

1965年夏期大村湾赤潮時の海況とその被害—II.

後期赤潮とその生物学的特徴について

飯塚 昭二・入江 春彦

The Hydrographic Conditions and the Fisheries Damages by
the Red Water Occurred in Omura Bay in Summer 1965-II
The Biological Aspects of a Dominant Species
in the Red Water.

Shoji IIZUKA and Haruhiko IRIE

From late August to early September in 1965, the second flowering* of *Gymnodinium* (species undetermined) together with a remarkable discoloration occurred in the southern half of Omura Bay. Biotic and abiotic environmental surveys, and the biological observations of the phenomenon were carried out mainly in Nagayo Inlet in the southern innermost part of the Bay. The results obtained are as follows :

(1) The nontidal movement of the waters concerned was only 600~1000 meters per 6 hours even in maximum. (Survey was carried out at the time of spring tide.) The waters concerned had a tendency to form a clear stratification in high temperature season. Consequently, it is usually seen in the central portion of the Bay that low dissolved oxygen occurs in the bottom waters and this tendency is very remarkable in the summer months. The dominant species of red water prefers to flourish under such conditions and the dominant species of the present red water also flourished in the central portion rather than in the coastal area. It is suggested by the perfect coincidence of the two phenomena (red water and low oxygen), that these phenomena are dependent on each other.

(2) The dominant species in the present red water was one of the naked dinoflagellates (refer to the Fig. 10) and it had so many yellowish-brown chromatophores that the water was discolored to deep brown by the flowering. The maximum cell number and amount of chlorophyll a in situ attained to 8.4×10^6 cells per liter and 183 mg per cubic meter, respectively. Optimum temperature and chlorinity and possible conditions for living are shown in Table 12. Tolerability against low dissolved oxygen seems to be strong. There was observed a phenomenon that the swarms after flowering at the surface sink towards the complete depression depth of oxygen below 15 meters. The organisms also prefer to

* The first flowering occurred during the period from the middle to the latter part of July covering most of Omura Bay, and it disappeared at the end of July.

flourish in the biotic environment where naked and armed dinoflagellates together with desmoconts and silicoflagellates flourish abundantly both in number of species and in quantity. This species probably migrate vertically. Such movement was observed twice; once off Dozaki and the other time in the innermost portion of Nagasaki Harbor. The sinking velocity of the swarms was about 1.7 meters per hour.

I. 緒 言

大村湾南部水域では、赤潮現象は毎年おこり、その発生の規模は経年的に増大していると業者は考えている。長与浦は大村湾最南部の小湾入であるが、ここでも同様のことがい

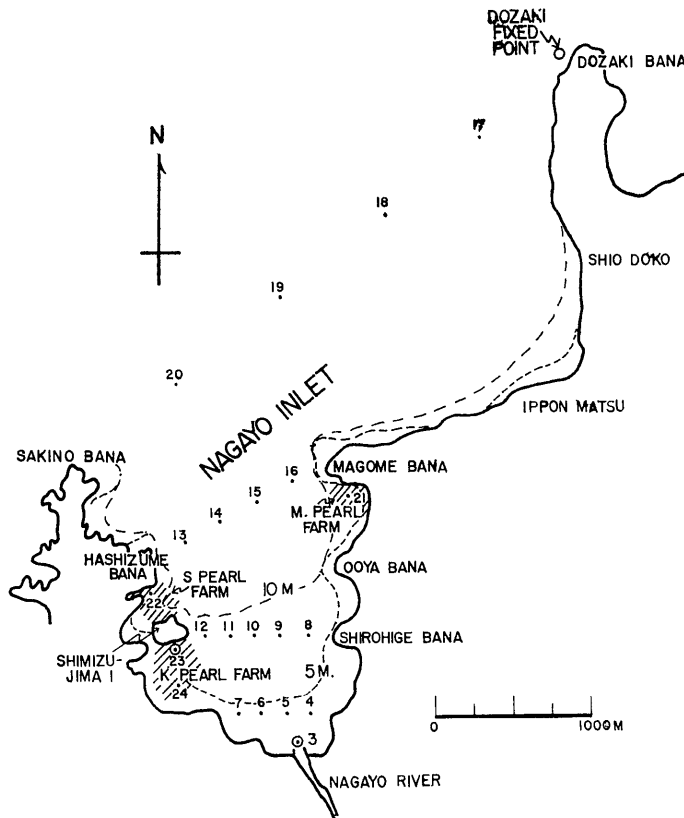


Fig. 1 Chart of Nagayo Inlet. The numbered dots indicate stations for survey of nontidal movement; the circles at the mouth of the Nagayo River and in the K Pearl Farm are stations for daily observation at a fixed time to catch early symptoms of red water; and the circle off Dozaki Bana is a fixed station for survey of red water. Shaded portions of the chart indicate 3 pearl farms located in the southwestern and eastern waters of Nagayo Inlet.

われており、この浦の第一の特徴は赤潮発生が大村湾他水域にさきがけて出現する傾向があることである。したがって、本浦は大村湾赤潮の早期発見には好都合な場所といえる。本浦は、縦軸約 3km、横軸 1~1.5km、平均水深約10mで、小型かつ湾型が比較的単純であることは、海況面の資料の解析を容易にしており、浦奥部中央にある長与川の存在も赤潮調査の場としての条件を備えている。

6~7月発生の赤潮は、この河川内下流域からはじまるといわれていることから推察すると、この河川がこの浦の赤潮発生に対して重要な意義を持っているものと推測される。また、本調査では採集物の早期処理が要求されるので、研究室に比較的近い本浦は、この点でも好都合であった。

このように長与浦は赤潮調査のための種々の利点を有しているので、ここを調査観察の場として、前期赤潮が終息した後、再度赤潮が発生することを期待し、8月中旬より浦南部K漁場と長与川口の2点で毎日定時観測を行なうことから調査を開始した。予期の如く、8月末に後期赤潮が発生したので、ある程度の準備態勢で赤潮を迎えることが出来た。調査は赤潮が終息した後も続行され、一応9月末日で終了した。この間実施した調査内容は、前記定時観測のほか、長与浦の海水流動調査、長与浦沖合域の無酸素状況調査、発生後の生物学的調査および対象生物群集の垂直移動をしめす生態観察等であった。この間、漁場周辺的环境調査を、クロロフィル定量と検鏡観察を並行させて随時行なった。

本報は、これら調査結果の取り括めであり、付随して生じた問題点を三点にしぼって論議考察した。本調査は調査初年度にあたり、今後とも継続されるものである。したがって、将来の方針を打ち出すつもりもあって若干無謀な考察をこころみた箇所があるが、誤まりがあれば訂正していきたい。

本調査は、長崎県真珠養殖漁業協同組合および長崎県西彼杵郡長与村川口文雄、同園田幾太郎、同琴海村橋口倭雄氏らの御協力なしには遂行し得なかったことを記し、また赤潮主体種の生物学的記述には三重県立大学水産学部安達六郎氏の参考意見を得たことに対し深謝の意を表する。

II. 調 査 結 果

1. 長与浦の海水流動状況

長与浦で海水流動状況調査を、水温・塩素量および酸素量の時間差分布から推測する間接手段を用いて行なった。ある時間の、これら要素の水平分布は、海水が流動するためある時間を経過したあとでは、前の分布と異なる筈で、その間の違いを比較すれば流動の状況が間接的に推定出来る。今回は、時間間隔を6時間とし、連続する満干潮および次の満潮の3回の各憩流時を調査時とした。1回の調査に要した時間は、全24点を完了するのに約1時間を要した。このため若干の海水流動が、調査中にもあったと想像されるが、許されうる時間範囲であったと考える。

測定層は海底1m上層のみに限定した。この理由は、夏期の無酸素化現象が、アコヤ貝生息環境を悪化させる原因になることを考え、特に底層の流動状況を知りたかったためと、他の理由は、この種調査では各要素の時間的変動があっては困るので、この懸念の比較的少ない底層が選ばれた。あわせて、表層水についても同様調査を実施したが、これは

参考調査である。調査は2期にわたり行なわれ、その第1回は小潮時、その第2回は大潮時で、いずれも前記3回の連続調査を実施した (Table 1 参照)。

Table 1. Elements of the survey for the movements of sea water in Nagayo Inlet.

Date	Obs. no.	Hour of Observation	Tidal hour	Tide level
Aug. 21, 1965 (Neap tide)	1st.	05:20 - 06:40	22:31 (L. W.)	43.2cm
	2nd.	11:20 - 12:40	04:21 (H. W.)	67.2
	3rd.	18:00 - 19:10	11:43 (L. W.) 18:27 (H. W.)	28.6 61.6
Aug. 27-28, 1965 (Spring tide)	1st.	11:00 - 12:10	05:35 (L. W.)	24.8
	2nd.	17:25 - 18:30	11:29 (H. W.)	86.4
	3rd.	23:40 - 01:00	17:51 (L. W.) 24:20 (H. W.)	2.2 89.1

小潮時の状況：

まず水温分布でみると、最初の満潮時には 27°C 線は橋詰鼻—馬込鼻、28°C 線は清水島北端—大矢鼻、29°C 線は st. 24—白鬚鼻の間にそれぞれ分布している。これが6時間後の干潮時には、27°C 線は橋詰鼻—馬込鼻の間にあって前回と変化せず、28°C 線は清水島南端—大矢鼻・白鬚鼻中間点にあり、約250m南下するが著変はなく、29°C 線はやや北上の傾向がある。あらたに 30°C 線が浦奥部に出現するのは、長与川の昇温した淡水流入の影響であろう。さらに次の満潮時では、27°C 線は変化せず、28°C 線も著変なく、29°C 線はふたたび南下し、30°C 線は前回より浦奥部南東にせばめられる。これらのことをみると、小潮時ではほとんど流動していないのではないかとの印象を受ける。

おなじことを酸素量分布でみると、最初の状況は最高 5.0cc/l・最低 1.7cc/l の範囲にあり、等量線としては 3.0cc/l 線と 4.0cc/l 線の存在が目立つ。両線はほとんど同一傾向で橋詰鼻から清水島東端まで南下し、ふたたび馬込鼻にむかう。これらの線の南北では水平傾度がはげしく、不連続分布をなすものとみられる。したがって、ここを境に 3.0cc/l 以下の北部域と、4.0cc/l 以上の南部域とに区分できる。不連続帯の移動を中心に、その後の状況変化をみると、干潮時では 3.0cc/l 線と 4.0cc/l 線の分布傾向は類似しているが、南下点が東偏している点で前回と異なる。この点についてのみ考えると、満干時にかけて西から東へ約270mの移動があったように思われる。次の満潮時では、3.0cc/l 線は南下点が北上し、橋詰鼻—馬込鼻間を大体水温 27°C 線と一致する。4.0cc/l 線は橋詰鼻—大矢鼻間を南に大きく彎曲して走り、南下点は清水島—白鬚鼻線よりやや南下するので、3.0cc/l 線とは水平距離でかなりのへだたりがある。この図では、浦を不連続的に区分するさきの傾向は消失し、前二回の状況と著しく異なるので、われわれの考えからすればかなりはげしい流動があったのではないかとの印象を強く受ける。これは水温分布から得た結果と異なるので、調査手段として吟味すべき点があるものと考えられる。

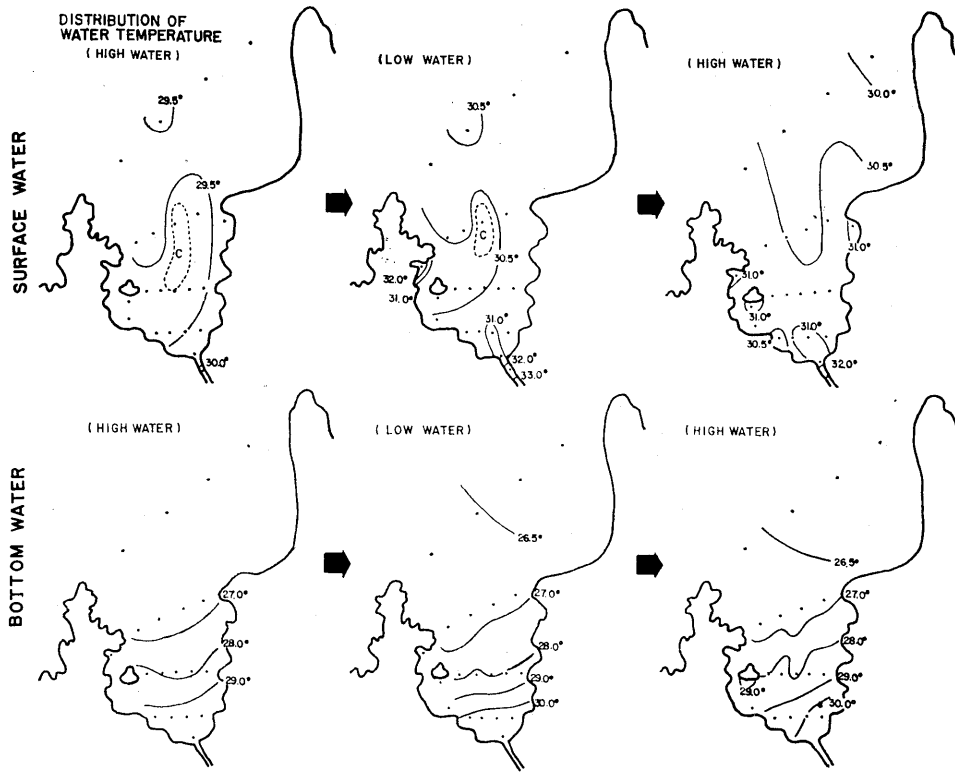


Fig. 2 Changes in horizontal distribution of temperature at the surface (upper) and bottom (lower) in neap tide, August 21, 1965; illustrated by the succeeding 6 hours interval. 1st, 2nd and 3rd surveys were carried out at the time shown in Table 1 and coincided principally with high water, following low water and next high water, respectively.

