

# 河川結氷期間用HQ式補正方法の実地適用提案の まとめ及び今後の展開への課題

## —結氷河川における流量推定手法に関する実用普及検討—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地技術推進室 ○大野 修  
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム 横山 洋

寒地土木研究所では、結氷河川の流量の連続的な把握を目的に、河川結氷期間用HQ式補正方法を提案するとともに、実用普及を目指して雨竜川多度志水位流量観測所を対象に技術研究を行ってきた。本論文では、現在まで多度志観測所において行ってきた河川結氷期間用HQ式補正方法の技術研究について経緯及び軌跡の要約を行い、現場への適用方法、精度を整理するとともに、本手法の他地点への展開に必要な技術的課題を検討した。

キーワード：流量観測、HQ式、結氷河川、アイスジャム

### 1. はじめに

結氷河川における流量について連続的な把握を行うことは、アイスジャム氾濫への災害対策についての観点、及び上水道の取水などに関した利水計画の策定についての観点、及び魚類生息環境の保全についての観点から非常に重要である。また、上流にダムを有する河川においては、下流における結氷河川の流量についての連続的な把握が、ダムにおける放流量の管理についての観点から非常に重要となっている。

本研究では、その連続的な把握を目的とした、新たな河川結氷時の流量推定手法（以下、新手法と記述する。）について<sup>1)2)</sup>、実用普及を目標として、現行の結氷補正方法（以下、現行法と記述する。）と比較することによって、その実地適用性についての検討を行った<sup>3)4)5)6)</sup>。また本研究では、同じくその連続的な把握を目的とした、河川結氷期間用HQ式補正方法（以下、結氷河川HQ式補正法と記述する。）についても<sup>7)8)</sup>、それに継続して概ね同様の検討を、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部管内において石狩川水系雨竜川（石狩川1次支川）の多度志水位流量観測所を対象に選定して行ったところである<sup>9)10)11)12)</sup>。新手法同様、結氷河川HQ式補正法についても、ダム放流に伴う流量変動に対する概ねの再現が可能となる利点がある。

今後、結氷河川HQ式補正法に関する技術研究の、その他の水位流量観測所への展開を行うにあたって、まずは本発表論文によって、現在までの多度志水位流量観測所における技術研究の経緯、及び軌跡についての要約を行い、実地適用提案としてまとめるとともに、その展開に必要な技術的課題の明示などを試みる。

### 2. 結氷河川HQ式補正法の実地適用提案の経緯

本章では、結氷河川HQ式補正法の実地適用提案の経緯として、新手法と結氷河川HQ式補正法との比較検討結果を示すに至ったまでの過程について記述する。

#### (1) 新手法の実地適用に向けての方向性について

本研究では、新手法についてはまずは、石狩川水系を対象として（代表例として多度志、当別川下、及び岩見沢大橋水位流量観測所を選定）、その実地適用性についての検討を行い、結果として明らかになった特性、及び課題について整理するとともに、またそれらを踏まえての、以下のその実地適用に向けての方向性について示した<sup>3)4)5)</sup>。

#### a) 新手法の実地適用に向けての水位流量条件に関して

結氷河川においては、流量の変化に伴う水位の上昇、下降に加えて、河氷による影響によっての水位の上昇、下降が生じる。流量の変化に伴う水位の変化が、河氷による影響によっての水位の変化と比較して、小さくはないと判断される水位流量観測所において（ここで対象としている多度志水位流量観測所を含む）、新手法の実地適用を視野に入れての検討を実施するものとする。

#### b) 新手法の実地適用に向けての改善案に関して

そして結氷河川においては、一般的に、1回毎の流量観測結果に大きく依存した状態で、その前後の期間において観測水位 $H$ の変化から推定流量の変化を算出せざるを得ない。そのことから、結氷河川における流量観測結果の適切な再現性についての向上に主眼を置いた、新手法の実地適用に向けての改善案に関する検討も、一方で行われる必要があると考えられる。

(2) 新手法における推定流量調整方法について

その後において、多度志水位流量観測所を対象に選定して、結氷河川における流量観測結果の適切な再現性を優先させる、新手法における推定流量調整方法（すなわち観測流量に、算出される推定流量が完全に一致するように、経験的近似式としての側面を持たせて解釈して、逆算などすることによって調整する方法）（本章4節を参照）についての検討を行った<sup>6)</sup>。

