

全国の河川における流況・水質の経年変化の実態調査と流域環境との関連性分析

望月 貴文¹・菊池 佐智子²・天野 邦彦¹

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail:mochizuki-t92tc@nilim.go.jp

²正会員 東北大学大学院 生命科学研究所 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内27-1)
E-mail:skikuchi@econ.tohoku.ac.jp

全国の河川から27水系60地点を抽出し、公共用水域の観測データを用いて過去30年間程度の流況・水質・水温の経年変化の実態を気象情報と合わせて整理した。また、水温に着目して抽出地点を類型区分し、各類型の特徴を把握した。さらに伊勢湾に流入する一級河川について、流域環境情報の変化と合わせて分析することで、流況・水質・水温の変化の要因について検討した。

その結果、流況の変化は3つのパターンに分類できること、水温は上昇傾向にある河川が多く見られること、BOD、TPは減少傾向にあるが、COD、TNは増加・減少が半々程度あること等が分かった。また、大都市を流れる河川で構成される、水温上昇傾向にある特徴的な類型が見られた。さらに、伊勢湾流域では、庄内川での水温上昇傾向と、下水処理人口、工業出荷額等の指標との間に相関が見られた。

Key Words : flow regime, water quality, water temperature, classification, basin information

1. はじめに

河川の流況・水質・水温の変化は、河川生態系に大きな影響を及ぼしていると考えられ、河川生態系保全のためには、これらに対して適切な管理と目標設定が必須である。そのためには、河川の流況・水質・水温の変化を把握するとともに、影響要因を評価することが必要である。河川の流況・水質・水温の変化に影響を与える要因としては、地形や気候条件の変化といった自然的要因及び流域の開発や水利用状況の変化による人為的要因があげられる。

自然的要因については地球温暖化に伴う平均気温の上昇や降水量・パターンの変化、海水面の上昇などがあげられ、近年では、これらに伴う流況・水質・水温の変化予測に関する検討が行われている¹⁾。人為的要因に関する研究については、代表的なものとして、ダム等の構造物による流量変化に関する研究²⁾、水利用の変化や下水処理場からの排水熱による熱輸送状況の変化に関する研究³⁾、水田、農地、森林などの面源負荷原単位の推定と精度向上に関する研究⁴⁾等が行われている。また、流域環境の変化を河川を流れる水・物質循環に反映させ、社会状況の変化や施策の効果について、水・物質循環の健

全性に関する指標により流域全体で評価する環境アセスメント技術の開発⁵⁾が行われている。しかし、自然条件や人為影響の大きく異なる全国の河川について、総合的に流況・水質・水温の変化を分析した事例は少なく、変化の実態が明らかにされていないことが課題である。

変化の実態を把握するためには、長期間に渡り全国一律の基準を持って調査されたデータの使用が重要であると考えられる。そのような全国の河川における流況・水質・水温に関するデータベースとしては、水質では全国の公共用水域水質測定地点における調査成果がまとめられている国立環境研究所「環境数値データベース」、流量では全国の流量観測地点における調査成果がまとめられている国土交通省「水文水質データベース」がある。これらのデータを用いた研究としては、河川水辺の国勢調査による生物調査データと合わせて、生物出現地点の水温・水質の出現種による分布の違いを分析し、今後の河川環境変化による生物の生息範囲の変化等を検討した事例⁶⁾等がある。

本稿では、自然条件や人為影響の大きく異なる全国の河川について、総合的に流況・水質・水温の変化を分析することを目的として、全国の公共用水域水質測定地点及び流量観測地点の調査データを用いて、全国の河川に

おける過去30年間程度における流況・水質・水温の経年変化を整理し、その特徴を把握するとともに、大都市圏を有しながらも多くの自然を残す伊勢湾流域に着目し、伊勢湾に流入する1級河川10河川における流況・水質・水温と、流域情報（人口、土地利用、取排水、下水処理場、畜産、農業、工業等）を整理し、上記の整理結果と比較した。

2. データ収集・整理

流況・水質・水温の既往調査データは、全国109一級水系を対象とし、確認された全観測所から、月1回未満の簡易観測所や異常値、欠測値の多い地点を除き、流量観測所数は384地点、水質観測所地点数は1,422地点を選定し、収集・整理を行った。その中からまず、各地方から代表的な20水系、32の流量観測地点、51の水質観測地点を抽出した。さらに、伊勢湾において流域情報との関係を詳細に検討するために、伊勢湾に流入する1級河川10河川を対象とし、各地方の代表河川に含まれなかった7水系、7の流量観測地点、9の水質観測地点を追加し、全国から合計27河川、60地点を抽出し、データ整理を行った（以下抽出地点と呼ぶ）。また、各河川の流域内に存在する降水量・気温のデータを収集した。これらのデータは、その他の項目の近傍の調査地点のデータと関連付けながら検討できるよう、位置情報を踏まえて整理した。

(1) 水質データの整理

水質データベースとして、国立環境研究所「環境数値データベース」を用いた。公共用水域水質検体値データファイルから抽出した地点について、項目として水温、水質（pH、BOD、COD、TN、TP、SS）データを整理した。整理の対象期間は、各河川共通してデータベースの存在する1982-2007年とした。

(2) 流況データの整理

流況データベースとして、国土交通省の流量連続観測調査データ「水文水質データベース」を用いた。流況に関する指標として、年ごとの豊水流量、平水流量、低水流量、渇水流量を算定し整理した。整理の対象期間は、1982-2007年とした。

