

## 養殖漁場としての的矢湾の低次生産環境特性

今井 直\*・太原英生\*\*・河村章人\*

\*三重大学生物資源学部, \*\*的矢湾養蠔研究所

### Characteristics of Environmental Conditions Affecting the Primary Production in Matoya Bay, Central Japan

Tadashi IMAI\*, Hideo TAHARA\*\* and Akito KAWAMURA\*

\*Faculty of Bioresources, Mie University, 1515 Kamihama-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan

\*\*Matoya Oyster Research Laboratory, Matoya, Isobe-cho, Mie 517-0204, Japan

#### Abstract

Environmental parameters (water temperature, salinity, transparency, dissolved oxygen content (DO), and concentrations of chlorophyll *a*, nitrate, nitrite, phosphate and silicate) affecting the primary production were investigated in Matoya Bay, central Japan, from July 1996 to September 1997. Salinity and concentrations of chlorophyll *a* and nitrate showed remarkable seasonal changes in the upper layers while DO and concentrations of nitrite and silicate were in the lower layers. Concentrations of nitrate and silicate, negatively correlated with salinity, were high in the upper layers. Different from the other nutrients, concentrations of nitrate and silicate were strongly influenced by river discharge. It was suggested that nitrite and phosphate were mainly supplied by regeneration from bottom sediment, deducing from that these two nutrients were at higher concentrations in the lower layer during summer when DO was low. Chlorophyll *a* concentration was lower in the inner part of the bay, while those of the nutrients were higher there. Judging from that, the environmental conditions in the inner part of the bay were under strong influence of river discharge from time to time, and the inner part of the bay would not always be a suitable site for aquaculture of oyster and pearl oyster.

**Key Words** : Matoya Bay • nutrients • river discharge • regeneration • aquaculture

#### 1. 緒 言

我が国の内湾域はさまざまな生物の養殖漁場として多く利用されているが、近年、養殖漁場の生産性の低下が指摘されている。一般に、養殖漁場の生産性が低下する

要因としては、都市・工場排水の流入、漁場の老化、密殖などが考えられている<sup>1)</sup>。例えば、カキ養殖漁場では、自家汚染による富栄養化によって養殖ガキの生殖巣に過熟現象が起こり斃死することが知られている<sup>2)</sup>。また、真珠養殖漁場においては、アコヤガイの大量斃死が全国

平成11年8月30日受理

\*514-8507 三重県津市上浜町 1515

\*\*517-0204 三重県志摩郡磯部町の的矢

各地で発生しており<sup>3,4)</sup>、適切な養殖漁場環境の管理が必要とされている。

三重県の志摩半島に位置する矢湾は、湾奥に流入河川を有する閉鎖的な内湾で、カキ・真珠の優良養殖漁場として知られている。一次消費者であるカキやアコヤガイの養殖は無給餌養殖であるため、漁場の低次生産環境はこれら養殖生物にとって極めて重要な意味をもつ。したがって、矢湾を養殖漁場として高度利用してゆくためには、まず、基礎生産に関連する水質、特に栄養塩類の動態と餌量の視点から湾内の環境特性を把握する必要がある。そこで、本研究は矢湾における低次生産環境の季節変動を明かにし、養殖漁場としての環境特性を検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2-1 調査地の概要

矢湾は総面積 12.7km<sup>2</sup> のリアス式内湾で、地形的特徴によって湾奥部、水道部、湾部に区分される<sup>5)</sup>。

湾奥部の伊雑ノ浦には、矢湾の主要流入河川である野川、神路川、池田川（いずれも二級河川）が流入する（Fig. 1）。野川と池田川はそれぞれ山田川と地藏川を支流に持ち、神路川は上流にダムを有する。また、矢湾に供給される陸水の 78% は、これら 3 河川によって供給されることが知られている<sup>6)</sup>。

本研究は、調査地点を湾奥部から水道部にかけて 3 地点（Stns. A, B, C）を設け（Fig. 1）、各地点の 3 層

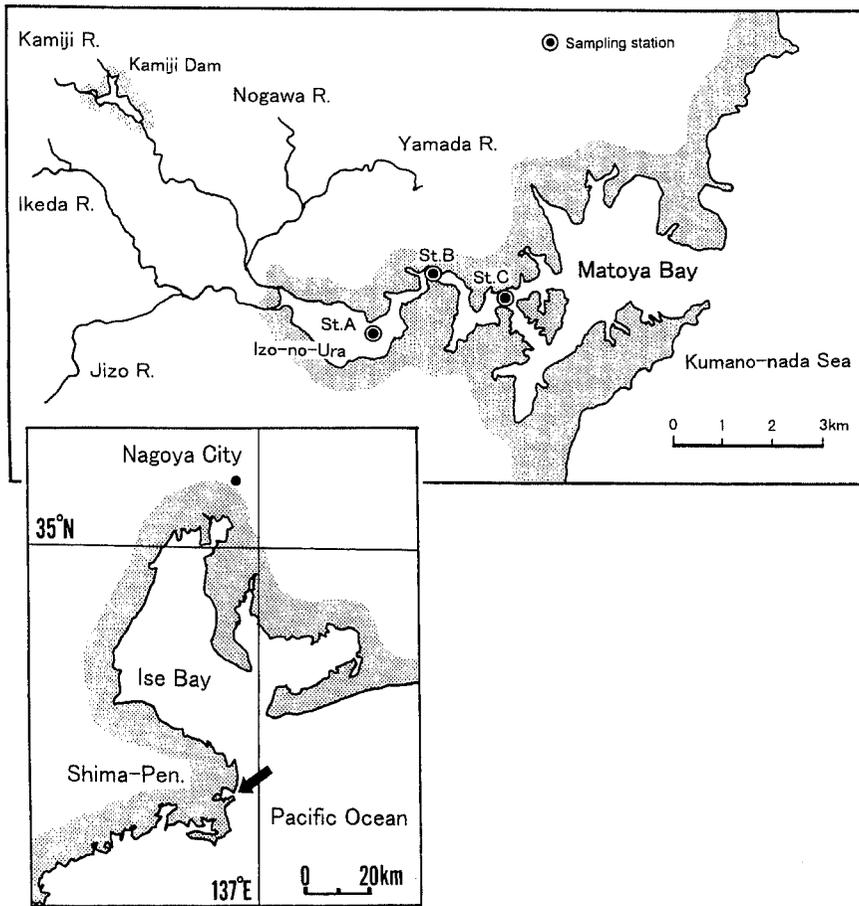


Fig. 1 Study area and location of sampling stations in Matoya Bay, central Japan.

