

降積雪・融雪予測モデルに関する研究

金沢大学工学部 学生員 森田亜都子

同 上 正 員 高瀬 信忠

同 上 正 員 宇治橋康行

1. まえがき

わが国の大部分は、Köppenの気候区分によれば温帯多雨気候に属するが、沖縄、南西諸島の一部を除いて雪の降らない地域は無く、山間部の冬期の積雪は、北海道、東北、および本州の日本海側等の多雪地帯だけでなく、太平洋岸地域においても貴重な水資源の一つである。したがって、わが国の水資源の利用・管理において、積雪水量および融雪量の予測が重要である。筆者らは、簡単な気象因子のみを用いた降雪・積雪・融雪・流出の一連の過程を組み込んだモデルにより、積雪水量および融雪量の予測を行ってきた。このモデルでは、表面融雪の算定に気温と融雪量との回帰式を用いている。しかし、回帰式の係数は、場所によって異なることもあるため、モデルの他の地域への適用には問題が残る。本研究では、融雪過程のモデルに積雪表面での熱収支を用いたモデルについて述べる。

2. 積雪表面の熱収支

積雪表面の熱収支は、

$$M = I + L - \epsilon \sigma T_s^4 + H + E + Q + C \quad (1)$$

で表される。ここに、 I ：水平面日射量、 L ：大気放射量、 T_s ：雪面温度、 ϵ ：雪面の射出率（ $=1$ ）、 σ ：Stefan-Boltzman常数（ $=0.813 \times 10^{-10} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ K}^{-4}$ ）、 H ：顕熱伝達量、 E ：潜熱伝達量、 M ：融雪熱量、 Q ：雪温の上昇あるいは低下に使われる熱量、 C ：雪中伝導熱量である。式（1）において、 M が正の場合、融雪熱である。以下に熱収支の各項の算定法について述べる。

2.1 水平面日射量 水平面日射量は、直達日射と散乱日射の和であり、雪面のアルベド、雲量などによって異なるが、近藤は雲量による次の実験式を提案している。

1) 晴天日（雲量3以下： $n < 0.3$ ）

$$I = I^* (A + B \times 10^{-0.13n}) \quad , \quad A = 1 - B - 0.06 \text{Log}_{10} e \quad , \quad B = 0.43 - 0.016e \quad (2)$$

2) 雲がある日（平均雲量3以上： $0.3 \leq n \leq 1$ ）

$$I = I^* (0.22 + 0.55 (t - n)) \quad (3)$$

$$I^* = (I_0 / \pi) (h \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sinh)$$

ここに、 I^* ：大気上端の水平面日射量、 h ：半日の時角（ $= \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$ ）、 ϕ ：緯度、 δ ：太陽赤緯、 e ：地上付近の水蒸気圧（mb）、 $m = 1.4 \sec \theta_0$ 、 θ_0 ：南中時の太陽天頂距離、 t ：雲の厚さを表すパラメータであり、下層雲が多い日は $t = 1$ 、上層雲が多い日は $t = 1.6$ 、雲の種類が不明の時は平均的に $t = 1.2$ を用いる。

2.2 長波長収支 大気放射量の推定にBrunt-山本の式を用い、雲の影響を考慮すれば、

$$L - \epsilon \sigma T_s^4 = \{ \sigma T_a^4 (a + b \sqrt{e}) - \epsilon \sigma T_s^4 \} (1 - kn) \quad (4)$$

ここに、 T_a ：気温（°K）、 T_s ：雪温（°K）、 $a = 0.51$ 、 $b = 0.066$ 、 k ：雲の種類を表すパラメータであり、

$$k = 1 - 0.024Z \quad (5)$$

により求められる。ここに、 Z は雪底の高度であり、単位は1000ftである。

2.3 顕熱および潜熱伝達量 顕熱および潜熱伝達量は、バルク法を用いれば、それぞれ

$$H = C_p \rho C_h U (T_a - T_s) \quad (5), \quad E = E_i C_e U (h_a - h_s) \quad (6)$$

