

Ⅱ-670

停滞性水路における水温の数日後予測

北海道開発局 正員 藤田 満士
正員 中津川 誠

1. はじめに

積雪寒冷地における湖沼や旧川においても富栄養化の進行で植物プランクトンの異常発生等の問題が懸念されている。そこで、本研究では水流が停滞傾向にある水域において、水質現象に密接に関連する水温の予測を行うことを目的とする。とくに、水質現象の動向を見極め、適切な対応をとるためには数日先の予測が要求される。ここでは、週間天気予報を活用して、対象地点の7日先までの日平均気温と日照率を推算し、予測の境界条件とした。一方、連続的に得られる水温観測値をオンライン情報として扱い、カルマンフィルターを水温計算の基礎方程式に適用して予測を実施した。

2. 予測対象個所の概要

今回水温の予測対象個所としたのは、図-1に示す北海道千歳市にあるネシコシ排水池である。当該個所は千歳川流域の農業用排水池として掘削され、流下方向2,000m、横断方向130m、水深約1m、勾配1/4,500の水路となっている。気象条件としては、気温は夏期の30℃から冬期の-20℃程度まで変化し、風に関しては5m/s以上の成分が夏に南寄り、冬に北寄りの風向で卓越している。このため、水流は風の影響を強く受け、細かい土粒子の巻き上げによる濁りが顕著である。また、当該水域の周辺は畑地で栄養塩の流入が多い。

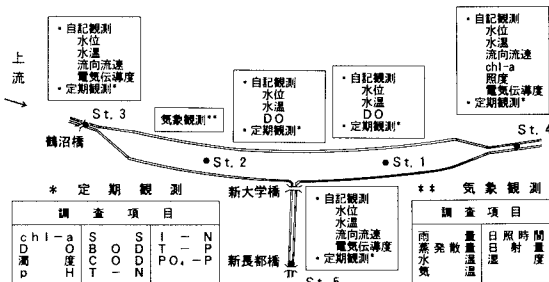


図-1 モデル水域の位置と形状

これにともなう藻類の増殖はリンに制限を受け、クロロフィルaは時として50μg/lを越える場合もあるが、アオコなどの異常増殖現象はみられない。ここでは、流出入口のSt.3, St.4, St.5で水位、流速、水温、また、池内のSt.1では水位と水温の自記観測をおこなって水収支、熱収支の実態を把握している。なお、水路近傍において気温、湿度、風向・風速、日照時間の気象観測も連続的におこなわれている。

3. 水温の予測手法

水温計算のために排水池を3個のサイズの等しいボックスに分割する。この場合、St.1は最下流のボックスとなる。ボックス*i*の水温*T_i*は次式から得られる。

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{V_i} [Q_{i-1}T_{i-1} - Q_iT_i + Q_{yi}T_{yi} + Q_gT_g + \psi_i] \quad (1)$$

ここで、*T*は水温、*Q*は流量、*V*は貯留量、下付*y*は横流入、下付*g*は地下水流入をあらわす。また、*ψ*は大気水面間の熱フラックスで、長短波放射、顕熱、潜熱を考慮して推定される。*ψ*は水温に依存するため、 $\psi \approx \psi^* + \frac{\partial \psi^*}{\partial T}(T - T^*)$ のように線形化する。上付*は前ステップの値を意味する。上式をベクトル表示すると次のように書ける。

$$\frac{dT}{dt} = AT + X, \quad T = [T_1 \ T_2 \ \dots \ T_i \ \dots \ T_n]^T \quad (2)$$

ここで、*A*、*X*は係数マトリックス、*T*の下付数字はボックス番号をあらわす。上式のような1階線形の微分方程式の解は、時間ステップに対する漸化式(表-1のシステム方程式を参照)として与えられる。本件の場合、最下流(St.1)で水温の実測値(日平均)が毎日得られるので、これをオンライン情報とみなしてカルマンフィルターを作用させ、数日後までの日平均水温の予測をおこなう。基礎式は表-1に示す。

予測に際し与える諸条件を整理しておく。まず、境界条件である流入量および水温は、予測開始日に実測値としてSt.3, St.4, St.5で与えられる。この関係が将来とも一定に続くとした。ただし、本来はある種の方法で予測する必要がある。また、大気水面間の熱フラックスを推定するため、気温、日射量を設定する必要があるが、これは週間天気予報を利用して推定した。図-2には石狩地方に出された3日後の気温予報を実測値と比較しているが、この相関性から気温を設定している。また、日射量は八田ら²⁾が示した天気パターンと日照率の関係(表-2)から設定した。湿度、風速については開始日の値を一定で与え続けた。

