

大村湾南部水域海水による赤潮プランクトン
Gymnodinium sp. ('65年型種) の培養—I

1977, 1978, 1979年夏期の海況と生物学的分析結果

平 山 和 次・川 端 豊 喜*

Growth of *Gymnodinium* sp. (type-'65) Cultured in the Seawaters
Sampled at the Southern Part of Omura Bay—I
Bioassay Results and Environmental Condition during
Summer seasons of 1977, 1978 and 1979.

Kazutsugu HIRAYAMA and Toyoki KAWABATA

In summer of 1977, 1978 and 1979, the seawaters collected at the southern part of Omura Bay at weekly intervals were examined if the water had the ability to support the growth of *Gymnodinium* sp. (type-'65). Bioassay was carried out by two ways, one of which was axenic cultivation of *Gymnodinium* type-'65 in the sample waters at 10 m depth sterilized by filtration, to compare the growth with that in the artificial culture medium (control). The other method was to maintain the unfiltered sample waters without any treatment under laboratory condition to compare the population change of *Gymnodinium* type-'65 with natural population change in situ at the sampling station.

In three years, the visible red tide by *Gymnodinium* type-'65 had occurred four times. Three to eight days before the bloom, every red tide had a heavy rain and/or strong wind which might cause the environmental change.

The extreme low level (under 1 m ℓ/ℓ) of oxygen content at 1 m above of bottom layer (18 m) was reflected in the waters at 10 m depth, most of which in such cases could not support the growth of *Gymnodinium* type-'65.

In bioassay of the waters at 10 m depth by culturing axenically *Gymnodinium* type-'65, the ability of the seawater to support the growth tended to change abruptly at the sampling day of the occurrence of visible red tide, i. e. in two cases of four red tides, the seawater sampled at 10 m depth became suddenly unsuitable for the growth of *Gymnodinium* type-'65 at the sampling day of the occurrence while the seawater had been able to support the growth till the previous sampling day. In one case, the seawater which had not had the ability to support the good growth till the sampling day before red tide, became suddenly suitable for the growth at the sampling day of the occurrence. The bioassay to check the population change of *Gymnodinium* type-'65 in the unfiltered test water

* 現所属：広島市南区大州 4 丁目 4 番32号 中国電力株式会社技術研究所

under laboratory condition showed that only in 2 to 3 weeks just before occurrence of red tide, the results of bioassay on upper layer water were similar to the population change in situ at the sampling station.

This study was the first step to find the premonitory symptoms of red tide occurrence by the bioassay methods. The results obtained connected directly neither prediction of the occurrence nor discovery of any trigger of the development of causative organisms. The results were, however, suggestive to improve the bioassay method for the aim of this study.

大村湾では1965年以来、*Gymnodinium* の1種(以下 *Gymnodinium*'65年型種と仮称する) による赤潮が毎年のように発生し、長崎大学ではその赤潮発生機構(1)、本種の増殖生理(2)などについての研究が続けられている。その結果、本種赤潮のうちには、大村湾の海底水が低酸素化することに関連して発生するものがあることが指摘された。

一方、内湾の赤潮発生誘因を現場海水の生物学的分析によって追究しようとする試みは上野ら(3)により伊勢湾で、平山ら(4)により大村湾で行なわれている。しかし、平山らの行なった大村湾についての分析は、海水を濾過滅菌せず、加熱滅菌したなど幾つかの不備な点がみとめられた。本研究では、それらの点を改善し、あらためて、1977年から3年間にわたり、夏期、大村湾の赤潮発生水域の海水について *Gymnodinium*'65年型種を供試生物として生物学的分析を行なった。また、その結果を現場水域での赤潮発生状況、海況と対比して、大村湾での本種赤潮発生機構解明の一助とするとともに発生予知方法の検討を試みた。

材料および方法

観測方法

観測地点は Fig. 1 に示した堂崎と長崎空港の間、水深約18mの水域の3点である。

3ヶ年とも6月から9月まで週に1度の間隔で午前10～11時頃に採水した。なお1977年には Fig. 1 に示した St. B の10m層と表層でのみ採水したが、1978年と1979年は採水方法をあらため、St. A, B, C, の3点より採水した。すなわち、3観測点の表層、2.5m層、5m層の海水を等量ずつ混合したものを5m以浅層海水とし、10m層の海水を3地点等量混合したものを10m層海水、海底直上1m層の海水を混合したものを底層海水とした。

各海水は、採水後、船上で定性濾紙(東洋濾紙No. 1)で濾過し、1ℓのガラスビンに入れ、最夏期には携帯用ストッカーで冷却しながら実験室に持ちかえった。

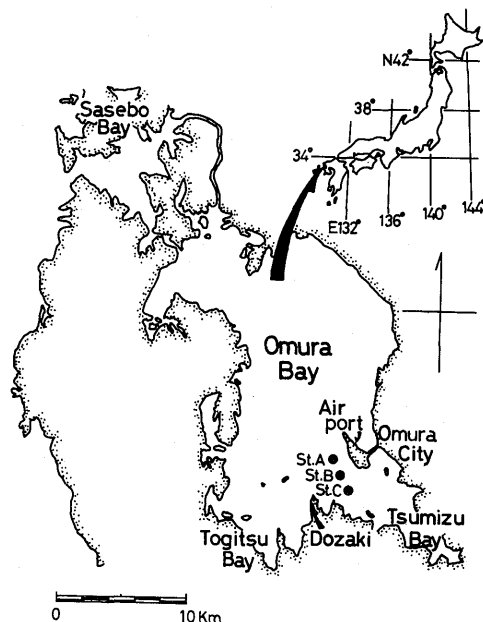


Fig. 1. Map of sampling station

これとは別に濾過も冷却もせず、そのままの海水をも持ちかえった。なお St. B の各層の水温、溶存酸素(1977年、1978年は底層のみ、1979年は底層、10m層)および透明度は毎観測時に測定した。採水後、約2時間を要して実験室に持ちかえった海水は直ちに孔径0.22μmのミリポアフィルターで濾過し、生物学的分析や水質分析に供するまで-20℃に凍結保存しておいた。アンモニウム態窒素は二村(5)の方法または海洋観測指針の常法により、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、磷酸態窒素は海洋観測指針の常法によって分析した。

