

崎辺湾における燐酸塩・珪酸塩の 出現とその変動様相について

飯塚 昭二 梶原 武 清水 千秋

On the daily Variation of the Phosphate and Silicate in Sakibe Inlet.

Syozi IIZUKA

Takesi KAZIHARA

Tiaki SIMIZU

The authors observed the occurrences [and daily variations of phosphate and silicate from 21 January to 22 December in 1958 in Sakibe Inlet (Sasebo Bay)]. We found no periodicity in curves showing the daily variation of the both salts (Fig. 2-1 & 2-2), they being irregular. In addition, the fluctuations were very large, attaining to 2~3 times of the normal variability often observed. These tendencies were observed both in the surface and the bottom layer, especially in the bottom layer noticeable. The annual variations were also large, the ranges being 0~4.0 $\mu\text{g-atoms/L}$ in phosphate and 0~360 $\mu\text{g-atoms/L}$ in silicate and the averages being 1.3 and 116 $\mu\text{g-atoms/L}$ in the surface, 2.1 and 138 $\mu\text{g-atoms/L}$ in the bottom, respectively. Also on the average, the concentration in the bottom was more abundant in both salts than in the surface. Generally, the concentration was small in cold season and large in the warm. In a year round, the time which was very poor in the salts, occurred simultaneously in both salts at the both ends of January and February, but it did not be found that bloom of the phytoplankton was checked for lacking. On the relation to rainfall, it was conspicuous only in the heavy exceeding 30 mm per a day. Heavy rain brought a great deal of salts from the land, resulting in the remarkable concentration in the surface layer, but the effect was extremely superficial and temporary, no change being found in the bottom. In the rainfall less than 30 mm, the relation between rainfall and concentration was not found in the surface.

前 言

崎辺湾は佐世保湾内の一小湾で、その立地上の特長及び湾内の水流についてはすでに報告した¹⁾。著者等は1957年10月以後、観測定点を設け連続観測を行っているが、本稿ではそのうちの燐酸塩・珪酸塩について行った観測結果を、1958年1月21日から12月22日までの約1カ年間にわたり、日々変動の実態を具体的に把握することに焦点をおいて括めてみた。内湾の栄養塩類についての報告は多いが、日々変動についてはあまりみられないので、今後 Sampling の問題とか供給源に関する問題等に何等かの貢献がなされるならば幸である。本稿ではこれらについての考察は行わず、もっぱら日々変動の大きさ及びその複雑性の記述につとめた。著者のうち梶原と飯塚は現場の採水にあたり、清水は教室における塩類の定量を分担した。

入江春彦教授・山田鉄雄教授・福原忠信教授に御指導を受けたことを厚く感謝する。

採水と定量法

定点は学部海岸より沖合約50mの距離にあり水深は10m、潮位差約2~3mで底質は泥である。採水は北原式B号採水器により表層(0m)と底層の二層で、底層の採水では海底に沈積しているヌタが浮きたたぬよう注意しつつ海底より50cm上を採水した。教室に持ち帰った資料は濾過後、定量を行ったが、発色時間には磷酸塩で25°C7分、珪酸塩で25°C30~40分を条件とした。採水は毎日行うようにしたが、1年のうちで180日前後しかできなかった(Tab.1)。採水時間は一定潮位時を選ぶのが本調査の目的からは妥当であったが、他の観測も併行しておこなったため、毎日午前9時を採水時間とした。行った採水日及び個々の定量値・降雨量・プラクトン沈澱量等の観測値については崎辺湾観測資料(謄写印刷で別報の予定)を参照されたい。

両塩類の年間の出現状況

崎辺湾の年間を通じての両塩類の出現量は一般海洋のそれと比較して極めて大きい。海洋では大抵磷酸塩で0~3 $\mu\text{g-atoms/L}$ ²⁾、珪酸塩で0.7~140 $\mu\text{g-atoms/L}$ ²⁾であるが、崎辺湾での変動は下記の範囲で大中に変動する。

Tab.1 各月の採水回数
Numbers of the water-sampling
in every month.

