

# 矢作川中流の水温の経年変化

Change in water temperature in the middle-reach of the Yahagi River

白金 晶子

Akiko SHIRAGANE

## 要 約

矢作川中流の越戸ダムにおいて 1961 年から 2003 年にかけての水温の経年変化を調べた。ダム湖の水温は下流の流水区間の水温と高い相関が見られたため、矢作川中流の水温とみなした。水温は1970年代半ば以降、徐々に上昇する傾向が見られ、特に1980年代半ば以降は顕著に上昇した。1961年からの43年間に約1.6°Cの水温上昇が確認された。特に夏の水温の上昇が顕著であり、かつ高水温の時期が長くなる傾向が見られた。一方、冬季の水温は1960年代が他年代と比較し顕著に低かったが、その後は同程度の水温で推移した。

水温の経年変化の要因として、流域の気温の上昇が大きく関与していることが示された。さらに、水温の上昇には気温の上昇と放流量の減少の双方が複合的に寄与していることが判明した。また、矢作ダムの建設後に水温の年変動幅が小さくなったことも明らかとなった。

## はじめに

河川の水温は季節および日変化し、天候、標高、河川敷の植生、河川内の構造物、支川や地下水の流入などにより、河川毎また同一河川内でも違いが生じる (Allan, 1995)。このような河川水温の違いはそこに生息する生物の生存や種組成を決める重要な要因となる (Allan, 1995)。例えば、水生昆虫では孵化や羽化の時期、幼虫の成熟期間などに影響を及ぼす (Gore, 1994)。また水温の上昇は水中の溶存酸素濃度を減少させるため、貧酸素に弱い魚種は生存の危機に瀕する。さらに水温の違いは水の粘度を変化させるため、水温が高いほど粘度が低くなり、水中の浮遊物は運ばれやすくなる (Hynes, 1970)。このように、水温の変化により様々な河川環境が変化することが知られている。

水温を変化させる要因の1つとして、大気中の二酸化炭素などの増加に伴う地球温暖化が挙げられる。1900年代に日本の平均気温は約1°C上昇し、特に都市部ではヒートアイランドの影響もあり、東京では約2.9°C上昇した (原沢, 2005)。また、年間降水量は過去100年間で減少傾向を示したが、年変動は大きく、集中豪雨の発生頻度が増加した (気象庁, 2002)。これらの気候変動は陸水環境にも大きな影響を与えると考えられる (新井, 2000)。

さらに貯水容量の大きなダムが建設されると、水の滞留時間が増加し、下流の流量が制御されることから、河川水温に影響を及ぼすことが推測される。矢作川では

1970年に河口から約80kmの地点に流域最大の矢作ダム (有効貯水容量6,500万m<sup>3</sup>) が建設され、翌年から運用が開始された (豊田市矢作川研究所, 2002)。このような河川環境の変化が矢作川中流の水温にどのような影響を与えているかを調べるため、本報告では矢作川中流に位置する越戸ダムで1961年から2003年に測定された水温データを用いて、その変化を解析し、水温変化の要因について考察した。なお本論文はダム湖の水温変化についての報告であるが、越戸ダムとダム下流約2kmの流水区間の水温の間には高い相関が見られたため ( $y = 1.01x - 0.304$ ,  $r^2 = 0.999$ ,  $p < 0.0001$ ,  $n = 358$ )、ダム湖の水温を矢作川中流の水温として扱った。

## 方 法

矢作川中流に位置する越戸ダムの堰堤付近 (北緯35度7分18秒, 東経137度11分56秒, 河口から約46km) の表層において、中部電力株式会社が1961年から2003年にかけて測定した水温データを使用し、その変化について調べた。越戸ダムは昭和4年に建設され、最大出力9,200kw、最大使用水量62.32m<sup>3</sup>/sの発電ダムであるとともに、明治用水、枝下用水への水の補給調整も行っている (今井, 1997)。水温の測定は毎朝9時に行われ、定量限界は1997年まで1°Cもしくはそれ以下で、1998年以降は0.1°Cであった。また、同時期の気温デー

