

## 札幌市における河川の水質変動について

Variation of River Water Quality  
in Sapporo City鈴木 寿一 山下 悟 中島 純夫  
横田 秀幸 市川 修三 高杉 信男Toshikazu Suzuki, Satoru Yamashita, Sumio Nakajima,  
Hideyuki Yokota, Shyuzo Ichikawa and Nobuo Takasuzi

## 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>では、12カ月移動平均法を用いて各河川の傾向変動および季節変動を明らかにしたが、本報ではさらに周期変動を明らかにするため、コレログラム解析、調和解析などの時系列解析を行い、若干の知見を得たので報告する。

## 2. データの取りまとめ

2-1 時期：昭和51年4月～昭和56年3月の5年間の月1回のデータ(60検体)

2-2 地点：豊平川中流の東橋、下流の中沼の2地点

2-3 項目：水温、SS、pH、DO、COD、BOD、K-N、T-P、ABS、Coli(対数値)の10項目

2-4 方法：水質変動を長期傾向変動(トレンド) $x_T$ 、周期変動(サイクル) $x_F$ 、偶然変動(ランダム) $x_R$ に分けて考えると、水質データの時間的変動 $x(t)$ は(1)式で表わされる。

$x(t) = x_T(t) + x_F(t) + x_R(t) \dots\dots(1)$   
 $x_T(t)$ は最少2乗法による直線回帰式で求められ、 $x_F(t)$ はフーリエ級数によって正弦波と余弦波の合成波として表現できる。よって(1)式は(2)式で表わされる。

$$x(t) = a + bt + \sum_{n=1}^m a_n \cos \frac{2\pi}{T} nt + \sum_{n=1}^m b_n \sin \frac{2\pi}{T} nt + \varepsilon(t) \dots\dots(2)$$

また $x(t)$ の分散は(3)式になる。

$$\text{Var}[x(t)] = \text{Var}[a + bt] + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (a_n^2 + b_n^2) + \text{Var}[\varepsilon(t)] \dots\dots(3)$$

このように各変動成分の分散を算出することにより、全変動に対する長期傾向変動の割合と周期変動の割合が求められ、さらに調和解析により、全周期変動に対する各周期変動の割合(パワースペクトラム $P_1(n)$ )が求められる。またコレログラムは縦軸にズレ( $\tau$ )の系列相関係数 $r_\tau$ をとり、横軸に $\tau$ をとった図であり、これにより卓越周期の存在を検出することができる。

## 3. 結果と考察

## 3-1 長期傾向変動

各項目について単回帰分析を行った結果は、表1のとおりである。

2地点計20項目のうち、5%の危険率で相関があり、明らかなトレンドを見たのは、東橋のSS(減少傾向)、東橋のT-P(増加傾向)、中沼のABS(減少傾向)の3項目であった。上記3項目の全変動に対する傾向変動の割合は、それぞれ10%、8.5%、11%であり、その他の項目はすべて6%以下であった。