生物学的分析

2つの方法によって行なった。その1つは濾過滅菌した10m層海水による *Gymnodinium*'65年型種の培養試験であり、もう1つは現場海水をそのまま培養室に数日間放置してプランクトン組成の変化を *Gymnodinium*'65年型種の変動を中心に観察する方法である。

濾過滅菌による培養試験 凍結保存しておいた10m層の濾過海水を解凍後、pHを7.8(1977年は8.0)に調節した。この海水を2つにわけ、1部はそのまま、他方は栄養塩として $K_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ を3mg/ℓ, $NaNO_3$ を120mg/ℓ添加した後、両者とも孔径0.22μmのミリポアフィルターで濾過滅菌した。これとは別に人工海水培養液 NH-15 (Table 1) に liver extract (Difco 製) 20mg/ℓ を添加した培養液をも用意した。これら3種の培養液は各々200ml容平底フラスコ5本(1977年は3本)に100mlずつ無菌的に分注した。栄養塩添加海水と無添加海水はフラスコ分注後7日間、人工海水を分注したフラスコは

高圧滅菌後10日間静置した後、あらかじめ人工海水 (NH-15 + liver extract 20mg/ℓ) で培養しておいた *Gymnodinium*'65年型種を60cells/mlになるように同時に無菌的に接種した。培養は照度約1500 luxの蛍光灯下(昼光色)で14L-10Dの断続照明により温度23°Cで静置培養した。なお、培養期間中はどのフラスコも培養条件が同じになるように毎日その静置場所をかえた。接種後、5, 10, 20, および30日目の計4回増殖濃度を測定した。測定は培養液を十分攪拌して、無菌的にその5mlを取り、濾過海水で5倍に希釈した後、コールターカウンターZB型を用いて10回計測し、その平均値を求めることによって行なった。

現場海水中的 *Gymnodinium*'65年型種の濃度変化 採水後濾過せず、そのまま持ちかえった海水について、まずプランクトン組成を観察後、直ちに5m以浅層海水、10m層海水とも200ml容平底フラスコに100mlずつ分注し、培養室(約1,500 lux, 14L-10D, 23°C)に静置した。5日後(1978年)または3日後(1979年)に再びフラスコ内のプランクトン組成を調べ、静置中の組成の変化を *Gymnodinium*'65年型種を中心に求めた。プランクトン組成の観察は海水100mlを孔径0.8μmのミリポアフィルターを用いて10mlに濃縮した後、その0.1ml中のプランクトンを計数する方法(6)によって行なった。なお1977年にはこの実験は行なわれなかった。

主要鞭毛藻出現状況および赤潮発生状況

採水域での主な鞭毛藻の出現状況は Fig. 2 に各年

Table 1. Chemical composition of artificial culture medium (NH-15).

NaCl	24.0 g	KNO ₃	100.0mg
KCl	0.6 g	Tris (pH 7.8) *	0.4 g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	4.5 g	EDTA-2Na	10.0 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	6.0 g	Metals T ²	5.0 ml
CaCl ₂	0.7 g	Thiamin-HCl	10.0 mg
Sulfides ¹	5.0 ml	Biotin	1.0 μg
K ₂ HPO ₄	10.0 mg	Vitamin B ₁₂	1.0 μg
		Triple distilled water	925 ml

1) Sulfides mixture per 1000 ml triple distilled water; NH₄Cl 0.2g, K₂HPO₄ 0.1g, NaHCO₃ 0.2g, MgSO₄·5H₂O 0.04g, Na₂S·9H₂O 0.1g,

2) Metals mixture T per 100 ml triple distilled water

FeCl ₃	5.0 mg	MnCl ₂	1.0 mg
H ₃ BO ₃	5.0 mg	ZrOCl ₂	2.0 mg
NH ₄ VO ₃	0.5 mg	BaCl ₂	1.0 mg
K ₂ CrO ₄	0.2 mg		

* This is adjusted to pH 7.8 in a stock solution.

ごとに示した。図の基準線より上段は表層(1977年)または5m以浅層(1978, 1979年)を示し、下段は10m層を示している。図には各鞭毛藻の出現状況を各観測日ごとに1ml当りの出現細胞数の対数値によって示してある。

1977年: 7月5日の採水日には、大村市地先で *Gymnodinium*'65年型種による赤潮がみとめられた(以下に記載した月日は観測月日を示しており、必ずしも記載した現象の最盛期とは一致しない)。しかし、7月12日には消滅していた。7月28日には大村湾全域にわたって *Chaetoceros* sp. の群集がみとめられた。8月11日には津水湾に *Gymnodinium*'65年型種による赤潮が発生したが、採水域では赤潮は観測されなかった。9月6日にはかなり広範囲に高濃度の *Ceratium fusus* がみとめられた。以後すべての図には7月5日と8月11日は赤潮が観測された日として印をしてある。

1978年: Fig. 2に記載した以外のプランクトンの出現状況として特記すべきものは、6月23日に時津沖に *Noctiluca miliaris* による赤潮が観察されたことであろう。また、8月21日には一時的に *Gymnodinium* A₃ (飯塚(7)による仮称)がかなりの濃度(表層水, 93 cells/ml)で、この採水日にかぎり観察された。*Gymnodinium*'65年型種は観測開始時からみとめられたが、6月23日 *Noctiluca* 赤潮がみられた日には10m層では一時的に消滅した。その後10m層では徐々に増え、7月11日には18.7cells/mlに達したが7月17日には突然消滅していた。7月31日には再び出現し8月7日には5m以浅層(285cells/ml)、8月14日には10m層

