

洞海湾における 水質環境とプランクトンの性状—Ⅲ*¹ 過栄養化汚濁と植物プランクトン

鶴田 新生・山田 真知子*²

Hydrological and Biological Observations in Dokai Bay,
Northern Kyushu-Ⅲ

Phytoplankton as a Biological Indicator of Eutrophication

By

Arao TSURUTA and Machiko YAMADA

Number of phytoplankton cells and species, diversity, and occurrence of the characteristic species were discussed as biological indicators reflecting the eutrophication (water pollution) on the observation in Dokai Bay, northern Kyushu, from April 1974 to May 1979. According to physico-chemical characters such as transparency, DIN, DIP, and COD, this bay was classified to the extremely eutrophic area. Biological indicators, however, showed the bay to be extremely eutrophic during the period of high temperature, but to be eutrophic during the period of low temperature. Thus, the biological evaluation of the eutrophication in the bay did not coincide with the physico-chemical one during the period of low temperature. During the period of high temperature, the biological indicators agreed with the local change of eutrophication in the waters. As a result, the authors consider that these biological characters of the phytoplankton indicate well the degree of eutrophication of the bay in this period.

1. ま え が き

沿岸海域における富栄養化汚濁の程度を生物指標を用いて判定しようとする試みは、宝月¹⁾、高野²⁾、山路³⁾らの報告があるが、プランクトンを用いての詳細な研究は現在のところ極めて少ない。

吉田⁴⁾は、夏期成層期における海中の溶存酸素の分布様式を基礎として、海域の栄養の程度を貧栄養、富栄養、過栄養および腐水域の四階級に区分した。そして、この階級をそれぞれ特徴づける水質や底質の理化学的測定値ならびに低次生産段階の生物相や生産様式の変化について報告した。

*¹ 水産大学校研究業績 第 883 号, 1980 年 7 月 28 日 受理
Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 883. Received July 28, 1980.

*² 北九州市環境衛生研究所
The Kitakyushu Municipal Institute of Environmental Health Sciences, Kitakyushu.
本報告の内容の一部は昭和 54 年度日本海洋学会春季大会 (於東京) で口述発表した。

一方、生物群集の構造特性を示す多様度指数が考案され⁵⁻⁷⁾、これが近年水質汚濁の判定に応用されるようになった。多様度指数の算出方法には幾通りもあるが、これらは河川や海域のベントスやプランクトンの資料に利用され検討されている⁸⁻¹²⁾。

筆者ら¹³⁻¹⁴⁾は、水質汚濁と生物相に関する研究の一環として、汚濁のげいし洞海湾のプランクトンについて研究を続けてきた。本報では、本湾に出現した植物プランクトンの種類数、細胞数、多様度指数、さらには出現種の特性などと過栄養化汚濁との関連性を調べ、植物プランクトンを指標に用いて、海域の栄養度の判定が可能であるか否かについて検討したのでその結果を報告する。

本文を草するにあたり、本研究に便宜と多大な援助を賜った北九州市環境衛生研究所長園田真人博士、前所長であった産業医科大学教授秋山高博士、同研究所宮崎昭夫主査に衷心より感謝の意を表す。また、採水作業や水質分析などに協力いただいた同研究所水質部の職員諸氏、北九州市公害対策局水質騒音課の職員諸氏に深く感謝する。

2. 研究方法

調査は1974年4月から'79年5月の五ヵ年にわたって、Fig. 1に示した地点で毎月または隔月1回計40回実施した。植物プランクトンの採集は採水法で行い、その処理および測定方法、ならびに水質調査項目と水質分析方法については前報¹⁴⁾と同様であった。本報告では、これら調査資料のうち満潮時の表層について調査した延べ181地点の資料を整理したものを使用した。また、湾内各水域の資料は、Fig. 1に示した湾口部のSt. 1、湾中央部のSt. 4、湾奥部のSt. 5の三地点のものをそれぞれの水域の代表として比較に供した。

多様度指数の算出方法には、平均多様度指数で MARGALEF⁵⁾の考案した index (以後 d と略す) と SHANNON⁶⁾が考案した index (以後 H' と略す)、そして全多様度指数で PATTEN⁷⁾が使用した index (以後 $H'N$ と略す) の三方法を用いた (Fig. 2)。 d は実際に海域でのプランクトン調査から導かれた指数であり、 H' は情報理論から導かれたものであるが、これらは WILHM¹⁵⁾の汚濁などの環境

