

II-12

貯水池の熱収支に関する一考察

東北大学大学院 学生院○戸田賢治

東北大学工学部 正 員 後藤光亀

東北大学工学部 正 員 真野 明

1. はじめに

浅い湖沼などの日成層の影響等を議論する場合には、日単位の日成層変化の評価が必要となる。これまで、仙台市近郊の貯水池において水気・気象の長期観測を行い、熱収支予測において長波放射項に雲量と温度差の補正を行うと比較的適合性が良いことがわかった¹⁾。本報告では、短期間の熱収支予測を行う場合に、従来提案されている解析方法の熱収支式と潜熱・顕熱について、測定データをもとに放熱期において検討した。

2. 熱収支式に関する検討

水理公式集の熱収支式によれば、式(1)で水温と独立な Q_R と水温に依存する Q_L で構成されている^{2), 3)}。

$$Q_N = Q_R - Q_L, \quad Q_R = Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar}, \quad Q_L = Q_{br} + Q_e + Q_c \quad (1)$$

Q_N : 水面を加熱する正味の加熱量, Q_R : 水面での吸収放射量, Q_L : 水面から失われる熱損失量, Q_s : 短波放射量(日射量), Q_{sr} : 短波反射量, Q_a : 長波放射量, Q_{ar} : 長波反射量, Q_{br} : 長波逆放射量, Q_e : 蒸発に伴う潜熱量, Q_c : 熱伝達に伴う顕熱量。気温(T_a (°C))と表面水温($T_{w,s}$ (°C))の差が大きい場合はこの間の補正項を考慮しなければならない。水面の射出率を $\varepsilon \approx 1$ とすると有効長波放射 R の大きさは次式で補正される。

$$R = -Q_a + Q_{ar} + Q_{br} = \sigma \theta_a^4 (1 - c - d\sqrt{e_a}) (1 - c' U_n^2) + 4\sigma \theta_a^3 (T_{w,s} - T_a) \quad (2)$$

σ : Stefan-Boltzman定数, θ_a : 気温 T_a の絶対温度, c, d : 定数($c=0.04, d=0.081$), e_a : 大気の水蒸気圧, c' : Berliandの定数, U_n : 雲量。ここでは、長波放射項を式(2)により雲量と温度差で補正した場合を考える。また、潜熱・顕熱は次式で与えられる。

$$Q_e = L \cdot E = L \rho_a C_e W (q_w - q_a), \quad Q_c = \rho_a c_p C_o W (T_{w,s} - T_a) \quad (3)$$

L : 蒸発に伴う潜熱量, E : 蒸発速度, C_e : 水蒸気輸送係数, C_o : 顕熱輸送係数, W : 風速, ρ_a : 空気密度, q_w, q_a : それぞれ水, 大気の比湿, c_p : 空気の定圧比熱。ここで、蒸発速度式 E は風速の影響を考慮した次の3つの実験式を用い $Q_c = (Q_e/r) \cdot \{(T_{w,s} - T_a)/(e_w - e_a)\}$ とした(r : Bowen比=1.5)。順にケース1~3とする。

$$E = (0.15 + 0.108 \cdot W) (e_w - e_a), \quad \text{Zaykov式} \quad (4)$$

$$E = (0.13 \cdot W) (e_w - e_a), \quad \text{Hefner湖の式} \quad (5)$$

$$E = (0.095 (\Delta \theta_v)^{1/3} + 0.108 \cdot W) (e_w - e_a) \quad \text{修正Shulyakovskiy式} \quad (6)$$

e_w : 水温 $T_{w,s}$ における飽和水蒸気圧, $\Delta \theta_v$: みかけの水温・気温。一方、輸送係数に関しては、近藤が大気の安定度や気象要素の測定高さを考慮したバルク熱輸送係数の推算式を提案している⁴⁾。これを用いて Q_e, Q_c をそれぞれ算定した場合をケース4する。

3. 解析結果

図-1に潜熱・顕熱に近藤の式を用いた場合の熱要素項の経時変化を示す。ここで、水中への放射量は全て熱に変換され、地中との熱伝導と水の流入・流出量、水位変化を無視できるとした。実測の水温分布(日成層)の変化より、貯水池への熱量の出入りを評価した。図-2, 3に1990年7月における貯水池の熱量の変化量 Q と全熱量 TQ の経時変化を示す。ここで、 TQ は湛水面積当りにおける水底から水面までの水柱の熱量である。添字の1~4は潜熱・顕熱のケースを表す。これによると、ケース2, 4が良く一致しているのがわかる。各ケースの Q における実測値との残差平方和と、 TQ における解析期間の最終点での誤差を表-1に示す。潜熱量における蒸発式 $E/(e_w - e_a)$ は、図-3に示すように風速の一次関数で表わされている。マークは測定値を近藤の式により算定したもので、表面水温と気温の差 $dT (=T_{w,s} - T_a)$ で分類した。この図から期間内の測定データは風速 W