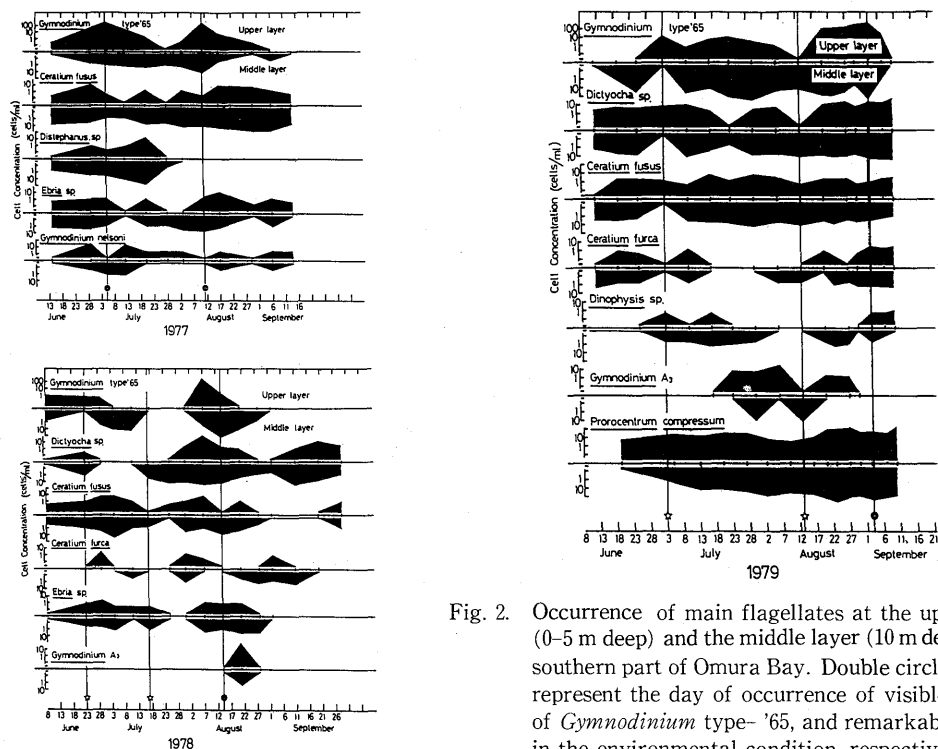


Fig. 2. Occurrence of main flagellates at the upper layer (0-5 m deep) and the middle layer (10 m deep) at the southern part of Omura Bay. Double circle and star represent the day of occurrence of visible red tide of *Gymnodinium* type- '65, and remarkable change in the environmental condition, respectively.

で全観測期間中の最高濃度 (131 cells/mL) が観測された。*Gymnodinium* '65年型種による赤潮は8月14日堂崎沖で小規模なものが観測されたにとどまった。以後すべての図には、*Noctiluca* 赤潮が観測された6月23日、観測地点から突然 *Gymnodinium* '65年型種が消滅した7月17日、*Gymnodinium* '65年型種による赤潮が観察された8月14日に印をつけてある。

1979年: *Gymnodinium* '65年型種とともに *Prorocentrum compressum* が全観測期間にわたり出現しつづけ、8月末には津水湾奥で赤潮状態となる程高濃度であったことが特徴的である。*Gymnodinium* '65年型種は10m層では6月19日より5m以浅層では7月3日より出現しはじめた。7月3日には10m層から *Gymnodinium* '65年型種、*Dictyocha* sp., *Ceratium fusus*, *C. furca* が一時的に消滅した。以後 *Gymnodinium* '65年型種は5m以浅層、10m層とも出現しつづけたが、8月13日には5m以浅層で消滅していた。この日は *Dictyocha* sp., *Gymnodinium* A₃ とも5m以浅層から消滅しており、何らかの海況変化があったことが推察される。*Gymnodinium* '65年型種による小規模赤潮が9月3日に観測域で観測され、全観測期間中の最高濃度 (5m以浅層, 496.5 cells/mL; 10m層, 1655 cells/mL) が記録されたが、9月10日には、5m以浅層、10m層とも消滅していた。以後、すべての図には、

10m層から一時的に *Gymnodinium* '65年型種などが消滅した7月3日、5m以浅層で消滅した8月13日、および小規模な *Gymnodinium* '65年型種赤潮が観測された9月3日は印をつけて示してある。

3年間にわたる夏期の各プランクトンの出現状況のうち、特記すべきものとしては、*Gymnodinium* '65年型種と *Dictyocha* sp. の出現状況の類似性であろう。1977年の *Dictyocha* sp. の出現は少なく、図には記載しなかったが1978年と1979年の両プランクトンの出現状況は Fig. 2 に示してある。図にみられるように日を追っての両者の増減の様子が比較的良好に一致していることがみとめられよう。

気象と海況

気象

Fig. 3 には、長崎海洋気象台大村空港出張所でえられた3年間の記録より、風力、風向、雨量について示した。風力については、連続した3定時の風力の平均値をもとめ、その日のうちの最高値を記録した。ただし最高値が1 kt 以下の場合には記録しなかった。また風向については、概略の方向で示した。図にみられるように、風向は初夏には南風の日が多く、晩夏になると北風の日が多くなる傾向があることがわかる。6月

