

揖保川水系における河川水温解析

兵庫県 正会員 ○向 和哉
 神戸大学大学院 正会員 宮本 仁志
 神戸大学大学院 正会員 道奥 康治

1. はしがき

健全な水循環の保全や流域一貫の総合土砂管理などに代表されるように、流域全域で整合した水環境整備が近年では重要となっている。このような流域スケールの水環境の課題に対して、筆者らは、魚類・植生などの河川生態環境を律する重要な水質指標のひとつである河川水温を対象にして、流域全域での連続モニタリングとその解析を行っている¹⁾。本報では、観測で得られた水温時系列を用いて、気象・流量と河川水温の関係を考察し、流下方向への河川水温解析を行ったので報告する。

2. 対象とする流域と水温観測

対象流域は兵庫県南西部を南流して瀬戸内海に流入する一級河川揖保川水系である。図-1に流域の位置を示す。揖保川流域は南北方向に約60km、東西方向に約15kmの羽状形を呈しており、流域面積は810km²、幹川流路延長は70kmである。流域圏人口は20万人であり、西播磨地方の社会・経済・文化の基盤をなす流域となっている。

図-2に、揖保川流域の地形および主要河道と水温計測点を示す。流域北西部の支川引原川上流域の標高が最も高く森林中心の山地域となっており、一方、流域南部の揖保川本川では標高100m以下の低平地が展開される。これらの流域地形特性を定量的に表現する河道位数ごとに観測点を数箇所設定し、流域全域がカバーされるように総計27箇所の観測点を設定している(図-2の赤点で示す)。各点において水温は1時間毎に連続的に計測される。

3. 河川水温解析の概要¹⁾

基礎式は次に示す一次元熱輸送方程式である。

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + V \frac{\partial T_w}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(A D_x \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) + \frac{q_x}{A} (T_{wl} - T_w) + \frac{1}{c_w \rho_w A} (H_{ws} B + H_{bed} P_w) \quad (1)$$

ここに、 T_w :河川水温、 V :流下方向断面平均流速、 A :流水断面面積、 D_x :流下方向水温拡散係数、 q_x :流下方向単位長さ当り横流入量、 T_{wl} :横流入水の水温、 c_w :水の定圧比熱、 ρ_w :水の密度、 H_{ws} :水面からの熱フラックス、 H_{bed} :潤辺からの熱フラックス、 B :水面幅、 P_w :潤辺長、 x :流下方向座標、 t :時間座標である。また、水面熱フラックス H_{ws} は次式で与えられる。

キーワード 流域、水環境、河川水温、解析、モニタリング

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 宮本仁志 miyamo@kobe-u.ac.jp



図-1 対象流域

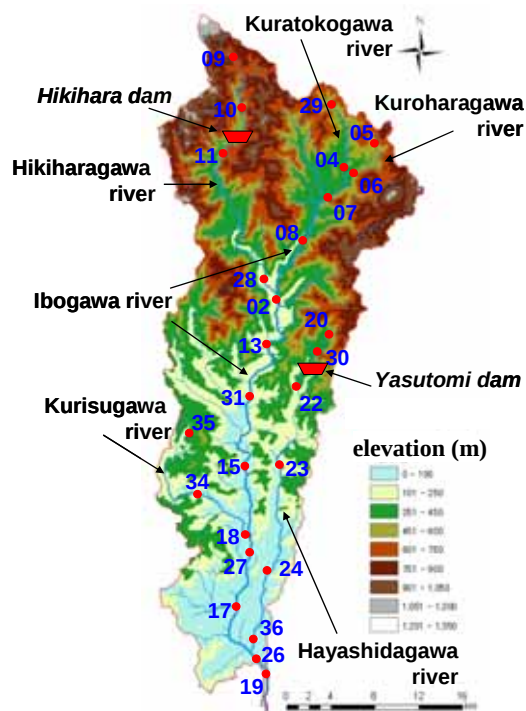


図-2 水温計設置位置と流域地形

$$H_{ws} = (H_s - H_{sr} + H_a - H_{ar} - H_{br} - H_{la} - H_{se}) \times (1 - \alpha_{veg}) \quad (2)$$

ここに、 H_s :短波放射量(日射量)、 H_{sr} :短波反射量、 H_a :長波放射量、 H_{ar} :長波反射量、 H_{br} :長波逆放射量、 H_{la} :蒸発に伴う潜熱量、 H_{se} :熱伝達に伴う顕熱量、 α_{veg} :河畔植生による遮蔽効果係数、である。水温形成の支配因子は水面・潤辺からの熱流束と上流からの移流熱であるという仮定のもとに基礎式(1)を簡略化し、さらに、水面熱フラックスの推定式に現れる河川水温に関する高次非線形項については平衡水温まわりにテイラー展開を施すことで、特性曲線法を用いて解析解を導いた¹⁾。これより、上流側境界条件(水温・水量)および気象条件が与えられれば、下流側の任意点における河川水温の時間変化が解析的に推定される。本報では、水温計設置位置#13(図-2 参照、揖保川本川)を上流側境界として、観測値より水温を、兵庫県引原ダム管理所管理日報より水量を、気象庁 HP のアメダスデータより気象量をそれぞれ取得し、下流側水温を推定した。

