

原著

日向神ダム湖水温の経年変動

池浦太莊、一木謙次*、竹田智和*

1962年1月～2008年2月の日向神ダム湖水温の経年変動を解析したところ、底層水温は、水温が最も低い1月～3月に0.018～0.033℃/年の割合で上昇しており、1955～2005年間の九州・山口県の冬(12～2月)の平均気温上昇率0.027℃/年とおおよそ一致していた。一方、7月～9月の底層水温は、近年、底層の冷水層が頻繁に消滅していることを反映して0.156～0.167℃/年の割合で上昇しており、九州・山口県の夏(6～8月)の平均気温上昇率0.017℃/年と比較して一桁ほど大きかった。また、表層水温は、0.021℃/年の割合で上昇していた。

気温については、日向神ダムで毎朝9時に測定した気温の年平均値が、0.032℃/年の割合で上昇しており、日向神ダムに近いアメダス黒木の年平均気温は、0.029℃/年の割合で上昇していた。

[キーワード：水温、長期変動、ダム湖、地球温暖化]

1 はじめに

日向神ダムは、福岡県八女郡黒木町の矢部川（一級河川）上流部に、1953年6月の豪雨を契機に建設された堤高79.5m、総貯水量27,900,000m³の重力式コンクリートダムで、福岡県が最初に施工・管理を行った県営ダムでもある。1960年3月に完成し1962年4月に常時満水位まで湛水した。

日向神ダム管理出張所では、ダムの維持管理の一環として、湖水の水温を1962年1月より毎月1回水深別に測定しており、40年を超える測定データが蓄積されている。なお、水温などの測定結果は、“多目的ダム管理年報（建設省河川局編集）”で公表されている。

そこで、これまで蓄積された水温データの解析を行ったところ、日向神ダムの底層水温が着実に上昇していることが分かったので報告する。

2 方法

2・1 調査地点

調査地点を図1に示す。日向神ダム管理出張所はダム堰堤から約100m地点の船上で、福岡県保健環境研究所は流木止めネット中央の筏で、ダム湖の水温調査を実施した。船上での測定地点と筏の位置は殆ど同じ（調査地点1）である。ダム湖に流入する河川水の水温調査は、矢部川源流公園（調査地点2）で実施した。気温の測定は、ダム堰堤の左岸（調査

地点3）で実施した。

2・2 調査方法

1962年1月～1994年8月の期間におけるダム湖の水温調査方法は、(株)東邦電探製 R 3-2型電気水温計（検出部コード長70m）を用い、検出部を所定の水深に降ろして測定した。R 3-2型電気水温計の測定精度は不明であるが、測定値は0.1℃まで記録されているので、±0.1℃程度と推測される。なお、測定器の故障や濁水による水位低下などのため、この間に45回の欠測（欠測率11.5%）があった。

2005年1月～2008年3月の期間におけるダム湖の水温調査方法は、(株)東邦電探製 E T-50 X型電気水温計（検出部コード長50m）を用い測定した。測定精度は±0.1℃である。なお、この期間に欠測はない。ただし、検出部コード長が50mのため、全水深が50mを超えた場合は50m地点の水温を底層水温とした。

1994年9月～2004年12月の期間におけるダム湖の水温調査方法は、測定器の故障により長期の欠測となったので、同じ地点で水質調査を実施している福岡県保健環境研究所の測定値を解析に用いる事とした。採水は、表層はバケツで、中層（全水深の1/2）と底層（湖底より1～3m上）はバンドン採水器を用いて実施し、溶存酸素計（飯島電子工業株式会社製、F-102）に付属した電気水温計（測定精度：±0.2℃）により水温を測定した。この間、1996年