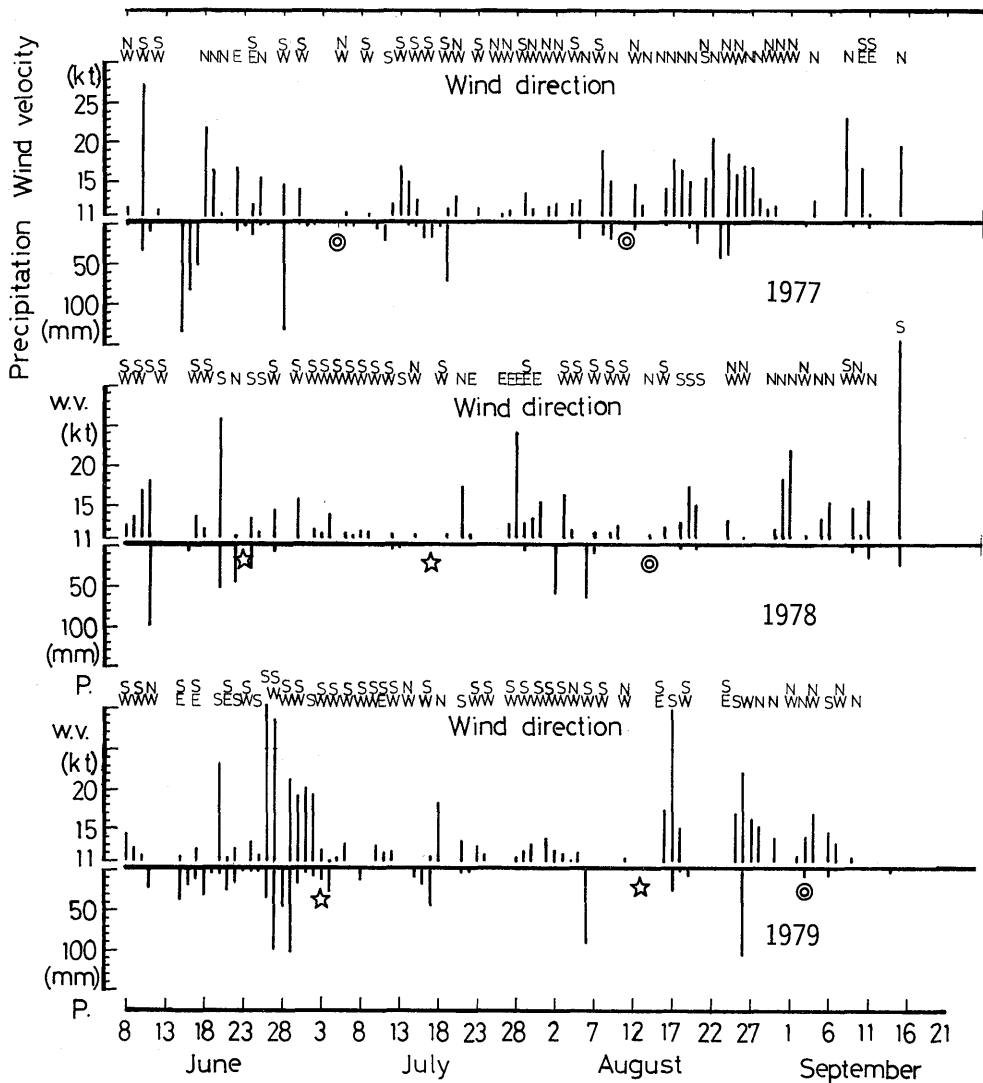


Fig. 3. Changes in daily wind velocity, wind direction and precipitation. Wind velocity is shown as the maximum in the average velocities at three succeeding hourly observation. Daily maxima under 1 kt were omitted in the figure. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

から9月の4ヶ月間の雨量は1977年は720.5mm, 1978年は417.5mm, 1979年は910.5mmであり, 1978年は雨量が少なく, 空梅雨に近かった。

長崎海洋気象台での毎日の日射量の調査結果をFig. 4に示した。図には日射量を当日と前2日の値の平均で示してある。長崎海洋気象台は長崎市内にあり大村湾の観測地点とは約20kmはなれているが, 傾向としては大きな違いはないであろう。

海況

3年間の観測地点における水温, 溶存酸素, 透明度

の推移はFig. 5に, 1978, 1979年の栄養塩の推移はFig. 6に示した。

溶存酸素 1977年と1978年はSt. Bの海底直上1m層の溶存酸素を, 1979年はそれと10m層の溶存酸素を測定した。図にみられるように, 1977年は低酸素化の傾向が著しく, 赤潮が発生した7月5日から8月16日まで, 8月11日を除いて底層では1ml/l以下であった。赤潮が観察された8月11日には一時的に1ml/lの濃度をわずかに越えた。1978年は1977年にくらべ底層の低酸素化の傾向はそれ程著しくなく, 底層で溶存酸素

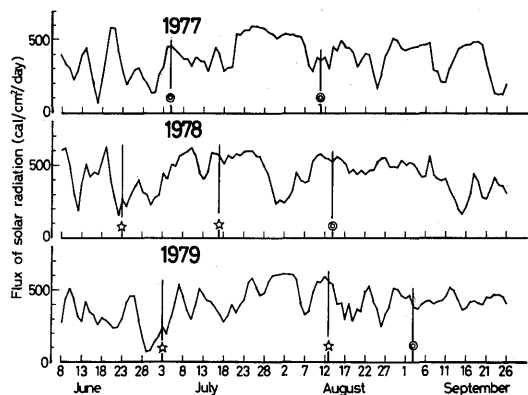


Fig. 4. Average of flux of solar radiation in 3 days including prior 2 days. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

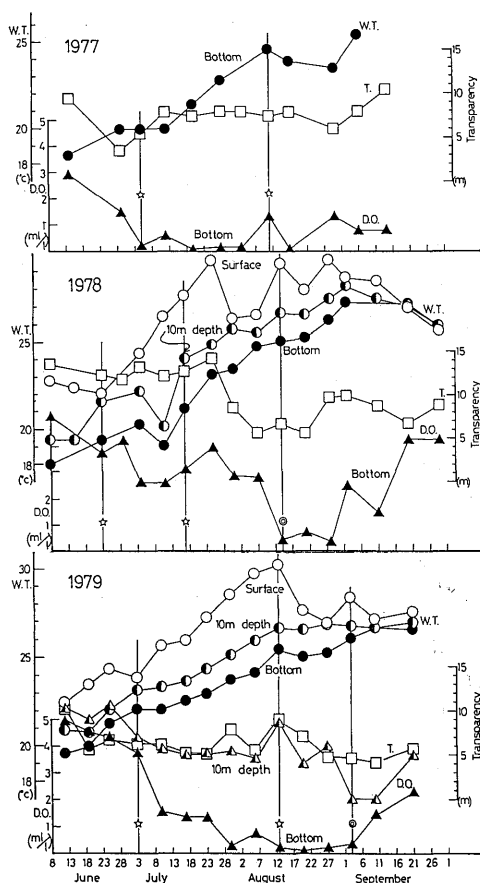


Fig. 5. Changes in water temperature, dissolved oxygen and transparency at the sampling station. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

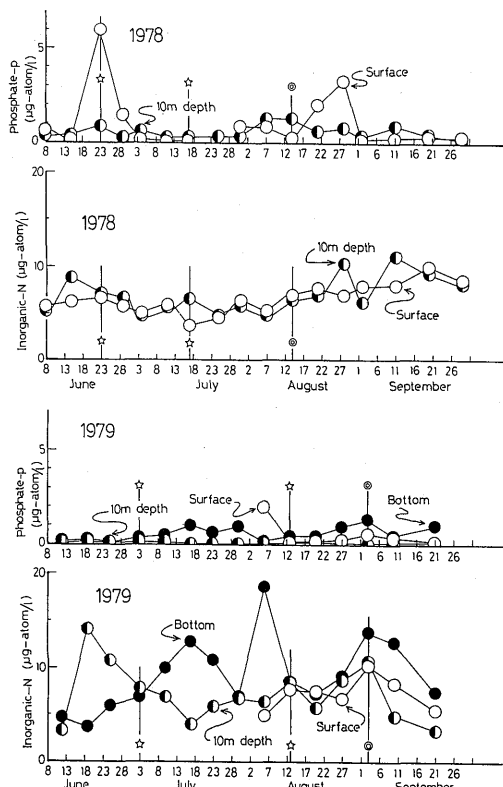


Fig. 6. Change in inorganic nutrients at the sampling station. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

