

神戸大学大学院 学生員 ○中山 和也

神戸大学大学院 正会員 宮本 仁志 神戸大学大学院 学生員 前羽 洋

神戸大学工学部 学生員 浦野 仁志 神戸大学大学院 フェロー会員 道奥 康治

1. はじめに

河川整備に際しては流域内における環境システムの連続性に留意することが重要である。筆者らは、河川環境の基本的な物理因子である水温を流域全域でモニタリングし、水温解析を行ってきた<sup>1)</sup>。本報では、河川水温ネットワークモデルをさらに精緻化するために、新たに NDVI(正規化植生指標)を用いた日射遮蔽効果のモデルおよび平衡地温と気温などを用いた流入水温のモデルを加えて、河川水温ネットワークモデルの精度を検討した。

2. 対象流域と水温モニタリングの概要

対象は揖保川水系である。河川水温観測では、河道位数ごとに観測点を数箇所選び、流域全域が網羅できるように全部で 30 の観測点を設定している。水温は 1 時間毎に自動計測され、水温ロガー内のメモリに蓄積される。

3. 水温ネットワークモデルの概要

水温ネットワークモデル<sup>1)</sup>は、河道網を構成する河道リンク間の熱収支を河道位数則により関連付けることで、水系全体の河川水温を解析するモデルである。実際の地形量ではなく河道地形則という数理モデルを用いることによって、流域全体の地形特性が定量的・数理的に表現され、地形則パラメーターを介して河川環境の流域分布や流域間の比較が容易になる。

4. NDVI による植生日射遮蔽モデルおよび平衡地温・気温を用いた流入水温モデル

河畔植生による日射の遮蔽効果は、衛星画像からの植生活性度指標である NDVI<sup>2)</sup>(正規化植生指標)を用いてモデル化する。具体的には、河畔植生による日射遮蔽率  $V_{fsj}$  は、NDVI が 0 の時に遮蔽効果が 0 となるように次式の指数関数で与えた。

$$V_{fsj} = 1 - \exp\{-a \cdot [\exp(\text{NDVI}_j / b) - 1]\} \tag{1}$$

ここで、 $\text{NDVI}_j$ : 河道  $j$  における NDVI,  $a, b$ : モデルパラメーターである。 $a, b$  は観測水温と推定水温の誤差が水系全体で最小になるように同定した。 $\text{NDVI}_j$  は、当該河道  $j$  の含まれる土地利用形態が森林のときのみ河道上の NDVI が考慮され、森林以外の土地利用の河道区間では 0 を与えた。

図-1 に、NDVI による日射遮蔽モデルを導入した月平均日射量の推定値を示す。図中において、青色バーは森林のある上流河道(観測点 No.7, 図-4 参照)における日射量を、赤色バーは平野が広がる下流河道(観測点 No.17)での日射量をそれぞれ示す。これより年間を通して、植生遮蔽効果がある上流ではその効果がない下流に比べて、水面に到達する日射量が小さいことがわかる。NDVI を介した植生活性度評価に対応して、冬季では遮蔽率が小さく、逆に、夏季では植生遮蔽の有無で日射量が約 2 倍程度以上の差をもたらす結果となる。

