

主成分分析による東京湾の海域区分の試み

古畑 和哉・田辺 伸・木所 英昭

Classification of the Surface Water Quality in Tokyo Bay by a Principal Component Analysis

Kazuya FURUHATA, Shin TANABE, and Hideaki KIDOKORO

はじめに

春季から夏季にかけて東京湾に発生する赤潮は、大半が懸濁態有機物として海底に沈降し、分解過程を経て水質・底質を悪化させる原因となっている。このため、水質保全の立場あるいは漁場保全の立場から関係機関による赤潮の調査研究が行われている。しかし、赤潮の発生に関する記述は、発生要因を特定する難しさもあって発生時期や分布、赤潮生物の種類などの出現情報に留まりがちである。

古畑¹⁾は東京湾の表層水について、クロロフィル a を目的変数、水温・塩分・pH・酸素飽和度・懸濁粒子を説明変数として重相関分析を行い、塩分と比較的高い負の相関を得た。しかし、栄養塩類を説明変数に含まなかったため、クロロフィル a と栄養塩類との関わりは不明であった。

そこで本報では、千葉県水産試験場漁場環境研究室が夏季に実施している海況調査の結果をもとに、新たに溶存無機態窒素とリン酸態リンを変数に加えてクラスタ分析と主成分分析を行い、東京湾の海域区分について検討した。

資料と方法

クラスタ分析と主成分分析に用いた資料を付表に示した。各データは、1992年5月21日、5月27日、6月22日、7月3日、7月28日、8月20日および9月21日の計7回、図1に示す東京湾の12点において、多成分水質計（鶴見精機製、TS-WQ-2R）で表層の水温、塩分、pH、酸素飽和度を測定して得られた。同時に表層水を採水し、海洋観測指針²⁾に基づいて溶存無機態窒素（DIN）、リン酸態リン（PO₄-P）を分析した。

またSCOR-UNESCOの方法³⁾でクロロフィル a を分析したほか、検鏡によってプランクトンの優占種を定性的に同定した。

クラスタ分析は、調査点間の非類似度（距離）を標準化ユークリッド平方距離として群平均法で、また主成分分析は、変数を標準化（平均を0、分散を1）して相関行列による方法で行い、それぞれBASICプログラム⁴⁾で処理した。

変数には、各調査点における表層の水温（℃）、塩分、pH、酸素飽和度（%）、溶存無機態窒素（μg/l）、リン酸態リン（μg/l）およびクロロフィル a（μg/l）の7項目を用いた。ただし、8月20日の酸素飽和度、9月21日のpHは多成分水質計の故障で測定できず、それぞれ6変数で扱った。

主成分は、固有値の大きい順に第1主成分Z₁、第2主成分Z₂、……、第7主成分Z₇とし、固有値が1を越え、累積寄与率が70%を越える主成分までを解析に用いた。

この基準に従い、5月21日は第3主成分まで、5月27日・6月22日・7月3日・7月28日は第2主成分まで、8月20日は第1主成分のみ、9月21日は第2主成分までを採用した。

次に各調査点の主成分得点を求める式

$$Z_n = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p$$

(a₁, a₂, …, a_p:固有ベクトル, x₁, x₂, …, x_p:標準化した水温, 塩分, …, クロロフィル a) により、調査点別に主成分得点を求めた。

さらにデンドログラムと主成分得点散布図を作成し、因子負荷量の大きさと符号から、主成分が表す意味を

読み取った。

デンドログラムは、類似度によって調査点1がほかの調査点と融合する過程を示し、デンドログラムの距離10で調査点をA～Eまでのクラスターに分類（調査点1の属するクラスターをAクラスターとする）し、散布図の主成分得点もクラスター別に分類した。なお

