

小川原湖における氷厚の推定

岩手大学 ○学生員 目時 泉
 岩手大学 富工川 一雄
 岩手大学 正 貢 平山 健一

1 はじめに

本報告は 本大学が継続的に氷状実態調査を行っている小川原湖の 結氷期における氷の平均的な成長予測モデルを作ろうとしたものである。小川原湖での結氷過程に基づきそのモデルを考え 三沢の気象データを入れた推定値と 過去2シーズンの氷厚実測データとを比較・検討してみた。

2 小川原湖の氷板形成モデル

図-1に小川原湖の氷板の例を示す。例年1月上旬から中旬にかけてまず水面の冷却により薄い氷板が形成される。その後降雪があると積雪の重みで氷板が水中に沈み水の浸透した雪泥層ができる。雪泥層は冷え込みによってその表面から凍結はじめて次の氷層である雪氷層が形成される。この過程の繰り返しにより、氷厚が増してゆくわけであるが雪泥層がない場合には氷板下面に真氷層が形成されこれにより、氷板は成長してゆくこととなる。

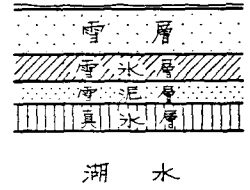


図-1

3 氷厚推定式の誘導と計算の手順

前述のようなモデルで示される小川原湖の氷板形成では 降水量と気温が重要なパラメータとなる。氷板における熱移動は 図-2 を参照して次のように示される。雪氷層下面が0℃、真氷層下面が0℃であることより この間の熱移動は無視することとして 雪氷層、雪層、雪表面の熱移動 ϕ_{si} , ϕ_s , ϕ_{as} を考えると

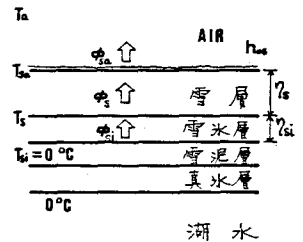


図-2

$$\phi_{si} = k_{si} \frac{T_{si} - T_s}{\eta_{si}}, \quad \phi_s = k_s \frac{T_s - T_{as}}{\eta_s}, \quad \phi_{as} = h_{as}(T_{as} - T_a)$$

ここで k_{si} , k_s は 雪氷層、雪層の温度伝導率 (W/m-deg.)

h_{as} は 雪表面の熱伝導係数 (W/m²-deg.)

T_{si} , T_s , T_{as} , T_a は 雪氷-雪泥、雪-雪氷の境面、雪表面、空気温度 (deg.)

η_{si} , η_s は 雪氷層、雪層の厚さ (m)

$$\text{ここで } \phi_{si} = \phi_s = \phi_{as} \text{ と置くと} \quad \phi_{si} = \frac{T_{si} - T_a}{(\eta_{si}/k_{si}) + (\eta_s/k_s) + (1/h_{as})} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{又、氷厚の増加に関して} \quad \phi_{si} = \rho_i \lambda \phi \frac{d\eta_i}{dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで ρ_i は 氷の密度 (kg/m³) λ は 凝固潜熱 (J/kg) ϕ は 雪泥中に水が1める割合
 Δt は 1日とする

$$(1) \text{と}(2) \text{より} \quad \frac{T_{si} - T_a}{(\eta_{si}/k_{si}) + (\eta_s/k_s) + (1/h_{as})} = \rho_i \lambda \phi \frac{d\eta_i}{dt} \quad \text{従って 氷厚の計算式として}$$

$$\text{次の差分式が得られる。} \quad \Delta \eta_i = \frac{1}{\rho_i \lambda \phi} \frac{T_{si} - T_a}{(\eta_{si}/k_{si}) + (\eta_s/k_s) + (1/h_{as})} \Delta t$$

上式の定数は Calkins の論文などを参照して $\lambda = 3.34 \times 10^5$ (J/kg) $\rho_i = 916$ (kg/m³)

$T_a = 0^\circ\text{C}$ $k_{es} = 0.3 (\text{W/m-deg})$ $k_{ei} = 2.24 (\text{W/m-deg})$ $\Delta t = 8.64 \times 10^4 (\text{s})$ $h_{as} = 25 (\text{W/m}^2\text{-deg})$

ここで、 h_{as} は風速の関数であるが Dingman の関係式を用いることとし、小川原湖での平均的風速 5 m に対応する h_{as} 値を使用することとした。 ϕ は文献から得ることができなかったため、簡単な実験を行った。その実験は、上部からのみ冷却される発泡スチロール容器に、雪泥と、それと同量の水を入れ、同時間、同条件で冷却されてできる氷厚の比より ϕ を求めるものである。その結果を図-3 に示す。それより本論文では $\phi = 0.5$ と定めた。(真氷ができる際は $\phi = 1.0$)