	phosphate		silicate	
	surface	bottom	surface	bottom
Jan.	10		10	
Feb.	24	13	24	13
Mar.	19	19	19	19
Apr.	4	4	4	4
May.	10	9	10	10
June	19	19	19	19
July	16	16	17	17
Aug.	14	14	14	14
Sept.	23	23	23	23
Oct.	25	25	25	25
Nov.	9	9	9	9
Dec.	11	11	11	11
total	184	162	185	164

		min.	平均 ^{**}	max.	
磷酸塩	表層	極微量存在	~ 1.3	~ 4.0	$\mu\text{g-atoms/L}$
	底層	"	~ 2.1	~ 4.0	"
珪酸塩	表層	極微量存在	~ 116	~ 360	$\mu\text{g-atoms/L}$
	底層	"	~ 138	~ 300	"

これからわかるように両塩類とも最高値が極めて高いから出現範囲は極めて中広くなり、殊に珪酸塩ではこの傾向が顕著である。変動の中の広いのは内湾の特長であるが、定点が極めて沿岸に近いということがこの傾向を一そう顕著なものにした。今、年間の出現量で最高のもの出現傾向を、磷酸塩3.0 $\mu\text{g-atoms/L}$ 、珪酸塩200 $\mu\text{g-atoms/L}$ 以上の高い値で出現するものについて調べると(Tab.2-1)、ほとんどが夏期に出現し、季節変動と関係していることがわかるが、表層ではほとんどすべてが過去3日以内に30mmをこす降水があり(表中下線をほどこした月日)、激しい降水と両塩類の高い出現値との間には明かな関係があることを知る。然し、底層では降水との関係は認められなかった。

磷酸塩で0.5 $\mu\text{g-atoms/L}$ 、珪酸塩で50 $\mu\text{g-atoms/L}$ 以下の低い値で出現するものの状況を調べると(Tab.2-2)、少数の例外を除いて、最低の出現値は冬期に多く、これも季節変動との関係を示している。更に、冬期の最低状況については、両塩類とも自然状態で皆無の状態になることはなかった。欠乏状態は1

* 脚註) 定量は海洋観測指針にのっとり行ったが、発色が充分でなかったため、本文中の条件下で行うことにした。

** 脚註) ここで平均とは日々出現値の年間平均で、磷酸塩表層では184、底層で162、珪酸塩表層で185、底層で164 samplesの平均である。

salt	PO ₄ -P									
μg-atoms/L	4.0	3.6	3.4	3.2	3.0					
surface layer	30-Aug.		15-Aug.	20-Aug.						
				15-Mar.						
bottom layer	20-June	9-July	8-July	18-June	2-July					
		11-Oct.		3-July	13-Aug.					
		29-Oct.		5-July	14-Aug.					
		30-Oct.		7-July	15-Aug.					
				10-July	20-Aug.					
				14-July	28-Aug.					
				21-Aug.						
				22-Aug.						
				23-Aug.						
				30-Aug.						
				28-Oct.						
				31-Oct.						
				1-Nov.						
				17-Dec.						
				20-Dec.						
			22-Dec.							
salt	Si									
μg-atoms/L	360	300	280	270	250	240	230	220	215	200
surface layer	1-Sept.	15-Aug.		3-Sept.	20-May		23-Apr.	24-Apr.	21-May	
	2-Sept.	30-Aug.							18-June	
bottom layer		9-July	17-July	23-Apr.	18-June	21-Aug.		20-June	5-Mar.	22-Aug.
					21-June			16-July	18-Mar.	26-Aug.
					23-June				24-Mar.	
					24-June				14-May	
					2-July				20-May	
					5-July				21-May	
					7-July				4-June	
					8-July				1-July	
					14-July				10-July	
					18-July				11-July	
					21-July				26-July	
					7-Aug.				28-July	
									29-July	
									28-Aug.	

Tab. 2-1 磷酸塩，珪酸塩の年間最高の出現値と出現日。

(表中下線をほどこした月日のもの、過去3日以内に30mmをこす降水があったことを示す。)

The largest values of phosphate and silicate, and their dates occurred during the year.