(表層から0.5, 2.0, 4.0m層)について観測調査を行った。St. Aは河口から2.0kmに位置し, St. A-B間とSt. B-C間はそれぞれ1.9kmと2.1kmの距離がある。また, 調査時の平均水深(1996年8月~1997年9月の計27回)は, St. Aが $5.8 \pm 0.5$ m (Mean $\pm$ SD), St. Bが $6.3 \pm 0.4$ m, St. Cが $8.6 \pm 0.5$ mであり, 湾奥ほど浅海域であった。

2-2 調査・分析方法

1996年7月から1997年9月にかけて毎月約2回(計32回)の頻度で観測調査を行なった。調査項目は, 水温, 塩分, 透明度, 溶存酸素量(DO), クロロフィルa濃度(Chl. a濃度), 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N), 亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N), リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)及びケイ酸態ケイ素(SiO<sub>2</sub>-Si)である。水温と塩分はポータブルCSTメーター(アレック電子ACT20-D2), DOはデジタルDOメーター(YSI model 58)を用いて現場観測を行った。試水はバンドン採水器により採取し, 栄養塩分析用サンプルは-20℃以下で冷凍保存した。NO<sub>3</sub>-NとNO<sub>2</sub>-Nはオートアナライザー(Technicon AutoAnalyzer II)を用いて測定し, PO<sub>4</sub>-PとSiO<sub>2</sub>-SiはParsons *et al.*<sup>7)</sup>の方法に従って測定した。Chl. a濃度は, グラスファイバーフィルター(Whatman GF/F filter)を用いて試水100mlを濾過した後にN, N-ジメチルホルムアミド溶液で色素を抽出し, タナー・デザイン蛍光光度計で測定した<sup>8)</sup>。

3. 結果

3-1 時系列変動

(1) 透明度

各地点における透明度の変動範囲は, St. Aが0.7~5.9m, St. Bが1.0~6.2m, St. Cが1.1~9.1mであり, 一年を通して河口に近い地点(St. A)ほど低い値を示した(Fig. 2)。また, 3地点ともに類似した季節変動を示し, 冬季に高く夏季と秋季に低くなる傾向が認められたが, 透明度が低下する夏季において, 8月は例外的に前後の月よりも高い値を示した(Fig. 2)。

(2) 物理化学的環境要因

水温, 塩分, DO及びChl. a濃度の季節変動をFig. 3に示す。水温は, 全観測点において7~30℃の範囲で類

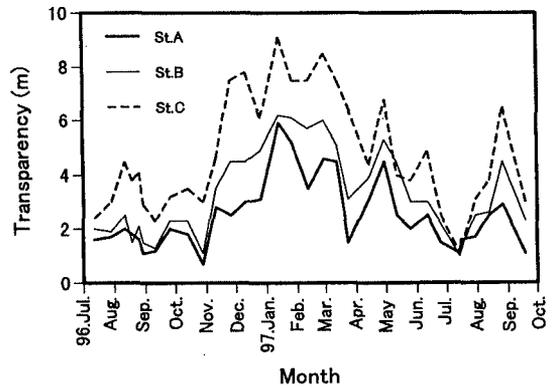


Fig. 2 Seasonal variations in transparency in Matoya Bay, central Japan.

似した季節変動を示した。また, 0.5-4.0m層間の温度差は, 3地点ともに春季と秋季に顕著に現われ, その最大値(St. A: 6.3℃, St. B: 5.3℃, St. C: 5.0℃)は河口に近い地点ほど大きくなる傾向が認められた。塩分は, 全観測点において5~33PSUの範囲で類似した季節変動を示し, 冬季に高く夏季と秋季に低くなる傾向が認められた。しかしながら, 0.5m層における塩分は4.5~33.5PSUの広い範囲で変動するのに対し, 2.0m層層以深では22.6~33.8PSUの狭い範囲で変動した。また, 0.5-4.0m層間の塩分差は3地点ともに夏季と秋季に顕著に現われ, その最大値(St. A: 25.6PSU, St. B: 23.5PSU, St. C: 19.5PSU)は河口に近い地点ほど大きくなる傾向が認められた。DOは, 全観測点において0.7~12mg/lの範囲で類似した季節変動を示し, 冬季に高く夏季に低くなる傾向が認められた。特に, 夏季のDOの低下は下層で顕著に現われ, St. Aの4.0m層では最小で0.8mg/lにまで低下した。しかしながら, 夏季の上層では11mg/lを上回るDOのピークも観測され, それはChl. a濃度のピーク出現とほぼ一致していた。また, 0.5-4.0m層間のDOの濃度差は, 3地点ともに夏季と秋季に顕著に現われ, その最大値(St. A: 8.6mg/l, St. B: 8.4mg/l, St. C: 7.7mg/l)は河口に近い地点ほど大きくなる傾向が認められた。Chl. a濃度は, 全観測点において0.2~90μg/lの範囲で類似した季節変動を示し, 夏季に高く冬季に低くなる傾向が認められた。Chl. a濃度の最大値(St. A: 21.3μg/l, St. B: 87.7μg/l, St. C: 73.1μg/l)は夏季の上層で現わ