仮に結氷河川における流量観測結果に特異性、または誤差などが生じた場合には、その影響が算出される推定流量にも顕著に表れる。さらに、その特異性、または誤差などについては、比較的明らかにされ難いという特徴もある。したがって今後において、推定流量を求めるにあたっての、1回毎の流量観測結果についての妥当性、及び求められた推定流量についての妥当性などに関して、何らかの方法によって予め十分に明確にしておくことも重要であると考えられる。

(3) 結氷河川HQ式補正法の実地適用提案に関して

続いて、多度志水位流量観測所を対象とした、結氷河川HQ式補正法の実地適用提案として、その概略について説明する<sup>7,8)</sup>。なお、以下の結氷時用HQ式を用いて、

以下の結氷時用逆算相当水位から、結氷時の補正流量（本章4節を参照）を算出することとなる。

a) 結氷時用HQ式について

最初に結氷河川HQ式補正法における基本事項として、流水面積相当水位 $H_0(m)$ と、観測水位 $H(m)$ と、また実測水位下河水厚 $d_m(m)$ との関係については、以下のように表現される。

$$H_0 = H - d_m \quad (1)$$

図-1に、結氷時用HQ式の設定検討図について示す。赤丸は2014年1月から3月まで、また青丸は2015年1月から3月までの流量観測日時（1か月に3回の頻度）の流水面積相当水位 $H_0$ と観測流量の値の平方根との関係（以下、ここでは水位データ、及び流量データの関係とする。）を示している。点線が、全18データ（2年分×3か月分×3回）の関係に対しての、最小二乗法によって作成された線形近似式である。このようにして得られた式を変形して、以下のような結氷時用HQ式として表現する。

$$Q = 25.14(H_0 - 53.63)^2 \quad (2)$$

なお、この結氷時用HQ式の設定方法については、相関関係の程度が数値によって表現されることなどから、今後において、結氷河川における流量観測結果に関する分析など、逆方向へと発展させることも不可能ではないと考えられ、推定流量、あるいは結氷時の補正流量を求めるにあたっての、1回毎の流量観測結果についての妥当性、及び求められた推定流量、あるいは結氷時の補正流量についての妥当性に対する認識の面においても（本章2節を参照）、少なからず貢献していくことが期待される。

b) 結氷時用逆算相当水位について

図-2に、結氷時用逆算相当水位の設定検討図について示す。2014年12月から2015年3月までの観測水位 $H$ については、黒色の実線によって示している。流量観測日時の結氷時用逆算相当水位（観測流量から式(2)を用いて逆算する。）については、赤丸によって示している。流

