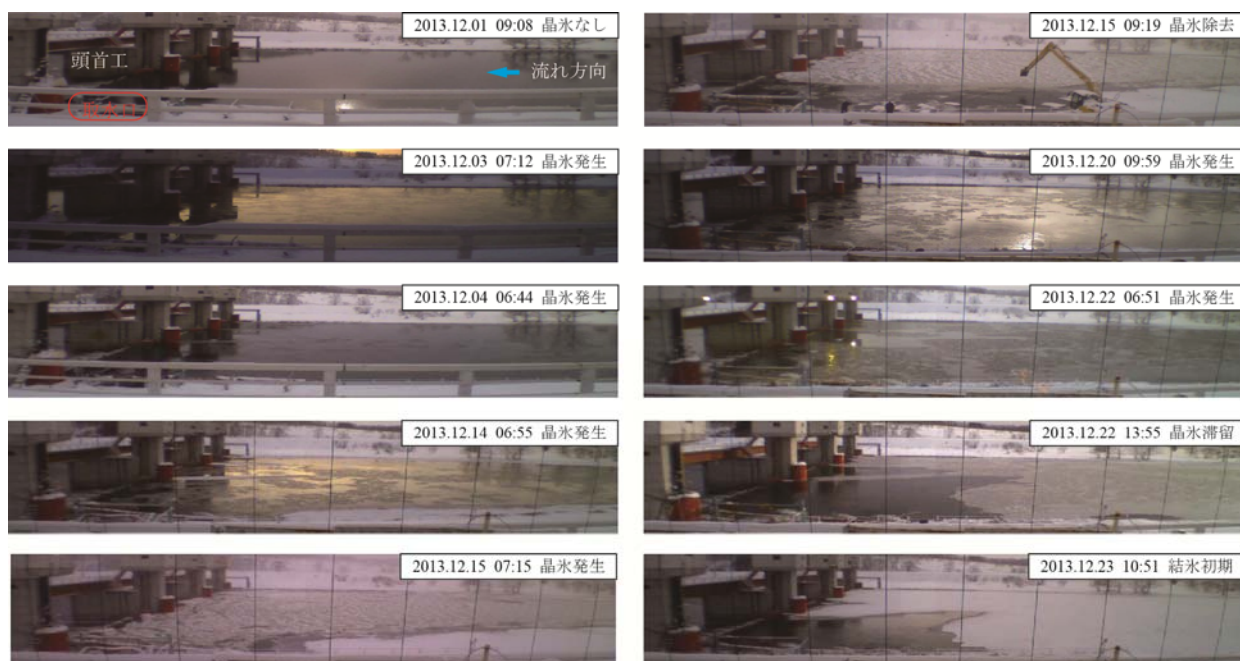
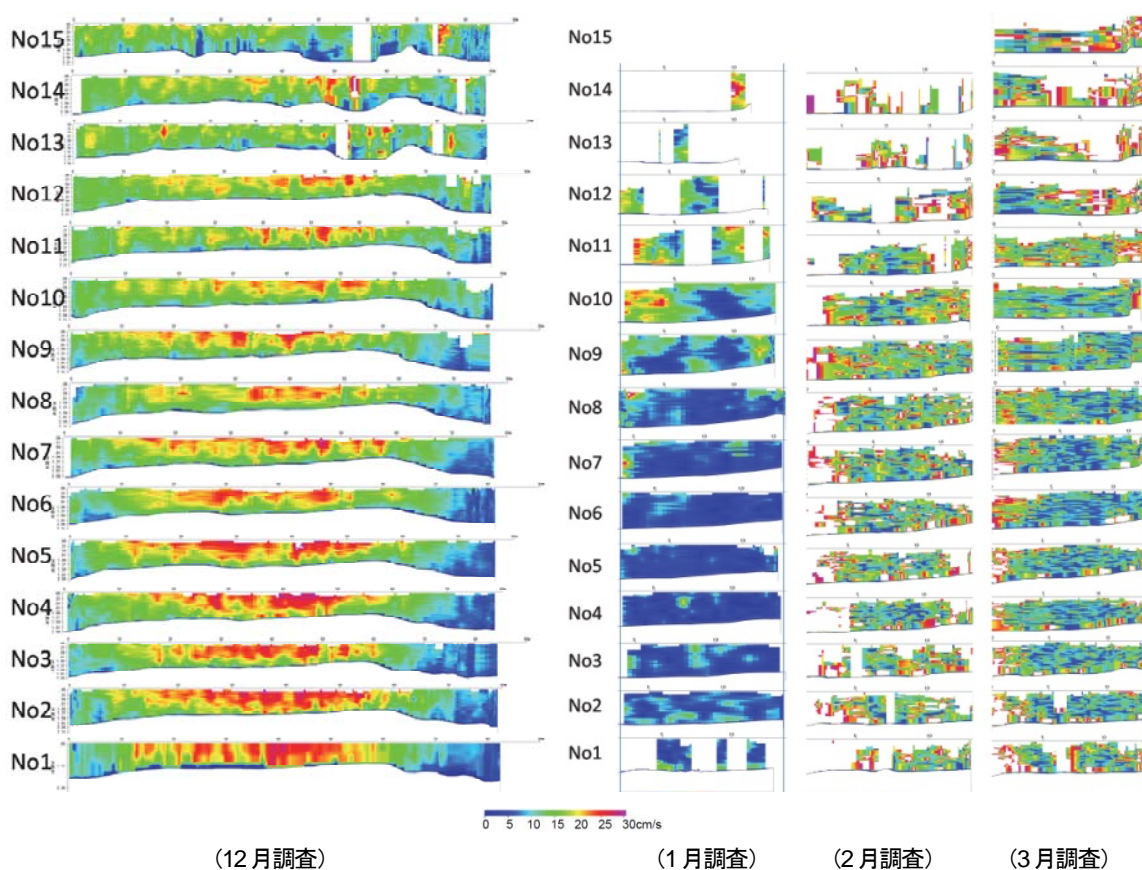


