

河川減水域における流れと水温輸送に関する2次元数値モデルの適応

水工学研究室 金城雄也
指導教員 細山田得三

1 はじめに

河川環境や河川における生態を考える上で、水温は重要な検討項目である。特に水棲生物分布に及ぼす影響は大きく、水温が高くなることによってその生態系が損なわれる危惧が知られている。特に魚類の生息適温の上限は最高 28℃と言われており、夏季における河川水温の上昇を防ぐことが求められ、水温上昇の影響を予測するための現場に適合した数値モデルを作成することが重要である。新潟県においては、信濃川山間部にある宮中取水ダムから魚野川合流点における減水区間の水温上昇が発生しており、注目を集めた。上流の千曲川流域へのサケの遡上の激減や、水温上昇で水棲生物の生息環境が変動するなどの問題が発生した。このことを受け、宮中取水ダムを所有する東日本旅客鉄道株式会社は平成 13 年度より試験放流のための調査を開始した。減水区間の河川環境を改善するために最低限確保する河川流量として水温 28℃を超えないための流量を夏季において40m³/sとすると定め、平成 22~26年の5年間で本格的な試験放流を行い減水区間の低減に努めた。この試験放流業務において用いられた既往研究モデルは河川水温の空間分布および時間分布を予想可能な3次元水理水温モデルである。σ座標系を採用しており、時間的な水面変動にも対応できる。しかし今回対象とするような減水区間を含む河川の場合、極端に水深が浅くなる箇所を含むため実空間での格子長が異様なほど小さくなる。このことから減水区間における適用は現実的ではないように思われる。

そこで本研究では減水区間のような水深が小さくなり河床が水面に現れても問題なく計算できる、汜濫解析モデルの適用を構想した。対象区間は宮中取水ダムから魚野川合流点までの約 27kmとした。汜濫解析は通常平面2次元で実施されるため、水深方向への分布を求めることができない。しかしながら、減水区間は水平方向に比べて水深が十分小さいためこのような近似が成立するものと仮定した。熱収支については太陽放射による加熱・減熱を考慮し、河道内部の水深分布や線流量分布に応じた水温変動の時間・空間方向の把握が可能となる水理モデルの構築を目指した。



図-1 本研究対象区間

2 試験放流調査時に用いた既往研究結果

平成 22~26年の5年間で行われた試験放流の際に用いられた既往研究である3次元モデルの結果を示す。図-2は実測データが存在する定点における水温変化の実測値と計算値との比較である。図-3は対象区間全域の水温変化の計算結果である。この2つの結果から、計算が3次元でありながらも減水域全域の1次元的な情報の把握が主要になっている。図-3においては温度輸送の様子は確認されるが面的な温度の表現にとどまっており、より細かい領域での温度評価はできない。これらのことから、河道内部の横断方向の考察が欠落しており、横断方向に極めて浅い水深が存在する場合の温度分布の変化に関する結果が十分ではないと思われる。

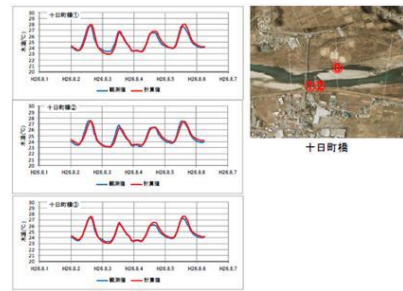


図-2 定点における水温再現性確認

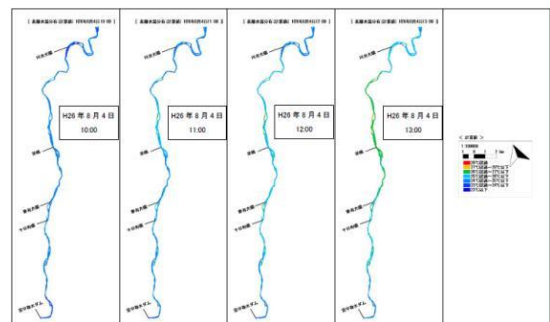


図-3 対象区間全域の水温変化

3 本研究の流れと条件

本研究は減水区間を含む河川において水深が極めて浅いため水温変化があまり無く、鉛直方向の水温評価が必要ないのではないかと考察のもと、熱収支を付加した汜濫解析による平面2次元モデルの構築を行った。連続式、ナビエ-ストークス式により非線形長波方程式(式(1)~(3))を誘導し、平面2次元の汜濫解析に対する移流拡散方程式(式(4))の導入は相変化のように熱を加えても温度が一定となっているような現象を含まないという仮定のもと、一般的な移流拡散方程式とは少

し異なるものを導入した。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial Um}{\partial x} + \frac{\partial Vm}{\partial y} = -g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_1 \left(\frac{\partial^2 m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 m}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2 m |m|}{(h+\eta)^{7/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial Un}{\partial x} + \frac{\partial Vn}{\partial y} = -g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_1 \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2 n |n|}{(h+\eta)^{7/3}} \quad (3)$$

$$h \frac{\partial \Delta T}{\partial t} + m \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + n \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial \Delta T}{\partial x} h \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial \Delta T}{\partial y} h \right) + \left(D \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \right)_1 - \left(D \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \right)_2 + \frac{s'}{\alpha} \quad (4)$$

ここで、 m, n はそれぞれ x 方向 y 方向の線流量、 D は拡散係数、 $s' = s/dxdy$ s は温度効果の総和となっている。

熱収支については、太陽からの太陽放射と雲等からの長波放射を加熱要素、水面からの逆長波放射や水面における熱輸送である顕熱・潜熱を減熱要素として計算に適用している。河床における熱輸送は今回十分考慮していない。

