

II-22 雪層内の熱伝導係数の測定について

岩手大学工学部 学生員○金田 明久 学生員 佐藤 茂法
 学生員 古川 俊也 正 員 笹本 誠
 正 員 堺 茂樹 正 員 平山 健一

1. はじめに

豪雪地帯において春季の融雪は河川流出に大きく影響し、融雪量を予測することは、治水、利水の両面で非常に重要である。著者らは気温と降水量のみを入力値とする積雪深、融雪量予測モデルを作成し、比較的良好な結果を得てきたが、モデルの精度を向上させるための改良点はまだ多く残されている。例えば、融雪量及び融雪水の再凍結量を予測する際に必要となる雪層内の温度変化に関しては、そのメカニズムを正確にモデル化するには至っていない。そこで本研究では積雪層内の温度分布変化を観測し、積雪層の熱伝導係数と密度の関係を検討し、さらにこの関係を用いて雪温変化の予測計算を試みた。

2. 観測方法

現地観測は日本有数の豪雪地帯のひとつで年間降水量 2,500mmにも達する湯田ダム流域内の沢内村で行った。雪温の観測は図-1に示すように、積雪の断面を切り出し、一定の間隔で温度センサーを差込み、それと同時に密度を計測した。切り出した面では外気による内部への熱移動が生じるが、この影響を避けるため、切り出し面から 1m奥の位置で測定し、さらに測点間隔が変化しないよう支持棒で支えた。観測中降雪が伴うと積雪表面からセンサーまでの深さが変化するため、観測は降雪のない状況で行った。表面から 4, 8, 12, 16cmでの雪温及び気温を同時に観測したが、気温上昇に伴う融雪の影響を除くため、積雪が冷却される夜間を中心に行った。

3. 解析方法

解析に用いられる基本式は次のように与えられる。

$$c \rho \frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{----- (1)}$$

x : 位置を表す座標 (cm)

t : 時間 (sec)

c : 比熱 (cal/g/°C)

ρ : 密度 (g/cm³)

k : 熱伝導係数 (cal/cm/sec/°C)

u : 雪温 (°C)

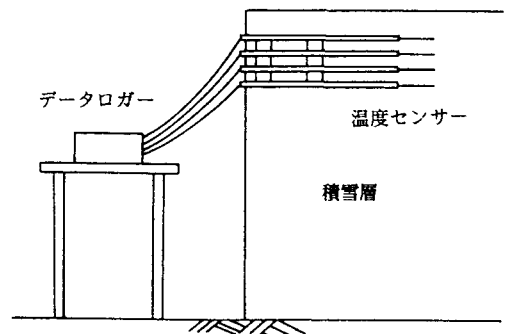


図-1 観測装置

上式を Crank-Nicolson法によって差分化すると次式ようになる。

$$\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} = \frac{k}{2c\rho} \left\{ \frac{u_{i+1,j+1} - 2u_{i,j+1} + u_{i-1,j+1}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

4. 結果及び考察

図-2, 3は気温と雪温の経時変化の実測値を表している。外気温の低下に従い積雪は冷却されるが、表面から深い所程、変化の振幅は小さく、また位相差は大きくなる。雪温の観測値を用いて式(2)中の k を求めたのが図-4である。熱伝導係数が多少変動するのは実際の積雪中ではいくつかの熱輸送が複雑に混ざり合っているためと考えられ、主に 1) 積雪中の氷粒とそれらの結合部分を伝わる伝導、2) 氷粒の間の空気を伝わる伝導、3) 空隙中で空気の対流による熱輸送、4) 空隙中の水蒸気移動に伴う熱輸送、などである。今回の観測は降雪直後に実施した場合が多かったため、雪の密度は $0.15 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 以下という狭い範囲での結果であり、さらに k の値にばらつきはあるが、従来より指摘されているように密度と k の間に指数関数的関係が成り立つものとして、近似曲線を当てはめると、図中の曲線となる。上記の熱伝導係数と式(2)を用いて、4cmでの実測値を境界条件として、8, 12, 16cmでの雪温変化の予測計算を行った。その結果は図-2, 3中の記号で示されている。位相のずれ、振幅の大きさなど非常に良く自然積雪の温度分布が再現されている。気温が上昇する正午あたりに4cmのセンサーが正の値を示すことがあり、このような場合には予測の精度は低い。雪温が正になったのは、積雪の成分が氷と空気と水であるためその空気の寄与が多くなったか、日射がセンサーへ直接影響したものと考えられる。

5. おわりに

本研究を進めるにあたり、(財)河川情報センター、及び沢内村雪国文化研究所の御協力を得たことを記し謝意を表します。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金(一般研究(C))により行われたことを付記する。

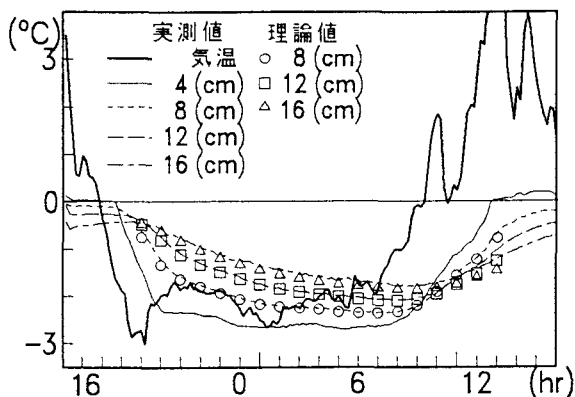


図-2 気温、雪温の経時変化
('93. 2. 2)

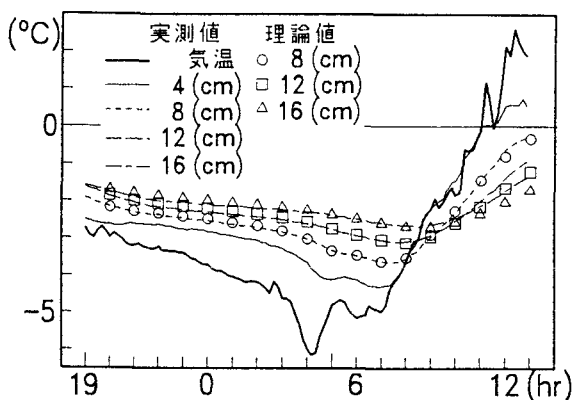


図-3 気温、雪温の経時変化
('93. 2. 9)

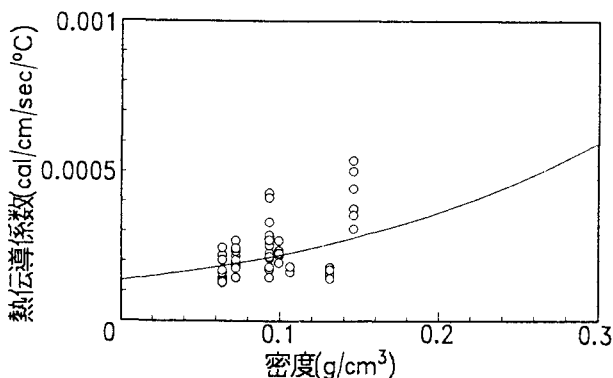


図-4 密度と熱伝導係数の関係