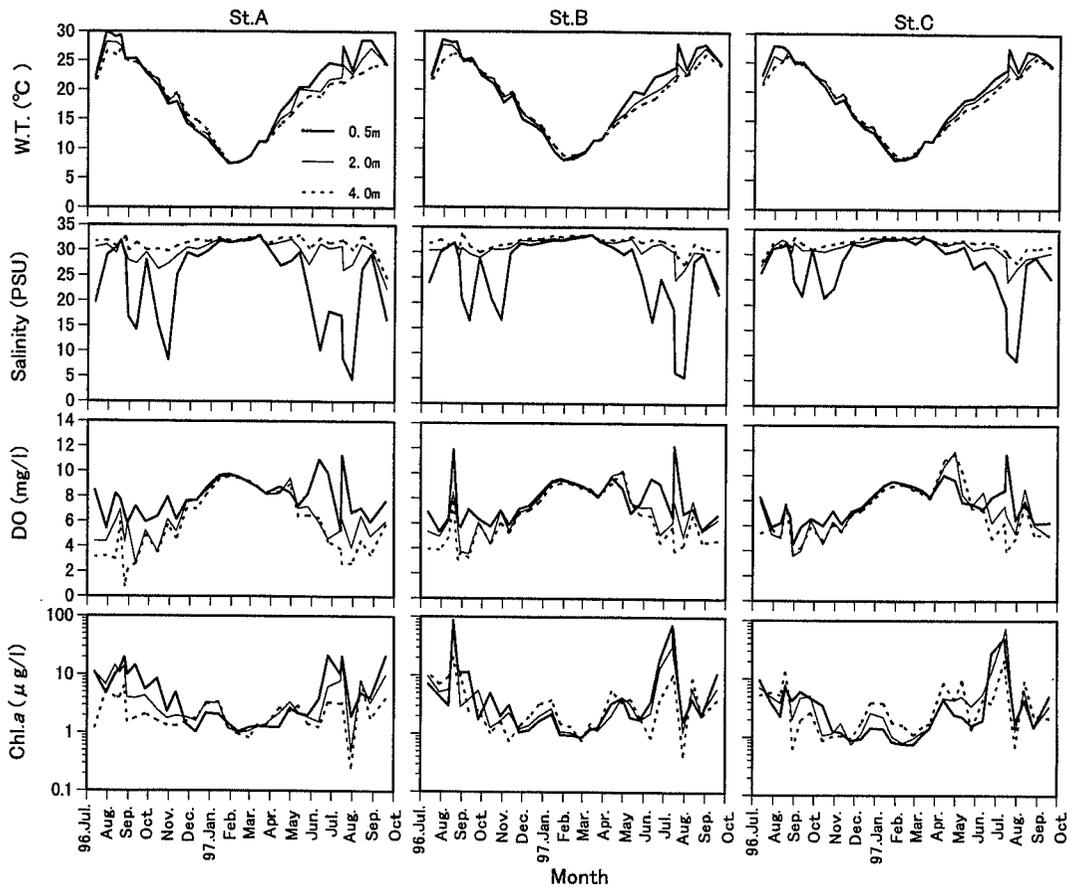


Fig. 3 Seasonal variations in water temperature (W.T.), salinity, dissolved oxygen content (DO), and chlorophyll *a* concentration in Matoya Bay, central Japan.

れるが、St. A の最大値は他の 2 地点よりも顕著に低い値を示した。また、Chl. *a* 濃度は、夏季と秋季では上層で高い値を示すのに対し、冬季と春季では下層で高い値を示す傾向が認められた。

栄養塩類の季節変動を Fig. 4 に示す。NO<sub>3</sub>-N は全観測点において 0~26 μM の範囲で類似した季節変動を示し、夏季と秋季に高く冬季に低くなる傾向が認められた。しかしながら、0.5m 層における NO<sub>3</sub>-N は 0~26 μM の広い範囲で変動するのに対し、2.0m 層以深では 0~13 μM の狭い範囲で変動を示した。また、0.5-4.0m 層間の NO<sub>3</sub>-N の濃度差は、3 地点ともに夏季と秋季に顕著に現われ、その最大値 (St. A : 21.6 μM, St. B : 18.9 μM, St. C : 14.7 μM) は河口に近い地点ほど大きくなる傾向が認められた。また、NO<sub>3</sub>-N のピークは

夏季と秋季の 0.5m 層で現われ、河口に近い地点ほど最大値 (St. A : 25.7 μM, St. B : 24.3 μM, St. C : 20.8 μM) が大きくなる傾向が認められた。NO<sub>2</sub>-N は、全観測点において 0~1.1 μM の範囲で類似した季節変動を示し、夏季と秋季に高く冬季に低くなる傾向が認められた。NO<sub>2</sub>-N の変動は NO<sub>3</sub>-N と同様の傾向を示すが、NO<sub>3</sub>-N のピークは 0.5m 層で出現するのに対し、NO<sub>2</sub>-N のピークは 4.0m 層で現われた。また、0.5-4.0m 層間の NO<sub>2</sub>-N の濃度差は、3 地点ともに夏季と秋季に顕著に現われた。PO<sub>4</sub>-P は、全観測点において 0.1~5 μM の範囲で類似した季節変動を示し、夏季に高く冬季に低くなる傾向が認められた。PO<sub>4</sub>-P の最大値は夏季に出現し (St. A : 1.9 μM, St. B : 4.7 μM, St. C : 2.5 μM), St. B の最大値が最も大きかった。また、