(3) 気象データの整理

気象データとしては、降水量及び気温について整理した。降水量については、気象庁のアメダスデータを使用し、各水質観測地点の近傍の調査地点を選定した。気温については、(1)の水質観測地点において、水温と同時に計測されているデータを用いた。整理の対象期間は、

1982-2007年とした。

(4) 伊勢湾流域圏環境情報データの整理

流域環境の変化が水温・流況の変化に与える影響を詳細に検討するために、伊勢湾流域圏の流域環境情報をGIS上に3次メッシュを基本としたメッシュデータとして整理した⁹⁾。期間は人為インパクトが伊勢湾流域に最も強く作用した高度経済成長期を挟む1950年から2005年を対象とし、使用データには国土交通省作成の国土数値情報を採用した。この国土数値情報に加え、各種関係部局が作成した年鑑や統計書、報告書を収集してデータベースを整備した（表-1参照）。

3. 分析方法

本稿では統計処理に「エクセル統計 2010」を用いた。

(1) 抽出地点の流況・水質の変化の傾向把握

整理した流況・水質のデータから1982-2007年の全期間平均値及び近似直線の傾きを算定し、地点ごとの特徴を把握した。近似直線は、年間平均値の変化を最小二乗法による直線回帰として求めた。水質データのうち、環境数値データベースで欠損しているデータや期間外のデータについて「水文水質データベース」にデータが存在する場合は、その値で代替した。

(2) 水温の変化に着目した調査地点の類型化

1982-2007年における水温の経年変化の近似直線の傾き及び全期間平均値を用いてクラスター分析を行い、調査地点の類型区分を行い、各類型の特徴を把握した。また、水温については、期間を前半（1982-1995年）と後半（1995-2007年）に分け、各期間内における水温の経年変化について、傾き及び平均値を比較した。そして、最初に述べたクラスター分析による類型ごとに流量（年ごとの豊水、平水、低水、渇水流量）、気象情報（年間総降水量、年平均気温）、水質（BOD、COD、TN、TP）の特徴と合わせて整理した。

表-1 伊勢湾流域圏環境情報データベース

名称	項目	年代	出典
土地利用	水田、畑、森林、荒地、市街地、水域、その他、地目	1978、1987、1991、1994	国土数値情報(土地利用メッシュ)
流域区分			国土数値情報(河川ライン)、伊勢湾流域圏案内図、数値情報2500空間データ基盤(水系情報)
人口		1970、1975、1980、1985、1990、1995、2000	地域統計メッシュ、国勢調査
工業	製造品出荷額	1990-1995-2000、1977-1982	工業メッシュ統計、国土数値情報(工業メッシュ統計)
下水処理	下水処理区域、下水処理人口	1962-1965-1986、1988-1989-2000-2004	下水道統計、長野県の統計情報、岐阜県統計書デジタルアーカイブ、あいちの下水道(資料編)
生活系排水(合併浄化槽、単独浄化槽、計画収集、自家処理、未処理)	排出汚濁物質(BOD、COD、TN、TP)、処理人口		長野県の統計情報、岐阜県統計書デジタルアーカイブ、あいちの下水道(資料編)
畜産(牛、豚、鶏)	飼養頭数	1975、1980	国土数値情報(農業センサスメッシュ)、畜産統計

(3) 伊勢湾流域の河川における水質の変化と流域環境情報との関連性の分析

伊勢湾流域の河川として 1 級水系 10 水系、水質調査地点合計 17 地点を選定した。流域環境情報の中で、人間活動を分かりやすく表現でき、流況・水温・水質に変化を与えるであろうと考えられる指標として、本稿では、表-2 に示す 5 つの指標を取り上げ、それらの指標と流況・水温・水質の経年変化との関連性について整理した。1950-2005 年を対象に、5 年ごとにメッシュに格納される各データを流域ごとに集計することで算定した。

4. 分析結果及び考察

表-2 流域環境情報に関する指標の算定（流域ごと）

指標	指標の変化の評価方法
人口密度	1980-2005年の流域人口密度の変化量
下水処理人口密度	1980-2005年の下水処理区域面積に対する下水処理人口密度の変化量
市街地面積	1980-2005年の全流域面積に対する市街地面積割合の変化量
豚の頭数	1980-2005年の全流域面積に対する豚の頭数の密度の変化量
工業出荷額	1980-2005年の単位面積あたりの工業出荷額の変化量

