

殿ダム貯水池における水温予測精度向上のための放射推定の研究

鳥取大学大学院工学研究科 山本 茂友・矢島 啓

1. はじめに ダム貯水池における水温予測計算等において、短波のアルベドは一定値や季節による変動を考慮しただけの推定式が用いられることが多い。また、長波放射については国外の観測データから構築された推定式がよく用いられる。したがって、ダム貯水池において精度の高い水温計算を行うためには、短波のアルベドの変動を考慮し、国内の観測データを用いた長波放射の推定式を構築するべきである。そこで、殿ダム貯水池(鳥取市東部に位置)を対象に、実測データを用いて短波のアルベドと長波放射のそれぞれについて推定式を構築する。さらに構築した推定式を用いて、実際のダム貯水池における水温予測精度を3次元数値計算モデル(ELCOM)で評価する。

2. 使用データ 殿ダム貯水池に設置された気象観測装置(図-1)で4成分の放射量(短波と長波のそれぞれ上向きと下向き)、風向風速、湿度、気温、気圧を10分間隔で観測している。また、気象観測位置から約200m下流の選択取水塔の前面において、水面からEL160mの範囲において、水温、濁度、電気伝導度、Chl.a、溶存酸素、pHの6水質項目を最小1時間間隔で計測している。使用データは2012年4月1日0時00分~2013年3月31日23時50分の観測値であり、気象データから風速、気温、湿度、気圧、4成分の放射量、水質データから水面における水温、濁度、Chl.aである。



図-1 殿ダム貯水池の気象観測装置

3. 検討方法 短波アルベドの推定式は、式(1-1)、式(1-2)、式(1-3)に示す形の重回帰式を用いて構築する。式(1-1)は線形型の回帰モデル、式(1-2)は指数型の回帰モデル、式(1-3)は全ての項に天頂角の余弦の変数を含むモデルである。これは、天頂角の大きさによって各変数がアルベドに与える影響が異なることが従来の研究¹⁾で明らかにされているためである。また、短波アルベドの説明変数は、多変量解析ソフト SPSS Statistics ver.21 を用いて最終的に選択された、湿度(%), 天頂角の余弦, 風速(m/s), 散乱光の割合(%)とし、推定式の構築を行った。

次に、下向きの長波放射の推定に用いる放射式を式(2-1)、式(2-2)に示し、放射式の変数である大気の射出率4個を式(3-1)~式(3-4)に示す。これらの放射の推定式2ケースと射出率の推定式4ケースを組み合わせ、合計8ケースの重回帰分析を行い推定式の構築を行う。また、構築された推定式のうち精度の最も高い推定式を短波アルベ

(1) 短波アルベドの推定式

$$\alpha_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i \dots\dots\dots(1-1)$$

$$\alpha_2 = \exp(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i) \dots\dots\dots(1-2)$$

$$\alpha_3 = a_1x_1(1-y)^{b_1} + a_2x_2(1-y)^{b_2} + \dots + a_ix_i(1-y)^{b_i} \dots\dots(1-3)$$

ここで、 α はアルベド、 x_1, x_2, \dots, x_i はアルベドの変数、 y は天頂角の余弦、 a_1, a_2, \dots, a_i と b_1, b_2, \dots, b_i は係数である。

(2) 長波放射の推定式²⁾

$$L_{D1} = L(1 + aC^b) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$L_{D2} = L(1 - C^r) + \delta C^r \sigma T_a^4 \dots\dots\dots(2-2)$$

$$L = \varepsilon \sigma T_a^4 \dots\dots\dots(2-3)$$

$$L_U = \varepsilon_w \sigma T_a^4 \dots\dots\dots(2-4)$$

ここで、 L_D は下向き長波放射(W/m²)、 L_U は上向き長波放射(W/m²)、 ε は大気の射出率、 ε_w は水面の射出率、 σ はステファン・ボルツマン定数=5.67×10⁻⁸(W/m²K⁴)、 T_a は気温(K)、 C は雲量に関するパラメータ、 a, b, r, δ は係数である。

(3) 大気の射出率の推定式^{3),4)}

$$\varepsilon_1 = 1 - 0.261 \exp(-0.000777(273 - T_a)^2) \dots\dots\dots(3-1)$$

$$\varepsilon_2 = 1.24(e_a/T_a)^{0.14} \dots\dots\dots(3-2)$$

$$\varepsilon_3 = 0.83 - 0.18 \times 10^{-0.067e_a/10} \dots\dots\dots(3-3)$$

$$\varepsilon_4 = 0.79 - 0.17 \exp(-0.96e_a/10) \dots\dots\dots(3-4)$$

(9個の推定式を検討したが、ここでは変数の組合せから上記の4式を代表とする。)

ここで、 e_a は水蒸気圧(hPa)、 T_a は気温(K)を示す。

(4) ELCOMで採用されている推定式

$$\alpha = 0.08 + 0.02 \sin\left(\frac{2\pi j}{D} + \frac{\pi}{2}\right) \dots\dots\dots(4-1)$$

$$L_{DE} = L(1 + 0.17C^2) \dots\dots\dots(4-2)$$

$$\varepsilon_E = 9.37 \times 10^{-6} T_a^2 \dots\dots\dots(4-3)$$

ここで D は365、 j は1年 j 番目の日を表すパラメータ、 L_{DE} はELCOMでの下向き長波放射(W/m²)、 ε_E はELCOMでの大気の射出率である。

ドと下向き長波放射, それぞれ1つずつ選択した上で, 水温の再現計算を行う.