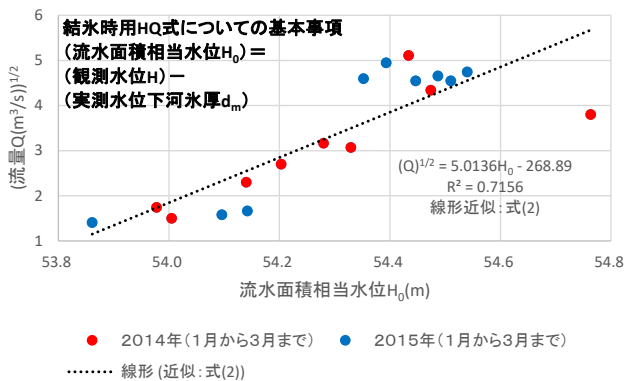


図-1 結氷時用HQ式の設定検討図

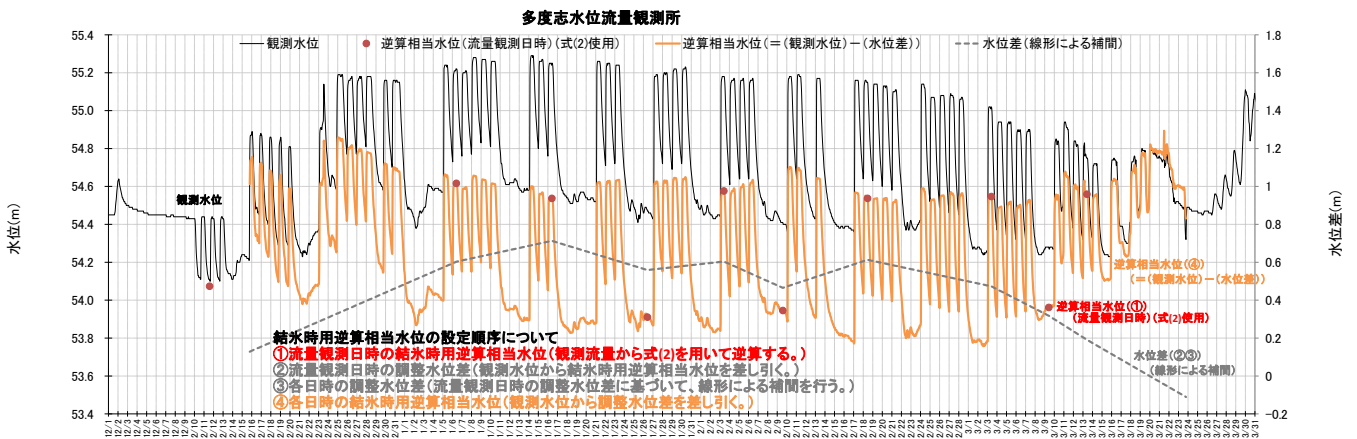


図-2 結氷時用逆算相当水位の設定検討図（2014年12月から2015年3月まで）

量観測日時の調整水位差（観測水位 $H$ から結氷時用逆算相当水位を差し引く。）を含めた、各日時の調整水位差（流量観測日時の調整水位差に基づいて、線形による補間を行う。）については、灰色の破線によって示している。そして、各日時の結氷時用逆算相当水位（観測水位 $H$ から調整水位差を差し引く。）については、橙色の実線によって示している。

#### (4) 新手法と結氷河川HQ式補正法との比較検討結果

多度志水位流量観測所における、新手法と結氷河川HQ式補正法との比較検討結果として、図-3に、2014年12月から2015年3月までの観測水位 $H$ 、観測流量、推定流量、及び結氷時の補正流量などを示す<sup>78)</sup>。ここで、それらの流量に関しては以下の6種類となっている。

- ①観測流量：青色の丸
- ②河川結氷期間対象とした補正を行わない流量：赤色の

実線

③現行法による補正流量：緑色の実線

④新手法（調整無し）による推定流量（推定流量調整方法の試行前）：紫色の実線

⑤新手法（調整有り）による推定流量（推定流量調整方法の試行後）：水色の実線

⑥結氷河川HQ式法による補正流量（式(2)を用いて結氷時用逆算相当水位から算出）：橙色の破線

新手法（調整有り）による推定流量（⑤）と結氷河川HQ式法による補正流量（⑥）とは、観測流量（①）とそれぞれ基本的に一致する、かつ、観測水位 $H$ の変動に基づいて、流量の変動が表現されているという共通点がある。これらの流量についての比較検討においては、新手法（調整無し）による推定流量（④）も含め、いずれも全体的には変動についての傾向が良好に一致しており、妥当な結果となっている。

