

17. 赤潮対策技術開発試験 (中層赤潮)

は し が き

ギムノディニューム・ナガサキエンセ赤潮による漁業被害は、近年ますます広域化、多様化している。高知県においても内湾の養殖水域で同種の分布が認められるほか、しばしば赤潮が発生し漁業被害が生じている。

このため、水産庁の委託により同プランクトンの増殖機構を解明し被害防止技術の開発を図ることを目的とした中層増殖性広域赤潮被害防止技術開発試験を実施している。本報告書はこのうち平成元年度に実施した下記の内容について取りまとめたものである。

1. 貧酸素水塊の形成状況並びにその消長原因の究明
2. ギムノディニューム・ナガサキエンセの出現動向

目 次

は し が き

I	調査の目的	1
II	調査の概要	1
1.	貧酸素水塊の形成状況並びにその消長原因調査	1
1)	調査対象水域および調査点	1
2)	調査実施時期及び回数	1
3)	調査方法	1
4)	結果および考察	1
(1)	定期観測結果	1
(2)	集中調査結果	5
2.	ギムノディニューム・ナガサキエンセの出現動向調査	7
1)	調査対象水域および調査点	7
2)	調査実施時期及び回数	7
3)	調査方法	7
4)	結果および考察	7
(1)	遊泳細胞の出現状況	7
(2)	DO濃度と出現数との関係	9
(3)	その他の環境と出現数との関係	10
III	要 約	17
IV	文 献	18

貧酸素水塊の動態とギムノディニウム赤潮との関連調査

高知県水産試験場

森山貴光・村田 宏・岩崎健吾

I 調査の目的

有害プランクトン、ギムノディニウム・ナガサキエンセによる赤潮の発生には、水域の貧酸素化が関係している疑いのあることが知られている。このため、閉鎖性内湾において貧酸素水塊の形成状況を調査しその消長原因を究明するとともに同プランクトンの増殖に関与する機構を明らかにする。

II 調査の概要

1. 貧酸素水塊の形成状況並びにその消長原因調査

1) 調査水域及び調査点

高知県中央部に位置する浦の内湾の7定点(図-1)

2) 調査実施時期及び回数

1989年5月から10月の間、上記7定点において月2回の定期調査を実施したほか、湾口、湾中央及び湾奥部を代表する3定点(図-1)において7月から8月の高水温期に週2回の集中調査を実施した。

3) 調査方法

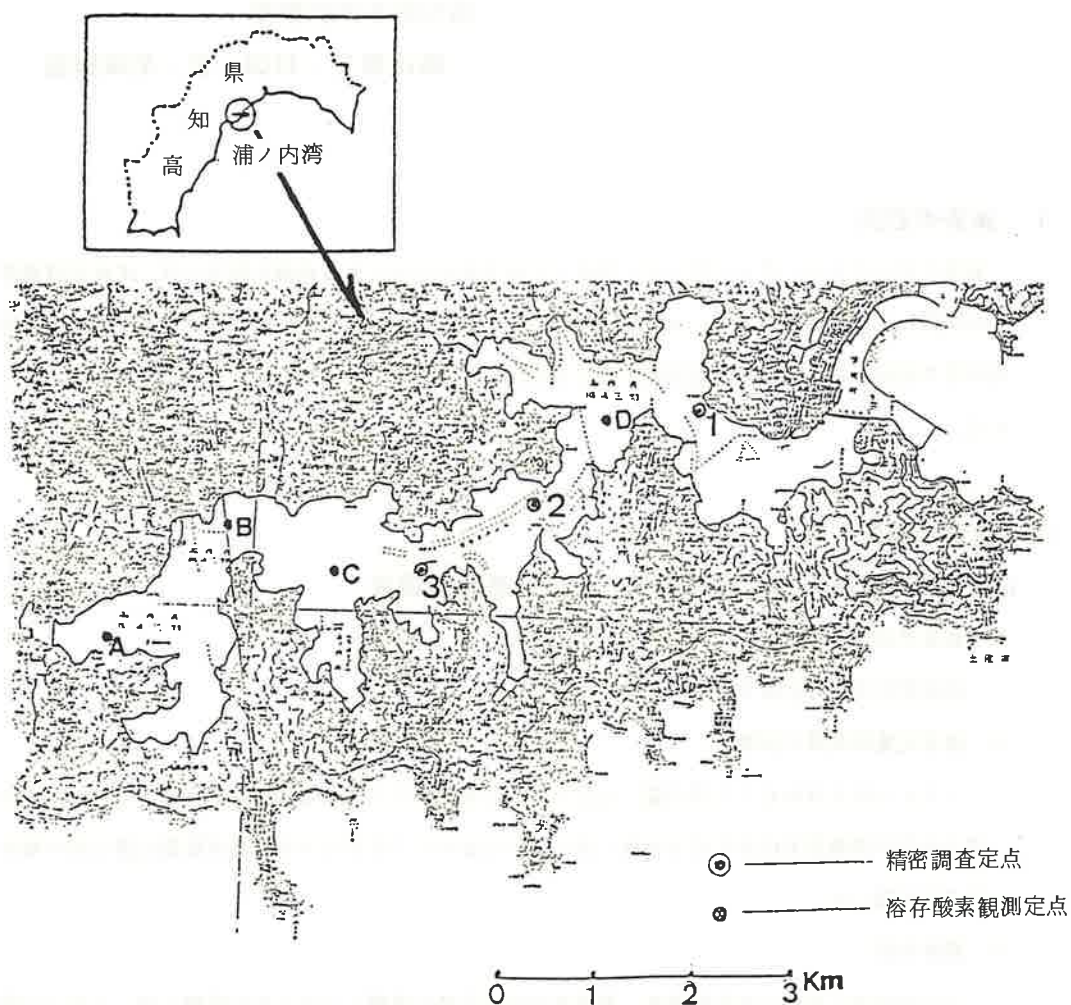
上記の定点において溶存酸素量、水温並びに塩分量を表層(0m)から底層(B-1m)の間を2m間隔で観測した。観測機器は溶存酸素量についてはYSI-57型DOメーター、水温、塩分量についてはEIL MC-5型サリノメーターを用いた。

4) 結果及び考察

(1) 定期観測結果

5月以降10月までの間、月2回、湾内7定点において実施した環境観測の結果、湾全体のDO濃度(ppm)平均値は5月下旬には7ppmを越える濃度であったが昇温と共に低下し、9月上旬には2.3ppmと観測当初の50%を下回る値となった。しかしながらその後の回復は速やかで、10月下旬には5.9ppmと6月上旬程度の値となった。この様なDO平均値の推移を同時に観測

した水温の平均値と対比すると明瞭な逆の関係が認められた（図－２）。



図－１ 調査位置

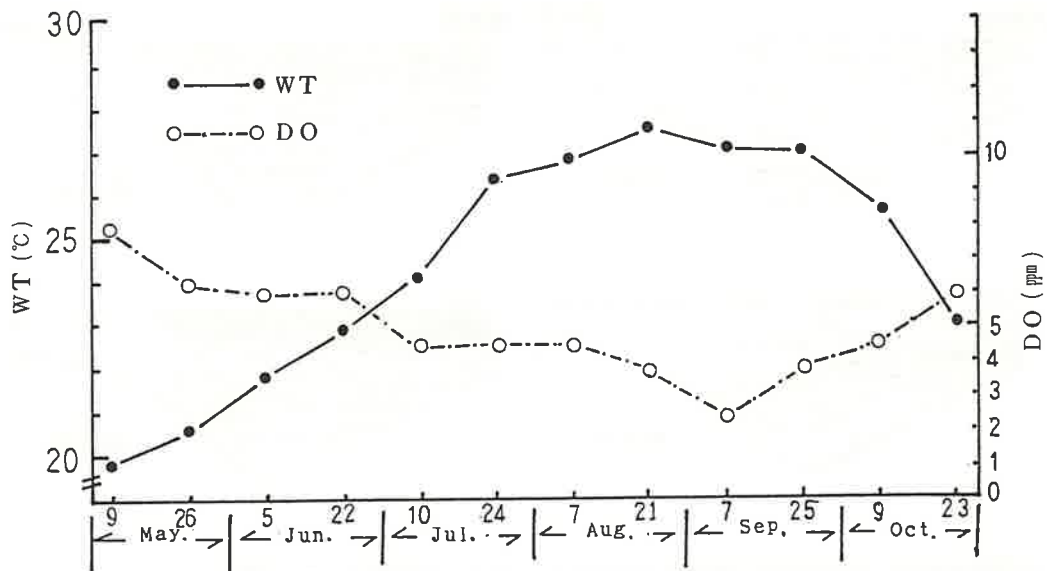


図-2 湾内水温並びにDO (ppm) の推移 (平均値)

