

# 嶮淵川におけるアイスジャム現象の再現計算

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 ○伊波 友生  
(国研) 土木研究所寒地土木研究所 横山 洋  
札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課 鳥谷部 寿人

平成30年3月9日、例年にない全道的な降雨と気温上昇により、今まで観測事例のない嶮淵川でアイスジャムが生じた。今後、気候変動に伴い水災害が激甚化・頻発化すると予見され、道内においてアイスジャムが発生する河川は増加すると考えられる。しかし、アイスジャムは観測事例に限られ、メカニズムの解明は十分でない。筆者らは、嶮淵川を対象にアイスジャムの発生要因を明らかにする目的で河氷変動計算を行い、課題を抽出した。その結果、気温の上昇と流量の増加が同時に起きたことでアイスジャムが生じたと考えられることが分かった。また、KP 7.132に設置されている嶮淵川二号床止において流速が低下し流れが滞留するため河氷が形成されやすく、床止の下流に位置する蛇行部において河氷が閉塞しアイスジャムが生じたと推察される。また、植生による河道狭窄の影響を考慮し検討したところ、河氷がより厚く形成されアイスジャムの規模も大きくなることが分かった。

キーワード：アイスジャム、自然災害、河川管理

## 1. はじめに

厳寒期において寒冷地河川では多くの河川が結氷し、河川の全面結氷 (ice cover) や河氷 (ice sheet, anchor ice) の流下が生じる。このとき、河氷が河川の狭窄部や蛇行部、橋脚や樋門などの河川構造物が設置されている箇所ですまり、流下の阻害や水位の上昇を引き起こすケースがある。また、河氷が堤防へ衝突し劣化を進行させる、河氷が取水施設近傍で集積し取水障害を生じさせる、といった現象も報告されている。これらの現象は総じてアイスジャムと呼ばれ、北海道の河川でもしばしば発生している。しかしながら、アイスジャムは観測事例に限られており、実現象が十分に把握されていない。従って、アイスジャムに関する知識や知見は未だ乏しい実情にある。

嶮淵川は千歳川のおよそKP 28.6において合流する支流の1つである (図-1)。平水時における水面幅は最大で10m程度の小さな川である。直轄区間のKP0.2からKP7.2において樋門を9つ、橋梁を8つ、水路橋を1つ、排水門を1つと多くの河川構造物を有している。例年、嶮淵川ではアイスジャムは生じていなかったが、平成30年3月9日の全道的な降雨と気温上昇により嶮淵川を含む多くの河川でアイスジャム現象が発生した<sup>1)</sup>。今後の長期的な気候変動の影響を踏まえると、水災害が激甚化・頻発化すると予見され、道内においてもアイスジャムが発生する河川は増加すると考えられる。

寒地土木研究所では、平成30年3月9日の全道的なアイ

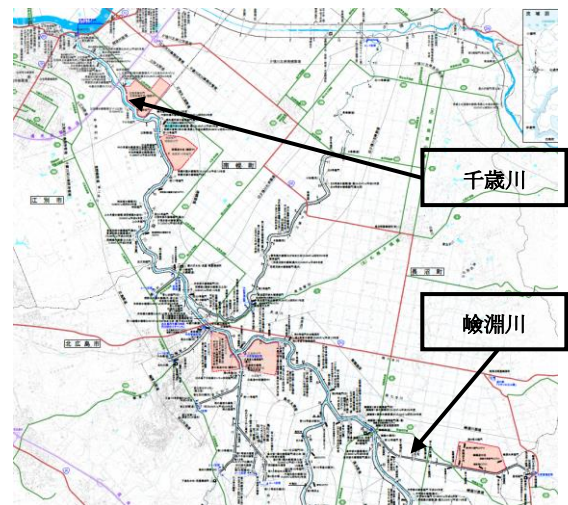


図-1 (a) 嶮淵川の位置 (遠景)

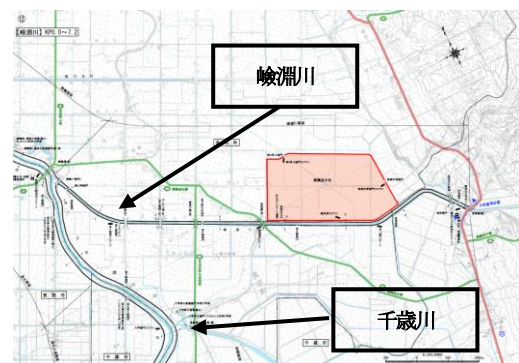


図-1 (b) 嶮淵川の位置 (近景)