表-1 カルマンフィルターによる水温予測の基礎式

システム方程式	$T_{m+1} = \Phi_m T_m + \Gamma_m X_m + w_m$
観測方程式	$z_m = H_m T_m + v_m, \quad H_m = [0 \ 0 \ \dots \ 1]$
システム誤差	$E(w_m) = 0, \quad E(w_m w_m^T) = Q$
観測誤差	$E(v_m) = 0, \quad E(v_m v_m^T) = R$
状態変量伝達方程式	$T_{m+1}(-) = \Phi_m T_m(+) + \Gamma_m X_m$
状態変量の誤差分散・共分散の伝達方程式	$P_{m+1}(-) = \Phi_m P_m(+) \Phi_m^T + Q$
カルマンゲイン	$K_m = P_m(-) H_m^T [H_m P_m(-) H_m^T + R]^{-1}$
状態変量更新方程式	$T_m(+) = T_m(-) + K_m [z_m - H_m T_m(-)]$
状態変量の誤差分散・共分散の更新方程式	$P_m(+) = [I - K_m H_m] P_m(-)$
ここで、 z 、水温観測値、 v 、観測誤差、 Φ 、 Γ 、解の係数行列、 w 、システム誤差、 Q 、システム誤差分散共分散 R 、観測誤差分散、 P 、誤差分散共分散行列、 K 、カルマンゲイン	

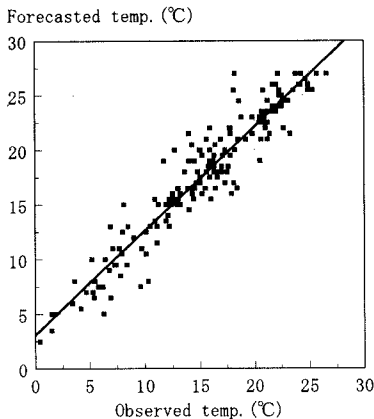


図-2 週間天気予報の気温予報値（3日後）とネシコシの気温実測値の比較

4. 水温の予測結果

計算例として、藻類増殖の盛んな1994年の7月から9月について予測を実施した。モデル計算の誤差を生み出す要因は様々なものがあるが、ここでは熱フラックスの推定に必要なパラメータである顕熱および潜熱バルク係数を0とした。図-3にはオンライン情報の入らない場合の予測結果、図-4にはカルマンフィルターでオンライン更新した場合の予測結果を示す。これから、水温に関してはオンライン情報と週間天気予報を利用すれば、パラメータ等にある程度不確定要因があっても、適切な予測結果を与えることが可能であることがわかった。

5. おわりに

オンライン情報にもとにしたカルマンフィルターの適用と週間天気予報の利用により、モデルにある程度不確定要因がある場合にも適切な水温予測がなされた。今後は、藻類増殖に関わる水質現象そのものについて情報収集と分析をおこない、予測手法の開発を目指していきたい。

参考文献

- 1) 大島ら：停滞性水路における水質現象の観測と解析：平成6年度土木学会北海道支部論文報告集，336-339，1995。
- 2) 八田ら：観音沢川流域における融雪流出解析：平成4年度土木学会北海道支部論文報告集，515-518，1993。
- 3) 星：洪水予測システムの基礎的検討，土木試験所月報，386，48-68，1985。

表-2 天気概況による日照率の平均値
(1989-1991年 札幌，八田ら²⁾)

天気概況	日照率	天気概況	日照率	天気概況	日照率
晴	0.771	曇	0.264	雨	0.059
晴一時曇	0.521	曇一時晴	0.349	雨一時晴	0.269
晴後曇	0.507	曇後晴	0.366	雨後晴	0.346
晴一時雨	0.498	曇一時雨	0.163	雨一時曇	0.145
晴後雨	0.468	曇後雨	0.106	雨後曇	0.103

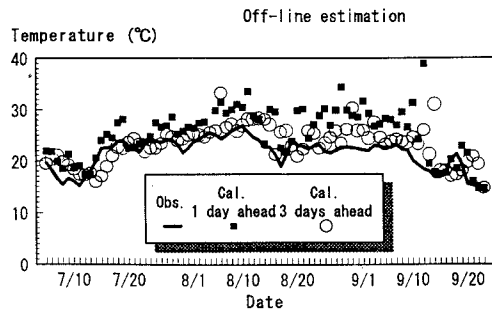


図-3 水温予測結果（1994 ネシコシ St.1）

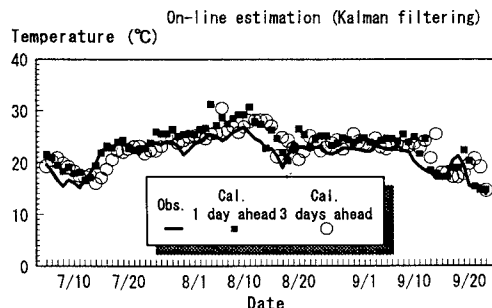


図-4 水温予測結果（1994 ネシコシ St.1）