表-3 抽出地点における流況・水温・水質の経年変化のトレンド（近似直線の傾き）

地方	水系名	河川名	流量観測所	豊水量	平水流量	低水流量	渇水流量	流量トレンド (ア)増加型 (イ)減少型 (ウ)豊水減少、渇水増加型	水質観測所	水温	pH	DO(mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	SS(mg/l)	T-N	T-P	降水量	
北海道	釧路川	釧路川	糠床	1.30E-03	9.00E-04	8.00E-04	7.00E-04	(ア)	新川橋	3.00E-05	5.00E-05	1.00E-04	6.00E-05	6.00E-05	-1.80E-03	3.20E-05	-6.00E-07		
									間瀬橋	5.00E-05	5.00E-05	8.00E-05	9.00E-05	-9.00E-06	-3.10E-03	1.00E-05	-2.00E-08	3.76	
	常呂川	常呂川	北堤	1.10E-03	5.00E-04	3.00E-04	2.00E-04	(ア)	金止橋	-7.00E-05	5.00E-05	5.00E-05	1.00E-05	3.00E-05	-8.00E-04	6.00E-05	-3.00E-08		
									青松橋	-2.00E-04	-4.00E-06	4.00E-05	-6.00E-05	-4.00E-05	-6.00E-04	2.20E-05	-3.00E-08	7.82	
東北	最上川	最上川	下野	8.90E-03	7.30E-03	4.50E-03	2.20E-03	(ア)	下野	2.00E-04	2.00E-05	6.00E-06	6.00E-05	6.00E-05	-4.00E-04	1.00E-05	-1.00E-07	-0.48	
									三橋	2.00E-04	5.00E-05	7.00E-05	1.00E-04	-2.00E-04	8.00E-04	-6.00E-05	-5.00E-08	4.84	
小矢部川	小矢部川	長江	2.00E-04	2.00E-04	2.00E-04	2.00E-04	3.00E-06	(ア)	国楽橋	3.00E-05	2.00E-05	4.00E-05	-2.00E-05	6.00E-05	-1.00E-03	-4.00E-05	-4.00E-08	6.75	
									守山橋	1.00E-04	2.00E-05	1.00E-04	3.00E-05	1.00E-04	-6.00E-04	-3.00E-08	-3.00E-04		
	阿賀野川	阿賀野川	山科	1.70E-03	1.30E-03	-1.00E-04	-5.00E-04		聖人橋	-4.00E-05	2.00E-05	4.00E-05	-4.00E-05	1.00E-04	2.00E-05	-4.00E-05	-2.00E-08		
									宮吉橋	6.00E-04	-5.00E-05	3.00E-05	-1.00E-04	-7.00E-05	-4.00E-04	-3.00E-08	-6.00E-08	21.81	
北陸	阿賀野川	阿賀野川	小谷	1.80E-03	2.00E-04	4.00E-04	4.00E-04	(ア)	馬場橋	5.00E-05	-4.00E-05	-1.00E-05	-7.00E-05	-2.00E-05	-4.00E-04	7.00E-06	-6.00E-07	14.94	
									橋下橋	3.00E-04	2.00E-05	3.00E-06	4.00E-05	3.00E-06	-1.40E-03	3.00E-06	3.00E-04	19.58	
	阿賀野川	阿賀野川	馬下	9.10E-03	7.90E-03	3.40E-03	6.00E-04		葛西橋	2.00E-04	2.00E-05	2.00E-04	-1.00E-04	-6.00E-05	-1.20E-03	2.00E-04	-1.00E-05		
									葛西水門	4.00E-04	2.00E-05	3.00E-04	-2.00E-05	-3.00E-04	-1.20E-03	3.00E-04	-2.00E-05		
荒川	荒川	荒川							戸田橋	2.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	9.00E-05	3.00E-05	-2.40E-03	1.00E-04	-2.00E-04		
									江之浦	3.00E-04	3.00E-05	3.00E-04	-8.00E-05	-2.00E-04	1.80E-03	8.00E-06	1.00E-03		
	荒川	荒川							常呂橋	2.00E-04	3.00E-05	1.00E-04	-8.00E-05	-6.00E-05	-1.80E-03	5.00E-05	-2.00E-04		
									治水橋	1.00E-04	3.00E-05	3.00E-05	7.00E-05	1.00E-06	-1.00E-04	-2.00E-05	-7.00E-05		
	荒川	荒川							新市川大橋	3.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	1.00E-05	-1.00E-04	-1.70E-03	3.00E-06	-2.00E-04		
									平川大橋	3.00E-04	3.00E-05	3.00E-04	2.00E-04	-2.00E-04	-1.10E-03	-7.00E-06	2.00E-05		
	荒川	荒川							堤切橋	3.00E-04	3.00E-05	4.00E-04	-2.00E-04	-2.00E-04	-1.60E-03	2.00E-04	-1.00E-06		
									堤切橋	4.00E-04	2.00E-05	2.00E-04	-6.00E-04	-3.00E-04	-7.00E-04	-3.00E-04	4.00E-05	4.59	
	多摩川	多摩川	石原	2.40E-03	1.40E-03	8.00E-04	5.00E-04	(ア)	多摩川原橋	3.00E-04	-1.00E-05	1.00E-04	-5.00E-04	-1.00E-04	-6.00E-04	-2.00E-04	-2.00E-05		
									堤布橋	7.00E-03	-9.00E-06	2.00E-05	7.00E-06	8.00E-05	2.00E-04	4.00E-05	-1.00E-06	4.59	
	関東	多摩川	多摩川	堤布橋	-6.00E-04	-3.00E-04	7.00E-05	3.00E-04	(ウ)	二子橋	1.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	-7.00E-04	-4.00E-04	-9.00E-04	-1.00E-04	-2.00E-05	
										日野橋	4.00E-04	-1.00E-05	8.00E-05	-3.00E-04	-1.00E-04	-6.00E-04	-3.00E-04	1.00E-04	
鶴見川		鶴見川	亀の子橋	6.00E-04	4.00E-04	8.00E-04	5.00E-04	(ア)	亀の子橋	3.00E-04	2.00E-05	1.00E-04	-3.00E-04	-4.00E-04	2.00E-03	-1.00E-04	-3.00E-05	4.82	
									大淵橋	4.00E-04	-3.00E-05	1.00E-04	-6.00E-04	-5.00E-04	2.00E-03	-2.00E-04	-3.00E-05		