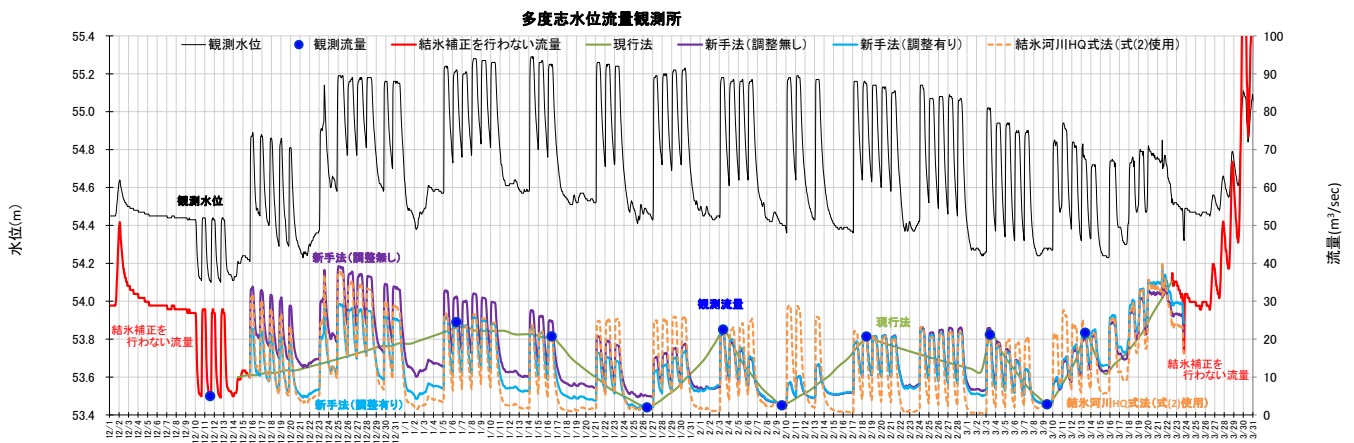


図-3 新手法と結氷河川HQ式補正法との比較検討結果（2014年12月から2015年3月まで）

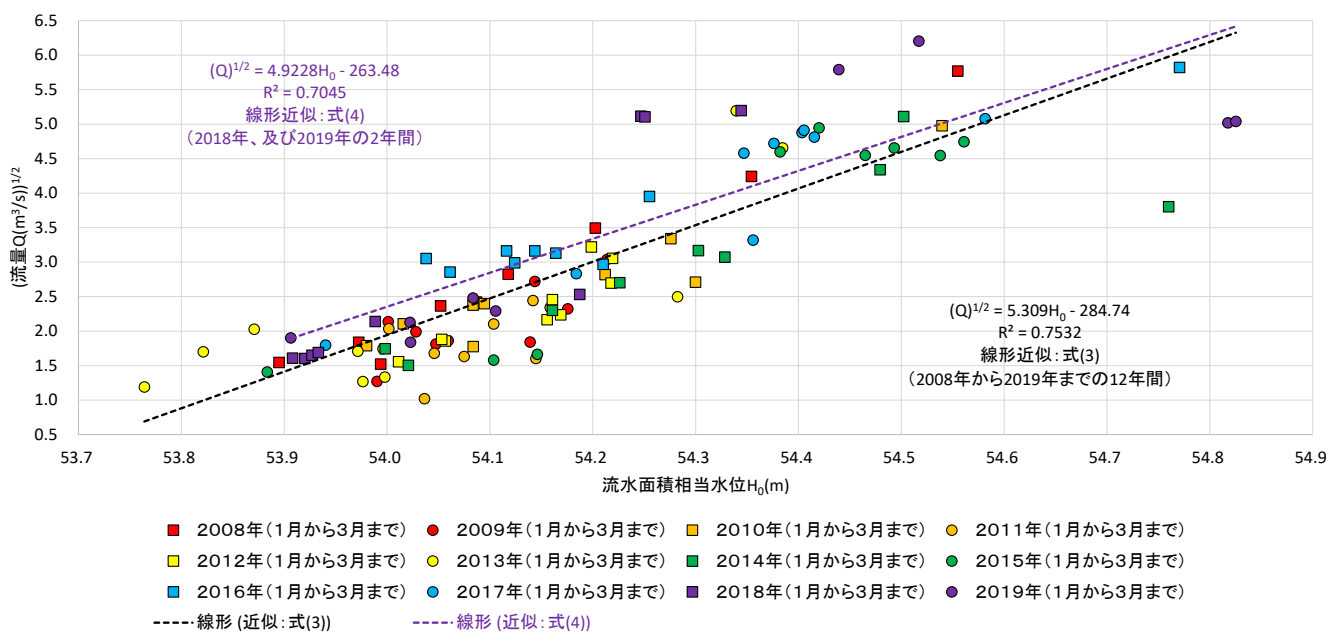


図-4 統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式の設定検討図

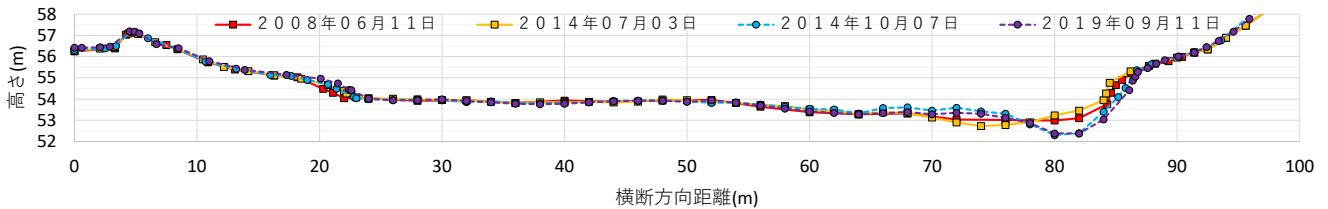


図-5 観測水位基準断面における河床形状経年変化検討図

### 3. 結氷河川HQ式補正法の実地適用提案の課題

そして結氷河川HQ式補正法については、多度志水位流量観測所において、検討対象期間を10年間程度として、統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式についての検討<sup>9),10),11)</sup>、結氷時用HQ式への経年遷移反映についての検討、及び結氷時の補正流量に及ぼすその影響についての検討を行った<sup>12)</sup>。

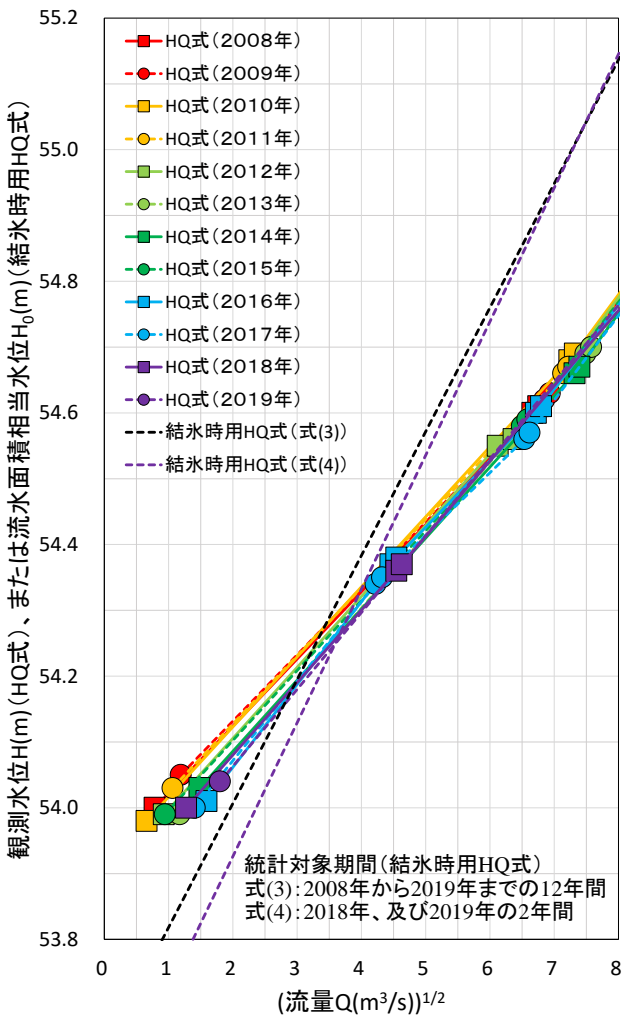


図-6 通常のHQ式についての経年変化との比較検討結果

#### (1) 統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式に関して

まずは統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式について示して、続いて結氷時用HQ式についての課題に関して記述する。

##### a) 統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式について

図-4に、統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式の設定検討図について示す。図中の四角と丸によるプロットは、2008年から2019年までの12年間における各年の、1月から3月までの水位データ、及び流量データの関係を示している。黒色の破線が、全108データ（12年分×3か月分×3回）の関係に対しての、最小二乗法によって作成された線形近似式である。このようにして得られた式を変形して、以下のような結氷時用HQ式として表現する。

