

河川・水環境研究の取り組み－気候変動適応策にむけて－

矢部 浩規* 渡邊 和好**

1. はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次報告書(2007)¹⁾では、温暖化の影響事例として、雪解けに依存した地域での水資源への影響、水質、塩水の侵入問題など水資源分野について言及している。また、温暖化緩和策と適応策が互いに補完しあうことで気候変動のリスクを低減することが可能であると指摘している。

河川環境に関しては、気候変動による気温上昇や降雨パターンの変化等が河川水温上昇、海面上昇、流量の変化を引き起こし、影響を及ぼすと想定している²⁾。河川流況や水温は河川・水環境を決定づける重要な要因であり、これらの要因の変化が河川・水環境に将来、具体的にどのように影響を及ぼすか把握することは、適切な気候変動適応策の実施に重要である。

水環境保全チームでは、積雪寒冷地かつ豊かな自然環境を有している北海道を中心とした地域において、社会基盤整備を進める上で解決しなければならない土木技術の課題のうち、河川や湖沼等水環境、流水管理にかかわる研究開発を行っている。本資料は、気候変動や温暖化によって影響を受けると予想される河川流量の予測精度を向上させるために、積雪寒冷地域特有の融雪流出に影響を及ぼす積雪包蔵水量の推定技術及び、その利用例についてまとめている。

2. 積雪深、河川融雪流量推定技術

1) 積雪包蔵水量の推定

積雪寒冷地である北海道では、年間降水量の降雪に占める割合が多く、河川への年間総流出量のうち融雪流出量が占める割合も大きい。そのため、想定される気候変動に対応した水資源、河川・水環境評価や管理などの適応策を検討するためには、融雪期の河川流況の特性把握や予測評価技術の向上が必要である。特に、融雪出水が始まる前に流域に蓄積している積雪包蔵水量の推定は、その後の融雪出水の河川流況(河川流量の大小や期間)を予測評価する上で重要な情報となっ

ている。実際に、国土交通省北海道開発局所管のダム管理支所では、毎年3月の融雪出水が始まる前に積雪調査を行い、流域の積雪包蔵水量を推定している場合が多い。

積雪包蔵水量の推定方法については、積雪調査によって得られたデータからダム流域全体へ拡大、推定する方法と、その精度の検証法など、水環境保全チームがこれまでの研究成果や知見、事例をガイドライン³⁾にとりまとめ公表している。積雪深は標高によって異なることが多く、標高別に積雪相当水量を算出、対象流域全体で集計して積雪包蔵水量を推定する方法を中心に紹介している。さらに現在は、航空レーザー測量から積雪深分布の特性を把握し、標高以外の地形データ(方位、傾斜度等)の利用方法についても検討している。

定山溪、豊平峡、金山ダム他計6ダムを対象に、当該年の実測した積雪調査を基にした標高別による推定法と標高以外の地形因子を含んだ推定法を適用した場合の精度を比較⁴⁾している。真値は、各ダム4～5年のデータを対象に、実測の融雪流量と推定した蒸発散量から水収支法によって逆算した積雪包蔵水量値としている。各推定手法の精度は対象年や対象ダムにより異なっており、その原因や精度を向上させるための適用条件や説明変数の選択、追加方法などについても検討していく必要がある。

2) 気候変動適応策にむけて

地球温暖化に伴う気候変動や極端な気象現象を考慮した気温、降水量等予測値データが整備されつつあり、積雪包蔵水量など融雪流出量の将来予測にあたって、これらデータの有効活用が期待される。

また、人手による現地積雪調査実施以前の積雪包蔵水量を推定するための情報として、当該年の降水量(降雪深、積雪深等)気温等気象観測データが有用である。特に、アメダス(AMeDAS)、ダム管理支所その他の観測所での積雪深や降雪深、降水量、気温、日射量データは過去から現在まで長期間収集蓄積されている利点がある。

そのため、本資料では、過去の降水量、気温、日射量の気象データを用いた積雪調査実施前の積雪包蔵水量の予測及び、積雪調査による積雪包蔵水量の実測データと積雪調査実施後の気象データから河川総融雪流出量の予測を試みに行った。次節で、その方法についてまとめている。

