

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

矢部 浩規¹・丸山 政浩²

¹正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)
E-mail: yabe-h22aa@ceri.go.jp

²非会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)
E-mail: maruyama-m22ab@ceri.go.jp

本研究は過去の降水量，気温，日射量の気象データを用いた積雪包蔵水量（流域貯留量）の予測及び，スノーサーベイ法による積雪包蔵水量の実測データを追加情報としてその後の気象データから総河川融雪流出量の予測を試みた。積雪実測データを取得する前の積雪包蔵水量の予測が簡易に予測可能となるとともに，実測データ取得後の河川流出パターンを過去の積雪融雪特性に応じて分類化し総河川流出量等の予測に反映できる。これらの積雪融雪情報を用いた流量制御による河畔林管理の適用に向けて，各樹種の種子散布時期と融雪期の河川流量，積算気温との関係が河川により違いがあることを明らかにした。

Key Words : runoff volume , snowmelt , riparian forest management

1. はじめに

積雪寒冷地域において，毎年春から夏にかけて発生する河川融雪水の流量の大小や継続期間の長短などの情報は，ダム等水資源及び洪水管理の他，河川水質や，河床変動，河畔林の更新等河道への環境影響評価，管理を行う際に有用である。河川融雪流出量の増加開始前に流域の積雪包蔵水量を推定する方法として，現地観測による積雪深や雪密度データからのスノーサーベイ法や，AMeDAS データ等過去の降水量，積雪深と総融雪流出量との関係式などがダム管理の現場では用いられていることが多い。また，融雪流出量はディグリー・デイ法や熱収支法などが利用されている。以上の方法を適用する場合，気温，降水量等気象観測データが不可欠であるが，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予測値データが整備されつつあり，河川融雪水情報の将来予測にあたって，気温，降水量等データの有効活用が期待されている。

本研究では過去の降水量，気温，日射量の気象データを用いた積雪包蔵水量（流域貯留量）の予測及び，スノーサーベイ法による積雪包蔵水量の実測データを追加情報としてその後の気象データから総河川融雪流出量の予測を試みた。

その結果，スノーサーベイ法による実測データを取得する前の積雪包蔵水量を，気象データにより予測可能と

した。また，融雪前の積雪包蔵水量とその後の降水量，気温等気象の積雪融雪特性に応じて過去の積雪融雪パターンを分類し，時系列の河川流出量推移を推定している。積雪包蔵水量，降水量，蒸発量による総河川融雪流出量推定式と合わせ，河川流出パターンの予測に反映できる。

次に積雪融雪情報の環境管理への適用例として，河畔林の適切な河道維持管理を対象に，融雪流量や融雪期間と，積算気温に影響される各樹種の種子散布時期との関係から，水文環境と樹木生態環境からの河畔林実生定着に関して河川別に整理した。積雪融雪特性が異なる流域での各樹種の種子散布時期の違いが明らかになり，河川融雪情報の精度向上が流量制御による河畔林管理に有効であることを提案した。

2. ダム流域における融雪期の総流出量予測

2.1 積雪調査実施前の積雪包蔵水量の予測

積雪包蔵水量・総流出量の推定について，気象観測データ及びスノーサーベイによる積雪包蔵水量の実測データが30年間ある流域面積290km²の大雪ダムを対象地域として選定した。

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ことができ

る。本研究では、気象データや河川流出量データを用いて簡易に積雪包蔵水量を推定している。積雪開始時期からの降水量(P)、蒸発量(E)、河川流出量(R)から式(1)の関係式を用いて、積雪包蔵水量(流域貯留量(S))推定式を30年間のデータから作成している。蒸発量は式(2)に示すマッキング式(近似式)¹⁾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アメダス(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(nN)、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。

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

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

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

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

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

積雪包蔵水量は、毎年3月15日前後に実測するスノーサーベイ調査によって積雪深、密度が計測され、この実測データを全流域に拡大、推定して求められる(調査方法は2.2参照)。以上の実測値を降水量、蒸発量、河川流出量を変数として重回帰式を算出した(式(3))。降水量、蒸発量、河川流出量は1981年～2010年の前年11月～3月15日までの総量を算出している。