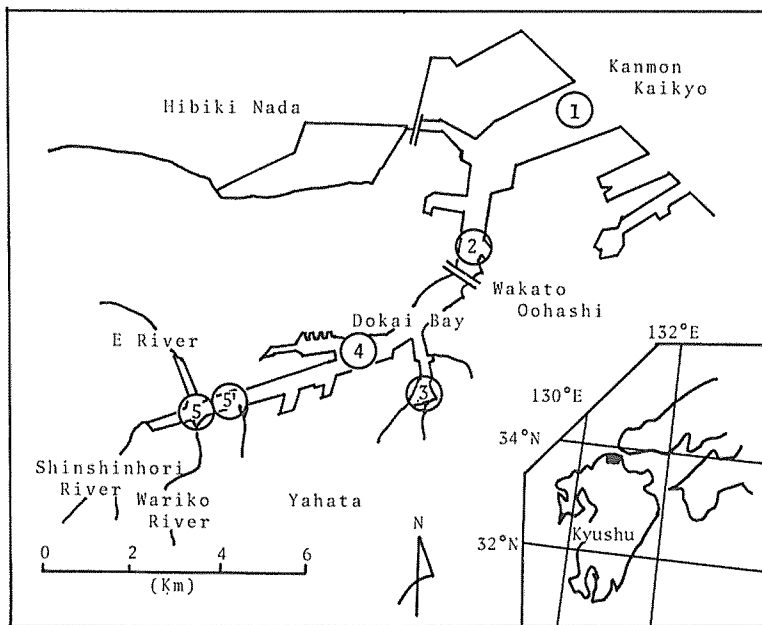


Fig. 1. Sampling stations in Dokai Bay.

変化は群集構造を変化させ、多様度を低下させる、という仮説に立脚している。そして、 H' は現在最も使用を提唱されている指数である^{8,9,16}。 $H'N$ では、植物プランクトンの全多様度指数の年間の平均値が汚濁の増大にともない減少するパターンを示すというものである。そして、これにはプランクトンの冗長度 (R) が高く、プランクトン相が安定期にあることが前提となっている。

3. 研究結果

3.1 水質環境

本湾では、植物プランクトンの出現状況が水温 20℃を境にして、5月から10月までの高水温期および11月から4月までの低水温期でかなり異なることを報告した¹⁴。この高・低両水温期を基にして、湾内各水域を代表する St. 1, St. 4 および St. 5 の三地点の水質調査結果 (平均値) を Table 1 に示した。水温は高・低温両期とも湾口部水域 (高水温期; 23.9℃, 低水温期; 12.4℃) が低く、湾奥部水域 (高; 25.2℃, 低; 13.1℃) に進むに従いやや高くなった。透明度は湾口部 (高; 2.2, 低; 2.8) から湾奥部 (高; 0.9, 低; 1.4) に進むに従い悪化した。塩素量は湾口部 (高; 17.8‰, 低; 18.3‰) から湾奥部 (高; 13.6‰, 低; 14.9‰) に進むに従い低下した。無機窒素化合物, リン酸態

リンの溶存量および COD の値は湾口部から湾奥部に進むに従いそれぞれ増大した。そして、これら栄養塩類の溶存量および COD の値は湾中央部から湾奥部にわたって極めて高い値を示し、本湾の過栄養化汚濁のげしいことを示唆した。無機窒素化合物の溶存量および COD の値は高水温期 (5~10月) に高く、低水温期 (11~4月) にやや低いことが認められた。リン酸態リンの溶存量は低水温期に高い傾向が認められた。しかし、水温と透明度を除けば水質各項目について明瞭な季節変化は認められなかった¹⁴。

吉田⁴の海域の栄養階級区分を用いて、本湾の汚濁度を表現すると、湾全域にわたって過栄養域に階級付けられ、湾奥部は腐水域寄りに、湾口部は富栄養域寄りに位置する。

3.2 生物学的指標

植物プランクトンの出現状況および多様度指数の算定結果を Table 2 に示した。

植物プランクトンの総細胞数は、高水温期 ($9.9 \times 10^3 \sim 6.5 \times 10^4$ cells/ml) では多く、低水温期 ($3.5 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^3$ cells/ml) には減少した。そして高水温期にはとくに湾中央から湾奥部にわたって濃密な分布となった。種類数は、高水温期 (17.5~36.5) に少なく、低水温期 (26.8~39.8)

Table 1. Physical and chemical water characteristics (mean values) at three areas (St. 1, 4 and 5 in Fig. 1) of Dokai Bay, from April 1974 to March 1979.