$\mu\text{g-atoms/L}$	PO ₄ -P					Si					
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2>	50	30	25	20	10	10>
surface layer		22-Jan. 14-Feb. 27-Feb. 28-Feb. 1-Mar. 3-Mar. 28-Nov. 8-Dec.		23-Jan. 30-Jan. 31-Jan.	25-Jan.	3-Dec. 4-Dec.	21-Feb. 21-Nov. 26-Nov. 27-Nov.	23-Jan. 30-Jan. 31-Jan. 2-Feb. 3-Feb. 4-Feb. 5-Feb. 24-Feb. 25-Feb. 26-Feb. 19-Sept.	29-Jan. 1-Dec. 2-Dec.	24-Dec.	25-Jan. 27-Jan. 28-Jan. 1-Feb. 17-Feb. 27-Feb. 28-Feb. 1-Mar. 3-Mar. 9-Sept. 28-Nov.
bottom layer	10-Mar.	14-Feb. 18-Feb. 19-Feb. 3-Mar. 17-Mar. 13-Oct.			27-Feb. 28-Feb.	1-Dec. 2-Dec. 3-Dec.	14-Feb. 4-Oct. 1-Nov. 20-Nov. 28-Nov.	17-Feb. 24-Feb. 26-Feb. 9-Sept. 10-Sept. 13-Sept.	3-Mar.		25-Feb. 27-Feb. 28-Feb. 1-Mar.

Tab. 2-2 磷酸塩, 珪酸塩の年間最低の出現値と出現日。

The smallest values of phosphate and silicate, and their dates occurred during the year.

月末と2月末にあらわれ、両塩類とも時期を同じくして大体表層から底層まで最低の状態を示した。しかし、この状態は長くは続かず、珪酸塩では $10\mu\text{g-atoms/L}$ 以下の状態が5日以上続かなかったし、磷酸塩では $0.2\mu\text{g-atoms/L}$ 以下の状態が3日以上は続かなかった。自然状態では両塩類とも完全に利用し尽されるという事はあり得ないように思われる。このような年間変動の最高と最低の状態の間において、平均的には磷酸塩表層1.3、底層2.1、珪酸塩表層116、底層138 $\mu\text{g-atoms/L}$ の値を得たが、両塩類とも底層の値が表層よりも高いという事が一つの特長である。しかし、個々の月では必ずしも底層の方がいつも高かった訳でなく、珪酸塩では2・9・10及び12月では底層の方が少なく、全体的にみても秋から冬にかけては底層の方がやや少ない傾向がうかがえるが表層と較べて大差がある程の違いではなかった。ところが夏期になると成層状態が著しく、底層の出現量は表層のそれより極めて多く、結果としては年間では底層が表層より大きいことになった。磷酸塩では様相は大部異り、底層の出現量が表層より少なかったのは2月唯一回で他はいずれも底層の方が多かった。底層豊富の現象は塩類の補給が海底から供給されることを示したものと見做してよいであろう。崎辺湾を塩類の保存量という点で他の内湾と比較すると、笠岡湾とは大体同程度出現しており、松島湾では、塩釜港内の珪酸塩の変動範囲は $6.5\sim 140\mu\text{g-atoms/L}$ で、最高は崎辺湾よりかなり低く、磷酸塩では最高 $5.0\mu\text{g-atoms/L}$ で崎辺湾よりは高いが、周年的にみるとこの湾の値より低い。その他の内湾例えば田辺湾⁵⁾・有明湾⁶⁾のようなものとも比較してみたが、調査方法の差異が比較を困難にし、保存量についての比較は結論が出なかった。

季 節 変 動

両塩類とも冬期低く夏期高い。Fig. 1 は日々変動値の月別平均を図示したものである。珪酸塩では表層・底層ともに変動はかなりよく一致し、山が4~8月まで続く。ただ表層では年間の最高値($198\mu\text{g-atoms/L}$)が4月にあらわれるが、底層では8月に $237\mu\text{g-atoms/L}$ の山があらわれる。磷酸塩は珪酸塩とやや異なり、両層で2月以後漸増し8月に最高(表層2.3、底層 $2.8\mu\text{g-atoms/L}$)となるが、秋の下降になると両層