福岡県保健環境研究所（〒818-0135 太宰府市大字向佐野39）

* 福岡県八女土木事務所日向神ダム管理出張所（〒834-1402 八女郡矢部村大字矢部字桑の瀬33の7）

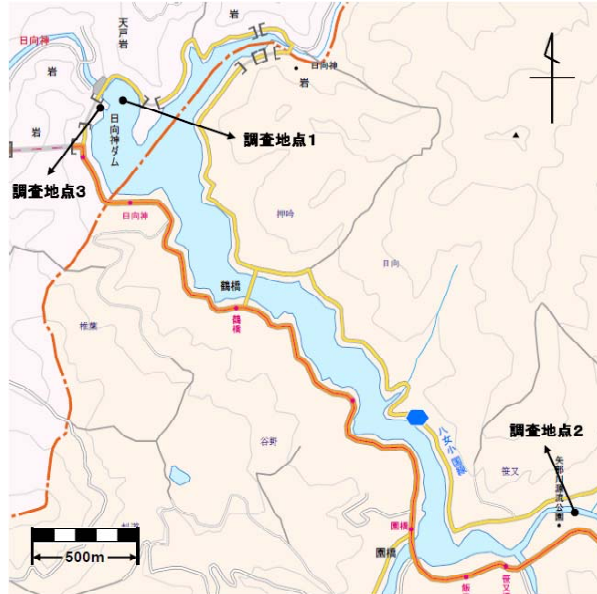


図1 調査地点

度までは6月、9月、12月、2月の年4回の調査を、1997年度より毎月1回の調査を実施した。

ダム湖に流入する河川水の水温は、1985年度より1996年度まで年4回、1997年度より毎月1回、棒状温度計ないし溶存酸素計に付属した電気水温計で測定した。

1980年1月～1987年12月の期間における気温は、ダム管理出張所横の百葉箱に設置（標高318.5m）した標準温度計により朝9時に測定した。1988年1月～1997年12月における気温は、ダム管理出張所屋上に設置（標高320.0m）した（株）小笠原計器製作所のTS-3D1型（測温感部：白金測温抵抗体JISA級、測定精度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）を用いて朝9時に測定した。1998年以降は、ダム管理出張所が移転したためパラボラアンテナの横にTS-3D1型を移設（標高324.5m）し気温を測定した。各々の測定地点は、標高が多少異なるが殆ど同じ場所である。

3 結果及び考察

3・1 底層の水温変化

底層水溫の時系列グラフを図2に示す。また、線型回帰分析により求めた相関係数と回帰係数（ $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ）を表1に示す。底層の水溫は、特に寒い年を除き 4°C を超えているので、日向神ダムは、冬の間、全層等温に近い状態で冷却が進行する温暖1回循環湖と見なす事が出来る¹⁾。温暖1回循環湖では、季節が晩冬から夏に進むに従い、水面からの日射や熱輸送により表層の水溫が上昇し、比重の軽い温水は表層に浮く形になり、表水層を形成する。表水層は風や放熱による対流

・混合が卓越するので、ほぼ等温になっている。温暖な表水層と湖底の冷水層との間には遷移層（水溫躍層）がつかられ、湖は3層に分かれる。水溫躍層は密度成層のため非常に安定で、これが堅固な間は底水層に冬の低い水溫（日向神ダムは 6°C 前後）が保持される。季節がさらに秋から冬に進み、表層水溫が底層水溫より低くなると全循環が進行する。

図2を見ると、冬季の底層水溫が1980年代後半から上昇傾向にある様に見える。また、水溫躍層が壊れ、底層水溫が 10°C を超える年が、近年増えてきていることがわかる。そのため、底層水溫は $0.088^{\circ}\text{C}/\text{年}$ とかなり高い上昇率を示している。

日向神ダムで毎朝9時に測定した気温の月平均値と水溫の月別時系列グラフを、図3に示す。1月の底層水溫は概ね $6^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、 $0.032^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の割合で上昇している。2月の底層水溫は年間で最も低い $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ の範囲に概ねあり、 $0.018^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の割合で上昇している。なお、2月の相関係数が低いのは、1972年（ 8.8°C ）と1973年（ 8.4°C ）の高温と1977年（ 3.6°C ）の低温の影響によるところが大きく、これらの年を除き（増山の棄却限界法²⁾で外れ値（5%水準）線型回帰分析を行うと相関係数は0.46（ $n=40$ ）、回帰係数は $0.024^{\circ}\text{C}/\text{年}$ （標準誤差=0.0076、 P -値=0.0031）であった。3月の底層水溫も $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ の範囲に概ねあり、2月と同様に年間で最も低い。4月の底層水溫も概ね $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ の範囲にあるが、気温の上昇につれて表層水溫は上昇しており、湖水の冷却期間が過ぎ水溫躍層が形成されていることが窺える。

