

裏磐梯湖沼群の水温変動

渡邊 明・鈴木悠也（福島大学・共生システム理工学研究科）

要 旨

裏磐梯湖沼群が位置する福島県耶麻郡北塩原村の気象観測所の平年値では、平均気温の平年値が7.5℃、最寒月の月平均気温は1月で-4.4℃、最暖月の月平均気温は8月で20.5℃となっている。降水量の平年値は年降水量が1826.1mmで最多雨月が7月で245.6mm、最少雨月が2月で112.5mmである。こうした観測値から、一般的な気候区分としては冷帯湿潤気候区（Df）に位置している。しかし、温暖化の進行で、今世紀末までに最大8℃の上昇量が推定され、湖沼の表面水温も、6.6℃から4.4℃程度の上昇が推定された。100年スケールでは気候帯が変更する可能性がある。こうした観点から、ここでは湖沼群の水温と気温の相互関係を明らかにすることを目的とし、2012年10月1日から2014年8月10日の期間の1時間毎の水温観測を実施し、その変動の特徴と気温との関係を解析した。

I. はじめに

裏磐梯湖沼群が位置する福島県耶麻郡北塩原村の気象観測地点の平年値（1981年から2010年までの30年間の平均値）では、平均気温の平年値が7.5℃、最寒月の月平均気温は1月で-4.4℃、最暖月の月平均気温は8月で20.5℃となっている。降水量の平年値は年降水量が1826.1mmで最多雨月が7月で245.6mm、最少雨月が2月で112.5mmである。こうした観測値から、一般的な気候区分としては冷帯湿潤気候区（Df）に位置している。しかし、温暖化の進行で、最寒月の平均気温が-3℃以上になれば温帯温暖湿潤気候区に位置するような地域である。1月の平均気温はこれまで0.8℃/100年の割合で上昇しており、100年スケールでは気候帯が変更する地域でもある。こうした地域に位置する五色沼湖沼群の水温も当然変化しており、ここでは、湖沼群の水温の相互関係と気温との関係を明らかにすることを目的とし、2012年10月1日から2014年8月10日の期間の1時間毎の観測値を用いて検討した。

五色沼湖沼群の水温変動と、気温との関係については、すでに渡邊ほか（2013,2014）が2012年10月から2013年10月までの観測値を用いて報

告しており、顕著な気温上昇と、冬季の降雪量の減少を指摘している。また、こうした高所に位置しない琵琶湖でも同様な昇温傾向があることを、Naka(1973)やHirata et al.(2011)が指摘している。特に、琵琶湖では100年間で表面水温が1.5℃、深層でも1.2℃の昇温を示し、1990年以降に急激な昇温があったことを指摘している。渡邊ほか（2014）が示した五色沼湖沼群の水温変動も約1.5℃で、高所でも琵琶湖などと同様な気温変動があることを示している。湖沼水温の変動は当然湖沼内生態系の環境にも影響する。

今回はさらに1年間湖水温と湖沼群内の気温を計測したので、各湖沼群の水温変動の特徴と気温との関係を検証することを目的とした。

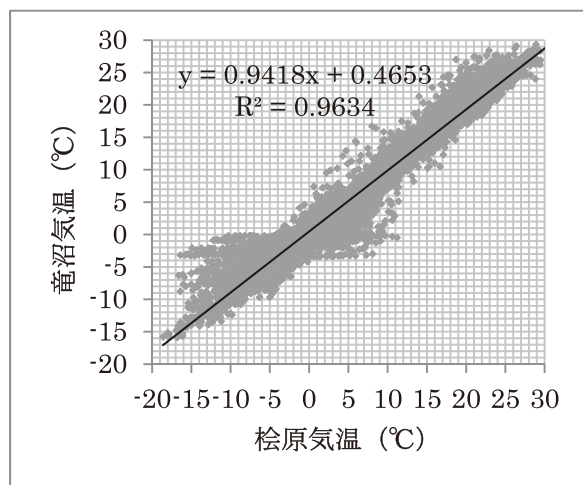
II. 観測方法

水温観測は、各湖沼岸に温度データロガ（FUSO-8828）を設置し、湖沼表面に浮かす形で1時間毎の観測を実施した。温度データロガは基本的に防水性のものを使用しているが、湖沼に浮かしておくことと直達日射を受けることから、ロガ自体をアルミホイルでカバーし、その上からビニールでシールドする形で観測を行った。このため時間