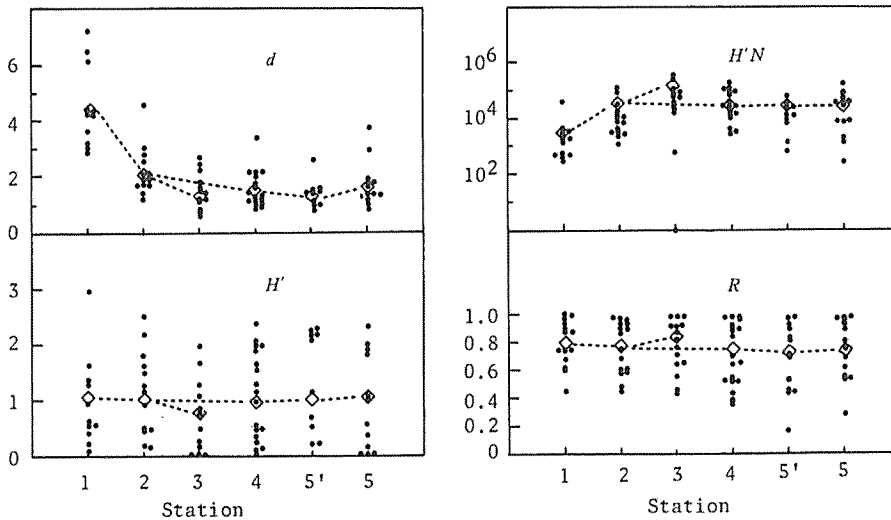
Water characteristics	Period	Station		
		St. 1	St. 4	St. 5
Water temperature (°C)	May-Oct.	23.9	24.7	25.2
	Dec.-Apr.	12.4	13.0	13.1
Transparency	May-Oct.	2.2	1.3	0.9
	Dec.-Apr.	2.8	1.8	1.4
Chlorinity (‰)	May-Oct.	17.8	16.2	13.6
	Dec.-Apr.	18.3	16.9	14.9
Inorganic total-N ($\mu\text{g-at/l}$)	May-Oct.	57.2	267.0	418.0
	Dec.-Apr.	38.1	194.0	351.0
PO ₄ -P ($\mu\text{g-at/l}$)	May-Oct.	1.48	5.46	7.51
	Dec.-Apr.	1.66	6.34	12.70
COD (ppm)	May-Oct.	2.23	6.32	9.96
	Dec.-Apr.	1.89	4.86	6.50

Table 2. Biological indicators (mean values) of the eutrophication at three areas (St. 1, 4 and 5) of Dokai Bay, from April 1974 to March 1979.

Water characteristics	Period	Station		
		St. 1	St. 4	St. 5
Number of the phytoplankton cells (cells/ml)	May-Oct.	9.9×10^3	5.5×10^4	6.5×10^4
	Dec.-Apr.	3.5×10^2	2.0×10^3	6.3×10^2
Number of the phytoplankton species (A)	May-Oct.	36.5	17.5	18.9
	Dec.-Apr.	39.8	27.4	26.8
Number of the eutrophic phytoplankton species*1 (B)	May-Oct.	16.9	1.9	0.6
	Dec.-Apr.	21.0	10.3	4.3
(B)/(A) × 100 (%)	May-Oct.	46.3	10.3	3.2
	Dec.-Apr.	52.3	36.4	16.0
Diversity index, d^{*2}	May-Oct.	4.65	1.65	1.76
Diversity index, H'^{*2}	May-Oct.	1.03	1.17	1.06
Diversity index, $H'N^{*2}$ ($\times 10^3$)	May-Oct.	4.51	45.0	31.2
Redundancy, R^{*2}	May-Oct.	0.81	0.76	0.77

*1 After YAMADA, TSURUTA, and YOSHIDA (1980).

*2 Refer to Fig. 2.

