

日射量の違いが河川水温にもたらす影響の平面二次元河川水温物理モデルを用いた検討

筑波大学大学院 学生会員 ○松永 知也
土木研究所 正会員 溝口 裕太

筑波大学 正会員 白川 直樹
建設技術研究所 正会員 宇佐美将平

1. 序論

近年、気候変動による河川水温の変化が生態系に影響を及ぼすことが懸念されている。特に魚類は水温の変化に敏感であると言われている¹⁾。このような点から気候変動下の河川水温を精度よく予測することは重要である。そこで本稿では気候変動による変化が予想される日射量²⁾に注目し、これに対する河川水温の応答関係を、水温モデルを用いて検討した。

2. 手法

2.1 使用モデル

本検討には宇佐美ら³⁾の平面二次元河川水温物理モデルを用いる。このモデルは水理サブモデルと水温サブモデルの2つからなる。水理サブモデルは河床高や上流端流量などの入力条件から水深や流速などの水理量を求めるもので、基礎式は平面二次元の連続式およびRANS方程式である。

水温サブモデルは水理サブモデルにより求めた水理量と気象条件（気温、風速、相対湿度、大気圧、日射量）や上流端水温をもとに河道内の水温を計算するもので、基礎式は平面二次元熱輸送方程式(1)³⁾である。

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + \left(U \frac{\partial T_w}{\partial x} + V \frac{\partial T_w}{\partial y} \right) = \frac{1}{h} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(hD \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD \frac{\partial T_w}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\{(1-r_s)I + R + H + E\} + H_{bed}}{\rho_w c_w h} \quad (1)$$

ここで、 T_w ：水温、 U, V ： x, y 方向の流速、 h ：水深、 D ：拡散係数、 r_s ：短波放射に対する水面のアルベド、 I ：短波放射、 R ：長波放射、 H ：顕熱輸送、 E ：潜熱輸送、 H_{bed} ：河床伝熱、 c_w ：水の比熱である。

2.2 計算条件

流下方向 15km、横断方向 500m、河床勾配 1/1000 の矩形断面水路に交互砂州（波長 1km）を生成した地形を作成した。（図1）砂州は長谷川ら⁴⁾が用いた河床波の波数解析の式と渡邊ら⁵⁾の実験結果を参考に設定した。

上流端流量を 30m³/s とし、流況が安定するまで水理解析を行い、求められた各点の流速や水深を水温解析に使用した。気象条件は日本の夏季の値に基づいて設定した。気温は毎日 5 時に 22℃、13 時に 32℃、19 時に 26℃とし、その間を線形内挿した。風速は 1.0m/s の一定値とした。相対湿度は容積絶対湿度が 19.0g/m³ の一定値になるよう設定した。大気圧は 978.0hPa の一定値とした。日射量は快晴を想定したもの1つ、曇天を想定したもの2つ（快晴を想定した日射量の 50%、25%）、日射なし1つの4パターンを用意した（図2）。上流端水温は 24℃で一定とした。助走期間として 36 時間（1 日目 0 時～2 日目 12 時）、本計算期間として 36 時間（2 日目 12 時～4 日目 0 時）の計 72 時間計算を行った。本計算期間を 36 時間とするのは、日最低水温を「前日の 12 時から当日の 12 時までの間の最低水温」と定義したためである。

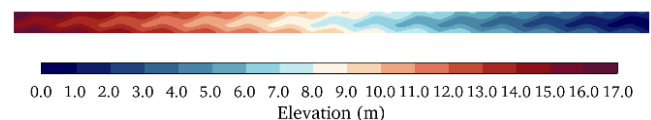


図1 入力した地形（左が上流側）

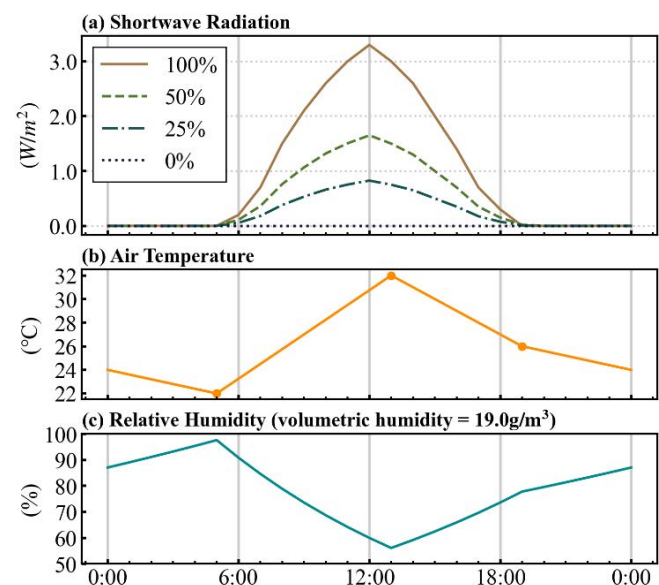


図2 主な入力気象条件（日射，気温，相対湿度）

キーワード 河川水温，日射量，水理解析，熱輸送方程式，気候変動

連絡先 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1 TEL: 029-853-5059 E-mail: s2220878@s.tsukuba.ac.jp

