北海道太平洋岸地域の河川結氷状況調査
～2011年３月及び2012年３月の比較を通じた検討～

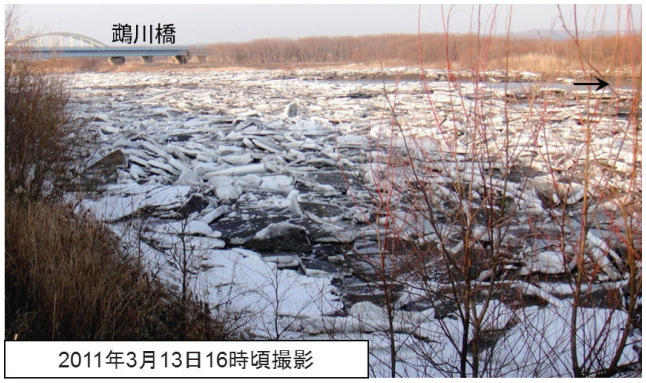
阿部　孝章*　宮本　修司**　吉川　泰弘***
佐藤　博知****　稲垣　達弘*****　平　吉昭******

１．はじめに

寒地河川チーム及び道東支所においては、これまで2011年東北地方太平洋沖地震津波により北海道で確認された「河川津波」の痕跡調査に関する報告を行ってきたところです[1),2)]。この災害が発生した当時の３月は、北海道における河川結氷期間です。そのため、これらの河川津波は多くの河川で氷を破壊した痕跡を残しました（例えば、**写真－１**）。しかし、河口付近の高水敷上で散乱した氷板や樋門吐口水路への氷の進入は、春先の解氷で、中上流域から流下した氷でも起こりえるものかもしれません。そこで本報告では、そのような現象が通常起こりえるものなのかどうかを明らかにすることを目的としました。そこで、東北地方太平洋沖地震のちょうど１年後の春先の時期に、現地において河川結氷状況の調査を実施し、河川結氷量や結氷の状態、解氷により流下している氷板に着目した現地調査を実施しました。

２．調査概要

本報告では、太平洋岸で河川津波の進入が確認された河川において、東北地方太平洋沖地震直後との相違点に着目し、以下に示す２回の現地調査を実施しました。



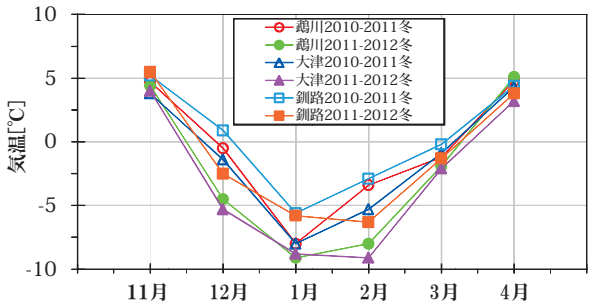
写真－１　鵡川低水路部の砂州を埋め尽くす氷板痕跡

第１回現地調査
日程：平成24年３月12日（月）～15日（木）
対象：十勝川・浦幌十勝川・音別川・和天別川・茶路川・庶路川・コイトイ川・阿寒川・星が浦川・春採川・春採湖・チョロベツ川・阿雪裡川・新釧路川・仁々志別川
調査者：道東支所（平・宮本・佐藤・稲垣）、寒地河川チーム（阿部）

第２回現地調査
日程：平成24年３月21日（水）
対象：厚真川・鵡川
調査者：寒地河川チーム（吉川・阿部）

本報告では、2011年３月に特徴的な河川津波痕跡が確認された地点における調査写真の比較と、河口部における結氷状況に着目して報告します。

ここで、2011年と2012年における気象条件の違いを示しておきます。**図－１**のように2011～2012年冬期は、気象庁のアメダス観測所である鵡川（鵡川流域）、大津（十勝川流域）、釧路（釧路川流域）いずれにおいても平均気温が低く、河氷が発達しやすい条件であったと推定されます。そのため、現地調査時は、2011年には見られなかった高水敷への積雪が多かったことを付け加えておきます。結氷状況も異なっていたことが想定されます。