Fig. 2. Three diversity indices⁵⁻⁷⁾ and redundancy⁷⁾ in each station during the period between May and October in five years, 1974~1979.

Diversity index

Redundancy

$$d = \frac{S-1}{\log_e N} \quad H' = -\sum \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N}$$

$$R = \frac{H'_{\max} - H'}{H'_{\max} - H'_{\min}}$$

$$H'N = -\sum ni \log_2 \frac{ni}{N}$$

where S number of species,
 N total number of individuals,
 ni number of individuals of the species.

に増加した。そして、高水温期には、湾中央部から湾奥部水域では湾口部域の約半数に減少した。山田ら¹⁷⁾による富栄養海域を指標する植物プランクトンは、本湾では高水温期(0.6~16.9)に比し低水温期(4.3~21.0)に多種が出現した。そして、これら指標種の出現種数は、湾口部水域に比し湾中央から湾奥部水域では激減し半数以下となり、とくに高水温期ではわずかに数種に減少した。

五ヶ年の調査期間中で、5月から10月の高水温期に各調査地点に出現した植物プランクトンの種類数や細胞数から、 d 、 H' そして $H'N$ の三方法の多様度指数を算出しFig. 2に示した。なお、本湾の植物プランクトンの冗長度 R は0.77~0.81と比較的高い値が算出され $H'N$ の検定を可能にした。

d の各地点における平均値は、湾口部(4.65)では高く湾中央から湾奥部(1.65~1.76)にわたっては低かった。 H' の平均値は1.03から1.17ピットの値が算出された。そして各地点の値は近似しており、湾口部と湾奥部水域との差は認められなかった。なお、本湾の H' の値はMARGALEF¹⁸⁾の河口域の H' の値に相当した。 $H'N$ の平均値は、湾口部(4.51×10^3)では低く、湾中央部から湾奥部($31.2 \sim 45.0 \times 10^3$)にわたって高くなった。

この $H'N$ の増減のパターンは、PATTEN⁷⁾の米国Raritan湾における湾口部と湾奥部の値と全く逆の結果となった。

3.3 水質と生物学的指標との相関関係

各月における、水温、塩素量、無機窒素化合物およびCODの四つの水質測定値の湾口部から湾奥部に至るそれぞれの変化パターンと、植物プランクトンの細胞数(対数値)、種類数および多様度指数(d , H' , $H'N$)の湾口部から湾奥部に至るそれぞれの変化パターンとの相関関係をTable 3に示した。各組合せには相関の認められた月と認められなかった月があった。総体的に相関の認められた月の出現頻度は低かったが、水温と細胞数、水温と種類数および多様度指数(d)とのそれぞれの組合せ、塩素量と細胞数、塩素量と種類数および多様度指数(d , $H'N$)とのそれぞれの組合せ、そしてCODと多様度指数(d)との組合せなどで、高水温期(5~10月)にそれぞれ相関が認められた。

湾中央部水域を代表するSt. 4において、水温など四つの水質測定値の季節変化のパターンと植物プランクトン細胞数(対数値)、種類数および多様度指数(d , H' , $H'N$)の季節変化パターンとの

Table 3. Correlation between biological indicators of the eutrophication and physico-chemical water characteristics in each month from April 1974 to March 1979.

Water characteristics	Biological indicator								
	Number of the phytoplankton cells (log cells/ml)			Number of the phytoplankton species			Diversity index		
	May -Oct.	Dec. -Apr.	Total	May -Oct.	Dec. -Apr.	Total	d^*	H'^*	$H'N^*$
Water temperature	5/13	0/11	5/24	3/13	0/9	3/22	3/13	1/13	0/13
Chlorinity	3/13	2/8	5/21	6/13	2/11	8/24	5/13	0/13	3/13
Inorganic total-N	2/13	0/8	2/21	0/11	1/8	1/19	0/12	0/12	1/12
COD	2/7	1/6	3/13	2/7	2/6	4/13	3/6	1/6	2/6
(Number of the phytoplankton species)	(2/13)	(1/12)	(3/25)						

Numerator, number of the month which correlation was significant ($p < 0.05$); denominator, number of the month which correlation was examined.

* Refer to Fig. 2.