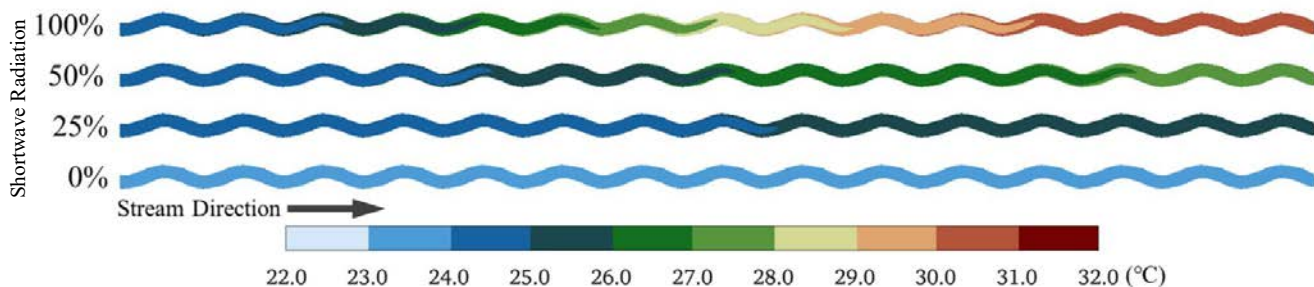


図3 3日目16時10分における各パターン水温の平面分布

表1 各パターンの日最低最高平均水温と生起時刻

日射量	日最低水温	生起時刻	日最高水温	生起時刻	日平均水温
100%	23.2°C	05:20	30.6°C	16:10	26.5°C
50%	23.1°C	05:30	27.1°C	16:10	24.9°C
25%	23.0°C	05:50	25.5°C	16:30	24.1°C
0%	22.9°C	07:10	23.6°C	18:20	23.2°C

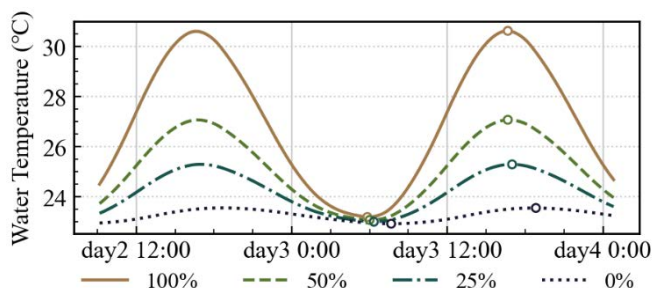


図4 横断面平均水温の時間変化 (14.5km地点)

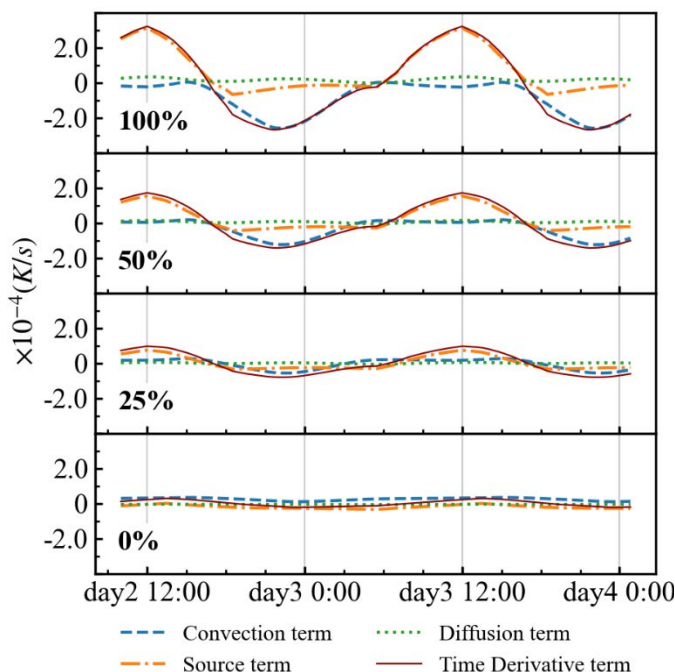


図5 熱輸送方程式の各項の時間変化 (14.5km地点流心)

3. 結果・考察

表1は日射量100%、50%、25%、0%の各パターンにおける日最低水温と日最高水温およびそれらの生起時刻、日平均水温である。日最高水温は日射量が25%増加するごとに1.6~1.9°C高くなっている。日平均水

温は同様に25%増加するごとに0.8~0.9°C高くなっている。日最高水温および日平均水温は日射量に比例して変化することがわかる。これに対して、日最低水温は日射量によらずほぼ変わらなかった。

図3は日射量100%で日最高水温が生起した、3日目16:10における各パターンの水温の平面分布である。

図4は日射量パターンごとの横断面平均水温の時間変化を示しており、図中の丸は日最低・最高水温の生起時刻を示す。日射量が増えると生起時刻が早まることがわかる。

図5は、上流端から14.5km流下した地点の流心における熱輸送方程式(1)の移流項、拡散項、生成項、非定常項の時間変化である。これによると日射がある場合、日中は生成項が主に水温を上昇させ、夜間に移流項が主に水温を下降させていることがわかる。また日射量が小さくなると生成項も移流項も変位が小さくなるがわかる。

参考文献

- 1) 杉本利英ら“水温と魚類の生息場から見た減水区間の流量評価—信濃川中流域における取組—”, 河川技術論文集, Vol.14, pp.447-452, 2008.
- 2) 曾我和弘“地球温暖化予測情報を用いた将来気象データの開発”日本建築学会環境系論文集, Vol. 79 No. 703, pp.803-812, 2014
- 3) 宇佐美将平ら“日射と移流が支配する夏季河川水温の日変化発達メカニズムの解析的検討”土木学会論文集 B1, Vol.78, No.2, pp. 931- 936, 2022.
- 4) 長谷川和義ら“発達した交互砂州の性状に関する実験と解析”第26回水理講演会論文集, pp. 31-38, 1982.
- 5) 渡邊康玄ら“中規模河床波の低流量時における形状変化過程”水工学論文集, Vol.51, pp. 1039-1044, 2007