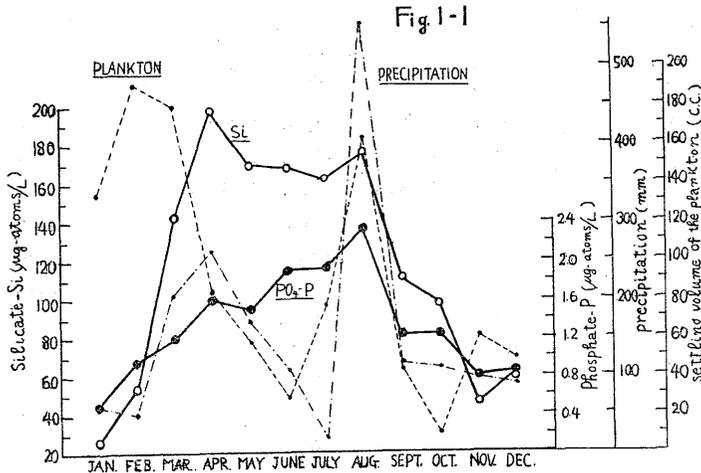
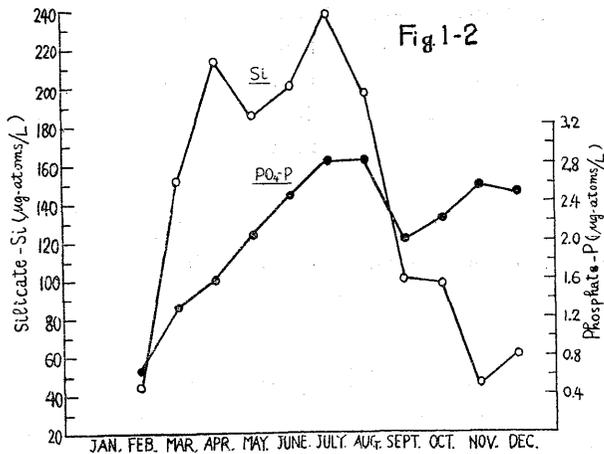


Fig.1 磷酸塩，珪酸塩の季節変動
1-1表層 (0m) , 1-2底層 (10m)

Seasonal variations at Sakibe Inlet. 1-1: the surface layer (0m), 1-2: the bottom layer (10m).



- PO₄-P
- Si
- volume of the plankton
- - -● precipitation

で異った傾向を示す。表層では珪酸塩の場合の傾向と大差ないが、底層では9月に一たん低下したのが、10~12月にかけて再び増加し11月には夏期の山に近い値(2.6 μ g-atoms/L)までふえ冬期の最低期があらわれなかった。これを松島湾における1953, '54年の調査結果と比較すると、同湾の磷酸塩・珪酸塩はいつも夏を中心と高くなる傾向は一致しているといえる。然し、変動の様相は多少の差異があり、増加に移る月、最高となる月及び変動の型等は異なる。増加にうつる月の差異は、松島湾と崎辺湾の春期の水温差が関係しているようであるし、又、夏期に高くなる傾向も夏の高水温が関係しているように思われる。これについて奥田⁷⁾⁸⁾は内湾底上の可溶栄養塩類が溶出する速度は、温度に比例して大きくなることを実験的に明かにした。しかし、他の例をみると必ずしも水温との関係について明瞭でなく、笠戸湾³⁾では磷酸塩の季節変動は6及び10月に少なく、春並びに8及び12月に多いし、Friday Harbor⁹⁾では珪酸塩で年2回のmax.があり、その時期は冬期と夏期になっているし、磷酸塩では冬期多く夏期少ない。これらは水温以外のfactorを考えれば解決のつかぬ問題で、磷酸塩は珪酸塩と較べて特に季節変動の様相は複雑である。

日 々 変 動

両塩類の日々の量を両層別に見ると (Fig. 2), この変動曲線はかなり複雑な型をみせている。観測資料が一年のもので、また日々の観測時間を一定時刻にしているために、潮時による差異や大潮・小潮による影響を十分に検討することはできなかったが、底層の両塩類について、年間の大潮と小潮の日の量を比較したもので、磷酸塩では小潮の時が、珪酸塩では大潮の時がやや大きいようであった。しかし、各月ではかかる差異は極めて不明瞭で、この現象も一般的なものとはいえず、日々変動には周期性や規則性があるとは認め難いとするのが妥当のように思われる。