相関関係を Table 4 に示した。水温と細胞数との組合せに正の相関が、水温と種類数に負の相関が

認められたが、他の組合せの間には有意な相関は認められなかった。

Table 4. Correlation between biological indicators of the eutrophication and physico-chemical water characteristics in the middle part of Dokai Bay (St. 4) from April 1974 to March 1979

Water characteristics	Biological indicator				
	Number of the phytoplankton cells (log cells/ml)	Number of the phytoplankton species	Diversity index		
			d^{*1}	H'^{*1}	$H'N'^{*1}$
Water temperature	0.78* ²	-0.63* ²	-0.05	0.43	0.53
Chlorinity	-0.14	0.07	0.12	0.14	0.22
Inorganic total-N	0.24	0.01	0.08	-0.27	-0.05
COD	0.50	0.31	-0.34	0.11	0.19
(Number of the phytoplankton species)	(-0.51)				

*1 Refer to Fig. 2.

*2 $p < 0.01$

3.4 栄養度と種組成

植物プランクトンのうち細胞数が総数の1%以上を占めたものを優勢種として、湾内各水域の代表三地点における出現状況を Table 5 に示した。本湾では *Skeletonema costatum* が湾内全域にわたって、しかも周年多量 (57.9~91.6%) に出現した。湾中央部から湾奥部水域にわたっては、珪藻類の *Cyclotella striata* var. *subsalina* や鞭毛藻類の *Olisthodiscus* sp. などの赤潮生物が優勢に出現した。そして、湾奥部水域では *Melosira granulata* などの汽水産種や淡水産種9種が優勢種として出現した。一方、湾口部水域では、本湾が開口している響灘で優勢に出現する珪藻類14種が出現した。山田ら¹⁷⁾は、海域の栄養度を判定する目的で、富栄養域を指標するプランクトンとして沿岸・内湾性種と呼ばれる52種を選定した。また、過栄養域を指標するものに *Skeletonema costatum* と *Olisthodiscus* sp. の2種を選定したが、分布量がそれぞれ8,000 cells/ml以上および3,000 cells/ml以上出現した場合のみに限った。なお、これらは細胞数が少ない場合は富栄養域の

指標種とされる。これらの指標種を用いて本湾の栄養度を判定すると、湾口部水域では高水温期(5~10月)には富栄養および過栄養域の指標種がそれぞれ半数出現したが、低水温期(11~4月)にはほとんど総てのものが富栄養域の指標種で占められた。湾中央部から湾奥部水域にわたっては、高水温期(5~10月)には過栄養域の指標種が過半を占め、低水温期(11~4月)には富栄養域指標種が過半を占めて過栄養域指標種を上回った。

富栄養域指標種の出現状況は (Table 2), 湾口部水域においては出現種数の46.3~52.3%を占めたが、湾中央水域では10.3~36.4%に減じ、さらに湾奥部水域では3.2~16.0%に減少した。そして、この指標種の水域による減少パターンは高水温期(5~10月)に顕著であった。

以上のことから本湾では、富栄養域および過栄養域を指標する植物プランクトンが混在して出現するが、前者は湾口部水域に、後者は湾中央部から湾奥部水域に多量に出現する。そして、とくに高水温期には過栄養域指標種が湾内全域にわたって優占して、本湾の過栄養化汚濁と対応した。

Table 5. Occurrence of the dominant phytoplankton at three areas (St. 1, 4 and 5) of Dokai Bay, from April 1974 to March 1979.

