

神戸大学大学院 学 生 員 ○浦野 仁志
 神戸大学大学院 正 会 員 宮本 仁志

1. はじめに

近年の河川整備では、源流から河口まで河川ネットワークのつながりを重視し、治水・利水・生態環境を統合管理する考え方が重要となる。筆者らはこの流域一貫の観点から河川水質の中で最も基本的で重要な水温を対象にして流域一貫の河川環境評価手法を検討してきた^{1,2)}。本報では、筆者らの提案する河川水温のネットワークモデルにおける横流入水温のモデル化²⁾を概説するとともに、河川水温の熱収支バランスを評価した。

2. 試験流域と水温観測

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。図-1に揖保川の河道網、観測点、および2007年11月における月平均水温の流域分布を示す。水温観測は2006年5月から現在まで継続されており、流域内31地点に設置したプローブによって水温データが1時間毎に自動計測される。この流域は南北に長い形状をもち、揖保川本川(観測点No.5-6,11-18)と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)から構成される。河川水温は年間をとおして源流から河口にかけて昇温し、図-1に例示する2007年11月では水系全体での昇温量は6.4℃となる。また、林田川の観測点No.20は水温変動がほかの観測点のものと異なり、地下からの湧水温が計測されていると考えられる²⁾。この湧水温の特徴として、ほかの観測点に比べて月平均水温の変化に1~2ヶ月の時間遅れが認められ、年較差も相対的に小さいことが挙げられる。

3. 横流入水温の検討によるモデルの改良²⁾

河川水温ネットワークモデルにおいて、各河道の河川幅や勾配・流量などは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。ここでは、モデルの精度向上のための横流入水温モデルの検討²⁾を紹介する。

既報¹⁾では、横流入水温は年平均の一定値を仮定して各河道の集水域がもつ年平均平衡地温を与えていた。しかし、上述の湧水の観測水温で示唆されるように、本来は河川流域における河道位置の変化に加えて河川表流水に対するピーク遅れを考慮することが重要と考えられる。そこで前報²⁾では湧水地点での観測事実をもと季節性・ピーク遅れを考慮した数理モデルを提案した。その横流入水温モデルを次式に示す。

$$T_{wl} = a \sin(bt_m + c) + T_{wjl} \quad (1)$$

ここに、 t_m : 時刻(月単位), a, b, c : それぞれ、横流入水温の振幅パラメータ, 周期パラメータ($=\pi/6$;月単位), 位相パラメータ, T_{wjl} : 各河道の集水域がもつ年平均平衡地温¹⁾である。このモデルでは正弦曲線でピーク遅れを伴う季節変化を表し、一方、平衡地温 T_{wjl} で空間変化を表現する。式(1)のモデルパラメータ a, c を河川水塊の放熱期に

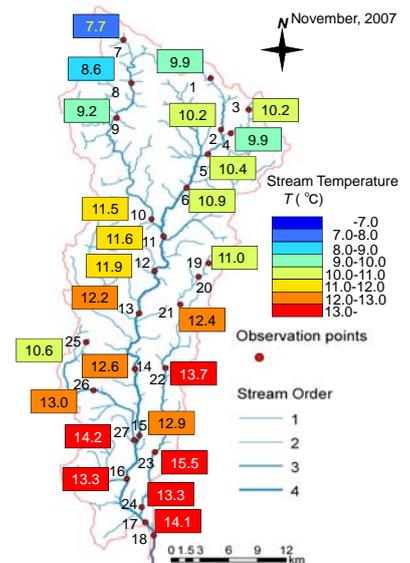


図-1 月平均水温の流域分布 (2007年11月)

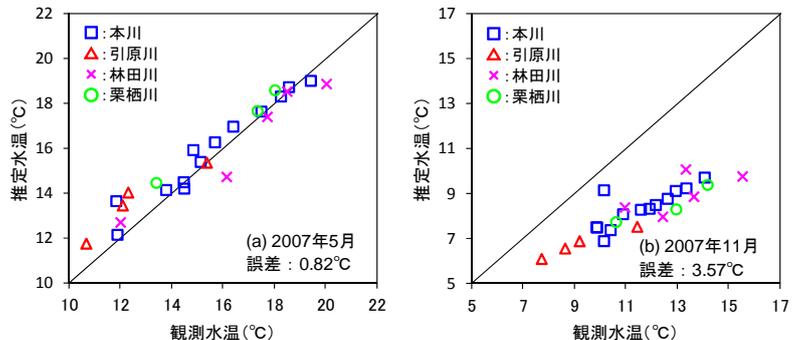


図-2 既報モデル¹⁾での推定水温と観測水温の比較

おける観測値と推定値の二乗誤差が最小になるように求めた。その結果、振幅パラメータ $a=7.31$, 位相パラメータ $c=1.98$ が同定された²⁾。これは、流域全体として横流入水温が約 14°C の年較差をもち、横流入のピーク水温が約 3ヶ月の遅れ時間をもつことに相当する。