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

$$R^2 (\text{決定係数}) = 0.612,$$

$$P(t \text{ 値}: 5.67), E(t \text{ 値}: -2.07), R(t \text{ 値}: -0.61)$$

以上の推定式(外挿)から、積雪調査以前の積雪包蔵水量(流域貯留量)が降水量、蒸発量、河川流出量から求められる。なお、河川流出量変数は有意とならなかった。

2.2 積雪調査実施方法²⁾

積雪調査(スノーサーベイ法)地点は現地状況や費用の制約により限定されるが、過去の調査結果から流域積雪水量との相関が良い代表地点を選定して実施することが推奨されている。調査地点での積雪深、雪密度により積雪水量が実測され、流域全体の積雪水量を予測できる。

大雪ダムでは、標高850～1200mの50mおきに計26地点で計測している。採取した雪の重量、積雪深から積雪水量を求め、標高別の流域面積を掛け合わせ集計することで積雪相当水量を算出している。

2.3 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、流出多年、流出小年に分けて、積雪融雪流出パターンを分類した。パターン別の時系列累積河川流出量の実績実測図を図1～2に整理している。また、積雪包蔵水量、総河川流出量の分類に応じたロジスティック回帰式(式(4))の係数の範囲を表-1にまとめている。予測される総河川流出量の程度によって、どのような流出パターンになるか、予測できる。

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

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,

表-1 過去の積雪融雪特性パターンと回帰係数

() は平均値

積雪包蔵水量	総河川流出量	a	b	c
平年	平年	700.8～895.8 (807.2)	61.4～296.9 (156.4)	0.047～0.067 (0.061)
	少ない	590.4～662.9 (633.8)	39.2～165.2 (80.6)	0.051～0.063 (0.057)
	多い	861.5～1071.5 (941.9)	144.1～325.4 (199.9)	0.061～0.077 (0.068)
多い	平年	794.5～842.5 (817.6)	65.8～110.6 (84.1)	0.056～0.069 (0.057)
	多い	905.5～942.7 (924.8)	76.2～254.8 (140.4)	0.055～0.070 (0.060)
少ない	少ない	588.8～682.6 (633.0)	39.0～92.3 (67.5)	0.054～0.063 (0.058)
全年	全年	588.8～1071.5 (774.2)	39.0～325.4 (122.5)	0.047～0.077 (0.060)

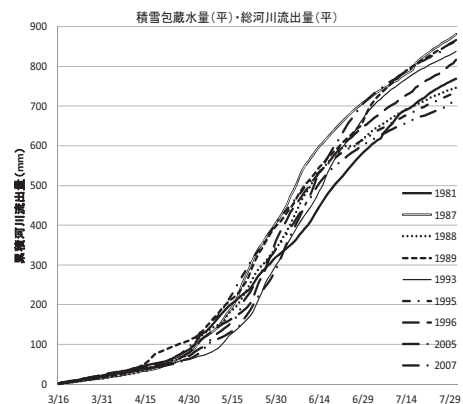


図-1 積雪融雪パターンと累積河川流出量(平年)