5月になると底層水温は少し上昇し4℃～10℃の範囲になるが、特に1990年代以降、底層水温の上昇傾向が見られる。6月も5月と同様の傾向であるが、7月になると、底層水温が15℃を超えるような年があり、近年、その頻度が増している。そのため、回帰係数も0.17℃/年と大きくなっている。7月に急激に底層水温が上昇する原因として、梅雨に伴う豪雨の影響が考えられる。水の比重は4℃の時最も大きく、水温が高いほど比重は小さくなる。ダム湖底層の水温は6℃前後と低いと比重が重く、他方、梅雨時の河川からの流入水は水温が約20℃と高く(図4)比重が軽いため、通常は水温躍層より上に流れ込み水温躍層が乱される事は無いが、洪水時は大量の水が大きな運動エネルギーを持ってダム湖に流入するため水温躍層も乱され、冷水層に水温の高い流入水や表流水が混じり、底層の水温が上昇すると考えられる。

8月になると、7月に急激に上がった底層水温が数℃低下(1990年: 15.2℃→12.3℃、1997年: 17.8℃→14.8℃)、横ばい(1979年: 14.8℃→14.0℃)、数℃上昇(1999年: 17.1℃→19.6℃)に分かれており、その後の降水状況を反映していると考えられる。また、1980年は6.6℃→17.1℃と急激に水温が上昇しているが、この年は記録的な冷夏(8月中旬まで梅雨のような天候)で、7月下旬にまとまった雨が降ったことを反映していると考えられる。9月の時系列グラフを見ると、1988年に8.0℃→17.1℃と急激に上昇しているが、日向神ダムの西北西約15kmに位置するアメダス黒木の

データ³⁾を見ても大雨等はなかった事から、8月に湖底より5～10mの位置にあった水温躍層が一ヶ月の間に徐々に低下して湖底にまで到達し、冷水層が消失したのと思われる。10月になると、多くの年で冷水層の消失が見られ、特に調査期間後半に、冷水層の消失が頻発していることが分かる。秋の冷水層の消失は、気温の低下に伴い表水層に大規模な垂直対流が起り、冷水層を削りながら湖水の冷却が進行したため¹⁾と推測される。11月になると気温の低下に伴い表水層の水温もさらに低下するが、特に、冷水層が消失している年は全循環状態になるため、底層水温の低下が顕著に見られる。12月はさらに表水層の水温が低下し、全層等温に近い状態で冷却が進行するようになり、冬の間、この状態が継続する。

表1 底層水温の線型回帰分析結果

月	n	相関係数	回帰係数	標準誤差	P-値
1月	42	0.43	0.032	0.011	0.00426
2月	43	0.26	0.018	0.011	0.09772
3月	40	0.45	0.033	0.010	0.00333
4月	42	0.48	0.041	0.012	0.00118
5月	41	0.53	0.051	0.013	0.00040
6月	43	0.49	0.051	0.014	0.00089
7月	41	0.62	0.166	0.034	0.00002
8月	39	0.61	0.167	0.035	0.00003
9月	41	0.63	0.156	0.031	0.00001
10月	38	0.50	0.131	0.038	0.00145
11月	35	0.59	0.127	0.031	0.00022
12月	42	0.51	0.079	0.021	0.00051
全データ	487	0.65	0.088	0.009	2.83E-22

