

東郷池の水質構造と水質の多変量解析について

安田 満夫 山内 佳見 笈 一郎
三田 正之 畦崎 俊敬 坂田 裕子

はじめに

東郷池の水質汚濁機構を解明するために、湖水の水質構造を明らかにするとともに、主要水質項目について多変量解析を試みた。

水域の概要

東郷池は県中部の東郷町と羽合町に位置する汽水湖で、東郷川、舎人川、羽衣石川、埴見川を流入河川、橋津川を流出河川として日本海に連なっ

ている。その規模は水面積 4.17 km^2 、最大水深 4.6 m 、平均水深 2.1 m である。池の南岸に東郷温泉、西岸に羽合温泉がある。

水質の現況

1. 常時監視調査

東郷池は、図1に示す St.1～4の4地点の上層と下層について、月1回の常時監視調査を行っている。中央部 St.2 (深度 3 m) における水質の昭和51～56年度の水質を表1に示した。

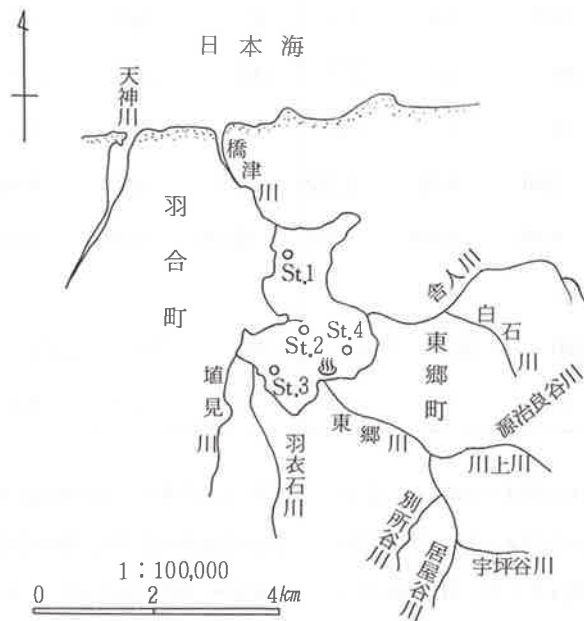


図1 東郷池位置図

表1 水質の最大値、最小値、平

年 度		5 1			5 2			5 3	
		最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小
上	水 温 (°C)	29.0	1.0	15.1	33.0	2.0	17.5	30.5	3.5
	透 明 度 (m)	1.8	0.5	0.8	1.2	0.5	0.9	1.8	0.6
	pH	9.3	7.4	8.6	9.2	7.5	8.5	9.2	7.5
	D O (ppm)	14.5	6.7	11.2	13	7.0	10	13	8.3
	D O (%)	151	89.3	113.2	137	88.9	110.2	166	96.1
	S S (ppm)	36	3	13.4	23	3	9.7	19	3
	T - N (ppm)	1.26	0.50	0.964	1.12	0.55	0.835	1.48	0.74
	T - P (ppm)	0.514	0.042	0.118	0.124	0.027	0.072	0.254	0.033
	Chl -a (µg/l)	-	-	-	-	-	-	151	9.27
	Cl ⁻ (ppm)	3,810	424	2,131	2,530	700	1,875	7,890	2,180
C O D (ppm)	10	3.2	6.3	8.2	3.4	6.0	13	3.2	
下	水 温 (°C)	28.5	1.0	14.9	31.5	2.5	17.4	31.0	3.5
	pH	9.0	7.3	8.3	9.2	7.4	8.3	9.0	7.5
	D O (ppm)	16.7	0.0	7.3	12	2.2	8.3	11	5.4
	D O (%)	141	0.0	77.6	115	27.8	80.9	116	72.2
	S S (ppm)	32	3	13.5	23	2	9.3	18	4
	T - N (ppm)	2.80	0.74	1.288	1.34	0.63	0.905	1.57	0.74
	T - P (ppm)	0.491	0.048	0.153	0.199	0.033	0.078	0.218	0.037
	Chl -a (µg/l)	-	-	-	-	-	-	154	6.13
	Cl ⁻ (ppm)	5,290	427	3,297	3,940	703	2,276	8,450	2,190
	C O D (ppm)	11.6	3.6	7.3	8.5	3.6	5.7	10	3.5

上層の水質では、CODは最大13ppmから最小1.4ppmまで変化し、年度の平均は6.3～3.9ppmである。水温は最高33.0℃最低1.5℃で、年度の平均は17.7～14.8℃である。透明度は最大2.2mから最小0.3mまで大きく変動している。pHは最大9.3

最小7.4である。DOの飽和率（以下DO%という）は最大154%、最小76.5%、年度の平均は128.2～107.7%と高い。SSは最大36ppmから最小2ppmと大幅に変化している。T-Nは最大1.835ppm、最小0.50ppmで、年度の平均は1.121～0.835

均値 (St. 3 中央部) (東郷池)

平均	5 4			5 5			5 6		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
17.7	32.0	2.5	17.2	26.0	2.5	14.8	29.0	4.5	16.5
0.9	1.6	0.6	1.0	2.2	0.5	1.2	2.8	0.3	1.0
8.6	9.2	7.4	8.4	8.7	7.4	7.8	9.1	7.7	8.2
10.3	13	9.2	11.0	12	6.2	9.9	12	8.3	10.1
128.2	154	97.0	119.4	126	76.5	103.6	128	97.3	107.7
11.0	23	2	9.5	12	3	6.5	13	2	7.5
0.987	1.23	0.53	0.837	1.392	0.583	0.981	1.835	0.540	1.121
0.113	0.106	0.021	0.054	0.078	0.028	0.043	0.108	0.018	0.050
64.3	62.7	10.3	38.2	40.8	5.4	22.0	118	0.7	33.0
4,594	4,020	1,020	2,478	4,580	689	2,565	5,430	593	2,030
5.7	8.3	2.6	5.0	5.3	1.4	3.9	6.1	2.2	3.9
17.4	30.0	3.0	17.1	25.5	3.5	15.6	29.0	5.0	16.0
8.4	9.1	7.4	8.1	8.3	7.4	7.8	9.1	7.4	8.0
8.6	13	4.4	9.2	12	4.5	9.4	12	4.4	9.1
96.1	133	49.4	79.8	112	56.2	98.8	118	57.8	96.4
13.1	18	3	11.6	24	5	9.6	21	2	9.8
1.102	1.37	0.52	0.998	1.417	0.605	1.070	1.746	0.747	1.168
0.125	0.144	0.029	0.063	0.073	0.034	0.054	0.101	0.017	0.054
64.2	82.6	11.1	43.4	53.2	5.8	26.7	83.4	0.7	30.2
5,170	4,840	1,180	2,806	11,500	718	3,648	5,760	622	2,360
6.5	7.7	2.8	5.0	5.3	2.2	4.1	5.5	2.7	3.8

ppmである。T-Pは最大0.514 ppm、最小0.018 ppmで、年度の平均は0.118 ~ 0.043 ppmである。Chlorophyll-a (以下Chl-aという)は、昭和53~56年度の測定では最大151 μg/l、最小0.7 μg/lと大幅に変化し、その比は205倍に及んで

いる。年度の平均は64.3 ~ 22.0 μg/lである。Cl⁻は最大7,850 ppmから最小424 ppmと大幅に変動し、年度の平均は4,594 ~ 1,875 ppmである。

