

気象変化が深い湖の水温に及ぼす影響 Effects of Changes in Meteorological Conditions on Water Temperature in a Deep Lake

○伊藤 祐二* 梶井 和朗**
○Yuji ITO* and Kazuro MOMII**

1. はじめに

湖の物質循環や生物活動に影響を及ぼす湖水温の形成機構を解明することは、湖の水環境を保全・管理するうえで重要である。湖底での熱輸送が無視できる深い湖の場合、水温は湖面での熱収支によって特徴づけられる。しかし、熱収支は多様な気象条件の中で時間的に変化することから、気象変化が湖水温に及ぼす影響を現地観測に基づいて評価するのは困難である。よって、本研究では、深い湖として知られる鹿児島県の池田湖を対象に、著者が構築した水温-熱収支解析モデル¹⁾を用いて、1つの気象要素の変化に対する水温と熱収支の感度解析を実施し、気象変化が深い湖の水温に及ぼす影響について検討した。

2. 解析方法

本研究では、解析する気象要素を日射量 R_s 、気温 T_a 、相対湿度RH、風速 u の4要素とし、解析期間を1981～2005年の25年間とした。感度解析では、まず日射量と大気放射量の推定値²⁾、ならびに池田湖と周辺の観測所で得た気象観測値を日平均で整理し、25年間の気象データセットを作成した。そのデータセットと初期鉛直水温分布の実測値とをモデルに与え、湖面から湖底（水深233 m）までの1 m間隔深度の水温 $T_w (= T_w(z, t); z$ は水深, t は時間)、湖面における正味放射量 R_n 、顕熱量 H 、潜熱量 IE 、貯熱量 G の日平均値を計算した。その際、各計算値を C_x とし、添え字 x によって各要素を区別した。次に、初期鉛直水温分布の実測値と解析の全期間で R_s のみを一律に10%増加させた気象データセットとをモデルに与え、 T_w 、 R_n 、 H 、 IE 、 G の日平均値をシミュレートした。この場合、各シミュレーション値を S_x とした。 C_x と S_x により、 R_s が10%増加した場合の T_w 、 R_n 、 H 、 IE 、 G の変化 δ_x を、次式で評価した。

$$\delta_x = S_x - C_x \quad (1)$$

また、 T_a 、RH、 u についても、各要素のみを一律に10%増加させた場合の S_x をそれぞれシミュレートし、式(1)によって δ_x を計算した。一方、気象要素を10%減少させた場合についても、上述と同様の解析を行った。

3. 結果と考察

気象要素が10%増加した場合（Fig. 1b～e）、風速が増加した場合の湖面付近を除けば、他の全深度で水温の上昇が認められた。貯熱量から評価した湖の加熱効果は、気温が上昇した場合に最も大きく、次いで風速、日射量、相対湿度の順であった。また、気象要素が10%減少した場合の δ_x は、気象要素が10%増加した場合の δ_x と異符号となるだけで（Table 1）、その大きさや経時変動に大きな差異は認められなかった。よって、以下では、検討した気象4要素の中の1要素が10%増加した場合の結果を、各気象要素別に示すことにする。

日射量が増加した場合、水温は最大で4～5月の湖面において0.9°C上昇した（Fig. 1b）。また、正味放射量は平均で12.6 W m⁻²増加し（Table 1）、それは気象4要素の解析値の中で

*九州大学生物環境調節センター Biotron Institute, Kyushu University

**鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University

キーワード：湖、水温、熱収支、気象変化、数値計算、感度解析

最大の加熱効果を示した．しかし，一方では蒸発に伴う潜熱を増大させ，また潜熱量ほどではないものの，湖面-大気間の温度差に基づく顕熱量も増加したため（Table 1），両者による湖の冷却効果により，湖水の昇温は気温や風速の場合に比べて抑制されたと考えられる．

気温が湖面から水深20 m付近の水温に及ぼす影響は最も大きかった（Fig. 1c）．これは，主に気温の上昇によって増加した大気放射量（平均で3.8%の増加）の多くが水面で吸収³⁾されたためであると考えられる．

相対湿度が湖水温に及ぼす影響は日射量の場合と同等であり，その10%の上昇によって湖面水温は1.0°C上昇した（Fig. 1d）．相対湿度が高くなると，大気の水蒸気圧が上昇するため潜熱量が減少した（Table 1）．この気化潜熱の減少は，湖水の冷却効果を抑制し，湖面水温の上昇の要因となった．その一方で，湖面水温が上昇すると，湖面-大気間の温度差が拡大し，顕熱量が増加した（Table 1）．湖の加熱効果が最も小さかったのは，潜熱量の減少による加熱効果が，増加した顕熱量による冷却効果によって相殺されたためである．