(塩素量分布は資料不備のため省略する。)

大潮時の状況：

小潮時の説明に準じて、要点についてのみふれると、まず最初の満潮時の水温分布では、28°C線は崎野鼻から一本松沖にむけて、また29°C線はst. 7から白鬚鼻南端にむけて走る。これが干潮時になると、28°C線は橋詰鼻から南に大きく彎曲して馬込鼻に達し、29°C線は清水島から白鬚鼻に達する。28°C線は400~500m南下し、29°C線は反対に約200m北上した型となる。沖合4点は前回に比していづれも低温で、ここに27°C線があらたにあらわれる。28°C線の南下は沖合の低温水の侵入と関連があるようだし、29°C線の北上は干潮にむかう退潮に関係するものと推測するが、いづれにしてもこの回の間には著しい流動があったものと判断される。さらに次の満潮時には、27°C線の右端は馬込鼻に達し、これから崎野鼻北方にむけて走っているから、前回にひきつづき依然沖合低温水の侵入傾向は持続しているように思うが、その動きは少ないようである。28°C

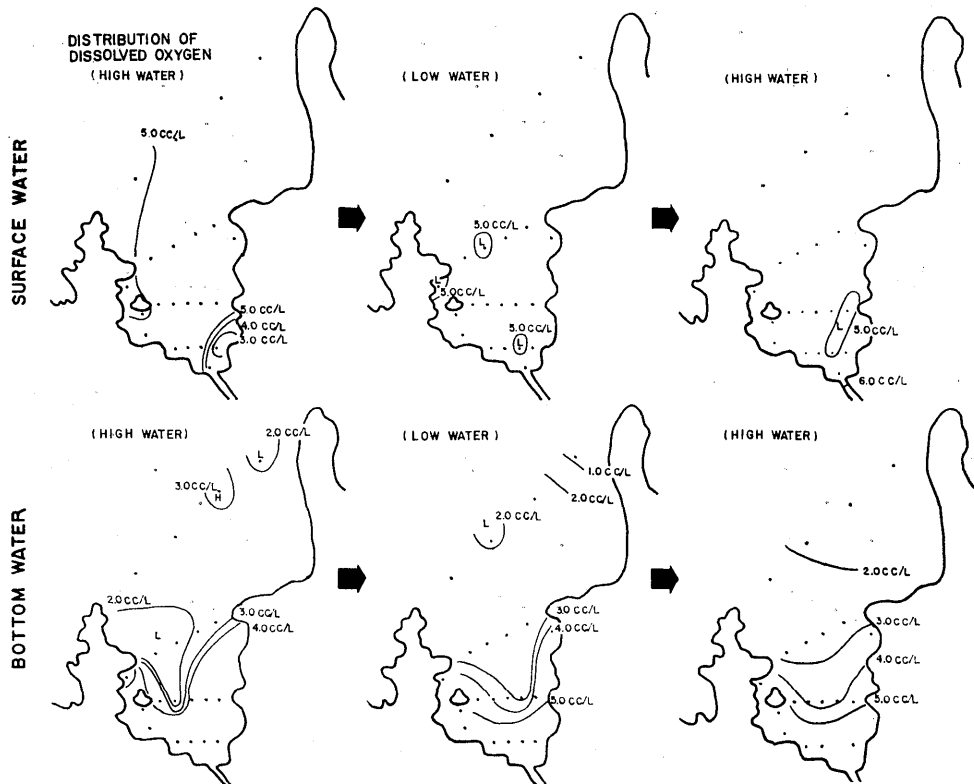


Fig. 3 Changes in horizontal distribution of dissolved oxygen at the surface (upper) and bottom (lower) in neap tide, August 21, 1965; illustrated by the succeeding 6 hours interval. Further explanation is same as Fig. 2.

線は橋詰鼻—馬込鼻を結ぶ線を南に大きく彎曲しており、これは前回の状況と大差のないものと判断した。

29°C 線は左端は橋詰鼻に、右端は大矢鼻に達するので、満干潮時にみられた退潮傾向はここでも持続する。これらを見ると、調査の12時間海水は一貫して同一傾向で流動していることがわかる。すなわち、沖合域の低温水の侵入、浦奥部の高温水の退出傾向で、そこには6時間毎の周期性運動はみられない。その運動量は満干潮間で強く、干満潮間で劣っていた。

水温分布でみられた傾向は、そのまま塩素量分布にもあらわれている。17.40‰線および17.30‰線についてみると、全調査時一貫して沖合にある17.40‰線（相対的高鹹水）は侵入、また浦奥部にある17.30‰線（相対的低鹹水）は退出傾向があり、分布型も水温のそれと類似している。

酸素量分布では、最初の満潮時は全域的に高値で、北部の4点を除いて5.0cc/l以上である。したがって、5.0cc/l線は橋詰鼻—馬込鼻線を北にそれて位置している。しかし北部4点のうちst.17およびst.20は2.0cc/l以下で少ない。干潮時では、5.0cc/l線は橋詰鼻—馬込鼻線以南に位置し、一部は清水島—白鬚鼻線にある。橋詰鼻—馬込鼻線以北

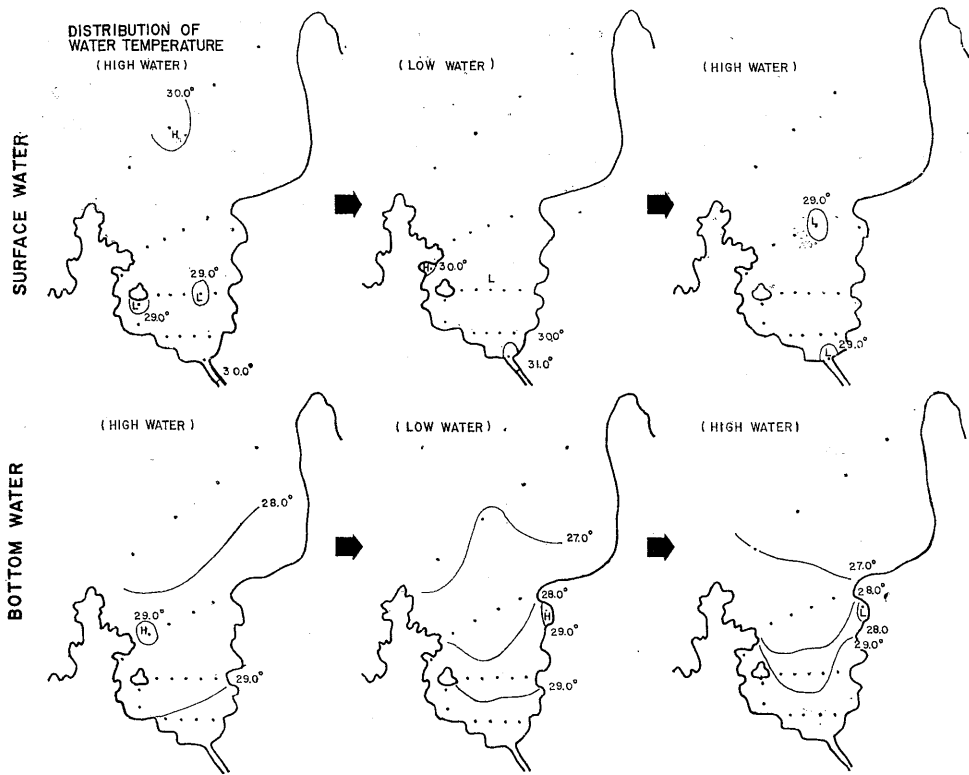


Fig. 4 Changes in horizontal distribution of temperature at the surface (upper) and bottom (lower) in spring tide, August 27, 1965; illustrated by the succeeding 6 hours interval. 1st, 2nd and 3rd surveys were carried out at the time shown in Table 1 and coincided principally with high water, following low water and next high water, respectively.

の水域では全般的に少なく、特に中央部と堂崎周辺では無酸素状態に近い。次の満潮時は前回に比して大差なく、堂崎周辺には依然として無酸素に近い海水が強く存在している。これらを見ると、浦北部では貧酸素海水が侵入する傾向で一貫しており、特に満潮から干潮にかけて傾向が強かった。そのため南部域の高酸素水は圧迫される傾向があった。貧酸素水は堂崎・崎野鼻両方から侵入したが、堂崎方面からの侵入がより強固である。貧酸素のこの海水は、水温で 27°C 以下、塩素量で 17.40% 以上、酸素量で 2.0cc/l 以下であるが、この海水の侵入経過は長与浦の赤潮侵入経過とよく一致した。

以上からみて、水温・塩素量・酸素量の時間差分布を追跡する手段で行なった本調査では、はじめの期待と異なり大潮時といえども潮汐による周期性流動は顕著でないと判断せざるを得ない結果に達した。しかし周期性以外の流動があることは十分に推測され、特に満干潮時の間で大きかった。例えば、水温分布で 28°C 線、塩素量分布で 17.40% 線、酸素量分布で 4.0cc/l 線の位置は崎野鼻—塩床線から橋詰鼻—馬込鼻線へ移動している。この仮定にたつて、おおまかに計算すると、南北方向の移動距離は6時間で約 $600\sim 1,000\text{ m}$ と推測される。この値は大潮時の比較的流動値の大きい場所での値であるから、多くの

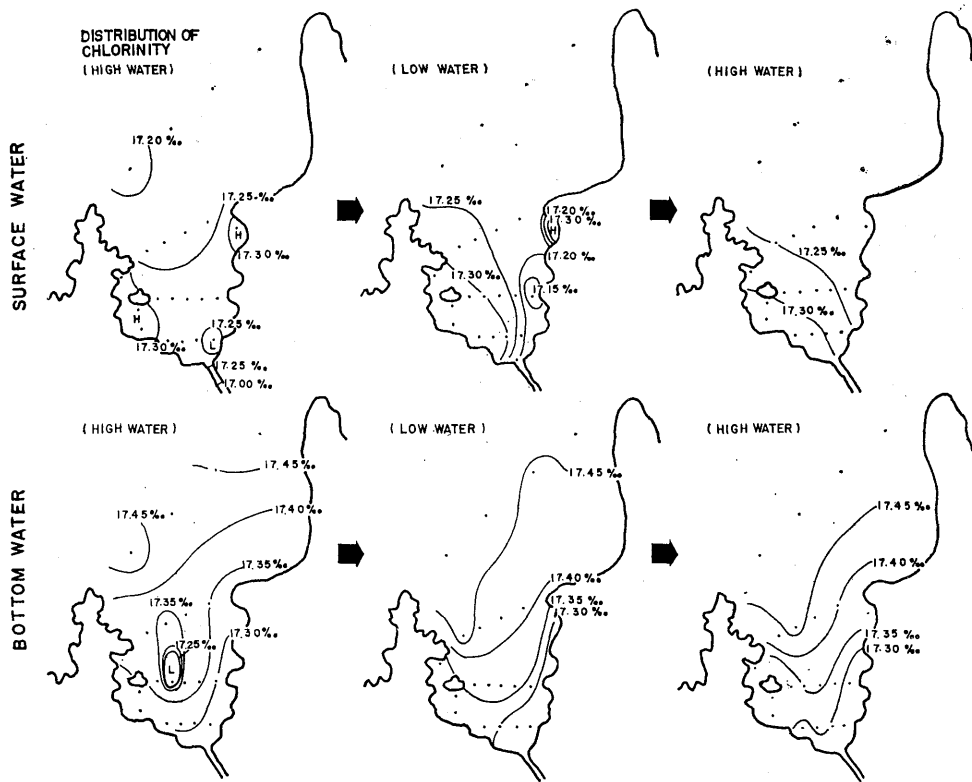


Fig. 5 Changes in horizontal distribution of chlorinity at the surface (upper) and bottom (lower) in spring tide, August 27, 1965; illustrated by the succeeding 6 hours interval. Further explanation is same as Fig. 4.

場合はこれ以下であると考える。

2. 長与浦の毎日定時観測結果

赤潮発生を予期して、長与川口およびK真珠養殖漁場内に定点を設置し、8月11日から9月13日まで毎日定時観測を実施した。観測項目は水温・塩素量・酸素量・クロロフィル量および検鏡観察で、表底二層で行なった。期間中、後期赤潮が発生したので、発生前後と発生中の環境状況が明らかになった。ここでは発生要素と考えられるものについて、その前後の変化を説明していきたい。

降水：資料は長崎海洋気象台のものによったので、現地の事情と若干異なるが、著しい地域差はないものと考える。8月中の全雨量は122.6mmで、これを1週間区分でTable 2に示した。これによれば、後期赤潮発生の週間降雨量は14.4mmで、そのうち発生当日の分を除くと10.1mmである。このうち最も雨量が多かったのは23日の8.0mmで、発生5日前である。この他目立った雨量としては8月10日(発生18日前)の33.7mmおよび6日(発生22日前)の46.1mmで、若し降雨が発生を刺激するという仮定にたてば、これら3回の降雨がきしあたって問題の対象となろう。前期赤潮については、7月14

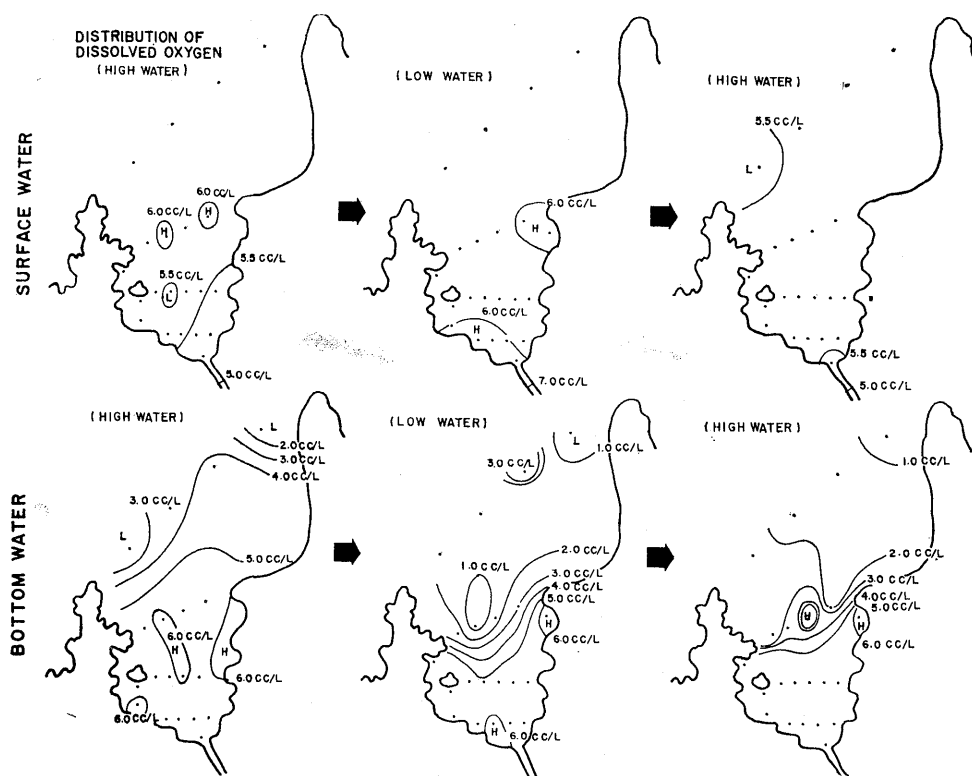


Fig. 6 Changes in horizontal distribution of dissolved oxygen at the surface (upper) and bottom (lower) in spring tide, August 27, 1965; illustrated by the succeeding 6 hours interval. Further explanation same as Fig. 4.

Table 2. Precipitation in mm before the occurrence of the red water (Data were offered by Nagasaki Marine Observatory)

Day	Precipitation	Day	Precipitation	Day	Precipitation	Day	Precipitation
1	0	8	0	15	0	22	0.1
2	0	9	0	16	0	23	8.0
3	0	10	33.7	17	1.8	24	1.6
4	0	11	1.9	18	0.3	25	0.4
5	0.4	12	0	19	0	26	0
6	46.1	13	0	20	0	27	0
7	0	14	0	21	0	28*	4.3

*Red water first occurred on this day.