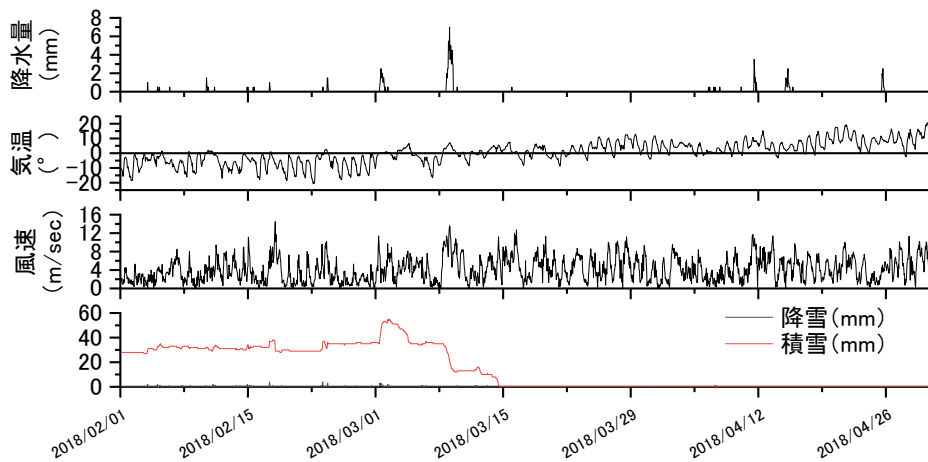


図-2 計算期間における千歳市の気象状況

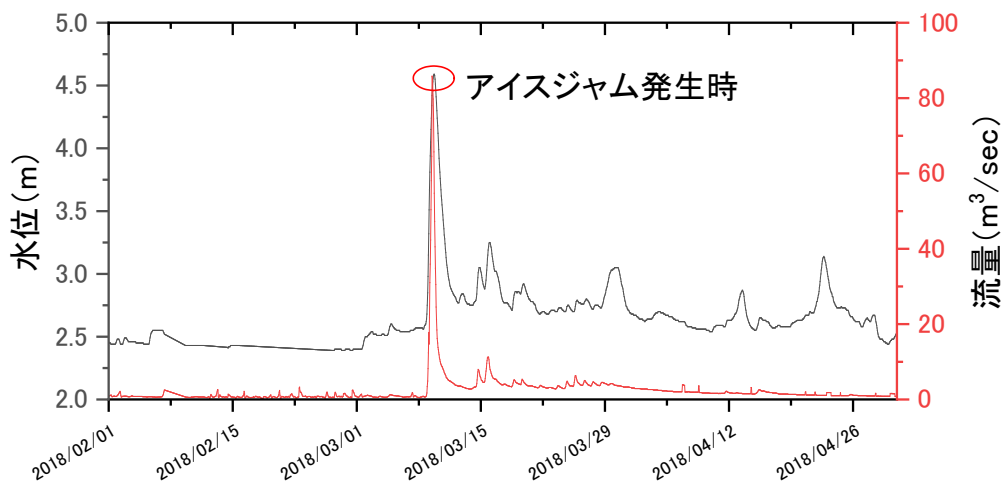


図-3 計算期間における嶮淵川の水位と流量

スジャムの発生に際し緊急の現地調査を実施した。河水サイズ測定やUAVを用いた動画撮影を行うことで各河川のアイスジャム発生状況を観測するとともにアイスジャム発生メカニズムを考察している。本論文はその現地調査内容を報告するとともに、河水変動計算を用いてアイスジャムを再現することで、その発生要因について考察するものである。

## 2. 発生したアイスジャムの状況

平成30年3月12日と15日に行った現地調査の内容を示すとともに、嶮淵川で発生したアイスジャムの要因と課題を示す。

### (1) アイスジャム発生時の気象条件

平成30年3月8日から9日にかけて温帯低気圧が北海道

に発達しながら接近し、季節外れの降雨と気温の上昇をもたらした(図-2)。降雨と融雪によって河川流量や水位が上昇するとともに、解氷が始まり河水が流下したことでアイスジャムが発生したと考えられる(図-3)。嶮淵川においては、嶮淵水位・流量観測所(KP 7.2)における水位のピークが9日13時、舞鶴水位・流量観測所(KP 28.5)における水位のピークが9日18時であり、アイスジャムはこの頃に生じたと推察される。

