

「原著」

浜名湖の水質特性  
—— 主成分分析による考察 ——

中根 徹<sup>1</sup>・伏見 浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株)日本海洋生物研究所, <sup>2</sup> (社)日本栽培漁業協会

Water Quality in Lake Hamana  
—— Studies by Principal Component Analysis ——

Toru Nakane and Hiroshi Fushimi

ABSTRACT

Water quality data in Lake Hamana was examined by the Principal Component Analysis (PCA). From the first three principal components, the following features were derived.

- 1) Increase of organic matter associated with low chlorinity and high water temperature.
- 2) Decomposition process associated with oxygen consumption (Increase of ammonia and phosphate).
- 3) Dispersion process of the river-origin nutrients (nitrate and silicate).

Based on these properties, all stations were classified into four groups.

The environmental factors controlling the water quality in Lake Hamana were considered to be water temperature, chlorinity and dissolved oxygen.

1. はじめに  
浜名湖は本湖と4つの支湖(細江湖、  
庄内湖、松見ヶ浦、猪鼻湖)からなる周

囲103km、面積68.9km<sup>2</sup>、最大水深15.8m  
の掌状塩水湖である。各支湖の湖奥では  
河川からの淡水流入がみられ、湖口は今

切口で遠州灘と通じ、潮汐により外海水が進入する。

浜名湖における水質環境についての調査研究は海水交換に関する報告（阿井, 1968; 宇野木, 1974; 野中ら, 1973; 松田, 1984）が中心で, 他には水温, 塩素量に関する上村, 伏見 (1979, 1980) の報告, 窒素代謝に関する和田ら (1969) の研究があるにすぎない。

著者らは1979年から1982年にかけて, 浜名湖南西部の鷲津湾とその周辺水域に繁茂するアマモ場を中心とした生態系の調査を実施し, 1981, '82年の春季から秋季には浜名湖全域の水質環境調査を実施する機会を得た。本報では浜名湖全域の春季から秋季までの水質特性を主成分分析を用いて解析した結果について述べる。

## 2. 調査地点および方法

### 2-1 採水

Fig. 1に採水を行なった14地点を示す。調査は1981年には4月, 7月および10月に, 1982年には4月と7月に実施した。採水層は表層（海面下 0.5m）と底層（海底上 1m）の2層としたが, 水深が10m以上あるSt. 9, 10では3層あるいは6層とした。St. 5, 11, 13では表層水だけを採水した。14地点のうち, 1981年にはSt. 5, 11, 13が, 1981年10月, 1982年4月には湖口から庄内湖の地点（St. 1~4）が欠測となった。

採水は船上からバンドーン型採水器と北原式採水器を用いて行なった。ただし, St. 5では満潮時に陸橋から採水した。

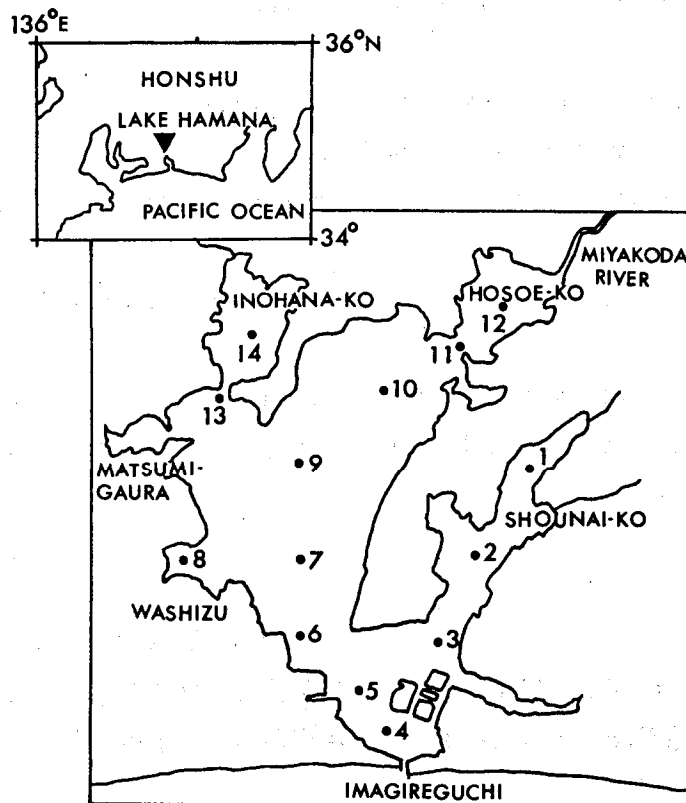


Fig. 1 Map of Lake Hamana showing the location of the sampling stations.