が 1 ml/l 以下になったのは 8 月 14 日 (赤潮が発生した日) から 8 月 31 日までであった。一方 1979 年は前 2 年の中間的傾向を示し、7 月 31 日から赤潮がみられた 9 月 3 日まで底層で溶存酸素が 1 ml/l 以下の日が続いた。しかし、以後は急速に溶存酸素は増加した。10m 層では 9 月 3 日から 10 日にかけて約 2 ml/l と低かった。

水温 1977 年には St. B の海底直上 1 m 層の水温のみを、1978 年と 1979 年は St. B の 10m 層、表層についても測定した。Fig. 5 にみられるように 1977 年には底層の水温の上昇はあまり大きくなく、 25°C を越えた日はほとんどなかった。1978 年には、7 月初旬から上層と下層の温度差が大きくなりはじめ成層が形成された。しかし、8 月初旬には一時的に成層がくずれる傾向を示し、9 月初旬には完全に成層がくずれた。底層の水温は 6 月初旬の約 18°C から直線的に増加し、9 月 2 日には最高 27.3°C に達した。また盛夏には表層で 30°C に達した場合もある。1979 年もほぼ同様の傾向を示し、7 月初旬から上下の温度差は大きくなり始め、次第に

温度成層は強固なものとなった。8月21日頃から解消の方向にむかい9月11日にはほぼ完全に成層は消滅した。底層の水温は1978年とほぼ同様に直線的に増加し6月6日の19.7°Cから9月11日には26.7°Cまで上昇した。

透明度 1977年と1979年はほぼ同様に推移し、5m以下、10m以上になることはまれだった (Fig. 5)。しかし、1978年は7月25日まで11m以上の透明度を示し、その後は低下したが、5.8mを下回ることとはなく、3年間のうちで最も透明度の大きい年であった。

栄養塩 Fig. 6 には1978年の5m以浅層と10m層、1979年の海底直上1m層、10m層と8月6日以降の5m以浅層の値が示してある。無機態窒素は5m以浅層、10m層では例外を除き10 μ g-at./ ℓ 以下でその大部分はアンモニウム態窒素で占められた。両年とも凹凸はあるが、7月初旬から9月初旬まで漸進的に増大する傾向がみられた。磷酸態磷はほとんど1 μ g-at./ ℓ 以下であるが5m以浅層では降雨等に関連して一時的に2 μ g-at./ ℓ 以上の高濃度が観測された日もある。また、1979年の10m層では検出されない日が多かった。

生物学的分析結果

濾過滅菌海水による培養試験 (10m層)

3年間の培養試験の結果は Fig. 7 に示した。図には濾過滅菌海水そのままと、それに栄養塩を添加した海水とによって *Gymnodinium*'65年型種を培養した場合の増殖過程を採水日ごとに示してある。すなわち、*Gymnodinium*'65年型種接種後5, 10, 20, 30日目の細胞数濃度を並行して培養した3本 (1977年) または5本 (1978, 1979年) のフラスコの平均値で示してある。人工海水による対照試験はその増殖の傾向が全期間を通じて大きな違いがなかったため、全部の対照試験について、*Gymnodinium*'65年型種接種後5, 10, 20, 30日目の平均濃度を求め、その標準偏差とともに図に併示した。

また、*Gymnodinium*'65年型種接種後5日目の試水中の細胞数濃度と培養期間中の最大増殖濃度について、それぞれ対照のそれとの比をとり、Fig. 8 に示した。なお、図では5日目に接種濃度以上に増殖しなかった場合は区別し示してある。

1977年： 6月14日の10m層の海水では栄養塩添加海水、無添加海水とも、対照とほぼ同様な増殖を示した。特に接種後5日目の初期増殖は全採水期間を通じて最もよかった。しかし、6月29日以後は採水地点の10m

層の海水は *Gymnodinium*'65年型種の増殖に適した海水ではなくなり、8月3日の海水まで、6月29日の栄養塩添加海水、8月3日の無添加海水を除いては接種濃度以上に増殖しなかった。この間現場水域の10m層海水では、*Gymnodinium*'65年型種の濃度は、6月14日から大村市地先で赤潮が観察された7月5日まで、徐々に増加した。以後表層では7月28日までは漸次減少している。堂崎沖に *Gymnodinium*'65年型種の赤潮が観察された8月11日には、10m層海水での本種の増殖は極めて良好となり、特に最大増殖濃度では栄養塩添加、無添加海水とも対照よりも高かった。それ以後、現場水域の10m層では *Gymnodinium*'65年型種は次第に少なくなっていくが、その10m層海水でも接種した *Gymnodinium*'65年型種は増殖可能であった。

1978年： 10m層の海水で *Gymnodinium*'65年型種を接種濃度以上に増殖させなかったのは、7月17日の栄養塩無添加海水、8月14日の栄養塩添加海水と無添加海水、8月21日の栄養塩添加海水のみで、他の日の海水は初期増殖におくれがみられたものもあるが、いずれも *Gymnodinium*'65年型種を増殖させる能力をもっていた。なお、7月17日は現場水域 (10m層) で増殖しつつあった *Gymnodinium*'65年型種が全く消滅していた日であり、8月14日は *Gymnodinium*'65年型種による赤潮が堂崎沖で観察され、かつ底層の溶存酸素が極度に低下した日でもある。10m層で *Gymnodinium*'65年型種が徐々に増殖しつつあった7月14日の海水では *Gymnodinium*'65年型種の初期増殖が全観測期間を通じ、対照と比較して最も良好であった。7月11日は10m層の海水で *Gymnodinium*'65年型種の増殖濃度が6月8日を除き対照と比較して最も高かった。その日は現場水域の10m層で本種が高濃度になった日であり、翌週の7月17日は現場水域から本種が消滅した日である。

1979年： 底層で溶存酸素が急激に減少した7月10日からは10m層の海水は *Gymnodinium*'65年型種の増殖を支えなくなった。すなわち栄養塩を添加した海水では8月6日まで、栄養塩を添加しなかった海水でも7月10日と7月30日を除き8月6日まで *Gymnodinium*'65年型種は増殖しなかった。7月10日と7月30日の海水でも、その最大増殖濃度は対照とくらべ高くはなかった。現場水域の5m以浅層で8月13日には *Gymnodinium*'65年型種が消滅しており、10m層での溶存酸素は一時的に高くなっていた。その8月13日には10m層の海水は *Gymnodinium*'65年型種を極めてよく増殖させた。すなわち、8月13日の海水では