図-2に既報モデル¹⁾を用いた推定水温と観測水温の比較を示す。図-2(a)より、2007年5月の受熱期ではモデルの推定水温と観測水温は水系全体で非常によく一致する。それに対して図-2(b)に示す2007年11月の放熱期では推定水温が観測水温に比べてすべての地点で過小評価されている。すなわち、放熱期では水系全体で河道に与えられる熱フラックスが不足していることになる。

図-3に式(1)を適用したネットワークモデルによる2007年5月、11月における推定水温と観測水温の比較を示す。これより受熱期・放熱期ともに流域全体の水温を非常に良好に再現している。図-2(b)と図-3(b)を比較すると、横流入水温に季節性・ピーク遅れを考慮することで放熱期の推定精度が格段に改善されたことが確認される。

4. 河川水温の熱収支バランスの評価

検証されたネットワークモデルを用いて河川水温の熱収支バランスを評価した。図-4に本川上流域の観測点 No.5, 下流域の観測点 No.16における熱保存式の各項²⁾(横流入項, 水面熱輸送項, 移流項)の時系列を示す。図-4より、上流・下流ともに水面熱輸送項は概ね4~9月で正值を示し、受熱期であることがわかる。一方、11~2月では負値を示すため放熱期となる。さらに両者の遷移時期である3月や10月では熱収支バランスにおける各項の絶対値は相対的に小さくなっている。4~9月の受熱期における特徴としては、上流・下流ともに水面熱輸送項と移流項がほぼ平衡することが挙げられる。このとき横流入項は相対的に小さいので、受熱期の熱収支バランスにしめる横流入水の影響は小さいといえる。一方、11~2月の放熱期では受熱期とは反対に横流入項が正の大きな値をとり、水温形成に支配的な役割を果たしていることが確認できる。このとき上流と下流でバランスする項は異なり、上流では移流項が、下流では水面熱輸送項がそれぞれ横流入項とほぼ平衡することがわかる。

今後は、この河川ネットワークモデルを流域特性のことなる複数河川に適用し、河川水温の形成機構と土地利用形態の関連性などを検討していく予定である。

【参考文献】1) 前羽, 宮本, 中山: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I_733-I_738, 2012. 2) 浦野, 宮本, 前羽, 戸田: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp.I_1681-I_1686, 2013.

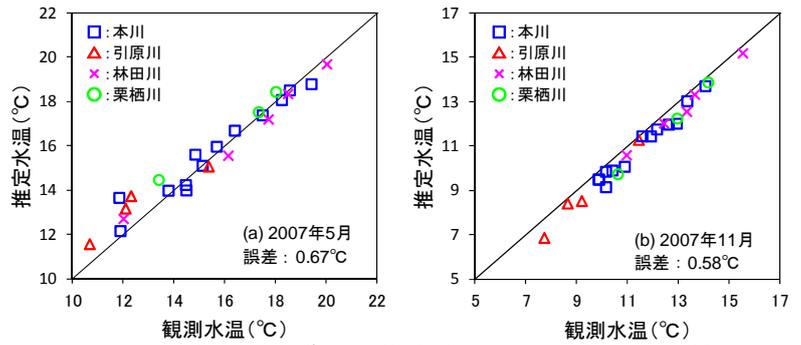
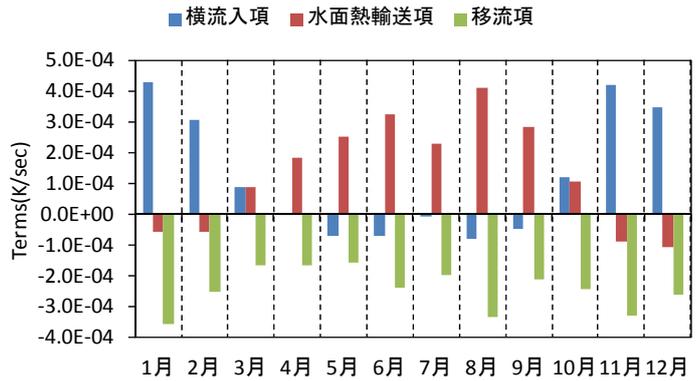
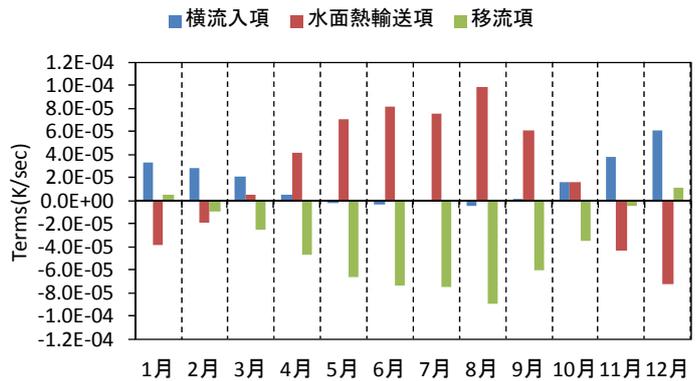


図-3 改良モデル²⁾での推定水温と観測水温の比較



(a) 本川上流 No.5



(b) 本川下流 No.16

図-4 河川水温の熱収支バランス(2007年)