3. 融雪期の河川流況推定⁵⁾

3. 1 積雪調査実施前の積雪包蔵水量の予測

積雪包蔵水量や融雪期の河川流出量の推定を、気象観測データや、人手による積雪調査の実測データを利用して検討する。対象地域として、これらのデータが30年間以上ある大雪ダム(流域面積290km²)を選定した。

積雪調査が行われる以前は、降雪が始まる10～11月から積雪調査実施時点までの降水量、積雪深、気温など過去のデータと比較し、当該年の傾向をみる事ができる。

さらに、積雪調査実施時点までの気象データや河川流出量データと、実測された積雪包蔵水量との関係式を、式(1)の水収支法から推定している。大雪ダムでは毎年3月15日前後に実測する積雪調査によって積雪深、密度が計測され、この標高別の実測データから積雪相当水量を算出、全流域に拡大して積雪包蔵水量(S)が求められる。

積雪開始時期から積雪調査実施時点までの流域の降水量($\sum P$)、蒸発量($\sum E$)及び、流域からの河川流出量($\sum R$)は、1981年～2010年の前年11月～3月15日までの総量を使用した。蒸発量は式(2)に示すマッキング式(近似式)⁶⁾を使用した。日降水量、日平均気温(T)は層雲峡観測所の気象庁 AMeDAS、蒸発量は大雪ダム管理所での日射量(Rs)、日射量の実測値がない場合は旭川観測所のアメダスの日照率(n/N)、大気圏外日射量(RA:北緯43°)からの推定値により蒸発量を推定できる。

$$S = \sum (P - E - R) \quad \dots (1)$$

$$E = a \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{L} + b \quad \dots (2)$$

$$\approx a \cdot \frac{1}{(1.05 + 1.4 \exp(-0.0604 \cdot T)) \cdot (2.5 - 0.0024 \cdot T)} \cdot \frac{R_s}{L} + b$$

$$a = 0.925, b = -0.20 \text{ (地域係数: 旭川)}$$

$$R_s = RA(0.18 + 0.55n/N)$$

30年間のデータからの重回帰式(決定係数0.61)は式(3)で示される。外挿範囲の予測精度は低下するが、積雪調査開始時期以前の積雪包蔵水量(S)が、予測時点までの降水量、蒸発量、河川流出量により推定されることとなる。なお、河川流出量変数は5%水準では有意とならなかった。

$$S(t) = 0.706 \cdot \sum P - 2.987 \cdot \sum E - 0.169 \cdot \sum R + 388.5 \quad \dots (3)$$

3. 2 積雪融雪流出パターンの分類

積雪調査実施後の融雪期間、融雪量は、積雪包蔵水量及び積雪調査実施後の該当年の降水量、気温等気象状況の積雪融雪特性によって異なる。積雪包蔵水量を標準偏差内を平年、それ以上を多雪年、以下を小雪年、総融雪流出量も同様に流出平年、流出大年、流出小年に分けて、積雪融雪流出パターンを分類した。その結果、6パターンに分けられ、各年のロジスティック回帰式(式(4))の係数の平均値を用いて積雪包蔵水量、総河川流出量の分類に応じた時系列の累積河川流出量曲線を算出した(図-1)。例えば、積雪(平年)かつ流出(平年)パターンは1981、1987、1988、1989、1993、1995、1996、2005、2007年の9か年が対象となる。積雪調査実施後、積雪包蔵水量が分かると、その後の河川流出量のパターンが過去のデータから傾向を予測できることとなる。

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-cx)} \quad \dots (4)$$

x: 3月16日以降の時間経過

y: 累積河川流出量

a, b, c: 係数

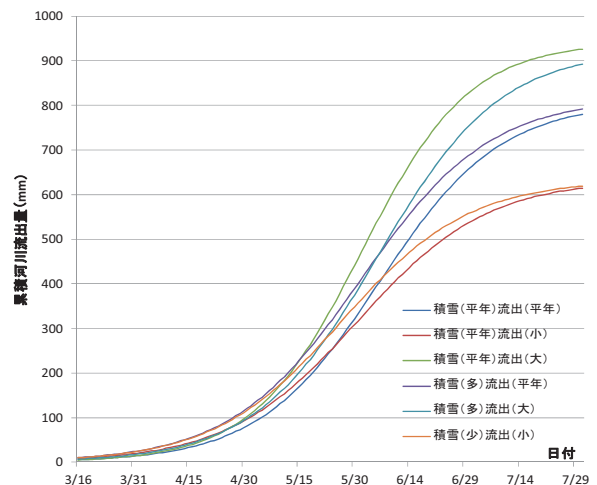


図-1 過去の積雪包蔵水量と河川流出パターン

3. 3 積雪調査実施後の総河川流出量の推定

3月15日積雪調査実施時点での積雪包蔵水量(S_0)把握以後、3月16日以降7月31日までの降水量(ΣP^*)、蒸発量(ΣE^*)とから、総河川流出量(ΣR^*)を式(5)で推定することができる。決定係数0.72、蒸発量変数は5%水準で有意とならなかった。