日の発生に対して、6月26日から7月6日までの間延 632.7mm の降水があり、ここでは降水から発生までの日数は最大18日(6月26日を対象とした場合)、最低8日(7月6日を対象とした場合)で、最終日の降雨量は 123.6mm にもおよぶ。これを考慮すると、

後期赤潮では発生と降水との間に積極的関係を求め難い。

塩素量：測定資料が少ないが、K漁場では垂直方向の著しい差がない。したがって、漁場の成層要因は塩素量差よりは水温差によるものと考えられる。漁場で上下方向の差が少ないのは、表層水が比較的高鹹であるため、このことは Fig.5 で示した表層分布で、17.30%以上の相対的高鹹水が漁場周辺に局限されている状況から判断できる。したがって、あくまで漁場を中心とした局所的現象と解釈する。浦北部には反対に17.20~17.25%の相対的低鹹水が広範に分布し、垂直差も大きい。赤潮発生中の塩素量は、16.50~17.50%で、この程度を至適濃度とするのではないかと考えられる。

水温：赤潮発生前の垂直温度差は顕著で、成層は発生10日前（8月18日）に形成された。発生時の水温は28~29°Cで、発生直前底層水温が著しく上昇し、垂直差が少なくなった（8月27日）。発生時に比し、赤潮期間中は比較的低く、大体27~28°Cの範囲である。

酸素量：8月21日迄は垂直差は認められない。23日から25日にかけて、底層水で比較的低く（4.0cc/l以下）、特に24日は2.0cc/l台である、この出現原因は不明であるが、さきに示した小潮時の調査（21日）で、浦北部には2.0cc/l以下の貧酸素水があり、その一部は清水島一白鬚鼻線まで進出している状況から推測して、この貧酸素水が当日漁場定点の底層を侵したのでないかと想像する。この日の異常状態は、クロロフィル量およびプランクトン相でもみられた。その後27日にふたたび垂直差がなくなるが、これは水温の場合と同様である。期間中は底層水で特に低く、赤潮最盛期の8月30日~9月1日にかけては大体2.0cc/l以下である。漁場での無酸素の記録はないが、沖合域では極度に無酸素化した。その状況は次項で詳しく説明する。

クロロフィル量*¹とプランクトン：8月14日底層水でクロロフィル量の比較的高値が記録された。この時の色素量はクロロフィル a=5.51mg/m³である。検鏡結果によると、*Ceratium*, *Peridinium* 等有殻鞭藻類（約50万細胞/立）および *Dictyocha fibula* の出現が目立ち、赤潮への発展が懸念されたが、当日だけの現象で終わった。その後23~24日に、ふたたび底層水で高値が記録され、プランクトン相も14日の場合に類似したが、まだ今回の赤潮主体種は出現しなかった。その後クロロフィル量は低下し、28日赤潮発生を迎えるが、クロロフィル量あるいはプランクトンの検鏡からは後期赤潮を予知するような直接的観察はなかった。強いて赤潮発生との関連で資料をふりかえてみると、貧酸素水と同時並行的に観察されたこれら事象は、発生環境条件の一端を示したものとも推測出来るので、24日にみられた底層水クロロフィル量の比較的高出現および鞭藻類を主体とするプランクトン相の特徴は注視する必要があると考える。

3. 長与浦沖合域の海底無酸素状況

8月21日の調査の結果、長与浦北部域の底層水に2.0cc/l以下の貧あるいは無酸素に近い状態があることを知ったが、その状態は27日の調査でも依然持続していた。このように

*1 クロロフィル抽出操作は RICHARD with THOMPSON 法¹⁾に従ったが、吸光度の測定は島津スペクトロニック20を使い、665m μ の吸光度でクロロフィル量の相対的変化を表した。しかし重要試料は、正規の方法²⁾で絶対量を求めた。

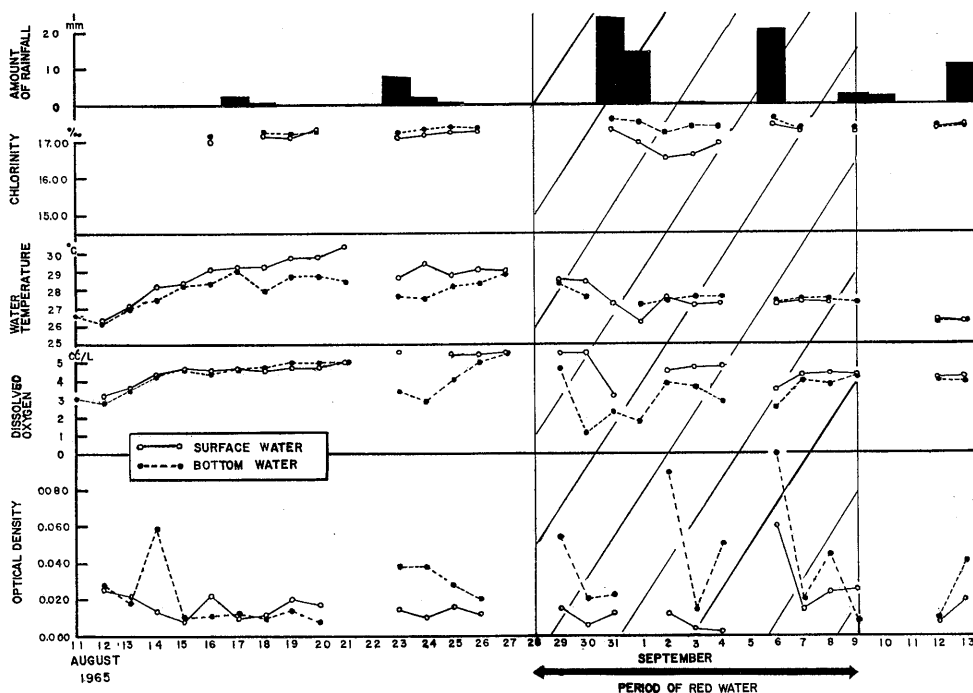


Fig. 7 Daily variation in the amount of rainfall, chlorinity, temperature, dissolved oxygen and relative amount of chlorophyll in the surface and bottom waters at a point of daily observation at a fixed time in the K Pearl Farm.

貧酸素水が同一水域に長期滞留することは生物環境を悪化させて不都合だし、27日の状況は21日より進行していたと解釈されたので、この状態の海水が沖合域でどの程度の分布規模を持つものであるかを推測するため、28日堂崎を中心に箕島・二島におよぶ水域で本調査を計画実施した。調査途中、後期赤潮の初期兆候を発見したが、この発見にひき続き翌29日には長与浦で赤潮の一斉発生をみるに到った。結果を述べる前に、21日と27日の状況

Table 3. Comparison of dissolved oxygen between the surface and the bottom waters, and between the northern and the southern bottom waters in Nagayo Inlet; Values should be read in cc per liter.

Date	Obs. no.	Surface waters	Bottom waters	
		in the whole	in northern part	in southern part
		Average (Range)	Average (Range)	Average (Range)
Aug. 21, 1965 (Neap tide)	1st.	4.8 (5.4-2.8)	2.3 (3.1-1.7)	4.1 (5.0-1.3)
	2nd.	5.0 (5.8-4.6)	2.1 (2.7-1.0)	4.4 (5.6-2.2)
	3rd.	5.2 (6.2-4.3)	2.3 (2.8-1.7)	4.7 (5.8-3.3)
Aug. 27, 1965 (Spring tide)	1st.	5.4 (6.0-4.5)	4.1 (6.0-1.7)	5.6 (6.0-5.2)
	2nd.	5.9 (6.3-5.2)	1.7 (3.0-0.1)	5.8 (6.1-5.0)
	3rd.	5.7 (5.9-4.7)	2.5 (5.7-0.1)	5.5 (6.2-5.2)

をふたたびふり返ってみたい。

まず、8月21日の状況では (Fig. 3 参照), 2.0cc/l 以下の貧酸素水の分布範囲とその程度は、各調査時で異なるが、この時点では分布はまだパッチ状で、浦北部全域がこの海水で占められるような状況ではなかったし、最低値も 1.0cc/l (干潮時 st. 17) でしかない。分布がパッチ状であるから、状況把握を容易にするため平均傾向を論ずることが妥当と考え、浦を橋詰鼻一馬込鼻線で南北両水域に区分し、各水域の平均酸素量を求めた (Table 3)。この時点での浦北部域の特徴は、2.0cc/l 以下の貧酸素水はパッチ状分布をしめすが、全域的にはどの調査時でも 3.0cc/l 以下で比較的均質である (最初の満潮時 st. 18は例外)。

このため全域平均値も調査時による差は少ない (2.1~2.3cc/l の範囲におさまる)。また反面極端に低い値もなく、わずかに堂崎周辺で 1.0cc/l の値がただ 1 回記録されたのみである。

27日になると状況は若干異なる (Fig. 6 参照)。この日の最初の満潮時は貧酸素水パッチは制限され、わずかに堂崎にみられるのみで、北部水域の酸素量は高く平均 4.1cc/l である。しかし、干潮時から状況は著しく異なり、この時点で全域はほとんど貧酸素状態となり、その程度も21日の調査のどの調査時に比しても悪く、st. 15 と 17 とで初めて無酸素に近い状態が発見された。次の満潮時にはやや回復の傾向があったが、貧酸素水の占める範囲は依然として大きかった。

このようなことをみえてくると、調査時による変動があるから、見方は人により若干異なるかもしれないが、われわれは21日より27日の状況は進行していると判断したし、また27日の時点で堂崎周辺の無酸素水の存在は確定的となったので、ここを中心に無酸素系の確認を早急に行なう必要があるとの判断が生じた。

調査は堂崎一崎野間 4 点、堂崎一二島間 3 点、堂崎一箕島間 4 点 (ただし実際実施したのは 1 点のみで、あとは赤潮現場の調査に予定が変更された) で、海底 1 m 上層を対象に水温・酸素量を測定し、あわせて st. 17 および箕島沖の赤潮現場では垂直方向の調査を行ない、その概要を Fig. 8 に示した。

その結果を略述すると、堂崎一崎野間では水温 26.2~27.2°C、酸素量は st. 18 が 1.8 cc/l でやや高いほかは大体無酸素に近い。垂直方向では、10mで、5.1 cc/l、海底 1 m 上層で 0.6 cc/l で、10m以深では水深の増加とともに酸素量は直線的に減少する。大体 16 m 層から貧酸素状態となり、18m層以深が大体無酸素状態であると判断される。堂崎一二島間では、水温は 25.5~26.0°C で、堂崎一崎野間に比べると約 1°C 低い。酸素状況は完全な無酸素であり、二島近辺で特にひどい。この状況の底層水は採水時著しく硫化水素臭を発した。堂崎一箕島間では st. 31 と st. 30 に近い赤潮現場の 2 点で行なったが、st. 31 では無酸素に近い状況 (0.3 cc/l)、また赤潮現場では底層水の酸素量測定過程で失敗したので断定は出来ないが、15m層の値から判断して底層水は無酸素状況にあつたろうと推測する。

他の測点でもその可能性があると推測されるので、堂崎一箕島間もくまなく無酸素状況にあつたろうと判断した。これらの状況から無酸素状態は、長与浦内よりも沖合域ではげしいことが判明した。さらに上記の諸水域に限らず、調査外の沖合水にも分布したものと推測する。おそらく 8 月 28 日の時点で、大村湾南部全水域がこの無酸素水系におおわれて

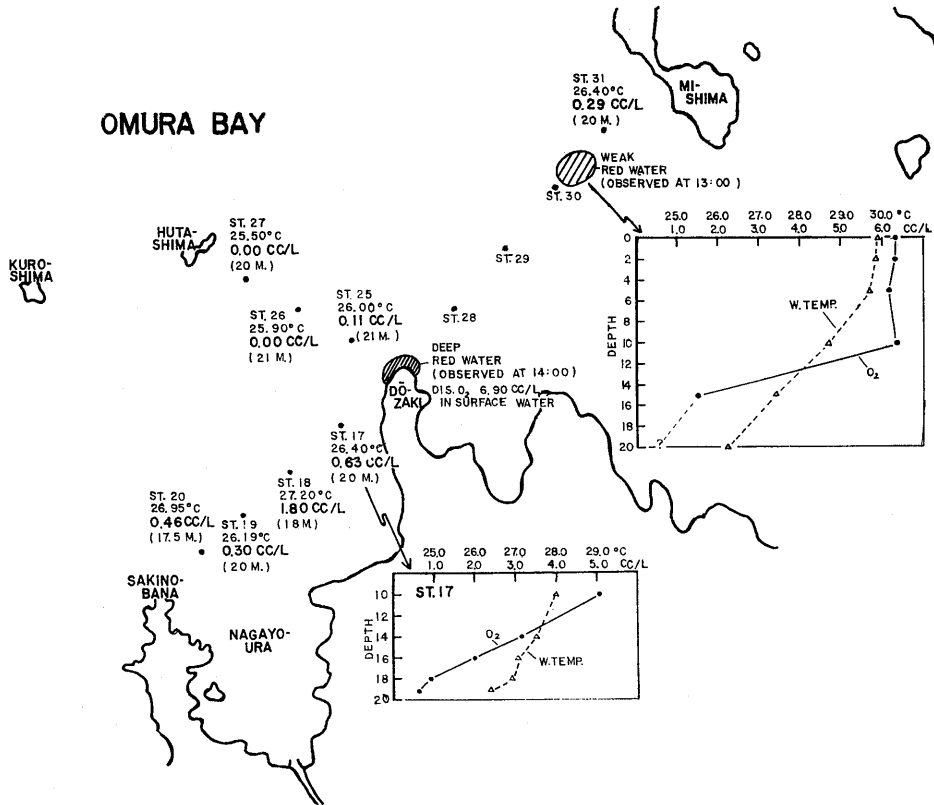


Fig. 8 Chart of Nagayo Inlet and adjacent waters showing depression of dissolved oxygen in the bottom waters. Shaded portions indicate patches of red waters found at 1:00 p.m., on August 28. Values at each station indicate temperature and dissolved oxygen at 1 meter layer above the bottom, and bottom depth (in parentheses). Inserted figures indicate vertical distribution of temperature and oxygen at St. 17 and the same at the position of weak red water off Mishima Is.

いたものとする。 (これ以後の無酸素状況の推移は第3報⁹参照のこと)

4. 長与浦における赤潮発生経過と現場観察

このような状況下で赤潮は沖合無酸素水系が分布する水域の表層水中で発生したが、長与浦ではまず堂崎周辺域の発生にはじまり (8月28日)、塩床・一本松地先を経て東部水域から全浦におよび (29, 30日の状況)、9月9日まで持続した。この間の経過と現象は下記の如くである。

8月28日、快晴、13時25分箕島南西沖 (st. 30付近) で海水変色現象を発見、その拡がりは小面積、その色調は薄褐色。初期赤潮状態と判断し、垂直観測を実施。すでに変色域でカタウチイワシ・ネズミゴチ (体長約3cm)・ガザミ (殻巾約12cm)・ハゼ類 (体長3~5cm) 等少数個体へい死浮上す。14時、堂崎突端で赤潮濃密群を発見、色調は濃赤褐色、変色域は200~300mなり。表層酸素量 6.9cc/l, 飽和度 145%, この時はじめて後

Table 4. Vertical distribution of relative values of chlorophyll a at the Dozaki fixed station, at 18:00 on August 28.

