

# 河川水系のネットワークモデルによる流水水温の流域分布特性の解析

神戸大学大学院 正会員 ○宮本 仁志 JFE エンジニアリング 正会員 前羽 洋

## 1. はしがき

近年、源流から河口まで水系ネットワークの繋がりを重視し、利水・治水と河川生態系とを統合管理する考え方が重要となっている。筆者らは、利水や生態系を考える上で重要な指標となる河川水温を対象にして、水系ネットワークの連関性を明確に定式化した流域一貫の河川水温予測モデルを構築してきた<sup>1)</sup>。本報では、その河川水温ネットワークモデル<sup>1)</sup>を用いて、河道網構造の変化や将来の気候変動が河川水温の流域分布に及ぼす影響評価を試みた。

## 2. 対象流域と水温モニタリングの概要

対象流域は兵庫県南西部に位置し、瀬戸内海の播磨灘に流入する一級水系揖保川である。流域面積は810km<sup>2</sup>であり、一級水系のなかでは比較的小さい。水温観測に関して、観測点は流域全体が網羅されるように31点が設定され、水温はメモリー内蔵のプロープにより2006年5月から継続的に1時間毎に自動計測されている。

図-1に、2007年6月の揖保川観測水温の流域分布を示す。揖保川の河道ネットワークは、本川(観測点No.5,6,11-18)の他、主な支川である引原川(No.7-10)、林田川(No.19-24)、栗栖川(No.25-27)などで構成される。図-1より、河川水温は源流から河口にかけて徐々に上昇し、水系全体での昇温量は8.6℃である。また、支川下流端での水温は直近の本川水温より少し大きい傾向を示す。

## 3. 河川水温ネットワークモデル

河川水温のネットワークモデル<sup>1)</sup>において、水系を構成する各河道リンクの河川幅や勾配、流量<sup>2)</sup>などは、河川ネットワーク構造を反映した河道位数則やリンクマグニチュードを用いて定式化される。一方、各河道リンク内で河川水塊が受ける熱収支は熱輸送式により記述され、河道位数則・リンクマグニチュードにより関連づけられた水温を源流から河口へ向けて積算することで水系全体が解析される。位数 $u$ を用いた地形則、 $u$ とリンクマグニチュード $i$ の関係は以下の式で表される。

$$N_u = R_B^{k-u}, \quad R_B = N_{u-1}/N_u \quad (\text{河道数}) \quad (1a,b)$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_L^{u-1}, \quad R_L = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1} \quad (\text{河道長}) \quad (2a,b)$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_A^{u-1}, \quad R_A = \bar{A}_u / \bar{A}_{u-1} \quad (\text{流域面積}) \quad (3a,b)$$

$$\bar{S}_u = \bar{S}_1 R_S^{1-u}, \quad R_S = \bar{S}_{u-1} / \bar{S}_u \quad (\text{河道勾配}) \quad (4a,b)$$

$$\bar{i}_u = R_B^{u-1} \quad (\text{位数とマグニチュードの関係}) \quad (5)$$

ここに、 $N_u, \bar{L}_u, \bar{S}_u, \bar{A}_u, \bar{i}_u$ : それぞれ、 $k$ 次流域内における $u$ 次河道の河道数( $1 \leq u \leq k$ )、平均河道長、平均河道勾配、 $u$ 次流域の平均流域面積、マグニチュードの平均値(平均水源数)であり、 $R_B, R_L, R_A, R_S$ : それぞれ、分岐比、河道長比、流域面積比、河道勾配比である。

図-2に本モデルによる2007年6月の水温推定結果を示す。図-1, 2を比較すると、推定値と観測値が源流から河口まで全般的に非常によく一致しており、河川ネットワーク上を流下する過程での昇温構造が良好に再現されている。水温観測を開始した2006年5月から2011年11月までの水温を推定したところ、水面熱収支が受熱期では水温が平均誤差1℃程度で良好に再現されることが確認された。一方、放熱期では流下に伴う昇

