

根雪前湛水による氷板の無積雪時氷厚変動モデル
Ice Thickness Fluctuation Model at Snow Free Duration of Ice Plate
Formed by Inundation before the Continuous Snow Cover

松田 周・向 弘之
MATSUDA Shuh , MUKAI Hiroyuki

1. はじめに

北海道の水田転換畑においては、融雪水による地表面滞水が長期間持続すると機械作業が遅れ、農作物の生育遅延や減収に結びつく。そこでこれまでに、根雪前に湛水し水面上にできた氷板を遮水板として融雪水を圃場外に排出する実験を試みた。2008 寒候年においては良好な結果を得たが、氷厚は気象条件に左右されるため、気象要素から氷厚変動を予測するモデルを作り、気象データから氷板作成による排水促進法の適・不適地を推定する必要がある。本報では、氷板上に積雪がないときの氷厚変動モデルの構築を試みた。

2. 氷厚変動モデル

氷厚変動モデルは熱収支（図 1）式を、顕熱・潜熱輸送はバルク式を用いた。

$$-\rho_i l_m \frac{dh_i}{dt} = Q_i + Q_w \quad (1) \quad Q_i + \frac{c_{Gi} h_i}{2} \frac{dT_s}{dt} = (1-\alpha)S \downarrow + L \downarrow - L \uparrow - H - IE + Q_r \quad (2)$$

$$H = c_p \rho_a C_H U (T_s - T_a) \quad (3) \quad IE = l \rho_a C_E U (q_{SAT}(T_s) - q_a) \quad (4)$$

$$L \uparrow = \varepsilon \sigma (T_s + 273.15)^4 \quad (5) \quad \rho_a = 1.293 \left(\frac{273.15}{273.15 + T_a} \right) \left(\frac{p}{1013.25} \right) \left(1 - 0.378 \frac{e_a}{p} \right) \quad (6)$$

$$C_H U = C_E U = \begin{cases} C_H U & (U_{10} \geq 1 \text{ m s}^{-1}) \\ 1.2 \times 10^{-3} (T_s - T_a + 0.11(e_{SAT}(T_s) - e_a))^{1/3} & (U_{10} < 1 \text{ m s}^{-1}) \end{cases} \quad (7)$$

$$Q_r = 4.18605 \times 10^{-3} P_r T_a \quad (8) \quad P_r = (1 - \beta) P \quad (9)$$

$$Q_w = -\rho_{il} l_m \frac{dh_{il}}{dt} \quad (10)$$

ここで、 S : 下向き短波放射量、 L : 下向き長波放射量、 L : 上向き長波放射量、 H : 顕熱輸送量、 IE : 潜熱輸送量、 Q_r : 雨から氷板への伝導熱量、 Q_i : 氷厚の成長融解に使われる氷板表面からの下向き熱量、 Q_w : 湛水から氷板への伝導熱量(以上の単位は全て $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)、 α : 氷板のアルベド、 ε : 氷板の射出率、 ρ_a 、 ρ_i 、 ρ_{il} : 空

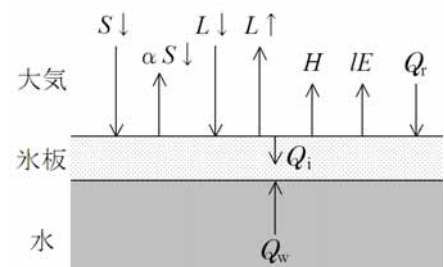


図 1 氷板の熱収支
Heat balance of ice plate

気、氷板、下層氷板の密度(kg m^{-3})、 σ : Stefan-Boltzmann 係数($=2.04 \times 10^{-10} \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ K}^{-4}$)、 h_i 、 h_{il} : 氷板、下層氷板の厚さ(m)、 l 、 l_m : 氷の昇華潜熱($=2.834 \text{ MJ kg}^{-1}$)、氷の融解潜熱($=0.334 \text{ MJ kg}^{-1}$)、 c_p : 空気の定圧比熱($=1.0042 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)、 c_{Gi} : 氷の容積熱容量($=1.93 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$)、 C_H 、 C_E : 氷板の顕熱、潜熱輸送のバルク交換係数、 e_a 、 q_a 、 T_a 、 U : 代表的な高度に

(独)農研機構 北海道農業研究センター National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

氷板，根雪前湛水，熱収支，バルク式

おける水蒸気圧(hPa)、比湿(kg kg⁻¹)、気温()、風速(m s⁻¹)、 U_{10} :地表面上 10m の風速(m s⁻¹)、 T_s :氷板の表面温度()、 $e_{SAT}(T_s)$ 、 $q_{SAT}(T_s)$: T_s に対する飽和水蒸気圧(hPa)、飽和比湿(kg kg⁻¹)、 p :大気圧(hPa)、 P_r 、 P :降雨量、降水量(mm)、 :降雪割合(0~1)とする。