Depth (m)	Relative value
0	0.005
5	0.005
10	0.042
15	0.068
20*	0.006

* Bottom depth is 21m.

過は下記の如し。

5時30分、浦南部水域やや変色、ミズクラゲ群濃密、一本松地先でハゼ少数個体へい死浮上す。9時10分、アミメハギ2個体へい死、浦中央部にやや濃群あり。サヨリ游泳状態に異常なし、カタクテイワシ群発見。12時20分、南微風、快晴、浦東部に濃密群突如として発生、色調醬油色なり。大矢鼻の観測結果を Table 5 に示す。酸素量は5m以浅層が過飽和、10m以深層は貧酸素状態なり。12時50分、堂崎定点で赤潮なし。約200m離れた場所の2-3m下層に濃群あり、この状態のものは真上からの観察でなければ発見困難。13時、崎野鼻周辺、清水島等濃群なし。15時20分、すでに全域に濃群なし日没時までふたたび赤潮を認めず。

8月30日、この日顕著な赤潮なし、しか

しS漁場、K漁場等浦西南部に出現したことを特徴とす。南部水域にも傳ばん、長与川口も変色す。海水やや黒味を帯ぶ。この日以後海水黒褐色を呈すること多し。漁場調査結果は別表の如し (Table 6)。

8月31日、ふたたび濃密群発生。M漁場 (東部水域) 施術貝3割へい死、ウナギ・フナ・キス等へい死浮上す。魚類への被害ようやく顕著なり。

9月1日、全域に赤潮顕著、海水状況きわめて悪し。表層酸素量2.0cc/lまで低下、透明度40cm。海水変色状態は15時をピークとし、状況急速に悪化す。奥部漁場でへい死貝出はじむ。卵抜筏の避難始まる。

9月2日 海水状況極端に悪し、核入れ作業中止(K漁場)。キス・ハゼ類へい死浮上 腐敗、中型ハゼ接岸、海水黒色、調査結果別表の如し (Table 7)。

9月3~4日、著しい変色現象なきも、海水状況好転せず。長与川口に赤潮。

9月5日、清水島周辺で赤潮顕著、K漁場垂下貝の疲弊著し。

9月6日、夜半~早朝雷雨、長与川増水、海水状況南西部より東部で悪し。テンジクダイ浮上、トウゴロイワシ瀕死状態なり。K漁場静養筏内表面水でクロロフィル a 183.58 mg/m³に達す (15時30分)。調査結果別表の如し (Table 8)。

期赤潮発生の事実を認む。18時、ふたたび現場におもむく、海水変色現象すでになし。おそらく赤潮生物集団は拡散消滅したか沈下したものと思われる。垂直各層のクロロフィル量を調べ、10~15m層に多出現層があることを発見 (Table 4)、赤潮生物集団沈下との印象強し。日没後短時間局地的豪雨あり。

8月29日、快晴、12~14時長与浦内で集中的に赤潮発生、濃密群なり。浦北東部で顕著、西部、南部で未だし。魚類への著しい影響なし。この日の発生経

Table 5. Data in situ of the deep red water, occurred off Ooya-bana at 12:20 on August 29, 1965.

Depth (m)	Temp. (°C)	Dis. O ₂ (cc/l)	Chlorophyll a (mg/m ³)
0	29.40	5.44	96.43
5	28.45	5.23	—
10*	27.10	1.17	18.35

* Bottom depth is 11m.

Table 6. Data of observations in two pearl farms, located in the south-westernmost waters of Nagayo Inlet (Observations were carried out at 9:05-12:05 on August 30, 1965)

Location		K Pearl Farm							
		Rannuki ikada		Bindama No. 1 ikada		No. 11 ikada		Takeshita ikada	
Depth (m)	Item	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l
0.5		28.4	5.50	28.5	5.89	—	—	—	—
3		28.4	5.03	28.1	5.59	28.1	4.47	28.5	4.12
5		—	—	27.8	3.32	—	—	—	—
	Bottom water*	27.6	1.13	27.8	1.06	27.3	1.48	27.9	0.51
	Bottom depth	6.5m		8.0m		6.5m		—	
	Visual observation	Not appeared		Blackish red water		Weak red water		Not appeared	

Location		S Pearl Farm							
		Rannuki ikada		Ichiretsu gyojo		Seiyo ikada		Yonretsu gyojo	
Depth (m)	Item	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l
0.5		—	—	—	—	—	—	28.0	3.90
3		27.8	3.75	28.1	4.77	28.4	4.82	28.1	5.08
5		27.3	1.09	27.2	1.27	27.6	3.60	—	—
	Bottom water*	—	—	—	—	—	—	—	—
	Bottom depth	—		—		—		—	
	Visual observation	Not appeared		Not appeared		Not appeared		Red water	

* 1 meter layer above the sea bed

Table 7. Data of observations in K and S pearl farms, located in the south-western and eastern waters of Nagayo Inlet (Observations were carried out at 11:45-13:30 on Sept. 2, 1965)

Location		K Pearl Farm					
		Site of Rannuki ikada before evacuation		Ukidama No. B ikada		Seiyo ikada	
Depth (m)	Item	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °c	Dis. O ₂ cc/l
0.5		27.4	4.51	—	—	—	—
2 — 3		27.3	4.24	27.3	4.32	27.1	4.34
5		—	—	—	—	—	—
	Bottom water*	27.3	3.88	27.4	3.54	27.4	3.94
	Bottom depth	7m		7m		6m	

9月7~8日, 赤潮現象ようやく峠をこす, 調査結果 Table 9 に示す.

9月9日, K漁場卵抜筏避難先より復帰す.

9月10日 台風23号接近, 以後赤潮視覚的に消滅す.

Continued from Table 7

Location Item Depth (m)	K Pearl Farm		M Pearl Farm			
	Temporary Sakino farm		Seiyo ikada		Rannuki ikada	
	Temp. °C	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °C	Dis. O ₂ cc/l	Temp. °C	Dis. O ₂ cc/l
0.5	26.6	—	—	—	—	—
2 — 3	26.6	4.62	27.1	4.66	27.2	4.70
5	27.2	4.00	—	—	27.3	3.36
Bottom water*	27.2	2.11	27.4	3.28	27.1	1.71
Bottom depth	10m		6m		9m	

* 1 meter layer above the sea bed

Table 8. Data of observations at various locations in Nagayo Inlet. (Observations were carried out on Sept. 6, 1965)

Location	Depth (m)	Temp. °C	Dis. O ₂ cc/l
Mouth of Nagayo R.	0.5	25.9	3.83
No. 11 ikada of K. Farm	2.5	26.8	4.46
	6.0	27.1	2.11
Site of Rannuki ikada in K Farm before vacuation	0.5	27.1	3.53
	3.0	27.1	3.42
	6.0	27.2	2.46
Dozaki fixed station	0.5	27.3	4.40
	5.0	27.0	—
	10.0	27.2	4.23
	15.0	27.0	2.39
Temporary Sakino farm	20.0	26.5	0.45
	0.5	—	—
	1.0	26.9	—
	2.5	27.0	4.46
	3.5	27.4	—
	4.5	27.3	—
	5.5	27.5	—
	10.0	27.2	—

Table 9. Data of dissolved oxygen in the K Pearl Farm (Observations were carried out at 12:00 on Sept. 7, 1965)

Location	Depth (m)	Dis. O ₂ cc/l
No. 11 ikada	0	4.05
	2.5	4.05
	Bottom water	4.05
Seiyo ikada	0	4.26
	2.5	4.10
	Bottom water	3.73
Site of Rannuki ikada before evacuation	0	4.26
	2.5	4.10
	Bottom water	3.98
Temporary Sakino farm.	0	4.57
	5	4.59
	Bottom water	4.45

以上の経過をふりかえってみて、今回の赤潮の現象面の特徴を括めてみると、i) まず発生は堂崎にはじまり(28日)、塩床・一本松水域を経て漸次浦東部水域に伝ぱんし(29日)、その後西部水域と湾奥部とに達したので(30日)、後期赤潮については堂崎方面(すなわち沖合)から侵入したとの印象が強い。しかし、これは表面観察からみた印象であって海面下の赤潮現象が同様の侵入経路をたどったという証拠は観察されていない。ii) 赤

潮初期には変色域と、そうでない水域との区別が明瞭であるが、盛期後は海水全体が一様に濁って来るので、経時的に赤褐色濃密群に遭遇する機会は初期段階より少なくなる。初期の色調は褐色（醤油汁を流した色）あるいは赤褐色であるが、海水が一様に濁った段階では黒味を帯びることが多かった。iii) 初期の濃密群は日中時間に観察されることが多く、日出・日没時ではほとんどみられなかった。しかし濃密群の出現が日照と関係があるかないかについては未解決である。曇りあるいは小雨の日でも上記の時間に出現した例があり、夜間出現の聞き込みもある。しかも、これら濃密群は長時間滞留することなく、群集の離合集散はきわめて迅速である。この現象は初期程明瞭で、末期になると不明瞭となる。iv) 持続期間は、浦全域に発生した8月29日から9月9日まで12日間である。この間、現象の激しかった時期とそうでない時期が交錯し、遂に消滅の経過をたどったが、現象面で激しかったのは9月1～2日で、発生後4～5日目である。この頃を境にして海水状況は急速に悪化した。v) 底層水の酸素状況は東部水域で速く無酸素に近い状態となったが、浦奥部の漁場では貧酸素状態になることはあっても無酸素状態になることはなかった。被害もこの浦にある3漁場のうち、東部水域漁場がもっともはやく現れ、かつ、ひどかった。西南部水域漁場は東部漁場に比較してへい死貝の出現が1日おくれた。初期における被害が東部漁場で多かったのは、侵入経路にあったかなかったかの場所差によるものと推測した。

5. 赤潮生物集団の沈下現象

赤潮生物集団の離合集散が迅速であるのは、垂直移動をするためでないかとかねて考えていたので、後期赤潮発生を確認するや本現象観察計画を立て実施した。生物量の判定はクロロフィル量から推測することとし、日出時から夜半に到る間層別のクロロフィル出現量を追跡した。堂崎定点で、6, 7, 9, 12, 15, 19, 24時の7回、0, 5, 10, 15 m および底層水（海底1 m上層）の5層で採水調査した。クロロフィル定量とともに水温・塩素量・酸素量の各測定も行なった。クロロフィル量は相対変化量を知れば充分であったから前記便法を採用した（第2項脚註参照）。

調査当日の海況を水温・塩素量の時間変動からみると、まず水温では表層水は29°C前後で7時に最低、午後昇温する。底層水は26°C前後であるから、水深約20mのこの定点で垂直温度差は約3°Cである。他の各層についても時間変動はあるが、24時間内の温度分布は安定しており大体成層しているものと認められる。10～15m層間の温度差が最も少ない。塩素量は、表層水で大体17.30%、底層水で17.55%であるが、10m以深水の変化は少ない。水温分布に比べて各層分布に乱れがあり、塩素量を異にする他水系水の移流があったのではないかも想像される。酸素量は、0, 5 mでは大体6.0cc/lであるが、5 m層の方が高い傾向がある。特に12時の調査で著しく高いが、これは赤潮生物集団の存在と関係あるものと考えた。10m層は、調査前半では大体2.5cc/lであるが、15時以降は著しく増加し、調査終了時には約5.5cc/lまでになった。後半のこの増加はむしろ異常である。15m層は大体1.0～1.5cc/l、また底層水は19時を除いて無酸素状態であった。このような海況で以下のクロロフィル量変化の観察を行なったが、以上の事柄から水平または垂直方向の流動がまったくなかったとはいえない難しい状況であったので、以下の資料の解析にはこの点の考慮が払われる必要がある。

クロロフィル量は6, 7, 9および24時で各層出現値は少なく, 層別差も少ない。なかでも10m以浅で少なく, 以深で大きい傾向がある。これに対し12, 15, 19時の各調査時には特定層に多出現する特徴があり, 層別差はきわめて大きい。すなわち, 0 m層は12時の資料に欠け不明だが, 5 m層では12時に極大層があらわれ, 他の調査時で低い。

10m層では, 極大層は15時にあり, 19時も高い。15m層は全調査を通じてもっともクロロフィル多出現層であるが, 15時の資料に欠けるが19時に極大値がある。底層水の状況は15m層の変化と類似し, 19時にやはり極大値がある。これらを見ると, 各層の極大値は12時以後は時間と共に浅層から深層へと移動している。12時の0 m試料は, 抽出過程で失敗したが, 現場観察で変色現象を認めていないので, 高いクロロフィル値は期待出来ない。おそらく5 m層より低い値でないかと想像する。しかし同時刻には他水域で表面変色現象が観察されているので, 本定点のこの時間には大体5 m以浅に赤潮生物集団の中心が浮遊していたものと判断する。これが15時になると浦全域から赤潮現象は消滅し, やや沈下傾向にあることを観察しているし, その後日没まで表面観察でみられなかった。このような視覚的観察もあるので, ここで記述して来たクロロフィルの深層移行現象は赤潮生物集団の沈下現象でないかと判断した。この判断から, 沈下速度を算出すると平均1.7m/時であ

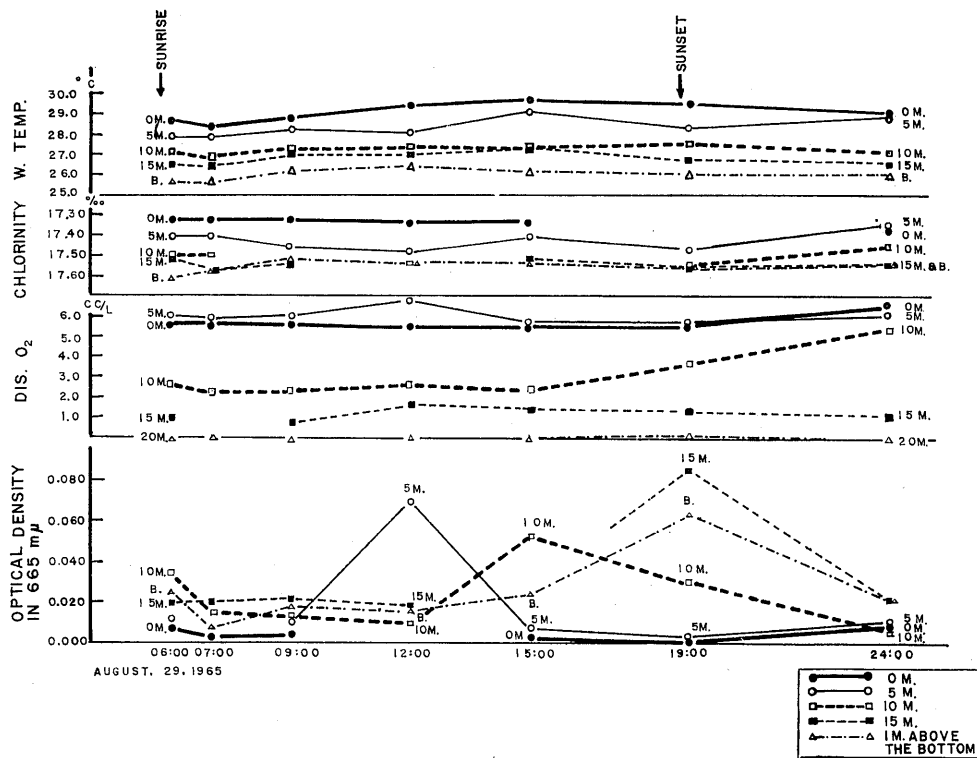


Fig. 9 Changes in relative amount of chlorophyll, temperature, chlorinity and dissolved oxygen, at various depths at various times; survey was carried out from sunrise to midnight at Dozaki fixed point on August 29.