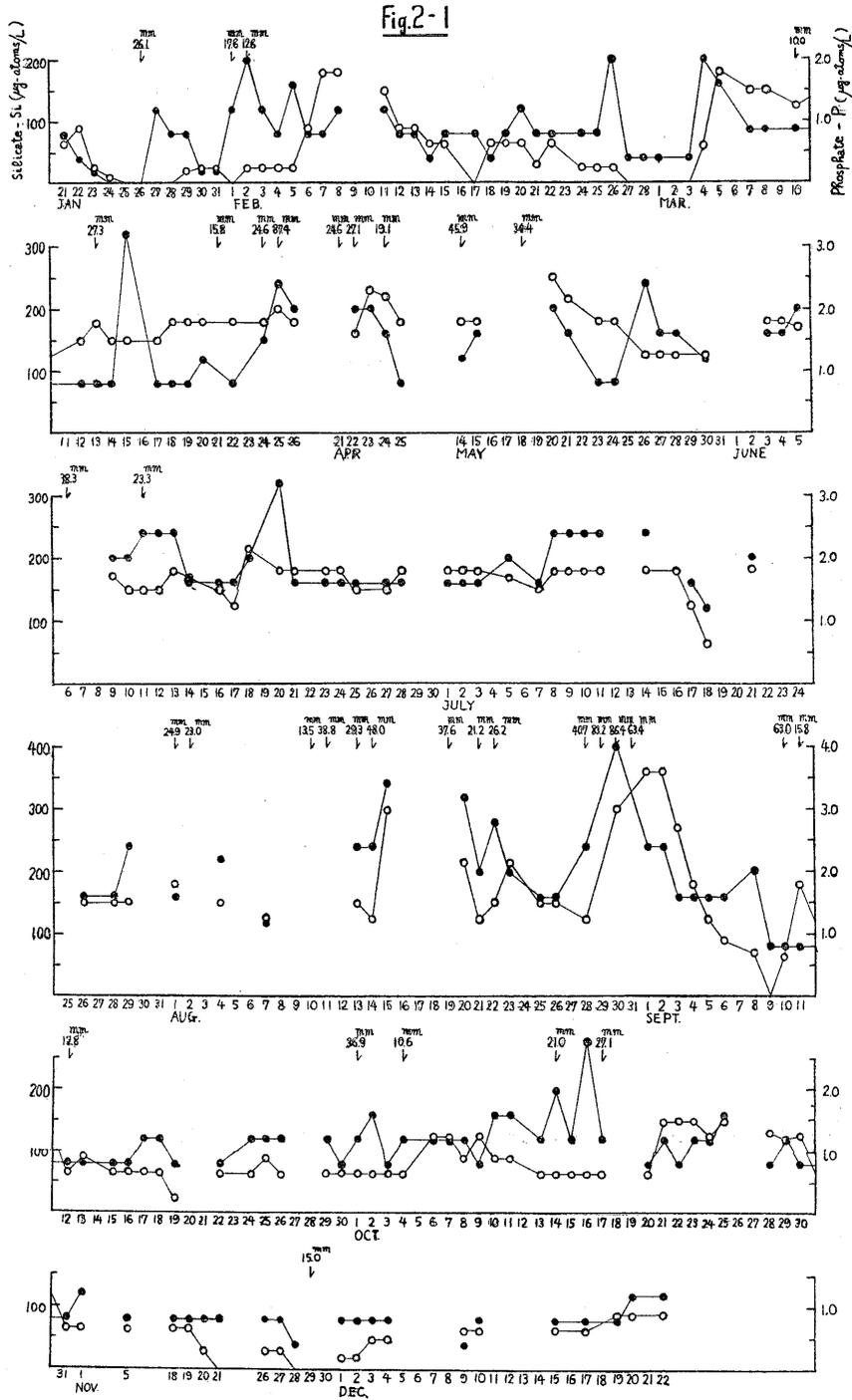


Fig.2-1 磷酸塩, 珪酸塩の日変動 (表層) 表中の数値は当日の降水量 (10mm以上) を示す。

Daily variations of phosphate and silicate in the surface layer (0 m) at Sakibe Inlet. Arrow head shows the amount of rainfall over 10mm per a day.