利根川	利根川	高松	-9.00E-04	-3.00E-04	-2.00E-04	6.00E-05	(ウ)	東吉橋	3.00E-04	-3.00E-06	3.00E-04	-6.00E-04	-6.00E-04	-1.70E-03	-3.00E-04	-3.00E-05			
								高松	2.00E-04	6.00E-05	4.00E-05	-1.00E-04	-2.00E-04	-1.60E-03	9.00E-06	-6.00E-08	4.77		
	利根川	利根川	清賀	1.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	-9.00E-05		清賀	1.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	-9.00E-05	6.00E-06	-7.00E-04	3.00E-05	1.00E-06		
									市川	1.00E-04	3.00E-05	1.00E-04	-8.00E-05	-2.00E-05	-9.00E-04	3.00E-05	-2.00E-06	4.34	
豊川	豊川	石田	-6.00E-04	-2.00E-04	2.00E-05	1.00E-04	(ア)	石田大橋	8.00E-04	6.00E-05	-1.00E-05	-3.00E-05	-1.00E-05	-4.00E-04	-2.00E-04	-3.00E-06			
								江島橋	1.00E-04	3.00E-05	1.00E-05	-1.00E-05	2.00E-05	-2.00E-04	-2.00E-05	-2.00E-05	-5.46		
	豊川	豊川	当古	-6.00E-04	-3.00E-04	-1.00E-04	7.00E-06	(ア)	当古橋	3.00E-05	2.00E-05	6.00E-06	-9.00E-06	1.00E-05	-2.00E-04	-3.00E-05	-1.00E-04	-8.94	
									龍島大橋	1.00E-04	1.00E-05	3.00E-05	-1.00E-05	-2.00E-05	-3.00E-05	2.00E-05	-4.00E-07	-2.73	
中部	木曽川	長良川	豊後	-6.00E-06	2.10E-03	2.50E-03	2.20E-03	(ウ)	豊後大橋	3.00E-04	1.00E-05	7.00E-05	-4.00E-05	-2.00E-05	-7.00E-05	-2.00E-05	-6.00E-08	2.87	
									東大橋	9.00E-05	1.00E-05	1.00E-04	-6.00E-05	-9.00E-05	-1.40E-03	-2.00E-05	-8.00E-06		
	柳田川	柳田川	西郡	-7.00E-04	-1.00E-04	-3.00E-05	2.00E-05	(ウ)	南津大橋	2.00E-04	1.00E-05	2.00E-04	-1.00E-04	-2.00E-04	-1.10E-03	-4.00E-05	-6.00E-06		
									荒川橋	2.00E-05	1.00E-05	4.00E-05	-8.00E-06	-8.00E-06	-8.00E-05	1.00E-05	-6.00E-07		
近畿	九球電川	九球電川	西郡	8.00E-05	3.00E-05	8.00E-05	8.00E-05	(ア)	荒川橋	8.00E-05	2.00E-05	-2.00E-05	-4.00E-06	5.00E-05	-8.00E-04	-7.00E-05	-7.00E-08	3.74	
									九球電川河口	2.00E-04	1.00E-05	9.00E-05	-4.00E-05	-2.00E-06	-2.00E-04				
	大和川	大和川	正寺	-1.20E-03	-1.60E-03	-1.10E-03	2.00E-04		高瀬橋	2.00E-04	6.00E-07	4.00E-05	-1.00E-06	2.00E-05	-1.00E-04			5.82	
									高瀬小野橋	6.00E-05	5.00E-05	5.00E-04	-1.50E-05	-9.00E-05	-5.60E-03	-5.00E-04	-1.00E-04		
大和川	大和川	王寺	2.00E-04	2.00E-04	9.00E-05	1.00E-04	(ア)	国庫大橋	1.00E-04	2.00E-05	5.00E-05	-6.00E-04	-2.00E-04	-2.90E-03	-2.00E-04	-2.00E-05			
								国庫大橋	2.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	-1.00E-03	-5.00E-04	-3.30E-03	-3.00E-04	-6.00E-05	0.48		
中国	江の川	江の川	泉山橋	-6.00E-04	-4.00E-04	-8.00E-04	-4.00E-04	(イ)	泉山橋	2.00E-04	3.00E-05	2.00E-04	-1.00E-03	-6.00E-04	-3.30E-03	-3.00E-04	-6.00E-05	0.48	
									国庫大橋	2.00E-04	3.00E-05	1.00E-04	-6.00E-04	-3.00E-04	-3.70E-03	-2.00E-04	-4.00E-05		
	保良川	保良川	新谷	-6.00E-05	-2.00E-05	-1.00E-06	-3.00E-07	(イ)	太子橋	3.00E-04	9.00E-06	2.00E-04	-1.40E-03	-4.00E-04	-1.30E-03	-3.00E-04	-3.00E-05	0.48	
									尾山	7.00E-05	1.00E-05	3.00E-06	-2.00E-05	6.00E-06	-3.00E-04	4.00E-05	2.00E-04	-1.35	
九州	熊川	熊川	矢落川	-6.00E-05	-2.00E-05	-1.00E-06	-3.00E-07	(イ)	新橋	7.00E-05	2.00E-05	8.00E-05	-4.00E-05	6.00E-05	-2.00E-04	1.00E-05	-7.00E-07		
									新谷大橋	-2.00E-04	-3.00E-06	-2.00E-04	1.00E-05	4.00E-05	2.00E-04			4.84	
	車埴川	車埴川	出合	-4.00E-04	-6.00E-06	7.00E-05	4.00E-05	(ウ)	出合	1.00E-04	2.00E-05	3.00E-05	-2.00E-04	-2.00E-04	-5.00E-04	-1.00E-04	-2.00E-05	3.84	
									常陸	1.00E-04	9.00E-06	6.00E-05	-9.00E-06	9.00E-06	-1.00E-04	-4.00E-05	-9.00E-07	0.75	
九州	筑後川	筑後川	城下	-3.10E-03	-2.10E-03	7.30E-03	-8.90E-04	(イ)	常陸大橋	1.00E-04	4.00E-05	8.00E-06	-3.00E-05	9.00E-06	-1.00E-04	-2.00E-05	-6.84		
									常陸大橋	1.00E-04	4.00E-05	8.00E-06	-3.00E-05	9.00E-06	-1.00E-04	-2.00E-05	-6.84		