図－１　主要な地域で冬期間における月毎の平均気温の推移

2011年3月14日14時頃撮影　2012年3月12日14時頃撮影

写真－２　十勝川 KP. 4. 0地点 T_1樋門ゲート

2011年3月14日14時頃撮影　2012年3月12日14時頃撮影

(a) 吐口側を撮影

2011年3月14日14時頃撮影　2012年3月12日14時頃撮影

(b) ゲート側を撮影

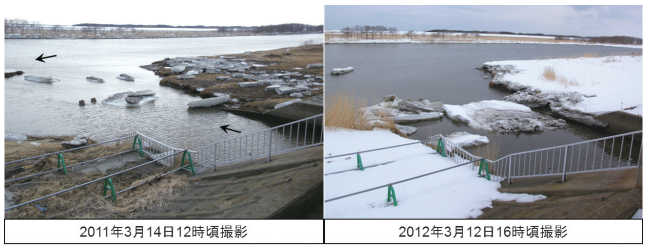
写真－３　十勝川 KP. 3. 3地点 T_2樋門吐口

３．調査結果

３．１　十勝川・浦幌十勝川

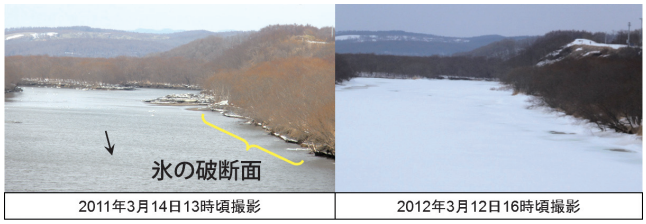
写真－２に示したのは、十勝川 KP.4.0付近 T_1樋門ゲート部分の様子です。本報告では、写真の左側に2011年の調査時の写真、右側に2012年調査時の写真を示しています。両方の写真について、ゲート前の積雪の量は同程度に見受けられます。左側の写真を見ると、河川津波による水位上昇の影響により、積雪に微細な泥が付着しています。泥の痕跡から、津波による水位上昇はゲート内部まで侵入したと考えられます。しかし、右側の写真には泥の付着は見られません。

写真－３に示したのは、十勝川 KP.3.3付近の T_2樋門吐口水路の様子です。2011年の写真では、吐口水路内に水が流れ、氷板痕跡が点在していること、ゲート内部まで侵入していることが確認できます。しかし、2012年では水路･ゲート前面も積雪で覆われています。



2011年3月14日12時頃撮影　2012年3月12日16時頃撮影

写真－４　浦幌十勝川 KP. 1. 1地点 U_1水門



2011年3月14日13時頃撮影　2012年3月12日16時頃撮影

写真－５　浦幌十勝川 KP. 3. 0浦幌大橋より上流

現地で調査したところ、積雪下の氷の厚さは50cm 以上にも及んでいることが確認されました。

写真－４に示したのは、浦幌十勝川 KP.1.1地点の U_1水門の吐口部分です。2011年の写真については、高水敷上、本川合流部の水深の浅い部分に氷板の堆積が確認されました。一方で2012年の写真では、2011年の調査時よりも大きな氷板が合流部に堆積・滞留しています。この大きな氷板は、支川の約100m 上流から流下して堆積しているようでした。この地点は感潮区間であるため、2012年の写真でも、高水敷の高さ付近まで浸水している痕跡が見られます。また、河川津波後の2011年の痕跡に見られるように氷板サイズが2012年のものより小さいのは、河川津波には氷板を小さく破砕する作用があったためと考えられます。実際に、松川ら[3)]による河川津波のビデオ観測では、KP.3.0浦幌大橋の橋脚で、遡上する巨大氷板が小さく破砕されたと報告されています。

写真－５に示したのは、浦幌大橋から上流を写したものです。2011年の写真では、低水路内に結氷は見られませんが、明瞭な破断面が上流に向かって続いています。一方で、2012年調査時は全面結氷しています。2012年の調査時は、人間が上に乗っても壊れない程度の厚さの結氷が存在していました。少なくとも2011年当時にも河川結氷は縦断的に生じており、それが河川津波の作用で河岸から剥がされた[3)]ものと推定されます。その後、多量の氷板が漂流・流下したと推定されます。