3. 実験および計算概要

北海道農業研究センター内の 10m 四方の水田で実験を行った。湛水深を 25cm とし、2008 年 11 月 28 日から 12 月 26 日まで毎日 9 時に(日により 16 時も)氷厚および氷板上の積雪深を測定した。風速は水田から 2m 離れた地点の地表面上 6.5m で計測した。また、実験水田から北西に 450m 離れた気象観測露場のデータ(気温、相対湿度、降水量、気圧および 4 成分放射量)を借用した。露場データは 1 時間間隔の計測で、気温、相対湿度は地表面上 1.5m の値である。

計算期間は氷板上に積雪がない 2008 年 12 月 1 日 9 時~6 日 0 時、計算時間間隔は 1 時間とした。 $\alpha=0.7$ 、 $\beta=0.99$ 、 $\rho_i=900\text{kg m}^{-3}$ 、 $\rho_{il}=917\text{kg m}^{-3}$ 、 $C_H=1.0 \times 10^{-3}$ とした。 α は T_a の場合 0、 $T_a < 1$ の場合 1、これらの間を直線関係とした。氷板内の温度分布は T_s と氷板底面温度 $T_b(=0)$ の直線関係とした。計算に用いる代表的な高度は 1.5m とした。風速は対数分布に従うと仮定し、測定風速を U および U_{10} に換算した。なお、氷板の粗度長は $1.0 \times 10^{-4}\text{m}$ とした。氷厚の初期値は実測の 18mm、 T_s は k をパラメータとして、初期値を $(T_a+T_b)/k$ とした。(2)式右辺の熱量が全て氷板内の温度変化に使われたと仮定し仮の表面温度 T_s' () を算出した。 T_s は $T_a = 0$ の場合 0、それ以外では $T_s' = 0$ の場合 0、 $(T_a+T_b)/k < T_s' < 0$ の場合 T_s' 、 $T_s' < (T_a+T_b)/k$ の場合 $(T_a+T_b)/k$ として、1 時間後の T_s を算定した。 T_s の時間変化より(2)式左辺第 2 項を求め、残差を Q_i とした。

4. 結果と考察

実験期間内の氷板は、湛水面が凍った透明度の高い氷板(下層氷板)とその氷板上の雪がシャーベット化したその後凍結した透明度の低い氷板(上層氷板)の 2 層を形成している時期があった。両層の境界面が上下に変動しないと仮定し、気温が -2 以上である 12 月 16 日 9 時~20 日 9 時までの下層氷厚の時間変化を調べた(図 2)。回帰直線の傾きの単位変換値を(10)式の dh_{il}/dt として、 Q_w を算出した。 k をパラメータとして氷厚変動モデルを計算した結果、計算による氷厚は観測値に近い値を示した(図 3)。 k は気温がマイナスの時のパラメータであるため、気温がプラスである氷厚減少時にはパラメータによる差はなく、気温がマイナスである氷厚増加時に差が現れた。特に、12 月 3 日から 4 日にかけての低気温時(=氷厚の増加が大きい時)は k 値の大きい方が氷厚の増加幅が大きかった。

今後は、結氷時と氷板上に積雪がある時および湛水排水後の氷厚変動モデルを構築する。

参考文献

近藤純正編著(1994):水環境の気象学,朝倉書店

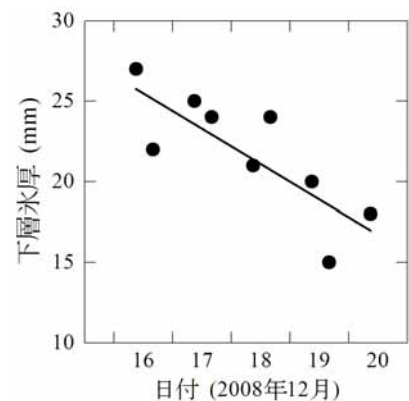


図 2 下層氷厚の変動
Change in lower ice plate thickness

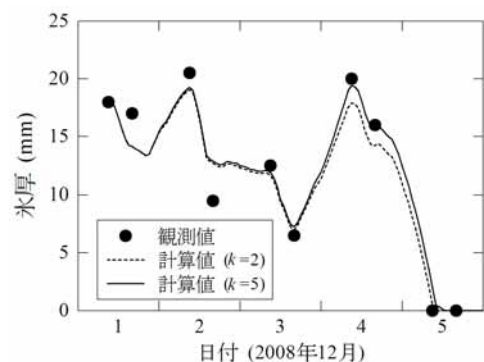


図 3 観測値と計算値の氷厚比較
Comparison between observed and calculated ice plate thicknesses