また、湾内におけるDOの鉛直分布は図-3のとおり推移したが、8月21日及び9月7日には湾外水(外海水)の差込みの影響と見られる中層域における濃度分布(成層)の歪みが認められた。

5月上旬：表～底層間に5ppm程度の濃度差があるが底層の最低値は4ppmを維持しており、湾口～湾奥間の水平的な濃度差もかなり認められ、十分な成層とは認め難かった。

5月下旬：表～底層間の濃度差約7ppm、底層における最低値は2.6ppmとなり明瞭な成層化が認められた。

6月下旬：底層における最低値は2ppm以下となった。

7月上旬： " " 1ppm以下となった。

この1ppmを下回る貧酸素水塊は昇温に伴いさらに規模を拡大し、9月には約10mの水深にまで達した。

10月上旬：湾口部側で成層の崩壊が認められた。

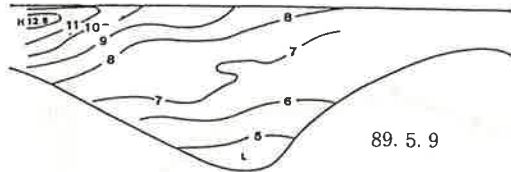
10月下旬：表～底層間の濃度差3ppm、底層における最低値4ppm程度に回復した。

湾奥部

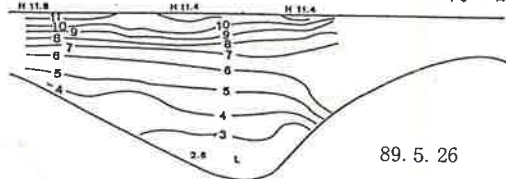
湾口部

湾奥部

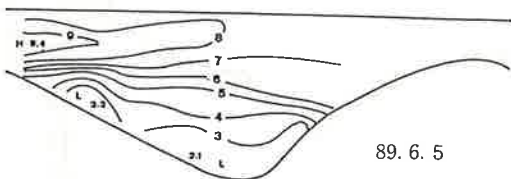
湾口部



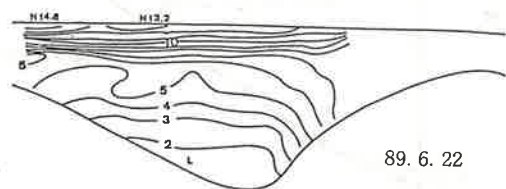
89. 5. 9



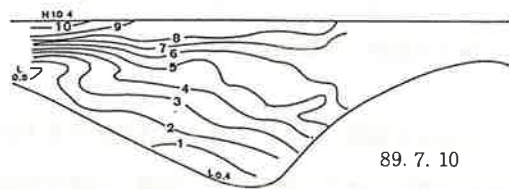
89. 5. 26



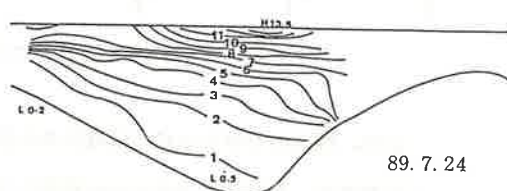
89. 6. 5



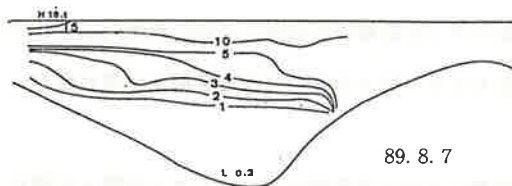
89. 6. 22



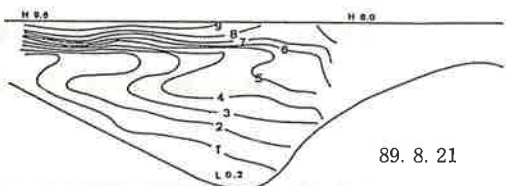
89. 7. 10



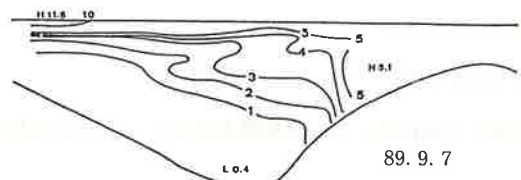
89. 7. 24



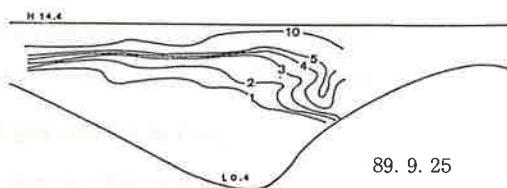
89. 8. 7



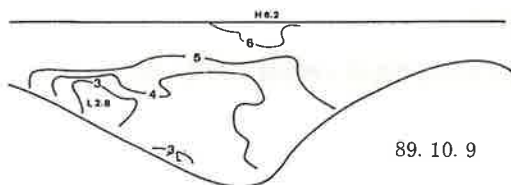
89. 8. 21



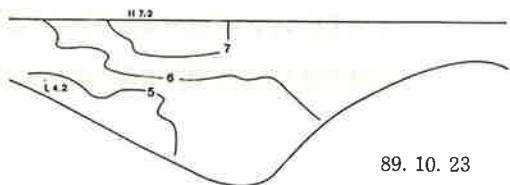
89. 9. 7



89. 9. 25



89. 10. 9



89. 10. 23

図-3 DO鉛直分布の推移 (89. 5 ~ 10)

(2) 集中調査結果

7月3日～8月31日の間、週2回、湾内3定点で実施した集中調査において観測されたDO濃度の平均値（表～底層：ppm）の推移を見ると、湾口に近いST.1で6.6ppm、湾中央部のST.2で4.1ppm、湾奥部のST.3で3.8ppmと順次減少し湾奥部域の貧酸素化が著しいことがわかる。

また、7月27日～8月3日及び8月28日にはいずれの定点においてもDO濃度の急激な減少が認められたが、同時期には併せて観測した塩分量にも明瞭な減少が認められるほか、水温も僅かではあるが低下が認められており、この期間に湾内水全体の性状に大きな変化があったものと考えられる（図-4）。