下層の水質は、DO%を除いては上層と余り変わらない。DO%は最大141%最小0.0%、年度の

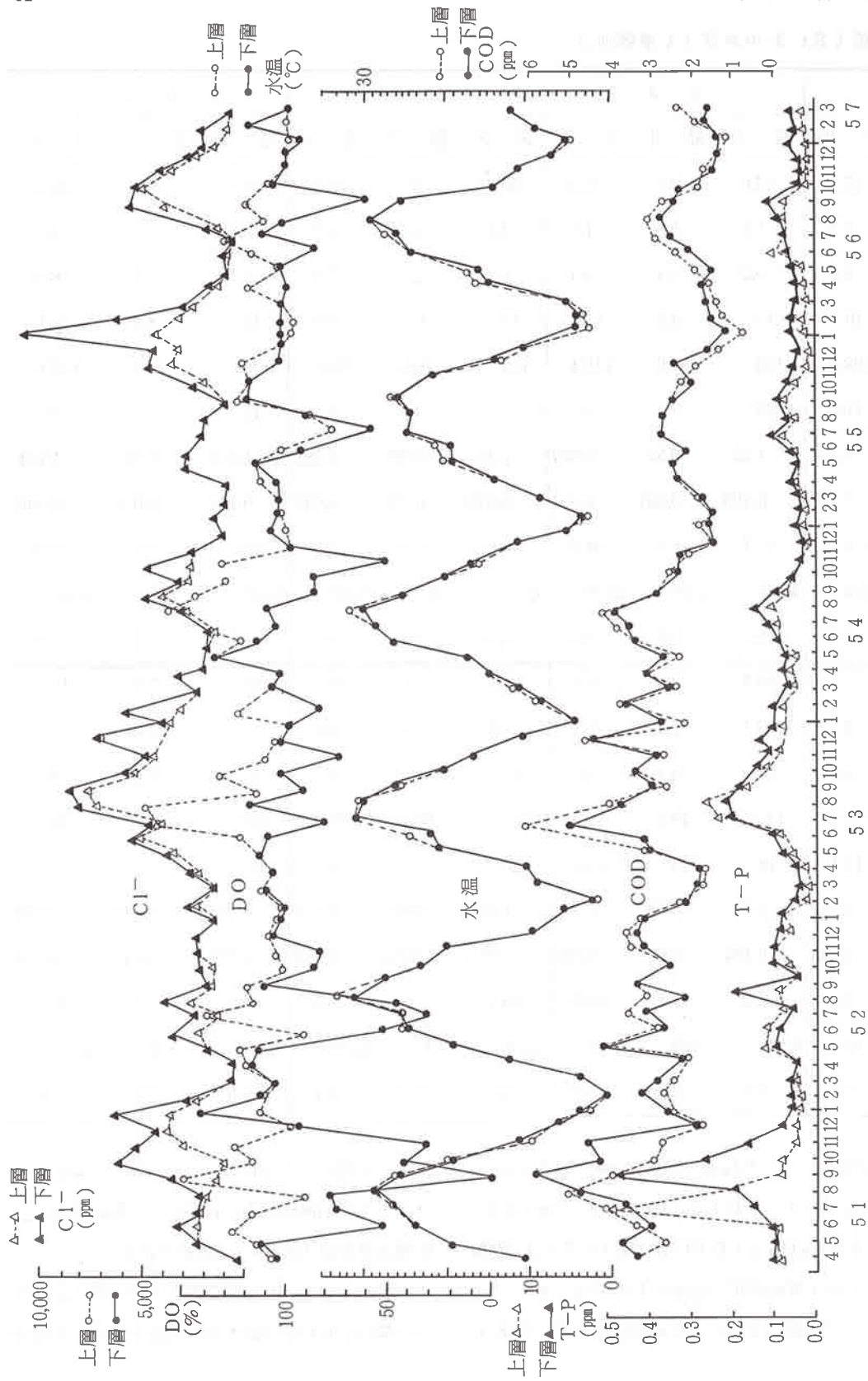


図2 上層と下層の水質の関係(中央部St.2 上層・下層)

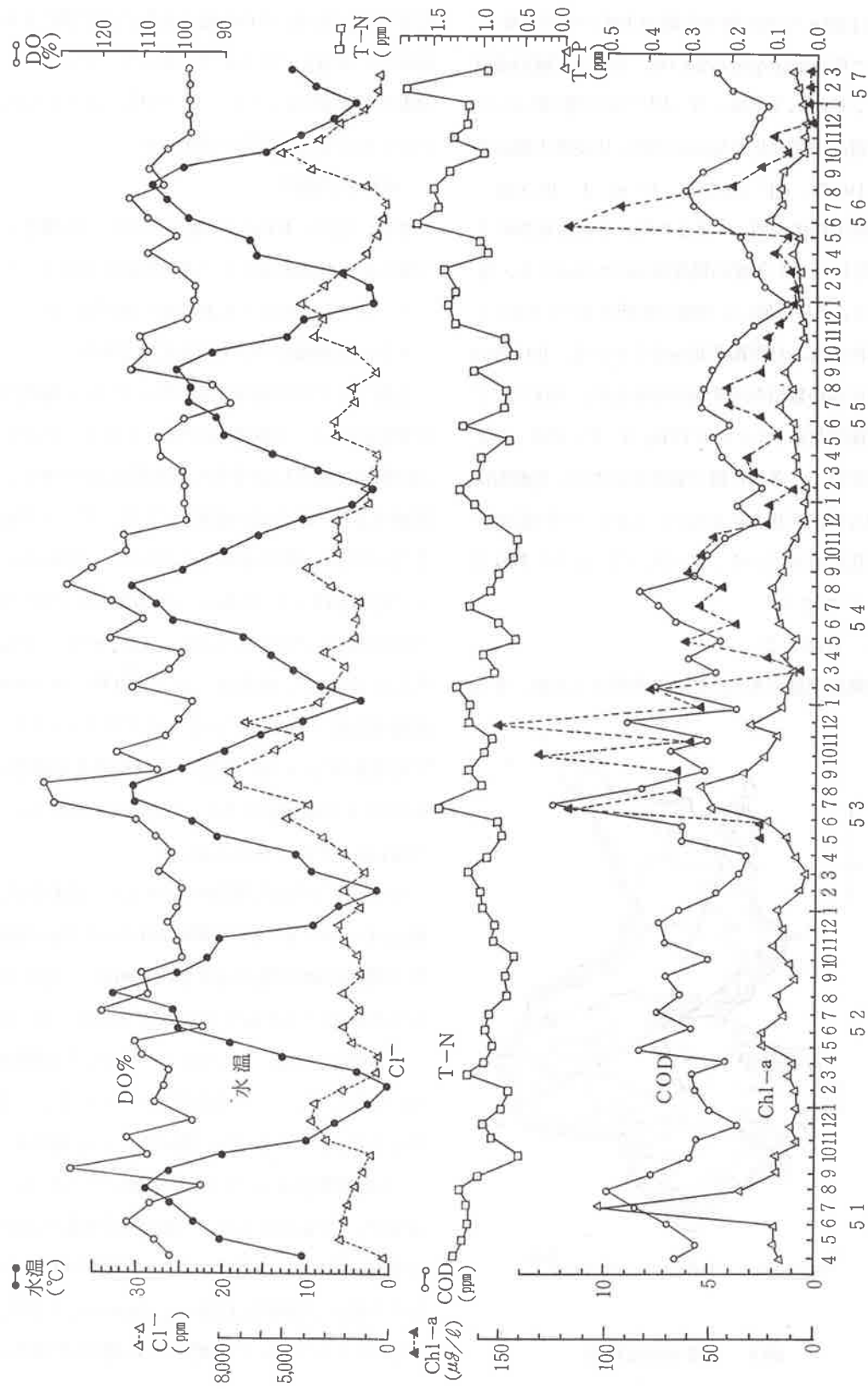


図3 水質の経年変化(中央部St 2上層)

平均は98.8～77.6%で上層の128.2～107.7%に比べて低い数値を示している。上層と下層の水溫、 Cl^- 、COD、DO%、T-Pについて図2に示した。

水質の季節変化を見るために、中央部上層の水溫、DO%、 Cl^- 、COD、T-N、T-P、Chl-aの経年変化を図3にまとめた。水溫は夏季の7～9月に高く(年度の最高は33.0～26.0℃)、冬季の1、2月に低い(年度の最低は4.5～1.0℃)周期性に富んだ季節変化を示している。DO%は夏季に高い数値を示す場合があるが、全体としては季節変化に乏しい。COD、T-P、Chl-aは夏季に高く、冬季に低い数値を示すが、全般的に明瞭な季節変化を示さない。しかし56年度は季節変化に富んでいる。T-N、 Cl^- は全く季節変化を示さない。

2. 季節変化

東郷池全域の水質の概要を把握するため、15地



図4 調査地点位置図

点で水溫、塩分、DOの鉛直分布調査並びに8地点の上・下層でCOD、T-N、T-P、 Cl^- の調査を昭和56年7・9・11・12月、57年2・3月の計6回の季節別調査を実施した。

(1) 鉛直分布

水溫、塩分、DOの15地点の鉛直分布調査を実施した。代表断面としてAB断面(地点2-3-5-10-13-16)とCD断面(地点11-10-9-8)の2断面について表2にまとめた。

水溫 7月は最高は表層水の27.3℃、最低は底層水の21.7℃で温度差は5.6℃もある。21.7℃の底層水は地点13に分布し、周辺の24～25℃の底層水より一段と低い温度を示している。9月は7月と同様に表層水が底層水より高く、25.0～23.6℃で温度差は1.4℃である。11月は7月、9月とは逆に底層水が表層水より高く、12.3～9.7℃で温度差は2.6℃で、地点10-13と地点10-9-8の底層水は12℃を示している。12月は7.8～5.5℃で温度差は2.3℃で、地点13には周辺より温度の高い7.8℃の底層水がある。2月は8.3～6.9℃、3月は13.4～11.8℃を示した。