## 2-2 水質分析

水温は棒状水銀温度計で測定した。塩素量 ( $Cl$ ) はモールの硝酸銀滴定法 (海洋観測指針, 1978), 溶存酸素量 (DO), 化学的酸素消費量 ( $COD_{OH}$ ) は工場排水試験方法 (1981) によった。

全リン (T-P) を除く栄養塩類の分析には, あらかじめ  $400^{\circ}C$  で加熱したグラスファイバーフィルター (ワットマン GF/C) で吸引ろ過した試水を用いた。硝酸態窒素 ( $NO_3-N$ ), 亜硝酸態窒素 ( $NO_2-N$ ), アンモニア態窒素 ( $NH_4-N$ ) およびリン酸態リン ( $PO_4-P$ ) は Strickland and Parsons (1972) の方法, 全リン (T-P) およびケイ酸態ケイ素 ( $SiO_2-Si$ ) は海洋観測指針 (1978) の方法で測定した。

クロロフィル a, フェオ色素はグラスファイバーフィルター (ワットマン GF/C) に捕集し, 蛍光光度法 (西條, 1975) で測定した。

## 2-3 主成分分析 (PCA)

主成分分析には芳賀・橋本 (1980) のプログラムを用いた。定量限界未満の測定値にはその定量限界値をあてて計算した。

## 3. 結果

### 3-1 測定値からみた調査水域の概要

#### (1) 水温, 塩素量 ( $Cl$ )

$Cl$  は  $3.63 \sim 18.57\%$  の範囲であった。表層の  $Cl$  は河川が流入する各支湖で低く, 湖口 (St. 4) で高い。4月と7月には, 表層で高水温・低塩分, 底層で低水温・高塩分を示す成層状態を示していた。10

月は表・底層の差は小さく, 水温は表層で低く底層で高い。

このように, 塩素量は時空間的に大きく変動し, 益子 (1981) に従えば, 浜名湖は変塩型の汽水湖と定義される。

#### (2) 溶存酸素量 (DO)

DO は  $0.1$  未満  $\sim 19.2 mg \cdot l^{-1}$  の濃度で  $Cl$  と同様に調査全体で大きく変動した。特に成層が形成される7月に, 本湖湖心 (St. 9, 10), 細江湖 (St. 12), 猪鼻湖 (St. 14) で表・底層の差が著しく, 表層で  $10 \sim 15 mg \cdot l^{-1}$ , 底層で  $1 mg \cdot l^{-1}$  未満の濃度であった。

#### (3) 有機物, クロロフィル a

COD は  $0.1$  未満  $\sim 5.5 mg \cdot l^{-1}$ , T-P は  $0.16 \sim 8.69 \mu g-at \cdot l^{-1}$ , クロロフィル a は  $0.1$  未満  $\sim 174 mg \cdot m^{-3}$  の濃度であった。上村ら (1980) は浜名湖における1979年の赤潮調査の中で, 4月から5月の赤潮発生時にはクロロフィル a が  $100 mg \cdot m^{-3}$  以上 (最高  $290 mg \cdot m^{-3}$ ) に達することを報告している。本報の調査でも, 7月に赤潮状態であった猪鼻湖 (St. 14), 庄内湖 (St. 1, 2) の表層でクロロフィル a は  $50 \sim 174 mg \cdot m^{-3}$  を示した。これらの地点ではCOD, T-Pも高い濃度であった。

#### (4) 無機栄養塩類

無機栄養塩類の濃度範囲は,  $NO_3-N$  が  $0.6 \sim 163 \mu g-at \cdot l^{-1}$ ,  $NH_4-N$  が  $0.1$  未満  $\sim 28 \mu g-at \cdot l^{-1}$ ,  $PO_4-P$  が  $0.01$  未満  $\sim 3.7 \mu g-at \cdot l^{-1}$ ,  $SiO_2-Si$  が  $0.5 \sim 148 \mu g-at \cdot l^{-1}$  であった。

$NO_3-N$  は表層の低塩分水中に高い濃度で存在した。 $NH_4-N$ ,  $PO_4-P$  は7月に, DO

の少ない本湖湖心 (St. 9, 10), 猪鼻湖 (St. 14), 細江湖 (St. 12) の底層で高い濃度を示した。浜名湖において夏季の低酸素水塊に蓄積される  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  は, 成層の崩壊によって表層に供給され, 秋季に発生する赤潮の原因になると考えられている。(上村, 1980)。

### 3-2 主成分分析

主成分分析は, 水温,  $\text{Cl}$ , DO, COD,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , T-P,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ , クロロフィル a, フェオ色素の12項目を変数として, 相関行列から計算した。対数変換した方が相関係数の

