

II-7

定山溪ダム流域の流出特性について

北海道開発局 正員 山口 昌志
正員 橋本 識秀
正員 中津川 誠

1. まえがき

積雪寒冷地の水循環を把握するには、雪に関わる要因の評価が重要である。なかでも、流出量を的確に推定するには、積雪水量を把握し融雪パターンを推算する必要がある。ところで、現在、積雪量の把握で行われているスノーサーベイは、現地踏査によるため、危険がともない調査地点が限られてくる。また、場所によっては推定精度にも問題がでてくる場合がある。そこで定山溪ダム流域を対象流域とし、航空写真等のリモートセンシングに、積算暖度法を適用して流域全体の積雪水量を把握する手法を提案した。また、これをもとに積算暖度法とAR法による流出遅れを考慮した融雪流出モデルを構築した。この際、積算暖度法のパラメーターである融雪係数（デグリデイファクター）をAR法にもとづく逆算降水量より推定する方法を提示した。以上により、積雪水量や融雪流出パターンの精度向上を図り、積雪寒冷地流域のダムや河川の管理にも有効な方法論を提示した。

2. リモートセンシングを用いた積雪水量の把握

衛星情報もしくは航空写真を用いて融雪期における雪線の推移を捉え、それに積算暖度法を適用して積雪水量の把握を試みる。検証のため、ダムの流入量を実測値とし、融雪期になる直前の最大積雪水量を捉えるために実施されたスノーサーベイデータと合わせて比較検討を行った。

ここで、リモートセンシングによる積雪水量把握の手順を簡単に述べる。最初に空中写真や衛星画像から融雪期に流域から雪線の変化を把握する。撮影された写真から積雪分布図を作成し、エッジ強調処理を施して、写真-1に示すような雪線抽出図を作成する。さらに、この雪線上において融雪量を推定する点を設定し、ここに積算暖度法を適用して融雪開始から空中写真撮影日までの融雪量を算定する。結果としてこの期間までの最大積雪水量と推定されるわけである。この場合、積雪水量の推定については、図-1に模式的に示される。これは、融雪開始日から雪線観測日（空中写真撮影日）までの0℃以上の気温積算値から雪線上の融雪量が求められることを示している。以上から得られた点積雪量を内挿し、積雪量分布図を作成する。これを標高帯別に整理し、面積を乗じて流域内全積雪量を推定することができる。したがって、リモートセンシング情報を用いる際には、流域内で満遍なく雪線の変化がわかるような画像を用意する必要がある。

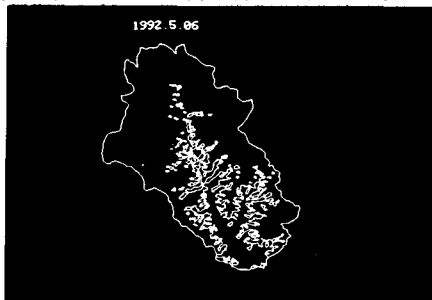


写真-1 抽出された雪線(1992)

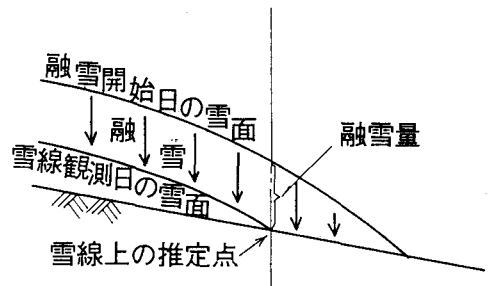


図-1 融雪メカニズムの模式図

Runoff Characteristics in Jozankei Dam Catchment Area

By Masashi Yamaguchi, Norihide Hashimoto and Makoto Nakatsugawa

以上より1991～1993年の3カ年における、定山溪流域での融雪流出量を算定した。図-2は計算値とダム流入量観測値を比較したものである。表-1は1992年の融雪流出量の内訳である。1992年は、5月6日、5月16日、5月28日の3回にわたって撮影を行った。衛星データは、LANDSATが4月7日、MOS-1が4月28日の画像を入手した。

