

II-35 積雪面積情報による流域積雪水量の推定

—— 地形特性の一般化 ——

東京大学大学院 学生員 小池俊雄

東京大学工学部 正 員 高橋 裕

1. はじめに 近年のリモートセンシングの発達に伴って入手が容易になった積雪面積情報が融雪流出解析の初期値である積雪水量や入力値である融雪量の算定にとって重要な要素であることが筆者ら¹⁾により示されている。本研究では積雪面積情報による流域積雪水量の推定に際して必要となる地形特性（標高-面積関係）を一般化することにより、それぞれの流域に適合する積雪水量の推定モデルを提案する。

2. 流域積雪水量推定の概念 積雪面積情報の利用による流域積雪水量の推定の概念を図1に示す。標高 h の関数 $S(h)$, $A(h)$ はそれぞれ積雪水量と流域面積率の高度分布を表しており、 H_0 は雪線の標高で雪線が標高とともに変化するを仮定している。流域の積雪水量は図示されるように流域内最低標高 H_L から流域内最高標高 H_H までの積分（実質的には H_0 から H_H までの積分）、

$$S_s = \int_{H_H}^{H_L} S(h) A(h) dh \quad (1)$$

でもとめられる。従って積雪水量を求めるには(1)式中の積雪水量と面積率の高度分布特性を明らかにする必要がある。積雪水量の高度分布に関しては山田²⁾や筆者ら²⁾により積雪水量は直線高度分布して、その傾きは融雪期にはほぼ一定となることが示されており(2)式で表される。

$$S(h) = \begin{cases} a(h - H_0) & (H_0 \leq h \leq H_H) \\ 0 & (H_L \leq h \leq H_0) \end{cases} \quad (2)$$

図2は林業試験場宝川森林理水試験地初沢流域における積雪調査の結果を示しており(2)式の妥当性が示されている。

3. 流域の地形特性 流域の面積高度分布特性に関しては、日本島を18の流域区と2つの中間区、3つの小流域区に区分した坂口⁴⁾の研究がある。図3～5は利根川上流域・鬼怒川上流域・奥只見地域内の8つの流域についてそれぞれの流域毎に面積の高度分布を調べ、類似する3つのパターンに分類したものである。ただし、標高 h は(3)式によって無次元化し、(4)式の条件を加えている。

$$x = \frac{h - H_L}{H_H - H_L}$$

$$\int_0^1 A(x) dx = 1 \quad (3)$$

ここで一般に図6に示される型を考え、高次関数を用いて定式化する。

$$A(x) = \begin{cases} \alpha x^p & (0 \leq x \leq x_m) \\ \beta(1-x)^q & (x_m \leq x \leq 1) \end{cases} \quad (4)$$

面積高度分布を(5)式とおき、(4)式と連続条件から係数 α , β を求めると、

$$A(x) = \begin{cases} k \left(\frac{x}{x_m} \right)^p & (0 \leq x \leq x_m) \\ k \left(\frac{1-x}{1-x_m} \right)^q & (x_m \leq x \leq 1) \end{cases} \quad (5)$$

但し、 $\frac{1}{k} = \frac{x_m}{p+1} + \frac{1-x_m}{q+1}$

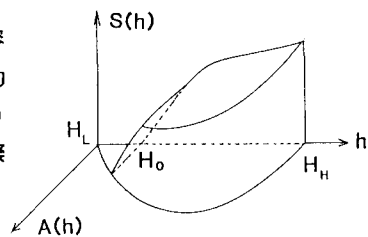


図1. 積雪水量推定の概念

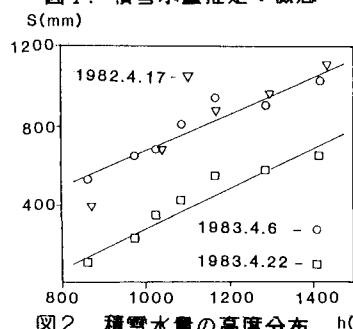


図2. 積雪水量の高度分布 (宝川森林理水試験地初沢流域)

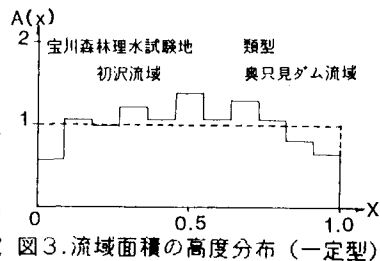


図3. 流域面積の高度分布 (一定型)

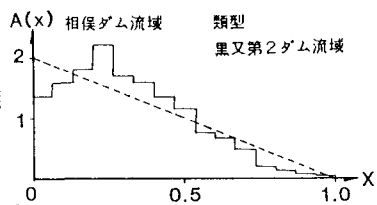


図4. 流域面積の高度分布 (減少型)

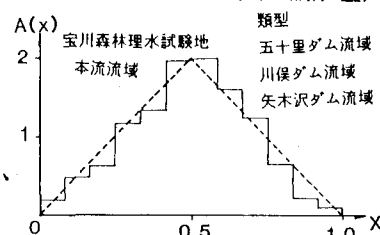


図5. 流域面積の高度分布 (凸型)

と変形される。図3～5に示したそれぞれの流域は表1のように係数 p , q , x_m を定めると(5)式で表現が可能である。

4. 積雪面積情報による積雪水量推定モデル 積雪面積率 A_s は雪線が標高とともに移動すると仮定すると雪線の位置 x_0 を用いて(6)式で表される。

$$A_s = \begin{cases} 1 - \frac{kx_m}{p+1} \left(\frac{x_0}{x_m} \right)^{p+1} & (0 \leq x_0 \leq x_m) \\ \frac{k(1-x_m)}{q+1} \left(\frac{1-x_0}{1-x_m} \right)^{q+1} & (x_m \leq x_0 \leq 1) \end{cases} \quad (6)$$