## 3-2 周期変動

各項目のコレログラムは図1～2のとおりであり、各項目と豊平川の流量の分散と調和分析の結果

表1 各項目のトレンド

\* 5%の危険率で相関あり

	水温	SS	PH	DO	COD	BOD	K-N	T-P	ABS	Coli
東橋	$y = -0.0394$ $x + 9.752$ ( $r = -0.09$ )	$y = -0.3201$ $x + 21.215$ ( $r = -0.32$ *)	$y = -0.0078$ $x + 7.734$ ( $r = -0.20$ )	$y = -0.0024$ $x + 12.280$ ( $r = -0.02$ )	$y = 0.0090$ $x + 2.079$ ( $r = 0.11$ )	$y = -0.0179$ $x + 2.21$ ( $r = -0.17$ )	$y = -0.0026$ $x + 0.275$ ( $r = -0.24$ )	$y = 0.0004$ $x + 0.015$ ( $r = 0.29$ *)	$y = 0.0004$ $x + 0.046$ ( $r = 0.16$ )	$y = 0.0072$ $x + 3.242$ ( $r = 0.17$ )
	$y = -0.0303$ $x + 9.876$ ( $r = -0.07$ )	$y = -0.0913$ $x + 22.802$ ( $r = -0.07$ )	$y = -0.0025$ $x + 7.147$ ( $r = -0.17$ )	$y = 0.0057$ $x + 9.168$ ( $r = 0.04$ )	$y = 0.0286$ $x + 5.188$ ( $r = 0.23$ )	$y = -0.1426$ $x + 3.441$ ( $r = -0.15$ )	$y = -0.0115$ $x + 4.333$ ( $r = -0.07$ )	$y = 0.0005$ $x + 0.339$ ( $r = 0.05$ )	$y = -0.0012$ $x + 0.143$ ( $r = -0.34$ *)	$y = 0.0076$ $x + 4.104$ ( $r = 0.21$ )

