

山梨大学工学部 正員 砂田篤吾
東洋建設(株) 正員 小林英治
伊藤組土建(株) 茨井 肇

1. はじめに

融雪に伴う洪水災害の防止のためには、融雪を木資源の対象とする場合に較べ、特に短期の出木予測が望まれる。この点に関しては、Degree-hour の概念を導入した先駆的な¹⁾の研究があり実用的と思われるが、融雪区域を規定する雪線が凍結線に近似されており必ずしも妥当ではない。本研究では1地点積雪深変化記録と広域積雪資料から導く新しい雪線高度の推定方法の提案とそれに基づく融雪量の推定を検討した。一方、実時間1日先出水予測として残雪面積率を状態量とする Kalman-filter 理論の適用についても試みた。解析対象流域は只見川奥只見ダム上流域 ($A=425.5 \text{ km}^2$) である。

2. 雪線高度の推定

[2.1] 積雪深減少率——奥只見観測所では'70～'79年の積雪深が観測されている。Fig.1の□印は'70年の融雪期の積雪深(H_s)の平均日変化を示す。本格的な融雪開始とともに積雪深は減少し、暖度の変化、雪密度、降水などの影響を受けながらも、同図中の積算気温(Dh)の平均日変化(Δ 印)とともに直線で近似できる。他の年も同様な傾向にあり、両者の傾きをスロットするとFig.2のようになる。年により融雪速度(ΔH_s)は異なり ΔH_s は積算気温の上昇率(ΔDh)を表わせる。一方、融雪に必要な暖度の総量と考へ H_s と累加積算気温(ΣDh)との比をとれば、単位 Dh 当りの積雪深減少率(ε)を得る。10年間資料の解析によれば、 $\varepsilon=0.034 \text{ (cm/Dh)}$ ……(1)

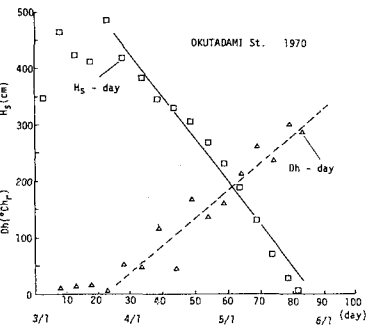


Fig.1 積雪深(H_s)と積算気温(Dh)の日変化

[2.2] 雪線高度の推定 流域内22～20ヶ所の未融雪期(2,3月)の広域積雪深～高度を示すと'79年とFig.3のようになる。積雪深観測地点により変動はあるが平均的にほぼ直線的に分布している。雪密度についての資料は少ないが、同一年の高度による違いは小さく、この時期では積雪相当水量についてもほぼ直線分布と考えられる。この点は山田²⁾が大雪山旭岳で得た樹林帯での積雪分布と類似の傾向にある。Fig.3で3月19日の平均積雪深分布は実線で示され、このとき観測所(782m)の積雪深は平均値より19cm大である。式(1)と積算気温の上昇率 ΔDh (2.8 °C·hr/day)より、19cm融雪させるには19日が必要となり、同一高度の平均積雪深地点では観測所の消雪日(5/1)より早く4月18日と考えられる。また、観測所での基準日(3/1)より本格的融雪開始日までの累加積算気温 ΣDh はほぼ600 (°C·hr)であり、観測所の気温から温度遞減を考慮して各標高地点(平均)の融雪開始日も得られる。標高差200mごとに平均積雪深より雪線出現日と求めれば雪線高度(H_{sn})はFig.4のようになり、他の方法による雪線推定に較べ、Land sat 資料解析による結果³⁾と良好な一致を示す。

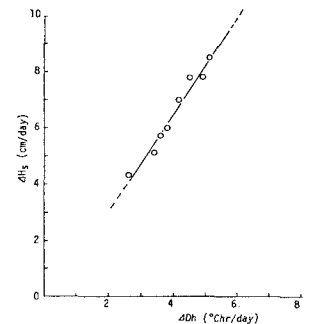


Fig.2 積算気温上昇率と融雪速度

[2.3] 融雪出水量の推定——雪線高度の変化をもとに流域の面積高度曲線を用いて他の方法に準じて出水量を推定する。流量日配分については、各年の融雪量の少ない期間における降雨～流出量資料から相互相関係数により得られる Unit graph を用いた。融雪流出率は日数による変化も考慮

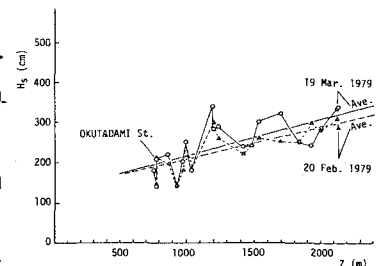


Fig.3 未融雪期の積雪深分布

して出水量を推定するとFig.5のようになる。融雪初期の出水ピークでは不十分であるが、中後期では観測値にほぼ近い結果が得られている。

3. 融雪出水の 실시간予測 (1日先)