Species	Station					
	St. 1		St. 4		St. 5	
	M-O,	D-A	M-O,	D-A	M-O,	D-A
Marine plankton						
<i>Skeletonema costatum</i> *2, *3	+++	+++	+++	++	+++	+++
<i>Leptocylindrus danicus</i> *2 and <i>L. minimus</i> *2	+	++		+		+
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i> *2		+				
<i>T. rotula</i> *2		+				
<i>T. sp.</i>	+					
<i>Rhizosolenia fragilissima</i> *2	+	+				
<i>R. setigera</i> *2		+				
<i>R. stollerfothii</i> *2		+				
<i>Bacteriastrum elongatum</i> *1	+					
<i>Chaetoceros curvisetus</i> *2		+				
<i>C. didymus</i> *2	+	+				
<i>C. lauderi</i>		+				
<i>C. lacinosus</i> *2		+			+	+
<i>C. sp.</i>	+	+	++			
<i>Eucampia zoodiacus</i> *2		+				
<i>Asterionella japonica</i> *2		+		+		
<i>Thalassionema nitzschioides</i> *2	+	+				
<i>Nitzschia seriata</i> *2		+		+		
Cryptomonadidae	+	++	+	++	+	+
<i>Olisthodiscus sp.</i> *2, *3		+	++	++	+	+
<i>Peridinium sp.</i>	+					
<i>Eutreptiella spp.</i> and <i>Euglena spp.</i>		+	+	++	+	++
<i>Chlamydomonas sp.</i>	+	+	++	+	++	+
<i>Asteromonas sp.</i>		+	+	+		
<i>Pseudopedinella sp.</i>			+	+		
Unidentified flagellata		+		+		
Unidentified micro flagellata	+	++	+	++	+	+
Fresh- and brackish-water plankton						
<i>Melosira distans</i>						+
<i>M. granulata</i>						++
<i>M. nummuloides</i>						+
<i>Cyclotella striata</i>	+		++		++	+
<i>C. striata</i> var. <i>subsalina</i>	++		+++	++		++
<i>Closterium aciculare</i> var. <i>subpronum</i>						+
<i>Scenedesmus spp.</i>						+
Blue-green algae	+		+		++	
<i>Merismopedia spp.</i>						+

Dominant phytoplankton are defined as the species which have the cells more than 1% of the total number of the cells. Marks show the following occurrence frequency: +, 0-25%; ++, 25-50%; +++, 50-75%; +++, 75-100%;

*1, oligotrophic species; *2, eutrophic species; *3, extremely eutrophic species; M-O, the periods from May to October; D-A, December to April.

4. 考 察

水産環境水質基準¹⁹⁾によれば、暖流系の内湾、内海域では連続長期にわたる赤潮の発生をさけるためには、無機窒素 $7 \mu\text{g-at/l}$ 以下、無機リン $0.45 \mu\text{g-at/l}$ 以下であること、となっている。本湾水中の無機窒素化合物 ($15\sim 916 \mu\text{g-at/l}$) およびリン酸態リン ($0.6\sim 18.7 \mu\text{g-at/l}$) は、水質基準のそれぞれ $2\sim 131$ 倍および $1.3\sim 41.6$ 倍に及んでいる。このことから推定すれば、本湾では周年湾内全域にわたって赤潮発生が可能である。しかし、赤潮は主として高水温期 (5~10月) に湾中央部から湾奥部の水の停滞しやすい水域で発生した¹⁴⁾。

坂本²⁰⁾は、温帯湖の植物プランクトンの季節的消長は、春と秋に増殖のピークがあるが、富栄養化が進むと夏に大增殖するようになり、増殖のピークは一山型に推移する可能性が強いことを示唆した。本湾の植物プランクトンの総細胞数は、水温の季節変化とよく相関し (Table 4)、夏を頂点とする一山型の増殖パターンを示した¹⁴⁾。また、細胞数は、高水温期には汚濁の著しい湾中央から湾奥部 ($5.5\sim 6.5 \times 10^4 \text{ cells/ml}$) にわたって濃密となった。

一般に、汚濁されていないきれいな水域では生息する生物の種類数は多く、汚濁が進行すると種類数は減少すると言われている²¹⁾。本湾の湾奥部では、河川水の流入などがあり汽水化 (Cl; $4.7\sim 18.1\%$) しているので、過栄養化汚濁の他に塩素量の低下が植物プランクトンの分布を制限していることが推定された¹⁴⁾。種類数は、湾口部水域に多く湾中央から湾奥部水域で減少したが、とくに高水温期には減少がはげしかった (Table 2)。このように種類数は、湾奥部水域では低塩分の影響も受けるが、湾内各水域では過栄養化汚濁の地理的な相違を反映して増減した。

多様性指数では d , H' , H'/N の三方法を用いて吟味したが、過栄養化汚濁の地理的強弱と相関が認められたのは d のみであった。

過栄養化汚濁を示し、しかも周年汚濁度に変化のない淡水域では、高水温期には過栄養域を指標する生物種が優占するが、低水温期になると過栄養域より良好な水を指標する生物種が多量に出現