高くなる項目もみられたが, 計算には測定値をそのまま用いた。ここでは全調査期について主成分分析を行ない水質特性を把握したのち, 各調査期別に再び主成分分析を施し, 水質特性が類似する地点を1つの集団として分類した。

#### (1) 全調査期の主成分分析

全調査期の113組のデータについて主成分分析を行なった結果をTable 1に示す。固有値は第4主成分:  $Z_4$  (以下同様に用いる) まで1以上の値を示し, 累積寄与率は  $Z_1$  から  $Z_4$  まで85.9%となった。

Table 1 Summary of the PCA using the entire investigation data

Variable		Principal component			
		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
Factor loading	Water temp.	0.74	0.28	-0.32	-0.29
	$\text{Cl}$	-0.81	0.34	-0.35	0.20
	DO	0.54	-0.71	-0.03	0.09
	COD	0.95	-0.09	-0.17	-0.03
	$\text{NO}_3\text{-N}$	0.46	-0.36	0.73	-0.02
	$\text{NO}_2\text{-N}$	0.22	-0.29	0.39	0.78
	$\text{NH}_4\text{-N}$	-0.08	0.85	0.35	0.18
	T-P	0.75	0.52	-0.07	0.16
	$\text{PO}_4\text{-P}$	0.01	0.83	0.26	0.06
	$\text{SiO}_2\text{-Si}$	0.37	0.23	0.68	-0.46
	Chl.a	0.87	0.08	-0.40	0.04
	Phaeo pig.	0.72	0.37	-0.17	0.30
Eigen value		4.62	2.80	1.78	1.10
Accumulated contribution (%)		38.5	61.9	76.7	85.9

$Z_1$  に対して  $chl$  は負の高い因子負荷量 ( $-0.81$ ) をもつ。他の項目では水温, COD, T-P, クロロフィル a, フェオ色素が  $Z_1$  に対して  $0.7$  以上の正の因子負荷量を示している。従って,  $Z_1$  は陸水による  $chl$  の低下と水温の上昇に伴い, 植物プランクトン (クロロフィル a), 有機物 (COD, T-P) が増加する表層での生産過程を要約していると考えられる。

$Z_2$  に対しては DO が負の因子負荷量を示し,  $Z_1$  との相関が認められなかった  $NH_4-N$ ,  $PO_4-P$  が  $0.8$  以上の正の因子負荷量をもっている。この主成分は底層域での嫌氣的な分解過程, すなわち有機物の無機化に伴う DO の消費と底泥からの  $NH_4-N$ ,  $PO_4-P$  の溶出を示すと考えられる。

$Z_3$  に対しては  $NO_3-N$ ,  $SiO_2-Si$  が正の高い因子負荷量を示している。 $Z_1$  で負の因子負荷量を示した  $chl$  は,  $Z_3$  でも  $-0.35$  と負の値となっている。従って  $Z_3$  は陸水起源の栄養塩類 ( $NO_3-N$ ,  $SiO_2-Si$ ) が河川から湖内へ拡散する過程を示すと解釈できる。

$Z_4$  は寄与率が  $9.2\%$  であり,  $NO_2-N$  だけが正の高い因子負荷量 ( $0.78$ ) をもつ。 $NO_2-N$  は  $NH_4-N$  と  $NO_3-N$  の生物的酸化還元反応における中間物質であり, この反応が活発な場所で  $NO_2-N$  の濃度が高いと考えられている (Hattori, 1982)。

主成分得点 (スコア) を  $Z_1$  と  $Z_2$ ,  $Z_2$  と  $Z_3$  を軸としてプロットし, Fig. 2 に示す。この図から各月の特徴をまとめると次のとおりである。