また、 x_0 を用いて(2)式を変形し、(5)式と合せて(1)式の積分を実行して、さらに(6)式を代入すると、

$$S_s = \begin{cases} \frac{\alpha x_m (H_H - H_L)}{p+2} \left(\frac{p+1}{kx_m} \right)^{\frac{p+2}{p+1}} (1-A_s)^{\frac{p+2}{p+1}} + \delta S_s & (0 \leq x_0 \leq x_m) \\ \frac{\alpha (1-x_m) (H_H - H_L)}{q+2} \left(\frac{q+1}{k(1-x_m)} \right)^{\frac{q+2}{q+1}} A_s^{\frac{q+2}{q+1}} & (x_m \leq x_0 \leq 1) \end{cases} \quad (7)$$

但し、 $\delta S_s = \alpha (H_H - H_L) \left[x_m - x_m \left(\frac{p+1}{kx_m} (1-A_s) \right)^{\frac{1}{p+1}} + \frac{k(1-x_m)^2}{(q+1)(q+2)} - \frac{kx_m^2}{(p+1)(p+2)} \right]$ が得られ、積雪面積率 A_s の観測により積雪水量 S_s の推定が可能となる。

5. 適用例とその検討 図3～5に示したそれぞれの地形特性をもつ流域に(7)式を適用する。積雪面積情報の収集にはそれぞれの流域に対して、LANDSAT⁵ カイト気球⁵ 目視観測⁵ を用いた。積雪面積情報に対応する積雪水量は水収支式²²⁾により算定した。図7～9に積雪面積率と積雪水量の観測値ならびに(7)式による積雪水量推定曲線を示す。但し、(7)式中の積雪水量の高度分布の勾配を示す係数 α は最小自乗法により定めた。図7～9により積雪面積情報による積雪水量推定式(7)が観測値によく一致していることが明らかである。さらに、相模ダム流域では1979年(少雪)、1981年(豪雪)、1983年(平年並)と降雪の状態が異なるにもかかわらず一つの推定曲線で表すことができ、流域に雪線が出現した場合の積雪水量推定式として(7)式が有用であることが示された。

謝辞 本研究を進めるにあたり、貴重な資料の提供と御協力を賜りました林業試験場防災部、利根川ダム統合管理事務所、相模ダム管理所の各位に深く感謝致します。千葉工業大学土木工学科測量研究室、建設省土木研究所水文研究室、隣建設技術研究所からは観測機器の借用を受け、千葉工業大学小泉助手からはカイト気球による観測の御指導を得ました。また、観測には東京大学大学院及び東京大学学生交友会の諸氏の御協力を得ました。ここに記して深く感謝致します。

参考文献(1)高橋他：土木学会第27回水理講演会論文集, pp.359-36, 1983.

(2)高橋他：土木学会第28回水理講演会論文集, pp.447-452, 1984.

(3)山田：低温科学研究所欧文報告, Series A No.31, pp.1-33, 1982.

(4)坂口：地理学評論, 38 2, pp.18-35, 1965.

(5)高橋他：土木学会第26回水理講演会論文集, pp.171-176, 1982.

(6)高橋他：土木学会第38回年次講演会概要集第2部, pp1-2, 1983.

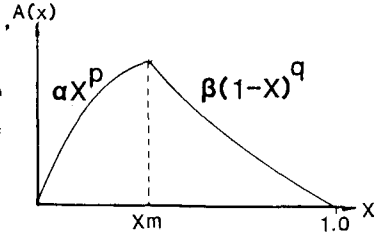


図6. 面積高度分布の一般型

分布型	p	q	x _m
一定型	0	0	0
減少型	0	1	0
凸型	1	1	0.5

表1. 分布型に対応する係数の値

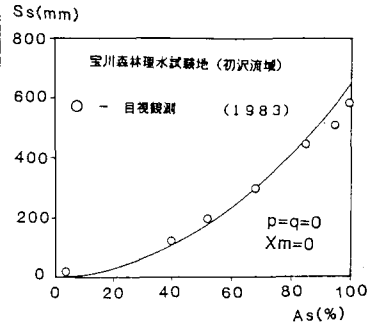


図7. 積雪面積率-積雪水量

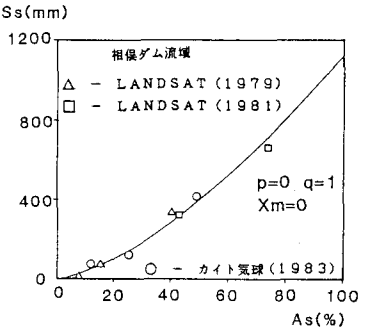


図8. 積雪面積率-積雪水量

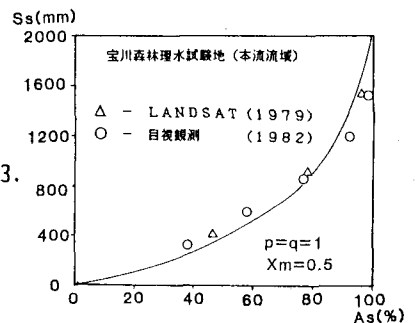


図9. 積雪面積率-積雪水量