

# 河川水温予測モデルの開発と佐波川への適用

山口大学大学院 学生会員 ○河野誉仁  
 山口大学大学院准教授 正会員 赤松良久  
 山口大学大学院特命助教 正会員 乾隆帝

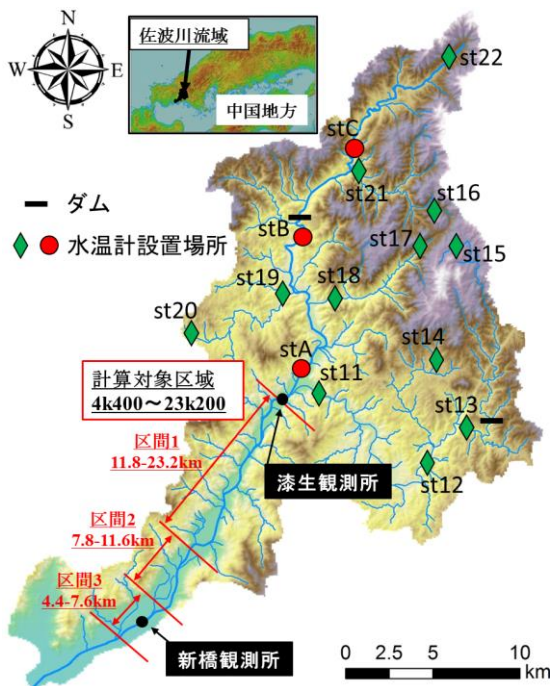


図-1 水温計設置場所と計算対象区間

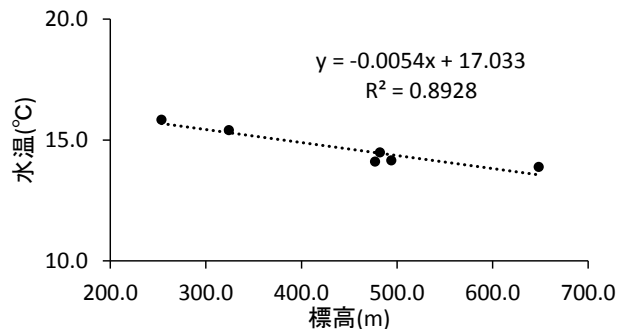


図-2 上流端水温の対象期間内における平均水温と標高の関係

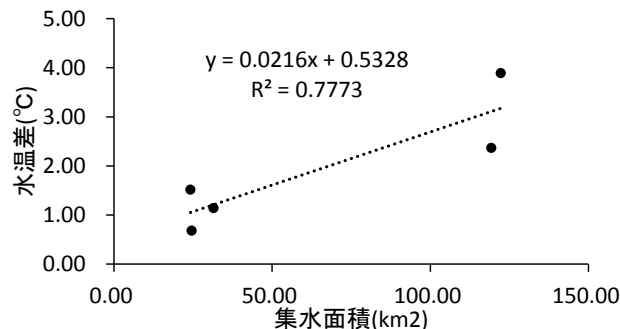


図-3 支流における上流端と下流端の平均水温差と集水面積の関係

## 1. 緒論

近年、気温上昇の影響等による水温の上昇が河川生態系を変質させることが懸念されている。河川生物は水温変化に敏感であるため、環境保護を目的とした河川管理の際には高精度な水温予測を行うことが重要となる。先行研究における水温予測モデルでは冬季における再現性が低くなるといった課題があった。

そこで本研究では、流域スケールの水温広域調査を実施し、流域スケールの水温変動特性を把握し、河川の水系について上流域から下流域までの長い区間において長期的に適用可能な高精度の水温予測モデルの開発することを目的とする。

## 2. 現地観測概要と流域の水温変動特性

流域における水温変動特性を把握するために水温の広域調査を実施した。対象河川は山口県の一級河川で

ある佐波川とし、主要な支流と本流に水温計を設置し（図-1）、2016/8/9～2017/1/6 において観測を行った。なお、本流の地点に関してはアルファベット、支流及び上流端の地点については 11 から通し番号で名前をつけている。

広域調査の結果から、上流端平均水温と標高、集水面積、傾斜角、土地利用、支流における上流端と下流端の平均水温差と標高差、集水面積、流下距離、土地利用のそれぞれについて単回帰分析を行った。その結果、上流端水温は標高、水温差は集水面積と最も高い相関を示し、それぞれ  $R^2$  値が 0.8928, 0.7773 となった（図-2, 図-3）。

## 3. モデルの概要

キーワード 佐波川, 水温予測モデル, 単回帰分析, 熱収支

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工学科 TEL0836-85-9301

### (a) 河川流動モデル

流れ場の解析には以下の2式を用いた。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} - q_{out} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{g}{2} Ah \right) - gA I_e \quad (2)$$

