

河川生態環境を保護するために水温基準構築の必要性について

新潟大学 正会員 黄 光偉

1. 水温について

環境に対する関心の高まりから、自然に配慮した河川改修が行われるようになった。水温は河川の生態環境を示す一つの重要指標であり、水温変化による河川生態系に与える影響は非常に大きな問題である。しかし、多くの環境要因が同時に魚に影響を及ぼすことによって、今まで水温の影響が適切に評価されてない。最近、清流の回復のために、ダムのフラッシュ放流が試験的に運用されつつある。また、河川流況調整の導水プロジェクトも進められている。しかし、このような河川事業において、水温の議論は全く聞えなかった。流況改善事業による水温の変化が懸念される。

本論文では、文献レビューを通して、河川管理における水温基準構築の必要性を示し、そして、水温の支配方程式の解析解により、ダム放流を行う場合の潜在環境問題が生じ得ることを示唆した。

魚は、冷水性(cold water)、クール性(cool water)、温水性(warm water)にグループ化することが出来る。例えば、サケ・マス類は冷水を好み、ハゼは温水を好む。同じ河川で、上流と下流では棲んでいる魚の種類が違う。このような分布は、水温との関係が深いと考えられる。一般に、冷水性の魚は、温度の変化に非常に敏感であり、水温の制限を受けやすい。水温が著しく上昇した場合は致命的な影響を受けることになる。Barton らは、アメリカオントリオ州の 38 本の小河川を対象にした調査結果より、水温の高い河川ほどサケは少なく、これらが豊富に生息するのは最高水温が 22°C 以下の河川に限られることを報告している。Brett によれば、サケ・マス稚魚の選好温度は 12~14°C で、25°C となると 1 週間を超えて生きできない。北海道地域におけるサクラマス生息密度は、まず、第一に水温、次にカバー率によって強く影響されていることは、井上らに指摘された。また、1994 年に秋山沢川養魚場で魚の大量死事件は、河道の拡幅によって生じた水温の異常上昇が原因ではないかという示唆もあった。様々な情報に基づいて、水温の上昇が生息魚種の生理的耐性範囲の上限の目安は、冷水性、クール性、温水性の魚に対して、週平均最高水温はそれぞれ 22° C, 29° C, and 30° C だと考えられる。

これまでの日本の河川管理では、温水性のアユの生息環境づくりに取り組んできたが、アユだけが棲む川は健全な川ではない。様々な魚が棲む河川づくりを推進するために、河川の水温基準を設ける必要があると思う。又、今までの河川改修工事では多くの場合、治水に影響を与えるとして沿川の樹木が除去されてきた。河畔林は水温上昇の抑制機能があるので、水辺植生の保全・再生は極めて重要な意義を持っていると言える。

2. ダム放流の影響

河川は、洪水や渇水などで象徴されるように流量が一年を通じて大きく変動し、それにより環境が形成されてきたものである。洪水調整や水資源開発、発電等を目的として建設されたダム等により、流量の減少、流況の平準化等を生じた。河川が本来持っている役割や機能を回復するために、ダムの洪水調節容量の一部を利用して貯留した水を下流河床の洗浄等の効果が出るように放流するダムの弾力的管理が各地に試験的に運用されつつある。ダム放流によって、下流河床の洗浄効果が確かに見られたが、このような放流による河川へマイナス影響がないかの議論はまだされてないようだ。本論文では、水温支配方程式から理想条件下の 1 つ解析解を導き、この解を用いて、ダム放流を行う場合の潜在環境問題が生じ得ることを示す。

河川水温支配方程式は次式となる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{H}{\rho C_p d} \quad (1)$$

キーワード 水温, 魚類, 基準, ダム放流, 解析解

連絡先: 〒950-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050 新潟大学工学部 TEL:025-262-7025 E-mail: huanggw@eng.niigata-u.ac.jp