が0~4(m/s), 温度差が2~10(°C)に多く分布している。また, Zaykov式では他の式より高い値を示している。風速が小さく温度差が正の場合, 近藤の式はHefner湖の式と比較的良く一致しているが, 温度差が負の場合には近藤の式は他の式より小さく算定している。全体的に近藤の式は, Hefner湖の式やZaykov式に比べて潜熱量を小さく評価する傾向にある。更に, Bowen比は $r=1.5(^{\circ}\text{C}/\text{mb})$ が用いられたが, 近藤の式ではこの値が1.55~1.6になる。従って, 近藤の式では顕熱量の潜熱量に対する割合も小さく評価することになる。

4. まとめ

表-1の誤差と残差平方和からわかるように, 潜熱・顕熱の算定は近藤の式を用いて評価する方がよい。しかし, 雲量や気象条件によっても熱量は変化すると考えられるので更に詳しく検討する必要がある。

(参考文献) 1) 斉藤隆, 後藤光亀, 他: 貯水池の熱収支予測に関する基礎研究, 平成2年度東北支部技術研究発表会, 2) 後藤光亀, 真野明: 貯水池の水温日成層に関する基礎研究, 土木学会年講(1990), 3) 水理公式集, 4) 近藤純正: 海面と大気間の運動量・顕熱・水蒸気に対する輸送係数, 国立防災科学技術センター研究報告(1974)

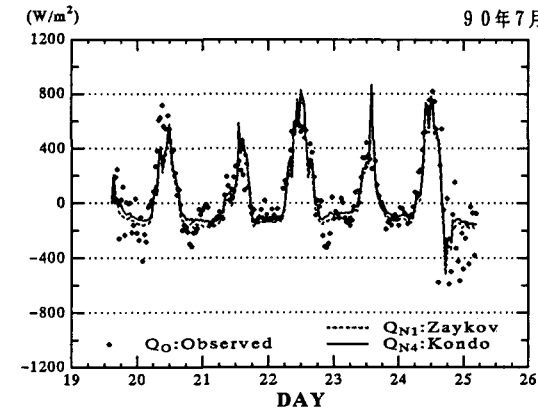


図-2 湛水面積当りの熱量変化量

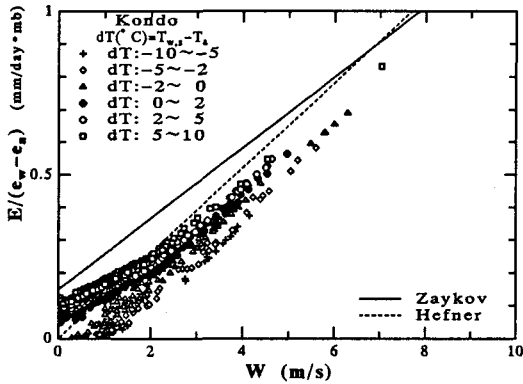


図-4 蒸発式と風速

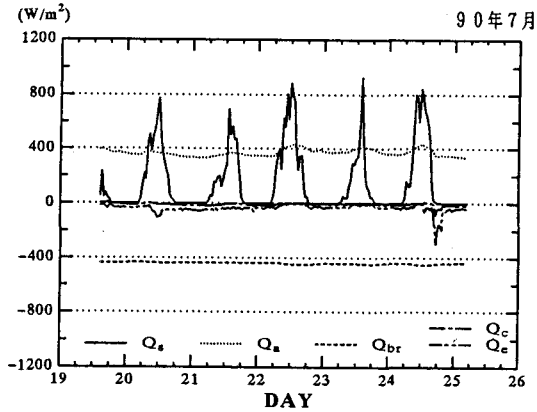


図-1 各熱要素項の経時変化

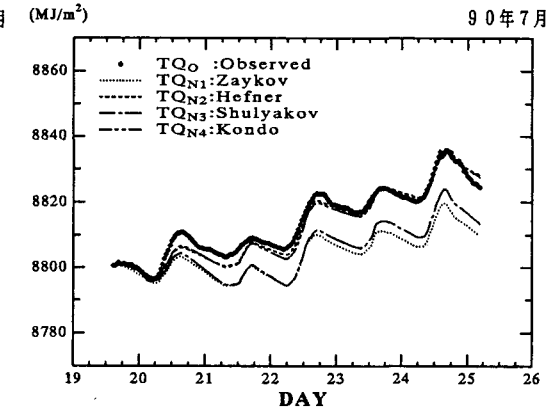


図-3 湛水面積当りの全熱量

年月日	ケース	1	2	3	4
89. 5. 15	残差平方和	2.73	2.60	2.59	2.45
~19	誤 差	-11.8	-4.0	-8.1	-2.1
89. 6. 8	残差平方和	2.68	2.70	2.89	2.34
~12	誤 差	-16.6	2.0	-23.0	0.6
89. 6. 24	残差平方和	1.26	1.16	1.19	1.10
~28	誤 差	-9.2	-1.9	-8.1	-1.9
89. 8. 1	残差平方和	0.71	0.77	0.69	0.72
~ 4	誤 差	-2.3	4.3	-1.0	4.7
90. 7. 19	残差平方和	5.75	5.66	5.80	5.56
~28	誤 差	-14.6	3.6	-11.0	-2.9
90. 8. 4	残差平方和	3.68	3.98	3.63	3.52
~11	誤 差	-10.1	9.8	-8.8	8.2

残差平方和($\times 10^6 (\text{W}/\text{m}^2)^2$), 誤差(MJ/M^2)

表-1 残差平方和と誤差