

流域一体型河川水温予測モデルの高津川流域への適用

山口大学 学生会員 ○福丸大智
山口大学教授 正会員 赤松良久
大阪大学教授 正会員 入江政安

1. はじめに

気候変動に伴う河川水温の上昇は、水質や河川生態系に大きな影響を及ぼすと考えられている。こうした影響を適切に評価するためにも、河川水温を流域スケールで予測する必要がある。

本研究では、降雨流出氾濫モデル(RRI モデル)に高橋ら¹⁾によって組み込まれた水温予測モデル(以降、流域一体型水温予測モデルと呼ぶ)を高津川流域に適用し、その有用性について評価する。

2. 方法

(1) 対象流域

本研究では島根県の高津川流域(流域面積: 1,090km², 一級水系)を対象にした(図-1)。なお、高津川にはダム等の水温変動に大きな影響を及ぼし得る構造物はほとんど存在しない。また、高津川では、流域を網羅するように 13 地点(St.1~13)で水温ロガーを設置し、15 分間隔で河川水温の連続観測を実施しており、河川水温の再現性の検証にはこの 13 地点で観測された水温を使用した。

(2) 流域一体型河川水温予測モデル

流域一体型河川水温予測モデルは、降雨流出氾濫モデル(RRI モデル)²⁾に一次元河道における熱収支式を組み込んだものである。このモデルは、流域を斜面部と河道部に分割し、斜面流は二次元不定流モデルを解き、河道は一次元不定流モデルおよび式(1)に示す熱収支式を解くことで流量、水位および水温を算出する。

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial T_w}{\partial x} = \frac{1}{c_w \rho_w V} \cdot (Q_{atm} B + Q_{bed} P_w) \quad (1)$$

ここで、 T_w : 水温(°C)、 u : 断面平均流速(m/s)、 Q_{atm} : 水面の熱フラックス(W/m²)、 Q_{bed} : 河床の熱フラックス(W/m²)、 B : 水面面積(m²)、 P_w : 潤辺の面積(m²)、 c_w : 比熱(J/kg/K)、 V : 水塊の体積(m³)である。



図-1 高津川流域

式(1)の右辺第一項の Q_{atm} は短波放射、長波放射、長波逆放射、潜熱、顕熱の和として表現される。一方で、右辺第二項の Q_{bed} は式(2)のように河床と河川の水温差によって表される。

$$Q_{bed} = \kappa \cdot \frac{(T_b - T_w)}{d_{bed}} \quad (2)$$

ここで、 T_b : 河床水温(°C)、 κ : 土壌の熱伝導率(W/m/K)、 d_{bed} : 土壌の厚さ(m)である。

源流水温は、宮本ら³⁾と同様に地中深度 z (m)における温度と気温との算術平均から算出される。なお、地中温度算定の際には、地中深度 z (m)を与える必要があるが、本研究では既往研究¹⁾と同様の3(m)とした。

(3) 計算条件

水温予測モデルの精度評価に関して、2020年の1年間で再現計算を実施した。地形情報に関して、国土数値情報から得たDEM(5m間隔+10m間隔)を約450m間隔にスケールアップしたものを使用した。河道断面は、図-1中の直轄区間はH27年定期横断測量データ(200m間隔)を使用し、それ以外は底面が三角形の断面を仮定した。雨量は、レーダーアメダス解析雨量を用いた。水温予測に必要な気象要素に関して、気温は農研機構メッシュ農業気象データを、風速、蒸気圧は高津川流域周辺のアメダス気象観測所の観測値を用いた。

キーワード 河川水温予測, 気候変動

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設研究科 TEL0836-85-9339

雲量は観測値が存在しなかったため、アメダス気象観測所の観測天気に基づき快晴の場合は0.5、晴れの場合は5.0、曇りの場合は9.5、雨の場合は10.0と推定した。パラメータに関して、水田、山地、その他農用地、都市域、水域の土地利用ごとに設定し、山地は側方流を、それ以外は鉛直浸透流を仮定した。

3. 結果および考察

高角水位流量観測所における実測流量と予測流量の比較を図-2に示す。まず、流量が $800\text{m}^3/\text{s}$ 以下になる時系列においては、実測流量を概ね良好に捉えた。一方で、ピーク流量が約 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の大規模出水時は大幅に過小評価した。これは、山地森林における側方流に関するパラメータのキャリブレーションが不十分であったためと考えられる。