水収支の検証から、リモートセンシング情報に積算暖度法を適用したものは、実測値に近い値であることがわかる。よってこれらの活用により、実用レベルで十分な精度で積雪水量を算定できることがわかった。逆にスノーサーベイによる推定結果は、実測値より5割程も積雪水量を過大に与えている。これは、スノーサーベイのコース選定や谷沿いを調査するといったことに問題があると考えられる。よって本手法が積雪水量の把握の他、スノーサーベイ結果の検証や改善にも有効であり、流域の水収支を評価するために利用可能であることが確認された。このことは、積雪寒冷地のダム管理にもきわめて有効な情報と考えられる。

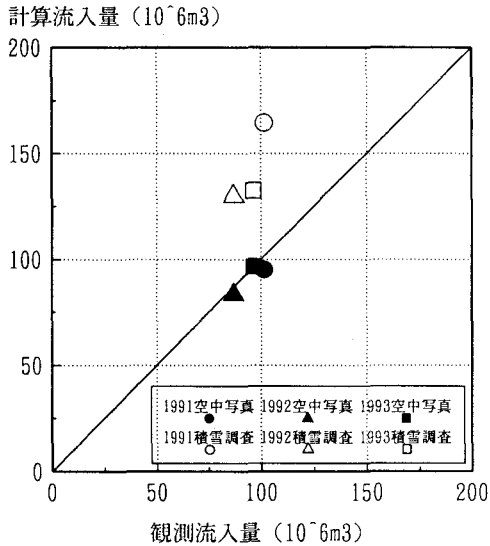


図-2 計算融雪量をもとにした水収支の検証

表-1 融雪流出に係わる水収支の内訳

年 期間 手法	1992 3/30～7/11 リモートセンシング*	1992 3/30～7/11 スノーサーベイ
降雨流出	16.3	16.3
融雪流出	57.1	103.5
基底流出	10.1	10.1
計算流出量	83.5	129.9
観測流出量	87.0	87.0
計算／観測 (誤差%)	96.0	149.3

(単位:10⁶m³)

3. 降水量の逆推定による流域平均融雪係数の算定

積算暖度法を用いるにあたり、デグリディファクターを事前に決定する必要がある。これまでのところ、流域内の代表観測点の気温や積雪深の観測結果からデグリディファクターを求め、それを流域内で適用しているが、実際には、標高あるいは、地点ごとに異なっている可能性もある。また、実測データを再現するように試行錯誤的に求めることもできるが、算定根拠の意味があいまいである。ここでは、全流域内に適合するデグリディファクターを算定するために、降水量を逆推定し、それから融雪量相当分を抽出し、積算暖度法で得られる融雪量にフィットさせるようにデグリディファクターを求める。

降水量の逆推定にあたっては、数値フィルターにより流量時系列を地下水流出、中間・表面流出の各成分に分離する。この成分流量時系列から成分系を表現するARモデルの係数を決定する。さらに、このAR係数を用い、有効降雨時系列を逆推定する。また、逆推定された降雨により再現される流出量を算出し、再現性を確認する。このAR係数の推定にあたっては、夏季(7～11月)の流出パターンを用い、それをもって年間降水量の逆推定を行った。表-2には、得られたAR係数を掲載する。また、逆推定された降水量より、再度AR法によって流出量の再現を行い、実測と比較したものを図-3に示す。この結果、本手法が流出パターンを的確に再現していることを確認した。

表-2 AR係数

	地下水流出	表面・中間流出
a ₁	1.85674	0.60831
a ₂	-1.10892	—
a ₃	0.18816	—

流出量 (10⁶m³)