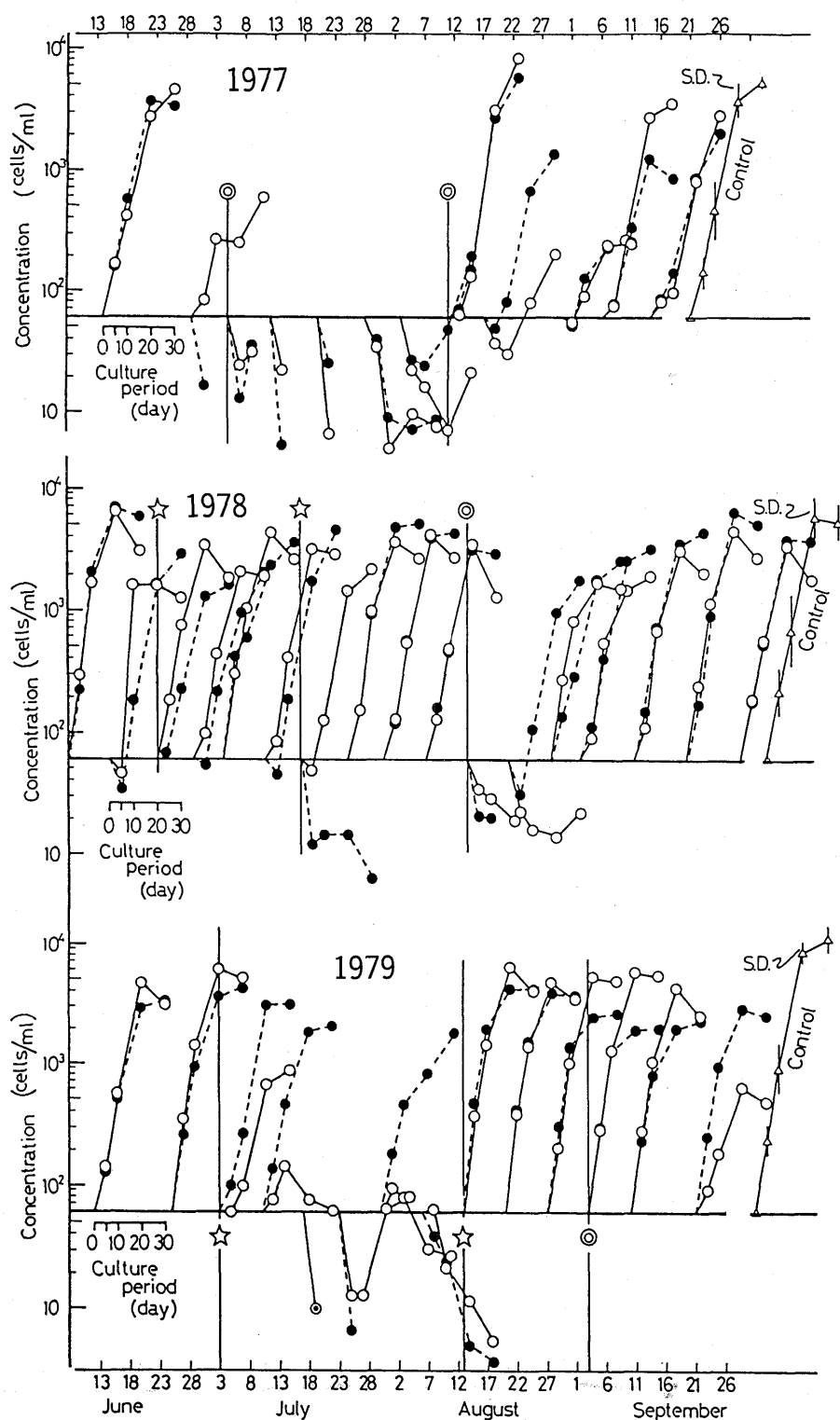


Fig. 7. Growth of *Gymnodinium* type- '65 cultured axenically in filtered sample water at 10 m depth of sampling station under laboratory condition. White and black figures show the experiments with and without the addition of nutrients. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

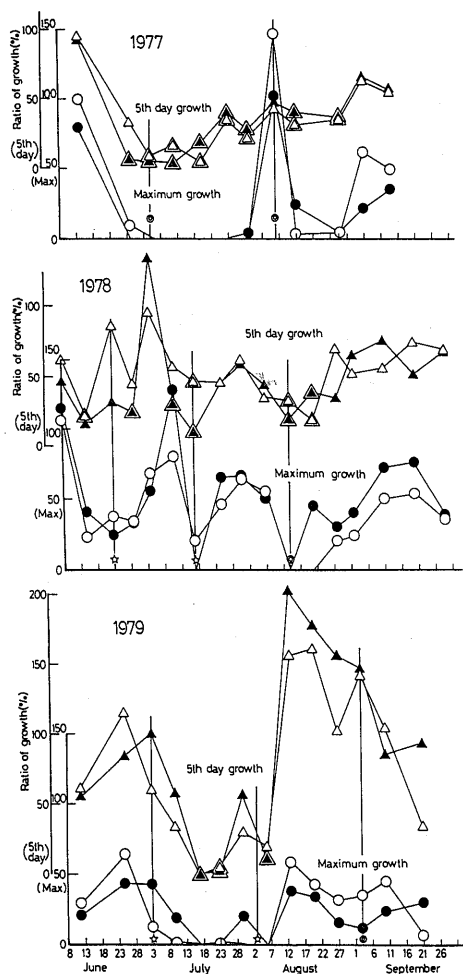


Fig. 8. Ratios of the concentration of *Gymnodinium* type- '65 cultured in filtered sample water to those in the artificial culture medium (control) at both stages of the 5th day after inoculation and of the maximum growth. Double triangle indicates that the growth in the sample seawater could not exceed inoculum concentration at the 5th day after inoculation. White and black figures were explained in Fig. 7. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

Gymnodinium'65年型種接種後の初期増殖は対照とくらべて極めてよく、接種後5日目の濃度は対照の2倍にも達した。この傾向は赤潮が観測地点でみとめられた9月3日以降まで継続した。