解析に役立つため、散布図の主成分得点のプロットをプランクトンの優占種別に記号（●・○・■・□・◆・◇・▲・△・▼・▽：優占種）で示した。

このほか、考察にあたって銚子気象台千葉測候所の観測結果⁵⁻⁹⁾を参考にした。

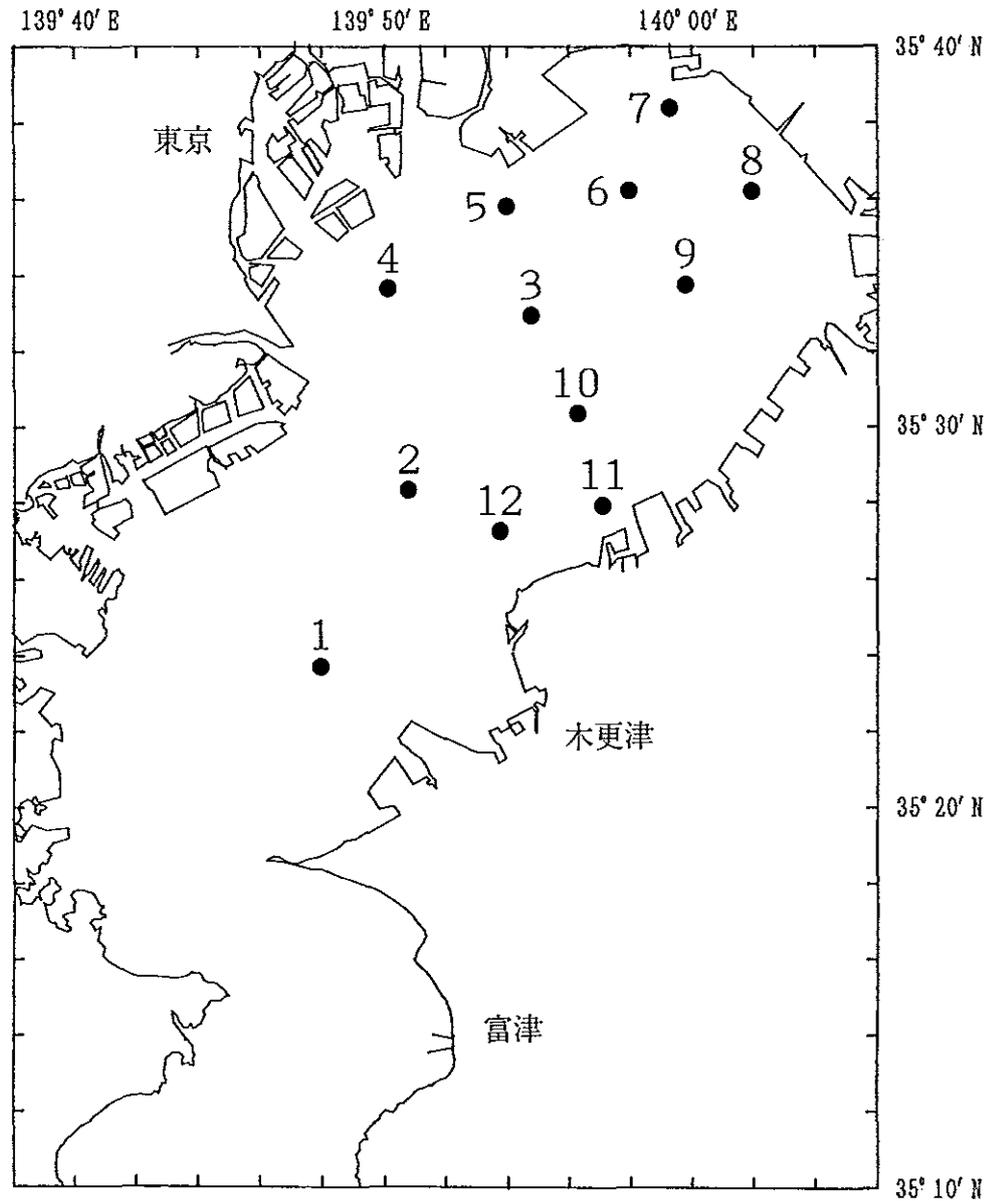


図1 東京湾における調査点

結果と考察

分得点の散布図 (Z_1 : 第1主成分得点, Z_2 : 第2主成分得点) を示した。また図3にクラスターの分布を示した。

表1に主成分分析の出力結果を、図2(図2-1~2-7)にデンドログラム(1~12:調査点)と主成

表1 主成分分析の出力結果

第1回('92.5.21)

主成分	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
固有値	3.10702	1.51764	1.16439	0.54787	0.39647	0.23158	0.03505
寄与率	0.44386	0.21681	0.16634	0.07827	0.05664	0.03308	0.00501
累積寄与率	0.44386	0.66067	0.82701	0.90527	0.96191	0.99499	1.00000
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	D I N	PO ₄ -P	Chl. a
Z_1 E.V.	0.42361	-0.17340	0.43558	0.41034	0.36961	0.43710	0.32360
F.L.	0.74669	-0.30565	0.76779	0.72330	0.65150	0.77046	0.57040
Z_2 E.V.	-0.07421	0.48143	-0.06150	-0.21179	0.49458	0.47230	-0.49640
F.L.	-0.09142	0.59309	-0.07576	-0.26091	0.60929	0.58184	-0.61153
Z_3 E.V.	-0.03733	-0.58935	-0.47371	-0.44081	0.36817	0.20049	0.23835
F.L.	-0.04028	-0.63595	-0.51117	-0.47566	0.39728	0.21634	0.25720

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

第2回('92.5.27)

主成分	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
固有値	3.69467	2.54791	0.48839	0.20371	0.04805	0.00894	0.00834
寄与率	0.52781	0.36399	0.06977	0.02910	0.00686	0.00128	0.00119
累積寄与率	0.52781	0.89180	0.96157	0.99067	0.99753	0.99881	1.00000
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	D I N	PO ₄ -P	Chl. a
Z_1 E.V.	0.33947	-0.50927	-0.23745	-0.14435	0.50992	0.50684	0.17687
F.L.	0.65251	-0.97889	-0.45642	-0.27746	0.98014	0.97422	0.33997
Z_2 E.V.	0.29547	-0.02872	0.52605	0.59532	-0.04763	0.05399	0.52493
F.L.	0.47163	-0.04584	0.83969	0.95026	-0.07603	0.08618	0.83790

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

第3回('92.6.22)

主成分	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
固有値	3.53339	1.98509	0.80786	0.42686	0.16035	0.05767	0.02878
寄与率	0.50477	0.28358	0.11541	0.06098	0.02291	0.00824	0.00411
累積寄与率	0.50477	0.78835	0.90376	0.96474	0.98765	0.99589	1.00000
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	D I N	PO ₄ -P	Chl. a
Z_1 E.V.	0.37373	-0.49156	-0.05745	0.12312	0.48323	0.38056	0.47106
F.L.	0.70251	-0.92400	-0.10799	0.23143	0.90834	0.71535	0.88547
Z_2 E.V.	0.29547	-0.02872	0.52605	0.59532	-0.04763	-0.05399	0.52493
F.L.	0.41630	-0.04046	0.74116	0.83877	-0.06710	-0.07607	0.73959

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

表1 主成分分析の出力結果 (続き)

第4回 ('92.7.3)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
固有値	3.91501	1.52582	0.90229	0.43875	0.13986	0.04740	0.03088
寄与率	0.55929	0.21797	0.12890	0.06268	0.01998	0.00677	0.00441
累積寄与率	0.55929	0.77726	0.90616	0.96884	0.98882	0.99559	1.00000
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl. a
Z ₁ E.V.	-0.26079	-0.38007	-0.45447	-0.30922	0.45538	0.41982	0.31900
F.L.	-0.51600	-0.75202	-0.89923	-0.61183	0.90103	0.83067	0.63119
Z ₂ E.V.	0.51948	-0.44905	0.24874	0.56497	0.24619	0.13585	0.26148
F.L.	0.64168	-0.55468	0.30725	0.69787	0.30410	0.16781	0.32299

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

第5回 ('92.7.28)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
固有値	5.11592	1.18843	0.36685	0.19632	0.06920	0.04031	0.02297
寄与率	0.73085	0.16978	0.05241	0.02805	0.00989	0.00576	0.00328
累積寄与率	0.73085	0.90063	0.95303	0.98107	0.99096	0.99672	1.00000
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl. a
Z ₁ E.V.	0.29124	-0.43000	0.29719	0.39726	0.37462	0.41520	0.41403
F.L.	0.65874	-0.97259	0.67220	0.89854	0.84733	0.93912	0.93647
Z ₂ E.V.	0.63625	0.10776	0.59181	-0.06009	-0.41065	-0.10915	-0.22175
F.L.	0.69361	0.11747	0.64516	-0.06551	-0.44767	-0.11899	-0.24174

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

第6回 ('92.8.20)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	
固有値	4.54491	0.80225	0.43121	0.16575	0.05411	0.00176	
寄与率	0.75748	0.13371	0.07187	0.02763	0.00902	0.00029	
累積寄与率	0.75748	0.89119	0.96306	0.99069	0.99971	1.00000	
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl. a
Z ₁ E.V.	-0.36760	0.46082	-0.39304	-	-0.42597	-0.40606	-0.38949
F.L.	-0.78368	0.98241	-0.83791	-	-0.90812	-0.86567	-0.83035