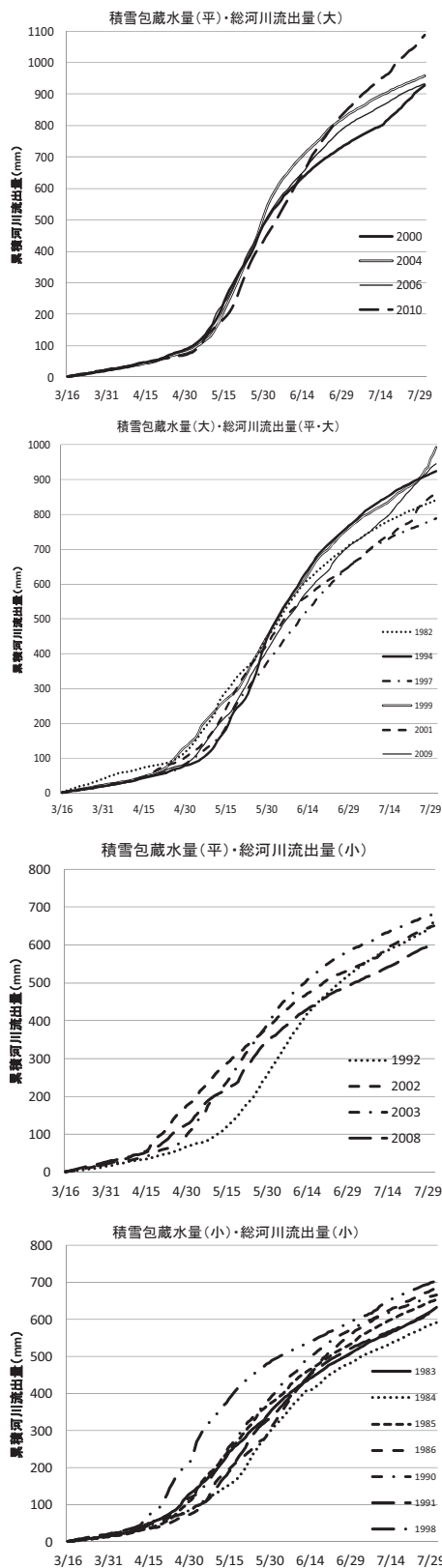


図-2 積雪融雪パターンと累積河川流出量

2.4 積雪調査実施後の総河川流出量、河川流出パターンの推定

3月15日積雪調査実施時点での積雪包蔵水量(S)把握以後、3月16日以降7月31日までの降水量、蒸発量(E)から、総河川流出量(R)を以下の式で推定することができる。

$$R = 0.705S + 0.702P - 0.244E + 262.3 \quad (5)$$

$$R^2(\text{決定係数}) = 0.720,$$

$$S(t\text{値}:4.48), P(t\text{値}:4.63), E(t\text{値}:-0.70)$$

7月末までの降雨と合わせた総河川流出量は、決定係数0.7程度で予測可能である。予測式の変数の符号は、水収支関係と整合性がとれているが、蒸発量(E)は有意な変数とならなかった。なお、流域面積42km²の留萌ダムの例では、蒸発散量、河川流出量データを用いずに、降雪が根雪となった日以降の総降水量から総河川流出量を予測する単回帰式(線型、指数型など)を、過去20年間のデータから作成した。このモデルにより、予測時点から融雪流出期間を対象とした将来降水量から、総河川流量を決定係数が0.7程度で予測することができた。

総河川流出量の予測は、積雪調査実施後の将来降水量の予測精度に左右される。また、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、式(5)の考え方では総河川流出量を推定することに限界がある。大雪ダム流域では、融雪が進む5月15日以降に、その時点までの降水量、蒸発量により累積河川流出量予測の決定係数が高まる結果となった。

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。

3. 河畔林管理への適用

以上述べたダムへの融雪期河川流入量予測は、融雪期と同時期に降雨が発生する場合の洪水対応、水供給を行う上で重要である。また、適切な河道維持管理への利活用も可能であると考えられる。河道内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、河畔には多くのヤナギ林が分布している。ヤナギ類は伐採後の萌芽再生が旺盛であり、維持管理が困難であるため、河道計画の段階から、ヤナギ類の定着抑制を考慮しておく必要性が指摘されている。そのため、例えば、種子散布時期に冠水させることによって種子着床、実生定着を抑制する河道形状が平水位や最大水位などの河川水位を利用して提案³⁾されている。

ヤナギ類の種子散布期間は、空知川を対象とした1990年調査等の既往研究⁴⁾によると、5月中旬からはじまり7月上旬に終わっている。エゾヤナギ（5月上旬～5月下旬）、エゾキヌヤナギ（5月中旬～6月中旬）、エゾノカワヤナギ（5月下旬～6月下旬）、オノエヤナギ（5月中旬～6月下旬）、タチヤナギ（6月上旬～7月上旬）、シロヤナギ（6月上旬～6月中旬）、ケショウヤナギ（6月下旬～7月中旬）、ドロノキ（7月上旬～7月中旬）、オオバヤナギ（8月上旬～9月下旬）である。