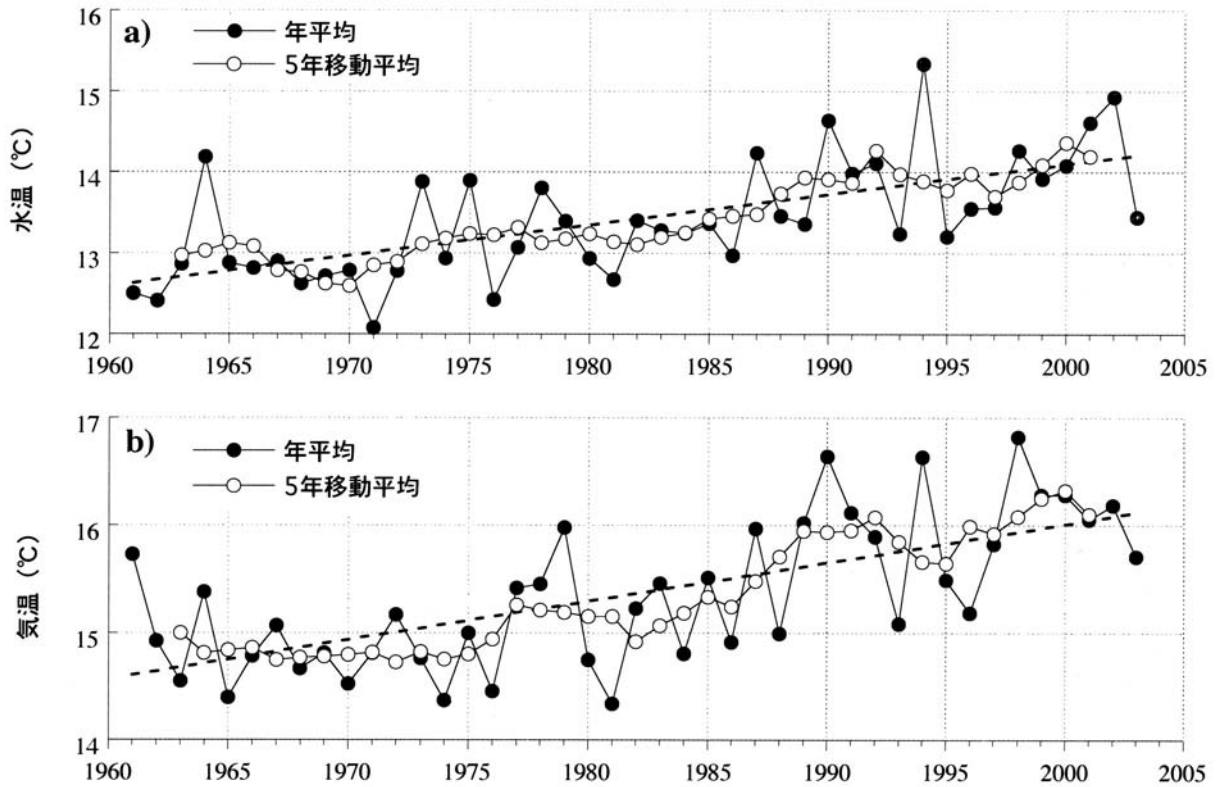


図1 a. 越戸ダムの年平均水温の経年変化. b. 名古屋市の年平均気温の経年変化.

タを調べ、越戸ダムの水温との比較を行った（気象庁、2005）。越戸ダムが設置されている豊田市の気温データは、気象庁の観測データが1980年以降しか存在せず、また1991年に観測地が移動したため、期間および精度に問題があると考えられた。このため1961年からデータが存在する名古屋市の気温と1980年以降の豊田市の気温を比較したところ、高い相関が見られた（ $y = 1.03x - 1.58$ ,  $p < 0.0001$ ,  $r^2 = 0.936$ ,  $n = 24$ ）ので、名古屋市のデータを利用した。名古屋市の気温データは毎正時毎に0.1℃間隔で測定された。

## 結果と考察

### 越戸ダムの水温の経年変化

図1-aに越戸ダムの水温の経年変化を示した。1960年代から1970年代初頭にかけては、1964年を除くと年平均12℃台の安定した水温を保っていた。1970年代半ばから1980年半ばまでは年毎の水温変動が激しくなり、徐々に水温が上昇する傾向を示した。特に1980年代半ば以降は水温が顕著に上昇し始め、さらに1994年には観測期間内で最高となる年平均水温15.3℃を記録した。1961年から2003年にかけて約1.6℃の水温上昇が確認