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

第7回 ('92.9.21)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	
固有値	3.42088	1.73460	0.57276	0.20941	0.05229	0.01006	
寄与率	0.57015	0.28910	0.09546	0.03490	0.00872	0.00168	
累積寄与率	0.57015	0.85925	0.95471	0.98961	0.99832	1.00000	
変量	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl. a
Z ₁ E.V.	-0.14416	0.52037	-	0.02710	0.53087	0.47176	0.45092
F.L.	-0.26663	-0.96246	-	0.05012	0.98188	0.87255	0.83400
Z ₂ E.V.	-0.60335	-0.13879	-	0.71482	-0.06643	-0.18359	0.26004
F.L.	0.79464	-0.18279	-	0.94145	-0.08749	-0.24180	0.34248

E.V.: 固有ベクトル, F.L.: 因子負荷量

表2に銚子気象台千葉測候所による旬別の気温・降水量・日照時間を示した。本年の関東地方の梅雨入りは6月7日(平年:6月9日)、梅雨明けは7月19日(平年:7月20日)⁸⁾といずれも平年並であった。

本年5月から9月にかけて調査海域に出現したプランクトンは、珪藻類が多くみられ、渦鞭毛藻類やラフィド藻類は比較的少なかった。調査期間中、赤潮の発生は例年より少なく、発生しても比較的小規模であった。100 $\mu\text{g}/\ell$ を上回る高クロロフィルaは、計7回の調査のうち、7月28日の東京灯標、8月20日の東京灯標・浦安・船橋の4例と少なく、いずれも梅雨明け後にみられた。ちなみに昨年同時期(1991年5月から同8月

まで)に行った調査¹⁾では、100 $\mu\text{g}/\ell$ を越えるクロロフィルaは、7回中21例であった。

1992年の気象は、梅雨入り前後の5月から6月にかけては低温・多雨傾向で、梅雨明け後は好天が多く、残暑が9月初めまで続いた。このような気象の経過は、東京湾での赤潮の発生が少なく、比較的小規模であったこと、100 $\mu\text{g}/\ell$ を上回る高クロロフィルaが少なかったこと、珪藻類の出現が多かったことなどに影響したと思われる。

クラスター分析と主成分分析の出力結果と、プランクトンの優占種の分布を併せて解析すると、次のように考えられる。

表2 銚子気象台千葉測候所による旬別の気温・降水量・日照時間

1992年		気温(°C)			降水量(mm)			日照時間(h)		
月	旬	本年	平年	階級区分	本年	平年	階級区分	本年	平年	階級区分
5月	上旬	16.2	17.0	やや低い	46.0	26.4	やや多い	67.7	59.2	平年並
	中旬	16.5	17.9	やや低い	65.0	42.8	やや多い	37.8	56.3	やや少ない
	下旬	18.2	18.7	平年並	42.5	26.5	やや多い	63.8	64.5	平年並
6月	上旬	21.0	20.7	平年並	11.0	31.8	かなり少ない	55.8	53.6	平年並
	中旬	20.1	20.9	平年並	65.5	41.5	やや多い	18.6	37.5	やや少ない
	下旬	18.7	21.2	かなり低い	133.0	67.4	かなり多い	37.3	26.5	やや多い
7月	上旬	23.3	22.5	平年並	22.0	51.8	平年並	49.1	32.5	やや多い
	中旬	22.6	24.4	やや低い	65.5	34.7	やや多い	24.4	40.1	やや少ない
	下旬	27.9	25.8	かなり高い	0.0	19.0	少ない	87.3	69.6	やや多い
8月	上旬	24.8	26.5	かなり低い	6.5	41.2	平年並	36.8	62.6	かなり少ない
	中旬	26.8	26.5	平年並	9.5	32.6	平年並	68.6	60.4	平年並
	下旬	27.7	25.8	かなり高い	0.0	47.1	かなり少ない	92.5	60.6	かなり多い
9月	上旬	25.5	24.5	やや高い	0.5	56.4	かなり少ない	73.9	47.4	かなり多い
	中旬	22.2	22.7	平年並	20.0	58.9	平年並	46.7	36.7	やや多い
	下旬	20.4	20.5	平年並	68.5	62.2	平年並	44.2	32.4	やや多い

5月21日(図2-1)

第1主成分はリン酸態リン・pH・水温・酸素飽和度と比較的高い正の相関がある。水温は間接的に気温すなわち日射を意味し、植物プランクトンがリン酸態リンの存在下、光合成を行って酸素を放出し、pHがアルカリに傾くことを示す。よって、第1主成分は間接的に植物プランクトンによる一次生産を表すと考えられる。第2主成分はクロロフィルaと負、溶存無機態窒素と正の相関があり、植物プランクトンの現存量の多い調査点では溶存無機態窒素が少ないことを意味する。第3主成分は塩分と負の相関があり、河川水の分布を表すと考えられる。

調査海域はA~Dクラスターに区分される。Aクラスターは赤潮がみられないか、軽度の赤潮発生域である。Cクラスターは*Gymnodinium* sp. を優占種とする赤潮の発生域で第1主成分得点はほぼ同じ、第2主成分得点は赤潮が濃いほど低いと考えられる。B・Dクラスターの優占種は*Prorocentrum minimum*であるが、両クラスターの類似性は低く、Bクラスターの水質はA・Cクラスターの間と考えられる。Dクラスターは栄養塩類が豊富で水温・pH・酸素飽和度が比較的高いため、第1主成分得点、第2主成分得点とも高い。