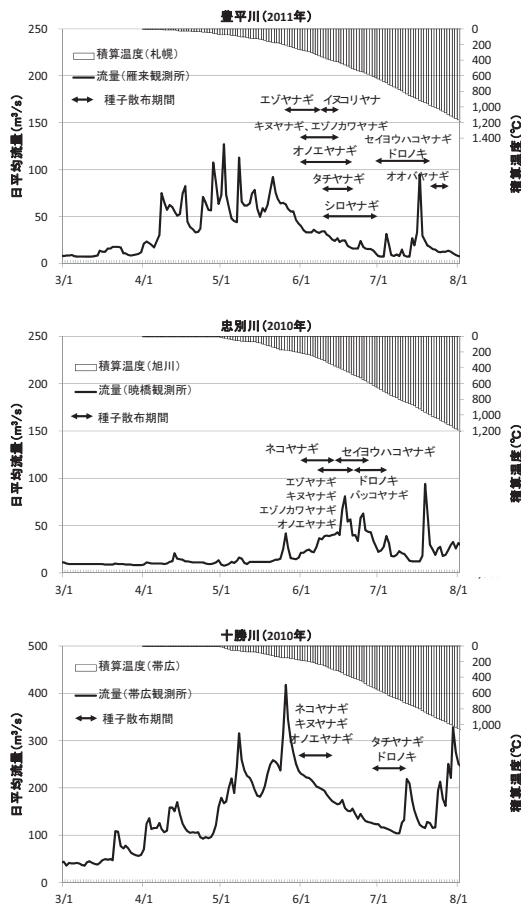


図-3 河川別の融雪期河川流量、積算気温とヤナギ種子散布時期

本研究では豊平川、忠別川、十勝川を対象に、ヤナギ類の種子散布時期の現地調査⁵⁾を実施し、春から夏にかけての河川流量、種子散布時期に影響する5℃以上の日平均気温の積算温度について、図-3に合わせて整理している。河川流量、積算気温と種子の散布時期との関係、傾向を河川別に把握することができる。種子散布時期は、概ね既存研究と一致しているが、各樹種の散布期間と積算気温の関係等を分析することでより詳細に把握することが可能であると考えられる。河川流量との関係では単年度調査ではあるが、豊平川、十勝川ではピーク流量後にヤナギ類の種子散布が開始されているが、忠別川ではピーク流量時期と重なっていた。

河川流量の変動を考慮すると、河道形状のみでなく、例えば、弾力的放流によるダム流量管理、制御によっても種子、実生の定着抑制、防止が図られる可能性がある。そのための対策を効果的に実施するためには、融雪流量予測の精度向上によって、放流量の大小、放流期間の時期等を柔軟に設定、実施可能とすることが不可欠である。対象箇所における河道特性、母樹の空間配置を含め、積算気温による種子散布時期や、積雪融雪特性に応じた総河川流出量規模や融雪出水期間等河川流出パターン推定情報を結びつけた河畔林実生定着抑制方法が有効であると考えられる。

5 おわりに

積雪調査（スノーサーベイ法）による実測値を用いた積雪包蔵水量の推定は、流域内の実測値を使用しているという点で信頼性や説明力が高い。しかし、調査に危険を伴うこと、過去の調査結果から流域の包蔵水量と相関が高い観測所の選定が難しく、限られた観測データを利用する場合、推定結果のばらつきが大きい。そのため、様々な観測データとの比較、蓄積や、リモートセンシング技術との併用による積雪深の精度向上の研究も進めている。

河道樹林化を防止、軽減するとともに礫河原の保全、再生検討が行われている十勝川水系札内川において、ダムによる弾力的放流試験⁶⁾が積雪寒冷地の特性を生かし融雪流入による貯留水を利用して実施されている。河畔林管理への適用事例としてまとめていく予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたって、国土交通省北海道開発局旭川開発建設部、帯広開発建設部より資料の提供、協力を頂いた。また、寒地土木研究所七澤馨特別研究監（現北海道開発局稚内開発建設部長）、防災気象ユニット関係各位から貴重な提案、助言を頂いている。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 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
- 2) (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
- 3) 国土交通省北海道開発局, (独)土木研究所 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, 2012
- 4) 崎尾均, 山本福尋, 水辺林の生態学, 東京大学出版会, 2002
- 5) 丸山政浩, 林田寿文, 豊平川におけるヤナギ種子の流下特性について, 平成 24 年度北海道開発技術研究発表会, 2013
- 6) 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部, 札内川における取り組み, <http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/tisui/t20.html>

(2013. 7. 19 受付)

THE TOTAL VOLUME RUNOFF PREDICTION VALUE DURING SNOWMELT PERIOD AND APPLICATION TO RIPARIAN FOREST MANAGEMENT

Hiroki YABE and Masahiro MARUYAMA

This study attempts to forecast snow water equivalent using meteorological data of past precipitation, temperature, quantity of solar radiation before snow survey. And the total amount of river runoff is estimated based on the addition meteorological data after snow survey to the actual measurement data of snow water equivalent. The past pattern of river runoff is classified according to the characteristics of precipitation and snow melting. We can reflect on the prediction of the total volume and time series flow of river runoff. It is clarified the difference from the accumulated temperature and river flow runoff of snowmelt season for seed dispersal and flow of each species towards the application to riparian forest management by flow control using the snowmelt information.