った。

6. 赤潮主体種の生物学的調査

今回の赤潮現象の主体種は *Gymnodinium* 属のある種である*²。体型はほぼ卵形またはだ円形で、背腹に著しく扁圧されており、大きさの一例をしめせば、体巾約26 μ 、体高約30 μ 、体厚約15~16 μ である。横溝は体のほぼ中央にあって大体水平環状であるが、厳

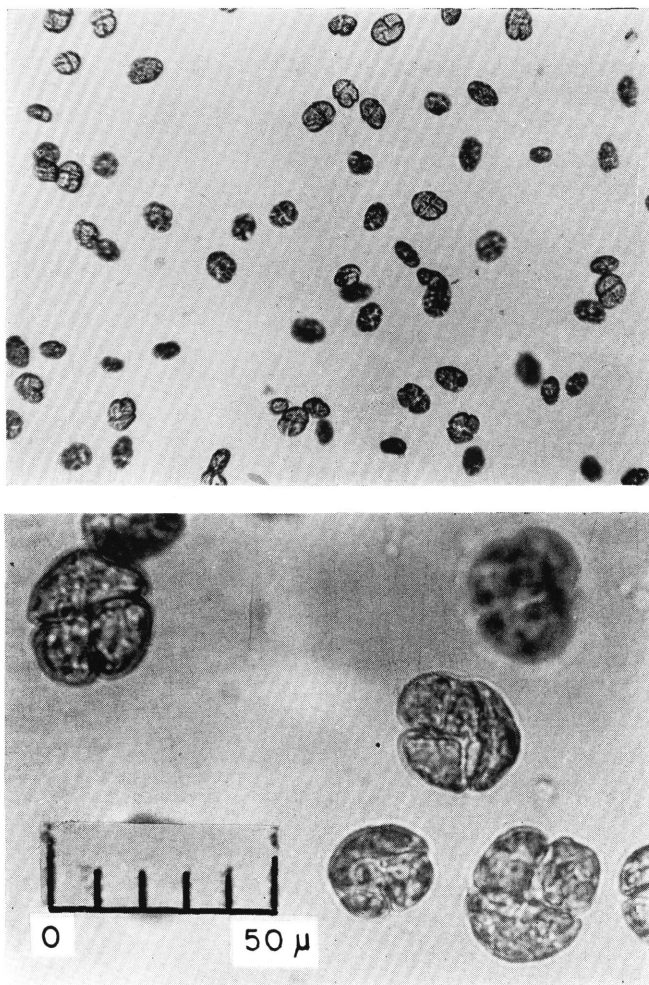


Fig. 10 The dominant species of the present red water in Omura Bay. While this is a species of genus *Gymnodinium*, the name is undetermined. Upper figure, swarms of the concerned organisms; lower enlarged individuals ($\times 940$).

*² 赤塚孝三氏の検索⁴⁾によれば、*Gymnodinium ochraceum* の記述に大体一致するが、三重県立大学水産学部安達六郎氏により別種と認定された。

密にはややら旋状を呈する。縦溝は下体だけにあるが、上体にも浅い溝の痕跡も認められる。有色体は盤状で多数、黄褐色である。眼点はなく、群体を形成しない。活発に運動し、正常個体は体を廻転しつつ波動運動で前進する。あたかも木の葉が風に落下する時の状況に類似する。(Fig. 10 参照)

生体時の体色は褐色(珪藻類の色調に類似)であるが、色素抽出過程の蒸気処理で美しい鶯色に変色し、アセトン抽出液では黄色である。現場水の色素量を Table 10 に示した

Table 10. Pigment composition of the red water

Date	Aug. 28	Aug. 29		Aug. 30		Sept. 6	
Time	18 : 40	12 : 20		11:00-12:00		12:00 15:30	
Location of Sampling	Dozaki fixed Station	Off Ooya-bana		K Pearl Farm		Seiyo ikada of K Pearl Farm	
Depth	15m	0m	10m	0.5m	5m	0.5m	0.5m
Chlorophyll a (mg/m ³)	7.97	96.43	18.35	15.70	11.40	7.94	183.58
Chlorophyll b (mg/m ³)	1.81	0.00	1.97	1.84	1.98	0.32	0.00
Chlorophyll c (mg/m ³)	3.61	22.24	5.64	6.78	2.87	3.43	47.00
Plant carotenoids (m μ g/m ³)	11.90	132.20	24.60	22.00	15.40	9.00	252.50
Visual Observation	Red water was not observed at the surface yet, and the mass was deemed to be present at the depth of 15 meters at the time of collection	Deep red water at the surface		Red water slightly tinged with black		Weak red water	Deep red water

が、最高値はクロロフィル a 量で約 200mg/m³ である。クロロフィル b は現場試水からほとんど検出されない。なおクロロフィル c および植物性カロチノイドも同表に並示した。細胞数は海水 1 立あたり最高 8.9×10⁶cells/l である。この値はさきに検出した色素量と同一試水から得たものであるから、1 細胞含有色素量を算出すると、クロロフィル a で 21.85×10⁻⁹mg/cell で、かつて佐世保湾で筆者等が観察した *Gymnodinium* 属別種の場合に比して高値である³⁾。しかし個体の大きさを考慮すると単位容積あたりの色素含量では著差はない。このように高い細胞数と色素量をもった現場水は、活発な光合成活動の結果として多量の酸素を生産した。現場酸素量が 6.9 cc/l (透明度, 5~60cm, 水温 27°C、塩素量 17.05%), 飽和度で 140% を呈したのはこの間の事情を示したものと考える。

今回の赤潮種は中層以深を生息の場とするようで、表面観察で認められない場合も中層以深には存在する事実をしばしば観察したが、本種を底せい的と断定してしまうには資料

不足である。毒性については、浮游魚（ハゼ類・アミメハギ）をつかい簡単な現場飼育実験を行なったが、少なくとも激しい毒性は認められなかった。むしろ無毒でないかとの印象が強い。

7. 赤潮発生前後のプランクトン相

固定しない採水試料で、赤潮発生前後のプランクトン相の変化を観察した。観察は主として定性的であるが、計数による定量調査も適宜行なった。計数は採水直後の試料から直接単位量を採取して行なったので、赤潮時期を除いては計数密度が低すぎて不都合な場合もあったが、固定が許されぬ本調査では余儀ない手段と考える。

赤潮発生前のプランクトン (8月24日, K漁場卵抜筏位置の採水標本) : 珪藻群落は *Bacteriastrum-Chaetoceros-Nitzschia* で構成され、とくに *Bacteriastrum* 属の出現量が多い。海水1立あたりの細胞数は下位の 10^5 のオーダーで表層水に多い。鞭藻類・珪質鞭藻類は底層水に多く、その他の出現種は, *Ceratium fusus*・*C. furca*・*C. kofoidü*・*Peridinium* 小型種等有殻類のほかにも無殻類も多く(ただし今期赤潮主体種はみられない)、また *Dictyocha fibula* の出現も目立った。表層水では珪藻群落、底層水では鞭藻群落が優占的で、表底層水のプランクトン相の差が判然としている。

赤潮期間中のプランクトン その1 (9月6日, K漁場静養筏中12時採水標本*) : プランクトン相は、8月24日の底層水組成に類似し、前回みられて今回みられなかった種は *Dictyocha fibula* のみで、今回新しく出現した種は、対象赤潮種(出現量は海水1立あたり下位の 10^5 のオーダー) および *Polykrikos* 属1種, *Pyrophacus* 属1種である。

赤潮期間中のプランクトン その2 (9月6日, K漁場静養筏中15時採水標本) : 本標本は濃密赤潮中から採取したもので、出現種は対象赤潮種がもっとも多く (8.2×10^6 cells/l), 全出現数の94%をしめた。残の6%は *Bacteriastrum-Chaetoceros* 群構成の珪藻類が海水1立あたり下位の 10^5 のオーダー、また *Ceratium fusus*・*C. furca* および *Peridinium* 属(4種)・*Pyrophacus* 属(1種)・*Prorocentrum* 属(2種)等有殻鞭藻類がおなじく上位の 10^4 から下位の 10^5 のオーダー程度の出現、また対象赤潮種以外の *Gymnodinium* 属(多種), *Polykrikos* 属等はおなじく 10^4 のオーダー、その他 *Dinophysis* 属(1種)もみられた。橈脚類ノウプリウス期幼虫の出現もあった。すなわち赤潮標本として対象赤潮種が多いのは当然であるが、それ以外の種が多数出現したこと、しかもその出現量は大体下位の 10^5 のオーダーで種組成は前記二試料と大差ないことが注目される (Table 11)。

赤潮消滅後のプランクトン その1 (9月13日, K漁場卵抜筏位置の採水標本) : 珪藻類では *Bacteriastrum* 属が依然多いが, *Chaetoceros*・*Coscinodiscus*・*Skeletonema*・*Nitzschia*・*Rhizosolenia*・*Navicula* 属等が出現し、組成に若干の変化がある。無殻鞭藻類は微細種が多く、*Gymnodinium* 属のものが数種出現するが、対象赤潮種はみられない。有殻類では *Ceratium fusus* のみで *Prorocentrum* 属(2種)・*Dictyocha fib-*

*3 本標本採水後1~3時間で、現場は濃密赤潮水となった。すなわち本標本は海水変色化する直前の状況を示すものである。(その後の状況については赤潮期間中のプランクトン その2 参照のこと)

Table 11. Plankton composition in the deep red water (The sample was collected from the surface of the Seiyō ikada of K Pearl Farm at 15:00 on Sept. 6, 1965.)

Diatom		
Gen. <i>Bacteriastrum</i>	21×10 ⁴	cells/l
Gen. <i>Chaetoceros</i>	2.5	" (2.7%)
Gen. <i>Nitzschia</i>	0.5	"
Dinoflagellata		
<i>Gymnodinium</i> sp	839	" (94 %)
(The species concerned of the red water present)		
Other naked flagellates	6	" (2.7%)
Armed flagellates	18	"
Desmocontae		
Gen. <i>Dinophysis</i>	0.5	" (0.6%)
Gen. <i>Prorocentrum</i>	5	"
Total	892.5	(100 %)

ula も出現した。鞭藻類は今回も依然として底層水に多い。

赤潮消滅後のプランクトン その2 (9月13日, 堂崎定点の採水標本: 本標本中には対象赤潮種が若干残存しており, プランクトン相も前記漁場標本と異なる。群構成は *Bacteriastrum-Ceratium fusus* から主としてなる珪藻・鞭藻混合群落で, これを基本としてその他の珪藻・鞭藻・珪質鞭藻類等種が多数出現した。

以上ふりかえてみると, 赤潮発生前後と発生中のプランクトン群落構成には, 発生中の標本で対象種が優占的に出現する以外は, 珪藻・鞭藻類の構成に著差がないことが明らかである。

8. 赤潮消滅後の状況

(1) 長与浦の状況

赤潮の終息を確かめ, その後の無酸素状況の推移を知るため9月13日長与浦で調査を行った。調査内容は主として底層测温・酸素量および対象種の残存状況を知る検鏡観察からなる。この結果, 水温は全域各層で大体 26°C, また酸素量は全域 4.0cc/l 程度 (3.9~2.1cc/l の範囲) で, 水温躍層の解消および無酸素あるいは貧酸素の完全回復が認められた。

おそらく9月10~11日の台風接近と, その後の気温低下が垂直混合を促進したためであろう。検鏡結果は, 一部水域でまだ残存している状態がうかがえたが, 全般的には出現せぬ水域が多く, 赤潮生物集団の終息に近いとの印象を得た。残存水域は, 堂崎一馬込鼻間の中層水で, 発生がもっとも早く, かつ激しかった場所である。このように海況面からも生物の生息状況から, 赤潮現象の終息が大体肯定出来たが, この調査と前後して時津湾および長与浦で多量のカタクチイワシがへい死する現象があった。調査時も堂崎一馬込間水域で多数カタクチイワシが鼻上げ狂乱状態にあり一部は死後浮上していた。赤潮は終息状態にあると認定出来たにもかかわらず, この現象があったことは, しかも狂死状況のカタ

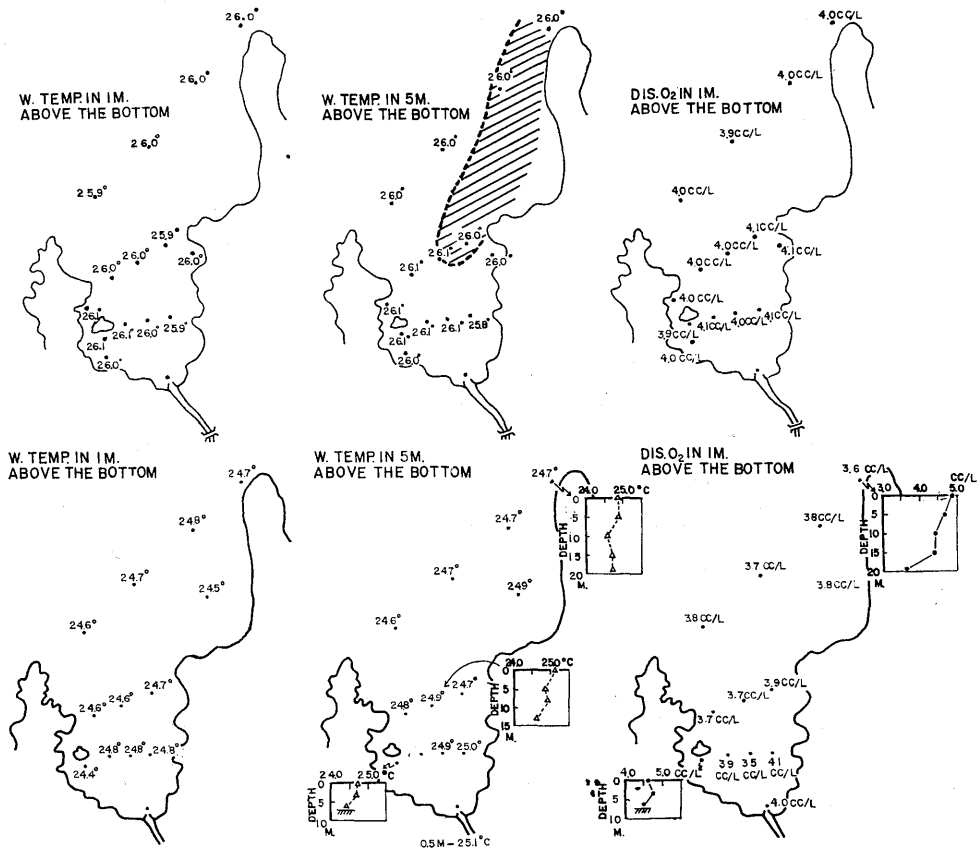


Fig. 11 Temperature, dissolved oxygen and survival of the species concerned after disappearance of discoloration in Nagayo Inlet. Shaded portions indicate distribution of survivors, and the inserted figures are vertical distribution of each element at each position shown by the arrows.
Upper figures, September 13; lower, September 20