された。

次に各年代の水温の季節変化を概観すると、1960年代は10月から2月頃にかけて、他の年代と比較し低い水温で推移した（図2）。一方、7月中下旬から8月下旬にかけては2000年代を除いて、最も高い水温で推移した。1960年代は季節的な水温の高低差が他年代と比較し大きい傾向が見られた。1970年代、1980年代の季節変化は似通った傾向を示したが、3月から5月中旬にかけては1980年代の方が常に水温が高かった。他方、7月上旬の間のみ1980年代の方が低い水温が続き、その後一気に上昇し、1970年代とほぼ同様の水温となった。1990年代、2000年代は過去の年代に比べ、年間を通じて高い水温で推移した。特に、夏の高水温の期間が1990年代には9月中旬頃まで長引く傾向が見られ、さらに2000年代には高水温の期間の始まりが7月上旬へと早まる傾向が示された。

### 越戸ダムの水温変化の要因

名古屋市の気温の変化を図1-bに示した。気温の経年変化を概観すると、1960年代から1970年代半ばまで大きな変化は見られず、安定していた。しかしその後は年毎の変動が激しくなり、特に1980年代半ばからは水温

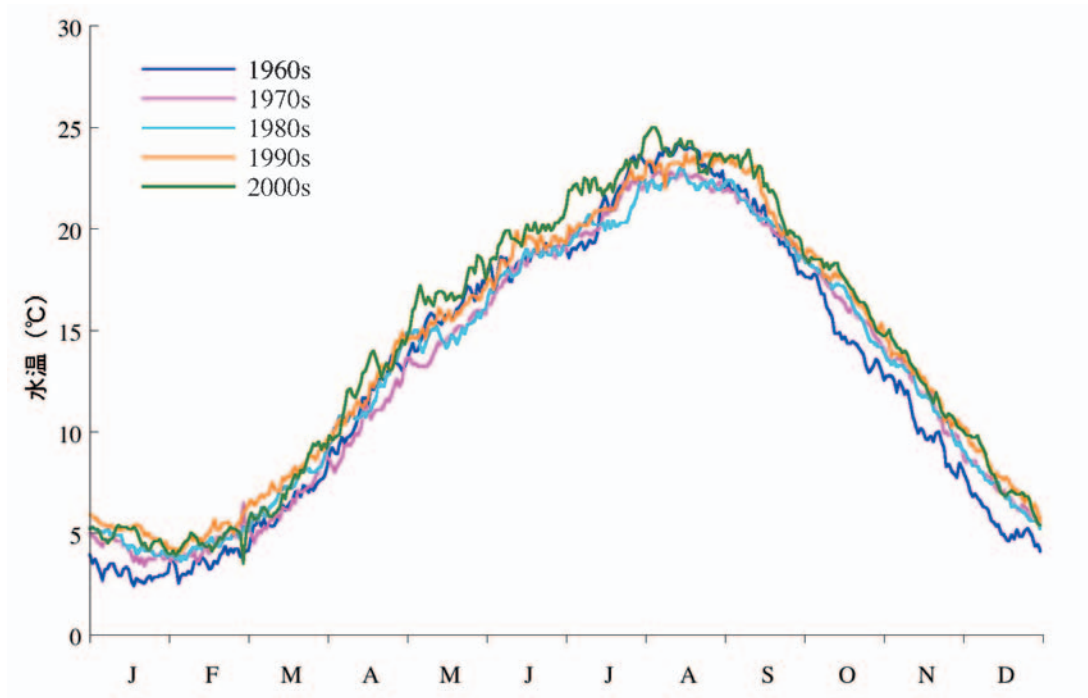


図2 越戸ダム水温の年代別の季節変化.

と同様に気温も顕著に上昇した。気温は観測期間内の1961年から2003年にかけて、約1.5°C上昇したことが明らかとなった。また、1961年から2003年までの越戸ダムの年平均水温と名古屋市年平均気温を比較すると、高い相関が見られた(図3-a,  $y = 0.823x + 0.779$ ,  $p < 0.0001$ ,  $r^2 = 0.586$ ,  $n = 43$ )。従って越戸ダムの水温の上昇には流域の気温の上昇が大きく寄与していることが明らかとなった。