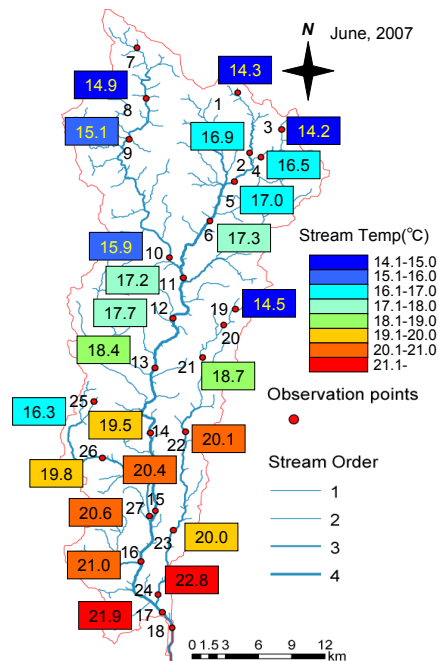


図-1 揖保川の月平均水温分布 (観測値: 2007年6月)

キーワード 環境管理, 河川水温, 河道位数, 熱収支, 気候変動

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

温構造が若干過小評価される傾向があり<sup>1)</sup>、放熱期での推定精度向上は今後の課題である。

**4. 将来の気候変動や河道網構造の変化が流域の河川水温に及ぼす影響**

水温が良好に再現される受熱期 6 月を対象にしてネットワークモデルによる将来の流域水温予測を行った。将来の気温・降水量の変化は気象庁による 2081~2100 年の予測値<sup>3)</sup>を用いた。図-3 にその結果を示す。図-2 と比較すると、将来水温では暖色系の高温分布が拡大する。例えば、20℃以上の月平均水温を示す範囲は、2007 年では林田川・栗栖川の中～下流および本川の観測点 No.14 よりも下流であったが、将来の水温分布では本川の No.11 や引原川下流にまでその範囲が広がると予測される。また、下流よりも上流において昇温量が大きい傾向がみられた。この水温上昇に伴って、冷水を好む水生生物の生息範囲が分断もしくは減少されるなど、河川生態系への影響が大きいことが推察される。

図-4 は、揖保川以外の河道ネットワークを用いて流域の水温分布推定を行った結果である。ここでは、気象・水文量や土地利用などの流域諸条件は揖保川と同様になるように近似を施している。図-4(a)より、河道勾配比  $R_S$  が大きい名取川の河道網を用いた場合、推定水温は全体的に揖保川よりも高くなる。一方、 $R_S$  の小さい太田川の場合は中～下流にかけて揖保川よりも低くなる。これは河道勾配比  $R_S$  の大小に対応する源流付近での標高差が各流域での水温形成に影響する結果と推察される。図-4(b)では、各流域の水温変化傾向を分かりやすく考察するために、連続するプロット 10 個毎に平均をとって大きな丸印で示した。リンクマグニチュードが 50 以下の区間をみると、分岐比  $R_B$  の大きい揖保川・宮川では水温上昇が相対的に小さく、 $R_B$  の小さい肱川・高津川・沙流川では大きくなることわかる。分岐比  $R_B$  は河道ネットワーク構造を介して河川流量の集積特性が反映されるため、水系ネットワークの構造特性と水温形成機構との関連性が示唆される。

以上、本報では河川水温のネットワークモデルを用いて将来の気候変動や河道網構造の変化が河川水温の流域分布に及ぼす影響を検討した。今後、放熱期のモデル精度を向上させるとともに、河川生態系の環境影響評価を水系ネットワークの観点から検討できるモデルへと研究の展開をはかる予定である。

参考文献 1) 前羽, 宮本, 中山: NDVI による日射遮蔽と流量推定の補正による河川水温ネットワークモデルの改良, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, I\_733-I\_738, 2012. 2) 石田, 宮本: 気候・地質・土地利用の影響を考慮したリンクマグニチュードによる河川水系の流況推定, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, I\_487-I\_492, 2012. 3) 気象庁: 地球温暖化予測情報, 第 6 巻, pp.25-27, 2005.

