

ダム貯水池の水温予測における長波放射量の推定

鳥取大学大学院工学研究科 矢島啓・崔貞圭

鳥取大学工学部土木工学科 細川達也・松原靖知・山田康弘

1. はじめに 現在、鳥取市で建設中の殿ダムにおいて、選択取水設備の操作支援システムを構築している。システムに含まれる 3 次元水理水質予測計算モデルの精度向上のために、雨量以外の気象要素は貯水池水面上での計測を行っており、長波・短波ともにそれぞれ上向・下向の計 4 成分を計測している。システムの構築において予測精度の検証も行っているが、その中で我々がこれまで用いてきた長波の推定式の精度に疑問が生じた。そこで、文献調査により長波放射に関する推定式を調査し、殿ダムにおける毎時の観測データ(2011 年 4 月 26 日～5 月 29 日)を用いて、各推定式の精度に関する検討を行った。ただし、評価は正味長波放射量を対象とし、下向き長波放射を正とした。

2. 長波放射の推定精度の検討(1) 検討に用いた長波の推定式¹⁾を以下に示す。ただし、以後の検討において、長波放射のアルベドは 0.03 とし、水面から上向きの長波放射は $-\varepsilon_w \sigma T_w^4$ とした。

$$\varepsilon_{cl1} = 0.643(e_a/T_a)^{-7} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cl2} = 9.365 \times 10^{-6} T_a^{-2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{cl3} = 1 - 0.261 \exp\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cl4} = 0.70 + 5.95 \times 10^{-7} e_a \exp(1500/T_a) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{cl5} = 0.714(e_a/T_a)^{0.0687} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cl6} = 0.625(e_a/T_a)^{0.131} \quad (6)$$

$$L_{d1} = L_d^* (1 + 0.26c) \quad (7)$$

$$L_{d2} = L_d^* (1 + 0.22c^{2.75}) \quad (8)$$

$$L_{d3} = L_d^* (1 + 0.0496c^{2.45}) \quad (9)$$

$$L_{d4} = L_d^* (1 - c^4) + 0.952c^4 \sigma T_a^4 \quad (10)$$

$$L_{d5} = L_d^* (1 - c) + c \sigma T_a^4 \quad (11)$$

$$L_d^* = \varepsilon_{cl} \sigma T_a^4 \quad (12)$$

ここで、 L_{dx} : 各式における長波放射[W/m²], L_d^* : 快晴時の長波放射[W/m²], T_a : 気温[K], ε_{clx} : 射出率, σ : Stefan-Boltzmann 定数, C : 雲量, e_a : 水蒸気圧[hpa]である。

式(7)-(11)の L_d^* における ε_{cl} に式(1)~(6)を適用し(5×6=30 ケース), 推定値と観測値の比較から精度に関する統計値を求めた。表-1 は、観測値と推定値の相関係数を示している。図-1 では各組合せの中で式

(7)-(11)の中で最も相関係数の大きかったものを赤字で示している。式(7)-(9)については、射出率を式(1)から求めたものが、また、式(10)-(11)に関しては射出率を式(5)より算出したものがそれぞれ高い相関を示した。このことから同じ長波放射の推定式を用いても射質率の違いにより精度が変化することが分かった。また、最も相関係数の高かったものは、式(8)と式(1)を用いた場合の $R^2=0.6347$ であった。