イギリスのExe流域では1977年から1990年の間に0.5~1.3°Cの昇温が観測され、季節的には最高水温の上

昇が大きく、最低水温には顕著な変化がみられなかった(Webb, 1996)。今回の結果から矢作川中流域でも水温の上昇が認められ、さらに1970年代以降の季節変化を比較すると、最高水温の上昇が大きく、最低水温の顕著な変化が見られなかったことから、Exe流域と同様の季節変化が起こっていたことが明らかとなった。また、日本国内の陸水環境としては遠藤ら(1999)が1965年から1997年までの琵琶湖の水温変化を調べた結果、表層から底層までの全層で水温が上昇し、特に底層では約2°Cの昇温が確認された。各地で矢作川中流と同様の長

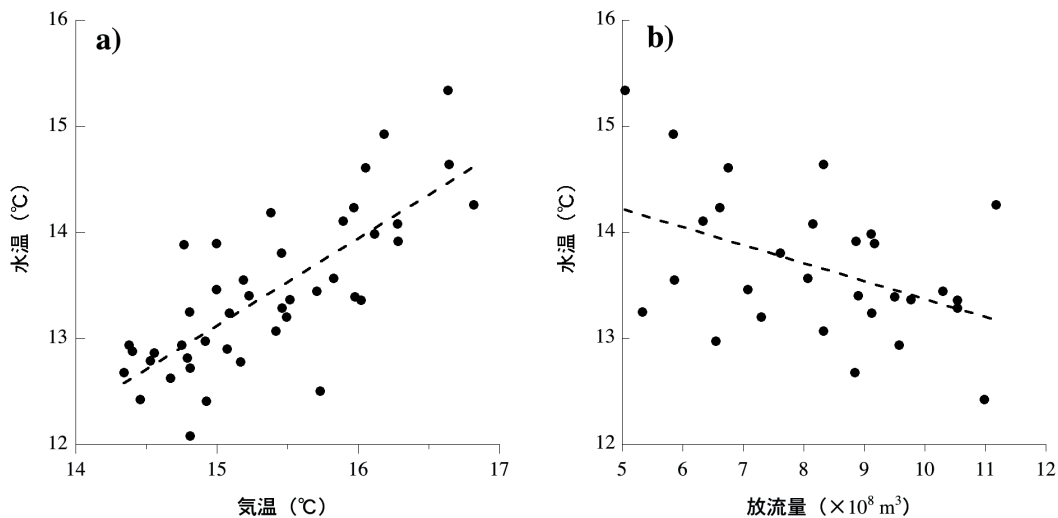


図3 a. 名古屋市の年平均気温と越戸ダムの年平均水温の関係. b. 矢作ダムの年間放流量と越戸ダムの年平均水温の関係.

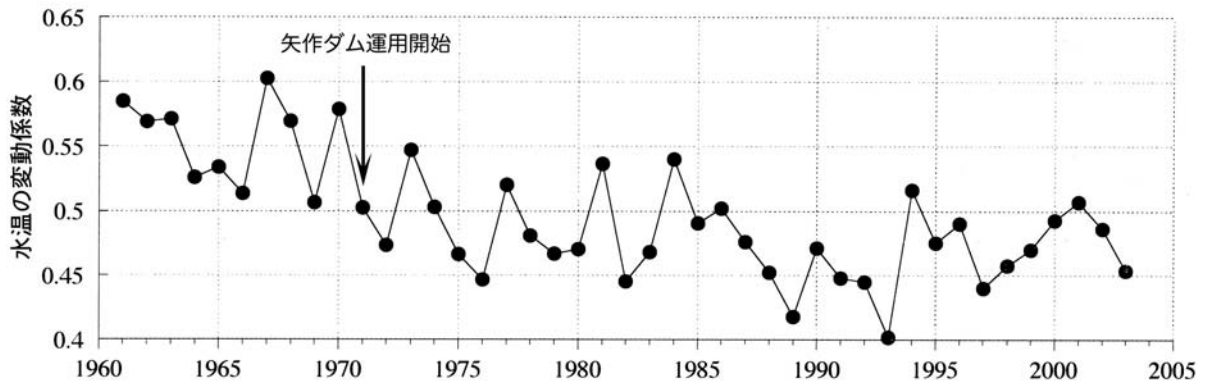


図4 越戸ダム水温の変動係数の経年変化.

