

神戸大学大学院 学生員 ○前羽 洋 神戸大学大学院 正会員 宮本 仁志
 神戸大学大学院 学生員 浦野 仁志 神戸大学 学生員 萩迫 隆弘

1. はじめに

近年の河川整備では、源流から河口まで河道ネットワークの繋がりを重視し、河川の利水や治水機能と生態系とを統合管理する考え方が重要となる。筆者らは、基礎水質指標のひとつである河川水温を対象にして、この河道網の連関性を陽に組み込んだ流域一貫の環境評価手法を検討してきた¹⁾。本報では、筆者らの提案する河川水温ネットワークモデル¹⁾の精度の向上を検討し、そのモデルにより将来の気候変動が河川水系の水温環境に及ぼす影響を評価する。

2. 試験流域と水温観測の概要

試験流域は兵庫県南西部に位置する一級水系揖保川である。水温観測において、観測点は流域全体が網羅されるように31点が設定され、水温はプローブにより2006年5月から継続して1時間毎に自動計測されている。

図-1は揖保川の2007年6月における観測水温の流域分布である。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)などから構成される。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°C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. 河川幅の検討によるモデルの改良

河川水温のネットワークモデル¹⁾において、水系を構成する各河道リンクの河川幅や勾配、流量などは、河川ネットワーク構造を反映した流域地形則やリンクマグニチュードを用いて定式化される。本報では、水温推定精度を向上させるために河川幅の与え方を検討する。

河川水温ネットワークモデル¹⁾では、リンクマグニチュード*i*、集水域面積 \bar{A}_i における流量 \bar{Q}_i は、降水量・地質を考慮したマグニチュードモデル²⁾によって次式で与えられる¹⁾。

$$\begin{aligned} \bar{Q}_i &= a \cdot \bar{A}_i^b \\ &= a \cdot \bar{A}_1^b \cdot i^{b \cdot \lambda} \end{aligned} \quad , \quad a = \bar{r} \cdot \left(\sum_{\gamma} f_{p\gamma} \cdot G_{\gamma} / \bar{A}_i \right)^b \quad (1), (2)$$

ここに、*a*: 降水量・地質の影響を考慮したモデル係数、*b*: モデル指数、 \bar{A}_1 : 一次流域(*i* = 1)の平均集水域面積、 \bar{r} : 各流域の年平均降水量、*f_{pγ}*: 降水量・地質の影響が反映されるモデル係数、*G_γ*: 流域内の地質区分γ毎の面積、λ: 流域地形則に基づくパラメータであり、日本の一級水系では概ねλ=1.1となる²⁾。

一方、対応する河川幅 \bar{B}_i は、次のふたつの与え方を検討する。

$$\bar{B}_i = c \bar{Q}_i^d \quad , \quad \bar{B}_i = \bar{B}_1 \cdot i^{b \cdot \lambda \cdot d} \quad (3), (4)$$

ここに、*c, d*: 各流域・生起確率年毎の係数、 \bar{B}_1 : 一次流域の平均河道幅である。式(3)は通常のレジム則であり、河川ネットワーク上の \bar{B}_i の分布は式(1), (2)の流量変化を介して与えられる。一方、式

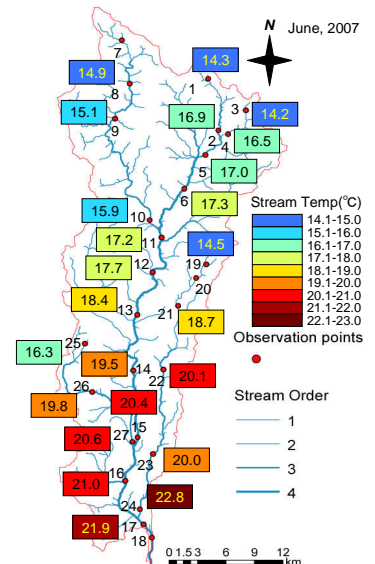


図-1 月平均水温の流域分布 (2007年6月)

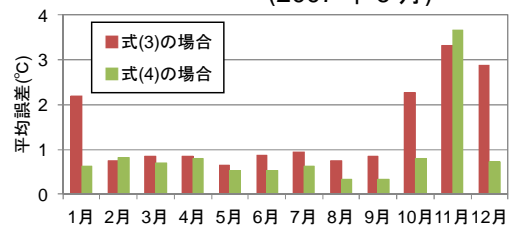


図-2 観測水温と推定水温の平均誤差

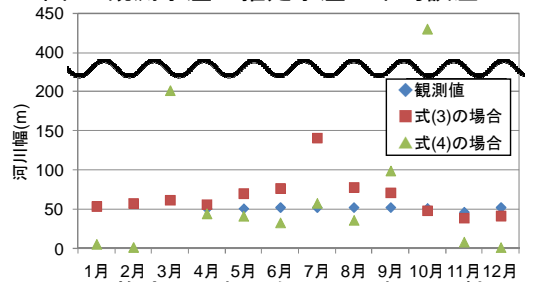


図-3 推定河川幅と観測河川幅の比較 (観測点 No.11)