[3.1] システム方程式—実際の流域航空写真によれば、融雪(残雪)区域は各標高・斜面方位で“まだら”に分布し、いわゆる雪線は規定し難い。⁴⁾ここでは、状態量として残雪面積率 A_s をとり、気象データ・流量観測値を用いてKalman-filter理論による A_s の推定・出水量の予測を試みる。ただし状態遷移には従来の雪線高度変化を平均的挙動として用いる。状態方程式は斜面方位分割を考慮しなければ1変数で式(2)で表わされる。

$$A_s(k+1) = B(k)A_s(k) + u(k) \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 B : 気象情報より前節のようにして、あるいは簡単に日最低気温から日野・長谷部⁵⁾のようにして求める雪線と面積高度曲線から定まる係数、 u : ノイズとある。

出水量 Q は直接流出の最大遅れと n 日にとれば式(3)で表わされる。

$$Q(k) = f_s \{ f_1 Dh(k)(A_s(k) - A_f(k)) + f_2 Dh(k-1)(A_s(k-1) - A_f(k-1)) + \dots + f_n Dh(k-n)(A_s(k-n) - A_f(k-n)) \} + Q_B(k) + w(k) \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 f_s : 融雪流出率、 $f_1 \sim f_n$: Unit graph、 A_f : 凍結区域面積率、 Q_B : Base flow、 w : ノイズ。 $(k-1)$ ステップ以前の A_s 、 A_f はステップでの値で表わすことができ、期間途中での降雨 R も考慮して、

$$Q(k) = F(k)A_s(k) + G(k)R(k) + w(k) \quad \dots\dots(4)$$

の形式で観測方程式が表わせる。ただし G は降雨のためのUnit graph。

[3.2] 予測結果—Fig.6は'79年に適用した場合の残雪面積率であり、予測当初の変動は大きいながらも安定してLandsat観測値による雪線から得られる値に対して良好な結果を示す。この適用例ではノイズのレベルに状態量・観測値それぞれ10%、5%を与えている。Fig.7は同年の出水量の予測結果であり、前節の方法に較べ出水ピークでも観測値とより一致しほぼ満足すべき予測と示している。

4. おわりに

雪線高度の推定に関して、1観測所の融雪過程と流域平均積雪深分布より求める新たな方法が示された。また、刻々の気象情報から実時間で融雪出水量の予測を進めることも試みられた。特に後者は斜面方位の考慮にも拡張できる可能性をもっている。今後さらに解析を重ね融雪出水予測の向上とめざしたいと考えている。最後に貴重な積雪調査資料を提供された電源所降臨の関係者各位に心から感謝の意を表します。また、本研究は昭和67年度文部省科研費(自然災害特別研究、代表者・東工大日野幹雄教授)の補助を受けて行われたもので、記して感謝致します。

〈参考文献〉 1) 廣 (1963): 土木学会論文集, No. 94, 9-20. 2) 山田 面村 木津 若夫 (1972): 低溫科学(物理編), No. 27, 1-12. 3) 武田 高橋 (1981): 土木学会論文報告集, No. 311, 81-92. 4) 竹本 牧野 (1982): 土木学会年報II, No. 37, 695-696. 5) 日野・長谷部・野田 (1982): 自然災害シンポジウム, No. 19, 67-70. 6) 電源所降臨 (1980): 東北地域積雪気象・流量調査資料

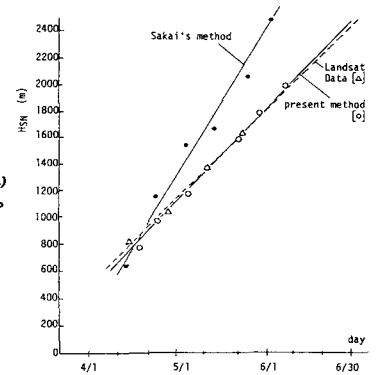


Fig. 4 雪線高度の推定

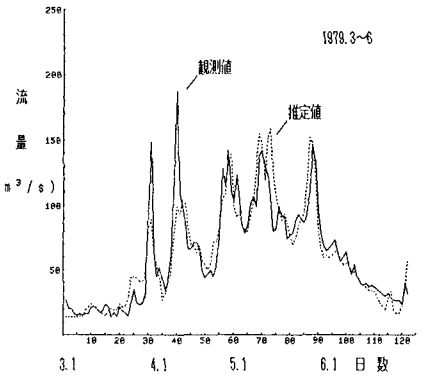


Fig. 5 融雪出水量の推定

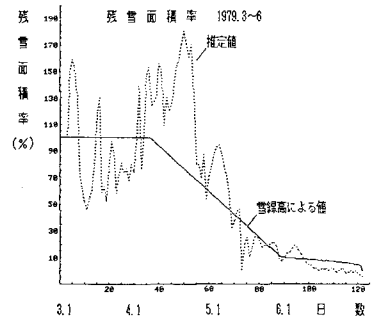


Fig. 6 残雪面積率の推定

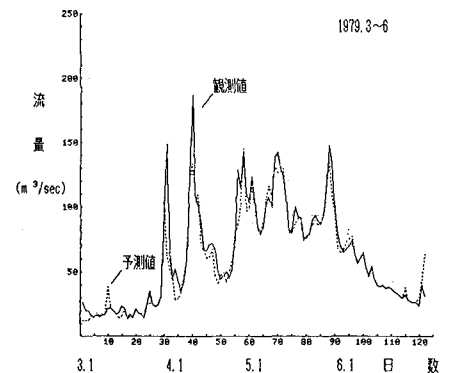


Fig. 7 融雪出水量の予測