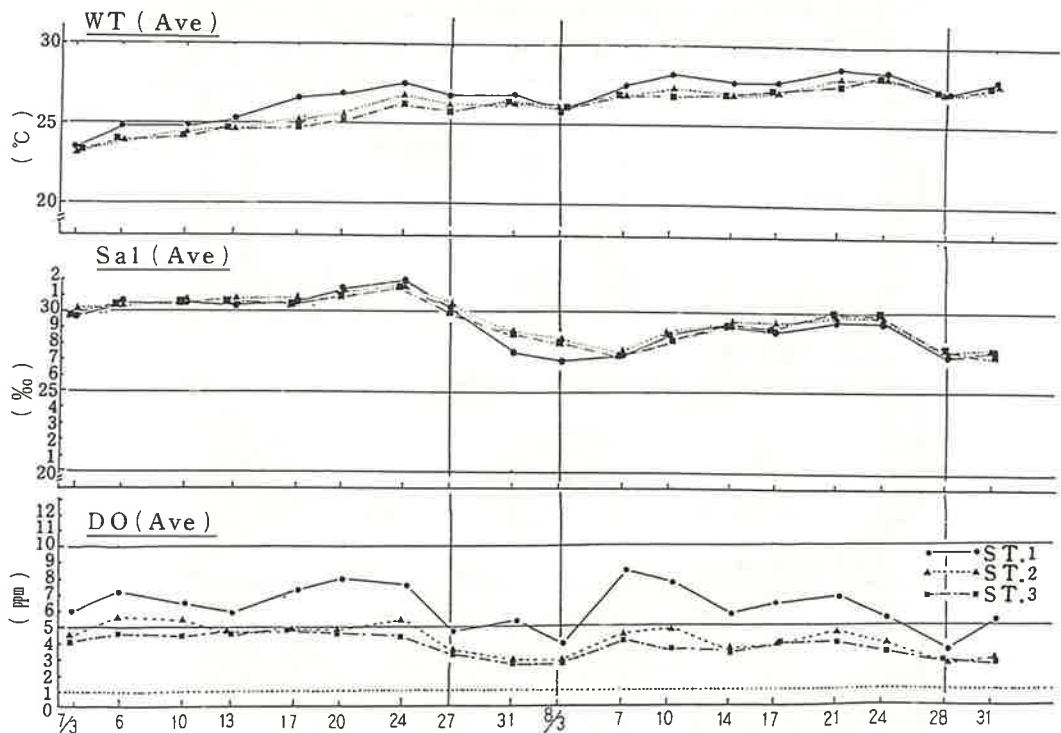


図-4 水温、塩分量並びに溶存酸素量の推移（各層平均値）

一方、各定点におけるDO濃度分布の推移を見ると、7月13日～17日、7月27～8月3日、8月14日～17日及び8月24日～31日の各期間に全定点において底層域からの貧酸素水塊の浮上が認められた。DO分布のこのような推移と期間中の気温、日照時間、潮位差並びに降雨量の4要素の変化を対比した結果、次に示すとおり、特に降雨量と潮位差の変動と貧酸素水塊の浮上の間に密接な関係のあることが判った。

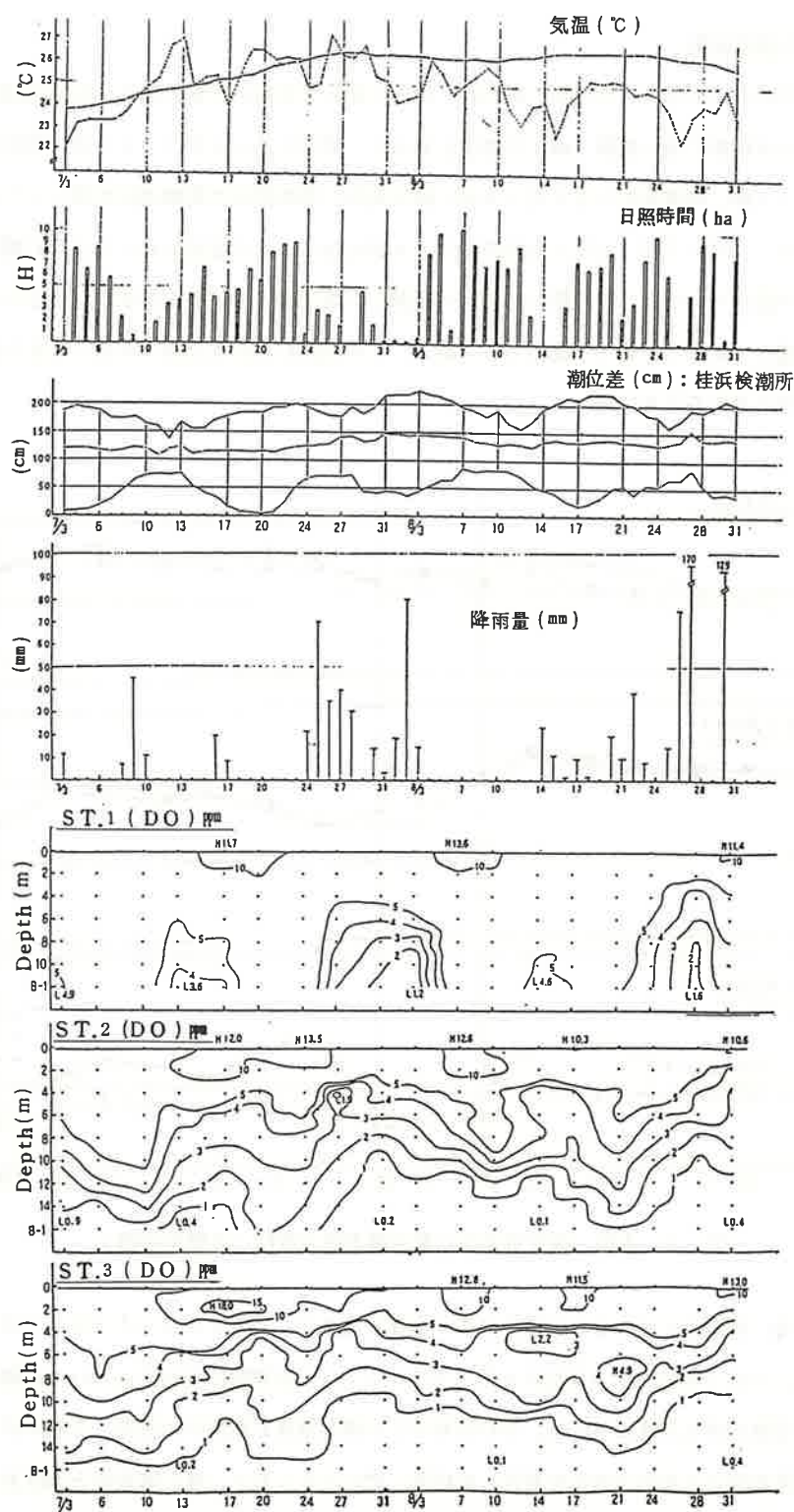


図-5 気温、日照時間、潮位差並びに降雨量とDO分布状況の推移 (89. 7. 3 - 8. 31)

- ・降雨量：降雨時～降雨直後に浮上が認められ、かつ降雨量の多寡と浮上の規模がよく相関する。

- ・潮位差：浮上が小潮～大潮の間の潮位差の拡大する期間に生じ、大潮～小潮の間、潮位差の減少時に改善される傾向が認められる。

また、表層域において出現した $10 \mu\text{m}$ を越える高濃度の DO 水塊についてはその出現時期並びに規模が、日照時間の多寡に極めて良く相関していたが、分布は水深約 4 m 以浅に限られ、中～底層域への影響は殆ど認められなかった（図－5）。

2. ギムノディニューム・ナガサキエンセ出現動向調査

1) 調査水域及び調査点

浦の内湾内の 3 定点（図 1：貧酸素形成状況集中調査実施の 3 定点）

2) 調査実施時期及び回数

1989 年 7 月から 8 月の高水温期に週 2 回の調査を実施した。

3) 調査方法

ギムノディニューム・ナガサキエンセ (*Gymnodinium nagasakiense*) 遊泳細胞数の把握並びに栄養塩類の分布状況を知るため上記定点の表層 (0 m), 2 m, 5 m, 7.5 m, 10 m, (12.5 m) 及び底層 (B-1 m) の各層より北原式採水器を用い採水を行った。

このうち *G. nagasakiense* 遊泳細胞数については通常 500 ml を採水、うち 1 ml を検鏡計数し、細胞密度の低い際 (10 cells/ml 以下) には 8 μ ニュークリポアーフィルターにより 50 ml に濃縮後グルタルアルデヒド (約 2.5%) により固定し計数を行った。

また、栄養塩類については 250 ml を採水し 0.45 μ フィルターで濾過後オートアナライザー (TRACSS-800) により濃度を求めた。

4) 結果及び考察

(1) 遊泳細胞の出現状況

浦の内湾では 1989 年 7 月中旬～8 月初旬の約 3 週間の長期にわたって、湾全域に及ぶ *G. nagasakiense* の赤潮発生が認められたが、6 月以降 10 月までの間の湾内 3 定点における遊泳細胞の出現数の各層平均値の推移を見ると、赤潮発生の約 1 ヶ月前の 6 月 22 日には、すでに、いずれの定点においても 10^3 cells/L を越える分布が認められていた。

