

池田湖の熱収支に関する研究  
 — 水資源としての湖の水収支に関する研究 (3) —  
 Heat Budget of Lake Ikeda  
 — Hydrologic Budget of a Lake as a Water Resources (3) —

○伊藤 祐二\* 梶井 和朗\*\* 中川 啓\*\*  
 ○Yuji ITO, Kazuro MOMII and Kei NAKAGAWA

1. はじめに

湖は、陸域での雨水を一時貯留し、生活および農業用水などの淡水資源を確保するために重要な役割を果たし、また、周辺地域の微気象や水循環などにも影響を与える。したがって、持続的な水利用および健全な湖水環境を維持するために、湖における物質およびエネルギー循環を把握することは極めて重要である。本研究では、地域の貴重な淡水資源である池田湖の熱収支に関する基礎的知見を得るために、2004年8月1日から2005年9月30日までの期間において、著者らが実測した水温および気象データを用いて降雨と蒸発に起因する移流熱フラックスを考慮した熱収支計算を行い、池田湖の熱収支について検討を加える。

2. 熱収支算定方法

池田湖の湖面に対する熱収支は、次式で表される。

$$S_L = R_n - H - IE + c_w \rho_w P (T_p - T_L) - c_w E (T_e - T_L) \quad (1)$$

ここに、 $S_L$  : 貯熱フラックス( $\text{W m}^{-2}$ ),  $R_n$  : 正味放射フラックス( $\text{W m}^{-2}$ ),  $H$  : 顕熱フラックス( $\text{W m}^{-2}$ ),  $IE$  : 潜熱フラックス( $\text{W m}^{-2}$ ),  $c_w$  : 水の比熱( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\rho_w$  : 水の密度( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $P$  : 単位面積あたりの降雨強度( $\text{m s}^{-1}$ ),  $T_p$  : 降雨水温( $\text{K}$ ),  $T_L$  : 湖の代表水温( $\text{K}$ ),  $E$  : 単位面積あたりの湖面蒸発量( $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ),  $T_e$  : 蒸発水温( $\text{K}$ )である。また、式(1)の右辺第4項と第5項は、それぞれ降雨および蒸発による移流熱フラックス( $A_p$ および $A_e$ )である。

式(1)において、 $S_L$ および $T_L$ は、湖内鉛直水温分布の実測値に基づいて算定し、 $R_n$ および $P$ は、湖で得られた実測値を直接適用する。また、 $T_p = T_{dew}$ ,  $T_e = T_{ws}$ とし、 $\beta = H/IE$  とすれば、潜熱フラックス( $IE$ )は、次式で表される。

$$IE = \frac{R_n - S_L + c_w \rho_w P (T_{dew} - T_L)}{\beta + 1 + \frac{c_w}{l} (T_{ws} - T_L)} \quad (2)$$

ここに、 $T_{dew}$  : 露点温度( $\text{K}$ ),  $T_{ws}$  : 湖面水温( $\text{K}$ ),  $\beta$  : ポーエン比である。また、本研究で用いるペンマン式およびプリーストリー・テラー式(P.T.式)は、それぞれ次式で表される。

Penman equation 
$$IE = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - S_L) + \frac{\gamma l}{\Delta + \gamma} \times 0.26(1 + 0.54u_2)(e_{asat} - e_a) \quad (3)$$

Priestley-Taylor equation 
$$IE = 1.26 \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - S_L) \quad (4)$$

ここに、 $\Delta$  : 温度飽和水蒸気圧曲線の勾配( $\text{hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  : 乾湿計定数( $\text{hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $l$  : 水の気化の潜熱( $\text{J kg}^{-1}$ ),  $u_2$  : 高度2mでの風速( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_{asat}$  : 大気の水蒸気飽和蒸気圧( $\text{hPa}$ ),  $e_a$  : 大気の水蒸気圧( $\text{hPa}$ )である。

---

\*鹿児島大学大学院連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University  
 \*\*鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University  
 キーワード : 熱収支, エネルギー循環, 気象環境, 水資源保全

### 3. 結果と考察

Fig.1は、2004年8月1日から2005年9月30日までの期間における池田湖の熱収支の月平均値を示す。

Fig.1より、降雨および蒸発による移流熱フラックス( $A_p$ および $A_e$ )が池田湖の熱収支に及ぼす影響は小さい。貯熱フラックス( $S_L$ )については、正味放射フラックス( $R_n$ )が大きい3月から9月の期間で湖は受熱( $S_L > 0$ )し、逆に正味放射フラックスが小さい10月から2月の期間では、顕熱( $H$ )および潜熱フラックス( $LE$ )によって湖から大気への放熱( $S_L < 0$ )が生じている。