応答が遅くなるが、1時間間隔の気温観測では時間応答の遅れは大きな誤差にはつながらないことを、1分間隔観測や10分間隔の観測で確認してきた。観測期間は、2012年10月1日から2014年8月10日までの1年10か月である。なお、湖沼群を代表する気温としては、五色沼湖沼群のほぼ中央に位置する竜沼西部の林内1.5mの高さ（海拔813m）に同様の温度データロガを設置し、観測を行った。

Ⅲ. 五色沼湖沼群林内の気温変化

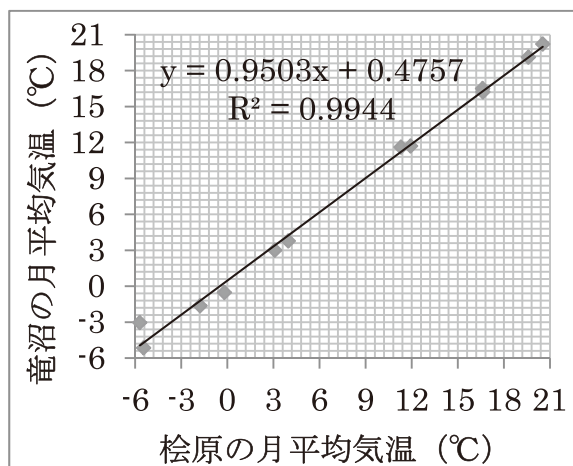
まずは五色沼を包含する林内でどのような気温変動をしているのか解明するために設置した竜沼岸の林内の気温と気象庁のAMeDAS観測地点である桧原（北緯37度43.3分，東経140度3分，標高824m）と比較することで、変動特性を解析した。



第1図 桧原と竜沼の気温の相関関係

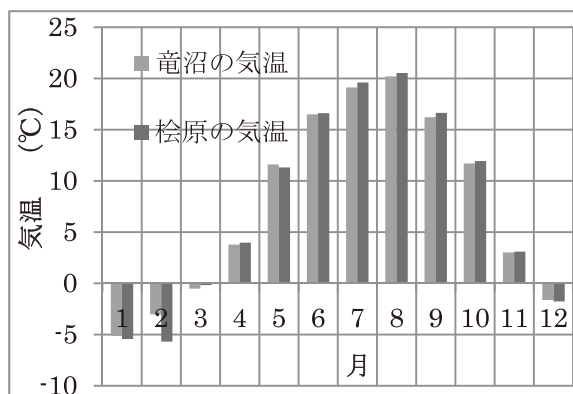
第1図は桧原と竜沼の観測期間全体の毎時の気温の相関を示したものである。相関係数0.98とt-検定の有意水準99%で有意な相関を示している。気温の分布状態をみると竜沼の気温が0℃付近で横に広がっており、桧原の気温が10℃から-10℃の間で変化しても竜沼の気温が変化しないことを示している。これは湖沼群林内の積雪に温度ロガが埋設したことで保温度されている結果と考えられる。冬季間の観測値を除くと両者

の相関はさらに向上する。



第2図 桧原と竜沼の月平均気温の相関

また、両者の月平均気温の相関を示したのが第2図である。相関係数も0.997と1に近い値を示す。その直線回帰係数も5%程度桧原より竜沼の気温が低い関係を示している。第1図の1時間値では全体的に6%程度竜沼の気温が低い関係を示し、月平均値でも、1時間値でもほぼ同様な関係にあることがわかる。



第3図 桧原と竜沼の月平均気温

第3図は2013年の桧原と竜沼の月平均気温を示したものである。前述の通り非積雪期の3月から11月までは竜沼の方の気温が低い、積雪期の12月から2月は竜沼の方が高くなっていることがわかる。すなわち、桧原の観測地点の方が標高は11mほど高いものの、平均的に5%程度桧原の気温の方が高くなっている。また、月平均気温の年較差を調べてみると、この年桧原では26.2℃