気象条件は、十日町および長野市のデータを用いた。気象庁からのデータを用い、気温、風速については十日町のデータを、雲量、湿度、気圧については気象台のみで観測されているため、地理的に近い長野市の気象台のデータを用いた。測定時間間隔は 1 時間ごとを基本としている。2010 年から 5 年間のデータを整理した結果、気温等の数値に大きな差はなかったことから、2014 年のみのデータを用いて計算を行った。

4 計算結果

計算結果は、宮中取水ダムから約 27km 下流の魚野川合流点付近までの対象区間全域と宮中取水ダムから 4.5km 下流までのダム周辺の範囲の 2 種類とした。放流量については、既往研究にあたる試験放流を参考に、40m³/s、60m³/s、80m³/s、100m³/s、120m³/s、150m³/s の 6 ケースで計算し、水深および水温の様子を出力した。計算の際には、放流量、放流する水の水温、河床水温、水面温度と気温との温度差を考慮した係数(ナッジング係数)を設定する。放流の様子が正しく出力されているかの確認のため、今回は河川に河川水が流れていない状態から放流を開始し、その様子を出力するようにした。

放流量 150m³/s 時の対象区間全域の水深および水温の様子を図-4 に、宮中取水ダム周辺の水深および水温の様子を図-5 に示す。放流量を増やすことにより下流への到達時間が変化したことから、出力が正しく行われていることが確認された。また水深についても放流量の増加により深くなる様子が確認された。水温については対象区間全域での放流量の違いによる水温変化は少しわかりづらいが、拡大してみると多少高水温の箇所が減少していることが確認された。図-5 の上の赤丸 3 つで示す部分について水温が 40℃以上となる点が見られたが、これは砂州や河岸などの河床が露わになっている点でも熱の出力が正しく行われていることを示している。しかし、一番下の赤丸で示した部分については、ある程度水深がある場所にもかかわらず高水温を出力しており、明らかな修正点とわかる。

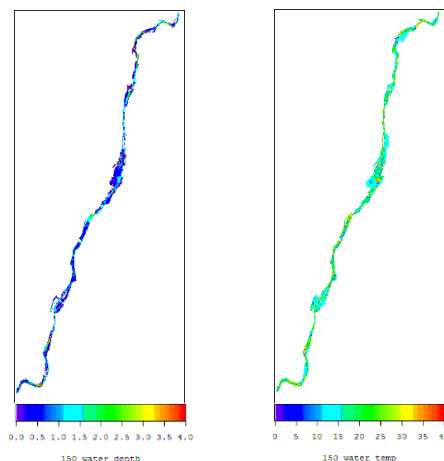


図-4 対象区間全域の水深・水温結果

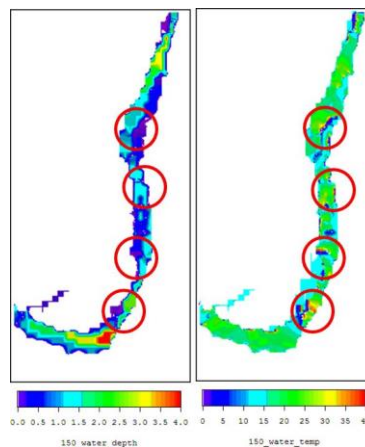


図-5 宮

中取水ダ

ム付近の水深・水温結果

5 まとめ

既往研究である 3 次元モデルに比べ、本研究モデルは河川の横断方向の水深・水温の出力ができるため、より部分的な評価ができるモデルとなっている。放流量による水深変化については概ね正確な出力がなされていることが分かった。水温変化については大幅な変化の違いはないが、砂州や川岸などの水深が浅くなる箇所での水温変動はしっかり確認できた。問題点として水深が深い領域で水温が高水温となるような出力が確認された。また、40℃以上の高水温となる点が見受けられ、明らかな修正点があることが分かった。

6 今後の課題

今後の課題としては、河川空間(流水域)を取り囲む面(河床・側壁・水面)における熱量の出入りを現時点では十分に考慮できていないため、今後の調査や計算プログラムの見直しにより熱収支の改善に繋げる。次に今回は河床地形について数値地図 50m メッシュを内挿して 10m メッシュとしたので、解析メッシュを現在作成中の 1m や 5m のデータセットに変更することで、高精度の地形の出力と計算を行う。他には、計算期間を 1 年単位に延長し、年間での水温変化を見ることがや河川に河川水が流れている状態からの放流状況の結果出力を行い、水温輸送についての可視化を目指す。

参考文献

- 1) Allen, J.D. 1995.: Stream ecology: Structure and function of running waters, Chapman & Hall, New York, p.388
- 2) 日本ダム協会, ダム便覧, 宮中取水ダム
<http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/All.cgi?db4=0735>
- 3) 国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所
<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/index.html>
- 4) 宮中取水ダム試験放流検討委員会総括報告書
- 5) 日本工営株式会社 平成 26 年度 信濃川中流域河川水温予測検討業務
- 6) 道奥康治 (2015) : 環境水理学, 土木学会, 55-64
- 7) 有田正光, 池田裕一, 中井正則, 中村由行, 道奥康治, 村上和男 (1998) : 水圏の環境, 東京電機大学出版局, 212-214
- 8) 二宮洗三 (2000) : 気象がわかる数と式, オーム社, 147-162, 261-272
- 9) 有田正光, 江種伸之, 小尻利治, 中井正則, 中村由行, 平田健正, 吉羽洋周 (2001) : 地圏の環境, 東京電機大学出版局, 76-84