することが報告されている²²⁾。山田ら¹⁷⁾の植物プランクトンを指標に用いた栄養度判定の試みでは、高水温期には過栄養指標種が多量出現して湾内各水域の汚濁の特性をよく反映したが、低水温期には富栄養指標種の出現が多くなり栄養度は一ランク下を指標した。したがって、この方法では水温の季節変化を十分考慮に入れて吟味せねばならない。

5. 要 約

1974年4月から'79年3月に至る期間、洞海湾で行った水質やプランクトン調査資料を用いて、植物プランクトンの細胞数、種類数、多様性指数および出現種の特性などと過栄養化汚濁との関連性を検討した。

過栄養化汚濁は、湾口部から湾奥部に進むに従いはげしくなり、とくに湾中央部から湾奥部水域では汚濁が著しかった。透明度、無機窒素化合物、リン酸態リンおよびCODなど理化学的な水質測定値から判定すれば、本湾の栄養度は周年全域にわたって過栄養域に階級付けられた。

過栄養化汚濁と関連性が認められた生物学的指標は、植物プランクトンの細胞数、種類数、多様性指数 d および出現種の特性などであった。そして、これら生物学的な指標は、高水温期 (5~10月) には汚濁との相関が顕著となり、湾内における汚濁度の地理的相違ともよく対応した。

植物プランクトンを指標に用いて、本湾の栄養度を判定すると、高水温期 (5~10月) には過栄養域に位置付けられ、水質測定値からの判定と一致した。しかし、低水温期 (11~4月) には一階級下の富栄養域に位置付けられた。

文 献

- 1) 宝月欣二：環境と生物指標 2, 水界編 (日本生態学会環境問題専門委員会編), 共立出版, 東京, 1975, pp. 207~214.
- 2) 高野秀昭：環境と生物指標 2, 水界編 (日本生態学会環境問題専門委員会編), 共立出版, 東京, 1975, pp. 234~242.
- 3) 山路 勇：環境と生物指標 2, 水界編 (日本生態学会環境問題専門委員会編), 共立出版, 東京, 1975, pp. 243~254.

- 4) 吉田陽一：水圏の富栄養化と水産増養殖，水産学シリーズ1；(日本水産学会編)，恒星社厚生閣，東京，1973，pp. 92～103.
- 5) R. MARGALEF : Perspectives in Marine Biology, (ed. by BUZZATI- TRAVERSO), Univ. Calif. press., Berkeley and Los Angeles, 1958, pp. 323～349.
- 6) C. E. SHANNON : *Bell. Syst. Tech. J.*, 27, 379～423 (1948).
- 7) B. C. PATTEN : *Jour. Marine Res.*, 20, 57～75 (1962).
- 8) 岡田光正・須藤隆一：用水と廃水，18, 712～724 (1976).
- 9) 森谷清樹：用水と廃水，18, 729～748 (1976).
- 10) 金子光美・中島 淳：用水と廃水，18, 1001～1014 (1976).
- 11) 菊池泰二：環境と生物指標2，水界編(日本生態学会環境問題専門委員会編)，共立出版，東京，1975，pp. 255～264.
- 12) 野沢治治：文部省特定研究(1)，海洋環境保全の基礎的研究，海洋環境における生物過程の基礎的研究(課題番号 210521)，1～6 (1978).
- 13) 鶴田新生・山田真知子：水産大研報. 27, 101～111 (1978).
- 14) 鶴田新生・山田真知子：水産大研報, 28, 47～61 (1979).
- 15) J. L. WILHM and T. C. DORRIS : *Amer. Mid. Nat.*, 76, 427～449 (1966).
- 16) 木元新作：動物群集研究法 I . 多様性と種類組成，生態学講座 14，共立出版，東京，1976，p. 82.
- 17) 山田真知子・鶴田新生・吉田陽一：昭和 55 年度日本水産学会春季大会講演要旨集，p. 119.
- 18) R. MARGALEF : *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5, 257～289 (1967).
- 19) 水産資源保護協会：水産環境水質基準，p. 7 (1972).
- 20) 坂本 充：生態遷移 II . 生態学講座 119，共立出版，東京，1976，p. 109.
- 21) 津田松苗：汚水生物学，北隆館，東京，1964，p. 135.
- 22) 津田松苗：水質汚濁の生態学，公害対策技術同友会，東京，1972，p. 110.