ここに、 $A$ ：流水断面積[m<sup>2</sup>]、 $Q$ ：流量[m<sup>3</sup>/s]、 $z$ ：河床高[m<sup>2</sup>]、 $g$ ：重力加速度[m/s<sup>2</sup>]、 $h$ ：水深[m]、 $I_e$ ：エネルギー勾配、 $q_{in}$ ：流れ方向の単位長さ当たり横流入量、 $q_{out}$ ：流れ方向の単位長さ当たり取水量である。

### (b) 水温予測モデル

水温  $T_w$  [°C] は、式(3)に示す一次元移流分散方程式により求めた。

$$\frac{\partial BhT_w}{\partial t} + \frac{\partial BhvT_w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (BhD_x \frac{\partial T_w}{\partial x}) + B \frac{TE}{c_w \rho_w} \quad (3)$$

$$D_x = (0.01B)^{4/3} \quad (4)$$

$$TE = Rnet - IE - H_T - G + S_h \quad (5)$$

ここに、 $T_w$ ：河川水温、 $B$ ：川幅、 $D_x$ ：分散係数、 $TE$ ：単位面積当たりの水面及び河床でのエネルギーフラックス、 $h$ ：水深、 $c_w \rho_w$ ：水の熱容量、 $x$ ：流下方向座標、 $t$ ：時間座標、 $Rnet$ ：水面での正味放射量、 $IE$ ：潜熱量、 $H_T$ ：顕熱量、 $G$ ：河床へ伝わる河床伝熱量、 $S_h$ ：横流入水からの熱量である。横流入水温は佐波川における水温広域調査の結果を用いて算出した。

## 4. 佐波川への適用

### (a) 計算条件

対象区間は河口から 4k400～23k200 (図-1)、計算期間は 2016/9/5～2016/12/27 とした。図-4 に漆尾観測所の実測流量・水温、新橋観測所の実測流量及び計算区間内の合計取水量を示す。上流端には漆尾観測所で観測された流量と水温を与え、下流端は等流水深としている。佐波川は堰による取水の多い河川であるため堰による取水を考慮した。また、マンシングの粗度係数は 0.035 を与えている。

### (b) 再現性の検討

図-5 に新橋地点 (図-1) における実測水位と計算水位の比較および実測水温と計算水温の比較を示す。実測水位と計算水位が概ね一致していることから、流れ場については高い再現性を持つことが分かる。水温に関しては、横流入水温の影響を考慮した場合 (Case1) と考慮しない場合 (Case2) の2ケースにおいて計算を

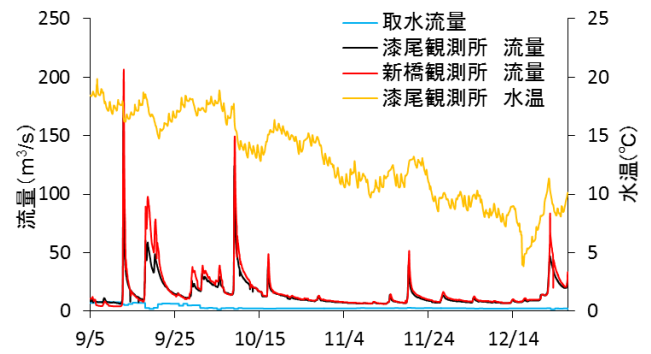


図-4 上流端流量・水温，下流端流量および合計取水量

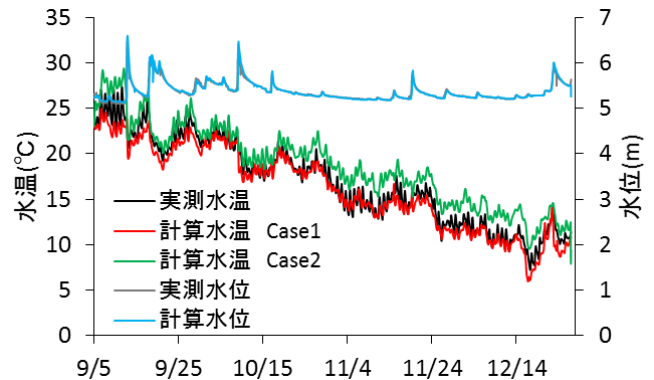


図-5 新橋地点における水位および水温の比較

行った。Case1 の計算水温と実測水温を比較すると、長期的に計算水温が過小評価となっているものの、概ね実測値と一致していることが分かる。Case1 と Case2 の計算水温を比較すると、再現性に大きな違いがあることが分かり、佐波川において横流入水温の考慮が水温予測モデルの精度を大きく高めることが分かった。

## 5. 結論

本研究では水温の広域調査により流域スケールの水温変動特性を明らかにした後、河川の水系について上流域から下流域までの長い区間において長期的に適用可能な河川水温予測モデルの開発を行った。その結果、上流端水温は標高、支流の水温変動は集水面積と最も関係性が高いことが分かった。また、十分な再現性を持つ水温予測モデルを開発することができ、佐波川における水温変動は横流入水温の影響を強く受けていることが分かった。

### 参考文献

- 1) 河野誉仁, 赤松良久, 永野博之: ハイブリット河川生態系モデルの開発, 環境水理部会研究集会 2016 in 香川, 2016.