なのに対して竜沼では 25.4°C と 0.8°C 小さくなっている。すなわち桧原湖北東端よりも湖沼群林内の方が平均的に気温が低く、年較差が小さくなっていることがわかる。また、同時に求めた各月の標準偏差を調べてみると、4月から6月の湖沼表面水温の上昇期には竜沼での標準偏差が大きくなるが、そのほかの期間は桧原の方が大きくなっている。標準偏差そのものも、5月と10月にピークを持ち、夏季7月と冬季12月に極小値を有する二山型の変動を示している。

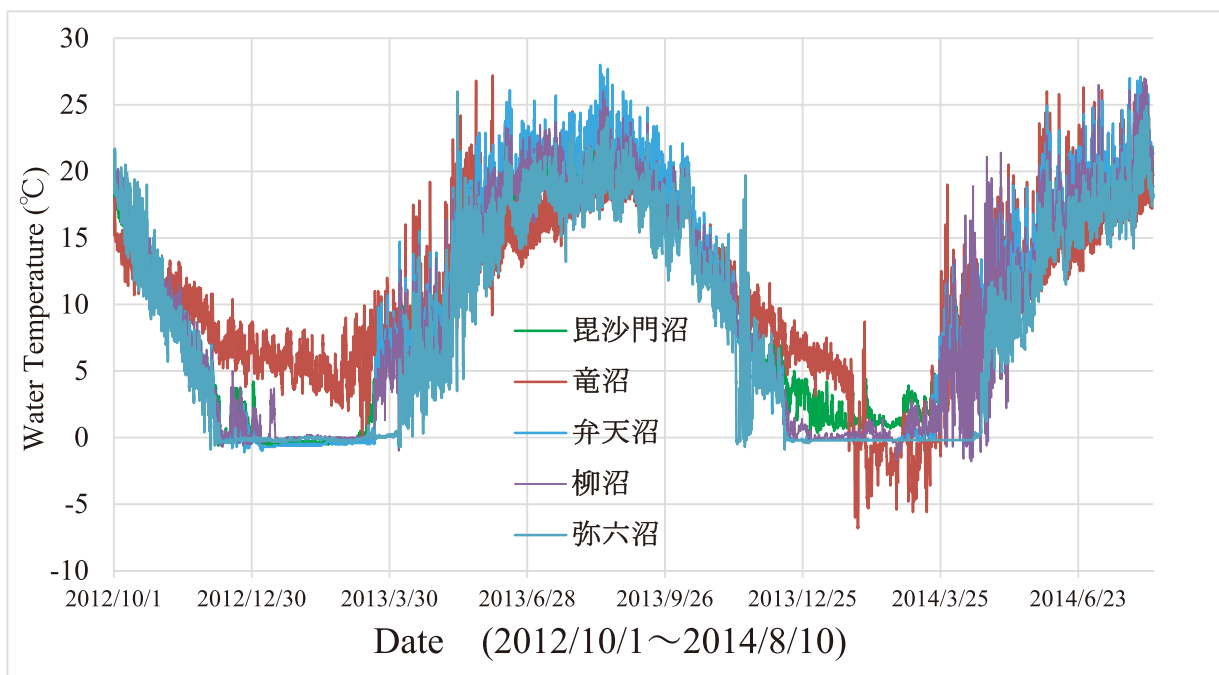
IV. 湖沼表面水温の変動特性

第4図に2012年10月1日から2014年8月10日まで欠測することなくデータの取得できた毘沙門沼、竜沼、弁天沼、柳沼、弥六沼の5つの沼の表面水温の変動を示す。観測値が得られた5つの沼の表面水温を比較すると、最も高温になるのが弁天沼で年較差が最も大きい水温変動を示す。これに対して竜沼は2012年の冬季は氷結せず、 5°C 前後で推移したものの、2013年冬季は -7°C を示し、凍結というより沼水が干上がっているのではないかと推測される水温変動をしているこ

とが分かった。また2013年冬季は毘沙門沼も 0°C 以上で推移し、他の湖沼とは異なる変動を示した。渡邊ほか(2014)は青沼での高温水の流入を指摘していたが、2014年度8月の観測では流入水が観測されたものの、青沼水温とほとんど変わらない温度を示し、採水ができなかった。こうした状況を見ると、五色沼湖沼群の流入は必ずしも一定ではなく、季節や降水量によって流入量、流入域も異なっている可能性を示した。