風速が10%増加した場合，湖面水温は最大で0.6°C低下し，下層の水温は水深20 m付近において最大で約2°C上昇した（Fig. 1e）．このような温度変化は，風速が増すことで促進された湖水の鉛直混合によって誘導された．鉛直混合により，湖面付近の比較的暖かい水が下方へ運ばれ，逆に下層の低温水が湖面付近に輸送されたことで湖水の貯熱効果が増進したと考えられる．この現象は，池田湖が温められる4～9月（Fig. 1a参照）に顕著となり，この期間の貯熱により湖の加熱効果が増大したと考えられる．

4. おわりに

本研究では，気象変化が池田湖の水温に及ぼす影響を明らかにするために，水温の実測値との比較によってその妥当性が確認された数理モデルを用い，気象変化に対する水温と熱収支の感度解析を実施した．得られた解析結果は，池田湖以外の湖には直接適用できないものの，池田湖と同様の深い湖における水温の形成機構の評価に有用であると考えられる．

参考文献 1) Momii, K. and Ito, Y. (2008) : Journal of Hydrology, **361**, 362–370. 2) 靱井和朗ら(2002) : 鹿児島大学農学部学術報告, **52**, 1–8. 3) 近藤純正(1994) : 水環境の気象学, 朝倉書店, 163–167.

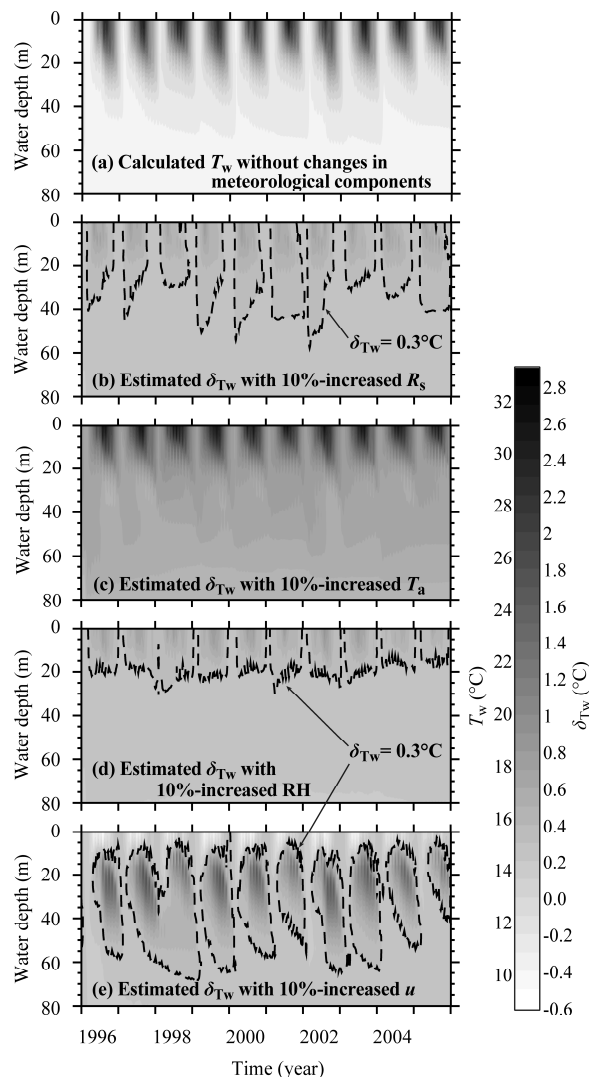


Fig. 1 日射量 R_s ，気温 T_a ，相対湿度RH，風速 u の10%の増加が池田湖の水温に及ぼす影響（解析した最後の10年間の結果）

Effects of the 10%-increased solar radiation R_s , air temperature T_a , relative humidity RH, and wind speed u on the water temperature of Lake Ikeda (The figures show the analysis results for the last 10 years in 1981-2005.)

Table 1 気象要素の10%の変化が熱収支に及ぼす影響
Effects of the 10%-changed meteorological components on the heat budget

10%-changed meteorological component	δ_{Rn} (W m ⁻²)	δ_H (W m ⁻²)	δ_{LE} (W m ⁻²)	δ_G (W m ⁻²)
R_s	12.6 (-12.4)	3.0 (-3.0)	9.4 (-9.2)	0.1 (-0.2)
T_a	3.4 (-3.0)	-1.0 (1.0)	4.1 (-3.8)	0.2 (-0.3)
RH	0.0 (-0.2)	3.6 (-3.3)	-3.7 (3.2)	0.1 (-0.1)
u	0.4 (-0.3)	-0.1 (0.1)	0.4 (-0.3)	0.1 (0.0)

The presented values are an arithmetic mean of daily data analyzed for 1982-2005. The analysis results using the 10%-decreased meteorological components are stated in the parentheses.