現場海水中の *Gymnodinium*'65年型種の濃度変化

1978年, 1979年の5 m以浅層海水, 10m層海水をそ

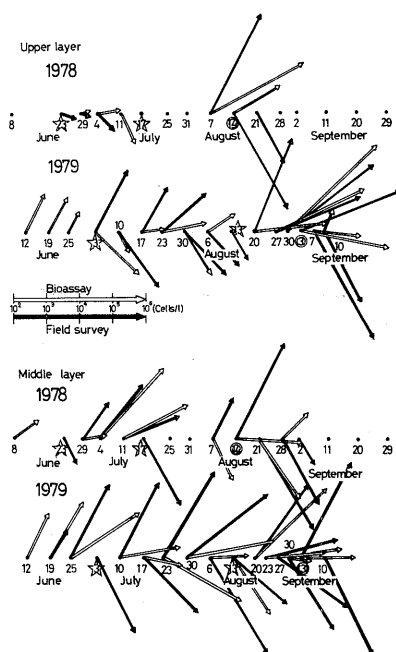


Fig. 9. Population change of *Gymnodinium* type- '65 in the unfiltered sample water maintained for several days under laboratory condition and the change of natural population in situ at the survey interval. Arrow length (C) and slope (θ) represent the magnitude and degree of population change, respectively.

In the case of field survey,

$$C = C_1 - C_0, \theta = \frac{2(C_1 - C_0)}{C_1 + C_0}$$

and in the case of bioassay,

$$C = C_2 - C_1, \theta = \frac{2(C_2 - C_1)}{C_2 + C_1}$$

where C_0 and C_1 represent the concentrations in seawaters at the previous sampling day and at the sampling day, respectively, and C_2 represents the concentration in the sample water after keeping for several days under laboratory condition. Explanation of double circle and star is in Fig. 2.

のまま培養室に3日間(1979)または5日間(1978)放置した場合の *Gymnodinium*'65年型種の濃度変化は、現場水域での *Gymnodinium*'65年型種の変化とあわせて Fig. 9 に示した。すなわち、前回の採水日の *Gymnodinium*'65年型種の濃度を C_0 、採水当日の濃度を C_1 、さらに、採水当日の海水を培養室に3日または5日放置した後の濃度を C_2 として、それぞれの変化量 (C) と変化の程度 (θ) を求めた。変化量は矢印の長さ、程度はその角度で表現してある。すなわち、生物試験の結果はそれぞれ、

$$C = C_2 - C_1 \quad \tan \theta = \frac{2(C_2 - C_1)}{C_2 + C_1}$$

で示され、現場での増減は、

$$C = C_1 - C_0 \quad \tan \theta = \frac{2(C_1 - C_0)}{C_1 + C_0}$$

で示される。

図にみられるように、10m層の海水については、培養室での結果と現場水域での *Gymnodinium*'65年型種の増減の結果の間にあまり関連はみられないが、5m以浅層の海水については、両年度とも多少の関連があるようにみうけられた。とくに1978年8月14日、1979年9月3日の赤潮が観察される前の1~2週間には現場水域で著しい増殖があり、それと同時に培養室でも急激かつ大量に増殖する傾向があることがわかった。

考 察

3ヶ年を通じて、*Gymnodinium*'65年型種による赤潮が目視的に観察されたのは1977年7月5日、8月11日、1978年8月14日、1979年9月3日の4回である。これらの日を中心に海況と10m層海水の生物学的分析結果をみると、1977年7月5日の赤潮1週間前の6月28日にはかなりの雨量がみられ、それまでは底層の溶存酸素も1ml/l以上であったものが、7月15日には、底層ではほとんど溶存酸素がなくなっていた。一方、前週までの10m層の海水は栄養塩を添加すれば *Gymnodinium*'65年型種の増殖を一応支えたが、7月5日の海水からは接種濃度以上には増殖しなかった。また、1977年8月11日の赤潮の3日前(8月8日)には、約19ktの風がふき、そのための攪拌によるのか今までほとんどなかった底層の溶存酸素が一時的に1ml/l以上になった。そして底層水の水温も一時的に上昇した。生物学的分析結果をみると、7月5日の赤潮とは逆に前週まで10m層の海水では *Gymnodinium*'65年型種が増殖しなかったのに反し、この8月11日の

海水では突然増殖するようになり特に最大増殖濃度では対照の150%になり、この年最高の増殖を示した。しかし、次の週(8月16日)からは、10m層の海水では一応の増殖を示すものの、対照とくらべて *Gymnodinium*'65年型種の増殖に適した海水とはいえなくなった。1978年の8月14日の赤潮の8日前(8月6日)にはかなりの雨量があり、8月14日前3日間は風のない比較のおだやかな日が続いている。また、前週まで底層でも2ml/l以上あった溶存酸素が8月14日には極度に低下しているのが目立つ。生物学的分析結果をみると、前週まで *Gymnodinium*'65年型種の順調な増殖を支えていた10m層の海水が突然8月14日には、*Gymnodinium*'65年型種の増殖に適さなくなっている。次週(8月21日)になって、その傾向は幾分回復しているが、やはり10m層の海水では *Gymnodinium*'65年型種はあまりよい増殖を示さなかった。1979年9月3日の赤潮の8日前(8月26日)には、大雨と強風があり、8月31日、9月1日は比較のおだやかで日射量もかなり高い。一方海況は、8月17日の強風以来、強固であった成層はくずれだし上下層の温度差は少なくなり、10m層の溶存酸素は低下し、赤潮のみられた9月3日には、10m層でも、約2ml/lとなった。底層では、依然、1ml/l以下であるが、溶存酸素上昇の気配がみとめられ、次週の9月10日には、2ml/l以上になって、完全に成層はくずれていた。生物学的分析結果をみると、8月6日の大雨の次週から10m層の海水は、*Gymnodinium*'65年型種の増殖に適した海水になり、特に初期増殖は対照と比べ、著しく良好となった。この傾向はその後、幾分低下しながらも持続し、赤潮観察日(9月3日)には、10m層海水での *Gymnodinium*'65年型種の初期増殖濃度は対照の約1.5倍であった。

以上のように、4回の赤潮観察日も、3日乃至1週間前にはかなりの雨量または強風がみとめられ、湾水が攪拌されるなどの海況変動があったことが推察される。赤潮観察日には前回の観察日にくらべ、底層の溶存酸素が急に減少した場合が2回、逆に減少していた底層の溶存酸素が若干増加したり、または増加する傾向をみせた場合がそれぞれ1回あった。湾水が攪拌されると、低酸素化していた底層水では、一時的にしろその溶存酸素が増加することが考えられる。以後、停滞状態が続くならば、攪拌によってまきあげられた底泥の影響により、底層水の溶存酸素は、攪拌される前よりも低下することは十分考えられる。例えば、1978年8月14日の観察日の前にはかなりの降雨のあと、3