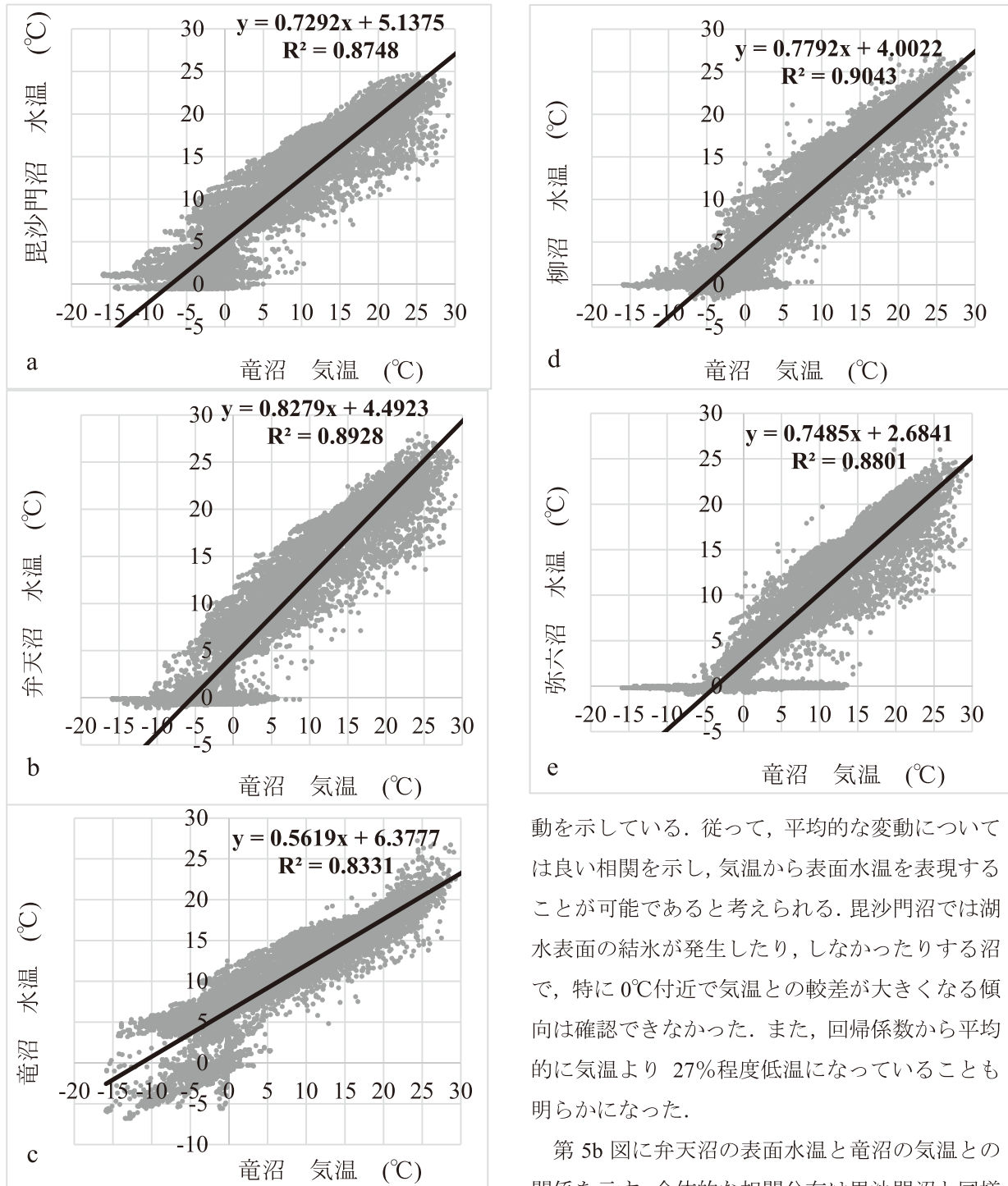
各湖沼水温の変動特性を比較するため、林内に設置した竜沼の気温との関係を求めた。竜沼の気温は、林内で、竜沼にも近いこともあり、必ずしも気象観測法に基づく AMeDAS 観測地点とは観測条件が一致しないが、積雪の影響を除けばほぼ AMeDAS 観測地点と同様な環境として議論できるデータであることが分かった。そこで、竜沼の気温をもとにそれぞれの湖沼表面水温がどのように変動しているかを見るため、竜沼の気温との相関を見たのが第5図である。