$$\Sigma R^* = 0.705 \cdot S_0 + 0.702 \cdot \Sigma P^* - 0.244 \cdot \Sigma E^* + 262.3 \quad \dots (5)$$

また、3月16日以降からの実績とその後の予測時点までの将来降水量、蒸発量データを式(5)に適用することで累積河川流出量 $R^*(t)$ としても推定可能である。ただし、融雪が本格的に開始される以前の降水量は流域に貯留されるため、融雪が進む5月15日以降の予測において決定係数が高まり適用可能と考えられた。

融雪開始前あるいは初期においては、実測した当該年の積雪包蔵水量によりその規模が過去と比較可能である。さらにその後の将来降水量の程度により、河川流出量パターンを絞ることができる。また、時系列に応じてロジスティック回帰式による推定値と、実測された累積河川流出量を比較することで、当該年の河川流出量パターンの傾向が明らかになっていく。本格的な融雪開始時期以降は、総河川流出量の予測が、その時点までの降水量、蒸発散量、河川流出量とその後の将来予測量を式(5)に適用して推定可能であり、信頼性が高い河川流出量パターンが定まることとなる。

4. 推定融雪流出量の河川・水環境研究への利用

4. 1 河畔林維持管理

河道内で河畔林の樹林化が生じている河川では治水安全度を確保するため伐採等が実施されているが、より効果的な維持管理方法が求められている。特に、積雪寒冷地である北海道の河川では、融雪出水後の土砂堆積や河岸洗掘による裸地の形成時期と夏にかけての安定した低水位時期とがヤナギ類の種子散布時期と合致しやすいことなどから、ヤナギが定着しやすい。そのため、例えば、河道形状の工夫⁷⁾の他、融雪期のダム貯留水を適切に運用管理することで弾力的に放流し、種子が定着する箇所を冠水、流下させて定着を抑制する提案がなされている。このような対策を効果的に実施するためには、対象箇所における河道特性や種子散布時期と、融雪期のダム総流入量の規模等の推定情報とを結びつけた放流方法(最大流量や総流量、期間など)の設定が有効であると考えられる。

4. 2 土砂流出量・栄養塩濃度等の推定

流域から流出する土砂は高水敷や干潟、河口域への土砂、窒素、リン等の供給、負荷量に影響を与えているが、その大半を浮遊土砂が占めており、浮遊土砂の流出量の推定精度向上が期待されている。国土技術政策総合研究所と寒地土木研究所では、山地河道を対象とした場合に濁度計を用いてその流出量を定量的に測定、推定する技術をまとめている⁷⁾。この技術は、濁度とSS濃度の相関が高い事を利用したもので、水垣らの濁度計による濁度と河川流量から土砂濃度(SS)を換算するモデル⁸⁾⁹⁾や、横山らのADCPから得られる反射強度から濁度へ換算するモデル¹⁰⁾を利用することで、SSの時空間的連続データが得られる推定法が検討されている。さらに濁質に付随する懸濁態栄養塩濃度(窒素、リン)の推定へとつなげる試みも行われている。

積雪寒冷地では、降雨による短期的な土砂流出の他、毎年発生する融雪出水を伴う長期的な土砂流出現象が特徴であり、気候変動による融雪期の流出形態の変化が、濁質や栄養塩流出にどのように影響を及ぼすか把握し、その対応策を検討する必要がある。そのためには、浮遊土砂の河川流出形態の変化に影響を及ぼす基本的な要因となるダム流域のみならず流域全体の積雪包蔵水量及び河川融雪流量の推定精度の向上が求められる。