$$Q = 28.18(H_0 - 53.63)^2 \quad (3)$$

##### b) 結氷時用HQ式についての課題に関して

結氷時用HQ式については、その基本となっている水位データ、及び流量データの関係において、ばらつきが比較的によく含まれており、また一方では、各年においてはデータ数も少なく（1年分×3か月分×3回）、その分布範囲が比較的狭くなるを得ないケースもあって、よって毎年安定して、適切な相関関係が表現されることも限らない。そのことから、結氷河川HQ式補正法については、現在の段階では、式(3)として示した、統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式を、基本的には使用することとしている。しかしながら一方では、統計対象期間における河床形状の経年変化などの影響に関しては、まだ十分には明らかにされていないことを予め認識しておく必要がある。そこで本章2節、及び3節では、結氷河川HQ式補正法の実地適用提案の課題として、結氷時用HQ式への経年遷移反映についての検討、及び結氷時の補正流量に及ぼすその影響についての検討を試みる。

#### (2) 結氷時用HQ式への経年遷移反映に関して

河床形状の経年変化に基づいて、統計対象期間を変更した結氷時用HQ式について、通常のHQ式についての経年変化を参考にして、それらを見比べることによって、結氷時用HQ式への経年遷移反映についての検討を行っているが、以下では、結果を中心に示すこととする。

a) 河床形状の経年変化について

図-5に、2008年から2019年までの12年間の観測水位基準断面における、河床形状経年変化検討図について示す。2014年において河床形状が比較的に大きく変わっており、その経年変化としては低下の傾向となっている。

b) 統計対象期間を変更した結氷時用HQ式について

便宜上において、式(3)として示した、統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式(図-4線形近似:式(3)参照)との対比による検討を行う意図も考慮して、結果的には、以下において式(4)として示している、2018年、及び2019年の2年間へと統計対象期間を変更した結氷時用HQ式(図-4線形近似:式(4)参照)を選定して、以降においては経年遷移反映に関して考慮した結氷時用HQ式として扱うこととする。

$$Q = 24.23(H_0 - 53.52)^2 \quad (4)$$

c) 通常のHQ式についての経年変化との比較検討結果

図-6に、2008年から2019年までの12年間の、通常のHQ式についての経年変化との、式(3)から式(4)への経

年遷移反映に関しての比較検討結果を示す。通常のHQ式についての経年変化は、主に河床低下が原因となっている。それらの傾向と、式(3)から式(4)への経年遷移反映に関しての傾向とは概ね同様、同程度となっている。

(3) 結氷時の補正流量に及ぼすその影響に関して

式(3)使用、及び式(4)使用により、結氷河川HQ式補正法にてそれぞれ算出された結果(手順などについては2章3節、及び4節を参照)を比較することによって、結氷時の補正流量に及ぼすその影響に関しての検討を試みる。

a) 結氷時用逆算相当水位についての比較検討結果

図-7に、2018年12月から2019年3月までの観測水位H、及び結氷時用逆算相当水位などを示す。式(3)使用による結氷時用逆算相当水位(橙色の実線)と比べ、式(4)使用による結氷時用逆算相当水位(紫色の破線)は、主に河床低下がそもそもの原因となっている、結氷時用HQ式への経年遷移反映に伴うその影響を受けて、結果としては全体的に低い傾向となっている。