第5a図は竜沼の気温に対する毘沙門沼の表面水温の変動を示したものである。相関係数は0.94と優位な相関を示すものの、竜沼の気温に対する



第4図 裏磐梯湖沼群の表面水温の変動

それぞれ1時間ごとの変動を示す



第 5 図 竜沼の気温と五色沼湖沼群の表面水溫との相関関係

(a: 毘沙門沼, b: 弁天沼, c: 竜沼, d: 柳沼, e: 弥六沼を表す)

表面水溫の変動幅は±5°C以上の幅を有していることが分かる。逆に、同じ水溫でも気温変動の幅は±10°C程度を示し、一意的に気温から表面水溫を表現することは困難であるが、これは1時間ごとの気温であり、変動幅は気温や表面水溫の日変

動を示している。従って、平均的な変動については良い相関を示し、気温から表面水溫を表現することが可能であると考えられる。毘沙門沼では湖水表面の結氷が発生したり、しなかったりする沼で、特に0°C付近で気温との較差が大きくなる傾向は確認できなかった。また、回帰係数から平均的に気温より27%程度低温になっていることも明らかになった。

第5b図に弁天沼の表面水溫と竜沼の気温との関係を示す。全体的な相関分布は毘沙門沼と同様な関係を示すが、同じ気温に対する変動幅がやや小さくなっている。しかし、相関係数は0.94と毘沙門と同じ値を有している。また、回帰係数による傾きは0.89を示し、毘沙門沼より気温に近い値を示すことがわかる。これは、毘沙門沼の水量が多く、熱容量が大きいのにに対して、相対的に水量が少なく、熱容量が小さいためと考えられる。

さらに、第5c図に示した竜沼では、近くで気

温を測定している割には前述の二つの沼より相関が悪く、0.91 という相関係数を示している。回帰係数も表面水温が測定できた 5 つの沼では最も小さい。これは 2012 年度の冬に凍結しなかったこと、2013 年冬は水がなくなったことなどで 0°C 以下で変動していることが大きな要因で、0°C 以上の気温では他の沼と同様な水温変動をしている。

第 5d 図に柳沼の表面水温と竜沼の気温との関係を示す。相関係数は 0.95 と 5 つの沼の中では最も良い相関を示す。観測した二冬の表面水温変動をみると、0°C 以下にはならないが冬季でも 0°C 以上になっている時もあり、冬季の間でも凍結・融解が生じている沼と考えられる。回帰係数では 0.78 と弁天沼の次に高い値を示し、気温と近い変動を示す沼と考えられる。

第 5e 図に弥六沼の表面水温と竜沼の気温との関係を示す。相関係数は竜沼や弁天沼と同様に 0.94 と有意な相関を示すが、冬季 0°C での気温変動幅が最も大きくなっている。すなわち、弥六沼の表面水温は 0°C で保温されているが、気温は大きく変動していることを示すもので、冬季積雪内に温度センサーが覆われていることを示すものである。

以上、継続して観測ができた五つの沼の表面水温変動と湖沼群内の気温として測定した竜沼の気温変動との関係を示したが、湖沼表面水温の変動は気温の変動と 99% 以上の有意性で良い相関を示すことが分かった。このことは五色沼湖沼群の表面水温がきわめて気温変動に影響されやすいことを示すものである。ただし、冬季の表面水温が 0°C 以下では、竜沼を除く全ての沼で 0°C 以下にはならないことが分かった。これは積雪などで保温されていることを示すものである。しかし、2013 年の冬に観測された竜沼の表面水温では唯一 0°C 以下の水温変動が観測された。第 5c 図の竜沼の 0°C 以下の気温との関係をみると、零下の表面水温と気温は全体的な気温分布と外れてい