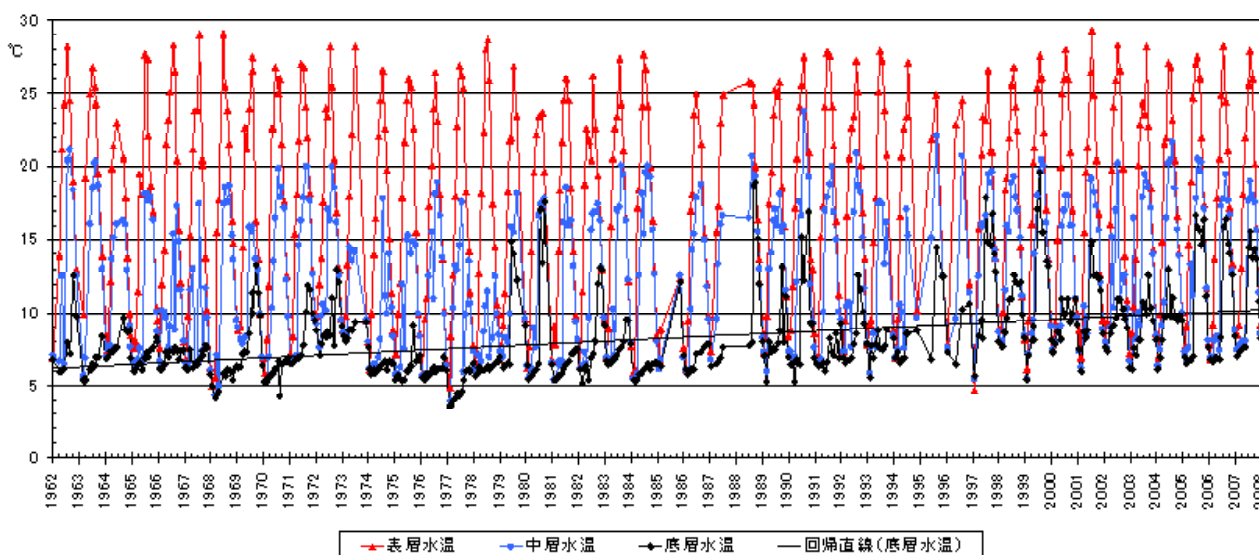
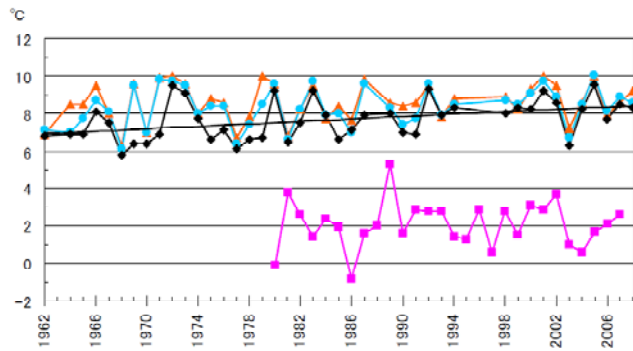
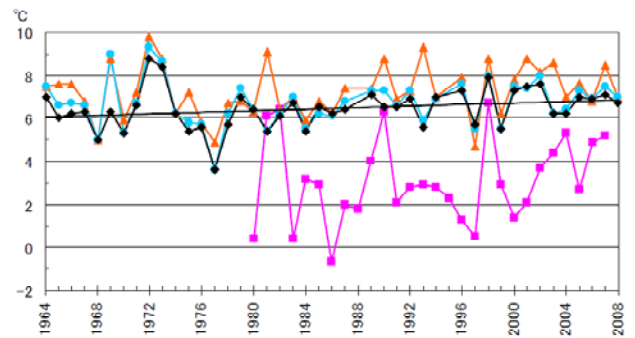