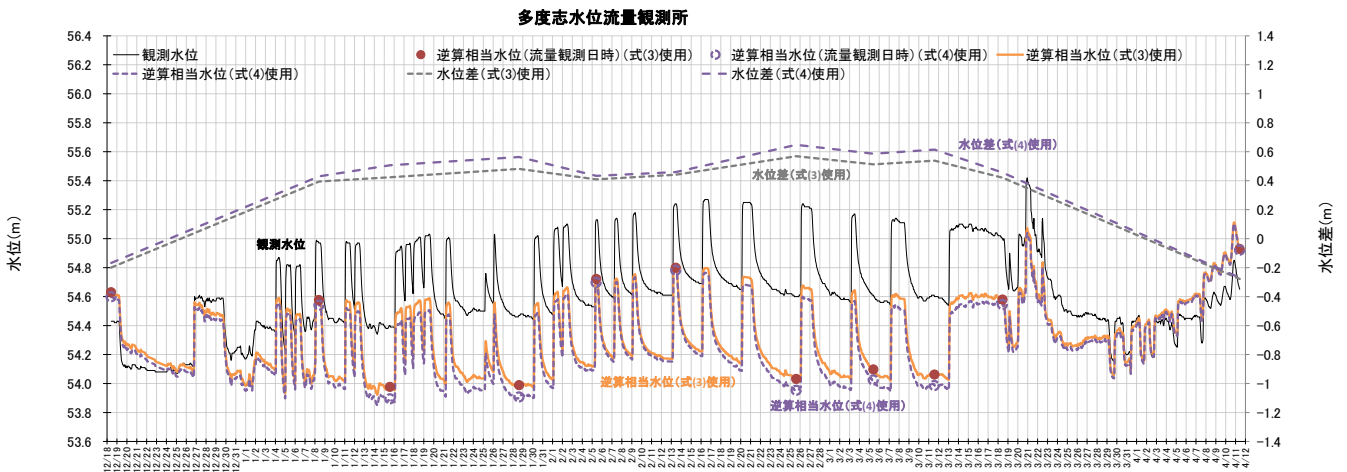


図-7 結氷時用逆算相当水位についての比較検討結果 (2018年12月から2019年3月まで)

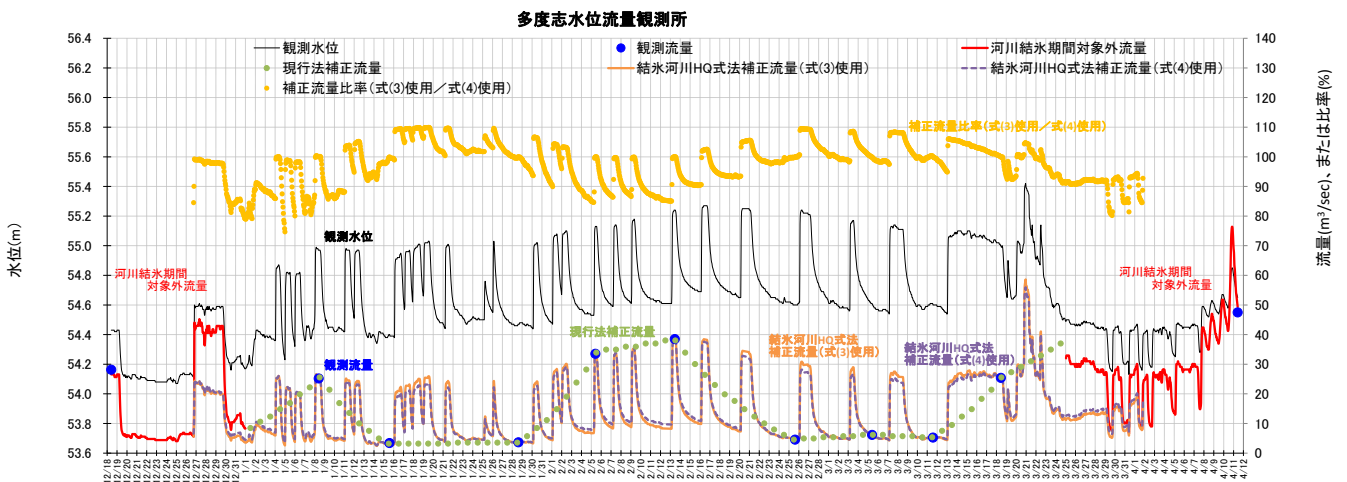


図-8 結氷時の補正流量についての比較検討結果 (2018年12月から2019年3月まで)

#### b) 結氷時の補正流量についての比較検討結果

図-8に、2018年12月から2019年3月までの観測水位 $H$ 、観測流量、及び結氷時の補正流量などを示す。式(3)使用による結氷時の補正流量（橙色の実線）と比べ、式(4)使用による結氷時の補正流量（紫色の破線）は、結果としては全体的にあまり変わらない傾向となっている。なお、式(3)使用による結氷時の補正流量（橙色の実線）の、式(4)使用による結氷時の補正流量（紫色の破線）に対する比率(%)を、図中で黄色の小丸によって示している。この補正流量比率の値は、流量観測日時においては100となっており、その他の日時においては概ね80から110までとなっている。

この比較検討結果からは、結氷河川HQ式補正法については、式(3)として示した、統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式の使用により、結氷時の補正流量が概ね良好に算出されるが、式(4)のように、何らかの方法によって経年遷移反映に関して考慮した結氷時用HQ式を使用した方が、より妥当であると解釈されるであろう。