海域から遡上した塩水と淡水である河川水が混合する下流から河口にかけての河川汽水域の水質は、塩水侵入と河川流況、底質環境等の影響を強く受けることが知られている。また、汽水域はそこでしか生息することができない生物生息場として重要な環境を提供している。積雪寒冷地では融雪期の河川流況によって、春から夏にかけての汽水域での塩分濃度や水温、結氷する区間ではその期間等に影響を及ぼす。塩分濃度は主に河川流出量と塩水遡上量のバランスによって規定される。結氷や低水温となる期間の長短は、底層部の貧酸素化と栄養塩溶出、結氷の有無による風による底質の巻き上げに影響するなど、底質や水質構造に特徴をもたらしている。このように、汽水域環境の保全に向けて、流域からの浮遊土砂、栄養塩汚濁負荷流入特性に加え、融雪期の河川流況推定が有用である。

4. 3 積雪融雪情報の共有と提供

近年、多発している土砂災害に対応するための調査、研究が国土交通省北海道開発局、寒地土木研究所等を中心に進められており、積雪寒冷地特有の融雪期の斜

面崩壊の要因として、地質、地滑りデータの他、降水量、積雪深、気温等を整理して監視、警戒体制を支援できないか検討中である。当該年の対象地域での積雪包蔵水量の規模、降水量や気温を考慮した河川流出量の精度向上に関する取り組みは、環境面ばかりではなく、気候変動に適用した災害への準備、事前予測にも有用な知見を提供する可能性がある。

また、例えば、①毎年の融雪期(3～5月)における積算気温、累加換算総雨量、積雪深リアルタイムデータの収集、②国土交通省北海道開発局、寒地土木研究所、気象庁気象台等各関係機関におけるデータの共有と危険度評価の検討、③各関係機関による危険度情報の公表、といった情報の共有及び提供システムの構築を目指し、過去の履歴データを整備、活用して適応策を検討していくことが重要であると考えている。

5. おわりに

本資料で取り上げた河川流量の他に、気候変動や温暖化によって、河川水温に影響を及ぼすことも指摘されている。河川を利用する生物、特に、サケ科魚類などの冷水性魚類は水温変化によりその生息環境が変化し、孵化、降河の時期などその行動にも影響を及ぼすことが予想される。そのため、行動の変化に応じた河川整備、管理が重要となる。気候変動に伴う河川水温を、気温のほか、ダム貯水池等の構造物の存在、河川地形、河川流量の大小、河川流下過程等を説明変数とした再現性と予測が可能なモデルの構築が望まれる。

参考文献

- 1) IPCC 第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約(文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省), <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/>
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動

適応研究本部, 気候変動適応策に関する研究(中間報告) —国土技術政策総合研究所資料749号, II-79～105, 2013年8月

- 3) (独)土木研究所 寒地土木研究所, ダムにおける積雪包蔵水量推定ガイドライン(案), 2012, <http://kankyocerigo.jp/>
- 4) (独)土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム, 積雪・融雪状況に適応した寒冷地ダムの流水管理に関する研究, (独)土木研究所 重点プロジェクト研究報告書(平成23, 24年度), <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/project.html>
- 5) 矢部浩規, 丸山政浩, 積雪融雪特性に応じた積雪包蔵水量, 流出量の予測と河畔林管理への適用, 土木学会環境システム論文研究発表会, 2013
- 6) 永井明博, 田中丸治哉, 角屋睦, ダム管理の水文学, pp.111-119, 森北出版, 2003
- 7) 北海道開発局, (独)寒地土木研究所, 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案), 平成23年3月, http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kasen/manual/jyurinka_guide.pdf
- 8) 山地河道の流砂水文観測における濁度計観測実施マニュアル(案), 国土技術政策総合研究所資料・土木研究所資料, 平成26年3月
- 9) (独)土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム・寒地河川チーム, 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究, (独)土木研究所 重点プロジェクト研究報告書(平成23, 24年度), <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/project.html>
- 10) (独)土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム・寒地技術推進室, 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境寒冷地境改善に関する研究, (独)土木研究所 重点プロジェクト研究報告書(平成23, 24年度), <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/project.html>



矢部 浩規*
YABE Hiroki

復興庁青森事務所長
復興調整官 岩手復興局付
博士(工学)
(前 寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
水環境保全チーム
上席研究員)



渡邊 和好**
WATANABE Kazuyoshi

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
水環境保全チーム
総括主任研究員
技術士(建設)