### (2) 現地調査の結果と考察

現地調査はアイスジャム発生の日後である3月15日に行った。調査範囲はアイスジャムの発生が確認できていたKP 6.8からKP 7.2である。現地調査を行った12日の時点で、嶮淵川の高水敷には長辺が最大で3.0 m、厚さが最大で0.5 mの河水が何層にも重なり合っており、アイスジャム発生時にはこれよりも大きな河水が流下していたことがわかる(写真-1, 2, 3)。

KP 7.132には嶮淵川二号床止が設置されているが、河



写真-1 高水敷に打ち上がっていた河氷（全景）  
（2018年3月12日 12:30頃撮影）



写真-2 高水敷に打ち上がっていた河氷（平面図）  
（2018年3月12日 12:30頃撮影）



写真-3 高水敷に打ち上がっていた河氷（断面図）  
（2018年3月12日 12:30頃撮影）

氷が高水敷に打ち上がっているのは床止より下流側で、上流側ではほとんど打ち上がっていなかった。これは床止の地点で落差工のように河床が下がっており、床止の下流側では流速が低下するため河氷が滞留し、アイスジャムの原因となったためと推察した。

登坂樋門（KP7.0、左岸）と松原樋門（KP7.0、右岸）の取水口のそばに河氷が進入していたが、取水障害や樋門の劣化は見受けられなかった。嶮淵川は川幅が狭くひとたびアイスジャムが生じれば川幅いっぱいに河氷が流下するため、潜在的なアイスジャムのリスクは高いといえる。なお、これらより下流に位置する樋門に関しては未調査である。

### 3. アイスジャムの再現計算

現地調査において実際に流下した河氷のサイズやアイ

スジャムが生じた範囲の概要が把握できた。しかし、調査は嶮淵川の一部にとどまり、河氷の供給源である上流端や千歳川本川での結氷状況などは把握できていない。そこで、上流からの河氷供給の影響や嶮淵川全域での時間空間的な河氷流下状況を把握する目的で、iRIC搭載の1次元不定流ソルバーであるCERIIDを用いて流況と河氷の形成融解の再現計算を実施した。

本計算モデルは、河川水の流れ、氷板の流れ、氷板の形成融解、氷板の破壊、アイスジャム発生条件に関する計算式で構成されている。河氷は大別すると硬い氷板とその下に存在する柔らかい晶氷に分けられるが、本計算モデルでは、固定された硬い氷板と流下する河氷（破壊された氷板を含む）に区分している。なお、気温低下および降雪による晶氷の発生、晶氷の水化および融解、河道内の橋脚は考慮していない。

#### (1) 境界条件について

本研究において、下流端での境界条件は舞鶴水位・流量観測所における水位を用いた。上流端での境界条件は嶮淵水位・流量観測所における水位をHQ式を用いて流量に換算したものを用いた（図-3）。計算領域はKP 0.2からKP 11.2とした（図-4）。このうち直轄区間であるKP 0.2からKP 7.2までの河川横断データは、千歳川河川事務所が2015年11月に計測したデータを用いた。KP 7.2より上流の範囲は、横断データがないこと、現地調査時点でアイスジャムが生じていなかったと判断したこと、河道形状からもアイスジャムが生じにくいと考えられることから、KP 7.2の断面を一律に与えるとともに、河床勾配はKP 0.0からKP 7.2における平均勾配とした。これにより計算領域の上流端を擬似的に河川の源頭部と見なして、上流端での河氷供給量を $0 \text{ m}^3$ として計算している。なお、橋脚や樋門といった河川構造物の影響は考慮していない。下流端での河氷面積は計測データが無いこと、現地調査においてKP 0.0での河氷面積を把握していないことから、写真-1, 2を参考に河氷面積 $h = 0 \text{ m}^2$ 、 $4 \text{ m}^2$ 、 $9 \text{ m}^2$ と設定した3ケースを事前に計算し検討した。その結果、河氷面積によらず縦断的な河氷厚は同値であることが分かった。これは河氷の形成融解は主に気温と水温との熱交換によって決定し、ある定常状態に収束したためと考えられる。よって、以降は千歳川との合流部では結氷していなかったものとし、下流端での河氷面積 $h = 0 \text{ m}^2$ と設定した。計算期間は結氷が生じていると考えられる2018年2月1日からアイスジャム現象が収束し解氷しつつある2018年4月30日までの3か月間とした。