図-5 真敷別頭首工における晶氷発生状況（平成 25 年 12 月）



(12月調査)

(1月調査)

(2月調査)

(3月調査)

図-6 ADCPによる流速分布調査結果

示す。測線は、冬期間取水口周辺に確保されている開水面（約 30m×約 10m）を対象に、頭首工から上流側へ 2m 間隔で設定し、上流から No1 とし、頭首工直上流を No15 とした。全面開水面となっていた平成 25 年 12 月 6 日の観測では、中心付近に流れがあり、堰付近で流速

が減少する傾向が見られた。結氷期である平成 26 年 1 月 21 日、2 月 10 日、3 月 11 日の観測は取水口周辺の開水面のみの観測となり、流れが左岸側の取水口付近による傾向が見られた。なお、結氷期の観測では、結氷防止のために稼働している水中ポンプの影響と考えられる

データの欠落が見られた。

これらの現地観測により、晶氷発生時期と気象条件の関係を把握することができた。

(2) 平成 26 年度の現地観測計画

平成 25 年度の晶氷の発生状況に関する現地観測結果を受け、平成 26 年度は同観測とあわせて晶氷の流下・堆積状況に関する観測を実施する計画である。これにより、晶氷がどこで発生し、どのように流下してくるのかを明らかにする予定である。

(3) 晶氷発生計算モデル

晶氷の発生、流下、堆積の現象については、吉川ら⁷⁾により、上流と下流に区分して図-7 のとおり整理され、晶氷発生に関する熱収支については、図-8 のとおり整理されている。開水面における、熱収支と降雪を考慮した晶氷発生計算モデルは次式のとおりである。

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

ここに、 ρ_i [kg/m³] : 氷の密度、 ρ_s [kg/m³] : 雪の密度、 h [m] : 厚さ、 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。添え字は各層の値であり、 i は薄氷と晶氷、 s は降雪、 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。

右辺は晶氷発生要因として区別でき、第一項は放射、第二項は対流、第三項はアンカーアイス、第四項は降雪、第五項は流水による晶氷の融解の影響である。各要因毎の計算過程の詳細は吉川ら⁸⁾によるが、最終的な計算モデルへの入力値は、気温、風速、日照時間、降雪深、河川の水深、河川の流速、対象地点の緯度となる。

(4) 晶氷発生計算モデルの現地への適用

晶氷発生計算モデルの妥当性を確認するため、計算値と現地観測との比較を行った。

現地観測で晶氷の発生が確認できた平成 25 年 12 月における晶氷発生計算モデルによる発生晶氷厚の計算結果を図-9 に示す。図中には、晶氷の発生要因毎の計算値がわかるように、放射、対流、アンカーアイス、降雪、流水による晶氷の融解に区分して示した。また、最終的な計算値を赤色で示し、現地観測により得られた晶氷発生時期を緑色で示した。晶氷の発生要因毎の計算結果を相対的にみると、放射は変動が少なく、対流は気温が低