これらの遊泳細胞は以後、水温の上昇に伴いその密度を増し ST.2 及び ST.3 では 7 月 24 日に、それぞれ $1,600 \times 10^3 \text{ cells/L}$ 及び $1,900 \times 10^3 \text{ cells/L}$ 、ST.1 では 7 月

31日に 760×10^3 cells/Lの最多出現数を記録した。

しかしながら、その後は急激に減少し8月3日には、ST.1で 20×10^3 cells/L, ST.2で 11×10^3 cells/L, ST.3では 8×10^3 cells/Lとなった。この減少傾向はその後も続き、8月下旬～9月下旬には1/10濃縮サンプルにおいても全く分布が認められない状況も生じたが、10月上旬には僅かではあるが再び増加の傾向が認められた。

また、各定点における推移を比較すると7月の増殖期においては、ST.2及びST.3における出現数並びに出現盛期がほぼ一致するのに対しST.1では出現数はやや少なく、かつ出現盛期に若干遅れが認められ水域の特異性がうかがわれる(図-6)。

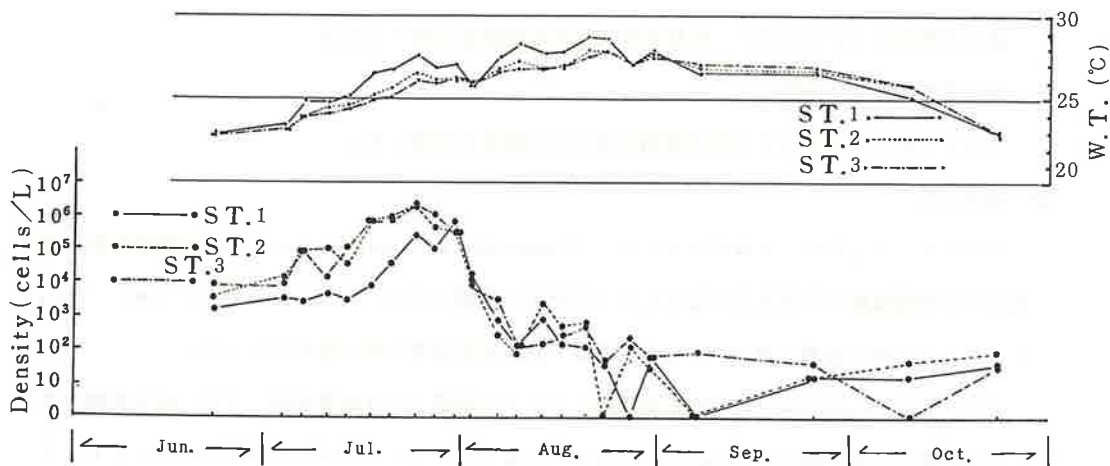
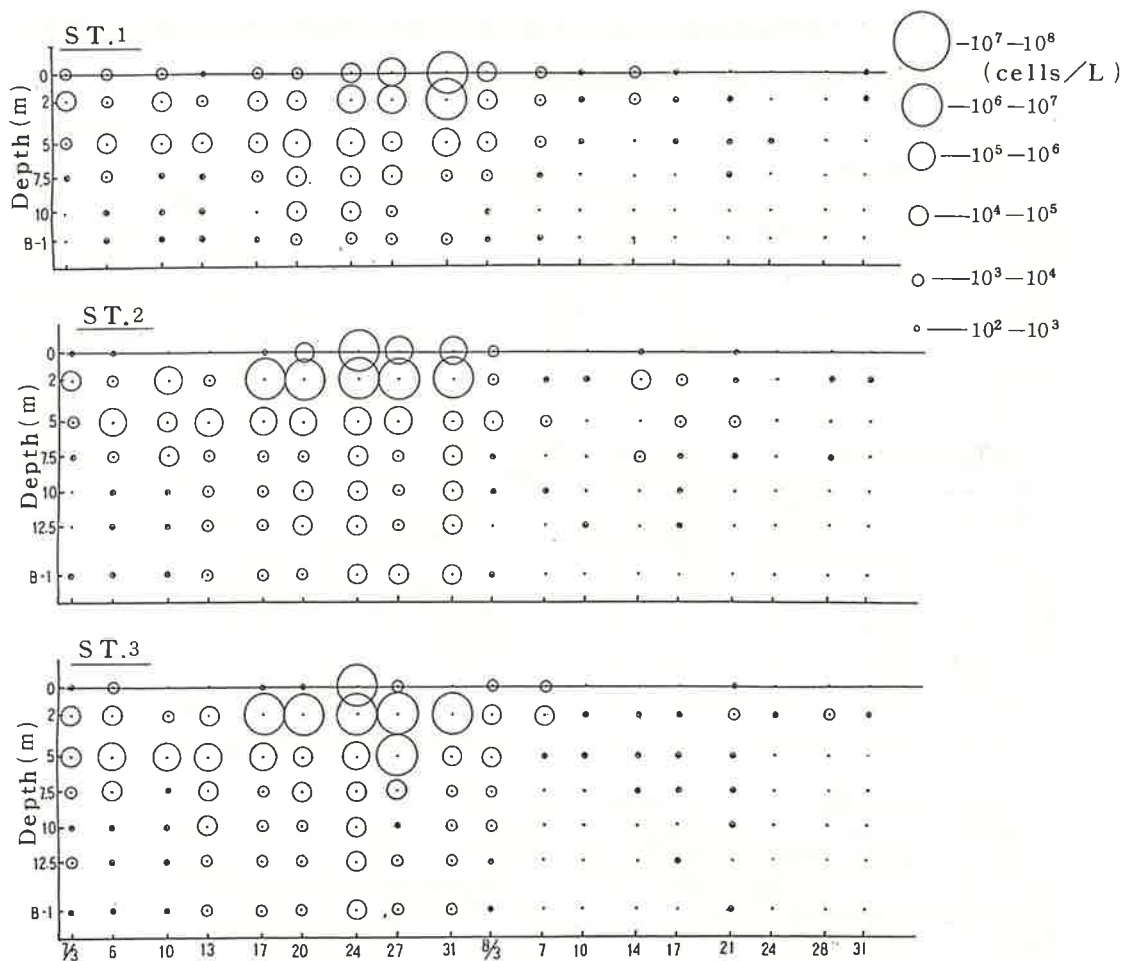


図-6 G. nagasakienseの出現状況(各層平均値)

集中調査(7月3日～8月31日)期間中の各定点における遊泳細胞の最高出現数はST.1で $2,320 \times 10^3$ cells/L(7月31日, 2m層), ST.2では $5,680 \times 10^3$ cells/L(7月24日, 表層) ST.3では $6,700 \times 10^3$ cells/Lであったが7月20日には風浪等により集積されたとされる $10^4 \times 10^3$ cells/Lを越える濃密な分布も局所的に認められた。

これらの遊泳細胞の鉛直分布について見ると、最多出現数が赤潮発生直前～発生初期には概ね5m層に認められたが増殖とともに上昇し、赤潮盛期には主として2m層に定位していた。

また、これらの増殖に伴い、中～底層域における密度も増加しST.2及びST.3では7月24日以降、底層(B-1m)においても 10×10^3 cells/Lを越える分布が認められた(図-7)。



図ー 7 G. nagasakiense 分布状況の推移

(2) DO濃度と出現数との関係

集中調査において、遊泳細胞が認められた水塊のDO濃度は最高18.00ppm最低0.15ppm平均5.46ppmであり 1.0×10^3 cells/L以上の分布は前年と同じく概ね5ppm以上の比較的高濃度の水塊中出现したが、赤潮盛期の7月下旬には5ppm以下の水塊中にも広く分布が認められた。

また、赤潮盛期において $1.0^3 \times 10^3$ cells/L以上の濃密な分布の認められた水塊のDO濃度平均値は9.86ppmと極めて高く、本種の活発な光合成が示唆された。