#### (2) 再現計算の結果と考察

アイスジャム発生前における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す（図-5（a））。アイスジャムが3月9日に発生したことを踏まえ、ここではアイスジャム発生前として3月7日での値を用いた。流量はおよそ $1.00 \text{ m}^3 / \text{sec}$ 前

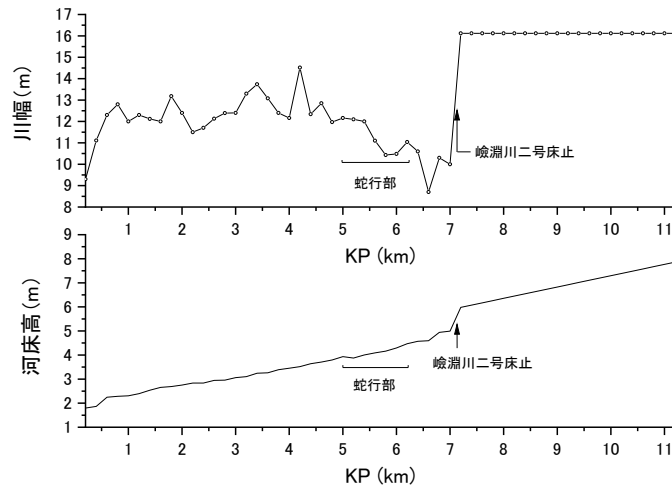


図-4 平水時の川幅と最深河床

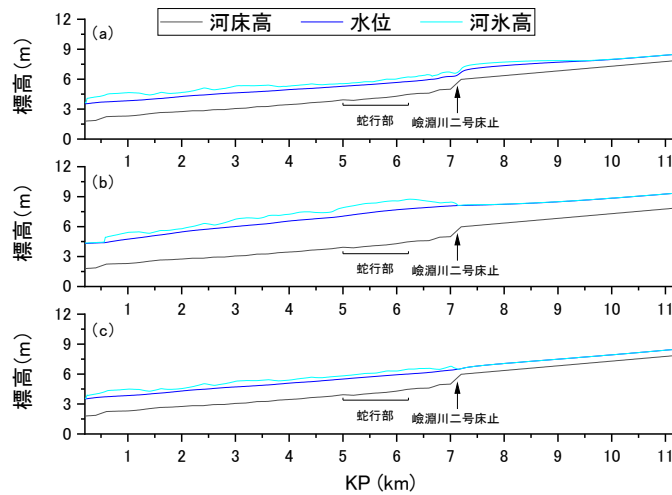


図-5 河床高、水位、河氷高の縦断面図 (a) アイスジャム発生前、(b) アイスジャム発生時、(c) アイスジャム発生後

後で推移しており、定常状態にあったといえる。河床高・水位・河氷水位の縦断面図から峻淵川二号床止の設置されているKP 7.132地点よりもその下流部のほうが河氷厚が大きいことがわかる。これは流れが滞留する床止の地点で河氷が形成されたのち、流下する過程で河氷厚が増加したためと考えられる。この時、流れや河氷は低水路内にあり、また、顕著な水位上昇も見られないことからアイスジャムはまだ発生していないと判断した。

アイスジャム発生時における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す(図-5 (b))。ピーク流量はHQ式からおおよそ $85.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ と見込まれている。また、高水位は長くは続かず一時的なものであった。したがってこのタイミングで河氷が破壊されるとともに流下したものと考えられる。河床高・水位・河氷水位の縦断面図から峻淵川二号床止の設置されているKP 7.132地点より上流では河氷厚が0mとなっており、出水によって河氷が下流へフラ

ッシュされたことを示している。KP 7.132地点を境に下流側では河氷厚が増加し、蛇行部KP 5.0~KP 6.22で最大となっている。このことから、フラッシュされた河氷が蛇行部で閉塞しアイスジャムが生じていることが示唆される。この時、流れや河氷は高水敷まで上昇していることから、減水する過程で河氷が高水敷に打ちあがったと推察される。

アイスジャム発生後における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す(図-5 (c))。流量はおおよそ $1.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ 前後で推移しており、定常状態にあったといえる。河床高・水位・河氷水位の縦断面図から峻淵川二号床止より上流では河氷が形成されていないことがわかる。これは上流端において河氷の供給がないことに加え、気温が上昇しつつあるためと考えられる。一方で峻淵川二号床止より下流では薄氷が張っている状況であり解氷には至っていない。このことから、床止によって流れが滞留してい