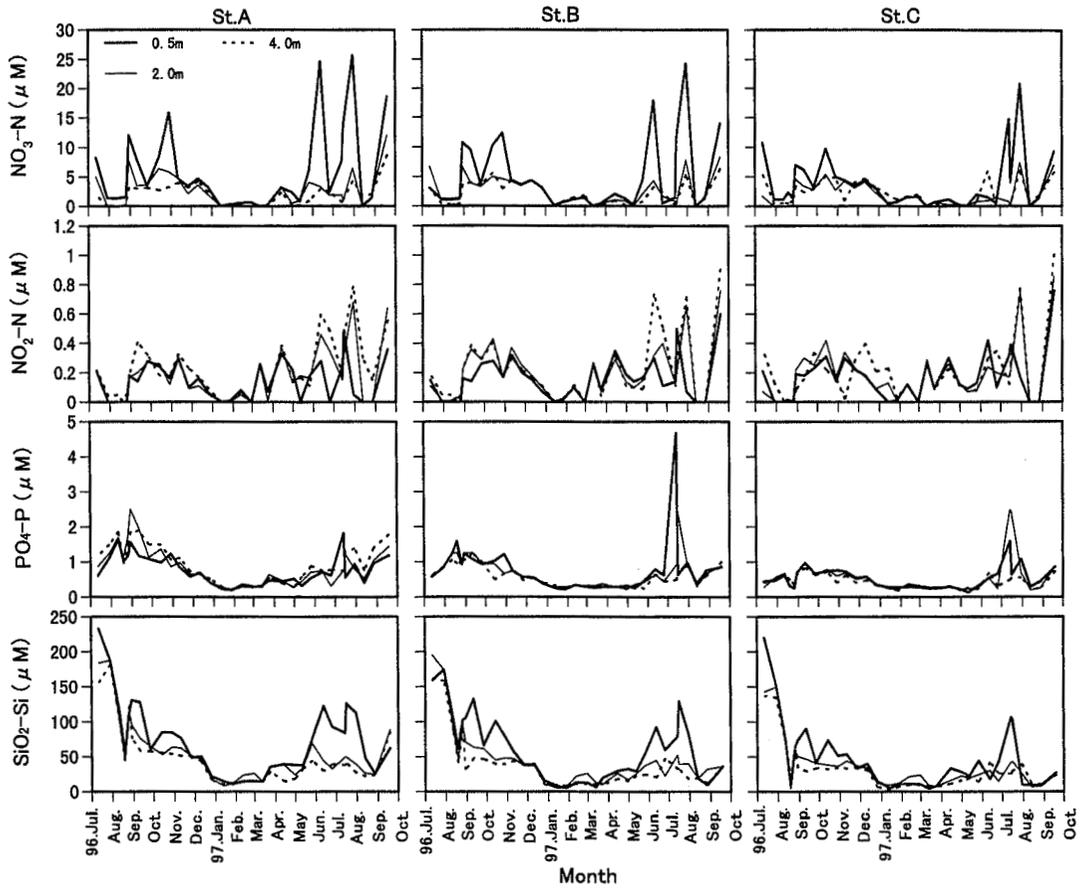


Fig. 4 Seasonal variations in concentrations of nitrate, nitrite, phosphate and silicate in Matoya Bay, central Japan.

St. A では、夏季と秋季になると下層ほど高い値を示す傾向が認められた。SiO<sub>2</sub>-Si は、全観測点において3~240 µM の範囲で類似した季節変動を示し、夏季と秋季に高く冬季に低くなる傾向が認められた。SiO<sub>2</sub>-Si の最大値は夏季の上層で出現し (St. A : 233.1 µM, St. B : 195.0 µM, St. C : 220.0 µM), 河口に近いSt. A の最大値が最も大きかった。また、SiO<sub>2</sub>-Si は夏季と秋季になると3地点ともに上層ほど高い値を示す傾向が認められたが、冬季と春季では上下層間で顕著な濃度差は認められなかった。

### 3-2 変動係数の比較

全観測点における各環境要因の変動の大きさを、変動

係数によって比較した (Table 1)。透明度は、地点間で変動の大きさに顕著な違いはみられなかったが、河口に近い地点ほど変動が大きくなる傾向が認められた。水温は、地点間及び層間で変動の大きさに顕著な違いはみられなかったが、上層ほど、また、河口に近い地点ほど変動が大きくなる傾向が認められた。塩分は、3地点ともに0.5m層の変動が他の2層と比べて大きく、また、各層ともに河口に近い地点ほど大きな変動を示す傾向が認められた。DO は、3地点ともに下層ほど変動が大きく、特にSt. A の4.0m層で大きい変動を示した。Chl. a 濃度は、3地点ともに上層で変動が大きく、4.0m層の変動が顕著に小さかった。また、3層ともに河口に近い地点ほど変動が小さくなる傾向が認められた。

栄養塩類についてみると、 $\text{NO}_3\text{-N}$  は3地点ともに表層ほど変動が大きい、3層ともに地点間で顕著な違いは認められなかった。 $\text{NO}_2\text{-N}$  は、Stns. B, C においては下層ほど大きな変動を示す傾向が認められた。 $\text{PO}_4\text{-P}$  は、St. B の0.5m層とSt. C の2.0m層で大きな変動を示した。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$  は、Stns. A, B では下層ほど大きな変動を示すが、St. C では0.5m層の変動が大きかった。

### 3-3 平均値による観測点間の比較

各環境要因の全平均値を Table 1 と Fig. 5 に示す。水温の全平均値は、3地点ともに上層ほど高い値を示すが、各層において地点間の違いはみられなかった。塩分の全平均値は、3地点ともに0.5m層が最も低く、各層において河口に近い地点ほど低い値を示した。DO の全平均値は、3地点ともに下層ほど低く、特にSt. A の4.0m層で低い値を示した。また、地点間を比較すると、0.5m層では顕著な違いはみられなかったが、2.0, 4.0

m層では河口に近い地点ほど低い値を示した。Chl.  $\alpha$  濃度は、3地点ともに4.0m層で低い値を示し、また、地点間を比較すると3層ともにSt. B で高い値を示した。

栄養塩類についてみると、 $\text{NO}_3\text{-N}$  は3地点ともに0.5m層で顕著に高く、また、河口に近い地点ほど高い値を示した。これとは対照的に、 $\text{NO}_2\text{-N}$  は3地点ともに下層ほど低い値を示した。 $\text{PO}_4\text{-P}$  は、3層ともに河口に近い地点ほど高い値を示した。また、St. A では下層で高い値を示すが、これとは対照的にStns. B, C では上層で高い値を示した。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$  は、3地点ともに上層ほど高い値を示し、3層ともに河口に近い地点ほど高い値を示した。

### 3-4 多重比較による観測点間の比較

各環境要因において、観測点間で測定値に差があるのかを知るために Fisher の多重比較を用いて検討した (Table 2)。水温、Chl.  $\alpha$  濃度及び  $\text{NO}_3\text{-N}$  は、全観測点間において有意な差は認められなかった。塩分は、3

Table 1 Means and coefficient of variations (CV) of the environmental factors.