塩分 7月は大部分が1.1～0.9‰であるが、地点11-10-9-8の底層には1.6～1.2‰、地点13の底層には0.6‰を示す水塊がある。9月は1.5 m以浅は殆ど6.5‰であるが、地点5-10-13-16、地点11-10-9-8は14.0～8.0‰を示す底層水が分布している。11月は7.6～4.7‰で、大部分は5.3‰以下であるが、地点10-13、地点10-9-8の底層水は7.6～7.3‰を示している。12月は7.0～3.9‰であるが、一部底層水を除けば4.3～3.9‰である。2月は、1.0 m以浅では1.5～1.3‰であるが、底層では2.1～1.9‰を示している。3月は1.5～1.3‰で深度による濃度差は殆ど

表2 水質の鉛直分布

(単位: °C)

A 1. 水温 56. 7. 8							B C D			
深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	26.2	26.2	26.2	26.6	27.3	26.2	26.2	26.6	26.5	26.5
0.5	26.2	26.2	26.2	26.5	27.1	26.2	26.1	26.5	25.4	26.3
1.0	26.2	26.1	26.1	26.4	26.8	25.9	26.0	26.4	26.4	26.3
1.5	(26.0)	25.9	26.0	26.2	25.7	25.0	25.7	26.2	26.2	26.3
2.0		(25.8)	25.0	25.6	25.3	24.8	25.0	25.6	25.1	25.0
2.5			(25.0)	25.0	24.3	(24.7)	25.0	25.0	24.4	(24.8)
3.0				24.7	21.7		(24.9)	24.7	24.7	
3.5				(24.7)	(21.7)			(24.7)	(24.7)	
56. 9. 24										
深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	25.0	25.0	24.9	24.8	25.0	24.5	25.0	24.8	25.0	24.5
0.5	24.9	25.0	24.9	24.8	25.0	24.5	25.0	24.8	25.0	24.5
1.0	24.7	24.9	24.5	24.8	24.9	24.5	25.0	24.8	25.0	24.0
1.5	(24.5)	(24.8)	24.0	24.8	24.7	24.4	24.5	24.8	24.9	23.8
2.0			23.6	24.7	24.2	24.3	23.9	24.7	24.4	23.7
2.5			(23.8)	24.0	24.0	(24.3)	24.0	24.0	24.0	23.7
3.0				23.9	(23.5)		(23.2)	23.9	(24.2)	(24.0)
3.5				(24.0)				(24.0)		
56. 11. 25										
深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	9.7	9.7	10.0	10.0	10.7	10.5	10.5	10.0	10.6	10.6
0.5	9.7	9.7	10.0	10.5	10.7	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6
1.0	10.0	9.8	10.2	10.5	10.6	10.5	10.4	10.5	10.5	10.6
1.5	(9.9)	10.0	10.3	10.4	10.6	10.6	10.4	10.4	10.5	10.5
2.0		(10.0)	10.8	10.5	10.9	(10.8)	10.4	10.5	10.6	10.9
2.5			(11.0)	12.0	11.8		11.6	12.0	11.6	12.0
3.0				(12.2)	12.3		(16.8)	(12.2)	12.0	(12.2)
3.5					(12.5)				(12.5)	
56. 12. 22										
深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1		6.8	6.5	6.8	6.8	7.0	7.1	6.8	6.7	5.7
0.5		6.9	6.5	6.8	6.8	6.9	6.9	6.8	6.7	5.7
1.0		6.7	6.5	6.8	6.8	6.9	7.0	6.8	6.7	5.5
1.5		6.7	6.5	6.7	6.6	6.9	7.1	6.7	6.7	5.5
2.0		(6.7)	6.4	6.7	6.5	7.0	7.1	6.7	6.6	5.5
2.5			(6.4)	6.7	6.5	(6.9)	(7.2)	6.7	6.5	5.5
3.0				(6.7)	7.8			(6.7)	(7.0)	(5.5)
3.5					(8.0)					

57. 2. 22

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1	7.4		7.8	8.3	8.3	
0.5	7.2		7.4	7.8	8.3	
1.0	(7.2)		7.1	7.7	8.0	
1.5			7.0	7.4	7.7	
2.0			7.4	7.2	7.5	
2.5			(7.4)	7.2	7.2	
3.0				(7.3)	(7.3)	

	11	10(St2)	9	8(St4)
		8.3	7.9	8.2
		7.8	7.7	8.2
		7.7	7.7	8.0
		7.4	7.3	8.1
		7.2	7.2	8.0
		7.2	6.9	7.4
		(7.3)	(7.7)	(7.4)

57. 3. 30

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1		12.0	12.1	12.5	12.6	13.0
0.5		11.8	12.2	12.4	12.7	13.4
1.0		11.8	12.3	12.5	12.6	13.4
1.5		(11.9)	12.3	12.4	12.6	13.3
2.0			(12.1)	12.4	12.5	(13.3)
2.5				(12.5)	12.5	
3.0					(12.5)	

	11	10(St2)	9	8(St4)
	12.8	12.5	12.5	12.5
	12.7	12.4	12.5	12.2
	12.7	12.5	12.5	12.2
	12.7	12.4	12.4	12.2
	12.7	12.4	12.4	11.8
	(12.7)	12.4	12.4	(12.2)
		(12.5)	(12.4)	

2. 塩 分

(単位:‰)

A 56. 7. 8

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
0.5	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0
1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.5	(1.1)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1
2.0		(1.2)	1.0	1.0	1.1	1.1
2.5			(1.1)	1.0	1.0	(1.0)
3.0				1.6	0.6	
3.5				(1.7)	(0.6)	

B C D

	11	10(St2)	9	8(St4)
	0.9	0.9	1.0	1.0
	0.9	1.0	1.0	1.0
	1.0	1.0	1.1	1.1
	1.0	1.0	1.1	1.1
	1.1	1.0	1.0	1.1
	1.5	1.0	0.9	1.3
	(1.6)	1.6	1.2	(1.5)
		(1.7)	(1.4)	

56. 9. 24

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
0.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
1.0	17.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
1.5	(19.0)	(13.0)	6.8	6.5	6.5	7.4
2.0			8.4	6.5	8.5	8.0
2.5			(12.5)	10.5	9.5	(8.0)
3.0				14.0	(9.5)	
3.5				(12.5)		

	11	10(St2)	9	8(St4)
	6.5	6.5	6.5	6.5
	6.5	6.5	6.5	6.5
	6.5	6.5	6.5	6.5
	6.5	6.5	6.5	6.5
	7.0	6.5	7.0	7.5
	12.5	10.5	8.0	8.5
	(12.2)	14.0	(14.5)	(10.5)
		(12.5)		

56. 11. 25

深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1	4.7	4.5	4.7	5.0	5.2	5.0
0.5	4.7	4.5	4.7	5.0	5.2	5.0
1.0	5.0	4.7	4.9	5.1	5.2	5.0
1.5	(5.0)	5.2	5.3	5.1	5.2	5.1
2.0		(5.1)	(5.3)	5.3	5.2	(5.2)
2.5				7.5	7.5	
3.0				(7.3)	7.6	
3.5					(7.6)	

11	10(St2)	9	8(St4)
5.0	5.0	5.1	5.3
5.0	5.0	5.1	5.3
5.1	5.1	5.1	5.3
5.1	5.1	5.2	5.3
5.3	5.3	6.0	6.0
6.5	7.5	7.3	7.5
(6.5)	(7.3)	7.6	(7.3)
		(7.7)	

56. 12. 22

深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1		4.0	4.0	4.2	4.2	4.2
0.5		3.9	4.0	4.2	4.2	4.2
1.0		3.9	4.0	4.2	4.2	4.3
1.5		3.9	4.0	4.2	4.2	4.5
2.0		(3.8)	4.0	4.2	4.2	4.3
2.5			(4.2)	4.3	5.8	(4.4)
3.0				(4.5)	6.9	
3.5					(6.8)	

11	10(St2)	9	8(St4)
4.3	4.2	4.2	4.3
4.3	4.2	4.3	4.2
4.3	4.2	4.3	4.2
4.3	4.2	4.3	4.3
4.3	4.2	4.3	4.5
(4.3)	4.2	7.0	6.2
	4.3	(7.5)	(6.3)
	(4.5)		

57. 2. 22

深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5
0.5	1.5	1.4	1.4	1.6	1.4	1.5
1.0	(1.5)	1.5	1.5	1.6	1.5	1.6
1.5		(1.7)	1.9	1.9	1.7	1.8
2.0			2.0	2.0	1.8	(2.0)
2.5			(2.1)	2.1	2.0	
3.0				(2.9)	(2.3)	

11	10(St2)	9	8(St4)
1.5	1.5	1.4	1.3
1.5	1.6	1.5	1.3
1.5	1.6	1.5	1.3
1.7	1.9	1.9	1.3
1.9	2.0	2.0	1.5
(2.0)	2.1	2.0	1.9
	(2.9)	(7.2)	(2.0)

57. 3. 30

深度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16(St3)
0.1		1.5	1.3	1.4	1.4	1.3
0.5		1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
1.0		1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
1.5		(1.5)	1.4	1.4	1.4	1.3
2.0			(1.4)	1.4	1.4	(1.3)
2.5				1.4	1.4	
3.0				(1.4)	(1.4)	