Fig.2は、湖面水温( $T_{ws}$ )と気温( $T_a$ )の差( $\Delta T$ )、湖面の飽和水蒸気圧( $e_{ws}$ )と大気の水蒸気圧( $e_a$ )の差( $\Delta e$ )およびボーエン比( $\beta$ )の月平均値を示しており、顕熱および潜熱フラックスは、それぞれ温度差と水蒸気圧差の変動パターンと概ね一致している。潜熱フラックスについて、日本の水深の深い湖における一般的な季節変化は、春と夏に小さく、秋と冬に大きい<sup>1)</sup>。水深の深い池田湖においても、これとほぼ同様の傾向を示している。また、Fig.2より、池田湖のボーエン比の年平均値は0.18であり、十和田湖(0.58)および霞ヶ浦(0.27)の値<sup>1)</sup>よりも小さい。これは、ボーエン比の気温依存性により、2つの湖よりも温暖な地域に位置する池田湖での顕熱フラックスが、比較的小さいことに起因していると考えられる。

Fig.3は、式(3)において貯熱フラックスを考慮しない場合および式(3)と式(4)によって算定した潜熱フラックスと式(2)のボーエン比法に基づいて算定した潜熱フラックスをそれぞれ示している。ペンマン法による潜熱フラックスについて、貯熱フラックスを考慮しない場合は、ボーエン比法による季節変化の傾向と大きく異なっている。一方、貯熱フラックスを考慮した場合においては、両者の変動パターンはよく一致している。ただし、この場合においては、期間平均で約18%ボーエン比法の値を過大評価している。これに対して、P.T.式による潜熱フラックスは、ボーエン比法の値とよく一致しており、放射および湖水温の鉛直分布のデータが得られれば、式(4)のP.T.式に基づいて池田湖の潜熱フラックスは推定可能である。

### 4. おわりに

本研究では、池田湖の熱収支の季節変化について、著者らが収集した現地観測データに基づいて検討を行った。その結果、移流熱フラックスが池田湖の熱収支に及ぼす影響は小さく、温暖な地域に位置する池田湖では、ボーエン比が小さい。また、放射および湖水温の鉛直分布のデータが得られれば、プリーストリー・テラー式によって、池田湖の潜熱フラックスは推定可能である。

参考文献 1)近藤純正(1994)：水環境の気象学，朝倉書店。

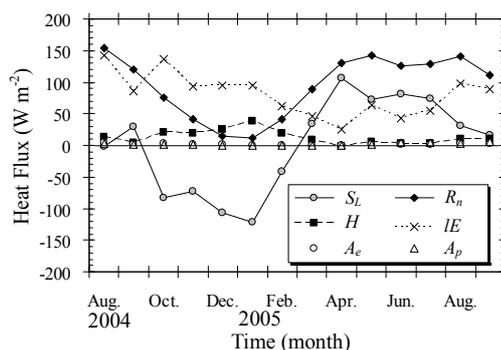


Fig.1 池田湖の月平均の熱収支  
Monthly averaged heat budget of Lake Ikeda

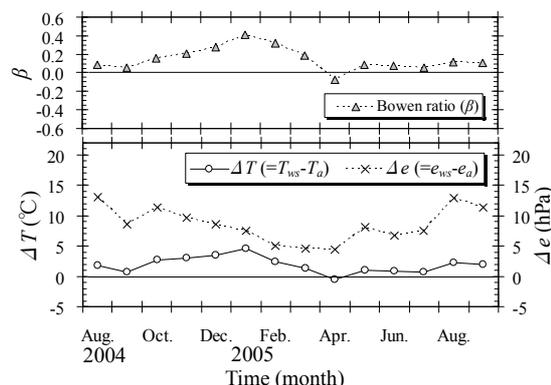


Fig.2 温度差と水蒸気圧差およびボーエン比の月平均値  
Monthly averaged difference temperature, difference vapor pressure and Bowen ratio

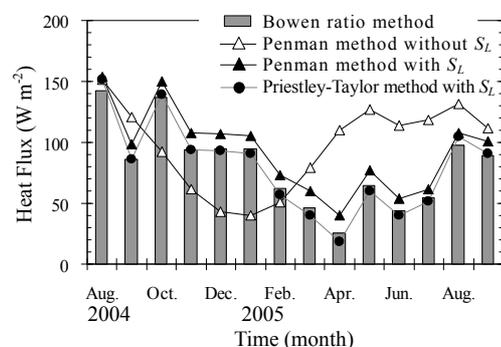


Fig.3 潜熱フラックスの月平均値の比較  
Comparison of monthly averaged latent heat fluxes