本川下流に位置する St.1 および支流に位置する St.6, St.13 における実測水温と予測水温の比較を日平均で比較したものを図-3に示す。St.1 および St.6 においては実測水温の季節変動を概ね良好に予測しており、特に3~8月にかけての春・夏季の再現性は高精度であることが分かる。その一方で、St.13は4~8月の実測水温を大幅に過大評価した。これは、St.13はほぼ源流に位置しているが、源流水温算定の際に用いた地中深度 z の設定が不十分であったためと推察される。また、全地点で11~2月にかけての冬季の水温を過小評価していることが分かる。これは、本モデルでは地下水の湧出に伴う熱輸送を考慮しておらず、河床での熱交換の再現が不十分であったためと考えられる。

各地点における予測精度を定量的に評価するために、二乗平均平方根誤差(RMSE)を冬期(11~2月)、夏季(6~8月)の季節別で算出した(図-4)。夏季のRMSEは多くの地点で 4°C 以下であるのに対し、冬季は 4°C を大幅に上回っており、ほとんどの地点で冬季に比べて夏季の精度が高いことが示された。一方、St.7やSt.8, St.13のように、源流付近の地点は夏季もRMSEが 8°C 以上と大きかった。ここからも、源流水温算定時の地中深度の見直しが必要であることが示された。

4. まとめと今後の展開

本研究では、流域一体型河川水温予測モデルを高津川流域に適用し、2020年の1年間における精度検証を実施することで有用性を検討した。その結果、地点全

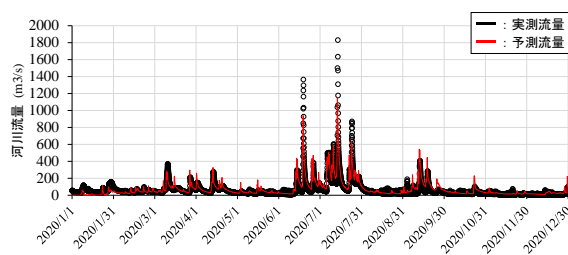


図-2 高角水位流量観測所における実測流量との比較

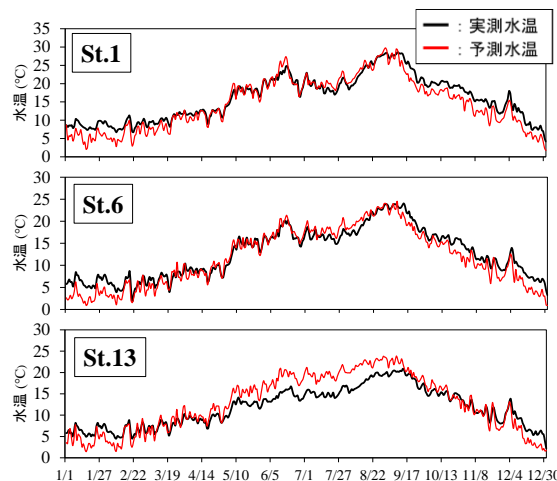


図-3 実測水温と予測水温の比較

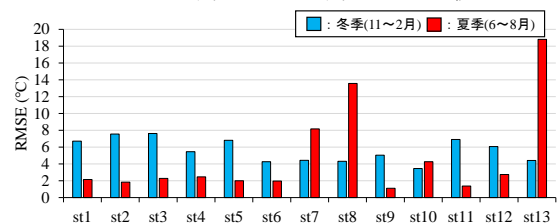


図-4 各地点における季節別のRMSE

体として評価すると特に夏季の水温は高精度に再現したものの、冬季の過小評価や源流付近に位置している地点における再現性に課題があった。

本検討により、主に水温が基底流出の影響を受ける時系列の再現性の高度化や源流水温算出の際のキャリブレーションが課題であることが分かった。今後は、河床の熱交換において基底流出の影響を考慮するとともに、観測値に予測値を整合させるようにパラメータを推定する逆推定手法を組み込むことで流域一体型河川水温予測モデルの高度化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 高橋ら：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.1, pp.98-110, 2021.
- 2) 佐山ら：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.1, pp.14-29, 2013.
- 2) 宮本ら：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No.4, I_1243-I_1248, 2011.