		Mean			CV		
		St. A	St. B	St. C	St. A	St. B	St. C
Tr. * (m)	-	2.5	3.3	4.7	52.2	49.7	46.7
W. T. ** (°C)	0.5m	20.0	19.9	19.7	35.2	33.1	31.9
	2.0m	19.4	19.4	19.3	33.1	31.5	30.1
	4.0m	18.8	19.0	19.0	31.2	29.7	29.0
Salinity (PSU)	0.5m	23.8	26.3	27.9	35.0	28.8	21.6
	2.0m	29.8	30.8	31.3	7.7	7.6	6.3
	4.0m	31.4	32.0	32.1	5.0	4.1	4.0
DO (mg/l)	0.5m	7.9	7.7	7.7	19.5	22.6	19.9
	2.0m	6.5	6.9	7.3	30.0	26.1	26.6
	4.0m	5.6	6.3	6.9	45.5	33.2	30.1
Chl. $\alpha$ ( $\mu\text{g/l}$ )	0.5m	6.6	9.7	5.9	98.7	200.2	173.8
	2.0m	5.0	8.1	7.4	96.7	186.3	211.1
	4.0m	2.5	4.6	4.4	67.2	98.0	104.1
$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\mu\text{M}$ )	0.5m	5.8	4.8	3.9	120.9	124.5	122.4
	2.0m	2.6	2.6	1.9	110.5	93.4	110.6
	4.0m	1.9	2.1	2.2	98.6	92.5	95.8
$\text{NO}_2\text{-N}$ ( $\mu\text{M}$ )	0.5m	0.14	0.15	0.17	97.8	96.1	97.9
	2.0m	0.17	0.19	0.18	105.8	97.5	108.1
	4.0m	0.22	0.22	0.20	86.9	106.5	108.2
$\text{PO}_4\text{-P}$ ( $\mu\text{M}$ )	0.5m	0.8	0.8	0.5	55.3	99.8	59.5
	2.0m	0.9	0.7	0.6	63.4	64.6	95.0
	4.0m	1.0	0.6	0.4	55.3	49.2	42.3
$\text{SiO}_2\text{-Si}$ ( $\mu\text{M}$ )	0.5m	73.7	61.1	46.5	71.4	76.4	102.4
	2.0m	56.4	46.9	35.0	76.0	90.0	94.9
	4.0m	49.7	39.0	31.5	82.7	96.1	99.5

\*Transparency, \*\*Water temperature.

地点ともに0.5m層と他の2層との間に有意な差が認められた。また、地点間を比較すると、塩分は0.5m層におけるSt. Aと他の2地点との間のみで有意な差が認められた。DOは、河口に近いSt. Aにおいて0.5m層と他の2層との間に有意な差が認められたが、St. Cでは各層間に有意な差が認められなかった。また、地点間を比較すると、DOは4.0m層のSt. A-C間のみで有意な

差が認められた。NO<sub>3</sub>-Nは、Stns. A, Bにおいて0.5m層と他の2層との間に有意な差が認められ、St. Cにおいては0.5-2.0m層間で有意な差が認められた。また、地点間を比較すると、NO<sub>3</sub>-Nは0.5m層のSt. A-C間のみで有意な差が認められた。PO<sub>4</sub>-Pは、3地点ともに各層間に有意な差が認められなかったが、地点間を比較すると、3層ともにSt. A-C間で有意な差が認められた。

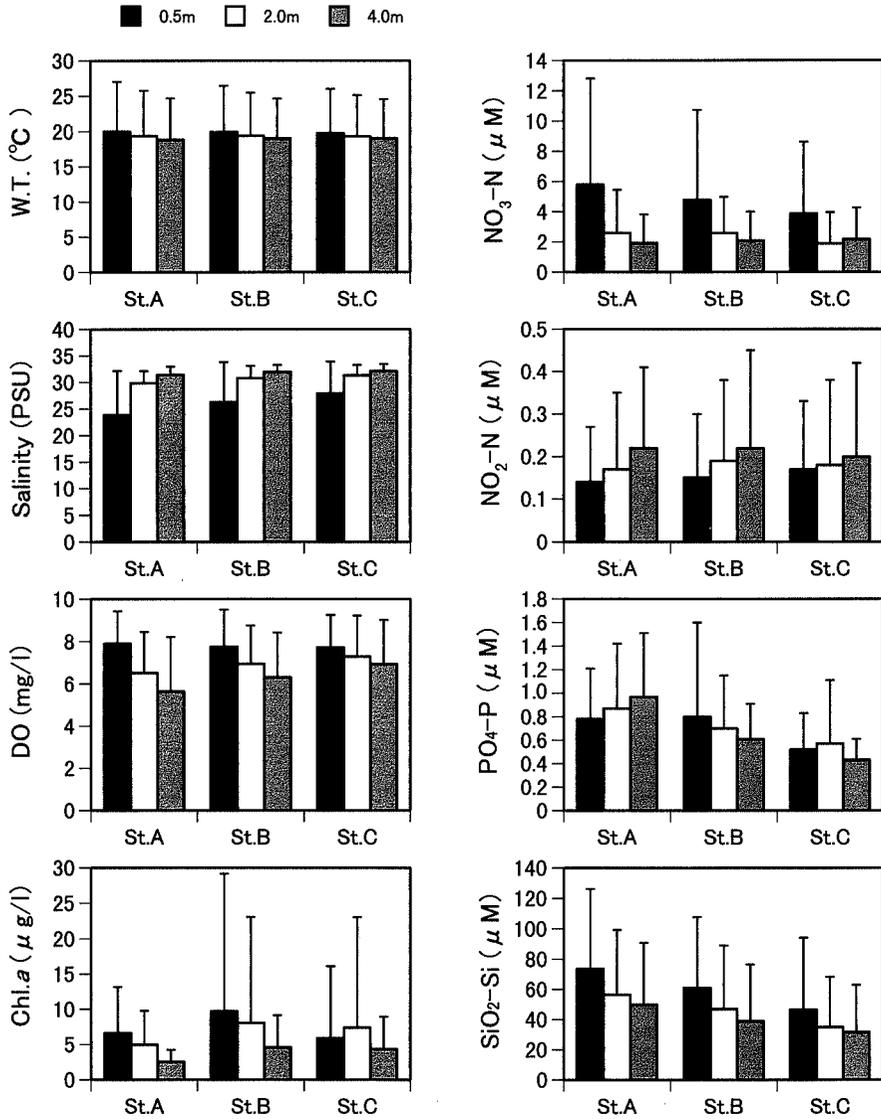


Fig. 5 Year-round means of environmental parameters in Matoya Bay, central Japan. Bars : standard deviation.

Table 2 Result of Fisher's multiple comparison test on physicochemical parameters among depth layers (a) and stations (b). Solid circle: significant ( $p < 0.05$ ), open circle: not significant.