## 4. 結論

結果的には、結氷河川HQ式補正法については、多度志水位流量観測所において、2008年から2019年までの12年間へと統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式の使用により、ほぼ毎年安定して、結氷時の補正流量が概ね良好に算出されている<sup>12)</sup>。新手法同様、結氷河川HQ式補正法についても、観測水位 $H$ の変動に基づいて、流量の変動が適切な精度を有して表現されているものと期待される。ただし、その他の水位流量観測所への展開を行うにあたって、現在の段階では結氷河川HQ式補正法については、実地適用に向けての水位流量条件などが非常に厳しく（実地適用に向けての水位流量条件については2章1節を参照）、新規に検討対象となる水位流量観測所を選定する際には、その条件などに対して細心の配慮が必要となっている。

統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式については、各年毎に適切な相関関係の表現についての検討を行う必要がないことから、結氷時の補正流量の算出に関する経済性（河川管理費用の抑制についての観点から）に対しても、現行法と比較して大きく劣ることはないと考えられ、利便性が非常に高い。統計対象期間を拡張した結氷時用HQ式を基本とすることとして、通常のHQ式についての経年変化を参考にして、結氷時用HQ式への経年遷移反映を、それらの傾向が同様、同程度となるような、

簡略的なルールに基づいて行うことが可能となれば、そのようにして得られた結氷時用HQ式も、利便性が比較的に高いと考えられるが、現在の段階では理論的な根拠に多少乏しい。結氷時用HQ式への経年遷移反映に関しての検討、及び結氷時の補正流量に及ぼすその影響に関しての検討の、さらなる技術研究事例作成が、その根拠を補うためには最も有効であると考えられる。

**謝辞：**本研究を行うにあたって、北海道開発局札幌開発建設部より観測資料などの提供についてご協力いただくとともに、株式会社福田水文センターの津田哲也氏、橋場雅弘氏には、多くの貴重な助言をいただきました。ここに記して、謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地河川チーム：河川結氷時の流量推定手法マニュアル（案），2012。
- 2) 橋場雅弘，吉川泰弘：結氷河川における流量推定式と音響測定機器を用いた現地観測，河川流量観測の新時代，第3巻，pp.31-40，2012。
- 3) 大野修，横山洋，佐々木靖博：結氷河川における流量推定手法の適用性に関する検討，第61回(平成29年度)北海道開発技術研究発表会，防17，2018。
- 4) 大野修，横山洋，佐々木靖博，吉川泰弘：結氷河川における流量推定手法についての課題に関する検討，寒地土木研究所月報，第786号，pp.39-45，2018。
- 5) 大野修，横山洋，矢部浩規：結氷河川における流量推定手法に関する課題について，第62回(平成30年度)北海道開発技術研究発表会，防38，2019。
- 6) 大野修，横山洋，矢部浩規，吉川泰弘：結氷河川における流量推定手法の実用化に関する検討，寒地土木研究所月報，第793号，pp.48-53，2019。
- 7) 大野修，横山洋，矢部浩規：結氷河川における流量推定手法の実用化へ向けての検討，第63回(2019年度)北海道開発技術研究発表会，防30，2020。
- 8) 大野修，横山洋，矢部浩規，吉川泰弘，前川和義：低流量時の結氷河川における流量変動の推定に向けた試み，寒地土木研究所月報，第801号，pp.18-24，2020。
- 9) 大野修，横山洋，矢部浩規：河川結氷期間用HQ式補正方法の普及検討，寒地土木研究所月報，第810号，pp.24-30，2020。
- 10) 大野修，横山洋：河川結氷期間用HQ式補正方法の技術開発に関する紹介について，第36回(2020年度)寒地技術シンポジウム，II-032，2020。
- 11) 大野修，横山洋：河川結氷期間用HQ式補正方法の実用普及へ向けての技術研究報告，第64回(2020年度)北海道開発技術研究発表会，防4，2021。
- 12) 大野修，横山洋：河川結氷期間用HQ式補正方法の経年遷移反映に関する技術検討，寒地土木研究所月報，第826号，pp.52-58，2022。