流況の変化と降水量の変化について回帰式の検定を行った結果、豊水流量と降水量は、有意水準 1%を満たし有意な正の相関が見られたが、平水、低水、渇水の順で相関は低くなり、有意な相関は得られなかった。

b) 水温・水質の変化

一部の河川を除いて水温、pH、DOについては全体的に増加傾向、BOD、TP、SSについては全体的に減少傾向、COD、TNについては増加・減少が半々程度あった。BOD、COD、TN、SSは、多摩川、鶴見川、大和川等の下流の調査地点では減少率が大きくなる傾向にあり、元々濃度が高かったこれらの地域では、総量規制、高度処理等の汚濁負荷対策の効果が大きいことが示唆された。

(2) 水温の変化に着目した抽出地点の類型化

1982-2007年の全期間平均水温とその近似直線の傾きによって、クラスター分析を行い、抽出地点をA~Hの8つに類型区分した結果を表-4に示す。表-4の「特徴」は各類型における1982-2007年の全期間平均水温と近似直線の特徴を示す。また、「回帰判定」は、時間を説明変数にしたときの水温変化の回帰式の有意性の検定結果、「前半期平均と後半期平均の平均の差の有無」は前半と後半の平均値に有意差があるかの検定結果であり、検定によるものである。表の下に行くほど、近似直線の傾きが大きく、かつ平均水温が高い類型となる。水温低下・横ばい型の類型A~Dでは有意な変化トレンドはほとんど見られなかったが、やや上昇型と上昇型の類型E~Hでは有意な上昇トレンドが見られる。前半と後半の水温変化のトレンドの関係には一様な傾向は見られなかったが、全体的に前半のほうが上昇の傾きが大きい。また、上昇傾向にある類型区分では、前半と後半の水温の平均値に有意な差がある河川が多く、この2期間で、期間平均的な水温が上昇していることが示唆された。

類型A~Cは、気温の低下と降水量の増加の傾向が共通して見られることが特徴である。このうち類型A、Bに見られる水温の低下傾向は、気温の低下と降水量の増加という自然的要因によって導かれた可能性が高いことが示された。

類型D~Fは、気温は上昇傾向にあるが、降水量の増減は地点によって様々である。さらに、気温の傾き度合いと水温の傾き度合いが類似していることから、これらの類型に見られる水温の上昇傾向は、気温の上昇という自然的要因によって導かれた可能性が高いことが示された。

類型G、Hは、気温は上昇傾向にあり、降水量の増減は地点によって様々であることは類型D~Fと同様であるが、水温の上昇度合いが気温の上昇度合いを大きく上回っていることが特徴であり、自然的要因だけでは水温の上昇を説明できない。類型G、Hは人口密度の高い都

市を流れる地点で構成されており、人口集中による流域の開発といった人為的影響が、本類型を特徴づける要因となっていることが示唆された。

例えば、同じ河川でも異なる類型に分類された多摩川のは政橋（距離標 32.0k）（類型H）と調布橋（距離標 60.0k）（類型C）を比較すると、1982-2007年の期間平均気温は約2℃、水温は約6℃の差があり、また、水温上昇の傾きにも4倍以上の差があった。この2地点間には、取水による河川水量の減少及び下水処理場からの処理排水の流入がある。また、1982-2007年の期間を含む各年度の「下水道統計」の集計によると、石原（距離標 28.0k）までに流入する下水処理量は1980年から2倍以上に増加しており、平水流量には大きな変化が見られないことから、河川流量に占める処理水量の増加が水温上昇の原因となっていることが考えられ、是政橋地点では人為影響による水温変化が自然的要因による影響を大きく上回ったことを示した。

(3) 伊勢湾流域の河川における水質の変化と流域環境情報との関連性の分析

伊勢湾流域圏の調査地点を抽出し、水温変化による先の類型ごとに並べ、表-2で示した流域環境情報に関する指標、水質（BOD、COD、TN、TP）の年間平均値及び水温変化の近似直線の傾きを対応させて整理したものを表-5に示す。これらの変化について考察すると、例えば、やや上昇・高温型（類型G）の庄内川では、人口密度、下水処理人口密度、市街地面積、工業出荷額が増加傾向にあり、生活系、工業系の水利用の増加が水温上昇の主要因になっていると考えられる。やや上昇・平均型（類型F）でも、櫛田川を除いてこれらの指標値が増加傾向にあった。

水質の変化と流域環境の変化を比較すると、下水処理人口密度とBODの変化との間に有意な負の相関が見られた。また、豚の頭数とTNの間に有意な正の相関が見られた。

さらに、より詳細な水質の経年変化と、流域環境の変化及び人間活動との関係を比較した。庄内川の枇杷島橋地点における1970年以降のBOD濃度に注目すると、1970年には30mg/l程の高濃度が観測されていたが、1970年から1975年の間に、5mg/l程度にまで大きく改善された（図-1参照）。これは、1970年12月に制定された水質汚濁防止法による排水規制により、工場から排出される有機汚濁負荷量が大きく減少したためであると考えられる。また、人口増加割合が小さい他の河川では、水質の変化は比較的小さいが、農地面積、畜産の割合が大きい鈴鹿川では、1970年以降の化学肥料による窒素の投入量減少に伴い¹⁰⁾、TN濃度の減少が見られるものの、現在でも河口付近で庄内川と同程度の比較的高濃度が観

