

愛知県内の公共用水域における水温変動傾向

愛知県環境調査センター

神戸 浩仲

1 はじめに

愛知県では、公共用水域の水質汚濁の状況を把握するため、水質汚濁防止法に基づき、公共用水域水質常時監視調査を毎年度実施している。環境基準が定められている生活環境項目については、河川の BOD 濃度を始めとして改善傾向にある一方で、近年は地球温暖化による様々な環境影響が顕在化しており、水質環境への影響も懸念されている。

本報では、本県がこれまでに実施した公共用水域水質調査結果の水温データにより、本県の海域、河川、湖沼における水温の長期変動傾向について解析した結果を報告する。

2 方法

2.1 使用データ

本県が実施した以下の公共用水域水質常時監視調査結果のうち、通年調査のデータを使用した。通年調査は、毎月 1 回（地点によっては月に複数回）採水し、測定を行う調査である。

○調査期間：1981 年 4 月～2019 年 3 月

（地点により調査期間が異なる場合がある）

○調査地点：海域 41 地点、河川 108 地点、湖沼 1 地点
（海域は中層、下層データがない地点がある）

なお、海域下層については、特定の季節のみ採水している地点があるためそれらは除外した。また、同日に 2 回又は 3 回採水している地点については、採水時刻による影響を考慮し、1 回目に採水した検体データのみを使用した。

2.2 統計手法

長期変動傾向を算出するための統計手法は、以下の二通りの手法を用いた。

第一は、海域、河川及び湖沼の年平均値から、各水域毎に最小二乗法による単回帰直線を求め、1981～1990 年度と 2009～2018 年度の各 10 年間の年平均値について Welch の t 検定（両側、非等分散条件）を行い、水温の変動傾向の有意差の有無を確認した。

第二には、各年度の月毎の測定値について、ダミー変数を用いた重回帰分析を行い、採水月による影響を取り除いた水温の変動傾向を推定した¹⁾。

いずれの分析も有意水準は 0.05 とした。なお、季節別の変動傾向については、年平均値の単回帰分析により水温上昇率を算出した。

3 結果と考察

3.1 年平均水温の変動傾向

海域、河川、湖沼の各水域について、年平均水温の推移を図 1、2 に示す。特に記載のない場合は、水温の年平均値は年度毎の平均値として算出している。なお、

海域下層については、現在年間を通じて測定を行っている 9 地点のうち 6 地点が 2012 年度以降に測定を開始しているため、データの連続性の面で信頼度が低いと考えられた。このため、1981 年度から調査を実施している A-5 地点の年平均水温の推移を示している。（ただし 1983 年度は測定結果なし。）

海域については、表層、中層、下層いずれも有意な水温上昇が見られ、表層及び中層では 10 年間あたり約 0.4℃の水温上昇が確認された。

河川については、10 年間あたり約 0.2℃の有意な水温上昇が見られた。一方、湖沼についてはほぼ横ばいとなった。この要因として、湖沼については、年度が進むにつれ採水時刻が早まっており、その影響により経年変化による水温上昇が抑えられている可能性が推察された。なお、海域及び河川の採水時刻に顕著な変動傾向は見られなかった。

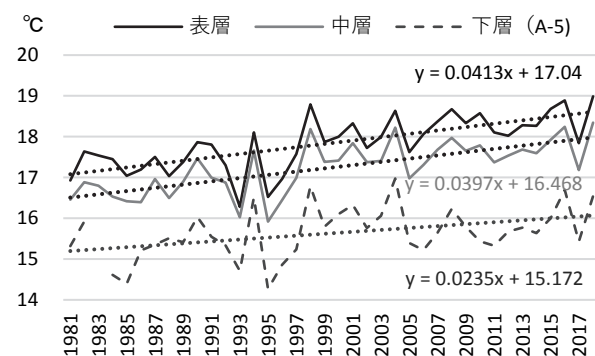


図 1 海域年平均水温の推移（採水層別）

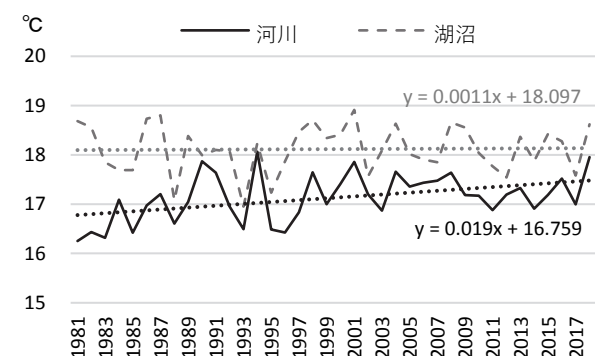


図 2 河川及び湖沼の年平均水温の推移

3.2 ダミー変数を用いた重回帰分析による変動傾向

水温を年平均値としてではなく、月別のデータとして回帰分析するには、季節変動の影響を考慮して変化傾向を推定する必要がある。そこで、今回はダミー変数を用いた重回帰分析を行う統計手法を採用した。この方法では、各月の季節効果を推定するため、時系列データが該当する月は 1、それ以外の月は 0 として月成分の係数を算出する。なお、毎年度の季節効果の総

和をゼロとするため、3 月は全ての月の季節効果を-1 に設定した。

この重回帰分析法により、海域表層、河川、湖沼の全地点の月平均値から水温上昇率を求めた結果は、表 1 のとおりである。

重回帰分析の結果、一年当たりに換算すると海域では約 0.042℃/年、河川では約 0.019℃/年の有意な水温上昇が確認された。この値は、年平均値の単回帰直線から算出した水温上昇の値とほぼ一致した。湖沼については、有意な水温変動は確認できなかった。