クチイワシ分布範囲と、赤潮種の残存範囲が大体一致していたことは (Fig. 11 参照)、事態を著しく混乱させた。この一致は偶然現象かもしれないが、一方では表層性特定魚種にとっては、赤潮現象は依然持続しているとの考えもおこる。赤潮生物個体密度が著しく減少した時点でおこったカタクチイワシへの死現象は、海況面で原因が一応なかっただけに未解決の問題を残す結果となった。

調査はその後も続行され、9月20・30日に行なわれた。9月20日の結果は、底層酸素量は 3.5~4.0cc/l で、前回調査よりは低下し特に浦中央部で低い。また堂崎定点における垂直傾度に見立つものがあるので、今後ふたたび状況によっては成層形成もあり得ると考えられた。対象赤潮種は、浦南部の2点でそれらしきものをわずか認めたが、細胞は萎縮型で同一種かの判定に苦しむ程であった。このような状態であったから、20日現在で対象種はまったく残存していないものと推測した。しかし、その他鞭藻類は有殻・無殻類とも個体数・種数ともに多く、また海水の色調にも完全回復と思えぬものがあったので、なお注

意の要ありと考えた。30日は水温 25°C 以下、底層酸素量は堂崎定点で 2.9cc/l であった。対象種らしきものも若干出現したが、すべて萎縮型であった。

以上の結果から、長与浦では赤潮現象は視覚的には9月9日で終息したが生物学的消滅時期は9月20日頃であると認定した。

(2) 形上湾・津水湾の状況

長与浦と並行して、形上・津水湾でも同種補足調査を実施した。形上湾の後期赤潮発生は8月31日で、長与浦に2日遅れている。主たる発生域は、大子川口を中心とした湾奥部と西岸部で、現象は湾全域にはおよばなかった。前期赤潮が内浦から東岸部に発生したのと対照的である。主体種は長与浦と同一種で、底層酸素量は9月2日現在で西岸域と中央部の一部で無酸素に近い状態にあった。形上湾の後期赤潮の視覚的終息は9月中旬(16日頃)で、同状況の長与浦よりは1週間遅れる。形上湾では台風接近も赤潮消滅に効果なかったようで、湾型のちがいに原因するものであろう。視覚的消滅後貝の生育は順調であると業者がいう状況下の9月21日調査した。調査は湾中央部以北に限って長与浦と同様内容で行なった。その結果、底層水温は 24.3°C 前後、5m層で約 24.5°C で大体均質分布していること、および底層酸素量は最低値が 3.3cc/l で多くの水域では $3.5\sim 4.0\text{cc/l}$ で、

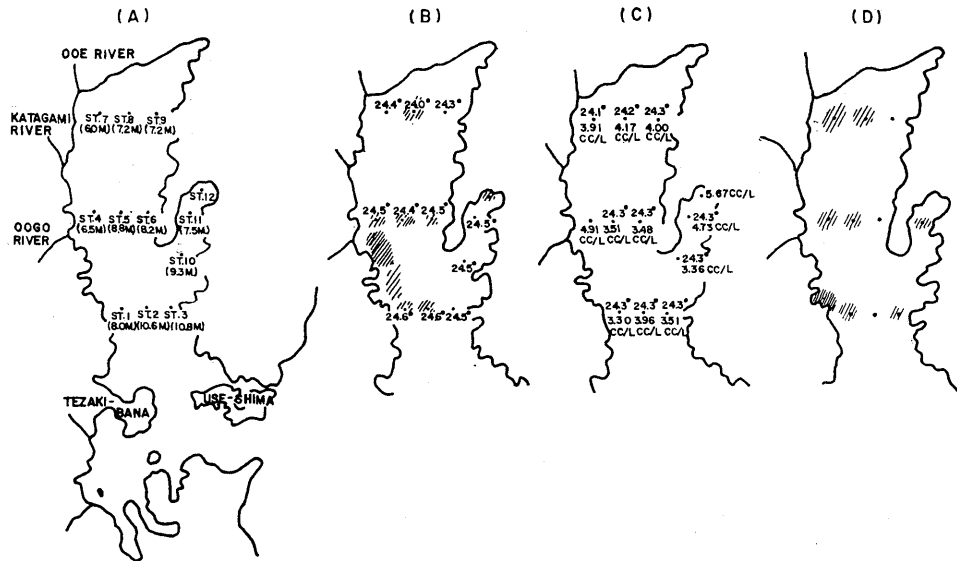


Fig. 12 Temperature, dissolved oxygen and survival of the species concerned after disappearance of discoloration in Katagami Inlet. Survey was carried out on Sept. 21 and 29.

(A) Chart of Katagami Inlet with survey point, station number and bottom depth at the points concerned; (B) temperature at the depth of 5 meters and distribution of survivors on Sept. 21, indicated by the shaded portions in the figure; (C) temperature and dissolved oxygen at 1 meter layer above the bottom on Sept. 21; (D) distribution of survivors on Sept. 29; indicated by the shaded portions in the figure.

20日の長与浦と比較して水温で 0.4°C 程度低いが、酸素量では大差ないことを知った。しかし対象種の残存状況は長与浦と著しく異なり、全12測点のうち8点で出現した。分布は大子川口から湾奥部・西岸域および内浦域で、いずれも体型は正常かつ出現量も多かった。海水状況は大子川口およびH漁場で依然変色しており、また内浦奥部では前日夜赤潮を認めた等の聞き込みもあるので、形上湾ではまだ生物学的終息状況にないものと思われた。9月29日大子川口域およびH漁場でふたたび赤潮が発生し、施術員が衰弱した。調査時にはすでに赤潮生物集団は沈下した後であったが、検鏡の結果その分布は20日の状況と大差なく、正常個体が多数游泳するのを観察した。水温は5m層で $23.5\sim 24.0^{\circ}\text{C}$ であった。形上湾における最終調査は10月16日に行なったが、対象種もほとんど残存せず、わずかに萎縮型を若干見たのみである。この時の水温は $21.0\sim 22.0^{\circ}\text{C}$ 、酸素量は 4.0cc/l 以上である。この時点では赤潮は完全に消滅したと認定出来たので、業者の意見も参考にし、形上湾の生物学的消滅期は10月10日と推測した。長与浦に遅れること実に20日である。

津水湾では8月28日はじめて後期赤潮の兆候を認め、30・31日と湾中央部から湾奥部へと拡がり、9月1～2日にその極に達した。この間の状況は長与浦ときわめて類似している。津水湾では、終息確認の調査は9月28日1回行なったのみで、途中の推移は不明である。湾奥部から鹿ノ島間に分布する9点の調査結果によると、底層水温は $22.3\sim 22.5^{\circ}\text{C}$ 、酸素量 $4.2\sim 5.1\text{cc/l}$ で、30日の長与浦の状況に類似しているが、29日の形上湾に比べれば水温は $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 高く、酸素量では大差がない。対象赤潮種は鹿ノ島沖と鈴田川口の2点では発見出来なかったが、他の調査点ではすべて出現した。しかし、量的にはきわめて少なく、また萎縮型のものが多かった。ただ伊木力湾のみは異なり、ここでは *Cerati-um fusus* の大群集に、対象赤潮種が多数混在した状況で、しかも正常個体のみであっ

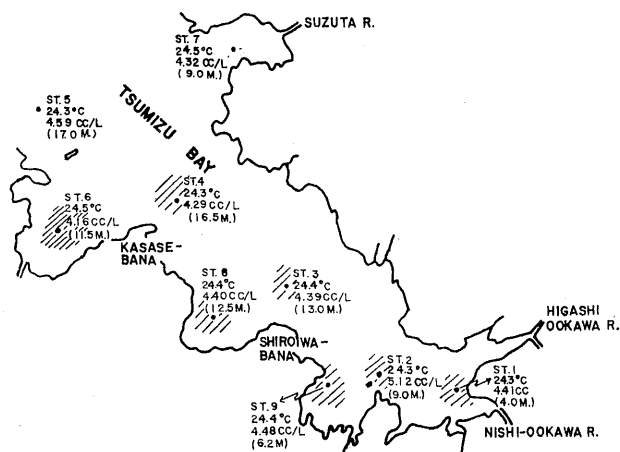


Fig. 13 Chart of Tsumizu Inlet with survey point, station number, temperature, dissolved oxygen and distribution of survivors of the species concerned (shown by the shaded portion) in the bottom water, and bottom depth. Survey was carried out on Sept. 29.

た。またその他の鞭藻類が多出現する反面、珪藻類は少なく13日の長与浦堂崎定点の状況に類似した。この時点で考えれば、伊木力湾を除いて赤潮生物群集の衰弱程度は形上湾に比べて進行していると判断された。この状況から、赤潮種の生物学的消滅は間近いと考えられたので、津水湾では同消滅期は9月末日頃と推定した。津水湾の状況は長与浦と類似的であったが、終息は約10日間遅れた。

III. 考察および論議

以上の諸調査結果を、若干の補足説明を加えて要点のみを整理すると、まず(1)長与浦の流動調査からは、小潮時・大潮時をとわず周期性の流動はみられないから、この浦では潮汐流ははなはだ微弱であると判断した。この根拠は、保存成分・非保存成分の三要素について時間差分布から移動状況を間接的推測する手段によったが、結果はかならずしも一致せず、むしろ方法論の不備が問題となった。しかし手段に不備はあっても、潮汐流が微弱であることは十分に想像されたし、それに代るものとして局地的流動があった。これは現象面では、沖合無酸素水系の長与浦への侵入、あるいは浦奥水の退出傾向であらわれた。(2)長与浦の毎日定時観測結果から、赤潮発生に関連すると考えられる各要素の発生前後の状況では、まず降水については後期赤潮では直接的関連は求め難いこと、また塩素量については発生の条件は16.5~17.5%であること、また長与浦の表層分布では浦奥部の漁場域よりも沖合域で低塩分であるから、若し赤潮生物が好低塩分性ならば、沖合域の方が発生条件に適していることが想像された。

水温では、発生前は28~29°C、発生中は27~28°Cで、27°C以上が至適水温でないかと考えられた。溶在酸素量では、発生4日前に貧酸素水を漁場で認めたが、この時のクロロフィル量およびプランクトン相が前後の状況と異なり、沖合の貧酸素水が一時的に漁場に侵入した結果でないかと想像された。(3)長与浦の無酸素状況調査では、8月21日に発見された浦北部底層水の貧酸素状態が、27日の調査で進行状態にあると判断され、28日の時点で堂崎域では16m層以深は貧酸素、また18m層以深は無酸素であることがわかると共に、無酸素水は大村湾南部域に広範に分布すること、および無酸素層が厚いことから、その規模が大であることが推測され、長与浦にあらわれた無酸素水はその一端であることが知られた。赤潮発生の初期経過をみると、この無酸素水系の浦への侵入経過と一致し、両者の関連性を論議する必要があると考えられた。(4)赤潮生物集団の移動については、海水流動が微弱であるから、大規模な移動はおこり得ない反面、赤潮の離合集散がきわめて迅速であることから、生物群集の垂直移動によるのでないかとの考えが紹介され、その根拠となった野外観察資料をしめした。これにより生物群集の沈下速度を算出して1.7m/時の値を得た。しかしこの現象には、なお多くの吟味すべき問題がある。(5)今回の赤潮主体種について種名は決定出来なかったが、その生物学的特徴が述べられた中で、単位細胞あたりのクロロフィルa含量が高いこと、およびクロロフィルbは定量出来なかったこと等は色素特徴であるが、その生息層は底せいの推測も述べた。この推測は赤潮期間中のクロロフィル量が表層より底層でいつも多かったことを根拠とするが、裏づけ資料に欠け将来調査の要がある。(6)赤潮発生前から終息するまでプランクトン相を定性的に追跡すると、著しいプランクトン相の差は認められず、むしろ今回の赤潮は *Bacteriastrium*—*Ceratium fusus* 群落構成を主組成とする珪藻・鞭藻群落中でおこっていることがわかった。定量結果は、濃密赤潮水中では主体種は94%を占めたが、残りの6%の細胞数は海水1立あたり下位の 10^5 のオーダーで、これは前後の細胞数濃度と変らない。(7)赤潮の視覚的消滅後、長与浦ではカタクチイワシ狂死現象がおこったが、この現象は状況判断を混乱させた。視覚的かつアコヤ貝の生理的回復から判断した終息期は、長与浦で9月9日、形上湾で9月16日であるが、生物学的消滅期は長与浦で9月20日、形上湾で10月10

日また津水湾では9月30日である。発生時期では各湾ともほとんど差がなかったにもかかわらず、終息期にこのように差が出来たのは湾型による海況差によるものであろうか。また同一湾内で発生が早かった場所は、消滅も遅かった。このような場所は、長与浦では堂崎一馬込鼻間の水域、形上湾では大子川口域である。これらの場所は赤潮生物を温存させる海況条件を備えているものと思われる。

以上の取り括めから、新資料を加えて下記の各項について考察および論議を行なう。

1. 赤潮生物集団の移動について

赤潮生物集団の移動は、水平方向は海水流動により、また垂直方向は群集の浮上・沈下の生理活動による垂直運動によるのではないかと想像されたので、流動状況を推測し、一方ではクロロフィル量の各層出現が時間的に変化する状況観察から裏付け資料を得るため前述の調査と観察とを実施した。まず、流動状況については、潮汐による周期性流動は大潮時といえどもはなほ微弱であるが、600~1,000m/6hrs. 程度の局所的移流があるものと推測した。この数値算出の根拠は、もっとも変化のはげしかった時間と場所での結果であったから、これらは最大値に属し、多くの場所あるいは大潮時以外はこれ以下であると考える。形上湾でも状況は長与浦と大差なく、ここでは大潮時大きく見積って 600~700 m/6hrs. 程度であると推測した。したがって局所的にはこれらの値を上まわることがあっても、ここで示した値と流動状況は大体大村湾南部水域にあてはまる状況といえる。このような流動状況の悪い半閉鎖環境が、夏期には成層形成を促進し、赤潮発生の適条件となり、かつ異常増殖した後は、生物量が他水系へ拡散稀釈することを防ぎ関係水域の水質悪化を増大せしめる原因になっていることを考えると、赤潮生物集団がその移動を海水流動によっている限り、流動状況の極度に悪い大村湾では原則的には短期間に大規模な水平移動がおこるとは考え得ない*4。