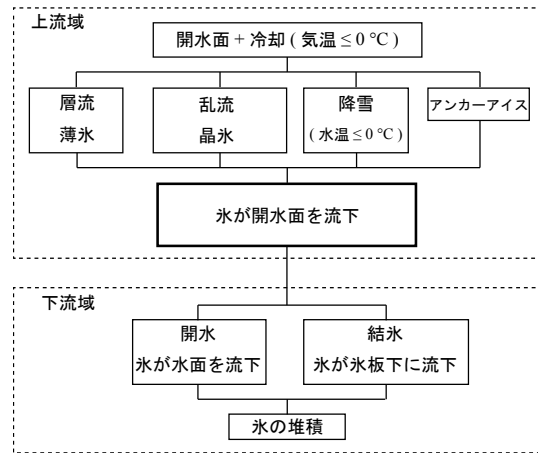


図-7 寒冷地河川における晶氷の発生・流下・堆積

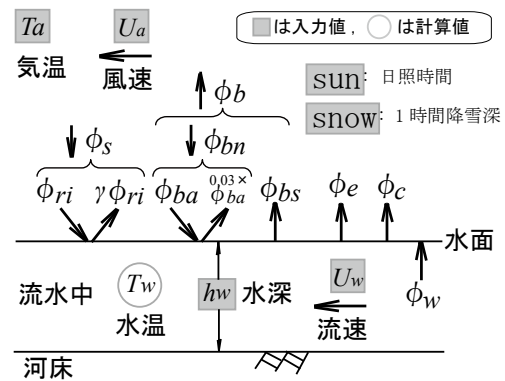


図-8 晶氷の発生に関する熱収支の概念図

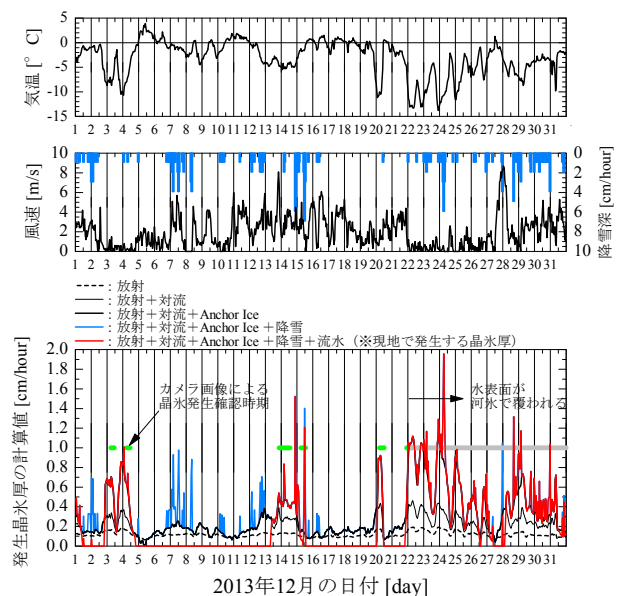


図-9 平成 25 年 12 月の晶氷発生計算値

下し風があると急激に増加する。アンカーアイスは気温が低くなると増加し、降雪はその発生により急激に増加することが分かる。流水による晶氷の融解は、気温による影響が大きい。現地で晶氷発生が確認された時期において、発生晶氷厚が大きくなっており、本計算モデルは晶氷発生現象を表現できている。

4. おわりに

現地観測により、晶氷の発生現象を明らかにすることができ、また、晶氷発生計算モデルにより、晶氷の発生現象を表現できた。

本計算モデルは、開水面における晶氷発生計算モデルである。過去の取水障害事例では、結氷時に発生しているため、本計算モデルでは、取水障害を予測することは困難である。このため、平成 26 年度の現地観測により、氷板下の晶氷の流下・堆積現象を解明し、晶氷の流下量を再現できるモデルを構築する予定である。

本計算モデルへの入力値は、気温、風速、日照時間、降雪深、河川の水深、河川の流速、対象地点の緯度のみである。河川の水深、流速については、冬期間でありほぼ一定と考え、気象データについては、インターネットで予報値を入手すれば、リアルタイムでの晶氷の発生予測が期待できる。そこで、各取水現場において容易に利用できる汎用性の高いものにするために、マイクロソフトエクセルを利用した運用を検討している。

利水者との勉強会や道北地域等における事例調査により、多くの自治体で冬期間の取水に関する何らかの課題があることが判明している。今後は、本研究により得られた知見を他の地域にも還元すべく研究を進める必要がある。

最後に、河川管理上の様々な課題がある河川の結氷現象であるが、それを地域振興に役立てている事例を紹介する。旭川開発建設部管内の中川郡中川町では、冬期間に全面結氷する天塩川の解氷を「春の扉が開く」と表現し、「春がいつやってくるか」を予想する「解氷クイズ」

を毎年実施している。解氷クイズの標識木の状況は、北海道開発局が管轄する河川の水位をリアルタイムで情報提供する「河川リアルタイム情報⁸⁾」で確認できる。皆様、春の訪れを予想してみませんか。

謝辞：本研究にあたり、名寄市役所建設水道部より資料提供及び現地観測のご協力、(株) 福田水文センターより現地観測のご協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 伊藤丹, 黒田保孝, 吉川泰弘, 結城憲明: 天塩川における結氷初期と解氷期に関する現地観測, 寒地土木研究所月報, No723, 2013.
- 2) 柿沼孝治, 吉川泰弘, 井上和哉: 河川結氷時の流量推定について～河川砂防技術基準: 調査編の改訂に関連して～, 寒地土木研究所月報, No721, 2013.
- 3) (独) 土木研究所寒地土木研究所寒地河川チーム: <http://river.ceri.go.jp/contents/tool/pdf/konseki.pdf>
- 4) 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～, 平成 13 年度北海道開発技術研究発表会, 河-11, 2002.
- 5) 旭川市水道局: <http://www.water.asahikawa.hokkaido.jp/>
- 6) 橋場雅弘, 吉川泰弘, 渡邊康玄: 結氷河川における SWIP を用いた河氷の晶氷厚の測定, 土木学会, 河川技術論文集, 第 16 巻, pp271-276, 2010.
- 7) 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, 土木学会, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, 2015. (投稿中)
- 8) 河川リアルタイム情報: <http://info-dam.hdb.hkd.mlit.go.jp/river/>