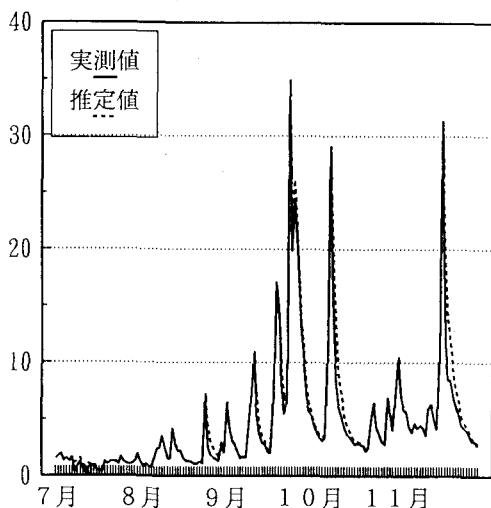


図-3 再現流出量と実測流出量との比較

容積(10⁶m³)

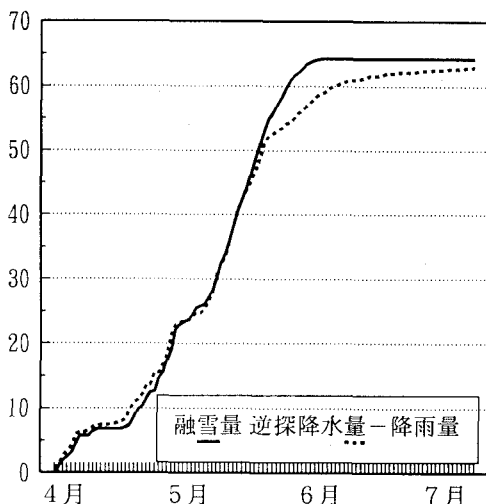


図-4 逆探法によって求めた融雪相当量と

積算暖度法によって求めた融雪量との比較

次に、融雪期間(4～7月)において降水量を逆推定し、これをPとすると、この期間、降雨として降った分Rをこれから差し引き、積算暖度法で求めた融雪量Mと比較する。すなわち、 $P - R \approx M$ となるようにデグリデイファクターを求める。ただし、この際、降雨量については、後述する流域平均値に補正して用いている。図-4に示すようにP-Rにフィットさせるようにデグリデイファクターを試行錯誤的に求めると0.33 g/cm²°Cdayが望ましい結果として得られた。

1992年の調査から、代表点でのデグリデイファクターは、0.37g/cm²°Cdayと算出された。ただし、この結果から融雪流出量を求めると若干ずれが生じていた。よって、上記手法により、デグリデイファクターの補正を行うこととした。この結果、融雪量の再現結果は、融雪終了期で多少異なっているものの、途中経過はよくフィットしており、これから流域平均のデグリデイファクターを推算することができた。しかしながら、今回は1992年のみで行っており、本来デグリデイファクターは、同一流域内で普遍性のある定数として用いられるべきで、複数年にわたり結果を整理して決めることが望ましい。

4. 積算暖度法に流出遅れを考慮した融雪量の推定

本来、融雪があった場合、流出に至るまでには表面・中間流出や地下水流出などの配分があり、それぞれの成分の時間遅れが考慮される必要がある。これを考慮するため、すでに前述した成分分離AR法を、定山溪ダム流域の流出パターンに適用する。AR係数は、先に示した値を用いる。

ここでは、1991年と1992年の2カ年にわたる無積雪期の流量データを成分分離AR法により、地下水流出成分が表面・中間流出成分より1日の流出遅れを生じ、その配分率は、全流出量の50.1%に相当することを明らかにした。また、流出量より逆算された降水量から、それがダムサイトでの観測値の1.15倍となっていることを見いだした。以上よりi日における計算流出量は、以下になる。

$$\text{降雨流出: } Q'_R(i) = Q_R(i) \times 0.499 \times 1.15$$

$$\text{融雪流出: } Q'_S(i) = Q_S(i) \times 0.499$$

$$\text{基底流出: } Q'_B(i) = (Q_R(i-1) + Q_S(i-1)) \times 0.501$$

上記の積算暖度法とAR法に3章で導いたデグリデイファクター $0.33\text{g}/\text{cm}^2\text{Cday}$ を用いて日融雪流出量を算定した。計算された日融雪流出量・累加融雪流出量を実測値とともに図-5～6に示す。結果から積雪・融雪が的確に再現でき、実用上、十分な精度で、日単位のダム融雪流入量（融雪量）を推定できることが確認された。