11	10(St2)	9	8(St4)
1.4	1.4	1.4	1.4
1.4	1.4	1.4	1.4
1.4	1.4	1.4	1.4
1.4	1.4	1.4	1.4
1.4	1.4	1.4	1.4
(1.4)	1.4	1.4	(1.5)
	(1.4)	(1.4)	

3. D. O

(単位: ppm)

深 度	56. 7. 8						56. 9. 24			
	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	10.1	10.6	10.4	11.5	12.2	10.6	10.5	11.5	11.3	11.4
0.5	10.2	10.6	10.7	11.7	12.5	10.5	10.7	11.7	11.5	11.6
1.0	9.3	10.6	10.7	11.6	12.5	9.4	10.1	11.6	11.5	11.7
1.5	(8.0)	8.8	10.6	11.4	10.2	7.6	9.5	11.4	11.4	11.7
2.0		(7.6)	6.9	10.3	8.0	4.0	6.1	10.3	8.2	7.0
2.5			(6.4)	5.5	9.6	(3.5)	2.7	5.5	5.3	4.3
3.0				2.7	5.6		(2.5)	2.7	4.0	(3.2)
3.5				(2.2)	(5.6)			(2.2)	(3.7)	

深 度	56. 11. 25						56. 12. 22			
	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	9.4	9.5	10.2	9.7	9.5	7.9	9.2	9.7	10.2	10.2
0.5	9.4	9.6	9.7	9.7	9.0	7.9	9.0	9.7	10.2	9.9
1.0	7.9	9.6	9.6	9.7	9.0	7.8	8.6	9.7	10.2	9.5
1.5	(5.7)	(9.0)	9.3	9.6	4.8	2.3	8.0	9.6	9.9	7.8
2.0			7.0	7.3	1.0	0.7	4.2	7.3	5.2	2.7
2.5			(3.1)	4.7	1.6	(0.7)	7.3	4.7	1.2	0.7
3.0				4.5	(1.6)		(4.7)	4.5	(0.6)	(0.4)
3.5				(4.4)				(4.4)		

深 度	56. 11. 25						56. 12. 22			
	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1	9.8	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.1
0.5	9.9	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.1	10.1	10.0
1.0	9.6	9.9	9.9	10.1	10.1	10.0	10.1	10.1	10.1	10.0
1.5	(9.6)	9.1	9.8	10.1	10.1	9.2	10.1	10.1	10.0	9.9
2.0		(9.0)	7.6	5.5	9.5	(8.9)	9.7	5.5	9.6	8.7
2.5			(7.4)	5.0	5.0		5.4	5.0	5.0	4.5
3.0				(3.0)	3.3		(5.4)	(3.0)	4.0	(4.2)
3.5					(0.5)				(2.5)	

深 度	56. 11. 25						56. 12. 22			
	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16	11	10(St2)	9	8(St4)
0.1		11.5	11.5	11.7	11.6	11.4	11.6	11.7	12.2	11.1
0.5		11.3	11.5	11.6	11.2	11.3	11.5	11.6	12.0	10.9
1.0		11.1	11.4	11.5	11.0	11.3	11.4	11.5	11.9	11.0
1.5		11.2	11.4	11.5	11.4	11.3	11.4	11.5	11.9	11.1
2.0		(11.2)	11.5	11.5	11.0	11.5	11.4	11.5	11.8	11.1
2.5			(11.5)	11.7	11.0	(11.5)	(8.3)	11.7	11.7	11.4
3.0				(11.5)	9.8			(11.5)	(10.2)	(11.6)
3.5					(3.4)					

57. 2. 22

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16
0.1	11.5	11.5	11.1	11.5	11.5	11.6
0.5	11.5	11.5	11.5	11.7	11.6	12.1
1.0	(11.6)	11.8	11.7	11.8	12.1	11.9
1.5		(11.8)	11.7	11.9	12.0	12.2
2.0			10.8	11.9	12.1	(12.1)
2.5			(10.6)	11.9	11.9	
3.0				(11.7)	(11.8)	

	11	10(St2)	9	8(St4)
	11.3	11.5	11.6	11.9
	11.4	11.7	11.7	12.1
	11.4	11.8	11.8	12.2
	11.4	11.9	12.1	12.2
	11.4	11.9	12.0	12.3
	(11.5)	11.9	11.9	12.4
		(11.7)	(11.4)	(12.4)

57. 3. 30

深 度	2	3(St1)	5	10(St2)	13	16
0.1		9.9	11.1	10.9	11.2	10.7
0.5		9.9	10.9	10.8	11.1	10.7
1.0		10.2	10.9	10.8	11.1	10.7
1.5		(10.1)	10.9	10.8	11.1	10.7
2.0			(10.9)	10.8	11.1	(10.6)
2.5				10.7	11.2	
3.0				(10.0)	(11.1)	

	11	10(St2)	9	8(St4)
	10.7	10.9	11.2	11.6
	10.6	10.8	11.2	11.6
	10.6	10.8	11.2	11.6
	10.6	10.8	11.2	11.6
	10.6	10.8	11.2	11.8
	(10.6)	10.7	11.2	(11.5)
		(10.0)	(11.0)	

注) ()は湖底

見られない。

DO 7月は12.5~2.7ppmで、1.5m以浅の上層水はおおむね10ppm以上であるが、底層ほど減少し、2.5m以深の底層水は5.6~2.7ppmを示している。9月は10.2~0.7ppmで、表層は10.2~7.9ppmを示すが、地点13・16・9・8の底層水は1.6~0.7ppmと低い数値を示している。11月は10.2~3.3ppmで、1.5m以浅は10ppm以上を示すが、地点10-13と地点11-10-9-8の底層水は5.0~3.3ppmである。12月は12.2~9.8ppmで、地点13の底層水の9.8ppmを除くと余り違わない。2月は12.4~11.1ppm、3月は11.8~9.9ppmで、上・下層の差は余り見られない。

7月、9月、11月は塩分濃度が高く、DO%の低い底層水が地点9-10-13の湖盆に分布している。塩分濃度が高い底層水は橋津川に近い地点2・3で見られなかった。このようなことから、

底層水は、海水が流入後ある期間経過したためDOも上層水の半分以下の数値を示しているものと考察される。2月は塩分の濃度差は少ないが1.0m以浅と1.5m以深の2層に分けられ、12月と3月は単一の層となっている。

(2) 水平分布

COD、T-N、T-P、Cl⁻の水平分布を知るため8地点の上・下層について調査を実施した。その分布状況を図5にまとめた。

COD 7月が最も高く、上層は7.9~5.0ppm、平均6.2ppmで、下層は7.4~5.0ppm、平均5.8ppmである。9月は上層5.3~4.6ppm、下層4.9~4.3ppmであり、11月は上層3.7~3.0ppm、下層5.3~2.8ppmである。12月は上層2.9~2.5ppm、平均2.66ppm、下層2.7~2.1ppm、平均2.50ppmで最も低い数値を示した。2月は上層3.2~2.5ppm、下層3.5~2.6ppmであり、3月は上層3.9~3.0ppm、下層3.2~