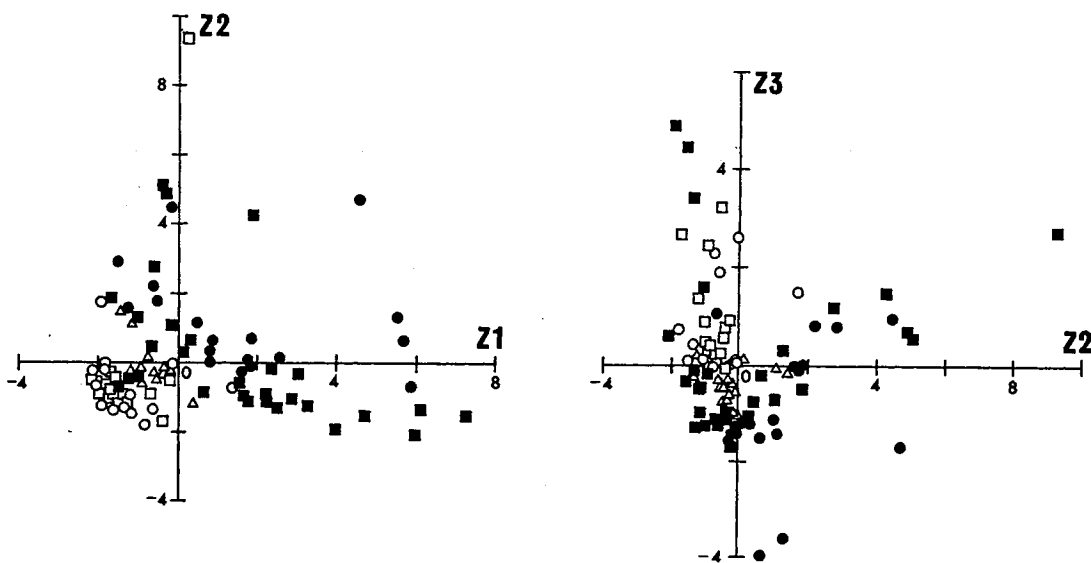


Fig. 2 Scores in the plane of the first three principal components extracted from the PCA using the entire investigation data.  
 ○: Apr. 1981 ; ●: Jul. 1981 ; △: Oct. 1981 ;  
 □: Apr. 1982 ; ■: Jul. 1982

4月；1981年，1982年ともほとんどの地点でZ<sub>1</sub>とZ<sub>2</sub>が負，Z<sub>3</sub>が正の領域に配置され，陸水起源の栄養塩類は多い（Z<sub>3</sub>が正）が，嫌氣的な分解過程を示す地点は少なく（Z<sub>2</sub>が負），有機物量も7月，10月より相対的に少ない（Z<sub>1</sub>が負）。

7月；両年ともZ<sub>1</sub>とZ<sub>2</sub>の正の軸上に地点が集中する傾向がみられ，低塩分で有機物量が多い表層水と，低酸素でNH<sub>4</sub>-N，PO<sub>4</sub>-Pが多い底層水が同時に存在し，夏季の成層構造の特徴を示している。

10月；4月に良く似た姿であるが，陸水起源の栄養塩類が少ない（Z<sub>3</sub>が負）。

(2) 各調査期の主成分分析

各調査期について，それぞれ主成分分析を行なった結果をTable 2に示す。

4月；両年ともZ<sub>1</sub>に対してceが負の高い因子負荷量を示し，水温，COD，NO<sub>3</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，T-P，SiO<sub>2</sub>-Si，クロロフィルaの因子負荷量は正の値を示す。この主成分には，全調査期の主成分分析に得られたZ<sub>1</sub>とZ<sub>3</sub>の特徴が一つの主成分として合成され，陸水起源の栄養塩類の増加と水温の上昇に伴い，表層での生産が増加する過程が正の方向に集約されている。

全調査期の主成分分析で特徴づけられた嫌氣的な分解過程は，1981年はZ<sub>2</sub>で，1982年はZ<sub>2</sub>とZ<sub>3</sub>で要約されている。

7月；Z<sub>1</sub>に対して水温，COD，クロロフィルaが0.8以上の正の高い因子負荷量を示している。ceの因子負荷量は負の値であり，陸水の影響がZ<sub>1</sub>に含まれるが，陸水起源の栄養塩類（NO<sub>3</sub>-N，

Table 2 Summary of the PCA using the each investigation data

Variable		Principal component														
		Apr.1981			Jul.1981			Oct.1981			Apr.1982			Jul.1982		
		Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
Factor Loading	Water temp.	(+)			++			+	(+)		+			++		
	C &	--	(+)		--			++	(-)		--			--		(-)
	DO		--		+			-	(-)		(+)	(+)	(-)	++		
	COD	++			++			-			+			++		
	NO <sub>3</sub> -N	++			(+)	+	(-)	-	+		++			(+)		(+)
	NO <sub>2</sub> -N	++				+	(-)	(-)	(+)	+	++			(+)		-
	NH <sub>4</sub> -N		++		(-)	+	+	++			+			(-)	+	
	T-P	++			(+)		+		+	(-)	(+)	(+)	+		++	
	PO <sub>4</sub> -P		(+)	++	(-)	(+)		+			++	(+)	(-)	(-)	+	
	SiO <sub>2</sub> -Si	+	+			+		(+)	+		++					++
Chl.a	+			++		(+)	-			(+)	(-)		++		(-)	
Phaeo pig.	++			++		(+)	(-)		(-)		-	(+)		+		
Eigen value		6.28	2.85	1.08	5.63	2.49	2.07	5.41	2.95	1.59	5.76	2.00	1.67	5.51	2.84	1.90
Accumulated contribution (%)		52.4	76.1	85.1	47.0	67.7	84.9	45.1	69.6	82.9	48.0	64.7	78.7	45.9	69.6	85.3