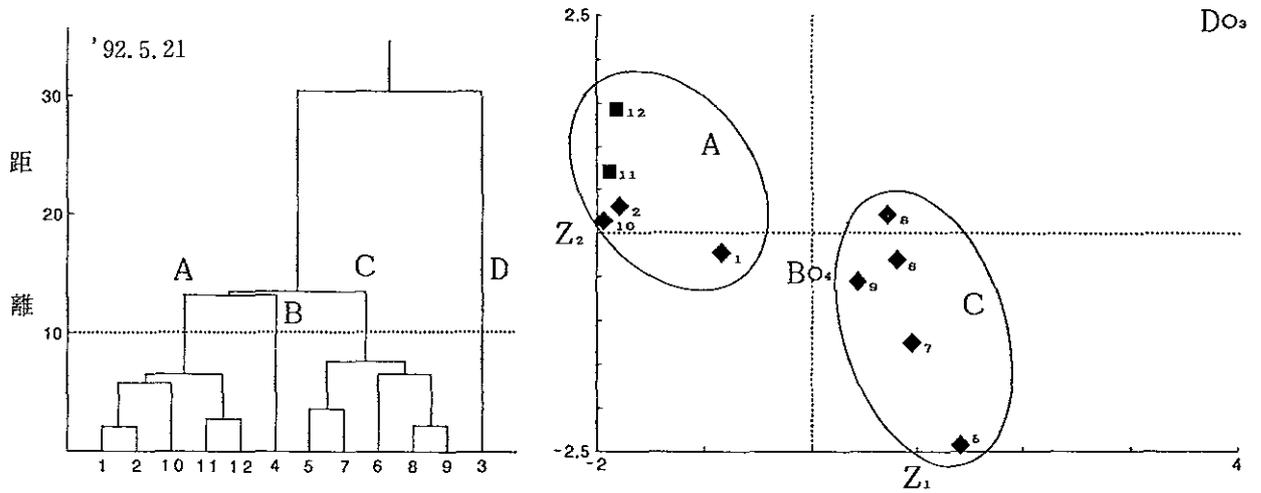


図 2-1 デンドログラムと主成分得点散布図('92.5.21)

◆: *Gymnodinium* sp., ■: *Nitzschia pungens*, ○: *Prorocentrum minimum*

5月27日 (図2-2)

第1主成分は溶存無機態窒素・リン酸態リンと正、塩分と負の高い相関があり、河川水と栄養塩類の分布を表すと考えられる。第2主成分は酸素飽和度・pH・クロロフィル a と正の高い相関があり、植物プランクトンの一次生産と現存量を表すと考えられる。

調査海域はA~Cクラスターに区分され、調査点の

多くがAクラスターに属する。Aクラスターは微小藻類を主な優占種とする水質のほぼ均質な海域、Bクラスターでは微小藻類による赤潮が発生、Cクラスターは低油で富栄養であるが、植物プランクトンの現存量は比較的少ない。

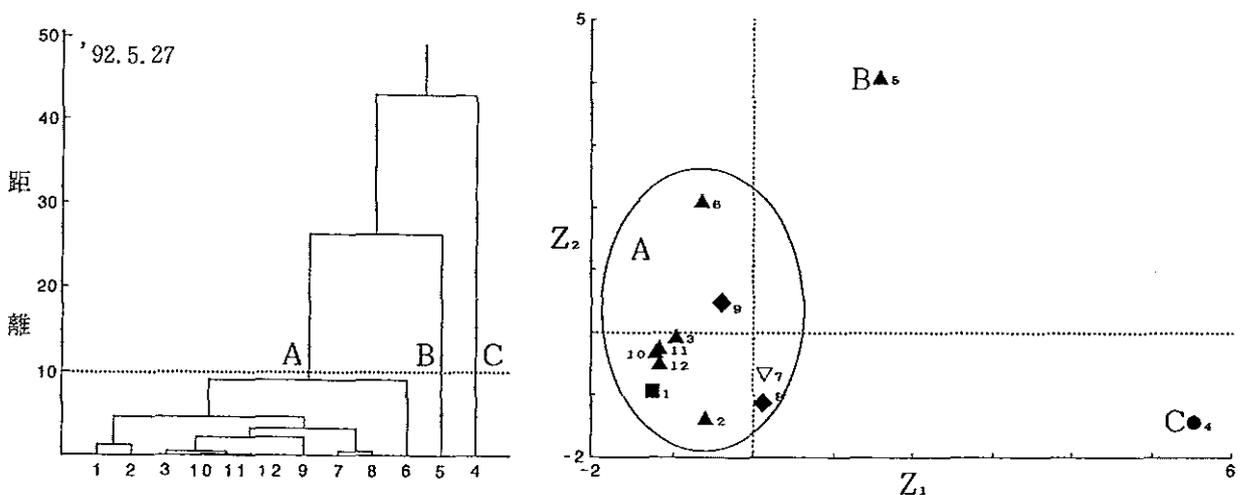


図 2-2 デンドログラムと主成分得点散布図('92.5.27)

▲: 微小藻類, ◆: *Gymnodinium* sp., ■: *Nitzschia pungens*, ●: *Skeletonema costatum*, ▽: *Heterosigma akashiwo*

6月22日 (図2-3)

第1主成分は塩分と負、DIN・クロロフィルaと正の高い相関があり、河川水の分布と植物プランクトンの現存量を表すと考えられる。第2主成分は酸素飽和度・pH・クロロフィルaと正の比較的高い相関があり、植物プランクトンによる一次生産を表すと考えられる。

調査海域はA~Eクラスターに区分され、全調査点

で *Skeletonema costatum* が優占して出現する。Aクラスターは水質がほぼ均質で赤潮のみられない海域、B・D・Eクラスターは *S. costatum* による赤潮の発生域で、特にEクラスターは低塩・富栄養で植物プランクトンの現存量が多い。Cクラスターは酸素飽和度・pHが高く、赤潮に近い状態にあると考えられる。

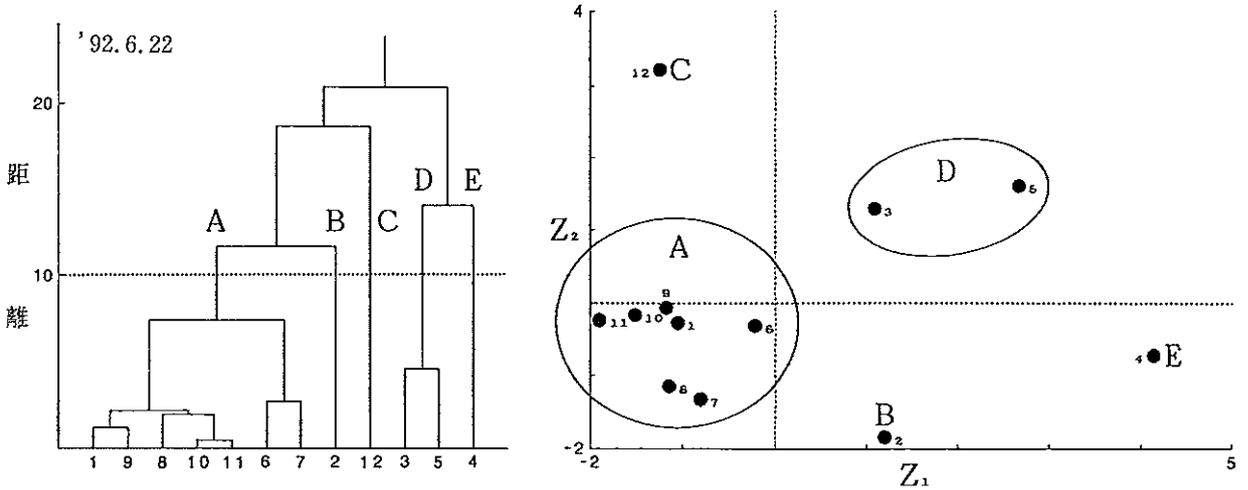


図2-3 デンドログラムと主成分得点散布図('92.6.22)