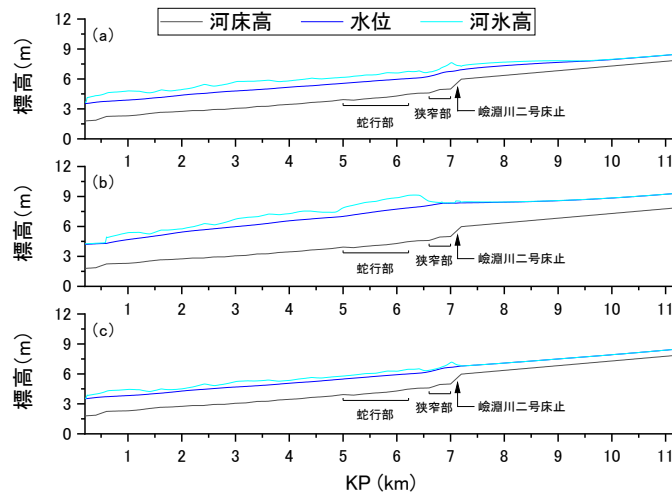


図-6 河床高、水位、河氷高の縦断面図（植生による河道狭窄の影響を考慮）  
 (a) アイスジャム発生前、(b) アイスジャム発生時、(c) アイスジャム発生後

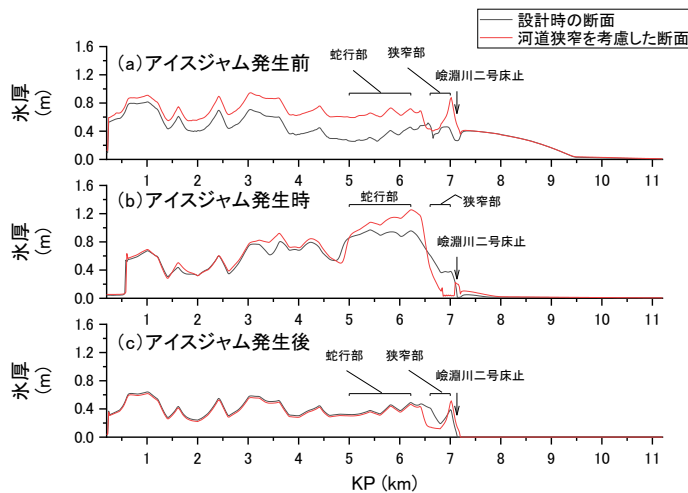


図-7 氷厚の縦断面図 (a) アイスジャム発生前、(b) アイスジャム発生時、(c) アイスジャム発生後

る地点から河氷が形成されて下流側へ供給されていることが示唆される。

### (3) 植生による河道狭窄の影響

ドローンを用いた空中からの動画撮影より、KP 6.6～KP 7.0の低水路において植生が繁茂しているため川幅が半分程度に狭まっていることが確認できた。川幅が狭いと河氷が集積・閉塞しやすいためアイスジャムはより起こりやすくなる。そこでこの区間において低水路幅を半分にしたケースを計算し河道狭窄が河氷の形成融解やアイスジャムに与える影響を考察する。

図-6に河道狭窄の影響を考慮したアイスジャム発生前、アイスジャム発生時、アイスジャム発生後それぞれの河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す。また、図-7にアイスジャム発生前、アイスジャム発生時、アイスジャム発生後それぞれの氷厚の縦断面図を示す。

アイスジャム発生前における河道狭窄の影響を考察する。図-6 (a) , 7 (a) より床止の直下流KP 7.02で河氷厚が大きくなっていることがわかる。これは床止の地点KP 7.132で形成された河氷が、狭窄部の入り口KP 7.0で閉塞し1つ上流側の断面で堆積したためと考えられる。狭窄部のKP 6.6～KP 7.0では河氷の形成や堆積は生じていないが、狭窄部の出口KP 6.6から下流の領域では河氷厚が大きくなっていることがわかる。これは、計算モデルの観点から考察すると、狭窄部の出口において川幅の増加に伴い相対的に流速が低下し、河氷の形成が進んだためと考えられる。実現象をベースに考察すると、狭窄部の出口で河道断面が急拡大し死水域が生じ、そこで河氷が形成と滞留を繰り返しながら河氷厚を増していったためと考えられる。