一方、ST.2及びST.3に出現した1ppmを下回る著しい貧酸素水塊中にも遊泳細胞が連続して認められたが、最多出現数は $5.3.6 \times 10^3$ cells/Lで前年ST.3の中～底層域で観察された $1.0^3 \times 10^3$ cells/Lを越える濃密な分布は認められなかった(図ー8)。

また、これらの貧酸素水塊中出现した遊泳細胞の形状は表層部のそれと大差なく、前年かなりの割合で出現した変形、変色細胞は認められなかった。

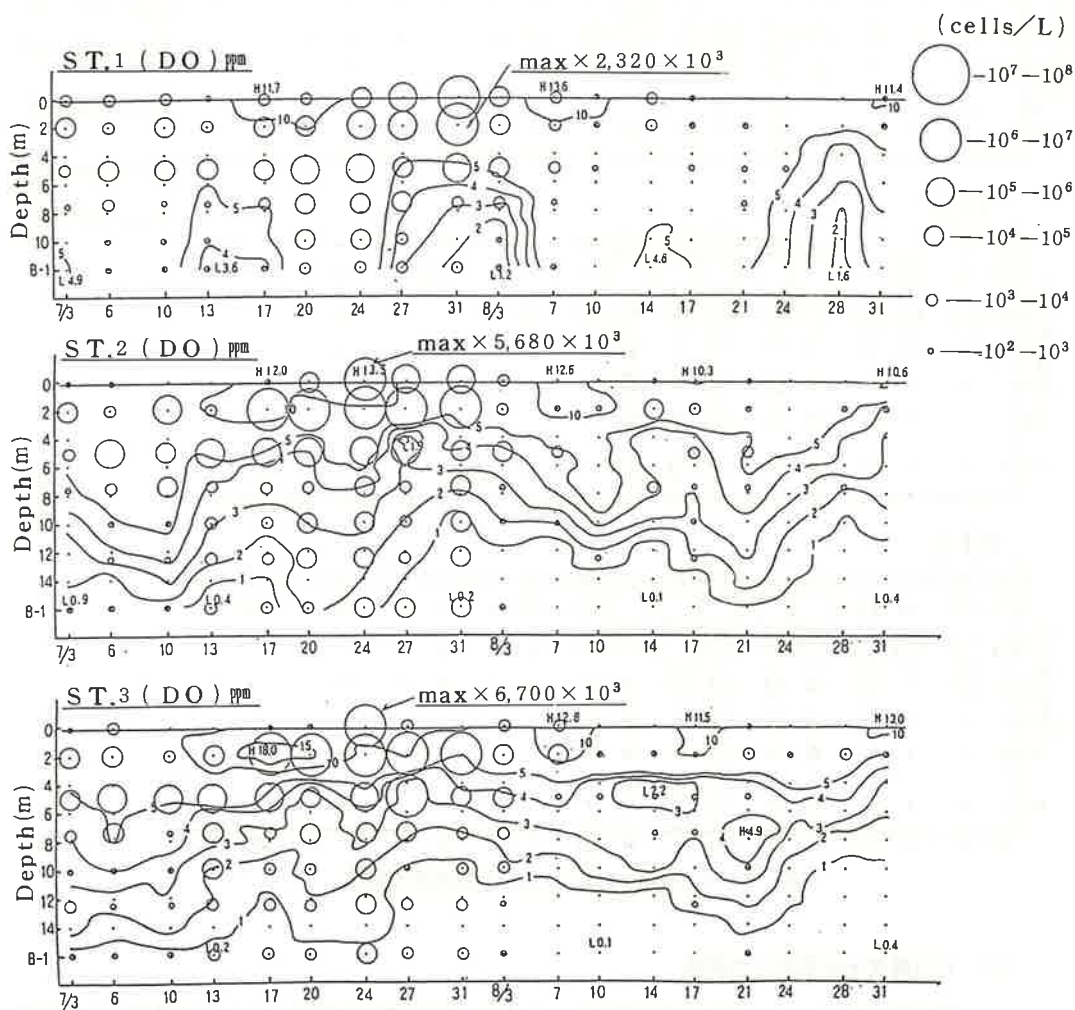


図-8 DO (ppm)並びに *G. nagasakiense* の分布状況

(3) その他の環境と出現数との関係

① 水温との関係

調査期間中の水温の平均値は 26.2°C であり、その鉛直分布の推移を見ると7月31日～8月3日の大潮時には、湾口部ST.1で外界水流入の影響と思われるかなりの低下が認められる。しかしながら、湾中央部～湾奥部に向かうにつれその状況は不明瞭となった。

G. nagasakiense は $25.9 \sim 30.1^{\circ}\text{C}$ の広い範囲に出現したが $10^3 \times 10^3 \text{ cells/L}$ の濃密な分布は $26.9 \sim 29.3^{\circ}\text{C}$ の水塊に認められた(図-9)。

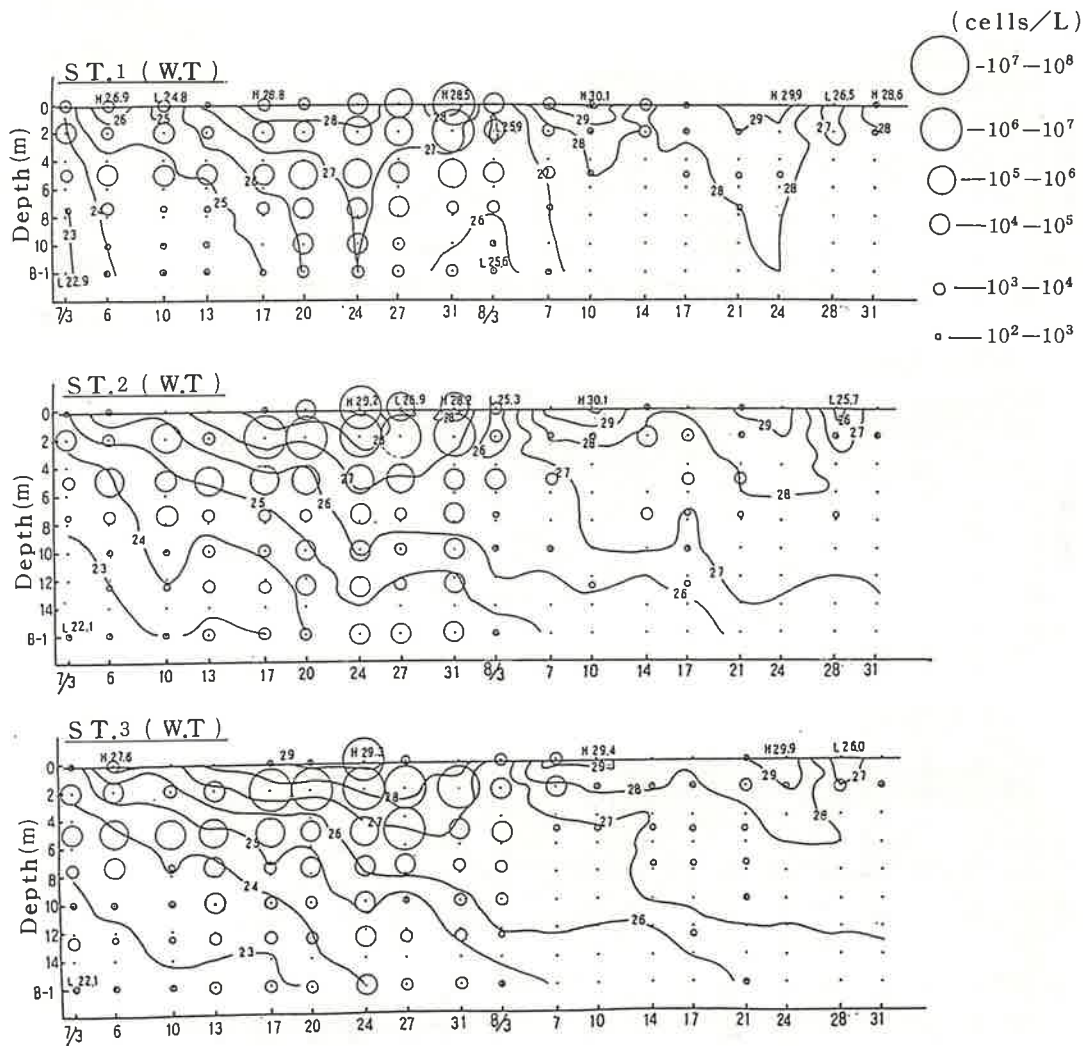


図-9 水温と *G. nagasakiense* の分布状況

② 塩分量との関係

調査期間中の平均値は 2.9.6.3‰ であり 7 月 24 日以降の大規模な減少は連続して来襲した台風 9 号及び 11 号の大量の降雨によるもので、表層では 1.8.4.5‰, 2 m 層で 2.2.5.5‰, 5 m 層で 2.5.5.0‰ まで低下し、その影響は底層にまで及んだ。