表-4 抽出河川の水温変化による類型区分

水系名 水質調査地点名	類型	類型の特徴 (水温傾き・ 平均水温)	地方	1982-2005 (全期間)			1982-1995 (前半期)			1995-2007 (後半期)			前半期平均と後半期平均の差の 有無(検定) 片側5%で有意* 1%で有意**	降水量の 平均	降水量 傾き	平均 気温	平均気 温傾き
				平均	近似直 線の傾 き	回 帰判 定	平均	近似直 線の傾 き	回 帰判 定	平均	近似直 線の傾 き	回 帰判 定					
釧路川 開通橋	A	低下・低温型	北海道	9.4	-0.028		9.6	0.010		9.7	0.033	*		1029	3.76	11.6	0.019
常呂川 若松橋			北海道	10.2	-0.024		10.5	0.070		9.7	0.111			763	7.82	11.8	-0.114
阿賀野川 宮古橋	B	低下・平均型	北陸	13.1	-0.066	**	13.4	-0.192	**	12.8	-0.025			1492	21.81	15.7	-0.170
肱川 新大橋			四国	16.2	-0.040		16.4	-0.111		16.0	-0.023			1670	4.84	18.5	-0.105
小矢部川 国条橋			北陸	13.0	0.010		13.0	0.067		13.0	-0.037			2221	6.75	16.9	0.029
阿賀野川 馬越橋	C	横ばい・やや低温型	北陸	12.5	0.012		12.4	0.047		12.7	-0.094			1201	14.94	15.6	-0.111
阿賀野川 馬下橋			北陸	11.5	0.052	*	11.2	0.128	*	11.8	-0.009			1123	19.58	14.4	-0.050
多摩川 調布橋			関東	11.7	0.029		11.6	0.099	*	11.9	-0.046			1497	4.59	14.0	-0.045
利根川 布川			関東	15.9	0.031		15.7	0.047		16.1	-0.019	*		1382	4.34	17.7	-0.015
木曾川 横溝蔵	D	横ばい・平均型	中部	16.2	0.031		16.0	0.044		16.3	0.065			1723	-4.39	18.3	0.055
揖斐川 伊勢大橋			中部	16.1	0.029		16.0	0.030		16.3	0.051			2468	-3.11	18.9	0.005
宮川 度会橋			中部	16.2	0.006		16.2	0.087	*	16.2	-0.028			3193	7.90	18.4	0.050
鈴鹿川 小倉橋			中部	17.2	0.004		17.3	0.068		17.1	0.037			1825	-13.85	18.7	0.099
最上川 下野			東北	13.0	0.056		12.7	0.160		13.3	-0.012			1228	-0.48	15.7	-0.059
名取川 三橋			東北	13.7	0.074	*	13.4	0.211	*	14.1	0.013			1244	4.84	16.5	0.071
木曾川 鏡島大橋	E	やや上昇・平均型	中部	13.9	0.079	**	13.4	0.029		14.3	0.153	*		1806	-2.73	16.7	0.075
豊川 当古橋			中部	15.0	0.034		14.7	-0.010		15.2	0.065	*		1683	-8.94	17.8	0.003
櫛田川 両部橋			中部	14.7	0.051	*	14.4	0.090		14.9	0.057	*		2037	3.74	17.9	0.068
九頭竜川 高屋橋			近畿	13.9	0.045		13.6	0.121		14.2	-0.076			2223	5.82	18.0	0.033
江の川 尾関山			中国	14.0	0.049		13.8	0.029		14.3	0.097			1497	-1.35	13.7	-0.017
利根川 高松			関東	14.9	0.079	**	14.4	0.021		15.4	0.115	**		1241	4.77	17.6	0.089
木曾川 長良大橋			中部	15.8	0.091		14.6	0.051		15.7	0.047	*	**	1851	2.87	18.2	0.112
豊川 江島橋			中部	14.9	0.071	**	14.4	0.107		15.3	0.042	**	**	2354	-5.46	18.3	0.021
土讃川 常古橋			四国	15.3	0.087	**	14.8	0.105		15.9	0.047	**		1143	0.75	18.6	0.052
筑後川 久留米大橋	F	やや上昇・やや高温型	九州	16.2	0.059		15.7	0.070		16.8	-0.120	*		1843	-6.51	18.1	0.077
矢作川 米津大橋			中部	16.5	0.063	**	16.1	0.025	**	16.8	0.152	**	**	1413	0.64	18.5	0.020
櫛田川 櫛田橋			中部	15.5	0.057	**	15.1	0.035		16.0	0.029	**	**	2037	3.74	18.5	-0.017
豊川 吉田大橋			中部	15.8	0.078	**	15.3	0.057		16.3	0.101	*	**	2354	-5.46	18.8	0.192
長良川 伊勢大橋			中部	16.2	0.073	**	15.7	0.049		16.7	0.061	**	**	2170	3.24	19.4	-0.020
矢作川 中畑橋			中部	16.8	0.083	**	16.2	0.043		17.2	0.126	**	**	1413	0.64	19.1	-0.003
雲出川 雲出橋			中部	16.3	0.095	**	15.7	0.117		16.9	0.033	**	**	1683	-0.43	18.8	0.132
大和川 御幸大橋			近畿	18.4	0.070	*	18.0	0.128		18.8	0.064			1233	0.48	19.6	-0.005
庄内川 庄内新川橋	G	やや上昇・高温型	中部	18.1	0.049	*	17.7	-0.011		18.3	0.117	*		1608	-6.75	19.3	0.058
庄内川 枇杷島橋			中部	18.1	0.044		17.9	0.024		18.4	0.073			1608	-6.75	19.2	0.108
重信川 出合橋			四国	20.7	0.044		17.8	-0.007		18.6	0.013	*		1315	3.84	18.6	0.010
多摩川 是政橋			関東	17.6	0.133	**	16.7	0.085		18.5	0.145	**	**	1497	4.59	15.9	0.001
鶴見川 亀の子橋	H	上昇型	関東	18.1	0.142	**	17.2	0.153	**	19.1	0.076	**	**	1571	4.82	16.1	0.008
大和川 太子橋			近畿	18.3	0.109	**	17.7	0.090		19.0	0.174	**	**	1233	0.48	19.0	0.005