再現計算には西オーストラリア大学 Centre for Water Research で開発された3次元数値計算モデル ELCOM を用いる. 計算のための貯水池形状のモデルグリッドは, 全領域一様の水平方向に20m, 鉛直方向に0.5mとする. また, 水温計算において重要なパラメータである光の減衰係数の設定は, PAR の減衰係数を 0.7m^{-1} , NIR の減衰係数を 1.0m^{-1} , UVA の減衰係数を 1.0m^{-1} , UVB の減衰係数を 2.5m^{-1} に設定した.

4. 短波アルベドと長波放射の検討 ①短波アルベドの推

定: 作成した重回帰式の精度の検討のため, 推定したアルベドから求めた短波の正味放射量と観測から得られた値を比較した. 最も高い推定精度が得られたのは, 式(1-3)による回帰式(図-2 中の上式参照)であり, RMSE は 8.4W/m^2 , AE は 4.9W/m^2 , R^2 は 0.99 であった. また, ELCOM の推定式である式(4-1)による結果は, RMSE は 17.4W/m^2 , AE は 11.8W/m^2 であり, 式(1-3)よりも推定精度が劣ることが確認された.

②下向き長波放射の推定: 重回帰分析によって推定した下向き長波放射の値と観測値を比較した. 下向き長波放射の推定式である式(2-2)と射出率の推定式である式(3-2)を用いた推定値が最も精度が高かった(図-2 中の下式および表-1 参照).

また, ELCOM で採用されている長波放射の推定式である式(4-2)と射出率の推定式である式(4-3)から推定した値と観測値の比較から得られた結果は, RMSE は 35.9W/m^2 , AE は 28.9W/m^2 , R^2 は 0.58 であり, 式(2-2)と式(3-2)を用いた場合の精度が高いことが確認された(表-1).

③構築した推定式の妥当性: 2013年4月~2014年3月のデータを用いて構築した推定式(図-2 中の式参照)の妥当性を確認した. 短波アルベドおよび下向き長波放射の観測値と推定値をそれぞれ比較した結果, 精度は 4. で示したのと同程度であり, 殿ダム貯水池において高い精度を有した式であることが確認された.

5. 水温の再現結果 ELCOM を用いた水温の再現計算を 2012年5月15日~2013年7月31日まで行った. 構築した推定式(図-2 中の式参照)で計算した水温と観測値を比較した結果, 水温の再現性は良好であった. また, 短波アルベドと長波放射のどちらか一方の構築した推定式を適用し, 水温を計算した結果のうち表層水温について, 観測値と共に図-2 に示す. 短波アルベドの推定値のみを適用した場合, 再現性の改善はあまり見られない. 一方, 長波放射の推定値のみを適用した場合は大きく再現性の向上がみられた.

6. おわりに 本研究から, 放射推定の再現性を高めることで精度の高い水温計算を行うことができた. さらに, 表層における水温計算においては, 短波アルベドよりも長波放射の推定精度が重要であることが明らかとなった.

参考文献 (1) Jin, Z. et al., 2004. A parameterization of ocean surface albedo, *Geophysical research letters*, 31, pp.1-4. (2) Duarte, H. F., et all, 2006. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil, *Agricultural and forest meteorology*, 139, pp. 171-181. (3) Brunt, D., 1932. Notes on radiation in the atmosphere. I, *Q J ROY METEOR SOC*, 58, pp. 389-420. (4) Idso, S. B., 1981. A set of equations for full spectrum and 8 - to 14 - μm and 10.5 - to 12.5 - μm thermal radiation from cloudless skies, *Water resources research*, 17, pp. 295-304.

表-1 観測値と比較した下向き長波放射の推定値の精度結果 (赤字は最も精度が高い値)

式(2-1)	RMSE(W/m ²)	AE(W/m ²)	R ²
式(3-1)	30.9	24.7	0.69
式(3-2)	33.0	25.9	0.65
式(3-3)	27.4	23.0	0.76
式(3-4)	28.9	23.9	0.73

式(2-2)	RMSE(W/m ²)	AE(W/m ²)	R ²
式(3-1)	25.2	20.1	0.79
式(3-2)	24.5	19.4	0.80
式(3-3)	27.3	22.5	0.76
式(3-4)	26.1	21.3	0.78

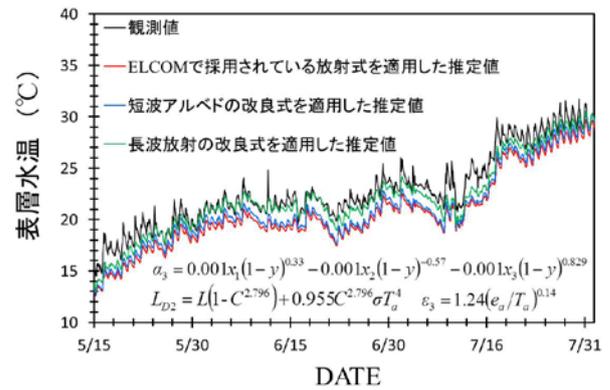


図-2 短波アルベドと長波の一方の推定式を改良した時の表層水温の再現計算結果と観測値の比較結果 (参考のため改善前の結果も示す) また図中に示す式は水温計算に適用した推定式である