++: 0.8 <    +: 0.8~0.6    (+): 0.6~0.4  
 ---: -0.8 >    -: -0.8~-0.6    (-): -0.6~-0.4

SiO<sub>2</sub>-Si) の因子負荷量は低い。またD0が正の高い因子負荷量を示し、底層域の嫌氣的分解過程はZ<sub>1</sub>の負の方向に特徴づけられている。7月のZ<sub>1</sub>には、全調査期の主成分分析で得られたZ<sub>1</sub>とZ<sub>2</sub>の特徴が一つの主成分として合成され、正の方向に表層の生産過程が、負の方向に底層の嫌氣的分解過程が集約されている。

NO<sub>3</sub>-N, SiO<sub>2</sub>-Si は1982年に陸水起源の栄養塩類としてZ<sub>3</sub>で特徴づけられているが、1981年には栄養塩類の総量を示すZ<sub>2</sub>で高い因子負荷量となっている。

10月; Z<sub>1</sub>の因子負荷量の符号は水温を除いて7月と逆になっている。従ってZ<sub>1</sub>は負の方向に表層の生産過程、正の方向に底層の嫌氣的分解過程を示す成分と考えられる。しかし、10月の有機物量は7月より相対的に少ない。

### (3) スコア散布図による集団の分類

各調査期の主成分分析で得られたスコ

ア散布図をもとに、その座標上の位置が近接している(水質特性が類似している)地点をまとめ、それぞれ1つの集団として分類した。その集団名は、スコア散布図上の軸となる各主成分の情報が各調査期で異なるため、全調査期の主成分分析から抽出された以下のような特徴を分類の目安とし統一した。

- 表層での生産過程(水温の上昇とClの低下に伴う有機物量の増加)。
- 底層での分解過程(有機物の分解に伴うD0の消費とNH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pの増加)。
- 陸水起源の栄養塩類の分散過程。

スコア散布図から判別される各集団についてA~Dの集団名を付した。Table 3に各集団の特徴を示す。

### 3-3 各集団の地理的配置

1981年4月と1982年7月における各集団の地理的配置をFig. 3, 4に示す。図中では同一集団でもその特徴が著しい場合には、さらにその集団を細分した。

Table 3 Water properties of the four groups classified by the PCA.

Group name	Water temp., Organic matter	Chlorinity	Dissolved oxygen	River-origin nutrients
A	High	Low	High	High
B	Low	High	Low	Low-Average
C	Average			
D	Low	High	Average	Low