又、雪泥層の毛管高は 3 cm、雪の比重を 0.2、雪氷も含む氷板の比重を 0.9 と仮定した。結氷初日は、実測値を用い、S. 54 年度は S. 55 年 1 月 5 日、S. 58 年度は S. 58 年 12 月 26 日として、1 cm の氷板が形成されているものと仮定し、次の日以降の結氷量を順次計算していった。

4 結果と考察

図-4、図-5 に S. 54 年度と S. 58 年度の推定値と実測値(10 地点の平均)を気温と降水量のデータと併に示した。

この 2 シーズンは、マイナスの積算温度において、28 年間の気象観測データの内で、S. 54 年度は 9 番目の大きさ、S. 58 年度は 1 番目の大きさであり、降雪量においては、1 月、2 月の総降雪量を比較すると、S. 54 年度は 51 mm、S. 58 年度は 108 mm という様に、気象条件においてそれぞれ異なった特徴を持つ年度である。しかしながら、計算結果を見ると、S. 54 年度はやや大きめに、又、S. 58 年度はピーク日である S. 59 年 3 月 5 日 (S. 54 年度は S. 55 年 2 月 25 日) の氷板厚が小さめに、出ているようではあるが、全体として、氷板の成長速度やピーク日の氷板厚など、ほぼ実測値にそったものとなっている。従って、計算に使用した諸定数は、ほぼ妥当なものと考えられる。本モデルは、氷板の融解期の使用には不向きであることや、観測時に見られた、結氷初期で全面結氷していない時期における、西風による東岸への氷片の漂着が原因で生ずる氷質・氷厚の違いなどは説明できないが、融解期までの、平均的な氷板の成長過程を推定するという目的のための使用には、有効な推定モデルであると思われる。

(参考文献) (1) Accelerated ice growth in rivers, Darryl J. Collins, CPREL Report 1977 (2) Static Growth of Black Ice in Cold Regions Michel, Dr. Eng. IAHR (ICE SYMPOSIUM 1972 (3) Thermal Control of Ice George D. Ashton Advances in Hydroscience vol. 13, 1982.

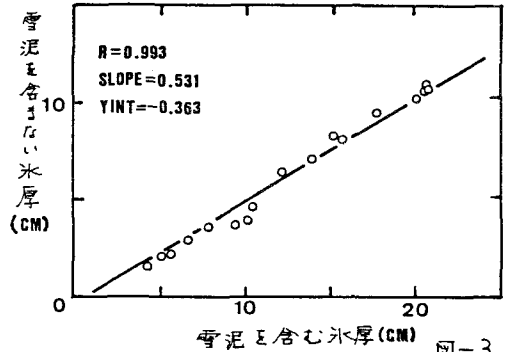


図-3

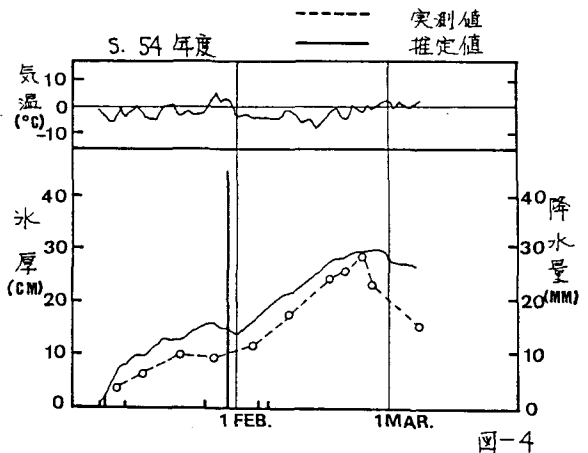


図-4

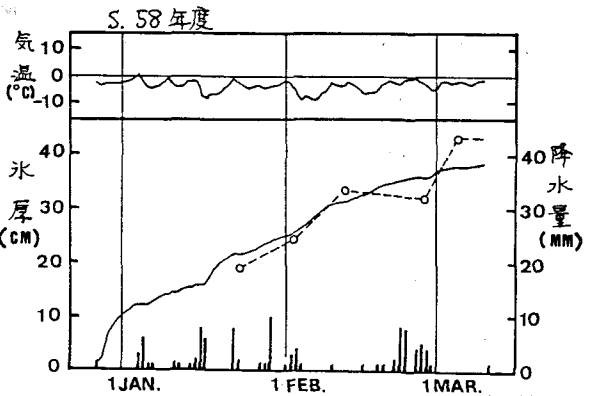


図-5