G. nagasakiense の出現水塊における平均値は 2.9.3.4‰ であったが、出現範囲は最高 3.2.4.9‰, 最低 1.8.4.5‰ と極めて広く、 $10^3 \times 10^3$ cells/L 以上の濃密な分布も 2.1.4.5 ~ 3.1.4.5‰ のかなり広い範囲に認められた (図-10)。

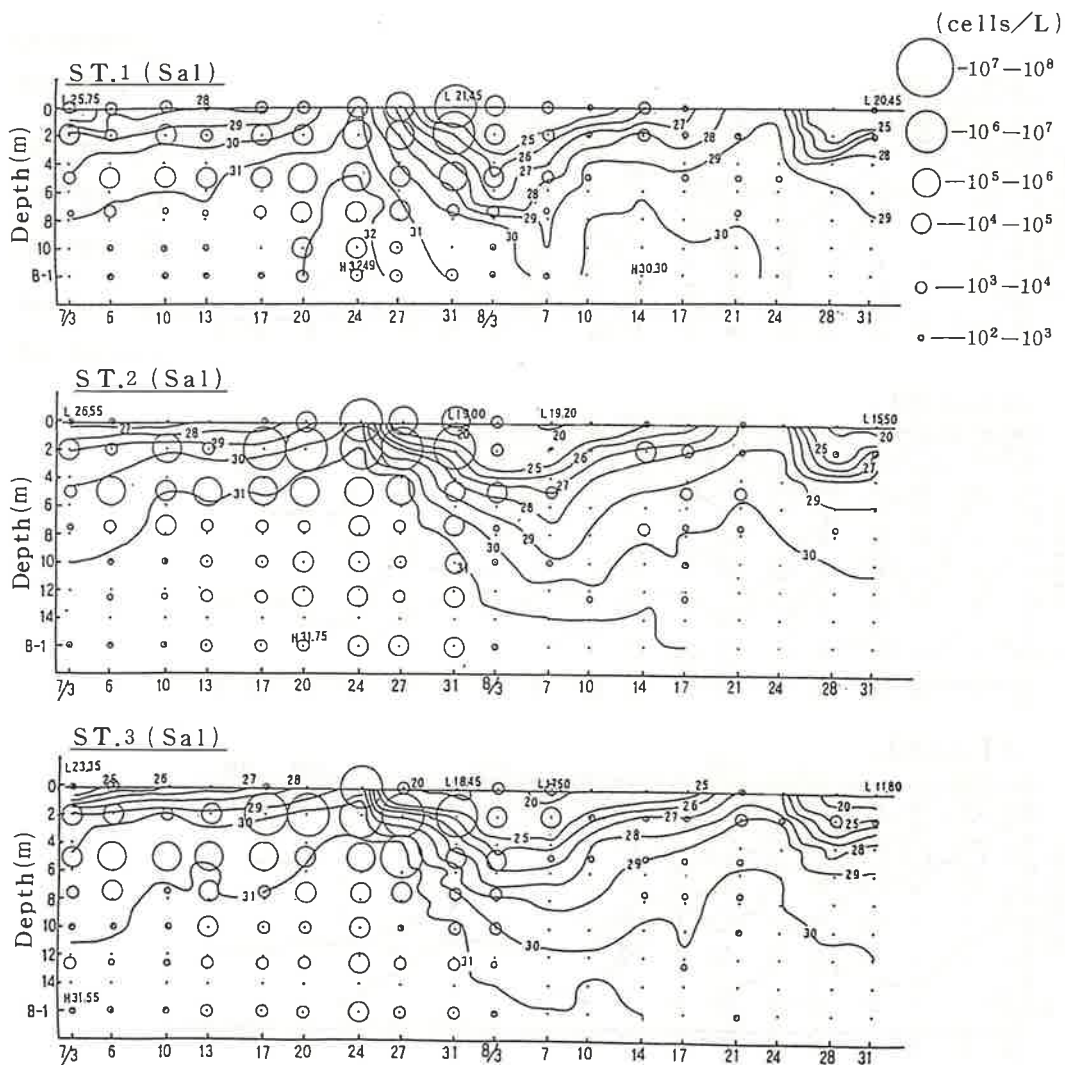


図-10 塩分量(‰)と *G. nagasakiense* の分布状況

③ 無機態溶存窒素(DIN)との関係

調査期間中のDIN濃度は最高 $37.88 \mu\text{g-at/L}$ (7月24日ST.2 0m), 最低 $0.63 \mu\text{g-at/L}$ (7月6日ST.1 表層), 平均 $8.06 \mu\text{g-at/L}$ であり, 各定点における平均値の推移とDO濃度(㎍)との間には明瞭な逆の関係が認められた。このことは, 内湾域における栄養塩類の増加(富栄養化)と海域の貧酸素化とが不可分の関係にあることを示すものであるが, 又, 一方, 濃度の増加の傾向が一律ではなく増減を繰り返しつつ推移することはDOその他の項目と同じく, その変動に潮汐が関与していることを示すものと考えられる(図-11)。

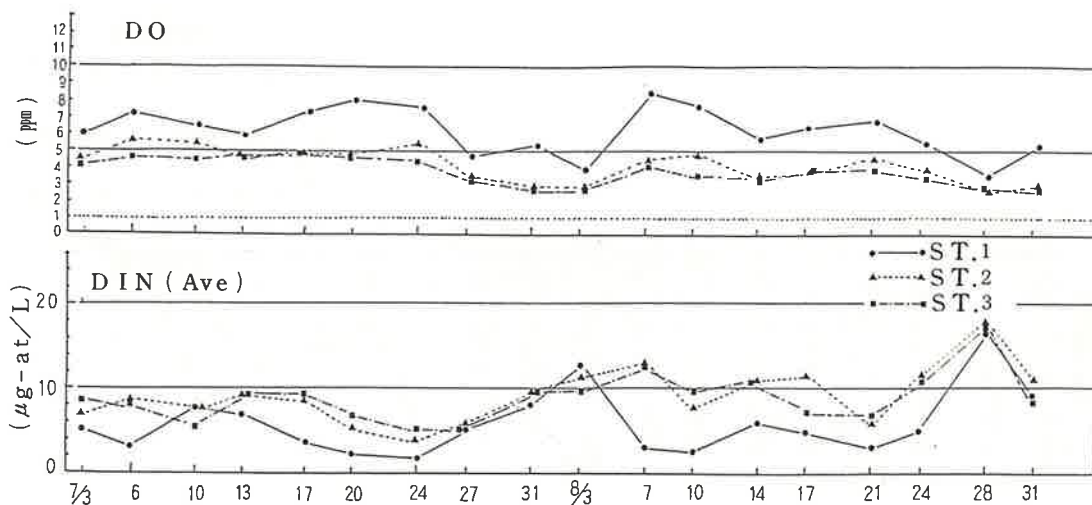


図-1 1 無機態窒素 (DIN) 量並びに溶存酸素 (DO) 量の推移

このうち, *G. nagasakiense* の出現が認められた水域における平均値は $6.72 \mu\text{g-at/L}$, 赤潮盛期にあたる7月17日~31日の間のそれは $6.09 \mu\text{g-at/L}$ と, いずれも上述の全期間平均値より低かった。