●: *Skeletonema costatum*

7月3日 (図2-4)

第1主成分はDIN・リン酸態リンと正、pH・塩分と負の相関があり、河川水の分布を表すと考えられる。第2主成分は酸素飽和度・水温と正の相関があり、植物プランクトンによる一次生産を表すと考えられる。

調査海域はA~Eクラスターに区分され、Aクラスターは高塩で貧栄養、Bクラスターは比較的低塩で富栄養、Cクラスターは比較的高塩でやや貧栄養、Dク

ラスターは低塩で富栄養である。付表より、Eクラスター(調査点7)は酸素飽和度が89%と低く、比較的高塩で低pH・富栄養・低クロロフィルaを示すことから、底層水の湧昇が示唆される。全般にプランクトン優種の分布は、調査点の半数が優占種を特定できないこともあって、クラスターによる海域区分に従わない。

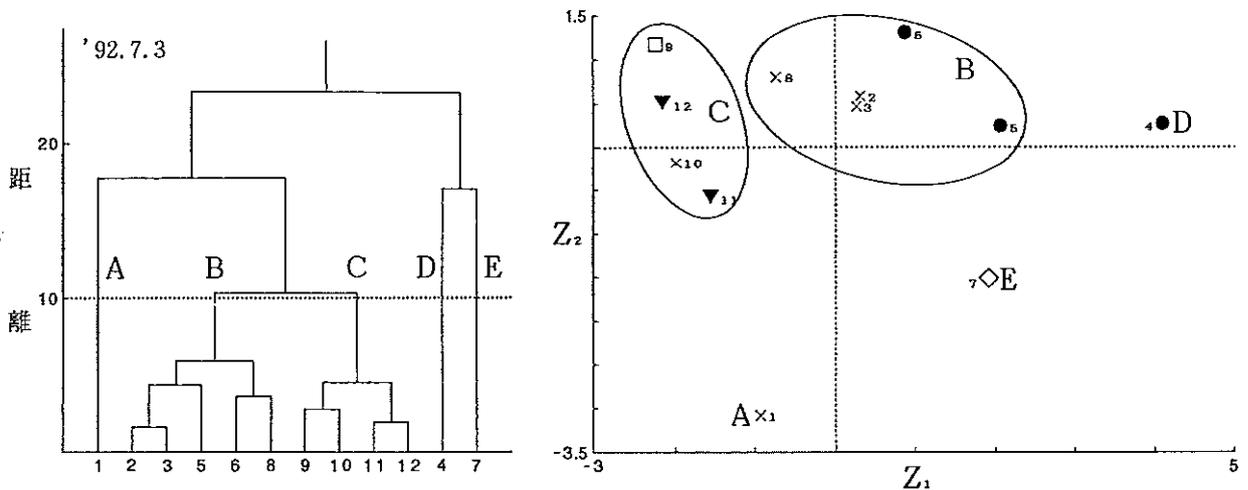


図2-4 デンドログラムと主成分得点散布図('92.7.3)

●: *Skeletonema costatum*, ▼: *Ceratium* spp., □: *Gyrodinium fissum*, ◇: *Noctiluca scintillans*, ×: 特に優占種を認めず

7月28日 (図2-5)

第1主成分は塩分と負、リン酸態リン・クロロフィル a・酸素飽和度・DINと正の相関があり、河川水の影響が強いほど植物プランクトンの現存量が多いことを意味する。第2主成分は水温・pHと正の相関があり、植物プランクトンによる一次生産を表すと考えられる。調査海域はA~Cクラスターに区分され、Aクラス

ターは *Cylindrotheca closterium* が優占して出現する海域、B・Cクラスターは微小藻類による赤潮の発生域である。Bクラスターは低塩・富栄養・高クロロフィル a を示し、河川水の影響が強いため第1主成分得点は高いが、第2主成分得点は低い。

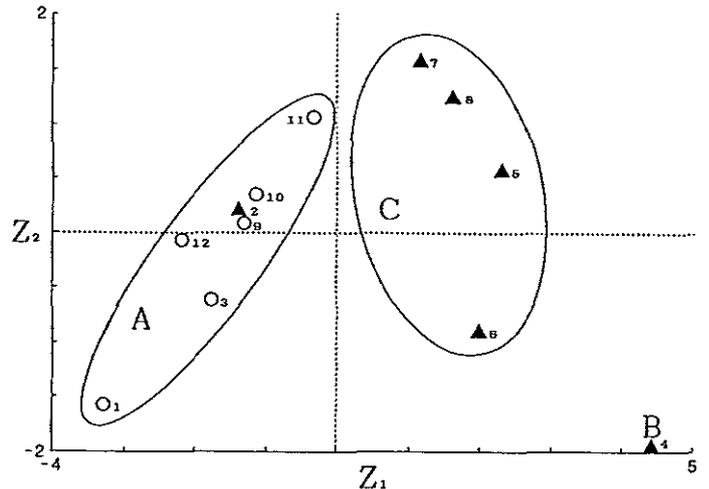
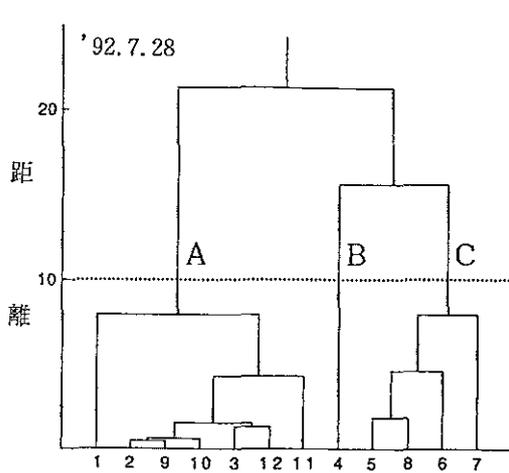


図2-5 デンドログラムと主成分得点散布図('92.7.28)

○: *Cylindrotheca closterium*, ▲ 微小藻類

8月20日 (図2-6)

