

II-115

貯水池の熱収支予測に関する基礎検討

東北工学部 後藤光亀 真野 明

○ 斉藤 隆 佐藤敦久

1. はじめに

浅い湖沼や出水直後の懸濁態栄養塩の有光層での物質循環に対する水温日成層の影響、貯水池での強制循環による水温成層破壊による水質改善の効果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。また、将来地球温暖化による湖沼の水温上昇に伴う富栄養化の増大に関しても熱収支予測を正確に行う必要がある。本報告では、貯水池での水温の日成層の挙動を評価するための自動計測結果と熱収支について報告する。

2. 水温の連続自動観測

対象とする貯水池は、長さ約400m、幅100～150m、池底は水平で、満水位水深7.2m、総貯水量33万 m^3 である。池内の観測塔で任意の深さ（10点または15点）の流速と水温分布の測定を行い、湖岸で気象観測を行った。測定項目は、2～3次元流速、水温、風向、風速、気温、日射で、各測定器の出力はA/D変換し、パソコンに記録した。各水深での測定時間は40秒間とし、1サイクルの計測時間は40分、調査期間は1989年3月～1990年12月である。

3. 熱収支式

本報告では、貯水池全体の熱収支を従来提案されている熱収支の各要素について検討した。当貯水池は定水位のときは水の流入出がほとんどなく、水面からの授受のみとした（池底での熱の授受を無視）。水面での熱収支は^{1), 2)}

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

Q_N : 正味加熱量, Q_R : 水面での吸収放射量, Q_L : 水面で失われる熱損失量, Q_s : 日射量, Q_{sr} : 短波反射量, Q_a : 長波放射量, Q_{ar} : 長波放射量, Q_{br} : 長波逆放射量, Q_c : 潜熱量, Q_c : 顕熱量, Q_R は水温と独立した項であり, Q_L は水温に依存する項である。いま、熱収支式に関し、3つのケースについて考える。a)は(1)式より長波放射の項 $\{(Q_a - Q_{ar}) - Q_{br}\}$ を削除して簡易的に熱収支を評価する場合、b)は(1)式により評価する場合、c)は長波放射の項を(2)式によって雲量と温度差の補正を行う場合である。気温と水温の差が大きい場合、接水層の気温(T_a (°K), θ_a (°C))と表面水面($T_{w,s}$ (°K), $\theta_{w,s}$ (°C))との間の補正項を考慮する。水面の射出率を ϵ とすると、水面で失われる有効長波放射の大きさは、

$$\{(Q_a - Q_{ar}) - Q_{br}\} = -\sigma T_a^4 \{1 - (c + d\sqrt{\epsilon_2})\} (1 - c' n^2) - 4\sigma T_a^3 (\theta_{w,s} - \theta_a) \quad \cdots (2)$$

$c=0.44$, $d=0.081$, ϵ_2 : 大気の水蒸気圧(mb), c' : Berliandの定数(仙台:北緯38度16分, $c'=0.67$), n : 雲量(0～1), σ : Stefan Boltzman定数($\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

4. 実験結果及び考察

図-1に、8月の0.5°C間隔の等温線及び風速(w)、日射量(s)、気温(T_a)の経時変化を示す。日成層は数mの風速があってもよく発達し、夜間の冷却で消滅する。日成層が消滅する水深は、約2mに及ぶ。当観測中10m/sを越えた場合は3～4mの水深で混合が起こる。混合後日射量が十分あれば1日で表層の成層は2～3°Cの温度差となる。このことは強制循環によって湖水を循環して水温成層を破壊しても強制循環を止めれば日成層はすぐに再形成されることを示す。図-2は、(1)式によるb)の場合の各項の大きさを示す。ただし、日射量 Q_s は実測値を用い、各水深の水温は変動があるので移動平均により平滑化し、水の流入流出による熱量はないとし、水面からの熱授受のみとした。長波逆放射量はほぼ一定値であるが、長波放射量の変動量は顕熱と同じオーダーを示す。同図より、1日の中で熱収支のうち日射量および蒸発を伴う潜熱量が日成層に大きく影響していることが知れる。図-3は、ケースb), c)の場合の熱収支式による計算値 Q_N , $Q_{w,s}$ と実測の水温分布より求めた