濃度分布と各層における *G. nagasakiense* 遊泳細胞の出現状況を比較すると, 主分布域は前年と同じく $5 \mu\text{g-at/L}$ 以下の比較的, 低濃度の水域に認められたが, 赤潮発生直前~初期には各定点とも底層域に高濃度の水塊の出現が認められており, DIN濃度と本種赤潮の発生との関係が示唆される (表-1, 図-12)。

表-1 調査時における無機態溶存窒素 (DIN) 濃度 ($\mu\text{g-at/L}$)

	調査時平均 (7/3-8/31)	<i>G. nagasakiense</i>	
		出現水塊	赤潮盛期 (7/17-7/31)
平均値	8.06	6.72	6.09
最高値	37.88	25.71	23.52
最低値	0.63	0.63	0.82

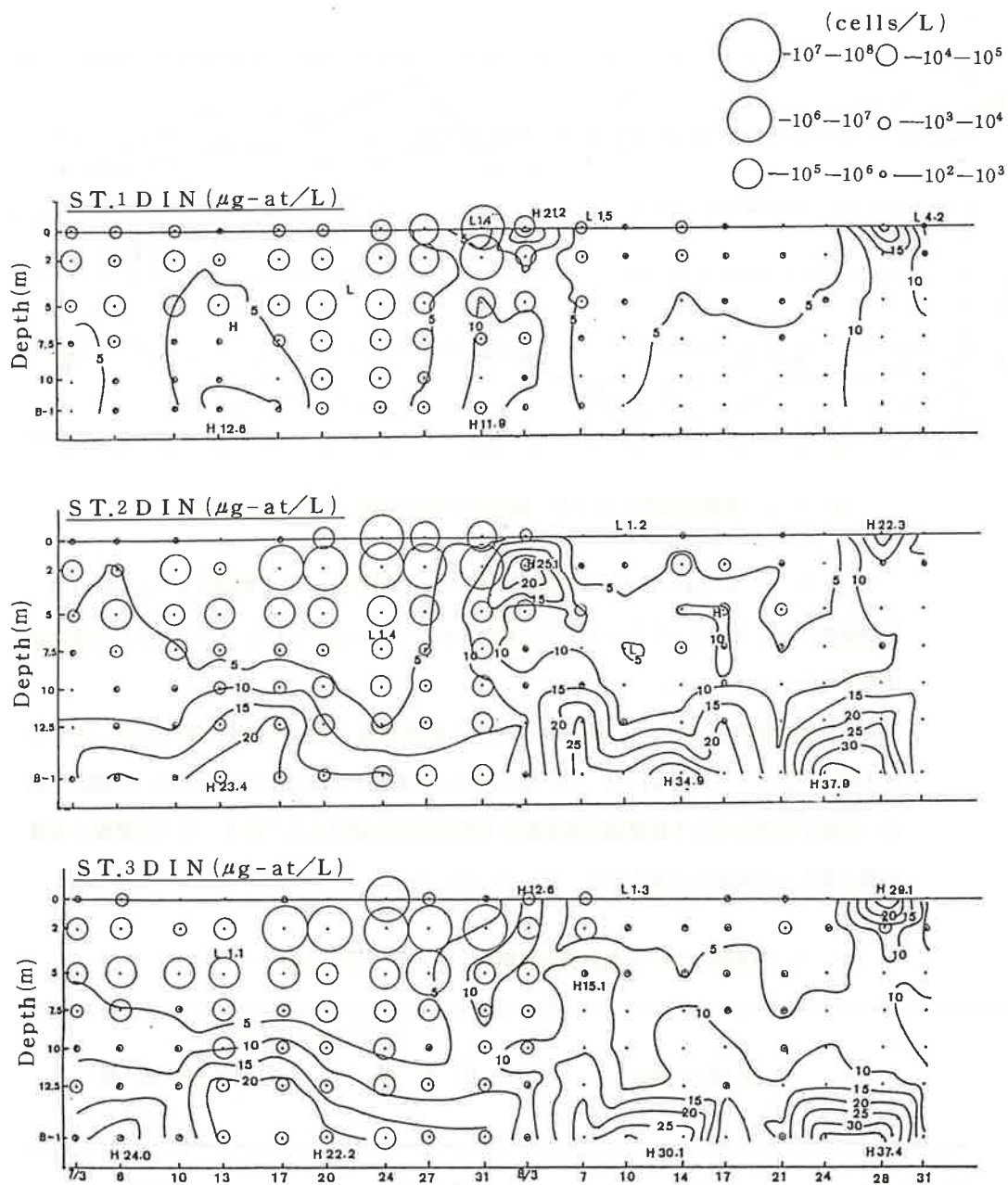


図-12 DIN量とG.nagasakienseの分布状況

④ 無機態溶存リン ($\text{Po}_4\text{-P}$) との関係

調査期間中の最高値は $6.95 \mu\text{g-at/L}$ 最低値は N.D ($0.05 \mu\text{g-at/L}$ 以下) 平均値は $0.75 \mu\text{g-at/L}$ で, DIN はどの明瞭ではないが DO 濃度と逆の関係が認められる。また, その推移を見ると DIN に類似した増減が認められるが, 特に湾口部 (ST.1) における変動が大きく, 同点における潮汐の影響の大きさがうかがわれる (図-13)。

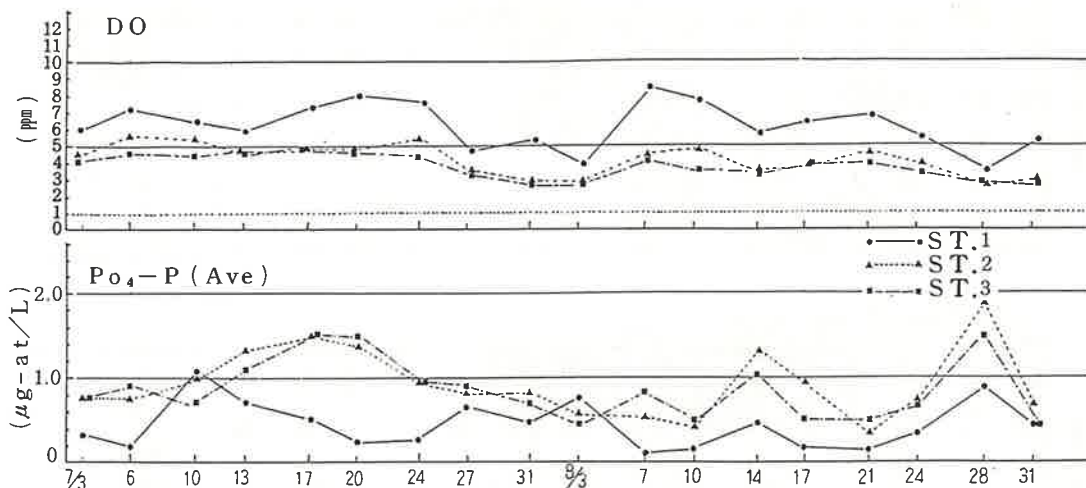


図-13 無機態リン ($\text{Po}_4\text{-P}$) 量並びに溶存酸素 (DO) 量の推移

G. nagasakiense の認められた水域における平均値は $0.70 \mu\text{g-at/L}$ 赤潮盛期のそれは $2.10 \mu\text{g-at/L}$ と, いずれも DIN と同様に調査期間中の平均値より低かった。濃度分布と *G. nagasakiense* 遊泳細胞の出現状況とを対比して見ると, 赤潮発生時には高濃度域における出現も認められるが, 概して $0.5 \mu\text{g-at/L}$ 以下の低濃度域に高密度の分布がみられた。

一方, 赤潮発生直前～発生期間中には, 特に湾中央部 (ST.2) 及び湾奥部 (ST.3) の底層において DIN 同様, 高濃度水塊が出現していた (表2, 図-14)。

表-2 調査時における無機態リン ($\text{Po}_4\text{-P}$) 濃度 ($\mu\text{g-at/L}$)