変量のうち酸素飽和度を欠くが、全情報の約76%を第1主成分で説明できる。第1主成分は塩分と正の相関、DIN・リン酸態リン・クロロフィル a・pH・水温と負の相関があり、外洋水の影響が強いほど高塩・貧栄養で植物プランクトン現存量が少ないことを意味する。

調査海域はA~Cクラスターに区分され、Aクラスターは高塩・貧栄養・低クロロフィル a で優占種はすべて *Leptocylindrus danicus* である。Cクラスターは低塩・富栄養・高クロロフィル a で *Skeletonema costatum* が優占して出現し、Bクラスターの水質はA・Cクラスターの間と考えられる。

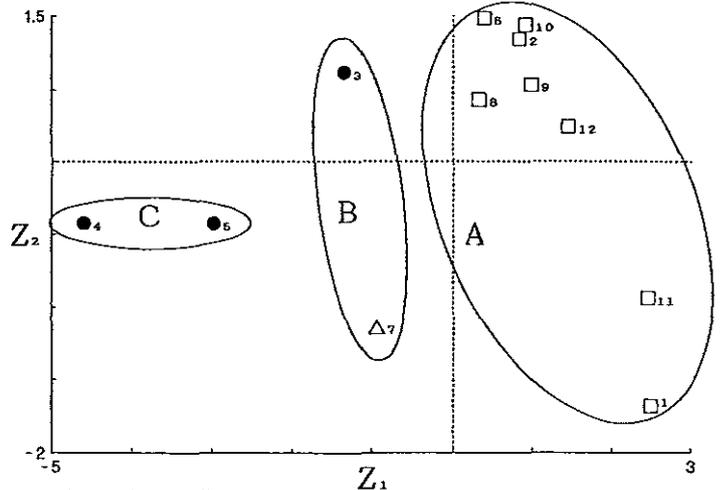
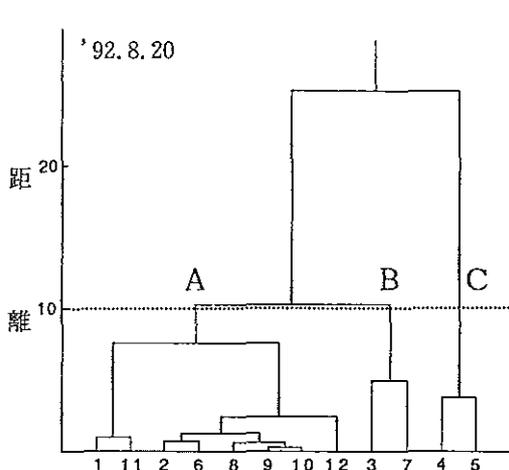


図2-6 デンドログラムと主成分得点散布図('92.8.20)

□: *Leptocylindrus danicus*, ● *Skeletonema costatum*, △: *Thalassiosira* sp.

9月21日 (図2-7)

変量のうちpHを欠くが、第2主成分までで全情報の約86%を説明できる。第1主成分はDIN・リン酸態リン・クロロフィルaと正の相関、塩分と負の相関があり、河川水の分布と植物プランクトンの現存量を表すと考えられる。第2主成分は酸素飽和度・水温と正の相関があり、植物プランクトンによる一次生産を表すと考えられる。

調査海域はA~Cクラスターに区分され、*Nitzschia pungens*が全調査点で優占して出現する。Aクラスターの水質はほぼ均質で、Bクラスターは低水温・低酸素飽和度で第2主成分得点は低く、Cクラスターは低濁・富栄養・高クロロフィルaのため第1主成分得点は高い。

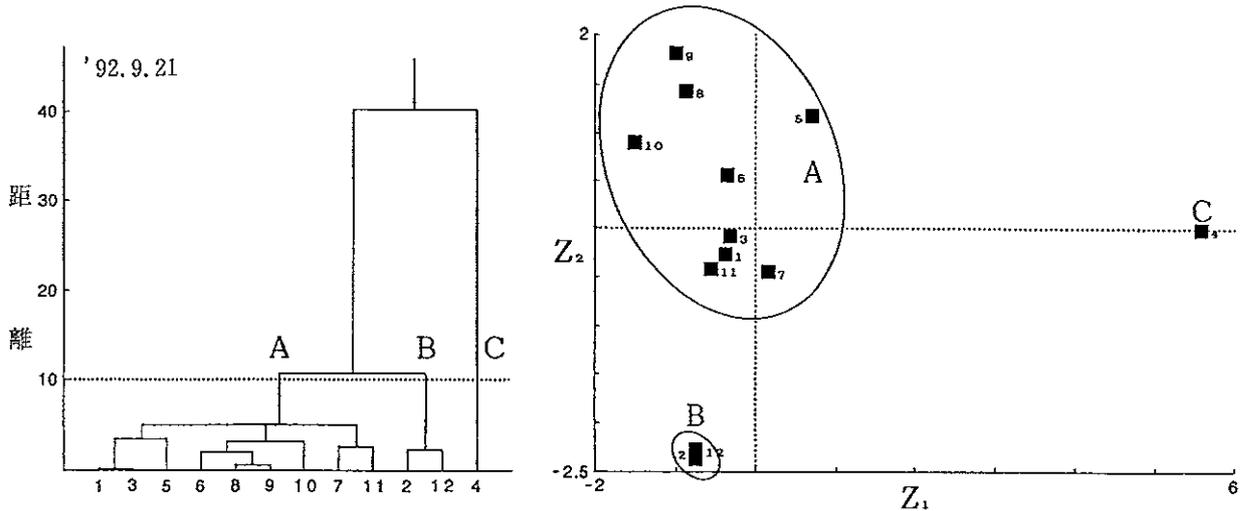


図2-7 デンドログラムと主成分得点散布図('92.9.21)

■: *Nitzschia pungens*

計7回の調査で、第1主成分と高い相関がある変量は、塩分や栄養塩類、クロロフィルaなどで、第1主成分は河川水の影響を表すことが多かった。また第2主成分と相関の高い変量は、酸素飽和度やpH、水温などで、第2主成分は植物プランクトンによる一次生産の程度を表すことが多かった。

表1より、第2主成分までの累積寄与率は66~90%の範囲にあり、第2主成分まででもとの7変量のもつ情報をほぼ説明できる。また図2の第1主成分と第2主成分の得点散布図より、調査点やクラスターの水質の評価を視覚的に行うことができる。

図3のクラスターの分布や付表の水質データから、Aクラスターは外洋水の影響の強い海域と推察され、デンドログラム上でAクラスターと融合しにくいクラスターは内湾性の海域と推察される。