表2 各分散の値と調和分析の結果

地点	東橋										中沼										豊平川の流況	
	水温	SS	pH	DO	COD	BOD	K-N	T-P	ABS	Coli	水温	SS	pH	DO	COD	BOD	K-N	T-P	ABS	Coli		
全分散	55.4800	297.9700	0.4463	2.0718	1.7398	3.0993	0.0348	0.0006	0.0023	0.5119	56.5228	504.3895	0.0634	6.0789	4.6620	2.6600	6.2650	0.0422	0.0039	0.3965	494.0	
傾向線の分散	0.4700	31.2600	0.0190	0.0017	0.0249	0.0977	0.0020	0.0001	0.0001	0.0158	0.2813	2.5441	0.0019	0.0100	0.2501	0.0670	0.0403	0.0010	0.0004	0.0179	19.1	
全分散に対する傾向分散の割合 (%)	0.8	10	4.2	0.0	1.4	3.1	6.0	8.5	2.7	3.0	0.4	0.5	3.1	0.1	5.3	2.3	0.6	0.2	11	4.2	3.8	
周期分散	54.4500	264.4854	0.4191	3.0339	1.6967	2.9656	0.0223	0.0005	0.0022	0.4879	55.3315	499.7094	0.0614	5.9980	4.3511	2.5575	6.2748	0.0414	0.0034	0.3733	470.1	
全周期変動に対する各周期変動の割合	(12カ月)	0.49	0.37	3.34	0.89	1.37	1.99	0.92	25.35	0.00	3.43	0.59	0.64	2.76	3.1	1.98	7.91	1.08	3.62	5.05	1.50	2.80
	30	0.25	0.48	2.98	0.49	2.28	3.54	0.00	26.13	3.18	10.42	0.27	2.72	0.48	1.07	1.69	6.86	2.55	3.14	5.57	0.05	0.24
	20	0.05	0.80	0.69	0.12	2.00	4.55	1.54	1.55	6.36	4.93	0.09	2.63	9.44	0.28	4.43	0.07	0.78	0.48	5.66	4.39	0.81
	15	0.44	0.31	7.94	0.06	3.52	5.70	3.09	3.20	0.90	1.92	0.93	2.58	1.14	0.76	0.83	6.40	5.19	2.41	1.06	1.24	1.22
	12	90.19	5.39	14.67	87.42	4.42	0.11	2.16	2.57	4.54	25.41	90.66	23.66	11.07	67.31	3.21	12.25	11.38	12.07	8.06	12.76	29.03
	10	0.97	4.14	8.75	0.50	4.32	5.87	4.64	1.12	4.54	3.27	0.10	0.31	8.79	0.71	0.41	9.82	2.35	1.93	1.24	4.57	1.37
	8.5	0.17	8.52	2.48	0.48	5.95	5.06	4.64	1.19	0.45	1.36	0.01	4.16	0.65	0.70	1.15	0.30	2.11	1.69	8.1	2.10	0.28
	7.5	0.43	6.24	1.19	0.54	0.03	0.71	3.09	3.00	5.45	0.45	0.07	1.31	3.42	0.05	1.61	3.45	0.35	0.48	2.67	4.27	0.65
	6.6	0.00	4.72	1.71	0.00	3.32	3.83	5.57	3.57	1.81	3.52	0.28	4.48	1.79	0.41	2.53	2.91	1.32	0.96	4.32	1.41	0.70
	6.0	2.50	7.80	17.80	0.95	3.60	7.89	0.92	4.16	2.72	10.54	2.27	18.74	12.05	15.19	27.84	22.89	26.95	17.14	14.21	20.19	29.92
	5.4	0.53	3.34	2.21	0.43	2.28	1.58	2.16	1.27	8.18	4.64	0.38	1.24	0.48	0.02	2.59	0.23	0.44	1.44	0.36	1.28	0.63
	5.0	0.06	3.98	0.59	0.35	3.54	2.16	2.64	0.22	2.72	0.04	0.08	3.48	7.51	0.30	0.83	1.38	1.22	1.69	0.93	1.44	0.35