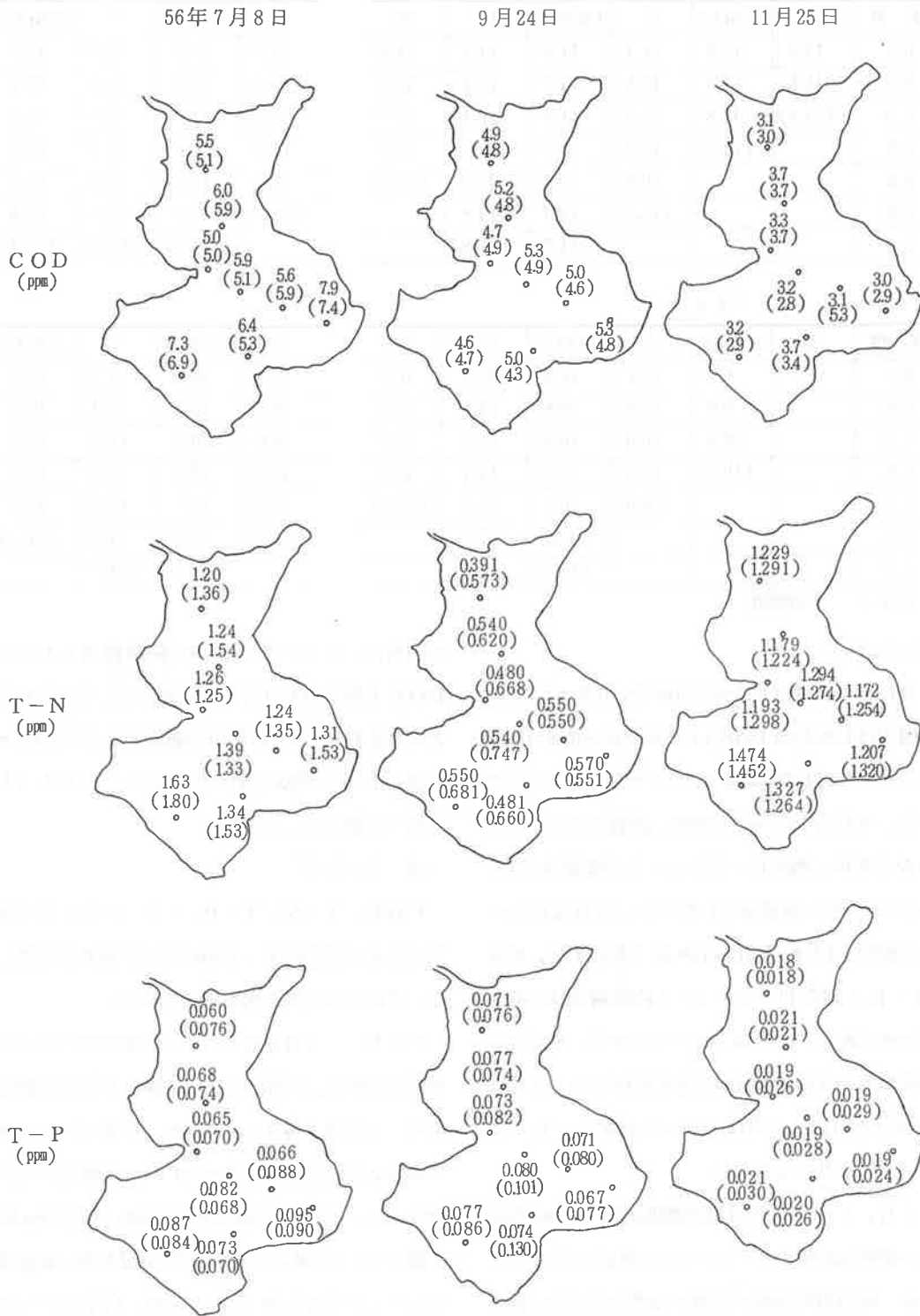
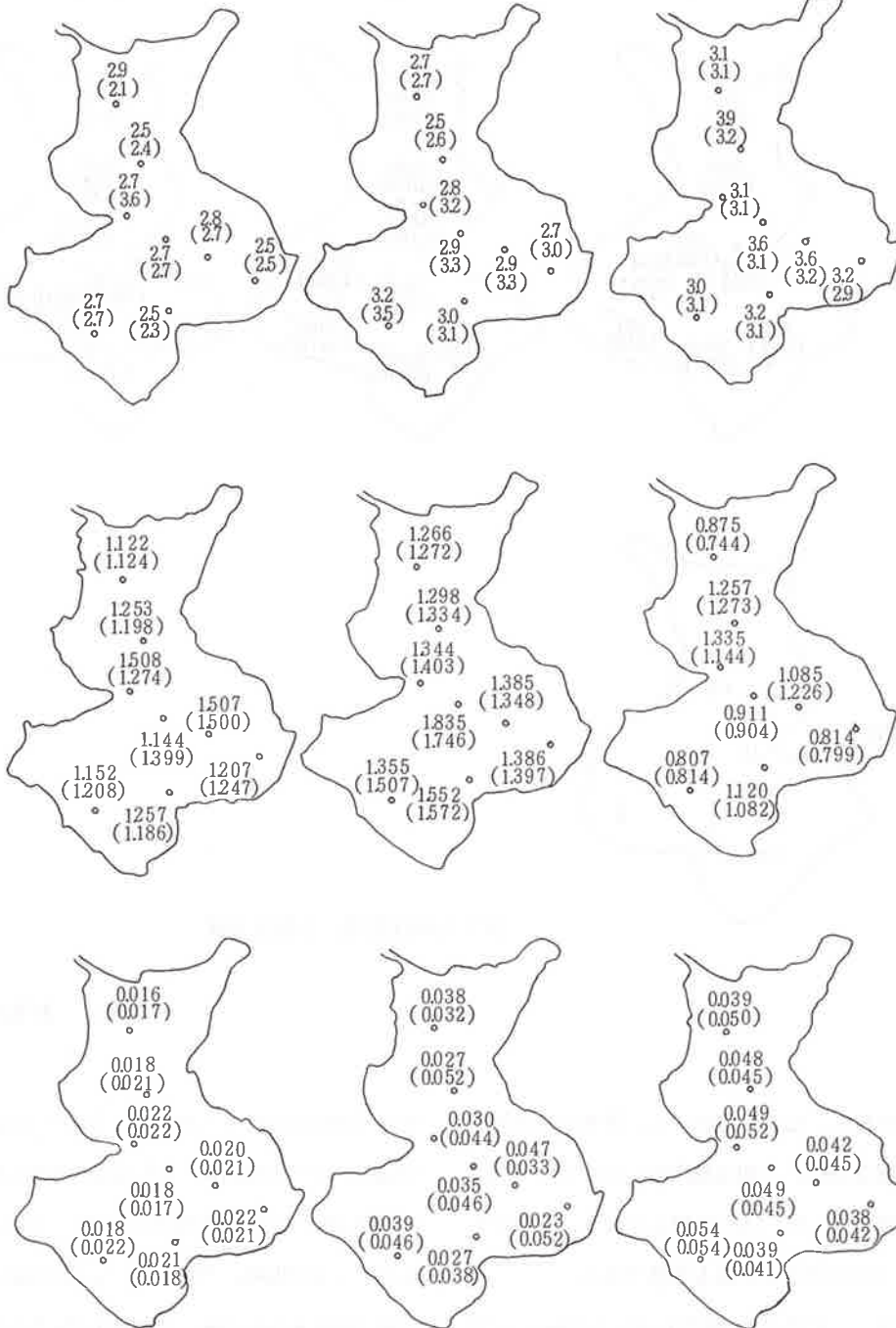


図5 水質の分布

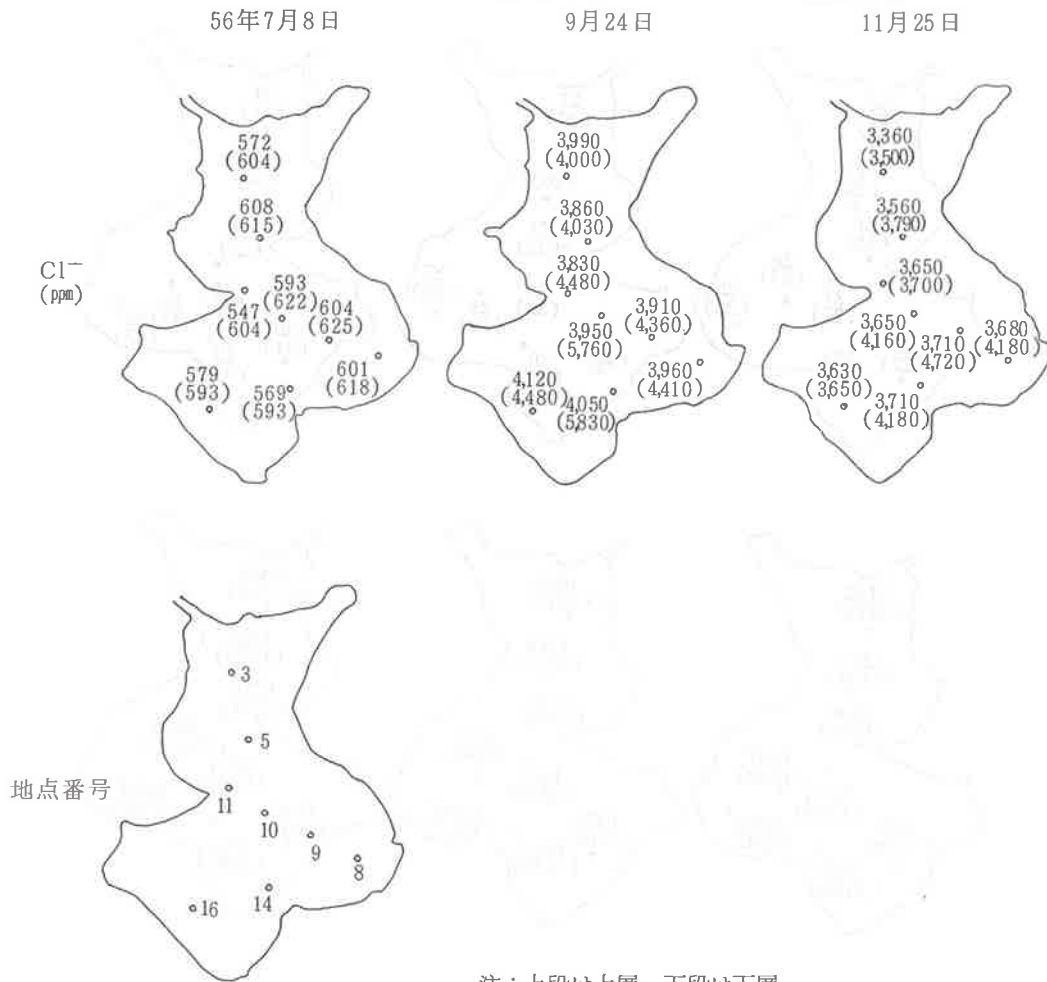
12月22日

57年2月22日

3月30日



状況 (その1)