図2の主成分得点散布図によれば、Aクラスターは一般に高濁・富栄養・低クロロフィルaで、赤潮の発生しにくい海域であるが、植物プランクトンによる一次生産は、梅雨明け前の4回の調査で低く、梅雨明け後の3回の調査で高くなる傾向にあった。図3より、

Aクラスターは東京湾のほぼ千葉県沿岸に沿って分布することがわかる。

またデンドログラム上で高い非類似度を示すクラスターは、一般に低濁・富栄養・高クロロフィルaで、一次生産は比較的高く、赤潮の発生しやすい海域である。図3より、非類似度の高いクラスターは東京湾や千葉湾にかけての湾奥部に分布することが多い。

そのほかのクラスターは、比較的低濁・富栄養・高クロロフィルaで、一次生産の比較的高い、赤潮の発生しやすい海域である。図3より、これらのクラスターは、Aクラスターや非類似度の高いクラスターと接して分布する。

以上、東京湾の12調査点を3つから5つまでのクラスターに分類し、主成分によるクラスターの水質の評価によって東京湾の海域区分を行った。その結果、東京湾を外洋水の影響の強い海域、内湾性の海域およびこれらの海域と接する海域の3つに区分した。これは古畑の海域区分とほぼ一致するが、今回の報告では、主成分によるクラスターの水質の評価をもとに、東京湾を3海域に区分することができた。

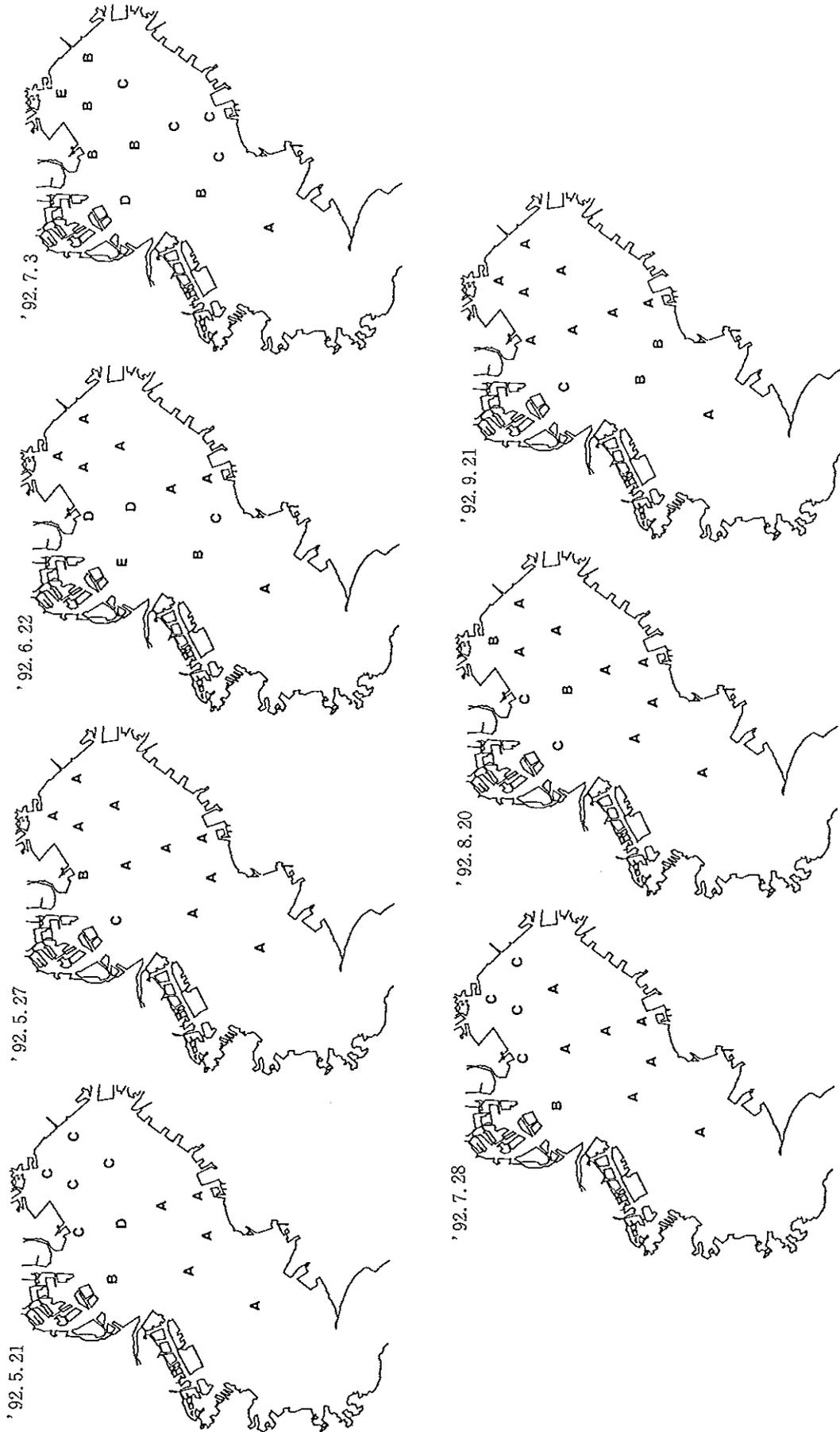


図3 クラスターの分布

主成分得点散布図上のプランクトンの優占種の分布は、クラスターにはほぼ従う場合（7月28日の*C. closterium*：Aクラスター，微小藻類：Cクラスターおよび8月20日の*L. danicus*：Aクラスター）と，従わない場合（7月3日など）があり，前者の場合，主成分によるクラスターの水質の評価から，プランクトンの発生や分布の特性，赤潮となる要因の推測が可能である。

一方，後者の場合，主成分による推測はできず，この理由として今回，変量に用いなかった他の因子，例えばビタミン類，微量金属などの関与が考えられる。今後は，これらの因子を変量に加えて解析する必要があると考える。