表-5 伊勢湾流域の環境情報との比較

水系名 水質調査地点名	平均 水温	水温の 傾き	類型	流域環境情報					BOD		COD		TN		TP	
				人口	下水処理 人口密度	市街地 面積	豚の頭数	工業 出荷額	BOD 平均	BOD 傾き	COD 平均	COD 傾き	TN 平均	TN傾き	TP 平均	TP傾き
鈴鹿川 小倉橋	17.19	0.004	D	4.1E+01	1.5E-03	2.3E-02	-2.5E+01	1.2E+05	1.08	-0.02	2.82	-0.05	4.95	-0.18	0.08	-6.8E-04
宮川 度会橋	16.20	0.006	D	7.1E+00	1.4E-03	6.6E-04	1.6E+00	2.0E+03	0.61	-0.01	1.20	-0.01	0.89	-0.03	0.01	-1.7E-04
揖斐川 伊勢大橋	16.11	0.029	D	9.5E+00	1.6E-03	2.1E-03	3.8E+00	7.7E+03	0.99	-0.01	2.76	-0.08	1.19	-0.01	0.07	-9.2E-05
木曾川 横溝蔵	16.17	0.031	D	1.0E+01	9.8E-04	-1.2E-03	7.8E-01	1.5E+04	0.96	-0.01	2.99	-0.12	0.63	-0.01	0.04	-6.9E-04
豊川 当古橋	14.97	0.034	E	1.3E-04	2.8E-03	2.2E-02	3.1E+01	1.9E+03	0.65	-0.01	2.16	-0.02	1.85	0.03	0.03	-2.0E-04
櫛田川 両部橋	14.65	0.051	E	-5.1E+00	9.5E-04	1.9E-03	1.6E+00	-1.9E+03	0.86	0.00	1.91	-0.01	-	-	-	-
木曾川 鏡島大橋	13.86	0.079	E	1.0E+01	9.8E-04	-1.2E-03	7.8E-01	1.5E+04	0.61	0.00	1.63	-0.01	0.77	0.01	0.02	2.0E-04
櫛田川 櫛田橋	15.53	0.057	F	-5.1E+00	9.5E-04	1.9E-03	1.6E+00	-1.9E+03	0.75	0.00	1.87	0.01	0.98	0.00	0.02	9.4E-05
矢作川 米津大橋	16.45	0.063	F	1.3E-04	4.0E-03	1.1E-02	3.7E+00	1.2E+05	1.14	-0.03	3.15	-0.07	1.32	-0.01	0.10	-2.7E-03
豊川 江島橋	14.86	0.071	F	1.3E-04	2.8E-03	2.2E-02	3.1E+01	1.9E+03	0.59	-0.01	2.01	0.01	1.08	-0.01	0.03	-6.4E-04
長良川 伊勢大橋	16.17	0.073	F	2.8E+01	1.3E-03	6.7E-03	2.7E+00	1.3E+04	1.03	0.02	2.83	-0.06	1.18	0.00	0.07	-1.3E-03
木曾川 長良大橋	15.14	0.078	F	1.0E+01	9.8E-04	-1.2E-03	7.8E-01	1.5E+04	0.84	-0.02	2.10	-0.01	1.11	0.00	0.06	-2.9E-03
豊川 吉田大橋	15.78	0.078	F	1.3E-04	2.8E-03	2.2E-02	3.1E+01	1.9E+03	0.88	-0.01	2.79	-0.04	1.82	0.00	0.06	-8.5E-04
矢作川 中畑橋	16.75	0.083	F	1.3E-04	4.0E-03	1.1E-02	3.7E+00	1.2E+05	1.36	-0.04	3.86	-0.06	-	-	-	-
雲出川 雲出橋	16.26	0.095	F	2.9E+00	1.4E-03	3.2E-03	1.6E+01	1.2E+05	1.19	-0.01	3.13	0.00	1.31	-0.01	0.04	-5.4E-04
庄内川 枇杷島橋	18.14	0.044	G	1.7E+02	3.1E-03	5.5E-02	7.7E+00	9.0E+04	4.26	-0.02	10.90	-0.14	3.73	0.00	0.29	-4.6E-04
庄内川 庄内新川橋	18.08	0.049	G	1.7E+02	3.1E-03	5.5E-02	7.7E+00	9.0E+04	2.82	-0.05	8.76	-0.03	-	-	-	-