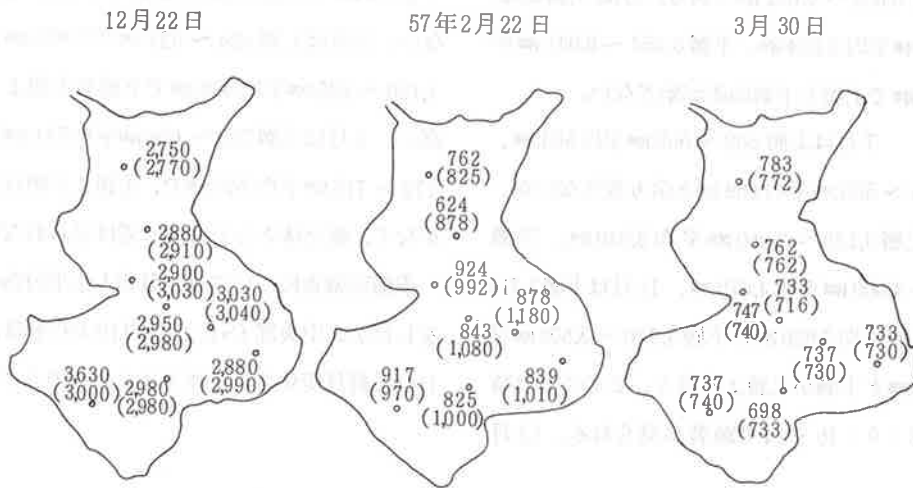
注：上段は上層、下段は下層

図5 水質の分布

2.9 ppmである。なお地点別では、調査ごとに汚濁地点が異なるが、上層は地点5・10・14・16、下層は地点8・9・14が汚濁しており、全体としては最下流の地点3が最も清浄である。

T-N 7月は上層は1.63～1.20 ppm、平均1.326 ppm、下層は1.80～1.25 ppm、平均1.461 ppmで、下層の平均は7月が最も高い数値を示した。9月

では上層は0.570～0.391 ppm、平均0.512 ppm、下層は0.747～0.550 ppm、平均0.630 ppmで上層、下層の平均は9月が最小値を示した。11月は上層1.474～1.172 ppm、下層1.452～1.224 ppm、12月は上層1.508～1.122 ppm、下層は1.500～1.124 ppmである。2月は上層1.835～1.266 ppm、平均1.427 ppm、下層1.835～1.266 ppm、平均1.446 ppmで、上層の



状況(その2)

平均値は2月が最大値を示した。3月は上層1.335 ~ 0.807 ppm、下層 1.273 ~ 0.744 ppmである。なお地点別では、地点3は上層下層ともに低い数値を示し、下層の地点10・14・16が僅かに高い数値を示している。

T-P 7月は上層 0.095 ~ 0.060 ppm、平均 0.075 ppm、下層 0.090 ~ 0.068 ppm、平均 0.078 ppm、

9月は上層 0.080 ~ 0.067 ppm、平均 0.074 ppm、下層 0.130 ~ 0.074 ppm、平均 0.088 ppm と高い数値を示し、湖の中央部から南部にかけては、下層が上層に比較して高い。11月は上層 0.021 ~ 0.018 ppm、平均 0.019 ppm、下層 0.030 ~ 0.018 ppm 平均 0.025 ppm で下層が上層より高い。12月は上層 0.022 ~ 0.016 ppm、平均 0.019 ppm、下層 0.022 ~ 0.017 ppm 平均 0.019 ppm

と低い数値を示している。2月は上層0.047～0.027 ppm、下層 0.052～0.032 ppmである。3月は上層0.049～0.038 ppm平均 0.044 ppm、下層 0.054～0.041 ppm平均 0.046 ppmで上層と下層の差が殆どない。

C1- 7月は上層 608～569 ppm平均 584 ppm、下層 625～593 ppm平均 609 ppmと余り変らないが、9月は上層 4,120～3,860 ppm平均 3,940 ppm、下層 5,830～4,000 ppm平均 4,670 ppm、11月は上層 3,710～3,360 ppm平均 3,620 ppm、下層 4,720～3,500 ppm平均 3,990 ppmと下層が上層より高く、このことは特に地点 8・9・10・14で顕著に見られる。12月

は上層 3,030～2,750 ppm平均 2,910 ppm、下層 3,040～2,770 ppm平均 2,960 ppmと上層と下層の差は殆どない。2月は上層 924～624 ppm平均 826 ppm、下層 1,180～825 ppm平均 986 ppmで下層が上層より若干高い。3月は上層 783～698 ppm平均 741 ppm、下層 772～716 ppm平均 740 ppmで、上層と下層は殆ど差がなく、湖全体としても余り差は見られない。

季節別調査について垂直分布と水平分布の説明をしたが、中央部(St.2. 地点10)の水温、塩分、DOの経月変化としてまとめたのが表3である。

表3 水質の経月変化(中央部 St.2.地点10)

	56. 4. 23	5. 20	6. 30	7. 8	8. 18	9. 24	10. 26	11. 25	12. 22	57. 1. 26	2. 22	3. 30
水	0.1	15.3		26.6		24.8	14.4	10.0	6.8		8.3	12.5
	0.5	15.0		26.5		24.8	14.2	10.5	6.8		7.8	12.4
	1.0	15.0		26.4		24.8	13.9	10.5	6.8		7.7	12.5
	1.5	14.8		26.2		24.8	13.9	10.4	6.7		7.4	12.4
	2.0	14.2		25.6		24.7	14.2	10.5	6.7		7.2	12.4
温	2.5	13.9		25.0		24.0	15.0	12.0	6.7		7.2	12.4
	3.0	(13.7)		24.7		23.9	(15.9)	(12.2)	(6.7)		(7.3)	(12.5)
	3.5			(24.7)		(24.0)						

	56. 4. 23	5. 20	6. 30	7. 8	8. 18	9. 24	10. 26	11. 25	12. 22	57. 1. 26	2. 22	3. 30
塩分	0.1	2.2		0.9		6.5	7.8	5.0	4.2		1.5	1.4
	0.5	2.5		1.0		6.5	7.8	5.0	4.2		1.6	1.4
	1.0	2.5		1.0		6.5	7.8	5.1	4.2		1.6	1.4
	1.5	2.5		1.0		6.5	7.8	5.1	4.2		1.9	1.4
	2.0	2.7		1.0		6.5	7.8	5.3	4.2		2.0	1.4
	2.5	3.5		1.0		10.5	13.0	7.5	4.3		2.1	1.4
	3.0	(3.5)		1.6		14.0	(13.0)	(7.3)	(4.5)		(2.9)	(1.4)
3.5			(1.7)		(12.5)							

	56. 4. 23	5. 20	6. 30	7. 8	8. 18	9. 24	10. 26	11. 25	12. 22	57. 1. 26	2. 22	3. 30
DO	0.1	12.4		11.5		9.7	11.1	10.2	11.7		11.5	10.9
	0.5	12.4		11.7		9.7	10.9	10.1	11.6		11.7	10.8
	1.0	12.5		11.6		9.7	11.0	10.1	11.5		11.8	10.8
	1.5	12.3		11.4		9.6	10.9	10.1	11.5		11.9	10.8
	2.0	11.0		10.3		7.3	10.3	5.5	11.5		11.9	10.8
	2.5	5.4		5.5		4.7	4.4	5.0	11.7		11.9	10.7
	3.0	(4.7)		2.7		4.5	(1.4)	(3.0)	(11.5)		(11.7)	(10.0)
	3.5			(2.2)		(4.4)						