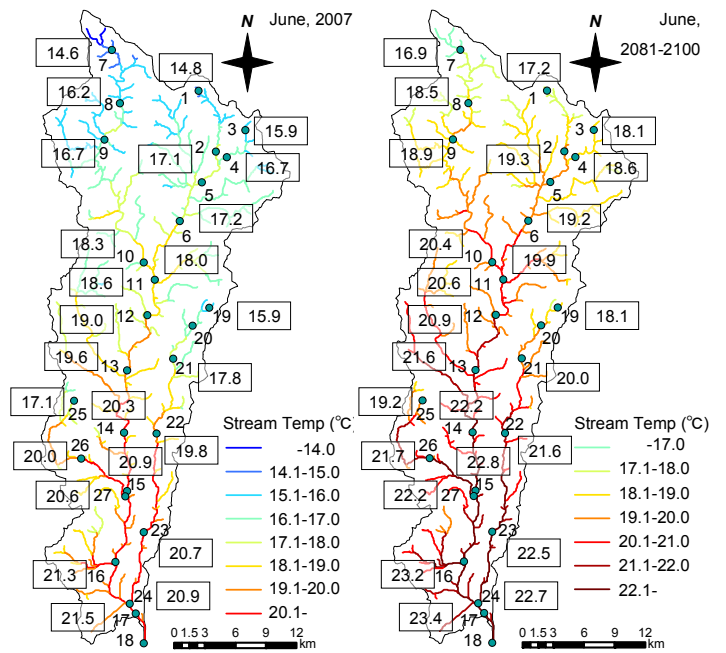


図-2 2007 年 6 月の再現水温の流域分布

図-3 将来 6 月の予測水温の流域分布

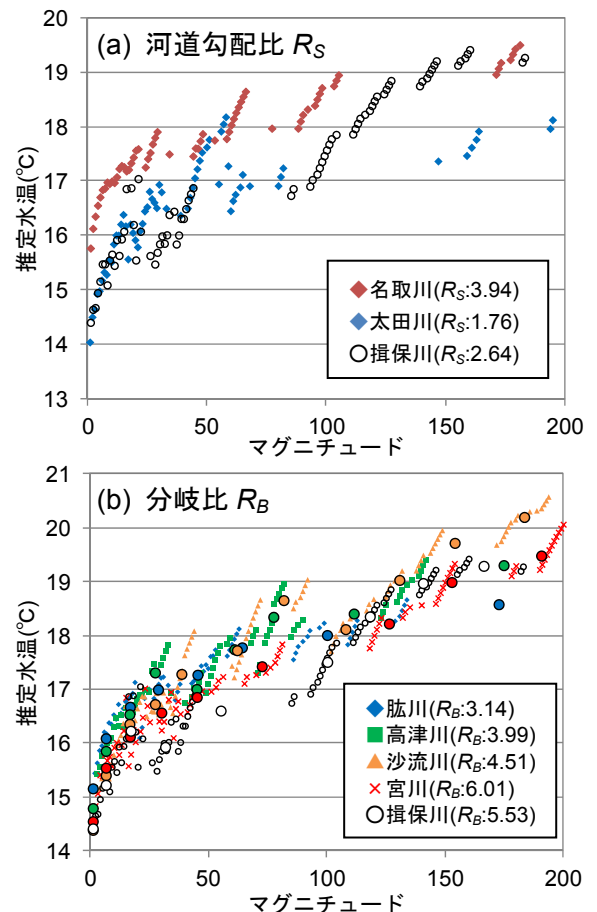


図-4 河道網構造の異なる流域における推定水温分布