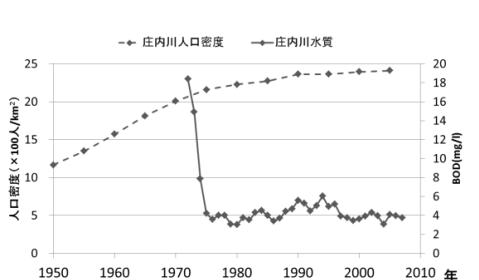


図-1 庄内川流域の人口密度とBOD濃度(枇杷島橋)

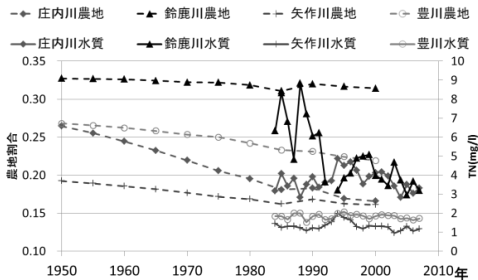


図-2 農地面積とTN濃度

測される等の課題があることが分かった（図-2 参照）。このように、河川水質の変化傾向には、流域における社会状況の変化が強く反映されている。有機汚濁や栄養塩類のみならず、河川によっては、水温のような項目でも人為影響によるものと見られる変化が現れているようであり、今後の河川水質の変化について検討する場合、人為影響を詳細に評価することの重要性が見受けられた。

5. 結語

全国の公共用水域の実測観測データを用いて、抽出した 27 河川 60 地点について過去 30 年間程度の流況・水質・水温の経年変化の実態を把握した。全国的に水質は改善されてきており、環境基準を満たす地点が増えているものの、全国的に水温は上昇傾向にあり、中でも都市河川では著しい上昇傾向にある地点があること、BOD や TN については改善されているものの未だに高濃度が続いている地点があること、水質項目によっては現在も悪化を続けている地点があることなど、多くの課題が残されていることが分かった。これらの要因には、自然的要因と人為的要因があり、特に人為的要因は多くの要因が想定され、また、それらが相互に影響し合うため、個別の調査のみでは変化要因の検討は困難である。しかし、本稿のように、自然的要因（降水量、気温、水量等）と人為的要因（土地利用、処理形態・人口、ダム等構造物、水利用状況、法規制等）に関する情報を合わせて整理するという方法を、個別の調査と組み合わせることで、総合的な視点から要因を検討することが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 森和紀：地球温暖化からみた水文環境の変化，地学雑誌，116(1)，pp.52-61，2007。
- 2) 滝野晶平，立川康人，椎葉充晴，山口千裕，萬和明：地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計，水工学論文集，第 54 巻，pp.475-480，2010。
- 3) 大沼克弘，藤田光一，井上優：ダムによる流量変化の特性分析，河川技術論文集，第 12 巻，pp.241-246，2006。
- 4) 木内豪：都市の水利用が公共用水域に及ぼす熱的影響の長期的変化—東京都区部下水道と東京湾を事例として—，水工学論文集，第 47 巻，pp. 25-30，2003。
- 5) 中山有，神田学，木内豪：下水処理場での水温観測に基づく都市下水道の水・熱輸送に関する研究，水文・水資源学会誌，第 20 巻，第 1 号，pp. 25-33，2007。
- 6) 黎嘉韻，木内豪，石川忠晴：河川水質の連続時期列推定値に基づく霞ヶ浦流域からの流出負荷量の特性分析，河川技術論文集，第 17 巻，pp. 251-256，2011。
- 7) 辻本哲郎，戸田祐嗣，高岡広樹，尾花まき子：湾を内包する流域圏の自然共生型アセスメント手法の構築に関する研究，環境システム研究論文集，Vol.38，pp.37-42.2010。
- 8) 天野邦彦，望月貴文：河川水辺の国勢調査結果を利用した魚類および底生動物の水温・水質への依存性評価，河川技術論文集，第 17 巻，pp. 513-518，2011。
- 9) 菊池佐智子，藤田光一，望月貴文：伊勢湾流域圏 1950-2000 年における人間活動と物質負荷に着目した環境変遷の分析，河川技術論文集，第 14 巻，pp.379-384，2008。
- 10) 菊池佐智子，藤田光一，望月貴文：伊勢湾流域における施肥に伴う窒素・リンの流出に関する一考察，第 63 回年次学術講演会，pp.421-422，2008。

(2011.8.8 受付)

INVESTIGATION OF FLOW REGIME AND WATER QUALITY SUCCESSION FOUND IN RIVERS NATIONWIDE AND COMPARATIVE ANALYSIS WITH THE BASIN INFORMATION

Takafumi MOCHIZUKI, Sachiko KIKUCHI and Kunihiko AMANO

We have extracted 60 observation stations from 27 rivers nationwide, and assembled dataset for flow regime, water quality and water temperature to estimate the succession of these parameters for the past about 30 years using public use observation data with climate information. We have classified the tendency of water temperature change which have been observed in 60 stations, and characterized each type. For the rivers flowing into Ise-Bay, we have evaluated the influence of factors on water temperature and quality succession by relating basin information and water quality parameters.

As the result, the following were clarified. Flow regime succession was classified into three patterns. Water temperature tended to rise in many rivers. BOD and TP tended to decrease in many rivers. COD and TN tended to decrease in about half of the rivers. The degree of water temperature increase is high within rivers which have large urbanized areas in their basins. Rivers which flow through urbanized areas also showed clear human impacts on water quality. For example, in Syonai River of Ise-Bay, not only found was rising trend of water temperature but also rapid BOD change due to the water quality control on industrial waste water discharge and sewage treatment progress.