注) ()は湖底

56年4月23日、10月26日の調査は常時監視調査の際実施したものである。

4月から11月にかけて、深度2.0m以深に塩分濃度の高い底層水が分布している。この期間の塩分濃度を上層水と比較すれば、4月→7月→10月→11月は、底層水と(上層水)はそれぞれ3.5%、(2.2~2.7%)→1.6%(0.9~1.0%)→10.5~14%(6.5%) 13.0%(7.8%)→7.5%(5.0~5.3%)である。DOについても同様に比較すれば、5.4ppm(12.4ppm)→2.7ppm(11.5ppm)→4.7~4.5ppm(9.7ppm)→4.4ppm(11.1ppm)→5.0ppm(10.2ppm)と底層水は表層水の半分以下の数値である。また、底層水直上の上層水は7月に5.5ppm、11月に5.5ppmと低い数値を示している。水温はDOほど顕著ではないが、温度の鉛直分布の変化として表われている。12月は水温6.8~6.7℃、塩分4.2~4.3%、DO11.7~11.5ppm、3月は水温12.5~12.4℃、塩分1.4%、DO10.9~10.7ppmで12月と3月は、表層から底層までの水質はほぼ単一の水層となっている。2月は1.0m以浅の上層と1.5m以深の下層を比較すれば、それぞれ水温は8.3~7.7℃と7.4~7.2℃、塩分は1.5~1.6%と1.9~2.1%、DOは11.5~11.8ppmと11.9ppmと僅かではあるが相違している。

東郷池に海水が流入する場合は、まず橋津川の川底を溯上し、橋津川に近い地点2・3に流入し、その後、深度2m以深の中央部周辺の湖盆に底層水として分布する(9月)。やがて上層水によって希釈され、水質の余り変らない上層水と下層水の2層になり(2月)、遂には単一層(3月)になるものと考察される。

多変量解析および考察

東郷池の富栄養化現象と海水の水質に及ぼす影響を知るため、昭和51~56年度の中央部(St. 2, 地点10)上層水と下層水の水温、DO%, COD, T-N, T-P, Chl-a, Cl⁻(Chl-aは51・52年度欠測)の7項目について、各年度の相関行列を用いた主成分分析を行った。

主成分分析とは、変数群について全ての観測値の変動を最も良く説明できるような少数の成分(主成分)に要約し、観測値の特徴を把握しようとする統計的手法である。

主成分分析の固有値と累積寄与率を表4に示した。第1主成分と第2主成分の累積寄与率は上層で87.6~65.8%、下層が82.2~68.6%と全変動の大半を説明し得るので、本解析の適用は有効であると考えられる。第1主成分と第2主成分の因

表 4 固有値と累積寄与率

主成分	5 1 年 度				5 2 年 度			
	上 層		下 層		上 層		下 層	
	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率
第 1	2.772	46.20	3.869	64.48	2.829	47.15	2.708	45.13
第 2	1.179	65.84	1.066	82.24	1.158	66.45	1.409	68.61
第 3	0.964	81.91	0.470	90.07	0.921	85.80	0.946	84.38
第 4	0.546	91.01	0.306	95.17	0.611	91.99	0.455	91.96
第 5	0.348	96.80	0.266	99.61	0.259	96.31	0.369	98.10
第 6	0.191	100.00	0.023	100.00	0.221	100.00	0.113	100.00
主成分	5 3 年 度				5 4 年 度			
	上 層		下 層		上 層		下 層	
	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率
第 1	4.227	60.38	3.519	50.27	4.867	69.53	3.721	53.15
第 2	1.290	78.80	1.872	77.02	1.268	87.64	1.633	76.48
第 3	0.854	91.00	0.888	89.70	0.468	94.32	1.188	93.45
第 4	0.358	96.11	0.457	96.23	0.229	97.59	0.193	96.21
第 5	0.143	98.15	0.172	98.69	0.113	99.21	0.160	98.49
第 6	0.099	99.56	0.064	99.60	0.039	99.76	0.061	99.36
第 7	0.030	100.00	0.027	100.00	0.016	100.00	0.045	100.00
主成分	5 5 年 度				5 6 年 度			
	上 層		下 層		上 層		下 層	
	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率	固 有 値	累 積 寄 与 率
第 1	4.582	65.45	3.691	52.72	4.223	60.32	3.612	51.60
第 2	1.161	82.04	1.382	72.46	1.737	85.13	1.693	75.79
第 3	0.768	93.01	0.947	86.00	0.545	92.91	0.811	87.37
第 4	0.218	96.12	0.490	93.00	0.291	97.08	0.448	93.77
第 5	0.164	98.47	0.315	97.50	0.124	98.85	0.223	96.96
第 6	0.088	99.72	0.122	99.25	0.054	99.62	0.174	99.44
第 7	0.019	100.00	0.052	100.00	0.026	100.00	0.039	100.00

子負荷量を図 6 に示したが、各項目の分布から、第 1 主成分は季節変化による変動を、第 2 主成分は海水の流入による変動を示唆するものと考察される。水温、DO%、COD、T-N、T-P、Chl-a、Cl⁻の 7 項目は、「水温、COD、T-P、Chl-a」「DO%」「T-N」「Cl⁻」の 4 つのグループに分類できる。

水温、COD、T-P、Chl-a のグループについては、56 年度の上層、下層は他年度に比較し

て各項目の位置が接近しており、それぞれの項目間に密接な関係があることが判る。このためか 56 年度の COD が最も季節変化を示している。また、52 年度下層の COD と水温、T-P、53 年度上下層の COD、Chl-a と水温の位置が離れているが、これら項目間の関連が薄いいためかこれら年度の COD は変動が激しく季節変化に之しい(図 2)。これらの関係を COD と水温の相関係数(表 5)で見れば、4 項目が密接な関係にある 56 年度の上

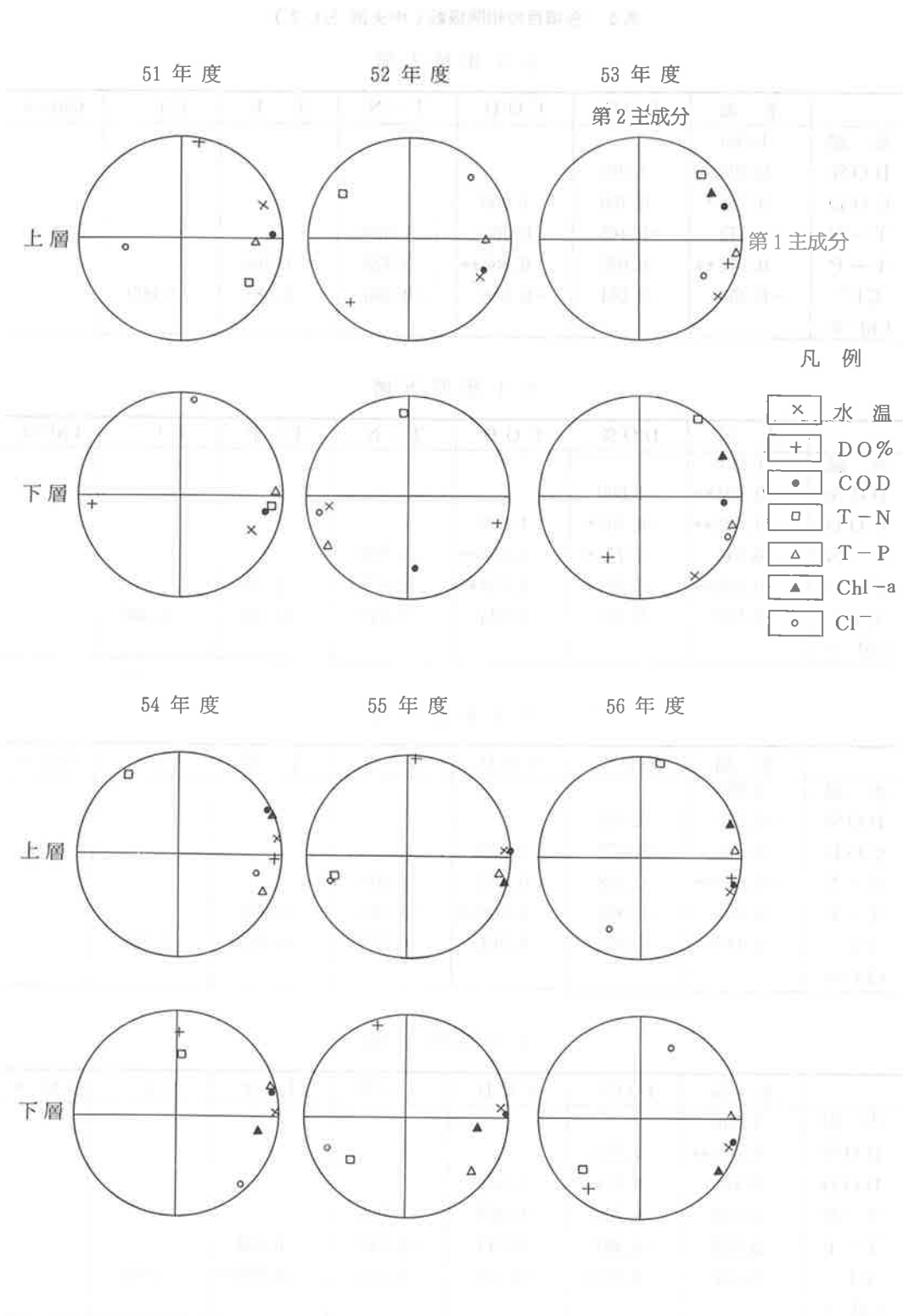


図6 主成分の因子負荷量

表5 各項目の相関係数(中央部 St.2)