(a)			0.5m	2.0m	(b)				
						St. A	St. B		
W.T.	St. A	2.0m	○	-	W. T.	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	St. B	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	St. C	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
Salinity	St. A	2.0m	●	-	Salinity	0.5m	St. B	●	-
		4.0m	●	○			St. C	●	○
	St. B	2.0m	●	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	○	○
	St. C	2.0m	●	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	○	○
DO	St. A	2.0m	●	-	DO	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	○	○
	St. B	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	○	○
	St. C	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	●	○
Chl. $\alpha$	St. A	2.0m	○	-	Chl. $\alpha$	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	St. B	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	St. C	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
NO <sub>3</sub> -N	St. A	2.0m	●	-	NO <sub>3</sub> -N	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	●	○
	St. B	2.0m	●	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	○	○
	St. C	2.0m	●	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
NO <sub>2</sub> -N	St. A	2.0m	○	-	NO <sub>2</sub> -N	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	St. B	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
	4.0m	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○
PO <sub>4</sub> -P	0.5m	2.0m	○	-	PO <sub>4</sub> -P	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	●	●
	2.0m	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	●	○
	4.0m	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	●	○
SiO <sub>2</sub> -Si	0.5m	2.0m	○	-	SiO <sub>2</sub> -Si	0.5m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	●	○
	2.0m	2.0m	○	-		2.0m	St. B	○	-
		4.0m	●	○			St. C	●	○
	4.0m	2.0m	○	-		4.0m	St. B	○	-
		4.0m	○	○			St. C	○	○

SiO<sub>2</sub>-Si は, Stns. A, B において 0.5-4.0m 層間のみ有意な差が認められた。また, 地点間を比較すると, SiO<sub>2</sub>-Si は, 0.5, 2.0m 層において St. A-C 間のみ有意な差が認められた。

#### 4. 考 察

##### 4-1 海洋環境特性

主要河川が流入する湾奥部の伊雑ノ浦は, 降雨時の河川増水によって一時的に淡水化するが, 3~4 日後には下層の比重は 1.020 以上に回復するといわれている<sup>9)</sup>。そこで, 調査日を含めた前 4 日間の降水量の積算値を河川流量の指標とし, 河口に近い St. A の 0.5m 層の塩分と比較した (Fig. 6)。その結果, 塩分の低下は降水量の多いときとほぼ一致していたことから, 湾内の塩分低下は湾奥に流入する 3 河川に起因することがわかった。

塩分の変動幅は, 3 地点ともに 0.5m 層と 2.0m 層以深との間で顕著に異なることから, 塩分躍層は 2.0m 層付近で形成されると考えられる。的矢湾の水道部における密度躍層は, 1.5~2.0m 層付近に形成されることが知られており<sup>9)</sup>, 塩分躍層の水深は過去の知見と一致していた。また, 2.0m 層以深の塩分は, 河口に近い St. A においても急激な低下がみられないが, 0.5m 層では

湾口に近い St. C において St. A と同様な塩分の低下が認められた。このことは, 的矢湾における河川水の拡散が, 鉛直方向には小さく水平方向に大きいことを示唆している。

NO<sub>3</sub>-N と SiO<sub>2</sub>-Si は, 河口に近い St. A の 0.5m 層において高い値を示し, また, 低塩分時に高濃度を示すことから, これら栄養塩類は河川水の影響を強く受けていることがわかった。実際に, 調査期間 (調査回数 31 回) における主要 3 河川の平均濃度は, NO<sub>3</sub>-N が 25.8~50.3 μM, SiO<sub>2</sub>-Si が 109.0~114.2 μM であり (今井, 未発表資料), 湾内の St. A よりも高濃度であった。これに対し, NO<sub>2</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P は DO が 4.0mg/l 以下になる夏季の 4.0m 層において高濃度を示すことから, 河川からの負荷以上に底土表層のバクテリアによる再生が大きく寄与している可能性が示唆された。

Chl. *a* 濃度について注目すべき点は, 栄養塩類の豊富な河口に近い St. A よりも水道部の Stns. B, C で高濃度を示した点である。つまり, 栄養塩濃度と一次生産の空間分布は一致していないことがわかった。伊雑ノ浦と本湾を結ぶ水道部は, 急激に湾の幅が狭まり最狭部は 130m になる<sup>9)</sup>。このような地形的特徴により形成される複雑な物理環境によって, 水道部は高い生産性をもつ水域として経験的に知られている<sup>9)</sup>。本研究においても,

Chl. *a* 濃度の最大値は St. B で観測され, 水道部における一次生産が養殖生物の餌料供給源として重要な役割を持っていることが示唆された。

##### 4-2 透明度と Chl. *a* 濃度の関係

透明度は, 日本周辺海域において Chl. *a* 濃度の推定に有効な指標であり<sup>10)</sup>, また, 東京湾のような内湾域においても低次生物環境の指標になること<sup>11)</sup> が知られている。長田<sup>10)</sup> と同様に,  $C = aT^b$  の回帰式 ( $a, b$  は定数) を用いて透明度 ( $T$ ) と Chl. *a* 濃度の 0.5~4.0m 層の水柱積算値 ( $C$ ) との関係を求めると, 3 地点ともに有意な負の相関が得られ (相関係数:  $-0.46 \sim -0.75, p < 0.05$ ), 河口に近い湾奥ほど相関係数が小さくなる傾向が認められた (Fig. 7)。また, 透明度は河口に近い地点ほど低くなることから, 的矢湾における透明度は基本的に植物プランクトンの生物量にその変動要

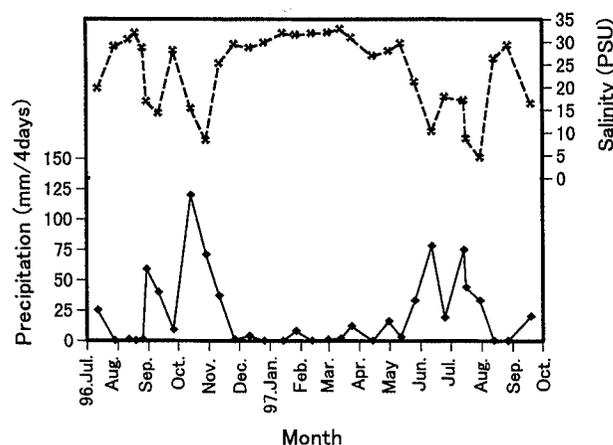


Fig. 6 Seasonal variations in salinity and precipitation in Matoya Bay, central Japan.  
Broken line : salinity (0.5m layer at St. A),  
solidline : precipitation for consecutive 4 days in Ago-cho district close to Matoya Bay.