	調査時平均 (7/3-8/31)	<i>G. nagasakiense</i>	
		出現水塊	赤潮盛期 (7/17-7/31)
平均値	0.75	0.70	0.29
最高値	6.95	5.24	2.10
最低値	N.D	N.D	N.D

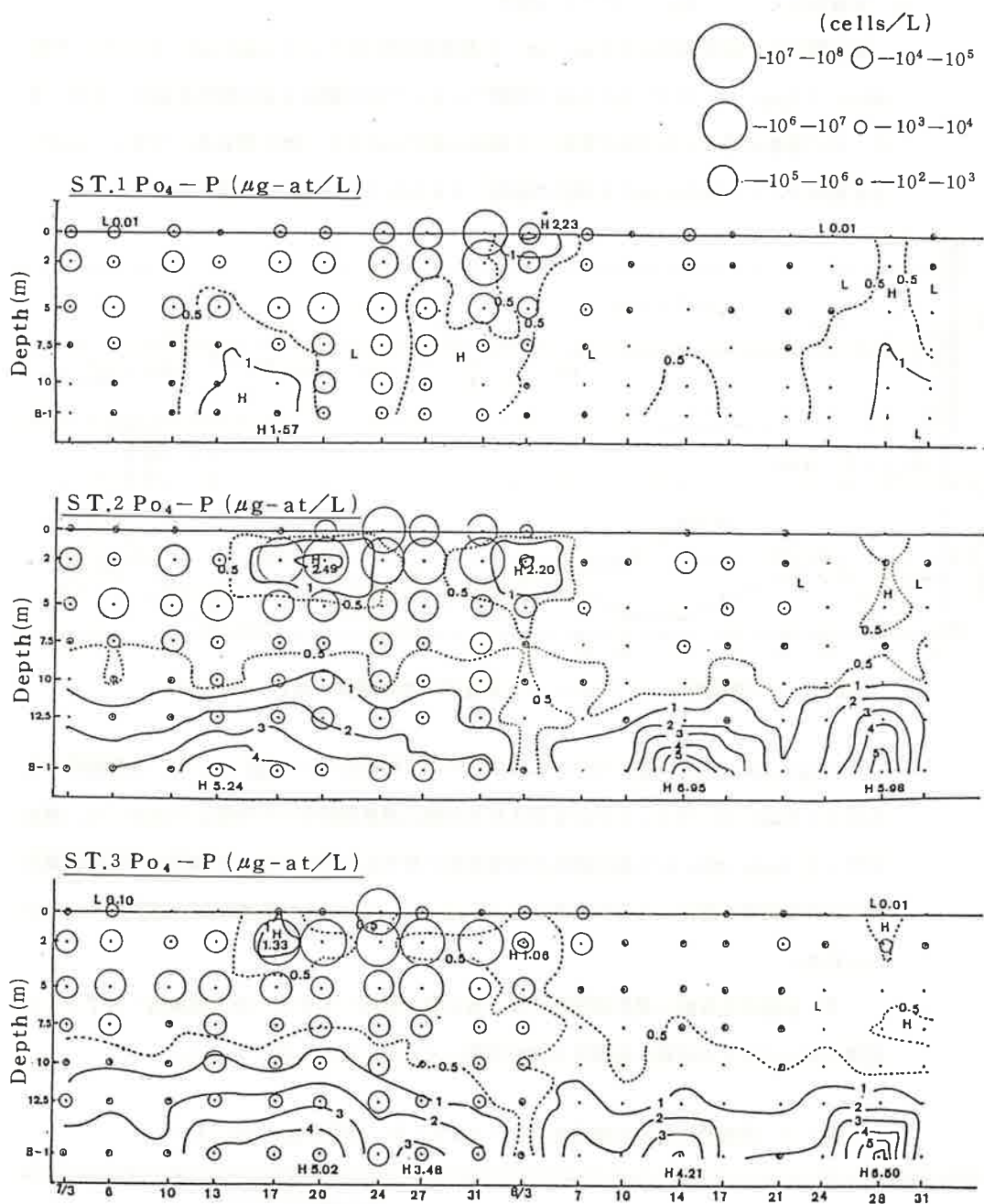


図-14 $\text{Po}_4 - \text{P}$ 量と $G. \text{nagasakiense}$ の分布状況

Ⅲ 要 約

1. 赤潮プランクトン *Gymnodinium nagasakiense* の増殖と貧酸素水塊との関係を知るため、5～10月の間、月2回、浦の内湾の7点において貧酸素水塊の形成状況を調査した。また、貧酸素水塊の発達の著しい7～8月にかけて週2回、3点においてDOを含む環境と *G. nagasakiense* の出現数を調べた。
2. 月2回実施した貧酸素水塊形成状況調査によって得られた湾内水のDO平均値は、5月以降減少し9月に最低値2.3 ppmを示したが、その後は急速に回復した。
3. 湾内におけるDO濃度の鉛直分布について見ると、5月下旬には発達した成層が認められ、7～9月下旬には底～中層域に1 ppm以下の著しい貧酸素水塊が出現したが10月上旬には、湾口部から生じた成層の崩壊とともに消失した。
4. 7～8月にかけて実施した集中調査では7月13～17日、7月27日～8月3日、8月14日～17日及び8月24～31日の各期間に貧酸素水塊の浮上現象が認められた。DO分布のこのような推移には、特に降雨量と潮位差の変動との間に密接関係が認められた。
5. *G. nagasakiense* 遊泳細胞の分布調査では、既に6月下旬に 10^3 cells/L 以上の分布が認められていたが、昇温に伴いさらにその密度を増し、7月下旬～8月上旬の3週間にわたり、湾全域におよぶ赤潮を形成した。
6. 調査期間中の定点における最多出現数は、赤潮発生時に湾奥部 (ST.3) において観測された $6,700$ cells/ml であったが、局所的には 10^4 cells/ml を越える分布も観測された。また、遊泳細胞の鉛直分布を見ると最多出現層は、赤潮の規模拡大に伴い中層域 (5 m) から浮上し、盛期には2 m層に定位していた。
7. 集中調査の期間中、遊泳細胞が認められた水塊のDO濃度は最高 18.00 ppm、最低 0.15 ppm、平均 5.46 ppmであったが、 10^4 cells/L 以上の分布は前年と同じく、殆ど5 ppm以上の水塊中であつた。一方、1 ppm以下の貧酸素水塊中にも遊泳細胞は連続して認められ、赤潮盛期にはその出現数を増したが、最高出現数は 53.6 cells/ml にとどまり、前年出現した変形、変色細胞も認められなかった。
8. DO以外の環境要因と遊泳細胞の出現状況との関係は次の通りであった。
 - 1) 水温との関係
25.9～30.1℃の広い範囲に出現したが $10^3 \times 10^3$ cells/L 以上の濃密な分布は26.9～29.3℃の範囲に認められた。
 - 2) 塩分量との関係

18.45～32.49%の極めて広い範囲に出現し、 $10^3 \times 10^3$ cells/L 以上の濃密な分布も21.45～31.45%のかなり広い範囲に認められた。

3) 無機態窒素 (DIN) 量との関係

遊泳細胞は $5 \mu\text{g-at/L}$ 以下の水域に比較的高密度な分布が認められた。

4) 無機態リン (Po4-P) 量との関係

赤潮発生時には高濃度域における分布も認められるが、概して $0.5 \mu\text{g-at/L}$ 以下の低濃度域に高密度の分布が認められた。

IV 文 献

1. 飯塚 昭二, 1989. 無酸素化現象と *Gymnodinium* 赤潮との関連に関する研究, 昭和63年度赤潮対策技術開発試験報告書。
2. 福岡県豊前水産試験場, 1989. 昭和63年度赤潮対策技術開発試験報告書, 中層増殖性広域赤潮被害防止技術開発試験。
3. 広島県水産試験場, 1989. " , " .
4. 三重県水産技術センター, 1989. " , " .
5. 長崎県水産試験場, 1989. " , " .
6. 大分県水産試験場, 1989. " , " .
7. 和歌山県水産試験場, 1989. " , " .
8. 山口県内海水産試験場, 1989. " , " .