日間比較のおだやかな日が続いていた。これが、成層を発達させ、8月14日には急激に底層の溶存酸素を低下させたのではないかと考えられる。1979年9月3日には、底層の溶存酸素が上昇する気配を示している。一方10m層では逆に前週より溶存酸素は急激に低下している。これもまた、湾水の攪拌によって底層には比較的溶存酸素の多い海水が供給され、10m層には逆に底層の溶存酸素の少ない海水が供給された結果で、成層がまさにくずれ始めたことを示していると考えられる。このように、底層の溶存酸素の増減が、赤潮観察日に、一定の傾向を示さないのは、観測が週に1度と断続的であったために、観察日がある場合には攪拌直後、ある場合には湾水攪拌後かなりの日数が経過していたことによると思われる。赤潮観察日の10m層の生物学的分析結果も、前週まで *Gymnodinium*'65年型種の増殖に好適であったのが不適にかわった例が2回、それほど好適とはいえない状態であったものが好適にかわった例が1回、好適な状態が継続したことが1回とまちまちであった。このように、赤潮観察日の10m層の生物学的分析結果はその直前の観察日の結果とは著しく変化している場合が多く、その変化の傾向は4回の赤潮観察日で一致していない。このことも、観測が週に1度と断続的であったことに起因していると考えられる。すなわち、観察された赤潮が、初期の赤潮であったり、終期であったりしたため、*Gymnodinium*'65年型種の代謝産物の本種増殖に与える効果が異なっていたことも1つの原因であると思われる。*Gymnodinium*'65年型種の代謝産物の本種の増殖に与える影響は、代謝産物をえた本種の増殖期によって大きく異なり増殖の初期には促進的に、終期には抑制的に働くことが調べられている(8)。

St. B の10m層海水についての生物学的分析結果と海況との関係のうち、最も密接な関係をうかがわせるものに、底層(約17m層)の溶存酸素があげられる。3年間の底層での溶存酸素と生物学的分析結果をまとめて示すと、Table 2 のようになり、底層の溶存酸素が1 ml/ℓ 以下になると、その影響が10m層にもおよび、10m層の海水が *Gymnodinium*'65年型種の増殖を支えなくなる場合が多い。それが2 ml/ℓ 以上の場合には、大部分の海水は *Gymnodinium*'65年型種を一応増殖させることがわかった。

この10m層の海水の生物学的分析は、試水そのままと試水に栄養塩を添加した場合の2通りの海水について行なった。その結果、1978年は8月下旬からは、栄養塩無添加海水の方が *Gymnodinium*'65年型種の最高増殖濃度は高く、一方1979年は8月下旬からは9月21日を除き、栄養塩添加海水の方が最高増殖濃度が高いという結果がえられ、年により必ずしも一致した傾向を示さなかった。本実験に用いた *Gymnodinium*'65年型種は栄養塩濃度の高い培養液で予備培養されており、接種時の栄養塩類の試験海水への持ち込み等を考慮するなら、本試験の結果から、大村湾における *Gymnodinium*'65年型種の増殖要因を栄養塩類不足に直接結びつけるのは、早計であろう。

大村湾の現場海水をそのまま培養室に放置するという方法での生物学的分析結果は、赤潮観察日の直前を除いては、必ずしも現場での *Gymnodinium*'65年型種の増減と密接な関係を示さず、この方法についても照度、温度、その他培養方法などに検討を加える必要があると思われる。

本実験で行なった生物学的分析の結果が直ちに、大村湾での赤潮発生の予知方法または発生・増殖機構を

Table 2. Number of bioassay experiments ranked in 3 categories by the growth of *Gymnodinium* type- '65 in 10 m depth water at station B.

Nutritional condition in bioassay	Oxygen contents in bottom layer at sampling station	Growth in 10 m depth watem			Total number
		Good	**No good**	No growth	
With addition of inorganic nutrients	Under 1 ml/ℓ	9 (47%)	2 (11%)	8 (42%)	19 (100%)
	1-2 ml/ℓ	4 (50%)	3 (38%)	1 (12%)	8 (100%)
	Upper 2 ml/ℓ	15 (100%)	0	0	15 (100%)
Without addition of inorganic nutrients	Under 1 ml/ℓ	12 (63%)	1 (5%)	6 (32%)	19 (100%)
	1-2 ml/ℓ	4 (50%)	1 (12%)	3 (38%)	8 (100%)
	Upper 2 ml/ℓ	14 (93%)	0	1 (7%)	15 (100%)

* Maximum growth is more than 3×10^2 cells/ ml.

** Maximum growth is lower than 3×10^2 cells/ ml.

解明するものとはなりえない。しかし、今後生物学的分析の方法を改善し、実験を繰り返すならば、大村湾での *Gymnodinium* '65年型種の赤潮発生のひきがね的要因、または前駆現象の解明の一助となりうると思われる。観測間隔、接種培養液からの栄養塩の持ち込み、試水の凍結保存中の鉄の形態変化等に留意して検討を加え、方法を改善して、試験を続行する予定である。

謝辞：本実験の遂行にあたり、御協力いただいた有安庄市、橋本敬三の両氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 飯塚昭二・入江春彦 (1969). 日本プランクトン学会報, 16, 99-114.
- 2) HIRAYAMA K. and K. NUMAGUCHI (1972). 日本プランクトン学会報, 19, 13-21.
- 3) 平山和次・飯塚昭二・米司隆 (1972). 本誌, 33, 11-12.
- 4) 上野福三・長井治 (1973). 日本プランクトン学会報, 19, 39-45.
- 5) NIMURA Y. (1973). 日水誌, 39, 1315-1324.
- 6) 日本海洋学会編集 (1979). 海洋環境調査法, 恒星社厚生閣, 東京, 395-396.
- 7) 飯塚昭二 (1972). 内湾赤潮の発生機構, 水産研究叢書, 23, 35-57.
- 8) 平山和次 (1980). 潜伏期における赤潮原因種挙動調査研究報告書, I 発生機構(K-1~5), 水産庁, 36-42.