図2 底層水温の時系列グラフ

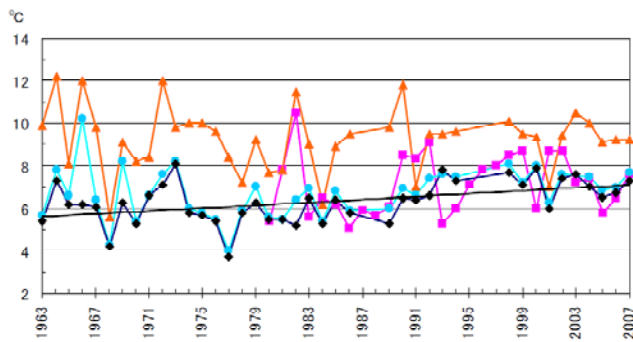
1月



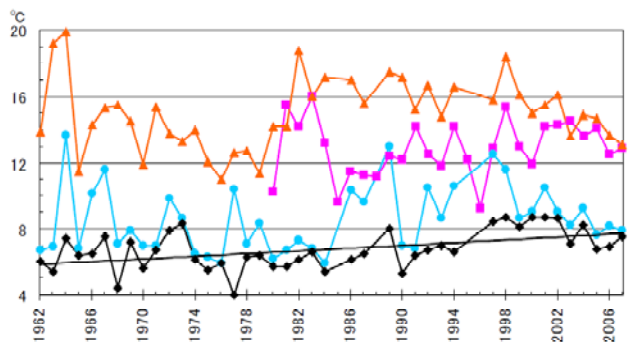
2月



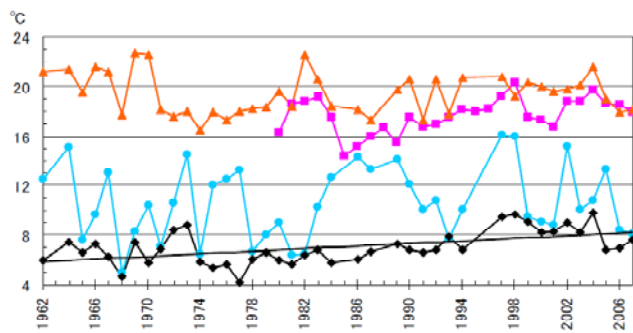
3月



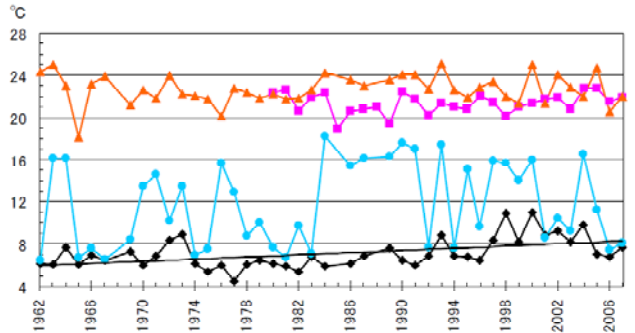
4月



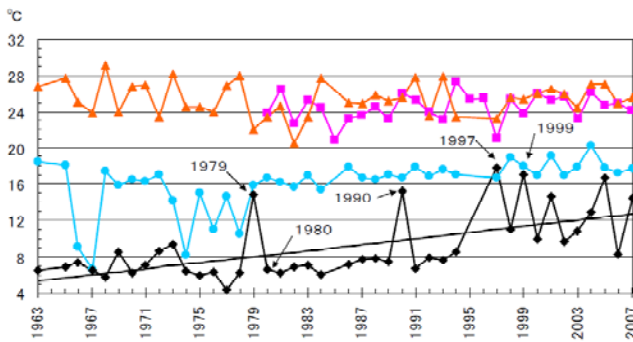
5月



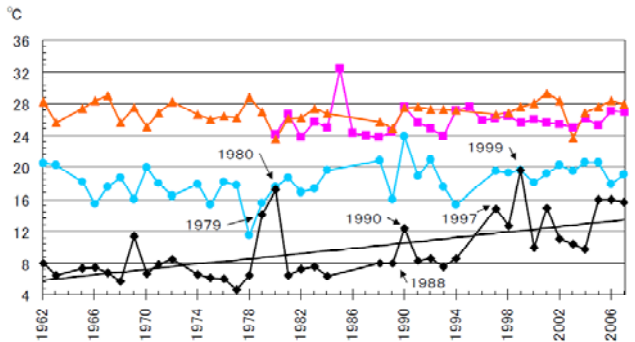
6月



7月



8月



■ 気温
 ▲ 表層水温
 ● 中層水温
 ◆ 底層水温
 — 回帰直線(底層水温)

