

国内 28 ダムの流入河川水温の長期変化に関する統計的解析

東北大学工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○久米 祐介
東北大学工学研究科土木工学専攻 正会員 梅田 信

1. はじめに

ダム湖は、治水や利水に重要な役割を果たしており、特に利水という面から見ると、日本における水道水源のほぼ半分、首都圏においては約 90%を担っており、重要な水資源である。一方で、気候変動による水温の上昇が、水質や生態系などの水環境への影響を及ぼしつつあるのではないかと考えられている。例えば、近年、ダム湖における藻類の増殖に起因した水道水への異臭味障害が挙げられる。東北地方では、従来気温や水温が低いため、そのような障害は発生しにくいと考えられていたのに対し、浅瀬石川ダム等での発生事例が見られるようになった。原因藻類である藍藻類は、高水温環境で多く発生する傾向があることが、要因の一つと考えられる。したがって、将来にわたり安定な水資源を確保するために、ダム湖の水温上昇の兆候について検討する必要がある。

国内の河川水温を対象とした近年の検討として、過去 50 年間の平衡水温に着目した研究などがある。水温の変化傾向に関して、種々の要因が関連し、必ずしも上昇傾向があるとは限らないという結果が述べられている。本研究では、ダム湖への流入河川の水温の 20 年程度以上の変化傾向に関する解析を行った。対象ダムにおける水温の長期変化を抽出し、気象や集水域にかかわる情報との関係を解析し、河川水温に影響を与える因子について調べた。

2. 研究方法

2.1. 研究対象

検討対象とするダム湖流入河川は、データの解析期間を大きくとれるよう、2000 年以前に竣工されたダムを選定し、概ね 20 年程度以上のデータが得られるよう考慮した。地域性という点では、筆者らの在住する東北地方を重点的に対象を選定した。その他の地域に関しても、できるだけ多数を選定するよう試みた。ただし、水温データは、水文水質データベースより抽出したが、各ダム湖の直上流となる観測地点を判別することが容易ではなかった。そこで web 等で公表されている資料から明確に判別ができたダム湖のみを解析対象とした。その結果、対象ダム（地点）は、東北が 12 ダム、その他の地域が 16 ダムの計 28 ダムとなった。対象ダムの位置を図-1 に示す。また、水温と対比して解析を行う気温については、それぞれのダムに最も近い気象庁の気象観測点のデータを解析に用いた。

2.2. 解析方法

解析に用いた水温データは、国土交通省が提供する水文水質データベースから抽出した。対象の全 28 ダムにおける流入河川のデータを選定し、複数の流入河川がある場合には、それらの水温の平均値をとった。気温や降水量、降雪量などの気象データは、気象庁が提供する過去の気象データ検索から抽出した。気温は、データの整理方法を水温と揃えることと、長期的な変化傾向を捉えるという目的から、月平均（日平均の月平均値）を求めて用いた。また、対象とするデータの解析期間は、各ダムで水温と気温を同期間に揃えた。

これらの水温と気温のデータに対して、長期の経年的な変化傾向を捉えるために、以下に示す処理を行った。本研究で用いた水温の生データは、上記の通り、月一回の頻度の観測デー



図-1 検討対象ダムの位置

タである。したがって、この時系列には、本研究で検討対象としたい、気候変動などの影響による長期的な変化を示す成分（傾向成分）のほかに、季節変動による年周期の成分（季節成分）と、ランダム性の強い変動成分（確率成分）の 3 成分から構成されていると考える事ができる。そこで、まず季節成分を取り除くための処理を施した。ある観測日 t における観測水温 ($^{\circ}\text{C}$) を $T(t)$ とし、その時の季節成分水温 ($^{\circ}\text{C}$) を $N(t)$ 、季節成分からの偏差水温 ($^{\circ}\text{C}$) を $d(t)$ とすれば、

$$T(t) = N(t) + d(t) \quad (1)$$

である。ここで、 $N(t)$ は 1 年を周期とする周期関数と考えることができる。これを、本研究では以下の式(2)に示す有限フーリエ級数による周期回帰モデルで表現した。

$$N(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{365.25} \cdot t + b_k\right) \quad (2)$$