期的な水温の上昇、および季節的な水温サイクルの変化が報告されていることから、地球温暖化に伴う影響を受けていることが示唆された。

次に1971年に矢作ダムの運用が開始されたことから、ダム運用による下流の水温の変化が考えられた。そこで、データが存在した1975年以降の矢作ダムの年間放流量と越戸ダムの年間平均水温を比較したところ、弱い負の相関が認められた(図3-b,  $y = -1.13 \times 10^8 x + 2.38 \times 10^9$ ,  $p = 0.0176$ ,  $r^2 = 0.192$ ,  $n = 29$ )。さらに、気温および矢作ダム放流量の両変数により越戸ダムの水温を重回帰したところ( $y = 0.802x^1 - 1.51 \times 10^{-6}x^2 + 2.41$ ,  $x^1$ : 気温,  $x^2$ : 放流量), 偏相関係数は  $r^2 = 0.808$ ,  $p < 0.0001$  となり、各変数で単回帰するよりも寄与率が高いことが明らかとなった。すなわち、水温の上昇には気温の上昇と放流量の減少の双方が複合的に寄与していることが示された。

矢作ダムの建設とダムによる放流量の操作が越戸ダムの水温に及ぼしている影響をさらに詳しく見るため、越戸ダムの水温の変動係数を矢作ダム建設前後で比較した(図4)。ダム建設前の1961~1969年間は水温の変動係数の平均が0.553であったが、ダム建設後の1972年以降は0.477へと減少した。このことから、矢作ダムの建設によりダム下流の流量が人為的に操作されるようになったこと、また大量の水を溜めるようになったことにより、一日の間や季節による水温の変動幅が狭くなったことが推測された。

以上、1961年から2003年までの越戸ダム水温の経年変化、季節変化、さらにこれらの変化の要因について述べてきた。新井(2004)は河川水温が独自の目的で観測されることは希で、多くの場合は水質の付属項目として調べられているため、精度、継続性共に低いことを指摘している。今回分析した水温データは矢作川において

40年以上の長期に渡り観測された貴重なものであったが、水力発電用の定期観測のため、測定間隔は1日1度であり、長期に渡る日周的な変化の傾向については追跡出来なかった。しかし、矢作川中流の水温が40年強の間に約1.6℃上昇したことが明らかとなり、さらに矢作ダム建設後に中流の水温の変動幅が小さくなったことが分かった。地球温暖化による河川環境の変化を注視し、この傾向が今後も続くのかあるいは一時的な傾向なのかを判断するためにも、今後の継続的な観測が必要不可欠であろう。

## 謝辞

本論文を執筆するにあたり中部電力株式会社から越戸ダムの水温データを提供頂いた。また、関西学院大学の古川彰教授にはデータ入力にあたりお世話になった。椋山女学園大学の野崎健太郎講師および豊田市矢作川研究所の洲崎燈子主任研究員には本論文の校閲および多くの有用な助言を頂いた。この場を借りて心よりお礼申し上げます。

## 引用文献

- Allan, J. D. (1995) Stream ecology: Structure and function of running waters. Kluwer academic publishers.
- 新井 正 (2000) 地球温暖化と陸水水温. 陸水学雑誌 61 : 25-34.
- 新井 正 (2004) 地域分析のための熱・水収支水文学. 古今書院.
- 遠藤修一・山下修平・川上委子・奥村康昭 (1999) びわ湖における近年の水温上昇について. 陸水学雑誌 60 : 223-238.
- Gore, J. A. (1994) Hydrological change. In The Rivers

handbook: hydrological and ecological principles, P. Calow and G. E. Petts (eds.): 33-54. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

原沢 英夫 (2005) 地球温暖化が日本に与える影響について. 環境省 HP. <[http://www.env.go.jp/earth/nies\\_press/effect/index.html](http://www.env.go.jp/earth/nies_press/effect/index.html)>

Hynes H. B. N. (1970) The ecology of running waters. University of Toronto Press, Toronto.

今井勝美 (1997) 矢作川の水収支の概要. 矢作川研究 1: 45-58.

気象庁 (2002) 20 世紀の日本の気候. 気象庁.

気象庁 (2005) 電子閲覧室. <<http://www.data.kishou.go.jp/>>

豊田市矢作川研究所 (2002) 矢作川 100 年誌資料研究—第 1 集—. 豊田市矢作川研究所.

Webb, B. W. (1996) Trends in stream and river temperature. Hydrological processes 10: 205-226.