

II-356

小野川湖における熱収支に関する検討

日本大学大学院 学生員 ○小川 裕正

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

1.はじめに

水温は水の理化学的性質の中で最も基本となるものであり、湖沼において水温は、水の運動やその化学的性質及び生物分布に大きな影響を及ぼしている。水温の形成は、水面・大気間の熱交換、水中間における熱エネルギーの流れの影響を強く受ける。それゆえ、熱収支の解析は、水温の研究において重要な手段であると思われる。そこで湖内における水温の実測値からの貯熱量と気象条件及び移流熱の推定より算出した水面における熱収支特性を検討し、さらにこれらを踏まえ、湖内の貯熱量を求め実測値との比較・検討をした。

2.湖の水面熱収支の特性

図-1 に湖の水面における熱交換の概略図を示す。水面における熱収支は太陽からの短波放射による有効放射量、水面から大気に向かう逆放射量と大気からの放射量との差による長波放射量、気温・水温差によって大気から水面へ、あるいは水面から大気へ移動する熱を顕熱交換量、水面の水蒸気圧と大気の水蒸気圧の差によって移動する熱を潜熱交換量より求めることができる。

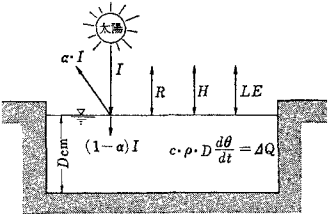


図-1 水面における熱交換

水面における熱収支量は(1)式で与える¹⁾ことができる。ここでは大気から水面への入射を正とする。また、小野川湖における

1998年6月から12月までの水面における各推定熱量を図-2に示す。この図より、顕熱量、潜熱量は季節を通じて見ても非常に小さな値であり、短波放射量の多い夏期において熱収支量は増加しており、水温成層の崩壊が始まる10月頃から有効短波放射量の減少とともに熱収支量は負の値を示している。熱収支量においては有効短波放射量並びに長波放射量が支配的な要因となっている。

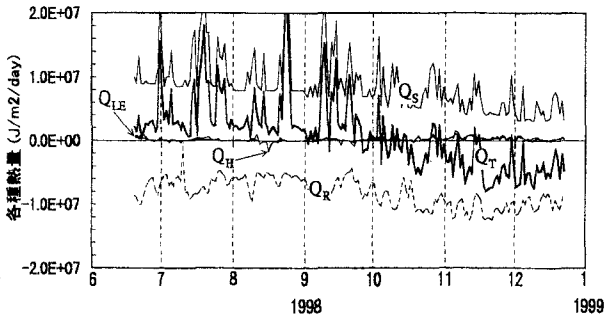


図-2 水面における推定熱収支量

$$Q_T = Q_S + Q_R + Q_H + Q_{LE} \quad (1)$$

ここで、 Q_S ：短波放射による有効日射量、 Q_R ：長波放射量、 Q_H ：顕熱輸送量、 Q_{LE} ：潜熱輸送量

それぞれ、以下の式を用いて推定した。

$$Q_S = (1 - \alpha)I \quad (2)$$

$$Q_R = \epsilon \sigma T_w^4 - \epsilon \sigma T_a^4 (0.51 + 0.066 \sqrt{E_a}) \quad (3)$$

$$Q_H = \rho_a C_p C_H (T_w - T_a) W / P \quad (4)$$

$$Q_{LE} = 0.622 \rho_a L C_E (T_w - T_a) W \quad (5)$$

ここで、 α ：水面での albedo、 I ：日射量($J/m^2/day$)、

σ ：Stefan-Boltzman 定数($=4.90 \times 10^{-8} J/m^2/day/K^4$)、 ϵ ：補正係数($=0.97$)、 E_a ：大気の水蒸気圧(hPa)、 T_a ：気温(K)、 T_w ：水面温度(K)、 ρ_a ：大気密度(Kg/m^3)、 C_H 、 C_E ：顕熱、潜熱の輸送係数($=1.1 \times 10^{-3}$)、 L ：水の蒸発潜熱($2.45 \times 10^6 J/kg$)、 E_s ：飽和水蒸気圧(hPa)、 P ：大気圧(hPa)、 W ：風速(m/s)、 C_p ：大気の比熱($=1.005 \times 10^3 J/kg/K$)である。

表-1 小野川湖における水平面日射量

緯度37° N							
月		1月	2月	3月	4月	5月	6月
($J/m^2/day$)		1.34	1.91	2.42	2.87	3.10	3.28
月		7月	8月	9月	10月	11月	12月
($J/m^2/day$)		3.14	2.90	2.56	1.95	1.53	1.19

Transportation mechanism ($\times 10^7 J/m^2/day$)