写真－６　浦幌十勝川 KP. 4. 2地点 U_3樋門吐口

写真－７　新釧路川 KP. 4. 5地点 S_1樋門吐口

写真－８　鵡川 KP. 2. 6鵡川橋より下流

写真－９　鵡川 KP. 0. 9地点 M_1樋門吐口

写真－６に示したのは、浦幌十勝川の KP.4.2地点の U_3樋門の吐口水路の様子です。左の写真では多数の氷板が痕跡として確認されました。これらの氷板には、顕著に泥が付着していました。また、高水敷の上まで水位は上昇していないのにも関わらず、吐口水路を埋め尽くすほど多量の氷板侵入が生じています。一方で、2012年の調査時、積雪への泥の付着や、氷の侵入は見られません。写真奥側の本川部にも、泥の付着は見られず、結氷の上に積雪があるのみでした。そのため、2011年の調査時の大量の氷板痕跡は、本川で破壊された氷が津波によって輸送されて、吐口水路で堆積したものと推察されます。このように大量の氷板侵入が確認された樋門吐口は、浦幌十勝川と後の３．３節で紹介する鵡川でのみ、確認されています。全面結氷している河川に津波が侵入すると、このような吐口の閉塞が発生する可能性があると言えます。

３．２　新釧路川

2011年３月当時の新釧路川では、KP.4.5地点の S_1樋門地点でのみ顕著な氷板痕跡が確認されました（**写真－７**）。この地点でも、吐口に水位上昇の泥の痕跡と、氷板痕跡がありますが、浦幌十勝川とは異なり、何層にも堆積している様子ではありません。これは、もともと新釧路川に結氷が少ないことと、吐口と本川の間に人道橋があり、それが氷の侵入・流出を防ぐ効果があったものと推定されます。右側の2012年の写真では、結氷の上を堤内からの排水が流れている様子が確認されました。結氷の厚さは、約50cm で、2011年の調査時の厚さも同程度であったことが確認されています。2011年当時の写真における、氷板の破壊及び吐口水路法面上部への泥の付着は、河川津波による水位上昇のみで発生したと推察されます。

３．３　鵡川

写真－８に示したのは、鵡川 KP.2.6鵡川橋から下流を撮影したものです。2011年の調査時は、この地点で、氷による河道閉塞が生じていました。これは、河川津波により大量の氷板が輸送され、狭窄部で氷が河道閉塞を起こし、上流側の水位を上昇させていた現象です。これは、写真右側に写っている鵡川水位観測所の水位記録分析から確認されています。

１年後の調査では、取り外された鵡川水位観測所管理橋の周辺で開水面が見られました。この部分で流速が速くなっていたためと考えられます。結氷の状態もまだらで、この時確認された結氷は非常に薄いものでした。

次に、**写真－９**に示したのは、鵡川 KP.0.9地点の M_1樋門吐口水路です。この地点では2011年の調査時、吐口水路内で氷板の集積が確認されました。これらの氷板には、泥の付着が確認され、**写真－６**の U_3樋門と非常に近い状態であったと言えます。この氷板痕跡も、本川から侵入したと考えられています。2012年の調査写真では、吐口水路内に排水が流れ、一部に結氷も見られます。しかし、泥の付いた氷板の侵入は確認

2011年3月19日16時頃撮影　2012年3月21日15時頃撮影

写真－10　厚真川 KP. 1. 7地点臨港大橋

左写真は厚真町教育委員会乾哲也氏より提供を受けた。

されませんでした。そのため、左写真に見られるような氷板の多数の侵入と堆積は、河川津波によるものだったと推定されます。

3．4　二級河川・その他の河川

本節では、一級河川以外の結氷状況の比較について、主なものを紹介します。

3．4．1　道央の河川

写真－10は苫小牧東港の東側に河口を持つ厚真川における調査写真です。厚真川は、道央地方では鵡川と並んで非常に多くの氷板痕跡が確認されました。厚真川は河口閉塞が著しく、毎年土砂の掘削が行われていますが、2011年の津波では河口砂州がフラッシュされていました。2012年の調査時には河口砂州が再生しており、河口域は非常に流速が遅く、氷板滞留が確認されました(右写真)。氷板を漂流物と見なすと、これらの氷板は津波による被害を増大させる可能性がありまる。河口閉塞が生じている河川では、閉塞によるこうした副次的な影響も、留意すべき事項と言えます。