5 1 年度上層

	水温	DO%	COD	T-N	T-P	Cl ⁻	Chl-a
水温	1.000						
DO%	0.298	1.000					
COD	0.756*	0.100	1.000				
T-N	0.372	-0.165	0.483	1.000			
T-P	0.572**	-0.030	0.583**	0.328	1.000		
Cl ⁻	-0.254	-0.061	-0.448	-0.330	-0.088	1.000	
Chl-a							

5 1 年度下層

	水温	DO%	COD	T-N	T-P	Cl ⁻	Chl-a
水温	1.000						
DO%	-0.608**	1.000					
COD	0.621**	-0.706*	1.000				
T-N	0.510	-0.701*	0.663**	1.000			
T-P	0.635**	-0.844*	0.834*	0.923*	1.000		
Cl ⁻	-0.057	-0.220	0.044	0.218	0.186	1.000	
Chl-a							

5 2 年度上層

	水温	DO%	COD	T-N	T-P	Cl ⁻	Chl-a
水温	1.000						
DO%	-0.378	1.000					
COD	0.391	-0.073	1.000				
T-N	-0.600**	0.228	-0.452	1.000			
T-P	0.451	-0.320	0.609**	-0.258	1.000		
Cl ⁻	0.117	-0.559	0.361	-0.239	0.411	1.000	
Chl-a							

5 2 年度下層

	水温	DO%	COD	T-N	T-P	Cl ⁻	Chl-a
水温	1.000						
DO%	-0.614**	1.000					
DOD	0.168	0.131	1.000				
T-N	0.115	-0.346	-0.299	1.000			
T-P	0.523	-0.457	0.017	-0.113	1.000		
Cl ⁻	0.432	-0.710*	-0.127	-0.124	0.650**	1.000	
Chl-a							

5 3 年度上層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l -	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	0.794*	1.000					
C O D	0.544**	0.709*	1.000				
T - N	0.109	0.386	0.708*	1.000			
T - P	0.759*	0.809*	0.756*	0.529	1.000		
C l -	0.537	0.331	0.274	0.145	0.679*	1.000	
Chl-a	0.238	0.359	0.728*	0.593**	0.529	0.481	1.000

5 3 年度下層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l -	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	0.079	1.000					
C O D	0.487	-0.261	1.000				
T - N	-0.344	-0.538	0.420	1.000			
T - P	0.781*	-0.204	0.755*	0.261	1.000		
C l -	0.518	-0.050	0.492	0.302	0.750*	1.000	
Chl-a	0.001	-0.196	0.619**	0.713*	0.478	0.671*	1.000

5 4 年度上層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l -	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	0.855*	1.000					
C O D	0.908*	0.707*	1.000				
T - N	-0.380	-0.476	-0.109	1.000			
T - P	0.942*	0.790*	0.961*	-0.130	1.000		
C l -	0.712*	0.621**	0.554**	-0.527	0.598**	1.000	
Chl-a	0.723*	0.842*	0.504	-0.645**	0.557**	0.594**	1.000

5 4 年度下層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l -	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	-0.019	1.000					
C O D	0.889*	0.214	1.000				
T - N	0.069	0.083	0.157	1.000			
T - P	0.895*	0.159	0.896*	0.290	1.000		
C l -	0.601	-0.557	0.426	-0.199	0.385	1.000	
Chl-a	0.759*	0.148	0.645**	-0.402	0.632*	0.541	1.000

5 5 年度上層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l ⁻	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	0.097	1.000					
C O D	0.933*	0.074	1.000				
T - N	-0.695*	-0.129	-0.798*	1.000			
T - P	0.796*	-0.153	0.795*	-0.472	1.000		
C l ⁻	-0.625**	-0.194	-0.716*	0.308	-0.717*	1.000	
Chl-a	0.845	-0.223	0.871*	-0.664*	0.784*	-0.587**	1.000

5 5 年度下層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l ⁻	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	-0.142	1.000					
C O D	0.858*	-0.246	1.000				
T - N	-0.596	-0.149	-0.552	1.000			
T - P	0.557	-0.540	0.486	-0.294	1.000		
C l ⁻	-0.696*	-0.002	-0.736*	0.272	-0.213	1.000	
Chl-a	0.613**	-0.267	0.750*	-0.137	0.272	-0.472	1.000

5 6 年度上層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l ⁻	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	0.828*	1.000					
C O D	0.958*	0.738*	1.000				
T - N	-0.146	-0.089	-0.093	1.000			
T - P	0.847*	0.789*	0.804*	0.161	1.000		
C l ⁻	-0.139	-0.108	-0.121	-0.526	-0.405	1.000	
Chl-a	0.651*	0.697*	0.632**	0.517	0.837*	-0.405	1.000

5 6 年度下層

	水 温	D O %	C O D	T - N	T - P	C l ⁻	Chl-a
水 温	1.000						
D O %	-0.315	1.000					
C O D	0.864*	-0.160	1.000				
T - N	-0.388	0.495	-0.439	1.000			
T - P	0.760*	-0.563	0.728*	-0.463	1.000		
C l ⁻	-0.020	-0.441	0.194	-0.457	0.072	1.000	
Chl-a	0.686*	0.111	0.759*	-0.242	0.516	-0.033	1.000

注 * : 1%で有意 ** : 5%で有意

層は0.958、下層が0.864と高い数値を示しいずれも1%で有意である。これに対して52年度の下層は0.391、53年度の上層は0.544、下層が0.487と低い数値を示している。水温、COD、T-P、Chl-aの項目間の相関係数は、大半が5%以上で有意であり、東郷池における湖沼の内部生産としての富栄養化現象は、これらの項目に関係しているものと考察される。

DO%、T-N、Cl⁻は、全体としてはそれぞれが比較的離れた位置にあり、しかも水温、COD、T-P、Chl-aのグループとはやや対称的な位置にある。

T-Nについては、CODとの関係は52、55、56年度がCODとやや対称的な位置にあり、特に55年度の上層で相関係数が-0.798(1%で有意)というケースがある。これらのことから、T-NはCODに余り関与していないものと考察される。東郷池においてはN、Pの栄養塩では、T-PがCODの制限要因となっているものと考察される。

Cl⁻の水温、Chl-a、T-P、CODとの相関係数は、水温とは53・54年度はプラス、55・56年度はマイナスの関係にある。プラス例として54年度、マイナス例として55年度の相関係数を例示すれば、54年度の上層は0.712で下層が0.601、55年度の上層は-0.625で下層が-0.696を示す。またChl-aとは、54年度の上層は0.594で下層が0.541、55年度の上層は-0.587で下層が-0.472である。同様な関係はT-P、CODについても見られ、T-Pとは54年度の上層は0.598で下層が0.385、55年度の上層は-0.717で下層が-0.213、CODは54年度の上層は0.554で下層が0.426、55年度の上層は-0.716で下層は-0.736を示している。Cl⁻とT-P、Chl-a、CODの相関係数プラスの場合は、底層水のDO減少から還元状態となり、底泥からT-Pが底層水へ溶出し、やが

て上層水へ移行し、T-Pの増加がプランクトンの増殖、つづいてCODの増加という富栄養化現象が、また、相関係数マイナスの場合は、海水による希釈あるいは塩分の変動によるプランクトンの増殖の抑制による浄化作用が想定される。今後、湖沼の汚濁機構の解明、特に海水の役割について定量的に研究する必要がある。

ま と め

1. 昭和51～56年度における東郷池中央部(St. 2.地点10)の上層の水質について、CODは最大13ppmから最小1.4ppmまで変化し、年度の平均は6.3～3.9ppmであり、T-Nの年度の平均は1.121～0.835ppm、T-Pの年度の平均は0.118～0.043ppmである。下層の水質はDO%を除き、上層と余り変らない。COD、T-P、Chl-aは夏季に高く、冬季に低いが、周期性に乏しく、明瞭な季節変化を示さない。
2. 東郷池に海水が流入する場合は、橋津川の川底を溯上し、深度2m以深の中央部周辺の湖盆部の底層水となり、やがて上層水によって希釈され、水質の余り変らない上層水と下層水の2層になり、遂には、単一層になるものと考察される。
3. 水温、DO%、COD、T-N、T-P、Chl-a、Cl⁻の7項目について、各年度の相関行列を用いた主成分分析により「水温、COD、T-P、Chl-a」「DO%」「T-N」「Cl⁻」の4つのグループに分類できる。水温、COD、T-P、Chl-aは東郷池の富栄養化現象と密接な関係にあり、N、Pの栄養塩については、T-PがCODの制限要因となっている。
4. 海水の侵入による浄化作用が推定される反面、富栄養化現象を促進する場合も予測されるので、今後、これの数量化について研究する必要がある。