図3-1 月別の底層水温時系列グラフ

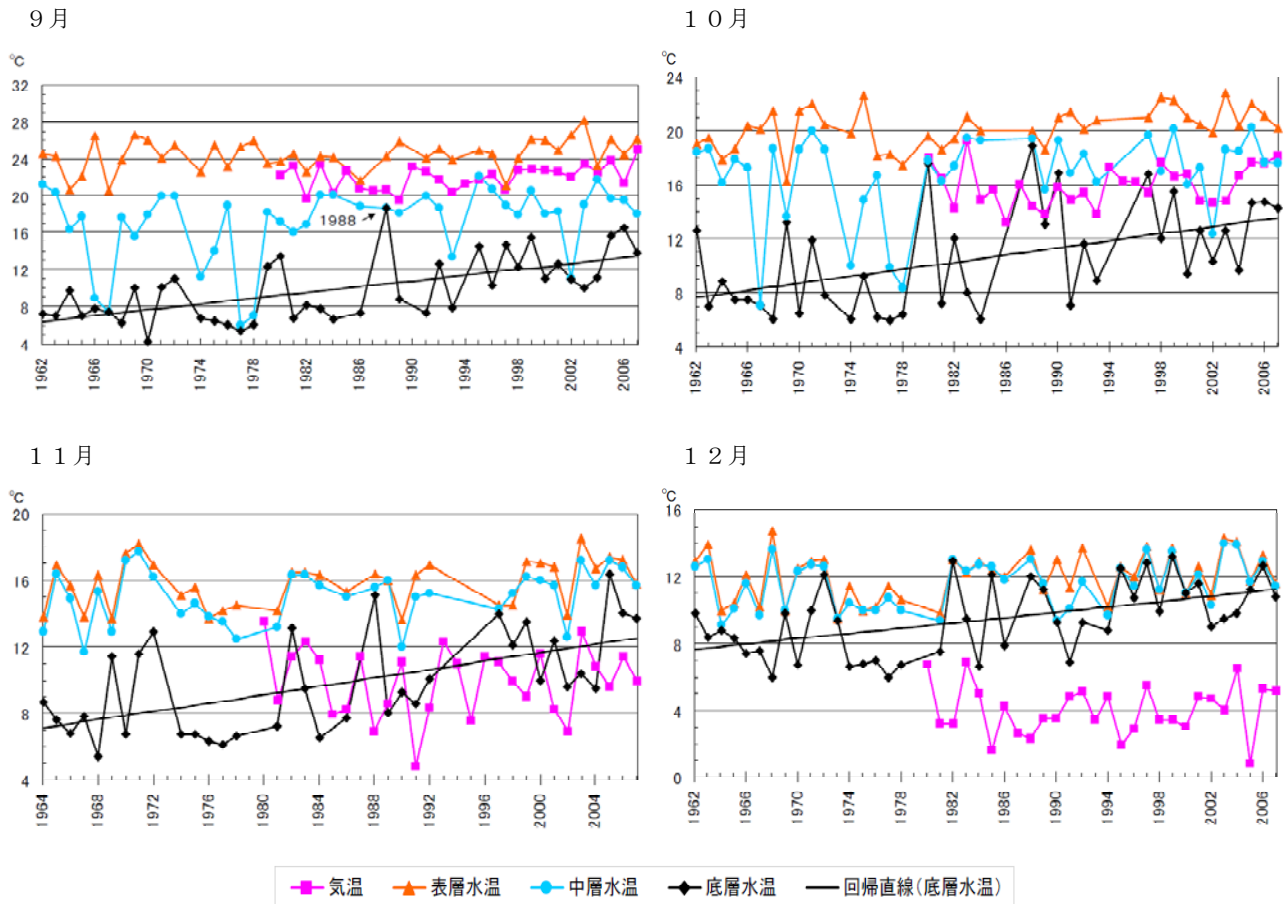


図3-2 月別の底層水温時系列グラフ

なお、琵琶湖では、2007年1月～3月に暖冬のため湖水循環が湖底まで到達出来ずに水温躍層が残り、底層が貧酸素状態になったことが報告⁴⁾されている。日向神ダムは、最大水深が約60mと琵琶湖北湖の103.6mに比べて浅く、最高貯水位の標高が300mを超えるため冬季の気温も底層水温よりかなり低く、水温躍層が冬季に残ることは当分の間起こりそうに無い。

図2に示す通り、表層水温は2月ごろに年間の最低気温を示し、7月～8月に最高気温を示す周期的な変化を示している。表層水温についても底層水温と同様の解析を行ったが、表層水温は日射、気温、風などの影響を強く受け変動幅が大きいため、長期変化傾向を見出すことは出来なかった。そこで、年間を通じて欠測の無い年の年平均値を用いて、線型回帰分析を実施した結果、相関係数0.48 (n=29)、回帰係数0.021℃/年 (標準誤差=0.0074、P-値=0.0083) を得た。

図5に表層水温の年平均値の推移を示す。

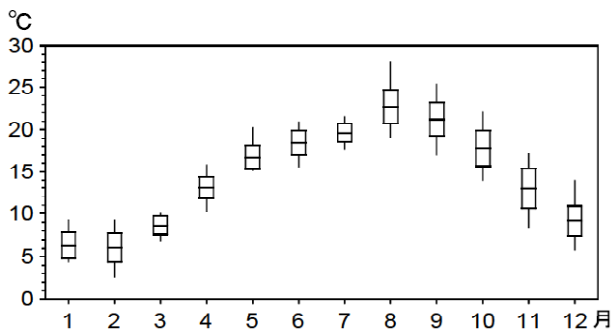


図4 流入河川水温の月別箱ひげ図 (最大値、最小値、平均値、標準偏差)

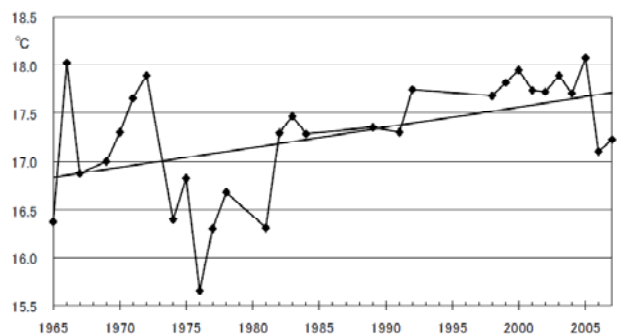


図5 表層水温年平均値の推移

3・2 表層の水温変化

3・3 気温の推移

日向神ダムで毎朝9時に測定した気温の年平均値の推移を、図6に示す。線型回帰分析の結果、相関係数0.35 (n=28)、回帰係数0.032°C/年 (標準誤差=0.016、P-値=0.065)を得た。