3．4．2　道東の河川

写真－11は、音別川の河口からほど近い砂州部分の河川の状況です。2011年の調査時には、河川津波により砂州が一部削られていたと報告されています[4)]。2011年当時は河川津波の影響で結氷が完全に無くなり、水面が露出しています。2012年においてもやはり河口閉塞が生じており、流速が小さく、結氷も生じやすい条件であると考えられます。河川結氷は海岸線付近まで存在していました。

写真－12は和天別川 W_1樋門を左岸側から撮影したものです。左の写真は河川津波の痕跡としては特異と考えられる、氷板が浮き上がって河岸に乗りあがっている様子を写しています。この現象は、和天別川は氷の厚い河川ですが、そのため河川津波は氷を割る代わりに氷の下を伝播し、氷の弱いところで圧力解放が生じたのだと考えられています[4)]。2012年の調査でも厚

2011年3月16日11時頃撮影　2012年3月13日12時頃撮影

写真－11　音別川 KP. 0. 4河口付近

左写真は北見工業大学渡邊康玄教授より提供を受けた。

2011年3月16日14時頃撮影　2012年3月13日13時頃撮影

写真－12　和天別川 KP. 1. 3地点 W_1樋門

左写真は北見工業大学渡邊康玄教授より提供を受けた。

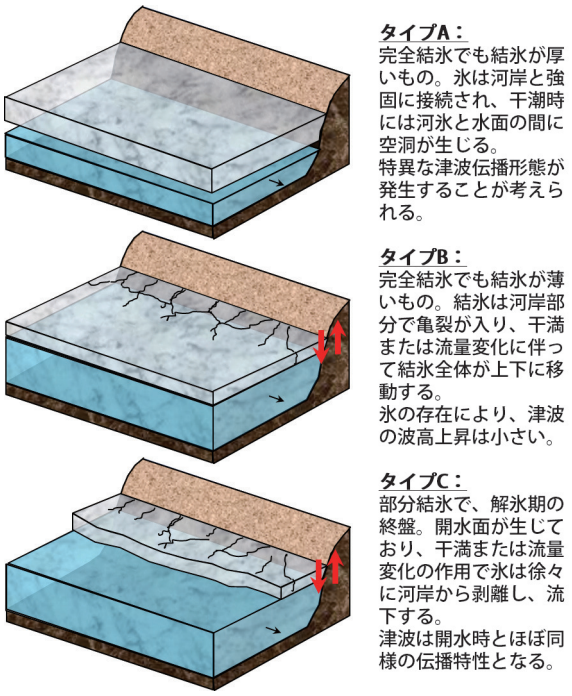
い結氷が確認され、積雪で覆われていました。また、和天別川では、鵡川のように水位記録が残っていないため断言は難しいのですが、W_1樋門より下流の狭窄部分で氷板による河道閉塞らしきものが確認されています[2)]。和天別川は海岸線の直近で茶路川と合流して海に注ぎますが、合流点まで完全結氷を生じていました。

3．5　各河川における結氷状況の分類

本節では、河川津波の侵入を受けるという仮定で、河川結氷がどのような状態となるかの分類を試みます。**図－2**に示したタイプA，B，Cは、河川結氷の状態と、そこに施設設計上の津波が侵入した場合に想定される現象から、結氷状況を分類したものです。

タイプAは結氷が非常に厚く張る河川の場合です。河岸と密着した厚い結氷は、河川津波による水位上昇を抑える効果があります。そのため、河川が河川津波の逆流流量を飲み込めず、結氷が突発的に破壊される、あるいは津波が粗密波となって遡上する等の場合が考えられます。**写真－12**の和天別川で見られた特異な氷板痕跡はこの作用によると考えられています[4)]。

タイプBは、全面結氷はしているものの、潮汐によって氷は水位変動に追従するものです。この場合、タイプAのように津波を抑える効果は小さいので、津波は開水時とほぼ同じ速さで遡上しますが、氷が存在するために、波形勾配の急峻化は抑制されます。また、結氷と河岸との接続が弱い場合、河川津波の表面流速