因をもつが、河口に近い水域ほど浮遊懸濁物質中に占める植物プランクトンの割合が相対的に小さくなることが示唆された。つまり、湾奥部においては、流入河川や底泥の巻き上げによる植物プランクトン以外の懸濁粒子の供給が透明度に影響していると考えられる。

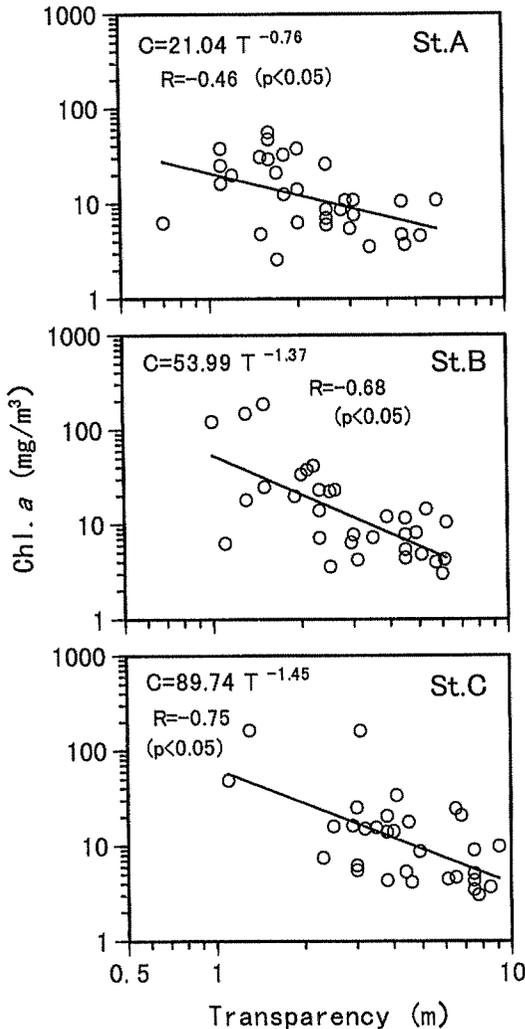


Fig. 7 Relationships between transparency and integrated chlorophyll *a* concentration (0.5~4.0m) in Matoya Bay, central Japan.

C : chlorophyll *a*, T : transparency,  
R : correlation coefficient.

#### 4-3 真珠養殖漁場としての海洋環境

既存の文献<sup>12-14)</sup>をもとに、アコヤガイに対する環境条件を好適及び不適に分けて、各条件に該当する調査回数を計数した (Table 3)。DO は全観測点において周年好適条件下にあった。塩分は、0.5m 層においては河口に近い地点ほど不適条件となる場合が多いが、的矢湾における真珠養殖の垂下層が3~5m であること<sup>9)</sup>を考えると、アコヤガイの斃死に対する塩分の影響は小さいといえる。したがって、真珠養殖漁場を管理する上で重要な環境要因となるのは、水温と餌量 (Chl. *a* 濃度) であることが考えられる。

水温についてみると、2.0m 層と 4.0m 層の好適条件下であった調査回数は St. A が最も少なく、水温の変動も湾奥ほど大きかった。Chl. *a* 濃度についてみると、St. A の 4.0m 層で好適条件下にあった調査回数は他の観測点よりも少なかった。また、透明度からみても、St. A よりも Stns. B, C の方が良い環境条件であることがいえる。養殖漁場として内湾域を評価するには、波浪などの海況も考慮しなければならないが、水温と餌量条件から考えると、河川の影響を強く受けている湾奥部よりも河口からある程度の距離をおいた水道部以東の水域が真珠養殖漁場として適切な場であると考えられる。

#### 4-4 カキ養殖漁場としての海洋環境

水温が 30℃ 以上になっても、夏季の中海ではマガキは生息可能であり、日本北東部の海域では、冬季水温は 10℃ 以下になるがマガキの成長が認められている<sup>15)</sup>。また、広島湾では、雨期になると河川水の流入により 2.0 m 層の塩分が 9‰ にまで低下するがマガキの斃死はみられず<sup>15)</sup>、一方、仙台湾では塩分が 35‰ と高くても良く成長すること<sup>15)</sup>が知られている。また、佐藤<sup>16)</sup>が行ったマガキの海水比重に対する耐久実験によると、斃死率が 100% になるのは、比重 ( $\sigma^t$ ) が 1.006 以下 (塩素量で 2.38‰ 以下) と非常に低い値である。このように、一般的にマガキは広塩性、かつ広温性の生物と考えられる。本研究においては、河川の影響を最も強く受けている St. A の 0.5m 層においても 4PSU 以下の塩分は観測されなかった。したがって、塩分の低下による斃死の可能性は低いといえる。しかしながら、本研究の調査頻度は月 2 回であるために詳細な塩分の変化を把握していないこと、また、養殖ガキは環境変動の激しい層を避けて

Table 3 Range of environmental factors 'favorable' or 'unfavorable' for culturing pearl oyster. The number of observed data came under 'favorable' or 'unfavorable' conditions.

Environmental Factors	Condition	Range	St. A			St. B			St. C		
			0.5m	2.0m	4.0m	0.5m	2.0m	4.0m	0.5m	2.0m	4.0m
Water temperature	favorable	22~28°C*	11	11	11	12	13	12	15	13	13
	unfavorable	>28°C*, <13°C*	12	9	6	11	6	6	6	6	6
Salinity	favorable	27~32‰**	17	29	31	20	29	32	22	31	32
	unfavorable	<18‰**	10	0	0	5	0	0	2	0	0
DO	favorable	>1.0~1.5mg/l**	32	32	31	32	32	32	32	32	32
	unfavorable	<0.5mg/l***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chl. a	favorable	>3~4 µg/l**	16	12	6	13	12	11	11	14	12
	unfavorable	no information	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transparency	favorable	4~10m***		5			11			17	
	unfavorable	no information	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Numaguchi (1994), \*\*Wada (1991), \*\*\*Miyachi (1957).