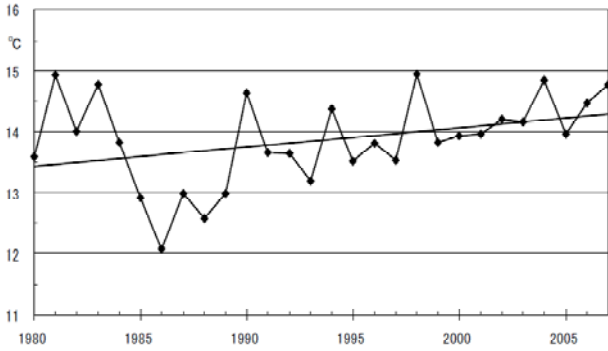


図6 毎朝9時に測定した気温の年平均値の推移 (日向神ダム)

日向神ダムは朝九時に気温測定しているが、日向神ダムに近いアメダス黒木では、毎正時の気温から求められた1978年以降の年平均気温が公表³⁾されている。そこで、アメダス黒木の1978年～2007年の年平均気温について線型回帰分析を行った結果、相関係数0.49 (n=30)、回帰係数0.029°C/年 (標準誤差=0.0096、P-値=0.0059)を得た。

アメダス黒木の年平均気温の推移を、図7に示す。

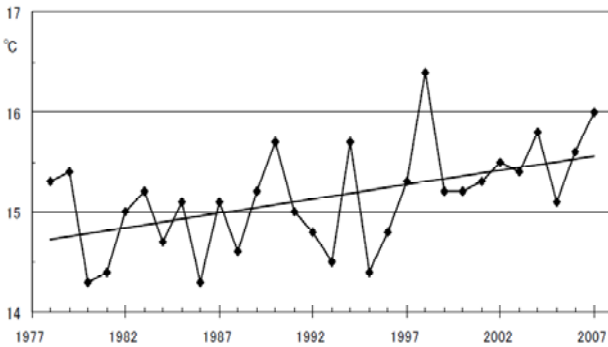


図7 年平均気温の推移 (アメダス黒木)

3・4 堆砂の状況

日向神ダム管理出張所では、水深別水温の測定時に貯水位 (水面の高さを標高で示したもの) も記録しており、湖底までの全水深も部分的に記録されている。貯水位から全水深を引くことにより湖底の標高を知ることが出来るので、調査地点における堆砂の状況を大凡把握する事が出来る。

図4に示す通り、調査地点における湖底の標高は洪

水などによる流砂の堆積と流失による変動が大きいものの、調査開始間もない時期は240m前後であったのが1985年頃には245m強、最近では250m前後であり、調査期間中に湖底の標高が10mほど上昇 (10mほど堆砂) している事が分かる。そのため、調査開始間もない時期には満水時の全水深が70m前後であったが、最近では60m前後になっており、底層の冷水層消滅に影響していると思われる。

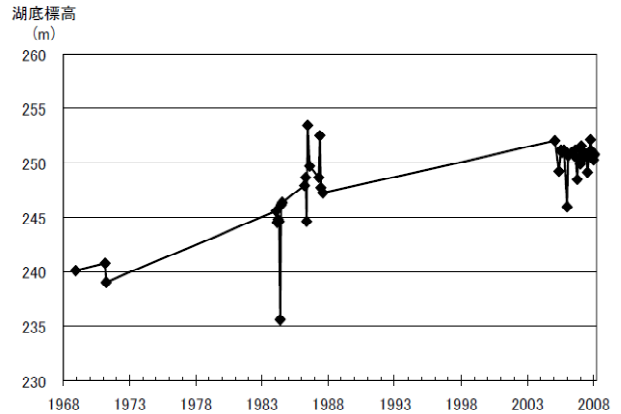


図8 調査地点における湖底標高の推移

4 まとめ

日向神ダムの底層水温は、水温が最も低い1月～3月に0.018～0.033°C/年の割合で上昇していた。異常気象レポート九州・山口県版2006によれば、1955～2005年の間に九州・山口県の冬 (12～2月) の平均気温は0.027°C/年の割合で上昇⁵⁾しており、日向神ダム底層水温の長期変化傾向とおおよそ一致している。冬季の日向神ダムは、全層等温に近い非常に熱容量の大きな水塊と見なすことが出来、特に底層は日射などによる短期的な温度変化を受けにくい大きな時定数を持っているため、このように小さな水温変化を検出出来たと考えられる。