● ——— ● $\text{PO}_4\text{-P}$
 ○ ——— ○ Si

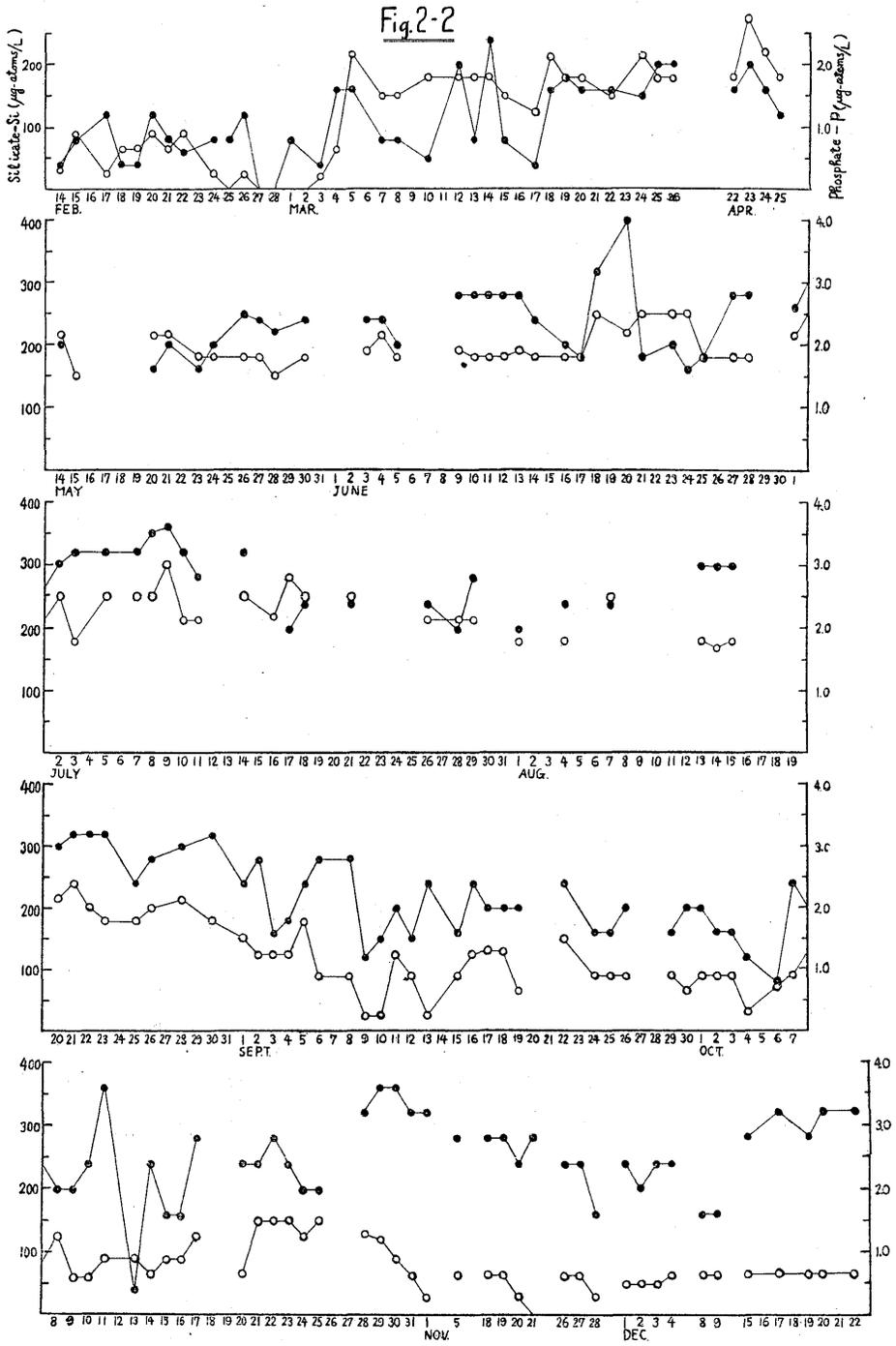


Fig.2-2 磷酸塩，珪酸塩の日変動（底層）
 Daily variations of phosphate and silicate in the bottom layer (10m) at Sakibe Inlet.

日々変動は複雑であるが、変動傾向として二種類あり、小刻みな変動と、前後の値からは想像もできぬ程大きな値が突然出現する大変動とがある。大変動はその前後の日の出現量の2~3倍にも達し、年間を通じて最も高い値を示すのはこの種の変動に属するものが多く、一例を示すと、磷酸塩が表層で2月2日, 26日, 3月4日, 15日, 6月20日, 8月30日及び10月16日, 底層で3月4日, 5日, 12日, 14日, 6月18日, 20日, 10月7日, 11日及び14日等である。珪酸塩の場合は磷酸塩程変化は出現しない。変動の様相をなおはっきりさ

grade ($\mu\text{g-atoms/L}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$		grade ($\mu\text{g-atoms/L}$)	Si	
	surface layer	bottom layer		surface layer	bottom layer
0.0	42.9%	26.1%	5	45.0%	33.0%
0.2	1.8	12.0	15	5.4	6.4
0.4	29.5	35.9	25	15.3	19.1
0.6	1.0	4.3	35	12.6	17.0
0.8	14.3	6.5	45	0.9	2.1
1.0	1.8	—	55	1.8	3.2
1.2	3.6	7.6	65	8.1	8.5
1.4	—	1.1	75	1.8	3.2
1.6	4.5	4.3	85	0.9	2.1
1.8	—	—	95	4.5	4.3
2.0	—	1.1	105	—	—
2.2	—	1.1	115	1.8	—
2.4	1.0	—	125	0.9	—
			135	—	—
			145	—	—
			155	—	1.1
			165	—	—
			175	0.9	—

Tab. 3 日々変動の大きさを示す表 (本文参照)

Magnitude of daily fluctuation.