キーワード：小野川湖、熱収支、貯熱量、日射量、移流熱

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1

日本大学工学部水理学研究室 0249-56-8724(TEL,FAX)

3. 結果及び検討

(1) 支配方程式

湖沼の湖盆形態は図-1 に示したものとことなり、各深度の面積が異なるので、深度・面積の関係を考慮しなければならず1日当たりの貯熱量変化を湖沼の単位表面積あたりで計算するために次式を用いて算定を行った。

$$C \cdot \rho \int_0^B \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz = Q_T = C \cdot \rho \sum_{i=0}^B S_i \left(\frac{\Delta \theta}{\Delta t} \right)_i \frac{\Delta z}{S_0} \quad (6)$$

ここでC：水の比熱(=4.185×10³J/kg/K)、ρ：密度(kg/m³)、i：各深度、S_i：各深度の水面積(m²)、S₀：表面積(m²)、Δz：各深度間の厚さである。

また小野川湖においては流入・流出量が多くこれにともなって移流熱が生じる。移流熱を(7)式によって求めた。流入水温については94年に計測を行っており、今回は気温と水温の相関関係より流入水温を算定し流入熱量を求めた。また流出口の水温については、計測を行っていないために湖内の熱量と流入河川の熱量の差に等しい流出量を計算しその結果4m層の水温を流出口水温として計算²⁾した。移流熱がある場合の湖の熱収支式は(8)式のようになる。

$$Q_A = C \cdot \rho \frac{(T_w \cdot Q)_{in} - (T_w \cdot Q)_{out}}{S_0} \quad (7)$$

$$Q_T = Q_S + Q_R + Q_H + Q_{LE} + Q_A \quad (8)$$

ここで、T_w：水温、Q：流量、括弧の添字 in, out 流入、流出を表す。

(2) 支配方程式の小野川湖への適用

ここでは、8月における実測値と推定値の比較図を図-3に示す。この図より値にはばらつきが見られるが熱量の増減傾向は比較的類似しているものと思われる。また大きく値に差がある8月22日、23日、24日において推定値は高い値を示している。この原因として、図-4に示す正味放射量と移流熱の推定熱量より、短波放射量がこの時期において非常に高い値を示し、水温の形成に最も関与する正味放射量の値が大きくなったためだと思われる。また同様に、この時期においても移流熱も大きな値を示している。移流熱においては負の熱量は自然流域から、正の熱量は上流の検原湖からによるものが卓越している。次に図-5に式(6)による貯熱量変化と日当たりの水位差の関係を示す。これより湖内の熱量は水位の変化に非常によく対応していることがわかる。したがって、湖内の熱量は流入・流出量に大きく影響されて移流熱が支配的な要因となっていることがわかる。推定値において水位変化を無視し、常に4m層の水温を流出口水温としたため誤差が生じたためだと思われる。

4. おわりに

今後、正確な熱収支の計算を行うにあたって気象条件や河川水の流入位置、また取水口の位置など非常に多くの要素が重要であると思われる。さらに現地において詳細な熱量の測定を実施し、検討を加える必要があるとおもわれる。

【参考文献】

- 1) 新井 正・西沢 利栄 著：水温論，共立出版
- 2) 小川 裕正・長林 久夫：平成10年8月集中豪雨による小野川湖の水温成層の崩壊・回復過程の検討，東北地域災害科学研究，pp.173-176, 1999年3月

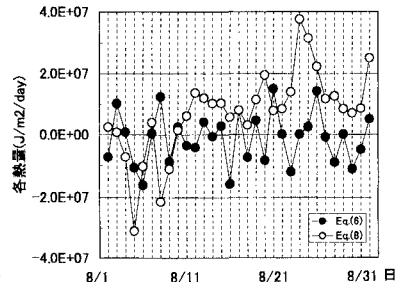


図-3 実測値と推定図の比較

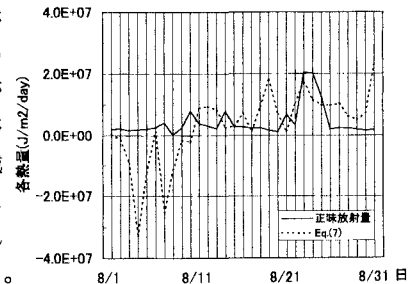


図-4 正味放射量と移流熱の推定熱量

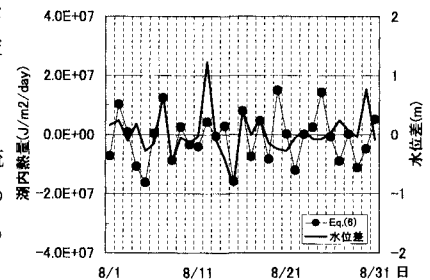


図-5 実測値と水位変化