	4.6	0.28	5.03	1.64	1.11	2.74	7.22	3.96	0.63	7.72	4.03	0.20	0.55	0.00	0.28	0.54	0.89	1.04	0.48	1.58	1.24	0.31
	4.2	0.15	0.70	0.04	0.30	1.84	1.68	4.64	0.44	0.45	2.58	0.34	4.68	0.32	0.02	1.39	0.50	1.71	1.20	0.97	2.34	0.19
	4.0	0.43	3.70	3.88	0.07	5.25	2.10	5.26	1.41	4.54	4.23	0.49	5.37	14.65	0.54	3.26	1.19	4.24	2.17	6.16	0.95	11.41
	3.7	0.21	0.28	0.26	0.27	3.63	2.23	4.95	6.28	2.27	1.84	0.04	0.00	0.00	0.04	0.06	0.67	2.64	5.55	0.07	4.67	0.91
	3.5	0.35	0.64	0.47	1.09	2.59	2.78	0.92	3.62	2.72	3.09	0.71	1.92	1.14	0.66	0.96	1.66	2.76	0.96	0.87	1.96	0.21
	3.3	0.30	1.83	1.43	0.24	3.28	1.81	1.23	1.89	4.54	2.68	0.21	0.07	1.62	0.02	0.55	0.64	0.07	1.20	1.94	1.50	0.21
	3.1	0.07	4.37	2.81	0.07	5.53	5.84	8.04	1.07	3.63	0.92	0.00	3.58	0.16	1.27	4.63	0.34	1.55	3.86	3.29	3.03	0.54
	3.0	0.28	12.27	8.78	0.80	4.49	2.01	4.02	1.23	0.90	1.47	0.47	6.58	4.07	2.88	17.49	5.15	4.70	12.07	16.11	2.86	13.13
2.8	0.67	4.14	1.00	0.24	1.77	4.17	0.30	0.59	3.18	1.69	0.40	1.02	3.74	1.42	6.38	2.29	1.21	1.93	2.31	3.73	0.25	
2.7	0.18	5.31	2.19	0.29	7.93	4.09	2.47	1.26	3.18	0.41	0.44	0.32	1.14	1.27	2.68	3.35	7.77	2.41	6.18	4.77	0.14	
2.6	0.00	0.17	3.26	0.26	3.01	3.52	0.00	1.70	5.45	0.65	0.09	0.17	0.16	0.10	4.11	1.03	6.00	1.69	7.95	1.88	0.61	
2.5	0.13	0.99	0.38	0.25	0.63	4.40	0.00	1.17	4.09	2.12	0.36	2.23	1.62	0.73	1.28	0.80	0.95	2.17	0.95	0.66	0.18	
2.4	0.40	1.51	1.16	0.02	6.78	3.74	2.78	0.40	2.27	0.11	0.51	2.74	4.39	0.25	1.04	1.34	3.47	5.55	0.15	7.18	2.28	
2.3	0.02	1.07	0.97	0.24	0.20	1.86	0.30	2.36	2.72	1.42	0.05	0.63	0.00	0.00	2.05	1.17	1.89	1.20	0.71	2.80	0.19	
2.2	0.01	5.55	2.31	0.86	3.31	2.42	4.33	0.69	0.90	1.67	0.14	0.15	0.32	0.01	1.08	0.46	0.29	5.07	2.38	1.41	0.12	
2.1	0.17	2.25	1.57	0.19	0.80	2.84	11.45	1.53	2.27	0.43	0.01	0.20	0.97	0.21	1.47	1.06	2.17	1.69	0.53	1.58	0.25	
2.06	0.10	2.11	3.29	0.23	6.97	3.10	1.54	0.04	2.27	0.24	0.40	1.22	0.32	0.07	0.16	2.61	0.90	0.24	3.31	1.51	0.22	
2.0	0.01	1.96	0.07	1.09	1.40	1.06	0.61	0.00	3.18	0.02	0.09	2.49	3.09	0.72	0.58	0.19	1.76	0.00	1.14	0.54	1.30	