(4)は、式(3)に式(1)を代入してリンクマグニチュード*i*をもとに式を再整理したものであり、 \overline{B}_1 がモデルパラメータとなる。本報では、*c*, \overline{B}_1 を水温観測値と推定値の誤差が最小となるように同定し、指数*d*は既往文献³⁾より*d*=0.5と与えた。

図-2に、式(3)もしくは式(4)を用いたネットワークモデルにおける観測水温と推定水温の平均誤差を示す。これより、式(4)の推定誤差はほとんどの月で1℃以下となる。一方、式(3)の推定誤差も、主に河川水塊が受熱期にあたる2-9月で1℃以下となり、式(4)よりも精度は劣るものの比較的良好に水温が推定される。しかしながら、両式とも11月は誤差が3℃以上と大きく、式(3)はそれを含み10-11月で平均誤差が相対的に大きくなる。この時期は、河川水塊の放熱期であり、水面よりも潤辺での熱フラックスが河川水塊の熱収支において相対的重要性を増す。現行のモデル¹⁾では潤辺からの熱フラックスが既往知見をもとに省略されており、そのことが推定精度の向上を妨げている可能性がある。

図-3に観測点No.11における式(3)、(4)の河川幅推定値と対応する観測値を示す。これより、式(3)の推定値は、7月で140mと過大評価されるものの、ほとんどの月で観測値に近い河川幅が再現される。これに対して式(4)の推定値は11~2月では極端に小さく、3・10月では極端に大きい。これは、式(4)が \overline{B}_1 をパラメータとして直接的に河川幅を最適化するモデルであるためと考えられる。以上より、河川幅は式(3)により与えるのが妥当と判断される。

図-4に式(3)を適用したネットワークモデルによる2007年6月の推定水温の流域分布を示す。図-1と比較すると、推定値と観測値は上流から下流までよく一致しており、流下過程の昇温構造は良好に再現されている。図-5は2007年6、11月における推定水温と観測水温の比較である。図-5(a)が図-1、4での水温比較に対応する。図-5(a)ではプロットが45度線上に分布しており、本モデルが流域全体の水温を良好に推定していることが再確認される。一方、図-5(b)の11月では上流から下流まで全体的に推定値が観測値を下回る。また、低水温の上流よりも高水温の下流部でプロットが45度線から離れており、流下に伴う水温上昇量が過小評価される。上述のように、この11月における水温推定精度を向上させるために、潤辺熱収支を観測と解析により再検討することが今後の課題となる。

4. 将来の気候変動が流域の河川水温に及ぼす影響評価

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。図-6にその結果を示す。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⁴⁾を用いた。図-4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推察される。

【参考文献】1) 前羽, 宮本, 中山: 水工学論文集, 第56巻, pp.I_733-I_738, 2012. 2) 石田, 宮本: 水工学論文集, 第56巻, pp.I_487-I_492, 2012. 3) Leopold, L.B.: A view of the river, Harvard University Press, pp.168-182, 1994. 4) 気象庁: 地球温暖化予測情報, 第6巻, pp.25-27, 2005.

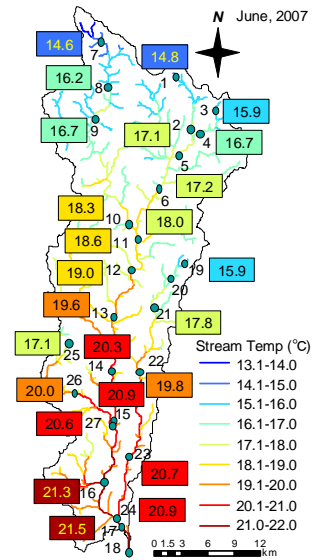


図-4 推定水温の流域分布 (2007年6月)

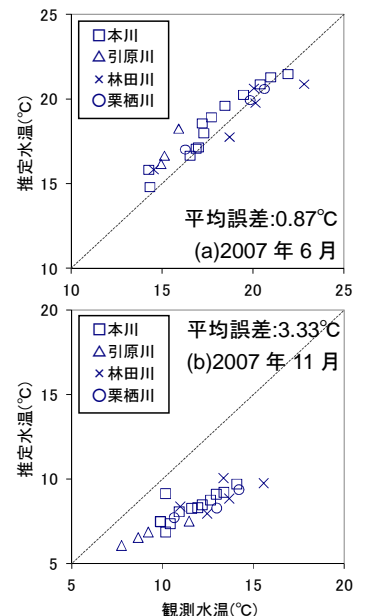


図-5 推定水温と観測水温の比較

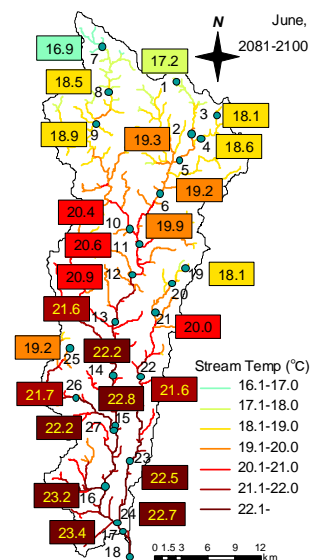


図-6 将来6月における予測水温の流域分布