により求められる。ここに、 C_p : 空気の低圧比熱、 ρ : 空気の密度、 C_h : 顕熱伝達のバルク係数(=0.002)、 U : 風速(cm/sec)、 E_i : 水蒸気の凝結潜熱(=597cal/g)、 C_e : 潜熱伝達のバルク係数(=0.002)、 h_a : 大気の水蒸気量、 h_s : 雪面の水蒸気量である。

3. 計算結果

2で述べた熱収支の各項をサブモデルに用い、積雪深、相当水量、密度、および流出量を求めた結果と実測値との比較を図1から図4に示す。これらの図から、相当水量および流出量は、計算値と実測値が良く合っていると言えるが、積雪深および密度は、積雪期の後半で、計算値と実測値の適合度は良くない。しかし、ここで用いた表面融雪量の算定法は、式(1)の熱収支式に基づくものであり、地域差の大きい経験常数は少なく、表面融雪の観測の行われていない場所にも適用できるものである。結果の詳細については講演時に述べる。

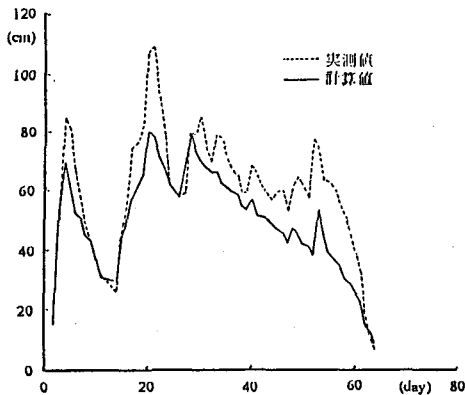


図1 積雪深の実測値と計算値の比較

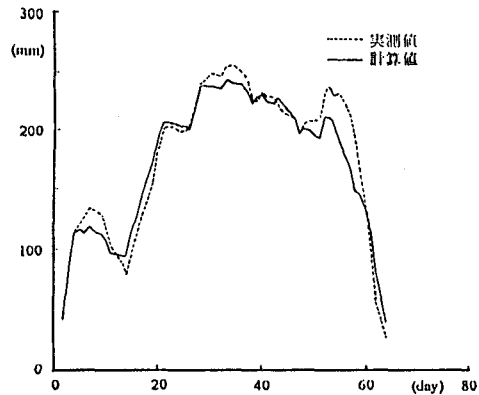


図2 相当水量の実測値と計算値の比較

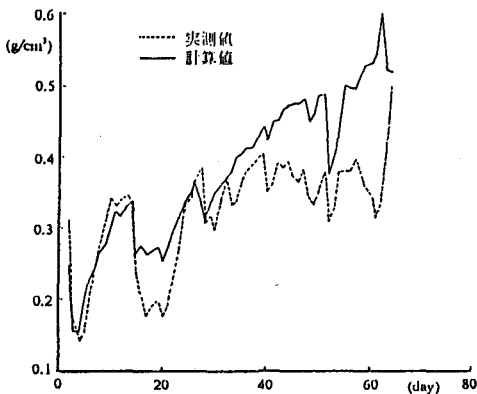


図3 密度の実測値と計算値の比較

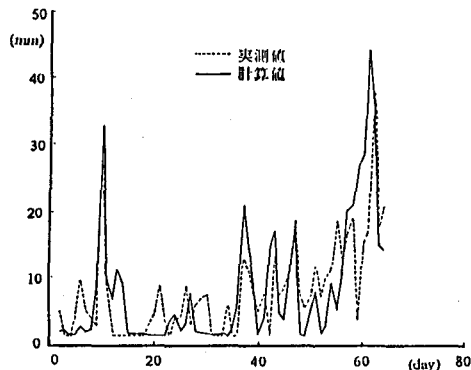


図4 流出量の実測値と計算値の比較