ここで、 a_0 , a_k , b_k は、地点（ダム流入河川）ごとに定められる定数である。式(2)における n は、1 から 5 の間で変化させ、赤池情報量基準 (AIC) が最小となる項数を最適と判断し、季節成分を示すモデルとして、ダムごとに設定した。

このようにして抽出した偏差成分の水温 $d(t)$ から、傾向成分水温 $s(t)$ と確率成分水温 $\varepsilon(t)$ とに分離し、水温の長期間の変化傾向を調べた。すなわち、

$$d(t) = s(t) + \varepsilon(t) \quad (3)$$

である。このうち、確率成分 $\varepsilon(t)$ は、周期成分および傾向成分を取り除くことができているれば、概ね正規分布に従うと考えられる。そこで Shapiro - Wilk 検定を行うことで正規性の確認をした。また、水温の長期変化を示す傾向成分は、直線であると仮定し、以下の式(4)を回帰式として用いた。

$$s(x) = \alpha \cdot t + \beta \quad (4)$$

$$\alpha_{10} = \alpha \times 365.25 \times 10 \quad (5)$$

ここで、 α と β は、ダムごとに定まる定数である。この α に対し、式(5)のように 10 年あたりの水温変化率として、結果の整理を行った。

Keyword : 河川水温, 流域背景, 気候変動, 回帰分析

連絡先 : 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, 環境水理学研究室, Tel 022-795-7453

3. 結果

傾向成分を示したのが図-2である。まず気温変化率であるが、数か所のダムを除いて、正の値を示しており、温暖化の傾向といえる結果となった。一方、水温の変化率は、正の値と負の値を示す地点が半々ほどであり、全体的な傾向はつかめなかった。水温変化率と気温変化率の関係（図-3）から分かるように相関は見られない。

水温変化とその他変数間で相関を求めた結果を表-2に示す。先ほども示した通り、水温変化と気温変化の間に相関はほぼ見られない。一方で、水温変化とある程度の相関がみられた項目として、標高と降水変化がある。これらを説明変数とし、水温変化を目的変数とすると、以下の式(6)で示す回帰式が得られた。

$$T_w = 0.234 + (-4.62 \times 10^{-4})H + (-2.15 \times 10^{-1})P \quad (6)$$

この結果を用いて、観測値から求めた水温変化と回帰式から求めた水温変化の関係は図-4のようになった。決定係数は $R^2=0.210$ と説明力に欠けているため、水温の変化傾向に影響を与える他の要因を調べる必要がある。

4. 参考文献

社)日本水道協会：水道統計－施設・業務編－，第92-1号。
佐藤輝：現場報告 浅瀬石川ダム貯水池における水質保全
体策について，ダム技術，Vol. 388, pp.67-71, 2019。

梅田信，富岡誠司：貯水池における水質環境要素と藻類増殖の関連，水工学論文集，Vol. 51, pp.1373-1378, 2007。

上村昇平，宮本仁志：Mann-Kendall 検定による日本での年平均平衡水温の長期経年変化の傾向分析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 74, No. 4, I_577 - I_583, 2018。

5. 謝辞

本研究は，文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム（Si-CAT）およびJSPS 科研費 16H02363（代表：風間総）の援助を受けて実施された。記して謝意を表する。

表-2 主な変数間の相関

	水温 変化	気温 変化	標高	降水 変化	年降 水量	流域 面積
水温変化	1.000					
気温変化	0.126	1.000				
標高	-0.383	0.139	1.000			
降水変化	-0.375	-0.077	0.370	1.000		
年降水量	-0.115	-0.199	0.016	0.280	1.000	
流域面積	0.297	0.267	-0.351	-0.138	-0.246	1.000