垂直移動については、クロロフィル量多出現層が時間的に深層に沈下する状況から生物集団の沈下現象を推測したが、この推測には浮上現象が観察されていないこと、また完全閉鎖環境下の観察でないことおよび無酸素に近い底層水へ沈下することの生物学的意義が不明で、この現象には疑問を感じ再観察の必要ありと考えていた。たまたま長崎港奥部で10月初旬から中旬にかけて、今回と同一種による海水変色現象が起っていることを知り、先と同一手段で観察した。期間は10月6日から12日までで、7日の変色現象がもっともはげしく、その後漸次衰滅した。この間断片的であるが、下記の諸事項がわかった (Fig. 14 参照)。

- i) 表面観察による海水変色現象は、日中の現象で15時をピークとし日没後は褪色する。日中の変色現象は、表層から3m層までが最も顕著で6m層までおよびが底層水(現場水深、大体11m)まではおよばない。日中の変色現象は中層以浅におこる現象である。
- ii) 底層水(10m)は日中よりも夜間(21時から翌朝6時まで)が色素単位は高い。反

*4 調査結果第2項の調査では、手段の不備もあったので、漂流板による直接手法の補足調査を行った。調査は11月の大潮・小潮の中間潮であったが、清水島一白鬚鼻線中央点および橋詰鼻一馬込鼻線中央点から、それぞれ2.5m層を放流させた結果、570m/6hrs. および300m/6hrs. の移動値を得た。これらの値は大体本文中の記述を肯定する結果であった。

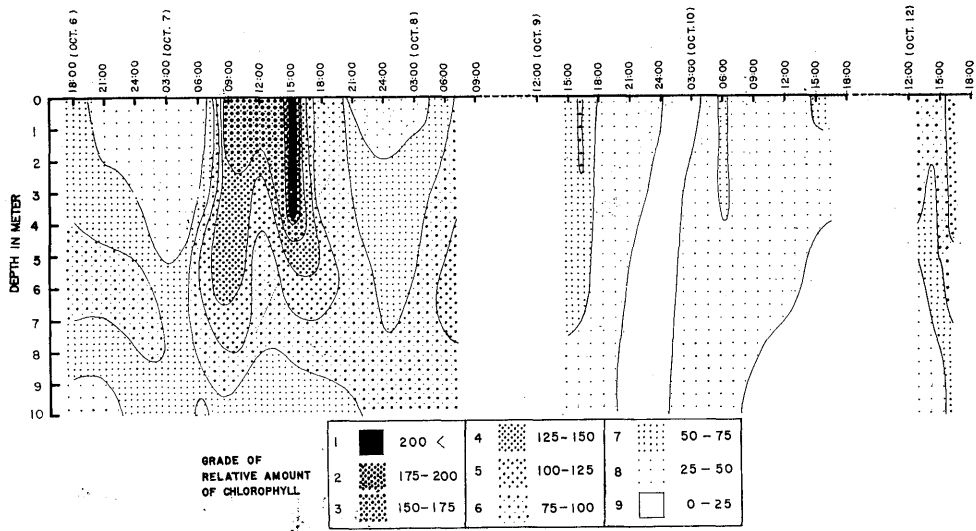


Fig. 14 Afternoon flowering of *Gymnodinium* (same species as the red water present in Omura Bay) at the surface and vertical changes in the relative amount of chlorophyll at each time preceding and following the flowering. Surveys were carried out in the innermost region of Nagasaki Bay on Oct. 6 to 12, 1965.

対に表層水は日中に高く、夜間は低い。したがって、生物集団の垂直移動があるやにうかがえるが、相互の色素単位は連続しない。日中の中層以浅水の色素単位が夜間底層水のそれに比して高すぎるためである。

iii) 午前中の浮上現象、午後からの沈下現象がうかがえた。浮上過程と表層水でピークに達するまでに色素単位の増加がある。色素単位の増加は、対象生物集団の増殖作用によるのでないかと判断される。

これらの結果は、さきの観察結果のうち沈下現象を肯定し、あらたに浮上現象を観察したことで、対象種が日中と夜間で垂直移動を行なうのでないかとの懸念に肯定的知見を提供したものと考える。また日中の色素単位が増加することは、顕著な増殖作用がおこっていることを十分に想像させた*5。これらは赤潮の離合集散がきわめて速い現場の状況に通ずるものがあると考えられる。

一方、顕微鏡下で対象生物の正常個体が視野一杯を直線的に横切る速度を計測し、野外観察から得た値を吟味した。この結果、大体正常個体は 1.3~0.8m/hrs. の最大游泳速度を持つことを算出した。この値は、先に得た 1.7m/hrs. に比して小さく、一致しない結果となった。野外値が顕微鏡下の速度を上まわったことに、どのような解釈をすべきか迷っている。いづれにしろ問題はまだ残るが、赤潮集団の垂直移動現象については、さきに米田・吉田 (1957)⁶⁾および平野 (1966)⁷⁾の報告もあり、今回の種についても肯定的な考えで進んでいきたい。

*5 しかし、多数の生体観察のうち、増殖個体（分裂中のもの）が観察されなかつたことは不思議である。

2. 赤潮主体種の至適環境条件

今回の赤潮種は、7月中旬から9月中旬まで、場所によっては10月中旬までの長期間持続したので、環境変化に対する耐性は強いのでなかろうかと推測される。水温については、対象種の生息層が結論が出ていないので広く各層温度を対象に述べると、対象種は23から31°Cにおよぶ比較的広温度域で出現した。このうち至適温度は、前期赤潮では、26~30°C、後期赤潮では27~28°Cであったので一応26°C以上なら至適と考えられる。しかし海水変色現象が必ずしも至適温度条件と一致しないことがあるのは、生物活動が温度条件のみで規制されぬためであろう。形上湾では、後期赤潮が終息したあとの9月28、29日にふたたび変色現象がおこったが、この時の現場水温は5m層で23.5~24.0°Cである。

このように25°C以下の温度条件でも対象種の生活力を低下させることにはならないから、温度耐性は想像以上に強いのではないかと考えた。塩素量については、15~18%の範囲なら生息可能であるが、むしろ低塩分海水を好むらしい。至適塩素量の決定について今回の調査はゆきとどかなかったが、現場海水より蒸留水稀釈海水の方が培養成績が良かったし、同一場所の赤潮海水と現象が消えた後の海水の塩分濃度を比較した結果も赤潮海水の方が低塩分であったから、今回の主体種が好低塩分性であることは十分に推測できた。

酸素量で対象種の生息が規制されるようなことがあれば、それは低酸素状態においてであろう。これについて吟味した結果、酸素量が1.0cc/l前後でも生存をおびやかされないとの考えを持つに至った。吟味は、主として赤潮生物集団の沈下現象を述べた資料から行なわれたが、堂崎定点では15m以深層は貧あるいは無酸素状態であったにもかかわらず、いつの調査時にも15m層にクロロフィル量は多出現したし、他にも貧酸素程度の環境水ならクロロフィルが多出現した事例が多かった。これらの事象は、一方ではdead-chlorophyllでないかとの疑義も生ずるが、ここではそうでないとの観点から論じた*6。この観点で酸素量による規制はあまりないものと考えた。同時に硫化物含量に対する耐性も当然強いと考える。硫化物に対する定量資料はないが、15m以深層は採水時いちじるしく硫化水素臭を発した。

生物的環境については、発生前後のプランクトン相の変化から論ずると、例年夏期の珪藻群落は、佐世保湾・長崎湾では*Chaetoceros*—*Bacteriastrum* 群落からなり、この群構成は恒常的である。大村湾でも大体この群構成を肯定するものであったし、今年もその例外でなかった。このような珪藻群落に対して、底層水中では有殻および無殻の鞭藻類が種類数・細胞数ともに多量出現した。したがって、赤潮中およびその前後の群構成を表現すると、珪藻類では*Bacteriastrum* 属、鞭藻類では*Ceratium fusus* で代表される*Bacteriastrum*—*Ceratium fusus* 群落であるが、同時に*Prorocentrum*・*Dictyocha*等の殻鞭藻類・珪質鞭藻類も多いのが特徴である。このような群構成中で発生したものであるから、今回の赤潮主体種は、その発生の生物的環境が上記鞭藻類・殻鞭藻類・珪質

*6 顕微鏡下では、へい死個体は死後ただちに分解作用がおこり、細胞内容物は溶出することが観察される。無殻鞭藻類のこのような性質は、死細胞の有型的残存を許さぬ筈で、有殻の珪藻類等とは一視出来ない。したがって、無酸素に近い環境水でのクロロフィル検出は、抽出母体が生体であったと考えることも出来る。

Table 12. Environmental conditions of the species (*Gymnodinium*) which caused the red water

	Optimum condition	Possible condition for living	Remarks
Water temperature	26°C to 28°C	23°C to 31°C	The flowering in autumn developed even below 25°C
Chlorinity	about 16.5‰	15‰ to 18‰	The present species prefers somewhat lower chlorinity to the usual concentration of coastal water.
Dissolved Oxygen	No definite value of oxygen required	Living is possible even in the 1cc/l waters of oxygen	Living is not obstructed by the complete depression of oxygen in the bottom waters.
Plankton flora	The present species prefers the bio-environment which the thecate and non-thecate dinoflagellates flourish with the desmoconts and silicoflagellates. The outline of the plankton flora is represented by the <i>Bacteriastrum-Ceratium fusus</i> community.		

鞭藻類の生息条件と一致していたことを特に指摘しておく必要がある。しかも定量結果から、濃密赤潮水中でも主体種以外の出現がみられたこと、およびその組成と出現量が発生前後および期間中で大差なかったことは、さきに辻田 (1956)⁹⁾ が指摘した赤潮主体種による単相化現象とも異なっていた。

以上から今回の赤潮主体種が至適とする環境条件を想定すると Table 12 に示す如くなる、本年度以降今回と同一種による赤潮現象が大村湾でおこることは期待薄であるが*7、この種による赤潮が発生する限りにおいては、ここで示した環境条件は発生予知に有効であろうかと考える。今後は個々の赤潮可能種について、至適環境条件を規定していく必要がある。

3. 海底無酸素化と赤潮の関連

赤潮は表部発生的か、底部発生的かという問題については充分討議される必要があるが、赤潮による変色現象は視覚的の表面現象であるから、表部発生的だとする考えが起りがちである。特に赤潮が降水と日照りを必要条件とする従来からの考え方は、これを肯定する要素を充分に含んでいる。しかし、筆者等は佐世保湾崎辺域で、赤潮が表面現象として観察される以前に、底層水中ですでに対象種の発生・増殖がおこっており、表面現象が消滅したあとも、依然底層水で長期間持続する状況を観察したことがあったが (Fig. 15)、これから赤潮生物は如何にも底せいの的であるとの印象を受けた。今回でもこれと類似現象が知られている。本項では、これらの考えに関連して、赤潮現象が海底無酸素状態と無関係であり得なかった事実にもふれ、被害現象も含めて考えてみたい。

海底における無酸素水の形成は、生態的閉鎖環境下で生産された有機物質が、死後海底に沈下堆積して、その分解過程で生ずるもので、沈下有機物の他水系への移流が成層状況

*7 赤潮主体種は、昭和22年 *Dictyocha fibula* (辻田, 1949)⁹⁾、昭和37年 *Goniaulax polygramma* (塩川等, 1966)¹⁰⁾、昭和40年 *Gymnodinium* sp. で、各回とも種を異にする。

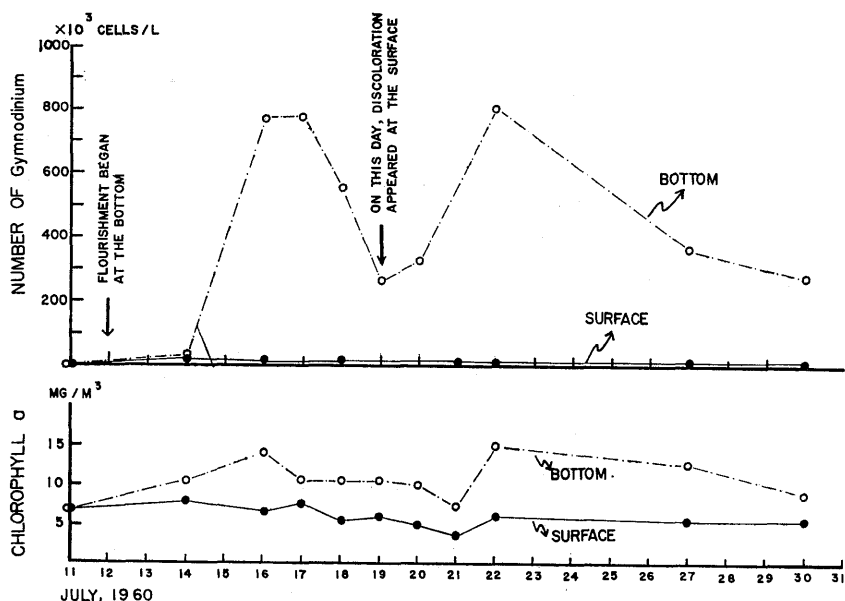


Fig. 15 Flourishment of naked dinoflagellate (dominant species is a species of *Gymnodinium* but not identical with the present red water in Omura Bay) in bottom waters of the Sakibe region of Sasebo Bay, during the period July 11-31, 1960 : showing in cell number and chlorophyll amount.

On the afternoon of the day (July 19), shown by the arrow in the figure, the surface water discolored suddenly and the concentrations attained to 6.5×10^3 cells per liter in cell number and 61.85 mg per cubic meter in chlorophyll a. It is deemed that some part of the bottom swarms of the organisms concerned rose up towards the surface and grew.