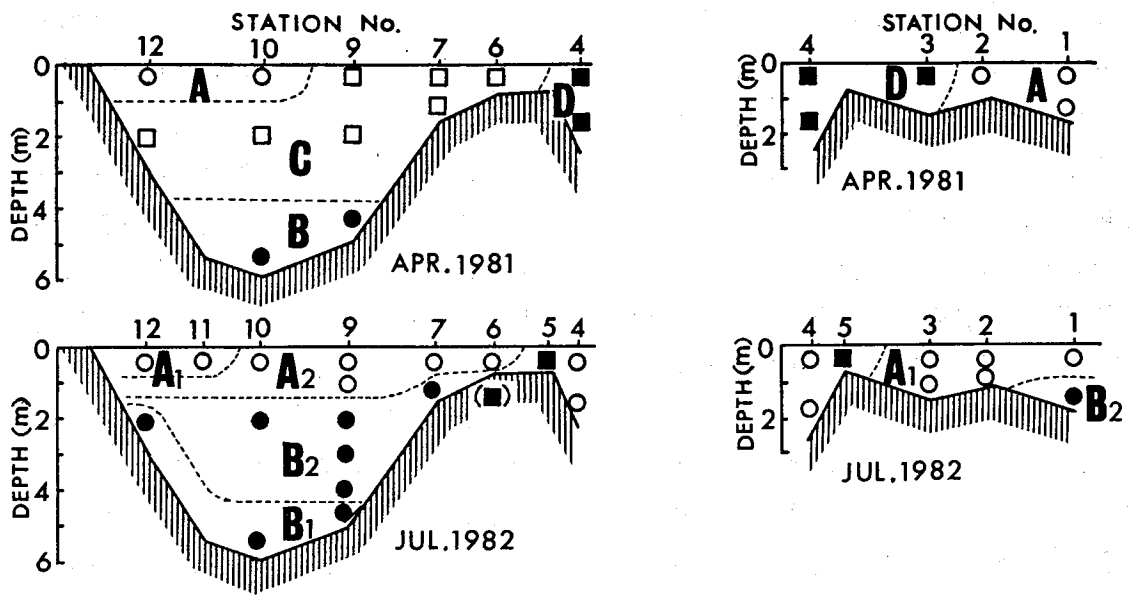


Fig. 3 Longitudinal sectional distributions of the four groups classified by the PCA.  
 ○: A-group ; ●: B-group ; □: C-group ; ■: D-group

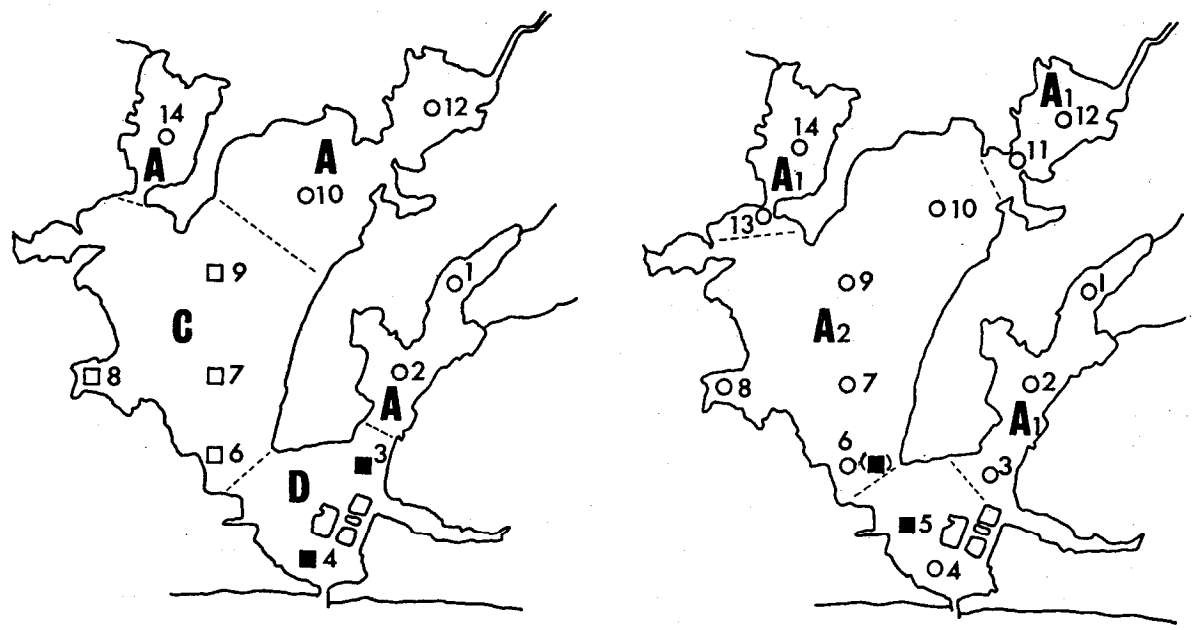


Fig. 4 Surface horizontal distributions of the four groups classified by the PCA.  
 symbol : same as Fig. 3



A 集団は河川水の影響を受けた有機物量の多い低塩分水である。この集団は梅雨後の7月に湖内表層で優勢となり、湖奥から湖口までの水深2 m以浅を広く覆っている。湖内に流入する河川としては、細江湖の都田川、猪鼻湖の釣橋川、庄内湖の伊佐地川、花川が挙げられるが、河川流量は都田川が最も多い（静岡県、1981）。

B 集団は底層域の嫌氣的分解過程で特徴づけられる。この集団は表層がA集団で広く覆われる7月に優勢となり、細江湖（St. 12）、猪鼻湖（St. 14）、湖心（St. 9, 10）、庄内湖（St. 1）の底層で区分される。

C 集団は各調査期のスコア散布図上で原点付近に位置し、A集団とB集団の中間的な特徴を示す。この集団は4月、10月に湖心（St. 9, 10）の2～8 m層、水道部（St. 6, 7）で区分されている。

D 集団は外海の高塩分水として、4月、7月に湖口付近で区分される。しかし、10月にはSt. 4, 5を欠測したため、同期におけるD集団の存在は判断できなかった。また、St. 6は1982年に行なった異なる潮汐条件下における観測結果では、満潮時に外海のD集団の特徴を、干潮時にSt. 4とともに河川水の影響を受けたA集団の特徴を示していた。浜名湖におけるTidal excursionのスケールは約8 kmと報告されており（松田ら、1980）、この範囲に含まれる湖口（St. 4）から本湖水道部（St. 5, 6）までの水質が、潮汐によって大きく変動することがわかれる。