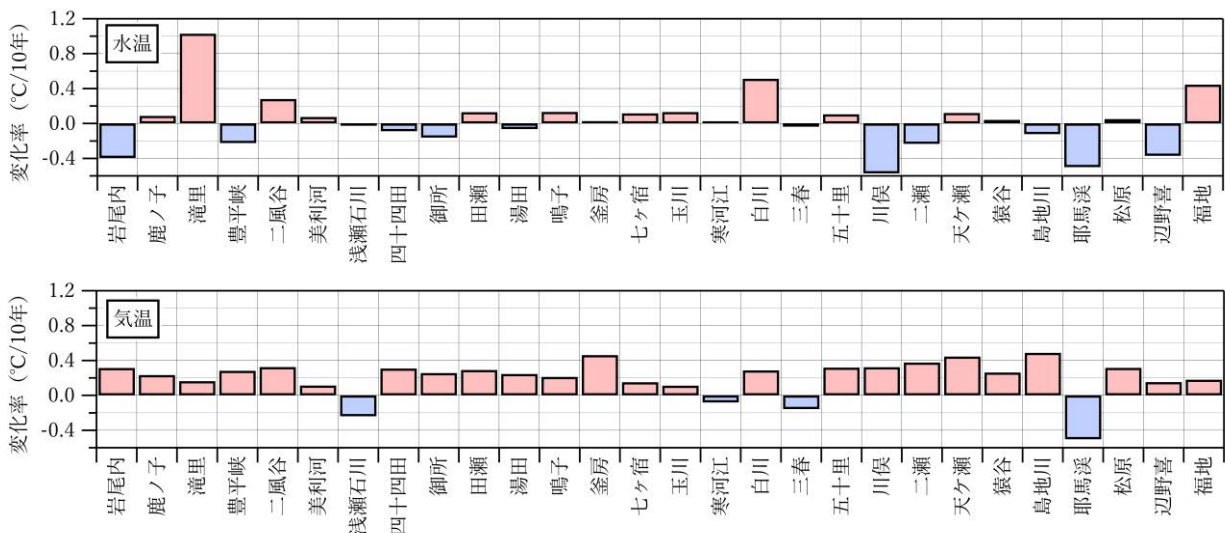


図-2 ダムごとの水温変化率（上段）と気温変化率（下段）の結果

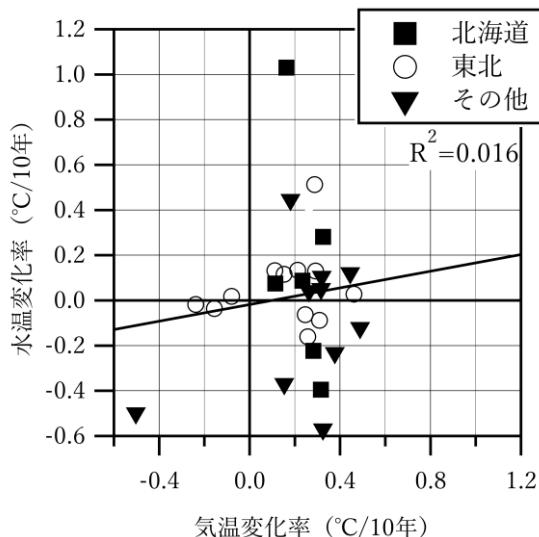


図-3 気温変化率と水温変化率の相関

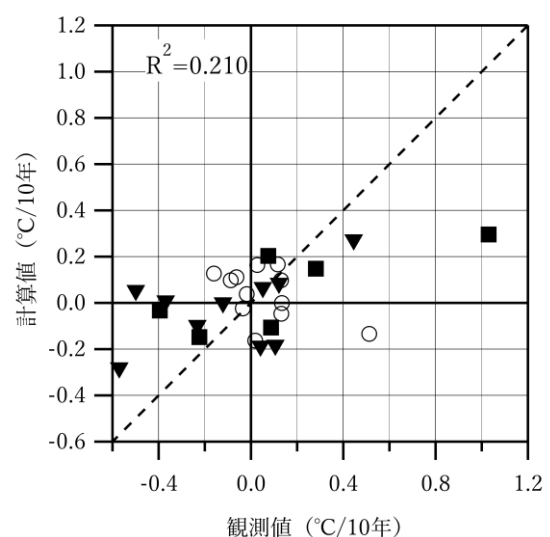


図-4 標高と降水量変化率による回帰式の再現性評価