7月～9月の底層水温は、近年、底層の冷水層が頻りに消滅していることを反映して0.156～0.167°C/年の割合で上昇しており、九州・山口県の夏 (6～8月) の平均気温上昇率0.017°C/年⁵⁾と比較して一桁ほど大きい。底層の冷水層が早い時期に消滅する年が増加している原因として、日向神ダムの全水深が堆砂のため調査期間中に約10m浅くなったこと、また、日降水量100mm以上の6～7月の日数⁶⁾と時間降水量が50mm以上の短時間強雨の発生回数が増加している⁷⁾ことが考えられる。

表層水温については、年平均値を用いて解析を行った結果、0.021°C/年の割合で上昇していた。

気温については、日向神ダムで毎朝9時に測定した気温の年平均値が、0.032°C/年の割合で上昇しており、日向神ダムに近いアメダス黒木の年平均気温は、0.029°C/年の割

合で上昇していた。

表層水温および気温の上昇率は、九州・山口県の年平均気温上昇率 $0.023^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ⁵⁾とおおよそ一致しており、表層水温は気温の影響を受け、長期的上昇傾向にあると推測される。

謝辞

本報告で使用した測定値は、福岡県八女土木事務所日向神ダム管理出張所および福岡県保健環境研究所水質課の職員により長年測定されてきたものであり、調査に携わった多くの方々に対し、ここに謝意を表します。

文献

- 1) 新井正：地域分析のための熱・水収支水文学, p81, 古今書院, 東京, 2004. (英文要旨)

- 2) 石川栄介：棄却検定の比較表, 岩手大学学芸学部研究年報, 9(2), 1955.

- 3) www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

- 4) 岡本高弘, 奥田一臣, 小林博美, 矢田稔, 原良平, 石川俊之, 中村豊久：2006年度冬季(2007年1月～3月)の琵琶湖北湖の水質変動について, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書第3号, 125-129, 2007.

- 5) 福岡管区気象台・長崎海洋気象台：異常気象レポート九州・山口県版2006, p61, 2006.

- 6) 福岡管区気象台・長崎海洋気象台：異常気象レポート九州・山口県版2006, p31, 2006.

- 7) 福岡管区気象台・長崎海洋気象台：異常気象レポート九州・山口県版2006, p34, 2006.

Cyclical fluctuation of water temperature in Hyugami-dam lake.

Taso IKEURA, Kenji ICHIKI* and Tomokazu TAKEDA*

*Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,
Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan
*Fukuoka Prefectural Yame Public Works Office,
Hyugami-dam Control Branch Office,
Kuwano 33-7, Yabe, Yabe, Fukuoka 834-1402, Japan*

Cyclical fluctuations in water temperature in Hyugami-dam lake between January 1962 and February 2008 were studied. As a result, the water temperature of the bottom layer in January, February and March (when the water temperature was the lowest), gradually increased at the rate of $0.018 - 0.033^{\circ}\text{C}/\text{year}$. This rate almost corresponded to the normal temperature increasing rate ($0.027^{\circ}\text{C}/\text{year}$) of winter on Kyushu and Yamaguchi Prefecture for the period of 1955 - 2005 years. However, the water temperature of the bottom layer in July, August and September, rose at a rate of $0.156-0.167^{\circ}\text{C}/\text{year}$. This rate reflected the frequent disappearance of the bottom cold water layer in recent years, and was about one order greater than the normal rate of temperature increase ($0.017^{\circ}\text{C}/\text{year}$) in summer in Kyushu and Yamaguchi Prefecture. Furthermore, the water temperature of the surface layer gradually increased at a rate of $0.021^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

For the temperature, the mean annual value of the temperature measured at nine o'clock every morning on the Hyugami-dam lakeside increased at a rate of $0.032^{\circ}\text{C}/\text{year}$, and the annual mean temperature measured by the Automated Meteorological Data Acquisition System Kurogi near the Hyugami-dam increased at a rate of $0.029^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

[Key words; Water temperature, secular fluctuation, dam lake, and global warming]