要 約

- 1) 1992年5月から同9月にかけて，東京湾の12点において計7回，海況調査を行い，得られた表層の水質7項目を変量としてクラスター分析と主成分分析による海域区分を試みた。
- 2) その結果，調査点を3つから5つまでのクラスターに分類し，主成分によるクラスターの水質の評価から，東京湾を
 - ①一般に高濁・貧栄養・低クロロフィルaで一次生産の比較的低い，外洋水の影響を受け，赤潮の発生しにくい海域
 - ②一般に低濁・富栄養・高クロロフィルaで一次生産の比較的高い，内湾性の赤潮の発生しやすい海域
 - ③比較的低濁・富栄養・高クロロフィルaで一次生産の比較的高い，①・②の海域と接する赤潮の発生しやすい海域
- 3) プランクトンの優占種の分布は，クラスターに従う場合と，従わない場合があった。
- 4) 前者の場合，主成分によるクラスターの水質の評価から，プランクトンの発生や分布の特性，赤潮となる要因の推測が可能である。
- 5) 後者の場合，主成分による推測ができなかった理由として，変量に用いなかった因子の関与が考えられる。今後，そのような因子を特定し，変量に加えて解析する必要がある。

文 献

- 1) 古畑和哉 (1992)：東京湾における植物プランクトン量と水質5項目に関する多変量解析の試み。千葉県水産試験場研究報告，50，45-51.
- 2) 気象庁 (1985)：海洋観測指針。日本気象協会，東京.
- 3) SCOR-UNESCO (1966)：Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monographs on Oceanographic Methodology, 1, 11-18. UNESCO, Paris.
- 4) 田中 豊，垂水共之，脇本和昌 (1984)：パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編。共立出版，東京.
- 5) 銚子地方气象台：千葉県気象月報，平成4年5月.
- 6) 銚子地方气象台：千葉県気象月報，平成4年6月.
- 7) 銚子地方气象台：千葉県気象月報，平成4年7月.
- 8) 銚子地方气象台：千葉県気象月報，平成4年8月.
- 9) 銚子地方气象台：千葉県気象月報，平成3年9月.

付 表

第1回 ('92.5.21)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	18.8	29.78	8.6	177	360	7	47
2	18.8	30.52	8.8	162	255	5	28
3	20.1	28.35	8.8	189	1118	45	40
4	19.2	23.54	8.5	156	689	14	56
5	19.9	23.01	8.7	187	317	7	65
6	19.4	28.73	8.8	160	514	12	61
7	20.1	27.21	8.7	182	242	10	52
8	19.6	29.46	8.8	192	420	10	24
9	19.4	28.95	8.7	194	367	8	43
10	18.7	26.0*	8.6	153	300	6	13
11	19.7	30.0*	8.5	138	297	6	22
12	19.1	30.7*	8.5	149	510	9	19

第4回 ('92.7.3)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	20.2	28.78	8.5	100	618	35	9
2	21.0	23.67	8.5	117	930	53	26
3	21.0	24.83	8.5	119	1034	65	19
4	20.5	19.09	8.3	105	1470	88	27
5	20.8	22.17	8.4	110	1316	71	21
6	21.1	20.20	8.5	120	1202	68	14
7	21.1	24.35	8.3	89	1124	84	5
8	21.3	22.65	8.6	116	1056	54	7
9	21.6	24.43	8.6	127	723	40	9
10	21.2	26.45	8.6	117	849	33	7
11	21.1	28.46	8.5	121	626	55	10
12	21.3	27.85	8.6	130	600	62	10

第2回 ('92.5.27)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	19.2	30.40	8.6	131	304	16	26
2	19.3	30.42	8.6	119	556	21	26
3	20.4	29.65	8.7	133	329	16	18
4	21.5	19.82	8.5	107	1491	102	28
5	21.9	26.43	8.8	167	746	51	81
6	20.5	28.30	8.8	160	418	26	38
7	21.1	28.49	8.6	125	443	19	21
8	21.0	28.93	8.6	120	572	16	12
9	21.2	29.29	8.7	139	438	17	21
10	19.9	29.62	8.7	133	410	8	19
11	20.1	29.79	8.7	132	368	8	15
12	20.1	29.82	8.7	130	403	8	12

第5回 ('92.7.28)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	24.9	28.83	8.7	118	174	5	20
2	26.2	27.80	8.9	139	178	15	37
3	25.9	26.85	8.8	128	251	15	28
4	26.8	20.64	8.9	192	1075	63	169
5	27.2	24.16	9.1	175	759	28	99
6	26.6	23.33	8.9	190	662	34	98
7	28.0	24.42	9.0	139	158	39	93
8	27.2	24.16	9.1	175	375	34	61
9	26.2	26.98	8.9	132	294	16	23
10	26.5	26.53	8.9	143	272	10	21
11	27.5	26.92	8.9	161	224	19	31
12	26.2	28.89	8.8	139	145	11	13

第3回 ('92.6.22)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	20.1	28.73	8.5	144	81	33	45
2	20.9	28.47	8.4	123	708	38	70
3	21.1	26.37	8.6	163	600	34	51
4	20.8	17.89	8.4	153	1449	42	81
5	21.0	22.96	8.6	189	1176	32	74
6	20.8	27.09	8.5	136	824	23	26
7	20.9	28.47	8.4	123	614	17	29
8	20.2	29.99	8.4	138	413	27	37
9	20.0	29.52	8.5	148	373	28	40
10	20.1	28.73	8.5	144	431	25	21
11	20.1	29.98	8.5	140	272	23	25
12	20.5	28.75	8.7	180	266	12	45

第6回 ('92.8.20)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	25.9	29.83	8.7	—	53	17	45
2	28.9	28.81	8.9	—	114	19	13
3	29.2	25.29	9.1	—	133	25	59
4	29.8	21.79	9.2	—	504	36	131
5	28.7	23.58	9.2	—	317	26	118
6	28.9	28.19	9.0	—	67	20	24
7	28.7	27.49	8.9	—	83	30	105
8	28.4	28.50	9.0	—	131	18	47
9	28.0	29.03	9.0	—	66	16	37
10	28.5	28.90	9.0	—	66	16	27
11	26.4	30.88	8.8	—	31	15	43
12	27.4	29.78	9.0	—	57	13	46

第7回 ('92.9.21)

調査点	調 査 項 目						
	水温	塩分	pH	酸素飽和度	DIN	PO ₄ -P	Chl.a
1	22.3	31.35	—	103	306	30	25
2	22.0	31.88	—	91	275	43	12
3	22.3	31.25	—	105	252	36	25
4	22.4	25.83	—	103	1316	119	51
5	22.7	30.11	—	110	451	49	32
6	22.9	31.30	—	102	267	44	27
7	22.5	31.21	—	103	391	71	15
8	23.1	31.51	—	109	234	42	18
9	23.2	31.51	—	109	203	29	24
10	22.9	31.50	—	109	196	33	4
11	22.9	32.42	—	97	375	62	16
12	22.4	32.29	—	89	374	62	5