垂下しているために環境に対する適応範囲が狭まり、現実には急激な塩分の変化による斃死が多く報告されていること<sup>16)</sup>を考えると、塩分についても養殖管理の上で十分注意する必要がある。一方、水温については、夏季における27°C以上の出現日数が養殖ガキの成長抑制や斃死と強い関係があることが指摘されている<sup>16)</sup>。的矢湾におけるカキの垂下層(11月~翌年9月)は1.0m層以深であるが、27°C以上の水温が観測されたのは、St. Aが10日(0.5m層:6日, 2.0m層:4日, 4.0m層:0日), St. Bが9日(0.5m層:6日, 2.0m層:3日, 4.0m層:0日), St. Cが5日(0.5m層:5日, 2.0m層:0日, 4.0m層:0日)で、すべて夏季の2.0m層以浅において観測された。したがって、夏季の表層では、3地点ともに水温上昇によってマガキが斃死する危険性があり、St. Cの2.0m層以深が最も安全な垂下層であるといえる。また、餌環境から考えても、マガキの生育とChl. a濃度との間には直線回帰の関係が成り立つことから<sup>17)</sup>、Chl. a濃度の高いStns. B, Cがより好適といえる。

以上のことから、的矢湾上層(2.0m層以浅)の低次生産環境は、流入河川の影響を受けて大きく変動するが、下層(2.0m層以深)は一年を通して比較的安定していることがわかった。しかしながら、内湾域では、潮汐や風による鉛直混合や河川の流入にともなうエスチュアリー循環流<sup>18)</sup>によって上下層間の攪拌作用があり、短期的な変動を考えれば下層であっても常に環境が安定しているとはいえない。また、養殖漁場環境としては、河口に近

い伊雑ノ浦よりも水道部以東の2.0m層以深の水域が適していることが考えられたが、的矢湾では100mm以上の降雨があると2.0m層の比重も低下し、養殖ガキに被害を与えることがある<sup>16)</sup>ので、今後は、降雨や流入河川水の挙動を含めた短期的な漁場環境の変動特性についても検討していく必要がある。

### 謝 辞

三重大学生物資源学部 関口秀夫助教授と谷村篤助教授には、本研究を進めるにあたり多くの助言をいただいた。的矢湾養蠔研究所元研究員 結城勝久氏には、観測調査の協力と便宜を図っていただいた。三重大学生物資源学部 田口和典博士には、化学分析の指導をいただいた。三重大学生物資源学部 石川輝博士と基礎生産学研究室の大学院生の方々には、化学分析に関して協力と便宜を図っていただいた。三重大学生物資源学部 岩城俊昭博士には、DOメーターを貸与していただいた。上記の皆様へ深く感謝の意を表します。また、観測調査に快く協力していただいた三重大学生物資源学部水圏生態学研究室の大学院生と学部学生諸氏、ならびに佐藤養殖場の皆様へ感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(課題番号 10660177)の援助により行われたものである。

## 和 文 要 約

1996年7月から1997年9月にかけての矢湾の低次生産環境要因(水温, 塩分, 透明度, 溶存酸素量, クロロフィル $\alpha$ 濃度, 硝酸態窒素, 亜硝酸態窒素, ケイ酸態ケイ素及びリン酸態リン)の観測調査を行った。その結果, 塩分, クロロフィル $\alpha$ 濃度及び硝酸態窒素は上層でより大きな季節変動を示したが, 溶存酸素量, 亜硝酸態窒素及びケイ酸態ケイ素は下層でより大きな変動を示した。また, 表層において硝酸態窒素とケイ酸態ケイ素は低塩分時に高濃度を示すことから, 河川水の影響を強く受けていることがわかった。これに対し, 亜硝酸態窒素とリン酸態リンは, 溶存酸素量が少なくなる夏季の下層で高濃度を示すことから, 底土表層のバクテリアによる再生が寄与していることが示唆された。クロロフィル $\alpha$ 濃度は, 河口に近く栄養塩濃度が高い湾奥部よりも河川水の影響が比較的弱い水道部において高濃度を示した。また, 本研究の調査結果と既知のカキとアコヤガイの生息環境の好適・不適条件を比較すると, 的矢湾の湾奥部はカキと真珠の養殖漁場としては不適環境になる可能性のあることが示唆された。

## 引 用 文 献

- 1) 本間昭郎. 無給餌養殖場, 沿岸の環境圏(平野敏行監修). フジ・テクノシステム, p651-661 (1998).
- 2) 森 勝義. カキ養殖場の自家汚染の現状と対策. 水産増殖, 47 (2): 173-180 (1999).
- 3) 水産庁資源生産推進部栽培養殖課. アコヤガイの大量へい死問題を考える. 養殖, 35 (8): 38-41 (1998).
- 4) 林 政博. 三重県におけるアコヤガイの大量へい死について. 養殖, 35 (9): 42-45 (1998).
- 5) 森実庸男. 愛媛県におけるアコヤガイの大量へい死について. 養殖, 35 (9), 38-41 (1998).
- 6) 佐藤忠勇. 的矢湾養殖研究所 - その歴史及び現在, 並に的矢湾の海洋学的特性について - . 日本プランクトン学会報, 15 (2): 20-37 (1968).
- 7) PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, 173pp (1984).
- 8) SUZUKI R. and T. ISHIMARU. An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-Dimethylformamide. J. Oceanogr. Soc. Jap., 46: 190-194 (1990).
- 9) 佐藤忠勇. 的矢湾養殖研究所研究報告 - 的矢湾における真珠養殖の実態, 特に仕上漁場としての海況について - . 的矢湾養殖研究所, 1: 72pp (1958).
- 10) 長田 宏. 日本周辺海域におけるクロロフィル $\alpha$ 量と透明度との関係. 日本海区水産研究所研究報告, 46: 25-43 (1996).
- 11) 豊田孝義・中島敏光. 水色, 透明度とそれに関する水質. 海洋科学技術センター試験研究報告, 3: 126-133 (1979).
- 12) 沼口勝之. アコヤガイのろ水率におよぼす水温の影響. 水産増殖, 42: 1-6 (1994).
- 13) 和田浩爾. 科学する真珠養殖 - 真珠養殖 Q & A -. 真珠新聞社, 213pp (1991).
- 14) 宮内徹夫. 真珠養殖場の成立条件. 水産増殖, 3: 55-60 (1957).
- 15) KUSUKI, Y., Oyster culture in Japan and adjacent countries: *Crassostrea Gigas* (Thnberg). in Estuarine and marine bivalve mollusk culture (ed. by W. MENZEL, CRC Press, Oxford.) p227-243 (1991).
- 16) 佐藤忠勇. カキ, 養殖学各論(川本信之編). 恒星社厚生閣, p545-594 (1967).
- 17) 楠木 豊. マガキの生育とクロロフィル $\alpha$ 量との関係. 広水試研報, 9: p28-36 (1977).
- 18) 藤原建紀. 淡水影響域におけるエスチュアリー循環流と生物・物質輸送. 海と空, 73: 23-30 (1998).