せるために, Tab. 3 及び Tab. 4 を準備した。これに使用した資料は1月21日~10月31日までの間のもので, 前日と次の日との出現値の差を磷酸塩で0.2, 珪酸塩で $10\mu\text{g-atoms/L}$ の範囲で頻度を求めたのが

number of the continued days	$\text{PO}_4\text{-P}$		Si	
	surface layer	bottom layer	surface layer	bottom layer
1 days	67.6%	81.0%	64.6%	71.0%
2 days	16.2	13.9	15.4	8.7
3 days	5.9	3.8	9.2	11.6
4 days	2.9	—	6.2	5.8
5 days	4.4	1.3	3.1	2.9
6 days	—	—	—	—
7 days	—	—	1.5	—
8 days	2.9	—	—	—

Tab. 4 日々変動の安定度を示す表 (本文参照)

Stability of daily variation.

Tab. 3, 又, 変化の安定度, 即ち, 日々の変動値のうちから, 同じ値が何日保てたかを知るため, 同一値を保った日数別に頻度を求めたのが Tab. 4 である。ここで同じ値とは, 図中 (Fig. 2) の変動曲線で横軸にほぼ平行している部分を指すものである。まず, 変動の激しさについては, 磷酸塩では明かに底層の方が激しく, 又, 珪酸塩では磷酸塩程に顕著ではないが, 同じ傾向がみられる。この傾向は前述した両塩類とも底層の方が出現量が多いということとともに, 自然状態の塩類分布に関する重要な特長である。又, 無変動のものは表層で磷酸塩が43%, 珪酸塩が45%とそれぞれ高い値を示していることも注目に値する。定安度の点からいうと, 最高は磷酸塩で8日間(6月21~28日), 珪酸塩で7日間(3月18~24日)同一値が保たれたが, 磷酸塩では欠測がないならば, 7月3日までの13日間保てる可能性がある。これらはいずれも表層の試料についてであるが, 底層では5日間以上に出なかった。全般的に, 表層は安定が良い。一方, 底層では安定した様相は少なく, 変動の大きさも顕著である。変動の原因については, 一部, 降水による原因を除いては解析困難である。

降水との関係

崎辺湾の地形からすれば, 30mm以上の雨が比較的短時間に降りそそぐと, 四方から流入する泥水のため海面は黄濁する。海面黄濁の持続はその後の降水状況で異なるが, 長続きはしない。このような時, 表層の磷酸塩・珪酸塩の出現量は大となる。然し, この現象はごく表層性のものでせいぜい0.5m~1.0mの深さにとどまり, 相当量の降水(100mm以上)の時でも影響は2mに達するにすぎない。これは降水により表層水の一次的淡水化又は汽水化により前述の層に不連続層ができるためで, この躍層は時間経過と共に深さをまし, 普通2~3日のうちに次第に不明瞭となり, 水深2~3mの間で消滅する。躍層の検討は降水による塩素量の低下からの推定であるが, 降水による表層の磷酸塩・珪酸塩も通常1m以下最大2mまでの範囲で, 躍層の消滅と共に極く表層性そのまま消滅するものと考えられる。このことは降水と塩素量の低下との関係から推察したものであるが, 8月下旬の延273.7mmの降水が表層水の塩類濃度を年最高値にした時でも底層にはその影響があらわれなかったように(Fig.2参照), 底層の塩類出現が直接降水と関係のないことが推定される。従って降水によってもたらされた塩類はごく表層水の塩類濃度を豊かにしただけで消滅し, それが拡散した後に湾全体の塩類濃度を高めるほど濃いものとは考えられない。一般に降水効果は表層の日々変動を論ずるときには問題になっても, 塩類の供給源を論ずるときには問題にされるほどの重要性はないようである。