表 1 月平均水温の重回帰分析結果

説明変数	偏回帰係数		
	海域	河川	湖沼
傾き (℃/月)	0.00349	0.00160	** -0.00005
切片 (℃)	17.046	16.767	18.113

印なし : $p < 0.01$ 、* : $0.01 < p < 0.05$ 、** : $0.05 < p$

3. 3 地点別の水温変動傾向

次に、各海域の詳細な水温変化傾向を把握するため、年平均値の推移、ダミー変数を用いた重回帰分析の両手法により、地点別の海域表層の水温上昇率を算定した。その結果は表 2 のとおりである。

解析を行った 20 地点全てにおいて、年平均値の推移、ダミー変数を用いた重回帰分析のいずれの結果も水温上昇が確認された。信頼度については、年平均値の推移では、N-9 地点のみ有意水準 5% の範囲外 ($p = 0.057$) となったが、それ以外は全ての地点で有意 ($p < 0.05$) であった。重回帰分析の結果では、水温上昇率 (傾き) の偏回帰係数について全ての地点で有意差が確認された。水域毎の特徴として、沿岸部に近い地点では水温上昇率がより大きい傾向が見られた。また、伊勢湾では河口部に近い海域で水温上昇率が大きく、沖合では上昇率がやや小さかったのに対し、三河湾では全域で水温上昇率が大きかった (図 3)。

表 2 地点別の水温上昇率

地点名	水温上昇率		
	年平均値 (℃/年)	偏回帰係数 (重回帰分析) (℃/月) (℃/年)	
N1	0.1003	0.00839	0.1007
N2	0.0357	0.00300	0.0360
N3	0.0283	0.00236	0.0283
N4	0.0263	0.00219	0.0263
N5	* 0.0243	0.00219	0.0263
N6	0.0330	0.00275	0.0330
N7	* 0.0221	0.00194	0.0233
N8	* 0.0203	0.00180	0.0216
N9	** 0.0182	0.00162	0.0195
K2	0.0520	0.00435	0.0522
K3	0.0790	0.00658	0.0789
K4	0.0505	0.00421	0.0505
K5	0.0412	0.00343	0.0412
K6	0.0351	0.00293	0.0351
A4	0.0358	0.00313	0.0376
A5	0.0344	0.00296	0.0356
A6	0.0412	0.00336	0.0403
A7	0.0329	0.00292	0.0350
A8	0.0330	0.00278	0.0333
A9	0.0354	0.00298	0.0358

印なし : $p < 0.01$ 、* : $0.01 < p < 0.05$ 、** : $0.05 < p$

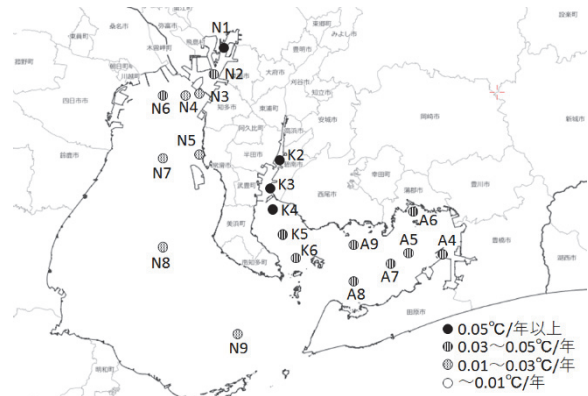


図 3 海域 (表層) 地点別水温上昇率

3. 4 季節別の水温変動傾向

次に、海域の季節別の水温変動傾向について調査した。表層については全地点、下層については A-5 地点のデータを用いた。

その結果、表 3 のとおり、表層では全ての季節で水温上昇が見られた。また、下層については春季、夏季、冬季の水温がほぼ横ばいである一方、秋季の水温上昇が顕著であった。

夏季は鉛直混合が起こりにくいため、下層は表層の水温上昇の影響を受けにくく、夏季から秋季にかけての表層水温の上昇の影響は、鉛直混合が活発になる秋季の下層における顕著な水温上昇に現れていると推察される。

表 3 季節別の水温上昇率

季節	水温上昇率 (℃/年)	
	海域表層	海域下層 (A-5)
春(4-6月)	* 0.0343	** 0.0114
夏(7-9月)	* 0.0416	** -0.0037
秋(10-12月)	0.0511	0.0698
冬(1-3月)	0.0363	** 0.0165

印なし : $p < 0.01$ 、* : $0.01 < p < 0.05$ 、** : $0.05 < p$

4 まとめ

愛知県内の海域、河川、湖沼の各水域について、年平均水温の推移やダミー変数を用いた重回帰分析により水温変動傾向を解析した結果、海域については 10 年あたり約 0.4℃の水温上昇、河川については 10 年あたり約 0.2℃の水温上昇が確認された。湖沼については有意な水温変動は見られなかったが、採水時刻の早まりの影響で水温上昇が抑えられている可能性が推察された。

県内海域における水域毎の特徴として、沿岸部に近い地点で水温上昇率がより大きい傾向が見られた。また、伊勢湾では、河口部に近い海域で水温上昇率が大きく、沖合では上昇率がやや小さかったのに対し、三河湾では全域で水温上昇率が大きかった。

海域の季節別の水温変動傾向について、表層では全ての季節で水温上昇が見られた。また、下層については秋季の水温上昇が顕著であった。

参考文献

- 1) 二宮勝幸ら：東京湾西部海域における表層水温のトレンド-ダミー変数を用いた重回帰分析による推定，横浜市環境科学研究所所報第 34 号(2010)