#### 4. 考 察

鈴木ら（1981）は、東京湾で10月に観測した水質データを主成分分析により解析し、その結果の第1主成分に塩分分布と対応した流れの場による分散過程が、第2主成分に $\text{NO}_3\text{-N}$  から $\text{NO}_2\text{-N}$  への硝化過程が特徴づけられると報告している。硝化過程は本報でも全調査期の主成分分析結果において第4主成分で抽出されている。

大内ら（1981）は広島湾に発生する赤潮の予知を目的として、5月から9月の表層水データについて主成分分析を行なっている。その結果、第1主成分に対しては富栄養化を示すTDP（溶存態全リン）、DIN（溶存態無機窒素）が、第2主成分に対しては塩分とPON（懸濁態有機リン）が、第3主成分に対しては水温が高い因子負荷量を示している。

浜名湖の水質環境を支配する大きな要因として、第1主成分と第2主成分で因子負荷量の高い水温、*chl*, *D0*の3項目があげられる。*chl*（あるいは塩分）は東京湾、広島湾の例でも第2主成分までに高い因子負荷量を示し、河川を背景とした内湾の特性が抽出されている。*D0*が水温・塩分に劣らず重要な環境要因になっているのは、春季から夏季に低酸素水塊が広範囲に形成される浜名湖の特性を示すものである。和田ら（1969）は浜名湖で窒素代謝を律しているのは無機栄養塩と有機物ではなく、光と酸素であると報告しており、窒素代謝の面からも*D0*の重要性が指摘されている。

主成分分析により分類された各集団を

水温と $cl$ ,  $cl$ とDOの飽和度を軸としてプロットし, Fig. 5に示す。季節には関係なく, 河川の影響が強いA集団は約15%以下の塩素量を, 他の集団は15~19%の塩素量を示していることがわかる。また表層のA集団は過飽和状態, 底層のB集団は無酸素から未飽和状態, C, D集団は各期とも100%前後の値となっている。

このように, 12項目を変数として主成分分析法から区分された各集団は, 水温,  $cl$ , DOを軸とした座標上でも明確に区分できる。換言すれば, 浜名湖における春季から秋季にかけての水質環境は, 水温と $cl$ , およびDOに支配され, 栄養塩濃度, 植物プランクトンを含む有機物量もこの3項目に大きく依存していると考えられる。

### 摘要

1981年, 1982年の春季から秋季にかけて, 浜名湖全域の水質調査を実施し, そのデータを主成分分析法を用いて解析した。

1) 全調査期の主成分分析では, 第1主成分に表層での生産過程(水温の上昇と $cl$ の低下に伴う有機物量の増加)が, 第2主成分に底層での分解過程(有機物の分解に伴うDOの消費と $NH_4-N$ ,  $PO_4-P$ の増加)が, 第3主成分に陸水起源の栄養塩類の分散過程がそれぞれ特徴づけられた。