ここで、 T ：水温、 U ：流速、 H ：純放射量、 D ：拡散係数、 ρC_p ：水の熱容量、 d = 水深。Edinger、Jobson の研究成果に従って、純放射量は次のように近似できる。

$$H = K(T_n - T) \quad (2)$$

ここで、 T_n は自然状態での河川水温である。本研究では、 T_n は正弦関数であらわせると仮定する。つまり、

$T_n = T_a + m \sin \omega t$ である。従って、水温の支配方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = G - \lambda T + m \sin \omega t \quad (3)$$

初期条件と境界条件は

$$T(0, t) = T_0; T(x, 0) = T_i \quad (4)$$

方程式 (3) にラプラス変換を施すと

$$U \frac{\partial \hat{T}}{\partial x} + (s + \lambda) \hat{T} = \frac{G}{s} + \frac{ms}{s^2 + \omega^2} + T_i \quad (5)$$

積分すれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} \hat{T} = & \frac{G}{s(s + \lambda)} + \frac{m\omega}{(s + \lambda)(s^2 + \omega^2)} + \frac{T_i}{s + \lambda} - \frac{T_i}{s + \lambda} e^{-\frac{(s + \lambda)x}{U}} - \frac{G}{s(s + \lambda)} e^{-\frac{(s + \lambda)x}{U}} \\ & - \frac{m\omega}{(s^2 + \lambda^2)(s + \lambda)} e^{-\frac{(s + \lambda)x}{U}} + \frac{T_0}{s} e^{-\frac{(s + \lambda)x}{U}} \end{aligned} \quad (6)$$

ラプラス逆変換を用いて解を求めると、次のような解析解が導かれる。

$$\begin{aligned} T = & \frac{G}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) + T_i e^{-\lambda t} + \frac{m\omega}{\lambda^2 + \omega^2} (e^{-\lambda t} - \cos \omega t + \frac{\lambda}{\omega} \sin \omega t) + V(t - \frac{x}{U}) \{ T_0 e^{-\lambda \frac{x}{U}} - T_i e^{-\lambda t} \\ & - \frac{m\omega}{\pi^2 + \omega^2} e^{-\lambda t} - \frac{G}{\lambda} (e^{-\lambda \frac{x}{U}} - e^{-\lambda t}) + \frac{m\omega}{\lambda^2 + \omega^2} e^{-\lambda \frac{x}{U}} [\cos \omega(t - \frac{x}{U}) - \frac{\lambda}{\omega} \sin \omega(t - \frac{x}{U})] \} \end{aligned} \quad (7)$$

以上の解を用いて、一定の水温のダム放流が行われる際、下流の二つ地点における水温の日変動を図－１に示す。 $X=12*U$ の地点での日較差が小さい、 $X=24*U$ の地点で日較差が大きいである。冷水性魚の遡上路の途中で高温地点が現れると、遡上が遅延させられることがあり得る。固有の産卵時期に産卵に適した場所へ到達できないと、産卵効率が低下となる。

参考文献

Barton, D.R. Tayer W.D. and Biette R.M.: North American Journal of Fisheries Management, Vol. 5, pp.364-378, 1985.

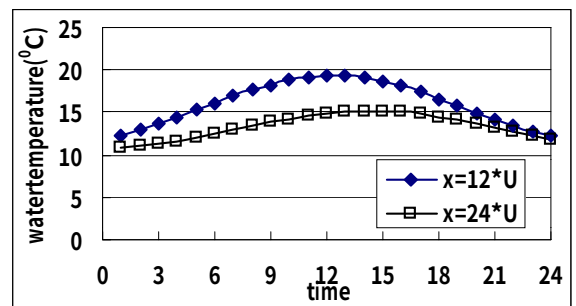
Brett J. R.: Am. Zool., Vol. 11(1), pp.99-113, 1971.

Inoue, M., Nakano, S. and Nakamura, F.: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 54, pp.331-341, 1997.

近藤 純正, 菅原 広史, 高橋 雅人：水文・水資源学会誌第 8 巻 2 号, pp.197-184, 1995.

Edinger, J.E., Geryer, J.C.: Edison Electrical Institute publication, 1965.

Jobson, H. E.: ASCE 99 PO1, 89-103, 1973.



図－１ 下流地点の水温変動