横流入水温は、農用地や建物用地、交通用地など土地利用形態別の熱

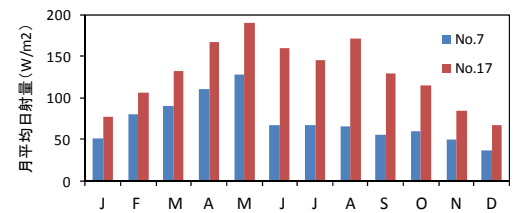


図-1 NDVI による日射遮蔽モデルを導入した月平均日射量の月別推定値

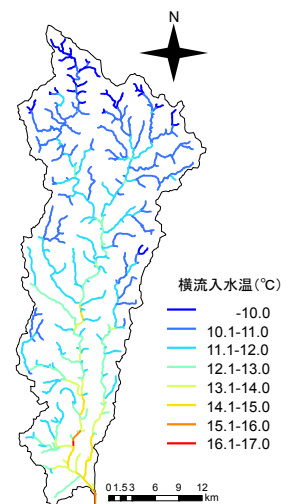


図-2 平衡地温から推定された横流入水温の水系分布

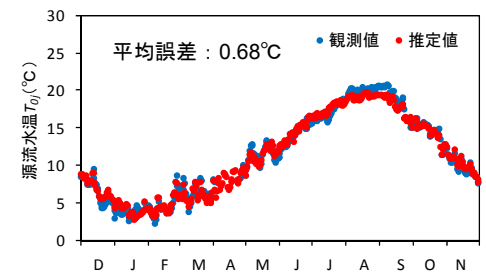


図-3 源流水温の推定値と観測値 (観測点 No.1)

収支を考慮して年平均平衡地温から推定する<sup>1)</sup>。具体的には、対象とする河道リンクの集水域における土地利用ごとに平衡地温を算出し、全集水域面積に対する各土地利用面積の割合で平衡地温を加重平均して横流入水温を算出した。図-2に、平衡地温から推定された横流入水温の分布を示す。横流入水温は上流部で低く、下流に向かうほど高い。これは、上流ほど森林が広範に分布して日射が遮られるとともに標高が高いためである。一方、下流では、建物用地や交接地における相対的に大きな熱量負荷により横流入水温が高くなる。

源流水温  $T_{0j}$  は、既往モデル<sup>3)</sup>を参考にして、次のように気温と地中温度の線形関数を仮定して定式化した。

$$T_{0j} = \alpha \cdot T_{sj} + \beta \cdot T_j(z_1) + \gamma \quad (2)$$

$$T_j(z) = \sum_{n=1}^{12} F_{nj} \sin(n\omega t - \phi_{nj} - \varepsilon_n) + \bar{T}_j \quad (3)$$

ここで、 $T_{sj}$  : 気温、 $T_j(z_1)$  : 深さ  $z_1$  における地中温度、 $\alpha, \beta, \gamma$  : モデルパラメーター、 $F_{nj}$  : 深さ  $z_1$  での地中温度における周波数成分の振幅、 $t$  : 時間、 $\omega$  : 角周波数、 $\phi_{nj}$  : 初期位相、 $\bar{T}_j$  : 年平均気温、 $\varepsilon_n$  : 気温に対する深さ  $z_1$  の地中温度の位相遅れ、である。 $\alpha, \beta, \gamma$  および  $z_1$  は源流水温の観測値と推定値との誤差が最小になるように同定された。各源流地点における気温は、流域中央に位置する一宮気象観測所のデータに気温減率補正を施して与えた。図-3に、観測点 No.1(図-4参照)における源流水温の観測値と推定値を示す。これより、夏季の最高水温に若干の推定誤差はみられるものの、その平均値は  $0.68^\circ\text{C}$  であり、推定水温は観測水温をよく再現しているといえる。

### 5. 水温ネットワークモデルによる水温解析

4章で検討したモデルを水温ネットワークモデルに組み込み、揖保川水系全体にわたり河川水温を推定する。

図-4に2007年5月における月平均河川水温の流域分布を示す。観測値の流域分布より、揖保川流域における河川水温は上流から下流に向けて増加し、2007年5月においては上下流間で約  $9^\circ\text{C}$  の水温差がある。推定値を見ると、流下に伴う河川水温の昇温構造が良く再現されていることが確認できる。