とか閉鎖的水平移流の少なさにはばまれて、蓄積が分解を上まわるときに進行するといわれている。今回の大村湾の無酸素水系のひろがり、南部水域をくまなくおおむ大規模なもので、その規模は例年にないものがあった。しかしそれにもかかわらず、形成原因については具体的理由を実証する調査に欠け明らかでないが、海底無酸素化が赤潮発生に先行したことは明らかで、赤潮現象も例年になく大きく、あたかも無酸素化の規模の大きさが、大型赤潮の発生に反映したかの如き印象を与えた。

この無酸素水系は、長与浦に侵入するにおよび、まず堂崎方面にあらわれ、塩床・一本松地先海底を侵して長与浦北半分水域の海底をおおったが、赤潮もまた堂崎にまず出現し、漸次浦全域にひろまったが、その中心域は塩床・一本松地先海面であった。ここでは赤潮の伝はん経過は、無酸素水系の侵入経路と完全に一致した。津水湾でも、無酸素化は沖合域に始まり湾奥部へと拡まったが、赤潮の発生経過もこれと一致した¹¹⁾。これらの事例は、海底無酸素化現象あるいは無酸素水の存在が赤潮発生あるいは被害現象を含めた赤潮現象とつながりがありはしないかとの印象を与えるのに充分であった。

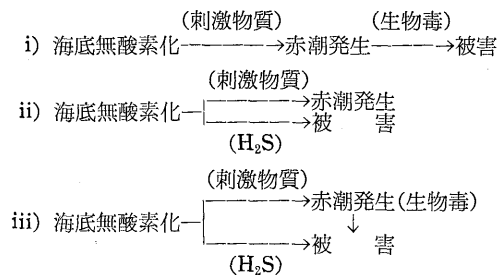
一方、アコヤ貝等のへい死現象は、大体赤潮発生に後続し、赤潮以前にへい死がおこった事例は大村湾ではほとんど聞かない。しかし、へい死が赤潮発生に後続するとはいえ、

両者の時間的へだたりはほとんどなく、同時的かあるいはやや遅れる程度で、長与浦M漁場では発生2日後に施術員の大量へい死が起った。このように被害は、いつも赤潮と同時かそれ以後におこるから、アコヤ貝については赤潮が被害を与えるとの見解がこの湾では優先的に生ずる。この点被害を海底の嫌気状態に原因する硫化水素の発生に求める三重県の場合と異なる。英真湾では養殖アコヤ貝のへい死現象は、海水中の硫化水素によると考え、硫化水素を発生する環境条件の解明が研究課題になっており、上野は自然の生産系の乱れが生ずることをとりあげて、環境条件の解析にあたっている¹²⁾¹³⁾。おそらく、この湾では赤潮による被害を問題にしないですむ程発生規模が小さいか、あるいは大量発生に到らぬ前段階で消滅させる環境要素があるのでないかと推測する。この点大村湾では赤潮の規模が大きいため、かえって被害の真の原因について判断をあやまらせる可能性があるかもしれない。したがって、この際、被害現象を海底無酸素化現象と関連づけて考えてみることも必要でないかと考える。中海では、岸岡が赤潮発生と海底無酸素化にふれ、無酸素海水の発見は赤潮発生予報の一手段になると考えた¹⁴⁾。ここでは、赤潮現象は無酸素化現象ときわめて密接であるといわねばならない。

以上のことから、海底無酸素化、赤潮、被害の三現象は生態的閉鎖環境下に発生した相互関連事象であるとみなす考えも生ずるが、この考えで赤潮現象を説明してしまうにはなおいく多の現象面の矛盾と不確実要素が強すぎるように思われる。問題解決を将来にゆだねている現在では、あらゆるケースを想定して対処することが良いと考え、下記の設定で考えを括めてみた。

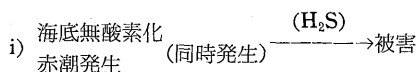
(1) 無酸素化・赤潮および被害の三現象は関連事象で、海底無酸素化が他の二現象を誘発するという考え方

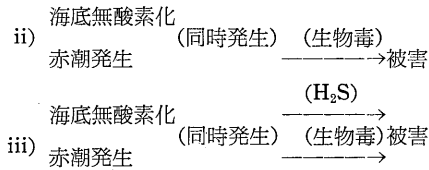
生態的閉鎖環境下でまず海底無酸素化がおこり、嫌気分解で生ずる未確認物質が赤潮の発生を誘発し、一方では貝類のへい死をおこさせる。へい死は分解産物（たとえば硫化水素）による直接的な場合と、赤潮の生物毒による間接的な場合とが考えられる。下記はその模式化で、矢印は現象の作用方向を示す。



(2) 無酸素化および赤潮は生態的閉鎖環境下に発生した独立事象であるという考え方

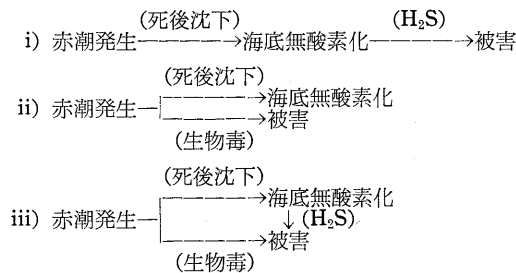
海底無酸素化も赤潮発生も、発生環境を共通とするが、両現象間には相互作用はない。したがって両現象は同時発生することもあるし、どちらかが先行する場もある。被害の与え方は(1)の場合と同様であるが、同時発生の場合を想定して、関係を下記の如く模式化した。





(3) 赤潮・無酸素化および被害の三現象は関連事象であるが、赤潮発生が他の二現象に先行するという考え方

生態的閉鎖環境下で赤潮がまず発生し、赤潮生物集団の死後沈下が海底を無酸素化させ、その嫌気分解物が被害を与える。無酸素化は赤潮作用によるとする考え方で、作用方向は(1)と逆になる。



(1), (2), (3)の場合とも、被害を与えるものは硫化水素あるいは生物毒と規定し(機械的窒息死の場合はこの際一応除外した)、それぞれが単独にまたは同時に作用するちがいでより、i), ii), iii)を区別したが、へい死原因はかならずしも、ここでしめしたような単純なものではなかろう。また(1)の場合、海底無酸素化状態が赤潮発生を促がす刺激物質を二次的に産出するという想定が必要であるが、ある種の鞭藻類¹⁵⁾・珪藻類¹⁶⁾では硫化物がその役目をはたす可能性が培養実験的に知られているが、今回の種についてその可能性があるかどうかについては疑問である。また赤潮現象のみがあつて、海底無酸素化がおこらぬ事例、あるいはその逆の事例、すなわち海底無酸素化のみがあつて赤潮がおこらぬ場合(大村湾の「苦潮」現象はこれに属す)もあつてしかるべきと考えるが、上記の模式化からは外されており、模式化はまだ考慮すべき多くの問題が含まれているといわねばならない。

今回の赤潮現象をふりかえても、三現象の発生時期の優先性から考えてみて、まず海底無酸素化が他の二現象に先行したものであるから(1)の場合にあてはまる。しかし(1)には前記のように未確認要素が含まれているので、将来の赤潮研究は海底無酸素化に由来する刺激物質の確認にその方向の一部がむけらるべきと考えるが、現時点では刺激物質の存在は推測の域を脱していない。このため今回の後期赤潮現象は(2)で処理するのが妥当であると考えられ、このうちの海底無酸素化が赤潮発生に先行した事例とみなしてよからう。(研究の発展状況によっては(1)に移行することも当然考えられる。) (3)の場合は、海底無酸素化が赤潮発生に先行して後期赤潮には不適であるが、発生後では小地域的に(3)の作用方向がなかったとはいひ難い。

以上は1965年夏期の調査経験をふまえての発生機構に対する想定的一端であつたが、赤潮発生が海底無酸素化と関連があるか否かは将来の調査研究に解決をゆだねられている。しかし大村湾においては「苦潮」のごとく海底無酸素化が底せい動物に被害を考えている

ことは明らかであるので、海底無酸素化が赤潮発生と関連がなくともこの湾で無酸素化の調査を進行させることは充分意義ある事がらと考える。

IV. 結 語

以上現象面として、1965年夏期の赤潮の特徴と、主体種の生態観察および至適環境条件の明示と調査過程と結果の解析から生じた問題点につき論議考察をおこない、次年度からの大村湾赤潮調査のあり方などについての考えを述べて来たが、過去の我が国赤潮研究がほとんど現象面の説明にとどまったごとく、今回ももっとも大切な発生機構については触れることができなかつた。赤潮が表部発生的であるか底部発生的であるかは大切な問題である。ある種の赤潮が底部発生的であることを推測せしめる資料を本文中にもしめし、今回の赤潮についてもその可能性があることを示唆して来たが、これをすべての赤潮現象に適用するところまでには到らなかつた。むしろ多くの研究結果は、赤潮が表部発生的であると考えられる根拠を提供しているように思える。赤潮をおこす可能種(単独種で異常発生し、赤潮現象をひきおこす可能性を有する種のこと)は数多くある筈であるし、個々の可能種はおおの生態と発生条件とを異にすると考えられる。可能種のなかには、ある種では表部発生的であるが、他のある種では底部発生的であるかもしれない。長与浦では6～7月の赤潮は長与川下流域に発生し、浦全域におよぶというし、これに対し8～9月の赤潮は沖合に発生し浦奥部におよぶと関係業者が述べているのも、主体種が異なれば、生態と発生条件とを異にすることを示唆したものと考える。赤潮現象は個々の可能種について、より詳しい生態面の知識の集積が必要であることは痛感する。

今回の後期赤潮の特徴は、短時日のうちに大村湾南部全水域が被災し、その持続期間が長かつたことである。長与浦における発生は、日を追って津水湾でもまた形上湾でも赤潮発生を後続させた。また1週間を経ずして南部大村湾全域に波及したが、これは波及したとみなすよりはほとんど同時期的に発生の条件を備えて発現したとみるべきであろう。すなわちこの期の大村湾南部水域は、完全にどの場も赤潮発生と発生後の増殖をうけいれ得る環境条件下にあったものと思われる。ここでは特定の浦とか特定の水系が赤潮発生の条件を備えたのとは状況がちがうし、また前期赤潮が南部水域から北部水域あるいは湾外へ見かけ上の移動した状況とも異なる。

最後に赤潮の予知・予察について若干ふれると、さきに行なつた佐世保湾の事例が予報の可能性を示唆するものであつたから、今回の調査でも大体同様手段でこの可能性を検討してみた。佐世保湾では、毎日の表層および底層水のクロロフィル量観察から底層水のクロロフィル多量出現と濾過フィルター上残物の色調変化から底層水の異常を認め、これが赤潮生物集団の増殖によるためであることを認知したのは海面変色現象がおこる実に7日前であつた。この時点ではあきらかに予報は可能であつた。今回の長与浦の毎日定時観測からは、予知に関係あるような直接的な事象は認め得なかつたが、いまあらためて結果をふりかえってみると8月24日の底層水にあらわれた事象は重要でなかつたかと思う。事象は低酸素量・高クロロフィル量および鞭藻類中無殻類・有殻類が優占的に出現するプランクトン相という形であらわれたが、そのあと事象が持続しなかつたこと、および今回の赤潮対象種がみられなかつたことの二点から赤潮発生以前にはさほど気にはなかつた。しかし

これらは今回の赤潮発生の環境条件の一端を示すものであった。さらに今回は赤潮発生経路が定点設置の場所を大きくそれたことも原因して、定時観測結果は赤潮予知の手段として有効でなかったが、このような情況としては不利な条件下でも24日の事象の変化を知り得たのであるから、今回の場合といえども予知の手段がまったくなかったとは考えない。ただ予知のための定点設置の場の選定はかなりむづかしくなり、完全な知識に欠けている現時点ではかなり広範囲にわたって多数設定する必要がある。これには多くの労力と熟練が要求されるので、予知予察はまだまだ現時点では実際の・現実的ではないといわねばならない。

文 献

- 1) RICHARDS, F. A. with T. G. THOMPSON 1952: The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *Jour. Mar. Res.*, 11 (2), 156~172.
- 2) 黒潮海洋学基礎研究班 1965: プランクトン クロロフィル 基礎生産量測定法. 日本ユネスコ国内委員会科学活動小委員会海洋分科会.
- 3) 森 勇・入江春彦 1966: 1965年夏期大村湾赤潮時の海況とその被害—III. 赤潮発生時の大村湾沖合域の海況. 長大水研報, 21, 103~113.
- 4) 赤塚孝三 1952: プランクトンの検索と図説 (2) 鞭藻類. 三重県立大学水産学部, 水産学術資料 (2).
- 5) IIZUKA, S. and H. IRIE 1961: Spectrophotometric investigation on the plankton Pigments IV. On chlorophyll content of a similar to *Gymnodinium*. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 11, 83~88.
- 6) 米田勇一・吉田陽一 1957: 赤潮の生理生態学的研究—I. 赤潮プランクトンの垂直移動について (1). 日水誌, 19 (7~8), 405~409.
- 7) 平野礼次郎 1966: 内湾における赤潮発生機構. 「赤潮現象の実態および水産との関連」に関するシンポジウム (水産海洋研究会・日本海洋学会共催) の口演内容による.
- 8) 辻田時美 1956: Plankton の異常繁殖とその随伴現象の研究. 西海区水研報, 10, 1~62.
- 9) 辻田時美 1949: Silicoflagellata による大村湾の赤潮. 長海気報, 2, 17~29.
- 10) 塩川司・立石賢・飯塚昭二・入江春彦 1966: 1962年大村湾に発生した赤潮現象とその水産被害について. 長大水研報, 21, ~.
- 11) 塩川司・入江春彦 1966: 1965年夏期大村湾赤潮時の海況とその被害—IV. 赤潮による水産被害について. 長大水研報, 21, 115~129.
- 12) 上野福三・井上啓晴 1961: 真珠漁場における餌料基礎生産と漁場の海洋構造について I. 密殖と食物連鎖の関係. 国立真研報, 7, 829~864.
- 13) 上野福三 1964: 真珠漁場における餌料基礎生産と漁場の海洋構造について II. 海水並に底泥の性状の季節変化と海底耕耘の効果について. 三重県立大学水産学部紀要, 6, 145~169.
- 14) 岸岡 務 1965: 中海と赤潮. 米子市立弓ヶ浜中学校科学部.
- 15) WILSON, W. B. and A. COLLIER 1955: Preliminary notes on the culturing of *Gymnodinium brevis* DAVIS. *Science*, 121, 394~395.
- 16) MATUDAIRA, T. 1942: On inorganic sulphides as a growthpromoting ingredient for diatom. *Proc. Imp. Acad. Japan*, 18 (2), 107~116.

場	所	誤	正
52頁	上から 4行目	1955~1956	1955~1956年
"	" 6 "	1月1隻	1日1隻
"	下から 6 "	<i>Goniaulax polygramma</i>	<i>Goniaulax polygramma</i>
55	" 4 "	" "	" "
57	上から 2 "	" "	" "
63	Table 1 英文説明	Katagami-inlet	Katagami Inlet
"	下から 9行目	なかった*8	なかった
"	欄外	*8 降水量に関する……	この欄全部消去
64	上から 2行目	貧酸素水*9	貧酸素水*8
"	欄外	*9	*8
68	Fig. 1 英文説明上から 5行目	fed water	red water
74	下から 5行目	週間降雨量	週降雨量
80	上から 17 "	南微風	南微風
"	下から 10 "	2.0 cc/l	2.0 cc/l
82	本文上課題名	1765年	1965年
83	上から 12行目	東部水域で速く	東部水域で早く
85	Fig. 10 英文説明下から 1行目	(×940)	(×600)
88	上から 2行目	赤潮消滅後	赤潮消滅後
"	" 9 "	"	"
"	下から 10 "	~2.1cc	~4.1cc
"	" 4 "	生息状況から	生息状況からも
90	上から 3 "	生物学的消滅	生物学的消滅
"	Fig. 12 英文説明上から 1行目	speciesc	species
"	" 2 "	Katagam	Katagami
98	上から 9行目	この点大村湾	この点大村湾
100	下から 20 "	あることは	あることを
101	文献上から 20行目	○~○.	45~58.
104	Table 1 英文説明	in Ōmura	in Ōmura
109	上から 23行目	干綿沖	干綿沖
"	下から 3 "	干綿	干綿