3. 長波放射の推定精度の検討(2) 検討に用いた長波の推定式を以下に示す。

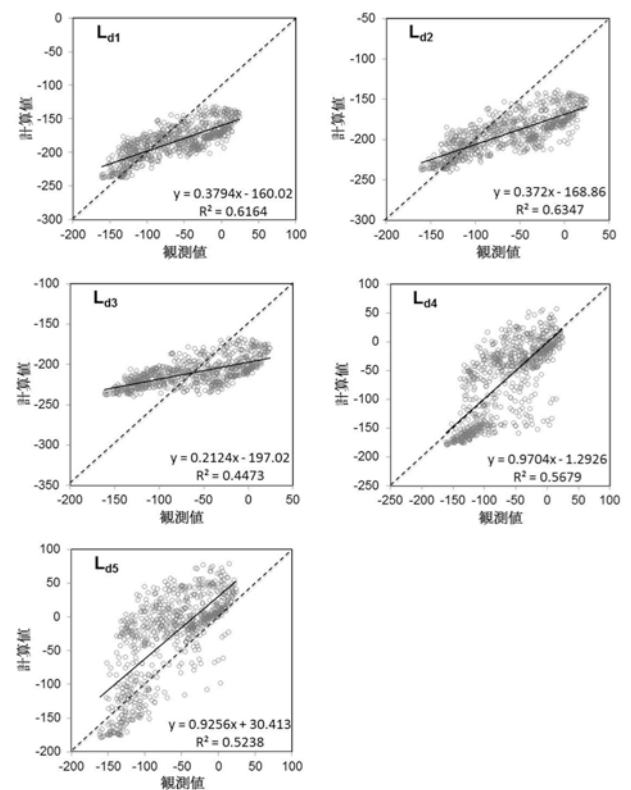


図-1 観測値と参考文献¹⁾による推定値の比較

表-1 参考文献¹⁾による推定値の決定係数 (R^2)

	Ld1	Ld2	Ld3	Ld4	Ld5
ε_{cl1}	0.616	0.635	0.447	0.556	0.523
ε_{cl2}	0.012	0.012	0.012	0.521	0.503
ε_{cl3}	0.077	0.452	0.234	0.496	0.480
ε_{cl4}	0.485	0.511	0.270	0.556	0.520
ε_{cl5}	0.573	0.597	0.400	0.568	0.530
ε_{cl6}	0.606	0.625	0.431	0.555	0.523

(1) 参考文献²⁾による推定式

$$L_d = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (13)$$

$$\varepsilon_a = 0.672(e_a/T_a)^{1/7} \cdot (1 + 0.17C^2) \quad (14)$$

$$e_{Ta}^{\text{sat}} = 2.17 \times 10^{10} \exp[-4,157/(T_a - 33.1)] \quad (15)$$

$$e_a = Rh \cdot e_{Ta}^{\text{sat}} \quad (16)$$

ここに、 ε_a :大気の放射率、 e_{Ta}^{sat} :温度、 T_a :における飽和水蒸気圧[hpa]

(2) 参考文献³⁾における推定式

$$L_d = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (17)$$

$$\varepsilon_a = 1.09 \cdot (1 + 0.17 \cdot C^2) \cdot 1.24 \cdot (e_a/T)^{1/7} \quad (18)$$

(3) 参考文献⁴⁾における推定式

$$L_d = \sigma T_a^4 [1 - (1 - L_d^*/\sigma T_a^4) C_0] \quad (19)$$

$$L_d^* = (0.74 + 0.19x + 0.07x^2) \sigma T_a^4 \quad (20)$$

$$x = \log_{10}(0.14 e_a) \quad (21)$$

$$e_a = 6.1078 \times 10^2 (7.5 T_a / T_a) \quad (22)$$

$$C_0 = 0.21 h^{-1.69} \quad (23)$$

ここに、 C_0 :雲量係数($0 \leq C_0 \leq 1$)、 h :相対湿度、 ε_w :水面からの射出率、 T_w :水面の温度[K]

(4) DYRESM⁵⁾における推定式

$$L_d = (1 + 0.17C^2) \varepsilon_a (T_a) \sigma T_a^4 \quad (24)$$

上にあげた参考文献^{2)~4)}と DYRESM⁵⁾で使用していた推定式から求めた推定値と観測値を比較した。図-2に示すように、全体的に推定値は実測値より大きくなった。表-2に示すように文献²⁾と文献³⁾の R^2 値は表-1に示す値より大きいことから最も相関性のある推定式であると考えられた。しかし AME 値、RMSE 値は DYRESM の精度が良いと判断された。