2) 全調査期の主成分分析から得られた各主成分の特徴から, 全地点は河川の影響を受けた有機物量の多いA集団, 底層の嫌氣的分解過程で特徴づけられるB集

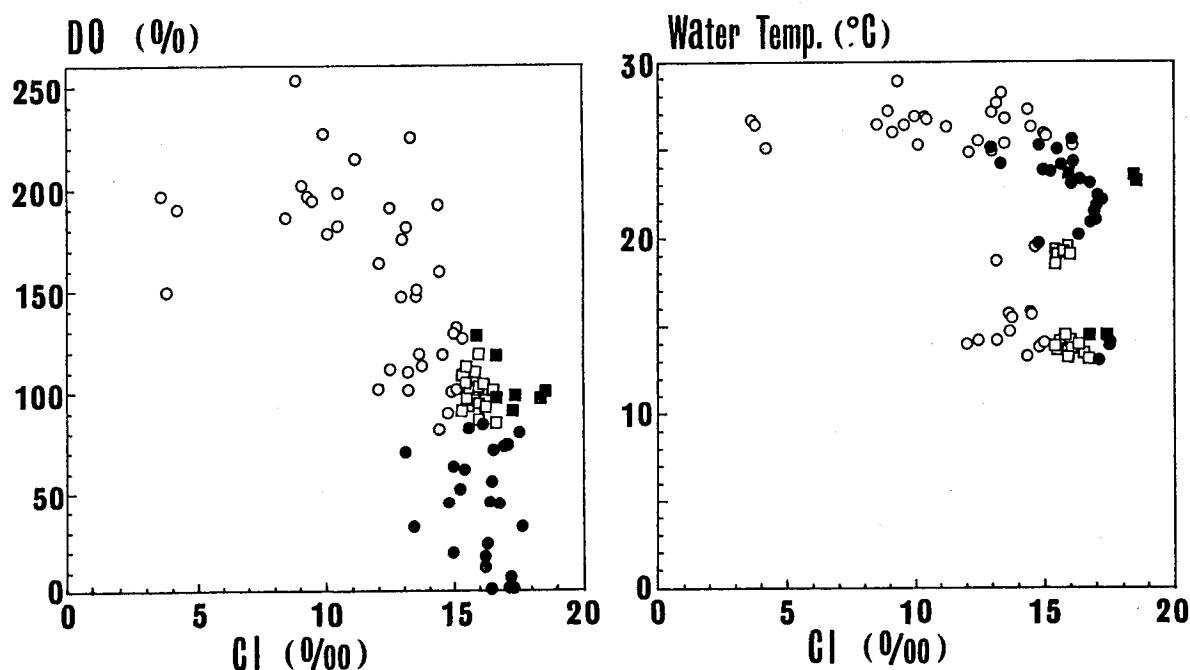


Fig. 5 Relations of water temperature and dissolved oxygen (%) to chlorinity.

○: A-group ; ●: B-group ; □: C-group ; ■: D-group

団, A集団とB集団の中間的な特徴を示すC集団, 外海の高塩分なD集団に区分できた。

3) 浜名湖における春季から秋季にかけての水質環境は, 水温, *chl*, DOに大きく支配されていると推察された。

#### 謝 辞

調査に多くの援助をいただいた静岡県水産試験場浜名湖分場の職員の皆様に感謝いたします。また本稿をまとめるにあたり, 有益な御教示をいただいた東京水産大学水産学部片田実名誉教授に深謝いたします。

#### 文 献

- 阿井敏夫 1968. 塩素量の変動からみた浜名湖水の性状について. 水産土木, 5 : 37-41.
- 芳賀敏郎, 橋本茂司 1980. 回帰分析と主成分分析, 161-180, 日科技連.
- Hattori, A. 1982. The nitrogen Cycle in the sea with Special Reference to Biochemical Processes. J. Oceanogr. Soc. Japan, 38 : 245-265.
- 益子帰来也 1981. 汽水の生物学. 陸水雑, 42 : 108-166.
- 松田義弘, 他 1980. 内湾の海水交換 (浜名湖一序報). 1980年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 : 119-120.
- Mazda, Y. 1984. Year-to-year change in water exchange characteristics in a semi-closed bay, Lake Hamana. J. Oceanogr. Soc. Japan, 40 : 199-206.
- 日本規格協会 1981. 工場排水試験方法, JIS K 0102 ; 236pp.
- 日本気象協会 1978. 海洋観測指針 (気象庁編), 427pp.
- 野中忠, 村松高明, 鈴木克宏, 平井享 1973. 浜名湖浅海開発工事の効果, 海水交流について, 水産土木, 10 : 45-51.
- 大浦晟, 高山晴義 1981. 主成分分析による赤潮図について. 日本水産学会誌, 47 : 1275-1279.
- 西條八束 1975. クロロフィルの測定法. 陸水雑, 36 : 103-109.
- 静岡県 1981. 浜名湖水質管理計画, 152pp.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons 1972. A Practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bull. 167, 311pp.
- 鈴木正明, 他 1981. 主成分分析による水質データの解析, 東京湾における栄養塩, プランクトン等の分散. 1981年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 : 247-248.
- 上村信夫 1980. 浜名湖における赤潮発生と海洋構造の変化との関係. 静岡水試浜名湖分場通刊 215 : 5-63.
- 上村信夫, 伏見浩 1979. 浜名湖の性状に関する海洋学的研究 - I. 水温分布とその季節的特性. 静岡水試研究報告, 13 : 21-41.
- 上村信夫, 伏見浩 1980. 浜名湖の性状に関する海洋学的研究 - II. 塩素量分

布とその季節的特性. 静岡水試研究報告. 14 : 1-20.  
宇野木早苗 1974. 内湾の海水交流と鉛直混合に関する一考察. 沿岸海洋研究

ノート, 11 : 85-95.  
和田英太郎, 辻堯, 小池勲夫, 服部明彦  
1969. 浜名湖における窒素代謝. 水産土木, 6 : 1-10.