アイスジャム発生時における河道狭窄の影響を考察する。図-6 (b) , 7 (b) より蛇行部KP 5.0～KP 6.22で河氷

厚が大きくなっていることがわかる。一方でアイスジャム発生前において河氷が発達していたKP 7.02など床止周辺で河氷厚が低下している。したがって河道狭窄の影響でより大きく形成された河氷が出水時にフラッシュされ蛇行部で閉塞したことが推察される。と同時に狭窄部ではアイスジャムが生じなかったことが分かる。蛇行部より下流側では川幅の大きな地点で多少河氷厚が増加しているものの、顕著に変化してはならず、河道狭窄の影響は蛇行部での河氷厚の増加とアイスジャムの規模の拡大が主といえる。

アイスジャム発生後における河道狭窄の影響を考察する。図-6(c), 7(c)より狭窄部のKP 6.6~KP 7.0を除いて河氷厚はほぼ同値であった。これは融雪期において河氷が融解し始めており、広域スケールで捉えたと河道狭窄の影響が小さいと考えられる。一方で狭窄部は流速が速く河氷の形成が促進されにくいいため、狭窄部のみ河氷厚が小さくなっていることがわかる。

#### 4. 結論

嶮淵川を対象に現地調査と河氷変動計算モデルを用いて河氷の形成からアイスジャム現象の発生そして収束までを考察した。また河道狭窄がアイスジャムに与える影響を河氷変動計算モデルにおいて再現し検討した。以下に主要な結論を示す。

- ・ 気温の上昇と流量の増加が同時に起きたことでアイスジャムが生じたと考えられる
- ・ 下流端での河氷面積は嶮淵川での河氷の形成融解にはほぼ寄与しないと考えられる
- ・ 床止の直下流は流速が低下し流れが滞留するので、河氷が形成される
- ・ 蛇行部は河氷が閉塞しやすくアイスジャムを引き起こす地形的な原因となりうる
- ・ 狭窄部の出口は死水域となるため河氷が形成されやすい
- ・ 嶮淵川においては狭窄部の影響でアイスジャムが発生したとは考えにくい

謝辞：北見工業大学の吉川泰弘准教授には有意義なご意見、ご指摘を頂いた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 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.174, No.5, I\_1039-I\_1044, 2018.
- 2) CERID ソルバーマニュアル [http://i-ric.org/ja/download/get/mfmjY5] (最終確認日: 2018年12月10日)
- 3) Bray, D. : Estimating Average Velocity In Gravel-Bed Rivers, Journal of the Hydraulics Division, Vol.105, No. HY9, pp. 1103-1122, 1979.
- 4) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川結氷時の観測流量影響要因と新たな流量推定手法, 土木学会, 水工学論文集, 第54巻, pp.1075-1080, 2010.
- 5) Shen, H. T., Shen, H., Tsai, S. M. : Dynamic transport of river ice, Journal of Hydraulic Research 28, pp.659-671, 1990.
- 6) 吉川泰弘, 渡邊康玄 : 渚滑川と湧別川における晶氷の氷化を考慮した氷厚変動計算の一考察, 寒地土木研究所月報, No. 668, 2009.
- 7) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川結氷時の1次元水温計算に関する一考察, 土木学会, 年次学術講演会講演概要集, 第65回, 2010.
- 8) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 結氷河川における実用的な氷板厚計算式の開発, 土木学会, 年次学術講演会講演概要集, 第64回, 2009.
- 9) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博 : 結氷河川における河氷形成と河道特性の関係に関する考察, 寒地技術シンポジウム, 第25回, pp.190-195, 2009.
- 10) 久保義光 : 氷工学序説, 氷工学刊行会, pp. 40, 1980.
- 11) 構造力学公式集 : 土木学会, 構造工学委員会, pp. 127-149, pp. 180-184, 1986.
- 12) 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, 21-34, 2012.
- 13) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川解氷時の河氷の破壊と流下に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 67, No. 4, I\_1075-I\_1080, 2011.
- 14) Liu L, Li H and Shen H. T. (2006). A Two-Dimensional Comprehensive River Ice Model, *Proceedings of the 18th IAHR International Symposium on Ice*.
- 15) Yoshikawa Y., Kuroda Y., Abe T., Toyabe T., Park H. and Oshima K. (2016). Study on the ice-jam occurrence based on hydraulic experimentation, *Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice*.