次に、雲量の大小による影響を検討するため、DYRESM と文献²⁾の推定式を選択した。雲量は $C \leq 0+$ (快晴)、 $C=10$ (全天雲) の 2 つの場合に分けて検討した(表-3)。その結果、両式とも $C \leq 0+$ においては相関係数が大きくなり、逆に $C=1$ の時では小さくなった。しかし AME 値、RMSE 値は文献²⁾、DYRESM 共に $C \leq 0+$ の方が $C=10$ よりも大きくなった。

4. まとめ 検討した推定式の中で文献²⁾で挙げられた式が最も相関性の高い推定式であった。しかし、実測とはなお $40-60 \text{ w/m}^2$ の誤差があった。また雲量に関する検討を行った結果、雲量が小さいときには相関は高くなるものの、誤差が大きくなる傾向があることが明らかとなった。

今後は、さらに文献調査を行い対象とする推定式を

増やし、より詳細な検討を行う予定である。また、長波の推定誤差が、貯水池の水温予測に与える影響についても評価していきたいと考えている。

5. 参考文献

- 1) Kruk, N.S. et al., Downward longwave radiation estimates for clear and all-sky conditions in the Sertãozinho region of São Paulo, Brazil, Theor. Appl. Climatol. Vol. 99, pp. 115–123, 2010.
- 2) Gutierrez, L.D. et al., A Hydrodynamic Model of Lake Michigan for Coastal Water Quality Management, 33rd IAHR Congress., pp. 5228-5235. 2009.
- 3) Livingstone, D.M. et al, Annual heat balance and equilibrium temperature of Lake Aegeri, Switzerland, Aquatic Sciences, Vol. 51, pp. 351-369, 1989.
- 4) 中津川誠ら: 融雪期に豪雨が相俟って生起する出水の予測について、河川技術に関する論文集, Vol. 7, 2001.
- 5) Antenucci, J. et al., DYRESM Science manual, 2006.

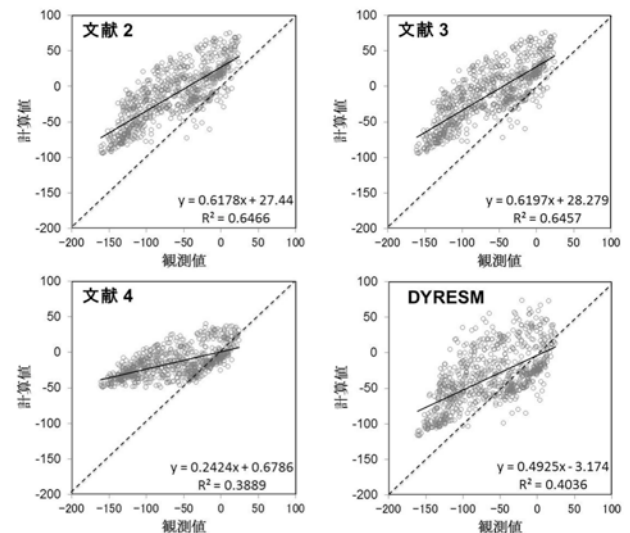


図-2 観測値と参考文献^{2)~5)}による推定値の比較

表-2 参考文献による計算結果の決定係数 (R^2)

	文献 ²⁾	文献 ³⁾	文献 ⁴⁾	DYRESM
R^2	0.647	0.646	0.389	0.404
AME(w/m^2)	52.5	53.1	50.8	40.7
RMSE(w/m^2)	59.7	60.3	63.6	48.9

表-3 雲量の違いによる決定係数 (R^2)

	()はサンプル数	文献 ²⁾	DYRESM
R^2	($C \leq 0+$) (80)	0.780	0.471
	($C=10$) (208)	0.391	0.078
AME(w/m^2)	($C \leq 0+$) (80)	60.0	48.2
	($C=10$) (208)	34.3	25.3
RMSE(w/m^2)	($C \leq 0+$) (80)	60.6	51.3
	($C=10$) (208)	40.2	32.0