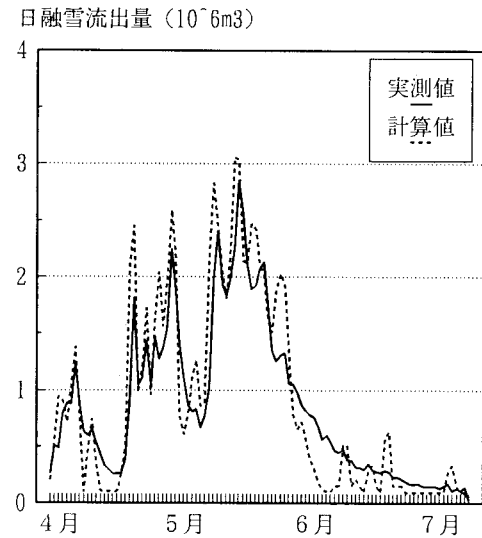


図-5 積算暖度法とAR法によって
算出された日融雪流出量

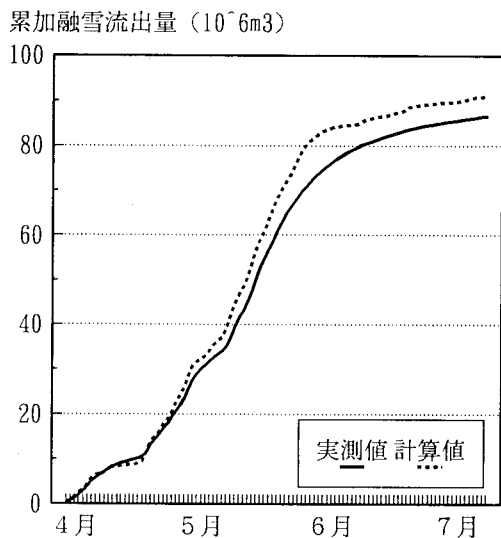


図-6 積算暖度法とAR法によって
算出された累加融雪流出量

5. あとがき

本研究では、積雪寒冷地のダム流域を対象にリモートセンシング情報と積算暖度法を適用して、積雪水量の推算を試みた。また、積算暖度法のパラメータを実際の流出パターンからチューニングする方法を提示し、実際の融雪流出パターンを再現することができた。

- 1) リモートセンシングに積算暖度法を適用し、積雪水量の把握を的確に行った。
- 2) AR法をもとに、降雨を逆推定して、全流域平均流出パターンを算出し、積算暖度法でのデグリデイファクターを補正することが可能となった。
- 3) 上記とAR法による流出遅れを考慮することにより融雪量の的確な把握が可能となった。

以上により、今後のスノーサーベイ結果の検証あるいは改善が可能となった。また従来、デグリデイファクターは、ある代表点で算出したものを全流域に適用してきた。今回示した手法では、流出パターンの再現にうらずけられた逆算降水量から融雪量を推定し、これにフィットさせるように、全流域に適用できるデグリデイファクターを算定した。しかしながら、融雪初期から中期にかけての再現性は精度が高いが、融雪終了期には差異が生じている。そのため、水収支のより正確な再現を図るとともに、デグリデイファクターは、融雪の過程ごとで複数を使い分けるなどの工夫が、今後の検討課題となる。また、この際、より物理的なメカニズムを勘案する必要もでてくるであろう。本研究は、1992年を対象に検討を行ったが、汎用的な結論を得るには、継続して調査および解析を行う必要がある。

参考文献

- 日野 幹雄・長谷部 正彦：水文流出解析、森北出版、1985
- 大山 容一・虫明 成生・瀬戸島 正博 他：衛星データを用いた融雪量解析の実用化へ向けての検討、日本写真測量学会年次学術講演会講演集、1992