るが、0°C 以下だけを見ると傾き 0.5 程度で直線的関係を示している。これは積雪などによる保温効果がないことを示すもので、2012 年の 0°C にならない竜沼の特性を考えると、竜沼では積雪が融解するとともに、水深が低下し、沼岸に設置した温度センサーが露出し、気温と対応した変動が出現したものと考えられる。すなわち、竜沼では高温水温の流入が比較的多いことを示した結果と考えられる。

V. まとめ

裏磐梯湖沼群の表面水温測定を 2012 年 10 月 1 日から 2014 年 8 月 10 日の間実施してきた。そのうち 1 時間ごとの観測値が取得できた 5 つの湖沼について、湖沼群内に設置した気温との関係を示すとともに、湖沼群内の気温が気象庁の AMeDAS 観測地点とどのように関連しているかを解析した。その結果、AMeDAS 観測地点と湖沼群内の気温とは、相関係数 0.98 と高い相関係数を示していることが分かった。また、湖沼表面水温と湖沼群内気温ともおよそ 0.94 程度の相関を示し、平均気温の変動については気象観測から水温変動を推定することができる。すなわち、毘沙門沼の平均的な表面水温 (T_b) は、前述の結果から

$$T_b = 0.687T_h + 5.304$$

ここで、 T_h は気象庁 AMeDAS 観測地点桧原の気温を示す。以下同様に、弁天沼の表面水温 (T_v) は

$$T_v = 0.780T_h + 4.696$$

竜沼の表面水温 (T_l) は

$$T_l = 0.529T_h + 6.459$$

柳沼の表面水温 (T_y) は

$$T_y = 0.734T_h + 4.235$$

弥六沼の表面水温 (T_r) は

$$T_r = 0.705T_h + 2.993$$

と表現することができる。当然、回帰定数は桧原の気温が 0°C の時の各沼の表面水温を表現してい

るもので、もっとも高温なのは、冬季凍結していない竜沼であることがわかる。また、竜沼を除いて回帰係数が最も小さい毘沙門沼では熱容量が大きいことを示しているものと考えられる。

IPCC 第 5 次報告 (Thomas et al.2013) は、1880 年から 2012 年までに地球の平均気温が 0.85°C 上昇したことを指摘するとともに、2080 年から 2100 年までの地球の平均気温の上昇量として、最大 4.8°C の上昇を推定している。地球の平均気温 T_m に対する桧原の気温 T_h もほぼ直線関係を有し、

$$T_h = 2.85T_m - 33.47$$

と表現することができる。ここで T_m 4.8°C の上昇量は、おおよそ毘沙門沼の年平均水温 10.8°C を 18.8°C に上昇することを意味し、温暖化の影響は大きい。今後こうした影響に対する生態系の影響についても調査検討する必要がある。また、渡邊ほか (2014) が示した通り、気温上昇に伴う降雪量の変動では、冬季平均気温が 1.3°C になると統計的には降雪量が 0 になる。8°C の上昇は冬季の平均気温がおおよそ 4°C になることを意味し、降雪のない五色沼になる可能性を示している。今後の環境変化は大きく、高温化に対応した環境保全を検討することが重要である。

引用文献

- Naka, K., 1973: Secular variation of oxygen change in the deep water of Lake Biwa, Jap. J. Limnol. Vol.34, 41-43.
- Hirata, S. H., Hayase, D., Eguchi, A., Itai, T., Nomiya, K., Isobe, T., Ishikawa, T., Kumagai, M., and Tanabe, S., 2011: Arsenic and Mn levels in Isaza during the mass mortality event in Lake Biwa, Japan Environmental Pollution, Vol.159, 2789-2796.
- Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley, 2013, Climatic change 2013 The Physical Science Basis, Cambridge Univ.1-1308.
- 渡邊 明, 酒井貴紘, 鈴木悠也, 佐藤一男, 2013 : 五色沼の水温分布と変動の特徴, 共生のシステム, Vol.14, 69-74.
- 渡邊 明, 横山和郎, 鈴木悠也, 2013 : 裏磐梯湖沼群の表面温度分布とその変動, 共生のシステム, Vol.13, 18-25.