4. 結果と考察

図-3 に、#13(本報での解析における上流側境界)における流量、日照率、水温時系列の関係を示す。7月中旬と9月中旬において、大雨・長雨の影響で流量が一時的に急増し、河川水温が大きく低下していることがわかる。これは、日射量の低下とともに、降雨の低温直接流出成分と流速増加に伴う水面受熱量の減少などが原因として考えられる。また、日照時間が大きい8月全般や9月下旬などにおいて、日周期水温変動の振幅が増加している。これらより、上述の基礎式の簡略化が概ね適切であることが検証される。

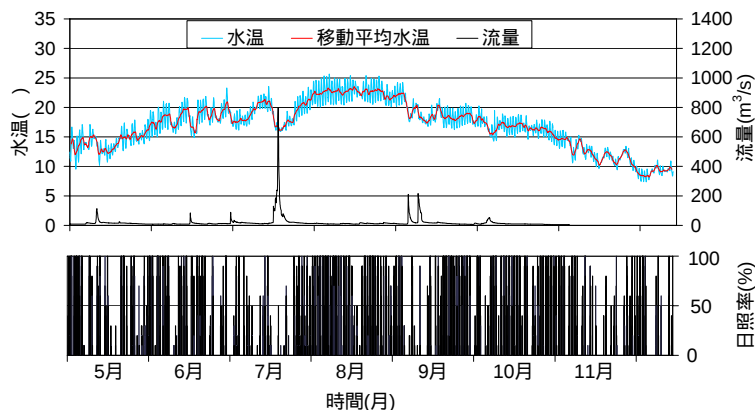
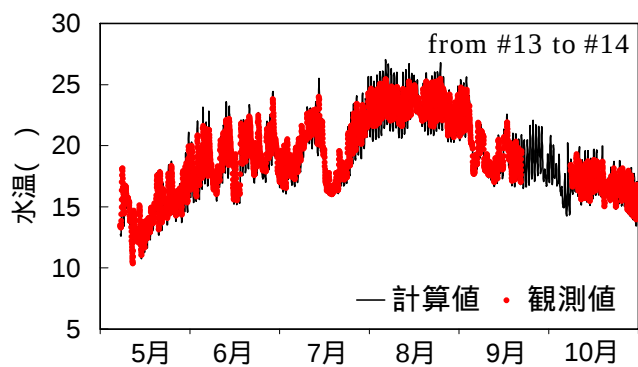
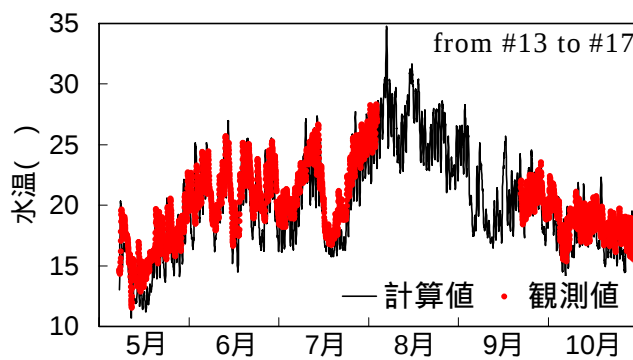


図-3 #13 における流量，日照率，水温時系列の関係

図-4 に、水温計設置位置#14(下流側 6.8km 地点)と#17(同 29.8km 地点)における河川水温の推定結果を示す。なお本報では、上流側境界に対する下流側推定位置での流域規模変化を考慮するために水量(流量・水深)に補正パラメータを乗じ、観測初期の 15 日間のデータを用いて解析モデルを最適化することによって河川水温を推定した。最適化されたモデルパラメータによる平均誤差は、それぞれ 0.47 (#14)、1.7 (#17)であった。図-4 に示すように、本解析モデルは観測値をよく再現できることが確認される。ただし、流下距離が長くなると精度が低下すること、日最高・最低水温については計測値に比べて解析値が過大・過小評価になる傾向がみられること、などの改善の余地も挙げられる。これらは、本解析モデルを流域全域に展開する次の研究段階で考慮する予定である。



(a) #14 における観測値と解析値の時系列



(b) #17 における観測値と解析値の時系列

図-4 河川水温の推定結果

参考文献 1)宮本仁志・道奥康治：流域水温の連続観測と解析，水工学論文集，第 51 巻，pp.1105-1110，2007。