図－２　結氷状況別の津波伝播について

により巨大な氷板が遡上する現象[3)]も考えられます。

タイプＣは、部分結氷で河岸に細長い氷板が付着しているケースです。通常の流下作用の下では、接続の弱い部分から徐々に河岸から剥離し、流下します。河川津波の侵入時はその逆に、剥離して遡上すると考えられます。2010年チリ沖地震津波の観測例[5)]において、このタイプの氷板遡上が確認されています。

本報告における2012年３月の調査結果より、主に河口付近について、全河川を**図－２**に従って分類すると、以下のようになりました。

タイプＡ：
音別川・和天別川・阿寒川
タイプＢ：
浦幌十勝川・コイトイ川・チョロベツ川・厚真川・鵡川
タイプＣ：
十勝川・茶路川・庶路川・新釧路川

但し、この分類は３月調査時のものですので、１、２月の厳冬期にはタイプＣ→Ｂ、タイプＢ→Ａとなる可能性もあります。また、結氷が調査時に存在しなかった河川は除いています。

タイプＡのケースでは氷板の突発的な破壊や浸水氾濫等の現象が考えられます。しかし、流速が小さく、水温も低い等いくつかの条件が重ならないと生じないタイプであるため、タイプＡの遡上形態は一部の河川でしか生じないと考えられます。一級・二級河川を含め、１月～２月の厳寒期に北海道内で最も多いと考えられるのはタイプＢです。このケースでは剥離した氷板の遡上による河川構造物の損傷等、具体的な被害が想定されます。

４．まとめ

今回の調査結果から、津波の侵入を受ける結氷河川における防災対策を考える上で、基礎的な知見が得られました。一つ目は、2011年の調査で明らかになった氷板痕跡は、河川津波で起こりえるものと通常の解氷現象として起こりえるものの二種類に分けられることが明らかになりました。また、施設計画上の津波（Ｌ１クラス津波）に対して、結氷河川において考慮すべき結氷状態･津波伝播形態の分類を明らかにしました。

今後は、寒冷地河川津波対策技術の確立に向け、今回明らかになった現象について水理実験等による検討を実施するとともに、特に河口域の結氷状況に関する現地観測に重点を置き、研究を進めていく予定です。

謝辞：北見工業大学 渡邊康玄教授、厚真町教育委員会 乾哲也氏には、資料として2011年３月調査時の貴重な写真をご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

１）阿部孝章，吉川泰弘，平井康幸，北海道太平洋岸地域における河川津波の痕跡調査，寒地土木研究所月報，東北地方太平洋沖地震被害調査報告特集号，2012年２月，pp. 29-36，2012.
２）宮本修司，佐藤博知，葛西隆廣，北海道東部太平洋沿岸における津波痕跡の調査，寒地土木研究所月報，東北地方太平洋沖地震被害調査報告特集号，2012年２月，pp. 37-44，2012.
３）松川優一，荒繁彦，加藤三明，油川曜佑，渡邉幸一，長岡宏樹，山口甲：2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した北海道十勝川河川津波の観測，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68，No.4，pp. I_1513-I_1518，2012.
４）渡邊康玄，西田正実，木村祐輔，小松佑輔，釧路管内２級河川津波遡上調査，URL：http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/（参照日2012/5/14）.

5）矢野雅昭，吉川泰弘，石谷隆始，高橋一浩，2010年２月28日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川における河川遡上に関する現地観測，寒地土木研究所月報，第693号，pp.14-26，2011.

阿部　孝章*
ABE Takaaki

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
寒地河川チーム
研究員

宮本　修司**
MIYAMOTO Shuji

寒地土木研究所
寒地技術推進室
道東支所
主任研究員

吉川　泰弘***
YOSHIKAWA Yasuhiro

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
寒地河川チーム
研究員
博士（工学）

佐藤　博知****
SATO Hirotomo

寒地土木研究所
寒地技術推進室
道東支所
研究員

稲垣　達弘*****
INAGAKI Tatsuhiro

北海道開発局
釧路開発建設部
治水課
治水専門官
（前　道東支所研究員）

平　吉昭******
TAIRA Yoshiaki

寒地土木研究所
寒地技術推進室
道東支所
副支所長