図-5に、2007年2,5,8,11月における観測値と推定値の比較を示す。これより、2007年5,8月に関して、観測値に対する平均誤差はそれぞれ  $1.01^\circ\text{C}$ 、 $1.41^\circ\text{C}$  となり、推定水温は流域の水温分布を良好に再現する。前報<sup>1)</sup>では、異なる日射遮蔽モデルを用いて、植生高さをパラメーターとして調整することにより、同程度の精度で水温が推定された。それに対して、本報のモデルはNDVIにより簡便かつ合理的に植生遮蔽効果を考慮できるため、モデルの有用性が向上したといえる。一方、2007年11月においては流下に伴い昇温はするものの、水温は大幅に低く推定される。これは前報<sup>1)</sup>と同一の精度劣化である。冬季において水温分布が良好に推定できるように、大気-陸面間熱収支や横流入熱量などの精度向上を図ることが今後の課題である。

【参考文献】1) 宮本, 前羽, 中山, 道奥: 日射遮蔽と流入水温の影響を補正した河川水温ネットワークモデルの精緻化, 水工学論文集, 第55巻, 2011(印刷中). 2) 国土環境モニタリング HP: [http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/\(2011/02/03:接続確認\)](http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/(2011/02/03:接続確認)). 3) 近藤: 河川水温の日変化(1), 水文・水資源学会誌, 8(2), pp.184-196, 1995.

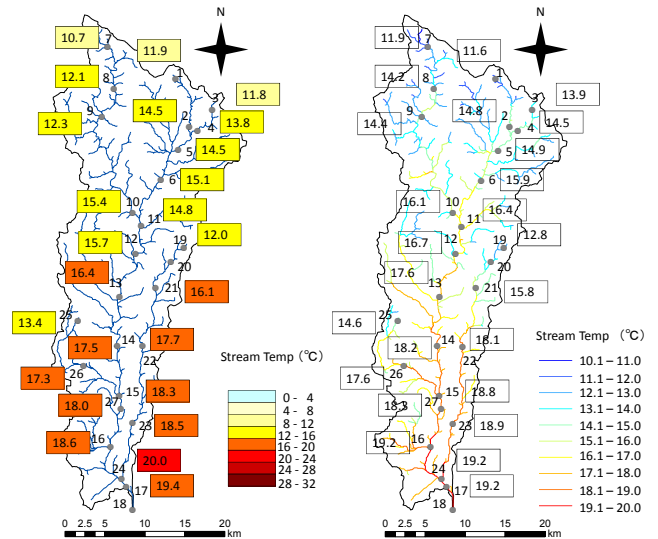


図-4 水温分布の推定結果(2007年5月)  
左: 観測値, 右: 推定値

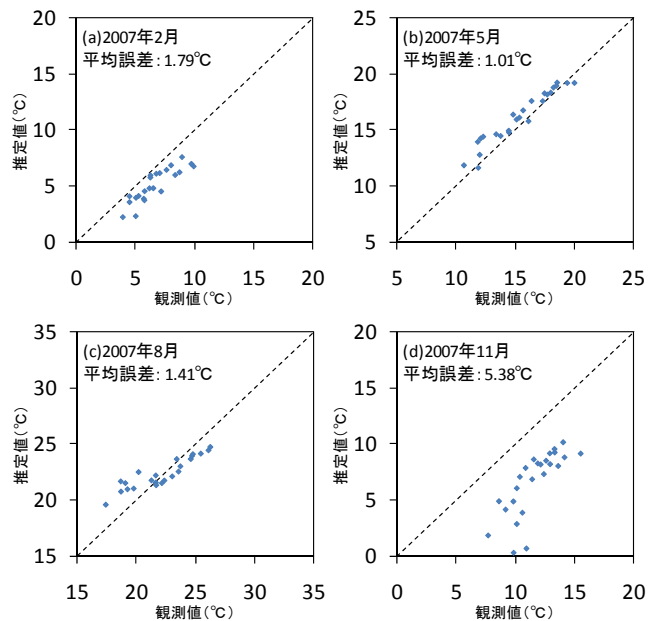


図-5 季節毎の観測値と推定値の比較