果は表2のとおりである。

水温は12カ月周期成分が卓越しており、 $P_1(n)$ も90%を越えている。DOも12カ月周期成分が卓越しており、 $P_1(n)$ はそれぞれ87%、67%を示している。しかし、中沼では6カ月周期成分も15%存在しており、中沼のDOが水温以外の要因にも影響を受けていることがわかる。このことは、

12カ月成分を除いた2地点のコレログラム(図3)を比べると東橋では周期成分がなくなるが、中沼では6カ月周期成分が見られることでも確認できる。他に12カ月周期が卓越していたのは、東橋のColiと中沼のSSであり、 $P_1(n)$ は25%と23%であった。

中沼は水温を除く各項目とも6カ月周期成分の

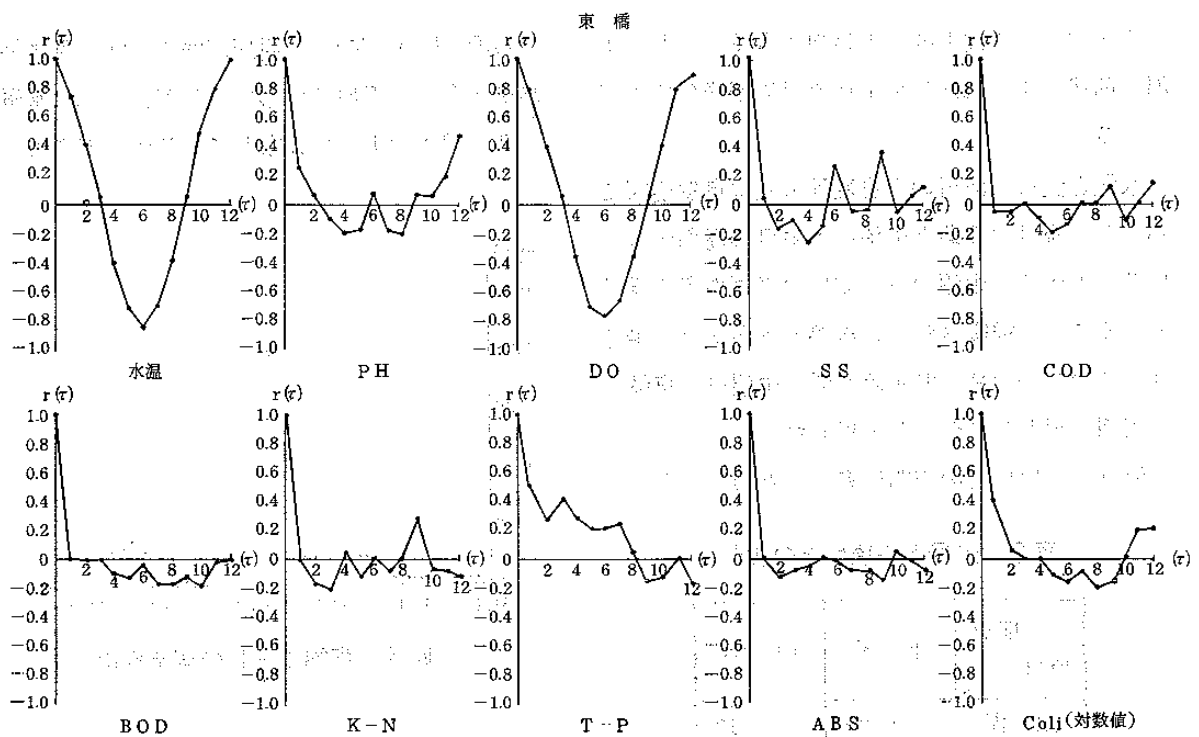


図1 東橋における各項目のコレログラム

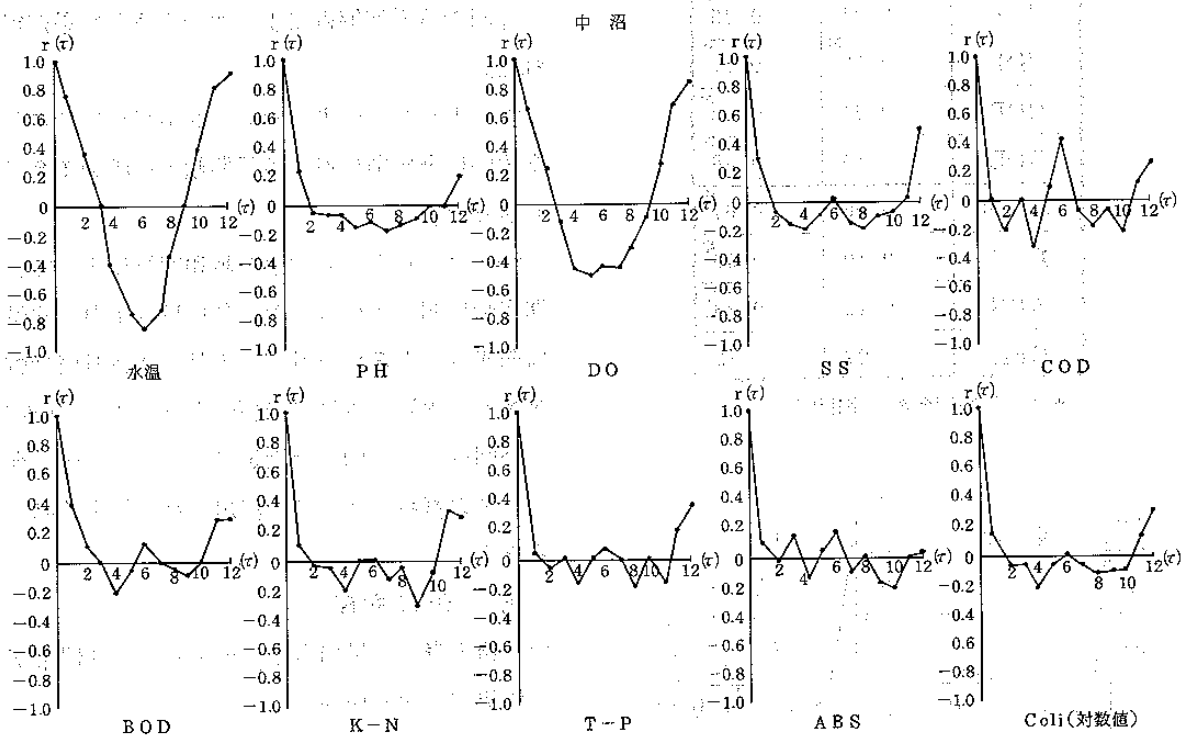


図2 中沼における各項目のコレログラム

$P_1(n)$ が10%以上あり、特に、有機汚濁項目であるCOD、BOD、K-N、Coliが20%以上あった。一方、東橋では6カ月周期成分がそれほど現われていなく、いろいろな周期波が複雑に合成