プランクトンとの関係

崎辺湾のプランクトン相の特長は年間を通じて *Phytoplankton* が優勢で, *Zooplankton* が殆ど出現しない事である。ただ, *Protozoa*は*Phytoplankton* が増殖衰滅し, 次の増殖期までのプランク期に一時優勢になることはあるが, *Copepoda* は小型内湾性のものでその出現は少ない。*Phytoplankton* では *Chaetoceros* と *Skeletonema* とが優位をしめ, 両者が互に主位を争う生態的狀況下であり, どちらかの種が随時主位を獲得する。この間にあって巨視的な観察が許されるならば, 季節的变化は冬期から春期にかけて多く, 夏期に少ない。ただ, 毎年8月は *Chaetoceros* が優勢となるため, 沈澱量曲線は8月に著しく高くなり(Fig. 1), 1968年も同様であるが, *Chaetoceros* は沈澱が極めて粗であるため, 沈澱量の割には単位あたりの個体数は少ない。このことを考慮にいれると, 冬期から早春にかけての2月3月をプランクトン量の max. とし, 8月を例外として大体夏期に少ないといえる。一方, 珪酸塩の季節変動はこれと逆で, 水温との関係については概述したが, *Phytoplankton* 死滅後の珪酸溶出という観点からみると, 両者の季節変動に約半年のズレがあることは従来いわれて来たことを肯定するものである。然し, 磷酸塩との関係では, 生体死後の溶出速度が極めてはやいことから, 両者の関係を自然状況下で観察することは, 特に, それが開放環境であれば極めて困難なはずである。

要 約

1958年1月21日から12月22日までの間約1カ年にわたり毎日自然状況下の磷酸塩・珪酸塩の出現状況を観察し, その結果変動に関しての様相を把握した。

1. 年間の変動範囲は磷酸塩で $4.0\mu\text{g-atoms/L}$ を最高とし, 最低で $0.2\mu\text{g-atoms/L}$ 以下, 珪酸塩で

- 360 $\mu\text{g-atoms/L}$, 10 $\mu\text{g-atoms/L}$ 以下で, 平均的には磷酸塩 1.3 (表層), 2.1 (底層) $\mu\text{g-atoms/L}$, 珪酸塩 116 (表層), 138 (底層) $\mu\text{g-atoms/L}$ で底層の方が量が多い。
2. 珪酸塩では季節変動が認められ, 冬期少なく夏期多い。磷酸塩でも同じ傾向がうかがわれるが明瞭でない。
 3. 日々変動で, 突然前後より著しく高い値が出現することが屢々あるが, 個々の変動原因については強い降水の場合を除いて解析不明である。変動は底層において激しく, 底層は表層よりも安定度を欠ぐ。これは出現量が底層に多い事と共に自然状態の塩類分布に関する重要な特長である。変動の様相が複雑であることは当然 *sampling* にあたっては慎重でなくてはならない。
 4. 年間を通じて, 塩類欠乏状態は1月末と2月末の2回観察されたが, いずれも皆無の状態ではなく, この状態も5日以上は続かった。
 5. 降水効果は30mmを越す場合のみ表層の塩類濃度を著しく高めるが, あくまでも一時的且皮層性のもので底層まで影響があることはない。従って降水による塩類供給はあまり期待できない。
 6. 珪酸塩の長期変動は *Phytoplankton* と約半年のズレがある。

文 献

- 1) 梶原武・飯塚昭二・田中稔：桝組による漁獲物の研究—I 本誌, No.6, 1958年3月
- 2) 日本海洋学会：海洋観測指針
- 3) 村上彰男：笠岡湾海洋調査報告 内水研究報告 No.6 1954年10月
- 4) 谷田専治・奥田泰造：松島湾の水産資源に関する基礎研究 No.4 東北水研報告 No.6 1956年3月
- 5) S.FUSE, I. YAMAZI & E. HARADA: A study on the productivity of the Tanabe Bay (Part 1)
Rec. of Ocean. Works in Japan 1958, March
- 6) 長崎県水試：有明海調査 No.6 1956年3月
- 7) 奥田泰造：内湾底土中の可溶栄養塩について 東北水研報告 No.4 1955年
- 8) 同 上 東北水研報告 No.9 1957年
- 9) SVERDRUP, JOHNSON & FLEMING: *The Oceans.*
- 10) 加藤威夫：大村湾の底質諸性状 海象と気象 No.14 1949年3月