貯水池全体の熱量時間変化 dQ である。b)の場合、夜間の冷却を過大に評価するようである。図-4は、貯水池全体の熱量 TQ の経時変化である。ケースb)の推定値 TQ_{NX} は、夜間冷却に関係する項に誤差が大きく、実測値より小さく熱量を評価する結果となる。また、ケースa)のように $\{(Q_a - Q_{br}) - Q_{br}\}$ はほぼ同程度として熱収支式から除外し、日射、潜熱、顕熱のみを考慮することがあるが、推定した TQ_{NX} は実測値より大きく熱量を見積る結果となる。長波放射の項について(2)式により雲量および温度差の補正を行ったケースc)ではa)、b)に比較して最も適合性がよい。

5. おわりに

他の調査期間の検討結果からもa)の場合は実測値より熱量を大きく見積り、b)の場合は過小評価となる。また、c)の場合はa)、b)に比較し適合性が良いが、必ずしもベストではない。

熱収支を考慮する場合、日射量、潜熱量の評価が重要である。潜熱量には風速と水面温度、大気中の蒸気圧が影響するが、特に風速の評価によって潜熱量に大きく左右され、さらに検討を進める必要があろう。熱量の収支は他の項の定数によっても変化するが、一般に用いられる文献値¹⁾では熱収支が必ずしも十分でない。

参考文献：1)水理公式集、2)後藤、他：貯水池の水温日成層に関する基礎研究、土木学会年講(1990)

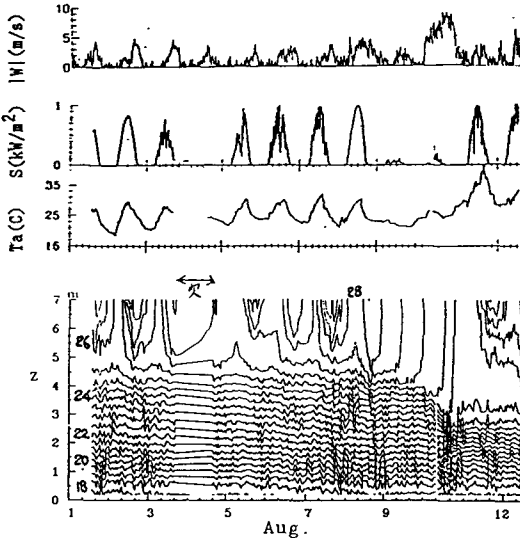


図-1 等温線図と気象データ

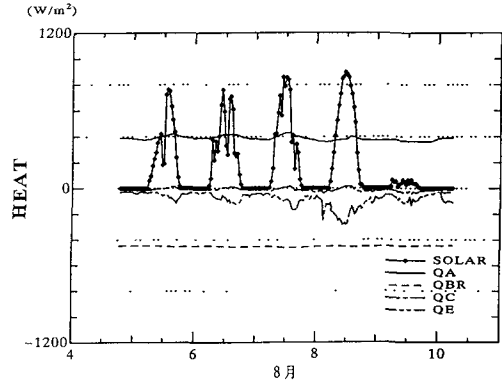


図-2 熱収支各項の変化

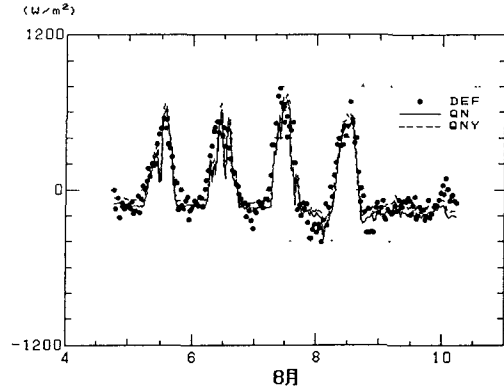


図-3 熱収支の時間変化

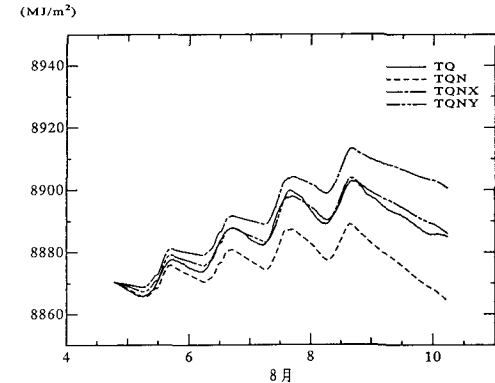


図-4 貯水池全体の熱量の変化