されている。

流量の $P_1(n)$ は6カ月、12カ月周期成分がともに29%ずつで、3カ月周期成分が13%、4カ月周期成分が11%であった。つまり、流量はほとん

ど上記の4つの周期成分で表現できる。また、水温も前述のように90%以上12カ月周期成分で表現できる。

水温と流量は河川の水質変動の主な自然要因であるが、流量の周期と中沼の各項目の周期が似ていることから、中沼の方が流量の影響を多く受けていることが推察される。東橋ではあまり汚染を受けていないため、測定値が低く中沼ほど卓越した周期が現われなかったと思われる。

流量と各項目との相関は表3のとおりである。

表3 流量と各項目との相関

地点 項目	東橋	中沼
水 温	-0.09	-0.13
pH	-0.31	-0.49*
DO	0.01	0.35*
SS	0.70*	0.77*
COD	0.21	-0.42*
BOD	-0.15	-0.48*
K-N	-0.08	-0.61*
T-P	-0.10	-0.50*
ABS	-0.12	-0.33*
Coli	-0.07	-0.12

\* 5%の危険率で相関あり

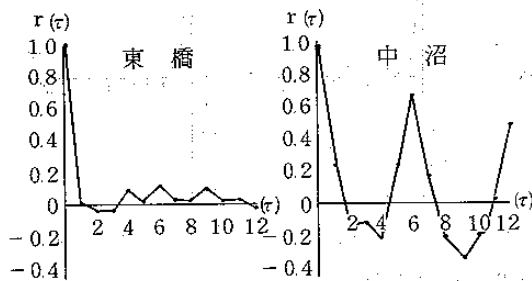


図3 12カ月周期を除いたコレログラム

全体的に流量は東橋との相関が低く、中沼との相関が高いことから、中沼が流量の影響をかなり受けていることがわかる。

東橋のT-Pが60カ月周期が25%、30カ月周期が26%と変った周期を示しているが、これは水質データが図4のように分布しているからである。

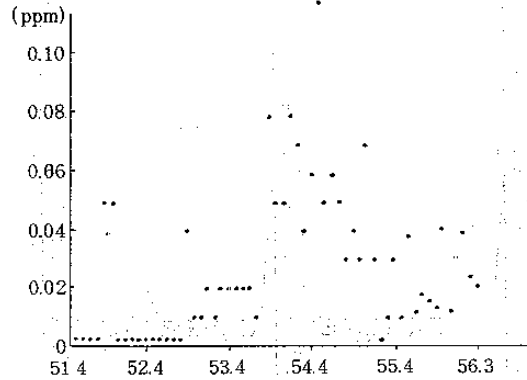


図4 東橋T-Pの経年変化

#### 4. 結 語

今回の時系列解析により次のような結果が得られた。

(1) トレンドがあったのは3項目だけであり、全体的に全変動に対する長期傾向変動の割合は低かった。

(2) コレログラムおよび調和解析によって、周期変動は明らかになった。各項目は水温、流量の周期成分である12カ月、6カ月、3カ月周期成分が多く、水温、流量の影響が大きいことがわかる。

今回はデータの蓄積には満足できなかったが、今後データの蓄積によって、河川水質の将来予測も可能と思う。

#### 5. 参考文献

- 1) 鈴木寿一, 横田秀幸, 市川修三: 札幌市衛研年報(7) 20 (1979)
- 2) 鈴木栄一: 気象統計学, 地人書館 (1976)
- 3) 小黒美樹, 大垣光治, 竹田正裕, 谷公義, 原伸男, 木田耿一, 佐坂克己: 徳島県公害センター所報(5) 6 (1979)
- 4) 吉田正次, 山本甫, 荒川幸夫: 愛知県公害センター所報(7) 23 (1979)